

실험9. 탄동진자를 이용한 포사체의 초기속도 측정

I. 실험기구

회전 모션 센서(Rotary Motion Sensor), 포토게이트(Photogate),

포사체 발사대, 탄동진자, 스탠드, 지지막대

각각 1개

II. 실험목적

탄동진자를 이용해 포사체의 초기속도를 구하고, 고립된 계에서 운동량과 에너지가 보존됨을 확인한다.

III. 실험이론

A. 역학적 에너지 보존법칙

경로에 무관한 힘(보존력)만 작용하는 고립된 계에서 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

$$\Delta E_{system} = 0 \cdots (1)$$

역학적 에너지를 운동 에너지와 위치 에너지의 합으로 정의하면, 물체의 처음 상태에서 운동 에너지와 위치 에너지의 합과 나중 상태에서 운동 에너지와 위치 에너지의 합이 같다는 사실을 유도할 수 있다.

$$(K_f - K_i) + (U_f - U_i) = 0 \cdots (2)$$

$$K_i + U_i = K_f + U_f \cdots (3)$$

특히, 중력에 의한 위치 에너지의 경우, 수식 (3)은 다음과 같다.

$$\frac{1}{2}mv_i^2 + mgh_i = \frac{1}{2}mv_f^2 + mgh_f \cdots (4)$$

B. 충돌과 운동량 보존법칙

충돌이란, 두 물체가 짧은 시간 동안 서로에게 힘을 가해 상호작용하는 경우를 나타낸다. 충돌 시 힘의 크기는 시간에 따라 복잡하게 변하므로 뉴턴의 제2법칙으로 분석하기 대단히 어렵다. 그러나 운동량 보존의 개념을 이용하면 충돌을 처음 상태와 나중 상태로 나누어 기술할 수 있다.

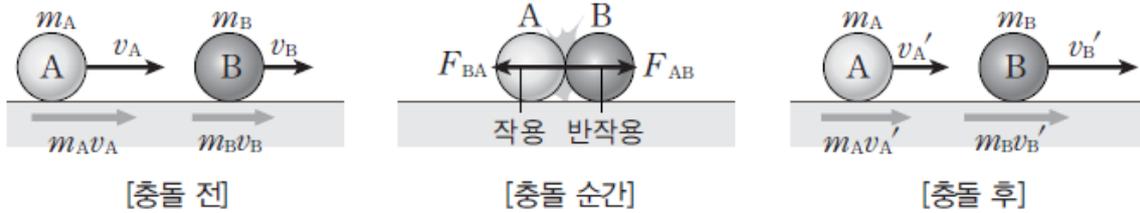


그림 9-1. 충돌 모형

충돌 순간 물체A와 물체B에 크기는 같고 방향이 반대인 작용-반작용의 힘이 작용한다.

$$F_{AB} = -F_{BA} \cdots (5)$$

운동량의 정의를 이용하여 수식 (5)를 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{d}{dt}(\mathbf{p}_A + \mathbf{p}_B) = 0 \cdots (6)$$

$$\mathbf{p}_A + \mathbf{p}_B = \mathbf{p}_{tot} = constant \cdots (7)$$

충돌에 의한 운동량의 변화는 없으므로, 충돌 전과 충돌 후 운동량은 같다.

$$\mathbf{p}_A + \mathbf{p}_B = \mathbf{p}_A' + \mathbf{p}_B' \cdots (8)$$

$$m_A \mathbf{v}_A + m_B \mathbf{v}_B = m_A \mathbf{v}_A' + m_B \mathbf{v}_B' \cdots (9)$$

고립계의 경우, 운동량은 충돌 후에도 항상 보존된다. 그러나, 운동 에너지는 일반적으로 충돌 후 보존되지 않는다. 충돌 후 두 물체가 서로 붙어버리면, 처음 상태와 나중 상태의 운동 에너지 차이가 최대가 되고, 그것을 **완전 비탄성 충돌**(perfectly inelastic collision)이라고 한다. 또, 운동량과 운동 에너지가 모두 보존되는 경우를 **탄성 충돌**(elastic collision)이라고 한다.

C. 탄동진자

충돌 시 운동량이 보존된다는 것과 보존력만 작용하는 고립계에서 역학적 에너지가 보존 것을 바탕으로 탄동진자의 운동으로부터 포사체의 초기속도를 계산할 수 있다.

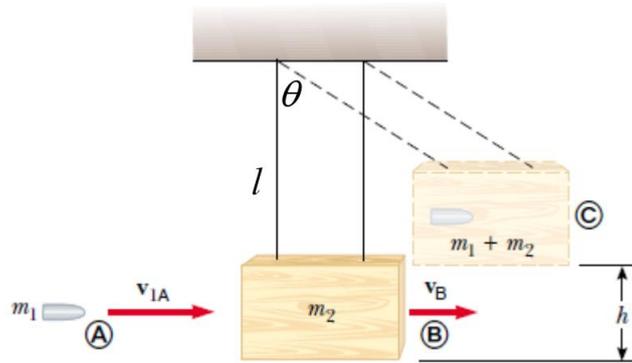


그림 9-2. 탄동진자

완전 비탄성 충돌(A→B): 운동량은 보존되고, 역학적 에너지는 보존되지 않는다.

$$m_1 v_{1A} = (m_1 + m_2) v_B \quad \cdots (10)$$

$$v_{1A} = \frac{m_1 + m_2}{m_1} v_B \quad \cdots (11)$$

역학적 에너지 보존(B→C): 최대 높이에서 운동 에너지가 모두 위치 에너지로 전환된다.

$$\frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_B^2 = (m_1 + m_2) g h \quad \cdots (12)$$

$$v_B = \sqrt{2gh} \quad \cdots (13)$$

최대 높이는 탄동진자의 길이와 최대 각도를 이용해 계산한다.

$$h = l(1 - \cos \theta) \quad \cdots (14)$$

수식 (11), (13), 그리고 (14)를 연립하여 포사체의 초기속도를 구한다.

$$v_{1A} = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \sqrt{2gl(1 - \cos \theta)} \quad \cdots (15)$$

IV. 실험방법

A. 기기 및 장치의 설치

- ① A베이스의 중앙에 지지막대를 세우고, 회전 모션 센서를 상단에 고정한다.
- ② 탄동진자를 회전 모션 센서와 연결한다.
- ③ 포사체 발사대를 실험대 가장자리에 조임쇠를 이용하여 고정한다.
- ④ 포사체 발사대의 각도를 수평으로 조절하고, 포토게이트를 발사대 바로 앞에 설치한다.
- ⑤ 포사체가 탄동진자에 제대로 들어갈 수 있도록 스탠드의 위치를 조절한다.
- ⑥ 회전 모션 센서와 포토게이트를 Science Workshop의 디지털 채널에 연결한다.



그림 9-3. 탄동진자 실험장치

B. Data-studio 프로그램 설정

● Rotary Motion Sensor 설정

- ① Measurement 탭에서 Angular position(degree)만 선택한다.
- ② Rotary Motion Sensor 탭에서 Resolution을 high(Division/Rotation 1440)로 변경한다.
- ③ Sample rate는 50Hz가 적당하다.

● Photogate 설정

- ① Measurement 탭에서 Velocity in gate (m/s)만 선택한다.
- ② Constants 탭에서 Flag Length를 구슬의 지름인 0.025(m)로 입력한다.

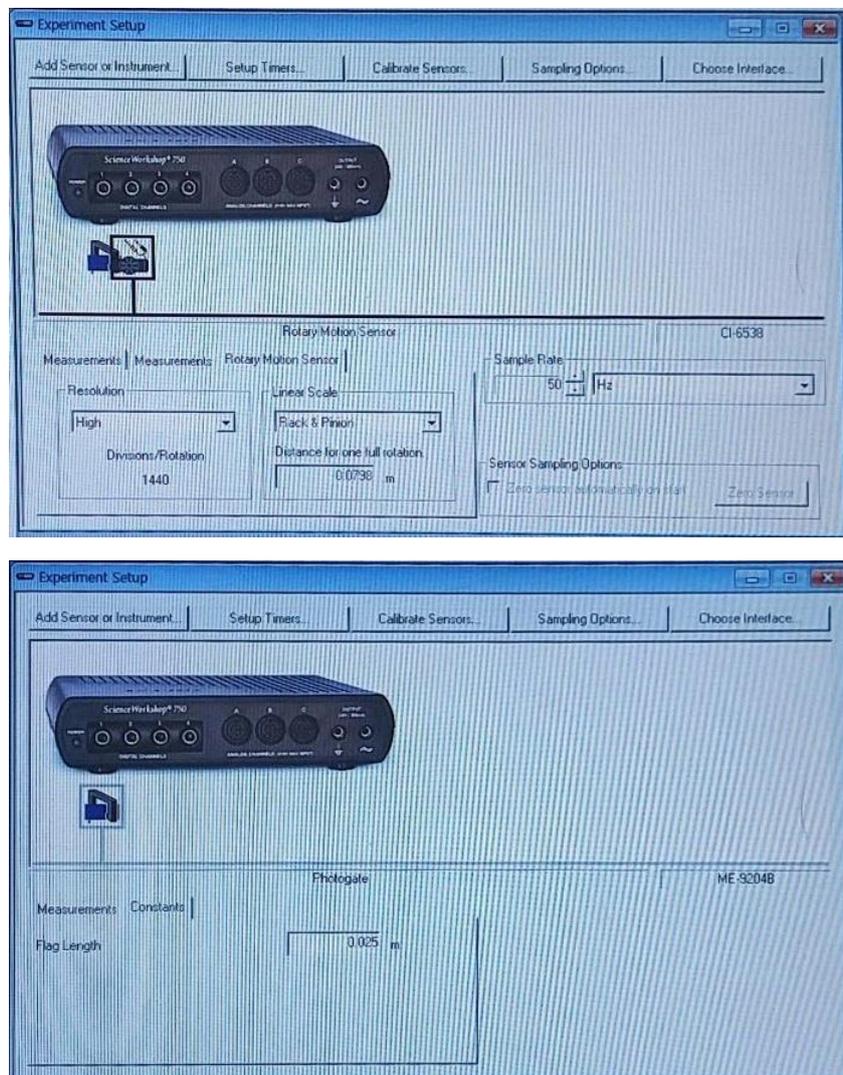


그림 9-4. (a) 회전 모션 센서와 (b) 포토게이트 설정

C. 데이터 측정

- ① 장전 막대를 이용해 포사체 발사대에 플라스틱 공을 장전한다.
- ② Start 버튼을 누르고 포사체를 발사한다.
- ③ 회전 모션 센서로 최대 각도를, 포토게이트로 초기속도를 측정하여 기록한다.
- ④ 실험 조건을 바꿔가며, 여러 번 반복하여 실험한다.

D. 데이터 분석

- ① 구슬의 질량, 발사 세기를 바꿔가며 포사체의 초기속도를 측정한다.
- ② 회전 모션 센서를 이용해 계산한 초기속도의 이론값과 포토게이트를 이용해 측정한 초기속도의 측정값을 비교해 본다.
- ③ 각각 물리량의 변화에 따른 오차의 경향을 확인한다.

● 주의사항

탄동진자와 포사체 발사대 입구의 위치가 맞지 않으면 제대로 된 실험을 할 수 없으므로, 실험하기 전, 반드시 위치를 확인한다.

강한 세기로 발사된 구슬은 지나치게 멀리 날아가 다칠 위험이 있으므로 주의한다.

V. 실험결과

- 탄동진자의 질량(kg):
- 탄동진자의 길이(m):
- 플라스틱 구슬의 질량(kg):

세기	각도(°)	이론 초기속도(m/s) Rotary Motion Sensor	측정 초기속도(m/s) Photogate	오차(%)
1단				
2단				
3단				

- 쇠 구슬의 질량(kg):

세기	각도(°)	이론 초기속도(m/s) Rotary Motion Sensor	측정 초기속도(m/s) Photogate	오차(%)
1단				
2단				
3단				

- 토 의