

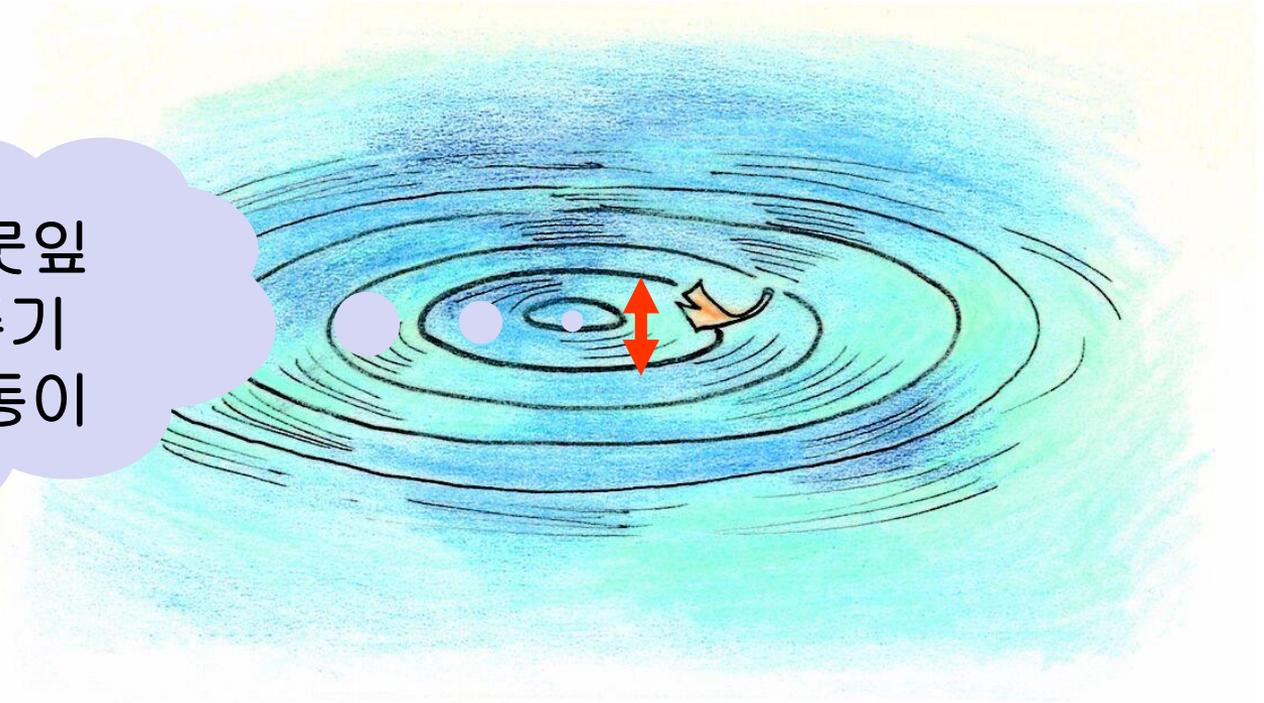
6장: 진동과 파동



1. 단진동 운동
2. 역학적 진동과 파동
3. 파동의 속도

진동운동

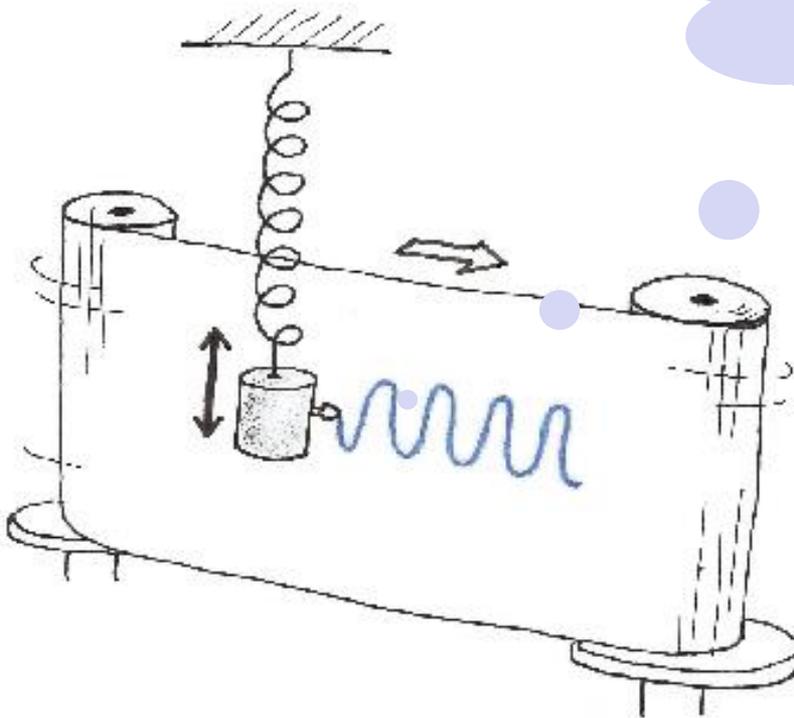
흔들리는 나뭇잎
의 운동은 주기
적인 진동운동이
다



우리 주변에는 주기적인 진동운동이 수없이 많다.
흔들리는 그네나 추의 운동, 바람에 흔들리는 나뭇잎의 운동,
물질 속에 들어있는 원자의 열진동 등 등

단진동운동

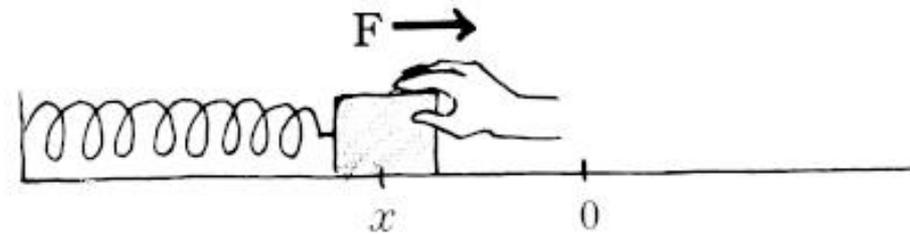
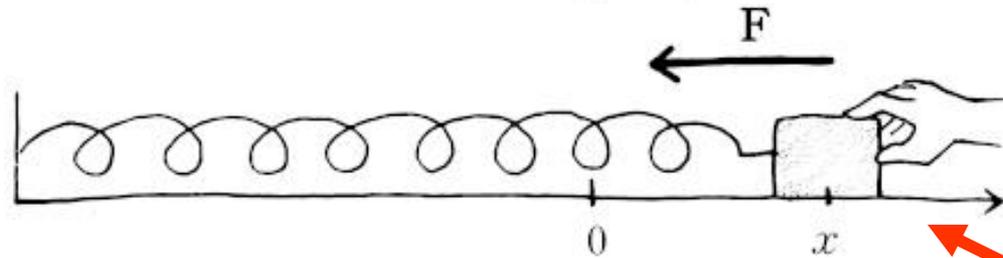
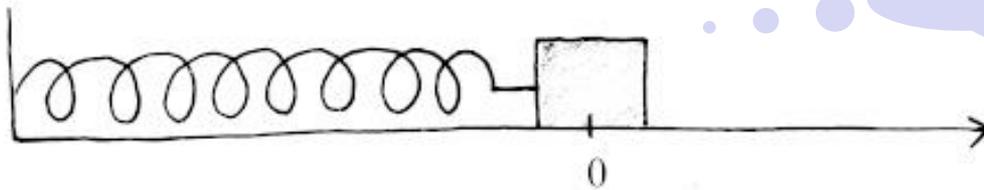
시간이 지남에 따라
사인 또는 코사인 함
수로 변한다.



후크의 법칙

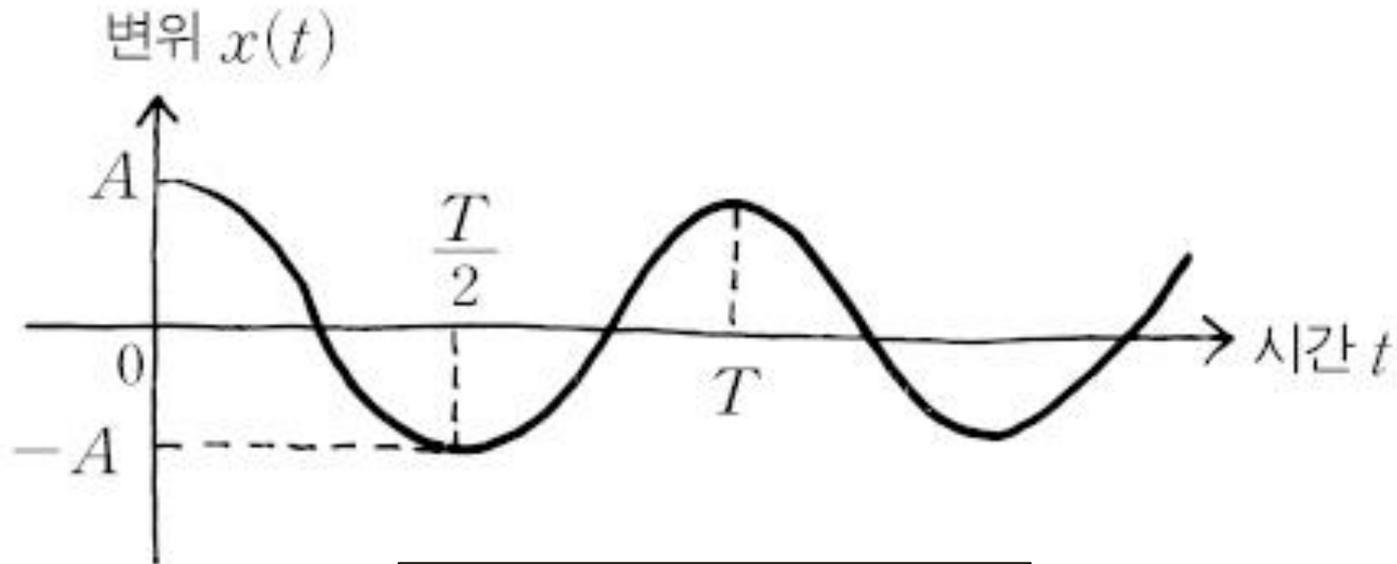
$$F = -kx$$

평형점에 놓인 물체



평형점으로부터 벗어나면
벗어난 길이에 비례하여
복원력이 생긴다.

주기

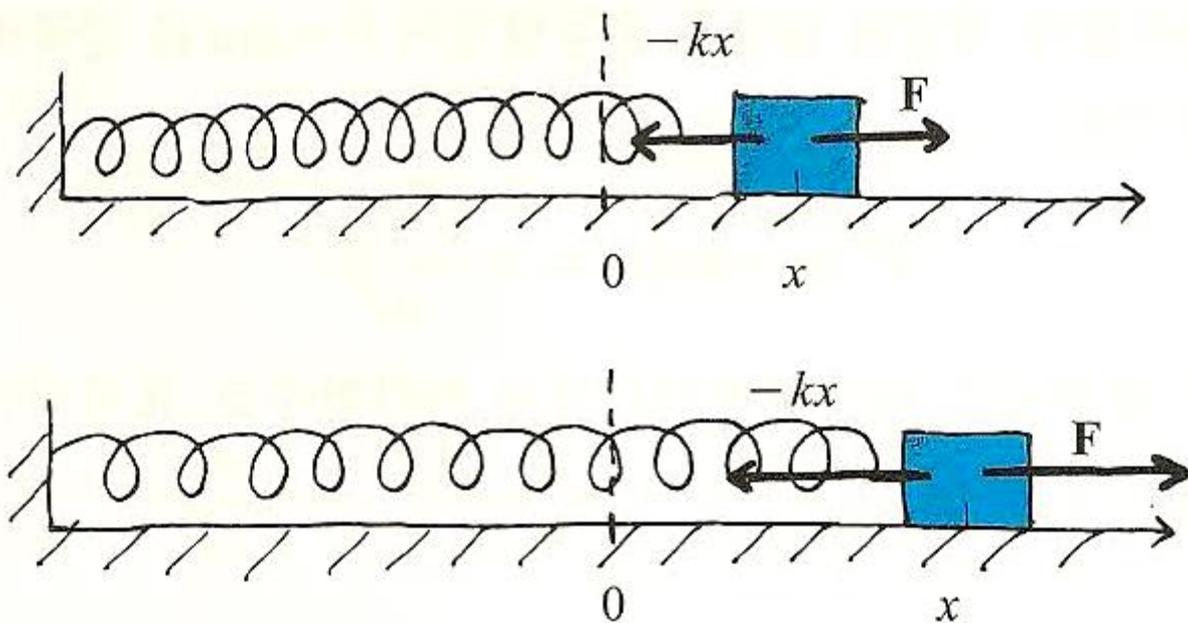


$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

용수철 운동의 주기는 용수철상수와 질량만으로 결정된다

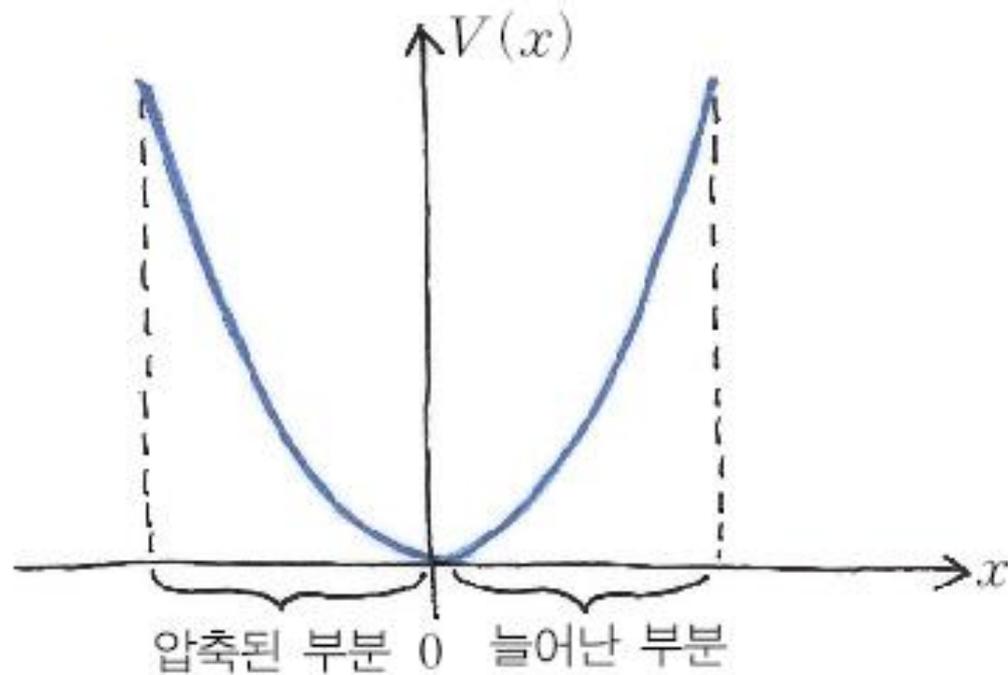
용수철의 퍼텐셜에너지

I-3장에 나온 것처럼 용수철에 매달린 물체는 복원력 때문에 위치에너지(퍼텐셜에너지)를 갖게 된다.

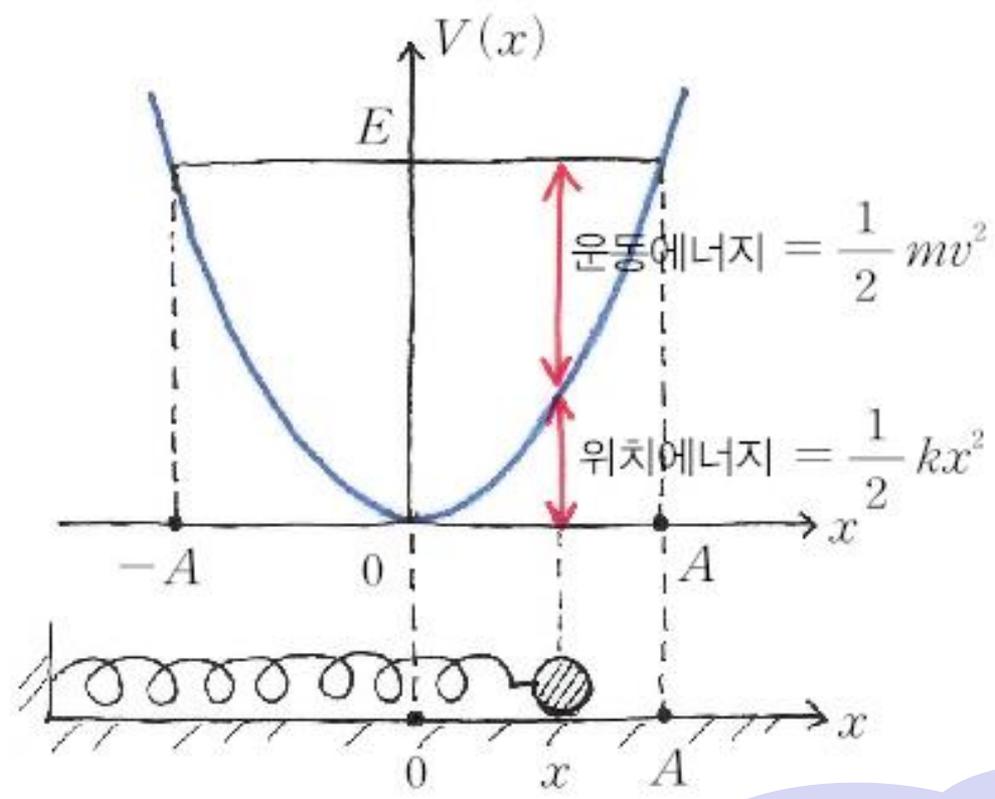


복원력과 진동 운동

$$V = \int_0^x kx \, dx = \frac{1}{2} kx^2$$



용수철에 매달린 물체

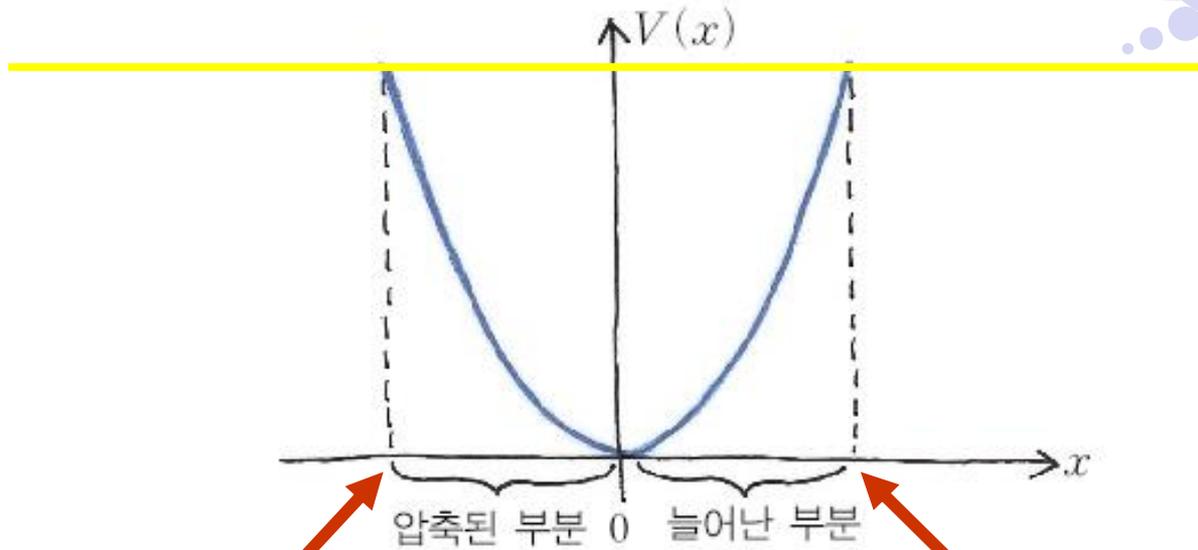


용수철에 매달린 물체는 진폭 A인 단진동 운동을 한다.

진폭

$$V = \int_0^x kx dx = \frac{1}{2} kx^2$$

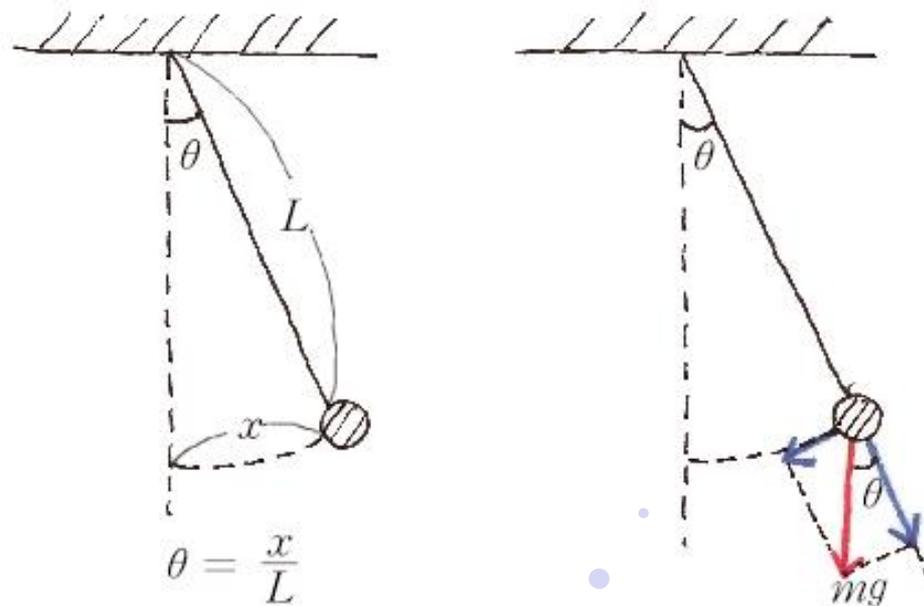
총 에너지



진폭 A는 초기조건으로 결정된다.

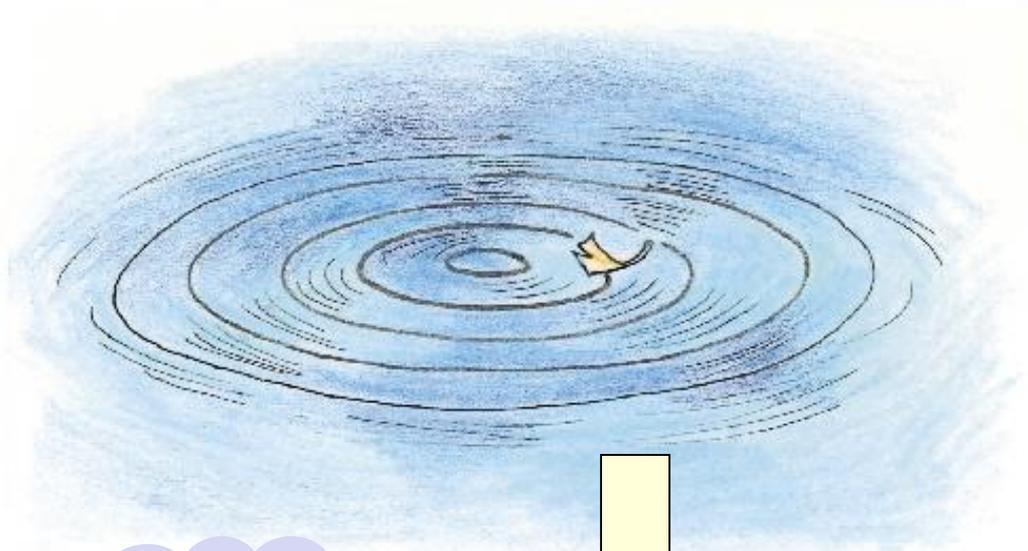
시계추 운동

중력이 시계추의 복원력을 제공한다.



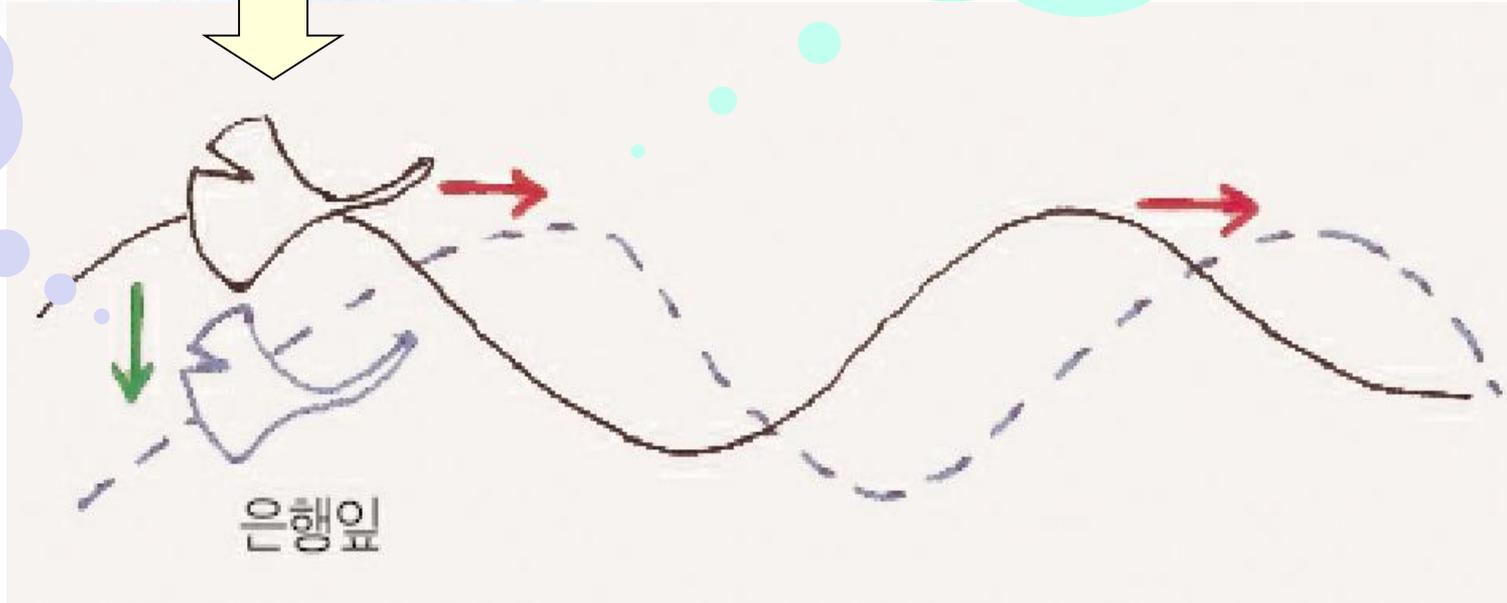
$$\text{복원력} = F = - mg x / L$$

역학적 진동과 파동



파동

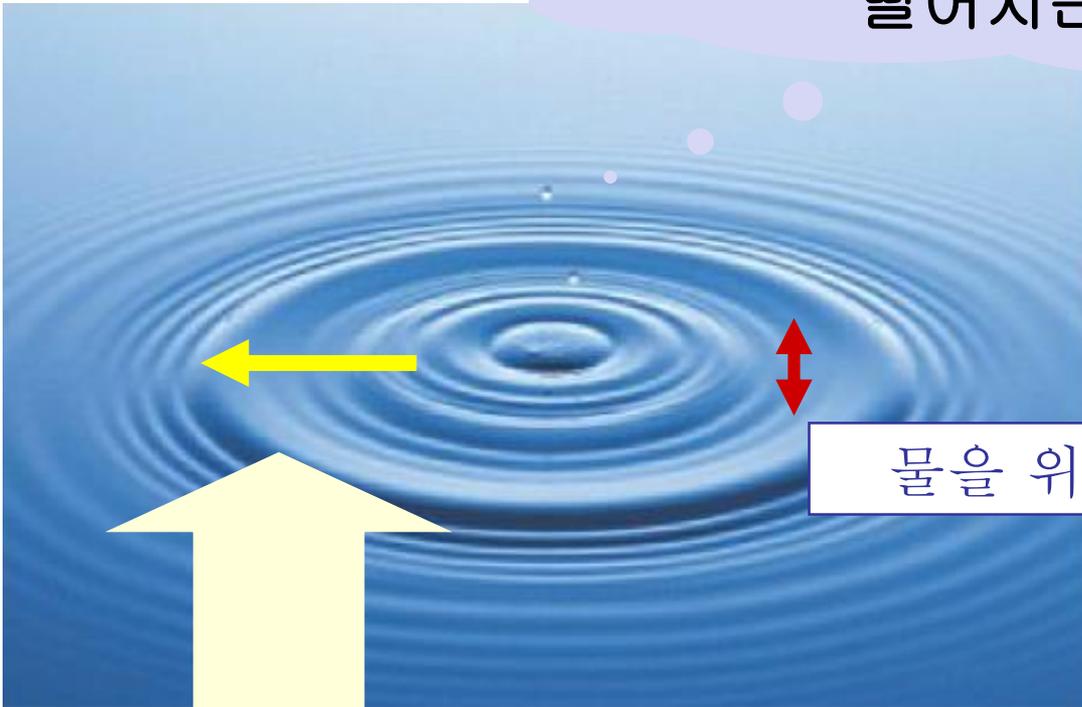
진동



진행

진동의 전달

고요한 수면 위에 규칙적으로
떨어지는 물방울들



물을 위 아래로 진동시킨다.

진동이 물이라는 매개체를 통해 밖으로 퍼져 나간다.

수면파의 진행

C. N. U. 2002.1.30

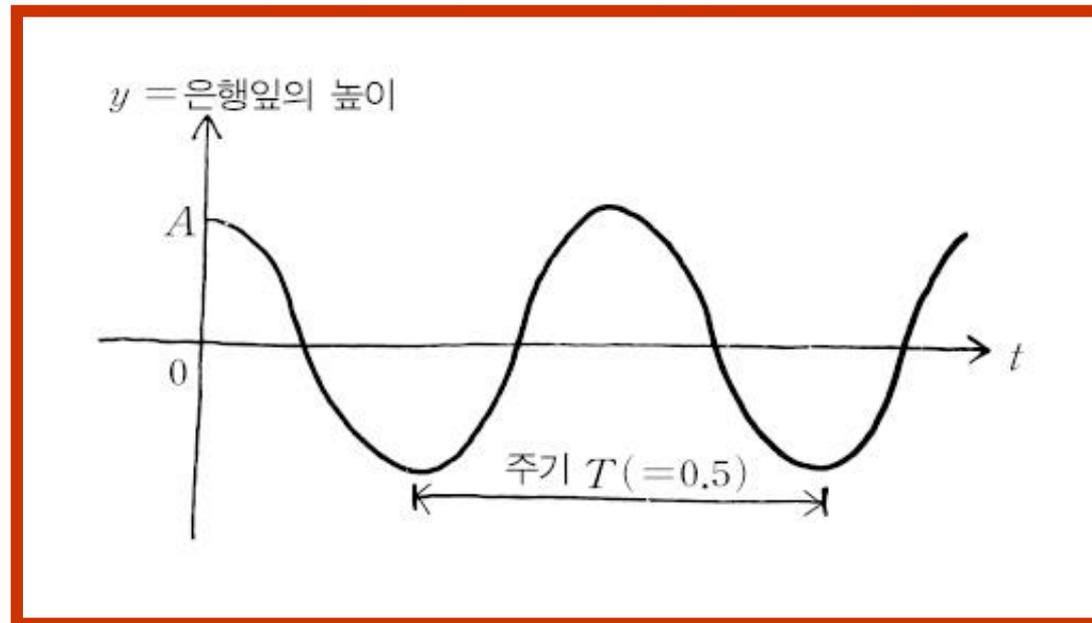
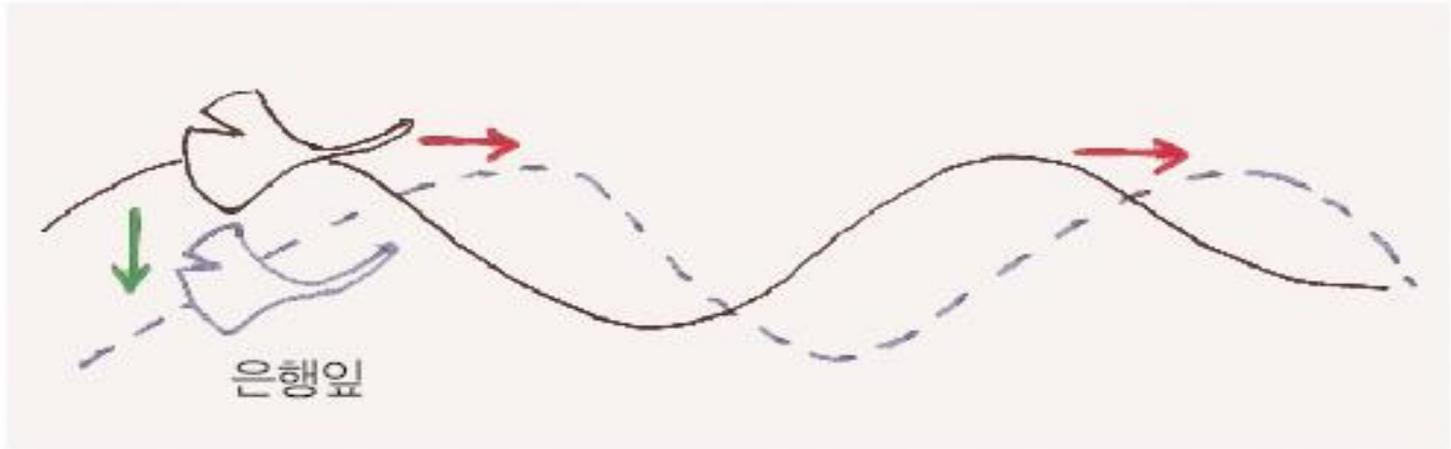
진동방향과 진행방향



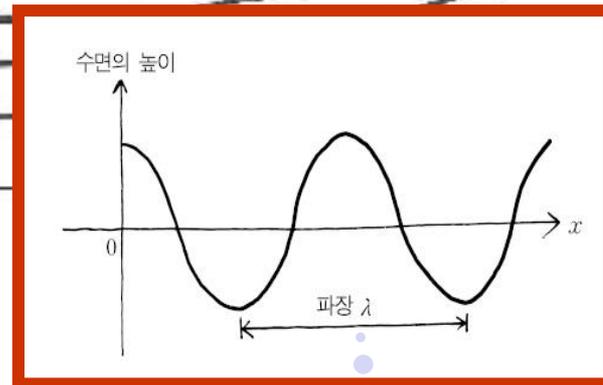
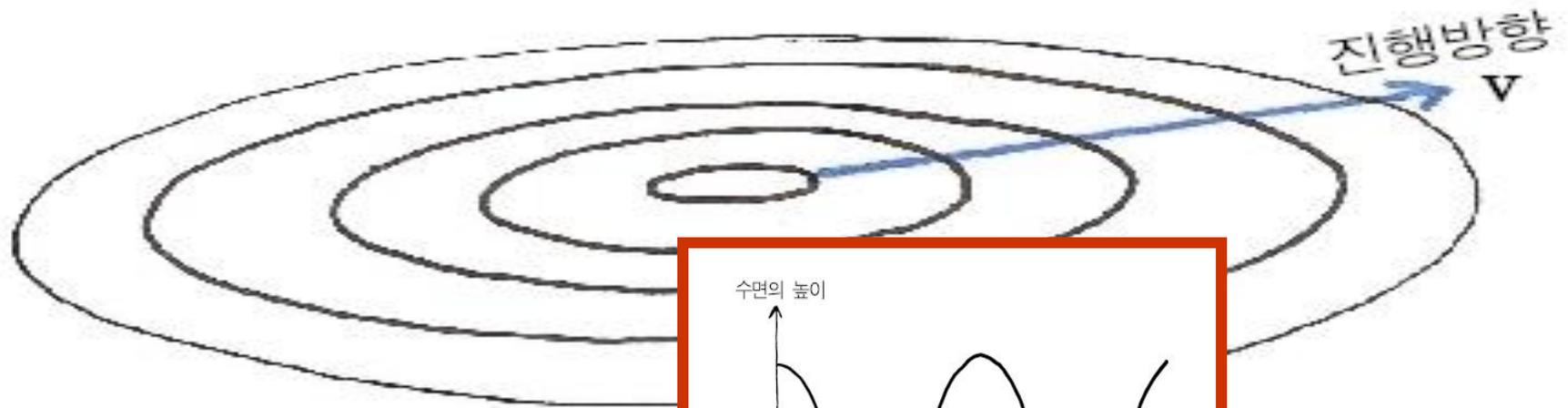
동심원은 밖으로 퍼져 나가지만 (진행방향)
은행잎은 제자리에서 위 아래로 출렁인다 (진동한다).



은행잎이 위 아래로 진동하는 모양

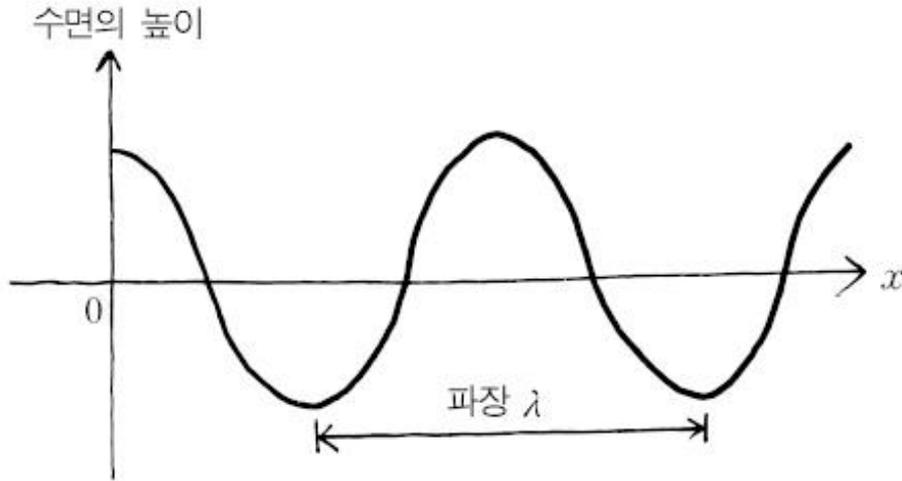


동심원이 퍼져나가는 모습

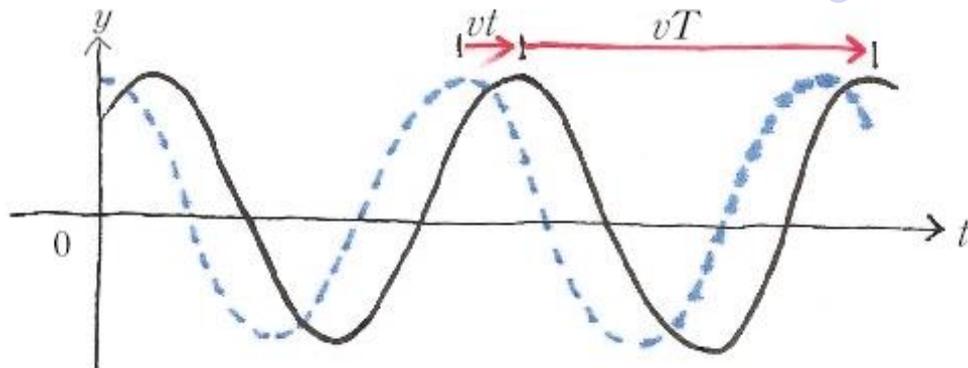


파장

수면파가 속력 v 로 움직인다.



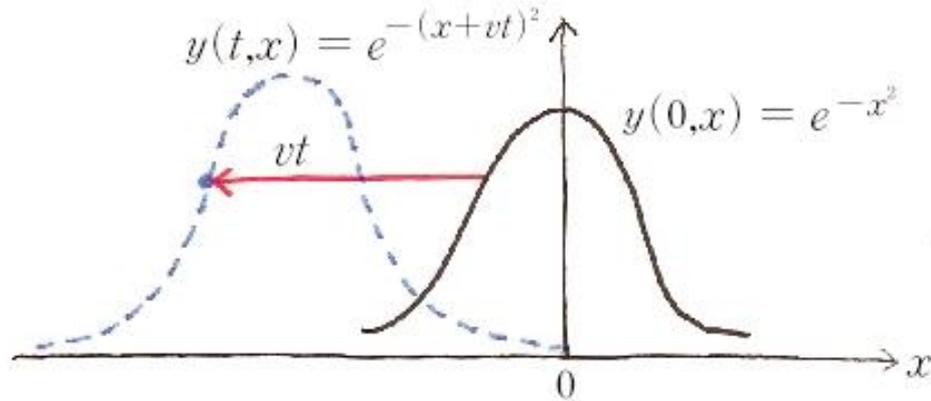
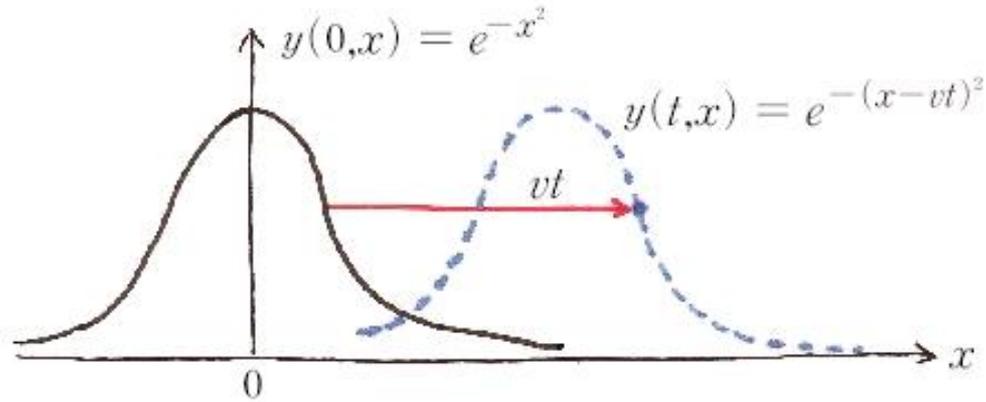
$$y(x, t) = A \cos(kx - kv t)$$



수면파를 vt 만큼
 x 방향 (진행방향)
 으로 평행이동
 시킨다.

$$x \rightarrow x - vt$$

t 초 후 파동의 모양

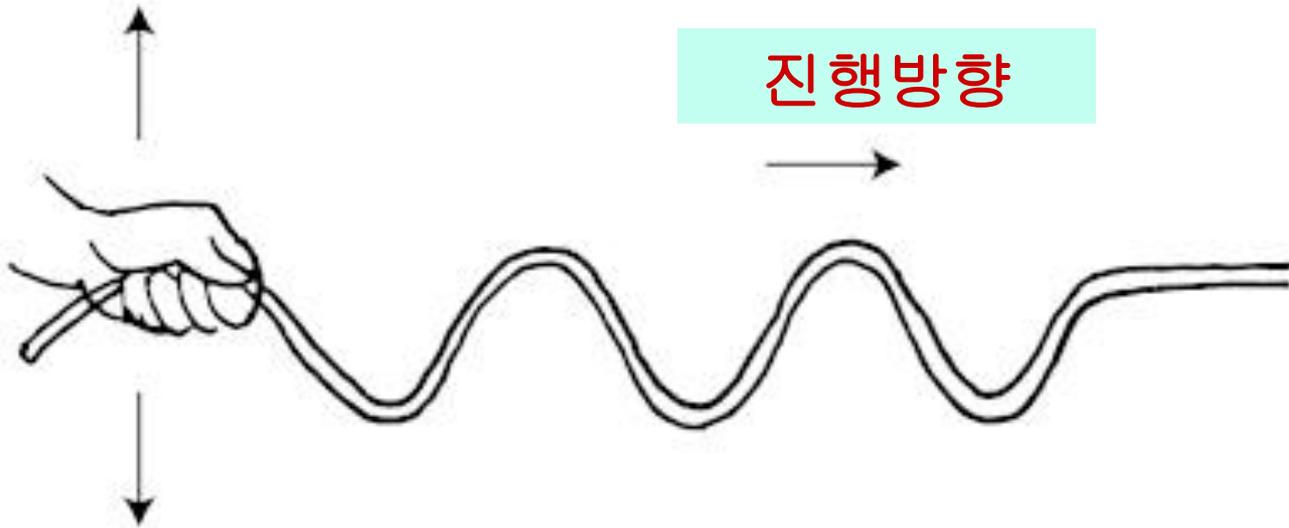


t 초 후
 파동의 모양은
 파동의 현재 모양
 을 vt 만큼
 평행이동
 시킨 것이다

횡파

진행방향과 진동방향이 서로 수직하다.

진동방향

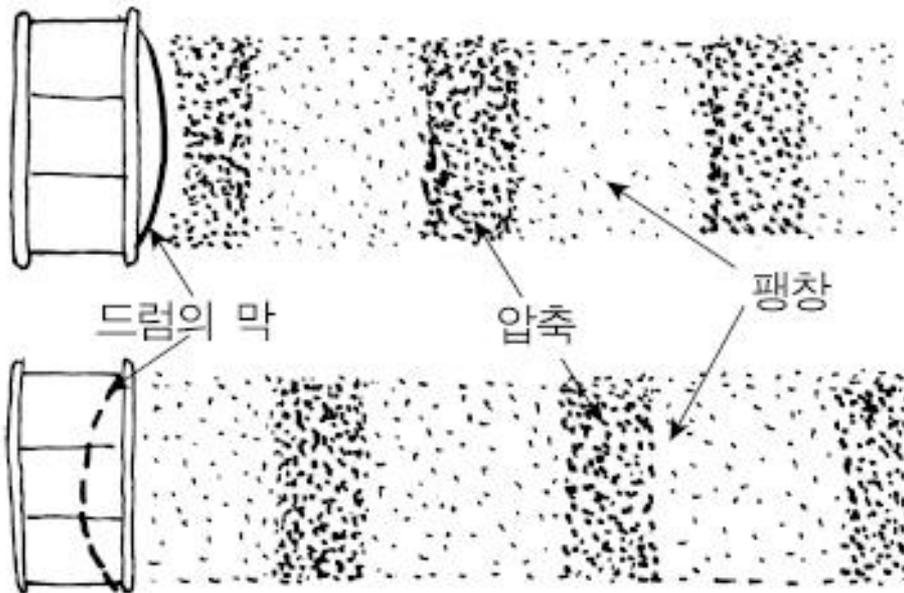


진행방향

종파

진행방향과 진동방향이 같다.

음파는 대표적인 종파이다.



진행방향

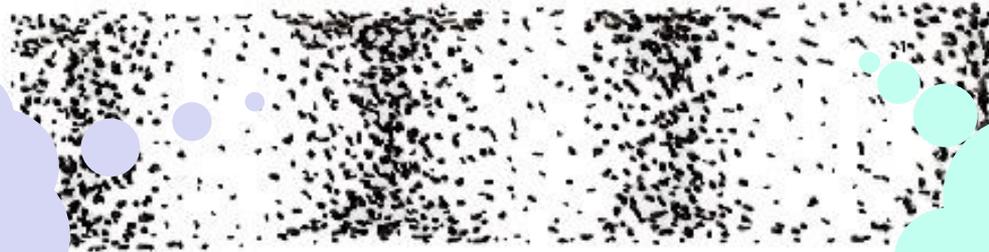


진동방향



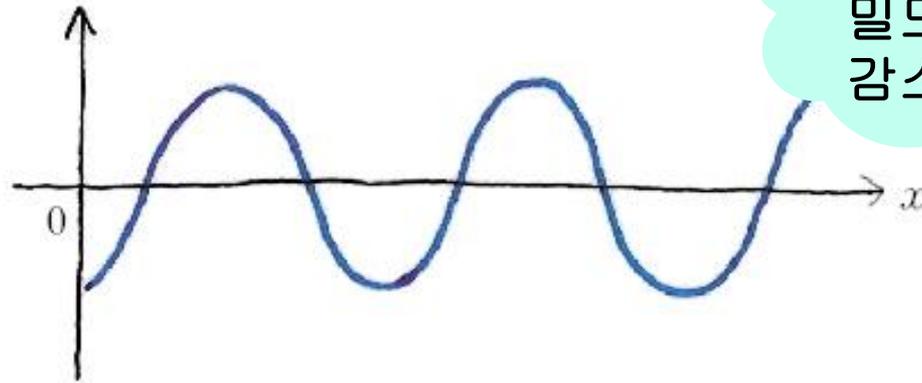
음파는 진행방향으로 압축과 팽창을 되풀이 한다.

음파와 밀도파



매질이
압축되면
밀도가
증가한다.

매질이
팽창하면
밀도가
감소한다.



밀도 변화는 횡파 경우처럼 사인 (코사인) 함수로 쓰여진다.

질문: 진동과 용수철 상수

거미줄에 0.3g의 나비가 걸려서
15Hz로 거미줄이 진동하는 것이 관찰되었다.

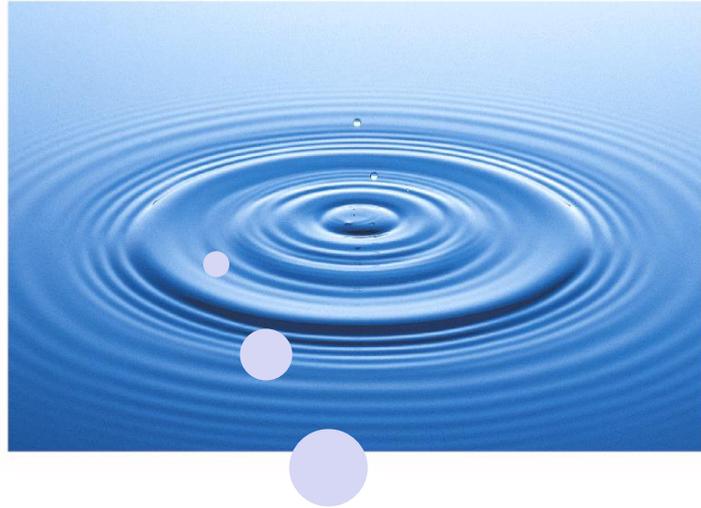
이 거미줄의 용수철 상수는 얼마일까?
(거미줄의 무게는 무시하라.)

만일 이 거미줄에 0.1g의 모기가 걸리면
이 거미줄의 진동수는 어떻게 변할까?

질문: 파동의 진동수와 파장

- ◆ 수면파가 초당 3번 진동하고 마루 사이의 거리는 2m 이다. 이 수면파의 진동수와 파장, 그리고 속력은 얼마일까?
- ◆ 박쥐는 60kHz의 초음파를 이용하여 물체를 식별한다. 박쥐가 식별할 수 있는 가장 작은 곤충의 크기는 얼마나 될까? (파동으로 식별할 수 있는 물체의 크기는 파장 정도이다.)

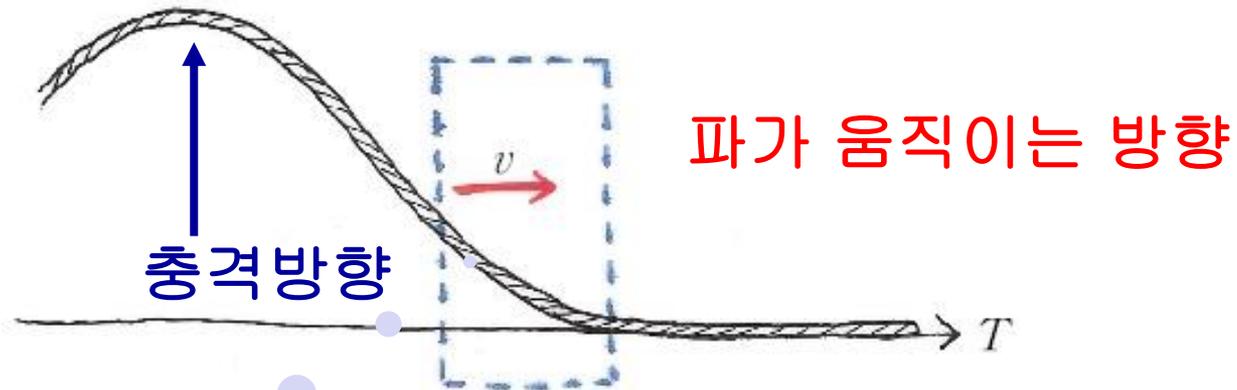
파동의 전파속도



매질의 한 부분이 진동하기 시작하면
그 매질은 옆에 있는 매질을 진동 시킨다.
옆의 매질들이 순차적으로 진동하면서
파동은 옆으로 퍼져 나간다.

횡파의 속도

줄을 팽팽하게 잡아당기고
줄과 수직인 방향으로 충격을 주면 횡파가 생긴다

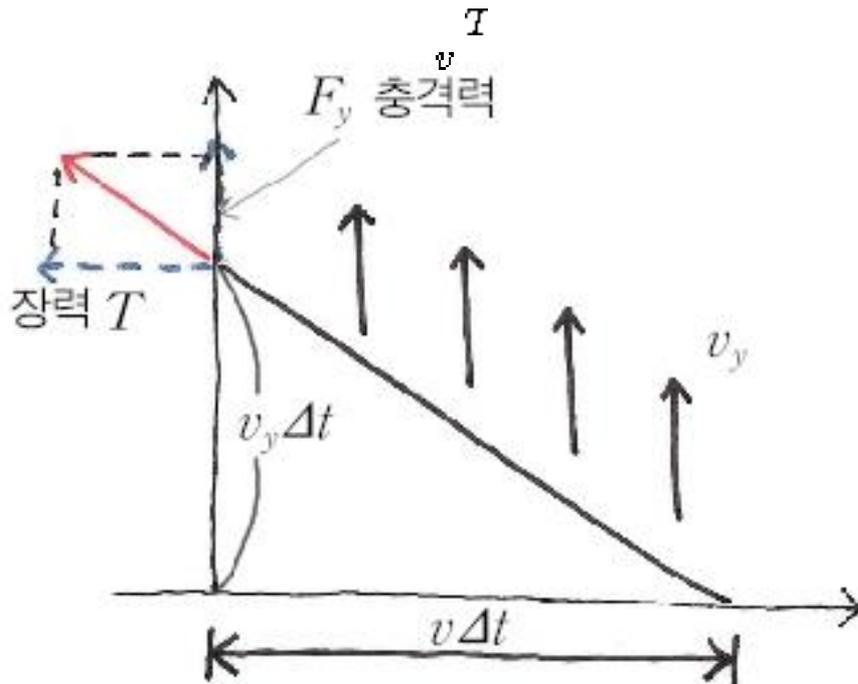


이 횡파는 줄을 따라 전파된다.

횡파의 속력과 장력

줄이 위쪽으로 진동하면
이 때 생긴 줄의 운동량 변화량은
외부에서 가한 충격량과 같다.

두 삼각형은 닮은 꼴이다.



$$F_y \Delta t = (\rho v \Delta t) v_y$$

$$\frac{F_y}{T} = \frac{v_y}{v}$$

$$v = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

첼로 음 조율하기

음악가는 현악기의
음을 맞추기 위해
줄을 조인다



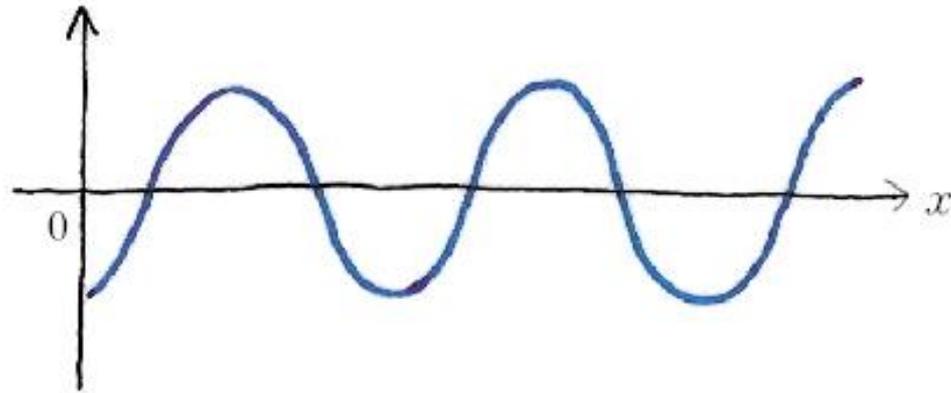
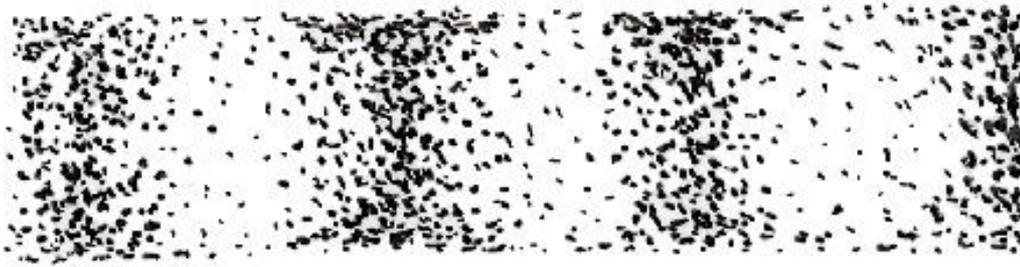
현악기의 줄을 조이면 음의 높이가 왜 올라가는 것일까?

장력과 기본음 조정

장력을 변화시키면 줄파의 속도를 변화시킨다.
파장은 현의 길이로 고정되어 있다.
따라서 현의 진동수는 장력에 따라 결정된다.

첼로 현의 질량이 2g, 길이가 60cm 이다.
이 줄을 얼마나 세게 조여야
기본음 (A음- 440Hz)으로 맞출 수 있을까?

음파



국지적인 압력의 변화가 종파 진동의 형태로 전달된다.

매질에 따른 음파의 속도

음파의 매질로서는 고체 액체 기체 등이 있다.
보통 소리는 기체보다는 고체에서 더 빨리 전달된다.

음파의 속도도 매질의 복원력과 관성이 결정한다.

매질이 고체일 때

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

매질이 유체일 때

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

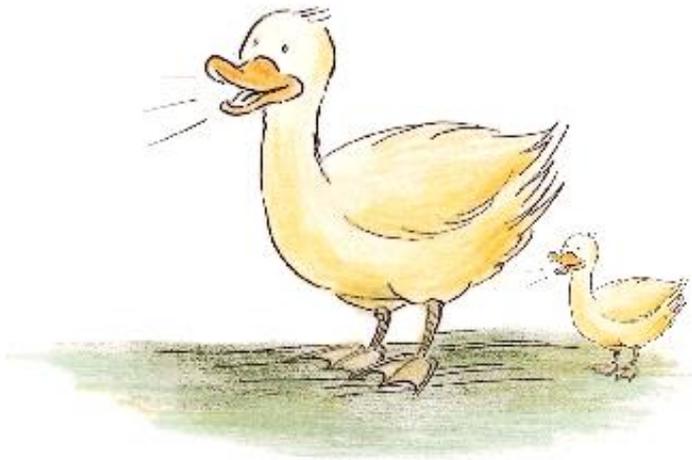
여러 물질에서의 소리속도

물 질	음속(m/s)	물 질	음속(m/s)
[기체]		수은 (20℃)	1451
공기 (28℃)	344	[고체]	
헬륨 (20℃)	999	베릴륨	12870
수소 (20℃)	1330	뼈	3445
[액체]		놋쇠	3480
액체헬륨 (4 K)	211	파이렉스 유리	5170
물 (0℃)	1402	폴리스티렌	1840
물 (20℃)	1482	강철	5000
물 (100℃)	1543		

헬륨가스를 들이 마신 후 말을 해보자.

목소리가 변하여 오리 소리가 난다. 왜 그럴까?

음속은 약 2.6배 빨라진다.
그러나 파장은 변하지 않는다.



가스를 마신 후 내는 소리의 높이가 올라간다.

결론: 파동의 전파속도는 매질이 결정한다

.

1. 줄을 따라 전파되는 횡파의 속도
⇒ 줄의 장력과 줄의 밀도가 결정한다.

2. 매질을 따라 전파되는 음파의 속도
⇒ 매질의 복원력과 관성이 결정한다.

질문: 소리와 진동수

도(Do)음의 진동수는 262Hz이다.

만일 사람이 헬륨가스를 들여 마신 후,
이 도 음을 내려고 한다면 어떤 진동수의
음이 나오겠는가?

질문: 파동의 속도와 주기

1톤 승용차에 4인 가족이 탔다.
이 가족의 총 질량은 200kg이고, 이때 차가 3cm 가라앉았다.

이 차 충격흡수장치 (shock absorber)의
용수철 상수는 얼마인가?

이 차가 길 위에 파인 웅덩이를 지날 때
흔들리는 진동수는 얼마일까?

만일 300kg의 짐을 더 싣는다면 이 진동주기는 어떻게 변할까?

질문: 파동의 파장

휴대폰의 진동수는 약 1GHz 이다.

이 휴대폰에서 나오는 전파의 파장은
얼마일까?

(전파의 속도는 빛의 속도와 같다.)

안테나의 길이와 비교해 보시오.

질문: 횡파의 속도

길이 3m, 질량 10g인 줄에 10kg의 추가 매달려 있다.

이 줄을 흔들어서 횡파를 만들면
이 파의 속도는 얼마일까?

질문: 종파의 속도

1km 앞에서 철로에서 망치로 철로를 두드리고 있다.

이때 철로에 귀를 대고 들을 때와
공기를 통해 들을 때
얼마나 시간차가 나겠는가?

단원 요약

- ◆ 용수철에 매달린 물체는 훅의 법칙에 따라 평형점에서 벗어난 길이에 비례하는 복원력 $F = -kx$ 을 받아 단진동운동을 한다. 이때 각 진동수 $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ 이고, 진동수는 $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$ 이다.

- ◆ 파동은 매질의 진동이 공간적으로 퍼져나가는 현상이다. 수학적으로 파동을

$$y(x, t) = A \cos(kx - \omega t) = A \cos k(x - vt) \quad \text{로}$$

쓴다면, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 는 파수이고, v 는 파의 속력이다.

- ◆ 파동의 전파속도 v 는 매질의 역학적인 성질로 결정된다. 장력 T , 선밀도로 μ 일 때 줄파의 속력은 $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ 로 결정되며,

고체를 통해 전파되는 소리의 속력은 $v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$ 으로 표시된다(ρ 는 부피밀도, Y 는 영의 계수이다).

유체를 통해 전파되는 소리의 속력은 $v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$ 이고 B 는 유체의 부피 압축계수이다.