

실험8. 비탈면을 이용한 마찰계수의 측정

I. 실험기구

포토게이트 (Photogate), 포토게이트 고정막대	각각 2개
마찰계수 측정용 샘플(나무/플라스틱), 트랙, 각도기, 스탠드, 지지막대	각각 1개

II. 실험목적

비탈면을 이용해 샘플의 마찰계수를 구하고, 마찰계수에 영향을 미치는 원인을 찾아본다.

III. 실험이론

A. 마찰력

물체가 어떤 표면 위를 운동하거나, 공기나 물과 같은 점성이 있는 매질 속에서 운동할 때, 물체는 주위와의 상호 작용 때문에 운동하는 데 저항을 받는다. 이런 저항을 **마찰력** (force of friction)이라고 한다. 마찰력은 일상생활에서 매우 중요하다. 걷거나 달리기 또는 자동차의 운동 등이 모두 마찰력 때문에 가능하다.



그림 8-1. 마찰력

그림 8-1과 같이 거친 바닥에 놓은 물체를 오른쪽 방향으로 끌고 있다. 만약 외력 F (붉은색 화살표)가 그다지 크지 않다면 물체는 움직이지 않을 것이다. 외력 F 에 맞서서 물체가 움직이지 못하게 왼쪽으로 작용하는 힘을 **정지 마찰력** (force of static friction) f_s 라 한다. 물체가 정지해 있으므로, $F = f_s$ 인 평형 상태이다. F 의 크기가 증가하면, f_s 의 크기 역시 증가한다. 마찬가지로 F 가 감소하면, f_s 또한 감소한다.

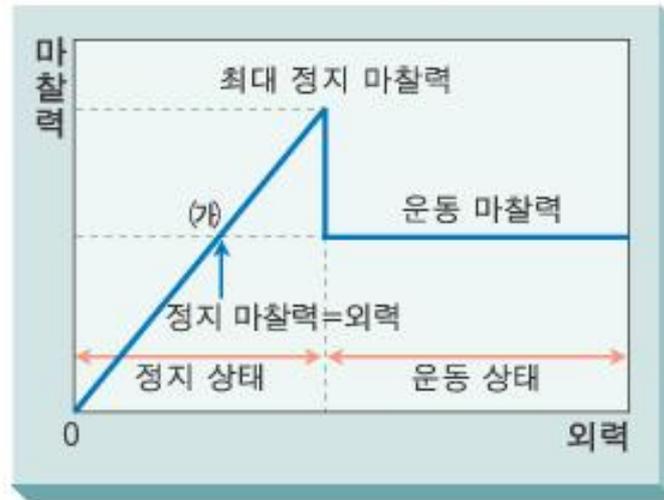


그림 8-2. 외력과 마찰력의 관계

외력 F 의 크기가 일정 수준 이상으로 증가하면, 물체가 움직이기 시작한다. 그림 8-2에서처럼 물체가 막 움직이려고 시작하는 순간에는 f_s 가 최대이다. F 가 최대 정지 마찰력 $f_{s,max}$ 보다 크면, 물체는 움직이기 시작하고 오른쪽으로 가속한다. 운동을 하고 있는 물체에 대한 마찰력을 **운동 마찰력** (force of kinetic friction) f_k 라고 하며, $f_{s,max}$ 보다 작다.

B. 마찰계수

실험적으로 최대 정지 마찰력 $f_{s,max}$ 와 운동 마찰력 f_k 는 표면이 물체를 떠받치는 수직항력의 크기에 비례한다는 것이 널리 알려진 사실이다. 이런 근사가 정확하다고 가정하면, 다음과 같은 단순 모형을 통해 마찰력의 크기를 나타낼 수 있다. 정지 마찰력의 크기는 다음과 같다.

$$f_s \leq \mu_s n \cdots (1)$$

여기서 μ_s 는 차원이 없는 상수로서 **정지 마찰 계수** (coefficient of static friction)이고, n 은 수직항력의 크기이다. 식 (1)에서 등호는 물체가 막 움직이기 시작하는, 즉 최대 정지 마찰력이 작용할 때 성립한다.

운동 마찰력의 크기는 다음과 같다.

$$f_k \leq \mu_k n \cdots (2)$$

여기서 μ_k 는 **운동 마찰 계수** (coefficient of kinetic friction)이다.

C. 비탈면을 이용한 간단한 마찰계수의 결정 방법

그림 8-3과 같이 수평면에 대해 기울어진 비탈면을 이용하면, 물체의 정지 마찰 계수와 운동 마찰 계수를 실험적으로 구할 수 있다.

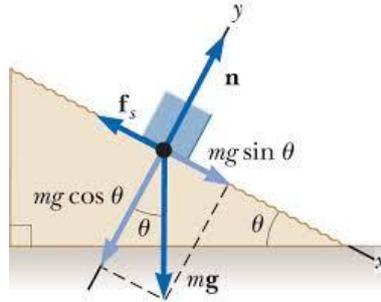


그림 8-3. 거친 비탈면 위의 물체

기울어진 비탈면 위에 물체를 두고 정지 상태임을 확인하고, 비탈면의 기울기를 물체가 막 미끄러질 때까지 서서히 증가시킨다. 물체가 미끄러지기 시작할 때의 임계각 θ_c 를 측정하면 정지 마찰계수를 구할 수 있다.

$$\sum F_x = mg \sin \theta - f_s = 0 \cdots (3)$$

$$\sum F_y = n - mg \cos \theta = 0 \cdots (4)$$

식 (3)과 (4)를 연립하면, 미끄러지기 시작하는 임계각에서 정지 마찰계수는 다음과 같다.

$$f_s = \mu_s n = mg \sin \theta_c = \left(\frac{n}{\cos \theta_c} \right) \sin \theta_c = n \tan \theta_c \cdots (5)$$

$$\mu_s = \tan \theta_c \cdots (6)$$

$\theta > \theta_c$ 이면, 물체는 아래쪽으로 등가속도 운동을 하고 식 (3)의 우변은 ma 가 된다. 이 때의 운동 마찰계수는 다음과 같다.

$$2as = v_f^2 - v_i^2 \cdots (7)$$

$$f_k = \mu_k n = ma - mg \sin \theta = \left(\frac{n}{g \cos \theta} \right) \left(\frac{v_f^2 - v_i^2}{2s} \right) - \left(\frac{n}{\cos \theta} \right) \sin \theta = \left(\frac{n}{g \cos \theta} \right) \left(\frac{v_f^2 - v_i^2}{2s} \right) - n \tan \theta \cdots (8)$$

$$\mu_k = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2sg \cos \theta} - n \tan \theta \cdots (9)$$

IV. 실험방법

A. 기기 및 장치 설치

- ① A베이스의 중앙에 지지막대를 세우고 트랙을 기울여 고정한다.
- ② 포토게이트 2개를 각각 고정막대에 연결하고, 트랙에 50 cm 간격으로 설치한다.
- ③ 포토게이트들을 Science Workshop의 디지털 채널에 연결한다.



그림 8-4. 비탈면 마찰계수 측정장치

B. Data-studio 프로그램 설정

- Photogate 설정
- ① Measurement 탭에서 Velocity in gate (m/s)만 선택한다.
 - ② Constants 탭에서 Flag Length를 입력한다.

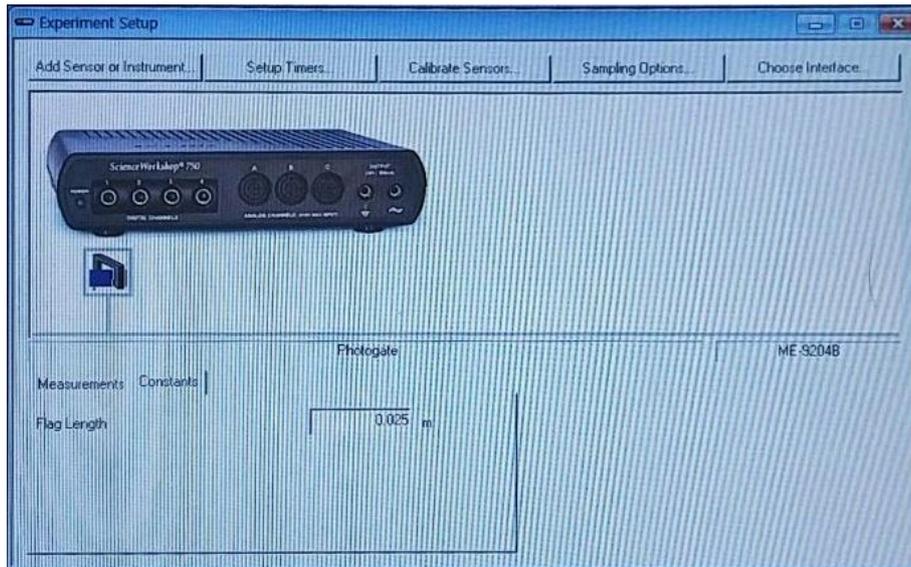


그림 8-5. 포토게이트 설정

C. 데이터 측정

● 정지 마찰계수 측정

- ① 트랙 위에 마찰계수 측정용 샘플을 올려놓는다.
- ② 트랙의 기울기를 조금씩 증가시키며 미끄러지기 시작할 때 임계각을 측정하여 기록한다.
- ③ 샘플을 바꿔가며 여러 번 반복 실험을 한다.

● 운동 마찰계수 측정

- ① 임계각 이상으로 트랙의 기울기를 조절한다.
- ② Start 버튼을 누르고, 트랙 위에서 샘플이 등속운동 할 수 있게 놓는다.
- ③ 포토게이트를 이용해 처음 속력과 나중 속력을 기록한다.
- ④ 샘플을 바꿔가며 여러 번 반복 실험을 한다.

D. 데이터 분석

- ① 임계각을 측정해 정지 마찰계수를 구한다.
- ② 트랙의 기울기와 샘플의 처음 속도, 나중 속도를 이용해 운동 마찰 계수를 구한다.
- ③ 샘플들의 정지 마찰계수와 운동 마찰계수를 비교하고, 오차의 원인을 분석한다.

V. 실험결과

- 정지 마찰계수

샘플	나무 (좁은 밀면)	나무 (넓은 밀면)	플라스틱 (좁은 밀면)	플라스틱 (넓은 밀면)
임계각				
정지 마찰계수				

- 운동 마찰계수

두 포토게이트 사이의 거리: 0.5 cm

비탈면의 기울기		나무 (좁은 밀면)	나무 (넓은 밀면)	플라스틱 (좁은 밀면)	플라스틱 (넓은 밀면)
1회	처음 속도				
	나중 속도				
2회	처음 속도				
	나중 속도				
3회	처음 속도				
	나중 속도				
운동 마찰계수					

비탈면의 기울기		나무 (좁은 밀면)	나무 (넓은 밀면)	플라스틱 (좁은 밀면)	플라스틱 (넓은 밀면)
1회	처음 속도				
	나중 속도				
2회	처음 속도				
	나중 속도				
3회	처음 속도				
	나중 속도				
운동 마찰계수					

비탈면의 기울기		나무 (좁은 밀면)	나무 (넓은 밀면)	플라스틱 (좁은 밀면)	플라스틱 (넓은 밀면)
1회	처음 속도				
	나중 속도				
2회	처음 속도				
	나중 속도				
3회	처음 속도				
	나중 속도				
운동 마찰계수					

- 토의