

토크의 평형

1. 실험 목적

물체가 역학적 평형을 유지할 때 물체가 받는 토크의 합이 0이 되어야 함을 이해한다.

2. 이론

어떤 강체가 평형 상태에 있으려면, 다음의 두 조건을 만족해야 한다.

1. 물체에 작용하는 알짜 외력이 0이어야 한다.

$$\sum_i \vec{F} = 0 \quad (1)$$

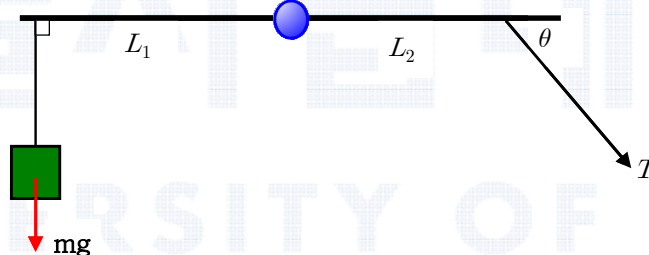
2. 어떤 축에 관해서든 물체에 작용하는 알짜 외부 토크가 0이어야 한다.

$$\sum_i \vec{\tau} = 0 \quad (2)$$

각 평형 조건은 벡터식이므로 성분별로도 성립해야 한다.

첫 번째 조건은 병진 평형에 대한 것이다. 이는 관성 기준틀에서 볼 때, 물체의 질량 중심의 병진 가속도가 반드시 0이어야 한다는 뜻이다. 두 번째 조건은 회전 평형에 관한 표현으로서, 어떤 축에 대해서라도 각가속도가 반드시 0이 되어야 한다는 뜻이다.

정적 평형(static equilibrium)에서는 물체가 관측자에 대하여 정지해 있다는 조건이 식 (1), (2) 이외에 더 필요하며, 이 때 물체는 병진 속력과 각속력을 갖지 않는다.



[그림 1] 토크의 평형 실험장치의 구성

본 실험에서는 회전 평형에 관한 (2)식이 성립하는지 확인하는 실험을 수행한다. 실험에서 사용하는 실험장치의 구성을 간략히 표현하면 [그림 1]과 같으며, 이 경우에 평형 조건을 적용하면 다음과 같다.

$$\sum_i \tau = \sum_i rF \sin \theta = mgL_1 \sin 90^\circ - TL_2 \sin \theta = 0 \quad (3)$$

3. 실험장치

		
<p>실험장치세트</p>	<p>실험판</p>	<p>각도판</p>
		
<p>평형막대(평균대)</p>	<p>토크 휠 지시기</p>	<p>용수철 저울</p>
		
<p>토크 휠</p>	<p>도르래(3개)</p>	<p>추걸이와 추 세트</p>

4. 실험절차

※ 반드시 모든 물품, 부품을 자기 자리에서만 사용할 것

1. 두 토크의 평형

(1) 용수철 저울을 실험판에 수직으로 부착한 후, 용수철 저울의 용수철 상수(k)를 구한다.

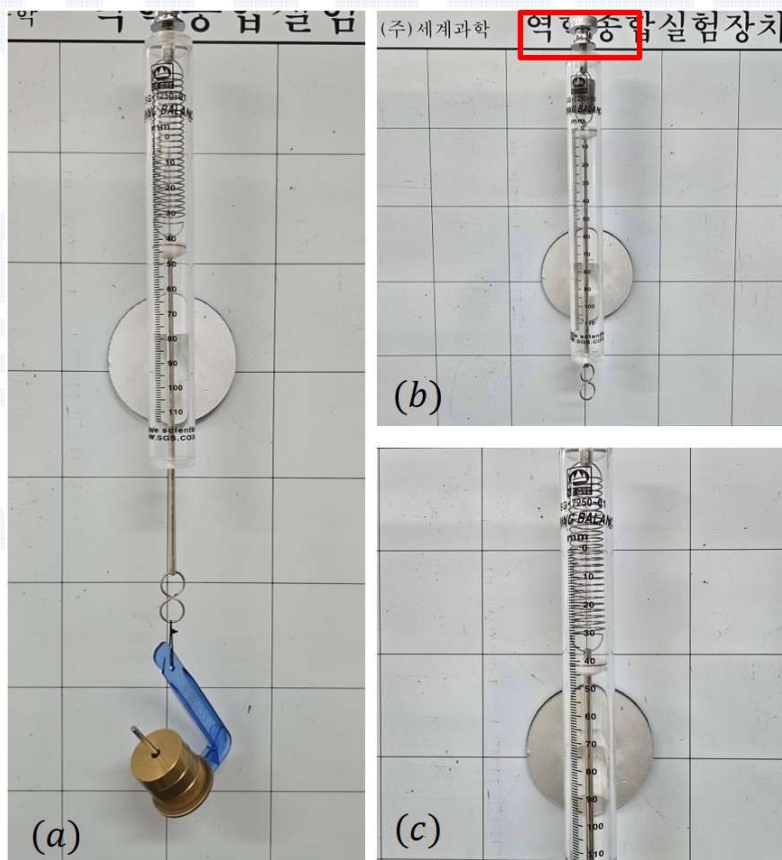
(a) [그림 2] - (a)처럼 추걸이와 추를 함께 매달아 늘어난 길이를 측정하여 용수철 상수를 구할 수 있다.

(b) [그림 2] - (b)에서 아무것도 매달지 않은 상태에서 용수철 저울의 눈금값이 0을 가리키도록 조절나사(빨간색박스)를 돌려 조절한다.

(c) [그림 2] - (c)에서 추걸이와 추를 함께 매달았을 때 용수철 저울의 눈금값 x 를 읽는다.

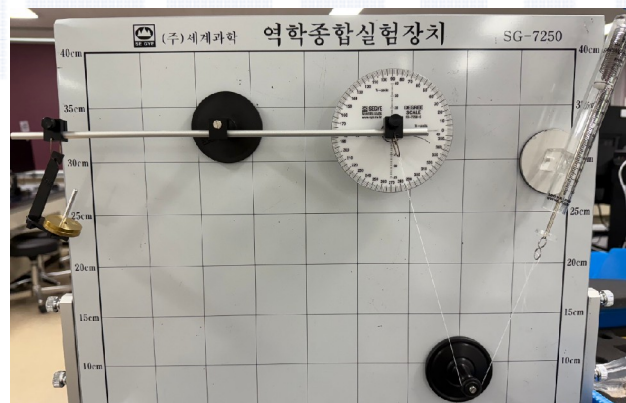
(d) 추걸이와 추의 질량을 m 이라 하면, $mg = kx$ 를 이용하여, 용수철 상수 $k = \frac{F}{x}$ 를 구할 수 있다.

** 본 실험에서 용수철 상수에 늘어난 길이 눈금을 곱하여 힘을 측정할 것이다.



[그림 2] 용수철 상수 구하기

- (2) 평형막대의 양쪽에 고리를 삽입하고 평형이 되도록 중심을 조절한다.
- (3) 평형 레버의 회전축에서 왼쪽 고리까지의 길이(L_1)와 오른쪽 고리까지의 길이(L_2)를 측정한다.
- (4) 평형 막대의 오른쪽 고리에 각도계의 중심이 위치하도록 각도계를 설치한다.
- (5) 오른쪽 고리와 용수철 저울을 도르래를 통해 실로 연결한다. 이 때 각도계의 수직선과 연결된 실이 임의의 각(θ)을 이루도록 한다.
- (6) 왼쪽 고리에 추걸이를 연결하고 적당한 질량의 추(m)를 매단다.
- (7) 용수철 저울의 위치와 실의 각도를 조정하여 평형막대가 다시 평형이 되도록 한 후, 용수철 저울의 눈금을 읽어 장력($T=kx$)을 결정한다.



[그림 3] 두 토크의 평형

- (8) 평형 막대의 오른쪽 고리에 연결된 실이 수평 방향과 이루는 각 θ 를 측정한다.
- (9) 평형 조건인 식 (3)이 성립하는지 확인한다.
- (10) 각도(θ)와 왼쪽 고리까지의 길이(L_1)를 고정하고 왼쪽 고리의 질량(m)을 달리하면서 위 절차를 5회 반복하여 그 결과를 표 5.1에 정리한다.
- (11) m 과 θ 를 고정하고 L_1 을 바꾸면서 위 절차를 5회 반복하여 그 결과를 표 5.1에 정리한다.
- (12) m 과 L_1 을 고정하고 θ 를 바꾸면서 위 절차를 5회 반복하여 그 결과를 표 5.1에 정리한다.

**매 실험에서 도르래에 연결된 실과 용수철 저울이 평행한지 확인해야 한다.

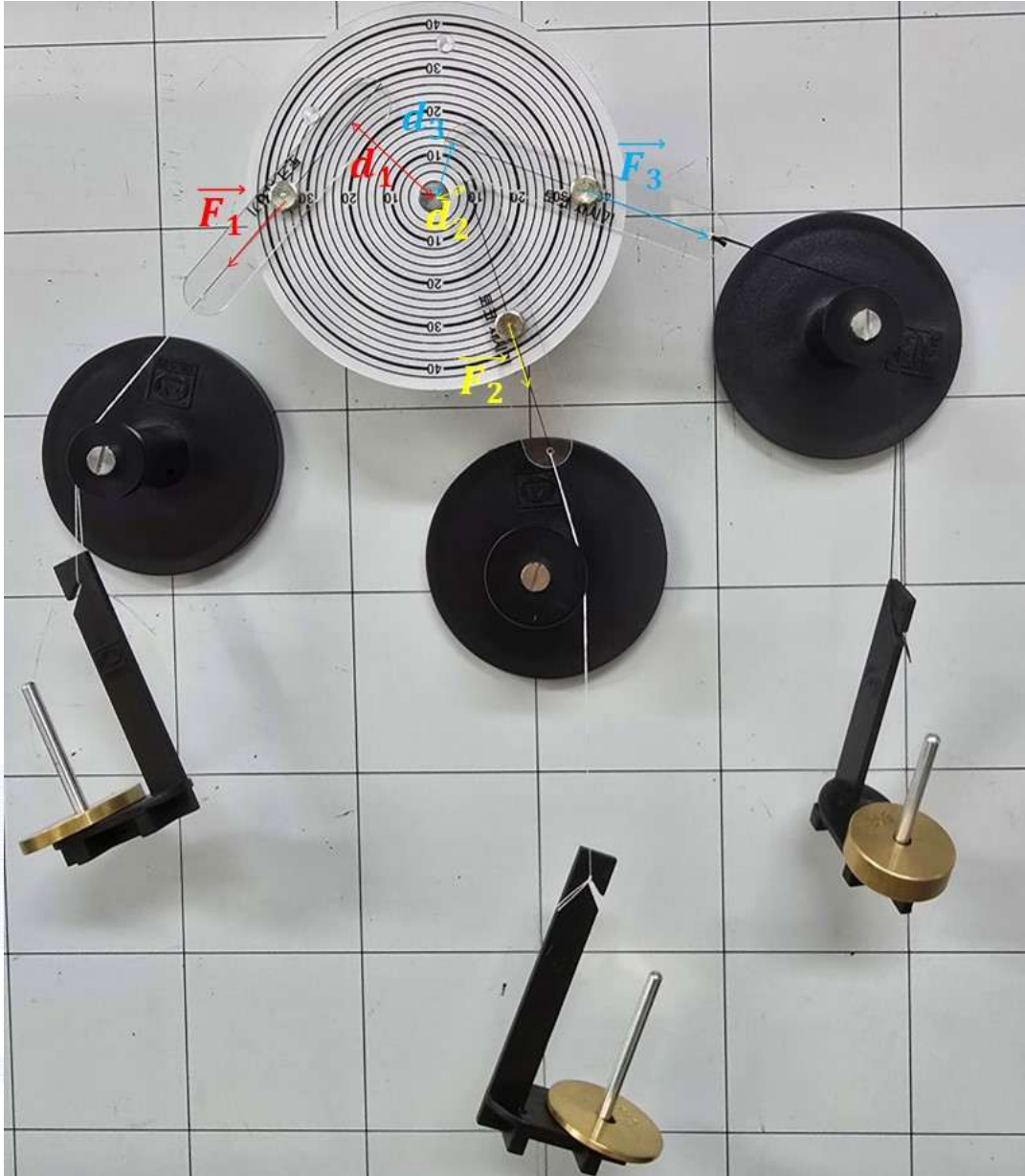
2. 세 토크의 평형

- (1) 3개의 도르래를 이용하여 토크 휠에 토크 휠 지시기를 [그림 4]와 같이 매단다. 토크 휠 지시기는 토크 휠에 있는 5개의 구멍 중 임의의 세 곳에 둔다.
** 토크 휠 지시기를 토크 휠에 제대로 연결하지 않으면 오차가 커질 뿐 아니라 장치가 부러질 위험이 있다.
- (2) 세 가지 무게의 추를 달고 평형 조건이 성립하는지 확인한다. 이 때 토크 휠을 반시계 방향으로 회전시키려는 토크의 합을 $\vec{\tau}_+$, 시계방향으로 회전시키려는 토크의 합을 $\vec{\tau}_-$ 로 표현하고, $\vec{\tau}_+ + \vec{\tau}_- = 0$ (즉, $|\vec{\tau}_+| = |\vec{\tau}_-|$)인지 확인한다.

** [그림4]를 예로 들면, $\tau_+ = F_1d_1$, $\tau_- = -F_2d_2 - F_3d_3$ 이다.

(3) 질량이 다른 추를 사용하여 위의 실험을 3회 이상 반복한다.

(4) 토크 휠 지시기의 위치를 바꾸면서 위의 실험을 3회 이상 반복한다.



[그림 4] 세 토크의 평형 실험

※유의 사항

1. 무리한 힘을 가하면 장치가 부러질 수 있습니다.
2. 오차의 계산은 어느 한 쪽 방향의 토크를 기준값으로 삼아서 퍼센트 오차를 계산한다.

5. 측정 결과

학과/분반		실험 일시	
실험 조		작성자	

5.1 두 토크의 평형

용수철 상수 $k =$ _____ N/m

	1	2	3	4	5
무게(mg)					
길이(L_1)					
용수철저울(T)					
길이(L_2)					
각 θ					
토크 1(mgL_1)					
토크 2($TL_2 \sin\theta$)					
차이값($\Delta\tau$)					
오차(%) ⁽¹⁾					
	1	2	3	4	5
무게(mg)					
길이(L_1)					
용수철저울(T)					
길이(L_2)					
각 θ					
토크 1(mgL_1)					
토크 2($TL_2 \sin\theta$)					
차이값($\Delta\tau$)					
오차(%)					
	1	2	3	4	5
무게(mg)					
길이(L_1)					
용수철저울(T)					
길이(L_2)					
각 θ					
토크 1(mgL_1)					
토크 2($TL_2 \sin\theta$)					
차이값($\Delta\tau$)					
오차(%)					

주 (1); 오차(%) = $\frac{\text{차이값}}{\text{토크1}} = \frac{\Delta\tau}{mgL_1} \times 100$

5.2 세 토크의 평형

	m_1	d_1	m_2	d_2	m_3	d_3	τ_+	τ_-	$ \tau_+ - \tau_- $	오차(%) ⁽²⁾
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

주 (2); 오차(%) = $\frac{|\tau_+ - \tau_-|}{\tau_+} \times 100 = \frac{\Delta\tau}{\tau_+} \times 100$

6. 결과 분석 및 오차 논의

※ 아래의 질문에 답하는 것이 보고서의 전부는 아닙니다. 여기에 있는 질문은 단지 보고서를 작성할 때 도움을 주기 위한 것입니다.

1. 표 5.1의 결과를 그래프로 정리하여 토크에 기여하는 요소와 그들 사이의 관계를 생각해 보자.
2. 표 5.2의 결과로부터 무엇을 알 수 있는가?
3. 오차에 기여한 요소들을 기여도에 따라 나열하고 설명하시오.