การทดลอง
กฎของฮุค

วัตถุประสงค์

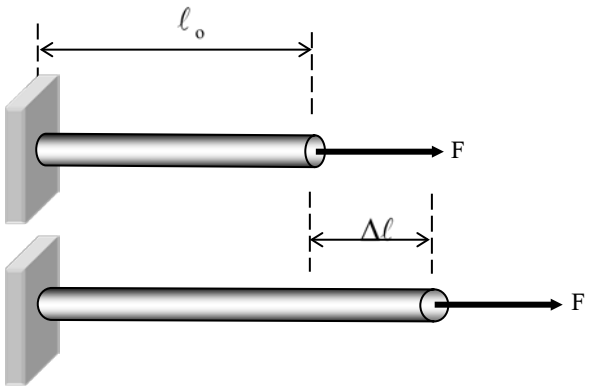
1. เพื่อศึกษากฎของฮุค
2. เพื่อหาค่าคงที่ของสปริง

อุปกรณ์

1. เครื่องมือสำเร็จรูปสำหรับใช้ศึกษากฎของฮุค
2. ตุ้มน้ำหนักขนาด 20 กรัม จำนวน 7 ก้อน
3. สปริงอ่อน 1 อัน และสปริงแข็ง 1 อัน

ทฤษฎี

เมื่อมีแรง F มากระทำกับวัตถุซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A ทำให้วัตถุซึ่งเดิมยาว ℓ_o มีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม $\Delta\ell$ เราจะนิยามอัตราส่วนของแรง F ต่อพื้นที่หน้าตัด A ว่า **ความเค้น** (stress, S)



รูปที่ 1 แสดงการเปลี่ยนรูปร่างของวัตถุเมื่อมีแรง F มากระทำ

$$S = \frac{F}{A} \qquad \text{.....(1)}$$

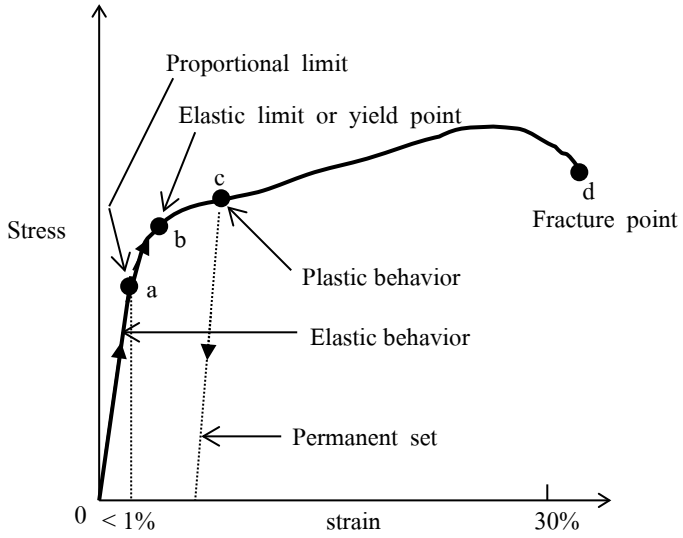
และเรียกการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ในมิติ หรือรูปร่างของวัตถุว่า **ความเครียด** (strain, N) โดยที่ความเครียดตามยาว เป็นอัตราส่วนของรูปความยาวที่เพิ่มขึ้นต่อความยาวเดิม นั่นคือ

$$N = \frac{\Delta \ell}{\ell_o} \qquad \text{.....(2)}$$

อัตราส่วนของความเค้นต่อความเครียด เรียกว่า **โมดูลัสของความยืดหยุ่น** (elastic modulus, M) ซึ่งปริมาณนี้เป็นตัวชี้บอกสมบัติความสามารถยืดหยุ่นได้ของวัตถุนั้น ดังนั้น

$$M = \frac{S}{N} \qquad \text{.....(3)}$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง ความเค้นและความเครียด จะพบว่า มีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนโดยตรงตาม **กฎของฮุค** (Hooke's law) ซึ่งความสัมพันธ์นี้จะมีไปจนถึงจุดที่เรียกว่า **"ขีดจำกัดของสัดส่วน"** (proportional limit) หลังจากนั้นความเค้นจะไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด และถ้าเราออกแรงตรงจุดใดๆ ที่อยู่ระหว่างจุดเริ่มต้นผ่านบริเวณขีดจำกัดของสัดส่วนจนถึงจุดที่เรียกว่า **"ขีดจำกัดยืดหยุ่น"** (elastic limit) ความสัมพันธ์จะเป็นแบบย้อนถอยกลับทับรอยเดิมได้และวัตถุก็จะสามารถคืนสู่สภาพเดิมได้ ถ้าใช้แรงเกินขีดจำกัดยืดหยุ่นนี้ เมื่อเอาแรงออกไปวัตถุจะไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมและอาจเกิดการแตกหักได้



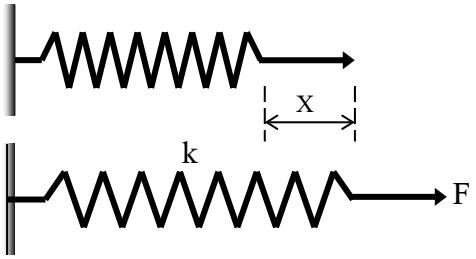
รูปที่ 2 กราฟแสดงภาพความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

จากสมการ (3) ถ้าพิจารณาว่าใช้แรงกระทำกับวัตถุไม่เกินขีดจำกัดของสัดส่วนแล้วโมดูลัสของความยืดหยุ่น จะเรียกได้ว่าเป็น โมดูลัสของยังก์ (Young's modulus, Y) ดังนั้น

โมดูลัสของยังก์ $$Y = \frac{S}{N} = \frac{F}{A} \times \frac{\ell_o}{\Delta \ell} \qquad \text{.....(4)}$$

หรือ $$F = \left(\frac{YA}{\ell_o} \right) \Delta \ell \qquad \text{.....(5)}$$

ถ้าให้ $k = \left(\frac{YA}{\ell_o}\right)$ = ค่าคงที่ และ $\Delta\ell = x$ จะได้ว่า



$$F = kx \qquad \text{.....(6)}$$

ซึ่งหมายความว่า แรงที่ใช้ดึง (หรืออัด) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับส่วนที่ยืดออก (หรือหดเข้า) จากความยาวเดิมเมื่อยังไม่มีแรงมากระทำ ความสัมพันธ์นี้เรียกว่า “**กฎของฮุค**” (Hooke’s law) ถ้าวัตถุเป็นสปริงจะเรียกค่าคงที่ k ว่า “**ค่าคงที่ของสปริง**” หรือ “**ค่านิจของสปริง**” (spring constant) ซึ่งหมายถึง แรงที่ทำให้สปริงยืด (หรือหด) ต่อหนึ่งหน่วยความยาวนั่นเอง

<u>การเอาสปริงมาต่อกัน</u> ถ้านำสปริงสองอันซึ่งมีค่านิจของสปริง k_1 และ k_2 ตามลำดับ มาต่อกันอาจจะต่อกันได้ใน 2 ลักษณะคือ ต่อแบบขนาน และต่อแบบอนุกรม ค่านิจของสปริงรวมของทั้งสองแบบจะแตกต่างกัน ดังนี้

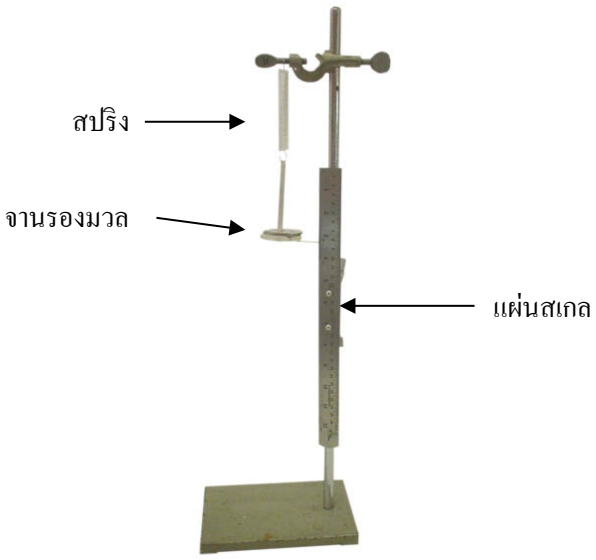
1. **<u>ต่อแบบขนาน</u>**

$$k = k_1 + k_2$$

2. **<u>ต่อแบบอนุกรม</u>**

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

$$k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2} \qquad \text{.....(7)}$$



รูปที่ 3 แสดงเครื่องมือสำหรับใช้ศึกษากฎของฮุค

วิธีการทดลอง

<u>ตอนที่ 1</u> หาค่าคงที่ของสปริงอ่อน k_1

1. จัดเครื่องมือทดลองตามรูปที่ 3 แขวนสปริงกับขอแล้วแขวนจานรองมวลสำหรับใส่มวลที่ปลายสปริงอีกด้านหนึ่ง โดยจัดให้เข็มชี้ที่อยู่ใต้จานอยู่ในแนวขนานกับขีดของสเกล
2. อ่านสเกลเริ่มต้นเมื่อยังไม่ใส่มวลลงบนจานรองมวลและสปริงหยุดนิ่ง แล้วกรอกข้อมูลลงในช่อง ℓ_1 เมื่อมวลเท่ากับ 0 กรัม (น้ำหนัก W = 0 N)
3. ใส่มวลครั้งละ 20 กรัม รวม 7 ครั้ง แต่ละครั้งให้บันทึกค่าน้ำหนัก (W) และตำแหน่งของจุดหยุดนิ่ง ℓ_1
4. ค่อยๆ ยกมวลออกจากจานครั้งละ 20 กรัม และบันทึกตำแหน่งของจุดหยุดนิ่ง ℓ_2 โดยบันทึกจากน้ำหนัก (W) มากไปน้อยจนหมด
5. นำค่า ℓ_1 และ ℓ_2 มาหาค่าจุดหยุดนิ่งเฉลี่ย $\ell = \frac{\ell_1 + \ell_2}{2}$
6. คำนวณหาระยะกระจัด x ที่น้ำหนัก W ต่างๆ โดยที่

   x = จุดหยุดนิ่งเฉลี่ยที่น้ำหนัก W ต่างๆ - จุดหยุดนิ่งเฉลี่ยที่น้ำหนักเป็นศูนย์
7. เขียนกราฟระหว่างน้ำหนักที่ถ่วง W (นิวตัน) กับระยะกระจัด x (เมตร) โดยให้ W อยู่ในแกนตั้ง และ x อยู่ในแกนนอน
8. หาค่าคงที่ของสปริง k_1 ที่ได้จากความชันของกราฟ ในหน่วย นิวตัน/เมตร

<u>ตอนที่ 2</u> หาค่าคงที่ของสปริงอ่อนต่อกับสปริงแข็งแบบอนุกรม $k_{รวมแบบอนุกรม}$

1. เอาสปริงอ่อนต่อเข้ากับสปริงแข็งแบบอนุกรมแล้วทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยให้เพิ่มมวลครั้งละ 20 กรัม รวม 7 ครั้ง
2. คำนวณหาค่าคงที่ของสปริงรวมแบบอนุกรม $k_{รวมแบบอนุกรม}$ จากสมการ (7) โดยใช้ค่า k_1 จากการทดลองตอนที่ 1 และ k_2 = 75 นิวตัน/เมตร
3. คำนวณเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่า $k_{รวมแบบอนุกรม}$ ที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 เทียบกับและจากการคำนวณในข้อ 2.