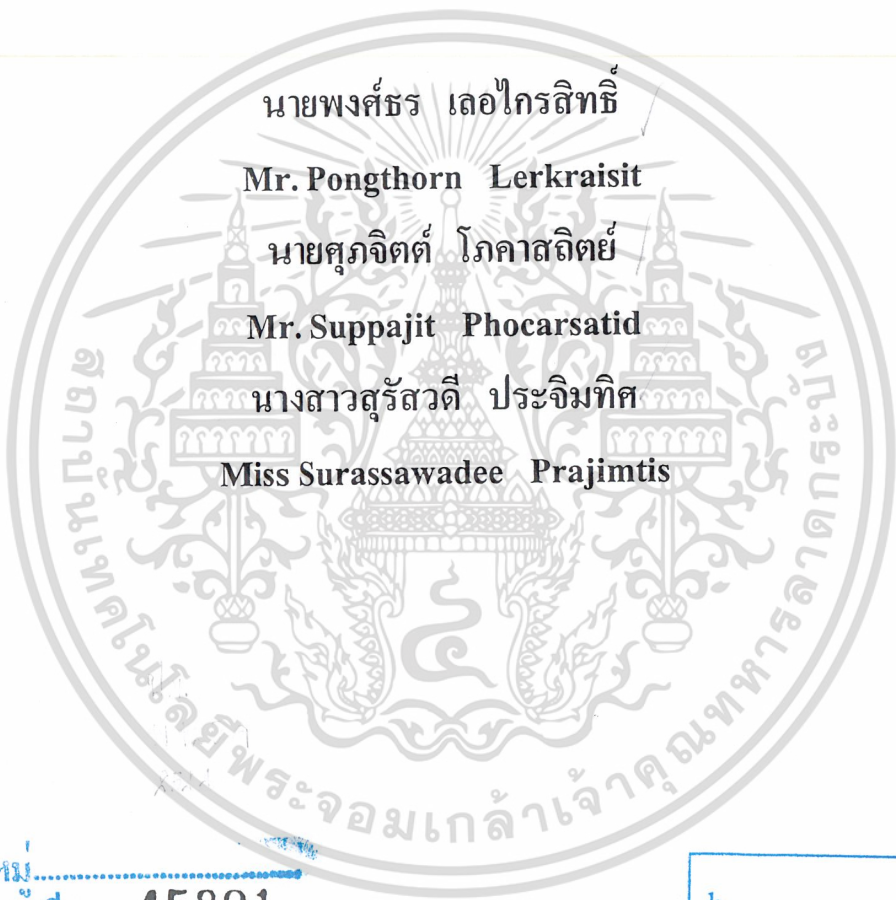


เครื่องทดสอบแรงดึง

Tensile Test Machine



นายพงศ์ธร เลอไกรสิทธิ์  
Mr. Pongthorn Lerkraisit  
นายศุภจิตต์ โภคาสติชัย  
Mr. Suppajit Phocarsatid  
นางสาวสุรัสวดี ประจิมทิศ  
Miss Surassawadee Prajintis

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 45801  
วัน, เดือน, ปี 18 ก.พ. 2546

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องทดสอบแรงดึง Tensile Test Machine
นักศึกษา	นายพงษ์ธร เลอไกรสิทธิ์
รหัสประจำตัว	41014684
นักศึกษา	นายศุภจิตต์ โภคาสถิตย์
รหัสประจำตัว	41014756
นักศึกษา	นางสาวสุรัสวดี ประจิมทิศ
รหัสประจำตัว	41014791
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2544
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องทดสอบแรงดึง
นักศึกษา	นายพงศธร เลาไกรสิทธิ์ นายศุภจิตต์ โภคาสถิตย์ นางสาวสุรัสวดี ประจิมทิส
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2544
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญาานิพนธ์	ผศ.พรศักดิ์ อรรณวนิช อ.พลชัย โชติปราชญกุล

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น โครงการงานการสร้างเครื่องทดสอบแรงดึง มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงที่มีแรงดึงสูงสุด 10 ตัน สำหรับใช้ในห้องทดลองภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ขั้นตอนในการออกแบบเริ่มจากการศึกษาเครื่องทดสอบแรงดึงแบบต่างๆ ส่วนประกอบของเครื่องทดสอบแรงดึง คุณสมบัติและราคาของอุปกรณ์ที่มีขายรวมถึงลักษณะการใช้งานของเครื่องทดสอบแรงดึงนี้เพื่อนำมาประยุกต์เป็นแบบที่เหมาะสมมากที่สุด การคำนวณโครงสร้างทำการเลือกชนิดของวัสดุและทำการกำหนดขนาดให้ตรงตามที่ต้องการด้วยหลักการทางวิศวกรรม สำหรับการจัดสร้างโครงการนี้ใช้ไฮดรอลิกเป็นส่วนต้นกำลัง การออกแบบปากจับเป็นแบบแมคเคนนิคส์ และมีการติดตั้งลิมิตสวิตซ์สำหรับการทดสอบเครื่องทดสอบแรงดึงมีการทดลองนำชิ้นงานที่เป็นวัสดุชนิดต่างๆ (เหล็กและอลูมิเนียม) มาทำการดึงทดสอบ ได้ผลเป็นไปตามที่ต้องการในขั้นตอนการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Tensile Test Machine
<b>Student</b>	Mr. Pongthorn Lerkraisit Mr. Suppajit Phocarsatid Miss Surassawadee Prajimitis
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
<b>Academic Year</b>	2001
<b>Advisor</b>	Assist. Prof. Pomsak Attavanich Pholchai Chotiprayanakul

## ABSTRACT

This thesis will cover the assembly of tensile test machines. The purpose of this project is to assemble tensile test machines, which have a maximum tensile force of 10 tons for the use in Industrial Engineering laboratories. The designing procedures will consist of many steps and the first step is to study various tensile test machines, then we have to inspect the various components needed for the machines. We also need to consider the frequency of use of the machines and for what purpose will the machines be used. We also have to analyze the various costs of the different components in order to create a cost-effective machine, as well as a highly accepted machine by the industry. Once we know all the important preliminary information, we can then calculate the dimensions of the structures. Select the most suitable components, and create a machine of perfect size according to the industry's needs. Another thing we need to consider is whether we should produce our own components or purchase components from outside sources. We also need to find out which assembling process will be the most time consuming. Once we have all the information concerning the design and assembling process, we can then start the actual designing process. For tensile machine test testing, we will test by get specimens (Aluminum, Cast) to pull until it is broken. To find maximum value of diameter which tensile test machine can pull to be equivalent as the value from calculate or not. This project can be improved to tensile test machine, which can shows tensile force at monitor.

## กิตติกรรมประกาศ

จากการที่กลุ่มของข้าพเจ้าได้ทำโครงการหัวข้อ เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Test Machine) สำเร็จไปได้ด้วยดี ทั้งๆที่มีปัญหาการและอุปสรรคในการทำงานมากมายนั้นก็ด้วยความช่วยเหลือทั้งจากอาจารย์และเพื่อนๆ ซึ่งทางกลุ่มขอขอบคุณมาดังนี้

1. อาจารย์ พรศักดิ์ อรรถวานิช อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ช่วยแนะนำการออกแบบ โครงสร้าง การคำนวณ โครงสร้าง ดิชมในรายละเอียด
2. อาจารย์ พลชัย โชติปราชญ์กุล ที่ช่วยชี้แนะการทำงาน แนะนำการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่จุดบกพร่องและวิธีแก้ไข
3. อาจารย์ สรรพสิทธิ์ ลิ้มบรรณรัตน์ ช่วยให้คำดิชม และถ่ายรูป
4. อาจารย์วิภู ศรีสืบสาย และอาจารย์อุดม จันทร์จรัสสุข ที่ช่วยแนะนำการออกแบบ และ สอนการใช้เครื่องจักร เพื่อนๆทุกคนที่ ช่วยอำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในการทำงานเป็นอย่างดี

นายพงษ์ธร เลอไกรสิทธิ์  
นายสุภจิตต์ โภคาสถิตย์  
นางสาวสุรัสวดี ประจิมทิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VIII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความสำคัญของโครงการ / ที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 ชี้นทดสอบ	2
2.2 การเตรียมชี้นทดสอบ	4
2.3 ลักษณะการยัดชี้นทดสอบ	5
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด	8
2.5 ข้อควรสังเกตสำหรับการทดสอบโดยการดึง	11
2.6 ผลกระทบอื่นที่มีต่อผลการทดสอบ	11
2.7 การทดสอบแรงดึงและแผนภาพความเค้นความเครียดวิศวกรรม	14
<b>บทที่ 3 การออกแบบ / การดำเนินงาน</b>	
3.1 แผนการดำเนินงาน	22
3.2 การออกแบบ / ส่วนประกอบ	23
3.3 รายละเอียดการทำงาน	31
<b>บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน</b>	
4.1 ผลการดำเนินงาน	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IV ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 5	
5.1	
5.2	
5.3	
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	

สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

สรุปผลการดำเนินงาน

วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

แนวทางพัฒนา/ปรับปรุงในอนาคต

42

42

42

43

ผ1-ผ9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 โมดูลัสของความยืดหยุ่นของโลหะและโลหะผสมบางชนิด	17
ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน	22
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความสามารถของเครื่อง	40



# สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	ลักษณะขึ้นทศสอบภาคตัดขวางกลมและสี่เหลี่ยมมุมฉาก	2
รูปที่ 2.2	ลักษณะขึ้นทศสอบภาคตัดขวางกลมหลังจากขาด	3
รูปที่ 2.3	ขนาดขึ้นทศสอบโดยการดึงมีภาคตัดขวางกลม	3
รูปที่ 2.4	ข้อผิดพลาดสำหรับการเตรียมขึ้นทศสอบแบบ	4
รูปที่ 2.5	ลักษณะปลายยึดขึ้นทศสอบโดยการดึง	5
รูปที่ 2.6	ลักษณะลิมยึดที่ใช้ยึดขึ้นทศสอบ โดยการดึง	5
รูปที่ 2.7	ลักษณะการยึดขึ้นทศสอบด้วยลิมยึด	6
รูปที่ 2.8	แผนภาพความเค้น – ความเครียดของเหล็กกล้า	7
รูปที่ 2.9	การหาค่าความเค้นพิสูจน์	8
รูปที่ 2.10	การหาค่าความยืดโดยวิธีประมาณ	9
รูปที่ 2.11	ความยืดในแต่ละช่วงบนความยาวพิคัด	10
รูปที่ 2.12	ชนิดของเครื่องวัดการยืด	10
รูปที่ 2.13	ลักษณะรอยแตกขาดของขึ้นทศสอบแบบต่าง ๆ	11
รูปที่ 2.14	การเปลี่ยนแปลงความแข็งและความเหนียวเมื่อเปลี่ยนรูปร่างขึ้นทศสอบ	12
รูปที่ 2.15	ผลกระทบของการให้แรงดึงเบื้องต้นต่อความเครียด	13
รูปที่ 2.16	อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทานแรงดึงและความแข็งแรงที่จุดคราก	14
รูปที่ 2.17	เครื่องทดสอบแรงดึง	15
รูปที่ 2.18	หลักการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึง	15
รูปที่ 2.19	แสดงแผนภาพความเค้น – ความเครียดสำหรับโลหะผสมอลูมิเนียมที่มีความ แข็งแรงสูง	16
รูปที่ 2.20	แผนภาพความเค้น-ความเครียด สำหรับเหล็กกล้าละมุนในการทดสอบแรงดึง	17
รูปที่ 2.21	แผนภาพความเค้น-ความเครียด แสดงส่วนที่เป็นเส้นตรงของรูปที่ 2.20 ขยายแกนความ เครียดเพื่อที่จะหา 0.2 เปอร์เซ็นต์ ออฟเซต Yield Stress ได้ละเอียดขึ้น	18
รูปที่ 2.22	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดทางวิศวกรรมสำหรับโลหะและโลหะผสมที่สำคัญ	20
รูปที่ 2.23	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดทางวิศวกรรมเปรียบเทียบกับความเค้น-ความเครียดจริง ของเหล็กกล้าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนต่ำ	21
รูปที่ 3.1	โครงสร้างที่ได้ทำการออกแบบไว้	23
รูปที่ 3.2	คาน I-beam ขนาด 6 นิ้ว	23
รูปที่ 3.3	ลักษณะการรับแรงของคาน	24
รูปที่ 3.4	คาน I-beam ขนาด 8 นิ้ว	24
รูปที่ 3.4	เสาด้านข้างที่ทำจาก I-beam ขนาด 6 นิ้ว	25
รูปที่ 3.5	เพลากลม	26
รูปที่ 3.6	ฐาน	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 หัวจับบน-ล่าง	27
รูปที่ 3.8 ปากจับ	28
รูปที่ 3.9 วงจรไฮดรอลิก	28
รูปที่ 3.10 กระบอกลิขิตไฮดรอลิก	29
รูปที่ 3.11 ชุดคันกำลังขับ	30
รูปที่ 3.12 สายไฮดรอลิก	30
รูปที่ 3.13 แบบโครงสร้าง	31
รูปที่ 4.1 เครื่องทดสอบแรงดึงและโตะวางเครื่อง	33
รูปที่ 4.2 เครื่องทดสอบแรงดึง	34
รูปที่ 4.3 หัวจับ	34
รูปที่ 4.4 ด้านหลังของหัวจับ	35
รูปที่ 4.5 ด้านหน้าของหัวจับ	35
รูปที่ 4.6 ปากจับในหัวจับ	36
รูปที่ 4.7 ปากจับ	36
รูปที่ 4.8 คานค้ำบน-ล่าง, เฟลาคลม และกระบอกลิขิตไฮดรอลิก	37
รูปที่ 4.9 ลักษณะการจับยึดกระบอกลิขิตไฮดรอลิกกับคานค้ำล่าง	37
รูปที่ 4.10 ลักษณะการจับยึดกระบอกลิขิตไฮดรอลิกกับคานค้ำบน	38
รูปที่ 4.11 คานค้ำล่างกับเฟลาคลม	38
รูปที่ 4.12 ชุดคันกำลัง	39
รูปที่ 4.13 โตะวางเครื่อง	39
รูปที่ 4.14 ลักษณะชิ้นงานทดสอบที่ใช้กับเครื่องทดสอบแรงดึง	40
รูปที่ 4.15 ชิ้นงานที่ถูกดึงขาด	40
รูปที่ 4.16 ลักษณะการขาดของชิ้นงาน	41

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของโครงการและที่มาของโครงการ

จุดมุ่งหมายในการสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงที่มีแรงดึงสูงสุด 10 ตัน เพื่อใช้ในการทดลองของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงหลักการและรายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องทดสอบแรงดึง
2. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงขนาด 100 กิโลนิวตัน

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. เครื่องทดสอบแรงดึงสามารถดึงเหล็กได้ 100 กิโลนิวตัน
2. ความสามารถของเครื่อง
  - เหล็ก สามารถดึงได้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5-12 มิลลิเมตร
  - อะลูมิเนียม สามารถดึงได้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5-16 มิลลิเมตร
3. เครื่องนี้จะเป็นส่วน ที่ใช้ดึงเหล็กให้ขาดเพียงอย่างเดียว ไม่ได้ทำในส่วนโปรแกรมในการอ่านค่าต่างๆ

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจการทำงานและส่วนประกอบของเครื่องทดสอบแรงดึงแบบต่างๆ เพื่อเลือกมาประยุกต์ใช้เป็นต้นแบบที่เหมาะสมได้
2. สามารถออกแบบ, กำหนดโครงสร้าง และส่วนประกอบต่างๆ เครื่องทดสอบแรงดึงที่มีแรงดึงขนาด 10 ตันได้
3. สามารถเลือกซื้อวัสดุ และส่วนประกอบต่างๆ ให้มีคุณสมบัติและคุณลักษณะต่างๆตามที่ต้องการรวมถึงการเลือกซื้อวัสดุต่าง และส่วนประกอบทดแทนในส่วนที่ไม่สามารถหาได้ตามต้องการ
4. สามารถใช้เครื่องจักรเช่น เครื่องกัด, เครื่องเจาะ, เครื่องกลึง ตลอดจนอุปกรณ์เช่น เครื่องเจียรนัยมือ, เครื่องเชื่อม เพื่อใช้ในการปฏิบัติงานให้ได้ลักษณะและคุณสมบัติตามต้องการได้
5. ศึกษาการทำงานของวงจรไฮดรอลิก (Hydraulic) รวมทั้งส่วนประกอบต่างๆ เพื่อคำนวณขนาดและส่วนประกอบ เพื่อจัดซื้อให้ตรงกับความต้องการ
6. สามารถใช้โปรแกรม AutoCAD เพื่อช่วยในการออกแบบเครื่องทดสอบแรงดึง
7. มีเครื่องทดสอบแรงดึงใช้เป็นสื่อการสอนในวิชา Engineering Workshop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ1 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

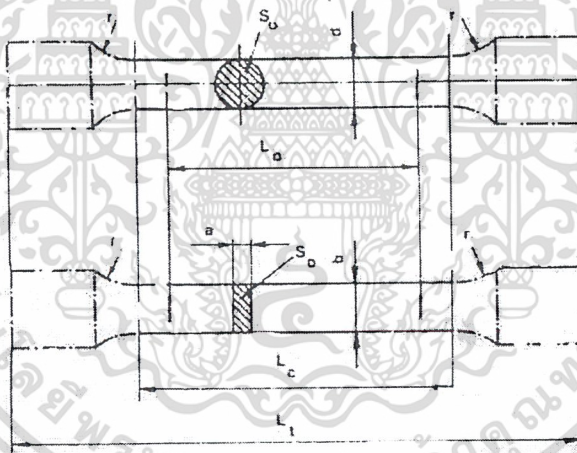
## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การทดสอบโดยการดึง เป็นวิธีการทดสอบที่ง่ายที่สุดในทุกวิธีของการทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุ และนิยมทดสอบกันมาก เพราะสามารถที่จะให้ผลที่เป็นคุณสมบัติทางกลพื้นฐานพอสมควร เช่น ให้ผลเกี่ยวกับ ความต้านทานแรงดึง ความยืดตัว ความเหนียว ความเปราะ และลักษณะการแตกหักของวัสดุ ซึ่งนับว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไปโดยทั่วไปการทดสอบก็ต้องใช้แรงดึงที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอถึงขั้นทดสอบให้ฉีกออก และขาดในที่สุด สำหรับการทดสอบโดยการดึงนั้นนิยมทดสอบกับวัสดุที่มีคุณสมบัติเหนียวมากกว่าวัสดุเปราะ

#### 2.1 ชิ้นทดสอบ (Specimens) [2:P32]

ชิ้นทดสอบโดยการดึงนั้น จะมีลักษณะภาคตัดขวางหลายแบบคือ อาจจะเป็นวงกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือในกรณีพิเศษอาจจะเป็นรูปอื่นก็ได้ สำหรับชิ้นทดสอบที่เป็นโลหะส่วนมากจะเตรียมโดยการกลึงให้มีพื้นที่ภาคตัดขวางกลม หรืออาจจะเตรียมให้มีพื้นที่ภาคตัดขวาง สี่เหลี่ยมมุมฉากก็ได้ ดังรูป

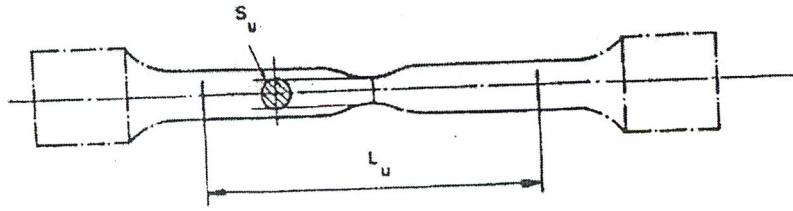


รูปที่ 2.1 ลักษณะชิ้นทดสอบภาคตัดขวางกลมและสี่เหลี่ยมมุมฉาก [2:P33]

ส่วนสำคัญต่าง ๆ ของชิ้นทดสอบ

1. ความยาวพิคัด (Gauge length) หมายถึง ความยาวระหว่างจุดที่กำหนดขึ้น 2 จุด ในส่วนที่ขนานกันของชิ้นทดสอบ เพื่อใช้หาความยืดระหว่างการทดสอบ
  - 1.1 ความยาวพิคัดเดิม ( $L_o$ ) หมายถึง ความยาวพิคัดก่อนการทดสอบ
  - 1.2 ความยาวพิคัดสุดท้าย ( $L_u$ ) หมายถึง ความยาวพิคัดหลังจากชิ้นทดสอบถูกดึงให้ขาด แล้วนำส่วนที่ขาดมาวางต่อเข้าด้วยกันให้สนิทที่สุดในแนวเส้นตรงเดียวกัน ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ลักษณะชิ้นทดสอบภาคตัดขวางกลมหลังจากขาด [2:P33]

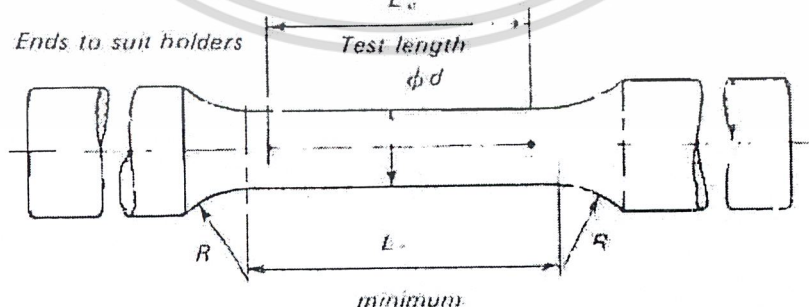
2. ความยาวพิักัดสำหรับเครื่องวัดการยืด (Extensometer gauge length,  $L_e$ ) หมายถึง ความยาวระหว่างจุดที่กำหนดขึ้น 2 จุด ในส่วนขนานของชิ้นทดสอบ เพื่อใช้สำหรับวัดหาการยืดโดยเครื่องวัดการยืดความยาวนี้อาจจะแตกต่างจากความยาวพิักัดเดิม ( $L_o$ ) และอาจจะมามีค่าใดก็ได้ที่มากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลาง ( $d$ ) หรือ ความกว้าง ( $b$ ) ของชิ้นทดสอบ แต่ต้องน้อยกว่าความยาวของส่วนขนาน ( $L$ )

3. สัญลักษณ์และความหมาย

จากรูป 2.1 และ 2.2 จะมีสัญลักษณ์และความหมายในมาตรฐานของชิ้นทดสอบส่วนอื่น ๆ เพิ่มเติมจากที่ได้กล่าวมาแล้วดังนี้

- a = ความหนาของส่วนขนานของชิ้นทดสอบ
- $L_t$  = ความยาวรวมของชิ้นทดสอบ
- $S_o$  = พื้นที่ภาคตัดขวางเดิมภายในความยาวพิักัด
- $S_u$  = พื้นที่ภาคตัดขวางน้อยที่สุดหลังจากขาด
- r = รัศมีของบ่าชิ้นทดสอบ

ชิ้นทดสอบมาตรฐาน (Standard specimen) ชิ้นทดสอบต่าง ๆ ที่มีรูปร่างเรขาคณิตคล้ายกัน และมีความสัมพันธ์ระหว่างความยาวพิักัดและพื้นที่ภาคตัดขวางตามที่กำหนดไว้ เรียกว่า ชิ้นทดสอบได้สัดส่วน สำหรับชิ้นทดสอบโดยการดึง ก็จัดไว้ในประเภทของชิ้นทดสอบ ได้สัดส่วนเหมือนกัน และก็มีขนาดกำหนดตามมาตรฐาน

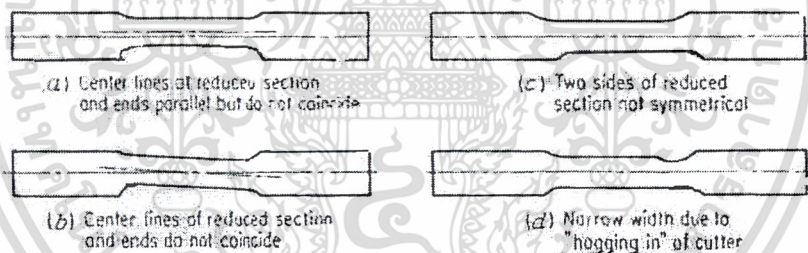


รูปที่ 2.3 ขนาดชิ้นทดสอบโดยการดึงมีภาคตัดขวางกลม [2:P34]

## 2.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ [2:P34]

การเตรียมชิ้นทดสอบ นับว่าเป็นสิ่งสำคัญมากต่อความถูกต้อง แม่นยำ ของผลการทดสอบ กล่าวคือ ถ้ารูปร่างของชิ้นทดสอบไม่ได้สัดส่วนและขนาดที่ถูกต้อง ก็จะเป็นผลทำให้แรงทดสอบส่งแรงกระทำไม่ได้ตามแนวแกนของชิ้นทดสอบจริง ๆ ดังนั้นการเตรียมชิ้นทดสอบจึงมีข้อควรพิจารณาดังนี้

1. การตัดชิ้นทดสอบออกจากชิ้นตัวอย่าง ต้องระวังการเสียรูป และให้เกิดความร้อนน้อยที่สุด ในส่วนที่จะนำไปใช้ทดสอบ ควรหลีกเลี่ยงการตัดด้วยเปลวไฟ วิธีที่ดีที่สุดคือ ใช้เลื่อยตัด และมีการระบายความร้อนด้วย
2. ทิศทางในแนวแกนของชิ้นทดสอบ ให้เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดว่าด้วยวัสดุของมาตรฐานผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ถ้าทิศทางของแนวแกนไม่ได้ระบุไว้ ให้ตัดชิ้นทดสอบโดยมีแนวแกนตามยาวตั้งฉากกับทิศทางของการรีดเหล็กครั้งสุดท้าย
3. ผิวของชิ้นทดสอบที่ต้องมีการตกแต่งโดยเครื่องมือกล จะต้องระวังไม่ให้เกิดความร้อนเกินไป หรือเกิดความแข็งโดยทางกล ขอบที่คมต้องลบให้มนและไม่ให้มีรอยเครื่องมือ หรือร่องคานแนวขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จุดสัมผัสระหว่างส่วนโค้งของปากกับความยาวส่วนขนาน
4. การทำเครื่องหมายความยาวพิคค เพื่อความสะดวกในการทดสอบ อาจทำเครื่องหมายบนผิวชิ้นทดสอบเป็นเส้นขนานกับแกนยาว ถ้าเป็นชิ้นทดสอบแบนให้ขีดที่กึ่งกลางความกว้างของชิ้นทดสอบ โดยขีดเป็นเส้นบาง ๆ ไม่ควรทำเครื่องหมายเป็นรอยลึกในเนื้อเหล็กสำหรับเหล็กที่ไวต่อการแตกร้าวเมื่อมีรอยบาก
5. ในการเตรียมชิ้นทดสอบแบน อาจจะมีข้อผิดพลาดที่ควรระวังเสมอ ดังรูป



รูปที่ 2.4 ข้อผิดพลาดสำหรับการเตรียมชิ้นทดสอบแบน [2:P35]

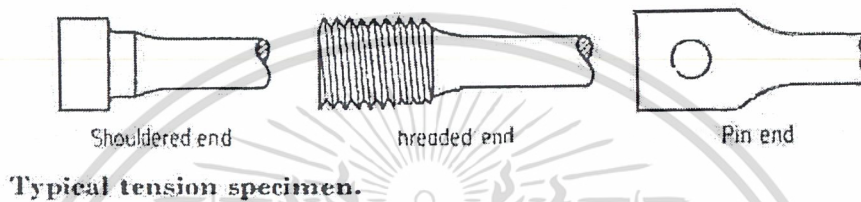
จากรูป จะเห็นว่าข้อผิดพลาดสำหรับการเตรียมชิ้นทดสอบแบนในหลายลักษณะแต่ละรูป คือ

- a) เส้นศูนย์กลางของส่วนขนานและปลายยึดของชิ้นทดสอบขนานกัน แต่ไม่ทับกัน
- b) เส้นศูนย์กลางของส่วนขนานและปลายยึดของชิ้นทดสอบไม่ทับกัน
- c) ด้านทั้งสองของส่วนขนานไม่สมมาตรกัน
- d) เกิดร่องแคบตามแนวขวางระหว่างส่วนโค้งของปากกับความยาวส่วนขนาน เนื่องจากอุปกรณ์ตัด

## 2.3 ลักษณะการยึดขึ้นทดสอบ [2:P35]

การยึดขึ้นทดสอบโดยการดึงนั้น จะต้องยึดด้วยวิธีที่เหมาะสม ว่าจะใช้อุปกรณ์ใดยึดขึ้นทดสอบ และวิธีไหนจึงจะสะดวก ข้อสำคัญในการยึดขึ้นทดสอบ คือต้องพยายามอย่างดีที่สุดที่จะให้แรงทดสอบกระทำอยู่ในแนวแกนของชิ้นทดสอบ และจะต้องมีความแน่ใจได้ว่าอุปกรณ์จับยึดขึ้นทดสอบมีความแข็งแรงเพียงพอต่อแรงกระทำจนชิ้นทดสอบขาด

สำหรับวิธียึดขึ้นทดสอบมีอยู่หลายวิธี เช่น ใช้ลิ่มยึด เกลียวยึด บ่ายึด โดยแต่ละวิธียึดขึ้นทดสอบนั้นจะต้องไม่เกิดการบิดแกว่ง หรือเกิดการคดโค้งขณะที่ทำการทดสอบ ดังนั้นตรงปลายยึดขึ้นทดสอบจึงต้องมีการเตรียมให้มีรูปร่างลักษณะยึดตามวิธีที่เหมาะสมดังรูป

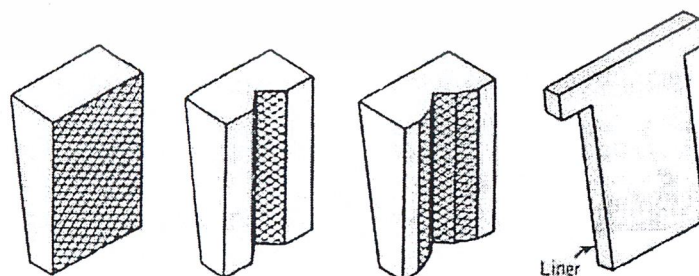


รูปที่ 2.5 ลักษณะปลายยึดขึ้นทดสอบโดยการดึง [2:P35]

จากรูป จะเห็นว่าลักษณะปลายยึดขึ้นทดสอบจะถูกเตรียมได้หลายแบบ ดังนี้คือ

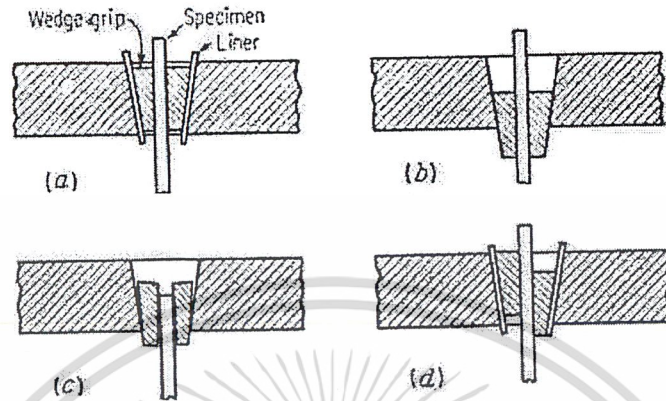
1. ปลายยึดแบบกลมเรียบ (Plain end)
2. ปลายยึดแบบบ่า (Shouldered end)
3. ปลายยึดแบบเกลียว (Thread end)
4. ปลายยึดแบบเจาะรูใส่สลัก (Pin end)

อุปกรณ์สำหรับการยึดขึ้นทดสอบนั้นมีอยู่หลายชนิด แต่ที่นิยมหรือสะดวกต่อการใช้และสะดวกต่อการเตรียมปลายยึดขึ้นทดสอบนั้นก็คือ ลิ่มยึด (Wedge grips) การยึดด้วยวิธีใช้ลิ่มยึดนั้นเหมาะสำหรับกับชิ้นทดสอบที่เป็นโลหะเหนียวมากกว่าโลหะเปราะ เพราะการยึดขึ้นทดสอบโลหะเปราะจะทำให้ผิวแตกและอาจเกิดการดึงขาดใกล้บริเวณที่จับยึดขึ้นทดสอบก็ได้



รูปที่ 2.6 ลักษณะลิ่มยึดที่ใช้ยึดขึ้นทดสอบโดยการดึง [2:P36]

ลิ่มยึดจากรูปจะเห็นว่ามียึดหน้าราบที่ใช้อัดขึ้นทดสอบแบบ และลิ่มยึดร่องตัววีที่ใช้อัดขึ้นทดสอบแบบกลมเรียบ การปรับอัดขึ้นทดสอบสามารถปรับแต่งได้ง่ายโดยใช้แผ่นรอง (Liner) ซึ่งจะช่วยให้อัดขึ้นทดสอบในแนวแกนศูนย์ของเครื่องทดสอบ และลักษณะการอัดขึ้นทดสอบด้วยลิ่มยึดที่ถูกต้องดังรูป 2.7

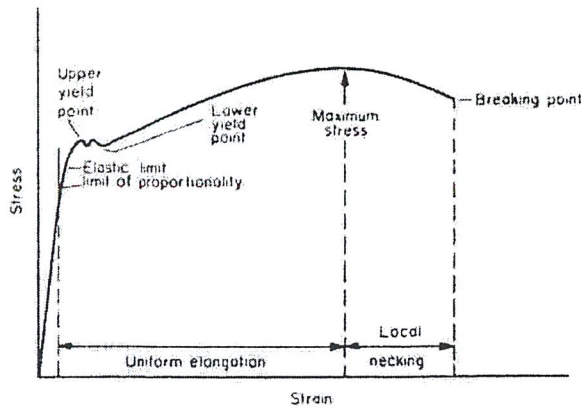


รูปที่ 2.7 ลักษณะการอัดขึ้นทดสอบด้วยลิ่มยึด  
(a)ลักษณะการยึดที่ถูกต้อง (b), (c), (d) ลักษณะการยึดที่ผิด [2:P36]

## 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด [2:P36]

ในการทดสอบโดยการดึงนั้น จะทำให้เกิดความเค้นและความเครียดในชิ้นทดสอบแล้วก็นำค่าทั้งสองนี้มาเขียนแผนภาพ โดยให้ค่าทางแกนอนแทนความเครียด แกนตั้งแทนความเค้นแผนภาพนี้จึงเป็นแผนภาพความเค้น – ความเครียด (Stress – strain diagram) แต่ในการทดสอบจริงนั้น แผนภาพที่เขียนจากเครื่องทดสอบจะเป็นแผนภาพของแรงกับการยึด ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับแผนภาพความเค้นกับความเครียด

สำหรับแผนภาพความเค้นกับความเครียด จะมีส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญแสดงถึงคุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นช่วงๆ ดังรูป



รูปที่ 2.8 แผนภาพความเค้น – ความเครียดของเหล็กกล้า [2:P37]

**พิกัดความเป็นสัดส่วน (Proportional limit)** หมายถึง ค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุรับไว้ได้ โดยที่ความเค้นยังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด ดังนั้นกราฟในช่วงแรกนี้จะเป็นเส้นตรง และวัสดุยังคงลักษณะตามกฎของฮุกส์

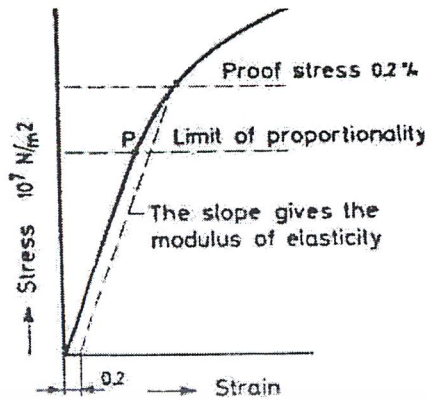
**พิกัดความยืดหยุ่น (Elastic limit)** หมายถึง พฤติกรรมของวัสดุที่ได้รับความเค้น ซึ่งอยู่ภายในช่วงของการคืนรูป ไม่เกิดการแปรรูปอย่างถาวร คือเมื่อปล่อยแรงดึง วัสดุก็จะหดกลับสู่สภาพเดิม ในการทดสอบบางครั้งการที่จะกำหนดพิกัดความยืดหยุ่นในกราฟทำได้ยาก เพราะโลหะหรือวัสดุบางชนิดจะมีพิกัดความยืดหยุ่นเกือบจะเป็นตำแหน่งเดียวกันในกราฟ แต่โดยส่วนมากแล้ว พิกัดความยืดหยุ่นจะอยู่เหนือพิกัดความเป็นสัดส่วนเล็กน้อย ดังรูป 2.8

**จุดคราก (Yield point)** เมื่อวัสดุได้รับแรงกระทำเกินพิกัดความยืดหยุ่น ก็จะเกิดการแปรรูปอย่างถาวรจนถึงจุดหนึ่งที่ทำให้วัสดุแปรรูปง่ายคือ อัตราการยืดตัวจะสูงกว่าตอนแรก เมื่อเป็นเช่นนี้วัสดุจะแปรรูปทั้ง ๆ ที่ความเค้นคงที่จึงเรียกที่จุดนี้ว่า จุดครากบน (Upper yield point) สำหรับเหล็กกล้าแล้วในช่วงนี้จะมีอัตราการยืดตัวสูงมาก เร็วกว่าแรงดึงขณะทดสอบจะเพิ่มขึ้นได้ทัน จึงเหมือนว่า การดึงในช่วงนี้ใช้แรงดึงน้อยกว่าเดิม จึงมีจุดครากล่าง (lower yield point) ในแผนภาพดังรูป 2.8 ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นกับวัสดุที่มีความเหนียวมาก เช่น เหล็กกล้าหรืออลูมิเนียม เท่านั้น

**ความเค้นคราก (Yield stress)** หมายถึง ความเค้นที่จุดคราก และความเค้นนี้จะทำให้วัสดุแปรรูปอย่างถาวรและดำเนินต่อไปด้วยความเค้นซึ่งเกือบคงที่ สำหรับเหล็กกล้าจะมีทั้งความเค้นครากบน (Upper yield stress) และความเค้นครากล่าง (lower yield stress)

**ความเค้นพิสูจน์ (Proof stress)** สำหรับโลหะหลายชนิด เช่น อลูมิเนียม ทองเหลือง ทองแดง และเหล็กหล่อจะมีแผนภาพ ความเค้น-ความเครียด ที่ไม่แสดงจุดครากให้เห็น ดังนั้นการกำหนดความเค้นครากก็ทำได้ยาก แต่ก็อาศัยคุณสมบัติที่เรียกว่า ความเค้นพิสูจน์ แทนได้ ซึ่งหมายถึงความเค้นที่วัด โดยกำหนดให้มีการแปรรูปถาวรค่าหนึ่ง ซึ่งส่วนมากจะใช้ 0.2% strain แล้วก็กำหนดค่านี้นบนแกนความเครียด ในแผนภาพความเค้น – ความเครียด แล้วก็ลากเส้นตรงขนานกับส่วนที่เป็นเส้นตรงในช่วงพิกัดความเป็นสัดส่วน ไปตัดกับเส้นกราฟที่ใด ก็จะเป็นค่าความเค้นพิสูจน์หรือความเค้นครากด้วย ดังรูป 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 การหาค่าความเค้นพิสูจน์ [2:P39]

ความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate strength) หมายถึง ความเค้นสูงสุด (Maximum stress) ที่วัสดุรับไว้ได้ก่อนที่จะขาดแตก หรือ หัก ในทางวิศวกรรมบางทีก็เรียกว่า ความแข็งแรงดึงสูงสุด (ultimate tensile strength) ความแข็งแรงอัดสูงสุด (ultimate compressive strength) แล้วแต่ลักษณะของแรงที่มากระทำกับวัสดุนั้น ถ้าดูในแผนภาพความเค้น - ความเครียดของเหล็กกล้า จะพบว่าค่าความแข็งแรงสูงสุด จะอยู่ที่จุดสูงสุดของกราฟ ถัดจากจุดนี้ไปค่าความเค้นจะลดลงเรื่อย ๆ และจะเริ่มสังเกตเห็นการคอดตัวของพื้นที่หน้าตัด จนในที่สุดวัสดุจะขาดหรือแตกหักที่จุดแตกหัก (breaking point) แล้วเรียกความแข็งแรงที่จุดวัสดุแตกหักว่า Breaking strength

เปอร์เซ็นต์ความยืด (Percent elongation) หมายถึง ความยืดถาวรของความยาวที่วัดหลังจากขึ้นทดสอบ คิดเป็นร้อยละของความยาวที่วัดเดิม ดังนั้น

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความยืด} = \frac{L_u - L_o}{L_o} \times 100$$

ในเมื่อ  $L_o$  = ความยาวที่วัดเดิม  
 $L_u$  = ความยาวที่วัดสุดท้าย

การลดลงของพื้นที่หน้าตัด (Reduction in area) หมายถึง การที่พื้นที่ภาคตัดขวางของชิ้นทดสอบลดลงมากที่สุดหลังจากขึ้นทดสอบขาด โดยการคิด คิดเป็นร้อยละของพื้นที่ภาคตัดขวางเดิม ดังนั้น

$$\text{การลดลงของพื้นที่หน้าตัด} = \frac{S_o - S_u}{S_o} \times 100$$

ในเมื่อ  $S_o$  = พื้นที่ภาคตัดขวางเดิมภายในความยาวที่วัด  
 $S_u$  = พื้นที่ภาคตัดขวางน้อยที่สุดหลังจากขาด

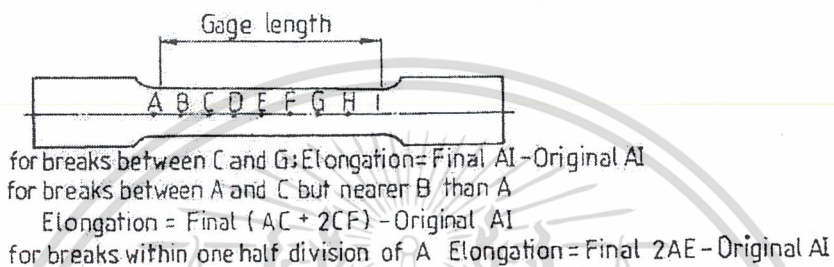
## 2.5 ข้อควรสังเกตสำหรับการทดสอบโดยการดึง [2:P40]

ในขณะที่ทำการทดสอบโดยการดึงกับเครื่องทดสอบที่มีการทำงานแบบอัตโนมัติ ก็จะสะดวกต่อการบันทึกข้อมูลได้ถูกต้อง แต่ถ้าทำการทดสอบกับเครื่องมือแบบง่าย ๆ ธรรมดา ก็ต้องใช้ข้อสังเกตหลายอย่าง เช่น ความเร็วในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แล8 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบความเค้น ความเครียด ค่าความยืด การลดลงของพื้นที่หน้าตัด ความแข็งแรงดึงสูงสุด และรอยแตกหักหรือขาดของชิ้นทดสอบ เป็นต้น

### 2.5.1 ความยืด (Elongation)

ความยืดของชิ้นทดสอบภายหลังที่ถูกดึงจนขาดแล้ว วัดได้จากการนำชิ้นทดสอบมาวางต่อเข้าด้วยกันให้สนิทที่สุดในแนวเส้นตรง แต่ต้องพิจารณาถึงตำแหน่งที่ชิ้นทดสอบขาดด้วย คือ ถ้าขาดใกล้กับส่วนปลายยืดชิ้นทดสอบซึ่งจะไม่อยู่ในช่วงของความยาวพิกัด ก็ต้องทำการทดสอบใหม่ และถ้าขาดในช่วงต่าง ๆ ของความยาวพิกัด ก็ให้วัดความยืดโดยวิธีประมาณ ตามรูปที่เสนอแนะมาดังนี้

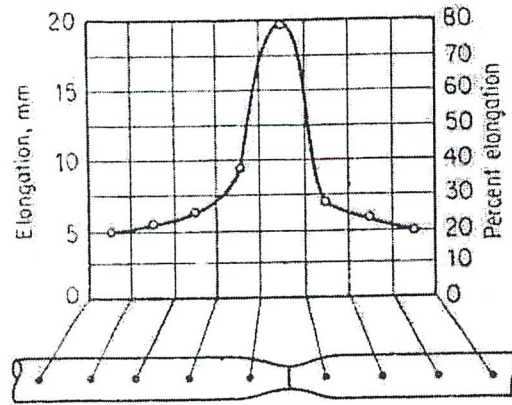


รูปที่ 2.10 การหาค่าความยืดโดยวิธีประมาณ [2:P40]

จากรูปจะเห็นว่า ได้แสดงการหาค่าความยืดโดยวิธีประมาณ ตามลักษณะตำแหน่งการขาดของชิ้นทดสอบในช่วงต่าง ๆ ของความยาวพิกัดดังนี้

1. ขาดระหว่างจุด C และ G  
 ความยืด = ความยาวสุดท้าย AI - ความยาวเดิม AI
2. ขาดระหว่างจุด A และ C แต่ใกล้ B มากกว่า A  
 ความยืด = ความยาวสุดท้าย ( AC + 2CF ) - ความยาวเดิม AI
3. ขาดภายในครึ่งของช่วง A  
 ความยืด = ความยาวสุดท้าย 2 AE - ความยาวเดิม AI

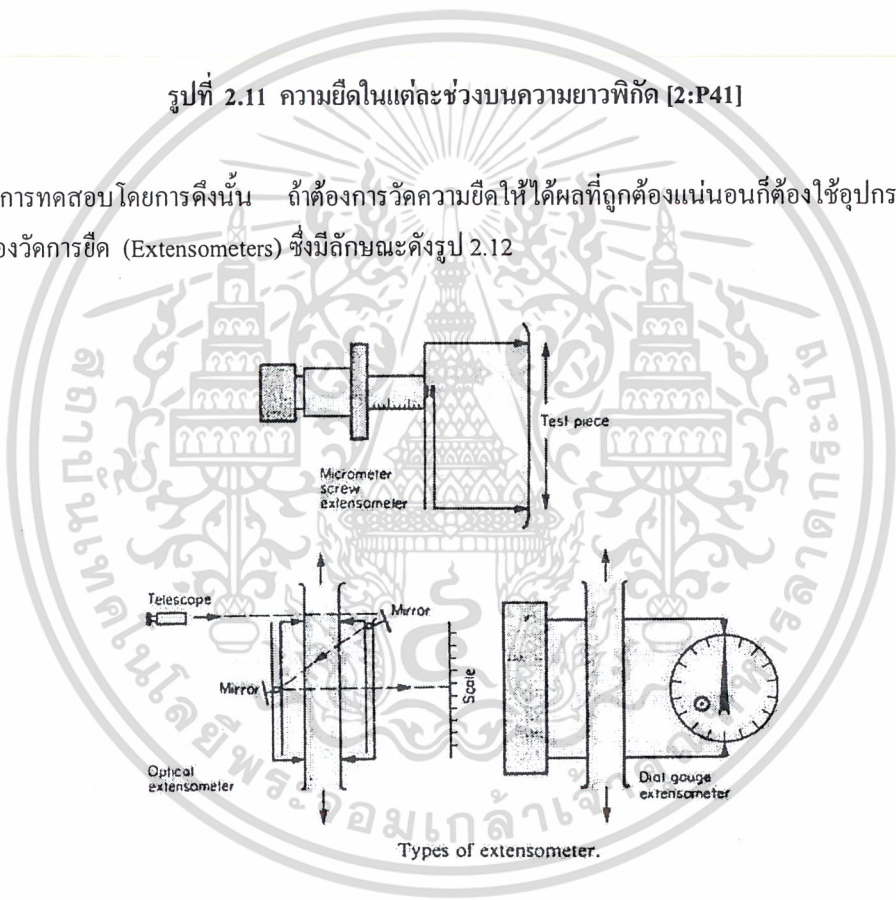
จากการทดสอบโดยการดึง โลหะเหนียวนั้น ส่วนมากเปอร์เซ็นต์ความยืดหรือความยืดจะเกิดขึ้นมากตรงบริเวณจุดขาดของชิ้นทดสอบ เพราะโลหะเหนียวจะถูกดึงยืดออกจนเกิดคอคอดแล้วก็ขาดในที่สุด สำหรับความยืดของแต่ละช่วงบนความยาวพิกัดชิ้นทดสอบที่เป็นเหล็กกล้า จะมีลักษณะดังรูป 2.11



(d) Elongation in each division

รูปที่ 2.11 ความยืดในแต่ละช่วงบนความยาวพิคัด [2:P41]

ในการทดสอบ โดยการดึงนั้น ถ้าต้องการวัดความยืดให้ได้ผลที่ถูกต้องแน่นอนก็ต้องใช้อุปกรณ์วัดการยืด เรียกว่า เครื่องวัดการยืด (Extensometers) ซึ่งมีลักษณะดังรูป 2.12



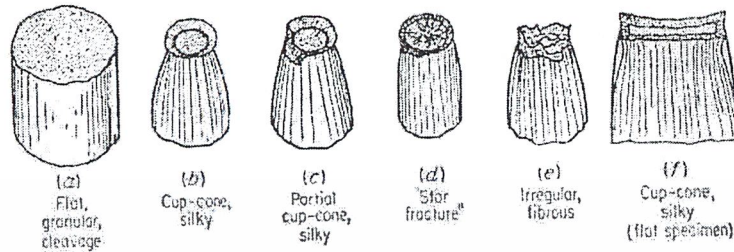
Types of extensometer.

รูปที่ 2.12 ชนิดของเครื่องวัดการยืด [2:P41]

เครื่องวัดการยืดนี้ จะถูกนำไปประกอบกับชิ้นทดสอบตรงส่วนที่เป็นความยาวพิคัดสำหรับเครื่องวัดการยืด จากรูปจะเห็นว่าเครื่องวัดการยืดมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ และทุกแบบนั้นจะต้องมีความไวในการวัดความยาวพิคัดของ ชิ้นทดสอบที่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยก็ตาม เครื่องวัดการยืด โดยทั่วไปจะเป็นแบบไมโครมิเตอร์วัดหรือแบบอ่านค่า ความยืดจากนาฬิกาวัด หรือแบบโลหะสองแท่งประกบกันแล้ว มีกระจกสะท้อนแสง ซึ่งเครื่องวัดการยืดแบบนี้ สามารถอ่านได้ละเอียดมาก

## 2.5.2 ลักษณะรอยแตกขาดของชั้นทดสอบ

โดยทั่วไปลักษณะรอยแตกขาดของชั้นทดสอบภายหลังการดึง มีอยู่ด้วยกันหลายแบบและหลายลักษณะด้วยกัน ดังรูป



รูปที่ 2.13 ลักษณะรอยแตกขาดของชั้นทดสอบแบบต่าง ๆ [2:P42]

สำหรับโลหะบางชนิดจะมีรอยแตกขาดภายหลังการทดสอบที่แน่ชัด เช่น เหล็กกล้าจะมีรอยแตกขาดเป็นแบบถ้วยและกรวย (Cup-cone) เหล็กหล่อจะมีลักษณะรอยแตกขาดเป็นแบบหน้าราบ (flat) และโลหะที่ผ่านการทำงานแบบเย็น หรือโลหะที่มีความเค้นหลงเหลือภายใน เนื่องจากผ่านขบวนการอบชุบมาจะมีลักษณะรอยแตกขาดแบบ star fracture ดังรูป d เหตุนี้เองการพิจารณาลักษณะรอยแตกขาดของชั้นทดสอบก็พอที่จะทำนายได้ว่า โลหะใดเหนียวหรือเปราะหรือมีความแข็งแรงต่ำ

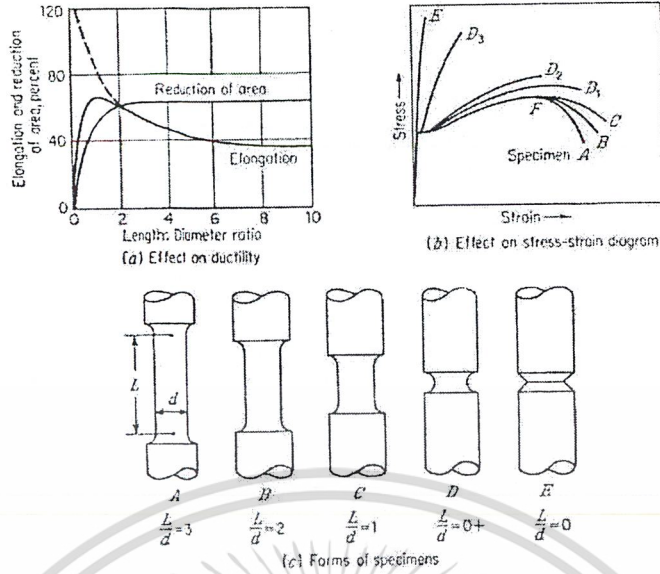
บางครั้งโลหะจะมีรอยแตกขาดที่ไม่สมมาตรกัน อันเนื่องจากแรงทดสอบไม่ได้กระทำตามแนวแกนชั้นทดสอบ หรืออาจเกิดจากโลหะมีความบกพร่องต่าง ๆ อยู่ภายใน เช่น รูพรุน สแตก และสิ่งเจือปน เป็นต้น

## 2.6 ผลกระทบอื่นที่มีต่อผลการทดสอบ [2:P43]

จุดประสงค์ของการทดสอบโดยการดึง ก็เพื่อต้องการทราบผลการทดสอบซึ่งแสดงคุณสมบัติของวัสดุ แต่ในบางครั้งผลทดสอบที่ได้อาจจะเปลี่ยนแปลงไป ทั้ง ๆ ที่วัสดุนั้นมีคุณภาพหรือมีเนื้อเดียวกันตลอดทั้งชิ้นทดสอบ การที่เป็นเช่นนี้ก็อาจเนื่องจากผลกระทบอื่น เช่น เปลี่ยนแปลงขนาดรูปร่างชิ้นทดสอบ หรือเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการทดสอบ หรืออุณหภูมิที่ขณะทำการทดสอบ เป็นต้น และผลกระทบอื่นที่มีผลต่อการทดสอบโดยการดึงนั้นพอสรุปได้ดังนี้

เปลี่ยนแปลงขนาดรูปร่างชิ้นทดสอบ จากการทดลองกำหนดให้ชิ้นทดสอบมีความยาวพิคัด  $L_0 = k\sqrt{S_0}$  เมื่อ  $S_0$  คือ พื้นที่ภาคตัดขวางเดิมในความยาวพิคัด และ  $k$  คือค่าคงที่สำหรับชนิดของชิ้นทดสอบ ความยืดหยุ่นจะมีค่าคงที่ด้วย ชิ้นทดสอบมาตรฐานโดยทั่วไปจะกำหนดความยาวพิคัด  $L_0 = 5.65\sqrt{S_0}$  หรือ  $L_0 \approx 5d$

แต่จากการเตรียมชิ้นทดสอบโลหะเหนียวชุดหนึ่งให้มีอัตราส่วนความยาวพิคัดต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ( $L/d$ ) มีค่าต่าง ๆ กัน ตามรูป c แล้วศึกษาว่าอัตราส่วน  $L/d$  ดังกล่าวจะมีผลต่อทั้งความยืดและการลดลงของพื้นที่หน้าตัด ดังรูป 2.14



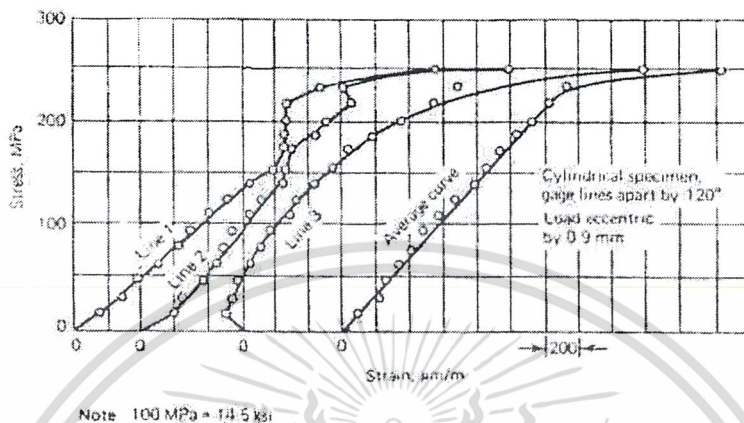
รูปที่ 2.14 การเปลี่ยนแปลงความแข็งและความเหนียวเมื่อเปลี่ยนรูปร่างชิ้นทดสอบ [2:P43]

จากรูป a จะเห็นว่าสำหรับค่า  $L/d$  ที่มีค่ามากกว่า 2 จะไม่มีผลกระทบต่อ ทั้งการลดลงของพื้นที่หน้าตัดและความยืด แต่ถ้า  $L/d$  มีค่าน้อยกว่า 2 จะทำให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของพื้นที่หน้าตัดและความยืดลดลงจนถึงศูนย์ เปอร์เซ็นต์ความยืดไม่มีโอกาสสูงขึ้นตามเส้นโค้งประได้เลย ซึ่งหมายความว่าไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางด้านความเหนียวนั่นเอง

สำหรับรูป b ถ้าอัตราส่วน  $L/d$  มีค่ามากกว่า 1 จะไม่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงสูงสุด (maximum strength) ที่จุด F แต่จะมีผลกระทบต่อส่วนโค้งที่ถัดจากจุด F ไป คือ ถ้าอัตราส่วน  $L/d$  ยิ่งมีค่าน้อยหรือชิ้นทดสอบมีความยาวพิคค่อน้อย ส่วนโค้งที่ถัดจากจุด F จะสูงขึ้น นั่นหมายถึง ความแข็งแรงที่จุดวัสดุแตกหัก (breaking strength) จะเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน  $L/d = 0$  จะทำให้แผนภาพความเค้น - ความเครียดเหมือนกับเส้นกราฟ E ซึ่งแสดงพฤติกรรมของโลหะเปราะ คือ เกิดการยืดหรือเปลี่ยนแปลงรูปไปได้น้อย โลหะก็จะขาดออกจากกัน

สำหรับรูป C จะเห็นว่าอัตราส่วน  $L/d$  ที่มีค่า 0 นั้นจะไม่ใช่ความยาวพิคค แต่กลับจะเป็นร่องบาก (notch) บนชิ้นทดสอบ ร่องบากนี้จะเป็บริเวณรวมของความเค้น (stress concentration) ซึ่งจะทำให้เกิดการขาดที่ร่องบากนี้ ชิ้นทดสอบที่มีลักษณะนี้นั้น เวลานำไปทดสอบจะสามารถรับความแข็งแรงได้เพิ่มขึ้น แต่ความยืดจะลดลงทั้ง ๆ ที่เป็นวัสดุหรือโลหะเหนียว ตัวอย่างในการทดสอบโดยการดึงเหล็กกล้าคาร์บอนผสมสูง ที่ถูกเตรียมเป็นชิ้นทดสอบมาตรฐาน ผลการทดสอบพบว่ามีความต้านแรงดึงสูงสุด 703 Mpa แต่ถ้าเตรียมชิ้นทดสอบให้มีลักษณะเป็นร่องบากที่เหลี่ยมขนาดร่องกว้าง 0.8 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ฐานร่องบาก เท่ากับชิ้นทดสอบมาตรฐาน ภายหลังจากทดสอบพบว่ามีความต้านแรงดึงสูงเพิ่มขึ้นกว่าเดิมเป็น 1124 Mpa แต่สำหรับโลหะเปราะนั้นร่องบากที่เตรียมบนชิ้นทดสอบนั้นกลับจะเป็นเหตุทำให้ถูกลดความแข็งแรงลงไป

การเยื้องศูนย์ (Eccentricity) การเยื้องศูนย์ หมายถึงขณะที่ทำการดึงชิ้นทดสอบในบางครั้งการจับยึดชิ้นทดสอบไม่ถูกต้อง ก็จะเป็นผลทำให้ความเค้นดิ่งที่เกิดขึ้นในชิ้นทดสอบกระจายไม่ทั่วทั้งพื้นที่ภาคตัดขวาง เนื่องจากแรงดิ่งไม่สามารถกระทำตามแนวแกนชิ้นทดสอบได้ และก็จะทำให้พิสัยความเป็นสัดส่วนในแผนภาพความเค้น – ความเครียด ที่ได้จากการทดสอบมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง ดังรูป 2.15

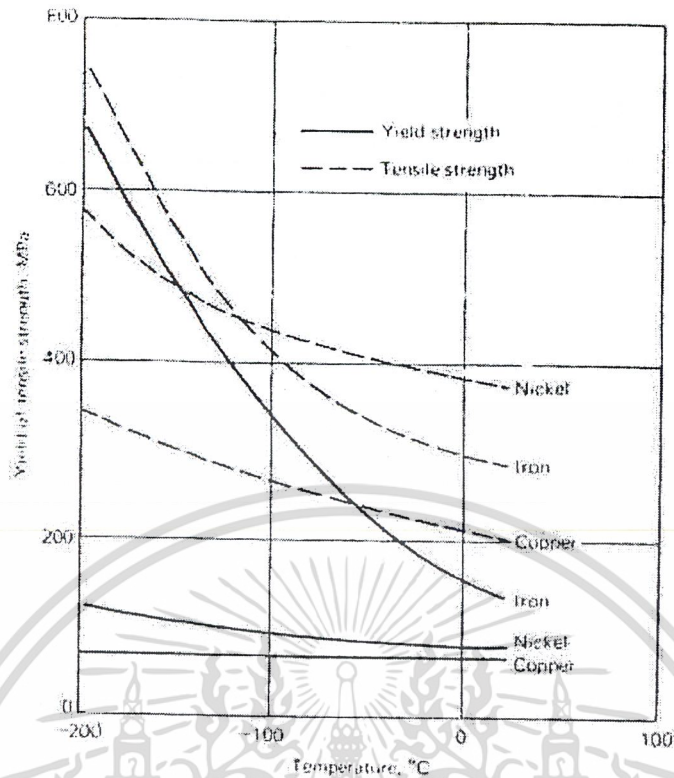


รูปที่ 2.15 ผลกระทบของการให้แรงดิ่งเยื้องศูนย์ต่อความเครียด [2:P45]

ดังนั้นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติความยืดหยุ่นของวัสดุจะต้องมีความระมัดระวังมาก คืออย่าให้เกิดการดึงอย่างเยื้องศูนย์ขึ้นขณะทำการทดสอบเป็นอันขาด เพราะจะทำให้ผลการทดสอบผิดพลาดไปได้ การเยื้องศูนย์ขณะดึงนั้นจะไม่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของโลหะเหนียว แต่จะมีผลกระทบคือความแข็งแรงของโลหะเปราะมากกว่า

ความเร็วทดสอบ (Test speed) ความเร็วทดสอบ หมายถึง ความเร็วขณะทำการทดสอบ โดยการดึง ซึ่งมีผลกระทบต่อคุณสมบัติความต้านทานแรงดึงของวัสดุ คือถ้าเพิ่มความเร็วในการดึงชิ้นทดสอบจะทำให้เพิ่มความแข็งแรงดึงขึ้นแต่ความเหนียวจะมีแนวโน้มลดลง ความเร็วขณะทำการทดสอบโดยการดึงนี้จะมีผลกระทบที่ปรากฏเด่นชัดมากสำหรับโลหะที่มีอุณหภูมิหลอมละลายต่ำ เช่น ตะกั่ว สังกะสี พลาสติก แต่ถ้าเป็นโลหะที่มีอุณหภูมิหลอมละลายสูง เช่น เหล็กกล้า จะมีผลกระทบน้อยกว่า

อุณหภูมิต่ำขณะทดสอบ (Test at low temperatures) ในบางครั้งก็มีความจำเป็นที่ต้องทำการทดสอบโดยการดึงที่อุณหภูมิต่ำมาก เพราะบางโอกาสวัสดุถูกนำไปใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ เช่น ชิ้นส่วนของเครื่องทำความเย็นและชิ้นส่วนของเครื่องจักร หรือโครงสร้างที่ต้องนำไปใช้งานในบริเวณที่มีอากาศหนาว โดยส่วนมากโลหะจะมีความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ แต่ความแข็งแรงที่จุดคราก (Yield strength) ไม่ได้เพิ่มขึ้นในระดับเดียวกันกับความต้านทานแรงดึงที่เพิ่มขึ้น ดังรูป 2.16



รูปที่ 2.16 อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทานแรงดึงและความแข็งแรงที่จุดคราก [2:P46]

## 2.7 การทดสอบแรงดึงและแผนภาพความเค้นความเครียดวิศวกรรม(The Tensile Test and Engineering Stress – Strain Diagram) [3:P162]

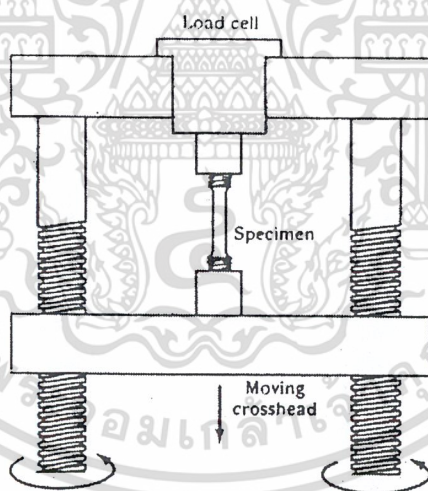
การทดสอบแรงดึงของวัสดุมีจุดประสงค์เพื่อที่จะหาค่าทางกลของวัสดุเมื่อมีแรงประเภทแรงแท่งและกระจายสม่ำเสมอ ทั้งพื้นที่หน้าตัดของแท่งทดลอง โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile testing machine)

ในระหว่างการทดลอง แรงที่ใช้ในการดึงวัสดุจะถูกบันทึกไว้บนแผ่นกระดาษกราฟ ซึ่งเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ในขณะที่ความเค้นที่สมานัยกับแรงดึงจะถูกบันทึกไว้บนกระดาษกราฟเช่นเดียวกัน ค่าความเค้นได้มาจากสัญญาณจากเครื่องวัดการยืดตัวไว้กับชิ้นงานทดลอง รูปที่ 2.18 เป็นรูปแสดงหลักการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึง

การทดสอบจะใช้ชิ้นทดสอบแรงดึงมีรูปร่างลักษณะต่างๆ กันตามมาตรฐาน DIN, ASTM, JIS, BS ซึ่งจะกำหนดรูปร่างและขนาดไว้อย่างละเอียด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.19



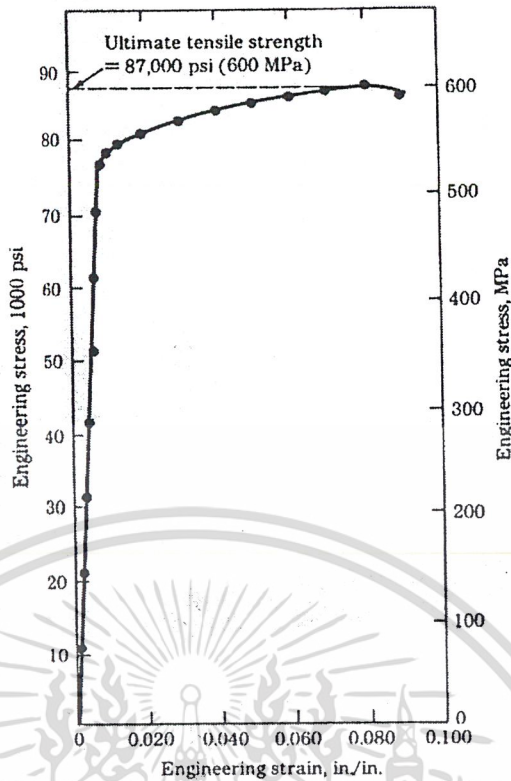
รูปที่ 2.17 เครื่องทดสอบแรงดึง [3:P163]



รูปที่ 2.18 หลักการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึง [3:P163]

ข้อมูลของแรงที่ได้จากการบันทึก สำหรับการทดสอบแรงดึงสามารถแปลงเป็นความเค้นวิศวกรรม และพลอตค่าความเค้นกับความเครียด รูปที่ 2.17 แสดงแผนภาพความเค้น – ความเครียดวิศวกรรมสำหรับเหล็กกล้าละมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงแผนภาพความเค้น-ความเครียดสำหรับโลหะผสมอลูมิเนียมที่มีความแข็งแรงสูง [3:P164]

**2.7.1 คุณสมบัติทางกลที่หาได้จากการทดสอบแรงดึงและแผนภาพความเค้น-ความเครียด (Mechanical Property Data Obtained From The tensile Test and Stress – Strain Diagram) [3:P165]**

คุณสมบัติทางกลของ โลหะและโลหะผสมซึ่งมีความสำคัญต่อการออกแบบโครงสร้างซึ่งสามารถหาได้จากการทดสอบแรงดึงคือ

1. โมดูลัสของความยืดหยุ่น
2. Yield strength
3. Ultimate tensile strength
4. เปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด
5. เปอร์เซ็นต์การลดของพื้นที่หน้าตัดที่จุดขาด

โมดูลัสของความยืดหยุ่น ( Modulus of Elasticity)

ในการทดสอบแรงดึงของโลหะเมื่อมีแรงดึงกระทำต่อชิ้นงานทดสอบจะเกิดการยืดตัวออกและถ้าปล่อยแรงดึงออก ชิ้นงานนั้นก็กลับคืนสู่สภาพเดิม สำหรับโลหะ การเสียรูปแบบคืนรูป ได้มากที่สุดปกติจะน้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยทั่วไปแล้วสำหรับโลหะผสมจะมีความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดในช่วงการคืนรูปของแผนภาพความเค้น-ความเครียดวิศวกรรม ซึ่งเป็นไปตามกฎของฮุคส์ ( Hooke's law)

$$\sigma \text{ (ความเค้น)} = E \epsilon \text{ (ความเครียด)} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ (หน่วยเป็น Pa หรือ psi)}$$

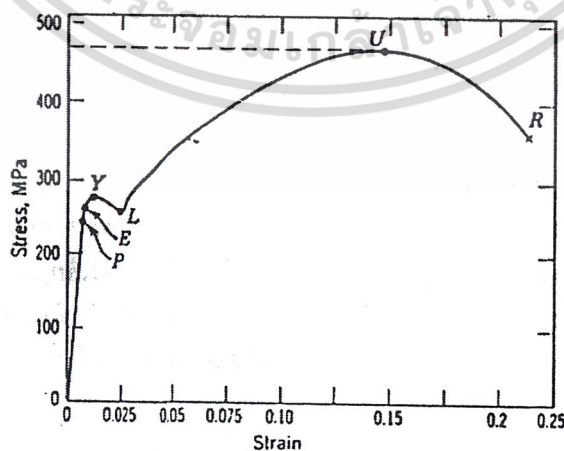
เมื่อ E คือ โมดูลัสของความยืดหยุ่น

โมดูลัสของความยืดหยุ่นจะสัมพันธ์กับความแข็งแรงของพันธะระหว่างอะตอมในโลหะและโลหะผสม ตารางที่ 4.1 เป็นค่า โมดูลัสของความยืดหยุ่นของโลหะบางชนิด โลหะที่มีค่า โมดูลัสของความยืดหยุ่นสูงจะมีความแข็งคืด ( Stiffness) สูงตัวอย่างเช่นเหล็กกล้าจะมีค่า โมดูลัสของความยืดหยุ่นสูงประมาณ  $30 \times 10^6$  psi (207 GPa) ในขณะที่ อะลูมิเนียมผสมมีค่า โมดูลัสของความยืดหยุ่นประมาณ 10 ถึง  $11 \times 10^6$  psi (69 – 67 GPa) จะสังเกตให้เห็นว่าในช่วงการคืบรูป จะมีค่าคงที่

ตารางที่ 2.1 โมดูลัสของความยืดหยุ่นของโลหะและโลหะผสมบางชนิด [3:P165]

Material	Modulus of elasticity, $10^{-6}$ psi (GPa)	Shear modulus, $10^{-6}$ psi (GPa)	Poisson's ratio
Aluminum alloys	10.5 (72.4)	4.0 (27.5)	0.31
Copper	16.0 (110)	6.0 (41.4)	0.33
Steel (plain carbon and low-alloy)	29.0 (200)	11.0 (75.8)	0.33
Stainless steel (18-8)	28.0 (193)	9.5 (65.6)	0.28
Titanium	17.0 (117)	6.5 (44.8)	0.31
Tungsten	58.0 (400)	22.8 (157)	0.27

**Yield Strength** ค่า yield strength มีความสำคัญมากในการออกแบบโครงสร้างในทางวิศวกรรม เพราะว่าเป็นความแข็งแรงที่ซึ่งในแง่แรงที่ซึ่งโลหะหรือโลหะผสมแสดง นัยสำคัญ ของการเสียรูปแบบคงรูป ค่า yield strength สามารถสังเกตเห็นได้ชัดจาก แผนภาพความเค้น – ความเครียด ของเหล็กกล้าอะลูมิเนียม รูปที่ 2.17 จุด y คือจุดที่แสดงค่า yield strength แต่สำหรับโลหะบางชนิด เมื่อทดสอบแรงคืบแล้วพลอตแผนภาพความเค้น – ความเครียด ในแผนภาพจะไม่แสดงจุด yield อย่างเด่นชัด เช่น แผนภาพความเค้น ความเครียดของ โลหะผสมอะลูมิเนียมความแข็งแรงสูงรูปที่ 2.18

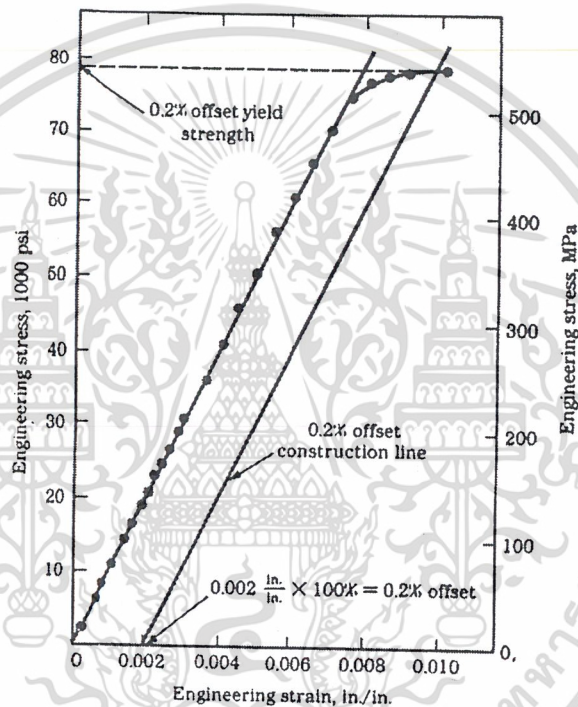


รูปที่ 2.20 แผนภาพความเค้น-ความเครียด สำหรับเหล็กกล้าอะลูมิเนียมในการทดสอบแรงคืบ [3:P166]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แลต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีเช่นนี้ เมื่อความเครียดคงรูป จะเริ่มเกิดขึ้นดังนั้นจึงกำหนดจุด Yield ไว้ที่ความแข็งแรง เมื่อมีปริมาณของความเครียดคงรูป เกิดขึ้นแน่นอนค่าหนึ่งโดยทั่วไป และจะกำหนด yield strength ไว้ที่จุด ซึ่งเมื่อเกิดความเครียดแบบคงรูป 0.2 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปแผนภาพความเค้นความเครียด รูปที่ 2.21

ค่า 0.2 เปอร์เซ็นต์ Yield strength อาจเรียกว่า 0.2 เปอร์เซ็นต์ ออฟเซ็ท yield strength ซึ่งหาได้จากแผนภาพความเค้น – ความเครียด รูปที่ 2.21 โดยการลากเส้นจากจุดที่มีความเครียด 0.002 in / in ( m / m ) ขนานไปกับส่วนที่แสดงการคืนรูป ( ช่วงเป็นเส้นตรง ) และตัดกับส่วนที่พ้นจากช่วงการคืนรูป ( ช่วงเป็นเส้นตรง ) และตัดกับส่วนที่พ้นจากช่วงการคืนรูปของเส้นโค้งของความเค้น – ความเครียด จากจุดตัดนี้ลากเส้นในแนวระดับ ไปตัดแนวแกนความเค้นในกรณีของ รูปที่ 2.21 จะได้ค่า yield strength เท่ากับ 78,000 psi ในบางแห่งเช่นในอังกฤษใช้ค่า yield strength เท่ากับ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ออฟเซ็ท yield strength



รูปที่ 2.21 แผนภาพความเค้น-ความเครียด แสดงส่วนที่เป็นเส้นตรงของรูปที่ 2.20 ขยายแกนความเครียด เพื่อที่จะหา 0.2 เปอร์เซ็นต์ ออฟเซ็ท Yield Stress ได้ละเอียดขึ้น [3:P167]

Ultimate tensile strength เป็นค่าความแข็งแรงสูงสุดในเส้น โค้ง ความเค้น – ความเครียด เมื่อเลยจากจุดนี้แล้วความเค้นจะมีค่าลดลง เนื่องจากในการคำนวณค่าความเค้นนั้นใช้พื้นที่หน้าตัดเดิมของชิ้นทดสอบ แต่ตามความเป็นจริงแล้วเมื่อเลยจากจุดความเค้นสูงสุดในแผนภาพความเค้น – ความเครียดนี้แล้ว ความเค้น จะยังคงเพิ่มขึ้นถ้าคิดความเค้นจากพื้นที่หน้าตัดจริงๆ ของชิ้นงานทดสอบ เนื่องจากในช่วงนี้พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบจะคอดคอง (necking) จนกระทั่งขาด ดังนั้นค่าความเค้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งขาด

Ultimate tensile strength ของโลหะ หาได้โดยลากเส้นในแนวระดับจากจุดสูงสุดบนเส้นโค้งความเค้น – ความเครียด ไปยังแกนความเค้นความเค้นที่เส้นนี้ตัดกับแกนความเค้นเรียกว่า ultimate tensile strength หรือเรียกว่า tensile strength สำหรับโลหะอลูมิเนียมผสม ของรูปที่ 4.19 มีค่า ultimate strength เท่ากับ 87,000 psi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติสำหรับโลหะหรือโลหะผสมที่มีความเหนียว (Ductility) สูงจะไม่ใช้ค่า ultimate tensile strength มาคำนวณการออกแบบ เนื่องจากที่จุดนี้จะมีการเกิด การเสียรูปแบบคงรูปมากเกินไป อย่างไรก็ตามค่า ultimate tensile strength สามารถบ่งบอกถึงค่าที่เกิดขึ้นในชิ้นงานได้ ถ้าโลหะมีรูปพรรณรวมอยู่ด้วยจะทำให้ค่า ultimate tensile strength ลดลงไปอย่างมากจากค่าปกติ

เปอร์เซ็นต์การยืด (Percent elongation) ปริมาณการยืดของชิ้นงานที่เกิดขึ้นในการทดสอบแรงดึงจะเป็นตัวบ่งชี้สมบัติด้านความเหนียวของวัสดุโดยปกติ ถ้าความเหนียวของโลหะสูงขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดจะสูงขึ้นเช่นกัน

$$\begin{aligned} \text{\%การยืด} &= \frac{\text{ความยาวสุดท้าย} - \text{ความยาวเริ่มต้น}}{\text{ความยาวเริ่มต้น}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.2) \\ &= \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% \end{aligned}$$

ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด มีความสำคัญมากในทางวิศวกรรม ซึ่งไม่เพียงแต่บอกค่าความเหนียวแต่ยังเป็นครุขณบิบอกคุณภาพของโลหะด้วย

เปอร์เซ็นต์การลดของพื้นที่หน้าตัด (Percent reduction in area) ความเหนียวของโลหะและโลหะผสมผสานสามารถพิจารณาได้จากค่าเปอร์เซ็นต์การลดของพื้นที่หน้าตัด ปริมาณนี้สามารถหาได้จากการทดลองแรงดึง คือ

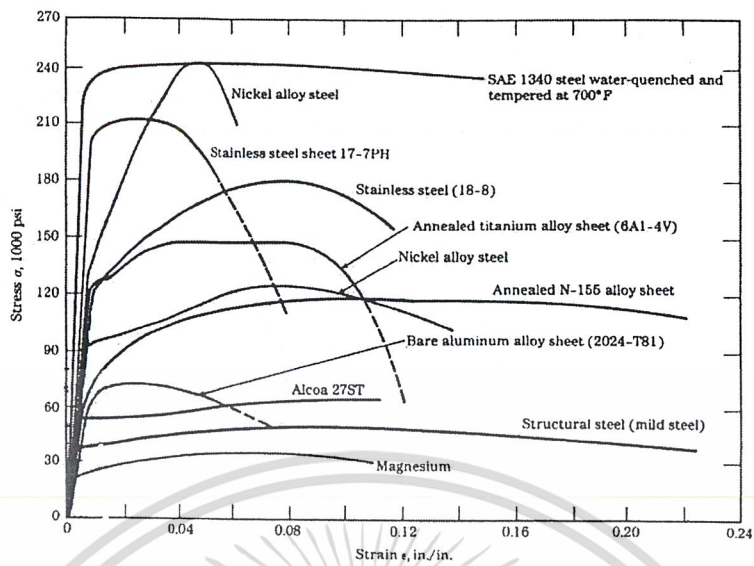
$$\begin{aligned} \text{\%การยืด} &= \frac{\text{พื้นที่เริ่มต้น} - \text{พื้นที่สุดท้าย}}{\text{พื้นที่เริ่มต้น}} \times 100\% \\ &= \frac{l - l_0}{l_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots(2.3) \end{aligned}$$

เปอร์เซ็นต์การลดของพื้นที่หน้าตัดเหมือนกับเปอร์เซ็นต์การยืดเป็นการบอกค่าความเหนียวของโลหะและในขณะเดียวกัน เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของวัสดุด้วย เปอร์เซ็นต์การลดของพื้นที่หน้าตัด จะลดลง ถ้ามีความบกพร่องในชิ้นงานทดสอบ

เส้นโค้งความเค้นความเครียดสำหรับโลหะและโลหะผสมที่สำคัญดังแสดงในรูป 2.22 ชาติผสมและการอบชุบจะมีผลต่อความแข็งแรงและความเหนียวของโลหะเป็นอย่างมาก เส้นโค้งความเค้นความเครียดของรูปที่ 2.22 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของ Ultimate tensile strength (UTS) ชาติแมกนีเซียมมี UTS เท่ากับ 35 ksi ในขณะที่เหล็กกล้า 1340 ชุบแข็งในน้ำ แล้วทำการอบคลายที่ 700 (370°C) มีค่า UTS เท่ากับ 240 ksi

**2.7.2 ความเค้น – ความเครียดจริง ( True stress, True strain) [3:P169]**

ความเค้นความเครียดวิศวกรรมคำนวณได้จาก แรงหารด้วยพื้นที่หน้าตัดเดิม A<sub>0</sub> เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานทดสอบจะเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องในระหว่างการทดสอบความเค้นความเครียดวิศวกรรมจึงเป็นค่าโดยประมาณ ในระหว่างการทดสอบหลังจากเกิดการคอด (necking) เป็นผลให้ค่าความเค้นวิศวกรรมมีค่าสูงสุดดังแสดงในรูปที่ 2.23 แต่ในขณะที่ทดสอบแรงดึงนั้นเกิดการคอดในหน้าตัดของชิ้นงานทดสอบขึ้น เป็นผลให้ความเค้นจริงมีค่าสูงกว่าความเค้นวิศวกรรม สามารถหาความเค้นจริง – ความเครียดจริงได้ดังนี้



รูปที่ 2.22 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดทางวิศวกรรมสำหรับโลหะและโลหะผสมที่สำคัญ [3:P170]

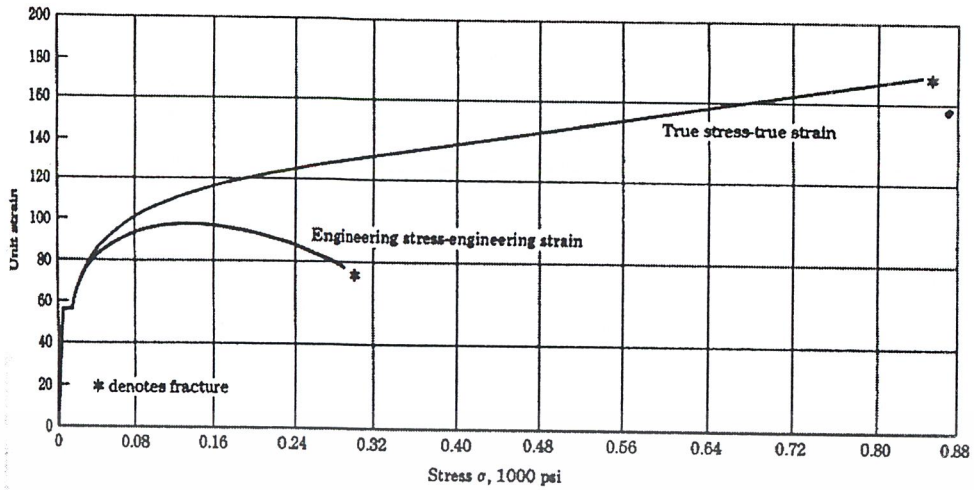
ความเค้นจริง  $\sigma_T = \frac{F \text{ (แรงเฉลี่ยตามแนวแกนของชิ้นงานทดสอบ)}}{A_i \text{ (พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานขณะนั้น)}}$  .....(2.4)

ความเครียดจริง  $\epsilon_T = \int_{l_0}^{l_i} \frac{dl}{l}$   
 $= \ln \frac{l_i}{l_0}$  .....(2.5)

เมื่อ  $l_0$  เป็นความยาวเกจเริ่มต้นของชิ้นงานทดสอบและ  $l_i$  เป็นความยาวเกจที่ยืดออกในขณะนั้นๆ สมมติว่า ปริมาณของชิ้นงานทดสอบในช่วงงานทดสอบช่วงความยาวเกจมีค่าคงที่ ดังนั้น  $l_0 A_0 = l_i A_i$  หรือ

$$\frac{l_i}{l_0} = \frac{A_0}{A_i} \text{ และ } \epsilon_T = \ln \frac{l_i}{l_0} = \ln \frac{A_0}{A_i}$$

อย่างไรก็ตามในการออกแบบทางวิศวกรรมจะไม่ใช่ค่าความเค้นจริงที่จุดแตกมาใช้ในการคำนวณ เนื่องจากพอลอยจากจุดจำนวน (Yield point) วัสดุจะเริ่มเสียรูป วิศวกรจะใช้ค่า 0.2 เปอร์เซ็นต์ความเค้นจำนวนวิศวกรรม ในการคำนวณออกแบบ พร้อมทั้งใช้ค่าตัวประกอบความปลอดภัย (safety factor) ที่เหมาะสม สำหรับความเค้นความเครียดจริงนั้น อาจจะมีค่าจำเป็นต้องใช้ในการวิจัย



รูปที่ 2.23 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดทางวิศวกรรมเปรียบเทียบกับความเค้น-ความเครียดจริงของ เหล็กกล้าเปอร์เซินต์คาร์บอนต่ำ [3:P171]



### บทที่ 3

#### การออกแบบ / การดำเนินงาน

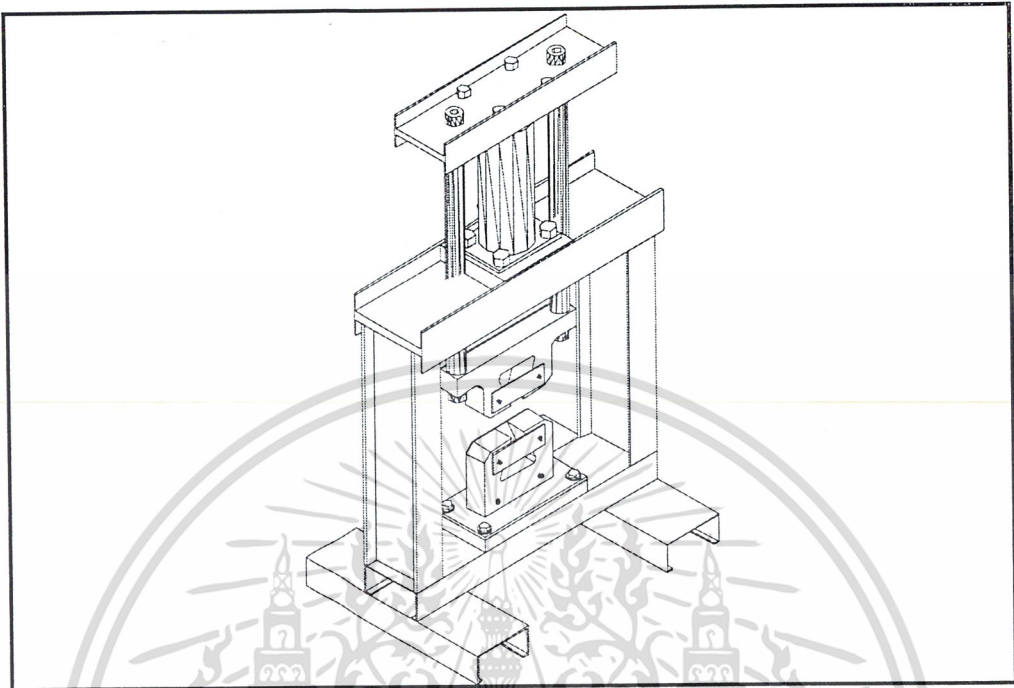
##### 3.1 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน

งานที่ต้องดำเนินการ	เดือน/2544							เดือน/2545		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ค้นคว้ารวบรวมข้อมูล	■	■	■							
2. ออกแบบและเลือกวัสดุ		■	■	■						
3. เขียนแบบโครงสร้างและส่วน ต่างๆ โดยละเอียด		■	■	■	■					
4. ทำชิ้นส่วนต่างๆ และจัดซื้อชิ้น ส่วนที่ไม่สามารถทำเองได้			■	■	■	■				
5. ทำการสร้างเครื่องทดสอบแรงดึง							■	■	■	■

### 3.2 การออกแบบ / ส่วนประกอบ

ส่วนประกอบหลักของเครื่องทดสอบแรงดึง แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนโครงสร้างและส่วนคั่นกำลังขับ

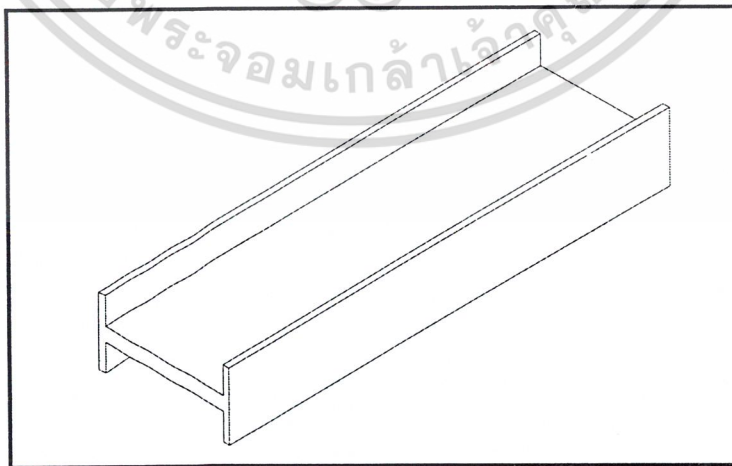


รูปที่ 3.1 โครงสร้างที่ได้ทำการออกแบบไว้

#### 3.2.1 ส่วนโครงสร้าง

##### 1. คาน

คานมีอยู่ 2 ชั้น คือ คานด้านบนกับคานด้านล่าง คานด้านบนเป็น I-beam ขนาด 6 นิ้ว (เหล็ก I-beam จะสามารถรับแรง ได้มากแต่น้ำหนักเบา)



รูปที่ 3.2 คาน I-beam ขนาด 6 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 23 อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

เมื่อมีแรงกระทำกับคานในแนวดิ่งทำให้เกิดการโก่งตัวของคาน ระยะเวลาที่ยอมรับได้  $y_{max} = 1$  มิลลิเมตร

6		$\theta_1 = -\frac{PL^2}{16EI}$ <p>at <math>x = 0</math></p> $\theta_2 = +\frac{PL^2}{16EI}$ <p>at <math>x = L</math></p>	$y_{max} = -\frac{PL^3}{48EI}$ <p>at <math>x = L/2</math></p>
---	--	---	---

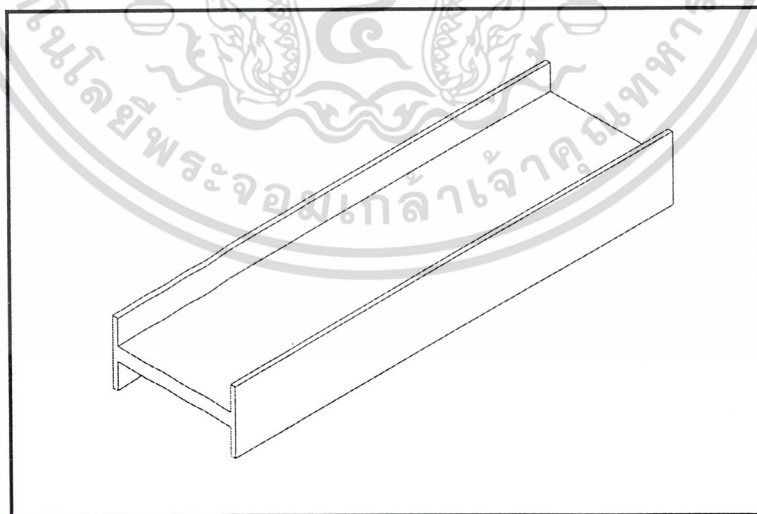
รูปที่ 3.3 ลักษณะการรับแรงของคาน [3:259]

$$y_{max} = \frac{-PL^3}{48EI}$$

$$-1 = \frac{-P(500)^3}{48(28 \times 6.895 \times 10^3) \times (5.97 \times 10^6)}$$

$P = 440 \text{ kN}$

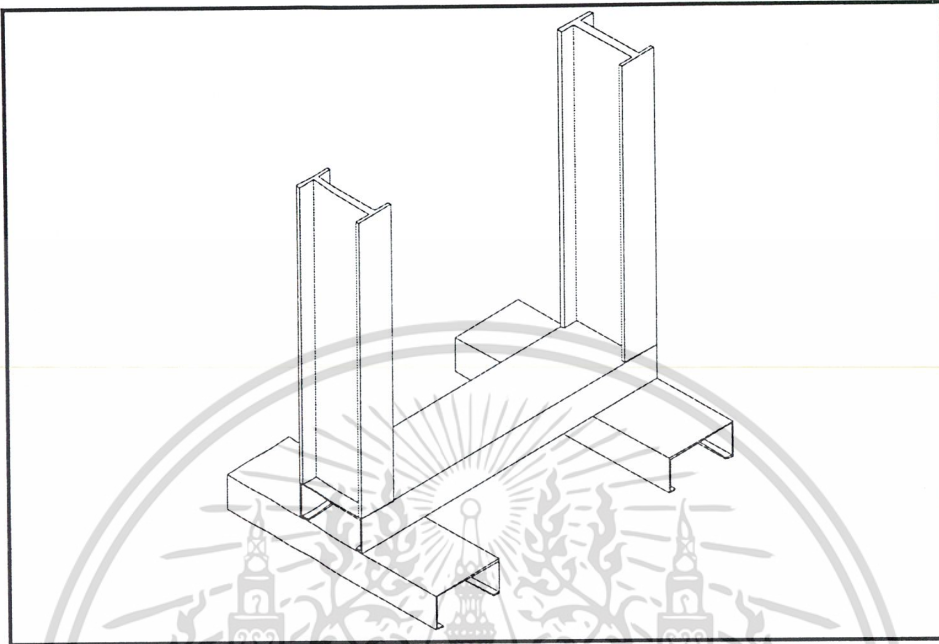
จากการคำนวณแสดงให้เห็นว่าคาน I-beam ขนาด 6 นิ้ว สามารถรับแรงกดขนาด 100 กิโลนิวตันได้ คานด้านล่างจะต้องเป็นฐานวางกระบอกไฮดรอลิก ฐานของกระบอกไฮดรอลิกมีขนาด 18x21x4.5 เซนติเมตร ดังนั้นคานตัวล่างจึงมีขนาดใหญ่กว่าคานด้านบน คือ I-beam ขนาด 8 นิ้ว



รูปที่ 3.4 คาน I-beam ขนาด 8 นิ้ว

## 2. เสาด้านข้าง

เสาข้างจะทำหน้าที่เป็น โครงส่วนที่ยึดระหว่างคานด้านล่างกับส่วนฐาน โดยเสาข้างจะเป็น I-beam ขนาด 6 นิ้ว (ที่เหลือจากการทำคาน)



รูปที่ 3.4 เสาข้างที่ทำจาก I-beam ขนาด 6 นิ้ว

### การคำนวณ

เมื่อมีแรงกระทำที่ปลายเสาจะทำให้เกิดการโก่งงอ

- เสารับแรง 2 ต้น (รับแรงกดจากไฮดรอลิก 100 กิโลนิวตัน)
- ความยาวของเสาประมาณ 600 mm ( $L_e = 600/2$ ) ค่าค่าตัวประกอบความปลอดภัย = 3.5
- ค่า  $E = 190$  GPa (เปิดจากตาราง)
- $A = 11.85$  ตารางเซนติเมตร,  $K = 6.11$  เซนติเมตร

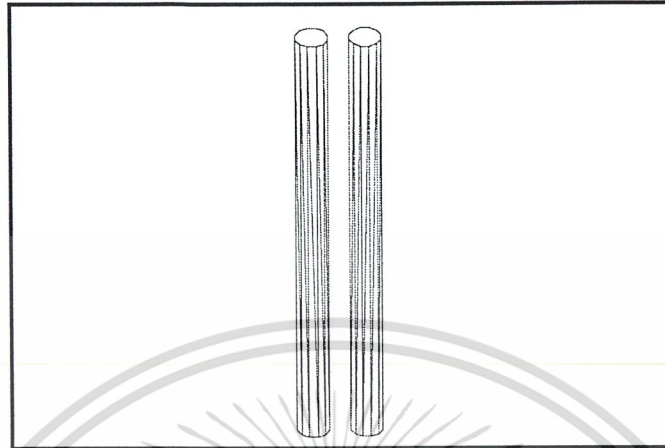
จากสูตรของออยเลอร์

$$F = \frac{\pi^2 EA}{N(L_e/K)^2}$$
$$= 82.7 \text{ MN}$$

แสดงว่า เสาต้นนี้สามารถรับแรง 50 กิโลนิวตันได้โดยไม่เกิดการโก่งงอ

### 3. เพลากลม

เพลากลมจะเป็นส่วนที่ยึดอยู่ระหว่างหัวจับด้านบนกับคาน



รูปที่ 3.5 เพลากลม

#### การคำนวณ

หาขนาดของเพลากลม โดยความยาวของเพลากลมประมาณ 600 มิลลิเมตร ( $Le = 600/2$ ) ค่าตัวประกอบความปลอดภัย = 3.5

จากสูตรของออยเลอร์

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{\pi^2 EA}{N(Le/K)^2} \\
 &= \frac{\pi^2 E \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)}{N \left[ \frac{Le^2}{\left(\frac{D^2}{16}\right)} \right]} \\
 &= \frac{\pi^3 ED^4}{64NLe^2} \\
 \frac{100 \times 10^3}{2} &= \frac{\pi^3 \times 159.964 \times 10^3 \times D^4}{64 \times 3.5 \times 300^2}
 \end{aligned}$$

$$D^4 = 20320.39$$

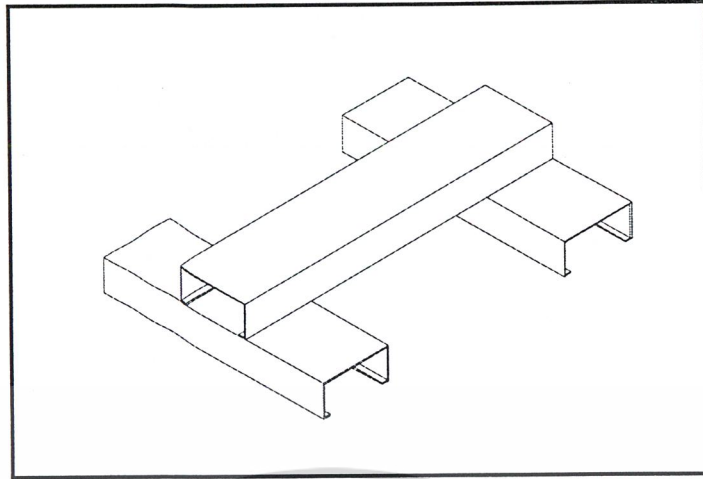
$$D = 21 \text{ mm}$$

ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลากลมมีค่าประมาณ 4.1 เซนติเมตร

### 4. ฐาน

ในส่วนของฐานจะใช้เหล็กตัว C-6 นิ้ว มาประกอบกันดังรูป

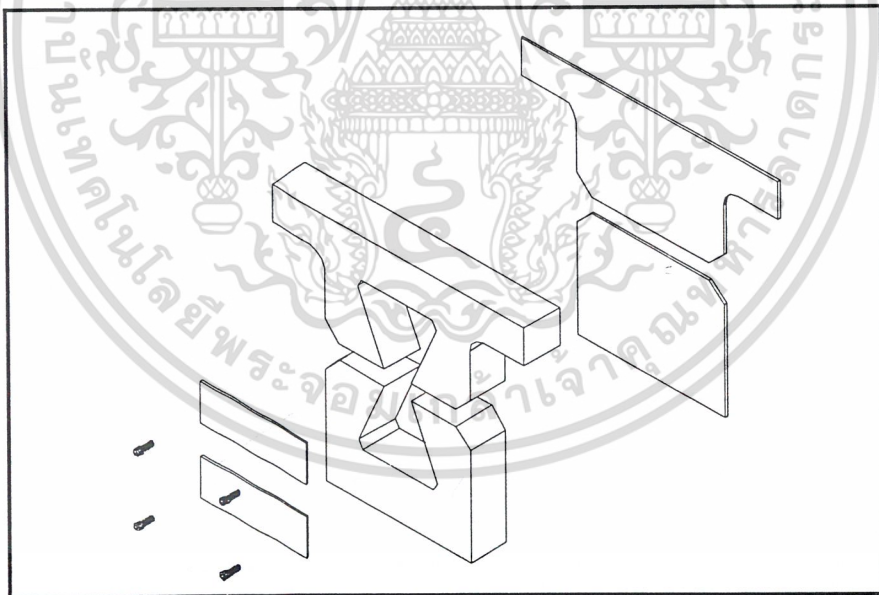
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ฐาน

5. หัวจับ

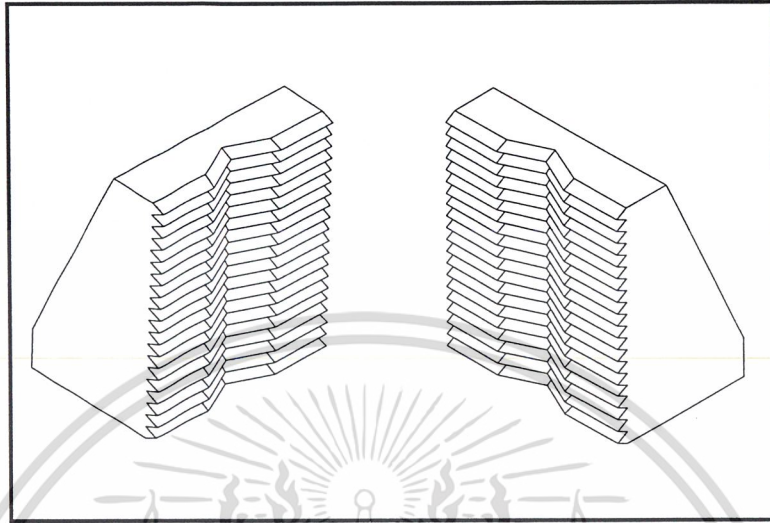
หัวจับจะมี 2 ส่วนคือหัวจับด้านบนกับหัวจับด้านล่าง โดยหัวจับจะทำมาจากเหล็กหนา 5 มิลลิเมตร แล้วตัดด้วยแก๊สให้ได้รูปร่างตามที่ต้องการและตกแต่งรายละเอียดด้วยการกัด หัวจับจะมีแผ่นประกบด้านหน้าและด้านหลังเพื่อป้องกันปากจับที่อยู่ด้านในหลุดออกมา



รูปที่ 3.7 หัวจับบน-ล่าง

## 6. ปากจับ

ปากจับจะทำจากเหล็กตีฟ้า จะขึ้นรูปด้วยการกลึงและทำการกัดเพื่อให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ

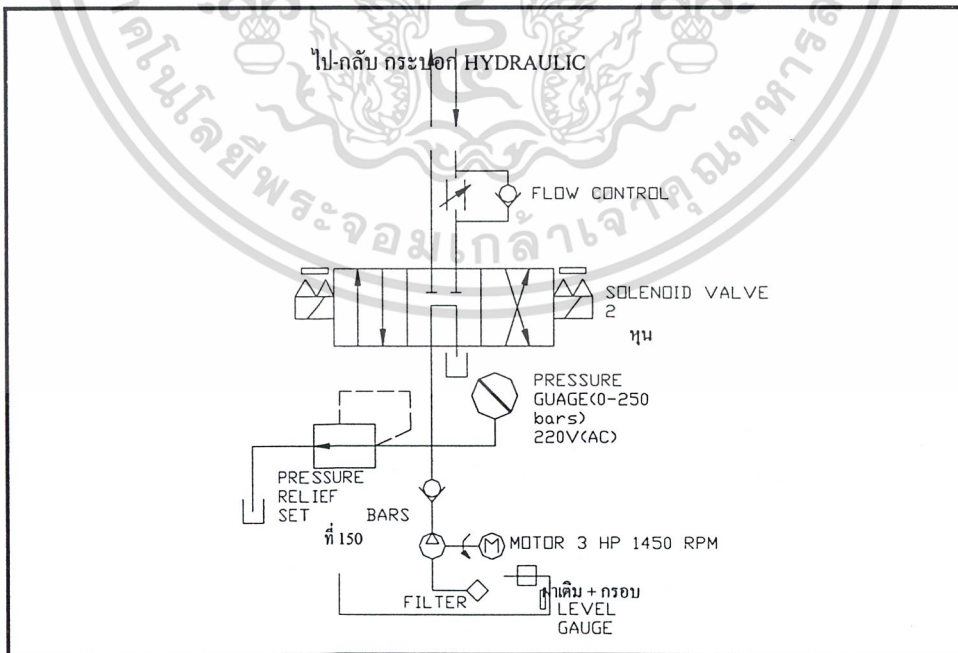


รูปที่ 3.8 ปากจับ

### 3.2.2 ส่วนต้นกำลังขับ

เครื่องทดสอบแรงดึงจะใช้ไฮดรอลิกเป็นต้นกำลังขับ โดยเป็นไฮดรอลิกที่มีแรงดันขนาด 100 กิโล

นิวตัน

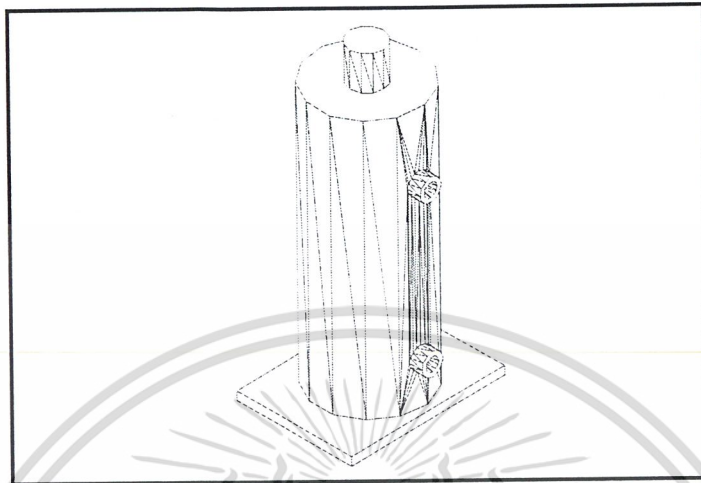


รูปที่ 3.9 วงจรไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮดรอลิกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. กระบอกลไฮดรอลิก



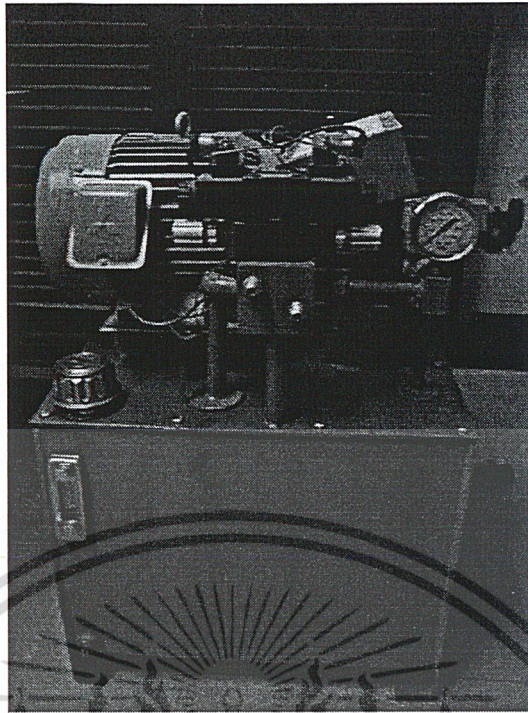
รูปที่ 3.10 กระบอกลไฮดรอลิก

กระบอกลไฮดรอลิกจะถูกยึดติดอยู่กับคานค้ำล่าง (คาน I-beam 8 นิ้ว) โดยบริเวณฐานของกระบอกลจะเสริมเหล็กขนาด 18x21x4.5 เซนติเมตร เพื่อให้รูของน้ำมันสูงกว่าปีกของคาน

2. ชุดต้นกำลังขับ

ชุดของ Power Unit จะประกอบด้วย

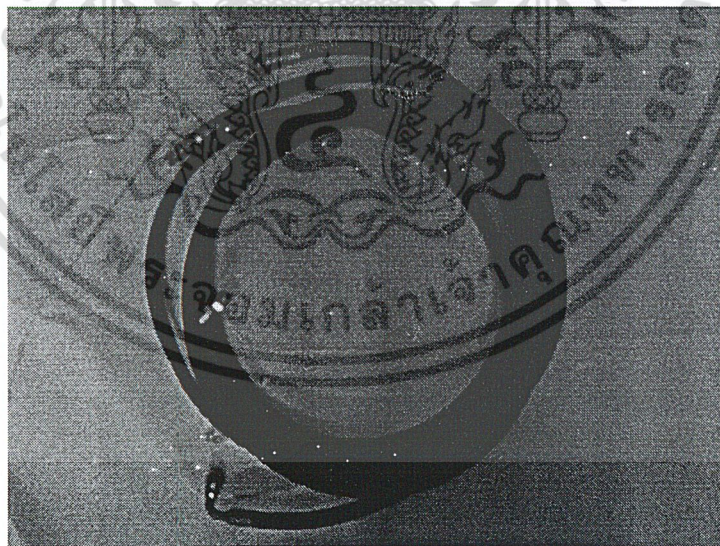
- 2.1 Honor Gear Pump
- 2.2 Motor
- 2.3 Pressure Gauge
- 2.4 Solenoid valve
- 2.5 Relief valve
- 2.6 Drive Coupling
- 2.7 Oil Level
- 2.8 Air Breather
- 2.9 Control Start



รูปที่ 3.11 ชุดต้นกำลังขับ

3. สายไฮดรอลิก

สายไฮดรอลิกมีขนาด 1 นิ้วและยาว 2 เมตร จำนวน 2 เส้นพร้อมกับข้อต่อที่บริเวณปลายทั้งสองด้าน

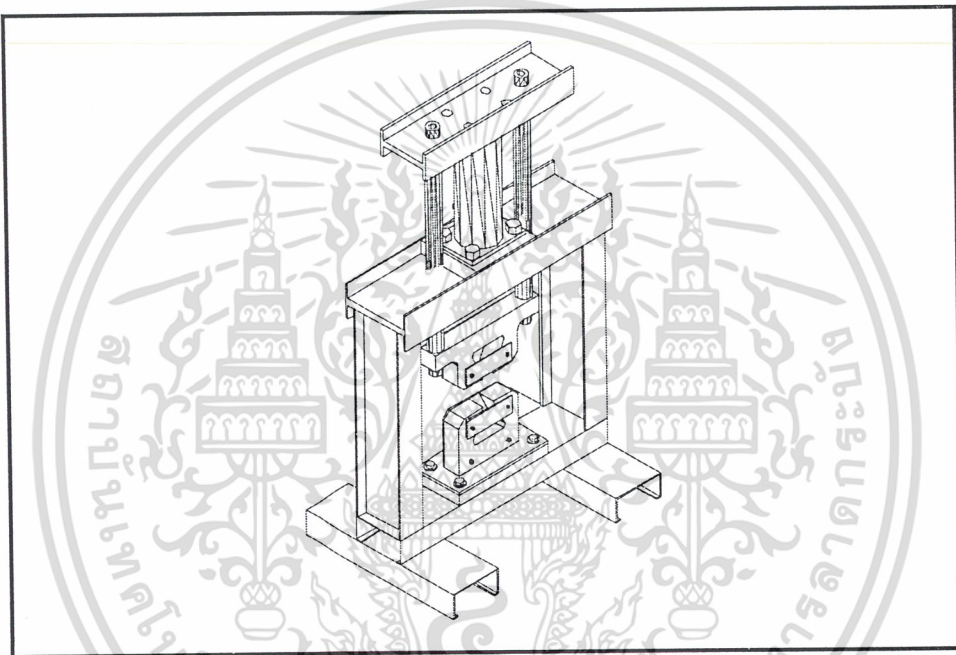


รูปที่ 3.12 สายไฮดรอลิก

### 3.3 รายละเอียดการทำงาน

การทำงานในการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงมีรายละเอียดการทำงาน ดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องทดสอบแรงดึง ชนิดต่างๆ และข้อดี-ข้อเสียของแต่ละชนิด
2. ระดมความคิดเพื่อพิจารณาแบบที่เหมาะสมที่สุด โดยคำนึงถึงขอบเขตการทำงาน ความเป็นไปได้ในการออกแบบและสร้างประสิทธิภาพในการทำงานและวัสดุที่จะใช้โดยคร่าวๆ
3. นำแบบที่ได้คร่าวๆ ไปปรึกษาอาจารย์และผู้รู้เพื่อขอแนะนำและชี้จุดบกพร่องเพื่อปรับแก้
4. ศึกษาหาข้อมูลของชิ้นส่วนมาตรฐาน รวมถึงวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นในการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบแรงดึง
5. การออกแบบทางเครื่องกลของเครื่องทดสอบแรงดึง ดังรูป 3.13



รูปที่ 3.13 แบบโครงสร้าง

6. มีการสำรวจชิ้นส่วนและวัสดุอุปกรณ์ตามที่ต้องการ มีการออกแบบทดแทนหรือออกแบบเพิ่มเติมในส่วนที่จำเป็น
7. รวบรวมรายการวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการสร้างตามทีออกแบบไว้เพื่อจัดทำรายการ
8. วางแผนขั้นตอนการดำเนินงานและพิจารณาว่าชิ้นส่วนใดมีความจำเป็นที่จะซื้อหรือควรทำเอง
9. คิดหาวิธีสร้างชิ้นส่วนที่จะทำเองเพื่อให้ได้ขนาดและคุณลักษณะต่างๆตามที่ต้องการ
10. จัดหาและซื้ออุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงสำรวจแหล่งขายและประเมินราคาของวัสดุอุปกรณ์ที่จะทำการจัดซื้อ
11. มีการออกแบบเพิ่มเติมสำหรับชิ้นส่วนและอุปกรณ์บางชิ้น เนื่องจากพบปัญหาภายหลัง, ความสวยงามและความสะดวกในการเคลื่อนย้าย เป็นต้น
12. ทำการประกอบชิ้นส่วนที่ยังไม่ต้องการความถูกต้องเที่ยงตรงมาก่อน โดยการประกอบอาจต้องดำเนินการแก้ไขในบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ทำการประกอบชิ้นส่วนที่ต้องการความถูกต้องเที่ยงตรงสูงเข้าไปที่หลัง
14. มีการเพิ่มขึ้นส่วนบางชิ้นเข้าไปจากที่ออกแบบไว้เพื่อแก้ไขส่วนที่บกพร่อง
15. ทำการตรวจสอบความเรียบร้อยต่างๆตลอดจนส่วนที่มีการเชื่อมต่อวงจรไฮดรอลิกเพื่อทำการทดสอบ
16. ทำการตกแต่งทาสีให้สวยงาม
17. ทำการทดลองครั้งสุดท้ายเพื่อคุณภาพ ทำการทดลองและบันทึกและวิเคราะห์ เปรียบเทียบกับขอบเขตการ

ทำงานและสรุปผล

18. ทำการพิจารณาข้อบกพร่องและสิ่งที่ควรแก้ไข เพื่อสรุปเสนอแนะวิธีการแก้ไขปรับปรุงและ แนวทางพัฒนาปรับปรุงในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

#### 4.1 ผลการดำเนินงาน

##### 4.1.1 ภาพส่วนประกอบ / ขนาด

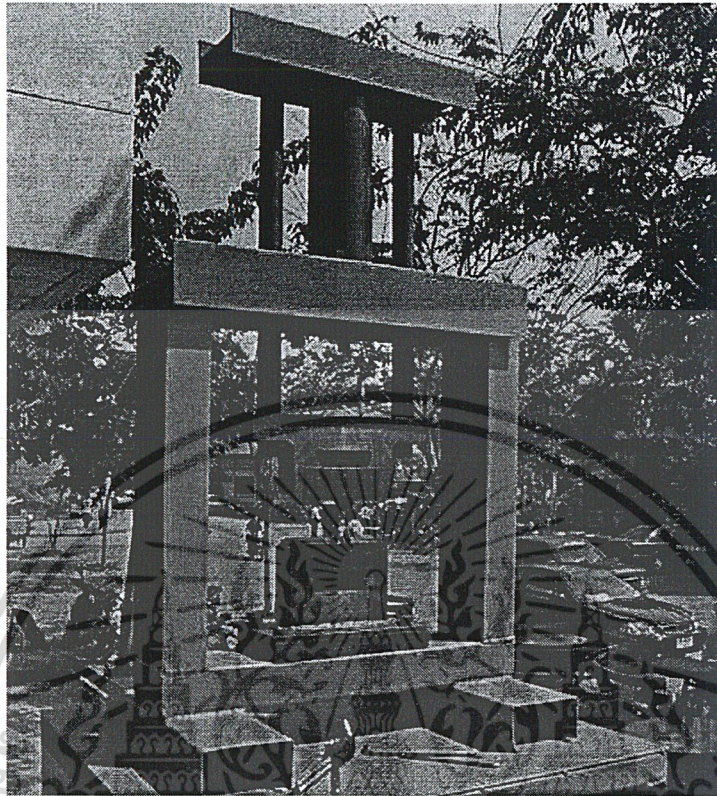
รูป 4.1 แสดงเครื่องทดสอบแรงดึง โดยภาพนี้เป็นภาพโดยรวมของเครื่องทดสอบแรงดึงซึ่งแสดงส่วนประกอบทั้งหมดที่นำมาประกอบเป็นเครื่องทดสอบแรงดึง



รูปที่ 4.1 เครื่องทดสอบแรงดึงและโต๊ะวางเครื่อง

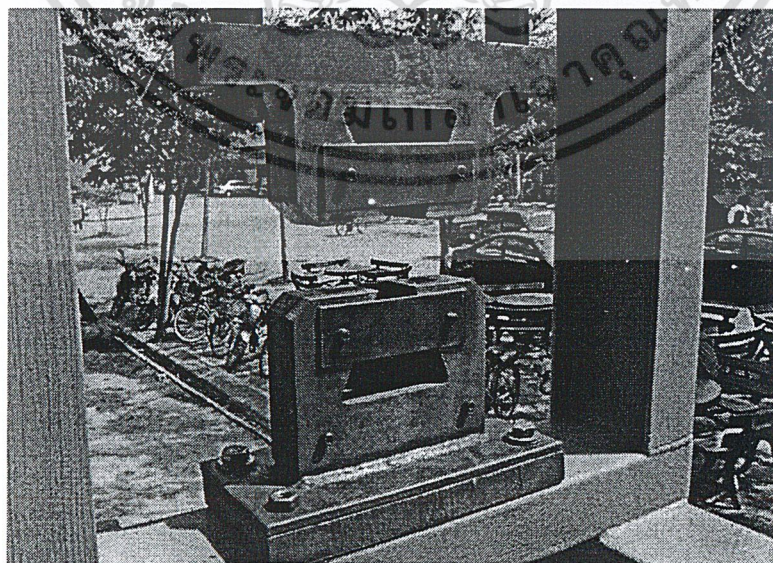
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.2 แสดง โครงสร้างเฉพาะส่วนของเครื่องทดสอบแรงดึง โดยไม่รวมส่วนของต้นกำลัง



รูปที่ 4.2 เครื่องทดสอบแรงดึง

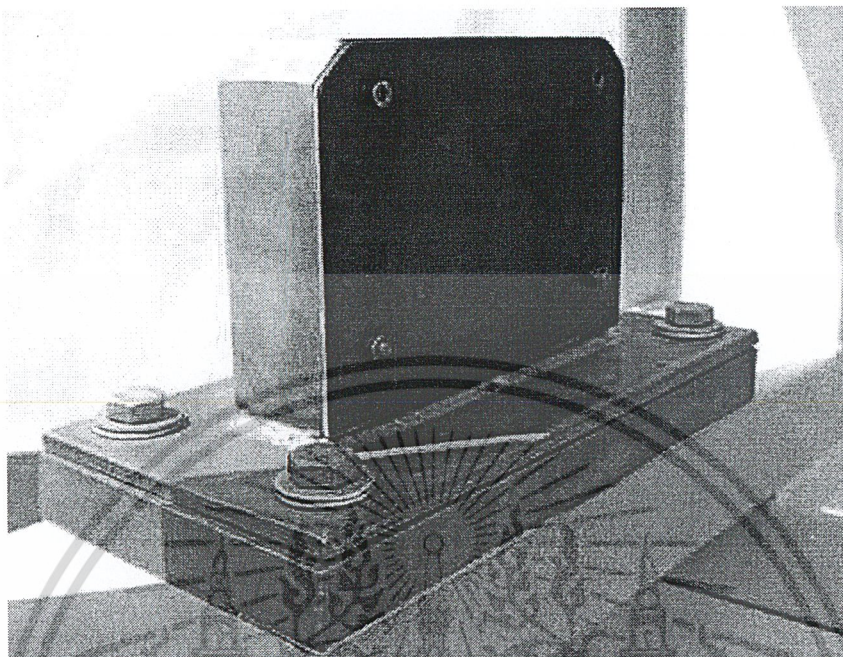
รูป 4.3 แสดงส่วนที่เป็นหัวจับของเครื่องทดสอบแรงดึง โดยส่วนของหัวจับล่างจะเป็นส่วนที่ไม่เคลื่อนที่ แต่หัวจับบนจะเป็นส่วนเคลื่อนที่



รูปที่ 4.3 หัวจับ

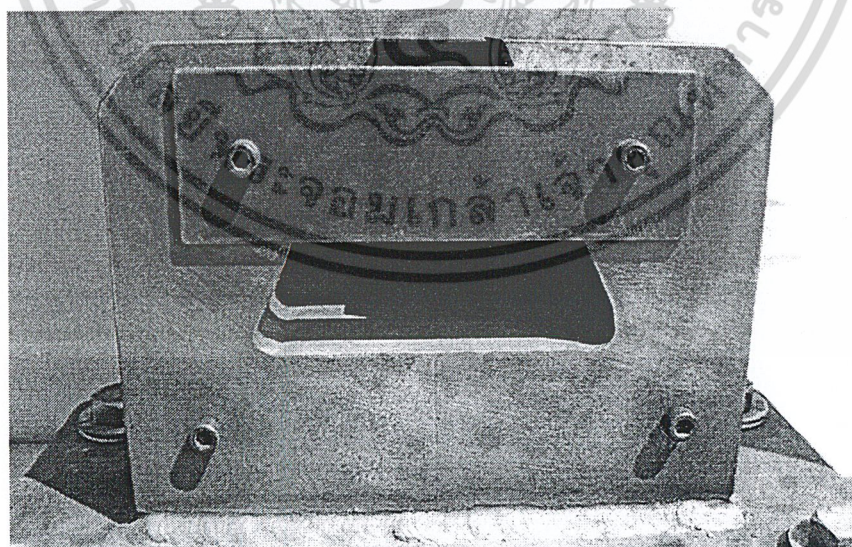
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.4 แสดงลักษณะของแผ่นประกบด้านหลัง ซึ่งแผ่นประกบด้านหลังจะใช้ปิดเพื่อป้องกันชิ้นงาน หลุดออกมาด้านหลังของหัวจับ



รูปที่ 4.4 ด้านหลังของหัวจับ

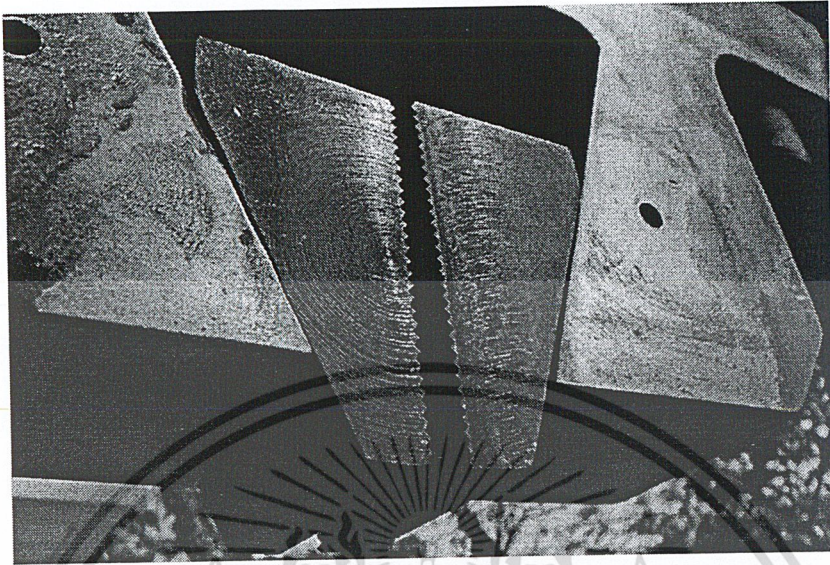
รูป 4.5 แสดงลักษณะของแผ่นประกบด้านหน้า ซึ่งมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้ชิ้นงานหลุดออกมาด้านหน้าแต่ทำให้มีขนาดเล็กเพื่อให้สามารถถอด และใส่ได้ง่ายในขณะที่น่าชิ้นงานเข้าหรือออกจากหัวจับ



รูปที่ 4.5 ด้านหน้าของหัวจับ

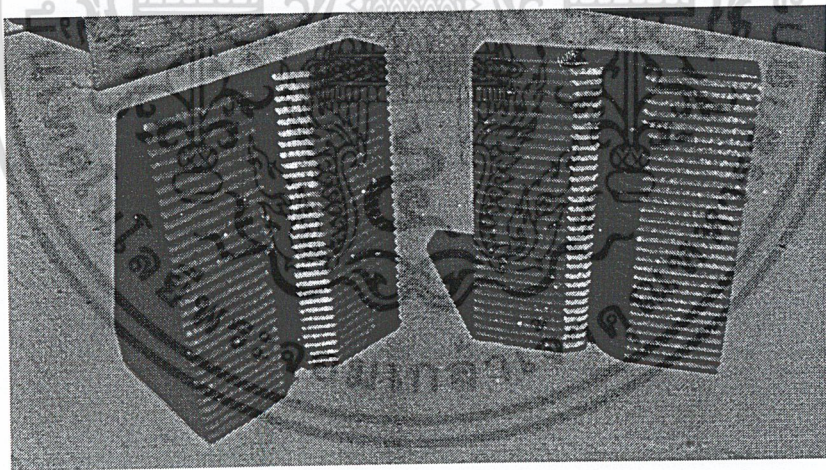
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.6 แสดงลักษณะของปากจับในหัวจับ เพื่อในขณะที่ตั้งขึ้นปากจับในส่วนนี้เมื่อเคลื่อนลงจะเพิ่มแรงจับยึด  
ชิ้นงานไว้กับหัวจับ



รูปที่ 4.6 ปากจับในหัวจับ

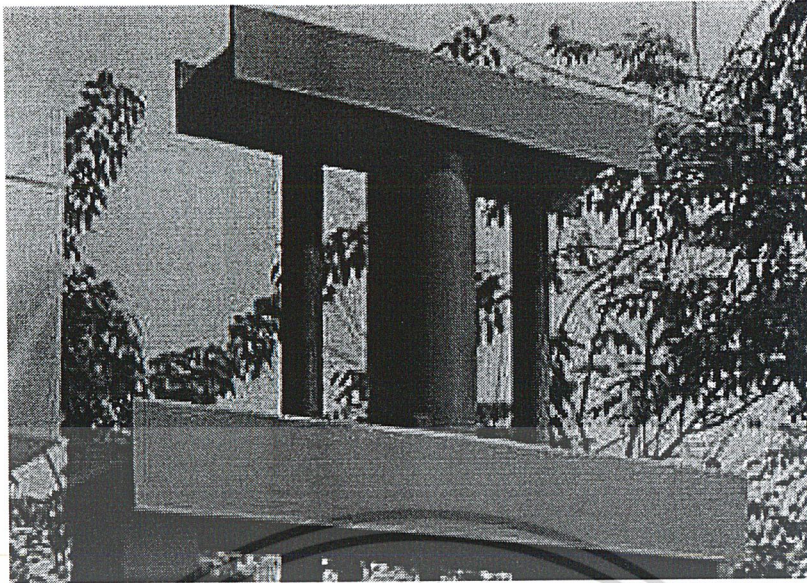
รูป 4.7 แสดงลักษณะของฟันภายในปากจับซึ่งเป็นส่วนที่ช่วยเพิ่มแรงเสียดทานระหว่างปากจับและชิ้นงาน



รูปที่ 4.7 ปากจับ

รูป 4.8 แสดงส่วนของกระบอกไฮดรอลิกซึ่งเป็นส่วนเคลื่อนที่ และทำให้เพลากลมด้านข้างทำหัวจับบน  
เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 คานด้านบน-ล่าง, เพลากลม และกระบอกลูกไฮดรอลิก

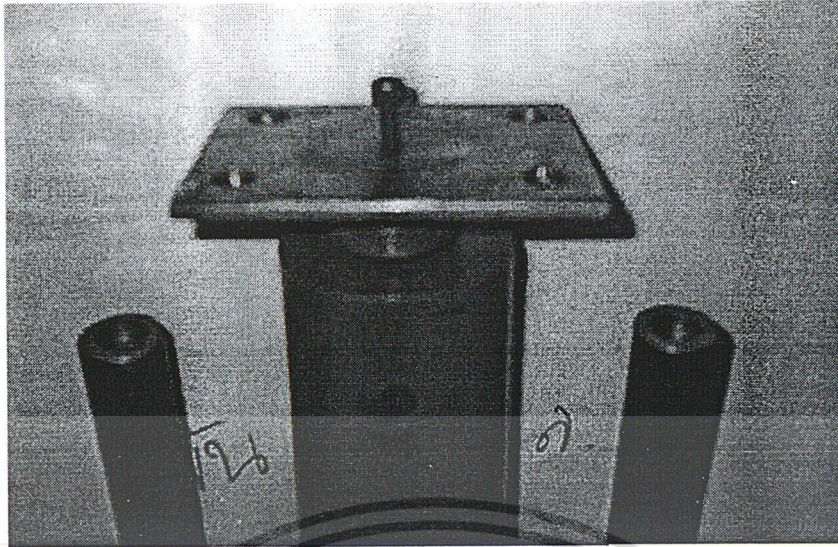
รูป 4.9 แสดงลักษณะของการจับยึดกระบอกลูกไฮดรอลิกกับคานด้านล่าง โดยมีการเสริมเหล็กที่ฐานเพื่อเพิ่มการกระจายแรง และทำให้ช่องใส่สายของกระบอกลูกไฮดรอลิกอยู่เหนือคานด้านล่าง



รูปที่ 4.9 ลักษณะการจับยึดกระบอกลูกไฮดรอลิกกับคานด้านล่าง

รูป 4.10 ลักษณะการจับยึดกระบอกลูกไฮดรอลิกกับคานด้านบน โดยจะมีปลอกสวมปลายกระบอกลูกไฮดรอลิกเพื่อเป็นตัวยึดให้ก้านสูบให้เคลื่อนที่ไปพร้อมกับคานบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ลักษณะการจับยึดกระบอกไฮดรอลิกกับคานด้านบน

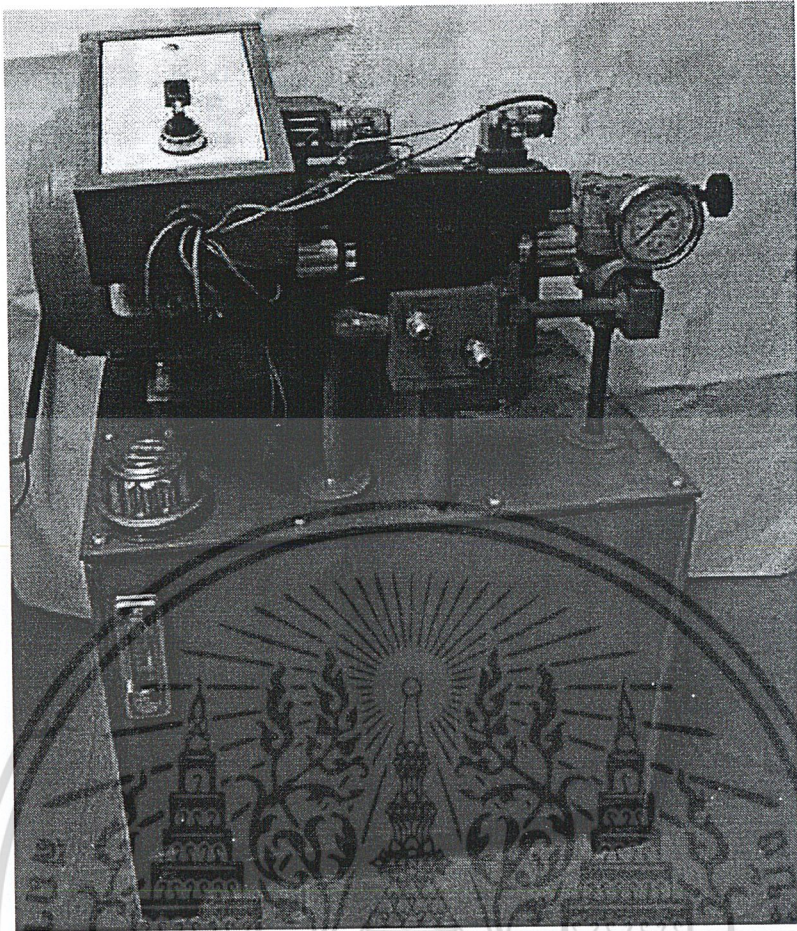
รูป 4.11 แสดงวิธีการจับยึดของส่วนประกอบด้านล่างกับคานด้านล่าง



รูปที่ 4.11 คานด้านล่างกับเพลากลม

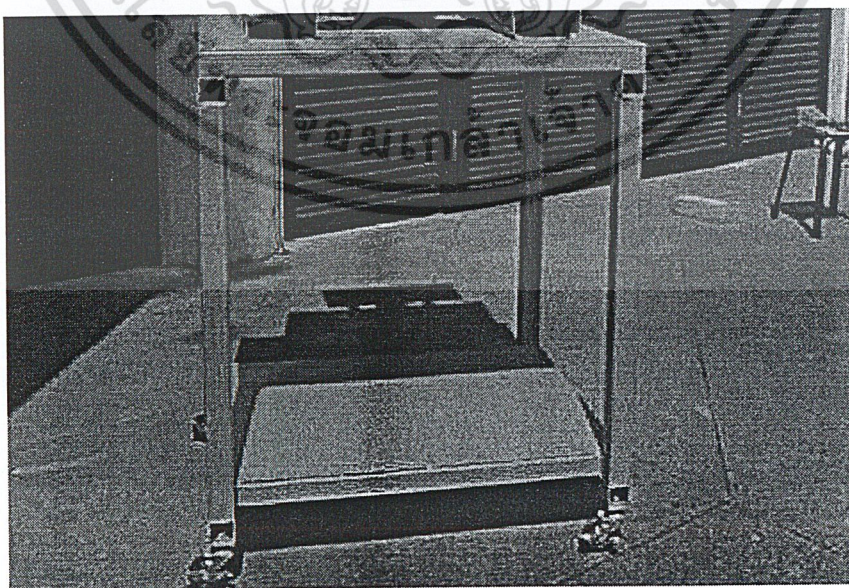
รูป 4.12 แสดงลักษณะของชุดต้นกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนกระบอกไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ชุดต้นกำลังขบ

รูป 4.13 แสดงลักษณะของโต๊ะวางเครื่องสำหรับวางต้นกำลังและส่วนของเครื่องดึง



รูปที่ 4.13 โต๊ะวางเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 ผลการทดสอบ

จากการทดสอบความสามารถของเครื่อง โดยการทำชิ้นงานทดสอบขนาดต่างๆ มาทดลองจึงจะได้ผลตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความสามารถของเครื่อง

เส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดที่สามารถดึงได้	จากการคำนวณ (มิลลิเมตร)	จากการทดสอบ (มิลลิเมตร)
อะลูมิเนียม	16	12
เหล็ก	12	9

หมายเหตุ

ชิ้นงานทดสอบต้องมีความยาวอย่างน้อย 220-300 มิลลิเมตร (รวมป่าทั้ง 2 ด้าน ด้านละ 20 มิลลิเมตร)

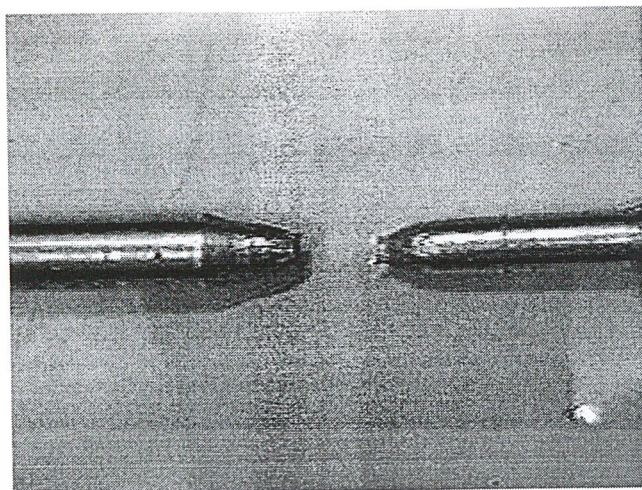


รูปที่ 4.14 ลักษณะชิ้นงานทดสอบที่ใช้กับเครื่องทดสอบแรงดึง



รูปที่ 4.15 ชิ้นงานที่ถูกดึงขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ลักษณะการขาดของชิ้นงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ขนาดชิ้นงานทดสอบสูงสุดที่สามารถทำการทดสอบได้

- อะลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร
- เหล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร

#### 5.2 วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

จากการทดลองพบว่าเมื่อเราใช้ชิ้นงานทดสอบเป็นอะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ความดันในสายไฮดรอลิกสูงถึง 110 Bars ซึ่งสายไฮดรอลิกสามารถทนความดันได้สูงสุดเพียง 200 Bars จึงทำให้ไม่สามารถทดสอบชิ้นงานได้ตามขนาดที่ได้คำนวณไว้ด้วยแรงดึง 100 กิโลนิวตัน

#### 5.3 แนวทางพัฒนา/ปรับปรุงในอนาคต

1. เนื่องจากเครื่องทดสอบแรงดึงที่ได้จัดสร้างขึ้นยังไม่สามารถวัดแรงที่ใช้ในการดึงได้จึงยังไม่สามารถว่าชิ้นงานทดสอบของเราขาดที่แรงดึงเท่าไร ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบได้ว่าแรงที่เราคำนวณทางทฤษฎีกับแรงดึงที่ใช้จริงต่างกันหรือไม่ นอกจากนี้เรายังไม่สามารถเก็บค่าของแรงดึงเพื่อวิเคราะห์ค่าต่างๆเช่นค่า จุดคราก, จุดแตกหัก ฯลฯ ซึ่งจะทำให้เราสามารถทราบความแข็งแรง ความเหนียว ของชิ้นงานทดสอบได้ จึงขอเสนอให้ทำการติดตั้ง Load Cell ประกอบกับการเขียน โปรแกรมเพื่อจะได้แสดงผลและเก็บค่าแรงดึงที่ใช้เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ต่อไป
2. เนื่องจากตอนนี้การออกแบบหัวจับจะสามารถจับงานเพื่อดึงได้แล้วแต่ต้องใช้งับชิ้นงานที่มีลักษณะตามมาตรฐานที่กำหนดเท่านั้น จึงขอเสนอให้มีการปรับปรุงหัวจับเพื่อให้สามารถจับชิ้นงานได้หลากหลายและมั่นคงขึ้น โดยการเจาะรูที่ด้านข้างของหัวจับ ตีแปปเกลียว แล้วนำน็อตที่สามารถหมุนเข้าออกได้มาใส่เพื่อไว้ใช้ในการปรับชิ้นงานให้แน่นขึ้นก่อนทำการดึง
3. แผ่นประกบด้านหน้าที่ถูกออกแบบให้ทุกครั้งที่จะทดลองต้องหมุนคลายน็อตหัวงมเพื่อเอาแผ่นออกก่อนนั้นไม่สะดวกและเสียเวลา จึงขอเสนอให้ปรับปรุงเป็นแบบที่มีการยึดน็อต 1 ด้านอีกด้านให้เป็นแบบที่สามารถหมุนฝาประกบออกได้โดยไม่ต้องคลายน็อต

## บรรณานุกรม

1. Archie Higon, Edward H. Ohlsen, William B. Stiles, John A. Weese and William F. Riley. "MECHANICS OF MATERIALS". Fourth Edition, John Willey&Sons, 1985.
2. ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์และชาญ ถนัดงาน. "การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม 1". ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2521.
3. ผศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช. "วัสดุศาสตร์". ตำราชุดวิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ, 2536.
4. มณฑล ฉายอรุณ. "ทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ". ยูไนเต็คนิวส์, 2531.





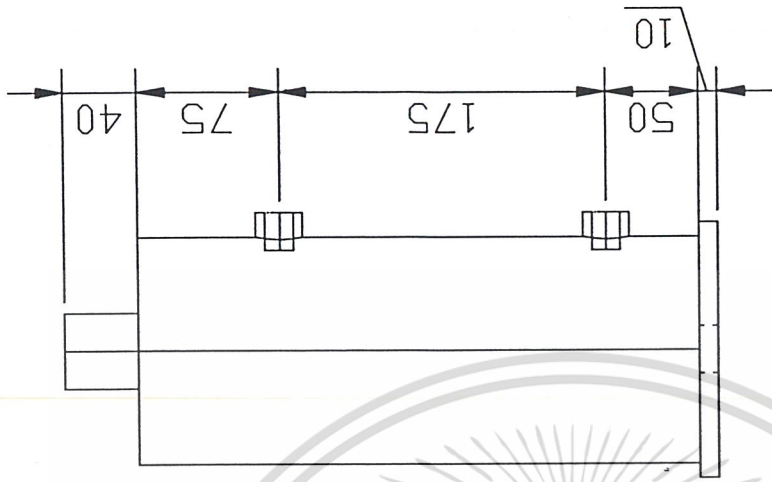
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

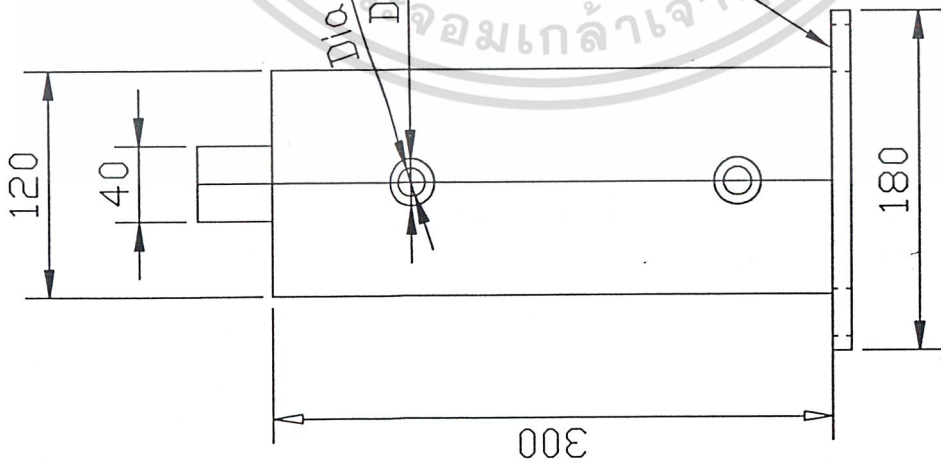
## คู่มือการใช้งานเครื่องทดสอบแรงดึง

1. สร้างชิ้นงานที่ต้องการทดสอบให้เป็นชิ้นงานมาตรฐาน (ซึ่งขนาดและลักษณะรูปร่างของชิ้นงานที่จะนำมาทดสอบจะแสดงอยู่ใน “ลักษณะชิ้นงานทดสอบ”)
2. ปรับระยะห่างของหัวจับล่างและหัวจับบนให้มีระยะห่างพอเหมาะที่จะนำชิ้นงานมาใส่ระหว่างหัวจับบน และหัวจับล่าง (การบิดสวิตช์ไปทางซ้ายจะทำให้หัวจับบนเคลื่อนที่ลง ส่วนการบิดสวิตช์ไปทางขวาจะทำให้หัวจับบนเคลื่อนที่ขึ้นเพื่อดึงชิ้นงาน)
3. นำชิ้นงานทดสอบมาใส่ระหว่างหัวจับทั้ง 2 ดังรูป โดยนำแผ่นประกบหน้าของหัวจับบน และล่างออกก่อนเพื่อให้สามารถนำชิ้นงานเข้ามาใส่ได้ระหว่างหัวจับแล้วจึงนำแผ่นประกบทั้ง 2 เข้ามาใส่ตำแหน่งเดิม
4. ทำการดึงชิ้นงาน โดยการบิดสวิตช์ดังรูปไปทางขวา และดึงจนกระทั่งชิ้นงานทดสอบขาดแล้วจึงบิดสวิตช์กลับมาให้ลูกศรชี้ขึ้นดังรูป
5. นำชิ้นงานทดสอบออกมาจากหัวจับทั้ง 2 เพื่อนำชิ้นงานมาวิเคราะห์ต่อไป





SIDE



FRONT

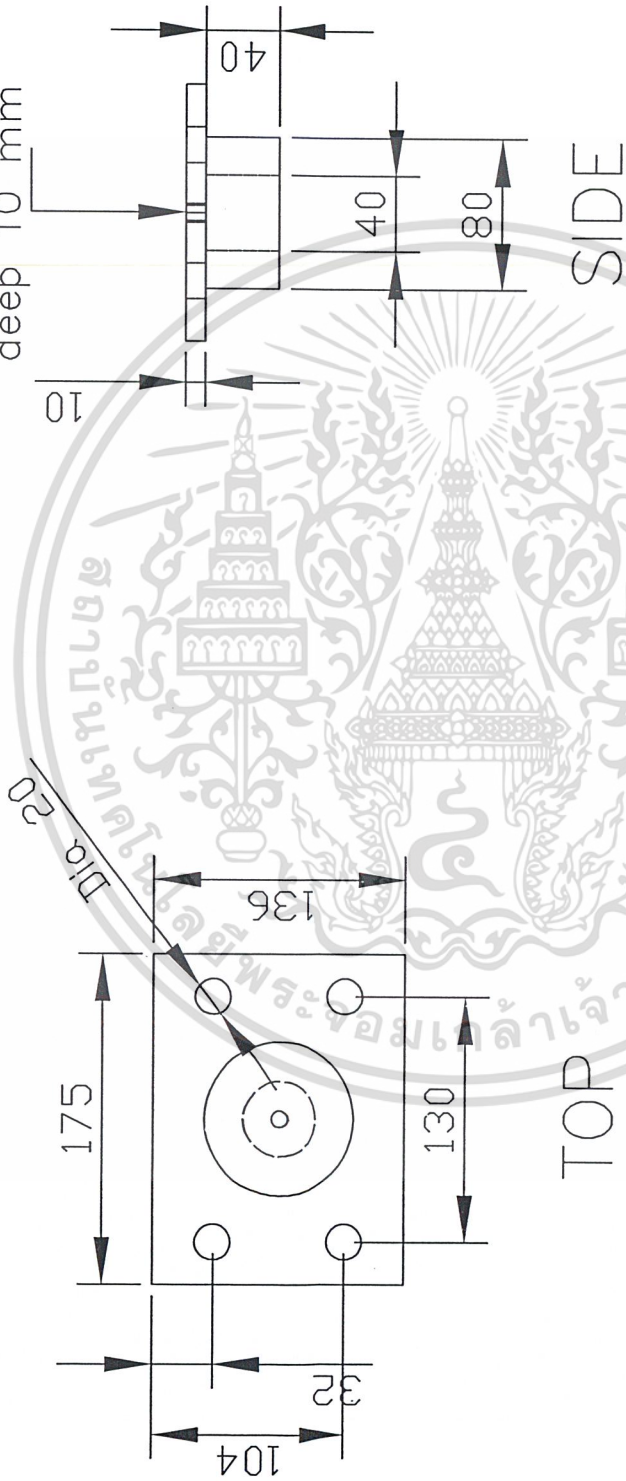
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อชิ้นส่วน ไส้ดรอลีก

Scale 1:4

Hole tab  
diameter 1mm  
deep 10 mm

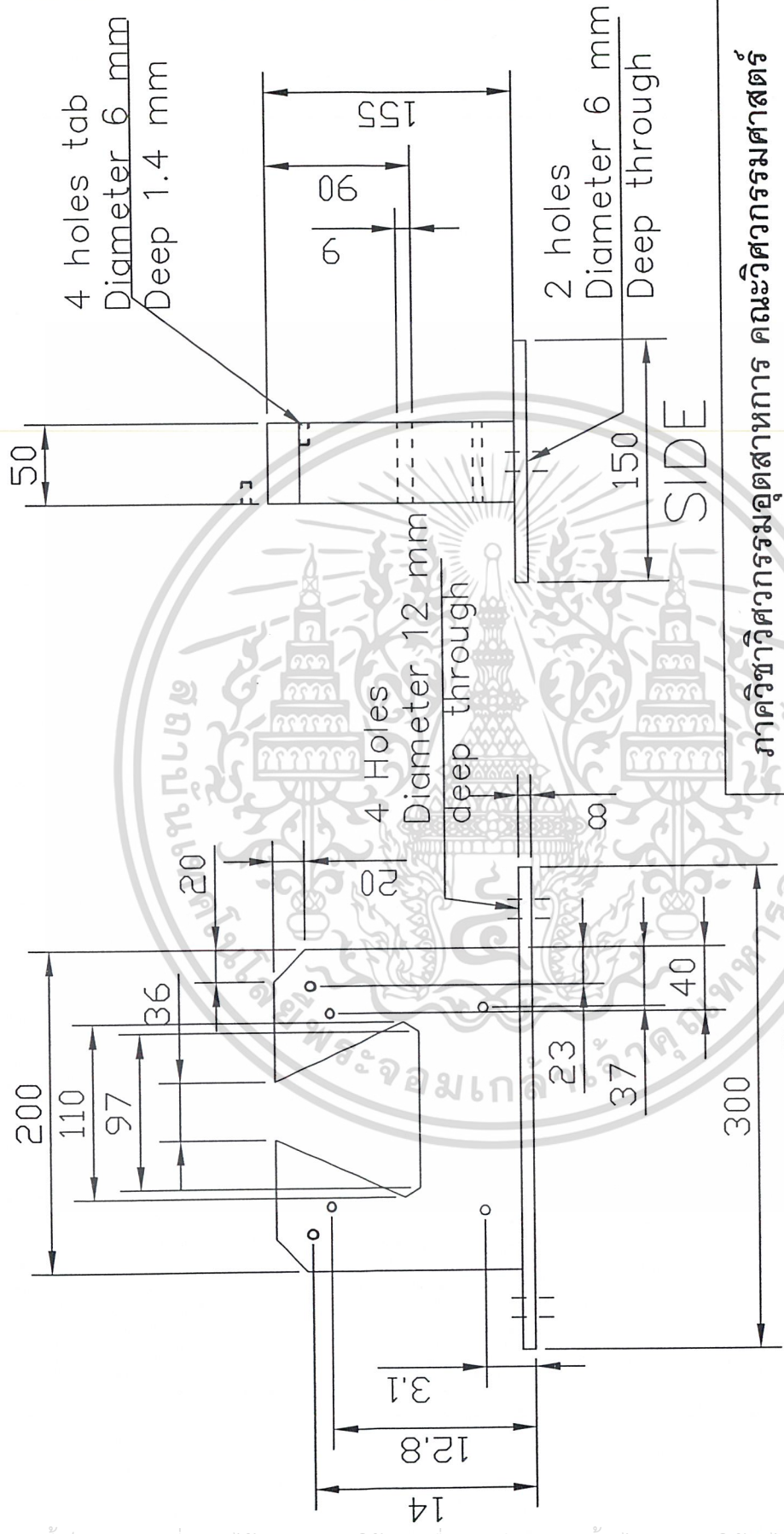


ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อชิ้นส่วน **ปลอก Hydraulic**

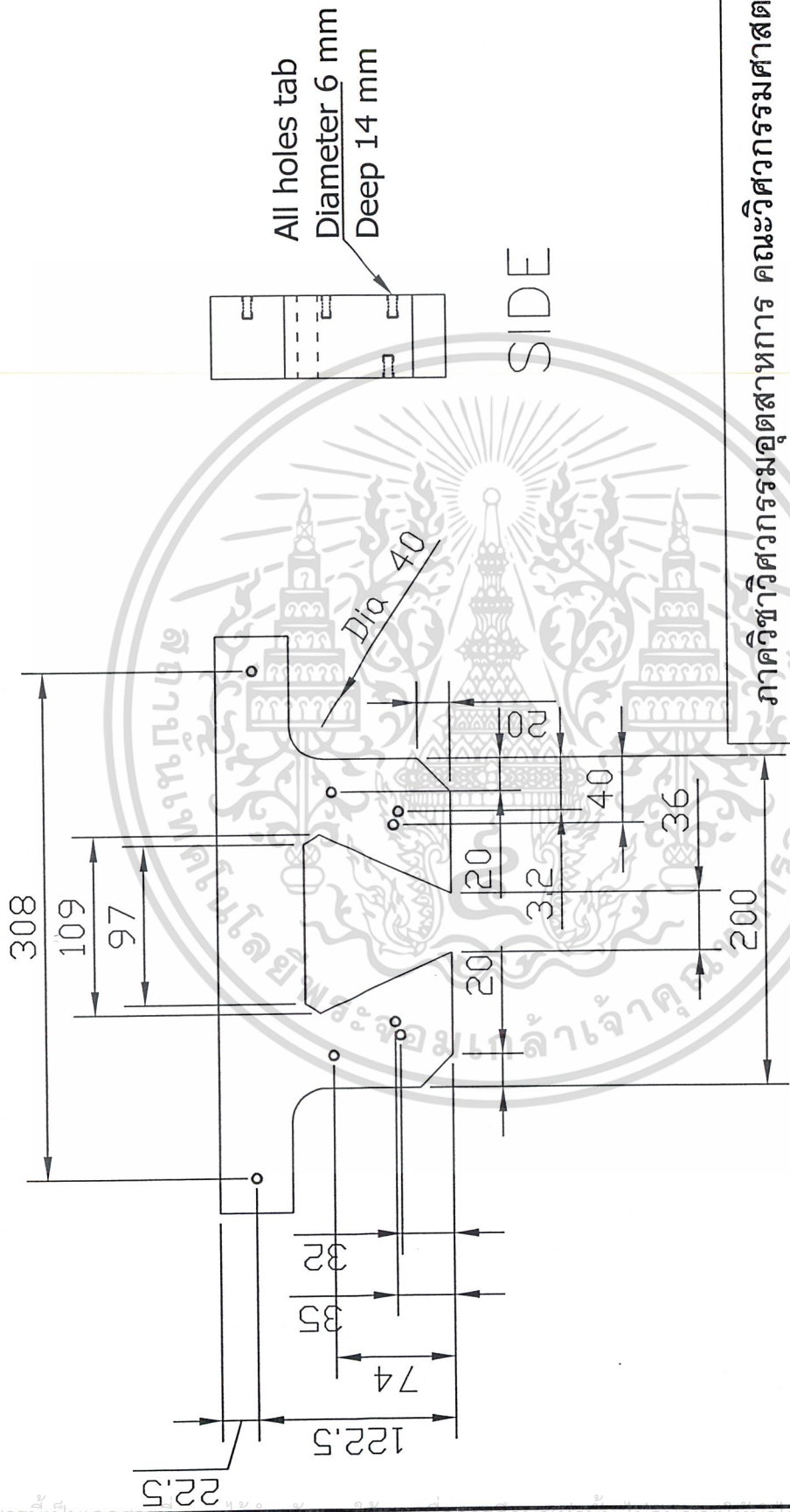
Scale **1:4**



ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อชิ้นส่วน หัวจับล่าง

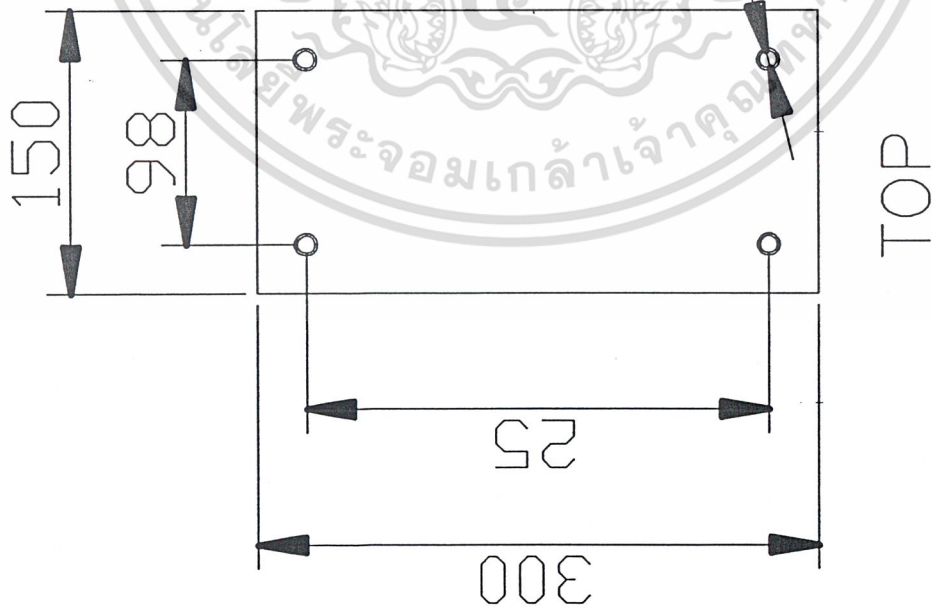
Scale 1:4



ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อชิ้นส่วน หัวจับบน

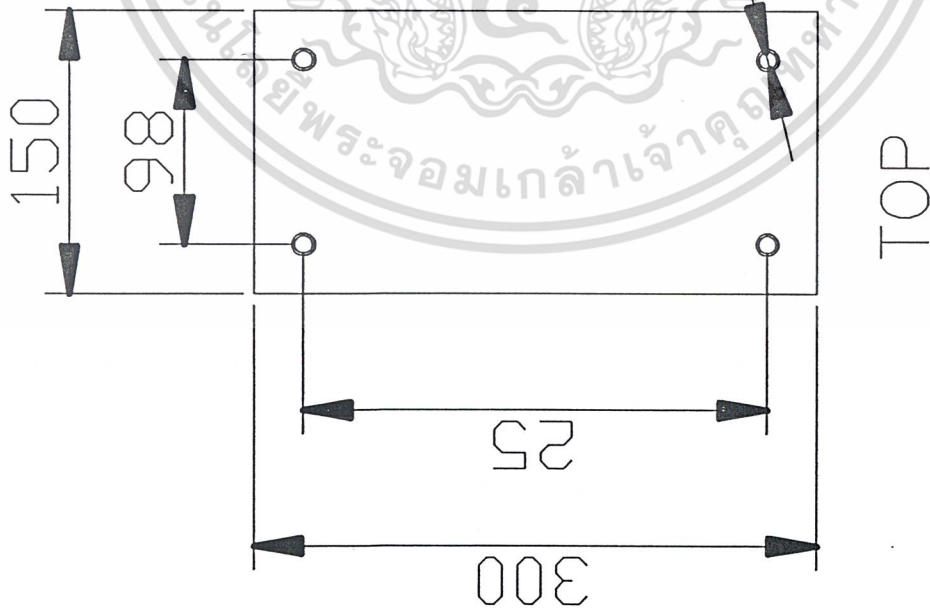
Scale 1:4



ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อชิ้นส่วน **ฐานรองหัวขั้วถ่าง**

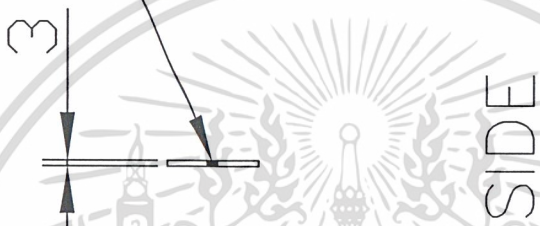
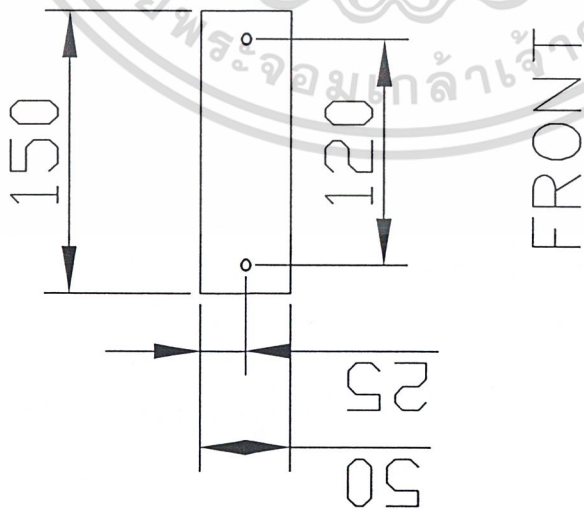
Scale **1:4**



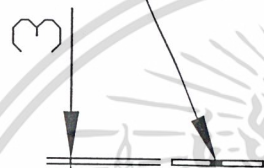
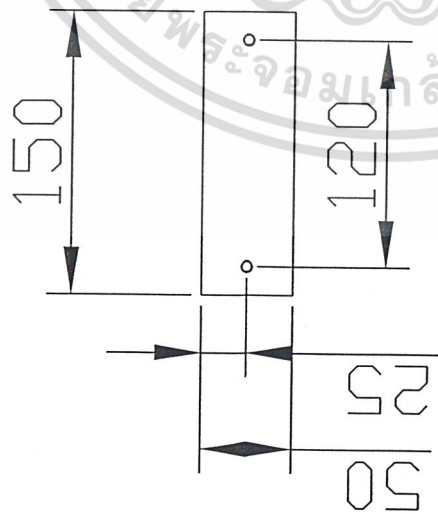
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อชิ้นส่วน **ฐานรองหัวขั้วกลาง**

Scale **1:4**



ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
**ชื่อชิ้นส่วนแผ่นประกบหัวจับด้านหน้า(ล่าง)**  
**Scale 1:4**



All holes  
Diameter 6 mm  
Deep through

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อชิ้นส่วน **แผ่นประกบหัวขั้วต้านหน้า(บน)**

Scale **1:4**