

17.1 ของแข็งและสภาพยืดหยุ่นของของแข็ง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายสภาพยืดหยุ่นและลักษณะการยืดและหดตัวของวัสดุที่เป็นแท่งเมื่อถูกกระทำด้วยแรงค่าต่าง ๆ
2. ทดลอง อธิบายและคำนวณความเค้นตามยาว ความเครียดตามยาว มอดุลัสของยัง และนำความรู้เรื่องสภาพยืดหยุ่นไปใช้ในชีวิตประจำวัน

17.1 ของแข็งและสภาพยืดหยุ่นของของแข็ง

คำถาม

- สสารในสถานะของแข็งแตกต่างจากของเหลวและแก๊สอย่างไร
- ในชีวิตประจำวันมีการนำของแข็งไปประยุกต์ใช้อะไรได้บ้าง
- เหตุใดของแข็งจึงมีรูปร่างและปริมาตรคงตัว แต่ของเหลวมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงตามภาชนะ

สรุป ของแข็งมีแรงยึดเหนี่ยวโมเลกุลมากกว่าของเหลวและแก๊ส ทำให้ของแข็งมีสมบัติที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันในด้านต่าง ๆ

17.1.1 สภาพยืดหยุ่นของของแข็ง

ยกสถานการณ์สภาพยืดหยุ่นสภาพ พลาสติก โดยครูใช้ยางรัดของกับขวดน้ำ พลาสติก
ให้นักเรียนสังเกตรูปร่างของยางรัดของ และขวดน้ำพลาสติก

คำถาม ถ้าออกแรงกระทำต่อวัตถุทั้งสองจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

สรุปว่า

คำถาม หลังจากออกแรงกระทำ รูปร่างของวัตถุเหล่านั้นเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร
กลับมา คืนสภาพเดิมหรือไม่

สรุปว่า

17.1.1 สภาพยืดหยุ่นของของแข็ง

คำถาม ถ้าออกแรงขนาดต่าง ๆ กระทำกับฟองน้ำ และกระป๋องน้ำอัดลมเปล่า ฟองน้ำ จะมีสภาพพลาสติกและกระป๋องน้ำอัดลมเปล่าจะมีสภาพยืดหยุ่นได้หรือไม่

สรุปว่า



ก่อนออกแรง



ขณะออกแรง

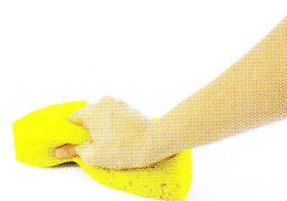


เมื่อหยุดการออกแรง

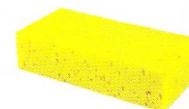
ก. การเปลี่ยนรูปร่างของกระป๋องน้ำอัดลมเปล่า



ก่อนออกแรง



ขณะออกแรง



เมื่อหยุดการออกแรง

ข. การเปลี่ยนรูปร่างของฟองน้ำ

รูป 17.1 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกระป๋องน้ำอัดลมและฟองน้ำเมื่อถูกแรงกระทำ

17.1.2 ความเค้นและความเครียดของของแข็ง

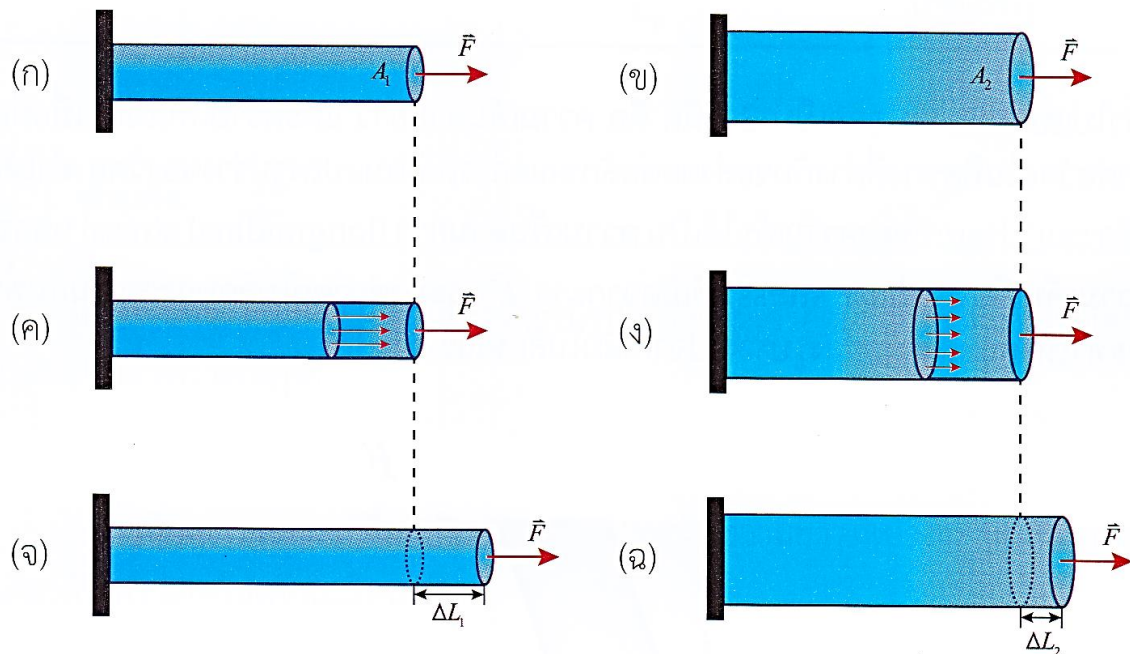
ยกสถานการณ์เกี่ยวกับแรงกระทำต่อของแข็งตามแนวยาวและการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เช่น ให้นักเรียนดึงนิ้วมือตัวเอง สังเกตรูปร่างนิ้ว ดึงยาวง

คำถาม

- รูปร่างยาวงที่เปลี่ยนไปสัมพันธ์กับแรงอย่างไร
- เมื่อมีแรงกระทำต่อของแข็งตามแนวยาวเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
- การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นสัมพันธ์กับขนาดของแรงอย่างไร

สรุปได้ว่า

17.1.2 ความเค้นและความเครียดของของแข็ง



- ให้นักเรียนพิจารณา
รูป 17.2

รูป 17.2 แสดงแรงดึงขนาด $\vec{F}$ ที่ขนาดเท่ากันกระทำในแนวตามความยาวซึ่งตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด A_1 และ A_2

เมื่อออกแรง F กระทำในแนวตามความยาวที่ตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด A อัตราส่วนระหว่างแรงดึงกับพื้นที่หน้าตัด เรียกว่า **ความเค้นดึง** (tensile stress) ทำนองเดียวกัน ถ้าเป็นแรงอัดจะเรียก **ความเค้นอัด** (compressive stress) ซึ่งแรงอัดจะกระทำต่อวัตถุในลักษณะให้หดสั้นลง ความเค้นทั้งสองเป็น **ความเค้นตามยาว** (longitudinal stress) แทนด้วยสัญลักษณ์ σ ตามสมการ (17.1)

17.1.2 ความเค้นและความเครียดของของแข็ง

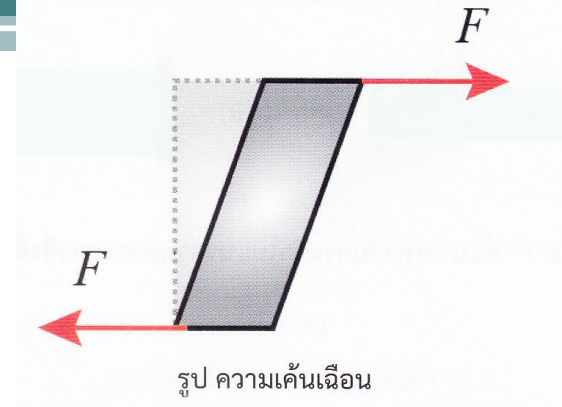
สมการ (17.1)

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

σ เป็นความเค้นตามยาว มีหน่วย นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) หรือ ปาสคัล (Pa) โดยความเค้นเป็นปริมาณสเกลาร์

จากรูป 17.2 (ก) และ 17.2 (ข) แท่งวัตถุในรูปใดมีความเค้นมากกว่า เพราะเหตุใด

คำตอบ



17.1.2 ความเค้นและความเครียดของของแข็ง

คำถาม ความยาวของวัตถุที่เปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับสิ่งใดบ้าง

สรุปว่า

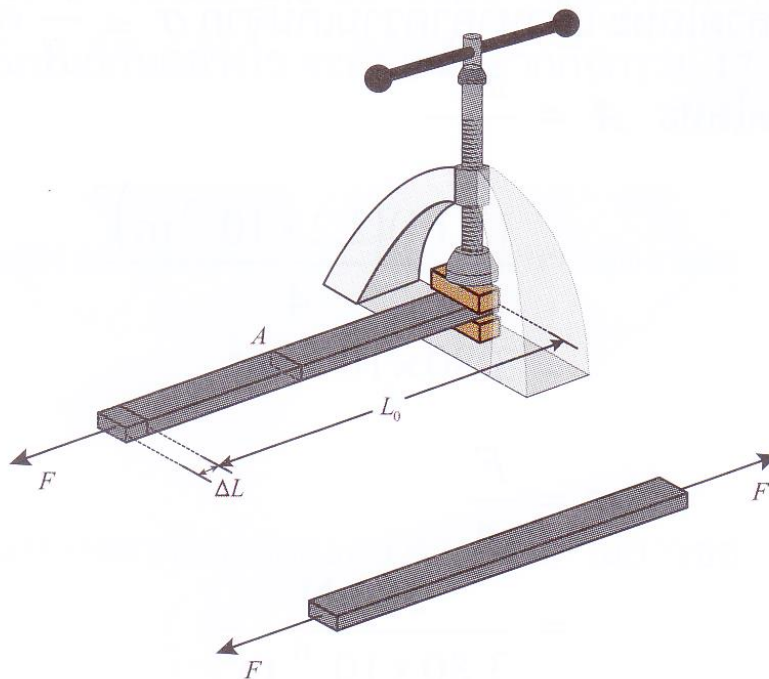
อัตราส่วนระหว่างความยาวที่เปลี่ยนไปกับความยาวเดิม เรียกว่า **ความเครียดตามยาว** (longitudinal strain) แทนด้วยสัญลักษณ์ ϵ ตามสมการ (17.2)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad 17.2$$

จากรูป 17.2 (จ) และ 17.2 (ฉ) แท่งวัตถุในรูปใดมีความเครียดมากกว่า และความเครียดมีหน่วยอย่างไร เพราะเหตุใด

คำตอบ

17.1.2 ความเค้นและความเครียดของของแข็ง



รูป 17.3 ระยะยืดของวัตถุเมื่อถูกแรงดึง

17.1.2 ความเค้นและความเครียดของของแข็ง

ตัวอย่าง 17.1 ลวดโลหะเส้นหนึ่งยาว 12.0 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.2 มิลลิเมตร ถูกดึงให้ยืดออกด้วยแรงขนาด 380 นิวตัน ทำให้ลวดโลหะมีความยาวเป็น 12.1 เมตร จงหาความเค้นและความเครียดในลวดโลหะ ให้แทนค่า π มีค่าประมาณเท่ากับ 3.14

แนวคิด หาพื้นที่หน้าตัดของลวดโลหะ แล้วหาค่าความเค้นจาก $\sigma = \frac{F}{A}$ ความเครียดจาก $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$

วิธีทำ พื้นที่หน้าตัดของลวดโลหะ $A = \frac{\pi d^2}{4}$

$$= \frac{(3.14)(2.2 \times 10^{-3} \text{ m})^2}{4}$$

$$= 3.80 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

ความเค้น

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

$$= \frac{380 \text{ N}}{3.80 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$= 1.0 \times 10^8 \text{ N/m}^2$$

$$= 100 \text{ MPa}$$

ความเครียด

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

$$= \frac{(12.1 \text{ m} - 12.0 \text{ m})}{(12.0 \text{ m})}$$

$$= 8.3 \times 10^{-3}$$

ตอบ ลวดโลหะมีความเค้นเท่ากับ 1.0×10^8 นิวตันต่อตารางเมตร หรือ 100 เมกะพาสคัล และมีความเครียดเท่ากับ 8.3×10^{-3}

17.1.3 มอดุลส์ของยัง



กิจกรรม 17.1 ความเค้นและความเครียดตามยาวของวัสดุ

จุดประสงค์

อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดตามยาวของวัสดุ

เวลาที่ใช้ 40 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

1. ชุดรางไม้	1	ชุด
2. สายกีตาร์ (E_1)	1	เส้น
3. ถังทราย	6	ถุง
4. ไม้บรรทัด	1	อัน
5. เส้นด้าย ยาวประมาณ 5 เซนติเมตร	1	เส้น

17.1.3 มอดูลัสของยัง

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

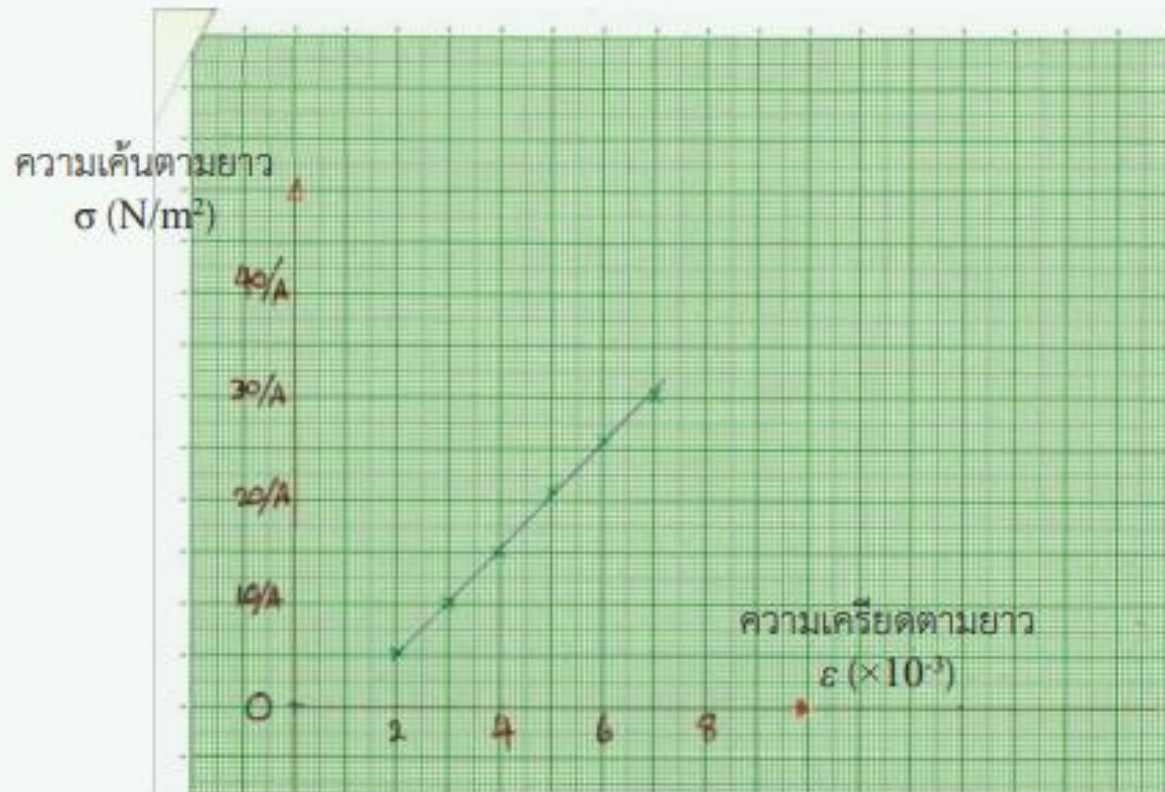
ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทำกิจกรรม

สายกีตาร์ E_1 (ความยาวเริ่มต้น $L_0 = 50.00$ cm)

การถ่วง ถุงทราย (ครั้งที่)	มวล ถุงทราย (g)	แรงที่ ใช้ดึง F(N)	ความยาวของ สายกีตาร์ที่ เปลี่ยนไป ($\times 10^{-3}$ m)	ความเค้น ตามยาว $\sigma = \frac{F}{A} (\text{N/m}^2)$	ความเครียด ตามยาว $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} (\times 10^{-3})$
0	0	0	0.0	0	0
1	503	5.03	1.0	5.03/A	2
2	512	10.15	1.5	10.15/A	3
3	498	15.13	2.0	15.13/A	4
4	512	20.25	2.5	20.25/A	5
5	504	25.29	3.0	25.29/A	6
6	511	30.40	3.5	30.40/A	7

17.1.3 มอดุลัสของยัง

ตัวอย่างกราฟ



รูป กราฟความเค้นตามยาว กับความเครียดตามยาว

17.1.3 มอดูลัสของยัง

คำถามท้ายกิจกรรม

- กราฟความเค้นตามยาวกับความเครียดตามยาวที่ได้มีลักษณะเป็นอย่างไร

คำตอบ

- ความเค้นตามยาวกับความเครียดตามยาวมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

คำตอบ

17.1.3 มอดุลัสของยัง

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

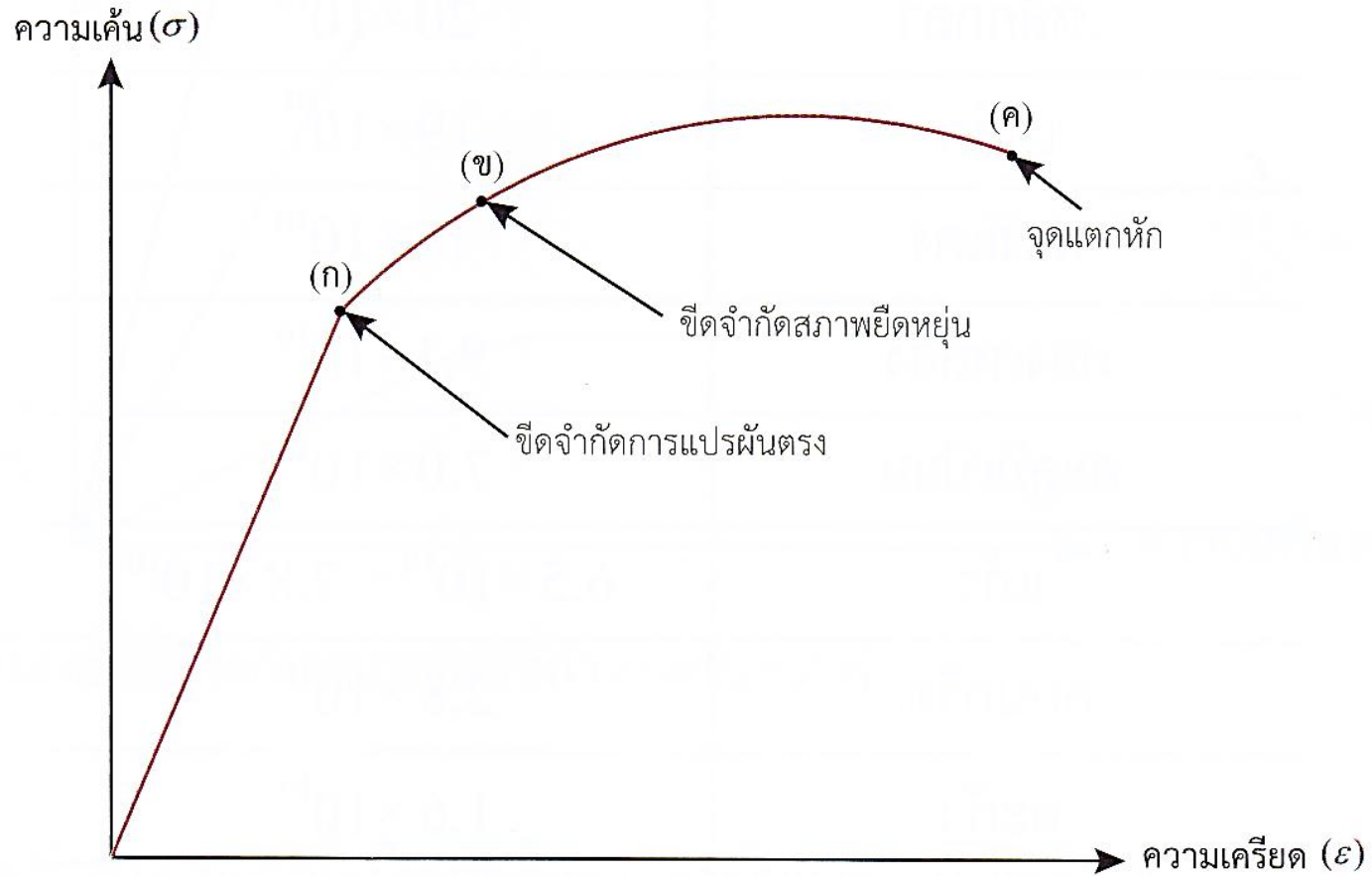
เมื่อใช้แรงดึงลวด ความยาวลวดเพิ่มขึ้น นำค่าความเค้นตามยาวและความเครียดตามยาวของลวดมาเขียนกราฟ จะได้ **กราฟเส้นตรง** แสดงว่า ค่าความเค้นและความเครียดมีความสัมพันธ์กัน โดยความเค้นตามยาวแปรผันตรงกับความเครียดตามยาว

สรุปได้ว่า ความเค้นตามยาวแปรผันตรงกับความเครียดตามยาว และอัตราส่วนของความเค้นตามยาวต่อความเครียดตามยาวของวัสดุมีค่าคงตัว ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุเรียกว่า **มอดุลัสของยัง** ตามสมการ (17.3)

$$Y = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ หรือ } Y = \frac{F/A}{\Delta L/L_0}$$

Y คือ ค่ามอดุลัสของยัง มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร

17.1.3 มอดูลัสของยัง



รูป 17.4 กราฟความเค้นกับความเครียด

17.1.4 การประยุกต์ใช้สภาพยืดหยุ่นในชีวิตประจำวัน

ตาราง 17.1 มอดุลัสของยังสำหรับวัสดุบางชนิด

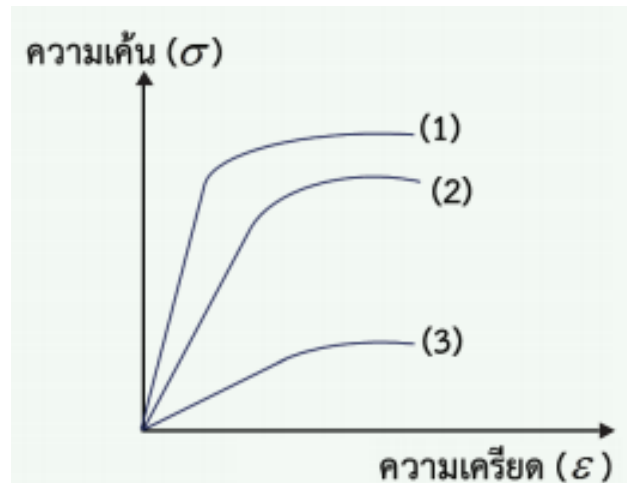
วัสดุ	มอดุลัสของยัง (N/m^2)
ทังสเทน	35×10^{10}
เหล็กกล้า	20×10^{10}
เหล็ก	19×10^{10}
ทองแดง	11×10^{10}
ทองเหลือง	9.1×10^{10}
อะลูมิเนียม	7.0×10^{10}
แก้ว	$6.5 \times 10^{10} - 7.8 \times 10^{10}$
คอนกรีต	2.8×10^{10}
ตะกั่ว	1.6×10^{10}
ไม้เนื้อแข็ง	1.5×10^{10}
ไม้เนื้ออ่อน	9×10^9

สรุปได้ว่า วัสดุที่มีค่ามอดุลัสของยังสูงจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ยาก

จึงจำกัดสภาพยืดหยุ่นใช้พิจารณาความเค้นสูงสุดที่จะทำให้คงรูปร่างเดิมอยู่ได้ การเลือกใช้วัสดุทำสิ่งของต่าง ๆ จึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน

17.1.4 การประยุกต์ใช้สภาพยืดหยุ่นในชีวิตประจำวัน

แท่งเหล็ก อะลูมิเนียม และทั้งสแตนมีขนาดเท่ากัน เมื่อนำ มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ ความเค้นตามยาวได้ข้อมูลตามกราฟดังรูปด้านล่าง



จงระบุชนิดโลหะให้ตรงกับหมายเลขที่กำหนดในกราฟ

คำตอบ

17.1.4 การประยุกต์ใช้สภาพยืดหยุ่นในชีวิตประจำวัน

ตัวอย่าง 17.2 ลวดทำมาจากอะลูมิเนียมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร ยาว 2.00 เมตร ลวดถูกดึงด้วยแรง 200 นิวตัน หาความยาวของลวดที่เปลี่ยนไป กำหนดให้อะลูมิเนียมมีค่ามอดุลัสของยังเท่ากับ 7.0×10^{10} นิวตันต่อตารางเมตร ให้แทนค่า π มีค่าประมาณเท่ากับ 3.14

แนวคิด หาความยาวที่เปลี่ยนไปจากสมการ $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$ และ $Y = \frac{\sigma}{\varepsilon}$

วิธีทำ ค่ามอดุลัสของยังเท่ากับ $Y = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\Delta L/L_0}$

$$\text{จาก } F = 200\text{ N} \quad A = \pi(1 \times 10^{-3}\text{ m})^2$$

$$\begin{aligned} \frac{F}{A} &= \frac{200\text{ N}}{3.14 \times (1 \times 10^{-3}\text{ m})^2} \\ &= 63.63 \times 10^6\text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ความยาวที่เปลี่ยนไป

$$\begin{aligned} \frac{\Delta L}{L_0} &= \frac{F/A}{Y} \\ &= \frac{63.63 \times 10^6\text{ N/m}^2}{7 \times 10^{10}\text{ N/m}^2} \\ &= 9.099 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\Delta L = 9.099 \times 10^{-4} \times 2.00\text{ m}$$

$$= 18.20 \times 10^{-4}\text{ m}$$

$$= 1.82 \times 10^{-3}\text{ m}$$

ตอบ ความยาวของลวดที่เปลี่ยนไปเท่ากับ 1.82×10^{-3} เมตร หรือ 1.82 มิลลิเมตร

คำถาม

1. เมื่อนำเหล็ก ทองแดง และแก้วมาทำให้เป็นแท่งหรือเป็นเส้นยาวที่มีขนาดเท่ากันทุกประการ แล้วยึดปลายข้างหนึ่งไว้จากนั้นออกแรงดึงปลายอีกข้างหนึ่งไปตามแนวยาวด้วยแรงเท่ากัน วัสดุจะเปลี่ยนแปลงความยาวต่างกันอย่างไร

คำตอบ

2. วัสดุที่มีค่ามอดุลัสของยังต่างกัน สามารถทนต่อแรงภายนอกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

คำตอบ

3. ลวดขนาดโตเท่ากันและยาวเท่ากัน แต่มีมอดุลัสของยังต่างกัน เมื่อนำไปใช้แขวนวัตถุมวลเท่ากัน ลวดแต่ละเส้นยืดแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร

คำตอบ

คำถาม

4. ถ้าใช้ลวดเหล็กกล้าเส้นหนึ่งยาว 4 เมตร มีพื้นที่หน้าตัด 0.8 ตารางเซนติเมตร ผูกวัตถุ
มวล 7000 กิโลกรัมแขวนห้อยไว้ในแนวตั้งลวดเหล็กกล้านี้จะยืดออกจากเดิมเท่าไร
เหล็กกล้ามีค่ามอดุลัสของยังเท่ากับ 20×10^{10} นิวตันต่อตารางเมตร ให้แทนค่า g มี
ค่าประมาณเท่ากับ 9.8 เมตร ต่อวินาที²

คำถาม

5. ลวดโลหะยาว 3 เมตร และมีพื้นที่หน้าตัด 0.25 ตารางเซนติเมตร เมื่อใช้แรงดึง 10000 นิวตัน จะยืดออก 0.05 เซนติเมตร จงหาค่ามอดุลัสของยังของโลหะที่ทำเส้นลวดนี้

คำถาม

6. ลวดอะลูมิเนียมยาว 2 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 เซนติเมตร เมื่อนำลวดนี้ไปยกวัตถุมวล 1000 กิโลกรัม ลวดนี้จะยืดออกเท่าไร (ค่ามอดุลัสของยังของอะลูมิเนียมเท่ากับ $7.0 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$)

คำถาม

7. ลวดเส้นหนึ่งยาว 3 เมตร มีพื้นที่หน้าตัด 10^{-6} ตารางเมตรและค่ามอดุลัสของยังสำหรับลวดเส้นนี้เป็น 1.5×10^{11} นิวตันต่อตารางเมตร เมื่อมีแรงขนาด 100 นิวตัน ดึงเส้นลวดเส้นลวดจะยืดออกจากเดิมกี่เมตร