

정상파와 악기

학습 목표 현악기, 관악기 등에서 소리를 내는 원리를 정상파를 이용해 설명할 수 있다.

전통 악기인 가야금은 나무로 만든 몸통에 연결한 줄을 뜯어서 소리를 내는 악기이다. 가야금의 줄을 받치는 기둥인 안죽의 위치가 달라지면 줄에서 나는 소리의 높낮이가 달라진다. 그 까닭은 무엇일까?



파동의 간섭과 정상파

그림 III-26의 기타와 같은 현악기는 양 끝이 고정된 줄을 튕겨 소리를 낸다. 줄의 진동으로 소리가 만들어지면 울림통에서 공명 현상이 일어나 줄에서 만든 소리가 더 큰 소리가 되어 주변으로 전달된다.

줄을 튕길 때 만들어지는 파동은 서로 반대 방향으로 진행해 고정된 점에서 반사한다. 이때 반사한 두 파동은 진동수와 진폭이 서로 같으며, 양 끝에서 반사한 파동이 중첩하면 진행하지 않고 제자리에서 진동하는 것처럼 보인다. 이처럼 서로 반대 방향으로 진행하는 두 파동이 중첩해 진행하지 않고 제자리에서 진동하는 것처럼 보이는 파동을 **정상파**라고 한다.

그림 III-27과 같은 정상파에서 매질이 진동하지 않는 부분을 **마디**, 최대로 진동하는 부분을 **배**라고 한다.

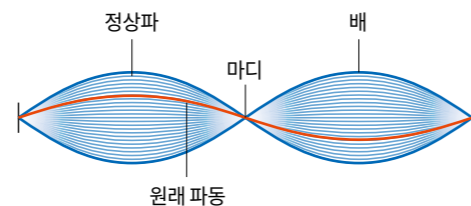


그림 III-27 정상파의 마디와 배



그림 III-26 현악기

그림 III-28과 같이 진동수와 진폭이 같은 두 파동이 서로 반대 방향으로 진행해 정상파를 만드는 경우를 살펴보자.

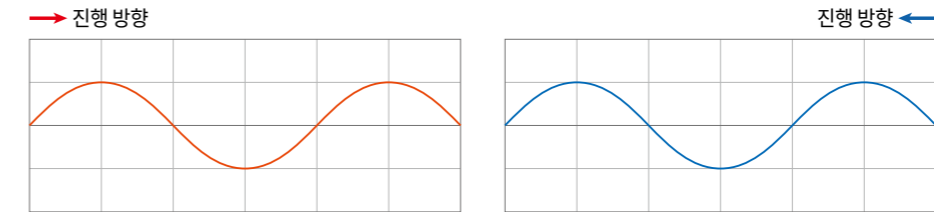
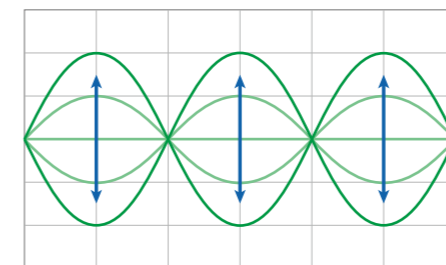


그림 III-28 반대 방향으로 진행하는 두 파동

두 파동이 서로 반대 방향으로 진행하면 그림 III-29와 같이 배가 되는 부분은 늘 보강 간섭하고 마디가 되는 부분은 늘 상쇄 간섭한다. 두 파동이 정상파를 만들 때 진동수와 파장은 변하지 않는다. 그러나 보강 간섭을 할 때 최대 변위가 2 배가 되므로 정상파의 진폭은 원래 파동의 2 배가 된다.

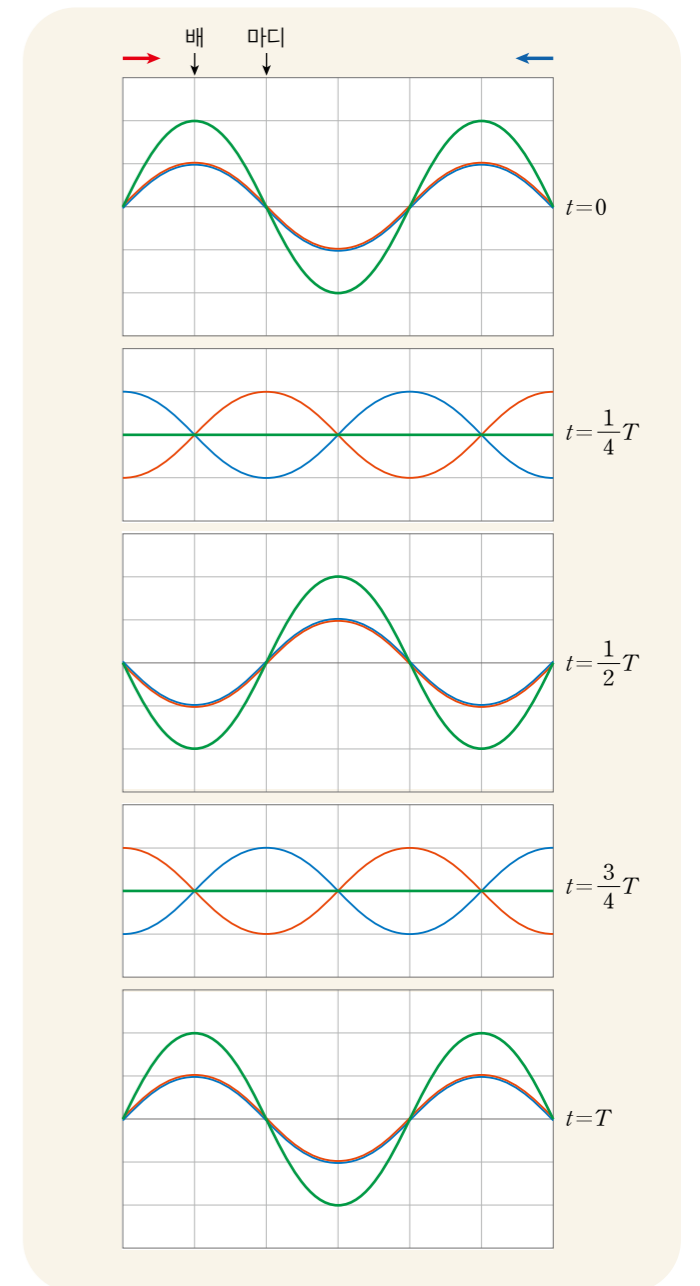


왼쪽으로 진행하는 파동과 오른쪽으로 진행하는 파동이 간섭해 만든 합성파인 정상파는 제자리에서 진동하며 진행하지 않는 것처럼 보인다.

스스로 확인

- 진폭이 같은 두 파동이 정상파를 만들면 진폭은 처음 파동의 () 배가 된다.
- 정상파의 마디에서는 두 파동이 항상 상쇄 간섭한다. (O, X)

그림 III-29 정상파



현악기에서의 정상파

양 끝이 고정된 줄을 진동시킬 때 만들어지는 정상파는 양 끝이 마디가 된다. 줄의 길이를 l 이라고 하면 n 배 진동에 해당하는 정상파의 파장 λ_n 과 l 은 $l = \frac{n\lambda_n}{2}$ ($n=1, 2, 3, \dots$)의 관계가 있다.

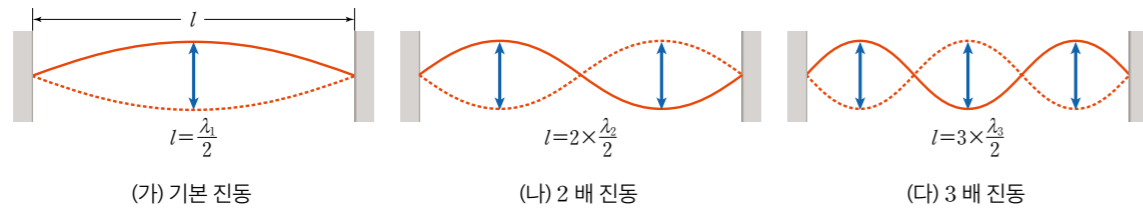


그림 III-30 줄의 진동

줄에서 만들 수 있는 정상파 중에서 가장 작은 진동수의 정상파는 그림 III-30의 (가)처럼 $n=1$ 일 때로, 이때의 정상파를 **기본 진동**이라고 한다. 또 (나), (다)와 같이 $n=2, 3$ 일 때의 정상파를 각각 2 배 진동, 3 배 진동이라고 한다. 줄에서 파동의 진행 속력을 v 라고 하면, 이때 만들어지는 정상파의 진동수 f_n 은 다음과 같다.

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{2l} \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

이러한 진동수를 줄의 **고유 진동수**라고 한다. 현악기에서는 정상파를 형성하는 기본 진동이 소리의 진동수를 결정하고, 줄이 만드는 고유 진동수들의 중첩으로 현악기마다 특유의 음색을 가진 소리가 난다.

현악기에서 나는 소리의 진동수는 줄의 진동수와 같으므로 줄에서 파동의 진행 속력을 조절하거나 진동하는 줄의 길이를 조절해 소리의 진동수를 바꿀 수 있다. 기타나 우쿨렐레와 같은 현악기의 줄감개를 조이고 줄을 튕기면 파동의 진행 속력이 빨라져 진동수가 커지므로 더 높은 소리가 난다. 또 그림 III-31의 (나)와 같이 현악기의 줄을 손가락으로 눌러 진동하는 부분의 길이를 짧게 하고 줄을 튕기면 진동수가 커지므로 그림 (가)의 경우보다 높은 소리가 난다.



그림 III-31 현악기에서 줄의 길이와 소리의 높낮이

관악기에서의 정상파

리코더와 같은 관악기의 취구에 공기를 불어 넣으면 그림 III-32와 같이 공기는 취구 모서리에서 소용돌이를 만드는데, 이 과정에서 공기의 흐름에 진동이 발생해 이 진동이 관 안에서 정상파를 만든다.

관악기는 취구 반대쪽이 열린 형태와 닫힌 형태가 있다. 관의 열린 부분은 배가 되고 막힌 부분은 마디가 되어 관에서 만들어지는 정상파의 파장이 달라진다.

그림 III-33의 (가)처럼 양 끝이 열린 관에서 정상파가 만들어질 때 관의 길이 l 과 정상파의 파장 λ_n 은 $l = \frac{\lambda_n}{4}(2n)$ ($n=1, 2, 3, \dots$)의 관계가 있다. 따라서 관 속의 음파의 속력이 v 일 때 양 끝이 열린 관에서 만들어지는 정상파의 진동수는 $f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{(2n)v}{4l}$ 이다.

그림 (나)처럼 한끝이 막힌 관에서 정상파가 만들어질 때 관의 길이 l 과 정상파의 파장 λ_n 은 $l = \frac{\lambda_n}{4}(2n-1)$ ($n=1, 2, 3, \dots$)의 관계가 있다. 따라서 한끝이 막힌 관에서 만들어지는 정상파의 진동수는 $f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{(2n-1)v}{4l}$ 이다.

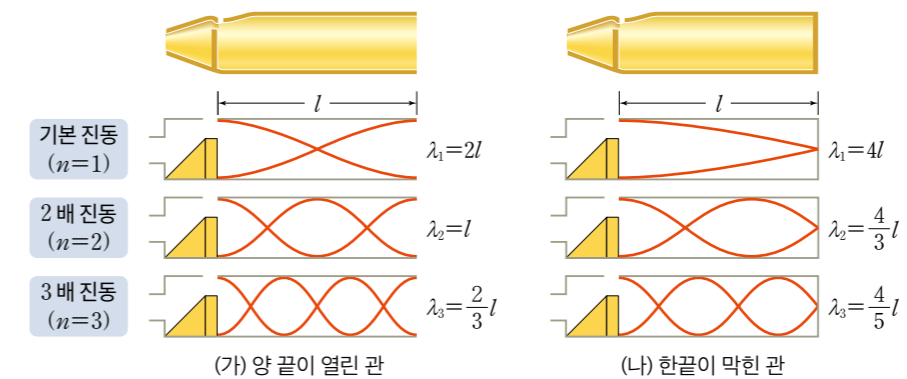


그림 III-33 관의 진동

관의 길이가 짧고 소리의 속력이 빠를수록 정상파를 이루는 소리의 진동수가 커지고, 관악기에서 높은 소리가 난다.

스스로 확인

- 1 바이올린 줄이 진동해 정상파를 이룰 때 양 끝은 배가 된다. (○, ×)
- 2 정상파를 만드는 줄의 길이가 $\frac{1}{2}$ 배가 되면 줄에서 나는 소리의 진동수는 () 배가 된다.



그림 III-32 관악기의 정상파

정상파를 이용한 음파의 진행 속도 측정하기

목표

정상파를 이용하여 음파의 진행 속력을 측정할 수 있다.

과정 및 결과

1. 투명 필름을 둥글게 말아 눈금실린더의 안쪽에 넣고 원통 모양이 되도록 접착테이프로 고정된 뒤 눈금실린더에 끝부분을 끼운다.
2. 스마트폰의 소리 발생 애플리케이션을 이용해 일정한 진동수의 음파가 나오게 하고, 원통 모양의 투명 필름 끝부분에 가까이 가져간다.
3. 투명 필름을 조금씩 밀어 넣으면서 소리가 크게 들리는 지점을 찾은 뒤, 바닥으로부터의 높이(L_1)를 측정한다.
4. **과정 및 결과 3**을 반복하면서 소리가 크게 들리는 다음 지점의 높이(L_2)를 측정한다.



준비물

- 투명 필름
- 눈금실린더
- 스마트폰
- 소리 발생 애플리케이션
- 자(50 cm)
- 접착테이프

탐구 길잡이

여러 모듬이 동시에 실험할 때는 모듬별로 소리의 진동수를 다르게 하는 것이 좋다.

5. 소리가 크게 들리는 두 지점 사이의 간격을 계산해 표에 기록하고 음파의 파장을 구한다.

실험 횟수	음파의 진동수(Hz)	소리가 크게 들릴 때 바닥에서 투명 필름 끝까지의 거리(m)			음파의 파장(m)
		첫 번째(L_1)	두 번째(L_2)	$L_1 - L_2$	
1					
2					
3					

정리

1. 소리가 크게 들리는 지점 사이의 간격은 음파의 파장과 어떤 관계가 있는가?
2. 음파의 진동수와 **과정 및 결과 5**에서 구한 파장을 이용해 음파의 속력을 구해 보자.

역할 나누기
3~5 명을 한 모듬으로 하고, 역할을 나눠 보자.
• 실험 수행: _____
• 결과 기록: _____

스스로 평가

- | 지식·이해 | 정상파와 음파의 속력 사이의 관계를 설명할 수 있는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 실험 결과로 음파의 속력을 구할 때 수학적 사고를 활용했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 음파 관련 현상을 민감하게 관측하며 자연 현상에 대한 감수성을 지녔는가? ☆☆☆

탐구 후기

그림 III-34와 같이 투명 필름을 끼운 눈금실린더를 한쪽이 막힌 관으로 볼 수 있다. 진동수가 f 인 소리가 크게 들릴 때 바닥으로부터의 높이를 각각 L_1 , L_2 라고 하면, 관의 길이 차이 $\Delta L = L_1 - L_2$ 는 파장의 절반인 $\frac{\lambda}{2}$ 이다.

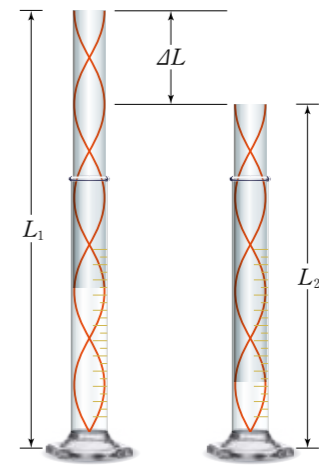


그림 III-34 한쪽 끝이 막힌 관의 정상파

따라서 소리의 진동수와 파장을 알면 $v = f\lambda$ 로부터 소리의 속력을 구할 수 있다. 이때 소리의 진동수가 커지면 파장이 짧아지므로 진동수에 관계없이 소리의 속력은 일정하다.

잠깐 활동

그림 III-34에서 진동수 1700 Hz인 소리를 발생시킬 때 소리가 크게 들리는 두 지점 사이의 거리 ΔL 이 10 cm였다. 이 소리의 속력을 구해 보자.

스스로 확인

1. 길이가 L 이고 한쪽이 막힌 관에서 만들어지는 정상파의 기본 진동의 파장은 ()이다.
2. 진동수가 f_0 인 소리가 한쪽이 막힌 관에서 이룬 정상파의 마디와 마디 사이 간격이 L_0 일 때 소리의 속력은 ()이다.

스스로 정리

공유 현악기, 관악기, 타악기 등 여러 가지 악기에서 만들어지는 정상파를 촬영한 사진이나 영상을 찾아보고, 이를 공유 플랫폼에 공유해 보자.