

Main Lab 2: Experiment on Buckling

곽진 21900031

본 좌굴 하중 실험에서 사용할 시편 1과 2의 2차 단면 모멘트는 다음과 같다.

#1의 단면모멘트 $I_1 = 1.25 \times 10^{-12} m^4$

#2의 단면모멘트 $I_2 = 1.67 \times 10^{-12} m^4$

1. Results and Analysis

표 1는 실험에서 측정한 좌굴 하중과 이론 값, 이론 값을 참 값으로 가정한 절대오차와 상대오차를 나타내었다.

이론 좌굴 하중 변환 공식은

$$m_{Cr} = \frac{P_{Cr}}{g} = \frac{C\pi^2 EI}{L^2} \text{이며 } C \text{는 경계조건 계수이다.}$$

표 1 경계조건에 따른 시편의 좌굴 하중

시편 번호	경계 조건	실험 좌굴하중[kg]	이론 좌굴하중[kg]	절대오차[kg]	상대오차 [%]
#1	힌지-힌지	1.764	2.229	0.465	20.9
	힌지-고정	3.858	4.560	0.702	15.4
	고정-고정	5.774	8.915	3.141	35.2
#2	힌지-힌지	2.074	2.497	0.423	16.9
	힌지-고정	4.024	5.109	1.085	21.2
	고정-고정	6.633	9.988	3.355	33.59

2. Discussions

2.1 경계조건에 따른 좌굴 임계하중값을 비교 논의하라

경계 조건에서 고정부가 가질 수 있는 반력의 개수가 많을수록 좌굴하중이 커지는 것을 확인할 수 있었다. 먼저 힌지의 경우 F_x , F_y 의 반력이 있고 고정부(Fixed end)는 F_x , F_y , M 의 반력이 있다. 따라서 고정부일 때 빔이 받는 굽힘 모멘트를 억제할 수 있기 때문에 경계조건이 힌지일 때 보다 더 큰 좌굴하중을 갖는다. 따라서 힌지-힌지, 고정-힌지, 고정-고정 순으로 두 경계조건의 반력의 개수가 많아질 수록 좌굴 하중이 커지는 것을 실험을 통해 알 수 있었다.

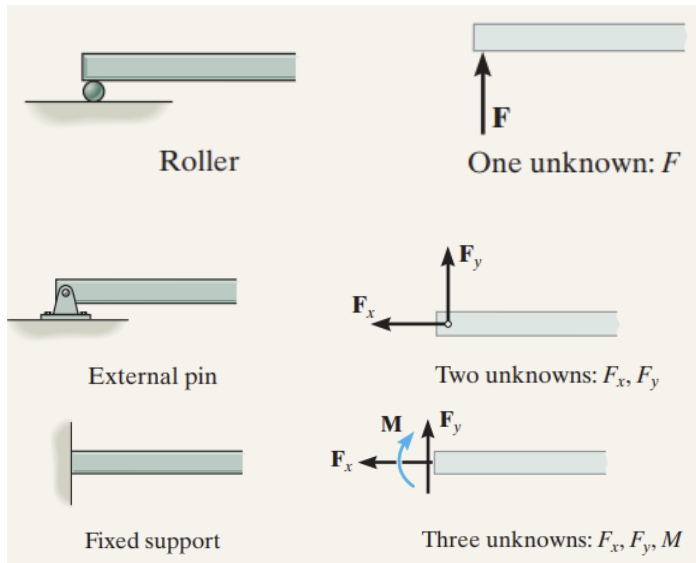


그림 1 고정-힌지

2.2 좌굴 임계하중의 실험 값과 이론 값의 차이를 비교 논의해라

실험 값과 이론 값은 경계조건에 따라서 그 오차 또한 상이했다. 힌지-힌지, 힌지-고정 경계조건에서 상대 오차는 20% 내외였지만, 고정-고정 경계조건에서 이론

값과 실험 값의 상대 오차는 약 30% 이상을 나타냈다. 또한 모든 실험 값이 그에 해당하는 이론 좌굴 임계하중보다 적게 측정되었다. 이러한 오차의 주된 원인에 대해 정리해보았다.

가장 큰 문제점은 고정단(Fixed end)에 해당하는 이상적인 실험 조건을 만족할 수 없어 작아진 실험 값이다. 고정단은 반력 모멘트가 있어 좌굴을 억제할 수 있지만, 이상적인 고정단의 역할을 실험에서는 해줄 수 없기 때문에 실험 값이 이론 값보다 33~35% 적게 나타났다.

두번째 이유로는 하중이 작용할 때 모멘트 또한 받는다는 점에 있어 기인하여 오차 값이 생긴다는 점이다. 좌굴은 축방향 압축력을 받을 때 횡방향 소성변형이 일어나는 것을 의미한다. 따라서 좌굴 임계하중에 대해 측정할 때, 축방향으로만 힘을 가해야 하지만 상부 베이스위에 하중(무게 추)이 불균형하게 분포되지 않은 점에 따라서 상부 베이스는 빔에 대해 모멘트를 발생시킨다.

다음 이유로 빔이 수직으로 설치하였는지 여부이다. 정확히 수직이 아닐 경우 하중이 축방향과 횡방향으로 동시에 가해지고, 횡방향 힘에 의한 토크로 굽힘 응력이 작용한다. 이로 인하여 시편이 횡방향 변형에 더 취약해져 좌굴 하중이 줄어드는 결과가 나온다.

무게 추의 무게가 다양하지 않아 임계하중에 근접하였을 때의 정밀도가 떨어진다는 점도 오차 원인이다. 하중에 대한 해상도가 떨어지기 때문에 실험의 오차 또한 존재할 수밖에 없다.



그림 2 좌굴 임계하중을 받는 시편

3. Conclusion

이번 실험에서는 시편의 너비와 길이에 따른 좌굴 실험을 통해 각 경계조건에 따른 임계하중을 측정해보았다. 경계조건을 달리함으로써 각 경계조건에서 발생하는 반력의 개수가 달라지고 그에 따라 임계하중이 달라짐을 배울 수 있었다.

4. Reference

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

5. Appendix

좌굴 실험에서 사용할 실험 장비는 스마트 제어 계측사(SMARTC&S)의 ST-C제품(그림 1 참조)을 사용하였다.

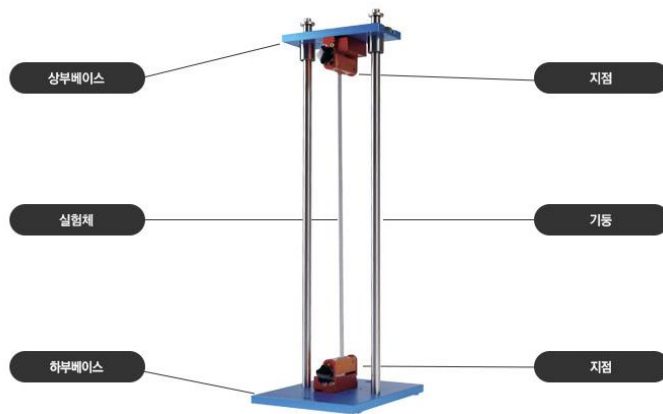


그림 3 Buckling experiment equipment (ST-C)

ST-C 실험 가능 여부	가능 (고정-고정)	가능 (힌지-고정)	불가능 (롤러-고정)	가능 (힌지-힌지)	불가능 (자유-고정)	불가능 (롤러-힌지)
제단조건 (점선은 좌굴모드)						
K의 이론값	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
K의 설계값	0.65	0.8	1.2	1.0	2.1	2.0
기호설명	 	회전구속, 이동구속 회전자유, 이동구속 회전구속, 이동자유 회전자유, 이동자유				

그림 4 본 장비로 구현 가능한 좌굴 경계조건

본 실험에서 사용한 시편은 스테인레스 강이며 스테인레스 강에 대한 물성치는 표 2과 같다.

표 2 스테인레스 강의 주요 물성치

탄성계수 [GPa]	포아송비	밀도 [kg/m^3]	항복강도 [MPa]	인장강도 [MPa]
193	0.29	8000	215	505

또한 시편에 따른 길이와 너비 두께 등은 다음과 같다.

표 3 시편의 크기 규격

	길이 [mm]	너비 [mm]	두께 [mm]
시편 #1	330	15	1

시편 #2	360	20	1
-------	-----	----	---



그림 1 좌굴 장비와 좌굴로 인하여 소성변형된 시편

좌굴 임계하중은 $P_{Cr} = C \frac{\pi^2 EI}{L^2}$ 이며 C값은 축의 두 끝단의 경계조건에 의해 결정된다.

표 4 경계조건에 따른 C 계수 값

경계조건	C 계수 값
Pin to Pin	1
Fixed to free	1/4
Fixed to Fixed	4
Fixed-Pin	2.046