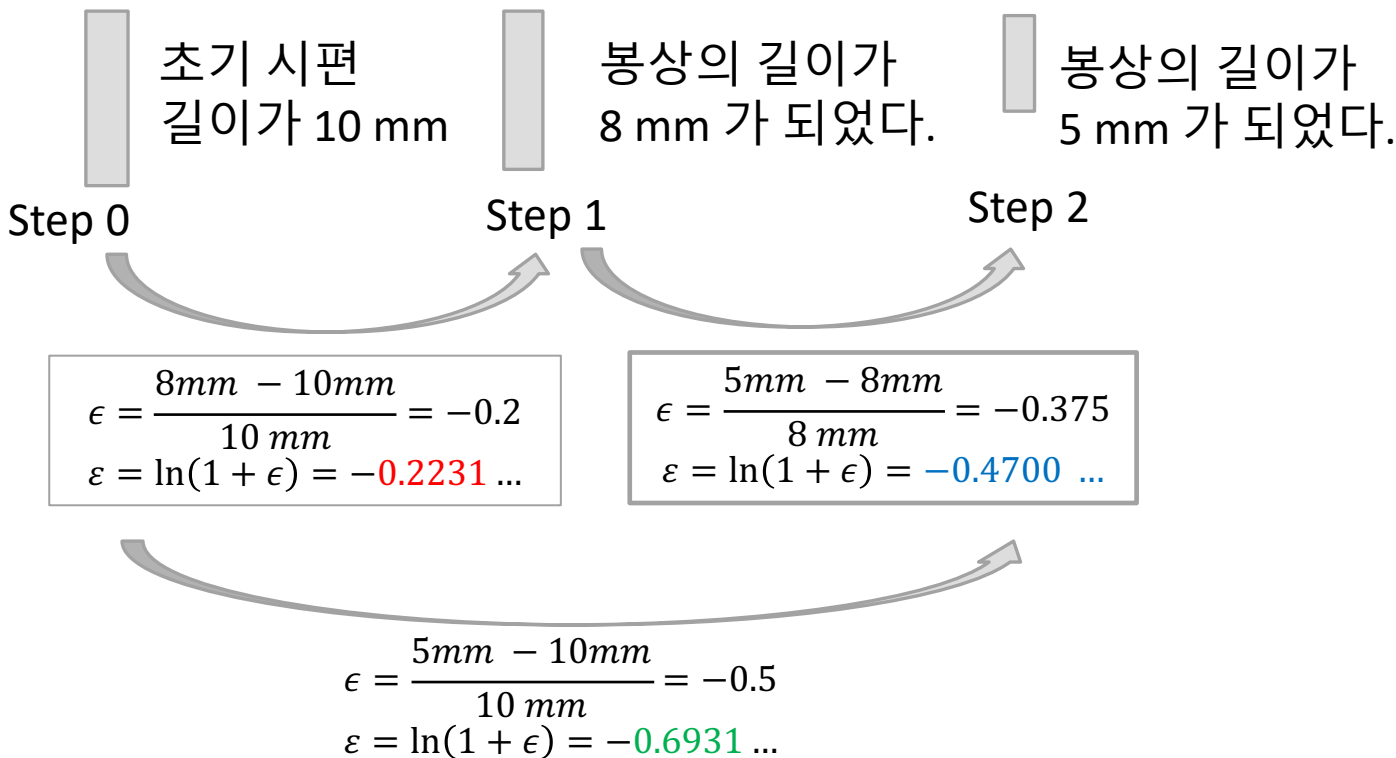


# 진변형률과 공칭 변형률 비교 (압축)

$$\text{공칭 변형률: } \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

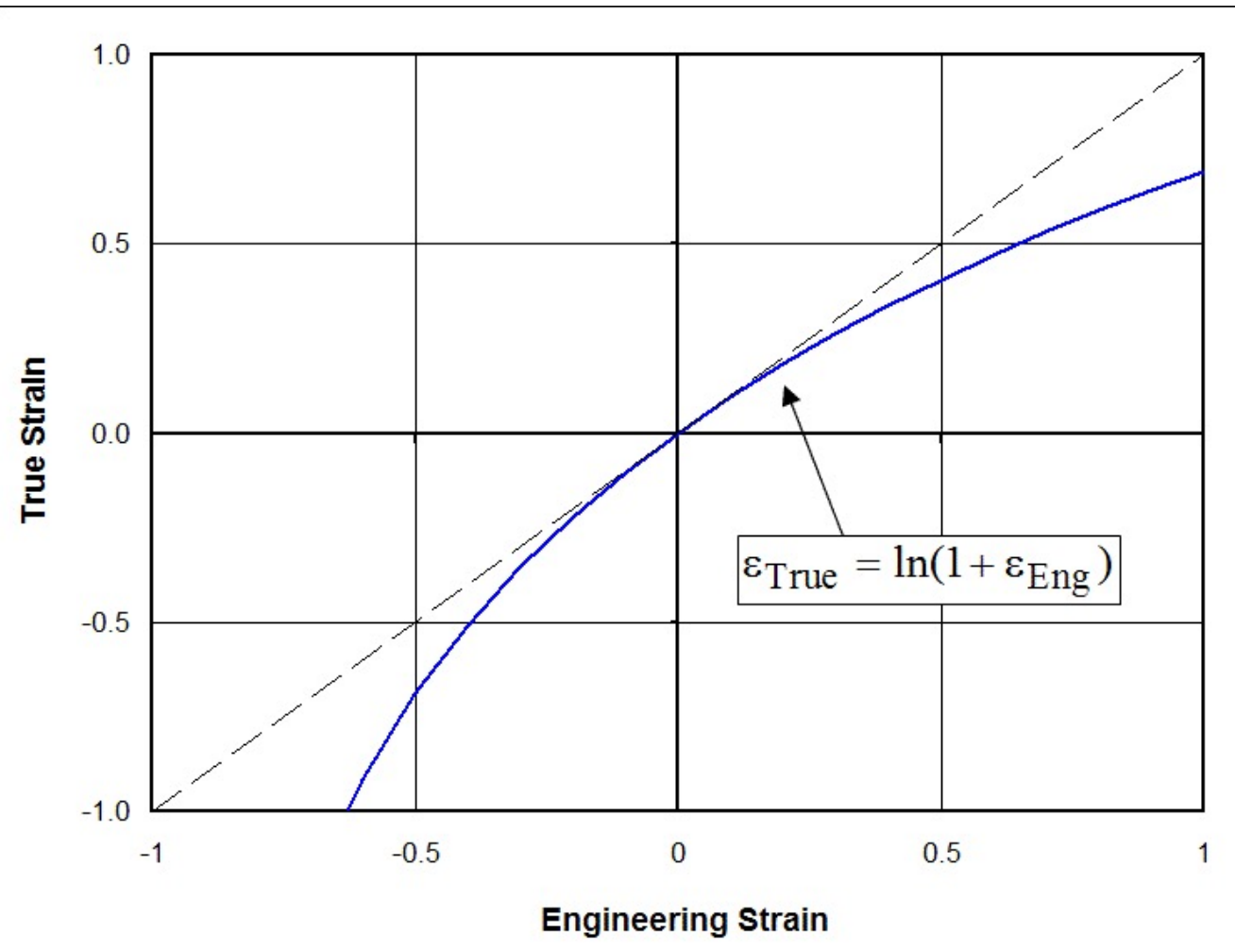
$$\text{진변형률: } \varepsilon = \ln(1 + \epsilon)$$



고찰

1. 진변형률의 경우 공칭 변형률보다 작다 (?).
2. 진변형률의 경우 단계별로 얻어진 변형률 값의 합이 전체 변형률과 같다.

# Compare engineering strain/true strain



[http://www.continuummechanics.org/images/truetrain/true\\_vs\\_engineering.png](http://www.continuummechanics.org/images/truetrain/true_vs_engineering.png)

# Example

---



초기 시편  
길이가 10 mm

Step 0

Q1. 공칭 변형률이 -1이 되려면  
해당 시편을 얼마큼의 길이로  
압축하여야 하나?

Q2. 진변형률이 -1이 되려면 해당  
시편을 얼마큼의 길이로  
압축하여야 하나?

# 전단 응력

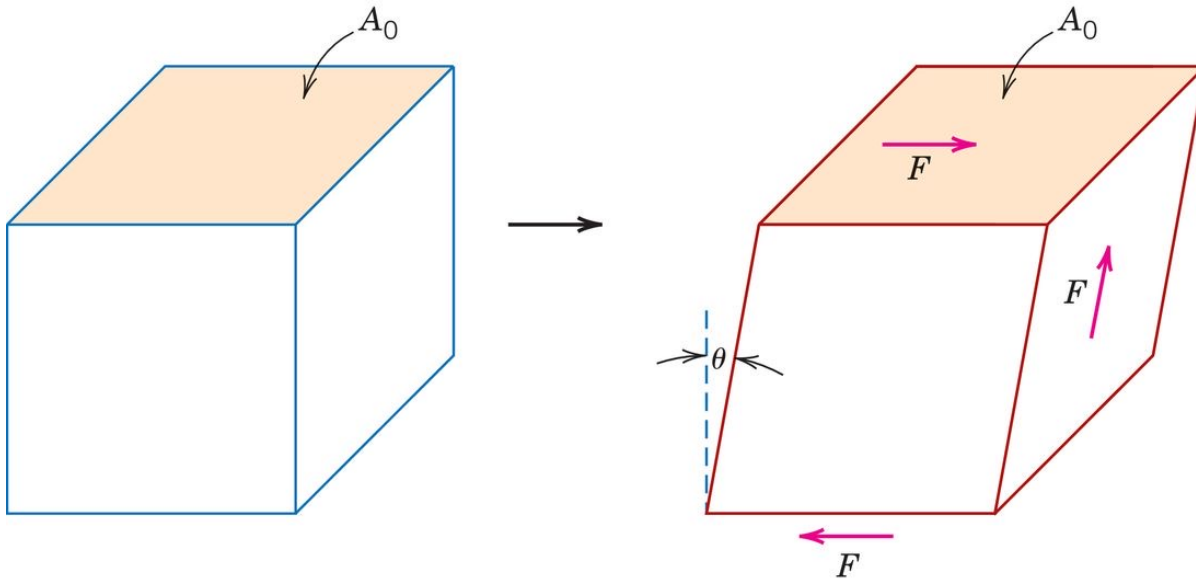
$$\tau = \frac{F}{A_0}$$

$F$ : 시편에 가해진 하중 (힘, 주로 N, kN 단위 사용)

$A_0$ : 하중이 가해지기 전의 시편 단면적 (주로  $m^2$  단위)

\*전단력의 방향이 작용하는 면에 '누워' 있다.

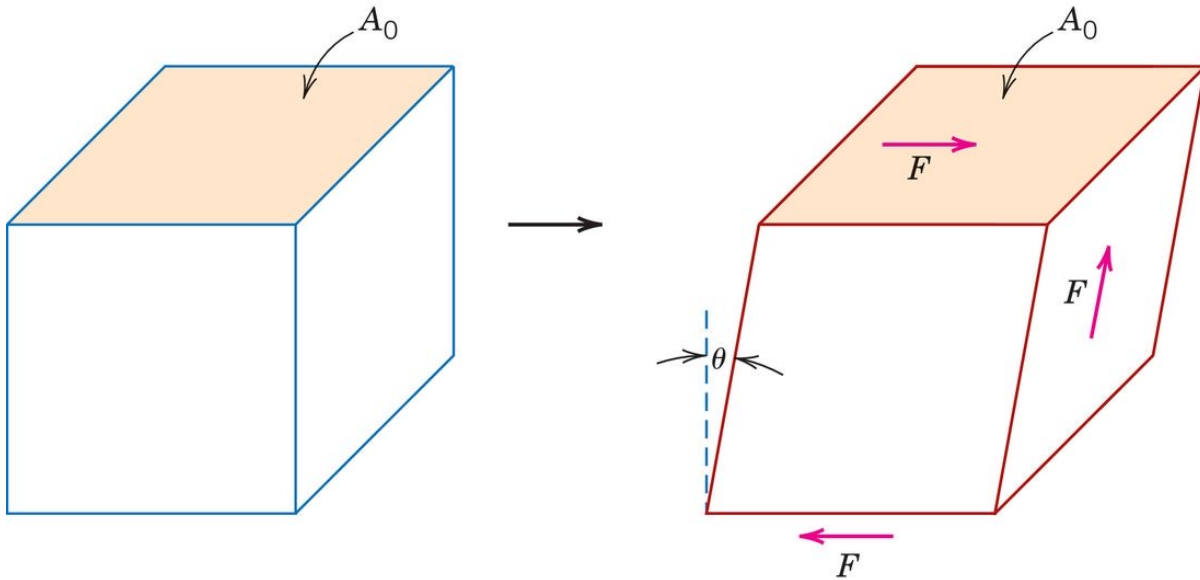
- 인장이나 압축력(tensile or compressive force)의 방향은 작용하는 면과 '수직' 방향



# 전단 변형률

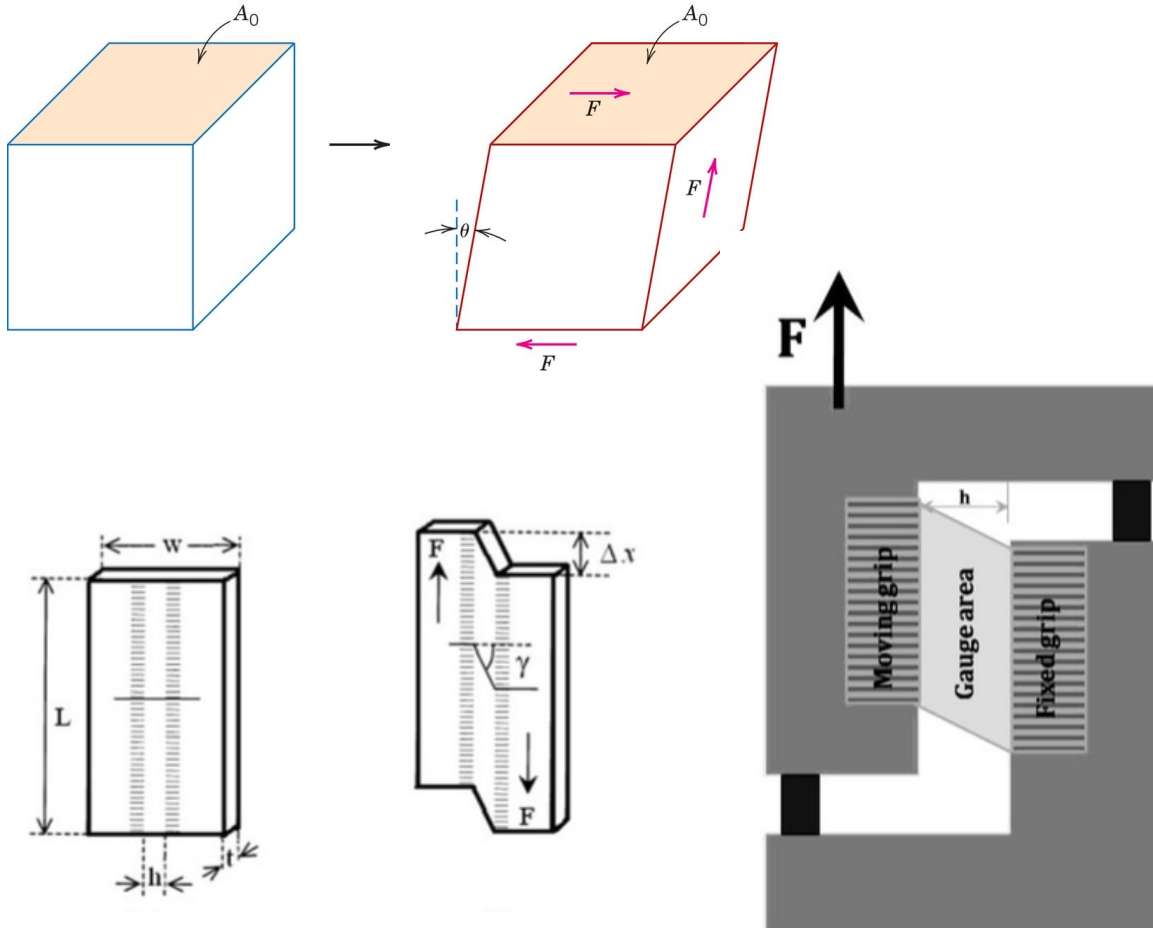
전단변형률 ( $\gamma$ )는 각도  $\theta$ 와 밀접한 관계.

어떻게  $\theta$ 가 변형률이 될걸까?



전단 변형으로 물체는 회전(spin)을 일으킬 수도 있다. 하지만 이러한 회전은 순수한 '변형'이 아니다. 따라서, 정확한 변형률을 구하기 위해서는 이러한 회전을 제외시킨다.

# 전단 시험 (shear test)



김효정, 포항공대 석사 학위 논문 (2010)

# 전단 시험 (shear test)

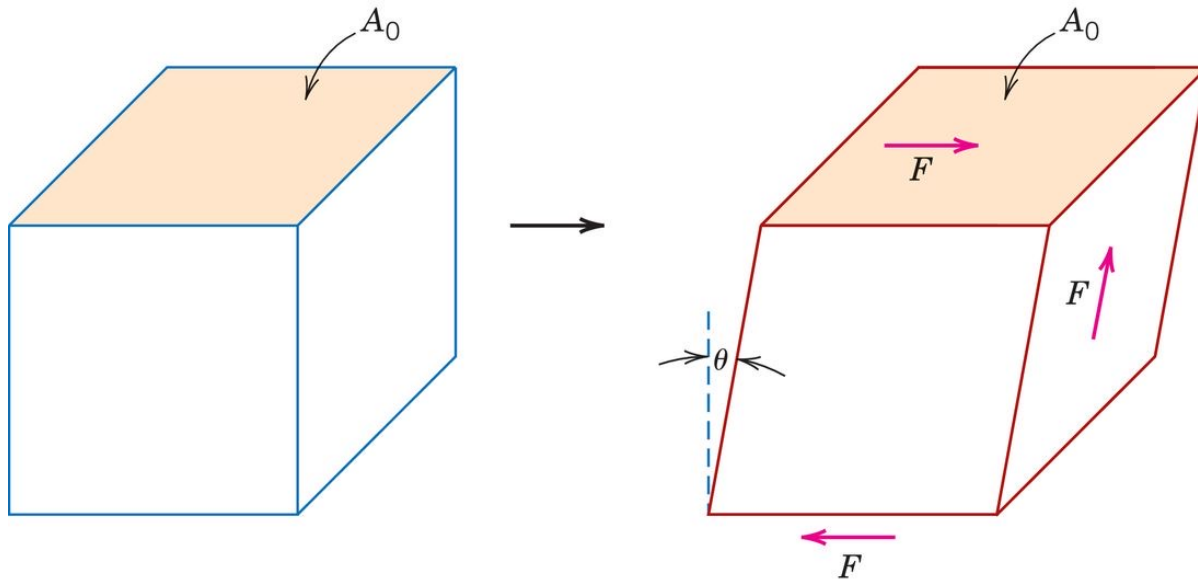
$$\tau = \frac{F}{A_0}$$

$F$ : 시편에 가해진 하중 (힘, 주로 N, kN 단위 사용)

$A_0$ : 하중이 가해지기 전의 시편 단면적 (주로  $m^2$  단위)

\*전단력의 방향이 작용하는 면에 ‘누워’ 있다.

- 인장이나 압축력(tensile or compressive force)의 방향은 작용하는 면과 ‘수직’ 방향

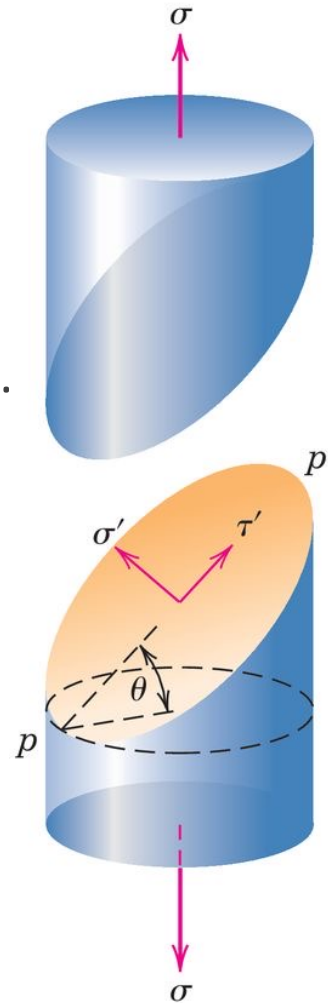


전단변형률 ( $\gamma$ )는 각도  $\theta$ 와 밀접한 관계.

전단 변형으로 물체는 회전(spin)을 일으킬 수도 있다. 하지만 이러한 회전은 순수한 ‘변형’이 아니다. 따라서, 정확한 변형률을 구하기 위해서는 이러한 회전을 제외시킨다.

# 응력 상태의 기하학적 고려

- 이때까지 작용한 응력들은 특별한 케이스들로 국한되어있다
  - 응력이 작용한 **면과 수직 (수직)**
  - 응력이 작용한 **면과 평행 (전단)**
- 사실 일반적인 응력 상태는 위의 압축, 인장, 전단이 혼재한 상태이다. 따라서 응력 상태는 수직과 전단 성분들로 나누어 분석할 수 있다. 수직, 전단 성분들은 응력 상태를 나타낼 수 있는 구성 요소(component)라 할 수 있다.
- 예를 들어 그림 8.4의 예제를 보자.



응력은 항상 특정 '면'에 작용한다는 점을 주지할 것.

연속된 봉상내의 주황색의 가상 단면에 작용하는 응력의 상태를 살펴보자.

해당 면은 실제로 외부의 응력  $\sigma$ 가 작용하고 있다. 하지만 해당 응력은 관심면과 '수직' 이거나 '평행'하지 않다.

해당 면에 '수직' 하고 '평행'한 성분을 찾아야 응력 상태를 명확히 정의할 수 있다.

Eq. 8.4a 와 8.4b 를 참조하여 면에 수직하거나 평행한 두 성분으로 나타내는 법을 익히자.

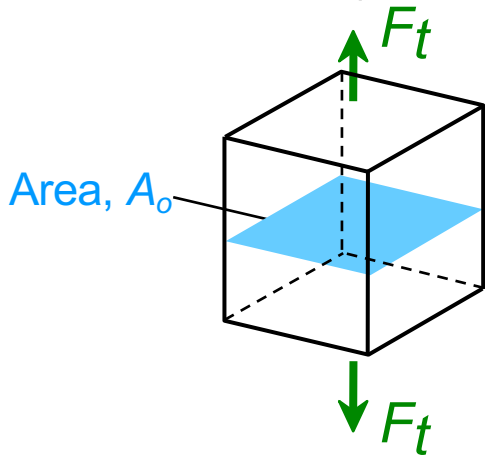
# stress state (응력상태) advanced

---

- 벡터는 세가지 성분으로 구성되어있다.
- 응력 상태의 경우에는 9가지 성분으로 구성되어있다.
- 9가지 성분중에는 3가지 normal components 그리고 6가지의 shear component가 존재.
- 이에 대한 활용은 다양한 역학관련 학문 (고체역학, 유체역학, 등)에서 배울 것이다.

# Recap: Engineering stress

- **Tensile** stress (인장응력),  $\sigma$ :

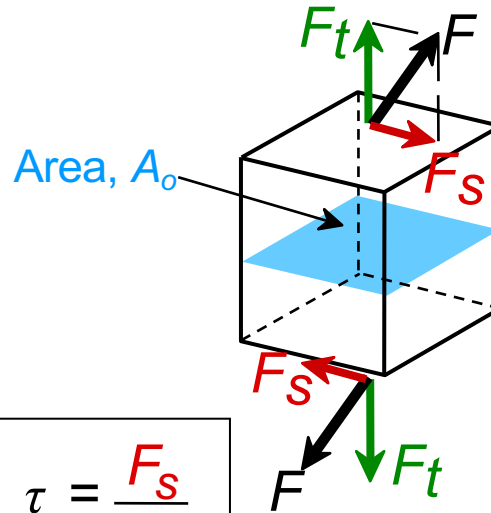


$$\sigma = \frac{F_t}{A_o} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

하중전의 시편 단면적

Remember the size independence of stress!

- **Shear** stress (전단응력),  $\tau$ :



$$\tau = \frac{F_s}{A_o}$$

$\therefore$  SI unit of stress: N/m<sup>2</sup> [Pa]

Engineering stress는 변형전의 initial area가 기준

주어진 단면적에 작용하는 힘(vector)의 세기와 방향

단면적의 방향에 대해 다양한 방향의 힘벡터가 존재 가능: 하지만 두가지 경우로 나뉘어 설명 가능

즉 응력 방향이 단면적과  
1. 수직인 방향  
2. 혹은 평행한 방향  
위 두가지 경우를 가지고 나머지를 설명가능

# 탄성 변형

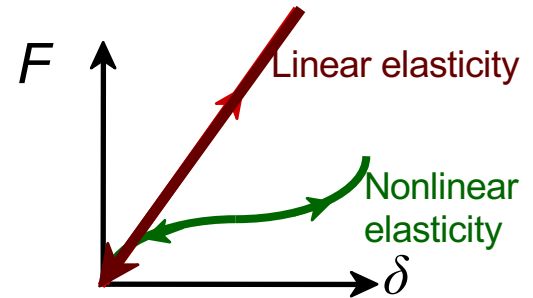
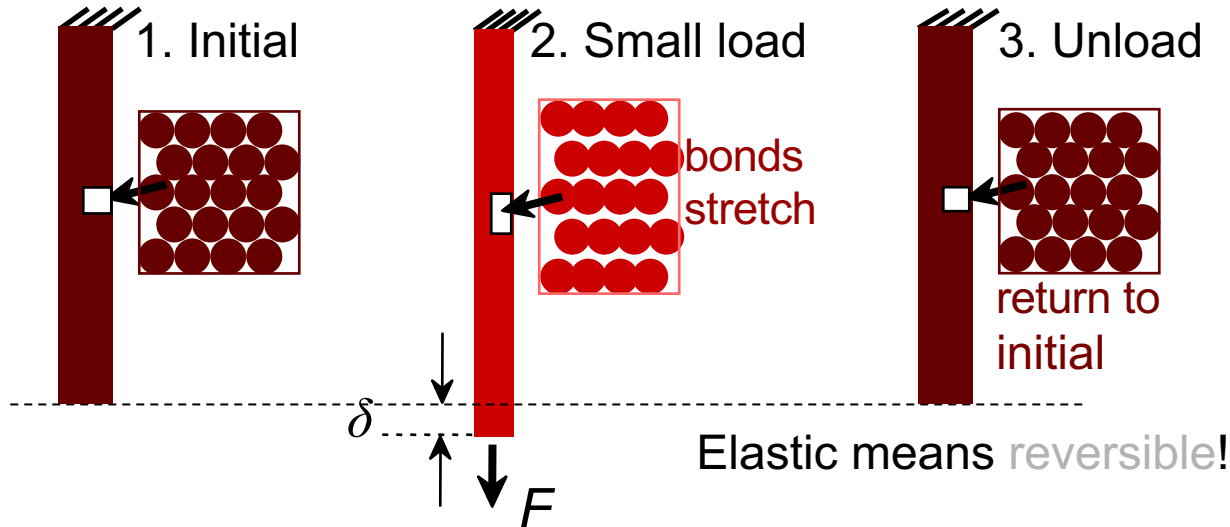
- 기계적 자극과 기계적 반응, 그리고 그 둘의 관계 (간단한 예: 금속의 탄성)
  - $\sigma = E\varepsilon$  ( $\sigma$ : 응력  $E$ : elastic constants (modulus),  $\varepsilon$ : 변형률)
- 위의 금속의 탄성 구간에 적용이 가능.  $E$  값은 양수. 따라서, 음의 응력을 가하면 음의 변형률이 얻어진다. 양의 응력이 점점 커질수록 양의 변형률이 점점 커진다.
- 위의 관계식은 Hooke's law로 불린다. 비례 상수  $E$  는 다양한 이름으로 불린다:
  - Elastic modulus
  - Elastic Constants
  - Young's modulus 등
- Hooke's law의  $E$ 는 해당 물질의 탄성 구간에서의 물성 (material property)이다. 따라서 재료마다 상이한 값을 가진다.
- 교재 227쪽 탄성 변형에 대한 정의는 틀렸다. 이는 다음 장에서 더 알아보자.

# Elasticity (탄성): thought experiment

Let's conduct a thought experiment as described below

1. Suppose you are pulling down a metallic specimen whose upper end is 'fixed'

3. The pulling force decreases and eventually you let it go.



2. You are pulling the specimen harder and harder – meaning that the force at the lower end increase.

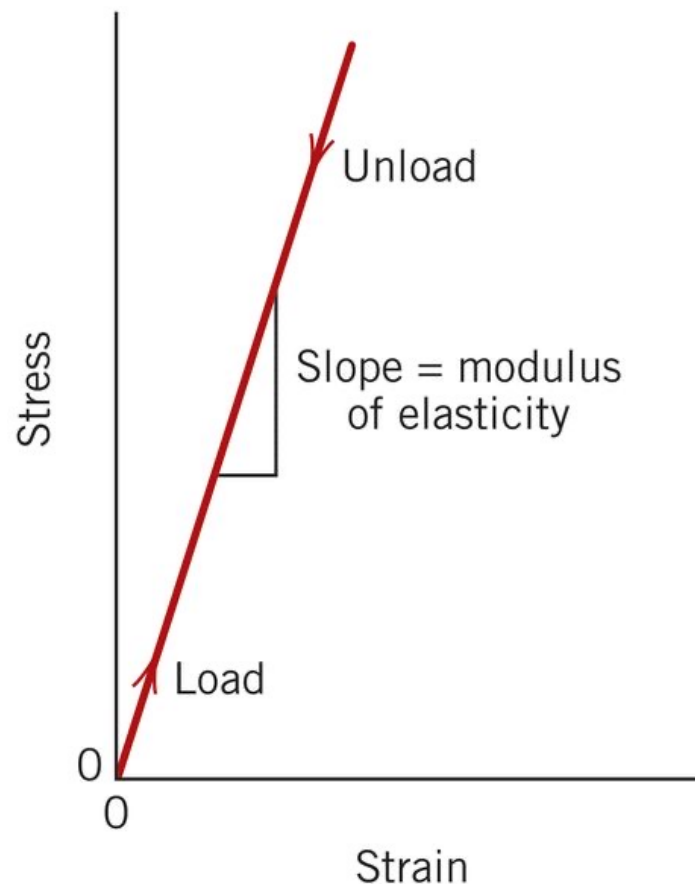
Usually metals show linear-elasticity

Non-linear elasticity is observed in polymers, rubbers

\* 응력과 변형률이 (선형) 비례성이 탄성을 의미하지 않는다. 탄성은 작용응력이 제거된 후 작용 전으로의 모습으로 '복원' 하느냐가 기준이다.

# 탄성 계수, 전단 계수

- **탄성 계수**  $E$ 는 normal component (즉 인장 혹은 압축 응력과 변형률) 사이의 비례상수
- 전단 계수는 shear component (즉 전단 응력과 전단 변형률)간의 비례상수
- Hooke's law에는 선형관계가 가정되어 있다. 거의 대부분의 금속은 탄성 구간에서 선형성을 나타낸다: 즉 응력과 전단 변형률이 서로 선형 비례한다.



# 탄성 변형률과 원자 결합력

■ 앞서 살펴본 것과 같이 탄성 구간에서는 원자간의 거리가 외부의 힘에 의해 변하며, 원자간의 결합 거리가 늘어난 상태로 볼 수 있다.

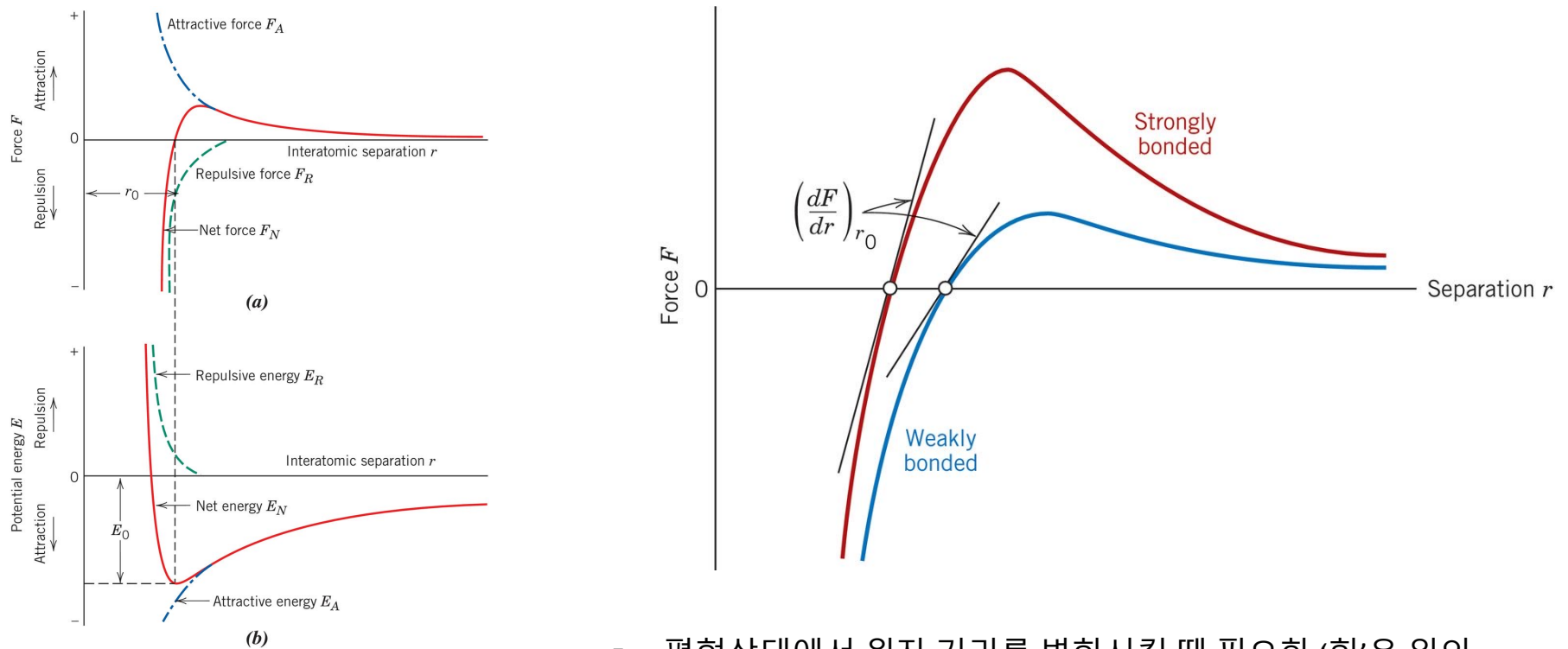


Fig. 2.10a

- 평형상태에서 원자 거리를 변화시킬 때 필요한 '힘'은 위의 그래프에서의 기울기 (이 기울기가 탄성 계수와 관계)
- 재료마다 해당 점에서의 기울기가 다를 수 있다 (각 재료의 특성)