

05

정상파

수록 구성

- 개념 기본 문제
- 개념 적용 문제
- 1등급 도전 문제
- 정답과 해설

05 정상파

핵심 내용 **마리보**

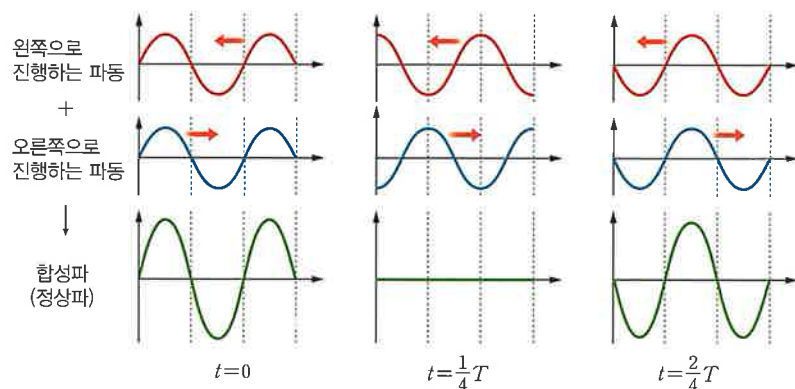
● 줄이나 관에서의 진동으로 정상파가 발생하면 공명 현상이 일어나며, 악기는 이를 이용해 진폭이 큰 정상파를 만들어 소리를 내는 기구이다.

1 정상파의 발생

악기 줄의 떨림처럼 서로 반대 방향으로 진행하는 두 파동이 중첩되어 마치 제자리에서 진동하는 것처럼 보이는 파동을 정상파라고 한다. 이러한 정상파는 악기 고유의 아름다운 소리를 만들어 내는 데에 이용되는 파동의 중첩 현상이다.

1. 정상파

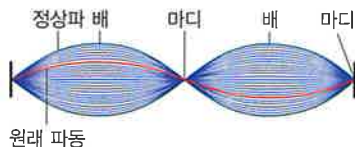
(1) 정상파의 발생: 아래 그림은 빨간색으로 나타낸 파동과 파란색으로 나타낸 파동이 각각 왼쪽과 오른쪽으로 진행할 때 중첩된 합성파를 초록색으로 나타낸 것이다. 빨간색 파동과 파란색 파동은 진행 방향만 반대일 뿐, 진폭, 파장, 진동수, 속력 등은 모두 같다. 이 두 파동이 중첩되어 나타나는 초록색 파동은 마치 이동하지 않고 제자리에서 진동하는 것처럼 보이는데, 이러한 파동을 정상파라고 한다.



▲ 정상파의 발생

(2) 정상파의 특징

- ① 마디와 배: 진폭이 0인 지점을 마디, 진폭이 최대인 지점을 배라고 한다.
- ② 정상파의 파장: 정상파를 만드는 원래 파동의 파장과 같으며, 마디와 마디(배와 배) 사이의 길이는 반파장($\frac{\lambda}{2}$)과 같다.
- ③ 정상파의 진폭과 진동수: 위치에 따라 진폭이 다르며, 최대 진폭은 원래 파동의 2배이고, 진동수는 원래 파동과 같다.



▲ 정상파의 마디와 배

진행파

파원에서 발생하여 매질 속을 진행하는 일반적인 파동을 진행파라고 한다.

정상파

진행파와는 다르게 제자리에서 진동하는 것과 같이 보이는 파동을 정상파(standing wave)라고 한다. 실제로 파동이 정지할 수는 없으며, 두 파동이 중첩되어 마치 진행하지 않고 정지해 있는 것처럼 보인다는 뜻이다.

정상파의 진폭

일반적인 파동에서는 모든 점의 매질이 같은 진폭으로 진동하지만, 정상파에서는 매질의 각 점이 다른 진폭으로 진동한다.

개념 기본 문제

01 정상파에 관한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 서로 반대 방향으로 진행하는 두 파동에 의해 발생한다.
- ㄴ. 위치에 따라 매질의 진폭이 다르다.
- ㄷ. 이웃한 마디 사이의 거리가 한 파장이다.

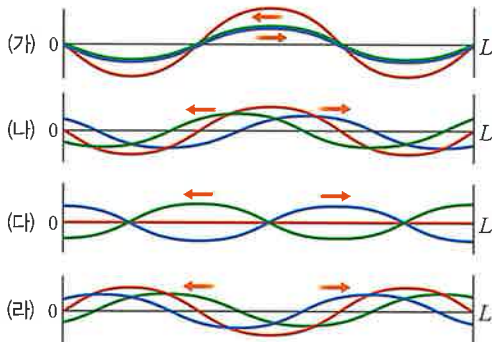
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 다음은 정상파에 대한 설명이다.

- 양 끝이 고정된 길이가 2 m인 줄에 형성된 정상파가 4배 진동을 할 때, 이 정상파의 파장은 (㉠)이다.
- 양 끝이 고정된 줄에 형성된 정상파의 파장이 2 m이고 3배 진동을 할 때, 이 줄의 길이는 (㉡)이다.

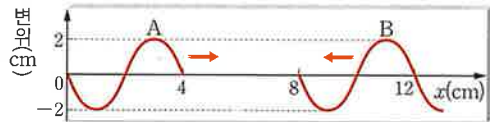
㉠, ㉡에 알맞은 말을 각각 쓰시오.

03 그림은 길이가 L 인 현에서 반대 방향으로 진행하는 주기가 T 로 동일한 두 파동에 의해 만들어진 정상파를 나타낸 것이다. 왼쪽으로 진행하는 파동은 초록색, 오른쪽으로 진행하는 파동은 파란색, 정상파는 빨간색으로 각각 나타내었다. (가)는 시간 $t=0$ 일 때 파동의 모습이다. (나), (다), (라)는 시간 $t=\frac{T}{8}$ 부터 $t=\frac{3T}{8}$ 까지 파동의 모습을 $\frac{T}{8}$ 간격으로 순서 없이 나타낸 것이다.



(나), (다), (라)를 시간 순서대로 나열하시오.

04 그림은 0초일 때 파장과 진폭이 같은 두 파동 A, B가 서로 반대 방향으로 진행하는 모습을 나타낸 것이다. A, B는 주기가 1초로 같고, 중첩되어 정상파를 형성한다.



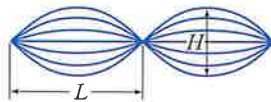
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A, B의 진행 속력은 4 cm/s로 같다.
- ㄴ. A, B가 만드는 정상파의 배는 진폭이 8 cm이다.
- ㄷ. 2초일 때 $x=6$ cm인 지점의 변위는 0이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 그림은 진동수가 f 인 두 파동이 중첩하여 만든 정상파를 나타낸 것으로,



이웃한 마디 사이의 거리는 L , 배 부분의 폭은 H 이다. 이 정상파를 만드는 두 파동에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 진폭이 $\frac{H}{4}$ 이다. ㄴ. 파장은 $2L$ 이다.
- ㄷ. 전파 속력은 fL 이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

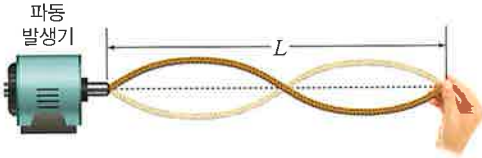
06 다음은 게시판의 올라온 질문과 그에 대답한 내용이다.

Q (㉠)와 (㉡)은 어떻게 다른가요?

A (㉠)는 진폭과 진동수가 같은 두 파동이 서로 반대 방향으로 진행할 때 형성되며, 마치 정지한 것처럼 관찰됩니다. (㉡)은 고유한 진동수를 갖는 물체에 외부로부터 주기적인 힘이 가해질 때 나타나며, 그 주기가 물체의 고유 진동수와 일치할 때 큰 진폭으로 진동하는 현상입니다.

㉠, ㉡에 알맞은 말을 각각 쓰시오.

07 그림과 같이 파동 발생기에 줄을 연결하여 진동수 f 로 진동시켜 배가 2개인 정상파를 만들었다. 줄의 선밀도는 일정하고, 파동 발생기부터 줄을 잡은 손까지의 길이는 L 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 줄의 장력은 일정하다.)

보기

- ㄱ. 줄에서 파동의 파장은 $2L$ 이다.
- ㄴ. 줄에 생기는 정상파의 기본 진동수는 $\frac{f}{2}$ 이다.
- ㄷ. 파동 발생기의 진동수를 $2f$ 로 바꾸면 줄에 배가 4개인 정상파가 만들어진다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09 그림과 같이 진동수가 f_0 인 소리를 발생시키는 스피커를 한쪽이 닫힌 관 입구에 놓고 관의 길이를 조금씩 증가시키면서 소리가 크게 들릴 때의 관의 길이 L 를 측정한다. 표는 관의 길이를 연속적으로 증가시킬 때 소리가 크게 들릴 때마다 측정된 관의 길이 L 을 나타낸 것이다.



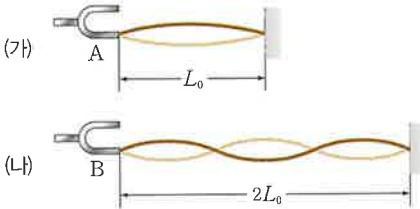
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 소리의 속력은 340 m/s이다.)

보기

- ㄱ. 관의 닫힌 부분에 정상파의 배가 생긴다.
- ㄴ. 소리의 파장은 50 cm이다.
- ㄷ. $f_0 = 680$ Hz이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 그림 (가), (나)는 각각 벽에 고정된 줄의 한쪽 끝을 소리굽쇠 A, B에 연결하고 소리굽쇠를 진동시킬 때 줄에 만들어진 정상파의 모습을 나타낸 것이다. (가), (나)에서 줄의 길이는 각각 L_0 , $2L_0$ 이고, 줄에서 파동의 속력은 서로 같다.



(1) (가), (나)의 정상파 파장을 각각 λ_A , λ_B 라고 할 때, $\lambda_A : \lambda_B$ 를 구하시오.

(2) A, B에서 발생하는 소리의 진동수를 각각 f_A , f_B 라고 할 때, $f_A : f_B$ 를 구하시오.

10 기타 줄의 어느 한 줄을 튕겼을 때 그림 (가)와 같은 정상파가 생겼다. 이 줄의 끝에서 $\frac{1}{4}$ 되는 지점을 손으로 누르고 (가)에서와 같은 세기로 줄을 튕겼더니 그림 (나)와 같은 정상파가 생겼고, 울림통에서 큰 소리가 났다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 공기의 온도는 일정하다.)

보기

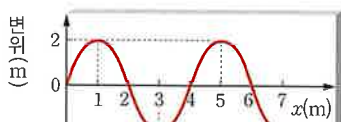
- ㄱ. (가)의 소리가 (나)의 소리보다 높다.
- ㄴ. 공기에서 전파 속력은 (나)의 소리가 (가)의 소리보다 빠르다.
- ㄷ. (가), (나)의 소리는 모두 울림통에서 정상파를 만든다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

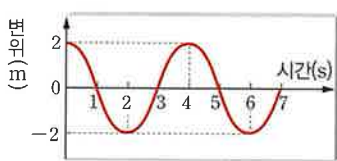
개념 적용 문제

▶ 매질의 변위와 정상파

- 01** 그림 (가)는 진폭과 파장이 같은 두 파동이 같은 속력으로 x 축을 따라 서로 반대 방향으로 진행하여 중첩된 시간 $t=0$ 인 순간 매질의 변위를 나타낸 것이고, (나)는 $x=1\text{ m}$ 지점의 매질의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

▶ 정상파의 이웃한 두 배에서 매질은 서로 반대 방향으로 진동하며, 파동의 전파 속력 $v = \frac{\lambda}{T}$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

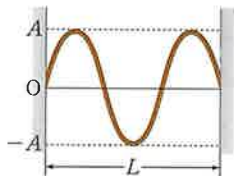
보기

- ㄱ. 중첩되는 두 파동의 속력은 각각 1 m/s 이다.
- ㄴ. $t=2$ 초인 순간, $x=3\text{ m}$ 에 있는 매질의 변위는 2 m 이다.
- ㄷ. $x=5\text{ m}$ 에서 중첩되는 두 파동의 위상차는 180° 이다.

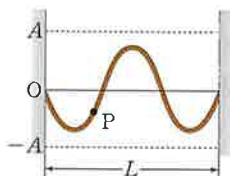
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 줄에서의 정상파

- 02** 그림 (가)는 벽면에 양 끝이 고정된 길이가 L 인 줄에 형성된 주기가 T 인 정상파의 배가 최대 변위 A 가 된 어느 순간의 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)로부터 $\frac{3}{8}T$ 가 지난 순간의 모습을 나타낸 것으로, 점 P는 줄 위의 한 점이다.



(가)



(나)

▶ 3배 진동이므로 파동의 파장은 $\frac{2}{3}L$ 이고, 파동의 속력은 $v = \frac{\lambda}{T}$ 이다. 기본 진동은 배가 1개인 진동이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

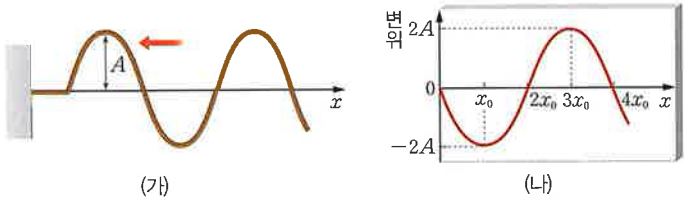
보기

- ㄱ. 줄에서 파동의 속력은 $\frac{2L}{3T}$ 이다.
- ㄴ. (나)에서 P의 운동 방향은 위쪽이다.
- ㄷ. 줄에 생기는 기본 진동의 진동수는 $\frac{3}{T}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 줄에서의 정상파

03 그림 (가)는 벽에 고정된 줄을 따라 $-x$ 방향으로 진행하고 있는 주기가 T 이고 진폭이 A 인 입사파를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 줄에 정상파가 만들어진 후 어느 순간 줄의 변위를 벽으로부터 떨어진 위치 x 에 따라 나타낸 것이다.



➤ 벽에서 파동은 고정단 반사를 하고, 정상파의 이웃한 마디 사이의 거리는 반파장이며, 진동수는 변하지 않는다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 줄을 따라 진행하는 파동의 속력은 $\frac{2x_0}{T}$ 이다.

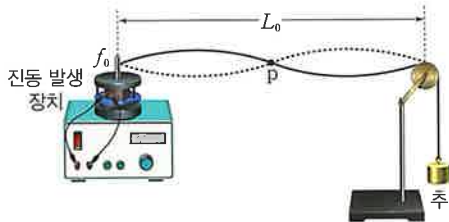
ㄴ. $x=0$ 에서 중첩되는 두 파동의 위상은 서로 반대이다.

ㄷ. (나)로부터 $\frac{3}{4}T$ 가 지난 순간, $x=x_0$ 에서와 $x=3x_0$ 에서의 변위는 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 줄에서의 고유 진동수

04 그림은 진동 발생 장치와 도르래 아래의 추를 실로 연결하고 진동 발생 장치의 진동수를 f_0 로 할 때 만들어진 정상파의 모습을 나타낸 것이다. 진동 발생 장치에서 도르래까지 실의 길이는 L_0 이고, 점 p는 실에 고정된 점이다. 진동 발생 장치의 진동수를 f_0 에서부터 서서히 증가시킬 때 첫 번째 정상파가 만들어지는 진동수는 f_1 , 두 번째 정상파가 만들어지는 진동수는 f_2 이다.



➤ 진동 발생 장치의 진동수가 실의 기본 진동수의 정수 배일 때마다 실에 정상파가 만들어진다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 실에서 파동의 속력은 $f_0 L_0$ 이다.

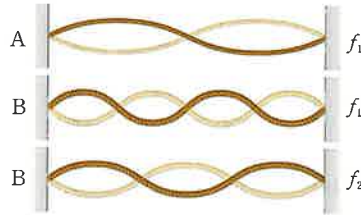
ㄴ. 진동 발생 장치의 진동수가 f_1 일 때, p의 진동수는 $\frac{3}{2}f_0$ 이다.

ㄷ. $f_2 = 2f_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 줄에서의 정상파

- 05** 그림은 양 끝이 고정된 길이가 같은 줄 A, B에 만들어진 정상파를 나타낸 것이다. 정상파의 진동수는 f_1 또는 f_2 이고, A, B에서 진행되는 파동의 속력은 각각 v_A, v_B 이다.



➤ 정상파에서 이웃한 마디 사이의 거리는 반파장이고, 파동의 속력은 진동수와 파장의 곱이다.

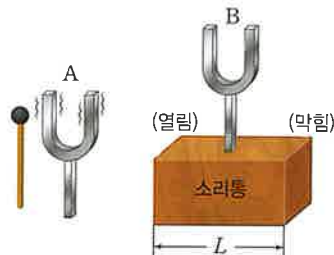
진동수의 비 $f_1 : f_2$ 와 속력의 비 $v_A : v_B$ 를 옳게 짝 지은 것은?

- | | | |
|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| $\frac{f_1 : f_2}{v_A : v_B}$ | | $\frac{f_1 : f_2}{v_A : v_B}$ |
| ① $4 : 3$ $2 : 1$ | ② $4 : 3$ $1 : 2$ | |
| ③ $3 : 4$ $2 : 1$ | ④ $3 : 4$ $1 : 2$ | |
| ⑤ $2 : 3$ $4 : 1$ | | |

➤ 관에서의 정상파와 공명

- 06** 그림과 같이 길이가 L 인 한쪽이 막혀 있는 소리통과 연결된 소리굽쇠 B에 B와 동일한 소리굽쇠 A를 진동시킨 후 가까이 가져갔더니, B가 진동하면서 소리통에서 '웅'하는 큰 소리가 발생하였다. 이때 소리통 안의 공기는 기본 진동을 하며, A의 진동수는 f 이다.

➤ 공명 진동수는 물체의 고유 진동수와 같으므로, 소리굽쇠가 동일하다면 공명하는 소리의 파장은 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 소리의 속력은 일정하다.)

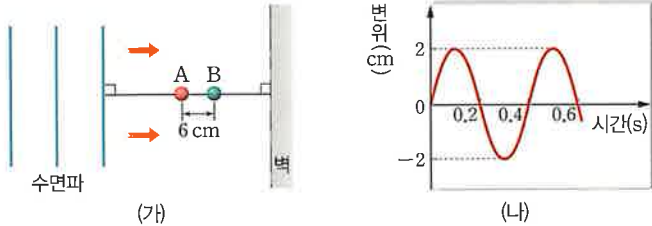
보기

- ㄱ. 두 소리굽쇠 A와 B는 서로 공명한다.
- ㄴ. 소리통에서 발생한 소리의 속력은 $2fL$ 이다.
- ㄷ. 소리통의 길이만 2배로 만들면 공명하는 소리의 파장은 2배가 된다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 수면파에서의 정상파

- 07 그림 (가)는 동일한 두 물체 A, B가 거리 6 cm만큼 떨어져 수면에 떠 있고, 파면이 벽면과 나란한 수면파가 벽을 향해 진행하고 있는 것을 모식적으로 나타낸 것이다. 수면파의 속력은 20 cm/s, 진폭은 1 cm이다. 그림 (나)는 벽을 향해 진행하는 수면파와 벽에서 반사된 수면파가 중첩되어 정상파를 형성할 때 A의 변위를 시간 $t=0$ 인 순간부터 시간에 따라 나타낸 것이다.



➤ 정상파의 이웃한 배 사이의 거리는 반파장이며, 배 지점의 최대 변위는 입사파 진폭의 2배가 된다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B는 연직 방향으로만 움직이고, A, B의 크기는 무시한다.)

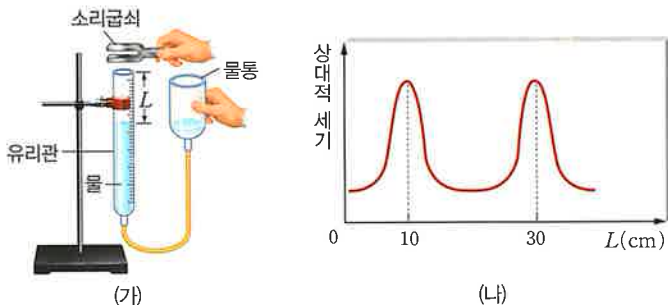
보기

- ㄱ. A는 정상파의 배 부분에 있다.
 ㄴ. 정상파의 파장은 4 cm이다.
 ㄷ. B의 진폭은 2 cm이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 관에서의 정상파와 공명

- 08 그림 (가)는 공기 기둥 공명 장치를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 진동수가 850 Hz인 소리 굽쇠를 진동시키고 유리관의 수면을 유리관의 위쪽 끝에서부터 아래로 내릴 때 측정되는 소리의 상대적 세기를 수면까지의 거리 L 에 따라 나타낸 것이다.



➤ 공기 기둥 공명 장치에 생긴 정상파에서는 유리관의 열린 부분이 배, 수면이 마디가 된다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 유리관에서 공명하는 소리의 파장은 40 cm이다.
 ㄴ. 소리의 속력은 340 m/s이다.
 ㄷ. 소리의 상대적 세기는 $L=50$ cm에서가 $L=60$ cm에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

ㄷ. 소리통은 한쪽 끝만 열린 폐관이고 공명이 일어났으므로, 길이가 L 인 소리통의 공명 진동수는 소리(소리굽쇠)에 의해 외부에서 작용한 힘의 고유 진동수와 같고, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

소리통의 길이가 2배가 되면 소리통의 공명 진동수는 다음과 같이 변한다.

$$f'_n = \frac{v}{\lambda'_n} = n \frac{v}{8L} \quad (n=1, 3, 5, \dots)$$

소리굽쇠는 바꾸지 않았으므로 f_n 은 변하지 않으며, 따라서 소리굽쇠에 의한 공명 진동수 f_n 과 길이가 2배가 된 소리통의 공명 진동수인 f'_n 가 일치하지 않으므로 공명은 일어나지 않는다.

- 07 ㄱ. (나)에서 A의 진폭(변위)이 2 cm이므로, A는 진폭이 각각 1 cm인 수면파와 반사파가 보강 간섭되어 만들어진 정상파의 배 부분에 있다.

[바로 알기] ㄴ. (나)에서 정상파의 주기는 0.4 s이고, 제시된 조건에서 수면파의 속력은 20 cm/s이므로 정상파의 파장은 $\lambda = vT = 20 \text{ cm/s} \times 0.4 \text{ s} = 8 \text{ cm}$ 이다.

ㄷ. 정상파의 파장이 8 cm이므로 이웃한 마디 사이 거리는 4 cm이고, A, B는 거리 6 cm만큼 떨어져 있으므로 A가 정상파의 배 부분, B는 마디 부분이다. 따라서 B의 진폭은 항상 0이다.

- 08 ㄱ. 공기 기둥 공명 장치에 정상파가 생길 때 수면에는 마디가 생긴다. 따라서 (나)에서 L 이 10 cm, 30 cm인 곳은 마디이다. 이웃한 마디 사이의 거리는 반파장이므로 유리관에서 공명하는 소리의 파장은 $2 \times (30 - 10) = 40 \text{ (cm)}$ 이다.

ㄴ. 파동의 속력은 진동수와 파장의 곱이므로($v = f\lambda$), 소리의 속력은 $850 \text{ Hz} \times 0.4 \text{ m} = 340 \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ. $L = 50 \text{ cm}$ 인 수면에는 마디가 생기므로 정상파가 만들어지고, $L = 60 \text{ cm}$ 인 수면에는 마디가 생기지 못하므로 정상파가 만들어지지 않는다. 정상파가 만들어져서 공명이 일어나야 소리의 세기가 커지므로, 소리의 상대적 세기는 $L = 50 \text{ cm}$ 에서가 $L = 60 \text{ cm}$ 에서보다 크다.

매단원 핵심 정리

238쪽~239쪽

1 비례	2 $-\omega^2 x$	3 단진동	4 횡파
5 반대	6 반대	7 같은	8 진동수
9 적색 이동(편이)	10 보강	11 홀수	
12 좁아	13 상쇄	14 반대	15 배
16 마디	17 진폭	18 정상파	19 길이

통합 실전 문제

240쪽~243쪽

01 ⑤	02 ⑤	03 ③	04 ⑤	05 ③	06 ③
07 ③	08 ②	09 ②	10 ②	11 ①	12 ②
13 ②	14 ④	15 ⑤	16 ①		

- 01 그림자가 O'로부터 $\frac{R}{2}$ 떨어진 지점을 지나는 순간, 반지름이 R 인 원 궤도 위의 물체와 O를 잇는 직선이 평행 광선과 이루는 각은 30° 이다. 이때 그림자의 속력(물체 속도의 스크린에 나란한 방향의 성분)은 $v_1 = v \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}v}{2}$ 이고, 가속도 크기(물체 구심 가속도의 스크린에 나란한 방향의 성분)는 $a_1 = a \sin 30^\circ = \frac{v^2}{R} \sin 30^\circ = \frac{v^2}{2R}$ 이다.

- 02 ㄱ. (가), (나)에서 단진동의 주기는 $2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ 으로 같다.
 ㄴ. (가), (나)에서 역학적 에너지가 보존되므로 (가)에서 $\frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}kA^2$ 이고, 물체 속력의 최댓값은 $v_1 = \sqrt{\frac{k}{m}}A$ 이다. 마찬가지로 (나)에서 $\frac{1}{2} \cdot 2m \cdot v_2^2 = \frac{1}{2} \cdot 2k \cdot A^2$ 이고, 물체 속력의 최댓값은 $v_2 = \sqrt{\frac{k}{m}}A$ 로 (가)에서와 같다.
 ㄷ. 물체에 작용하는 탄성력의 최댓값은 (가), (나)에서 각각 kA , $2kA$ 이다. 물체의 가속도는 물체에 작용하는 탄성력을 물체의 질량으로 나눈 값이므로 (가), (나)에서 물체의 가속도 크기의 최댓값은 $\frac{kA}{m}$ 로 같다.

- 03 ㄱ. (가)에서 공의 중력과 용수철의 탄성력이 평형을 이루므로 $mg = kh$ 이고, 용수철 상수는 $k = \frac{mg}{h}$ 이다. 따라서 공의 단진동 주기는 $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{h}{g}}$ 이다.

ㄷ. 공은 진폭 h 로 단진동을 하므로, 최저점에 있을 때 공에 작용하는 알짜힘은 복원력이 되어 $F = kh = \frac{mg}{h} \cdot h = mg$ 이다. 따라서 최저점에서 공의 가속도 크기는 $a = \frac{F}{m} = \frac{mg}{m} = g$ 이다.

[바로알기] ㄴ. 역학적 에너지가 보존되고, 공의 단진동 진폭이 h 이므로 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kh^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{mg}{h}\right)h^2 = \frac{1}{2}mgh$ 이다. 따라서 공의 최대 속력은 $v = \sqrt{gh}$ 이다.

- 04** A, B, C가 매달린 용수철의 용수철 상수를 각각 k_A , k_B , k_C 라고 하자. 단진동의 역학적 에너지 보존을 이용하여 용수철 상수를 구하면 다음과 같다.

$$A: \frac{1}{2}k_AL^2 = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow k_A = \frac{mv^2}{L^2}$$

$$B: \frac{1}{2}k_BL^2 = \frac{1}{2}m(2v)^2 \rightarrow k_B = \frac{4mv^2}{L^2}$$

$$C: \frac{1}{2}k_C(2L)^2 = \frac{1}{2} \cdot 2m(2v)^2 \rightarrow k_C = \frac{2mv^2}{L^2}$$

단진동의 주기는 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로 A, B, C의 주기는

$$\text{각각 } T_A = 2\pi\sqrt{\frac{L^2}{v^2}}, T_B = 2\pi\sqrt{\frac{L^2}{4v^2}}, T_C = 2\pi\sqrt{\frac{L^2}{v^2}} \text{이다.}$$

즉, 주기의 비 $T_A : T_B : T_C = 1 : \frac{1}{2} : 1 = 2 : 1 : 2$ 이다.

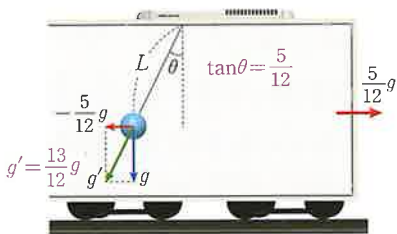
- 05** ㄱ. (가)에서 단진자의 주기는 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 이다.

ㄴ. (나)에서 진자에는 수직 방향으로 중력이, 수평 방향으로 관성력이 작용한다. 가속도의 수직 성분은 $a_y = g$, 수평 성분은 $a_x = \frac{5}{12}g$ 이므로 $\tan\theta = \frac{a_x}{a_y} = \frac{5}{12}$ 이다.

[바로알기] ㄷ. 가속계에서 진자는 중력 가속도와 관성력에 의한 가속도가 합성된 유효 중력 가속도 g' 의 방향으로 새로운 진동 중심을 가지게 된다. 피타고라스 정리에 의해 $5^2 + 12^2 = 13^2$ 이므로 유효 중력 가속도는 $g' = \frac{13}{12}g$ 이다.

따라서 (나)에서 단진자의 주기 T' 는 다음과 같다.

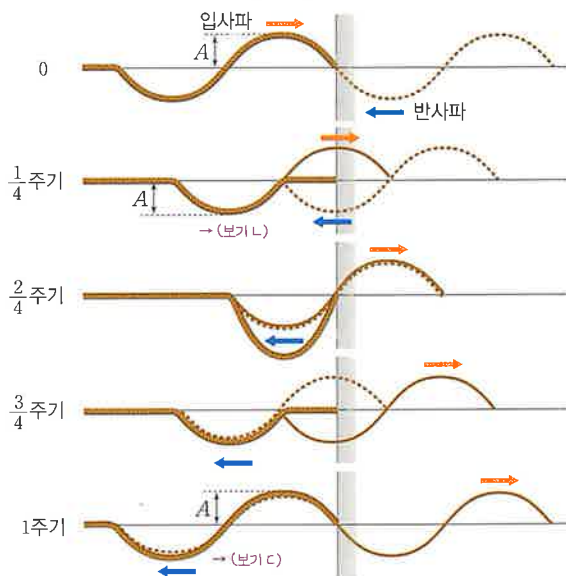
$$T' = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g'}} = 2\pi\sqrt{\frac{12L}{13g}} = \sqrt{\frac{12}{13}}T$$



- 06** (가)에서 등속 원운동을 하는 A에 작용하는 구심력의 크기는 $\frac{mv_A^2}{R} = 2mg$ 이므로, A의 속력은 $v_A = \sqrt{2gR}$ 이다.

(나)에서 한 덩어리가 된 A와 C의 속력을 v 라고 하면 운동량 보존에 의해 $2mv = m\sqrt{2gR}$ 에서 $v = \sqrt{\frac{gR}{2}}$ 이다. A와 C의 단진동 진폭이 L 이므로 역학적 에너지 보존에 의해 $\frac{1}{2}kL^2 = \frac{1}{2} \cdot 2m\left(\sqrt{\frac{gR}{2}}\right)^2 = \frac{1}{2}mgR$ 에서 용수철 상수는 $k = \frac{mgR}{L^2}$ 이다. 따라서 (나)에서 A와 C의 단진동의 주기는 $T = 2\pi\sqrt{\frac{2m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{2L^2}{gR}} = \frac{2\sqrt{2}\pi L}{\sqrt{gR}}$ 이다.

- 07** 고정단 반사이므로 반사파의 위상이 입사파의 위상과 반대이다. 따라서 아래의 그림에서 점선으로 나타낸 반사파가 왼쪽으로 진행하며 입사파와 중첩되는 상황으로 볼 수 있다. $\frac{1}{4}$ 주기 간격으로 파동의 모습을 나타내면 다음과 같고, 따라서 ㄴ, ㄷ이 가능하다.



- 08** ㄴ. 반사파와 투과파의 진동수는 원래 파동과 같으므로 매질에서의 속력이 느릴수록 파장이 짧아진다. 따라서 보기 ㄱ의 해설에 따라 B의 속력이 C의 속력보다 느리므로, 파장은 B가 C보다 짧다.

[바로알기] ㄱ. 반사파 B의 위상이 입사파 A와 같으므로 파동은 속력이 느린 매질에서 빠른 매질로 진행하고 있다. 따라서 C의 속력이 A, B의 속력보다 빠르다.

ㄷ. 파동이 반사, 굴절할 때 진동수는 변하지 않는다.

- 09 나. 소리가 공기 중에서 물로 진행하면, 소리는 수면에서 고정단 반사를 하며 수면에 마디가 형성된다. 따라서 수면에 접한 공기 분자의 변위는 0으로 P, R에서와 같다.

[바로알기] ㄱ. P와 R 사이의 거리는 소리의 반파장이다.

ㄴ. 공기 중의 소리가 수면에서 반사할 때 고정단 반사를 하므로 반사파의 위상 변화는 $\pi(180^\circ)$ 이다.

- 10 ㄴ. A에서 측정된 Q의 진동수 $f_1 = \frac{V}{V-v}f$, B에서 측정된 P의 진동수 $f_2 = \frac{V+v}{V}f$ 이므로, $\frac{f_1}{f_2} = \frac{V^2}{V^2-v^2} > 1$ 에서 $f_1 > f_2$ 이다. 즉, A에서 측정된 Q의 진동수는 B에서 측정된 P의 진동수보다 크다.

[바로알기] ㄱ. A에서 측정할 때 B(음원)가 v 의 속력으로 접근하므로, 도플러 효과에 의해 A에서 측정된 Q의 진동수는 $f_1 = \frac{V}{V-v}f$ 이다. Q의 속력은 V 이므로 A에서 측정된 Q의 파장은 $\lambda_1 = \frac{V}{f_1} = \frac{V-v}{f}$ 이다.

나. B에서 측정할 때 B(관찰자)가 v 의 속력으로 접근하므로 B에서 측정된 P의 진동수는 $f_2 = \frac{V+v}{V}f$ 이다.

- 11 ㄱ. B에서 측정된 P의 진동수는 $f_1 = \frac{10v+v_B}{10v-v}f = \frac{11}{9}f$ 에서 $v_B = v$ 이다.

[바로알기] 나. B에 대한 음파(P)의 상대적인 속력은 $11v$ 이므로, B에서 측정된 P의 파장은 $\frac{11v}{f_1} = \frac{9v}{f}$ 이다.

ㄴ. B에서 반사된 P의 진동수가 $\frac{11}{9}f$ 이므로, A에서 측정할 때 B에서 반사된 P는 B에서 발생한 진동수가 $\frac{11}{9}f$ 인 소리와 같다. 따라서 A에서 측정하는 B에서 반사된 P의 진동수는 $\frac{10v+v}{10v-v} \left(\frac{11}{9}f \right) = \frac{121}{81}f$ 이다.

- 12 ㄴ. 측정된 소리의 진동수의 최댓값은 $f = \frac{V}{V-v}f_0$ 이므로 측정된 소리의 파장의 최솟값은 $\lambda = \frac{V}{f} = \frac{V-v}{f_0}$ 이다.

[바로알기] ㄱ. 시간이 $2t$ 일 때 음원의 속도가 0이므로 음원은 변위가 L 로 최대인 점을 지난다.

나. 시간이 t 일 때는 음원이 음파 측정기로 접근하므로 원래의 진동수보다 증가한 값이 측정되고, $3t$ 일 때는 음원이 음파 측정기에서 멀어지므로 원래의 진동수보다 감소한 값이 측정된다. 따라서 측정된 소리의 진동수는 시간이 t 일 때와 $3t$ 일 때가 같지 않다.

- 13 나. $x=d$ 인 곳은 소리의 세기가 0이므로 A, B에서 발생한 두 소리가 상쇄 간섭하는 곳이다.

[바로알기] ㄱ. 소리의 세기가 0인 곳은 마디이므로 이웃한 마디 사이의 거리가 d 이고, 소리의 파장은 $2d$ 이다.

ㄴ. 진동수가 $2f_0$ 으로 바뀌면 파장이 d 로 줄어든다. 이때 마디 사이 거리는 $\frac{d}{2}$ 가 되고, $x=2d$ 인 곳은 $x=0$ 에서 마디 사이 거리의 정수배인 곳이므로 상쇄 간섭하는 곳이다.

- 14 나. ㄴ. P에서 소리의 세기가 최소가 되므로, 중첩되는 두 소리는 위상이 반대이고 상쇄 간섭을 한다. B만 제거하면 상쇄 간섭을 할 수 없으므로 P에서 소리의 세기는 증가한다.

[바로알기] ㄱ. x 축에서는 A, B까지의 거리가 같으므로 두 소리가 보강 간섭을 한다. 따라서 x 축에서 소리의 세기는 작아지지 않는다.

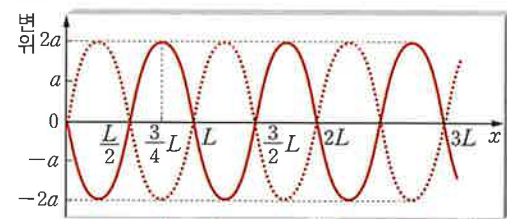
- 15 ㄱ. t 초 동안 파동이 진행하는 거리가 L 이므로 A, B의 속력은 모두 $\frac{L}{t}$ 이다.

나. A, B의 파장이 L 이므로 정상파의 파장도 L 이다.

ㄴ. A, B의 위상이 반대이므로 $x = \frac{3}{2}L$ 인 곳은 마디이다.

정상파의 마디 사이 거리가 $\frac{L}{2}$ 이므로 $x = \frac{L}{2}, L, \frac{3}{2}L,$

...인 곳은 마디가 된다. $x = \frac{3}{4}L$ 은 마디 사이의 가운데 부분이므로 배이고, 진폭이 $2a$ 이다. 이를 그림으로 나타내면 다음과 같다.



- 16 ㄱ. (가)에서 $L = \frac{3}{4}\lambda_1$ 이므로 정상파의 파장은 $\lambda_1 = \frac{4}{3}L$ 이다.

[바로알기] 나. 음속이 v_0 이면, (가)에서 정상파의 진동수는 $f_0 = \frac{v_0}{\lambda_1} = \frac{3v_0}{4L}$ 이다. (나)에서 정상파의 파장은 $\lambda_2 = L$

이므로 진동수는 $f_2 = \frac{v_0}{\lambda_2} = \frac{v_0}{L} = \frac{4}{3} \times \frac{3v_0}{4L} = \frac{4}{3}f_0$ 이다.

ㄴ. P는 마디이므로, P에서 입사파와 반사파는 상쇄 간섭을 한다. 따라서 P에서 음파가 반사할 때, 입사파와 반사파의 위상차는 $\pi(180^\circ)$ 이다.

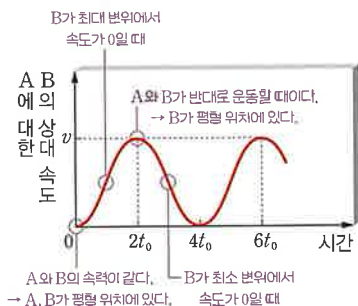
HIGH TOP

244쪽~245쪽

1 ② 2 ① 3 ④ 4 ⑤

1 자료 분석

(가)의 용수철이 압축된 상태에서 평형 위치까지 이동하는 동안 A와 B의 속력이 증가하고, 평형 위치를 지나는 순간부터 B는 용수철의 탄성력에 의해 속력이 감소하고 A는 등속도 운동을 한다. 따라서 평형 위치를 지나는 순간부터 A와 B의 속력 차이가 발생하면서 A와 B가 분리된다. A와 B가 분리된 순간 A, B의 속도가 같으므로 (나)에서 A에 대한 B의 상대 속도가 0이다. B의 변위가 최대이고 속도가 0일 때 A의 속도는 $\frac{v}{2}$ 이고, B가 평형 위치에 도달해 A와 반대로 $\frac{v}{2}$ 의 속력으로 운동할 때 A에 대한 B의 상대 속도는 v 가 된다.



$$\text{ㄷ. 보기 ㄴ의 해설에 따라 용수철 상수 } k = \frac{mv^2}{4A^2} = \frac{mv^2}{2L^2}$$

$$\text{이므로 A와 B가 분리된 후 B의 주기는 } 4t_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = \frac{2\sqrt{2}\pi L}{v} \text{ 이고, } t_0 = \frac{\sqrt{2}\pi L}{2v} \text{ 이다.}$$

[바로알기] ㄱ. A에 대한 B의 상대 속도가 최대일 때는 A, B가 같은 속력으로 반대 방향으로 운동할 때이다. A에 대한 B의 상대 속도 최댓값 $v = v' - (-v')$ 에서 A의 속력 $v' = \frac{v}{2}$ 이다.

ㄴ. 용수철 상수를 k 라고 하면 역학적 에너지 보존에 의해 다음의 식이 성립한다.

$$\text{A와 B가 분리되기 전: } \frac{1}{2}kL^2 = \frac{1}{2} \cdot 2m \left(\frac{v}{2}\right)^2$$

$$\text{A와 B가 분리된 후: } \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}m \left(\frac{v}{2}\right)^2$$

위의 두 식을 정리하면 A와 B가 분리된 후 B의 진폭은 $A = \frac{L}{\sqrt{2}}$ 이 된다.

2 자료 분석

B에 대한 음원의 상대 속도는 $v_0 - 2v_0 = -v_0$ 이므로 A에 대한 음원의 상대 속도와 크기는 같다. 그러나 도플러 효과는 음원과 관찰자 사이의 상대 속도가 같더라도 매질에 대한 음원 및 관찰자 각각의 속도에 따라 진동수가 다르게 측정된다.



ㄴ. A, B에서 측정된 음파의 진동수 f_A, f_B 를 도플러 효과의 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$f_A = \frac{10v_0}{10v_0 + v_0} f_0 = \frac{10}{11} f_0$$

$$f_B = \frac{10v_0 - 2v_0}{10v_0 - v_0} f_0 = \frac{8}{9} f_0$$

따라서 진동수의 비 $f_A : f_B = \frac{10}{11} : \frac{8}{9} = 45 : 44$ 이다.

[바로알기] ㄱ. B에 대한 음원의 상대 속도는 $-v_0$ 이므로 B에 대한 음원의 속력은 v_0 이다.

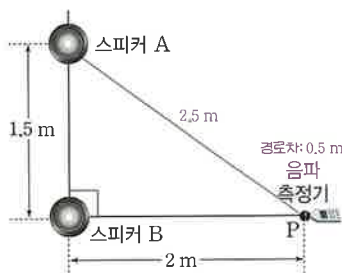
ㄷ. A가 측정된 음파의 진동수는 $f_A = \frac{10}{11} f_0$ 이다. 파원이 운동하더라도 매질인 공기가 달라지는 것은 아니므로, A가 측정된 음파의 속력은 $10v_0$ 이다. 따라서 A가 측정된 음파의 파장은 $\lambda_A = \frac{10v_0}{f_A} = \frac{11v_0}{f_0}$ 이다.

3 자료 분석

A, B, P는 직각 삼각형이므로 A에서 P까지의 거리는 2.5 m이고, A, B에서 P까지의 경로차는 $2.5 \text{ m} - 2 \text{ m} = 0.5 \text{ m}$ 이다. 따라서 P에서 보강 간섭, 상쇄 간섭하는 소리의 파장은 각각 다음과 같다.

보강 간섭: $0.5 \text{ m}, \frac{0.5}{2} \text{ m}, \frac{0.5}{3} \text{ m}, \dots$

상쇄 간섭: $(2 \times 0.5) \text{ m}, \left(\frac{2}{3} \times 0.5\right) \text{ m}, \left(\frac{2}{5} \times 0.5\right) \text{ m}, \dots$



ㄴ. P에서 상쇄 간섭하는 소리의 파장은 경로차=0.5 m $=\frac{\lambda}{2}(2m+1)$ ($m=0, 1, 2, 3, \dots$)의 관계를 만족한다.

f_1 은 상쇄 간섭하는 소리 중에서 진동수가 가장 작은 소리(파장이 가장 긴 소리)의 진동수이다. 따라서 진동수 f_1 인 소리의 파장은 $\lambda=2 \times 0.5 \text{ m}=1 \text{ m}$ 이다. 보기 ㄱ의 해설에 따라 f_0 인 소리의 파장은 0.5 m이고, 진동수는 파장에 반비례하므로 $f_0=2f_1$ 이다.

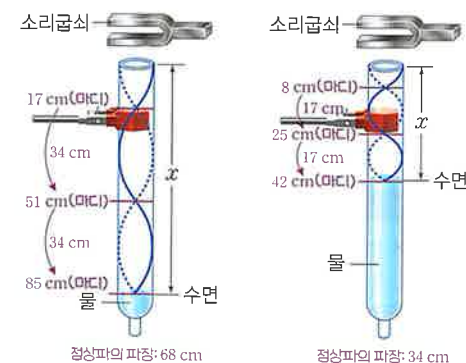
ㄷ. 진동수 $2f_0$ 인 소리의 파장은 0.25 m이므로 경로차는 파장의 2배이고 보강 간섭한다. 따라서 진동수가 $2f_0$ 일 때, A, B에서 발생한 소리는 P에서 같은 위상으로 중첩된다.

[바로알기] ㄱ. P에서 보강 간섭하는 소리의 파장은 경로차=0.5 m $=\frac{\lambda}{2}(2m)$ ($m=0, 1, 2, 3, \dots$)의 관계를 만족한다. f_0 은 경로차가 0이 아닌($m \neq 0$) 보강 간섭 중에서 진동수가 가장 작은 소리(파장이 가장 긴 소리)의 진동수이므로 f_0 인 소리의 파장 $\lambda=0.5 \text{ m}$ 이다.

4

자료 분석

공기 기둥 실험 장치에서 소리가 크게 들릴 때 수면의 위치가 마디인 정상파가 생긴다. 정상파에서 이웃한 마디 사이의 거리는 정상파 파장의 $\frac{1}{2}$ 배이다.



ㄱ. 소리가 크게 들릴 때 수면이 마디가 되는 정상파가 생긴다. 표의 A의 실험값에서 이웃한 마디 사이의 길이가 34 cm이므로 A에 의해 발생한 소리의 파장은 68 cm이다.

ㄴ. B에 의한 정상파는 파장이 34 cm이므로 A에 의한 정상파 파장의 $\frac{1}{2}$ 배이다. 진동수는 파장에 반비례하므로

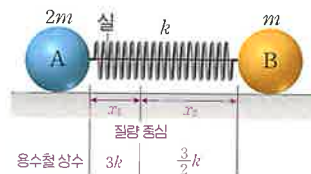
발생한 소리의 진동수는 파장이 $\frac{1}{2}$ 배인 B가 A의 2배이다.

ㄷ. 수면에 마디가 생기므로, 소리굽쇠에서 발생한 소리는 수면에서 입사파와 반사파의 위상이 반대이다.

112 확장 문제

246쪽~247쪽

- 1 (1) A, B는 질량 중심을 기준으로 단진동을 한다. 질량 중심을 기준으로 A, B 사이의 길이를 $x_1 : x_2$ 로 나누면 $2mx_1 = mx_2$ 의 관계가 있다. 따라서 $x_2 = 2x_1$ 이고, 길이의 비 $x_1 : x_2 = 1 : 2$ 이다.



A, B는 같은 진동수로 단진동을 하며, 용수철의 탄성력은 같은 크기이다. 용수철의 용수철 상수는 길이에 반비례하므로 질량 중심을 기준으로 A에 연결된 용수철의 용수철 상수는 $3k$, B에 연결된 용수철의 용수철 상수는 $\frac{3}{2}k$ 이다. A, B의 진폭을 각각 L_1, L_2 라고 하면 A, B에 작용하는 최대 탄성력은 서로 같으므로 $3kL_1 = \frac{3}{2}kL_2$ 이다. 용수철의 압축된 전체 길이가 L 이므로 $L_1 + L_2 = L$ 이다. 이를 정리하면 $L_1 = \frac{L}{3}, L_2 = \frac{2}{3}L$ 이다.

(2) 질량 중심을 기준으로 A에 연결된 용수철의 용수철 상수는 $3k$ 이므로 A의 진동 주기 $T_A = 2\pi\sqrt{\frac{2m}{3k}}$ 이다. 또한 질량 중심을 기준으로 B는 용수철 상수가 $\frac{3}{2}k$ 인 용수철이 연결된 것과 같으므로 B의 진동 주기 $T_B = 2\pi\sqrt{\frac{2m}{3k}}$ 으로, A의 진동 주기인 T_A 와 같다. A와 B의 진동 주기가 서로 같으므로 A, B는 질량 중심을 기준으로 반대 방향으로 같은 크기의 탄성력이 작용하며 단진동을 한다.

[모범답안] (1) 질량 중심을 기준으로 A, B에 용수철 상수가 $3k, \frac{3}{2}k$ 인 용수철이 각각 연결된 것과 같고, 질량 중심에 작용하는 알짜힘이 0이어야 하므로 A, B에 작용하는 탄성력이 같아서 $3kL_1 = \frac{3}{2}kL_2$ 이다. 따라서 A, B의 진폭의 비는 $1 : 2$ 이고, 각각 $\frac{L}{3}, \frac{2}{3}L$ 이다.

(2) 질량 중심을 기준으로 A, B에 용수철 상수가 $3k, \frac{3}{2}k$ 인 용수철이 각각 연결된 것과 같으므로 A, B의 진동 주기는 $T_A = 2\pi\sqrt{\frac{2m}{3k}} = T_B$ 로 같다.