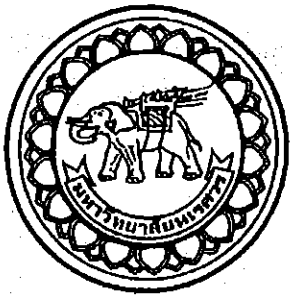


ศึกษาความเป็นไปได้ของการพัฒนาเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

สำหรับใช้ในครัวเรือน

A FEASIBILITY STUDY OF A COMPACT RICE MILLING MACHINE

FOR DOMESTIC USERS

นายอัครพล คำตะวงษ์

นายอนุวัฒน์ เหมืองหม้อ

นายอิทธิเชษฐ์ พรศิวะกุล

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 24 มิ.ย. 2554
เลขทะเบียน 1551607
เลขเรียกหนังสือ ม/ร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ว 476 ศ 2553

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2553

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน ศึกษาความเป็นไปได้ของการพัฒนาเครื่องสีข้าวขนาดเล็กสำหรับใช้ในครัวเรือน

ผู้ดำเนินโครงงาน

นายอัครพล	คำตะวงษ์	รหัสนิสิต	50381680
นายอนุวัฒน์	เหมืองหม้อ	รหัสนิสิต	50383196
นายอิทธิเชษฐ์	พรศิวะกุล	รหัสนิสิต	50383257

ที่ปรึกษาโครงงาน ดร.ศลิษา วีรพันธุ์

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2553

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ดร.ศลิษา วีรพันธุ์)

.....กรรมการ

(รศ.ดร.มัทนี สงวนเสริมศรี)

.....กรรมการ

(ดร.รัตนา การุญบุญญานันท์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ศึกษาความเป็นไปได้ของการพัฒนาเครื่องสีข้าวขนาดเล็กสำหรับใช้ในครัวเรือน		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายอัครพล	คำตะวงษ์	รหัสนิสิต 50381680
	นายอนุวัฒน์	เหมืองหม้อ	รหัสนิสิต 50383196
	นายอิทธิเชษฐ์	พรศิวะกุล	รหัสนิสิต 50383257
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.ศลิษา วีรพันธุ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2553		

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการพัฒนาเครื่องสีข้าวกล้องต้นแบบขนาดเล็กใช้สำหรับในครัวเรือน โดยให้ความสนใจพัฒนาในส่วนกะเทาะเปลือก

การออกแบบและสร้างชิ้นงาน ได้ทำตามกระบวนการออกแบบอย่างง่ายมี 4 ขั้นตอน ดังนี้คือ 1 การวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้, 2 การกำหนดคุณลักษณะ, 3 การออกแบบหลักการทำงาน และ 4 สร้างรายละเอียดแบบร่าง

การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานมีจุดประสงค์ในการทดสอบ 2 ข้อคือ 1 เพื่อหาสภาพการใช้งานที่เหมาะสมโดยทำการทดสอบ หาจำนวนก้อนยางและ ความเร็วรอบที่เหมาะสม จุดประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกะเทาะเปลือกกับเครื่องสีข้าวแบบลูกกลิ้ง โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการกะเทาะ %ข้าวสภาพดี และอัตราการกะเทาะ

ผลการทดสอบสภาพการใช้งานที่เหมาะสมจะต้องใช้ จำนวนก้อนยางในการกะเทาะ 5 ก้อน และความเร็วรอบในการกะเทาะ 450 รอบต่อวินาทีโดยการทดสอบตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งกับก้อนยาง 0.5 มิลลิเมตรทุกก้อน สมรรถนะของเครื่องที่ออกแบบมีประสิทธิภาพการกะเทาะ 60 % และมีข้าวสภาพดี 85 % อัตราการกะเทาะประมาณ 12 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ส่วนสมรรถนะของเครื่องแบบลูกกลิ้งมีประสิทธิภาพการกะเทาะ 82 %และมี สภาพข้าวดี 90 % อัตราการกะเทาะประมาณ 15 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะ จากความต้องการของผู้ใช้เครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่ออกแบบมีจุดเด่นคือ มีขนาดเล็กกว่า และราคาถูกกว่าเครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกกลิ้ง ส่วนจุดด้อย คือมีความยุ่งยากในการใช้งานมากกว่า ประสิทธิภาพการกะเทาะต่ำกว่า % ข้าวสภาพดีน้อยกว่า อัตราการกะเทาะต่ำกว่า เมื่อเทียบกับเครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกกลิ้ง

Project Title	A feasibility study of a compact rice milling machine for domestic users			
Name	Mr. Akkaraphon	Komtawong	ID.	50381680
	Mr. Anuwat	Muangmor	ID.	50383196
	Mr. Ittichet	Ponsiwakul	ID.	50383257
Project Advisor	Dr. Salisa Veerapun			
Major	Mechanical Engineering			
Department	Mechanical Engineering			
Academic Year	2010			

Abstract

The objective of this project is to develop a prototype of a small-size rice milling machine for household use by focusing on the husking part

Development of the prototype follows a simple 4-stage design process involving; 1) Requirements analysis, 2) Design Specifications, 3) Concept design and 4) Detail design stage.

The developed prototype is tested to determine its appropriate operating conditions by varying: a number of rubber pieces and a rotating speed of the shaft. Once the operating condition is verified, the efficiency of the prototype is compared against that obtained from the roller- type milling machine.

The result shows that the developed prototype is best operated at 450 revolutions per second using 5 rubber pieces. The clearance between each rubber piece and the roller is equally set at 0.5 millimeter. It has been found that the prototype has 60% husking efficiency and delivers the rice 12 kilograms per hour. A ratio between good condition rice and those husked off is 85%. Whereas, the roller-type milling machine provides 82% husking efficiency at 15 kilograms per hour and 90% 82% and 90% ratio between good condition rice and those husked off.

In summary, the prototype is superior than the roller-type milling machine in terms of size and prize, however, it performance falls behind those roller type can provide.

กิตติกรรมประกาศ

(Acknowledgement)

รายงานโครงการฉบับนี้สามารถจัดทำขึ้นได้ เนื่องจากความร่วมมือและความกรุณาจากหลายๆท่าน ในนามของผู้จัดทำรายงานฉบับนี้ขอขอบพระคุณ ดร.ศลิษา วีรพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ได้สนับสนุนข้อมูล ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในทางที่เป็นประโยชน์ และคอยดูแลติดตามผลการทำโครงงาน แก่คณะผู้จัดทำตลอดมาจนกระทั่งโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณสุพัตรา สุวรรณชาดา นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับเมล็ดข้าวและเครื่องสีข้าว นอกจากนี้ยังอนุญาตให้ใช้เครื่องสีข้าวขนาดเล็กเป็นเครื่องเปรียบเทียบผลการทดลอง เครื่องคัดแยกปลายข้าวและอุปกรณ์อื่นที่จำเป็นในการทำโครงการนี้

ขอขอบพระคุณ ว่าที่ร้อยตรี คณิต แม้นวงศ์มณี ผู้จัดการร้านส่งเสริม ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลกรรมวิธีในการสร้างเครื่องกะเทาะเปลือกข้าวขนาดเล็ก การแนะนำเกี่ยวกับการออกแบบแหล่งวัสดุและราคา ที่จำเป็นต้องใช้ในการสร้างเครื่องกะเทาะเปลือกข้าวขนาดเล็ก

ขอขอบพระคุณ คุณปู่ แตง คำตะวงษ์ ผู้มีประสบการณ์ในการสร้างเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ที่อนุเคราะห์ข้อมูลและแนวทางในการพัฒนาเครื่องกะเทาะให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำรายงานฉบับนี้ขอมอบความดีของโครงงานนี้ให้แก่ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการศึกษา คณาจารย์และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้ผู้จัดทำโครงงานตลอดมาในการทำงานในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงงาน	3
บทที่ 2 ข้าวและเครื่องสีข้าว	
2.1 ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว	4
2.2 การกะเทาะเปลือก	7
2.3 ข้าวกล้อง	10
2.4 การคำนวณสมรรถนะของเครื่อง	15
บทที่ 3 การออกแบบเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก	
3.1 กระบวนการออกแบบ	16
3.2 ประสิทธิภาพการออกแบบ	17
3.3 การออกแบบเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก	18

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 การสร้างเครื่องและทดสอบ

4.1 การสร้างเครื่อง 29

4.2 การทดสอบ 34

4.3 ผลทดสอบ 35

บทที่ 5 สรุปคุณสมบัติเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

5.1 คุณสมบัติเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก 41

5.2 สรุปผลการทดลอง 41

5.3 ข้อเสนอแนะ 43

บรรณานุกรม 44

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก รูปเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก 46

ภาคผนวก ข การสำรวจและรวบรวมข้อมูล 48

ภาคผนวก ค วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ,ขั้นตอนทดสอบเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก และตารางบันทึกผลการทดสอบ 54

ภาคผนวก ง การประมาณระยะคืนทุน 66

ภาคผนวก จ แบบ Drawing แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก 69

ประวัติผู้จัดทำโครงการ 93

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของเมล็ดข้าว	4
รูปที่ 2.2 หลักการสีข้าวแบบลูกยางคู่ความเร็วต่างกัน	7
รูปที่ 2.3 แสดงหลักการกะเทาะแบบโม่หิน	8
รูปที่ 2.4 แสดงการกะเทาะเปลือกแบบแรงเหวี่ยงกระทบ	9
รูปที่ 2.5 แผนผังขั้นตอนการสีข้าวโดยทั่วไป	10
รูปที่ 2.6 ข้าวกล้อง	11
รูปที่ 2.7 แผนผัง แสดงสิ่งที่ได้หลังการสี	13
รูปที่ 2.8 สัดส่วนมาตรฐานของขนาดเมล็ดข้าว ส่วนที่ 1 ข้าวสภาพดี	14
รูปที่ 2.9 สัดส่วนมาตรฐานของขนาดเมล็ดข้าว ส่วนที่ 2 ข้าวแตกหัก	14
รูปที่ 3.1 กระบวนการออกแบบอย่างง่าย	16
รูปที่ 3.2 ค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ถูกกำหนดในระหว่างการออกแบบ	17
รูปที่ 3.3 Flow function ของกระบวนการสีข้าว	19
รูปที่ 3.4 การออกแบบกรวย	21
รูปที่ 3.5 ลักษณะการออกแบบส่วนกะเทาะ	23
รูปที่ 3.6 ลูกกลิ้งผิวยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.25 cm หน้ายางกว้าง 6.6 cm	24
รูปที่ 3.7 ก้อนยางขนาดมาตรฐานที่มีความยาว 45.72 เซนติเมตร (18 นิ้ว)	25
รูปที่ 3.8 โครงส่วนกะเทาะด้านหน้า	26
รูปที่ 3.9 โครงส่วนกะเทาะแบบ 3 มิติ	26
รูปที่ 3.10 แบบร่างเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก	26
รูปที่ 3.11 การจัดเตรียมวัสดุ	27
รูปที่ 4.1 เครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่ทำการพัฒนา	29
รูปที่ 4.2 กรวยใส่ข้าวและตัวควบคุมการปล่อยข้าว	29
รูปที่ 4.3 โครงส่วนกะเทาะด้านหน้า	30
รูปที่ 4.4 โครงส่วนกะเทาะแบบ 3 มิติ	30
รูปที่ 4.5 โครงสร้างส่วนกะเทาะ	31
รูปที่ 4.6 แบบโครงสร้างส่วนฐาน	31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.7 ชุดส่งกำลัง 32

รูปที่ 4.8 แบบชุดปรับก้อนยาง 33

รูปที่ 4.9 ชุดปรับก้อนยาง 34

รูปที่ 4.10 แผนภูมิ แสดงสัดส่วนที่ได้หลังการกะเทาะที่ใช้จำนวนก้อนยางต่างๆ 35

รูปที่ 4.11 แผนภูมิ แสดงสัดส่วนที่ได้หลังการสี ที่ความเร็วรอบตามตารางที่ 4.2 36

รูปที่ 4.12แผนภูมิ เปรียบเทียบสมรรถนะการสีของเครื่องที่พัฒนา กับเครื่องแบบลูกกลิ้ง 37

รูปที่ 4.13 แผนภูมิ เปรียบเทียบสภาพข้าวดีการสีของเครื่องที่พัฒนา กับเครื่องแบบลูกกลิ้ง 37

รูปที่ 4.14 แผนภูมิเปรียบเทียบสภาพข้าวดีกับข้าวแตกหักหลังการสีของเครื่องที่พัฒนา กับเครื่องแบบลูกกลิ้ง 38

รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องสีข้าวจากความต้องการของผู้ใช้ 43

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของข้าว 5

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการอาหารจากข้าวกล้อง 12

ตารางที่ 2.3 ข้อเปรียบเทียบทางโภชนาการระหว่างข้าวกล้องและข้าวขาว 13

ตารางที่ 2.4 ขนาดมาตรฐานของเมล็ดข้าว 14

ตารางที่ 3.1 ความต้องการของผู้ใช้ 18

ตารางที่ 3.2 กำหนดคุณลักษณะ 18

ตารางที่ 3.3 ความต้องการจาก Function การทำงานของเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก 20

ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบส่วนกะเทาะลักษณะต่างๆของเครื่องสีข้าว 22

ตารางที่ 3.5 สรุปโครงสร้างในแต่ละส่วน 27

ตารางที่ 3.6 การจัดเตรียมวัสดุของโครงสร้างส่วนต่างๆ 28

ตารางที่ 4.1 เหล็กกล่องที่ต้องเตรียมขนาดต่างในการสร้างฐาน 32

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าจาก Inverter กับมอเตอร์ และลูกกลิ้ง 36

ตารางที่ 4.3 อัตราการกะเทาะที่ได้จากการทดลอง 38

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างเครื่องที่พัฒนากับเครื่องแบบลูกกลิ้ง 39

ตารางที่ 5.1 ประสิทธิภาพการกะเทาะ, % ข้าวสภาพดี, % ข้าวแตกหัก ระหว่างเครื่องสีข้าวที่พัฒนากับเครื่องสีแบบลูกกลิ้ง 42

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบเครื่องสีข้าวที่พัฒนากับเครื่องสีข้าวแบบลูกกลิ้ง จากความต้องการของผู้ใช้ 42

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงาน

การทำการเกษตรในปัจจุบันนั้นมีความหลากหลายมาก ในแต่ละท้องถิ่นมีการทำการเกษตรที่แตกต่างกันทั้งชนิดของพืชที่ใช้ในการเพาะปลูก และวิธีการเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศและปัจจัยต่างๆที่เหมาะสมกับการปลูกพืชชนิดนั้นๆ ส่วนใหญ่พืชที่นิยมปลูกได้แก่ ข้าว ข้าวโพด อ้อย และถั่วชนิดต่างๆ วัตถุประสงค์ในการปลูกมีทั้งปลูกเพื่อบริโภคในครัวเรือน และปลูกเพื่อการค้าขายโดยเฉพาะข้าว ซึ่งเป็นพืชที่มีเกษตรกรปลูกจำนวนมาก เพราะข้าวเป็นอาหารหลักและยังสามารถแปรรูปเป็นวัตถุดิบสำหรับป้อนเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรม การจะนำข้าวมารับประทานหรือใช่เป็นวัตถุดิบต้องผ่านกระบวนการสีหรือการกะเทาะเปลือก โดยกระบวนการดังกล่าวต้องใช้เครื่องจักรเข้ามาช่วยในการกะเทาะเปลือกข้าวที่มีขนาดเล็ก และมีปริมาณมาก ปัจจุบันเครื่องสีข้าวยังมีขนาดใหญ่และมีราคาสูง ทำให้ต้นทุนการของการแปรรูปข้าวเปลือกให้กลายเป็นข้าวสารสูงตามไปด้วย

จากปัญหาดังกล่าว จึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและพัฒนาเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่ใช้สำหรับในครัวเรือนขึ้นมา เพื่อให้สามารถสีหรือกะเทาะเปลือกข้าวออกได้ เกิดผลเสียกับเมล็ดข้าวสารน้อยที่สุด สามารถผลิตได้ตามความต้องการสำหรับใช้รับประทานในแต่ละวัน สะดวกต่อการใช้งาน ช่วยลดค่าใช่จ่ายจากการซื้อข้าวสารที่มีราคาสูง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

พัฒนาเครื่องสีข้าวกล้องต้นแบบขนาดเล็กสำหรับใช้ในครัวเรือน โดยเน้นการพัฒนาในส่วนของการกะเทาะเปลือก

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ศึกษา ออกแบบและสร้างเครื่องสีข้าวขนาดเล็กต้นแบบ

1.3.2 ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กต้นแบบ เพื่อหาประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือก โดยใช้ข้าวพันธุ์พิษณุโลก02

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าว เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้น สำหรับการออกแบบเครื่องสีข้าวต้นแบบ

1.4.2 ศึกษาเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่มีอยู่ในปัจจุบัน

1.4.3 ออกแบบและสร้างเครื่องสีข้าวต้นแบบ โดยเน้นส่วนกะเทาะเปลือก

1.4.4 ทดสอบเครื่องสีข้าวต้นแบบ โดยใช้ข้าวเปลือกสายพันธุ์พิษณุโลก02

1.4.4.1 หาสภาพการใช้งานที่เหมาะสม

1.4.4.2 เปรียบเทียบความสามารถในการกะเทาะเปลือก อัตราการกะเทาะ % ข้าวสภาพดี และประสิทธิภาพการกะเทาะ

1.4.5 วิเคราะห์ข้อมูลและเขียนรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เครื่องสีข้าวกล้องต้นแบบ ที่มีขนาดเล็กสำหรับใช้ในครัวเรือน โดยเน้นส่วนการกะเทาะเปลือกข้าว

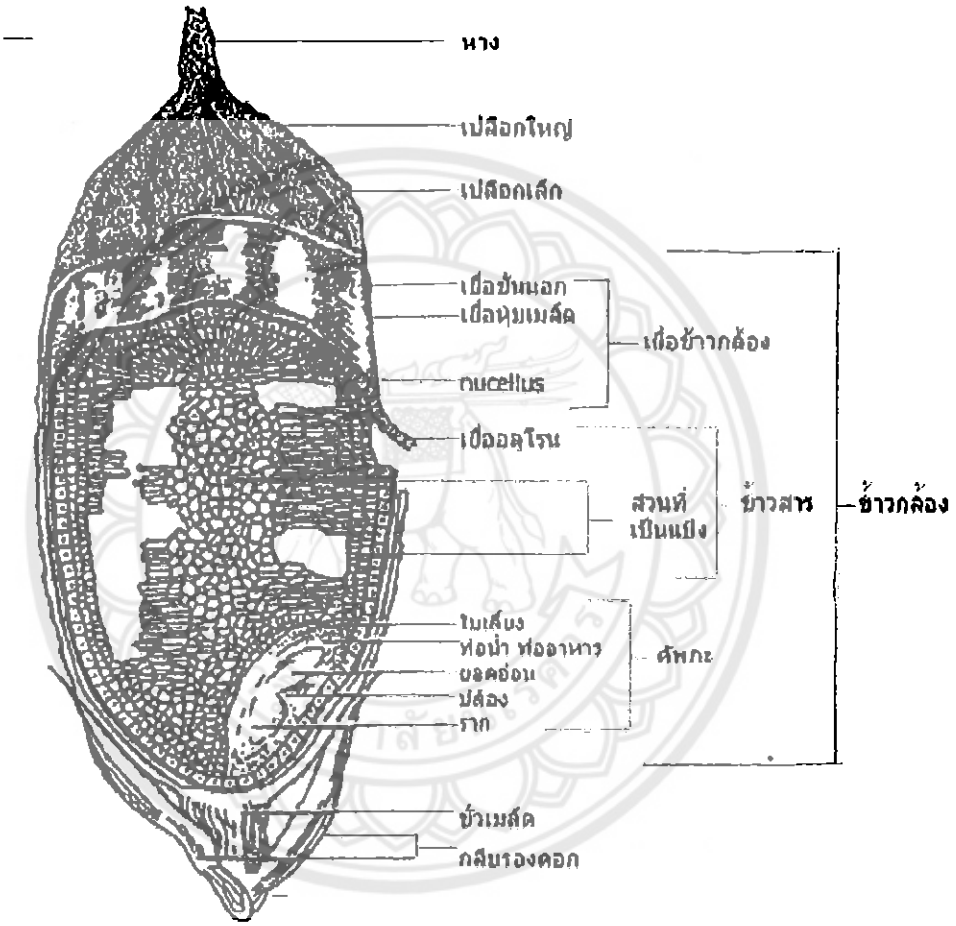
1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงงาน

กิจกรรม	พ.ศ. 2553							พ.ศ. 2554		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าว										
2. ศึกษาเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่มีอยู่ในปัจจุบัน										
3. ออกแบบและสร้างเครื่องสีข้าวต้นแบบ										
4. ทดสอบเครื่องสีข้าวต้นแบบ										
5. ประเมินความสามารถในการกะเทาะเปลือกข้าวของเครื่องสีข้าวต้นแบบ										
6. ปรับปรุงและแก้ไขเครื่องสีข้าวขนาดเล็กต้นแบบ										
7. ทดสอบประสิทธิภาพและประเมินผล										
8. วิเคราะห์ข้อมูลและเขียนรายงาน										

บทที่ 2
ข้าวและเครื่องสีข้าว

2.1 ข้าว

2.1.1 ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของเมล็ดข้าว [1]

จากรูปที่ 2.1 เมล็ดข้าวเปลือกมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ ส่วนที่เป็นเปลือกใหญ่และเปลือกเล็ก (Flowering glume and paler) ประกอบด้วยเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวกล้อง (Pericarp) มีลักษณะเป็นชั้นบางๆ ของวัสดุกากใย แบ่งออกเป็นชั้นๆ คืออิพิคาร์ป (Epicarp) เมสโซคาร์ป (Mesocarp) และ ครอสเลเย่อร์ (Cross layer) ภายในของเปลือกหุ้ม

เมล็ดข้าวกล้องนี้จะเป็นข้าวกล้อง (Caryopsis) ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นแป้งข้าวสารที่ใช้เป็นอาหาร ซึ่งเป็นตัวข้าวกล้อง (starchy endosperm) และต้นอ่อนหรือตา (Embryo)

เยื่อหุ้มเมล็ดข้าวกล้องสามารถกำจัดออกได้ง่ายในขั้นตอนการขัดสี (Whitening) เนื่องจากเนื้อเยื่อมีน้ำตาลเข้มหรือสีแดง บางครั้งจึงเรียกว่า ข้าวแดง ภายใต้เยื่อหุ้มเมล็ดข้าวนี้เป็นส่วนที่อุดมด้วยน้ำมัน โปรตีน เกลือแร่และวิตามิน ส่วนที่เหลือภายในคือตัวข้าวกล้อง(Endosperm) ประกอบด้วยเมล็ดแป้ง (Starch grain) เป็นส่วนมาก รวมต้นอ่อนหรือตา (Embryo) ต้นอ่อนหรือตาจะอยู่ส่วนที่โคนสุดเมล็ดที่ยึดติดกับรวงข้าว บางครั้งเรียกว่าจมูกข้าว (Germ) ซึ่งอยู่ในส่วนแป้งข้าวสาร เมื่อเข้าในกระบวนการขัดสี จมูกข้าวจะถูกขจัดออกแต่เนื่องจากจมูกข้าวถูกหุ้มด้วยเซลแป้งและจากรูปร่างของจมูกข้าวเอง ทำให้การหลุดของจมูกข้าวเกิดจุดแตกของแป้งข้าวสาร เห็นรอยเว้าเข้ามาในเมล็ดที่ปลายของเมล็ดข้าว ส่วนเปลือกของเมล็ดข้าวประกอบด้วยใบ 2 ใบเล็ก ที่เป็นเปลือกใหญ่และเปลือกเล็ก (Palae) และ(Lemma) ซึ่งจะหุ้มส่วนของข้าวกล้องไว้หมด เหลือช่องว่างเล็กๆ ภายในเปลือกที่ปลายเมล็ดเป็นช่องอากาศ เปลือกใหญ่และเปลือกเล็กนี้คือ กลีบดอกข้าวในระยะแรกแล้วเจริญเป็นข้าวเปลือกในระยะหลัง และหลังจากผ่านการขัดสีเรียกว่าแกลบ

2.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพของข้าว

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของข้าว

คุณสมบัติทางกายภาพ	คำอธิบาย
สีของเปลือกข้าว	เมื่อข้าวสุกสีของเปลือกจะเป็นสีเหลืองทองน้ำตาลอ่อน น้ำตาลเข้ม สีเปลือกของข้าวในประเทศไทย จะมี 2 สี คือ สีฟาง และน้ำตาล
สีของข้าวกล้อง	สีของเมล็ดข้าวกล้องจะแสดงออกที่เยื่อหุ้มผล มีสีต่างๆ กัน ตั้งแต่ ขาว แดง น้ำตาลเข้ม น้ำตาลเทา ถ้าสีดังกล่าวมีความเข้มจะต้องใช้เวลาในการขัดสีนานและใช้แรงกดสูงเพื่อทำให้ชั้นของรำหลุดออกเป็นผลทำให้ข้าวเกิดการแตกหักได้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของข้าว (ต่อ)

คุณสมบัติทางกายภาพ	คำอธิบาย
น้ำหนักเมล็ด	น้ำหนักของเมล็ดจะแปรไปตามขนาด และรูปร่างของเมล็ด ความชื้น ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ย และสภาพภูมิอากาศ
น้ำหนักจำเพาะ	เป็นน้ำหนักของเมล็ดต่อหน่วยปริมาตร ขึ้นอยู่กับชนิดของเมล็ดพันธุ์ ความชื้น สิ่งเจือปน
ขนาดของเมล็ด	เมล็ดยาวมาก (>7.50 มิลลิเมตร) เมล็ดยาว (6.61-7.50มิลลิเมตร) เมล็ดยาวปานกลาง (5.50-6.60 มิลลิเมตร) เมล็ดสั้น (5.50 มิลลิเมตร)
รูปร่างของเมล็ด	ประเมินจากอัตราส่วนความยาวกับความกว้าง เมล็ดเรียว (มีอัตราส่วนมากกว่า 3) เมล็ดปานกลาง (มีอัตราส่วนระหว่าง 2.1-3) เมล็ดป้อม (มีอัตราส่วนน้อยกว่า 2)
ลักษณะการดูดและคายความชื้น	เมล็ดข้าวส่วนใหญ่ประกอบด้วยแป้งและโปรตีนซึ่งเป็นสารที่ดูดความชื้นได้ดี ทำให้เมล็ดข้าวมีการขยายตัวและมีการหดตัวเมื่อเอาความชื้นออก

ส่วนประกอบและคุณสมบัติต่างๆ ดังกล่าว มาแล้วจะใช้เป็นข้อมูล ในการออกแบบและการปรับตั้งอุปกรณ์ในการสีข้าวให้เหมาะสมกับข้าวแต่ละชนิด เพื่อทำให้การแปรรูปเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ข้าวเปลือกที่มีคุณภาพดีเหมาะแก่การสีจะต้องมีความชื้น (Moisture content) ระหว่าง 11-13% ไม่มีเมล็ดแตก เมล็ดลีบ เมล็ดเสียปน หรือมีอยู่น้อย ไม่มีเมล็ดวัชพืชปน หรือมีอยู่น้อย ไม่มีเศษหิน ดินทราย หรือเศษหญ้า เศษฟางปน ควรเป็นเมล็ดพันธุ์เดียวกัน หรือมีลักษณะเป็นข้าวเปลือกประเภทเดียวกัน มีขนาดและรูปร่างของเมล็ดใกล้เคียงกัน [1]

2.2 เครื่องสีข้าว (Rice Milling Machine)

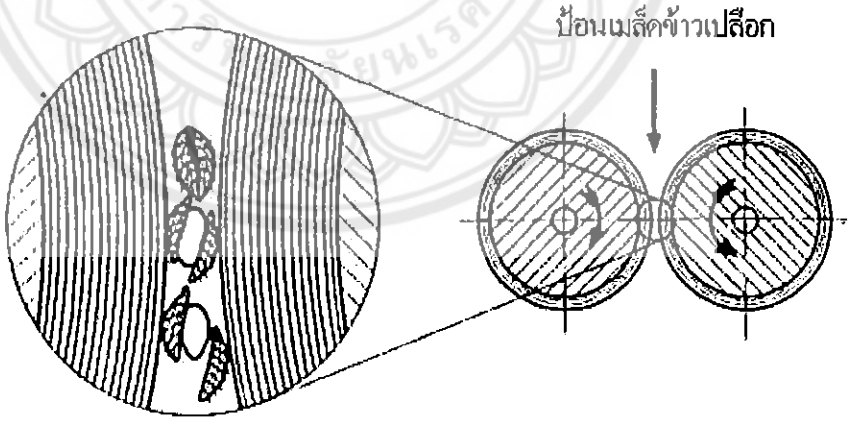
วัตถุประสงค์ของเครื่องสีข้าว คือ การกะเทาะเปลือกออกจากข้าวเปลือก โดยให้เกิดความเสียหายน้อยที่สุดต่อเนื้อเยื่อ ส่วนที่เป็นรำ และไม่ทำให้เมล็ดข้าวเปลือกเกิดการแตกหักซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบเครื่อง การบำรุงรักษาและการปรับแต่งเครื่องจักร รวมทั้งคุณสมบัติของข้าวก่อนที่จะทำการสี เช่น การแตกร้าวภายในเมล็ด ซึ่งเป็นผลมาจากการเก็บเกี่ยวที่ล่าช้า

2.2.1 กรรมวิธีการสีข้าว

การออกแบบเครื่องสีข้าวในปัจจุบัน สามารถแบ่งแยกได้ออกเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ อาศัยแรงกดและแรงเฉือน ทำให้แกลบหลุดออกจากเมล็ดข้าวเปลือก อาศัยแรงเหวี่ยงกระทบทำให้แกลบหลุด เนื่องจากการกระทบกับผิวสัมผัสที่เป็นพื้นยาง อาศัยแรงเสียดทาน ที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัส ทำให้แกลบหลุดจากข้าวเปลือก

2.2.1.1 เครื่องสีข้าวแบบลูกกลิ้งผิวยาง (Rubber roll huller)

ใช้สำหรับเมล็ดธัญพืช ซึ่งเปลือกไม่ได้ยึดติดกับส่วนที่เป็นเมล็ด ดังนั้น การทำให้เปลือกแยกออกจากเมล็ด โดนใช้แรงเฉือน หรือแรงกด ก็เพียงพอ โดยทั่วไปนิยมใช้พื้นผิวสัมผัสที่เป็นยางในการสีข้าว



รูปที่ 2.2 หลักการสีข้าวแบบลูกยางคู่ความเร็วต่างกัน [2]

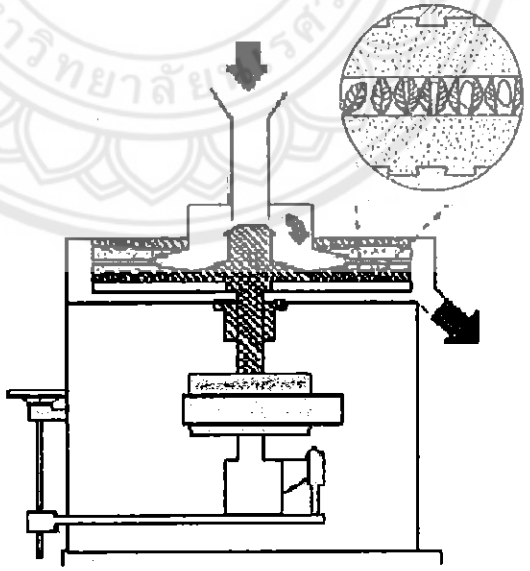
หลักการทำงานของเครื่องสีข้าวแบบลูกกลิ้งผิวยาง จากรูปที่ 2.3 หลักการสีข้าวแบบลูกยางคู่ความเร็วต่างกัน เครื่องสีข้าวแบบลูกยางจะประกอบ ด้วยลูกยางกะเทาะ 2 ลูก ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน หมุนในทิศทางที่ตรงข้ามกัน และออกแบบให้ความเร็วในการหมุนแตกต่างกัน ลูกยางกะเทาะซึ่งมีความเร็วรอบสูงกว่าจะยึดติดกับแบริ่งที่อยู่กับที่ ในขณะที่ลูกยางอีกลูกหนึ่งที่หมุนด้วยความเร็วรอบที่ต่ำกว่า จะยึดติดกับแบริ่งที่สามารถเลื่อนเข้า – ออก ได้ ดังนั้น ระยะห่างระหว่างลูกยางทั้งสอง จึงสามารถปรับตั้งได้

การสีข้าวโดยใช้ลูกยาง ง่ายต่อการบำรุงรักษา เพราะเครื่องมีขนาดเล็ก ให้อัตราการกะเทาะสูง และมีประสิทธิภาพในการกะเทาะสูงเมล็ดเสียหายน้อยในขณะที่ข้อเสียของเครื่องสีข้าวชนิดนี้ คือ ลูกยางมีอัตราการสึกหรอสูง โดยเฉพาะเมื่อทำงานในฤดูร้อน อีกทั้ง ราคาของลูกยางสูง

ประสิทธิภาพในการกะเทาะของเครื่องชนิดนี้ ขึ้นอยู่กับ

- อัตราส่วนของความเร็วรอบของลูกยางทั้งสอง
- ระยะห่างระหว่างลูกยาง
- ความแข็งของผิวสัมผัสหน้ายาง
- ความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก

2.2.1.2 เครื่องสีข้าวแบบโม่หินแนวนอน (Disc huller or Under - Runner disc huller)



รูปที่ 2.3 หลักการสีข้าวแบบโม่หิน [2]

หลักการทำงานเครื่องสีข้าวแบบโม่หินแนวนอนจากรูปที่ 2.3 หลักการสีข้าวแบบโม่หิน ใช้สำหรับการสีข้าวเปลือก และข้าวโอตและยังสามารถใช้กับข้าวฟ่างได้ด้วย ในระบบการทำงานนี้ จากรูปที่ 2.4 ข้าวเปลือกจะไหลผ่านระหว่างแผ่นจานทั้งสอง ซึ่งระยะห่างระหว่างจานทั้งสองสามารถปรับตั้งได้ ที่ผิวของจานบนจะเคลือบด้วยวัสดุที่มีลักษณะหยาบ เช่น หินกากเพชร จานที่อยู่ด้านบน จะถูกยึดอยู่กับที่ ในขณะที่จานที่อยู่ด้านล่าง จะขนานกับจานบน และสามารถหมุนได้โดยอาศัยการถ่ายทอดกำลังจากเพลาที่หมุน

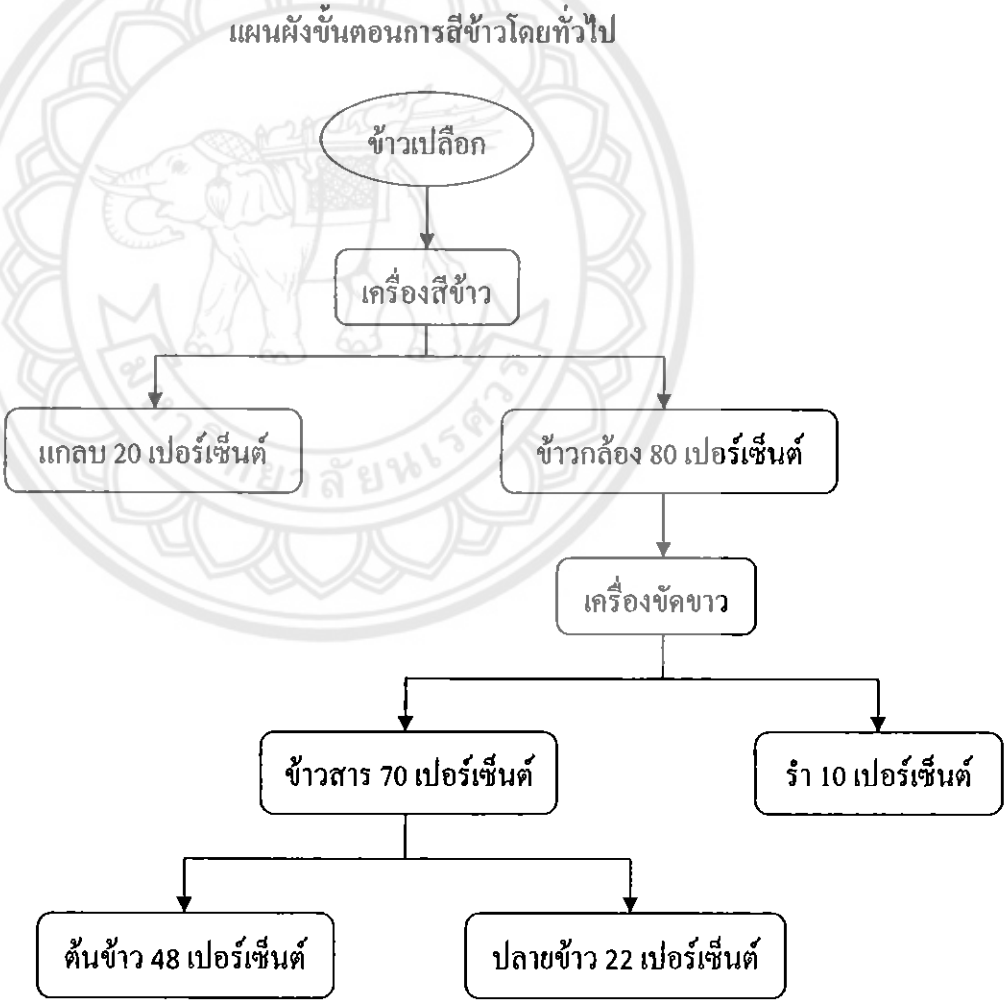
ข้าวเปลือกจะถูกป้อนเข้าที่ตรงกลางของจานด้านบนที่เป็นช่องป้อน เมล็ดจะร่วงผ่านสู่จานล่าง ที่ถูกตั้งขึ้นด้วยแรงหมุน และเคลื่อนออกจากจุดศูนย์กลางด้วยแรงเหวี่ยง ผ่านส่วนของหินขัด ส่วนยอดของเมล็ดจะสัมผัสขนานกับด้านบนซึ่งจะกดเปลือกให้หลุด

2.2.1.3 เครื่องสีข้าวแบบแรงเหวี่ยงกระทบ (Impact huller or Centrifugal husker)

รูปที่ 2.4 การกะเทาะเปลือกแบบแรงเหวี่ยงกระทบ [2]

หลักการทำงานของเครื่องสีข้าวแบบแรงเหวี่ยงกระทบ จากรูป 2.5 การกะเทาะเปลือกแบบแรงเหวี่ยงกะทบ เครื่องกะเทาะเปลือกแบบอาศัยแรงเหวี่ยงกระทบจะใช้แรงเหวี่ยง เพื่อให้เปลือกหลุดออกจากเมล็ดได้ซึ่งประกอบด้วย ถังป้อน (Hopper) จานหมุน (Acceleration disc) เป้ากระทบ (Impact plate) และฝาครอบ (Housing)ข้าวเปลือกจะถูกป้อนเข้าที่ตำแหน่งตรงกลางของจานหมุน ข้าวเปลือกจะหมุนไปตามทิศทางการหมุนของจาน และไปกระทบกับเป้ากระทบที่ทำจากยาง ทำให้เปลือกหลุดออกจากเมล็ดข้าวได้ มุมการกระทบของข้าวเปลือกอยู่ระหว่าง30-45องศากับแนวระดับของจานหมุน ข้าวที่กะเทาะเปลือกออกแล้วจะเคลื่อนที่โดยความเร็วของลมที่เกิดจากจานหมุน

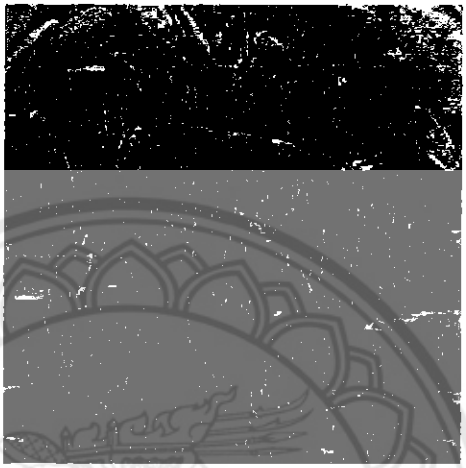
2.3 ลักษณะข้าวที่ผ่านการสี



รูปที่ 2.5 แผนผังขั้นตอนการสีข้าวโดยทั่วไป [3]

จากรูปที่ 2.6 แสดงขั้นตอนการสีข้าวแบบทั่วไปในปัจจุบัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อข้าวเปลือกถูกป้อนเข้าสู่เครื่องสีข้าวจะถูกทำการสีและแยกออกมาเป็นแกลบและข้าวกล้อง ข้าวกล้องจะส่งต่อเข้าเครื่องขัดขาว จะได้ข้าวสารและแกลบออกมา ข้าวสารจะประกอบด้วยต้นข้าวและปลายข้าวรวมกัน

2.3.1 ข้าวกล้อง



รูปที่ 2.6 ข้าวกล้อง [3]

ข้าวกล้อง คือข้าวที่สีเอาเปลือก (แกลบ) ออกโดยที่ยังมีจมูกข้าว และเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว (รำ) อยู่ ข้าวกล้องจะมีสีน้ำตาลอ่อนสังเกตจาก รูปที่ 2.6 ซึ่งจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวนี้มีคุณค่าอาหารที่มีประโยชน์มาก สำหรับข้าวขาวที่เรากินๆ กันอยู่นั้น เป็นข้าวที่เกิดจากการขัดสีหลายๆ ครั้ง จนเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวและจมูกข้าวหลุดออกไป จนเหลือแต่เนื้อในของข้าว ข้าวกล้องบางคนเรียกกันติดปากว่า ข้าวซ้อมมือหรือข้าวแดง เนื่องจากในสมัยโบราณ ชาวบ้านใช้วิธีตำข้าวกินกันเอง จึงเรียกว่า ข้าวซ้อมมือ แต่ปัจจุบันเราใช้เครื่องจักรสีข้าวแทน จึงเรียกข้าวที่สีเอาเปลือกออกนี้ว่า ข้าวกล้อง ข้าวกล้องมีโปรตีนประมาณ 7-12% (แล้วแต่พันธุ์ข้าว) การขัดสีข้าวกล้องจนมีสีขาว จะทำให้โปรตีนสูญหายไปประมาณ 30%

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการอาหารจากข้าวกล้อง [4]

สารอาหาร	คุณค่าทางโภชนาการ
วิตามินบีรวม	ป้องกันและบรรเทาอาหารอ่อนเพลีย แขน ขาไม่มีแรง ปวดกล้ามเนื้อ โรคผิวหนังบางชนิด บำรุงสมอง ทำให้เจริญอาหาร
วิตามินบี 1	กินเป็นประจำจะช่วยป้องกันโรคเหน็บชาได้
วิตามินบี 2	ป้องกันโรคปากนกกระจอก
ฟอสฟอรัส	ช่วยในการเจริญเติบโตของกระดูกและฟัน
แคลเซียม	ทำให้กระดูกแข็งแรง ช่วยป้องกันไม่ให้เป็นตะคริว
ทองแดง	สร้างเมล็ดโลหิต และเฮโมโกลบิน
ธาตุเหล็ก	ช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง
โปรตีน	ช่วยเสริมสร้างส่วนที่สึกหรอ
ไขมัน	ให้พลังงานแก่ร่างกาย ไขมันในข้าวกล้องเป็นไขมันที่ดี ไม่มีโคเรสเตอรอล
ไนอะซิน	ช่วยระบบผิวหนังและเส้นประสาท และป้องกันโรคเพลลากรา (โรคที่เกิดจากการขาดไนอะซิน จะมีอาการท้องเสีย ประสาทไหว โรคผิวหนัง)
คาร์โบไฮเดรต	ให้พลังงานแก่ร่างกาย
กากอาหาร	ข้าวกล้องมีกากอาหารมาก ซึ่งจะทำให้ท้องไม่ผูก และช่วยป้องกันมะเร็งในลำไส้อีกด้วย
วิตามินและเกลือแร่ต่างๆ	ข้าวกล้องจะช่วยให้ส่วนต่างๆของร่างกายทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการระหว่างข้าวกล้องและข้าวขาวพบว่าข้าวกล้องมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวขาว [4]

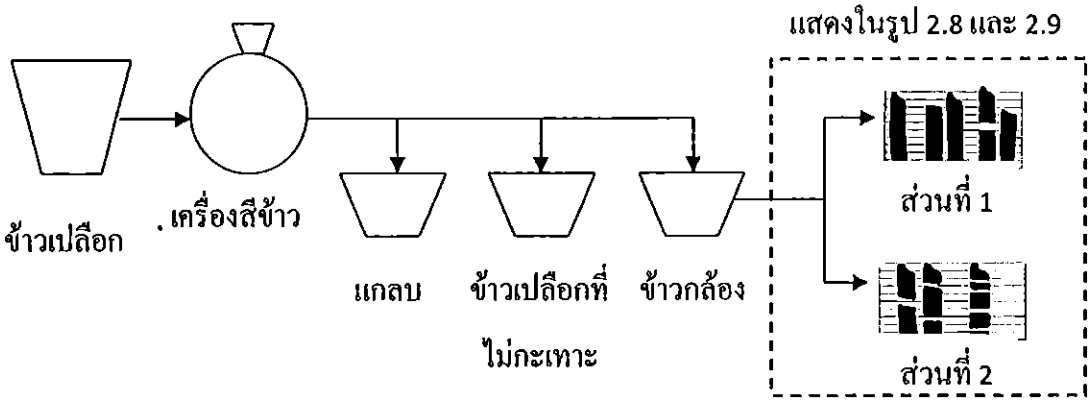
ตารางที่ 2.3 ข้อเปรียบเทียบทางโภชนาการระหว่างข้าวกล้องและข้าวขาว [4]

คุณค่าทางโภชนาการ	ข้าวกล้อง
วิตามินบี 1	มากกว่าข้าวขาว 4 เท่า
วิตามินบี 2	มากกว่าข้าวขาว
วิตามินบีรวม	มากกว่าข้าวขาว
ธาตุเหล็ก	มากกว่าข้าวขาว 2 เท่า
แคลเซียม	มากกว่าข้าวขาว
ไขมัน	มากกว่าข้าวขาว
กากอาหาร	มากกว่าข้าวขาว
เกลือแร่และวิตามิน	มีกว่า 20 ชนิด
โปรตีน	มีมากกว่าข้าวขาว
แป้ง	ใกล้เคียงกันกับข้าวขาว

จากตารางที่ 2.3 เมื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการระหว่างข้าวกล้องและข้าวขาวพบว่าข้าวกล้องมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวขาว [4]

2.3.2 ขนาดมาตรฐานของเมล็ดข้าว

เมื่อนำข้าวเปลือกใส่เข้าไปในเครื่องสีข้าวผลที่ได้ออกมาจากเครื่องสีข้าวจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆคือ ข้าวเปลือกที่ไม่กะเทาะ, แกลบ และข้าวกล้อง โดยในส่วนของข้าวกล้องที่ได้หลังการสีจะจำแนกตามมาตรฐานขนาดเมล็ดข้าวของประเทศไทย ซึ่งได้แบ่งส่วนของเมล็ดข้าวหรือความยาวของข้าวเต็มเมล็ดเป็น 10 ส่วนและแบ่งขนาดของเมล็ดข้าวหลังการสีเป็น 5 ขนาด [1]



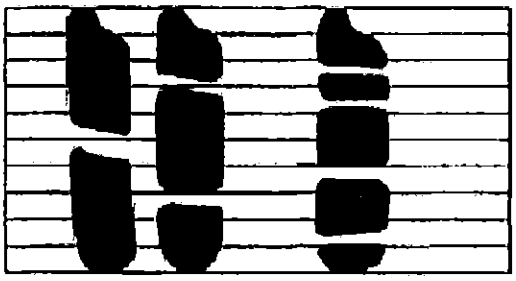
รูปที่ 2.7 แผนผัง แสดงสิ่งที่ได้หลังการสี

ตารางที่ 2.4 ขนาดมาตรฐานของเมล็ดข้าว [1]

มาตรฐานของเมล็ดข้าว	ลักษณะของเมล็ดข้าว
ข้าวเต็มเมล็ด (Whole grain)	เมล็ดข้าวที่อยู่ในสภาพเต็มเมล็ด โดยไม่มีส่วนใดหัก
ต้นข้าว (Head rice)	เมล็ดข้าวที่มีบางส่วนหักไป ความยาวเมล็ดเหลือตั้งแต่ 8 ส่วนขึ้นไป (จาก 10 ส่วน) ส่วนที่หักไปอาจเป็นส่วนหัวหรือท้าย หรือทั้งหัวและท้าย
ข้าวหักใหญ่ (Big brokens)	เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 5 ส่วนขึ้นไป ของข้าวเต็มเมล็ดแต่ไม่ถึงความยาวของต้นข้าว
ข้าวหัก (Brokens)	เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วนขึ้นไปของข้าวเต็มเมล็ด แต่ไม่ถึงความยาวของข้าวหักใหญ่
ปลายข้าว (Small brokens)	เมล็ดข้าวที่มีความยาวต่ำกว่า 2.5 ส่วนของข้าวเต็มเมล็ด

แต่ในการทดลองสามารถแยกข้าวหลังสีออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 ข้าวสภาพดี ซึ่งประกอบด้วย ข้าวเต็มเมล็ด, ต้นข้าว และข้าวหักใหญ่ดังแสดงจากรูป 2.7 ส่วนที่2 ข้าวแตกหัก ซึ่งประกอบด้วย ข้าวหักและปลายข้าว ดังแสดงจากรูป 2.8

รูปที่ 2.8 สัดส่วนมาตรฐานของขนาดเมล็ดข้าว ส่วนที่ 1 ข้าวสภาพดี [1]



รูปที่ 2.9 สัดส่วนมาตรฐานของขนาดเมล็ดข้าว ส่วนที่ 2 ข้าวแตกหัก [1]

2.4 การคำนวณสมรรถนะของเครื่อง

2.4.1 ประสิทธิภาพการกะเทาะ

$$\text{ประสิทธิภาพในการกะเทาะ(\%)} = \frac{A-B}{A} \times 100$$

กำหนดตัวแปร

A คือ ค่าที่ได้จากการชั่งน้ำหนักข้าวที่นำมาทำการทดสอบ

B คือ ค่าที่ได้จากการชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ไม่กะเทาะ (คัดแยกด้วยมือ)

2.4.2 คุณภาพข้าวหลังการกะเทาะ

ประเมินจาก %ข้าวสภาพดี และ % ข้าวแตกหัก ที่ได้หลังจากการสี ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{\% ข้าวสภาพดี} = \frac{D}{C} \times 100$$

$$\text{\% ข้าวแตกหัก} = \frac{F}{C} \times 100$$

กำหนดตัวแปร

C คือ น้ำหนักข้าวที่ถูกกะเทาะหลังการสี

D คือ น้ำหนักข้าวที่ได้จากการคัดแยกจากเครื่องแยกปลายข้าวในส่วนที่เป็นข้าวสภาพดี(ข้าวส่วนที่ 1)

F คือ น้ำหนักข้าวที่ได้จากการคัดแยกจากเครื่องแยกปลายข้าวในส่วนที่เป็นแตกหัก(ข้าวส่วนที่ 2)

2.4.3 อัตราการกะเทาะเปลือก

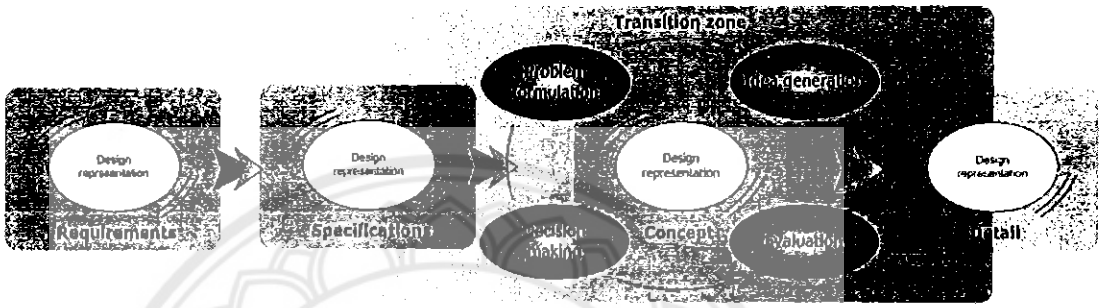
หาจากการนำข้าวเปลือกสายพันธุ์พิษณุโลก02 น้ำหนัก 1 กิโลกรัมมาทำการสี และจัดเวลาในการสี 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำเวลาที่ได้จากค่าเฉลี่ยในการสีข้าว 1 กิโลกรัม แปลงเป็นอัตราการกะเทาะ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)

บทที่ 3

การออกแบบเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

3.1 กระบวนการออกแบบ

กระบวนการออกแบบอย่างง่ายแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนตามแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กระบวนการออกแบบอย่างง่าย [5]

3.1.1 การวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้ (Requirements analysis) เป็นขั้นตอนแรกในกระบวนการออกแบบซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลความต้องการของผู้ใช้รวมทั้งข้อจำกัดต่างๆเช่น สภาพแวดล้อมในการใช้งาน ข้อกฎหมายต่างที่อาจจะมีผลต่อเนื่องเป็นต้น

3.1.2 การกำหนดคุณลักษณะ (Design Specifications) คือข้อกำหนดคุณลักษณะที่ต้องการของชิ้นงานโดยแปลความจากขั้นตอนแรกเป็นปริมาณที่วัดค่าได้เมื่อกำหนดเป้าหมายหรือกรอบสมรรถนะของชิ้นงานที่ทำการออกแบบข้อกำหนดที่ได้ในขั้นตอนนี้ เป็นเสมือนตัวชี้วัดสมรรถนะของชิ้นงานที่สร้างขึ้นว่าสมรรถนะทำงานได้ตามที่ต้องการหรือไม่

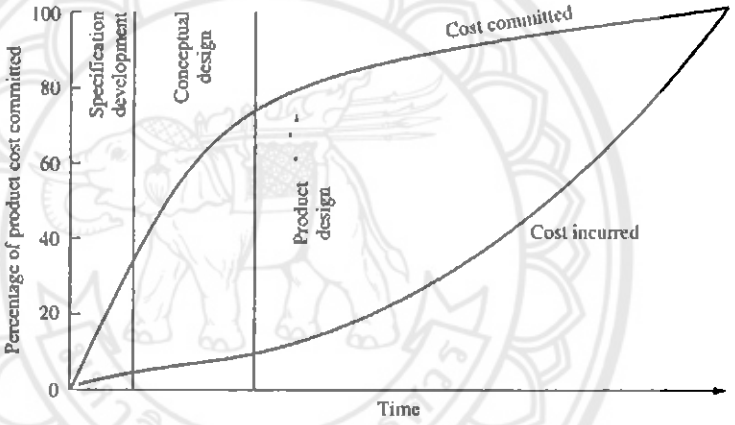
3.1.3 การออกแบบหลักการทำงาน (Concept design) เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อลักษณะและคุณสมบัติของชิ้นงาน และค่าใช้จ่ายในผลิตสูงที่สุด แต่มีความสับสนและเครื่องมือช่วยน้อยที่สุด ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ผู้ออกแบบตัดสินใจเลือกหลักการทำงานของชิ้นงานรวมไปถึงองค์ประกอบที่ทำให้ชิ้นงานทำงานได้ หรือเรียกได้เป็นการเปลี่ยนจากความต้องการเป็นชิ้นงานที่คอยตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้ สิ่งที่ได้จากขั้นตอนนี้คือ แบบร่างของชิ้นงานที่ออกแบบ

3.1.4 รายละเอียดแบบร่าง (Detail design) นำแบบร่างที่ได้จาก Concept design มาพิจารณาในรายละเอียด เช่น การปรับขนาดและรูปร่างของชิ้นงาน การคำนวณหรือทดสอบชิ้นส่วนเพื่อยืนยันความแข็งแรง การกำหนดกระบวนการผลิตเป็นต้น สิ่งที่ได้จากขั้นตอนนี้คือแบบชิ้นงานที่มีรายละเอียดสำหรับการผลิต

3.2 ประสิทธิภาพการออกแบบ

ตัวแปรหลักๆที่ใช้บอกถึงประสิทธิภาพของการบวนการออกแบบคือ ค่าใช้จ่ายในการผลิต คุณภาพของชิ้นงาน และระยะเวลาที่ใช้ในการพัฒนา [6]

3.2.1 ค่าใช้จ่ายในการผลิต



รูปที่ 3.2 ค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ถูกกำหนดในระหว่างการออกแบบ [6]

จากรูป 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ค่าใช้จ่างที่ใช้ในการออกแบบและผลิตภัณฑ์กับระยะเวลาที่ใช้ตั้งแต่การวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้จนถึงผลิตชิ้นงานออกมา กราฟเส้นบน (Cost committed) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงการกำหนดคุณลักษณะ (Specification Development) และการกำหนดลักษณะการทำงาน (Conceptual Design) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการตัดสินใจที่มีผมต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในผลิต ประมาณกว่า 75 % ได้ถูกตัดสินใจในช่วงนี้ ในขณะที่ค่าใช้จ่ายจริงแสดงโดยกราฟเส้นล่าง (Cost incurred) จะเพิ่มสูงขึ้นหลังจากหลักการทำงาน และแบบร่างได้ถูทำขึ้นมาแล้ว [6]

3.2.2 คุณภาพของชิ้นงาน ซึ่งอาจพิจารณาได้ 2 มิติคือ

3.2.2.1 ความใกล้เคียงกับ Design specifications ที่กำหนดไว้

3.2.2.2 ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

3.2.3 ระยะเวลาที่ใช้ในการพัฒนา เวลาที่ใช้มีน้อยทำให้การปรับเปลี่ยนและพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นไปได้อย่างรวดเร็วสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่เปลี่ยนได้ดี

3.3 การออกแบบเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

3.3.1 การวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้ (Requirements analysis)

ตารางที่ 3.1 ความต้องการของผู้ใช้

ลำดับที่	รายการ
1	เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก
2	สะดวกในการใช้งาน
3	ราคาถูก
4	สามารถสีข้าวได้
5	ใช้เวลาในการทำงานน้อย
6	ข้าวที่ได้หลังการสี มีสภาพดี

3.3.2 การกำหนดคุณลักษณะ (Design Specifications)

การกำหนดคุณลักษณะได้มาจากการตั้งเป้าหมายเทียบกับคุณลักษณะของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกกลิ้ง เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน

ตารางที่ 3.2 กำหนดคุณลักษณะ

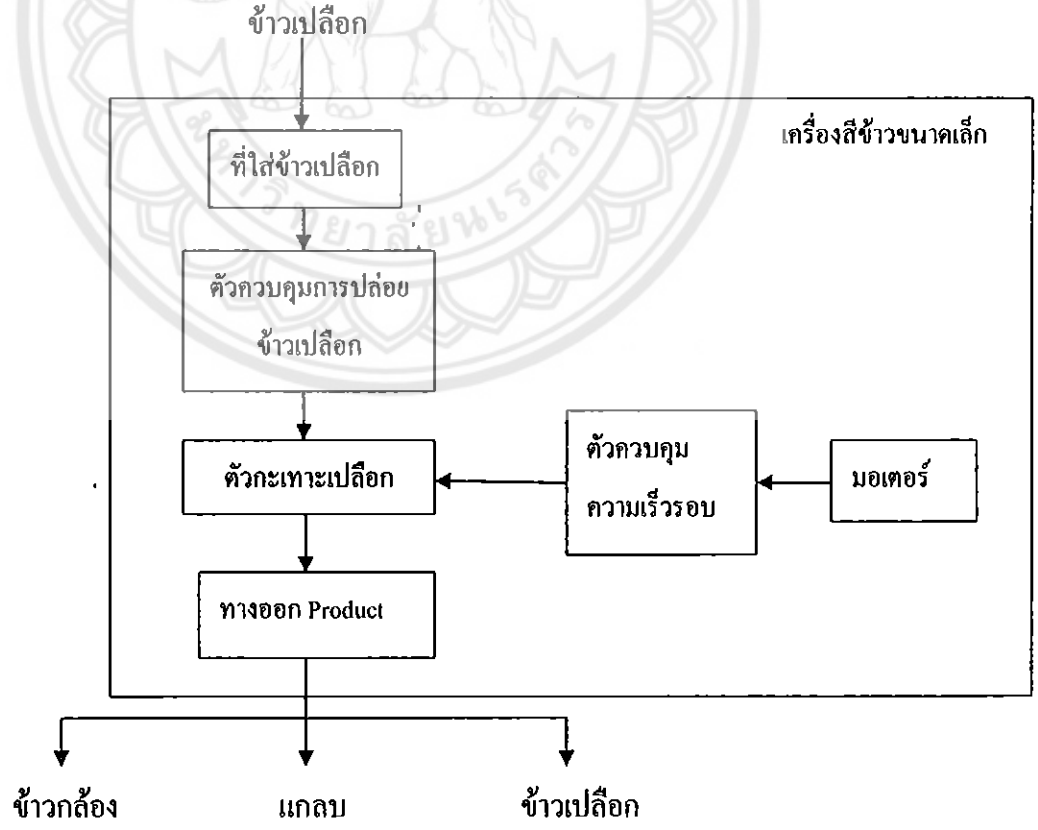
ลำดับ	รายการความต้องการ	คุณลักษณะของเครื่องสีข้าว	หมายเหตุ
1	เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก	กว้าง 30, ยาว 50, สูง 60 (cm)	เครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกกลิ้งขนาด กว้าง 30, ยาว 55, สูง 120 (cm)
2	สะดวกในการใช้งาน	ใช้ มอเตอร์ เป็นต้นกำลัง	ง่ายในการใช้งาน

ตารางที่ 3.2 กำหนดคุณลักษณะ (ต่อ)

ลำดับ	รายการความต้องการ	คุณลักษณะของเครื่องสีข้าว	หมายเหตุ
3	ราคาถูก	ต้นทุนต่ำกว่า 10,000 บาท	เครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกกลิ้งราคาประมาณ 15,000-20,000 บาท
4	สามารถสีข้าวได้	การกะเทาะ ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์	เทียบกับเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่ทำการทดสอบ
5	ใช้เวลาในการทำงานน้อย	15 กิโลกรัม/ชั่วโมง	อัตรากะเทาะเท่ากับเครื่องสีขนาดเล็กแบบลูกกลิ้ง
6	ข้าวที่ได้หลังการสีมีสภาพดี	มี เปอร์เซ็นต์ข้าวแตกหัก ไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์	เครื่องสีข้าวแบบลูกกลิ้งมีข้าวแตกหักไม่เกิน 20%

3.3.3 การออกแบบหลักการทำงาน (Concept design)

3.3.3.1 การกำหนดระบบการทำงาน (Flow function)



รูปที่ 3.3 Flow function ของกระบวนการสีข้าว

จากรูป 3.3 เครื่องสีข้าวขนาดเล็กจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆทำงานร่วมกันดังนี้คือ ที่ใส่ข้าวเปลือก, ตัวควบคุมการปล่อยข้าวเปลือก, ตัวกะเทาะเปลือก, ตัวส่งกำลังและควบคุมความเร็วรอบการกะเทาะ และ ทางออก Product

ซึ่งเมื่อเรานำข้าวเปลือกใส่เข้าไปในเครื่องกะเทาะขนาดเล็ก สิ่งที่ได้ออกมาหลังการสีจะประกอบด้วย ข้าวกล้อง, แกลบ และข้าวเปลือกที่ไม่กะเทาะ ดังรูปที่ 3.3

3.3.3.2 พิจารณาคุณลักษณะที่ต้องการของแต่ละระบบ

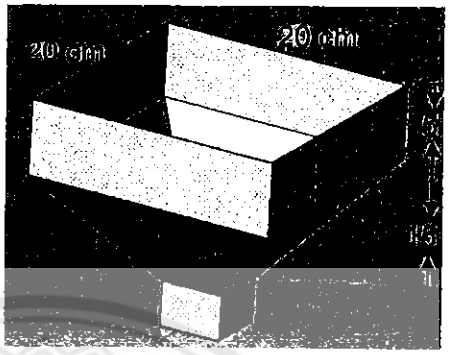
ตารางที่ 3.3 ความต้องการจาก Function การทำงานของเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

ขั้นตอนการทำงาน	สิ่งที่ต้องการจาก Function
ที่ใส่ข้าวเปลือก	1. รองรับข้าวเปลือกได้ 2 ลิตร (1 กิโลกรัม) 2. มีมุมเทที่เหมาะสมเพื่อให้ข้าวไหลลงได้เองตามแรงโน้มถ่วง
ตัวควบคุมการปล่อยข้าวเปลือก	1. มีอัตราการปล่อยเมล็ดข้าวเหมาะสมกับอัตราการกะเทาะ 2. สามารถควบคุมลักษณะการเคลื่อนที่ของเมล็ดข้าวให้เหมาะสมกับเครื่องสีข้าว
ตัวควบคุมความเร็วของมอเตอร์	1. สามารถส่งแรงบิดและความเร็วรอบเหมาะสมกับการสีข้าว
ส่วนกะเทาะ	1. กะเทาะเปลือกข้าวได้ 2. ไม่มีฝุ่นฟุ้งกระจายจากตัวเครื่อง
ทางออก Product	1. สามารถรองรับข้าวจากการกะเทาะได้ทั้งหมด 2. เมล็ดข้าวไม่มีการรั่วไหลในทิศทางอื่น

จากตารางที่ 3.3 จะเป็นตารางกำหนด คุณลักษณะ ในการออกแบบแต่ละส่วนของเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบและสร้างเครื่องสีข้าวขนาดเล็กให้มีความสามารถในการทำงานตามที่ได้กำหนดไว้

3.3.3.3 ที่ใส่ข้าวเปลือก

เพื่อให้รองรับข้าวเปลือกได้ 2 ลิตร (1 kg) และมีมุมเทที่เหมาะสม จึงออกแบบกรวยที่ใส่ข้าวเปลือกให้มีขนาดดังรูปที่ โดยมีมุมเท 45 องศา



รูปที่ 3.4 การออกแบบกรวย

ปริมาตรกรวย = A + B - C

$$= 20 \times 20 \times 5 + \frac{1}{3}(20x20\ x20) - \frac{1}{3}(5x5x5)$$

$$= 4{,}625\ cm^3$$

= 4.625 ลิตร

กำหนดตัวแปร

A คือ ปริมาตรทรงสี่เหลี่ยม (กว้าง 20 cm, ยาว 20 cm, สูง 5 cm)

B คือ ปริมาตรพีรามิดฐานสี่เหลี่ยม (ฐานกว้าง 20cm, ยาว 20 cm, สูง 20cm)

C คือ ปริมาตรพีรามิดฐานสี่เหลี่ยม (ฐานกว้าง 5cm, ยาว 5 cm, สูง 5cm)

3.3.3.4 ตัวควบคุมการปล่อยข้าว

เพื่อให้มีอัตราการปล่อยข้าวที่เหมาะสมกับอัตราการกะเทาะจึงออกแบบตัวควบคุมการปล่อยข้าวเป็นลิ้นกั้นการไหลของข้าวแล้วใช้ คนควบคุมการเปิดลิ้นปล่อยข้าวเพื่อให้ได้อัตราการปล่อยข้าวที่เหมาะสม

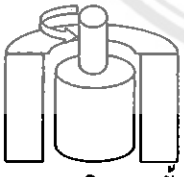
3.3.3.5 ตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์

เพื่อให้ได้ความเร็วรอบที่เหมาะสมจึงใช้ Inverter เป็นตัวควบคุมความเร็วรอบ โดยการปรับค่าความถี่ไฟฟ้าซึ่งจะส่งผลให้ความเร็วมอเตอร์เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงสามารถปรับความเร็วมอเตอร์ที่เหมาะสมได้

3.3.3.6 ส่วนกะเทาะ

ส่วนกะเทาะเป็นส่วนสำคัญในการสร้างเครื่องสีข้าวเพราะในส่วนนี้เป็นตัวชี้วัดสมรรถนะของเครื่องสีข้าวเช่น ประสิทธิภาพการกะเทาะ ขนาดของเครื่อง อายุการใช้งาน อัตราการสี และความเสียหายของข้าวหลังกะเทาะเป็นต้น ดังนั้นจึงต้องทำการพิจารณาเลือกลักษณะกะเทาะที่เหมาะสมในการนำไปพัฒนาดังตารางที่ 3.4

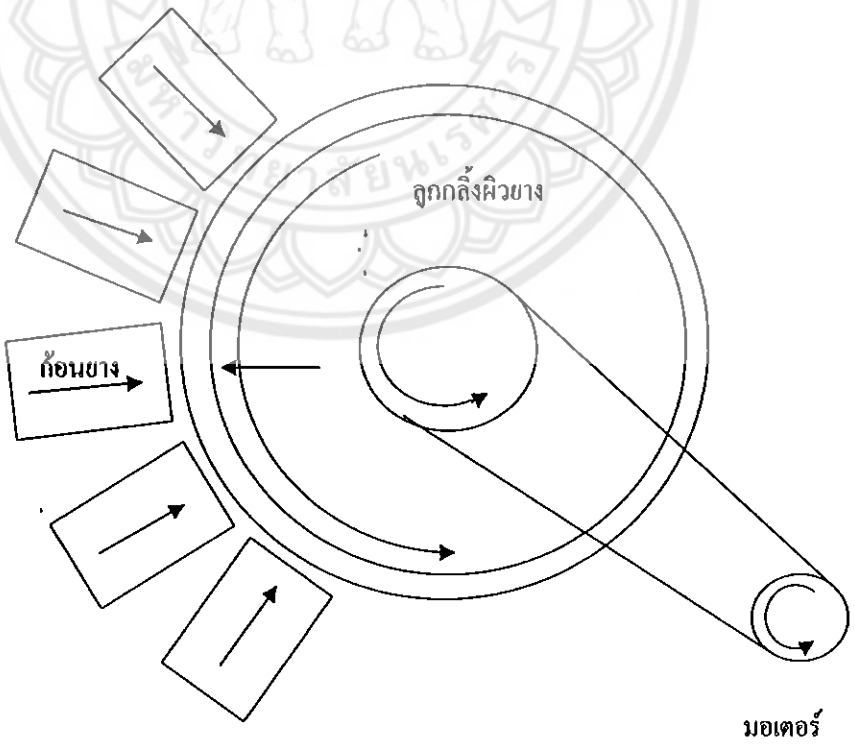
ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบส่วนกะเทาะลักษณะต่างๆของเครื่องสีข้าว

ลำดับที่	ลักษณะส่วนกะเทาะ	ลักษณะแนวแรงที่กระทำต่อข้าว	ขนาดเล็ก	อายุการใช้งาน	อัตราการสี	ความเสียหายของข้าว	รวม
1	แบบ ลูกกลิ้ง	ด้านหน้า	0	0	0	0	0
2	แบบ จานหมุน	ด้านหน้า	0	0	+1	-1	0
3	แบบ แรงเหวี่ยง	เมล็ดข้าว ด้านข้าง	0	0	+1	-1	0
4	 แบบ ลูกหินแนวตั้ง	ด้านหน้า	-1	0	+1	-1	-1
5	แบบ ลูกกลิ้งและก้อนยาง	ด้านหน้า	+1	0	0	0	+1

จากตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบส่วนกะเทาะลักษณะต่างๆของเครื่องสีข้าว พิจารณาการให้คะแนนตามหัวข้อต่อไปนี้ 1 ขนาดเล็ก, 2 อายุการใช้งาน, 3 อัตราการสี และ 4 ความเสียหายของข้าวโดยใช้ลักษณะส่วนกะเทาะแบบลูกกลิ้งเป็นตัวเปรียบเทียบ

การให้คะแนน โดยการพิจารณาของผู้ออกแบบ ตามหัวข้อข้างต้น จากการแปลความทฤษฎีบทที่ 2 หัวข้อ 2.2 และสอบถามข้อมูลจากศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก ร้านส่งเสริม (จำหน่ายอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับโรงสีข้าว จ.พิษณุโลก) และข้อมูลจากผู้ใช้เครื่องสีข้าวภูมิปัญญาท้องถิ่น ถ้าได้คะแนน +1 แสดงว่าดีกว่าลักษณะกะเทาะแบบลูกกลิ้งในหัวข้อนั้นๆ ถ้าได้คะแนน 0 แสดงว่าพอๆกัน และถ้าได้คะแนน -1 แสดงว่าด้อยกว่าลักษณะกะเทาะแบบลูกกลิ้ง

จากการเปรียบเทียบพิจารณาให้คะแนนส่วนกะเทาะ แบบต่างๆ พบว่าส่วนกะเทาะแบบลูกกลิ้งและก้อนยาง เหมาะสำหรับที่จะนำมาพัฒนาเป็นเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก เนื่องจากได้คะแนนจากการประเมินมากกว่าลักษณะกะเทาะแบบอื่นๆ และสามารถพัฒนาโดยการเพิ่มจำนวนก้อนยางในการกะเทาะได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ลักษณะการออกแบบส่วนกะเทาะ

วัสดุที่นำมาใช้เป็นส่วนกะเทาะคือลูกกลิ้งผิวยาง กับก้อนยาง เพราะวัสดุทั้งสองสามารถหาได้ง่ายตามท้องตามและสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนกะเทาะที่ให้ลักษณะแรงกระทำต่อเมล็ดข้าวเปลือกได้ตามที่กำหนดและยังสามารถสร้างให้มีขนาดเล็กที่มีจำนวนรอบการกะเทาะหลายรอบได้ ขนาดของลูกกลิ้งผิวยางที่มีในปัจจุบันก็มีตั้งแต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10, 15.25, 20.30, 25.4, 30.5 เซนติเมตร (4, 6, 8, 10, 12 นิ้ว) และมีค่าความแข็งในช่วง 85-90 Shore A แต่ตามท้องตลาดลูกกลิ้งผิวยางจะมีจำหน่ายเริ่มตั้งแต่ 15.25 เซนติเมตร จนถึง 30.5 เซนติเมตร ดังนั้นจึงเลือกลูกกลิ้งผิวยางขนาด 15.25 เซนติเมตร (6 นิ้ว) ในการใช้เป็นส่วนกะเทาะเพราะมีขนาดเล็กที่สุดที่หาได้ง่าย

รูปที่ 3.6 ลูกกลิ้งผิวยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.25 cm หน้ายางกว้าง 6.6 cm

ส่วนขนาดก้อนยางมาตรฐานความกว้างหน้ายาง 3.81 cm ความหนา 7.62 cm และความยาวมีตั้งแต่ 30.5, 45.72, 61 เซนติเมตร (12, 18, 24 นิ้ว) และมีค่าความแข่ง 60 Share A การเลือกขนาดก้อนยางจึงพิจารณาจากการคำนวณหาจำนวนก้อนยางที่สามารถใช้ได้มากที่สุดกับลักษณะการกะเทาะที่ได้ออกแบบ ซึ่งลูกกลิ้งผิวยางที่เลือกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.25 เซนติเมตร (6นิ้ว) และ

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ลูกกลิ้งมีหน้าผิวสัมผัสกับก้อนยางได้สูงสุด 150 องศา ดังนั้นระยะที่ลูกกลิ้งสามารถอัดกับก้อนยางได้มากที่สุดหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ระยะที่ลูกกลิ้งอัดกับก้อนยางได้มากที่สุด} = \pi D \times \frac{\text{องศา ที่ผิวลูกกลิ้งสามารถสัมผัส}}{360}$$

$$\text{ระยะที่ลูกกลิ้งอัดกับก้อนยางได้มากที่สุด} = \pi D \times \frac{150}{360}$$

$$= \pi \times 10.25 \times \frac{150}{360}$$

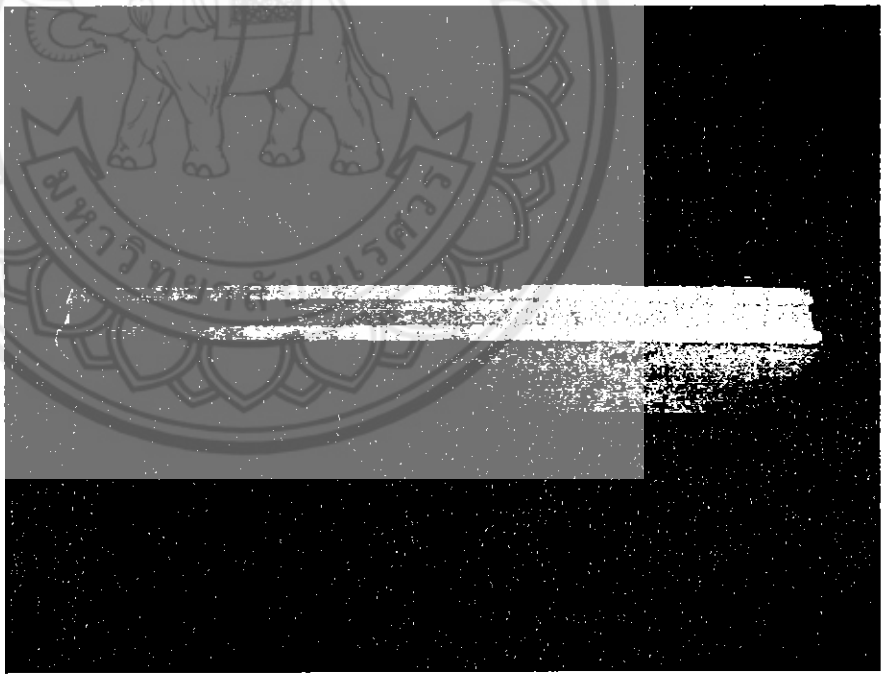
$$= 20 \text{ เซนติเมตร}$$

1'5516067
วร.
ว 476ค
2553

เมื่อก้อนยางกว้าง 3.81 cm ดังนั้นจะใช้จำนวนก้อนยาง $= \frac{20}{3.81} = 5.23 \approx 5$ ก้อน

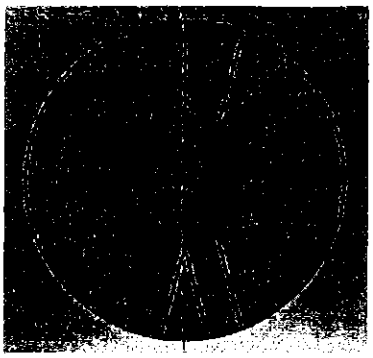
เมื่อต้องการตัดก้อนยางที่มีความยาว 6.6 cm จำนวน 5 ก้อน และก้อนยางที่ใช้จะต้องมีความยาวทั้งหมดอย่างน้อย $= 6.6 \times 5 = 33$ เซนติเมตร

จึงเลือกก้อนยางขนาดมาตรฐานที่มีความยาว 45.72 เซนติเมตร (18 นิ้ว) มาใช้

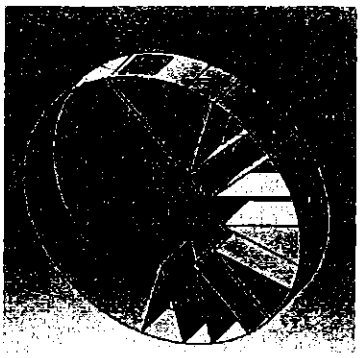


รูปที่ 3.7 ก้อนยางขนาดมาตรฐานที่มีความยาว 45.72 เซนติเมตร (18 นิ้ว)

เมื่อได้ขนาดลูกกลิ้งผิวยางและก้อนยางที่จะใช้เป็นตัวกะเทาะเปลือกแล้ว จึงทำการออกแบบโครงส่วนกะเทาะได้ดังรูปที่ 3.8 และ รูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 โครงส่วนกะเทาะด้านหน้า



รูปที่ 3.9 โครงส่วนกะเทาะแบบ 3 มิติ

โครงสร้างที่จะรองรับส่วนกะเทาะที่ออกแบบดังกล่าวได้อย่างเหมาะสม จะต้องมีรูปทรงเป็นทรงกระบอกเพราะจะรองรับส่วนต่างๆได้อย่างลงตัว ขนาดโครงสร้างที่สามารถสร้างให้เล็กที่สุดคำนวณจาก

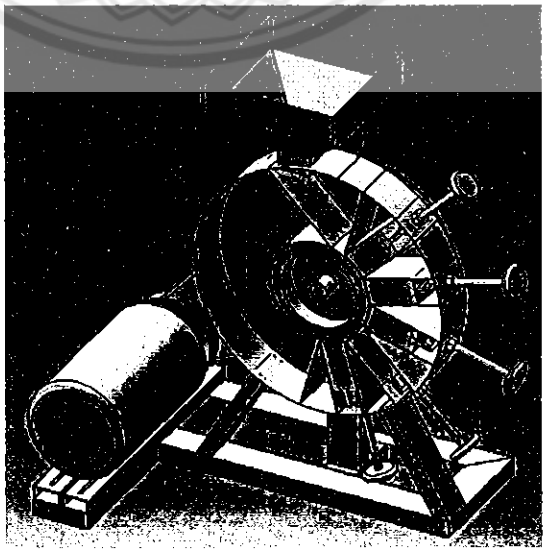
รัศมีโครงส่วนกะเทาะ = รัศมีลูกกลิ้ง+ความหนาก้อนยาง+ระยะที่ต้องใช้สำหรับชุดจับยึดก้อนยาง

รัศมีโครงส่วนกะเทาะ = 7.62cm+ 7.62cm + 3.81cm = 19.05 cm

ดังนั้น โครงส่วนกะเทาะที่สามารถสร้างขนาดเล็กที่สุดมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 38.1 cm (15 นิ้ว)

ความหนาของโครงส่วนกะเทาะ = 7.62 cm

3.3.3.8 แบบร่างของเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

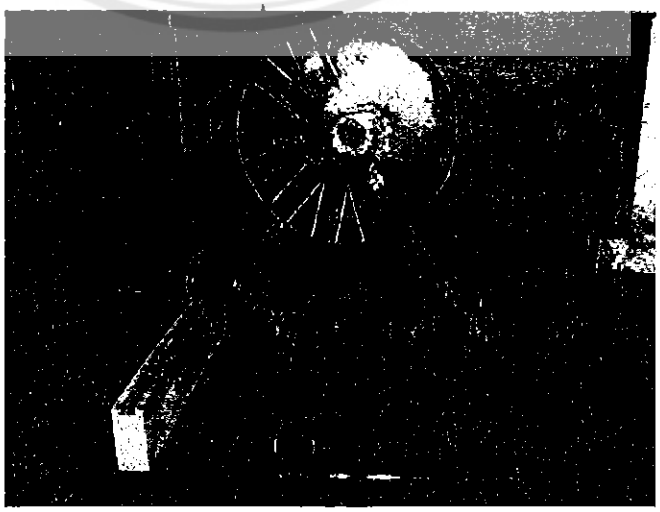


รูปที่ 3.10 แบบร่างเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

3.3.4 รายละเอียดแบบร่าง (Detail Design)

ตารางที่ 3.5 สรุปโครงสร้างในแต่ละส่วน

ส่วนโครงสร้าง	รายละเอียดโครงสร้าง
ที่ใส่ข้าวเปลือก	1. เป็นกรวยสี่เหลี่ยมที่มีความชัน 45° 2. ทำด้วยสังกะสีหนา 1 mm 3. สามารถจุข้าวเปลือกได้ 4,625 cm^3 หรือ 4.625 ลิตร
ตัวควบคุมการปล่อยข้าวเปลือก	1. ทำเป็นลิ้นควบคุมการปล่อยข้าวบริเวณปล่องระหว่างที่ใส่ข้าวเปลือกกับโครงส่วนกะเทาะ 2. ทำด้วยแผ่นเหล็กหนา 2 mm 3. รางปล่อยข้าวมีมุมเอียง 45°
ตัวควบคุมความเร็วของมอเตอร์	1. ใช้ Inverter เป็นตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์ 2. ส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังลูกกลิ้งส่วนกะเทาะที่มีเพลาขนาด 2.54 cm (1 นิ้ว)โดยใช้ พู่เลย์ และสายพาน
ส่วนกะเทาะ	1. ใช้ลูกกลิ้งและก้อนยางเป็นตัวกะเทาะ 2. สามารถใส่จำนวนก้อนยางได้มากที่สุด 5 ก้อน 3. โครงส่วนกะเทาะเป็นทรงกะบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 38.1 cm และหนา 7.5 cm
ฐานเครื่อง	1. ใช้เหล็กกล่องกว้าง 2.54 cm ยาว 5.08 cm ในการสร้างฐานเครื่องสีข้าว 2. ใช้เหล็กฉากในการสร้างฐานมอเตอร์



รูปที่ 3.11 การจัดเตรียมวัสดุ

ตารางที่ 3.6 การจัดเตรียมวัสดุของโครงสร้างส่วนต่างๆ

ส่วนโครงสร้าง	วัสดุที่ต้องจัดเตรียม	ประมาณราคา (บาท)
ที่ใส่ข้าวเปลือก	1. แผ่นสังกะสีความหนา 0.5 mm	100
ตัวควบคุมการปล่อยข้าวเปลือก	1. แผ่นเหล็กหนา 2 mm ตัดทำลิ้นปล่อยข้าว 2. แผ่นเหล็กสี่เหลี่ยม 7.5 cm ยาว 14 cm	50
ตัวควบคุมความเร็วของมอเตอร์	1. พู่เล่ย์ ร่องA เส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 cm 2. พู่เลย์ ร่องA เส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 cm 3. สายพาน ร่อง A รูปตัว v 4. เพลาเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 cm	400
ส่วนกะเทาะ	1. แผ่นเหล็กวงกลมเส้นผ่านศูนย์ 38.1 cm หนา 2 mm 2. แผ่นเหล็กสี่เหลี่ยม กว้าง 7.5 cm ยาว 11 cm (10 แผ่น) 3. แผ่นเหล็กสี่เหลี่ยม กว้าง 7.5 cm ยาว 14 cm 4. แผ่นเหล็กสี่เหลี่ยม กว้าง 7.5 cm ยาว 120 cm 5. แผ่นอะคริลิค วงกลมเส้นผ่านศูนย์ 38.1 cm 6. ลูกกลิ้งผิวยาง เส้นผ่านศูนย์กลาง 10.25 cm 7. ก้อนยางสีข้าวขนาดมาตรฐาน ยาว 45.72 cm 8. น๊อตยาว 10 cm จำนวน 5 ตัว	1,500
ฐานเครื่อง	1. เหล็กกล่องกว้าง 2.54 cm ยาว 5.08 cm 2. ตลับลูกปืนตุ๊กตาขนาด 2.54 cm (2 อัน) 3. เหล็กฉาก ทำฐานมอเตอร์ 4. น๊อตยึดฐานมอเตอร์	500

ราคาที่ใช้ในการสร้างเครื่องประกอบด้วย

1. ค่าอุปกรณ์ 2,550 บาท
2. ค่ามอเตอร์ 3,500 บาท
3. ค่าแรงงาน 1,500 บาท

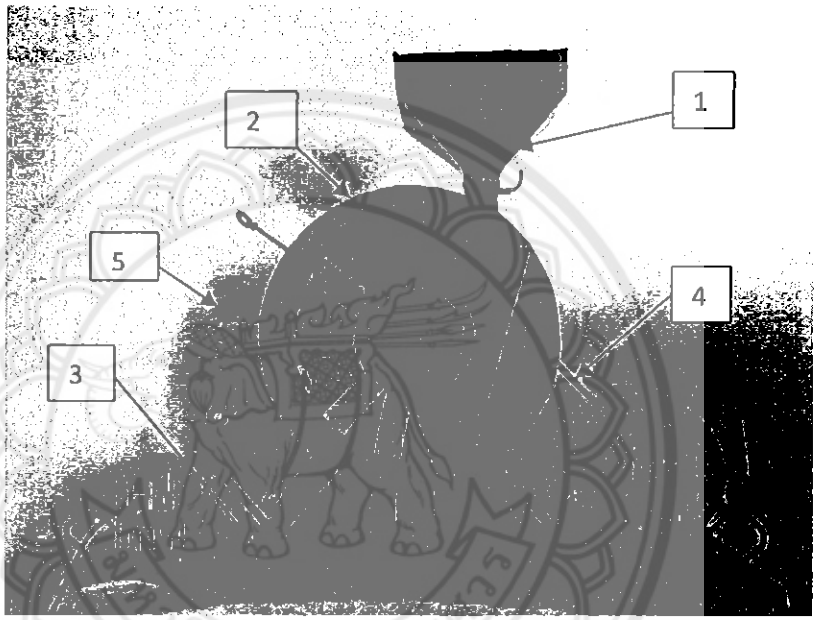
รวมประมาณราคา 7,550 บาท

บทที่ 4

การสร้างเครื่องและทดสอบ

4.1 การสร้างเครื่อง

การสร้างเครื่องแบ่งเป็น 5 ส่วนหลักๆมาประกอบกันคือ 1.กรวยใส่ข้าวและตัวควบคุมการปล่อยข้าว, 2.โครงส่วนกะเทาะ, 3.โครงสร้างส่วนฐาน, 4.ชุดส่งกำลัง, 5.ชุดควบคุมก้อนยาง



รูปที่ 4.1 เครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่ทำการพัฒนา

4.1.1 ขั้นตอนการสร้าง กรวยใส่ข้าวและตัวควบคุมการปล่อยข้าว

รูปที่ 4.1 กรวยใส่ข้าวและตัวควบคุมการปล่อยข้าว

4.1.1.1 เขียนภาพคลี่กรวยที่ออกแบบลงบนกะสีที่หนา 0.5 mm

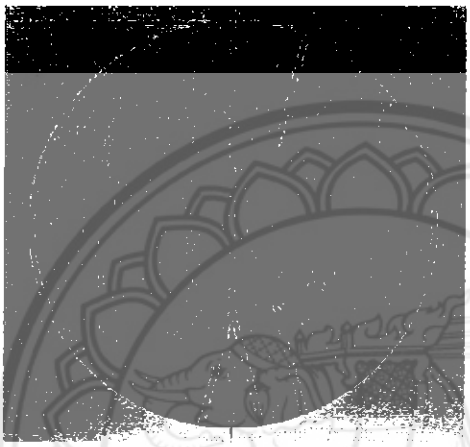
4.1.1.2 ตัดสังกะสีตามแบบแล้วพับขึ้นรูปเป็นกรวย

4.1.1.3 นำกรวยที่ได้ยึดติดกับเหล็กกล่องขนาน 5 cm x 5 cm

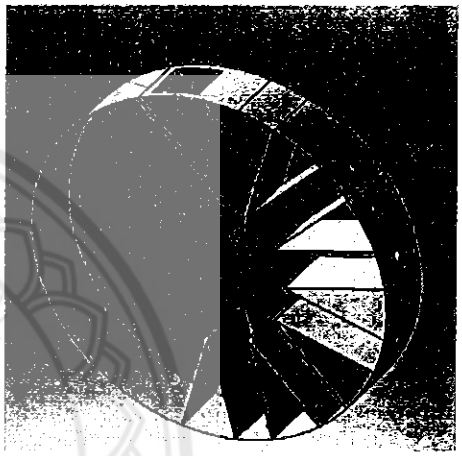
4.1.1.4 เจาะรูเหล็กกล่องเพื่อทำช่องใส่ที่กั้นการไหลของข้าว

4.1.1.5 ตัดแผ่นเหล็กเสียบที่ช่องกล่องเหล็กเป็นตัวควบคุมการปล่อยเมล็ดข้าว

4.1.2 ขั้นตอนการสร้าง โครงส่วนกะเทาะ



รูปที่ 4.3 โครงส่วนกะเทาะด้านหน้า



รูปที่ 4.4 โครงส่วนกะเทาะแบบ 3 มิติ

4.1.2.1 ตัดแผ่นเหล็กหนา 2 mm เป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38.1 cm

4.1.2.2 เจาะรูกลางแผ่นเหล็กสำหรับสอดเพลาขนาด 2.54 cm

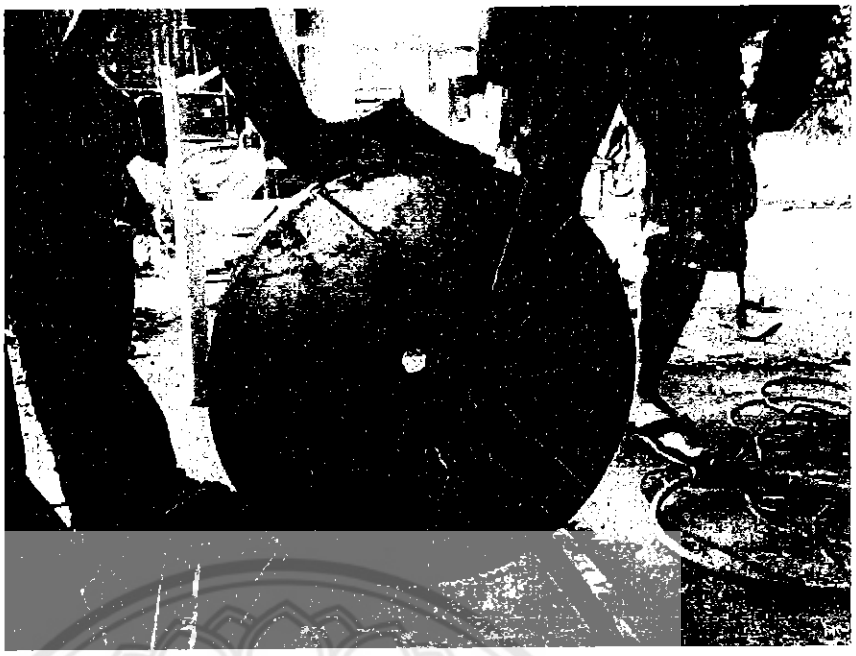
4.1.2.3 ตัดแผ่นเหล็กเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 7.62 cm ยาว 120 cm ม้วนเป็นวงกลมจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 38.1 cm เชื่อมติดกับแผ่นวงกลมที่เตรียมไว้

4.1.2.4 ตัดแผ่นเหล็กเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 7.62 cm ยาว 11 cm จำนวน 10 แผ่น เชื่อมต่อกันแบบสามเหลี่ยมตามรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 เพื่อใช้เป็นช่องสำหรับใส่ก้อนยาง

4.1.2.5 ตัดแผ่นเหล็กเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 7.62 cm ยาว 14 cm หนึ่งแผ่น นำไปเชื่อมเป็นลางสำหรับให้ข้าวกลิ้งลงมาตามรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3

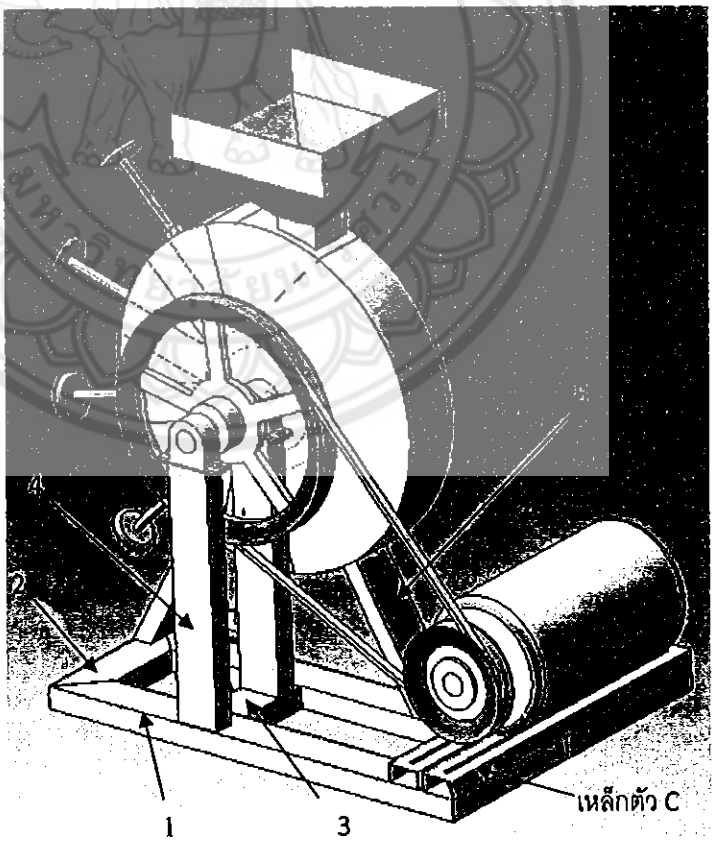
4.1.2.6 เจาะรูสำหรับช่องกรวยใส่ข้าว ขนาด 5 cm x 5 cm

4.1.2.7 เจาะรูสำหรับก้านปรับก้อนยาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm



รูปที่ 4.5 โครงสร้างส่วนกะเทาะ

4.1.3 ขั้นตอนการสร้าง โครงสร้างส่วนฐาน



รูปที่ 4.6 แบบโครงสร้างส่วนฐาน

4.1.3.1 ตัดเหล็กกล่องขนาด 2.54 cm (1 นิ้ว) x 5.18 cm (2 นิ้ว) ตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 เหล็กกล่องที่ต้องเตรียมขนาดต่างในการสร้างฐาน

แบบที่	ความยาว (cm)	ลักษณะการตัดปลาย	จำนวน (ชิ้น)
1	90	เฉียง 45	2
2	20	เฉียง 45	2
3	15	ฉาก 90	1
4	25	ฉาก 90	2
.5	20	เฉียง 60	2

4.1.3.2 ตัดเหล็กตัว C ยาว 30 cm จำนวน 2 ชิ้น แล้วเจาะรูเป็นแนวยาวตรงกลาง

4.1.3.3 นำชิ้นส่วนต่างมาเชื่อมติดกันตามรูป 4.6

4.1.4 ขั้นตอนการสร้าง ชุดส่งกำลัง

รูปที่ 4.7 ชุดส่งกำลัง

4.1.4.1 ตัดเหล็กเพลาขนาด 2.54 cm (1 นิ้ว) ยาว 20 cm

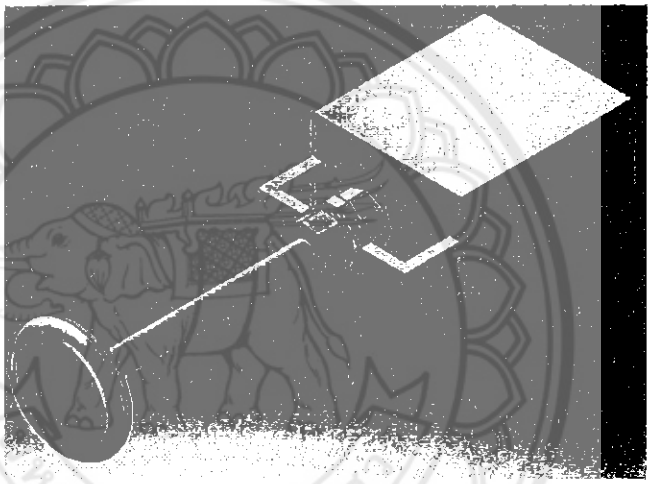
4.1.4.2 นำลูกปืนตุ๊กตามายึดติดกับปลายเสาทั้งสอง

4.1.4.3 นำพู่เลย์ขนาด 7.62 cm (3 นิ้ว)ติดกับมอเตอร์ และยึดมอเตอร์ติดกับฐาน

4.1.4.4 สอดเพลาจากทางด้านหลังลูกปืนตุ๊กตาผ่านพู่เลย์ขนาด 25.1 cm (10 นิ้ว)ยึดติดกับลูกกลิ้ง

4.1.4.5 คล้องสายพานระหว่างพู่เลย์ทั้งสองอัน ปรับฐานมอเตอร์ให้พู่เลย์ทั้งสองตรงกัน

4.1.5 ขั้นตอนการสร้าง ชุดปรับก้อนยาง



รูปที่ 4.8 แบบชุดปรับก้อนยาง

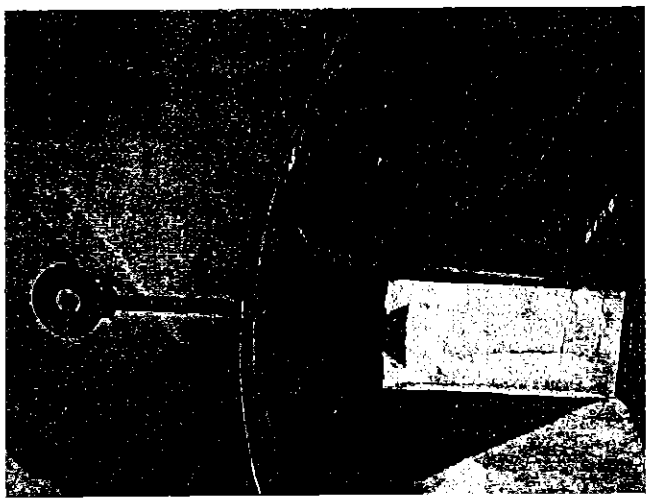
4.1.5.1 ตัดเหล็กเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมกว้าง 2 cm ยาว 5 cm

4.1.5.2 ตัดเหล็กเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมกว้าง 2 cm ยาว 9 cm ดัดปลายทั้งสองข้างข้างละ 2 cmให้เป็นรูปตัว C เจาะรูตรงกลางขนาด 1 cm

4.1.5.3 เชื่อมปลายแผ่นเหล็กทั้งสองติดกันทั้งสองด้าน

4.1.5.4 นำน็อตตัวผู้ที่มีความยาว 10 cm สอดเข้าไปในรูที่เจาะ ล็อกด้วยน็อตตัวเมีย

4.1.5.5 ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 – 5 ให้ได้ทั้งหมด 5 ชุด



รูปที่ 4.9 ชุดปรับก้อนยาง

4.1.6 ขั้นตอนการประกอบทั้ง 5 ส่วนเข้าด้วยกันมีขั้นตอนดังนี้

4.1.5.1 นำโครงส่วนกะเทาะมายึดติดกับฐาน

4.1.5.2 ติดตั้งส่วนส่งกำลังยึดติดกับฐานและลูกกลิ้ง

.4.1.5.3 ติดตั้งส่วนควบคุมก้อนยางติดกับโครงส่วนกะเทาะแล้วใส่ก้อนยางเข้าไป

4.1.5.4 เชื่อมส่วนกรวยที่ควบคุมการปล่อยข้าวติดกับโครงส่วนกะเทา

4.2 การทดสอบ

วัตถุประสงค์ของการทดสอบเพื่อต้องการทราบสมรรถนะของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กว่าสามารถทำงานตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ และหามีข้อดี-ข้อด้อยของเครื่องที่ออกแบบเทียบกับเครื่องสีข้าวทั่วไปอย่างไร โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

4.2.1 การทดสอบหาสภาพการใช้งานที่เหมาะสม

- หาจำนวนก้อนยางที่เหมาะสม [ภาคผนวก ค]
- หาความเร็วรอบที่เหมาะสม [ภาคผนวก ค]

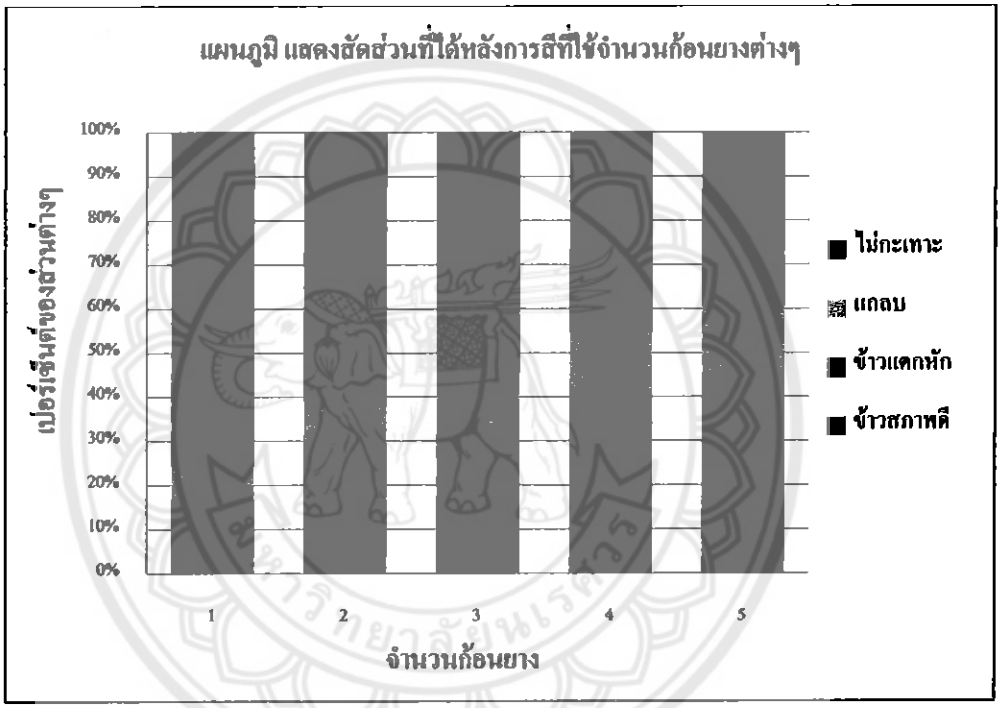
4.2.2 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกะเทาะเปลือก

- หาสมรรถนะการกะเทาะของเครื่องที่พัฒนา [ภาคผนวก ค]
- หาสมรรถนะการกะเทาะเครื่องแบบลูกกลิ้ง [ภาคผนวก ค]
- หาอัตราการกะเทาะ [ภาคผนวก ค]

4.3 ผลทดสอบ

4.3.1 หาจำนวนก้อนยางที่เหมาะสม

ทดสอบเพื่อให้ทราบจำนวนก้อนยางที่เหมาะสมในการกะเทาะดีที่สุด โดยทำการทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ แล้วทดสอบโดยใช้จำนวนก้อนยาง 1, 2, 3, 4, 5 ก้อนตามลำดับโดยทำการทดลองซ้ำอย่างละ 3 ครั้งในการใช้ก้อนยางแต่ละก้อนเพื่อหาค่าเฉลี่ย แล้วพิจารณาจากประสิทธิภาพการกะเทาะที่มากที่สุด ซึ่งได้ผลการทดสอบดังนี้



รูปที่ 4.10 แผนภูมิ แสดงสัดส่วนที่ได้หลังการสีที่ใช้จำนวนก้อนยางต่างๆ

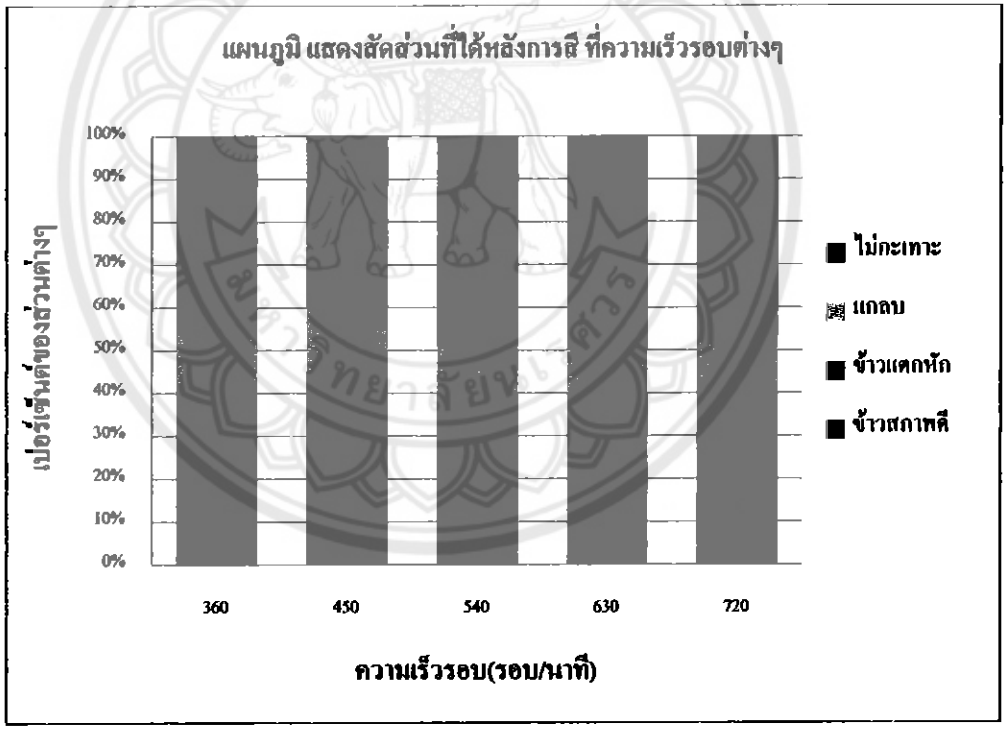
จากการทดสอบ แผนภูมิรูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนก้อนยางที่ใช้ในการกะเทาะกับเปอร์เซ็นต์การกะเทาะ จะเห็นได้ว่ายิ่งเมื่อเพิ่มจำนวนก้อนยางประสิทธิภาพในการกะเทาะจะเพิ่มสูงขึ้น จากการใช้ก้อนยาง 1 ก้อนได้ประสิทธิภาพในการกะเทาะที่ 25% และเพิ่มเป็น 60% เมื่อใช้ก้อนยาง 5 ก้อน โดยปรับระยะห่างระหว่างก้อนยางและลูกกลิ้งยางปรับไว้เท่ากันทุกก้อนที่ 0.5 มิลลิเมตร จากแผนภูมิแนวโน้มประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนก้อนยางเพิ่มขึ้น จึงสรุปได้ว่า จำนวนก้อนยางที่เหมาะสมสำหรับใช้ในเครื่องสีข้าว คือ 5 ก้อน

4.3.2 หาความเร็วรอบที่เหมาะสม

การทดสอบเพื่อทราบความเร็วรอบการกะเทาะที่เหมาะสมที่สุด ทดสอบด้วยใช้จำนวนก้อนยาง 5 ก้อนในการกะเทาะและทำการทดสอบที่ความเร็วรอบต่างๆ โดยการปรับ Inverter ที่ความถี่ 40, 50, 60, 70, 80 (Hz) ซึ่งจะได้ความเร็วรอบตามตารางที่ 4.2 และทำการทดลองซ้ำอย่างละ 3 ครั้งในแต่ละความเร็วรอบเพื่อหาค่าเฉลี่ย ซึ่งได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.11, 4.12 และ 4.13

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าจาก Inverter กับมอเตอร์ และลูกกลิ้ง

ความถี่Inverter (Hz)	40	50	60	70	80
ความเร็วรอบ มอเตอร์ (rpm)	1,200	1,500	1,800	2,100	2,400
ความเร็วรอบ ลูกกลิ้ง (rpm)	360	450	540	630	720



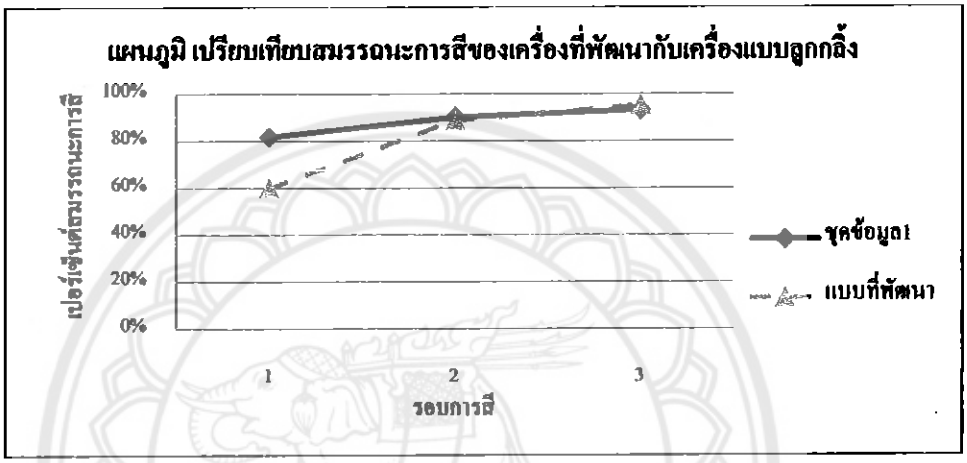
รูปที่ 4.11 แผนภูมิ แสดงสัดส่วนที่ได้หลังการสี ที่ความเร็วรอบตามตารางที่ 4.2

แผนภูมิรูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของลูกกลิ้งยางกับเปอร์เซ็นต์การกะเทาะ จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบในการกะเทาะประมาณ 450 rpm จะส่งผลให้เครื่องกะเทาะมีประสิทธิภาพการกะเทาะดีที่สุด โดยมีค่าความเท่ากับ 60%

4.3.3 สมรรถนะการกะเทาะ

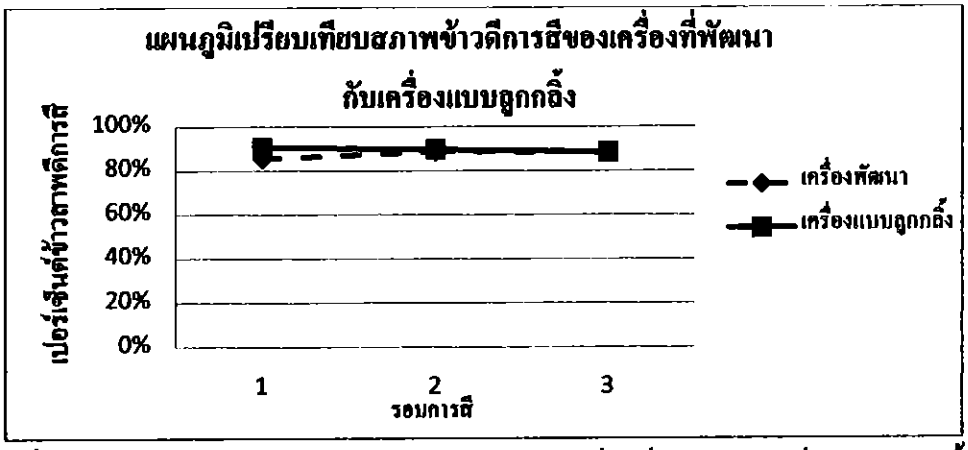
การทดสอบทำที่ความเร็วรอบของลูกกลิ้งยาง 450 rpm โดยใช้ลูกยางจำนวน 5 ก้อน ตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งและก้อนยางที่ 0.5 มิลลิเมตร

การทดสอบค่าเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการกะเทาะเปลือกของเครื่องสีข้าวที่พัฒนากับเครื่องสีข้าวแบบลูกกลิ้ง โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการกะเทาะ คุณภาพข้าวหลังการกะเทาะและอัตราการกะเทาะ



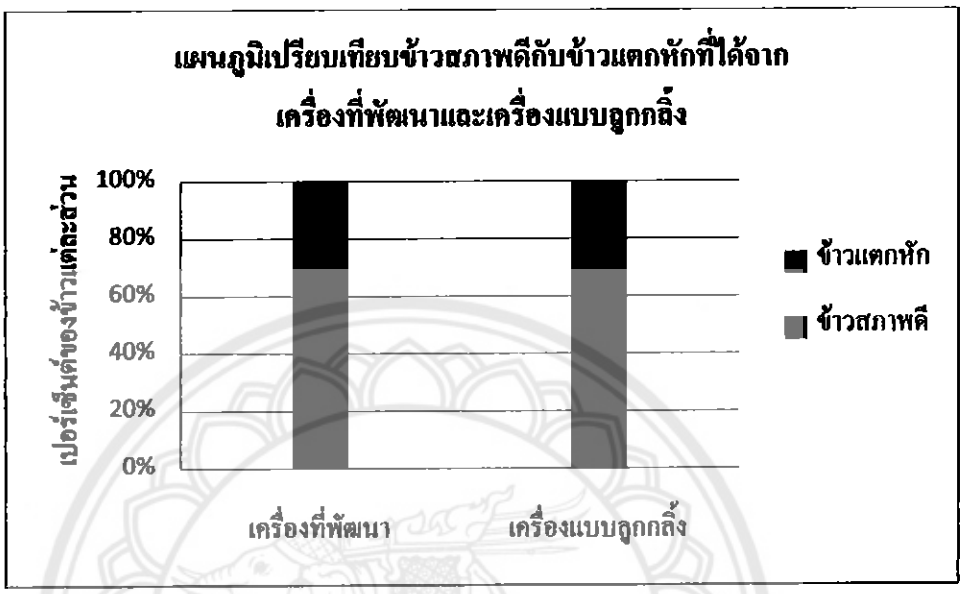
รูปที่ 4.14 แผนภูมิ เปรียบเทียบสมรรถนะการสีของเครื่องที่พัฒนา กับเครื่องแบบลูกกลิ้ง

จากแผนภูมิรูปที่ 4.14 เครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกกลิ้ง 2 ลูก จะมีประสิทธิภาพการกะเทาะสูงตั้งแต่การกะเทาะในครั้งแรก แต่เมื่อทดสอบในรอบที่ 2 และที่ 3 ประสิทธิภาพการกะเทาะจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจึงไม่จำเป็นที่จะทำการกะเทาะซ้ำ ส่วนเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่พัฒนาเมื่อพิจารณาจากกราฟประสิทธิภาพการกะเทาะจะไม่สูงมากในการกะเทาะรอบแรก แต่จะสูงขึ้นเมื่อกะเทาะในรอบที่ 2 และ 3



รูปที่ 4.15 แผนภูมิ เปรียบเทียบสภาพข้าวดีการสีของเครื่องที่พัฒนา กับเครื่องแบบลูกกลิ้ง

จากแผนภูมิรูปที่ 4.15 เป็นเปอร์เซ็นต์ของข้าวสภาพดีที่ได้จากการกะเทาะ โดยคิดได้จากข้าวสภาพดีส่วนด้วยข้าวที่ได้จากการกะเทาะทั้งหมด ส่วนข้าวแตกหักหาได้จากการนำข้าวสภาพดีหักออกจากข้าวที่ถูกกะเทาะทั้งหมด โดยคิดให้ส่วนของข้าวสภาพดีรวมกับข้าวแตกหักเป็น 100%



รูปที่ 4.15 แผนภูมิ เปรียบเทียบสภาพข้าวดีกับข้าวแตกหักหลังการสีของเครื่องที่พัฒนากับเครื่องแบบลูกกลิ้ง

จากแผนภูมิรูปที่ 4.15 แสดงสัดส่วนของข้าวที่ได้หลังการสีโดยแยกออกเป็นข้าวสภาพดีกับข้าวแตกหักที่ได้จากการสีของเครื่องที่พัฒนากับเครื่องแบบลูกกลิ้ง

4.2.5 หาอัตราการกะเทาะ

ตารางที่ 4.4 อัตราการกะเทาะที่ได้จากการทดลอง

เครื่องที่ใช้ทำการทดลอง	อัตราการกะเทาะเฉลี่ย (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
เครื่องสีข้าวที่พัฒนา	12
เครื่องสีข้าวแบบลูกกลิ้ง	15

จากตารางจะเห็นว่าอัตรากะเทาะเฉลี่ยของเครื่องที่พัฒนามีค่าเท่ากับ 12 กิโลกรัม/ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่าค่าอัตราการกะเทาะที่กำหนด15 กิโลกรัม/ชั่วโมง (ในการออกแบบไว้) เครื่องสีข้าวที่พัฒนาสามารถเพิ่มอัตราการการกะเทาะโดยการเปลี่ยนขนาดลูกกลิ้งที่มีหน้ายางกว้างขึ้นเพื่อให้มีพื้นที่ในการกะเทาะมากขึ้น ส่วนเครื่องกะเทาะแบบลูกกลิ้งที่ใช้เปรียบเทียบ สามารถกะเทาะได้ 15 กิโลกรัม/ชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างเครื่องที่พัฒนากับเครื่องแบบลูกกลิ้ง

เครื่องสีข้าว	การกะเทาะรอบที่ 1			การกะเทาะรอบที่ 2			การกะเทาะรอบที่ 3		
	%การกะเทาะ	%ข้าวสภาพดี	%ข้าวแตกหัก	%การกะเทาะ	%ข้าวสภาพดี	%ข้าวแตกหัก	%การกะเทาะ	%ข้าวสภาพดี	%ข้าวแตกหัก
ที่พัฒนา	59.97	88.23	11.31	88.88	85.36	11.77	95.27	88.69	14.64
แบบลูกกลิ้ง	81.78	90.69	9.31	90.16	89.63	10.37	90.31	88.08	11.92

ตัวอย่างการคำนวณ

2.4.1 ประสิทธิภาพการกะเทาะ

$$\text{ประสิทธิภาพในการกะเทาะ}(\%) = \frac{A-B}{A} \times 100$$

A คือ ค่าที่ได้จากการชั่งน้ำหนักข้าวที่นำมาทำการทดสอบ

B คือ ค่าที่ได้จากการชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ไม่กะเทาะ (คัดแยกด้วยมือ)

$$\text{ประสิทธิภาพในการกะเทาะ}(\%) = \frac{50.03-20.02}{50.03} \times 100$$

$$= 59.97\ \%$$

2.4.2 คุณภาพข้าวหลังการกะเทาะ

$$\%\ \text{ข้าวสภาพดี} = \frac{D}{C} \times 100$$

$$\%\ \text{ข้าวแตกหัก} = \frac{F}{C} \times 100$$

C คือ น้ำหนักข้าวที่ถูกกะเทาะหลังการสี

D คือ น้ำหนักข้าวที่ได้จากการคัดแยกจากเครื่องแยกปลายข้าวในส่วนที่เป็นข้าวสภาพดี(ข้าวส่วนที่ 1)

F คือ น้ำหนักข้าวที่ได้จากการคัดแยกจากเครื่องแยกปลายข้าวในส่วนที่เป็นแตกหัก(ข้าวส่วนที่ 2)

$$\% \text{ ข้าวสภาพดี} = \frac{19.88}{22.51} \times 100$$

$$= 88.36\ \%$$

$$\% \text{ ข้าวแตกหัก} = \frac{2.62}{22.51} \times 100$$

$$= 11.31\ \%$$

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 5
สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

5.1 คุณสมบัติเครื่องสีข้าวกล้องขนาดเล็ก

ต้นกำลัง	มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 1 แรงม้า
ปรับความเร็วรอบ	ใช้เครื่องปรับความเร็วรอบ (Inverter)
ขนาด (กว้าง x ยาว x สูง)	30 x 90 x 68 cm
ความจุของถังบรรจุเมล็ด	4,625 cm^3
ขนาดลูกกลิ้ง (เส้นผ่านศูนย์กลาง x กว้าง)	15.24 cm (6 นิ้ว) x 6.6 cm (2.6 นิ้ว)
ขนาดก้อนยาง (กว้าง x ยาว x สูง)	3.81 x 6.6 x 7.62 cm (1.5x2.6x3 นิ้ว)
ปรับระยะระหว่างลูกยางกับก้อนยาง	0.5 มิลลิเมตร

5.2 สรุปผลการทดสอบ

5.2.1 สรุปผลการเลือกจำนวนก้อนยาง ความเร็วรอบ และจำนวนรอบการกะเทาะเปลือก

5.2.2.1 จำนวนก้อนยางเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพกะเทาะดีขึ้นควรใช้ก้อนยาง 5 ก้อน ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ออกแบบไว้

5.2.2.2 การทดสอบทั้ง 5 ความเร็วรอบที่ 360 450 540 630 และ 720 รอบต่อนาที ความเร็วรอบลูกยางที่เหมาะสมคือความเร็วประมาณ 450 รอบต่อนาที

5.2.2.3 จำนวนรอบการกะเทาะที่เหมาะสมคือ 2 รอบการกะเทาะ จะได้ประสิทธิภาพการกะเทาะที่ 88%

5.2.2 สรุปผลการเปรียบเทียบการทำงานระหว่างเครื่องสีข้าวแบบลูกกลิ้งกับเครื่องสีข้าวที่พัฒนา โดยใช้ความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่ 450 rpm จำนวนก้อนยาง 5 ก้อน

5.2.3.1 ในการกะเทาะรอบแรกเครื่องสีข้าวแบบลูกกลิ้งมีประสิทธิภาพการกะเทาะสูงกว่าเครื่องสีข้าวที่พัฒนา

5.2.3.2 ในการกะเทาะซ้ำรอบที่ 2 และ 3 เครื่องสีข้าวที่พัฒนาจะมีประสิทธิภาพกะเทาะที่ดีกว่า เครื่องสีข้าวแบบลูกกลิ้ง

5.2.3.3 อัตราการกะเทาะเครื่องสีข้าวแบบลูกกลิ้งจะสูงกว่าเครื่องสีข้าวแบบพัฒนาเล็กน้อย

ตารางที่ 5.1 ประสิทธิภาพการกะเทาะ, % ข้าวสภาพดี, % ข้าวแตกหัก ระหว่างเครื่องสีข้าวที่พัฒนากับเครื่องสีแบบลูกกลิ้ง

คุณลักษณะ	เครื่องที่พัฒนา	เครื่องแบบลูกกลิ้ง
ประสิทธิภาพการกะเทาะ(%)	60	75
ข้าวสภาพดี(%)	85	90
ข้าวแตกหัก(%)	15	10

5.2.3 สรุปการนำเครื่องสีข้าวกล้องขนาดเล็กไปใช้งาน

เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน สิ่งที่ควรคำนึงคือการคัดแยกสิ่งปะปนออกจากข้าวก่อน และคัดขนาดเมล็ดข้าวเพื่อให้ให้เมล็ดมีขนาดใกล้เคียงกันมากที่สุดใช้ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งและก้อนยาง 0.5 มิลลิเมตร ผลการทดสอบพิจารณาแล้วควรใช้ตัวแปรทั้งหมดดังนี้

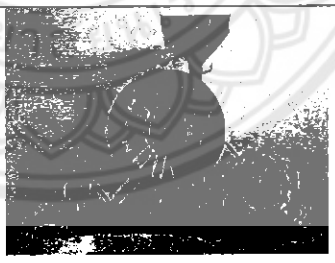
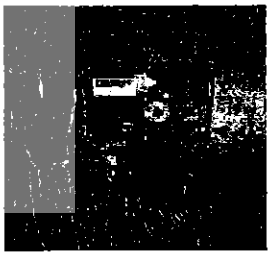
5.2.4.1 ความเร็วรอบลูกยางที่ใช้ 450 รอบต่อนาที

5.2.4.2 จำนวนก้อนยางใช้ 5 ก้อน

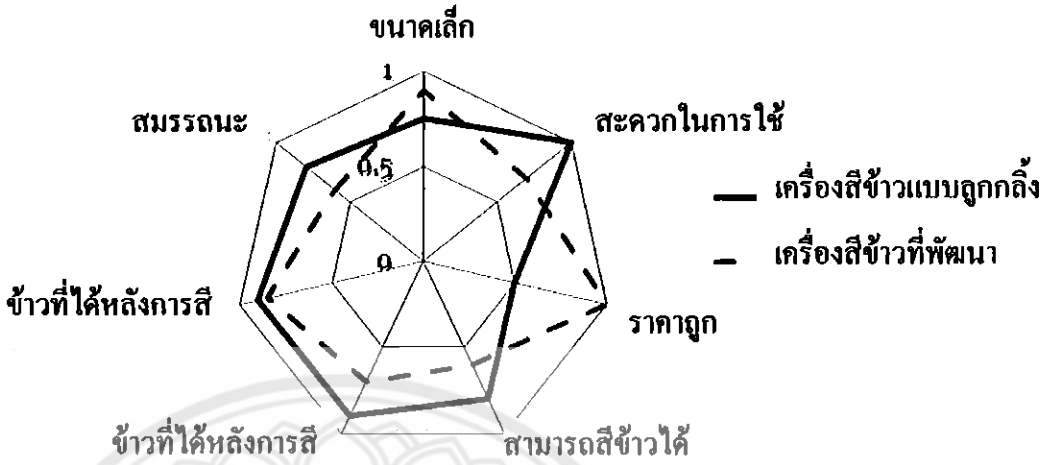
5.2.4.3 จำนวนรอบการกะเทาะ 1-2 รอบ (โดยจำนวนรอบการกะเทาะเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นแต่ควรคำนึงถึงการใช้พลังงานด้วย)

5.2.4.4 คำนวณระยะเวลาคืนทุน [ภาคผนวก ง]

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบเครื่องสีข้าวที่พัฒนากับเครื่องแบบลูกกลิ้งจากความต้องการของผู้ใช้

ความต้องการของผู้ใช้		
	เครื่องที่พัฒนา	เครื่องแบบลูกกลิ้ง
ขนาดเล็ก (กว้าง, ยาว, สูง)	(30, 90, 68) cm	(30, 55, 120) cm
สะดวกในการใช้งาน	0.7	1
ราคาถูก	7,000 บาท	15,000 บาท
สามารถสีข้าวได้	60 %	82 %
ใช้เวลาในการทำงานน้อย	12 กิโลกรัม/ชั่วโมง	15 กิโลกรัม/ชั่วโมง
ข้าวที่ได้หลังการสี มีสภาพดี	85 %	90 %

จากตารางที่ 5.1 สามารถนำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบระหว่างเครื่องสีข้าวที่พัฒนากับเครื่องสีข้าวแบบลูกกลิ้ง จากความต้องการของผู้ใช้ได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องสีข้าวจากความต้องการของผู้ใช้

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่พัฒนามีข้อเด่นกว่าเครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกกลิ้งตรงที่ มีขนาดเล็ก และมีราคาถูกกว่า ส่วนข้อด้อยของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่พัฒนาเมื่อเทียบกับเครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกกลิ้งคือ สะดวกในการใช้งานน้อยกว่า เปอร์เซ็นต์การกะเทาะต่ำกว่า ข้าวที่ได้หลังการสีมีสภาพดีน้อยกว่า และใช้เวลามากกว่าในการทำงาน

5.3 ข้อเสนอแนะ

- ควรทำการทดสอบหาระยะห่างระหว่างก้อนยางแต่ละก้อน ว่าควรใช้ระยะห่างเท่าไหร่
- ควรทดสอบปรับความชันของรางข้าวเพื่อให้ข้าวไหลไปยังส่วนกะเทาะเหมาะสมที่สุด
- ควรแก้ไขตัวปรับควบคุมก้อนยางให้ใช้งานได้ง่ายสะดวกมากขึ้น
- สามารถเพิ่มอัตรากะเทาะให้มากขึ้น โดยการเพิ่มพื้นที่การกะเทาะ เช่นใช้ลูกกลิ้งที่มีหน้ายางกว้างขึ้น
- ทางออกของข้าวหลังการกะเทาะไม่ควรเป็นแผ่นเหล็กเพราะจะทำให้ข้าวหักมากขึ้นควรเป็นยาง
- ควรปิดช่องว่างบริเวณส่วนกะเทาะให้สนิท เพื่อไม่ให้ข้าวสามารถเล็ดลอดออกมาตามช่องว่างในขั้นตอนกะเทาะ

บรรณานุกรม

[1] กรมการข้าว. (ผู้ผลิต). (2553). **องค์ความรู้เรื่องข้าว Rice Knowledge Bank. [ซีดี].** กรุงเทพมหานคร:กระทรวงเกษตและสหกรณ์.

[2] F.Gariboldi. (1988). **Rice milling equipment opertion and maimtenance.** Rome: The United Nation. ISBN:92-5-101095-1.

[3] สุพัตรา สุวรรณธาดา. (2547). **การตรวจสอบและคัดแยกคุณภาพข้าว. ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก: กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.**

[4] ธรรมทัศน์สมาคม. (2552).ข้าวกล้องวิตามินเพียบ. สืบค้นเมื่อ 12 สิงหาคม 2553,จาก http://www.yourhealthyguide.com/article/an-unpolished-rice.htm

[5] Veerapun, S. (2007). **Risk Based Functional Concept Design, PhD Thesis.** The University of Manchester, Manchester: UK.

[6] Ullman. (1944). **The Mechanical Design Process.** Singapore:McGRW-HILL.

[7] Kenetic, E. (8 ธันวาคม 2553).หนึ่งคนกินข้าวกี่ถังต่อปี. เกษตรพอเพียง.คอม. สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2554,จาก http://www.kasetporpeang.com/forums/index.php?topic=27024.0

[8] ร้านสหกรณ์ผู้ปฏิบัติงาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จำกัด(รส. กฟผ.).

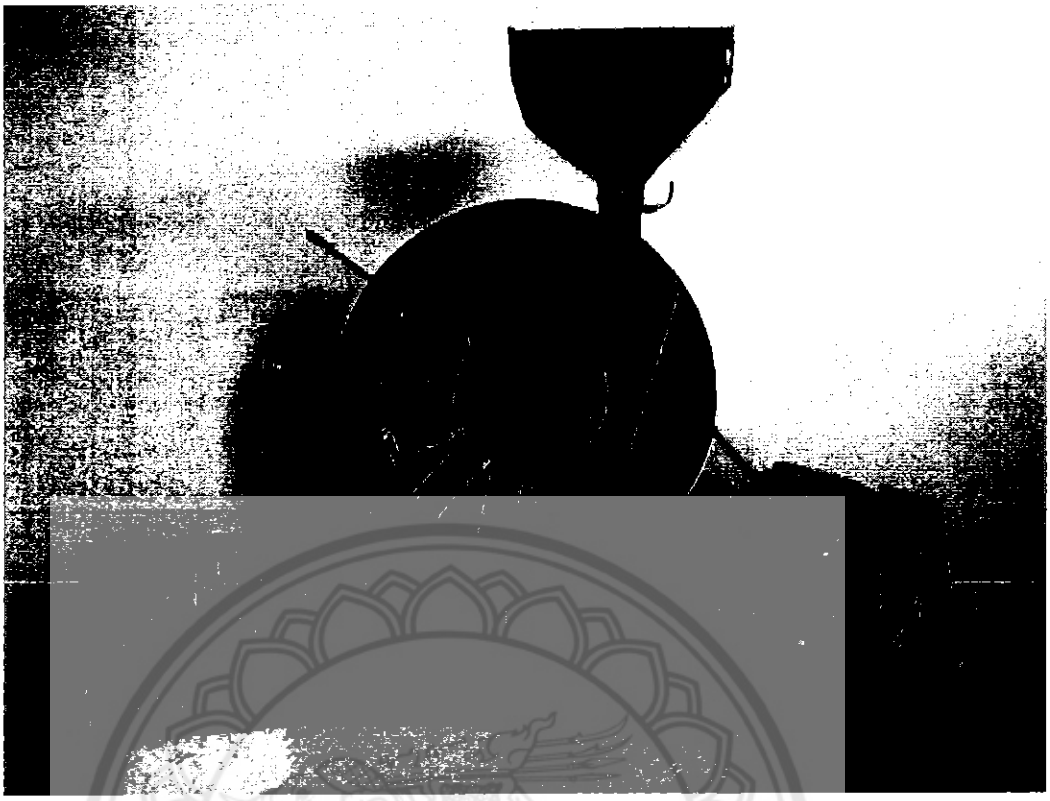
. (10 มีนาคม 2554). ข้าวกล้องหอมมะลิ 100%. ร้านสหกรณ์ผู้ปฏิบัติงาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จำกัด(รส. กฟผ.). สืบค้นเมื่อ 13 มีนาคม 2554. จาก http://www.egatcoop.com/ActivePage/Category_52.asp

[9] สำนักงานการค้าภายในจังหวัดสุรินทร์. (16 เมษายน 2553). ราคาข้าวเปลือกหอมมะลิ ณ โรงสี. **กรมการค้าภายใน. สืบค้นเมื่อ 13 มีนาคม 2554,จาก http://www.dit.go.th/surin/contentdet.asp?deptid=96&id=3285**

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รูปเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก



รูปที่ ก.1 เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ด้านหน้า

รูปที่ ก.2 เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ด้านหลัง

ภาคผนวก ข

การสำรวจและรวบรวมข้อมูล

การสำรวจ และรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติม

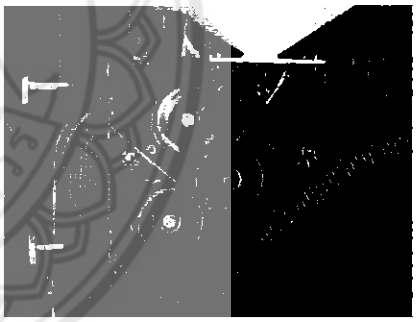
1 การเยี่ยมชมศูนย์วิจัยข้าว

การเยี่ยมชมศูนย์วิจัยข้าวนี้มีจุดประสงค์เพื่อต้องการทราบข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวและรูปแบบการทำงานของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน

จากการเยี่ยมชมศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก มีหน้าที่ศึกษา ค้นคว้า วิจัย และทดสอบเกี่ยวกับข้าว ในลักษณะสหสาขาวิชาในพื้นที่รับผิดชอบ ผลิตเมล็ดพันธุ์ ประสานงานวิชาการกับหน่วยงานอื่นทั้งภายในและภายนอกกรมวิชาการเกษตรและกับต่างประเทศตลอดจนการถ่ายทอดเทคโนโลยีผลการวิจัยที่ผลิตได้รวมถึงงานโครงการพิเศษและโครงการตามพระราชดำริต่างๆในเขตภาคเหนือตอนล่าง

เครื่องสีขนาดเล็กที่นิยมใช้กันในปัจจุบันจะใช้ลูกกลิ้ง 3 ลูกเพื่อให้เกิดการกะเทาะ 2 รอบใน 1 ครั้งการทำงาน และลูกกลิ้งที่หน้าสัมผัสกันจะมีความเร็วรอบต่างกัน 25% และความเร็วรอบที่ เหมาะแก่การกะเทาะข้าวเปลือกอยู่ที่ประมาณ 1,200 rpm กับ 900 rpm

รูปที่ ข.1 เครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่ใช้ในศูนย์วิจัยข้าว



รูปที่ ข.2 ลักษณะโครงสร้างในส่วนกะเทาะ

2 การเยี่ยมชม ธุรกิจการผลิตเครื่องแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร

การเยี่ยมชมครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อต้องการเห็นกรรมวิธีในการสร้างเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก การแนะนำเกี่ยวกับการออกแบบ แหล่งวัสดุและราคา

จากการเยี่ยมชมธุรกิจการผลิตเครื่องแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรของ ร้านส่งเสริม อ.เมือง จ.พิษณุโลก เป็นธุรกิจขายอุปกรณ์ทางการเกษตร และรับผลิตเครื่องแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรต่างๆตามความต้องการของลูกค้าเช่น เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก, เครื่องโม่แกลบ และเครื่องแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรต่างๆตามแบบของลูกค้า และทางร้านต้องการที่จะพัฒนาเครื่องสีข้าวขนาดเล็กในขณะที่ไปเยี่ยมชมพอดี แนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องสีข้าวขนาด

เล็กของทางร้านคือจะเพิ่มลูกกลิ้งในการกะเทาะจากทั่วไป 3 ลูก เป็น 4 ลูก เพื่อให้ประสิทธิภาพการกะเทาะดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังได้รับคำแนะนำการออกแบบ การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมและแหล่งหาวัสดุที่ต้องใช้ต่างๆ

3 การเยี่ยมชม เครื่องสีข้าวขนาดเล็กภูมิจากปัญญาชาวบ้าน

การเยี่ยมชมครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อต้องการแนวคิดใหม่ที่ใช้ออกแบบเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่เกิดจากภูมิปัญญาชาวบ้านที่ใช้สีข้าวตามท้องถิ่น และข้อแนะนำในการออกแบบเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

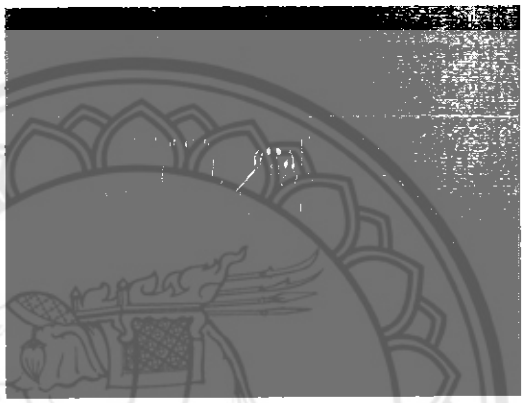
จากการเยี่ยมชมและสอบถามข้อมูลจาก คุณแตง คำตะวงษ์ (อายุ 75 ปี) ผู้มีประสบการณ์ในการสร้างเครื่องสีข้าวขนาดเล็กและการใช้งานเป็นเวลากว่า 25 ปี เครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่คุณปู่คิดค้นเป็นเครื่องที่มีโครงสร้างทำด้วยไม้โดยมีหลักการทำงานใช้ลูกหินทรงกระบอกอยู่ที่แนวกลางและมีก้อนยาง 3 ก้อนอัดกับลูกหิน และลูกหินจะถูกครบด้วยตะแกรงซึ่งจะส่งผลให้เมล็ดข้าวถูกส่งกลับไปกะเทาะใหม่จนกว่าเมล็ดข้าวหลุดออกมาจากช่องว่างของรูตะแกรงที่เจาะไว้ ส่วนต้นกำลังใช้เครื่องยนต์ของรถไถเดินตามขนาด 8 แรงม้า

รูปที่ ข.3 เครื่องสีข้าวที่คิดค้นโดยคุณแตง คำตะวงษ์

การรวบรวมข้อมูลลักษณะทางกายภาพของข้าวเปลือก

1 วัดค่าความชื้น

ความจุไฟฟ้า (Capacitance) ตัวอย่างจะถูกบรรจุในภาชนะปิด โดยผนังภาชนะทำหน้าที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าความถี่สูงออกมา การวัดวิธีนี้จำเป็นต้องใช้ตารางคาลิเบรชัน (calibration) ประกอบด้วย ค่าความชื้นที่ได้จากการวัดด้วยวิธีนี้จะมีความแม่นยำมากกว่าการวัดจากค่า ความต้านทานไฟฟ้า



รูปที่ ข.4 เครื่องวัดความชื้นแบบวัดค่าความจุไฟฟ้า

ค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือก

ตารางที่ข.1 ค่าเฉลี่ยความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกที่ใช้ทดลอง

ข้าวเปลือกที่ใช้ทดลอง	การทดสอบครั้งที่	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
ข้าวสายพันธุ์พิษณุโลก 2	1	13.3
	2	12.9
	3	13.0
	เฉลี่ย	**13.1**

ค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกที่นำมาใช้ทดลองถือว่าอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมที่จะทำการทดลองคือมีความชื้นอยู่ในช่วง 11-14% ซึ่งเหมาะแก่การกะเทาะเปลือกตามทฤษฎี

2 วัดขนาดเมล็ดข้าวเปลือก

การวัดขนาดได้วัดความกว้างและความยาวของเมล็ดข้าวเปลือก โดยสุ่มเมล็ดข้าวเปลือกมาวัดขนาดจำนวน 10 เมล็ด วัดขนาดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ เพื่อหาความเฉลี่ย ค่ามากที่สุดค่าน้อยที่สุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของความกว้างและความยาวของเมล็ดข้าวเปลือก

รูปที่ ข.5 การใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์วัดขนาดความกว้างเมล็ดข้าวเปลือก

รูปที่ ข.6 การใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์วัดขนาดความยาวเมล็ดข้าวเปลือก

ขนาดของเมล็ดข้าวเปลือก

ตารางที่ ข.2 ขนาดของเมล็ดข้าวเปลือก

ข้าวเปลือกสายพันธุ์	ขนาด	ค่าที่ได้จากการวัดเฉลี่ย (mm)
พิษณุโลก 2	กว้าง	2.2
	ยาว	10.1

ตัวแปรที่ต้องการศึกษาในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

1. จำนวนก้อนยางที่เหมาะสมในการกะเทาะ
2. ความเร็วรอบที่เหมาะสมในการกะเทาะ
3. ประสิทธิภาพการกะเทาะ

   $$\text{ประสิทธิภาพในการกะเทาะ}(\%) = \frac{A-B}{A} \times 100$$

   กำหนดตัวแปร

   A คือ ค่าที่ได้จากการชั่งน้ำหนักข้าวที่นำมาทำการทดสอบ

   B คือ ค่าที่ได้จากการชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ไม่กะเทาะ (คัดแยกด้วยมือ)
4. คุณภาพข้าวหลังกะเทาะ

   $$\%\ \text{ข้าวสภาพดี} = \frac{D}{C} \times 100$$

   $$\%\ \text{ข้าวแตกหัก} = \frac{F}{C} \times 100$$

   กำหนดตัวแปร

   C คือ น้ำหนักข้าวที่ถูกกะเทาะหลังการสี

   D คือ น้ำหนักข้าวที่ได้จากการคัดแยกจากเครื่องแยกปลายข้าวในส่วนที่เป็นข้าวสภาพดี(ข้าวส่วนที่ 1)

   F คือ น้ำหนักข้าวที่ได้จากการคัดแยกจากเครื่องแยกปลายข้าวในส่วนที่เป็นแตกหัก(ข้าวส่วนที่ 2)
5. อัตราในการกะเทาะเปลือก

ภาคผนวก ค

การทดสอบเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

การทดสอบที่ 1 หาจำนวนก้อนยางที่เหมาะสม

การทดสอบที่ 2 หาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการกะเทาะ

การทดสอบที่ 3 สมรรถนะการกะเทาะของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่พัฒนา

การทดสอบที่ 4 สมรรถนะการกะเทาะของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบใช้ลูกกลิ้ง

การทดสอบที่ 5 หาอัตราการกะเทาะ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่พัฒนา
2. เครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกกลิ้ง
3. ข้าวเปลือก 6 kg (สายพันธุ์ พิษณุโลก 2)
4. เครื่องมือวัดความชื้น แบบวัดความจุไฟฟ้า
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก (digital)
6. นาฬิกาจับเวลา
7. เครื่องแยกปลายข้าว
8. Vernier Caliper

ขั้นตอนการทดสอบเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก แบ่งเป็น 5 การทดสอบดังนี้

การทดสอบที่ 1 หาจำนวนก้อนยางที่เหมาะสม

1. เตรียมข้าวเปลือกสะอาด ที่มีค่าความชื้น ประมาณ 11-14% มา 50 กรัม จำนวน 15 ถุง
2. บันทึกค่า %ความชื้นก่อนการกะเทาะเปลือก
3. นำข้าวเปลือกที่เตรียมไว้ ใส่เข้าไปในเครื่องสีข้าว แล้วเปิดเครื่อง
4. เปิดลิ้นควบคุมการปล่อยเพื่อให้เมล็ดข้าวเปลือกผ่านลงสู่ลูกกลิ้งกะเทาะ
5. ทำการทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ แล้วทดลองโดยใช้จำนวนก้อนยาง 1, 2, 3, 4, 5 ก้อนตามลำดับ โดยทำการทดลองซ้ำอย่างละ 3 ครั้งในการใช้ก้อนยางแต่ละก้อนเพื่อหาค่าเฉลี่ย
6. บันทึก น้ำหนักข้าวเปลือกที่ไม่ได้กะเทาะ, น้ำหนักข้าวกล้องที่ได้เต็มเมล็ด, น้ำหนักข้าวกล้องที่กะเทาะแล้วแตก หัก เสียหาย และน้ำหนักแกลบ
7. นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพการกะเทาะ เปอร์เซ็นต์ข้าวสภาพดี และเปอร์เซ็นต์ข้าวแตกหัก
8. นำผลที่ได้มาเขียนกราฟเทียบกับจำนวนก้อนยางที่ใช้ เพื่อหาจำนวนก้อนยางที่เหมาะสมที่สุดในการใช้กะเทาะเปลือก

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบหาจำนวนก้อนยางที่เหมาะสม

จำนวนก้อนยาง	ทดสอบครั้งที่	ผลที่ได้หลังการกะเทาะเปลือก						วิเคราะห์ผล (%)		
		น้ำหนักรวม (g)	ข้าวเปลือก (g)	แกลบ (g)	ข้าวกล้อง (g)			การกะเทาะ	ข้าวแตกหัก	ข้าวสภาพดี
					น้ำหนักรวม	ข้าวสภาพดี	ข้าวแตกหัก			
1	1	49.70	38.90	2.68	8.12	7.44	0.68	21.73	8.37	91.63
	2	50.00	37.50	4.35	8.15	7.34	0.81	25.00	9.94	90.06
	3	50.10	36.80	4.36	8.94	8.23	0.71	26.55	7.94	92.06
	เฉลี่ย	49.93	37.73	3.80	8.40	7.67	0.73	24.43	8.73	91.27
2	1	50.00	30.40	5.04	14.56	13.06	1.50	39.20	10.30	89.70
	2	49.90	31.00	4.57	14.33	13.12	1.21	37.88	8.44	91.56
	3	49.70	29.70	4.77	15.23	13.89	1.34	40.24	8.80	91.20
	เฉลี่ย	49.87	30.37	4.79	14.71	13.36	1.35	39.10	9.18	90.82
3	1	50.20	28.50	4.45	17.25	15.06	2.19	43.23	12.70	87.30
	2	49.90	29.10	3.81	16.99	14.98	2.01	41.68	11.83	88.17
	3	49.80	28.20	4.61	16.99	15.01	1.98	43.37	11.65	88.35
	เฉลี่ย	49.97	28.60	4.29	17.08	15.02	2.06	42.76	12.06	87.94
4	1	50.10	22.90	6.13	21.07	18.14	2.93	54.29	13.91	86.09
	2	49.70	22.50	7.17	20.03	17.89	2.14	54.73	10.68	89.32
	3	50.20	22.70	6.87	20.63	18.56	2.07	54.78	10.03	89.97
	เฉลี่ย	50.00	22.70	6.72	20.58	18.20	2.38	54.60	11.57	88.43
5	1	50.10	19.50	8.61	21.99	19.42	2.57	61.08	11.69	88.31
	2	49.80	20.10	7.49	22.21	20.01	2.20	59.64	9.91	90.09
	3	50.00	19.80	6.78	23.42	20.97	2.45	60.40	10.46	89.54
	เฉลี่ย	49.97	19.80	7.63	22.54	20.13	2.41	60.37	10.68	89.32

การทดสอบที่ 2 หาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการกะเทาะ

1. เตรียมข้าวเปลือกสะอาด ที่มีค่าความชื้น ประมาณ 11-14% มา 50 กรัม จำนวน 15 ถุง
2. บันทึกค่า %ความชื้นก่อนการกะเทาะเปลือก
3. ปรับจำนวนก้อนยางตามจำนวนที่ได้จากการทดลองที่ 1
4. นำข้าวเปลือกที่เตรียมไว้ ใส่เข้าไปในเครื่องสีข้าว แล้วเปิดเครื่อง
5. เปิดลิ้นควบคุมการปล่อยเพื่อให้เมล็ดข้าวเปลือกผ่านลงสู่ลูกกลิ้งกะเทาะ
6. ทำการทดสอบที่ความเร็วรอบต่างๆ โดยการปรับ Inverter ที่ความถี่ 40, 50, 60, 70, 80 (Hz) ซึ่งจะได้ความเร็วรอบตามตารางที่ และทำการทดลองซ้ำอย่างละ 3 ครั้งในแต่ละความเร็วรอบเพื่อหาค่าเฉลี่ย
7. บันทึก น้ำหนักข้าวเปลือกที่ไม่ได้กะเทาะ, น้ำหนักข้าวกล้องที่ได้เต็มเมล็ด, น้ำหนักข้าวกล้องที่กะเทาะแล้วแตก หัก เสียหาย และน้ำหนักแกลบ
8. นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพการกะเทาะ เปอร์เซ็นต์ข้าวสภาพดี และเปอร์เซ็นต์ข้าวแตกหัก
9. นำผลที่ได้มาเขียนกราฟเทียบกับความเร็วรอบ เพื่อหาความเร็วรอบที่ดีที่สุดในการใช้กะเทาะเปลือก

ตาราง ค.2 ผลการทดสอบหาความเร็วรอบที่เหมาะสม

ความเร็วรอบ (rpm)	ทดสอบครั้งที่	ผลที่ได้หลังการกะเทาะเปลือก						วิเคราะห์ผล (%)		
		น้ำหนักรวม (g)	ข้าวเปลือก (g)	แกลบ (g)	ข้าวกล้อง (g)			การกะเทาะ	ข้าวแตกหัก	ข้าวสภาพดี
					น้ำหนักรวม	ข้าวสภาพดี	ข้าวแตกหัก			
360	1	49.98	23.90	6.46	19.62	17.47	2.15	52.18	10.96	89.04
	2	50.01	22.80	7.00	20.21	17.98	2.23	54.41	11.03	88.97
	3	49.80	21.90	6.34	21.56	19.01	2.55	56.02	11.83	88.17
	เฉลี่ย	49.93	22.87	6.60	20.46	18.15	2.31	54.20	11.29	88.71
450	1	50.20	20.50	7.50	22.20	19.01	3.19	59.16	14.37	85.63
	2	49.82	19.50	7.97	22.35	18.63	3.72	60.86	16.64	83.36
	3	50.10	20.10	7.01	22.99	20.01	2.98	59.88	12.96	87.04
	เฉลี่ย	50.04	20.03	7.49	22.51	19.22	3.30	59.97	14.64	85.36
540	1	50.20	24.50	7.23	18.47	15.35	3.12	51.20	16.89	83.11
	2	49.70	23.60	4.14	21.96	18.98	2.98	52.52	13.57	86.43
	3	49.90	25.30	4.95	19.65	17.54	2.11	49.30	10.74	89.26
	เฉลี่ย	49.93	24.47	5.44	20.03	17.29	2.74	51.00	13.67	86.33
630	1	50.20	25.50	4.26	20.44	17.40	3.04	49.20	14.87	85.13
	2	50.10	26.10	3.77	20.23	18.23	2.00	47.90	9.89	90.11
	3	49.90	23.20	7.48	19.22	17.24	1.98	53.51	10.30	89.70
	เฉลี่ย	50.07	24.93	5.17	19.96	17.62	2.34	50.20	11.72	88.28
720	1	50.10	22.60	6.35	21.15	18.46	2.69	54.89	12.72	87.28
	2	49.94	23.30	5.80	20.84	18.72	2.12	53.34	10.17	89.83
	3	49.90	24.90	5.55	19.45	17.35	2.10	50.10	10.80	89.20
	เฉลี่ย	49.98	23.60	5.90	20.48	18.18	2.30	52.78	11.25	88.75

การทดสอบที่ 3 สมรรถนะการกะเทาะของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่พัฒนา

1. เตรียมข้าวเปลือกสะอาด ที่มีค่าความชื้น ประมาณ 11-14% มา 50 กรัม จำนวน 9 ถุง
2. บันทึกค่า %ความชื้นก่อนการกะเทาะเปลือก
3. ปรับจำนวนก้อนยางตามจำนวนที่ได้จากการทดลองที่ 1
4. ปรับความเร็วรอบให้เหมาะสมกับการกะเทาะที่ได้จากการทดลองที่ 2
5. นำข้าวเปลือกที่เตรียมไว้ ใส่เข้าไปในเครื่องสีข้าว แล้วเปิดเครื่อง
6. เปิดลิ้นควบคุมการปล่อยเพื่อให้เมล็ดข้าวเปลือกผ่านลงสู่ลูกกลิ้งกะเทาะ
7. ทำการทดสอบโดยใช้จำนวนรอบการกะเทาะ 1รอบ 2รอบ และ 3รอบ ตามลำดับ และทำการทดลองซ้ำอย่างละ 3 ครั้งในแต่ละจำนวนรอบการกะเทาะซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย
8. บันทึก น้ำหนักข้าวเปลือกที่ไม่ได้กะเทาะ, น้ำหนักข้าวกล้องที่ได้เต็มเมล็ด, น้ำหนักข้าวกล้องที่กะเทาะแล้วแตก หัก เสียหาย และน้ำหนักแกลบ
9. นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพการกะเทาะ เปอร์เซ็นต์ข้าวสภาพดี และเปอร์เซ็นต์ข้าวแตกหัก
10. นำผลที่ได้มาเขียนกราฟเทียบกับจำนวนรอบการกะเทาะเพื่อสร้างกราฟสมรรถนะการกะเทาะของเครื่อง

ตาราง ค.3 ผลการทดสอบการกะเทาะเปลือกรอบที่ 1

ความเร็วรอบ (rpm)	ทดสอบครั้งที่	ผลที่ได้หลังการกะเทาะเปลือก						วิเคราะห์ผล (%)		
		น้ำหนักรวม (g)	ข้าวเปลือก (g)	แกลบ (g)	ข้าวกล้อง (g)			การกะเทาะ	ข้าวแตกหัก	ข้าวสภาพดี
					น้ำหนักรวม	ข้าวสภาพดี	ข้าวแตกหัก			
360	1	49.98	23.90	6.46	19.62	17.47	2.15	52.18	10.96	89.04
	2	50.01	22.80	7.00	20.21	17.98	2.23	54.41	11.03	88.97
	3	49.80	21.90	6.34	21.56	19.01	2.55	56.02	11.83	88.17
	เฉลี่ย	49.93	22.87	6.60	20.46	18.15	2.31	54.20	11.29	88.71
450	1	50.20	20.50	7.50	22.20	19.01	3.19	59.16	14.37	85.63
	2	49.82	19.50	7.97	22.35	18.63	3.72	60.86	16.64	83.36
	3	50.10	20.10	7.01	22.99	20.01	2.98	59.88	12.96	87.04
	เฉลี่ย	50.04	20.03	7.49	22.51	19.22	3.30	59.97	14.64	85.36
540	1	50.20	24.50	7.23	18.47	15.35	3.12	51.20	16.89	83.11
	2	49.70	23.60	4.14	21.96	18.98	2.98	52.52	13.57	86.43
	3	49.90	25.30	4.95	19.65	17.54	2.11	49.30	10.74	89.26
	เฉลี่ย	49.93	24.47	5.44	20.03	17.29	2.74	51.00	13.67	86.33
630	1	50.20	25.50	4.26	20.44	17.40	3.04	49.20	14.87	85.13
	2	50.10	26.10	3.77	20.23	18.23	2.00	47.90	9.89	90.11
	3	49.90	23.20	7.48	19.22	17.24	1.98	53.51	10.30	89.70
	เฉลี่ย	50.07	24.93	5.17	19.96	17.62	2.34	50.20	11.72	88.28
720	1	50.10	22.60	6.35	21.15	18.46	2.69	54.89	12.72	87.28
	2	49.94	23.30	5.80	20.84	18.72	2.12	53.34	10.17	89.83
	3	49.90	24.90	5.55	19.45	17.35	2.10	50.10	10.80	89.20
	เฉลี่ย	49.98	23.60	5.90	20.48	18.18	2.30	52.78	11.25	88.75

ตาราง ค.4 ผลการทดสอบการกะเทาะเปลือกรอบที่ 2

ความเร็วรอบ (rpm)	ทดสอบครั้งที่	ผลที่ได้หลังการกะเทาะเปลือก						วิเคราะห์ผล (%)		
		น้ำหนักรวม (g)	ข้าวเปลือก (g)	แกลบ (g)	ข้าวกล้อง (g)			การกะเทาะ	ข้าวแตกหัก	ข้าวสภาพดี
					น้ำหนักรวม	ข้าวสภาพดี	ข้าวแตกหัก			
360	1	50.10	10.60	10.67	28.83	25.59	3.24	78.84	11.24	88.76
	2	49.50	11.20	11.09	27.21	24.62	2.59	77.37	9.52	90.48
	3	49.80	9.70	11.36	28.74	25.17	3.57	80.52	12.42	87.58
	เฉลี่ย	49.80	10.50	11.04	28.26	25.13	3.13	78.92	11.09	88.91
450	1	50.20	5.60	10.23	34.37	29.12	5.25	88.84	15.27	84.73
	2	49.90	6.00	10.86	33.04	30.45	2.59	87.98	7.84	92.16
	3	50.10	5.10	11.15	33.85	30.24	3.61	89.82	10.66	89.34
	เฉลี่ย	50.07	5.57	10.75	33.75	29.94	3.82	88.88	11.31	88.69
540	1	50.20	9.50	9.25	31.45	28.01	3.44	81.08	10.94	89.06
	2	49.70	8.60	9.72	31.38	27.79	3.59	82.70	11.44	88.56
	3	49.30	10.20	8.16	30.94	27.82	3.12	79.31	10.08	89.92
	เฉลี่ย	49.73	9.43	9.04	31.26	27.87	3.38	81.03	10.82	89.18
630	1	50.20	12.20	8.39	29.61	25.54	4.07	75.70	13.75	86.25
	2	49.80	12.80	8.46	28.54	24.68	3.86	74.30	13.52	86.48
	3	49.90	11.70	8.76	29.44	26.32	3.12	76.55	10.60	89.40
	เฉลี่ย	49.97	12.23	8.54	29.20	25.51	3.68	75.52	12.62	87.38
720	1	50.10	13.10	8.12	28.88	24.74	4.14	73.85	14.34	85.66
	2	49.80	13.50	8.64	27.66	23.35	4.31	72.89	15.58	84.42
	3	49.90	12.80	8.55	28.55	24.15	4.40	74.35	15.41	84.59
	เฉลี่ย	49.93	13.13	8.44	28.36	24.08	4.28	73.70	15.10	84.90

ตารางที่ ค.5 ผลการทดสอบการกะเทาะเปลือกรอบที่ 3

ความเร็วรอบ (rpm)	ทดสอบครั้งที่	ผลที่ได้หลังการกะเทาะเปลือก						วิเคราะห์ผล (%)		
		น้ำหนักรวม (g)	ข้าวเปลือก (g)	แกลบ (g)	ข้าวกล้อง (g)			การกะเทาะ	ข้าวแตกหัก	ข้าวสภาพดี
					น้ำหนักรวม	ข้าวสภาพดี	ข้าวแตกหัก			
360	1	50.00	3.50	13.76	32.74	28.08	4.66	93.00	14.23	85.77
	2	50.10	3.20	14.73	32.17	27.64	4.53	93.61	14.08	85.92
	3	49.80	3.80	12.19	33.81	29.10	4.71	92.37	13.93	86.07
	เฉลี่ย	49.97	3.50	13.56	32.91	28.27	4.63	93.00	14.08	85.92
450	1	50.20	2.40	9.82	37.98	32.73	5.25	95.22	13.82	86.18
	2	49.70	2.60	10.29	36.81	33.20	3.61	94.77	9.81	90.19
	3	50.10	2.10	12.66	35.34	31.24	4.10	95.81	11.60	88.40
	เฉลี่ย	50.00	2.37	10.92	36.71	32.39	4.32	95.27	11.77	88.23
540	1	50.20	3.50	11.07	35.63	30.73	4.90	93.03	13.75	86.25
	2	49.90	3.70	10.89	35.31	31.20	4.11	92.59	11.64	88.36
	3	49.60	3.30	10.87	35.43	30.21	5.22	93.35	14.73	85.27
	เฉลี่ย	49.90	3.50	10.94	35.46	30.71	4.74	92.99	13.38	86.62
630	1	50.20	3.20	12.19	34.81	29.27	5.54	93.63	15.91	84.09
	2	49.70	3.50	9.73	36.47	30.55	5.92	92.96	16.23	83.77
	3	49.90	3.00	10.08	36.82	31.70	5.12	93.99	13.91	86.09
	เฉลี่ย	49.93	3.23	10.67	36.03	30.51	5.53	93.52	15.34	84.66
720	1	49.90	3.30	9.63	36.97	31.43	5.54	93.39	14.99	85.01
	2	50.10	3.60	10.37	36.13	30.21	5.92	92.81	16.39	83.61
	3	49.90	3.10	9.02	37.78	32.66	5.12	93.79	13.55	86.45
	เฉลี่ย	49.97	3.33	9.67	36.96	31.43	5.53	93.33	14.95	85.05

การทดสอบที่4 สมรรถนะการกะเทาะของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบใช้ลูกกลิ้ง 2 ลูก

1. เตรียมข้าวเปลือกสะอาด ที่มีค่าความชื้น ประมาณ 11-14% มา 50 กรัม จำนวน 9 ถุง
2. บันทึกค่า %ความชื้นก่อนการกะเทาะเปลือก
3. นำข้าวเปลือกที่เตรียมไว้ ใส่เข้าไปในเครื่องสีข้าว แล้วเปิดเครื่อง
4. เปิดลิ้นควบคุมการปล่อยเพื่อให้เมล็ดข้าวเปลือกผ่านลงสู่ลูกกลิ้งกะเทาะ
5. ทำการทดสอบโดยใช้จำนวนรอบการกะเทาะ 1รอบ 2รอบ และ 3รอบ ตามลำดับ และทำการทดลองซ้ำอย่างละ 3 ครั้งในแต่ละจำนวนรอบการกะเทาะซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย
6. บันทึก น้ำหนักข้าวเปลือกที่ไม่ได้กะเทาะ, น้ำหนักข้าวกล้องที่ได้เต็มเมล็ด, น้ำหนักข้าวกล้องที่กะเทาะแล้วแตก หัก เสียหาย และน้ำหนักแกลบ
7. นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพการกะเทาะ เปอร์เซ็นต์ข้าวสภาพดี และเปอร์เซ็นต์ข้าวแตกหัก
8. นำผลที่ได้มาเขียนกราฟเทียบกับจำนวนรอบการกะเทาะเพื่อสร้างกราฟสมรรถนะการกะเทาะของเครื่อง

ตารางที่ ค.6 การทดสอบเครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกกลิ้ง

จำนวนรอบการกะเทาะ	ทดสอบครั้งที่	ผลที่ได้หลังการกะเทาะเปลือก						วิเคราะห์ผล (%)		
		น้ำหนักรวม (g)	ข้าวเปลือก (g)	แกลบ (g)	ข้าวกล้อง (g)			การกะเทาะ	ข้าวแตกหัก	ข้าวสภาพดี
					น้ำหนักรวม	ข้าวสภาพดี	ข้าวแตกหัก			
1	1	50.20	8.86	9.83	31.51	28.56	2.95	82.35	9.36	90.64
	2	50.10	9.74	10.15	30.21	27.43	2.78	80.56	9.20	90.80
	3	50.10	8.80	10.39	30.91	28.02	2.89	82.44	9.35	90.65
	เฉลี่ย	50.13	9.13	10.12	30.88	28.00	2.87	81.78	9.31	90.69
2	1	49.90	4.97	11.14	33.79	30.12	3.67	90.04	10.86	89.14
	2	49.80	4.65	11.12	34.03	30.89	3.14	90.66	9.23	90.77
	3	49.94	5.10	11.15	33.69	29.97	3.72	89.79	11.04	88.96
	เฉลี่ย	49.88	4.91	11.14	33.84	30.33	3.51	90.16	10.37	89.63
3	1	50.00	3.15	11.70	35.15	31.02	4.13	93.70	11.75	88.25
	2	50.10	3.59	11.68	34.83	30.78	4.05	92.83	11.63	88.37
	3	49.90	3.29	11.56	35.05	31.07	3.98	93.41	11.36	88.64
	เฉลี่ย	50.00	3.34	11.65	35.01	30.96	4.05	93.31	11.58	88.42

การทดสอบที่ 5 หาอัตราการกะเทาะ

1. เตรียมข้าวเปลือกสะอาด ที่มีค่าความชื้น ประมาณ 11-14% มา 1 กิโลกรัม
2. บันทึกค่า %ความชื้นก่อนการกะเทาะเปลือก
3. ปรับจำนวนก้อนยางตามจำนวนที่ได้จากการทดลองที่ 1
4. ปรับความเร็วรอบให้เหมาะสมกับการกะเทาะที่ได้จากการทดลองที่ 2
5. นำข้าวเปลือกที่เตรียมไว้ ใส่เข้าไปในเครื่องสีข้าว แล้วเปิดเครื่อง
6. เปิดลิ้นควบคุมการปล่อยเพื่อให้เมล็ดข้าวเปลือกผ่านลงสู่ลูกกลิ้งกะเทาะ
7. บันทึก เวลาที่ใช้ในการกะเทาะ
8. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย เวลาที่ใช้ในการกะเทาะ

ตารางที่ ค.7 เวลาที่ใช้ในการทดสอบเครื่องสีข้าว

เครื่องที่ใช้ทำการทดลอง	ลำดับที่ทดสอบ	เวลา ที่ใช้กะเทาะข้าว 1 Kg	อัตราการกะเทาะเฉลี่ย (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
เครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่พัฒนา	1	5 นาที 20 วินาที	11.25
	2	5 นาที 4 วินาที	11.84
	3	4 นาที 52 วินาที	12.33
	เฉลี่ย	**5 นาที 5 วินาที**	**11.80**
เครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกกลิ้ง	1	3 นาที 52 วินาที	15.51
	2	3 นาที 55 วินาที	15.32
	3	3 นาที 58 วินาที	15.12
	เฉลี่ย	**3 นาที 55 วินาที**	**15.31**

ภาคผนวก ง

การประมาณระยะคืนทุน

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลและการวิเคราะห์เพื่อหาระยะคืนทุน

ลำดับ	หัวข้อ	ข้อมูลและการวิเคราะห์
1	การบริโภคข้าว	คนส่วนใหญ่จะท่านข้าวประมาณ 300-400 กรัม/วัน ดังนั้น 1 ปีจะทานข้าวกันอยู่ราวๆ 365 วัน x 400 กรัม = 146,000 กรัม หรือ 146 กิโลกรัมข้าวสาร ถ้าครอบครัวขนาดเล็กมีสมาชิก 3 คน จะทานข้าวประมาณ 438 กิโลกรัม/ปี [7]
2	อัตราส่วนหลังการสี	ข้าวกล้อง 68% แกลบ 20% และข้าวไม่กะเทาะ 12% (สีข้าว 2 รอบ)
3	ข้าวเปลือกที่ต้องใช้/ปี	ข้าวกล้อง 438 กิโลกรัม/ปี x 0.68 = ข้าวเปลือก 644 กิโลกรัม/ปี
4	เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก	ราคารวมทั้งหมด 7,550 บาท (อัตรากะเทาะ 12 กิโลกรัม/ชั่วโมง)
5	ต้นกำลัง	มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 1 แรงม้า
6	เวลาที่ใช้งาน/ปี	การบริโภคข้าวของครอบครัวขนาดเล็ก ประมาณ 644 กิโลกรัม/ปี หารด้วยอัตรากะเทาะ 12 กิโลกรัม/ชั่วโมง ดังนั้นจะใช้เวลาทำงานทั้งหมด 54 ชั่วโมง/ปี x 2 รอบ =108 ชั่วโมง/ปี
7	การใช้พลังงาน/ปี	108 ชั่วโมง/ปี x 0.746kw = 80 kwh/ปี หรือ 80 หน่วย/ปี
8	ค่าไฟฟ้า	เฉลี่ย หน่วยละ 3 บาท
9	ค่าใช้จ่ายพลังงาน	80 x 3 = 240 บาท/ปี
10	ค่าบำรุงรักษา	1,000 บาท/ปี
11	ราคาข้าวกล้อง	ข้าวกล้องหอมมะลิ 100% ขนาด 2.5 กิโลกรัม ราคา 103 บาท ดังนั้น กิโลกรัม ละ 41.2 บาท[8]
12	ราคาข้าวเปลือก	ข้าวเปลือกหอมมะลิ ณ โรงสี ที่ความชื้นไม่เกิน 15% ราคา 13,200 ถึง13,600 บาทต่อตัน ดังนั้น เฉลี่ย ข้าวเปลือกกิโลกรัม ละ 13.4 บาท [9]
13	ราคาข้าวเปลือกที่สีได้ข้าวกล้อง 1 กิโลกรัม	ข้าวกล้อง 1 กิโลกรัม x 0.68 = ข้าวเปลือก 1.47 กิโลกรัม ดังนั้นราคาข้าวเปลือกเท่ากับ 20 บาท/กิโลกรัมข้าวกล้อง
14	ผลต่างราคาข้าว	41.2 - 20 = 21.2 บาท/กิโลกรัม

การหาระยะคืนทุนจะต้องอาศัยข้อมูลจากตารางที่ ง.1 เพื่อมาใช้คำนวณโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{ระยะคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุนทั้งหมด}}{\text{ส่วนที่ประหยัดได้}}$$

$$= \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง + ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน + ค้าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา}}{\text{ผลต่างของราคาของข้าวกล้องละข้าวเปลือก x ปริมาณข้าวที่บริโภค}}$$

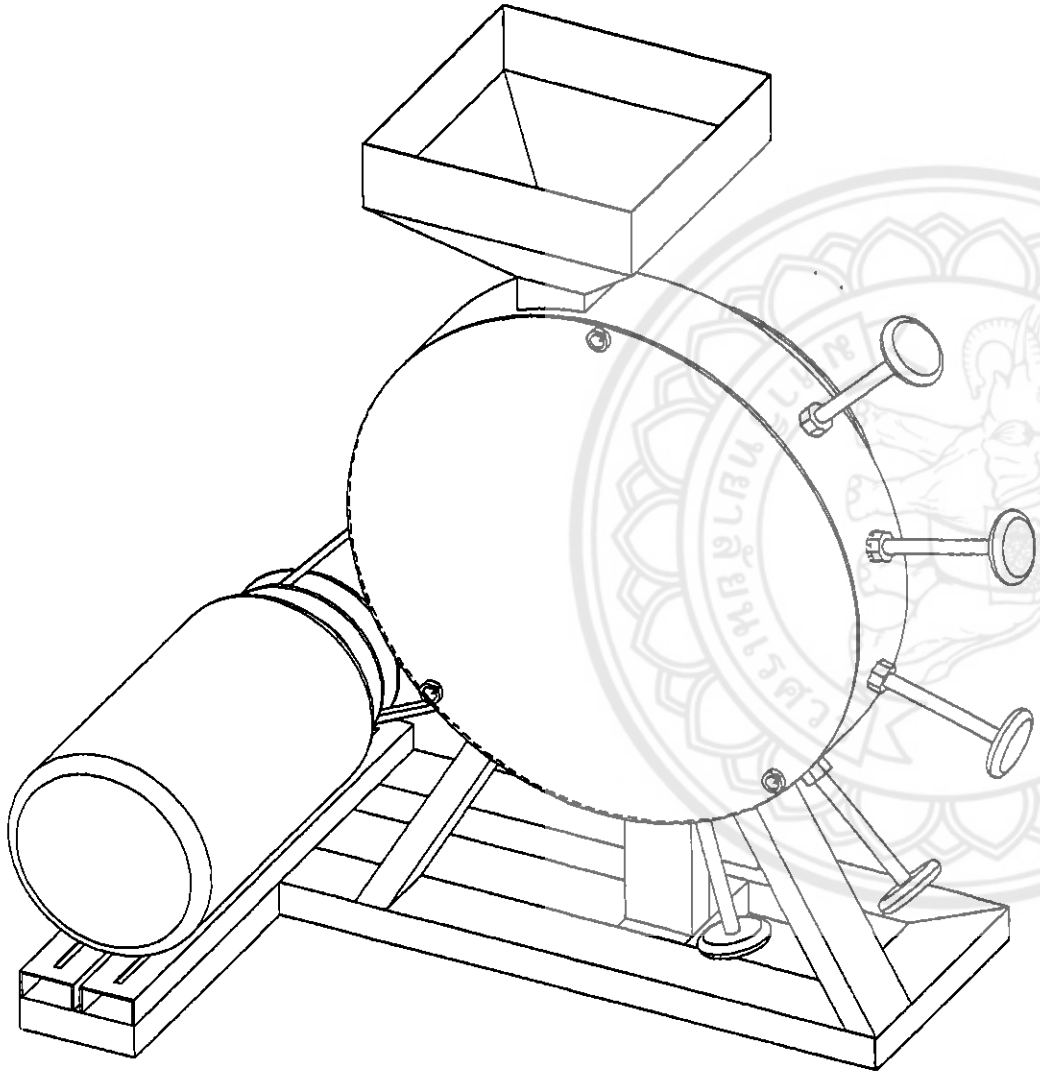
$$= \frac{7,550+240+1,000}{21.2\times438}$$

$$= 0.95 \text{ ปี}$$

การประมาณระยะคืนทุนข้างต้นเป็นการประมาณเบื้องต้น และมีโอกาสเกิดความผิดพลาดในการประมาณซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน โดยแปรผันกับลักษณะการบริโภคของผู้ใช้ เช่น ผู้ใช้ชอบทานข้าวกล้องที่บ้านเป็นประจำกับครอบครัวระยะคืนทุนเครื่องสีข้าวขนาดเล็กก็จะเร็ว แต่ถ้าผู้ใช้ชอบทานอาหารนอกบ้าน ระยะคืนทุนก็จะใช้เวลานาน

ภาคผนวก จ

แบบ Drawing แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

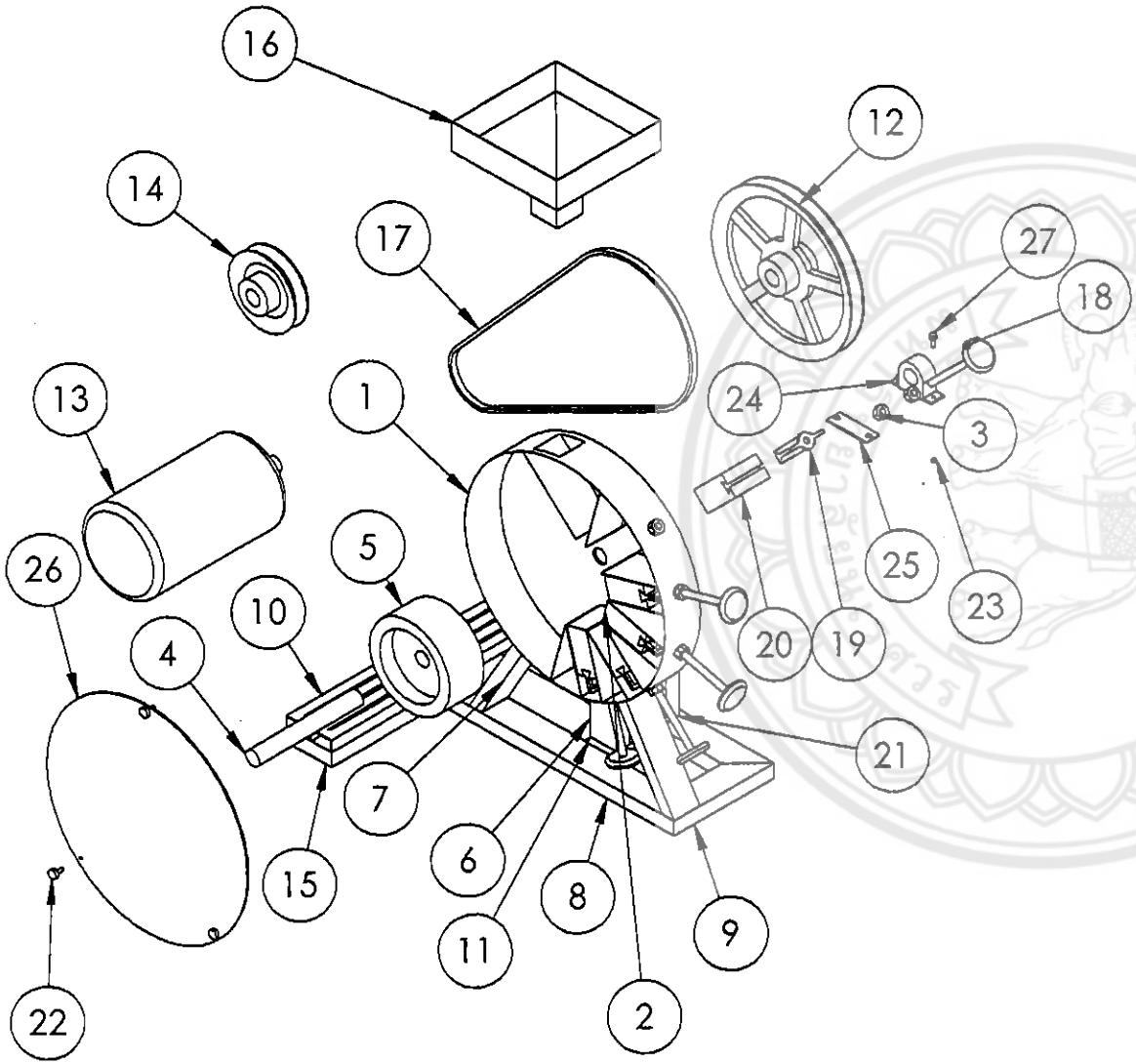


คุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

ขนาดเครื่อง	กว้าง 30 ยาว 90 สูง 68 เซนติเมตร
ตัวต้นกำลัง	มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส 1Hp 1400 rpm + Inverter
ความเร็วรอบที่เหมาะสม	450 รอบ/นาที (ที่ลูกกลิ้งยาง)
ถังป้องเมล็ด	มีปริมาตร4,625 ลูกบาศเซนติเมตร
ลูกกลิ้งยาง	ลูกกลิ้งยางขนาด 15.25 เซนติเมตร
ระยะClearane	0.5 มิลลิเมตร
อัตราการผลิต	12 กิโลกรัม/ชั่วโมง

All dimension are millimeter

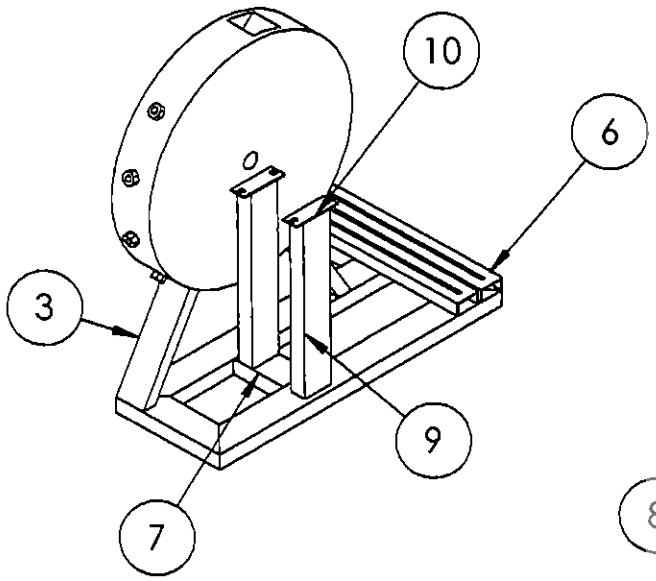
FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
Isomatric		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:5
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 01/23

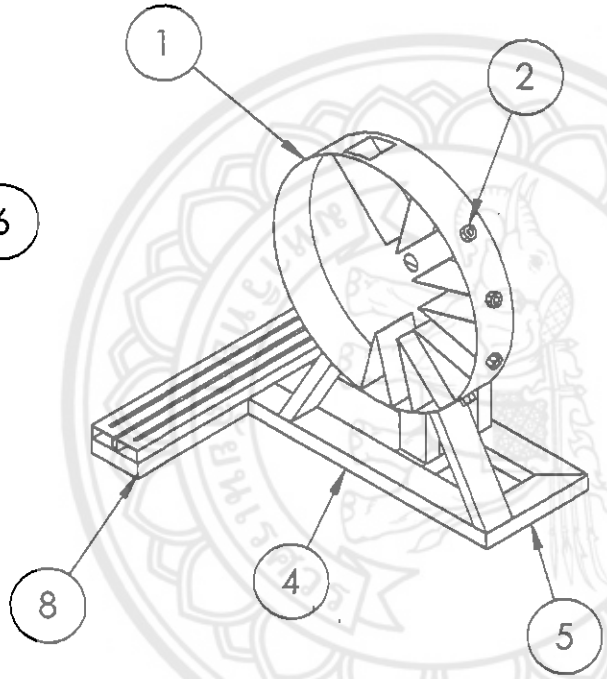


NO.	PART NAME	QTY.	NO.	PART NAME	QTY.
1	โครงตัวเครื่อง	1	21	เสา	2
2	ชุดก้อนยาง	5	22	bolt M5	5
3	Nut M5	15	23	Nut M18	4
4	เพลา	1	24	ตีกตา	2
5	ลูกยาง	1	25	แผ่นรองตีกตา	2
6	เสาตีกตา	2	26	แผ่นครอบ	1
7	ขาตั้ง	2	27	Bolt M18	4
8	ฐานยาว	2			
9	ฐานข้าง	2			
10	ฐานมอเตอร์	2			
11	ฐานกลาง	1			
12	พูเล่ 10 นิ้ว	1			
13	มอเตอร์	1			
14	พูเล่ 3นิ้ว	1			
15	รองฐานมอเตอร์	1			
16	กรวย	1			
17	สายพาน	1			
18	Bolt M5	1			
19	เหล็กยึดก้อนยาง	5			
20	ก้อนยาง	5			

All dimension are millimeter

FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
Assembly		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:10
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 02/23



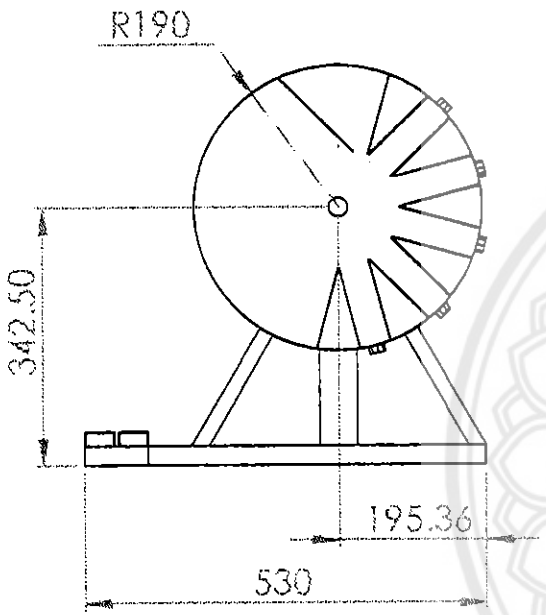


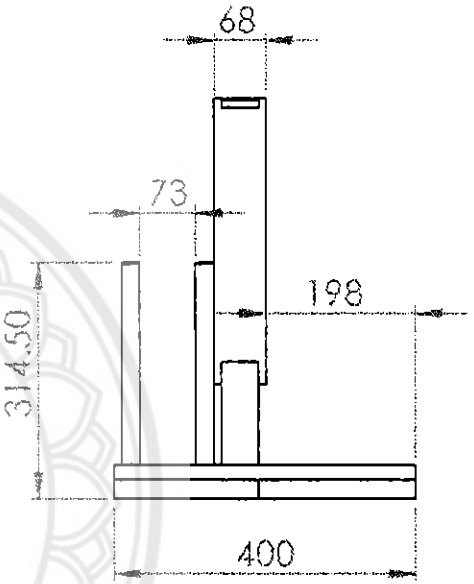
NO.	PART NAME	QTY.
1	โครงตัวเครื่อง	1
2	Nut 5 mm.	5
3	ขา	2
4	ฐานยาว	2
5	ฐานข้าง	2
6	ฐานมอเตอร์	2
7	ฐานกลาง	1
8	ฐานรองมอเตอร์	1
9	เสาต๊กตา	2
10	แผ่นรองต๊กตา	2

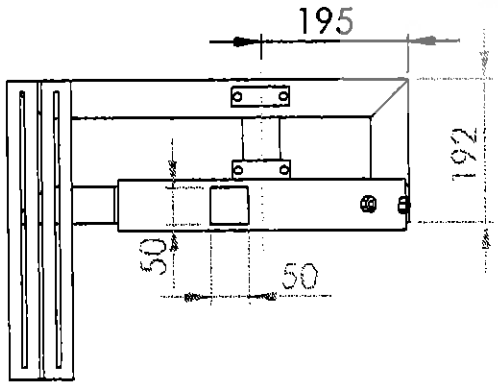
FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
Assembly Structure Base		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:5
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 03/23

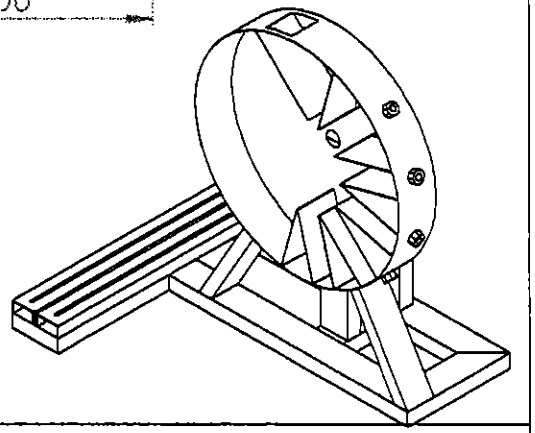
All dimension are millimeter

72



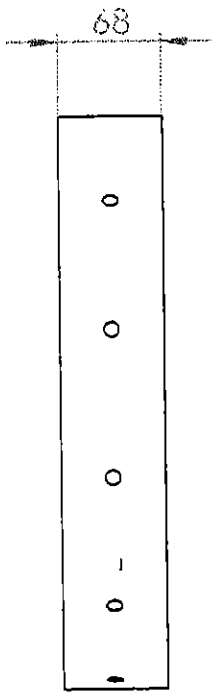


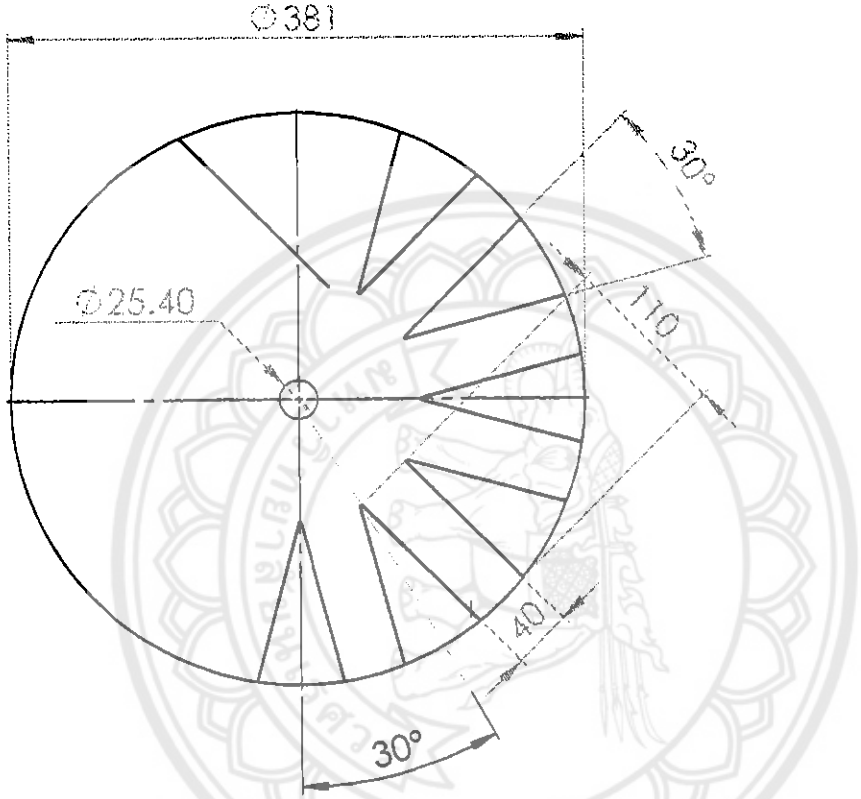


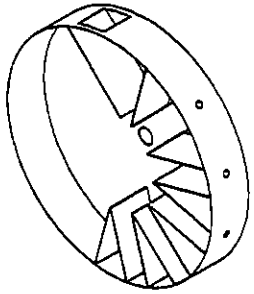


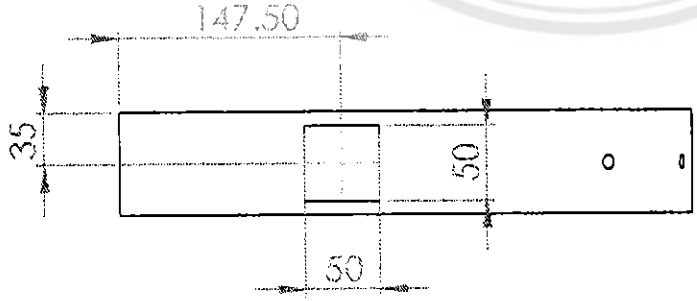
All dimension are millimeter

FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
structure base		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:5
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 04/23



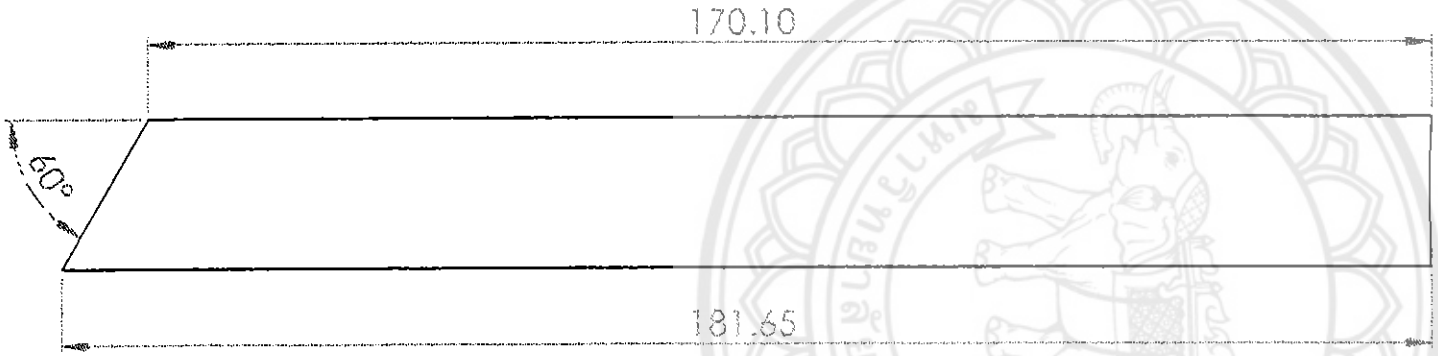


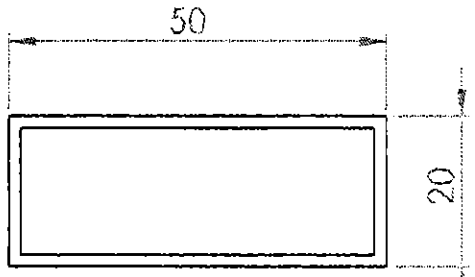




All dimension are millimeter

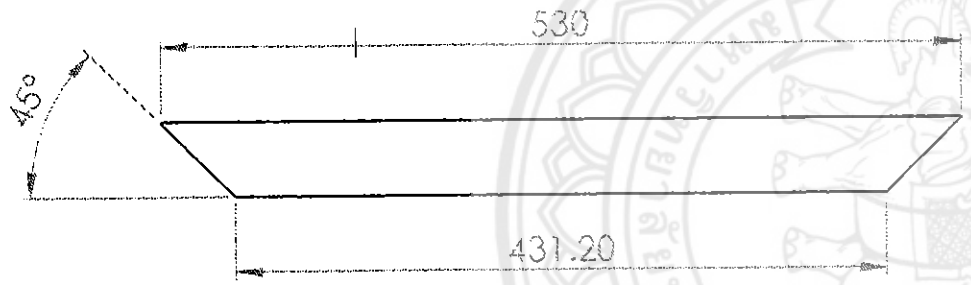
FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
โครงตัวเครื่อง		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:5
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 05/23

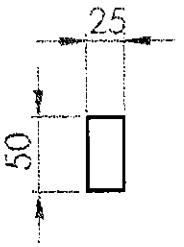


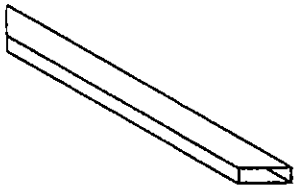


FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
ขาตั้ง		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:1
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 06/23

All dimension are millimeter

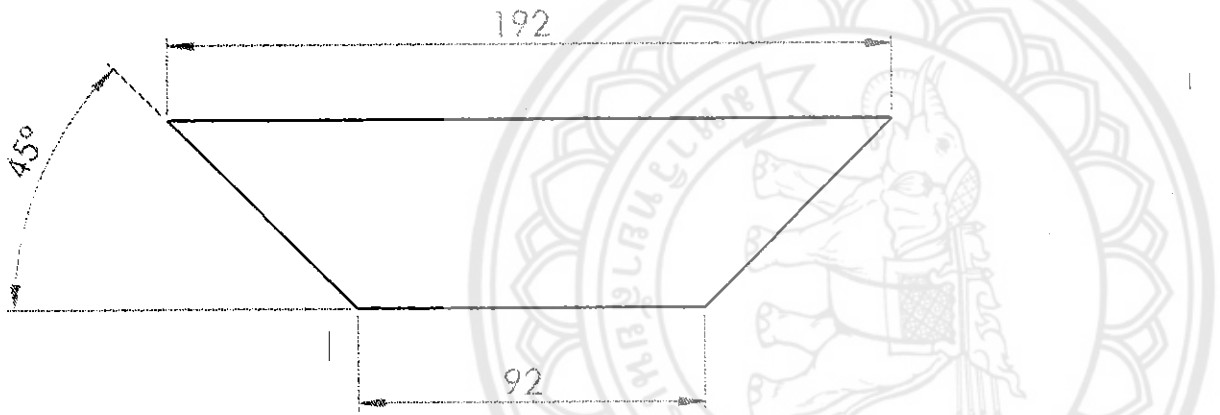


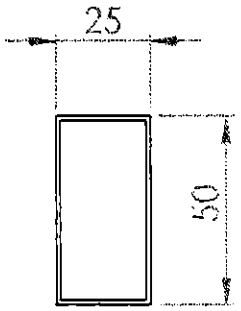


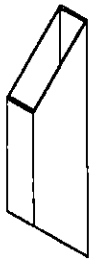


All dimension are millimeter

FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
ฐานยาว		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:5
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 07/23



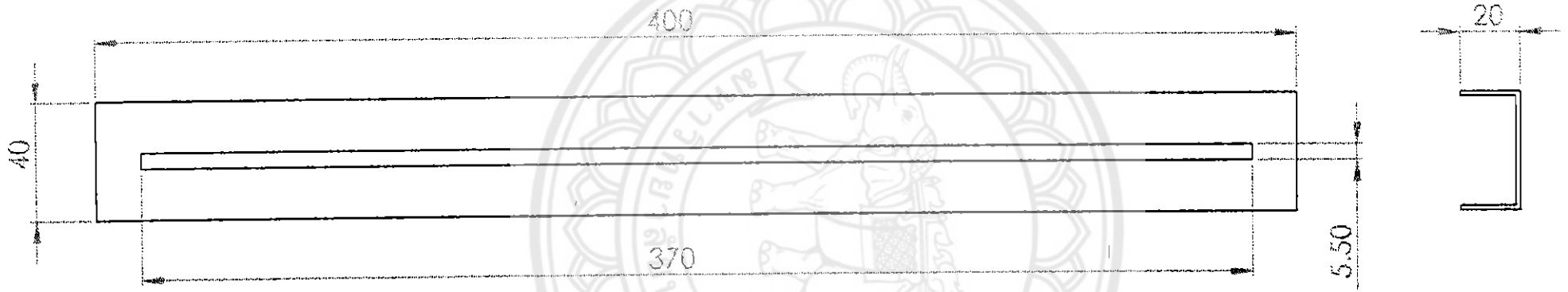




All dimension are millimeter

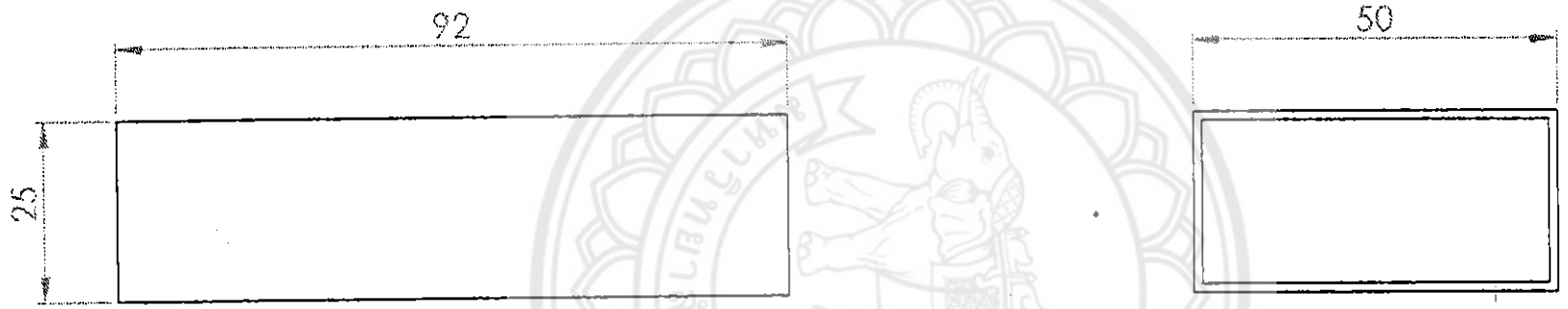
FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
ฐานข้าง		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:2
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 08/23

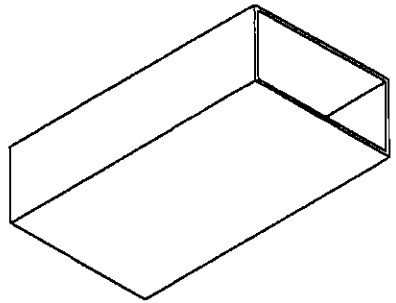
77



All dimension are millimeter

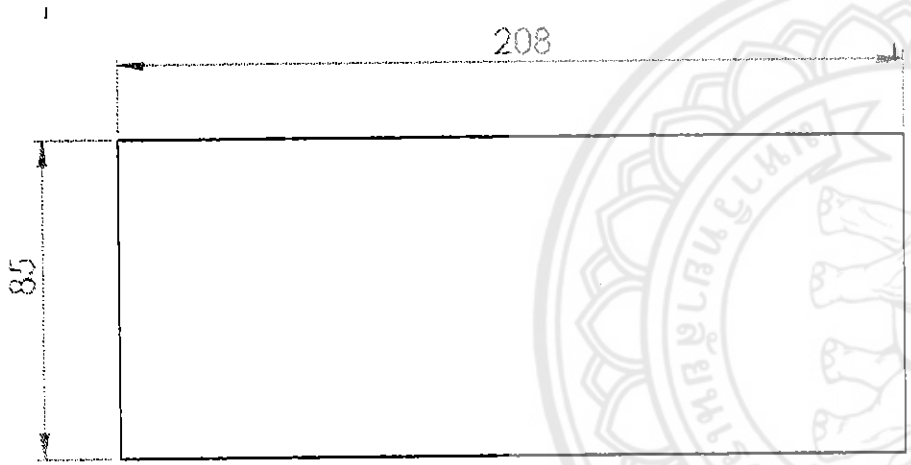
FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
ฐานมอเตอร์		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:2
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 09/23

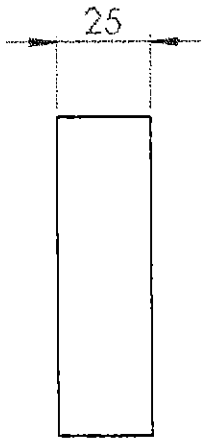


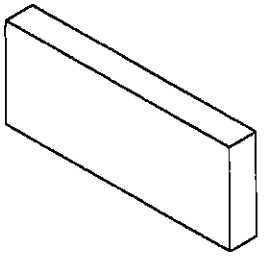


FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
ฐานกลาง		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:1
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 10/23

All dimension are millimeter



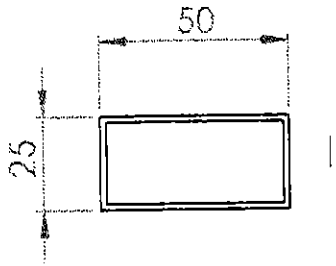


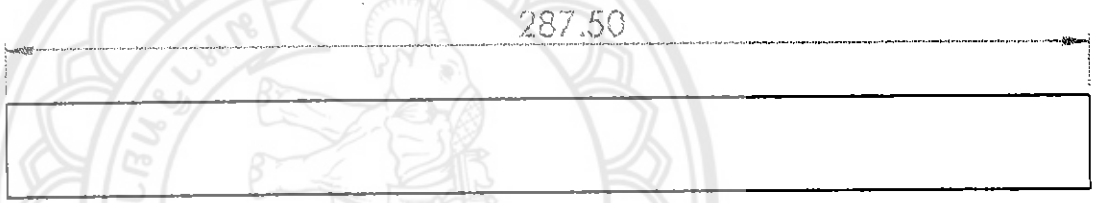


FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
ฐานรองมอเตอร์		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:2
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 11/23

All dimension are millimeter

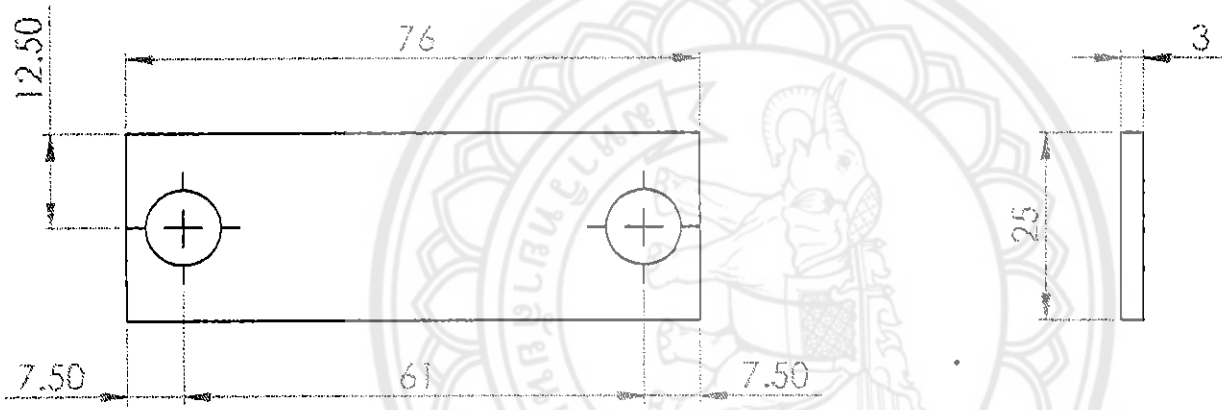
80

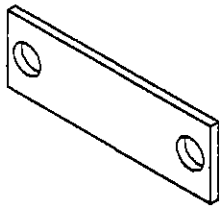




FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
เสาตุ๊กตา		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:2
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 12/23

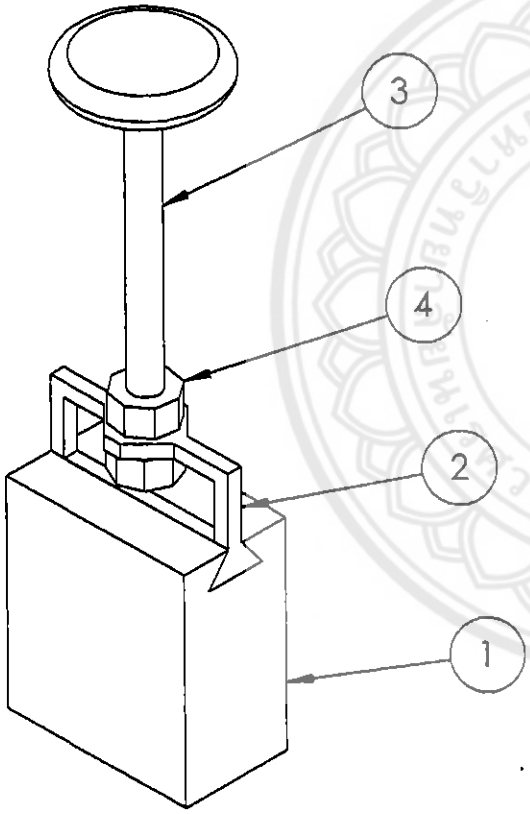
All dimension are millimeter





FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
ฐานรองตุ๊กตา		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:1
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 13/23

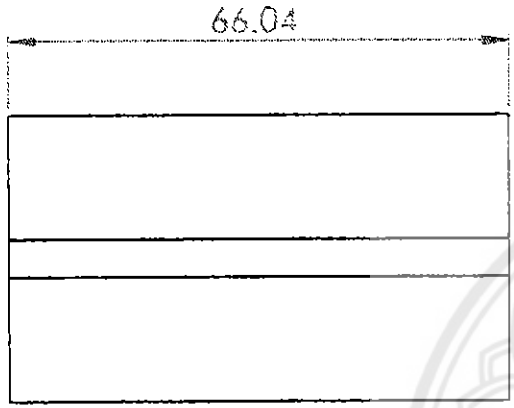
All dimension are millimeter

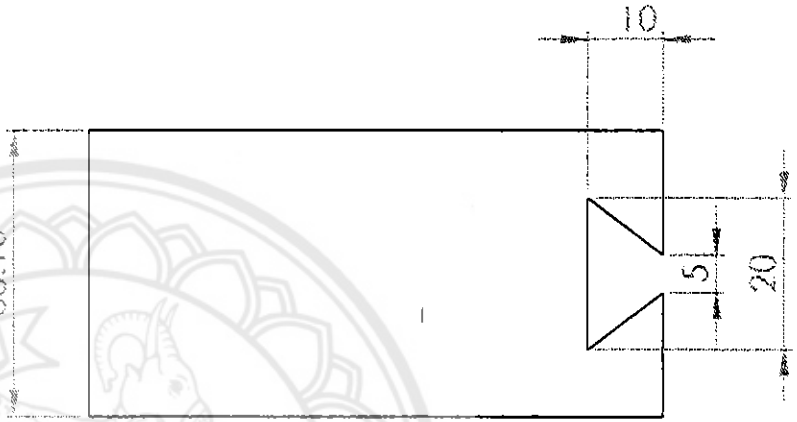


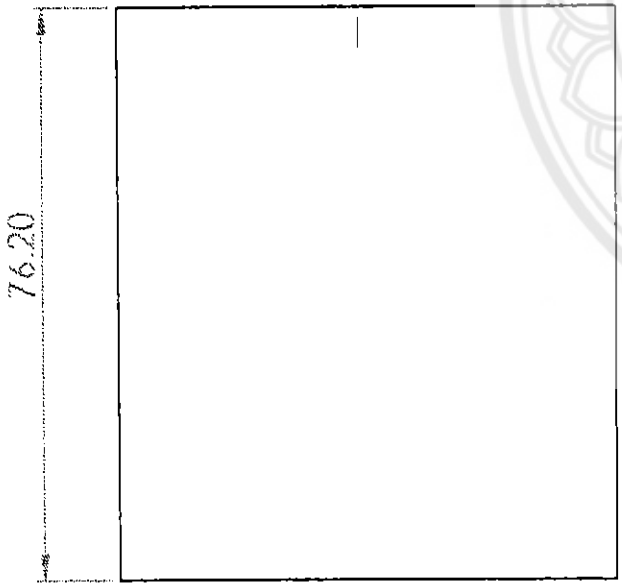
NO.	PART NAME	QTY.
1	ก้อนยาง	1
2	เหล็กยึดก้อนยาง	1
3	Bolt 5 mm. ยาว 100 mm.	1
4	Nut 5 mm.	2

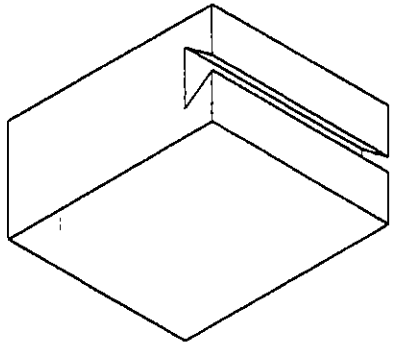
FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
ชุดก้อนยาง		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:2
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 14/23

All dimension are millimeter



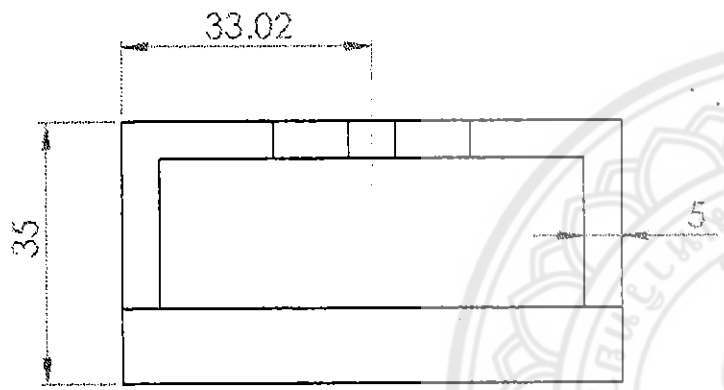


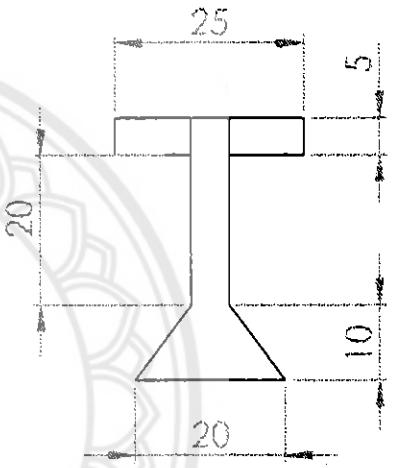


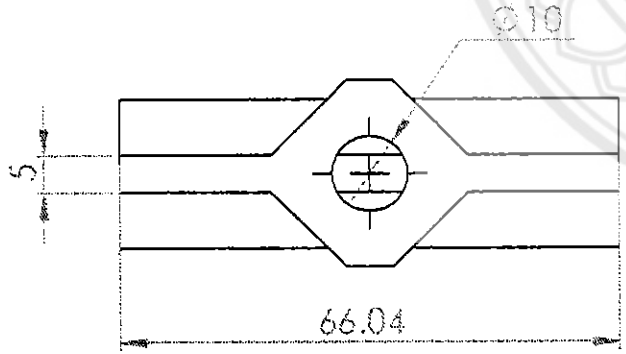


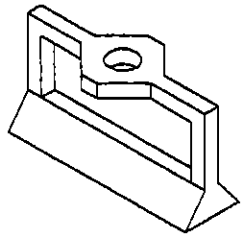
All dimension are millimeter

FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
ก้อนยาง		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:1
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 15/23



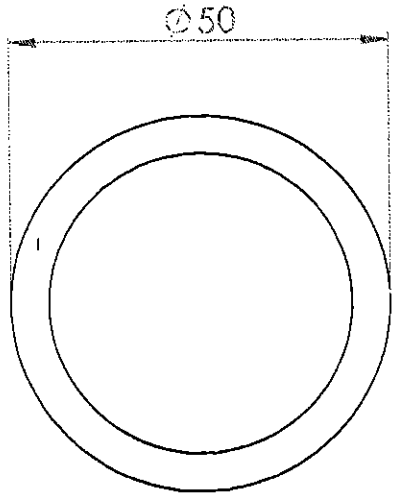


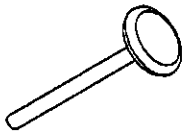




All dimension are millimeter

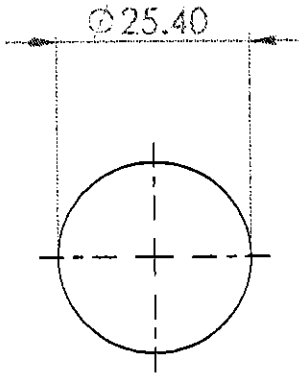
FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
เหล็กยึดก้อนยาง		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:1
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 16/23

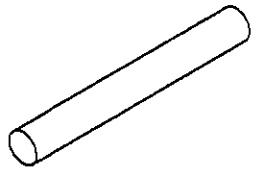




All dimension are millimeter

FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
Bolt หมุนก้อนยาง		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:1
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 17/23

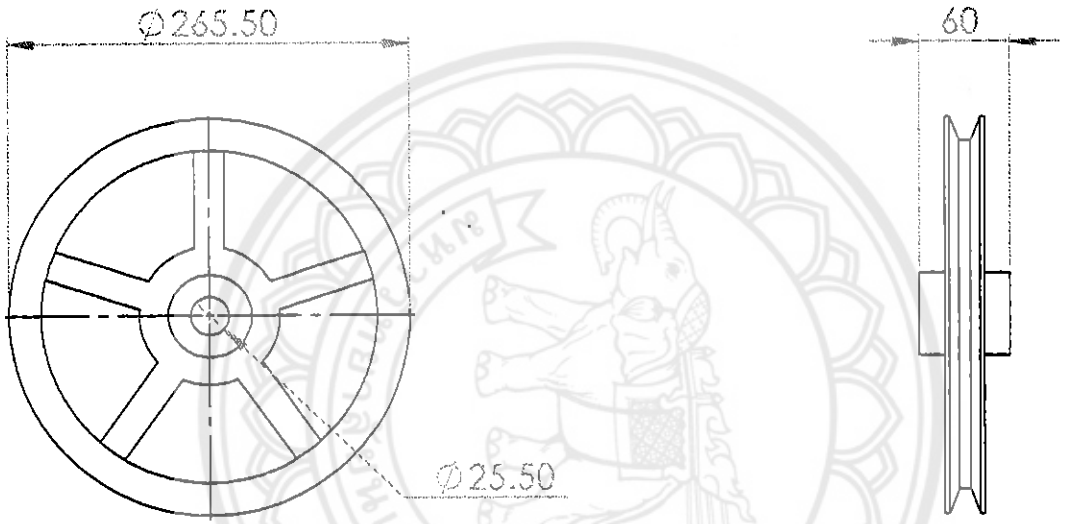


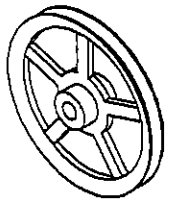


All dimension are millimeter

FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
เพลา		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:1
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 18/23

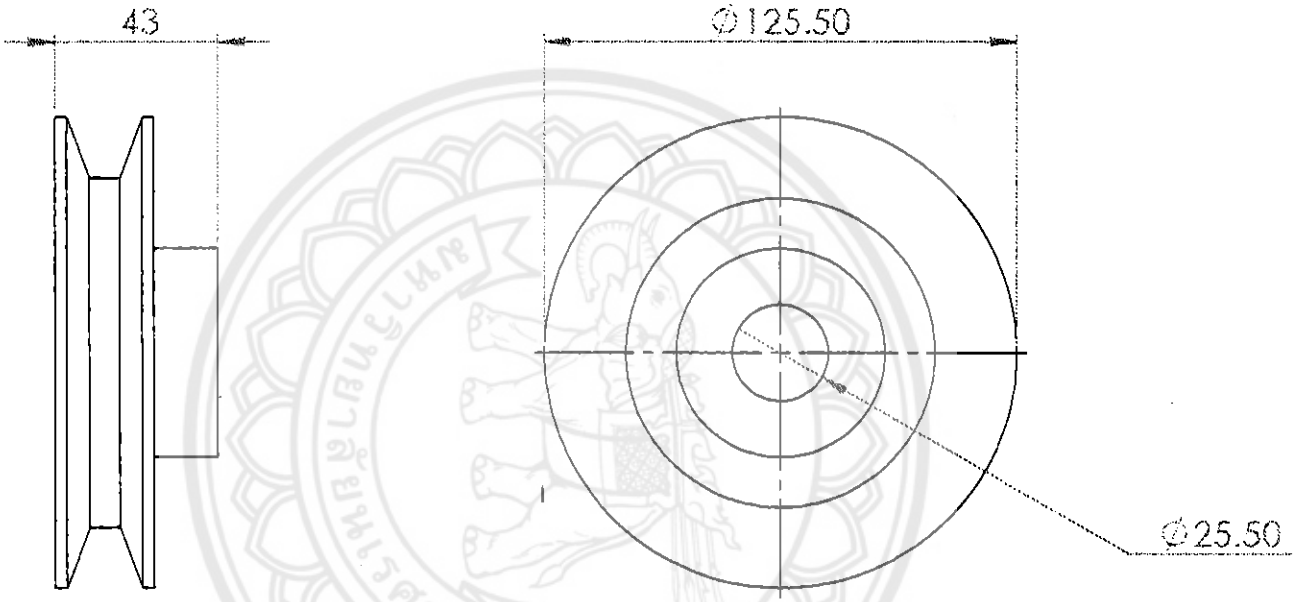
87

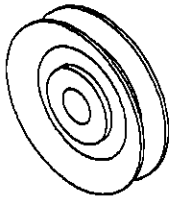




All dimension are millimeter

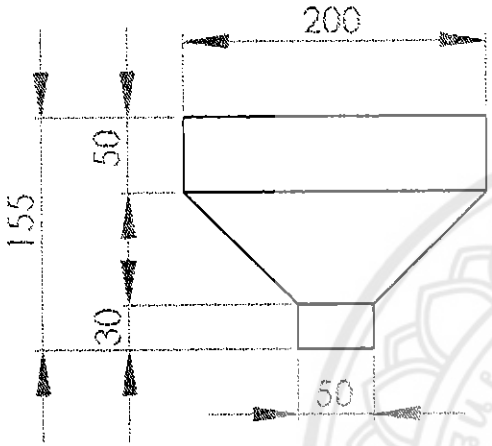
FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
พูเล่ขนาด 10 นิ้ว		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:5
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 19/23

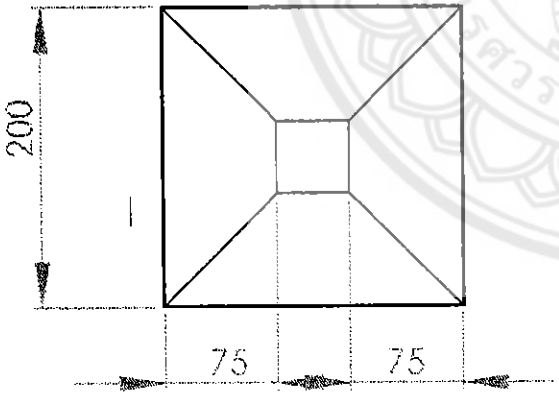


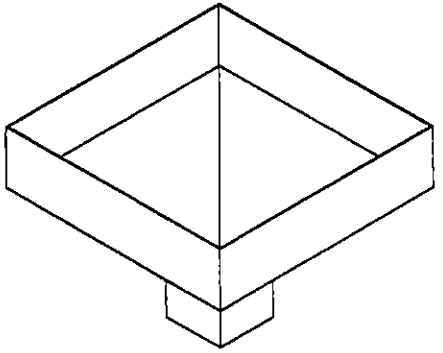


All dimension are millimeter

FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
พูเล่ขนาด 3 นิ้ว		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:2
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 20/23



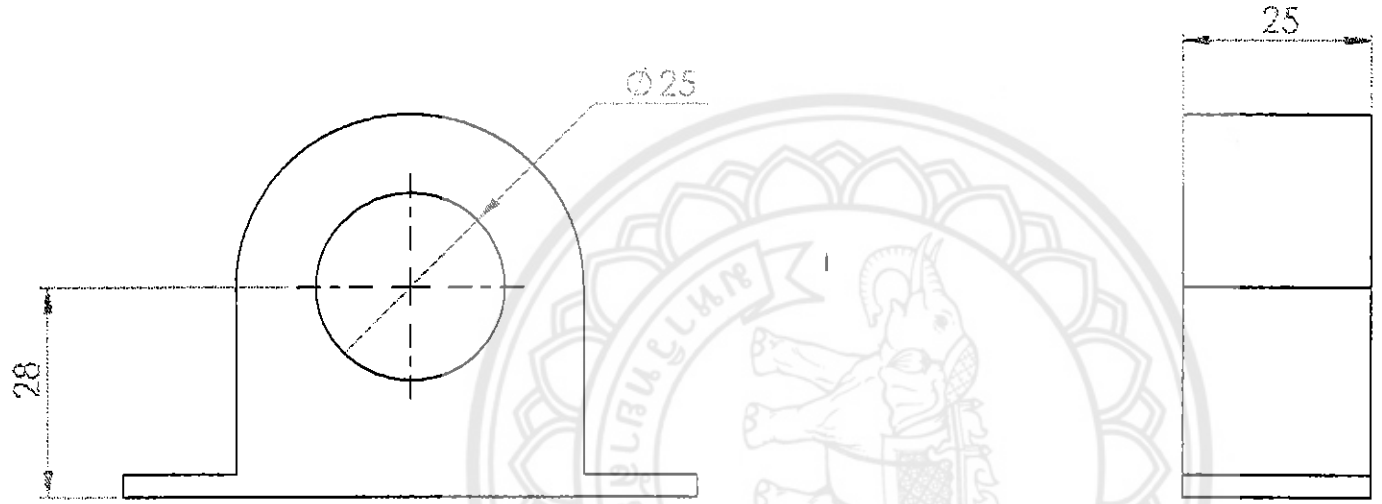


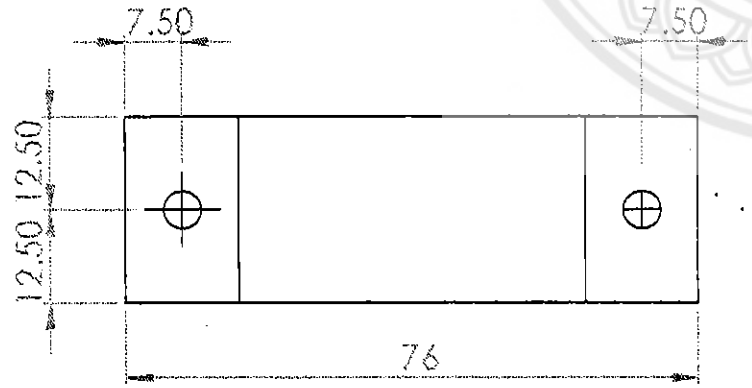


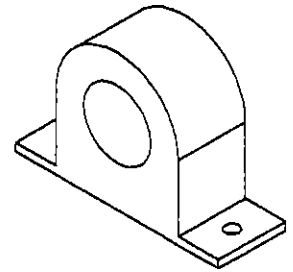
All dimension are millimeter

FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
กรวยใส่ข้าว		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:5
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 21/23

06

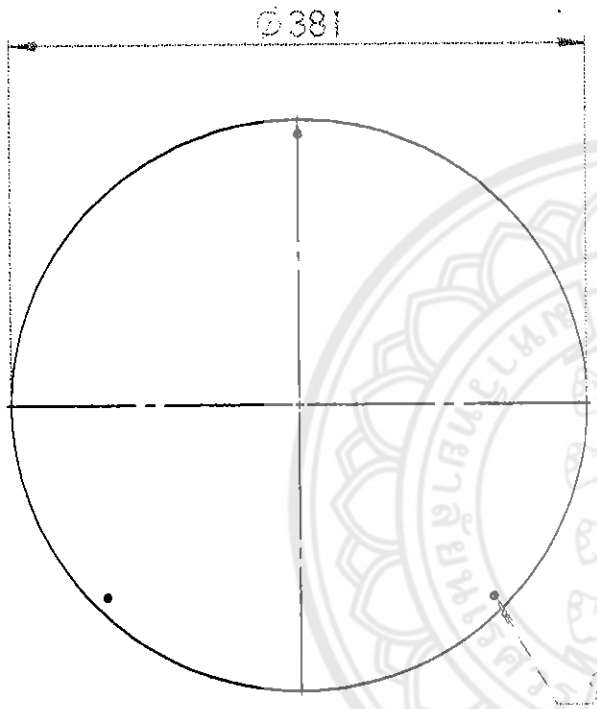


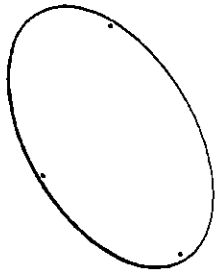




All dimension are millimeter

FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
ตุ๊กตา		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:1
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 22/23





All dimension are millimeter

FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
ฝาครอบด้านหน้า		
DN BY: Mechanical Project		SCALE: 1:5
DATE: 01/03/54	ID: Group Project	PLATE: 23/23

92