

완자 · 역학과 에너지

내신만점 · 실력UP 집중

III 탄성파와 소리

2 도플러 효과와 파동의 이용

03

정상파

내신만점 · 실력UP

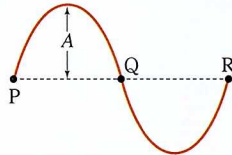
III-2-03 정상파

내신 만점 문제

A 정상파

중요 01 그림은 진폭이 A 이고, 주기가 T 인 어느 정상파의 한 순간의 모습을 나타낸 것이다.

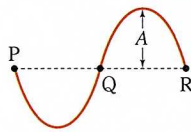
이 순간으로부터 $\frac{3T}{4}$ 가 지난 순간의 파동의 모습으로 옳은 것은?



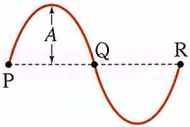
①



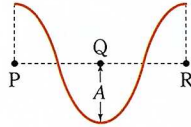
②



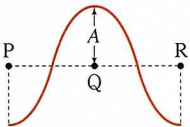
③



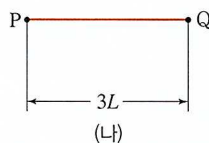
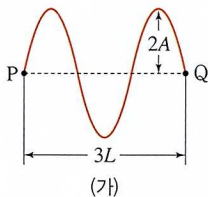
④



⑤



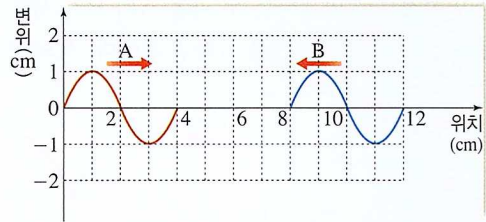
02 그림 (가)와 (나)는 진폭이 A 이고 파장이 같은 두 파동이 각각 v_0 의 속력으로 서로 반대 방향으로 진행하여 P와 Q 사이에 형성된 정상파의 어느 한 순간의 모습을 나타낸 것이다. (가)의 상태에서 처음으로 (나)의 상태가 되는 데 걸린 시간은 t_0 이다. P와 Q 사이의 거리는 $3L$ 이다.



v_0 은?

- ① $\frac{L}{5t_0}$ ② $\frac{3L}{4t_0}$ ③ $\frac{L}{3t_0}$ ④ $\frac{L}{2t_0}$ ⑤ $\frac{L}{t_0}$

중요 03 그림은 동일한 매질에서 연속적으로 발생한 두 파동 A와 B가 서로 반대 방향으로 1 m/s 의 속력으로 진행하는 어느 한 순간의 모습을 나타낸 것이다.



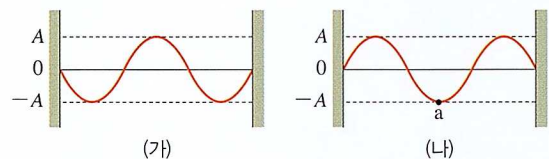
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 중첩된 두 파동의 변위의 최댓값은 2 cm 이다.
 ㄴ. 6 cm 지점에서는 마디가 형성된다.
 ㄷ. $0 \sim 12 \text{ cm}$ 사이에서 두 파동이 완전히 중첩되었을 때 나타나는 배의 개수는 6개이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 그림 (가)와 (나)는 두 벽면 사이에서 진폭이 같은 두 파동에 의해 형성된 진폭이 A 인 정상파의 어느 한 순간의 모습을 나타낸 것이다. (가)의 상태에서 처음으로 (나)의 상태가 되는 데 걸린 시간은 0.4 초이고, a는 매질상의 점이다.



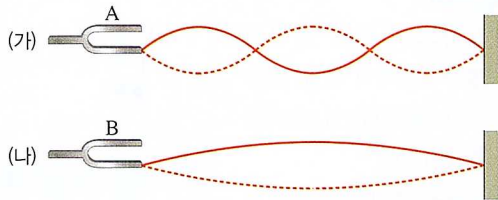
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 정상파의 주기는 0.8 초이다.
 ㄴ. 정상파가 형성되기 전 두 파동의 진폭은 A 이다.
 ㄷ. (나)에서 0.4 초가 지나면 a의 변위의 크기는 최대가 된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 그림 (가)와 (나)는 한쪽 끝이 벽에 고정된 동일한 줄에 진동수가 다른 두 소리굽쇠 A와 B를 각각 연결한 뒤 A와 B를 진동시켰을 때 줄에 형성된 정상파의 모습을 나타낸 것이다.



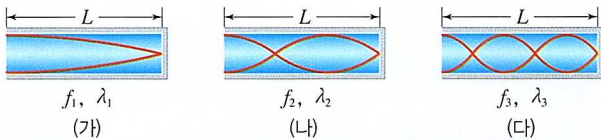
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 두 줄에 작용하는 장력의 크기는 같다.)

[보기]

- ㄱ. 줄에서 파동의 속력은 (가)에서 (나)에서의 3배이다.
- ㄴ. 줄에서 발생한 소리의 파장은 (나)에서 (가)에서의 3배이다.
- ㄷ. 소리굽쇠의 진동수는 A가 B의 3배이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

06 그림 (가), (나), (다)는 길이가 L 로 같고 한쪽 끝이 막힌 관에서 공기를 진동시켰을 때 형성된 정상파의 모습을 나타낸 것이다. (가), (나), (다)에서 정상파의 진동수는 각각 f_1, f_2, f_3 이고, 파장은 각각 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 이다. 정상파의 속력은 (가), (나), (다)에서 모두 같다.



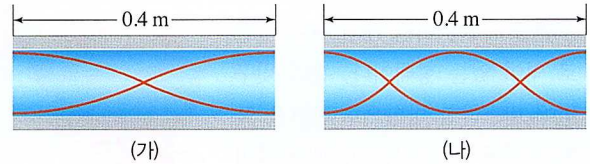
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. $\lambda_1 = 4L$ 이다.
- ㄴ. $f_2 \lambda_2 < f_3 \lambda_3$ 이다.
- ㄷ. (나)에서 들리는 소리는 (다)에서 들리는 소리보다 높다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 그림 (가)와 (나)는 길이가 0.4 m 인 양쪽 끝이 열린 관 내부에서 음파가 진행할 때 형성된 정상파의 모습을 나타낸 것이다.



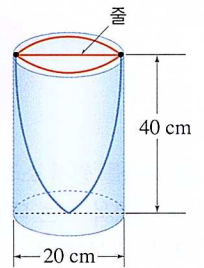
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, (가)와 (나)에서 공기의 온도는 같다.)

[보기]

- ㄱ. (가)에서 정상파의 파장은 0.4 m 이다.
- ㄴ. 음파의 속력은 (가)와 (나)에서 서로 같다.
- ㄷ. 음파의 진동수는 (가)에서 (나)에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 그림은 높이가 40 cm 이고, 밑면의 지름이 20 cm 인 속이 빈 원통의 지름을 지나도록 줄을 연결한 뒤, 이 줄을 튕겼을 때 발생한 소리에 의해 원통 속에 정상파가 형성된 모습을 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 소리의 속력은 340 m/s 이다.)



[보기]

- ㄱ. 줄에 형성된 정상파의 진동수는 212.5 Hz 이다.
- ㄴ. 줄에 형성된 정상파의 파장은 0.2 m 이다.
- ㄷ. 줄에 형성된 파동의 속력은 85 m/s 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

B 악기의 공명

09 다음은 팬플루트에 대한 설명이다.

팬플루트는 여러 개의 관이 다발로 묶여 있는 형태이다. 관의 윗구멍에 비스듬한 방향으로 바람을 불어 소리를 내게 되는데, 관의 길이에 따라 각 관에서 나오는 음의 높이가 서로 다르다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 관 속 공기의 진동으로 소리가 발생한다.
- ㄴ. 짧은 관에서 나는 소리는 긴 관에서 나는 소리보다 높다.
- ㄷ. 관의 길이가 짧아질수록 관에서 나는 소리의 속력이 커진다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

10 그림은 기타의 구조를 나타낸 것이다. 줄의 양쪽 끝은 고정되어 있으며 지판을 눌러 진동하는 줄의 길이를 변화시킨다.



줄 하나를 튕겨 소리를 낼 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 줄에 작용하는 장력의 크기는 일정하다.)

[보기]

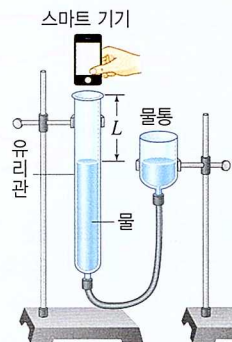
- ㄱ. 줄은 정상파를 형성하며 소리를 낸다.
- ㄴ. 줄의 길이가 짧아질수록 높은 소리가 난다.
- ㄷ. 줄의 진동에 의한 소리가 몸통 안의 공기 진동과 공명이 일어나 큰 소리가 난다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

중요 11 다음은 공명 장치를 이용하여 음파의 속력을 측정하는 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 스마트 기기를 유리관 입구에 가까이 한 뒤 진동수가 500 Hz인 소리를 발생시킨다.
- (나) 물통을 위에서부터 천천히 내리면서 소리가 가장 크게 들리는 순간 유리관의 입구에서 수면까지의 길이 L 을 측정한다.



[실험 결과]

- 소리가 처음 크게 들리는 지점 $L_1 = 16.5$ cm
- 소리가 두 번째로 크게 들리는 지점 $L_2 = 50.5$ cm

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

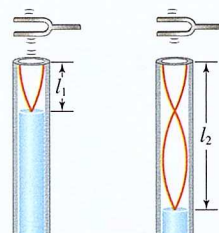
- ㄱ. 소리의 파장은 34 cm이다.
- ㄴ. 소리의 속력은 340 m/s이다.
- ㄷ. 유리관에서 정상파가 형성될 때 물 표면에서는 항상 마디가 형성된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

서술형

12 그림과 같이 물이 채워진 유리관 입구에서 소리굽쇠를 진동시킨 뒤 물을 천천히 빼었을 때 유리관의 입구로부터 각각 l_1 , l_2 인 지점에서 공명이 일어났다.

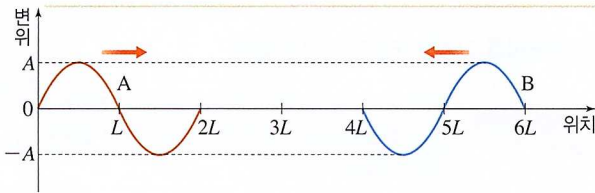
소리굽쇠의 진동수가 680 Hz일 때 $l_2 - l_1$ 을 물이 과정과 함께 구하시오. (단, 소리의 속력은 340 m/s이다.)





실력 UP 문제

01 그림은 동일한 매질에서 연속적으로 발생하여 서로 반대 방향으로 진행하는 두 파동 A, B의 시간 $t=0$ 인 순간의 모습을 나타낸 것이다. 두 파동의 진폭과 주기는 각각 A , T 로 같다.



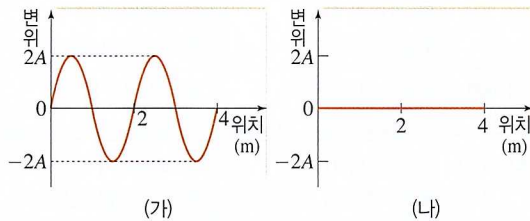
두 파동이 중첩하여 정상파를 형성하였을 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 정상파의 파장은 $2L$ 이다.
- ㄴ. L , $2L$, $3L$ 지점은 배이다.
- ㄷ. $t = \frac{5T}{2}$ 일 때 $5L$ 지점의 변위는 $2A$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 그림 (가)는 진폭이 각각 A 이고 진동수가 같은 두 파동이 각각 속력 0.5 m/s 로 서로 반대 방향으로 진행할 때 형성된 정상파의 어느 한 순간의 모습을, (나)는 (가)의 순간부터 시간 t 가 지난 후 정상파의 모습을 나타낸 것이다.



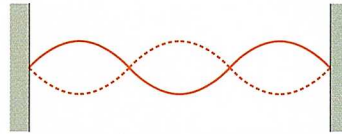
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 정상파의 주기는 2초이다.
- ㄴ. 1초와 3초는 t 가 될 수 있다.
- ㄷ. (가)의 순간부터 2초가 지났을 때 정상파의 변위의 최댓값은 $2A$ 보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 그림은 양 끝이 고정된 줄에 형성된 정상파의 모습을 나타낸 것이고, 표는 길이가 같은 두 줄 A와 B에 각각 형성된 정상파의 배의 개수와 진동수를 나타낸 것이다.



구분	배의 개수	진동수
A	2	f_1
A	4	f_2
B	3	f_2

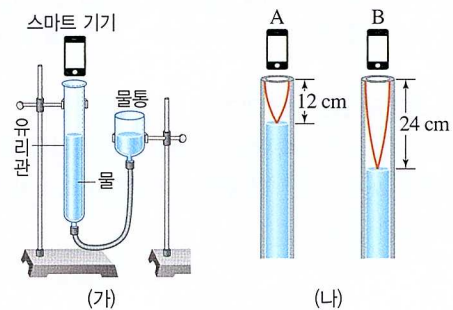
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 배의 개수와 관계없이 줄의 양 끝에는 항상 마디가 형성된다.
- ㄴ. $f_1 : f_2 = 2 : 1$ 이다.
- ㄷ. 줄에 형성된 파동의 속력은 A가 B의 $\frac{4}{3}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 그림 (가)는 공명 장치에 물을 채우고 물통을 위아래로 움직여 공명이 일어나는 지점을 찾는 실험을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 다른 조건은 일정하게 유지하면서 스마트 기기에서 나는 소리를 A, B로 다르게 했을 때 처음으로 공명이 일어나는 수면의 위치를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. A의 파장은 24 cm 이다.
- ㄴ. 진동수는 A가 B의 2배이다.
- ㄷ. A의 경우 유리관 입구로부터 36 cm 인 지점에서 두 번째 공명음을 들을 수 있다.

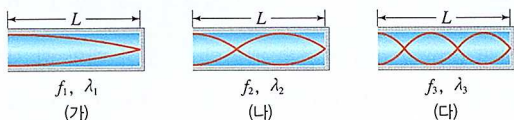
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 및 해설

내신만점문제 · 실력UP문제
정상파

바로알기 ㄱ. A와 B에 동일한 줄이 연결되어 있고, 두 줄에 작용하는 장력의 크기가 같으므로 줄에서 파동의 속력은 (가)와 (나)에서 서로 같다.

06 — 꼼꼼 문제 분석



- (가): 기본 진동 $\rightarrow \lambda_1 = 4L, f_1$
- (나): 3배 진동 $\rightarrow \lambda_2 = \frac{4}{3}L, f_2 = 3f_1$
- (다): 5배 진동 $\rightarrow \lambda_3 = \frac{4}{5}L, f_3 = 5f_1$

ㄱ. 한쪽 끝이 막힌 관에서 정상파의 파장 $\lambda_n = \frac{4l}{n}$ 이고, (가)는 기본 진동에 해당하므로 $\lambda_1 = 4L$ 이다.

바로알기 ㄴ. 정상파의 속력은 (가), (나), (다)에서 모두 같으므로 파동의 속력 = 진동수 $\times$ 파장에 따라 진동수와 파장의 곱이 같아야 한다. 따라서 $f_2 \lambda_2 = f_3 \lambda_3$ 이다.

ㄷ. 한쪽 끝이 막힌 관에서 정상파의 진동수 $f_n = \frac{v}{4l}n$ 이고, (나)는 3배 진동, (다)는 5배 진동에 해당한다. 파동의 속력을 v 라고 하면, $f_2 = \frac{3v}{4L}$ 이고, $f_3 = \frac{5v}{4L}$ 이므로 (다)에서 들리는 소리가 (나)에서 들리는 소리보다 높다.

다른 풀이 ㄱ. (가)에서 관의 길이 L 은 이웃한 배와 마디 사이의 거리와 같다. 이웃한 배와 마디 사이의 거리는 $\frac{1}{4}$ 파장이므로 $\lambda_1 = 4L$ 이다.

07 ㄴ. (가)와 (나)에서 공기의 온도가 같으므로 음파의 속력은 (가)와 (나)에서 서로 같다.

바로알기 ㄱ. 양쪽 끝이 열린 관에 형성된 정상파의 파장 $\lambda_n = \frac{2l}{n}$ 이므로 (가)에서 정상파의 파장은 $\frac{2 \times 0.4}{1} = 0.8$ m이다.

ㄷ. (나)는 2배 진동에 해당하므로 (나)에서 정상파의 파장은 $\frac{2 \times 0.4}{2} = 0.4$ m이다. 음파의 속력은 (가)와 (나)에서 서로 같으므로 파동의 속력 = 진동수 $\times$ 파장에 따라 진동수는 파장과 반비례한다. 정상파의 파장은 원래 파동의 파장과 같고, (가)에서 (나)에서보다 길므로 음파의 진동수는 (가)에서 (나)에서보다 작다.

다른 풀이 ㄱ. (가)에서 관의 길이는 정상파의 이웃한 배와 배 사이의 거리와 같으므로 반 파장에 해당한다. 따라서 (가)에서 정상파의 파장은 $0.4 \text{ m} \times 2 = 0.8$ m이다.

ㄷ. (나)에서 관의 길이는 이웃한 배와 배 사이의 거리의 2배이므로 파장에 해당한다. 따라서 (나)에서 정상파의 파장은 0.4 m이다. 음파의 속력은 (가)와 (나)에서 서로 같고, 파장은 (가)에서 (나)에서의 2배이므로 음파의 진동수는 (나)에서 (가)에서의 2배이다.

08 ㄱ. 원통 속에 형성된 정상파에서 이웃한 배와 마디 사이의 거리가 40 cm이므로 정상파의 파장, 즉 소리의 파장은 $40 \text{ cm} \times 4 = 160 \text{ cm} = 1.6$ m이다. 소리의 속력이 340 m/s 이므로 소리의 진동수 = $\frac{\text{속력}}{\text{파장}} = \frac{340 \text{ m/s}}{1.6 \text{ m}} = 212.5 \text{ Hz}$ 이다. 이 소리는 줄의 진동에 의해 발생한 것이므로 줄에 형성된 정상파의 진동수 또한 212.5 Hz 이다.

ㄷ. 줄에 형성된 정상파의 파장은 0.4 m이고, 진동수는 212.5 Hz 이므로 줄에 형성된 파동의 속력 = 진동수 $\times$ 파장 = $212.5 \text{ Hz} \times 0.4 \text{ m} = 85 \text{ m/s}$ 이다.

바로알기 ㄴ. 줄에 형성된 정상파에서 이웃한 마디와 마디 사이의 거리가 20 cm이므로 정상파의 파장은 $20 \text{ cm} \times 2 = 40 \text{ cm} = 0.4$ m이다.

09 ㄱ. 팬플루트의 관의 위구멍에 바람을 불었을 때 소리가 나는 까닭은 관 속의 공기가 진동하여 정상파를 형성하기 때문이다.

ㄴ. 관에서 나는 소리의 파장은 관의 길이에 비례한다. 따라서 긴 관에서 나는 소리의 파장은 짧은 관에서 나는 소리의 파장보다 길다. 관에서 나는 소리의 속력은 관의 길이와 관계없이 일정하므로 진동수는 파장에 반비례한다. 따라서 짧은 관에서 나는 소리가 긴 관에서 나는 소리보다 높다.

바로알기 ㄷ. 관에서 소리가 날 때 매질인 공기는 동일하므로 소리의 속력은 관의 길이와 관계없이 일정하다.

10 ㄱ. 양쪽이 고정된 줄을 튕기면 정상파가 형성되면서 소리가 난다.

ㄴ. 줄의 길이가 짧아질수록 파장이 짧아진다. 이때 같은 줄에서 발생하는 소리의 속력은 일정하므로 진동수는 파장에 반비례한다. 따라서 지판을 눌러 줄의 길이가 짧아지면 파장이 짧아지고, 진동수가 커져 높은 소리가 난다.

ㄷ. 줄의 진동에 의한 소리의 진동수가 몸통 안 공기의 진동수와 일치하면 공명이 일어나 큰 소리가 난다.

11 ㄴ. 소리의 속력 = 진동수 $\times$ 파장이므로 소리의 속력은 $500 \text{ Hz} \times 0.68 \text{ m} = 340 \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ. 유리관에서 정상파가 형성될 때 물 표면에서는 공기가 진동하지 않으므로 마디가 형성된다.

바로알기 ㄱ. 소리가 처음 크게 들리는 지점 L_1 과 소리가 두 번째로 크게 들리는 지점 L_2 의 차는 유리관 속에 형성된 정상파의 반 파장과 같다. 따라서 유리관 속에 형성된 정상파의 파장은 $2 \times (50.5 \text{ cm} - 16.5 \text{ cm}) = 68 \text{ cm}$ 이다. 따라서 소리의 파장은 68 cm 이다.

12 **모범 답안** 소리의 속력은 340 m/s 이고, 소리굽쇠의 진동수는 680 Hz 이므로 소리의 속력 = 진동수 $\times$ 파장에 따라 소리의 파장 = $\frac{\text{속력}}{\text{진동수}} = \frac{340 \text{ m/s}}{680 \text{ Hz}} = 0.5 \text{ m}$ 이다. $l_2 - l_1$ 은 이웃한 마디와 마디 사이의 거리와 같으므로 소리의 반 파장과 같다. 따라서 $l_2 - l_1 = \frac{0.5 \text{ m}}{2} = 0.25 \text{ m}$ 이다.

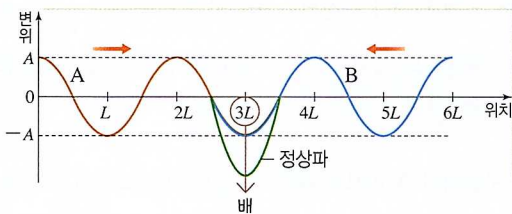
채점 기준	배점
$l_2 - l_1$ 을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
$l_2 - l_1$ 만 옳게 쓴 경우	50 %

실력 UP 문제

191쪽

01 ③ 02 ② 03 ① 04 ④

01 — 꼼꼼 문제 분석

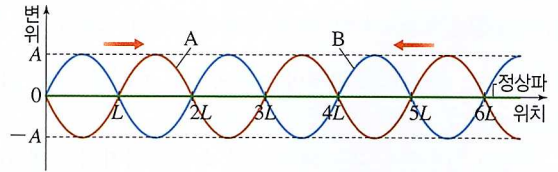


$3L$ 지점에서 두 파동은 같은 위상으로 중첩되므로 $3L$ 인 지점은 배에 해당된다.

ㄱ. 정상파의 파장은 중첩되기 전 원래 파동의 파장과 같으므로 $2L$ 이다.

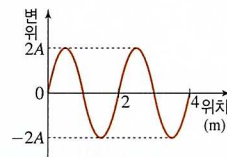
ㄴ. $3L$ 지점에서 A와 B는 같은 위상으로 중첩되므로 배에 해당된다. 이웃한 배와 배 사이의 거리는 반 파장이므로 $L, 2L, 3L$ 지점은 배이다.

바로알기 ㄷ. $\frac{5T}{2}$ 동안 A와 B는 파장의 $\frac{5}{2}$ 배인 $5L$ 만큼 이동하므로 이때 형성된 정상파의 모습은 다음과 같다.

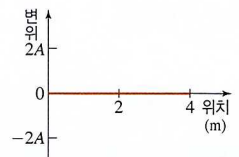


따라서 $t = \frac{5T}{2}$ 일 때 $5L$ 지점의 변위는 0이다.

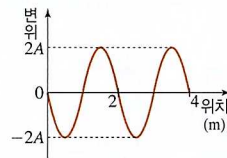
02 ㄴ. 정상파의 주기가 4초이므로 시간 t 에 따른 정상파의 파형은 다음과 같다.



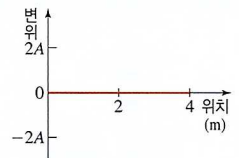
$t = 0$



$t = \frac{1}{4}$ 주기 = 1초



$t = \frac{1}{2}$ 주기 = 2초



$t = \frac{3}{4}$ 주기 = 3초

따라서 t 가 될 수 있는 것은 1초와 3초이다.

바로알기 ㄱ. 정상파의 속력은 중첩되기 전 원래 파동의 속력과 같으므로 0.5 m/s 이다. (가)에서 정상파의 파장이 2 m 임을 알 수 있으므로 파동의 속력 = $\frac{\text{파장}}{\text{주기}} = \frac{2}{0.5} = 4(\text{s})$ 이다.

ㄷ. (가)의 순간부터 2초가 지났을 때는 반 주기가 지났을 때이므로 변위의 방향이 (가)와 반대가 된다. 따라서 정상파의 변위의 최댓값은 $2A$ 로 (가)와 같다.

03 — 꼼꼼 문제 분석

구분	배의 개수	진동수
A	2	f_1
A	4	f_2
B	3	f_2

동일한 줄에 형성된 정상파이므로 파동의 속력이 같다.
⇒ 진동수는 파장에 반비례한다.

두 줄에 형성된 정상파의 진동수가 같다.
⇒ 파동의 속력은 파장에 비례한다.

ㄱ. 양 끝이 고정된 줄이므로 배의 개수와 관계없이 줄의 양 끝에는 항상 마디가 형성된다.

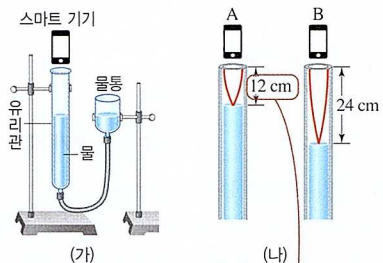
바로알기 ㄴ. 양 끝이 고정된 줄에 형성되는 정상파의 파장은 $\lambda_n =$

$\frac{2L}{n}$ 이다. A와 B의 길이를 L 이라고 하면, A에서 배의 개수가 2개일 때 $n=2$ 이므로 A에 형성된 정상파의 파장은 L 이고, 배의 개수가 4개일 때 $n=4$ 이므로 A에 형성된 정상파의 파장은 $\frac{L}{2}$ 이다. 동일한 줄 A에서 파동의 속력은 같으므로 진동수는 파장에 반비례한다. 따라서 $f_1 : f_2 = 1 : 2$ 이다.

ㄷ. 파동의 진동수가 같을 때 파동의 속력은 파장에 비례한다. A와 B의 진동수가 f_2 로 같을 때 A에 형성된 정상파의 파장은 $\frac{L}{2}$ 이고, B에서 배의 개수는 3개이므로 $n=3$ 에서 B에 형성된 정상파의 파장은 $\frac{2L}{3}$ 이다. 따라서 줄에 형성된 파동의 속력은 A가 B의 $\frac{3}{4}$ 배이다.

04 ————— 풀풀 문제 분석

첫 번째 공명이 일어나는 지점은 이웃한 마디와 배 사이의 거리 또는 한쪽 끝이 막힌 관악기의 기본 진동과 같으므로 $\frac{1}{4}$ 파장인 곳이다.



파장 = $12 \text{ cm} \times 4 = 48 \text{ cm}$

(나)에서 매질인 공기의 성질과 온도는 일정하므로 A, B의 속력은 서로 같다.

ㄴ. (나)에서 처음 공명이 일어나는 지점은 B가 A의 2배이므로 파장도 B가 A의 2배이다. 소리의 속력은 A와 B가 서로 같으므로 진동수는 파장에 반비례한다. 따라서 소리의 진동수는 A가 B의 2배이다.

ㄷ. 소리가 크게 들리는 지점 사이의 간격은 이웃한 마디와 마디 사이의 거리이므로 반 파장에 해당한다. 두 번째 공명음이 들리는 지점을 y_2 라고 하면, $24 \text{ cm} = y_2 - 12 \text{ cm}$ 에서 $y_2 = 36 \text{ cm}$ 이다. 따라서 A의 경우 유리관 입구로부터 36 cm인 지점에서 두 번째 공명음을 들을 수 있다.

바로알기 ㄱ. 처음으로 공명이 일어나는 지점은 한쪽 끝이 막힌 관악기의 기본 진동에 해당하므로 $\lambda_n = \frac{4L}{n}$ 에 따라 소리의 파장은 유리관 입구에서 공명이 일어난 지점까지의 길이의 4배이다. 따라서 A의 파장은 48 cm이다.

중단원 핵심 정리

192쪽~193쪽

- | | | | | | |
|--------|------------------|------|-------|-------|-----------------------|
| 1 진동수 | 2 큰 | 3 작은 | 4 큰 | 5 작은 | 6 크게 |
| 7 작게 | 8 같은 | 9 반대 | 10 짝수 | 11 홀수 | 12 반대 |
| 13 보강 | 14 정상파 | 15 배 | 16 마디 | 17 2 | 18 반($\frac{1}{2}$) |
| 19 진동수 | 20 $\frac{1}{2}$ | | | | |

중단원 마무리 문제

194쪽~197쪽

- | | | | | | |
|----------|------|----------|------|----------|------|
| 01 ⑤ | 02 ③ | 03 ⑤ | 04 ⑤ | 05 ④ | 06 ③ |
| 07 ① | 08 ② | 09 ③ | 10 ② | 11 ② | 12 ① |
| 13 ② | 14 ① | 15 해설 참조 | | 16 해설 참조 | |
| 17 해설 참조 | | | | | |

01 ㄱ. (가)에서 물방개가 정지한 상태에서 다리만 움직이므로 파원의 진동수는 변하지 않는다. 따라서 물결파의 진동수는 A와 B에서 서로 같다.

ㄴ. (나)에서 물방개가 오른쪽으로 일정한 속력으로 이동하므로 물결파의 파장은 C에서 길어지고 D에서 짧아진다. 물결파의 속력은 일정하므로 물결파의 진동수는 C에서가 D에서보다 작다.

ㄷ. 물결파의 진동수를 f , 물방개의 속력을 v_s 라고 하면, 도플러 효과에 의해 D에서 측정되는 물결파의 진동수는 $\frac{v}{v-v_s}f$ 이다.

따라서 물방개의 속력이 증가하면 D에서 측정되는 물결파의 진동수도 증가한다.

02 구급차가 A 쪽으로 다가오고 있으므로 도플러 효과에 따라 A가 듣는 사이렌 소리의 진동수 $f_A = \frac{v}{v-v_s}f =$

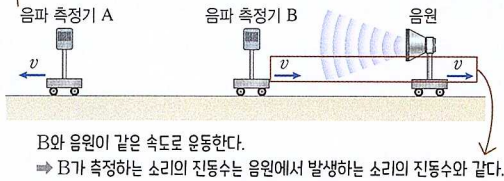
$\frac{340}{340-20}f = \frac{34}{32}f$ 이다. 구급차는 B로부터 멀어지고 있으므로

도플러 효과에 따라 B가 듣는 사이렌 소리의 진동수 $f_B = \frac{v}{v+v_s}f = \frac{340}{340+20}f = \frac{34}{36}f$ 이다. 따라서 $f_A : f_B = \frac{1}{8} :$

$\frac{1}{9} = 9 : 8$ 이다.

03 ——— 꼬꼬 문제 분석

- A와 음원이 서로 반대 방향으로 운동한다.
 ⇒ 음원과 관찰자가 멀어진다.
 ⇒ A가 측정하는 소리의 진동수는 음원에서 발생하는 소리의 진동수보다 작다.



B와 음원이 같은 속도로 운동한다.
 ⇒ B가 측정하는 소리의 진동수는 음원에서 발생하는 소리의 진동수와 같다.

ㄴ. A와 음원은 서로 반대 방향으로 운동하고 있으므로 도플러 효과의 일반적인 관계식에 따라 A가 측정하는 소리의 진동수는 $\frac{V-v}{V+v}f_0$ 이다.

ㄷ. 음원의 속력이 $2v$ 로 증가하면, 음원은 B로부터 멀어지는 방향으로 운동하므로 B가 측정하는 소리의 진동수는 도플러 효과의 일반적인 관계식에 따라 $\frac{V+v}{V+2v}f_0$ 으로 f_0 보다 작다.

바로알기 ㄱ. 음원과 B는 같은 속도로 운동하므로 B가 측정하는 음원의 진동수는 음원과 B가 정지한 상태에서 측정하는 진동수와 같다. 따라서 B가 측정하는 소리의 진동수는 f_0 이다.

04 ㄱ. A가 정지해 있는 음파 측정기 C 쪽으로 다가오고 있으므로 C가 측정하는 A의 소리의 진동수는 도플러 효과에 따라 $\frac{v}{v-v_s}f_A = \frac{v}{v-\frac{v}{2}}f_A = \frac{7}{6}f_A$ 이다.

ㄴ. B가 정지해 있는 음파 측정기 C 쪽으로 다가오고 있으므로 C가 측정하는 B의 소리의 진동수는 도플러 효과에 따라 $\frac{v}{v-v_s}f_B = \frac{v}{v-\frac{2v}{7}}f_B = \frac{7}{5}f_B$ 이다. C가 측정하는 A와 B의

소리의 진동수는 서로 같으므로 $f_A : f_B = 6 : 5$ 이다.

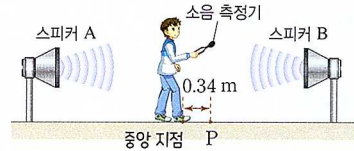
ㄷ. C가 B를 향해 v_C 의 일정한 속력으로 이동하면, C가 측정하는 B의 진동수는 도플러 효과의 일반적인 관계식에 따라 $\frac{v+v_C}{v-\frac{2v}{7}}f_B$ 이므로 C가 측정하는 B의 소리의 진동수는 f_B 보다 크다.

05 ㄴ. C에서 마루와 골이 만나는 것으로 보아 S_1 과 S_2 에서 발생한 음파가 반대 위상으로 만난다. 따라서 C에서는 상쇄 간섭이 계속 일어나므로 C에서 소리의 세기는 0이다.

ㄷ. $\frac{T}{2}$ 가 지난 직후, 파동은 $\frac{1}{2}$ 회 진동하므로 A에서는 마루와 마루가 만나고, B에서는 골과 골이 만나 중첩된다. 따라서 음파의 진폭은 A와 B에서 서로 같다.

바로알기 ㄱ. A에서 골과 골이 만나는 것으로 보아 S_1 과 S_2 에서 발생한 음파가 같은 위상으로 만난다. 따라서 A에서는 보강 간섭이 일어난다.

06 ——— 꼬꼬 문제 분석



학생이 A와 B의 중앙 지점에서 B를 향해 0.34 m만큼 이동한 지점을 P라고 하면, A와 B에서 P까지의 경로차 = 0.68 m
 ⇒ 반 파장의 짝수 배이므로 P에서 보강 간섭이 일어난다.

ㄱ. 소리의 속력이 340 m/s이고, 진동수가 500 Hz이므로 소리의 파장 = $\frac{340 \text{ m/s}}{500 \text{ Hz}} = 0.68 \text{ m}$ 이다.

ㄴ. A와 B에서 같은 위상의 소리가 발생하므로 A와 B로부터 거리가 같은 지점은 같은 위상의 소리가 중첩되어 보강 간섭이 일어난다. 따라서 A와 B의 중앙 지점에서 측정하는 소리의 세기는 A의 소리의 세기보다 크다.

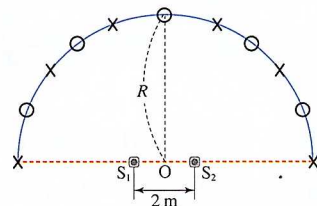
바로알기 ㄷ. A와 B 사이의 거리를 L , 파장을 λ 라고 하면, 학생이 A와 B의 중앙 지점에서 B를 향해 0.34 m만큼 움직였을 때 A와 학생 사이의 거리는 $\frac{L}{2} + \frac{\lambda}{2}$ 이고, B와 학생 사이의 거리는

$\frac{L}{2} - \frac{\lambda}{2}$ 이다. 이때 A와 B에서 학생까지의 경로차는 $\lambda = 0.68 \text{ m}$

로 반 파장의 짝수 배이고, A와 B에서 같은 위상의 소리가 발생하므로 이 지점에서는 보강 간섭이 일어난다. 따라서 이곳에서 측정하는 소리의 세기는 B의 소리의 세기보다 크다.

07 ——— 꼬꼬 문제 분석

- : 보강 간섭이 일어나는 지점
 × : 상쇄 간섭이 일어나는 지점



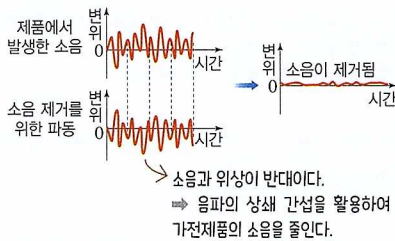
이웃한 상쇄 간섭과 상쇄 간섭 사이에는 보강 간섭이 일어나므로 보강 간섭이 일어나는 지점은 5개이다.

ㄱ. S_1 과 S_2 에서 진동수가 같은 소리가 같은 위상으로 발생하므로 S_1 과 S_2 를 이은 직선의 중점인 O에서는 같은 위상의 음파가 중첩된다. 따라서 O에서 보강 간섭이 일어난다.

바로알기 ㄴ. 이웃한 상쇄 간섭과 상쇄 간섭 사이에는 보강 간섭이 일어나는 지점이 존재한다. 반원에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 6개이므로 보강 간섭이 일어나는 지점은 5개이다.

ㄷ. S_1 과 S_2 에서 반원의 양 끝까지의 경로차는 2 m이다. 소리의 파장이 2 m라면 반원의 양 끝까지의 경로차는 반 파장의 짝수 배로 보강 간섭이 일어나게 되어 반원의 양 끝에서 상쇄 간섭이 일어나는 상황과 모순이 된다.

08 — 끝말 문제 분석



ㄷ. 자동차 엔진의 배기 소음은 자동차의 소음기에서 두 통로의 길이를 반 파장의 홀수 배만큼 차이 나게 하여 제거한다. 이는 음파의 상쇄 간섭을 활용한 예이다.

바로알기 ㄱ. 집에서 영화를 감상할 때 여러 개의 스피커에서 나온 음파의 위상이 일치하도록 스피커를 배치하면 소리가 증폭되어 현장감을 높일 수 있다. 이는 음파의 보강 간섭을 활용한 예이다.

ㄴ. 충격과 발생기에서 나온 충격파를 특정 지점에 위치한 환자의 결석에 집중하여 환자의 결석을 분쇄하는 체외 충격파 쇄석기는 음파의 보강 간섭을 활용한 예이다.

09 ㄱ. 두 파동이 중첩하여 형성된 정상파의 진폭이 2A이므로 두 파동의 진폭은 A이다.

ㄴ. P와 Q 사이의 거리는 이웃한 마디와 마디 사이의 거리의 2배이므로 $\frac{\text{파장}}{2} \times 2 = 2\text{m}$ 에서 정상파의 파장은 2 m이다. 파동의 속력이 2 m/s이므로 정상파의 진동수 = $\frac{\text{속력}}{\text{파장}} = \frac{2\text{m/s}}{2\text{m}} = 1\text{ Hz}$ 이다.

바로알기 ㄷ. 정상파의 진동수가 1 Hz이므로 주기는 1초이다. 0.5초는 반 주기에 해당하므로 0.5초가 지난 순간 정상파는 $\frac{1}{2}$ 회 진동하여 위상이 반대로 된다. P $\xrightarrow{2\text{m}}$ Q와 같이 정상파가 형성되려면 정상파가 $\frac{1}{4}$ 회 또는 $\frac{3}{4}$ 회 진동하여야 한다. 따라서 이는 문제의 순간으로부터 0.25초 또는 0.75초가 지났을 때 정상파의 모습에 해당한다.

10 ㄴ. 정상파의 주기 $T=8$ 초이므로 (나)로부터 3초가 지난 순간인 6초는 $\frac{3T}{4}$ 에 해당된다. (가)에서 $\frac{3T}{4}$ 가 지난 순간, 중첩되는 두 파동의 위상은 서로 반대가 되므로 정상파의 변위는 0이 된다. 따라서 P에서 정상파의 변위는 y_P 보다 작다.

바로알기 ㄱ. 정상파의 진동수는 중첩되기 전 원래 파동과 같으므로 정상파의 주기도 원래 파동과 같다. 따라서 정상파의 주기는 8초이다.

ㄷ. P에서 정상파의 변위는 최댓값을 가지지 않으므로 P는 배에 해당되지 않는다.

11 ㄴ. 양쪽 끝이 고정된 줄에 형성된 기본 진동의 정상파의 파장은 $\lambda_n = \frac{2l}{n}$ 에 따라 줄의 길이의 2배이다. 따라서 (나)에서 줄을 튕겼을 때 발생하는 정상파의 파장은 1 m이다.

바로알기 ㄱ. 동일한 줄에 작용하는 장력의 크기가 같을 때 파동의 속력은 같으므로 줄에서 전달되는 파동의 속력은 (가)와 (나)에서 서로 같다.

ㄷ. 파동의 속력은 (가)와 (나)에서 서로 같고, 정상파의 파장은 (가)에서가 (나)에서의 2배이므로 정상파의 진동수는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다. 줄에서 발생하는 소리의 진동수는 정상파의 진동수와 같으므로 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

12 ㄱ. 양쪽 끝이 고정된 A와 B에 기본 진동의 정상파가 형성되었으므로 정상파의 파장은 줄의 길이의 2배이다. 따라서 A에서 파장은 4L이고, B에서 파장은 2L이므로 파장은 A가 B의 2배이다.

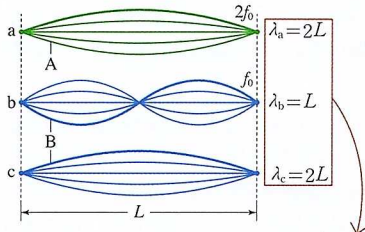
바로알기 ㄴ. A와 B의 진동수가 같으므로 A와 B에서 발생하는 소리의 높낮이는 서로 같다.

ㄷ. 파동의 속력 = 진동수 $\times$ 파장에서 파장은 A가 B의 2배이고, 진동수는 A와 B가 같으므로 줄에서 파동의 속력은 파장에 비례한다. 따라서 줄에서 파동의 속력은 A가 B의 2배이다.

13 (나)에서 공기의 온도가 15°C일 때 음파의 속력이 340 m/s이므로 (가)의 관 내부에서 음파의 속력은 340 m/s이다. 한쪽 끝이 막힌 관에 형성된 정상파의 파장은 $\lambda_n = \frac{4l}{n}$ 이므로 기본 진동에 해당되는 (가)의 정상파의 파장은 4 m이다. 따라서 정상파의 진동수 = $\frac{\text{속력}}{\text{파장}} = \frac{340\text{ m/s}}{4\text{ m}} = 85\text{ Hz}$ 이다.

다른 풀이 관의 길이는 이웃한 배와 마디 사이의 거리이므로 1 m = $\frac{1}{4}$ 파장이다. 정상파의 파장은 4 m이고, 공기의 온도가 15°C일 때 음파의 속력은 340 m/s이므로 정상파의 진동수는 $\frac{340\text{ m/s}}{4\text{ m}} = 85\text{ Hz}$ 이다.

14 품평 문제 분석



- ① 양쪽 끝이 고정된 줄에 생긴 정상파의 파장 $\lambda_n = \frac{2l}{n}$ 이다.
 ② 이웃한 배와 배, 마디와 마디 사이의 거리는 반 파장과 같다.
 → a의 반 파장은 줄의 길이와 같다.
 → b의 반 파장의 두 배는 줄의 길이와 같다.
 → c의 반 파장은 줄의 길이와 같다.

ㄱ. 줄을 튕겼을 때 가한 진동의 진동수와 줄의 고유 진동수가 일치하여 공명이 일어나 진폭이 크게 증가한다. 그 결과 줄에는 양 끝이 마디인 정상파가 형성되며, 이 진동이 공기를 진동시켜 소리가 난다.

(바로알기) ㄴ. 줄에서 파동의 속력은 줄에 형성된 정상파의 파장과 진동수의 곱과 같다. A에 형성된 정상파 a의 파장은 $2L$ 이고, 진동수는 $2f_0$ 이므로 A의 속력은 $4f_0L$ 이다. B에 형성된 정상파 b의 파장은 $\frac{2l}{n} = \frac{2L}{2} = L$ 이고, 진동수는 f_0 이므로 B의 속력은 f_0L 이다. 따라서 줄에서 파동의 속력은 A가 B의 4배이다.
 ㄷ. b와 c는 B에 형성된 정상파이므로 속력이 서로 같다. C의 파장은 $2L$ 로 b의 파장의 2배이므로 c의 진동수는 $\frac{1}{2}f_0$ 이다. 따라서 진동수는 a가 c의 4배이므로 a와 c는 2옥타브 음의 차이가 난다.

15 음원과 관찰자가 모두 운동하는 경우 도플러 효과의 일반적인 관계식에 따라 관찰자가 듣는 소리의 진동수는 $f' = \frac{v \pm v_o}{v \mp v_s} f$ 이다.

(모범 답안) 영화와 소방차가 서로 반대 방향으로 운동하여 멀어지고 있으므로 영화가 듣는 사이렌 소리의 진동수는 $\frac{v - v_o}{v + v_s} f$ 이다. 영화가 듣는 소리의 사이렌 진동수는 f 보다 작으므로 소방차에서 발생한 사이렌 소리보다 낮은 소리를 듣는다.

채점 기준	배점
도플러 효과의 일반적인 관계식에 따라 영화가 듣는 사이렌 소리의 진동수를 f 와 비교하여 옳게 서술한 경우	100 %
영화가 듣는 사이렌 소리의 진동수가 f 보다 작다고만 서술한 경우	40 %

16 (모범 답안) 마이크로 외부 소음을 감지한 뒤 스피커를 통해 외부 소음과 반대 위상인 파동을 발생시키면 소음과 상쇄 간섭이 일어나 비행기

내부에서 소음이 잘 들리지 않는다.

채점 기준	배점
음파의 상쇄 간섭으로 소음이 잘 들리지 않음을 마이크와 스피커의 역할을 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
음파의 상쇄 간섭으로 소음이 잘 들리지 않는다고만 서술한 경우	40 %

17 (모범 답안) (1) 양쪽 끝이 열린 관에 형성된 정상파의 파장 $\lambda_n = \frac{2l}{n}$ 에서 (가)와 (나)의 정상파는 기본 진동에 해당되고, 관의 길이는 (나)가 (가)보다 길므로 정상파의 파장은 (나)에서가 (가)에서보다 길다.
 (2) (가)와 (나)에서 공기의 온도가 같으므로 (가)와 (나)에 형성된 정상파의 속력은 서로 같고, 진동수는 파장에 반비례한다. 정상파의 파장은 (나)에서가 (가)에서보다 길므로 진동수는 (가)에서가 (나)에서보다 크다. 따라서 (가)에서가 (나)에서보다 높은 소리가 난다.

(다른 풀이) (1) 이웃한 배와 배 사이의 거리는 반 파장과 같다. (가)와 (나)에서 이웃한 배와 배 사이의 거리는 (나)가 길므로 정상파의 파장은 (나)에서가 (가)에서보다 길다.

채점 기준	배점
(1) (가)와 (나)에서 정상파의 파장을 옳게 비교하여 서술한 경우	50 %
정상파의 파장이 (나)에서가 (가)에서보다 길다고만 쓴 경우	20 %
(2) (가)와 (나)에서 나는 소리의 높낮이를 진동수를 바탕으로 옳게 비교하여 서술한 경우	50 %
(가)에서가 (나)에서보다 높은 소리가 난다고만 쓴 경우	20 %

중단원 고난도 문제

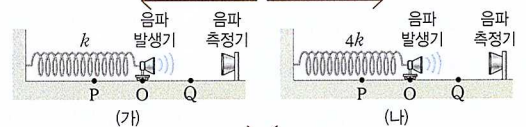
198쪽~199쪽

01 ① 02 ⑤ 03 ③ 04 ④ 05 ③ 06 ⑤
07 ②

01 품평 문제 분석

점 O → 점 P 이동: 음파 측정기로부터 멀어지면서 속력이 감소한다.

점 O → 점 Q 이동: 음파 측정기에 가까워지면서 속력이 감소한다.



점 P → 점 O 이동: 음파 측정기에 가까워지면서 속력이 증가한다.

점 Q → 점 O 이동: 음파 측정기로부터 멀어지면서 속력이 증가한다.