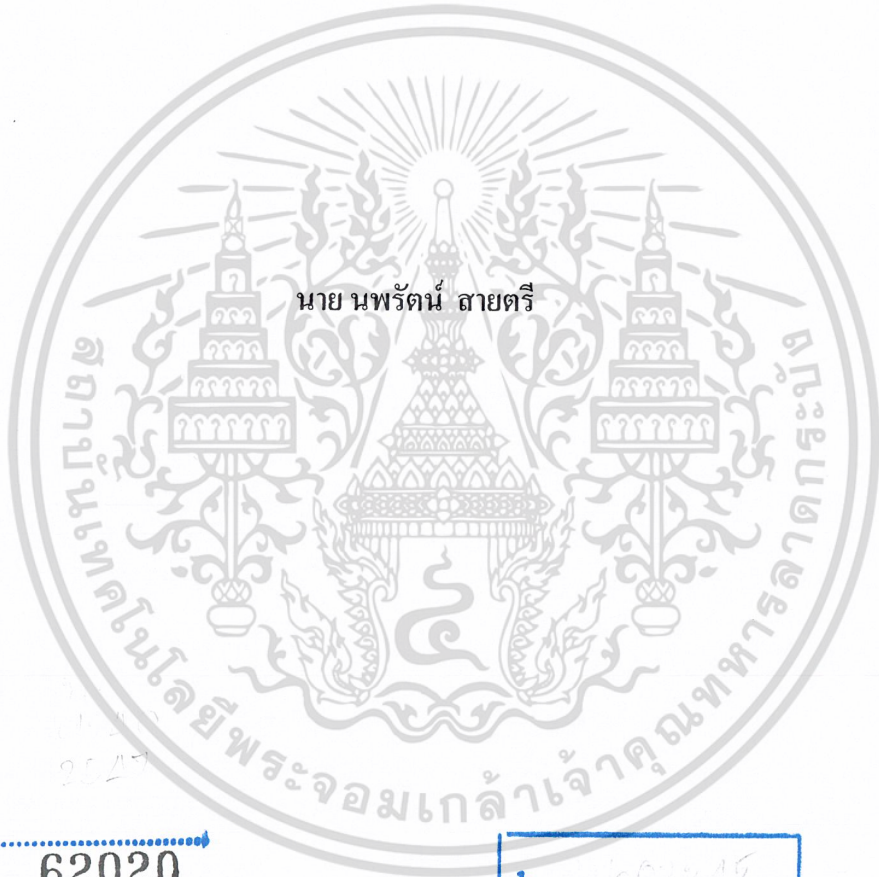
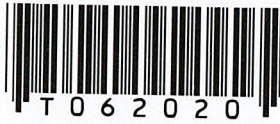


เครื่องตอกตัวอักษร



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62020
วัน,เดือน,ปี..... 25 ก.ค. 2549

b..... 603415
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MARKING MACHINE



MR. NOPPHARAT SAITRI

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 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท

เครื่องพิมพ์ตัวอักษร

MARKING MACHINE

นักศึกษา

นาย นพรัตน์ สายตรี

รหัสประจำตัว 43015682

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท

(อ. พลชัย โขติปราชญ์กุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องตอกตัวอักษร
นักศึกษา	นาย นพรัตน์ สายตรี
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	อ.พลชัย โชติปราชญ์กุล

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้กล่าวถึง การศึกษาการและออกแบบเครื่องตอกตัวอักษร เพื่อนำไปใช้ในการผลิตแผ่นป้ายอลูมิเนียมขนาดเล็ก โดยการใช้ระบบนิวแมติกส์ผ่านทางกระบอกสูบนิวแมติกส์เข้ามาช่วยในการกดอัดชิ้นงาน ซึ่งจะทำให้เกิดความรวดเร็วและรอยจากการพิมพ์มีความสม่ำเสมอมากกว่าการตอกตัวอักษรด้วยมือ

Thesis Title	Marking Machine
Student	Mr. Noppharat Saitri
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2004
Thesis Advisor	Mr. Pholchai Chotiprayanakul

ABTRACT

The purpose of this project is to design the Marking Machine to make plate from aluminum. Paste by pneumatic system is used to transmitted pressure via a pneumatic cylinder to the to aluminum sheet . This machine is can to increase product and decrease the cycle time more than made by manually.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการปริญญานิพนธ์นี้ สำเร็จได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจากหลายฝ่าย ขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง ในความกรุณาของ อาจารย์ พลชัย โชติปราชญกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาในการทำโครงการนี้ และช่วยตรวจแก้ไขรายงานจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาท วิชาความรู้ ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาที่ศึกษาเล่าเรียน



นาย นพรัตน์ สายตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญาบัตร.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาบัตร.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาบัตร.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมบัติทางกลของโลหะ.....	2
2.2 ทฤษฎีการโค้งงอของเสา.....	4
2.3 อุปกรณ์การทำงานของระบบนิวแมติกส์.....	6
2.4 การเลือกขนาดกระบอกสูบ.....	7
2.5 การคำนวณหาแรงของกระบอกสูบ.....	8
2.6 การหาค่าน้ำหนักของชิ้นส่วน.....	9
2.7 สปริง.....	10
2.8 การออกแบบสปริงชนิดรับแรงกด.....	19
2.9 ความเค้นบนรอยเชื่อม.....	19

บทที่ 3 แผนการดำเนินงาน

3.1 แนวคิดในการออกแบบ.....	23
3.2 หลักการทำงานของเครื่องพิมพ์ตัวอักษร.....	24
3.3 การคำนวณหาน้ำหนักชุดกด.....	24

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการดำเนินงานด้านโครงสร้างเครื่องพิมพ์ตัวอักษร.....	26
4.2 ผลการดำเนินงานด้านชุดยึดตัวอักษรและตัวกำหนดตำแหน่ง.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการดำเนินงานด้านชุดควบคุมกระบอกสูบและการทำงาน.....	27
4.4 ผลการทดลอง.....	28

บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการทดลอง.....	29
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	29
5.3 แนวทางการพัฒนา.....	29

บรรณานุกรม.....	30
-----------------	----

ภาคผนวก แบบทางวิศวกรรมเครื่องพิมพ์ตัวอักษรบนแผ่นโลหะ.....	31
---	----



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์เกี่ยวกับผลของการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนภาพวัสดุภายใต้แรงกล.....	4
รูปที่ 2.2 แสดงเสาที่ปลายอิสระและอีกปลายยึดแน่น.....	5
รูปที่ 2.3 แสดงค่าความยาวของเสาแต่ละประเภท.....	5
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะ โครงสร้างของกระบอกสูบลม.....	6
รูปที่ 2.5 ลักษณะของกระบอกสูบลมแบบสองทามิเบาะลมกันกระแทก.....	7
รูปที่ 2.6 แสดง โครงสร้างและสัญลักษณ์.....	7
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่สปริงกับระยะยืดตัวหดตัวหรือบิดตัว.....	10
รูปที่ 2.8 สปริงชนิด.....	13
รูปที่ 2.9 ค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นสำหรับสปริงรับแรงค้ำและรับแรงกด.....	15
รูปที่ 2.10 การรวมความเค้นในสปริงชนิด.....	15
รูปที่ 2.11 มุมขดของสปริง.....	16
รูปที่ 2.12 การยืดหดของลวดสปริง.....	16
รูปที่ 2.13 ปลายสปริงชนิดรับแรงกด.....	17
รูปที่ 2.14 ระยะยวบตัวของสปริงชนิด.....	18
รูปที่ 2.15 รอยเชื่อม.....	20
รูปที่ 2.16 แสดงความเค้นเฉือนในรอยเชื่อม.....	21
รูปที่ 2.17 รอยเชื่อมฟิลเลต.....	22
รูปที่ 2.18 ระยะพอกหนารอยเชื่อม.....	22
รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังลำดับการทำงาน.....	24
รูปที่ 4.1 โครงสร้างเครื่องพิมพ์ตัวอักษร.....	26
รูปที่ 4.2 ชุดกำหนดตำแหน่งตัวอักษรและชุดพิมพ์ตัวอักษร.....	27
รูปที่ 4.3 ภาพขยายชิ้นงานตัวอย่างที่ได้หลังการพิมพ์ตัวอักษร.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงการ

อุตสาหกรรมการผลิตในปัจจุบันผลิตภัณฑ์บางอย่างต้องมีการบอกรหัส หรือข้อความบางอย่าง เพื่อสื่อความหมายให้ผู้ซื้อหรือผู้ที่พบเห็นเข้าใจ นอกจากอุตสาหกรรมการผลิตแล้วความต้องการเฉพาะด้านที่ต้องการมีแผ่นป้ายโลหะขนาดเล็กไว้สื่อความหมายแล้ว ในสายงานอื่นก็อาจมีการนำแผ่นป้ายโลหะไปใช้ประโยชน์ด้วย เช่น ด้านการศึกษาพฤติกรรมตามธรรมชาติของสัตว์ป่าที่มีขนาดเล็ก ซึ่งจะมีการนำแผ่นป้ายโลหะขนาดเล็กมาใช้ โดยนำไปติดไว้กับตัวของสัตว์ ซึ่งที่แผ่นป้ายจะมีข้อความที่บอกถึงเส้นทางที่สัตว์ใช้เดินทาง เส้นทางที่ผ่าน หน่วยงานที่ทำการสำรวจ และข้อความอื่น ๆ ที่ต้องการ เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าแผ่นป้ายโลหะไม่ได้ถูกจำกัดการใช้งานเฉพาะในงานด้านอุตสาหกรรมเท่านั้น

ดังนั้นจึงได้เกิดแนวคิดที่จะผลิตเครื่องตอกอักษรบนแผ่นโลหะขึ้น และใช้ชิ้นส่วนในการผลิตที่สามารถจัดหาโดยทั่วไปได้ง่ายทำให้เกิดความคุ้มค่าในการผลิตและสะดวกในการซ่อมบำรุง

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อนำหลักการและความรู้ทางวิศวกรรม มาประยุกต์ใช้ในการทำงานจริง
2. สามารถสร้างเครื่องตอกตัวอักษร ได้ตรงตามที่ได้ออกแบบไว้
3. เครื่องพิมพ์ตัวอักษรสามารถทำงานได้ตามขอบเขตการทำงานที่กำหนดได้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ออกแบบให้สามารถตอกตัวอักษรภาษาอังกฤษและตัวเลข รวมทั้งหมด 11 ตัวอักษร
2. แผ่นโลหะที่ใช้ตอกตัวอักษร เป็นแผ่นอลูมิเนียมขนาดประมาณ 30×9 มิลลิเมตร ความหนาประมาณ 1-2 มิลลิเมตร
3. ใช้กระบอบอกสูบนิวแมติกส์ส่งแรงกดประทับตัวอักษร ให้เกิดเป็นร่องตามตัวอักษร มีความลึกประมาณ 0.1 มิลลิเมตร
4. ควบคุมการทำงานของกระบอบอกสูบลด้วยระบบนิวแมติกส์ไฟฟ้า
5. กำหนดการเลือกตัวอักษร ปรับแต่งขนาดความกว้างของร่องรับแผ่นอลูมิเนียมและระยะตัวอักษรด้วยมือ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถประหยัดเวลาและช่วยทุ่นแรงในการทำงาน
2. สามารถนำไปพัฒนาใช้กับลักษณะงานที่คล้ายคลึงกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมบัติทางกลของโลหะ

สมบัติทางกลของวัสดุในการตอบสนองต่อแรงทางกลที่มากกระทำ ไม่ว่าจะแรงทางกลนั้นจะมีลักษณะใดก็ตาม เมื่อมีแรงทางกลมากกระทำต่อวัสดุ จะเกิดแรงภายในเนื้อวัสดุเพื่อต้านรับแรงที่มากกระทำ ถ้าแรงที่มากกระทำมีขนาดมากเกินกว่าที่วัสดุจะต้านรับไว้ได้ วัสดุจะเสียรูป ดังนั้นความมากน้อยของขนาดของแรงที่วัสดุสามารถต้านรับไว้ได้จึงเป็นดัชนีที่บอกความแข็งแรงของวัสดุ (Strength of materials) ครรชนีเหล่านี้มีชื่อเรียกเฉพาะแตกต่างกัน ขึ้นกับลักษณะแรงทางกลที่มากกระทำต่อวัสดุ

สมบัติทางกลที่สำคัญของวัสดุ พร้อมกับดัชนีที่ใช้บอกความแข็งแรงของวัสดุภายใต้ลักษณะแรงกระทำต่างๆ สิ่งเหล่านี้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบเครื่องจักรกล

2.1.1 ความเค้น (Stress)

ความเค้น คือแรงกระทำในเนื้อวัสดุต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากหรือขนานกับแรงนั้น ความเค้นแบ่งออกเป็น

2.1.1.1 ความเค้นตั้งฉาก

สเตรสเป็นชื่อทั่วไปที่ใช้เรียกความเข้มของแรงที่เกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุเมื่อถูกแรงภายนอกกระทำ ในทางคำนวณสเตรสหาได้จากอัตราส่วนระหว่างแรงกระทำต่อพื้นที่หน้าตัดของวัสดุที่รับแรงนั้น

$$\sigma = P / A \quad (2.1)$$

เมื่อ

- σ คือ ความเค้นตั้งฉาก
- P คือ แรงกระทำ (N)
- A คือ พื้นที่ที่รับแรง (mm^2)

2.1.1.2 ความเค้นเฉือน

พิจารณาเช่นเดียวกับสมการที่ (2.1) แต่ต่างกันที่แรงกระทำขนานกับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุเมื่อกำหนดให้ความเค้นเฉือนกระจายอย่างสม่ำเสมอบนพื้นที่หน้าตัดเฉือน จะได้ว่า

$$\tau = V / A_s \quad (2.2)$$

เมื่อ

- τ คือ ความเค้นเฉือน
- V คือ แรงเฉือน (N)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A_s คือ พื้นที่หน้าตัดเดือนขนานกับแรง (mm^2)

2.1.1.3 ความเค้นอัด

ความเค้นอัดเกิดขึ้นบนผิวสัมผัสระหว่างชิ้นส่วน 2 ชิ้นที่ประกบอัดแน่นเข้าด้วยกัน

$$\sigma = P/A_b \quad (2.3)$$

เมื่อ

σ คือ ความเค้นอัด

P คือ แรงในแนวแกนที่กระทำต่อวัสดุ (N)

A_b คือ พื้นที่ที่รับแรง (mm^2)

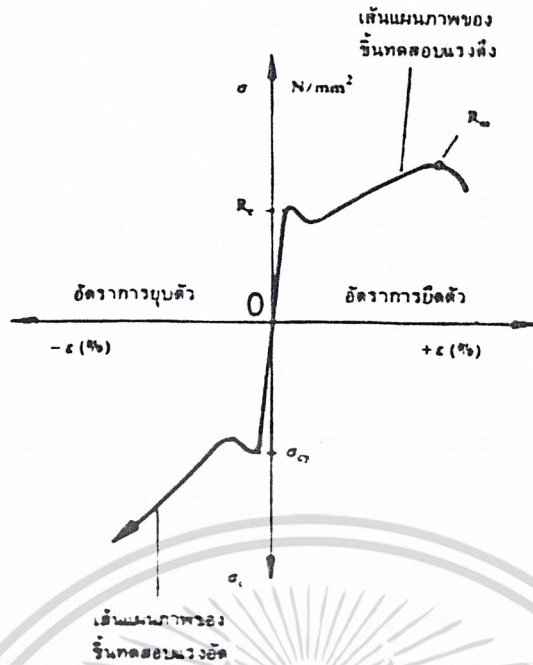
2.1.2 พฤติกรรมของวัสดุภายใต้แรงทางกล

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

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

ถ้าแรงที่มากระทำมีขนาดมาก จนทำให้วัสดุมีการเปลี่ยนรูปมากเกินไป ในกรณีนี้เมื่อปล่อยแรงออก วัสดุจะไม่คืนสู่สภาพเดิมอีก คือเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (permanent deformation) การตอบสนองต่อแรงกระทำในช่วงที่เกิดการเปลี่ยนรูปถาวรนี้ เรียกว่า พฤติกรรมของวัสดุในช่วงพลาสติก (plastic behavior of materials) หากเพิ่มขนาดของแรงกระทำต่อวัสดุในช่วงพลาสติกให้มากขึ้นเรื่อย ๆ วัสดุก็จะเปลี่ยนรูปมากขึ้นมากขึ้นเรื่อย ๆ จนที่สุดจะเกิดการแตกร้าวและหักพัง ดังนั้นการแตกร้าวหักพังจึงเป็นขีดจำกัดขั้นสูงของช่วงพลาสติก

กรณีที่แรงกระทำเป็นแบบเฉียบพลัน คือเป็นแรงที่เกิดขึ้นอย่างกะทันหัน เช่น แรงกระแทก วัสดุอาจตอบสนองต่อแรงเหล่านี้ในแบบยืดหยุ่นแล้วก็แตกร้าวได้ โดยไม่มีการตอบสนองแบบพลาสติกเลยก็ได้



รูปที่ 2.1 แผนภาพวัสดุภายใต้แรงกด

2.2 ทฤษฎีการโก่งของเสา (Buckling of Columns)

เมื่อก้านสูบได้รับภาระในแนวแกนตั้งซึ่งเป็นแนวแกนของก้านสูบ ถ้าภาระนั้นมีค่าไม่มากนักก้านสูบจะคงอยู่ในสภาวะเดิมได้ แต่ถ้าเพิ่มภาระลงไปมากจนถึงค่าหนึ่งแล้วก้านสูบจะเริ่มเกิดการโก่งในแนวตั้งฉากกับภาระที่กระทำ ซึ่งเรียกภาระนี้ว่า ภาระวิกฤตหรือโหลดวิกฤต (Critical Load)

ในการทำงานของกระบอกสูบ มีความจำเป็นที่ต้องการความแข็งแรงของก้านสูบและระยะการโก่งที่มีเสถียรภาพด้วย โดยส่วนใหญ่ชิ้นส่วนที่ได้รับแรงกดในแนวแกนซึ่งเป็นแนวตั้งในสัดส่วนของความสูงโดยเฉพาะ เราเรียกว่า เสา และการโก่งที่ปรากฏขึ้นจะเรียกว่า Buckling ซึ่งอาจจะนำไปสู่ความเสียหาย ดังนั้นต้องคำนึงถึงแรงที่มากกระทำไม่ให้เกินภาระวิกฤต

หลักในการคำนวณหาค่า ภาระวิกฤต (Critical Load) จะใช้หลักการของออยเลอร์ (Euler) สมการการโก่งของเสา

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (2.4)$$

เมื่อ

P_{cr} คือ ภาระวิกฤตหรือโหลดในแนวแกนของเสาที่เพิ่งจะเริ่มการโก่งภาระนี้ต้องไม่ทำให้เกิดความเค้นในเสามากเกิน Proportional Limit

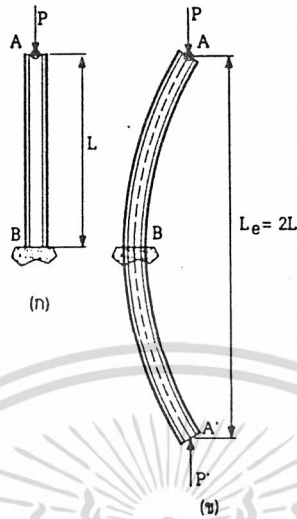
E คือ โมดูลัสของความยืดหยุ่นสำหรับวัสดุ

I คือ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่น้อยที่สุดของพื้นที่หน้าตัดของเสา

L คือ ความยาวที่อยู่นอกจุดจุกยึดของเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นตอนการใช้สูตรคำนวณคำนวณจะเหมือนกัน ไม่ว่าจะเป็นการจับยึดปลายเสาในลักษณะใด เช่น เสาที่มีปลาย A เป็นปลายอิสระและปลายอีกด้านหนึ่งยึดแน่นที่จุด B ดังรูป 2.2

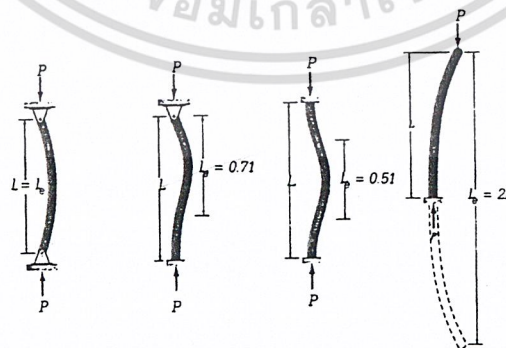


รูปที่ 2.2 แสดงเสาที่ปลายอิสระและอีกปลายยึดแน่น

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

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} \quad (2.5)$$

จะสังเกตว่าค่าความยาวประสิทธิผลจะขึ้นอยู่กับวิธีการจับยึดที่ตำแหน่งปลายเสา และสรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 2.6



ยึดด้วยสลักทั้งสองข้าง ($L_e = L$)	ยึดด้วยสลักและยึดแน่น ($L_e = 0.7L$)	ยึดแน่นทั้งสองข้าง ($L_e = 0.5L$)	ปลายอิสระและยึดแน่น ($L_e = 2.0L$)
---	---	--	---

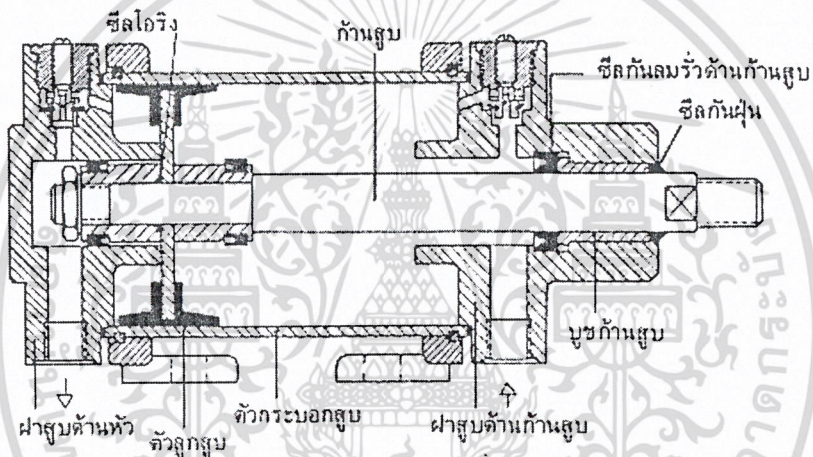
รูปที่ 2.3 แสดงค่าความยาวของเสาแต่ละประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา⁵ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 อุปกรณ์การทำงานของระบบนิวแมติกส์

กระบอกลูกสูบทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมอัดให้เป็นพลังงานกล ลักษณะการเคลื่อนที่เป็นแบบเส้นตรง ตัวกระบอกลูกสูบอัดมักจะทำด้วยท่อชนิดไม่มีตะเข็บ เช่น เหล็ก, อะลูมิเนียม, ทองเหลือง, สแตนเลส ขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่ใช้ ภายในท่อจะเจียรไนเรียบ

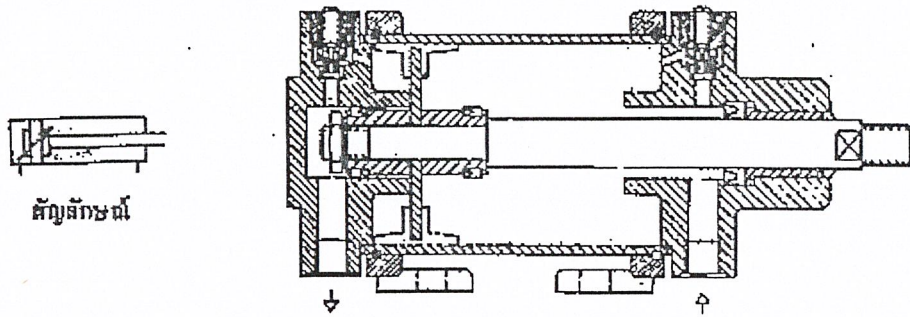
การทำงานของกระบอกลูกสูบตามรูป เป็นกระบอกลูกสูบแบบมีระบบลมกันกระแทกเพื่อช่วยลดความเร็วหรือลดอัตราเร่งของลูกสูบเมื่อสุครบระยะชัก เป็นการป้องกันการกระแทกที่เกิดขึ้นระหว่างลูกสูบกับกระบอกลูกสูบ โดยการใช้ วาล์วเข็ม (needle valve) กับวาล์วกันกลับ (check valve) ทำให้เกิดเบาะลมขึ้นระหว่างลูกสูบกับฝากระบอกลูกสูบ ลมที่มีความดันสูงก็จะทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ต่อไปด้วยความลำบาก และจะเป็นการหน่วงความเร็วของลูกสูบลงตอนใกล้สุดระยะชัก ทำให้ไม่เกิดการกระแทก



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะโครงสร้างของกระบอกลูกสูบ

2.3.1 กระบอกลูกสูบชนิดทำงานสองทาง

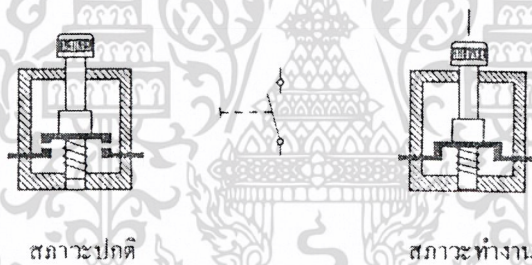
จะใช้ลมดันหัวลูกสูบทั้งตอนเคลื่อนที่ออกและตอนเคลื่อนที่กลับ ทำให้ได้แรงทั้งสองทิศทางเหมาะกับงานที่ต้องการใช้แรงในตอนในตอนที่ลูกสูบเคลื่อนที่ออกและเคลื่อนเข้ารวมทั้งลักษณะงานที่ต้องการช่วงชักยาว ปัญหาที่เกิดขึ้นในกรณีในช่วงชักยาวเกินไปจะทำให้ก้านสูบเกิดการโก่งงอได้ ดังนั้นช่วงชักของกระบอกลูกสูบแบบนี้จะต้องมีการคำนวณหาระยะชักที่อนุญาตให้ใช้งานได้



รูปที่ 2.5 ลักษณะของกระบอกสูบลมแบบสองทางมีเบาะลมหักกันกระแส

2.3.2 สวิตช์ปุ่มกด (Pushbutton Switch)

หลักการทำงานของสวิตช์ปุ่มกดแบบนี้ ในสภาวะปกติกระแสไฟฟ้าจะไม่สามารถไหลผ่านวงจรได้ แต่เมื่อสวิตช์ถูกกดจากภายนอกจะทำให้หน้าสัมผัสต่อกัน กระแสไฟฟ้าจึงสามารถไหลผ่านวงจรได้ และหากสวิตช์ไม่ถูกกดสปริงจะดันให้หน้าสัมผัสแยกออกจากกัน กระแสไฟฟ้าจึงไม่สามารถไหลผ่านวงจรได้



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ (Pushbutton Switch)

2.4 การเลือกขนาดกระบอกสูบ

การเลือกหาขนาดกระบอกสูบลมให้มีขนาดเหมาะสมกับการใช้งานในระบบนิวแมติกส์มีองค์ประกอบในการพิจารณาอยู่หลายประการด้วยกัน เช่น

เมื่อจะนำกระบอกสูบลมไปใช้งาน ควรรู้ถึงผลการเปลี่ยนแปลงเมื่อค่าใดค่าหนึ่งเปลี่ยนแปลงจะมีผลทำให้ค่าอื่นๆ เปลี่ยนไปอย่างไร ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์เกี่ยวกับผลของการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ

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

การเลือกขนาดกระบอกสูบลมให้เหมาะสมกับการใช้งาน หรือขนาดของแรงที่ได้จากลูกสูบสามารถหาได้จากสมการซึ่งจะกล่าวต่อไปนี้

2.5 การคำนวณหาแรงของกระบอกสูบ

แรงที่ได้รับจากลูกสูบเพื่อไปดันให้ก้านสูบกระทำกับโหลดให้เคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับความดันลมที่ใช้ เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ และแรงเสียดทานของซีลที่ทำการกระบอกสูบ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ ตามกฎของปาสกาล

$$F_{th} = 10 (A.P) \quad (2.6)$$

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

$$F_n = 10 (A.P) - F_r \quad (2.7)$$

เมื่อ

F_n คือ แรงที่ได้สุทธิในการทำงาน (N)

F_r คือ แรงที่เกิดจากการเสียดทาน (N)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา⁸ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากลักษณะของกระบอกสูบในการใช้งานมีอยู่หลายแบบด้วยกันดังได้กล่าวไว้ตอนต้น แต่ในการคำนวณนี้จะขอกำหนดเฉพาะกระบอกสูบแบบพื้นฐานที่ใช้กันทั่วไป คือกระบอกสูบแบบทำงานทางเดียวและกระบอกสูบแบบทำงานสองทาง

สำหรับลูกสูบชนิดทำงานสองทาง
ในขณะที่ถูกสูบล้างออก

$$F_{n1} = 10 (A \times P) - F_r \quad (2.8)$$

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

ในขณะที่ถูกสูบล้างเข้า

$$F_{n2} = 10(A' P) - F \quad (2.9)$$

เมื่อ

A' คือ พื้นที่วงแหวนของลูกสูบ (cm^2)

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

เมื่อ

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ (cm)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ (cm)

2.6 การหาค่าน้ำหนักของชิ้นส่วน

จากสมการ

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.10)$$

$$m = \rho v$$

เมื่อ

ρ คือ ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m^3) (ρ ของเหล็ก = 7612 kg/m^3)

m คือ มวล (kg)

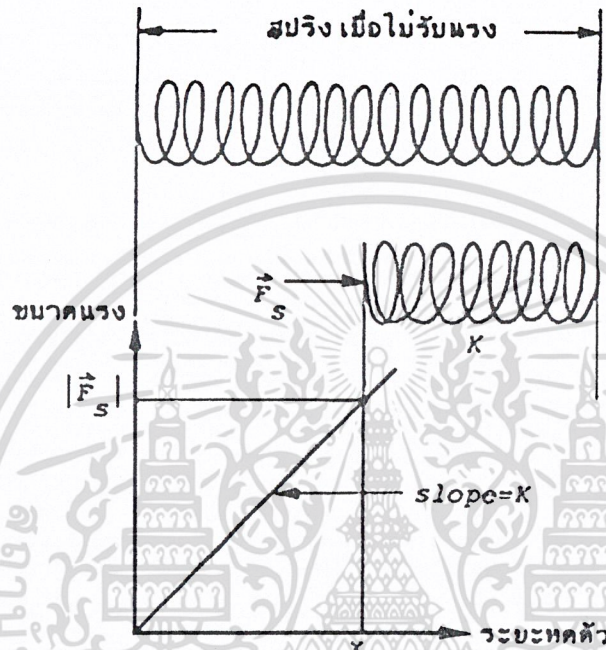
v คือ ปริมาตร (m^3)

การคำนวณหาปริมาตรของชิ้นส่วนที่มีรูปร่างซับซ้อนถ้าใช้วิธีคำนวณด้วยมือจะกระทำได้ยากลำบาก ซึ่งถ้าใช้โปรแกรม CAD จะสะดวกและรวดเร็วกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 สปริง (Spring)

สปริงสามารถนำมาใช้รับแรงในแนวแกนของสปริง ได้แก่ แรงดึง และแรงกด หรือแรงบิด ซึ่งเกิดจากโมเมนต์ ในแนวแกน โดยขนาดของแรงที่สปริงรับ จะเป็นฟังก์ชันกับระยะการยืดตัว หรือหดตัว หรือ บิดตัวของสปริงเอง ในกรณีของของ Linear Spring ฟังก์ชัน หรือ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่สปริงกับระยะยืดตัวหดตัวหรือ บิดตัว จะเป็นสมการแบบเชิงเส้น หรือ เป็นสัดส่วนตรง



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่สปริงกับระยะยืดตัวหดตัวหรือบิดตัว

$$\frac{|F_s|}{|X|} = \text{ค่าคงที่ } K$$

(2.11)

$$\text{หรือ } F_s = K \cdot x$$

โดยที่เรียก K ว่าเป็นค่า Stiffness ของสปริง หรือสปริง Constant
จัดสมการใหม่เป็น

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

และเมื่อ Differentiate with respect to time จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$\frac{1}{K} \times \frac{d(F_s)}{dt} = \dot{x} \quad (2.12)$$

จะเห็นว่าในระบบทางกล

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

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

ซึ่งเมื่อแทนลงในสมการ(2.12)จะได้

$$\frac{1}{K} \times \frac{d(\dot{y})}{dt} \equiv \dot{x} \quad (2.13)$$

เทียบกับ Functional Relation ของ L-Type Parameter

$$L \times \frac{d(\dot{y})}{dt} \equiv \dot{x} \quad (2.14)$$

จะเห็นว่าส่วนกลับของความแข็งของสปริงเป็น Parameter แบบ L-Type กล่าวคือสปริงเป็น Transtorge Element หรือสะสมพลังงานในรูปของการยืดตัวหรือหดตัวหรือบิดตัว และพลังงานที่ สะสมได้เรียกว่า Transtored Energy (Et) ซึ่งหาค่าได้ดังนี้

$$\begin{aligned} {}_1Et_2 &= \int_{x_1}^{x_2} \dot{y} \cdot dx \\ &= \int_{x_1}^{x_2} F_s \cdot dx \\ &= \int_{x_1}^{x_2} K \cdot X \cdot dx \\ &= \frac{1}{2} K \cdot X^2 \Big|_{x_1}^{x_2} \end{aligned} \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งรู้จักกันในนามของ พลังงานศักย์ยืดหยุ่น (Elastic Potential Energy)

2.7.1 วัสดุสำหรับลวดสปริง

จุดประสงค์ของการใช้สปริง ส่วนมากจะเป็นในรูปของการเก็บพลังงานเอาไว้ในตัวสปริงความเค้นที่เกิดขึ้นในสปริงขณะใช้รับแรงจะมีค่าสูงมาก ดังนั้นจึงต้องนำวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงมาใช้ทำสปริง โดยทั่วไปเหล็กสำหรับใช้ทำสปริงจะมีเหล็กที่มีคาร์บอนสูงกว่า 0.5% แล้วผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อให้มีความยืดหยุ่นสูง เนื่องจากความสามารถในการยืดหยุ่นเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของสปริง ทั้งนี้เพื่อให้สปริงมีการหดได้มาก เนื่องจากนี้แล้วยังมีวัสดุประเภทโลหะผสม เหล็กกล้าไร้สนิม และอื่น ๆ ที่ต้องใช้กับงานเป็นพิเศษ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนหรือทนทานต่ออุณหภูมิสูง

2.7.2 คุณสมบัติทางกลของลวดสปริง

ค่าความต้านแรงของวัสดุที่ใช้ทำลวดสปริงจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของลวดสปริง ดังนั้น สมการที่ใช้หาความสัมพันธ์ของความต้านแรงของวัสดุลวดสปริงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใด ๆ ได้ดังนี้คือ

$$\sigma_u = \frac{A}{d^x} \quad (2.16)$$

$$\tau_n = \frac{B}{d^y} \quad (2.17)$$

โดยที่

σ_u คือ ความต้านแรงดึงต่ำสุด

τ_n คือ ความต้านแรงเฉือนทนทาน

d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสปริง มิลลิเมตร

ค่าคงที่โดยประมาณของสมการที่ 2.16 และสมการที่ 2.17 ค่าความต้านแรงมีหน่วยเป็น N/mm^2 และค่าต่าง ๆ เหล่านี้เป็นค่าที่เรียบเรียงมาจากหนังสือของ V.M.FAIRE'S เพื่อใช้เป็นตัวอย่างข้อมูลสำหรับแบบฝึกหัดในการคำนวณ ถ้ามีความจำเป็นที่จะต้องใช้สมการที่ 2.17 และ 2.18 กับลวดสปริงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่าค่าในตาราง ก็อนุโลมให้สามารถใช้ได้

2.7.3 ความเค้นในแรงสปริง

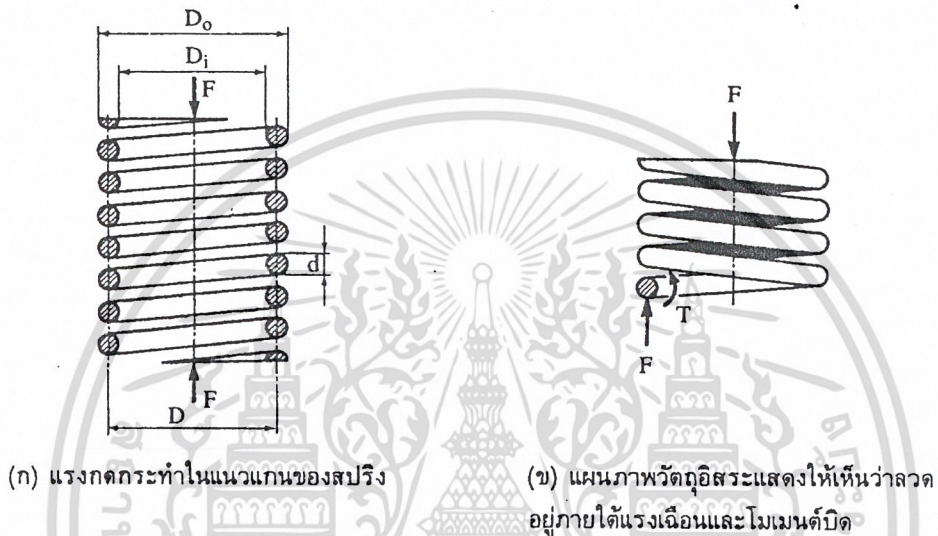
พิจารณาสปริงขดซึ่งรับแรงกด F ในแนวแกนของสปริงดังรูปที่ 2.13 (ก) และให้

D_0 คือเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกของขดสปริง

D_i คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของขดสปริง

$D = (D_0 + D_i)/2$ เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของขดสปริง

d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดสปริง



รูปที่ 2.8 สปริงขด

ให้ตัดส่วนหนึ่งของสปริงออกมาพิจารณาจะเห็นว่า ลวดสปริงอยู่ภายใต้แรงภายใน F และโมเมนต์ T ดังรูปที่ 2.13(ข) ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นในลวดสปริงคือ

$$\tau = \frac{Tr}{J} + \frac{F}{A} \quad (2.18)$$

แต่ $T = \frac{FD}{2}$

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

และ $A = \frac{\pi d^2}{4}$

ดังนั้นจึงเขียนสมการที่ (2.16) ใหม่ได้เป็น

$$\tau = \frac{8FD}{\pi d^3} + \frac{4F}{\pi d^2} \quad (2.19)$$

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

$$\tau = K_s \frac{8FD}{\pi d^3} \quad (2.20)$$

โดยที่
$$K_s = 1 + \frac{0.5}{C}$$

ค่า K_s นี้เรียกว่าตัวประกอบความเค้นเฉือนเป็นค่าทำให้ความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากความเค้นเฉือน

ตรง $\frac{F}{A}$

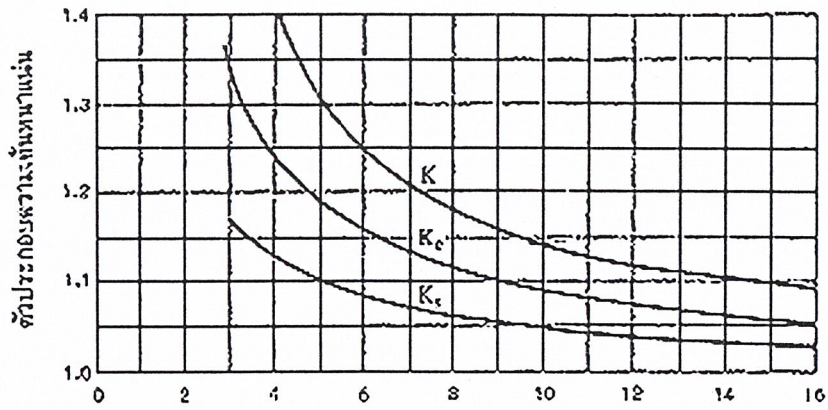
ในการคำนวณที่ผ่านมาได้ใช้ความเค้นเฉือนเนื่องจากโมเมนต์แรงบิด $\frac{T_r}{J}$ ซึ่งเป็นสูตรสำหรับการบิดชิ้นส่วนตรง เช่น เพลา แต่ในสปริงเส้นลวดบิดเบนไปตามความโค้งของสปริงทำให้เกิดความเค้นหนาแน่นสูงสุดบริเวณด้านในของสปริงชด วาล์ว (Wahl) ได้เสนอให้มีการแก้ไขความเค้นในสมการที่ 2.18 โดยเพิ่มตัวประกอบความโค้ง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

$$K = K_c K_s = \frac{4_c - 1}{4_c} + \frac{0.615}{C} \quad (2.21)$$

ค่า K นี้เรียกว่าองค์ประกอบของวาล์ว ซึ่งสามารถหาค่าได้โดยการคำนวณจากสมการที่ 2.19 หรืออ่านค่าได้จากรูปที่ 2.9 ดังนั้นความเค้นเฉือน ในสมการที่ 2.19 จึงกลายเป็น

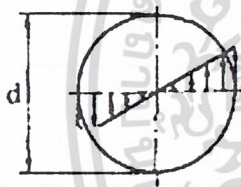
$$\tau = K \frac{8FD}{\pi d^3}$$

$$\tau = K \frac{8FC}{\pi d^2} \quad (2.22)$$

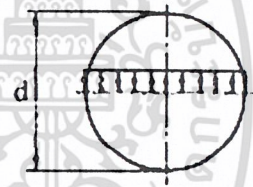


รูปที่ 2.9 ค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นสำหรับสปริงขดรับแรงดึงและรับแรงกด

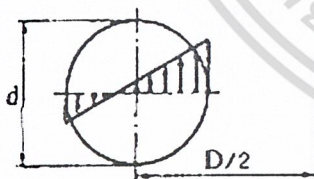
การกระจายความเค้นเฉือนในเส้นลวดสปริงซึ่งเกิดจากโมเมนต์ T และแรงเฉือน F จะดูได้จากรูปที่ 2.10 ก และรูปที่ 2.10 ข เมื่อรวมความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 2.10 ก และรูปที่ 2.10 ข ก็จะได้ความเค้นเฉือนดังรูปที่ 2.15 ค แต่เมื่อรวมความเค้นหนาแน่นอันเนื่องมาจากความโค้งของลวดสปริงเข้าไปด้วยจะได้ดังรูปที่ 2.10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



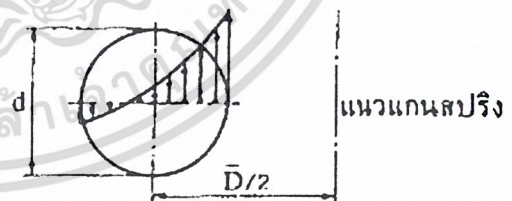
(ก) ความเค้นเฉือนเนื่องจาก โมเมนต์บิด



(ข) ความเค้นเฉือนตรง



(ค) ผลรวมของความเค้นเฉือนตรง และความเค้นเฉือนบิด



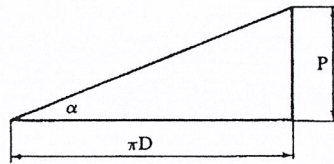
(ง) ผลรวมของความเค้นเฉือนตรง ความเค้นเฉือนบิด และความเค้นเฉือนเนื่องจากความโค้ง

รูปที่ 2.10 การรวมความเค้นในสปริงขด

ถ้าให้ระยะพิทช์ของสปริงยาว P และให้หน้าสปริงหนึ่งรอบมอดลือออกมุมขนาด α คือ $\tan \alpha = \frac{P}{\pi D}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

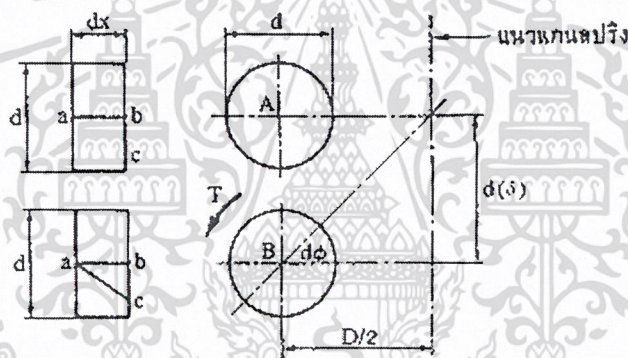
สำหรับสปริงรับแรงกด ถ้ามุมขดของสปริงขณะที่ไม่มีแรงภายนอกกระทำเล็กกว่า 12 องศา แล้วก็ให้ถือว่าสปริงขดนั้นมีขดถี่ได้



รูปที่ 2.11 มุมขดของสปริง

2.7.4 การยืดหดของสปริงขด

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



รูปที่ 2.12 การยืดหดของลวดสปริง

ถ้ามุมบิดบนลวดสปริงชิ้นเล็ก ๆ นี้เล็กมาก (เนื่องจากสปริงมีขดถี่) ระยะขยับตัวคือ

$$d\delta = \frac{D(d\phi)}{2} = \frac{TD(dx)}{2GJ} \quad (2.23)$$

ถ้าสปริงมีความยาวทั้งหมด L ระยะขยับตัวทั้งหมดคือ

$$\delta = \frac{TD}{2GJ} \int_0^L dx = \frac{TDL}{2GJ} \quad (2.24)$$

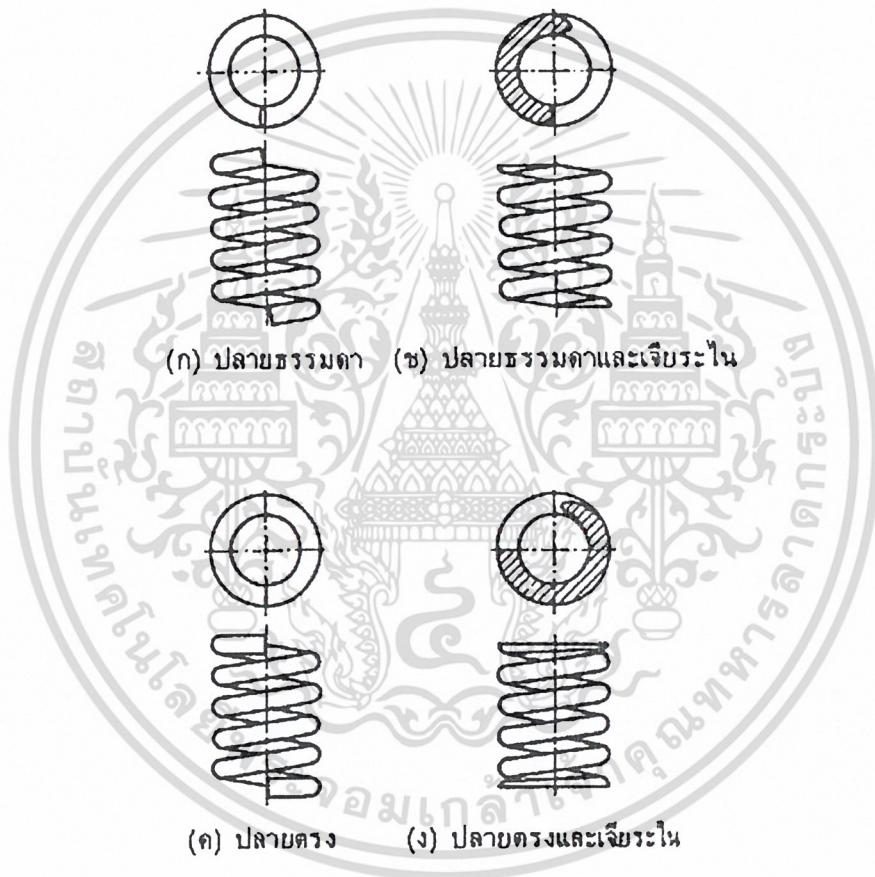
ถ้าจำนวนขดทำการ (active coils) เท่ากับ n ขด ความยาว L ของสปริง n ขด โดยประมาณเท่ากับ πDn ละเมื่แทนค่า $T = FD/2$ และ $J = (\pi/32)d^4$ ลงในสมการที่ 2.23 จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา¹⁶ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\delta = \frac{8FD^3n}{Gd^4} = \frac{8FC^3n}{Gd} \quad (2.25)$$

2.7.5 จำนวนขดทำการ

สปริงขดรับแรงกดที่ใช้งานอยู่ทั่ว ๆ ไปจะมีปลายทั้งสองในลักษณะดังรูปที่ 2.13 โดยปกติแล้วต้องการให้ปลายสปริงสัมผัสกับสิ่งที่สปริงกดอยู่ให้มากที่สุด ในบางกรณีสปริงตั้งอยู่ในช่องซึ่งมีพื้นที่กคที่เรียบแบน ดังนั้นจึงนิยมตัดปลายสปริงชนิดนี้ให้เรียบเป็นฐานตั้ง เนื่องจากขดส่วนที่ตัดปลายจะสูญเสียผลในการเป็นสปริงไปมาก ฉะนั้นการคำนวณจึงให้หักเอาจำนวนขดเหล่านี้่ออก จำนวนที่ขดเหลืออยู่ทั้งหมดเรียกว่า ขดทำการ ซึ่งก็เป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น ถ้าให้ n_c เป็นจำนวนขดทั้งหมดของสปริงขดก็จะคิดจำนวนขดทำการได้ดังนี้

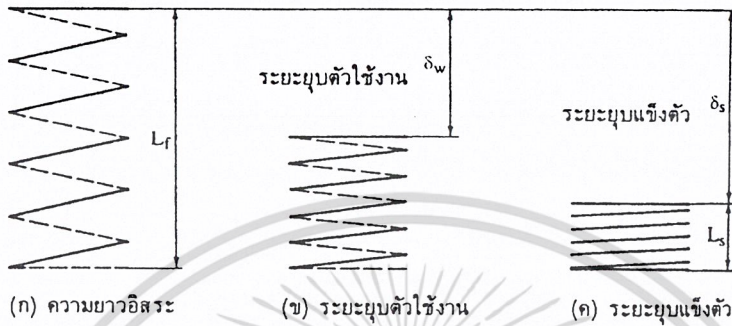


รูปที่ 2.13 ปลายสปริงขดรับแรงกด

ปลายธรรมดา (plain ends)	$n = n_c$
ปลายธรรมดาและเจียรระไน (ground end)	$n = n_c - 1$
ปลายตรง (square ends)	$n = n_c - 1.5$
ปลายตรงและเจียรระไน	$n = n_c - 2$

2.7.6 ระยะเวลาขยับตัวใช้งาน

ความยาวของสปริงชนิดในขณะที่ยังไม่มีแรงภายนอกกระทำเรียกว่า ความยาวอิสระ L_f ดังรูปที่ 2.13 (ก) เมื่อมีแรงภายนอกกระทำสปริงชนิดนี้ให้ทุกขดติดกันพอดีดังรูปที่ 2.13 (ค) ความยาวของสปริงชนิดนี้เรียกว่า ความยาวแข็งตัว (solid height) L_s แรง และความเค้นในขณะนี้เรียกว่า แรงแข็งตัว (solid force) และความเค้นแข็งตัว (solid stress) ตามลำดับ



รูปที่ 2.14 ระยะเวลาขยับตัวของสปริงชนิด

สำหรับการออกแบบสปริงให้รับแรง F สูงสุดขณะใช้งาน โดยที่สปริงจะขยับตัวลงไป δ_w ค่า δ_s นี้จะเรียกว่า ระยะขยับตัวใช้งาน ดังรูปที่ 2.14 (ข) ถ้าให้ระยะขยับแข็งตัว (solid deflection) δ_s เป็นผลต่างระหว่างความยาวอิสระและความยาวแข็งตัวจะได้ว่า

$$\delta = L_f - L_s \quad (2.26)$$

ก็จะทำให้สามารถเพื่อการขยับตัวของสปริงให้มีการขยับตัวมากกว่าระยะขยับตัวใช้งาน ได้อย่างมีหลักเกณฑ์พอสมควร โดยใช้ค่าความเผื่อการกดติด (clash allowance) ซึ่งมีนิยามว่า

$$\text{ความเผื่อการกดติด} \quad r_c = \frac{\delta_s - \delta_w}{\delta_w} \quad (2.27)$$

ค่าความเผื่อการกดติดนี้เป็นอัตราส่วนที่แสดงถึงเปอร์เซ็นต์ของระยะขยับตัว ที่อาจจะมิได้เกินกว่าระยะขยับตัวใช้งาน โดยทำหน้าที่ให้ความปลอดภัยแก่การใช้งานยิ่งขึ้นไปอีก ค่า r นี้แนะนำให้ใช้ประมาณ 0.20 ซึ่งก็หมายความว่าสามารถใช้สปริงรับแรงเพิ่มขึ้นมากกว่าแรงที่ใช้ออกแบบอีก 20% สปริงทุกขดจึงจะติดกันหมด จึงเป็นการป้องกันมิให้ผิวหน้าของสปริงเสียหายเนื่องจากการสัมผัสและเสียดสีกันระหว่างขดได้ อีกประการหนึ่งถ้าสปริงขยับตัวจนถึงความยาวแข็งตัว สปริงก็จะหมดคุณสมบัติในการใช้งานรับแรงสั่นสะเทือนหรืออื่น ๆ ตามต้องการไป

2.8 การออกแบบสปริงขดรับแรงกด

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

$$\bar{D}_0 = [D_0^2 + 0.1\epsilon^2]^{1/2} \quad (2.28)$$

โดยที่

\bar{D}_0 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสปริงขดหลังขยายตัว

D_0 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสปริงขดก่อนขยายตัว

$$\epsilon = \frac{L_f - d(n_1 - n)}{n} \quad (2.29)$$

การคำนวณเกี่ยวกับสปริงขดอาจจะแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ

1. ให้คิดว่าแรงที่มากระทำต่อตัวสปริงเป็นแบบอยู่นิ่ง แล้วคิดว่าแรงที่กระทำกับสปริงนั้นจัดอยู่ในงานประเภทใด ซึ่งแบ่งออกเป็น

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

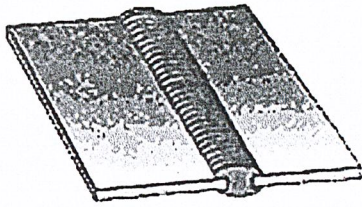
(ข) งานปานกลาง (average service) หมายถึงแรงที่มากระทำตลอดอายุการใช้งานของสปริงอยู่ระหว่าง 10^4 ถึง 10^6 ครั้ง

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

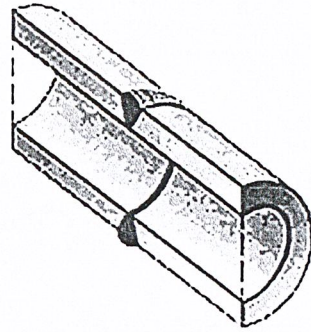
2. ให้พิจารณาว่าแรงเปลี่ยนแปลงจากค่าสูงสุดไปถึงต่ำสุด แล้วคำนวณออกแบบสปริงโดยใช้สมการลักษณะเดียวกับไซเคิลเบอร์เกอร์

2.9 ความเค้นบนรอยเชื่อม

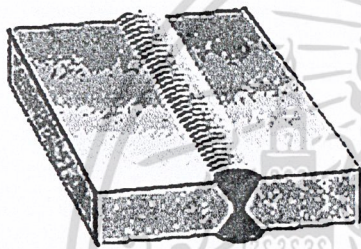
ข้อต่อระหว่างชิ้นส่วนทางวิศวกรรมส่วนใหญ่อาจใช้การเชื่อมยึดชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน รอยเชื่อมเกิดจากการหลอมตัวระหว่างวัสดุตัวเชื่อมกับแผ่นต่อทั้งสองโดยอาศัยความร้อนจากเครื่องเชื่อมไฟฟ้าหรือเปลวแก๊ส ขณะเชื่อมจะใช้เป็นเกราะกำบังไม่ให้เกิดออกซิเดชันกับโลหะที่กำลังหลอมตัว ผลของอุณหภูมิที่สูงขณะเชื่อมต้องไม่ทำให้คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้เป็นรอยเชื่อมนั้นเปลี่ยนแปลง รอยเชื่อมจึงมีความต้านทานแรงอย่างเต็มที่ไว้ได้ เราเรียกรอยเชื่อมในลักษณะนี้ว่า รอยเชื่อมฟิวชัน (fusion weld) ซึ่งรอยเชื่อมที่ได้มีความต้านทานแรงสูง มีหลายแบบดังรูปที่ 2.15



(ก) ร่องรอยเชื่อมรูปสี่เหลี่ยม



(ข) ร่องรอยเชื่อมรูปตัววีด้านเดียว



(ค) ร่องรอยเชื่อมรูปตัววีสองด้าน

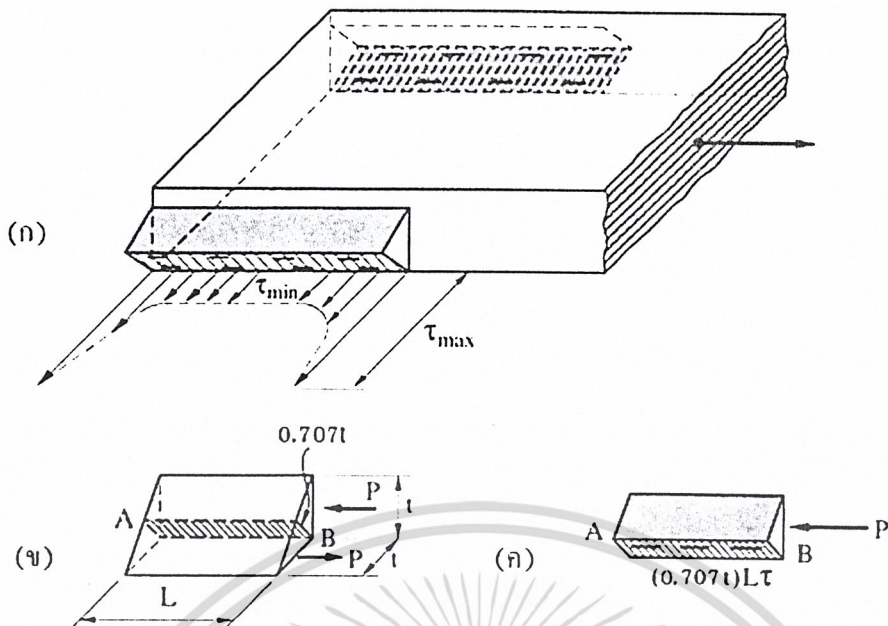


(ง) รอยเชื่อมฟิลเลต

รูปที่ 2.15 รอยเชื่อม

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

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



รูปที่ 2.16 แสดงความเค้นเฉือนในรอยเชื่อม

ความเค้นเฉือนในรอยเชื่อมแสดงในรูปที่ 2.16 (ก) ซึ่งมีการกระจายแบบไม่สม่ำเสมอโดยพิจารณารอยเชื่อมด้านข้าง ปกติลวดเชื่อมจะมีความเหนียว การกระจายของความเค้นเฉือนจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ รอยเชื่อมฟิลเลตปกติมักสมมติให้ขาดโดยการเฉือนบนหน้าตัด AB ซึ่งมีพื้นที่ต่ำสุดดังรูปที่ 2.16 (ข) โดยทั่วไปเรียกหน้าตัดบริเวณนี้ว่า หน้าตัดขวางรอยเชื่อม (throat) จากสมมูลของแรงที่กระทำต่อรอยเชื่อม พบว่าแรงยอมได้สูงสุด (maximum allowable load) ที่กระทำต่อรอยเชื่อมด้านข้างคือ

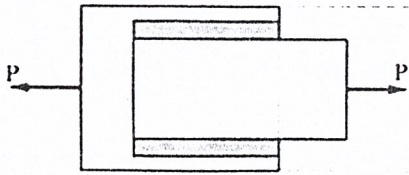
$$P = 0.707 t L \tau \quad (2.30)$$

โดยที่

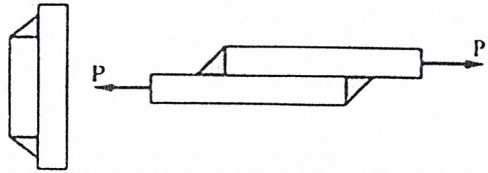
- L คือ ความยาวของรอยเชื่อมด้านข้าง
- t คือ ระยะพอกหนาซึ่งปกติสมมติให้ผิวหน้ารอยเชื่อมเป็นมุม 45°
- τ คือ ความเค้นเฉือนใช้งานในวัสดุที่เป็นรอยเชื่อม

ส่วนความต้านแรงของรอยเชื่อมแนวขวาง นั้นมีค่ามากกว่าความต้านทานแรงรอยเชื่อมด้านข้างอยู่ประมาณ 30% เมื่อพิจารณาจากขนาดของรอยเชื่อมเดียวกัน ในทางปฏิบัติจะสมมติให้ความต้านแรงรอยเชื่อมทั้ง 2 แนวภายใต้ขนาดของรอยเชื่อมเดียวกันเท่ากัน

ความเค้นใช้งานสำหรับรอยเชื่อมฟิลเลตจะกำหนดตาม AISC ซึ่งขึ้นอยู่กับลวดเชื่อม และเกรดของเหล็กที่ต้องการเชื่อม เช่น ถ้าลวดเชื่อม E-70 เชื่อม A36 steel (เป็นเกรดของเหล็กหนึ่งในงานโครงสร้างเหล็กที่ใช้กันในปัจจุบัน) กำหนด $\tau_u = 145 \text{ Mpa}$ ถ้าแทนค่าในสมการ (2.30) จะได้ว่า



(ก) รอยเชื่อมถันข้าง



(ข) รอยเชื่อมคานขวาง

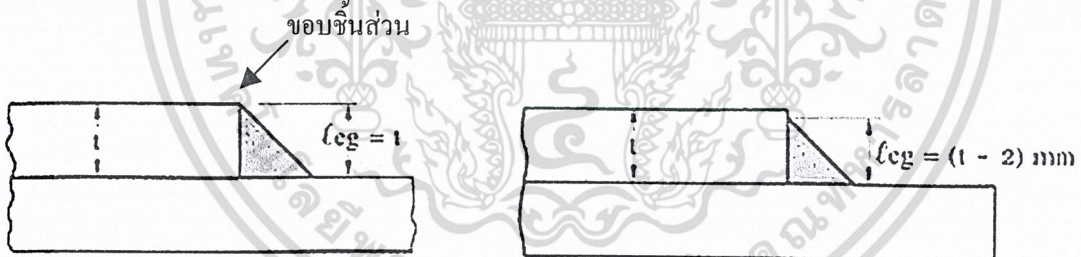
รูปที่ 2.17 รอยเชื่อมฟิลเลต

$$P = \tau A = [145 \times 10^6] [0.707tL \times 10^{-6}] = 103$$

ปกติความต้านแรงของรอยเชื่อมฟิลเลตมุม 45 องศา จะกำหนดในเทอมของแรงต้านเฉือนต่อ 1 หน่วยความยาวของรอยเชื่อม (q)

$$Q = \frac{P}{L} = 103t \quad \text{N/mm} \quad (2.31)$$

ทั้งนี้ จะใช้ t ในหน่วย mm ในสมการ (2.26)



(ก) กรณีความหนาแผ่นต่อน้อยกว่า 6 mm

(ข) กรณีความหนาแผ่นต่อเท่ากับหรือมากกว่า 6 mm

รูปที่ 2.18 ระยะพอกหนารอยเชื่อม

บทที่ 3

แผนการดำเนินงาน

3.1 แนวคิดในการออกแบบ

เครื่องพิมพ์อักษรที่สร้างขึ้นนี้อาศัยแรงแรงกดลมไปดันก้านสูบของกระบอกสูบนิวแมติกส์ให้กดชุดหัวตอกตัวอักษรที่ตั้งบนสปริง ชุดหัวตอกจะไปกระทบกับแท่งตอกตัวอักษรที่ถูกวางไว้ในชุดจับยึด เมื่อก้านสูบถอยกลับสปริงที่รองรับหัวตอกจะดันหัวตอกให้กลับสู่ตำแหน่งเดิม ดังนั้น จึงต้องคำนวณน้ำหนักของชุดตอกอักษร

3.1.1 ชุดหัวตอก

ทำหน้าที่จับยึดกระบอกสูบให้มีความมั่นคง และสามารถต้านทานแรงกระทบเมื่อก้านสูบทำงาน การจับจะจับยึดตัวกระบอกสูบด้วยสลักเกลียว ที่ด้านล่างจะติดตั้งแท่งหัวตอกที่จะกลับสู่ตำแหน่งเดิมด้วยการดันจากแรงสปริง

3.1.2 ชุดจับยึดแท่งตอกตัวอักษร

ทำหน้าที่จับยึดหัวตอก และตัวปรับตำแหน่งอักษรได้ 11 ตำแหน่ง ลักษณะของชุดจับยึดหัวตอกตัวอักษรจะเป็นแท่งโลหะคู่ที่ทำกรเซาะร่องจำนวน 11 ร่อง แล้วนำมาประกบกัน จะทำให้เกิดช่องใส่หัวตอก 11 ช่อง โดยในแผนงานจะกำหนดให้ช่องแรกเป็นช่องสำหรับใส่แท่งตอกตัวอักษรซึ่งจะต้องทำการเปลี่ยนในกรณีที่ตัวอักษรตัวเลขไม่ใช่ตัวเดิม และใน 10 ช่องที่เหลือใช้สำหรับใส่แท่งตอกตัวเลขประจำไว้ตั้งแต่ 0-9 ช่องละ 1 ตัวเลข ซึ่งที่ตัวแท่งโลหะจะทำการติดตั้งชุดล้อเลื่อนเพื่อความสะดวกในการปรับตำแหน่งแท่งตอกตัวอักษรให้ตรงกับหัวตอก โดยชุดล้อเลื่อนนี้จะสามารถเลื่อนเปลี่ยนตำแหน่งได้บนรางที่ทำคัดแปลงจากแผ่นอลูมิเนียมขึ้นรูป ซึ่งชุดล้อเลื่อนและรางเลื่อนนี้เป็นชิ้นส่วนมาตรฐานที่มีการจำหน่ายทั่วไปซึ่งหาซื้อได้ง่าย ทำให้สะดวกในการถอดเปลี่ยนในกรณีที่เกิดความเสียหาย

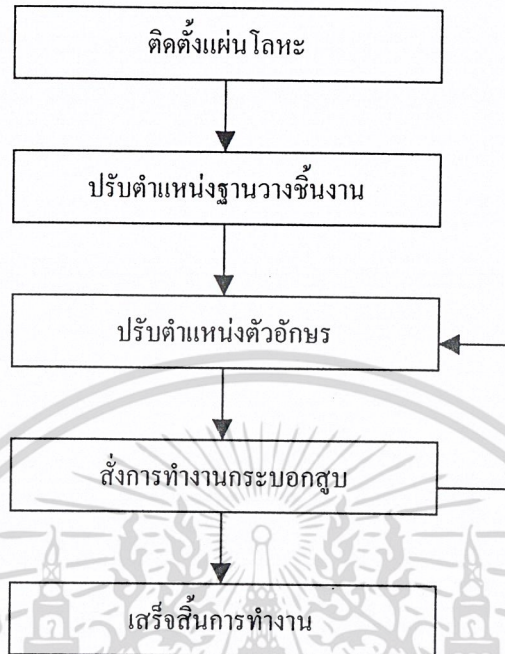
3.1.3 ชุดร่องวางแผ่นอลูมิเนียม

ทำหน้าที่จับยึดแผ่นโลหะไม่ให้เคลื่อนที่ และเป็นตัวบังคับทิศทางการไหลของแผ่นอลูมิเนียมที่จะทำการตอกตัวอักษร ทำการจับยึดด้วยการใช้แผ่นอลูมิเนียมที่มีการเจาะทำร่องสลอท (slot) และใช้สลักเกลียวเป็นตัวยึดกับแท่น ซึ่งวิธีนี้จะสามารถเลื่อนแผ่นประกบเพื่อปรับระยะให้เหมาะกับขนาดความกว้างของแผ่นอลูมิเนียมที่จะทำการตอกตัวอักษร ทำให้สามารถปรับใช้ได้กับแผ่นอลูมิเนียมที่มีความกว้างต่างกัน

3.1.5 ชุดโครงสร้างเครื่อง

ชิ้นส่วนต่างๆ ทั้งหมดจะถูกประกอบลงบนฐานเครื่องซึ่งจะทำหน้าที่รับน้ำหนักของชิ้นส่วนทั้งหมด ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีพื้นที่ใช้ที่เหมาะสมและสมดุลกับชุดรางเลื่อน

3.2 หลักการทำงานของเครื่องพิมพ์ตัวอักษร



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังลำดับการทำงาน

3.3 การคำนวณหาน้ำหนักชุดกด

ความหนาแน่นของเหล็ก $\rho = 7612 \text{ kg/m}^3$
 จาก $\rho = \frac{m}{v}$ เมื่อ v คือปริมาตร (m^3), m คือมวล (kg)
 ดังนั้น $m = \rho v$

ใช้คอมพิวเตอร์คำนวณได้ค่า $V = 1384798.4507 \text{ mm}^2$
 $= 1384798.4507 \text{ m}^2$

มวล $m = 7612 \times 1384798.4507 \times 10$

$M = 10.54 \text{ kg}$

น้ำหนักชุดกด $W = 10.54 \times 9.81$

$W = 103.40$

ซึ่งแรง 103.40 N นี้จะกดลงบนสปริง 2 ตัว ทำให้สปริงได้รับแรงกดในสภาวะที่ก้านสปริงไม่ค้ำงาน และสปริงแต่ละตัวจะได้รับแรงกดเฉลี่ยคือ

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

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

ดังนั้นจะนำค่านี้ไปออกแบบสปริง



บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

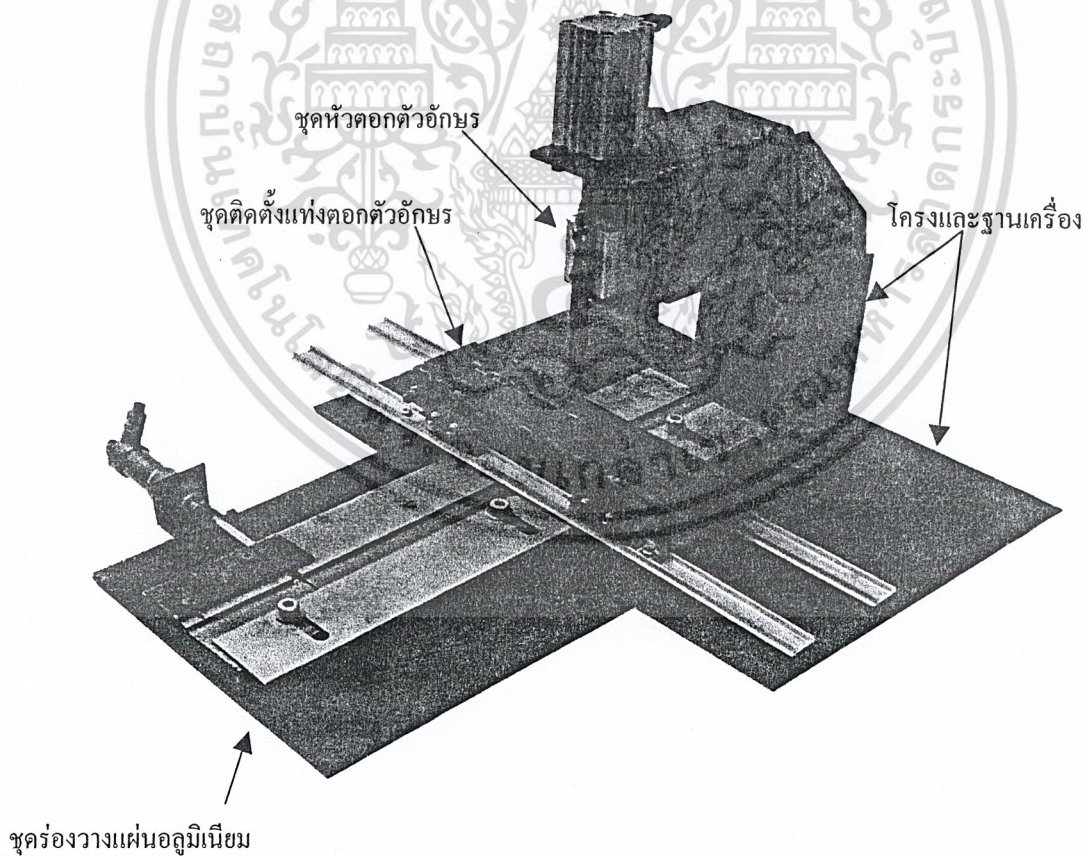
4.1 ผลการดำเนินงานด้านโครงสร้างเครื่องพิมพ์ตัวอักษร

4.1.1 โครงสร้างเครื่องพิมพ์ตัวอักษร

การดำเนินงานการสร้างโครงสร้างของเครื่องนั้นได้จากการคำนวณและการออกแบบ ชุดของโครงสร้างนั้นจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก ดังนี้

- โครงและฐานเครื่อง
- ชุดหัวตอกตัวอักษร
- ชุดติดตั้งแท่งตอกตัวอักษร
- ชุดร่องวางแผ่นอลูมิเนียม

ชิ้นส่วนทั้งหมดจะประกอบเข้าด้วยกันกับส่วน โครงและฐานเครื่องด้วยการใช้สกรูยึด และ โครงเครื่องจะถูกประกอบเข้ากับฐานเครื่องด้วยการเชื่อมประสาน ดังแสดงในรูปที่ 4.1

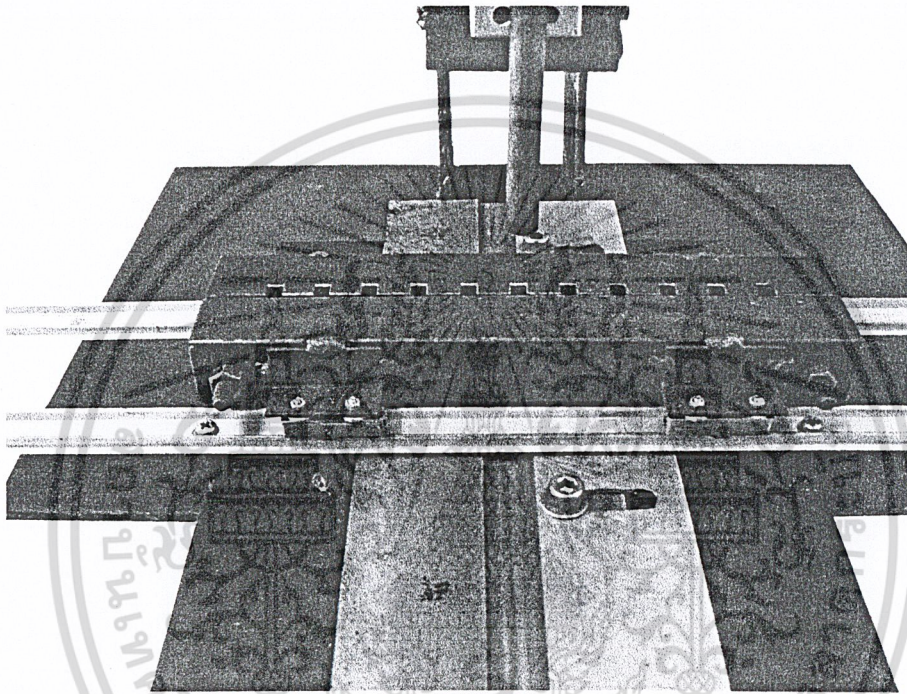


รูปที่ 4.1 โครงสร้างเครื่องพิมพ์ตัวอักษร

4.2 ผลการดำเนินงานด้านชุดยึดตัวอักษรและตัวกำหนดตำแหน่ง

4.2.1 ชุดหัวตัวอักษรและการกำหนดตำแหน่งตัวอักษร

- หัวตอกที่รับแรงจากกระบอบอกสูบ
- แท่งประกบตัวอักษรมีจำนวน 2 ชั้น ยึดด้วยสลึง
- ชุดรางเลื่อน



รูปที่ 4.2 ชุดกำหนดตำแหน่งตัวอักษรและชุดพิมพ์ตัวอักษร

4.3 ผลการดำเนินงานด้านชุดควบคุมกระบอบอกสูบและการทำงาน

4.3.1 ชุดควบคุมการทำงานกระบอบอกสูบ

ชุดควบคุมกระบอบอกสูบจะใช้โซลินอยล์ 5/2 เป็นตัวควบคุมกระบอบอกสูบให้ทำงาน โดยใช้สวิตช์กดสอง มือพร้อมกันเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน และแรงดันจะสามารถปรับค่าตามความต้องการ โดยการใช้เกจปรับความดัน

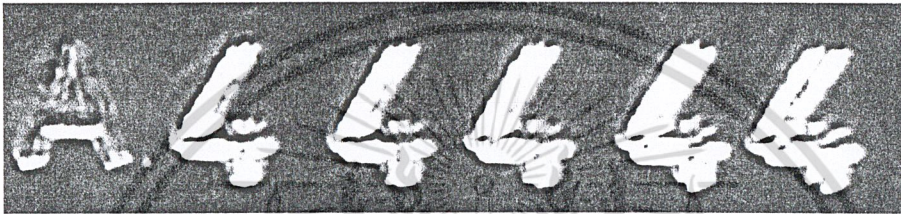
4.4. ผลการทดลอง

การทดลองตอกตัวอักษรบนแผ่นอลูมิเนียม ได้ทำการกำหนดองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

- แผ่นอลูมิเนียมขนาด กว้าง 9 มิลลิเมตร ขาว 30 มิลลิเมตร หนา 0.3 มิลลิเมตร
- รหัสตัวอักษรที่ใช้ทดลองคือ A 4 4 4 4 4
- ตั้งความดันลมไว้ที่ 6 บาร์

ผลจากการทดลอง

ชิ้นงานเมื่อผ่านการตอกตัวอักษรจะมีลักษณะเป็นรูปตัวอักษรตามความต้องการ และมีความลึกตามความต้องการ ส่วนในความลึกนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าแรงดัน ความลึกที่เหมาะสมจะใช้ความดัน 6 บาร์



รูปที่ 4.3 ภาพขยายชิ้นงานตัวอย่างที่ได้หลังการพิมพ์ตัวอักษร

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ผลจากการทดลองการพิมพ์ตัวอักษรบนแผ่น โลหะผลที่ได้ตัวอักษรจะมีลักษณะเป็นรูปตัวอักษรซ้อนกันเป็นบาง ตัวอักษร ส่วนใหญ่จะเกิดกับตัวอักษรตัวแรกในการพิมพ์ตัวอักษรครั้งแรก เพราะว่าเมื่อชุดพิมพ์ได้รับแรงจากกระบอกสูบ ชุดพิมพ์ตัวอักษรจะเคลื่อนที่กระทบกับแผ่น โลหะหรือแผ่นขึ้นงานเกิดเป็นตัวอักษรตัวแรกและชุดพิมพ์ตัวอักษรสามารถที่จะสะท้อนกลับและกลับมาพิมพ์ตัวอักษรบนแผ่น โลหะอีกครั้งในตำแหน่งถัดไป จึงเกิดตัวอักษรตัวเดียวกันสองครั้งในตำแหน่งต่างกันในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งครั้ง เนื่องจากว่าชุดพิมพ์ตัวอักษรจะรองรับด้วยสปริงและสปริงจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดตัวอักษรซ้อนกัน

5.2 วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

ผลจากการทดลองจะพบว่าเครื่องพิมพ์ตัวอักษรจะสามารถทำการสรุปผลได้ดังนี้

- ชุดกำหนดตำแหน่งตัวอักษรและชุดพิมพ์ตัวอักษรตรงตามทีออกแบบไว้
- ชุดโครงสร้างตรงตามทีออกแบบไว้
- ชุดควบคุมกระบอกสูบสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องพิมพ์ตัวอักษรได้
- แผ่นขึ้นงานสามารถยอมรับได้
- ชุดกำหนดตำแหน่งตัวอักษรไม่สามารถที่จะถืออยู่ในตำแหน่งที่แน่นอนได้

5.3 แนวทางการพัฒนา

- ออกแบบการปรับตำแหน่งตัวอักษรด้วยการ ใช้การหมุนของแท่งสกรูที่ควบคุมด้วยมอเตอร์ ซึ่งจะช่วยให้ชุดติดตั้งแท่งตอกตัวอักษรมีความมั่นคงกว่า
- ออกแบบการชุดควบคุมระยะห่างระหว่างตัวอักษรเพื่อให้รอยตัวอักษรที่เกิดจากการตอกบนแผ่นอลูมิเนียมมีระยะห่างที่สม่ำเสมอ
- ออกแบบการควบคุมการเคลื่อนเข้าออกของแผ่นประกบที่ใช้ปรับตามความกว้างของแผ่นอลูมิเนียมที่จะทำการตอกตัวอักษรให้สามารถปรับระยะได้จากการปรับแต่งเพียงจุดเดียวซึ่งจะสะดวกกว่า เนื่องจากตามแบบเดิมจะต้องทำการปรับแต่งถึง 3 จุด

บรรณานุกรม

1. กลศาสตร์ของวัสดุ , รศ. มนตรี พิรุณเกษตร
2. การออกแบบเครื่องจักรกล , ดร. วริทธิ์ อึ้งภากรณ์
3. ทฤษฎีการดึงขึ้นรูปลึก , สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ
4. การออกแบบแม่พิมพ์, ชาญชัย ทรัพย์ากร, ประสิทธิ์ สวัสดิ์สรรพ, วิรุฬ ประเสริฐวรนนท์.

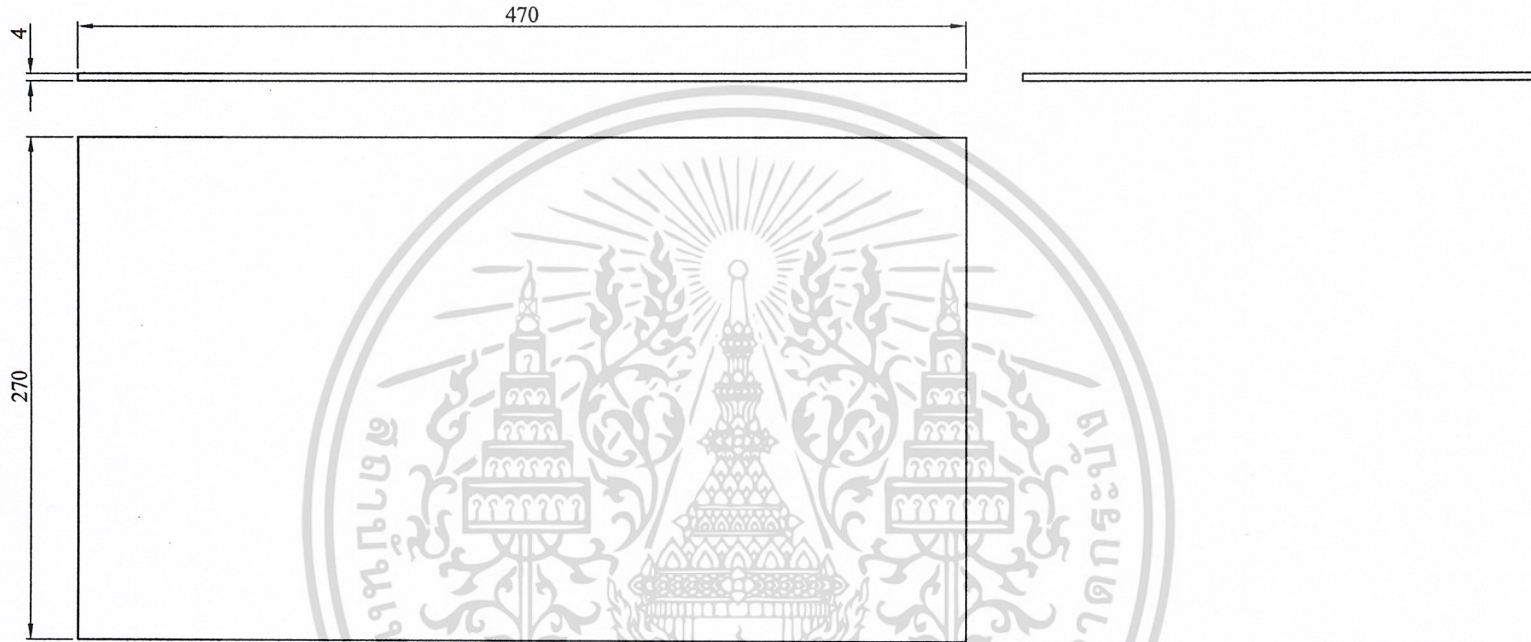


ภาคผนวก

แบบทางวิศวกรรมเครื่องพิมพ์ตัวอักษร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE

A_001

DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION
APPROVED BY		1:4	Marking Machine
DATE		DRAWING NO.	01/28



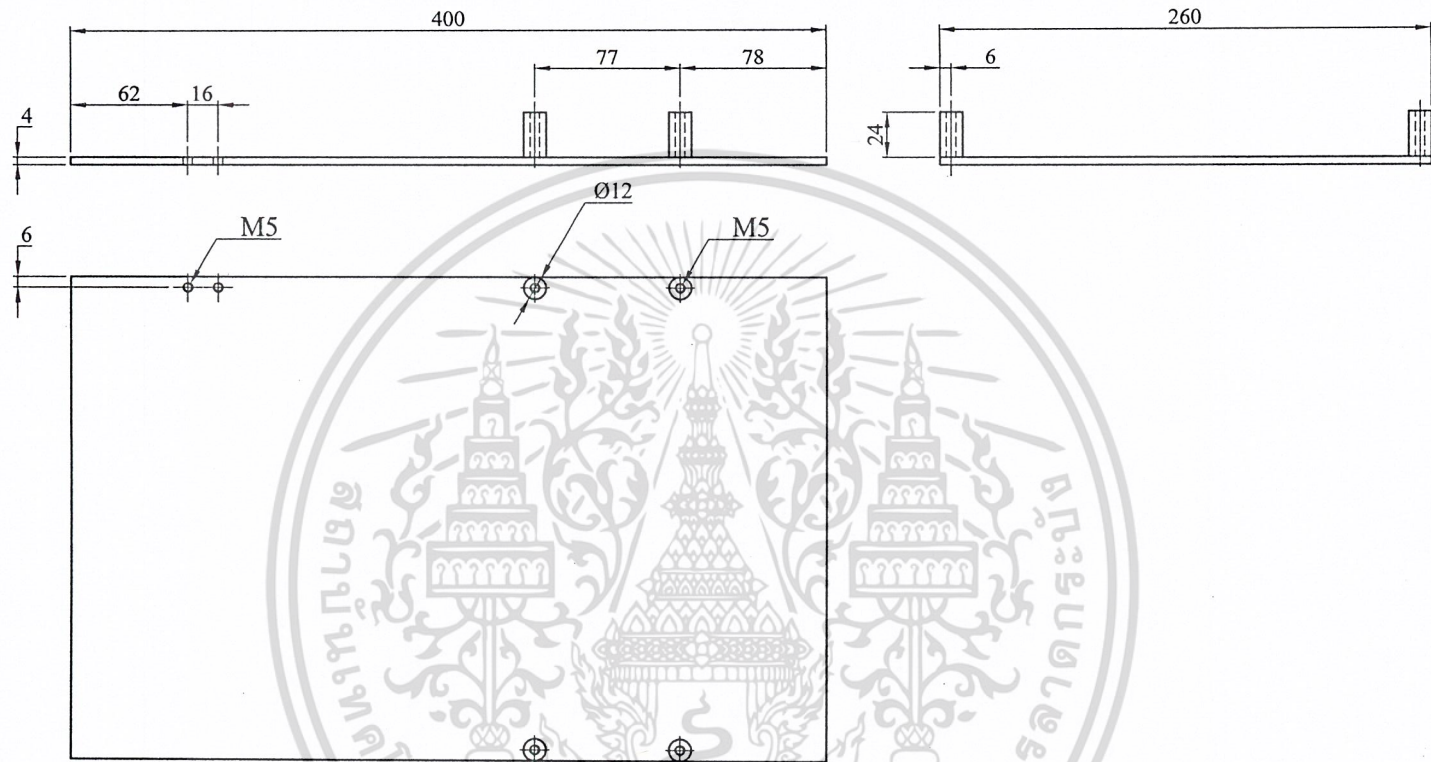
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE

A_001 isometric

DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION
APPROVED BY		1:4	Marking Machine
DATE		DRAWING NO.	02/28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE			
A_002			
DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS Millimeters	
CHECKED BY		SCALE 1:4	PROJECTION Marking Machine
APPROVED BY			
DATE		DRAWING NO.	03/28

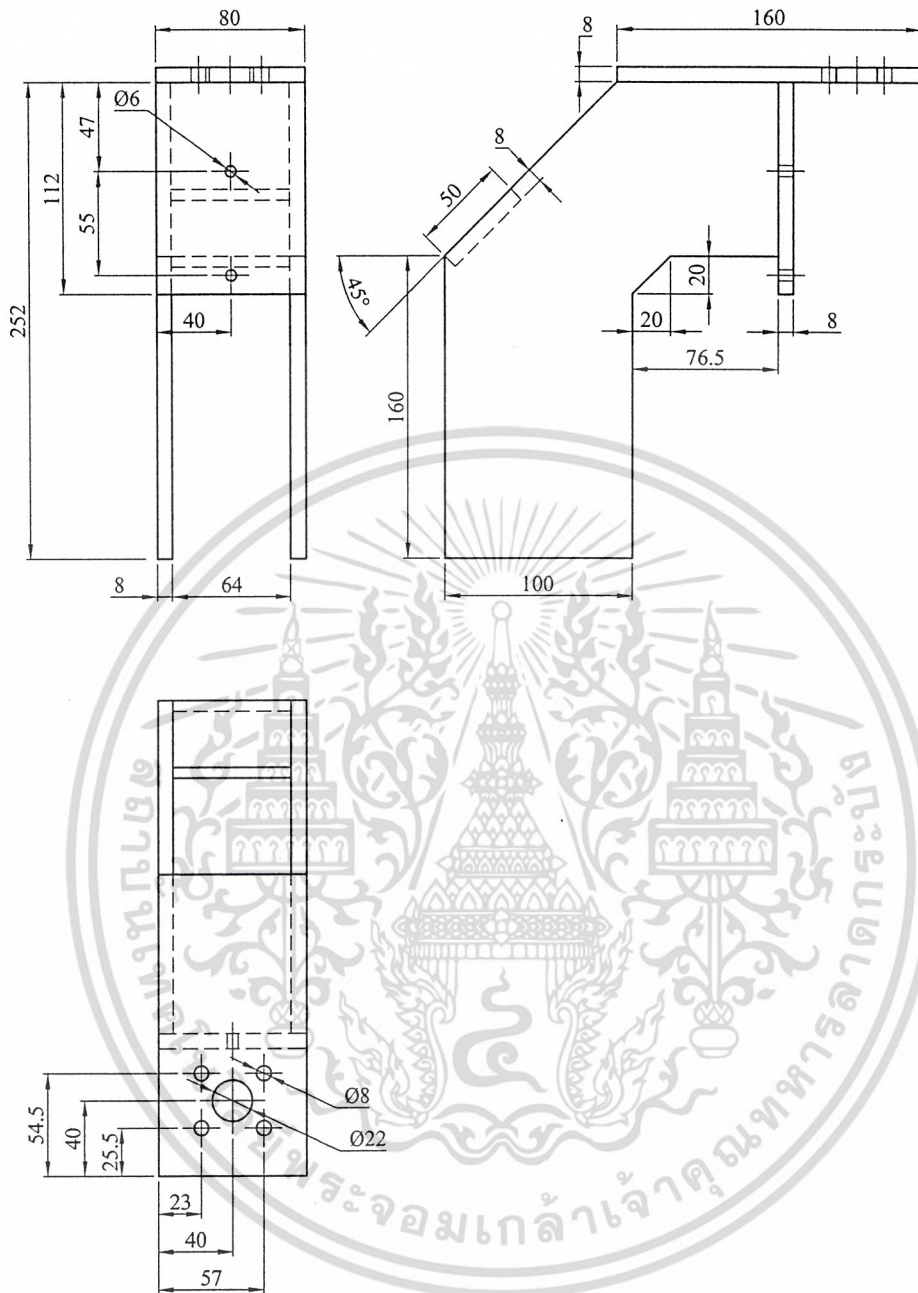


King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE A_002 isometric

DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION
APPROVED BY			
DATE		DRAWING NO.	04/28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



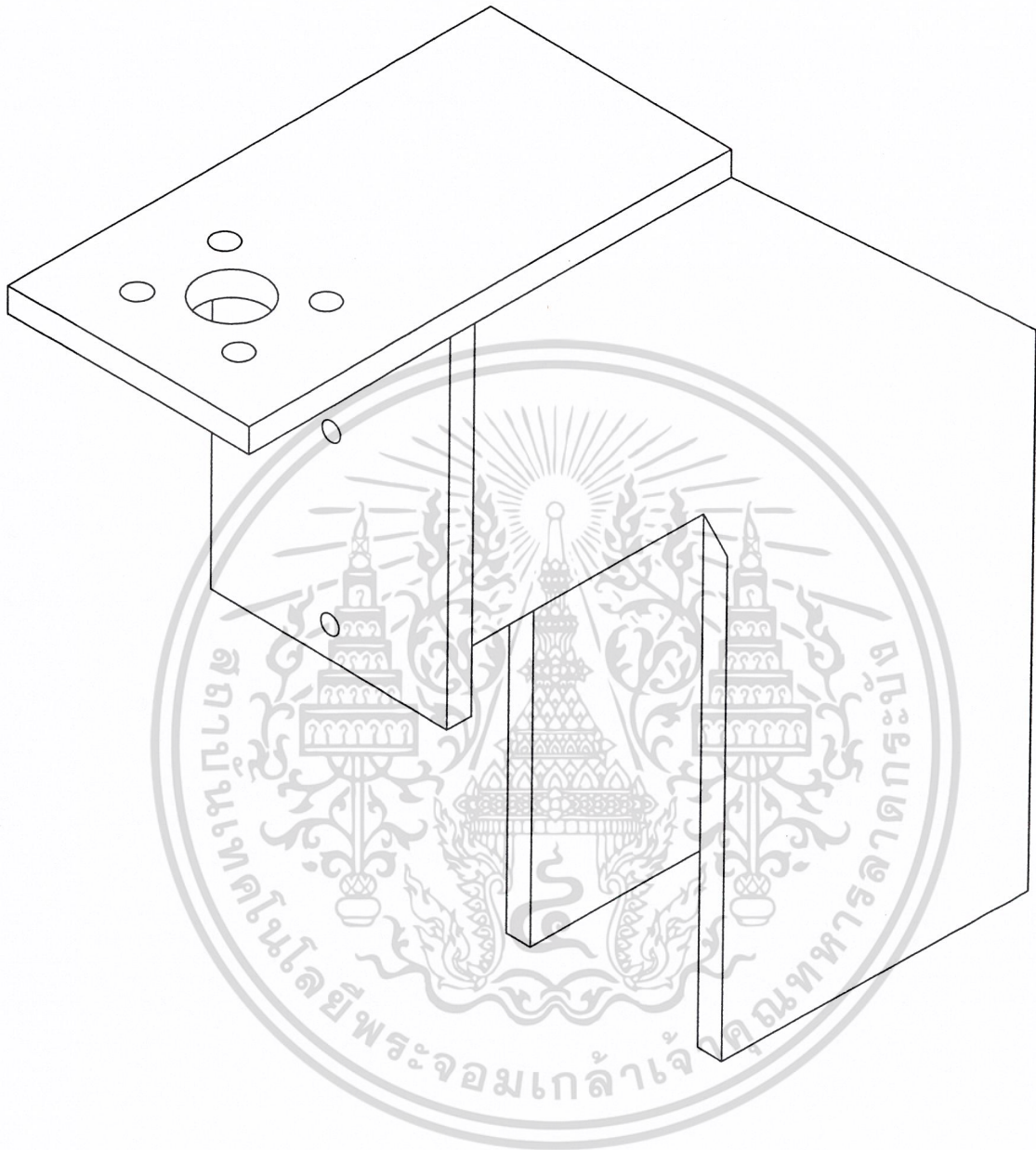
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE

A_003

DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION
APPROVED BY		1:4	Marking Machine
DATE		DRAWING NO.	05/28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

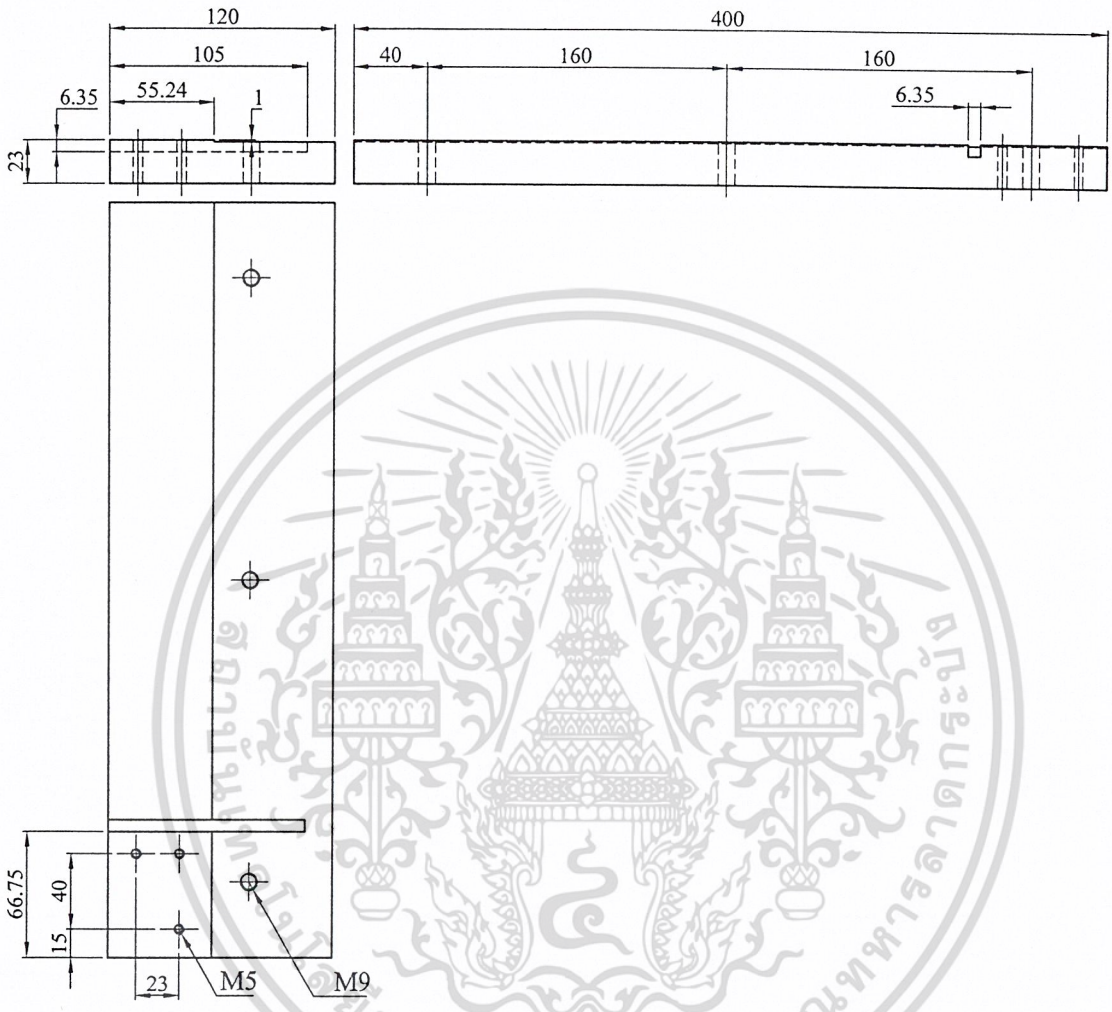


King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE A_003 isometric

DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION
APPROVED BY		1:2	Marking Machine
DATE		DRAWING NO.	06/28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

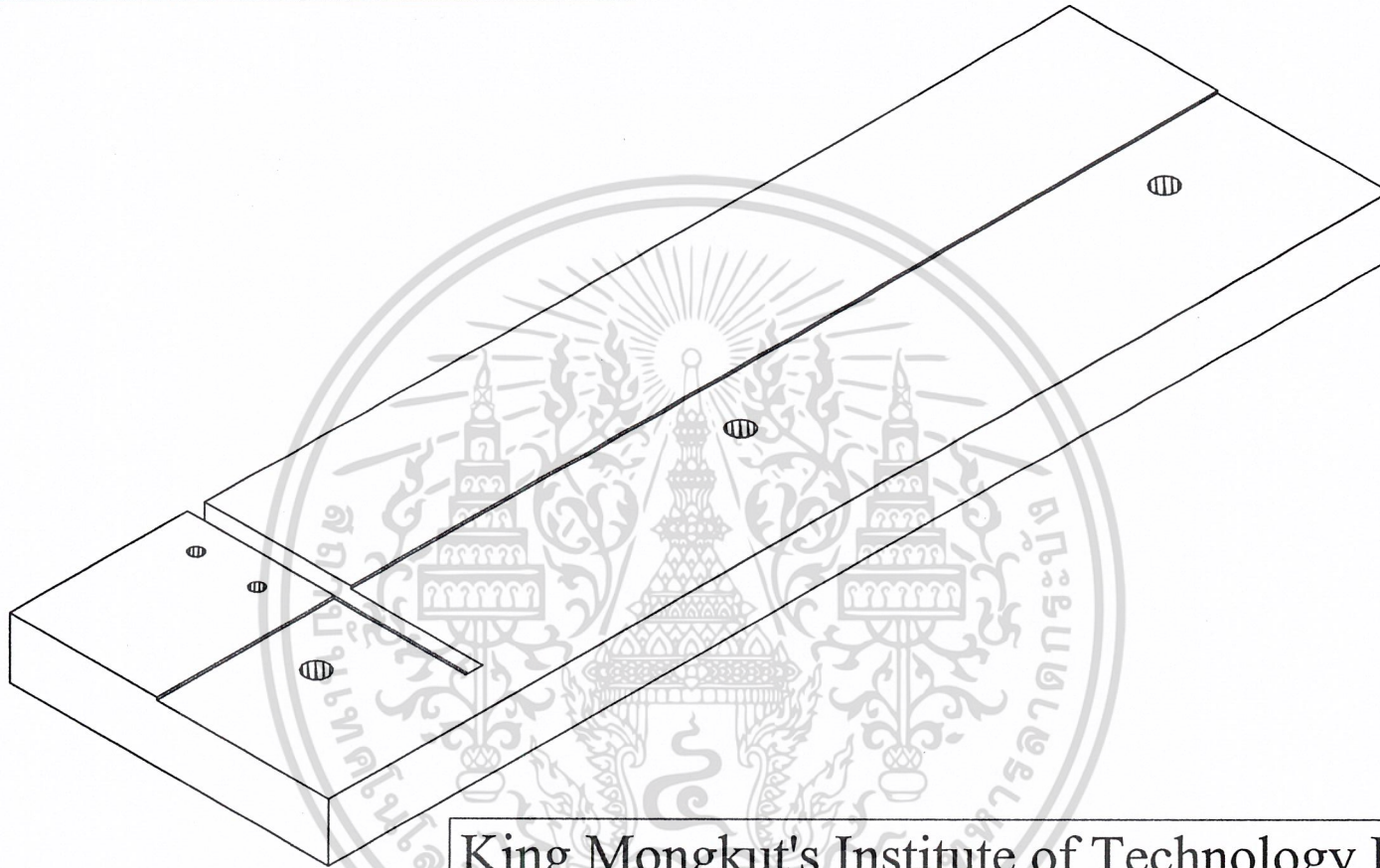


King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE A_004

DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION
APPROVED BY		1:4	Marking Machine
DATE		DRAWING NO.	07/28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

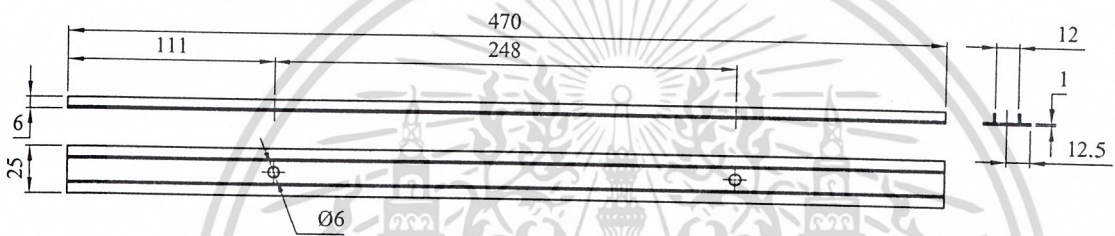


King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE

A_004 isometric

DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION
APPROVED BY		1:2	Marking Machine
DATE		DRAWING NO.	08/28



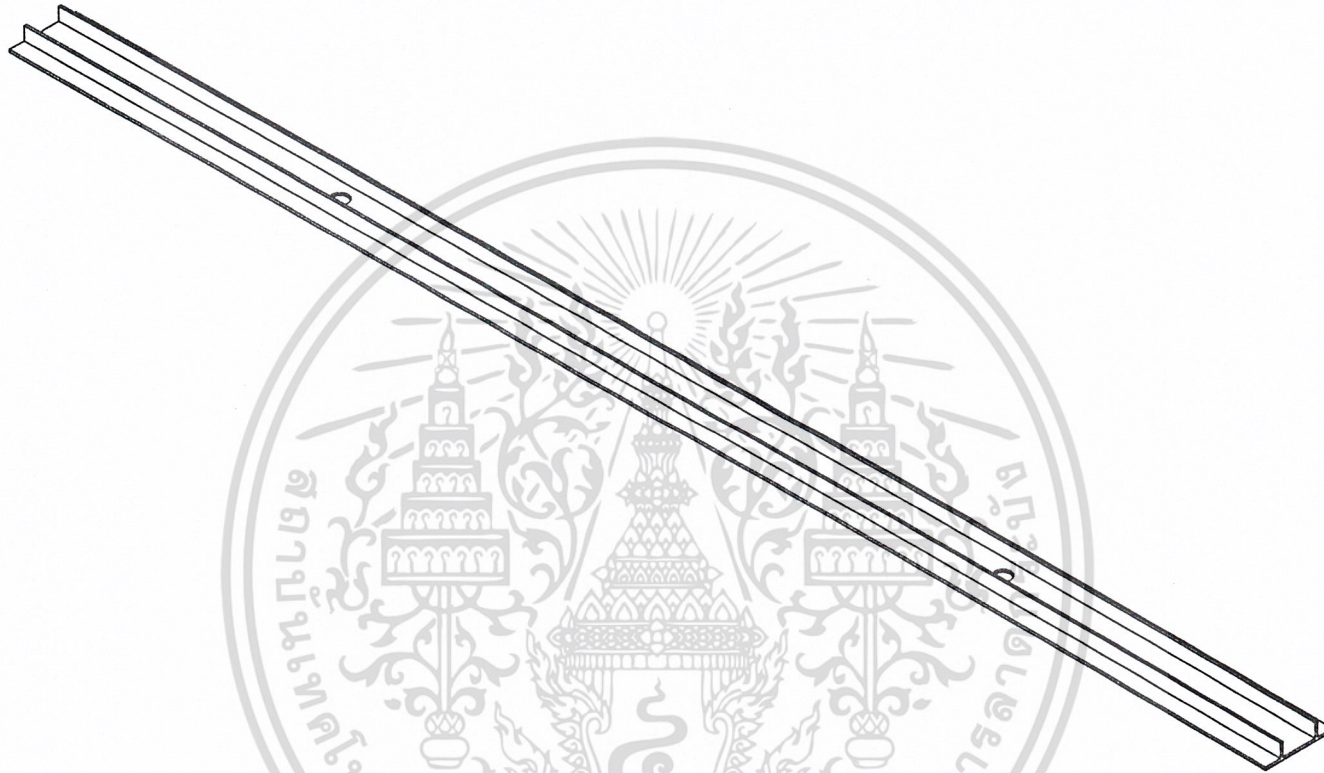
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE

A_005

DESIGNED BY	Nopparat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION
APPROVED BY		1:4	Marking Machine
DATE		DRAWING NO.	09/28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE

A_005 isometric

DESIGNED BY

Noppharat Saitri

UNITS

Millimeters

CHECKED BY

SCALE

1:2

PROJECTION

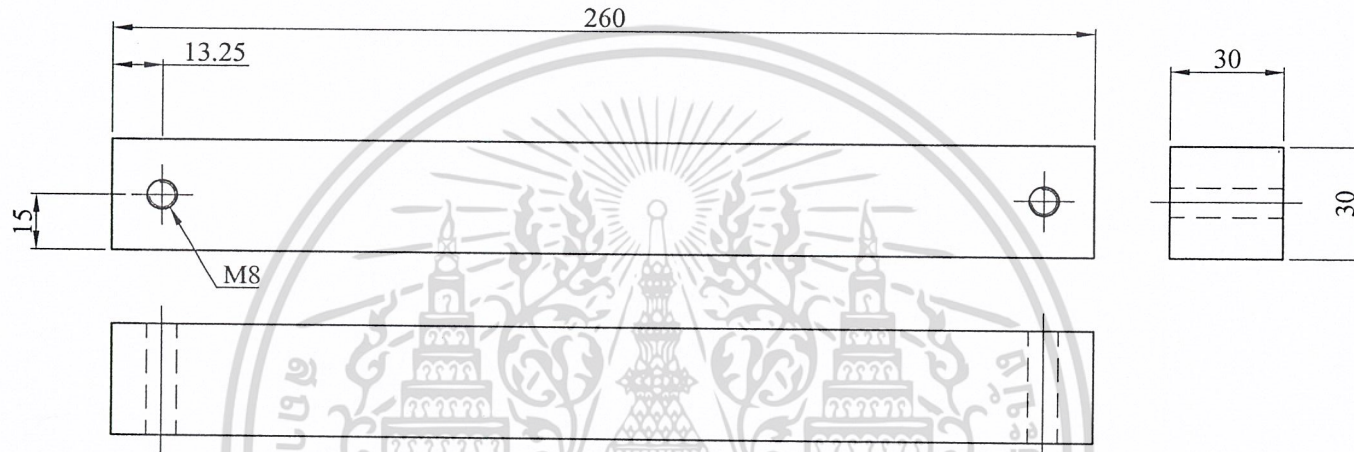
Marking Machine

APPROVED BY

DATE

DRAWING NO.

10/28



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE			
A_006			
DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION
APPROVED BY		1:2	Marking Machine
DATE		DRAWING NO.	11/28



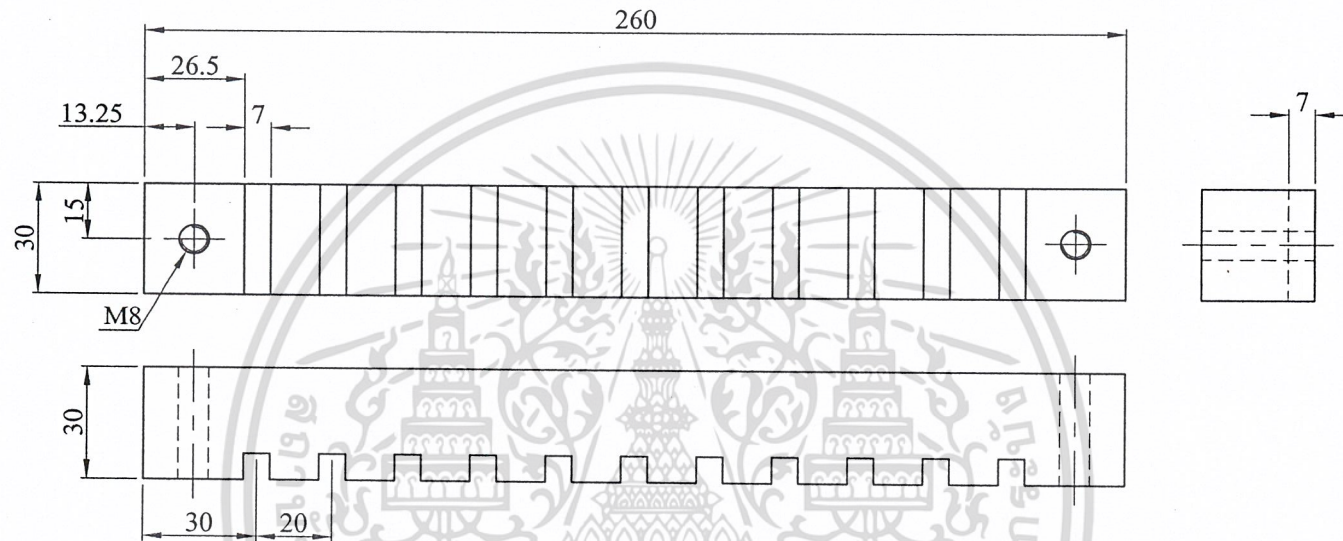
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE

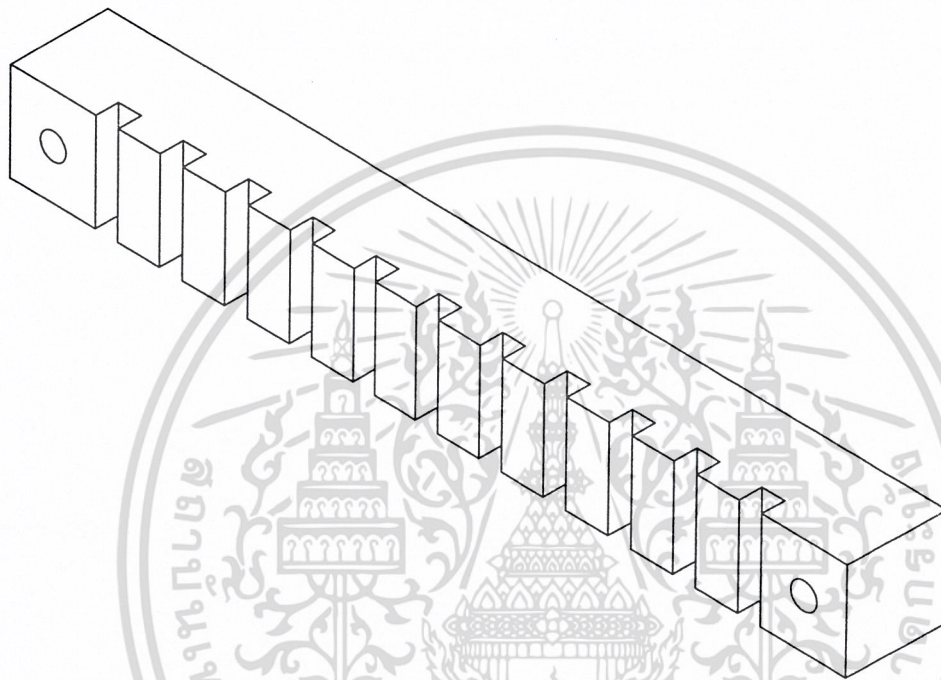
A_006 isometric

DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION
APPROVED BY		1:2	Marking Machine
DATE		DRAWING NO.	12/28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang			
TITLE			
A_007			
DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION
APPROVED BY		1:2	Marking Machine
DATE		DRAWING NO.	13/28



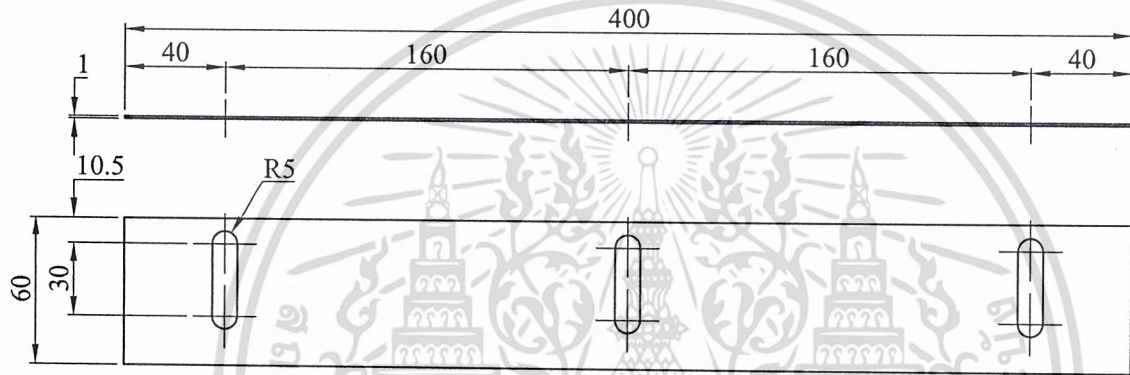
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE

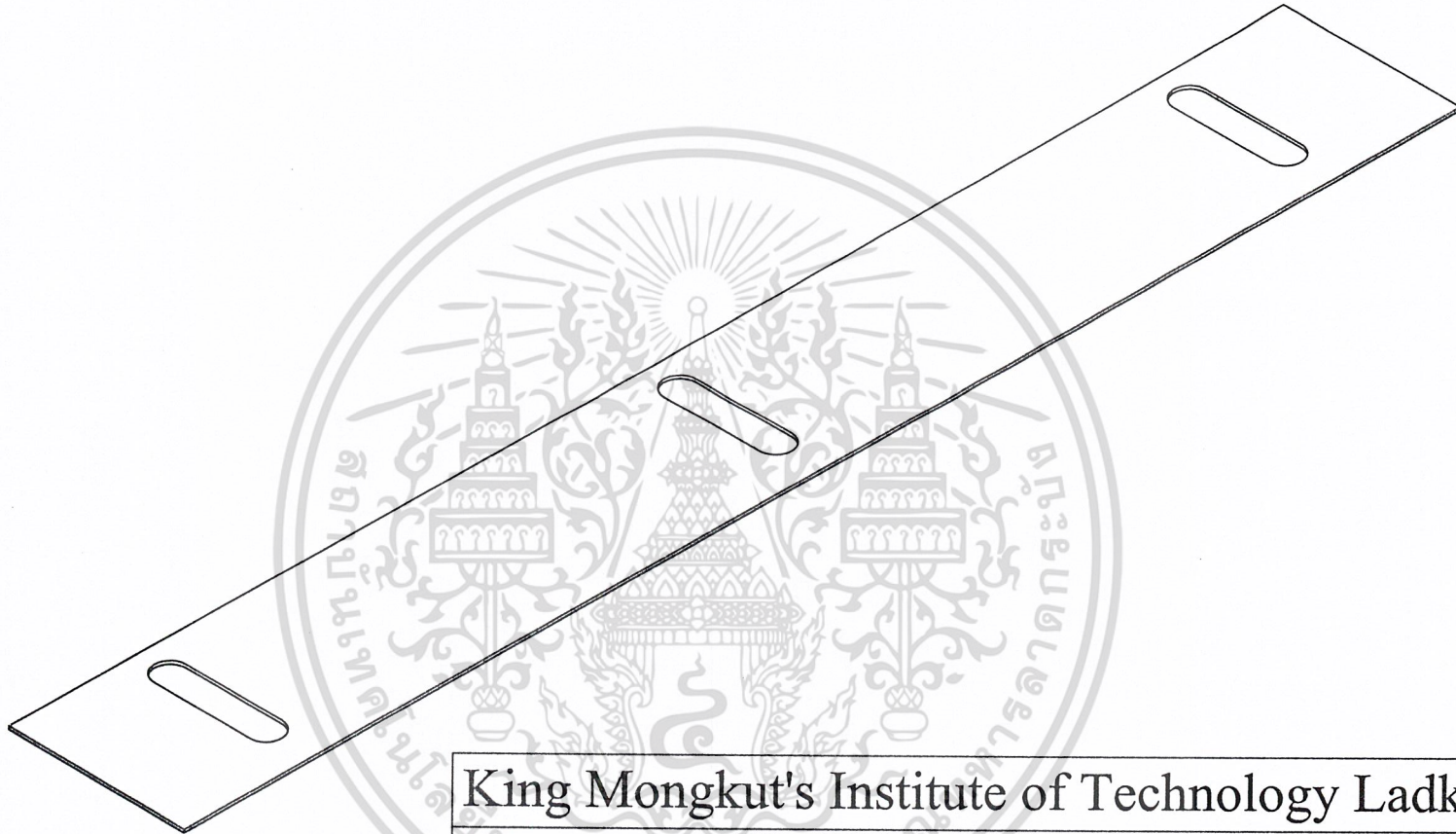
A_007 isometric

DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION
APPROVED BY		1:2	Marking Machine
DATE		DRAWING NO.	14/28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang			
TITLE			
A_008			
DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS Millimeters	
CHECKED BY		SCALE 1:3	PROJECTION Marking Machine
APPROVED BY			
DATE		DRAWING NO.	15/28



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE

A_008 isometric

DESIGNED BY

Nappharat Saitri

UNITS Millimeters

CHECKED BY

SCALE

PROJECTION

APPROVED BY

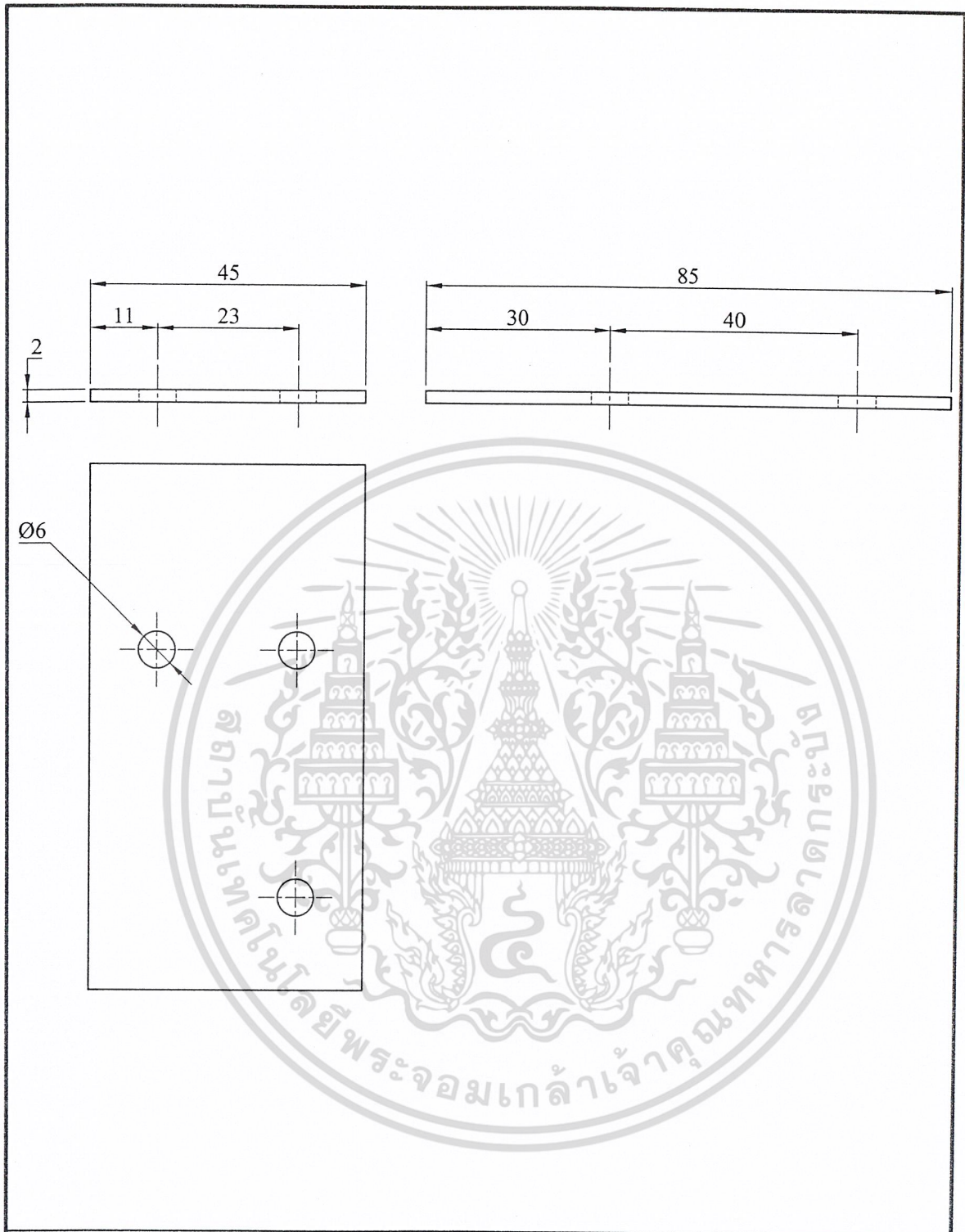
1:2

Marking Machine

DATE

DRAWING NO.

16/28



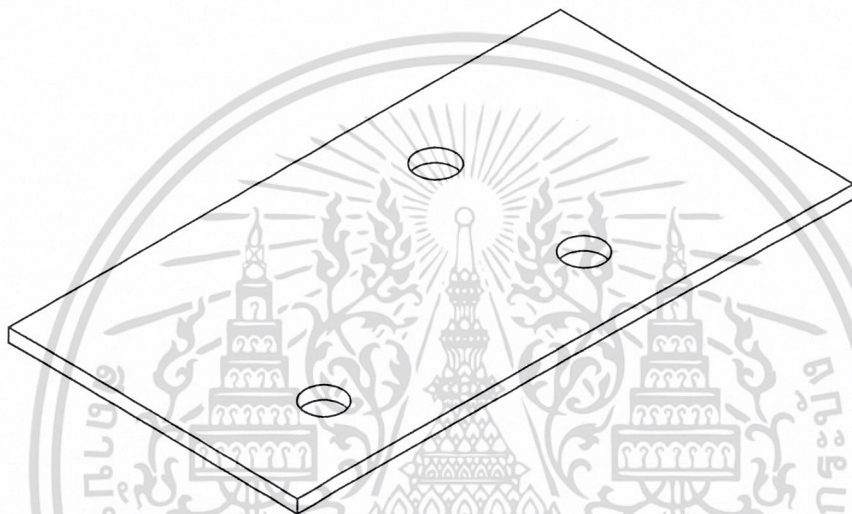
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE

A_009

DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION
APPROVED BY		1:1	Marking Machine
DATE		DRAWING NO.	17/28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

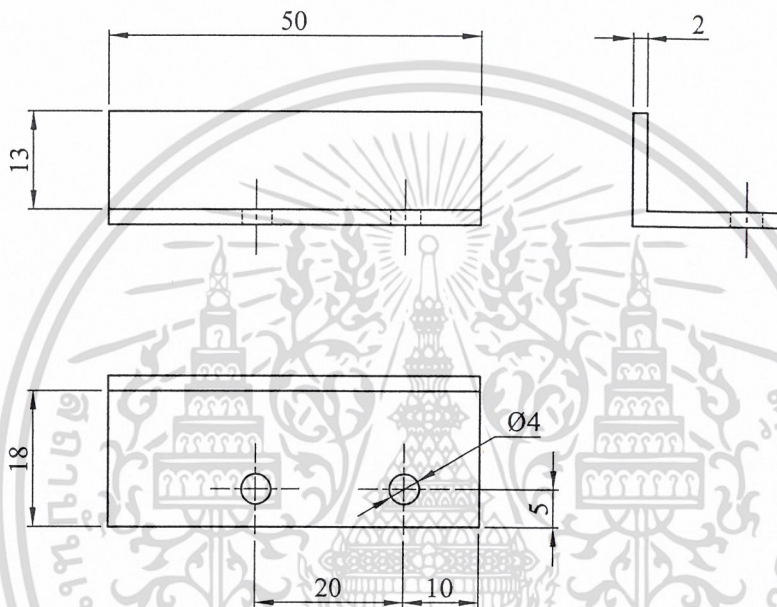


King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE A_009 isometric

DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	1:1
APPROVED BY		PROJECTION	
DATE		DRAWING NO.	18/28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



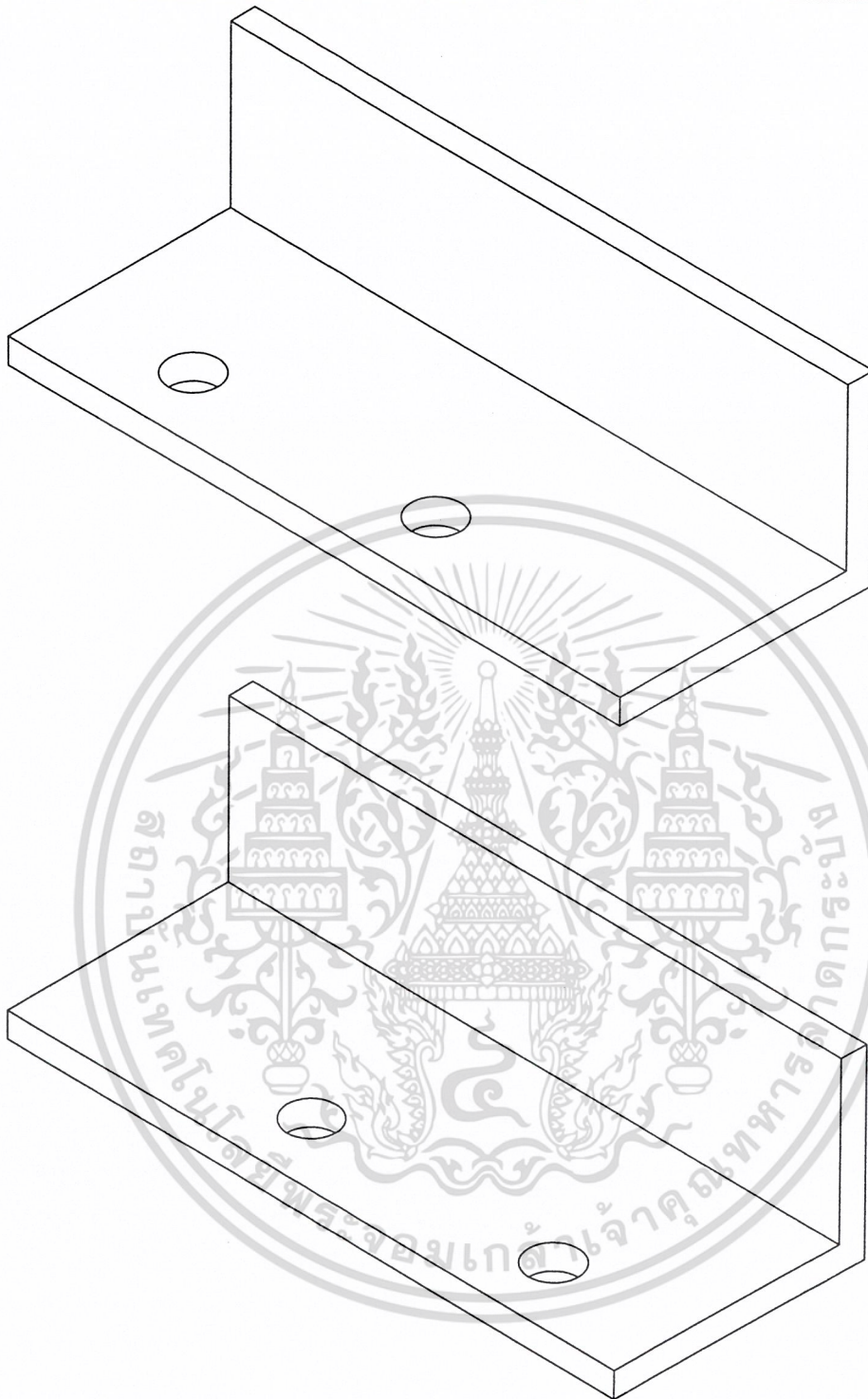
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE

A_010

DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION
APPROVED BY		1:1	Marking Machine
DATE		DRAWING NO.	19/28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



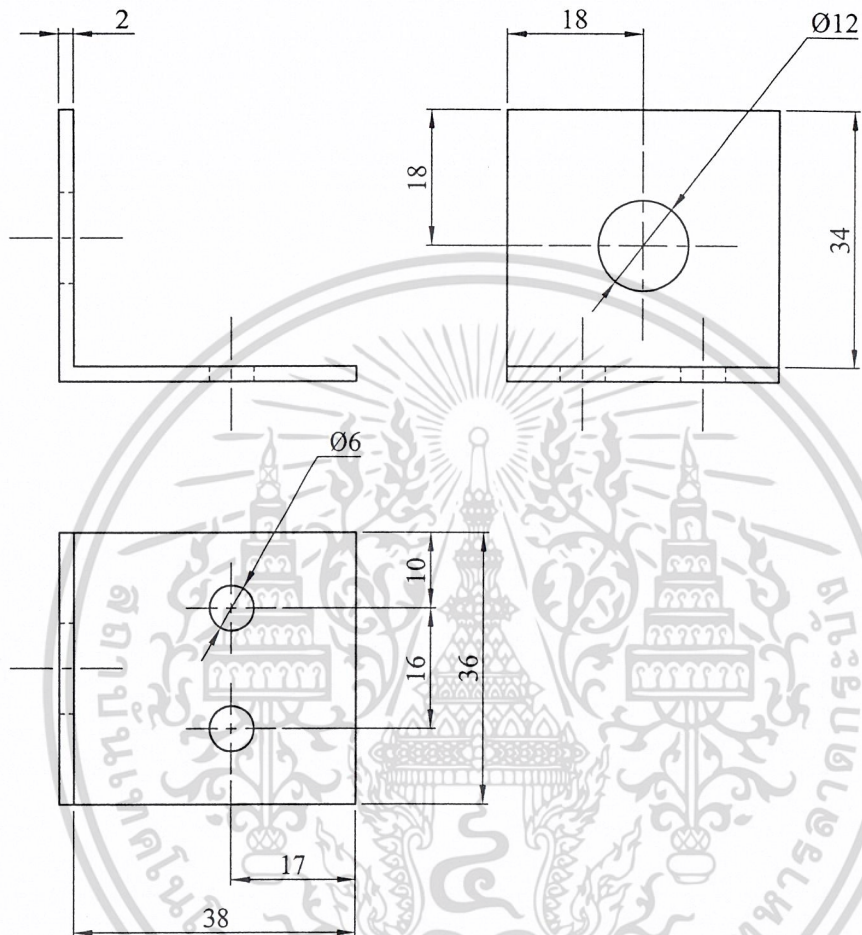
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE

A_010 isometric

DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION
APPROVED BY		2:1	Marking Machine
DATE		DRAWING NO.	20/28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



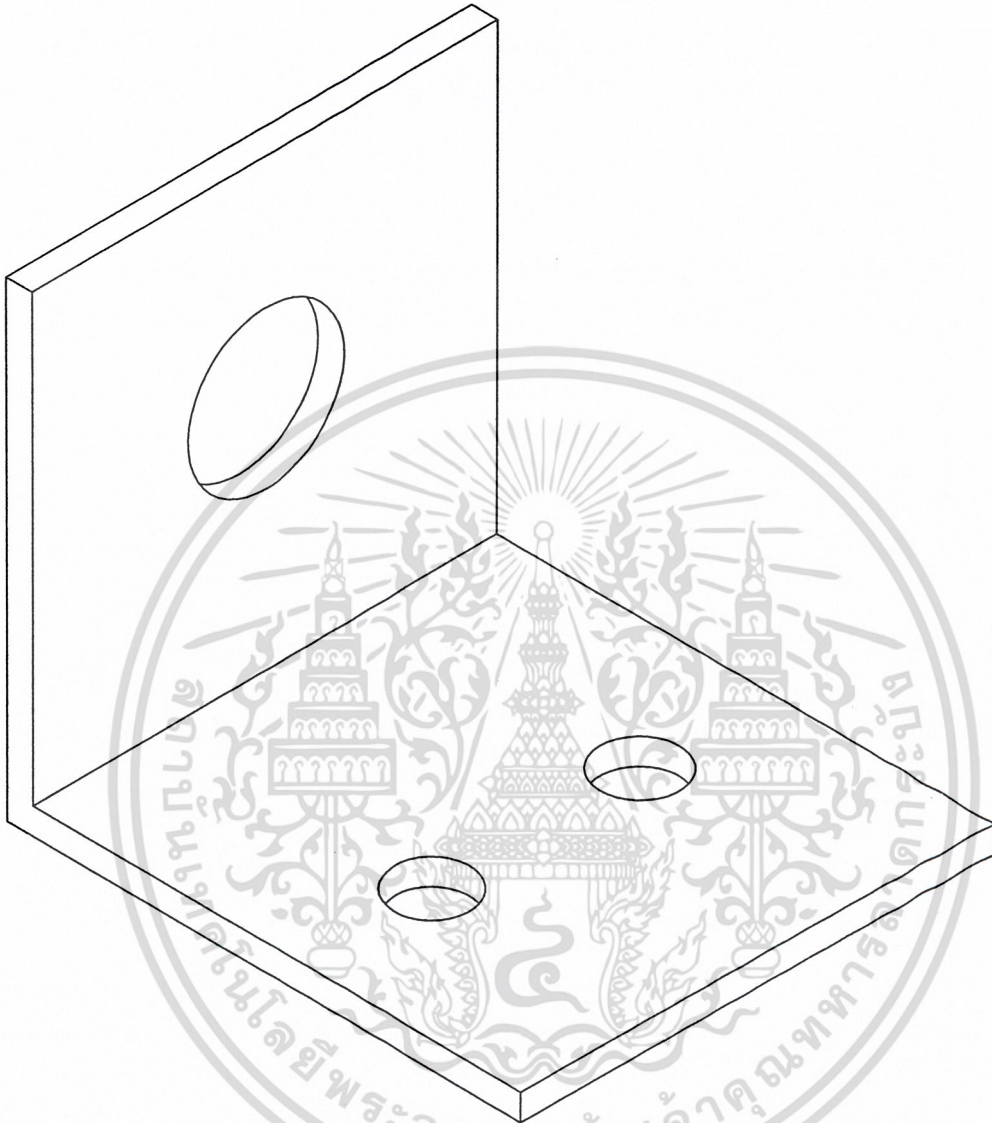
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE

A_011

DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION
APPROVED BY		1:1	Marking Machine
DATE		DRAWING NO.	21/28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

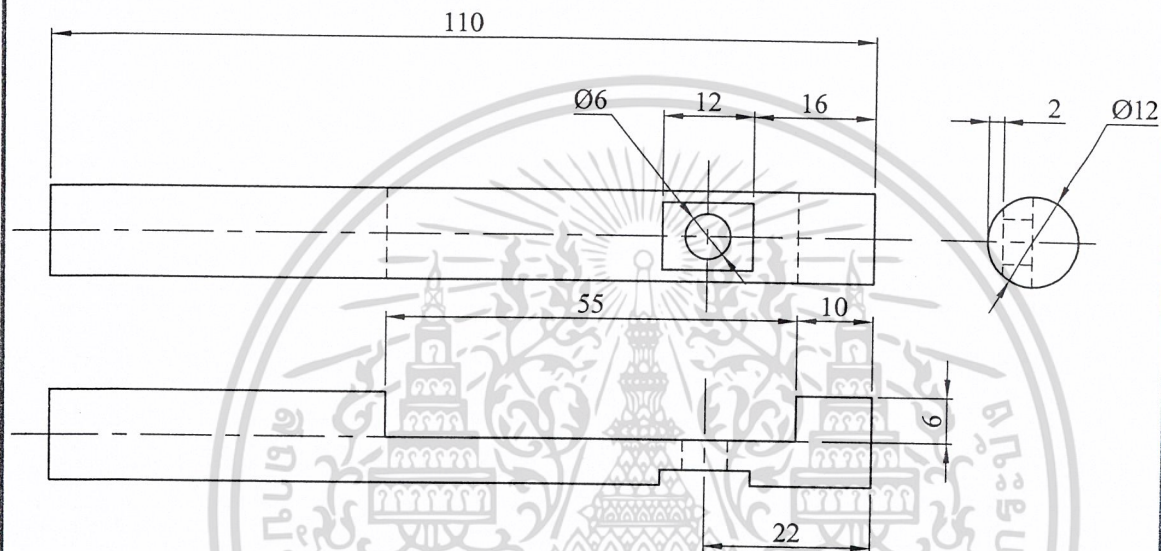


King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE A_011 isometric

DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	2:1
APPROVED BY		PROJECTION	
DATE		DRAWING NO.	22/28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE

A_012

DESIGNED BY

Noppharat Saitri

UNITS

Millimeters

CHECKED BY

SCALE

1:1

PROJECTION

Marking Machine

APPROVED BY

DATE

DRAWING NO.

23/28

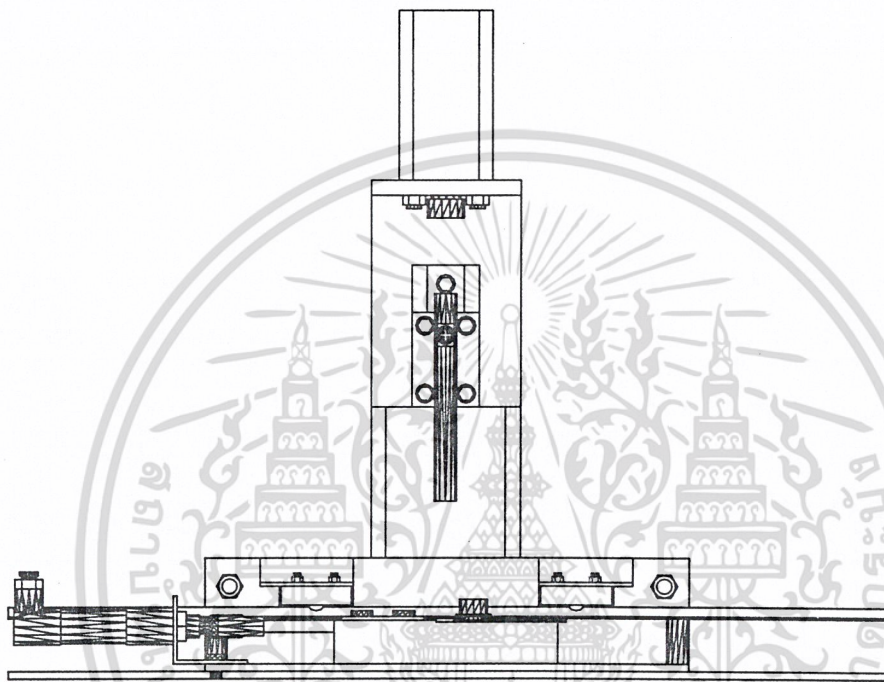
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE			
A_012 isometric			
DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION
APPROVED BY		1:1	Marking Machine
DATE		DRAWING NO.	24/28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



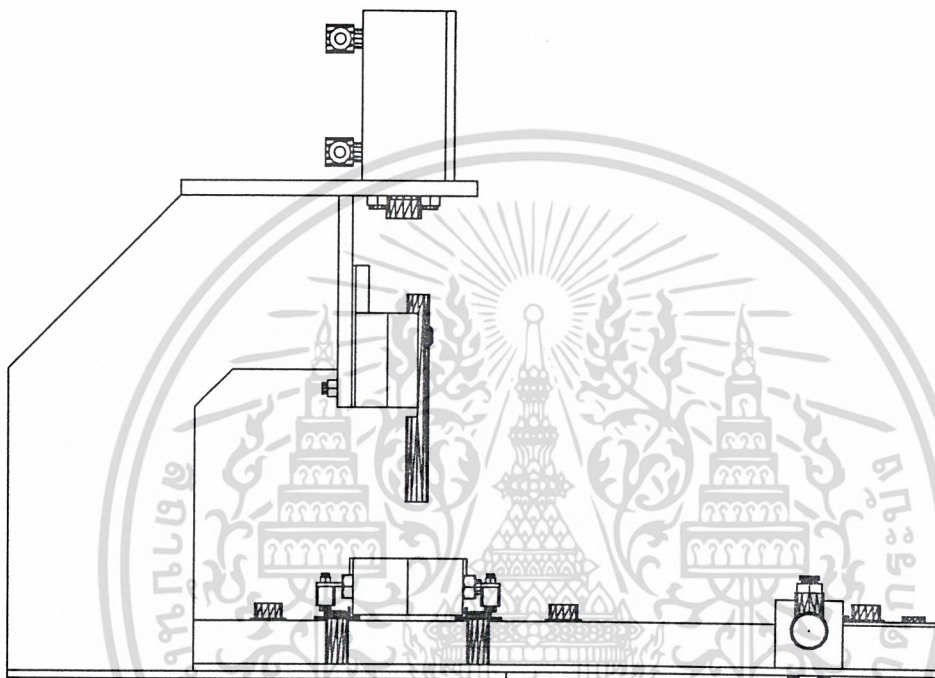
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE

Machine in fornt view

DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION Marking Machine
APPROVED BY		1:4	
DATE		DRAWING NO.	25/28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



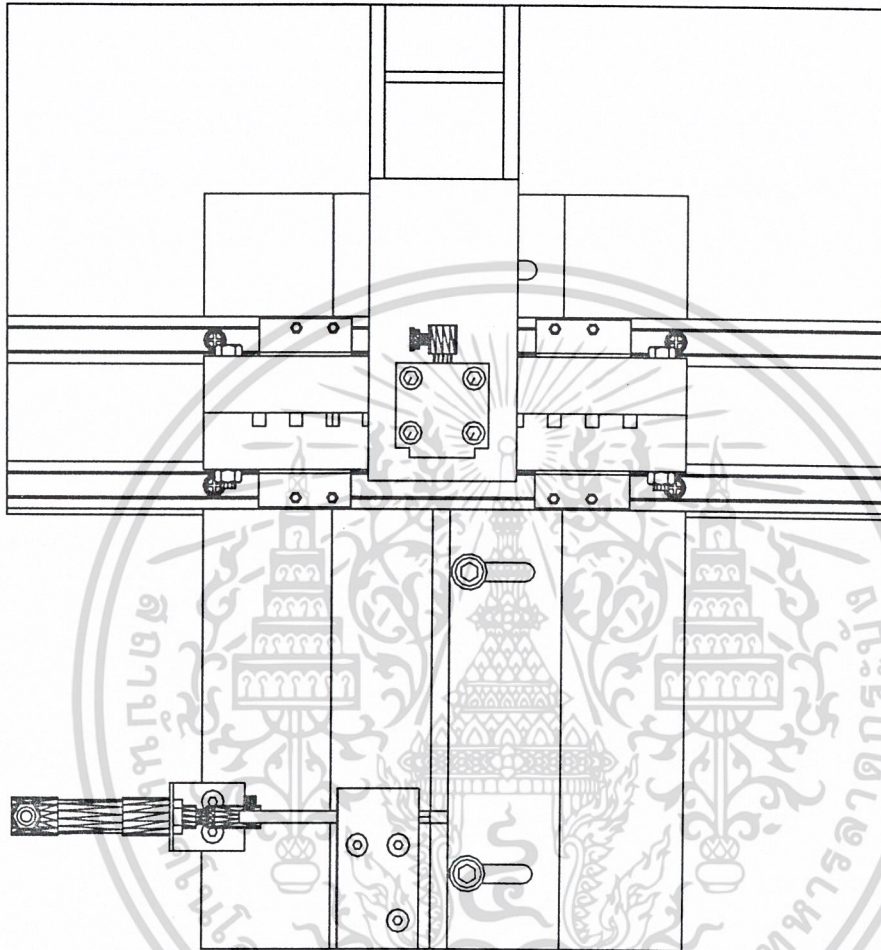
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE

Machine in side view

DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION
APPROVED BY		1:4	Marking Machine
DATE		DRAWING NO.	26/28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



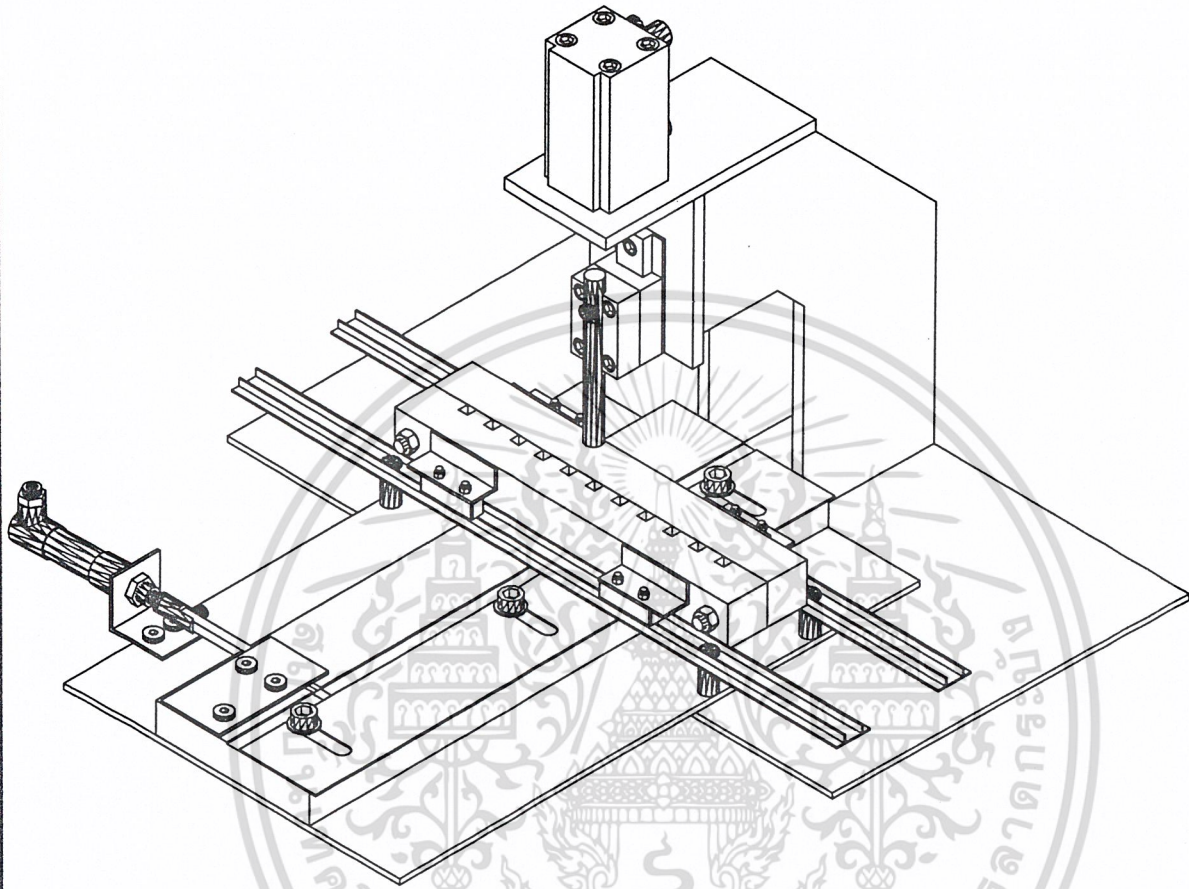
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE

Machine in top view

DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	1:4
APPROVED BY		PROJECTION	
DATE		DRAWING NO.	27/28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE

Machine in isometric view

DESIGNED BY	Noppharat Saitri	UNITS	Millimeters
CHECKED BY		SCALE	PROJECTION
APPROVED BY		1:4	Marking Machine
DATE		DRAWING NO.	28/28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 59
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้