

# 토크의 평형

## 1. 실험 목적

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

## 2. 이론

입자에 대한 평형 조건은 입자에 작용하는 알짜힘이 0이어야 한다는 것이다. 그러나 크기가 있는 강체의 경우에는 알짜힘이 0이어도 평형 상태가 아닐 수 있다. 강체를 구성하는 각 입자에 작용하는 힘들의 벡터 합이 0이라 하더라도, 각 힘이 강체에 작용하는 토크는 0이 아닐 수 있다. 토크의 합이 0이 아니면 강체는 각가속도를 갖고 회전 운동을 하게 된다. 따라서 강체의 경우에는 계에 작용하는 각 토크의 합도 0이어야 한다.

어떤 강체가 평형 상태에 있으려면 다음 필요조건을 만족해야 한다.

1. 물체에 작용하는 알짜 외력이 0이어야 한다.

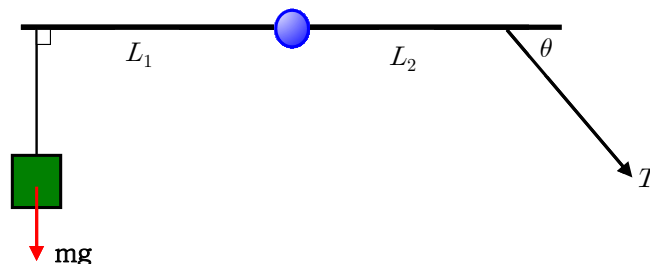
$$\sum_i \vec{F} = 0 \quad (1)$$

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.

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 style="text-align: center;">평형막대</p> 	 
<p style="text-align: center;">실험장치세트</p>	<p style="text-align: center;">토크 휠 지시기</p>	<p style="text-align: center;">각도계와 스프링 저울</p>
		
<p style="text-align: center;">토크 휠</p>	<p style="text-align: center;">도르래(3개)</p>	<p style="text-align: center;">추걸이와 추 세트</p>

### 4. 실험절차

#### 4.1 두 토크의 평형

1. 실험판을 조립하고 용수철저울을 실험판에 수직으로 부착한 후 용수철저울의 오차를 보정한다.
  - ① 아무 것도 매달지 않은 상태에서 용수철저울의 지시기가 0을 가리키는지 확인하고, 필요한 경우 조정한다.
  - ② 100g의 추를 추걸이와 함께 매달아 105g을 가리키는지 확인한다. 이 때 용수철저울이 수직으로 위치해야 한다. 용수철저울에는 질량을 나타내는 눈금과 길이를 나타내는 눈금이 함께 있으므로, 눈금을 잘 확인해야 한다.
  - ③ 만약 정확한 질량을 가리키지 않는 경우, 늘어난 길이를 측정하여 힘상수( $k = F/x$ )를 구한다. 후속 실험에서 용수철저울의 눈금(길이)에 힘상수를 곱하여 힘을 측정한다.
2. 평형막대의 양쪽에 고리를 삽입하고 평형이 되도록 중심을 조절한다.
3. 평형레버의 회전축에서 왼쪽 고리까지의 길이( $L_1$ )와 오른쪽 고리까지의 길이( $L_2$ )를 측정한다.

4. 평형막대의 오른쪽 고리에 각도계의 중심이 위치하도록 각도계를 설치한다. 각도계의 수직축은 0도를 가리키도록 한다.
5. 오른쪽 고리와 용수철저울을 도르래를 통해 실로 연결한다. 이 때 각도계의 수직축과 연결된 실이 임의의 각을 이루도록 한다.
6. 왼쪽 고리에 추걸이를 연결하고 적당한 질량( $m$ )의 추를 매단다.
7. 용수철저울의 위치와 실의 각도를 조정하여 평형막대가 다시 평형이 되도록 한 후 용수철저울의 눈금을 읽어서 실의 장력( $T = mg$  or  $T = kx$ )을 결정한다. (그림 2를 참조하십시오.)



[그림 2] 두 토크의 평형

이 때 용수철저울이 연결된 줄과 일직선을 이루도록 용수철저울의 방향을 조정해야 용수철저울이 올바른 눈금을 표시할 수 있다.

8. 평형막대의 오른쪽 고리에 연결된 실이 수평방향과 이루는 각  $\theta$ 를 측정한다.
9. 평형 조건인 (3)식이 성립하는지 확인한다.
10. 왼쪽 고리의 질량을 달리하면서 위의 절차를 반복하고, 그 결과를 표 5.1의 첫 번째 실험 세트에 정리한다.
11. 왼쪽 고리의 질량  $m$ 과 각  $\theta$ 를 고정하고  $L_1$ 을 바꾸면서 위의 절차를 반복한다. 그 결과를 표 5.1의 두 번째 실험 세트에 정리한다.
12. 왼쪽 고리의 질량  $m$ 과  $L_1$ 을 고정하고 각  $\theta$ 를 변화시키면서 위의 절차를 반복한다. 그 결과를 표 5.1의 세 번째 실험 세트에 정리한다.
13. 두 토크의 평형 실험이 끝난 후 도르래를 제외한 장치들은 패널의 한쪽 편에 영키지 않도록 모아둔다.

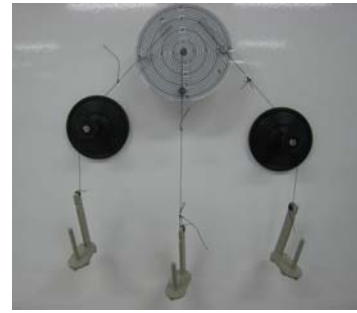
## 4.2 세 토크의 평형

1. 3개의 도르래를 이용하여 토크 휠에 토크 휠 지시기와 추걸이를 오른쪽 [그림 3]과 같이 매단다. 토크 휠 지시기는 토크 휠에 있는 5개의 구멍 중 임의의 세 곳에 둔다.

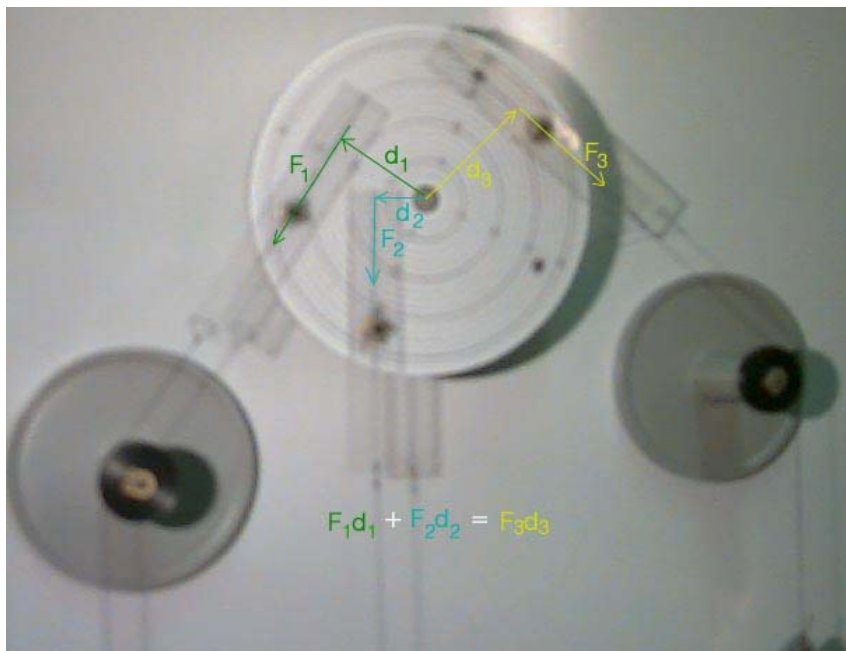
토크 휠 지시기를 토크 휠에 제대로 연결하지 않으면 오차가 커질 뿐만 아니라 장치가

부러질 위험이 있다.

2. 세 가지 무게의 추를 달고 평형 조건이 성립하는지 확인한다. 이 때 토크 휠을 반시계방향으로 회전시키려는 토크의 합을  $\vec{\tau}_+$ , 시계방향으로 회전시키려는 토크의 합을  $\vec{\tau}_-$ 로 표현하고,  $\vec{\tau}_+ + \vec{\tau}_- = 0$  (즉,  $|\tau_+| = |\tau_-|$ )인지 확인한다.
3. 질량이 다른 추를 사용하여 위의 절차를 3회 이상 반복한다.
4. 토크 휠 지시기의 위치를 바꾸면서도 실험을 3회 이상 반복한다.



[그림 3] 장치 설정



[그림 4] 토크의 계산

## ※유의 사항

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

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

## 5. 측정 결과

학과/분반		실험 일시	
실험 조		작성자	

### 5.1 두 토크의 평형

	1	2	3	4	5
무게(mg)=					
길이(L <sub>1</sub> )					
용수철저울(T)					
길이(L <sub>2</sub> )					
각 θ					
토크 1(mgL <sub>1</sub> )					
토크 2(TL <sub>2</sub> sinθ)					
차이값(Δτ)					
오차(%) <sup>(1)</sup>					
무게(mg)=	1	2	3	4	5
길이(L <sub>1</sub> )					
용수철저울(T)					
길이(L <sub>2</sub> )					
각 θ					
토크 1(mgL <sub>1</sub> )					
토크 2(TL <sub>2</sub> sinθ)					
차이값(Δτ)					
오차(%)					
무게(mg)=	1	2	3	4	5
길이(L <sub>1</sub> )					
용수철저울(T)					
길이(L <sub>2</sub> )					
각 θ					
토크 1(mgL <sub>1</sub> )					
토크 2(TL <sub>2</sub> sinθ)					
차이값(Δτ)					
오차(%)					

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

## 5.2 세 토크의 평형

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

## 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.

## 7. 결론