

실험 8-1. 단순 조화 진동자의 주기 측정

1. 목적

조화 진동자의 진동 주기를 측정하고, 이론값과 비교한다.

2. 이론

용수철에 매달린 질량 m 인 물체의 이론적인 진동 주기는 다음과 같다.

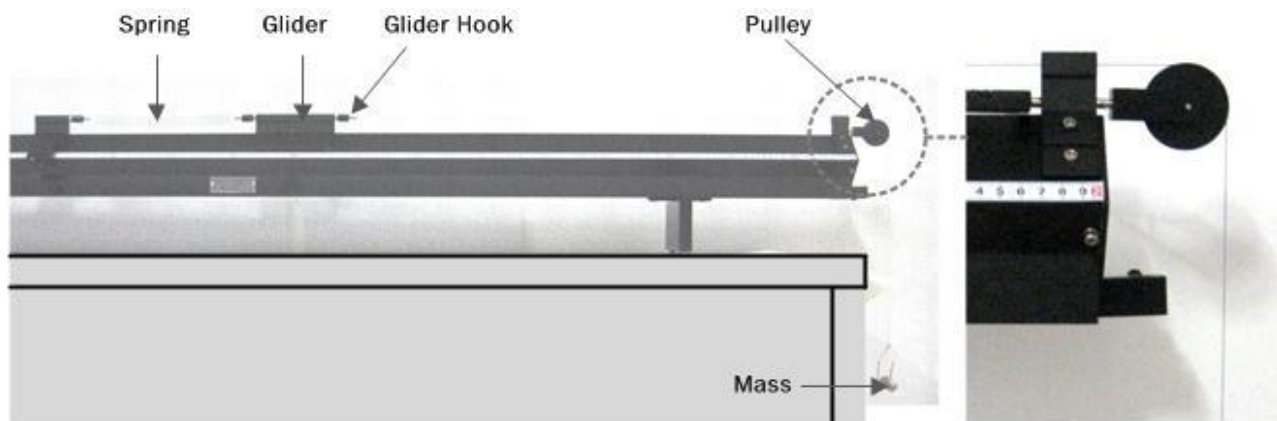
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1)$$

여기서, T 는 왕복 운동에 소요되는 시간이고, k 는 용수철 상수이다. Hooke의 법칙에 의하면, 용수철에 의해 물체에 작용되는 힘은 용수철이 압축되거나, 늘어난 길이에 비례하고 이를 식으로 표현하면 $F = -kx$ 가 된다. 따라서, 용수철 상수는 여러 가지 다른 크기의 힘을 용수철에 작용하여 그때마다 늘어나거나, 압축되는 용수철의 길이를 재고, 이것을 길이와 힘에 대한 좌표로 표시한 후, 그 기울기를 재면 된다.

3. 기구와 장치

기구와 장치	Equipment	수량	비고
2m 트랙	2m Air Track	1	공용
수평계	Level	1	
에어블로어	Air Blower	1	
글라이더	Glider	1	
충돌용범퍼	Bumper	2	공용
O형 고리	Glider Hook	2	
추걸이	Mass Hanger	1	
추	Mass Set	several	
도르래	Pulley	1	
실	String	1	
가위	Scissors	1	
초시계	Stopwatch	1	
전자 저울	Balance	1	
용수철	Spring	2	

4. 실험방법



[그림 1]

용수철상수 측정

- (1) 저울을 사용하여 고리를 포함한 글라이더의 질량을 재고, 그 값을 [표1]에 기록한다.
- (2) 에어트랙을 올려놓고 트랙의 수평을 조절한다. 그리고 트랙의 한쪽 끝에 도르래를 고정한다. 트랙의 수평은 두 글라이더를 올려놓고 글라이더가 자유로이 움직일 수 있는 상태에서 두 글라이더가 한쪽으로 쏠리지 않는 상태로, 글라이더가 마찰없이 움직이는 것은 마찰음의 유무로 판단할 수 있다.
- (3) [그림1]과 같이 용수철 1을 글라이더에 그리고 용수철의 다른 쪽 끝을 트랙의 끝에 고정한다.
- (4) 실을 글라이더의 끝에 매고, 다른 끝을 [그림1]과 같이 추걸이에 묶는다.
- (5) [표1]에 평형 위치를 기록한다.
- (6) 추걸이에 추를 놓아 무게를 더하여 새로운 평형 위치를 기록한다. 이런 과정을 무게가 다른 5개의 추에 대해서 반복한다. 이때 용수철이 너무 늘어나지 않도록 주의 한다.
- (7) 용수철을 바꾸어 용수철 2에 대해서도 위의 과정을 반복한다.

주기 측정

- (1) 글라이더를 평형위치에서 일정한 거리만큼 잡아당긴 후, 글라이더를 놓아 진동하는 글라이더가 5번 왕복운동 하는 시간을 [표2]에 기록한다.
- (2) (1)의 과정을 5번 이상 반복하고, 잡아당기는 거리를 일정하게 한다.
- (3) 글라이더의 양쪽에 50g의 추 두 개를 싣고, 위의 실험을 반복하여 [표2]에 기록한다.
- (4) 이 과정을 용수철 1,2 모두에 대하여 수행한다.

주 의 사 항

- 용수철이 과도하게 늘어나지 않도록 주의 한다.
- 수레를 잡아당겼다가 놓을 때 무리하게 잡아당기지 않는다.
- 글라이더에 추를 얹을 때는 좌우 대칭되게 얹는다.
- 글라이더의 무게는 글라이더에 장착된 모든 부품을 포함하여 측정한다.

5. 실험결과

<용수철상수 측정>

용수철 1

글라이더의 질량 = _____

평형 위치 (x_0) = 21.8

가해진 추의 질량	위치 (x)	변형거리 ($x-x_0$)	힘(mg)
10	39.7		14.8 x g
20	54.6		29.8 x g
30	74.5		34.8 x g
40	94.7		44.8 g

[표 1-1]

→ 추가 질량 4.8g

용수철 2

글라이더의 질량 = _____

평형 위치 (x_0) = 35.9

가해진 추의 질량	위치 (x)	변형거리 ($x-x_0$)	힘(mg)
10	42.4		
20	44.4		
30	46.3		
40	48.2		

[표 1-2]

→ 추가 질량 4.8g

<주기 측정>

용수철 1

	5회 왕복하는데 걸린 시간						진동주기 (T)
	1회	2회	3회	4회	5회	평균	
글라이더	18.11	17.98	18.39				
글라이더 + 100g	22.19	22.79	20.81				

[표 2-1]

용수철 2

	5회 왕복하는데 걸린 시간						진동주기 (T)
	1회	2회	3회	4회	5회	평균	
글라이더	9.10	8.97	9.03				
글라이더 + 100g	11.03	11.17	11.10				

[표 2-2]

이론적 주기계산

- (1) [표1]의 결과를 거리 대 힘의 좌표로 나타내고, 각 점을 잇는 가장 똑바른 직선을 그리고, 그 직선의 기울기를 구한다. 그 기울기가 용수철 상수 k 가 된다.
- (2) 글라이더의 질량과 용수철 상수를 이용하여, 식(1)을 이용하여 주기를 계산한다.

실험에 의한 측정 값과 이론값의 차이를 백분율로 나타내어라

<질문>

- (1) 글라이더에 싣는 질량이 무거워 짐에 따라 진동주기가 빨라 지는가 느려지는가?
- (2) 만약 평형 위치에서 잡아당기는 거리가 변화하면 주기 또한 변화하는가?

실험 8-2. 비탈면 위에서의 진동

1. 목적

비탈면의 각도를 달리하며 추가 달린 용수철의 진동주기를 측정하여 이론값과 비교한다.

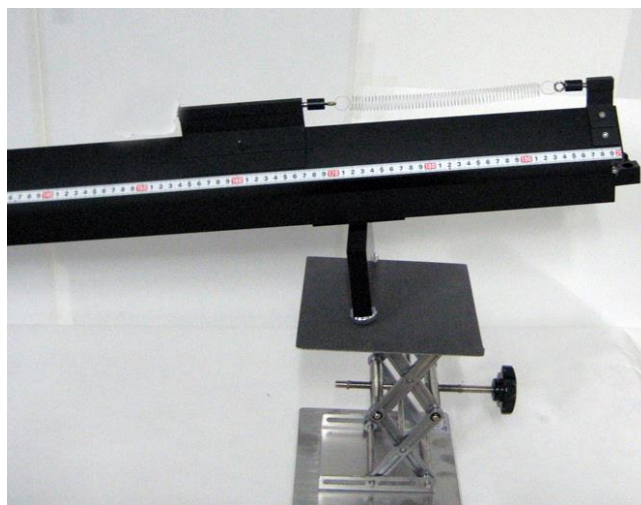
2. 이론

8-1 실험 참고

3. 기구와 장치

기구와 장치	Equipment	수량	비고
2m 트랙	2m Air Track	1	
각도기	Protractor	1	공용
에어블로어	Air Blower	1	
글라이더	Glider	1	
충돌용범퍼	Bumper	2	
추	Mass Set	several	
O형 고리	Glider Hook	2	
서포트잭	Support Jack	1	
초시계	Stopwatch	1	공용
전자 저울	Balance	1	공용
용수철	Spring	1	

4. 실험방법



[그림 2]

주 의 사 항

- 용수철이 과도하게 늘어나지 않도록 주의 한다.
- 수레를 잡아당겼다가 놓을 때 무리하게 잡아당기지 않는다.
- 글라이더에 추를 엮을 때는 좌우 대칭되게 엮는다.
- 글라이더의 무게는 글라이더에 장착된 모든 부품을 포함하여 측정한다.

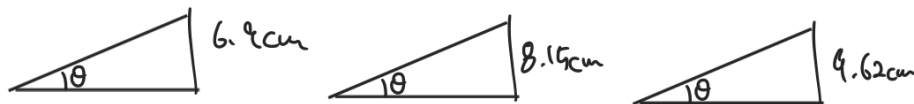
이론적인 주기 측정

- (1) 저울을 사용하여 글라이더의 질량을 재고, 그 값을 [표3]에 기록한다.
- (2) 글라이더에 용수철을 [그림2]과 같이 연결한다. 그리고 용수철의 다른 쪽 끝을 트랙의 끝에 고정한다.
- (3) 용수철을 붙인 후 서포트랙을 통하여 트랙의 한쪽 끝을 높여 경사지게 한다. 에어블로어를 작동시켜 글라이더와의 마찰을 없애면 트랙의 끝이 올라감에 따라 용수철이 늘어날 것이다. 용수철이 트랙길이에 절반이상 늘어나지 않게 트랙의 경사각을 작게 유지하라. 이 각을 측정하여 [표3]에 기록한다.
- (4) 평형위치를 [표3]에 기록한다.
- (5) 질량을 글라이더 위에 더하고 새로운 위치를 기록하라. 용수철이 과도하게 늘어나지 않도록 주의하며 5개의 다른 질량을 가지고 반복하여 실험한다. 글라이더에 질량을 더할 경우 좌우 대칭이 되도록한다.

실험적인 주기 측정

- (1) 글라이더를 평형 위치에서 특별한 길이만큼 움직여 진동하게 한다. 5번째 진동까지의 시간을 [표4]에 기록한다.
- (2) 글라이더를 진동하게 하는 위치(진폭)을 같게 하여 5회 이상 반복한다.
- (3) 경사각을 바꾸며 (1),(2)의 절차를 반복한다.

5. 실험결과



이론적인 주기 측정

글라이더의 질량 = _____ 평형 위치 (x_0) = 32.9 cm 경사각 = _____

가해진 추의 질량	위치 (x)	변형거리 ($x-x_0$)	힘 ($mg\sin\theta$)
10	56.4		
20	72.9		
30	89.8		
40	101.1		

[표 3]

실험적인 주기 측정

경사각 (θ)	5회 왕복하는데 걸린 시간						진동주기 (T)
	1회	2회	3회	4회	5회	평균	
	16.55	16.62	16.61				
	16.69	16.95	16.67				
	16.68	16.81	16.96				

[표 4]

- (1) [표3]의 결과를 이용하여 글라이더에 부가된 질량에 의한 힘 $F=mg\sin\theta$ 를 계산하라. 힘-변위 그래프를 그리고 그 기울기로부터 용수철의 유효 상수 k 를 구하여라
- (2) 글라이더의 질량과 용수철 상수를 이론적인 식에 대입하여 주기를 계산하여라
- (3) [표3]으로부터 구한 주기와 [표4]로부터 주기를 비교하여 보아라.

<질문>

- (1) 경사각이 변함에 따라 주기가 달라 지는가?
- (2) 만약 경사각이 90도가 되면 주기는 어떻게 되겠는가?

실험 8-3. 용수철의 직렬 및 병렬연결

1. 목적

직렬 연결과 병렬 연결된 용수철의 진동 주기를 측정하여 용수철 한 개의 진동주기와 비교한다.

2. 이론

용수철에 달린 추의 이론적인 진동 주기는

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (2)$$

로 주어지며, 여기서 T 는 진동주기, m 은 진동하는 용수철에 달린 질량, 그리고 k 는 용수철 상수이다. 진동주기가 측정되면 용수철 상수는 다음 식으로 결정된다.

$$k = \frac{4\pi^2 m}{T^2} \quad (3)$$

두 용수철이 직렬연결과 병렬 연결됨에 따라 용수철 상수가 다른 방법으로 더해진다. 한 방법은

$$k_{\text{유효}} = k + k = 2k \quad (4)$$

이고, 다른 방법은

$$\frac{1}{k_{\text{유효}}} = \frac{1}{k} + \frac{1}{k} = \frac{2}{k} \quad (5)$$

이 식을 다시 정리하면

$$k_{\text{유효}} = \frac{1}{2}k \quad (6)$$

이다. (직렬과 병렬에 대한 유효식을 일반물리 책을 참고하여 스스로 유도해 보라.)

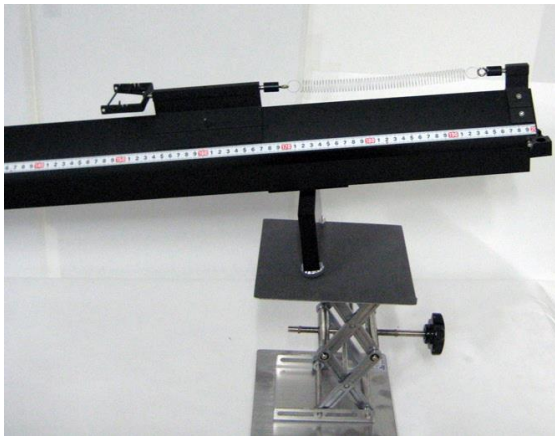
3. 기구와 장치

기구와 장치	Equipment	수량	비고
2m 트랙	2m Air Track	1	공용
각도기	Protractor	1	
에어블로어	Air Blower	1	
글라이더	Glider	1	
충돌용범퍼	Bumper	2	
O형 고리	Glider Hook	2	공용
길이플레이트	Length Plate	1	
서포트잭	Support Jack	1	
초시계	Stopwatch	1	
전자 저울	Balance	1	

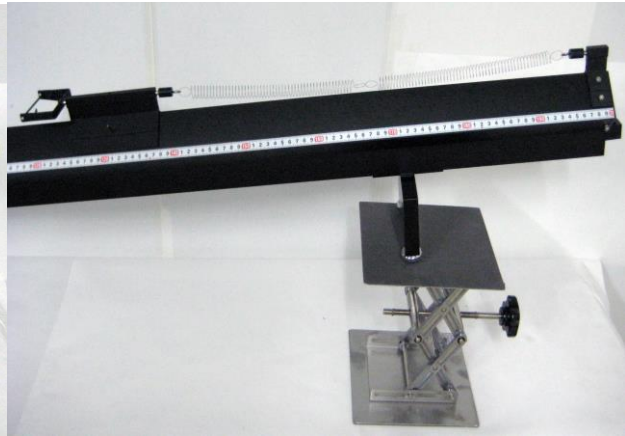
4. 실험방법

주 의 사 항

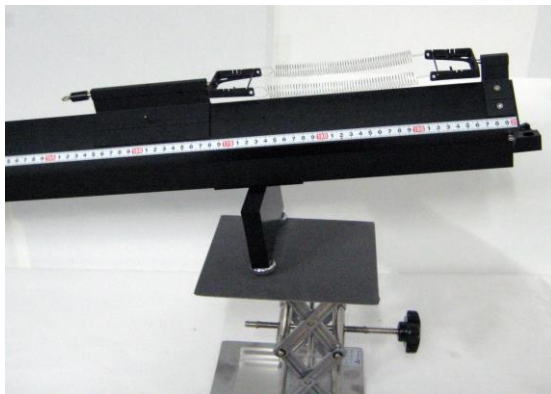
- 용수철이 과도하게 늘어나지 않도록 주의 한다.
- 수레를 잡아당겼다가 놓을 때 무리하게 잡아당기지 않는다.
- 글라이더에 추를 얹을 때는 좌우 대칭되게 얹는다.
- 글라이더의 무게는 글라이더에 장착된 모든 부품을 포함하여 측정한다.



[그림 3]



[그림 4]



[그림 5]



[그림 6]

용수철 1개의 k 측정

- (1) 저울을 사용하여 글라이더의 질량을 재고, 그 값을 [표5]에 기록한다.
- (2) [그림3]과 같이 글라이더에 O형고리, 범퍼를 낀 상태로 트랙에 놓고 글라이더의 한쪽 끝에 용수철을 고정하고 용수철의 다른 끝은 트랙의 조정대에 고정한다. 에어블로어를 작동시켜 글라이더

가 마찰없이 움직이도록 하고 트랙의 한쪽 끝을 높여 용수철이 늘어나도록 한다. 용수철이 과도하게 늘어나지 않도록 주의 한다.

(3) 글라이더를 평형위치에서 일정한 길이만큼 움직여 진동하도록 한다. 5번째 진동 시간을 [표5]에 기록한다. 같은 초기위치(진폭)에서 적어도 5회 이상 반복한다.

(4)[그림4]처럼 두 번째 용수철을 직렬로 연결하고 (3)의 절차를 반복한다. 용수철이 에어트랙에 닿지 않도록 주의한다.

(5) [그림5]처럼 두 번째 용수철을 병렬로 연결하고 (3)의 절차를 반복한다.

(6) [그림6]처럼 두 번째 용수철을 양쪽으로 연결하고 (3)의 절차를 반복한다. 그림과 같이 에어트랙 길이조절 플레이트를 장착하여 용수철이 과도하게 늘어나지 않도록 한다.

5. 실험결과

글라이더의 무게 = _____

용수철	5회 왕복하는데 걸린 시간						주기	k
	1회	2회	3회	4회	5회	평균		
한 개	7.17	7.11	7.25					
직 렬	9.93	9.68	9.87					
병 렬	7.09	6.91	7.14					
양 쪽	4.08	4.16	4.20					

[표 5]

<질문>

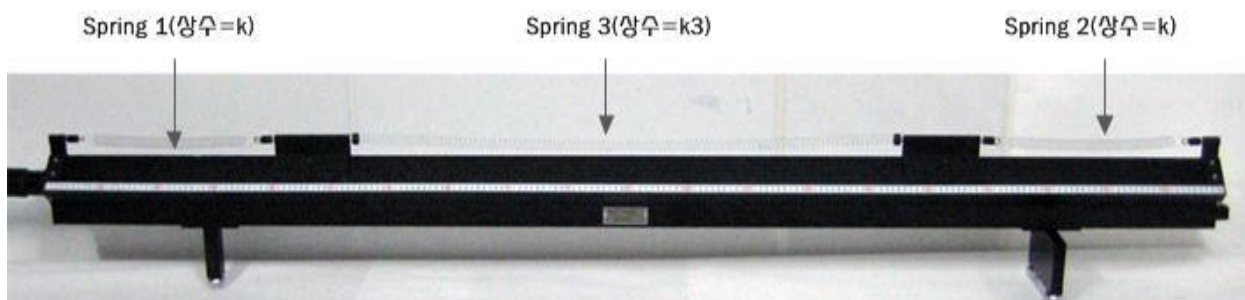
- (1) 직렬연결과 병렬연결 중 어떤 때 $k_{\text{유효}} = 2k$ 인가?
- (2) 직렬연결과 병렬연결 중 어떤 때 $k_{\text{유효}} = \frac{1}{2}k$ 인가?
- (3) 양쪽 연결은 직렬연결 인가? 병렬연결 인가?

실험 8-4. 연성조화진동

1. 목적

용수철 3개에 의해 연결된 자유도 2인 진동자의 진동주기를 측정하여 이론값과 비교한다.

2. 이론



[그림 7]

그림과 같이 두 글라이더가 3개의 용수철에 연결되어 있는 경우를 생각하면, 운동방정식은

$$m d^2 x_1 / dt^2 = -(k + k_3) x_1 + k_3 x_2$$

$$m d^2 x_2 / dt^2 = k_3 x_1 - (k + k_3) x_2$$

이 되며, 두 개의 기준진동수 $\omega_1 = ((k+2k_3)/m)^{1/2}$, $\omega_2 = (k/m)^{1/2}$ 를 가지게 된다.

일반적으로 두 질점의 운동은 이 두 진동수로 표현되는데, 특별한 경우 두 질점이 같은 진동수로 진동하는 경우를 생각해 볼 수 있다. $x_1 = -x_2$ 의 모양으로, $x_1 = x_2$ 의 모양으로 진동하는 두 가지가 있으며 각각 반대칭진동, 대칭 진동으로 불리며 각 경우 ω_1 , ω_2 의 진동수를 가지게 된다. $k_3 \ll k$ 인 약하게 결합된 진동의 경우 ϵ 의 1차로 근사할 수 있으며, 이 경우 아래의 해에서 볼 수 있듯이 각 질점의 맥놀이 및 에너지 전달 현상을 확인할 수 있다.

$$x_1(t) = (A \cos \epsilon \omega_0 t) \cos \omega_0 t, \quad \epsilon \equiv k_3 / 2k$$

$$x_2(t) = (A \sin \epsilon \omega_0 t) \sin \omega_0 t, \quad \omega_0 = [(k+k_3)/m]^{1/2}$$

3. 기구와 장치

기구와 장치	Equipment	수량	비고
2m 트랙	2m Air Track	1	
각도기	Protractor	1	공용
에어블로어	Air Blower	1	
글라이더	Glider	1	

충돌용범퍼	Bumper	2	
추	Mass Set	several	
O형 고리	Glider Hook	4	
서포트잭	Support Jack	1	
초시계	Stopwatch	1	공용
전자 저울	Balance	1	공용
연성조화용수철	Coupled Oscillation Spring Set	1	

4. 실험방법

주 의 사 항

- 용수철이 과도하게 늘어나지 않도록 주의 한다.
- 수레를 잡아당겼다가 놓을 때 무리하게 잡아당기지 않는다.
- 글라이더에 추를 엮을 때는 좌우 대칭되게 엮는다.
- 글라이더의 무게는 글라이더에 장착된 모든 부품을 포함하여 측정한다.

- (1) 에어트랙에 글라이더를 올려 놓고, 글라이더가 가속되지 않도록 에어트랙의 수평을 조절한다. 수평은 두 글라이더를 에어트랙에 올려 놓고 글라이더가 마찰없이 움직이는 상황(마찰음이 없는 상황)에서 두 글라이더가 어느 한쪽으로 쏠리지 않도록 조정한다.
- (2) 그림 7과 같이 연성조화 스프링을 연결하고 에어블로어를 작동하여 글라이더가 평형을 이룬 상태에서 그대로 블로어 전원을 OFF시켜둔다.
- (3) 다음의 각 경우에 대하여 글라이더의 주기를 측정한다.

대칭진동



[그림 8]

- (4) 그림 8과 같이 글라이더 1과 2를 같은 방향으로 동일 거리를 이동시킨 후 에어블로어를 작동시키면 글라이더가 진동하게 되고, 이 경우 글라이더의 진동은 대칭진동이 된다.

반대칭진동



[그림 9]

- (5) 그림 9과 같이 글라이더 1과 2를 다른 방향으로 동일 거리를 이동시킨 후 에어블로어를 작동시키면 글라이더가 진동하게 되고, 이 경우 글라이더의 진동은 반대칭진동이 된다.

연성조화진동



[그림 10]

- (6) 그림 10과 같이 글라이더 2는 고정하고, 글라이더 1만 일정 거리를 이동시킨 후 에어블로어를 작동시키면 글라이더가 진동하게 되고, 이 경우 글라이더의 진동은 연성조화진동이 된다.