

## 1-4. 운동법칙의 응용 - 원운동과 구심력

### 1. 실험목적

뉴턴 운동법칙을 이용하여 등속원운동 하는 물체의 구심력과 구심가속도 사이의 선형관계를 조사함으로써 원운동의 기본원리를 이해한다.

### 2. 이론 및 원리

선형운동과 달리 원운동은 구심력의 존재 하에서만 가능하며, 원운동 하는 물체의 가속도는 구심력의 세기에 의존하며, 항상 원의 중심을 향한다.

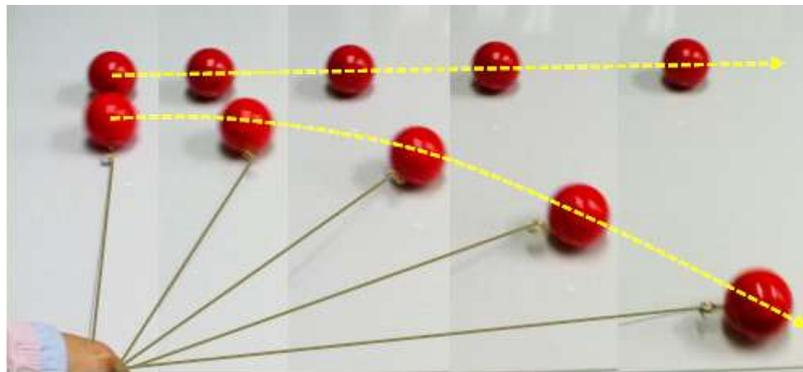


그림 1. 선형운동과 원운동

위 그림 1과 같이 선형운동과 회전운동을 비교해 볼 수 있다. 줄에 연결되지 않은 당구공은 직선 경로를 따라 운동하지만 줄에 연결되어 있는 당구공은 반지름이 일정한 원 궤도를 따라 운동하고 있음을 볼 수 있다. 따라서 원운동의 원인은 줄에 있음을 알 수 있으며, 줄이 가진 이와 같은 힘을 구심력 (centripetal force)이라 한다. 구심가속도,  $a_c$ 의 크기는 다음과 같이 주어진다.

$$\therefore a_c = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R \quad (1)$$

여기서  $v$ ,  $\omega$ , 그리고  $R$ 은 원운동 하는 물체의 선속도, 각속도 그리고 궤도 반지름을 각각 나타낸다. 이 물리량들 사이의 관계는 뉴턴 운동 제2법칙에 따라 다음과 같이 정의된다.

$$\therefore F_c = ma_c = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R = m(2\pi f)^2 R \quad (2)$$

여기서  $f$ 는 주파수로 각속도와  $\omega = 2\pi f$  관계를 가지며, 위 식을 주기,  $T$ 의 함수로 다시 정리하면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\therefore F_c = m(2\pi f)^2 R = \frac{4\pi^2 m R}{T^2} \quad (3)$$

위 식으로부터  $R$ 과  $T$  사이의 관계는 아래와 같이 재정리할 수 있다.

$$\therefore R = \frac{F_c}{4\pi^2 m} T^2 \quad (4)$$

<1> 회전반지름과 주기

질량,  $m$ 인 물체에 작용하는 추의 무게와 용수철의 탄성력이 같으면 평형상태 ( $kx = mg$ )를 만족하게 되며, 그림 2는 이 조건을 이용하여 구심력을 측정할 수 있도록 고안된 장치이다. 아래 왼쪽 그림은 중앙의 고정축에 연결되어 있는 용수철과 추의 무게,  $Mg$ 가 균형을 이루고 있는 것을 나타낸다. 추를 제거하면 질량  $m$ 인 물체는 용수철의 탄성력 때문에 오른쪽으로 끌려가게 된다. 이 상황을 그림 2의 오른쪽에서 볼 수 있다.

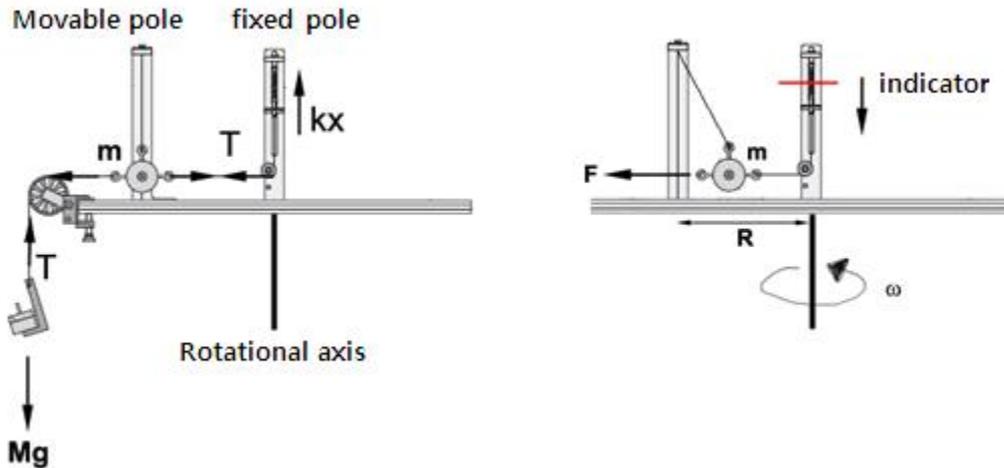


그림 2. 구심력 측정을 위한 실험 장치

회전축을 각속도  $\omega$ 로 회전시키면 질량  $m$ 인 물체는 원심력 때문에 왼쪽으로 이동하게 된다. 각속도의 크기에 이동하는 정도도 달라지며, 결과적으로 용수철이 늘어나는 정도도 달라질 것이다. 왼쪽 그림의 indicator (표시기)는 용수철에 매달려 있기 때문에 각속도의 크기에 따라 위치가 달라질 것이다. 따라서 어떤 각속도에서는 표시기가 초기 위치로 정확히 돌아갈 수 있을 것이다. 이 경우 구심력  $F_c$ 은 정확히 추의 무게  $Mg$ 와 같아진다. 이 실험에서는 구심력을 고정시킨 후 주기 ( $T$ )와 반지름 ( $R$ ) 사이의 관계를 조사하게 된다.

<2> 구심력과 주기

그림 2에서는 추의 무게가 구심력과 같아지도록 장치를 구성 하였다. 그러나 구심력의 크기에 따라 원동의 주기가 어떻게 달라지는지 조사하기 위해서는 구심력의 크기를 변화시켜야만 한다. 구심력은 추의 무게를 달리하면서 조절할 수 있다.

$$\therefore F_c = \frac{4\pi^2 mr}{T^2} \propto T^{-2} \quad (5)$$

식 (5)를 이용하여 구심력 ( $F_c$ )과 주기 사이의 관계로부터 원동동하는 물체의 질량을 구할 수 있다.

3. 실험장치 및 방법

1) 실험장치

A-베이스, 회전용 막대, 중심기둥, 이동용 기둥, 추걸이, 회전추, 추세트, 도르래, 포토게이트, 실, 포스트잇, 50cm 쇠자, 750 인터페이스

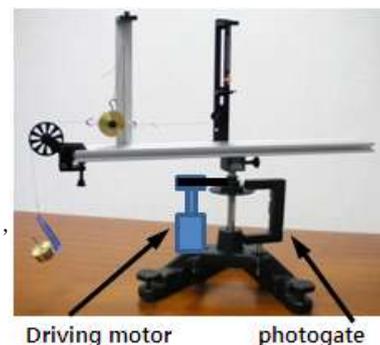


그림 3

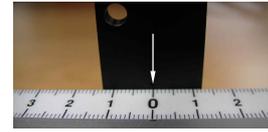
2) 실험방법

<실험1> 회전반지름과 주기 (구심력은 상수)

① A-베이스에 모터와 벨트, 광센서, 회전용 막대, 중심기둥, 이동용 기둥을 그림과 같이 설치한다.

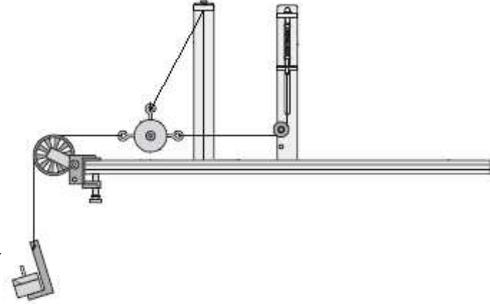


② 중심기둥의 중앙을 회전막대의 “0”에 일치하도록 고정한다.



③ 회전추, 추, 추걸이의 질량을 측정하여 기록한다.

④ 옆의 그림과 같이 실을 이용하여 회전추와 추를 매달고 회전추의 오른쪽 끝도 줄을 이용하여 중심기둥의 표시장치 아래에 연결한다.



⑤ 질량,  $M=40g$ 인 추를 추 걸이에 연결한다.

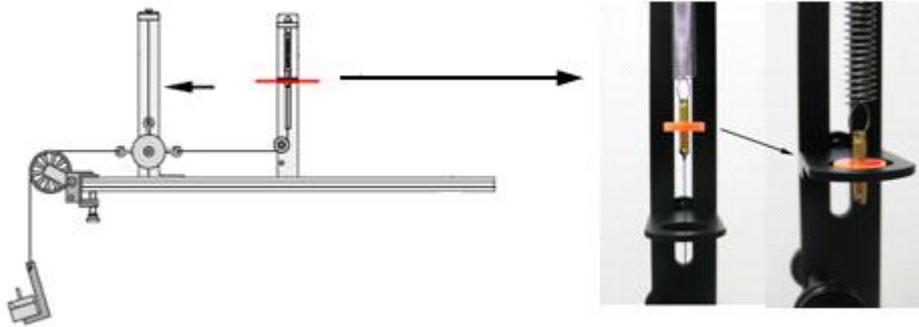
⑥ 회전추가 이동용 기둥으로부터 벗어나게 된다.

⑦ 이동용 기둥에 표시되어 있는 중심선이 회전추를 매달고 있는 줄과 일치하도록 조절한다.

※ 도르래의 기울기를 조절하여 회전추를 연결한 줄이 수평이 되도록 조절한다.

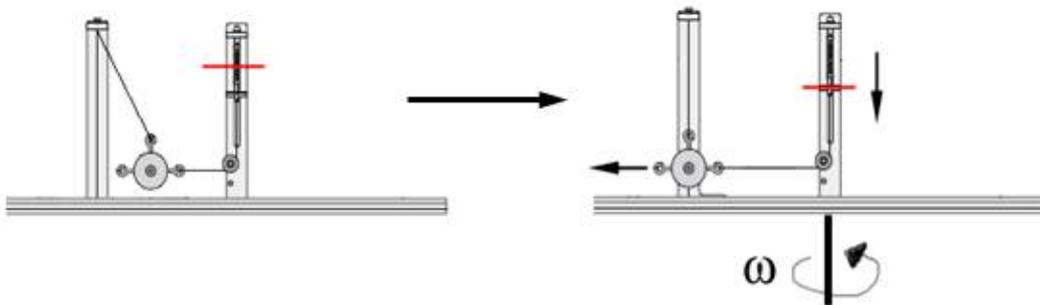
⑨ 중심기둥과 이동용 기둥 사이의 거리 (반지름  $R$ )를 측정하여 기록한다.

⑩ 중심기둥에 있는 “표시기 브라켓”을 움직여 플라스틱 원판과 일치하도록 한다.



⑪ 회전용 막대로부터 도르래와 추를 제거한다.

※ 추가 제거되면 회전추는 막대의 중심에서 벗어나게 되고 플라스틱 원판도 표시기 브라켓에서 벗어나게 된다. 스프링 브라켓은 제일 위쪽에 위치시킨다. (아래 그림 참조)



⑫ 원심력에 의해 회전추가 이동하면서 플라스틱 원판이 표시기 브라켓과 일치할 때까지 구동모터를 이용하여 회전축을 돌린다.

- ⑬ 플라스틱 원판과 표시기 브라켓이 일치하는 동안 회전체의 주기를 측정하고 기록한다.
- ⑭ 이동용 기둥의 위치  $R$ 을 변화시켜 가며  $R$ 을 기록하고 ⑫, ⑬ 과정을 반복한다.
- ⑮  $R$ 과  $T^2$ 에 대한 그래프의 기울기로부터 구심력  $F_c$ 를 구한다.

<실험2> 구심력과 주기 (회전반지름은 고정되어 있다.  $R=상수$ .)

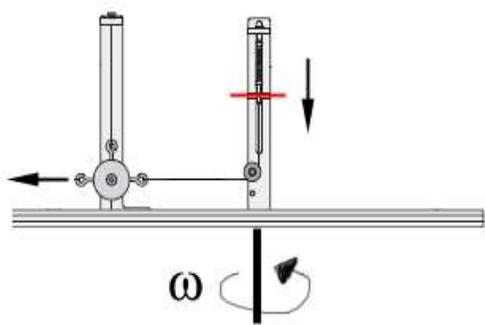
- ① 실험1)의 ①~⑤ 과정과 동일하게 장치를 구성한다.
- ※  $M=70g$ 인 추를 매달았을 때 이동용 기둥의 중심이 회전대의 18 cm인 곳이 적당하다.
- ② 중심기둥의 위쪽에 있는 스프링 브라켓을 이용하여 회전추가 이동용 기둥의 중심에 위치하도록 조절한다.



- ③ 중심기둥에 부착되어 있는 표시기 브라켓을 이동시켜 플라스틱 원판과 일치하도록 한다.
- ④ 회전용 막대로부터 도르래와 추를 제거한다.
- ※ 추가 제거되면 회전추는 막대 중심으로부터 벗어나게 된다.

⑤ 원심력에 의해 회전추가 이동하면서 플라스틱 원판이 표시기 브라켓과 일치할 때까지 구동모터를 이용하여 회전축을 돌린다.

⑥ 플라스틱 원판과 표시기 브라켓이 일치하는 동안 회전체의 주기를 측정하고 기록한다.



⑦ 추걸이에 질량이 다른 추를 바꿔가며 ②~⑥의 과정을 반복한다.

⑧ 식 (5)에 따라  $F$ 와  $T^{-2}$ 에 대한 그래프의 기울기로부터 회전추의 질량을 결정한다.

※ 실험1)과 실험2)에서 회전체의 주기를 측정하는 방법

① “750 인터페이스“의 “Digital channel” 1에 포토게이트 플러그를 연결한다.

② “750 인터페이스”를 켜 다음, 컴퓨터에 연결한다.

③ 컴퓨터 화면상에 있는 “DataStudio”  를 실행시킨다.

④ “Welcome to DataStudio” 창에서 ”Create Experiment”  를 선택한다.

⑤  에 있는 “Digital Channel”의 1을 클릭한다.

⑥ 다음 창에서 “Photogate and Pendulum”를 선택하고 “OK” 버튼을 누른다.

⑦ “Photogate and Pendulum” 구동을 위한 상수 및 측정방법을 지정한다.  
- "Constants"를 클릭한 후 회전지시기의 폭 (포스트잇의 폭)을 입력한다.  
- "Measurements"에서 “period, Ch 1”을 선택한다. 그리고 측정단위는 s로 한다.

⑧ “DataStudio” 화면 좌측 아래에 있는 ”Displays” 목록 중 “Table”을 선택한다.

⑨ "Table" 위의 아이콘  을 클릭한 후 “standard deviation”을 선택한다.

⑩ "Table" 위의 아이콘  을 클릭한 후 “increase precision”을 선택한다.

⑪  에 있는 “output”을 클릭하여 구동모터의 전원을 준비한다.

※ 직류전원 (DC)을 선택하고 전압의 크기는 1.8V로 설정한다. 그리고 전압을 0.01V 단위로 조절하기 위해 “◀ ▶”을 이용하여 자리수를 0.01로 설정한다.

⑫ 구동모터를 작동시키기 위해 전원화면의 "on"을 누른다.

※ “Auto”를 누르면 "on/off"가 활성화된다.

※ 초기 회전은 1.8V로 시작하여 플라스틱 원판과 표시기 브라켓이 일치할 때까지 0.01V 단위로 변화시킨다.

⑬ 플라스틱 원판과 표시기 브라켓이 일치하는 순간 “start” 버튼을 누른다.

⑭ “Table”에 주기가 기록되면 ”stop” 버튼을 누르고 평균값을 기록한다.

※ 이 과정에서 측정된 시간은 회전지시기가 포토게이트를 3번 (두 바퀴) 지나가는 시간으로 주기의 2배 (2T)가 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>의 수행 결과를 표 1에 기록하고, 아래 주어진 평가들을 완성하라.

표 1. R, T를 이용하여 구심력 측정

Trial	$R$ (cm)	$T$ (s)	$T^2$ (sec <sup>2</sup> )	Mass
1				회전추 질량, $m =$ (g)
2				추의 질량, $M =$ (g)
3				
4				추 길이 질량 = (g)
5				$g = 9.8 \text{ m/s}^2$

㉔ 표 1의 자료를 이용하여  $R - T^2$  그래프를 얻은 다음 linear fitting하여 그래프의 기울기와 식 (4)를 이용하여 구심력을 구하라. 그리고 이 결과를 추의 무게 (추 길이의 무게도 포함)와 비교하고, 오차를 평가하라. (그래프 첨부)

㉕ <실험1>의 구동원리를 설명하고, 이 실험에 포함된 물리량들 사이의 관계를 논하라.



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

표 2.  $F_c$ 과  $T$ 에 따른 질량

Trial	$M(g)$	$F_c(N)$	$T(s)$	$T^{-2}$	Mass
1	30				회전추의 질량, $m =$ kg
2	50				
3	60				추걸이의 질량 = kg
4	70				
5	80				

㉑ 표 2의 자료를 이용하여  $F_c - T^{-2}$  그래프를 얻은 다음 linear fitting하여 그래프의 기울기와 식 (5)를 이용하여 회전추의 질량을 구하라. 이 결과를 저울로 측정한 회전추의 질량 (참값)과 비교하고 오차를 평가하라. (그래프 첨부)



⑤ <실험2>의 구동원리를 설명하고, 이 실험에 포함된 물리량들 사이의 관계를 논하라.



5. 결론 (본 실험을 통해 얻은 결과를 간단히 기술하라.)

6. 참고자료

