

구심력 측정

1. 실험 목적

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

2. 이론

2.1 등속 원운동과 구심가속도

어떤 물체가 일정한 속력으로 원주 위를 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(자세한 논의는 이론 교재를 참조하시오). 물체가 원운동하는 주기 T 를 도입하면 편리한데, 주기는 한번 회전하는 데 걸리는 시간으로 정의한다.

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

따라서 구심가속도를 주기를 이용하여 표현하면 다음과 같다.

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

회전 반지름과 주기를 측정하면 물체의 구심가속도를 결정할 수 있다.

2.2 구심력 역할을 수행하는 힘

물체의 운동 상태에 따라서 다양한 힘 또는 힘들의 합력(알짜힘)이 구심력 역할을 수행할 수 있다. 수평면에서 원운동하는 자동차의 경우 타이어와 노면 사이의 정지마찰력, 원뿔 진자의 경우 장력의 일부, 줄에 매달려 원운동하는 물체의 경우 줄에 걸리는 장력 등이 구심력 역할을 수행하는 힘의 예이다.

아래 그림은 구심력 측정에 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 복원력이 역할을 대신하게 된다(그림 1(b)).

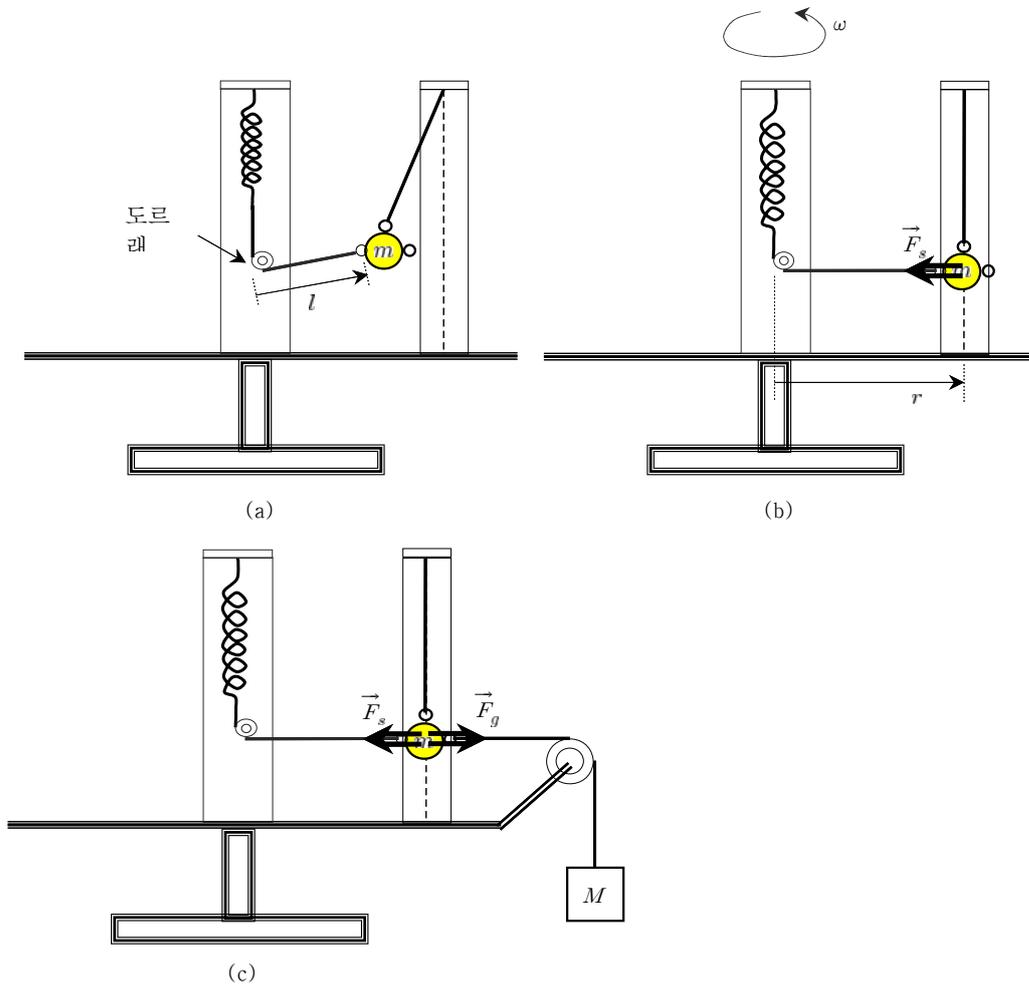


그림 1. 용수철의 탄성력을 이용하여 구심력을 측정하는 실험 장치의 개요도. (a) 회전시키기 전의 측정 장치도. (b) 일정한 속력으로 회전하고 있는 상태. (c) 회전을 멈춘 후, 회전 시와 동일하게 용수철을 변형시킬 수 있는 추의 무게.

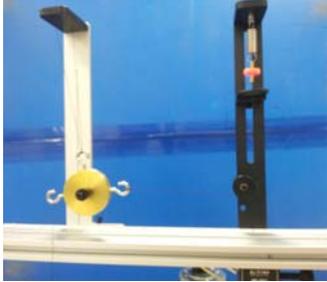
등속원운동하는 동안 3중고리추에 작용한 용수철의 힘을 측정하기 위해 장치를 정지시킨 후 그림 1(c)와 같이 반대쪽에 질량이 M (추걸이 질량 포함)인 추를 매달아서 용수철이 회전운동할 때와 같은 길이만큼 늘어나게 하면 추의 무게는 용수철의 복원력과 같게 된다.

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

요약하면, 3중고리추가 회전 운동하는 동안 회전 주기를 측정하여 원운동에 필요한 구심력의 크기를 측정한 후, 구심력 역할을 수행하는 용수철의 복원력을 추의 무게를 통해 측정함으로써 운동으로부터 측정된 구심력과 실제 작용하는 힘의 관계를 이해한다.

3. 실험장치

※ 이름이 파란색으로 표시되는 장치는 클릭하여 상세 정보를 볼 수 있습니다.

		
A-스탠드	실험키트	회전막대(1.42kg)
		
직류모터	직류전원장치	초시계
		
수준기	실과 추(추걸이)	전자저울

4. 실험절차

4.1 실험 장치의 기본 구성

- (1) 그림 2와 같이 알루미늄 트랙을 회전스탠드의 중심축에 맞추어 끼워 넣고 알루미늄 트랙의 아래 부분에 있는 조임나사를 조여서 고정시킨다. 수준기를 이용하여 알루미늄 트랙이 수평을 이루도록 조절한다. (주의: 알루미늄 트랙이 수평하지 않으면 트랙의 등속 회전운동을 달성할 수 없다.)



그림 2. 회전스탠드의 구성

- (2) 그림 3을 참조하여 측면 추걸이 기둥과 중앙 표시 기둥을 알루미늄 트랙에 수직하게 장치한다. 중앙 표시 기둥은 트랙에 부착된 자의 0의 위치에 설치하고 측면 추걸이 기둥은 15cm 위치에 설치한다. 이 때 두 기둥의 위치를 그림과 같이 설치해야 한다.

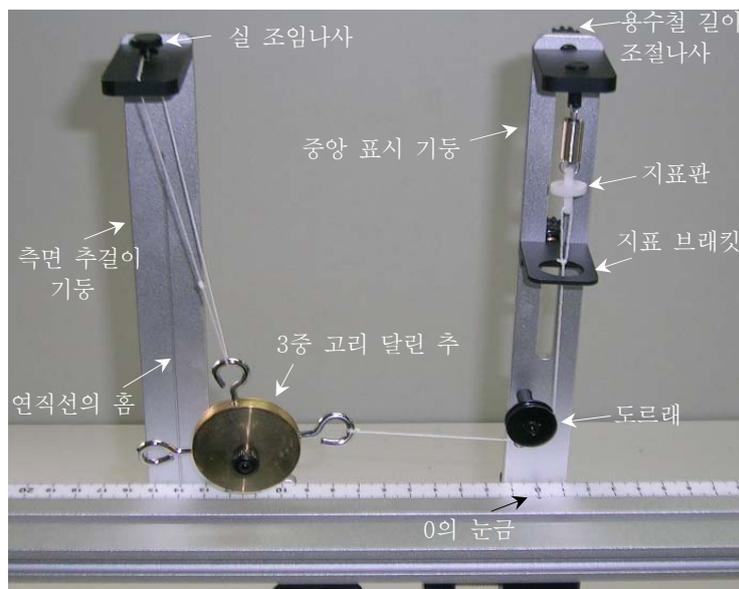


그림 3. 알루미늄 트랙에 설치된 중앙 표시 기둥, 측면 추걸이 기둥 및 3중고리추.

- (3) 약 30cm 정도의 실을 이용하여 3중고리추에 끼운 후, 측면 추걸이 기둥의 상단 검정색 플라스틱 구조물에 나 있는 양쪽 실구멍을 통하게 하여 묶고, 실 조임나사에 1~2회 감아둔다. 이후 실험과정에서 이 3중고리추의 높이를 조절할 필요가 있으므로 3중고리추의 높이를 미리 참조하여 실의 길이를 결정하는 것이 좋다.
- (4) 용수철 조절 길이나사가 중앙 표시 기둥의 최상단 근처에 위치하게 하고, 20cm 정도의 실을 이용하여 (용수철 밑에 달린) 지표판의 아래쪽 구멍에 묶어 도르래를 거쳐 3중추와 연결한다. 이때, 실의 길이는 3중추가 측면 추걸이 기둥의 연직선의 홈에 약 2~4cm 정도 못 미치는 지점에 위치하는 길이가 되게 한다(그림 3 참조).
- (5) 용수철 아래에 연직으로 연결된 실이 트랙에 부착된 자의 0의 눈금과 정확히 일치하도록 중앙 표시 기둥의 위치를 조정하고 고정시킨다.
- (6) 그림 4와 같이 DC 모터를 회전스탠드에 장치하고 고무밴드로 연결한다. 이때, 고무밴드가 수평이 되게 회전스탠드의 구동축에 부착된 3단 도르래의 높이를 조절한다.



그림 4. (a) 회전스탠드에 DC 모터를 장치한 상태. (b) 고무밴드를 구동축에 수평하게 연결한다.

4.2 구심력 측정 방법

4.2.1 회전운동에서의 구심력 측정

- (1) 3중고리추의 질량(m)을 측정한다. 이때 3중고리추는 편의상 3개의 추를 합한 것으로 한다. 3중추의 양면에 부착된 나사를 풀면 각각 100, 50g, 50g의 3개의 추로 분리된다. 그리고 이 세 개의 추의 조합의 경우인 100g, 150g, 200g 중 실험자는 임의로 선택하여 그 질량을 m 으로 한다.
- (2) [그림 3]의 상태에서 3고리중추를 왼쪽으로 잡아당겨서 3중추를 매단 실이 측면 추걸이 기둥의 연직선 홈에 정확히 일치할 때 3고리중추와 도르래 사이에 연결된 실이 수평을 이루도록 실 조임나사를 돌려 3중추의 높이를 조절한다.
측면 추걸이 기둥의 윗면에 부착된 실 조임나사에 실을 감거나 감긴 실을 푸는 방법으로 3중추의 높이를 조절할 수 있다. 높이조절이 끝나면 실 조임나사를 돌려 실을 고정시킨다.
- (3) 앞의 과정 (2)와 같이 3중고리추를 왼쪽으로 잡아당겨서 3중고리추를 매단 실이 측면 추걸이 기둥의 연직선의 홈에 정확히 일치되게 만든 상태에서, 중앙 표시 기둥에 부착된 지표 브래킷의 높이를 조절하여 [그림 5]와 같이 지표판과 그 높이를 일치시킨다

([그림 3]의 명칭 참조).



그림 5. 지표판이 지표 브래킷과 일치한 상태.

이 과정은 이후 실험과정에서 장치를 회전시켰을 때 3중고리추의 회전반경을 정확히 측면 추걸이 기둥의 연직선의 홈에 일치시키기 위한 것이다. 실제 장치의 회전 중에는 3중고리추를 매단 실이 연직선의 홈에 일치하는지를 확인할 수 없기 때문이다.

- (4) DC 모터의 리드선을 직류전원장치(Power Supply)에 연결한다. 직류전원장치를 Off시킨 상태에서, 직류전원장치의 전면에 있는 3개의 다이얼 중 좌측의 CURRENT 다이얼은 시계방향으로 끝까지 돌려놓고, 가운데의 FINE 다이얼은 중간 위치에 둔다. 그리고 오른쪽의 VOLTAGE 다이얼은 반시계방향으로 끝까지 돌려놓는다.

주의!! 이 단계에서는 실험 장치를 회전시키게 되는데, 회전속도가 조금만 빨라도 쉽게 용수철의 탄성한계를 넘어서는 힘이 가해져 용수철이 변형된다. 실험자는 다이얼을 천천히 조금씩 돌려 실험 장치의 회전속도를 아주 천천히 증가시키거나 감소시켜서 용수철에 변형이 생기지 않게 해야 한다.

- (5) 직류전원장치의 전원버튼을 눌러 장치를 켜 후, VOLTAGE 다이얼을 조금씩 돌려 서서히 알루미늄 트랙을 회전시키며, [그림 5]와 같이 용수철에 달린 지표판이 지표 브래킷과 높이가 일치하도록 트랙의 속도를 조절한다.
- (6) 지표판이 지표 브래킷에 일치된 상태가 확인되면, 알루미늄 트랙을 30바퀴 정도 회전시키면서 회전수와 회전시간을 측정하여 각각 N , t 라 하고 기록한다. 그리고 $T = t/N$ 의 관계를 이용하여 트랙의 회전주기 T 를 계산한다.
- (7) 주기 측정이 끝나면 VOLTAGE 다이얼을 반시계방향으로 끝까지 돌려 알루미늄 트랙의 회전운동을 멈추게 한다.
- (8) m , r , T 를 식 (3)에 대입하여 구심력의 실험값 F_c 를 구한다.
- (9) 이상의 과정을 2회 더 수행한다.

4.2.2 정지 상태에서 구심력에 대응하는 무게 측정

- (1) [그림 6]과 같이 측면 추걸이 기둥 쪽의 트랙 끝에 도르래를 설치하고, 3중고리추의 남은 한쪽 고리에 추걸이를 연결한다. 3중고리추를 매단 연직선의 실이 정확히 연직선의 홈에 일치하도록 추걸이에 질량 추를 조절하고, 질량 추(추걸이 포함)의 질량을 M 이라 하고 기록한다.

주의: 이 상태에서 절대 실험장치를 회전시켜서는 안된다.

- (2) 과정 (1)에서 측정한 추(추걸이 포함)의 무게를 $F_g (= Mg)$ 라 하고, 이 값을 구심력의 이

론값으로 하여 회전 운동에서 측정한 구심력의 실험값 F_c 와 비교한다.

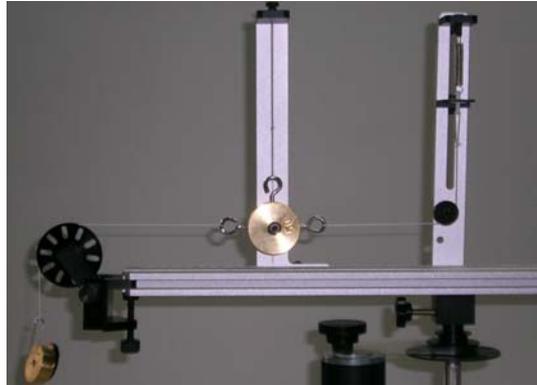


그림 6. 3중고리추의 남은 한쪽에 실을 매고 추를 매달고, 추의 무게를 조정하여 3중고리추를 매단 연직선의 실이 측면 추걸이 기둥의 연직선의 홈에 정확히 일치하게 한다.

4.3 조건 변화에 따른 구심력 측정

구심력과 회전반경 및 속도 사이의 관계를 이해하기 위해 구심력의 크기를 변화시키면서 앞의 실험을 반복한다.

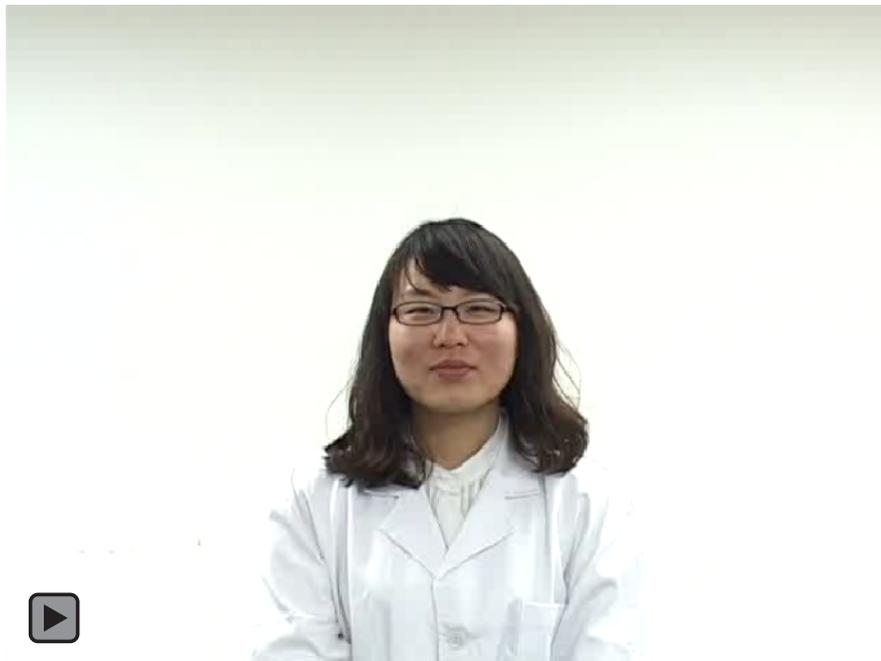
4.3.1 회전 반지름의 변화에 따른 주기 변화 측정(구심력은 일정)

- (1) 4.2.2절에서와 같이 실험장치가 정지한 상태에서 측면 표시 기둥의 위치의 위치를 15cm 정도로 설정한다(매달린 추(추걸이 포함)의 무게에 따라 위치를 조정해도 무방하다).
- (2) 4.2.1절의 방법에 따라 매달린 추를 제거한 상태에서 장치를 회전시켜 주기를 측정하고 구심력을 결정한다.
- (3) 위의 과정을 2회 추가로 반복한다.
- (4) 측면 표시 기둥의 위치의 위치를 1cm 정도 변화시키고, 앞의 방법 (1)에서 연결했던 추를 그대로 연결한다. 3중고리추가 측면 표시 기둥의 중앙에 오도록 용수철 길이 조절 나사를 이용하여 용수철의 위치를 조정한다.
- (5) 중앙 표시 기둥에 부착된 지표 브래킷의 높이를 조절하여 지표판과 그 높이를 일치시킨다.
- (6) 추(추걸이 포함)를 3중고리추에서 제거한 후 4.2.1절의 방법에 따라서 장치를 회전시키면서 주기를 측정한다.
- (7) 위의 실험을 총 3회 수행한다.
- (8) 측면 표시 기둥의 위치를 한 번 더 변경하여 동일한 실험을 수행한다. 회전 반경과 속력의 제곱(r vs. v^2) 사이의 관계를 분석한다.

4.3.2 속력과 구심력 사이의 관계(회전 반지름은 고정)

- (1) 4.2.2절에서와 같이 실험장치가 정지한 상태에서 매달린 추(추걸이 포함)의 무게를 바꾼다. 예를 들어, 앞의 실험에서 100N의 무게가 구심력에 대응했다면 120N의 추를 매단다.
- (2) 측면 표시 기둥의 위치는 바꾸지 않고, 측면 표시 기둥과 3중고리추를 연결한 실이 기둥의 홈과 일치하도록 용수철 길이 조절 나사를 조정한다. 이렇게 하면 회전반경은 앞의 조건과 일치하게 된다. 추의 무게를 늘리면서 실험하려면 용수철 길이 조절 나사의 최초 위치를 중간 정도로 설정하는 것이 좋다. 추의 무게가 늘어나면 용수철이 더 늘어나므로 용수철 길이 조절 나사의 위치를 위로 올려야 하기 때문이다.
- (3) 지표판이 지표브래킷과 일치하도록 지표브래킷의 위치를 조정한다.
- (4) 추(추걸이 포함)를 3중고리추에서 제거한다. 그런 다음 4.2.1절의 방법에 따라서 장치를 회전시키면서 주기를 측정한다.
- (5) 위의 실험을 총 3회 수행한다.
- (6) 매달리는 추의 무게를 변화시키면서 과정 (1)-(4)를 다시 수행한다. 그러면 회전반경이 동일하지만 구심력의 크기와 주기가 다른 실험 결과를 얻을 수 있다.
- (7) 추의 무게 대 ($1/T^2$)의 그래프를 그리고, 기울기가 어떤 값을 의미하는지 분석한다.

◆ 설명 동영상 : (동영상을 클릭하세요. 동영상이 재생되지 않으면 [여기](#)를 클릭하세요.)



5. 측정 결과

학과/분반		실험 일시	
실험 조		작성자	

5.1 회전 반지름의 변화에 따른 속력 측정(구심력은 일정)

● 3중고리추의 질량: $m =$ kg, 추(추걸이 포함) 질량: _____g

(1) 회전반경 $r =$ cm

회	회전수(N)	회전시간(t)	주기(T)	F_c	F_g	$\frac{F_g - F_c}{F_g} \times 100$
1						
2						
3						
평균						

(2) 회전반경 $r =$ cm

회	회전수(N)	회전시간(t)	주기(T)	F_c	F_g	$\frac{F_g - F_c}{F_g} \times 100$
1						
2						
3						
평균						

(3) 회전반경 $r =$ cm

회	회전수(N)	회전시간(t)	주기(T)	F_c	F_g	$\frac{F_g - F_c}{F_g} \times 100$
1						
2						
3						
평균						

5.2 속력과 구심력 사이의 관계(회전 반지름은 고정)

● 회전반경 $r =$ cm

(1) 추(추걸이 포함) 질량: g

회	회전수(N)	회전시간(t)	주기(T)	F_c	F_g	$\frac{F_g - F_c}{F_g} \times 100$
1						
2						
3						
평균						

(2) 추(추걸이 포함) 질량: g

회	회전수(N)	회전시간(t)	주기(T)	F_c	F_g	$\frac{F_g - F_c}{F_g} \times 100$
1						
2						
3						
평균						

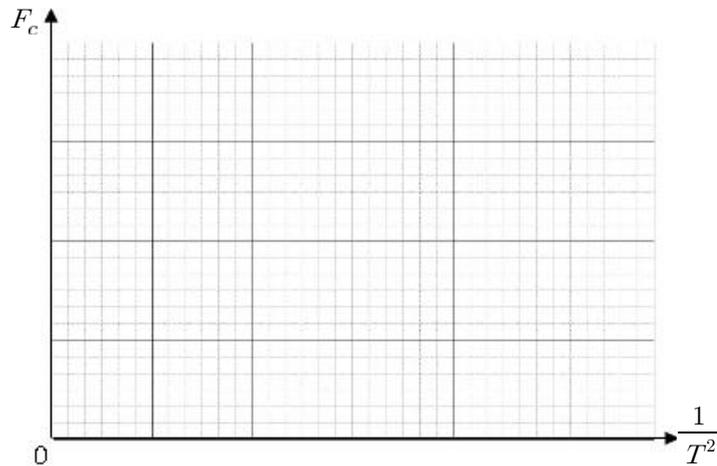


그림 8. F_c vs. $\frac{1}{T^2}$ 의 그래프.

6. 결과 분석 및 오차 논의

7. 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 불가능합니다. 이런 일이 발생하는 이유는 무엇인가요?
- (2) 오차를 유발할 수 있는 요인들은 무엇입니까?
- (3) 위에서 식별된 오차의 원인을 제거하거나 줄이기 위해 어떤 노력이나 방법이 필요하다고 생각합니까?

8. 결론