

# เครื่องเขียนในเพลากลม



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 61925  
วัน,เดือน,ปี 25 ก.ค. 2549

b.....  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# CYLINDRICAL GRINDING 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 LADGRABANG  
ACADEMIC YEAR 2004**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท

เครื่องเจียรไนเฟลา

CYLINDRICAL GRINDING MACHINE

นักศึกษา

นางสาวชนิษฐา จันดาเบ้า รหัสประจำตัว 45015888

นายสุรพงศ์ อินทรภักดิ์ รหัสประจำตัว 45015921

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท



(รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช)

(อาจารย์พลชัย โขติปราชญ์กุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

นักศึกษา

หลักสูตร

ปีการศึกษา

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เครื่องเจียรไนเพลา

นางสาวชนิษฐา จันดาเบา

นายสุรพงศ์ อินทรภักดิ์

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

2547

รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช

อาจารย์พลชัย โชติปราชญกุล

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องเจียรไนเพลากลม ที่มีความสามารถในการเจียรไนชิ้นงานเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตรและความยาวสูงสุด 200 มิลลิเมตร มีความละเอียดถึง 1 ไมโครเมตร ได้มีการคำนวณออกแบบโครงสร้างและการเลือกใช้ชิ้นส่วนต่างๆ ของตัวเครื่อง โดยดูรูปแบบจากลักษณะการใช้งานของเครื่องเจียรไนเพลาจากทฤษฎีวิเคราะห์ชิ้นส่วนต่างๆ ออกแบบการใช้ชิ้นส่วนของเครื่องไม่ว่าจะเป็นการเลือกใช้สายพานและเลือกขนาดของมอเตอร์ สเตลการป้อนชิ้นงาน ชุดส่งกำลัง ขนาดของเพลาหินเจียรไน มาทำการออกแบบและเขียนแบบโครงสร้างของเครื่อง ออกแบบลักษณะการใช้งานของเครื่อง รวมไปถึงลักษณะการทำงานของเครื่อง โดยจากผลการออกแบบและจัดสร้างเครื่องสามารถใช้งานในการเจียรไนเพลาได้ตามข้อกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Thesis Title** Cylindrical Grinding Machine  
**Student** Miss Khanittha Chundabao  
Mr. Surapong Intarapak  
**Degree** Bachelor of Engineering in Industrial Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
**Academic Year** 2004  
**Thesis Advisor** Associate Professor Pornsak Attavanich  
Mr. Pholchai Chotiprayanakul

### ABSTRACT

This thesis is a study of design and construction a cylindrical grinding machine. The machines can grinding a work piece which 50 millimeter at large in diameter and 200 millimeter at least of length and feed 1 micrometer. The machine uses a ¼ horse power AC motor and be controlled by electric circuit. At the result, the machine is tested to meet objective.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การปรับปรุงเครื่องเจียรระโนแพลา สามารถเสร็จจุดส่งไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และความเอาใจใส่ในทุกๆ ด้านตลอดเวลาการทำโครงการที่ผ่านมา

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมที่ช่วยให้คำแนะนำในส่วนที่บกพร่อง และส่วนที่เกิดปัญหาในขั้นตอนการปฏิบัติงาน และได้ให้ความรู้เพิ่มเติม และให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการทำงานที่ผ่านมา

ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อน ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในหลายๆด้าน และขอขอบคุณสำหรับกำลังใจที่มีให้ตลอดการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญรูป.....	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 ทฤษฎีการเลือกใช้วัสดุและออกแบบเครื่องจักรกล.....	2
2.1.1 หลักการเบื้องต้นของมอเตอร์.....	2
2.1.2 ความเร็วเชิงโรตัส.....	2
2.1.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	3
2.2 ทฤษฎีการคำนวณขนาดสายพานและล้อสายพานลิ้ม.....	4
2.2.1 การทำให้เกิดแรงตึงในสายสายพานลิ้ม.....	4
2.2.2 การคำนวณหาขนาดสายพานลิ้ม.....	7
2.3 ทฤษฎีการคำนวณเพลลา.....	10
2.3.1 การเลือกใช้หินเจียรระไน.....	10
2.3.2 การออกแบบเพลลา.....	10
2.3.3 การออกแบบเพลลาตาม โค้ดของ AMSE.....	11
2.4 ทฤษฎีการคำนวณและเลือกใช้ชิ้นส่วนมาตรฐานต่างๆ.....	13
2.4.1 ทฤษฎีการคำนวณสกรูส่งกำลัง.....	13
2.4.2 ชนิดของเกลียวสำหรับสกรูส่งกำลัง.....	14
2.4.3 โหมดน็อคสำหรับหมุนสกรูส่งกำลัง.....	15
2.4.5 ประสิทธิภาพของสกรูส่งกำลัง.....	19
2.5 ทฤษฎีการคำนวณในการเลือกใช้แบริ่ง.....	19
2.5.1 ความเสียดทานของโรลลิงแบริ่ง.....	20
2.5.2 อายุการใช้งานแบริ่ง.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การประเมินค่าอายุใช้งาน.....	21
2.5.4 แรงสมมูล.....	24
2.5.5 ตัวประกอบใช้งาน.....	25
2.5.6 อายุใช้งานโดยสังเขป.....	26
2.5.7 การหล่อลื่น.....	27

### บทที่ 3 การออกแบบและวิธีการดำเนินงาน

3.1 การวางแผนการดำเนินงาน.....	29
3.2 การคำนวณและการออกแบบชิ้นส่วน.....	30
3.2.1 การเลือกใช้หินเจียรไน.....	30
3.2.2 การคำนวณมอเตอร์.....	30
3.2.3 การคำนวณเพลาล้อหินเจียรไน.....	31
3.2.4 การคำนวณอัตราทดของเฟือง.....	33
3.3 การออกแบบเครื่องเจียรไนเพลลา.....	33
3.4 การสำรวจตลาดและราคาชิ้นส่วนวัสดุต่างๆ ที่จะนำมาผลิตเครื่องเจียรไน.....	33
3.4.1 เลือกซื้อวัสดุในการสร้างเครื่องเจียรไน.....	33
3.4.2 ซื้อชิ้นส่วนมาตรฐานในการสร้างเครื่องเจียรไน.....	34
3.5 ดำเนินการสร้างเครื่องเจียรไนเพลลา.....	34
3.5.1 ทำโครงสร้างฐาน.....	34
3.5.2 ทำชิ้นส่วนต่างๆ ของหัวจับ.....	34
3.5.3 ทำชิ้นส่วนต่างๆ ของศูนย์ท้าย.....	34
3.5.4 ทำรางเลื่อนทางเหนือสำหรับชุดศูนย์ท้าย.....	34
3.5.5 ทำฐานสำหรับชุดหัวจับและศูนย์ท้าย.....	34
3.5.6 ประกอบติดตั้งร่องเลื่อนกับฐานเครื่อง.....	35
3.5.7 ทำชุดเพลลาและ โครงฐานหินเจียรไน.....	35
3.5.8 ดำเนินการประกอบติดตั้งชิ้นส่วนต่างของเครื่องเจียรไน.....	35
3.5.9 ดำเนินการติดตั้งชุดมอเตอร์ล้อหินเจียรไนและมอเตอร์เพลลาหัวจับ.....	35
3.5.10 ติดตั้งระบบควบคุมความปลอดภัย.....	35
3.6 ทดลองการทำงานของเครื่อง.....	35

### บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการออกแบบเครื่องเจียรไน.....	36
4.2 ผลการดำเนินการสร้างเครื่องเจียรไน.....	36

### บทที่ 5 สรุปการดำเนินงาน

5.1 สรุปการดำเนินการ.....	46
---------------------------	----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	46
5.5.1 ปัญหาที่พบจากการทดลองเดินเครื่อง.....	46
5.5.2 แนวทางแก้ไขปัญหา.....	46
5.5.3 ข้อเสนอแนะ.....	47
หนังสืออ้างอิง.....	48
ภาคผนวก.....	49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ตัวประกอบใช้งาน.....	6
ตารางที่ 2.2	ค่าตัวประกอบ $k_2$ .....	6
ตารางที่ 2.3	สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพาน.....	8
ตารางที่ 2.4	ตัวประกอบใช้งาน $N_s$ สำหรับสายพานลิ้ม.....	9
ตารางที่ 2.5	ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน.....	21
ตารางที่ 2.6	ตัวประกอบของการกระแทก.....	26
ตารางที่ 2.7	ตัวประกอบของสายพาน.....	26
ตารางที่ 2.8	ตัวประกอบของเฟือง.....	26
ตารางที่ 2.9	แนวทางในการเลือกอายุใช้งานสำหรับเครื่องจักรกลชนิดต่างๆ.....	27



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโรเตอร์แบบ 2 ขั้วแม่เหล็ก.....	2
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	4
รูปที่ 2.3 แผนภูมิที่ใช้เลือกขนาดสายพานลีม.....	8
รูปที่ 2.4 แม่แรง.....	13
รูปที่ 2.5 สกรูเพรส.....	14
รูปที่ 2.6 สกรูเพรส.....	14
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างใช้สกรูส่งกำลังแม่แรง.....	15
รูปที่ 2.8 แผนภาพแรงปฏิกิริยาบนเกลียวเนื่องจากแรงยกน้ำหนัก W.....	16
รูปที่ 2.9 แรงปฏิกิริยาบนเกลียวสี่เหลี่ยม.....	17
รูปที่ 2.10 ประสิทธิภาพของเกลียวแอกมี.....	19
รูปที่ 2.11 ส่วนต่างๆ ของเบร็ง.....	20
รูปที่ 3.1 แบบเบื้องต้นของเครื่องเจียระไนเพลลา.....	33
รูปที่ 4.1 รูปเครื่องเจียระไนเพลลา.....	36
รูปที่ 4.2 ด้านหน้าของเครื่องเจียระไน.....	37
รูปที่ 4.3 เฟืองทด.....	37
รูปที่ 4.4 รูปด้านบนของเครื่องเจียระไน.....	38
รูปที่ 4.5 ชุดสายพานลือหินเจียระไน.....	38
รูปที่ 4.6 ชุดมอเตอร์และพูลสายพานรื่องลีมของหัวจับ.....	39
รูปที่ 4.7 ภาพแสดงมือหมุนป้อนชิ้นงานในแนวแกน Y และแกน Z.....	39
รูปที่ 4.8 ภาพชุดควบคุมการทำงานของเครื่อง.....	40
รูปที่ 4.9 ภาพชุดหัวจับสำหรับจับยึดชิ้นงาน.....	41
รูปที่ 4.10 ภาพแสดงชุดควบคุมเริ่มการทำงานเริ่มเปิดเครื่องโดยการเปิดสวิตซ์ Power On.....	41
รูปที่ 4.11 ภาพแสดงการเปิดสวิตซ์หมุนหัวจับ.....	42
รูปที่ 4.12 ภาพแสดงการเปิดสวิตซ์หมุนหินเจียระไน.....	42
รูปที่ 4.13 ภาพแสดงการปรับฟิวส์ป้องกันไฟฟ้า.....	43
รูปที่ 4.14 ภาพการหมุนป้อนชิ้นงานในแนวขวาง.....	43
รูปที่ 4.15 ภาพแสดงการหมุนป้อนชิ้นงานในแนวยาว.....	44
รูปที่ 4.16 ภาพแสดงการหมุนหัวจับด้วยความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที.....	44
รูปที่ 4.17 ภาพแสดงการหมุนของลือหินเจียระไนด้วยความเร็วรอบ 2800 รอบต่อนาทีในการตัดเจียนชิ้นงาน.....	45
รูปที่ 4.18 ภาพชิ้นงานสำเร็จหลังจากการเจียระไนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ในการออกแบบและสร้างเครื่องเจียรระโนเพลากลมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากลไกการทำงานของเครื่อง เพื่อออกแบบโครงสร้างและกลไกการทำงานและเพื่อสร้างเครื่องเจียรระโนเพลากลม โดยมีขอบเขตในการเจียรระโนชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโคสุด 50 มิลลิเมตรและความยาวสูงสุด 200 มิลลิเมตร มีความละเอียดในการเจียรระโนถึง 1 ไมโครเมตร ซึ่งประโยชน์ที่จะได้รับจากการสร้างเครื่องเจียรระโนเพลานี้ เพื่อที่จะใช้เป็นสื่อการสอนในรายวิชา กระบวนการผลิต และเพื่อให้นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ได้มีฝึกทักษะการใช้เครื่องเจียรระโนเพลานี้ และยังเป็นเครื่องต้นแบบแก่รุ่นน้องที่จะทำการพัฒนาระบบต่อไป

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการและรายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องเจียรระโนเพล
2. เพื่อศึกษากลไกการทำงานของเครื่องเจียรระโนเพลาระบบสเกลป้อนชิ้นงาน
3. เพื่อนำหลักการที่ได้ศึกษามาออกแบบและทำการสร้างเครื่องเจียรระโนเพล

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. มีความสามารถในการเจียรระโนเพลากลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 50 มิลลิเมตร และมีความยาวไม่เกิน 200 มิลลิเมตร
2. ใช้มอเตอร์ความเร็วรอบ 1440 รอบต่อนาที ใช้ไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อนำไปช่วยฝึกทักษะการใช้เครื่องเจียรระโนเพลากลมในโรงปฏิบัติงาน
2. เพื่อใช้เป็นสื่อในการสอนในรายวิชา กระบวนการผลิต
3. เพื่อใช้เป็นเครื่องต้นแบบนำไปสู่การพัฒนาในขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีในการคำนวณแรงมอเตอร์

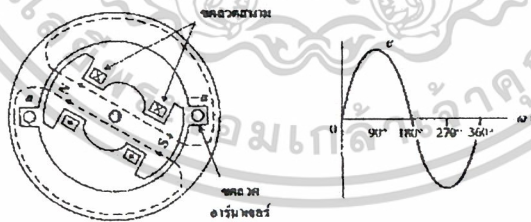
ในการคำนวณมอเตอร์เพื่อหาขนาดมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนหินเจียรที่เหมาะสม ซึ่งมีการใช้ทฤษฎีในการออกแบบดังนี้

##### 2.1.1 หลักการเบื้องต้นของมอเตอร์

มอเตอร์คือเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลตัวนำที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเมื่อวางไว้ใกล้กันจะให้แรงดูดและแรงผลักต่อกันดังนี้

##### 2.1.2 ความเร็วเชิงโคโรนัส

ส่วนประกอบที่โรเตอร์มีขดลวดสนามซึ่งมีกระแสไหลในทิศทางดังรูปที่ 1 (เอกสารประกอบการสอนในรายวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, 2544) ทำให้เกิดขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ว เป็นขั้ว N และขั้ว S ที่สเตเตอร์มีขดลวดอาร์มาเจอร์  $a$  และ  $-a$  ซึ่งเป็นลวดตัวนำเส้นเดียวกันแต่วางอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน โดยที่ตำแหน่งของตัวนำ  $a$  และ  $-a$  จะต้องวางอยู่ในลักษณะที่อยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ที่มีขั้วต่างกันนั่นคือถ้าตัวนำ  $a$  อยู่ภายใต้ขั้ว N ตัวนำ  $-a$  จะต้องอยู่ภายใต้ขั้ว S จะเห็นได้ว่าในกรณีนี้ (2ขั้วแม่เหล็ก) ตัวนำ  $a$  และ  $-a$  จะวางอยู่ตรงกันข้ามกัน (ทำมุม  $180^\circ$  ทางกล)



- ก) โครงสร้างสเตเตอร์และโรเตอร์    ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 cycle

รูปที่ 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโรเตอร์แบบ 2 ขั้วแม่เหล็ก

จำนวนขั้วแม่เหล็กและความเร็วรอบของ โรเตอร์จะมีผลต่อค่าความถี่ของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$\theta_e = \frac{P}{2} \theta_m \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\theta_e$  เป็นค่าทางมุมไฟฟ้า  $\theta_e$  เป็นค่ามุมทางกล และ P เป็นจำนวนขั้วแม่เหล็ก

$$f = \frac{Pn_s}{120} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $f$  เป็นค่าความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ามีหน่วยเป็น Hz และ  $n_s$  เป็นค่าความเร็วรอบมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที ซึ่งเรียกว่าเป็นความเร็วซิงโครนัส และจากสมการข้างต้นจะได้ว่า

$$n_s = \frac{120f}{p} \quad (2.3)$$

### 2.1.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นเครื่องจักรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยอาศัยหลักการของการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนดังแสดงในรูปที่ 2 (เอกสารประกอบการสอนในรายวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า, 2544) จากการที่ความเร็วโรเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงตามการทางกล ในการอธิบายการทำงาน ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะสามารถแสดงให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์ของค่าความเร็วซึ่งเรียกว่าค่าสลิป  $s$  (Slip) ดังสมการที่ 2.4

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $s$  เป็นค่าสลิปของการเหนี่ยวนำไม่มีหน่วย  $n_s$  เป็นความเร็วซิงโครนัสมีหน่วยเป็น rpm และ  $n_r$  เป็นความเร็วโรเตอร์ (Rotor Speed) มีหน่วยเป็น rpm ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของสมการที่ 2.5

$$n_r = (1 - s)n_s \quad (2.5)$$

จากสมการที่ 2.4 ในขณะที่เริ่มหมุนค่าสลิปจะเท่ากับ 1 และขณะที่ไม่มีภาระทางกลค่าสลิปจะมีค่าน้อยมาก (เข้าใกล้ศูนย์) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าสลิปของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีค่าเป็นบวกและอยู่ระหว่างค่า 0 ถึง 1 และค่าสลิปจะไม่มีค่าเป็นศูนย์

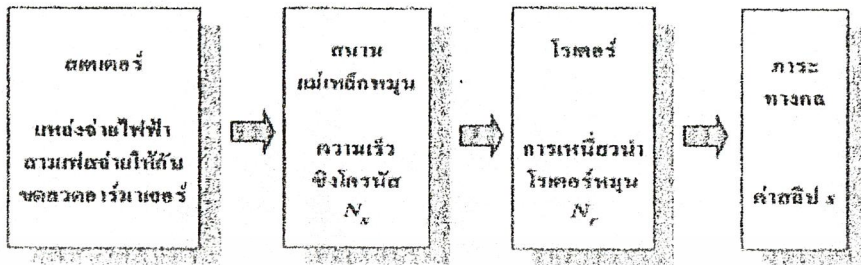
ทอร์ก

มอเตอร์จ่ายภาระทางกลเต็มพิกัดจะมีแรงบิดทางกลเท่ากับ

$$T_{sh} = \frac{P_{output}}{\omega_r} \quad (2.6)$$

ได้จาก

$$\omega_r = \frac{2\pi n_r}{60} \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

## 2.2 ทฤษฎีการคำนวณขนาดสายพานและล้อสายพานลิม

### 2.2.1 การทำให้เกิดแรงดึงขั้นต้นในสายพานลิม

การส่งกำลังจากเพลลาอันหนึ่งไปยังเพลลาอีกอันหนึ่ง อาจทำได้สามวิธี คือ โดยใช้เฟือง ใช้สายพาน หรือใช้โซ่ การส่งกำลังโดยสายพานเป็นการส่งกำลังแบบอ่อนตัวได้ (Flexible) ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียหลายประการเมื่อเปรียบเทียบการส่งกำลังโดยใช้เฟือง ข้อดีก็คือ มีราคาถูกใช้งานง่าย รับแรงกระตุกและการสั่นสะเทือนได้ดี ขณะใช้งาน ไม่มีเสียงดัง เหมาะสำหรับการส่งกำลังระหว่างเพลลาที่อยู่ห่างกันมากๆ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ เป็นต้น แต่ก็มีข้อเสียคือ อัตราทดไม่แน่นอนนัก เนื่องมาจากการสลิป (slip) และการครีพ (creep) ของสายพาน และต้องมีการปรับระยะห่างระหว่างเพลลาหรือปรับแรงดึงระหว่างการใช้งาน นอกจากนั้นยังไม่อาจใช้งานได้เมื่ออัตราทดสูงมากได้ ซึ่งมักใช้กับอัตราทดไม่เกิน 5

ในการสร้างเครื่องเจียรในเพลลาคลมนี้ได้มีการเลือกใช้สายพานลิม เพราะสายพานลิมใช้ส่งกำลังได้ค่อนข้างมาก โดยต้องการแรงดึงขั้นต้นในสายพานค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เพราะผลจากการเกาะยึดตัวกันระหว่างด้านข้างของสายพานที่เรียวกับร่องรูปลิมของล้อสายพาน ทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง ซึ่งเป็นผลให้สายพานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าจะมีส่วนโค้งสัมผัสน้อย และมีแรงดึงขั้นต้นค่อนข้างต่ำและเหมาะสมกับการใช้งานกรณีที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางน้อย ในการส่งกำลังจะส่งได้มากที่สุด เมื่อผิวด้านข้างของสายพานอัดแน่นกับร่องบนล้อสายพาน และในกรณีที่มีเหตุฉุกเฉิน ก็อาจใช้ผลจากการอัดแน่นนี้ทำหน้าที่เบรกได้ด้วย

การขับด้วยสายพานลิม มีข้อดี คือ เจียบ สะอาด และสามารถรับแรงกระตุกได้ นอกจากนั้นยังมีขนาดกะทัดรัด ประสิทธิภาพดี และแบริงของเพลลาไม่ต้องรับแรงมากเกินไป จึงมักใช้ในการขับทางด้านอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งใช้สายพานขับได้ โดยมีอัตราทดสูงประมาณ 7:1 หรืออาจใช้ได้สูงถึง 10:1 จะช่วยให้การขับในสายพานมีประสิทธิภาพ และยืดอายุการใช้งานของสายพาน ถ้าออกแรงดึงขั้นต้นไม่เพียงพอจะทำให้ส่งกำลังได้น้อยลง ประสิทธิภาพต่ำลง ทำให้สายพานมีอายุการใช้งานลดลงเนื่องจากการสลิป สมการแรงดึงในสายพานส่งกำลังคือ

$$F = F_1 - F_2 = \frac{W_p}{v} \quad (2.8)$$

ให้แรงดึงในแนวแกน

$$F_w = F_1 + F_2 = F \frac{e^{\alpha v'} + 1}{e^{\alpha v'} - 1} \quad (2.9)$$

แรงหนีศูนย์กลางเนื่องจากน้ำหนักของสายพาน

$$F_c = \frac{wAv^2}{g} \quad (2.10)$$

แรงลัพธ์เนื่องจากแรงหนีศูนย์กลาง คือ

$$F_R = 2 \times z \times F_c \sin \frac{\alpha}{2} \quad (2.11)$$

โดยที่  $z$  = จำนวนสายพาน

คั้งนั้นแรงดึงขั้นต้นในสายพานจึงหาได้จากการรวมแรงดึงในแนวแกนขณะส่งกำลัง กับแรง  
ลัพธ์เนื่องจากแรงหนีศูนย์กลาง นั่นคือ

$$F_i = F_w - F_R \quad (2.12)$$

ในทางปฏิบัติมักใช้วิธีหาค่าประมาณของแรงดึงในแนวแกนจากสมการ

$$F_w = k_1 \times F \times \sin \frac{\alpha}{2} \quad (2.13)$$

โดยที่  $k_1$  เป็นตัวประกอบใช้งาน ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงานหาค่าได้จากตารางที่ 2.1 แล้ว  
ใช้แรงนี้เป็นแรงดึงขั้นต้น

ตารางที่ 2.1 ตัวประกอบใช้งาน

$k_1$	สภาวะการทำงาน
1.3	งานเบา ทำงานคงที่
1.5	งานปานกลาง
2.0	งานหนัก แรงกระตุก เปิดปิดบ่อยครั้ง

ที่มา : วรวิทย์ อิงภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน, 2541

ตารางที่ 2.2 ค่าตัวประกอบ  $k_2$

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

ที่มา : วรวิทย์ อิงภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน, 2541

ในกรณีที่จับ โดยมีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางคองที่หรือ ไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดแรงดึงในสายพานตลอดเวลา ก็จำเป็นจะต้องนำเอาแรงหนีศูนย์กลางมาคิดด้วย จากสมการที่ 2.14

$$\begin{aligned}
 F_R &= 2 \times z \times F_C \sin \frac{\alpha}{2} \\
 &= 2 \times z \times \frac{wAv^2}{g} \sin \frac{\alpha}{2}
 \end{aligned}
 \tag{2.14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเขียนได้ใหม่เป็น

$$F_R = z \times k_2 \times v^2 \sin \frac{\alpha}{2} \quad (2.15)$$

ค่า  $k_2$  หาได้จากตารางที่ 2.2 ดังนั้นแรงค้ำยันต้นในสายพานจึงเท่ากับ

$$F_i = (k_1 F + z k_2 v^2) \sin \frac{\alpha}{2} \quad (2.16)$$

### 2.2.2 การคำนวณหาขนาดของสายพานลีม

การคำนวณทางด้านการส่งกำลังโดยสายพานลีมจะใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางพิศซ์ของล้อสายพาน  $d_p$  เป็นขั้นพื้นฐาน และในที่นี้ก็จะแสดงวิธีการเลือกขนาดของสายพานลีมตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

ในการเลือกขนาดของล้อสายพาน บริษัทผู้ผลิตได้แนะนำให้เลือกขนาดของล้อสายพานให้โตสุดเท่าที่จะทำได้ แต่ข้อควรระวังคือ ขณะใช้งานปกติความเร็วของสายพานไม่ควรสูงกว่า 30 m/s

การหาขนาดหน้าตัดโดยประมาณของสายพานลีมสำหรับการส่งกำลัง ซึ่งกำลังที่ส่งได้จริงของสายพานจะต้องตรวจสอบจากตารางการกำหนดสมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลีม ซึ่งจะได้อีกว่าดังต่อไปนี้

การเลือกขนาดของสายพานลีมจะแตกต่างไปจากสายพานแบนเล็กน้อย คือ จะใช้วิธีการหาจำนวนเส้นของสายพานลีมที่ต้องการ ใช้งานจากกำลังที่ต้องการขับ และตัวประกอบที่ใช้แก้ไขต่างๆ จำนวนเส้นของสายพานลีมหาได้จากสมการ

$$z = \frac{W_p \times N_s}{P_R \times N_a \times N_1} \quad (2.17)$$

โดยที่  $z$  = จำนวนเส้นของสายพานลีม

$W_p$  = กำลังงานที่ต้องการส่ง

$N_s$  = ตัวประกอบใช้งานหาค่าได้จากตาราง

$N_a$  = ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส หาค่าได้จากตาราง

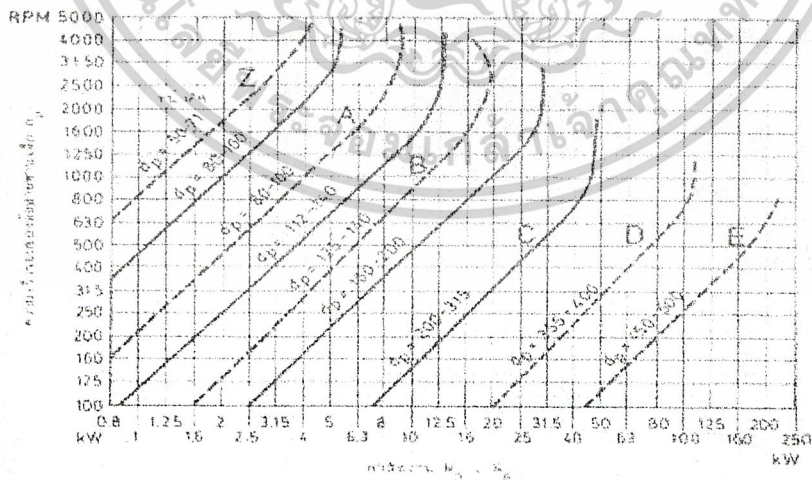
$N_1$  = ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน (Belt length correction factor)

$P_R$  = กำลังที่สายพานลีมหนึ่งเส้นส่งได้ หาค่าได้จากตาราง

ตารางที่ 2.3 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพาน

d p (mm)	ขนาด mm	ความเร็วรอบของมอเตอร์ตามเสี ก (rpm)										
		400	700	800	950	1200	1450	2000	2400	2850	3200	3600
		สมรรถนะในการส่งกำลังต่ออิน P <sub>ร</sub> (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
	≥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
	≥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	0.45	0.54	0.63	0.82	0.94	1.07	1.17	1.27
	≥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
	≥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
	≥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
	≥3.00	0.36	0.59	0.66	0.76	0.93	1.09	1.42	1.64	1.87	2.04	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
	≥3.00	0.41	0.67	0.75	0.87	1.07	1.25	1.63	1.88	2.13	2.31	2.48

ที่มา : วรวิทย์ อังการณ และ ชานู ถนังงาน, 2541



รูปที่ 2.3 แผนภูมิที่ใช้เลือกขนาดสายพานลิ้ม

ที่มา : วรวิทย์ อังการณ และ ชานู ถนังงาน, 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ตัวประกอบใช้งาน  $N_s$  สำหรับสายพานลีม

ชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องการขับ	ชนิดของอุปกรณ์					
	มอเตอร์กระแสสลับ : Normal Torque, Squirrel Cage, Synchronous and Split phase. เครื่องยนต์สันดาปภายใน : ที่มีหลายลูกสูบ ความเร็วรอบสูงกว่า 600 rpm			มอเตอร์กระแสสลับ : High Torque, High Slip, Repulsion-Induction, Single Phase, Series Wound and Slip Ring. มอเตอร์กระแสตรง : Series Wound และ Compound Wound . เครื่องยนต์สันดาปภายใน : ที่มีหนึ่งลูกสูบ ความเร็วรอบต่ำกว่า 600 rpm เฟลลามนต์ คัดซ์		
ตัวประกอบใช้งานนี้พิจารณาเฉพาะช่วงเวลาใช้งานและชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องการขับ แต่ไม่เกี่ยวข้องกับสภาวะการทำงาน ตัวอย่างเช่น ทำงานในสภาวะแวดล้อมเป็นพิเศษ ดังนั้นจึงอาจเพิ่มค่าได้ในกรณีพิเศษ	ชั่วโมงทำงานต่อวัน			ชั่วโมงทำงานต่อวัน		
	..10	10-16	..16	..10	10-16	..16
งานเบา : เครื่องกวนของเหลว, เครื่องเป่าลม, เครื่องอัดลมและเครื่องสูบบแบบ หอยโข่ง, พัดลมที่มีกำลังสูงถึง 7.5 kw, สายพานลำเลียงงานเบา	1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
งานปานกลาง : สายพานลำเลียงสายหรือเมล็ดพืช, เครื่องผสมของขี้เถ้า, พัดลมที่มีกำลังสูงกว่า 7.5 kw, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, เฟลลามนต์, เครื่องชักผ้า, เครื่องมือกล Punches Presses Shears , เครื่องพิมพ์, Positive Displacement Rotary Pumps, เครื่องเขย่า	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
งานหนัก : เครื่องทำอิฐ, Bucket Elevators, Exciters, เครื่องอัดลมและเครื่อง						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ตัวประกอบใช้งาน  $N_s$  สำหรับสายพานลิ้ม (ต่อ)

สูปแบบลูกสูบ, สายพานลำเลียง, Hammer Mills, Paper Mill Beaters, Positive Displacement Blowers, เครื่องบด, เครื่องเลื่อย และเครื่องจักรกลงานไม้, เครื่อง ทอผ้า	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
งานหนักพิเศษ : Crushers (Gyratory-Jaw Roll), Mill (Ball-Rod-Tube) รอกไฟฟ้า Rubber Calenders Extruders- Mills.	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8

ที่มา : วริทธิ อังการณ และ ชาญ อดิงาน, 2541

### 2.3 ทฤษฎีการคำนวณการออกแบบเพลลา

เพลลา เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง เพลลาอาจรับแรงดึง แรงกด แรงบิด หรือแรงค้ำ หรือแรงหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้นการคำนวณจึงจำเป็นต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้อาจยังมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพลลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะต่างๆ

#### 2.3.1 วัสดุเพลลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลลาทั่วไปคือเหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานต่อแรงกระชุกเป็นพิเศษแล้วมักจะใช้เหล็กกล้าผสมอื่นทำเพลลา เช่น AISI 1347 3140 4150 4340 เป็นต้น เพลลาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 90 mm มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อนอย่าง ไรก็ตามเพื่อให้มีเพลลาราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาที่ก่อนที่จะเลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

#### 2.3.2 การออกแบบเพลลา

การคำนวณหาขนาดของเพลลาที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ในบางครั้งการหาขนาดเพลลาเพื่อให้เพลลาทนต่อแรงที่มากระทำอย่างเดียวยังไม่เป็นการพอเพียง ดังนั้นมุมบิดของเพลลาที่เกิดขึ้นในลักษณะการใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ เป็นต้น นั่นคือเพลลาจะต้องมีความแข็งแรงอยู่ภายในพิสัยที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้วยังอาจจะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนซึ่งมีผลทำให้เฟืองและแบริ่งที่รองรับเพลลาอยู่เกิดความเสียหายได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งแรงที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ความแข็งแรงทางด้านระยะโคง เพราะจะต้องใช้ระยะโคงของเพลลาที่อยู่ภายใต้แรงภายนอกเป็นตัวสำคัญในการกำหนดระยะเบียด (Clearance) ระหว่างล้อยาสพาน เพื่อ โครงสร้างเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกชนิดของแบร์ริงสำหรับรองรับเพลลาให้เหมาะสม ถ้าเพลลา มีระยะโคงมากเกินไปจะทำให้ความยาวของฟันเฟืองส่วนที่สัมผัส หรือขบกันลดลงเป็นทำให้อัตราส่วนการขบ (Contact Ratio) ของเฟืองลดลงด้วย ทำให้การส่งกำลังเฟืองไม่ราบรื่นเท่าที่ควร การเลือกใช้แบร์ริงมารองรับเพลลา ก็เช่นกัน จำเป็นต้องจะต้องเลือกแบร์ริง ที่อนุญาตให้มีการเอียงแนวสำหรับการใช้งานได้พอเหมาะกับระยะโคงของเพลลาที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นแบร์ริง แบบธรรมดาหรือแบร์ริง แบบปรับแนวตัวเอง (Self-Aligning Bearing) ขึ้นอยู่กับค่าระยะโคงเป็นสำคัญ

### 2.3.3 การออกแบบเพลลาตามโค้ดของ AMSE

วิธีการออกแบบตามโค้ดของ AMSE โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (AMSE) มีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ใช้ทฤษฎีความเค้นสูงสุด และพิจารณาถึงความล้าและความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพลลา ซึ่งเพลลาโดยส่วนมากจะภายใต้ความเค้นที่เป็น วัฏจักร เพราะเพลลามีการหมุนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำอาจจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเพลลาจึงเกิดความเสียหายเนื่องมาจากความล้าเป็นส่วนใหญ่

ความเค้นดึงหรือกด 
$$\sigma_a = \frac{4F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (2.18)$$

ความเค้นคด 
$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} = \frac{32Md}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.19)$$

ความเค้นเฉือน 
$$T_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{16Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.20)$$

ในกรณีที่เป็นการกด อาจมีผลจากการ โคงงอ ได้ จะกลายเป็น

$$\sigma_a = \frac{4\alpha F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (2.21)$$

ให้  $c_m$  = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการคด  
 $c_r$  = ตัวประกอบการล้าเนื่องจากการบิด

ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_b = \frac{32C_m M d}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.22)$$

และ

$$\tau_{xy} = \frac{16C_i T d}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.23)$$

ความเค้นกดหรือความเค้นรวม คือ

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_b \quad (2.24)$$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\tau = \left[ \tau_{xy}^2 + \left[ \frac{\sigma}{2} \right]^2 \right]^{1/2} \quad (2.25)$$

เมื่อแทนค่าลงสมการอื่น จะจัดรูปแบบใหม่ได้ดังนี้

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-K^4)} \left[ (C_i T)^2 + \left[ \frac{\alpha F d (1+k^2)}{8} + C_m M \right]^2 \right]^{1/2} \quad (2.26)$$

ในกรณีของเพลาค้น  $K = d_i/d = 0$

ในกรณีที่ไม่มีแรง  $F$  กระทำอยู่ด้วย สมการจะลดรูปเหลือเพียง

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau} [(C_i T)^2 + (C_m M)^2]^{1/2} \quad (2.27)$$

ค่าตัวประกอบความด้าสามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ ซึ่งหาได้จากตารางที่ 9.2 นอกจากนี้ได้คของ ASME ยังได้ระบุว่าเพล่าซึ่งมีอยู่ในงานธรรมดาทั่วไป ควรจะมีค่าความเค้นเฉือนใช้งานดังนี้

$$\tau_d = 55 \text{ N/MM}^2 \text{ สำหรับเพล่าที่ไม่มีร่องลิ่ม}$$

$$\tau_d = 41 \text{ N/MM}^2 \text{ สำหรับเพล่าที่มีร่องลิ่ม}$$

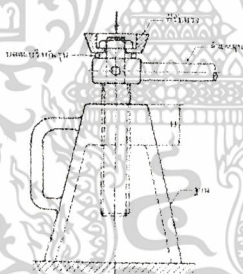
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าระยะ โคงอาจหาได้จากวิธีการต่างๆ ที่ได้เรียนมาจากกลศาสตร์วัสดุ ค่าความเร็ววิกฤติทางทฤษฎีนี้จะสูงกว่าค่าที่ได้รับจากการทดลองเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากการหน่วงตัวเอง (Self Damping) ของวัสดุ - เผลา และในขณะเดียวกันน้ำหนักของเฟืองหรืออื่นๆ ที่ติดอยู่ จะทำให้ความแข็งแรงของเพลามากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ค่าทางทฤษฎีต่ำกว่าค่าจากการทดลองเล็กน้อย ดังนั้นความผิดพลาดทางทฤษฎีจากเหตุผลทั้งสองนี้จึงช่วยหักลบกันไป (ถึงแม้ว่าจะไม่หมดก็ตาม) ในทางปฏิบัติมักจะออกแบบให้เพลางานที่ความเร็วสูงหรือต่ำกว่าความเร็ววิกฤติอย่างน้อย 25 % ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงของเพลา ซึ่งจะทำให้ชิ้นส่วนอื่นๆ ในระบบ เช่น แบริ่งเสียหายได้ง่าย

## 2.4 ทฤษฎีการคำนวณและเลือกใช้ชิ้นส่วนมาตรฐานต่างๆ

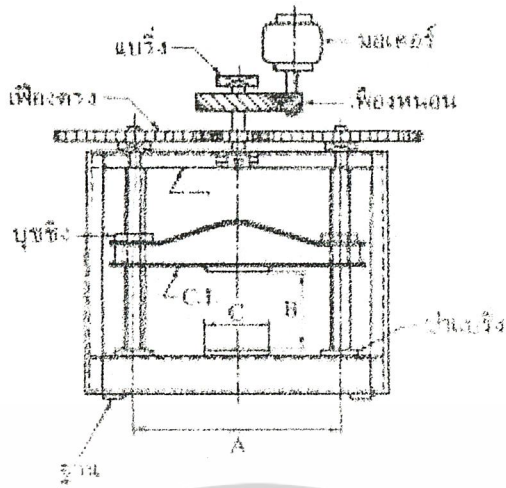
### 2.4.1 ทฤษฎีการคำนวณสกรูส่งกำลัง

สกรูส่งกำลัง (Power Screws) เป็นชิ้นส่วนที่ใช้ในเครื่องจักรกลเพื่อเปลี่ยนการหมุนเป็นการเคลื่อน ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า สกรูเลื่อน (Translation Screws) นอกจากนี้จะใช้เปลี่ยนการหมุนเป็นการเคลื่อนแล้ว สกรูส่งกำลังยังใช้ในการยกน้ำหนักที่ตัวสกรูรับอยู่อีกด้วย ตัวอย่างของสกรูส่งกำลังที่ใช้ในเครื่องส่งกำลังต่างๆ ได้แก่ แม่แรง (Screw Jack) สำหรับยกน้ำหนักดังรูปที่ 2.4 (วิธี อิงภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน, 2541) สกรูเพรส (Screw Press) สำหรับกดชิ้นงานให้มีรูปร่างตามต้องการ ดังรูปที่ 2.5 (วิธี อิงภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน, 2541)



รูปที่ 2.4 แม่แรง

รูปที่ 2.6 (วิธี อิงภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน, 2541) แสดงซีแคลมป์ (C-Clamp) สำหรับจับยึดชิ้นงานและสกรูพา (Lead Screw) สำหรับเครื่องกลึง เป็นต้น จากตัวอย่างที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่าการออกแบบหรือเลือกขนาดของสกรูส่งกำลังจะต้องคิดถึงความแข็งแรงของสกรูที่รับแรงกดหรือแรงดึง ความสามารถในการรับแรงเฉือนของตัวสกรู ความแข็งแรงและการสึกหรอของเกลียว ตลอดจนกำลังงานที่ต้องการ



รูปที่ 2.5 สกรูเพรส



รูปที่ 2.6 สกรูเพรส

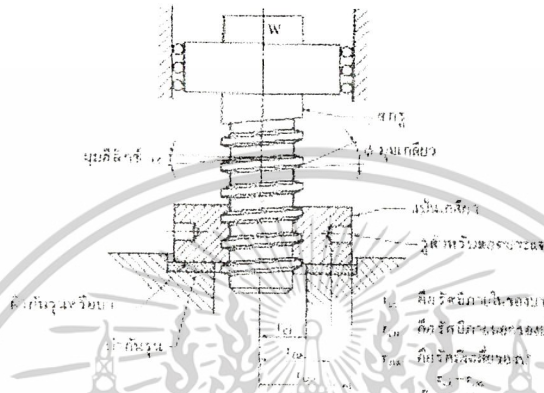
#### 2.4.2 ชนิดของเกลียวสำหรับสกรูส่งกำลัง

สกรูส่งกำลังที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ส่วนมากจะมีขนาดตามหน่วยระบบอังกฤษ ส่วนเครื่องจักรที่จะผลิตออกมาในอนาคตจะค่อยๆ เปลี่ยนไปใช้ในระบบหน่วยเอสไอ ซึ่งสำหรับสกรูส่งกำลังแล้ว รูปร่าง และขนาดของเกลียวจะเป็นไปตามมาตรฐานระหว่างประเทศ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวเพียงที่ใช้ในส่วนเครื่องจักรในหลากหลายเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 โหมเมนต์บิดสำหรับหมุนสกรูส่งกำลัง

พิจารณาสกรูส่งกำลังดังรูปที่ 2.7 (วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน, 2541) ซึ่งมีมุมฮีลิคซ์  $\alpha$  องศา และมุมเกลียวของสกรู  $\phi$  องศา ในกรวยก้นหน้า  $W$  ขึ้นลง ทำได้โดยหมอบเป็นเกลียวซึ่งตั้งอยู่บนที่รองรับ เรียกว่า ป่า (Collar) สมมุติให้แรง  $F$  ที่ใช้ยกน้ำหนักขึ้นกระทำอยู่บนเกลียวที่มีรัศมีเฉลี่ยของสกรู  $r_m = (r_o + r_i)/2$  ตำแหน่ง  $o$  ดังรูป 2.8 (วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน, 2541) ในขณะที่ยกน้ำหนักขึ้นจะมีแรงเสียดทาน  $F_f$  กระทำบนผิวหน้าของเกลียวด้านการเคลื่อนที่สกรู



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างใช้สกรูส่งกำลังแม่แรง

- โดยที่  $F_n$  คือ แรงปฏิกิริยาซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับผิวหน้าของเกลียว  
 $OA$  คือ เวกเตอร์ของแรงที่มีขนาดเท่ากับ  $W$  แต่ทิศทางตรงกันข้าม  
 $OB$  คือ เวกเตอร์ของแรงรวมระหว่างแรง  $F_f$  และ  $OA$   
 $f_s$  คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวหน้าของเกลียวและเป็นเกลียว

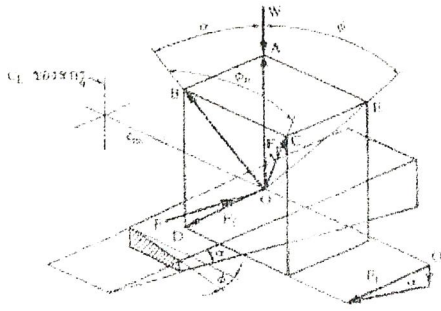
รวมแรงในแนวตั้งจะได้

$$F_n \cos \phi_n \cos \alpha = W + F_f \sin \alpha \quad (2.28)$$

แต่  $F_f = f_s F_n$  แทนค่าลงในสมการข้างบนนี้จะได้ว่า

$$F_n = \frac{W}{\cos \phi_n \cos \alpha - f_s \sin \alpha} \quad (2.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แผนภาพแรงปฏิกิริยาบนเกลียวเนื่องจากการยกน้ำหนัก  $W$

ในการหาโมเมนต์บิดที่เกิดจากการใช้แรง  $F$  เพื่อยกน้ำหนักขึ้น ให้รวมโมเมนต์รอบแกนกลางของสกรู

$$T_R = Fr_m = r_m [F_f \cos \alpha + F_n \cos \phi_n \sin \alpha] \quad (2.30)$$

$$T_R = r_m [f_s F_n \cos \alpha + F_n \cos \phi_n \sin \alpha] \quad (2.31)$$

แทนค่า  $F_n$  จากสมการข้างต้นในสมการข้างบน และให้  $d_m$  แทนเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของสกรู จะได้โมเมนต์บิดที่ใช้ในการยกน้ำหนัก (สำหรับสกรูเกลียวดีเหลี่ยมคางหมู ในตาราง  $d_m$  ก็คือเส้นผ่าศูนย์กลางพิตซ์  $d_2$ )

$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \left[ \frac{f_s \cos \alpha + \cos \phi_n \sin \alpha}{\cos \phi_n \cos \alpha - f_s \sin \alpha} \right]$$

หรือ 
$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \left[ \frac{f_s + \cos \phi_n \tan \alpha}{\cos \phi_n - f_s \tan \alpha} \right] \quad (2.32)$$

ในการใช้สมการที่ (2.32) จำเป็นที่จะต้องทราบมุม  $\phi_n$  ซึ่งสามารถหาได้โดยพิจารณารูปที่ 2.8 ดังนี้

$$\tan \phi_n = \frac{BC}{OB}$$

แต่  $BC = AE = OA \tan \phi = OB \cos \alpha \tan \phi$

เพราะฉะนั้น 
$$\tan \phi_n = \cos \alpha \tan \phi \quad (2.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

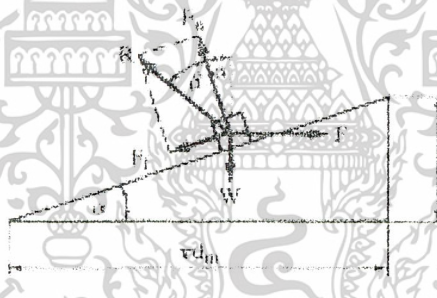
โดยปกติแล้วมุมฮิลิกซ์  $\alpha$  จะมีค่าน้อย (ประมาณ 2 องศา ถึง 6 องศา) ดังนั้นค่าของ  $\cos \alpha$  จึงเกือบเท่ากับ 1 ฉะนั้นเพื่อความสะดวกในการคำนวณต่างๆ ไป จึงอนุญาตให้ใช้  $\phi_n = \phi$  ได้ ซึ่งทำให้เขียนสมการที่ 2.32 ใหม่ได้เป็น

$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \left[ \frac{f_s + \cos \phi \tan \alpha}{\cos \phi - f_s \tan \alpha} \right] \quad (2.34)$$

ในกรณีของสกรูส่งกำลังที่มีเกลียวสี่เหลี่ยม มุม  $\phi = 0$  จากสมการที่ 2.34 จะได้โมเมนต์บิดที่ใช้น้ำหนัก  $W$  เท่ากับ

$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \left[ \frac{f_s + \tan \alpha}{1 - f_s \tan \alpha} \right] \quad (2.34)$$

ถ้าพิจารณารูปที่ 2.9 (วิธีที่ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนังงาน, 2541) จะเห็นได้ว่าในกรณีของเกลียวสี่เหลี่ยม แรง  $F_n$  จะเท่ากับ  $OB$  ซึ่งถ้านำเกลียวจำนวนหนึ่งรอบมาคลี่ออกแล้วจะได้ระบบของแรงที่เห็นได้ชัดเจนกว่าดังรูปที่ 2.9 โดยมุม  $\beta$  เรียกว่า มุมความเสียดทาน ซึ่ง  $\tan \beta = f_s$



รูปที่ 2.9 แรงปฏิกิริยาบนเกลียวสี่เหลี่ยม

เมื่อรวมแรงในแนวตั้งและแนวระดับจะได้

$$W = R \cos(\alpha + \beta)$$

$$F = R \sin(\alpha + \beta)$$

หรือ

$$F = W \tan(\alpha + \beta)$$

ดังนั้น

$$T_R = \frac{Fd_m}{2} = \frac{Wd_m}{2} \tan(\alpha + \beta)$$

$$= \frac{Wd_m}{2} \left[ \frac{\tan \beta + \tan \alpha}{1 - \tan \beta \tan \alpha} \right]$$

หรือ

$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \left[ \frac{f_s + \tan \alpha}{1 - f_s \tan \alpha} \right] = \frac{Wd_m}{2} \tan(\beta + \alpha)$$

ซึ่งเหมือนกับสมการที่ 2.34 ที่ได้หามาแล้ว

ในการหมุนสกรูเพื่อยกน้ำหนักลงแรง  $F$  และ  $F_f$  ดังรูปที่ 2.7 จะกลับทิศทาง การหาสูตรก็ทำในทำนองเดียวกันกับการยกน้ำหนักขึ้น ซึ่ง ได้สมการ ดังนี้ คือ

สำหรับสกรูที่มีมุมเกลียว  $\phi$  องศา

$$T_L = \frac{Wd_m}{2} \left[ \frac{f_s - \cos \phi \tan \alpha}{\cos \phi + f_s \tan \alpha} \right] \quad (2.35)$$

สำหรับเกลียวสี่เหลี่ยม

$$T_L = \frac{Wd_m}{2} \tan(\beta - \alpha) = \frac{Wd_m}{2} \left[ \frac{f_s - \tan \alpha}{1 + f_s \tan \alpha} \right] \quad (2.36)$$

นอกจากแรงที่กระทำต่อสกรูส่งกำลังดิ่งที่ได้กล่าวมาแล้ว สกรูในรูปที่ 2.9 ยังมีแรงเสียดทานที่บ่ารองรับอีกด้วย แรงเสียดทานนี้ทำให้ต้องใช้แรงหรือ โมเมนต์บิดในการยกน้ำหนักขึ้นหรือลงมากขึ้น ถ้าให้  $f_c$  แทนแรงเสียดทานระหว่างผิวหน้าของบ่ารองรับและเป็นเกลียว แรงเสียดทานจะมีค่าเท่ากับ

$$F_c = f_c W$$

ถ้าสมมติให้แรงเสียดทานนี้กระทำที่แรงรัศมีเฉลี่ยของบ่ารองรับ  $r_{mc}$  โมเมนต์บิดที่ต้องใช้เพื่อเอาชนะความเสียดทานนี้คือ

$$T_{fc} = r_{mc} f_c W$$

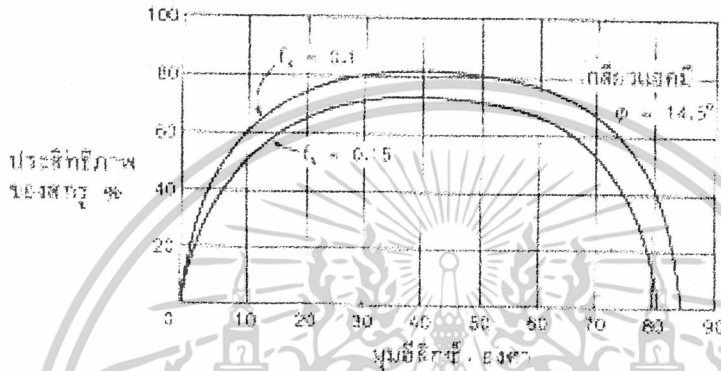
ในกรณีที่ใช้แบร์ริงลูกปืนกันรุน (Ball Thrust Bearing) รองรับแทนบ่ารองรับ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะมีค่าน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.4 ประสิทธิภาพสกรูส่งกำลัง

ประสิทธิภาพสกรูส่งกำลัง (Power Screw Efficiency) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์บิดที่ใช้ในการยกน้ำหนักในขณะที่ไม่มีความเสียดทาน กับโมเมนต์บิดที่ใช้ยกน้ำหนักในขณะที่มีความเสียด

รูปที่ 2.10 (วิธี อังภากรณ์ และ ชาญ ถนังงาน, 2541) แสดงถึงกราฟตัวอย่างประสิทธิภาพของสกรูส่งกำลังแบบเกลียวแอกมิโดยไม่มีความเสียหายที่ปารองรับ จะเห็นได้ว่าระยะแรกประสิทธิภาพของสกรูจะเพิ่มขึ้นเมื่อมุมอีลิกซ์เพิ่มขึ้น แต่มุมอีลิกซ์จะเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ ไม่ได้ ทั้งเพราะเมื่อเพิ่มมุมอีลิกซ์ขึ้นไปจนถึงค่าหนึ่ง สกรูจะไม่เป็นแบบล็อกด้วยตัวเอง (Self-Locking) (ซึ่งจะได้กล่าวในภายหลัง) อีกต่อไป

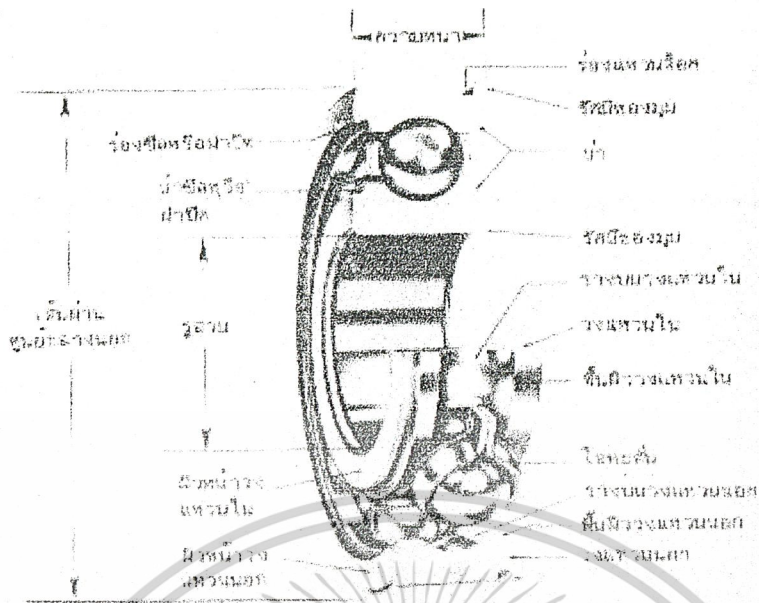


รูปที่ 2.10 ประสิทธิภาพของเกลียวแอกมิ

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสำหรับวัสดุต่างๆ ที่ใช้ทำสกรู ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่าง เช่น การหล่อลื่น ความเรียบของผิวหน้าเกลียว การกระจายของแรงบนเกลียว ตลอดจนจลนพลศาสตร์และการตั้งศูนย์ แสดงค่าโดยประมาณของสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน สำหรับสกรูที่ผลิตด้วยฝีมือที่ดี

#### 2.5 ทฤษฎีการคำนวณในการเลือกใช้แบริ่ง

โรลลิ่งแบริ่ง (Rolling Bearings) หมายถึงแบริ่งชนิดที่รับแรงโดยอาศัยชิ้นส่วนของแบริ่งที่มีลักษณะเป็นผิวสัมผัสแบบกลิ้ง (Rolling Contact) แทนที่จะเป็นผิวสัมผัสแบบเลื่อน (Sliding Contact) เนื่องจากแบริ่งชนิดนี้มีค่าความเสียดทานน้อยมาก ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งที่นิยมใช้กันทั่วไปในวงการอุตสาหกรรมว่า แอนติฟริกชันแบริ่ง (Anti-Friction Bearing) ตัวอย่างเช่น บอลแบริ่ง (Ball Bearing) หรือดรัมลูกปืน ดังรูปที่ 2.11 (วิธี อังภากรณ์ และ ชาญ ถนังงาน, 2541) ซึ่งประกอบด้วยวงแหวนเหล็กกล้าสองวงที่แยกออกจากกันด้วยลูกกลิ้งทรงกลม ลูกกลิ้งเหล่านี้รับแรงมาจากวงแหวนวงหนึ่งแล้วส่งแรงนี้ผ่านไปยังวงแหวนอีกวงหนึ่ง โดยการกลิ้งมากลิ้งไปบนแหวน



รูปที่ 2.11 ส่วนต่างๆ ของแบริ่ง

ที่มา : วรวิทย์ อิงการณั และ ชาญุ ณันัดงาน, 2541

เนื่องจากการใช้โรลลิ่งแบริ่งกันอย่างแพร่หลายทั่วไป สมาคมผู้ผลิตโรลลิ่งแบริ่ง (AFBMA [1]: Anti – Friction Bearing) จึงได้วางมาตรฐานการกำหนดขนาดและหลักเกณฑ์ที่จะใช้ในการเลือกแบริ่งเหล่านี้ขึ้น จากมาตรฐานเหล่านี้ทำให้ผู้ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลสามารถเลือกแบริ่งจากแค็ตตาล็อกของผู้ผลิตหนึ่งและทำการเปลี่ยนแปลงแบริ่งนี้โดยการเลือกจากอีกผู้ผลิตหนึ่งได้ โดยที่แบริ่งที่เลือกจากผู้ผลิตทั้งสองยังคงมีขนาดเท่ากัน ถึงแม้ว่าสมาคม AFBMA ได้วางมาตรฐานวิธีการเลือกแบริ่งตามต้องการของการรับแรงและอายุการใช้งานเอาไว้ แต่การยังมีผู้ผลิตที่วางมาตรฐานการเลือกแบริ่งของตนเองที่แตกต่างออกไปจากของสมาคม AFBMA แต่อย่างไรก็ตามแค็ตตาล็อกของผู้ผลิตก็มีข้อมูลเพียงพอที่จะทำให้การเปลี่ยนค่ามาเทียบกับค่าของ AFBMA ได้

ข้อดีและข้อเสีย เมื่อเปรียบเทียบกับเจอนรัลแบริ่ง ดังต่อไปนี้ คือ

1. มีความเสียดทานขณะสตาร์ทน้อย (Low Starting Friction Torque) จึงเหมาะสำหรับเครื่องจักรกลที่มีการเดินเครื่องและหยุดเครื่องบ่อยครั้ง
2. ง่ายต่อการหล่อลื่นและดูแลรักษา โดยเฉพาะชนิดที่อัดด้วยไขชั้น หรือจะระบิมาจากโรงงานด้วยแล้ว ก็อบจะไม่ต้องดูแลเกี่ยวกับการหล่อลื่นอีกเลย
3. ใช้ปริมาณสารหล่อลื่นน้อย
4. ใช้เนื้อที่ทางค้ำแกน (Axial Load) น้อย
5. สามารถรับแรงรุน (Thrust Load) และแรงในแนวรัศมี (Radial Load) ได้พร้อมกัน ยกเว้นโรลลิ่งแบริ่งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกตรง (Straight Rolling Bearing) สำหรับเจอร์นัลแบริ่งรับแรงได้เฉพาะในแนวรัศมีเท่านั้น
6. สามารถที่จะทราบว่แบริ่งกำลังจะเสีย โดยสังเกตจากเสียงดัง ซึ่งผิดไปจากปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. มีเคลียร์รันช์น้อยมาก จึงเหมาะที่จะใช้กับเครื่องจักรกลที่จะต้องใช้ความละเอียดแม่นยำในการทำงาน เช่น เฟืองและลูกเบี้ยว เป็นต้น
8. สามารถใช้รองรับเพลานในตำแหน่งใดๆ ได้ เช่น ใช้รองรับเพลลา ซึ่งวางเรียงเป็นมุมกับแนวระดับ เป็นต้น
9. ทำการติดตั้งง่าย
  - ข้อเสียของโรลลิงแบร์ริงเปรียบเทียบกับเจอร์นัลแบร์ริง
1. ใช้เนื้อที่ทางด้านรัศมี (Radial Space) มากกว่า
2. โดยปกติแล้วราคาแพงกว่า
3. ขณะทำงานจะมีเสียงดังกว่า เนื่องจากจะมีการสัมผัสระหว่างผิวของลูกกลิ้งและวงแหวนข้างในบางขณะ
4. อายุการใช้งานสั้นกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากความเค้นที่มีค่าสูง และกระทำซ้ำกัน (Repeated Load) จึงทำให้วัสดุเกิดความล้า
5. เมื่อมีแรงกระแทกทำให้อายุการใช้งานลดลงได้มาก

### 2.5.1 ความเสียหายของโรลลิงแบร์ริง

ความเสียหายของโรลลิงแบร์ริงส่วนใหญ่เกิดจากการเสียดสีกันระหว่างลูกกลิ้งและรางบนวงแหวน ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสำหรับแบร์ริงบางชนิด ดูได้จากตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความเสียหาย

ชนิดของแบร์ริง	จุดรับน้ำหนัก		ขณะทำงาน	
	ในแนวรัศมี	ในแนวแกน	ในแนวรัศมี	ในแนวแกน
บอลแบร์ริง	0.0025	0.0060	0.0015	0.0040
spherical roller bearing	0.0030	0.1200	0.0018	0.0080
cylindrical roller bearing	0.0020	-	0.0011	-

ที่มา: วริทธิ อิงภากรณ์ และ ชาญ ถนังงาน, 2541

โดยปกติแล้วค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ แรง ความเร็ว การหล่อลื่น และ ซีลของแบร์ริง (Bearing Seal) ดังนั้นในกรณีที่ผู้ออกแบบเห็นว่า ความเสียหายในแบร์ริงเป็นข้อแปรที่สำคัญสำหรับเครื่องจักรกลที่กำลังออกแบบอยู่ ก็ควรที่จะปรึกษากับผู้ผลิตโดยตรง

ถึงแม้ว่าค่าความเสียหายนี้จะมีความเสียหายน้อยมากสำหรับงานทั่วไป แต่สมการทางทฤษฎีที่ใช้สำหรับคำนวณหากำลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากความเสียหาย ซึ่งควรทราบไว้ คือ สมการที่ 2.37(a) และ สมการที่ 2.37(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W_p = \frac{2\pi nT}{60} = \frac{\pi f F_r d_n}{60} \quad (2.37 \text{ (a)})$$

หรือ

$$W_p = \frac{\pi f F_a d_n}{60} \quad (2.37 \text{ (b)})$$

โดยที่  $W_p$  = กำลังงานเป็น W  
 $T$  = โมเมนต์บิดเนื่องจากความเสียดทานเป็น Nm  
 $n$  = ความเร็วรอบของเพลานเป็น rpm  
 $d_n$  = ขนาดครุสวม (Bore) ของแบริ่งเป็น m  
 $F_r$  = แรงที่กระทำกับแบริ่งในแนวรัศมีเป็น N  
 $F_a$  = แรงที่กระทำกับแบริ่งในแนวแกนเป็น N  
 $f$  = ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

สำหรับกำลังงานที่มีหน่วยเป็นแรงม้าซึ่งยังมีการใช้อยู่อย่างแพร่หลาย ก็จะคำนวณได้จากสมการ

$$hp = \frac{Tn}{63000} = \frac{fF_r d_n}{126000} \quad (2.38)$$

โดยที่  $F_r$  มีหน่วยเป็น lb และ  $d$  มีหน่วยเป็น in.

## 2.5.2 อายุการใช้งานแบริ่ง

แบริ่งที่ได้รับการติดตั้งและการหล่อลื่นอย่างดี ตลอดจนดูแลรักษาให้ปราศจากฝุ่น หรือผงต่างๆ และไม่อยู่ภายใต้แรงกระทำที่มีค่าสูงมากจนเกินความสามารถที่แบริ่งจะรับได้แล้วแบริ่งจะเสียหายเนื่องจากความล้าที่อยู่ในวัสดุแบริ่งเท่านั้น ดังจะเห็นได้ว่าแบริ่งที่เสียหายมีเศษผงโลหะหลุดออกมาเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เพราะพื้นที่สัมผัสระหว่างลูกกลิ้งและวงแหวนมีค่าน้อย ดังนั้นความเค้นที่เกิดขึ้นในลูกกลิ้งหรือวงแหวนจึงมีค่าสูงให้ความเค้นของเฮิร์ซ (ในที่นี้จะไม่กล่าวถึงการหาและที่มาความเค้นของเฮิร์ซ ซึ่งต้องใช้ทฤษฎีทางอิลาสติซิตี) ในขณะที่ลูกกลิ้งหมุนไปรอบวงแหวน วัสดุส่วนที่รับแรงของแบริ่งจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ ไปยังค่าสูงสุดแล้วกลับลงมาเป็นศูนย์ (Repeated Stress) อยู่ตลอดเวลา แต่เนื่องจากค่าความเค้นสูงกว่าขีดจำกัดความทนทาน (Endurance Limit) ของวัสดุแบริ่ง ดังนั้นจึงเกิดการเสียหายขึ้นโดยความล้า ซึ่งก็แสดงว่าอายุการใช้งานของแบริ่งมีระยะเวลาจำกัด ขึ้นอยู่กับค่าความเค้นที่กระทำซ้ำ จากผลการทดลองของ Lundberg และ Palmgren [2] ซึ่งได้ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการประเมินค่ามาตรฐานของ AFBMA พบว่า อายุการใช้งาน  $L$  แปรผกผันเป็นสัดส่วนกลับกับแรงในแนวรัศมี  $P$  (ในกรณีที่มีทั้งแรงในแนวรัศมีและแรงรุน  $P$  จะเป็นแรงในแนวรัศมีสมมูล (Equivalent Radial Load) ซึ่งจะได้กล่าวดังต่อไปนี้ นั่นคือ

$$L \propto \frac{1}{P^k} \quad (2.39)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่าคงที่  $k = 3$  สำหรับบอลแบร์ริง  
 $k = 10/3 = 3.33$  สำหรับโรลลิ่งแบร์ริง

อายุใช้งาน  $L$  นี้มักจะเป็นจำนวนชั่วโมงที่ความเร็วรอบของเพลาอันหนึ่ง หรือนับเป็นจำนวน  
 ด้านรอบ  $mr$  (Millions Of Revolution) จากสมการที่ 2.39 จะได้ว่า

$$\frac{L_1}{L_2} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^k \quad (2.40)$$

จากสมการที่ 2.40 จะเห็นได้ว่าถ้าแรงลดลงหนึ่งเท่าแล้ว อายุใช้งานของบอลแบร์ริงจะเพิ่มขึ้นมี  
 ค่าเท่ากับ

$$\frac{L_1}{L_2} = 2^3 = 8 \text{ เท่า}$$

สำหรับโรลลิ่งแบร์ริง อายุการใช้งานจะเพิ่มขึ้นอีก

$$\frac{L_1}{L_2} = 2^{3.33} = 10.06 \text{ เท่า}$$

ดังนั้นผู้เลือกใช้โรลลิ่งแบร์ริงจึงต้องระมัดระวังในการคำนวณหาขนาดของแรงที่กระทำต่อแบร์ริงให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด

### 2.5.3 การประเมินค่าอายุการใช้งานและแรง

ถึงแม้ว่าจะมีกรรมวิธีการผลิตและควบคุมคุณภาพของโรลลิ่งแบร์ริงอย่างทันสมัยแต่ก็ปรากฏ  
 ว่าแบร์ริงชนิดเดียวกันที่ผลิตออกมาภายใต้วิธีการและเครื่องมือขึ้นเดียวกันจะมีอายุการใช้งานแตกต่างกันไปมาก  
 ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากความยากลำบากในการควบคุมความกลมของลูกกลิ้ง และความเรียบของผิวหน้าลูกกลิ้ง  
 เป็นต้น ดังนั้นอายุการใช้งานที่ทางผู้ผลิตอ้างอิงจึงมีรากฐานมาจากการใช้หลักวิชาการทางด้านเข้าช่วยทางสมาคม  
 AFBMA จึงได้นิยามและจัดตั้งวิธีการเลือกแบร์ริงขึ้น ซึ่งมีดังต่อไปนี้ คือ

1. อายุการใช้งานของโรลลิ่งแบร์ริงหมายถึงจำนวนรอบ (หรือจำนวนชั่วโมงที่มีความเร็วคงที่) ซึ่ง  
 แบร์ริงหมุนได้ก่อนที่จะเริ่มเกิดความล้าขึ้นในวงแหวนหรือลูกกลิ้ง
2. อายุประเมิน (Rating Life) ของโรลลิ่งแบร์ริงจำนวนหนึ่ง ซึ่งมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ  
 หมายถึงจำนวนรอบ (หรือจำนวนชั่วโมงที่มีความเร็วคงที่) ซึ่งแบร์ริง 90 % จากจำนวนนี้สามารถ  
 หมุนได้โดยไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากความล้า และใช้แทนด้วยอายุใช้งาน  $L_{10}$  ผู้ผลิตบางบริษัท  
 อาจจะใช้อายุใช้งานเฉลี่ย (Median Life) เป็นอายุประเมินก็ได้ อายุใช้งานเฉลี่ยนี้หมายถึงจำนวน  
 รอบที่ 50% ของแบร์ริงจำนวนหนึ่งสามารถหมุนได้โดยไม่เกิดความล้าขึ้นและใช้แทนด้วยอายุใช้  
 งาน  $L_{50}$  ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ  $L_{10}$  โดยประมาณคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_{50} \approx L_{10} \quad (2.41)$$

3. แรงสถิตย์ประเมิน (Basic Static Load Rating) หมายถึงแรงในแนวนอร์ศมีที่ทำให้เกิดระยะยุบตัวของลูกกลิ้งกับวงแหวนรวมกันเท่ากับ 0.0001 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้ง และใช้แทนด้วย  $C_0$  ค่าของ  $C_0$  สำหรับเบร้งอนุกรมมิติต่างๆ ดูได้จากตารางและค่า  $C_0$  นี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำเบร้ง จำนวนแถวของลูกกลิ้งในเบร้ง จำนวนลูกกลิ้งต่อแถว มุมสัมผัสตลอดจนขนาดของลูกกลิ้ง และวงแหวน

โดยปกติแล้วแรงสถิตย์ประเมินไม่ค่อยจะมีผลต่อการเลือกเบร้งมากนัก แต่ถ้าเบร้งรับแรงสูงและอยู่นิ่ง เป็นระยะเวลาอนานก็อาจจะทำให้เกิดการยุบตัวอย่างถาวร (Permanent Deformation) เป็นแห่งๆ ได้ ดังนั้นในบางครั้งจึงต้องมีการตรวจสอบว่า แรงที่มากกระทำมีค่าเกินกว่า  $C_0$  หรือไม่

4. แรงพลวัตประเมิน (Basic Static Load Rating) บางครั้งอาจจะเรียกว่า สมรรถนะพลวัต (Basic Dynamic Capacity) ของโรลลิ่งเบร้ง หมายถึงแรงที่มากกระทำในแนวนอร์ศมี ซึ่งเบร้งที่มีลักษณะเหมือนกันจำนวนหนึ่งจะรับได้ โดยมีอายุประเมิน  $L_{10}$  เท่ากับหนึ่งล้านรอบ เมื่อวงแหวนตัวในเป็นตัวหมุนและวงแหวนตัวนอกอยู่นิ่ง และใช้แทนด้วย  $C$

แรงพลวัตประเมิน  $C$  นี้ เป็นค่าที่ใช้ในการเลือกขนาดเบร้งเพื่อใหรับแรง และมีอายุการใช้งานได้ตามความต้องการ โดยมีการเปลี่ยนแรงและอายุการใช้งานจริงมาเป็นแรงและอายุใช้งานที่แสดงไว้ในแค็ตตาล็อก (คือแรงในแนวนอร์ศมีที่มีอายุประเมินเท่ากับหนึ่งล้านรอบ) หรือในทางกลับกัน คือ เลือกเบร้งจากแค็ตตาล็อกแล้วเปลี่ยนใหรับแรงได้เท่าที่ต้องการใช้งานจริง และดูว่าอายุประเมินจะได้ตามอายุใช้งานที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้สมการที่ 2.40 ดังนี้

ให้  $L_{10}$  เป็นอายุการใช้งานจริงซึ่งมีหน่วยเป็นล้านรอบ ( $mr$ ) และ  $P$  เป็นแรงในแนวนอร์ศมีที่เบร้งจะต้องรับขณะใช้งานจริง จากสมการ (2.40) จะเห็นว่า

$$L_1 = L_{10} \quad P_1 = P$$

$$L_2 = 1 \text{ } mr \quad P_2 = C$$

ดังนั้น

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^k \quad (2.42)$$

จากสมการที่ 2.42 ทำให้ทราบว่าเบร้งที่เลือกมาจากอายุประเมินจำนวนหนึ่งล้านรอบนั้น จะสามารถทำงานได้กี่ล้านรอบขณะทำงานจริง

#### 2.5.4 แรงสมมูล

ในการใช้งานจริง โรลลิ่งเบร้งอาจจะรับทั้งแรงในแนวนอร์ศมีและแนวแกน และวงแหวนในหรือ นอกจะเป็นอันที่หมุนได้ ซึ่งก็แล้วแต่ผู้ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล อีกประการหนึ่ง แค็ตตาล็อกของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ผลิตจะกำหนดให้เฉพาะอายุประเมิน ในเทอมของแรงในแนวรัศมีเท่านั้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนแรงและเงื่อนไขจากที่ใช้ทำงานจริงๆ มาเป็นแรงในแนวรัศมีโดยมีวงแหวนในเป็นตัวหมุน เรียกว่าแรงสมมูล (Equivalent Force) เพื่อจะใช้เลือกแบร์ริงจากแค็ตตาล็อกได้ สมาคม AFBMA ได้กำหนดนิยามของแรงสมมูลไว้ดังนี้

แรงสมมูลหมายถึง แรงในแนวรัศมีซึ่งถ้าให้กระทำต่อ โรลลิ่งแบร์ริง โดยที่วงแหวนในหมุน และวงแหวนนอกอยู่นิ่งแล้ว จะทำให้โรลลิ่งแบร์ริงมีอายุใช้งานเท่ากับอายุใช้งานของโรลลิ่งแบร์ริงที่รับแรงจริง (ซึ่งอาจจะมีทั้งแรงในแนวรัศมีและแรงในแนวแกนพร้อมกัน) และให้คำนวณได้จากสมการที่ 2.43 และสมการที่ 2.44

$$P = XVF_r + YF_a \quad (2.43)$$

หรือ

$$P = VF_r \quad (2.44)$$

โดยที่

- $P$  = แรงสมมูล
- $F_r$  = แรงในแนวรัศมี
- $F_a$  = แรงในแนวแกนหรือแรงรูน
- $V$  = ตัวประกอบการหมุน (Rotation Factor) มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อวงแหวนในหมุน และ 1.2 เมื่อวงแหวนนอกหมุนถ้าเป็นบอลแบร์ริงชนิด Self Aligning ให้ใช้ค่าเท่ากับ 1 เสมอ
- $X$  = ตัวประกอบแรงในแนวรัศมี (Radial Load Factor)
- $Y$  = ตัวประกอบแรงรูน (Thrust Load Factor)

ค่าแรงสมมูลที่ใช้ในการเลือกขนาดแบร์ริง ให้ใช้ค่าที่ได้จากสมการที่ 2.43 หรือ สมการที่ 2.44 แล้วแต่ค่าไหนจะมากกว่า สำหรับบอลแบร์ริงกันรูนและโรลเลอร์แบร์ริงกันรูน แล้วให้คำนวณค่าแรงสมมูลจากสมการที่ 2.43 โดยให้  $V=1$  ส่วน Straight Roller Bearing นั้นจะรับเฉพาะแรงในรัศมีเท่านั้น จึงคำนวณแรงสมมูลจากสมการ (2.44) ค่า  $X$  และ  $Y$  สำหรับแบร์ริงบางชนิดแสดงอยู่ในตารางที่ 2.6 และตารางที่ 2.7

### 2.5.5 ตัวประกอบใช้งาน

แรงที่กระทำต่อแบร์ริงจะได้รับการส่งทอดมาจากชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆ ซึ่งอาจมีความสั่นสะเทือนมากน้อยต่างกัน ไป อันอาจจะเป็นเหตุให้แบร์ริงเสียหายได้เร็วขึ้น ดังนั้นในการเลือกแบร์ริง จึงควรที่จะเพิ่มค่าแรงสมมูลโดยการคิดถึงลักษณะการใช้งาน ด้วยการคูณตัวประกอบเหล่านี้กับแรงสมมูลเสียก่อน ตัวประกอบเหล่านี้ได้มาจากประสบการณ์อันยาวนานของผู้ออกแบบเครื่องกลเป็นจำนวนมาก เรียกว่าตัวประกอบใช้งาน (Service Factor) และแสดงไว้ในตารางที่ 2.6, ตารางที่ 2.7 และตารางที่ 2.8 ซึ่งประกอบด้วยตัวประกอบของการกระแทก (Impact Factor) และตัวประกอบของเฟือง (Gear Factor) ซึ่งรวมเรียกว่า ตัวประกอบใช้งาน  $N_s$

ตารางที่ 2.6 ตัวประกอบของการกระแทก

ชนิดของแรง	$N_s$		
	บอลเบริง	โรตเลอร์เบริง	ตัวอย่าง
แรงเรียบสม่ำเสมอ	1.0	1.0	มอเตอร์ไฟฟ้า
แรงกระแทกเล็กน้อย	1.5	1.0	เครื่องอัดอากาศ
แรงกระแทกอย่างหนัก	2.0-3.0	1.3-2.0	เครื่องกักโลหะ ปั้นจั่น เครื่องบดแร่ เครื่องขยำ

ที่มา : วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน, 2541

ตารางที่ 2.7 ตัวประกอบใช้งานของสายพาน  $N_s$

ชนิดของสายพาน	$N_s$
สายพานลิ้ม (V-belts)	1.5-2.0
สายพานแบน	2.0-4.0

ที่มา : วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน, 2541

ตารางที่ 2.8 ตัวประกอบของเฟือง  $N_s$

คุณภาพของเฟือง	$N_s$
เฟืองซึ่งตัดฟันอย่างคึกคัก	1.5-2.0
เฟืองที่ใช้ทั่วไป	2.0-4.0

ที่มา : วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน, 2541

### 2.5.6 อายุใช้งานโดยสังเขป

ในการเลือกใช้เบริง ผู้ออกแบบเครื่องกลจะต้องทราบว่ แรงที่กระทำต่อเบริงมีค่าเท่าใด และอายุใช้งานของเบริงจะนานเท่าใด ตารางที่ 2.9 แสดงถึงอายุการใช้งานของเบริงในเครื่องจักรกลชนิดต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางแก่ผู้เลือกใช้เบริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 แนวทางในการเลือกอายุใช้งานสำหรับเครื่องจักรกลชนิดต่างๆ

ชนิดเครื่องจักรกล	อายุเป็นชั่วโมงการทำงาน
เครื่องมือวัดและเครื่องมือที่ใช้ไม่บ่อยนัก ตัวอย่างเช่น เครื่องมือสำหรับห้องทดลอง อุปกรณ์สำหรับประตูลื่น	500
เครื่องยนต์เครื่องบิน	500-2000
เครื่องจักรสำหรับใช้งานเวลาช่วงสั้น ๆ หรือทำงานเป็นพัก ๆ ตัวอย่างเช่น เครื่องมือต่างๆ รอกยกของในโรงงาน เครื่องจักรที่ใช้มือจับ เครื่องจักรกลการเกษตร บันจันที่ใช้ในงานประกอบ เครื่องขนถ่าย บันจันที่ใช้ในงานหล่อ เครื่องจักรกลที่ใช้ในบ้าน	4000-8000
เครื่องจักรที่มีการใช้งานเป็นพัก ๆ แต่มีความสำคัญต่องานที่ทำมาก ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรสำรองของโรงงานต้นกำลัง อุปกรณ์ลำเลียงใน สายงานการผลิต ลิฟท์ บันจันยกสินค้าทั่วไป เครื่องมือกลที่ใช้ไม่บ่อยนัก	8000-12,000
เครื่องจักรที่ใช้งาน 8 ชั่วโมง แต่ไม่ได้ทำงานเต็มที่ ตัวอย่างเช่น มอเตอร์ไฟฟ้า ชุดเพื่อทดสอบสำหรับงานทั่วไป	12,000-20,000
เครื่องจักรที่ใช้งาน 8 ชั่วโมง แต่ทำงานเต็มที่ ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรกลที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไป บันจันที่ใช้ยกของตลอดเวลาเครื่องเป่าลม เพลาส่งกำลัง	20,000-30,000
เครื่องจักรที่ใช้งานต่อเนื่อง (ทำงาน 24 ชั่วโมง) ตัวอย่างเช่น เครื่องแยกของ เครื่องอัดอากาศ บั้ม เพลาส่งกำลัง ลูกกลิ้งของ สายพานลำเลียง รอกในเมืองแร่ มอเตอร์ไฟฟ้า	40,000-60,000
เครื่องจักรที่ใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง แต่ละการทำงานที่มีความสำคัญมาก ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษ โรงไฟฟ้า บั้มในเมืองแร่ สถานีขนส่งน้ำประปา เครื่องจักรในเรือเดินสมุทร	100,000-200,000

ที่มา : วรวิทย์ อิงภากรณ์ และ ชาลฎ ถนัดงาน, 2541

### 2.5.7 การหล่อลื่น

โรลลิงแบร์ริงจะทำงานได้ดีหรือไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับการเลือกใช้สารหล่อลื่นที่เหมาะสมความถี่ในการหล่อลื่น และการใช้สารหล่อลื่นอย่างเพียงพอ จุดประสงค์ที่แท้จริงของการหล่อลื่น คือ

1. เพื่อให้ผิวโลหะสัมผัสกันน้อยที่สุด
2. เพื่อป้องกันแบร์ริงเป็นสนิม
3. ในบางครั้งอาจใช้สารหล่อลื่นช่วยระบายความร้อนที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอมหรือเศษผงเข้าไปในแบริ่ง

สารหล่อลื่นที่ใช้อาจเป็น ไขชั้นหรือน้ำมัน ซึ่งจะอยู่กับขนาดของแรง ความเร็วรอบและ อุณหภูมิขณะใช้งาน ไขชั้นเหมาะสำหรับแบริ่งที่หมุนด้วยความเร็วรอบไม่สูงนัก ถ้าแรงและความเร็วรอบสูง ควรจะเลือกใช้น้ำมันเป็นสารหล่อลื่น ซึ่งนิยมเลือกกันเป็น Say Bolt Universal Seconds (SUS) ณ อุณหภูมิ 54.5 องศาเซลเซียส ความเร็วที่แยกการใช้ไขชั้นหรือน้ำมันนั้นไม่อาจกำหนดลงไปแน่นอนได้ แต่โดยปกติแล้วผู้ผลิตจะมีคำแนะนำไว้ให้ในหนังสือคู่มือ

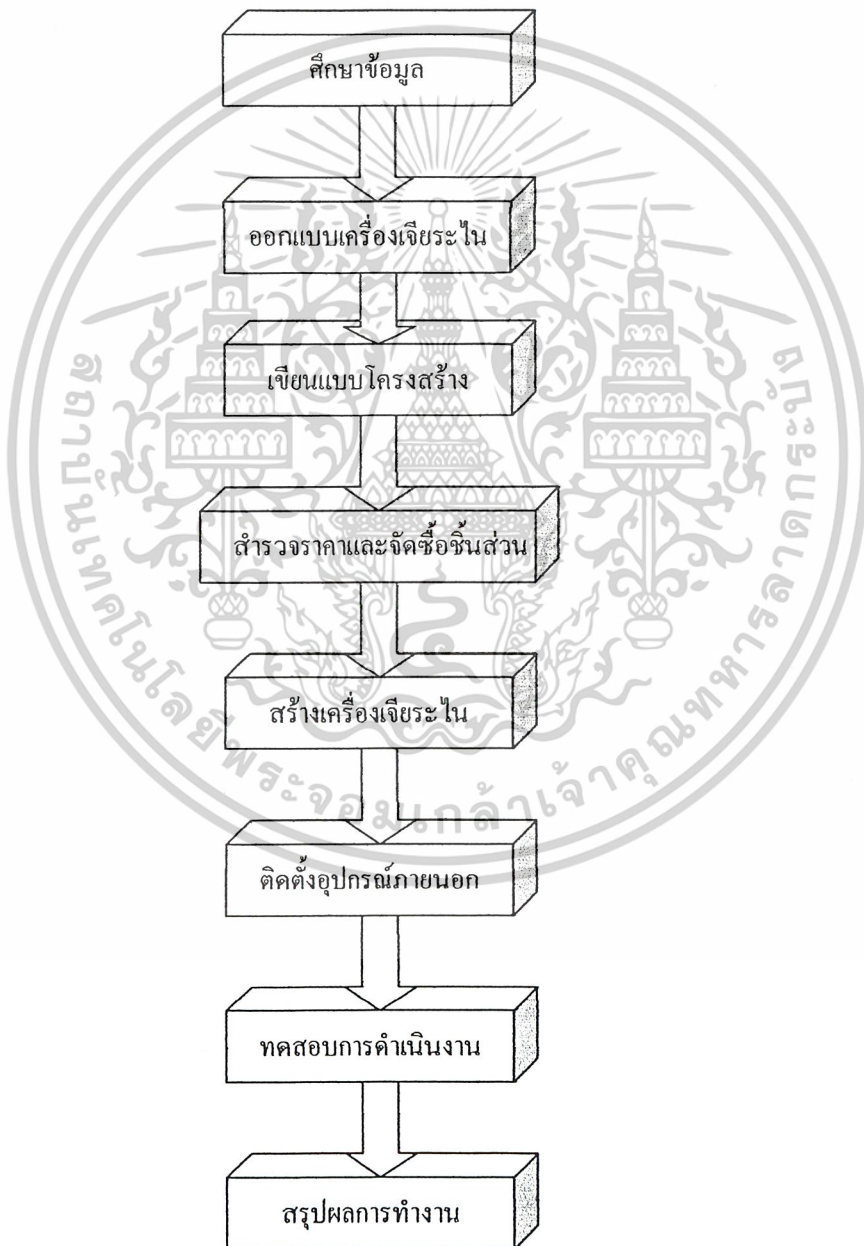


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

## การออกแบบ / การดำเนินงาน

### 3.1 การวางแผนการดำเนินการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดการทำงานในการวางแผนการทำงาน มี ดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลของเครื่องเจียรระโนเพลลาและวิเคราะห์ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่อง
2. ออกแบบ โครงสร้างและชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องเจียรระโนเพลลา
3. เขียนแบบ โครงสร้างและชิ้นส่วนเครื่องเจียรระโนเพลลา
4. นำแบบเครื่องเจียรระโนไปเสนออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อขอคำแนะนำและแก้ไขส่วนที่ยังบกพร่อง
5. ทำการสำรวจชิ้นส่วนมาตรฐาน และวัสดุอุปกรณ์ที่จะนำมาสร้างเครื่องเจียรระโน
6. ตัดสินใจเกี่ยวกับชิ้นส่วนของเครื่องเจียรระโนเพลลา ว่าชิ้น ไหนที่สามารถทำเอง ได้ และชิ้น ไหนควรจะซื้อ
7. ดำเนินการสร้างชิ้นส่วนที่สามารถทำเองได้ และดำเนินการซื้อชิ้นส่วนที่ไม่สามารถผลิตเองได้
8. ดำเนินการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เป็นเครื่องเจียรระโน และพ่นสี
9. ติดตั้งอุปกรณ์ภายนอก เช่น มอเตอร์
10. ติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า ชุดควบคุมการทำงานของเครื่อง
11. ดำเนินการทดลองการทำงานของเครื่อง บันทึกผล และดำเนินการแก้ไข
12. สรุปผลการดำเนินงาน

### 3.2 การคำนวณและออกแบบชิ้นส่วน

#### 3.2.1 การเลือกใช้หินเจียรระโน

ในการเลือกใช้หินเจียรระโนลักษณะของงานที่จะเจียรระโน ในการสร้างเครื่องเจียรระโนทรง - กระบอกลี นี้ มีการเลือกใช้หินเจียรระโนชนิด 38 A ซึ่งเป็นเม็ดคัสสารเชิงสารทรายบริสุทธิ์ของอลูมิเนียม ออกไซด์ เมล็ดทรายแต่ละเม็ดมีรูปร่างและเปราะ สำหรับเจียรระโนงานเบา โดยเฉพาะใช้ในการลับคมของเหล็กอบสูง High Speed Steel และ มีดตัด (Cutter) และใช้ได้ดีกับงานเจียรระโนทรงกระบอก

#### 3.2.2 การคำนวณมอเตอร์

ออกแบบและคำนวณชุดส่งกำลัง อย่างเช่นการคำนวณการเลือกใช้มอเตอร์จากทฤษฎีข้างต้น ดังนี้

##### 3.2.2.1 มอเตอร์กระแสสลับ

จะเลือกใช้ขนาดของมอเตอร์ที่มีพิกัดดังนี้

- แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์
- กระแสไฟฟ้า 1.5 แอมแปร์
- ความถี่ 50 Hz
- ขั้วแม่เหล็ก 4 ขั้ว
- ความเร็วรอบ 1400 rpm
- แรงม้า ½ HP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2.2 ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนมีค่าเท่ากับความเร็วซิงโครนัส

$$n_s = \frac{120 \times f}{P}$$

$$= \frac{120 \times 50}{4}$$

$$= 1500 \text{ rpm}$$

ความเร็วของโรเตอร์ขณะไม่มีภาระทางกลจะมีน้อยกว่าความเร็วซิงโครนัสเล็กน้อย (ประมาณ 1400-1500) ขณะที่มอเตอร์จ่ายภาระทางกลเต็มพิกัดจะทำให้กำลังงาน (ทางกล) เท่ากับ 373 W กระแสที่ต้องจ่ายให้มอเตอร์เท่ากับ 1.5 V โรเตอร์หมุนด้วยความเร็วเท่ากับ 2800 rpm และจะมีค่าสลิปเท่ากับ

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{1500 - 1400}{1500} = 0.06$$

ขณะที่มอเตอร์จ่ายภาระทางกลเต็มพิกัดจะมีแรงบิดทางกลเท่ากับ

จากสมการ  $T_{sh} \omega_r = P_{output}$

และ  $\omega_r = \frac{2\pi n_r}{60} = \frac{2\pi \times 1400}{60} = 146.6 \text{ rad/s}$

$$T_{sh} = \frac{P_{output}}{\omega_r} = \frac{373}{146.6} = 2.54 \text{ Nm}$$

อาร์เมเจอร์ให้กำเนิดแรง  $F$  มุมเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 55 mm

จากสมการ  $T_{sh} = Fr$

$$F = \frac{T_{sh}}{r} = \frac{1.27}{27.5 \times 10^{-3}} = 46.18 \text{ N}$$

### 3.2.3 การคำนวณเพลาล้อหินเจียร์ไน

ล้อหินเจียร์ไนขนาด 100 mm เจียร์ไนในแนวระดับ โดยใช้พูลล์ส่งกำลังขนาด 55 mm ซึ่งติดอยู่บนเพลาล้อหินเจียร์ไน ล้อหินเจียร์ไนมีมวล 0.5 Kg แรงในพูลล์และแรงปฏิกิริยาที่ล้อเจียร์ไน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากทั้งหมดไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกัน ดังนั้นจึงทำให้การวิเคราะห์แรงและ โมเมนต์ที่  
 ระนาบ การวิเคราะห์ทำได้ดังนี้  
 แรงในแนวระดับ

รวมโมเมนต์ที่ปลาย C และ D

$$\begin{aligned} 0 &= (9.81 \times 34) + (D \times 50) - (9.81 \times 34) - (46.18 \times 50) \\ &= 333.54 + (D \times 50) - 2642.54 \end{aligned}$$

$$D = \frac{2642.54 - 333.54}{50}$$

$$D = 46.18 \text{ N}$$

ฉะนั้น โมเมนต์คัตที่ C กับ D คือ

$$M_C = 9.81 \times 14 = 137.39 \text{ Nmm}$$

$$M_D = 9.81 \times 18 = 176.58 \text{ Nmm}$$

ดังนั้น โมเมนต์คัตสูงสุดเกิดขึ้นที่ล้อยันเดียวใน  
 โมเมนต์บิดเนื่องจากการส่งกำลังจากพูลต์ คือ

$$T = 46.18 \times 27.5 = 1269.95 \text{ Nmm}$$

จากตาราง  $C_m = 2, C_t = 1.5$

จากทฤษฎีการคำนวณเพลากำหนดให้

$$\tau_d = 41 \text{ N/mm}^2$$

สามารถหาค่า d ได้จาก

$$d^3 = \frac{16}{41\pi} [(2 \times 1269.95)^2 + (1.5 \times 176.58)^2]^{1/2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d = 6.32 \text{ mm.}$$

เลือกใช้  $d = 10 \text{ mm}$

### 3.2.4 การคำนวณอัตราทดของเฟือง

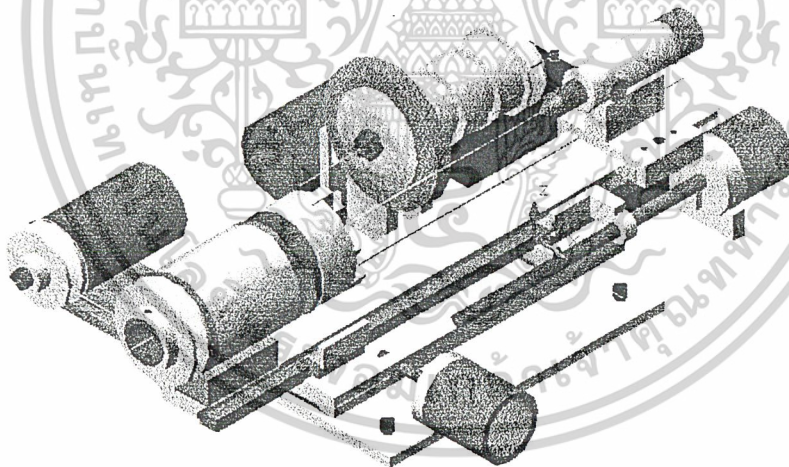
เลือกใช้ฟันเฟืองขนาด 104 ฟัน, 42 ฟัน, 20 ฟัน และ 14 ฟันในการส่งกำลังในการป้อนชิ้นงาน จากสมการจะสามารถหาอัตราทดได้ดังนี้

$$\text{จากสมการ } n_1 \cdot z_1 \cdot z_2 = n_4 \cdot z_2 \cdot z_4$$

$$i = \frac{42 \times 104}{14 \times 20}$$

$$i = 15.6$$

### 3.3 การออกแบบเครื่องเจียระไนเฟลา



รูปที่ 3.1 แบบเบื้องต้นของเครื่องเจียระไนเฟลา

### 3.4 การสำรวจตลาดและราคาชิ้นส่วนวัสดุต่างๆ ที่จะนำมาผลิตเครื่องเจียระไน

#### 3.4.1 เลือกซื้อวัสดุในการสร้างเครื่องเจียระไน

ในการซื้อวัสดุที่จะนำมาสร้างเครื่องเจียระไน ซึ่งจะได้มาจากทฤษฎีการเลือกซื้อวัสดุ ซึ่งในการเลือกซื้อวัสดุจะต้องพิจารณาถึงปริมาณการใช้วัสดุด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 ซื่อชิ้นส่วนมาตรฐานในการสร้างเครื่องเจียรไน

ชิ้นส่วนมาตรฐานต่างๆ เช่น แบริ่ง, น็อตสกรูขนาดต่างๆ เกลียวหนอน, มอเตอร์ และอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งในการคำนวณจะพิจารณาถึงตลาดว่าชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ที่เราต้องการหรือไม่

## 3.5 คำเนิการสร้างเครื่องเจียรไนเพลลา

### 3.5.1 ทำโครงสร้างฐาน

การทำโครงสร้างฐานจะเริ่มทำตามแบบที่ได้ออกแบบไว้

### 3.5.2 ทำชิ้นส่วนต่างๆ ของหัวจับ

ซึ่งประกอบไปด้วย

- พูลเลอร์กลิม
- ฝาประกอบซ้าย - ขวา
- โครงเพลลาหัวจับ
- เพลลาหัวจับ
- ฐานวาง โครงเพลลาและมอเตอร์
- หัวจับ
- แบริ่ง

### 3.5.3 ทำชิ้นส่วนต่างๆ ของศูนย์ท้าย

ประกอบด้วย

- เพลลาส่งกำลัง
- มือหมุนป้อนชิ้นงาน
- ฝาประกบ
- เพลลานำ
- รางเลื่อน
- ฐานศูนย์ท้าย
- มือหมุนล้อคเพลลานำ
- โครงเพลลานำ
- แหวนส่ง

### 3.5.4 ทำรางเลื่อนหางเหยี่ยวสำหรับชุดศูนย์ท้าย

ซึ่งร่องเลื่อนของชุดศูนย์ท้ายนี้มีลักษณะเป็นหางเหยี่ยว

### 3.5.5 ทำฐานสำหรับชุดหัวจับและศูนย์ท้าย

ฐานในการวางชุดหัวจับและชุดศูนย์ท้ายจะต้องประกอบด้วยรางเลื่อนหางเหยี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.6 ประกอบติดตั้งร่องเลื่อนกับฐานเครื่อง

ประกอบร่องเลื่อนบนฐานเครื่อง ซึ่งรางเลื่อนที่ประกอบรางเลื่อนในแนวขวางและรางเลื่อนในแนวยาวประกอบบนรางเลื่อนแนวขวางอีกครั้ง

### 3.5.7 ทำชุดเพลลาและโครงฐานหินเจียรระไน

ประกอบด้วย

- โครงเพลลาหินเจียรระไน
- ฐาน โครงเพลลา
- แบริ่ง
- เพลลาหินเจียรระไน
- ฝาประกบ
- แหวนประกบ
- แหวนรอง
- พูเล่ร่อง V
- ล้อหินเจียรระไน

### 3.5.8 ดำเนินการประกอบติดตั้งชิ้นส่วนต่างของเครื่องเจียรระไน

ประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ที่ได้ทำการผลิตมาแล้วเพื่อติดตั้งเครื่อง เพื่อความเหมาะสม

### 3.5.9 ดำเนินการติดตั้งชุดมอเตอร์ล้อหินเจียรระไนและมอเตอร์เพลลาหัวจับ

ติดตั้งและประกอบมอเตอร์ล้อหินเจียรระไนและมอเตอร์เพลลาหัวจับ พร้อมทั้งใส่สายพานส่งกำลังระหว่างมอเตอร์ และปรับความตึงของสายพานให้เหมาะสม

### 3.5.10 ติดตั้งระบบควบคุมความปลอดภัย

ระบบความปลอดภัยจะมีอยู่ที่ส่วน

- ล้อหินเจียรระไน
- ชุดครอบสายพานและมอเตอร์ล้อหินเจียรระไน
- ชุดครอบสายพานและมอเตอร์หัวจับ

## 3.6 ทดลองการทำงานของเครื่อง

ทดลองเจียรระไนชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความยาว 200 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินการ

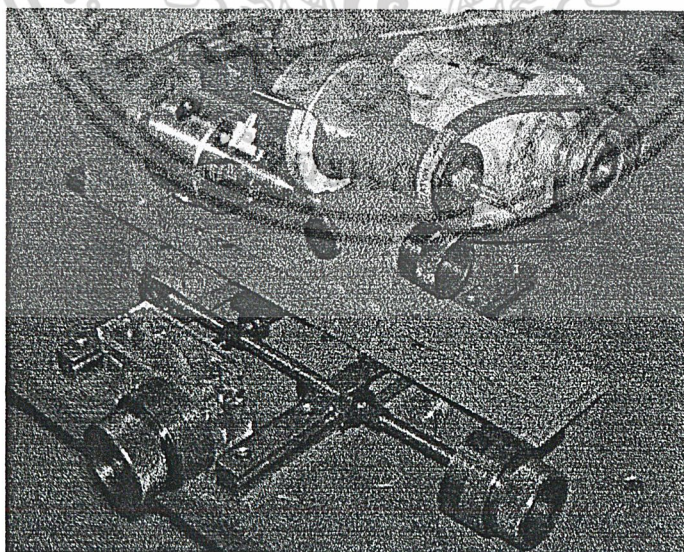
ในการจัดทำโครงการเรื่อง การปรับปรุงเครื่องเจียรระโนเพลากลม มีผลการดำเนินงานออกแบบและการสร้าง เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่วางไว้ โดยการออกแบบและสร้างเครื่องรวมถึงรายละเอียดต่างๆ ของชิ้นส่วนของเครื่อง เพื่อเป็นประโยชน์ในการนำไปเป็นแนวทางในการดัดแปลงประยุกต์ใช้กับงานอื่นหรือเป็นต้นแบบเพื่อนำไปพัฒนาในขั้นต่อไป

#### 4.1 ผลการออกแบบเครื่องเจียรระโนเพล

การออกแบบเครื่องเจียรระโนเพลกลม เป็นการออกแบบการเจียรระโนชิ้นงานที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางได้สูงสุด 50 มิลลิเมตร และมีความยาวสูงสุด 200 มิลลิเมตร มีความละเอียด 1 ไมโครเมตร ซึ่งในการดำเนินการสร้างก็มีการปรับแก้ไขแบบในส่วนที่ยังไม่เหมาะสม

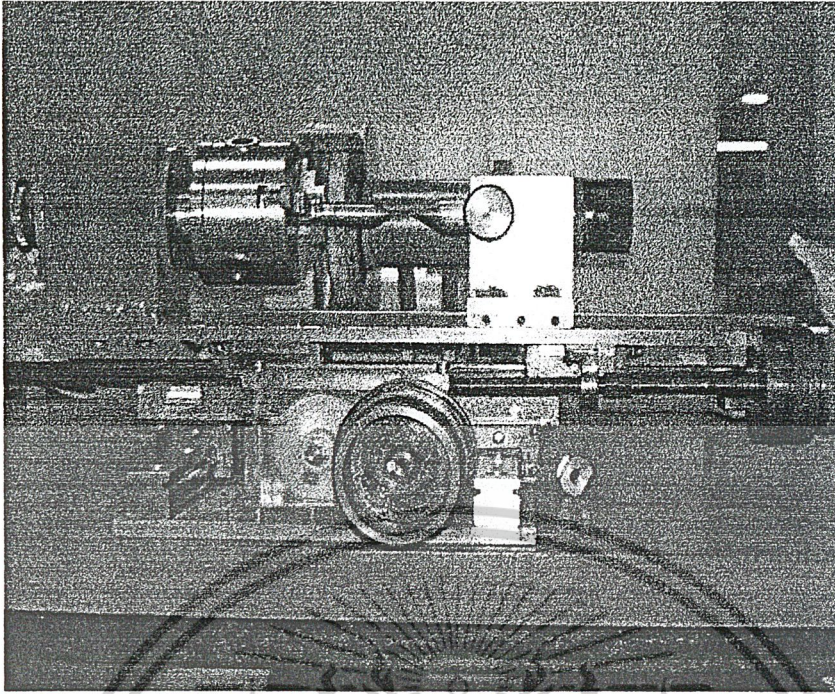
#### 4.2 ผลการดำเนินการสร้างเครื่องเจียรระโน

ได้เริ่มดำเนินการสร้างเครื่องเจียรระโนเพลในเดือนตุลาคม ในการดำเนินการทำชิ้นส่วนต่างๆ มีความล่าช้ากว่าที่กำหนดไว้ในแผนงาน เนื่องจากต้องมีการแก้ไขแบบและชิ้นงานให้มีความเหมาะสมมากที่สุด และสามารถทำงานได้ตามที่วางเป้าหมายไว้ ดังแสดงรายละเอียดไว้ในรูปภาพต่อไปนี้

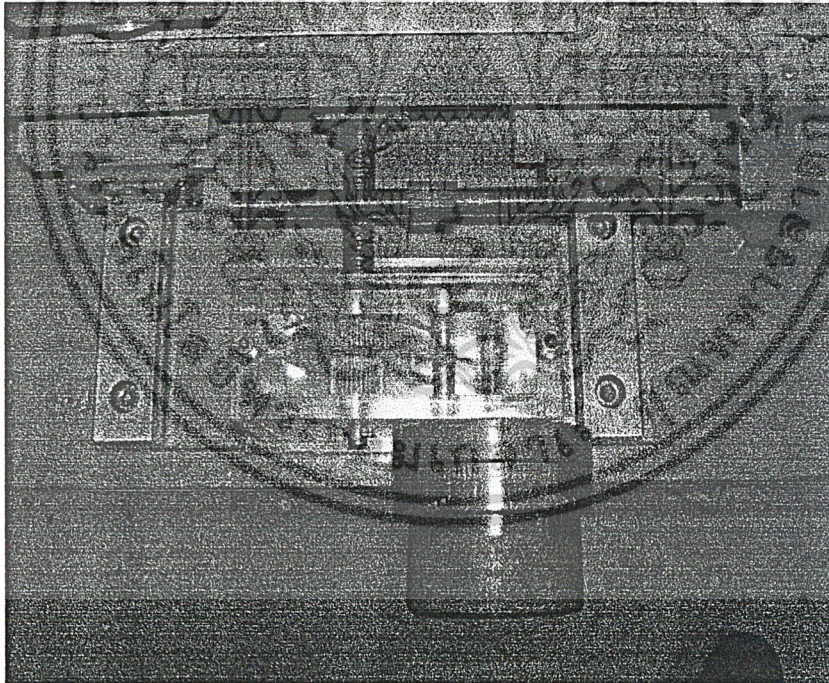


รูปที่ 4.1 รูปเครื่องเจียรระโนเพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

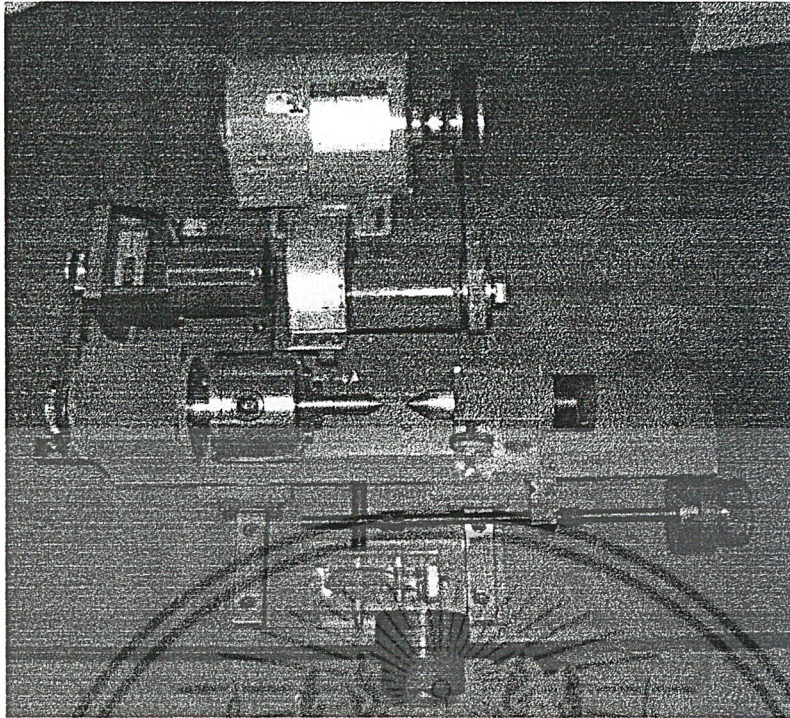


รูปที่ 4.2 ด้านหน้าของเครื่องเจียระไน

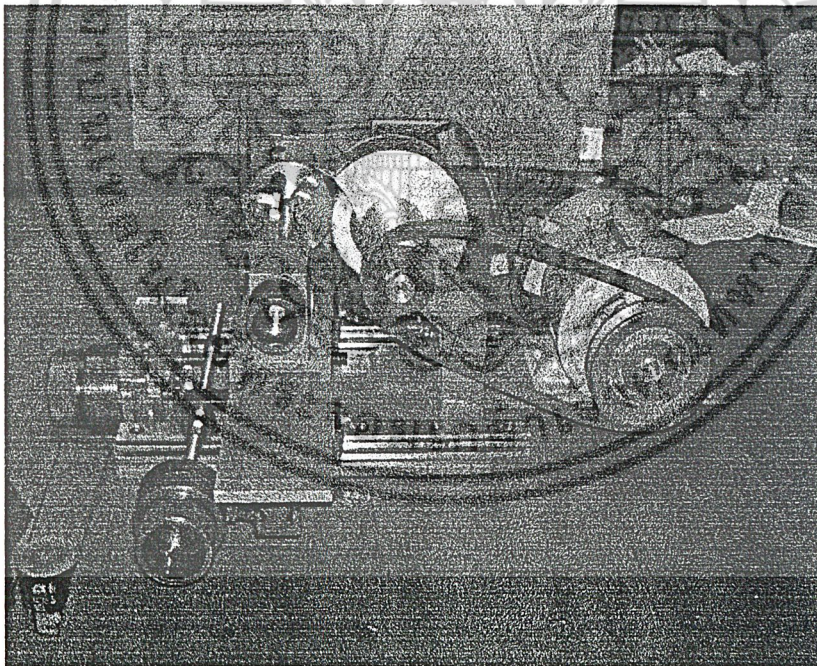


รูปที่ 4.3 เฟืองทด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

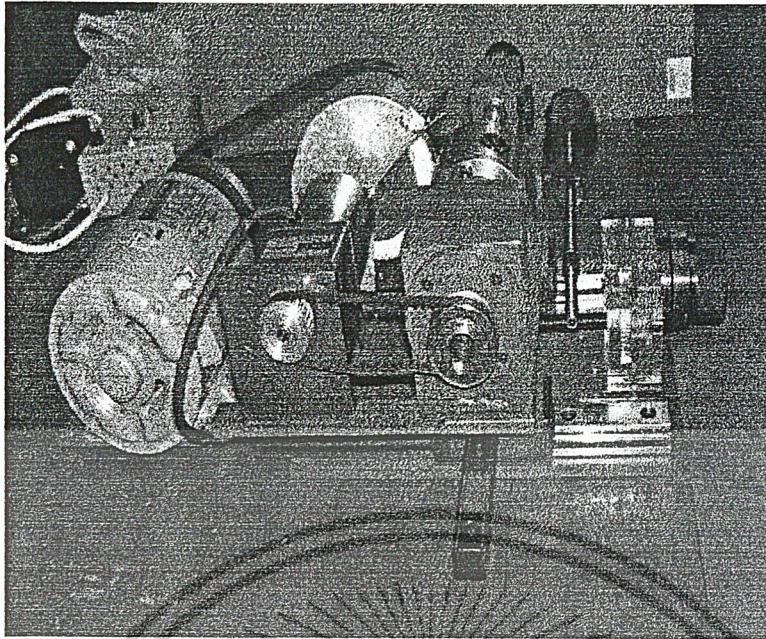


รูป 4.4 รูปค้ำบนของเครื่องเจียระไน

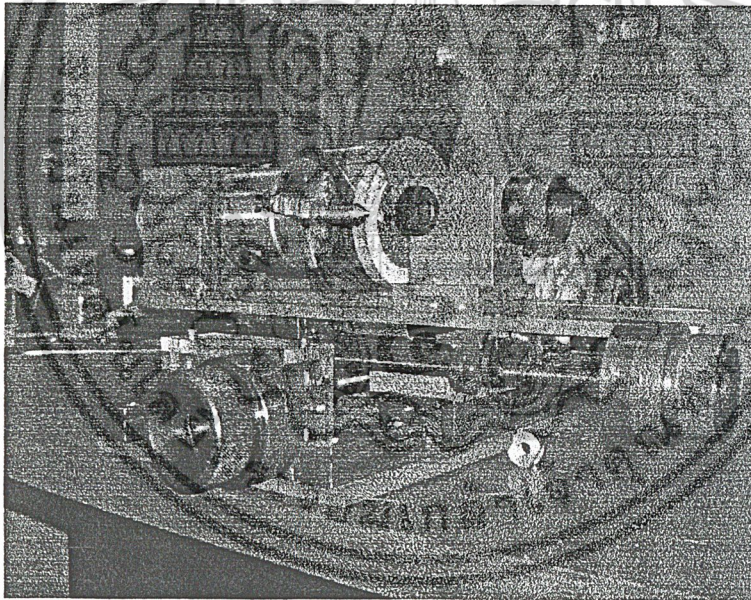


รูปที่ 4.5 ชุดสายพานล้อยินเจียระไน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

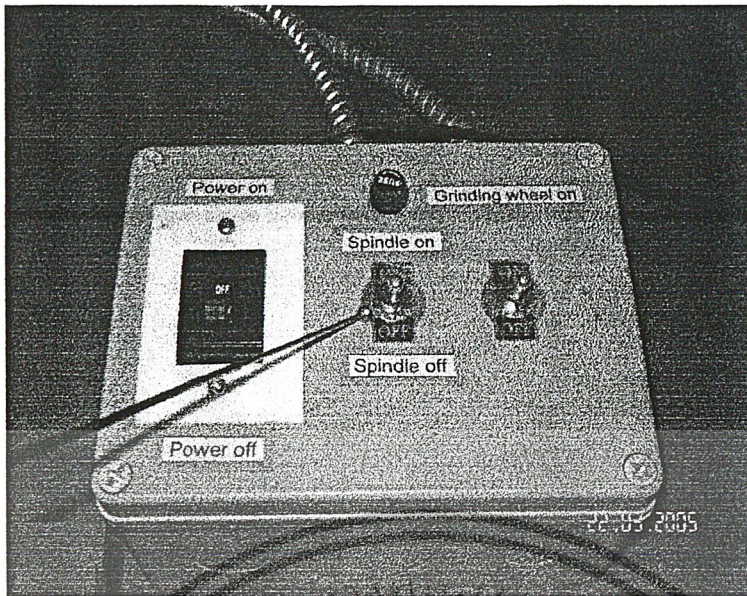


รูปที่ 4.6 ชุดมอเตอร์และชุดสายพานรื่องลิ้มของหัวจับ



รูปที่ 4.7 ภาพแสดงมือหมุนป้อนชิ้นงานในแนวแกน X และแกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



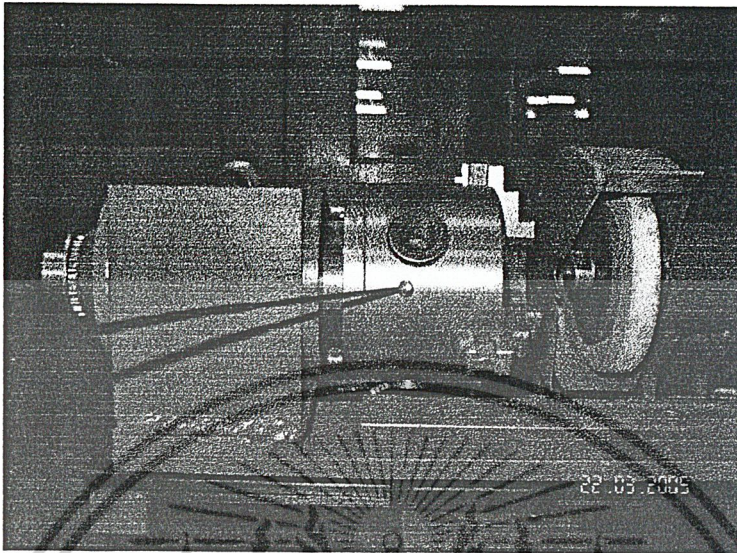
รูปที่ 4.8 ภาพชุดควบคุมการทำงานของเครื่อง



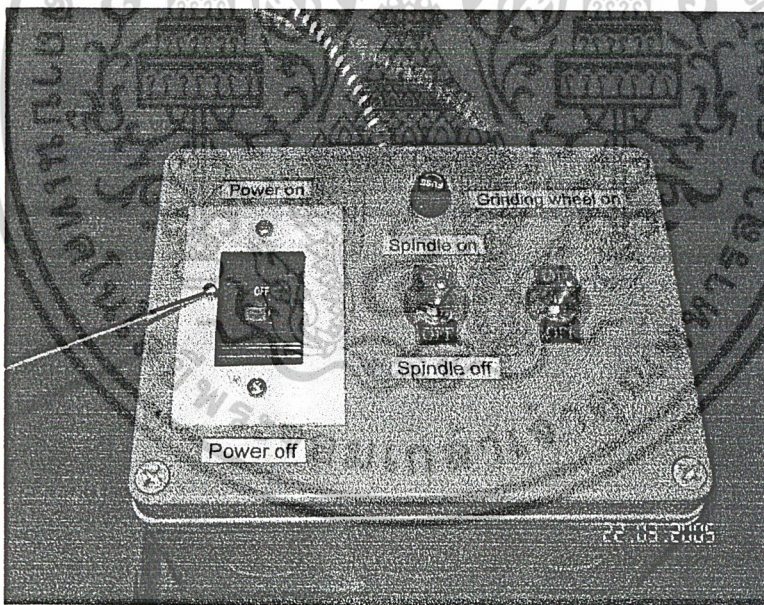
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ

ภาพแสดงการทำงานของเครื่องเจียระไน

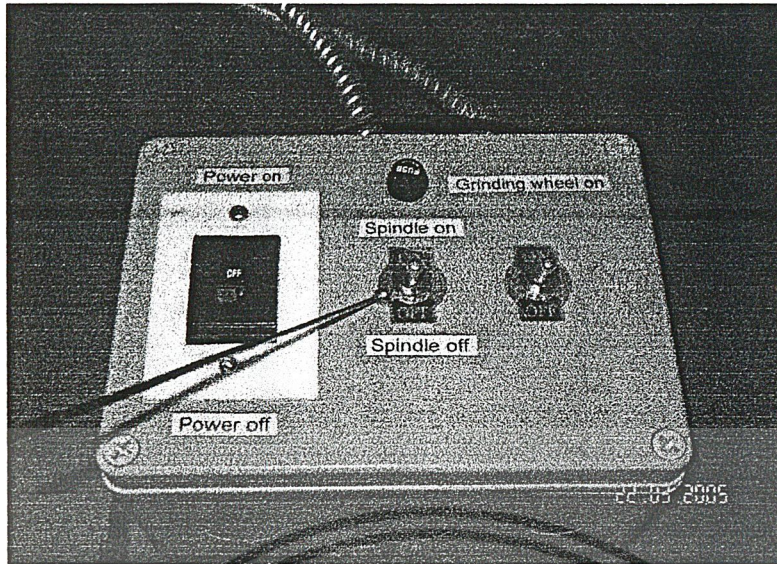


รูปที่ 4.9 ภาพชุดหัวจับสำหรับจับยึดชิ้นงาน

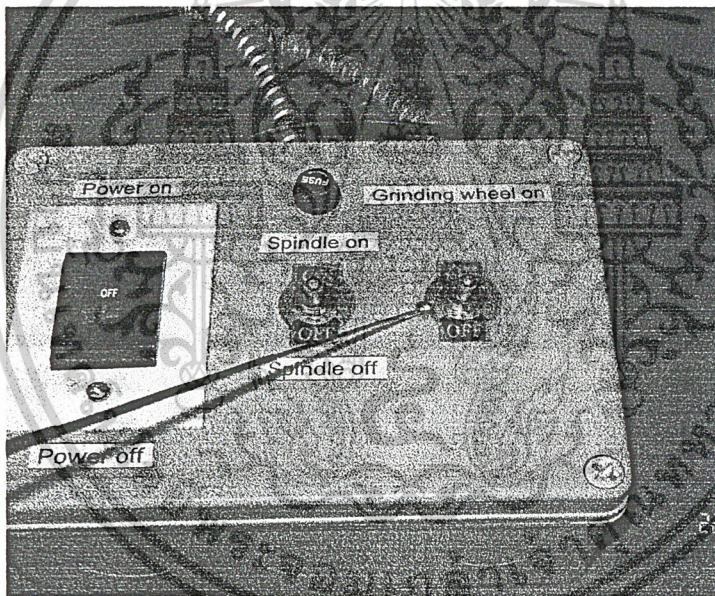


รูปที่ 4.10 ภาพแสดงชุดควบคุมเริ่มการทำงานเริ่มเปิดเครื่องโดยการเปิดสวิตช์ Power On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

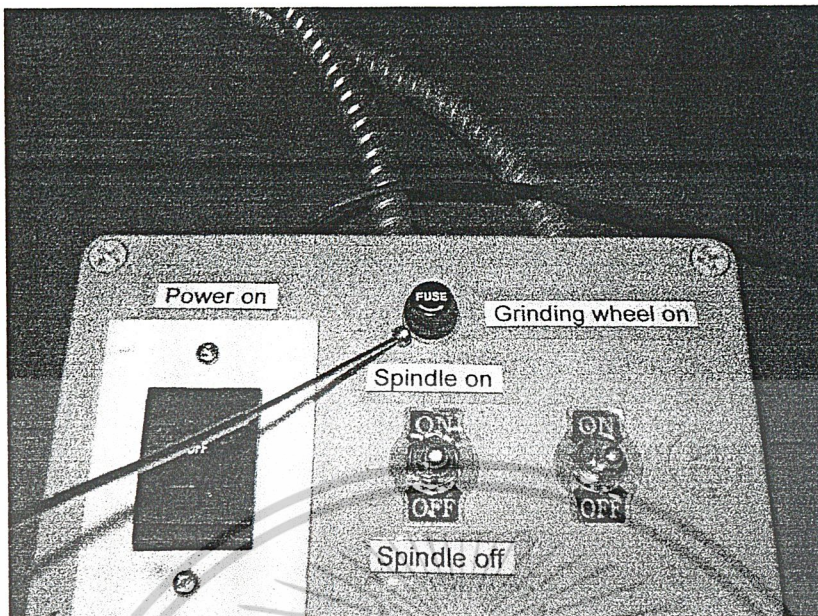


รูปที่ 4.11 ภาพแสดงการเปิดสวิตช์หมุนหัวจับ

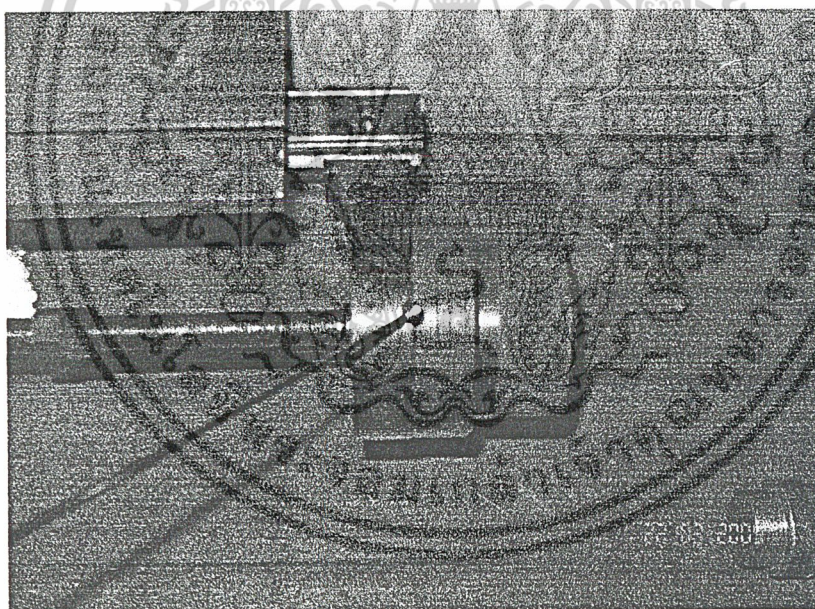


รูปที่ 4.12 ภาพแสดงการเปิดสวิตช์หมุนหินเจียรระโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

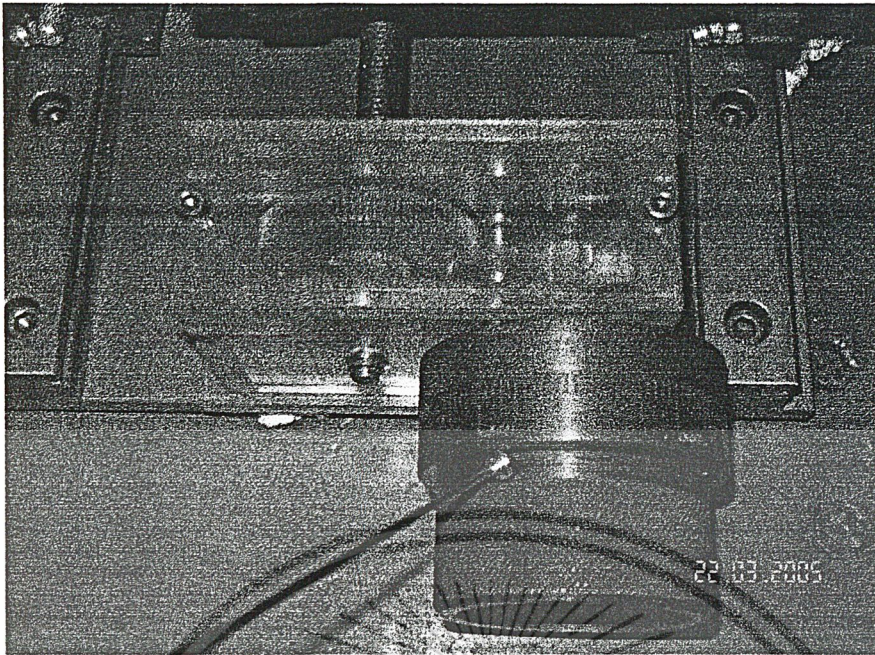


รูปที่ 4.13 ภาพแสดงปรับฟิวส์ป้องกันแรงดัน ไฟฟ้าเกิน

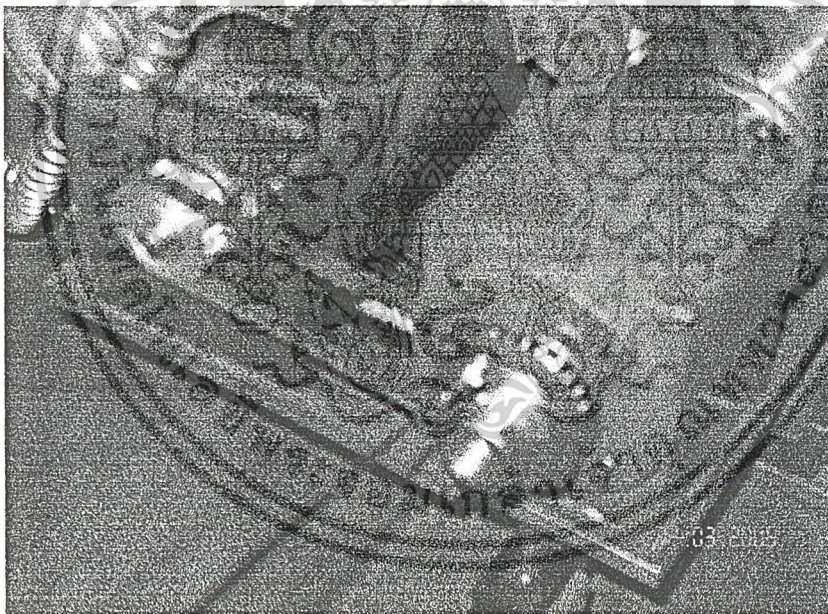


รูปที่ 4.14 ภาพการหมุนป้อนชิ้นงานในแนวขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

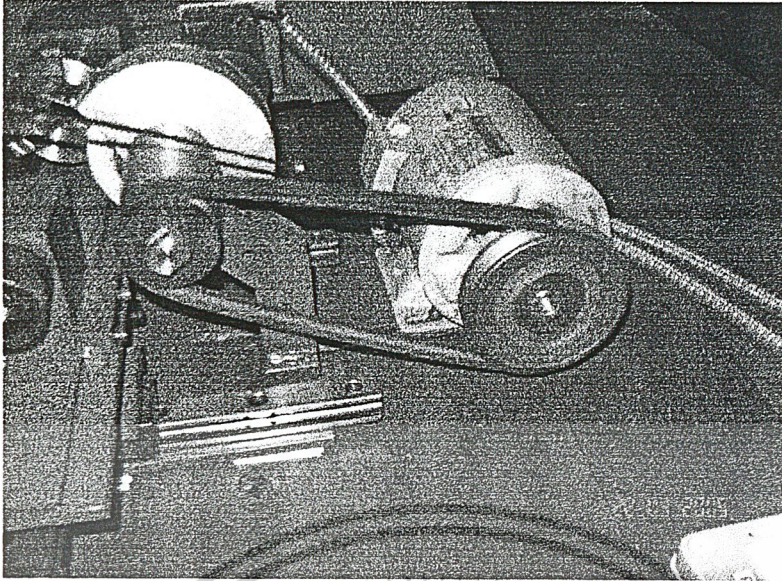


รูปที่ 4.15 ภาพแสดงการหมุนป้อนชิ้นงานในแนวยาว

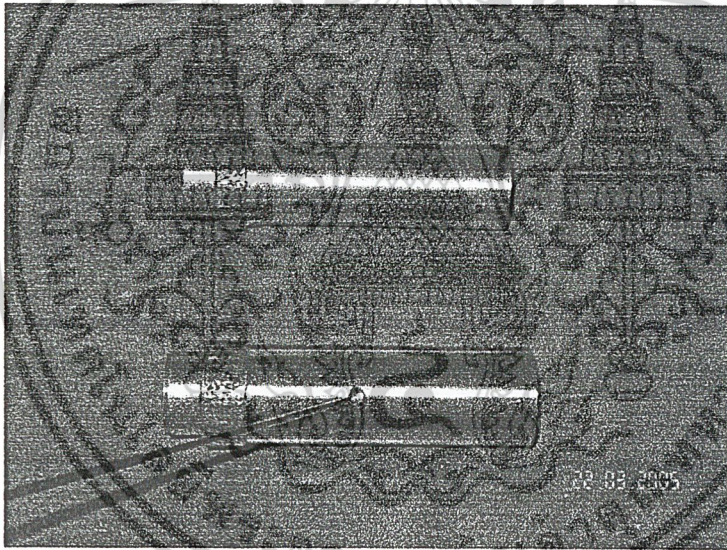


รูปที่ 4.16 ภาพแสดงการหมุนหัวจับด้วยความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ภาพแสดงการหมุนของล้อหินเจียระไนด้วยความเร็วรอบ 2800 รอบต่อนาทีในการตัดเจียขึ้นงาน



รูปที่ 4.18 ภาพชิ้นงานสำเร็จหลังจากการเจียระไนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปการดำเนินงาน

#### 5.1 สรุปการดำเนินการ

เครื่องเจียรระไนเป็นเครื่องจักรกลที่มีความเที่ยงตรงทางขนาดสูง ออกแบบเพื่อผลิตชิ้นส่วนที่ต้องการให้มีขนาดใกล้เคียงกับค่าพิถีพิถันตามที่กำหนด และผลิตชิ้นงานที่ต้องการคุณภาพความเรียบของผิวงานสูง เครื่องเจียรระไนสามารถทำงานได้ในหลายลักษณะเช่น เจียรระไนผิวราบ เจียรระไนภายใน เจียรระไนผิวทรงกระบอก เจียรระไนผิวเอียง และงานที่มีผิวรูปทรงต่างๆ

ในโรงงานอุตสาหกรรมแบบผลิต เครื่องเจียรระไนจะถูกนำมาใช้ผลิตชิ้นงาน จำนวนมาก ๆ ซึ่งชิ้นงานเหล่านี้จะมีค่าพิถีพิถันค่าพิถีพิถันอยู่ระหว่าง  $\pm 1$  ไมโครเมตร และสำหรับชิ้นส่วนของเครื่องมือพิเศษจะมีค่าพิถีพิถันค่าพิถีพิถัน  $\pm 0.1$  ไมโครเมตร จะเห็นได้ว่าเครื่องเจียรระไนมีความสามารถในการทำงานสูงและข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือ เป็นวิธีเฉพาะในการขึ้นรูปหรือตกแต่งชิ้นงานที่มีผิวแข็ง ซึ่งได้ผ่านกรรมวิธีชุบผิวมาแล้ว

เครื่องมือตัดที่ใช้สำหรับเครื่องเจียรระไนก็คือ วงล้อหินเจียรระไน เครื่องมือตัดชนิดนี้แตกต่างจากเครื่องมือตัดที่ใช้กับเครื่องจักรกลชนิดอื่น ๆ คือใช้เมล็ดสารเชิงทรายที่อยู่บริเวณผิวหน้าของล้อหินเป็นตัวตัดในแต่ละรอบที่ล้อหินเจียรระไนหมุนไป ผงโลหะจำนวนนับพันนับหมื่นจะถูกตัดออกจากชิ้นงาน

เครื่องเจียรระไนมีหลายแบบ แต่ละแบบแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดของการปฏิบัติงาน เครื่องเจียรระไนบางชนิดก็เป็นแบบมาตรฐาน สำหรับเจียรระไนงานทั่ว ๆ ไป บางชนิดก็เป็นแบบพิเศษสำหรับงานที่ออกแบบขึ้นเฉพาะ

#### 5.2 ปัญหาแนวทางแก้ไข

##### 5.2.1 ปัญหาที่พบจากการทดลองเดินเครื่อง

จากการทดลองพบปัญหาที่เกิดขึ้นในการเจียรระไนงานดังนี้

- ผิวชิ้นงานที่ออกมาไม่เรียบเท่าที่กำหนดไว้
- ตัวเครื่องเจียรระไนเกิดการสั่นเมื่อเปิดเครื่อง
- มือหมุนป้อนชิ้นงานมีลักษณะการหมุนฟรี

##### 5.2.2 แนวทางแก้ไขปัญหา

จากการทดลองเดินเครื่องเจียรระไนเวลาได้ทำการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นดังนี้

- ผิวที่ไม่เรียบมีสาเหตุมาจากความสั่นสะเทือนของมอเตอร์ของหินเจียรระไน จึงดำเนินการจับยึดมอเตอร์ให้แน่นกับ โครงฐานเครื่องเจียรระไน

- การสั่นของเครื่องเกิดจากการจับยึดไม่แน่นเท่าที่ควร จึงดำเนินการถอดชิ้นส่วนเครื่อง  
เจียร์ไนและประกอบจับยึดให้แน่นกว่าเดิม โดยมีการตรวจสอบทุกครั้งในการประกอบ
- ดำเนินการจับยึดส่วนของมือหมุนป้อนชิ้นงานให้แน่นขึ้น

### 5.2.3 ข้อเสนอแนะ

เครื่องเจียร์ไนเพลานี้จัดทำขึ้นยังจัดอยู่ในเครื่องต้นแบบ ทำให้มีข้อจำกัดในการทำงาน ซึ่งสามารถปรับปรุงเครื่องเจียร์ไนเพลานี้ในส่วนของการทำงาน และชุดไฟฟ้าควบคุมการทำงานของเครื่อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

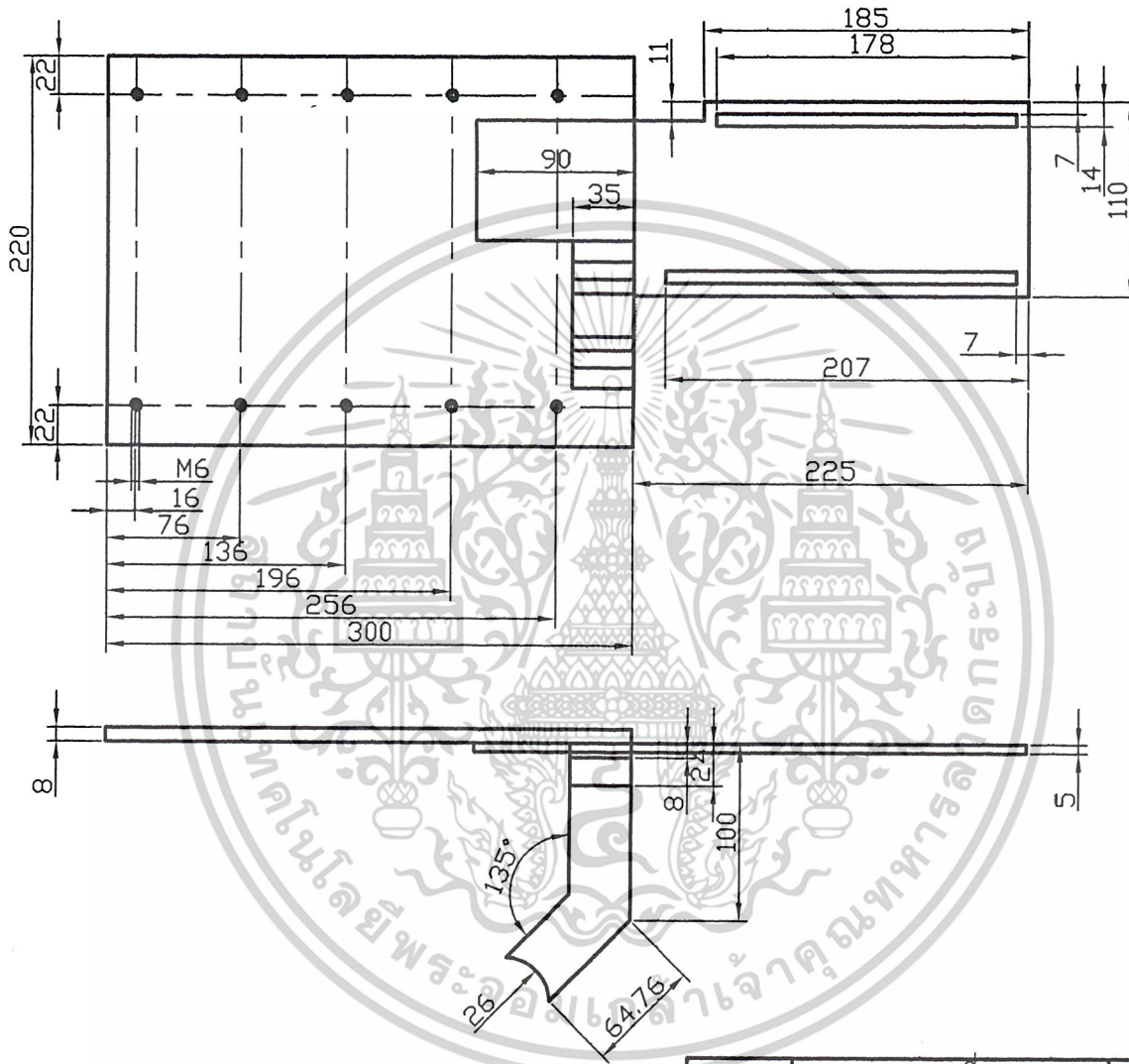
## หนังสืออ้างอิง

- ฉวีวรรณ รมยานนท์, สุภชัย รมยานนท์, 2531. ทฤษฎีเครื่องมือกล 5. 5,000 เล่ม. บริษัทโรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด: บริษัทสำนักพิมพ์ ไทยวัฒนาพานิช จำกัด.
- บรรเลง ศรีนิล , ประเสริฐ ก๊วยสมบุรณ์.2494. ตารางโลหะ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- มนตรี บุญชู และ คณะ, เครื่องมือกล 3. วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา.
- วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ , รศ. ชาญ ถนังงาน ,2541. การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม 1 และ 2, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น , 386 หน้า.
- ELECTICAL ENGINEERING: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- NTN ดัลลัสป็นทั่วไป. บริษัทเอ็นทีเอ็นแบริ่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

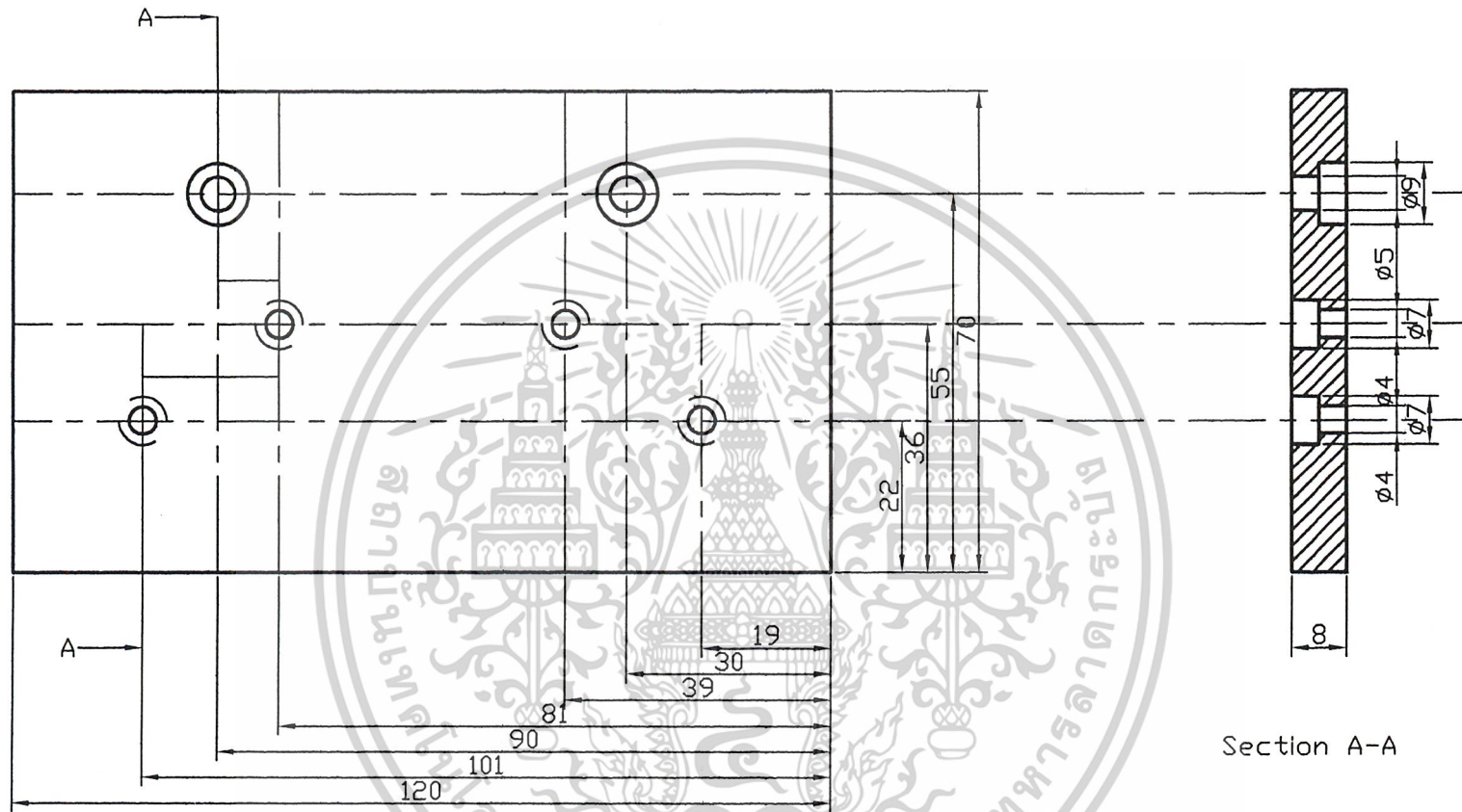
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1	ฐานเครื่อง	1	St.60	220x300x8
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปยายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 4			



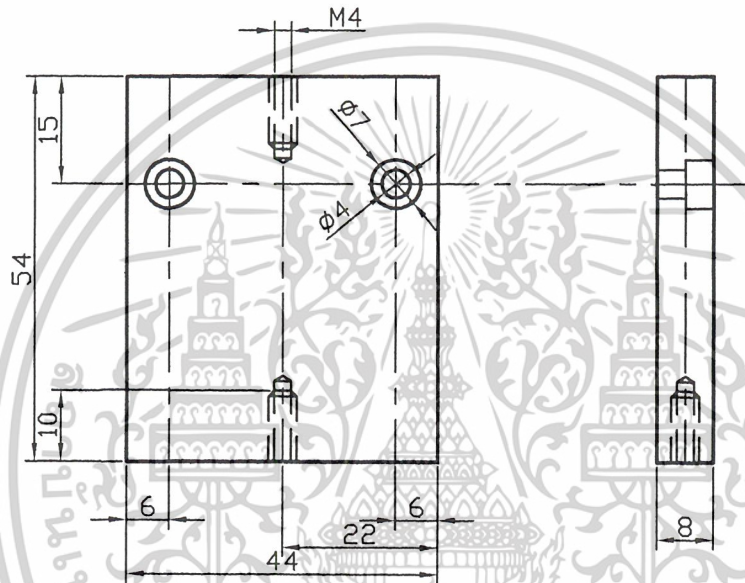
Section A-A

2	ฐานสเกล	1	Al	120x70x8
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปรายงานกุล			
มาตราส่วน	1 : 1	Department of Industrial Engineering		



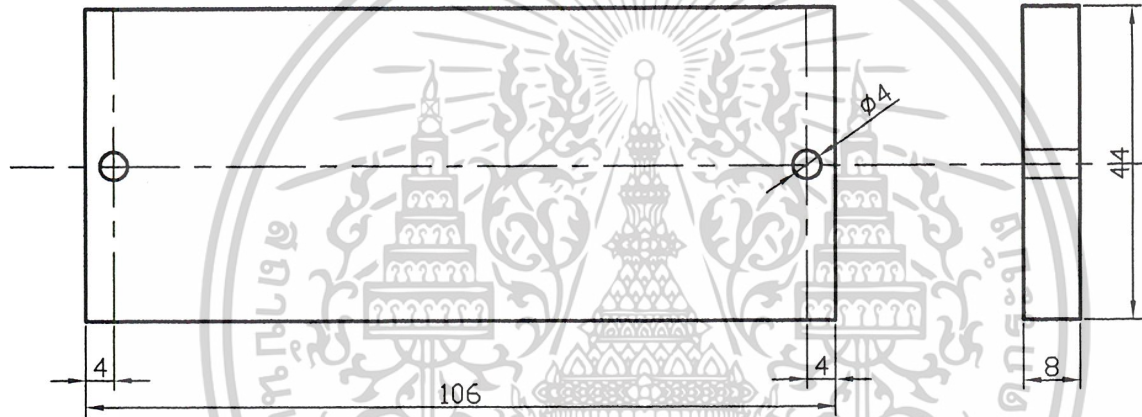
Section A-A

3	ประกอบมือหมุน	1	St.37	Ø70x12
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย โชติปราชญ์กุล			
มาตราส่วน	1 : 1			

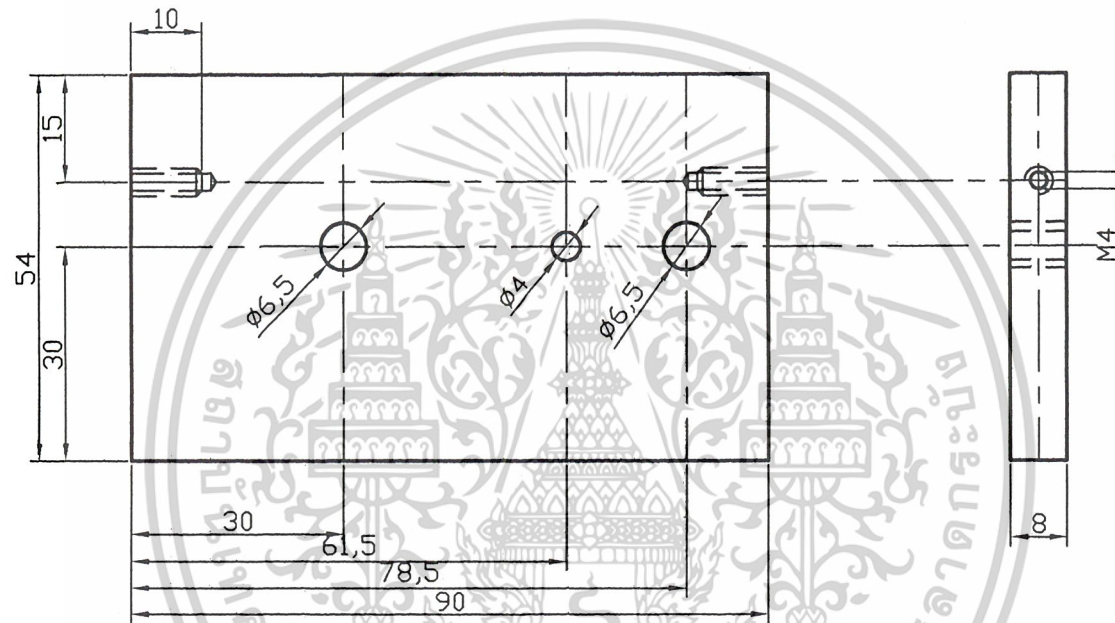


M 4

4	ฝาประกบข้าง	2	Al	54x44x8
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย โชติปรายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



5	ฝาประกบบน	1	Al	106x44x8
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปยายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



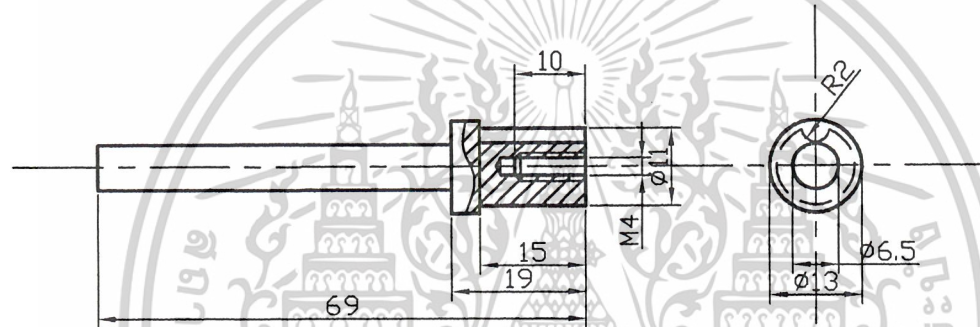
6	ฝาประกอบหน้า	1	Al	54x90x8
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย โชติปรายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



8 M



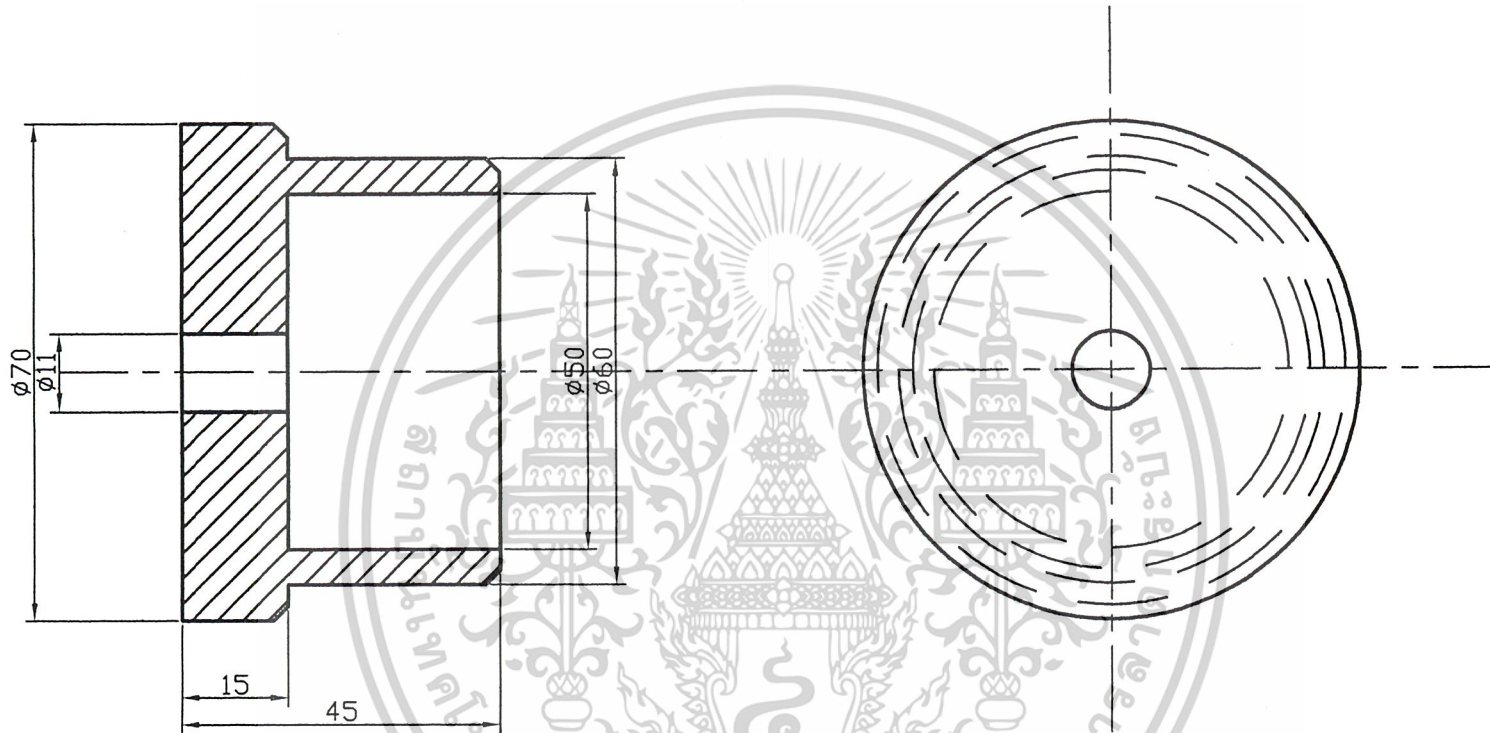
8	เพลานำเลื่อนเข้าออก	1	C.10	Ø12x220
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
ผู้ตรวจ	พลชัย โชติปราชญกุล	Faculty of Engineering		
มาตราส่วน	1 : 1	Department of Industrial Engineering		



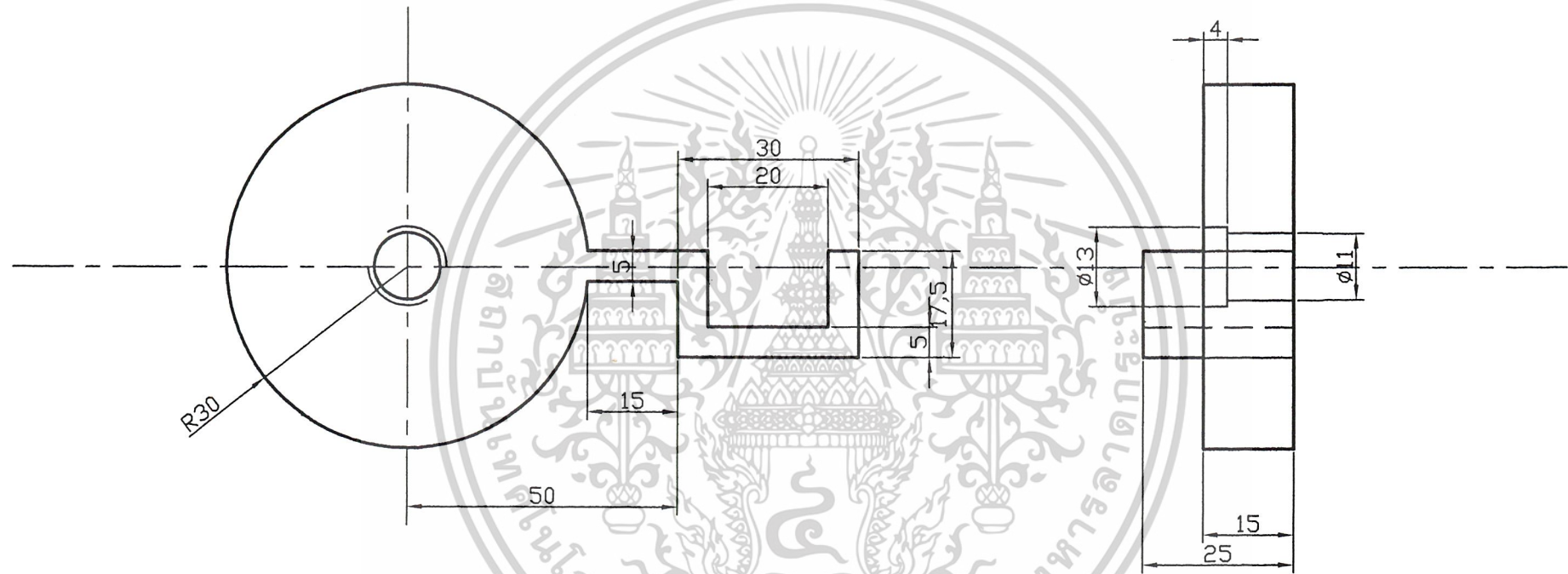
9	เพลลาเฟืองขับ	1	C.10	Ø13x69
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไซตูปรายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



10	เพลลาเฟืองทด	1	C.10	Ø6x40
ชิ้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย โชติปรายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



11	มือหมุนเข้าออก	1	St.37	ø70x45
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไซติปราชญ์กุล			
มาตราส่วน	1 : 1			

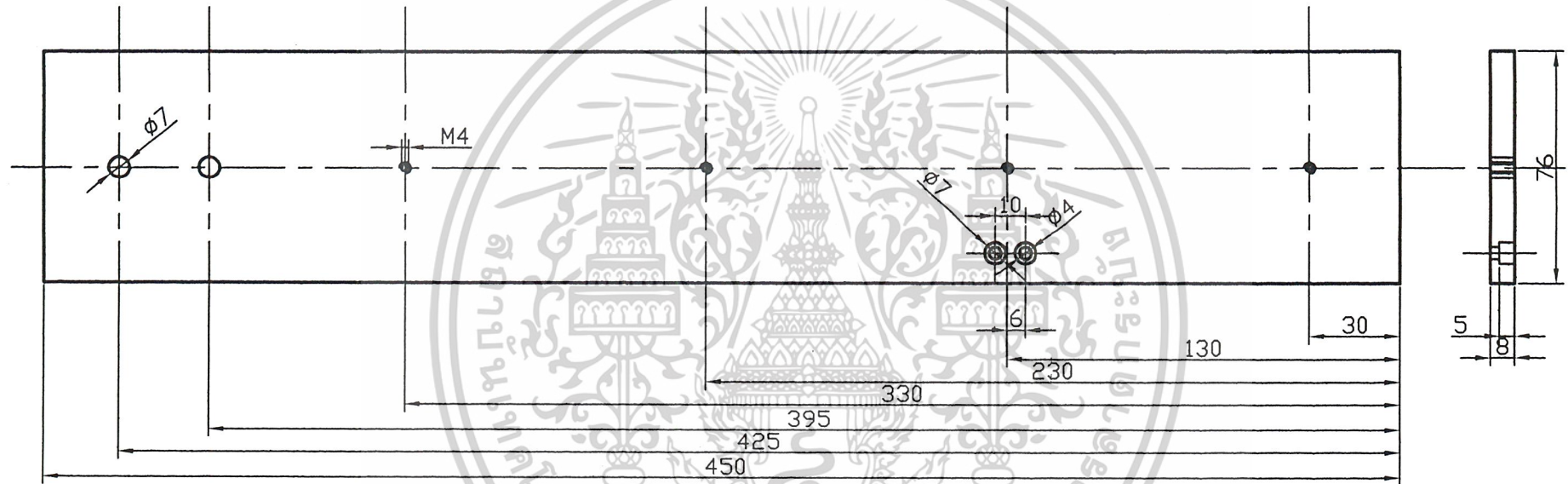


12	ก้านตกขวา	1	St.60	Ø60x15
ชนิดที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย โชติปราชญ์กุล			
มาตราส่วน	1 : 1			

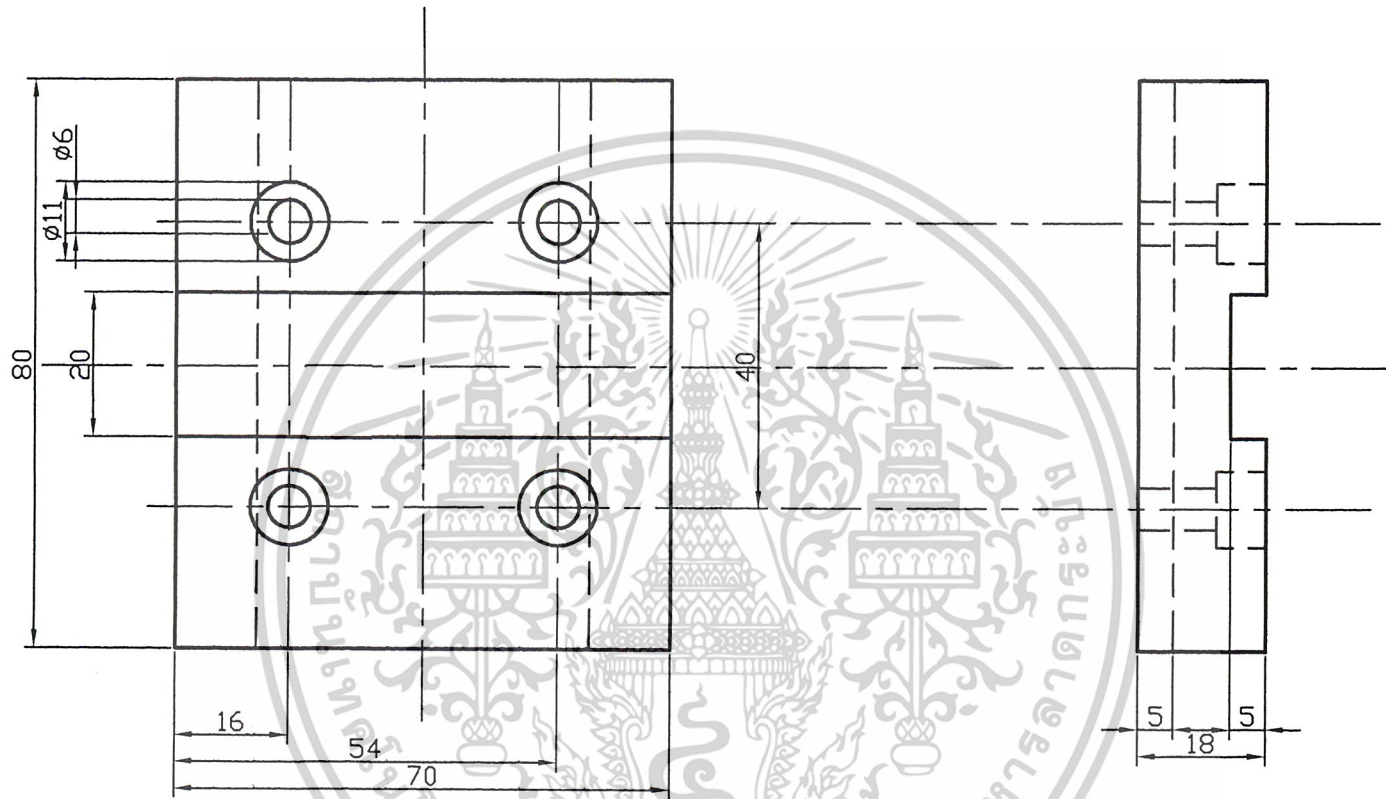


13	กันตักซ้าย	1	St.37	30x18x25
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไซติไพรายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			

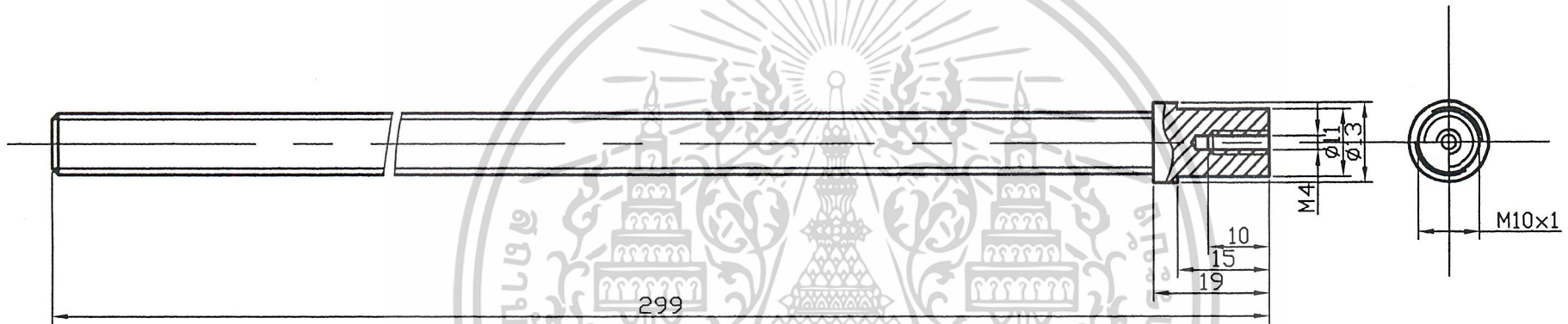
M14



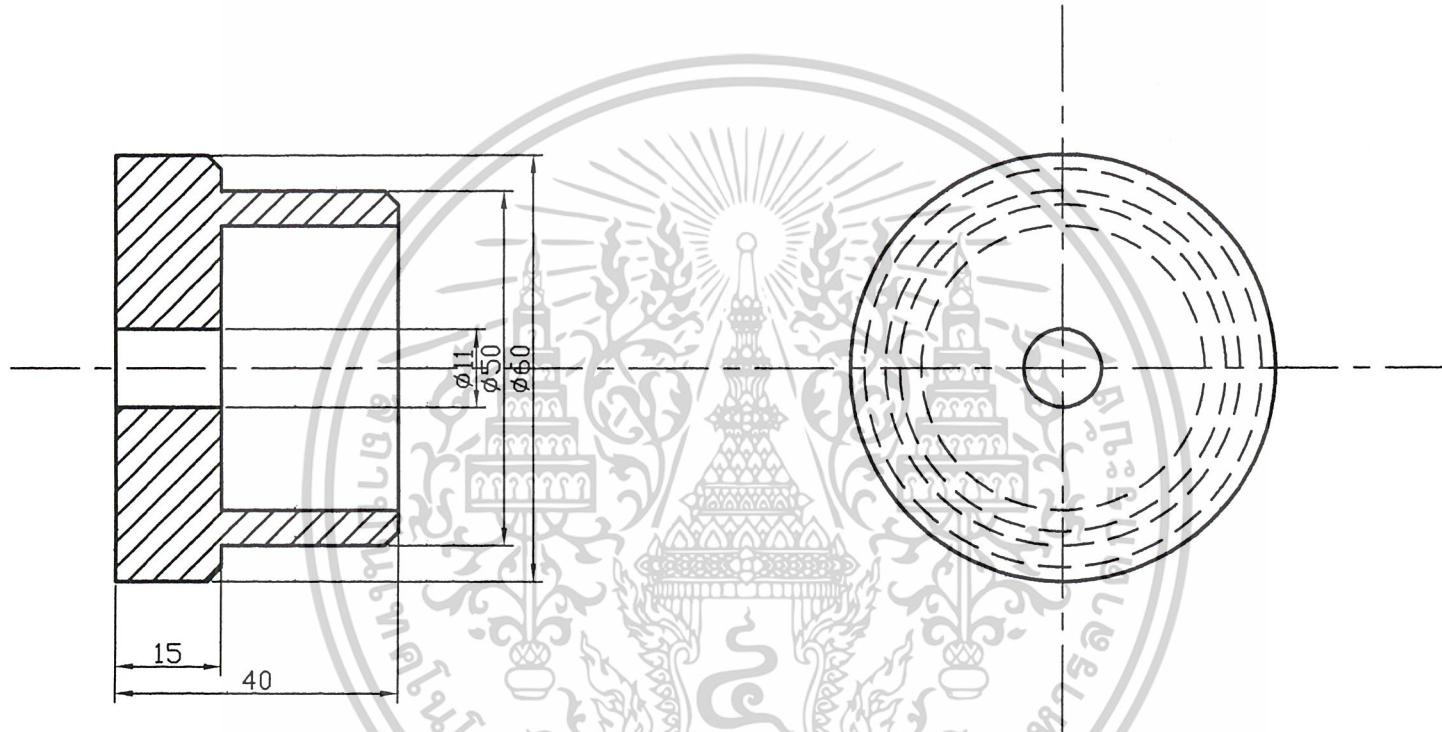
14	ฐานร่องเลื่อนซ้าย-ขวา	1	St.60	450x76x8
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย โชติปราชญ์กุล			
มาตราส่วน	1 : 2			



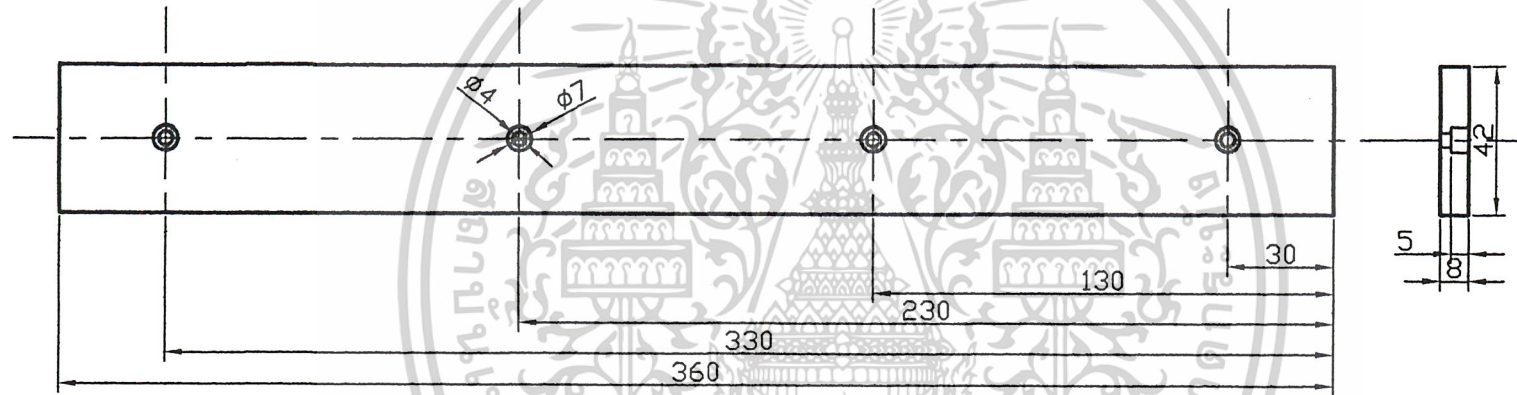
15	ฐานรับรองเลื่อย	2	St.37	70x80x18
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปราชญกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



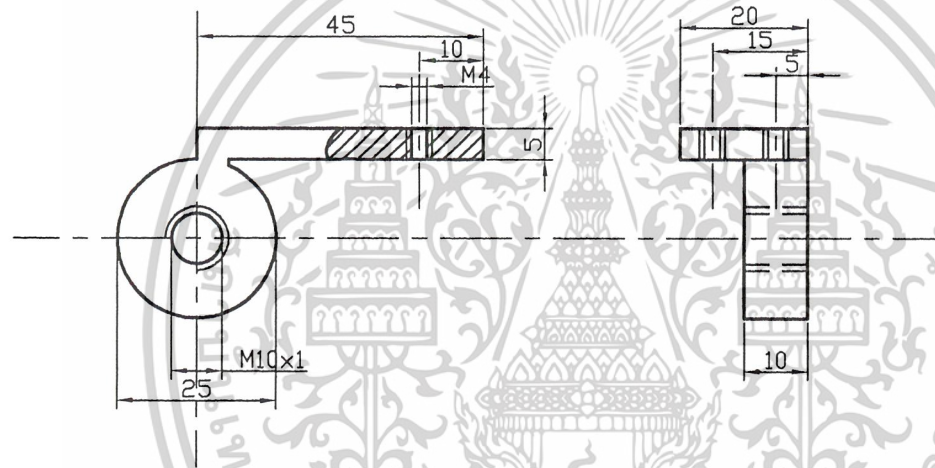
16	เพลานำเลือน:ซ้าย-ขวา	1	C.10	Ø13x299
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปยายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



17	มีอหมุนซ้าย-ขวา	1	St.37	Ø60x40
ชนิดที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย โชติปราชญ์กุล			
มาตราส่วน	1 : 1			

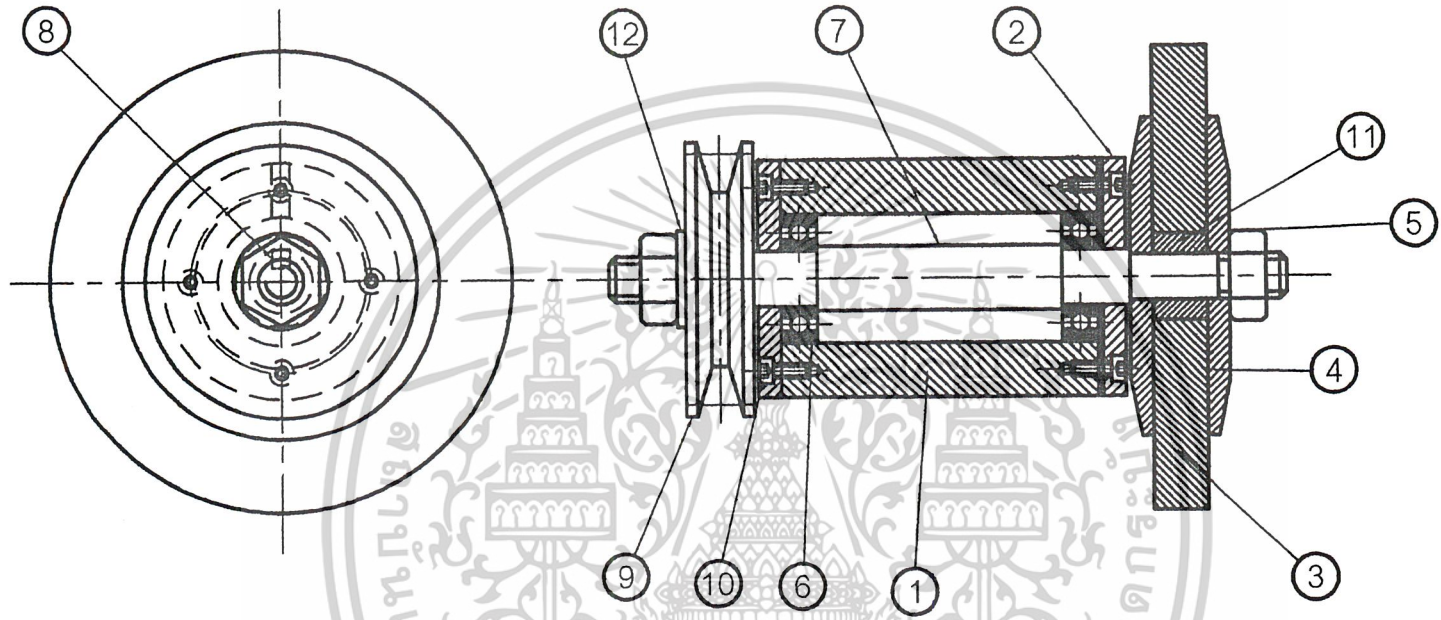


18	ร่องหางเยียว	1	St.60	360x42x8
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปยายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 2			

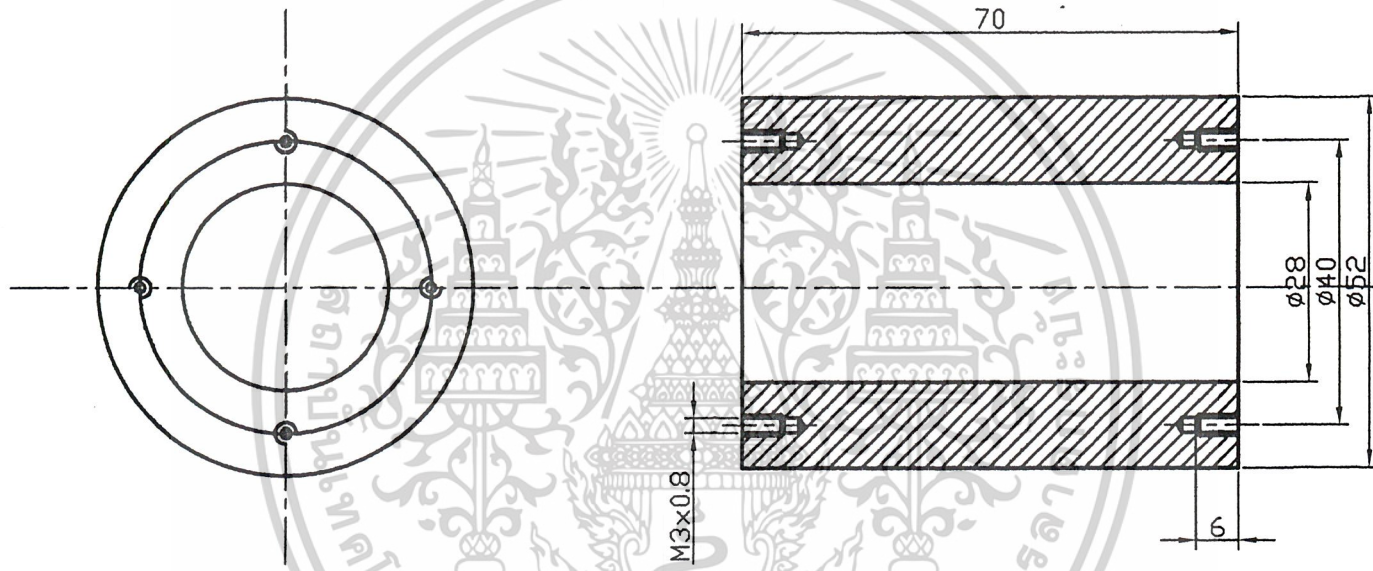


19	สกรูนำ	1	St.60	Ø25x10
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปราชญ์กุล			
มาตราส่วน	1 : 1			

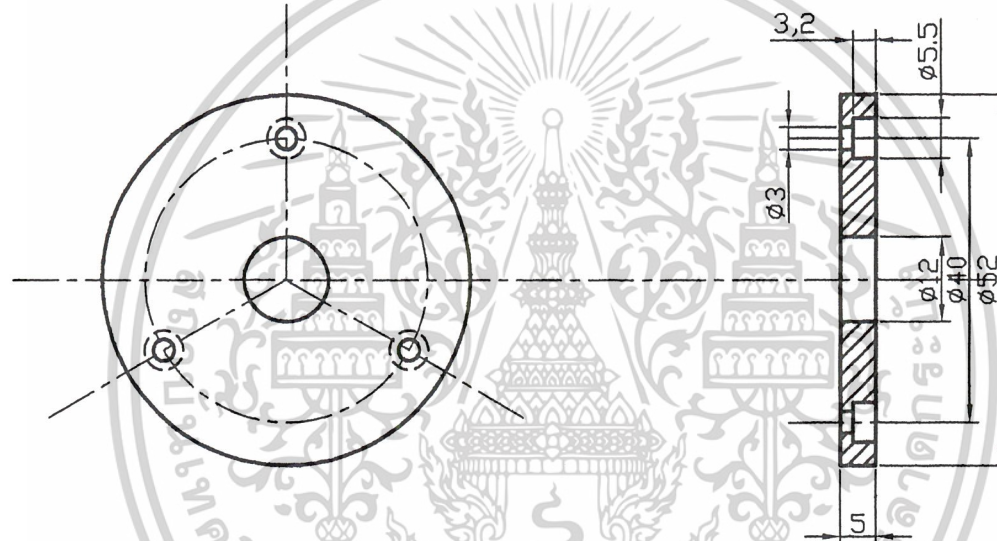




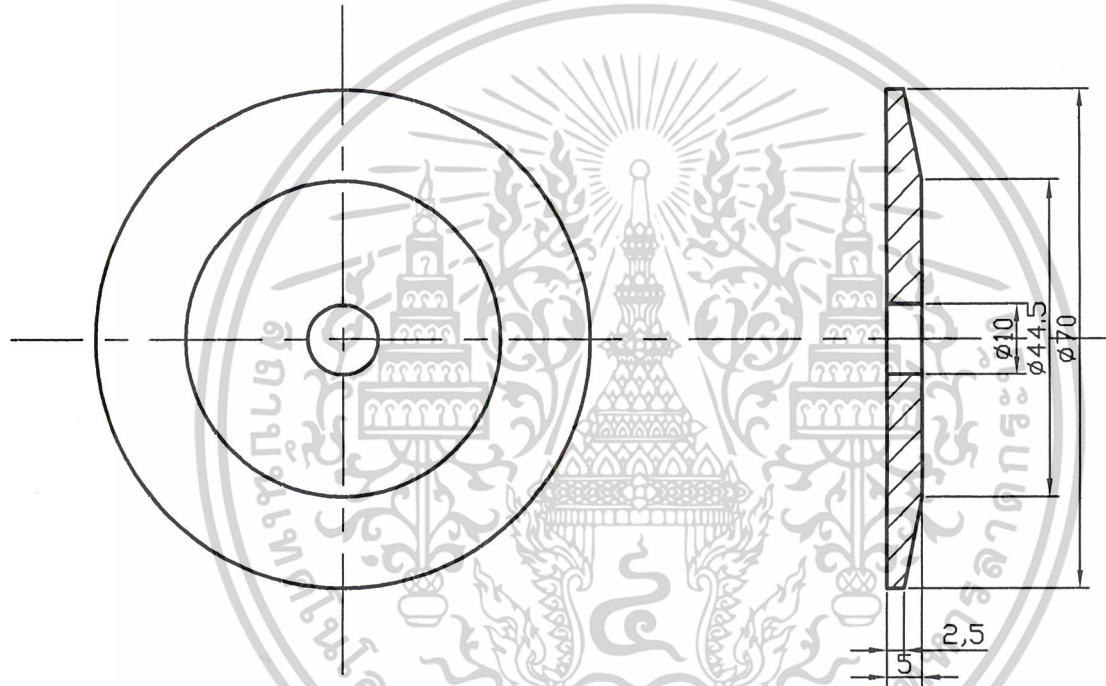
12	แหวน	1	-	DIN 125
11	แหวนรอง	1	Al	Ø32x11
10	น็อตหัวมีง M3	4	-	DIN 417
9	ผู้เสวียง V	1	St.60	Ø60x15
8	คิม	1	-	DIN6885
7	เพลลา	1	C.10	Ø14x149
6	Bearing	2	-	NTN
5	น็อต M10	2	-	DIN 555
4	แหวนประกบ	2	St.37	Ø70x6
3	ล้อหินเจีย	1	-	4"
2	ฝาประกอบ	2	St.37	Ø52x6
1	โครงเพลลา	1	St.37	Ø52x70
ชื่อนี้	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	ศุภพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	ศุภพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
ผู้ตรวจ	พลชัย โชติปราชญ์กุล	Faculty of Engineering		
มาตราส่วน	1 : 1.6	Department of Industrial Engineering		



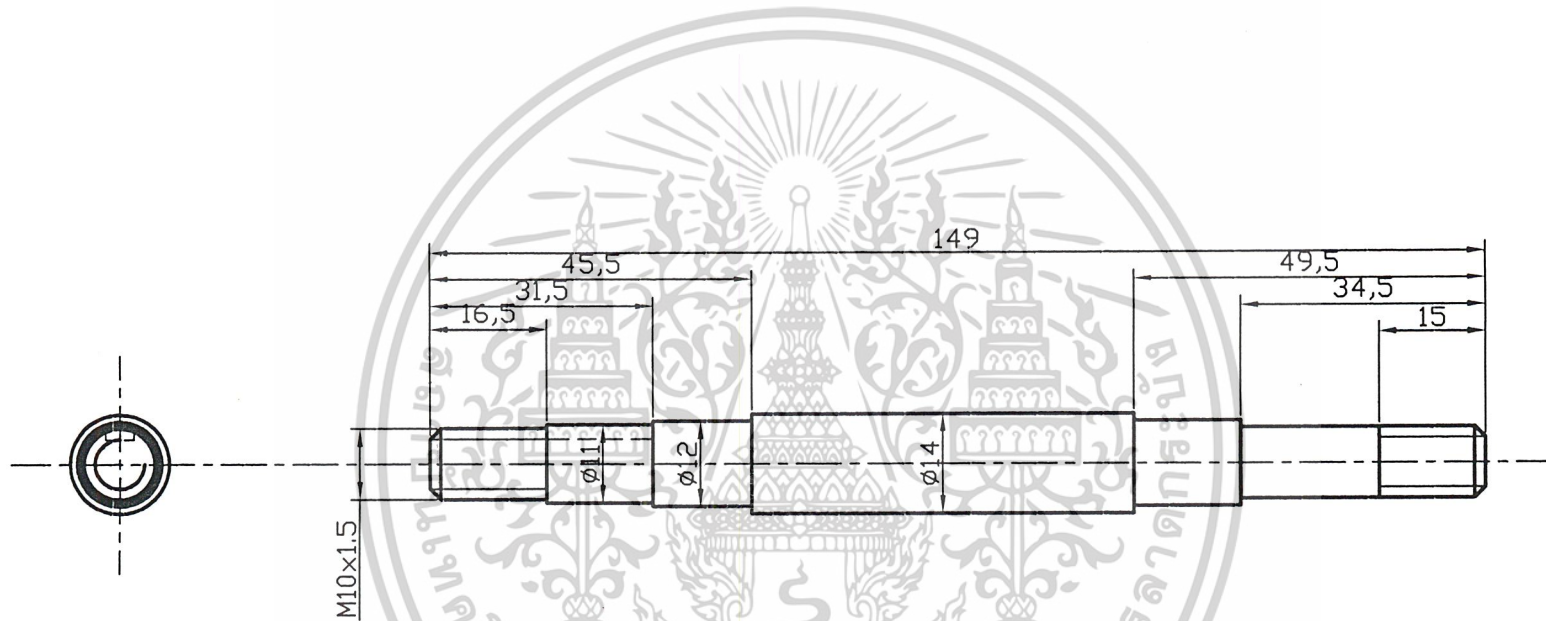
1	โครงเพลลา	1	St.37	$\phi 52 \times 70$
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไซติปราชญกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



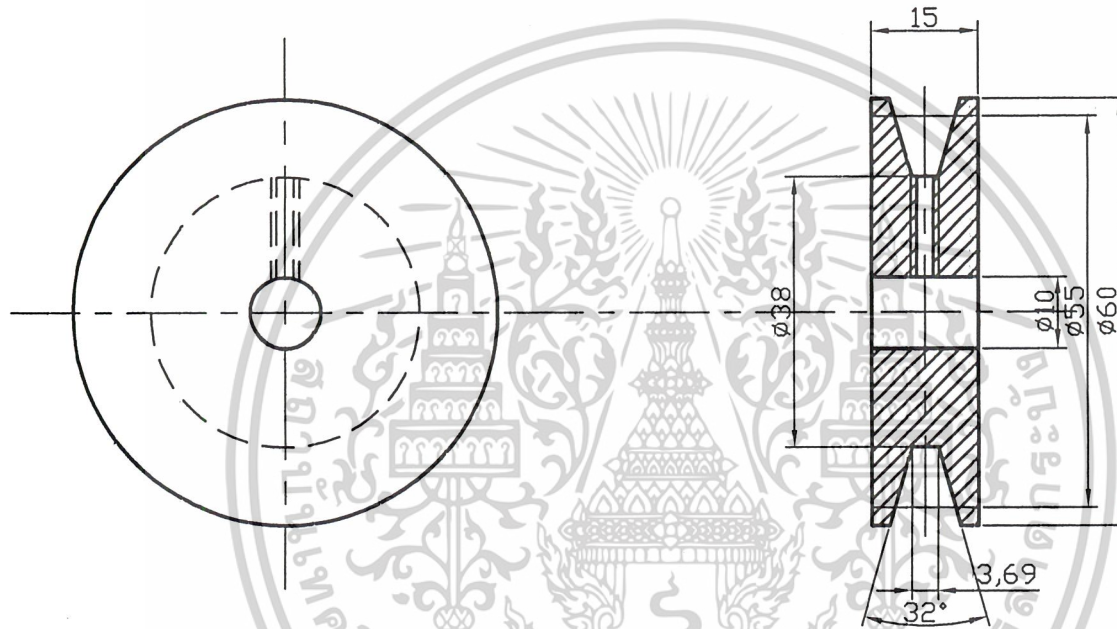
2	ฝาประกอบ	1	St.37	Ø52x5
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย โชติปราชญ์กุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



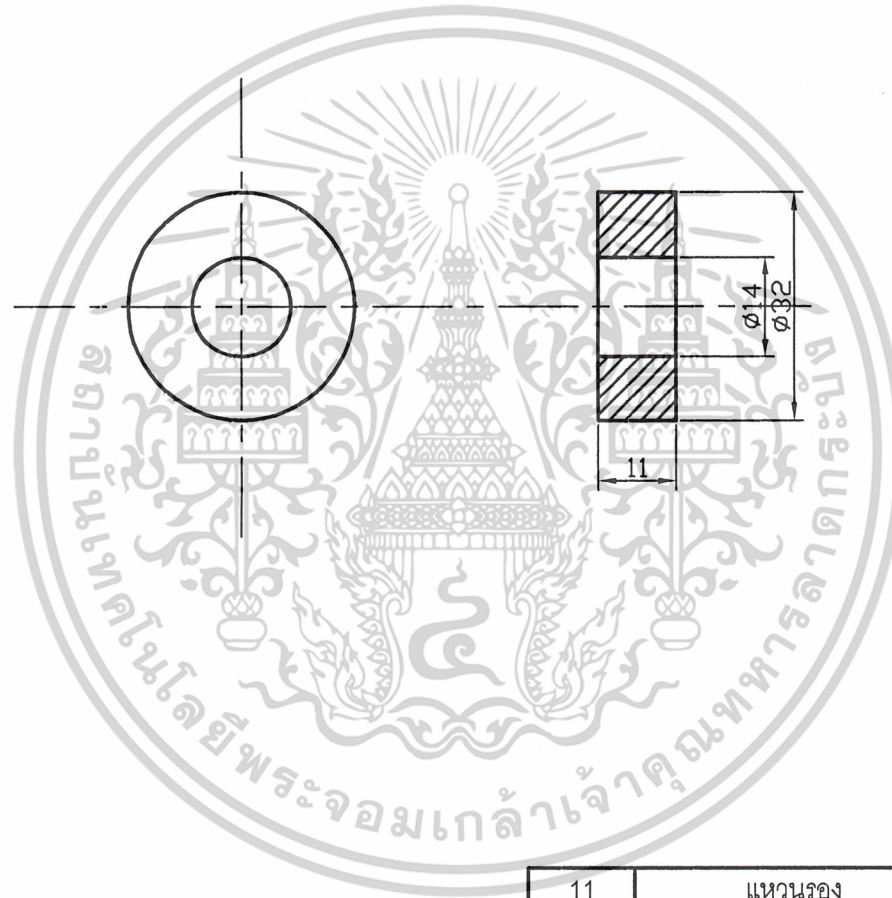
4	แหวนประกบ	2	St.37	Ø70x5
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย โชติปราชญกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



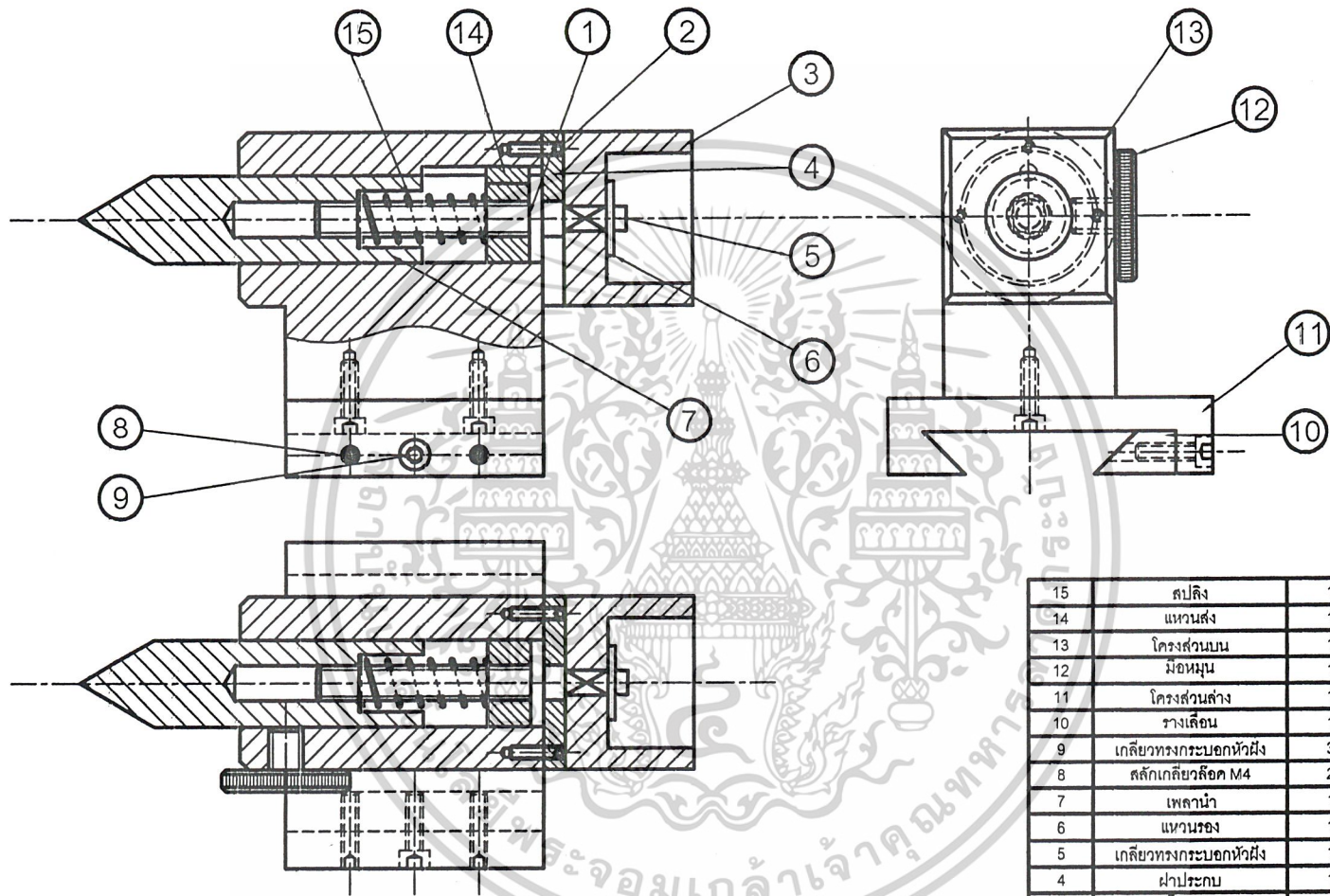
7	เพลลา	1	C.10	Ø14x149
ชนิดที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย โชติปราชญกุล			
มาตราส่วน	1 : 1	Department of Industrial Engineering		



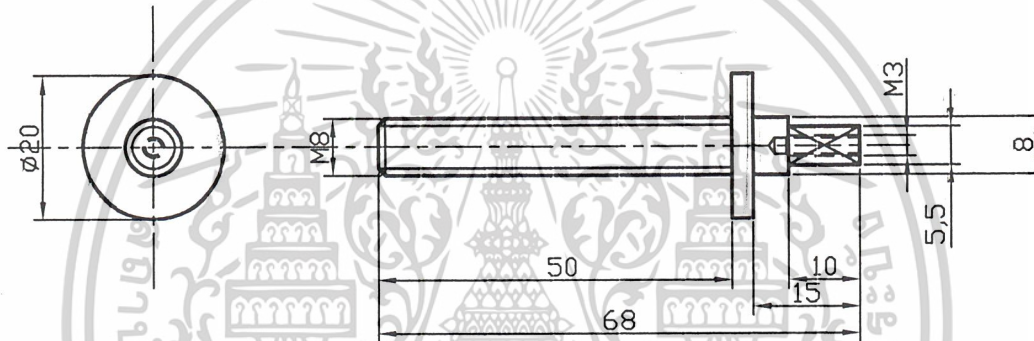
9	มูเล่	1	St.60	Ø60x15
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย โชติปธานกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



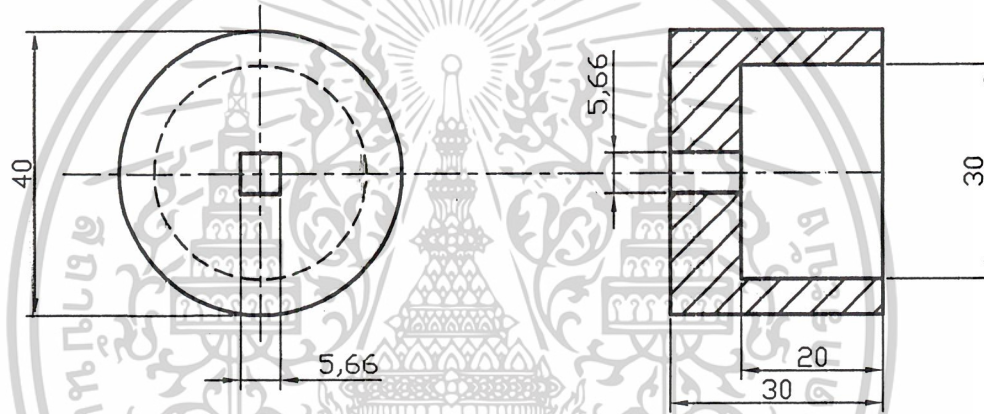
11	แหวนรอง	1	Al	Ø32x11
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปยายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



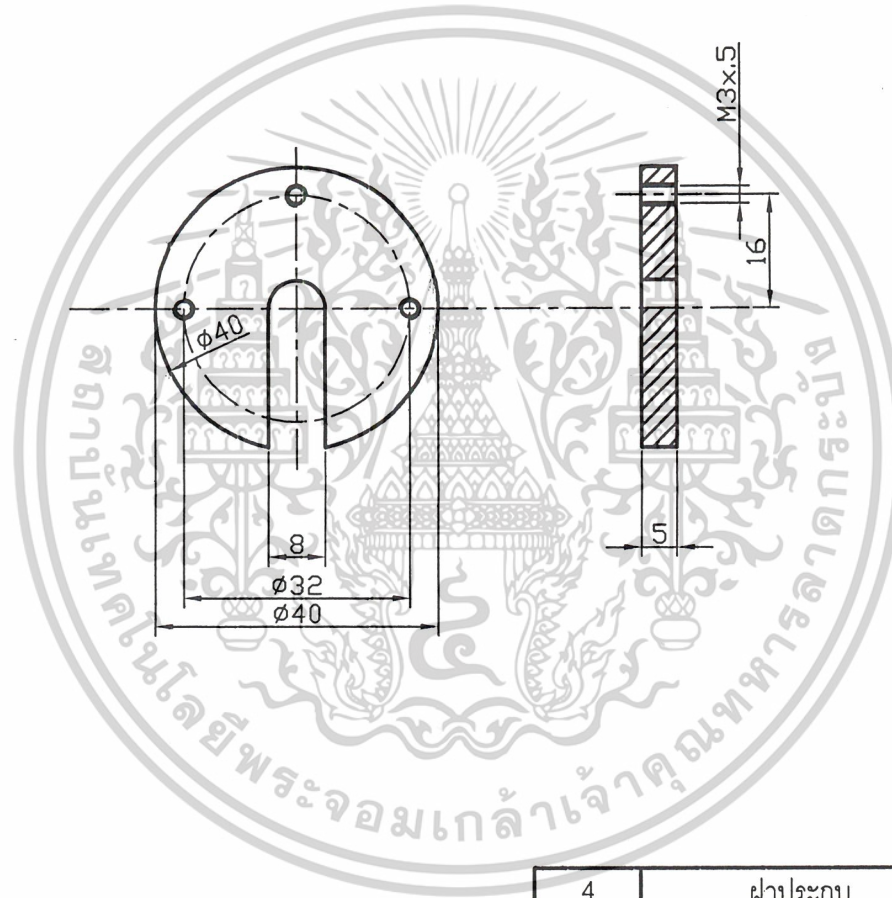
15	สปริง	1	-	DIN 2098
14	แหวนส่ง	1	St.60	Ø20x10
13	โครงส่วนบน	1	St.37	60x62x40
12	มือหมุน	1	St.37	Ø30x20
11	โครงส่วนล่าง	1	St.37	60x76x18
10	รางเลื่อน	1	Cu	10x20x60
9	เกลียวทรงกระบอกหัวฝั่ง	3	-	DIN 912
8	สลักเกลียวล็อก M4	2	-	DIN 417
7	เพลาน้ำ	1	C.20	Ø20x80
6	แหวนรอง	1	-	DIN 125
5	เกลียวทรงกระบอกหัวฝั่ง	1	-	DIN 912
4	ฝาประกอบ	1	St.37	Ø40x5
3	มือหมุน	1	St.37	Ø40x30
2	สลักเกลียวล็อก M3	3	-	DIN 417
1	เพลาส่ง	1	C.10	Ø20x68
ชนิดที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	ศุภพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	ศุภพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
ผู้ตรวจ	พลชัย โชติปราชญ์กุล	Faculty of Engineering		
มาตรฐาน	1 : 1.6	Department of Industrial Engineering		



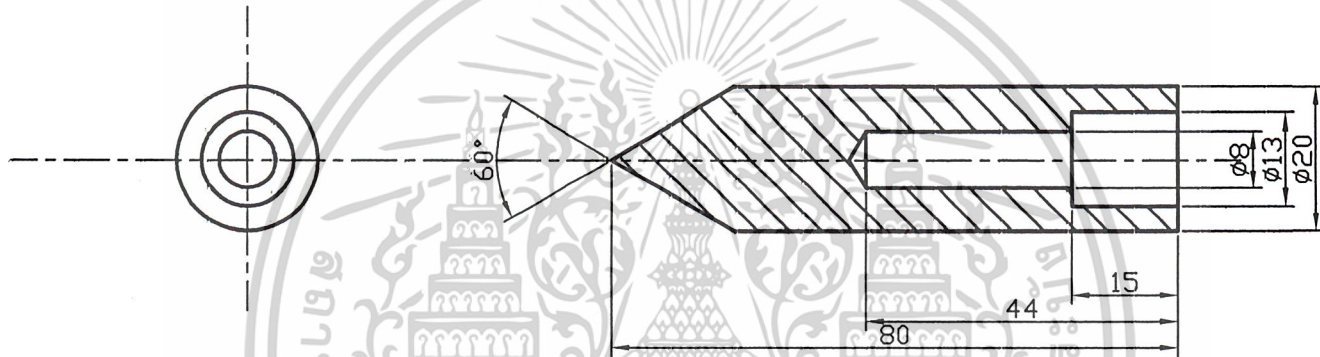
1	เพลาส่ง	1	C.10	Ø20x68
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปยายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



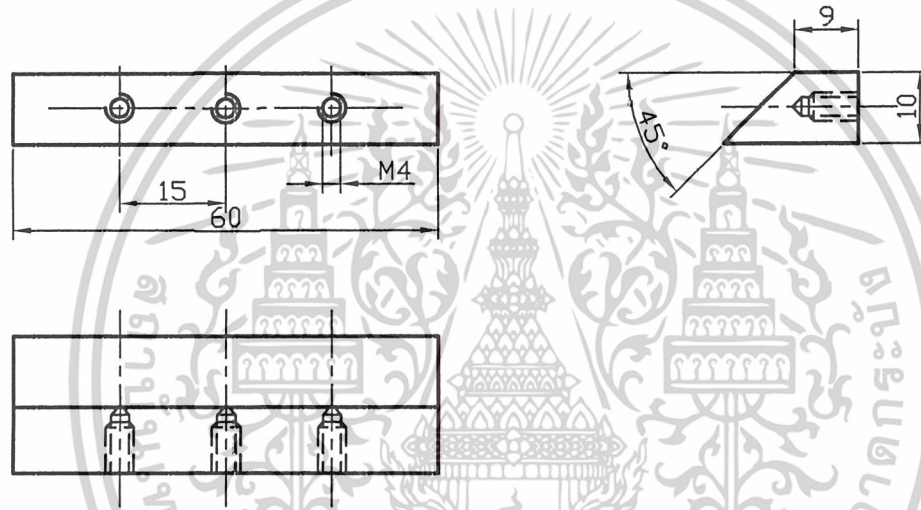
3	มือหมุน	1	St.37	Ø40x30
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปยายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



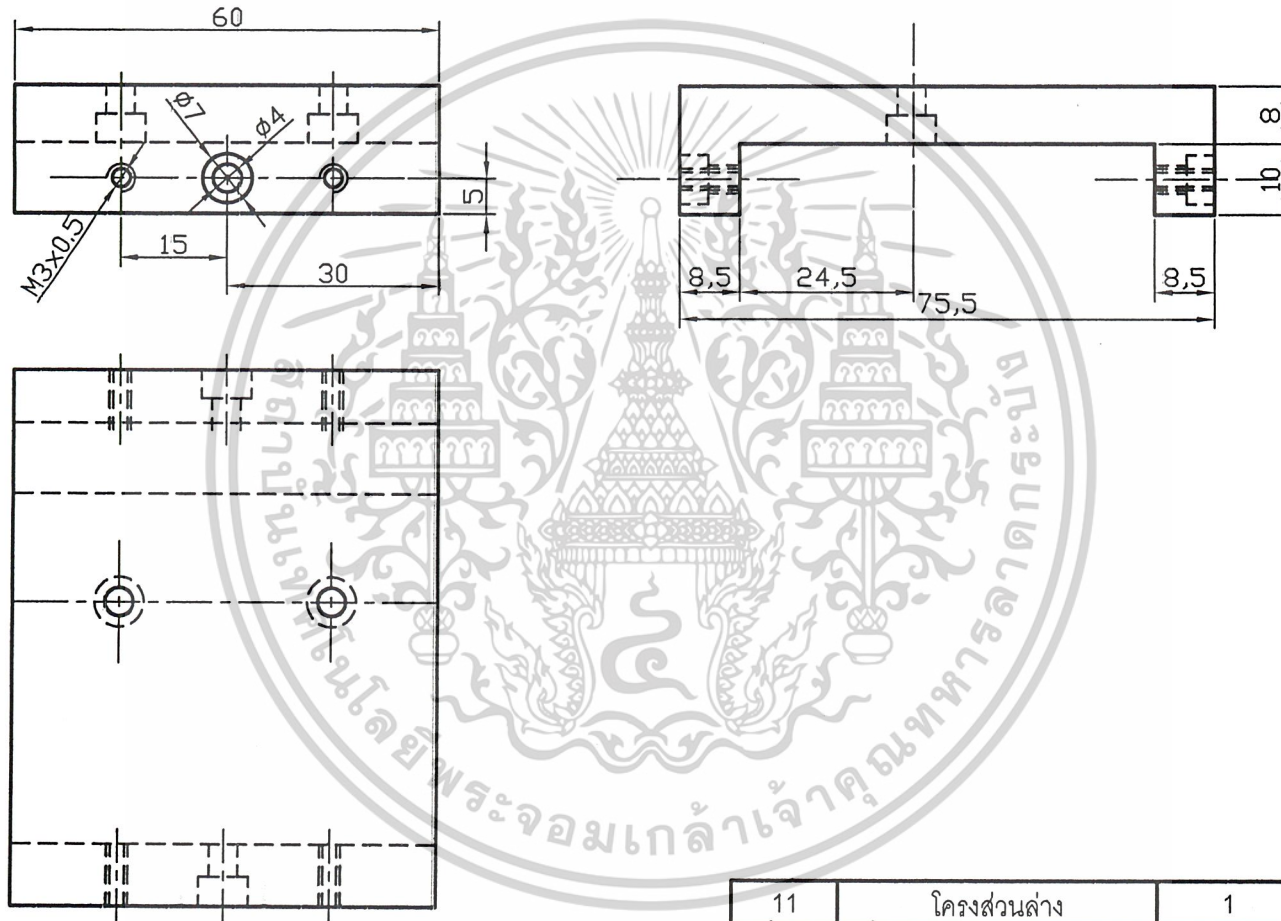
4	ฝาประกบ	1	St.37	Ø40x5
ชนิดที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปยายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



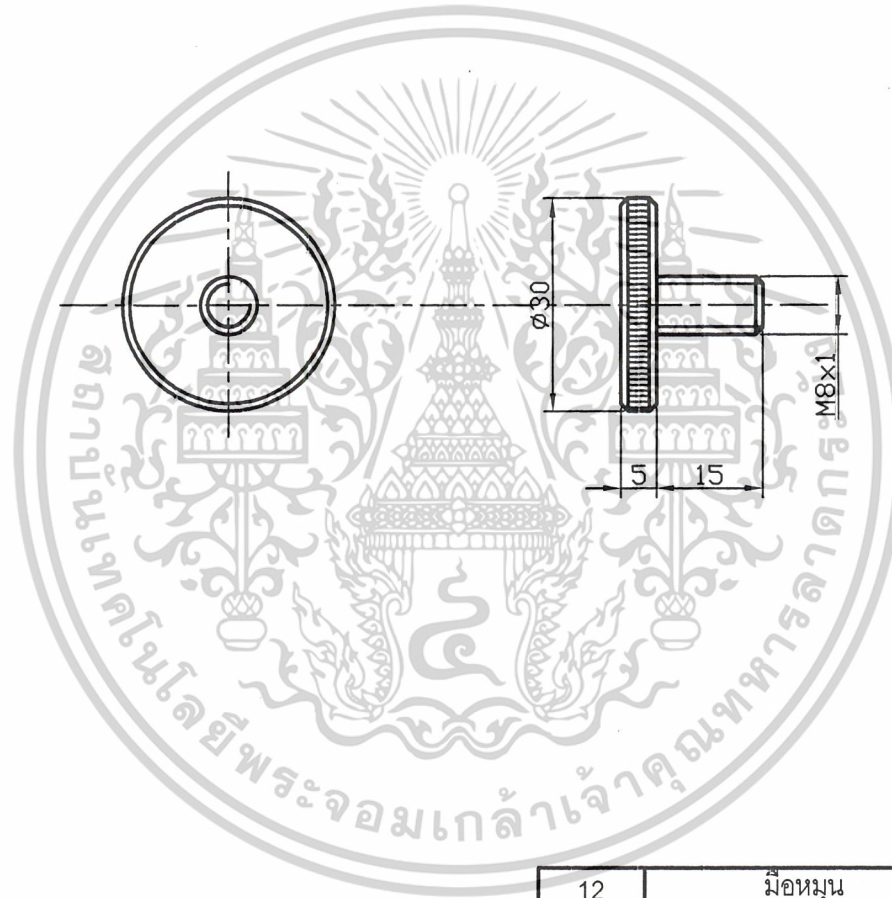
7	เพลาน้ำ	1	C.20	Ø20x80
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปยายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



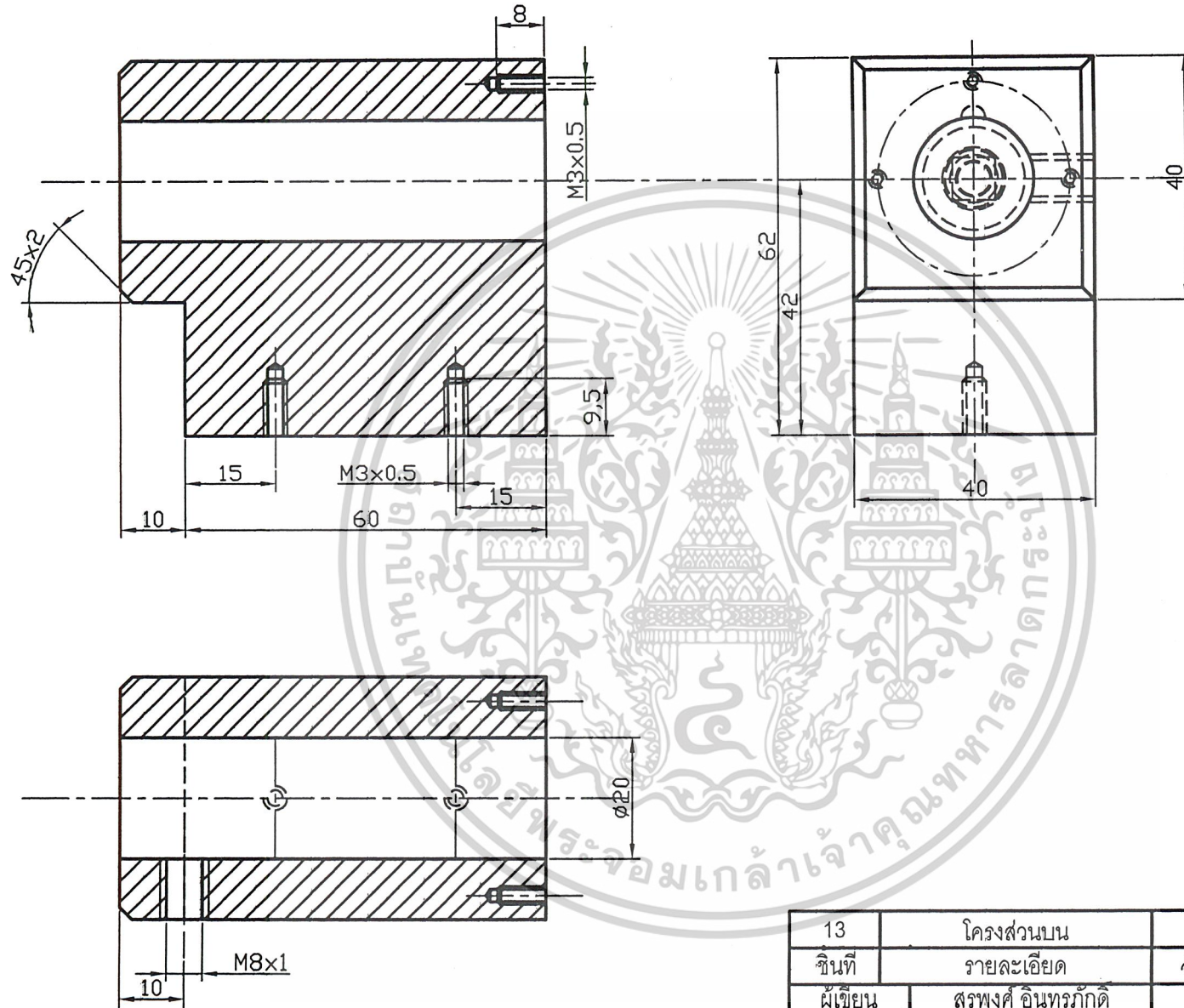
10	ร่างเล็อน	1	Cu	10x20x60
ชินที	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปยายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



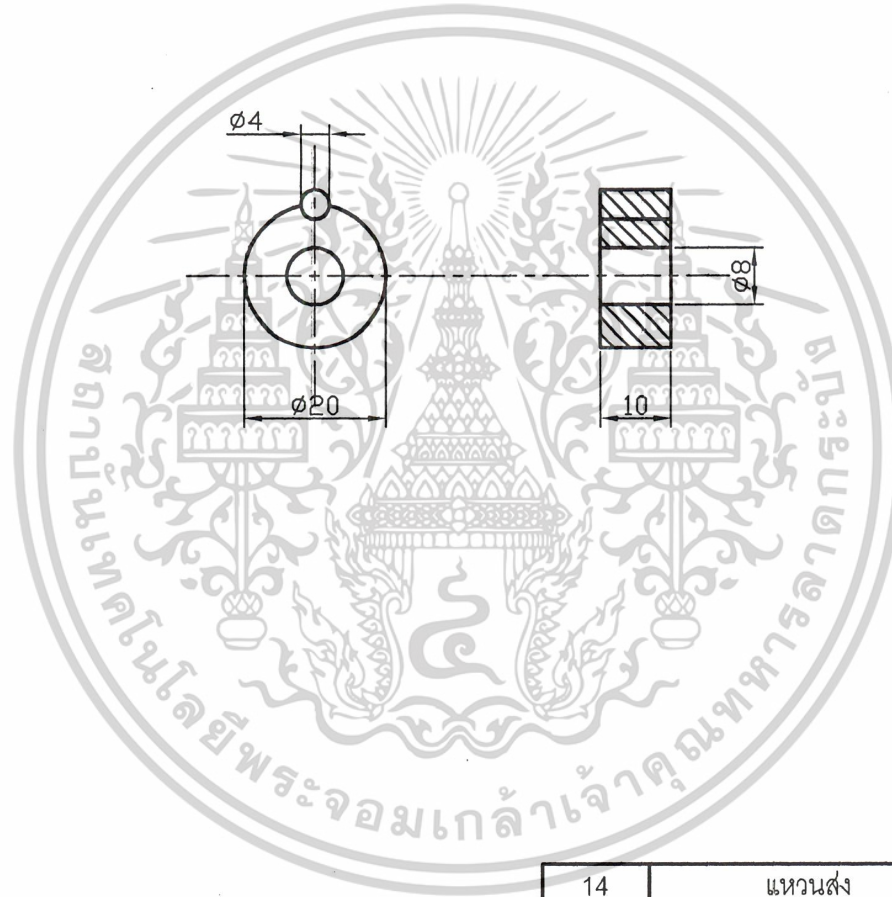
11	โครงส่วล่าง	1	St.37	60x76x18
ชนิดที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไซติปรายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



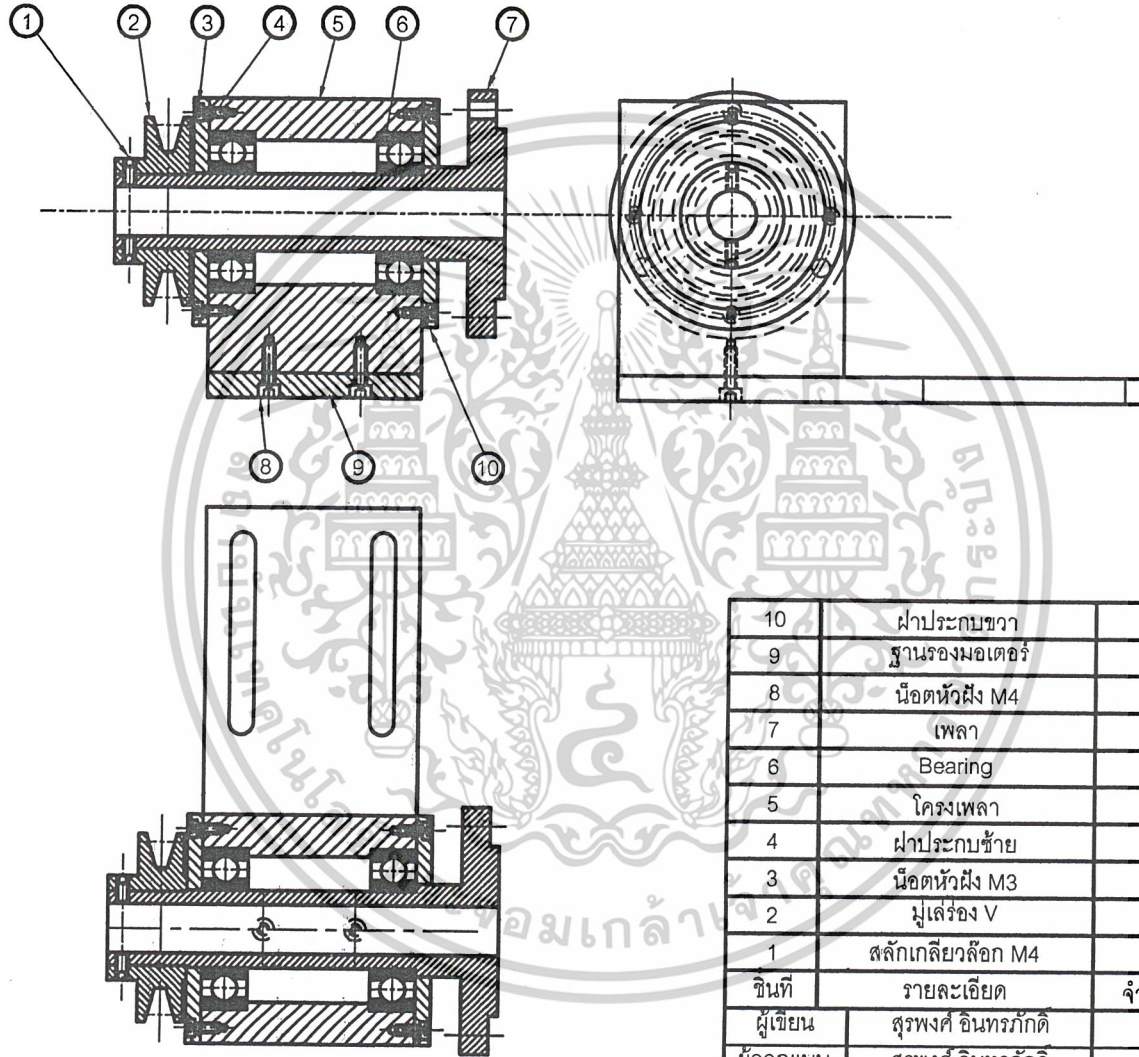
12	มือหมุน	1	St.37	Ø30x20
ชนิดที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปยายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



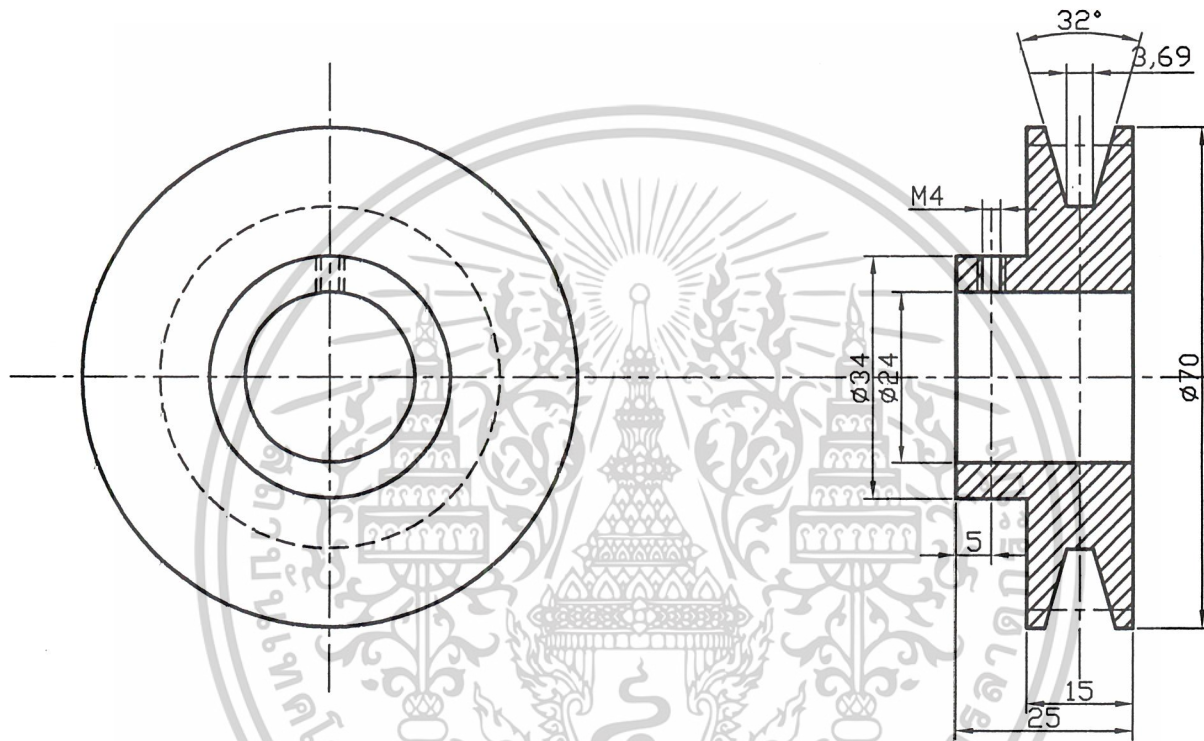
13	โครงสร้างบน	1	St.37	60x62x40
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปยายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1	Department of Industrial Engineering		



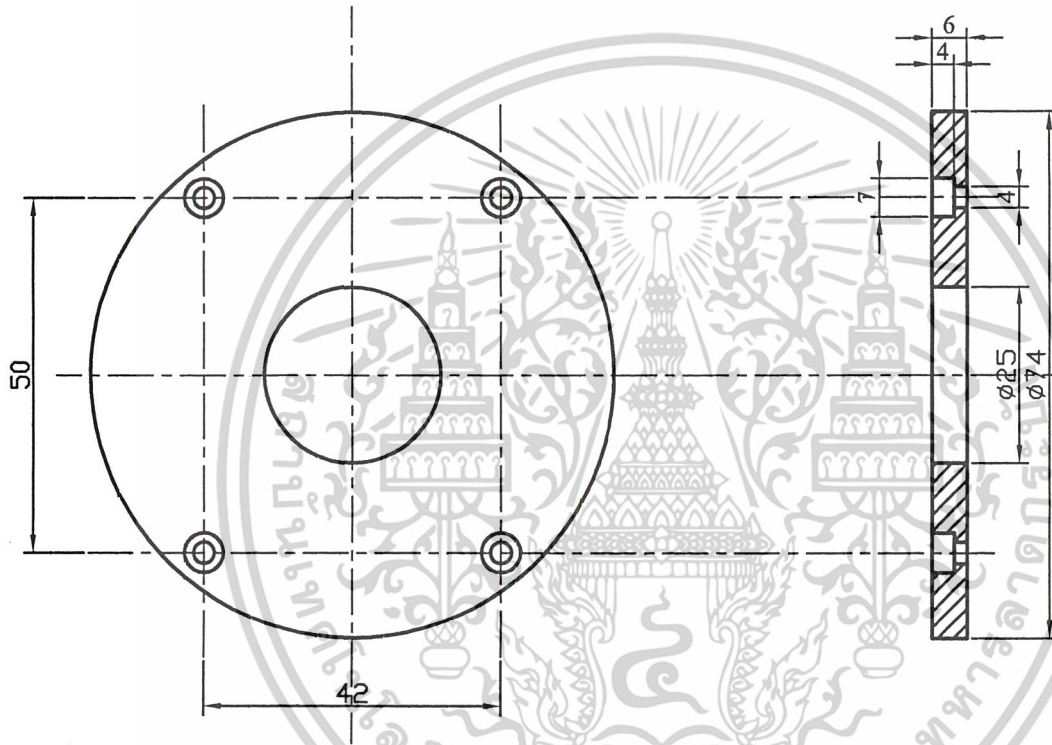
14	แหวนส่ง	1	St.60	Ø20x10
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปยายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



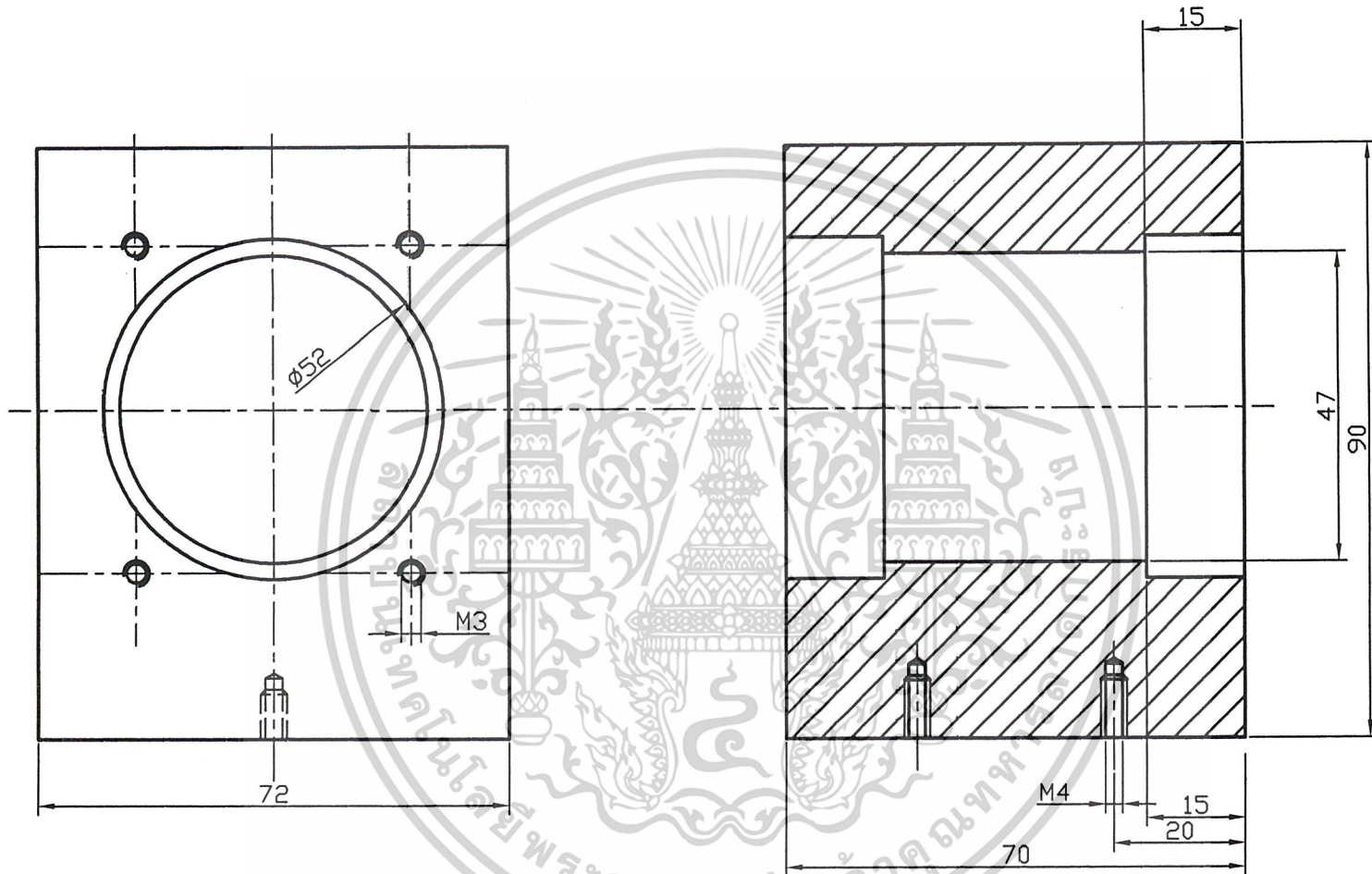
10	ฝาประกอบขวา	1	St.37	Ø74x5
9	ฐานรองมอเตอร์	1	St.37	176x70x8
8	น็อตหัวฝั M4	3	-	DIN 417
7	เพลลา	1	C.10	Ø80x112
6	Bearing	2	-	NTN
5	โครงเพลลา	1	St.37	72x70x90
4	ฝาประกอบซ้าย	1	St.37	Ø74x6
3	น็อตหัวฝั M3	8	-	DIN 417
2	มูเล็รอง V	1	St.60	Ø70x25
1	สลักเกลียวลึอก M4	2	-	DIN 417
ชินที	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย โชติปจายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 2.5			



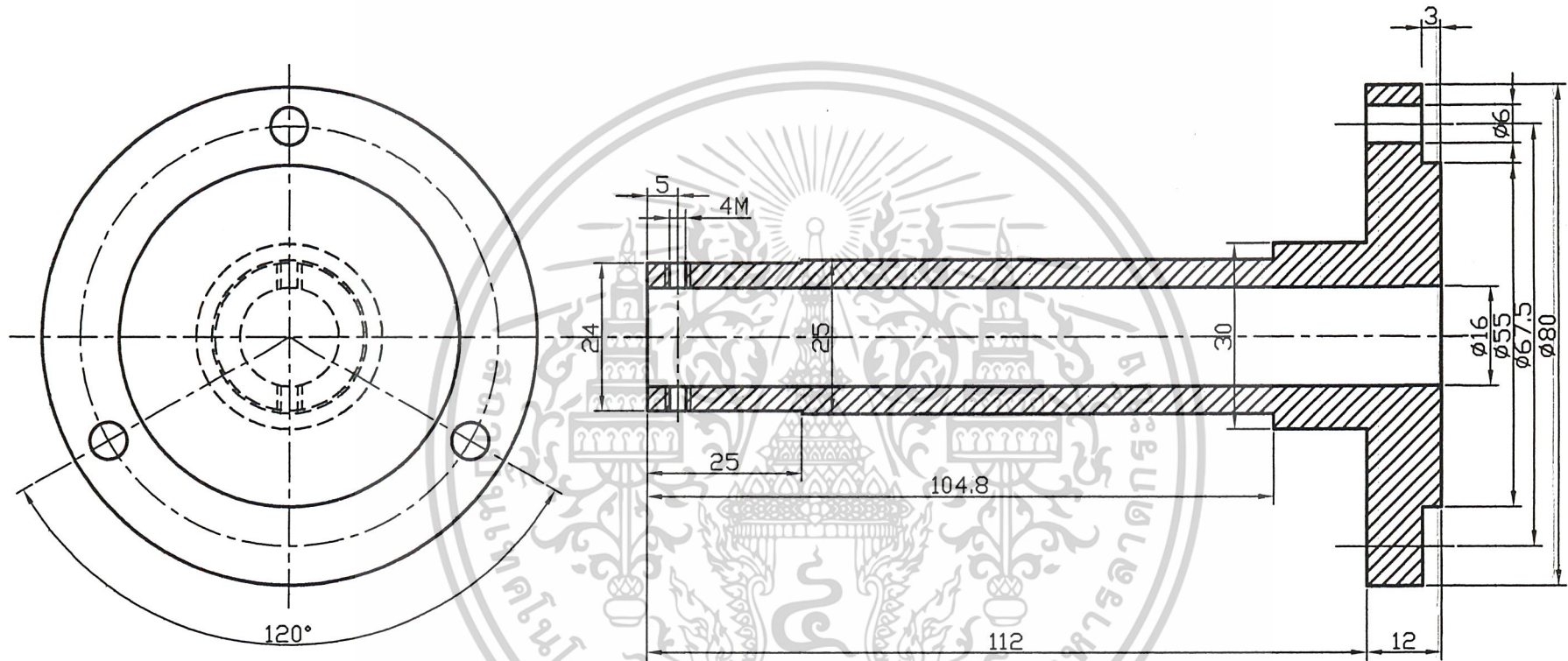
2	มูเล่ร่อง V	1	St.60	Ø70x25
ชนิดที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปยายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



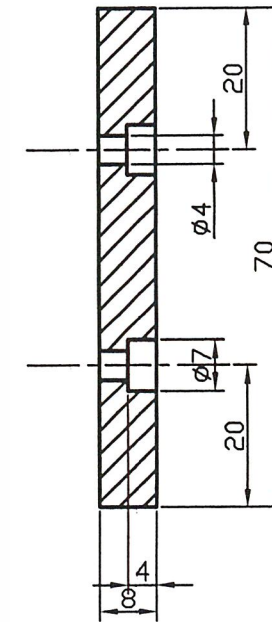
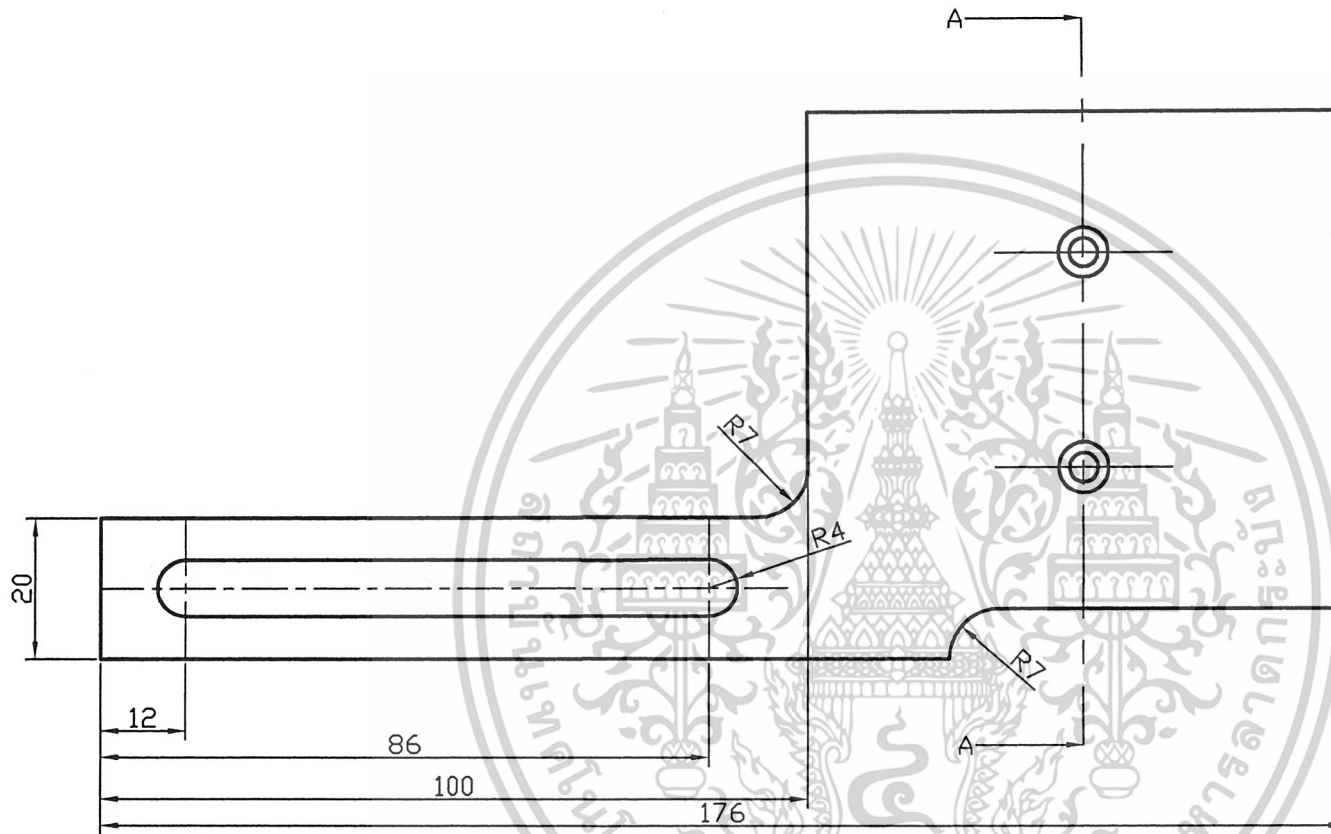
4	ฝาประกบซ้าย	1	St.37	Ø74x6
ชนิดที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปยายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



5	โครงเพลลา	1	St.37	72x70x90
ชนิดที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปยายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			

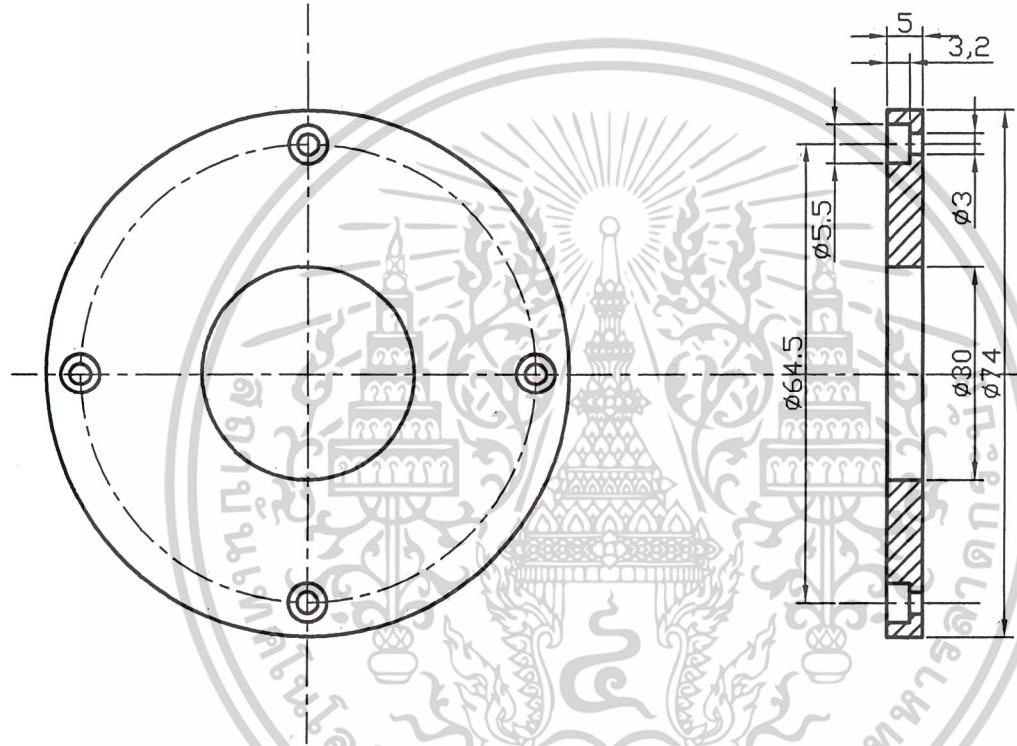


7	เพลลา	1	C.10	Ø80x112
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปยายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1			



Section A-A

9	ฝาประกบ	1	St.37	176x70x8
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปยายนกุล			
มาตราส่วน	1 : 1	Department of Industrial Engineering		



10	ฝาประกอบขา	1	St.37	Ø74x5
ชั้นที่	รายละเอียด	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	สุรพงศ์ อินทรภักดี	Cylindrical Grinding		
ผู้ออกแบบ	สุรพงศ์ อินทรภักดี	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Faculty of Engineering		
ผู้ตรวจ	พลชัย ไชติปราชญกุล			
มาตราส่วน	1 : 1	Department of Industrial Engineering		