

지난 시간에 우리는

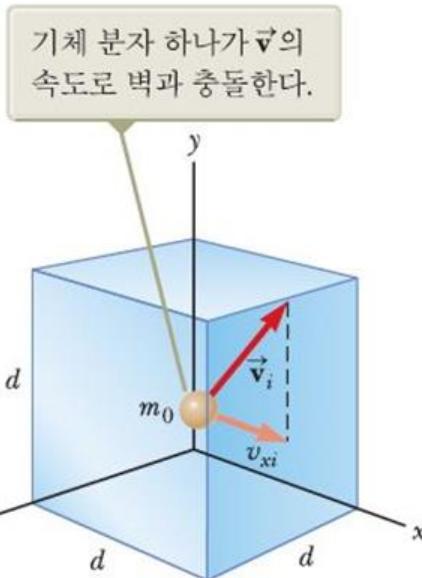
1. 온도에 대한 분자적 해석

$$PV = \frac{2}{3} N \left(\frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} \right)$$

$$PV = Nk_B T$$



$$T = \frac{2}{3k_B} \left(\frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} \right)$$



지난 시간에 우리는

2. 몰비열

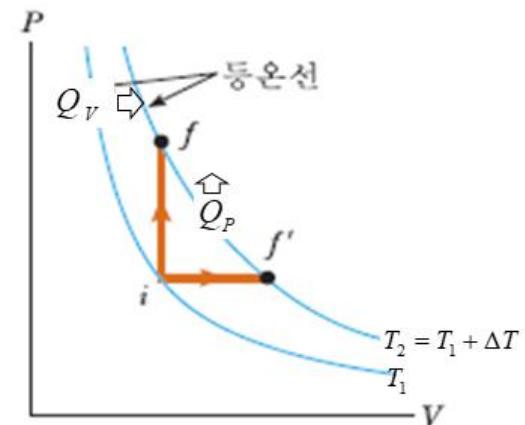
$$Q = nC_m\Delta T$$

$$C_V = \frac{3}{2}R$$

- 정적 과정

$$C_P = \frac{5}{2}R$$

- 정압 과정

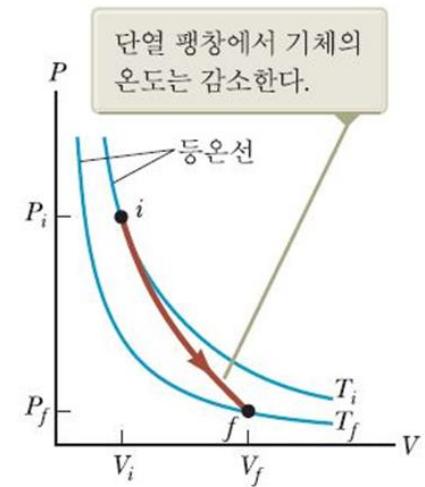


지난 시간에 우리는

3. 이상 기체의 단열 과정

$$PV^\gamma = \text{상수}$$

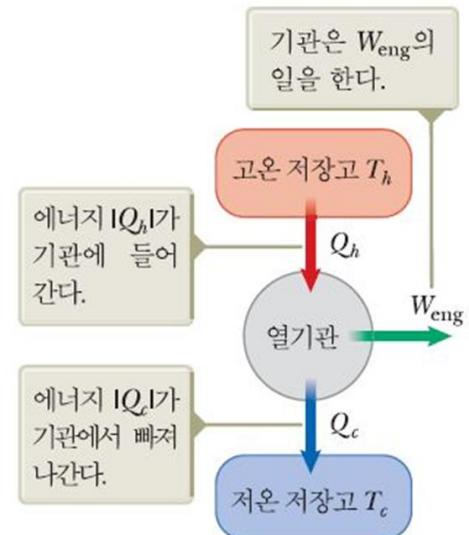
$$TV^{\gamma-1} = \text{상수}$$



지난 시간에 우리는

4. 열효율

$$e \equiv \frac{W_{eng}}{|Q_h|} = \frac{|Q_h| - |Q_c|}{|Q_h|} = 1 - \frac{|Q_c|}{|Q_h|}$$

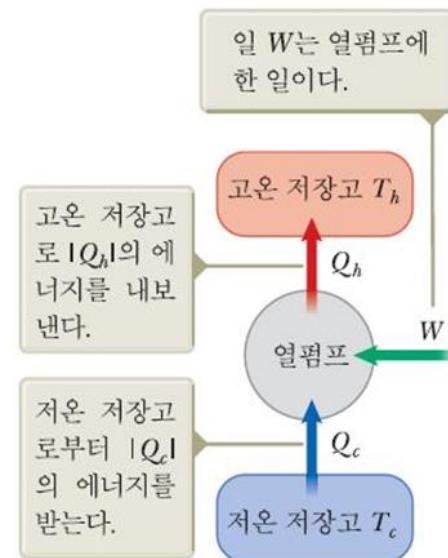


지난 시간에 우리는

5. 성능 계수

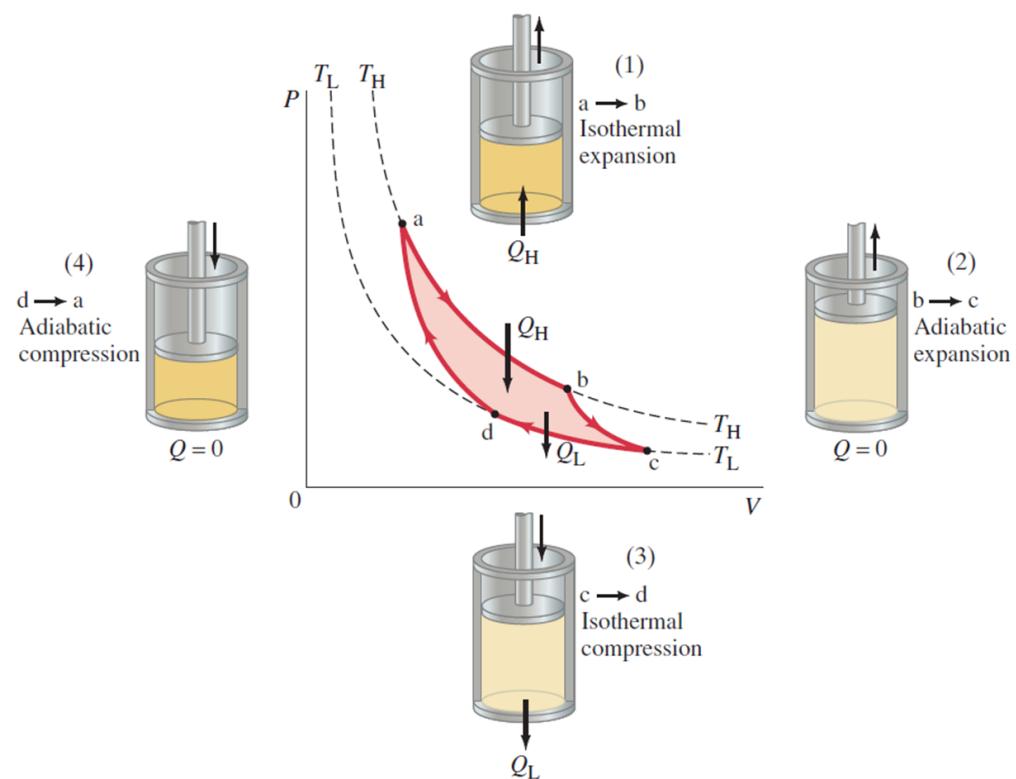
$$COP_{(\text{냉방})} = \frac{|Q_c|}{W}$$

$$COP_{(\text{난방})} = \frac{|Q_h|}{W}$$



지난 시간에 우리는

6. 카르노 기관에서



$$\epsilon = 1 - \frac{T_c}{T_h}$$

$$\text{COP}_C \text{ (냉방용)} = \frac{T_c}{T_h - T_c}$$

지난 시간에 우리는

7. 엔트로피

$$dS = \frac{dQ_r}{T} \quad \text{클라우지우스의 표현}$$

$$S = k_B \ln W \quad \text{볼츠만의 표현}$$

8. 열역학 제2법칙

$$\Delta S \geq 0$$

진동과 파동

(oscillation and wave) (ch15 ~ ch18 요약)

1 단조화 운동을 하는 입자

2 진자

3 파동의 전파, 반사와 투과

4 진행파

5. 선형 파동 방정식

6 파동의 간섭

7 정상파



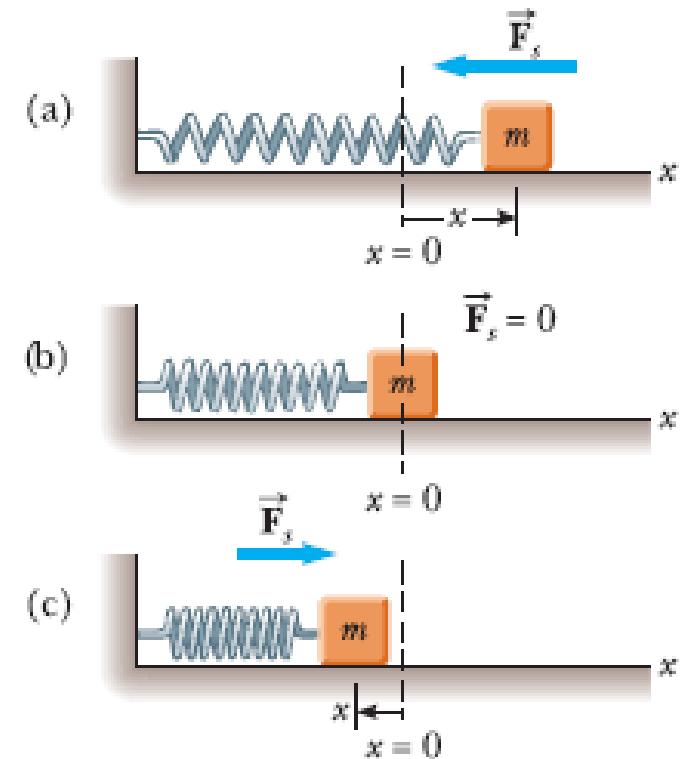
1 분석 모형: 단조화 운동을 하는 입자

(Analysis Model: Particle in Simple Harmonic Motion)

뉴턴 법칙: $F_s = -kx = ma \left(= m \frac{dv}{dt} \right) = m \frac{d^2x}{dt^2}$

$$\therefore \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x \equiv -\omega^2x \quad \left(\omega^2 \equiv \frac{k}{m} \right)$$

→ $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x \equiv \frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2x = 0$



이 **2차(2계) 미분방정식**의 일반해는 다음과 같다.

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi)$$

이 일반해에서 진폭 A , 위상 상수(처음 위상) ϕ 는 상수이며, 문제에 주어진 조건(주로, 처음 조건)을 만족하는 값들을 구하면 문제 해결.

이 일반해를 두 번 미분하면 미분방정식의 풀이임을 확인할 수 있다.

$$(v_x =) \frac{dx}{dt} = A \frac{d}{dt} \cos(\omega t + \phi) = -\omega A \sin(\omega t + \phi)$$

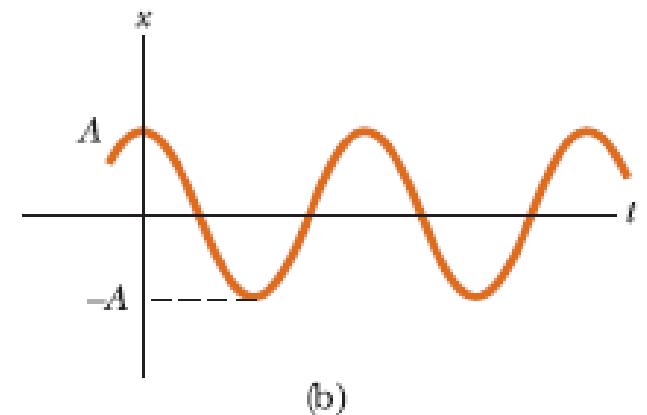
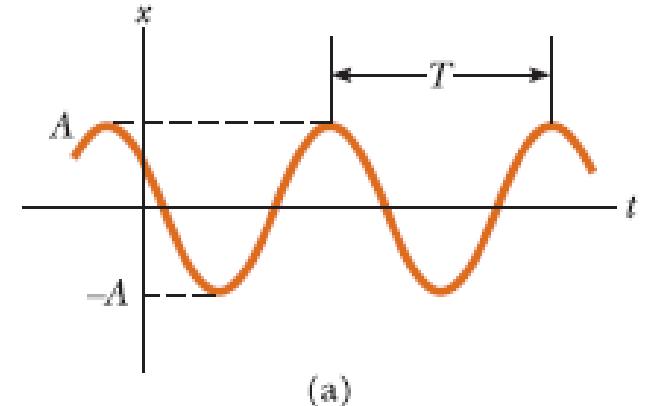
$$(a_x =) \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega A \frac{d}{dt} \sin(\omega t + \phi) = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi) = -\omega^2 x$$

$$\omega \equiv \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (\text{각진동수}), \quad A \text{ (진폭)} \\ \phi \text{ (위상 상수)}$$

이 진동의 주기 T ? (코사인 함수의 주기는 2π)

$$[\omega(t+T) + \phi] - (\omega t + \phi) = 2\pi$$

$$\rightarrow \omega T = 2\pi, \quad T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (\text{주기})$$



$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

(진동수; 단위 Hz 또는 s⁻¹)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}, \quad f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

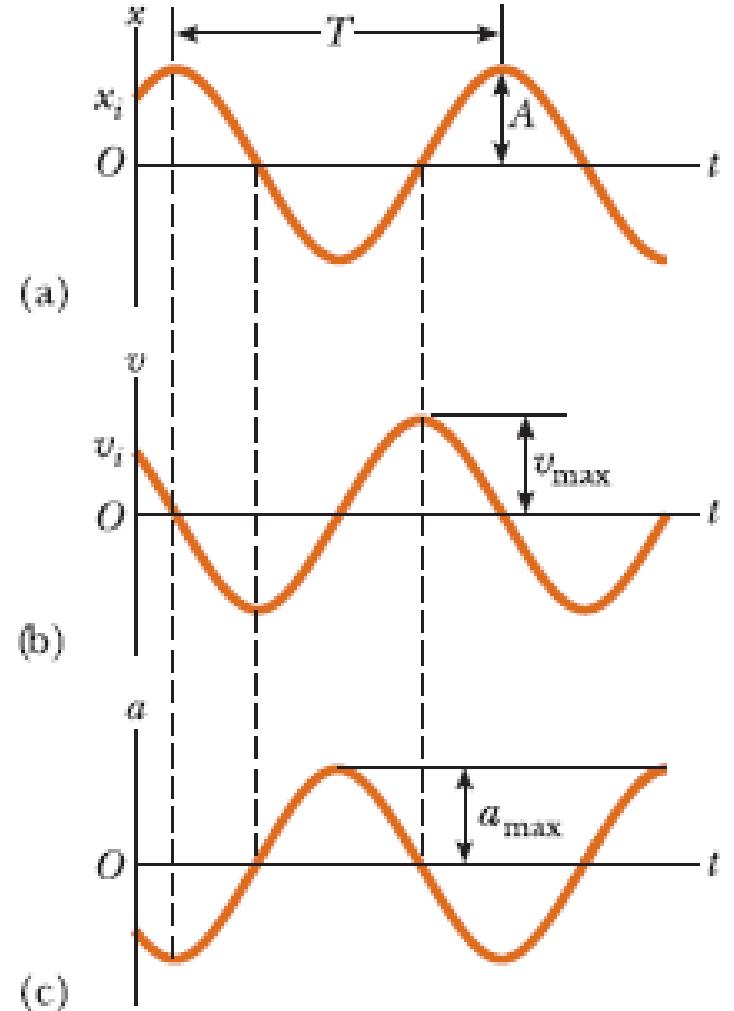
단조화 운동을 하고 있는 입자의 속도, 가속도 그래프

$$x = A \cos(\omega t + \phi)$$

$$v = \frac{dx}{dt} = -\omega A \sin(\omega t + \phi)$$

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi)$$

($a = -\omega^2 x$: 변위와 180° 위상)



속도와 가속도의 최댓값

$$v_{\max} = \omega A = A \sqrt{\frac{k}{m}} \quad a_{\max} = \omega^2 A = A \frac{k}{m} = \frac{F_{\max}}{m}$$

입자를 평형 위치로부터 변위 A 만큼 당긴 후 (정지 상태로부터) 운동시킬 때 변위와 속도는? (처음 조건으로 구하기)

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi) \quad v_x = \frac{dx}{dt} = -\omega A \sin(\omega t + \phi)$$

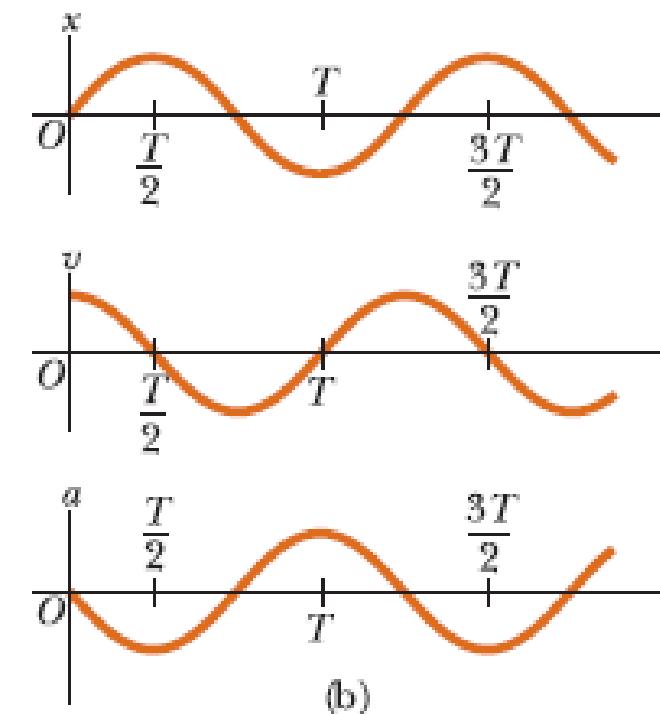
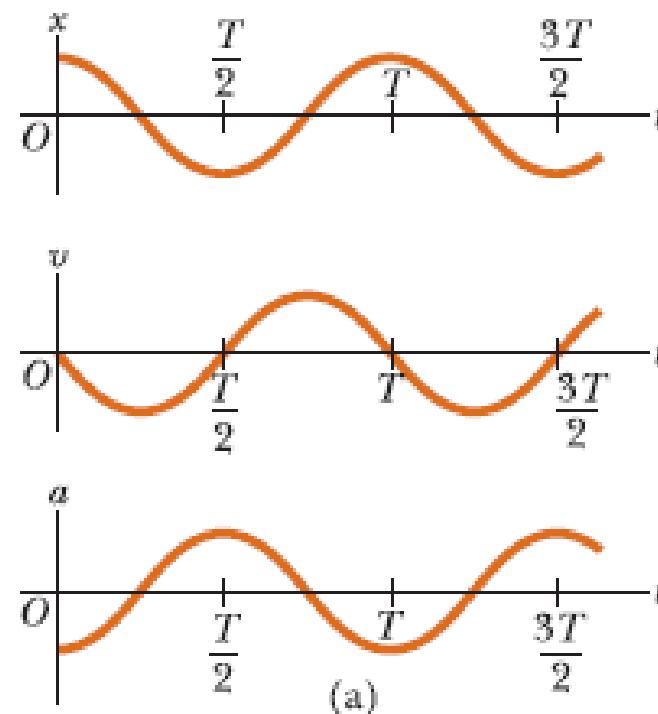
$$x(0) = A \cos \phi = A$$

$$v(0) = -\omega A \sin \phi = 0$$

→ $\cos \phi = 1, \sin \phi = 0$
 $\therefore \phi = 0$

$x(t) = A \cos \omega t$

$$v = \frac{dx}{dt} = -\omega A \sin \omega t$$



2 진자

(The Pendulum)

θ 가 작을 때 단진자의 운동은 평형 위치 ($\theta=0$) 주변에서의 단조화 운동으로 모형화할 수 있다.

▶ 단진자(simple pendulum)

각 θ 가 작은 경우를 고려하자. 중력의 접선성분이 가장 낮은 평형 위치로 돌아가려는 복원력의 역할을 한다. 구심 방향과 접선 방향의 운동방정식 성분들은,

$$F_c = T - mg \cos \theta = mL \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \quad [a_c = r \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2, \frac{d\theta}{dt} : \text{각속도}, r = L]$$

$$F_t = -mg \sin \theta = ma_t = m \frac{dv_{(t)}}{dt} = m \frac{d^2 s}{dt^2}, \quad \left(s = L\theta, v_{(t)} = L \frac{d\theta}{dt} \right)$$

$$\Rightarrow \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -\frac{g}{L} \sin \theta \approx -\frac{g}{L} \theta, \quad (\theta \ll 1: \text{작은 각 근사})$$

$$\therefore \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -\frac{g}{L} \theta \equiv -\omega^2 \theta,$$

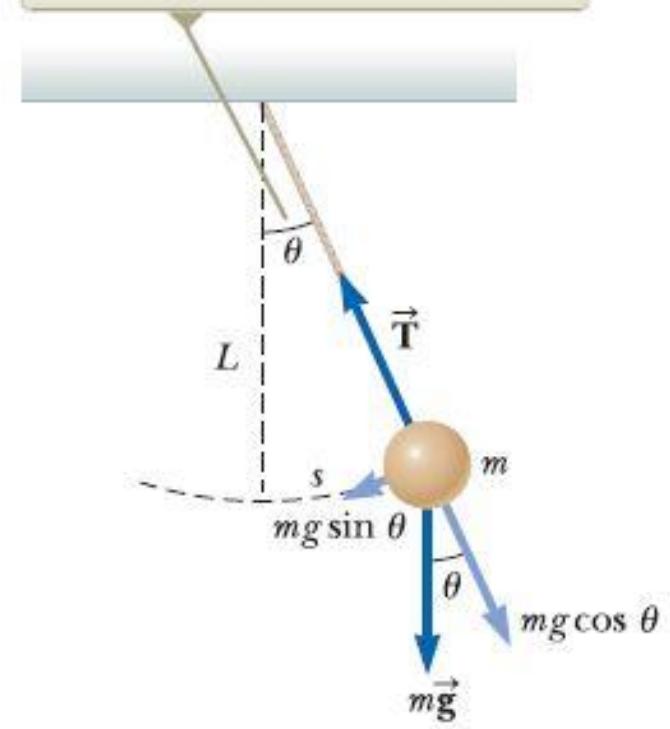
$$\therefore \omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

(각 θ 가 작을 때)

$$\theta = A \cos(\omega t + \phi)$$

Note: 진자의 각진동수 ω 는 각속도 $\frac{d\theta}{dt}$ 와 다름



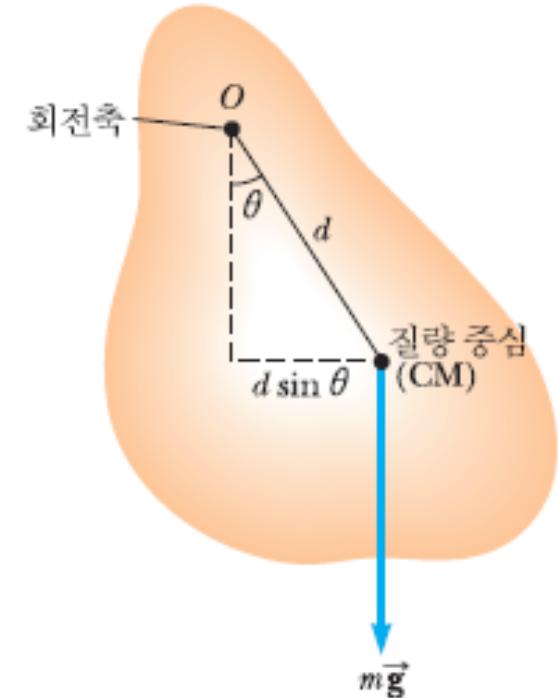
▶ 물리 진자(Physical Pendulum)

강체가 점 O 를 지나는 축에 대해 진동하는 경우를 물리진자라고 한다. 그림에서 O 축에 대해 강체에 작용하는 중력에 의한 돌림힘을 고려하자.

$$\tau = -(mg)(d \sin \theta) = I \frac{d^2\theta}{dt^2}, \quad (\leftarrow \tau = I\alpha)$$

모멘트 팔

음(-)의 부호는 O 축에 대한 돌림힘이 시계방향 즉, 각 θ 를 감소시키는 방향으로 작용함을 나타낸다. (중력에 의한 복원 돌림힘)



$$\therefore \frac{d^2\theta}{dt^2} = -\left(\frac{mgd}{I}\right) \sin \theta \approx -\left(\frac{mgd}{I}\right) \theta = -\omega^2 \theta \quad (\text{작은 } \theta \text{에 대해서})$$

$$\omega = \sqrt{\frac{mgd}{I}}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgd}}$$

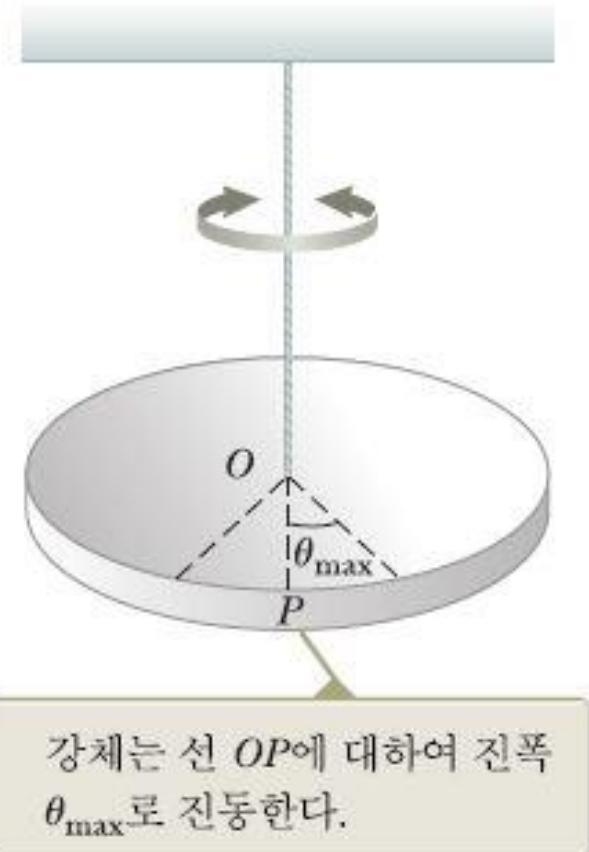
▶ 비틀림 진자(Torsional Pendulum)

강체가 어떤 작은 각 θ 로 비틀릴 때 비틀린 철사는 각변위에 비례하는 복원 돌림힘을 강체에 작용한다

$$\tau = -\kappa\theta \quad (\kappa: \text{비틀림 상수})$$

$$\tau = -\kappa\theta = I \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$$\therefore \frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{\kappa}{I}\theta = -\omega^2\theta$$



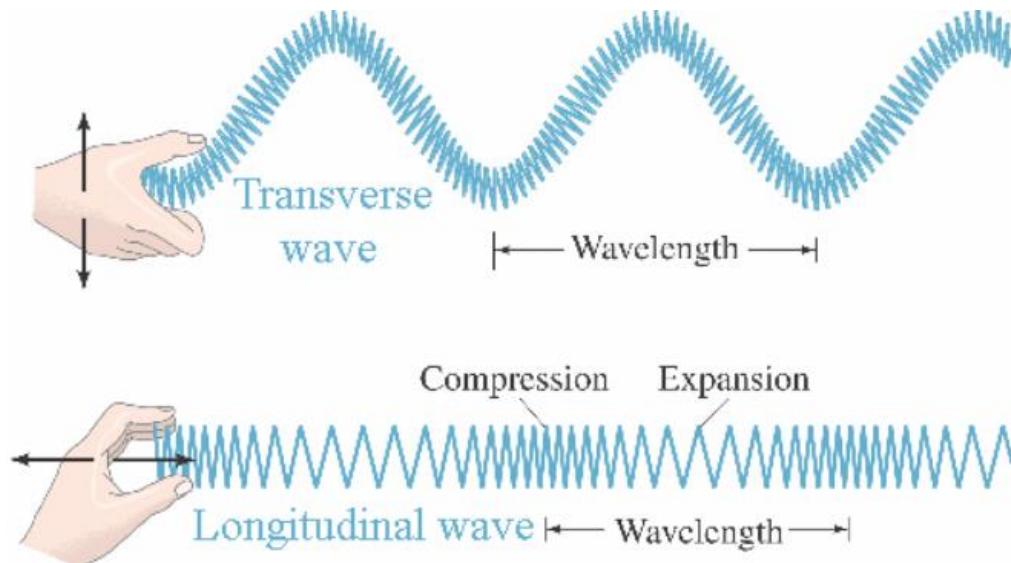
강체는 선 OP 에 대하여 진폭 θ_{\max} 로 진동한다.

$$\omega = \sqrt{\frac{\kappa}{I}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{\kappa}}$$

파동이란?

- 매질이 있는 경우: 매질의 어느 한 부위에 생긴 교란(disturbance)이 퍼져 나가는 현상
- 에너지의 전달이 일어난다.
- 매질 요소(유체에서 배운 입자; 분자, 원자가 아니고 많은 수의 분자들로 이루어짐)의 질량중심의 이동은 없다.
- 진공에서도 퍼져 나갈 수 있는 전자기파는 2학기에 공부함. 그런데 역학에서 배운 파동의 성질과 수학적인 방법은 전자기학에서도 다르지 않다.



3 파동의 전파

(Propagation of a Disturbance)

횡파(transverse wave): 매질 요소들이 파동의 진행 방향과 수직인 방향으로 움직이는 파동

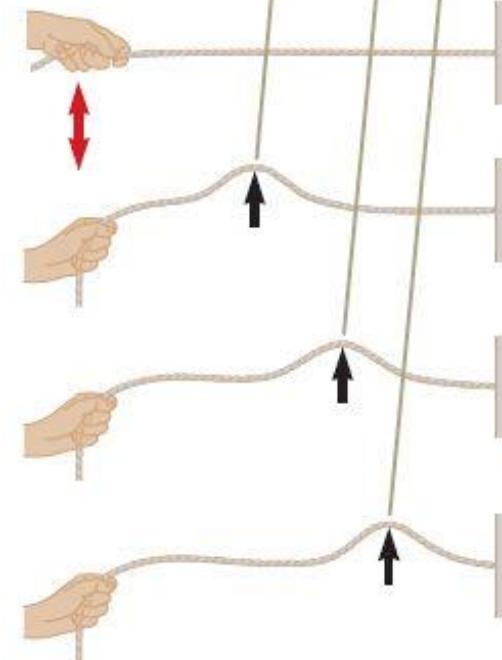
종파(longitudinal wave): 매질 요소들이 파동의 운동 방향과 같은 방향으로 움직이는 파동

종파를 만들기 위해 손을
앞뒤로 한 번 흔든다.

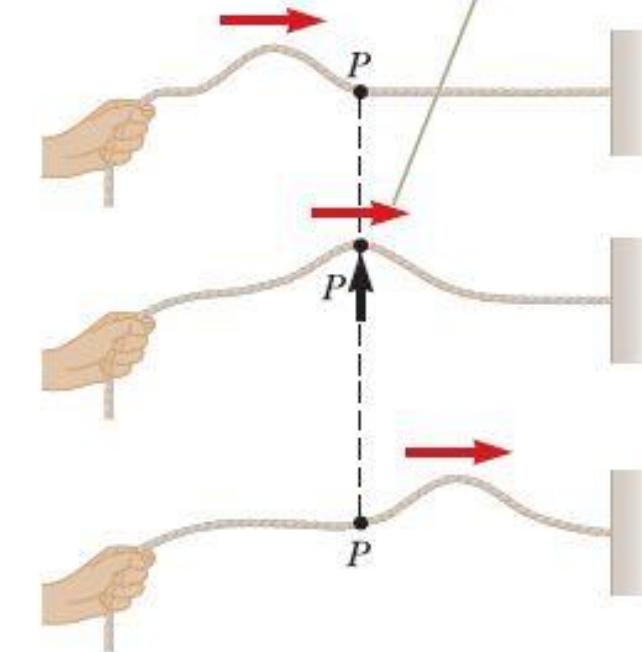
펄스가 지나감에 따라, 용수철 코일의
변위는 전파되는 방향과 평행하다.



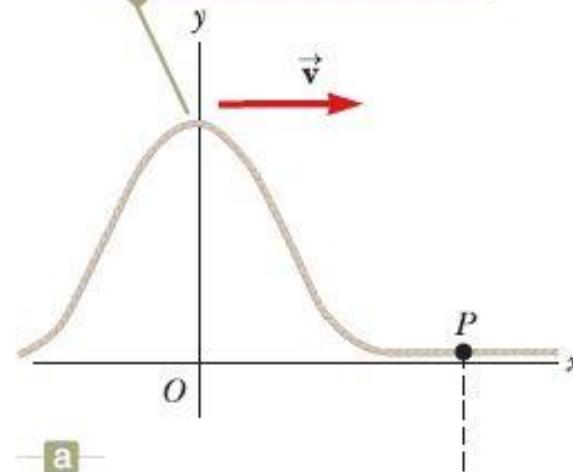
펄스가 줄을 따라 진행함에 따라,
줄의 새 요소는 평형 위치로부터
변위된다.



줄 위의 한 점 P의 변위 방향은 진
행 방향(빨간 화살표)에 수직이다.



$t = 0$ 에서 파동의 모양은
 $y = f(x)$ 로 주어진다.

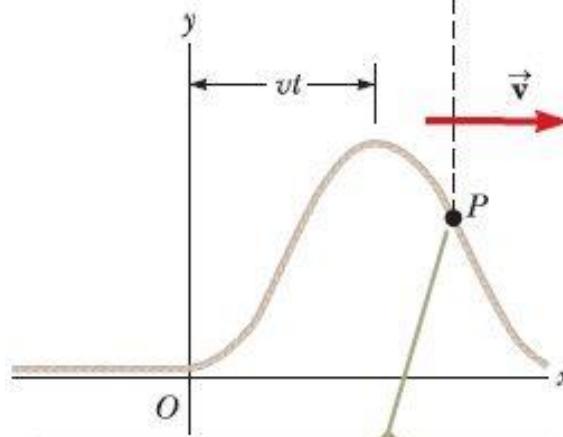


$$y(x, 0) = f(x)$$

파동의 형태가 변하지
않는다고 가정하면,

$$y(x, t) = y(x - vt, 0)$$

(파동함수: wave function)



t 초 후 펄스의 모양은 변화가 없으
며 매질의 임의의 점 P 에서의 수
직 위치는 $y = f(x - vt)$ 가 된다.

$v > 0$ 이라 둘 때

오른쪽으로 진행하는 펄스▶

$$y(x, t) = f(x - vt)$$

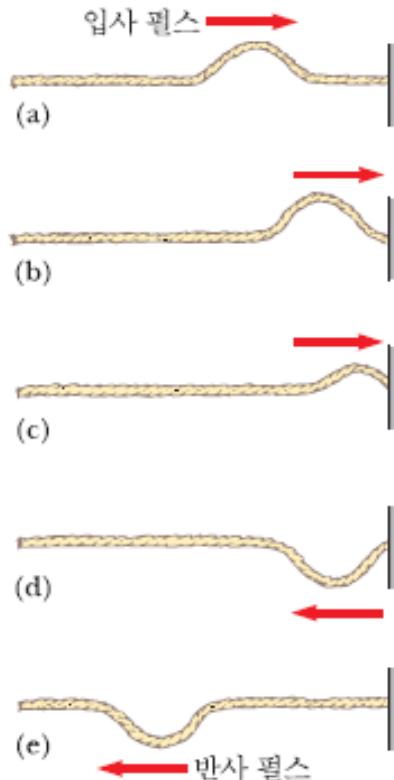
왼쪽으로 진행하는 펄스▶

$$y(x, t) = f(x + vt)$$

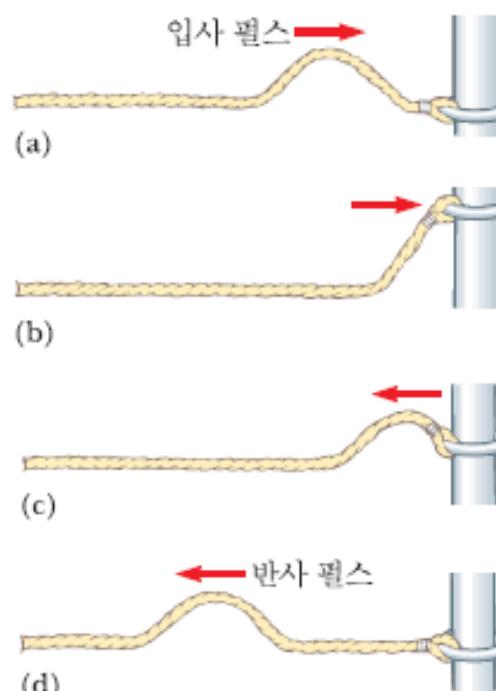
반사와 투과

(Reflection and Transmission)

진행파가 경계면에 도달하면, 파동의 일부 또는 전부가 반사된다.
줄의 경우 끝의 형태에 따라 다르다.



한 끝이 고정된 줄의 경우

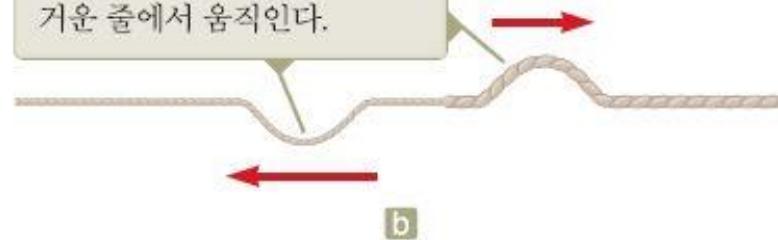


한 끝이 자유롭게 움직이는 경우

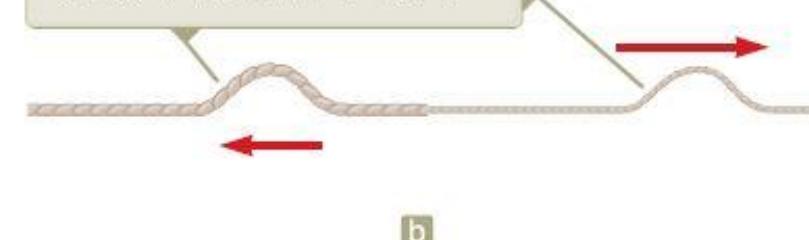
반사 펄스는 입사 펄스보다 진폭이 작다. 펄스가 무거운 줄을 진행해서 가벼운 줄과의 경계면에 도달했을 때도 일부는 반사하고 일부는 투과한다. 그러나 이 경우에 반사 펄스는 뒤집어지지 않는다. 어느 경우나 반사 펄스와 투과 펄스의 상대적인 진폭은 두 줄의 상대적인 밀도에 의존한다. 만일, 줄이 경계면에서 동일하다면 경계면에서 불연속이 없고 반사도 일어나지 않는다.



반사 펄스는 뒤집어지고 뒤집어지지 않은 투과 펄스는 무거운 줄에서 움직인다.



반사 펄스는 뒤집어지지 않고 투과 펄스는 가벼운 줄에서 움직인다.



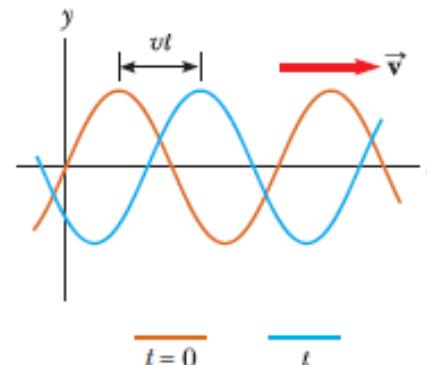
파동이 매질 A 에서 매질 B 로 진행하고 $v_A > v_B$ 인 경우(B 가 A 보다 밀한 경우: 관습적 표현임), 반사 파동은 뒤집어진다. 파동이 매질 A 에서 매질 B 로 진행하고 $v_A < v_B$ 인 경우(A 가 B 보다 밀한 경우), 반사 파동은 뒤집어지지 않는다.

4 진행파

(Traveling Wave)

사인형 파동(sinusoidal wave) :

파동의 모양이 사인(sine) 함수 모양인 파동



마루(crest): 평형 위치로부터 매질 요소의 변위가 최대

골(trough): 매질 요소의 변위가 최소
(마루와 반대방향; 변위 크기 최대)

파장(wavelength) λ : 마루에서 마루까지의 거리

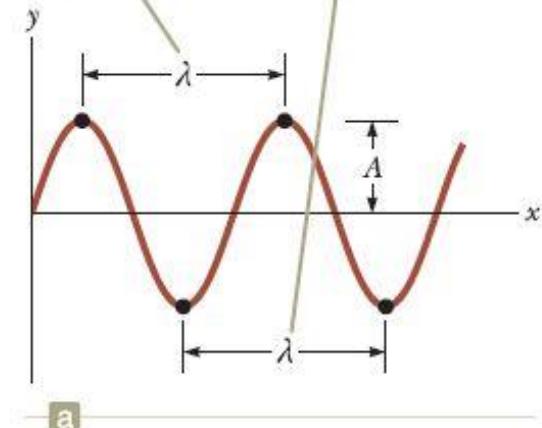
진폭(amplitude) A : 매질 요소의 평형으로부터의
최대 변위

주기(period) T : 한 파장을 이동하는데 걸리는 시간

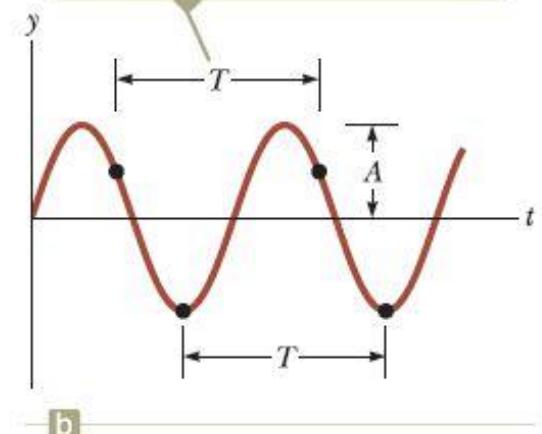
진동수(frequency) f : 단위 시간당 주어진 점을
지나가는 마루의 수(단위 Hz).
한 지점에서 매질 요소의
진동수와 같다.

$$f = \frac{1}{T}$$

파동의 파장 λ 는 인접한 마루
또는 골 사이의 거리이다.



파동의 주기 T 는 요소가 한 번 진
동하는 데 걸리는 시간 또는 파동
이 한 파장을 진행하는 데 걸리는
시간이다.



오른쪽 그림에서, $t=0$ 일 때 $y(x, 0) = A \sin ax$

$x = 0, x = \lambda/2$ 에서 y 는 0이다.

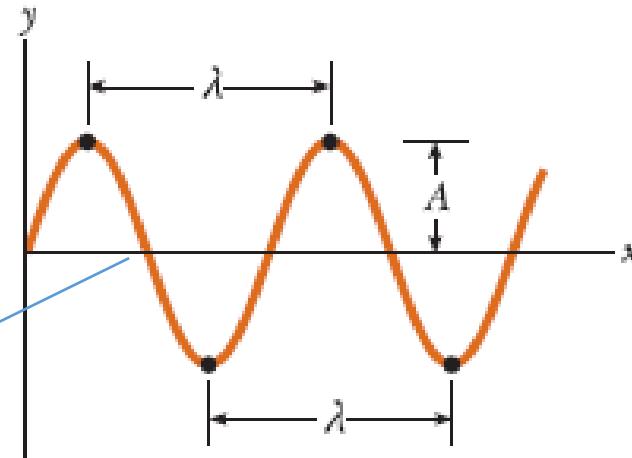
$$y(0, 0) = A \sin(a \cdot 0) = 0$$

$$y\left(\frac{\lambda}{2}, 0\right) = A \sin\left(a \frac{\lambda}{2}\right) = 0$$

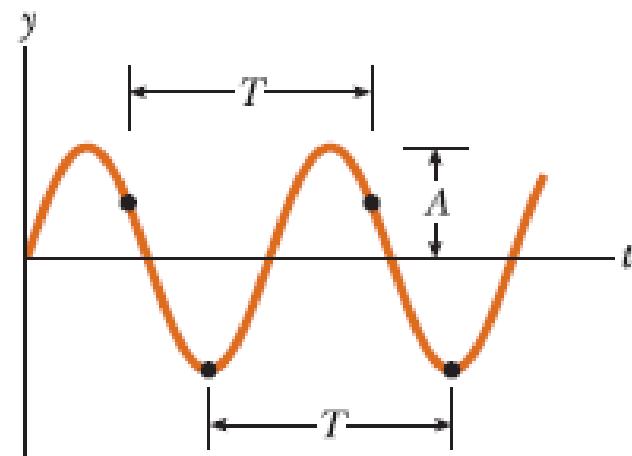
\downarrow $a(\lambda/2) = \pi$

$$y(x, 0) = A \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

$$\therefore y(x, t) = A \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(x - vt)\right]$$



(a)



(b)

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\lambda}{T} \quad \Rightarrow \quad \therefore y = A \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} x - \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{T} t \right) = A \sin \left[2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right) \right]$$

파수(wave number) k

$$k \equiv \frac{2\pi}{\lambda}$$

각진동수(angular frequency) ω

$$\omega \equiv \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

$$\therefore y = A \sin(kx - \omega t)$$

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f = \left(\frac{\lambda}{2\pi} \right) (2\pi f) = \frac{\omega}{k}$$

$$y = A \sin(kx - \omega t + \phi) \quad \blacktriangleleft \text{사인형 파동의 일반적 형태}$$

5 선형 파동 방정식

(The Linear Wave Equation)

$y = A \sin(kx - \omega t)$: wave function

$$-\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\partial}{\partial x} (kA \cos(kx - \omega t))$$

$$= -k^2 A \sin(kx - \omega t)$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial t} (-\omega A \cos(kx - \omega t))$$

$$= -\omega^2 A \sin(kx - \omega t)$$

$$\therefore \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{k^2}{\omega^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad \leftarrow \frac{\omega}{k} = v$$

$$= \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

$$\therefore \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

Linear Wave Equation

6 파동의 간섭

(Waves in Interference)

중첩의 원리(superposition principle) :

선형 파동에 대해서만 적용

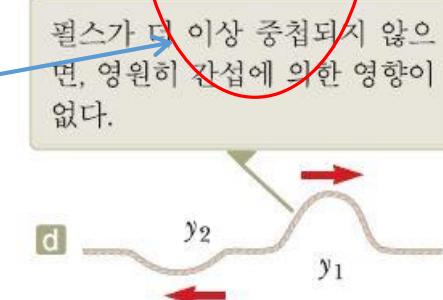
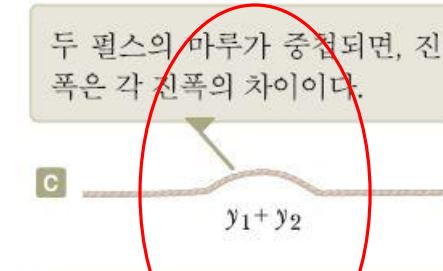
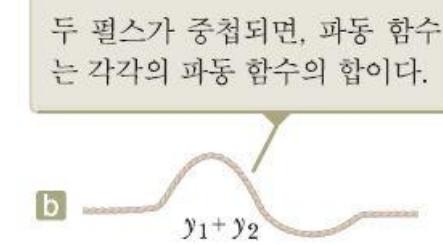
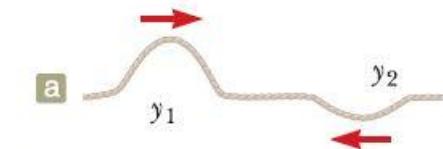
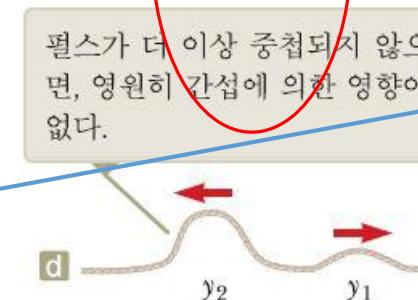
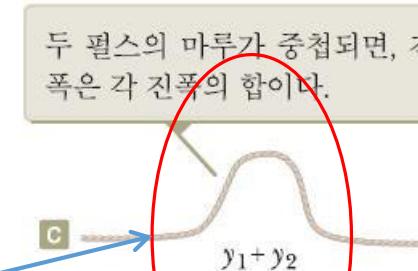
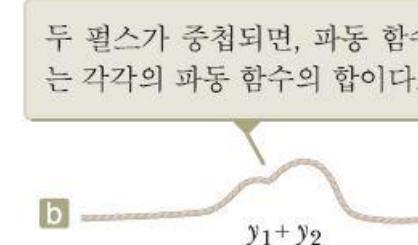
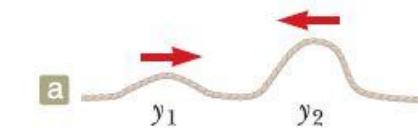
두 개 이상의 진행 파동이 매질을 통해 움직일 때,
임의의 한 점에서 합성파동의 파동 함수 값은 각
파동의 파동 함수 값의 (대수적) 합이다.



두 개의 진행 파동은 서로를 변화시키거나
파괴시키지 않고 서로 지나간다.

보강 간섭(constructive interference)

상쇄 간섭(destructive interference)



두 펄스가 중첩되면, 파동 함수는 각각의 파동 함수의 합이다.

두 펄스의 마루가 중첩되면, 진폭은 각 진폭의 합이다.

펄스가 더 이상 중첩되지 않으면, 영원히 간섭에 의한 영향이 없다.

두 펄스가 중첩되면, 파동 함수는 각각의 파동 함수의 합이다.

두 펄스의 마루가 중첩되면, 진폭은 각 진폭의 차이이다.

펄스가 더 이상 중첩되지 않으면, 영원히 간섭에 의한 영향이 없다.

▶ 사인형 파동의 중첩(Superposition of Sinusoidal Waves)

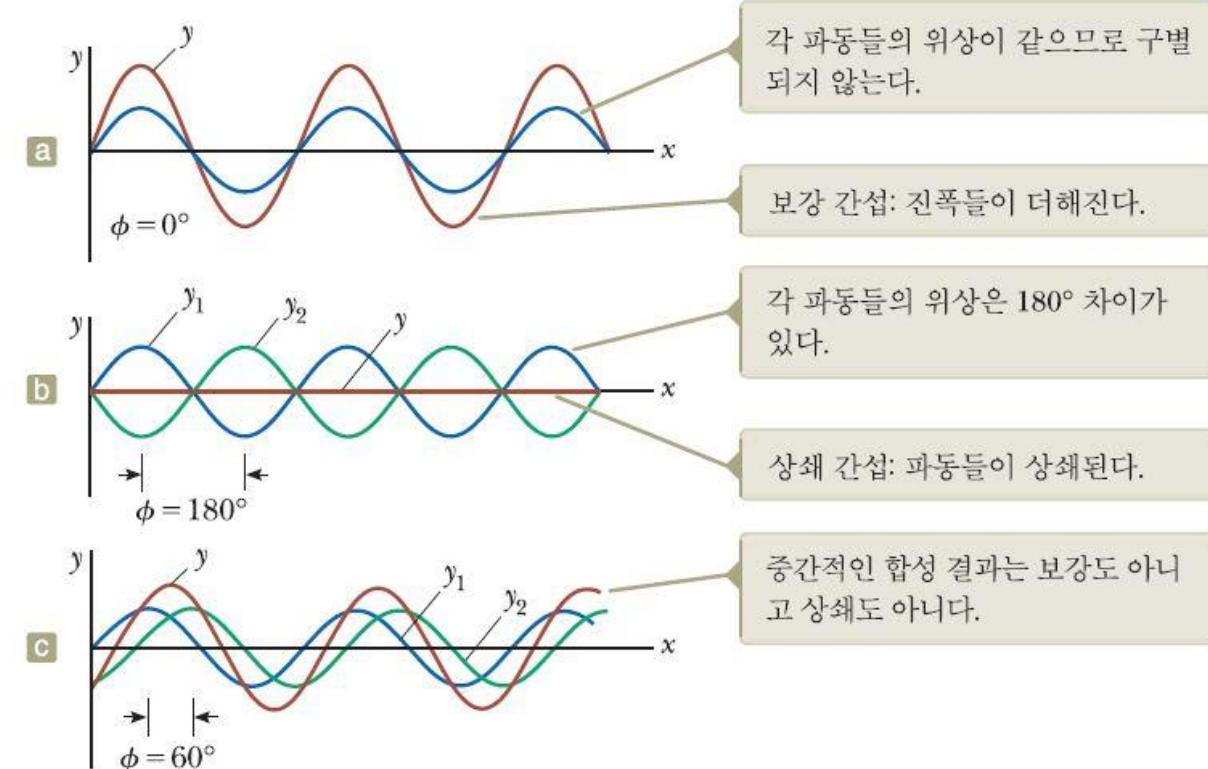
선형 매질에서 서로 같은 방향으로 진행하는 (파장과 진동수가 서로 같은) 두 사인형 파동의 중첩

$$y_1 = A \sin(kx - \omega t) \quad y_2 = A \sin(kx - \omega t + \phi)$$

$$y = y_1 + y_2 = A[\sin(kx - \omega t) + \sin(kx - \omega t + \phi)]$$

식 $\sin a + \sin b = 2 \cos\left(\frac{a-b}{2}\right) \sin\left(\frac{a+b}{2}\right)$ 에 의해

$$\therefore y = 2A \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \sin\left(kx - \omega t + \frac{\phi}{2}\right)$$



중첩된 파동 함수 y 도 사인형이며, 각각의 파동과 동일한 진동수와 파장을 갖는다.

두 파동의 위상차 ϕ 에 따라 보강 또는 상쇄간섭이 일어난다.

7 정상파

(Standing Waves)

동일한 매질에서 같은 진폭, 진동수 및 파장을 가지
면서 서로 반대 방향으로 진행하는 두 사인형 횡파의
파동 함수를 고려하자.

$$y_1 = A \sin(kx - \omega t)$$

$$y_2 = A \sin(kx + \omega t)$$

$$\begin{aligned} y &= y_1 + y_2 \\ &= A \sin(kx - \omega t) + A \sin(kx + \omega t) \end{aligned}$$

식 $\sin(a \pm b) = \sin a \cos b \pm \cos a \sin b$ 사용하면

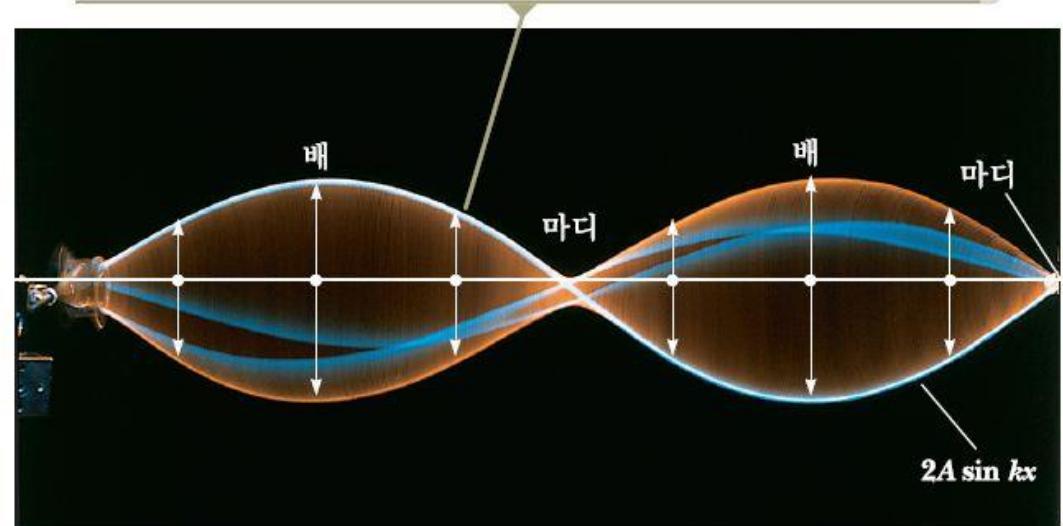
$$\therefore y = (2A \sin kx) \cos \omega t$$

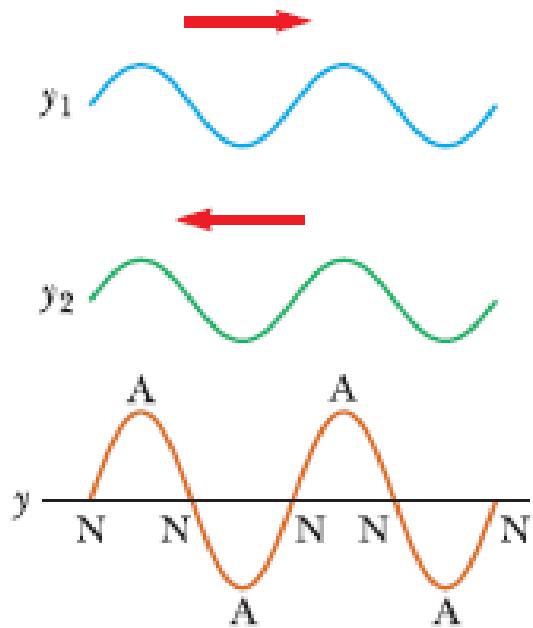
정상파의 파동 함수

마디(node): $kx = \frac{2\pi}{\lambda} x = 0, \pi, 2\pi, 3\pi, \dots \rightarrow x = 0, \frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3\lambda}{2}, \dots = \frac{n\lambda}{2} \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$

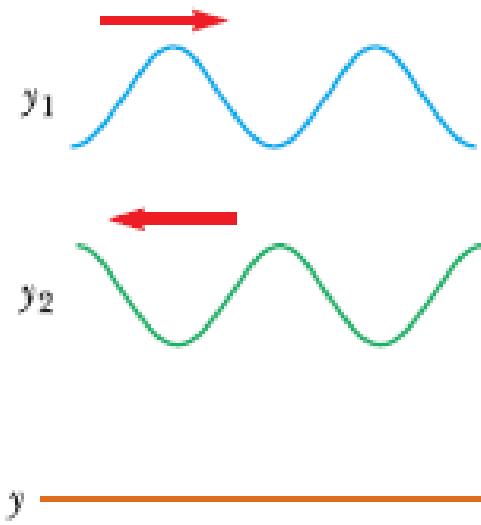
배(antinode): $kx = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \dots \rightarrow x = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \dots = \frac{n\lambda}{4} \quad n = 1, 3, 5, \dots$

각 요소의 수직 진동 진폭은 그 수평 위치에 따라 다르다. 각 요소는 둘러싸고 있는 포락선 함수 $2A \sin kx$ 의 한계 이내에서 진동한다.

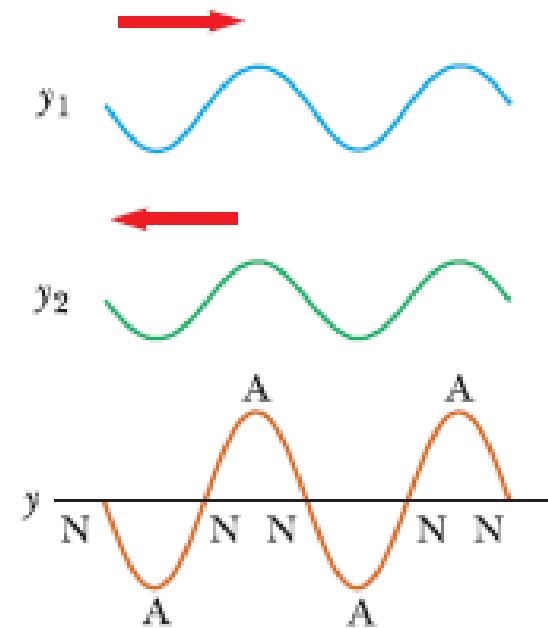




(a) $t = 0$



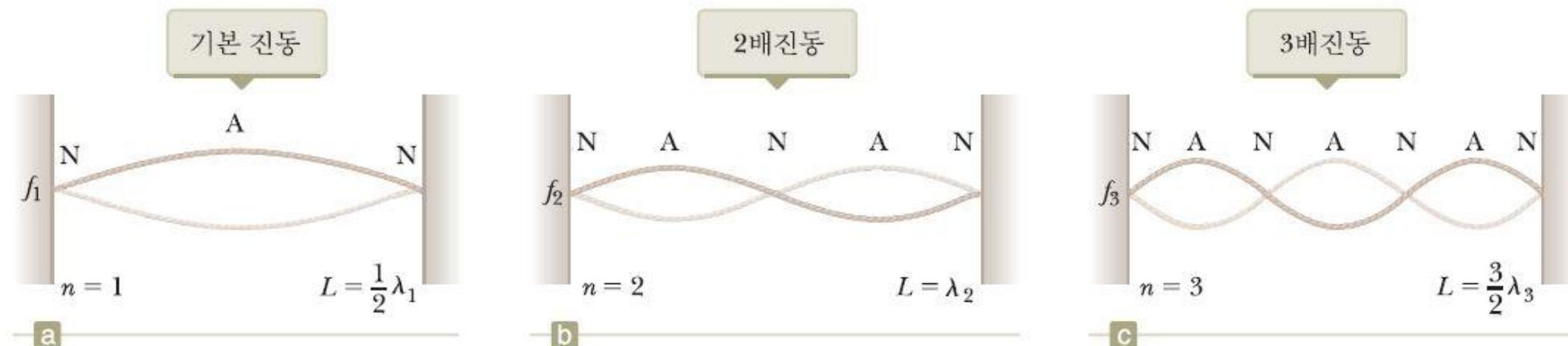
(b) $t = T/4$



(c) $t = T/2$

그림: 세 시간에서의 정상파

- 양쪽 끝이 고정된 길이 L 인 줄에서, 양쪽 끝으로 입사하고 반사하는 파동들의 연속적인 중첩으로 인하여 줄에 **정상파**가 생긴다.
- 줄의 양쪽 끝은 고정되어 있기 때문에 양쪽 끝에서의 변위는 영이고, 그러므로 양 끝은 마디가 된다.
- 이런 **경계 조건**은 줄에 많은 수의 불연속적인 고유 진동 모양을 생기도록 하며, 이들을 **정규모드(normal mode)**: '배진동'이라고도 부름)라고 하고 각각의 정규모드는 쉽게 계산할 수 있는 특성 진동수를 가진다.
- 특정한 진동수의 진동만이 허용되는 이러한 상황을 **양자화(quantization)**라고 한다.



$$L = \frac{1}{2} \lambda_1$$

$$L = \lambda_2$$

$$L = \frac{3}{2} \lambda_3$$

양쪽 끝이 열린 관에서, 자연 진동수는 기본 진동수의 정수배를 모두 포함하는 조화열을 이룬다.

$$f_n = n \frac{v}{2L} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

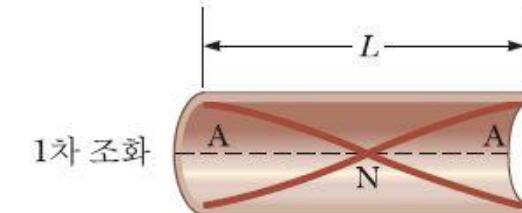
양 끝이 열려 있는
관의 자연 진동수

한쪽 끝이 닫힌 관에서, 진동의 자연 진동수는 기본 진동수의 홀수 정수배만을 포함하는 조화열을 이룬다.

$$f_n = n \frac{v}{4L} \quad n = 1, 3, 5, \dots$$

한쪽 끝만 열려 있는
관의 자연 진동수

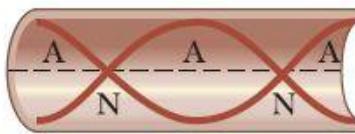
양쪽 끝이 열려 있는 관에서, 끝은 변위 배이고 조화열은 기본 진동수의 모두 정수배로 이루어진다.



1차 조화

$$\lambda_1 = 2L$$

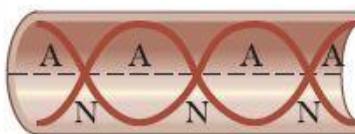
$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{2L}$$



2차 조화

$$\lambda_2 = L$$

$$f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = 2f_1$$

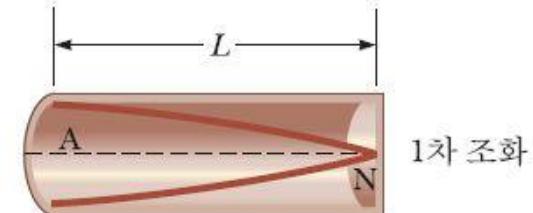


3차 조화

$$\lambda_3 = \frac{2}{3}L$$

$$f_3 = \frac{3v}{2L} = 3f_1$$

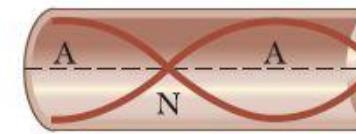
한쪽 끝이 닫힌 관에서, 열린 끝은 변위 배이고 닫힌 끝은 마디이다. 조화열은 기본 진동수의 홀수 정수배로 이루어진다.



1차 조화

$$\lambda_1 = 4L$$

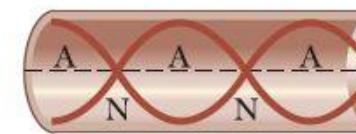
$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{4L}$$



3차 조화

$$\lambda_3 = \frac{4}{3}L$$

$$f_3 = \frac{3v}{4L} = 3f_1$$



5차 조화

$$\lambda_5 = \frac{4}{5}L$$

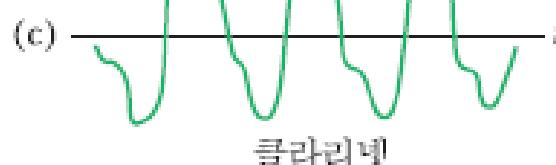
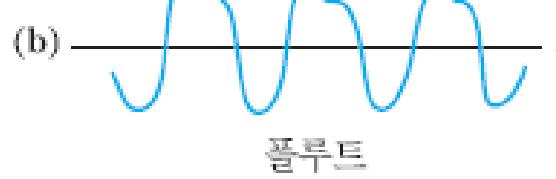
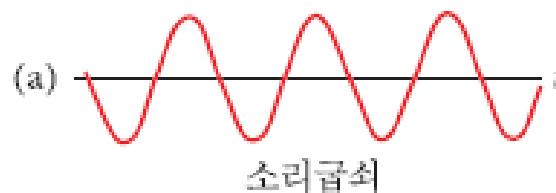
$$f_5 = \frac{5v}{4L} = 5f_1$$

a

b

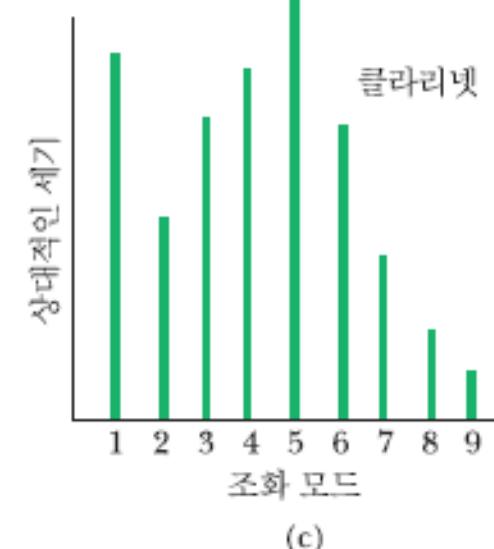
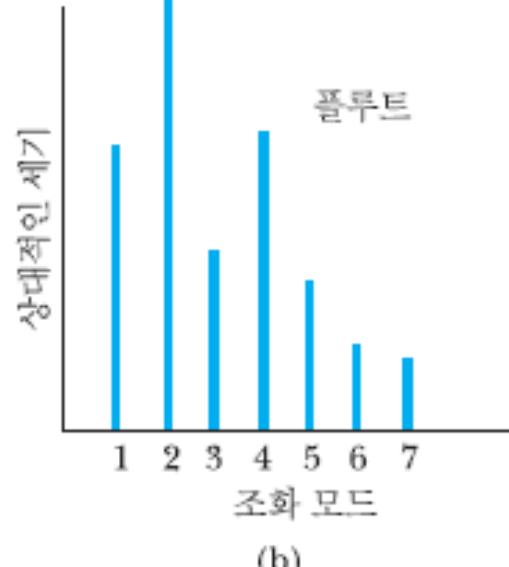
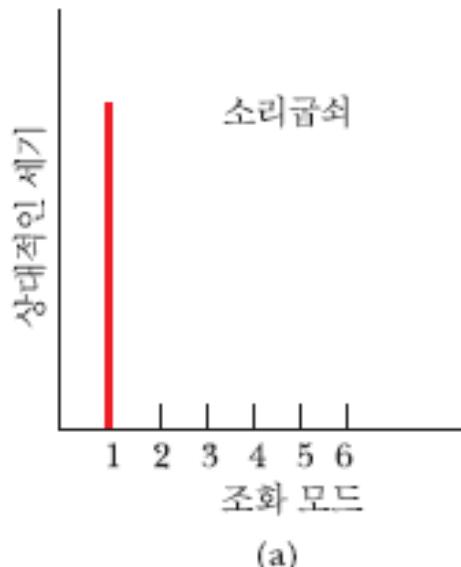
(참고) 비사인형 파동 모양 (Nonsinusoidal Wave Patterns)

- 악기에 의해 생성된 파동 모양은 기본 진동수들의 정수배인 진동수들의 파동이 중첩된 결과이다. 이런 중첩의 다양함은 음색(tone)의 차이를 준다.
 - ✓ 조화 진동의 다양한 혼합과 관련된 사람의 지각적 반응은 음질(quality) 또는 음색(timbre)이다.
- 비사인형 파동 모양을 분석할 때, 파동 모양이 주기적이라면, 조화열을 이루는 수 많은 사인형 파동을 조합함으로써 원하는 만큼 최대한 근접하게 표현할 수 있다.



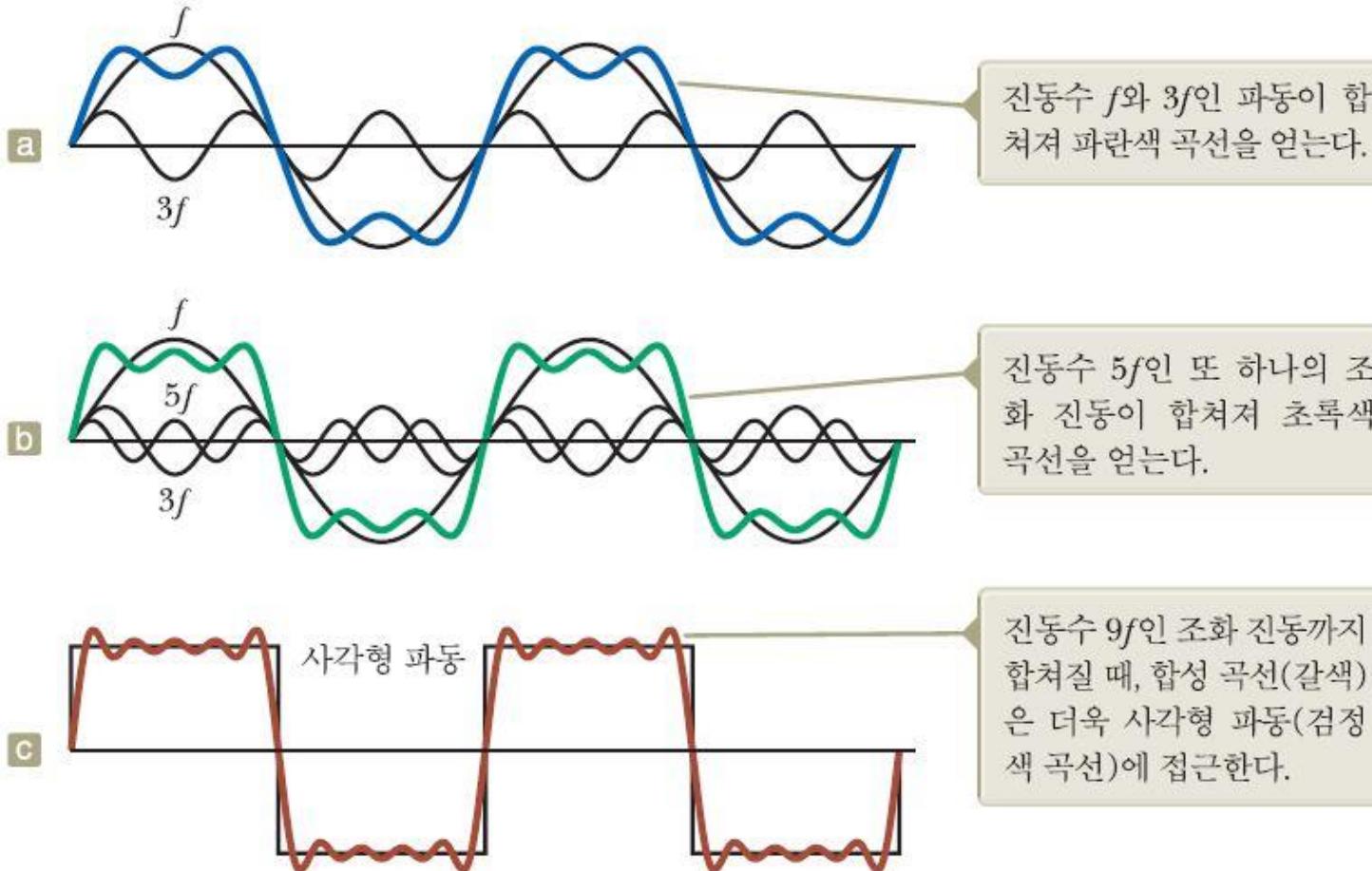
$$y(t) = \sum_n (A_n \sin 2\pi f_n t + B_n \cos 2\pi f_n t)$$

◀ 푸리에 정리



푸리에 합성(Fourier synthesis)

다양한 조화 진동들을 서로 합하여 합성 파동 모양을 만들 수 있다.



기말고사에 대하여

1. 시험날짜: 2026. 01. 13 (화)

시험시간: 10:00 ~ 10:50

2. 범위: ch11 ~ ch14, ch19, ch20

(수업 중 풀이한 문제 중심)

3. 시험문제: 3.5점 4문제, 4점 4문제 → 30점

*주의사항

단위 반드시 쓸 것

계산을 끝까지 해서 답 작성할 것.