

1-3. 공기미끄럼대를 이용한 뉴턴 운동 제2법칙

1. 실험목적

공기미끄럼대 위에서 운동하고 있는 역학수레 (glider)의 운동을 통해 속도와 가속도, 힘과 가속도 그리고 질량과 가속도 사이의 관계를 조사하고 이를 통해 뉴턴의 운동법칙을 이해한다.

2. 이론 및 원리

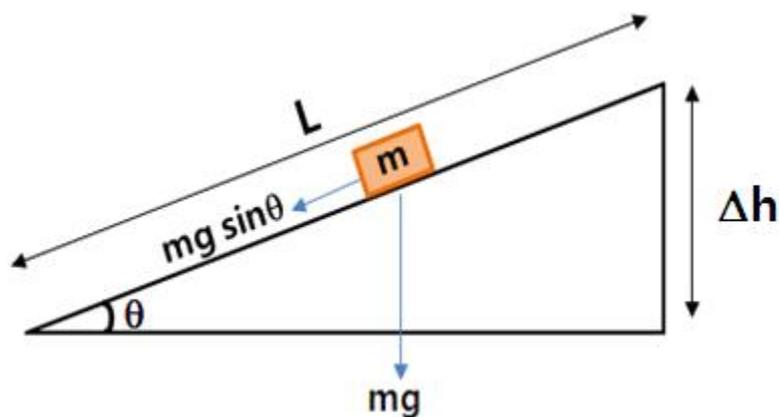
힘은 물체의 운동 상태를 변화시키는 원인으로 주어진 물체의 질량과 가속도의 곱으로 정의된다. (뉴턴의 운동 제2법칙)

$$\vec{F} = m\vec{a} [N], \quad \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (1)$$

식 (1)로부터 힘이 일정하게 작용할 경우 가속도 역시 상수가 됨을 알 수 있다. 따라서 일정한 힘을 받고 있는 물리계는 등가속도운동을 하게 되며, 이 경우 시간에 따른 위치의 변화, 속도의 변화 그리고 가속도는 다음과 같이 주어진다.

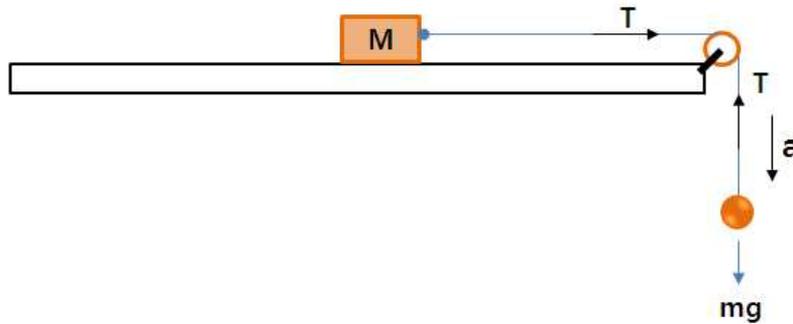
$$\begin{aligned} \vec{s} &= \vec{s}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2 \\ \vec{v}(t) &= \vec{v}_0 + \vec{a} t \\ \vec{a} &= \text{상수} = \frac{d\vec{v}}{dt} \neq f(t) \end{aligned} \quad (2)$$

<1> 마찰이 없는 경사면에서의 가속운동



마찰이 없는 경사면을 따라 운동하는 물체는 $g \sin\theta$ 의 가속도로 등가속도운동을 하게 된다. 경사면의 기울기와 물체의 질량을 변화시켜가며 힘과 가속도 사이의 관계를 조사한다.

<2> 마찰이 없는 수평면에서의 가속운동



마찰이 없는 수평면 위에 놓여 있는 질량 M인 물체가 도르래를 통해 질량 m인 추에 매달려 있다. 추에 작용하는 중력 때문에 수평면 위의 물체는 등가속도운동을 하게 된다. 주어진 물리계에 대한 운동방정식은 다음과 같다.

$$\vec{F} = M\vec{a} = \vec{T}$$

$$\vec{F} = m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{T} \quad (3)$$

위 두 운동방정식으로부터 두 물체의 가속도는 다음과 같이 주어진다.

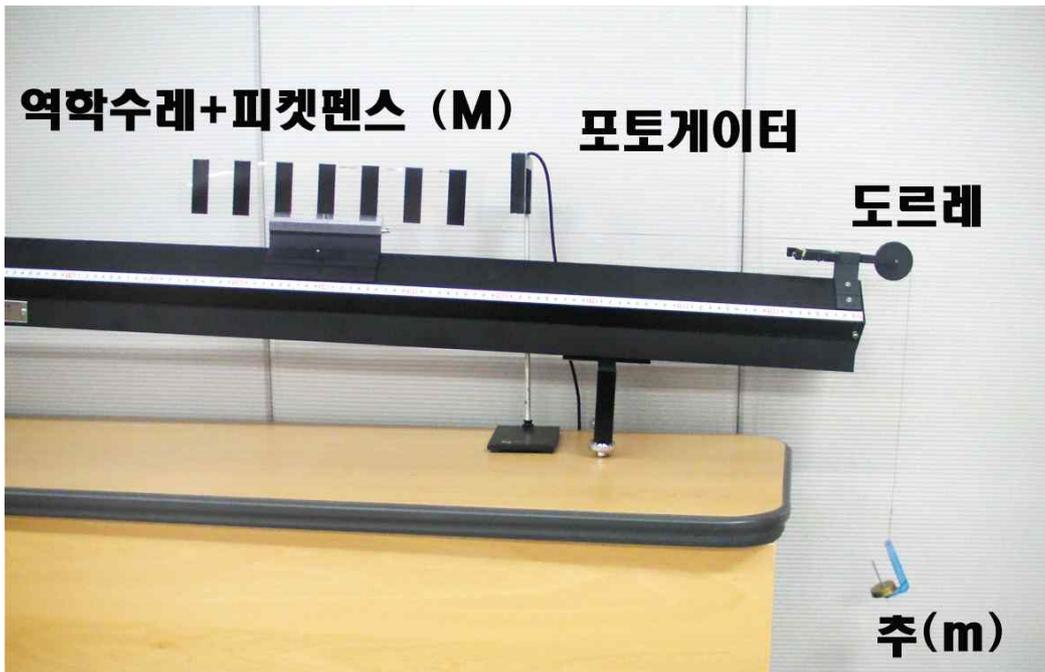
$$\therefore a = \frac{m g}{(M + m)} = \frac{m}{M + m} g \quad (4)$$

질량과 가속도 사이의 관계를 조사하여 뉴턴 운동 제2법칙을 검증해 본다.

3. 실험장치 및 방법

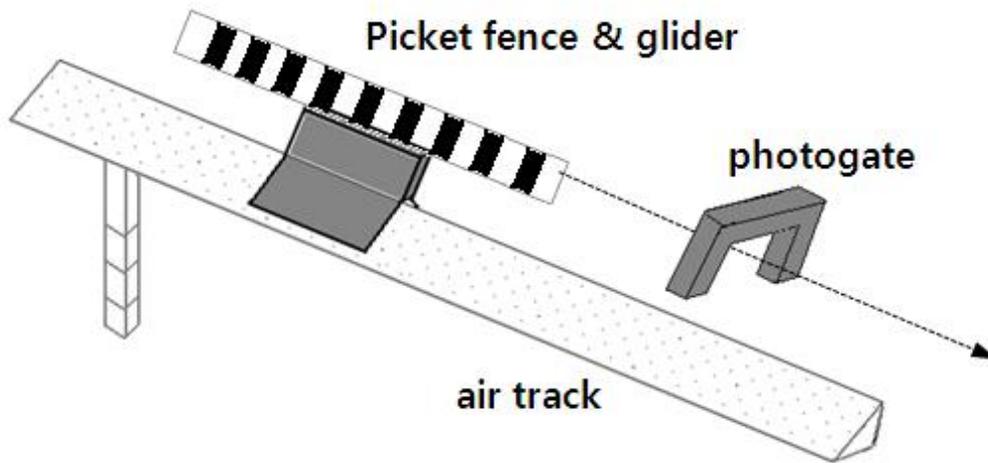
1) 실험장치

공기미끄럼대 (air track), 광센서 (photogate), 피켓펜스 (picket fence), 역학수레 (glider), 750 인터페이스, 도르레, 실, 추 세트, 추 걸이, 쇠자, 수준기, 램잭, 압축공기



2) 실험방법

<실험1> 마찰이 없는 경사면에서의 가속운동



<실험1-1> 기울기와 가속도

① 광센서 플러그를 750 인터페이스의 Digital channel에 순차적으로 연결한다.

② 750 인터페이스는 USB를 이용하여 컴퓨터에 연결한 후 전원을 켜다.

③ DataStudio를 실행시키고 화면의  Create Experiment  를 선택한다.

④  에서 “Digital Channel”의 1을 클릭하고 “Photogate & picket fence”를 선택한다.

⑤ “Photogate & picket fence” 구동을 위한 상수 및 측정방법 (가속도)을 지정한다.
- “Constants”를 클릭한 후 피켓펜스의 검은색 띠 사이의 간격 (0.050 m)을 입력한다.
- 가속도를 측정하기 위해 “Acceleration, Ch 1”을 선택한다.

⑥ “DataStudio” 화면 왼쪽 아래에 있는 “Displays” 목록 중 “Table”을 선택한다.

⑦ “Table” 위의 아이콘  을 클릭하여 “standard deviation”을 선택한다.

⑧ “Table” 위의 아이콘  을 클릭하여 “increase precision”을 선택한다.

⑨ 랩잭을 이용하여 공기미끄럼대의 기울기를 조절한 뒤 피켓펜스가 잘 통과할 수 있도록

광센서의 높이도 조절한다.

⑩ 공기미끄럼대의 높이 h 와 길이 L 을 측정하고 기록한다.

⑪ "DataStudio"의 "start" 버튼을 누른다.

⑫ 압축공기를 공기미끄럼대에 공급한 후 정지상태의 역학수레를 조심스럽게 놓는다.

⑬ "DataStudio"의 "stop" 버튼을 누른 다음, "Table" 하단에 기록되어 있는 평균값과 표준편차를 이용하여 측정값을 기록한다.

※ 측정값을 기록 한 후 "data"의 "No data"를 선택하여 이전 자료를 제거한다.

⑭ 경사면의 기울기를 변화시키면서 ⑨~⑬ 과정을 반복하고, 그 결과를 기록한다.

<실험1-2> 질량과 가속도

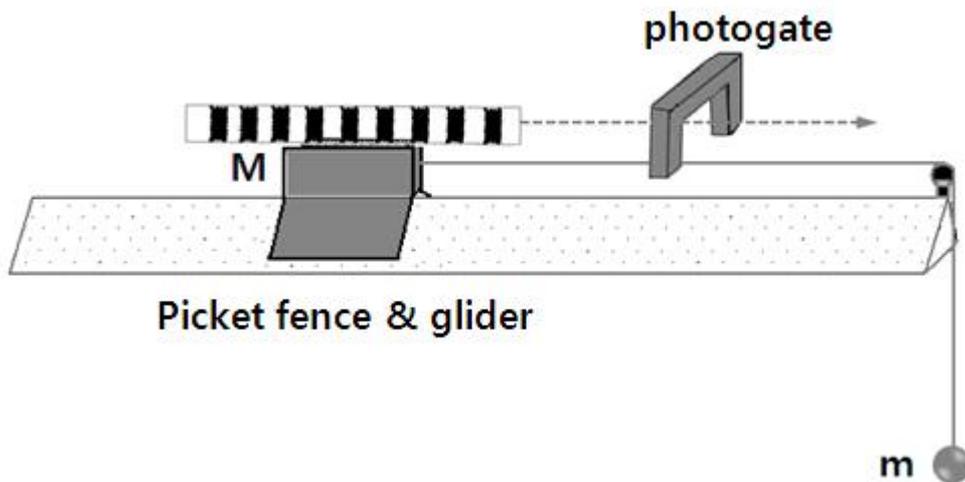
① 공기미끄럼대의 기울기를 고정시킨 후, h 와 L 을 측정하고 기록한다.

② 저울을 이용하여 역학수레의 전체질량을 측정한 후 기록한다.

③ "실험1-1)의 ⑪~⑬" 과정을 수행하고 그 결과를 기록한다.

④ 역학수레의 질량을 바꿔가며 위 ②~③ 과정을 5회 반복 수행한다.

<실험 2> 마찰이 없는 수평면에서의 가속운동



<실험2-1> 힘과 가속도

- ① 저울을 이용하여 역학수레의 전체질량과 추의 질량을 측정한 후 그림 6과 같이 역학수레와 추를 연결한다.
- ② "DataStudio"의 "start" 버튼을 누른다.
- ③ 압축공기를 공기미끄럼대에 공급한 후 추를 조심스럽게 낙하시킨다.
※ 역학수레가 공기미끄럼대의 한쪽 끝과 충돌하기 전에 정지 시킨다.
- ④ "DataStudio"의 "stop" 버튼을 누른 다음, "Table" 하단에 기록되어 있는 평균값과 표준편차를 이용하여 측정값을 기록한다.
※ 측정값을 기록 한 후 "data"의 "No data"를 선택하여 이전 자료를 제거한다.
- ⑤ 추의 질량을 바꿔가며 위 ②~④ 과정을 반복하고, 그 결과를 기록한다.

<실험2-2> 질량과 가속도

- ① 저울을 이용하여 역학수레의 전체질량과 추의 질량을 측정한 후 기록한다.
- ② 공기미끄럼대의 한쪽 끝에 도르래를 고정하고 줄을 이용하여 역학수레와 추를 연결한다.
- ③ "DataStudio"의 "start" 버튼을 누른다.
- ④ 압축공기를 공기미끄럼대에 공급한 후 추를 조심스럽게 낙하시킨다.
※ 역학수레가 공기미끄럼대의 한쪽 끝과 충돌하기 전에 정지 시킨다.
- ⑤ "DataStudio"의 "stop" 버튼을 누른 다음, "Table" 하단에 기록되어 있는 평균값과 표준편차를 이용하여 측정값을 기록한다.
※ 측정값을 기록 한 후 "data"의 "No data"를 선택하여 이전 자료를 제거한다.
- ⑥ 역학수레의 질량을 바꿔가며 ③~⑤의 과정을 반복하고, 그 결과를 기록한다.

성 명: _____

학 번: _____

분반/조: _____

조 원: _____

담당교수: _____

담당조교: _____

실험일시: _____ 년 _____ 월 _____ 일 _____ 요일 _____ 시

제출일시: _____ 년 _____ 월 _____ 일 _____ 요일 _____ 시

4. 결과 및 분석

1) <실험1-1>의 수행 결과를 표 1에 기록하고, 아래 주어진 평가들을 완성하라.

표 1. 경사면의 기울기와 가속도

| Trial | $\Delta h = h_i - h_f$ (cm) | L (cm) | $\sin\theta = \Delta h/L$ | a (m/s^2) |
|----------------------|-----------------------------|----------|---------------------------|-----------------|
| 1 | | 100 | | |
| 2 | | 100 | | |
| 3 | | 100 | | |
| 4 | | 100 | | |
| 5 | | 100 | | |
| 역학수레의 질량: $M =$ [kg] | | | | |

㉠ 표 1의 자료를 이용하여 $a - \sin\theta$ 그래프를 그리고 주어진 그래프의 linear fitting 결과로부터 얻은 중력가속도를 이론값 ($g = 9.8 m/s^2$)과 비교하라. (단, 그래프에는 제목 그리고 각 축(x-축: 독립변수, y-축: 종속변수)에 대응되는 물리량과 단위를 반드시 표시하라. 또한 linear fitting을 통해 얻은 결과식도 함께 표시하라.)

2) <실험1-2>의 수행 결과를 표 2에 기록하고, 아래 주어진 평가들을 완성하라.

표 2. 경사면에서의 질량과 가속도

| Trial | M (kg) | a (m/s^2) |
|-------|----------|-----------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |

공기미끄럼대의 기울기: $\theta = \sin^{-1}(\Delta h/L) =$ (°)

㉠ 표 2의 자료를 이용하여 $a - M$ 그래프를 그리고 그래프의 경향으로부터 질량과 가속도 사이의 관계를 조사하고, 이러한 결과에 대한 물리적 이유를 설명하라.

3) <실험2-1>의 수행 결과를 표 3에 기록하고, 아래 주어진 평가들을 완성하라.

표 3. 수평면에서의 힘과 가속도

| Trial | m (g) | mg (N) | a (m/s^2) |
|--|---------|----------|-----------------|
| 1 | 20 | | |
| 2 | 40 | | |
| 3 | 60 | | |
| 4 | 80 | | |
| 5 | 100 | | |
| 역학수레의 질량: $M =$ (kg), 추걸이 질량, $m =$ (kg) | | | |

㉔ 표 3의 자료로부터 추의 질량 (m)에 따른 가속도의 변화를 엑셀프로그램을 이용하여 그리고, 이 그래프로부터 두 물리량 사이의 관계가 뉴턴 운동 제2법칙을 만족하는지를 조사하라. (그래프의 기울기와 중력가속도 ($g = 9.8m/s^2$)를 비교하여 확인하라.)

㉞ 식 (4)와 표 3의 자료를 이용하여 $a - m/(M+m)$ 그래프를 그리고 이 그래프를 linear fitting하여 얻은 기울기를 ㉞의 결과와 비교해 보라. 이로부터 얻을 수 있는 물리적 결과가 무엇인가?

4) <실험2-2>의 수행 결과를 표 4에 기록하고, 아래 주어진 평가들을 완성하라.

표 4. 수평면에서의 질량과 가속도

| Trial | M (kg) | a (m/s^2) |
|---------------------------|----------|-----------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 추와 추 걸이의 전체질량: $m =$ (kg) | | |

㉠ 표 4의 자료로부터 역학수레의 질량 (M)에 따른 가속도의 변화를 그래프로 나타내고 이 그래프로부터 얻은 물리적 결과가 뉴턴 운동 제2법칙을 만족하는지를 조사하라.

⑤ 식 (4)와 표 4의 자료를 이용하여 역학수레의 질량 (M)에 따른 $[m/(M+m)]g$ 의 변화를 그래프로 나타내고 이 결과와 뉴턴 운동 제2법칙 사이의 관계를 논하라.

5. 결론 (본 실험을 통해 얻은 결과를 간단히 기술하라.)

<실험1>

<실험2>

6. 참고자료