

9. 구심력 측정



장비 구성

EX-5506 Centripetal Force

Centripetal Force Apparatus	ME-8088
Force Sensor	PS-2104
Photogate Head	ME-9498A
Large Rod Base	ME-8735
90 cm Steel Rod	ME-8738
Multi-Clamp	SE-9507
45 cm Steel Rod	ME-8736
Banana Plug Cord-Red (5 pack)	SE-9750

Required:

850 Universal Interface

PASCO Capstone Software



일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

실험 목표

힘 센서와 포토게이트를 사용하여 등속 원운동하는 물체의 구심력과 질량, 속력(접선방향) 및 회전 반경 사이의 관계식을 발견한다. 물체의 질량, 속력, 회전반경을 변화시키면서 구심력이 어떻게 변화하는지 알아본다.

기본 이론

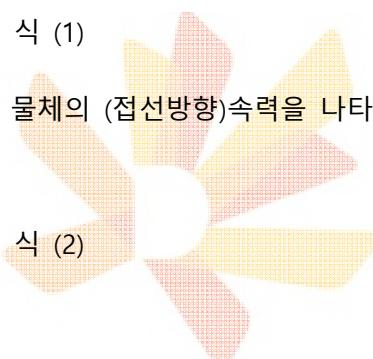
뉴턴의 제1법칙에 의하면 물체에 작용하는 알짜 외력이 0일 때, 그 물체는 일정한 속력으로 직선 상의 운동 상태를 유지하려는 경향을 가진다. 따라서 등속 원운동(Uniform Circular Motion, 일정한 속력으로 원 모양을 그리는 운동)을 하는 물체에는 0이 아닌 알짜 힘(net force)이 작용해야만 한다. 이러한 알짜 힘을 구심력(centripetal force)이라고 부른다. 이 힘의 방향은 원의 중심을 향하며 그 크기는 다음과 같이 주어진다.

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad \text{식 (1)}$$

여기서 m 은 원운동을 하는 물체의 질량, r 은 회전 반경, v 는 물체의 (접선방향)속력을 나타낸다. 등속 원운동의 경우 접선방향 속력은 다음과 같다.

$$v = \frac{2\pi r}{T} \quad \text{식 (2)}$$

여기서 T 는 한바퀴 회전시 걸리는 시간이다.



구심력은 그 원운동하는 계에 작용하는 추가적인 힘이 아니라 운동하는 물체에 작용하는 모든 힘의 벡터 합(vector sum)이다.

$$\vec{F}_c = \sum \vec{F} \quad \text{식 (3)}$$

장비 설치

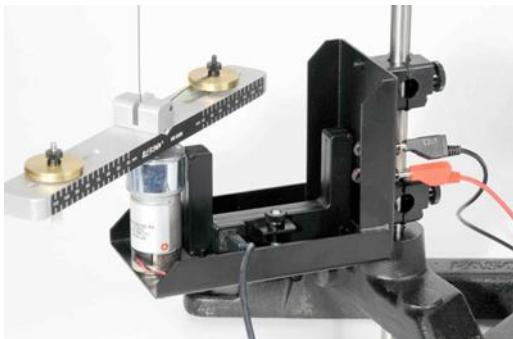


그림 1. 포토게이트 설치부분



그림 2. 장비 설치

1. 구심력 장치의 프레임 부분에 포토게이트를 그림 2와 같이 부착한다.

2. 90 cm 지지막대와 베이스에 구심력 장치를 가능한 한 낮은 위치에 설치한다.

3. 멀티클램프를 사용하여 45 cm 지지막대를 90 cm 지지막대에 수평으로 설치한다.

4. 수평 지지대에 힘 센서를 설치한다.

5. 볼베어링 회전 고리를 힘 센서에 부착한다.

6. 금속 클립을 사용하여 로우-스트레치 케이블을 회전 고리에 부착한다. 케이블의 한 쪽 끝은 플라스틱 도르래를 관통시킨 뒤에 유동질량이 걸려있는 측에 고리 모양으로 감아서 고정시킨다. (주의 : 실험 기구를 사용하지 않을 때에는 케이블에 접힘 자국이 나지 않도록 주의해서 보관할 것!)

7. 포토게이트를 850 인터페이스의 디지털 채널 1에 연결한다. 그리고 힘 센서를 PASPort 단자에 연결한다.

8. 화면 왼쪽 도구 패널에 있는 신호발생기(Signal Generator) 아이콘을 클릭한다. 850 Output 1 창에서 4V의 DC 전압을 설정한다. 신호발생기가 Off 상태인지 확인한 후에, 바나나 플러그를 사용하여 구심력 장치를 850 인터페이스의 OUTPUT 1에 연결한다. 구심력 장치의 어느 전극이 빨강색 output에 연결되었는가에 따라 회전 방향은 달라지겠지만 본 실험에서는 중요하지 않다. (주의 : 신호발생기가 제대로 꺼져있지 않으면 회전팔이 돌아가기 시작할 것이다. 그럴 경우 신호발생기 창에서 OFF 버튼을 눌러 신호발생기를 꺼주도록 한다.)

9. 베이스의 수평을 맞춘다. 좋은 실험 결과를 얻으려면 수평을 잘 맞추는 것이 매우 중요하다. 평형추(고정질량)를 제거한 상태에서 회전팔 위에 그림 3과 같이 수평계를 올려놓는다. 먼저 그림 3처럼 베이스에 부착되어 있는 두 개의 수평조절 나사를 이용해서 회전팔의 평형을 맞춘다. 수평계가 놓인 반대편 끝을 살짝 위 아래로 건드려주면서 평형을 확인할 수 있다. 회전팔을 위 아래로 살짝 흔들어 줄 때 수평계 안의 공기방울의 위치가 중심 주변에서 좌우로 같은 거리만큼 움직이게끔 수평나사를 조절한다.(그림 4.1과 4.2 참조) 수평이 맞았으면 회전팔을 90° 돌려서 마찬가지로 수평나사를 조절하여 공기방울의 위치가 중앙에 오도록 맞춘다. 다 되었으면 다시 90° 를 돌려서 원래 위치가 되게끔하되, 필요하다면 이 때 다시 수평을 조절해야 할 수도 있다.

10. 5 g 짜리 평형추를 올려놓는다.

11. 유동질량을 고정시켜 놓은 부속품들(검정색 플라스틱 너트와 볼트, 은색 너트, 두 개의 플라스틱 와셔)을 제거한 후, 질량을 측정한다. 화면 왼쪽 도구 패널에서 계산기(Calculator) 창을 열어, 7번째 행의 "m hold" 항목에 측정 질량(kg 단위로 되어있음)을 입력한다. ※ 기본 값은 0.0038로 입력되어 있다.

12. 플라스틱 와셔 1개는 회전팔 아래쪽에, 그리고 다른 와셔 1개는 회전팔 위쪽에 끼워서 유동질량 부속품을 다시 조립한다. 은색 너트는 와셔가 튀지 않을 만큼 단단히 조이되, 유동질량이 자유롭게 움직이지 못할 정도로 너무 세게 조여서는 안 된다. 그 다음 케이블의 고리 부분을 그림 5와 같이 은색 너트 위로 끼운다. 그 다음 검정색 너트를 사용해서 5 g의 유동질량을 고리 위로 끼운다. 케이블 고리의 질량은 5g를 넘지 않아야 한다.



그림 3. 수평계의 위치



그림 4.1



그림 4.2



그림 5. 슬라이드 부분의 눈금

[케이블 설치]

1. 힘 센서의 높이를 조절하여 5 g짜리 질량이 중심으로부터 약 10.0 cm 가량 떨어지도록 한다. 힘 센서를 장치의 정중앙 위쪽에 위치시키는 것이 매우 중요하다. 케이블에 장력을 주기 위해 얹어 놓은 질량을 살짝 당겨보면 힘 센서가 정중앙에 있는지 여부를 확인할 수 있다. 장치를 정면에서 바로보았을 때 케이블이 90 cm 지지막대에 정확히 평행한지 확인하고, 지지막대에서 케이블 윗부분까지 거리와 지지막대에서 도르래 바로 윗부분까지의 거리를 측정하면 힘 센서의 위치가 정확한지 확인할 수 있다.
2. 실제 회전 반경을 0.1 cm 이내의 오차로 측정하기 위하여 유동질량을 당겨서 케이블을 팽팽하게 만든다. 물론 장비 측면에 붙어있는 눈금을 보고 읽을 수도 있지만, 유동질량의 중심으로부터 수직 케이블까지의 거리를 작은 자로 직접 재는 것이 훨씬 정확하다. 화면 왼쪽 도구 패널에서 계산기를 클릭하여, 첫 번째 행에 있는 Radius=0.1(10 cm를 의미함)의 값을 실제 측정값으로 바꾸어 준다. 계산기를 다시 클릭하여 창을 닫는다.



[실험 1] 구심력 vs 질량 (회전 반경과 속력은 고정)

1. 힘 센서의 "ZERO" 버튼을 누른다. 이 과정은 힘 센서에 아무런 힘도 가해지지 않는 상태에서 측정값을 0으로 맞추어 주는 것이다.
2. RECORD 버튼을 클릭하여 약 5초 동안 데이터를 수집한 후, STOP 버튼을 클릭하여 데이터 수집을 멈춘다. 평균 속력과 평균 힘이 둘 다 "0"이 되어야 한다. (평균 힘이 "0"이 되지 않는다면 기록해둔다.)
3. 회전팔의 중심으로부터 같은 거리만큼 떨어진 곳에 5 g짜리 동일한 질량을 끼워줌으로써 회전팔이 흔들리는 것을 방지한다. 이 때 거리 측정은 아주 정확할 필요가 없으므로 장치 측면에 붙어있는 눈금을 사용해도 충분하다.
4. 화면 왼쪽 도구 패널에서 신호발생기를 클릭한다. Output 1 항목에서 파형(Waveform)은 DC로, 전압은 4.5 V로 설정한다. (※ 주의: 이 다음 단계에서 장비가 회전하기 시작하므로 주변 물체가 전선 등이 회전할 때 걸리지 않도록 잘 확인해야 한다.) ON 버튼을 누른다. 약 10초가 지나면 전압을 4.0 V로 내려준다. 처음에 빠른 속도로 구동을 시킨 후 살짝 속력을 늦춰는 이유는 질량의 정확한 위치를 잡아줌으로써 마찰력의 영향을 최소화하려는 것이다. 일정한 속력으로 회전할 때까지 약 20초가량 기다린다.

5. RECORD 버튼을 눌러, 속력과 힘의 평균값이 거의 상수가 될 때까지 약 10초간 데이터를 수집한다. STOP 버튼을 누른다.

6. 신호발생기 Output 1에서 OFF 버튼을 클릭하여, 장치의 회전을 멈춘다.

7. 'Variable Mass' 표의 첫 번째 행에 평균 속력(Av Speed)과 평균 힘(Av Force)을 각각 기록한다. (이 때 평균 힘의 (-) 부호는 무시해도 좋다.)

일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

8. 구심력 vs 질량 그래프를 확인한다.
9. 화면 왼쪽의 도구 패널에서 계산기를 열어 "theory force" 값이 기본 이론 파트에서 기술한 식 (1)에 잘 부합되는지 확인하여라. "theory force" 값을 계산할 때에는 'Variable Mass' 표로부터 계산된 실제 측정값 'Av speed'를 사용한다. 이 때 속력이 완벽하게 일정한 값은 아니므로 "theory force"값 역시 완벽하게 선형이 되지는 않을 것이다. 완료 후 계산기 창을 닫는다.
10. 가끔씩은 확연히 좋지 않은 "Av Force" 데이터가 찍히기도 하는데, 그러한 경우 여러 번 반복적으로 그 지점의 데이터를 얻어서 더 좋은 데이터를 얻을 수 있도록 시도한다. 'Variable Mass' 표의 0.030 kg 아래 행에 새로운 시행 결과를 기록한다.
11. 범례 상자에서 "Av Force"를 클릭하여 데이터를 활성화시킨다. 도구막대에서 "Curve Fit" 아이콘을 클릭한 다음, "Linear Fit"을 선택 적용한다.

일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

[실험 2] 구심력 vs 속력 (회전 반경과 질량은 고정)

1. 30 g의 질량을 케이블 및 회전팔에 장착한다.
2. 스크린 왼쪽에 있는 신호발생기를 클릭한다. Output 1 항목에서 DC 전압을 5.5 V로 설정한다. (※ 주의: 이 다음 단계에서 장비가 회전하기 시작하므로 주변 물체가 전선 등이 회전할 때 걸리지 않도록 잘 확인해야 한다.) ON 버튼을 누른다. 약 10초가 지나면 전압을 5.0 V로 내려준다. 일정한 속력으로 회전할 때까지 약 20초가량 기다린다.
3. RECORD 버튼을 눌러 속력과 힘의 평균값이 거의 상수가 될 때까지 약 10초간 데이터를 수집한다. STOP 버튼을 누른다.
4. 'Variable Speed' 표의 첫 번째 행(5.0 V 행)에 평균 속력과 평균 힘을 각각 2열과 3열에 기록한다. (이 때 평균 힘의 (-) 부호는 무시해도 좋다)
5. 신호발생기의 전압을 0.5 V만큼 내려준다. 일정한 속력으로 회전할 때까지 약 20초가량 기다린다.
6. 구심력 vs 속력 그래프를 확인한다.
7. 화면 왼쪽의 도구 패널에서 계산기를 열어, 8번째 행의 "theory f" 값이 기본이론 파트에서 기술한 식 (1)에 잘 부합되는지 확인하여라. 완료 후 계산기 창을 닫는다.
8. 가끔씩은 확연히 좋지 않은 "Ave F" 데이터가 찍히기도 하는데, 그러한 경우 여러 번 반복적으로 그 지점의 데이터를 얻어서 더 좋은 데이터를 얻을 수 있도록 시도한다. 'Variable Speed' 표의 3.5 V 아래 행에 새로운 시행 결과를 기록한다.
9. 범례 상자에서 "Ave F"를 클릭하여 데이터를 활성화시킨다. 도구막대에서 "Curve Fit" 아이콘을 클릭한 다음, "Linear Fit"을 선택 적용한다.

[실험 3] 구심력 vs 회전 반경 (질량과 속력은 고정)

1. 앞의 [실험 2]에서와 마찬가지로 30 g의 질량을 케이블 및 회전팔에 장착한다.
2. 'Variable Radius' 표의 첫 번째 열에 회전 반경을 입력한다. 최초 회전 반경은 이전 실험에서와 동일하기 때문에 계산기의 첫 번째 행에 이미 기입되어 있을 것이다. 회전 반경을 입력하고 나서, 좌측 상단에 있는 회전 반경 상자 안에 방금 기입한 값이 제대로 표시되어있는지 확인한다.
3. 화면 왼쪽 도구패널에서 신호발생기를 클릭한다. Output 1 항목에서 DC 전압을 5.0 V로 설정한다.
(※ 주의: 이 다음 단계에서 장비가 회전하기 시작하므로 주변 물체가 전선 등이 회전할 때 걸리지 않도록 잘 확인해야 한다.) ON 버튼을 누른다. 약 10초가 지나면 전압을 4.5 V로 내려준다. 일정한 속력으로 회전할 때까지 약 20초가량 기다린다.
4. RECORD 버튼을 눌러 속력과 힘의 평균값이 거의 상수가 될 때까지 약 10초간 데이터를 수집한다. STOP 버튼을 누른다.
5. 'Variable Radius' 표의 첫 번째 행에 평균 속력과 평균 힘을 각각 2열과 3열에 기록한다. (이 때 평균 힘의 (-) 부호는 무시해도 좋다)
6. 신호발생기 Output 1에서 OFF 버튼을 클릭하여, 장치의 회전을 멈춘다.
7. [케이블 설치]의 단계를 따라 회전 반경을 약 8.5 cm로 줄인다. 0.1 cm 이내의 오차로 회전 반경을 측정한다. 평형추 질량의 위치도 변경된 거리만큼으로 움직여준다. 그리고 위의 2~6단계를 반복한다.
8. 구심력 vs 회전 반경 그래프를 확인한다.
9. 화면 왼쪽의 도구 패널에서 계산기를 열어, 0번째 행의 "theo f" 값이 기본 파트에서 기술한 식 (1)에 잘 부합되는지 확인하여라. "theo f" 값을 계산할 때에는 'Variable Mass' 표로부터 계산된 실제 측정값 'Ave speed'를 사용한다. 이 때 속력이 완벽하게 일정한 값은 아니므로 "theo f" 값 역시 완벽하게 선형이 되지는 않을 것이다. 완료 후 계산기 창을 닫는다.
10. 가끔씩은 확연히 좋지 않은 "Ave Force" 데이터가 찍히기도 하는데, 그럴 때에는 여러 번 반복적으로 그 지점의 데이터를 얻어서 더 좋은 데이터를 얻을 수 있도록 시도한다. 'Variable Radius' 표의 5.0 cm 아래 행에 새로운 시행 결과를 기록한다.
11. 범례 상자에서 "Ave Force"를 선택하여 데이터를 활성화시킨다. 도구막대에서 "Curve Fit" 아이콘을 클릭한 다음, "Linear Fit"을 선택 적용한다.