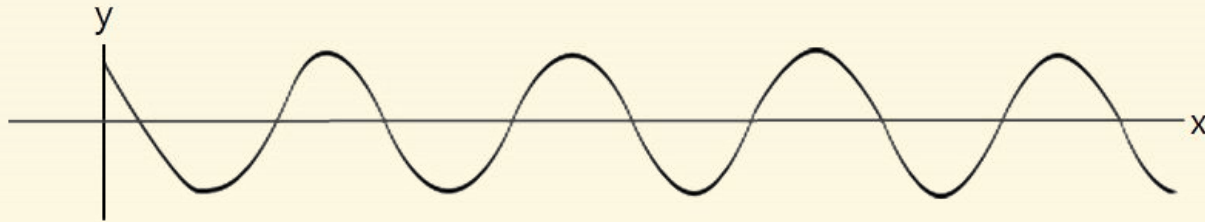




## 7주차 음파

2교시 소리와 음악

### 멈출 수 없는 진동



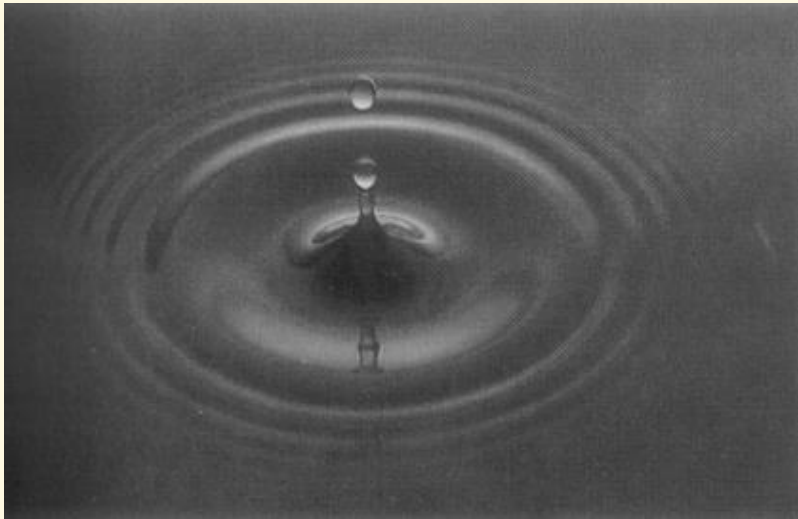
이번 시간에는 **파동**에 대해서 알아보니다.

# 1. 파동

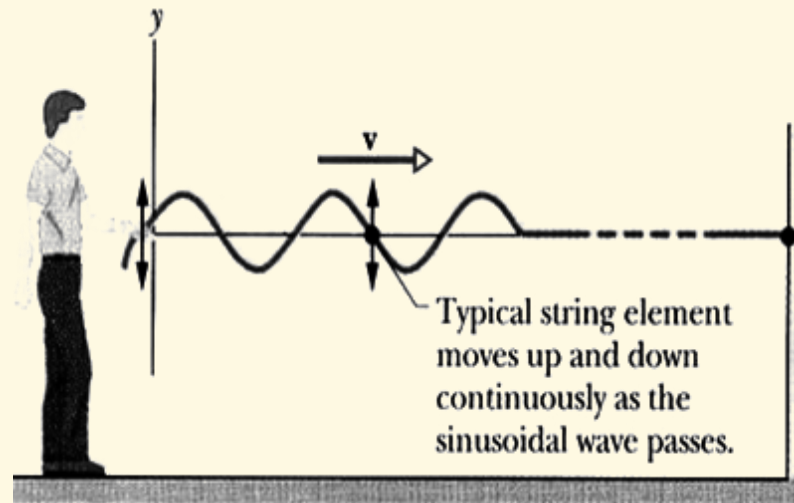
팽팽한 줄을 튕기면 파가 형성되어 줄을 따라서 진행합니다. 고요한 호수에서 수면을 손으로 위 아래로 진동하면 수면파가 발생하여 수면을 따라서 진행하는 것을 볼 수 있습니다. 이렇게 진행하는 파를 **진행파(traveling wave)**라 합니다.

그림1은 수면에서 퍼져나가는 수면파의 파동 모양을 나타낸 것입니다. 수면파는 밖으로 퍼져 나가며, 시간에 따라서 움직입니다. 수면파의 위로 볼록한 최대점을 '**마루**'라 하고 가장 아래로 꺼져있는 곳을 '**골**'이라 합니다. 파동은 골과 마루가 주기적으로 반복되어 있습니다.

파동은 진행할 때 **에너지를 전달**합니다. 진행하는 파동은 **입자의 ( )은 전달하지 않습니다**.



<그림1 - 물방울에 의해서 형성된 수면파>

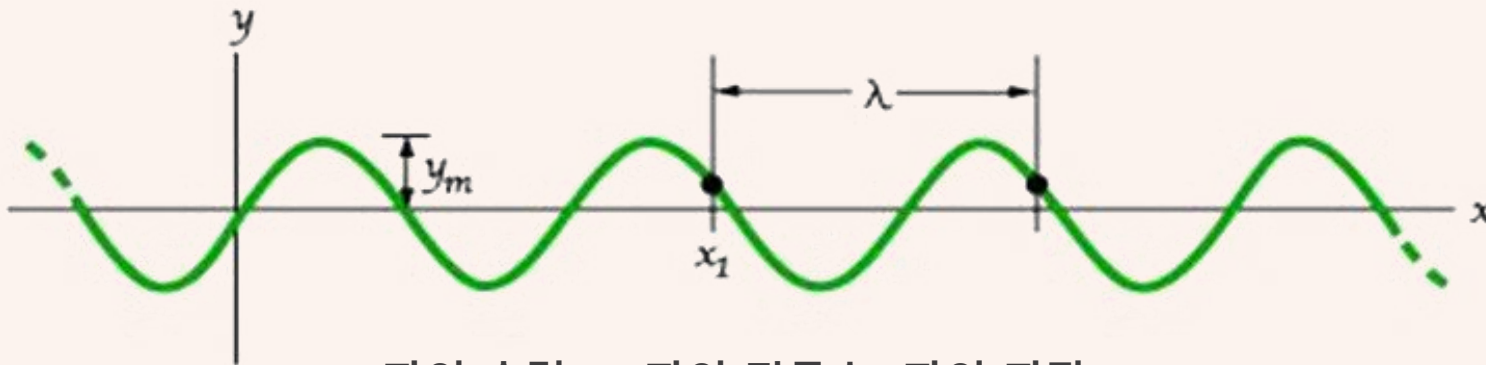


<줄을 흔들 때 형성되는 진행파의 모습>

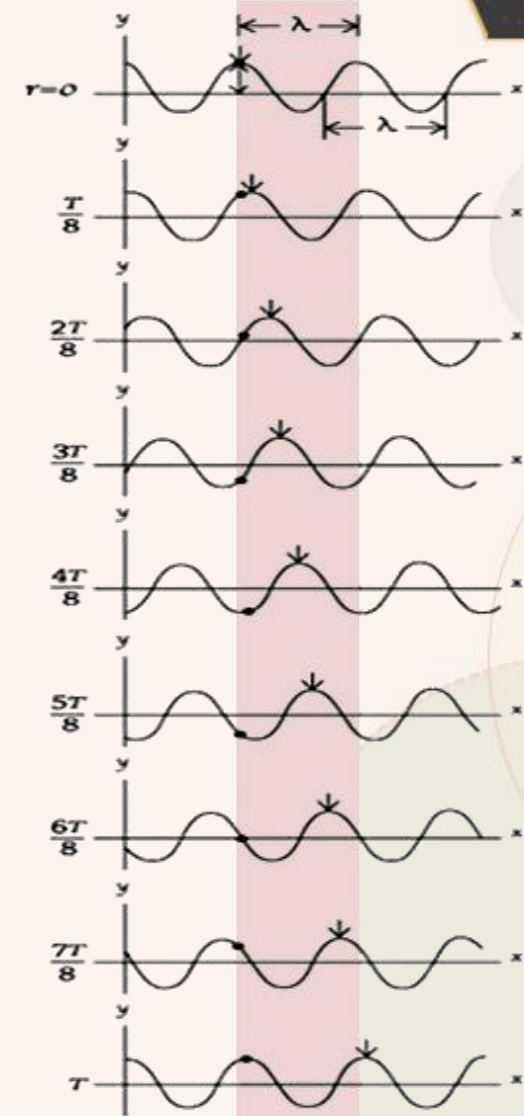
## 2. 종파와 횡파

파동은 파의 진동 방향과 전파 방향에 따라 **종파(가로파)**와 **횡파(세로파)**로 나눕니다. **세로파**는 진동방향과 파의 진행방향이 서로 수직인 파이고, **가로파**는 파의 진동방향과 파의 진행방향이 나란한 파입니다.

그림 2는 오른쪽을 진행하는 세로파의 모양을 일정한 시간 간격으로 나타낸 모습입니다. 한 순간 (예를 들면 그림 2에서  $t=0$  인 순간) 파의 마루와 마루 사이의 거리를 '파장'이라 합니다. 세로파가 형성될 때 줄 위의 한 점은 단순히 그 자리에서 위 아래로 진동합니다. 줄 위의 한 점이 진동하여 다시 제자리로 되돌아 오는데 걸리는 시간을 파의 주기  $T$  라고 하고 주기의 역수를 진동수라 합니다. 진행하는 파의 속력  $v$  는 파장과 진동수의 곱과 같습니다.



파의 속력 = (파의 진동수)(파의 파장)



<그림2 세로파의 진동 모습-한 주기가 지나면 진행파의 모습이 원래 모습과 같아진다.>



### 3. 정상파(정지파) – 파동의 중첩

#### ✎ 정상파(정지파) – 파동의 중첩

두 개 이상의 파동이 한 지점에서 만나면 두 파는 서로 더해집니다. 이와 같이 두 파가 합쳐지는 현상을 ( )이라 합니다.

중첩의 원리

“두 파동의 합성파는 두 파동 변위의 합이다.”

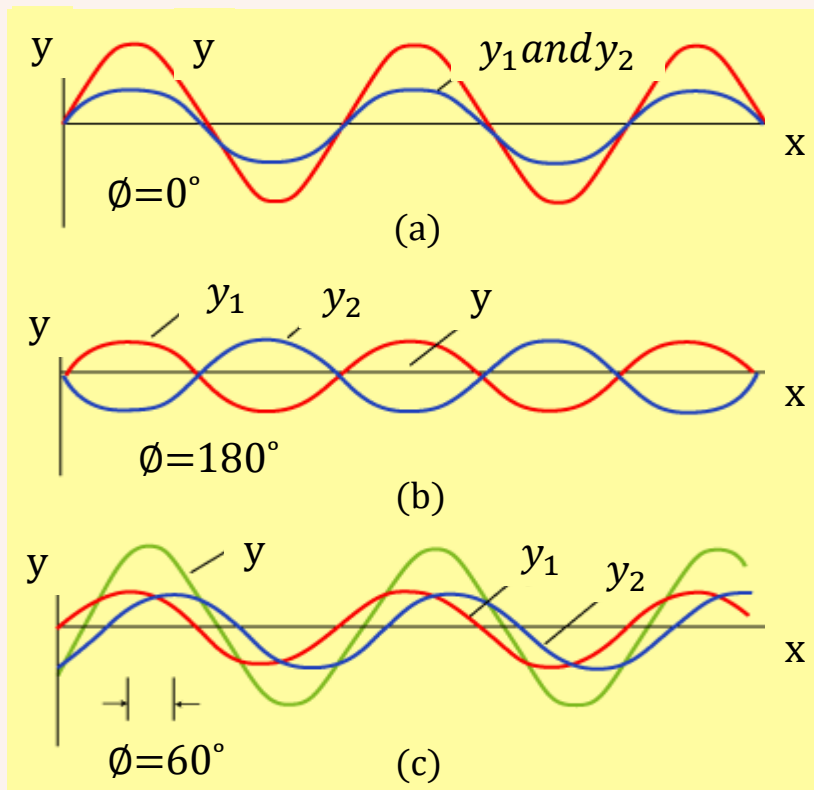


두 파가 겹쳐진 후 두 파가 다시 분리되면 각 파동은 원래 모습을 그대로 유지합니다. 한 지점에서 두 파의 마루와 마루가 겹쳐지면 합쳐진 파의 마루는 더 커집니다. 만약 한 지점에서 **두 파의 마루와 골이 서로 만나면 합성파는 약해집니다.** 이와 같이 두 파가 중첩되어 합성파가 더 커지거나 약해지는 현상을 **파의 간섭(interference)**이라 한다. 왼쪽 그림은 동시에 생성된 두 수면파가 퍼져나가면서 중첩을 일으킨 모습을 나타낸다. 합성파가 약해진 부분과 강해진 부분을 관찰할 수 있다.

## 4. 결맞음(coherence)

✎ 결맞음(coherence) – 두 개 이상의 파동이 중첩되어 간섭을 잘 일으키는 정도

두 개 이상의 파동이 중첩하여 간섭을 잘 일으키기 위해서는 파동의 진동수와 파장이 같아야 한다.  
파동의 진폭이 같으면 중첩된 파동을 쉽게 더할 수 있다.



(a)  
두 파의 위상이 일치하면  
합성파는 커진다. (빨강)

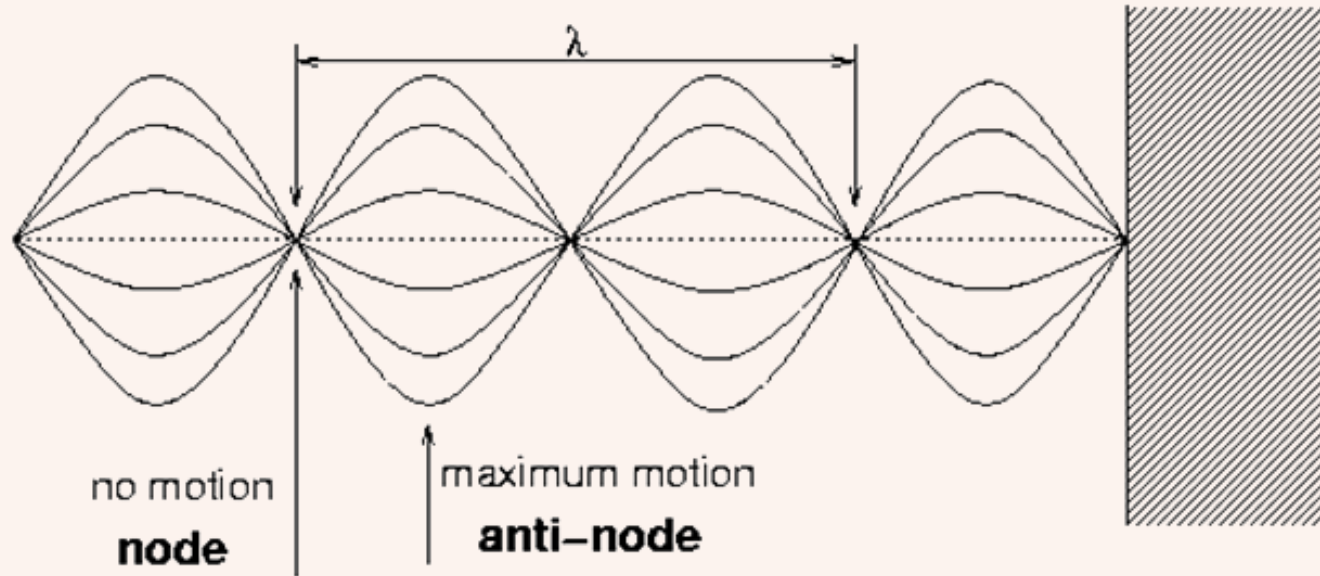
(b)  
두 파의 위상이 180도 차이  
나면 합성파는 소멸된다.

(c)  
두 파의 위상이 0과 180도  
사이에 있으면 합성파는  
어중간한 모양을 갖는다.

<두 파의 중첩>

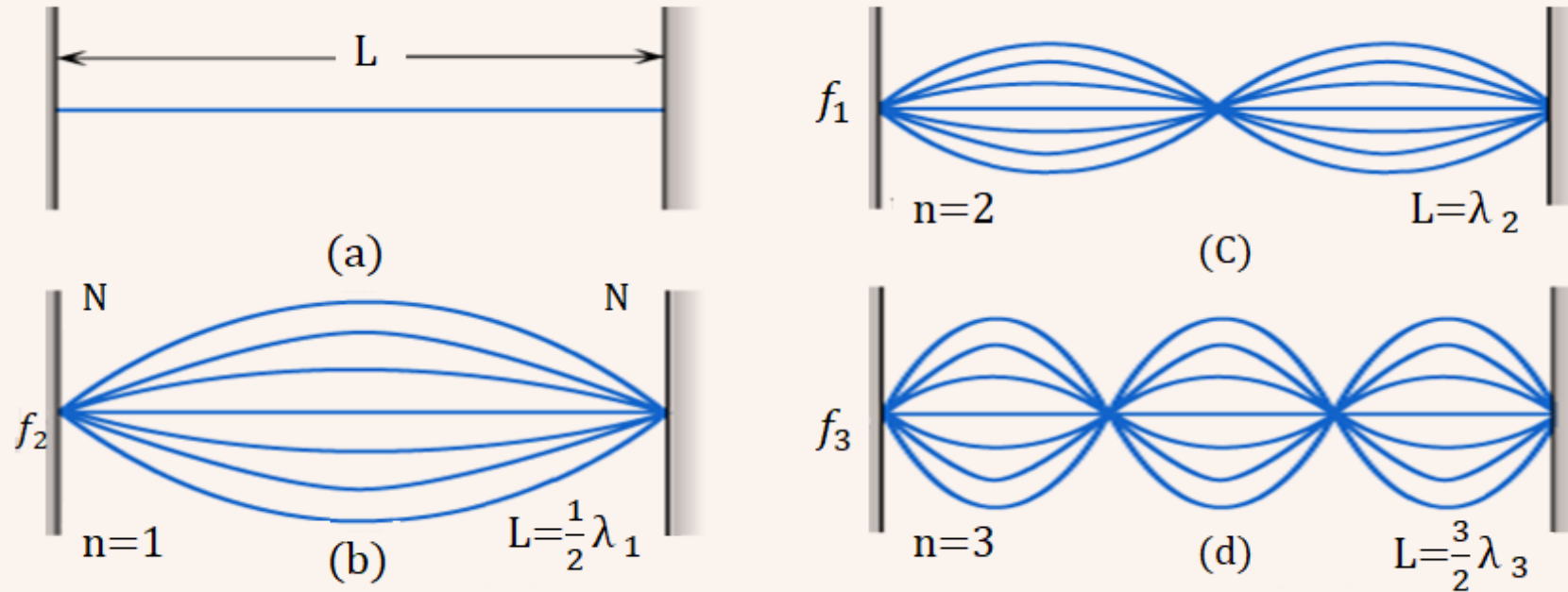
## 5. 정상파(정지파) – 정상파

두 파동의 모양이 똑같고 단지 서로 반대로 진행하는 파가 서로 겹쳐져서 중첩하여 생긴 파는 ( ) (또는 정지파 *standing wave*)를 형성합니다.



줄을 가지고 정상파를 쉽게 만들 수 있습니다. 양 끝이 고정된 줄 또는 한 끝은 고정되어 있고 반대쪽 끝을 손으로 잡고 흔드는 경우에 정상파가 형성되는 것을 볼 수 있습니다. 줄의 정상파는 벽쪽으로 진행하는 파와 벽에서 반사되어 나오는 파가 간섭하면서 형성됩니다. 정상파에서 줄의 움직이지 않고 정지된 부분을 마디(*node*)라 하고, 줄이 최대로 진동하는 부분을 마루(*antinode*)라 합니다.

## 5. 정상파(정지파) – 정상파



<줄에서 형성된 정상파(정지파)>

줄에서 정상파가 형성될 때 마디의 수는 줄의 길이와 정상파 파동의 파장 길이에 의해서 결정됩니다. 정상파의 파장 길이는 줄의 길이, 줄의 장력에 의해서 결정됩니다. 양 끝이 고정된 줄에서(예를 들면 기타 줄, 피아노 줄) 양 끝은 항상 마디가 됩니다. 관악기는 관의 끝이 열려있는 것과 막혀있는 것에 따라서 정상파의 파장 길이가 다릅니다.



## 5. 정상파(정지파) – 고유진동과 배음

다양한 현악기 및 관악기에서 고유한 진동수의 소리가 나는 것은 줄과 관에서 발생하는 ( )에 의해서 소리가 발생하기 때문입니다. 줄과 관에서 생기는 정상파 중에서 진동수가 가장 작은(파장이 가장 긴) 정상파를 **고유진동(기본 진동, 어울림 진동, harmonics)**이라 부릅니다. 줄의 길이가 고정되어 있으면, 그 줄에서 발생할 수 있는 정상파들은 고유 진동수의 정수 배에 해당하는 진동만이 가능합니다. 고유 진동의 정수 배인 진동을 **배음(화음, overtone)**이라 합니다.

양 끝이 고정된 줄에서 고유진동 수

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

여기서  $v$ 는 줄에서 파의 속력이고,  
 $L$ 은 줄의 길이입니다.

고유진동의 배음에 해당하는 진동수

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = n \frac{v}{2L}$$

여기서  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ 이다.

- ▶ 양끝이 고정된 줄에서 생기는 정상파의 고유 진동수는 줄의 길이와 어떤 관계가 있을까?
- ▶ 왜 현이 긴 악기들은 저음을 낼까?

### 예제 1)

왜 기타줄 받침대의 간격은 일정하지 않은가?

풀이)

기타 줄의 받침대는 기본 진동수를 갖는 정상파가 생기도록 위치가 정해져 있습니다. 받침대가 동일한 간격인 두 가지 이유는 다음과 같습니다.

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

- ① 정상파의 기본 진동수가 기타 줄의 길이에 역비례하기 때문이다.
- ② 음악적인 이유 때문이다. 현재 사용하고 있는 서양 음계의 옥타브는 진동수의 비로 결정되어 있다. 각 옥타브의 비는 2이다. 즉, 높은 도가 낮은 도보다 진동수가 2배 크다. 한 옥타브에는 반음이 12개 있으며 각 반음의 진동수의 비는 2의 12제곱근( $2^{1/12}$ ) 이다.

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$	$f_{10}$	$f_{11}$	$f_{12}$	$f_{13}$
음계	라A	라A#	시B	도C	도C#	레D	레D#	미E	파F	파F#	솔G	솔G#	라A
주파수	440	466	494	523	554	587	622	659	698	740	784	831	880

평균율  
(equal temperament)

$$\frac{f_{i+1}}{f_i} = a \quad \frac{f_{13}}{f_1} = 2 \quad \frac{f_2}{f_1} \frac{f_3}{f_2} \dots \frac{f_{13}}{f_{12}} = a \times a \dots \times a = a^{12} = 2 \quad a = \sqrt[12]{2} = 1.0595 \dots$$

### 예제 2)

색소폰이나 트럼펫과 같은 관악기를 연주할 때, 연주장의 온도가 올라가면 연주 음의 진동수에 따라서 음의 진동수가 증가한다. 그러나 기타와 같은 현악기는 온도가 올라가면 오히려 진동수가 줄어든다. 그 이유는 무엇인가?

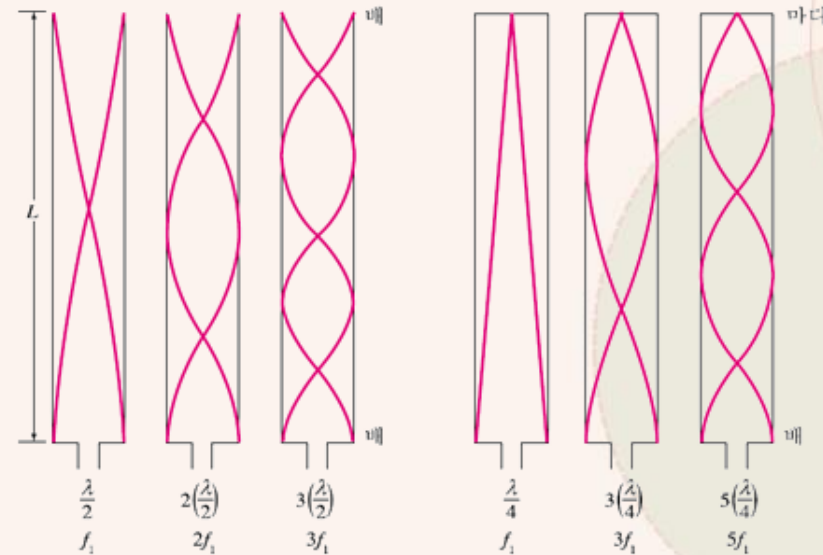
### 풀이)

관악기에서 진동수는 악기의 공명관에서 생기는 정상파에 의한 소리의 파동에 의해서 발생합니다. 공기의 온도가 올라가면 소리의 속력이 증가하여 정상파의 진동수가 증가합니다. (관악기에서 정상파의 진동수는 음파의 속력에 비례하고, 관의 길이에 역비례 한다.)

현악기의 경우 정상파의 진동수는 현의 장력의 제곱근에 비례합니다. 그런데 온도가 올라가면 장력이 줄어듭니다. (줄이 처진다) 따라서 정상파의 진동수가 줄어듭니다.

음파의 속력  $v = (331 + 0.6T) \text{ m/s}$

$$f_n = n \frac{v}{2L} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad f_n = n \frac{v}{4L} \quad (n = 1, 3, 5, \dots)$$



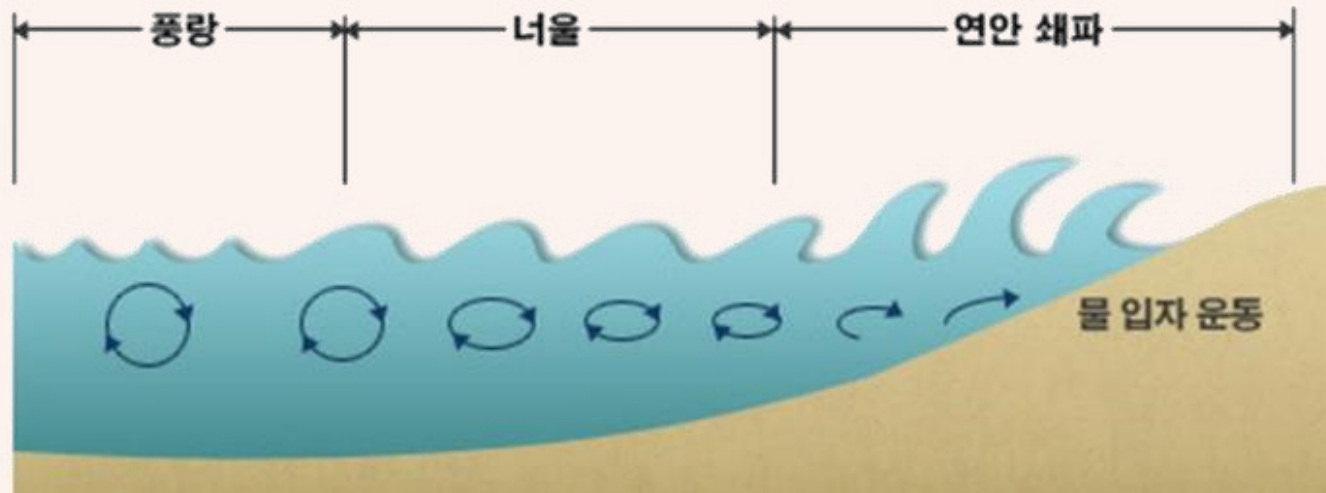
### 예제 3)

바닷물에 떠있는 물체는 파도에 따라 위 아래로 까딱거린다. 따라서 파도는 세로파(횡파)가 아닌가?

풀이)

파장이 짧은 잔물결은 수면을 평평하게 하려는 표면장력이 복원력 역할을 합니다. 그러나

파장이 긴 파도는 중력이 복원력 역할을 합니다. 수면에서 위 아래로 출렁이는 물체를 살펴보면 물체가 물분자와 함께 원운동을 합니다. 바다물의 표면은 가로운동과 세로운동이 결합하여 원운동을 합니다. 원의 반지름은 수면 파동의 진폭의 크기와 같습니다.



지금까지 소리와 음악에 대해 알아보았습니다.  
다음시간에는 음파와 청각에 대해서 살펴보시다.