

# 일반물리 실험 I 안내서

(2026학년도 1학기)

v 1.3

(최종 수정일: 2026. 3. 4)

전남대학교 물리학과

## 일러두기

### \* 이번 학기부터 적용되는 중대한 변화:

- 실험 결과 보고서는 실험 당일, 수업 시간 내에 제출합니다. 부득이한 사정으로 수업을 마친 이후에 제출하게 되는 경우, 감점 처리됩니다. (-20~60%)
- 실험실 내에서 스마트폰, 노트북, 태블릿 등 통신기기의 사용을 전면 금지합니다. (단, 1번 실험에 한해, 예외적으로 조당 1대의 스마트폰 사용이 가능합니다.)
- 보고서는 비치된 A4용지에 수기로 작성하며, 그래프는 모눈종이에, 사진은 그림으로 대신합니다. 계산이 필요한 경우 비치된 전자계산기를 사용합니다.
- 과거에 작성된 보고서 등을 참조하는 경우, 커닝과 동등하게 간주합니다.
- 외부의 도움 없이, 조원들 간의 협력만으로 문제를 해결해보는 것이 이 수업의 핵심 훈련입니다.

### \* 학생 준비물

- (1) 이번 실험의 **예비보고서**를 들고 온다.
- (2) 실험 관련 내용을 참조할 수 있도록 **일반물리책**을 가져온다.

### \* 실험 요령

- (1) 기본적으로 실험 안내서를 중심으로 실험을 진행하되, 그대로 따를 필요는 없다. 조원들이 스스로 판단해서 관심이 가지 않는 부분은 과감히 생략해도 되고, **관심이 있는 부분**에 더 집중하거나 **새로운 의문**을 풀기 위해 시간 대부분을 사용해도 된다.
- (2) 실험하다 보면 장비나 부품에 문제가 있는 경우가 허다하다. 나사가 헐거워서 잘 고정 안 되거나 전원이 들어오지 않거나 장치가 매뉴얼대로 동작하지 않는 것이다. (나중에 어느 직장에서 일하든 늘 이런 문제가 생길 것이다) 이럴 때 무조건 조교를 불러서 해결해달라고 하기보다는 일단은 스스로 문제를 진단하고 해결하려고 노력해야 한다. **문제의 해결 과정을 보고서에 기록하면 가산점을 받을 수 있다.**
- (3) 당연히 조원 간에 지식과 실력 차가 존재한다. 소극적인 조원도 적절히 참여할 수 있도록 역할을 배분하여 모든 조원이 무언가를 배워가고 이 시간을 즐길 수 있도록 하라. **다른 사람의 입장을 이해하고 배려하는 것은 지도자가 갖추어야 할 핵심적인 자질이다.**

### \* 보고서 작성 요령

- (1) 예비보고서 : 실험 안내서 첫 부분에 있는 <예비보고서> 항목을 참조하여 A4 한 장 정도로 작성해온다. 따로 제출은 하지 않고, 조교에게 확인받은 후 실험할 때 참조한다.
- (2) 결과보고서 : 실험 제목 - 목적 - 이론(예비보고서를 끼워 넣고 필요한 부분이 있다면 보충한다.) - 실험 결과 - 토론 및 소감 순서로 작성한다. 예비보고서와 토론 및 소감은 개인별로, 그 외는 조별로 한 부만 작성하면 된다. 안내서에 제시된 문장은 요약해서 적어도 된다. **조원들이 가졌던 의문과 그것을 해결하려고 애쓴 독창적인 내용을 담을 때 더 좋은 평가를 받을 수 있다.**

### \* 세미나 발표

7주째와 14주째에는 각 실험 조별로 세미나 발표한다. 지금까지 했던 실험 주제 중 하나를 정해서 ppt를 작성하고 조원이 돌아가며 발표한다. 발표 시간 10분 이내(초과 불가) + 질문 및 답변 3분이다. (실험 방법은 모두가 알고 있으니) 실험 결과와 토론 내용을 중심으로 발표한다.

\* 평가 기준: 출석 (20점) + 실험 태도 (10점) + 예비보고서 (10점) + 결과보고서 (40점) + 세미나 (20점)

# 실험 1. 속력 측정

실험 목적: 공의 속력을 정확하게 측정하는 방법을 고안한다. (효과적인 측정 방법을 개발하는 것은 중요한 과학활동 중 하나이다.)

예비 보고서:

1. 평균 속력과 순간 속력의 차이는 무엇인가? (일반물리 책 참조)
2. 스마트 폰의 카메라 어플(초고속 카메라, burst camera 등 추천)을 사용하여 물체의 순간 속력을 측정하는 방법을 생각해온다.

준비물: 공 또는 쇠구슬, 롤러코스터 세트, 개인 스마트 폰, 줄자, 포토게이트x2, 디지털 타이머, 스탠드(봉x2), 스탠드용 클램프x2

\* 통신기기 사용제한 예외: 이 실험에 한하여 조별 1대의 스마트폰 사용이 허용된다. 필요한 어플을 설치한 후 wifi/데이터 연결을 끊도록 한다.

## 1. 등속 운동

(1) 평평한 실험 테이블 위에서 구슬을 굴린다. 필요하다면 주변 도구들을 사용해서 구슬이 지나가는 길을 만들어도 된다. 줄자와 타이머, 스마트 폰 등을 사용해서 이 구슬의 순간 속력을 측정하는 방법을 고안해보라.

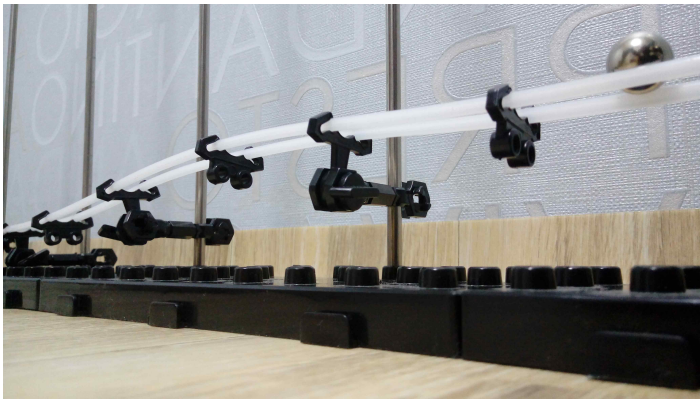
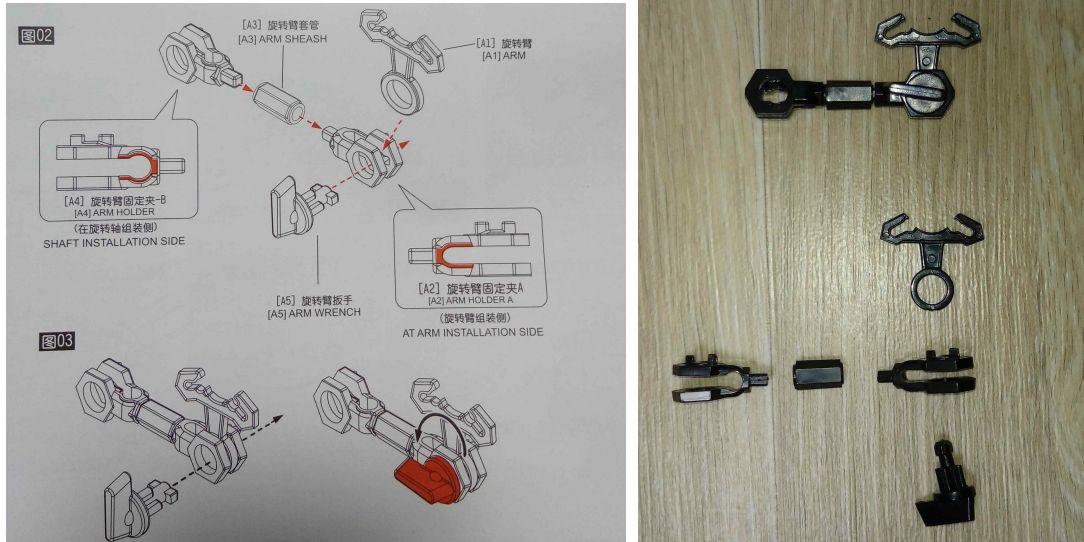


(2) 구한 속력의 오차 범위는 어떠한가? 그 근거를 말해보라. (시간 간격의 오차 범위와 그 시간 동안 진행한 거리의 오차 범위를 따져보라.)

(3) 측정의 정확도를 제한하는 요소는 무엇인가? 정확도를 더 높일 수 있는 방법을 생각해본다.

## 2. 가속 운동

- (1) 롤러코스터 set를 이용해서 완만한 오르막이 있는 레일을 제작한다. (경사가 너무 크면 속력이 빨라져서 측정이 어려워진다.) 레일을 고정하는 집게는 아래와 같은 방법으로 조립한다. (주의 사항: 집게를 금속 기둥에 고정할 때, 금속 기둥의 옆에서 끼우면 집게가 부러지기 쉽다. 집게를 기둥의 끝에서부터 끼운 후 원하는 위치로 이동하도록 한다)

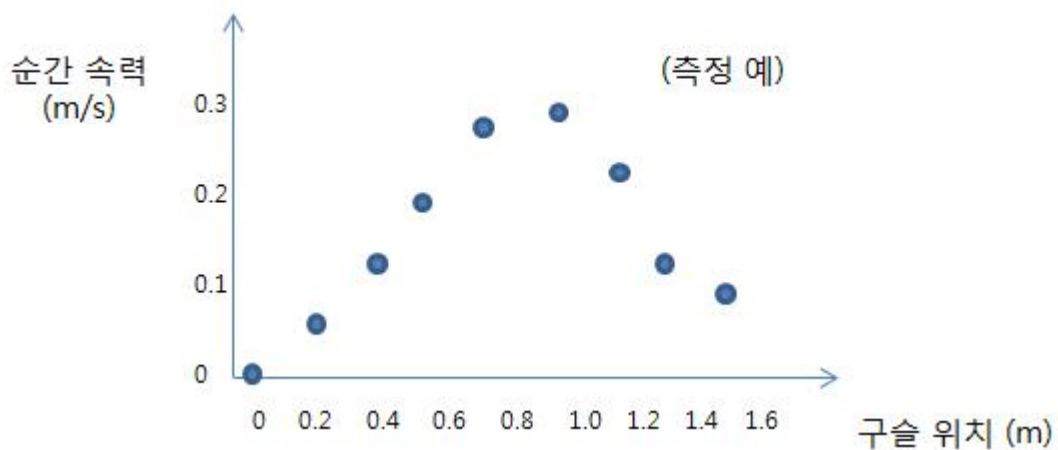


- (2) 이제 레일의 한쪽에 구슬을 올려놓으면 구슬의 속력이 계속 변화하며 이동하게 될 것이다.



(3) 1번 활동에서 고안한 속도 측정 방법을 이용해서 구슬을 반복해서 굴러가며 여러 위치에서 순간 속력을 측정한다. 구슬을 한 번 굴릴 때 한 위치에서만 속도 측정이 가능하므로 여러 위치에서 측정을 하려면 그 때마다 구슬을 다시 굴러야 한다. 매번 구슬의 속력이 일정하도록 구슬이 항상 같은 위치에서 출발하도록 만드는 것이 중요하다.

(4) (2)의 결과를 가지고 다음과 같은 그래프를 그린다.



(5) 이 그래프만 보고서 레일이 가장 낮은 지점이 어디인지 알 수 있는가? 실제로 가장 낮은 위치와 일치하는지 비교해보라.

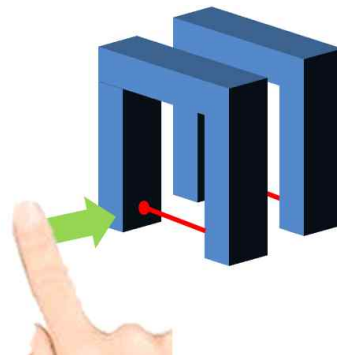
\* 다음 실험을 위하여 레일의 형태를 변형시키지 말고 그대로 둔다.

### 3. photo-gate를 사용한 속도 측정

(1) ㄷ자 형태로 생긴 두 gate와 디지털 타이머를 전선책으로 연결한다. gate A, B를 적당한 간격으로 놓고 공을 통과시키면, 타이머가 두 gate를 지날 때의 시간차를 표시해준다. 타이머에 여러 가지 모드가 있으니, 어떤 모드를 사용해야 할지 살펴보라. **각 측정 모드의 특징**을 알게 되었다면 보고서에 기록해둔다.

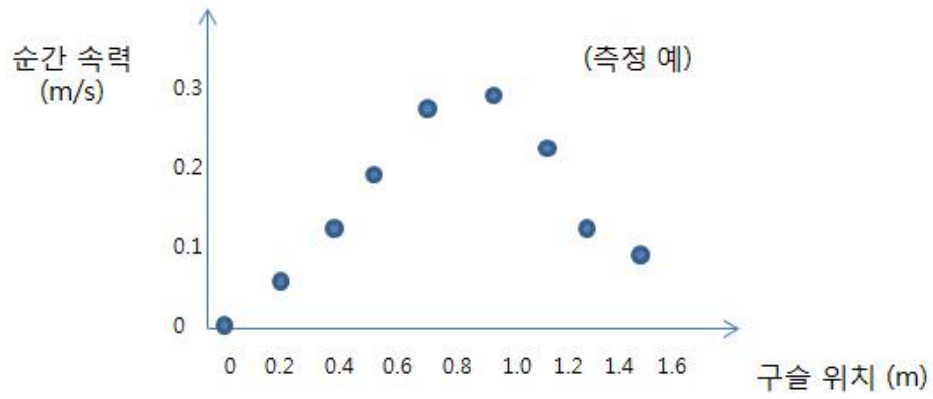
gate A, B를 놓고 손가락을 통과시켜 시간차가 올바르게 측정되는지 시험해본다. (gate내에 물체가 들어왔을 때 붉은 LED가 점등이 되어야 한다. 만일 LED가 점등되지 않는다면 케이블 등을 살펴보고 그래도 문제가 해결되지 않으면 조교에게 알린다.)

어떤 장치는 Interval mode에서 A->B: 0.056 sec 형식으로 표시된다. 물체가 A를 통과하고 B를 통과하는 시점의 차이를 의미한다.



(2) gate를 지나는 물체의 속력은 두 gate 사이의 거리와 타이머에 표시된 시간차로부터 구할 수 있다. 구슬의 순간속력을 재려면 두 gate 사이의 간격은 어느 정도가 좋을까?

(3) photo-gate를 사용하여 레일 위의 각 위치마다 구슬의 순간 속력을 다시 측정해서 그래프로 그려보라.



(3) 이 경우에는 측정의 정확도가 대략 어느 정도라고 할 수 있을까?

4. 이번 실험을 통해 새롭게 알게 된 것은 무엇인가? 그리고 궁금한 점은 무엇인가?

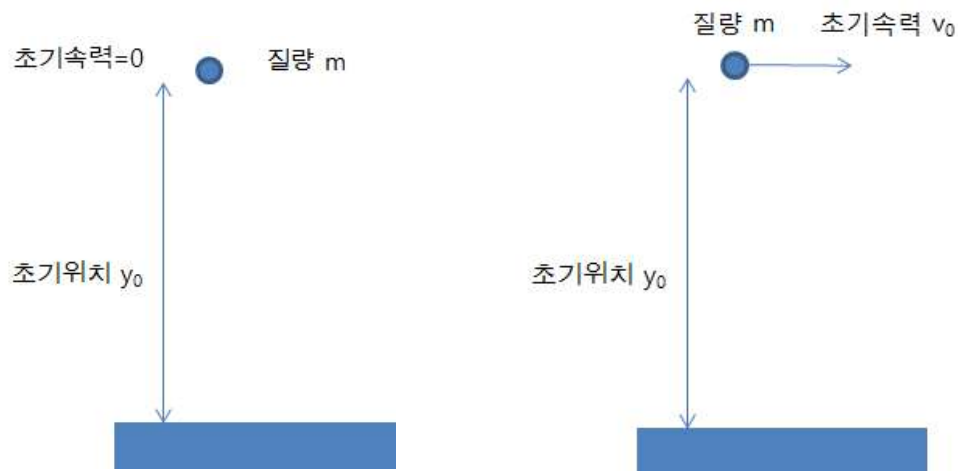
## 실험 2. 낙하 운동

목적: 중력에 의해 낙하하는 공의 속도 변화를 측정하고 이해한다.

예비 보고서: 아래와 같은 상황에서 중력에 의해 낙하하는 공의 시간에 따른 속도와 위치 변화를 생각해 보라. 각각에 대해 다음의 그래프를 그리고 설명한다.

(1)  $y(t)$ ,  $v_y(t)$ 의 그래프

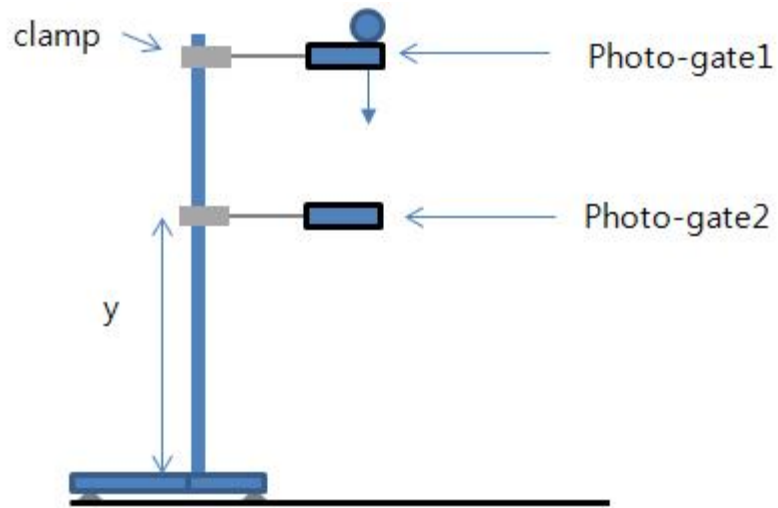
(2)  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $v_x(t)$ ,  $v_y(t)$ 의 그래프



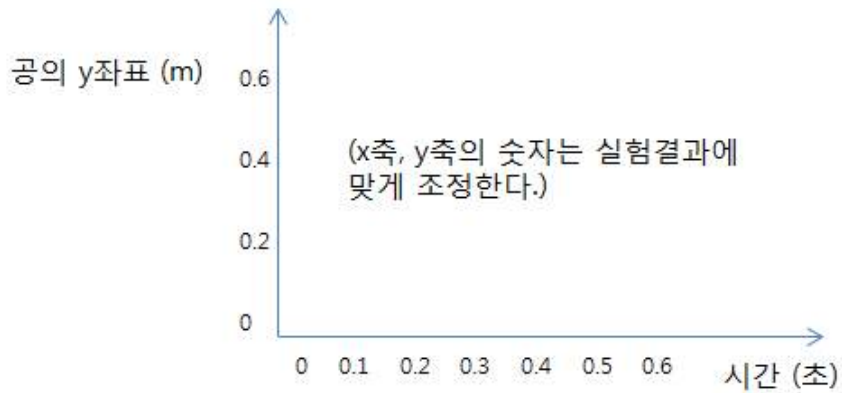
준비물: 공(질량이 다른 것 2개), 줄자, photo-gate 2개, 디지털 타이머, 스탠드, 스탠드 클램프

### 1. 수직 낙하하는 공

(1) 공을 적당한 높이에서 떨어뜨리고 특정 위치까지 낙하하는데 걸리는 시간이 얼마인지 측정하려고 한다. 아래 그림과 같이 클램프를 사용하여 스탠드에 두 개의 photogate를 고정한다. photogate1 바로 위에서 공을 떨어뜨리면 두 photogate2까지 낙하하는데 걸리는 시간을 측정할 수 있다. photogate2의 위치( $y$ )를 바꿔가며 여러 위치에서 낙하시간을 측정하라. 데이터의 개수는 많을수록 좋다.



(2) (1)의 결과를 가지고 x축을 시간, y축을  $y(t)$ 로 잡아 그래프를 그려본다.



(3) (2)의 그래프의 기울기, 즉 순간 속도  $v_y = \frac{\Delta y}{\Delta t}$ 를 구해보라. 그리고 x축을 시간, y축을  $v_y$ 로 잡아 그래프로 그려본다.



(4) (3)의 결과를 이용하여 매순간의 가속도  $a_y = \frac{\Delta v_y}{\Delta t}$  를 구해보라. 예상했던 결과와 어떻게 다른가?

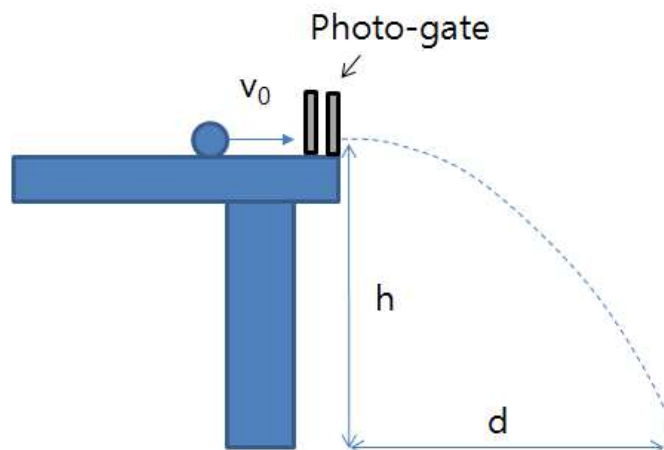


(5) 다음의 질문들에 대해 답해보라. (실험으로 확인하지 않아도 괜찮다.)

- 1 m 높이에서 공이 떨어져 바닥에 닿을 때까지 걸리는 시간은 얼마인가? 공의 질량도 영향을 주는가?
- 2배의 높이에서 떨어지면 걸리는 시간은 몇 배가 되는가?
- 높이가 주어지면 떨어지는 시간을 구할 수 있는 식을 써보라.

## 2. 수평으로 던져진 공

(1) 아래 그림과 같이 수평으로 던져진 공은 어떤 운동을 할까? 아래 질문들에 대답해보라.

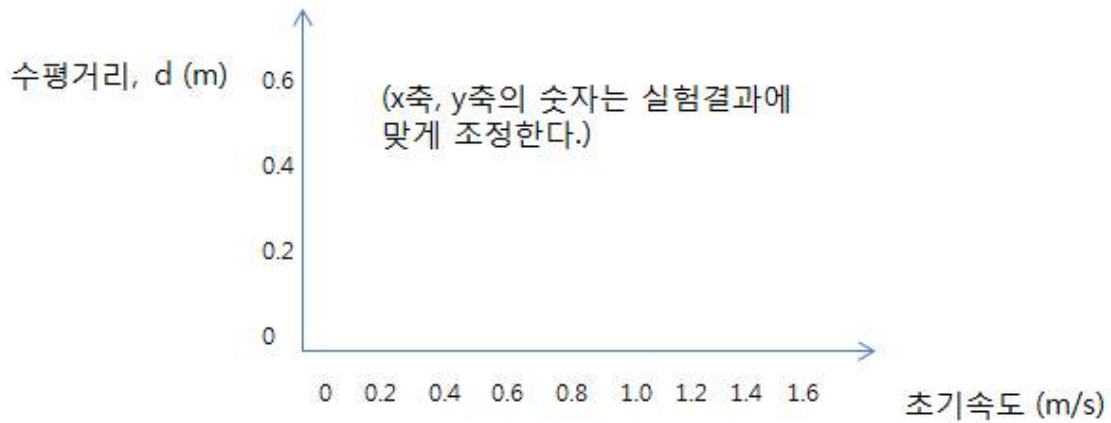


(일단 실험을 하지 말고 생각만으로 답을 해보라.)

- 공이 땅에 닿는데 걸리는 시간은 수평 속도  $v_0$ 와 무슨 관계가 있는가?
- 속도  $v_0$ 가 2배가 되면 거리  $d$ 는 몇 배가 될까? 왜 그런가?

- 같은  $v_0$ 에 대해 높이  $h$ 가 2배가 되면 거리  $d$ 는 몇 배가 될까? 왜 그런가?
- 속력  $v_0$ 와 높이  $h$ 가 주어지면  $d$ 를 구할 수 있는 식을 만들어보라.

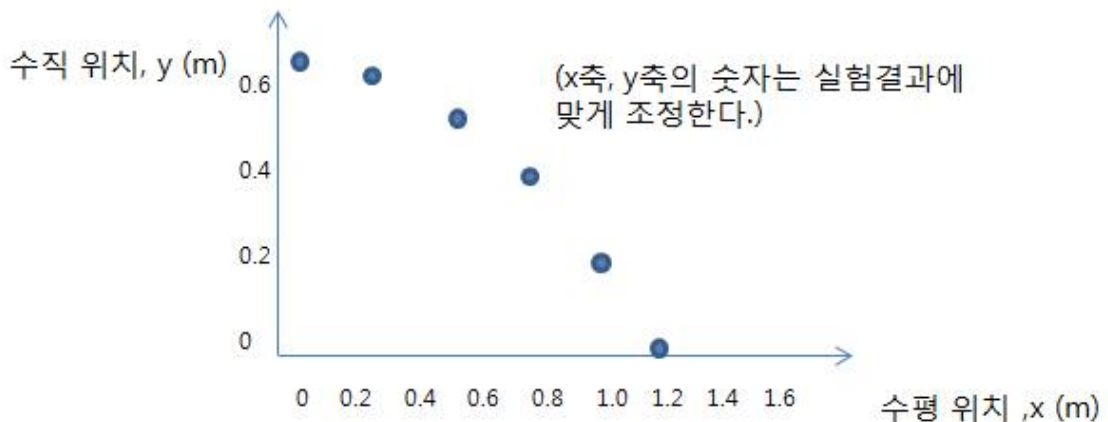
(2) 위의 그림과 같이 높이  $h$ 인 테이블 모서리에 photo-gate를 설치하여 초기속력을 측정할 수 있도록 한다. 여러 차례 공을 던져서, 그 때마다 속력  $v_0$ 와 수평 거리  $d$ 를 측정한다. 결과를 가지고 아래의 그래프를 그린다.



(3) (1)에서 구한 식과 (2)에서 얻은 그래프를 비교해보라. 서로 일치하는가?

(4) 한 친구가 이렇게 말한다. “공의 속력을 따로 잴 필요 없이, 높이  $h$ 와 수평거리( $d$ )만 알면 공의 속력  $v_0$ 를 알 수 있겠네!” 당신은 무엇이라고 대답하겠는가?

(5) **선택문제:** 초기속력 2 m/s로 공을 수평방향으로 던졌다고 하자. 만일 0.1초의 시간 간격으로 공의 위치( $x$ ,  $y$ )를 측정한다고 하면 어떤 궤적을 그릴지 계산해서 아래 그래프로 나타내 보라.



3. 실험을 통해 새롭게 알게 된 점은 무엇인가? 궁금한 점이 있다면 적고 서로 의논해보자.

## 실험 3. 도개교 올리기

목적: 도개교를 움직이는데 필요한 힘은 얼마인지 알아보면서 힘의 평형과 돌림힘의 평형 조건을 이해한다.

예비 보고서: 핵심물리학 4판 예제 12.1 도개교 문제와 풀이를 자신의 말로 정리한다.

준비물: 도개교 모형 1개, C자 클램프 3개, 줄자, 용수철 저울 10N 2개, 슬롯 추 1개, 500g 추 1 세트, 고정 도르래 2개(황동1개, 알루미늄1개), 각도기, 실, 스탠드 1개, 스탠드 클램프 1개



### 1. 힘에 대한 감각 익히기

(1) 1 N의 힘은 어느 정도인가? 얼마만한 질량을 들어올리는 힘과 같은가? 당신이 한 팔로 낼 수 있는 힘은 어느 정도라고 생각하는가?

- 질량  $m$ 을 가진 물체에 가해지는 중력의 크기는  $F=mg$ 이다. ( $g=9.8 \text{ m/s}^2$ )

(2) 용수철 저울에 슬롯 추를 달아보아 저울의 눈금이 얼마나 정확한지 확인한다. (필요하다면 이후 실험에서 용수철 저울의 눈금을 보정해야 한다.)

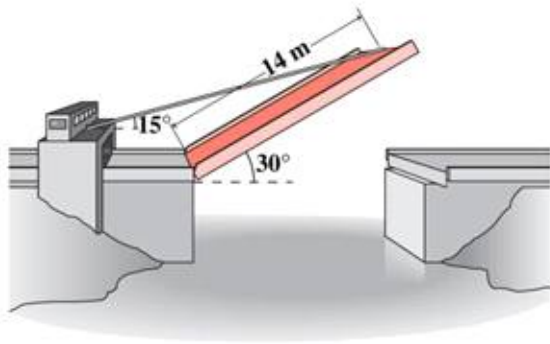


(3) 용수철 저울을 직접 당겨보며 힘의 크기가 어느 정도인지 감을 익힌다.

(4) 힘 조절 콘테스트: 조교는 지원자 학생들 몇 명을 앞으로 부른다. 조교는 5N 또는 20N 용수철의 저울 하나를 잡고, 용수철 눈금을 가린 채 조교가 지정한 힘만큼 용수철을 당기도록 한다. 정확하게 용수철을 당긴 학생에게 가산점을 준다.

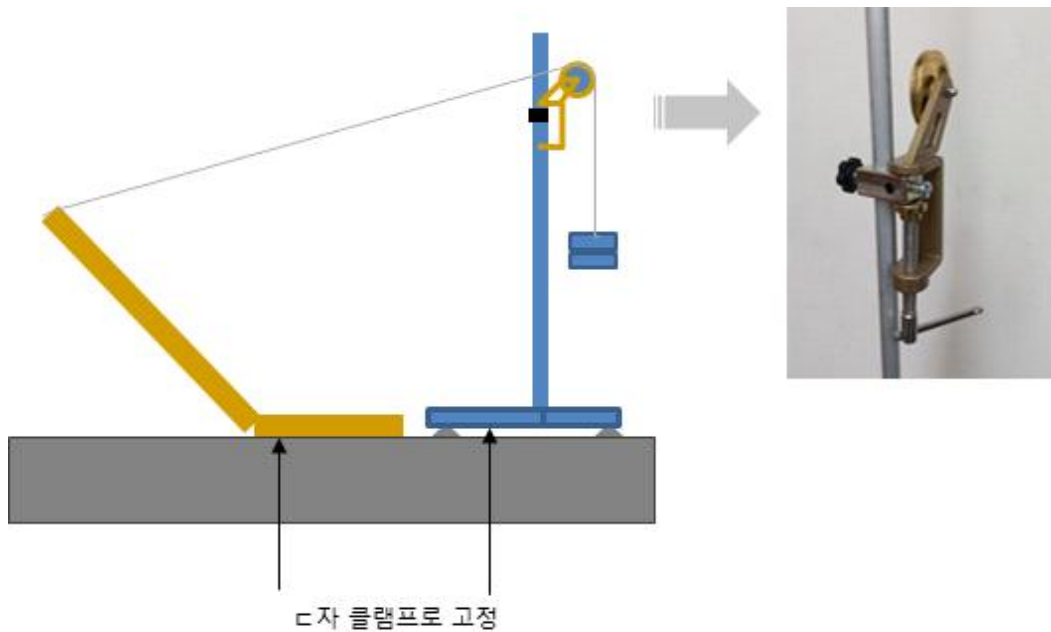
## 2. 도개교 구성하기

(1) 도개교란 아래 그림과 같이 배가 지나다닐 수 있도록 다리를 들어올리는 구조를 갖고 있다.



스탠드쪽 도르래는 사진과 같이 기둥에 스탠드 클램프를 설치한 후, 클램프 위에 황동 도르래를 고정하면 된다.

도개교 다리의 한쪽에 실을 연결하고, 실의 반대편 끝에 용수철 저울이나 추를 연결하여 도개교를 움직일 수 있도록 구성한다.



(위쪽 그림은 하나의 예다. 다른 아이디어가 있다면 시도해보라.)

(2) 각 조는 장치를 왜 이렇게 구성했는지 설명한다. **다른 방법으로 시도했다가 실패했다면 왜 실패했는지 설명해준다. 실패의 이유를 이해하는 것이 이 활동의 핵심이다.**

### 3. 도개교를 드는데 필요한 힘

(1) 도개교의 각도에 따라 다리를 드는데 필요한 힘이 어떻게 달라지는지 측정해본다. 특정한 양의 추를 매달아서 도개교를 원하는 각도에 정지시킬 수 있는가?

(2) 이론을 적용하여 (2)에 해당하는 힘을 구하는 식을 만들어보고, 실험 결과와 이론치를 비교해본다.

(3) 이론식을 사용하기 위해서는 도개교의 질량을 알아야 할 필요가 있을 것이다. 질량을 측정하는 방법은 직접 고안하고(주어진 도구 외 다른 것은 사용하지 않는다), 여기에 설명하라.

#### 4. 생각해보기

(1) 도개교를 들어 올리는데 필요한 장력은 도개교 위판의 전체 무게보다 큰가, 작은가? 왜 그런지 설명해보라.

(2) 실제 도개교에서는 모터를 이용해서 다리를 들어올린다. 모터의 회전력(돌림힘)이 충분치 않을 경우에는 도개교를 어떻게 설계하는 것이 좋을지 생각해보라. (도개교의 질량은 바꿀 수 없다고 가정한다.)

- 케이블(실)은 도개교의 어느 부분에 연결하는 것이 좋을까?
- 모터는 어디에 위치하는 것이 좋을까?
- 그 외에, 또 어떤 변화를 주는 것이 유리할까?

(3) 이 실험을 통해 새롭게 알게 된 것은 무엇인가?

(4) 무언가를 새로 배웠다면, 반드시 궁금한 점도 같이 생기기 마련이다. 궁금한 점을 적어보고, 가능하다면 함께 해결해보자. (해결되지 않은 문제도 적어둔다.)

## 실험 4. 탄도궤도 실험

목적: 비스듬하게 쏜 공의 운동을 예측한다. 실험을 마치기 위해서는 조교가 내주는 미션을 성공적으로 완수해야 한다.(4번 참조)

예비 보고서: 핵심물리학 [3.5 발사체 운동]에 관한 내용을 이해하고 정리한다.

준비물: 탄도궤도 실험 set A 또는 B(발사체, 발사체 고정단, 공, 도드래용 바이스), 줄자, 플라스틱 컵(500 ml)

주의사항: 발사체로 공을 쏠 때, 사람이나 깨지기 쉬운 물건을 향하지 않도록 주의한다. 여기에 사용되는 공은 특수하게 제작된 것으로서 일반 공으로 대체가 불가능하니, 잃어버리지 않도록 한다.

### 1. 발사 속도 측정

(1) 발사체를 실험 테이블의 적당한 위치에 고정한다. (Set A의 경우에는 도드래 바이스를 사용하여 흔들리지 않도록 한다.) 탄도가 날아가는 방향이 다른 조가 아닌 실험실의 바깥쪽을 향하도록 한다.



Set A



Set B

(2) 발사체가 쏘는 공의 초기 속도( $v_0$ )가 얼마인지 측정한다. (이 후의 실험을 위해 이 속도를

정확히 아는 것이 중요하다.) photogate를 사용하지 않고 측정하는 방법을 각자가 고안해야 한다.

**Set A:** 선택할 수 있는 3가지 발사속도 중 3~5 m/s 범위의 속도를 선택한다.

**Set B:** 발사속도가 약 3~5 m/s가 되도록 조절 나사를 움직인다.

(2) 매번 쏠 때마다 속도가 얼마나 일정한지 조사한다. 속도 편차가 너무 크다면 원인을 조사해서 해결해본다.

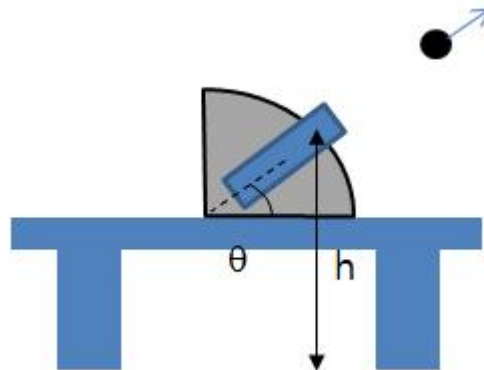
(예: 같은 조건에서 초기 속도를 10회 이상 측정하여 평균값과 표준편차를 구해본다.)

## 2. 탄도 궤도 이론

(1)  $t=0$ 일 때 높이( $h$ )에서 각도( $\theta$ ), 속도( $v_0$ )로 공을 쏘는 경우, 공의 위치가 시간에 따라 어떻게 변화하는지 식으로 표현해보라.

$x(t)=$

$y(t)=$



(2)  $v_0$ 에는 앞에서 측정한 값을,  $h$ 에는 발사대의 높이를,  $\theta$ 에는 적당한 값을 대입한 후, 0.1 초마다  $x$  좌표와  $y$  좌표 값을 계산해보라.

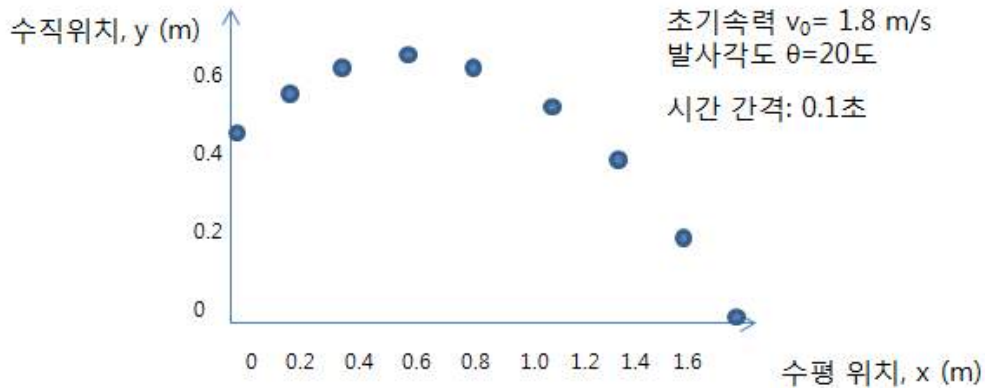
$\theta=( \quad )$

$\theta=( \quad )$

$\theta=( \quad )$

시간(t)	x(t)	y(t)	시간(t)	x(t)	y(t)	시간(t)	x(t)	y(t)
0			0			0		
0.1			0.1			0.1		
0.2			0.2			0.2		
0.3			0.3			0.3		
0.4			0.4			0.4		
0.5			0.5			0.5		
0.6			0.6			0.6		
0.7			0.7			0.7		
0.8			0.8			0.8		

(3) 위의 결과를 아래 그래프처럼 나타내보라.



### 3. 탄도 궤도 실험

(1) 실제로 발사체로 공을 쏘아 공의 낙하지점을 측정한다. 위에서 계산한 결과와 비교하고 그 차이를 분석해보라.

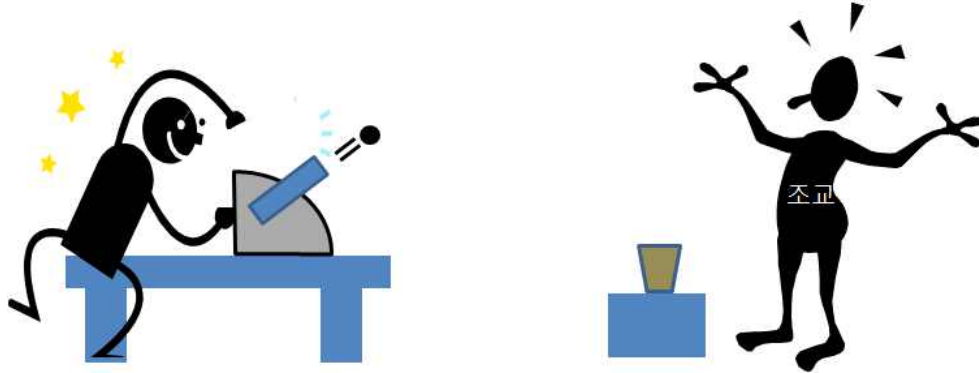
(2) 각도를 바꿔가며 예측과 실험을 반복해본다.

(3) 적당한 거리와 높이에 컵을 놓아두고, 컵 안에 공이 들어갈 수 있는 조건을 이론적으로 찾아보고 시도해보라.

### 4. 미션: 컵에 공 넣기

미션을 수행할 준비가 된 조는 조교를 부른다. 조교가 적당한 거리 및 높이에 컵을 배치하면 조원은 필요한 거리를 자로 잰 후 계산을 통해 발사체의 각도 또는 발사속도를 조절한다. 3회 발사를 시도하여 한번이라도 컵 안에 공을 넣으면 미션을 완성한 것으로 본다. (3회 시도하는

동안 발사체의 각도나 위치를 바꾸어서는 안 된다.) 미션에 실패한 조는 10분 후에 다시 미션에 도전할 수 있다.

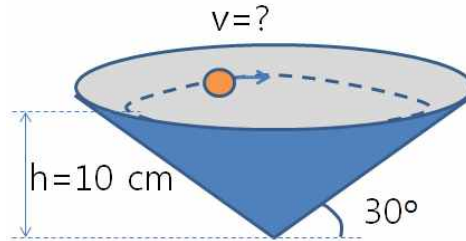


# 실험 5. 원심력

목적: 원심력이 생기는 이유와 원심력의 크기를 결정하는 요소를 이해한다.

예비 보고서:

- 2초에 3바퀴 회전하는 물체의 각속도는 얼마인가?
- 핵심물리학 4판 5.3을 참조하여 원심력(또는 구심력)에 대한 부분을 이해하고 정리한다.
- 아래 그림과 같이 30도로 기울어진 원뿔 내부를  $m=0.1$  kg의 쇠구슬이 원뿔 내 높이 10 cm 지점에서 원운동을 하고 있다. 이때 쇠구슬의 속력과 회전 각속도를 각각 예측해 보라.



준비물: 관성실험 set(회전원판, 경사로, 쇠구슬 2종), 지우개 1개, 포토게이트 2개 1조, 디지털 타이머 1개

주의사항: 회전속도의 조절은 천천히 해야 정확한 실험결과를 얻을 수 있다. 필요 이상의 빠른 회전은 사고를 유발할 수 있으니 삼가도록 한다.

## 1. 회전속도 측정하기

(1) 관성실험장치의 회전 방향을 설정한 후, 속도조절기를 천천히 돌려 일정한 회전속도를 얻는다. **이 회전속도를 정확하게 측정하는 방법을 고안해보라.** 포토게이트와 디지털 타이머를 사용가능하다.

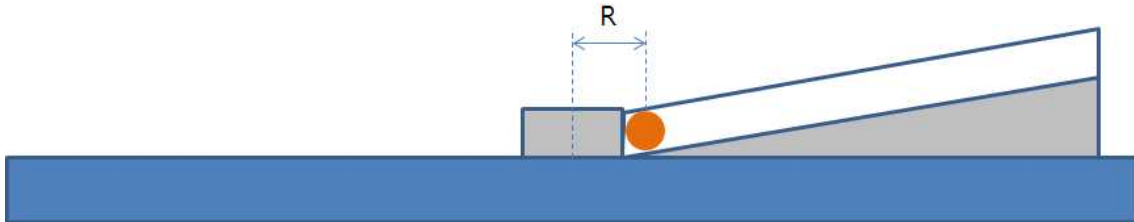
(2) 측정한 회전속도를 다음의 단위로 각각 나타내보라.

초당 회전수: rev/sec

각속도: rad/sec

## 2. 직선 경사로와 원심력

(1) 아래와 같이 직선 경사로 위에 쇠구슬 1개를 올려놓는다. 회전속도를 점점 크게 하면, 쇠구슬이 어떻게 움직일지 예측해보라. 쇠구슬이 경사면의 중간 부분에서 머무르도록 할 수 있을까?



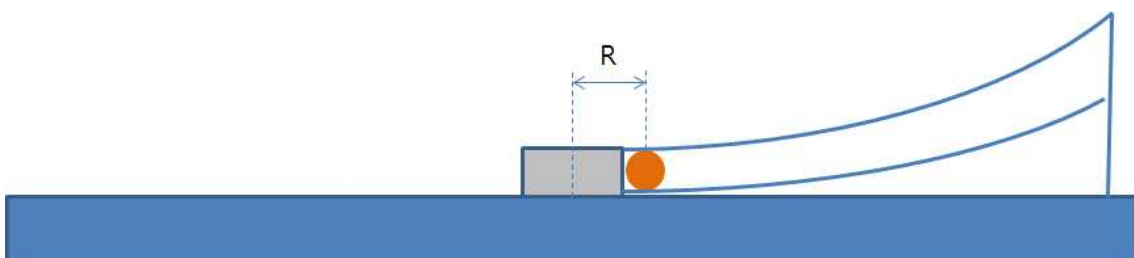
(2) 실제로 실험을 하여 위의 예측이 맞는지 확인해보라. 왜 이런 결과가 나오는지 설명해보라.

(3) 쇠구슬이 원의 바깥쪽으로 밀려나가기 시작하는 순간의 각속도를 측정하고 이론적인 예측과 맞는지 확인하라.

(4) 쇠구슬이 원의 바깥쪽으로 밀려나간 상태에서 회전속도를 천천히 줄여가며 다시 원의 중심쪽으로 돌아오는 순간의 각속도를 측정하라. (3)에서 얻은 각속도와 차이가 나는 이유는 무엇인가?

### 3. 곡선 경사로와 원심력

(1) 아래와 같이 곡선 경사로 위에 쇠구슬 1개를 올려놓는다. 회전속도를 점점 크게 하면 쇠구슬이 어떻게 움직일지 예측해보라. 쇠구슬이 경사면의 중간 부분에서 머무르도록 할 수 있을까?



(2) 쇠구슬의 회전 반지름 R을 변화시켜가며 그 때마다 회전속도를 예측해보고, 실제 측정한 회전속도와 비교해보라.

R	쇠구슬이 위치한 곳의 경사각( $\theta$ )	쇠구슬이 $\theta$ 각의 경사면에 머무르기 위해 필요한 원심력(F)	원심력(F)를 만들기 위한 회전속도	실제 측정된 회전속도

(3) 쇠구슬의 위치(R)로부터 원판의 회전속도를 예측할 수 있다면, 여러분은 아주 효과적인 회전속도 측정기를 갖고 있는 셈이다.

#### 4. 마찰력 측정하기

(1) 회전 원판 위에 지우개를 올려놓고, 원판을 느리게 회전시킨다. 지우개가 원판 바깥으로 밀려가지 않는 이유는 무엇인가?

(2) 원판의 회전속도를 점점 크게 하면, 지우개는 어떻게 되는가? 이 실험으로부터 지우개와 원판 사이의 마찰계수를 구해보라. 단, 이번에는 원판의 회전속도를 측정하기 위해서 앞의 포토게이트/디지털 타이머를 사용하지 말고, 곡면 경사로에 놓인 쇠구슬의 위치로부터 회전속도를 구하도록 하자.

(3) **선택 문제:** 실험에 사용하는 지우개의 크기나 모양을 달리하면 마찰계수 측정값이 어떻게 달라질지 예상해보라.

5. 실험 중 떠오른 의문들을 적어보고, 조원들과 함께 해결해보라.

## 실험 6. 구슬 롤러코스터

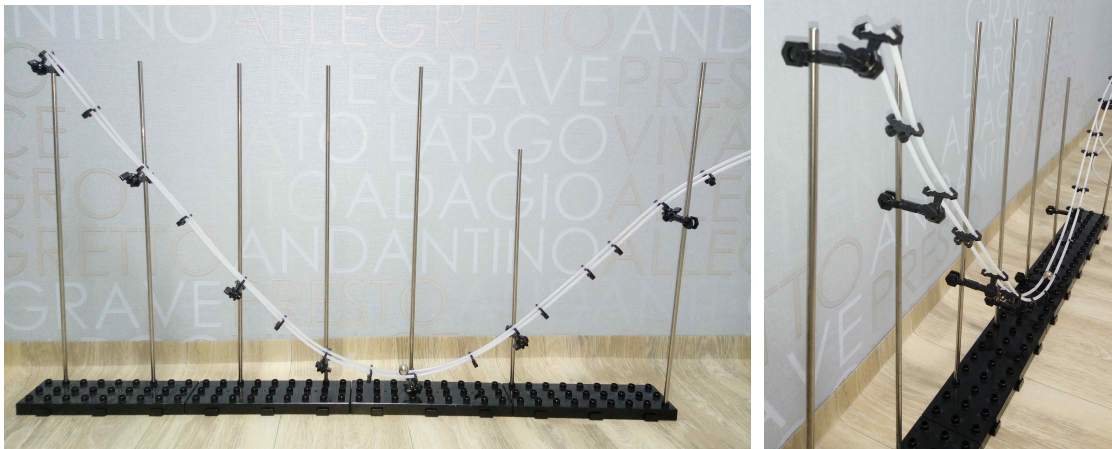
목적: 구슬 롤러코스터로 수직으로 한바퀴 회전하는 운동을 구현해보고, 필요한 조건을 이해한다.

예비 보고서: 핵심물리학 4판의 예제 5.7을 자기의 말로 풀어서 정리한다.

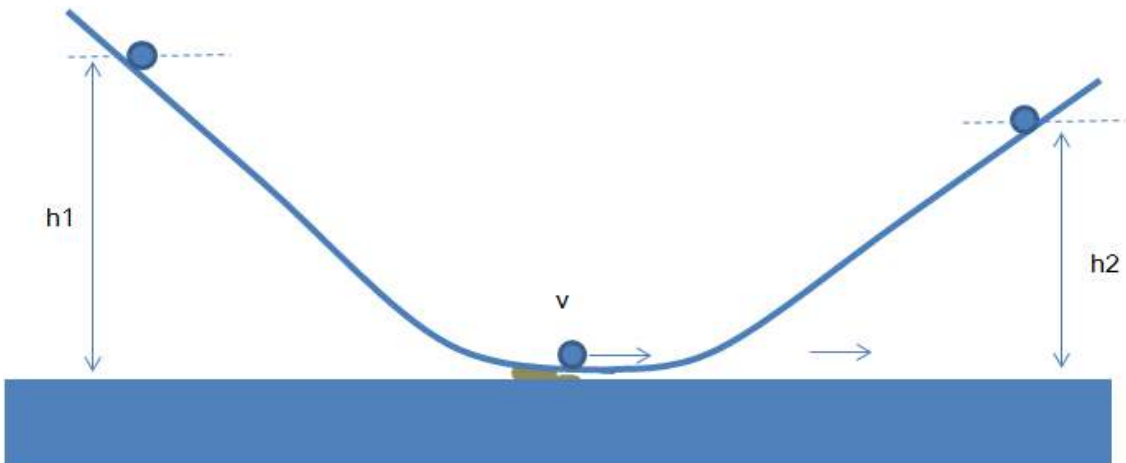
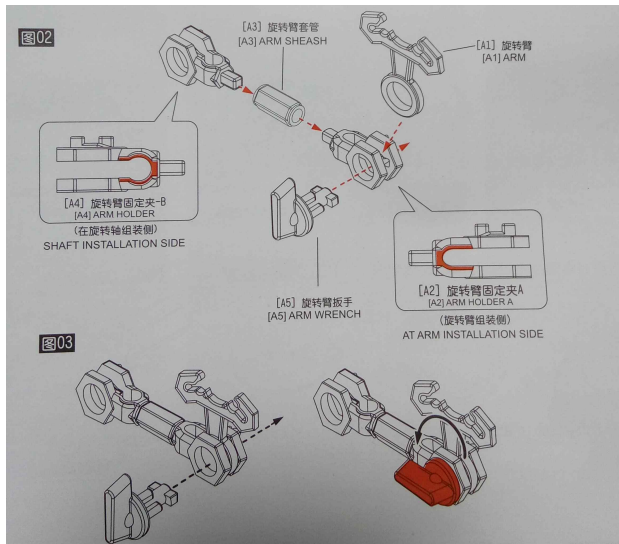
준비물: 포토게이트 및 고정 집게 2개, 스탠드(높이 1 m 이상) 1개, 플라스틱 밀판 4개, 금속봉 10개(60 cm ×1, 39 cm ×3, 30 cm ×3, 20 cm 이하 ×3), 레일(2 m) 2개, 쇠구슬 2개, 스마트 폰, 줄자

### 1. 내리막과 오르막

(1) 레일을 조립해서 아래와 같은 내리막과 오르막으로 이루어진 롤러코스터를 만든다.

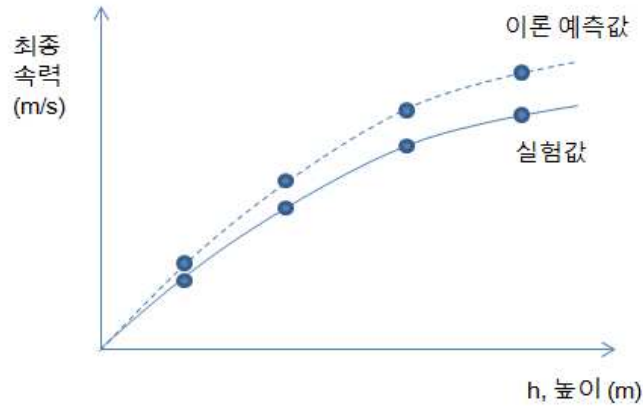


레일을 고정하는 집게는 아래와 같은 방법으로 조립한다. (주의 사항: 집게를 금속 기둥에 고정할 때는 금속 기둥의 끝에서부터 끼운 후 원하는 위치로 이동하도록 한다)



(2) 높이  $h_1$ 에서 쇠구슬을 굴렸을 때 바닥에서의 속도( $v$ )와 최종 높이  $h_2$ 를 예측해보라.

(3) 바닥에서의 속력을 photo-gate를 사용하여 측정하라. 몇가지 서로 다른 높이에서 구슬을 굴려보고, 아래 예와 같이 측정값과 이론적인 예측값을 모두 그래프로 그려서 비교해보라.



(4) 실험값과 이론값이 차이가 나는 원인을 설명해보라. (생각 없이 습관적으로 '마찰 때문'이라고 말하지 말라.) 쇠구슬의 위치에너지가 운동에너지로 모두 변환되지 않았다면 그 나머지는 어디로 간 것일까?

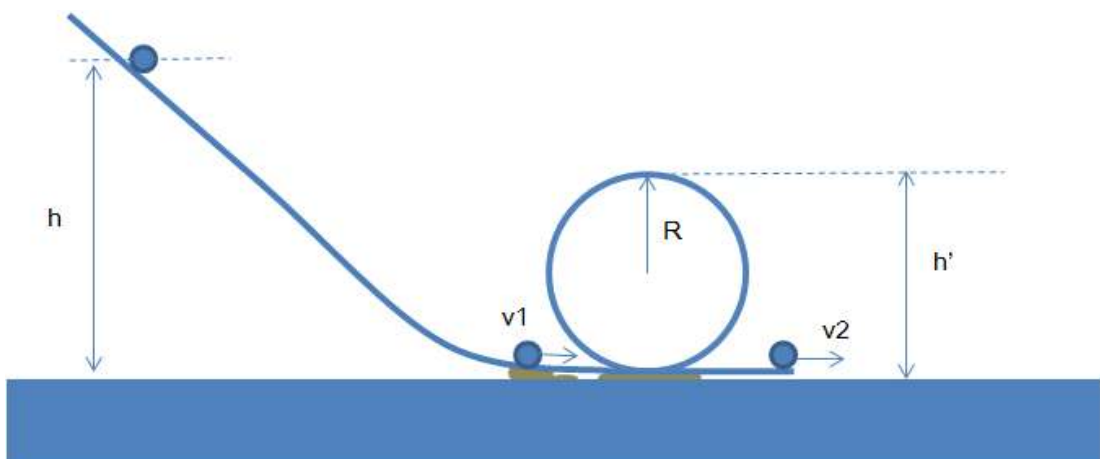
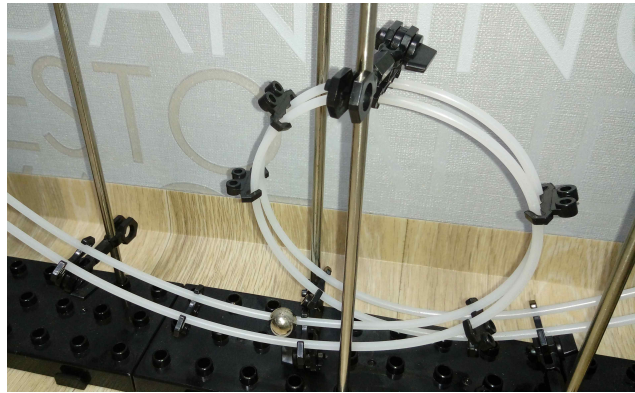
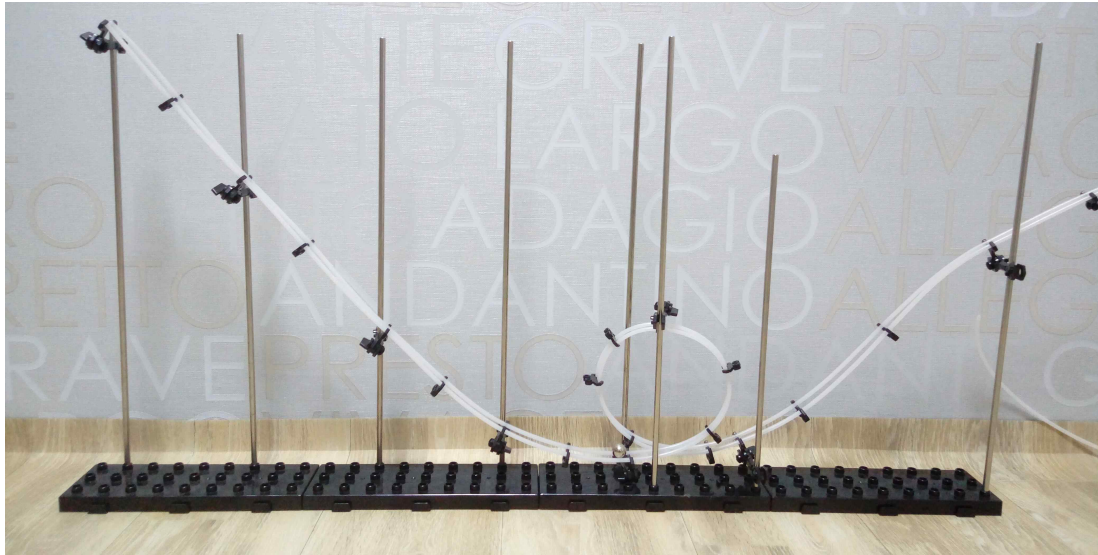
(5) **선택문제:** 쇠구슬과 레일 사이의 마찰력이 전혀 없다면 역학적 에너지가 완벽하게 보존되어 출발 높이와 마지막 도달 높이가 같아질 것이다. ( $h_1=h_2$ ) 하지만, (톱니바퀴처럼) 쇠구슬과 레일 사이의 마찰력이 충분히 큰 경우에도 역학적 에너지가 보존된다고 한다. 왜 그럴까?

(마찰력이 너무 작지도 너무 크지도 않으면, 쇠구슬은 처음에는 미끄러지며 내려오면서 에너지를 잃지만 나중에는 바퀴처럼 회전하며 레일 위를 구르기 때문에 열에너지로 사라지는 대신 회전 운동에너지로 저장된다. 결국, 쇠구슬의 최종속력을 정확히 예측하는 것은 무척 까다로운 일이다.)

(6) **선택문제:** 마찰 외에도, 쇠구슬이 굴러가면서 레일을 위아래로 진동시킨다면 이것 역시 에너지 손실의 원인이 된다. 쇠구슬의 운동에너지가 레일의 진동으로 빠져나가지 않도록 하려면 어떻게 하는게 좋겠는가?

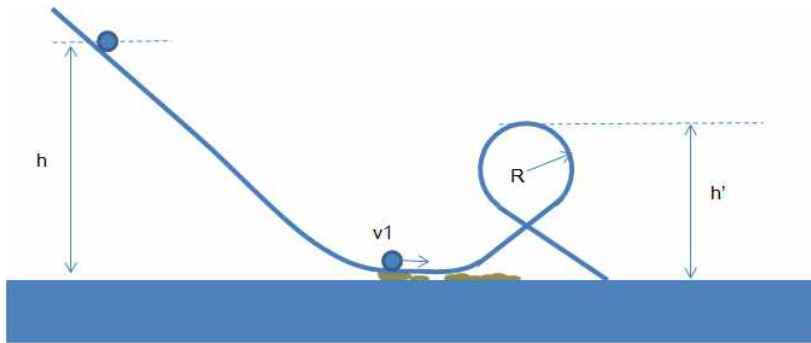
## 2. 360도 회전

(1) 아래 그림과 같이 360도 회전 코스를 만든다.



(3) (2)의 초기 높이  $h$ 를 이론으로 구해보고 실험 결과와 비교해보라. (구슬의 회전 운동에너지까지 고려해서 식을 세울 수 있다면 더 훌륭하다.)

(4) (직접 만들 필요는 없다.) 아래와 같은 형태의 레일이 있다고 상상해보자.  $h'$  높이는 (1)의 경우와 같고, 다만 고리의 반지름( $R$ )만 작다. 두 가지 경우 중 어느 쪽이 완주가 더 쉽겠는가? 그렇게 생각한 이유는 무엇인가?



### 3. 도전

시간이 남는다면 더 복잡한 형태의 롤러코스터에 도전해보라. (이후 세미나를 위해 필요하면 사진이나 동영상 찍어둔다.)

## 실험 7. 용수철 진동과 공진

목적: 용수철에 의해 진동하는 물체에서 자유 진동과 강제 진동의 특성을 이해한다.

예비 보고서: 핵심물리 13.2 단순조화운동을 참조하여 다음을 이해한다. (1) 단순조화운동이란? (2) 진동 주파수를 결정하는 요소는?

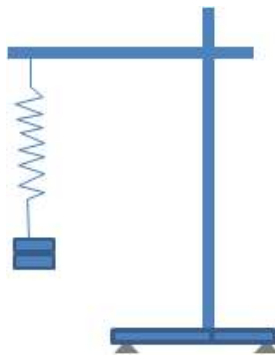
준비물: 여러 가지 용수철, 여러 가지 질량 추, 스탠드, 클램프, 스마트 폰, 줄자 등

주의사항: 용수철에 과도한 질량을 매달거나 진동폭을 지나치게 크게 하면 탄성 한계 이상으로 용수철이 늘어나 원래의 상태로 복원되지 않으므로 주의한다.

### 1. 용수철 상수 $k$ 측정하기

(1) 용수철의 한쪽 끝을 스탠드에 고정한다.

(2) 질량이 다른 몇 개의 추를 용수철에 매달아 늘어난 길이를 측정하고 이로부터 용수철 상수  $k$ 를 구한다. 사용한 질량에 따라 용수철 상수  $k$ 의 값은 어떻게 달라지는가?



(3) 이후 실험 중 용수철을 교체하게 될 때마다 같은 방법으로  $k$  값을 측정한다.

### 2. 용수철 진동 중 에너지 변환

(1) 용수철에 적당한 질량의 추를 걸고 평형상태에서 용수철을 조금 더 잡아당긴 뒤 그 위치 ( $h_1$ )를 측정한다. 이제 추를 놓으면 추가 상하로 진동할 것이다. 추가 최고점에 올라갔을 때의 위치( $h_2$ )를 측정한다.

(2) 추가 운동하는 동안 최고점, 중앙점, 최저점에서 중력 위치 에너지와 탄성 위치에너지, 운동 에너지를 각각 구해보라. (중앙점에서의 운동 에너지는 측정이 불가능하므로 비워둔다.)

에너지 종류	최고점(h2)	중앙점	최저점(h1)
중력 위치 에너지(Ug)			
탄성 위치 에너지(Ue)			
운동 에너지(K)		???	
총에너지			

(3) 총에너지가 보존된다는 가정 하에 중앙점에서의 운동 에너지를 추측하고, 그에 따른 물체의 속력을 추정해보라.

(4) 만일 총에너지가 보존이 안 된다면 어떤 이유일것는가?

### 3. 고유 진동수

(1) 위와 같은 진동에서 추의 진동 주기를 측정한다. 측정 방법은 각자가 고안한다. (1회 진동의 주기를 측정하면 오차가 크지만, 10회 진동하는데 걸리는 총시간을 측정하면 오차가 줄어든다.) 진동 주기(T)로부터 초당 진동 횟수인 진동수( $f=1/T$ )를 구하라.

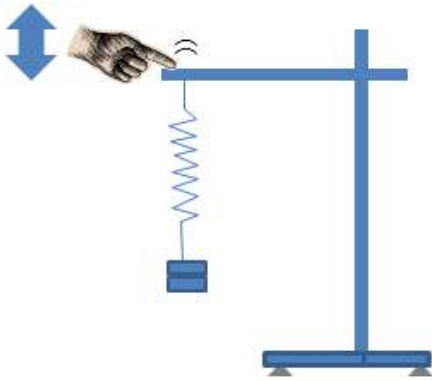
(2) 진동 폭이 클 때와 작을 때 진동수에 어떤 변화가 있는지 살펴본다.

(3) 직관적으로 판단해보라. 질량이 커지면 진동이 빨리지는가 느려지는가? 또, 딱딱한 (k 값이 큰) 용수철을 쓰면 어떻게 될까? 실제로 용수철과 추를 바꿔보며 진동 주파수에 어떤 변화가 있는지 그 관계를 조사해보라. (예비 보고서 내용을 참조할 것.)

### 4. 강제 진동

(1) 추를 매달되 진동이 없도록 추를 정지시킨다.

(2) 스탠드의 위쪽(용수철이 고정된 부분)을 손가락으로 눌렀다 놓으면 용수철에 미세한 진동이 전해진다. 이 부분을 주기적으로 눌렀다 놓았다 하면서 추의 진동이 점점 더 심해지도록 만들어보라. 최대 진동폭은 얼마인가? (진동폭이 지나치게 커지지 않도록 주의하라.)



(3) 진동폭을 크게 하기 위해 손가락으로 가해준 진동의 주파수는 얼마인가? 아까 3번에서 구한 고유 진동수 값과 비교해보라.

(4) 일부러 고유 진동수보다 큰 진동수, 혹은 작은 진동수로 힘을 주어보라. 진폭은 어떻게 되는가?

(5) 손으로 가하는 진동의 주파수에 따라 진폭이 달라지는 이유를 설명해보라. (어려운 용어를 사용하지 않고, 초등학생도 이해할 수 있도록 직관적인 설명을 해보라.)

- ★ 이렇게 어떤 물체의 고유 진동수가 같은 진동수로 외부 힘이 가해질 때 진동폭이 급격하게 커지는 현상을 공진이라고 한다. 그네를 밀어줄 때 그네의 고유 진동수로 주기적인 힘을 가하는 것도 공진을 이용하는 예이다. 또한, 지진파의 진동수가 건물의 고유 진동수와 같은 경우 건물에 큰 타격을 주게 된다.

## 실험 8. 정상파 실험

목적: 일정한 길이(크기)를 갖는 물체에서 정상파를 만들어보고 그 특징을 조사한다.

예비 보고서:

- (1) 핵심물리 13.7을 참조하여 공명 현상에 대해 설명해본다.
- (2) 핵심물리 14.7 <정지파>를 참조하여 정해진 길이의 줄의 진동에 있어서 진동 모드가 어떻게 형성되며, 진동수를 결정하는 것이 무엇인지 이해하고 정리해온다.

준비물: 정상파 실험 set(진동기, 줄, 원형 철사고리, 도르래 등), 슬롯추 set, 줄자, 스마트폰 등

주의사항: 진동기는 일반 스피커와 같은 구조로 되어 있으며, 따라서 떨림판이 쉽게 찢어진다. 진동기 위에 바나나 잭을 꽂거나 분리할 때 떨림판에 힘이 가해지지 않도록 반드시 한 쪽 손으로 밑부분을 고정된 상태에서 작업한다. 실험 중 찢어지면 감점 처리된다.

### 1. 공기의 진동(소리)

(1) 전원을 ON하고 주파수와 진폭 조절기를 돌리면 윗면이 위 아래로 진동한다. (주의사항: 진폭 수치가 낮아도 충분히 실험이 가능하니 함부로 2 이상으로 높이지 않도록 한다. 특히 높은 주파수로 갈수록 진동 에너지가 커지니 진폭을 더 낮추어야 한다.)

(빨간 손잡이를 돌리면 주파수 수치의 자릿수( $\times 1 \text{ Hz}$ ,  $\times 10 \text{ Hz}$ ,  $\times 100 \text{ Hz}$ )가 바뀌게 된다. 첫 번째 숫자는  $\times 0 \text{ Hz}$ 가 아니라  $\times 1 \text{ Hz}$ 이 맞다.)

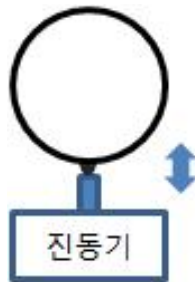


(2) 주파수가 어느 정도 높아지면 그 공기의 진동이 소리로 인식된다. 당신이 들을 수 있는

주파수 영역은 몇 Hz부터 몇 Hz까지인가?

## 2. 고리에서의 정상파

(1) 아래 그림과 같이 진동기에 원형철사고리를 장착한다. 바나나 잭을 끼울 때는 그냥 눌러 끼우면 안되고, 반드시 붉은 쪽지 부분을 한 손으로 잡은 상태에서 힘을 주도록 한다.

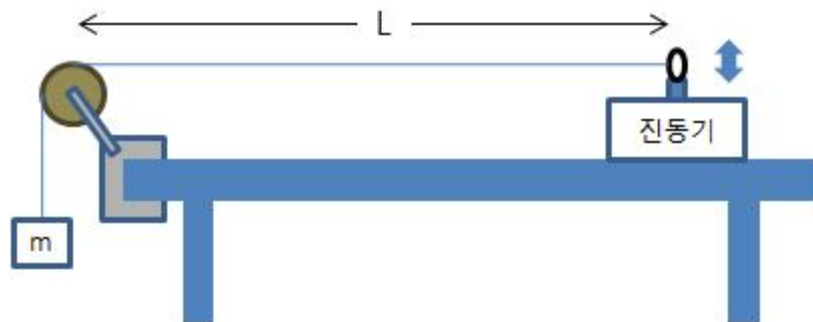


(2) 주파수를 바꾸어가면서 언제 원형고리에 정상파가 형성되는지 관찰한다. 정상파가 나타났을 때의 진동 주파수(이를 철사고리의 고유주파수라고 부른다)를 기록하고 진동하는 모습을 사진으로 찍는다. 고유 진동에서 진폭이 너무 크면 철사가 끊어지거나 고정나사가 풀려 얼굴이나 손을 할컬 수 있다. 진폭을 줄여서 실험하자.

(3) 가장 낮은 주파수로부터 시작해서 4개의 고유 주파수를 찾아보라. 이들의 진동형태에는 어떤 특징이 있는가?

## 3. 줄의 정상파 관찰하기

(1) 줄의 한쪽 끝을 진동기의 바나나 잭에 고정하고 줄의 다른 쪽에는 추를 매단 후 도르래에 걸쳐둔다.



(2) 진동기에 특정 주파수의 사인파를 보내어 진동을 일으킨다. (낮은 주파수에서부터 시작하는 것이 좋다.)



정상파 차수	진동수(f)	파장( $\lambda$ )	파동의 속도(v)
#1			
#2			
#3			
#4			
#5			

(2) 줄의 길이와 장력의 변화는 파장과 파동의 속력에 어떤 영향을 미치는가? 이론을 통해 예측한 결과와 실험 결과를 비교해보라.

## 5. 생각해보기

(1) 현악기에서는 줄의 고유 진동수가 음의 높낮이를 결정한다. 거문고나, 바이올린, 기타에서 음 높이를 조절하기 위해 어떻게 장력이나 줄의 길이를 바꾸는지 말해보라.

(2) 실제 악기에서는 이번 실험처럼 모터를 특정 주파수로 구동하지 않고도 원하는 음을 발생시킨다. 어떻게 그것이 가능한가?

## 실험 9. 기압 변화에 따른 현상

배경: 우리는 공기 분자들로 뻘뻘한 공간 안에 살며, 이 공기 분자들이 가하는 엄청난 압력 속에서 살고 있지만 그 존재를 잊고 산다. 만일 기압이 바뀌면 어떤 일들이 일어날까? 높은 산에서 밥을 하면 쌀이 설익는다는데 그 이유는 무엇일까? 이 실험에서는 기압을 낮추거나 높일 때 일어나는 현상을 관찰함으로써 기압의 역할을 이해하고자 한다.

예비 보고서: 기압이 달라질 때 물체의 형태나 물의 끓는 점이 어떻게 변하며 그 이유는 무엇인지 정리해온다.

준비물: 주사기형 공기 펌프, 압력 용기(압력계와 온도계 포함), 풍선, 초코파이, 비이커, 전기 주전자 (3조당 1개)

주의사항: 디지털 온도계를 끼웠다 뺐다 하는 동안 망가질 위험이 있으니 계속 끼운 상태에서 실험을 진행한다. 압력 용기의 뚜껑을 바닥에 내려놓을 때, 온도계의 탐침이 휘거나 부러지지 않도록 주의한다.

### 1. 실험 기구의 이해

(1) 소형 공기 펌프: 주사기의 피스톤을 움직여보며 공기의 이동 방향이 어느 쪽인지 확인한다.



(2) 실험 목적에 맞게 공기 펌프의 한쪽 관을 감압/가압 소켓에 연결한다. (소켓에서 관을 뺄 때는 소켓에 붙어있는 파란 원판을 아래로 누르면서 관을 당겨야 빠진다.)

(3) 윗면 밸브와 뒷면 밸브는 모두 닫아놓는다. 아래 내용을 참조하여 용기의 뚜껑을 닫는다.

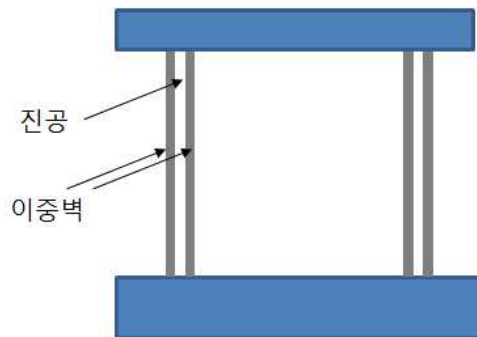
(용기의 벽은 이중 벽으로 되어 있고, 이중 벽 사이는 진공으로 되어 있다. 이는 용기 내부와 외부 간의 열의 이동을 차단하기 위한 것이다. 그러나 용기의 윗면이나 바닥 면은 이런 구조를 갖지 않는다.)

- 진공 용기의 뚜껑을 닫는 방법: 조임 나사를 어느 한 쪽만 세게 조일 경우 뚜껑이 기울어져 공기가 새기 쉽다. 조임 나사를 골고루 조이기 위해 먼저 대각선 방향의 두 개의 나사를 약한 힘으로 조인 후, 점차 강하게 조이도록 한다. 그 후 나머지 대각선 방향의 두 개의 나사를 비슷한 힘으로 조인다. 지나치게 조이면 파손의 우려가 있다.

(4) 압력을 높이거나 낮추면서 기압의 변화를 읽어보라.

- 압력이 대기압보다 높아지면 가압계가 작동하며, 대기압보다 낮아지면 감압계가 작동한다. 가압계는 1기압을 기준으로 얼마나 더 높은지, 감압계는 1기압을 기준으로 얼마나 더 낮은지를 표시해준다. (1 기압 = 0.1 MPa(10<sup>5</sup> 파스칼))
- 용기 파손의 위험이 있으므로 감압시에는 0.2 기압 이하로 내리지 않도록 하고, 가압시에는 2기압 이상으로 올리지 않도록 한다.

(5) 다시 대기압으로 돌아가려면 윗면 밸브를 열면 된다.



## 2. 기압에 의한 물체의 변형

(1) 기압에 따른 변화를 보고 싶은 물체들(풍선, 초코파이 등)을 선택하여 용기 내부에 넣고 뚜껑을 닫는다. 펌프를 사용하여 내부의 압력을 높이거나 낮출 수 있다.

(2) 기압의 변화에 따른 물체들의 변화를 관찰하고 적어보라. 이를 공기분자의 운동으로 설명해보라.



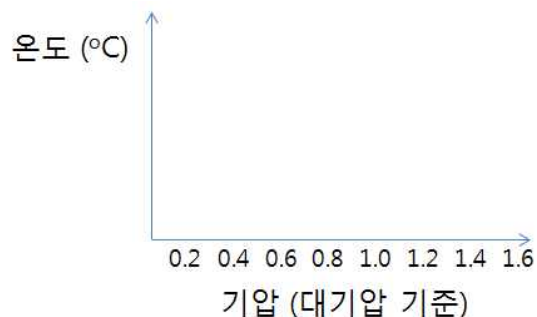
(3) **선택 활동:** 용기 내부에 소리나는 물체를 넣어두고 바깥에서 소리를 들어보라. 압력이 바뀌면 소리가 어떻게 달라지는가? 그 이유는 무엇일까?

### 3. 압력에 따른 온도 변화

(1) 정해진 양의 공기를 주사기 등으로 팽창시킬 때 공기의 온도는 어떻게 변할까? 또 압축시킬 때는 온도가 어떻게 변하겠는가? (핵심물리학 4판 그림 18.10 참조)

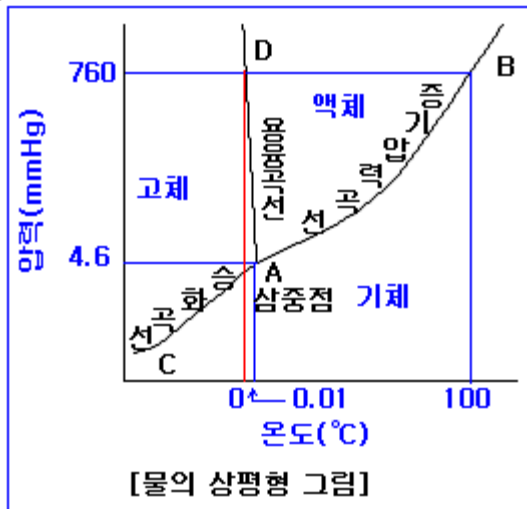
(2) 내부 물체를 모두 제거한 후, 내부 압력에 따라 내부 기체의 온도가 어떻게 변하는지 관찰하고 기록해보라. (실험을 너무 빠르게 진행하면 온도계가 기체의 온도를 정확히 읽을 수 없고, 실험을 너무 늦게 진행하면 용기 내부와 바깥의 열 교환에 의해 온도 변화가 감소할 수 있다.)

(3) 압력과 온도와의 상관관계를 그래프로 그려보라. (측정 직후 그래프를 손으로라도 대략 그려보는 것이 좋다.)



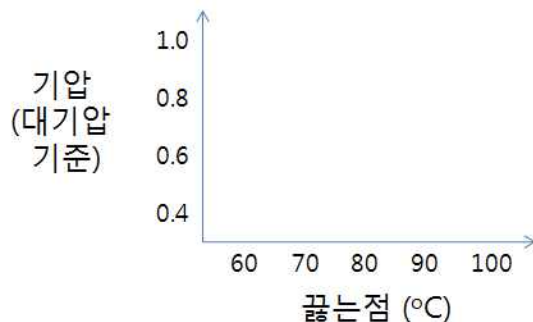
#### 4. 압력에 따른 끓는점의 변화

(1) 물이 액체에서 기체 상태로 변하는 온도(끓는점)는 섭씨 100도라고 알려져 있다. 그러나 물의 상평형 곡선을 보면 끓는점이 외부 압력에 따라 달라짐을 볼 수 있다. 이 그래프에 의하면 압력이 낮아질수록 끓는점은 올라가는가, 아니면 내려가는가? 그 이유를 설명해보라.



(2) 위의 그래프(증기압곡선)에 의하면 100도에 못 미치는, 약간 식어버린 물이라도 압력만 바꿔준다면 다시 끓게 만들 수 있다! 전기 주전자로 데운 뜨거운 물을 용기 안에 넣은 후 압력을 낮추어 물이 끓게 만들어보라.

(3) 이 실험장치를 사용하면 기압과 물의 온도를 동시에 잴 수 있으므로, 증기압곡선의 일부를 직접 측정해볼 수도 있을 것이다. 시도해보라.



\* 높은 산에 올라가 기압이 0.8 기압이 되었다고 가정하자. 그럼 물은 몇 도에서 끓게 되겠는가? 아무리 가열을 해도 물을 끓는 점 이상으로 올릴 수 없으므로 쌀이 설익게 된다.