

1-2. 중력가속도 측정 : Comparison of Manual Lab and MBL

1. 실험목적

중력이 작용하는 공간에서 1차원 등가속도 운동하는 물체의 운동학을 이해하고 이것을 이용하여 중력가속도, g 를 결정한다. 이번 실험에서는 실험자가 직접 자료들을 측정하고 분석하는 "Manual Lab"과 컴퓨터와 측정센서를 기반으로 실험 자료들을 수집하고 분석하는 "MBL (Microcomputer-Based Lab)" 형식의 두 실험을 수행하게 된다. 서로 다른 두 종류의 실험을 수행해 봄으로써 보다 정밀하고 정확한 자료의 획득, 실험자의 조작적 오류를 최소화시킬 수 있는 방법 그리고 자료를 효율적으로 분석하기 위한 최적의 방법이 무엇인지를 배우게 될 것이다.

2. 이론 및 원리

질량 m 인 물체에 작용하는 중력의 세기는 식 (1)과 같이 주어지며, 지구의 질량 M 과 물체의 질량 m 의 곱에 비례하고 둘 사이의 거리 r ($\approx R$)의 제곱에 반비례한다. 중력의 크기가 거리의 제곱에 반비례하기 때문에 중력을 "역제곱력"이라고도 한다. 중력만 작용하는 공간에서 운동하는 물체는 중력방향과 나란한 방향으로 1차원 등가속도 운동을 하게 되며 이 경우 물체의 가속도는 곧 중력가속도 g 가 된다

$$F = G \frac{mM}{R^2} = mg \rightarrow \therefore a = g = G \frac{M}{R^2} \quad (1)$$

식 (1)에서 R , M 그리고 G 는 지구의 반지름, 질량 그리고 만유인력상수를 나타내며, 이 값들로부터 구한 g 의 크기는 근사적으로 9.8 m/sec^2 이다.

<1> Manual Lab에 의한 중력가속도 측정

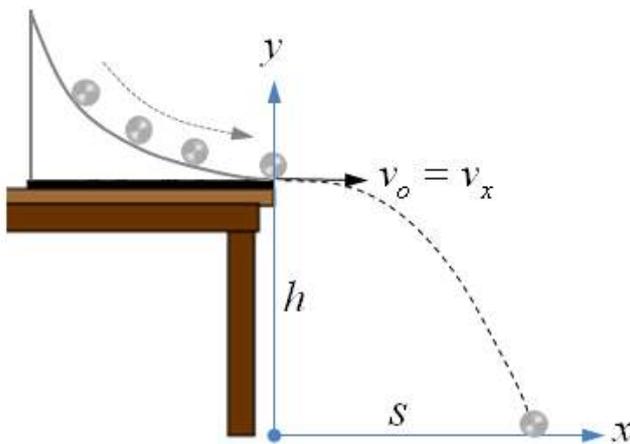


그림 1. y축으로 등가속도

경사면을 내려와 초속도 v_0 로 운동하는 물체는 x -축 상의 등속운동과 y -축 상의 등가속도 운동으로 이뤄진 2차원 등가속도 운동을 하게 된다. 위치, 시간 그리고 중력가속도 사이의 관계는 다음과 같이 주어진다.

$$h = \frac{1}{2} g t^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (2)$$

$$S = v_0 t \rightarrow S = \sqrt{\frac{2h v_0^2}{g}} \quad (3)$$

식 (3)으로부터 $S^{-2} - (2hv_0^2)^{-1}$ 에 대한 그래프를 얻은 다음 그래프의 기울기를 이용하여 중력가속도를 구할 수 있다.

<2> MBL을 이용한 중력가속도 측정

중력가속도로 자유낙하 운동하는 물체의 위치, 속도 그리고 가속도 사이의 관계식은 다음과 같이 주어진다.

$$a_y = g, \quad v_y = gt, \quad h = \frac{1}{2}gt^2 \quad (4)$$

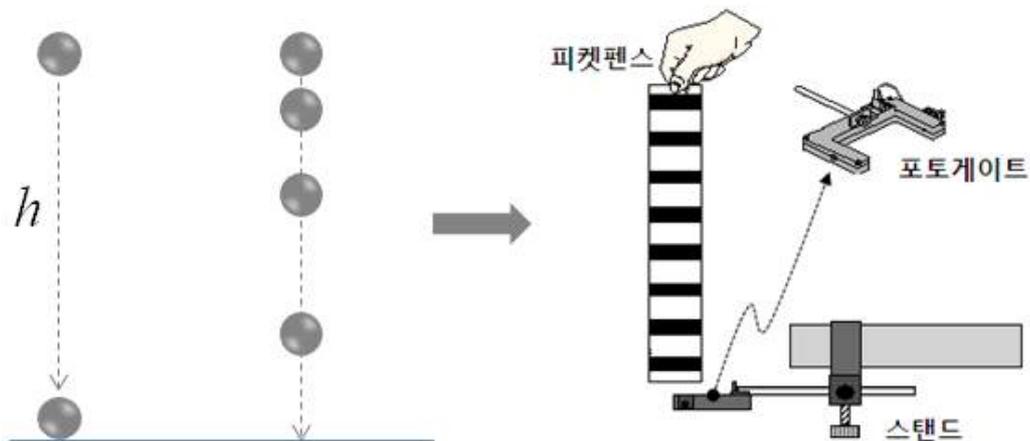


그림 2. 물체의 자유낙하 및 MBL, 피켓펜스를 이용한 실험

위 그림 2의 왼쪽과 같이 h 와 t 를 직접 측정하여 중력가속도를 구하는 방법과 높이를 변화시켜가며 떨어지는 시간을 측정하여 시간에 따른 높이변화 그래프로부터 중력가속도를 구할 수도 있다.

$$h = \frac{1}{2}gt^2 = g(t^2/2) = gx \leftarrow x \equiv t^2/2 \quad (5)$$

식 (5)를 사용하기 위해서는 물체의 높이 h 와 각 높이에서의 낙하시간 t 를 모두 측정해야만 한다. 그림 2의 오른쪽은 이 모든 과정을 검은색 띠가 일정한 간격으로 표시되어 있는 피켓펜스 (Picket Fence)라는 간단한 도구와 MBL을 이용하여 중력가속도를 효율적으로 정확하게 측정할 수 있다. 서로 다른 높이에서 여러 번 시행해야 될 실험을 피켓펜스의 개개 검은색 띠가 광센서를 통과하는 시간을 측정함으로써 한 번의 실험으로 중력가속도를 쉽게 얻을 수 있다. 광센서를 통해 얻어진 자료는 컴퓨터 프로그램을 통해 실시간으로 분석된다.

3. 실험장치 및 방법

1) 실험장치

50cm, 100cm 쇠자, 저울, 경사면, 모눈종이, 쇠구슬, 버니어 캘리퍼스, 스탠드(대/소), 클램프, 광센서 (Photogate), 피켓펜스 (Picket Fence), 750 인터페이스

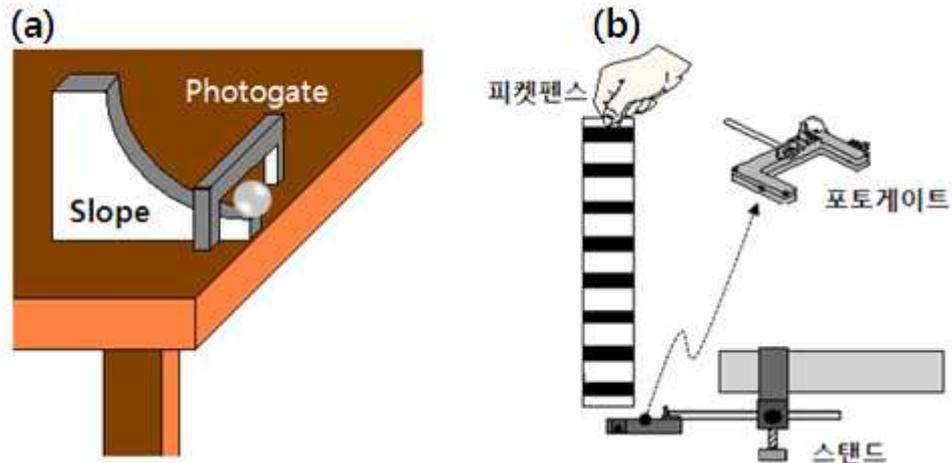
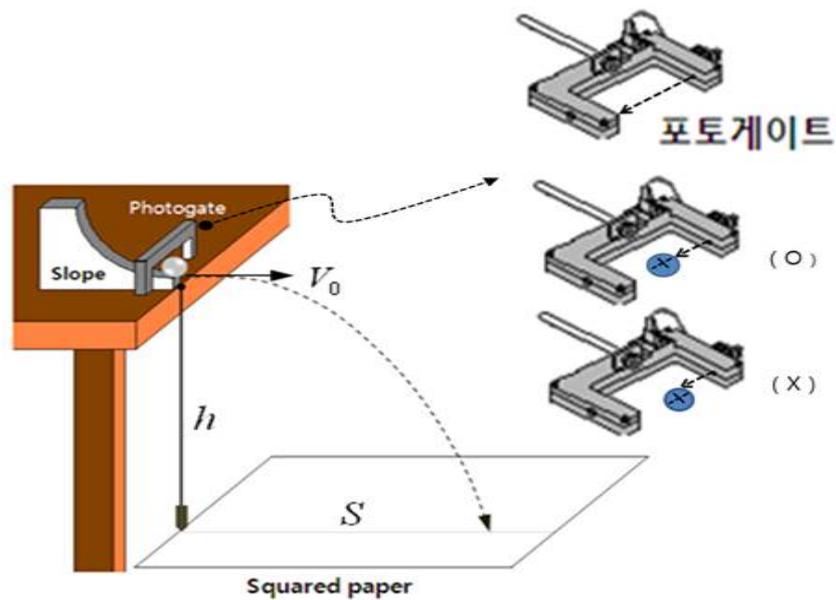


그림 3. Manual Lab (a)과 MBL (b)의 측정장치

2) 실험방법

<실험1> Manual Lab에 의한 중력가속도 측정



- ① 경사로, 광센서, 연직추 그리고 모눈종이를 그림 4와 같이 배치한다.
- ② 광센서 플러그를 750 인터페이스의 Digital channel 1에 연결한다.
- ③ 750 인터페이스는 USB를 이용하여 컴퓨터에 연결한 후 전원을 켜다.



- ④ DataStudio를 실행시키고 화면의 Create Experiment  를 선택한다.



- ⑤  에서 "Digital Channel"의 1을 클릭하고, "Photogate"를 선택한다.
- ⑥ Photogate가 제대로 작동할 수 있도록 측정방법과 쇠구슬의 지름 (0.03)을 지정한다. ("Measurements"는 "Velocity"를 지정하고, "Constants"의 "Flag length"에는 쇠구슬의 지름을 입력한다.)
- ⑦ "DataStudio" 화면 왼쪽에 있는 "Displays" 목록 중 "Digits"를 선택한다.
- ⑧ 실험을 시작하기 전에 경사로 아래쪽과 지면사이의 높이를 먼저 측정한다.
- ⑨ "DataStudio" 화면 위쪽에 있는 "Start" 버튼을 누른 다음 경사로의 지정된 위치에서 쇠구슬을 낙하시킨다.
- ⑩ "Digits" 창에 나타나는 쇠구슬의 속력을 표에 기록한다.
- ⑪ 쇠구슬이 지면에 도달하면서 모눈종이 위에 남겨놓은 흔적과 연직추 사이의 수평거리를 측정하고 기록한다.
- ⑫ 경사로 위의 쇠구슬의 위치를 변화시켜가며 위 ⑨~⑪ 과정을 반복한다. (5회)

<실험2> MBL을 이용한 중력가속도 측정

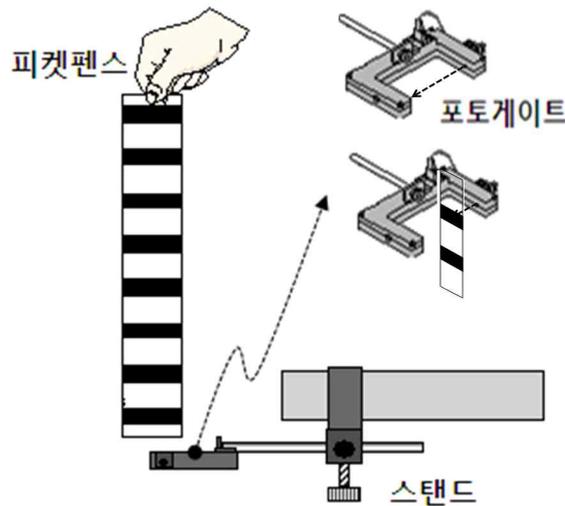


그림 5. Setup for MBL

- ① 광센서 플러그를 750 인터페이스의 Digital Channel 1에 연결한다.
- ② 750 인터페이스는 USB를 이용하여 컴퓨터에 연결한 후 전원을 켜다.



③ DataStudio를 실행시키고 화면의 Create Experiment

를 선택한다.



④ “Digital Channel”의 1을 클릭하고, “Photogate & Picket Fence”를 선택하고 “OK” 버튼을 누른다.

⑤ “Photogate & Picket Fence” 구동을 위한 상수 및 측정방법 (속도)을 지정한다.

- “Constants”를 클릭한 후 피켓펜스의 검은색 띠 사이의 간격 (0.050 m)을 입력한다.

- “Measurements”에서 속도와 시간의 그래프 얻기 위해 “Velocity, Ch 1”을 선택한다.

⑥ DataStudio 화면 왼쪽에 있는 “Displays” 목록 중에서 “Graph”를 선택하고 측정방법은 “Velocity, Ch 1”을 선택하고 “OK” 버튼을 누른다.

⑦ DataStudio 위쪽에 있는 “start” 버튼을 누른 다음 그림 5와 같이 피켓펜스가 기울어 지지 않고 수직으로 포토게이트 중심을 통과할 수 있도록 떨어뜨린다.

⑧ DataStudio 위쪽에 있는 “stop” 버튼을 누른 다음, $V-t$ 그래프의 기울기를 이용하여 중력가속도를 구한다.

⑨ 피켓펜스의 높이를 변화시켜 가며 위 ⑦,⑧ 과정을 2~3회 반복한다.

※ 피켓펜스의 검은색 띠 사이의 간격은 0.05m로 고정되어 있다.

※ 측정된 자료는 file menu의 “Export data”를 이용하여 text file로 저장한 다음 Excel을 이용하여 그래프를 그리고 분석한 뒤 출력한다.

※ 데이터 스튜디오 상의 그래프를 결과로 직접 첨부하기 위해서는 먼저 linear fitting하고 tool bar의 copy 기능을 이용하여 해당 그래프를 복사 후 그림판으로 옮긴 다음 프린트를 이용하여 출력하면 된다.



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>에서 측정한 자료를 표 1과 2에 기록하고, 아래 주어진 평가들을 완성하라.

표 1. Height h , metal ball's diameter D and mass m .

Trial	쇠구슬 높이, h (m)	쇠구슬 지름, D (m)	쇠구슬 질량, m (g)
1		0.03	113.2

표 2. Measurements of initial velocity and distance along the x-axis.

Trial, N	V_0 (m/s)	$(2hV_0^2)^{-1}$	S (m)	S^{-2}
1				
2				
3				
4				
5				

㉠ 표 1과 2의 자료들을 이용하여 $S^{-2} - (2hV_0^2)^{-1}$ 에 대한 그래프를 얻고 linear fitting을 수행하여 중력가속도를 구하고, 참값과 비교하라. (단, g 의 참값은 $9.8m/s^2$ 이다.)

㉞ 표 2의 자료를 이용하여 쇠구슬의 초속도와 수평이동거리 사이의 관계를 그래프를 이용하여 설명하라.

㉟ 표 2의 자료를 이용하여 쇠구슬의 초속도와 가속도 사이의 관계를 그래프를 이용하여 설명하라.

2) <실험2>에서 얻은 그래프의 기울기를 이용하여 가속도를 평가하고 그 결과를 아래 표에 기록하라. (기울기가 표시된 각 실험에 대한 그래프들을 아래 여백에 첨부하라.)

☞ 3. Heights of Picket Fence and g -values through linear fitting of graphs.

Trial	h (m)	Slope, g (m/sec^2)
1		
2		
3		
Averaged value of g		

㉠ 표 3의 결과와 참값 (9.8 m/s^2)으로부터 상대오차를 평가하라.

㉡ 피켓펜스의 높이변화가 가속도에 미치는 영향을 조사하고 그 이유를 설명하라.

㉢ 피켓펜스를 이용하여 가속도를 측정하는 원리를 간단히 설명하라.

5. 결론 (본 실험을 통해 얻은 결과를 간단히 기술하라.)

<실험1>

<실험2>

6. 참고자료

