

실험 3. 힘의 평형

1. 목 적

힘의 벡터 합성과 분해 그리고 여러 힘의 평형 조건을 실험한다.

2. 원 리

물체의 평형상태라 함은 물체가 원래의 상태를 변함없이 계속 유지하고 있는 것을 의미하며, 정지상태, 등속직선 운동상태, 등속회전 운동상태 등의 모든 경우를 뜻한다. 따라서, 여러 힘을 받고 있는 물체가 평형상태에 있으려면 다음과 같은 두 가지 조건이 필요하다.

평형상태의 조건은

- (1) 제 1 평형조건: 선형적인 평형상태, 즉 정지 또는 등속직선 운동상태를 유지하기 위해서는 모든 외력의 합이 0 이 되어야 한다. 이를 수식으로 나타내면,

$$\sum F = 0$$

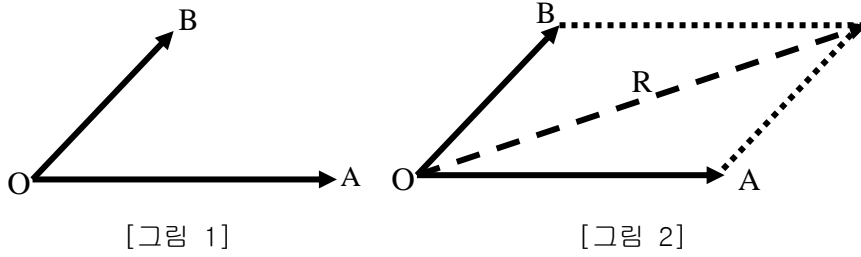
- (2) 제 2 평형조건: 회전적인 평형상태, 즉 정지 또는 등속회전 운동상태를 유지하기 위해서는 임의의 축에 관한 모든 힘의 모멘트, 즉 토크의 합이 0 이 되어야 한다. 이를 수식으로 나타내면,

$$\sum \tau = 0$$

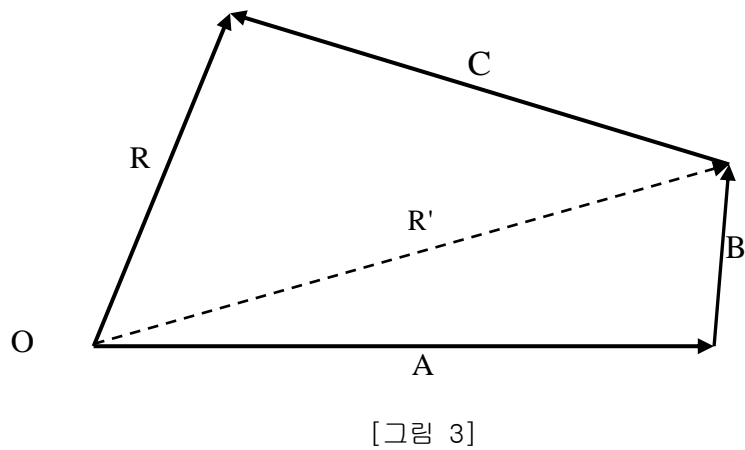
이 실험에서는 질점(질량 중심점)의 평형상태를 다루므로, 제 1 평형조건만 만족하면 된다. 그리고 문제를 간단히 하기 위해서 모든 힘이 한 평면상에서 작용하도록 하였다. 한편, 벡터 합을 구하는 데는 도식법(또는 작도법)과 해석법이 있다.

1) 도식법에 의한 벡터합성

[그림 1]과 같은 **OA** 와 **OB** 의 합을 구해보자. 이들의 벡터합 또는 합력 **R** 은 [그림 2]와 같이 두 벡터를 한 쌍의 변으로 하는 평행사변형을 그려서 두 벡터가 만나는 점으로부터 평행사변형의 대각선을 그림으로써 구한다. 이 대각선 벡터 **R** 은 두 벡터의 합으로써 합력의 크기와 방향을 나타낸다.



두 개 이상의 벡터들의 합력을 구할 때는 다각형법을 사용하는데, 이것을 [그림 3]에서 보여주고 있다. 처음에 벡터 **A**의 화살표 끝에서 벡터 **B**를 그린다. 점 **O**에서 벡터 **B**의 작용점을 이으면 벡터 **A**와 벡터 **B**의 합력인 **R'**이 된다. 다시 벡터 **A**의 작용점과 벡터 **B**의 화살표 끝에서 다시 벡터 **C**를 그렸을 때 벡터 **A**의 시작점으로부터 벡터 **C**의 끝을 연결한 벡터 **R**은 벡터 **A**, **B**, **C**의 합이 된다. 같은 방법으로 여러 개의 벡터합을 구할 수 있다.



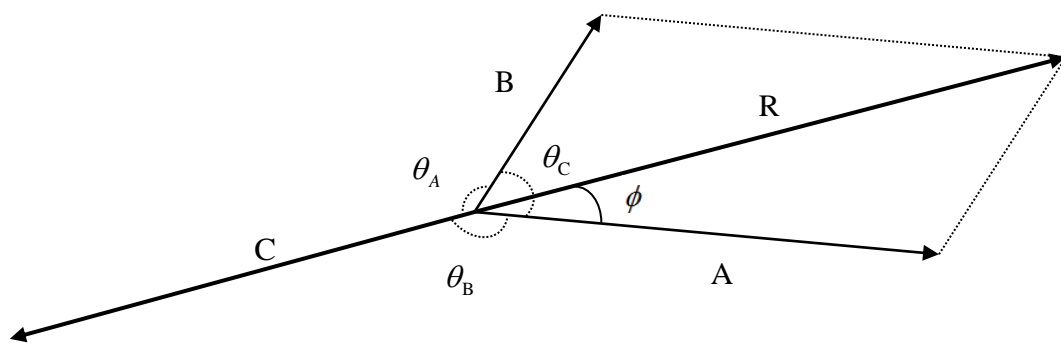
2) 해석법

두 벡터의 합은 **sine**과 **cosine**의 삼각법칙을 이용하여 해석적으로 구할 수 있다. [그림 4]와 같이 두 벡터 **A**, **B**를 생각하자. 이 그림에서 합력 **R**의 크기는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$|R| = \sqrt{|A|^2 + |B|^2 + 2|A||B|\cos\theta_c}$$

이 때 각 ϕ 는

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{|B| \sin \theta_c}{|A| + |B| \cos \theta_c} \right)$$



[그림 4]

3. 기구와 장치

| 기구와 장치 | Equipment | 수량 | 비고 |
|-------------|--------------------------|----|-------|
| 힘의평형 | Super Pulley Force Table | 1 | |
| 도르래 | Pulley | 3 | |
| 추 | Mass Set | 1 | 공통 사용 |
| 추걸이 | Mass Hanger | 1 | 공통 사용 |
| 수평계 | Level | 1 | 공통 사용 |
| 실 | String | 1 | 공통 사용 |
| 방안지 (학생준비물) | | | |

4. 실험 방법

- “질량”을 고정하고 하는 실험

(1) [그림 5] 와 같이 합성대 밑에 위치한 조절나사를 이용해서 합성대의 수평을 맞춘다.

- 주의 : 조절나사를 잘못 사용하면 힘의 합성대가 파손됩니다. 주의하십시오

(2) 합성대에 각 0° , 120° , 240° 에 각각의 도르래를 설치하고 추걸이를 설치한다. 3개의 추걸이가 수평을 이루는지 확인한다.

- Tip 1: 설치가 끝난 후 중앙의 가락지를 통겨서 다시 수평으로 돌아오는지 확인한다.

- Tip 2: 가락지에 실이 너무 껍 조이지 않게 묶는다.

☞ 왜 이런 것을 주의해야 하는지 조원들과 토의 해본다.

(3) 도르래의 높이를 조절해서 실과 합성기 표면이 서로 닿지 않게 한다.

(4) 도르래 A, B, C 에 임의의 질량을 올려 놓고 난 후, 그 질량값을 표에 기입하고 도르래 A, B, C를 움직여서 수평을 맞춘다.

- 주의 : 질량을 올리기 전 평형이 가능한지 생각할 것!

(A=100g, B=40g, C=40g으로 올리고서 안된다고 하지 마세요.)

- Tip 3: 중앙의 가락지를 빼지 않은 상태로 도르래를 움직인다. 도르래에 매달려 있는 추걸이가 심하게 움직이지 않도록 주의한다.
 ☞ 추걸이가 흔들리지 않도록 주의해야 하는 이유를 생각해 보자.

(5) 중앙의 가락지를 조금 움직여서 평행이 되었는지 확인한다.

☞ 평행을 확인하는 기준을 조원들과 상의해 보자.

(6) 평행이 되었으면, θ_A , θ_B , θ_C 를 기록한다.

- (7) 실험을 마치고 작도법을 통해서 얻은 값과 과 이론값을 구해서 실험값과 비교한다.
- 작도법은 방안을 사용해서 계산해야 합니다.



[그림 5]

- “각도”를 고정하고 하는 실험

(1) [그림 5]와 같이 합성대 밑에 위치한 조정나사를 이용해서 합성대의 수평을 맞춘다.

(2) 도르래 A, B, C의 θ_A , θ_B , θ_C 를 임의로 정하고, 그 값을 표에 기입하고 도르래 A, B, C에 질량을 더해가면서 수평을 맞춘다.

Tip 4: 질량의 미세조정은 클립을 사용한다.

(3) 중앙의 가락지를 조금 움직여서 평행이 되었는지 확인한다.

☞ 평행을 확인하는 기준을 조원들과 상의해 보자.

(4) 평행이 되었으면 m_A , m_B , m_C 를 기록한다.

(5) 실험을 마치고 작도법을 통해서 얻은 값과 이론값을 구해서 실험값과 비교한다.

5. 실험 결과

- 질량 고정

| | 질량 (고정) | | | 각 (측정) | | | 각 (이론) | | | 각 (작도) | | | 오차 (θ_C) |
|---|---------|-------|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------------------|
| | m_A | m_B | m_C | θ_A | θ_B | θ_C | θ_A | θ_B | θ_C | θ_A | θ_B | θ_C | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | |

- 각도 고정

| | 각 (고정) | | | 질량 (측정) | | | 질량 (이론) | | | 질량 (작도) | | | 오차 (m_C) |
|---|------------|------------|------------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|-----------------|
| | θ_A | θ_B | θ_C | m_A | m_B | m_C | m_A | m_B | m_C | m_A | m_B | m_C | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | |

6. 질문

1. 합성대를 수평으로 하지 않고, 실험을 하게 되었을 때, 분석이 곤란해지는 이유는 무엇인가?
2. 실험으로 측정한 값을 측정법이라 한다. 작도법으로 측정한 값과 오차가 생기는 이유는 무엇인가?