การทดสอบแรงดึง

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วัตถุประสงค์การเรียนรู้

1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจความสำคัญของสมบัติวัสดุต่อการออกแบบงานทางวิศวกรรม
2. เพื่อให้นักศึกษาเรียนรู้หลักการทดสอบแรงดึงและการหาค่าสมบัติที่สำคัญต่างๆ ของวัสดุ

1. กล่าวนำ

งานสร้างสรรทางด้านวิศวกรรมที่พบเห็นในปัจจุบัน อาทิ รถยนต์ เครื่องจักร สะพาน สิ่งก่อสร้างต่างๆ หรือแม้แต่งานสร้างสรรใหม่ๆ ที่วิศวกรอาจจะต้องออกแบบในอนาคตของอาชีพการทำงาน ล้วนต้องอาศัยความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงาน หากชิ้นงานนั้นเกี่ยวข้องกับการรับแรง วิศวกรก็ต้องเข้าใจพฤติกรรมของแรงที่กระทำกับชิ้นงานหรือโครงสร้าง พฤติกรรมการเสียรูป ตลอดถึงเงื่อนไขที่ทำให้ชิ้นงานหรือโครงสร้างนั้นๆ แตกหักพังเสียหาย ทั้งนี้เพื่อให้ชิ้นงานที่ออกแบบมีความคงทนและปลอดภัยต่อการใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น การสร้างรถยนต์ วิศกรต้องออกแบบโครงสร้างที่มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นเพียงพอที่จะรองรับน้ำหนักบรรทุกและแรงกระแทกขณะชนได้อย่างปลอดภัยตามมาตรฐาน เป็นต้น การออกแบบดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยความรู้ด้านกลศาสตร์วิศวกรรมเข้าช่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเข้าใจด้านสมบัติของวัสดุ เพื่อให้การเลือกใช้วัสดุเหมาะสมกับการงาน เพราะหากเลือกใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสมก็จะส่งผลให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายและเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานได้ เช่น การแตกหักของเพลาข้อเหวี่ยง และการแตกหักของเสารับน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 1 เป็นต้น

รูปที่ 1 (ซ้าย) การแตกหักของเพลาข้อเหวี่ยง และ (ขวา) การแตกหักของเสารับน้ำหนัก

2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

การทดสอบด้วยการดึงเป็นการทดสอบเพื่อหาสมบัติของวัสดุที่เป็นที่รู้จักดี การทดสอบนี้ช่วยให้ได้ค่าสมบัติด้านความยืดหยุ่น ความแข็งแรงคราก (Yield strength) หรือจุดที่วัสดุรับแรงได้สูงสุดโดยไม่

เสียรูป ความแข็งแรงแรงดึง (Tensile strength หรือ Ultimate strength) หรือจุดที่วัสดุรับแรงสูงสุด และอัตราส่วนการหดตัวสัมพัทธ์ของหน้าตัด (Poison ratio) ซึ่งเหล่านี้เป็นสมบัติที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของวัสดุ นอกจากนั้นยังสามารถที่จะหาการยืดตัวเมื่อแตกหักของวัสดุได้อีกด้วย การทดสอบด้วยการดึงโดยทั่วไปเป็นการให้แรงในแนวแกนเดียว (Uniaxial tensile test) แก่ชิ้นทดสอบ โดยแรงดึงนี้จะกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ หากนำขนาดของแรงดังกล่าวหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงก็จะได้ค่าที่เรียกว่า “ความเค้น (Stress: σ)” ซึ่งมีหน่วยเป็น N/m^2 หรือ Pa ในขณะที่รับแรงดึงวัสดุจะเกิดการเสียรูปโดยยืดตัวออก สัดส่วนระหว่างระยะยืดตัวต่อความยาวเดิมของชิ้นงานทดสอบเรียกว่า “ความเครียด (Strain: ε)” ซึ่งมีหน่วยเป็น m/m หรือไม่มีหน่วย ความเค้นและความเครียดเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ตามลำดับดังนี้

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{1}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \tag{2}$$

เมื่อ F คือแรงที่กระทำตั้งฉากกับหน้าตัด A และ ΔL คือความยาวที่เปลี่ยนไปจากความยาวเดิม L_0

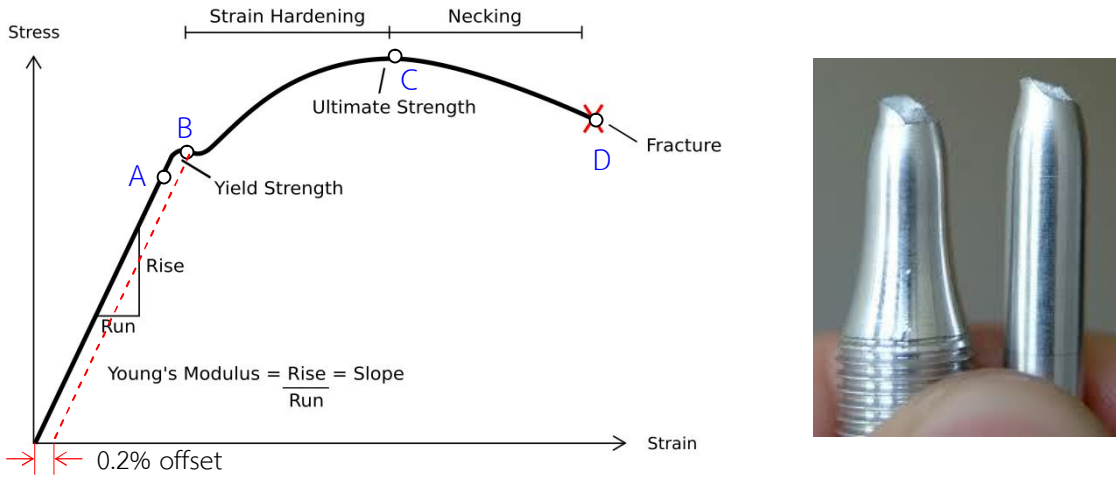
หมายเหตุ ในการพิจารณาความเค้นทำได้ 2 แบบ คือ (1) ความเค้นแบบวิศวกรรม (Engineering stress) เป็นการพิจารณาความเค้นบนพื้นฐานพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานคงที่ และ (2) ความเค้นจริง (True stress) เป็นการพิจารณาความเค้นบนพื้นฐานพื้นที่หน้าตัดจริงที่เปลี่ยนขนาดไปในขณะนั้น ดังนั้น ความเค้นจริงมีค่าสูงกว่าความเค้นแบบวิศวกรรม

การหาความแข็งแรงของวัสดุโดยการดึงนั้นกระทำได้โดยค่อยๆ เพิ่มแรงดึงที่กระทำต่อวัสดุที่ละน้อยจนกระทั่งวัสดุเกิดการแตกหัก ในระหว่างที่ออกแรงดึงวัสดุจะค่อยๆ ยืดตัวออก ส่งผลให้ขนาดหน้าตัดของวัสดุเล็กลงเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่สามารถต้านทานแรงดึงที่เพิ่มขึ้นต่อไปได้ วัสดุจึงขาดออกจากกัน ในทางปฏิบัตินิยมนำความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงที่ให้ (ในรูปความเค้น) กับระยะยืดตัว (ในรูปความเครียด) มาแสดงผลเทียบต่อกันในรูปกราฟ ซึ่งนิยมเรียกว่า โค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve)

2.1 การเขียนกราฟความเค้น-ความเครียด

กราฟความเค้น-ความเครียดของวัสดุแต่ละชนิด เป็นสิ่งที่แสดงสมบัติของวัสดุชนิดนั้นอย่างชัดเจนว่ามีพฤติกรรมการรับแรงและเสียรูปอย่างไร วัสดุต่างชนิดกันจึงมีรูปแบบของกราฟที่ต่างกันไป ค่าสมบัติสำคัญของวัสดุสามารถอ่านได้จากกราฟดังกล่าวนี้ เช่น ค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุทนรับได้ (ความแข็งแรงแรงดึง) ค่าความเค้นสูงสุดที่ทำให้วัสดุยังอยู่ในสภาวะยืดหยุ่น (ความแข็งแรงคราก) ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น เป็นต้น โดยทั่วไปกราฟความเค้น-ความเครียดได้จากการทดสอบแรงดึง ลักษณะของพฤติกรรมที่ได้สำหรับวัสดุเหนียวทั่วไปเป็นดังรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 เป็นการดึงชิ้นทดสอบอย่างช้าๆ ชิ้นทดสอบจะค่อยๆ ยืดตัวออกจนถึงจุด A ในช่วงนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจะเป็นสัดส่วนคงที่ จึงได้กราฟเป็นเส้นตรง เรียกจุด A ว่า พิกัดสัดส่วน (Proportional limit) และภายใต้พิกัดสัดส่วนนี้ วัสดุจะแสดงพฤติกรรมการคืนรูปแบบยืดหยุ่น นั่นคือเมื่อปล่อยแรงกระทำชิ้นทดสอบจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม เมื่อเพิ่มแรงกระทำต่อไปจนเกินพิกัดสัดส่วน เส้นกราฟจะค่อยๆ โค้งออกจากเส้นตรง วัสดุหลายชนิดจะยังคงแสดงพฤติกรรมการคืนรูปได้อีกเล็กน้อยจนถึงจุด B ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก เรียกว่าจุดคราก (Yield point) และค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความเค้นจุดคราก (Yield stress) หรือความแข็งแรงจุดคราก (Yield strength) เป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับการคงรูปของวัสดุ ค่าความแข็งแรงจุดครากนี้มีประโยชน์กับวิศวกรมาก เพราะใช้กำหนดขีดจำกัดค่าความเค้นสูงสุดที่จะเกิดขึ้นบนโครงสร้างหรือชิ้นงานโดยที่ยังไม่เกิดการเสียหาย โดยค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานต้องไม่เกินกว่าค่าความเค้นจุดครากนี้เพื่อเป็นการป้องกันการเสียหาย ซึ่งนำไปสู่ค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย (Factor of Safty: FOS) ของชิ้นงาน (FOS = ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน/ค่าความเค้นครากของวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงาน) หลังจากจุดครากไปแล้ววัสดุจะเปลี่ยนรูปถาวรโดยความเค้นจะเพิ่มอย่างช้าๆ หรืออาจจะคงที่จนถึงจุดสูงสุด (จุด C) ค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate strength) หรือความเค้นแรงดึง (Tensile strength) เป็นความเค้นสูงสุดที่วัสดุทนได้ก่อนที่จะเริ่มขาดหรือแตกออกจากกัน (Fracture) จุดสุดท้าย (จุด D) ของกราฟเป็นจุดที่วัสดุเกิดการแตกหรือขาดออกจากกัน



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของวัสดุเหนียวทั่วไป

ช่วงที่วัสดุยังคงรักษาสภาพความยืดหยุ่นไว้ได้ (ช่วงไม่เกินจุด B) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจะแปรตรงต่อกัน สัดส่วนดังกล่าวมีค่าคงที่เท่ากับ E ซึ่งรู้จักกันในชื่อกฎของ Hooke ดังนี้

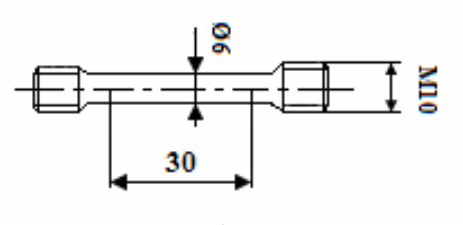
$$\frac{\sigma}{\varepsilon} = E \qquad (3)$$

เรียก E ว่า Young's modulus หรือโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) แต่เมื่อใดที่วัสดุได้รับความเค้นเกินกว่าค่าความเค้นคราก การเปลี่ยนแปลงของวัสดุจะเข้าสู่ช่วงพลาสติกซึ่งไม่สามารถคืนรูปได้ ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (3) ก็จะไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้

3. การทดสอบ

3.1 ลักษณะชิ้นทดสอบ

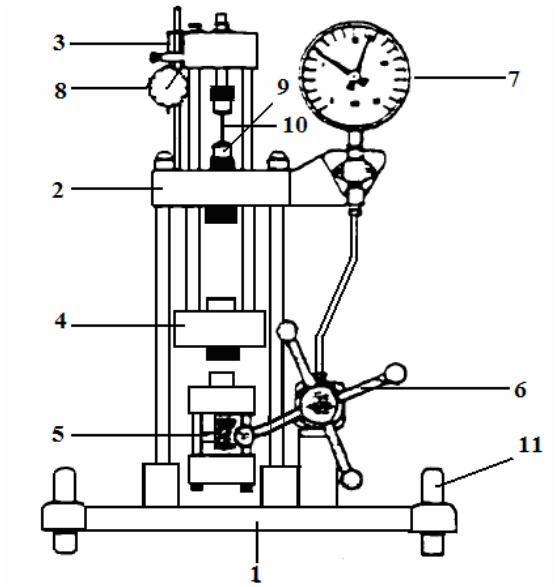
ชิ้นทดสอบที่ใช้ในการทดลองนี้ถูกสร้างขึ้นมีขนาดตามมาตราฐาน DIN 50125 ขนาดของชิ้นทดสอบนั้นแสดงในรูปที่ 3 โดยวัสดุที่ใช้จะมี เหล็ก ทองแดง ทองเหลือง และอลูมินั่ม



รูปที่ 3 ชิ้นทดสอบ

3.2 เครื่องมือทดสอบ

เครื่องมือทดสอบที่ใช้เป็นของบริษัท GUNT รุ่น WP300 Universal Material Testing โดยส่วนประกอบต่างๆ แสดงในรูปที่ 4 โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้



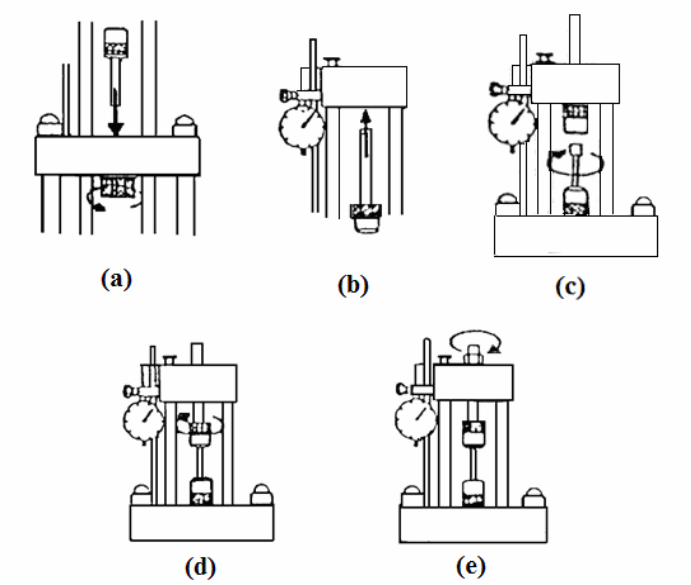
1) แท่นเครื่อง
2) แท่นรองรับแรง
3) Load frame บน
4) Load frame ล่าง
5) ลูกสูบหลักของระบบไฮดรอลิกส์
6) มือหมุนปรับความดันในระบบไฮโรอลิกส์
7) หน้าปัดบอกแรงกระทำ
8) Dial gage บอกการยืดตัว
9) หัวจับชิ้นงานทดสอบ
10) ชิ้นงานทดสอบ

รูปที่ 4 เครื่องมือทดสอบ

การทำงานของเครื่องใช้หลักการออกแรงหมุนที่คันหมุนเพื่อให้สกรูเลื่อนเข้าไปดันลูกสูบน้ำมันไฮดรอลิกส์ก็จะไหลจากกระบอกคันหมุนเข้าไปในกระบอกหลัก ถ้ายังไม่ได้ติดตั้งชิ้นงานทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบ ลูกสูบของกระบอกไฮดรอลิกส์หลักก็จะเลื่อนสูงขึ้นโดยอ่านค่าแรงที่หน้าปัดได้เท่ากับศูนย์ (เพราะไม่มีแรงต้าน) แต่หากติดตั้งชิ้นงานทดสอบเข้าไปแล้วจะทำให้มีแรงต้านการเคลื่อนที่ เมื่อหมุนความดันในระบบไฮดรอลิกส์จึงสูงขึ้น มาตรวัดแรงก็จะอ่านได้ค่าของแรงที่กระทำต่อลูกสูบหลัก (การทดแรงของระบบไฮดรอลิกส์ชุดนี้คือ แรง 1 N ที่มือหมุนจะทำให้เกิดแรง 1.3 kN ที่ลูกสูบ) จากนั้นเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นจะไปดัน Load frame ตัวล่างซึ่งต่อกับ Load frame ตัวบน ทั้งคู่ทำจากเหล็กที่มีความแข็งแรงสูงและมีการยืดตัวน้อย จึงประมาณว่าไม่ส่งผลกระทบกับระยะยืดตัวของชิ้นงานทดสอบ เมื่อชุด Load frame ถูกดันขึ้นในขณะที่แท่นรองรับถูกตรึงอยู่กับที่ จึงส่งผลให้เกิดแรงดึงต่อชิ้นงานทดสอบ สำหรับระยะเคลื่อนตัวออกของชุด Load frame นั้นสามารถวัดค่าได้โดยใช้ Dial gage

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

1) นำชิ้นงานทดสอบชนิดที่ 1 ไปวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวเริ่มต้น
2) บิดมือหมุนของระบบไฮโดรลิกส์ทวนเข็มนาฬิกาจนทำให้ Load frame อยู่ในตำแหน่งต่ำสุด
3) ใส่หัวจับชิ้นงานทดสอบเข้ากับแท่นรองรับแล้วขันเกลียวให้เรียบร้อย ตามรูปที่ 5(a)
4) ใส่หัวจับชิ้นงานทดสอบเข้ากับ Load frame โดยยังไม่ต้องขันน็อต ตามรูปที่ 5(b)
5) ใส่ชิ้นงานทดสอบเข้ากับที่จับด้านล่างขันจากนั้นเกลียวให้สุด ตามรูปที่ 5(c)
6) ขันหัวจับด้านบนเข้ากับชิ้นงานทดสอบ โดยการหมุนหัวจับไปจนสุดเกลียว ตามรูปที่ 5(d)
7) ขันน๊อตหัวจับตัวบนเข้ากับ Load frame ให้แน่นพอประมาณ ตามรูปที่ 5(e)
8) ค่อยๆ หมุนมือหมุนของระบบไฮดรอลิกส์ตามเข็มนาฬิกา จนกระทั่งเริ่มรู้สึกตึงมือหรือเข็มบอกแรงบนหน้าปัดเริ่มขยับ
9) เลื่อนปรับ Dial gaue ให้อยู่ในตำแหน่งที่ทำให้เกิดการดันจนอ่านค่าได้เล็กน้อย
10) หมุนหน้าปัด Dial gage ให้อ่านที่ศูนย์
11) หมุนเข็มบอกแรงกระทำสูงสุดบนหน้าปัดวัดแรงให้อ่านที่ศูนย์
12) ค่อยเริ่มหมุนมือหมุนซึ่งจะทำให้ชิ้นงานทดสอบเริ่มยืดตัว เมื่อระยะยืดตัวเท่ากับ 0.1 mm ให้อ่านค่าของแรงดึงที่กระทำ
13) จากนั้นค่อยๆ เพิ่มระยะยืดตัวขึ้นและอ่านค่าที่ระยะยืดที่ตัวกำหนดในตารางการทดลอง
14) ค่อยๆ เพิ่มระยะยืดตัวไปจนกระทั่งชิ้นงานทดสอบเกิดการแตกหัก
15) เปลี่ยนชิ้นงานทดสอบจนครบตามที่กำหนดให้ บันทึกค่าในตาราง



รูปที่ 5 ขั้นตอนการเตรียมการทดลอง

4. การวิเคราะห์และแสดงผลการทดลอง

1) เขียนกราฟความสัมพันธ์ของค่าความเค้น-ความเครียดของวัสดุแต่ละชนิดที่ใช้ทำชิ้นงานทดสอบ พร้อมทั้งกำหนดจุด Proportional limit, Yield strength, Tensile strength ลงบนกราฟ
2) คำนวณหาค่า Elastic Modulus, Yield strength, และ Tensile strength ของวัสดุแต่ละชนิดที่ใช้ทำชิ้นงานทดสอบ พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับข้อมูลในตำราเรียนเพื่อระบุว่าชิ้นงานทดสอบแต่ละชนิดนั้นน่าจะทำจากวัสดุชนิดใด

หมายเหตุ พื้นที่หน้าตัด A_0 ของชิ้นงานทดสอบหาได้จาก

$$A_0 = \frac{\pi D^2}{4}$$

เมื่อ D คือเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทดสอบซึ่งมีค่าประมาณ 6 mm (ควรวัดค่าที่แน่นอนก่อนทำการทดสอบ) และค่าความยาวเดิมของชิ้นงาน L_0=30 mm

5. เอกสารอ้างอิง

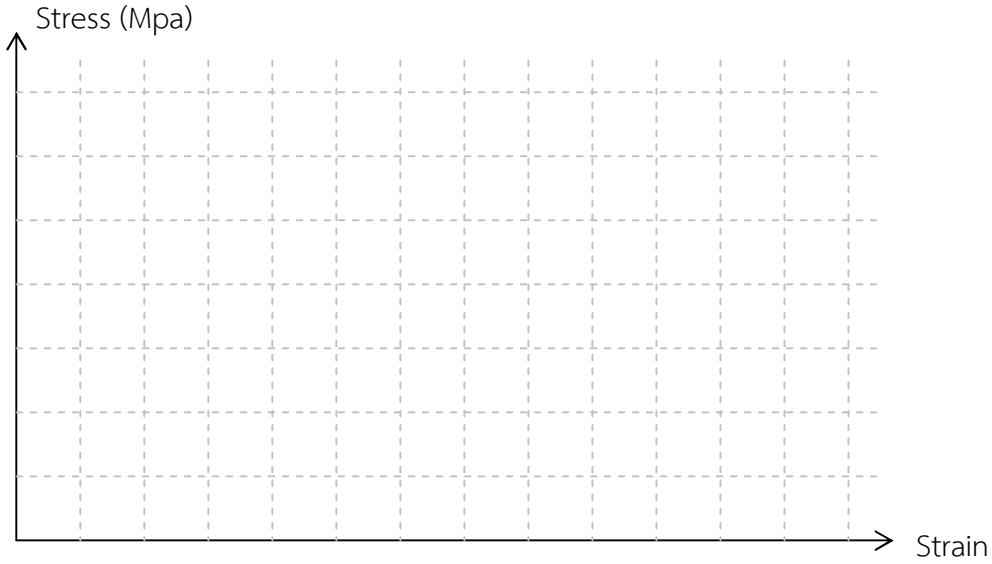
1. คู่มืออุปกรณ์การทดลอง GUNT WP 300

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ระยะยืดตัว (x0.01 mm)	แรงกระทำ (kN)			
	วัสดุชนิดที่ 1	วัสดุชนิดที่ 2	วัสดุชนิดที่ 3	วัสดุชนิดที่ 4 .....
10				
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80				
90				
100				
120				
140				
160				
180				
200				
240				
260				
280				
300				
320				
340				
360				
380				
400				
420				
440				
460				

480				
500				
520				
540				
560				
580				
600				
620				
640				
660				
680				
700				

จากข้อมูลในตารางแสดงกราฟได้ดังนี้



จากข้อมูลในตารางหาค่าสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดได้ดังนี้

วัสดุ	Elastic Modulus	Yield strength	Tensile strength	Poison ratio
วัสดุชนิดที่ 1				
วัสดุชนิดที่ 2				
วัสดุชนิดที่ 3				
วัสดุชนิดที่ 4				

แบบทดสอบก่อนทำการปฏิบัติการ

1. จงสืบค้นข้อมูลพร้อมทั้งอธิบายโดยละเอียดว่า หากวัสดุมีความแข็งมากขึ้น (เปราะมากขึ้น) พฤติกรรมของวัสดุในเชิงการรับแรงดึงจะเป็นอย่างไร

2. จงสืบค้นข้อมูลค่าสมบัติของวัสดุต่อไปนี้

วัสดุ	Elastic Modulus	Yield strength	Tensile strength	Poison ratio
Aluminium Alloys (1350)				
Steal AISI 304				
Gray Cast Iron				
Copper				
Brass				
Acrylic				

3. จงอธิบายความแตกต่างระหว่างการเสียรูปแบบยืดหยุ่นกับการเสียรูปแบบถาวร

4. จงให้นิยามคำว่าความเค้น ความเครียด แฟกเตอร์ความปลอดภัย

5. จงหาความเค้นบนแท่งทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm ขณะรับน้ำหนัก 1500 kg

6. ชิ้นทดสอบแรงดึงทองเหลืองขนาดหน้าตัด 0.5 in x 0.019 in มีระยะทดสอบ (gauge length) 2 in ถามว่าชิ้นทดสอบมีความเครียดเท่าไรถ้าชิ้นงานมีระยะทดสอบสุดท้ายเท่ากับ 3.15 in

7. จงออกแบบแท่งรับแรงภายใต้เงื่อนไขแฟกเตอร์ความปลอดภัยเท่ากับ 2 พร้อมอธิบายหลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ