

เครื่องพิมพ์ตัวอักษรบนแผ่นโลหะ



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

๕๖

๑๒๓๒๑

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

๒๕๔๖

ปีการศึกษา ๒๕๔๖

เลขที่.....  
 เลขทะเบียน..... 55647  
 วัน,เดือน,ปี 20 พ.ค. 2548

.....  
 .....

# MARKING MACHINE



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**ACADEMIC YEAR 2003**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท

เครื่องพิมพ์ตัวอักษรบนแผ่นโลหะ  
MARKING MACHINE

นักศึกษา

นายฉัตรชัย หวังวรวิทย์ รหัสประจำตัว 44015730  
นายบุญนาค คนชื่อ รหัสประจำตัว 44015739

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท



(อ. พลชัย โชติปรายนกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

เครื่องพิมพ์ตัวอักษรบนแผ่นโลหะ

นักศึกษา

นายฉัตรชัย หวังวรวิมล

หลักสูตร

นายบุญนาค คนเชื้อ

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2546

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ อ.พลชัย โชติปราชญ์กุล

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาการออกแบบและจัดสร้างเครื่องพิมพ์ตัวอักษรบนแผ่นโลหะ ซึ่งสามารถพิมพ์ตัวอักษรเป็นภาษาอังกฤษและตัวเลข รวมทั้งหมด 36 ตัว โดยจะทำให้เกิดเป็นรอยลึกลงไปบนแผ่นโลหะ และใช้ระบบนิวแมติกส์ไฟฟ้าเป็นตัวถ่ายทอดแรงกดไปยังหัวพิมพ์ตัวอักษร ซึ่งสามารถพิมพ์ได้ครั้งละ 1 ตัวอักษร ส่วนการเลือกตำแหน่งตัวอักษรและระยะพิศตัวอักษรจะใช้ระบบหมุนด้วยมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Thesis Title** Marking Machine  
**Student** Mr. Chatchai Wangworawut  
Mr. Boonnak Khonsue  
**Degree** Bachelor of Engineering in Industrial Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
**Academic Year** 2003  
**Thesis Advisor** Mr. Pholchai Chotiprayanakul



### ABTRACT

This thesis is design and constructing a marking machine which can press thirty-six character included alphabets and number on the metal plate. It use pneumatic-electrical system. It type the alphabet one by one and chang alphabet position manually.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์หัวข้อ เครื่องพิมพ์อักษรบนแผ่นโลหะ ดำเร็จดูว่างได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอกราบ  
ขอบพระคุณอาจารย์ พลชัย โชติปราชญ์กุล ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมเป็นอย่างสูง

ขอบคุณอาจารย์ พลชัย โชติปราชญ์กุล ที่คอยให้คำแนะนำและคำปรึกษาที่ดี ทางด้านการสร้างตัว  
เครื่อง จนสำเร็จ

ขอบคุณอาจารย์ในภาคทุกท่านสำหรับกำลังใจและคำชี้แนะที่ดีเสมอมา

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาคทุกท่าน และขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมที่ได้ให้ความรู้แก่ผู้จัดทำ



นายฉัตรชัย หวังวรวุฒิ

นายบุญนาถ คนชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญภาพ.....	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความสำคัญของปริญญาโท.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาโท.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 สมบัติทางกลของโลหะ.....	2
2.2 อุปกรณ์การทำงานของระบบนิวแมติกส์.....	3
2.3 ทฤษฎีการโค้งงอของเสา.....	5
2.4 การเลือกขนาดกระบอกสูบ.....	7
2.5 การคำนวณหาแรงของกระบอกสูบ.....	8
2.6 การหาค่าน้ำหนักของชิ้นส่วน.....	9
2.7 สปริง.....	9
2.8 การออกแบบสปริงขดรับแรงกด.....	18
2.9 ความเค้นบนรอยเชื่อม.....	19
<b>บทที่ 3 แผนการดำเนินงาน</b>	
3.1 แนวคิดในการออกแบบ.....	22
3.2 หลักการทำงานของเครื่อง.....	23
3.3 การคำนวณหาน้ำหนักชุดกด.....	24
3.4 การออกแบบ.....	24

**บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน**

4.1 ผลการดำเนินงานด้าน โครงสร้างเครื่องพิมพ์ตัวอักษร.....25

4.2 ผลการดำเนินงานด้านชุดยี่ดตัวอักษรและตัวกำหนดตำแหน่ง.....26

4.3 ผลการดำเนินงานด้านชุดควบคุมกระบอกสูบและการทำงาน.....27

4.4 ผลการทดลอง.....28

**บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน**

5.1 สรุปผลการทดลอง.....29

5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....29

**บรรณานุกรม.....30**

**ภาคผนวก แบบทางวิศวกรรมเครื่องพิมพ์ตัวอักษรบนแผ่น โลหะ.....ผ**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์เกี่ยวกับผลของการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ.....7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนภาพวัสดุภายใต้แรงกด.....	3
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะ โครงสร้างของกระบอกสูบลม.....	4
รูปที่ 2.3 ลักษณะของกระบอกสูบลมแบบสองทามิเบาะลมกันกระแทก.....	4
รูปที่ 2.4 แสดง โครงสร้างและสัญลักษณ์.....	5
รูปที่ 2.5 แสดงเสาที่ปลายอิสระและอีกปลายยึดแน่น.....	6
รูปที่ 2.6 แสดงค่าความยาวของเสาแต่ละประเภท.....	7
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่สปริงกับระยะยืดตัวหรือบิดตัว.....	9
รูปที่ 2.8 สปริงชนิด.....	12
รูปที่ 2.9 ค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นสำหรับสปริงชนิดรับแรงดึงและรับแรงกด.....	14
รูปที่ 2.10 การรวมความเค้นในสปริงชนิด.....	14
รูปที่ 2.11 มุมขดของสปริง.....	15
รูปที่ 2.12 การยืดหดของลวดสปริง.....	15
รูปที่ 2.13 ปลายสปริงชนิดรับแรงกด.....	16
รูปที่ 2.14 ระยะยุบตัวของสปริงชนิด.....	17
รูปที่ 2.15 รอยเชื่อม.....	19
รูปที่ 2.16 แสดงความเค้นเฉือนในรอยเชื่อม.....	20
รูปที่ 2.17 รอยเชื่อมฟิลเลต.....	21
รูปที่ 2.18 ระยะพอกหนารอยเชื่อม.....	21
รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังลำดับการทำงาน.....	23
รูปที่ 3.2 เครื่องพิมพ์ตัวอักษรบนแผ่น โลหะ.....	24
รูปที่ 4.1 โครงสร้างเครื่องพิมพ์ตัวอักษร.....	25
รูปที่ 4.2 ชุดกำหนดตำแหน่งตัวอักษรและชุดพิมพ์ตัวอักษร.....	26
รูปที่ 4.3 ชุดควบคุมกระบอกสูบ.....	27
รูปที่ 4.4 แสดงการพิมพ์ตัวอักษร.....	28
รูปที่ 4.5 ชิ้นงานตัวอย่างที่ได้หลังการพิมพ์ตัวอักษร.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของโรงงาน

อุตสาหกรรมการผลิตในปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์บางอย่างต้องมีการบอกรหัสหรือข้อความ เพื่อสื่อความหมายให้ ผู้ใช้หรือผู้ที่พบเห็นเข้าใจ นอกจากอุตสาหกรรมการผลิตความต้องการในด้านอื่น ที่ต้องการแผ่นป้ายโลหะขนาดเล็กไว้ สื่อความหมายทางภาษาหรือรหัส เช่น ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดใหญ่ ที่ต้องการติดแผ่นป้ายโลหะขนาดเล็กไว้ที่สัตว์เลี้ยง เพื่อสื่อให้รู้ถึงข้อมูลบางอย่างเช่น วันเกิด ประวัติการให้ยาป้องกันโรคหรือข้อความอื่น ๆ ที่ต้องการ โดยมีความจำเป็น ที่ต้องผลิตแผ่นป้ายโลหะจำนวนมาก

ดังนั้นจึงได้เกิดแนวคิดที่จะผลิตเครื่องพิมพ์อักษรบนแผ่นโลหะขึ้น และใช้ชิ้นส่วนในการผลิตที่สามารถจัดหา โดยทั่วไปได้ง่ายทำให้เกิดความคุ้มค่าในการผลิตและซ่อมบำรุง

### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1 เพื่อการออกแบบเครื่องพิมพ์อักษรบนแผ่นโลหะ
- 2 เพื่อจัดสร้างเครื่องพิมพ์อักษรบนแผ่นโลหะ
- 3 เพื่อนำหลักการทางกลศาสตร์วัสดุ และความรู้ทางการควบคุมนิวแมติกส์ มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในการผลิตเครื่องจักรขนาดเล็ก

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1 ออกแบบให้สามารถพิมพ์ตัวอักษรภาษาอังกฤษ 26 ตัวอักษร และตัวเลข 10 ตัว รวมทั้งหมด 36 ตัว
- 2 แผ่นโลหะที่ใช้พิมพ์ตัวอักษร เป็นแผ่นอลูมิเนียมที่ผ่านการรีดร้อน ขนาดประมาณ  $120 \times 15$  มิลลิเมตร ความหนาประมาณ 1-3 มิลลิเมตร
- 3 ใช้กระบอกสูบนิวแมติกส์ส่งแรงกดประทับตัวอักษรให้เกิดเป็นร่องตามตัวอักษร มีความลึกประมาณ 0.1 มิลลิเมตร
- 4 ควบคุมการทำงานของกระบอกสูบลิวแมติกส์ด้วยระบบนิวแมติกส์ไฟฟ้า
- 5 กำหนดการเลือกตัวอักษร และระยะพิทตัวอักษร โดยการหมุนด้วยมือ

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1 ทางด้านการใช้งาน สามารถพิมพ์ตัวอักษรได้รวดเร็วและได้ระยะพิทตัวอักษรที่สม่ำเสมอ
- 2 ทางด้านผู้ใช้งาน สามารถประหยัดเวลาและช่วยทุ่นแรงในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สมบัติทางกลของโลหะ

สมบัติทางกลของวัสดุในการตอบสนองต่อแรงทางกลที่มากกระทำ ไม่ว่าจะแรงทางกลนั้นจะมีลักษณะใดก็ตาม เมื่อมีแรงทางกลมากกระทำต่อวัสดุ จะเกิดแรงภายในเนื้อวัสดุเพื่อต้านรับแรงที่มากกระทำ ถ้าแรงที่มากกระทำมีขนาดมากกว่าวัสดุที่วัสดุจะต้านรับไว้ได้ วัสดุจะเสียรูป ดังนั้นความมากน้อยของขนาดของแรงที่วัสดุสามารถต้านรับไว้ได้จึงเป็นคิขนีที่บอกความแข็งแรงของวัสดุ (Strength of materials) ครรชนีเหล่านี้มีชื่อเรียกเฉพาะแตกต่างกัน ขึ้นกับลักษณะแรงทางกลที่มากกระทำต่อวัสดุ

สมบัติทางกลที่สำคัญของวัสดุ พร้อมกับคิขนีที่ใช้บอกความแข็งแรงของวัสดุภายใต้ลักษณะแรงกระทำต่างๆ ดังเหล่านี้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบเครื่องจักรกล

##### 2.1.1 สเตรส (Stress)

สเตรสเป็นชื่อทั่วไปที่ใช้เรียกความเข้มของแรงที่เกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุเมื่อถูกแรงภายนอกกระทำ ในทางคิขนวลสเตรสหาได้จากอัตราส่วนระหว่างแรงกระทำต่อพื้นที่หน้าตัดของวัสดุที่รับแรงนั้น

$$\text{stress } (\sigma) = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

เมื่อ P คือ แรงกระทำ (N)  
A คือ พื้นที่ที่รับแรง (mm<sup>2</sup>)

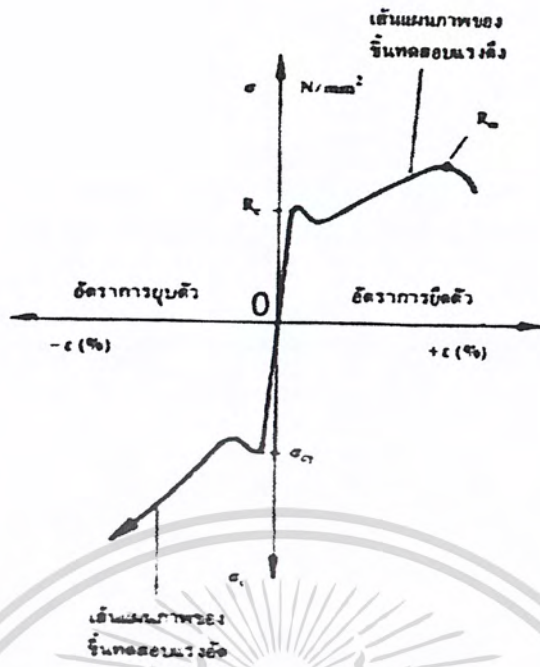
##### 2.1.2 พฤติกรรมของวัสดุภายใต้แรงทางกล

วัสดุมีการตอบสนองต่อแรงทางกลต่างๆ ไป 2 รูปแบบใหญ่ ๆ คือ แบบยืดหยุ่น (elastic response) และแบบพลาสติก (plastic response)

เมื่อมีแรงมากพอมากกระทำต่อวัสดุ แล้วทำให้วัสดุเปลี่ยนรูปไปตามทิศทางของแรง แต่เมื่อปล่อยแรงกระทำออก วัสดุสามารถคืนกลับสู่รูปร่างเดิมได้ พฤติกรรมในลักษณะนี้เรียกว่า ความยืดหยุ่นของวัสดุ (elastic behavior of materials) ขีดจำกัดขั้นสูงของการตอบสนองแบบยืดหยุ่นเรียกว่า พิกัดความยืดหยุ่น (elastic limit)

ถ้าแรงที่มากกระทำมีขนาดมาก จนทำให้วัสดุมีการเปลี่ยนรูปมากเกินไป ในกรณีนี้เมื่อปล่อยแรงออก วัสดุจะไม่คืนรูปสู่สภาพเดิมอีก คือเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (permanent deformation) การตอบสนองต่อแรงกระทำในช่วงที่เกิดการเปลี่ยนรูปร่างนี้ เรียกว่า พฤติกรรมของวัสดุในช่วงพลาสติก (plastic behavior of materials) หากเพิ่มขนาดของแรงกระทำต่อวัสดุในช่วงพลาสติกให้มากขึ้นเรื่อย ๆ วัสดุก็จะเปลี่ยนรูปมากขึ้นมากขึ้นเรื่อย ๆ จนที่สุดจะเกิดการแตกร้าวและหักพัง ดังนั้นการแตกร้าวหักพังจึงเป็นขีดจำกัดขั้นสูงของช่วงพลาสติก

กรณีี่แรงกระทำเป็นแบบเฉียบพลัน คือเป็นแรงที่เกิดขึ้นอย่างกะทันหัน เช่น แรงกระแทก วัสดุอาจตอบสนองต่อแรงเหล่านี้ในแบบยืดหยุ่นแล้วก็แตกร้าวได้ โดยไม่มีการตอบสนองแบบพลาสติกเลยก็ได้

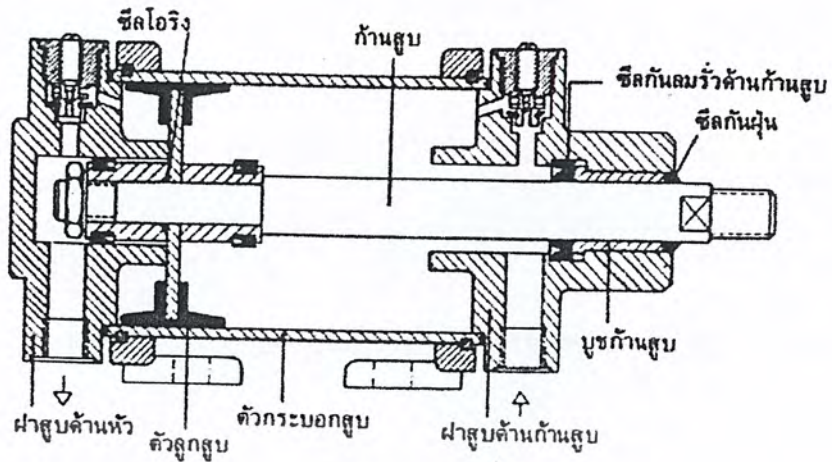


รูปที่ 2.1 แผนภาพวัสดุภายใต้แรงกด

## 2.2 อุปกรณ์การทำงานของระบบนิวแมติกส์

กระบอกสูบลมทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมอัดให้เป็นพลังงานกล ลักษณะการเคลื่อนที่เป็นแบบเส้นตรง ตัวกระบอกสูบลมอัดมักจะทำด้วยท่อชนิดไม่มีตะเข็บ เช่น เหล็ก, อะลูมิเนียม, ทองเหลือง, สแตนเลส ขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่ใช้ ภายในท่อจะต้องเจาะไนให้เรียบ

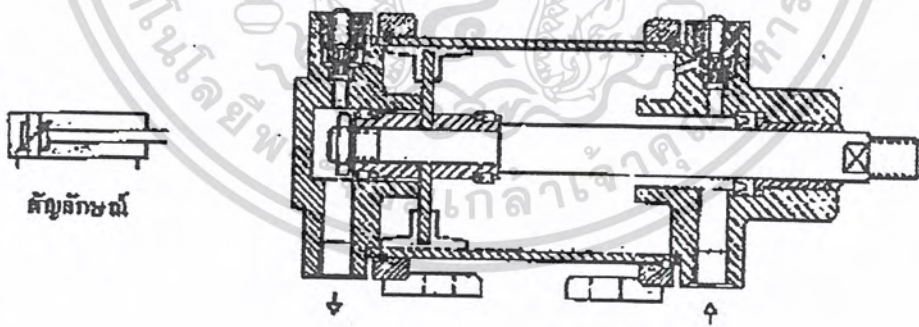
การทำงานของกระบอกสูบลมตามรูป เป็นกระบอกสูบแบบมีระบบลมกันกระแทก เพื่อช่วยลดความเร็วหรือลดอัตราหมุนของลูกสูบเมื่อสุครบระยะชัก เป็นการป้องกันการกระแทกที่เกิดขึ้นระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบ โดยการใช้วาล์วเข็ม (needle valve) กับวาล์วกันกลับ (check valve) ทำให้เกิดเบาะลมขึ้นระหว่างลูกสูบกับฝากระบอกสูบ ลมที่มีความดันสูงก็จะทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ต่อไปด้วยความลำบาก และจะเป็นการหน่วงความเร็วของลูกสูบลงตอนใกล้สุครบระยะชัก ทำให้ไม่เกิดการกระแทก



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะโครงสร้างของกระบอกลูกสูบ

- กระบอกลูกสูบชนิดทำงานสองทาง

จะใช้ลมดันหัวลูกสูบทั้งสองตอนเคลื่อนที่ออกและตอนเคลื่อนที่กลับ ทำให้ได้แรงทั้งสองทิศทาง เหมาะกับงานที่ต้องการใช้แรงในคอนลูกสูบเคลื่อนที่ออกและเคลื่อนเข้า รวมทั้งลักษณะงานที่ต้องการช่วงชักยาว ปัญหาที่เกิดขึ้นในกรณีที่ช่วงชักยาวเกินไปจะทำให้ก้านสูบเกิดการโก่งงอได้ ดังนั้นช่วงชักของกระบอกลูกสูบแบบนี้จะต้องมีการคำนวณหาระยะชักที่อนุญาตให้ใช้งานได้

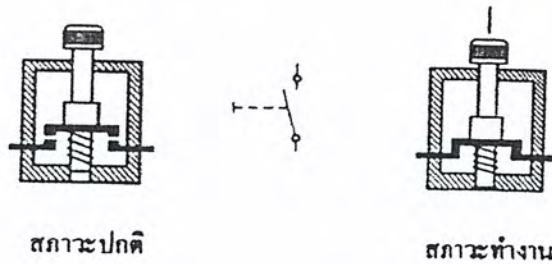


รูปที่ 2.3 ลักษณะของกระบอกลูกสูบแบบสองทางมีเบาะลมกันกระแทก

- สวิทช์ปุ่มกด (Pushbutton Switch)

หลักการทำงาน สวิทช์ปุ่มกดแบบนี้ ในสภาวะปกติกระแสไฟฟ้าจะไม่สามารถไหลผ่านวงจรได้ แต่เมื่อสวิตช์ถูกกดจากภายนอกจะทำให้หน้าสัมผัสต่อกัน กระแสไฟฟ้าจึงสามารถไหลผ่านวงจรได้ และหากสวิตช์ไม่ถูกกดสปริงจะดันให้หน้าสัมผัสแยกออกจากกัน กระแสไฟฟ้าจึงไม่สามารถไหลผ่านวงจรได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ (Pushbutton Switch)

### 2.3 ทฤษฎีการโก่งของเสา (Buckling of Columns)

เมื่อก้านเสาได้รับภาระในแนวแกนตั้งซึ่งเป็นแนวแกนของก้านเสา ถ้าภาระนั้นมีค่าไม่มากนักก้านเสาจะคงอยู่ในสถานะเดิมได้ แต่ถ้าเพิ่มภาระลงไปในก้านเสาให้มากขึ้นถึงค่าหนึ่งแล้ว ก้านเสาจะเริ่มเกิดการโก่งในแนวตั้งฉากกับภาระที่กระทำ ซึ่งเรียกภาระนี้ว่า ภาระวิกฤตหรือ โหลดวิกฤต (Critical Load)

ในการทำงานของกระบอกสูบ มีความจำเป็นที่ต้องการความแข็งแรงของก้านสูบ และระบะการโก่งที่มีเสถียรภาพด้วย โดยส่วนใหญ่ชิ้นส่วนที่ได้รับแรงกดในแนวแกน ซึ่งเป็นแนวตั้งในทิศทางของความสูงโดยเฉพะ เราเรียกว่า เสา และการโก่งงอที่ปรากฏขึ้นจะเรียกว่า(Buckling) ซึ่งอาจจะนำไปสู่ความเสียหาย ดังนั้นต้องคำนึงถึงแรงที่มากกระทำไม่ให้เกินภาระวิกฤต

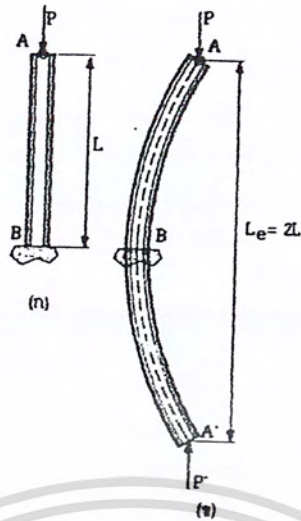
หลักในการคำนวณหาค่า ภาระวิกฤต (Critical Load) จะใช้หลักการของ Euler สมการการโก่งของเสา

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $P_{cr}$  คือ ภาระวิกฤตหรือ โหลดในแนวแกนของเสาที่เพิ่งจะเริ่มการ โก่งภาระนี้ต้องไม่ทำให้เกิดความเค้นในเสามากเกิน Proportional Limit

- E คือ โมดูลัสของความยืดหยุ่นสำหรับวัสดุ
- I คือ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่น้อยที่สุดของพื้นที่หน้าตัดของเสา
- L คือ ความยาวที่อยู่อกจุดศูนย์กลางของเสา

ในขั้นตอนการใช้สูตรคำนวณค่าแรงจะเหมือนกัน ไม่ว่าจะเป็นการจับยึดปลายเสาในลักษณะใด เช่น เสาที่มีปลาย A เป็นปลายอิสระและปลายอีกด้านหนึ่งยึดแน่นที่จุด B ดังรูป 2.5

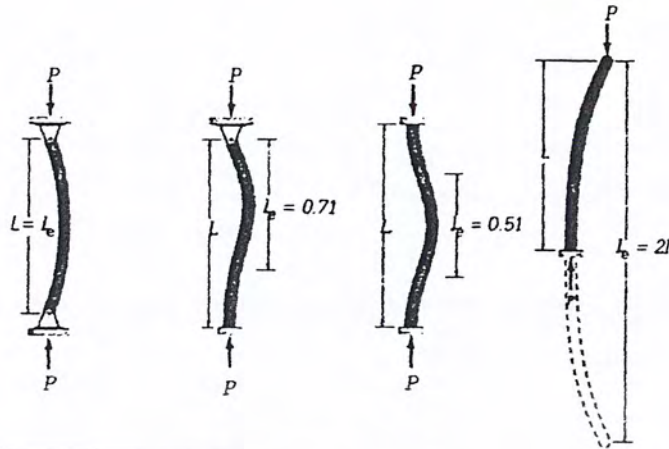


รูปที่ 2.5 แสดงเสาที่ปลายอิสระและอีกปลายยึดแน่น

สังเกตพฤติกรรมของเสาในรูป คล้ายกับครึ่งหนึ่งของการโก่งงอของเสาในรูป จะเห็นว่าถ้าต้องการเขียนสมการของเสาออยเลอร์ ก็เพียงแต่แทนความยาวของเสาในสมการ ด้วย 2 เท่าของความยาวที่แท้จริง (L) โดยความยาวที่แทนค่าลงไปเรียกว่า ความยาวประสิทธิผล (effective length) เขียนแทนด้วย  $L_e$  และสมการของเสาออยเลอร์สามารถเขียนใหม่ได้ว่า

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} \quad (2.3)$$

จะสังเกตว่าค่าความยาวประสิทธิผลจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการจับยึดที่ตำแหน่งปลายเสา และสรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 2.6



ยึดด้วยสลักทั้งสองข้าง ( $L_e = L$ )	ยึดด้วยสลักและยึดแน่น ( $L_e = 0.71L$ )	ยึดแน่นทั้งสองข้าง ( $L_e = 0.5L$ )	ปลายอิสระและยึดแน่น ( $L_e = 2.0L$ )
---	--	--	---

รูปที่ 2.6 แสดงค่าความยาวของเสาแต่ละประเภท

## 2.4 การเลือกขนาดกระบอกสูบ

การเลือกขนาดกระบอกสูบให้มีขนาดเหมาะสมกับการใช้งานในระบบนิวแมติกส์มีองค์ประกอบในการพิจารณาอยู่หลายประการด้วยกัน เช่น เมื่อจะนำกระบอกสูบไปใช้งาน ควรรู้ถึงผลการเปลี่ยนแปลงเมื่อค่าใดค่าหนึ่งเปลี่ยนแปลงจะมีผลทำให้ค่าอื่น ๆ เปลี่ยนไปอย่างไร ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์เกี่ยวกับผลของการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ

ข้อมูลที่เปลี่ยน	ความเร็ว	แรงที่ได้รับ
เพิ่มความดันใช้งาน	ไม่มีผล	เพิ่มขึ้น
ลดความดันใช้งาน	ไม่มีผล	ลดลง
เพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ	ลดลง	เพิ่มขึ้น
ลดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ	เพิ่มขึ้น	ลดลง

การเลือกขนาดกระบอกสูบให้เหมาะสมกับการใช้งาน หรือขนาดของแรงที่ได้จากลูกสูบสามารถหาได้จากสมการซึ่งจะกล่าวต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 การคำนวณหาแรงของกระบอกสูบ

แรงที่ได้รับจากลูกสูบเพื่อไปดันให้ก้านสูบกระทำกับโหลดให้เคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับความดันลมที่ใช้ เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ และแรงเสียดทานของซีลที่ทำต่อกระบอกสูบ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ ตามกฎของปาสกาล

$$F_{th} = 10 (A \times P) \quad (2.4)$$

- เมื่อ  $F_{th}$  คือ แรงที่ได้จากลูกสูบทางทฤษฎี (N)  
 $A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ ( $cm^2$ )  
 $P$  คือ ความดันใช้งาน (bar)

แรงที่ได้จากการคำนวณในสมการที่ 2.4 นั้นเป็นแรงทางทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติขณะทำงานแรงจะลดลงเนื่องจากค่าความเสียดทานมีค่าประมาณ 3 ถึง 10% ของแรงที่คำนวณได้ทางทฤษฎี (ในกรณีที่ค่าความดันลมอัดที่ใช้งานอยู่ระหว่าง 4 ถึง 8 บาร์) นั่นคือแรงในทางปฏิบัติจะมีค่า

$$F_n = 10 (A \times P) - F_r \quad (2.5)$$

- เมื่อ  $F_n$  คือ แรงที่ได้สุทธิในการทำงาน (N)  
 $F_r$  คือ แรงที่เกิดจากการเสียดทาน (N)

เนื่องจากลักษณะของกระบอกสูบในการใช้งานมีอยู่หลายแบบด้วยกันดังได้กล่าวไว้ตอนต้น แต่ในการคำนวณนี้จะขอกล่าวเฉพาะกระบอกสูบแบบพื้นฐานที่ใช้กันทั่วไป คือกระบอกสูบแบบทำงานทางเดียวและกระบอกสูบแบบทำงานสองทาง

สำหรับลูกสูบชนิดทำงานสองทาง

ในขณะที่ลูกสูบวิ่งออก

$$F_{n1} = 10 (A \times P) - F_r \quad (2.6)$$

$$F_{n1} = 10 \left( \frac{\pi}{4} D^2 \times P \right) - F_r$$

ในขณะที่ลูกสูบวิ่งเข้า

$$F_{n2} = 10 (A' \times P) - F \quad (2.7)$$

เมื่อ  $A'$  คือ พื้นที่วงแหวนของลูกสูบ ( $cm^2$ )

$$A' = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

เมื่อ  $D$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ (cm)

เมื่อ  $d$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ (cm)

## 2.6 การหาค่าน้ำหนักของชิ้นส่วน

จากสมการ

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.8)$$

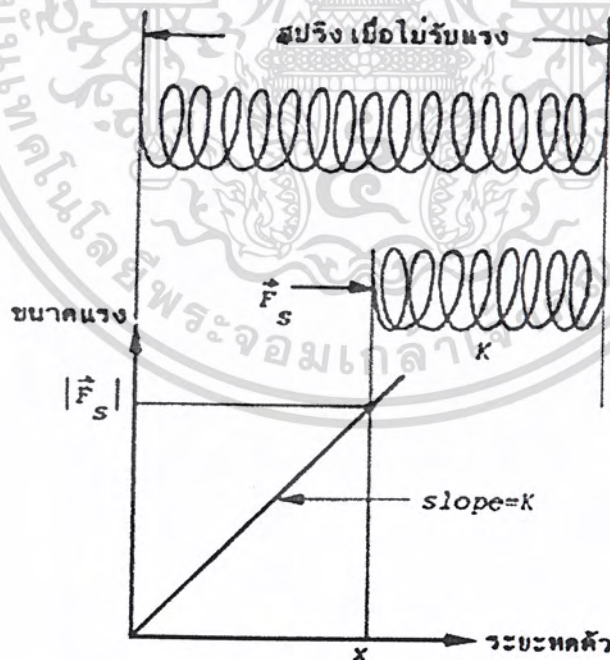
$$m = \rho \times v$$

เมื่อ  $\rho$  คือ ความหนาแน่นของวัสดุ ( $\text{kg/m}^3$ ) ( $\rho$  ของเหล็ก =  $7612 \text{ kg/m}^3$ )  
 $m$  คือ มวล (kg)  
 $v$  คือ ปริมาตร ( $\text{m}^3$ )

การคำนวณหาปริมาตรของชิ้นส่วนที่มีรูปร่างซับซ้อนถ้าใช้วิธีคำนวณด้วยมือจะกระทำได้ยากลำบาก ซึ่งถ้าใช้โปรแกรม CAD จะสะดวกและรวดเร็วกว่า เช่น โปรแกรม Auto CAD

## 2.7 สปริง (Spring)

สปริงสามารถนำมาใช้รับแรงในแนวแกนของสปริง ได้แก่ แรงดึง และแรงกด หรือแรงบิด ซึ่งเกิดจากโมเมนต์ ในแนวแกน โดยขนาดของแรงที่สปริงรับ จะเป็นฟังก์ชันกับระยะการยืดหด หรือบิดตัวของสปริงเอง ในกรณีของของ Linear Spring ฟังก์ชัน หรือ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่สปริงกับระยะยืดหดหรือบิดตัว จะเป็นสมการแบบเชิงเส้น หรือ เป็นสัดส่วนตรง



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่สปริงกับระยะยืดหดตัวหรือบิดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{|F_s|}{|X|} = \text{ค่าคงที่ } K \quad (2.9)$$

หรือ  $F_s = K \cdot x$

โดยที่เรียก K ว่าเป็นค่า Stiffness ของสปริง หรือสปริง Constant  
 จัดสมการใหม่เป็น

$$\frac{1}{K} \times F_s = x$$

และเมื่อ Differentiate with respect to time จะได้

$$\frac{1}{K} \times \frac{dF_s}{dt} = \frac{dx}{dt}$$

$$\frac{1}{K} \times \frac{d(F_s)}{dt} = \dot{x}$$

(2.10)

จะเห็นว่าในระบบทางกล

$F_s$  คือ Rate ของตัวแปรผ่าน  $\equiv \dot{y}$

$x$  คือ Rate ของตัวแปรข้าม  $\equiv \dot{x}$

ซึ่งเมื่อแทนลงในสมการ(2)จะได้

$$\frac{1}{K} \times \frac{d(\dot{y})}{dt} \equiv \dot{x}$$

(2.11)

เทียบกับ Functional Relation ของ L-Type Parameter

$$L \times \frac{d(\dot{y})}{dt} \equiv \dot{x} \quad (2.12)$$

จะเห็นว่า ส่วนกลับของความแข็งของสปริงเป็น Parameter แบบ L-Type กล่าวคือสปริงเป็น Transtorge Element หรือสะสมพลังงานในรูปของการยืดตัวหรือหดตัวหรือบิดตัว และพลังงานที่ สะสมได้เรียกว่า Transtored Energy (E) ซึ่งหาค่าได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 {}_1Et_2 &= \int_{x_1}^{x_2} \dot{y} \cdot dx \\
 &= \int_{x_1}^{x_2} F_s \cdot dx \\
 &= \int_{x_1}^{x_2} K \cdot X \cdot dx \\
 &= \frac{1}{2} K \cdot X^2 \Big|_{x_1}^{x_2}
 \end{aligned} \tag{2.13}$$

ซึ่งรู้จักกันในนามของ พลังงานศักย์ยืดหยุ่น (Elastic Potential Energy)

### 2.7.1 วัสดุสำหรับลวดสปริง

จุดประสงค์ของการใช้สปริง ส่วนมากจะเป็นในรูปของการเก็บพลังงานเอาไว้ในตัวของสปริงความเค้นที่เกิดขึ้นในสปริงขณะใช้รับแรงจะมีค่าสูงมาก ดังนั้นจึงต้องนำวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงมาใช้ทำสปริง โดยทั่วไปเหล็กสำหรับใช้ทำสปริงจะมีเหล็กที่มีคาร์บอนสูงกว่า 0.5% แล้วผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อให้มีความยืดหยุ่นสูง เนื่องจากความสามารถในการยืดหยุ่นเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของสปริง ทั้งนี้เพื่อให้สปริงมีการหดได้มาก เนื่องจากนี้แล้ว ยังมีวัสดุประเภทโลหะผสม เหล็กกล้าไร้สนิม และอื่น ๆ ที่ต้องใช้กับงานเป็นพิเศษ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนหรือทนทานต่ออุณหภูมิสูง

### 2.7.2 คุณสมบัติทางกลของลวดสปริง

ค่าความต้านแรงของวัสดุที่ใช้ทำลวดสปริงจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของลวดสปริง ดังนั้น สมการที่ใช้หาค่าความต้านแรงของวัสดุลวดสปริงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใด ๆ ได้ดังนี้คือ

$$\sigma_u = \frac{A}{d^x} \tag{2.14}$$

$$\tau_n = \frac{B}{d^y} \tag{2.15}$$

โดยที่  $\sigma_u$  คือ ความต้านแรงดึงค่าสุด  
 $\tau_n$  คือ ความต้านแรงเฉือนทนทาน  
 $d$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสปริง มิลลิเมตร

ค่าคงที่โดยประมาณของสมการที่ 2.14 และสมการที่ 2.15 ค่าความต้านแรงมีหน่วยเป็น  $N/mm^2$  และค่าต่าง ๆ เหล่านี้เป็นค่าที่เรียบเรียงมาจากหนังสือของ V.M.FAIREs เพื่อใช้เป็นตัวอย่าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าคงที่โดยประมาณของสมการที่ 2.14 และสมการที่ 2.15 ค่าความต้านแรงมีหน่วยเป็น  $N/mm^2$  และค่าต่าง ๆ เหล่านี้เป็นค่าที่เรียบเรียงมาจากหนังสือของ V.M.FAIRES เพื่อใช้เป็นตัวอย่าง ข้อมูลสำหรับแบบฝึกหัดในการคำนวณ ถ้ามีความจำเป็นที่จะต้องใช้สมการที่ 2.15 และ 2.16 กับลวดสปริงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่าค่าในตาราง ก็อนุโลมให้สามารถใช้ได้

### 2.7.3 ความเค้นในแรงสปริง

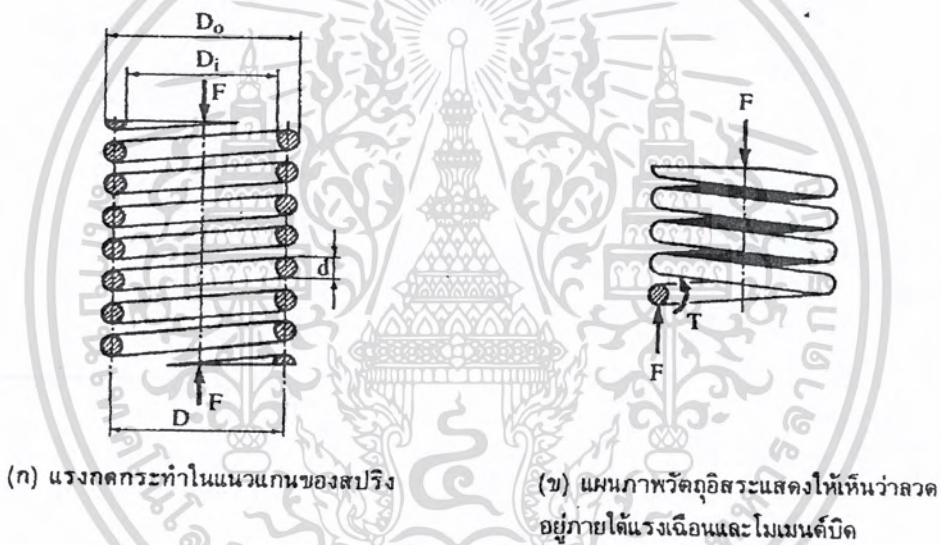
พิจารณาสปริงขดซึ่งรับแรงกด  $F$  ในแนวแกนของสปริงดังรูปที่ 2.13 (ก) และให้

$D_o$  คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของขดสปริง

$D_i$  คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของขดสปริง

$D = (D_o + D_i)/2$  เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของขดสปริง

$d$  คือเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสปริง



รูปที่ 2.8 สปริงขด

ให้ตัดส่วนหนึ่งของสปริงออกมาพิจารณาจะเห็นได้ว่า ลวดสปริงอยู่ภายใต้แรงภายใน  $F$  และโมเมนต์  $T$  ดังรูปที่ 2.13(ข) ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นในลวดสปริงคือ

$$\tau = \frac{Tr}{J} + \frac{F}{A} \quad (2.16)$$

แต่  $T = \frac{FD}{2}$

และ  $\frac{J}{r} = \frac{(\pi d^4 / 32)}{d/2}$

$$\tau = \frac{8FD}{\pi d^3} + \frac{4F}{\pi d^2} \quad (2.17)$$

ถ้าให้  $C = D/d$  ซึ่งเรียกว่าคัตชันสปริง สมการที่ 2.17 จะจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\tau = K_s \frac{8FD}{\pi d^3} \quad (2.18)$$

โดยที่

$$K_s = 1 + \frac{0.5}{C}$$

ค่า  $K_s$  นี้เรียกว่าตัวประกอบความเค้นเฉือนเป็นค่าทำให้ความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากความเค้นเฉือนตรง  $\frac{F}{A}$

ในการคำนวณที่ผ่านมาได้ใช้ความเค้นเฉือนเนื่องจากโมเมนต์แรงบิด  $\frac{T_r}{J}$  ซึ่งเป็นสูตรสำหรับการบิดชิ้นส่วนตรง เช่น เพลา แต่ในสปริงเส้นลวดบิดบนไปตามความโค้งของสปริงทำให้เกิดความเค้นหนาแน่นสูงสุดบริเวณด้านในของสปริงขด วาล์ว (wahl) ได้เสนอให้มีการแก้ไขความเค้นในสมการที่ 2.18 โดยเพิ่มตัวประกอบความโค้ง ( $K_c$ ) เข้าไปในสมการค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นดังกล่าวนี้สามารถคำนวณได้จากสมการ

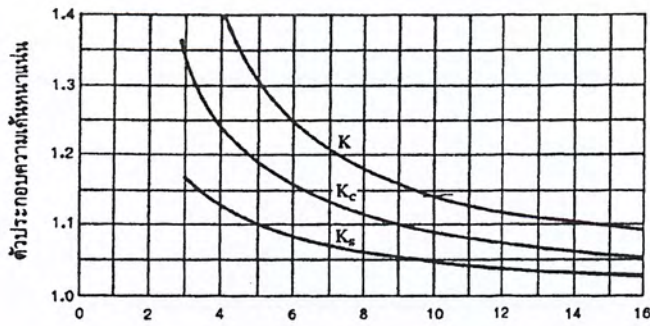
$$\begin{aligned} K &= K_c K_s \\ &= \frac{4_c - 1}{4_c - 4} + \frac{0.615}{C} \end{aligned} \quad (2.19)$$

ค่า  $K$  นี้เรียกว่าองค์ประกอบของวาล์ว ซึ่งสามารถหาค่าได้โดยการคำนวณจากสมการที่ 2.19 หรืออ่านค่าได้จากรูปที่ 2.9 ดังนั้นความเค้นเฉือน ในสมการที่ 2.19 จึงกลายเป็น

$$\tau = K \frac{8FD}{\pi d^3}$$

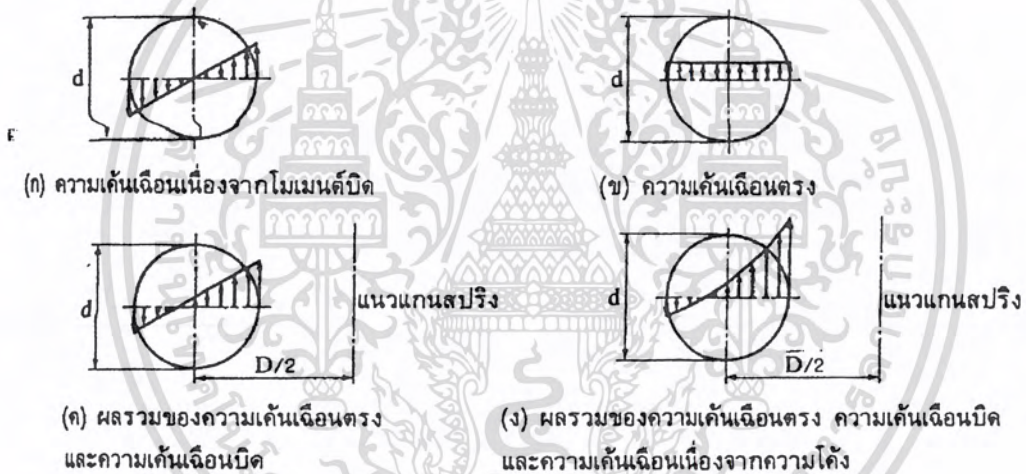
$$\tau = K \frac{8FC}{\pi d^2} \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นสำหรับสปริงขดรับแรงดึงและรับแรงกด

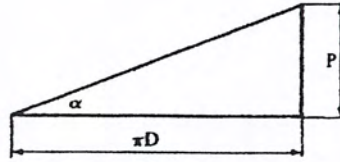
การกระจายความเค้นเฉือนในเส้นลวดสปริงซึ่งเกิดจากโมเมนต์  $T$  และแรงเฉือน  $F$  จะดูได้จากรูปที่ 2.10 ก และรูปที่ 2.10 ข เมื่อรวมความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 2.10 ก และรูปที่ 2.10 ข ก็จะได้ความเค้นเฉือนดังรูปที่ 2.15 ค แต่เมื่อรวมความเค้นหนาแน่นอันเนื่องมาจากความโค้งของลวดสปริงเข้าไปด้วยจะได้ดังรูปที่ 2.10 ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเค้นเฉือนสูงสุดเกิดขึ้นที่ด้านในของลวดสปริง



รูปที่ 2.10 การรวมความเค้นในสปริงขด

ถ้าให้ระหัดซ์ของสปริงยาว  $P$  และให้นำสปริงหนึ่งรอบมาถ่อออก มุมขด  $\alpha$  คือ  $\tan \alpha = \frac{P}{\pi D}$

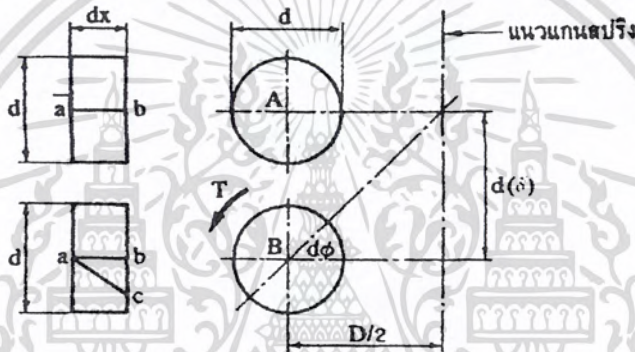
สำหรับสปริงรับแรงกด ถ้ามุมขดของสปริงขณะที่ไม่มีแรงภายนอกกระทำเล็ก กว่า  $12^\circ$  แล้วก็ให้ถือว่าสปริงขดนั้นมีขดถี่ได้



รูปที่ 2.11 มุมของสปริง

### 2.7.4 การยืดหดของสปริงขด

ในการหาการยืดหดของสปริงให้พิจารณาขดสปริง ซึ่งตัดออกมาเป็นชิ้นเล็ก ๆ ยาว  $dx$  ก่อนมีแรงกระทำในแนวตั้ง ส่วนของลวดสปริงนี้จะอยู่ที่ A หลังจากรับแรงภายนอกแล้วลวดสปริงจะเลื่อนมาอยู่ที่ตำแหน่ง B โดยมีการขยับตัว  $d\delta$  และมุมบิดเล็ก ๆ ของลวดเท่ากับ  $d\phi$  นั่นคือเส้น  $ab$  จะบิดมาอยู่ที่ตำแหน่ง  $ac$  จากสูตรการบิด



รูปที่ 2.12 การยืดหดของลวดสปริง

ถ้ามุมบิดบนลวดสปริงชิ้นเล็ก ๆ นี้เล็กมาก (เนื่องจากสปริงมีขดถี่) ระยะขยับตัวคือ

$$d\delta = \frac{D(d\phi)}{2} = \frac{TD(dx)}{2GJ} \quad (2.21)$$

ถ้าสปริงมีความยาวทั้งหมด  $L$  ระยะขยับตัวทั้งหมดคือ

$$\delta = \frac{TD}{2GJ} \int_0^L dx = \frac{TDJ}{2GJ} \quad (2.22)$$

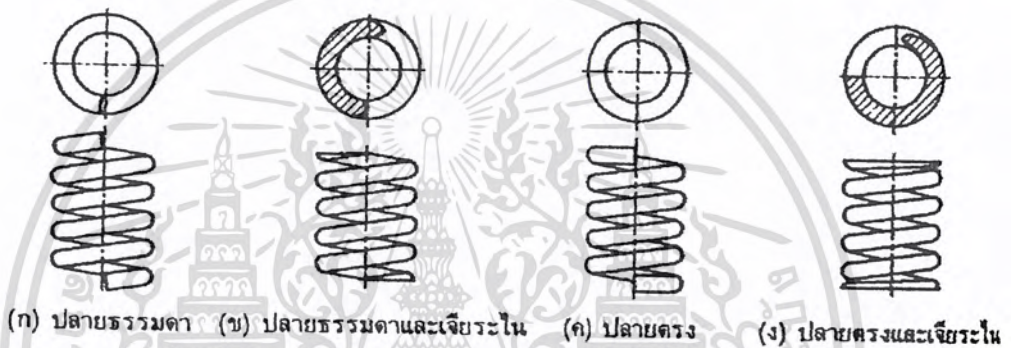
ถ้าจำนวนขดทำการ (active coils) เท่ากับ  $n$  ขด ความยาว  $L$  ของสปริง  $n$  ขด โดยประมาณเท่ากับ  $\pi Dn$  สมมติว่า แทนค่า  $T = FD/2$  และ  $J = (\pi/32)d^4$  ลงในสมการที่ 2.23 จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\delta = \frac{8FD^3n}{Gd^4} = \frac{8FC^3n}{Gd} \quad (2.23)$$

### 2.7.5 จำนวนขดทำการ

สปริงขดรับแรงกดที่ใช้งานอยู่ทั่ว ๆ ไปจะมีปลายทั้งสองในลักษณะดังรูปที่ 2.13 โดยปกติแล้วต้องการให้ปลายสปริงสัมผัสกับสิ่งที่สปริงกดอยู่ให้มากที่สุด ในบางกรณีสปริงตั้งอยู่ในช่องซึ่งมีพื้นที่กคที่เรียบแบน ดังนั้นจึงนิยมนำปลายสปริงชนิดนี้ให้เรียบเป็นฐานตั้ง เนื่องจากขดส่วนที่ตัดปลายจะสูญเสียผลในการเป็นสปริงไปมาก ฉะนั้นการคำนวณจึงให้หักเอาจำนวนขดเหล่านี้ออก จำนวนที่ขดเหลืออยู่ทั้งหมดเรียกว่า ขดทำการ ซึ่งก็เป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น ถ้าให้  $n_t$  เป็นจำนวนขดทั้งหมดของสปริงขดก็จะคิดจำนวนขดทำการได้ดังนี้



รูปที่ 2.13 ปลายสปริงขดรับแรงกด

ปลายธรรมดา(plain ends)

$$n = n_t$$

ปลายธรรมดาและเจียรระไน(ground end)

$$n = n_t - 1$$

ปลายตรง(square ends)

$$n = n_t - 1.5$$

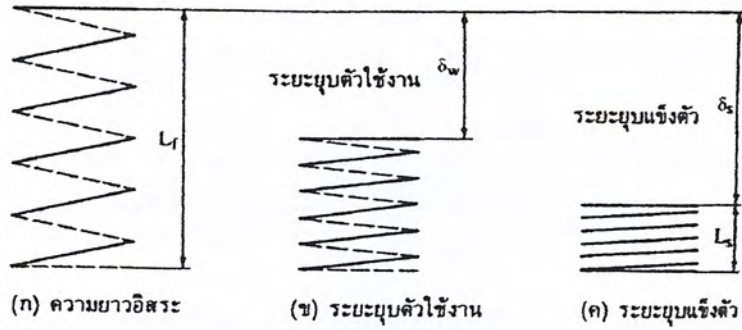
ปลายตรงและเจียรระไน

$$n = n_t - 2$$

### 2.7.6 ระยะยวบตัวใช้งาน

ความยาวของสปริงขดในขณะที่ยังไม่มีความยาวนอกมากกระทำเรียกว่า ความยาวอิสระ  $L_f$  ดังรูปที่ 2.13 (ก) เมื่อมีแรงภายนอกมากสปริงขดนี้ให้ทุกขดติดกันพอดีดังรูปที่ 2.13 (ค) ความยาวของสปริงขดขณะนี้เรียกว่า ความยาวแข็งตัว (solid height)  $L_s$  แรง และความเค้นในขณะนี้เรียกว่า แรงแข็งตัว (solid force) และความเค้นแข็งตัว (solid stress) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ระยะเวลาตัวของสปริงชนิด

สำหรับการออกแบบสปริงให้รับแรง  $F$  สูงสุดขณะใช้งาน โดยที่สปริงจะยุบตัวลงไป  $\delta_w$  ค่า  $\delta_w$  นี้จะเรียกว่า ระยะเวลาตัวใช้งาน ดังรูปที่ 2.14 (ข) ถ้าให้ระยะเวลาแข็งตัว (solid deflection)  $\delta_s$  เป็นผลต่างระหว่างความยาวอิสระและความยาวแข็งตัวจะได้ว่า

$$\delta = L_f - L_s \quad (2.24)$$

ก็จะทำให้สามารถเผื่อการยุบตัวของสปริงให้มีการยุบตัวมากกว่าระยะเวลาตัวใช้งานได้อย่างมีหลักเกณฑ์พอสมควร โดยใช้ค่าความเผื่อการกกดคค (clash allowance) ซึ่งมีนิยามว่า

ความเผื่อการกกดคค 
$$r_c = \frac{\delta_s - \delta_w}{\delta_w} \quad (2.25)$$

ค่าความเผื่อการกกดคคนี้เป็นอัตราส่วนที่แสดงถึงเปอร์เซ็นต์ของระยะเวลาตัว ที่อาจจะไม่ได้เกินกว่าระยะเวลาตัวใช้งาน โดยทำหน้าที่ให้ความปลอดภัยแก่การใช้งานยิ่งขึ้นไปอีก ค่า  $r_c$  นี้แนะนำให้ใช้ประมาณ 0.20 ซึ่งก็หมายความว่าสามารถใช้สปริงรับแรงเพิ่มขึ้นมากกว่าแรงที่ใช้ออกแบบอีก 20% สปริงทุกชนิดจึงจะติดกันหมด จึงเป็นการป้องกันมิให้ผิวหน้าของสปริงเสียหายเนื่องจากการสัมผัสและเสียดสีกันระหว่างขดได้ อีกประการหนึ่งถ้าสปริงยุบตัวจนถึงความยาวแข็งตัว สปริงก็จะหมดคุณสมบัติในการใช้งานรับแรงต้นสะเทือนหรืออื่น ๆ ตามต้องการไป

## 2.8 การออกแบบสปริงขดรับแรงกด

การออกแบบสปริงมักจะต้องใช้วิธีทดลองแก้ความคลาดเคลื่อน (trial-and-error) บางครั้งก็มีข้อจำกัดอย่างอื่น ซึ่งทำให้การออกแบบยากขึ้นไปอีก เช่น ขนาดจำกัดของช่องสำหรับใส่ขดสปริง เป็นต้น โดยปกติแล้วสปริงขดจะขยายตัวกว้างออกเล็กน้อยเมื่ออยู่ภายใต้แรงกด ดังนั้นในกรณีที่มีช่องว่างจำกัดก็อาจจะต้องเหลือช่องไว้โดยรอบสปริงประมาณ  $d/4$  การขยายตัวของสปริงอาจจะประมาณค่าได้จากสมการ

$$\bar{D}_0 = [D_0^2 + 0.1e^2]^{1/2} \quad (2.26)$$

โดยที่  $\bar{D}_0$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสปริงขดหลังขยายตัว  
 $D_0$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสปริงขดก่อนขยายตัว

$$e = \frac{L_f - d(n_1 - n)}{n} \quad (2.27)$$

การคำนวณเกี่ยวกับสปริงขดอาจจะแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ

1. ให้คิดว่าแรงที่มากระทำต่อตัวสปริงเป็นแบบอยู่นิ่ง แล้วคิดว่าแรงที่กระทำกับสปริงนั้นจัดอยู่ในงานประเภทใด ซึ่งแบ่งออกเป็น

(ก) งานเบา (light service) หมายถึงแรงที่มากระทำตลอดอายุการใช้งานของสปริงไม่เกิน  $10^4$  ครั้ง

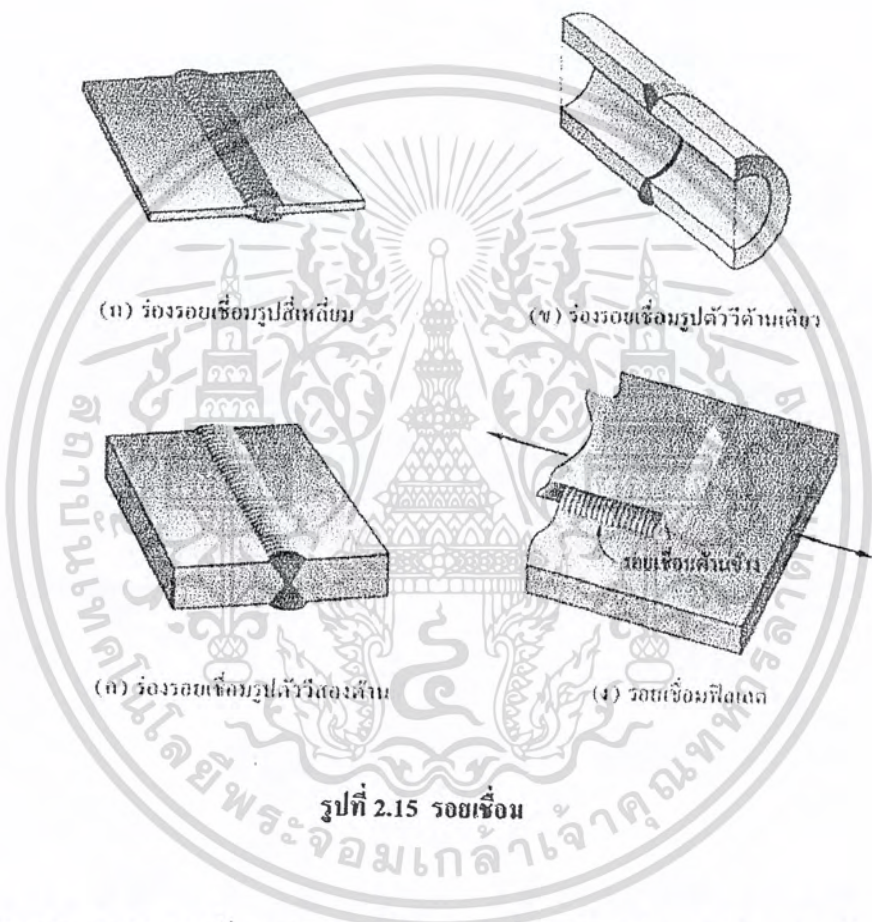
(ข) งานปานกลาง (average service) หมายถึงแรงที่มากระทำตลอดอายุการใช้งานของสปริงอยู่ระหว่าง  $10^4$  ถึง  $10^6$  ครั้ง

(ค) งานหนัก (severe service) หมายถึงแรงที่มากระทำตลอดอายุการใช้งานของสปริงมากกว่า  $10^6$  ครั้ง

2. ให้พิจารณาว่าแรงเปลี่ยนแปลงจากค่าสูงสุดไปถึงต่ำสุด แล้วคำนวณออกแบบสปริง โดยใช้สมการลักษณะเดียวกับ โชลอร์เบอร์ค

## 2.9 ความเค้นบนรอยเชื่อม

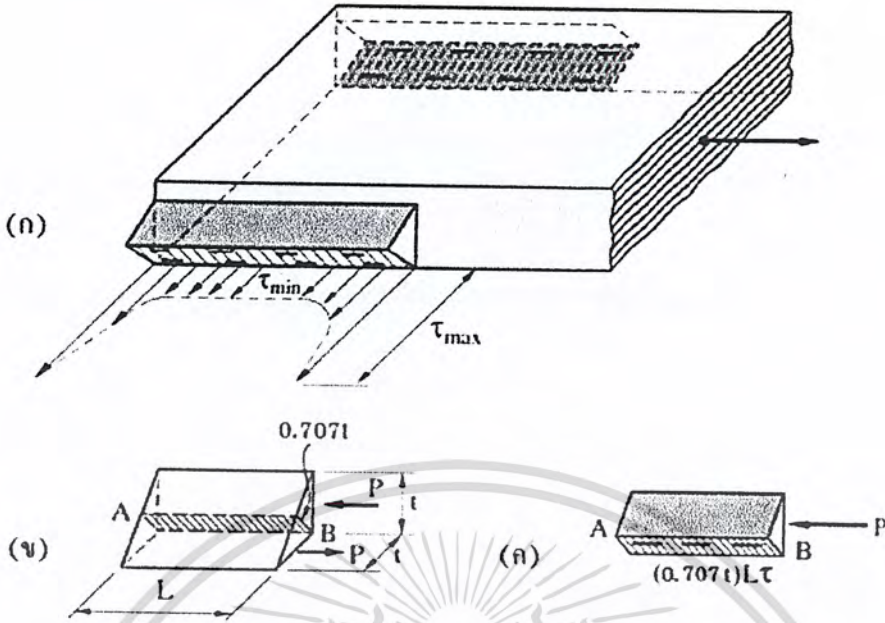
ข้อต่อระหว่างชิ้นส่วนทางวิศวกรรมส่วนใหญ่อาจใช้การเชื่อมยึดชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน รอยเชื่อมเกิดจากการหลอมตัวระหว่างวัสดุที่เชื่อมกับแผ่นต่อทั้งสอง โดยอาศัยความร้อนจากเครื่องเชื่อมไฟฟ้าหรือเปลวแก๊ส ขณะเชื่อมจะใช้เป็นเกราะกำบังไม่ให้เกิดออกซิเดชันกับโลหะที่กำลังหลอมตัว ผลของอุณหภูมิที่สูงขณะเชื่อมต้องไม่ทำให้คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้เป็นรอยเชื่อมนั้นเปลี่ยนแปลง รอยเชื่อมจึงมีความต้านทานแรงอย่างเต็มที่ เราเรียกรอยเชื่อมในลักษณะนี้ว่า รอยเชื่อมฟิวชัน (fusion weld) ซึ่งรอยเชื่อมที่ได้มีความต้านทานแรงสูง มีหลายแบบดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 (ก) (ข) และ (ค) และ (ค) เป็นรอยต่อชนทำเป็นร่องรอยเชื่อม รูป (ก) ร่องรอยเชื่อมรูปสี่เหลี่ยม สันเปลี่ยนวัสดุตัวเชื่อมน้อย รูป (ข) รอยเชื่อมรูปตัววีด้านเดียว ใช้วัสดุเชื่อมพอกหนากว่า จากการพัฒนาเทคนิคการเชื่อมและวัสดุตัวเชื่อมที่เลือกใช้ รอยเชื่อมแต่ละแบบจะมีความต้านทานแรงพอ ๆ กัน

รูปที่ 2.15 (ง) เป็นรอยเชื่อมฟิลเลต (fillet weld) นิยมใช้กับการต่อเชื่อมระหว่างชิ้นส่วนที่เข้ามุมกัน รอยเชื่อมฟิลเลตจะมีลักษณะผิวเว้ามากกว่าผิวนูนหรือตรง ทั้งนี้เพื่อต้องการลดความเค้นหนาแน่นบริเวณมุมที่เชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงความเค้นเฉือนในรอยเชื่อม

ความเค้นเฉือนในรอยเชื่อมแสดงในรูปที่ 2.16 (ก) ซึ่งมีการกระจายแบบไม่สม่ำเสมอ โดยพิจารณารอยเชื่อมด้านข้าง ปกติลวดเชื่อมจะมีความเหนียว การกระจายของความเค้นเฉือนจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ รอยเชื่อมที่ผลิตปกติมักสมมติให้ขาดโดยการเฉือนบนหน้าตัด AB ซึ่งมีพื้นที่ต่ำสุดดังรูปที่ 2.16 (ข) โดยทั่วไปเรียกหน้าตัดบริเวณนี้ว่า หน้าตัดขวาง รอยเชื่อม (throat) จากสมมติฐานของแรงที่กระทำต่อรอยเชื่อม พบว่าแรงข้อมได้สูงสุด (maximum allowable load) ที่กระทำต่อรอยเชื่อมด้านข้างคือ

$$P = 0.707 t L \tau$$

โดยที่  $L$  คือความยาวของรอยเชื่อมด้านข้าง

$t$  คือระยะพอกหนาซึ่งปกติสมมติให้ผิวหน้ารอยเชื่อมเป็นมุม  $45^\circ$

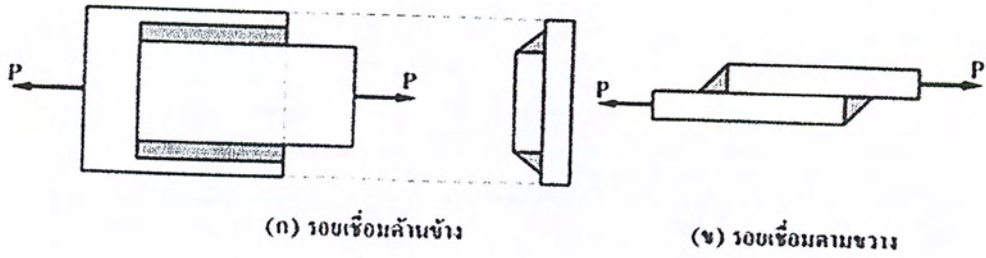
$\tau$  คือความเค้นเฉือนใช้งานในวัสดุที่เป็นรอยเชื่อม

ส่วนความต้านแรงของรอยเชื่อมแนวขวาง นั้นมีค่ามากกว่าความต้านทานแรงรอยเชื่อมด้านข้างอยู่ประมาณ 30% เมื่อพิจารณาจากขนาดของรอยเชื่อมเดียวกัน ในทางปฏิบัติจะสมมติให้ความต้านแรงรอยเชื่อมทั้ง 2 แนวทางได้ขนาดของรอยเชื่อมเดียวกันเท่านั้น

ความเค้นใช้งานสำหรับรอยเชื่อมที่ผลิตจะกำหนดตาม AISC ซึ่งขึ้นอยู่กับลวดเชื่อม และเกรดของเหล็กที่ต้องการเชื่อม เช่น ถ้าลวดเชื่อม E-70 เชื่อม A36 steel (เป็นเกรดของเหล็กหนึ่งในงานโครงสร้างเหล็กที่ใช้กันในปัจจุบัน) กำหนด

$$\tau_a = 145 \text{ Mpa} \text{ ถ้าแทนค่าในสมการ (2.28) จะได้ว่า}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



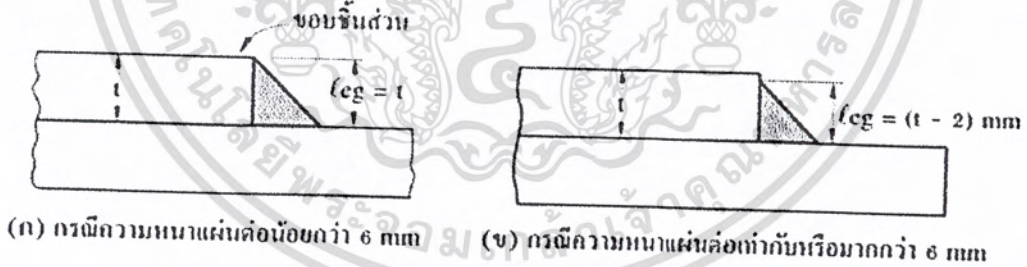
รูปที่ 2.17 รอยเชื่อมฟิลเลต

$$P = \tau A = (145 \times 10^6) (0.707 tL \times 10^{-6}) = 103 \quad (2.28)$$

ปกติความต้านแรงของรอยเชื่อมฟิลเลตมุม  $45^\circ$  จะกำหนดในเทอมของแรงต้านเฉือนต่อ 1 หน่วยความยาวของรอยเชื่อม (q)

$$Q = \frac{P}{L} = 103t \quad \text{N/mm} \quad (2.29)$$

ทั้งนี้ จะใช้ t ในหน่วย mm ในสมการ (2.29)



รูปที่ 2.18 ระยะพอกหนารอยเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### แผนการดำเนินงาน

#### 3.1 แนวคิดในการออกแบบ

เครื่องพิมพ์อักษรที่สร้างขึ้นนี้อาศัยแรงกดของกระบอกสูบไปดันกดชุดหัวตอกอักษรที่ตั้งบนสปริง ดังนั้น จึงคำนวณหา น้ำหนักของชุดตอกอักษร

##### 3.1.1 ชุดยึดกระบอกสูบ

ทำหน้าที่จับยึดกระบอกสูบให้มีความมั่นคง สามารถต้านทานแรงกระแทกเมื่อก้านสูบทำงาน การจับจะจับยึดที่ปลายทั้งสองข้างของกระบอกสูบด้วยแป้นเกลียว

##### 3.1.2 ชุดจับยึดหัวตอกตัวอักษรและตัวกำหนดตำแหน่ง

ทำหน้าที่จับยึดหัวตอก และตัวปรับตำแหน่งอักษรได้ 36 ตำแหน่ง ลักษณะของตัวกำหนดตำแหน่งจะเป็นแผ่นจานกลมเจาะเป็นรู 36 รูและจะออกแบบให้มีสลักทรงกระบอกที่ปลายสลักจะฉวมและบากให้เฉียงภายในฐานของสลักจะติดตั้งสปริงรับแรงกด สปริงจะหดตัวเข้าเมื่อสลักเคลื่อนที่เข้าไปในขณะที่หมุนแผ่นจานกำหนดตำแหน่งและเมื่อสลักตรงกับรูเจาะของแผ่นจานกำหนดตำแหน่งสปริงจะผลักให้สลักสวมเข้าไปในรูเจาะเป็นการล็อกตำแหน่งของตัวอักษรที่ต้องการ แผ่นงานยึดหัวตอกอักษรและแผ่นงานกำหนดตำแหน่ง จะหมุนไปพร้อมกันเพราะสวมอยู่บนเพลาลูกเดือยกันและมีลิ้มยึดอยู่ภายในแนวเดียวกันด้วย

##### 3.1.3 ชุดติดตั้งแผ่นโลหะ

ทำหน้าที่จับยึดแผ่น โลหะ ไม่ให้เคลื่อนที่ ใช้หลักการยึดแบบลูกเบี้ยวขนาดเล็ก เมื่อกดแขนยึดก็จะทำให้หัวกดเคลื่อนที่ลงมากดแผ่น โลหะ ไม่ให้เคลื่อนที่ หลักการแบบลูกเบี้ยวทำให้ประหยัดเวลาและสะดวกในการจับยึดแผ่น โลหะ การกำหนดระยะพิทจะทำการหมุนมือหมุนที่ติดอยู่บนโต๊ะงาน แนวแกน  $x$  และ  $y$  ส่วนการเคลื่อนที่ของก้านสูบเป็นแนวแกน  $z$  การกำหนดระยะพิทตัวอักษรจะกำหนดที่มีมือหมุน ตามระยะของเกลียวขับ เมื่อเคลื่อนที่ถึงระยะที่กำหนดก็จะมีตัวค้ำทางการเคลื่อนที่ในการหมุนแต่แรงในส่วนนี้จะน้อยมากเมื่อออกแรงใช้มือหมุนค้ำก็จะเคลื่อนที่ได้

##### 3.1.4 ชุดแขนจับยึดหลัก

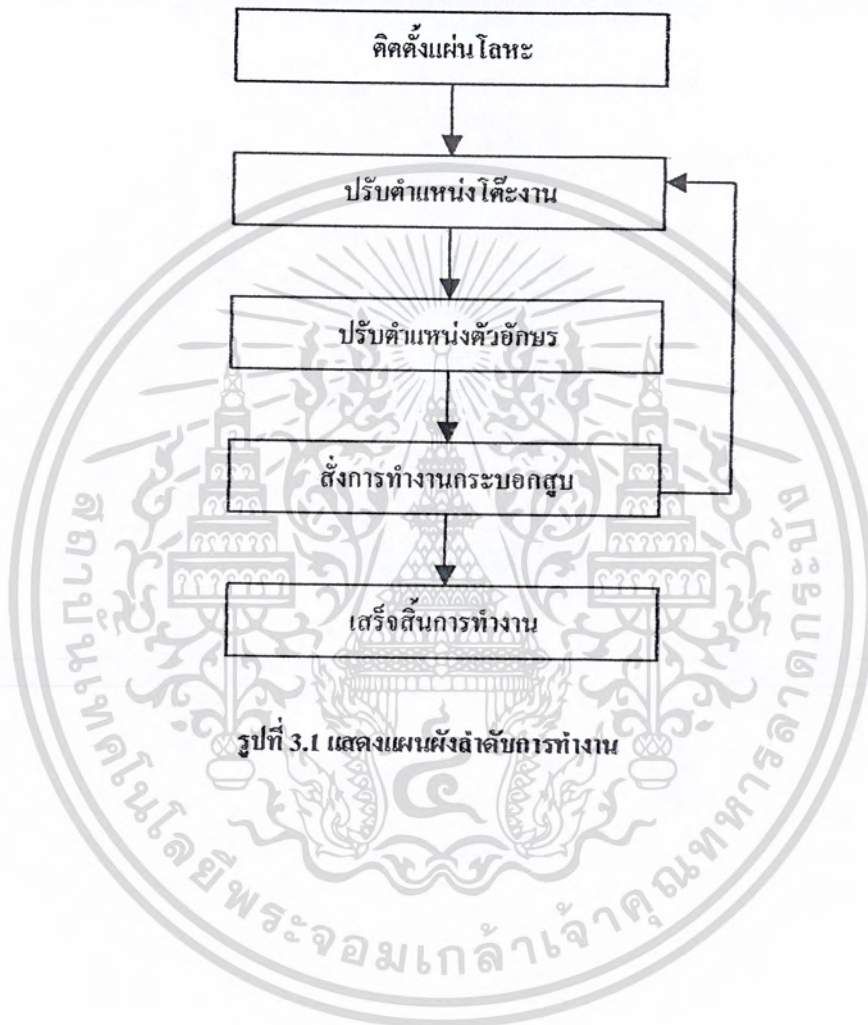
ทำหน้าที่รับน้ำหนักส่วนบนของเครื่องและเป็นส่วนติดตั้งชิ้นส่วนต่าง ๆเอาไว้ ซึ่งจะออกแบบให้มีความแข็งแรงที่จะรับแรงการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.5 ชุดฐานเครื่อง

ทำหน้าที่รับน้ำหนักของเครื่องทั้งหมด ต้องมีพื้นที่ใช้ที่เหมาะสมและให้สมดุลกับชุดแขนจับยึด

### 3.2 หลักการทำงานของเครื่อง



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังลำดับการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การคำนวณหาน้ำหนักชุดกด

ความหนาแน่นของเหล็ก  $\rho = 7612 \text{ kg/m}^3$

จาก  $\rho = m / v$  เมื่อ  $v$  คือปริมาตร ( $m^3$ ),  $m$  คือมวล (kg)

ดังนั้น  $m = \rho \times v$

ใช้คอมพิวเตอร์คำนวณได้ค่า  $V = 1384798.4507 \text{ mm}^3$   
 $= 1384798.4507 \text{ m}^3$

มวล  $m = 7612 \times 1384798.4507 \times 10^{-9}$

$M = 10.54 \text{ kg}$

น้ำหนักชุดกด  $W = 10.54 \times 9.81$

$W = 103.40$

ซึ่งแรง 103.40 N นี้จะกดลงบนสปริง 2 ตัว ทำให้สปริงได้รับแรงกดในสภาวะที่ก้านสปริงไม่ค้างงาน และสปริงแต่ละตัวจะได้รับแรงกดเฉลี่ยคือ

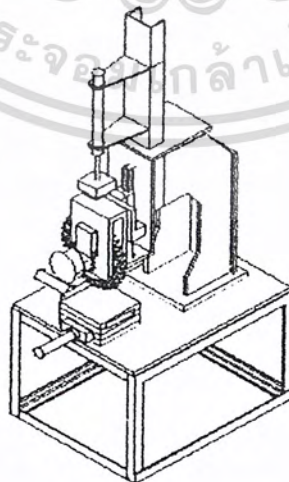
$$w = \frac{103.40}{2}$$

$$w = 51.7 \text{ N}$$

ดังนั้นจะนำค่านี้ไปออกแบบสปริง

### 3.4 การออกแบบ

การออกแบบเครื่องพิมพ์ตัวอักษรบนแผ่นโลหะประกอบด้วย ชุดยึดกระบอบสูบ ชุดจับยึดตัวพิมพ์อักษรและตัวกำหนดตำแหน่ง ชุดติดตั้งแผ่นโลหะ ชุดแขนจับยึดหลัก ชุดฐานเครื่อง



รูปที่ 3.2 เครื่องพิมพ์ตัวอักษรบนแผ่นโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

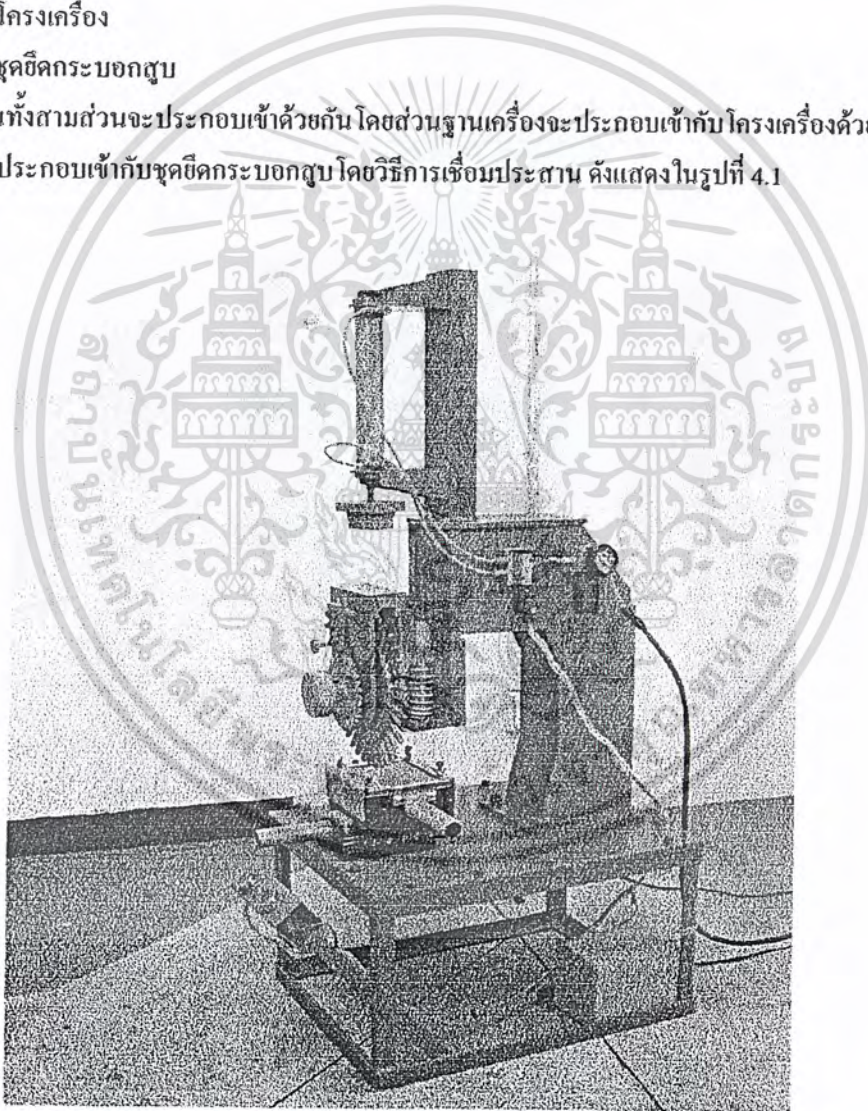
#### 4.1 ผลการดำเนินงานด้านโครงสร้างเครื่องพิมพ์ตัวอักษร

##### โครงสร้างเครื่องพิมพ์ตัวอักษร

การดำเนินงานการสร้างโครงสร้างของเครื่องนั้น ได้จากการคำนวณและการออกแบบ ชุดของ โครงสร้างนั้นจะประกอบไปด้วยส่วนต่างดังนี้

- ฐานเครื่อง
- โครงเครื่อง
- ชุดยึดกระบอบกสูบ

ชิ้นส่วนทั้งสามส่วนจะประกอบเข้าด้วยกัน โดยส่วนฐานเครื่องจะประกอบเข้ากับ โครงเครื่องด้วยสกรูยึด และทั้งสองส่วนจะประกอบเข้ากับชุดยึดกระบอบกสูบ โดยวิธีการเชื่อมประสาน ดังแสดงในรูปที่ 4.1



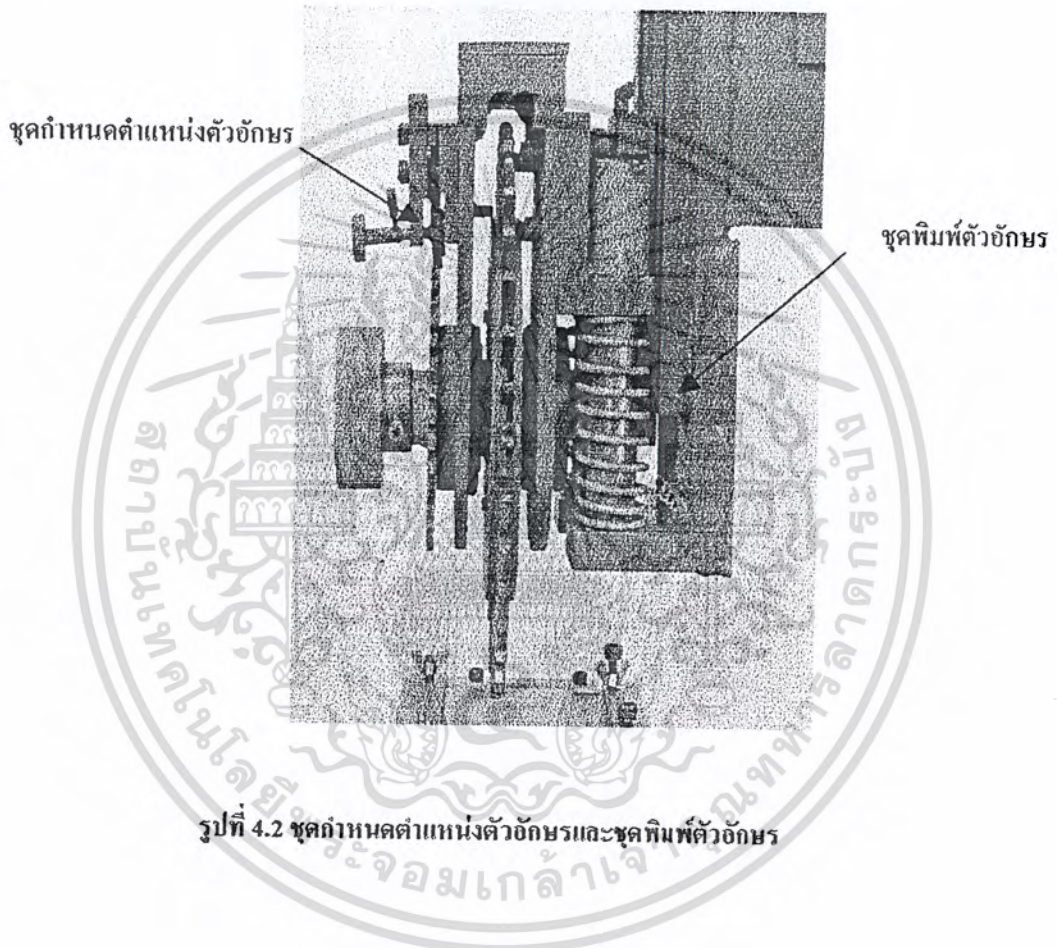
รูปที่ 4.1 โครงสร้างเครื่องพิมพ์ตัวอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการดำเนินงานด้านชุดยึดตัวอักษรและตัวกำหนดตำแหน่ง

### ชุดยึดตัวอักษรและตัวกำหนดตำแหน่งตัวอักษร

- แผ่นประกบตัวอักษรมีจำนวน 2 ชิ้น ยึดด้วยสกรู
- ชุดยึดแผ่นประกบตัวอักษร
- แผ่นประกบกับชุดยึดตัวอักษรสามารถประกอบเข้ากันด้วยเพลลาเป็นแกนกลาง
- ตัวกำหนดตำแหน่งตัวอักษรสามารถหมุนได้ตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา

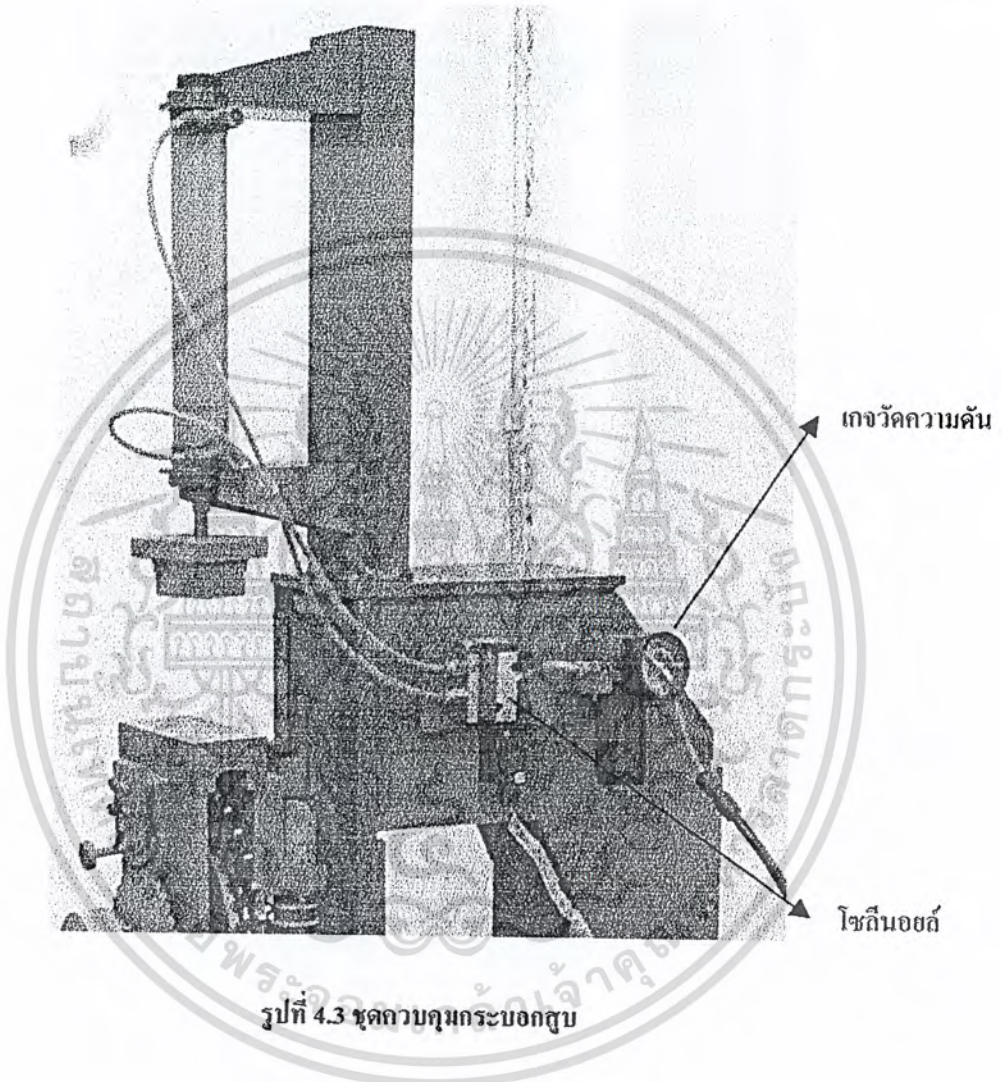


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการดำเนินงานด้านชุดควบคุมกระบอกสูบและการทำงาน

#### ชุดควบคุมการทำงาน

ชุดควบคุมกระบอกสูบจะใช้โซลินอยด์ 5/2 เป็นตัวควบคุมกระบอกสูบให้ทำงาน โดยใช้สวิตช์กดสองมือพร้อมกันเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน และแรงดันจะสามารถปรับค่าตามความต้องการ โดยการใช้เกจปรับความดัน



รูปที่ 4.3 ชุดควบคุมกระบอกสูบ

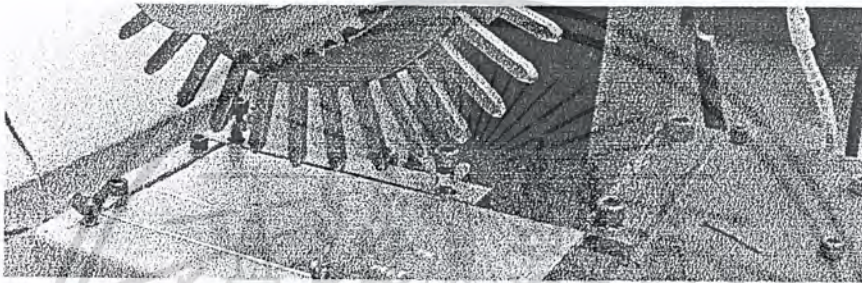
#### 4.4. ผลการทดลอง

จากการทดลองพิมพ์ตัวอักษรบนแผ่นโลหะ

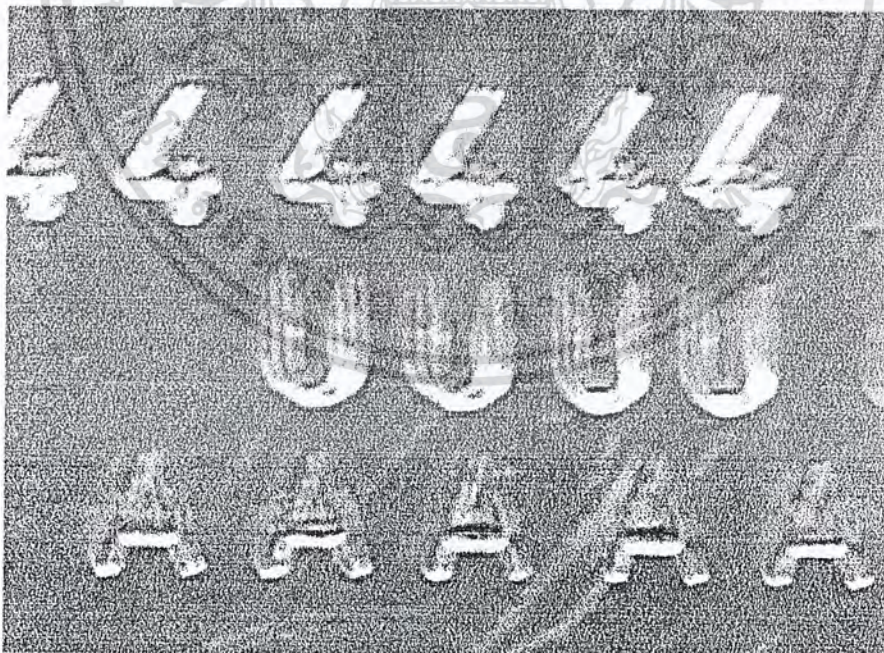
- แผ่นอลูมิเนียมมีขนาด กว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตรหนา 0.3 มิลลิเมตร
- ตั้งความดันลมไว้ที่ 6 บาร์ และความดันสามารถปรับค่าได้

ผลจากการทดลอง

ชิ้นงานเมื่อผ่านการพิมพ์ตัวอักษรจะมีลักษณะเป็นรูปตัวอักษรตามความต้องการ และมีความลึกตามความต้องการ ส่วนในความลึกนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าแรงดัน ความลึกที่เหมาะสมจะใช้ความดัน 6 บาร์



รูปที่ 4.4 แสดงการพิมพ์ตัวอักษร



รูปที่ 4.5 ชิ้นงานตัวอย่างที่ได้หลังการพิมพ์ตัวอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ผลจากการทดลองการพิมพ์ตัวอักษรบนแผ่น โลหะผลที่ได้ตัวอักษรจะมีลักษณะเป็นรูปตัวอักษรซ้อนกันเป็นบาง ตัวอักษร ส่วนใหญ่จะเกิดกับตัวอักษรตัวแรกในการพิมพ์ตัวอักษรครั้งแรก เพราะว่าเมื่อชุดพิมพ์ที่ได้รับแรงจากกระบอกสูบชุดพิมพ์ตัวอักษรจะเคลื่อนที่กระทบกับแผ่น โลหะหรือแผ่นชิ้นงานเกิดเป็นตัวอักษรตัวแรกและชุดพิมพ์ตัวอักษรสามารถที่จะสะท้อนกลับและกลับมาพิมพ์ตัวอักษรบนแผ่น โลหะอีกครั้งในตำแหน่งถัดไป จึงเกิดตัวอักษรตัวเดียวกันสองครั้งในตำแหน่งต่างกันในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งครั้ง เนื่องจากว่าชุดพิมพ์ตัวอักษรจะรองรับด้วยสปริงและสปริงจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดตัวอักษรซ้อนกัน

#### 5.2 วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

ผลจากการทดลองจะพบว่าเครื่องพิมพ์ตัวอักษรจะมีข้อดี ปัญหา และข้อจำกัดในการสร้างดังนี้

- ชุดกำหนดตำแหน่งตัวอักษรและชุดพิมพ์ตัวอักษรตรงตามที่ออกแบบไว้
- ชุดโครงสร้างตรงตามที่ออกแบบไว้
- ชุดควบคุมกระบอกสูบสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องพิมพ์ตัวอักษรได้
- แผ่นชิ้นงานสามารถยอมรับได้
- ชุดกำหนดตำแหน่งตัวอักษร ไม่สามารถที่จะล็อกอยู่ในตำแหน่งที่แน่
- โต๊ะวางแผ่นชิ้นงานมีพื้นที่ ที่จำกัดทำให้การล็อกแผ่นชิ้นงานไม่สะดวกมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ , รศ. สมยศ จุลณะปิยะ
2. การออกแบบเครื่องจักรกล , คร. วริทธิ์ อึ้งภากรณ์
3. ทฤษฎีการค้ำขึ้นรูปลึก , สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ
4. การออกแบบแม่พิมพ์

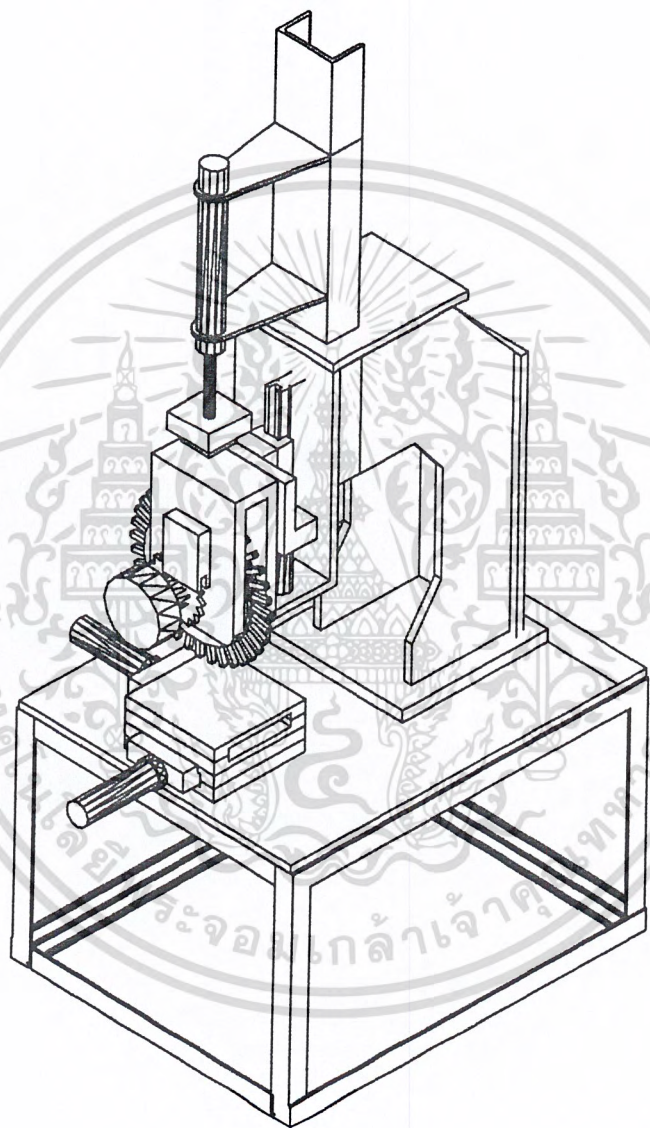


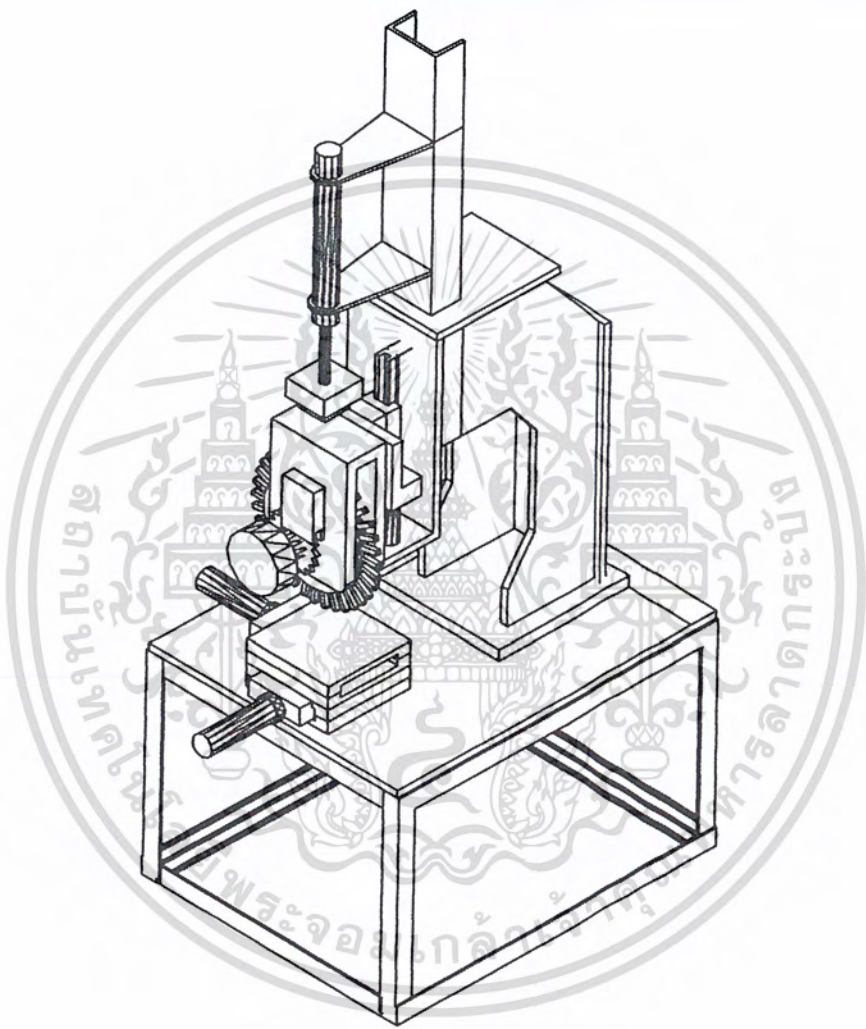
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



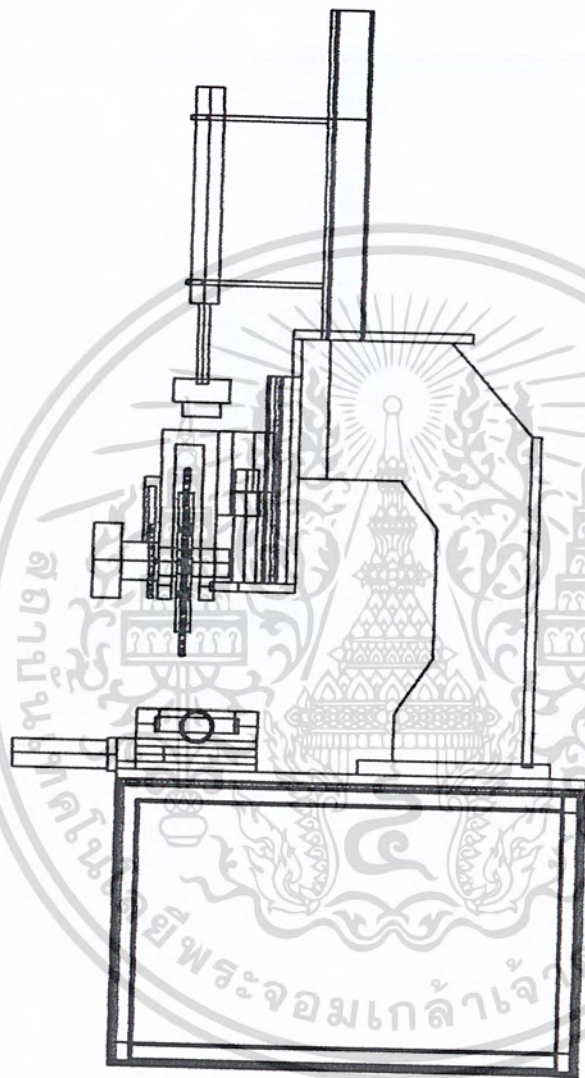
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

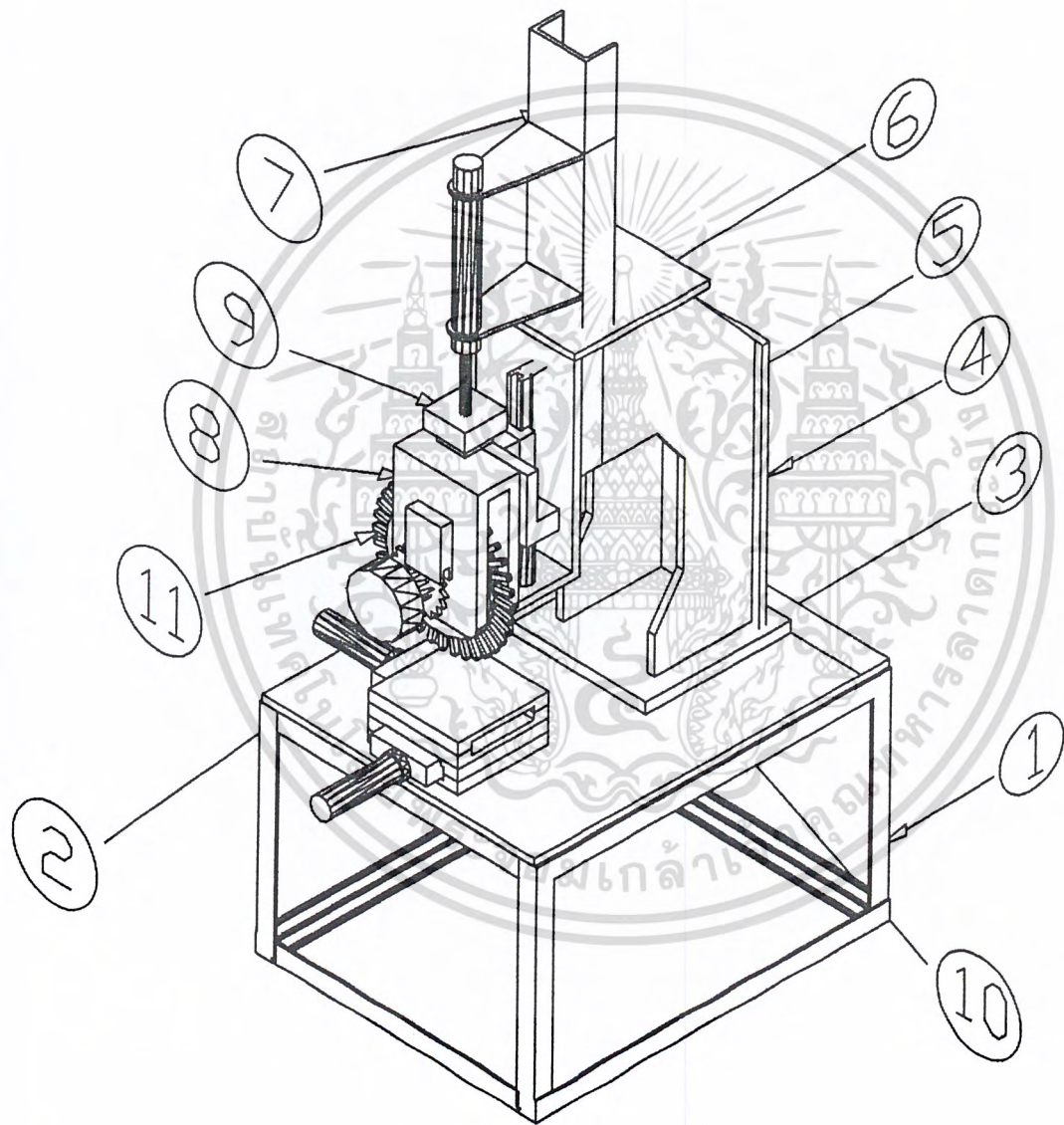


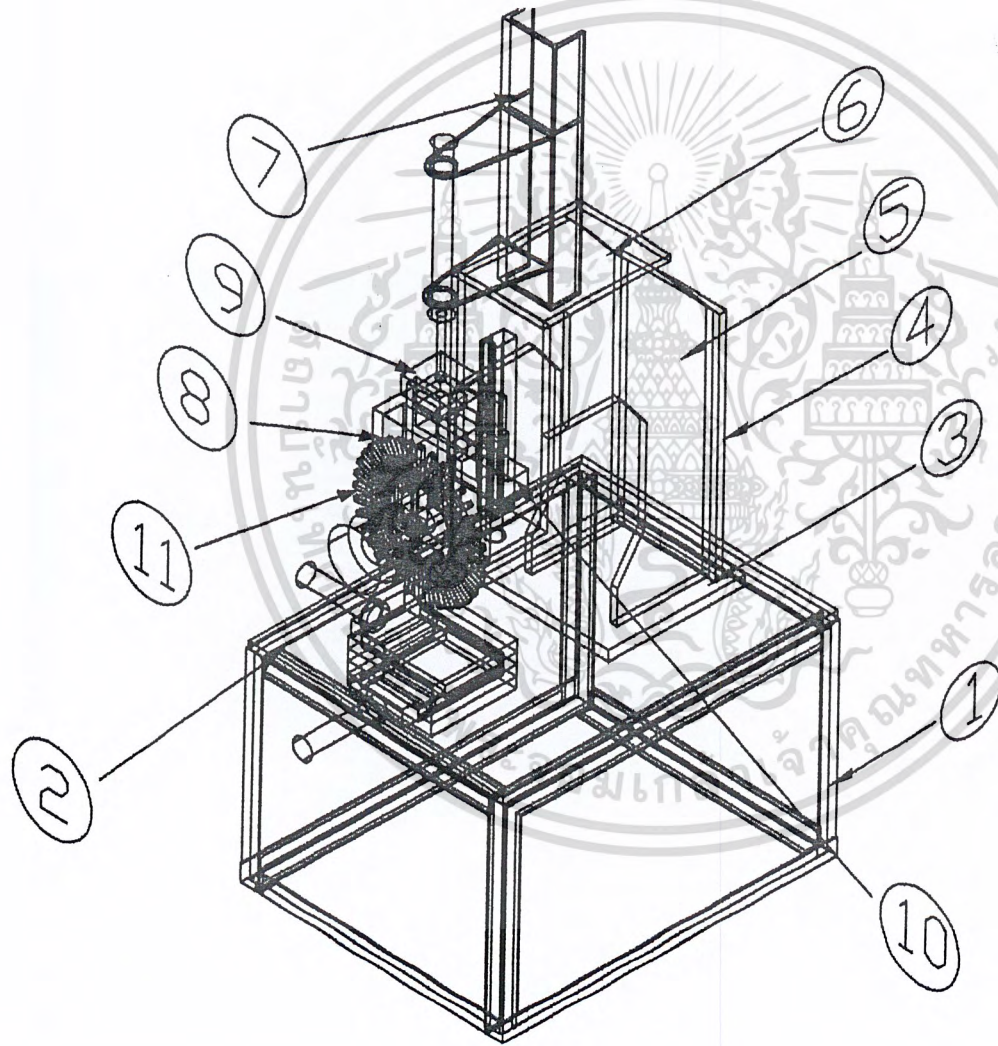


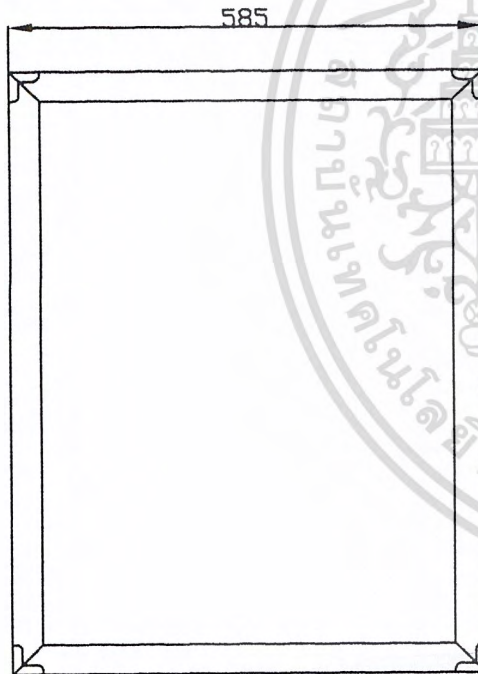
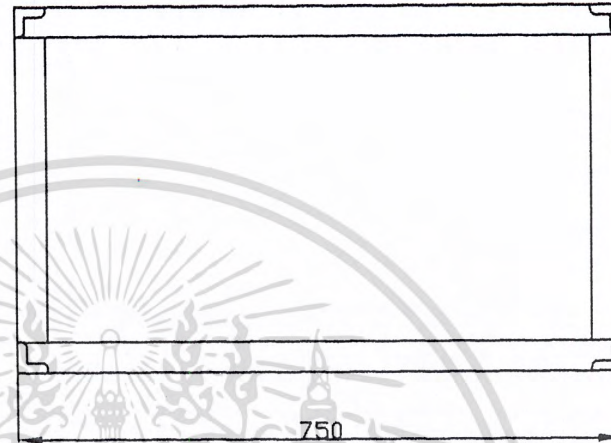
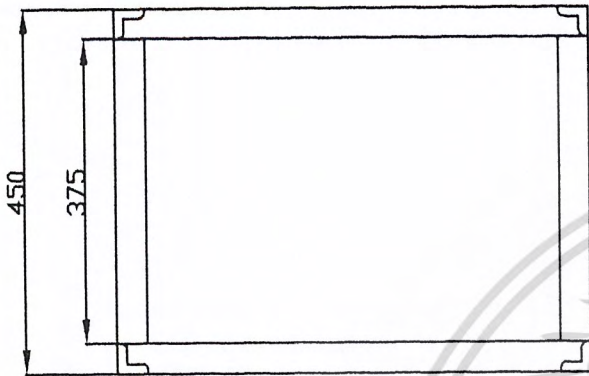
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



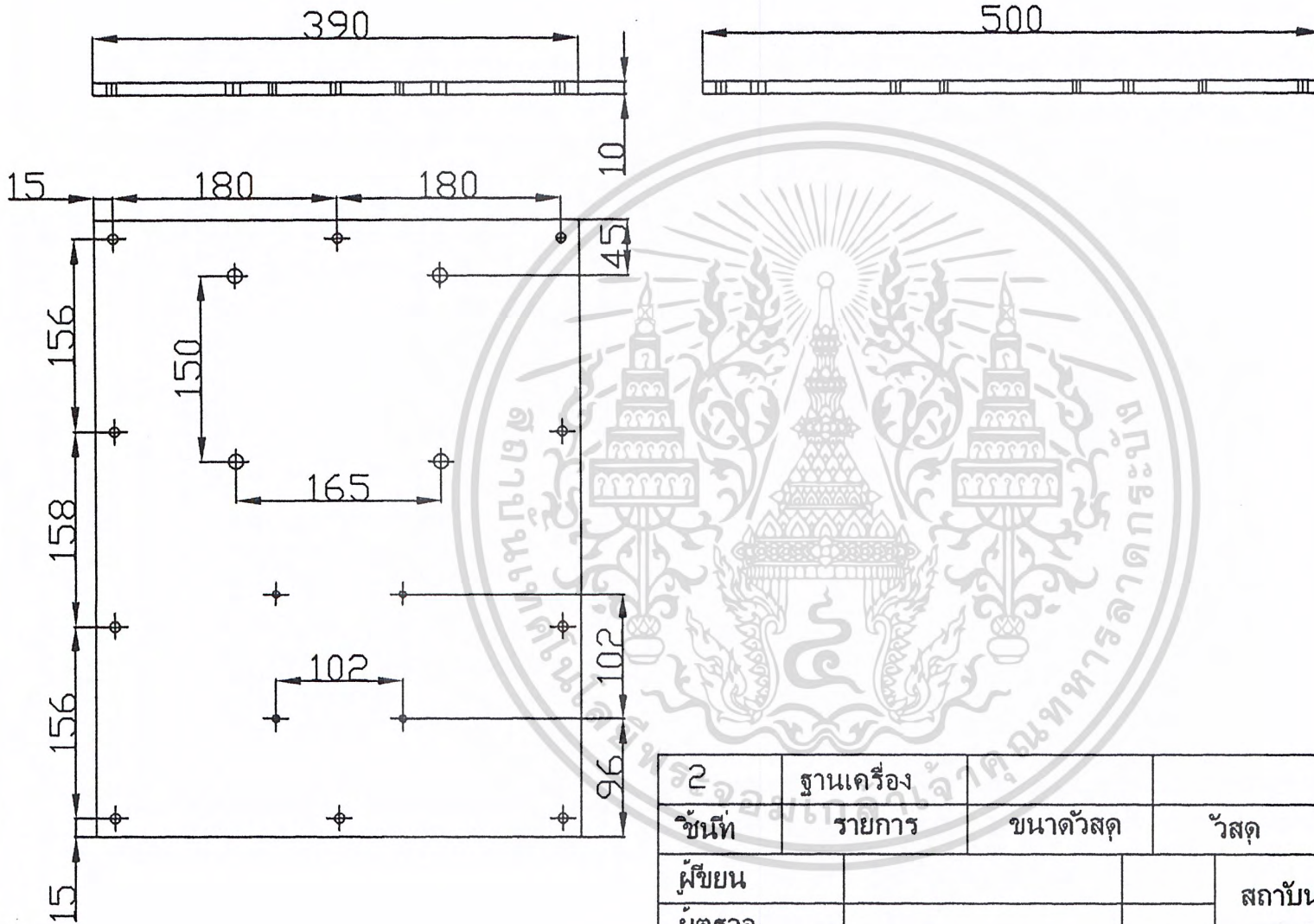
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



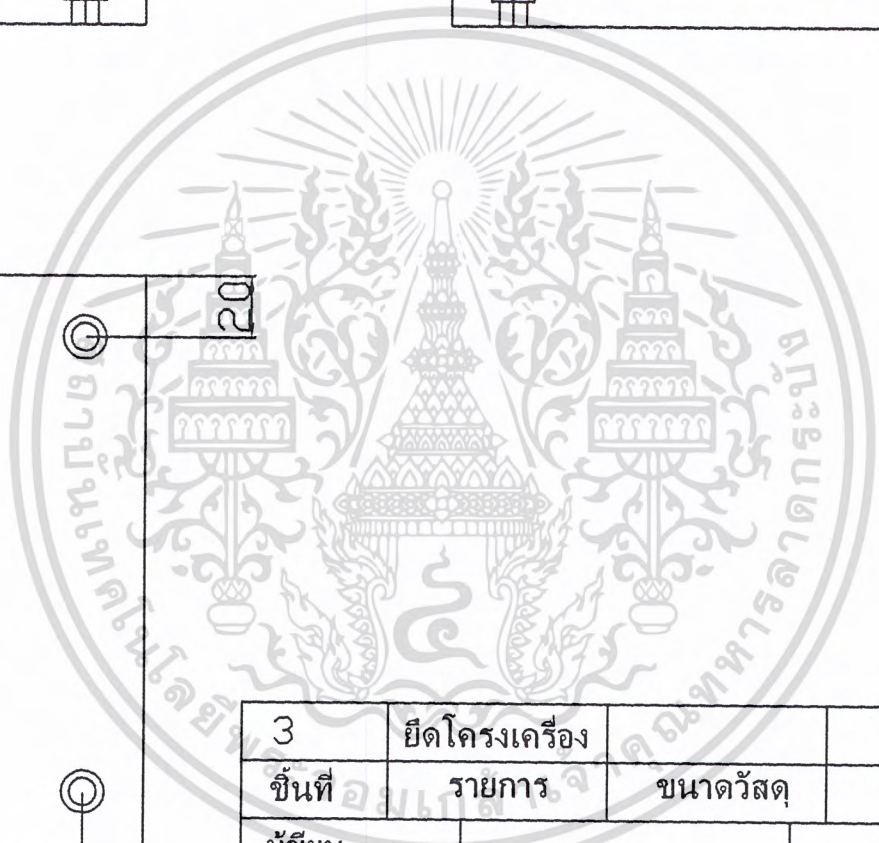
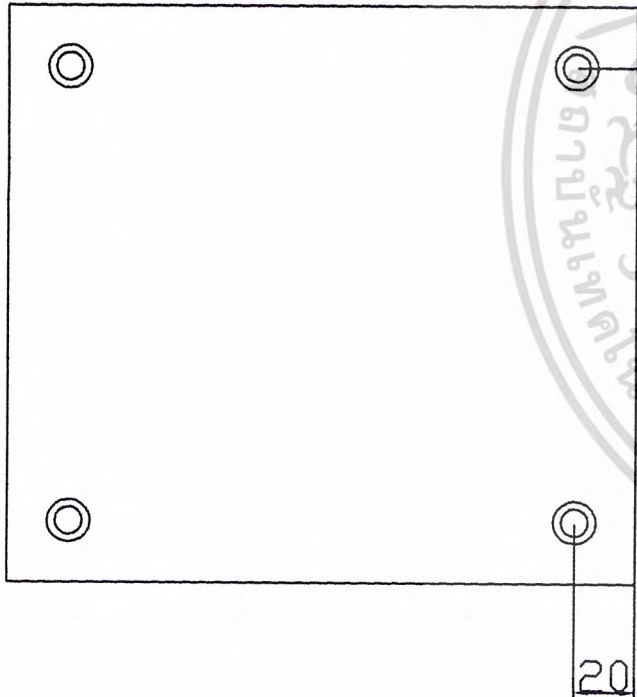
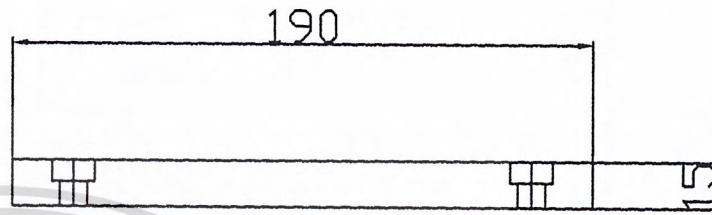
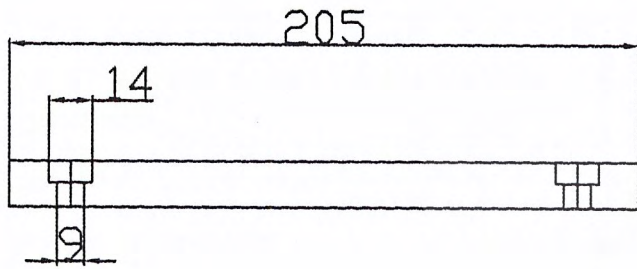




1	ฐานเครื่อง				
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน				สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน		หมายเลขแบบ		



2	ฐานเครื่อง				
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน				สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน		หมายเลขแบบ		



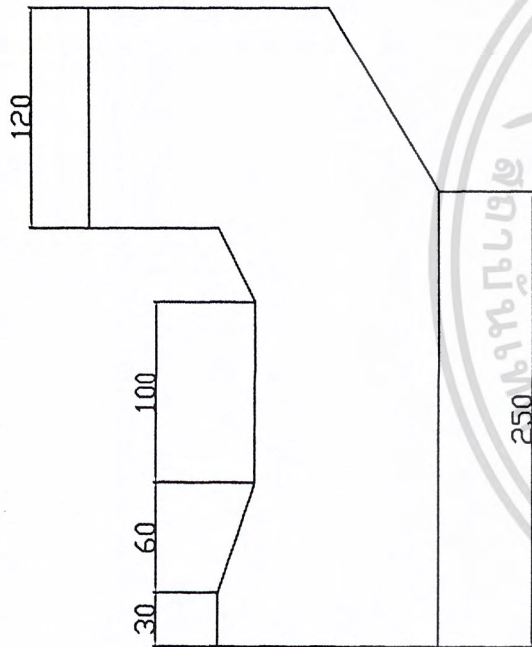
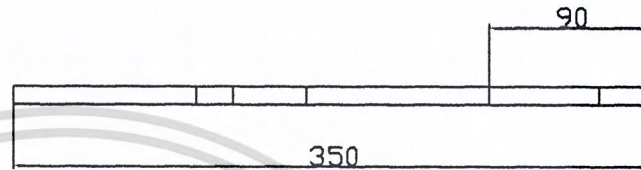
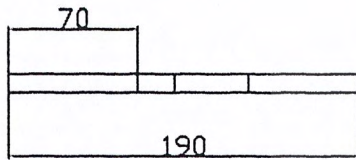
3	ยึดโครงเครื่อง				
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน				สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน		หมายเลขแบบ		

--	--

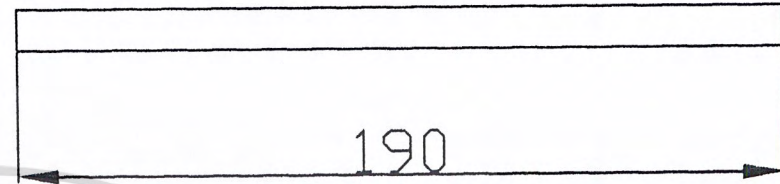
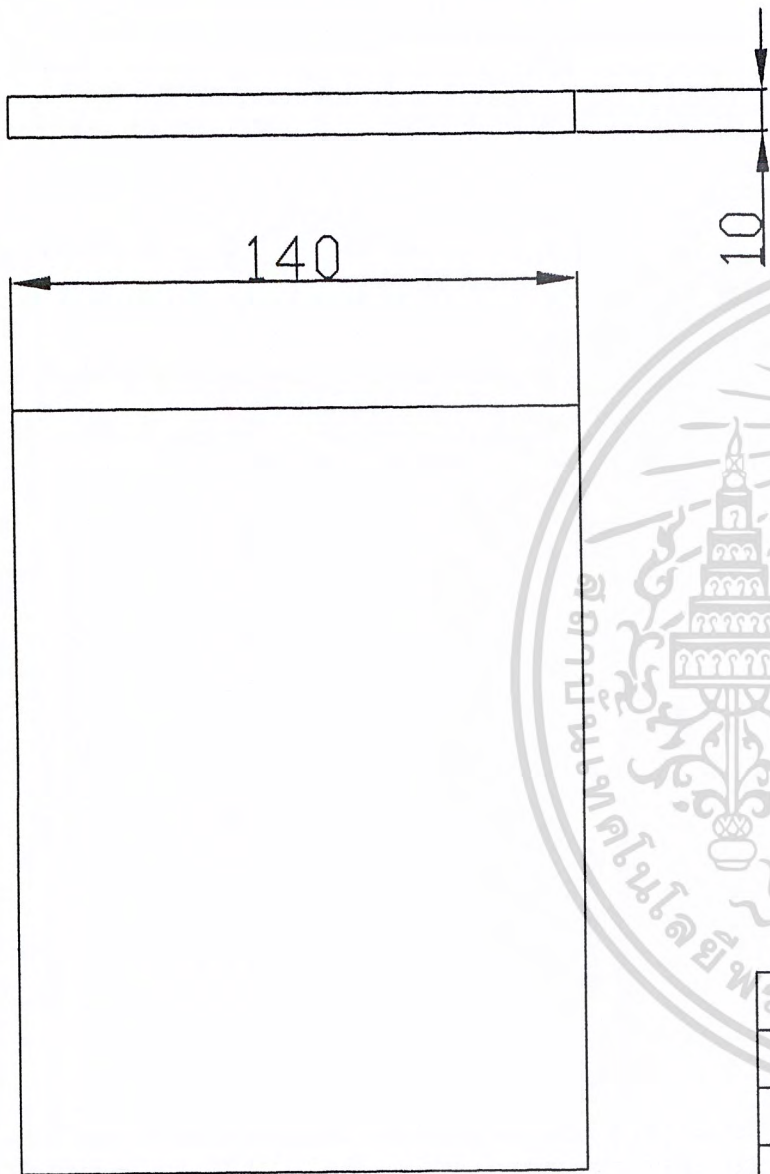
--



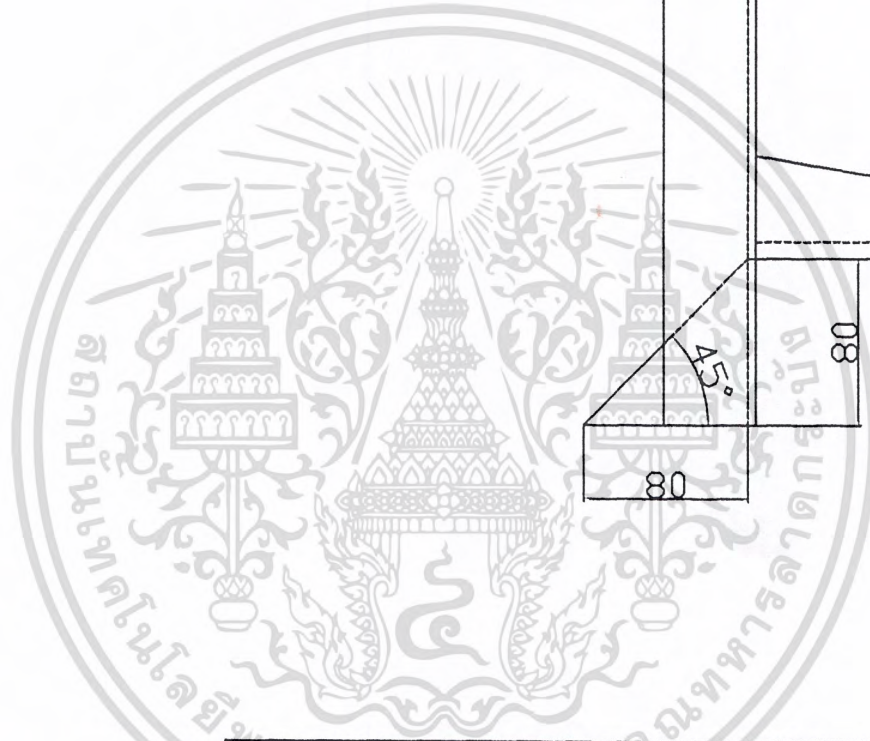
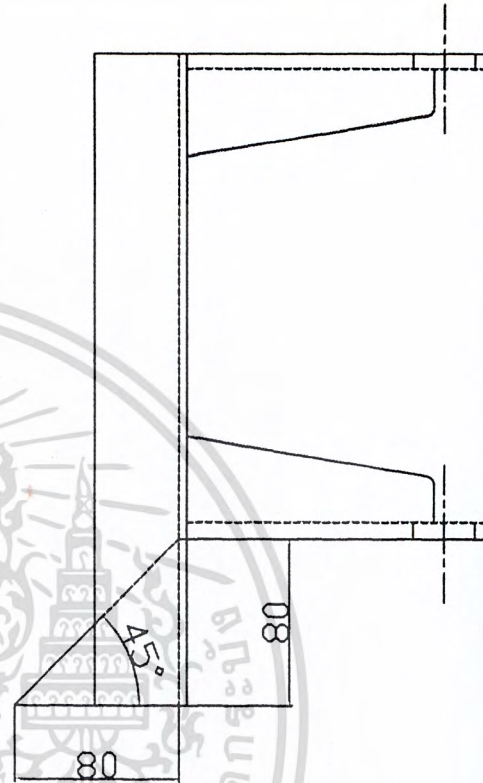
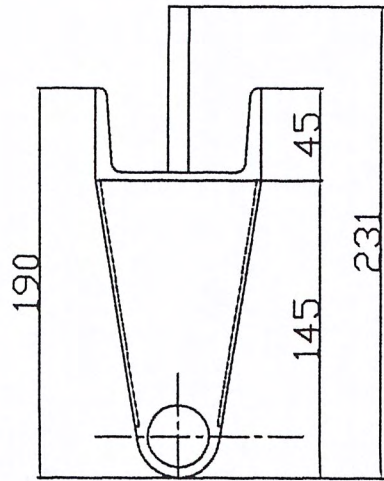
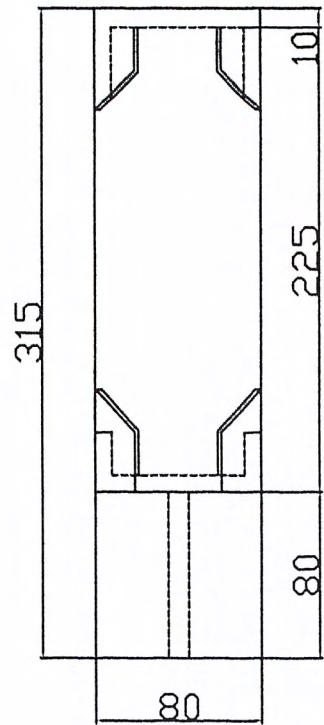

4	ขีดโครงสร้าง				
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน				สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน		หมายเลขแบบ		



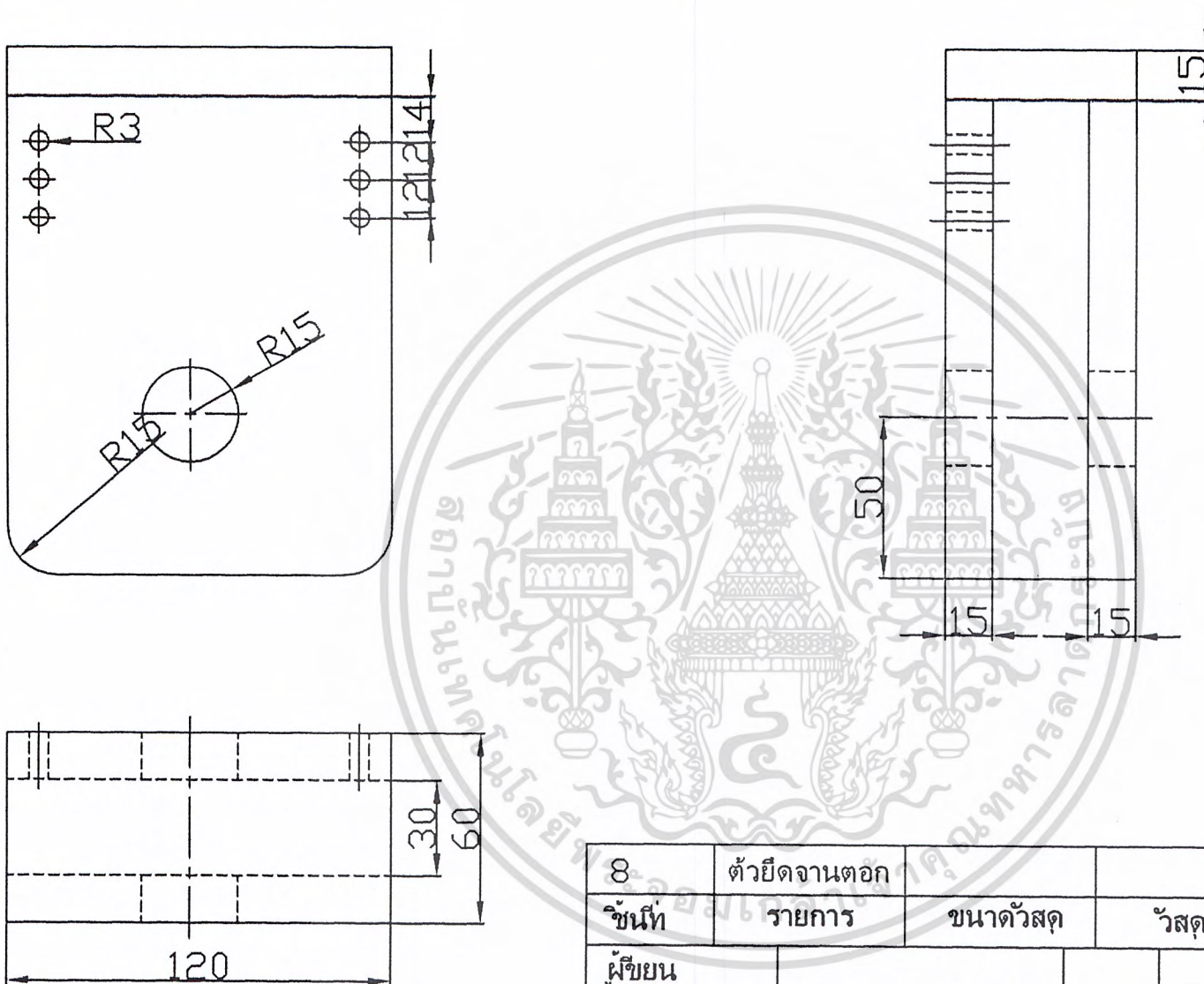
5	โครงเครื่อง				
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน				สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน			หมายเลขแบบ	



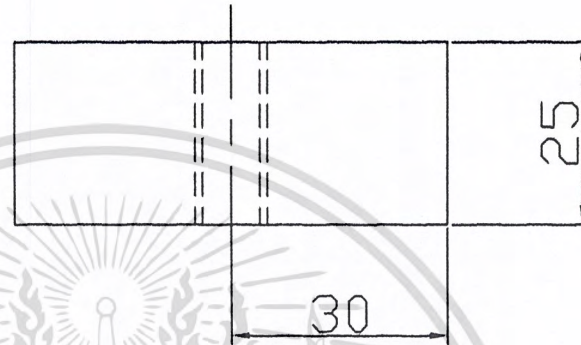
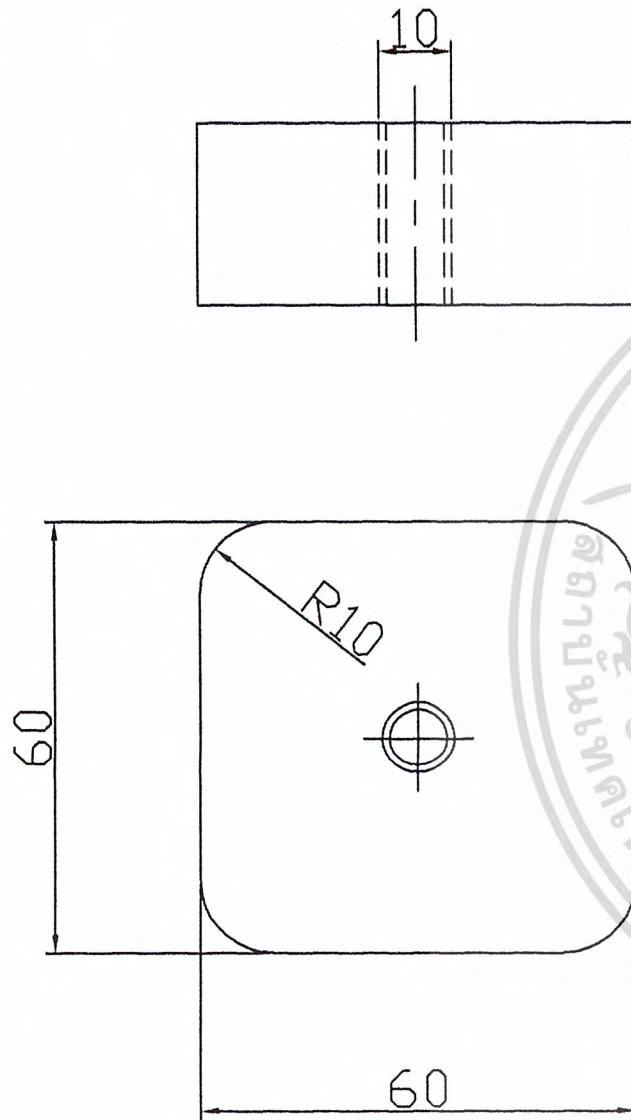
6	ขีดโครงสร้าง				
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน				สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน		หมายเลขแบบ		



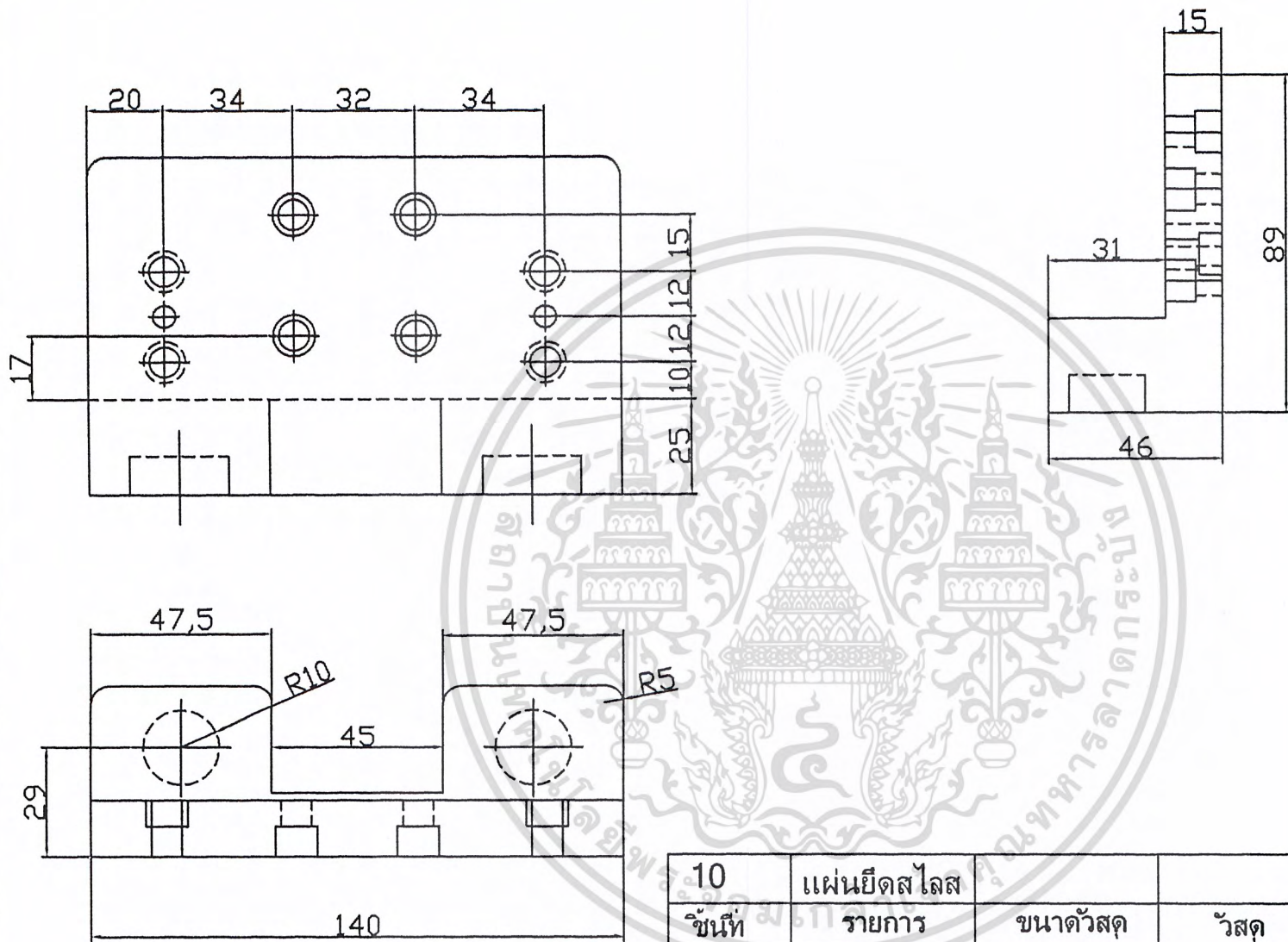
7	ปิดกระบอกสูบ				
ชั้นนี้ที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน				สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน		หมายเลขแบบ		



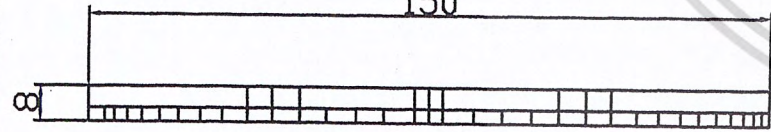
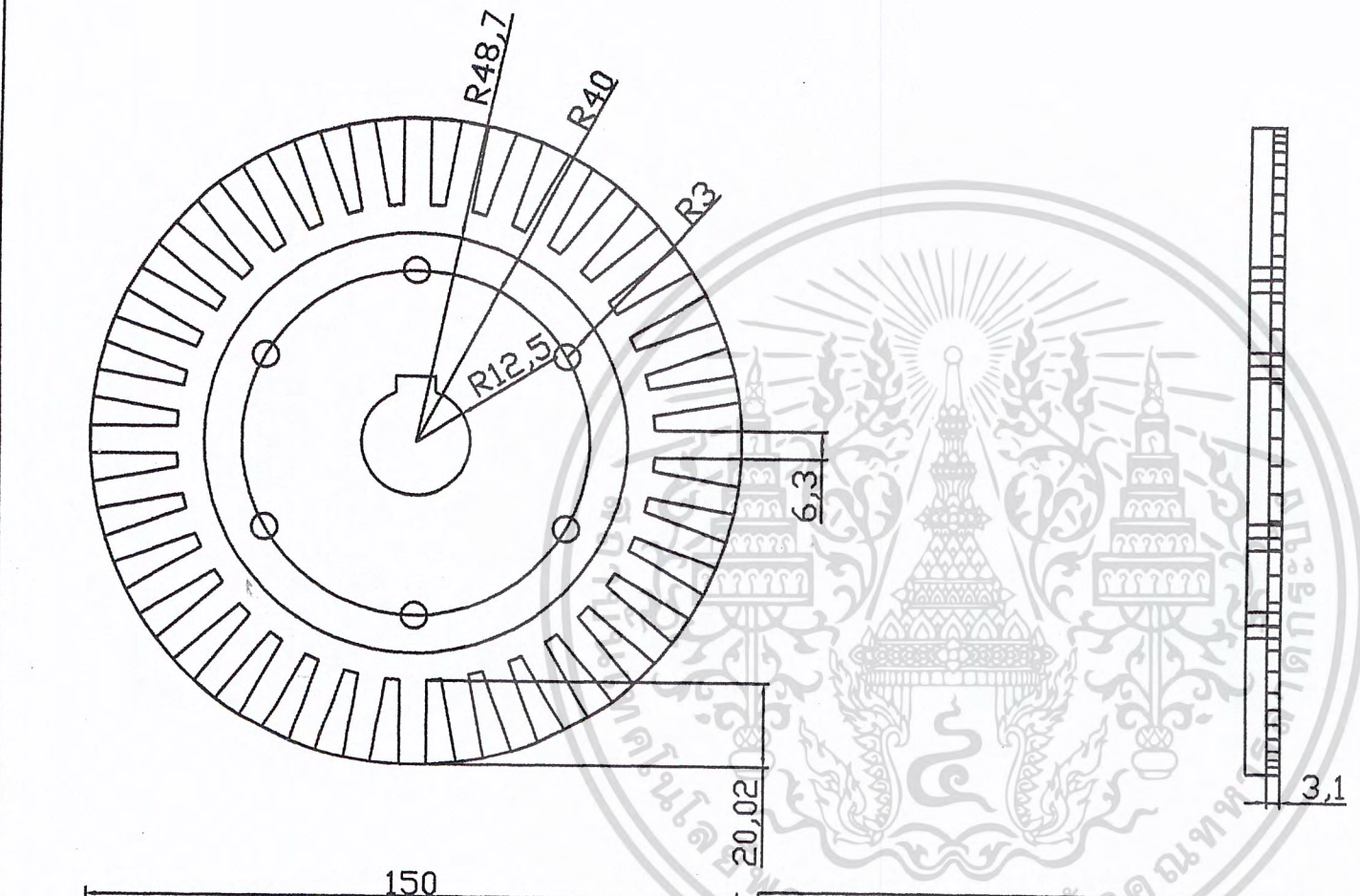
8	ตัวยึดจานตอก				
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน				สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน		หมายเลขแบบ		



9	หัวตอก				
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน				สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน		หมายเลขแบบ		



10	แผ่นยึดสไลส				
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน				สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน		หมายเลขแบบ		



11	แผ่นยึดหัวตอก				
พื้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน				สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ					
มาตรฐาน		ชื่อชิ้นงาน		หมายเลขแบบ	