

## เครื่องบดเมล็ด



นายชาติ ตันจินดาวัฒน์

นายสมพล รอดคง

นายอาทร แสงทับทิม

นายอาทิตย์ พงศ์ธรรมนิตย์

ร.พ.  
25514๑  
๑๕๐๐

ตราประจำ.....  
เลข..... 83056  
..... ๓๑ ก.ค. ๒๕๕๑  
วัน,เดือน,ปี.....

b..... 119 60260
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะศึกษาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **PUDDY HUSK PULVERIZING MACHINE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF**

**BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING**

**FACULTY OF ENGINEERING**

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท

เครื่องบดกลบ

PADDY HUSK PULVERIZING MACHINE

นักศึกษา

นายชาตรี ต้นจินคาร์ตน์	รหัสประจำตัว	48015659
นายสมพล รอดคง	รหัสประจำตัว	48015685
นายอาทร แสงทับทิม	รหัสประจำตัว	48015692
นายอาทิตย์ พงศ์ธรรมนิศย์	รหัสประจำตัว	48012693

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท

  
(ผ.ศ.ดร.กรรณชัย กัลยาสิริ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องบดแกลบ
นักศึกษา	นายชาติร์ ดันจินคาร์ตัน นายสมพล รอดคง นายอาทร แสงทับทิม นายอาทิตย์ พงศ์ธรรมนิศย์
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2550
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ

### บทคัดย่อ

เนื่องด้วยในปัจจุบันประเทศไทยยังคงเป็นประเทศที่ทำเกษตรกรรมเป็นเศรษฐกิจหลัก โครงการวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องบดแกลบขนาด 3 แรงม้า เพื่อให้เป็นแนวทางและเป็นทางเลือกใหม่ของเกษตรกรในการลดต้นทุนการซื้อวัตถุดิบบางส่วน เช่น การนำแกลบที่ได้จากการสีข้าวมาแปรรูปโดยการนำมอดไร้ทำเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ โดยใช้เครื่องบดแกลบที่ทางกลุ่มได้ทำการสร้างขึ้นและประโยชน์อีกด้านหนึ่งของเครื่องบดแกลบนี้คือ สามารถช่วยประหยัดต้นทุนในการขนส่งและช่วยลดขนาดของปริมาณพื้นที่ในการจัดเก็บ เนื่องจากในการขนส่งและการจัดเก็บแกลบในแต่ละครั้งนั้นสามารถทำได้ในปริมาณที่น้อยเพราะแกลบนั้นมีลักษณะทางกายภาพที่ใหญ่และมีช่องว่างในกองวัสดุมาก แต่ถ้าทำการลดขนาดหรือทำให้แกลบมีขนาดเล็กลงจะทำให้ช่องว่างในกองวัสดุลดลง ดังนั้นเวลาขนย้ายหรือจัดเก็บจะสามารถบรรจุแกลบได้ปริมาณมากขึ้นในปริมาตรเท่าเดิม ซึ่งจากการทดลองพบว่าก่อนทำการบดแกลบนั้นที่น้ำหนักของแกลบ 1 กิโลกรัม จะต้องใช้ปริมาตรในการจัดเก็บเท่ากับ 0.00785 ลูกบาศก์เมตร หรือมีค่า Bulk density เท่ากับ 127.39 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่เมื่อทำการบดแกลบแล้ว ที่น้ำหนักของแกลบ 1 กิโลกรัม จะใช้ปริมาตรในการจัดเก็บเพียง 0.00305 ลูกบาศก์เมตร หรือมีค่า Bulk density เท่ากับ 327.87 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จึงสามารถลดปริมาตรในการจัดเก็บลงได้ 61.13 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาตรของแกลบเท่าเดิมเป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการจัดเก็บได้อีกวิธีหนึ่ง

**Thesis Title** Paddy Husk Pulverizing Machine  
**Student** Mr. Chatree Tanjindarat  
Mr. Sompon Roadkhong  
Mr. Artorn Sangtubtim  
Mr. Arthit Phongtamnit  
**Degree** Bachelor of Engineering in Industrial Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
**Academic Year** 2007  
**Thesis Advisor** Asst.Prof.Dr.Kannachai Kanlayasiri

### ABSTRACT

This project aims to design and develop a 3 hp paddy husk pulverizing machine used to grind an unprocessed husk into powdered husk. One kilogram of a crude husk required  $0.00785 \text{ m}^2$  in the packing area or  $127.39 \text{ kg/ m}^2$  in the bulk density. After processing the bulk density of the paddy husk was  $327.87 \text{ kg/ m}^2$ . From this result, husk volume can be reduced by paddy husk pulverizing machine by 61.31 percent compared with initial one.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องเครื่องบดแกสบสามารถสำเร็จดู่งไปได้ด้วยดี กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ผศ.ดร.กรรณชัย กัลยาสิริ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุกๆด้านตลอดเวลาที่ผ่านไป

รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมกลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุกๆด้านตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม อาจารย์กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้ความรู้ คำแนะนำในการทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์และความช่วยเหลือในทุกๆด้านตลอดเวลาที่ผ่านไป

อาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุกๆด้านตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คุณทองพูน เชนจิ้ว หัวหน้าช่างเทคนิคห้องหุ่นส่วนจำกัด โรงสีรุ่งเรืองชัยอุภัยกิจจังหวัดฉะเชิงเทรา กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้ความรู้ คำแนะนำเรื่องการหล่อซีเมนต์และความอนุเคราะห์ในเรื่องวัสดุต่างๆ

ขอบคุณเพื่อนทุกคนสำหรับความช่วยเหลือต่างๆจนทำให้ปริญญานิพนธ์สำเร็จดู่ง และคอยเป็นกำลังใจที่คิดลอคมา

ที่สำคัญที่สุดขอกราบขอบพระคุณพ่อและแม่ที่ทำให้มีวันนี้ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่สุดสำหรับกำลังใจและความห่วงใยตลอดจนคำแนะนำต่างๆที่มีให้มาโดยตลอด

นายชาติร์ ดันจินดารัตน์

นายสมพล รอดคง

นายอาทร แสงทับทิม

นายอาทิตย์ พงศ์ธรรมนิศ์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญรูป .....	ฉ
<b>บทที่ 1</b> บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	1
1.3 ขอบเขตของปริิญญานิพนธ์ .....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
<b>บทที่ 2</b> ข้อมูลเบื้องต้นของเมล็ด	
2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของเมล็ด .....	3
2.1.1 ต้นข้าว .....	3
2.1.2 เมล็ดข้าว .....	3
2.1.3 คอกข้าว .....	4
2.1.4 ช่อคอกข้าว .....	5
2.2 การปลูกข้าว .....	5
2.2.1 ข้าวไร่ .....	5
2.2.2 ข้าวนา .....	5
2.2.2.1 การเตรียมดิน .....	6
2.2.2.2 การตกลด้า .....	6
2.2.3 ข้าวนาหว่าน .....	7
2.2.4 ข้าวนาปรัง .....	8
2.3 การดูแลรักษาต้นข้าว .....	8
2.4 การเก็บเกี่ยวข้าว .....	9
2.5 การนวดข้าว .....	9
2.6 การทำความสะอาดเมล็ดข้าว (การสีข้าว) .....	9
2.7 การตากข้าว .....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 การเก็บรักษาข้าว.....	10
2.9 ลักษณะทั่วไปของแกลบ .....	10
2.10 การนำไปใช้งาน .....	10
2.11 เครื่องลดขนาดแกลบแบบต่างๆที่พบเห็นภายในประเทศและต่างประเทศ.....	11
2.11.1 เครื่องลดขนาดแบบ Ball mill .....	11
2.11.2 เครื่องลดขนาดแบบ Hammer mills .....	12
2.11.3 เครื่องลดขนาดแบบ Smooth roll crusher .....	13
2.11.4 เครื่องลดขนาดแบบ Rotary knife cutter.....	14
2.11.5 เครื่องลดขนาดแบบ Roller mill.....	15
2.11.6 เครื่องลดขนาดแบบ Plate mill.....	16
2.11.7 เครื่องลดขนาดแบบ Crusher.....	17
<b>บทที่ 3 ทฤษฎีการออกแบบและการคำนวณ</b>	
3.1 การออกแบบเพลลา.....	18
3.1.1 วัสดุเพลลา.....	19
3.1.2 ขนาดของเพลลา.....	19
3.1.3 การพิจารณาในการออกแบบ.....	20
3.1.4 การออกแบบเพลลาตาม ใค้คของ ASME.....	21
3.2 ลิ้มและสลัก.....	23
3.2.1 ชนิดของลิ้ม.....	24
3.2.1.1 ลิ้มตีเหล็กขึ้นค้ำและลิ้มตีเหล็กขึ้นจักริต.....	24
3.2.1.2 ลิ้มแบน.....	25
3.2.1.3 แซดเคิลคีย์ (Saddle key).....	25
3.2.1.4 ลิ้มวงเคียน (Woodruff key).....	26
3.2.1.5 แทนเจนเชียลคีย์ (Tangential key).....	26
3.2.2 การให้ชื่อลิ้ม.....	27
3.3 การเชื่อม.....	29
3.3.1 การเชื่อมด้วยไฟฟ้า.....	29
3.3.2 การเชื่อมด้วยแก๊ส.....	29
3.3.3 รอยเชื่อมรับแรงสมมาตร.....	30
3.3.4 การคัดในรอยเชื่อม.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.5 การบิดในรอยเชื่อม.....	33
3.4 คลับลูกปืน Y-bearing.....	35
3.4.1 ตัวลื้อของคลับลูกปืนวาย.....	37
3.4.2 ความสามารถในการรับแรงของตัวลื้อ.....	37
3.4.3 การหล่อลื่นและการดูแลรักษา.....	37
3.4.4 คำแนะนำในการติดตั้ง.....	38
3.5 สายพานลิ่ม.....	38
3.5.1 ขนาดสายพานและลื้อสายพานลิ่ม.....	38
3.5.2 กลศาสตร์ของสายพานลิ่ม.....	40
3.5.3 การทำให้เกิดแรงดึงชั้นต้นในสายพานลิ่ม.....	43
3.5.4 การคำนวณหาขนาดของสายพานลิ่ม.....	45
3.6 การต่อมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส.....	50
<b>บทที่ 4 การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องบดเกลือ</b>	
4.1 ชุดลูกกลิ้งและชุดหินขัด.....	54
4.1.1 แบบหล่อซีเมนต์ลูกกลิ้ง.....	54
4.1.2 แบบหล่อซีเมนต์ชุดหินขัด.....	55
4.1.3 การหล่อซีเมนต์ลูกกลิ้ง.....	55
4.1.4 การหล่อซีเมนต์ชุดหินขัด.....	56
4.2 ตัวเครื่องบดเกลือ.....	57
4.2.1 ฝาปิดบน.....	57
4.2.2 ฐานล่าง.....	58
4.3 โครงสร้างฐาน.....	58
4.4 ชุดทางออกของเกลือ.....	59
4.5 ฝาครอบสายพาน.....	59
<b>บทที่ 5 ผลการดำเนินงาน</b>	
5.1 ผลการดำเนินงานด้านการออกแบบ.....	60
5.2 ผลการดำเนินงานด้านเครื่องจักร.....	60
5.2.1 การสร้างลูกกลิ้งและชุดหินขัด.....	61

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.2 การสร้างตัวเครื่องบดแกลบ .....	62
5.2.3 การสร้างชุดทางออกของแกลบ .....	63
5.2.4 การสร้างชุดโครงสร้าง .....	63
5.2.5 การสร้างฝาครอบสายพาน .....	64
5.2.6 การประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน .....	64
5.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องบดแกลบ .....	65
<b>บทที่ 6</b> <b>สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน</b>	
6.1 สรุปผลการดำเนินงาน .....	68
6.2 ข้อเสนอแนะ .....	68
<b>หนังสืออ้างอิง</b> .....	69
<b>ภาคผนวก ก</b>	
ขนาดมาตรฐานชุดดัดลูกปืนวาลแบบพลิเมอร์บดคานิคตัวสื่อเป็นหลักหล่อ และตารางการเลือกสายตัวนำ อุปกรณ์ป้องกันต่างๆ สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ .....	ผก 1
<b>ภาคผนวก ข</b>	
ขั้นตอนการทดสอบเครื่องบดแกลบ .....	ผข 1
<b>ภาคผนวก ค</b>	
แบบชิ้นส่วนเครื่องบดแกลบ .....	ผค 1

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ขนาดระบุของเพลตามาตรฐาน ISO/R775-1969.....	19
ตารางที่ 3.2 ขนาดลิ้มมาตรฐานที่ใช้กับเพลขนาดต่างๆ.....	28
ตารางที่ 3.3 ขนาดสายพานลิ้มและล้อสายพานตามมาตรฐาน ISO/R 52-1957 (E) และ ISO/R 256-1962 (E) .....	39
ตารางที่ 3.4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิคซ์ $d_p$ ของล้อสายพานตามมาตรฐาน ISO/R 52-1957 (E) และ ISO/R253-1962 (E) ขนาดเป็นมิลลิเมตร.....	40
ตารางที่ 3.5 ตัวประกอบใช้งาน.....	44
ตารางที่ 3.6 ค่าตัวประกอบ $k_2$ .....	45
ตารางที่ 3.7 ตัวประกอบใช้งาน $N_r$ สำหรับสายพานลิ้ม .....	47
ตารางที่ 3.8 ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส $N_o$ สำหรับสายพานลิ้ม.....	48
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องบดกลบ .....	66

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 เครื่องลดขนาดแบบ Ball mill.....	11
รูปที่ 2.2 เครื่องลดขนาดแบบ Hammer mills.....	12
รูปที่ 2.3 เครื่องลดขนาดแบบ Smooth roll crusher.....	13
รูปที่ 2.4 เครื่องลดขนาดแบบ Rotary knife cutter .....	14
รูปที่ 2.5 เครื่องลดขนาดแบบ Roller mill .....	15
รูปที่ 2.6 เครื่องลดขนาดแบบ Plate mill .....	16
รูปที่ 2.7 เครื่องลดขนาดแบบ Crusher.....	17
รูปที่ 3.1 เพลที่อยู่ภายใต้แรงต่างๆ.....	21
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะลิ้มที่เหลี่ยมนินค้าและลิ้มที่เหลี่ยมจักรัส .....	24
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะลิ้มที่เหลี่ยมนินค้าและลิ้มที่เหลี่ยมจักรัสแบบเร็ว .....	24
รูปที่ 3.4 ลิ้มแบน .....	25
รูปที่ 3.5 ลิ้มแซดเดิลคีย์ (Saddle key).....	25
รูปที่ 3.6 ลิ้มวงเคืออน (Woodruff key).....	26
รูปที่ 3.7 ลิ้ม แพนเจนเชียคคีย์ (Tangential key).....	26
รูปที่ 3.8 การเชื่อมด้วยไฟฟ้า.....	29
รูปที่ 3.9 การเชื่อมแก๊ส.....	29
รูปที่ 3.10 รอยเชื่อมมุม.....	30
รูปที่ 3.11 รอยเชื่อมรับแรงสมมาตร .....	30
รูปที่ 3.12 การเชื่อมรับแรงคืด .....	32
รูปที่ 3.13 หน้าคืดรอยเชื่อม.....	33
รูปที่ 3.14 รอยเชื่อมรับแรงบิด .....	33
รูปที่ 3.15 แบบแหวนลือกเอืองศูนย์พร้อมสลักเกลียว .....	35
รูปที่ 3.16 แบบสลักเกลียวลือก .....	35
รูปที่ 3.17 แบบปลอกปรับขนาดเพลลา.....	36
รูปที่ 3.18 แบบการกำหนดตำแหน่งโดยการสวมแน่น .....	36
รูปที่ 3.19 คิวลือกแบบพลิมเมอร์ (ฟิลโล) บลือกชั้นเดียวทำด้วยเหล็กหล่อ.....	37
รูปที่ 3.20 หน้าคืดสายพานลือกและลือกสายพาน .....	38
รูปที่ 3.21 แรงบนสายพานลือก .....	40
รูปที่ 3.22 แรงในสายพานลือก .....	41
รูปที่ 3.23 แผนภูมิที่ใช้ในการเลือกขนาดหน้าคืดของสายพานลือก .....	45
รูปที่ 3.24 แสดงลักษณะภายนอกและขั้วต่อของมอเตอร์ 3 เฟส แบบอินคักชั่น .....	50

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.25 แสดงขดลวด 3 เฟส ในตัวมอเตอร์ 3 เฟส แบบอินดักชัน.....	50
รูปที่ 3.26 แสดงการต่อมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์ ( Y ) และแบบเดลต้า (Δ).....	51
รูปที่ 3.27 แสดงวงจรการต่อมอเตอร์ไฟฟ้าแบบ 3 เฟส โดยให้สตาร์ทโดยตรง (Direct on line start).....	51
รูปที่ 3.28 ตัวอย่างการควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบอินดักชัน.....	52
รูปที่ 3.29 แสดงการต่อมอเตอร์ตาม NAME PLATE 380/220 V. ต่อได้ 2 วิธี.....	52
รูปที่ 3.30 แสดงการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบอินดักชัน.....	53
รูปที่ 3.31 แสดงการต่อมอเตอร์แบบเดลต้า 380 โวลท์ แบบ Direct on line start.....	53
รูปที่ 4.1 แบบหล่อซีเมนต์ลูกกลิ้ง.....	54
รูปที่ 4.2 แบบหล่อซีเมนต์ชุดหินขัด.....	55
รูปที่ 4.3 ลูกกลิ้งตัวในก่อนหล่อซีเมนต์.....	55
รูปที่ 4.4 การประกอบแบบหล่อเข้ากับลูกกลิ้งตัวใน.....	56
รูปที่ 4.5 เพลทสำหรับหล่อชุดหินขัด.....	56
รูปที่ 4.6 การประกอบแบบหล่อชุดหินขัดเข้ากับเพลท.....	57
รูปที่ 4.7 ฝาปิดบน.....	57
รูปที่ 4.8 ฐานล่าง.....	58
รูปที่ 4.9 โครงสร้างฐาน.....	58
รูปที่ 4.10 ชุดทางออกของแกลบ.....	59
รูปที่ 4.11 ฝาครอบสายพาน.....	59
รูปที่ 5.1 การหล่อซีเมนต์ลูกกลิ้ง.....	61
รูปที่ 5.2 ลูกกลิ้งที่ได้จากการหล่อซีเมนต์.....	61
รูปที่ 5.3 การหล่อซีเมนต์ชุดหินขัด.....	62
รูปที่ 5.4 ชุดหินขัดที่ได้จากการหล่อซีเมนต์.....	62
รูปที่ 5.6 ตัวเครื่องบดแกลบ.....	62
รูปที่ 5.7 ชุดทางออกของแกลบ.....	63
รูปที่ 5.8 ชุดโครงสร้าง.....	63
รูปที่ 5.9 ฝาครอบสายพานที่สร้างเสร็จแล้ว.....	64
รูปที่ 5.10 การประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน.....	64
รูปที่ 5.11 แกลบก่อนทำการบดด้วยเครื่องบดแกลบ.....	68
รูปที่ 5.12 แกลบหลังทำการบดด้วยเครื่องบดแกลบ.....	68

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากการทำเกษตรหลักของประเทศไทยส่วนใหญ่ยังคงเป็นการเพาะปลูกข้าว และหลังการเก็บเกี่ยวแล้วก็ต้องนำข้าวไปสีเอาเปลือกข้าวออกและเปลือกข้าวนี้เองที่เราเรียกว่า “แกลบ” ในชีวิตประจำวันเราสามารถนำแกลบไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ใช้ทำเป็นเชื้อเพลิง ใช้เป็นส่วนผสมของดินเพาะปลูก และสามารถนำแกลบในการช่วยเก็บรักษาความชื้น ได้อีกด้วย แต่เนื่องจากแกลบนั้นมีลักษณะทางกายภาพที่ใหญ่และมีช่องว่างในกองวัสดุมาก ดังนั้นในการจัดเก็บและการขนส่งจะทำได้ในปริมาณที่น้อย แต่ถ้าหากลดขนาดหรือทำให้แกลบมีขนาดลดลงจะทำให้ช่องว่างในกองวัสดุลดลงดังนั้นจึงทำให้สามารถบรรจุแกลบได้ปริมาณมากขึ้น โดยที่ใช้ปริมาตรเท่าเดิม เป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการจัดเก็บได้อีกวิธีหนึ่ง ดังนั้นจึงเป็นที่มาของหัวข้อปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องบดแกลบ
2. สร้างเครื่องบดแกลบเพื่อใช้บดแกลบแห้งให้เป็นผง

### 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. จัดสร้างเครื่องบดแกลบขนาด 3 แรงม้า
2. ใช้บดแกลบเฉพาะแกลบที่แห้งสนิทเท่านั้น
3. ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบดแกลบที่มีความเร็วรอบ 5 ระดับ คือ  
ระดับที่ 1. คือ 1450 รอบ/นาที ใช้ล้อสายพานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.0 นิ้ว  
ระดับที่ 2. คือ 1242 รอบ/นาที ใช้ล้อสายพานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 นิ้ว  
ระดับที่ 3. คือ 1087 รอบ/นาที ใช้ล้อสายพานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.0 นิ้ว  
ระดับที่ 4. คือ 966 รอบ/นาที ใช้ล้อสายพานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 นิ้ว  
ระดับที่ 5. คือ 870 รอบ/นาที ใช้ล้อสายพานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.0 นิ้ว

โดยกำหนดให้ปัจจัยคงที่ คือ

1. ล้อสายพานที่ตัวมอเตอร์คั่นกำลังใช้เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 3 นิ้ว
2. ขนาดรูตะแกรง (ในที่นี้ใช้ขนาดของรูตะแกรงเท่ากับ 1.5 มม.)
3. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งกับชุดหินขัด
4. ปริมาณแกลบที่ใช้ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้ขั้นตอนและวิธีการสร้างเครื่องคนเกลบ
2. สามารถนำวัตถุดิบที่เหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์ ช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ข้อมูลเบื้องต้นของเมล็ด

2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของเมล็ด (“ความรู้เรื่องข้าว” คร.ประพาส วีระแพทย์ สาขาคัดพันธุ์ด้านพันธุศาสตร์ข้าว กองการข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์)

#### 2.1.1 ต้นข้าว

ลักษณะของต้นข้าว เมื่อนำเอาเมล็ดข้าวไปเพาะให้งอก โดยแช่น้ำนานประมาณ 1-2 ชั่วโมงแล้ว เอาเมล็ดขึ้นมาเก็บไว้ในจานแก้วที่มีความชื้นสูง ในห้องที่มีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียสเมล็ดจะงอกภายใน 48 ชั่วโมง โดยมีรูยติงข้าวเกิดขึ้นที่ปลายด้านหนึ่งของเมล็ดข้าวซึ่งเป็นปลายด้านที่ติดกับก้านดอกและส่วนที่งอกนั้นก็คือ ลัพพะ (Embryo) ต่อไปจะมีรากและยอดโผล่ค่นออกมาเมื่อเอาเมล็ดที่เริ่มงอกเหล่านี้ไปปลูกในดินที่เปียกส่วนที่เป็น รากก็จะเจริญเติบโต ลึกลงไปในดิน ส่วนที่เป็นยอดก็จะสูงขึ้นเหนือผิวดินแล้วเปลี่ยนเป็นใบ ต้นข้าวเล็ก ๆ นี้เรียกว่า ต้นกล้า หลังจากต้นกล้ามีอายุประมาณ 40 วัน ก็จะมีหน่อใหม่เกิดขึ้น โดยเจริญเติบโตออกมาจากตาซึ่งอยู่ที่โคนต้นกล้า แต่ละต้นสามารถแตกกอได้หน่อใหม่ประมาณ 5-15 หน่อทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวระยะปลูกและความอุดมสมบูรณ์ของ ดิน แต่ละหน่อให้รวงข้าวหนึ่งรวง แต่ละรวงจะมีเมล็ดประมาณ 100-200 เมล็ด ปกติต้นข้าวที่โตเต็มที่แล้วจะมีความ สูงจากพื้นดินถึงปลายรวงที่สูงที่สุดประมาณ 100-200 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างไปตามชนิดของพันธุ์ข้าว ตลอดถึง ความอุดมสมบูรณ์ของดินและความลึกของน้ำพันธุ์ข้าวบางพันธุ์มีต้นสูงและบางพันธุ์ก็มีต้นเตี้ย ภายในของต้นข้าวมี ลักษณะเป็นโพรงและแบ่งออกเป็นปล้อง ๆ ฉะนั้นข้าวต้นสูงจึงล้มง่ายกว่าข้าวต้นเตี้ย

#### 2.1.2 เมล็ดข้าว

เมล็ดของข้าวหมายถึง ส่วนรวมที่เป็นแป้งที่เรียกว่า Endosperm และส่วนที่เป็น Embryo ซึ่งถูก ห่อหุ้มไว้โดยเปลือกนอกที่ เรียกว่า Lemma และ Palea แป้ง Endosperm เป็นแป้งที่เรอบริโภค ส่วน Embryo เป็นส่วนที่ มีชีวิต และงอกออกมาเป็นต้นข้าวเมื่อนำเอาไปเพาะ การที่ละอองเกสรตัวผู้ตกลงบนที่รับละอองเกสรของเกสรตัวเมีย นั้น เรียกว่า “การผสมเกสร” (Pollination) หลังจากการผสมเกสรเล็กน้อย ละอองเกสรตัวผู้ก็จะงอกลงไปในก้นของ เกสรตัวเมีย เพื่อนำนิวเคลียสจากละอองเกสรตัวผู้ไปผสมเพื่อรวมตัวกับไข่และนิวเคลียสอื่น ๆ ในรังไข่ นิวเคลียสที่ ได้รวมตัวกับไข่ก็จะเจริญเติบโตเป็น Embryo ส่วนนิวเคลียสที่ได้รวมตัวกับนิวเคลียสอื่น ๆ (Polar nuclei) ก็จะ เจริญเติบโตเป็นแป้งที่เรียกว่า Endosperm หลังจากการผสมเกสรประมาณ 30 วัน เมล็ดข้าวก็จะแก่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยว ได้ เมื่อได้แก่เปลือกที่เป็น Lemma และ Palea ของเมล็ดข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวมาก็จะได้เมล็ดข้าวที่เรียกว่า ข้าวกล้อง (Brown rice) เมล็ดข้าวกล้องมักจะเป็นสีน้ำตาลอ่อน ๆ และเมื่อได้ผ่านเมล็ดข้าวกล้องออกตามความยาว และศึกษา ลักษณะของมันอย่างละเอียด ก็พบว่าเมล็ดข้าวกล้องประกอบด้วย เยื่อชั้นนอกบาง ๆ เรียกว่า Pericarp layers จำนวน 2 ชั้น เยื่อชั้นกลางหนึ่งชั้นเรียกว่า Tegmen และเยื่อชั้นในบาง ๆ อีกหนึ่งชั้นเรียกว่า Aleurone layer ถ้า Pericarp layers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสีแดง เมล็ดข้าวกล้องก็จะเป็นสีแดงส่วนภายในที่เป็น Endosperm จะมีลักษณะเป็นแป้งสีขาวหรือใส เป็นจำนวนมากที่ Endosperm เป็นสีแดงข้าวเหนียวจะมี Endosperm เป็นสีขาวขุ่น ส่วนข้าวเจ้ามี Endosperm ใสกว่า อย่างไรก็ตาม Endosperm ของเมล็ดข้าวเจ้า อาจมีสีขาวขุ่นเกิดขึ้นที่ด้านข้างหรือตรงกลางของเมล็ดก็ได้ซึ่งเรียกว่าท้องไข่หรือท้องปลาฉิว (Chalkiness)

### 2.1.3 ดอกข้าว

ดอกข้าว หมายถึงส่วนที่มีเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียสำหรับผสมพันธุ์ดอกข้าว ประกอบด้วยเปลือกนอกสองแผ่นประสานกันเพื่อห่อหุ้มส่วนที่อยู่ภายในไว้ เปลือกนอกแผ่นใหญ่เรียกว่า Lemma ส่วนเปลือกนอกแผ่นเล็กเรียกว่า Palea ทั้งสองเปลือกนี้ภายนอกของมันอาจมีขนหรือไม่มีขนก็ได้ ถ้าที่เปลือกนี้ไม่มีขน ที่ใบของมันก็จะไม่มีขนและผิวเรียบด้วย ที่ปลายสุดของ Lemma จะมีลักษณะเป็นปลายแหลมยื่นออกมา เรียกว่า หาง (Awn) พันธุ์ข้าวบางพันธุ์มีหางสั้นและบางพันธุ์ก็มีหางยาว พันธุ์ที่มีหางยาวเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการ เพราะทำให้เก็บเกี่ยวและนวดชยาก นอกจากนี้ยังทำให้ผู้เข้าไปเก็บเกี่ยวเกิดเป็นแผลตามผิวหนังได้ง่าย ที่ปลายด้านล่างของ Lemma และ Palea เท่านั้นที่ประสานติดอยู่กับกันสั้น ๆ ที่เรียกว่า Rachilla และที่ด้านบนของ Rachilla นี้จะมีแผ่นบาง ๆ สองแผ่นขนาดเท่า ๆ กันทำหน้าที่บังคับให้ Lemma และ Palea ดังกล่าวปิดหรือเปิดได้แผ่นบาง ๆ สองแผ่นนี้เรียกว่า Lodicules ที่ฐานของ Rachilla จะมีเปลือกบาง ๆ อีกสองแผ่นขนาดเล็กกว่า Lemma และ Palea และมีรูปร่างค่อนข้างยาวประกบอยู่ที่ฐานของ Lemma และ Palea เรียกว่า Sterile lemmas ซึ่งที่ปลายด้านล่างของ Sterile lemmas ก็ประสานติดกันอยู่รอบ ๆ ข้อซึ่งเรียกว่า Rudimentary glumes ต่อดลงมาก็จะเป็นก้านดอก (Pedicel) ซึ่งติดอยู่กับระแนงติดภูมิของช่อดอกข้าว ดังกล่าวส่วนที่อยู่ภายในซึ่ง Lemma และ Palea ห่อหุ้มไว้นั้น ได้แก่ เกสรตัวผู้ (Stamen) และเกสรตัวเมีย (Pistil) เกสรตัวผู้ประกอบด้วยกระเปาะสีเหลือง (Anther) ซึ่งภายในมีละอองเกสร (Pollen grains) ขนาดเล็กจำนวนมาก กระเปาะนี้ติดอยู่บนก้านยาวเรียกว่า Filament และเชื่อมติดอยู่กับฐานของดอก ในดอกข้าวแต่ละดอกจะมี กระเปาะเกสรตัวผู้จำนวน 6 อัน ส่วนเกสรตัวเมียนั้นประกอบด้วยที่รับละอองเกสรตัวผู้ (Stigma) ซึ่งมีลักษณะคล้ายหางกระรอกขนาดเล็กจำนวน 2 อัน แต่ละอันมีก้าน (Style) เชื่อมติดอยู่กับรังไข่ (Ovary) ในรังไข่จะมีไข่ ซึ่งเมื่อถูกผสมเกสรแล้วจะกลายเป็นเมล็ดจึงเห็นได้ว่าดอกข้าวเป็นดอกชนิดที่เรียกว่า ดอกสมบูรณ์เพศ (Perfect flower) เพราะมีเกสรตัวผู้ และมีเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน ฉะนั้นการผสมเกสร (Pollination) ส่วนใหญ่จึงเป็นแบบการผสมตัวเอง (Self-pollination) และมีการผสมเกสรแบบข้ามต้น (Cross-pollination) เป็นจำนวนน้อยมากหรือประมาณ 0.5-5% เท่านั้น ปกติการผสมเกสรเกิดขึ้นภายในดอกเดียวกันในเวลาเช้า และก่อนที่ Lemma และ Palea จะบานออกเล็กน้อย ดอกข้าวจะเริ่มบานจากปลายรวงลงมาสู่โคนของรวงข้าวและรวงหนึ่งๆ จะใช้เวลาประมาณ 7 วันเพื่อให้ดอกทุกดอกได้บาน และมีการผสมเกสร 0.5-5 % เท่านั้น ปกติการผสมเกสรเกิดขึ้นภายในดอกเดียวกันในเวลาเช้า และก่อนที่ Lemma และ Palea จะบานออกเล็กน้อย ดอกข้าวจะเริ่มบานจากปลายรวงลงมาสู่โคนของรวงข้าว และรวงหนึ่งๆ จะใช้เวลาประมาณ 7 วัน เพื่อให้ดอกทุกดอกได้บานและมีการผสมเกสร

## 2.1.4 ข้อดอกข้าว

รวงข้าว หมายถึง ข้อดอกของข้าว (Inflorescence) ซึ่งเกิดขึ้นที่ข้อปล้องอันสุดท้าย ของต้นข้าว ระยะระหว่างข้ออันบนของปล้องอันสุดท้ายกับข้อต่อของใบธง เรียกว่า คอรวง ดังนั้น คอรวงจะสั้นหรือจะยาวขึ้นอยู่กับระยะระหว่าง ข้อปล้องอันบนของข้อปล้องอันสุดท้ายกับข้อต่อของใบธง ชาวนาในภาคใต้ซึ่งเก็บเกี่ยวข้าวด้วยแกระ มีความประสงค์ที่จะปลูกข้าวชนิดที่ คอรวงยาวแต่ชานาที่เก็บเกี่ยวด้วยเคียวนั้นเขาไม่คำนึงถึงความยาวของคอรวงเลย นอกจากนี้ที่ข้อปล้องสุดท้ายอาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ฐานของคอรวง (Panicle base) รวงข้าวประกอบด้วย ก้านอันใหญ่ต่อจากคอรวงขึ้นไป แล้วแตกแขนงแบบ Recemose mode branching ออกไปมากมาย โดยแต่ละข้อของ ก้านอันใหญ่แตกแขนงออกไป เรียกว่า ระแนงปฐมภูมิ (Primary branches) และแต่ละข้อของระแนงปฐมภูมิ ก็จะแตกแขนงไปอีกเป็นระแนง ทุติยภูมิ (Secondary branches) ดอกข้าว (Spikelets) มีก้านดอก (Pedicel) ติดอยู่ที่ระแนงทุติยภูมิ ลักษณะของรวงข้าว เช่น ความยาว รูปร่าง ความถี่ห่างของข้อของระแนงปฐมภูมิ และระแนงทุติยภูมิ และระแนงทุติยภูมิความถี่นั้น เรียกว่า ระแนงถี่ ทำให้มีจำนวนดอก (Spikelets) ต่อรวงมาก ซึ่งเป็นลักษณะของพันธุ์ข้าว

## 2.2 การปลูกข้าว

### 2.2.1 ข้าวไร่

การปลูกข้าวไร่ หมายถึงการปลูกข้าวบนที่ดอนและไม่มีน้ำขังในพื้นที่ปลูก ชนิดของข้าวที่ปลูกก็เรียกว่า ข้าวไร่ พื้นที่ดอนส่วนมากเช่น เจริญเขามักจะไม่มีระดับ คือสูงๆต่ำๆจึงไม่สามารถไถเตรียมดินและปรับปรุงได้ง่ายๆ เหมือนกับพื้นที่ราบเพราะฉะนั้นชาวนามักจะปลูกแบบหยอด โดยขั้นแรกทำการตัดหญ้าและคันไม้เล็กออกแล้วทำความสะอาดพื้นที่ที่จะปลูกแล้วใช้หลักไม้ปลายแหลมเจาะดินเป็นหลุมๆ ลึกประมาณ 3 เซนติเมตร ปากหลุมมีขนาดกว้างประมาณ 1 นิ้ว หลุมนี้มีระยะห่างกันประมาณ 25x25 เซนติเมตร ระหว่างแถวและระหว่างหลุมภายในแถว ปกติจะต้องหยอดเมล็ดพันธุ์ที่แห้งจากที่ได้เจาะหลุม โดยหยอด 5-8 เมล็ดต่อหลุม หลังจากหยอดเมล็ดพันธุ์ข้าวแล้วก็ใช้เท้ากลบดินปากหลุมเมื่อฝนเมื่อฝนตกลงมา หรือเมล็ดได้รับความชื้นจากดินก็จะงอกและเจริญเติบโตเป็นต้นข้าว เนื่องจากที่ดอนไม่มีน้ำขังและไม่มีการชลประทาน การปลูกข้าวไร่จึงต้องใช้ฝั่มเพาะอย่างเคียว พื้นที่ปลูกข้าวไร่จะแห้งและขาดน้ำทันทีเมื่อสิ้นฤดูฝน ดังนั้นการปลูกข้าวไร่จะต้องใช้พันธุ์ที่มีอายุเบา โดยปลูกในต้นฤดูฝนและเก็บเกี่ยวได้ในปลายฤดูฝน การปลูกข้าวไร่ ชาวนาจะต้องหมั่นกำจัดวัชพืชเพราะที่ดอนมักจะมีวัชพืชมากกว่าที่ลุ่มเนื้อที่ที่ใช้ปลูกข้าวไร่ในประเทศไทยมีจำนวนน้อยและมีมากในภาคเหนือและภาคใต้ ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลางปลูกข้าวไร่น้อยมาก

### 2.2.2 ข้าวนาดำ

การปลูกข้าวในนาดำ เรียกว่า การปักดำ ซึ่งวิธีการปลูกแบ่งออกเป็นสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกได้แก่การตกกล้าในแปลงขนาดเล็ก และตอนที่สองได้แก่การถอนกล้าเอาไปปักดำในนาผืนใหญ่ ดังนั้น การปลูกแบบปลักดำอาจเรียกว่า Indirect seeding ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

### 2.2.2.1 การเตรียมดิน

การเตรียมดินสำหรับปลูกข้าวแบบปักดำต้องทำการเตรียมดินดีกว่าการปลูกข้าวไร่ ซึ่งมีการไถเคาะ การไถแปรและการคราด ปกติการไถและคราดในนาดำมักจะใช้แรงวัว ควาย หรือแทรกเตอร์ขนาดเล็กที่เรียกว่าควายเหล็ก หรือไถยนต์เดินตาม ทั้งนี้เป็นเพราะพื้นที่นาดำนั้นได้มีคันนาแบ่งกันออกเป็นแปลงเล็กๆ ขนาดแปลงละ 1 ไร่ หรือเล็กกว่านี้ คันนามีไว้สำหรับกักเก็บน้ำ หรือปล่อยน้ำทิ้งจากแปลงนา นาดำจึงมีการบังคับน้ำในนาได้บ้างพอสมควร ก่อนที่จะทำการไถจะต้องรอให้ดินมีความชื้นพอที่จะไถได้เสียก่อน ปกติจะต้องรอให้ฝนตกจนมีน้ำขังในคันนา หรือให้น้ำเข้าไปในนาเพื่อทำให้ดินเปียก

### 2.2.2.2 การตกกล้า

การตกกล้า หมายถึง การเอาเมล็ด ไปหว่านในหังอก และเจริญเติบโตขึ้นมาเป็นต้นกล้า เพื่อเอาไปปักดำ การตกกล้าสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกันคือ

#### - การตกกล้าในดินเปียก

การตกกล้าในดินเปียกจะต้องเลือกหาพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินดีเป็นพิเศษสามารถป้องกันนกและหนูที่จะเข้าทำลายต้นกล้าได้เป็นอย่างดี และมีน้ำพอเพียงกับความต้องการ การเตรียมดินที่มีการไถเคาะ ไถแปร และคราด ดังได้กล่าวมาแล้ว แต่ต้องยกเป็นแปลงสูงกว่าระดับน้ำในคันนานั้นประมาณ 3-5 เซนติเมตร ทั้งนี้ เพื่อให้เมล็ดที่หว่านลงไปจมน้ำ และคันนั้นเปียกชุ่มอยู่เสมอด้วย จะเป็นการดียิ่งขึ้นถ้าแปลงนี้ได้แบ่งออกเป็นแปลงย่อย ขนาดกว้าง 50 เซนติเมตร และมีความยาวขนานไปกับทิศทางลมระหว่างแปลงเว้นช่องว่างไว้สำหรับเดิน ประมาณ 30 เซนติเมตร เพื่อป้องกันไม่ให้ต้นกล้าถูกทำลายโดยโรคไหม้หรือแมลงบางชนิด เมล็ดพันธุ์ที่เอามาจากต้นกล้าจะต้องเป็นเมล็ดพันธุ์ที่สมบูรณ์ปราศจากเชื้อโรคต่างๆ ด้วยเหตุนี้จะต้องทำความสะอาดเมล็ดพันธุ์เสียก่อน โดยแยกเอาเมล็ดที่สมบูรณ์ และเอาเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งมีน้ำหนักเบาว่าปกติทิ้งไปเอาเมล็ดที่ต้องการตกกล้าใส่ถุงผ้าไปแช่ในน้ำนาน 12-15 ชั่วโมง แล้วเอาขึ้น มาวางไว้บนแผ่นกระดาษในที่ที่มีลมถ่ายเทสะดวก และเอาผ้าหรือกระสอบเปียกน้ำคลุมไว้นาน 36-48 ชั่วโมง ซึ่งเรียกว่าการหุ้ม หลังจากที่ได้หุ้มเมล็ดไว้ครบ 36-48 ชั่วโมงแล้วเมล็ดข้าวก็จะงอกจึงเอาลงไปหว่านลงบนแปลงกล้าที่เตรียมไว้ก่อนที่จะหว่านเมล็ดลงบนแปลงกล้าควรใส่ปุ๋ยที่มีธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเสียก่อนและใช้ไม้กระดานลูบแปลงเพื่อกลบปุ๋ยลงไปในดิน หากคิดอยู่เดี๋ยวก็ไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ย ปกติใช้เมล็ดพันธุ์จำนวน 40-50 กิโลกรัมต่อเนื้อที่แปลงหนึ่งไร่ เมื่อต้นกล้ามีอายุครบ 25-30 วันนับจากวันหว่านเมล็ด ต้นกล้าก็จะมีขนาด 1 โคนพอที่จะถอนเอาไปปักดำได้การตกกล้าแบบนี้เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในการทำนาคำในประเทศไทย

#### - การตกกล้าในดินแห้ง

การตกกล้าในดินแห้ง ในกรณีที่ชาวนามีน้ำไม่เพียงพอในการตกกล้าในดินเปียก ชาวนาอาจทำการตกกล้าบนที่คันซึ่งไม่มีน้ำขัง โดยเอาเมล็ดพันธุ์ที่สมบูรณ์ที่ยังไม่ได้เพาะให้งอก ไปโรยไว้ในแถวที่เป็นร่องเล็กๆ ขนาดแถวยาวประมาณ 1 เมตร จำนวนหลายแถว และกลบดินเพื่อป้องกันนกและหนู หลังจากนั้นก็รดน้ำแบบรดน้ำผักวันละ 2 ครั้ง เมล็ดก็จะงอกมาเป็นต้นกล้าเหมือนการตกกล้าในดินเปียก ปกติใช้เมล็ดพันธุ์จำนวน 7 - 10 กรัมต่อ 1 แถวที่มีความยาว 1 เมตร และห่างกันประมาณ 10 เซนติเมตร หลังจากโรยเมล็ดและกลบดินแล้วควรหว่านปุ๋ยพวกที่ให้ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลงไปด้วย

#### - การตกกล้าแบบคาปก

การตกกล้าแบบคาปก การตกกล้าแบบนี้เป็นที่นิยมทำกันมาก ในประเทศฟิลิปปินส์ ชั้นแรกทำการเตรียมพื้นที่ดินเหมือนกับการตกกล้าในดินเปียก และยกเป็นแปลงสูงกว่าระดับน้ำ 5-10 เซนติเมตร หรือใช้พื้นที่ดอนเรียบหรือเป็นพื้นคอนกรีต ก็ได้ และใช้กาบของต้นกล้วยคอกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 1 เมตร และยาวประมาณ 1.5 เมตร ต่อจากนั้นเอาใบกล้วยที่ไม่มีก้านกลางวางเรียงเพื่อปู เป็นพื้นที่ในกรอบนั้น ให้เอาคานล่างของใบหงายขึ้นและไม่ให้มีรอยแตกของใบ เพราะฉะนั้นใบกล้วยที่ปูพื้นนั้นจะต้องวางซ้อนกันเป็นทอดๆ แล้วเอาเมล็ดพันธุ์ที่สมบูรณ์ซึ่งได้เพาะให้งอกแต่ยังไม่มีการโผล่ออกมาโรยที่เตรียมไว้นี้ ใช้เมล็ดพันธุ์หนัก 3 กิโลกรัมต่อเนื้อที่ 1 ตารางเมตร ดังนั้นเมล็ดพันธุ์ที่โรยลงไปในรอบ จะซ้อนกันเป็น 2-3 ชั้น หลังจากโรยเมล็ดแล้ว จะต้องใช้บัวรดน้ำขนาดรูเล็กมาก รดลงในกรอบที่โรยเมล็ดนั้นละ 2-3 ครั้ง ในที่สุดเมล็ดก็จะงอกและเจริญเติบโตขึ้นมาเป็นต้นกล้า ข้อสำคัญในการตกกล้าแบบนี้ คือ ต้องไม่ให้ น้ำท่วมแปลงกล้า ต้นกล้าแบบนี้มีอายุประมาณ 10-15 วัน ก็พร้อมที่จะใช้ปักดำได้หรือจะเอาไปปักดำออกหลายๆต้น ซึ่งเรียกว่า จิมกล้า เพื่อให้ต้นกล้าที่แข็งแรงและโตสำหรับปักดำจริงๆ ซึ่งนิยมทำกันมากในภาคเหนือของประเทศไทย การที่จะเอาต้นกล้าไปปักดำ ไม่จำเป็นต้องถอนต้นกล้าเหมือนกับวิธีอื่นๆ เพราะรากของต้นกล้าเกาะกันแน่นระหว่างดินและรากก็ไม่ได้ทะลุใบกล้วยลงไปดิน ฉะนั้นแล้วชาวนาจึงทำการม้วนใบกล้วยแบบม้วนเตื่อ โดยมีต้นกล้าอยู่ภายใน การม้วนก็ควรม้วนหลวมๆแล้วขนไปยังแปลงนาที่จะปักดำ

#### - การปักดำ

การปักดำ เมื่อต้นกล้ามีอายุประมาณ 25-30 วัน จากการตกกล้าในดินเปียก หรือการตกกล้าในดินแห้ง ก็จะโตพอที่จะถอนเอาไปปักดำได้ สำหรับต้นกล้าที่ได้มาจากการตกกล้าแบบคาปก นั้นในเมืองไทยยังไม่เคยปฏิบัติ คิดว่าจะต้องมีอายุประมาณ 20 วัน จึงเอาไปปักดำได้เพราะต้นกล้าขนาดเล็กเกินไปที่จะใช้ปักดำในที่นาของเรา ชั้นแรกให้ถอนต้นกล้าขึ้นมาจากแปลงแล้วมัดรวมกันเป็นมัดๆ ถ้าต้นกล้าสูงมากก็จะตัดปลายใบทิ้ง สำหรับต้นกล้าที่ได้จากการ ตกกล้าในดินเปียกจะต้องสลัดเอาดินโคลนที่รากออกเสียด้วย แล้วเอาไปปักดำในพื้นที่นาที่ได้เตรียมไว้ พื้นที่นาที่จะใช้ปักดำต้นกล้าควรมีน้ำขังประมาณ 5-10 เซนติเมตร เพราะอาจมีลมพัดจนล้มพับลงได้ในเมื่อนานั้นไม่มีน้ำอยู่เลย ถ้าระดับน้ำในนานั้นลึกมาก ต้นข้าวที่ปักดำก็จะให้ผลผลิตสูงจะต้องปักดำให้เป็นแถวเป็นแนว และมีระยะห่างระหว่างกอมากพอสมควร โดยทั่วไปแล้วการปักดำมักใช้ต้นกล้าจำนวน 3-5 ต้นต่อกอ ระยะปลูกหรือปักดำ 25 x 25 เซนติเมตร ระหว่างกอระหว่างแถว

#### 2.2.3 ข้าวนาหว่าน

การปลูกข้าวนาหว่าน เป็นการปลูกข้าวโดยเอาเมล็ดพันธุ์หว่านลงไปในพื้นที่นาที่ได้ไถเตรียมดินไว้โดยตรง ซึ่งเรียกว่า Direct seeding การเตรียมดินที่มีการไถและไถแปร ปกติชาวนาจะเริ่มไถนาสำหรับปลูกข้าวนาหว่านตั้งแต่เดือนเมษายน เนื่องจากพื้นที่สำหรับปลูกข้าวนาหว่านไม่มีคันนาขึ้นจึงสะดวกแก่การไถด้วยรถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีชาวนาจำนวนมากที่ใช้แรงวัวและควายไถนา การปลูกข้าวนาหว่านมีหลายวิธีด้วยกัน

#### - การหว่านสำรว

การหว่านสำรว การหว่านวิธีนี้ชาวมาจะเตรียมดิน ซึ่งมีการไถและไถแปร แล้วเอาเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เพาะให้งอกหว่านลงไปโดยตรง ปกติใช้เมล็ดพันธุ์ 1-2 ถัง ต่อไร่ เมล็ดพันธุ์ที่หว่านลงไปจะตกลงไปอยู่ตามซอกระหว่างก้อนหินและรอยไถ เมื่อฝนตกลงมาทำให้ดินเปียกและเมล็ดได้รับความชื้น มันก็จะงอกขึ้นมาเป็นต้นกล้า การหว่านวิธีนี้ใช้เฉพาะท้องที่ซึ่งดินมีความชื้นพออยู่แล้ว

#### - การหว่านคราดกลบหรือไถกลบ

การปลูกข้าวแบบการหว่านคราดหรือไถกลบ ชาวนาจะทำการไถและไถแปร แล้วเอาเมล็ดพันธุ์ที่ยังไม่ได้เพาะให้งอก จำนวน 1-2 ถังต่อไร่ หว่านลงไปทันทีแล้วคราดหรือไถกลบเมล็ดที่หว่านลงไปอีกครั้งหนึ่ง เนื่องจากเดิมมีความชื้นอยู่แล้ว เมล็ดก็จะงอกขึ้นทันทีหลังจากที่ได้หว่านลงไป นอกจากนี้การตั้งตัวของต้นกล้าก็จะดีกว่าวิธีแรกด้วยเพราะเมล็ดที่หว่านลงไปถูกดินกลบฝังลึกลงไปดิน

#### - การหว่านนาตม

การหว่านนาตม การหว่านนาตมแบบนี้นิยมใช้ในพื้นที่ที่มีน้ำขังประมาณ 3-5 เซนติเมตร และพื้นที่นาเป็นดินใหญ่ขนาดประมาณ 1-2 ไร่ มีคันนาถาวรเป็นการแปลงการเตรียมดิน ก็เหมือนกับการเตรียมดินสำหรับนาข้าวซึ่งมีการ ไถและ ไถแปร และคราด เพื่อจะได้เก็บวัชพืชออกไปจากนา แล้วหว่านลงไป แล้วไขน้ำออก เมล็ดพันธุ์จำนวน 1-2 ถังต่อไร่เพาะให้งอกแล้วหว่านลงไป แล้วไขน้ำออก เมล็ดก็จะเจริญเติบโตเป็นต้นข้าว แล้วมีการเจริญเติบโตอย่างช้าๆ ตามปกติ การหว่านแบบนี้นิยมทำกันมากในท้องที่จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่ทำการปลูกข้าวปรี้ง

### 2.2.4 ข้าวปรี้ง

นาปรี้งเป็นการทำนาก่อนฤดูฝนโดยการอาศัยน้ำจากระบบชลประทาน

## 2.3 การดูแลรักษาต้นข้าว

ในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าว ตั้งแต่การหยอดเมล็ด การหว่านเมล็ดการปักดำ กันข้าวต้องการน้ำและปุ๋ยสำหรับการเจริญเติบโต ในระยะนี้ต้นข้าวอาจถูกโรคและแมลงศัตรูข้าวหลายชนิดเข้ามาทำลายต้นข้าวโดยทำให้ต้นข้าวแห้งตายหรือผลผลิตตกต่ำ และเมล็ดไม่ได้มาตรฐานเพราะฉะนั้นนอกจากจะมีวิธีการปลูกที่ดีแล้วจะต้องมีวิธีดูแลรักษาที่ดีอีกด้วย ผู้ปลูกจะต้องหมั่นออกไปตรวจดูต้นข้าวที่ปลูกไว้เสมอ ๆ ในแปลงที่ปลูกข้าวไร่จะต้องมีการกำจัดวัชพืช ใส่ปุ๋ย และพ่นยาเคมีเพื่อป้องกันและกำจัดโรคแมลงศัตรูที่อาจเกิดระบาดขึ้นได้ ในแปลงกล้าและแปลงปักดำ จะต้องมีการใส่ปุ๋ย มีเพียงพอกับความต้องการของต้นข้าว และพ่นยาเคมีป้องกันป้องกันกำจัดโรคแมลงศัตรูข้าว นอกจากนี้ชาวนาจะต้องหมั่นกำจัดวัชพืชในแปลงปักดำอีกด้วย เพราะวัชพืชเป็นคู่แข่งไปจากต้นข้าวในพื้นที่นาหว่าน ชาวนาจะต้องกำจัดวัชพืชโดยใช้สารเคมีพ่นหรือใช้คนถอนทิ้งไปก็ได้ นอกจากนี้จะต้องพ่นสารเคมีเพื่อป้องกันกำจัดโรคและแมลงอีกด้วย เนื่องจากพื้นที่นาหว่านมักมีระดับน้ำลึกกว่านาดำ ฉะนั้น ชาวนาควรใส่ปุ๋ยก่อนที่น้ำจะลึก ยกเว้นในกรณีที่น้ำไม่ลึกมากก็ใส่ปุ๋ยแบบนาดำทั่วๆ ไป

## 2.4 การเก็บเกี่ยวข้าว

เมื่อคอกข้าวได้บานและมีการผสมเกสรแล้วหนึ่งสัปดาห์ ภายในห่อหุ้มด้วย Lemma และ Palea ก็จะเริ่มเป็นแป้งเหลวสีขาว ในสัปดาห์ที่สองแป้งเหล่านั้นก็จะแห้งกลายเป็นแป้งค่อนข้างแข็ง และในสัปดาห์ที่สามแป้งก็จะแข็งตัวมากยิ่งขึ้นเป็นรูปร่างของเมล็ดข้าวกล้อง แต่มันจะเก็บเกี่ยวได้ ในสัปดาห์ที่สิบนับจากวันที่ผสมเกสร จึงเป็นที่เชื่อถือได้เมล็ดข้าวแก่พร้อมเก็บเกี่ยวได้ หลังจากออกดอกแล้วประมาณ 28-30 วัน ชาวนาในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ใช้ค่าเดียวสำหรับเกี่ยวข้าวที่ละหลายๆ รวง ส่วนชาวนาในภาคใต้ใช้แกระสำหรับเกี่ยวข้าวที่ละรวง เกี่ยวที่ใช้เกี่ยวข้าวมี 2 ชนิด ได้แก่ เกี่ยวนาสวน และเกี่ยวนาเมือง เกี่ยวนาสวนเป็นเคียววงกว้างใช้สำหรับเกี่ยวข้าวนาสวนซึ่งปลูกไว้เป็นปีกล้า แต่ผู้มีความชำนาญก็อาจเอาไปใช้เกี่ยวข้าวนาเมืองก็ได้ ส่วนเกี่ยวนาเมืองเป็นเคียววงแคบและมีด้ามยาวกว่าเกี่ยวนาสวน เกี่ยวนาเมืองใช้เกี่ยวข้าวนาเมือง ซึ่งปลูกไว้แบบหว่านข้าวที่เกี่ยวด้วยเกี่ยวไม่จำเป็นต้องมีคอรวงยาว เพราะข้าวที่เกี่ยวข้องจะถูกรวบมัดเป็นกำๆ ส่วนข้าวที่เกี่ยวข้องด้วยแกระจำเป็นต้องมีคอรวงยาว เพราะชาวนาจะเกี่ยวเฉพาะรวงที่ละรวงแล้วมัดเป็นกำๆ ข้าวที่เกี่ยวข้องด้วยแกระชาวนาจะเกี่ยวไว้ในทุ่งฉางซึ่งโปร่ง มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก และจะทำการนวดเมื่อต้องการขายหรือต้องการสีเป็นข้าวสาร ข้าวที่เกี่ยวข้องด้วยเกี่ยวซึ่งปลูกไว้แบบปีกล้าชาวนาจะทิ้งไว้ในนาจนหมดช่วงเพื่อตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 3-5 วัน สำหรับชาวนาที่ปลูกแบบหว่านพื้นที่นาจะแห้งในระยะเก็บเกี่ยว ข้าวจึงแห้งก่อนเก็บเกี่ยว ข้าวที่เกี่ยวข้องแล้วจะกองทิ้งไว้บนพื้นที่นาเป็นรูปต่างๆ กันเป็นเวลา 5-7 วัน เช่นรูปสามเหลี่ยมแล้วจึงขนมาที่ลานสำหรับนวดข้าวที่นวดแล้วจะถูกขนย้ายไปเก็บที่ทุ่งฉางหรือส่งไปขายที่โรงสีทันทีก็ได้

## 2.5 การนวดข้าว

การนวดข้าว หมายถึง การเอาเมล็ดข้าวออกจากรวง และทำความสะอาดเพื่อแยกเมล็ดข้าวลีบและเศษฟางข้าวออกไป เหลือไว้เฉพาะเมล็ดข้าวเปลือกที่ต้องการเท่านั้น ขั้นแรกจะต้องขนข้าวที่เกี่ยวข้องจากนาไปกองไว้บนลานสำหรับนวด การกองข้าวสำหรับนวดก็มีหลายวิธี แต่หลักสำคัญคือผู้ว่าการกองจะต้องเป็นระเบียบ ถ้ากองไม่เป็นระเบียบมัดข้าวจะอยู่สูงๆ ต่ำๆ ทำให้เมล็ดข้าวได้รับความเสียหายและคุณภาพด่างกึ่งจะกองไว้เป็นรูปวงกลมชาวนามักจะนวดข้าวหลังจากที่ได้ตากข้าวให้แห้งเป็นเวลา 5-7 วัน ซึ่งเมล็ดข้าวเปลือกมีความชื้นประมาณ 17-15% เมล็ดที่ได้เกี่ยวมาใหม่ๆ จะมีความชื้นประมาณ 20-25% การนวดข้าวก็ใช้แรงสัตว์ เช่น วัว ควาย ขึ้นไปเหยียบอานเพื่อขยี้ให้เมล็ดหลุดออกจากรวงข้าว รวงข้าวที่เอาเมล็ดออกหมดแล้วเรียกว่า ฟางข้าว ที่กล่าวมานี้เป็นวิธีหนึ่งของการนวดข้าวซึ่งที่จริงแล้วการนวดข้าวมีหลายวิธี เช่น การนวดแบบฟาดกำข้าว การนวดแบบใช้ค้ำย่ำ การนวดแบบใช้ควายย่ำ การนวดแบบใช้เครื่องทุ่นแรงย่ำ

## 2.6 การทำความสะอาดเมล็ดข้าว (การสีข้าว)

การทำความสะอาดเมล็ดข้าวหมายถึง การเอาข้าวเปลือกออกจากสิ่งเจือปนอื่นๆ ซึ่งทำได้โดยวิธีการต่างๆ ดังนี้

1. การสาดข้าว การใช้ฟลั่วสาดเมล็ดข้าวขึ้นไปในอากาศ เพื่อให้ลมที่ได้ออกจากการกระพือพัดสิ่งเจือปนออกไป ส่วนเมล็ดข้าวเปลือกที่ดีก็จะตกมารวมกันเป็นกองที่พื้น

2. การใช้กระด้งคัดโดยใช้กระด้งแยกเมล็ดข้าวดีและสิ่งเจือปนให้อยู่คนละด้านของกระด้งและคัดเอาสิ่งเจือปนทิ้งวิธีนี้ใช้กับข้าวที่มีปริมาณน้อยๆ

3.การใช้เครื่องสีฝัด เป็นเครื่องมือทุ่นแรงที่ใช้หลักการให้ลมพัดเอาสิ่งเจอปนออก โดยใช้แรงคนหมุนพัดลม หมุนในเครื่องสีฝัดนั้น พัดลมนี้อาจใช้เครื่องยนต์เล็กๆ หมุนก็ได้ วิธีนี้เป็นวิธีทำความสะอาดเมล็ดที่มีประสิทธิภาพสูง

## 2.7 การตากข้าว

เพื่อรักษาคุณภาพเมล็ดข้าวให้มาตรฐานอยู่เป็นเวลานานๆหลังจากนวดและทำความสะอาดเมล็ดแล้ว จึงจำเป็นต้องเอาข้าวเปลือกไปตากอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะเอาไปเก็บไว้ในยุ้งฉาง ทั้งนี้เพื่อให้ได้เมล็ดข้าวเปลือกที่แห้ง และมีความชื้นของเมล็ดที่ประมาณ 13-15% เมล็ดข้าวที่มีความชื้นที่สูงกว่าปริมาณนี้ จะทำให้เกิดความร้อนสูงจนคุณภาพข้าวเสื่อม นอกจากนี้จะทำให้เชื้อราต่างๆ ที่ติดมากับเมล็ดขยายพันธุ์ได้ดี จนสามารถทำลายเมล็ดข้าวเปลือกได้เป็นจำนวนมาก การตากข้าวในระยะนี้ ควรตากบนลานที่สามารถแผ่กระจายเมล็ดข้าวให้ได้รับแสงโดยทั่วถึงกัน และควรตากไว้นานประมาณ 3-4 แดด ในต่างประเทศเขาใช้เครื่องอบข้าว เพื่อลดความชื้นในเมล็ดซึ่งเรียกว่า Drier โดยให้เมล็ดข้าวผ่านอากาศร้อน

## 2.8 การเก็บรักษาข้าว

หลังจากชาวนาได้ตากเมล็ดข้าวจนแห้ง และมีความชื้นในเมล็ดประมาณ 13-15% แล้วนั้นชาวนาก็จะเก็บข้าวไว้ในยุ้งฉาง เพื่อบริโภคและแบ่งขาย เมื่อข้าวมีราคาสูง และอีกส่วนหนึ่ง ชาวนาจะแบ่งไว้ทำพันธุ์ฉะนั้นข้าวพวกนี้จะต้องเก็บไว้เป็นอย่างดีโดยรักษาให้ข้าวนั้นมีคุณภาพมาตรฐานอยู่ตลอดเวลาและไม่สูญเสียความงอก ข้าวพวกนี้ควรเก็บไว้ในยุ้งฉางที่ดีซึ่งทำด้วยไม้ยกพื้นสูงอย่างน้อย 1 เมตร อากาศถ่ายเทสะดวก เพื่อได้จะระบายความร้อนและความชื้นออกไปจากยุ้งฉาง นอกจากนี้หลังคาของฉางจะต้องไม่รั่ว และสามารถกันน้ำฝนไม่ให้หยดลงไปในฉางได้ก่อนเอาข้าวขึ้นไปเก็บไว้ในยุ้งฉางจำเป็นต้องทำความสะอาดฉางก่อนเสียดก่อน โดยปิดกวาดและพ่นด้วยยาฆ่าแมลง

## 2.9 ลักษณะทั่วไปของแกลบ

แกลบจะมีขนาดยาวไม่เกิน 5 มิลลิเมตร และกว้างไม่เกิน 2 มิลลิเมตร แกลบได้มาจากการที่นำเอาเมล็ดข้าวไปสีเพื่อนำเอาเปลือกออกและเปลือกข้าวนี้เองที่เราเรียกว่า “แกลบ” ซึ่งแกลบนั้นจะมีความชื้นไม่เกิน 15 %

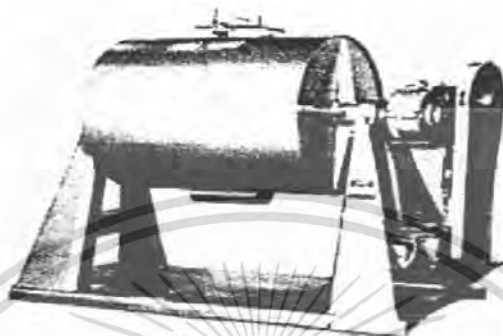
## 2.10 การนำไปใช้งาน

แกลบสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายอย่างเช่น (1) เป็นเชื้อเพลิงคือการนำแกลบไปเผาทำให้เกิดความร้อนเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานได้ (2) ผสมลงในดินก่อนปลูกและใช้โปรยได้โรงเลี้ยงไก่ (3) นำไปบดให้ละเอียดแล้วนำไปผสมทำอาหารสัตว์ เป็นต้น

**จุดเด่น** มีความชื้นต่ำและขนาดเล็กเหมาะเป็นเชื้อเพลิงนอกจากนี้ชี้แกลบยังมีมูลค่าสูงหากสามารถควบคุมคุณสมบัติให้ได้ตามที่ผู้ซื้อกำหนด

## 2.11 เครื่องลดขนาดแบบต่างๆที่พบเห็นภายในประเทศและต่างประเทศ

### 2.11.1 เครื่องลดขนาดแบบ Ball mill

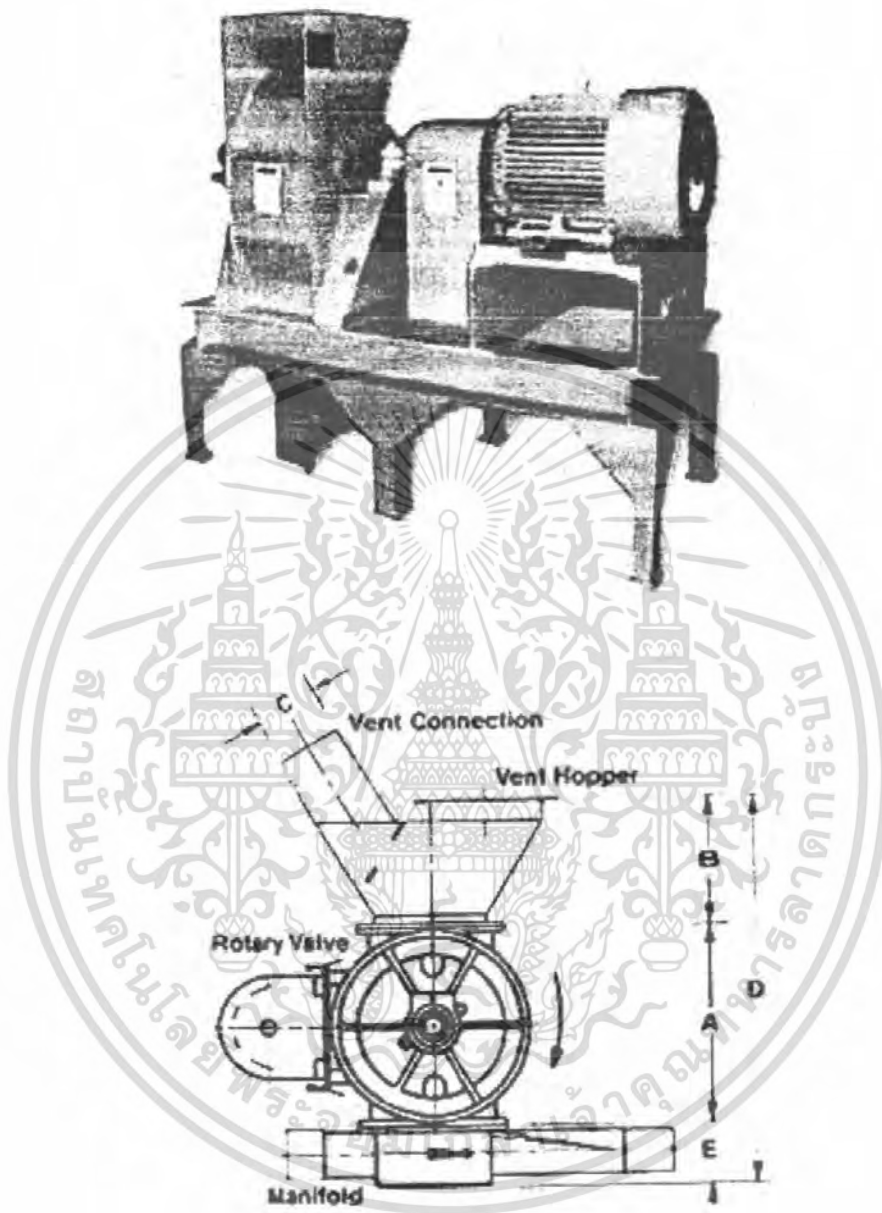


รูปที่ 2.1 เครื่องลดขนาดแบบ Ball mill

ลักษณะการทำงานของเครื่องลดขนาดแบบ Ball mill วัสดุที่จะถูกบดใส่เข้าไปในถังทรงกระบอก ปิดในแนวนอนหรือทรงกรวย และกลิ้งไปกลิ้งมาโดยมีลูกเหล็กกลม ลูกหินธรรมชาติ หรือลูกหินที่ทำขึ้น เป็นจำนวน มากอยู่ภายในด้วย และลูกเหล็กกลมหรือลูกหินเหล่านี้จะบดวัสดุที่อยู่ภายใน Edge-runner mill

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.11.2 เครื่องลดขนาดแบบ Hammer mills

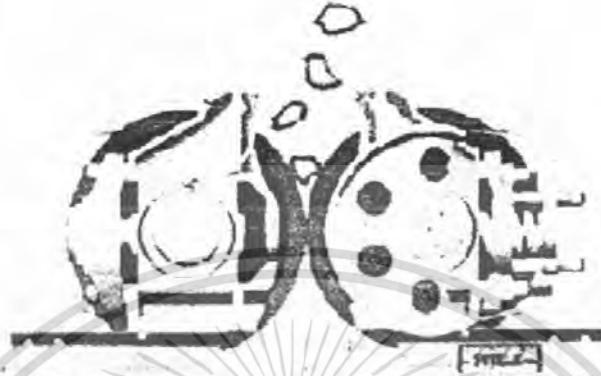


รูปที่ 2.2 เครื่องลดขนาดแบบ Hammer mills

ลักษณะการทำงานของเครื่องลดขนาดแบบ Hammer mills ในตัวเครื่องจะมีค้อนเหวี่ยงได้ติดอยู่กับตัวหมุน ซึ่งหมุนในอัตราที่เร็วมากภายใน Casing ที่แข็งเป็นพิเศษ หลักการทำงานของเครื่องมือประเภทนี้ วัสดุจะถูกทำให้แตกและบดเป็นอนุภาคเล็กๆระหว่างค้อนและ Casing และจะอยู่ในเครื่องจนกระทั่งมีขนาดเล็พอที่จะผ่านตะแกรงออกมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.11.3 เครื่องลดขนาดแบบ Smooth roll crusher



รูปที่ 2.3 เครื่องลดขนาดแบบ Smooth roll crusher

ลักษณะการทำงานของเครื่องลดขนาดแบบ Smooth roll crusher วัสดุจะถูกปล่อยลงมาจากด้านบน ผ่านลูกกลิ้งสองลูกหมุนด้วยความเร็วที่ต่างกัน จะมีสปริงดันอยู่ด้านข้างเพื่อกำหนดระยะห่างและคืนลูกกลิ้งไว้ตลอดเวลาเพราะวัสดุที่ตกลงมาจะมีขนาดที่ต่างกัน เมื่อผ่านลูกกลิ้งจะมีขนาดที่เล็กลงและตกลงสู่ด้านล่าง

#### 2.11.4 เครื่องลดขนาดแบบ Rotary knife cutter



รูปที่ 2.4 เครื่องลดขนาดแบบ Rotary knife cutter

ลักษณะการทำงานของเครื่องลดขนาดแบบ Rotary knife cutter คือเป็นเครื่องมือตัดทัวๆ ไปไม่มีอะไรซับซ้อน คือประกอบด้วยใบมีดหมุนในลักษณะต่างๆ ปัญหาใหญ่ๆ มักจะ ได้แก่การรักษาใบมีดให้คมอยู่เสมอเพื่อให้การตัดมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.11.5 เครื่องลดขนาดแบบ Roller mill

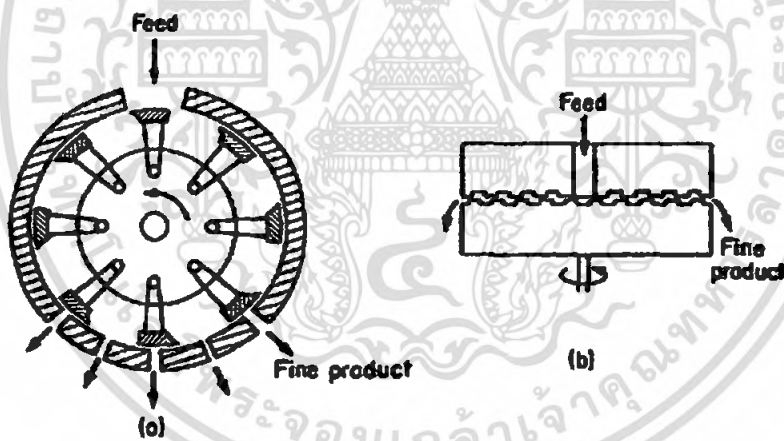
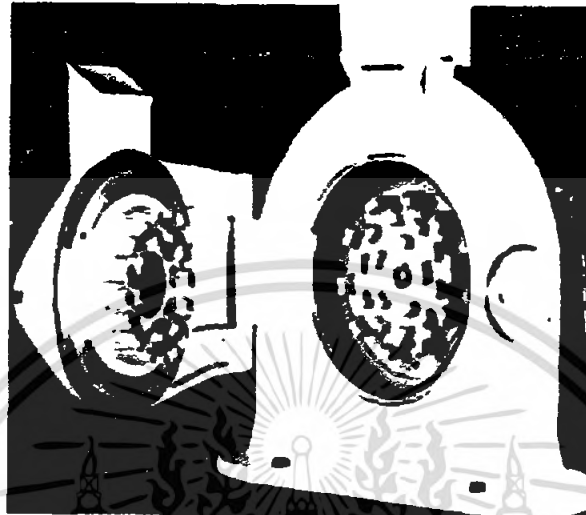


รูปที่ 2.5 เครื่องลดขนาดแบบ Roller mill

ลักษณะการทำงานของเครื่องลดขนาดแบบ Roller mill มีลักษณะคล้ายกับเครื่องลดขนาดแบบ ลูกกลิ้ง แต่ว่ามีพื้นผิวละเอียดหรือมีพื้นผิวที่มีพื้นละเอียดกว่า และหมุนในอัตราเร็วที่ไม่เท่ากัน เครื่องบดแบบนี้ใช้กันมากในการบดแป้งเนื่องจากลักษณะทรงเรขาคณิตที่ง่าย ขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ที่สุดที่ผ่านจึงสามารถควบคุมได้ ถ้าผู้สัมผัสประสิทธิภาพความเสี่ยงคานระหว่างลูกกลิ้งและวัสดุที่ใช้ป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

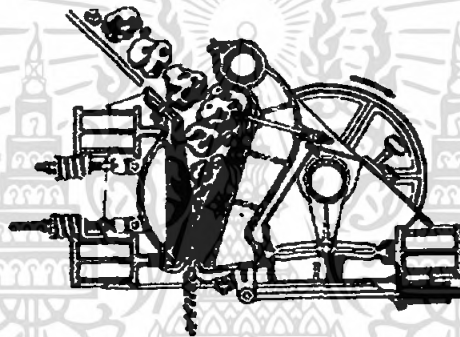
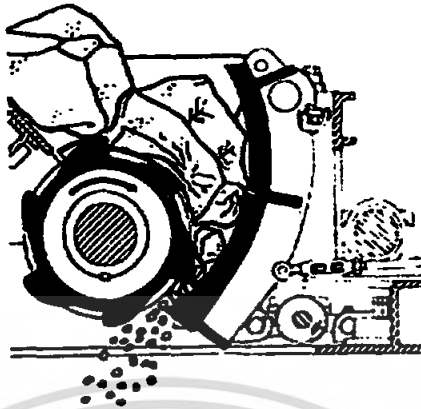
### 2.1.1.6 เครื่องลดขนาดแบบ Plate mill



รูปที่ 2.6 เครื่องลดขนาดแบบ Plate mill

ลักษณะการทำงานของเครื่องลดขนาดแบบ Plate mill วัสดุจะถูกป้อนไประหว่างแผ่นบางๆรูปวงกลมของสองแผ่น แผ่นหนึ่งอยู่กับที่และอีกแผ่นหนึ่งหมุน วัสดุที่ป้อนจะเข้าเครื่องสู่เครื่องโกล้แทนหมุน และจะถูกแรงเฉือนและแรงอัดในขณะที่เคลื่อนที่ไปที่ขอบของแผ่น Plate ตัดคั้งในแนวนอน

**2.11.7 เครื่องลดขนาดแบบ Crusher**



**รูปที่ 2.7 เครื่องลดขนาดแบบ Crusher**

ลักษณะการทำงานของเครื่องลดขนาดแบบ Crusher จะมีแผ่นที่มีความแข็งแรงมากยึดอยู่กับที่และจะบดแบบลูกกลิ้งหรือแบบแผ่นกระแทกวัสดุให้มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆจนวัสดุตกลงสู่ด้านล่าง

**83056**

## บทที่ 3

# ทฤษฎีการออกแบบและการคำนวณ

### 3.1 การออกแบบเพลา

เพลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง แกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับเพลา แต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุน เช่น ล้อ สีสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่าเพลาไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรืออยู่นิ่งก็ตาม

สพินเดิล (Spindle) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ไม่หมุน เช่น เพลาที่หัวแท่นกลึง (Head-stock spindle) เป็นต้น

สตับชาฟต์ (Stub shaft) หรือบางครั้งเรียกเฮดชาฟต์ (Head shaft) เป็นเพลาที่คิดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องต้น มอเตอร์ หรือเครื่องต้นกำลังอื่น ๆ มีรูปร่าง และส่วนอื่นออกมาสำหรับใช้ต่อกับเพลาอื่น ๆ

เพลาแนว (Line shaft) หรือเพลาส่งกำลัง (Power transmission shaft) หรือเพลาเมน (Main shaft) เป็นเพลาซึ่งต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง และใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่น ๆ โดยเฉพาะ

แจ็กชาฟต์ (Jack shaft) หรือเคาน์เตอร์ชาฟต์ (Counter shaft) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลาเมนหรือเครื่องจักรกล

เพลาอ่อน (Flexible shaft) เป็นเพลาที่สามารถอ่อนตัวหรืองอโค้งได้ เพลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (Cable) ลวดสปริงหรือลวดเกลียว (Wire rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมได้ แต่ส่งกำลังได้น้อย

เพลาอาจรับแรงดึง แรงกด แรงบิด หรือแรงดัด หรือแรงหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ความแข็งแรงผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ นอกจากนี้เพลา ยังจะต้องมีความแข็งแรง (Rigidity) เพียงพอเพื่อลดการบิดภายในเพลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่เหมาะสม ระยะโก่ง (Deflection) ของเพลาถือเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดเพลาเช่นเดียวกัน เพราะถ้าเพลาที่มีระยะโก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำให้ความวิกฤต (Critical speed) ของเพลาลดลง ซึ่งอาจทำให้เพลาเกิดการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤตนี้ได้ ระยะโก่งนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่รองรับเพลาเช่น บอลแบร์ริง (Ball bearing) ก็ต้องมีการเอียงแนว (Misalignment) ในการใช้งานที่พหุเหมาะแก่กับเพลาด้วย

### 3.1.1 วัสดุเหลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเหลาทั่วไปคือเหล็กกล้าละมุน (Mild steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและความทนทาน ต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้วมักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเหลา เช่น AISI 1347 3140 4150 4340 เป็นต้น เหลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ใดกว่า 90 มม. มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เหลามีราคาถูกลงที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา ก่อนที่จะเลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่นๆ

### 3.1.2 ขนาดของเหลา

เพื่อให้เหลามีมาตรฐานเหมือนกันองค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ จึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเหลาซึ่งเป็นขนาดระบุ (Nominal size) ใน ISO/R 775-1969เอาไว้สำหรับผู้ออกแบบเลือกใช้ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของเบร้งที่ใส่รองรับเหลาด้วยขนาดระบุของเหลา ดูได้จาก ตารางขนาดระบุของเหลา ตามมาตรฐาน ISO/R 775-1969

ตารางที่ 3.1 ขนาดระบุของเหลาตามมาตรฐาน ISO/R775-1969

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

### 3.1.3 การพิจารณาในการออกแบบ

การคำนวณหาขนาดของเพลาคือที่พอเหมาะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ในบางครั้งการหาขนาดเพลาก็เพื่อให้เพลาคงทนต่อแรงที่มากระทำอย่างเฉียวไม่เป็นการเพียงพอ เช่น ในกรณีของเพลาลูกเบี้ยว (Cam shaft) ในเครื่องยนต์สันดาปภายในต้องการให้มีตำแหน่งที่ตรงคังนั้นมุมบิดของเพลาก็เกิดขึ้น ในขณะที่ใช้งานจะต้องมีคังไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ เป็นต้น นั่นคือเพลาก็จะต้องมีความแข็งแรงอยู่ภายในพิกัดที่ต้องการถ้ามุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้วยังอาจจะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือน ซึ่งมีผลทำให้เฟืองและแบริ่งที่รองรับเพลายุ่งเกิดความเสียหายได้ง่ายขึ้นถึงแม้ว่าไม่มีมาตรฐานสำหรับพิกัดมุมบิดของเพลาก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้วมักจะให้มุมบิดของเพลาคือเครื่องจักรกลทั่วไปไม่เกิน  $0.3^\circ$  ต่อความยาวเพลาคือ 1 m สำหรับเพลาส่งกำลังทั่วไปอาจจะให้มุมบิดได้ถึง  $1^\circ$  ต่อความยาวเพลาคือ 20 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาคือในกรณีของเพลาลูกเบี้ยวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในแล้วจะให้มุมบิดได้ไม่เกิน  $0.5^\circ$  ตลอดความยาวของเพลาคือ

ความแข็งแรงที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ความแข็งแรงทางด้าน ระยะ โกง เพราะจะต้องใช้ระยะ โกงของเพลาคือที่อยู่ภายใต้แรงภายนอกเป็นตัวสำคัญในการกำหนดระยะเบียด (Clearance) ระหว่างล้อสายพานเฟืองโครงของเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกชนิดของแบริ่งสำหรับรองรับเพลาคือให้เหมาะสม ถ้าเพลามีระยะ โกงมากเกินไปจะทำให้ความยาวของเฟืองส่วนที่สัมผัสหรือขบกันลดลงเป็นผลทำให้อัตราส่วนการขบ (Contact ratio) ของเฟืองลดลงด้วย ทำให้การส่งกำลังของเฟืองไม่ราบเรียบเท่าที่ควร การเลือกแบริ่งมารองรับเพลาคือในขั้นต้นจำเป็นต้องเลือกแบริ่งชนิดที่อนุญาตให้มีการเอียงแนวสำหรับการ ใช้งานได้พอเหมาะก็กับระยะ โกงของเพลาคือที่จะเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นแบริ่งแบบธรรมดาหรือแบริ่งแบบปรับแนวได้เอง (Self-aligning bearing) ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าระยะ โกงเป็นสำคัญระยะ โกงดังที่กล่าวมานี้ก็ไม่มีมาตรฐานกำหนดเป็นแนวทางไว้ โดยทั่วไปแล้วผู้ออกแบบอาจจะถือค่าต่อไปนี้เป็นแนวทางในการกำหนดความแข็งแรงทางด้านระยะ โกง ได้ดังนี้คือ

- สำหรับเพลาเครื่องจักรกลทั่วไป ค่าระยะ โกงระหว่างจุดที่รองรับด้วยแบริ่งควรจะไม่เกิน 0.08 mm
- สำหรับเพลามีเฟืองตรง (Spur gear) คุณภาพคือผู้ช่วย ระยะ โกง  $\psi$  ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกันไม่เกิน 0.125 mm และความลาดเอียงของเพลาคือ ตำแหน่งนี้ควรจะไม่เกินกว่า  $0.0286^\circ$
- สำหรับเพลามีเฟืองคอกจอก (Bevel gear) คุณภาพคือผู้ช่วยระยะ โกง  $\psi$  ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.075 mm

จากเหตุผลดังกล่าวจะเห็นว่าขนาดของเพลาคืออาจจะหามาได้โดยใช้ความแข็งแรงที่ต้องการแทนที่จะเป็นความแข็งแรงในการรับแรงภายนอกได้การหาระยะ โกงของเพลาคือที่มีขนาดเท่ากันตลอดอาจทำได้โดยใช้ วิธีการอินทิเกรตสองครั้ง (Double integration) และวิธีพื้นที่ของโมเมนต์คัง (Moment area) เป็นต้น

สำหรับเพลาคือที่มีขนาดไม่เท่ากันตลอด (Stepped shaft) การใช้วิธีดังกล่าวมาแล้วอาจจะลำบากและเสียเวลา โดยเฉพาะวิธีการอินทิเกรตสองครั้งเพราะต้องใช้สภาพของขอบเขต (Boundary condition) ใหม่ทุกครั้งที่เพลาคือเปลี่ยนขนาด วิธีที่นิยมใช้กัน (แต่ก็ยังไม่ใช่วิธีที่ดี) คือวิธี Graphical integration และ Numerical integration

### 3.1.4 การออกแบบเพลตามัดของ ASME

ก่อนปีพ.ศ.2497ได้มีการยอมรับวิธีการคำนวณหาขนาดของเพลาส่งกำลังซึ่งกำหนดเป็นโค้ด (Code) โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (ASME) ถึงแม้ว่าเวลาจะล่วงเลยมานานแล้วก็ตามวิธีการออกแบบเพลตามัดของ ASME ก็ยังมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไปนี้

วิธีการดังกล่าวนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหน่วงที่เกิเกิดขึ้นบนเพลลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static design method) ในการหาสมการสำหรับการออกแบบเพลลาให้พิจารณาเพลลา ในรูปที่ 3.1 ให้เพลลาเป็นแบบกลมและกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน และภายนอก เท่ากับ  $d_i$  และ  $d$  ตามลำดับความเค้นต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนเพลลามีดังต่อไปนี้คือ



รูปที่ 3.1 เพลลาอยู่ภายใต้แรงต่างๆ

ความเค้นดึงหรือกด

$$\sigma_a = \frac{4F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (3.1)$$

ความเค้นดัด

$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} = \frac{32Md}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (3.2)$$

ความเค้นเฉือน

$$\tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{16Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (3.3)$$

ในกรณีที่เป็นแรงกด อาจมีผลจากการ โกงงอ ได้ดังนั้นสมการความเค้นดึงหรือกดจึงกลายเป็น

$$\sigma_a = \frac{4\alpha F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (3.4)$$

เพลาส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักรทั้งนี้เพราะเพลามุนอยู่ตลอดเวลาจากนั้นแรงที่กระทำยังจะเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาได้ ดังนั้นเพลาก็เกิดความเสียหายเนื่องจากความสั่นเป็นส่วนใหญ่ สำหรับวิธีการคำนวณของ ASME ใช้วิธีแบบสถิติศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้า (Fatigue factor) มาเกี่ยวข้องด้วย

ถ้าให้  $C_m =$  ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการคด  
 $C_t =$  ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

ดังนั้น สมการ (2.3) ก็จะกลายเป็น

$$\sigma_b = \frac{32C_m Md}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (3.5)$$

และ

$$\tau = \frac{16C_t Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (3.6)$$

ความเค้นกดหรือความเค้นดึงรวม คือ  $\sigma = \sigma_a + \sigma_b$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$= \left[ \tau_{xy}^2 + \left[ \frac{\sigma}{2} \right]^2 \right]^{1/2} \quad (3.7)$$

แทนค่าสมการลงในสมการที่สี่และจัดรูปใหม่ จะได้ว่า

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-K^4)} \left[ (C_t T)^2 + \left\{ \frac{\alpha F d (1+K)^2}{8} + C_m M \right\}^2 \right]^{1/2} \quad (3.8)$$

โดยที่  $K = \frac{d_i}{d}$

ในกรณีที่ไม่มีแรง F กระทำอยู่ สมการจะจัดรูปเหลือเพียง

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-K^4)} [(C_t T)^2 + (C_m M)^2]^{1/2} \quad (3.9)$$

หรือในกรณีของเพลาคัด  $K = \frac{d_i}{d} = 0$  เมื่อแทนค่าลงในสมการก็จะ ได้สมการที่มีรูปคล้ายกับ หนังสือกลศาสตร์วัสดุทั่วไป คือ

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau} [(C_s T)^2 + (C_m M)^2]^{1/2} \quad (3.10)$$

นอกจากนี้ ASME ยังได้ระบุเอาไว้ว่า เพลาซึ่งมีอยู่ในงานธรรมดาทั่วไป ควรจะมีค่าความเค้นเฉือนใช้งานดังนี้

$$\begin{aligned} \tau_d &= 55 \text{ N/mm}^2 && \text{สำหรับเพลานี้ไม่มีร่องลิ้ม} \\ \tau_d &= 41 \text{ N/mm}^2 && \text{สำหรับเพลานี้มีร่องลิ้ม} \end{aligned}$$

แต่ถ้ากำหนดวัสดุเพลานี้บอกถึงหมายเลขของโลหะหรือส่วนผสมของโลหะ ให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งาน จากสมการ โดยให้เลือกใช้ค่าน้อยกว่าคำนวณ คือ

$$\tau_d = 0.3\tau_y \quad \text{หรือ} \quad \tau_d = 0.18\tau_y \quad (3.11)$$

ถ้าเพลานี้มีร่องลิ้มให้ลดค่าความเค้นเฉือนใช้งานโดยใช้เพียง 75% ของค่าในสมการความแข็งแรงทางด้านการบิด

### 3.2 ลิ้มและสลัก

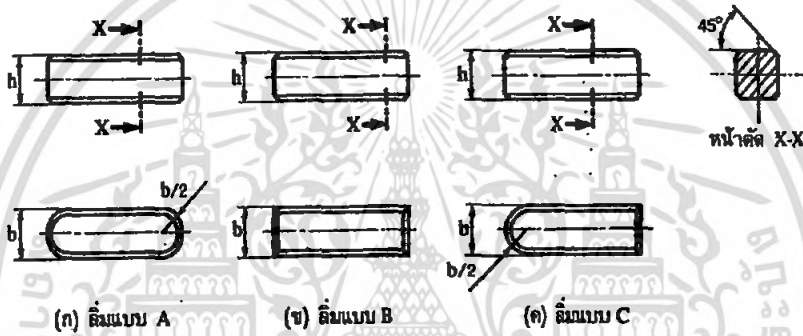
ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เช่น ล้อสายพาน เฟือง ใบพัด ลูกเบี้ยว และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ส่งหรือรับกำลังจากเพลานี้ โดยที่ต้องยึดแน่นกับเพลานี้เพื่อให้หมุนไปพร้อมกับเพลานี้ ชิ้นส่วนประเภทนี้อาจส่งแรงบิดและมีการถอดประกอบบ่อยครั้ง ดังนั้นจึงมักจะยึดติดกับเพลานี้โดยใช้ลิ้ม ลิ้มเป็นแท่งโลหะที่ใส่ไว้ในร่องของชิ้นส่วนที่ยึดอยู่ด้วยกัน ซึ่งเรียกว่าร่องลิ้มจะนั้นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่จะนำมายึดกับเพลานี้และเพลานี้เองก็จะต้องทำร่องลิ้มไว้เพื่อใส่ลิ้มลิ้มที่ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดการหมุนสัมพัทธ์ขึ้นระหว่างชิ้นส่วนทั้งสอง ในบางครั้งยังอาจใช้ลิ้มที่ทำหน้าที่กันมิให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวแกนของเพลานี้ด้วยการตัดร่องลิ้มบนเพลานี้ทำให้ความแข็งแรงของเพลาลดลงทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของร่องลิ้ม ลิ้มแบ่งออกเป็นหลายชนิด ดังนั้นการเลือกใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับการติดตั้งซึ่งขึ้นอยู่กับประกอบหลายอย่างเช่น กำลังที่จะส่ง ชนิดของพิทคความถี่ ความมั่นคงของรอยต่อ และราคา ในการส่งกำลังน้อย ๆ อาจใช้เกลียวปรับ (Set screw) ขึ้นยึดเพื่อให้ชิ้นส่วนติดกับเพลากลมได้โดยตรงไม่ต้องใช้ลิ้ม แต่โดยมากมักใช้ลิ้มยึด การใช้หนูเกลียวปรับมักใช้ยึดลิ้มติดกับร่องลิ้มบนเพลานี้ เพื่อป้องกันชิ้นส่วนเลื่อนตัวในแนวแกนของเพลานี้

### 3.2.1 ชนิดของลิ่ม

ลิ่มแบ่งออกเป็นหลายชนิดด้วยกันดังนี้คือ

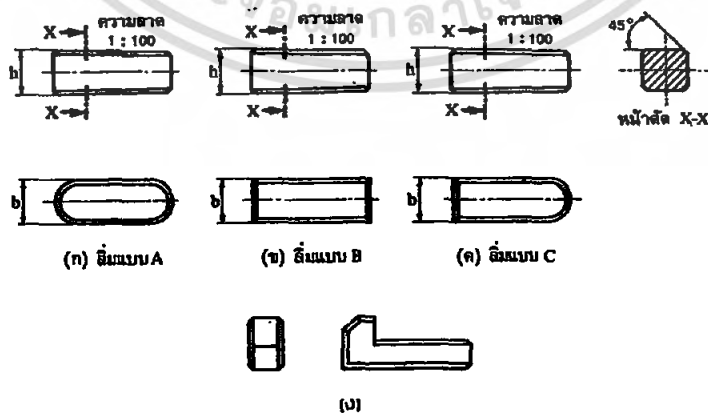
3.2.1.1 ลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้าและลิ่มสี่เหลี่ยมจัตุรัส องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศกำหนดขนาดมาตรฐานของลิ่มชนิดนี้ไว้ใน ISO/R773 ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 8.1 ลิ่มชนิดนี้จะฝังอยู่ในเพลาค้างหนึ่ง และฝังอยู่ในคุมของเฟือง (Hub) ล้อสายพานหรือข้อเหวี่ยงอีกประมาณครึ่งหนึ่งของความหนาของลิ่มชนิดนี้มักใช้กับเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมทั่วไป

ลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้าและลิ่มสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสตามลำดับ ถ้ามีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันตลอดความยาวเรียกว่า เฟิซเซอร์คีย์ (Feather key) มักใช้กับงานที่ต้องการให้คุมล้อเลื่อนไปบนเพลาค้างได้ เพื่อแต่ป้องกันมิให้เกิดการหมุนสัมพัทธ์เท่านั้น บางครั้งอาจต้องยึดลิ่มให้ติดกับเพลาค้าง หมุดเกลียวปรับด้วย เช่น ในชุดเฟืองทดของรถยนต์ เป็นต้น



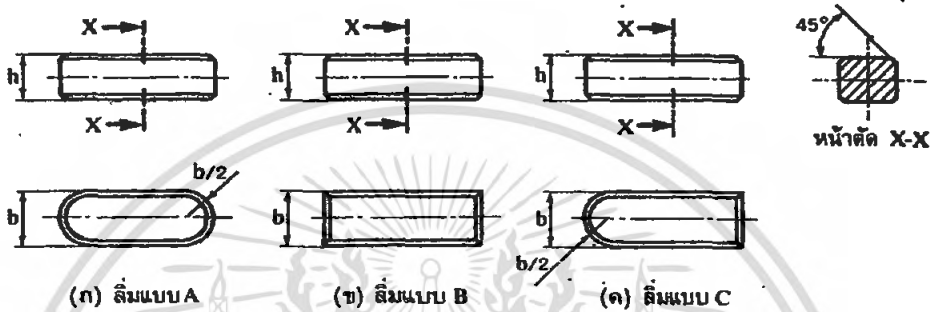
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้าและลิ่มสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ในบางครั้งเมื่อต้องการให้คุมล้อติดกับเพลาย่างแน่นหนาอาจเลือกใช้ลิ่มตามมาตรฐาน ISO/R774 ซึ่งเป็นลิ่มเรียวที่มีความลาดประมาณ 1:100 ดังรูปที่ 3.3 โดยทำให้ลาดทางด้านความสูง ส่วนทางด้านกว้างยังคงกว้างเท่าเดิมตลอดความยาว



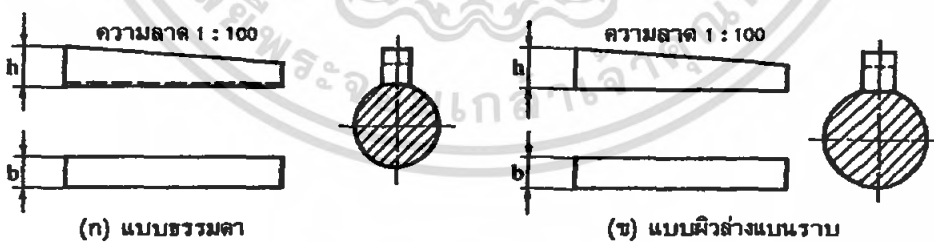
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้าและลิ่มสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบเรียว

3.2.1.2 **ลิ้นแบน** ลิ้นชนิดนี้มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเช่นกัน แต่มีลักษณะบางกว่าลิ้นสี่เหลี่ยมผืนผ้าทั่วไป ดังรูปที่ 8.3 ลิ้นชนิดนี้จะใช้เมื่อต้องการให้เพลานิ่งแกร่งขึ้น เพราะถ้าใช้ลิ้นสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือลิ้นสี่เหลี่ยมจัตุรัสแล้วจะต้องเจาะร่องลิ้นบนเพลาลึกมาก ลิ้นชนิดนี้เหมาะกับการใช้งานเบาหรือเมื่อต้องการให้ร่องลิ้นบนเพลานิ่มและคุมล้อดี เช่น ในกรณีที่ใช้เพลาทกลวง ลิ้นแบนแบ่งออกเป็น 2 ชนิด เช่นเดียวกับลิ้นสี่เหลี่ยมผืนผ้าคือ มีทั้งชนิดที่พื้นที่หน้าตัดเท่ากันตลอดความยาวตามมาตรฐาน ISO 2491 และชนิดที่มีความลาด 1:100 ทางด้านความสูงตามมาตรฐาน ISO 2492



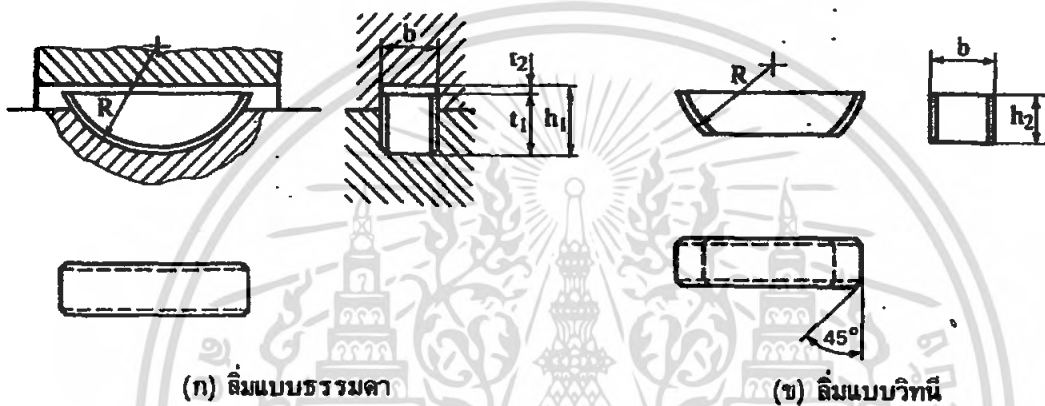
รูปที่ 3.4 ลิ้นแบน

3.2.1.3 **แซดเดิลคีย์ (Saddle key)** ลิ้นชนิดนี้ใช้กับงานเบา หรือในกรณีที่ต้องการให้มีการหมุนสัมพันธ์ระหว่างเพลา กับคุมล้อเพื่อใช้ในการปรับแต่ง หรือในกรณีที่ไม้อาจทำร่องลิ้นบนเพลานิ่มและคุมล้อได้ดังรูปที่ 3.5 (ก) ลิ้นชนิดนี้ใช้ในการส่งกำลังโดยอาศัยการเสียดทานระหว่างเพลา กับคุมล้อ ในกรณีที่ต้องการส่งกำลังมากขึ้นอาจทำให้ผิวด้านล่างของแซดเดิลคีย์แบนราบ และทำให้ผิวของเพลาแบนราบด้วย ดังรูปที่ 3.5 (ข) ลิ้นชนิดนี้มักมีความลาดตลอดความยาวเพื่อให้อัดในขณะประกอบชิ้นส่วน



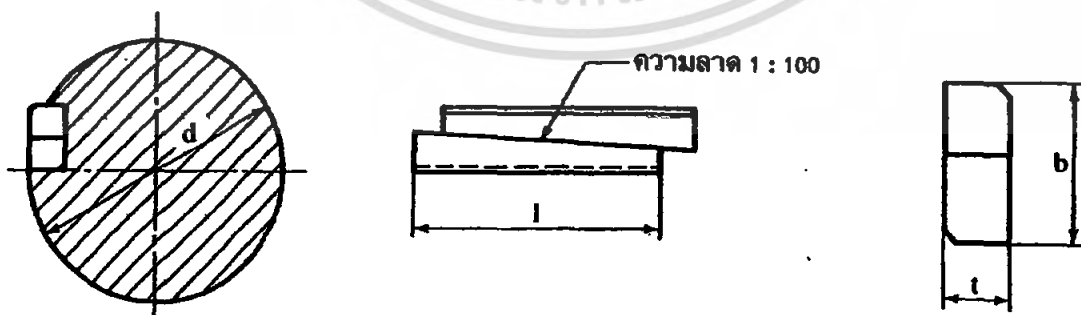
รูปที่ 3.5 ลิ้นแซดเดิลคีย์ (Saddle key)

3.2.1.4 ลิ้มวงเคียน (Woodruff key) ลิ้มชนิดนี้มีใช้มากในเครื่องมือกลต่างๆและต้องใช้ร่องลิ้มที่มีลักษณะเป็นพิเศษ ซึ่งต้องตัดร่องลิ้มบนเพลลาให้เป็นส่วนโค้งของวงกลมโดยใช้ลิ้มเตอร์ (Cutter) ดังรูปที่ 8.5 (ก) ลิ้มชนิดนี้มีข้อดีคือสามารถปรับตัวเองได้เล็กน้อยในร่องลิ้ม แต่มีข้อเสียคือจะทำให้ความแข็งแรงของเพลลาลดลง เพราะต้องเจาะร่องลิ้มลึกกว่าร่องลิ้มแบบอื่นๆ ลิ้มวงเคียนมีลักษณะเป็นครึ่งวงกลมที่มีความหนา  $b$  มีขนาดตามมาตรฐาน ISO 3912 จากข้อเสียของร่องลิ้มชนิดนี้จึงได้มีการปรับปรุงให้ดีขึ้นโดยทำเป็นแบบวิทนีย์ ดังรูปที่ 8.5 (ข) โดยให้ความสูง  $h_2=0.8b_1$  และใช้กับการยึดชิ้นส่วนที่ใช้ส่งแรงน้อย และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลาไม่เกิน 75 mm.



รูปที่ 3.6 ลิ้มวงเคียน (Woodruff key)

3.2.1.5 แทนเจนเชียลคีย์ (Tangential key) ลิ้มชนิดนี้มีลักษณะดังรูปที่ 3.7 ตามมาตรฐาน ISO 3117 การใช้งานมักจะทำให้เป็นชุดประกอบด้วยลิ้ม 2 ชิ้น แต่ละชิ้นมีความเร็วเพื่อให้ยึดกันแน่นสามารถส่งกำลังได้มากในทิศทางเดียว แต่ถ้าต้องการให้ส่งกำลังได้ทั้งสองทิศทางก็ใช้ลิ้ม 2 ชุด วางทำมุมห่างกัน  $180^\circ$  ข้อเสียของลิ้มชนิดนี้ก็คือประกอบเข้าด้วยกันได้ยาก



รูปที่ 3.7 ลิ้ม แทนเจนเชียลคีย์ (Tangential key)

### 3.2.2 การให้ชื่อลิ้ม

ลิ้มแบ่งออกเป็นหลายชนิดด้วยกันและมีขนาดเป็นมาตรฐาน ดังนั้นการเลือกใช้ลิ้มจึงต้องเลือกขนาดมาตรฐาน มิใช่คำนวณหาขนาดต่างๆออกมาเองขนาดลิ้มมาตรฐานจะดูได้จากตารางที่ 3.2 นอกจากนั้นยังกำหนดวิธีการให้ชื่อลิ้มดังนี้

การให้ชื่อลิ้มให้บอกว่าเป็นลิ้มมาตรฐานระหว่างประเทศเลขใดทำใด (ซึ่งจะบอกถึงชนิดของลิ้ม) ตามด้วยเครื่องหมาย - แล้วตามด้วยขนาดความกว้างของลิ้ม x ความสูงของลิ้ม x ความยาวของลิ้มเช่น  
- ลิ้มสี่เหลี่ยมผืนผ้า แบบ A กว้าง 12 mm สูง 8 mm และยาว 70 mm ก็ให้ชื่อว่า : ลิ้ม สี่เหลี่ยมผืนผ้า ISO/R 773-A12x8x70

ลิ้มจุกสี่เหลี่ยมผืนผ้า แบบ B กว้าง 18 mm สูง 11 mm และยาว 125 mm ก็ให้ชื่อว่า : ลิ้มจุกสี่เหลี่ยมผืนผ้า ISO/R 774-B18x11x125

ลิ้มแบน แบบ B กว้าง 20 mm สูง 8 mm และยาว 100 mm ก็ให้ชื่อว่า : ลิ้มแบน ISO 2491-B20x8x100

ลิ้มจุกแบน แบบ C กว้าง 10 mm สูง 6 mm และยาว 50 mm ก็ให้ชื่อว่า : ลิ้มจุกแบน ISO 2492-C10x6x50

แซคเคลิกซี่ ยังมีได้กำหนดเป็นมาตรฐานโดยองค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการคำนวณต่อไปจะใช้วิธีการให้ชื่อมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน (DIN) และจะใช้ขนาดของลิ้มตามมาตรฐาน DIN 6881 ในตารางที่ 3.2 ด้วย เช่น แซคเคลิกซี่ กว้าง 8 mm สูง และยาว 20 mm ก็ให้ชื่อว่า : แซคเคลิกซี่ DIN 6881 8x5x20

ลิ้มวงเคียนกว้าง 5 mm สูง 6.5 mm ก็ให้ชื่อว่า : ลิ้มวงเคียน ISO 3912-5x6.5 จากที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นว่าการเลือกใช้ลิ้มต้องเลือกใช้ตามขนาดมาตรฐาน นอกจากนั้นแล้วยังต้องเลือกขนาดลิ้มให้สอดคล้องกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาที่ใช้งานกับลิ้มด้วย ดูตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ขนาดลิ้มมาตรฐานที่ใช้กับเพลานาต่าง ๆ

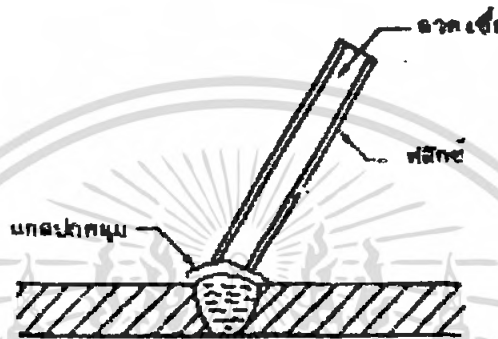
ขนาด เพลานา (d) mm	ลิ้มลิ้นกลมตันตัว	ลิ้นขน	ขนาดลิ้นค้ำ	ขนาดลิ้นค้ำ		
	ลิ้มลิ้น (เข็มนาฬิกา)			ISO 9412		
	ISO/R 773 ISO/K 774 b × h	ISO 2491 ISO 2492 b × h	PLN S 881 b × h	b × h <sub>1</sub> × R	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>
3-4				1.0 × 1.40 × 4	1.0	0.6
4-5				1.5 × 2.60 × 7	2.0	0.8
5-6				2.0 × 2.60 × 7	1.8	1.0
6-7	2 × 2			2.0 × 3.70 × 10	2.9	1.0
7-8	2 × 2			2.5 × 3.70 × 10	2.7	1.2
8-10	3 × 3			3.0 × 5.00 × 13	3.8	1.4
10-12	4 × 4			3.0 × 6.50 × 16	5.3	1.4
12-14	5 × 5	5 × 3		4.0 × 6.50 × 16	5.0	1.8
14-16	5 × 5	5 × 3		4.0 × 7.50 × 19	6.0	1.8
16-18	5 × 5	6 × 4		5.0 × 6.50 × 16	4.0	2.3
18-20	6 × 6	6 × 4		5.0 × 7.50 × 19	5.5	2.3
20-22	6 × 6	6 × 4		5.0 × 9.00 × 22	7.0	2.3
22-25	8 × 7	8 × 5	8 × 3.5	6.0 × 9.00 × 22	6.5	2.8
25-28	8 × 7	8 × 5	8 × 3.5	6.0 × 10.0 × 25	7.5	2.8
28-32	8 × 7	8 × 5	8 × 3.5	8.0 × 11.0 × 28	8.0	3.3
32-38	10 × 8	10 × 6	10 × 4.0	10.0 × 13.0 × 32	10.0	3.3
38-44	12 × 8	12 × 6	12 × 4.0			
44-50	14 × 9	14 × 6	14 × 4.5			
50-58	16 × 10	16 × 7	16 × 5.0			
58-65	18 × 11	18 × 7	18 × 5.0			
65-75	20 × 12	20 × 8	20 × 6.0			
78-85	22 × 14	22 × 9	22 × 7.0			
85-95	25 × 14	25 × 9	25 × 7.0			
95-110	28 × 16	28 × 10	28 × 7.5			
110-130	32 × 18	32 × 11	32 × 8.5			
130-150	36 × 20	36 × 12	36 × 9.0			
150-170	40 × 22	40 × 14				
170-200	45 × 25	45 × 16				
200-230	50 × 28	50 × 18				
230-260	56 × 32					
260-290	63 × 32					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การเชื่อม

#### 3.3.1 การเชื่อมด้วยไฟฟ้า

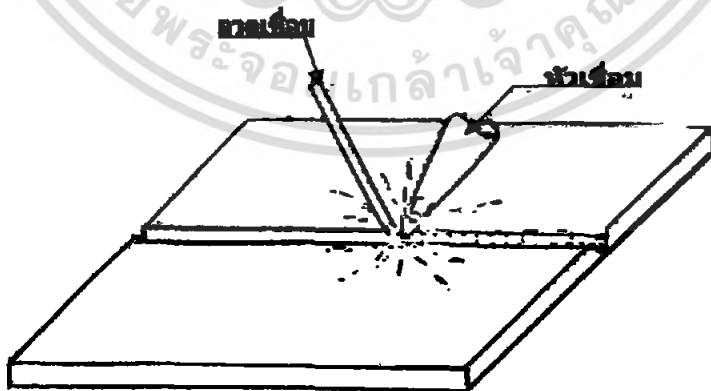
การเชื่อมวิธีนี้มีอีกเรียกกันทั่วไปว่าการเชื่อมไฟฟ้าโดยลวดเชื่อม (Electrode) เป็นตัวนำไฟฟ้า และในขณะที่เชื่อม โลหะลวดเชื่อมก็จะละลายลงไป ณ รอยที่ต้องการเชื่อมคั่งรูป ลวดเชื่อมมักจะห่อหุ้มไว้ด้วย สารชนิดหนึ่งเรียกว่าฟลักซ์ (Flux) ซึ่งจะระเหยกลายเป็นแก๊สในขณะที่ทำการเชื่อม แก๊สนี้จะช่วยป้องกันการเกิด ออกซิเดชัน (Oxidation) ที่รอยเชื่อมซึ่งทำให้คุณภาพของรอยเชื่อมดีขึ้น



รูปที่ 3.8 การเชื่อมด้วยไฟฟ้า

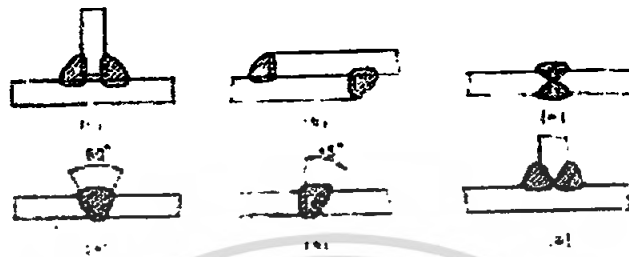
#### 3.3.2 การเชื่อมด้วยแก๊ส

ใช้การเผาไหม้ระหว่างส่วนผสมของแก๊สออกซิเจนกับไฮโดรเจน หรือระหว่างแก๊สออกซิเจนกับ อะเซทิลีน (Acetylene) เป็นตัวให้ความร้อนแก๊สทั้งสองชนิดนี้จะผสมกันในหัวเชื่อม (Torch) ในการเชื่อมจะปรับ ส่วนผสมของแก๊สทั้งสองให้มีอัตราส่วนหนึ่งต่อหนึ่งซึ่งจะได้อุณหภูมิสูงเพียงพอที่จะละลายโลหะได้ จากนั้นจึงทำการ เผาชิ้นงานที่จะเชื่อมให้ ร้อนแล้วจึง ใช้เปลวไฟละลายลวดเชื่อมลงไปยังรอยเชื่อมคั่งรูป



รูปที่ 3.9 การเชื่อมแก๊ส

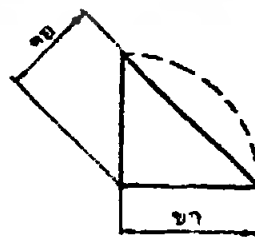
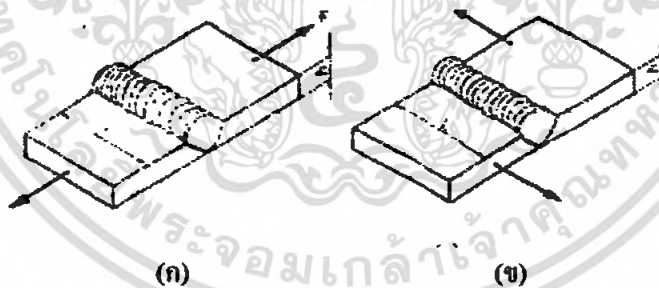
ชนิดของรอยเชื่อมที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปจะมี การเชื่อมมุมและการเชื่อมต่อน (Butt weld) ความหนาของ รอยเชื่อมมุมไม่จำเป็นต้องเท่ากับความหนาของโลหะแผ่น โดยปกติแล้วผิวบนของรอยเชื่อมมุมจะมีลักษณะเส้นประ ดังรูป



รูปที่ 3.10 รอยเชื่อมมุม

ส่วนเกินนี้เรียกว่า ส่วนเสริม (Reinforcement) ซึ่งถ้าไม่ต้องการให้มีก็อาจจะตะไบออกไปได้ ขนาดของรอยเชื่อมมุมจะบอกด้วยขนาดของขาที่มีความยาวเท่าใด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักจะเชื่อมให้มีความยาวของขา เท่ากัน ส่วนขนาดของคอก (Throat) เป็นขนาดที่จะใช้ในการคำนวณซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

### 3.3.3 รอยเชื่อมรับแรงสมมาตร



(ค)

รูปที่ 3.11 รอยเชื่อมรับแรงสมมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับทำรายงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปรอยเชื่อมรับแรงสมมาตรแสดงถึงรอยต่อชนที่รับแรงดึง และแรงเฉือนโดยปกติแล้วลวดเชื่อม จะมีความต้านแรงของแผ่นโลหะที่จะนำมาเชื่อมต่อกัน ดังนั้นประสิทธิภาพของรอยเชื่อมจะมีลักษณะเข้าใกล้ 100% สำหรับแรงที่รอยเชื่อมในรูป รอยเชื่อมรับแรงสมมาตร (ก) ควรได้รับสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$F = \frac{\sigma_y Lh}{N} \quad (3.12)$$

โดยที่ N เป็นค่าความปลอดภัย

ในกรณีที่รอยต่อชนรับแรงเฉือนดึง ในรูปรอยเชื่อมรับแรงมีสมมาตร (ข) แรงที่รอยเชื่อม ควร ได้รับสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$F = \frac{\tau_y Lh}{N} \quad (3.13)$$

ในกรณีของรูป รอยเชื่อมมุม (ก) รอยเชื่อมมักจะขาดในแนวของคอ ดึงในรูป (ค) ดังนั้นพื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณก็คือพื้นที่ของรอยเชื่อมที่คอถึงแม้ว่า รอยเชื่อมจะมีส่วนเสริมมุมขึ้นมา ซึ่งช่วยเพิ่มกำลังของรอยต่อขึ้นไปอีก แต่ก็ไม่ได้เห็นแนวคิดในการคำนวณหาความแข็งแรงของรอยเชื่อม จากรูป (ค) จะเห็นได้ว่า

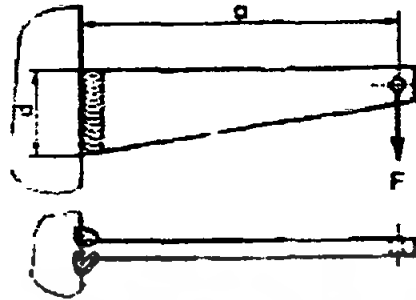
$$t = h \cos 45^\circ = 0.707h$$

ดังนั้นแรง F ที่รอยเชื่อมในรูป รอยเชื่อมมุม (ก) ควรได้รับคือ

$$F = \frac{\tau_y 2tL}{N} \quad (3.14)$$

ในกรณีของรูปเชื่อมมุม (ข) แรงกระทำตั้งฉากกับแนวรอยเชื่อม ดังนั้นจะเกิดทั้งความเค้นดึงและความเค้นเฉือนขึ้นในรอยเชื่อมนอกจากนี้การที่แรง ไม่ได้กระทำอยู่ในแนวเดียวกัน ยิ่งก่อให้เกิดความเค้นค้ำขึ้นอีก การวิเคราะห์รอยเชื่อมอย่างละเอียดจะกระทำได้ยากมาก และก็จะไม่ให้สูตรที่เหมาะสมแก่การใช้งานอีกด้วยในทางปฏิบัติจะสมมติให้รอยเชื่อมขาด เนื่องจากการเฉือนที่คอเช่นเดียวกับกรณีของรูป (ก) ดังนั้นสมการ (3.16) ก็ยังคงใช้กับกรณีหลังได้ถ้าใช้ค่าความต้านแรงดึงต่ำสุดในการออกแบบรอยเชื่อม ค่าความปลอดภัยที่แนะนำให้ใช้กับ แรงชนิดอยู่หนึ่งประมาณ  $N = 3.75$  ถ้ามีแรงกระตุกก็ต้องเพิ่มค่าความปลอดภัยขึ้นอีก

### 3.3.4 การค้ำในรอยเชื่อม



รูปที่ 3.12 การเชื่อมรับแรงค้ำ

จากรูปที่ 3.12 แสดงถึงชิ้นงานซึ่งรับแรงที่ทำให้เกิดการค้ำขึ้นในรอยเชื่อมการคำนวณหาความเค้นที่เกิดขึ้นในรอยเชื่อมต่อประเภทนี้ จะยังมีความยากลำบากกว่ารอยเชื่อมที่ได้กล่าวมาแล้วและจะเรียกได้ว่าไม่อาจจะหาค่าคอบที่แน่นอนได้ ในทางปฏิบัติจึงต้องมีการใช้ข้อมูลต่าง ๆ เพื่อให้สามารถทำการคำนวณได้

สำหรับรอยเชื่อมในรูปจะเกิดทั้งความเค้นค้ำ เนื่องจากโมเมนต์ค้ำค้ำ และความเค้นเฉือนตรง (Direct shear) ขึ้นในรอยเชื่อม ในการคำนวณก็จะสมมติให้เกิดการแตกหักขึ้นที่คอเสนอ และยังสมมติให้รอยเชื่อมในกรณีนี้

ความเค้นเฉือน

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (3.15)$$

ความเค้นค้ำ

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (3.16)$$

โดยที่

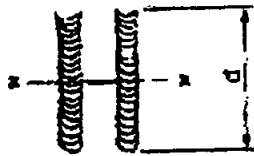
$$A = \text{พื้นที่ของคอ}$$

$$M = Fa$$

$$C = d/2$$

สำหรับการหาค่า I ของรอยเชื่อม ให้พิจารณาหน้าตัดของรอยเชื่อมจะได้ว่า โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนศูนย์กลาง xx คือ

$$I = 2 i t d^3 \quad (3.17)$$



รูปที่ 3.13 หน้าตัดรอยเชื่อม

ดังนั้นโมเมนต์ความเฉื่อยต่อหน่วยความกว้าง (Unit moment of inertia) คือ

$$I_u = \frac{d^3}{6} \quad (3.18)$$

ค่า  $I$  ของรอยเชื่อมชนิดต่างๆ แสดงอยู่ในตาราง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่า  $I$  ดังนี้

$$I = \eta I_u = 0.707 I_u \quad (3.19)$$

### 3.3.5 การบิดในรอยเชื่อม



รูปที่ 3.14 รอยเชื่อมรับแรงบิด

เมื่อรอยเชื่อมต่อรับแรงในลักษณะดังรูป รอยเชื่อมรับแรงบิดรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นในรอยเชื่อมจะประกอบด้วยความเค้นเฉือนตรง (Primary shear) อันเนื่องมาจากแรงเฉือนโดยตรง และความเค้นเฉือนบิด (Secondary shear) อันเนื่องมาจากการที่แรง  $F$  ทำให้เกิดการบิดในชิ้นงานสำหรับความเค้นเฉือนตรงสามารถคำนวณได้ โดยวิธีการทั่วไปคือ

$$\tau_1 = \frac{F}{A} \quad (3.20)$$

โดยที่  $A$  เป็นพื้นที่ของคอคของรอยเชื่อม ทั้งหมดที่รับแรงเฉือน และมีทิศทางตามแรงเฉือน  $F$  ส่วนความเค้นเฉือนบิดสามารถคำนวณได้โดยใช้สมมติฐานดังนี้คือ

1. ให้  $O$  เป็นจุดศูนย์กลางของแต่ละรอยเชื่อม
2. ให้  $G$  เป็นจุดศูนย์กลางรวมของรอยเชื่อมทั้งหมด โดยคิดให้รอยเชื่อมมีลักษณะ เป็นเส้นแล้ว ให้คิดว่าแรง  $F$  ทำให้เกิดโมเมนต์  $Fr$  ซึ่งพยายามหมุนชิ้นงานทั้งหมดรอบจุดศูนย์กลางรวม  $G$
3. สมมติให้ค่าความเค้นเฉือนบิดมีความแปรผันเป็นสัดส่วน โดยตรงกับระยะทางจากตำแหน่งบนรอยเชื่อม ไปยังจุดศูนย์กลางรวม  $G$  ดังนั้นค่าจะมากที่สุด ที่ตำแหน่งไกลจาก  $G$  สุด

ให้พิจารณาพื้นที่เล็ก  $dA$  บนรอยเชื่อม ความเค้นเฉือนจะกระทำตั้งฉากกับระยะทาง  $r$  ดังในรูป รอยเชื่อมรับแรงบิด

โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้ว (Polar moment of inertia) ของรอยเชื่อมรอบจุด  $G$  ซึ่งให้แทนด้วย  $J$  ดังนั้นสมการ 3.21 จึงกลายเป็น

$$\tau_2 = \frac{Tr}{J} \quad (3.21)$$

แบบนี้ทำให้สามารถรวมความเค้นเฉือนตามทิศทางได้โดยใช้สมการ

$$\tau = (\tau_1^2 + \tau_2^2 + 2\tau_1\tau_2 \cos \theta)^{1/2} \quad (3.22)$$

โดยที่  $\theta$  เป็นมุมระหว่าง  $\tau_1$  และ  $\tau_2$

สำหรับค่าโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่เรียวหารอบจุดศูนย์กลางของตัวเองจะประมาณได้จาก

$$J_0 = \frac{AL^3}{12} \quad (3.23)$$

หรือ

$$J = J_0 + Ar_0^2 \quad (3.24)$$

โดยที่  $A$  เป็นพื้นที่ของคอค =  $\pi L$

ในทำนองเดียวกันกับเรื่องการตัด ถ้าให้  $J_u$  เป็นโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วต่อหน่วยความกว้าง

$$J = \pi J_u = 0.707hJ_u \quad (3.25)$$

และจากสมการ (3.23)

$$J_u = L \left( \frac{L^2}{12} + r_0^2 \right) \quad (3.26)$$

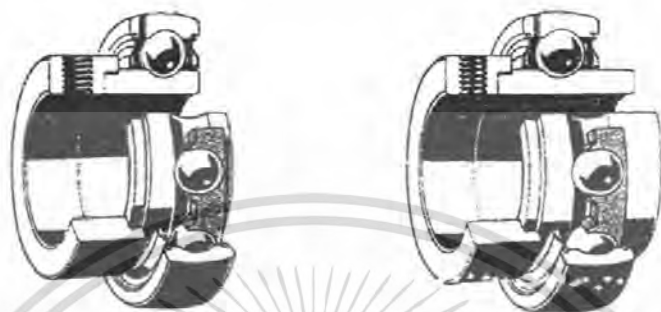
การใช้  $J_u$  นี้บางครั้งจะมีประโยชน์มาก ทั้งนี้เพราะว่า  $J_u$  ไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของรอยเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 คลับลูกปืน Y-bearing

คลับลูกปืนวายแบริ่งสามารถแบ่งลักษณะของวิธีการติดตั้งคลับลูกปืนลงบนเพลา มีวิธีการแตกต่างกันอยู่ 4 วิธี

1. แบบแหวนล็อกเฉียงศูนย์พร้อมสลักเกลียว เหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีทิศทางหมุนคงที่



รูปที่ 3.15 แบบแหวนล็อกเฉียงศูนย์พร้อมสลักเกลียว

2. แบบสลักเกลียวล็อก (Grub set screw locking) เหมาะสำหรับการใช้งานซึ่งมีทิศทางหมุนกลับไป

กลับมา



รูปที่ 3.16 แบบสลักเกลียวล็อก

3. แบบปลอกปรับขนาดเพลลา (Adapter sleeve) สามารถใช้สำหรับชิ้นงานที่หมุนกลับ ไปกลับมาได้ ใช้ งานที่มีความเร็วสูงขึ้นและสำหรับงานที่ต้องการความเร็วสูงกว่า



รูปที่ 3.17 แบบปลอกปรับขนาดเพลลา

4. แบบการกำหนดตำแหน่งโดยการสวมแน่น (Location by interference fit) แบริงชนิดนี้จะมีค่าความเผื่อระดับปกติสำหรับขนาดของดรัมลูกปืนและการกำหนดตำแหน่งอยู่บนเพลลาโดยใช้การสวมแน่นที่เหมาะสม ดรัมลูกปืนชนิดนี้เหมาะสำหรับงานที่มีความเร็วสูงและในกรณีที่มีทิศทางการหมุนกลับ ไป กลับมา



รูปที่ 3.18 แบบการกำหนดตำแหน่งโดยการสวมแน่น

### 3.4.1 ตัวเสื้อของคัลลูปบินวาย

ตัวเสื้อของคัลลูปบินวายมีแบบพลัมเมอร์บล็อก แบบหน้าแปลนและแบบทอคอัพซึ่งทำด้วยเหล็กหล่อสีเทา (Grey cast iron) ส่วนแบบพลัมเมอร์บล็อกและแบบหน้าแปลนยังมีการทำด้วยเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปด้วยตัวเสื้อเหล็กหล่อเหมาะสำหรับการรับแรงสูงกว่า ตัวเสื้อเหล็กหล่อของคัลลูปบินวายมีรูเติมจารบีและร่องในแนวรัศมีอยู่ที่รูของคัลลูปบินเพราะฉะนั้นคัลลูปบินวายพร้อมรูสำหรับการหล่อลื่นอยู่ที่วงแหวนนอกจึงสามารถเปลี่ยนหรือเติมจารบี เมื่อติดตั้งอยู่ในตัวเสื้อเหล็กหล่อได้ ตัวเสื้อของคัลลูปบินวายที่อัดขึ้นรูปจากเหล็กกล้า ถูกแยกออกเป็น 2 ชิ้นส่วน และไม่มีรูสำหรับเติมจารบี สำหรับการเติมจารบีใหม่



รูปที่ 3.19 ตัวเสื้อแบบพลัมเมอร์ (พิด โด) บล็อกขึ้นเคียวทำด้วยเหล็กหล่อ

### 3.4.2 ความสามารถในการรับแรงของตัวเสื้อ

ตัวเสื้อเหล็กหล่อ ตัวเสื้อของคัลลูปบินวายทำด้วยเหล็กหล่อ ได้รับการออกแบบเพื่อให้สามารถรับแรงพลวัตและ แรงสถิตได้เท่ากับคัลลูปบินวายที่บรรจุอยู่

ตัวเสื้อแบบหน้าแปลนมีร่องเว้า (เส้นผ่านศูนย์กลาง  $D_1$ ) ทำให้เราสามารถวางศูนย์กลางของตัวเสื้อลงบนรูสวม บนผนังของ เครื่องจักรกล ได้อย่างพอเหมาะ ซึ่งหมายความว่าสลักเกลียวจับยึดจะ ไม่ได้รับแรงในแนวรัศมีด้วยตัวเสื้ออัดขึ้นรูปซึ่งทำด้วยเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปมาสามารถรับแรงได้สูงเท่ากับความสามารถในการรับแรงของ คัลลูปบินแรงในแนวรัศมีที่อนุญาตของชุดคัลลูปบินวาย แรงรุน ไม่ควรเกิน 30% ของแรงในแนวรัศมีที่อนุญาตสำหรับตัวเสื้อแบบพลัมเมอร์บล็อก และไม่ควรเกิน 50% ของแรงในแนวรัศมีที่อนุญาตสำหรับตัวเสื้อแบบหน้าแปลนในกรณีที่มีแรงกระแทก หรือ แรงรุนกระทำกลับไปกลับมา เราควรที่จะใช้ตัวเสื้อเหล็กหล่อ

### 3.4.3 การหล่อลื่นและการดูแลรักษา

ในกรณีที่การจัดตั้งคัลลูปบิน จะต้องมีส่วนและความชื้นหรือทำงานที่ความเร็วสูง หรืออุณหภูมิสูงเกินกว่า  $70^{\circ}\text{C}$  ขอแนะนำให้ผู้ดูแลคัลลูปบินวายที่มีตัวเสื้อเป็นเหล็กหล่อเพราะชุดคัลลูปบินวายเหล่านี้สามารถเปลี่ยนหรือเติมจารบีได้

### 3.4.4 คำแนะนำในการติดตั้ง

ในการติดตั้งชุดล้อยูบีนวาย เราไม่ควรที่จะติดตั้งตำแหน่งของชุดล้อยูบีนวายบนเพลานกว่าจะได้ทำการยึดตัวเสื้อกับคิรรองรับให้แน่นเสียก่อน ในวิธีการนี้ชุดล้อยูบีนจะอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องบนเพลาโดยไม่ทำให้เกิดความเค้นสูง ชุดล้อยูบีนพร้อมตัวเสื้อเหล็กหล่อชุดล้อยูบีนเหล่านี้สามารถติดตั้งได้ง่ายโดยการดันเข้าไปตามแกนของเพลาลแล้วจึงร้อยสลักเกลียวจำนวนสองหรือ สี่ตัว และทำการขันให้แน่น

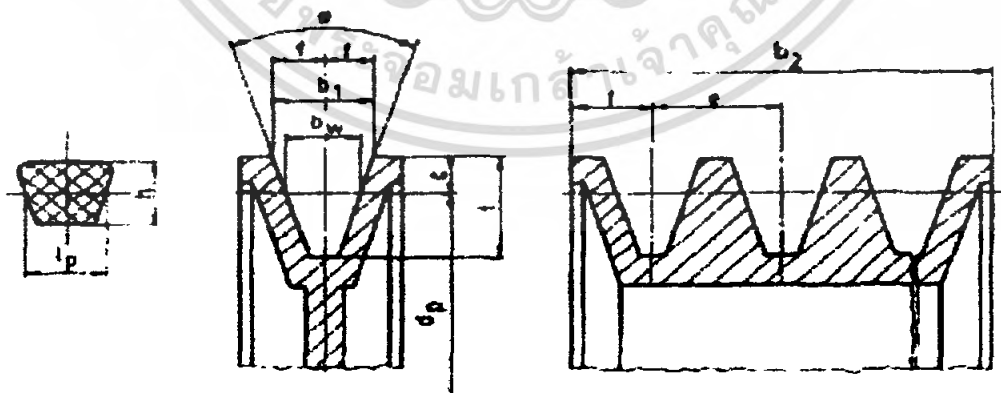
### 3.5 สายพานลิ่ม

สายพานลิ่มใช้ส่งกำลังได้ค่อนข้างมาก โดยต้องการแรงดึงขึ้นคั้นในสายพานค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เพราะผลจากการเกาะยึดตัวกันระหว่างคั้นข้างของสายพานที่เรียกว่าร่องรูปลิ่มของล้อยูบีนสายพาน ทำให้แรงเสียดทานสูง ซึ่งเป็นผลให้สายพานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดีแม้ว่าจะมี ส่วนโค้งสัมผัสน้อยในการส่งกำลังจะส่งได้มากที่สุด เมื่อคั้นข้างสายพานอัดแน่นกับร่องบนล้อยูบีนสายพานและในกรณีที่มีเหตุฉุกเฉินก็อาจใช้ผลจากการอัดแน่นนี้ทำหน้าที่เป็นเบรคได้ด้วย

การขับเคลื่อนสายพานลิ่มมีข้อดีคือเงียบสะอาดและสามารถรับแรงกระชุกได้ นอกนั้นก็ยังมีขนาดกะทัดรัดมีประสิทธิภาพดีและแรงของเพลาก็ไม่ต้องรับแรงมากเกินไป จึงมักใช้ในการขับเคลื่อนทั่วๆไปซึ่งใช้สายพานขับเคลื่อนโดยมีอัตราทดสูงประมาณ 7:1 หรืออาจใช้ได้ถึง 10:1

#### 3.5.1 ขนาดสายพานและล้อยูบีนสายพาน

สายพานลิ่มมีหน้าตัดเป็นรูปลิ่ม ดังนั้นในการกำหนดขนาดจึงมักกำหนดโดยใช้ความกว้างพิช (Pitch width) และความหนาสายพานโดยใช้ตัวอักษรแทน ซึ่งแบ่งออกเป็นสายพานลิ่มแบบแคบ (Narrow V-belts) มีขนาด SPZ SPA SPB และ SPC และสายพานลิ่มแบบธรรมดาที่มีขนาด Y Z A B C D และ E ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสายพานลิ่มแบบธรรมดาเท่านั้น รูปร่างหน้าตัดของสายพานลิ่มและล้อยูบีนสายพาน ดูได้จากรูปที่ 3.20 ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิช  $d_p$  ดูได้จากตารางที่ 3.4 และตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.20 หน้าตัดสายพานลิ่มและล้อยูบีนสายพาน

ตารางที่ 3.3 ขนาดสายพานลิ้มและล้อสายพานตามมาตรฐาน  
ISO/R 52-1957 (E) และ ISO/R 256-1962 (E)

หน้าตัดสายพาน		Y	Z	A	B	C	D	E	
$l_p$		5.3	8.5	11	14	19	27	32	
$h$		4	6	8	11	14	19	25	
$b_w$		5.3	8.5	11	14	19	27	32	
$b_l$		6.3	9.7	12.7	16.3	22	32	40	
$c$		1.6	2	2.8	3.5	4.8	8.1	12	
$e$		$8 \pm 0.3$	$12 \pm 0.3$	$15 \pm 0.3$	$19 \pm 0.4$	$25.5 \pm 0.5$	$37 \pm 0.6$	$44.5 \pm 0.7$	
$f$		$6 \pm 0.5$	$8 \pm 0.6$	$10 \pm 0.6$	$12.5 \pm 0.8$	$17 \pm 1$	$24 \pm 2$	$29 \pm 2$	
$t_{min}$		7	11	14	18	24	28	33	
32°	$\phi$ สำหรับเส้น ผ่านศูนย์กลาง พิทช์ $d_p$	$\leq 63$	-	-	-	-	-	-	
34°		-	63 - 80	90 - 118	140 - 190	224 - 315	-	-	
36°		63	-	-	-	-	$\leq 500$	$\leq 500$	
38°		-	$> 80$	$> 118$	$> 190$	$> 315$	$> 500$	$> 630$	
$b_2$	จำนวน ร่องบ่า ล้อสาย พาน	1	12	16	20	25	34	48	58
		2	20	28	35	44	59.5	85	102.5
		3	28	40	50	63	85	122	147
		4	36	52	65	82	110.5	159	191.5
		5	44	64	80	101	136	196	236
		6	52	76	95	120	161.5	233	280.5
		7	60	88	110	139	187	270	325
		8		100	125	158	212.5	307	369.5
		9		112	140	177	238	344	411
		10		124	155	196	261.5	381	458.5
		11		136	170	215	289	418	503
		12		148	185	234	314.5	455	547.5
$d_{pmin}$		28	50	80	125	200	355	500	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทิดซ์  $d_p$  ของล้อยาสพานตามมาตรฐาน ISO/R 52-1957(E) และ ISO /R253-1962(E) ขนาดเป็นมิลลิเมตร

25	60	100	170	280	500	900	1900
28	63	106	180	300	530	1000	200
31.5	67	112	190	315	560	1060	2240
35.5	71	118	200	355	600	1120	2500
40	75	125	212	375	630	1250	
45	80	132	224	400	670	1400	
50	85	140	236	425	710	1500	
53	90	150	250	450	750	1600	
56	95	160	265	475	800	1800	

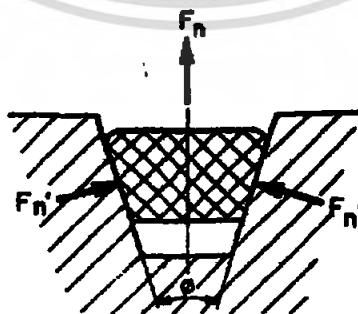
### 3.5.2 กลศาสตร์ของสายพานลีม

ในการขับเคลื่อนสายพานลีม แรงปฏิกิริยา ระหว่างสายพานกับล้อยาสพาน จะอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับล้อยาสพาน ดังรูป 3.21 ให้  $F_n$  เป็นแรงปฏิกิริยาในแนวตั้งฉากระหว่างล้อยาสพานกับสายพานกับร่องบนล้อยาสพาน ดังนั้นจากสมการ  $fF_n = dF$  ของสายพานแบน ในกรณีของสายพานลีมจะกลายเป็น  $2fF_n = dF$  แรงปฏิกิริยาของแรง  $F_n$  ทั้งสองแรงคือ

$$F_n = 2F_n \sin \frac{\phi}{2} \tag{3.27}$$

หรือ

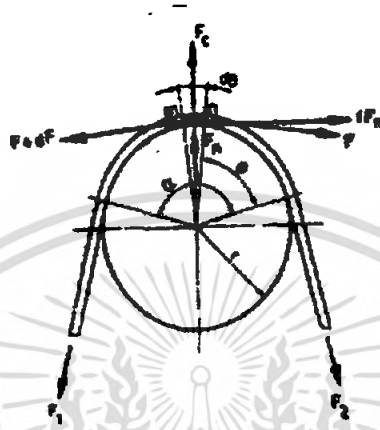
$$F_{n'} = \frac{F_n}{2 \sin \frac{\phi}{2}} \tag{3.28}$$



รูปที่ 3.21 แรงบนสายพานลีม

แทนค่า  $F_n$  จะได้

$$\frac{fF_n}{\sin \frac{\phi}{2}} = dF \quad (3.29)$$



รูปที่ 3.22 แรงในสายพานลิม

เมื่อพิจารณารูปที่ 3.22 และแรงร่วมในแนวตั้งจะได้

$$F_c + F_n = \left( F + \frac{1}{2} dF \right) d\theta \quad (3.30)$$

เมื่อกำจัด  $F_n$  ออกจากสมการทั้งสองนี้จะได้

$$dF = \frac{f}{\sin \frac{\phi}{2}} \left( F + \frac{1}{2} dF - \frac{wAv^2}{g} \right) d\theta \quad (3.31)$$

$$\frac{dF}{F + \frac{1}{2} dF - \frac{wAv^2}{g}} = \frac{f}{\sin \frac{\theta}{2}} d\theta \quad (3.32)$$

อินทิเกรตสมการนี้จาก  $\theta = 0$  ถึง Infinity และจาก  $F = F_2$  ถึง  $F = F_1$  จะได้

$$\ln \frac{F - \frac{wAv^2}{g}}{F - \frac{wAv^2}{g}} = e^{\frac{af}{\sin(\phi/2)}} \quad (3.33)$$

หรือ

$$\frac{F_1 - F_c}{F_2 - F_c} = e^{af'} \quad (3.34)$$

โดยที่  $f' = f / \sin(\phi/2)$

และกำลังที่ส่งได้โดยสายพานลืมหาค่าได้จากสมการ

$$W_p = z(F_1 - F_2)v \quad (3.35)$$

โดยที่  $v$  = ความเร็วของสายพาน เป็น m/s

$Z$  = จำนวนสายพาน

ความยาว หิดซ์โดยประมาณของสายพานลืมหาค่าได้จากสมการ

$$L_p = 2C + 1.57(D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4C} \quad (3.36)$$

โดยที่สัญลักษณ์ต่างๆ ยังคงมีความหมายเช่นเดียวกับสายพาน แต่ในกรณีของสายพานลืมจะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหิดซ์แทน หรือในกรณีที่ทราบความยาวหิดซ์แล้วต้องการหาระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง ก็ทำได้โดยใช้สมการ

$$C = p + \sqrt{p^2 - q} \quad (3.37)$$

โดยที่  $p = 0.25L_p - 0.393(D_p + d_p)$

$q = 0.15(D_p + d_p)^2$

### 3.5.3 การทำให้เกิดแรงดึงขึ้นต้นในสายพานลื่น

การทำให้เกิดแรงดึงขึ้นต้นจะช่วยให้การจับด้วยสายพานมีประสิทธิภาพดี และยืดอายุการใช้งานของสายพาน ถ้าออกแรงดึงขึ้นต้นไม่เพียงพอจะทำให้ส่งกำลังได้น้อยลง ประสิทธิภาพต่ำลง ทำให้สายพานมีอายุการใช้งานลดลงเนื่องจากการสลิป แต่ถ้าออกแรงดึงขึ้นต้นมากเกินไป จะทำให้ขอบสายพานยึดตัวมากเกินไป เกิดความเค้นในสายพานมาก แบร์ริงที่รองรับล้อสายพานจะรับแรงมากเกินไปจากสมการ (3.40) แรงดึงสายพานขณะส่งกำลังคือ

$$F = F_1 - F_2 = \frac{W_p}{v} \quad (3.38)$$

แรงหนีศูนย์กลางเนื่องจากน้ำหนักสายพาน

$$F_c = \frac{wAv^2}{g} = mv^2 \quad (3.39)$$

แรงลัพธ์เนื่องจากการหนีศูนย์กลางคือ

$$F_R = 2.z.F_c \sin \frac{\alpha}{2} \quad (3.40)$$

โดยที่  $z$  = จำนวนสายพาน

ดังนั้นแรงดึงขึ้นต้นในสายพานจึงหาได้จากการรวมแรงดึงในแนวแกนขณะส่งกำลัง

กับแรงลัพธ์เนื่องจากแรงหนีศูนย์กลางนั้นคือ

$$F_t = F_w + F_o \quad (3.41)$$

ในทางปฏิบัติมักจะใช้วิธีหาค่าประมาณของแรงดึงในแนวแกนจากสมการ

$$F_w = k_t . F . \sin \frac{\alpha}{2} \quad (4.42)$$

โดยที่  $k_t$  เป็นตัวประกอบการใช้งานซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงาน ซึ่งหาค่าได้จากตารางที่ 3.5 แล้ว ใช้แรงนี้เป็นแรงดึงขึ้นต้น

ตารางที่ 3.5 ตัวประกอบใช้งาน

$k_i$	สภาวะการทำงาน
1.3	งานเบา ทำงานคงที่
1.5	งานปานกลาง
2.0	งานหนัก แรงกระตุก เปิดปิดบ่อยครั้ง

ในกรณีที่ขับโดยมีระยะระหว่างศูนย์กลางคงที่ หรือไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดแรงดึงในสายพาน ตลอดเวลา ก็จำเป็นต้องนำเอาแรงหนีศูนย์กลางมาคิดด้วย จากสมการ

$$F_R = 2 \cdot z \cdot F_c \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$F_R = 2 \cdot z \cdot \frac{wAv^2}{g} \sin \frac{\alpha}{2} \quad (3.43)$$

ซึ่งเขียนใหม่ได้เป็น

$$F_R = zk_2 \cdot v^2 \sin \frac{\alpha}{2} \quad (3.44)$$

ค่า  $k_2$  หาได้จากตารางที่ 3.6 ดังนั้นแรงดึงขั้นต้นในสายพานจึงเท่ากับ

$$F_1 = (k_1 F + zk_2 v^2) \sin \frac{\alpha}{2} \quad (3.45)$$

ตารางที่ 3.6 ค่าตัวประกอบ  $k_2$

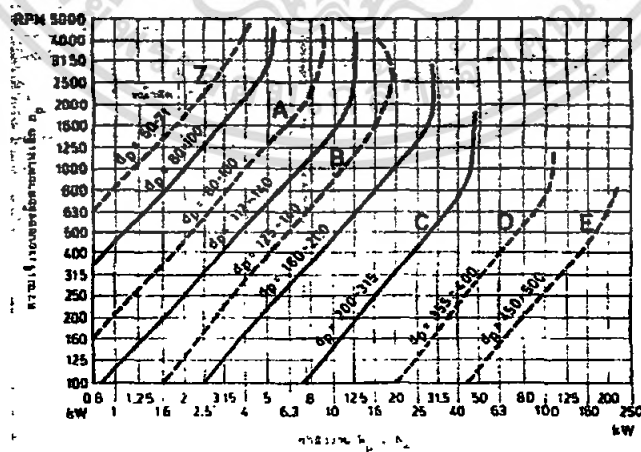
หน้าตัดสายพาน	$k_2$
Y	0.049
Z	0.126
A	0.217
B	0.385
C	0.637
D	1.332

### 3.5.4 การคำนวณหาขนาดของสายพานลิ้ม

การคำนวณทางด้านการส่งกำลัง โดยสายพานลิ้มจะ ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของสายพาน  $d_p$  เป็นพื้นฐาน และในที่นี้จะแสดงวิธีการเลือกขนาดของสายพานลิ้มตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

ในการเลือกขนาดของล้อสายพานขอแนะนำให้เลือกขนาดของล้อสายพานให้โตที่สุดเท่าที่จะทำได้ ขนาดของล้อสายพานไม่ควรเล็กกว่าค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.4 แต่ข้อควรระวังก็คือขณะใช้งานปกติความเร็วของสายพานไม่ควรสูงกว่า 30 m/s

การหาขนาดหน้าตัด โดยประมาณของสายพานลิ้มสำหรับการส่งกำลังอาจทำได้โดยใช้รูปที่ 3.23 แต่กำลังที่ส่งได้จริงของสายพานจะต้องตรวจสอบจากตารางการกำหนดสมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ้ม ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป



รูปที่ 3.23 แผนภูมิที่ใช้ในการเลือกขนาดหน้าตัดของสายพานลิ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกขนาดของสายพานลีมจะแตกต่างกันไปจากสายพานแบบเล็กน้ยคือ การเลือกขนาดของสายพานลีมจะใช้วิธีการคำนวณหาจำนวนเส้นของสายพานลีมที่ต้องการใช้งานจากกำลังที่ต้องการขับ และตัวประกอบที่ใช้แก้ไขต่างๆ จำนวนของสายพานลีมหาได้จากสมการ

$$z = \frac{W_p \cdot N_s}{P_R \cdot N_a \cdot N_1} \quad (3.46)$$

- โดยที่
- $z$  = จำนวนเส้นของสายพานลีม
  - $W_p$  = กำลังที่ต้องการ
  - $N_s$  = ตัวประกอบใช้งาน หาค่าได้จากตารางที่ 3.7
  - $N_a$  = ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส หาค่าได้จากตารางที่ 3.8
  - $N_1$  = ตัวประกอบแก้ไขความยาวของสายพาน
  - $P_R$  = กำลังสายพานลีมหนึ่งลีมส่งได้



ตารางที่ 3.7 ตัวประกอบใช้งาน  $N_s$  สำหรับสายพานลิ้ม

ชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องการขับ	ชนิดของอุปกรณ์ขับ					
	มอเตอร์กระแสสลับ			มอเตอร์กระแสตรง		
	≤10	10-16	>16	≤10	10-16	>16
ตัวประกอบใช้งานนี้พิจารณาเฉพาะ ช่วงเวลาใช้งาน และชนิดของ อุปกรณ์ที่ต้องการขับ แต่ไม่เกี่ยวข้องกับ สถานะการทำงาน ตัวอย่างเช่น การทำงานในสภาวะแวดล้อมเป็น พิเศษ ดังนั้นจึงอาจเพิ่มค่าขึ้นได้อีก เป็นกรณีพิเศษ	มอเตอร์กระแสสลับ : Normal torque , Squirrel cage , Synchronous and Split phase มอเตอร์กระแสตรง : Shunt wound เครื่องยนต์สันดาปภายใน : ที่มี หลอดสูบ ความเร็วรอบสูงกว่า 600 rpm			มอเตอร์กระแสสลับ : High torque , High slip , Repulsion – induction , Single phase , Series wound and Slip ring มอเตอร์กระแสตรง : Series wound และ Compound wound		
	ชั่วโมงทำงานต่อวัน			ชั่วโมงทำงานต่อวัน		
	≤10	10-16	>16	≤10	10-16	>16
<b>งานเบา :</b> เครื่องกวาดของเหลว เครื่องเป่าลม เครื่องอัดลมและเครื่องสูบลมแบบ ไซริงค์ พัดลมที่มีกำลังสูงถึง 7.5 kw. สายพานลำเลียงงานเบา	1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
<b>งานปานกลาง :</b> สายพานลำเลียงทรายหรือเมล็ดพืช เครื่องผสมของขี้เถ้าเหนียว พัดลมที่มี กำลังสูงกว่า 7.5 kw. เครื่องกำเนิด ไฟฟ้าเตาเผา เครื่องชักน้ำ เครื่องมือกด Punches presses – shears เครื่องพิมพ์ Positive displacement rotary pumps เครื่องเขย่า	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
<b>งานหนัก :</b> เครื่องทำอิฐ Bucket elevators exiter เครื่องอัดลมและเครื่องสูบลม ลูกสูบ สายพานลำเลียง Hammer mills paper mill beaters	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส  $N_a$  สำหรับสายพานลิ้ม

$d_p$ (mm)	$M_{(a)}$	ความเร็วรอบของล้อสายพาน $n$ (rpm)										
		400	700	800	950	1200	1450	2000	2400	2850	3200	3600
		สมรรถนะในการส่งกำลังต่อเส้น $P_R$ (kw)										
50	1.00	0.13	0.20	0.22	0.25	0.30	0.35	0.44	0.50	0.56	0.60	0.65
	1.05	0.13	0.21	0.23	0.26	0.31	0.36	0.46	0.52	0.59	0.63	0.68
	1.20	0.14	0.22	0.24	0.28	0.34	0.39	0.49	0.56	0.64	0.69	0.74
	1.50	0.15	0.23	0.26	0.29	0.35	0.41	0.52	0.60	0.68	0.73	0.79
	$\geq 3.00$	0.15	0.24	0.26	0.30	0.36	0.42	0.54	0.62	0.71	0.77	0.83
56	1.00	0.16	0.25	0.28	0.33	0.39	0.45	0.58	0.66	0.75	0.81	0.87
	1.05	0.17	0.26	0.29	0.33	0.40	0.47	0.60	0.68	0.77	0.84	0.90
	1.20	0.17	0.27	0.31	0.35	0.42	0.49	0.63	0.73	0.82	0.89	0.97
	1.50	0.18	0.28	0.32	0.36	0.44	0.51	0.66	0.76	0.86	0.94	1.02
	$\geq 3.00$	0.18	0.29	0.32	0.37	0.45	0.53	0.68	0.78	0.89	0.97	1.05
63	1.00	0.20	0.32	0.35	0.41	0.49	0.57	0.74	0.84	0.96	1.04	1.12
	1.05	0.20	0.32	0.36	0.42	0.50	0.59	0.75	0.87	0.98	1.07	1.16
	1.20	0.21	0.34	0.38	0.43	0.52	0.61	0.79	0.91	1.03	1.12	1.22
	1.50	0.22	0.35	0.39	0.43	0.54	0.63	0.82	0.94	1.07	1.17	1.27
	$\geq 3.00$	0.22	0.35	0.39	0.46	0.55	0.65	0.84	0.97	1.10	1.20	1.31
71	1.00	0.24	0.39	0.43	0.50	0.61	0.71	0.91	1.05	1.19	1.30	1.40
	1.05	0.25	0.39	0.44	0.51	0.62	0.72	0.93	1.07	1.22	1.32	1.43
	1.20	0.25	0.41	0.45	0.52	0.64	0.75	0.97	1.12	1.27	1.38	1.50
	1.50	0.26	0.42	0.47	0.54	0.65	0.77	0.99	1.15	1.31	1.43	1.55
	$\geq 3.00$	0.26	0.42	0.47	0.55	0.67	0.78	1.01	1.17	1.34	1.46	1.58
80	1.00	0.29	0.46	0.52	0.60	0.73	0.85	1.11	1.28	1.45	1.57	1.70
	1.05	0.29	0.47	0.53	0.61	0.74	0.87	1.13	1.30	1.48	1.60	1.73
	1.20	0.30	0.48	0.54	0.63	0.76	0.89	1.16	1.34	1.53	1.66	1.80
	1.50	0.30	0.49	0.55	0.64	0.78	0.91	1.19	1.37	1.57	1.70	1.85
	$\geq 3.00$	0.31	0.50	0.56	0.65	0.79	0.93	1.21	1.40	1.59	1.74	1.88
90	1.00	0.34	0.55	0.62	0.71	0.87	1.02	1.32	1.52	1.73	1.87	2.01
	1.05	0.34	0.56	0.62	0.72	0.88	1.03	1.34	1.54	1.75	1.90	2.05
	1.20	0.35	0.57	0.64	0.74	0.90	1.06	1.37	1.58	1.80	1.95	2.11
	1.50	0.36	0.58	0.65	0.75	0.92	1.08	1.40	1.62	1.84	2.00	2.16
	$\geq 3.00$	0.36	0.59	0.66	0.76	0.93	1.09	1.42	1.64	1.87	2.03	2.20
100	1.00	0.39	0.63	0.71	0.82	1.01	1.18	1.53	1.76	1.99	2.15	2.31
	1.05	0.39	0.64	0.72	0.83	1.02	1.19	1.55	1.78	2.01	2.18	2.34
	1.20	0.40	0.65	0.73	0.85	1.04	1.22	1.58	1.82	2.06	2.23	2.40
	1.50	0.41	0.66	0.74	0.86	1.05	1.24	1.61	1.85	2.10	2.28	2.45
	$\geq 3.00$	0.41	0.67	0.75	0.87	1.07	1.25	1.63	1.88	2.13	2.31	2.49

ตารางที่ 3.8 คิวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส  $N_a$  สำหรับสะพานลิ่ม (ต่อ)

คิวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน  $N_l$

$L_p$	424	449	474	494	524	554	584	624	654	704	734	824
$N_l$	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.99	1.00
$L_p$	924	1024	1144	1274	1424	1624						
$N_l$	1.03	1.06	1.08	1.11	1.14	1.17						

ความยาวพิตซ์ที่มีใช้  $L_p = L_l + 22(mm)$

	375	380	400	425	450	475	500	520	530	560	575	600
	630	670	710	730	750	775	800	820	850	875	900	950
$L_l$	980	1000	1060	1105	1120	1170	1180	1230	1250	1300	1320	140
	1450	1500	1525	1580	1600	1680	1700	1730	1800	1830	1900	200
	2080	2240	2480									

### 3.6 การต่อมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส

มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟสที่นักศึกษาจะได้พบเห็นนั้น มักเป็นแบบอินดักชัน (3 PHASE INDUCTION MOTOR) ซึ่งมีลักษณะดังรูป 3.24



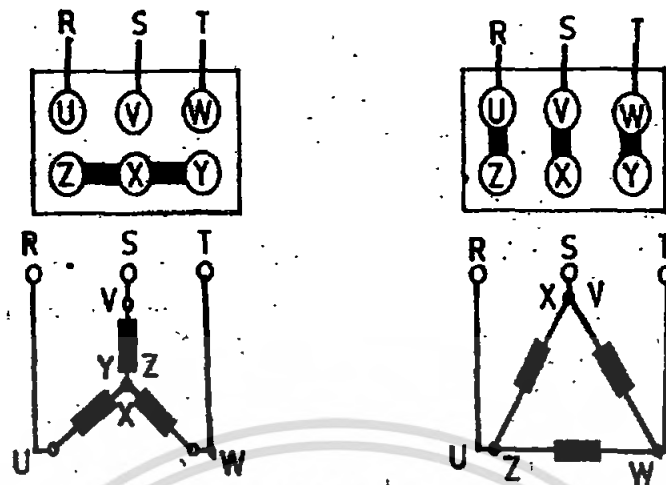
รูปที่ 3.24 แสดงลักษณะภายนอกและขั้วต่อของมอเตอร์ 3 เฟส แบบอินดักชัน

ลักษณะภายใน มอเตอร์แบบ 3 เฟส จะมีขดลวดพันอยู่บนสเตเตอร์ 3 ชุด แต่ละชุดก็ต่อกับไฟแต่ละเฟสจะมีรหัสเรียกชื่อขดลวดดังต่อไปนี้



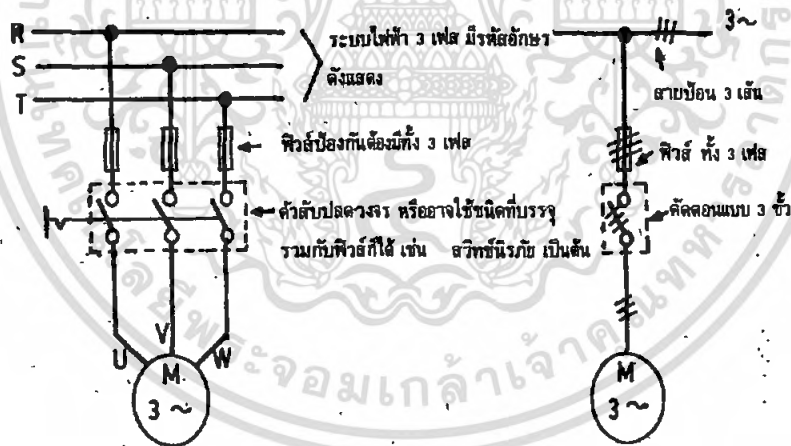
รูปที่ 3.25 แสดงขดลวด 3 เฟส ในตัวมอเตอร์ 3 เฟส แบบอินดักชัน

การต่อมอเตอร์ 3 เฟส ต่อได้ 2 อย่าง คือ แบบสตาร์ (Y) และแบบเดลต้า (Δ) การต่อแบบสตาร์จะนำขั้ว XYZ ต่อรวมกัน และต่อขั้ว U,V,W เข้ากับระบบไฟ 3 เฟส ส่วนการต่อแบบเดลต้า จะนำขั้ว UZ,VX, และ WY ต่อเข้าด้วยกัน และต่อขั้ว U,V,W เข้ากับระบบไฟฟ้า 3 เฟส เช่นกัน ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 แสดงการต่อมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์ (Y) และแบบเดลต้า (Δ)

ในการควบคุมมอเตอร์แบบ 3 เฟสนั้น จะต้องมีอุปกรณ์สับปลดวงจรและอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินเหมือนกับแบบ 1 เฟส จะใช้ตัดคอนอต์โนมิตี, สวิตช์นิรภัย หรือตัวสตาร์ทมอเตอร์แบบ 3 เฟส ก็ได้ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 แสดงวงจรการต่อมอเตอร์ไฟฟ้าแบบ 3 เฟส โดยให้สตาร์ทโดยตรง (Direct on line start )

เนื่องจากระบบแรงดันไฟฟ้าในบ้านเรานั้น มีทั้งแบบ 3 เฟส 4 สาย 380 โวลต์และแบบเฟส 2 สาย 220 โวลต์ และยังมีระบบ 3 เฟส 220 โวลต์ อีกด้วย ดังนั้น มอเตอร์ 3 เฟส แบบอินดักชัน จึงมีความสำคัญมาก ทางด้านการต่อมอเตอร์ เพราะถ้าต่อระบบไฟฟ้าเข้ากับตัวมอเตอร์ผิด ก็อาจทำให้มอเตอร์ตัวนั้นเสียหาย (ขลวดภายในไหม้) ไปในที่สุด วิธีที่ปลอดภัยที่สุดคือ ต้องศึกษาการต่อมอเตอร์และอ่าน NAME PLATE ของมอเตอร์แต่ละตัวแล้วให้ทราบว่า เราต้องใช้ระบบไฟฟ้าแบบใด มีแรงดันไฟฟ้าเท่าไร ขอให้นักศึกษาทำความเข้าใจกับตัวอย่างต่อไปนี้

NAME PLATE ของมอเตอร์ตัวหนึ่ง บอกข้อมูลต่าง ๆ เอาไว้ดังนี้

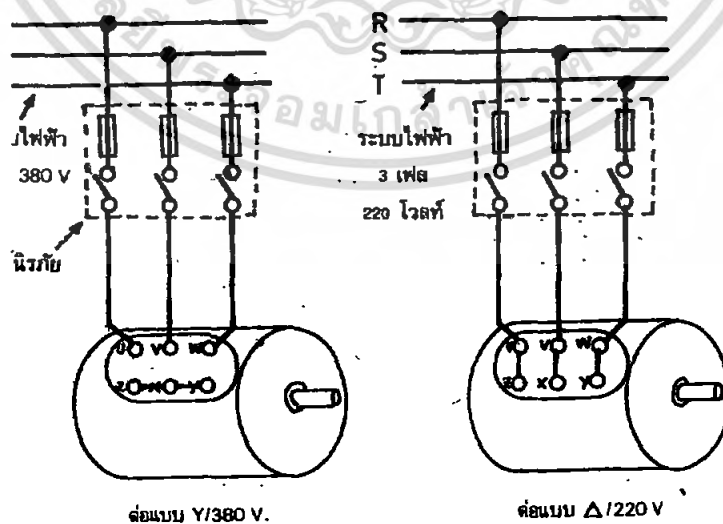
3 PH. INDUCTION MOTOR	
380/220 V	4 KW.
Y/Δ	P.F. 0.81

รูปที่ 3.28 ตัวอย่างการควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบอินดักชัน

ขอให้สังเกตเฉพาะข้อมูลทางแรงดันไฟฟ้าและการต่อมอเตอร์ ได้ว่า 380/220V Y/Δ แสดงว่ามอเตอร์ตัวนี้ต่อได้ 2 วิธี คือ

1. ถ้าต่อแบบ Y จะต้องใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 380 โวลต์ เท่านั้น
2. ถ้าต่อแบบ Δ จะต้องใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 220 โวลต์ เท่านั้น

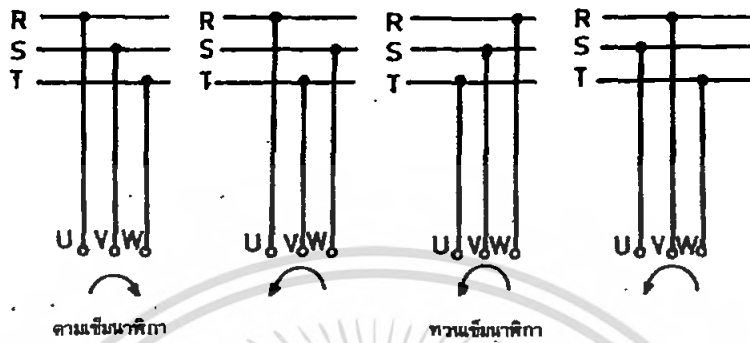
การใช้งานจึงจะสมบูรณ์ คือ ได้กำลังไฟฟ้าและค่าอื่นๆ ตาม NAME PLATE ระบุ และไม่มีความเสี่ยงเกิดขึ้น ดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 แสดงการต่อมอเตอร์ตาม NAME PLATE 380/220 V. ต่อได้ 2วิธี จะเลือกแบบใดก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการต่อแบบนี้ถ้าต่อเฟส R เข้ากับ U เฟส S เข้ากับ V เฟส T เข้ากับ W มอเตอร์จะหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาซึ่งถือว่าเป็นทิศทางปกติ แต่ในกรณีที่ทำการต่อมอเตอร์แล้วหมุนกลับทิศทาง ขอให้ทำการสลับคู่สายหนึ่งดังรูปที่ 3.30

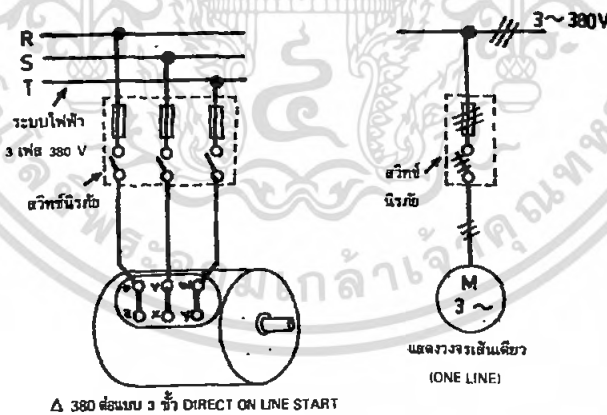


รูปที่ 3.30 แสดงการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบอินดักชั่น

มอเตอร์ 3 เฟสนั้นยังมีอีกชนิดหนึ่งซึ่งเป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่ จะหมุน โดยการต่อแบบ  $\Delta$  เท่านั้น ที่ NAME PLATE จะเขียน ไว้ดังนี้

$\Delta$  380V หรือ 380/660 V  $\Delta$ /Y

ถ้าจะต่อให้หมุนในระบบที่เราเรียกว่า Direct on line start จะต้องต่อมอเตอร์แบบ  $\Delta$  และใช้กับ ไฟฟ้า 3 เฟส 380 โวลต์เท่านั้น ดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 แสดงการต่อมอเตอร์แบบเดลต้า 380 โวลต์ แบบ Direct on line start

ในการต่อมอเตอร์  $\Delta$  380 V นั้น ทัวๆ ไปไม่นิยมต่อแบบ Direct on line start โดยเฉพาะทางด้าน โรงงานอุตสาหกรรม จะต้องมิตัวควบคุมหรือวงจรควบคุมเป็นพิเศษ เพราะค่ากระแสในตอนเริ่มหมุน (Start) มอเตอร์ นั้นจะสูงกว่าค่ากระแสปกติประมาณ 5-7 เท่า จึงต้องมีการลดกระแสในการสตาร์ทมอเตอร์ ซึ่งในมอเตอร์แบบ 3 เฟส มักจะนิยมที่จะเริ่มหมุนมอเตอร์โดยการต่อเป็นแบบ สตาร์ โดยใช้แมกเนติกคอนแทคเตอร์ควบคุม

## บทที่ 4

### การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องบดเกลือ

ในการออกแบบและการสร้างชิ้นส่วนของเครื่องบดเกลือ นั้นสามารถแยกออกเป็นส่วนต่างๆ ได้

ดังนี้คือ

1. ชุดลูกกลิ้งและชุดหินขัด
2. ตัวเครื่องบดเกลือ
3. โครงสร้างฐาน
4. ชุดทางออกของเกลือ
5. ฝาครอบสายพาน

ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้คือ

#### 4.1 ชุดลูกกลิ้งและชุดหินขัด

##### 4.1.1 แบบหล่อซีเมนต์ลูกกลิ้ง

ในการทำชุดลูกกลิ้งและชุดหินขั้้นั้นจะเลือกใช้กรรมวิธีการหล่อซีเมนต์ในการขึ้นรูป ซึ่งต้องจัดทำแบบที่ใช้ในการหล่อซีเมนต์ก่อน โดยจะใช้เหล็กแผ่นเรียบ ที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร มาทำการม้วนให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ใน) เท่ากับ 10 นิ้ว และทำการผ่าออกเป็นสามส่วน นำมาเชื่อมติดกับหน้าแปลนและขาตั้งที่เตรียมไว้ก็จะได้แบบที่ใช้หล่อซีเมนต์ลูกกลิ้ง ดังรูปที่ 4.1

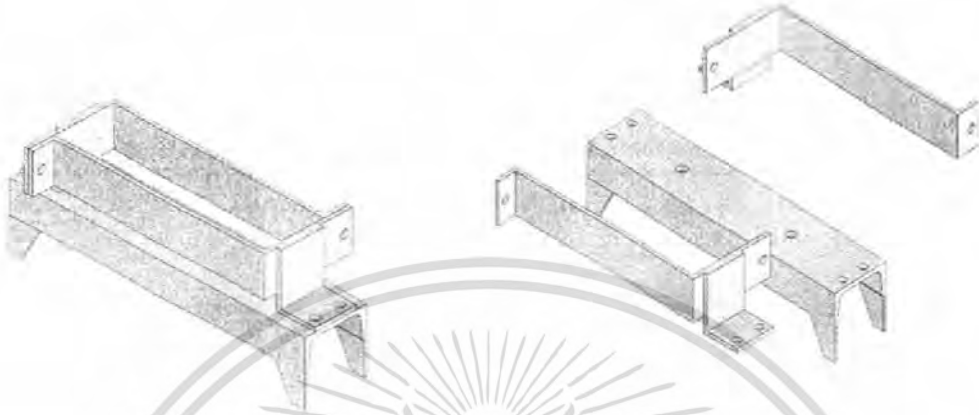


รูปที่ 4.1 แบบหล่อซีเมนต์ลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 แบบหล่อซีเมนต์ชุดหินขัด

ในการทำแบบหล่อชุดหินขะนั้นจะใช้ เหล็ก Channel ขนาด 100 x 50 มิลลิเมตร ทำฐานล่าง และใช้เหล็ก Flat bars ขนาด 38 มิลลิเมตรทำตัวประกอบด้านข้าง ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แบบหล่อซีเมนต์ชุดหินขัด

#### 4.1.3 การหล่อซีเมนต์ลูกกลิ้ง

ในการหล่อซีเมนต์ลูกกลิ้งนั้นนอกจากต้องมีแบบที่ใช้ในการหล่อแล้วนั้นยังจำเป็นต้องมีชุดลูกกลิ้งตัวในที่ทำจากเหล็กท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว มาตัดตามขนาดความยาวที่ต้องการแล้วนำเหล็กลิ้มขนาด 10 x 10 มิลลิเมตรมาเชื่อมติดตามแนวยาวของท่อเพื่อช่วยในการยึดเกาะกับซีเมนต์ และทำการปิดหัวและท้ายด้วยหน้าแปลนที่เตรียมไว้โดยกรรมวิธีการเชื่อมไฟฟ้า

รูปที่ 4.3 ลูกกลิ้งตัวในก่อนหล่อซีเมนต์

หลังจากที่เตรียมชิ้นส่วนต่างๆพร้อมแล้วก็ทำการหล่อซีเมนต์ โดยส่วนประกอบที่ต้องใช้ในการ หล่อซีเมนต์ ได้แก่ (1) ซีเมนต์ขาว (2) กากเพชรที่ความหนาเบอร์ 12 (3) น้ำเกลือ โดยที่มีอัตราส่วนผสมดังนี้คือ กากเพชร : ซีเมนต์ : น้ำเกลือ เท่ากับ 1 : 0.4 : 0.27 สัดส่วนโดยน้ำหนัก ขั้นตอนการหล่อซีเมนต์คือนำแบบที่ใช้หล่อ ซีเมนต์ลูกกลิ้งมาประกอบเข้าด้วยกันและนำเอาชุดของลูกกลิ้งตัวในใส่เข้าไปในแบบหล่อด้วยมือค้ำให้เรียบร้อย เมื่อทำการประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้วขั้นตอนต่อไปคือนำเอาซีเมนต์ที่ผสมตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้มาเทใส่ในช่องว่าง ระหว่างแบบหลอกับลูกกลิ้งตัวในทิ้งไว้ให้ซีเมนต์แข็งตัวแล้วจึงนำออกจากแบบ



รูปที่ 4.4 การประกอบแบบหล่อเข้ากับลูกกลิ้งตัวใน

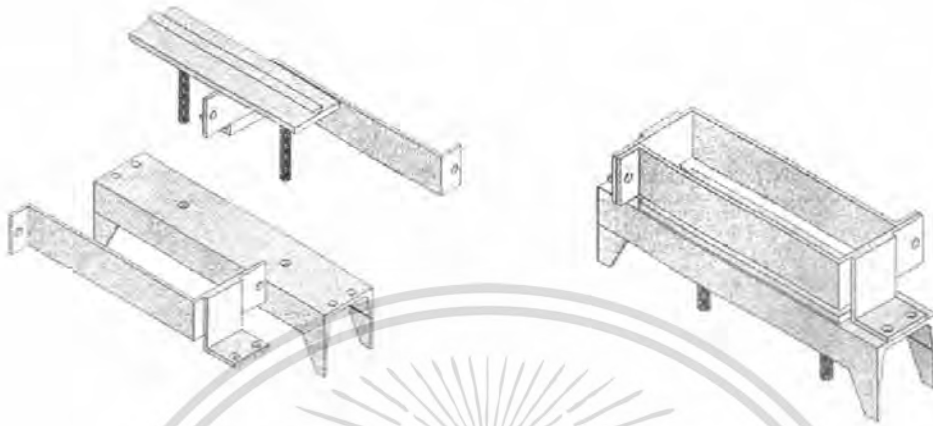
#### 4.1.4 การหล่อซีเมนต์ชุดหินขัด

การหล่อซีเมนต์ชุดหินขัดก็จะทำในลักษณะเดียวกับการหล่อซีเมนต์ลูกกลิ้งคือต้องมีแบบหล่อและ แผ่นเหล็กสำหรับยึดซีเมนต์ โดยจะใช้เหล็ก Plate ขนาดความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตรตัดตามขนาดเชื่อมติดด้วยเหล็ก Flat bars เพื่อใช้ช่วยในการยึดเกาะของซีเมนต์ และนำเอาสติกเก็ลเย็บเชื่อมติดทำมุมเอียงไว้สำหรับการตั้ง ปรับระยะชุดหินขัดกับชุดลูกกลิ้ง



รูปที่ 4.5 เพลทสำหรับหล่อชุดหินขัด

ในการหล่อซีเมนต์ก็จะนำเอาแบบหล่อมาประกอบเข้าด้วยกันกับเพลทและนำเอาซีเมนต์ที่ผสมแล้ว มาเทใส่ รอกจนซีเมนต์แข็งตัวแล้วจึงทำการนำออกจากแบบหล่อ



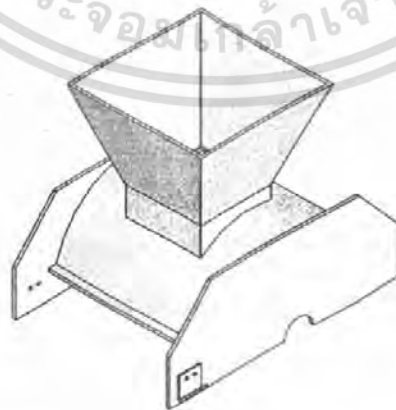
รูปที่ 4.6 การประกอบแบบหล่อชุดหินขัดเข้ากับเพลท

#### 4.2 ตัวเครื่องบดแกลบ

ตัวเครื่องบดแกลบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ฝาปิดบน และฐานล่าง ซึ่งวัสดุหลักที่ใช้คือเหล็กแผ่นเรียบ ที่ความหนา 4 และ 2 มิลลิเมตร โดยคัดตามขนาดและใช้กรรมวิธีการเชื่อมไฟฟ้า ในการขึ้นรูปซึ่งมีรายละเอียดดังนี้คือ

##### 4.2.1 ฝาปิดบน

ในส่วนของฝาปิดบนจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักคือช่องสำหรับเทแกลบใส่ในการบดและลิ้นปรับตั้งระยะการไหลของแกลบ ในการบดแต่ละครั้งอีกทั้งยังได้ทำการติดตั้งตัวช่วยคัดการไหลย้อนกลับของฝุ่นละอองของแกลบในขณะที่ทำการบด

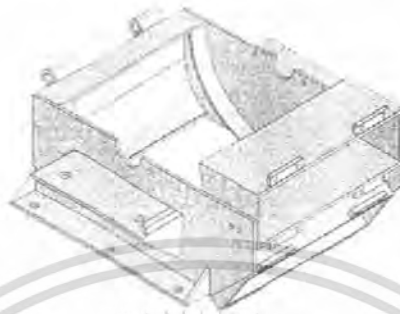


รูปที่ 4.7 ฝาปิดบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 ฐานล่าง

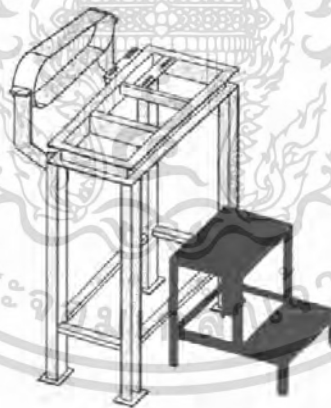
ส่วนของฐานล่างของตัวเครื่องบดกาแฟนี้เป็นส่วนที่ยึดส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน เช่น ฝาปิดบน ชุดแปรงของลูกกลิ้ง ชุดหินขัดและตัวปรับระยะห่างระหว่างชุดหินขัดกับลูกกลิ้ง เป็นต้น ในการสร้างจะใช้เหล็กแผ่นเรียบ ที่ความหนา 4 และ 2 มิลลิเมตร โดยตัดตามขนาดและใช้กรรมวิธีการเชื่อมไฟฟ้าในการขึ้นรูป



รูปที่ 4.8 ฐานล่าง

#### 4.3 โครงสร้างฐาน

โครงสร้างฐานจะเป็นส่วนที่ยึดตัวเครื่องบดกาแฟและชุดทางออกของกาแฟเข้าด้วยกันอีกทั้งยังยึดส่วนต่างๆอีก เช่น มอเตอร์ส่งกำลัง และฝาครอบสายพาน เป็นต้น โครงสร้างฐานประกอบขึ้นด้วยวัสดุเหล็ก C Channel ขนาด 75 x 40 มิลลิเมตร ตัดตามขนาดและทำการเชื่อมขึ้นรูปตามที่ได้กำหนดไว้



รูปที่ 4.9 โครงสร้างฐาน

#### 4.4 ชุดทางออกของแกลบ

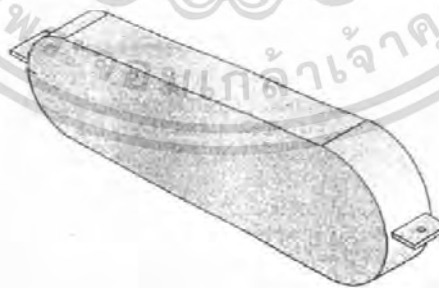
ชุดทางออกของแกลบนั้นประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนของฮอปเปอร์ และส่วนของชุดวาล์วสับเปลี่ยนทิศทางซึ่งชุดทางออกของแกลบนี้จะเป็นส่วนสุดท้ายที่แกลบจะผ่านลงมาและจะถูกบรรจุลงภาชนะที่ได้เตรียมไว้ วัสดุที่ใช้ในการสร้างคือจะใช้เหล็กแผ่นเรียบ ขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร ตัดตามขนาดที่ออกแบบไว้แล้วทำการเจาะรูสำหรับยึดติดกัน โดยที่ชุดของวาล์วสับเปลี่ยนทิศทางนี้สามารถถอดแยกชิ้นส่วนได้ ข้อดีคือสะดวกแก่การซ่อมบำรุงในส่วนของฮอปเปอร์ใช้เหล็กแผ่นเรียบ ขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร ตัดตามขนาดที่ออกแบบไว้แล้วทำการเชื่อมขึ้นรูป



รูปที่ 4.10 ชุดทางออกของแกลบ

#### 4.5 ฝาครอบสายพาน

ฝาครอบสายพานทำจากวัสดุเหล็กแผ่นเรียบที่ขนาดความหนา 2 มิลลิเมตรตัดตามขนาดและเชื่อมขึ้นรูปประ โยชน์ของฝาครอบสายพานคือช่วยป้องกันอันตรายจากสายพานขณะกำลังปฏิบัติงาน



รูปที่ 4.11 ฝาครอบสายพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการดำเนินงาน

ในการจัดทำโครงการปริญญานิพนธ์เรื่องเครื่องบดเกลบ ส่วนนี้จะเป็นส่วนแสดงผลการจัดสร้าง และทดสอบประสิทธิภาพ เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ โดยดำเนินการสร้างและทำการทดสอบ ประสิทธิภาพเครื่องบดเกลบ รวมถึงรายละเอียดต่างๆของเครื่องบดเกลบ เพื่อเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้งานอย่างเหมาะสม

#### 5.1 ผลการดำเนินงานด้านการออกแบบ

ในการออกแบบได้ทำการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องบดเกลบ โดยใช้โปรแกรมการเขียนแบบโซลิดเวิร์ค (Solidworks 2006) ช่วยในการออกแบบ ซึ่งได้ทำการออกแบบตามขนาดและรูปแบบของชิ้นส่วนที่ได้กำหนดไว้ จนสำเร็จ ดังวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้

#### 5.2 ผลการดำเนินงานด้านเครื่องจักร

ได้ดำเนินการสร้างเครื่องบดเกลบตามที่ออกแบบไว้แล้ว จนเสร็จตามวัตถุประสงค์และได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพตามที่ได้ตั้งข้อกำหนดไว้ในขอบเขตปริญญานิพนธ์ คือ จัดสร้างเครื่องบดเกลบขนาด 3 แรงม้า และใช้ใบคั้นเฉพาะเกลบที่แห้งสนิทเท่านั้น ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบดเกลบ โดยใช้ระดับความเร็วรอบ 5 ระดับ คือ

ระดับที่ 1. คือ 1450 รอบ/นาที	ใช้ล้อสายพานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3.0 นิ้ว
ระดับที่ 2. คือ 1242 รอบ/นาที	ใช้ล้อสายพานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3.5 นิ้ว
ระดับที่ 3. คือ 1087 รอบ/นาที	ใช้ล้อสายพานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 4.0 นิ้ว
ระดับที่ 4. คือ 966 รอบ/นาที	ใช้ล้อสายพานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 4.5 นิ้ว
ระดับที่ 5. คือ 870 รอบ/นาที	ใช้ล้อสายพานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 5.0 นิ้ว

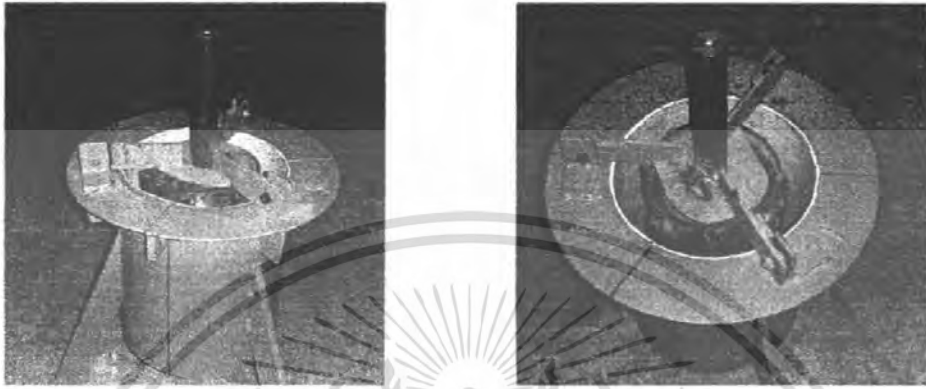
โดยกำหนดปัจจัยคงที่ คือ

1. ล้อสายพานของตัวมอเตอร์ต้นกำลังใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3.0 นิ้ว
2. ขนาดรูตะแกรง (ในที่นี้ใช้ขนาดของรูตะแกรงเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร)
3. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งกับชุดหินขัด
4. ปริมาณเกลบที่ใช้ในการทดสอบแต่ละครั้ง

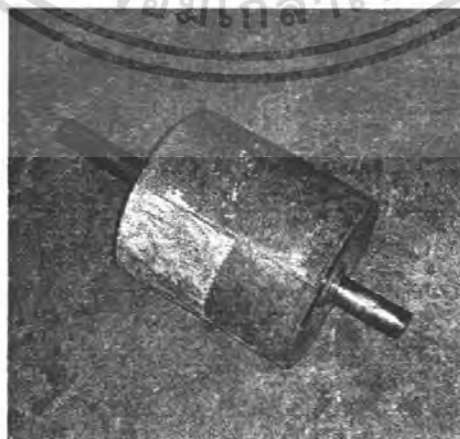
ผลการดำเนินการสร้างเครื่องบดเกลบได้แสดงไว้ในรูปภาพของหัวข้อดังต่อไปนี้

### 5.2.1 การสร้างลูกกลิ้งและชุดหินขัด

หลังจากที่ได้ออกแบบส่วนประกอบต่างๆที่จำเป็นต้องใช้ในการหล่อซีเมนต์แล้วนั้น ก็ทำการหล่อซีเมนต์ตามขั้นตอนที่ได้อธิบายไว้ในบทที่แล้วและเมื่อซีเมนต์แข็งตัวก็ทำการนำออกจากแบบ

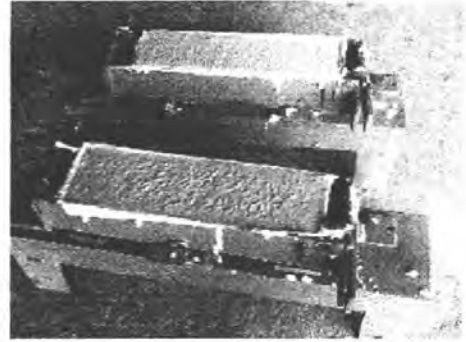
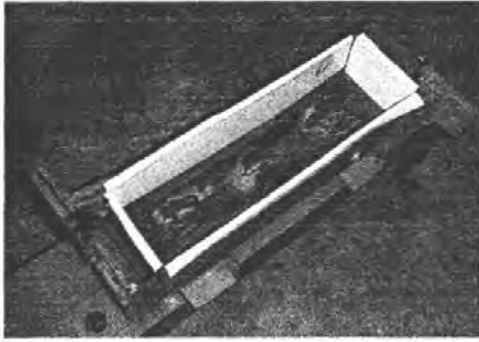


รูปที่ 5.1 การหล่อซีเมนต์ลูกกลิ้ง

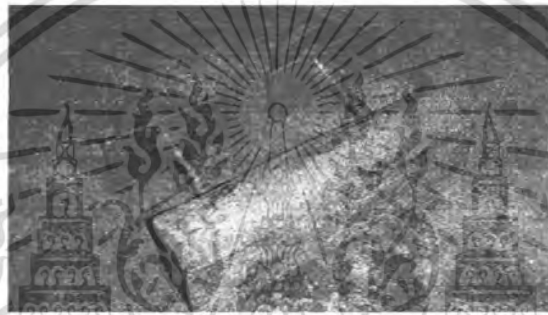


รูปที่ 5.2 ลูกกลิ้งที่ได้จากการหล่อซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



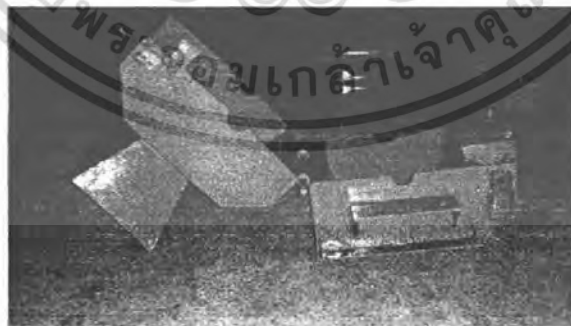
รูปที่ 5.3 การหล่อซีเมนต์ชุดหินขัด



รูปที่ 5.4 ชุดหินขัดที่ได้จากการหล่อซีเมนต์

### 5.2.2 การสร้างตัวเครื่องบดเกลือ

ตัวเครื่องบดเกลือสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ฝาปิดบน และฐานล่าง ซึ่งวัสดุหลักที่ใช้คือเหล็กแผ่นเรียบ ที่ความหนา 4 และ 2 มิลลิเมตร โดยตัดตามขนาดและใช้กรรมวิธีการเชื่อมไฟฟ้าในการขึ้นรูป ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 ตัวเครื่องบดเกลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.3 การสร้างชุดทางออกของแกลบ

ชุดทางออกของแกลบนั้นประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนของสอปเปอร์ และส่วนของชุดควาล์วสับเปลี่ยนทิศทางซึ่งชุดทางออกของแกลบนีจะเป็นส่วนสุดท้ายที่แกลบจะผ่านลงมาและจะถูกบรรจุลงภาชนะที่ได้เตรียมไว้ วัสดุที่ใช้ในการสร้างคือจะใช้เหล็กแผ่นเรียบ ขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร ตัดตามขนาดที่ออกแบบไว้แล้วทำการเจาะรูสำหรับยึดติดกัน โดยที่ชุดของวาล์วสับเปลี่ยนทิศทางนี้สามารถถอดแยกชิ้นส่วนได้ ข้อดีคือสะดวกแก่การซ่อมบำรุงในส่วนของสอปเปอร์ใช้เหล็กแผ่นเรียบ ขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร ตัดตามขนาดที่ออกแบบไว้แล้วทำการเชื่อมขึ้นรูป ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ชุดทางออกของแกลบ

### 5.2.4 การสร้างชุดโครงสร้าง

โครงสร้างฐานจะเป็นส่วนที่ยึดตัวเครื่องบดแกลบและชุดทางออกของแกลบเข้าด้วยกันอีกทั้งยังยึดส่วนต่างๆ อีก เช่น มอเตอร์ส่งกำลัง และฝาครอบสายพาน เป็นต้น โครงสร้างฐานประกอบขึ้นด้วยวัสดุเหล็ก C Channel ขนาด 75 x 40 มิลลิเมตร ตัดตามขนาดและทำการเชื่อมขึ้นรูปตามที่ได้กำหนดไว้ ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 ชุดโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.2.4 การสร้างฝักรอบสายพาน

ฝักรอบสายพานทำจากวัสดุเหล็กแผ่นเรียบที่ขนาดความหนา 2 มิลลิเมตรตัดตามขนาดและเชื่อมขึ้นรูปประโยชน์ของฝักรอบสายพานคือช่วยป้องกันอันตรายจากสายพานขณะกำลังปฏิบัติงาน



รูปที่ 5.9 ฝักรอบสายพานที่สร้างเสร็จแล้ว

#### 5.2.5 การประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน

การประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน คือหลังจากที่ได้ทำชิ้นส่วนต่างๆเสร็จเรียบร้อยแล้วก็จะนำเอาชิ้นส่วนต่างๆ มา ประกอบเข้าด้วยกันดังรูป



รูปที่ 5.10 การประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องบดแกลบ

ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องบดแกลบนั้นจะทำการทดสอบโดยจะกำหนดปัจจัยสำหรับทดสอบตามที่ได้อธิบายมาแล้วในหัวข้อ 5.2 และจะนำค่าที่ทดสอบได้มาบันทึกลงในตารางที่ 5.1

ความเร็วรอบใช้งาน ( $v_{work}$ ) หาได้จาก

$$v_{work} = \frac{v_m \times d_p}{d_i} \quad (5.1)$$

โดยที่

$v_{work}$	=	ความเร็วรอบใช้งาน (รอบ/นาที)
$v_m$	=	ความเร็วของมอเตอร์ต้นกำลัง ให้เท่ากับ (1450 รอบ/นาที)
$d_p$	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อสายพานตัวขับ (นิ้ว)
$d_i$	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อสายพานตัวตาม (นิ้ว)

ความเร็วเชิงเส้นรอบวง ( $v_R$ ) หาได้จาก

$$v_R = \frac{(\pi d_o) \times v_{work}}{60 \text{ sec.}} \quad (5.2)$$

โดยที่

$v_R$	=	ความเร็วเชิงเส้นรอบวง (เมตร/วินาที)
$d_o$	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอกสุดของลูกกลิ้ง (เมตร)

ปริมาณความจุของแกลบหลังบดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จากเดิม = (ปริมาณหลังบด / ปริมาณก่อนบด) x 100%

โดยที่ปริมาณของแกลบต้องเท่ากัน

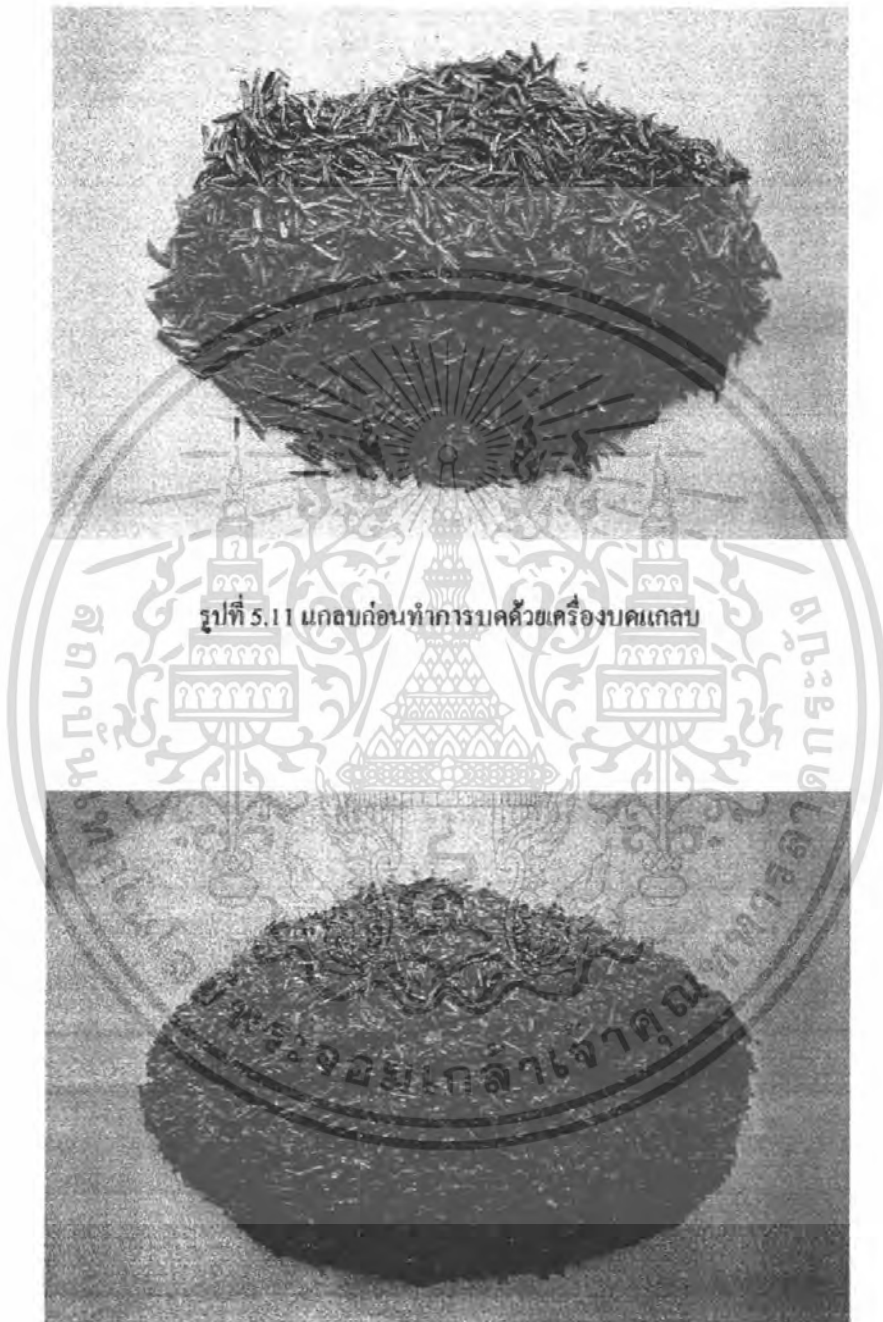
ปริมาณความจุที่ลดลง(เปอร์เซ็นต์) = 100% - ปริมาณความจุของแกลบหลังบดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จากเดิม

Bulk density = ( กิโลกรัม / ปริมาณความจุ(ลูกบาศก์เมตร) )

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องบดแกลบ

ลำดับที่	ขนาดดือ สายพาน ตัวขับ ( $d_p$ ) (๑-นิ้ว)	ขนาดดือ สายพาน ตัวตาม ( $d_t$ ) (๑-นิ้ว)	ความเร็วรอบ ใช้งาน ( $v_{work}$ ) (รอบ/นาที)	ความเร็วเชิง เส้นรอบวง ( $v_R$ ) (เมตร/วินาที)	ปริมาตรความจุ ของแกลบ( $m^3$ ) ที่ปริมาณแกลบ กิโลกรัมก่อนบด	ปริมาตรความจุ ของแกลบ( $m^3$ ) ที่ปริมาณแกลบ กิโลกรัมหลังบด	ปริมาตรความจุ ของแกลบ ที่ปริมาณแกลบ กิโลกรัมหลังบด คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ จากเดิม	ปริมาตรความจุ ของแกลบ ที่ปริมาณแกลบ กิโลกรัมหลังบด ลดลงจากเดิม (เปอร์เซ็นต์)	ค่า Bulk density ก่อนบด (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	ค่า Bulk density หลังบด (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
1	3	3.0	1450	6.14	0.00785	0.00332	42.32	57.78	127.39	301.20
2	3	3.5	1242	5.26	0.00785	0.00342	43.57	56.43	127.39	292.40
3	3	4.0	1087	4.60	0.00785	0.00317	40.38	59.62	127.39	315.46
4	3	4.5	966	4.09	0.00785	0.00312	39.75	60.25	127.39	320.51
5	3	5.0	870	3.68	0.00785	0.00305	38.85	61.15	127.39	327.87

ประสิทธิภาพของเครื่องบดแกลบที่ได้คือสามารถบดแกลบให้มีขนาดเล็กลงกว่าเดิมมากกว่าครึ่งหนึ่งของขนาดแกลบก่อนทำการบด โดยที่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในรูปที่ 5.11 และ รูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 แกลบหลังทำการบดด้วยเครื่องบดแกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

#### 6.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการที่ได้ดำเนินการออกแบบและทำการสร้างเครื่องบดแกลบ ตลอดจนได้ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องบดแกลบแล้วนั้นสามารถสรุปผลในการทดสอบประสิทธิภาพได้ดังนี้คือ ในการทำการทดสอบที่ 5 ระดับความเร็วรอบใช้งานตามวัตถุประสงค์ในขอบเขตปริมาตรนิพนธ์ที่ได้กำหนดไว้ โดยจะทำการวัดปริมาณความจุของแกลบในปริมาณ 1 กิโลกรัมก่อนทำการบดและจะทำการวัดปริมาณความจุของแกลบที่ปริมาณ 1 กิโลกรัมอีกครั้งหลังทำการบดเสร็จแล้วซึ่งหลังจากที่ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องบดแกลบจนครบทั้ง 5 ระดับความเร็วรอบใช้งานที่ได้กำหนดไว้ ผลการทดสอบที่เครื่องบดแกลบสามารถทำได้ดีที่สุดอยู่ที่ระดับความเร็วรอบใช้งานที่ 870 รอบต่อนาที คือ ก่อนทำการบดแกลบนั้นที่น้ำหนักของแกลบ 1 กิโลกรัม จะต้องใช้ปริมาตรในการจัดเก็บเท่ากับ 0.00785 ลูกบาศก์เมตร หรือมีค่า Bulk density เท่ากับ 127.39 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่เมื่อทำการบดแกลบแล้วที่น้ำหนัก ของแกลบ 1 กิโลกรัม จะใช้ปริมาตรในการจัดเก็บเพียง 0.00305 ลูกบาศก์เมตร หรือมีค่า Bulk density เท่ากับ 327.87 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะใช้ปริมาตรในการจัดเก็บเพียง 38.87 เปอร์เซ็นต์ จากเดิมหรือสามารถลดปริมาณในการจัดเก็บลงได้ 61.13 เปอร์เซ็นต์ที่ปริมาณของแกลบเท่าเดิม แต่ค่าที่ทำการทดสอบได้นั้น ยังไม่ถึงว่าเป็นค่าที่ดีที่สุดเพราะในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องบดแกลบนั้นได้ทำการทดสอบเพียงแค่ 5 ระดับความเร็วรอบเท่านั้น อีกทั้งลูกกลิ้งที่ได้ทำการหล่อขึ้นมานั้นยังไม่มี ความกลมในแนวทรงกระบอกเท่าที่ต้องการ ในขณะที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพจึงทำให้สามารถบดแกลบได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาต่อในเรื่องของการทำชุดลูกกลิ้งเพื่อให้เครื่องบดแกลบนี้สามารถใช้งาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

#### 6.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทำเครื่องบดแกลบแบบลูกกลิ้งนี้ มีข้อควรระวังคือ ในขณะที่ทำการหล่อขึ้นแม่พิมพ์ลูกกลิ้งนั้น ควรพยายามควบคุมเรื่องความกลมตามแนวทรงกระบอกของตัวลูกกลิ้ง เพราะจะมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการบดของเครื่องบดแกลบ และควรทำให้ผิวนอกของลูกกลิ้งและชุดหินขัด ให้มีความหยาบก่อนที่จะทำการทดสอบประสิทธิภาพ โดยวิธีการกระแทกผิวหน้าของซีเมนต์ออกเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องบดแกลบ ในการทดสอบและในขณะที่ทำการบดแกลบนั้นจะเกิดฝุ่นละอองที่กระจายควรรใส่อุปกรณ์ช่วยในการป้องกัน

## หนังสืออ้างอิง

1. นภัทร วจันทพันธ์ และ อร่ามศรี อาภาอตุล , ไฟฟ้าเบื้องต้น พิมพ์ครั้งที่ 1 , ศูนย์เสริมอาชีพฯ (ศ.ศ.อ.), กรุงเทพฯ
2. บรรเลง ศรีนิล และ ประเสริฐ ก๊วยสมบุญณ์ , ตารางงานโลหะ , พิมพ์ครั้งที่ 1 , สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , กรุงเทพฯ ฯ
3. มณฑล ใจกุศล, พงษ์ศักดิ์ ชินนาลัย และ วีระชัย ลิ้มพรชัยเจริญ, 2546. กลศาสตร์วิศวกรรม ภาคสถิตยศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทวิฑูรย์พัฒนา จำกัด. กรุงเทพฯ ฯ
4. มนุกิจ พานิชกุล และ อรรถพร เรืองวิเศษ, 2548. แนวคิดและวิธีการออกแบบเครื่องจักรกล. 2000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ ฯ
5. วรวิทย์ อังภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน , การออกแบบเครื่องจักรกล (Machine Design) เล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่ 10. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด. กรุงเทพฯ ฯ
6. สุวรรณ บุญทิพย์ และ ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์ , ไฟฟ้าอุตสาหกรรมเบื้องต้น , พิมพ์ครั้งที่ 10. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ ฯ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก ก

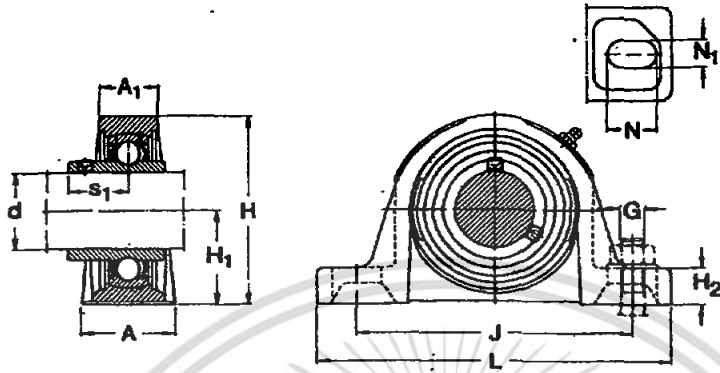
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ขนาดมาตรฐานชุดตลับลูกปืนวายแบบพลัมเมอร์รับล็อกชนิดตัวเสื่อ  
เป็นเหล็กหล่อ และตารางการเลือกสายตัวนำ อุปกรณ์ป้องกันต่างๆ  
สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก 1 ชุดคลัทช์ลูกปืนวายนแบบพลัมเมอร์รับสื่อขนาดตัวสี่เหลี่ยมเป็นเหล็กหล่อ d 12 – 100 มม.



Dimensions														Mass	Designations		
d	A	A <sub>1</sub>	H	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	J	J	L	N	N <sub>1</sub>	G	s <sub>1</sub>		Unit	Housing	Y-bearing	
						min	max							kg			
mm																	
12	32	18	56	30,2	14	88	106	127	20,5	11,5	10	22,1	0,54	SY 12 FM	SY 503 M	YET 203/12	
												15,9	0,52	SY 12 TF	SY 503 M	YAR 203/12-2F	
15	32	18	56	30,2	14	88	106	127	20,5	11,5	10	22,1	0,53	SY 15 FM	SY 503 M	YET 203/15	
												15,9	0,51	SY 15 TF	SY 503 M	YAR 203/15-2F	
17	32	18	56	30,2	14	88	106	127	20,5	11,5	10	22,1	0,52	SY 17 FM	SY 503 M	YET 203	
												23,4	0,54	SY 17 WM	SY 503 M	YEL 203	
												15,9	0,50	SY 17 TF	SY 503 M	YAR 203-2F	
20	32	20	64	33,3	14	88	106	127	20,5	11,5	10	23,5	0,59	SY 20 FM	SY 504 M	YET 204	
												26,6	0,62	SY 20 WM	SY 504 M	YEL 204	
												18,3	0,57	SY 20 TF	SY 504 M	YAR 204-2F	
												20,5	0,57	SY 20 KG	SY 504 M	362004 BTN	
25	36	21	70	36,5	16	94	110	130	19,5	11,5	10	23,5	0,73	SY 25 FM	SY 505 M	YET 205	
												26,9	0,78	SY 25 WM	SY 505 M	YEL 205	
												19,8	0,73	SY 25 TF	SY 505 M	YAR 205-2F	
												20,5	0,72	SY 25 KG	SY 505 M	362005 BTN	
30	40	25	62	42,9	17	108	127	152	23,5	14	12	26,7	1,10	SY 30 FM	SY 506 M	YET 206	
												30,1	1,20	SY 30 WM	SY 506 M	YEL 206	
												22,2	1,10	SY 30 TF	SY 506 M	YAR 206-2F	
												23	1,15	SY 30 KG	SY 506 M	362006 BTN	
35	45	27	93	47,6	19	119	133	160	21	14	12	29,4	1,55	SY 35 FM	SY 507 M	YET 207	
												32,3	1,60	SY 35 WM	SY 507 M	YEL 207	
												25,4	1,45	SY 35 TF	SY 507 M	YAR 207-2F	
												24,5	1,45	SY 35 KG	SY 507 M	362007 B	
40	48	30	99	49,2	19	125	146	175	24,5	14	12	32,7	1,85	SY 40 FM	SY 508 M	YET 208	
												34,9	1,85	SY 40 WM	SY 508 M	YEL 208	
												30,2	1,60	SY 40 TF	SY 508 M	YAR 208-2F	
												27	1,80	SY 40 KG	SY 508 M	362008 B	

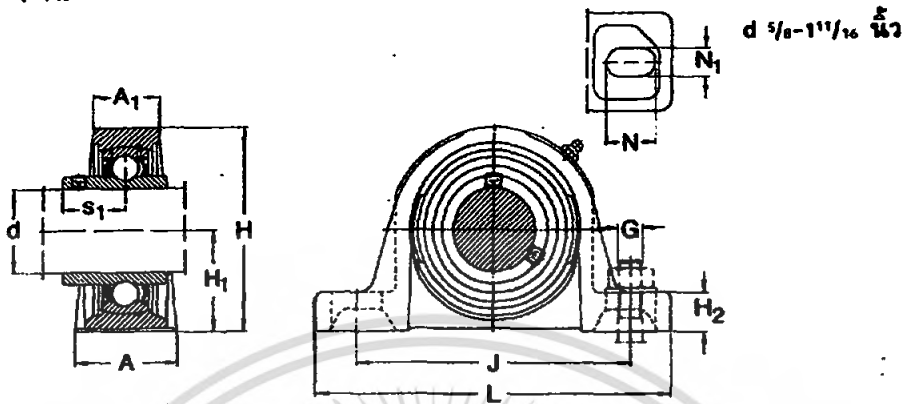
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา ผก 3 อย่างอึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก 1 ชุดคลัทช์ลูกปืนวายนแบบพลัมเมอร์บล็อคอชนิดตัวสี่เป็นเหล็กหล่อ d 12 – 100 มม.(ต่อ)

Dimensions													Mass	Designations	Housing	Y-bearing	
d	A	A <sub>1</sub>	H	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	J min	J max	L	N	N <sub>1</sub>	G	s <sub>1</sub>		Unit <sup>1)</sup>			
mm													kg	-			
45	48	32	107	54	21	135	152	187	22,5	14	12	32,7	2,25	SY 45 FM	SY 509 M	YET 209	
													34,9	2,35	SY 45 WM	SY 509 M	YEL 209
													30,2	2,20	SY 45 TF	SY 509 M	YAR 209-2F
50	54	34	114	57,2	22	149	165	203	26	18	18	32,7	2,75	SY 50 FM	SY 510 M	YET 210	
													38,1	2,90	SY 50 WM	SY 510 M	YEL 210
													32,6	2,70	SY 50 TF	SY 510 M	YAR 210-2F
55	60	35	125	63,5	24	162	181	219	27,5	18	16	36,4	3,65	SY 55 FM	SY 511 M	YET 211	
													43,6	3,90	SY 55 WM	SY 511 M	YEL 211
													33,4	3,60	SY 55 TF	SY 511 M	YAR 211-2F
60	60	42	137	69,9	26,5	179	202	240	29,5	18	16	46,8	4,75	SY 60 WM	SY 512 M	YEL 212	
													39,7	4,45	SY 60 TF	SY 512 M	YAR 212-2F
65	65	44	150	76,2	29	190	218	257	35	22	20	42,9	5,70	SY 65 TF	SY 513 M	YAR 213-2F	
70	65	48	155	79,4	29	202	218	260	30	22	20	44,4	6,40	SYJ 70 TG	SYJ 514	YAJ 214-2F	
80	78	50	175	88,9	30	219	245	290	35	22	20	49,3	9,70	SYJ 80 TG	SYJ 516	YAJ 216-2F	
90	88	54	200	101,6	34	253	271	327	35	26	24	56,3	13,8	SYJ 90 TG	SYJ 518	YAJ 218-2F	
100	95	57	225	115	38	286	330	380	48	26	24	66	19,0	SYJ 100 TG	SYJ 520	YAJ 220-2F	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา **ผก 4** อ่างอ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก 2 ชุดคลีบลูกปืนวายนแบบพลาสมเมอร์บล็อคชนิดตัวลื้อเป็นเหล็กหล่อ  
สำหรับเพลลาที่มีหน่วยเป็นนิ้ว  $d \frac{5}{8} - 1 \frac{11}{16}$  นิ้ว



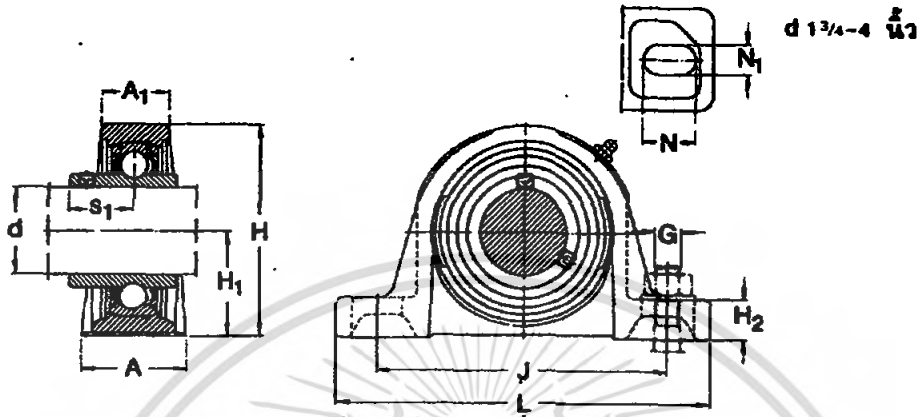
Dimensions													Mass	Designations	Housing	Y-bearing
d	A	A <sub>1</sub>	H	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	J	J	L	N	N <sub>1</sub>	G	s <sub>1</sub>	Unit <sup>(1)</sup>			
in	mm					min	max						kg	-		
5/8	32	18	56	30,2	14	88	106	127	20,5	11,5	10	22,1	0,53	SY 5/8 FM	SY 503 M	YET 203-010
													0,54	SY 5/8 WM	SY 503 M	YEL 203-010
													0,50	SY 5/8 TF	SY 503 M	YAR 203-010-2F
11/16	32	18	56	30,2	14	88	106	127	20,5	11,5	10	22,1	0,52	SY 11/16 FM	SY 503 M	YET 203-011
													0,53	SY 11/16 WM	SY 503 M	YEL 203-011
													0,50	SY 11/16 TF	SY 503 M	YAR 203-011-2F
3/4	32	20	64	33,3	14	88	106	127	20,5	11,5	10	23,5	0,60	SY 3/4 FM	SY 504 M	YET 204-012
													0,63	SY 3/4 WM	SY 504 M	YEL 204-012
													0,57	SY 3/4 TF	SY 504 M	YAR 204-012-2F
13/16	36	21	70	36,5	16	94	110	130	19,5	11,5	10	23,5	0,77	SY 13/16 FM	SY 505 M	YET 205-013
													0,83	SY 13/16 WM	SY 505 M	YEL 205-013
													0,76	SY 13/16 TF	SY 505 M	YAR 205-013-2F
7/8	36	21	70	36,5	16	94	110	130	19,5	11,5	10	23,5	0,76	SY 7/8 FM	SY 505 M	YET 205-014
													0,81	SY 7/8 WM	SY 505 M	YEL 205-014
													0,75	SY 7/8 TF	SY 505 M	YAR 205-014-2F
15/16	36	21	70	36,5	16	94	110	130	19,5	11,5	10	23,5	0,75	SY 15/16 FM	SY 505 M	YET 205-015
													0,79	SY 15/16 WM	SY 505 M	YEL 205-015
													0,73	SY 15/16 TF	SY 505 M	YAR 205-015-2F
1	36	21	70	36,5	18	94	110	130	19,5	11,5	10	23,5	0,73	SY 1. FM	SY 505 M	YET 205-100
													0,77	SY 1. WM	SY 505 M	YEL 205-100
													0,72	SY 1. TF	SY 505 M	YAR 205-100-2F
1 1/8	40	25	82	42,9	17	108	127	152	23,5	14	12	26,7	1,15	SY 1.1/8 FM	SY 506 M	YET 206-102
													1,20	SY 1.1/8 WM	SY 506 M	YEL 206-102
													1,10	SY 1.1/8 TF	SY 506 M	YAR 206-102-2F
1 3/16	40	25	82	42,9	17	108	127	152	23,5	14	12	26,7	1,10	SY 1.3/16 FM	SY 506 M	YET 206-103
													1,20	SY 1.3/16 WM	SY 506 M	YEL 206-103
													1,10	SY 1.3/16 TF	SY 506 M	YAR 206-103-2F

ตาราง ก 2 ชุดดัดลูกปืนวาลแบบพลิเมอรับสื่อชนิดคัมสือเป็นเหล็กหล่อ  
สำหรับเพลที่มีหน่วยเป็นนิ้ว d 5/8 - 1<sup>11/16</sup> นิ้ว (ต่อ)

Dimensions													Mass	Designations	Housing	Y-bearing
d	A	A <sub>1</sub>	H	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	J <sub>min</sub>	J <sub>max</sub>	L	N	N <sub>1</sub>	G	s <sub>1</sub>		Unit <sup>1)</sup>		
in	mm												kg	-		
1 1/4	40	25	82	42.9	17	108	127	152	23.5	14	12	26.7	1.10	SY 1.1/4 AFM	SY 506 M	YET 206-104
													1.15	SY 1.1/4 AWM	SY 506 M	YEL 206-104
													1.05	SY 1.1/4 ATF	SY 506 M	YAR 206-104-2F
45	27	93	47.6	19	119	133	160	21	14	12	29.4	1.60	SY 1.1/4 FM	SY 507 M	YET 207-104	
												1.70	SY 1.1/4 WM	SY 507 M	YEL 207-104	
												1.50	SY 1.1/4 TF	SY 507 M	YAR 207-104-2F	
1 5/16	45	27	93	47.6	19	119	133	160	21	14	12	29.4	1.55	SY 1.5/16 FM	SY 507 M	YET 207-105
													1.65	SY 1.5/16 WM	SY 507 M	YEL 207-105
													1.50	SY 1.5/16 TF	SY 507 M	YAR 207-105-2F
1 3/8	45	27	93	47.6	19	119	133	160	21	14	12	29.4	1.55	SY 1.3/8 FM	SY 507 M	YET 207-106
													1.60	SY 1.3/8 WM	SY 507 M	YEL 207-106
													1.45	SY 1.3/8 TF	SY 507 M	YAR 207-106-2F
1 7/16	45	27	93	47.6	19	119	133	160	21	14	12	29.4	1.50	SY 1.7/16 FM	SY 507 M	YET 207-107
													1.60	SY 1.7/16 WM	SY 507 M	YEL 207-107
													1.45	SY 1.7/16 TF	SY 507 M	YAR 207-107-2F
1 1/2	48	30	99	49.2	19	125	146	175	24.5	14	12	32.7	1.90	SY 1.1/2 FM	SY 508 M	YET 208-108
													2.00	SY 1.1/2 WM	SY 508 M	YEL 208-108
													1.85	SY 1.1/2 TF	SY 508 M	YAR 208-108-2F
1 9/16	48	30	99	49.2	19	125	146	175	24.5	14	12	32.7	1.85	SY 1.9/16 FM	SY 508 M	YET 208-109
													1.95	SY 1.9/16 WM	SY 508 M	YEL 208-109
													1.80	SY 1.9/16 TF	SY 508 M	YAR 208-109-2F
1 5/8	48	32	107	54	21	135	152	187	22.5	14	12	32.7	2.35	SY 1.5/8 FM	SY 509 M	YET 209-110
													2.45	SY 1.5/8 WM	SY 509 M	YEL 209-110
													2.30	SY 1.5/8 TF	SY 509 M	YAR 209-110-2F
1 11/16	48	32	107	54	21	135	152	187	22.5	14	12	32.7	2.30	SY 1.11/16 FM	SY 509 M	YET 209-111
													2.40	SY 1.11/16 WM	SY 509 M	YEL 209-111
													2.30	SY 1.11/16 TF	SY 509 M	YAR 209-111-2F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรืออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก 3 ชุดคลีบลูกปืนวายนแบบทลัมเมอร์บีลือชนิดตัวเสื้อเป็นเหล็กหล่อ  
สำหรับเพลงที่มีหน่วยเป็นนิ้ว d 5/8 - 1 11/16 นิ้ว



Dimensions													Mass Designations			
d	A	A <sub>1</sub>	H	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	J	J	L	N	N <sub>1</sub>	G	s <sub>1</sub>	Unit <sup>1)</sup>	Housing	Y-bearing	
in	mm					min	max						kg			
1 3/4	48	32	107	54	21	135	152	187	22.5	.14	12	32.7	2.30	SY 1.3/4 FM	SY 509 M	YET 209-112
												34.8	2.40	SY 1.3/4 WM	SY 509 M	YEL 209-112
												30.2	2.25	SY 1.3/4 TF	SY 509 M	YAR 209-112-2F
1 7/8	54	34	114	57.2	22	149	165	203	26	.18	16	32.7	2.80	SY 1.7/8 FM	SY 510 M	YET 210-114
												38.1	3.00	SY 1.7/8 WM	SY 510 M	YEL 210-114
												32.8	2.75	SY 1.7/8 TF	SY 510 M	YAR 210-114-2F
1 15/16	54	34	114	57.2	22	149	165	203	26	.18	16	32.7	2.75	SY 1.15/16 FM	SY 510 M	YET 210-115
												38.1	2.90	SY 1.15/16 WM	SY 510 M	YEL 210-115
												32.6	2.80	SY 1.15/16 TF	SY 510 M	YAR 210-115-2F
2	60	35	125	63.5	24	162	181	219	27.5	.18	16	38.4	3.75	SY 2. FM	SY 511 M	YET 211-200
												43.6	4.05	SY 2. WM	SY 511 M	YEL 211-200
												33.4	3.75	SY 2. TF	SY 511 M	YAR 211-200-2F
2 1/16	60	35	125	63.5	24	162	181	219	27.5	.18	16	38.4	3.60	SY 2.3/16 FM	SY 511 M	YET 211-203
												43.6	3.85	SY 2.3/16 WM	SY 511 M	YEL 211-203
												33.4	3.55	SY 2.3/16 TF	SY 511 M	YAR 211-203-2F
2 1/4	60	42	137	69.9	26.5	179	202	240	29.5	.18	16	46.8	5.10	SY 2.1/4 WM	SY 512 M	YEL 212-204
												39.7	4.65	SY 2.1/4 TF	SY 512 M	YAR 212-204-2F
2 7/16	60	42	137	69.9	26.5	179	202	240	29.5	.18	16	46.8	4.85	SY 2.7/16 WM	SY 512 M	YEL 212-207
												39.7	4.45	SY 2.7/16 TF	SY 512 M	YAR 212-207-2F
2 1/2	65	44	150	76.2	29	190	216	257	35	.22	20	42.9	4.80	SY 2.1/2 TF	SY 513 M	YAR 213-208-2F
3	78	50	175	88.9	30	219	245	290	35	.22	20	49.3	9.70	SYJ 3. TG	SYJ 518	YAJ 216-300-2F
3 1/2	88	54	200	101.6	34	253	271	327	35	.26	24	56.3	13.8	SYJ 3.1/2 TG	SYJ 518	YAJ 216-308-2F
3 15/16	95	57	225	115	38	286	330	380	48	.26	24	66	19.5	SYJ 3.15/16 TG	SYJ 520	YAJ 220-315-2F
4	95	57	225	115	38	286	330	380	48	.26	24	66	19.0	SYJ 4. TG	SYJ 520	YAJ 220-400-2F

ตาราง ก 4 การเลือกสายตัวนำ และอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ  
3 เฟส 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์

ขนาดมอเตอร์		กระแส มอเตอร์ขณะ รับโหลด เต็ม (A)	ขนาดเครื่อง ปลดวงจร A	เครื่องป้องกันวงจรย่อย		ชนิดและขนาดของ ตัวนำเดินในท่อ		ขนาดการ ปรับตั้ง รีเลย์โหลด เกิน (A)
กิโลวัตต์ KW	แรงม้า HP			ขนาดฟิวส์ ทางานไว A	ขนาดคัทคอน สวิตช์ A	TW mm <sup>2</sup>	TWV mm <sup>2</sup>	
0.06	0.08	0.5	30	15	15	2.5	2.5	0.4 - 0.6
0.09	0.12	0.7	30	15	15	2.5	2.5	0.65 - 0.8
0.12	0.17	0.8	30	15	15	2.5	2.5	0.8 - 1.2
0.18	0.25	1.2	30	15	15	2.5	2.5	1.2 - 1.8
0.25	0.33	1.5	30	15	15	2.5	2.5	1.2 - 1.8
0.37	0.5	2.1	30	15	15	2.5	2.5	1.8 - 2.7
0.55	0.75	2.7	30	15	15	2.5	2.5	2.7 - 4
0.75	1	3.5	30	15	15	2.5	2.5	2.7 - 4
1.1	1.5	4.5	30	15	15	2.5	2.5	4 - 6
1.5	2	6.1	30	15	15	2.5	2.5	5.5 - 8
2.2	3	8.7	30	20	20	2.5	2.5	8 - 12
3	4	11.5	30	30	25	4	2.5	8 - 12
3.7	5	14.5	30	35	30	4	4	11 - 16.5
4	5.5	15	30	40	30	4	4	11 - 16.5
5.5	7.5	20	30	50	40	6	6	15 - 23
7.5	10	26.5	60	70	60	10	10	21 - 32
11	15	39	60	100	80	16	15	30 - 46
15	20	52	100	150	80	35	25	42 - 63
18.5	25	62	100	175	100	35	25	65 - 80
22	30	75	100	200	125	50	35	80 - 120
30	40	100	200	250	175	95	50	80 - 120
37	50	124	200	350	200	120	70	120 - 180
45	60	148	200	400	250	150	95	100 - 200
55	75	182	400	500	300	240	150	100 - 200
75	100	245	400	600	400		300	200 - 400
90	125	295	400	800	450		400	200 - 400
110	150	350	600	1,000	500		2-240	200 - 400
132	180	420	600	1,200	600		2-300	310 - 500
160	220	510	800	1,600	800		2-500	450 - 720
200	270	710	1,000	2,000	1,200		3-500	450 - 720

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก 5 การเลือกสายตัวนำและอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ  
3 เฟส 380 โวลท์ 50 เฮิรตซ์

ขนาดมอเตอร์		กระแส มอเตอร์ ขนาดรับ โหลดเต็มที่ (A)	ขนาดของ เครื่อง ปลด วงจร (A)	เครื่องป้องกัน วงจรรย่อย		ชนิดและขนาดของ สายตัวนำในท่อโลหะ		ขนาดการ ปรับตัว รีเลย์โหลด เกิน (A)
KW	HP			ขนาดฟิวส์ ทำงานไว (A)	ขนาดของ ตัดคอน อักโม่ติ (A)	TW (mm <sup>2</sup> )	THW (mm <sup>2</sup> )	
0.08	0.08	0.3	30	15	15	2.5	2.5	0.27 ~ 0.4
0.09	0.12	0.4	30	15	15	2.5	2.5	0.4 ~ 0.6
0.12	0.17	0.5	30	15	15	2.5	2.5	0.4 ~ 0.6
0.18	0.25	0.7	30	15	15	2.5	2.5	0.55 ~ 0.8
0.25	0.33	0.85	30	15	15	2.5	2.5	0.8 ~ 1.2
0.37	0.5	1.2	30	15	15	2.5	2.5	1.2 ~ 1.8
0.55	0.75	1.6	30	15	15	2.5	2.5	1.2 ~ 1.8
0.75	1	2.0	30	15	15	2.5	2.5	1.8 ~ 2.7
1.1	1.5	2.7	30	15	15	2.5	2.5	2.7 ~ 4
1.5	2	3.6	30	15	15	2.5	2.5	2.7 ~ 4
2.2	3	5.1	30	15	15	2.5	2.5	4 ~ 6
3	4	6.8	30	20	15	2.5	2.5	6.5 ~ 8
3.7	5	8.5	30	25	20	2.5	2.5	8 ~ 12
4	5.5	8.8	30	25	20	2.5	2.5	8 ~ 12
5.5	7.5	11.8	30	30	25	4	2.5	11 ~ 16.5
7.5	10	16	30	40	30	6	4	15 ~ 23
11	15	22	30	60	45	10	6	21 ~ 32
15	20	30	60	80	60	16	10	21 ~ 32
18.5	25	37	60	100	70	16	16	30 ~ 46
22	30	43	80	100	80	25	16	30 ~ 46
30	40	57	100	150	90	35	23	42 ~ 63
37	50	72	100	200	125	50	35	55 ~ 80
45	60	86	200	225	150	70	50	80 ~ 120
55	75	105	200	300	175	95	70	80 ~ 120
75	100	140	200	350	250	150	95	120 ~ 180
90	125	168	200	450	250	185	120	100 ~ 200
110	150	205	400	500	300	300	185	200 ~ 400
132	180	245	400	600	400		300	200 ~ 400
160	220	290	400	800	450		400	200 ~ 400
200	270	360	600	1,000	500		2 - 240	310 ~ 500
250	340	475	600	1,200	700		2 - 400	450 ~ 720

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา ผก 9 อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา **ศษ ๑** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



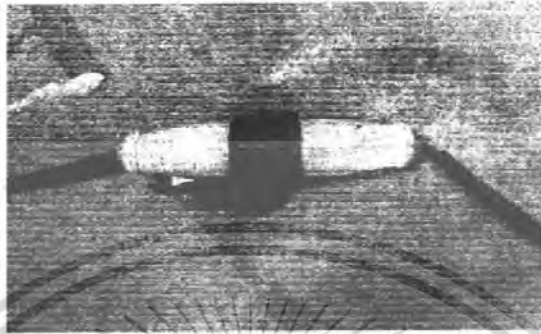
## ขั้นตอนการทดสอบเครื่องบดกาแฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา **ผข 2** อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนการทดสอบเครื่องบดกาแฟ

1. ตรวจสอบเครื่องบดกาแฟให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน เพื่อความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงาน

1.1 ต่อไฟเข้ากับระบบ



รูปที่ 1 การต่อไฟเข้ากับระบบ

1.2 เปิดระบบไฟให้กับชุดควบคุมการทำงานของเครื่องบดกาแฟ โดย โยกสวิตช์หลัก(แกนสีดำ)ให้อยู่ตำแหน่ง ON.



รูปที่ 2 การเปิดระบบไฟ

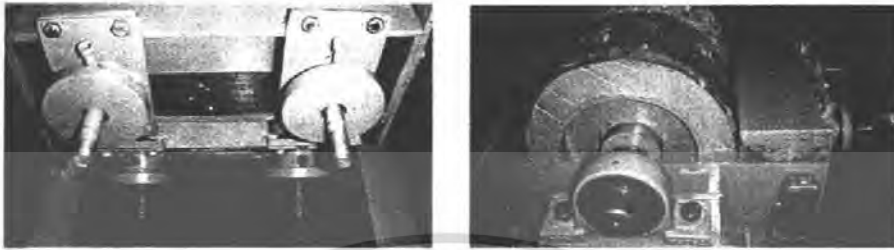
1.3 หลอดไฟสีส้มจะสว่างขึ้นแสดงว่าไฟได้เข้าระบบชุดควบคุมแล้ว



รูปที่ 3 หลอดไฟสีส้มสว่างขึ้นแสดงความพร้อมของชุดควบคุมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา ผสม ร้อง อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ปรับตั้งชุดหินขัดให้อยู่ในระยะที่ต้องการทั้ง 2 ตำแหน่งโดยตรวจดูให้แน่ใจก่อนว่าไม่เกิดการเสียดสีระหว่างชุดหินขัดกับลูกกลิ้ง



รูปที่ 4 การปรับตั้งชุดหินขัด

1.5 ทำการเดินเครื่องมอเตอร์โดยกดสวิทช์ควบคุม(สีเขียว) ไฟสีขาวจะสว่างขึ้น



รูปที่ 5 กดสวิทช์ควบคุม(สีเขียว)เพื่อเดินเครื่องมอเตอร์

1.6 ตรวจสอบดูว่าขณะทำการเดินเครื่องบดเกลบนั้นมีอาการผิดปกติของเครื่องบดเกลบหรือการเสียดสีของชุดหินขัดกับลูกกลิ้งหรือไม่ หากไม่มีสิ่งผิดปกติก็ทำการเริ่มบดเกลบได้เลย

## 2. ขั้นตอนการบดเกลบ

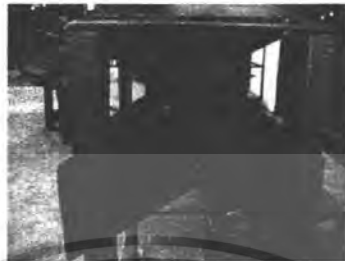
2.1 เปิดลิ้นควบคุมอัตราการไหลของเกลบที่ช่องทางเทเกลบในระยะห่างที่พอเหมาะ



รูปที่ 6 เปิดลิ้นควบคุมอัตราการไหลของเกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา **เลข 4** อ้ออ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ปรับวาล์วที่ช่องทางออกของแกลบในทิศทางที่ต้องการ (ซ้าย - ขวา)



รูปที่ 7 ปรับวาล์วที่ช่องทางออกของแกลบ

## 2.3 เทแกลบลงในช่องสำหรับเทแกลบเพื่อบด



รูปที่ 8 ใส่แกลบลงในช่องทางเข้า

## 2.4 แกลบที่บดเสร็จแล้วจะถูกบรรจุลงภาชนะที่เตรียมไว้



รูปที่ 9 แกลบที่บดเสร็จแล้วจะถูกบรรจุลงภาชนะที่เตรียมไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 หยุดการทำงานของมอเตอร์โดยกดสวิทช์ควบคุม(สีแดง)



รูปที่ 10 กดสวิทช์ควบคุม(สีแดง)เพื่อหยุดการทำงานของมอเตอร์

2.6 คัดไฟออกจากระบบโดยโยกสวิทช์(แกนสีดำ)ให้อยู่ในตำแหน่ง OFF:



รูปที่ 11 การคัดไฟออกจากระบบควบคุม

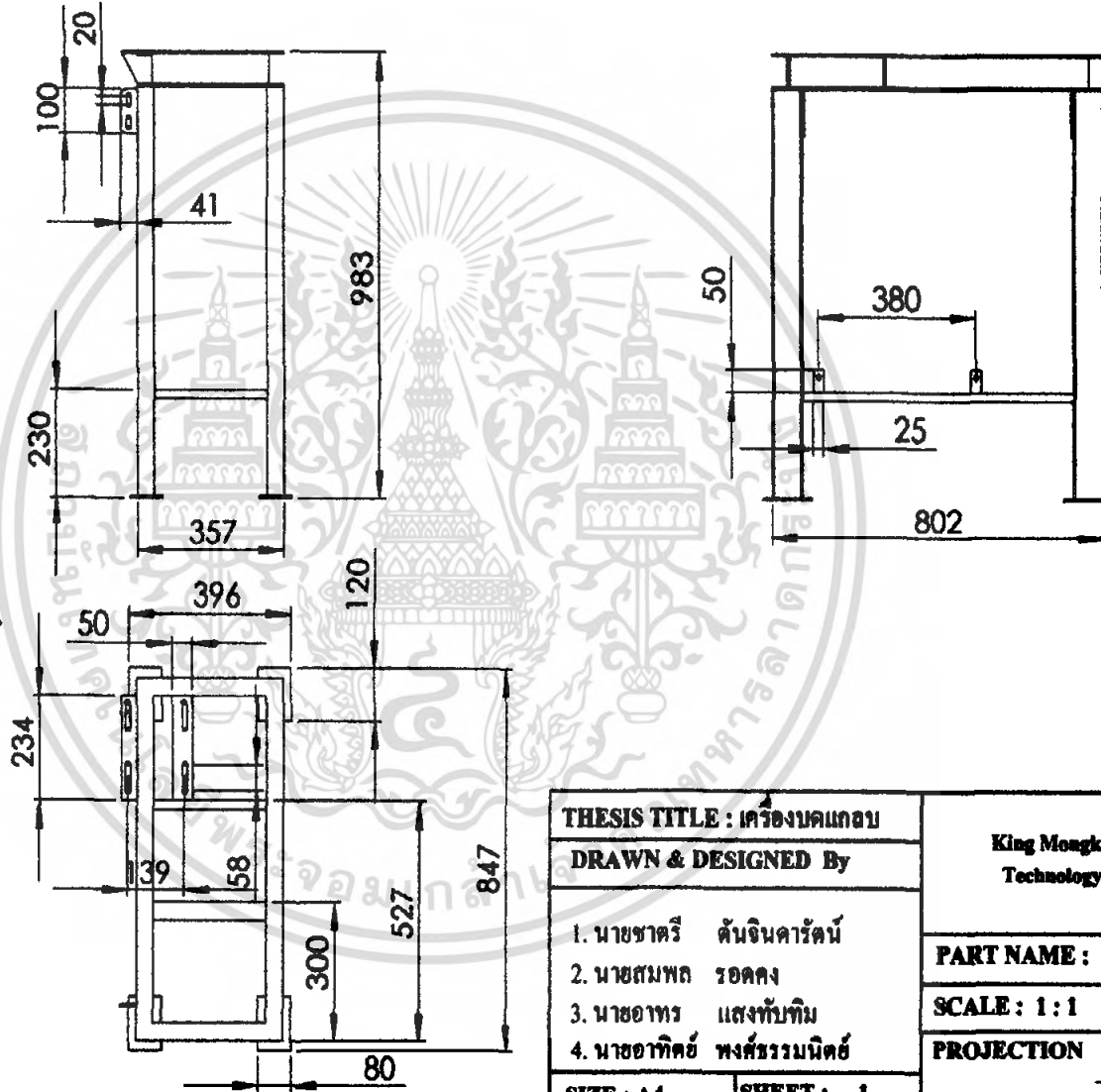
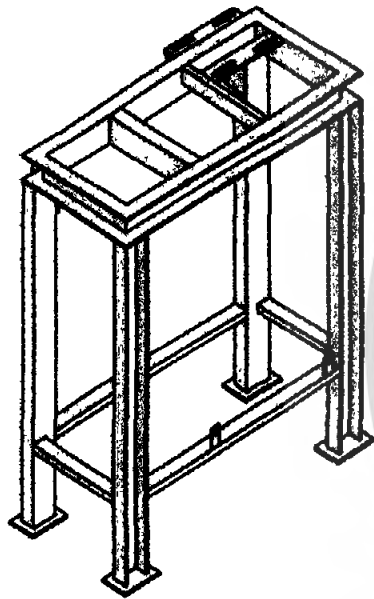
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **ผศ.6** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



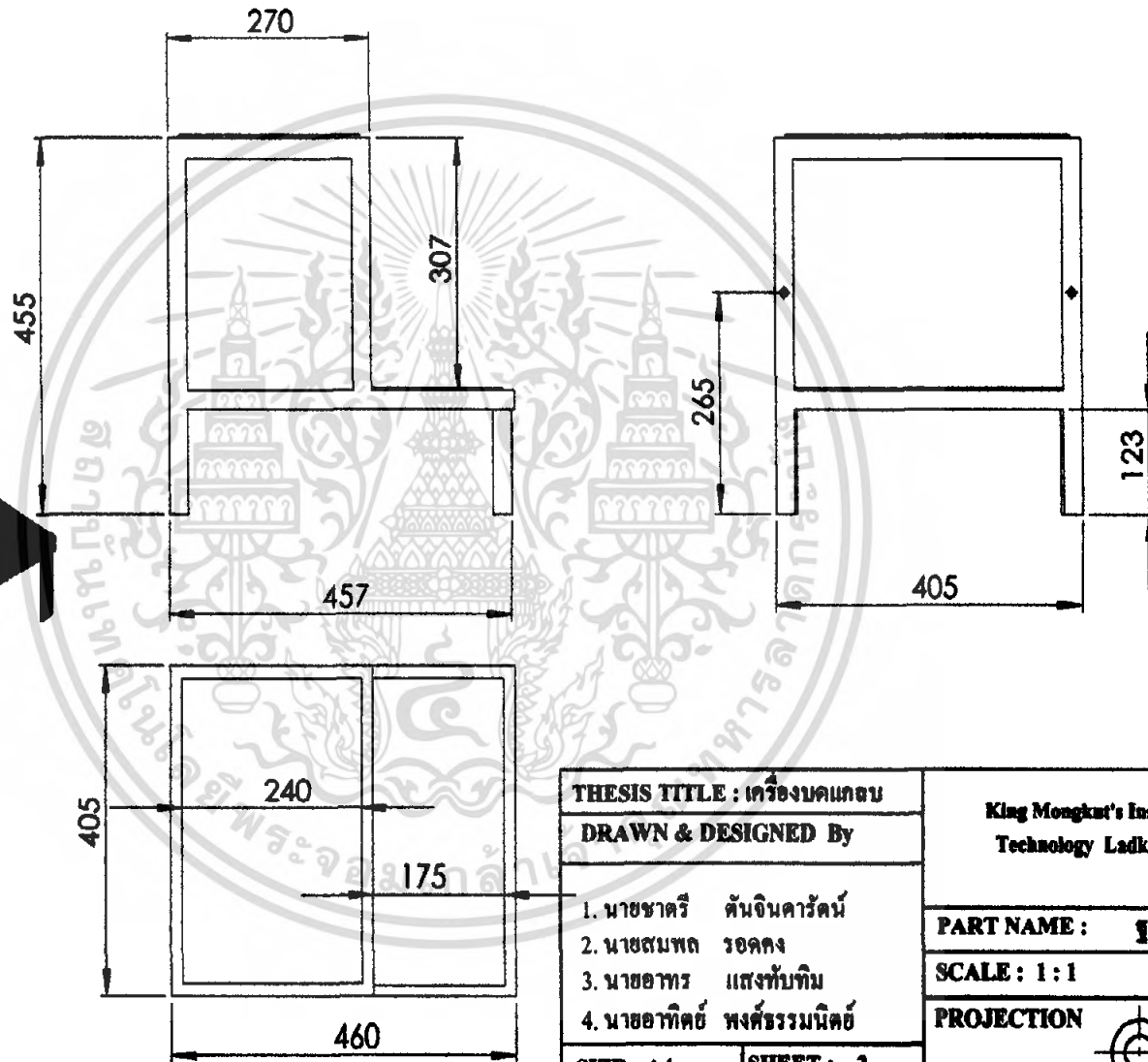
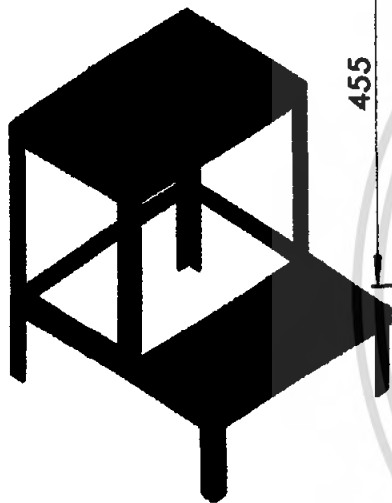
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

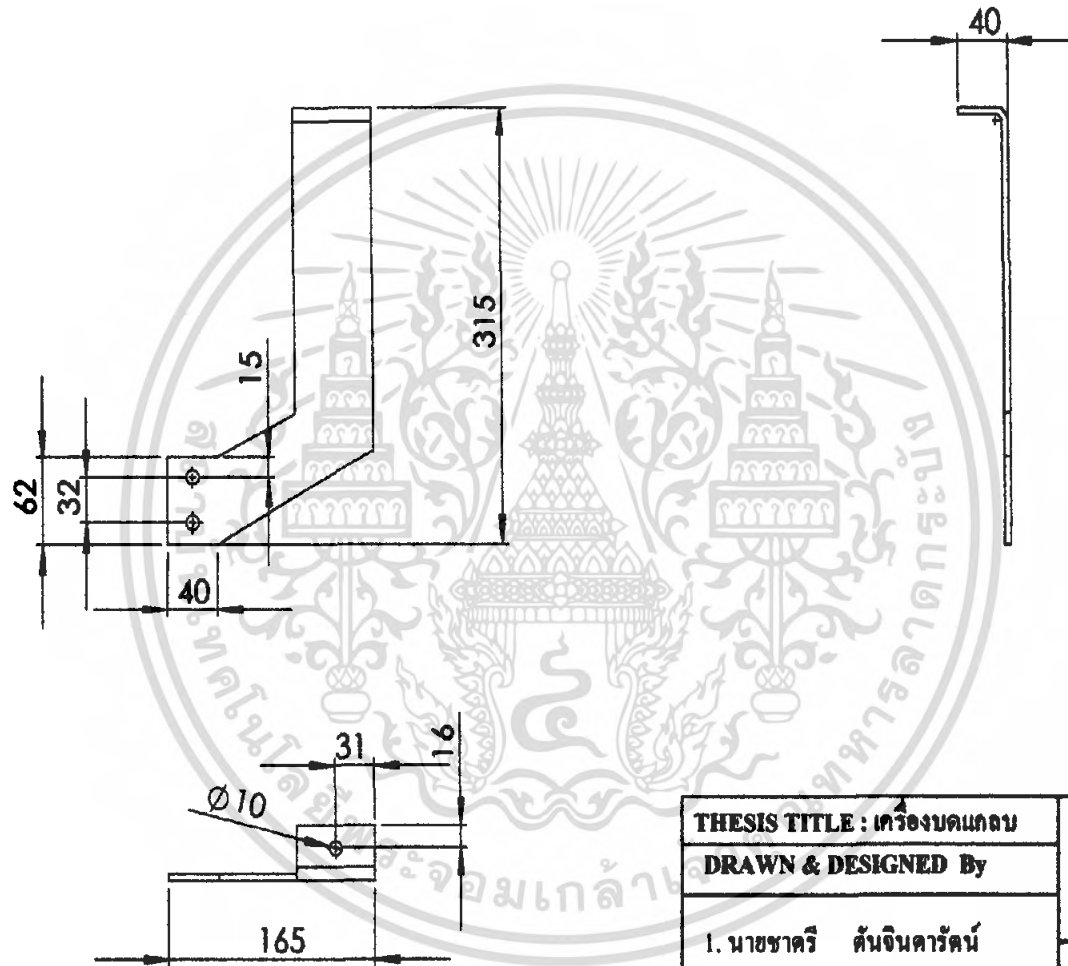


<b>THESIS TITLE :</b> เครื่องบดกาแฟ		<b>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang</b>
<b>DRAWN &amp; DESIGNED By</b>		
1. นายชาติร์ ดันจินดารัตน์ 2. นายสมพล รอดคง 3. นายอาทร แสงทับทิม 4. นายอาทิตย์ พงศ์ธรรมนิษฐ์		<b>PART NAME :</b> โครงสร้างฐาน
<b>SIZE : A4</b>		<b>SCALE : 1 : 1</b>
<b>SHEET : 1</b>		<b>PROJECTION</b>



<b>THESIS TITLE :</b> เครื่องบดกาแฟ	
<b>DRAWN &amp; DESIGNED By</b>	
1. นายชาติร์	ต้นจินดาวัฒน์
2. นายสมพท	รอดคง
3. นายอาทร	แสงทับทิม
4. นายอาทิตย์	พงษ์ธรรมนิตย์
<b>SIZE :</b> A4	<b>SHEET :</b> 2

<b>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang</b>	
<b>PART NAME :</b>	ฐานยืน
<b>SCALE :</b>	1 : 1
<b>PROJECTION</b>	



THESIS TITLE : เครื่องบดเมล็ด

DRAWN & DESIGNED By

1. นายชาติ คั่นจินดารัตน์
2. นายสมพล รอดคง
3. นายอาทร แสงทับทิม
4. นายอาทิตย์ พงศ์ธรรมนิษฐ์

SIZE : A4

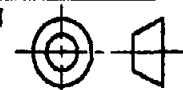
SHEET : 3-1

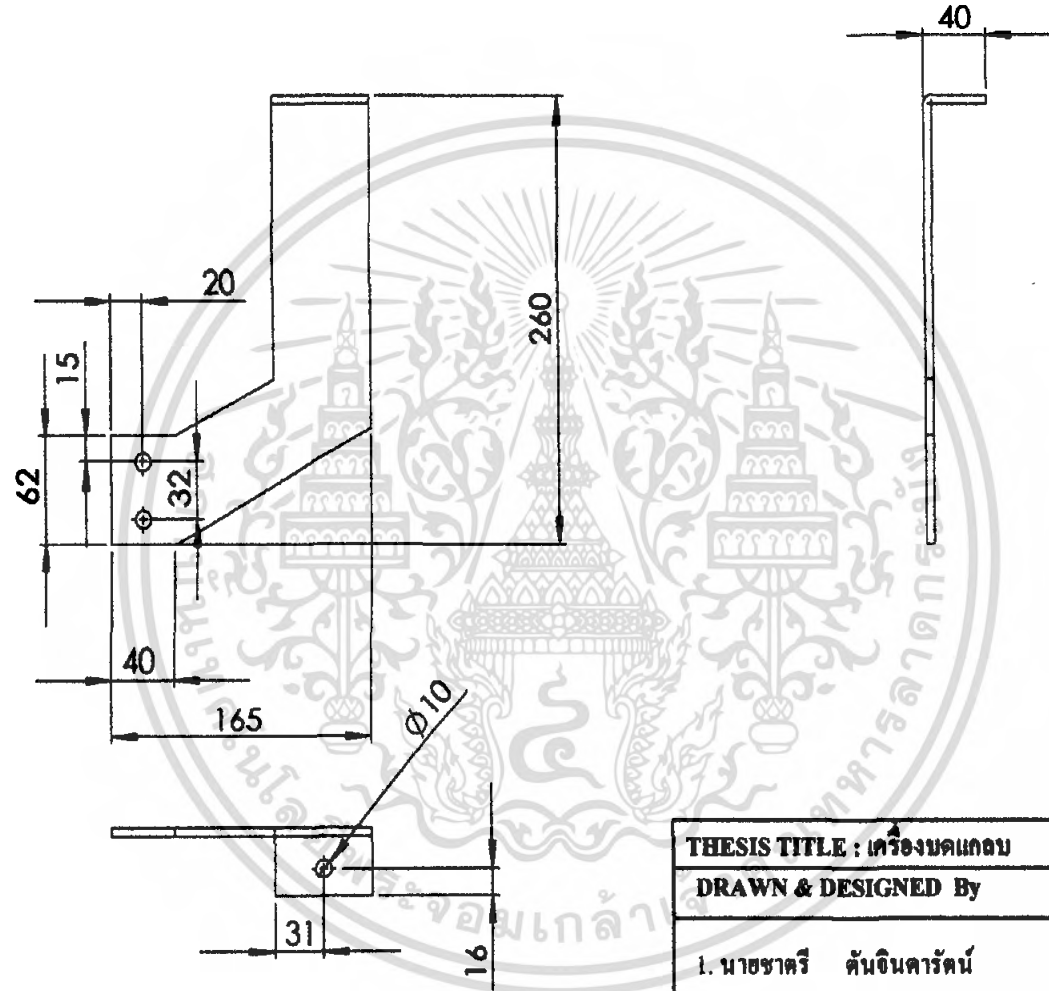
King Mongkut's Institute of  
Technology Ladkrabang

PART NAME : ขายึด

SCALE : 1 : 1

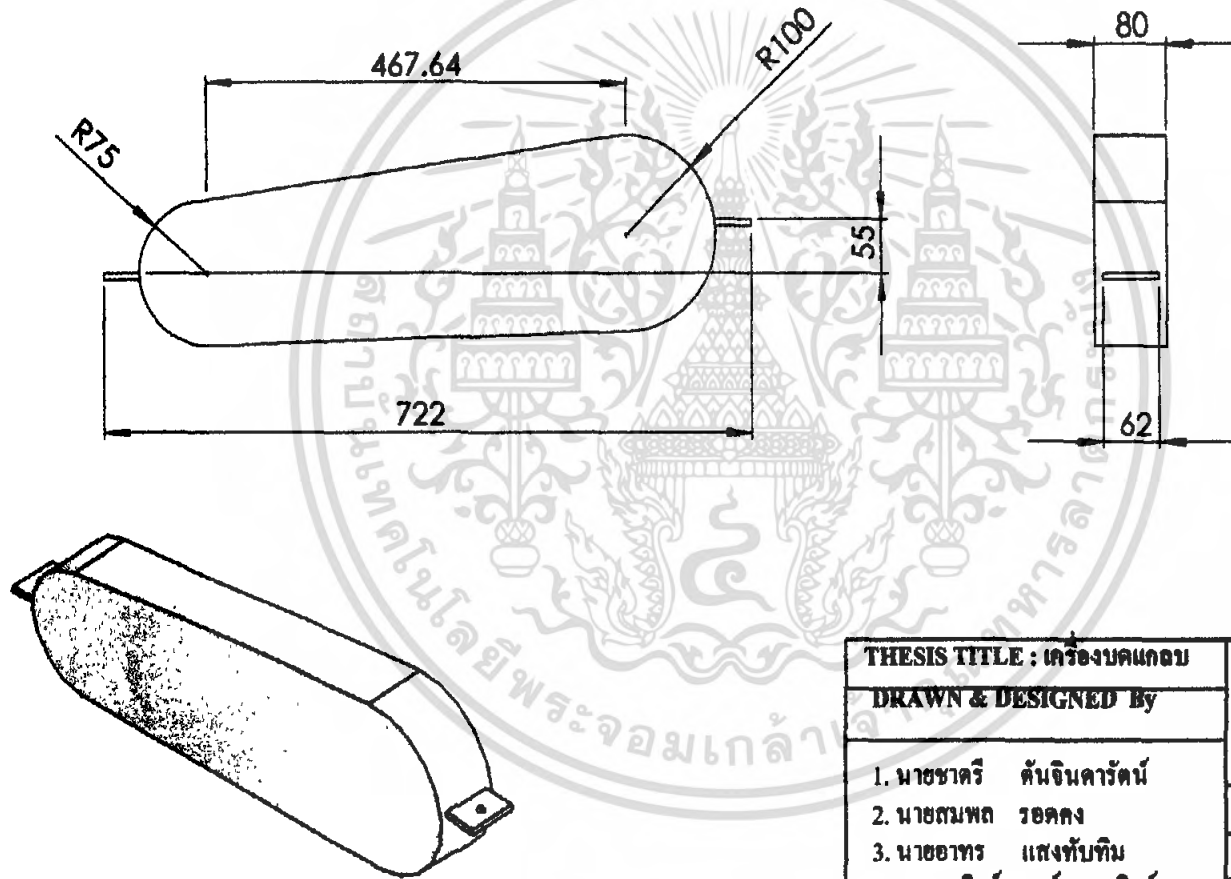
PROJECTION

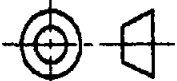


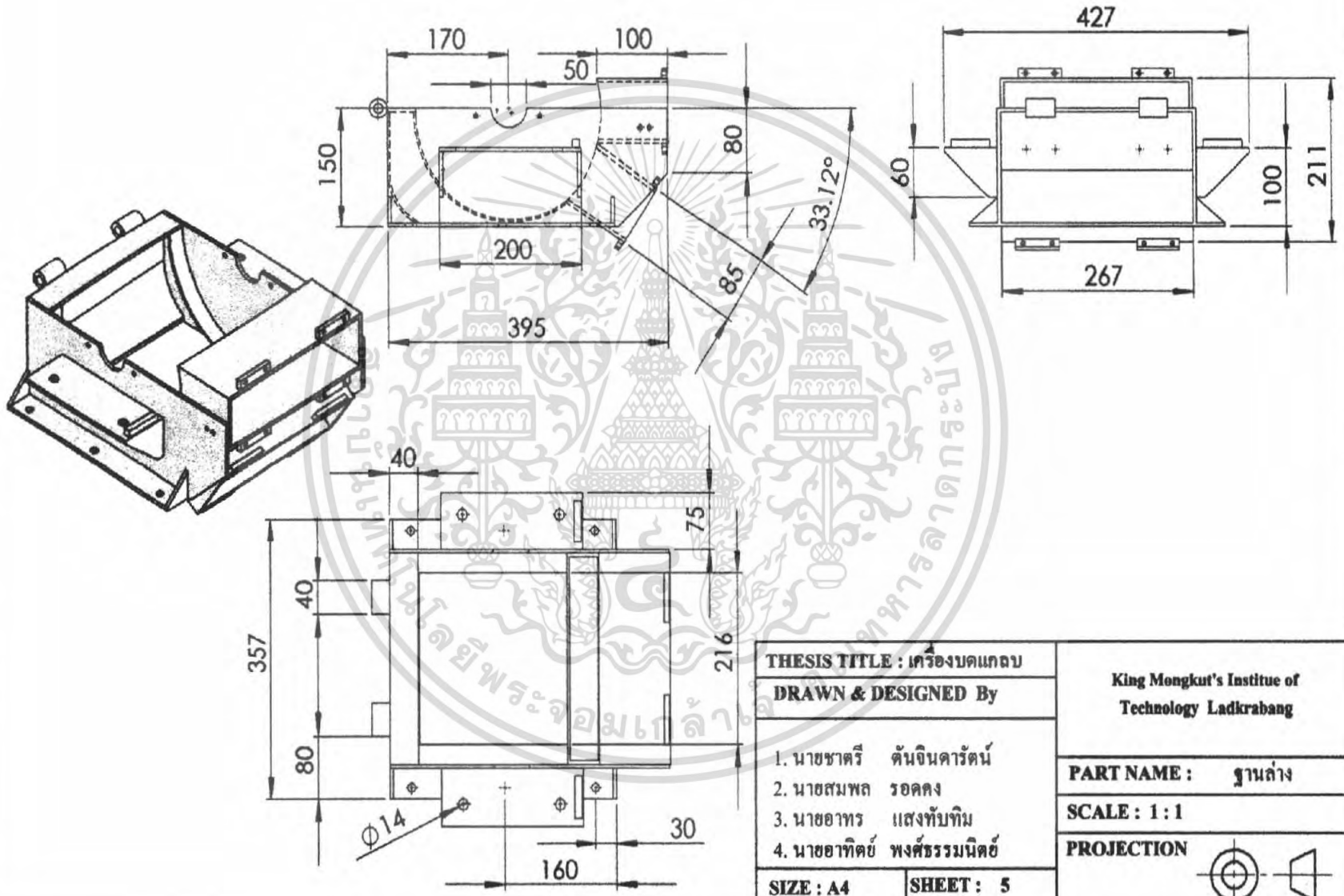


<b>THESIS TITLE :</b> เครื่องบดแกออบ	
<b>DRAWN &amp; DESIGNED By</b>	
1. นายชาติร์ ดันอินดาร์ตัน	
2. นายสมพท รอดคง	
3. นายอาทร แสงทับทิม	
4. นายอาทิตย์ พงศ์ธรรมนิตย์	
<b>SIZE :</b> A4	<b>SHEET :</b> 3-2

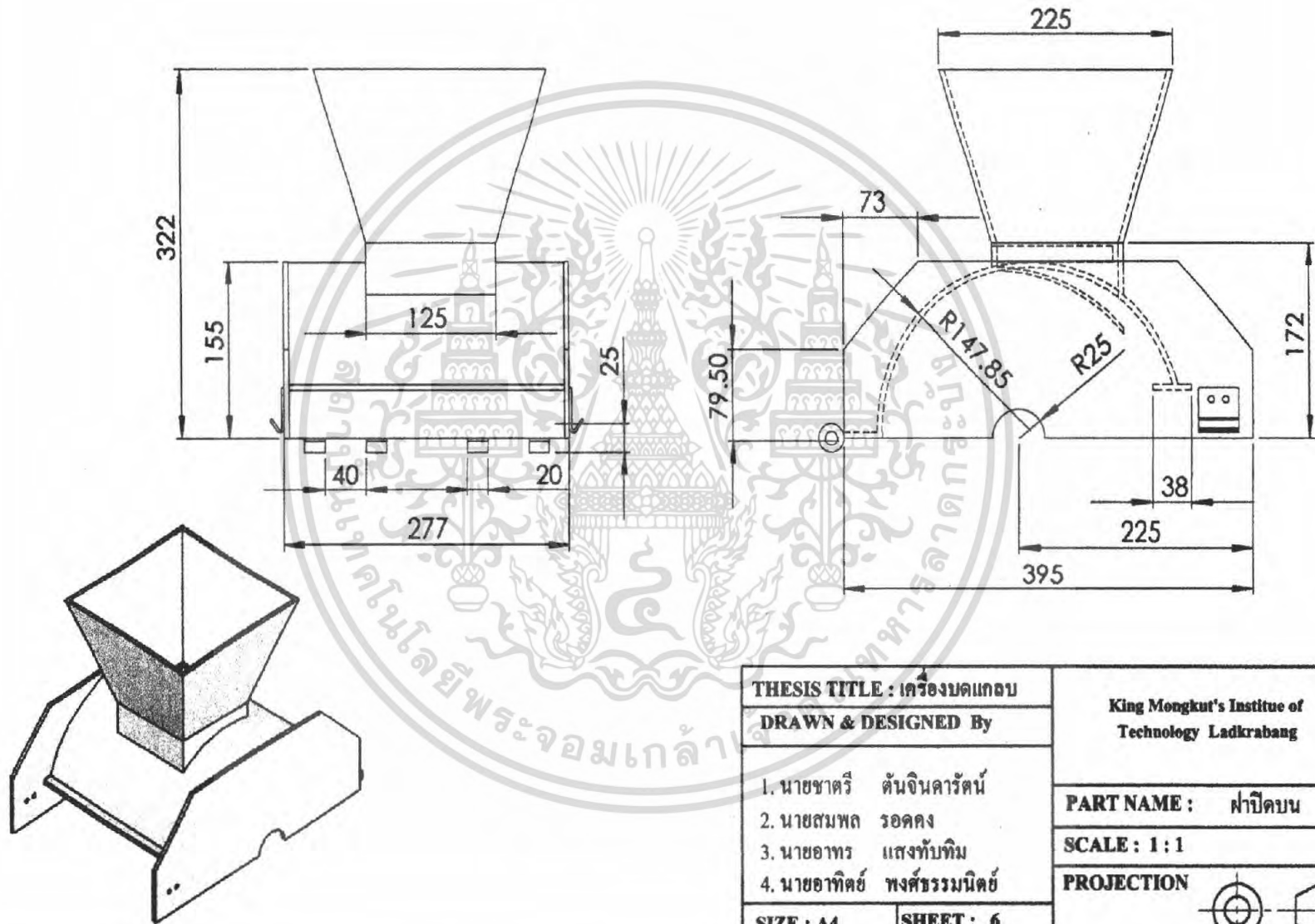
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
<b>PART NAME :</b> ขายึด	
<b>SCALE :</b> 1 : 1	
<b>PROJECTION</b>	



<b>THESIS TITLE : เครื่องบดถนน</b>		<b>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang</b>
<b>DRAWN &amp; DESIGNED By</b>		
1. นายราตรี ดันจินดารัตน์ 2. นายสมพล รอดคง 3. นายอาทร แสงทับทิม 4. นายอาทิตย์ พงศ์ธรรมนิษฐ์		<b>PART NAME : ฝาครอบสายพาน</b>
		<b>SCALE : 1 : 1</b>
<b>SIZE : A4</b> <b>SHEET : 4</b>		<b>PROJECTION</b> 



<b>THESIS TITLE :</b> เครื่องบดเมล็ด		<b>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang</b>
<b>DRAWN &amp; DESIGNED By</b>		
1. นายชาติร์ ดันจินดารัตน์ 2. นายสมพล รอดคง 3. นายอาทร แสงทับทิม 4. นายอาทิตย์ พงศ์ธรรมนิษฐ์		<b>PART NAME :</b> ฐานล่าง
<b>SIZE : A4</b>		<b>SCALE : 1 : 1</b>
<b>SHEET : 5</b>		<b>PROJECTION</b>



THESIS TITLE : เครื่องบดกาแฟ

DRAWN & DESIGNED By

1. นายชาติร์ ตันจินดารัตน์
2. นายสมพล รอดคง
3. นายอาทร แสงทับทิม
4. นายอาทิตย์ พงศ์ธรรมนิตย์

SIZE : A4

SHEET : 6

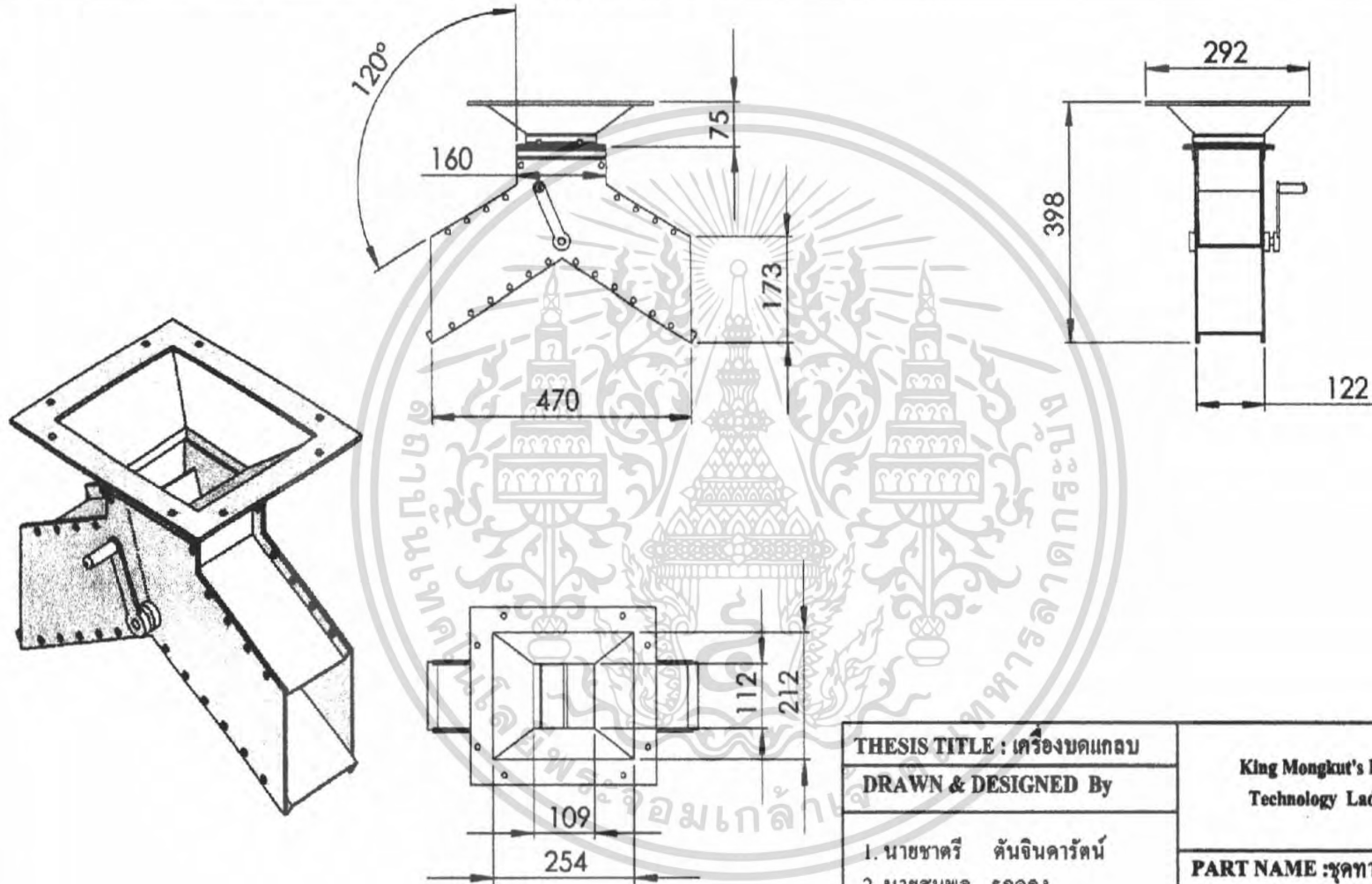
King Mongkut's Institute of  
Technology Ladkrabang

PART NAME : ฟาปัดบ่น

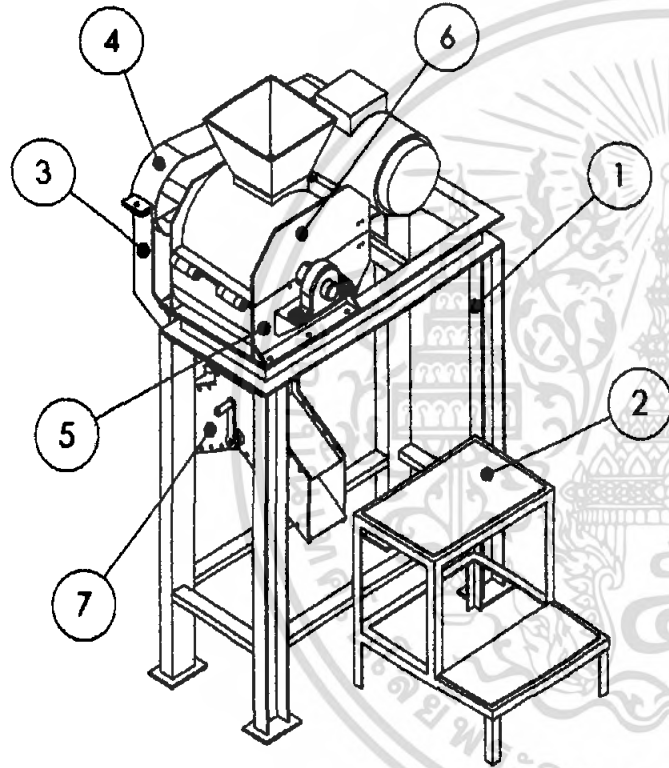
SCALE : 1 : 1

PROJECTION





<b>THESIS TITLE :</b> เครื่องขุดแกลบ		<b>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang</b>
<b>DRAWN &amp; DESIGNED By</b>		
1. นายชาติร์ ดันจินคาร์ตัน 2. นายสมพล รอดคง 3. นายอาทร แสงทับทิม 4. นายอาทิตย์ พงศ์ธรรมนิตย์		<b>PART NAME :</b> ชุดทางออกของแกลบ
<b>SIZE : A4</b>		<b>SCALE : 1 : 1</b>
<b>SHEET : 7</b>		<b>PROJECTION</b>



No.	Part name
1	ชุดโคมสร้าง
2	บันได
3	ขาปิดฝาครอบสายพาน
4	ฝาครอบสายพาน
5	ฐานล่างตัวเครื่อง
6	ฝาปิดด้านบน
7	ชุดทางออกของแกลบ

<b>THESIS TITLE :</b> เครื่องบดแกลบ <b>DRAWN &amp; DESIGNED By</b>		King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
1. นายชาติร์ ดันจินคาร์ตัน 2. นายสมพล รอดคง 3. นายอาทรร แสงทับทิม 4. นายอาทิตย์ พงศ์ธรรมนิตย์		
<b>SIZE :</b> A4		<b>SCALE :</b> 1 : 1
<b>SHEET :</b> 8		<b>PROJECTION</b>