

# 구심력 측정

## 1. 실험 목적

회전 운동하는 물체가 갖는 구심가속도와 구심력을 이해하고, 특정 운동에서 실제로 구심력 역할을 수행하는 힘과 회전운동으로부터 측정한 구심력의 관계를 이해한다.

## 2. 이론

### 2.1 등속 원운동과 구심가속도

어떤 물체가 일정한 속력으로 원 궤도를 따라 운동할 때 매 순간 속도의 방향이 변해야 하므로 속도 방향의 변화에 대응하는 가속도가 존재하고, 이 가속도의 방향은 언제나 원의 중심을 향하게 된다. 이런 가속도를 구심가속도(centripetal acceleration)이라고 한다. 물체가 속력  $v$ 로 반지름  $r$ 인 원운동을 할 때 구심가속도의 크기는

$$a_c = \frac{v^2}{r} \quad (1)$$

로 주어진다. 물체가 한 번 회전하는데 걸리는 시간인 주기  $T$ 는 다음과 같다.

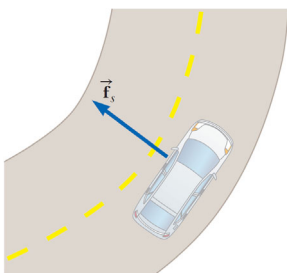
$$T = \frac{2\pi r}{v} \quad (2)$$

따라서 구심가속도를 주기를 이용하여 아래와 같이 표현할 수 있다.

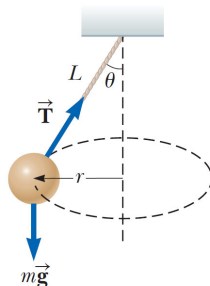
$$a_c = \frac{4\pi^2 r}{T^2} \quad (3)$$

위의 식 (3)에서, 회전 반지름과 주기를 알면 물체의 구심가속도를 결정할 수 있다.

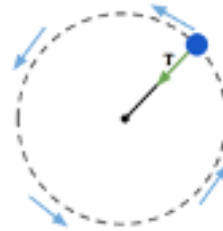
### 2.2 구심력 역할을 수행하는 힘



[그림 1] 원형 도로 위의 자동차



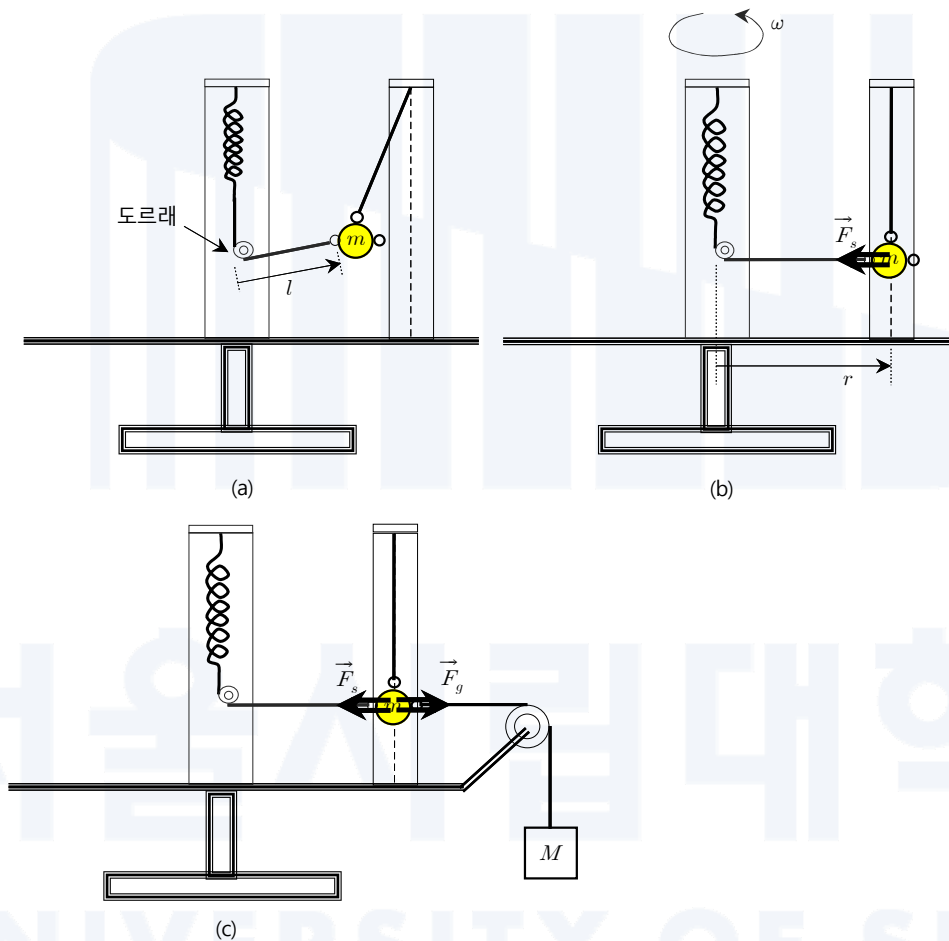
[그림 2] 원뿔 진자



[그림 3] 줄에 매달린 물체의 원운동

물체의 운동 상태에 따라서 다양한 힘 또는 힘들의 합력(알짜힘)이 구심력 역할을 수행할 수 있다. 수평면의 원형 도로 위의 자동차는 타이어와 노면 사이의 정지마찰력이[그림1], 원뿔 진자는 장력의 일부가[그림2], 줄에 매달려 원운동하는 물체는 줄에 걸리는 장력[그림3]이 구심력의 역할을 수행한다.

[그림4]는 구심력 측정 실험에 사용할 실험 장치의 개요도이다. 본 실험 장치에서는 질량이  $m$ 인 물체(3중고리 추)에 연결된 실의 장력이 물체에 대해 구심력 역할을 수행하고, 이 장력은 다시 용수철의 복원력( $\vec{F}_s$ )이 역할을 대신하게 된다([그림4-(b)]).



[그림 4] 용수철의 탄성력을 이용하여 구심력을 측정하는 실험 장치의 개요도. (a) 회전시키기 전의 측정 장치도. (b) 일정한 속력으로 회전하고 있는 상태. (c) 회전을 멈춘 후, 회전 시와 동일하게 용수철을 변형시킬 수 있는 무게의 추를 단 상태.

등속원운동하는 동안 3중고리추에 작용한 용수철의 힘을 측정하기 위해 장치를 정지시킨 후 [그림4-(c)]와 같이 반대쪽에 질량이  $M$  (추걸이 질량 포함)인 추를 매달아서 용수철이 회전 운동할 때와 같은 길이만큼 늘어나게 하면 추의 무게는 용수철의 복원력과 같게 된다.

$$kx = \frac{mv^2}{r} \text{ (원운동 시)}, \quad kx = Mg \text{ (정지 시)} \quad (4)$$

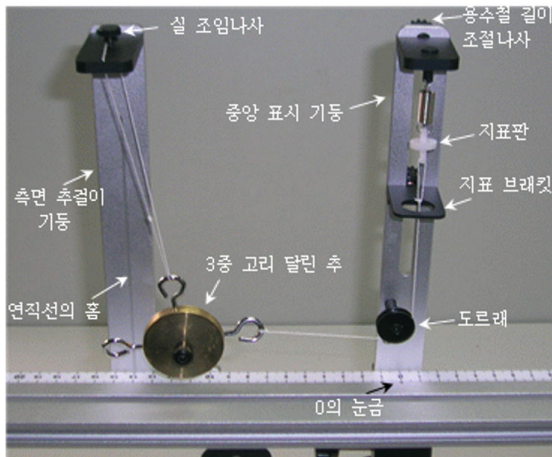
요약하면, 회전 운동하는 동안 회전 주기를 측정하여 얻은 구심력과, 정지 상태에서 추를 매달아 측정한 용수철의 복원력을 비교하여 힘의 관계를 이해한다.

### 3. 실험장치

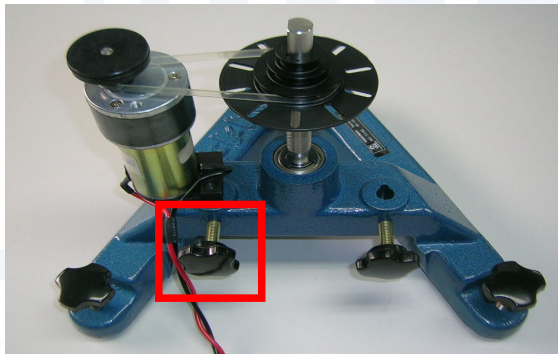
		
A-스탠드	실험키트	회전막대
		
DC 모터	직류전원장치	초시계
		
수평계	추와 추걸이	전자저울

## 4. 실험절차

### 4.1 실험 장치의 기본 구성



← [그림 5] 알루미늄 트랙에 설치된 중앙 표시 기둥, 측면 추걸이 기둥 및 3중고리추

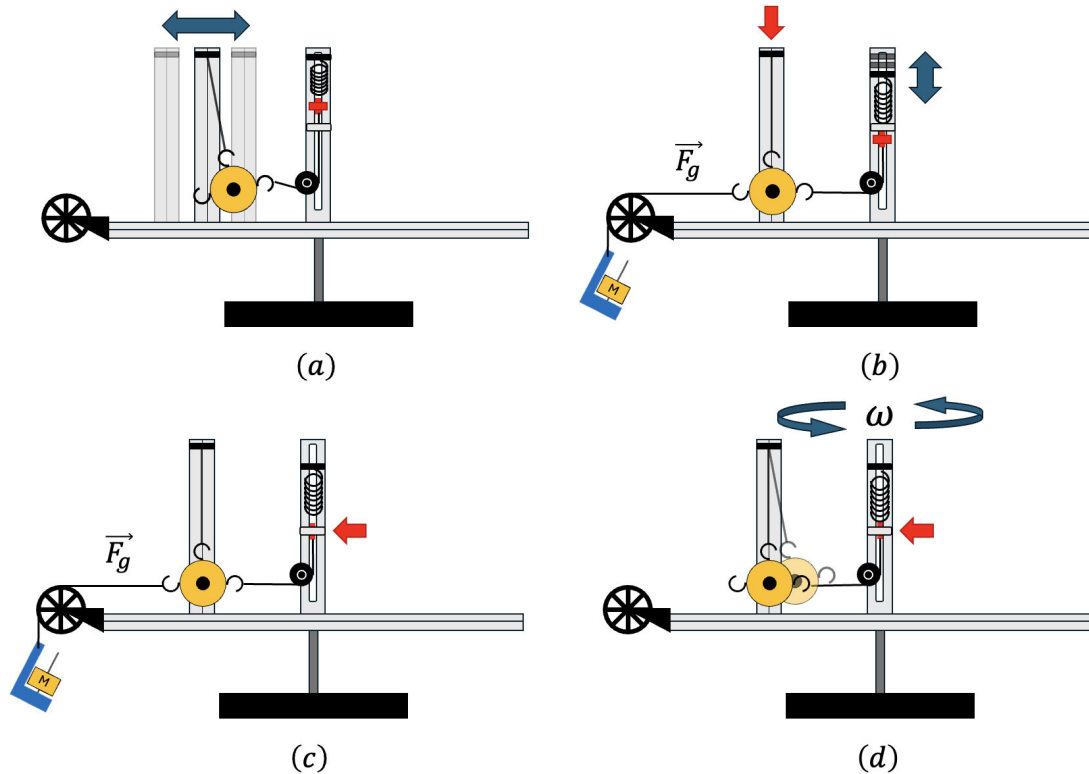


↑ [그림 6] 회전 스탠드의 3중 도르래와 고무 밴드로 연결된 DC 모터.



※ [그림 6] 좌측에 표시된 조임 나사를 돌려 모터를 제대로 고정시킬 것

## 4.2 회전 운동에서 구심력의 실험값과 이론값 측정

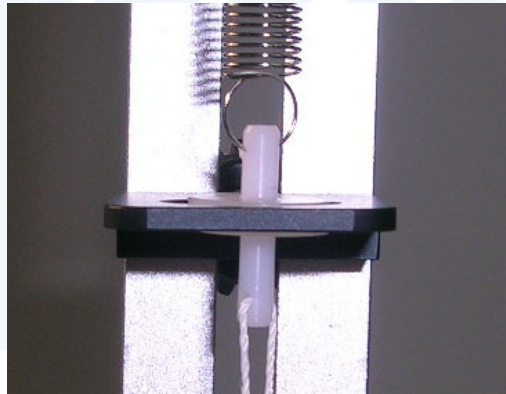


[그림 7] 구심력 실험 장비 사용 방법의 도식. (a) 파란색 화살표 방향으로 측면 추걸이 기둥을 움직여, 회전 반지름을 조절하는 상태. (b) 주어진 회전 반지름(빨간색 화살표)에 대하여, 무게추를 걸고, 파란색 화살표 방향으로 용수철 길이 조절 나사를 움직여, 정지시 무게추에 의한 중력과 원운동시 구심력의 평형을 조절하는 상태. (c) 빨간색 화살표처럼 지표 브래킷의 높이를 지표판과 일치시켜 원운동시 주어진 회전 반지름에서 회전하는지 확인하기 쉽도록 조절하는 상태. (d) 무게추를 제거하고, 모터를 이용하여 3중고리추가 지표판이 지표 브래킷과 일치하는 상태로 일정한 속력으로 회전하도록 조절한 상태

- (a) 3중고리추의 질량  $m$ 을 측정한다.
- (b) 중앙표시 기둥이 0의 눈금에 있을 때, 측면 추걸이 기둥의 위치를 조절하여 회전 반지름( $r = 15 \text{ cm}$ )을 설정한다. 이 때, 3중고리추가 중앙 표시 기둥 쪽으로 기울어지도록 위치시킨다. [그림 7 (a)]
- (c) 무게추( $M$ )를 걸고, 중앙 표시 기둥의 용수철 길이 조절 나사의 높이를 조절하여 3중고리추를 매달고 있는 실이 측면 추걸이 기둥의 연직선의 홈에 일치하도록 한다 [그림 7(b)]. 이는 식 (4)에서처럼, 정지시 무게추에 의한 중력  $Mg$ 과 원운동시 주어진 반지름  $r$ 에서의 구심력이 같도록 조절하기 위함이다.
- (d) 그 상태에서, 중앙 표시 기둥에 부착된 지표 브래킷의 높이를 조절하여 지표판과 그 높이를 일치시킨다. 이로써, 회전 운동 중에 지표판과 지표 브래킷의 위치가 일치하는지 확인하여, 3중고리추가 수직선에 정확히 맞닿는지(즉 정확한 회전반경을 측정

하고 있는지)를 알 수 있다. [그림 7(c)]

- (e) 무게추를 제거하고, DC 모터의 리드선을 Power Supply에 연결하고 Power Supply를 끈 상태에서 다음과 같이 다이얼을 조정한다.
- CURRENT(좌측) : 시계방향으로 끝까지 돌린다.
  - FINE(가운데) : 중간 위치에 놓는다.
  - VOLTAGE(우측) : 반시계방향으로 끝까지 돌린다.
- (f) Power Supply의 전원 버튼을 눌러 장치를 켜 후, VOLTAGE 다이얼을 조금씩 돌려 서서히 알루미늄 트랙을 회전시킨다. **이 때, 무게추가 제거되었는지 반드시 확인한다.** 이 때, 용수철에 달린 지표판과 지표 브래킷의 높이가 일치하도록[그림 7(d) 및 그림8] 트랙의 속도를 조절한다.



[그림 8] 지표판과 지표 브래킷의 높이가 일치한 경우.

- (g) 지표판과 지표 브래킷의 높이가 일치한 것이 확인되면, 그 상태에서 알루미늄 트랙을 30바퀴 이상 회전시키면서 회전 수( $N$ )과 회전 시간( $t$ )을 통해 회전주기  $T=t/N$ 를 구한다. 그러면 식 (3)에 의해 구심력의 실험값  $F_c$ 는 다음과 같다.

$$F_c = ma_c = m \frac{4\pi^2 r}{T^2} \quad (5)$$

- (h) 구심력의 이론값은 (c)에서 걸어준 무게추(추걸이+추)의 질량  $M$ 을 이용해서 무게  $F_g = Mg$ 이며, 이 값을 식 (5)를 이용해 구한  $F_c$ 와 비교한다.

## 4.3 조건을 변화시키며 구심력 측정하기

### 4.3.1 구심력은 동일하고, 회전 반지름이 다른 경우

- $r = 15 \text{ cm}$ 였던 회전반지름을 측면 표시 기둥의 위치를 조금 변화시켜 바꾸고, 무게 추( $M$ )는 그대로 이용한다(구심력이 같도록).
- [그림7-(b)]처럼 3중고리추를 매달고 있는 실이 측면 추걸이 기둥의 연직선의 홈에 일치하도록 용수철 길이 조절 나사를 조절하고, [그림7-(c)]처럼 지표 브래킷이 지표 판의 위치와 일치하도록 조절한다.
- 추를 제거한 뒤, DC모터의 VOLTAGE를 조절하여 주어진 회전반지름에서 원운동하는 3중고리추의 회전 주기를 측정한다.
- 회전 반지름을 바꿔 실험하면서 회전 반지름( $r$ )과 속력의 제곱( $v^2$ ) 사이의 관계를 분석한다.

### 4.3.2 회전 반지름은 동일하고, 구심력이 다른 경우

- 실험장치가 정지한 상태에서 무게추의 질량( $M$ )을 바꾼다.
- 측면 표시 기둥의 위치는 바꾸지 않고(회전 반지름( $r$ )은 동일), [그림7-(b,c)]처럼 3중고리추가 측면 표시 기둥의 중앙에 오도록 용수철 길이 조절 나사를 조절한다. 지표 브래킷과 지표판의 위치 역시 일치시킨다.
- 추(추걸이 포함)를 제거한 후 장치를 회전시키며 주기를 측정하고, 3회 반복한다.
- 매달리는 추의 질량을 변화시켜 (a)-(c)를 반복한다.
- 매달리는 추의 질량( $M$ )과  $1/T^2$  사이의 관계를 분석해본다.
- (a)에서 측정한 질량  $M$ 을 이용해 무게  $F_g = Mg$ 를 계산하고, 이 값을 구심력의 이론값으로 하여 식 (5)를 이용해 구한  $F_c$ 와 비교한다.

## 5. 측정 결과

학과/분반		실험 일시	
실험 조		작성자	

### 5.1 회전 반지름의 변화에 따른 속력 측정(구심력은 일정)

● 3중고리추의 질량:  $m =$       g, 추(추걸이 포함) 질량:  $M =$       g

(1) 회전반지름  $r =$       cm

회	회전수( $N$ )	회전시간( $t$ )	주기( $T$ )	$F_c$	$F_g$	오차율(%)
1						
2						
3						
평균						

(2) 회전반지름  $r =$       cm

회	회전수( $N$ )	회전시간( $t$ )	주기( $T$ )	$F_c$	$F_g$	오차율(%)
1						
2						
3						
평균						

(3) 회전반지름  $r =$       cm

회	회전수( $N$ )	회전시간( $t$ )	주기( $T$ )	$F_c$	$F_g$	오차율(%)
1						
2						
3						
평균						

## 5.2 속력과 구심력 사이의 관계(회전 반지름은 고정)

● 회전반지름  $r =$       cm

(1) 추(추걸이 포함) 질량:  $M =$               g

회	회전수( $N$ )	회전시간( $t$ )	주기( $T$ )	$F_c$	$F_g$	오차율(%)
1						
2						
3						
평균						

(2) 추(추걸이 포함) 질량:  $M =$               g

회	회전수( $N$ )	회전시간( $t$ )	주기( $T$ )	$F_c$	$F_g$	오차율(%)
1						
2						
3						
평균						

[참고] % 오차 =  $\frac{|\text{측정값} - \text{이론값}|}{\text{이론값}} \times 100$



[그림 8]  $F_c$  vs.  $\frac{1}{T^2}$ 의 그래프.

## 6. 고찰 사항

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

(1) 지표판이 지표 브래킷을 기준으로 정지하지 않고 계속 움직이면 측정이 불가능한데 그 이유는 무엇인가?

(2) 오차를 유발할 수 있는 요인들은 무엇인가? 오차의 원인을 제거하거나 줄이기 위해 어떤 노력이나 방법이 필요할까?

(3) 실험 4.4.1에서 회전 반지름( $r$ )과 속력의 제곱( $v^2$ )사이의 관계, 실험 4.4.2에서 매달리는 추의 무게( $M$ )와  $1/T^2$ 의 관계를 분석해보자.