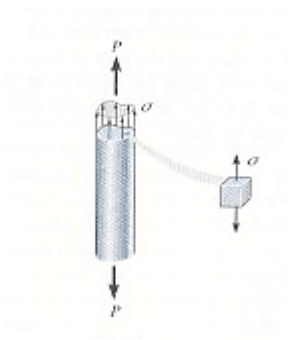


รูปที่ 1.4 ท่อนวัสดุรับแรงดึง

1.3.2 <u>ความเค้นอัด (Compressive Stress)</u>

เกิดขึ้นเมื่อวัสดุอยู่ภายใต้แรงอัด ซึ่งแนวแรงมีทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด ต่อพื้นที่หน้าตัดนั้น

ในสภาวะสมดุลย์ พิจารณาในทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด

พิจารณาทำนองเดียวกันกับความเค้นดึง

แรงภายใน = แรงภายนอก

$$\sigma_c * dA = dP \qquad (1.3)$$

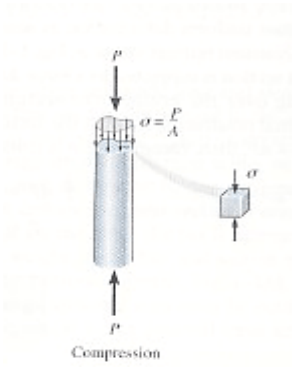
ผลรวมของแรงตลอดพื้นที่หน้าตัด

$$\int_A \sigma_c * dA = \int dP$$

$$\sigma_c * A = P$$

ดังนั้น

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \qquad (1.4)$$




รูปที่ 1.5 ท่อนวัสดุรับแรงอัด

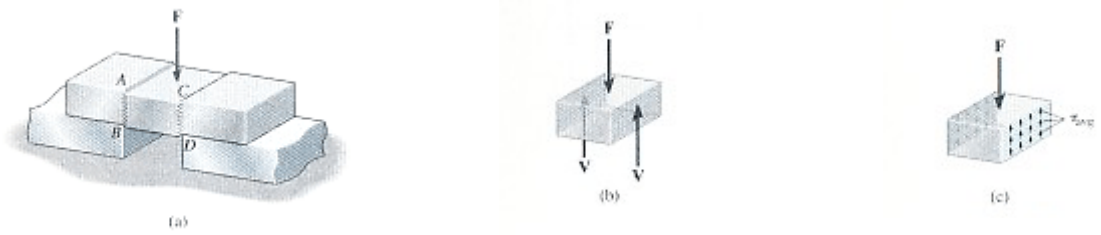
1.3.3 ความเค้นเฉือน (Shear Stress)

เกิดขึ้นเมื่อวัสดุอยู่ภายใต้แรงเฉือน ซึ่งมีทิศทางขนานกับพื้นที่หน้าตัด ต่อพื้นที่หน้าตัดนั้น พิจารณาเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อวัตถุ โดยพยายามทำให้วัตถุขาดออกจากกันตามแนวระนาบที่ขนานกับทิศทางของแรง จะเกิดแรงภายในต้านทานแรงภายนอกบนระนาบนั้นเราเรียกแรงภายในนี้ว่า แรงเฉือน (Shear Force) เมื่อหารแรงนี้ด้วยพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงหรือต้านทานแรงนี้จะได้ค่า แรงเค้นเฉือน (Shear Stress) ในสภาวะสมดุลย์ พิจารณาในทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด

พิจารณาเดียวกันกับความเค้นดึง จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับแรงเฉือนดังนี้

$$\tau = \frac{V}{A} \qquad (1.5)$$

ค่าแรงเฉือนที่คำนวณได้นี้เป็นเพียงค่าเฉลี่ยเท่านั้น (โดยสมมุตอว่าค่าแรงเฉือนกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วหน้าตัดที่รับแรง) แต่ในความเป็นจริงแล้วการกระจายของแรงเฉือนอาจจะอยู่ยากกว่านี้แล้วแต่กรณี ในกรณีที่เป็นแรงดึงและแรงอัด พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงจะตั้งฉากกับทิศทางของแรง แต่ในกรณีแรงเฉือน พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงจะขนานกับทิศทางของแรง



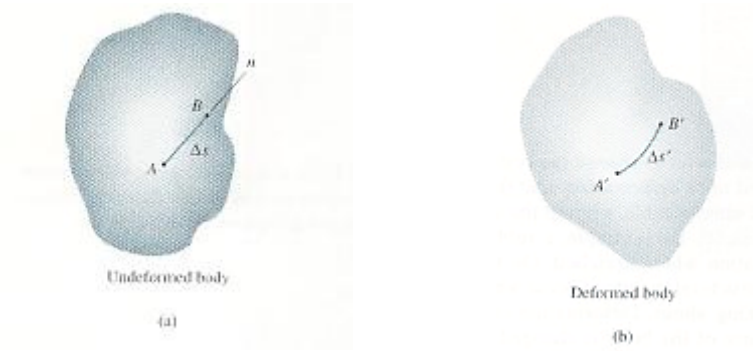

รูปที่ 1.6 วัสดุรับแรงเฉือน

**1.4 ความเครียด (Strain)**

เมื่อมีแรงภายนอกกระทำต่อโครงการ จะมีผลทำให้ชิ้นส่วนของโครงสร้างเสียรูปไป (Deformation) โดยทำให้ส่วนของโครงสร้างนั้นเกิดความเครียดขึ้น ซึ่งความเครียดนั้น มีนิยามว่า ขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของมวลวัสดุต่อขนาดเดิม ในทิศทางใดทิศทางหนึ่งที่พิจารณา หรืออาจแสดงได้โดยสมการดังนี้คือ

$$\text{ความเครียด} = \frac{\text{ส่วนที่เปลี่ยนแปลง}}{\text{ความยาวเดิม}} = \frac{\text{ความยาวสุดท้าย - ความยาวเดิม}}{\text{ความยาวเดิม}}$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{\Delta S} = \frac{\Delta S' - \Delta S}{\Delta S} \qquad (1.6)$$



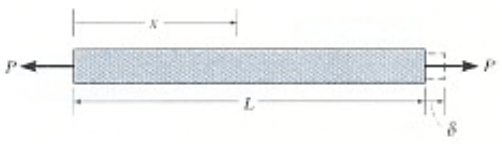

รูปที่ 1.7 ส่วนของโครงสร้างเมื่อเกิดความเครียด

สำหรับการศึกษา ความเครียด ในส่วนของโครงสร้าง เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดความยาวของโครงสร้าง ตลอดจนเลือกใช้วัสดุ เพื่อให้ส่วนของโครงสร้างเสียรูปไปได้ไม่เกินที่มาตรฐานกำหนด โดยความเครียดที่เกิดขึ้นในวัสดุ แบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะตามทิศทางที่เกิดความเค้นนั้น ๆ กล่าวคือ

1.4.1 <u>ความเครียดดึง (Tensile Strain)</u>

ชิ้นส่วนของโครงสร้างที่มีความยาวเดิม เมื่อมีแรงดึงมากระทำในรูปที่ 1.8 ทำให้ส่วนของโครงสร้างนั้นยืดออก จะมีผลทำให้ความเครียดดึงขึ้นดังแสดงไว้ในสมการ 1.7 คือ

$$\varepsilon_t = \frac{\delta}{L} \qquad (1.7)$$

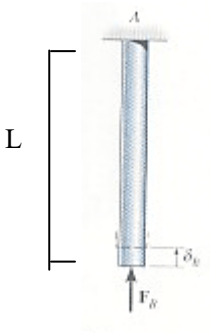



รูปที่ 1.8 แสดงการเกิดความเครียดดึง

1.4.2 ความเครียดอัด (Compressive Strain)

ชิ้นส่วนของโครงสร้างที่มีความยาวเดิม เมื่อมีแรงอัดมากกว่าในรูปที่ 1.9 ทำให้ส่วนของโครงสร้างนั้นหดลง จะมีผลทำให้ความเครียดอัดขึ้น ดังแสดงไว้ในสมการ 1.8 คือ

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \qquad (1.8)$$

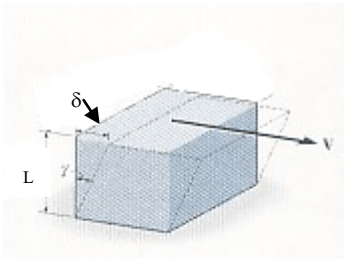



รูป 1.9 แสดงการเกิดความเครียดอัด

1.4.3 ความเครียดเฉือน (Shear Strain)

ส่วนของโครงสร้างที่มีความยาวเดิม เมื่อมีแรงเฉือนมากระทำ ในรูปที่ 1.10 ทำให้ส่วนของโครงสร้างนั้นเคลื่อนไหวไปตามแนวแรง ทำให้เกิดความเครียดเฉือนขึ้นดังแสดงไว้ในสมการ 1.9 คือ

$$r = \frac{\delta}{L} \qquad (1.9)$$




รูปที่ 1.10 แสดงการเกิดความเครียดเฉือน

การทดสอบโดยการเฉือน เป็นวิธีที่ทดสอบแตกต่างจากการทดสอบโดยการดึงและการอัด คือ การเฉือนของแรงที่กระทำตรงกันข้าม มีทิศทางที่ขนานกับพื้นที่หน้าตัดที่ขนาด และการทดสอบโดยการเฉือนนี้ทำเพื่อหาคุณสมบัติความต้านทานการเฉือนของวัสดุ ซึ่งจะต้องนำไปใช้ในการทำชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล ที่ต้องรับแรงเฉือนเช่น หมุดย้ำ สลักเกลียว และสลักเป็นต้น แรงเฉือนแบ่งเป็น 2 แบบคือ

1.4.3.1 แรงเฉือนตรง

แรงเฉือนตรง หมายถึง ผลรวมของแรงขนานที่มีทิศทางตรงกันข้าม กระทำผ่านเซนทรอยด์ของพื้นที่ซึ่งมีขนาดเล็ก และอาจจะเป็นไปได้ว่าเมื่อวัสดุรับแรงเฉือน ก็จะเกิดความเค้นเฉือนที่สม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่หน้าตัด ซึ่งในความเป็นจริงแล้ววัสดุที่รับแรงเฉือนโดยตรงทั่วไปมักจะมีแรงดัดโค้งและแรงเสียดทานเกิดขึ้นพร้อมด้วยเสมอ จึงสรุปได้ว่าในทางปฏิบัติ วัสดุจะไม่มีโอกาสที่จะรับแรงเฉือนโดยตรงเพียงอย่างเดียว สำหรับตัวอย่างลักษณะการเฉือนตรงก็คือ ได้แก่ การตัดเหล็ก และแรงเฉือนที่กระทำกับหมุดย้ำและสลักเป็นต้น

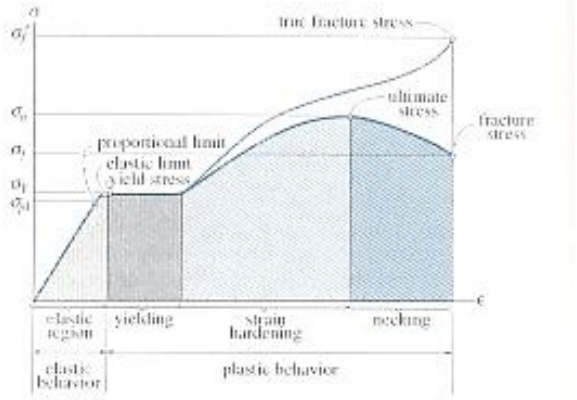
1.4.3.2 แรงเฉือนบิด

แรงเฉือนบิด หมายถึงแรงที่ขนานกันและมีทิศทางตรงกันข้ามกระทำต่อวัสดุ โดยไม่ได้กระทำตามแนวแกนของวัสดุนั้น ซึ่งจะทำให้เกิดแรงคู่ควบ และจะพยายามบิดวัสดุให้หมุนเฉือนขาดไปตามทิศทางของแรง ดังนั้นพื้นที่ในการรับแรงเฉือนบิด จะขนานกับแนวแรง สำหรับตัวอย่างของวัสดุที่รับแรงบิดได้แก่ เพลาต่าง ๆ

## 1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) กับความเครียด (Strain)

ในการนำมวลวัสดุมาใช้ทำหรือประกอบเป็นชิ้นส่วนของโครงสร้าง จำเป็นต้องทราบคุณสมบัติต่าง ๆ ของมวลวัสดุนั้นด้วย คุณสมบัติดังกล่าวนี้เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของมวลวัสดุนั้น โดยพิจารณาได้จากรูปที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ซึ่งทำให้สามารถทราบค่าต่าง ๆ ได้ เช่น ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น ลักษณะการยืดหดตัวของมวลวัสดุนั้นเป็นต้น

โดยทั่วไปในงานวิศวกรรมโยธา วิศวกรนิยมใช้เหล็กเหนียว ( Mild Steel) มาทำ หรือประกอบเป็นชิ้นส่วนของโครงสร้าง ในการทดสอบโดยการดึงนั้น จะทำให้เกิดความเค้นและความเครียดในชิ้นทดสอบจากนั้นเมื่อนำค่าทั้งสองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ โดยให้ค่าทางแกนนอนแทนความเครียด แกนตั้งแทนความเค้น แผนภาพนี้จึงเป็นแผนภาพความเค้นความเครียด (Stress – Strain Diagram) แต่ในการทดสอบจริงนั้น แผนภาพที่เขียนจากเครื่องนั้นจะเป็นแผนภาพของแรงกับการยืด ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับแผนภาพความเค้นกับความเครียด สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเหล็กดังกล่าว ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.11



Conventional and true stress-strain diagrams for ductile material (steel) (not to scale)

รูปที่ 1.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเหล็กเหนียว

จากรูปที่ 2.11 แผนภาพความเค้นกับความเครียด จะมีส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญแสดงถึงคุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นช่วง ๆ ดังรูป

1.5.1 <u>ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดเป็นเส้นตรง</u>

ที่กราฟเป็นเส้นตรง แสดงว่าความเค้นเป็นภาคโดยตรงกับความเครียด หรืออาจกล่าวอีกนัยว่าแรงดึงเป็นภาคโดยตรงกับส่วนที่ยืดออก และวัสดุยังคงลักษณะตามกฎของฮุก

1.5.2 <u>พิกัดความเป็นสัดส่วน (Proportional Limit)</u>

หมายถึง ค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุรับไว้ได้ โดยที่ความเค้นยังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด เป็นจุดสุดท้ายที่ความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นเส้นตรง หลังจากจุดนี้แล้ว ความเค้นจะไม่เป็นภาคโดยตรงกับความเครียดอีกต่อไป

1.5.3 <u>พิกัดความยืดหยุ่น (Elastic Limit)</u>

หมายถึง พฤติกรรมของวัสดุที่ได้รับความเค้น ซึ่งอยู่ภายในช่วงของการคืนรูป ไม่เกิดการแปรรูปอย่างถาวร คือเมื่อปล่อยแรงดึง วัสดุก็จะหดสู่สภาพเดิม ในการทดสอบบางครั้งการที่จะกำหนดพิกัดความยืดหยุ่นในกราฟทำได้ยาก เพราะโลหะหรือวัสดุบางชนิดจะมีพิกัดความยืดหยุ่นเกือบจะเป็นจุดเดียวกันกับในกราฟ แต่โดยส่วนมากแล้วพิกัดความยืดหยุ่นจะอยู่เหนือพิกัดความเป็นสัดส่วนเล็กน้อย หรือเป็นจุดสุดท้ายที่ความยาวของวัสดุ จะกลับมายาวเท่าเดิมได้ เมื่อปล่อยแรงจากจุดนี้ วัสดุเป็นแบบยืดหยุ่น

1.5.4 จุดคราก (Yield Point)

เมื่อวัสดุได้รับแรงกระทำเกินพิกัดความยืดหยุ่น ก็จะเกิดการแปรรูปอย่างถาวรจนถึงจุด ๆ หนึ่งที่ทำให้วัสดุแปรรูปง่ายคือ อัตราการยืดตัวจะสูงกว่าตอนแรกเมื่อเป็นเช่นนี้วัสดุจะยืดออกทั้ง ๆ ที่ความเค้นคงที่ จึงเรียกจุดนี้ว่า จุดครากบน (Upper Yield Point) สำหรับเหล็กกล้าแล้วในช่วงนี้จะมีอัตราการยืดตัวสูงมาก เร็วกว่าแรงดึงขณะทดสอบจะเพิ่มขึ้นได้ทัน จึงเหมือนว่าใช้แรงดึงน้อยกว่าเดิม จึงมีจุดครากล่าง (Lower Yield Point) เป็นจุดที่วัสดุยืดตัวออกโดยไม่ต้องเพิ่มแรง จุดนี้สังเกตได้ชัดเจน สำหรับเหล็กเหนียว ส่วนวัสดุอื่นจะไม่มีวัสดุนี้

1.5.5 ความเค้นคราก (Yield Stress)

หมายถึงความเค้นที่จุดคราก และความเค้นนี้จะทำให้วัสดุแปรรูปอย่างถาวรและดำเนินต่อไปด้วยความเค้นเกือบคงที่ สำหรับเหล็กกล้าจะมีทั้งความเค้นครากบน (Upper Yield Stress) และความเค้นครากล่าง (Lower Yield Stress)

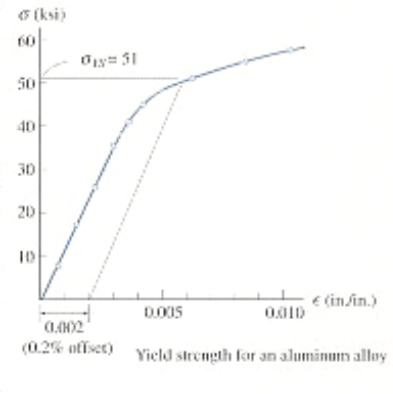
1.5.6 ความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Strength)

หมายถึง ความเค้นสูงสุด (Maximum Stress) ที่วัสดุรับไว้ได้ก่อนที่จะขาด แตก หรือหัก ในทางวิศวกรรมบางทีก็เรียกว่า ความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ความแข็งแรงอัดสูงสุด (Ultimate Compressive Strength) แล้วแต่ลักษณะแรงที่มากระทำกับวัสดุนั้น ถ้าดูในแผนภาพความเค้นความเครียดของเหล็กกล้า จะพบว่าค่าความแข็งแรงสูงสุด จะอยู่ที่จุดสูงสุดของกราฟ ถัดจากจุดนี้ไปค่าความเค้นจะลดลงไปเรื่อย ๆ และจะเริ่มสังเกตเห็นว่าจะเกิดการคอคอดของพื้นที่หน้าตัด

1.5.7 จุดขาด (Breaking Point)

เป็นจุดที่วัสดุขาดออกจากกันและเรียกความแข็งแรงที่จุดแตกหักนี้ว่า Breaking Strength สำหรับวัสดุเหล็กเหนียว หรือเหล็กโครงสร้าง รูปที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดจะมีครบทุกจุด และมีช่วงของการยืดตัว ( Plastic) ยาวมาก กล่าวคือ วัสดุยืดได้มากก่อนที่จะขาด และเรียกวัสดุเหล่านี้ว่าเป็นพวกวัสดุเหนียว (Ductile Material)

ส่วนวัสดุบางชนิดเช่น เหล็กหล่อ หรืออะลูมิเนียม จะมีแผนภาพความเค้นความเครียด ที่ไม่แสดงจุดครากให้เห็น ดังรูปที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น ( Stress)กับจำนวน ร้อยละของความเครียด ( Percentage of Strain) จะเป็นเช่นในรูปที่ 1.8 โดยจุด A เป็นขีดจำกัดของสัดส่วน แต่จุดครากไม่มี มีแต่ค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุด ( $\sigma_u$) ดังนั้นจึงต้องหาค่าอื่นไว้เปรียบเทียบ อาทิเช่น โดยการลากเส้นจากจำนวนร้อยละ 0.2 ของความเครียด ให้ขนานกับเส้นตรงไปตัดกับเส้นความสัมพันธ์ดังกล่าวที่จุดจุดหนึ่ง และเรียกความเค้นที่จุดจุดนั้น ($\sigma_B$) ว่า ความเค้นที่จำนวนร้อยละ 0.2 ของความเครียด บางครั้งก็อาจจะหาค่าที่จำนวนร้อยละ 0.2 ของความเครียดอีกค่าก็ได้

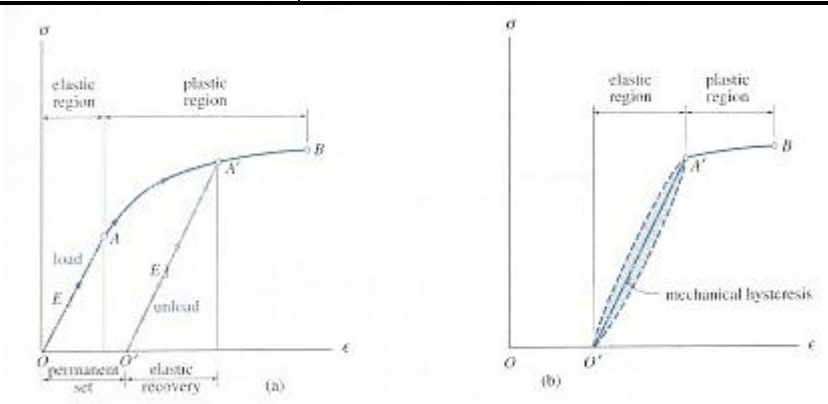



รูปที่ 1.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นจำนวนร้อยละของความเครียด

วัสดุประเภทนี้ยืดได้เพียงเล็กน้อยก็ขาด เรียกว่า วัสดุเปราะ ( Brittle Material) ในการทดสอบแรงกดของวัสดุเหนียวก็จะพบความสัมพันธ์คล้ายคลึงกับการทดสอบแรงดึง และความแข็งแรงของวัสดุภายใต้การอัด มีค่าใกล้เคียงกับความแข็งแรงของการดึงมาก ส่วนพวกวัสดุเปราะนั้น รูปที่แสดงความสัมพันธ์ของการทดสอบแรงกดจะคล้ายคลึงกับการทดสอบแรงดึง แต่ค่าความแข็งแรงของวัสดุภายใต้การอัด จะสูงกว่าค่าความแข็งแรงของการดึง จากความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้นกับความเครียดดังกล่าวข้างต้น ทำให้สามารถทราบกำลังของวัสดุ และยังนำค่าต่าง ๆ มาวิเคราะห์โครงสร้างหาสภาพภายหลังการรับน้ำหนักได้อีกด้วย

## 1.6 กฎของฮุก โมดูลัสของความยืดหยุ่น (E) และโมดูลัสของความแกร่ง (G)

จากรูป แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ดังเช่นรูปที่ 1. 13 (a และ b) ช่วงแรก จะพบเป็นเส้นตรง Robert Hooker (ค.ศ. 1678) ได้ทำการทดลองดึงสปริง และตั้งกฎจากผลการทดลองไว้ว่า “ภายในเขตของขีดจำกัดของความยืดหยุ่น (ที่จริงต้องเป็น Proportional Limit) แรงจะเป็นภาคโดยตรงกับส่วนที่ยืดออก หรือความเค้นจะเป็นภาคโดยตรงกับความเครียด” เมื่อวัสดุถูกกระทำด้วยแรงภายนอก จะเกิดการยืดตัวขึ้นตามทิศทางของแรง ถ้าเอาแรงนี้ออก วัสดุกลับคืนสู่สภาพปรกติ คือมีความยาวคงเดิม เราเรียกคุณสมบัติของวัสดุนี้ว่า ความยืดหยุ่น (Elasticity) วัสดุยืดหยุ่น (Elastic Material) อย่างไรก็ตามเมื่อมีแรงที่กระทำกับวัสดุที่มีขนาดมากเกินไป เมื่อเอาแรงนี้ออกจากวัสดุก็อาจจะไม่กลับสู่สภาพเดิมทุกประการ คือมีความยาวผิดไปจากเดิม ซึ่งเราเรียกพฤติกรรมของวัสดุนี้ว่า (Inelastic) จากการทดลองพบว่าวัสดุบางอย่าง เช่น เหล็ก อลูมิเนียม ไม้ และคอนกรีต อาจถือได้ว่าเป็นวัสดุยืดหยุ่นโดยมีข้อจำกัด




รูปที่ 1.13 แสดงแผนภาพความเค้นความเครียดในช่วง Elastic

1.6.1 <u>กฎของฮุก (Hook's Law)</u>

จากผลการทดลองครั้งนั้น Hooke ได้แสดงความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ไว้ดังนี้

$$\text{แรง} = \frac{\text{ค่าคงที่}}{\text{ส่วนที่ยืดออก}}$$

หรือ

$$\text{ความเค้น} = \frac{\text{ค่าคงที่}}{\text{ความเครียด}}$$

1.6.1.1 สำหรับการดึง และการอัด

ค่าคงที่ของวัสดุ เรียกว่า โมดูลัสของความยืดหยุ่น ( Modulus of elasticity or Young's Modulus) , E

$$\frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}} = \text{โมดูลัสของความยืดหยุ่น}$$

$$\frac{\sigma}{\varepsilon} = E \qquad (1.10)$$

$$\frac{P/A}{\delta/L} = E$$

$$\delta = \frac{PL}{AE} \qquad (1.11)$$

จากสมการ 1.10 โมดูลัสของความยืดหยุ่น คือ ค่าความชันของรูปที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด เฉพาะในส่วนที่เป็นปฏิภาคโดยตรงเท่านั้น โมดูลัสของความยืดหยุ่นนั้นเป็นค่าที่สำคัญอย่างมากในการวิเคราะห์โครงสร้าง และพิจารณาถึงสภาพภายหลังการรับน้ำหนัก ถ้าพิจารณาจากสมการ 1.11 สำหรับวัสดุ 2 ชนิด ที่มีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นต่างกัน ถ้าภายใต้ของแรงภายนอก P เดียวกัน วัสดุที่มีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นมากกว่า จะมีการยืดตัวน้อยกว่าวัสดุที่โมดูลัสของความยืดหยุ่นต่ำกว่า

1.6.1.2 สำหรับการเฉือน

ค่าคงที่ของวัสดุ เรียกว่า โมดูลัสของความแกร่ง ( Modulus of rigidity), G ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังแสดงได้ในสมการต่อไปนี้

$$\frac{\text{ความเค้นเฉือน}}{\text{ความเครียดเฉือน}} = \text{โมดูลัสของความแกร่ง}$$

$$\frac{\tau}{\gamma} = G \qquad (1.12)$$

จากสมการ.11 โมดูลัสของความแกร่งมีความสัมพันธ์ทำนองเดียวกันกับโมดูลัสของความยืดหยุ่น และมีความสำคัญในการวิเคราะห์โครงสร้างที่รับแรงบิดและแรงเฉือนต่อชิ้นส่วนของโครงสร้างนั้น ๆ เช่นเดียวกัน

1.6.2 จำนวนร้อยละการยืดตัว ( Percentage of Elongation)

การยืดตัวของวัสดุ มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างมาก และมักจะเขียนอยู่ในรูปร้อยละดังนี้ คือ

$$\text{จำนวนร้อยละของการยืดตัว} = \frac{\text{ความยาวสุดท้าย - ความยาวเดิม} * 100}{\text{ความยาวเดิม}} \qquad (1.13)$$

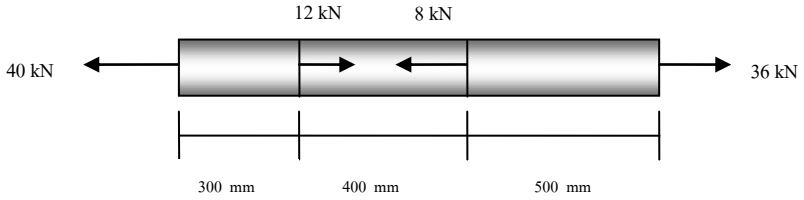
โดยที่ ความยาวสุดท้าย คือ ความยาวพิกัด ของวัสดุทดลองตอนขาด

ความยาวเดิม คือ ความยาวพิกัด ตอนเริ่มต้นทดสอบ

ค่าจำนวนร้อยละของการยืดตัวนี้ เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการยืดตัวของวัสดุ สำหรับวัสดุเหนียว เช่น เหล็กเหนียว ทองแดง ทองเหลือง อลูมิเนียม เงิน และทอง เป็นต้น วัสดุเหล่านี้จะมีค่าจำนวนร้อยละของการยืดตัวสูง อาจมีค่าตั้งแต่ร้อยละ 15-75 ส่วนวัสดุเปราะ เช่น เหล็กหล่อ คอนกรีต จะมีค่าจำนวนร้อยละของการยืดตัวต่ำ คือ ประมาณร้อยละ 2

**ตัวอย่างที่ 1.1**

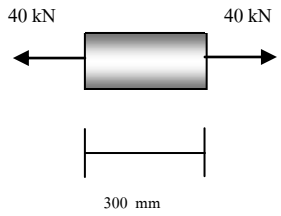
ท่อนเหล็กมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันตลอดความยาว 500 $mm^2$ มีแรงกระทำดังรูป จงหาส่วนที่ยืดหรือหดของท่อนเหล็ก (E = 200 $GN/m^2$)




<u>วิธีทำ</u>

เมื่อท่อนเหล็กอยู่ในสภาวะสมดุลย ฉะนั้นทุกชิ้นส่วนของท่อนเหล็กจะต้องอยู่ในสภาวะสมดุลย

ท่อนที่ 1

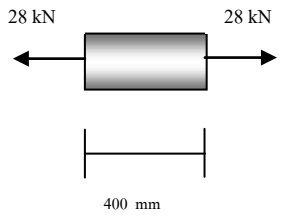



ส่วนยืด $\delta = \dfrac{PL}{AE}$

$$\delta = \frac{40\times1000\times300}{500\times200\times1000}$$

$$= 0.12 \quad \text{mm.}$$

ท่อนที่ 2

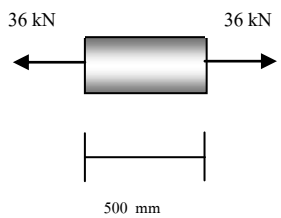



ส่วนยืด $\delta = \dfrac{PL}{AE}$

$$\delta = \frac{28\times1000\times400}{500\times200\times1000}$$

$$= 0.112 \quad \text{mm.}$$

ท่อนที่ 3




ส่วนยืด $\delta = \dfrac{PL}{AE}$

$$\delta = \frac{36\times1000\times500}{500\times200\times1000}$$

$$= 0.18 \quad \text{mm.}$$

$\therefore$ ส่วนยืดทั้งหมด $= \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 \quad = 0.412$ mm.