

응력과 변형률의 실험 측정법

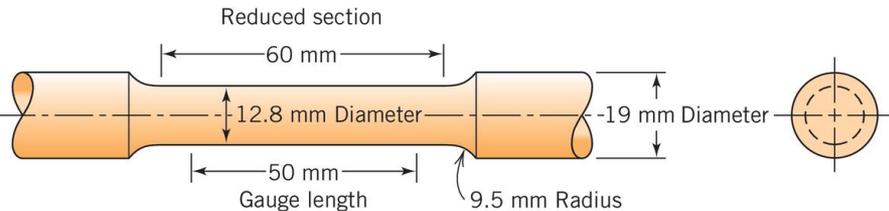
- 응력과 변형률을 측정하는 방법에 대해 간단히 의논해보자.
- Q. 일축 인장(uniaxial tension test; uniaxial tensile test)법에 대해 배웠는가?
- Q. 일축 인장에서는 어떤 기계적 성질들을 취득할 수 있는가?

Tension tests

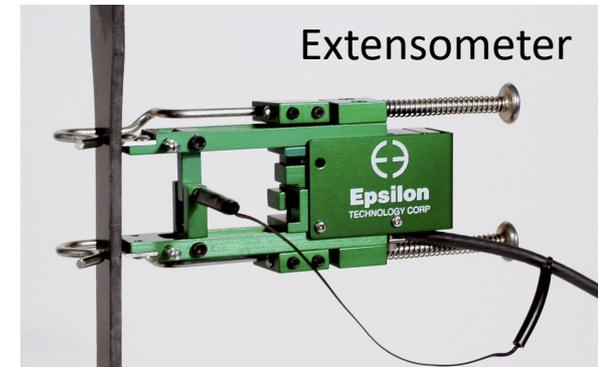
- (Uniaxial) tension test: the most common mechanical stress-strain test performed in **tension** (인장)
- Dogbone 모양의 시편 (봉상, 혹은 판상)
- 시편(specimen)은 주로 파괴(fracture)가 발생할 때까지 당겨진다.
- Load-cell: 시편에 가해진 force를 측정
- Extensometer: 시편의 길이 (elongation) 변화를 측정



Tensile tester



Load-cell



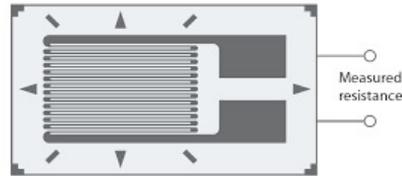
Extensometer

Measuring strains

Measuring Relative motion of two points



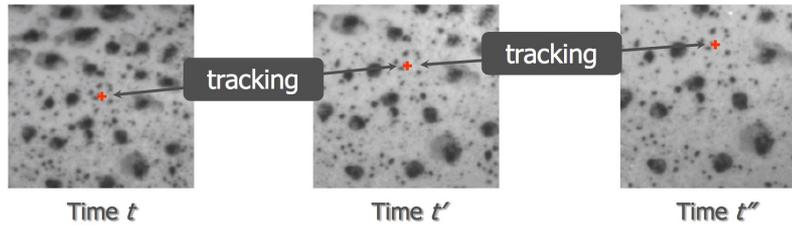
Strain pertaining to a smaller area (point)



Strain gauge

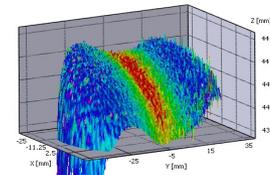
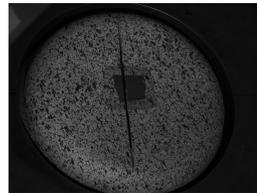
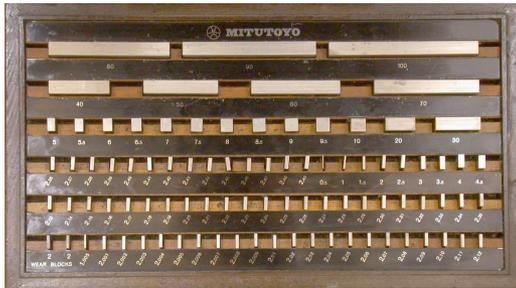


Strain field measurement (2D area)

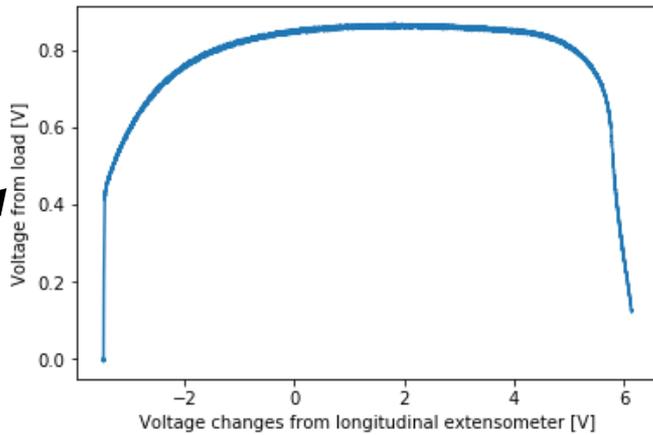


Digital image correlation

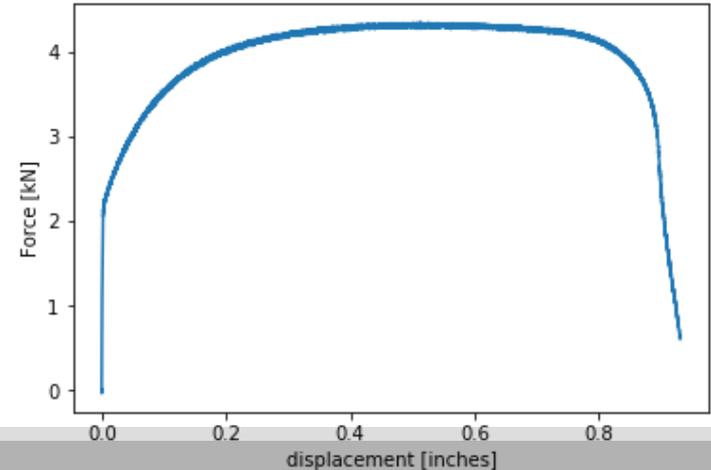
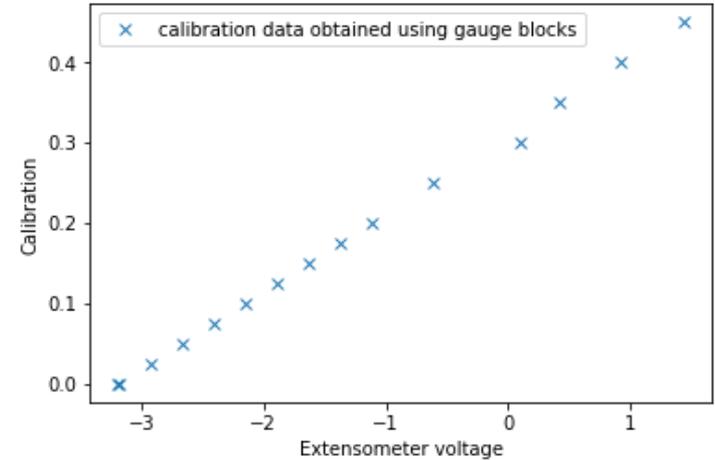
Mechanical extensometer and gauge blocks



Tension tests

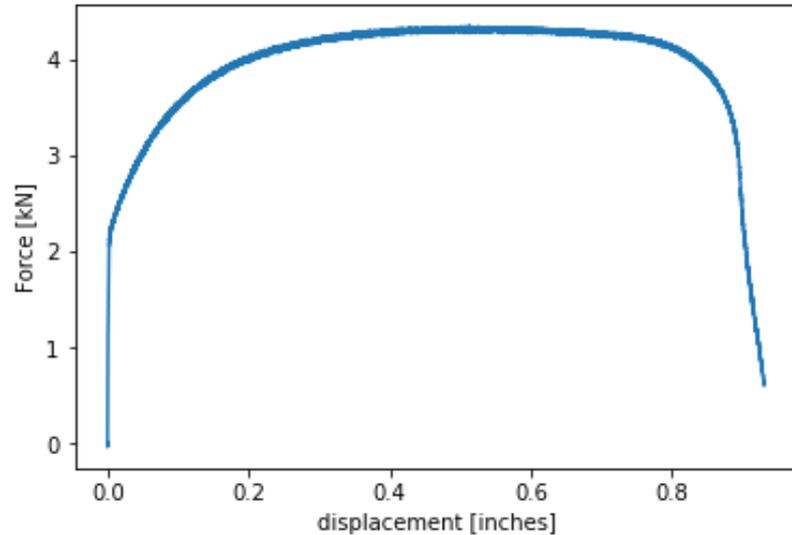


Calibration



Load cell과 extensometer는 전기적 신호를 준다. 전기적 신호와 실제 physical quantity (Force 혹은 길이 변화)는 calibration을 통해 변환 시킨다.

Tension tests



- **Summary:**
 - Load-cell과 extensometer로 전기적 신호를 받아왔다.
 - Load-cell과 extensometer의 calibration 데이터를 통해 Force와 displacement로 변환하였다.
- Force and displacement는 시편의 크기에 따라 변한다. 따라서, 기계적 특성을 설명하는데 적절치 않다.
- **시편의 크기에 무관한 물리량으로 바꾸는 것이 필요**

- 이렇게 시편의 크기(기하학적 요소)를 **최소화** (가능하다면 완전히 제거) 하기 위해서 응력과 변형률을 사용하여야 한다.
- Force와 displacement를 각각 응력과 변형률로 전환하여야 한다.

기하학적 요소 감소 (공칭 응력/변형률)

- 시편에 걸린 하중의 기하학적 요소를 *줄이는* 가장 간편한 방법으로 engineering stress (공칭 응력)을 사용할 수 있다.
- 시편이 보여주는 모양의 변화에서 기하학적 요소를 *줄이는* 가장 간편한 방법은 engineering strain (공칭 변형률)을 사용할 수 있다.

$$\sigma^{\text{engi}} = F/A_0$$

F: 시편에 가해진 하중 (힘, 주로 N 혹은 kN 단위)
A₀: 하중이 가해지기 전의 시편 단면적 (주로 m² 단위)

$$\epsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

l₀: 시편에 하중이 가해지기 전의 길이
l_i: 순간순간 변한 길이
변형률은 단위가 없다. (길이 단위가 상쇄되어 없어진다)
다만 공칭 변형률에 100을 곱해 %로 나타내기도 한다.

- 힘과 시편의 길이 변화 대신, 공칭 응력과 공칭 변형률을 사용함으로써 시편의 기하학적 요소를 어느정도 줄이는 효과를 얻을 수 있다.

기하학적 요소 제거 (진응력/진변형률)

- 시편에 걸린 하중의 기하학적 요소를 *제거*하는 방법으로 **true stress (진응력)**을 사용할 수 있다.
- 시편이 보여주는 모양의 변화에서 기하학적 요소를 *제거*하는 방법으로 **true strain (진변형률)**을 사용할 수 있다.

$$\sigma^{\text{true}} = F/A$$

F: 시편에 가해진 하중 (힘, 주로 N 혹은 kN)
A: 하중이 가해지는 시점에서의 시편 단면적 (주로 m² 단위)

$$d\varepsilon = \frac{dl}{l}$$

l: 시편에 하중가해지는 시점에서의 길이
dl: 하중이 가해지고 나서 매우 짧은 순간에 발생한 길이 변화 (infinitesimal)
dε: 하중이 가해지고 나서 매우 짧은 순간에 발생한 변형률 (infinitesimal)

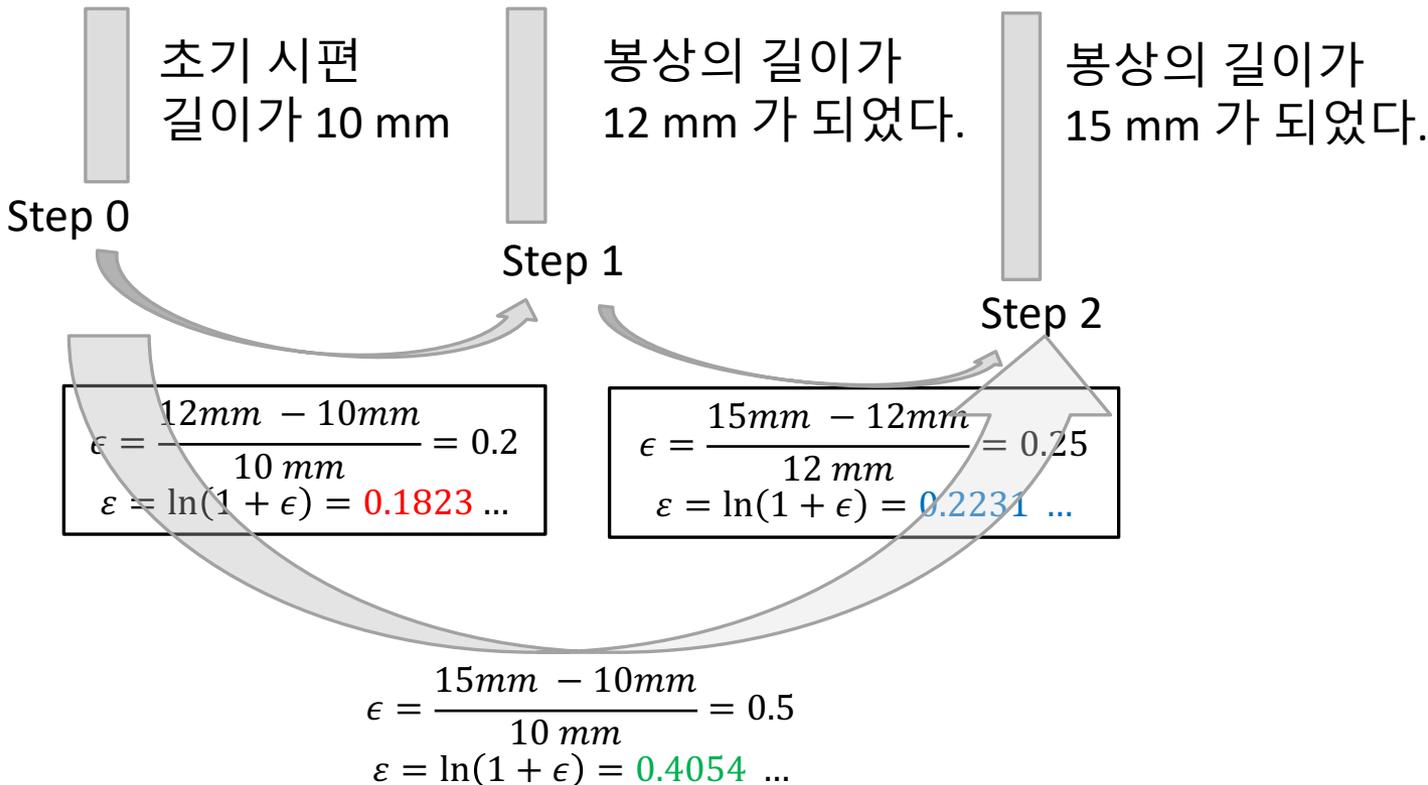
- 위 진변형률은 순간순간 발생하는 변형률의 '변화량'을 사용하여 정의된다. 모양(길이) 변화가 발생하는 동안 나타난 진변형률 값을 더하면(적분) 모양 변화가 끝난 후(혹은 하중이 걸린 후)의 진정한 변화량을 얻을 수 있다. 여기서 진정한 변화량이란, 시편의 길이 형태 등 기하학적 요소가 완전히 제거된다는 의미.

$$\varepsilon^{\text{true}} = \int_{l_0}^{l_1} d\varepsilon = \int_{l_0}^{l_1} \frac{1}{l} dl = \int_{l_0}^{l_1} d \ln(l) = \ln(l_1) - \ln(l_0) = \ln\left(\frac{l_1}{l_0}\right) = \ln\left(\frac{l_0 + \Delta l}{l_0}\right) = \ln(1 + \epsilon^{\text{engi}})$$

진변형률과 공칭 변형률 비교 (인장)

■ 앞서, 공칭 변형률은 기하학적 요소를 '감소' 시키는데 그치는 반면, 진변형률은 기하학적 요소를 '제거'할 수 있다고 하였다. 다음의 예제로 그 둘을 비교하여 보자.

$$\text{공칭 변형률: } \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$
$$\text{진변형률: } \varepsilon = \ln(1 + \epsilon)$$



고찰

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