

Main Lab 1 Experiment on Boundary Condition

곽진 21900031

1. Introduction

본 실험은 경계조건에 따라서 시편에 가해지는 하중에 따라 발생하는 처짐량 차이와 같은 하중과 경계조건을 받는 서로 다른 재료 시편의 처짐량 차이에 대해 알아보는 실험이다. 경계조건 실험에서 확인할 경계조건은 외팔보/단순지지(힌지 to 롤러)/고정지지(Fixed to fixed)이며 사용할 시편은 Stainless Steel 304이다. 두번째 실험은 재료에 따른 처짐량 실험으로 사용할 재료(Stainless Steel SUS304, Brass C21000 OSO50 Temper, Aluminum 6061-T6)에 따른 실험이다. 두번째 실험의 경계조건은 단순 지지보이며 지지보 중앙에 1kg의 하중을 가해 얻은 처짐량을 비교한다.

2. Experimental Setup and Procedure



그림 1 실험 장비 (STR4)

2.1 Setup

- 실험 장비 STR4 (그림1 참조)
- 경계조건에 맞는 부품 (e.g. 핀, 롤러, 볼트 등)
- 다이얼 게이지
- 시편 (Stainless Steel SUS304, Brass C21000 OSO50 Temper, Aluminum 6061-T6)

두번째 실험(재료 비교 실험)에서 사용할 시편 재료의 물성치는 표 1과 같으며 이때 시편의 형상은 사각 단면이며 비슷한 크기 규격을 갖는다.

표 1 Mechanical properties of materials

	탄성계수(E) [GPa]	포아송비	밀도 [kg/m^3]	항복강도 [MPa]	인장강도 [MPa]
Stainless Steel SUS304	193	0.29	8000	215	505
Aluminum 6061-T6	68.9	0.33	2700	255	290
Brass C21000 OSO50 Temper	115	0.307	8860	69	235

2.2 Procedure

2.2.1 경계조건 실험

- 1) 스테인레스강(Stainless Steel SUS304) 시편을 준비한다.
- 2) STR 실험 장비를 외팔보(Cantilever)로 고정 후에 시편의 길이를 300mm로 조정한다.
- 3) 다이얼 게이지의 영점을 맞춘다.
- 4) 시편의 끝단에 하중(0.5kg)을 가한다.
- 5) 처짐량을 다이얼 게이지를 통해 측정한다.
- 6) 스테인레스강 시편을 단순지지보(Simple support)로 세팅하고 지지부의 간격을 500mm로 조정한다.
- 7) 다이얼 게이지의 영점을 맞춘다.
- 8) 시편 중앙 부분(250mm)에 하중(1.0kg)을 가한다.
- 9) 처짐량을 다이얼 게이지로 측정한다.
- 10) 시편을 고정지지보로 세팅 후 간격을 600mm로 조정 후 다이얼 게이지의 영점을 맞춘다.
- 11) 시편의 중앙(300mm)에 하중(1.0kg)을 가한다.
- 12) 처짐량을 다이얼 게이지로 측정한다.



그림 2 스테인레스강의 고정지지보 실험

2.2.2 재료비교 실험

- 1) 스테인레스강, 알루미늄, 황동(Stainless Steel SUS304, Brass C21000 OSO50 Temper, Aluminum 6061-T6) 시편을 준비한다.
- 2) 스테인레스강 시편을 단순지지보(지지보 간격: 500mm)로 설치한다.
- 3) 다이얼 게이지의 영점을 맞춘다.
- 4) 시편 중앙에 하중(1kg)을 가한다.
- 5) 처짐량을 측정한다.
- 6) 알루미늄, 황동 시편에 대하여 2)에서5)를 반복한다.



그림 3 스테인레스강 시편의 외팔보 처짐 실험

3. Results and Analysis

3.1 경계조건 실험

경계조건에 따른 최대 처짐량 공식은 다음과 같다.

1. 시편 끝단에 하중을 받는 외팔보(Cantilever): $\delta_{max} = -\frac{PL^3}{3EI}$
2. 시편 중앙에 하중을 받는 단순지지보(Simple support): $\delta_{max} = -\frac{PL^3}{48EI}$
3. 시편 중앙에 하중을 받는 고정지지보(Fixed-fixed support): $\delta_{max} = -\frac{PL^3}{192EI}$

Stainless Steel 304의 탄성 계수와 폭과 너비는 다음과 같다.

$$E = 193 \text{ Gpa} \quad b = 19.07 \text{ mm} \quad h = 3.2 \text{ mm}$$

경계조건 실험은 동일한 시편을 갖는다. 따라서 사각 단면을 갖는 시편의 2차 단면 모멘트는 다음과 같다.

$$I = \frac{1}{12}bh^3 = 5.2074 \times 10^{-11} \text{ m}^4$$

하중으로 인해 시편이 받는 응력은 다음과 같다.

$$\sigma = \frac{Mc}{I}, \text{ where } M: \text{ 굽힘 모멘트, } c: \text{ 중립선으로 부터 최대 거리, } I: 2\text{차 단면 모멘트}$$

다만 고정지지보와 단순지지보의 경우 지지보가 갖는 모멘트가 있기 때문에 최대 응력 모멘트 계산에서 고려해야 한다.

1. 외팔보의 이론 응력 $\sigma = \frac{MC}{I} = \frac{PL\frac{h}{2}}{\frac{1}{12}bh^3}$
2. 단순지지보의 이론 응력 $\sigma = \frac{MC}{I} = \frac{\frac{PL}{4}\frac{h}{2}}{\frac{1}{12}bh^3}$
3. 고정지지보의 이론 응력 $\sigma = \frac{MC}{I} = \frac{\frac{PL}{8}\frac{h}{2}}{\frac{1}{12}bh^3}$

표 2 경계조건 실험 결과

경계 조건	실험 값 [mm]	이론 값 [mm]	절대 오차 [mm]	상대 오차 [%]	(이론) 응력 [MPa]
외팔보	4.76	4.39	0.37	8.43	45.2
단순지지보	2.62	2.54	0.08	3.15	37.7
고정지지보	1.29	0.64	0.65	101.6	18.8

3.2 재료비교 실험

시편의 너비와 높이 또 그로 인한 2차 단면 모멘트는 표 3과 같다. 또한 탄성계수와 항복강도는 표 1에 표기하였다.

사각 단면을 갖는 재료의 2차 단면 모멘트 공식은 다음과 같다.

$$I = \frac{1}{12}bh^3$$

표 3 시편의 크기 규격

시편 재료	너비(b) [mm]	높이(h) [mm]	단면모멘트 [mm^4]
Stainless Steel SUS304	19.07	3.20	52.07
Brass C21000 OSO50 Temper	19.00	3.23	53.36
Aluminum 6061-T6	19.11	3.16	50.25



그림 4 스테인레스 강의 너비 측정

시편 중앙에 하중을 받는 단순지지보(Simple support)의 최대 처짐량은 $\delta_{max} = -\frac{PL^3}{48EI}$ 로 기술한다. 표 3에서 계산한 재료의 단면모멘트와 하중을 바탕으로 최대 처짐량의 이론 값과 실험 값을 비교하였다.

또한 이론 응력 공식은 단순지지보이기에 $\sigma = \frac{MC}{I} = \frac{(\frac{PL}{4}) \frac{h}{2}}{\frac{1}{12}bh^3}$ 공식을 쓴다.

시편 재료에 따른 실험 결과는 표 4와 같다.

표 4 시편 재료에 따른 실험결과

시편 재료	실험 값 [mm]	이론 값 [mm]	절대 오차 [mm]	상대 오차 [%]	이론 응력 [MPa]
Stainless Steel SUS304	2.62	2.54	0.08	3.15	37.7
Brass C21000 OSO50 Temper	5.28	4.56	0.72	15.79	37.1
Aluminum 6061-T6	8.06	7.26	0.8	11.02	38.6

4. Discussions

4.1 경계조건/재료에 따른 처짐량과 응력 값에 대해 논의하라

경계 조건에 따른 처짐량에 대하여 알아보았다. 스테인레스강의 처짐량은 외팔보, 단순지보, 고정지지보 순으로 그 크기가 줄어들었다. 이는 한쪽만 지지하는 외팔보, 양 끝 부분에서 지지하는 단순 지지보, 그리고 양 끝 부분에서 지지하고 또한 반력 모멘트까지 잡을 수 있는(부정정) 고정 지지보 순으로 처진다는 것을 의미한다.

4.2 실험 값과 이론 값과 비교에 대해 비교하라

표 2와 4에서 이론 값과 실험 결과, 두 값의 절대오차 및 이론 값을 참 값으로 가정한 상대오차, 이론 응력을 비교할 수 있다.

4.3 실험 값과 이론 값의 차이에 대해 논의해라

3가지 요소가 시편의 실험 값과 이론 값에 대한 주요한 차이를 빚게 되었다고 판단하였다.

오차의 주요 원인은 경계조건을 만족하지 못했던 실험 조건이다. STR4 제품으로 실험을 할 때 고정된 경계조건을 만족하기는 어렵다. 외팔보와 양단지지보의 경계조건을 만족하려면 외팔보의 경우 한 쪽이, 고정지지보라면 양쪽 끝이 모두 고정(Fixed-end)되어야 한다. 하지만 실험에서는 그림 7처럼 볼트로 고정을 하는 방식으로 실험을 진행한다. 고정단(e.g)이 탄성체이기 때문에 외력에 의해 늘어나 외팔보와 고정지지보는 실험에서 이상적인 고정단(Fixed end)의 역할을 할 수 없었다. 이로 인한 오차가 생겼다.



그림 5 외팔보

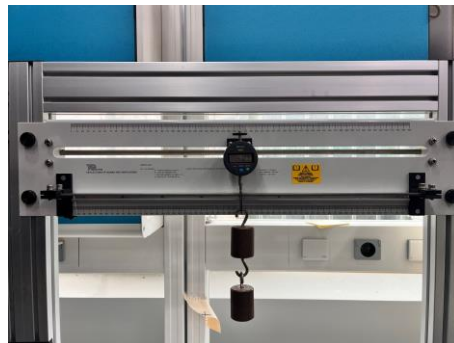


그림 6 양단 지지보

다음으로 같은 시편을 여러 실험에 사용하여 시편의 형상이 변형되고 이로 인한 오차 또한 있다고 생각한다. 여러 번 실험을 진행하였을 때 지지부에서의 초기 처짐 각이 $\theta = 0^\circ$ 을 만족하지 않고 더 많은 각으로 휘어져 있을 가능성에 대해 논하고 또한 이것이 처짐량을 증가시켜 실험 오차를 발생하지 않았는지 이야기할 수 있다.

마지막으로 재료의 처짐에 대하여 한 실험 당 여러 번 측정하지 않고 한번의 측정치만 사용하기 때문에 신뢰성 문제가 있다. 표본의 크기가 적기 때문에 발생하는 불확실성에

대한 추정이 되지 않는다. 따라서 실험 값 측정에서 발생하는 우연 오차, 계통 오차, 과실 오차 등에 대해 어떠한 추정도 되지 않는다.



그림 7 양단 지지보의 경계

5. Conclusion

본 실험에서는 같은 재료에 대하여 경계조건을 달리했을 때 처짐량이 얼마나 바뀌는지와 경계조건이 같은 다른 재료를 썼을 때의 처짐량 차이에 대한 실험이다. 경계조건에 따라 재료가 같아도 그 처짐이 어떻게 달라지는지 보았고, 같은 경계조건이라도 재료가 다르면 그 처짐량이 달라질 수 있다는 것을 배웠다. 또한 실험 조건에 의해 실험 값과 이론 값의 차이가 커질 수 있다는 것을 배웠다. 따라서 더 이론 값에 가까운 실험 값을 내기 위해서는 실험 환경과 재료 구성을 명확하게 준비해야 된다는 것을 배웠다.

재료역학의 공식은 재료가 균질하고 선형성 및 등방성을 모두 만족한다는 전제하에 나온 공식이지만 처짐의 경우 비선형 방정식을 선형화해서 쓴다는 점, 실제 재료는 선형성, 등방성, 균질성 등을 만족하지 않기 때문에 그에 따른 오차 또한 있다는 것을 감안해야 한다.

6. Reference

- Hibbler, R. C., 2015, *Mechanics of Materials*, 10th ed., Pearson Education

7. Appendix