

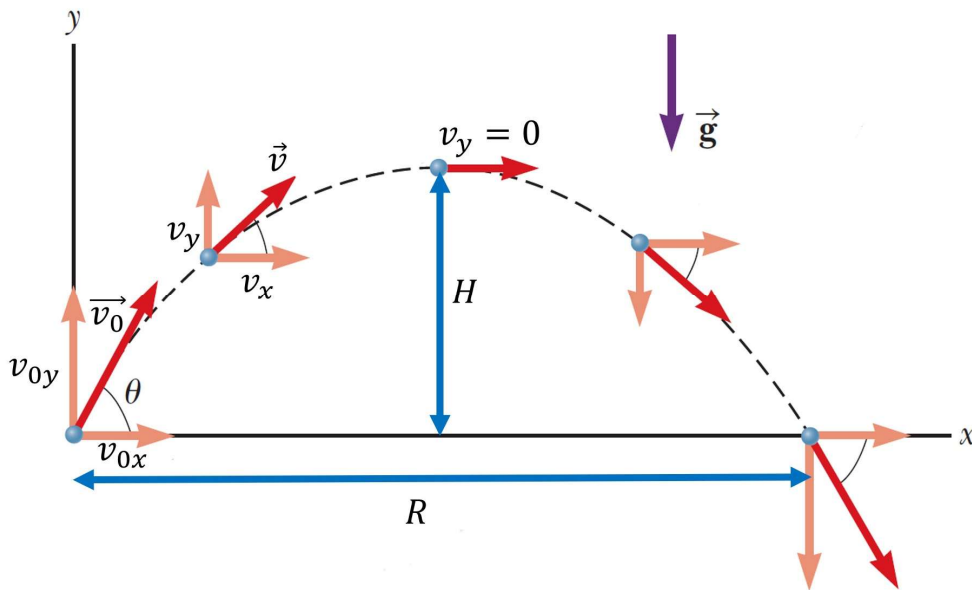
포물선 운동

1. 실험 목적

속도와 각도를 변화시키면서 발사한 물체의 포물선 운동을 관찰하고, 2차원 등가속도 운동을 이해한다.

2. 이론

공기 저항이 없는 경우에 지상에서 공중으로 쏘아올린 물체는 지구의 중력만이 작용하므로 수직 방향으로는 등가속도 운동을 하고 수평 방향으로는 등속 운동을 하게 되어 포물선 형태의 궤도를 따라 움직이다가 땅에 떨어지게 된다. 이때 물체의 포물선 궤도는 아래 그림과 같이 표현할 수 있다.



[그림 1] 포사체의 포물선 궤도

물체가 갖는 가속도, 속도 및 위치를 성분별로 표현하면 아래와 같다.

$$a_x = 0 \quad a_y = -g \quad (1)$$

$$v_x = v_{0x} = v_0 \cos\theta \quad (2)$$

$$v_y = v_{0y} + a_y t = v_0 \sin\theta - gt \quad (3)$$

$$x = v_0 \cos\theta t \quad (4)$$

$$y = v_0 \sin\theta t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (5)$$

[그림 1]에서 보는 것처럼, 가장 높은 위치에서는 속도의 y 성분이 0이 되므로 식 (3)을 0으로 놓고 풀면 가장 높은 점에 도달하기까지의 시간(t_H)

$$t_H = \frac{v_0 \sin \theta}{g} \quad (6)$$

을 구할 수 있으며, 이 시간을 식 (5)에 대입하면 최고 높이 H 가

$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g} \quad (7)$$

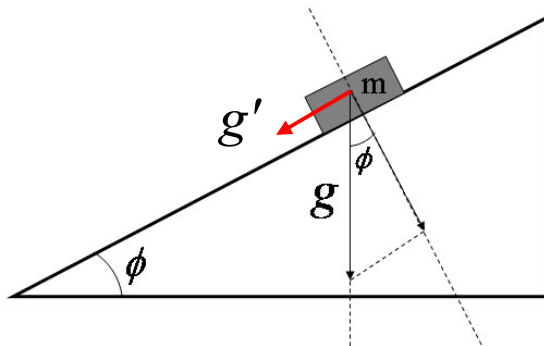
임을 알 수 있다. 또한 포사체가 다시 땅에 떨어지는 순간에 포사체의 y 좌표는 0이 되므로 식 (5)에서 땅에 떨어질 때까지의 시간(t_R)을 알 수 있으며, 이 시간이 최고 높이에 도달하는 시간의 2배에 해당함을 알 수 있다.

$$t_R = 2t_H = \frac{2v_0 \sin \theta}{g} \quad (8)$$

또한 이 시간을 (4) 식에 대입하면 수평도달거리 R 은

$$R = \frac{2v_0^2 \sin \theta \cos \theta}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g} \quad (9)$$

임을 알 수 있다.



[그림 2] 에어 테이블에서의 알짜 가속도

실제 실험에서는 Air Table 위에서 발생하는 포물선 운동을 측정한다. Air Table을 경사각 ϕ 로 기울이면 [그림 2]와 같이 Air Table 상에서 움직이는 물체가 아래 방향으로 받는 알짜 중력가속도는

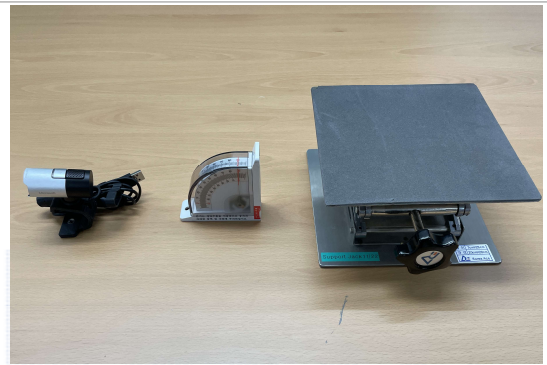
$$g' = g \sin \phi \quad (10)$$

가 된다. 위의 (1) - (9)식에서 중력가속도 g 대신 $g' = g \sin \phi$ 를 사용하면 Air Table 위에서 움직이는 물체의 포물선 운동을 해석할 수 있다.

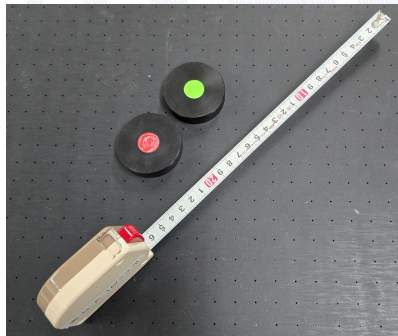
3. 실험장치



Air Table 과 Air Blower



카메라, 각도기, Support Jack



퓍과 줄자



PC(PASCO Capstone)

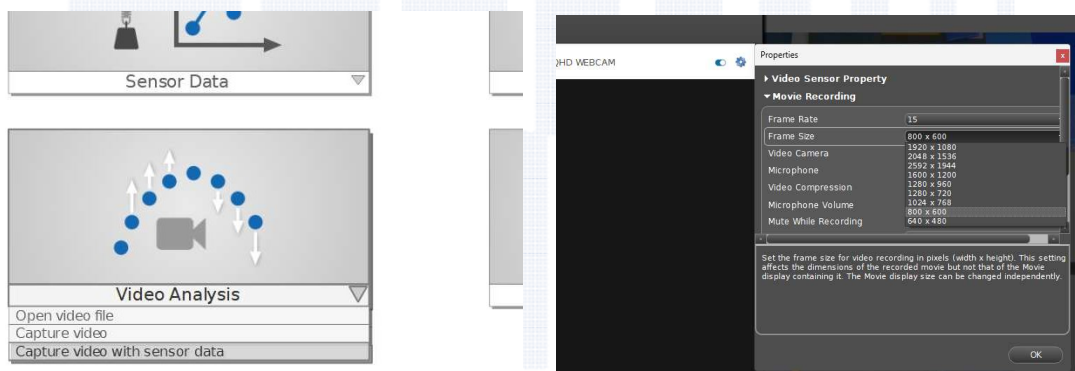
서울시립대학교
UNIVERSITY OF SEOUL

4. 실험절차

(1) PASCO 초기 설정

- (a) PASCO Capstone 프로그램을 실행한다..
- (b) [Video Analysis] - [Capture video with sensor data]를 클릭한다.
- (c) 왼쪽 사이드바 메뉴의 [Hardware Setup]에서 톱니바퀴 모양 버튼을 눌러 [Frame Size]를 800*600 으로 설정한 후, [Frame Rate]를 "15"로 설정한다. ([그림 3] 참고)

* (c)에서 [Frame Size]에 따라 가능한 [Frame Rate]이 다르므로 [Frame Size]를 먼저 조정.

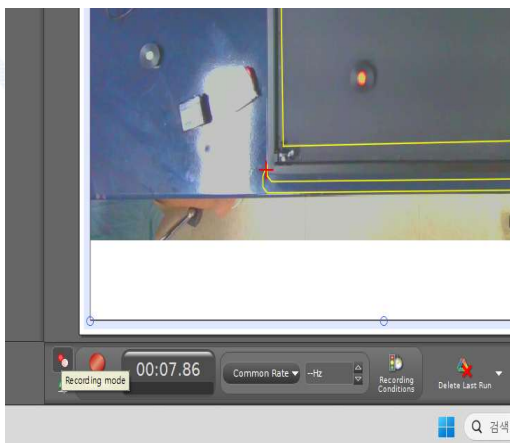


[그림 3] PASCO Capstone 초기 설정

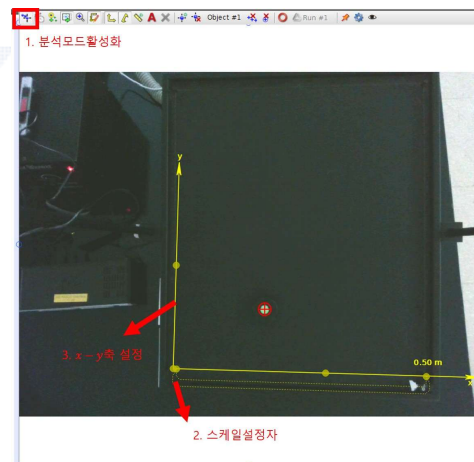
(2) 에어테이블의 각도 및 카메라 조정

※ 에어테이블이 떨어지지 않도록 서포트잭을 깊숙하게 넣어 안정적으로 고정시킬 것

- (a) Support Jack을 이용해 에어 테이블을 각도 ϕ 만큼 기울이고([그림2]참고), 수평을 맞춘다.
- (b) PASCO에서 나타나는 카메라 화면을 보면서, 카메라가 기울어지지 않고 에어테이블을 담을 수 있도록 조정한다.



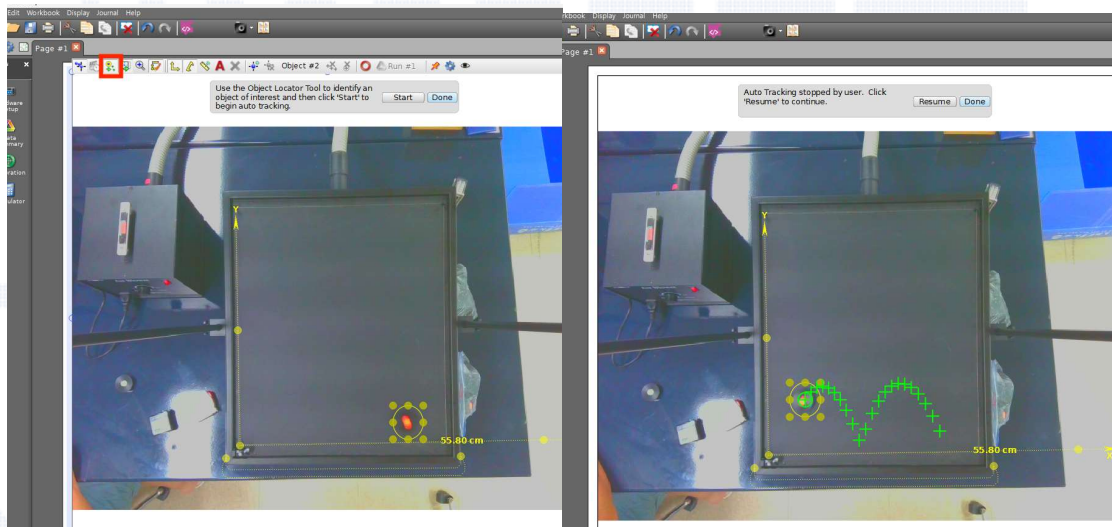
[그림 4-1] Capstone 녹화모드



[그림 4-2] Capstone 분석모드

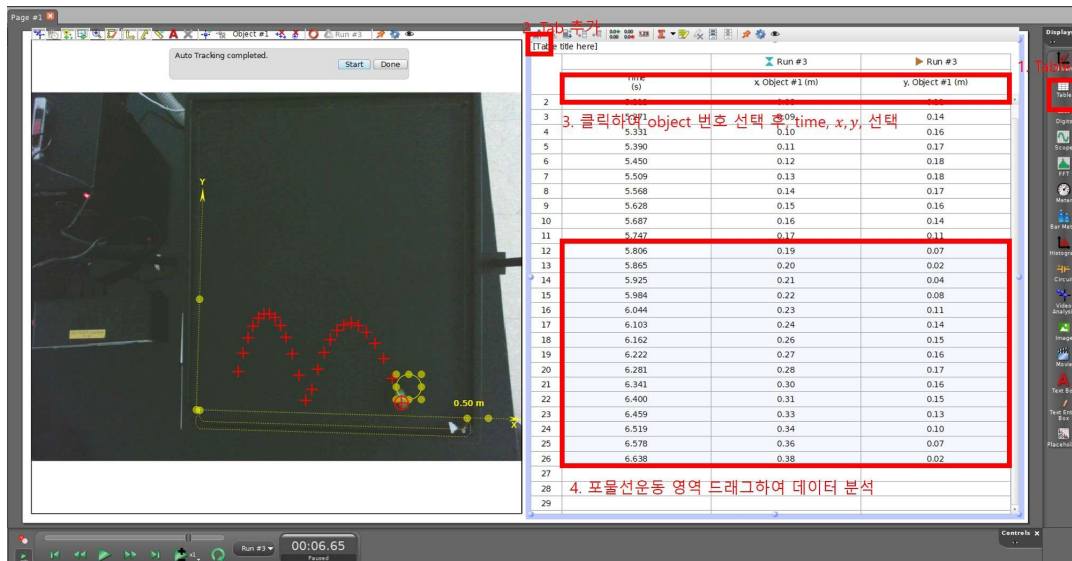
(3) 운동 측정 및 데이터 추출

- (a) 이제 운동의 측정을 위해, Air Blower를 켜고 하단의 [Record] 버튼을 눌러 녹화를 시작하고, 테이블의 한 쪽 아래에서부터 퍽을 가볍게 위로 올려 운동을 시킨다. 운동이 끝나면 녹화를 멈춘다. ([그림 4-1] 녹화모드 참고)
- (b) [그림 4-2]의 버튼(1번)을 눌러 분석모드를 활성화 한다.
- (c) [그림 4-2]의 스케일 설정 자(2번)를 에어테이블 하단의 가로축에 맞게 조절하고 에어테이블의 하단 길이를 줄자로 측정한 값을 입력한다. 또한, x축과 y축(3번)의 방향을 적절히 조절하여 원점을 설정한다.
- (d) [그림 5-1]의 버튼(빨간박스)을 눌러 자동 트래킹을 활성화하면 나타나는 노란 원형 가이드라인을 퍽에 맞게 움직인다. 이 때, 오브젝트의 번호를 기억해둔다.
- (e) [start] 버튼을 누르면 퍽의 움직임이 자동으로 기록된다. ([그림5-2] 참고)
- (f) [그림 6]과 같이 오른쪽 사이드바에서 [Table]을 드래그하여(1번), Tab을 추가하고(2번), 각 탭에서 오브젝트 번호 선택 후, 시간, x , y 좌표(3번)를 선택한다. 영상에서 필요한 부분의 데이터를 드래그하여 분석한다(4번).



[그림 5-1] 오토 트래킹 설정

[그림 5-2] 데이터 추출



[그림 6] 데이터 추출

(5) 실험값과 이론값 비교

추출한 데이터로부터 v_0 와 θ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$v_{0x} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_1 - x_0}{t_1 - t_0}, v_{0y} = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{y_1 - y_0}{t_1 - t_0} \tag{11}$$

$$\Rightarrow v_0 = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2}, \theta = \tan^{-1} \frac{v_{0y}}{v_{0x}}$$

여기서 t_0, t_1 은 각각 데이터의 첫 번째, 두 번째 시간 기록이며, x_0, x_1, y_0, y_1 은 $t=t_0$ 또는 $t=t_1$ 에서의 x 좌표 또는 y 좌표를 의미한다.

식 (11)에서 구한 v_0 와 θ 를 (6)~(1)에 대입하여 이론값을 구하고 이를 실험값과 비교한다.

5. 측정 결과

학과/분반		실험 일시	
실험 조		작성자	

※ 포사체의 운동 과정에 대해 캡처된 화면 중 대표적인 사례를 뒤에 첨부하십시오.

		회	1	2	3	4	5
측정값	v_0						
	θ						
	t_H						
	H						
	t_R						
	R						
이론값	t_H						
	H						
	t_R						
	R						
H에 대한 오차율(%)							
R에 대한 오차율(%)							

[참고1] 이론값을 계산할 때 초기 속력과 방향은 측정값의 데이터를 대입한다.

[참고2] H 및 R 에 대한 오차율 : $\%오차 = \frac{|측정값 - 이론값|}{이론값} \times 100$

6. 고찰 사항

※ 고찰 사항의 질문에 답하는 것이 보고서의 전부가 아닙니다. 여기에 있는 질문은 단지 보고서를 작성할 때 도움을 주기 위한 것입니다.

(1) 오차를 유발할 수 있는 요인들은 무엇입니까?

(2) 위에서 식별된 오차의 원인을 제거하거나 줄이기 위해 어떤 노력이나 방법이 필요하다고 생각합니까?

서울시립대학교
UNIVERSITY OF SEOUL