



หนังสือชุดเทคนิคการเรียนรู้ฟิสิกส์



สมบัติเชิงกลของสาร

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ประกอบด้วย

- ☞ สมบัติเชิงกลของของแข็ง
- ☞ สมบัติเชิงกลของของเหลว
- ☞ สรุปสาระสำคัญ เรื่อง สมบัติเชิงกลของสาร
- ☞ แบบทดสอบสมบัติเชิงกลของสาร

กวียา แนวประทีป

วศ.บ.เกียรตินิยม (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย), M.S., M.A. (University of Michigan, USA)

เทคนิคการเขียนฟิสิกส์ : สมบัติเชิงกลของสาร

เขียนโดย กวียา เนาวประทีป

ISBN (E-book) 2025-0910-0032-4

จำหน่ายอีบุ๊ก ตุลาคม 2568

ราคา 82 บาท

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ (ฉบับเพิ่มเติม) พ.ศ. 2558

เนื้อหา รูปเล่ม และภาพประกอบในหนังสือเล่มนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
ห้ามคัดลอก ยกเว้นได้รับอนุญาต

บรรณาธิการ กวียา เนาวประทีป

ปก/รูปเล่ม ฝ่ายศิลปกรรม สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์

จัดทำโดย

พจก. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์

เลขที่ 45 ซอยจรัญสนิทวงศ์ 40 ถนนจรัญสนิทวงศ์

แขวงบางยี่ขัน เขตบางพลัด กรุงเทพฯ 10700

โทรศัพท์ : 0-2433-7755-7 โทรสาร : 0-2433-7703

จัดจำหน่ายในรูปแบบสิ่งพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โดย

บริษัท เกรท มีเดีย เอเจนซี จำกัด

85 ซอยบรมราชชนนี 75 แขวงบางระมาด เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ 10170

โทร. 0-2433-7755-7, 086-330-6425

คำนำ

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า เป้าหมายของการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 นั้นมุ่งให้ผู้เรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เน้นการเชื่อมความรู้กับกระบวนการ มีทักษะสำคัญในการค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ โดยใช้กระบวนการในการสืบเสาะหาความรู้ และแก้ปัญหาที่หลากหลายให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ทุกขั้นตอน มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติจริงอย่างหลากหลายและเหมาะสมกับระดับชั้น

วิชาฟิสิกส์ก็เป็นแขนงหนึ่งของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้เขียนจึงได้จัดทำหนังสือ **เทคนิคการเรียนรู้ฟิสิกส์ : สมบัติเชิงกลของสาร** เล่มนี้ขึ้นมา เพื่อให้ผู้เรียนรู้จักเทคนิคในการเรียนฟิสิกส์ให้เก่งได้ด้วยตนเอง ด้วยการนำไปอ่านและฝึกทำแบบฝึกหัดและแบบทดสอบที่มีอยู่อย่างหลากหลาย เฉพาะเรื่องที่ตนสนใจหรือที่ยังไม่เข้าใจอย่างถ่องแท้ให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น และยังสามารถนำไปใช้เสริมกับการเรียนกวดวิชาตามสถาบันต่างๆ อีกทั้งครู-อาจารย์ผู้สอนก็สามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนได้ด้วย

หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียน ครู-อาจารย์ผู้สอนได้ตามสมควร หากมีข้อบกพร่องหรือผิดพลาดประการใดผู้เขียนต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ด้วยความปรารถนาดี
กวิยา เนาวประทีป
kawiya@physicscenter.com

คำนำสำนักพิมพ์

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า การเรียนการสอนในปัจจุบัน กระทรวงศึกษาธิการ ได้ประกาศใช้หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ที่มีความเหมาะสมชัดเจนทั้งเป้าหมายของหลักสูตรในการมุ่งพัฒนาคุณภาพของผู้เรียนทุกคน ซึ่งเป็นกำลังของชาติ โดยได้มีการกำหนดมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดในรายวิชาไว้อย่างชัดเจน เหมาะสำหรับการเรียนการสอนในแต่ละระดับชั้น

สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ ได้เล็งเห็นความสำคัญของการเรียนการสอนในกลุ่ม **สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์** เพราะมีบทบาทสำคัญยิ่งในสังคมโลกปัจจุบันและอนาคต เพราะวิทยาศาสตร์เกี่ยวข้องกับทุกคนทั้งในชีวิตประจำวันและการทำงานอาชีพต่างๆ ตลอดจนเทคโนโลยี เครื่องมือเครื่องใช้และผลผลิตต่างๆ ที่มนุษย์ได้ใช้เพื่ออำนวยความสะดวกในชีวิตและการทำงานเหล่านี้ล้วนเป็นผลของความรู้วิทยาศาสตร์ผสมผสานกับความคิดสร้างสรรค์และศาสตร์อื่นๆ วิทยาศาสตร์ช่วยให้มนุษย์ได้พัฒนาวิธีคิด ทั้งความคิดเป็นเหตุเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์ วิจัย มีทักษะสำคัญในการค้นหาความรู้ มีความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ สามารถตัดสินใจโดยใช้ข้อมูลที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพที่ตรวจสอบได้ วิทยาศาสตร์เป็นวัฒนธรรมของโลกสมัยใหม่ซึ่งเป็นสังคมแห่งการเรียนรู้ (K knowledge-based society) ดังนั้นทุกคนจึงจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาให้รู้วิทยาศาสตร์ เพื่อที่จะมีความรู้ ความเข้าใจในธรรมชาติและเทคโนโลยีที่มนุษย์สร้างสรรค์ขึ้น สามารถนำความรู้ไปใช้อย่างมีเหตุผลสร้างสรรค์ และมีคุณธรรม สำนักพิมพ์ฯ จึงได้จัดทำหนังสือ **เทคนิคการเรียนรู้ฟิสิกส์** เฉพาะเรื่องขึ้น เพื่อให้ผู้เรียนที่ยังไม่เข้าใจหลักฟิสิกส์บางเรื่องได้เลือกนำไปใช้ศึกษาด้วยตนเองให้เข้าใจได้อย่างถ่องแท้ เพราะมีการสรุปหลักในแต่ละเรื่อง มีแบบฝึกหัดและแบบทดสอบที่หลากหลายไว้ให้ลองทำพร้อมมีเฉลยแยกเล่มไว้ให้ตรวจสอบความถูกต้องได้ด้วยตนเอง

สำนักพิมพ์ฯ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้คงจะอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้เรียน ครู-อาจารย์ผู้สอน และผู้ที่สนใจในการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ได้เป็นอย่างดี

ฝ่ายวิชาการ
สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์

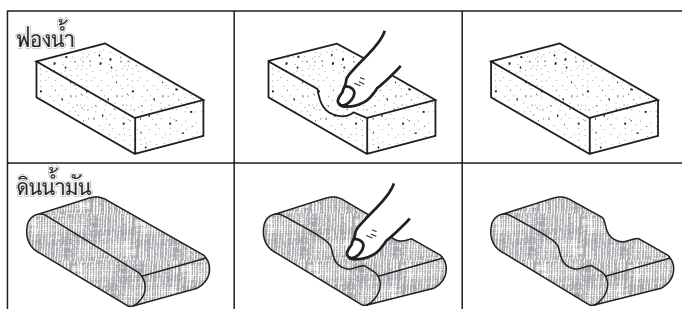
สารบัญ

1. สมบัติเชิงกลของของแข็ง	7
1.1 ความยืดหยุ่นของของแข็ง	7
1.2 แรงเค้น และความเค้น	7
1.3 ความเครียด	9
1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด	10
1.5 มอดูลัสของความยืดหยุ่น	11
2. สมบัติเชิงกลของของเหลว	20
2.1 ความดันของของเหลว	20
2.2 กฎของปาสคาล	40
2.3 หลักของอาร์คิมิดีส	46
2.4 ความตึงผิว	54
2.5 ความหนืด	61
2.6 สมการแบร์นูลลีสำหรับการเคลื่อนที่ของของไหล	63
สรุปสาระสำคัญ เรื่อง สมบัติเชิงกลของสาร	70
แบบทดสอบสมบัติเชิงกลของสาร	72

1. สมบัติเชิงกลของของแข็ง

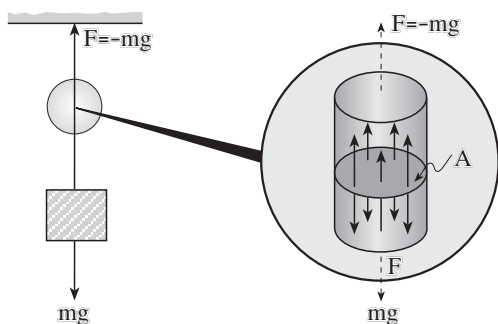
1.1 ความยืดหยุ่นของของแข็ง

ความยืดหยุ่นเป็นสมบัติของของแข็งในการที่สามารถคืนสู่รูปร่างปกติของวัตถุ เมื่อแรงที่มากระทำต่อวัตถุนั้นหมดไป ของแข็งแต่ละชนิดมีความยืดหยุ่นมากน้อยต่างกัน เช่น พลาสติกอ่อน ยาง หรือฟองน้ำ รวมทั้งสปริงซึ่งมีความยืดหยุ่นมาก



รูปแสดงลักษณะการเปลี่ยนรูปร่างและการคืนตัวของฟองน้ำและดินน้ำมันเมื่อนิ้วมือกดแล้วยกออก

1.2 แรงเค้นและความเค้น



รูปแสดงแรงเค้นที่เกิดขึ้นในลวด

ขณะที่ของแข็งได้รับแรงกระทำจากภายนอก ภายในของแข็งจะเกิดแรงยึดระหว่างโมเลกุลเพิ่มมากขึ้นกว่าปกติเพื่อต้านการเปลี่ยนรูปร่างอันเกิดจากแรงภายนอกที่มากระทำ แรงยึดระหว่างโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นนี้มีชื่อว่า “แรงเค้น” แรงเค้นที่เกิดขึ้นจะกระทำในแนวตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของวัตถุและแรงเค้นจะกระจายสม่ำเสมอบนพื้นที่หน้าตัดของวัตถุนั้น

อัตราส่วนระหว่างแรงเค้นต่อพื้นที่หน้าตัดของวัตถุเรียกว่า “ความเค้น”

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

โดยที่ σ คือ ความเค้น มีหน่วยเป็นนิวตัน/ตารางเมตร
 F คือ แรงเค้น มีหน่วยเป็นนิวตัน
 A คือ พื้นที่รับแรงเค้น มีหน่วยเป็นตารางเมตร

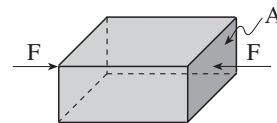
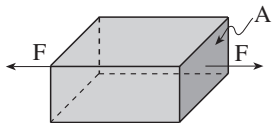
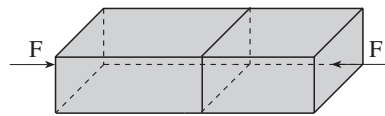
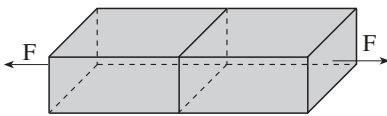
ความเค้นที่เกิดจากแรงภายในวัตถุที่พยายามต้านไม่ให้วัตถุเปลี่ยนรูปร่างมีหลายประเภท แต่ว่าว่าลักษณะของแรงภายในที่มากกระทำและการเปลี่ยนรูปร่างของวัตถุจะเป็นแบบไหน ตัวอย่างเช่น

1. **ความเค้นดึงและความเค้นอัด** คือ ความเค้นที่เกิดจาก แรงภายนอกกระทำตามแนวความยาวของวัตถุ ถ้าแรงนั้นมีทิศออกจากวัตถุจะทำให้เกิดความเค้นดึง และถ้าแรงนั้นมีทิศเข้าวัตถุจะทำให้เกิดความเค้นอัด

ค่าความเค้นหาได้จากสมการ

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

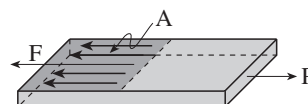
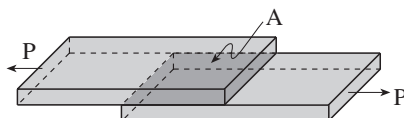
โดย $F \perp A$



รูปแสดงความเค้นดึง

รูปแสดงความเค้นอัด

2. **ความเค้นเฉือน** ถ้านำแผ่นพลาสติก 2 แผ่น มาทากาวแล้วแปะเข้าด้วยกันดังรูป ออกแรง P ดึงที่ปลายทั้งสองของแผ่นพลาสติก โดยแรง P กระทำตามแนวความยาว แผ่นพลาสติกทั้งสองยังคงอยู่ติดกันได้โดยไม่หลุดออกจากกัน แสดงว่าเนื้อที่ของแผ่นพลาสติกที่ทากาวจะต้องออกแรงโต้ตอบแรงภายนอก P เราเรียกรวมแรงที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นที่สัมผัสที่ทากาวนี้ว่า “แรงเฉือน” จากรูป ได้แก่ แรง F นั้นเอง



รูปแสดงแรงเฉือนเนื่องจากแรง P

อัตราส่วนระหว่างแรงเฉือนต่อพื้นที่ซึ่งรับแรง เรียกว่า “**ความเค้นเฉือน**”

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

โดย F ขนานกับ A

โดยที่ σ_s คือ ความเค้นเฉือน มีหน่วยเป็นนิวตัน/ตารางเมตร

F คือ แรงเฉือนที่กระจายทั่วพื้นที่ มีหน่วยเป็นนิวตัน จากรูป $F = P$

A คือ พื้นที่ที่แรง F กระจายเต็ม มีหน่วยเป็นตารางเมตร

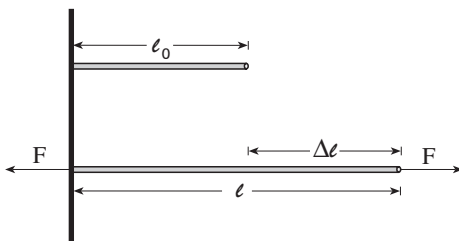
3. **ความเค้นงอหรือความเค้นโก่ง** เป็นความเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงที่ทำให้วัตถุนั้นเกิดการโก่งหรืองอ เช่น ความเค้นเนื่องจากการโก่งงอของสวด โดยการอัดที่ปลายทั้งสองของสวด เป็นต้น

4. **ความเค้นบิด** เป็นความเค้นที่เกิดจากแรงที่ทำให้เกิดโมเมนต์หมุนรอบหน้าตัดของแกนวัตถุ เช่น ความเค้นที่เกิดขึ้นในเพลารถยนต์หรือในแกนมอเตอร์ เป็นต้น

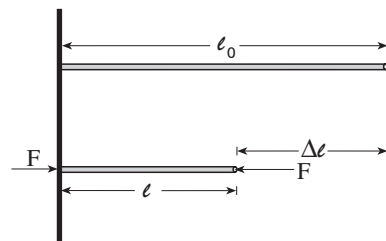
1.3 ความเครียด

เมื่อมีแรงภายนอกมากกระทำกับวัตถุและทำให้วัตถุเปลี่ยนรูปร่างไป การเปลี่ยนรูปร่างของวัตถุนี้อาจจะเป็นการเปลี่ยนความยาว ปริมาตรหรือเกิดการโค้งงอ หรือบิดก็ได้ **อัตราส่วนระหว่างขนาดรูปร่างที่เปลี่ยนไปกับขนาดรูปร่างเดิม** นี้ เรียกว่า “**ความเครียด**” ใช้สัญลักษณ์ “ ϵ ” (อ่านว่า เอพซิลอน) ซึ่งแยกการพิจารณาได้เป็น 2 แบบ ดังนี้

1. **ความเครียดตามยาว** กำหนดให้เดิมเส้นสวดยาว ℓ_0 ถูกกระทำด้วยแรง F ทำให้เส้นสวดยืดออกเท่ากับ $\Delta\ell$ ดังรูป **ความเครียดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม**



รูปแสดง**ความเครียด**เนื่องจาก**แรงดึง**



รูปแสดง**ความเครียด**เนื่องจาก**แรงอัด**

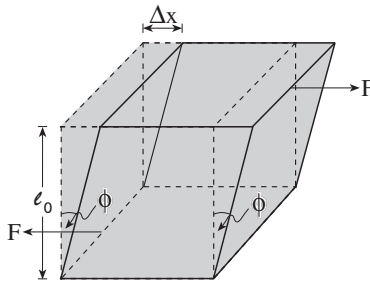
$$\epsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell_0}$$

โดยที่ ℓ_0 คือ ความยาวเดิม

$\Delta\ell$ คือ ความยาวที่เปลี่ยนไป

ϵ คือ ความเครียดตามยาว

2. **ความเครียดเฉือน** กำหนดให้แท่งวัตถุมีพื้นที่ภาคตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังแสดงด้วยเส้นประถูกกระทำโดยความเค้นเฉือนแล้วรูปร่างโย้ไป สำหรับความเครียดประเภทนี้เป็นการเปลี่ยนรูปร่าง แทนที่จะเป็นการเปลี่ยนขนาด อย่างแบบอื่นๆ ความเครียดวัดด้วยมุม ϕ โดยทั่วไปมุม ϕ เป็นมุมแคบจึงมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วนของการกระจัด Δx ต่อความยาว ℓ_0



รูปแสดงความเครียดเฉือน

$$\phi = \frac{\Delta x}{\ell_0}$$

ϕ คือ ความเครียดเฉือนมีหน่วยเป็นเรเดียน

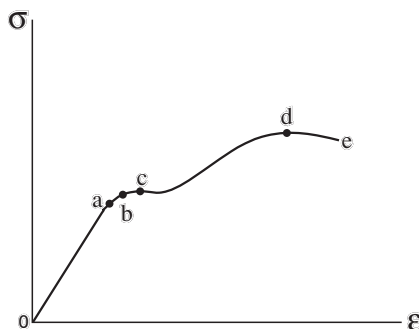
Δx คือ การกระจัดของวัตถุที่เปลี่ยนรูปร่าง

ℓ_0 คือ ความยาวในแนวตั้งฉาก

หมายเหตุ หน่วยของ $\Delta \ell$, Δx และ ℓ_0 จะต้องเป็นหน่วยเดียวกัน

1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

จากการใช้แรงดึงเส้นลวดซึ่งยึดปลายข้างหนึ่งไว้ แล้วบันทึกขนาดของแรงดึงกับความยาวของลวดที่เพิ่มขึ้น ทำให้ได้ค่าของความเค้นและความเครียดของลวดมีความสัมพันธ์กันดังกราฟ



รูปแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

จุด a เรียกว่า ชีดจำกัดแปรผันตรงเป็นจุดสุดท้ายที่กราฟเป็นเส้นตรง

จุด b เรียกว่า ชีดจำกัดความยืดหยุ่นเป็นจุดสุดท้ายที่วัตถุสามารถคืนตัวสู่สภาพเดิมได้ ถ้าไม่มีแรงภายนอกกระทำ

จุด c เรียกว่า จุดคลากเป็นจุดที่วัตถุมีการเปลี่ยนแปลงมากเมื่อแรงเปลี่ยนเพียงเล็กน้อย

จุด d เรียกว่า จุดประลัยหรือจุดแตกหักเป็นจุดที่วัตถุรับแรงได้มากที่สุด และจะขาดที่จุดนี้

จากค่าความเค้นและความเครียดที่หาได้ จะพบว่าถ้าใช้แรงดึงเส้นลวดโดยที่ขนาดของแรงดึงไม่เกินขีดจำกัดแปรผันตรงของลวดแล้ว จะได้ลักษณะกราฟเป็นเส้นตรง

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ค่าของความเค้นจะแปรผันโดยตรงกับค่าของความเครียด

นั่นคือ $\sigma \propto \varepsilon$ หรือ $\sigma = k\varepsilon$ โดย k คือ ค่าคงที่

$$\text{แทนค่า } \frac{F}{A} = k\left(\frac{\Delta \ell}{\ell_0}\right) \text{ หรือ } \frac{F/A}{\Delta \ell/\ell_0} = k$$

อัตราส่วนระหว่างความเค้นกับความเครียดจะมีค่าคงที่ ซึ่งเราเรียกค่าคงที่นี้ว่า “มอดูลัสความยืดหยุ่นของวัตถุ” ใช้สัญลักษณ์ E

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\Delta \ell/\ell_0}$$

1.5 มอดูลัสของความยืดหยุ่น

มอดูลัสของความยืดหยุ่น (E) เป็นค่าที่ใช้ในการกำหนดความแข็งแรงของวัตถุ มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียด ซึ่งแยกพิจารณาได้ 3 แบบ คือ

1. มอดูลัสของยัง (Young's Modulus) เขียนแทนด้วย Y มีค่าเท่ากับอัตราส่วนของความเค้นตามยาวต่อความเครียดตามยาว

$$\text{จาก } E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ แทนค่าความเค้น } \sigma = \frac{F}{A} \text{ และความเครียด } \varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0} \text{ จะได้}$$

$$Y = \frac{F/A}{\Delta \ell/\ell_0} = \frac{F \cdot \ell_0}{A \cdot \Delta \ell}$$

$$Y = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F \cdot \ell_0}{A \cdot \Delta \ell}$$

มีหน่วยเป็น N/m^2

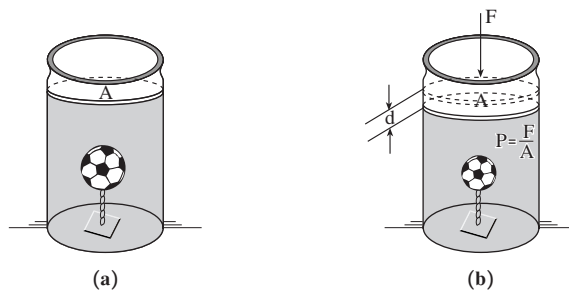
2. **มอดูลัสเฉือน (Shear Modulus)** เขียนแทนด้วย E_s มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างความเค้นเฉือนกับความเครียดเฉือน

จาก $E_s = \frac{\sigma_s}{\phi}$ แทนค่าความเค้นเฉือน $\sigma_s = \frac{F}{A}$ และความเครียดเฉือน $\phi = \frac{\Delta x}{\ell_0}$

จะได้ $E_s = \frac{F/A}{\Delta x/\ell_0} = \frac{F \cdot \ell_0}{\Delta x \cdot A}$

$$E_s = \frac{\sigma_s}{\phi} = \frac{F \cdot \ell_0}{A \cdot \Delta x} \quad \text{มีหน่วยเป็น N/m}^2$$

3. **บัลค์มอดูลัส (Bulk Modulus)** เขียนแทนด้วย B เป็นค่ามอดูลัสที่เกิดกับวัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ส่วนใหญ่ใช้กับของเหลว ดังรูป



รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของลูกบอลโดยการเพิ่มความดัน

จากรูป ลูกบอลลูกหนึ่งผูกเชือกกับแผ่นเหล็กแล้วปล่อยให้จมในของเหลวที่บรรจุในกระบอกสูบ และมีลูกสูบ A ปิดอยู่ เมื่อออกแรง F กดลูกสูบ ทำให้ลูกสูบขยับลงมา d ของเหลวในกระบอกสูบได้รับความดันเพิ่ม P ทำให้ลูกบอลมีปริมาตรลดลง ดังรูป (b)

จากนิยามของมอดูลัส จะได้ $E = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}} = \frac{\sigma}{\epsilon}$

จากนิยามความเค้น $\sigma = \frac{F}{A}$ แต่ $F = \Delta P A$

$$\therefore \sigma = \frac{\Delta P A}{A} = \Delta P = \text{ความดันที่เพิ่ม}$$

จากนิยามความเครียด $\epsilon = \text{อัตราส่วนรูปร่างที่เปลี่ยนไปต่อรูปร่างเดิม}$

$$\therefore \epsilon = \frac{\Delta V}{V}$$

แทนค่าจะได้มอดูลัส $E = \frac{\Delta P}{\Delta V/V}$

ถ้าให้ P_1, V_1 เป็นความดันและปริมาตรตอนเริ่มแรกตามลำดับ

P_2, V_2 เป็นความดันและปริมาตรตอนหลังตามลำดับ

แทนค่าในสมการมอดูลัสจะได้ $E = \frac{\Delta P}{\Delta V/V} = \frac{P_2 - P_1}{(V_2 - V_1)/V_1}$ ซึ่งสมการนี้จะให้

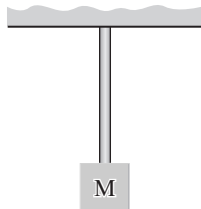
ค่าเป็นลบเสมอ เพราะถ้า $P_2 > P_1$ จะได้ $V_2 < V_1$ หรือถ้า $P_2 < P_1$ จะได้ $V_2 > V_1$ ดังนั้น เพื่อให้สมการ มอดูลัสเป็นบวกจึงใส่เครื่องหมายลบไว้ข้างหน้า และให้ชื่อมอดูลัสใหม่ว่า “**บัลค์มอดูลัส**” (B)

$$B = \frac{-(P_2 - P_1)}{(V_2 - V_1)/V_1}$$

แบบฝึกหัดที่ 1

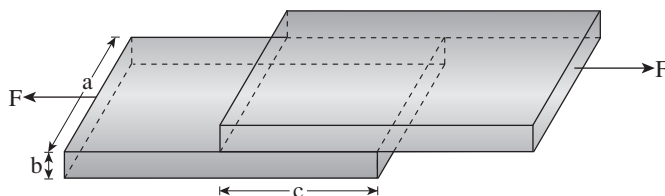
1. จงบอกลักษณะของความเค้นและขนาดของความเค้นที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างต่อไปนี้

(1)

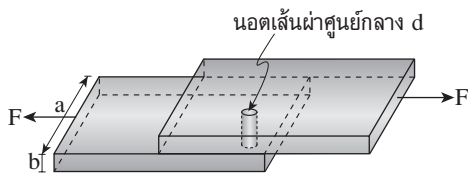


จากรูป ลวดโลหะเบาพื้นที่หน้าตัด a ปลายข้างหนึ่งยึดติดกับเพดานและปลายอีกข้างหนึ่งยึดติดกับมวล M

- (2) แผ่นพลาสติกกว้าง a หนา b 2 แผ่น ดังรูป ทากาวติดกันยาว c ออกแรงดึงแผ่นพลาสติกทั้งสองด้วยแรง F โดยที่แผ่นพลาสติกทั้งสองไม่หลุดจากกัน

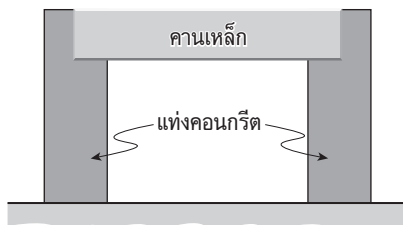


(3)



แผ่นเหล็กสองแผ่นขนาดเท่ากันกว้าง a หนา b วางทับกันแล้วเจาะรูยึดติดกันด้วยนอตเส้นผ่าศูนย์กลาง d ดังรูป ออกแรง F ดึงแผ่นเหล็กทั้งสอง โดยที่แผ่นเหล็กทั้งสองยังคงยึดติดกันอยู่ โดยไม่แยกจากกัน

(4)



คานเหล็กสม่ำเสมอแท่งหนึ่งวางตั้งอยู่บนเสาคอนกรีต 2 ต้น ดังรูป เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้คานเหล็กขยายตัวดันหัวเสาคอนกรีต แต่เสาคอนกรีตยังคงอยู่ในสภาพเดิมได้

2. แผ่นเหล็กกว้าง 300 มิลลิเมตรหนา 15 มิลลิเมตร มีรูเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 23 มิลลิเมตร แผ่นเหล็กนี้จะรับแรงดึงเท่าใด ถ้าความเค้นของแผ่นเหล็กเท่ากับ 90 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

3. เหล็กเส้นหนึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร มีความยาว 200 มิลลิเมตร ถูกยืดออก 0.22 มิลลิเมตร ด้วยแรงดึง 29.5 กิโลนิวตัน และเส้นเหล็กนี้อยู่ในช่วงขีดจำกัดแปรผันตรง จงหาค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็ก

4. ลวดเหล็กเส้นหนึ่งมีความเค้นสูงสุด 2.7×10^{10} นิวตัน/ตารางเมตร ถ้าลวดเส้นนี้มีพื้นที่ภาคตัดขวาง 10^{-9} ตารางเมตร และถูกนำไปผูกกับวัตถุมวล 3 กิโลกรัม เมื่อลากวัตถุไปในแนวระดับบนพื้นราบซึ่งมีสัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน 0.4 อยากทราบว่า วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งสูงสุดเท่าไร