

# การพัฒนาเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง

## DEVELOPMENT OF CASSAVA RHIZOMES WASHING MACHINE



ประสิทธิ์ชัย มะลอย  
PRASITTHICHAI MALOY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหารและเกษตรอัจฉริยะ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2566

KMITL-2023-EN-M- 117-140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DEVELOPMENT OF CASSAVA RHIZOMES WASHING MACHINE

PRASITTHICHAJ MALOY

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE MASTER OF ENGINEERING FOOD AND  
AGRICULTURAL INTELLIGENCE ENGINEERING AGRICULTURAL ENGINEERING  
SCHOOL OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2023

KMITL-2023-EN-M- 117-140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2023**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องล้างเหง้ำมันสำหรับล้าง
นักศึกษา	นายประสิทธิ์ชัย มะลอย
รหัสประจำตัว	63601193
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหารและเกษตรอัจฉริยะ
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ธีรพงศ์ ผลโพธิ์

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นของเครื่องล้างเหง้ำมันสำหรับล้างแบบ เพื่อลดปัญหาจากการสิ้นเปลืองของดรัม เพื่อให้ประสิทธิภาพการทำงานสะอาดมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น และลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทำงาน เครื่องล้างเหง้ำมันสำหรับล้างมีส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องล้างเหง้ำมัน แบ่งตามลักษณะการทำงานได้ดังนี้ 1) ชุดโครงเครื่อง, 2) ชุดดรัมทำความสะอาด, 3) ชุดส่งกำลัง, 4) ชุดปั้มน้ำหมุนเวียน และ 5) ช่องป้อนและช่องออกของเหง้ำมันสำหรับล้าง เครื่องล้างเหง้ำมันสำหรับล้างที่ได้พัฒนาและปรับปรุงดรัมทำความสะอาดให้มีความยาวมากขึ้นเป็น 300 cm เพื่อเพิ่มน้ำหนักรในการกดลดการการไหลของดรัม รูตะแกรงที่ใหญ่ขึ้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm เพื่อลดการติดของเหง้ำมันสำหรับล้าง วิธีการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานและการทำงานของเครื่อง คือ กำหนดความเร็วรอบ 3 ระดับ คือ 30, 25 และ 20 rpm กำหนดองศาของดรัม 3 ระดับ คือ 6, 5 และ 4° และกำหนดอัตราการป้อน 3 ระดับ คือ 6, 5 และ 4 kg/min เหง้ำมันสำหรับล้างที่ผ่านทางช่องป้อนจะถูกทำความสะอาดบริเวณภายในของดรัมที่มีการฉีดน้ำแรงดัน เหง้ำมันสำหรับล้างที่ถูกทำความสะอาดจะไหลออกทางช่องป้อน น้ำที่ผ่านการชะล้างจะไหลลงมากับทรายและสิ่งเจือปนก็จะถูกชะล้างออกจากเหง้ำมันสำหรับล้างตกลงทางยังถาดรองรับน้ำ ไหลต่อไปยังถังกรองเศษทรายและไหลต่อไปยังถาดรองน้ำที่เป็นการกรองน้ำล้น จากนั้นปั้มน้ำจะดูดน้ำกลับไปใช้ในกระบวนการล้างอีกครั้ง ผลการทดลองของเครื่องมีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดอยู่ที่สูงสุดที่ 87.04% โดยใช้ความเร็วรอบของดรัมอยู่ที่ 30 rpm องศาของดรัมอยู่ที่ 5° และอัตราการป้อนเหง้ำมันอยู่ที่ 6 kg/min ความสามารถในการทำงานของเครื่องอยู่ที่ 360 kg/hr ที่สภาวะความชื้นที่ 47.30% จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนโดยวิธีทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เพื่อประเมินระยะเวลาในการคืนทุนของตัวเครื่อง เมื่อกำหนดสถานะการทำงานของเครื่องล้างเหง้ำมันสำหรับล้างในสภาวะที่เหมาะสมที่สุด และกำหนดอัตราการใช้น้ำเฉลี่ย 20 ลิตรต่อครั้ง ในระบบพบว่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมเฉลี่ยอยู่ที่ 1.5 kW/hr คิดค่าใช้จ่ายไฟฟ้า 35.05 บาทต่อวัน ดังนั้นการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องล้างเหง้ำมันสำหรับล้างใน 1 ปี ระยะเวลาคืนทุนภายใน 4 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
|  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis</b>	Development of casava rhizomes washing machine
<b>Student</b>	Mr. Prasitthichai Maloy
<b>Student ID</b>	63601193
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Food and Agricultural Intelligence Engineering
<b>Year</b>	2023
<b>Thesis Advisor</b>	Assistant Professor Teerapong Phonpol, Ph.D.

## ABSTRACT

This research aimed to develop and improve the problems that arise of the prototype cassava rhizome washing machine to reduce the problems of drum slipping increasing cleaner performance with greater precision and reduce errors that may occur during operation. Cassava rhizome washing machine contains important components as follows: 1) Chassis set, 2) Cleaning drum unit, 3) powertrain, 4) circulating water pump, and 5) Feed and outlet channels of cassava rhizomes. The cassava rhizome washing machine has been improved by increasing the cleaning drum to a length of 300 cm, to increase the pressing weight and reduce the drum skid. Larger sieve holes with a diameter of 30 mm, help reducing the sticking of cassava rhizomes. A set of experiments has been introduced to determine the cleaning efficiency and operation of the machine with set the rotational speed at 3 levels: 30, 25, and 20 rpm, the degree of drum at 3 levels: 6, 5 and 4°, and 3 feed levels: 6, 5 and 4 kg/min. The cassava rhizome that passed through the feed was cleaned within the internal area of the drum where pressure water was injected. The cleaned cassava rhizome flowed out through the feeder. The leaching then flowed down with sand, and impurities were washed off the cassava rhizome, falling on the water tray, continue to the sand debris filter tank and continue to the water tray where the overflow filter was conducted, the water pump then sucks the sleeping water and uses it in the rinsing process again. The experiments showed that the maximum cleaning efficiency was 87.04%, the rotational speed of drum was 30 rpm, the degree of drum was 5°, and the rhizome feed rate was 6 kg/min. The operating capacity of the machine was 360 kg/hr at a humidity of 47.30%. From the analysis of investment value by engineering economics method to estimate the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 II  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

payback time of the machine, determining the operating state of the cassava rhizome washing machine in optimal conditions and determining the average water consumption rate of 20 liters at a time. In the system, the average total electricity consumption was 1.5 kW/hr. Electricity costed 35.05 baht per day. Therefore, the engineering economics analysis of cassava rhizome washing machine in 1 year. Payback period within 4 months



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วง ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาผศ.ดร.ธีรพงศ์ ผลโพธิ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหา เป็นกำลังใจ สร้างแรงบันดาลใจ ตลอดจนให้ความรู้ และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้านับตั้งแต่วันแรกที่เข้ารับการศึกษา

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและแนวทางในการปรับปรุง วิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น ขอขอบคุณคณะอาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่สั่งสอนวิชาความรู้ ถ่ายทอดประสบการณ์ ต่าง ๆ และนำความรู้เหล่านั้นมาใช้ในการทำวิจัยนี้

การศึกษาปริญญาโทนี้จะประสบความสำเร็จไม่ได้ถ้าขาดกำลังใจสำคัญจากครอบครัวและเพื่อนๆ ขอขอบคุณที่อยู่เคียงข้างไม่ว่าจะสุขหรือทุกข์ อดทนกับความกดดันและคอยดูแลทุกคนในครอบครัวจึงทำให้ข้าพเจ้าสามารถผ่านอุปสรรคต่างๆจนการศึกษาสำเร็จลุล่วง

สำหรับคุณประโยชน์และคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบ ให้บิดามารดาผู้เป็นที่รักและเคารพยิ่งตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้และ ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ประสิทธิ์ชัย มะลอย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.6 งบประมาณ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับมันสำปะหลัง.....	4
2.1.1 ข้อมูลทั่วไปของมันสำปะหลัง.....	4
2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง.....	5
2.1.3 พันธุ์มันสำปะหลังในประเทศไทย.....	6
2.2 เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน.....	7
2.2.1 ระบบแก๊สซิฟิเคชันแบบฟิกส์เบด.....	7
2.2.2 ระบบฟลูอิดไคซ์เบด.....	7
2.3 วิธีทำความสะอาด.....	10
2.3.1 วิธีทำความสะอาดแบบแห้ง.....	10
2.3.2 วิธีทำความสะอาดแบบเปียก.....	10
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับสายพาน.....	12
2.4.1 การส่งกำลังด้วยสายพาน.....	12
2.4.2 อัตราทดความเร็วรอบของล้อสายพาน.....	13
2.5 ทฤษฎีความเร็วเฉลี่ยและอัตราการไหล.....	14
2.6 การเลือกใช้ปั๊ม.....	15
2.6.1 ประเภทของปั๊ม.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 หัวฉีด.....	16
2.7.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับหัวฉีดนอซเซิล (Nozzle).....	16
2.7.2 ประเภทหัวฉีด.....	17
2.8 เพลลา.....	19
2.8.1 วัสดุเพลลา.....	20
2.8.2 ขนาดของเพลลา.....	20
2.8.3 หลักพิจารณาในการออกแบบเพลลา.....	21
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องล้างหม้อน้ำสำหรับล้าง.....	22
2.9.1 เครื่องทำความสะอาดเชิง.....	22
2.9.2 เครื่องทำความสะอาดหม้อน้ำสำหรับล้าง.....	23
2.9.3 เครื่องทำความสะอาดหม้อน้ำสำหรับล้าง (สุกัญญา จัตตุพรพงษ์) .....	24
2.9.4 เครื่องล้างแก๊นตะวัน (วาริ ศรีสอน) .....	25
2.10 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในการใช้เครื่องจักรกลเกษตรเบื้องต้น.....	27
2.10.1 การวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย.....	27
2.10.2 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน.....	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	28
3.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของหม้อน้ำสำหรับล้าง.....	29
3.2 การออกแบบเครื่องล้างหม้อน้ำและหลักการทำงานของเครื่องล้างหม้อน้ำสำหรับล้าง.....	29
3.2.1 หลักการทำงานของเครื่องล้างหม้อน้ำสำหรับล้าง.....	29
3.3 แผนการทดลอง.....	41
3.4 วิธีการทดลอง.....	42
3.4.1 การทดลองเบื้องต้น.....	42
3.4.2 การศึกษาหม้อน้ำสำหรับล้างเพื่อเป็นค่าตั้งต้นในการทำความสะอาด.....	43
3.5 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการล้างหม้อน้ำสำหรับล้าง.....	43
3.5.1 ศึกษาลักษณะการล้างหม้อน้ำสำหรับล้างผ่านเครื่องล้างหม้อน้ำ.....	44
3.6 การทดสอบเครื่องล้างหม้อน้ำสำหรับล้าง.....	45
3.7 การวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของเครื่องล้างหม้อน้ำสำหรับล้าง.....	45
3.8 การตรวจสอบความถูกต้องของประสิทธิภาพเครื่องล้างหม้อน้ำสำหรับล้าง.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.9 ศึกษาการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในการใช้เครื่องล้างหม้อต้ม.....	46
3.9.1 ศึกษาค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการล้างหม้อต้ม.....	46
3.9.2 ศึกษาระยะเวลาคืนทุนของเครื่องล้างหม้อต้มสำหรับล้าง.....	46
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	47
4.1 ผลการศึกษาหม้อต้มสำหรับล้าง.....	47
4.1.1 ผลการศึกษาหม้อต้มสำหรับล้าง.....	47
4.1.2 ผลการศึกษาล้างหม้อต้มสำหรับล้าง.....	48
4.2 สภาพที่เหมาะสมสำหรับการล้างหม้อต้มสำหรับล้างด้วยเครื่องล้างหม้อต้ม.....	48
4.2.1 ลักษณะการล้างหม้อต้มสำหรับล้างผ่านเครื่องล้างหม้อต้ม.....	49
4.3 ผลการทดสอบด้วยเครื่องล้างหม้อต้มสำหรับล้าง.....	51
4.3.1 อิทธิพลขององศาของและความเร็วรอบของดรัมเครื่องล้างหม้อต้ม สำหรับล้าง.....	54
4.3.2 อิทธิพลของอัตราการป้อนหม้อต้มและความเร็วรอบของดรัมเครื่องล้างหม้อ ต้มสำหรับล้าง.....	55
4.3.3 อิทธิพลขององศาของเครื่องล้างและอัตราการป้อนหม้อต้มสำหรับล้าง.....	56
4.3.4 การหาค่าสภาวะที่เหมาะสม.....	57
4.3.5 การตรวจสอบความถูกต้องของประสิทธิภาพการล้างหม้อต้มสำหรับล้าง.....	58
4.4 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องล้างหม้อต้มสำหรับล้าง.....	59
4.4.1 ค่าใช้จ่ายในการทำงาน.....	59
4.4.2 ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องล้างหม้อต้มสำหรับล้าง.....	60
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	61
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	61
5.2 อิทธิพลที่ส่งผลต่อการทำงาน.....	61
5.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	62
บรรณานุกรม.....	63
ภาคผนวก.....	67
ภาคผนวก ก ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่.....	68
ภาคผนวก ข แบบรูปประกอบของเครื่องล้างหม้อต้มสำหรับล้าง.....	76
ประวัติผู้เขียน.....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการทำงาน.....	3
1.2 งบประมาณและค่าใช้จ่าย.....	3
2.1 ขนาดระบุของเพลตามมาตรฐาน ISO/R 775 - 1969.....	20
3.1 แผนการทดลองความเร็วรอบของดรัม  องศาของดรัม และอัตราการป้อนเหง้ามัน.....	43
3.2 สิ่งทดลองจากการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken.....	44
4.1 กำหนดอ้างอิงประสิทธิภาพความสะอาด 100%.....	48
4.2 ความเร็วรอบของดรัม  องศาของดรัม และอัตราการป้อนเหง้ามันสำหรับหลังที่ใช้ทดลองหา ประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องล้างเหง้ามัน.....	49
4.3 ผลการทดลองแบบ Box-Behnken.....	50
4.4 PROBABILITY OUTPUT เครื่องล้างเหง้ามันสำหรับหลัง.....	52
4.5 Analysis of Variance เครื่องล้างเหง้ามันสำหรับหลัง.....	53
4.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยการทดสอบค่าเฉลี่ย.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Diagram of cassava plant.....	5
2.2 เครื่องปฏิกรณ์แก๊สซิฟิเคชันแบบฟิกซ์เบด(ก)แบบไหลขึ้น (ข)แบบไหลลง.....	8
2.3 เครื่องปฏิกรณ์แก๊สซิฟิเคชันแบบฟลูอิดไคซ์เบด.....	9
2.4 เครื่องปฏิกรณ์แก๊สซิฟิเคชันแบบฟลูอิดไคซ์เบดใช้ตามลิตแก๊สชนิดลมล่าง.....	9
2.5 การส่งกำลังด้วยสายพาน.....	12
2.6 การเปลี่ยนแปลง Velocity Profile.....	14
2.7 โครงสร้างนอสเชิลและลักษณะการติดตั้งภายในท่อ.....	16
2.8 หัวฉีดน้ำทรงกรวยเต็ม.....	17
2.9 หัวฉีดสเปรย์ทรงกรวย ทรงโดนัท.....	18
2.10 หัวฉีดน้ำทรงพัดแบน.....	18
2.11 หัวฉีดน้ำแบบเกลียวเดี่ยวหมุน.....	19
2.12 เพลลาภายใต้แรงต่างๆ.....	21
2.13 เครื่องล้างทำความสะอาดซิง.....	22
2.14 เครื่องทำความสะอาดหัวมันสำปะหลัง(เทคโนโลยีชาวบ้าน).....	23
2.15 เครื่องทำความสะอาดหัวมันสำปะหลัง(สุกัญญา จัดตุพรพงษ์).....	24
2.16 เครื่องล้างแก่นตะวัน.....	25
2.17 เครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง.....	26
3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการสร้างเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง.....	28
3.2 ส่วนประกอบของเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง.....	30
3.3 โครงสร้างของเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง.....	30
3.4 เหล็กฉากยึดล้อ.....	31
3.5 ติดประกอบเหล็กฉากสำหรับยึดล้อเข้ากับโครงสร้างส่วนบน.....	31
3.6 ล้อขับเคลื่อนบนโครงสร้างของเครื่อง.....	32
3.7 ชุดปรับระดับความสูงในส่วนหัวของโครงสร้าง.....	33
3.8 ชุดดรัมทำความสะอาด.....	34
3.9 การส่งถ่ายแรงด้วยคัปปลิง.....	34
3.10 การส่งกำลังจากเกียร์ทดไปยังเพลลา.....	35
3.11 ระบบส่งกำลัง.....	35
3.12 ตำแหน่งปั้ม.....	36
3.13 การต่อท่อดูดและท่อจ่าย.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 ถาดรองรับน้ำ.....	38
3.15 ถังกรองเศษทราย.....	38
3.16 ถาดรองน้ำ.....	39
3.17 หัวฉีดน้ำ.....	39
3.18 แผ่นเมทัลชีตที่ม้วนแล้ว.....	40
3.19 เครื่องล้างหมันสำปะหลังที่ทำการพัฒนา.....	40
3.20 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงาน.....	41
4.1 กราฟแสดงความน่าจะเป็นปกติในการทำงานของเครื่องล้างหมันสำปะหลัง.....	51
4.2 กราฟ Contour องศาของดรัมและความเร็วรอบของเครื่องล้างหมันสำปะหลัง.....	54
4.3 กราฟ Contour อัตราการป้อนหมันและความเร็วรอบของดรัมเครื่องล้างหมันสำปะหลัง.....	55
4.4 กราฟ Contour องศาของดรัมและอัตราการป้อนของเครื่องล้างหมันสำปะหลัง.....	56
4.5 สภาวะที่เหมาะสม ของความเร็วเชิงเส้น ความชัน และอัตราการป้อนของเครื่องล้างหมันสำปะหลัง.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

พืชเศรษฐกิจของไทย น้ำมันปาล์มซึ่งทำการแปรรูปและส่งออก มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด น้ำมันปาล์มซึ่งเป็นพืชสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกง่ายทนทาน ต่อสภาพดินฟ้าอากาศที่แปรปรวน และสามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ๆดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

จากแนวโน้มสถานการณ์ของน้ำมันปาล์ม ปี 2564 ของประเทศไทยพบว่า มีพื้นที่เพาะปลูก 8.9 ล้านไร่ และมีผลผลิตที่ได้คือ หัวมันปาล์ม 30.4 ล้านตัน (สมาคมโรงงานผลิตภัณฑ์มันปาล์ม, 2564) ซึ่งเกษตรกรจะนำหัวมันปาล์มส่งขายให้กับโรงงาน เพื่อนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น น้ำมัน แปะมันปาล์ม อาหารสัตว์ เป็นต้น โดยประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกมันปาล์มและผลิตภัณฑ์มันปาล์ม อันดับหนึ่งของโลก (สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2564)

น้ำมันปาล์มเป็นส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการเพาะปลูกและการแปรรูปมันปาล์ม มีคุณสมบัติแข็งแรง ไม่แตกหักง่าย การนำน้ำมันปาล์มสดมาย่อยให้มีขนาดเล็ก แล้วนำไปตากแห้งเพื่อลดความชื้น ทำให้มีความสามารถในการลวกดีไฟได้และให้ค่าพลังงานความร้อนเทียบเท่ากับไม้ฟืน ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำน้ำมันปาล์มไปแปรรูป เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลป้อนในระบบเผาไหม้พลังงานความร้อน อันเป็นต้นกำลังในการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งช่วยลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ ลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและเป็นการลดขยะที่เหลือจากการเกษตรและอุตสาหกรรม

การนำน้ำมันปาล์มมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ต้องผ่านกระบวนการทำความสะอาดก่อน เนื่องจากมันปาล์มเป็นพืชที่อยู่ใต้ดิน จึงทำให้หัวและน้ำมันปาล์มที่ขุดขึ้นมาจากรู ไม่สะอาด มีเศษดิน เศษทรายปะปนอยู่ ซึ่งมีเม็ดตะกอนทรายมีขนาดระหว่าง 0.0625 ถึง 2 mm หากไม่ทำความสะอาดก่อนนำเข้ากระบวนการแปรรูปจะส่งผลให้ค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ลดลง เพราะมีวัสดุแปลกปลอมปะปนอยู่ และซิลิกาในเม็ดทราย จะหลอมละลายในเตาเผาชีวมวลเนื่องจากอุณหภูมิความร้อนสูง ซึ่งส่งผลให้เตาเผามีประสิทธิภาพลดลงอีกด้วยจากปัญหาที่เกิดขึ้น จึงทำให้กลุ่มโรงงานได้มีแนวคิดที่จะออกแบบ สร้างและพัฒนาเครื่องล้างน้ำมันปาล์ม เพื่อช่วยในการล้างทำความสะอาดน้ำมันปาล์มให้สะอาดจากสิ่งสกปรกเช่น เศษดิน เศษทราย ที่ติดอยู่ตามน้ำมันปาล์มก่อนนำเข้าสู่กระบวนการแปรรูปและอัดเม็ด อันจะทำให้เตาเผามีความเสียหาย และการเผาไหม้มีประสิทธิภาพลดลง ในปัจจุบันได้มีการสร้างเครื่องล้างน้ำมันปาล์มแบบการใช้น้ำในการชำระล้าง (จุฑาพิชญ์ และคณะ, 2561) โดยสามารถทำความสะอาดสูงสุดได้ 350 kg/hr และมีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดเท่ากับ  $87.33 \pm 10.69\%$  จากการศึกษาพบว่าตะแกรงทรงกระบอกเกิดการสิ้นเปลือง

ระหว่างการทำงาน อีกทั้งในการทดสอบพบว่า เหน้้ำมันสำปะหลังเกิดการติดขัดกับรูตะแกรงในการล้าง เหน้้ำมันสำปะหลัง ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำความสะอาดมีความแปรปรวนสูง ซึ่งส่งผลทำให้การทดสอบแต่ละครั้งอาจเกิดข้อผิดพลาดในระหว่างการทำงาน ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการพัฒนา และปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นของเครื่องล้างเหน้้ำมันสำปะหลัง เพื่อลดปัญหาจากการลื่นไถลของตัว ตะแกรง และการติดของเหน้้ำมันสำปะหลังสำหรับการชะล้างเหน้้ำมันสำปะหลัง เพื่อให้ประสิทธิภาพการทำงานสะอาดมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น และลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทำงาน อีกทั้งงานวิจัยนี้ทำการออกแบบการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยวิธี Box-Behnken Design เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่อง และวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมโดยวิธี Pay-Back Period เพื่ออธิบายระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องล้างเหน้้ำมันสำปะหลัง

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาเครื่องล้างเหน้้ำมันสำปะหลังโดยหาประสิทธิภาพการทำความสะอาดที่แม่นยำ
- 1.2.2 เพื่อแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นจากเครื่องล้างเหน้้ำมันสำปะหลังต้นแบบ ได้แก่ การลื่นไถลของ ตะแกรงล้างเหน้้ำมันสำปะหลัง และการติดของเหน้้ำมันสำปะหลัง
- 1.2.3 เพื่อทราบสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำงานของเครื่อง
- 1.2.4 เพื่ออธิบายความคุ้มค่าในการลงทุนเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 ใช้เหน้้ำมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ในพื้นที่ภาคตะวันออก ช่วงเก็บเกี่ยวเดือนกันยายน - ตุลาคม พ.ศ. 2564
- 1.3.2 วิธีการทำความสะอาด โดยใช้ น้ำเป็นตัวกลางในการชะล้าง
- 1.3.3 ทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Respond Surface Methodology) โดยการออกแบบ Box-Behnken Design โดยโปรแกรม Minitab
- 1.3.4 วิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนโดยวิธี Pay-Back Period

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ใช้ทดแทนแรงงานคนในการล้างทำความสะอาดเหน้้ำมันสำปะหลัง
- 1.4.2 ได้เครื่องล้างเหน้้ำมันสำปะหลังที่สามารถทำความสะอาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.4.3 ทราบสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำงานของเครื่องล้างเหน้้ำมันสำปะหลัง
- 1.4.4 ทราบระยะเวลาในการคืนทุนของตัวเครื่องล้าง

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปี/เดือน							
	พ.ศ.2565					พ.ศ.2566		
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของเหง้ามันสำปะหลัง	←	→						
2. ออกแบบและสร้างเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง		←	→					
3. ทดสอบการทำงานเครื่องและปรับปรุงแก้ไข					←	→		
4. ทดลองเก็บข้อมูล							←	→
5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง							←	→
6. เขียนรูปเล่มวิทยานิพนธ์							←	→

## 1.6 งบประมาณ

ตารางที่ 1.2 งบประมาณและค่าใช้จ่าย

ที่	รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
1	ค่าวัสดุ	
	เหล็กทรงแฉกร ขนาดรู Ø30 mm 122 x 244 cm (2 แผ่น)	5,000
	เหล็กฉาก หน้า 3 mm 6 m ( 5 เส้น)	1,500
	แผ่นสังกะสีแผ่นเรียบ หน้า 1 mm 120 x 240 cm	1,375
	ชุดหัวฉีดแรงดัน Flat Spray Nozzle F (5 ชุด)	1000
	หินเจียรบาง ยี่ห้อ Makita หน้า 3 mm	75
	ล้อขับ ขนาด 6"	110
	คัปป์ปิ้ง 4"	514
	ล้อยาง ขนาด 5" (5 ชุด)	550
	สายพาน B-48 (1 เส้น)	75
	น็อต ¾"	129
	ท่อน้ำขนาด ½" 2 ท่อ	80
	<b>รวม</b>	<b>10,408</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้องกับมันสำปะหลัง

#### 2.1.1 ข้อมูลทั่วไปของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Manihot esculenta* (L.) Crantz) เป็นพืชดั้งเดิมของชาวพื้นเมืองในเขตร้อนของทวีปอเมริกาตอนกลาง และทางเหนือของทวีปอเมริกาใต้ หากมองย้อนไปถึงการเกษตรกรรมจากหลักฐานทางโบราณคดีมีการค้นพบเครื่องปั้นดินเผารูปหัวมันสำปะหลังในประเทศเปรู ซึ่งมีอายุประมาณ 2,500 ปี แสดงให้เห็นว่า มนุษย์รู้จักการเพาะปลูกมันสำปะหลังมาเป็นเวลาช้านาน โดยแหล่งกำเนิดมันสำปะหลังมี 4 แห่ง คือ

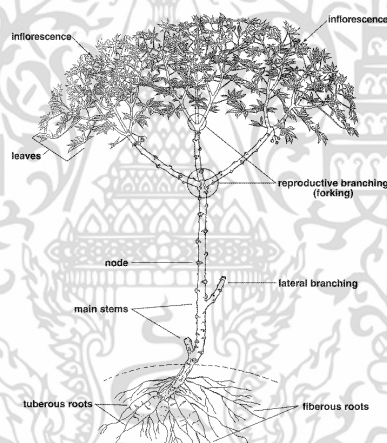
- (1) แถบประเทศกัวเตมาลา และเม็กซิโก
- (2) ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของทวีปอเมริกาใต้
- (3) ทางทิศตะวันออกของประเทศโบลิเวียและทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศอาร์เจนตินา
- (4) ทางทิศตะวันออกของประเทศบราซิล

การแพร่กระจายของมันสำปะหลังเกิดในสมัยที่มีการล่าอาณานิคมในคริสต์ศตวรรษที่ 15 โดยพวกนักค้าทาสได้นำมันสำปะหลังจากประเทศบราซิลไปปลูกในทวีปแอฟริกา ต่อมา พ.ศ. 2282 มีชาวโปรตุเกสนำมันสำปะหลังไปปลูกที่เกาะริยูเนียน (Reunion) และแพร่กระจายไปยังมาดากัสกา มีการนำมันสำปะหลังมาปลูกครั้งแรกในทวีปเอเชียที่ประเทศฟิลิปปินส์ในคริสต์ศตวรรษที่ 17 โดยชาวสเปนได้นำมาจากประเทศเม็กซิโก และในเวลาต่อมาก็มีการปลูกที่ประเทศอินโดนีเซีย สำหรับประเทศไทยยังไม่มีหลักฐานที่แน่นอนว่ามีการนำมันสำปะหลังเข้ามาปลูกเมื่อใดแต่สันนิษฐานว่าน่าจะเข้ามาในระยะเดียวกันกับการเข้าสู่ประเทศศรีลังกา และฟิลิปปินส์ คือ ประมาณ ปี พ.ศ. 2329-2383 และคาดว่ามีการนำมันสำปะหลังจากมาลายูมาปลูกในภาคใต้ ประมาณปี พ.ศ. 2329 มันสำปะหลังเดิมเรียกกันว่า มันสำโรง มันไม้ ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือเรียกว่า มันต้นเตี้ย ทางภาคใต้เรียกว่า มันเทศ คำว่า สำปะหลัง คล้ายกับคำในภาษาชาวตะวันตกที่เรียกมันสำปะหลังว่า สัมเปอ (Sampou) ซึ่งมีความหมายเหมือนคำในภาษามาเลย์ที่แปลว่า พืชที่มีรากขยายใหญ่ (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2560) นอกจากนี้ยังมีหลักฐานว่า เมื่อ พ.ศ. 2337 ได้มีการนำมันสำปะหลังจากทวีปแอฟริกาไปปลูกที่ประเทศอินเดียเพื่อใช้ในการทดลอง (อนุชิต, 2560) เป็นพืชหัวชนิดหนึ่ง มีแหล่งกำเนิดแถบที่ลุ่มเขตร้อน (Lowland tropics) นิยมใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ สามารถปลูกได้ง่ายในพื้นที่ร้อน และร้อนชื้น จึงได้มีการสนับสนุนแก่ประเทศที่กำลังพัฒนาที่มีสภาพภูมิอากาศดังกล่าวปลูกเป็นพืชเศรษฐกิจ

## 2.2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่สำคัญ (กรมพัฒนาที่ดิน สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กลุ่มอนุรักษ์ดินและน้ำ, 2559) แบ่งได้ดังนี้

1.) ลำต้น(Stem) ลำต้นมันสำปะหลังมีลำต้นตั้งตรง สูงประมาณ 2-4 m มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-6 cm สีของลำต้นแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ส่วนที่อยู่ใกล้ยอดมักมีสีเขียว และส่วนที่ต่ำลงมามีสีแตกต่างกัน กิ่งออกไป เช่น สีน้ำเงินเขียว สีเทาเงิน สีเหลือง จนถึงสีน้ำตาล โดยทุกส่วนของลำต้นมียางสีขาว การแตกกิ่งของมันสำปะหลังแตกต่างกันตามพันธุ์ ซึ่งมีตั้งแต่ไม่แตกกิ่ง (Unbranched) แตกกิ่ง 2 กิ่ง (Dichotomus branching) แตกกิ่ง 3 กิ่ง (Trichotomus branching) แต่ไม่เกิน 4 กิ่ง กิ่งที่แตกออกจากลำต้นหลักเรียกว่า Primary branch ส่วนกิ่งที่แตกออกจาก Primary branch เรียกว่า Secondary branch บนลำต้นหรือกิ่งของมันสำปะหลังจะเห็น รอยหลุดร่วงของก้านใบเรียกว่า รอยแผลใบ (Leaf scar) โดยเป็นรอยต่อระหว่างก้านใบกับลำต้นหรือกิ่ง ระยะระหว่างรอยแผลใบ 2 รอยต่อกันเรียกว่า ความยาวชั้น (Storey length) ด้านบนเหนือ รอยแผลใบจะมีตา (Bud) ซึ่งจะงอกเป็นต้นใหม่เมื่อนำท่อนพันธุ์ไปปลูก แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 Diagram of a cassava plant

ที่มา: Mpoko Bokanga, 2540

2.) ราก (Root) รากของมันสำปะหลังเป็นระบบรากแบบ adventitious root system รากที่งอกจากท่อนพันธุ์ (cutting) สามารถงอกได้จาก 3 ส่วนคือ รากจากส่วนเนื้อเยื่อ cambium รากจากส่วนตา และรากจากส่วนรอยหลุดร่วงของใบ (leaf scar) หัว (tuber) ของมันสำปะหลัง คือส่วนรากที่ขยายใหญ่เพื่อสะสมอาหารแป้ง ซึ่งขนาดของรากขึ้นอยู่กับอายุ พันธุ์ ดิน และสภาพภูมิอากาศ หากมองสัดส่วนที่ต้องการจะแบ่งหรือนำไปใช้ประโยชน์ทางอื่นก็จะมีส่วนที่เรียกว่า เหง้า (Rhizome) โดยเหง้าเป็นส่วนของลำต้นแข็งที่ ติดกับหัวมันสด สามารถที่จะมองเป็นส่วนนี้เป็นส่วนที่สามก็ได้ ส่วนนี้เกษตรกรส่วนใหญ่มักจะไม่ได้ใช้ประโยชน์ที่จะทำการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่า หรือทำเป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากวิธีการต่างๆยังไม่คุ้มต่อเหล่าบรรดาเกษตรกร สุดท้ายจากการเก็บเกี่ยวผลิตเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกษตรกรส่วนใหญ่จึงมักทิ้งลำต้น และเหง้าไว้ในพื้นที่ปลูกเพื่อทำการเผาทิ้งหรือไถกลบโดยเปล่าประโยชน์ เมื่อพิจารณาผลผลิตมันสำปะหลังในปีเพาะปลูก พ.ศ. 2559-2562 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณรวมทั้งประเทศ ประมาณ 30.89 ล้านตัน สัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิต(Residue to Product Ratio, RPR) ของเปลือก ลำต้น และเหง้ามันสำปะหลัง มีค่าเป็น 0.25 0.062 และ 0.112 ตามลำดับ ถึงแม้ค่า RPR ของเปลือกจะสูง กว่าเหง้าแต่เมื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนต่ำ (Low heating value: LHV) พบว่าเปลือกมีค่าความร้อน 1.49 MJ/kg (ที่ความชื้นร้อยละ 67 โดย น้ำหนัก) ขณะที่เหง้ามันมีค่าความร้อน 5.49 MJ/kg (ที่ความชื้นร้อยละ 59.4 โดยน้ำหนัก) ดังนั้น เมื่อพิจารณาค่า สัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิตร่วมกับค่า ความร้อนและปริมาณผลผลิตเฉลี่ย พบว่าเหง้ามัน สำปะหลังมีศักยภาพด้านพลังงานมากกว่าเปลือก 14.83 GJ หรือคิดเป็นร้อยละ 72.87 ซึ่งการนำ เหง้ามันสำปะหลังมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล (จารุณี เข้มพิลา, 2564) ของแข็งเพื่อเผาไหม้โดยตรงนั้นมีข้อดีหลายประการ อาทิ ความชื้นในชีวมวล

### 2.1.3 พันธุ์มันสำปะหลังในประเทศไทย

สายพันธุ์มันสำปะหลังที่เพาะปลูกในประเทศไทยมีหลากหลายสายพันธุ์ โดยแต่ละสายพันธุ์ จะได้ผลผลิตที่ดีหรือไม่ดีขึ้นอยู่กับภูมิภาคในการเพาะปลูกซึ่งสายพันธุ์ที่ปลูกกันอย่างแพร่หลายนั้น (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครสวรรค์, 2564) มีดังนี้

- 1.) พันธุ์ระยอง 1 มีความทนทานต่อสภาพภูมิอากาศแปรปรวน เจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ ต้านทานโรคใบไหม้ปานกลาง
- 2.) พันธุ์ระยอง 2 เหมาะสำหรับทำอาหารรับประทาน ผลผลิตเฉลี่ย 4,161 กก./ไร่ ต้านทานโรคใบไหม้ปานกลาง
- 3.) พันธุ์ระยอง 3 ลักษณะการเกิดของหัวจะรวมกันแน่นอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 12 เดือน ขยายพันธุ์ด้วยลำต้น ต้านทานต่อโรคใบไหม้ปานกลาง
- 4.) พันธุ์ระยอง 5 มีเสถียรภาพในด้านการให้ผลผลิตดี ปรับตัวกับสภาพแวดล้อมได้ดีเป็นโรคใบไหม้ได้ง่ายกว่าพันธุ์อื่นๆ แต่อาการไม่รุนแรงถึงตาย
- 5.) พันธุ์ระยอง 7 ปลูกปลายฤดูฝนได้ดี เนื่องจากให้ความงอกเร็ว เเปอร์เซ็นต์การงอก และเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดสูงกว่าพันธุ์มาตรฐานที่เกษตรกรนิยมปลูกทุกพันธุ์
- 6.) พันธุ์ระยอง 9 ผลผลิตแป้งและผลผลิตมันแห้งสูง 1.24 และ 2.11 ตันต่อไร่ ตามลำดับทรงต้นดี สูงตรง ได้ต้นพันธุ์ยาวขยายพันธุ์ได้มาก อัตราขยายพันธุ์สูงกว่า 1: 8 และเป็นโรคใบพุ่มน้อยกว่าพันธุ์มาตรฐานทุกพันธุ์
- 7.) พันธุ์ระยอง 10 สะสมน้ำหนักหัวสดได้เร็วโดยเมื่อเก็บเกี่ยวอายุ 8 เดือนขยายพันธุ์ด้วยลำต้น ให้ผลผลิตดีในภาคตะวันออก
- 8.) พันธุ์ระยอง 72 เป็นพันธุ์ที่ปรับตัวได้ดี ในสภาพแวดล้อมทางภาค

ตะวันออกเฉียงเหนือ โดยให้ผลผลิตหัวสดสูงถึง 5.55 ตันต่อไร่ ผลผลิตแป้ง 1.23 ตันต่อไร่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.) พันธุ์ระยะยง 90 ผลผลิตหัวสดสูงกว่าพันธุ์ระยะยง 1 ประมาณ 5% และสูงกว่าพันธุ์ระยะยง 3 ถึง 18% แต่ไม่เหมาะสมกับแหล่งที่มีแมลงหริ้วขาวแพร่ระบาด

10.) พันธุ์ห้วยบง 60 สามารถขึ้นได้ดีในดินปลูกมันสำปะหลังทั่วไป อย่างไรก็ตามแต่ ละท้องถิ่นการปรับตัวของพันธุ์ต่อสภาพแวดล้อมจะต่างกัน ทำการหว่านก่อนพรวนดินปลูก และไม่ควรถึงเกี่ยวมันอายุน้อยกว่า 10 เดือน

11.) พันธุ์เกษตรศาสตร์ ผลผลิตสูง, เปอร์เซ็นต์แป้งสูง 23 %, ในฤดูฝนและ 28 % ในฤดูแล้ง, ต้นพันธุ์เก็บไว้ได้ ประมาณ 30 วันหลังจากตัดต้น

12.) พันธุ์มันห้านาที่ เนื้อหิว่วน เหมาะสำหรับทำขนม ต้านทานโรคปานกลาง ควรปลูกในฤดูฝนเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน

## 2.2 เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification)

แก๊สซิฟิเคชัน เป็นเทคโนโลยีการแปรรูปชีวมวลให้เป็นพลังงานในรูปก๊าซเชื้อเพลิง (fuel gases) โดยอาศัยกระบวนการทางเคมีความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในสภาวะจำกัดปริมาณอากาศ เมื่อให้ความร้อนแก่ชีวมวลร่วมกับเทคนิคการจำกัด ปริมาณอากาศ (air) หรือออกซิเจน (oxygen, O<sub>2</sub>) หรือไอน้ำ (steam) เพื่อให้เกิดสภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนในสัดส่วน ที่ต่ำกว่าปริมาณที่ทำให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ ทำให้ชีวมวลเกิดการแตกตัวเป็น สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ในรูปของแข็งและก๊าซ ซึ่งประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbonmonoxide, CO) ก๊าซไฮโดรเจน (hydrogen, H<sub>2</sub>) ก๊าซมีเทน (methane, CH<sub>4</sub>) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide, CO<sub>2</sub>) ก๊าซไนโตรเจน (nitrogen, N<sub>2</sub>) และก๊าซอื่นๆ เรียกว่า โพรดิวเซอร์ก๊าซ (producer gas) กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากชีวมวลเป็น กระบวนการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ดังนั้น ปฏิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นจะมี ความซับซ้อนและสามารถ เกิดผลิตภัณฑ์หรือก๊าซหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะของชีวมวลและเทคนิคในการจ ากัดปัจจัยต่างๆ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้ไม่ได้มีเพียงแต่ก๊าซเชื้อเพลิงเท่านั้น ยังมีของแข็งและสิ่งเจือปนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้หมด ได้แก่ ถ่านชาร์(char) เถ้า(ash) น้ำมันดิน(tar) และไอน้ำ(steam)

### 2.2.1 ระบบแก๊สซิฟิเคชันแบบฟลักซ์เบด

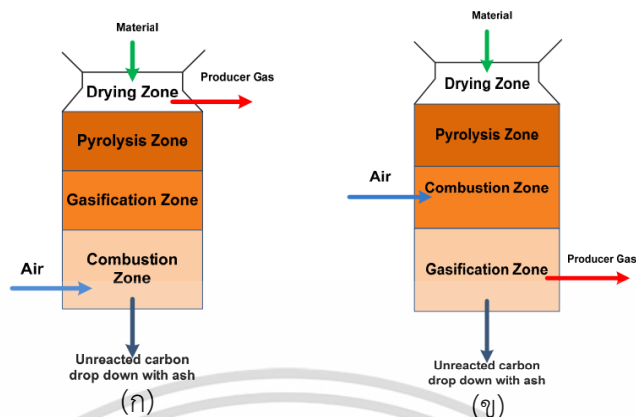
ระบบแก๊สซิฟิเคชันแบบฟลักซ์เบดมีลักษณะการทำงานที่ซับซ้อนน้อยกว่าแบบฟลูอิดเบด มีการแบ่งส่วนการทำปฏิริยาที่ชัดเจน คือ ส่วนการอบแห้งเชื้อเพลิง ส่วนการกลั่นสลายและส่วนการ สันดาป ระบบแก๊สซิฟิเคชันแบบฟลักซ์เบดสามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ 1.) ฟลักซ์เบดแบบไหลขึ้น (Updraft gasifier) และ 2.) ฟลักซ์เบดแบบไหลลง (Downdraft gasifier) ซึ่งแบบตามทิศทางการ เคลื่อนที่ของเชื้อเพลิงและอากาศ

1.) ฟลักซ์เบดแบบไหลขึ้น เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาและเคลื่อนที่จากด้านบนลงสู่ด้านล่างใน

ทิศทางส่วนกันกับอากาศร้อนและผลิตภัณฑ์ก๊าซร้อนที่เคลื่อนที่จากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน แต่ก๊าซ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อเพลิงที่ออกจากระบบจะมีสิ่งเจือปนค่อนข้างสูงและมีอุณหภูมิต่ำ จึงเหมาะแก่การนำไปใช้เผาเพื่อให้ความร้อน แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เครื่องปฏิกรณ์แก๊สซิฟิเคชันแบบฟิสิกซ์เบด (ก) แบบไหลขึ้น (ข) แบบไหลลง

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558

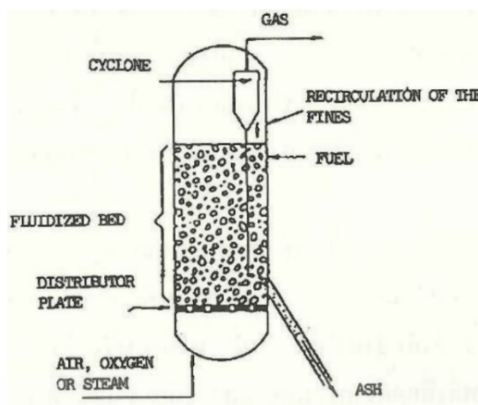
2.) ฟิสิกซ์เบดแบบไหลลง เชื้อเพลิงและอากาศรวมทั้งผลิตภัณฑ์ก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาไพโรไลซิสเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันจากด้านบนสู่ด้านล่าง อากาศเพิ่มเติมจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบที่ตำแหน่งที่เกิด การสันดาบของถ่านชาร์ เกิดเป็นโซนที่มีอุณหภูมิสูงซึ่งทำให้สารระเหยและของแข็งถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซเชื้อเพลิงโดยสมบูรณ์ ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปใช้เดิน เครื่องยนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป โดยมีข้อจำกัดคือ ใช้ได้ดีกับระบบที่มีขนาดเล็ก (กล่าวคือ ขนาดเล็กกว่า 1 MW)

ซึ่งในเตาเผาในระบบฟิสิกซ์เบดแบบไหลลง มีอุณหภูมิเฝ้าหลอมละลาย มากกว่า  $1,250^{\circ}\text{C}$  หากไม่ทำความสะอาดเหง้ามันสำปะหลัง ที่มีเศษดินทรายปะปนอยู่ ซึ่งซิลิกาในทรายมีอุณหภูมิหลอมละลายอยู่ที่  $1,200-1,500^{\circ}\text{C}$  ทำให้เกิดเป็นแก้ว เข้าไปอุดหรือเคลือบส่วนให้ความร้อนภายในเตา ทำให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพลดลง

### 2.2.2 ระบบฟลูอิดไคซ์เบด

ระบบแก๊สซิฟิเคชันแบบฟลูอิดไคซ์เบดมี 2 ประเภทหลักๆ คือ 1.) Bubbling fluidized bed และ 2.) Circulating fluidized bed และยังมีระบบที่ใช้ความดันสูง (Pressurized fluidized bed) ระบบแก๊สซิฟิเคชันแบบ Fluidized bed มักใช้ออกแบบสำหรับระบบที่มีขนาดใหญ่ระบบนี้ปฏิกิริยาไพโรไลซิส และแก๊สซิฟิเคชันสามารถเกิดในตำแหน่งเดียวกัน ดังนั้นทำให้มีปัญหากเกี่ยวกับน้ำมันดินที่เจือปนในก๊าซเชื้อเพลิง ซึ่งจะมากกว่าในกรณีของระบบฟิสิกซ์เบดแบบไหลลงแต่น้อยกว่าระบบฟิสิกซ์เบดแบบไหลขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.3 และ 2.4

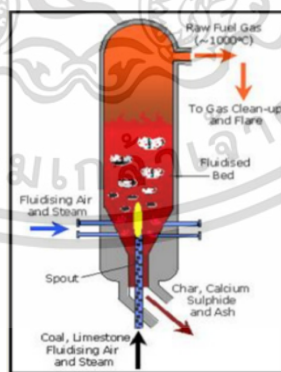
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 เครื่องปฏิกรณ์แก๊สซิฟิเคชันแบบฟลูอิดไคซ์เบด

ระบบแก๊สซิฟิเคชัน เหมาะกับการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก ไม่เกิน 1 เมกกะวัตต์ ข้อดีมีประการเดียว คือมีน้ำมัน ดิน (TAR) ผสมในก๊าซ เป็นสาเหตุที่เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน ไม่เป็นที่แพร่หลายเนื่องจากประสบ ปัญหาเกี่ยวกับการทำความสะอาดน้ำมันดิบในก๊าซที่ผลิตได้ ทำให้ไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าและหยุดการ พัฒนาไป ดังนั้น หากจะนำไปใช้ต้องหาทางกำจัดหรือทำให้น้อยลง เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์

ชีวมวลที่เหมาะสมจะนำมาเป็นเชื้อเพลิง เช่น แกลบ เศษไม้ที่ย่อยแล้ว กะลาปาล์ม และชานอ้อย เป็นต้น ความชื้นไม่ควรเกิน 50% และต้องมีขนาดที่พอเหมาะ หากเล็กเกินไปจะทำให้อากาศไหลผ่านไม่ได้ หรือ หากใหญ่เกินไปจะเกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่หมด ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันมาผลิตแก๊สเป็น เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อผลิตไฟฟ้า โดยใช้เตาผลิตแก๊สชนิดลมล่าง (Downdraft Gasification) ซึ่งข้อเด่นของเตาชนิดนี้ คือออกแบบมาเพื่อขจัดน้ำมันดินโดยเฉพาะ



รูปที่ 2.4 เครื่องปฏิกรณ์แก๊สซิฟิเคชันแบบฟลูอิดไคซ์เบดใช้เตาผลิตแก๊สชนิดลมล่าง (Downdraft)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 วิธีการทำความสะอาด

การทำความสะอาดผลผลิตเป็นการนำส่วนที่ปนเปื้อนมากับผลผลิตออก เช่น ดิน ฝุ่น เชื้อโรค หนอน แมลง หรือสารเคมีต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้ผลผลิตมีคุณภาพดีขึ้น มองเห็นได้ชัดเจน ดูสะอาด และไม่ทำให้ผลผลิตเสื่อมคุณภาพเร็ว (โครงการศิลปากรพัฒนาเศรษฐกิจเชิงสร้างสรรค์, 2560) มีวิธีการปฏิบัติ 2 วิธีดังนี้

### 2.3.1 วิธีการทำความสะอาดแบบแห้ง

เป็นวิธีการทำความสะอาดแบบไม่ใช้น้ำ เหมาะกับวัตถุดิบที่ไม่ต้องการให้เปียกน้ำ ได้แก่ เมล็ดธัญชาติ ถั่วเมล็ดแห้ง ลูกเดือย งา รวมทั้งวัตถุดิบประเภทของแห้ง ลักษณะเป็นเม็ด เป็นผง เช่น แป้ง วัตถุดิบอาหาร พืชหัว เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง เป็นต้น

วิธีการทำความสะอาดแบบแห้งทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. การใช้คนหีบออก เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด เหมาะกับวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่ หรือมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ หรือในสถานประกอบการขนาดเล็ก
2. การร่อนด้วยตะแกรง เพื่อแยกสิ่งแปลกปลอมทางกายภาพที่มีขนาดต่างจากวัตถุดิบ เช่น กรวด ทราเย เศษพืช วัตถุดิบที่แตกหัก ฝ่อ สืบ โดยแยกสิ่งแปลกปลอมที่มีขนาดเล็กกว่าวัตถุดิบให้ หลุดรอดผ่านรูตะแกรง หรือแยกสิ่งแปลกปลอมที่มีขนาดใหญ่กว่าวัตถุดิบให้ค้างอยู่บนตะแกรง
3. การใช้ลมเป่า เพื่อกำจัดแปลกปลอมที่มีน้ำหนักแตกต่างจากวัตถุดิบ โดยการใช้ลมจากพัดลมผ่านท่อบังคับทิศทางลม เป่าผ่านวัสดุที่กำลังเคลื่อนที่ เพื่อเป่าให้สิ่งสกปรกที่เบากว่า เช่น ฝุ่น ใบไม้ เศษพืช เปลือก เยื่อหุ้มเมล็ด ให้ปลิวแยกออกจากวัตถุดิบ
4. การใช้เครื่องจับโลหะ โดยใช้แม่เหล็ก ดักจับ แยกสิ่งแปลกปลอมที่เป็นโลหะ เช่น เศษเหล็ก ตะปู ซึ่งหากผ่านเข้าไปในกระบวนการผลิตอาจทำความเสียหายให้เครื่องจักร หรือหลุดรอดไปยังผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

### 2.3.2 วิธีการทำความสะอาดแบบเปียก

เป็นการทำความสะอาดวัตถุดิบด้วยน้ำ เพื่อกำจัดสิ่งสกปรก หรือสิ่งแปลกปลอมที่ติดอยู่กับ วัตถุดิบให้หลุดออก หรือละลายอยู่ในน้ำที่ใช้ล้าง

ประสิทธิภาพของการล้างด้วยน้ำขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่

- ความสะอาดของน้ำที่ใช้ล้าง น้ำที่ใช้ล้างวัตถุดิบควรเป็นน้ำสะอาดมีคุณภาพตามมาตรฐาน สำหรับน้ำดื่ม
- อุณหภูมิของน้ำล้าง แม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เกิดการละลายและการกำจัดสิ่งสกปรกได้ดีกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ แต่อาจไม่เหมาะสมกับวัตถุดิบอาหารที่เน่าเสียง่าย เช่น อาหารทะเล หรือผัก ผลไม้สด
- ระยะเวลาการล้าง หรือเวลาแช่ในน้ำล้าง วัตถุดิบที่มาจากใต้ดิน เช่น พืชหัว กระจ่าง ข่า ขิง ซึ่งมีซอกมุมที่ดินโคลนติดแน่น ควรแช่น้ำก่อนการล้าง เพื่อให้สิ่งสกปรกอ่อนตัวลงก่อนการล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• การใช้แรงกระหว่างการล้างเช่น การใช้น้ำแรงดันสูงฉีดล้าง การล้างในน้ำที่หมุนวน หรือ การใช้แปรงขัดถูระหว่างการล้าง จะช่วยกำจัดสิ่งสกปรกได้ดีกว่าการล้างในน้ำนิ่ง

ซึ่งวิธีการทำความสะอาดแบ่งออกเป็นดังนี้

1. SOAKING เป็นวิธีเบื้องต้นที่ใช้ทำความสะอาดและเหมาะสมกับวัสดุอาหารที่มีการปนเปื้อนมากๆ เช่น ผัก ผลไม้บางชนิด สิ่งที่ปนเปื้อนมักเป็น ดิน ทราย กรวด ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจจะเป็นตัวทำความเสียหายแก่เครื่องมือได้ SOAK TANK จะทำด้วยโลหะที่มีผิวเรียบและสามารถทำความสะอาดได้ง่าย ซึ่งไม่ควรทำด้วยไม้และด้านล่างจะมีตะแกรงไว้สำหรับกรองเศษดิน ต่างๆ ให้แยกออกจากน้ำก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำ หากใช้น้ำอุ่นในการทำความสะอาดจะสามารถช่วยในการชะล้างได้ดีขึ้น แต่จะมีผลเสียต่อเนื้อ สัมผัสของวัสดุอาหาร

2. SPRAY WASHING เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการทำความสะอาดแบบเปียก โดยการสเปรย์น้ำบนผิว หรือเปลือกของวัสดุอาหาร

ประสิทธิภาพของวิธีนี้ จะขึ้นอยู่กับ

- ความดันของน้ำที่ใช้
- ปริมาณน้ำที่ใช้
- อุณหภูมิของน้ำที่ใช้
- ระยะห่างของจุดสเปรย์น้ำกับวัสดุอาหาร
- ระยะเวลาที่ผ่านการสเปรย์น้ำ
- จำนวนหัวสเปรย์

ถ้าใช้ความดันสูงแต่ปริมาณน้ำน้อย จะทำให้มีประสิทธิภาพมาก อย่างไรก็ตามจะทำให้ ผัก และผลไม้ ที่มีความบอบบางเสียหายได้ เช่น สตรอเบอร์รี่ หน่อไม้ฝรั่ง บางครั้งการใช้ความดันสูง จะช่วยชะส่วนที่เป็นจุดดำดำ ของมะเขือเทศ ลูกพีท และพืชตระกูลมะนาว ออกไปพร้อมกับเศษดินด้วย วิธีนี้สามารถแบ่งออกได้ เป็นดังนี้

2.1 SPRAY DRUM WASHERS โครงสร้างจะทำด้วยโลหะ เป็นทรงกระบอกยาว และขนาดของทรงกระบอกต้องมีความเหมาะสมกับวัสดุอาหารที่จะนำมาทำความสะอาด ส่วนตัว drum จะหมุนอย่างช้าๆ และวางทำมุมเอียงกับแนวระดับ ซึ่งความเร็ว และมุมเอียงจะต้องกำหนดให้เหมาะสมเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของวัสดุอาหารภายใน drum และแกนสเปรย์น้ำ จะต้องอยู่ที่กึ่งกลางภายในทรงกระบอก หัวฉีดสเปรย์น้ำจะต้องถูกจัดวางให้มีระยะห่างที่พอเหมาะในการชะล้าง

2.2 SPRAY BELT WASHERS เป็นการขนถ่ายวัสดุอาหารโดยใช้หลักการง่ายๆ เช่น สายพานลำเลียงการเปิด ซึ่งวางอยู่ที่ใต้แกนสเปรย์น้ำ จึงเหมาะสมกับวัสดุอาหารที่มีลักษณะค่อนข้างกลม เช่น แอปเปิ้ล ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาส่วนการลำเลียงเป็นลูกกลิ้ง เป็นผลให้วัสดุอาหารหมุนไปได้ง่าย

3. FLOTATION WASHING เป็นวิธีที่ใช้ทำความสะอาดของวัสดุอาหารกับสิ่งปนเปื้อนโดยอาศัยการลอยหรือจม ซึ่งสิ่งปนเปื้อนจะจมอยู่ในน้ำแต่ละถึง ส่วนวัสดุอาหารลอยอยู่บนผิวน้ำแล้วจะมีก้านกวาดให้ไปรวมกันที่ทางออก

4. ULTRASONIC CLEANING เป็นการใ้การใช้การสะท้อนของคลื่น ultrasonic ที่มีความถี่ค่าหนึ่งส่งผ่านไปยังวัสดุอาหารที่แช่อยู่ในน้ำ

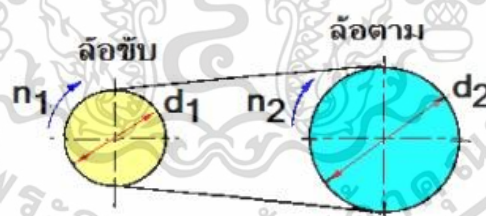
## 2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับสายพาน

### 2.4.1 การส่งกำลังด้วยสายพาน

การส่งกำลังด้วยสายพานเป็นการส่งกำลังชนิดแบบอ่อนตัวได้ซึ่งมีข้อดีข้อเสียหลายอย่าง เหมาะสำหรับการส่งกำลัง ระหว่างเพลลาที่อยู่ห่างกันมากๆ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตามข้อเสียของการขับด้วยสายพานก็มี คือ อัตราการทดที่ไม่แน่นอนนัก เนื่องจากการลื่น (Slip) และการครีฟ (Creep) ของ สายพานและต้องมีการปรับระยะห่างระหว่างเพลลาหรือปรับแรงตึงในสายพานระหว่าง การใช้งาน นอกจากนี้ยังไม่อาจใช้งานที่มีอัตราทดสูงมากได้ แสดงดังรูปที่ 2.5

อัตราทดเดี่ยว (จตุบาทิชญ์ และคณะ, 2561) ส่งกำลังด้วยสายพาน  $d_1$  เส้นผ่านศูนย์กลางล้อขับ (mm),  $d_2$  เส้นผ่านศูนย์กลางล้อตาม (mm),  $n_1$  ความเร็วรอบล้อขับ (rpm),  $n_2$  ความเร็วรอบล้อตาม (rpm) เมื่อความเร็ว  $V_1 = V_2$  แสดงดังสมการที่ 2.1

$$d_1 \times n_1 = d_2 \times n_2 \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.5 การส่งกำลังด้วยสายพาน

### 2.4.2 อัตราทดความเร็วรอบของล้อยาสายพาน

อัตราทดเกิดขึ้นจากการใช้งานที่มีล้อยับกับล้อยตาม ความเร็วไม่เท่ากัน การที่จะใช้ อัตราทดความเร็วรอบของล้อยาสายพานนั้น เพื่อต้องการให้ล้อยหมุนตาม เร็วกว่าหรือช้ากว่าล้อยับซึ่ง ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราทด ความเร็วรอบของล้อยาสายพาน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$i = \frac{N_D}{N_d} \quad (2.2)$$

กำหนดให้  $i$  คือ อัตราทดของสายพาน

$N_D$  คือ ความเร็วรอบของล้อยาสายพานขับ มีหน่วยเป็น rpm

$N_d$  คือ ความเร็วรอบของล้อยาสายพานตาม มีหน่วยเป็น rpm

ความเร็วรอบของล้อยาสายพาน สามารถคำนวณได้จากสูตรสมการที่ 2.3

$$N_2 = \frac{N_1 \times D_1}{D_2} \quad (2.3)$$

กำหนดให้  $N_1$  คือ ความเร็วรอบล้อยาสายพานขับ (rpm)

$N_2$  คือ ความเร็วรอบล้อยาสายพานตาม (rpm)

$D_1$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางล้อยาสายพานขับ (mm)

$D_2$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางล้อยาสายพานตาม (mm)

การคำนวณหาความยาวของสายพาน จากสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4

$$L = 2C + 0.25(D - d^2/C) + 1.75 \times (D + d) \quad (2.4)$$

กำหนดให้  $L$  คือ ความยาวของสายพาน (mm)

$D$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางล้อยโต (mm)

$d$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางล้อยเล็ก (mm)

$C$  คือ ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเพลลา (mm)

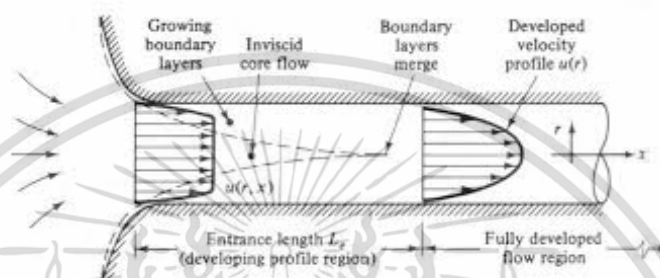
พูลเลย์ (Pulley) พูลเลย์ หรือ มู่เล่ เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอีกชิ้นหนึ่งในระบบส่งกำลัง ซึ่งใช้ในการขับเคลื่อนสายพานและส่งกำลังจากเพลลามอเตอร์ไปสู่อุปกรณ์ตัวอื่นๆ สูตรคำนวณขนาดมู่เล่ย์ แสดงดังสมการที่ 2.5

$$\text{ขนาดมู่เล่ย์ของต้นกำลัง} = (\text{ขนาดมู่เล่ย์ของปั้ม} \times \text{ความเร็วของปั้ม}) / \text{ความเร็วของต้นกำลัง} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ทฤษฎีความเร็วเฉลี่ยและอัตราการไหล

ความเร็ว (Velocity) คือ ระยะทางของการเคลื่อนที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา ดังนั้นหน่วยของความเร็วในระบบ SI คือ m/s ซึ่งความเร็วในการเคลื่อนที่ของของไหลภายในท่อ จะไม่เท่ากันตลอดทั้งภาคตัดที่ของไหลไหลผ่าน เนื่องจากมีความเสียดทานของผนังท่อ ซึ่งของไหลตำแหน่งที่ใกล้กับผนังท่อจะมีความเร็วต่ำกว่าของไหลที่มีตำแหน่งที่ห่างผนังออกมาและตำแหน่งกึ่งกลางท่อจะมีความเร็วสูงสุด แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลง Velocity Profile  
ที่มา: จันทกานต์ ทวีกุล, 2551

ดังนั้นในการคำนวณค่าความเร็ว จึงคิดความเร็วเฉลี่ยจากสูตรสมการที่ 2.6

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $v$  คือ ความเร็วเฉลี่ยในการไหล (m/s)

$Q$  คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตร (m<sup>3</sup>/s)

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของการไหล (m<sup>2</sup>)

## 2.6 การเลือกใช้ปั๊มน้ำ

ปั๊มน้ำทำหน้าที่ในการสูบของเหลว จากจุดที่มีเฮดกดดันต่ำ (Low pressure head) โดยส่งของเหลวดังกล่าวออกไปตามระบบท่อ ด้วยเฮดความกดดันที่สูงกว่าเดิม (High pressure head) การที่จะให้ของไหลไหลจากจุดที่มีเฮดกดดันต่ำกว่าไปยังจุดที่มีเฮดความกดดันสูงนั้น จะต้องใช้ใบพัดปั๊มน้ำทำหน้าที่ในการถ่ายทอดพลังงานกลให้แก่ของไหลนั้นๆ เพื่อที่จะทำให้ของไหลมีพลังงานที่จะใช้ขับเคลื่อนตัวเอง โดยสามารถเอาชนะความต้านทานต่อการไหลภายในระบบนั้น ปั๊มน้ำจะสูบของไหลจากทางด้านดูด (suction) และออกทางด้านส่ง (delivery) โดยรับพลังงานจากเครื่องต้นกำลัง อาทิ เครื่องยนต์ มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น

### 2.6.1 ประเภทของปั๊มน้ำ

สามารถจำแนกประเภทของปั๊มน้ำตามลักษณะการทำงาน ได้เป็น 4 ลักษณะ คือ

1.) แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal pump) ปั๊มน้ำประเภทนี้นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการสูบน้ำ นม สารหล่อลื่น สารละลายเคมี วัสดุทางการแพทย์ที่ใช้ในการแปรรูป เป็นต้น มีประสิทธิภาพในการสูบสูงถึง 90% และยังให้ทำงานที่ระดับความดันสูง

กลไกการส่งผ่านพลังงานในโรเตอร์หรือใบพัด เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของของไหล ก่อให้เกิดความแตกต่างความดันภายในระบบทำให้เกิดการไหลในแนวเส้นรอบวง (Tangential flow) เป็นผลให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) ทำให้เกิดการไหลจากจุดศูนย์กลางของใบพัดของใบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวงทุกทิศทางออกไปทางท่อส่ง ดังนั้น ของไหลที่ถูกขับเคลื่อนออกมาก็จะมีทิศทางไหลที่เกิดจากผลรวมของแรงทั้งสอง

2.) แบบโรตารี (Rotary pump) ทำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลว ภายในห้องของตัวปั๊มด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน ซึ่งหมุนเพื่อทำให้เกิดความแตกต่างของความดันภายในระบบของเหลวจะถูกดูดเข้าและอัดทำให้เกิดแรงดันสูงขึ้นแล้วปล่อยออกมาทางด้านปล่อย ชิ้นส่วนที่หมุนดังกล่าวเรียกว่า โรเตอร์ การหมุนของโรเตอร์ จะก่อให้เกิดการแทนที่ของของเหลวขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ของไหลที่ไหลผ่านปั๊มมีอัตราการไหลอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

ปั๊มแบบนี้จะมีอัตราการสูบต่ำกว่าปั๊มประเภทอื่นๆ เนื่องจากอัตราการแทนที่ของเหลวมีค่าต่ำโดยทั่วไปจะมีประสิทธิภาพประมาณ 80–85% ขึ้นอยู่กับการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน และคุณลักษณะของของไหลที่ใช้สูบ

3.) ปั๊มแบบเลื่อนชักหรือแบบลูกสูบ (Reciprocating pump) ปั๊มแบบเลื่อนชักจะมีลักษณะการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาโดยมีลูกสูบทำหน้าที่ในการอัดของไหลภายในกระบอกสูบให้มีความดันสูงขึ้น ด้วยการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาเหมาะสำหรับสูบของไหลในปริมาณที่ไม่มากนัก แต่ต้องการเฮดในระบบที่สูง ของเหลวที่ใช้ปั๊มประเภทนี้จะต้องมีความสะอาดเพียงพอที่ไม่ทำให้ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ภายในกระบอกสูบเกิดการสึกหรอที่เร็วขึ้น การอัดตัวของของไหลแต่ละครั้งจะเป็นจังหวะตามการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของลูกสูบไม่มีการต่อเนื่องกันจึงทำให้ การไหลของของไหลมีลักษณะเป็นห้วงๆ (pulsation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.) แบบพิเศษ (Specialized pump) ปัมป์แบบพิเศษจะเป็นปัมป์ที่มีลักษณะแตกต่างพิเศษ นอกเหนือไปจากปัมป์แบบต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ปัจจุบันปัมป์แบบพิเศษที่ใช้อย่างแพร่หลายมีดังนี้

## 2.7 หัวฉีด

### 2.7.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับหัวฉีด นอซเซิล(nozzle)

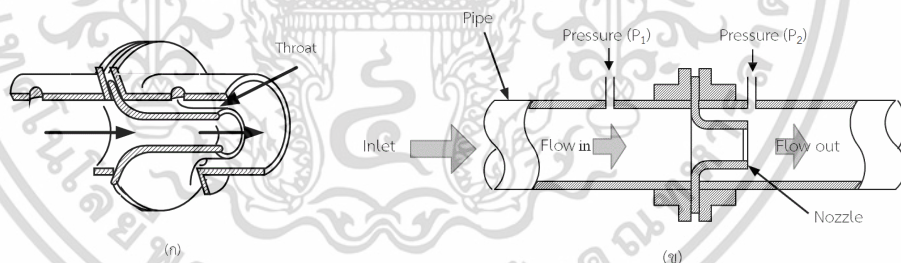
เป็นอุปกรณ์ใช้วัดการไหล (flow measurement) ที่สามารถวัดการไหลได้ทั้งของเหลวและก๊าซ โดยใช้ทฤษฎีของเบอร์นูลลี (Bernoulli's theorem) หรือหลักการวัดความดันแตกต่าง (differential pressure,  $\Delta P$ ) ระหว่างจุด 2 จุดที่ของไหลไหลผ่าน และนำค่าความดันแตกต่างที่วัดได้นั้นมาคำนวณหาอัตราการไหล (ดังสมการที่ 2.7) เช่นเดียวกับแผ่นออริฟิส (orifice plate) และท่อเวนจูรี (venturi tube)

$$Q = K\sqrt{\Delta P} \quad (2.7)$$

โดย  $K$  คือ ค่าคงที่ของท่อและชนิดของของไหล ( $m^3/s, psi$ )

$\Delta P$  คือ ค่าความดันแตกต่างระหว่างจุดสองจุดที่ของไหลไหลผ่าน (psi)

โครงสร้างของนอซเซิลแสดงดังรูป โดยตำแหน่งในการติดตั้งจุดวัดความดันแต่ละจุด บริษัทผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนดแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของนอซเซิลและลักษณะการติดตั้งภายในท่อ

ที่มา: นวกัฑรา และคณะ, 2555

## 2.7.2 ประเภทของหัวฉีด

1.) หัวฉีดน้ำทรงกรวยเต็ม (Full Cone Spray Nozzle)ซึ่งมีลักษณะของการทำงานดังนี้ (แสดงดังรูปที่ 2.8)

- ใช้สำหรับฉีดน้ำเต็มพื้นที่ที่ต้องการมีให้เลือกทั้งแบบมุมสเปรย์ธรรมดาและแบบมุมกว้าง
- Full Cone Spray Nozzle หัวฉีดสเปรย์ทรงกรวยเต็ม ลักษณะของสเปรย์จะเป็นทรงโคน ทำให้ฉีดน้ำได้เป็นวงกลมเต็มพื้นที่ ส่วน Full Cone Spray Nozzle ยังมีให้เลือกเป็นแบบ Square จะสเปรย์ออกเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยม
- ประโยชน์ของ Full Cone Spray Nozzle หัวฉีดน้ำแบบทรงกรวยกลาง มักจะเพื่อดีดฝุ่น ลดความร้อน
- วัสดุที่มีให้เลือก : PP PVDF BRASS STAINLESS SUS303 SUS304 SUS316



รูปที่ 2.8 หัวฉีดน้ำทรงกรวยเต็ม (Full Cone Spray Nozzle)

ที่มา: V.T.R. OFFICE CENTER CO., LTD., 2558

2.) หัวฉีดสเปรย์น้ำทรงกรวยกลาง ทรงโดนัท (HOLLOW CONE SPRAY NOZZLE)ซึ่งมีลักษณะของการทำงานดังนี้(แสดงดังรูปที่ 2.9)

- Hollow Cone Spray Nozzle หัวฉีดสเปรย์ทรงกรวยกลาง หรือแบบทรงโดนัท คือมีรูตรงกลาง หัวฉีดน้ำแบบนี้จะฉีดสเปรย์เป็นเส้นรอบวง หรือ ที่เราเห็นเป็นโดนัทนั่นเอง
- ประโยชน์ของ Hollow Cone Spray Nozzle หัวฉีดน้ำแบบทรงกรวยกลาง มักจะเพื่อตัดฝุ่น ลดความร้อน ในบริเวณที่ต้องการโดยไม่เปียกมากเกินไป
- วัสดุที่มีให้เลือก : PP PVDF BRASS STAINLESS SUS303 SUS304 SUS316

รูปที่ 2.9 หัวฉีดสเปรย์น้ำทรงกรวยกลาง ทรงโดนัท (Hollow Cone Spray Nozzle)

ที่มา: V.T.R. OFFICE CENTER CO., LTD., 2558

3.) หัวฉีดน้ำทรงพัดแบน (Flat Fan Spray Nozzle) มีลักษณะของสเปรย์เป็นแบบแบน หรือ ทรงพัดโดยทั่วไปจะใช้สำหรับงานล้างโดยเฉพาะการฉีดล้างบนสายพานลำเลียง มีวัสดุให้เลือกทั้ง PP PVDF BRASS STAINLESS แสดงดังรูปที่ 2.10

รูปที่ 2.10 หัวฉีดน้ำทรงพัดแบน (Flat Fan Spray Nozzle)

ที่มา: V.T.R. OFFICE CENTER CO., LTD., 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.) หัวฉีดน้ำแบบเกลียวเดี่ยวหมุน (Spiral Spray Nozzle) หัวฉีดสเปรย์น้ำแบบเกลียวเดี่ยว หมุน มีให้เลือกทั้งแบบ Full Cone และ Hollow Cone เป็นหัวฉีดน้ำที่มีรูใหญ่ทำให้ไม่ตัน ไม่ต้องถอด ล้างทำความสะอาดบ่อย แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 หัวฉีดน้ำแบบเกลียวเดี่ยวหมุน (Spiral Spray Nozzle)

ที่มา: V.T.R. OFFICE CENTER CO., LTD., 2558

## 2.8 เพลา

เพลาเป็นชิ้นส่วนที่มีใช้ในเครื่องจักรเกือบทุกชนิด ทำหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลังหรือ ทำให้เกิดการหมุนระหว่างชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่อง ขณะใช้งานเพลาจะอยู่ภายใต้ภาระการกระทำชนิดต่างๆ เช่น แรงกด แรงดึง โมเมนต์ดัด และโมเมนต์บิดซึ่งอาจมีทั้งแรงสถิตและแรงแบบวัฏจักร ทำให้เกิดการล้าได้เพลาอาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งานดังนี้ คือ

- เพลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง
- แกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกับเพลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุน เช่น ล้อ ล้อสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่าเพลา ไม่ว่าจะชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรือไม่ก็ตาม
- สปินเดิล(Spindle) เป็นเพลาขนาดสั้น เช่น เพลาที่หัวแท่นกลึง (Head-Stock spindle) เป็นต้น
- สตับชาฟ(Stub Shaft) เป็นเพลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์มอเตอร์ หรือเครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีขนาด รูปร่าง และส่วนยื่นออกมา สำหรับใช้ต่อกับเพลาอื่น ๆ
- เพลาแนว(Line Shaft) หรือเพลาส่งกำลัง(Power Transmission Shaft)หรือเพลาเมน (Mainshaft) เป็นเพลาซึ่งต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง ใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่นๆ โดยเฉพาะ
- แจ็คชาฟ (Jack Shaft) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลาเมนหรือเครื่องจักรกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เพลาอ่อน (Flexible Shaft) เป็นเพลาที่สามารถอ่อนตัวหรือโค้งได้เพลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (Cable) ลวดสปริงหรือลวดเหนียว (Wire Rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้แต่ส่งกำลังได้น้อย

### 2.8.1 วัสดุเพลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลาทัวไป คือ เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้ว มักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลา เช่น AISI 1347 , 3140 , 4150 เป็นต้น เปลาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 90 mm มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอน ซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา ก่อนที่เลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

### 2.8.2 ขนาดของเพลา

เพื่อให้เพลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์กรมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดมาตรฐานของเพลา ซึ่งระบุขนาด ใน ISO / R 775 – 1969 เอาไว้สำหรับผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบริ่งที่ใช้รองรับเพลาดด้วยขนาดระบุของเพลาดูได้จากรูปที่ 2.12

ตารางที่ 2.1 ขนาดระบุของเพลาตามมาตรฐาน ISO / R 775 – 1969

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง mm				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	-

ที่มา: วริทธิ์ และคณะ, 2537

### 2.8.3 หลักพิจารณาในการออกแบบเพลลา

การคำนวณหาขนาดเพลลาที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ดังนั้นมุมบิดของเพลลาที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ นั่นคือเพลลาจะต้องมีความแข็งแรงอยู่ภายในพิกัดที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้ว ยังอาจก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนมีผลให้เฟืองและแบร็งที่รองรับเพลลาอยู่ เกิดความเสียหายได้ง่ายยิ่งขึ้น

### 2.8.4 การออกแบบเพลลาตามโค้ดของ ASME

ก่อนปี พ.ศ. 2497 ได้มีการยอมรับวิธีการคำนวณหาขนาดของเพลลาส่งกำลังซึ่งกำหนดเป็นโค้ด(Code) โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา(ASME) แม้ว่าเวลาจะล่วงเลยมานานแล้วก็ตามวิธีการออกแบบเพลลาตามโค้ดของ ASME ก็ยังมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

วิธีการดังกล่าวนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดและไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพลลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตศาสตร์ (Static Design Method) ในการหาสมการสำหรับออกแบบเพลลาให้พิจารณาเพลลาในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 เพลลาภายใต้แรงต่าง ๆ

ที่มา: วรวิทย์ และคณะ, 2537

การออกแบบการคำนวณเพลลา ในการออกแบบหาขนาดของเพลลา จะต้องพิจารณาสิ่งเหล่านี้ กำลังงาน (Power) และภาระ (Load) ที่ใช้เพลลาส่งกำลัง ความเค้นที่เกิดขึ้นกับเพลลา รวมทั้งรูปร่างขนาดวัสดุและผิวสำเร็จ ซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิดความเค้นตักค้าง (Stress Concentration) ขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเพลลา และความเร็ววิกฤติ (Critical Speed) หมายถึง การสั่นตัวของเพลลาอันเป็นผลเนื่อง มาจากการแอ่นตัวของเพลลา

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องล้างหมั่มน้ำสำหรับล้าง

### 2.9.1 เครื่องล้างทำความสะอาดซิง (เบญจมาศ และคณะ, 2553)

เครื่องล้างทำความสะอาดซิง ซึ่งประกอบด้วยชุดดรัมทำความสะอาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 cm และยาว 146 cm ประกอบด้วยชุดแปรงทำความสะอาด 3 ชุดติดภายในดรัมในแนวนอนและแนวเอียง การทำงานเริ่มจากซิงถูกปล่อยออกจากถาดป้อนเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาดด้วยชุดแปรงหมุนขัดหัวซิงโดยมีการฉีดน้ำชะล้างร่วมด้วยที่แรงดัน 1 kg/cm<sup>2</sup> จากการทดสอบพบว่าความเร็วรอบที่ดีที่สุดของดรัมอยู่ที่ 26 rpm ที่มุมมองของดรัมในการล้าง 3 องศา ได้ประสิทธิภาพทำความสะอาดสูงสุดที่ 83.04% สามารถล้างซิงได้ 230 kg/hr อัตราการใช้น้ำ 13.2 l/min และอัตราการใช้ไฟอยู่ที่ 1 ถึง 1.3 kW/hr คิดเป็น 5 Bath/hr (ค่าไฟหน่วยละ 3.936 บาท) แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 เครื่องล้างทำความสะอาดซิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9.2 เครื่องทำความสะอาดหัวมันสำปะหลัง (เทคโนโลยีชาวบ้าน, 2560)

เครื่องทำความสะอาดหัวมันสำปะหลัง ทำจากตระแกรงม้วนเป็นทรงกลม มีรูขนาด 1 นิ้ว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ 0.759 m ยาว 2.5 m ซึ่งสามารถป้อนมันสำปะหลังเข้าไปในตระแกรงที่มีปริมาตร 40% ของปริมาตรตระแกรง และหมุนความเร็วรอบ 15 rpm ประมาณ 10 min โดยใช้ต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/2 hp ความเร็วรอบ 1450 rpm สามารถทำความสะอาดหัวมันสำปะหลังด้วยอัตรา 1,045 kg/hr หรือ 8,362 ตันต่อวัน แสดงดังรูปที่ 2.14

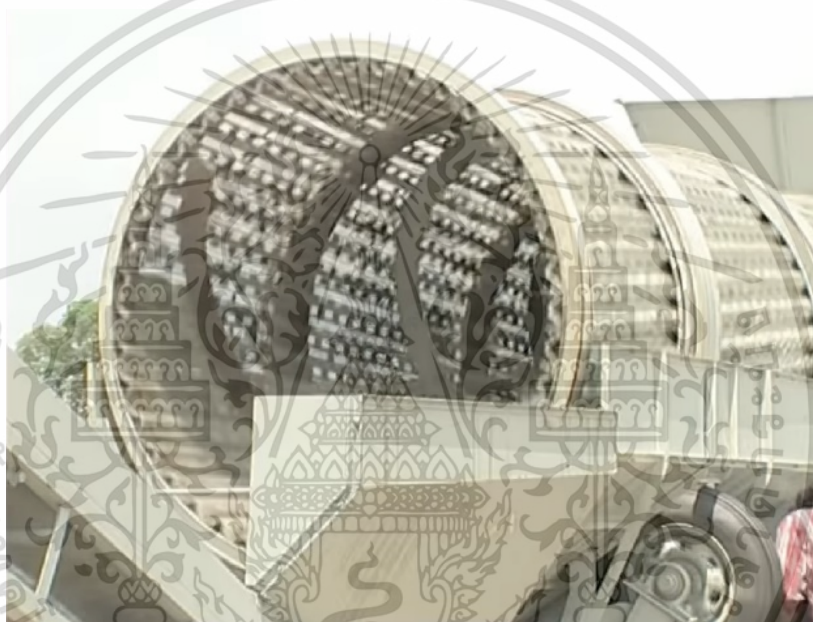


รูปที่ 2.14 เครื่องทำความสะอาดหัวมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.3 เครื่องทำความสะอาดหัวมันสำปะหลัง (สุกัญญา จัตตพรพงษ์, 2547)

เครื่องทำความสะอาดหัวมันสำปะหลัง เป็นถังหมุนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 m ยาว 6 m ใช้เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยวเป็นต้นกำลังในการหมุนถัง ซึ่งเมื่อเอาหัวมันสำปะหลังใส่ลงไปถังให้หัวมันกลิ้งและมีการพลิกตัว เมื่อหัวมันมากระทบกับชุดสะเก็ดผิว ผิววนอกจะเปิดออกหัวมันจะถูกันผิวมันจะหลุดออกทำให้ดินทรายหลุดออกด้วยและผิวสีขาวขึ้น สิ่งสกปรกเหล่านี้จะถูกแยกออกมา มีสกรูพาออกมาข้างนอก ส่วนหัวมันที่สะอาดแล้วจะออกไป ซึ่งจะมีอัตราการผลิตรอยู่ที่ 18 ton/hr และในปัจจุบันมีการปรับปรุงโดยเปลี่ยนมาใช้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า 15 hp โดยจะมีอัตราการผลิตรที่ 45 – 50 ton/hr พบว่าเมื่อนำมาทำมันเส้น มันเส้นที่ทำออกมามีทรายปนอยู่เพียง 0.5 % แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 เครื่องทำความสะอาดหัวมันสำปะหลัง (สุกัญญา จัตตพรพงษ์, 2547)

#### 2.9.4 เครื่องเครื่องล้างแก่นตะวัน (วารี ศรีสอน, 2564)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและประเมินสมรรถนะของเครื่องล้างแก่นตะวัน เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาคาการขาดแคลน แรงงานในภาคเกษตรกรรม โดยเครื่องล้างแก่นตะวัน ประกอบด้วย อ่างล้าง ตะแกรงหมุน ชุดกรองน้ำ และปั๊มแรงดันน้ำ ประเมิน สมรรถนะของเครื่องล้างแก่นตะวันจาก ความสามารถในการทำงาน เปอร์เซ็นต์ความสะอาด เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย และพลังงาน ไฟฟ้า ได้ ทำการศึกษาความเร็วตะแกรงหมุน 3 ระดับ ได้แก่ 17, 27 และ 37 rpm และเวลาในการแช่น้ำ 2 ระดับ ได้แก่ 5 และ 10 min ผลการศึกษาพบว่า ความเร็วตะแกรงหมุน มีผลต่อความสามารถในการทำงาน เปอร์เซ็นต์ความสะอาด เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย และพลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับเวลาในการแช่น้ำ มีผลต่อพลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีผลต่อ ความสามารถในการทำงาน เปอร์เซ็นต์ความสะอาด และเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย และปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ตะแกรงหมุนและ เวลา ไม่มีผลต่อความสามารถในการทำงาน เปอร์เซ็นต์ความสะอาด เปอร์เซ็นต์ ความเสียหาย และพลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ โดยความเร็วตะแกรงหมุน 27 rpm และ เวลาในการแช่ 5 - 10 min มีความเหมาะสมสำหรับการทำงานของเครื่องล้างแก่นตะวัน มากที่สุด ซึ่ง มีความสามารถในการทำงาน 4.93 kg/hr เปอร์เซ็นต์ความสะอาด 57.20% เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย 9.47% และ พลังงานไฟฟ้า 6.93 kwh แสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 เครื่องล้างแก่นตะวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.5 เครื่องเครื่องล้างไขมันสำหรับล้าง (จุฑาพิชญ์ และคณะ, 2561)

เครื่องล้างไขมันสำหรับล้างมีความสามารถในการทำความสะอาด โดยทำการทดสอบที่ความเร็วรอบ 15, 20 และ 25 rpm และมุมเอียงของตระแกรงทรงบอที่ระดับ 3, 4 และ 5 องศาตามลำดับ โดยมีการฉีดน้ำชะล้างร่วมด้วยที่แรงดันคงที่  $5 \text{ kg/cm}^2$  ผลการทดสอบพบว่าความเร็วรอบที่ดีที่สุดที่ 25 rpm และมุมเอียงที่ดีที่สุดที่ 5 องศา มีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดอยู่ที่  $87.33 \pm 10.69\%$  มีความสามารถล้างไขมันสำหรับล้างได้ 350 kg/hr มีอัตราการใช้น้ำ 20 lite และมีอัตราการใช้ไฟรวม 1.12 kW/hr คิดเป็น 4.40 Bath/hr แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 เครื่องล้างไขมันสำหรับล้าง (จุฑาพิชญ์ และคณะ, 2561)

## 2.10 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในการใช้เครื่องจักรกลเกษตรเบื้องต้น

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (จตุรงค์ ลังกาพินธุ์, 2561) มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย ระยะเวลาคืนทุน และจุดคุ้มทุนในการที่จะนำเครื่องจักรกลเกษตรมาใช้ทดแทนแรงงานคน โดยในบทความนี้จะเป็นตัวอย่างการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเบื้องต้นให้กับกลุ่มเกษตรกร วิสาหกิจชุมชน หรือผู้ประกอบการรายย่อยใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการลงทุนที่จะนำเครื่องจักรกลเกษตรมาใช้ในกิจการของตนเอง โดยเน้นความคุ้มค่าและก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

### 2.10.1 การวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย

วิธีการประเมินค่าใช้จ่ายโดยรวมเกี่ยวกับต้นทุนในการใช้งานเครื่องจักรกลเกษตรที่จะนำมาใช้ทดแทนแรงงานคน สมมติว่าเกษตรกรซื้อเครื่องจักรกลเกษตรมาทดแทนวิธีการใช้แรงงานคน ซึ่งค่าใช้จ่ายโดยรวมจะประกอบด้วยต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) โดยต้นทุนคงที่ ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาของเครื่อง (คิดค่าเสื่อมราคาโดยวิธีเส้นตรงเมื่อประมาณอายุการใช้งานของเครื่องจักรกลเกษตรประมาณ 5-10 ปี) และค่าเสียโอกาสของเงินทุน (คิดอัตราดอกเบี้ยจากอัตราของธนาคารแห่งประเทศไทย) ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนคงที่จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการทำงานของเครื่องจักรกลเกษตร อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์จะไม่คิดต้นทุนคงที่เกี่ยวกับค่าประกันภัย ค่าภาษี ค่าโรงเรียน และค่าจ้างขนย้ายเครื่องไปทำงานตามสถานที่ต่างๆ เป็นต้น สำหรับต้นทุนผันแปรซึ่งเป็นต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการทำงานของเครื่องจักรกลเกษตร ได้แก่ ค่าจ้างแรงงานคนเพื่อทำงานร่วมกับเครื่อง ค่าไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษา และค่าซ่อมแซม เป็นต้น

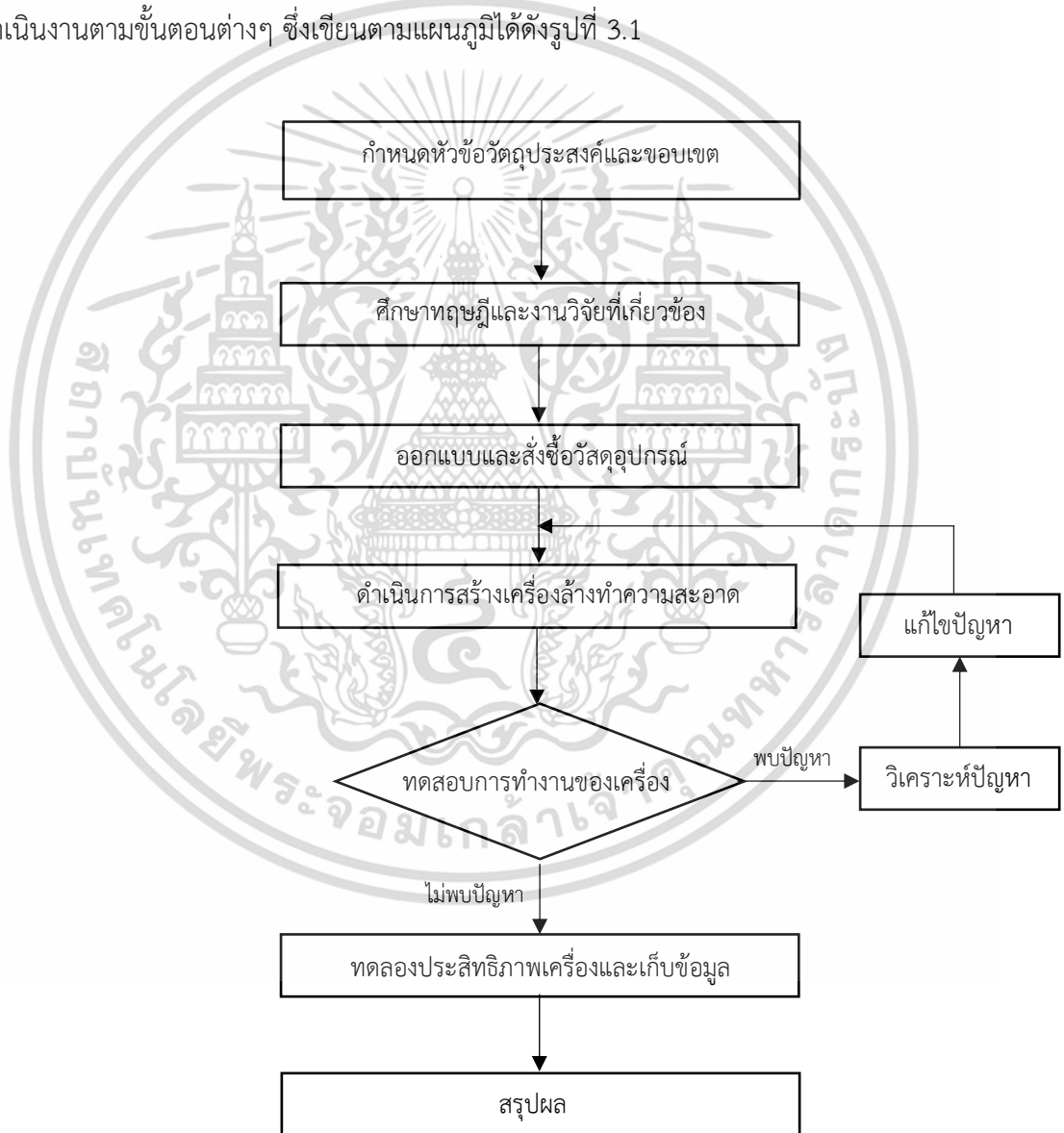
### 2.10.2 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Pay-back period)

เป็นการคาดคะเนว่า เมื่อลงทุนใช้เครื่องจักรกลเกษตรไปแล้ว จะได้รับผลตอบแทนกลับคืนมาในจำนวนเงินเท่ากับที่ลงทุนไปแล้วภายในระยะกี่ปี โดยคิดจากราคาในการลงทุนซื้อของเครื่องจักรกลเกษตรหารกับผลประโยชน์สุทธิที่คาดว่าจะได้รับในการใช้งานของเครื่องจักรกลเกษตร 5-10 ปี

### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินการวิจัย

การออกแบบเพื่อพัฒนาเครื่องล้างหม้อล้างสำปะหลังให้มีความสามารถที่ดีขึ้น เพื่อให้เครื่องล้างหม้อล้างสำปะหลังทำงานได้ดีจะต้องมีการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องล้างหม้อล้างสำปะหลัง เพื่อให้ทราบถึงหลักการในการทำความสะอาดในระบบอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง จนถึงขนาดใหญ่ หลักการในการออกแบบ ตลอดจนการวางแผนดำเนินการสร้างเครื่องล้างหม้อล้างสำปะหลังที่สร้างขึ้น จะต้องมีวิธีการและแผนการทดลองดังกล่าว การดำเนินงานมีวิธีการดำเนินงานตามขั้นตอนต่างๆ ซึ่งเขียนตามแผนภูมิได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการสร้างเครื่องล้างหม้อล้างสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเหง้ามันสำปะหลัง

ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเหง้ามันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ซึ่งมีการเพาะปลูกมากที่สุด ในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ในการทดลองนี้จะใช้เหง้ามันสำปะหลังที่วัดค่าแต่ละมิติ หรือขนาดเหง้ามัน ที่มีขนาดกว้าง(x) x ยาว(y) x หนา(z) (จุฑาพิชญ์ และคณะ, 2561) เพื่อที่จะได้ออกแบบการทดลองของดรัมที่เหมาสมกับการทดลอง ในการทำงานแบบต่อเนื่อง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาลักษณะทางกายภาพของเหง้ามันสำปะหลังดังกล่าว

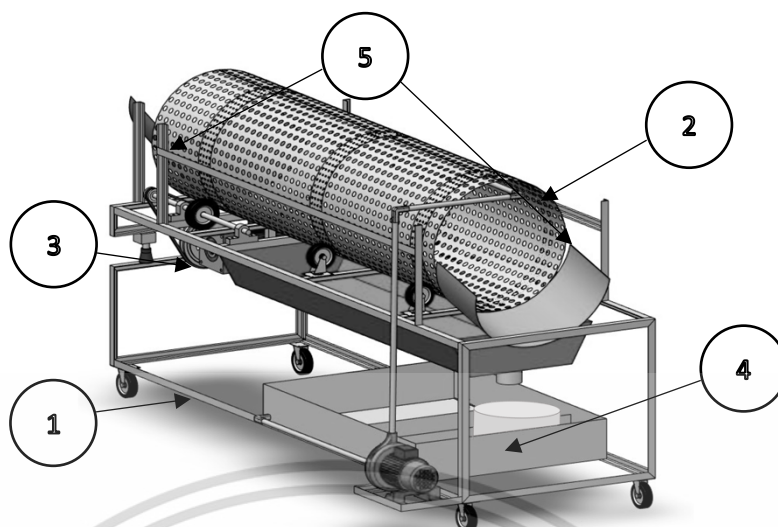
### 3.2 การออกแบบเครื่องล้างเหง้าและหลักการทำงานของเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง

ในการออกแบบเครื่องล้างเหง้าและหลักการทำงานของเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลังจะต้องมีลักษณะการออกแบบของเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลังตามที่ได้ศึกษาเหง้ามันในหัวข้อ 3.1 และต้องอธิบายเชิงหลักการการทำงานของเครื่องล้างเหง้ามันให้สามารถอธิบายได้ ซึ่งทั้งสองส่วนมีหลักสำคัญสำหรับการทดลอง

#### 3.2.1 หลักการทำงานของเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง

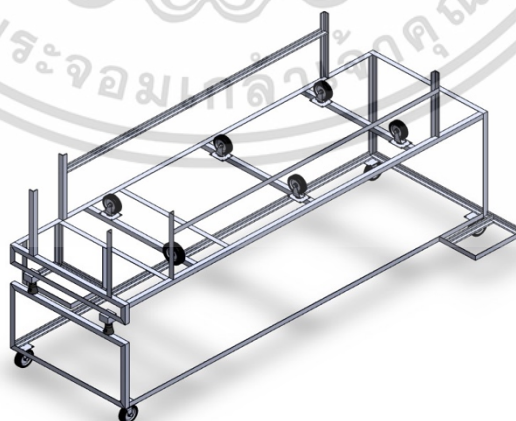
ในการออกแบบ พัฒนาเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลังนี้ เนื่องจากเป็นเครื่องต้นแบบที่ใช้ทดลองการทำความสะอาดและสมรรถนะในการทำงาน จึงแบ่งส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องออกแสดงดังรูปที่ 3.2

- 1.ชุดโครงเครื่อง
- 2.ชุดดรัมทำความสะอาด
- 3.ชุดส่งกำลัง
- 4.ชุดปั้มน้ำระบบหมุนเวียน
- 5.ช่องป้อนและช่องออกของเหง้ามันสำปะหลัง



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของเครื่องล้างหมันสำปะหลัง

1.) ชุดโครงเครื่อง ซึ่งเป็นส่วนที่รับน้ำหนักและเป็นที่อยู่ของชุดอื่นๆ ซึ่งจะต้องมีความแข็งแรงทำจากเหล็ก ใช้เหล็กฉากขนาด 50 x 50 x 5 mm (กว้างxยาวxหนา) สร้างเครื่องล้างหมันสำปะหลังถูกออกแบบให้สามารถรองรับตะแกรงทรงกระบอก (Drum) โดยตะแกรงทรงกระบอกจะถูกวางบนลูกกลิ้งอย่างขนาด 5 inch รวมทั้งหมด 5 ล้อ เพื่อประกอบดรัมขณะเคลื่อนที่หมุนเป็นวงรอบ ซึ่งโครงสร้างของเครื่องมีความกว้าง 95 cm ยาว 300 cm และโครงเครื่องสามารถปรับความสูงได้ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่ส่งผลทำให้หมันสำปะหลังเกิดการติดขัดกับตัวตะแกรง (จุฑาพิชญ์ และคณะ, 2561) ผู้วิจัยจึงนำชุดปรับระดับโดยเลือกชุดปรับระดับความสูงโดยเลือกใช้แม่แรงที่สามารถรองรับน้ำหนักสูงสุด 2,000 kg มาติดตั้งเพื่อให้ตัวเครื่องสามารถปรับความลาดเอียงซึ่งจะส่งผลทำให้หมันสำปะหลังสามารถเคลื่อนที่ไปยังจุดชะล้างหมันได้ดียิ่งขึ้น แสดงดังรูปที่ 3.3



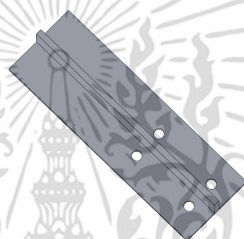
รูปที่ 3.3 โครงสร้างของเครื่องล้างหมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 นำเหล็กฉากมาตัดเป็นท่อน โดยจะใช้ความยาว 3 ขนาด คือ 55, 95 และ 300 cm โดยที่เหล็กฉากความยาวขนาด 55 cm จำนวน 2 ท่อน จะนำมาใช้ทำเป็นส่วนขาทางด้านท้ายของเครื่อง เหล็กฉากความยาวขนาด 95 cm จำนวน 2 ท่อนจะใช้เป็นด้านกว้างของเครื่อง และเหล็กฉากขนาด 300 cm จำนวน 2 ท่อนจะใช้เป็นด้านยาวของตัวเครื่อง

1.2 นำเหล็กฉากที่ตัดแบ่งแล้วมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยการใช้เครื่องเชื่อมไฟฟ้าเชื่อมส่วนต่างๆเป็นโครงสร้างขึ้นมา

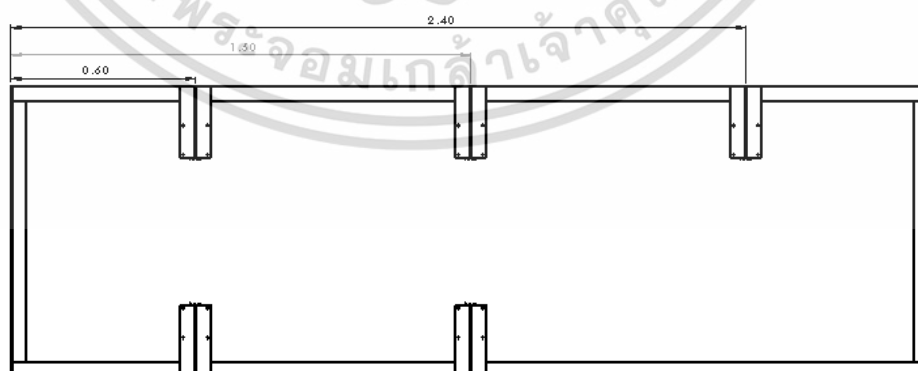
1.3 การติดตั้งล้อขับ (จุฑาพิชญ์ และคณะ, 2561) ใช้ล้อขับเคลื่อนขนาด 5 inch จำนวน 5 ล้อ ซึ่งเป็นล้อตาย ไม่สามารถหมุนเอียงตัวล้อได้ล้อจะติดเข้ากับส่วนที่ต่อเสริมจากโครงเหล็ก ซึ่งจะใช้เป็นเหล็กฉากขนาด 40x40x4 mm (กว้างxยาวxหนา) จำนวน 2 ท่อนที่มีความยาว 40 cm มาประกบ และเจาะรูเพื่อประกอบล้อเข้าไปแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เหล็กฉากสำหรับยึดล้อ

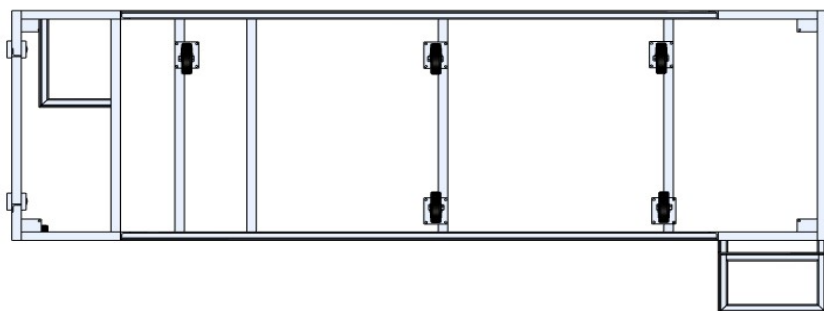
1.4 เจาะรูขนาด 10 mm จำนวน 4 รู เพื่อทำการประกอบล้อโดยยึดกับน็อต และทำการเชื่อมเหล็กฉากที่ประกอบล้อแล้วเข้าไปในโครงสร้างรับแรงส่วนบนของเครื่อง โดยจะมีระยะห่างตามแนวยาวเป็น 60, 150 และ 240 cm (จุฑาพิชญ์ และคณะ, 2561) ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 ติดประกอบเหล็กฉากสำหรับยึดล้อเข้ากับโครงสร้างส่วนบน



1.5 นำล้อขับเคลื่อนจำนวน 5 ล้อ ติดตั้งบนโครงสร้างของเครื่อง (จุฑาพิชญ์ และคณะ, 2561) แสดงดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ล้อขับเคลื่อนบนโครงสร้างของเครื่อง

ชุดปรับองศาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของเครื่องล้า่งแห่ง้ามนจะรวมอยู่ในชุดโครงเครื่อง จะถูกติดตั้งอยู่ช่วงด้านหน้าของตัวเครื่อง ซึ่งจะช่วยให้ทำการปรับระดับองศาของการป้อนวัสดุ และปรับระดับความสูงได้ เพื่อให้ตะแกรงทรงกระบอกไม่เกิดการเอียงและได้มุมมองที่ต้องการในการทำความสะอาดที่ดี ซึ่งจะมีขั้นตอนการติดตั้งดังนี้

1.6 ทำขาปรับองศาเลือกใช้เหล็กฉาก ขนาด 5 x 5 cm ความยาว 50 cm จำนวน 4 ชิ้น

1.7 ทำคานสำหรับรองรับแม่แรงปรับองศาเลือกใช้เหล็กฉาก ขนาด 5 x 5 cm ความยาว 95 cm 2 ชิ้น โดยนำส่วนที่เป็นด้านฉากมาประกบติดกันแล้วทำการเชื่อม เพื่อเพิ่มพื้นที่สำหรับวางแม่แรงปรับองศา

1.8 เชื่อมขาปรับองศาและคานติดกันโดยเชื่อมระหว่างมุมของตัวโครงสร้างขึ้นมาให้ตั้งตรง จากนั้นเชื่อมยึดติดกับตัวคานให้แน่น

1.9 ติดตั้งตัวแม่แรง 2 ตัวที่ใช้ในการปรับองศาโดย ทำการเชื่อมยึดติดกับคาน โดยระยะห่างจากขอบคาน 10 cm ทั้งซ้าย-ขวา

1.10 ทำข้อพับสำหรับปรับองศาในการปรับมุม เลือกเหล็กฉากขนาดขนาด 5 x 5 เซนติเมตร ความยาว 20 cm จำนวน 4 ชิ้น, ขนาด 13.5 cm จำนวน 2 ชิ้น และขนาด 7.5 cm 4 ชิ้น

1.11 นำเหล็กฉากขนาด 7.5 cm 4 ชิ้นมาประกบคู่กัน ให้เป็นทรงลูกบาศก์

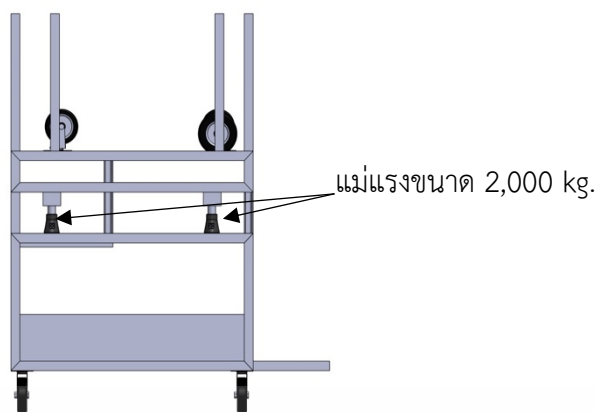
1.12 เมื่อได้ลูกบาศก์แล้วให้นำมาเชื่อมติดกับเหล็กฉากขนาด 13.5 cm โดยเชื่อมให้อยู่ระหว่างกึ่งกลางอย่างละแผ่น ก็จะเป็นตัวเชื่อมระหว่างโครงสร้างด้านบนและด้านล่าง

1.13 นำตัวที่เป็นจุดเชื่อมโครงสร้างมาทำการเชื่อมติดแผ่นเหล็กขนาด 5x5 cm ปิดด้านขอบซ้าย-ขวา ของชิ้นงานทั้งสอง แล้วทำการเจาะรูตรงกลางเอทำการร้อยเพลาลิ้นผ้าศูนย์กลางขนาด 3 cm

1.14 นำเหล็กฉากขนาด 20 cm มาเจาะรูขนาดขนาด 3 cm ทำตัวรับกับเพลาลิ้นผ้าและชิ้นงานที่จะเชื่อมกับแม่แรง จะต้องเจาะขอบ 2 cm ทั้ง 4 ชิ้น

1.15 ทำการเชื่อมชิ้นงานติดกับโครงสร้างด้านบนกับแม่แรงที่ติดตั้งกับโครงสร้างด้านล่าง แล้วนำมาประกบกันให้พอดี แสดงดังรูปที่ 3.7

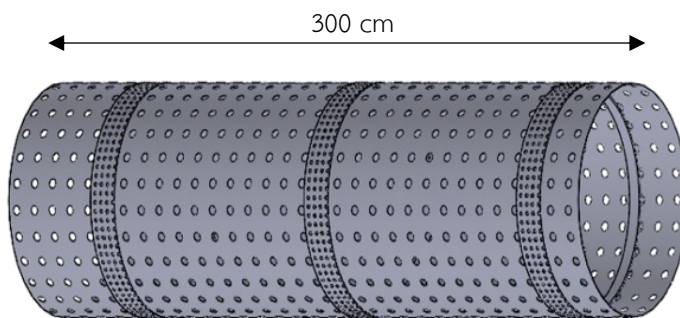
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ชุดปรับระดับความสูงในส่วนหัวของโครงสร้าง

2. การออกแบบชุดดรัมทำความสะอาด ตะแกรงทรงกระบอก (Drum) ทำการออกแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 cm ความยาว 300 cm โดยทำจากเหล็กตะแกรงหนา 1.2 mm และมีขนาดรูตะแกรงเท่ากับ 30 mm เพื่อช่วยลดปัญหาที่เกิดจากเหง้ามันสำปะหลังติดรูตะแกรง และแก้ไขปัญหาการลื่นไถลของตัวดรัมซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดจากการทดลองของเครื่องต้นแบบ (จุฑาพิชญ์ และคณะ, 2561) ในงานวิจัยนี้ทำการเพิ่มความยาวของตัวดรัมส่งผลทำให้น้ำหนักของดรัมเพิ่มขึ้นทำให้เกิดแรงกดที่หน้าสัมผัสที่หน้าล้อขับและล้อประคองได้มากขึ้น อีกทั้งผู้วิจัยได้ทำการออกแบบหน้าสัมผัสที่จุดที่กระทำกับล้อประคองให้มีหน้าสัมผัสที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อลดปัญหาการเกิดการลื่นไถลของดรัมขณะทำการทดสอบ โดยมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1. นำเหล็กแผ่นรูป 2 แผ่น ซึ่งแต่ละแผ่นมีขนาด 120x350 cm (กxย) นำมาตัดให้มีขนาด 120x300 cm จากนั้นทำการม้วนให้เป็นทรงกระบอก ด้วยเครื่องมือเหล็ก
2. นำเหล็กที่ม้วนเสร็จเรียบร้อยแล้ว ไปทำการ spot หัวและท้าย เพื่อยึดให้เป็นรูปทรงกระบอก ด้วยเครื่อง spot welding ทำเช่นเดียวกันทั้ง 2 แผ่น
3. หลังจากได้เหล็กทรงกระบอกทั้งสองท่อนแล้ว ก็ให้นำมาเชื่อมต่อเป็นท่อนเดียวกัน โดยการใช้แผ่นสังกะสีหนา 0.5 mm กว้าง 10 mm ม้วนรอบระหว่างรอยต่อของเหล็กตะแกรง และยิงรีเวท เพื่อทำการยึดให้แน่นชุดตะแกรงทรงกระบอกจะถูกวางบนลูกล้อรับแรงที่ติดอยู่ด้านบนโครงสร้างของเครื่อง ผู้จัดทำจึงออกแบบให้มีแผ่นสังกะสีรองรับการเคลื่อนที่ของลูกล้อ เป็นระยะ 15, 127, 200 cm (จุฑาพิชญ์ และคณะ, 2561) โดยวัดจากขอบของตะแกรงทรงกระบอกถึงปลายขอบเมทัลชีท แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ชุดดรัมทำความสะอาด

3. การออกแบบชุดส่งกำลัง ทำหน้าที่ส่งกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าไปยังตะแกรงทรงกระบอกให้ตะแกรงทรงกระบอกนั้นหมุน เพื่อทำความสะอาดหม้อน้ำสำหรับปะหลังโดยมีรายละเอียดการสร้างดังนี้

1.) ต้นกำลังและเกียร์ทดของเครื่องล้างหม้อน้ำสำหรับปะหลัง ระบบต้นกำลังใช้มอเตอร์กำลังขนาด 1.5 kW 3 phase มีความเร็วรอบ 1430 rpm ที่ความถี่ 50 Hz ในการใช้งานจะต้องต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์ทุกครั้ง มอเตอร์จะถูกต่อตรงเข้ากับเกียร์ทด ซึ่งมีอัตราทดเท่ากับ 60:1 โดยใช้คัปปลิ่ง (Coupling) เชื่อมต่อระหว่างแกนมอเตอร์และแกนเกียร์ทด มีวิธีการดังนี้

1.1 นำคัปปลิ่ง (Coupling) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 inch มาเจาะรู ด้วยเครื่องกลึง ซึ่งคัปปลิ่งจะมีสองชิ้น ชิ้นที่ 1 เจาะรูขนาด 14 mm เพื่อสวมกับแกนของมอเตอร์ และชิ้นที่ 2 เจาะรูขนาด 12 mm เพื่อสวมกับแกนของเกียร์ทด (จุฑาพิชญ์ และคณะ, 2561)

1.2 นำคัปปลิ่งสวมเข้าทั้งแกนของมอเตอร์ และเกียร์ทด แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การส่งถ่ายแรงด้วยคัปปลิ่ง (Coupling)

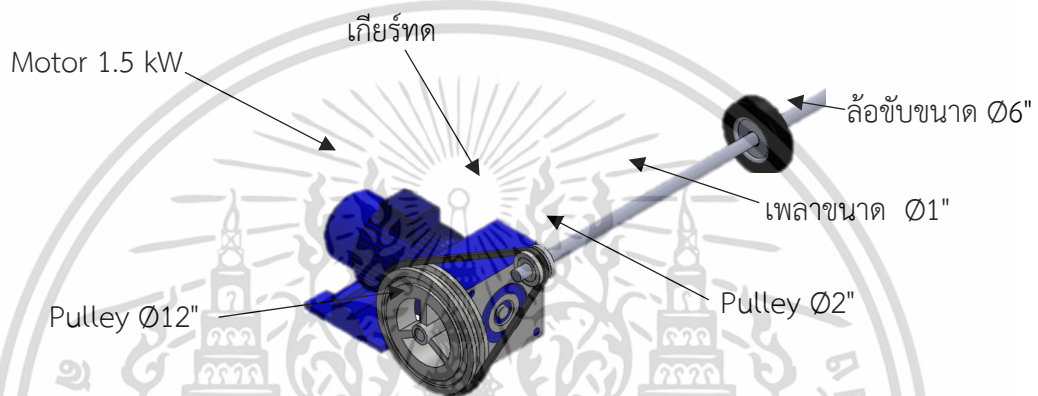
### การคำนวณความเร็วรอบของดรัม

มอเตอร์ต้นกำลังความเร็วรอบ 1430 rpm ต่อเข้ากับ อัตราทด 60:1

ความเร็วขาออกจากเกียร์ทด =  $1430/60 = 23.83$  rpm

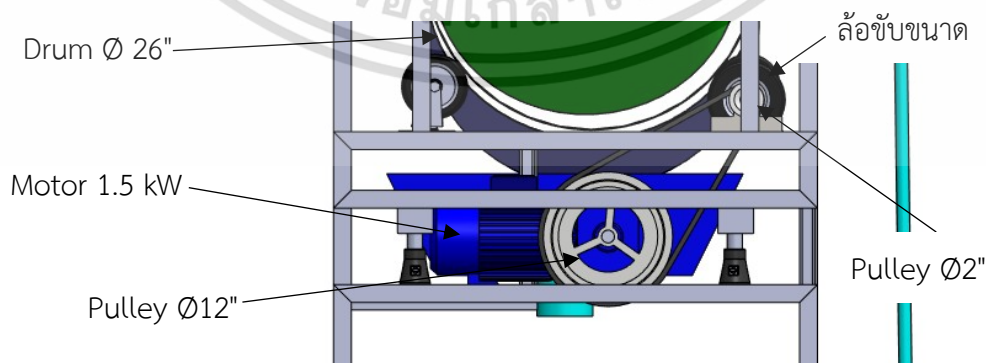
2.) ระบบส่งกำลัง ทำออกแบบให้ชุดตะแกรงทรงกระบอก (Drum) มีความเร็วรอบอยู่ที่ 30 rpm ที่ 50 Hz ในงานวิจัยนี้ได้มีการปรับปรุงและพัฒนาในส่วนของระบบส่งกำลัง โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 จากเครื่องต้นแบบเลือกใช้พูลเลย์ส่งกำลังที่มีขนาด 10 inch ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปลี่ยนพูลเลย์เป็นขนาด 12 inch โดยเชื่อมต่อกับแกนของเกียร์ทด ที่มีความเร็วรอบขาออก 23.83 rpm ส่งกำลังไปยังพูลเลย์ขนาด 2 inch ที่ติดอยู่กับเพลานขนาด 1 inch แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การส่งกำลังจากเกียร์ทดไปยังเพลาน

2.2 เพลานขนาด 1 inch โดยมีแบริ่งลูกปืน (Rolling Bearing) ขนาด ½ inch จำนวน 2 ตัวรองรับอยู่ ถูกติดตั้งอยู่ด้านบนของโครงสร้างเครื่องล่างแห้งน้ำมันในแกนเพลาน ประกอบด้วยพูลเลย์ขนาด Ø2 inch ที่รับแรงหมุนมาจากเกียร์ทด และล้อขับ ขนาด Ø6 inch ซึ่งจะสัมผัสกับขอบชุดตะแกรงทรงกระบอก (Drum) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 inch (จุฑาทิชาญ และคณะ, 2561) แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ระบบส่งกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เมื่อเพลากเกิดการหมุน ทำให้ล้อยับที่ติดอยู่กับเพลามหมุน ขั้วให้ชุดตระแกรงทรงกระบอก (Drum) หมุนไปด้วย โดยชุดดรัมจะหมุนด้วยความเร็วรอบ 30 rpm แสดงดังการคำนวณต่อไปนี้

การคำนวณความเร็วรอบของดรัม

1. พูเลย์ขนาด  $\varnothing 12$  inch เนื่องจาก ความเร็วรอบ 30 rpm ส่งกำลังไปยังพูเลย์ขนาด  $\varnothing 2$  inch ที่ติดกับเพลา

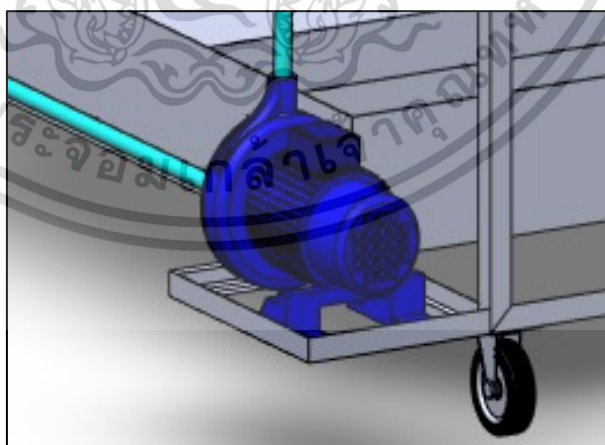
$$\begin{aligned} \text{ความเร็วรอบเพลา} &= \frac{\text{ขนาดของพูเลย์ขั้ว} \times \text{ความเร็วรอบของพูเลย์ขั้ว}}{\text{ขนาดของพูเลย์ตาม}} \\ &= 12" \times 23.83/2" = 143.98 \text{ rpm} \end{aligned}$$

2. ล้อยับขนาด  $\varnothing 6$  inch ติดอยู่กับเพลา มีความเร็วรอบ 143.98 rpm ขั้วดรัมขนาด  $\varnothing 26$  inch

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วรอบของดรัม} &= \frac{\text{ขนาดของล้อยับ} \times \text{ความเร็วรอบของล้อยับ}}{\text{ขนาดของดรัม}} \\ &= 6" \times 143.98/26" = 33.23 \text{ rpm} \end{aligned}$$

4. ชุดปั้มน้ำระบบหมุนเวียน จะประกอบด้วย ปั้มน้ำ ท่อดูด ท่อจ่าย ถาดรอง ถาดรวมน้ำ และหัวฉีด ซึ่งทั้งหมดนี้ติดตั้งรวมเป็นระบบเดียวกันเพื่อทำการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยการติดตั้งจะมีขั้นตอนรายละเอียดดังนี้

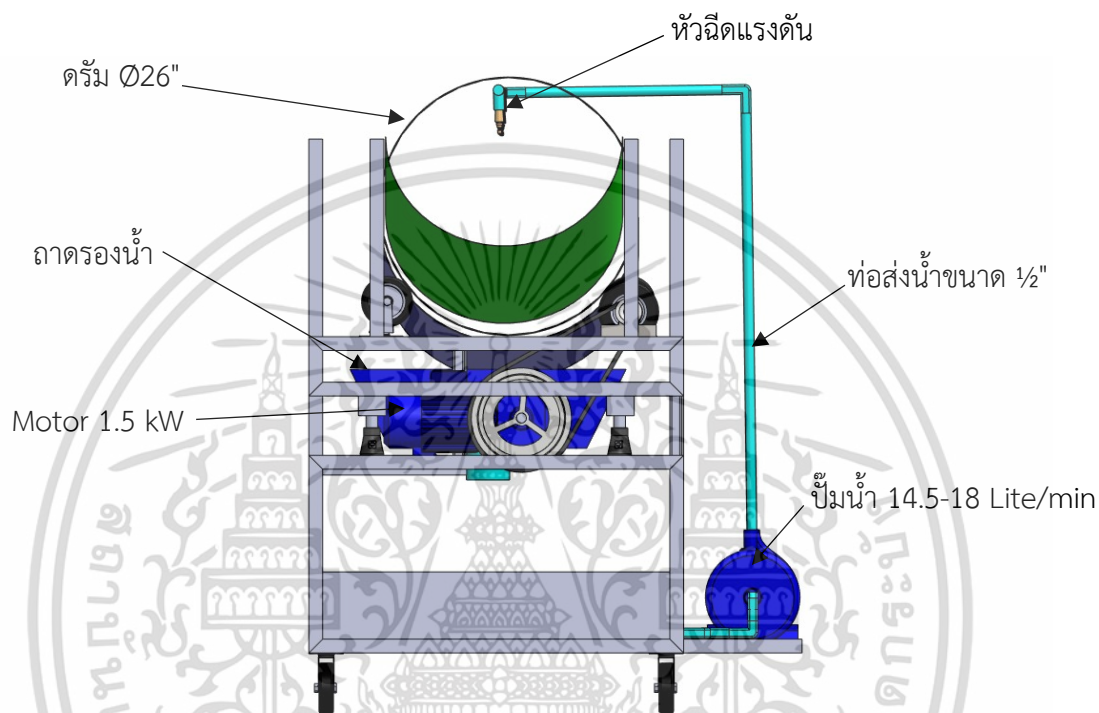
4.1 การติดตั้งปั้มน้ำ ท่อดูด และท่อจ่าย ระบบปั้มน้ำใช้ปั้มน้ำหอยโข่งกำลังไฟฟ้าขนาด 240 W อัตราการสูบน้ำเฉลี่ยที่ 14.5-18 Lite/min (จุฬาพิชญ์ และคณะ, 2561) โดยปั้มน้ำจะถูกติดตั้งที่บริเวณโครงสร้างส่วนล่างของเครื่อง แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ตำแหน่งของปั้มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งด้านดุดของปั้มจะต่อท่อขนาด ½ inch ไปยังภาตรองน้ำ ซึ่งเป็นภาตที่รองรับน้ำจากภาตรองรับน้ำที่มาจากการชะล้างเหง้ามันสำปะหลัง ในส่วนด้านจ่ายของปั้ม เช่นเดียวกัน จะทำการต่อท่อขนาด ½ inch สูงขึ้นไปในแนวตั้ง ความยาว 100 cm และต่อข้องอ 90° ทำให้น้ำวิ่งในแนวราบต่อท่อตรงอีก 50 cm และต่อข้องอ 90° อีก 1 ตัว เพื่อต่อท่อยาวเข้าไปในในชุดตระแกรงทรงกระบอกทำ ความสะอาด ความยาว 155 cm (จุฑาพิชญ์ และคณะ, 2561) แสดงดังรูปที่ 3.13



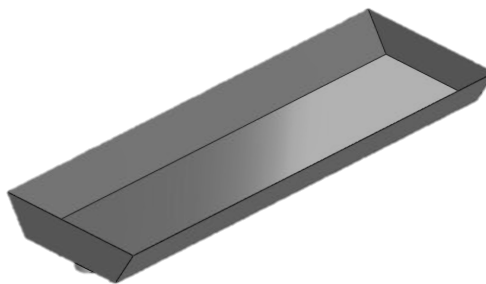
รูปที่ 3.13 การต่อท่อดุดและท่อจ่าย

4.2) ภาตรองน้ำที่มาจากการชะล้างภาตรองรับน้ำ ถูกออกแบบขึ้นเพื่อรองรับน้ำที่ผ่านการชะล้างเหง้ามันสำปะหลัง ซึ่งจะวางอยู่ทางด้านล่างของชุดดรัม ทำจากสังกะสี หนา 0.5 mm โดยมีขั้นตอนในการสร้างดังนี้ (แสดงดังรูปที่ 3.14)

4.2.1 ทำการตัดแผ่นสังกะสี ขนาด 70x200 cm (กxย) จำนวน 1 แผ่น ขนาด 20x200 cm (กxย) จำนวน 2 แผ่น และขนาด 20x70 cm (กxย) จำนวน 2 แผ่น

4.2.2 ทำการประกอบแผ่นสังกะสีทั้ง 5 ชิ้นเข้าด้วยกัน โดยทำการ spot เชื่อมติดกันด้านหัว และท้าย ด้วยเครื่อง spot welding จากนั้นใช้ซิลิโคนกันน้ำอุดช่องรอยรั่วเพื่อกันน้ำซึมออก แสดงดังรูปที่ 3.14

4.2.3 ทำการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm ที่ตำแหน่งตรงกลาง ห่างจากขอบด้านท้ายของภาต 5 cm เพื่อให้สามารถไหลออกได้

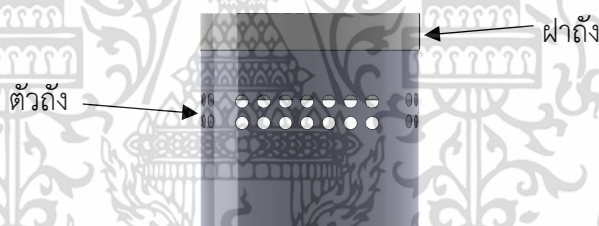


รูปที่ 3.14 ถาดรองรับน้ำ

4.3) ถังกรองเศษทราย ถังกรองเศษทรายนี้ช่วยในการกรองเศษทรายหรือวัสดุสิ่งเจือปน โดยมี ส่วนประกอบ ดังนี้

4.3.1 นำถังขนาดปริมาตร 10 ลิตร กว้าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 x สูง 30 cm ทำการ เจาะรูด้านข้างโดยรอบ ขนาดของรูเจาะ  $\varnothing 1$  cm จำนวน 20 รู โดยแต่ละรูจะห่างจากปากถัง 15 และ 20 cm

4.3.2 นำผ้าขาวบางมาครอบปากถัง นำฝาลังมาเจาะรูที่ฝาลังให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm เพื่อให้ให้น้ำไหลผ่าน ปิดปากถังด้วยฝาที่เจาะรูแล้ว ยึดให้ผ้าขาวบางติดกับปากถังอยู่ตลอดเวลา แสดง ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ถังกรองเศษทราย

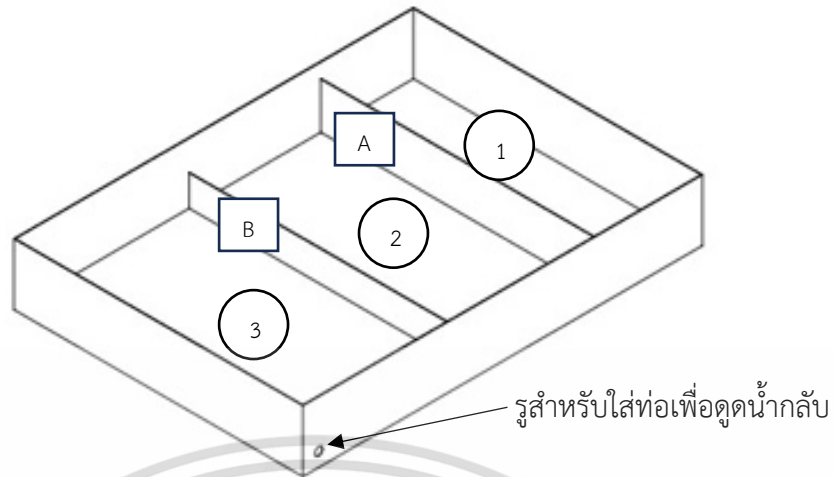
4.4) ถาดรองน้ำ เพื่อนำน้ำไปใช้ในระบบ ซึ่งเป็นระบบแยกทรายและเศษแข็งสำหรับน้ำที่ออกจาก น้ำซึ่งทำให้น้ำสามารถวนกลับไปใช้ใหม่ได้โดยน้ำจะไหลจากถาดรองน้ำลงสู่ถาดรวมน้ำ ทรายที่ หนักจะตกตะกอน และน้ำที่สะอาดจะไหลล้นไปยังถาดรวมน้ำอีกด้านหนึ่ง โดยถาดรวมน้ำจะสร้าง จากแผ่นสังกะสี ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

4.4.1 ออกแบบถาดให้มีความกว้าง 90 cm ยาว 130 cm และสูง 30 cm ใช้วัสดุเป็นแผ่น สังกะสีหนา 1 mm มาติดตั้งบริเวณใต้ถาดรองน้ำ

4.4.2 นำแผ่นสังกะสี A ขนาดยาว 90 cm สูง 20 cm และแผ่นสังกะสี B ขนาดยาว 90 cm สูง 15 cm มากั้นระหว่างกลางของถังน้ำ โดยแผ่น A ห่างจากขอบ 25 cm แผ่น B ห่างจากขอบ 55 cm และเชื่อมปิดจุดจุดรั่วด้วยซิลิโคน

4.4.3 เจาะรูข้างๆ ในช่องที่ 3 ขนาด  $\varnothing 20$  mm ระยะห่างจากขอบด้านข้างและสูงจากพื้น ขอบ 30x30 mm สำหรับใส่ท่อเพื่อดูน้ำกลับ ดังแสดงในรูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 ถาดรองน้ำ

4.4) หัวฉีด การติดตั้งหัวฉีดจะติดตั้งจากด้านท่อจ่ายน้ำ โดยท่อมีความยาว 155 cm จะถูกวางด้านในของตรัม โดยจะติดตั้งหัวฉีดน้ำแรงดัน ซึ่งมีลักษณะการฉีด ดังแสดงในรูปที่ 3.16 ติดตั้งที่ทุกระยะ 25 cm นับจากปลายท่อ ซึ่งใช้ทั้งหมด 5 ตัว



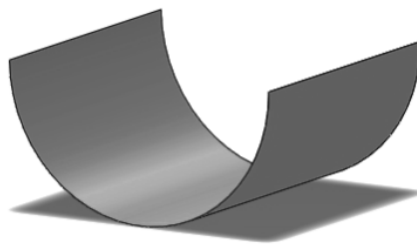
รูปภาพที่ 3.17 หัวฉีดน้ำ

#### 5. การออกแบบช่องป้อนและช่องออกของเหง้ามันสำปะหลัง

ในการออกแบบช่องป้อนและช่องออก (จุฑาทิษณ์ และคณะ, 2561) เพื่อลำเลียงเหง้ามันสำปะหลังออก จะใช้แผ่นเมทัลชีท หนา 0.35 cm เป็นวัสดุหลักในการสร้าง ซึ่งขนาดของช่องป้อนและช่องออกจะมีขนาดที่เท่ากันโดยมีขั้นตอนดังนี้

5.1 ทำการตัดแผ่นเมทัลชีท ให้ได้ขนาด 120x80 cm (กxย) จำนวน 2 แผ่น

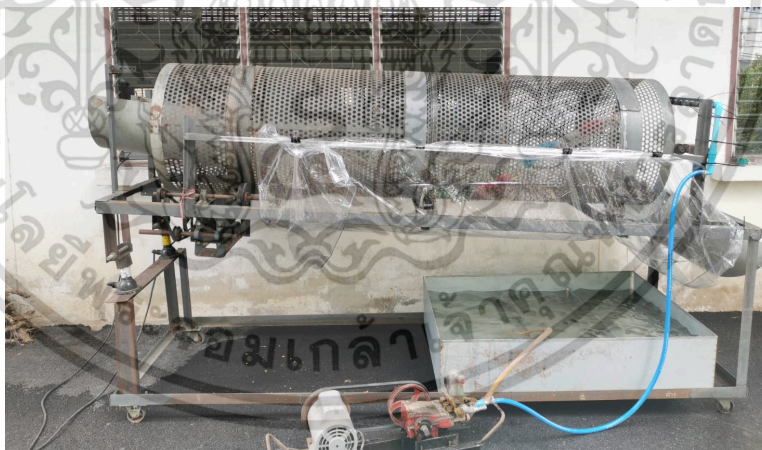
5.2 จากนั้นนำแผ่นเมทัลชีท มาทำการม้วน ด้วยเครื่องมือเหล็ก แสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แผ่นเมทัลชีทที่ม้วนแล้ว

5.3 ติดตั้งแผ่นเมทัลชีทที่ด้านหน้าและด้านท้ายของเครื่อง โดยใช้โบลต์ และนัทยึดติดกับโครงสร้างของเครื่องให้แข็งแรงโดยติดตั้งทำมุม  $30^\circ$  เพื่อป้องกันเหง้ามันไหลทวนย้อนกลับและทางด้านท้ายติดตั้งทำมุม  $45^\circ$  เพื่อให้เหง้ามันสำปะหลังไปรวมกองโดยไม่ติดขัด

เครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลังที่ได้ทำการพัฒนาเพื่อทำความสะอาดเหง้ามันสำปะหลังในด้านความเร็วรอบที่สูงขึ้นในระดับความเร็ว 30 rpm ชุดปรับระดับบองคาของดรัมที่เพิ่มขึ้นสูงถึง  $6^\circ$  ในส่วนของดรัมที่เปลี่ยนรูตะแกรงให้มีขนาดใหญ่มีขนาด  $\text{Ø}30 \text{ mm}$  เพื่อลดการติดขัดของเหง้ามันทำให้มีอัตราการป้อน 6 kg/min ชุดกรองเศษทรายและภาดรองน้ำระดับน้ำล้น 2 ระดับทำการแยกตะกอนแสดงดังรูปที่ 3.19

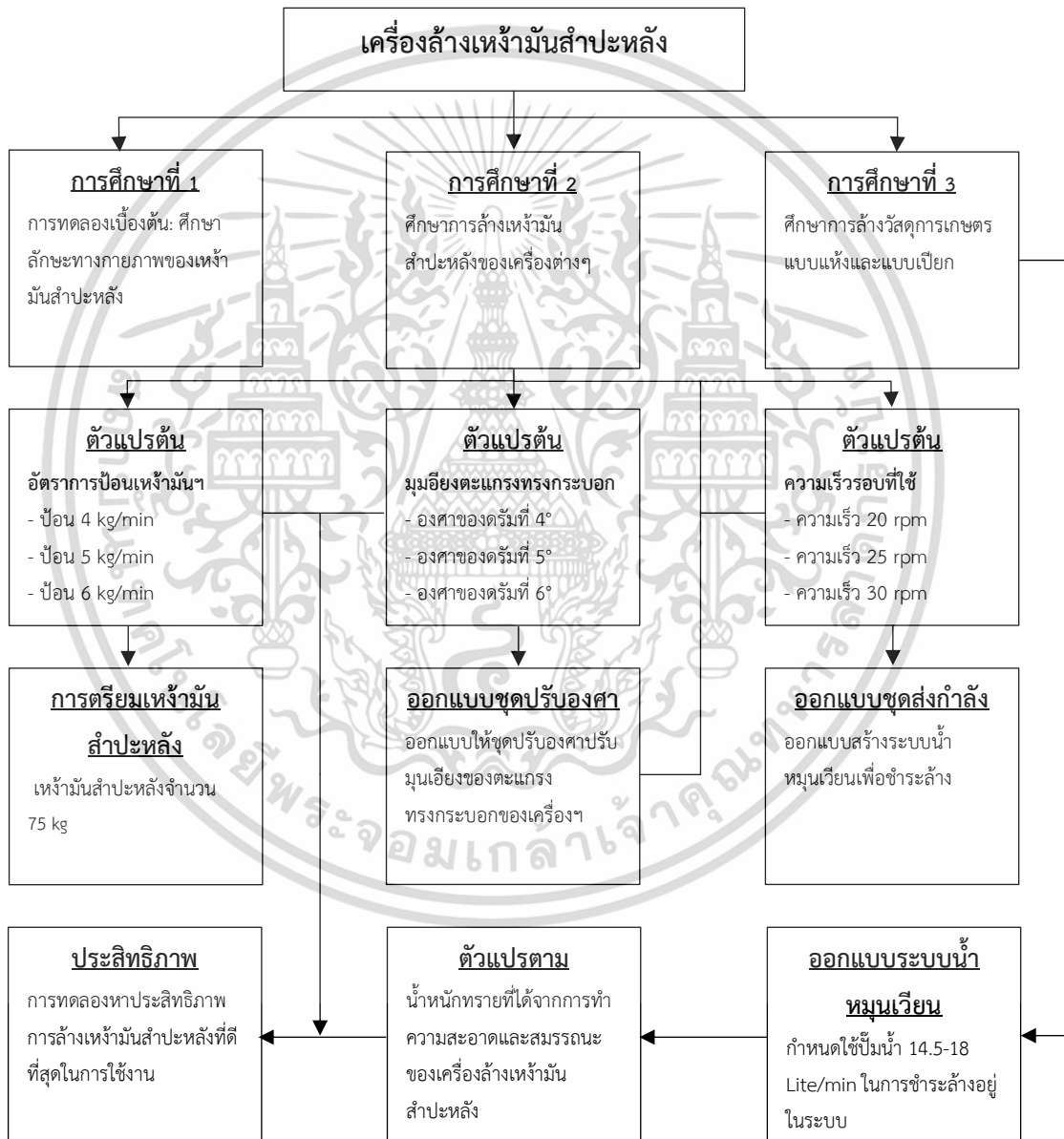


รูปที่ 3.19 เครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลังที่ทำการพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3) แผนการทดลอง

จากรูปที่ 3.19 แสดงแผนภูมิขั้นตอนแผนการทดลองทั้งหมดของงานวิจัยนี้ซึ่งได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 หัวข้อหลักดังแสดงในหัวข้อวัตถุประสงค์คือ 1.) เพื่อทำการออกแบบ สร้าง และพัฒนาเครื่องล้างหม้อล้างสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ 2.) เพื่อทดลองหาความสามารถในการทำงานและประสิทธิภาพในการทำความสะอาดของเครื่องล้างหม้อล้างสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้ได้วิธีการในการทำความสะอาดหม้อล้างสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการทำการทดลองเพื่ออ้างอิง (Reference treatment) โดยรายละเอียดในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4) วิธีการทดลอง

#### 3.4.1 การทดลองเบื้องต้น: ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเหง้ามันสำปะหลัง

การทดลองเพื่อหาลักษณะทางกายภาพของเหง้ามันสำปะหลังทำโดยการวัดขนาดความใหญ่โตของเหง้ามันสำปะหลัง วัดจากขนาดโตสุดและยาวสุดในแต่ละเหง้า จะแบบการวัดออกเป็นแกน X, Y และ Z เพื่อใช้ในการออกแบบรัศมีของตะแกรงทรงกระบอกชำระล้างของเครื่อง

การนำเหง้ามันสำปะหลังลงไปทดลองกับเครื่องเบื้องต้น จะเป็นเหง้ามันที่เก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน จะมีค่าความชื้น ( $M_w$ ) ที่นำมาทำการทดลองจะมีรากฝอยที่ติดมากับเหง้ามันจำนวนหนึ่งและจะมีเศษดินสิ่งเจือปนที่ได้ถูกน้ำฝนชำระล้างบางส่วน ปริมาณและน้ำหนักจึงถูกจำกัดในการทดลองครั้งนี้ เหง้ามันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ซึ่งปลูกมากในพื้นที่ภาคตะวันออก ที่เกษตรกรได้ตัดต้นออก จะมีลักษณะความยาวโดยเฉลี่ยตามแกน X, Y และ Z มีขนาดเฉลี่ย 10.2, 40.4 และ 6.7 cm ตามลำดับ (จุฑาพิชญ์ และคณะ, 2561) เนื่องจากเหง้ามันสำปะหลังนั้นมีพื้นผิวที่ขรุขระ และมีแงหรือรากเล็กๆ จำนวนมาก ที่จะเป็นอุปสรรคต่อการหาค่ามุกองของวัสดุ จึงไม่จำเป็นที่จะหาค่ามุกองเนื่องด้วยตะแกรงทรงกระบอกที่ใช้ในการชำระล้างนั้นจะมีรูพรุนที่จะทำให้ส่วนพื้นผิวของเหง้ามันไปยึดเกาะและเครื่องมีชุดส่งกำลังในการหมุนตะแกรงทรงกระบอกที่จะทำให้เหง้ามันนั้นไหลสู่ทางออก เป็นการจบกระบวนการล้างเหง้ามันสำปะหลัง การคำนวณหาปริมาณความชื้นเริ่มต้นทรายโดยการนำทราย 5 g ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมขนาด 29.57 ml นาไปอบด้วยตู้อบแห้งลมร้อน รุ่น ULM 500, Memmert GmbH+Co.KG, Schwabach, Germany ที่ อุณหภูมิ  $105 \pm 2^\circ \text{C}$  เป็นเวลา 24 hr (AOAC, 2005) จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งระบบดิจิทัล 4 ตำแหน่ง นำข้อมูลผลต่างของน้ำหนักก่อนและหลังการอบแห้งมาคำนวณหาค่าความชื้นโดยมีสมการความสัมพันธ์ตามที่แสดงในสมการที่ 3.1

$$M = \frac{M_w - M_d}{M_d} \times 100 \quad (3.1)$$

โดยที่  $M$  = ความชื้นของทราย (%)

$M_w$  = น้ำหนักเริ่มต้น (g)

$M_d$  = น้ำหนักสุดท้าย ของทราย (g)

### 3.4.2 การศึกษาเหง้ำมันสำปะหลังเพื่อเป็นค่าตั้งต้นในการทำความสะอาด

เหง้ำมันสำปะหลังแต่ละเหง้ำมันนั้นค่อนข้างมีลักษณะที่ต่างกัน ในการเตรียมต้นแบบค่าความสะอาดในการอ้างอิง ทำได้โดยการแบ่งเหง้ำมันออกเป็น 3 ชุด โดยจะแบ่งแต่ละชุดออกเป็น ชุดที่ 1 น้ำหนัก 4 kg, ชุดที่ 2 น้ำหนัก 5 kg และชุดที่ 3 น้ำหนัก 6 kg แต่ละชุดจะทำทั้งหมด 5 ซ้ำ เมื่อแบ่งเหง้ำมันได้แล้ว ทำการนำเหง้ำมันสำปะหลังมาแช่น้ำและทำการขัดทรายออก จากนั้นกรองน้ำเอาเฉพาะเศษทรายไปทำให้แห้ง จากนั้นนำไปทำการคำนวณหาปริมาณความชื้นเริ่มต้นทรายโดยการนำทราย 5 g ใส่ ในถ้วยอะลูมิเนียมขนาด 29.57 ml นาไปอบด้วยตู้อบแห้งลมร้อน (ULM 500, Memmert GmbH+Co.KG, Schwabach, Germany) ที่ อุณหภูมิ  $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 24 hr (AOAC, 2005) จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งระบบดิจิทัล 4 ตำแหน่ง แล้วนำข้อมูลมาอ้างอิง

### 3.5 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการล้างเหง้ำมันสำปะหลัง

การหาสภาวะที่เหมาะสมทำโดยการออกแบบการทดลองเป็นแบบ Box Behnken design แบบ 3 ปัจจัยดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาคือ ความเร็วรอบของดรัม (X1) องศาของดรัม (X2) และอัตราการป้อนเหง้ำมันสำปะหลัง (X3) โปรแกรมจะทำการประมวลผล ทำให้ได้สิ่งทดลองจำนวน 15 สิ่งทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.2 เป็นการทดลองที่ตำแหน่งกึ่งกลางซึ่งทำซ้ำจำนวน 3 สิ่งทดลอง ผลการทดลองที่ตำแหน่งกึ่งกลางจะถูกนำไปวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาความสมบูรณ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลอง

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลองความเร็วเชิงเส้นของตะแกรง ค่าความชื้น และอัตราการป้อนเหง้ำมันสำปะหลัง ที่ใช้ในการทดลองหาประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องล้างเหง้ำมันสำปะหลัง

ตัวแปร	รหัส	ระดับค่าตัวแปร		
		1	0	-1
ความเร็วรอบของดรัม (rpm)	X <sub>1</sub>	30	25	20
องศาของดรัม (Degree)	X <sub>2</sub>	6	5	4
อัตราการป้อนเหง้ำมันสำปะหลัง (kg/min)	X <sub>3</sub>	6	5	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.1 ศึกษาลักษณะการล้างหมันสำปะหลังผ่านเครื่องล้างหมัน

ทำการศึกษาแผนการทดลองตามแบบการการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken ทำการทดลองทั้งหมด 15 ครั้ง นำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการล้างหมันสำปะหลังด้วยเครื่องล้างหมัน เพื่อที่จะทราบผลของการล้างที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่อง ค่าที่ได้มีความแตกต่างกันเล็กน้อยเพียงใดและค่าที่เหมาะสมแก่การล้างจะเป็นเช่นใด

ตารางที่ 3.2 สิ่งทดลองจากการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken

สิ่งทดลอง	ความเร็วรอบของดรัม (rpm)	องศาของดรัม (Degree)	อัตราการป้อน (kg/min)
1	20(-1)	4(-1)	5(0)
2	30(1)	4(-1)	5(0)
3	25(-1)	6(1)	5(0)
4	30(1)	6(1)	5(0)
5	25(-1)	5(0)	6(1)
6	30(1)	5(0)	4(-1)
7	25(-1)	5(0)	4(-1)
8	30(1)	5(0)	6(1)
9	25(0)	4(-1)	4(-1)
10	25(0)	6(1)	4(-1)
11	25(0)	4(-1)	6(1)
12	25(0)	6(1)	6(1)
13	25(0)	5(0)	5(0)
14	25(0)	5(0)	5(0)
15	25(0)	5(0)	5(0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 การทดลองล้างหมักเครื่องล้างหมักสำปะหลัง

ทำการทดลองล้างหมักสำปะหลังด้วยเครื่องล้างหมักสำปะหลัง ทำการทดลองตามแบบแผนการทดลองที่ได้เตรียมไว้ โดยจะทำการทดลองทั้งหมด 15 ซ้ำ โดยตัวแปรที่กำหนดจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วรอบของดรัม องศาของดรัมและอัตราการป้อนหมักสำปะหลังโดยวัดน้ำหนักของทรายที่ได้จากการล้างด้วยเครื่องล้างหมัก นำไปคัดแยกเศษสิ่งเจือปนเพื่อที่จะได้น้ำหนักทราย จากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนและนำมาเข้าเครื่องเขย่าเป็นเวลา 10 min ผ่านรูตะแกรงขนาด 30 และ 100 mesh แยกดินละเอียดออกจากเศษทราย โดยนำเศษทรายที่ตกในชั้นของตะแกรงขนาด 100 mesh ไปชั่งน้ำหนักเพื่อให้ได้น้ำหนักของทรายที่แท้จริง ในการหาประสิทธิภาพการทำความสะอาดหมัก ค่าที่ได้จะมีผลต่อการนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยที่จะส่งผลต่อค่าความสะอาดหมัก ทั้งนี้การทดลองจะทำการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง เพื่อนำทรายที่ได้จากการชำระล้างมาซึ่งวิเคราะห์ผลในการคำนวณในเชิงสถิติ

### 3.7 การวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของเครื่องล้างหมักสำปะหลัง

การวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม Minitab เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่าที่เหมาะสมที่สุดในการล้างหมักสำปะหลังด้วยเครื่องล้างหมักสำปะหลัง ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าสูงสุดของเครื่องที่สามารถทำการชำระล้างทรายที่ติดมากับหมักสำปะหลังนั้นจะเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณที่อาจจะไม่ได้อยู่ตรงกับค่าที่ตั้งไว้ในแต่ละปัจจัย แต่จะอยู่ในช่วงที่ได้กำหนดตามแบบการทดลองแบบ BBD ถือว่าเป็นค่าที่ทำนายจากการล้างหมักสำปะหลังด้วยเครื่องล้างหมักสำปะหลัง เพื่อที่จะสามารถเป็นค่าอ้างอิงในการตรวจสอบ

### 3.8 ทำการตรวจสอบความถูกต้องของประสิทธิภาพการล้างหมักด้วยเครื่องล้างหมักสำปะหลังระหว่างค่าที่ได้จากการทำนาย และค่าที่ได้จากการทดลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของประสิทธิภาพการทำความสะอาดของเครื่องล้างหมักสำปะหลัง จะนำค่าที่ได้จากการคำนวณมาวิเคราะห์ทดสอบเปรียบเทียบการทำงานงานอีกครั้งเพื่อทดสอบสมมุติฐานด้วยการทดสอบ Analysis of variance (ANOVA) แบบ T-test ระดับความเชื่อมั่น 95% พิจารณาแบบการทดลอง Box-Behnken ที่ใช้มีความเหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ จากค่า p-value

### 3.9 ศึกษาวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในการใช้เครื่องล้างหม้อน้ำสำหรับล้าง

ศึกษาวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เครื่องล้างหม้อน้ำสำหรับล้าง เมื่อทำการสร้าง พัฒนาและทดลองเสร็จเรียบร้อยแล้ว ล้วนมีค่าใช้จ่ายในส่วนงานที่ทำเสมอ การศึกษาถึงค่าใช้จ่ายส่วนต่างๆ รวมถึงกำไรในการทำงาน ทั้งนี้กำหนดลักษณะงานจะใช้แรงงานคนจำนวน 2 คนในการป้อนหม้อน้ำ และเก็บหม้อน้ำหลังจากกระบวนการล้างเสร็จสิ้น

#### 3.9.1 ศึกษาค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการล้างหม้อน้ำ

ค่าใช้จ่ายในการทำงานจากการล้างหม้อน้ำสำหรับล้างด้วยเครื่องล้างหม้อน้ำสำหรับล้าง เครื่องนี้ โดยจะคำนวณจาก ต้นทุนคงที่ และต้นทุนผันแปร เพื่อทราบค่าใช้จ่ายและควบคุมค่าใช้จ่ายล่วงหน้า ยังทำให้เกษตรกรประเมินกำไรเพื่อไม่ให้เสียค่าใช้จ่ายโดยสิ้นเปลือง

$$DP = (P-S)/L \quad (3.2)$$

โดยที่ P คือ ราคาซื้อของเครื่องจักร (Bath)

S คือ ราคาขายหรือคงเหลือเมื่อเครื่องจักรหมดอายุ (bath)

L คือ อายุการใช้งานของเครื่องจักร (year)

#### 3.9.2 ศึกษาระยะเวลาการคืนทุนของเครื่องล้างหม้อน้ำสำหรับล้าง

การศึกษาระยะเวลาคืนทุนเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลงานการสร้างเครื่องล้างหม้อน้ำสำหรับล้างนั้นสมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้น เป็นจุดสำคัญที่ทำให้เกษตรกรนั้นตัดสินใจที่จะใช้เครื่องล้างหม้อน้ำสำหรับล้างนี้ต่อ เมื่อศึกษาถึงระยะเวลาคืนทุนของเครื่องจะคิดในระยะเวลา 1 ปี โดยที่จะได้ทุนคืนภายในปีนั้นจึงจะเป็นเครื่องที่ดีและส่งผลดีต่อเกษตรกร

$$PBP = P/R \quad (3.3)$$

โดยที่ PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (year)

P = ราคาเครื่องจักร (Bath)

R = กำไรสุทธิต่อปี (Bath/year)

## บทที่ 4

# ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

### 4.1 ผลการศึกษาเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง

#### 4.1.1 ผลการศึกษาเหง้ามันสำปะหลัง

เหง้ามันสำปะหลังมีลักษณะพื้นผิวที่ไม่เรียบ ผิวขรุขระ โดยขนาดของเหง้ามันสำปะหลังที่วัดมีขนาดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ ความกว้าง 10.2 cm ความยาว 40.4 cm และความหนา 6.7 cm (จุฑาพิชญ์ และคณะ, 2561) ช่วงที่เก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเป็นช่วงเดือนกันยายน – ตุลาคม พ.ศ. 2564 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน จึงทำให้เหง้ามันที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตยังมีการชุ่มน้ำบางส่วนทำให้เหง้ามันยังมีน้ำนํกอยู่พอประมาณ โดยการหาความชื้นหาได้จากการนำตัวอย่างของเหง้ามันสำปะหลังมาอบให้แห้งเป็นชิ้นเล็กๆเท่าที่จะเล็กได้ นำไปใส่ในกระป๋องอลูมิเนียมเก็บตัวอย่าง 5 g จำนวน 5 ตัวอย่าง อบแห้งด้วยวิธีการอบแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักสุดท้ายเพื่อทำการวิเคราะห์ค่าความชื้น จากการทดลองพบว่าความชื้นเฉลี่ยของเหง้ามันสำปะหลังในการทดลองครั้งนี้มีค่าเท่ากับ  $47.30 \pm 2.30$  %

#### 4.1.2 ผลการศึกษาการล้างเหง้ามันสำปะหลัง

ผลการศึกษาที่ได้จากการศึกษาหาข้อมูลเพื่อเป็นต้นแบบในการหาประสิทธิภาพของเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง ด้วยการอ้างอิงจากการทำความสะอาด โดยทำความสะอาดเหง้ามันสำปะหลังด้วยการล้างน้ำแล้วใช้แปรงขัดด้วยมือ พบว่า ค่าเฉลี่ยของทรายหลังจากการทำความสะอาดแล้วนำทรายมาชั่งหาน้ำหนักเพื่อเปรียบเทียบ 3 ชุด แต่ละชุดจะทำการทดลอง 5 ซ้ำ ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้ น้ำหนักจะอยู่ที่ เหง้ามันน้ำหนัก 4 kg น้ำหนักทรายเฉลี่ย  $3.91 \pm 0.51$  g เหง้ามันน้ำหนัก 5 kg น้ำหนักทรายเฉลี่ย  $4.35 \pm 0.33$  g และเหง้ามันน้ำหนัก 6 kg น้ำหนักทรายเฉลี่ย  $5.16 \pm 0.66$  g นำมาเป็นตัวตั้งต้นคิดเป็นประสิทธิภาพ 100% ในการทำความสะอาดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 กำหนดการอ้างอิงประสิทธิภาพทำความสะอาด 100%

Cassava rhizome (kg)	Average weight of sand (g)
4	$3.91 \pm 0.51$
5	$4.35 \pm 0.33$
6	$5.16 \pm 0.66$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 สถานะที่เหมาะสมสำหรับการล้างหมันด้วยเครื่องล้างหมันสำปะหลัง

การทดลองในหัวข้อนี้ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken แบบ 3 ปัจจัยแต่ ละปัจจัยมี 3 ระดับคือ -1, 0 และ 1 โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลในการอบแห้งจำนวน 3 ปัจจัยคือ ความเร็ว รอบของดรัม (X1) มีระดับของปัจจัยเท่ากับ 20(-1), 25(0) และ 30(1) rpm องศาของดรัม (X2) กำหนดแต่ละระดับของปัจจัยเท่ากับ 4(-1), 5(0) และ 6(1) Degree และอัตราการป้อนหมันหมัน สำปะหลังให้กับเครื่องล้างหมัน (X3) มีระดับของปัจจัยเท่ากับ 4(-1), 5(0) และ 6(1) kg/min ดัง แสดงในตารางที่ 4.2 ต่อ ค่าตอบสนองคือปริมาณน้ำหนักของทราย มีสิ่งทดลองทั้งสิ้นจำนวน 15 สิ่ง ทดลองโดยเป็นการทดลอง ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลาง 3 สิ่งทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.2** ความเร็วรอบของดรัม องศาของดรัม และอัตราการป้อนหมันหมันสำปะหลัง ที่ใช้ในการ ทดลองหาประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องล้างหมันสำปะหลัง

ตัวแปร	รหัส	ระดับค่าตัวแปร		
		1	0	-1
ความเร็วของดรัม (rpm)	X <sub>1</sub>	30	25	20
องศาของดรัม (Degree)	X <sub>2</sub>	6	5	4
อัตราการป้อนหมันหมัน (kg/min)	X <sub>3</sub>	6	5	4

### 4.2.1 ลักษณะการล้างหมันหมันสำปะหลังผ่านเครื่องล้างหมัน

การทดลองล้างหมันหมันผ่านเครื่องล้างหมันหมันสำปะหลังโดยใช้น้ำช่วยในการทำความสะดวก ตามรูปแบบการทดลองแบบ ข พบว่าจากผลการวิเคราะห์ทาง สถิติของอัตราการล้างอย่างมี ประสิทธิภาพสูงสุด พบว่าสิ่งทดลองที่ให้ประสิทธิภาพการล้างสูงสุดที่มีค่าสูงอย่างไม่แตกต่าง กันทาง สถิติได้แก่ สิ่งทดลองที่ 8, 14 และ 15 โดยมีค่าประสิทธิภาพการทำความสะอาดสูงสุดอยู่ในช่วง 85.50–87.04% แต่เนื่องจากสิ่งทดลองที่ 7 จะมีอัตราการป้อนที่น้อยที่สุดในการทดลองที่มี ประสิทธิภาพที่สูงสุดจึงไม่นำมาอยู่ในกลุ่ม แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองแบบ Box-Behnken

Run	X <sub>1</sub> (rpm)	X <sub>2</sub> (Degree)	X <sub>3</sub> (kg/min)	Efficiency	Capacity(kg/hr)
1	20	4	5	81.72%	300
2	30	4	5	81.21%	300
3	20	6	5	80.89%	300
4	30	6	5	83.44%	300
5	20	5	6	81.28%	360
6	30	5	4	83.37%	240
7	20	5	4	85.70%	240
8	30	5	6	87.04%	360
9	25	4	4	85.11%	240
10	25	6	4	82.14%	240
11	25	4	6	83.43%	360
12	25	6	6	84.92%	360
13	25	5	5	84.77%	300
14	25	5	5	85.51%	300
15	25	5	5	85.69%	300

จากผลการวิเคราะห์หารูปแบบสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสะอาดกับปัจจัยของการทำความสะอาดของเครื่องล้างหม้อนึ่งสำหรับ 3 ปัจจัยคือ ความเร็วของดรัมในสมการแทนด้วย A(X<sub>1</sub>), องศาของดรัมแทนด้วย B(X<sub>2</sub>) และอัตราการป้อนหม้อนึ่งสำหรับหม้อนึ่งแทนด้วย C (X<sub>3</sub>) มีรูปแบบความสัมพันธ์ดังสมการที่ 4.1

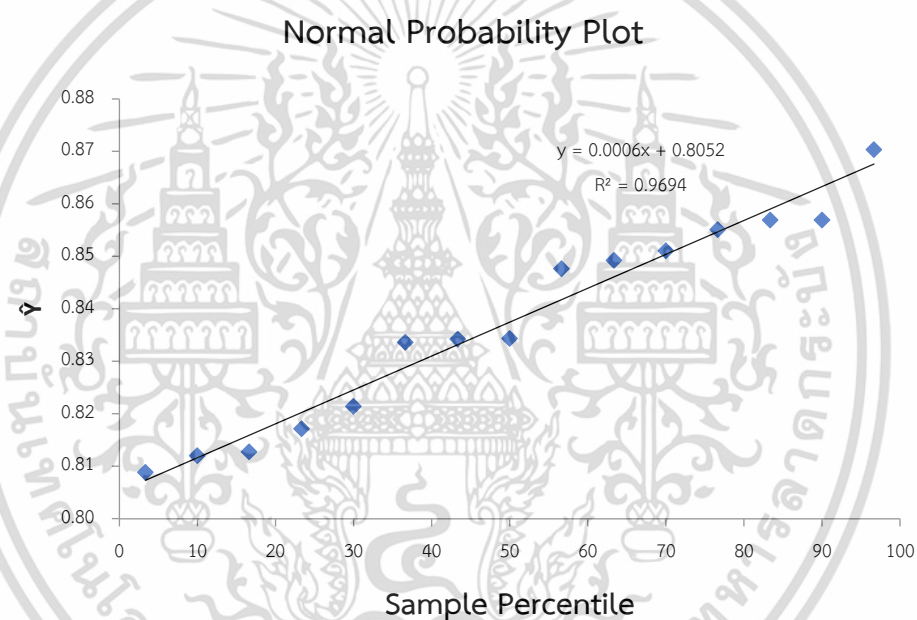
#### Regression Equation in Uncoded Units

$$\text{Efficiency} = 445 \times 10^{-3} + 26.3 \times 10^{-3} A + 103.7 \times 10^{-3} B - 90.3 \times 10^{-3} C - 0.613 \times 10^{-3} AA - 1.978 \times 10^{-3} BB + 5.54 \times 10^{-3} CC + 1.53 \times 10^{-3} AB - 0.38 \times 10^{-3} AC + 11.15 \times 10^{-3} BC \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการทดสอบเครื่องล้างหม้อล้างน้ำสําปะหลัง

จากการทดลองเครื่องล้างหม้อล้างน้ำสําปะหลัง ตามการออกแบบการทดลอง BBD โดยออกแบบการทดลองเป็น 3 ปัจจัยหลักคือ การทดสอบด้านความเร็วรอบของดรัม การทดสอบองศาของดรัม และการทดสอบอัตราการป้อนหม้อล้างน้ำสําปะหลังลงในเครื่องทำการล้างหม้อ เพื่อทำการหาประสิทธิภาพและสมรรถนะที่ดีที่สุดของเครื่องล้างหม้อล้างน้ำสําปะหลังนี้ จากการทดลองได้กำหนดการทำงานของเครื่องด้วยความเร็วของดรัม 3 ระดับ ในการทดสอบอยู่ที่ 30, 25 และ 20 rpm กำหนดองศาของเครื่องอยู่ที่ 6, 5 และ 4° และได้กำหนดอัตราการป้อนหม้อล้างน้ำสําปะหลังลงในเครื่องอยู่ที่ 6, 5 และ 4 kg/min ตามลำดับ ผลจากการทดลองทั้งหมดนี้ได้นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นได้สมการ  $y = 0.0006x + 0.8052$  และพบว่าค่าความเชื่อมั่นของความสัมพันธ์นี้  $R^2 = 0.9694$  สามารถแสดงได้ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความการันยการทำงานการทำงานของเครื่องล้างหม้อล้างน้ำสําปะหลังแบบเปอร์เซ็นต์ไทล์

เมื่อแจกแจงจากการทดสอบทาง ANOVA จะพบว่าค่า F ที่ได้ นั้นจะมีค่ามากกว่า ค่า Significance F ซึ่งหมายถึงการทดลองหาค่าความถดถอยนั้นมีนัยสำคัญในระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งเป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้ตาม สมการการความถดถอยที่ได้จากการการคำนวณหาค่าน้ำหนักของมัน สำปะหลังเมื่อได้แจกแจงตามรูปแบบของตารางเปอร์เซ็นต์นั้นจำได้ค่าตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 PROBABILITY OUTPUT เครื่องล้าห่ง้ำมันสำปะหลัง

Percentile	$\hat{Y}$
3.3333	0.8089
10.0000	0.8121
16.6667	0.8128
23.3333	0.8172
30.0000	0.8214
36.6667	0.8337
43.3333	0.8343
50.0000	0.8344
56.6667	0.8477
63.3333	0.8492
70.0000	0.8511
76.6667	0.8551
83.3333	0.8569
90.0000	0.8570
96.6667	0.8704

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย จากการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแปร พบว่า ความเร็วเชิงกับมุมเอียงไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และความเร็วเชิงเส้นกับอัตราการป้อน พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ จากการวิเคราะห์ ปัจจัยมุมเอียงกับอัตราการป้อน พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการวิเคราะห์ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้ง 3 พบว่าปัจจัยแต่ละปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ ความแปรปรวนแบบทางเดียวของแต่ละปัจจัย ได้แก่ ความเร็วรอบ องศาของดรัม และอัตราการป้อน เหน้้ำมันสำหรับปั๊ม ที่ส่งผลต่อค่าความสะอาด จากการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยความเร็วรอบ และองศาของดรัม ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความสะอาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และ ปัจจัยอัตราการป้อน เหน้้ำมันสำหรับปั๊ม มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความสะอาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (\*Feed rate 0.049) การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ค่า F-value เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่จำแนกออก 3 กลุ่ม โดยจะทำการทดสอบก่อนว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยหรือไม่ หากพบว่ามีค่าแตกต่างของค่าเฉลี่ย จึงค่อยไปทำการเปรียบเทียบรายคู่ (Multiple comparison) จากการทดลองค่า p-value > 0.05 ไม่ถือว่าต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทางสถิติ แสดงในตารางที่ 4.5

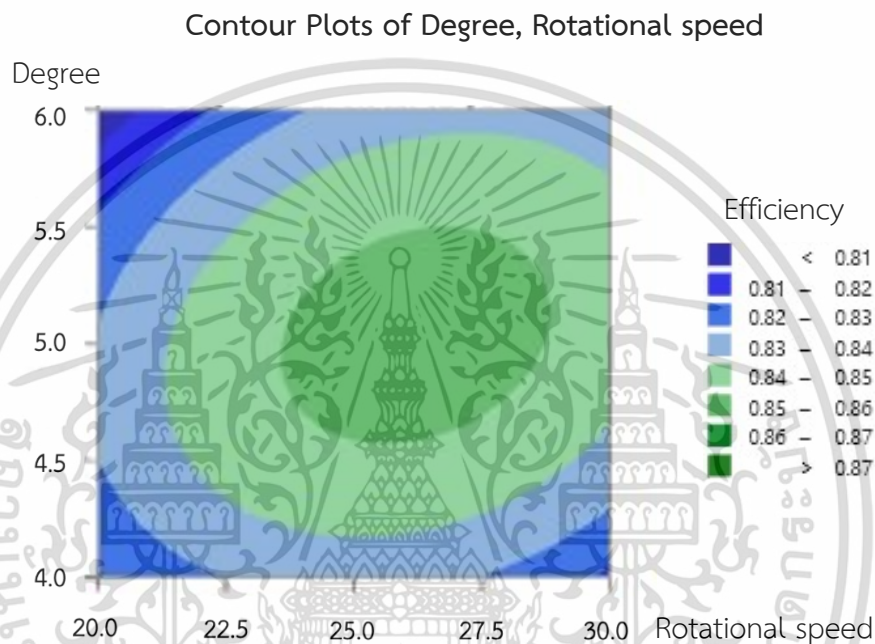
ตารางที่ 4.5 Analysis of Variance เครื่องล้างเห้้ำมันสำหรับปั๊ม

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0.004571	0.000508	3.23	0.105
Linear	3	0.001429	0.000476	3.03	0.132
Rotational speed	1	0.000375	0.000375	2.38	0.183
Degree	1	0.000000	0.000000	0.00	0.984
Feed rate	1	0.001054	0.001054	6.71	0.049*
2-Way Interaction	3	0.000746	0.000249	1.58	0.304
Rotational speed*Degree	1	0.000234	0.000234	1.49	0.277
Rotational speed*Feed rate	1	0.000014	0.000014	0.09	0.774
Degree*Feed rate	1	0.000498	0.000498	3.17	0.135
Error	5	0.000785	0.000157		
Lack-of-Fit	3	0.000738	0.000246	10.39	0.089
Pure Error	2	0.000047	0.000024		
Total	14	0.005357			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.1 อิทธิพลขององศาและความเร็วรอบของดรัมเครื่องล้างแห้งผ้าสำหรับผ้า

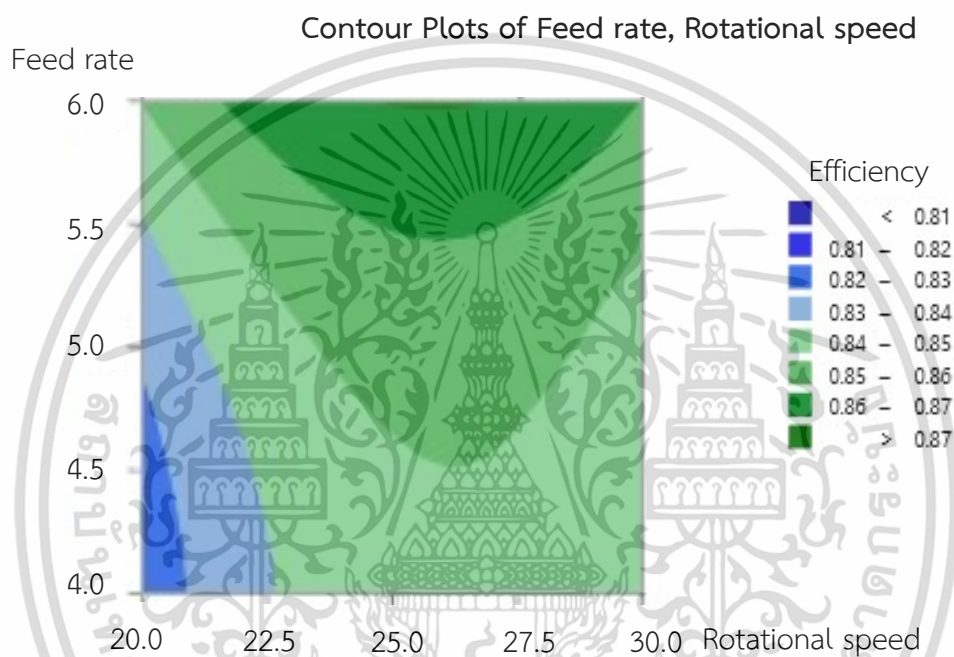
วิเคราะห์การทดลองที่ได้จากการแสดงของกราฟ องศาความชื้นของเครื่องและความเร็วเชิงเส้นที่มีผลต่อความสัมพันธ์ของน้ำหนักทรายที่ชำระล้าง ประสิทธิภาพการทำความสะอาดจะอยู่ที่ 85.40% โดยเป็นค่าที่ดีที่สุด ซึ่งจะมีองศาของดรัมอยู่ที่  $5.02^{\circ}$  และความเร็วรอบของดรัมจะอยู่ที่ 26.15 rpm จะแสดงดังรูปที่ 4.2 เมื่อพิจารณา องศาของและความเร็วรอบดรัมประสิทธิภาพที่ดีที่สุด จะอยู่ในระดับค่ากลางของการทดลองแบบ BBD



รูปที่ 4.2 กราฟ Contour องศาของดรัมและความเร็วรอบของเครื่องล้างแห้งผ้าสำหรับผ้า

#### 4.3.2 อิทธิพลของอัตราการป้อนเหง้ามันและความเร็วรอบของดรัมเครื่องล้างเหง้ามัน ลำปะหลัง

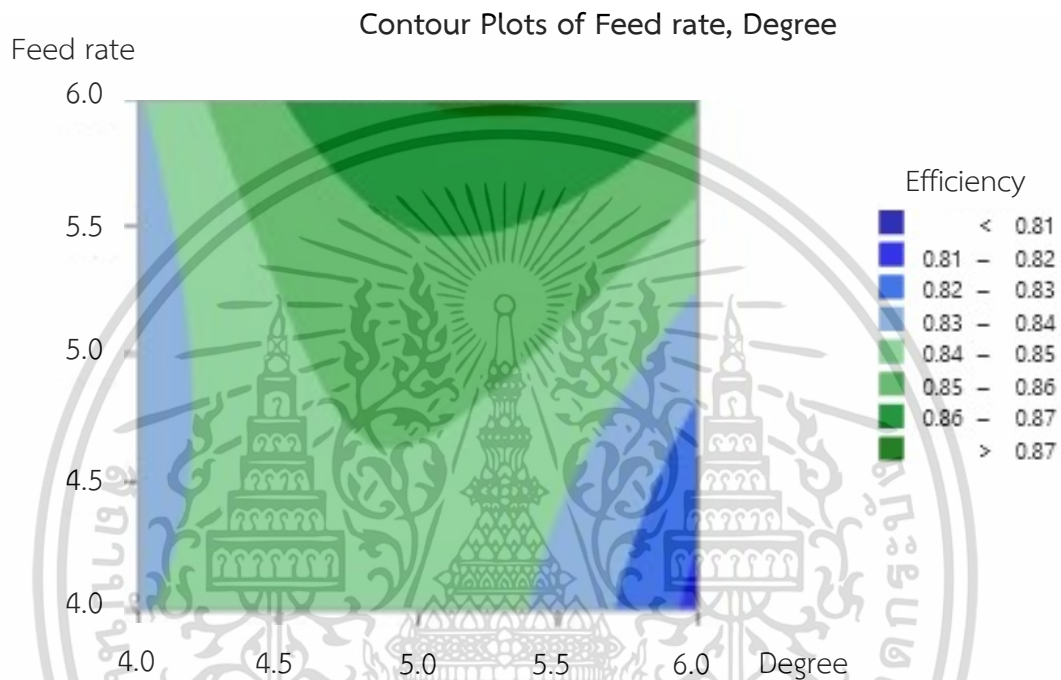
วิเคราะห์การทดลองที่ได้จากการแสดงของกราฟ อัตราการป้อนและความเร็วเชิงเส้นที่มีผลต่อความสัมพันธ์ของน้ำหนักทรายที่ชำระล้าง ประสิทธิภาพการทำความสะอาดจะอยู่ที่ 87.03% โดยเป็นค่าที่ดีที่สุด ซึ่งจะมีอัตราการป้อนเหง้ามันลำปะหลังให้แก่เครื่องอยู่ที่ 6 kg/min และความเร็วรอบของดรัมจะอยู่ที่ 25.77 rpm จะแสดงดังรูปที่ 4.3 เมื่อพิจารณากราฟ อัตราการป้อนมีผลอย่างมากที่จะส่งผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องล้างเหง้ามันลำปะหลังที่ได้จากการทดลองแบบ BBD



รูปที่ 4.3 กราฟ Contour อัตราการป้อนเหง้ามันและความเร็วรอบของดรัมเครื่องล้างเหง้ามันลำปะหลัง

#### 4.3.3 อิทธิพลขององศาของดรัมและอัตราการป้อนเหง้ามันสำปะหลัง

วิเคราะห์การทดลองที่ได้จากการแสดงของกราฟ องศาความชันของเครื่องล้างและอัตราการป้อนเหง้ามันสำปะหลังที่มีผลต่อความสัมพันธ์ของน้ำหนักทรายที่ชำระล้าง ประสิทธิภาพการทำความสะอาดจะอยู่ที่ 87.18% โดยเป็นค่าที่ดีที่สุด ซึ่งจะมีองศาของดรัมอยู่ที่  $5.29^{\circ}$  และจะมีอัตราการป้อนเหง้ามันสำปะหลังให้แก่เครื่องอยู่ที่ 6 kg/min จะแสดงดังรูปที่ 4.4 เมื่อพิจารณาจากการพ อัตราการป้อนส่งผลอย่างมากในประสิทธิภาพของเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลังที่ได้จากการทดลองแบบ BBD

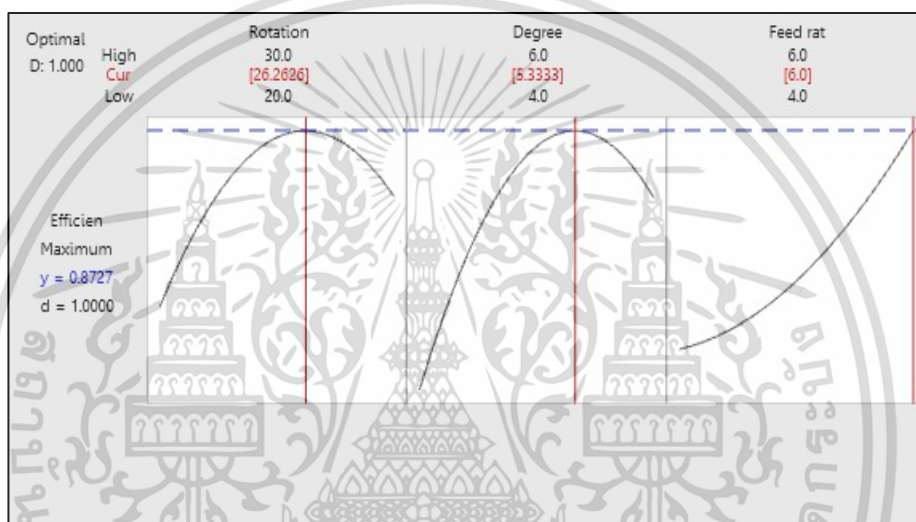


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.4 การหาค่าสภาวะที่เหมาะสม (Optimization plot)

เมื่อนำสมการ ศึกษาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการล้างหมักด้วยเครื่องล้างหมักสำหรับลำปะหลัง จะได้สภาวะที่เหมาะสมในการล้างหมักให้มีประสิทธิภาพในด้านความสะอาดสูงสุด จะแสดงดังรูปที่ 4.5 ได้ดังนี้

ความเร็วรอบของดรัมแทนด้วย Rotational speed	= 26.26 rpm
องศาของดรัมแทนด้วย Degree	= 5.33
และอัตราการป้อนหมักสำหรับลำปะหลังแทนด้วย Feed rate	= 6 kg/min
ประสิทธิภาพการทำความสะอาด	= 0.8727 หรือ 87.27%



รูปที่ 4.5 สภาวะที่เหมาะสม ของความเร็วรอบ องศาของดรัม และอัตราการป้อนของเครื่องล้างหมักสำหรับลำปะหลัง

#### 4.3.5 การตรวจสอบความถูกต้องของประสิทธิภาพการล้างหมันด้วยเครื่องล้างหมัน หมันสำปะหลังระหว่างค่าที่ได้จากการทำนาย และค่าที่ได้จากการทดลอง

เพื่อทำการยืนยันสถานะที่เหมาะสมในการทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างหมันมี ประสิทธิภาพสูงสุด โดยทำการทดลองภายใต้ข้อจำกัดของความสามารถในการทำงาน ของเครื่องล้าง หมันสำปะหลังที่เหมาะสมในการล้างหมันด้วยความเร็วรอบของดรัม 30 rpm องศาของดรัมอยู่ ที่ 5° และอัตราการป้อนหมันสำปะหลังอยู่ที่ 6 kg/min ทำการทดลองล้างหมันตามสภาวะ ดังกล่าวจำนวน 3 ซ้ำเพื่อทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ย (One- Sample t-test) แสดงดังตารางที่ (4.6)  $H_0 : \mu = 0.8727$  และ  $H_0 : \mu \neq 0.8727$  โดยจะได้ค่าสถิติ  $P = 0.149$  ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายอมรับ สมมติฐานหลักได้ ( $H_0 : \mu = 0.8727$ ) นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการชำระล้างทรายอยู่ที่ 0.8595 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยการทดสอบค่าเฉลี่ย

Variable	N	Mean	St Dev	SE Mean	P
experiment	3	0.8595	0.0099	0.0057	0.149

#### 4.4 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องล้างหมัมน้ำสำหรับล้าง

กรณีศึกษาการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในการนำเครื่องปอกเปลือกสับปะรดมาใช้ทดแทนแรงงานคน มีข้อมูลประกอบการคำนวณ ได้แก่ ราคาของเครื่องล้างหมัมน้ำสำหรับล้าง 50,000 บาท ใช้แรงงานคนปฏิบัติงาน 2 คน ความสามารถในการทำงาน 360 kg/hr กำหนดให้เครื่องทำงาน 6 ชั่วโมง/วัน ทำงานปีละ 300 วัน สามารถคิดค่าใช้จ่ายในการทำงาน ระยะเวลาคืนทุนของการใช้เครื่องล้างหมัมน้ำสำหรับล้างได้ดังนี้

##### 4.4.1 ค่าใช้จ่ายในการทำงาน

ค่าใช้จ่ายในการทำงานที่สามารถคำนวณได้จาก ต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณ ดังนี้

ก) ต้นทุนคงที่ (Fixed cost) ไม่รวมค่าใช้สถานที่โรงงานค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) คิดค่าเสื่อมราคา (DP) แบบ Straight-line method คำนวณได้จากสมการที่ (3.2)

ราคาของเครื่องล้างหมัมน้ำสำหรับล้าง 50,000 บาท ให้มูลค่าซากของเครื่องเมื่อสิ้นปีที่ 5 มีมูลค่าเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ ของราคาต้นทุนเครื่อง

ดังนั้น ราคาซากเครื่อง (S) =  $(10/100)(50,000) = 5,000$  บาท

ดังนั้น ค่าเสื่อมราคา (DP) =  $(P-S)/L = (50,000-5,000)/5 = 9,000$  บาท

ดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาส (Interest on investment) คิดค่าเสียโอกาสคำนวณได้จากสมการที่ (4.2)

$$(I) = ((P+S)/2)(i/100) \quad (4.2)$$

โดยที่ i คือ อัตราดอกเบี้ยต่อปี(%) กำหนดให้อัตราดอกเบี้ยต่อปี 10%

ดังนั้น ค่าเสียโอกาสต่อปี =  $((50,000+5,000)/2)(10/100)$  เท่ากับ 2,750 บาท/ปี

รวมต้นทุนคงที่ต่อปี (Fixed cost) =  $9,000+2,750$  เท่ากับ 11,750 บาท/ปี

ข) ต้นทุนผันแปร (Variable cost)

1. ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา (Repair and maintenance) คิดเฉลี่ยประมาณวันละ 5 บาท ทำงาน 300 วัน ค่าบำรุงรักษา =  $5 \times 300 = 1,500$  บาท/ปี

2. ค่าไฟฟ้า จากขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ทั้งหมด 1.5 kw (2HP) จะสิ้นเปลืองค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 7.79 หน่วย/วัน ราคาไฟฟ้าในปี 2564 หน่วยละ 4.5 บาท (35.05 บาท/วัน) ใน 1 ปีทำงาน 300 วัน คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ  $(7.79)(4.5)(300) = 10,514$  บาท/ปี

3. ค่าน้ำที่ต้องจ่าย น้ำที่ใช้จำนวน 20 ลิตร/วัน เนื่องจากเป็นภาคธุรกิจขนาดเล็ก การประปาส่วนภูมิภาคกำหนดค่าน้ำขั้นต่ำในขนาดไม่เกิน 10 m<sup>3</sup> ต่อเดือน ในอัตรา 160 บาท/เดือน ในระยะเวลาทั้ง 1 ปี จะต้องจ่ายค่าน้ำทั้งสิ้นเป็นเงิน 4,800 บาท

4. ค่าจ้างแรงงาน อัตราการรับจ้างแรงงานวันละ 350 บาท จำนวน 2 คน ทำงาน 300 วัน คิดเป็น ค่าจ้างแรงงาน =  $(350)(300)(2) = 210,000$  บาท/ปี

รวมต้นทุนผันแปร =  $1,500+10,514+4,800+210,000 = 226,814$  บาท/ปี

คิดต้นทุนในการใช้งานของเครื่องล้างแห้งน้ำมันสำหรับล้าง โดยรวมต้นทุนคงที่กับต้นทุนผันแปร เท่ากับ  $4,700+226,814 = 231,514$  บาท/ปี

ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาทต่อกิโลกรัม) ของเครื่องล้างแห้งน้ำมันสำหรับล้างที่ทำกรล้างแห้งน้ำมันสำหรับล้าง 1 ปี เวลาทำงาน 1,800 ชั่วโมง ความสามารถในการทำงาน 360 kg/hr จะได้เท่ากับ  $222,714/(1,800)(360) = 0.35$  บาท/ชั่วโมง

#### 4.4.2 ระยะเวลาการคืนทุนของเครื่องล้างแห้งน้ำมันสำหรับล้าง

รายละเอียดของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณระยะเวลาคืนทุนมี ดังนี้

- ต้นทุนผันแปร คือ ค่าผลรวมของค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา ค่าไฟฟ้า และค่าจ้างแรงงาน
- ต้นทุนรวม คือ ต้นทุนผันแปรรวมกับดอกเบี้ย
- ใช้แรงงานคนของเกษตรกร ราคาที่ขายแห้งน้ำมันอยู่ที่ 0.6 บาท/ชั่วโมง เครื่องล้างแห้งน้ำมันสำหรับล้างอัตราทำงาน 360 kg/hr อัตราการทำงานเท่ากับ 216 บาท/ชั่วโมง

• ผลประโยชน์สุทธิ คือ ผลต่างระหว่างผลประโยชน์ที่ได้รับกับต้นทุนรวม

• ระยะเวลาคืนทุน คือ ผลหารระหว่างราคาซื้อเครื่องกับผลประโยชน์สุทธิ

ชั่วโมงการทำงาน	1,800 ชั่วโมง/ปี	
ดอกเบี้ย	2,750 บาท/ปี	
ต้นทุนแปรผัน	226,814 บาท/ปี	
ต้นทุนรวม	$226,814+2,750$	= 229,564 บาท/ปี
ผลประโยชน์ที่ได้รับ	$1,800 \times 216$	= 388,800 บาท/ปี
ผลประโยชน์สุทธิ	$388,800-229,564$	= 159,236 บาท/ปี

คำนวณระยะเวลาคืนทุนจากสมการที่ (3.3)

$$(50,000/159,236) \times 12 = 3.77 \text{ เดือน}$$

ดังนั้นถ้า 1 ปี ทำงาน 1,800 ชั่วโมง ระยะเวลาคืนทุน จะเท่ากับ 3.77 เดือน

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบพื้นผิวตอบสนอง โดยวิธี Box-Behnken Design เครื่องล้างหมั่มสำหรับล้างที่ออกแบบนั้นมีการทำงานที่ดีที่สุดในการชะล้างหมั่มสำหรับล้างที่ดีที่สุด ความเร็วรอบของดรัมอยู่ที่ 30 rpm องศาของดรัมอยู่ที่ 5° และอัตราการป้อนหมั่มสำหรับล้างอยู่ที่ 6 kg/min ซึ่งมีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดอยู่ที่ 87.04% ความสามารถในการทำงานของเครื่องล้างหมั่มจะอยู่ที่ 360 kg/hr ในสภาวะความชื้นที่ 47.30% เครื่องล้างหมั่มสำหรับล้างมีอัตราการใช้น้ำเฉลี่ย 20 ลิตรต่อครั้ง เพื่อทำการยืนยันสภาวะที่เหมาะสมในการทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างหมั่มมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานยอมรับสมมติฐานหลักที่แม่นยำในการเปรียบเทียบกับเครื่องล้างหมั่มสำหรับล้างต้นแบบ (จุฑาทิพย์ และคณะ, 2561) ซึ่งพบว่าหลังจากการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องล้างหมั่มสำหรับล้างส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำความสะอาดที่ได้จากการทดสอบมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำ เมื่อเทียบกับเครื่องต้นแบบ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานและความแม่นยำของตัวเครื่องล้างหมั่มสำหรับล้างได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้ง ในงานวิจัยนี้ได้มีการคัดแยกดินละเอียดออกจากเศษทราย และเศษวัสดุต่างๆ ที่ปะปนกับทรายละเอียดมากยิ่งขึ้น เมื่อทำการคำนวณจึงส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความสะอาดมีแนวโน้มกับความแม่นยำมากที่สุด จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนโดยวิธีทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เลือกใช้วิธี Pay-back period เพื่อประเมินระยะเวลาในการคืนทุนของตัวเครื่อง เมื่อกำหนดสถานะการทำงานของเครื่องล้างหมั่มสำหรับล้างในสภาวะที่เหมาะสมที่สุด และกำหนดอัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำ 16 l/min อัตราการใช้ น้ำเฉลี่ย 20 ลิตรต่อครั้ง ในระบบ พบว่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมเฉลี่ยอยู่ที่ 1.5 kW/hr ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในการทำงาน 35.05 บาทต่อวัน ดังนั้นการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องล้างหมั่มสำหรับล้างใน 1 ปี ทำงาน 1,800 ชั่วโมง ระยะเวลาคืนทุน จะเท่ากับ 3.77 เดือน หรือ 4 เดือน

### 5.2 อิทธิพลที่ส่งผลต่อการทำงาน

ในการออกแบบเครื่องล้างหมั่มสำหรับล้าง ได้มีการทดสอบการทำงาน 3 ปัจจัย คือ การทดสอบความเร็วรอบของดรัม องศาของดรัม และอัตราการป้อนหมั่มสำหรับล้างของเครื่องที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพและสมรรถนะด้านการทำความสะอาด ซึ่งส่วนที่ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องล้างหมั่มสำหรับล้างอย่างมากจะเป็นอัตราการป้อนหมั่มสำหรับล้างมีนัยสำคัญอย่างมากต่อประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องในการชำระล้างทำความสะอาดทรายที่ติดมากับหมั่ม และปัจจัยอื่นๆมีผลแต่ยังไม่เทียบเท่ากับปัจจัยทางด้านอัตราการป้อนหมั่มสำหรับล้าง ซึ่งสมการการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถดถอยกำลังสองมีค่า  $R^2 = 0.9694$  ได้ทำนายได้อย่างเหมาะสมเกี่ยวกับการทำงานรวมทั้ง 3 ปัจจัย เพื่อหา ความเร็วรอบของดรัม องศาของดรัมและอัตราการป้อนเหง้ามันสำปะหลัง ที่ดีที่สุดในการทำงานของเครื่อง

### 5.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในการทดลองแต่ละครั้งจะมีการสูญเสียน้ำออกจากระบบไปบ้างเนื่องจาก แรงสั่นสะเทือนของเครื่องจักรและน้ำที่เกาะอยู่กับผิวเหง้ามันสำปะหลัง ควรตรวจเช็คระดับน้ำสม่ำเสมอให้เพียงพอต่อการทำงานของเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง

5.3.2 ในการสร้างเครื่องที่มีขนาดใหญ่ จะต้องอ้างอิงความเร็วรอบของดรัม องศาของดรัม และอัตราการป้อนเหง้ามันสำปะหลังจากการทดลองครั้งนี้เพื่อนำไปสู่การทำงานที่ใช้ได้จริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- จุฑาพิชญ์ วงษ์ชาลี, ชัยภัทร ชื่นจิตร และชัยสิทธิ์ ศิริวิชัย. 2560. เครื่องล้างเหง้ำมันสะปะหลัง. ปริญญาานิพนธ์ระดับปริญญาบัณฑิต. คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครสวรรค์, 2564. มั่นสำปะหลัง. จังหวัดนครสวรรค์, สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กัญญา จัตตพรพงษ์. 2555. เครื่องทำความสะอาดหัวมันสำปะหลัง. เกษตรศาสตร์และชีววิทยา, วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พานิช อรุณสุข. 2558. ผลกระทบของเครื่องล้างเหง้ำมันสำปะหลังต่อคุณภาพดินและผลผลิต. วารสารเกษตรศาสตร์ไทย, 40(2), 67-82.
- วิชัย ชัยพรหม. 2562. การปรับปรุงเครื่องล้างเหง้ำมันสำปะหลังเพื่อลดการสูญเสียและพลังงาน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 30(4), 123-137.
- อนุชา พูลสวัสดิ์. 2557. ผลของการใช้เครื่องล้างเหง้ำมันสำปะหลังในการล้างเสื้อผ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กานต์รัตน์ สุขสันต์. 2560. การประเมินประสิทธิภาพเครื่องล้างเหง้ำมันสำปะหลังที่ใช้กับอุตสาหกรรมซึ่งผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทย. รายงานวิจัยระดับปริญญาานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- นายณัฐวุฒิ แสงสว่าง, นางสาวกาญจนา สุระสมาน, นายพรเทพ คำสว่าง. 2562. การศึกษาคุณสมบัติของเครื่องล้างเหง้ำมันสำปะหลังแบบพกพา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร, 12(2), 123-136.
- พยุงค์กิต์ จุลยุเสน, ครธา วาทกิจ, พรรษา ลิปลับ, เทวรัตน์ ทิพยวิมล, วีรชัย อาจหาญ. 2554. การออกแบบและทดสอบเครื่องทำความสะอาดมันสำปะหลัง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 42(3), 501-504.
- วันชัย วิจิรวนิช, ช่อม พลอยมีค่า. 2538. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- นิติพัฒน์ พลอยประดับ, อลงกต อินทรชาติ และ อศิรวัฒน์ ปรีชา. 2557. การพัฒนาเครื่องทำความสะอาดหอยแมลงภู่. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52: สาขาประมง, สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52. (หน้า 210-217). สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นิติพัฒน์ พลอยประดับ, อลงกต อินทรชาติ และ อศิรวัฒน์ ปรีชา. "การพัฒนาเครื่องทำความสะอาด หอยแมลงภู่." ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52, กรุงเทพฯ, 4-7 ก.พ. 2557, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2557. หน้า 210-217.
- ศกร แสนนิล และ ปิติ กันตังกุล. 2560. การจัดการวัตถุติดสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กมาก กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวล จังหวัดปราจีนบุรี. วิศวกรรมสาร มก., 30(102), 37-46.
- สุกัญญา จัดตุพรพงษ์ และ วราพันธ์ จินตณวิชัย. 2552. การใช้ประโยชน์เศษเหลือจากมันสำปะหลัง. มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี.
- พงศ์ศักดิ์ ชลธนะสวัสดิ์, บพิตร ตั้งวงศ์กิจ และ รัตนา ตั้งวงศ์กิจ. 2549. การศึกษาผลกระทบของขนาดรูฉีดยาของหัวสปริงเกลอร์ต่อปริมาณประชากรแมลงศัตรูในการผลิตหน่อไม้ฝรั่ง. เอกสารการประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 6: กำหนดการประชุมและบทคัดย่อ: สัณวัตกรรมพืชสวนไทย เพื่ออาหารปลอดภัยและเศรษฐกิจพอเพียง. การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 6. (หน้า 133). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ คณะเกษตรศาสตร์ ภาควิชาพืชสวน.
- ปองพล ปลื้มสติ และ อติรุช วีระตะนนท์. 2546. การออกแบบและการสร้างเครื่องทำความสะอาด อ้อย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน คณะวิศวกรรมศาสตร์.
- สมศักดิ์ เพียบพร้อม. 2554. อุปสงค์ อุปทานสินค้าเกษตรและการประยุกต์. ประมวลสาระชุดวิชา เศรษฐศาสตร์เกษตร และการจัดการทรัพยากรการเกษตร หน่วยที่ 2, 1-61. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.
- วาริ ศรีสอน, พีรตณย์ คำสิงห์นอก, อภิลิทธิ์ บทสูงเนิน, โทโมคาสุ โอตสุกะ. 2562. ผลของความเร็ว ตะแกรงและมุมเอียง ตะแกรงที่มีต่อชุดคัดแยกดินออกจากหัวแก่นตะวัน. รายงาน การประชุมวิชาการระดับชาติราชชมงคลสุรินทร์ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2562, 225-230. สุรินทร์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์. 19-20 กันยายน 2562, เมือง, สุรินทร์.
- โครงการศิลปากรพัฒนาเศรษฐกิจเชิงสร้างสรรค์, คู่มือการอนุรักษ์ศิลปกรรม: จิตรกรรมบนผืนผ้าใบและงานกระดาษ, มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2560. หน้า 178-179
- Adegbite, S. A., Adeyemi, S. K., Komolafe, A. O., Salami, M. O. Nwaeche, C. F. and Ogunbiyi, A. A. 2018. Design and Development of Fruit Washer. Journal of Scientific Research & Reports. 21(6), 1-11.
- Blank, L.T. and Tarquin, A.J. 1998. Engineering Economy. Mc Graw Publishing, Singapore.
- Akinwonmi AS, Andoh F. Design of a Cassava Uprooting Device. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. 2013;5(2):411-20.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Adebija JA, Farounbi AJ, Agaja F. Energy use in Cassava Tuber Harvesting using a SemiAutomatic Cassava Harvester. *Global Scientific Journals*. 2018;6(4):230-42.
- Jayashree E. & Visvanathan R. (2010) *Journal of Agricultural Engineering (New Delhi)*, 47(4), 37-40.
- Ambrose D. C. & Annamalai S. (2013) *African Journal of Agricultural Research*, 8(24), 3097-3101.
- Phirke P.S. (2004) *Processing and Conveying Equipment Design*. Jain Brothers, New Delhi.
- Mohsenin N.N. (1970) *Physical properties of plant and animal materials*. Vol. 1. Structure, physical characteristics and mechanical properties, 1.
- Wasiya Farzana P., Niruba P. & Adu Emmanuel Adeyemi (2017) *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 782-786.
- Le-Bohec, J. 1993. Development of gentle washers for carrots grown in sandy soils. In *Acta Horticulturae 354, First International Workshop on Carrot*, 235–240. Wageningen: Intl. Soc. Hort. Sci.
- Day, J. M. 1975. Strength of bonding of food soils to dishes. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 52(11): 461–464.
- Mendenhall, T. J., T. D. Negusse, S. G. Solomon, Jr., and R. R. Price. 1988. Design of a vegetable washer for the foodservice industry. *J. Foodservice Syst.* 5: 43–65.
- Monroe, G. E., and M. O'Brien. 1983. Postharvest functions. In *Principles and Practices for Harvesting and Handling Fruits and Nuts*, eds. M. O'Brien, B. F. Cargill, and R. B. Fridley, 307–375. Westport, Conn.: AVI Publishing.
- Ahmad, T., M. Amjad, A. Nawaz, Q. Iqbal and J. Iqbal. 2012. Socio-economic study of carrot cultivation at farm level in the Punjab province of Pakistan. *Afr. J. Agric. Res.* 7:867-875.
- Aslam, H.K.W., A. Shakeel, M. Shoaib, H.A. Sikandar, N. Naheed and M.S. Raza. 2014. Effect of carbonation on the chemical composition and shelf life of carrot juice. *J. Glob. Innov. Agric. Soc. Sci.* 2: 11-15. DOI: 10.17957/JGIASS/2.1.439
- Antony, L. 1987. *A complete course in canning and related process, Book II. The canning trade, Inc., Maryland, USA.* 12:224-225.
- Government of Pakistan. 2011. *Agricultural statistics of Pakistan 2010-11. Economic advisor's wing Finance Division Islamabad.*

- Henderson S.M., R.L. Perry. 1980. Agricultural Process Engineering. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut, USA.
- Jayashree, E. and R. Viswanathan. 2010. Studies on mechanical washing of ginger rhizomes. *J. Agric. Eng.* 47:37-40.
- Kitinoja, L., A.A. Kader. 2002. Small-Scale Postharvest Handling Practices, A Manual for Horticultural Crops (4th Edition), Postharvest Horticulture Series No. 8E (July 2002): 44-45.
- Le-Bohec J. 1993. Development of gentle washers for carrots grown in sandy soils. In *Acta Horticulturae 354, First International Workshop on Carrot*, Wageningen: Intl. Soc. Hort. Sci. pp. 235-240.
- Murray and Judy. 1996. Carrots, Fruit and vegetable facts and pointers. United fresh fruit and vegetable association, N.W. Washington.
- Shakeel, A., H.K.W. Aslam, M. Shoaib, H.A. Skandar and R. Ramzan. 2013. Effect of various hydrocolloids on cloud stability and nutrition of carrot juice. *J. Glob. Innov. Agric. Soc. Sci.* 1: 22-27.
- HanpingC, BinL, HaipingY, GuolaiY, ShihongZ. Experimental investigation of biomass gasification in fluidized bed reactor. *Energy Fuel*, 22 (2008), pp. 3493-3498
- Hunt, D. Farm power and machinery. 10th ed. Iowa, USA: Iowa State University Press; 2001.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## การพัฒนาเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง

### Development of Cassava Root Washing Machine

ประสิทธิ์ชัย มะลอย<sup>1\*\*</sup>, ธีรพงศ์ ผลโพธิ์<sup>1</sup>, บัณฑิต ทองสร้อย<sup>1</sup>

PrasittHichai Maloy<sup>1\*\*</sup>, Teerapong Pholpo<sup>1</sup>, Bandit Thongsroy<sup>1</sup>

<sup>1</sup>นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

<sup>1</sup>Department of Agricultural Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

\*\*Corresponding author: Tel: +66-9-5776-3698, E-mail: benwatoye\_80@hotmail.com

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประเมินประสิทธิภาพของเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง เพื่อยกระดับการผลิต ผลิตภัณฑ์ เหง้ามันสำปะหลัง ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ลดระยะเวลาในการทำงาน เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนแรงงานในภาคเกษตรกรรม เครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลังประกอบด้วย ชุดโครงสร้างของเครื่อง ชุดตะแกรงทรงกระบอก ชุดส่งกำลัง ชุดบีบหัวฉีด ถาดรองน้ำและ ถาดรวมน้ำ ช่องป้อนและช่องออกของเหง้ามันสำปะหลัง การทดสอบหาสมรรถนะ การทำงานของเครื่องต้นแบบโดยใช้ตัวอย่างเหง้า มันสำปะหลัง ระยะเวลา 9 ชั่วโมงต่อวันกำลัง 1hp 3 phase ที่ความเร็วรอบ 15, 20, 25 และ 30 rpm ตามลำดับ มุมเอียงของตะแกรง ทรงกระบอกที่ระดับ 3, 4 และ 5 องศา ผลการทดสอบพบว่าความเร็วรอบที่ดีที่สุดที่ 25 rpm และมุมเอียงที่ดีที่สุดที่ 5 องศา มี ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดอยู่ที่ 88.55% มีความสามารถล้างเหง้ามันสำปะหลังได้ 353 kg h<sup>-1</sup> และมีอัตราการใช้ไฟรวม 1.12 kW h<sup>-1</sup> คิดเป็น 4.40 Baht h<sup>-1</sup> เมื่อทำงานปีละ 300 day วันละ 8 h จะมีระยะเวลาในการคืนทุนที่ 6 day และจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 1,504 kg year<sup>-1</sup>

คำสำคัญ: เครื่องล้าง, ชุดตะแกรงทรงกระบอก, เหง้ามันสำปะหลัง

## Abstract

The objectives of this research were to efficiency assessment of cassava root washing machine. The purpose of this research was to raise production of cassava root to higher performance and safe work-times due to the shortage of labor in the agricultural sector. The machine has the following key components are: 1) the structure of machine, 2) Cylindrical sieve set, 3) Transmission system, 4) Pump nozzle and water tray, and 5) Feed tray and out tray cassava root. The performance of washer was tested by used cassava root variety Rayong-9 variety with a 1 hp 3 phase electric motor. Machine operation test used the speed of the cylindrical sieve at 15, 20, 25, and 30 rpm at the angle of the cylindrical sieve 3, 4, and 5 degrees respectively. The result showed that the best is 25 rpm at 5-degree, cleaning efficiency is 88.55 %, the capacity is 353 kg h<sup>-1</sup>, power consumption rate total is 1.12 kWh<sup>-1</sup> (4.40-baht h<sup>-1</sup>). An engineering economic analysis showed that, for an operation of 300-day year<sup>-1</sup> and 8-hour day<sup>-1</sup>, the break-even period was 6 days and the break-even point was 1,504 kg year<sup>-1</sup>. These findings may benefit cassava farmers in their quest for a higher production capacity with less manual labor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
Keywords: washing machine, Cylindrical sieve set, cassava root

ไม่่งการณีเ้ช้ๆ ห้่งล่่น อ่กห้่งห้่ามม่ให้ด่บ่ล่่งเนือห้่า และห้่งย้่าล่องเง้เง้ล่ของเอ่กส่ล่รห้่ค้ร้่งห้่ม่การน้ไปเอ้

12 – 13 พฤษภาคม 2564 จัดประชุมโดย มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
เดียว 3 hp มีความเร็วในการหมุนของถังปอกที่ 420 rpm  
ประสิทธิภาพในการทำงานที่ 70%

## ➤ บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกง่ายทนทาน ต่อสภาพดินฟ้าอากาศที่แปรปรวน และสามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำจากแนวโน้มสถานการณ์ของมันสำปะหลัง ปี 2564 ของประเทศไทยพบว่า มีพื้นที่เพาะปลูก รวมทั้งประเทศ 8.844 ล้านไร่ เพิ่มขึ้น จากปีที่แล้ว 0.105 ล้านไร่ หรือ 1.20% ผลผลิตรวมทั้งประเทศ 29.909 ล้านตันเพิ่มขึ้น จากปีที่แล้ว 1.379 ล้านตัน หรือ 4.83% ผลผลิตต่อเนื้อที่เก็บเกี่ยว ทั้งประเทศ 3,382 กิโลกรัมต่อไร่ เพิ่มขึ้น จากปีที่แล้ว 117 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 3.58% (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)

การนำเหง้ามันสำปะหลังมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ต้องผ่านกระบวนการทำความสะอาดก่อน เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่อยู่ใต้ดิน จึงทำให้หัวและเหง้ามันสำปะหลังที่ขุดขึ้นมาจากไร่ไม่สะอาด มีเศษดิน เศษทรายปะปนอยู่ หากไม่ทำความสะอาดก่อนนำเข้ากระบวนการแปรรูปจะส่งผลให้ค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ลดลง เพราะมีวัสดุแปลกปลอมปะปนอยู่ และซิลิกาในเม็ดทราย จะหลอมละลายในเตาเผาชีวมวลเนื่องจากโดนความร้อนสูง ซึ่งส่งผลให้เตาเผามีประสิทธิภาพลดลงอีกด้วย ประสิทธิภาพและซีรฟิงส์ (2563)

สุกัญญา (2555) ได้สร้างเครื่องทำความสะอาดหัวมันสำปะหลังเป็นถังหมุนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 m ยาว 6 m ใช้เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวเป็นต้นกำลังในการหมุนถัง ซึ่งจะม้อตราการผลิตอยู่ที่ 18 ตัน/ชั่วโมง มีอัตราการผลิตที่ 45 – 50 ตัน/ชั่วโมง พบว่าเมื่อนำมาทำมันเส้น มันเส้นที่ทำออกมามีทรายปนอยู่เพียง 0.5 %

Adegbite et al. (1999) ได้สร้างเครื่องปอกเปลือกและล้างมันสำปะหลัง ประกอบด้วยห้องสองห้องที่รวมกันเป็นเครื่องเดียวเพื่อทำงานลอกและล้าง โดยล้างทำความสะอาดทรายภายใต้แรงดันผ่านปั้มน้ำ ถังปอกถูกล้อมรอบด้วยพื้นผิวที่หยาบ มีคมมีดซึ่งปอกเปลือกและยังวางในรูปแบบเกลียว (ส่วน) สำหรับการ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการพัฒนา ทดสอบและประเมินผลเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ที่จะช่วยในการล้างเหง้ามันสำปะหลังให้สะอาด ประหยัดเวลาและแรงงานที่ขาดแคลนอยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินประสิทธิภาพและวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง

## ➤ อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 ตัวอย่างเหง้ามันสำปะหลัง

ตัวอย่างเหง้ามันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 นำมาจากชลบุรี โดยมีมิติของเหง้ามันสำปะหลัง ความกว้าง 10.2 cm ความยาว 40.4 cm และความหนา 6.7 cm มีค่าความชื้นอยู่ที่ 12.5% น้ำหนักเฉลี่ยต่อเหง้า 63.43 g

### 2.2 ลักษณะของเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง

เครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง ที่พัฒนาเป็นเครื่องล้างมันสำปะหลังแบบทำงานต่อเนื่องในการปอกเหง้ามันสำปะหลัง (Figure 1) โครงสร้างของเครื่องมีความกว้าง 95 cm ยาว 300 cm และสูง 80 cm ซึ่งมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญอยู่ 6 ส่วน คือ มอเตอร์ต้นกำลัง 1hp ชุดส่งกำลัง ชุดปั้มน้ำฉีด ชุดถาดรองน้ำ ช่องป้อนกับช่องทางออกของเหง้ามันสำปะหลัง และชุดตะแกรงทรงกระบอก (Figure 2) โดยตะแกรงทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 cm ความยาว 240 cm ทำจากเหล็กแผ่นรูขนาดรู 2.54 cm และหนา 1.2 mm ซึ่งภายในตะแกรงทรงกระบอกจะมีท่อน้ำ ประกอบด้วยชุดหัวฉีดแรงดันสูงและแปรงทำความสะอาด เพื่อฉีดชะล้างทำความสะอาด ในขณะที่เดียวกันชุดดรัมจะหมุนตลอดกระบวนการโดยใช้แรงขับเคลื่อนของล้อที่ติดกับเพลลา

กล่าวถึงหัวมันสำปะหลังไปยังรางทำงานอีก ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเพลา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12 – 13 พฤษภาคม 2564 จัดประชุมโดย มหาวิทยาลัยขอนแก่น นำข้อมูลจากการทดสอบไปคำนวณหาความสามารถในการทำงานของเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง และคำนวณค่าต่าง ๆ เพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง ดังนี้



Figure 1 Cassava root washing machine

- ความสามารถในการทำงาน สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ พงษ์ศักดิ์ (2554)

$$Q = \frac{w}{t} \quad (1)$$

เมื่อ  $Q$  คือ อัตราการทำงาน ( $\text{kg h}^{-1}$ )

$w$  คือ น้ำหนักเหง้ามันสำปะหลัง (kg)

$t$  คือ เวลา (hr)

- ประสิทธิภาพการทำความสะอาด สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ พงษ์ศักดิ์ (2554)

$$C = \left( \frac{M_1 - M_2}{M_1} \right) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ  $C$  คือ ประสิทธิภาพการทำความสะอาด (%)

$M_1$  คือ สัดส่วนของดิน ทราย ที่ติดเหง้ามันสำปะหลังต่อน้ำหนักเหง้ามันสำปะหลังรวมก่อนทำความสะอาด (%)

$M_2$  คือ สัดส่วนของดิน ทราย ที่ติดเหง้ามันสำปะหลังต่อน้ำหนักเหง้ามันสำปะหลังรวมหลังทำความสะอาด (%)

#### 2.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนผลของระดับความเร็วรอบและมุมเอียงของตะแกรงแล้วเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีโดยใช้การทดสอบแบบต้นแคณ (Duncan multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

#### 2.6 การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

วันชัย และช่อม (2538) กล่าวว่าเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเป็นการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกโครงการหรือ บริการ ซึ่งมีความมุ่ง

#### 2.3 ตัวแปรในการทดสอบโดยใช้เครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง

ใช้เหง้ามันสำปะหลัง โดยพิจารณาเลือกเหง้ามันสำปะหลังที่มีรูปร่างเหมาะสมที่จะล้างโดยมีตัวแปรในการทดสอบ คือความเร็วรอบ 15, 20, 25 และ 30 rpm และที่มุมเอียงของตะแกรงทรงกระบอก 3, 4 และ 5 องศาตามลำดับ ในการทดสอบครั้งนี้ จะทำการทดลองกลุ่มตัวอย่างละ 30 ครั้ง โดยมีตัวแปรชี้วัด คือความสามารถของเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลัง ( $\text{kg h}^{-1}$ ) และประสิทธิภาพในการทำความสะอาด (%)

#### 2.4 วิธีการทดสอบ

ทำการชั่งน้ำหนักเหง้ามันสำปะหลัง แล้วปรับรอบเครื่องล้างที่ใช้ทดสอบ ปรับมุมเอียงของตะแกรงทรงกระบอก จากนั้นกดสวิตซ์ให้เครื่องทำงาน นำเหง้ามันสำปะหลังในเครื่องล้าง จับเวลาตั้งแต่นำเหง้ามันสำปะหลังใส่เครื่องล้างจนเสร็จ เหง้ามันสำปะหลังที่นำออกจากเครื่องล้าง จะทำการแยกสิ่งสกปรกที่ออกมากับน้ำที่ผ่านเครื่องล้างเหง้ามันสำปะหลังไปชั่งน้ำหนัก แล้วไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเพื่อประหยัดทรัพยากร โดยเน้นความคุ้มค่าและก่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด แต่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด เป็นการประเมินต้นทุนเทียบกับผลตอบแทนที่ได้รับการลงทุน การประเมินค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องล้างหมันสำปะหลัง ในที่นี้คิดเฉพาะราคาที่จัดซื้อหรือไม่คิดค่าที่ดิน โรงเรือน ค่าประกัน โรงเรือน และอื่น ๆ

$$D = (P-S)/L \quad (4)$$

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน

$$R = ((P+S)/2) \times I \quad (5)$$

โดยที่ P = ราคาซื้อหรือสร้างเครื่องล้างหมันสำปะหลัง

(Baht)

L = อายุการใช้งานเครื่องล้างหมันสำปะหลัง

=10 (year)

S = ราคาเครื่องมือใช้งานครบ 10 ปี = 0.1P (Baht)

D = ค่าเสื่อมราคาต่อปี (Baht year<sup>-1</sup>)

R = ค่าเสียโอกาสในการลงทุนต่อปี (Baht year<sup>-1</sup>)

I = อัตราดอกเบี้ยที่ 10% ต่อปี

1. ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (First Cost) ต้นทุนเริ่มแรก คือ ค่าใช้จ่ายสำหรับลงทุนเริ่มต้น เช่น เครื่องจักร ที่ดิน เป็นต้น

2. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operating Cost) ต้นทุนในการดำเนินการ คือ ค่าใช้จ่ายที่ต้องเตรียมไว้เพื่อดำเนินการกับทรัพย์สินที่ต้องลงทุนไปเพื่อให้เกิดผลผลิต

2.1 ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) คือค่าที่คงที่ไม่แปรไปตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าเสื่อมราคา ค่าเสียโอกาสของทุนในเครื่องล้างหมันสำปะหลัง

2.2 ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) คือ ค่าใช้จ่ายที่แปรไปตามปริมาณการผลิตเช่น ค่าไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะแปรเปลี่ยนตามปริมาณหมันสำปะหลังที่นำมาล้างทำความสะอาด

3. ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการล้างหมันสำปะหลัง

$$AC = FC+VC$$

(3)

เมื่อ AC = ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการล้างหมันสำปะหลัง (Baht Year<sup>-1</sup>)

FC = ค่าเสื่อมราคาของเครื่องล้างหมันสำปะหลัง (D) + ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R)

VC = ค่าจ้างแรงงาน (W) + ค่าไฟฟ้า (E) + ค่าบำรุงรักษา (M)

4. จุดคุ้มทุน

Blank and Turquin (1998) เสนอสมการหาจุดคุ้มทุนไว้ดังนี้

$$BEP = FC/(SU-VC) \quad (6)$$

เมื่อ BEP = จุดคุ้มทุน (unit)

FC = ค่าใช้จ่ายคงที่ (Baht)

SU = ราคาขายต่อหน่วย (Baht unit<sup>-1</sup>)

VC = ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อหน่วย (Baht unit<sup>-1</sup>)

5. ระยะเวลาในการคืนทุน

$$PBP = MC/P \quad (7)$$

เมื่อ PMP = ระยะเวลาในการคืนทุน (year)

MC = ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (Baht)

P = กำไร (Baht)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ค่าเสื่อมราคา (คิดวิธีเส้นตรง)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12 - 13 พฤษภาคม 2564 จัดประชุมโดย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

➤ ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการทดสอบหาความสามารถในการทำความสะอาด

จาก Figure 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าที่ความเร็วรอบและมุมเอียงของตะแกรงทรงกระบอกที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการทำ ความสะอาด (Capacity) โดยที่ความเร็วรอบ 15 rpm มุมเอียง ตะแกรง 3, 4 และ 5 องศา มีความสามารถชะล้างเหง้ามันสำปะ ลังเท่ากับ 92, 119 และ 194 kg h<sup>-1</sup> ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 20 rpm มุมเอียงตะแกรง 3, 4 และ 5 องศา มีความสามารถชะ ล้างเหง้ามันสำปะลังเท่ากับ 135, 188 และ 296 kg h<sup>-1</sup> ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 25 rpm มุมเอียงตะแกรง 3, 4 และ 5 องศา มีความสามารถชะล้างเหง้ามันสำปะลังเท่ากับ 205, 256 และ 353 kg h<sup>-1</sup> ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบ 30 rpm มุม เอียงตะแกรง 3, 4 และ 5 องศา มีความสามารถชะล้างเหง้ามัน สำปะลังเท่ากับ 232, 278 และ 382 kg h<sup>-1</sup> ตามลำดับ เมื่อ พิจารณาอิทธิพลร่วมของความเร็วรอบกับมุมเอียงตะแกรงในแต่ ละระดับพบว่าอิทธิพลต่อกัน โดยที่ความเร็วรอบ 30 rpm เมื่อ ใช้งานร่วมกับมุมเอียงตะแกรงที่ 5 องศา ให้ความสามารถในการ ทำความสะอาดสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญที่ 382 kg h<sup>-1</sup> แต่เมื่อ พิจารณาเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการทำ ความสะอาดที่ความเร็วรอบ 30 rpm กับมุมเอียงตะแกรงที่ 5 องศา มี ประสิทธิภาพในการทำ ความสะอาดที่ 81.84% ซึ่งได้ ประสิทธิภาพในการทำ ความสะอาดน้อยกว่าจึงเลือกความเร็ว รอบ 25 rpm กับมุมเอียงตะแกรงที่ 5 องศา ให้ความสามารถใน การทำความสะอาดที่ 353 kg h<sup>-1</sup>

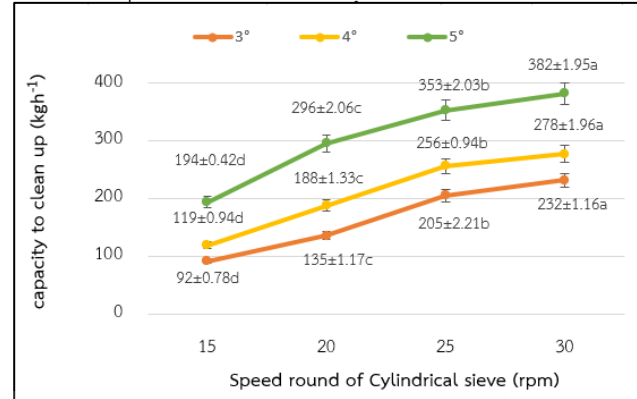


Figure 3 The graph shows the relationship between Speed round of Cylindrical basket (rpm) and capacity to clean up (kg h<sup>-1</sup>). <sup>abcd</sup>: letters indicate differences among each treatment (P < 0.05)

3.2 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพในการทำ ความสะอาด

จาก Figure 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าที่ความเร็วรอบและมุมเอียงของตะแกรงทรงกระบอกที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการทำ ความสะอาด (Capacity) โดยที่ความเร็วรอบ 15 rpm มุมเอียง ตะแกรง 3, 4 และ 5 องศา มีประสิทธิภาพในการทำ ความสะอาด เหง้ามันสำปะลังเท่ากับ 27.29, 47.52 และ 57.45 % ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 20 rpm มุมเอียงตะแกรง 3, 4 และ 5 องศา มีมี ประสิทธิภาพในการทำ ความสะอาดเหง้ามันสำปะลังเท่ากับ 17.77, 43.75 และ 66.65 % ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 25 rpm มุมเอียงตะแกรง 3, 4 และ 5 องศา มีมีประสิทธิภาพในการ ทำความสะอาดเหง้ามันสำปะลังเท่ากับ 15.73, 51.04 และ 88.55 % ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบ 30 rpm มุมเอียง ตะแกรง 3, 4 และ 5 องศา มีมีประสิทธิภาพในการทำ ความ สะอาดเหง้ามันสำปะลังเท่ากับ 14.22, 46.46 และ 81.54 % ตามลำดับ เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมของความเร็วรอบกับมุมเอียง ตะแกรงในแต่ละระดับ พบว่าอิทธิพลต่อกัน โดยที่ความเร็วรอบ 25 rpm เมื่อใช้งานร่วมกับมุมเอียงตะแกรงที่ 5 องศา มี ประสิทธิภาพในการทำ ความสะอาดสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญที่ 88.55%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1 Construction cost of cassava root washing machine prototype.

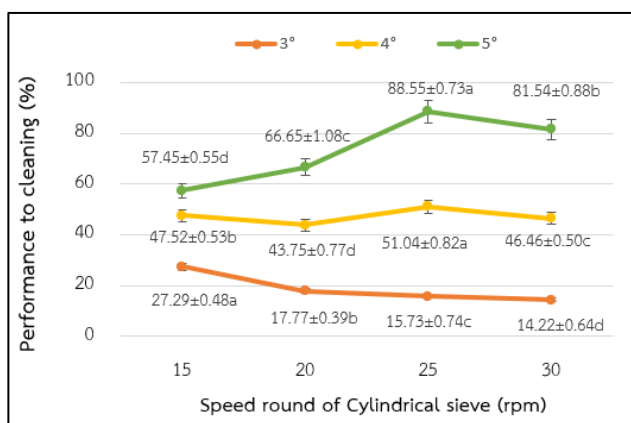


Figure 4 The graph shows the relationship between Speed round of Cylindrical basket ( rpm) and Performance to cleaning (%.)<sup>abcd</sup>: letters indicate differences among each treatment (P < 0.05)

### 3.3 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

จากผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยคิดที่ราคาเครื่องล้างหมั่มสำหรับล้าง 26,000 Baht ได้รับการประเมินจากผู้ผลิตเครื่องจักรกลเกษตร (Table 1) อายุการใช้งาน 10 year โดยการประเมิน อัตราดอกเบี้ย 10% ใช้ผู้ควบคุมเครื่อง 1 คน ราคาหมั่มสำหรับล้าง 2 Baht kg<sup>-1</sup> ความสามารถในการทำงาน 353 kg h<sup>-1</sup> อัตราการใช้ พลังงานไฟฟ้า 1.12 kW h<sup>-1</sup> และทำงานวันละ 8 h ปีละ 300 day จะได้ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่อง 318 Baht day<sup>-1</sup> ระยะเวลาคืนทุน 6 day และจุดคุ้มทุน 1,504 kg year<sup>-1</sup>

Item	Cost (Baht)
1. Electric motor and Water pump	13,000
2. Materials	
2.1 Main frame	5,500
2.2 Pipe and nozzle	1,000
2.3 other devices	1,000
3. Fabrication by Cylindrical sieve	5,500
Total	26,000

### 5 สรุป

เครื่องล้างหมั่มสำหรับล้างที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการทำความสะอาดหมั่ม มีชุดตะแกรงทรงกระบอกสามารถหมุนได้รอบโดยใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลัง ภายในชุดตะแกรงทรงกระบอก จะมีแปรงทำความสะอาดเป็นช่วงตลอดความยาว เพื่อช่วยให้เกิดการเคลื่อนที่และพลิกหมั่มสำหรับล้างในขณะที่ทำความสะอาด ด้านชุดรองรับการบ้อนจะอยู่สูงกว่าช่องรองรับทางออกเพื่อให้หมั่มสำหรับล้างเคลื่อนผ่านตะแกรงที่ได้อย่างต่อเนื่อง และทำให้ประสิทธิภาพของการทำความสะอาดเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 25 rpm ที่มุมเอียง 5 องศา ซึ่งมีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดอยู่ที่ 88.55% สามารถล้างหมั่มสำหรับล้างได้ 353 kg h<sup>-1</sup> โดยเครื่องล้างหมั่มสำหรับล้างมีอัตราการใช้น้ำเฉลี่ย 20 ลิตรต่อครั้งการทดลอง และอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมอยู่ที่ 1.12 kW h<sup>-1</sup> คิดเป็น 4.4 Baht h<sup>-1</sup> ค่าใช้จ่ายในการทำงาน 2 Baht kg<sup>-1</sup> เมื่อทำงานปีละ 300 day วันละ 8 h จะมีระยะเวลาในการคืนทุนที่ 6 day และจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 1,504 kg year<sup>-1</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทเงินรายได้จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ทุนในการทำวิจัย และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ใช้สถานที่ และอุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆในการทำวิจัยในครั้งนี้

พยุงค์ดี จุลยุเสณ, ศชา วาทกิจ, พรรษา ลิบลับ, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, วีรชัย อาจหาญ. 2554. การออกแบบและทดสอบเครื่องทำความสะอาดมันสำปะหลัง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 42(3), 501-504.

## 7 เอกสารอ้างอิง

วันชัย วิจิรวนิช, ช่อม พลอยมีค่า. 2538.เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.

โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. สมาคม

การค้ามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย:

[https://www.bangkokbiznews.com/news/detail/89](https://www.bangkokbiznews.com/news/detail/895674)

5674.เข้าถึงเมื่อ 26 มกราคม 2564

Blank, L.T. and Tarquin, A.J. 1998. Engineering Economy.

Mc Graw Publishing, Singapore.

ประสิทธิ์ชัย มะลอย, อีรพงษ์ ผลโพธิ์.2563. การออกแบบและพัฒนาเครื่องล้างมันสำปะหลัง. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 58 ประจำปี 2563, 198–203. กรุงเทพฯ: สาขาวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . 2–7 กุมภาพันธ์ 2563, บางเขน, กรุงเทพฯ.

กัญญา จัตตพรพงษ์. 2555. เครื่องทำความสะอาดหัวมันสำปะหลัง. เกษตรศาสตร์และชีววิทยา, วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Adegbite, S. A., Adeyemi, S. K., Komolafe, A. O., Salami,

M. O. Nwaeche, C. F. and Ogunbiyi, A. A. 2018.

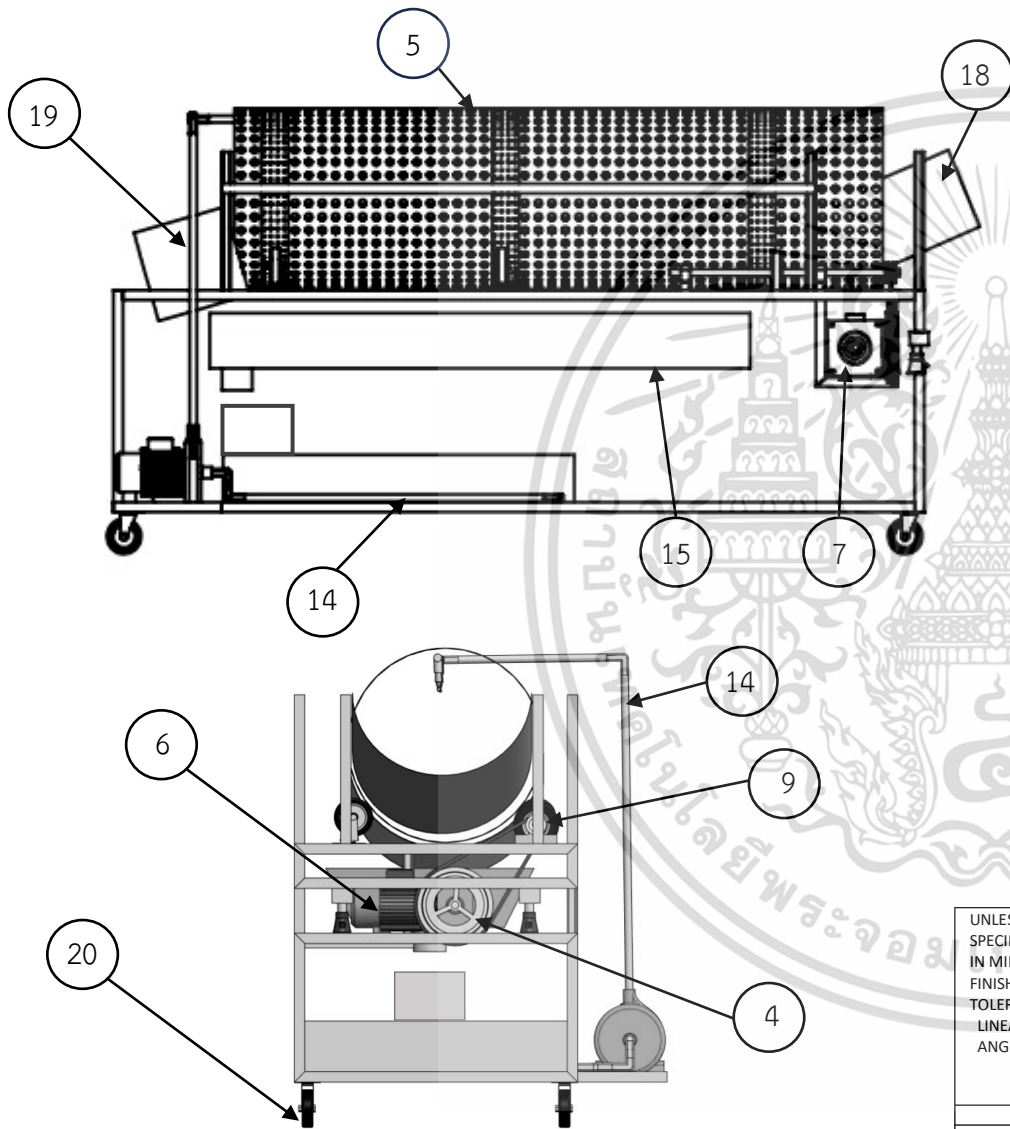
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

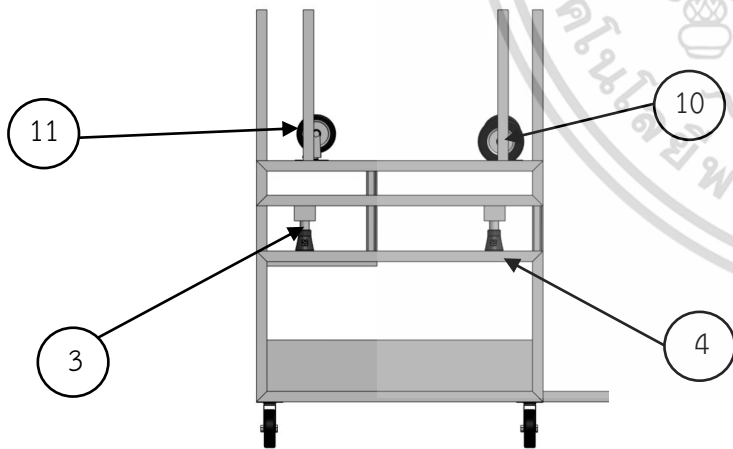
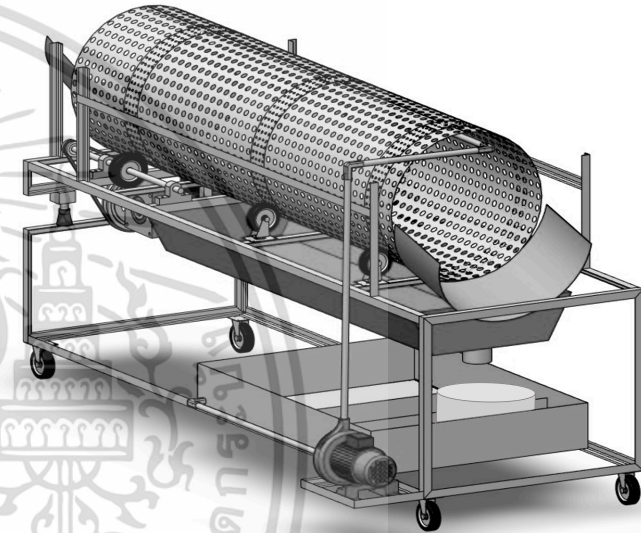
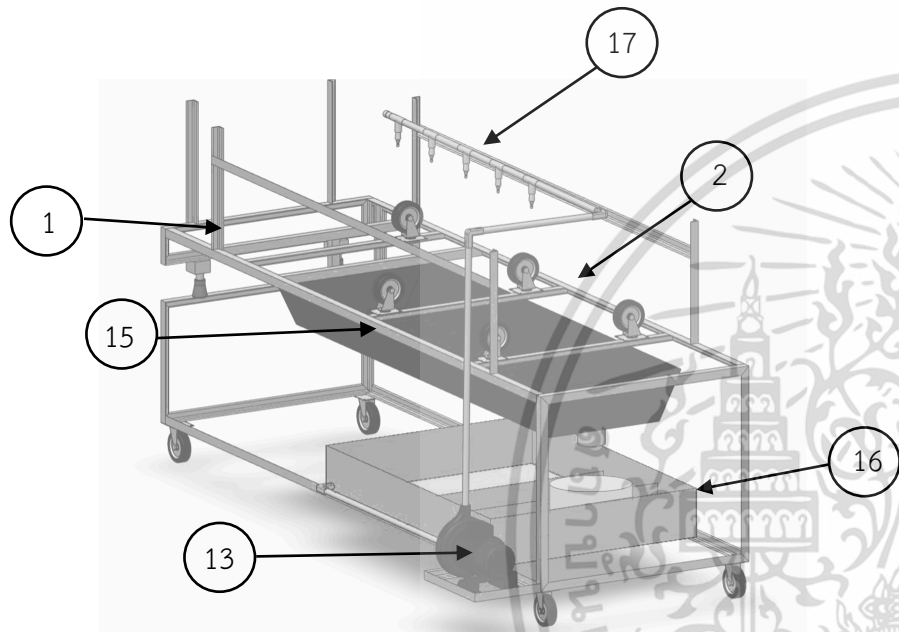
แบบรูปประกอบของเครื่องล้างหม้อน้ำส่ำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	ชุดโครงเครื่อง	-	1
2	เหล็กฉากยึดล้อ	เป็นตัวยึดล้อขับ	5
3	ชุดปรับองศาความชัน	-	2
4	แท่นรับชุดปรับองศาความชัน	-	1
5	ตะแกรงทรงกระบอก	-	1
6	ชุดต้นกำลัง	มอเตอร์และเกียร์ทด	1
7	Coupling	-	1
8	Pulley 10"	-	1
9	Pulley 4"	-	1
10	ล้อขับ 6"	-	1
11	ล้อขับ 5"	ล้อประกอบตะแกรง	5
13	Pump	ปั้มน้ำส่งน้ำไปยังหัวฉีด	1
14	ท่อน้ำ	ท่อส่งน้ำและดูดน้ำ	2
15	ถาดรองน้ำ	ถาดรองน้ำที่ผ่านการล้าง	1
16	ถังกรองทรายและถาดรวมน้ำ	ถาดน้ำล้นช่วยกรอง	1
17	หัวฉีด	หัวฉีดแรงดัน	5
18	ช่องป้อนขาเข้า	ช่องป้อนเหง้ามันขาเข้า	1
19	ช่องป้อนขาออก	ช่องทางออกของเหง้ามัน	1
20	ล้อเลื่อน	ล้อเหล็ก	4

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP DGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
เครื่องล้างเหง้ามันสำหรับปะหลัง											
TITLE: คณะวิศวกรรมศาสตร์											
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง											
DRAWN						MATERIAL:		DWG NO.		RESEACH	
CHK'D								SCALE:1:20		A3	
APPV'D								SHEET			
MFG											
Q.A											
						WEIGHT:					



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP DGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
				เครื่องล้างหมันสำหรับล้าง	
				TITLE: คณะวิศวกรรมศาสตร์	
				สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
			MATERIAL:	DWG NO.	
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE	RESEACH	A3
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q,A					
			WEIGHT:	SCALE:1:20	SHEET

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล ส.ต.อ.ประสิทธิ์ชัย มะลอย  
 วัน เดือน ปีเกิด 14 มีนาคม 2534  
 ที่อยู่ 12/1 หมู่ 9 ตำบลนาแวม อำเภอekinบุรี จังหวัดปราจีนบุรี 25110  
 โทร. 082-62833675  
 ประวัติการศึกษา 2560 ปริญญาตรีเทคโนโลยี สาขาวิชาการออกแบบและผลิตเครื่องจักรกล  
 เกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

### ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ.2556-2556 ตำแหน่งช่างเทคนิค บริษัท สหเชเรน สาขาekinบุรี จำกัด  
 พ.ศ.2558-ปัจจุบัน รับราชการตำรวจ ผู้บังคับหมู่(ป.) สภ.เปรี้ง จ.สมุทรปราการ

### ผลงานวิจัย

2564 ประสิทธิ์ชัย มะลอย, อีรพงศ์ ผลโพธิ์ , บัณฑิต ทองสร้อย. 2564. การพัฒนา  
 เครื่องล้างหมั่มสำหรับล้าง. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย  
 ครั้งที่ 22, วันที่12-13 พฤษภาคม 2564, คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้