

1 인장, 압축 및 전단

재료역학

- 재료역학

- 여러가지 형태의 하중을 받는 고체의 거동

- 축하중을 받는 봉, 비틀림을 받는 축, 굽힘을 받는 보

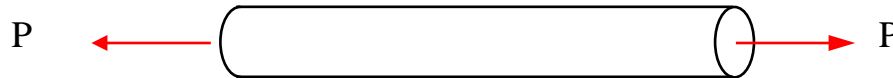
- 목적

- 구조물에 작용하는 하중에 대한 구조물과 부품들의 응력, 변형을 및 변위

- 수직응력과 변형률

- 균일단면봉(prismatic bar): 전길이에 걸쳐 같은 단면을 갖는 곧은 구조용 부재

- 축하중(axial force): 부재의 축방향으로 작용하는 하중

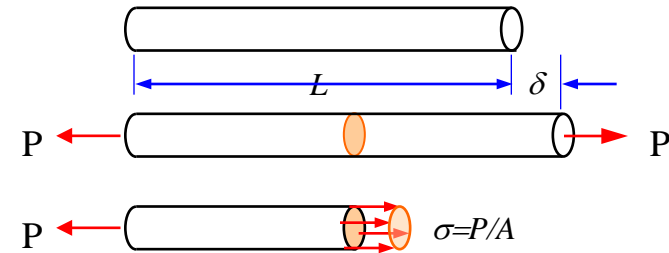


- 응력

- $\sigma = P/A$, 단위면적당 작용하는 힘
- 수직응력(normal stress)
 - (+) 인장(tensile)응력, (-) 압축(compressive)응력
 - 참고: 전단응력(shear stress)
- 단위
 - SI: $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$, $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$, $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$, $1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ Pa}$
 - USCS: $1 \text{ psi} = 1 \text{ lbf/in}^2$, $1 \text{ ksi} = 10^3 \text{ psi}$
 - kgf/mm^2

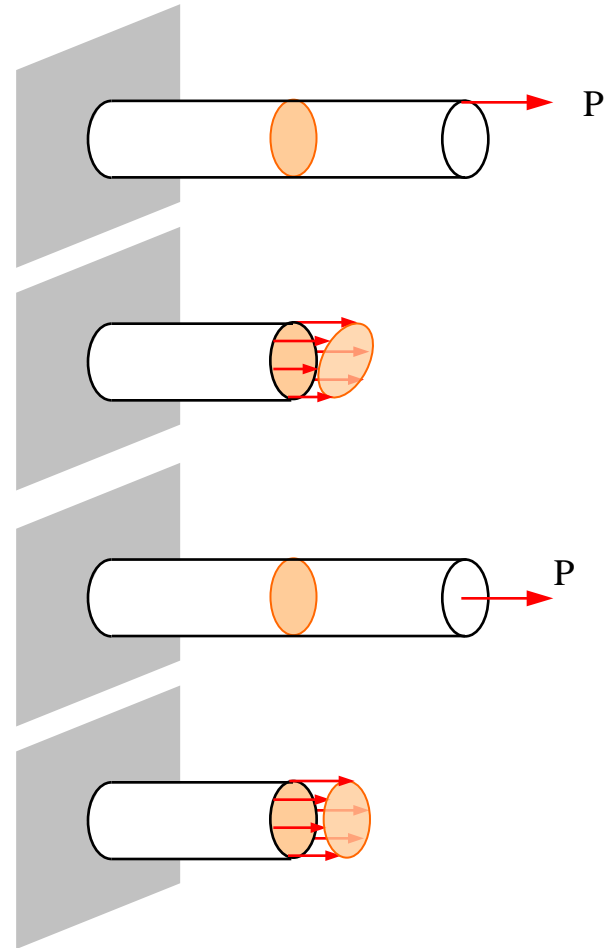
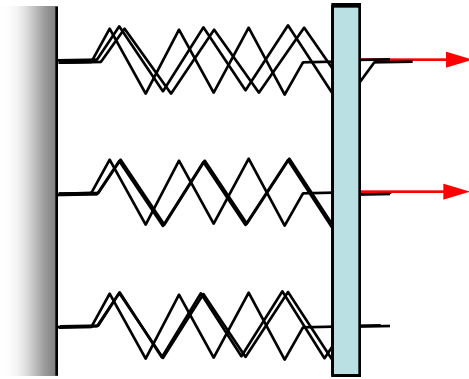
- 수직변형률

- $\epsilon = \delta/L$, 단위길이당 늘어난 길이
- 수직변형률(normal strain)
 - 인장변형률(tensile strain), 압축변형률(compressive strain)
 - 참고: 전단변형률(shear strain)
- 단위
 - $\epsilon = \delta/L = 1.4 \text{ mm}/2 \text{ m} = 0.0007 = 700 \times 10^{-6} \text{ (m/m)} = 700 \text{ } (\mu\text{m/m})$



- 하중의 작용점

- 균일응력분포: 축하중의 작용선이 도심을 지나야 함



재료의 기계적 거동

- 시험기 및 변위계

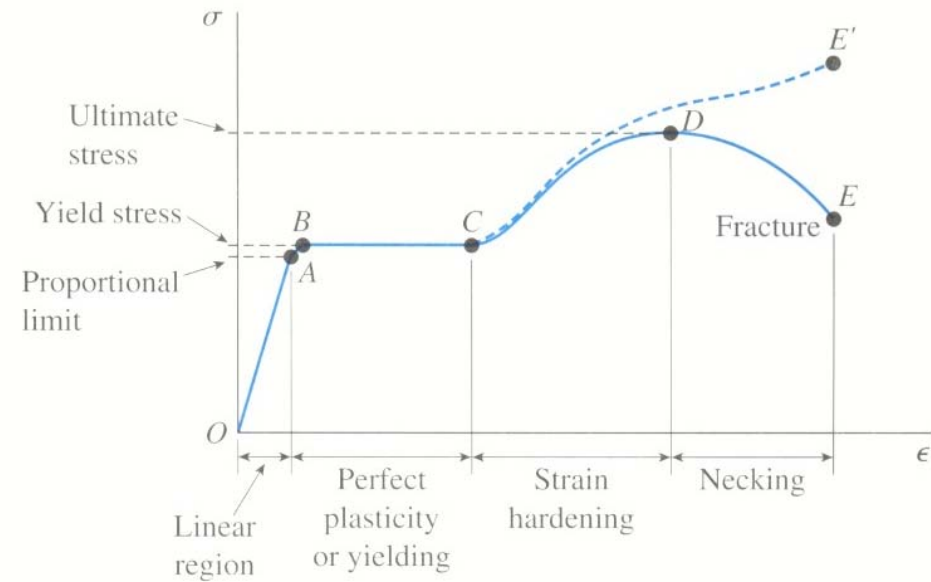
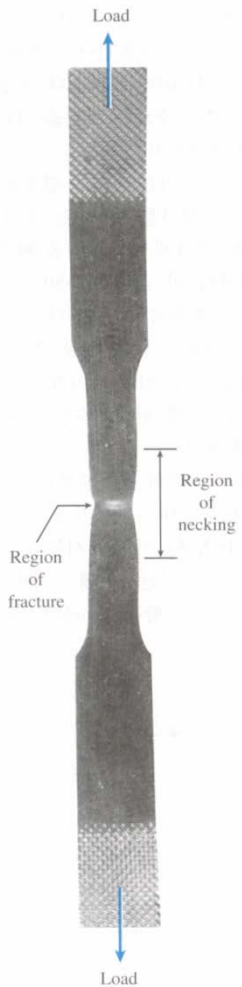


Ex 1-1

• 응력-변형률 선도

- 구조용 강(연강, 저탄소강)

- 비례한도: A, 응력과 변형률이 선형관계
- 탄성계수: 응력과 변형률 곡선 선형부 직선의 기울기
- 항복응력: B, 비례한도를 넘어 응력의 증가분보다 변형률이 훨씬 빨리 증가하는 점에 대응하는 응력
- 완전소성: BC
- 변형률경화: CD
- 인장강도: D
- 넥킹



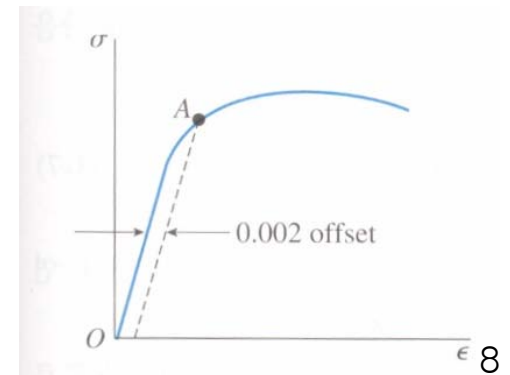
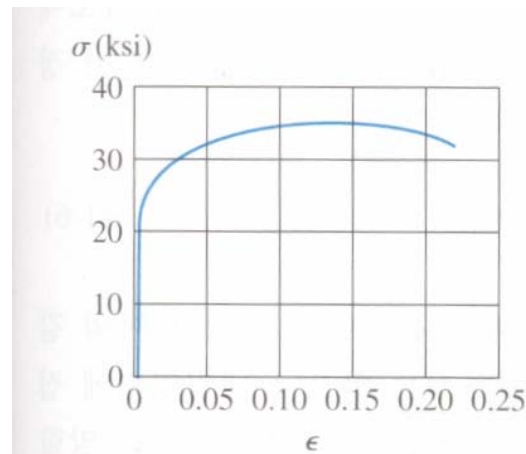
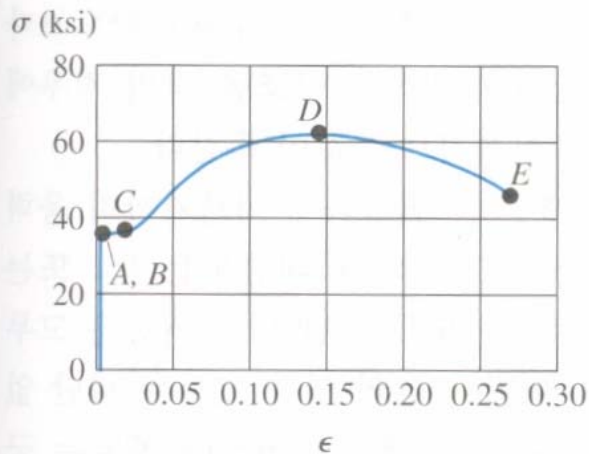
- 연성재료

- 파단시까지 큰 영구변형률에 견디는 재료
- 알루미늄, 구리, 마그네슘, 니켈,
- 알루미늄합금
 - 뚜렷한 항복점이 없음
 - 오프셋(offset) 항복응력: 0.2%

• 고무

• 연신률(elongation) $\delta = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100 (\%)$

• 단면감소율 $= \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100 (\%)$



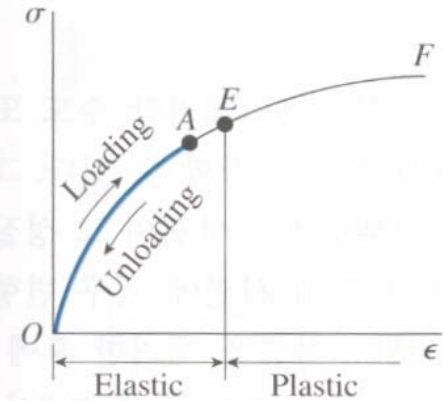
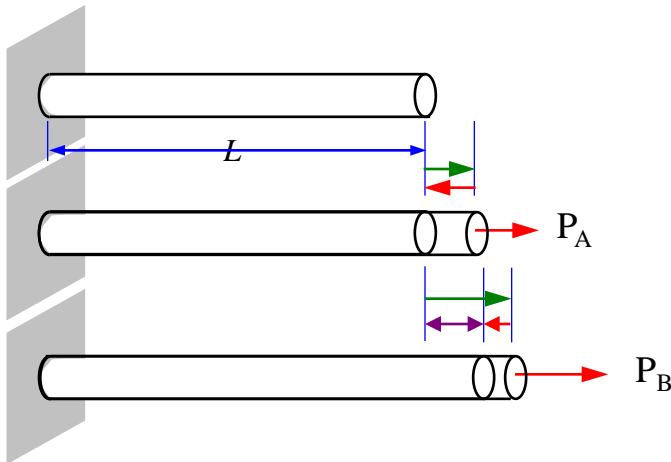
- 취성재료

- 작은 변형률에서 파단되는 재료
- 주철, 유리, 세라믹

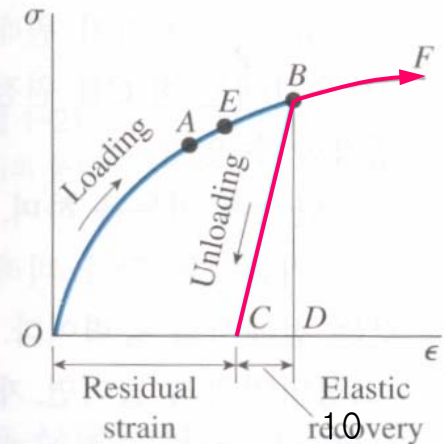


탄성, 소성 및 크리프

- 탄성(elasticity)
 - 하중 제거시 원래의 치수로 되돌아 가는 성질
- 소성(plasticity)
 - 탄성한도(elastic limit)를 넘으면
 - 잔류변형률: OC
 - 탄성회복: CD
 - 다시 하중을 가하면 → CBF를 따름



(a)



(b)

선형탄성, Hooke의 법칙 및 Poisson 비

- 선형탄성(linear elastic)

- 재료가 탄성적으로 거동하고, 응력과 변형률이 선형관계

- Hooke의 법칙

- $\sigma = E\varepsilon$

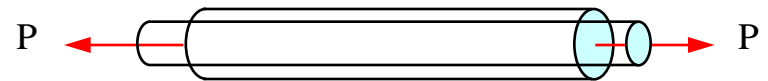
- E: 탄성계수(elastic modulus, Young's modulus)

- 단위: Pa, psi

- Poisson 비

$$\nu = -\frac{\text{가로변형률}}{\text{축방향변형률}} = -\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$$

- $\varepsilon' = -\nu\varepsilon$



Ex 1-3

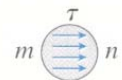
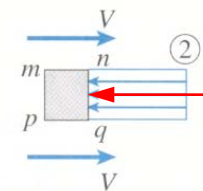
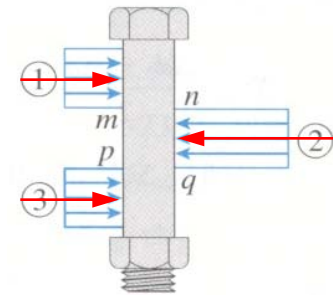
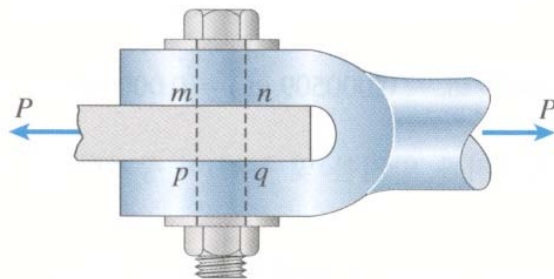
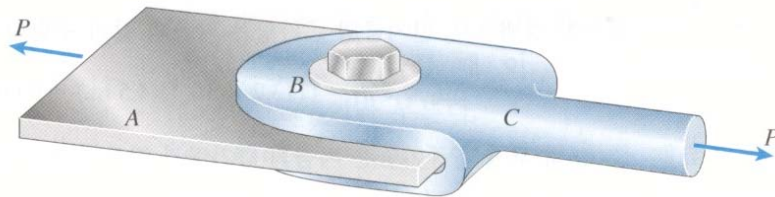
전단응력과 전단변형을

- 정적평형

- $\Sigma F_x = 0: 2V - P = 0$
- $V = P/2$

- 평균전단응력

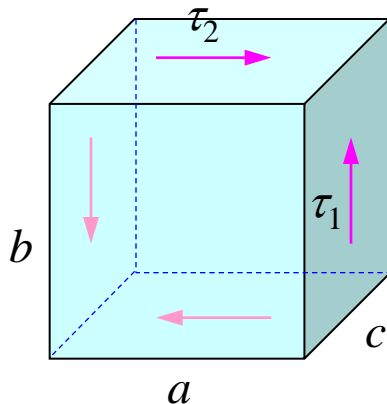
- $\tau_{aver} = V/A$



– 서로 수직인 평면에 작용하는 전단응력

- 각 변의 길이가 a, b, c 인 직육면체
- 면적이 bc 인 우측면의 전단응력이 τ_1 이라면
- y 방향 힘평형에 의해 반대면에는 크기가 같고 방향이 반대인 전단응력이 존재
- 두면에 작용하는 힘 $\tau_1(bc)$ 에 의한 우력 = $\tau_1(bc)a$ 이 존재
- 상하면에 반대방향의 전단응력 τ_2 에 의한 모멘트가 존재
- 모멘트 평형

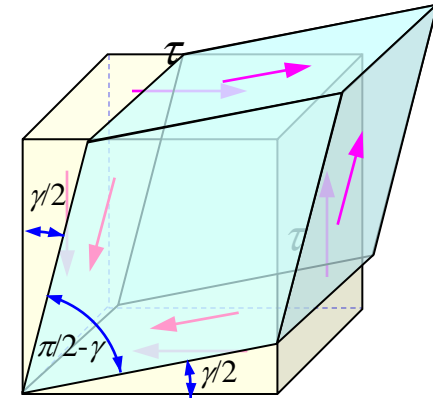
$$\tau_1(bc)a = \tau_2(ac)b \rightarrow \tau_1 = \tau_2$$



1. 요소의 반대편에 있는 면에 작용하는 전단응력들은 서로 크기가 같고 방향은 반대
2. 요소의 인접한 면에 작용하는 전단응력들은 크기가 같고 방향은 두면의 교차선을 향하거나 반대방향

- 전단변형률(shear strain)

- 요소 각변의 길이변화는 없음
- 단지 모양만이 찌그러짐
- 변형전 qs 사이각이 $\pi/2 \rightarrow \pi/2-\gamma$ (전단변형률 γ)



- 부호

- 면의 부호
 - (+) 면: 면의 수직방향이 (+) 축방향인 경우
 - (-)면: 면의 수직방향이 (-) 축방향인 경우
- 전단응력의 부호
 - (+)면에 (+) 축방향 또는 (-)면에 (-) 축방향의 응력
 - (+)면에 (-) 축방향 또는 (-)면에 (+) 축방향의 응력
- 전단변형률의 부호
 - (+): 두개의 양의 면(또는 두개의 음의 면)사이의 각이 줄어드는 경우

– 전단에서의 Hooke의 법칙

- $\tau = G\gamma$
- 전단탄성계수 G

– 허용응력과 허용하중

- 안전계수 n
 - $n = \text{실제강도} / \text{요구강도}$
- 허용응력 σ_{allow}
 - $\sigma_{\text{allow}} = \text{항복강도} / \text{안전계수}$

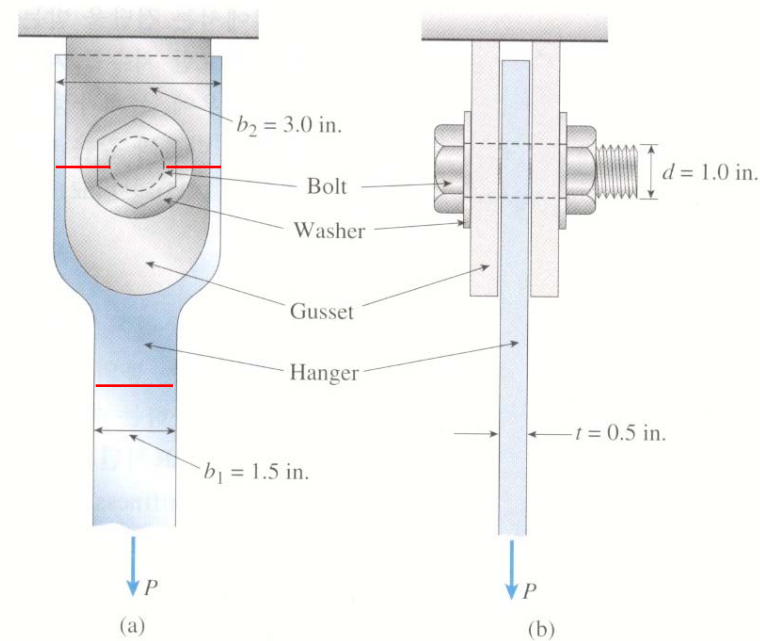
Ex 1-4

Ex 1-6

Ex 1-7

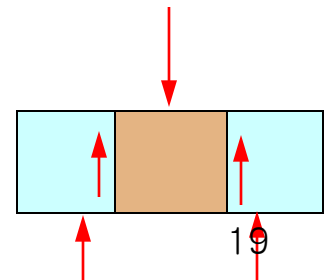
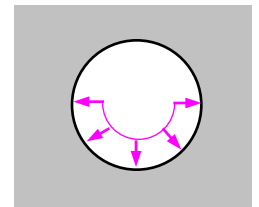
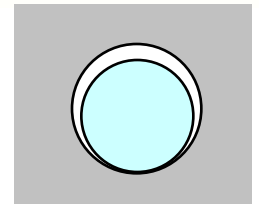
- 허용응력

- 행어 주요부분 = 16,000 psi,
볼트구멍부분 = 11,000 psi
- 행어와 볼트사이의
허용지압응력 = 26,000 psi
- 볼트허용전단응력 = 6,500 psi



- 행어 주요부분 $P_1 = \sigma_{\text{allow}} A = \sigma_{\text{allow}} b_1 t$
 $= 16,000 * 1.5 * 1.5 = 12,000 \text{ lb}$
- 볼트구멍부분 $P_2 = \sigma_{\text{allow}} A = \sigma_{\text{allow}} (b_2 - d) t$
 $= 16,000 * (3 - 1) * 1.5 = 11,000 \text{ lb}$
- 행어와 볼트사이의 지압 $P_3 = \sigma_b A = \sigma_b d t$
 $= 26,000 * 1 * 0.5 = 13,000 \text{ lb}$
- 볼트허용전단응력 $P_4 = \tau_{\text{allow}} A = \tau_{\text{allow}} * 2 * (\pi d^2 / 4)$
 $= 6,500 * 2 * \pi (1)^2 / 4 = 10,200 \text{ lb}$

→ $P_{\text{allow}} = 10,200 \text{ lb}$



• Ex 1-8

- 정적평형

• BC

- $\Sigma F_x = 0: R_{ax} - F_x = 0$

$\rightarrow R_{cx} = F_x$ ①

- $\Sigma F_y = 0: R_{cy} - 2P + F_y = 0$ ②

- $\Sigma M_c = 0: R_{cy} \cdot 0 + R_{cx} \cdot 0 - P \cdot 0.8 - P \cdot 2.6 + F_x \cdot 0 + F_y \cdot 3 = 0$

$\rightarrow F_y = 3.4P/3 = 3.06 \text{ kN}$

②에서 $R_{cy} = 2P - F_y = 2.34 \text{ kN}$

• AB

- $\Sigma F_x = 0: R_{ax} - F_x = 0$ ③

- $\Sigma F_y = 0: R_{ay} - F_y = 0$ ④

$\rightarrow R_{cx} = F_x = 3.06 \text{ kN}$

- $\Sigma M_a = 0: R_{ay} \cdot 0 + R_{ax} \cdot 0 - F_x \cdot 2 - F_y \cdot 3 = 0$

$\rightarrow F_x = F_y \cdot 3/2 = 4.59 \text{ kN}$

• $F_y / F_x = 3.06 / 4.59 = 1/1.5$

- 허용응력

• $\sigma_{allow} = 125 \text{ MPa}, \tau_{allow} = 45 \text{ MPa}$

- $n = \text{실제강도} / \text{요구강도}$

• $A_{AB} = P / \sigma_{allow} = (F_y^2 + F_x^2)^{0.5} \text{ kN} / 125 \text{ MPa} = 44.1 \text{ mm}^2$

• $A_{pin} = V / (2 \tau_{allow}) = (R_{cx}^2 + R_{cy}^2)^{0.5} \text{ kN} / 45 \text{ MPa} = 57.2 \text{ mm}^2$

• $d_{pin} = 8.54 \text{ mm}$

