# 기초역학실험(힘의평형)

## 서론

Newton의 제 2법칙으로 표현되는 힘의 성질을 실험을 통해 이해하고 이를 경사면, 도르래 등의 간단한 역학계에 응용하여 본다.

## 이론

물체가 평형상태에 있다는 것은 그 물체가 외부로부터 힘을 받지 않아서 그 상태를 유지하고 있는 것을 의미한다. 이러한 경우는 정지상태, 등속직선 운동상태, 등속회전 운동상태 등의 모든 경우를 뜻한다.

힘은 크기와 방향을 갖는 벡터량이다. 이 벡터로 나타내지는 힘의 합성은 임의의 물체에 여러개의 힘이 작용할 때 여러 개의 힘이 동시에 작용하여 나타나는 것을 하나의 힘으로 표현하기 위한 것이고, 반면 힘의 분해란 물체에 하나의 힘이 작용하는 것을 여러 개의 힘으로 나누어 표현하기 위한 것이다.  따라서, 여러 힘을 받고 있는 물체가 있는 평형상태에 있으려면 다음과 같은 두 가지 조건이 필요하다.

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

$$\sum \overrightarrow{F} = 0 \qquad (1)$$

이 된다.

**(2) 제 2평형조건** : 회전적인(동역학적) 평형상태, 즉 정지 또는 등속직선 운동상태를 유지하기 위해서는 임의의 축에 관한 모든 힘의 모멘트, 즉 토오크($\overrightarrow{\tau}$)의 합이 0이 되어야 한다. 이를 수식으로 나타내면

$$\sum \overrightarrow{\tau} = 0 \qquad (2)$$

이 된다.

이 실험에서는 질량중심의 평형상태를 다루므로, 제1 평형조건만 만족하면 된다. 그리고, 문제를 간단히 하기 위해서 모든 힘이 한 평면상에서 작용하도록 하였다. 한편, 벡터의 합을 구하는 데는 기하학적인(작도법)방법과 해석법이 있다.

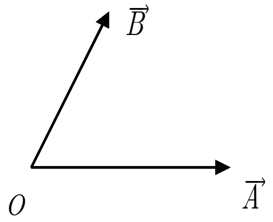


그림 1

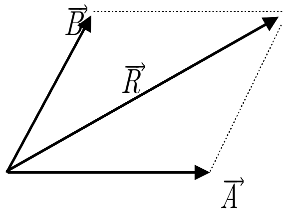


그림 2

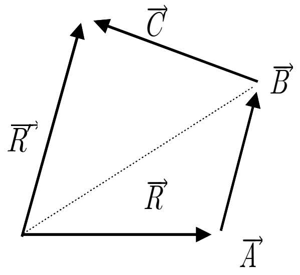


그림 3

**① 기하학적인 방법에 의한 벡터 합성(작도법)**

그림 1과 같은 $\overline{OA}$와 $\overline{OB}$의 합을 구해보면, 이들이 벡터의 합 $\vec{R}$은 그림 2와 같이 두 벡터를 한 쌍의 변으로 하는 평행사변형을 그려서 두 벡터가 만나는 점으로부터 평행사변형의 대각선을 그림으로써 구한다. 이 대각선 벡터 $\vec{R}$은 두 벡터의 합으로써 합력의 크기와 방향을 나타낸다.

두 개 이상의 벡터들의 합력을 구할 때는 그림 3의 다각형법을 이용한다. 처음에 벡터$\vec{A}$의 화살표 끝에서 벡터$\vec{B}$를 그린다. 그리고 $\vec{B}$의 화살표 끝에서 다시 벡터 $\vec{C}$를 그렸을 때 벡터$\vec{A}$의 시작점으로부터 벡터 $\vec{B}$의 끝을 연결한 벡터$\vec{R}$는 벡터 $\vec{A}$와 $\vec{B}$의 합 벡터가 되고 $\vec{A}$벡터의 시작점으로부터 벡터 $\vec{C}$의 끝을 연결한 벡터 $\vec{R'}$는 벡터 $\vec{A}$, $\vec{B}$, $\vec{C}$의 합이 된다. 같은 방법으로 여러 개의 합을 구할 수 있다.

**② 해석법에 의한 합성방법**

두 벡터의 합은 sin과 cos의 삼각법칙을 이용하여 해석적으로 구할 수 있다. 그림 4와 같은 두 벡터 $\vec{A}$, $\vec{B}$를 생각하면 합력 $\vec{R}$의 크기는 다음과 같은 식으로 구해진다.

$$\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}$$

$$|\vec{R}|^2 = \vec{R} \cdot \vec{R}$$

$$= \vec{A} \cdot \vec{A} + \vec{B} \cdot \vec{B} + 2\vec{A} \cdot \vec{B}$$

$$= |\vec{A}|^2 + |\vec{B}|^2 + 2|\vec{A}||\vec{B}| \cos\theta$$

$$|\vec{R}| = [|\vec{A}|^2 + |\vec{B}|^2 + 2|\vec{A}||\vec{B}| \cos\theta]^{1/2}$$

각 θ는 $\vec{A}$와 $\vec{B}$의 사이 각이고, 합력의 방향 각은 φ이며

$$\tan\psi = \frac{|B|\sin\Theta}{|A| + |B|\cos\Theta}$$

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

가 된다.

힘 $\vec{A}$, $\vec{B}$와 또 하나의 힘 $\vec{C}$가 평형을 이루기 위해서는 힘 $\vec{A}$, $\vec{B}$의 합력 $\vec{R}$과 크기가 같고 방향이 반대인 힘 $\vec{C}$를 작용시켜 이룰 수 있다.

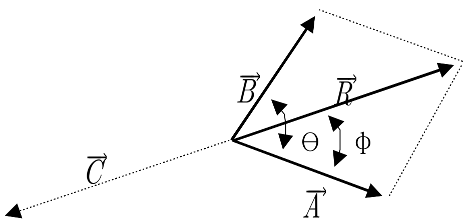


그림 4

## 실험방법

1. 용수철 상수 K의 측정

* 용수철 저울의 맨 윗부분의 나사를 돌려 영점을 맞춘다.
* 용수철 저울에 추걸이(질량 5g)를 걸고 늘어난 길이를 기록한다.
* 추걸이에 추의 질량을 증가시키며 저울에 가한 힘에 대한 용수철의 길이변화를 기록한다.
* 모눈종이에 용수철의 길이변화에 대한 용수철에 가해진 힘을 표시한다.
* 이 그래프의 기울기가 용수철 상수 K이다.

2. 힘의 합성

* 그림 1과 같이 먼저 추와 도르래를 써서 두 힘 , 가 실을 통해 고리를 당기도록 한다.
* 이 두 힘의 합력과 정확히 반대되는 힘 $F_e$를 용수철 저울을 수직으로 세워 도르래를 통해 가하도록 설치한다.
* 용수철과 도르래의 위치를 움직여 용수철이 가하는 힘의 크기와 방향을 조절하여 고정핀이 고리의 중심에 오도록 조정한다.
* 이때 평형력 의 크기를 용수철의 저울로 측정한다.

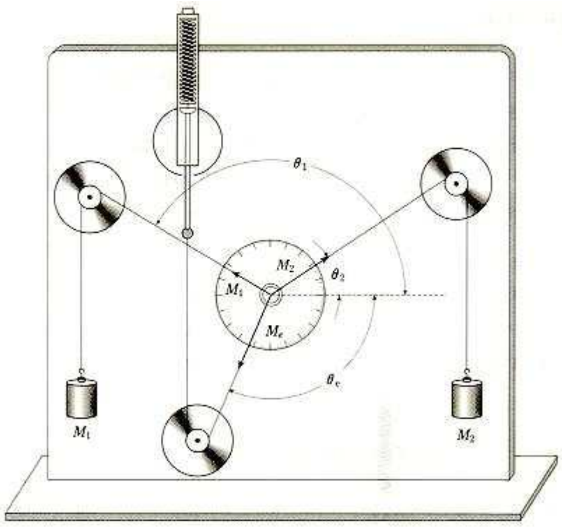

그림1. 힘의합성

(1) $F_1$, $F_2$, $F_e$의 크기를 newton단위로 기록하고 각각의 방향 $\theta_1$,$\theta_2$,$\theta_e$를 기록한다.
(2) 모눈종이에 적당한 단위를 선택해서 벡터$\overrightarrow{F_1}$, $\overrightarrow{F_2}$ 를 크기에 비례하는 길이로 그린다.
(3) 평행사변형법으로 $\overrightarrow{F_1}$, $\overrightarrow{F_2}$의 합력을 구해서 $\overrightarrow{F_r}$로 표시하고 그 크기를 측정하여 기록한다.
(4) $\overrightarrow{F_e}$와 $\overrightarrow{F_r}$이 서로 균형을 이루는가? 아니라면, 오차의 원인이 무엇인지를 이야기 해보라.
$\overrightarrow{F_1}$, $\overrightarrow{F_2}$ 의 크기와 방향을 바꾸어가며 실험을 되풀이 한다.

3. 힘의 분해

* 그림 2와 같이 고리에 도르래를 통하여 추를 매달아 힘 $\overrightarrow{F_1}$를 가한다.
* 용수철 저울과 도르래를 이용하여 고리에 수평으로 힘을 가한다. 두 번째 추걸이를 고리에 직접 매단다.
* 용수철 저울을 위아래로 움직여서 고리에 가한 힘의 수평성분 또는 X성분을 조절하고 수직추의 질량을 변화시켜 수직성분 또는 Y 성분을 조절하여 고저핀이 고리의 중심에 오도록 한다.(미세질량 조정은 클립등을 사용).

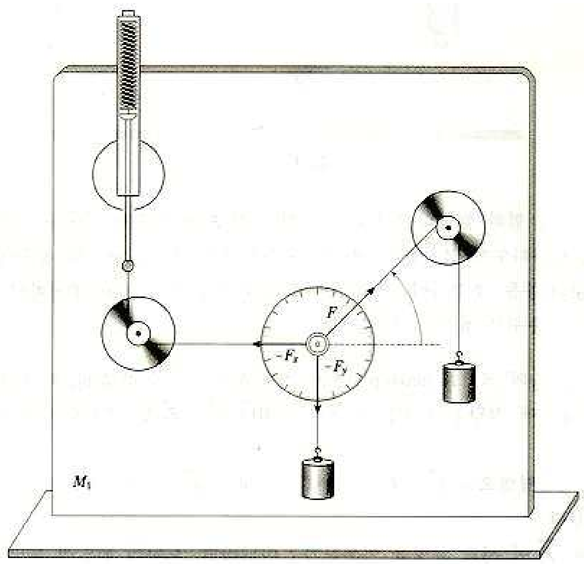


그림2. 힘의분해

(1) $\overrightarrow{F_1}$의 크기와 방향을 기록한다.
(2) $\overrightarrow{F_1}$의 평형력 $\overrightarrow{F_e}$의 X성분, Y성분의 크기를 기록한다.
(3) $\overrightarrow{F_1}$의 X성분, Y성분인 $F_x$(= Fcosθ), $F_y$(=sinθ)의 크기는?
(4) $\overrightarrow{F_1}$의 크기와 방향을 바꾸어 위의 실험을 되풀이한다.
그림2. 힘의분해

# 실험 결과

## 1. 측정값

1) 용수철 저울의 힘 상수

| 용수철에 작용한 힘 | 늘어난 길이 |
|---|---|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

용수철 상수 k = N/m

2) 힘의 합성

| 횟수 | $\vec{F}_1$ | | $\vec{F}_2$ | | $\vec{F}_e$ | | $\vec{F}_I$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 크기 | 방향($\theta_1$) | 크기 | 방향($\theta_2$) | 크기 | 방향<br>(180−$\phi$) | 크기 | 방향($\phi$) |
| 1 회 | | | | | | | | |
| 2 회 | | | | | | | | |
| 3 회 | | | | | | | | |
| 4 회 | | | | | | | | |
| 5 회 | | | | | | | | |

3) 힘의분해

| 횟수 | $\vec{F}$ | | $\vec{F}_e$의 성분 | | $\vec{F}$의 성분(계산) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 크기 | 방향 | $F_{ex}$ | $F_{ey}$ | $F_x$($F\cos\theta$) | $F_y$($F\cos\theta$) |
| 1 회 | | | | | | |
| 2 회 | | | | | | |
| 3 회 | | | | | | |
| 4 회 | | | | | | |
| 5 회 | | | | | | |

## 2. 토의