

금오공대
기계시스템
오충석

Contents

- I. 인장시험
- II. 데이터 입력 및 단순 계산
- III. 선형 회귀 해석법
- IV. 데이터 통계 처리
- V. 요약
- VI. 제언, Q&A

I. 인장 시험 (Tensile Test)

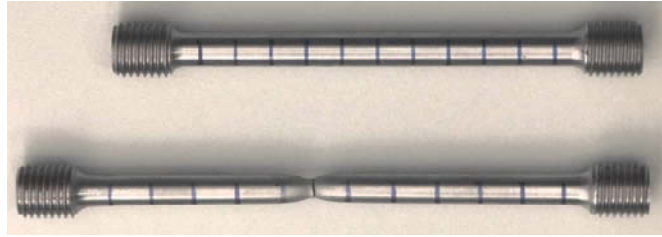
1) 시험 목적

- 시험 → 하중-변형 ($F-\delta$) → 응력-변형률 ($\sigma-\epsilon$)

$$\frac{F}{A_0} = \sigma_{avg} \text{ (or } S), \quad \frac{\delta}{l_0} = \epsilon_{avg} \text{ (or } e)$$

2) 시험 방법

- 하중계(load cell) & 변위계(extensometer)
- 시험편
- 시험 과정[8:58]



<https://www.youtube.com/watch?v=D8U4G5kpcM>

KIT기계시스템

3) Hooke's Law [1678]

$$\sigma_{avg} = k_o \epsilon_{avg} \Rightarrow S = k_o e$$

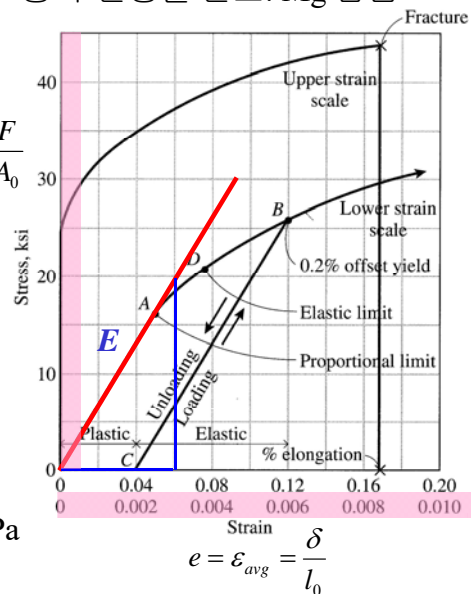
4) 탄성계수 [1807]

$$k_o = E = \left. \frac{\Delta S}{\Delta e} \right|_{\text{linear}}$$

- Modulus of Elasticity / Young's Modulus
- 1축 인장 (Uniaxial Tension)

$$E = \frac{20 \text{ ksi}}{0.003} \approx 6,667 \text{ ksi} \approx 46 \text{ GPa}$$

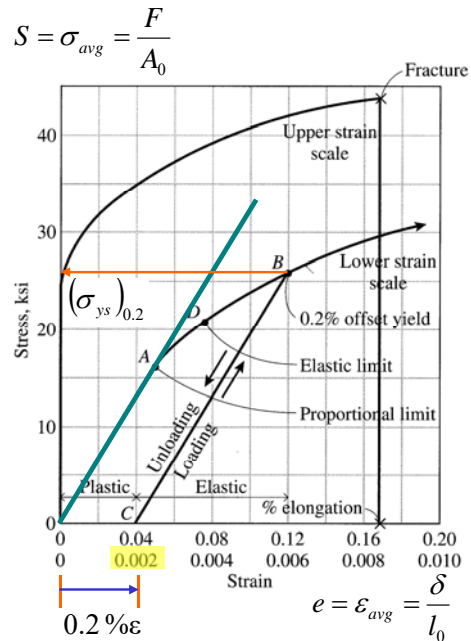
응력-변형률 선도: Mg 합금



KIT기계시스템

5) 항복 강도 (Yield Strength)

- 0.05 ~ 0.3 %의 영구 변형률 (permanent strain)을 발생시키는 응력
- 가장 널리 사용되는 값
 - 0.2 % 항복 강도 $(\sigma_{ys})_{0.2}$
- 설계 시 매우 중요한 값
- 약 26 ksi = 180 MPa

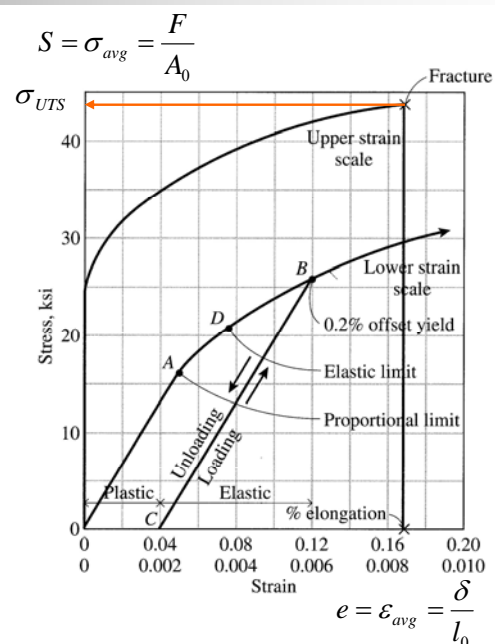


KIT기제시스템

5

6) 극한/인장 강도 (UTS; Ultimate Tensile Strength)

- 재료가 파단 되기 전에 가질 수 있는 최대 응력
- 공칭 응력
- 설계 시 매우 중요한 값
- 약 43 ksi = 300 MPa



KIT기제시스템

6

II. 데이터 입력 및 단순 계산

1) 인장 시험 데이터

- UIUC's Mechanical Testing Instructional Lab (MTIL)
- 시험기: Instron® 인장 시험기
- 시험편
 - 재료 : 6150 Steel Cold Rolled
 - 환봉 직경 : 6.37 mm

2) 원 데이터 수집

- ① 데이터 다운로드(ASCII tab-delimited format)
 - **6150Steel_Header.txt** : 시험관련 정보
 - **6150Steel_Data.txt** : 인장 시험 결과 데이터

KIT기계시스템

7

② 엑셀 실행

- 수식 상자(보기 > 수식 입력줄) 확인[필수]
- A1 : “**Tensile Test**”
- A2 : “**6150 Steel**”
- A4 : 데이터 > 텍스트 (6150Steel_Header.txt 입력)
- A30: 데이터 > 텍스트 (6150Steel_Data.txt 입력)

3) 데이터 처리

① 절대(absolute) 참조 or 상수

- Cell 이름 앞에 “\$”사용 : \$B\$12 (시험편 직경)
- B12 이름(Name) 부여 : Diameter
수식 > 이름 정의

KIT기계시스템

8

- B26 이름: FinalDiameter
 - Invalid Name: 3 letters and 7 digits
 - Ex) abc1023456. Stl6150, and Al2024
- 함수 이름 확인
 - 일단 소문자로 입력 (sin)
 - 문제없으면 대문자로 자동 변환됨 (SIN)
- D12 : “Area”
- E12 : =pi()*Diameter^2/4 → [Name: Area]
- E31 : “Stress (MPa)”
- E32 : =B32*1000/Area

$$\sigma [\text{MPa}] = \frac{F}{A_0} = \frac{F [\text{kN}] * 1000}{A_0 [\text{mm}^2]}$$

② 응력 계산, 상대(relative) 참조

	USA	SI	Korea
힘	lb	N	kgf
면적	in ²	m ²	mm ²
응력	psi	Pa	kgf/mm ²
보편적 단위	ksi	MPa	kgf/mm ²
관계	1 ksi = 6.9 MPa 1 kgf/mm ² = 9.81 MPa		

③ 응력(Y)-변형률(X) 곡선 그리기

- A picture is worth a thousand words or a whole table of numbers!
- 실험 데이터 비교에 주로 사용
- 잘못된 데이터 지우기
- End & 방향 키(←, ↑, ↓, →) : 공백 전까지 이동
- X축: %로 표시, Y축: 정수형
- 최종 데이터: 파단 표시(붉은 색 X 표시)
- 필요한 경우 RMB 후 “메모 삽입”

④ 그래프 그리는 방법

- 정확성이 중요함(clarity rather than artistry)
- 1~2 종류의 폰트 사용
- 너무 화려한 색 사용 자제
- 실험 데이터는 가능한 작게 표시
- 설명은 그림 아래(표 설명은 표 위)
- 여러 개의 선이 있을 경우 흑백으로 인쇄해도 구분될 수 있도록 작성

III. 선형 회귀 분석법

1) 회귀 분석법(Regression Analysis)

- 독립 변수와 종속 변수 간의 최적의 함수 산정
- 상관 관계(correlation analysis) 분석 포함
- 선형(linear) vs. 비선형(nonlinear)
- 단순(simple) vs. 다중(multiple)
종속 변수 1 종속 변수 2개 이상

2) 최소 자승법/제곱법(Method of Least Squares)

- 회귀 분석 방법의 일종
- 실제 값과 목적 함수 값과의 차의 자승의 합 (SS : sum of squares of the errors)이 최소가 되도록 함수를 결정하는 방법

① 가장 단순한 형태의 MLS

- 개별 데이터와 평균 값의 차(편차; deviations)에 대한 제곱의 합을 최소화

$$S = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

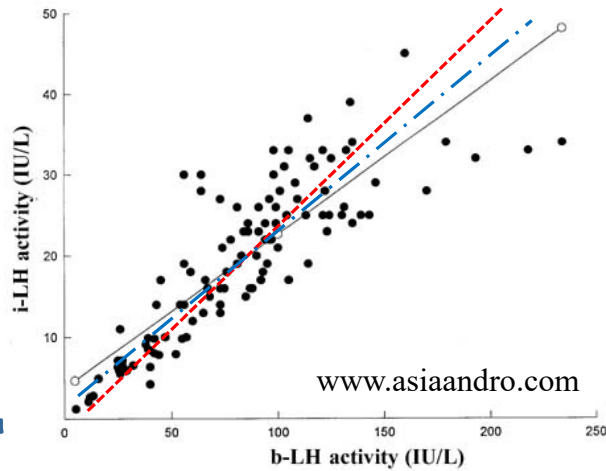
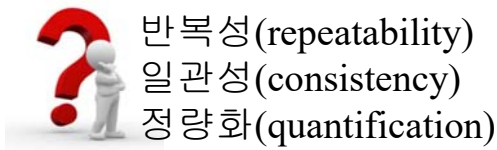
$$\frac{\partial S}{\partial \bar{x}} = \sum_{i=1}^n -2(x_i - \bar{x}) = -2 \left(\sum_{i=1}^n x_i - n\bar{x} \right) = 0$$

$$\therefore \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

- 산술 평균이 됨

② 실험 데이터 $(x_i, y_i) \rightarrow$ 최적의 선형 함수 $y = ax + b$

- 전통적인 방법(어림짐작; guesswork)
 - 데이터들을 그래프 용지에 표시
 - 눈으로 보면서 자를 이용해 직선 그음
 - 직선의 기울기와 절편 구함



KIT

■ MLS

$$y = ax + b$$

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i + b)]^2, \quad \frac{\partial S}{\partial a} = \frac{\partial S}{\partial b} = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial a} = \sum_{i=1}^n -2x_i [y_i - (ax_i + b)] = -2 \sum_{i=1}^n [x_i y_i - (ax_i^2 + bx_i)] = 0$$

$$a \sum x_i^2 + b \sum x_i = \sum x_i y_i$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = \sum_{i=1}^n -2[y_i - (ax_i + b)] = -2 \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i + b)] = 0$$

$$a \sum x_i + bn = \sum y_i$$

- 두 개의 이원일차 연립방정식을 행렬 형태로 정리하면

$$\begin{bmatrix} \sum x_i & n \\ \sum x_i^2 & \sum x_i \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \end{Bmatrix}$$

- 위 식을 풀어 a (**SLOPE**)와 b (**INTERCEPT**)를 구하면 최적의 목적 함수를 구할 수 있음

$$\hat{y} = ax + b$$

- 비 선형 식도 선형화 할 경우 적용 가능
- Regression of y on x [$y = f(x)$]
: x 에 비해 y 의 불확실성(uncertainty)이 더 큼

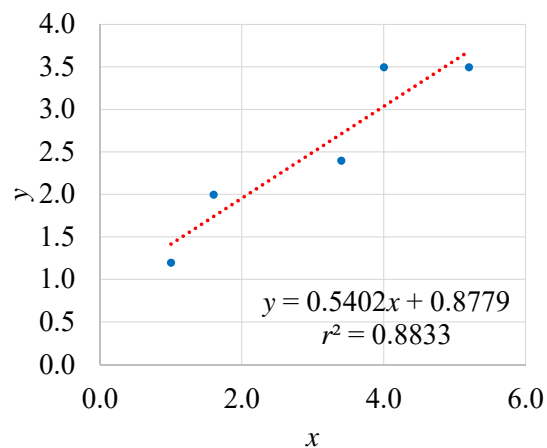
③ 상관 계수(Correlation Coefficient; **CORREL**)

$$r \equiv \left[1 - \frac{\sigma_{y,x}^2}{\sigma_y^2} \right]^{1/2}, \quad \sigma_y = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_m)^2}{n-1} \right]^{1/2}, \quad \sigma_{y,x} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{ic})^2}{n-1} \right]^{1/2}$$

- 데이터와 근사 식이 얼마나 잘 일치하는지 판단
- y_i = 실제 y 값
 y_{ic} = 상관 식으로 계산한 y 값
- r^2 : 결정 계수(coefficient of determination)

- 상관계수의 의미
 - $r = 1.0$ (완벽한 근사) : $\sigma_{y,x} = 0$
 - 실제 데이터와 근사 데이터가 100% 일치
 - $r = 0.0$ (상관성이 없음) : $\sigma_y = \sigma_{y,x}$
- 안전한 회귀 분석
 - 실험 데이터 그래프를 보고 눈으로 경향 파악
 - 회귀 분석 시행
 - 상관계수를 보고 적합성 판정

3) 간단한 예: Linear Regression of y on x



4) Young 계수 산정

- 응력-변형률 선도에서 선형 구간 탐색
- 상관계수 기준
 - 데이터에 따라 달라질 수 있으나 일관된 기준 필요
 - $r \geq 0.95$ (or $r^2 \geq 0.9$) 이면 신뢰할 수 있음
- $E = 165 \text{ GPa}$
 - 일반적인 철강 재료의 Young 계수에 비해 낮음
 - 실험 오류 가능성
 - 반복 실험을 통한 통계 처리가 필요함

5) 인장 강도

- **Max** 함수 이용
- UTS = 668 MPa

6) 항복 강도

- 0.2% Offset 항복 강도
- Offset Stress [MPa] = $E[\text{GPa}] \times 1000 \times (\epsilon - 0.2\%)$
- (0.2%, 0)와 임의의 점(0.5%, 495.3)까지 직선 연결
- 원 데이터와 직선의 교점 읽음
- 원 데이터를 곡선으로 근사하고, Offset 직선과의 교점을 프로그램으로 계산해도 됨
- $YS \approx 340 \text{ MPa}$

IV. 데이터 통계 처리

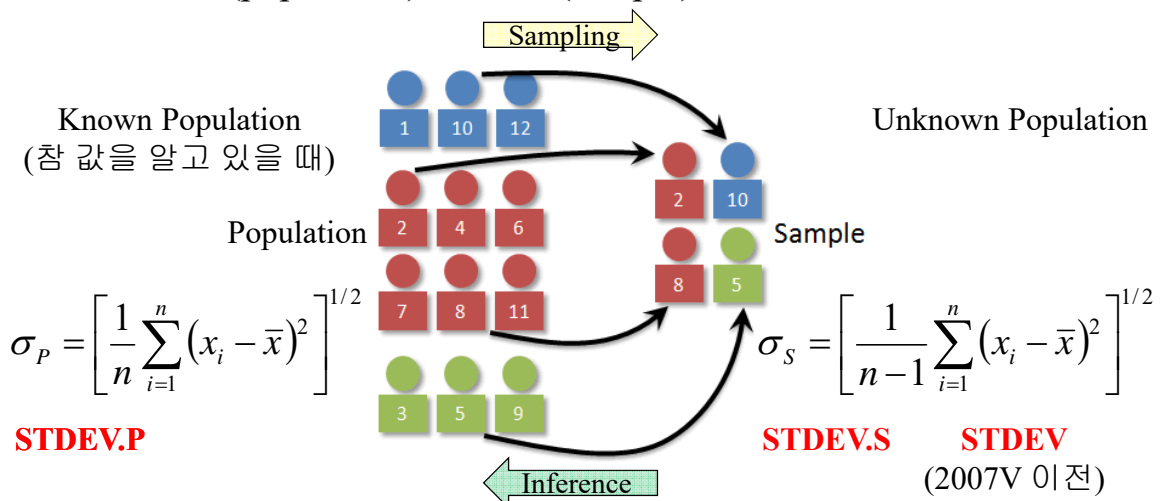
1) Young 계수 값 계산

- 오차: 실험자, 시험기, 측정 센서, 시험편 등
- 부하 시(loading)보다 제하 시(unloading)에 측정
- 반복 시험
 - 동일 시험편: 부하와 제하를 반복해 가며 Young 계수 측정
 - 다른 시험편: 최소 5 개 정도 이용하여 측정
- 평균 값(**AVERAGE**): 데이터들의 산술 평균
- 표준 편차(**STDEV vs. STDEV.P vs. STDEV.S**)
 - 논리(T/F) 및 텍스트 값 무시
 - 분산(**VAR vs. VAR.P vs. VAR.S**)

KIT기계시스템

23

- 모집단(population) vs. 표본(sample)



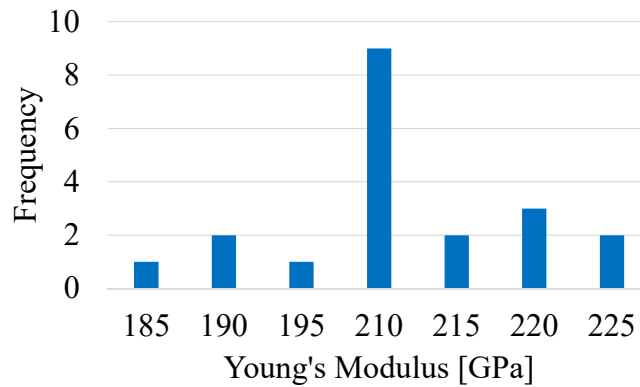
기계시스템공학과 기계시스템공학과
 신입생 전체(120명) 신입생 표본(20명)

KIT기계시스템

24

2) 도수 분포표

- Bins array 입력: 숫자는 “이하”를 의미함
- 도수를 나타낼 행들을 모두 선택한 뒤 F2와 Ctrl+ Shift+Enter를 차례로 수행하여 배열 수식화

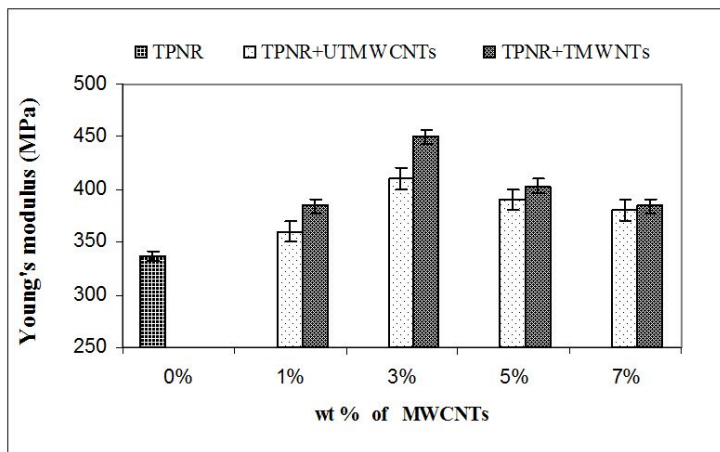


KIT기체시스템

25

3) Young 계수 값 표현

- E_1 [GPa] = **205 ± 11.6** (1SD; 68.3% 신뢰)
- E_2 [GPa] = 205 ± 23.2 (2SD; 95.4% 신뢰)
- E_3 [GPa] = 205 ± 34.8 (3SD; 99.7% 신뢰)



Thermoplastic
Natural Rubber

Acid Treatment의
영향

M. A. Tarawneh
and S. Hj. Ahmad,
Nanotechnology
and Nanomaterials,
Ch. 6, 2013.

26

V. Summary

1) 기계공학

- 인장시험(응력 계산) 및 데이터 처리 방법
- 응력-변형률 선도 작성, 이해 및 활용

2) Excel 내용

- 데이터 수집: ASCII tab-delimited format(.txt) → xlsx
- 그래프 작성 방법
- 회귀 근사법
- 데이터 통계 처리(평균, 표준편차, 도수분포표 등)
- 이름 정의(Define Name...): 수식 > 이름 관리자
- 상대 참조 vs. 절대 참조(F4)
- 수식 입력: 소문자로 입력 → 대문자로 자동 변경(OK)

KIT기제시스템

27

3) Excel 함수

- AVERAGE, STDEV, STDEV.P, STDEV.S
- FREQUENCY
- MAX, MIN, SUM
- SLOPE, INTERCEPT, CORREL
- VAR, VAR.P, VAR.S

4) 단축 키

- 상대 참조 → 절대 참조: F4
- 수식 적용: 배열 선택 → F2 & Ctrl+Shift+Enter
- 빠른 이동: Ctrl+Home (A1으로 이동),
End & 방향 키 (방향 키 방향 끝 데이터로 이동)

KIT기제시스템

28