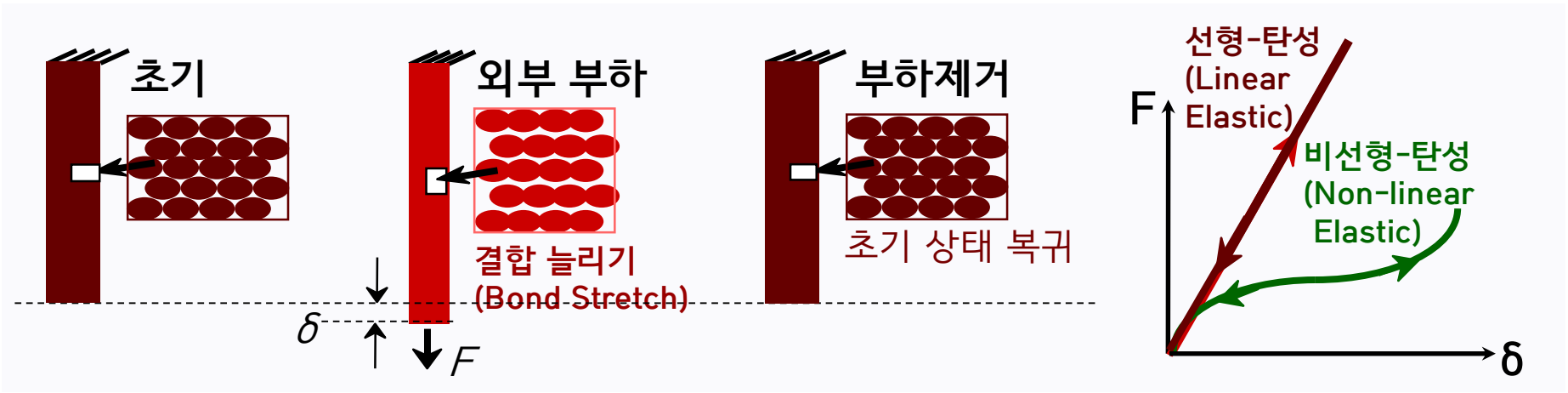


# 재료의 기계적 물성

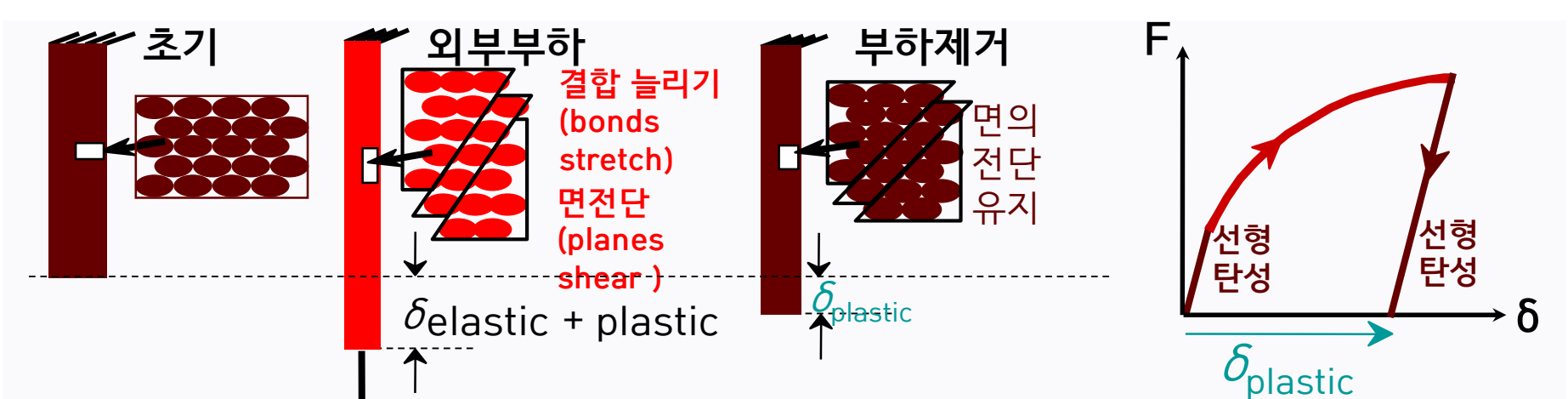
허가없이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.

# 기계적 변형 (Mechanical Deformation)

## • 탄성 변형 (Elastic Deformation)



## • 소성 변형 (Plastic Deformation)



허가없이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.

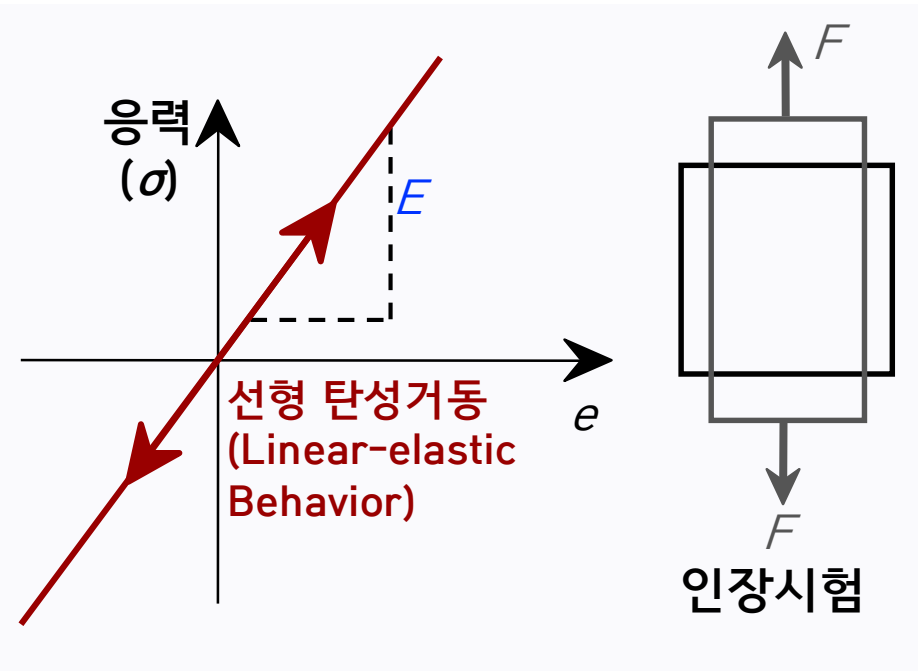
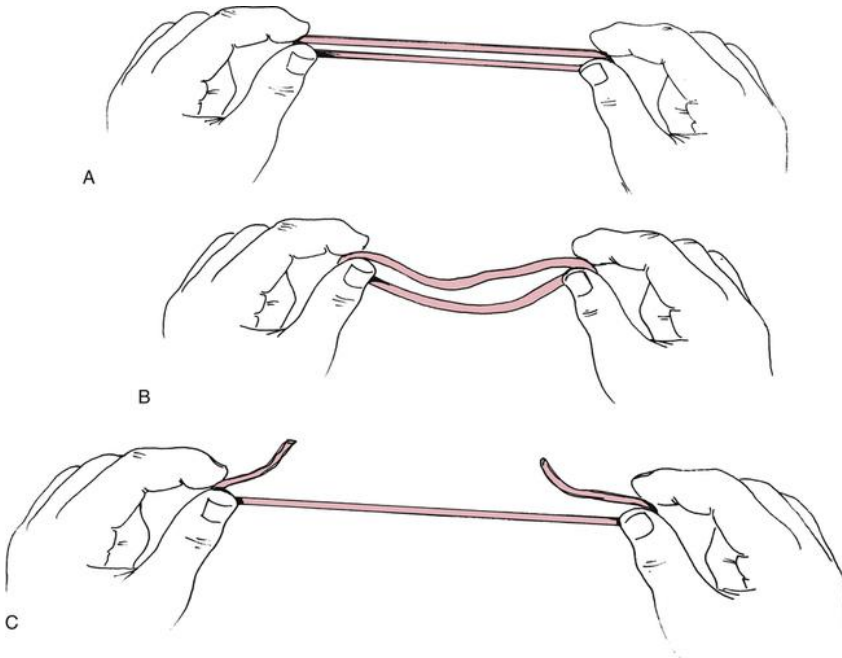
# 탄성 변형 (Elastic Deformation)

## • 탄성 물성 (Elastic Properties)

### a) 탄성변형의 특성

- Hooke's Law:  $\sigma = Ee$

-  $E$ : Modulus of Elasticity, Young's modulus)

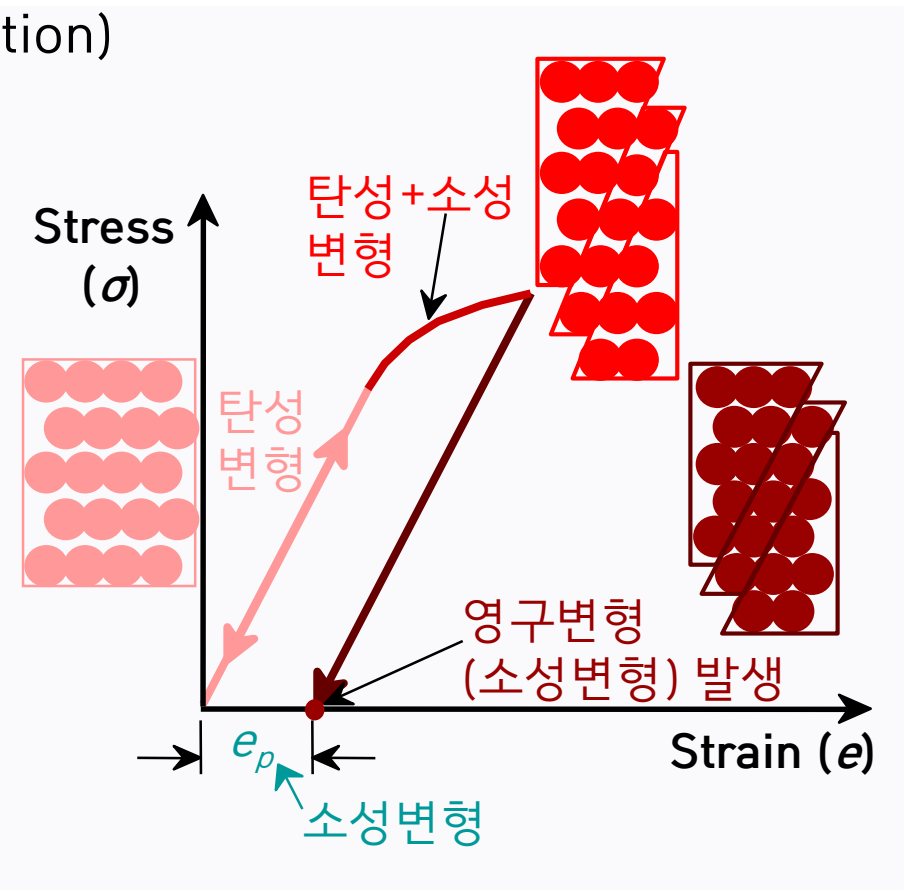
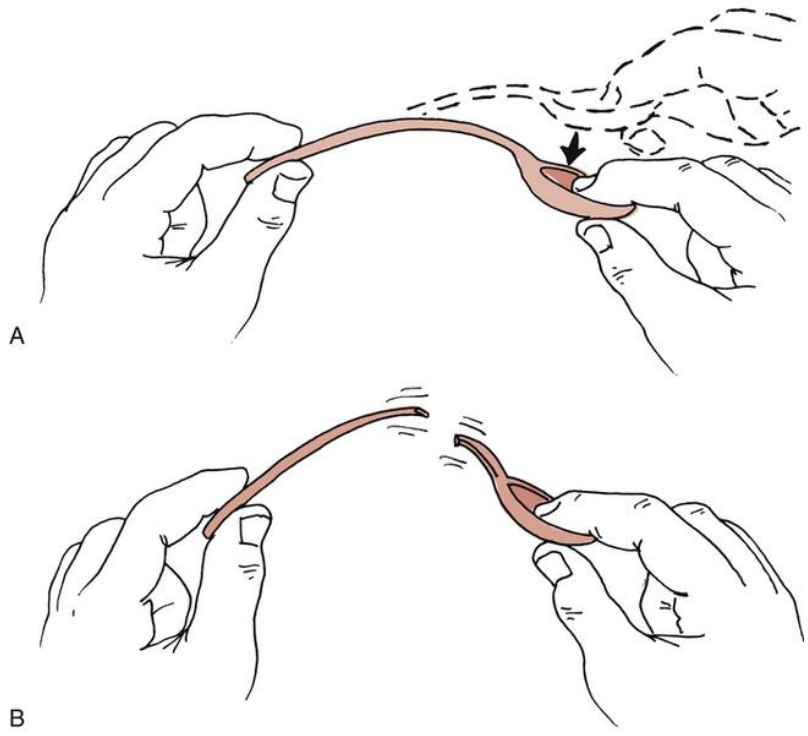


# 소성 변형 (Plastic Deformation)

## • 소성 물성 (Elastic Properties)

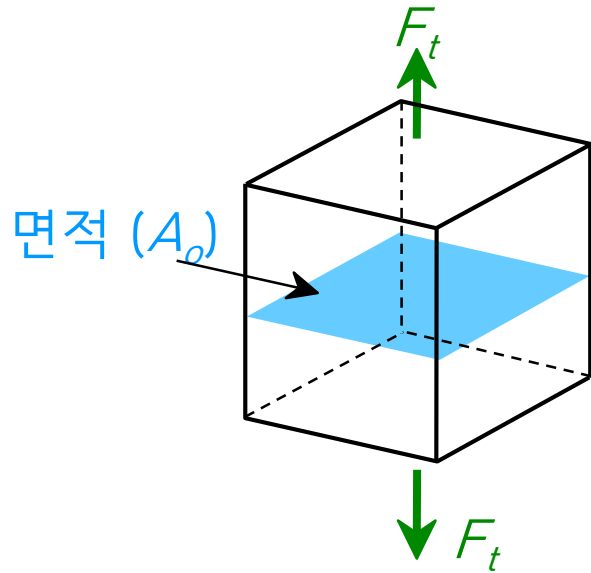
### a) 소성변형의 특성

- 영구 변형 (Permanent deformation)
- 발생온도: 낮은 온도 ( $T < T_{melt}/3$ )



# 응력 (Stress)

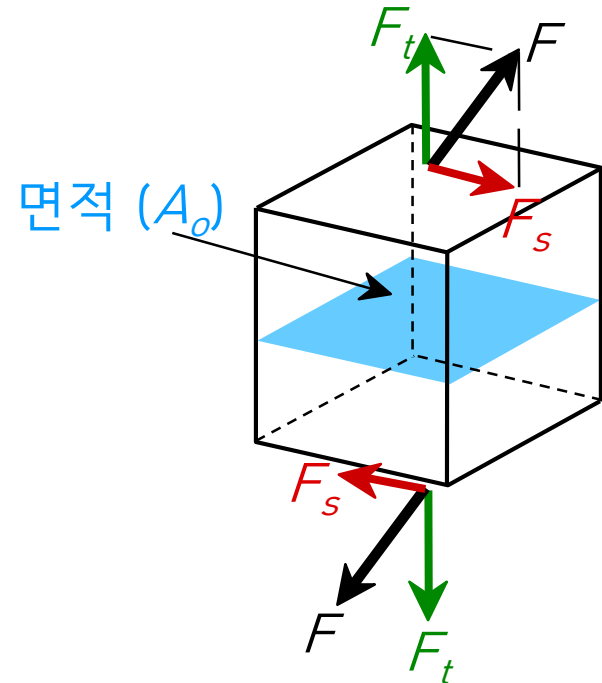
- 인장응력 (Tensile stress,  $\sigma$ )



$$\sigma = \frac{F_t}{A_0} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

부하전 초기 단면적

- 전단응력 (Shear stress,  $\tau$ )



$$\tau = \frac{F_s}{A_0} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

허가없이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.

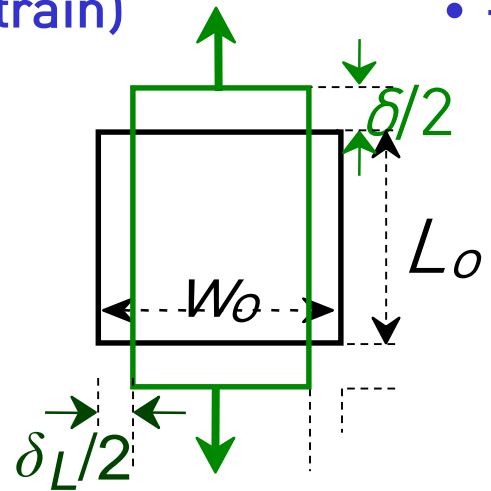
# 변형률 (Strain)

• 인장 변형률 (Tensile strain)

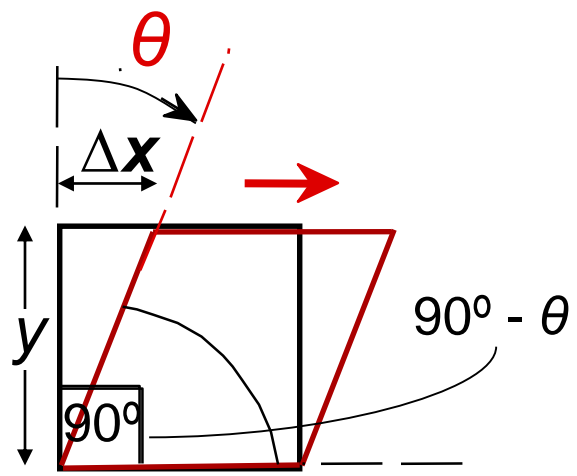
$$e = \frac{\delta}{L_0}$$

• 측면 변형률 (Lateral strain)

$$e_L = -\frac{\delta_L}{W_0}$$



• 전단 변형률 (Shear strain)



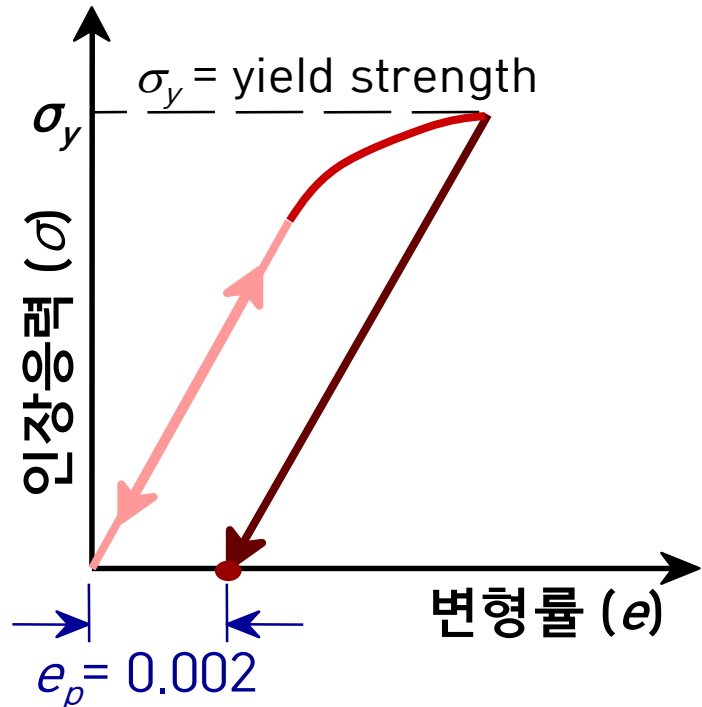
$$\gamma = \Delta x / y = \tan \theta$$

Strain: 무차원 (dimensionless)

# 강도 (Strength)

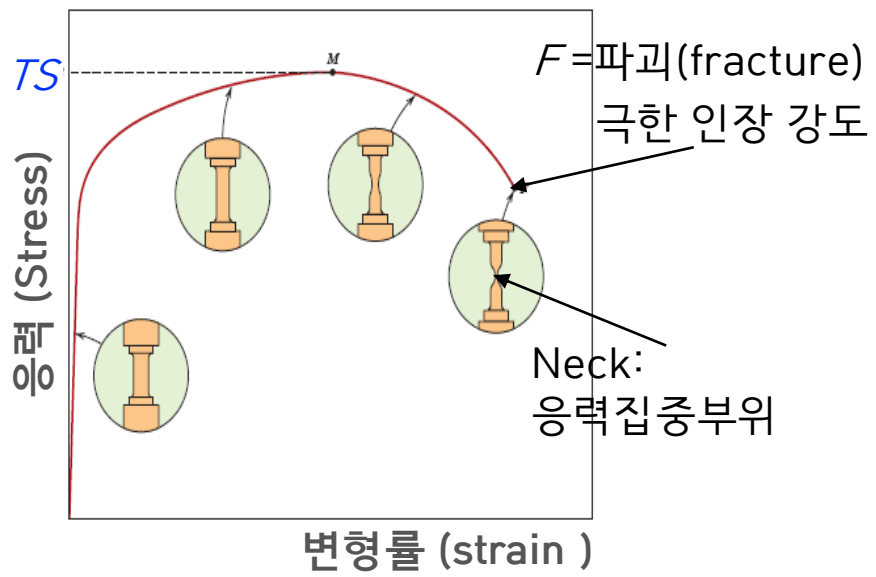
- 항복강도 (Yield Strength,  $\sigma_y$ )

- 주목할 만한 (*Noticeable*) 소성변형 발생 ( $e_p = 0.002$ )

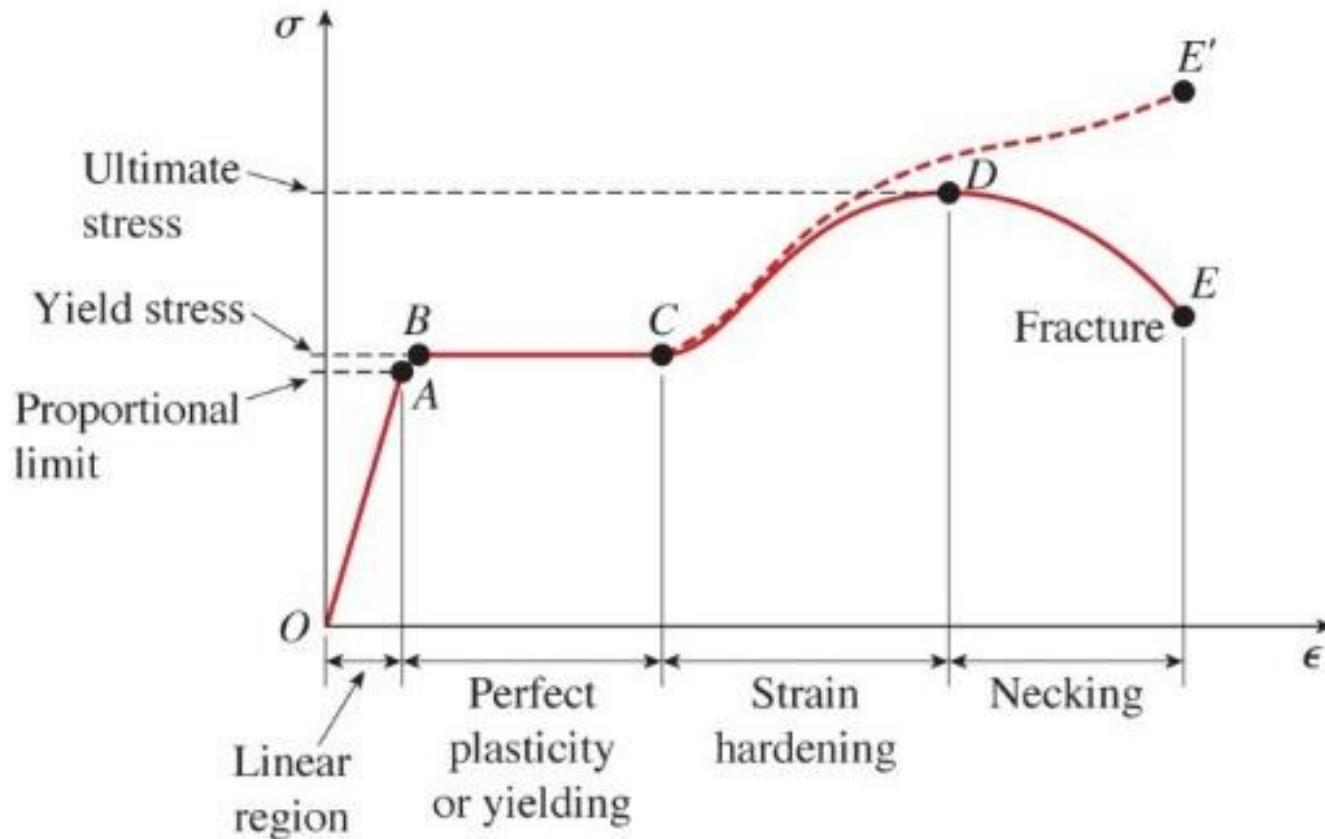


- 인장강도 (Tensile Strength, TS)

- 응력-변형률 곡선 (stress-strain curve: s-s curve)



# 응력-변형률 곡선 (Stress-strain curve)



<http://stementor.tistory.com/entry/The-12->

**허가없이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.**

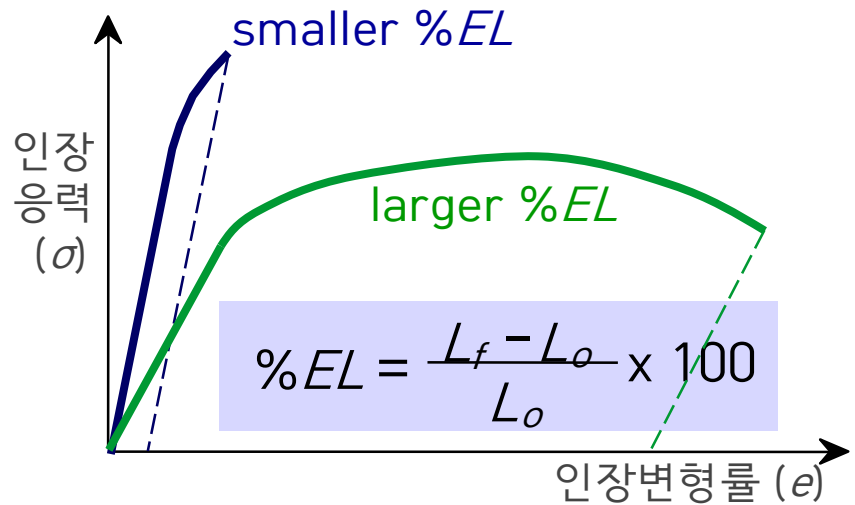
Adapted from Fig. 8.11, Callister & Rethwisch 9e.



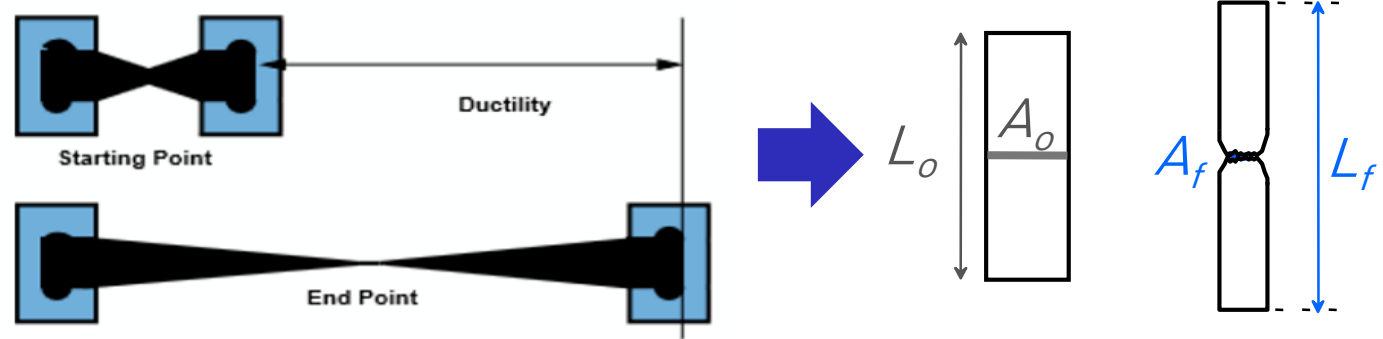
# 연성 (Ductility)

## • 연성 (Ductility)

- 연성 (Ductility): 인장응력시 늘어나는 성질



## • 연성시험 (Ductility test)



# 인성 (Toughness)

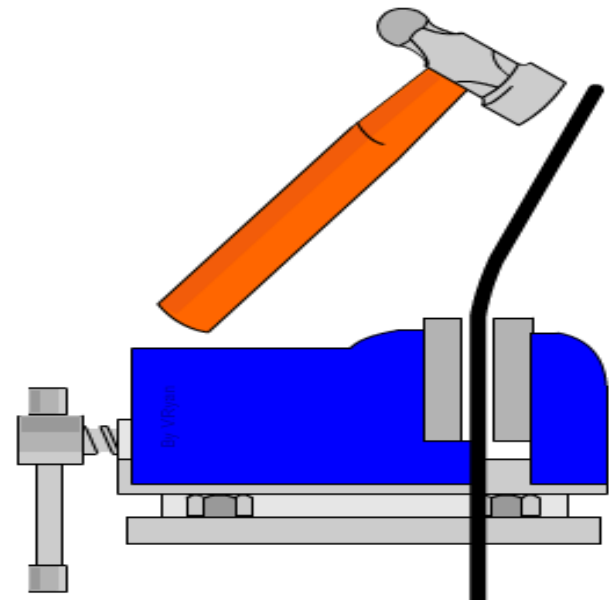
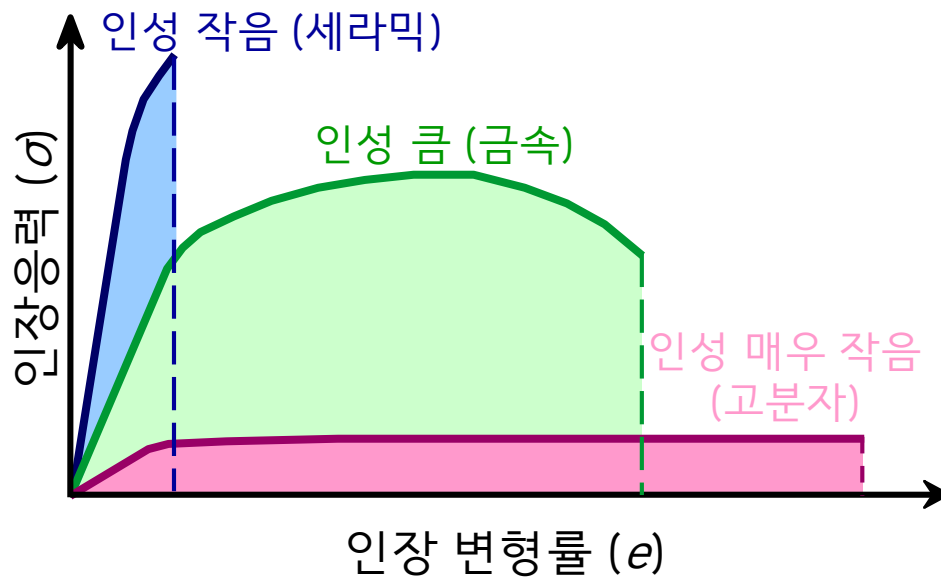
## • 인성 (Toughness)

### a) 인성 (Toughness)

- 재료를 깨는데 필요한 에너지, 외부 충격에 견디는 힘 (s-s 곡선 면적)

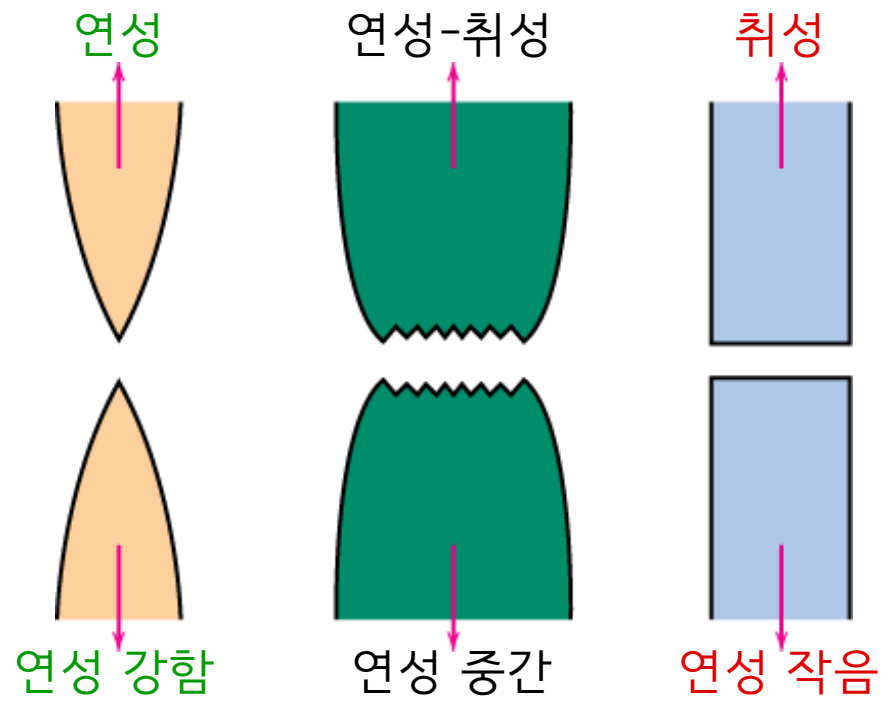
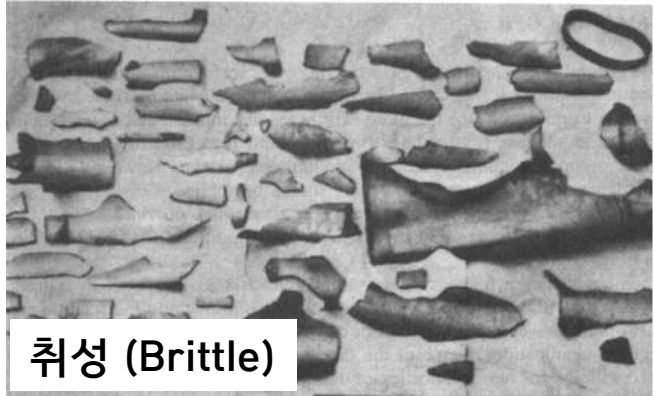
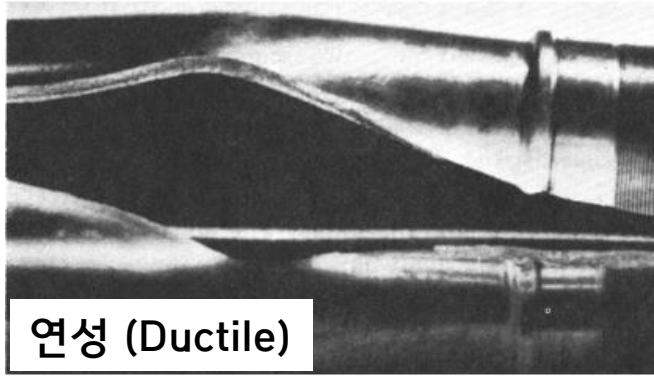
### b) 파괴 (Fracture)

- 취성 파괴 (Brittle fracture): 탄성에너지 (elastic energy)
- 연성 파괴 (Ductile fracture): 탄성 + 소성 에너지 (elastic + plastic energy)



# 연성 및 취성 파괴 (Ductile & Brittle Fracture)

## • 파괴거동 (Fracture behavior)



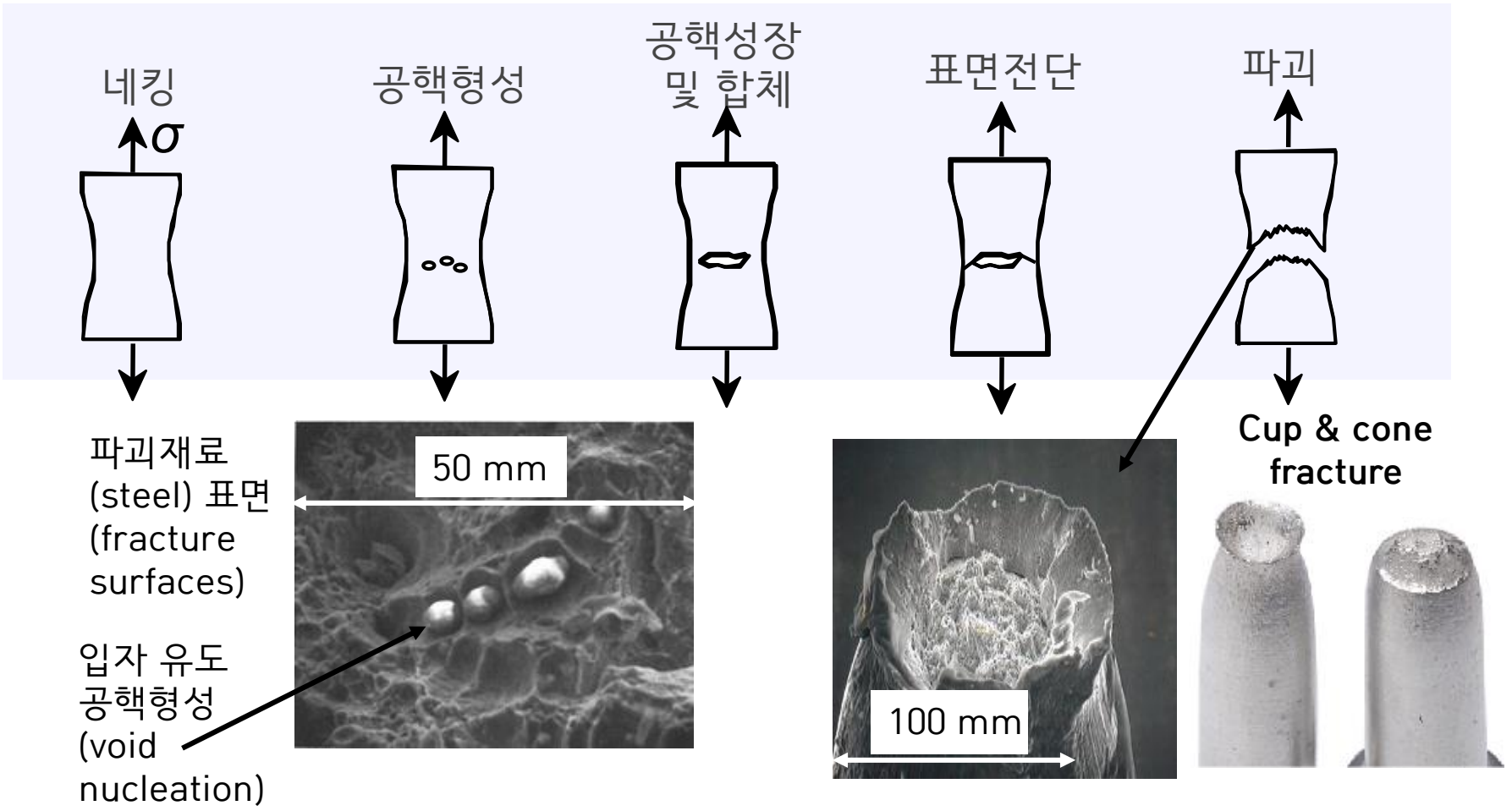
### 연성파괴 및 취성파괴의 거동 차이

- 연성 (Ductile): 파괴 전 조짐 있음 (변형 있음, 파괴시 큰 파편화)
- 취성 (Brittle): 파괴 전 조짐 없음 (큰 변형 없음, 파괴시 작은 파편화)

허가없이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.

# 연성 및 취성 파괴 (Ductile & Brittle Fracture)

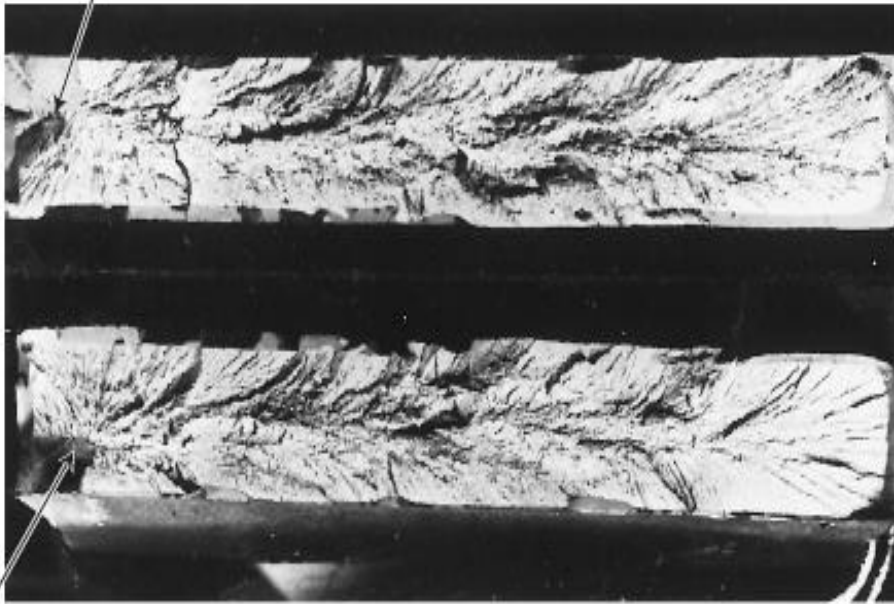
- 연성 파괴 형태 (Ductile failure stage)



# 연성 및 취성 파괴 (Ductile & Brittle Fracture)

- 취성 파괴 (Brittle failure)

파괴시작점



취성 파괴 단면

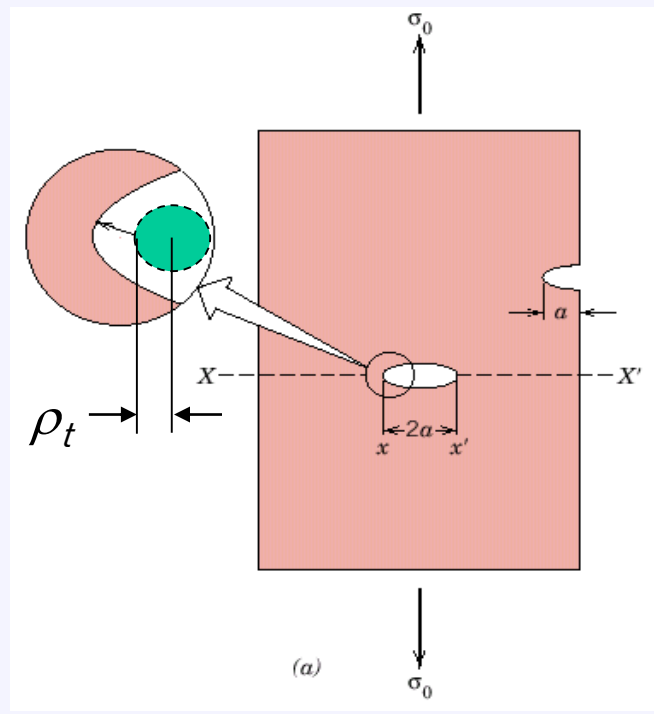


Fig. 10.5(a), Callister & Rethwisch 9e. [From R. W. Hertzberg, *Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials*, 3rd edition. Copyright © 1989 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc. Photograph courtesy of Roger Slutter, Lehigh University.]

허가없이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다. Fig. 10.3, Callister & Rethwisch 9e.

# 응력 집중제로서 흠집

- 흠집 (Flaws) 의한 파괴 유도



$$\sigma_m = 2\sigma_o \left( \frac{a}{\rho_t} \right)^{1/2} = K_t \sigma_o$$

$\rho_t$  = radius of curvature  
 $\sigma_o$  = applied stress  
 $\sigma_m$  = stress at crack tip

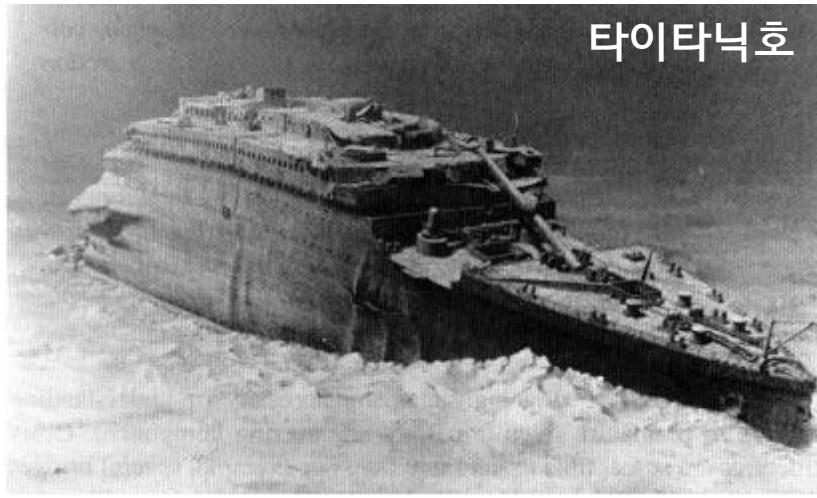
어기없이 본 주입사료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.



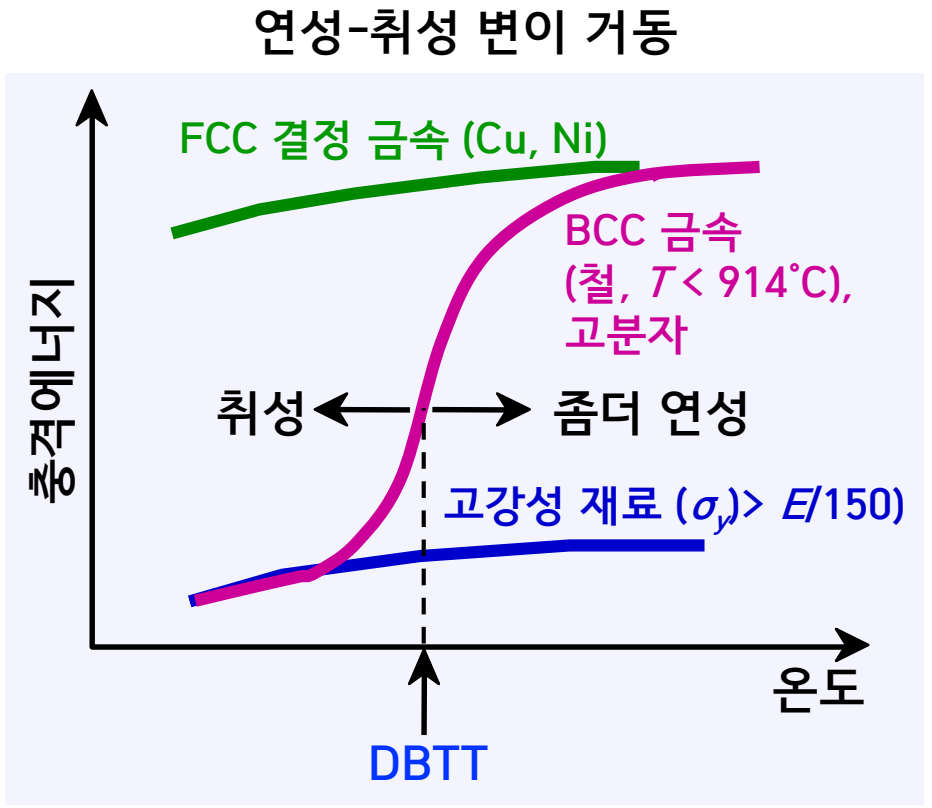
# 온도와 기계적 특성의 관계

## • 온도와 충격에너지의 관계 (Temperature vs. Impact Energy)

- 온도에 따라 재료의 기계적 성질 (연성-취성) 변화
- : 연성-취성 변이 온도 (Ductile-to-Brittle Transition Temperature: DBTT)



파괴시 사용 조건: 철 (Steels)의 DBTT가 상온 바로 아래 온도

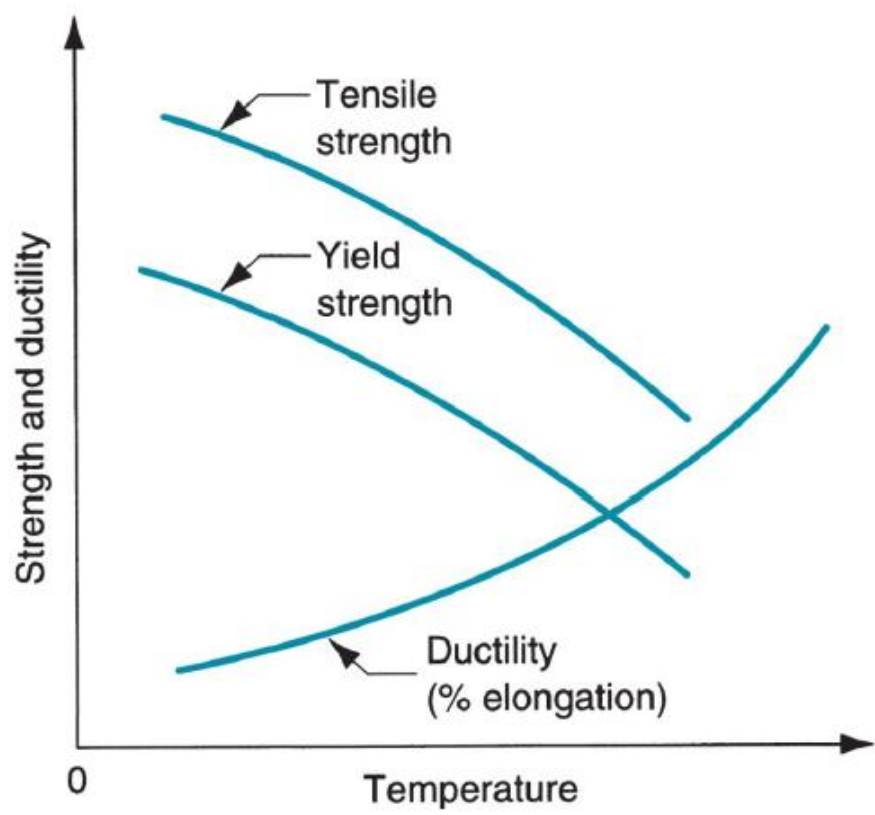


허가없이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.

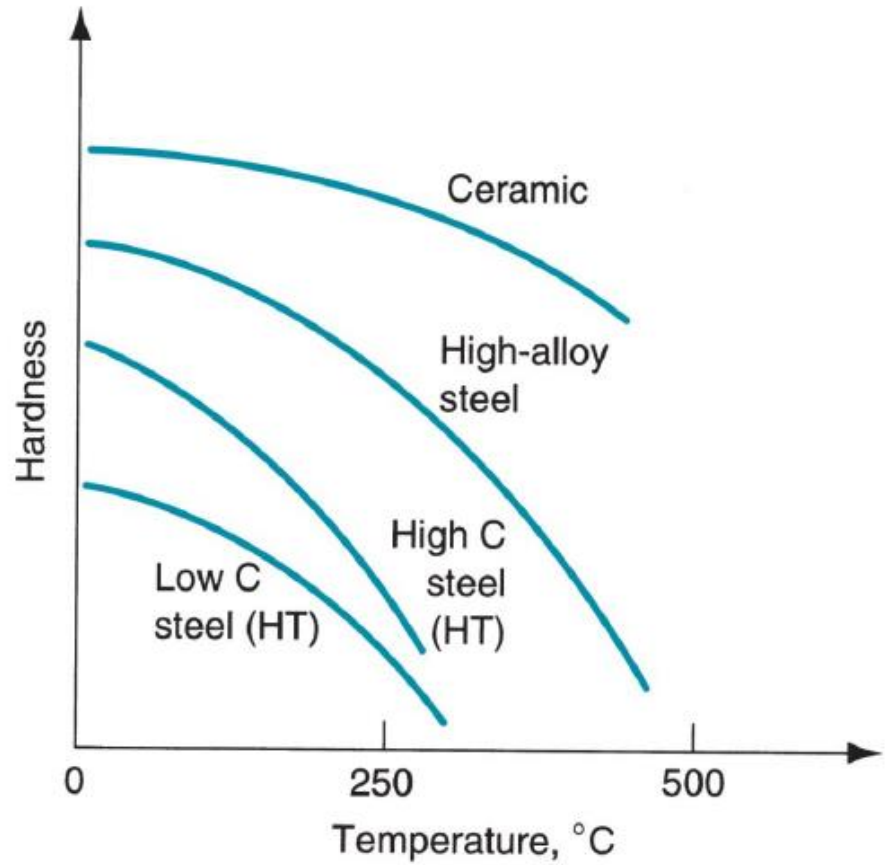
Adapted from Fig. 9.15, Callister & Rethwisch 9e.

# 온도와 기계적 특성의 관계

• 온도와 강도와 연성



• 온도와 경도의 관계



허가없이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.



# 피로 (Fatigue)

## • 피로 (Fatigue)

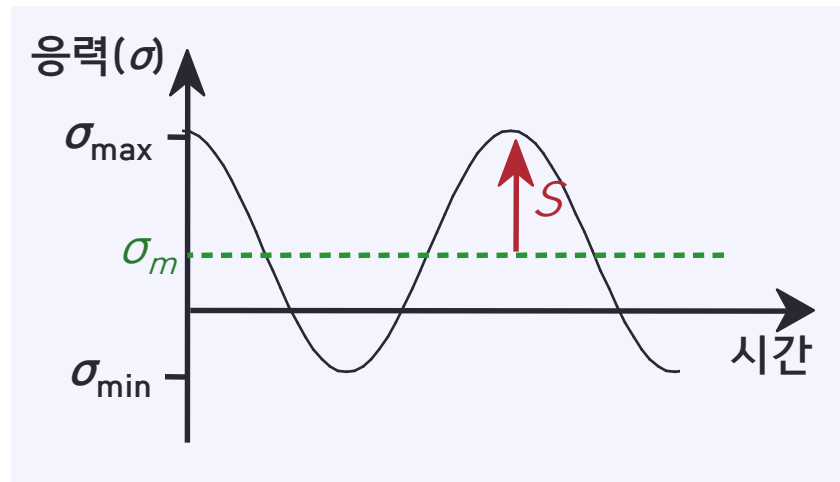
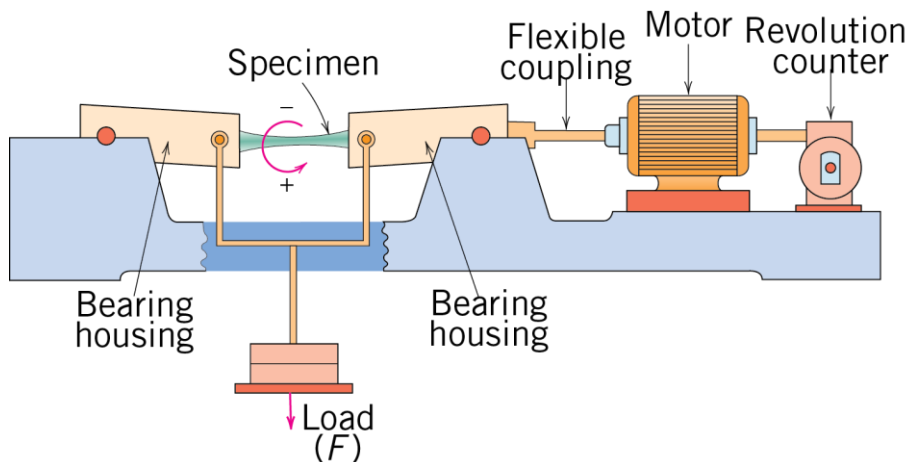
a) 피로의 정의: 주기적 응력하에서 발생하는 파괴.

b) 주요특징:

- 기계적 응력보다 작은 상황에서 파괴 발생 ( $\sigma_{\max} < \sigma_y$ )
- 기계적 파괴의 ~ 90% 해당.

## • 시간에 따른 응력 변화

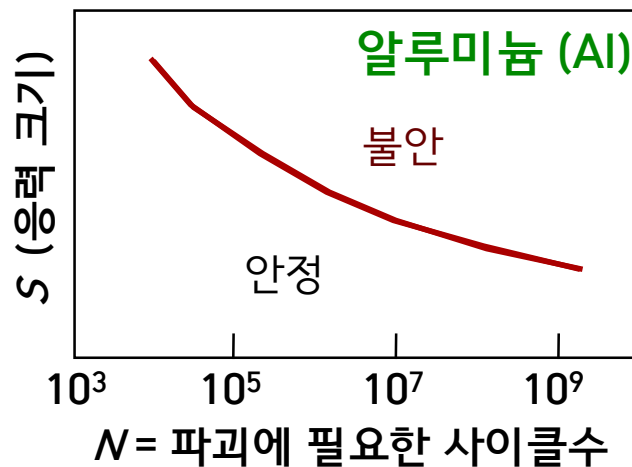
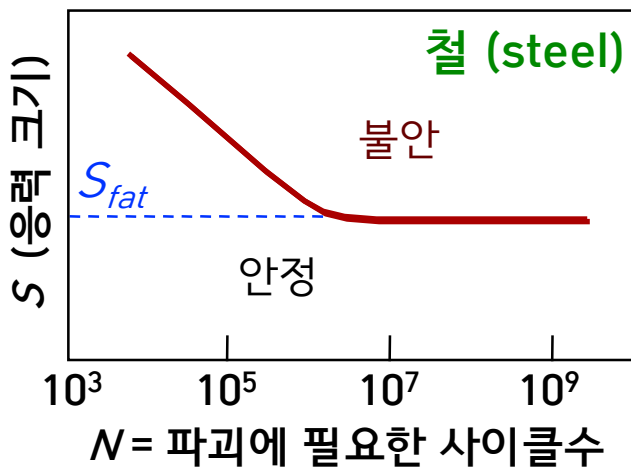
- 주요인자: 진폭 ( $S$ ), 평균응력 ( $\sigma_m$ ), 회전주기



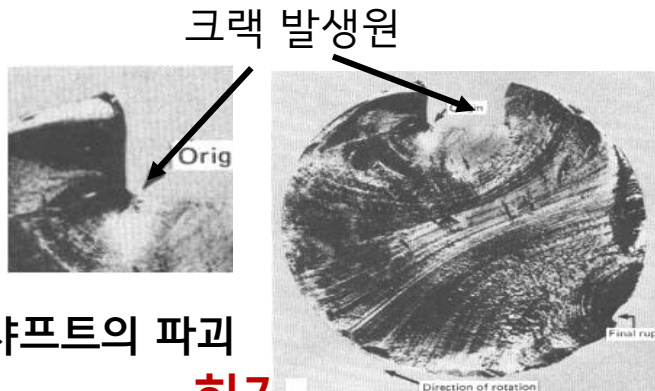
# 피로의 거동 (Fatigue Behavior)

## • 피로 한계 (Fatigue limit, $S_{fat}$ )

- 피로파괴 한계 ( $S < S_{fat}$ )



## • 피로에 의한 크랙 발생 (Fatigue limit, $S_{fat}$ )



회전 샤프트의 파괴

- 크랙 (crack)의 성장 조건

응력 증가분 ( $\Delta\sigma$ ) 증가

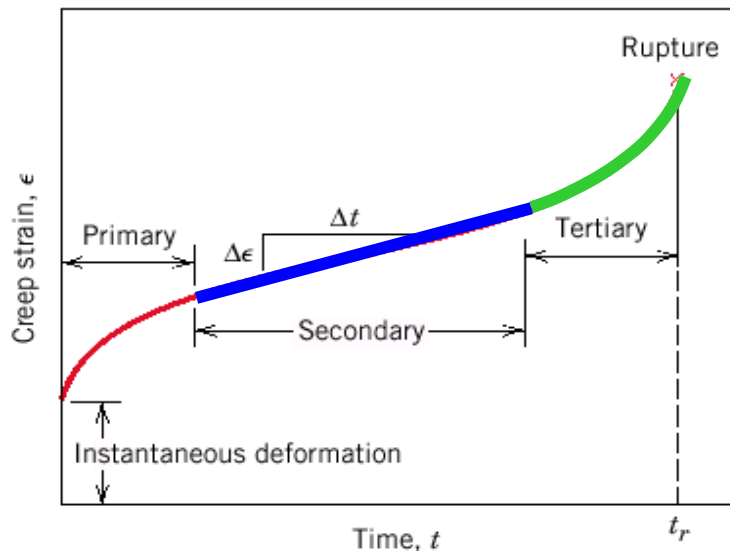
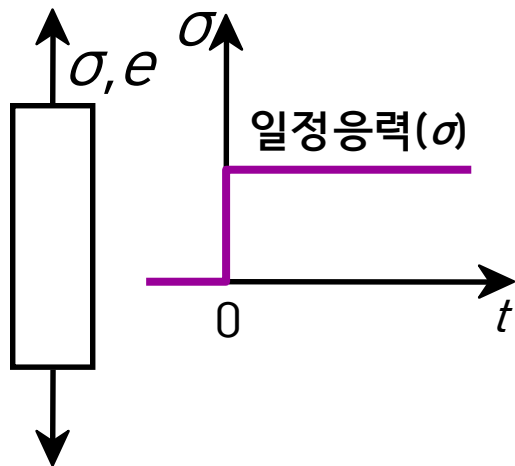
크랙 길이 성장

부하 주파수 (loading freq.) 증가

허가 없이 본 자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.

# 크리프 (Creep)

- 시간에 따른 크리프 거동 (변형률 ( $\epsilon$ ) vs. 시간)



## a) 1차 크리프 (Primary Creep)

- 기울기 (크리프 속도: creep rate): 시간 따라 완만하게 변함.

## b) 2차 크리프 (Secondary Creep)

- 정상상태 (steady-state) 기울기: 시간 따라 변하지 않음 ( $\Delta\epsilon/\Delta t = \text{일정}$ ).

## c) 3차 크리프 (Tertiary Creep)

- 기울기 (크리프 속도): 시간 따라 증가 (속도 가속).

허가없이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.

# 크리프 (Creep)의 온도의존성

- 온도에 따른 크리프 거동

- 높은 온도에서 가속화된 크리프 발생 ( $T > 0.4 T_m$  (K))

