

04

소리의 간섭

수록 구성

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

04 소리의 간섭

핵심 내용 **마라보기**

☞ 소리에서도 파동의 성질인 **중첩과 간섭**이 일어나며, 이러한 소리(음파)의 간섭은 실생활에서 **소음 제어** 등에 활용된다. ☞

1 소리의 발생과 세기

소리는 사람이 귀로 직접 느낄 수 있으며, 종파의 형태로 다양한 매질을 통해 전파하는 탄성파이다. 소리의 전달 과정과 소리의 세기를 나타내는 단위에 대해서 알아보자.

1. 소리의 발생

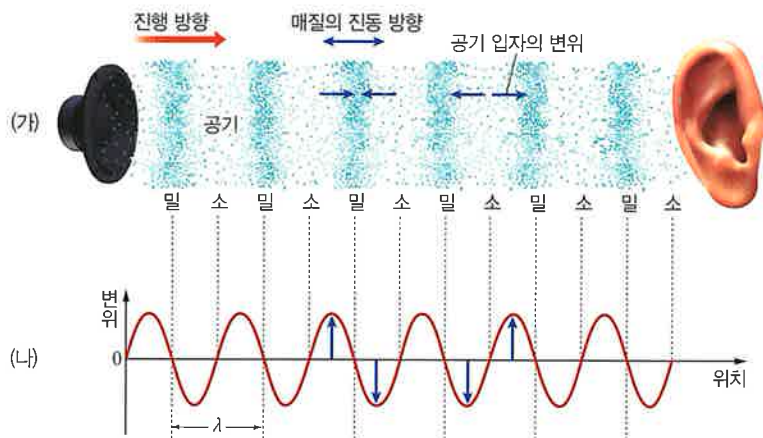
모든 소리(음파)는 물체의 진동에 의해 발생한다. 피아노, 바이올린, 기타 등은 현의 진동으로 소리를 발생시키고, 북은 팽팽한 가죽의 진동으로 소리를 발생시키며, 사람은 성대를 진동시킴으로써 소리를 발생시킨다.

2. 소리의 전달

(1) 소리의 전달 매질: 소리는 기체, 액체, 고체 모두를 매질로 하여 전파할 수 있으며, 소리는 종파이기 때문에 기체와 액체를 따라 전달될 수 있다.

(2) 소리의 전달 과정

- ① 공기 중에서 소리는 그림 (가)와 같이 공기 분자들이 밀한 곳과 소한 곳이 교대로 나타나는 형태로 퍼져 나가는 종파이다. 이는 스피커 진동판의 떨림이나 사람 성대의 떨림이 주변의 공기 분자들을 밀었다가 당기기를 반복하는 과정에서 발생한다.
- ② 공기 분자들의 밀집된 곳과 성긴 곳의 모양은 소리의 진행 방향을 따라 진행하지만, 실제 공기 분자들은 그림 (나)와 같이 각각 어느 한 위치를 중심으로 진동만 할 뿐 전체적으로 이동하지는 않는다.



▲ 소리의 전달 과정 가장 밀한 곳과 가장 소한 곳에 있는 공기 분자들의 변위는 0이며, 그래프의 기울기가 음(-)이면 밀, 양(+)이면 소이다. 또한 이웃한 밀한 곳 사이의 거리가 소리의 파장 λ 이다.

매질의 상태와 종파

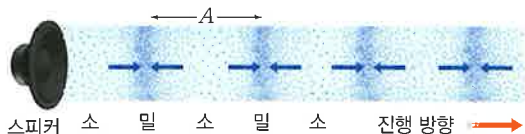
기체나 액체 상태의 매질은 횡파의 복원력이 되는 수직 방향의 힘이 없으므로 횡파를 전달할 수 없고, 압력의 변화나 밀도의 변화에 의한 종파만을 전달시킬 수 있다. 지구 내부 깊은 곳으로 전달되는 지진파는 지구 내부의 외핵이 액체이므로 종파인 P파만이 전달되고, 횡파인 S파는 외핵을 통과하지 못한다.

소리의 표현

소리를 그래프로 나타낼 때는 소리가 전달되면서 입자가 진동하는 각 위치와, 그 위치에서의 입자의 변위를 표시한다. 입자의 변위 대신 압력차를 이용할 수도 있는데, 이때는 위치에 따른 대기압과의 압력차를 표시하여 나타낸다.

개념 기본 문제

- 01** 그림은 스피커에서 일정한 진동수의 소리가 발생할 때 스피커 앞 공기 분자들의 분포를 나타낸 것이다. A는 밀한 곳에서 다음 밀한 곳 사이의 거리이다.



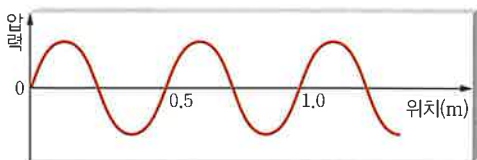
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 소리의 속력은 일정하다.)

보기

- ㄱ. A는 진폭을 나타낸다.
- ㄴ. 공기 분자들은 소리의 진행 방향으로 이동한다.
- ㄷ. 소리의 진동수가 증가하면 A는 감소한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

- 02** 그림은 스피커의 진동판이 일정한 진동수로 진동할 때의 스피커 주변 공기의 압력을 파원으로부터의 위치에 따라 나타낸 것이다. 소리의 속력은 340 m/s이다.



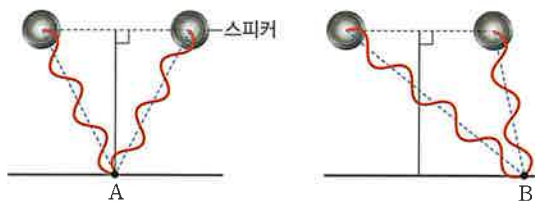
- (1) 이 소리의 파장과 진동수를 각각 구하시오.
(2) 진동판의 진폭만 2배로 증가시켰을 때, 소리의 파장을 구하시오.

- 03** 소리의 중첩과 간섭에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

보기

- ㄱ. 중첩과 간섭 현상은 소리에서만 나타나는 독특한 성질이다.
- ㄴ. 진동수와 위상이 동일한 두 소리가 보강 간섭을 하는 지점에서 합성된 소리의 진폭은 커진다.
- ㄷ. 상쇄 간섭이 일어나는 지점에서 두 소리는 반대 위상으로 중첩된다.

- 04** 그림과 같이 두 스피커에서 진동수와 진폭이 같은 소리를 동일한 위상으로 발생시켰을 때, 두 스피커로부터 같은 거리만큼 떨어진 A 지점에서는 소리가 크게 들리고, B 지점에서는 소리가 작게 들렸다.



- (1) A 지점과 B 지점에서 일어나는 간섭의 종류를 각각 쓰시오.
(2) A와 B 중에서 소음을 제거하는 데 이용되는 간섭이 일어나는 지점을 고르시오.

- 05** 두 파원에서 동일한 위상으로 발생한 진동수와 진폭이 같은 소리가 한 지점에서 만날 때, 상쇄 간섭이 일어나기 위한 두 파원으로부터의 경로차 조건으로 옳은 것은?

- ① 경로차가 0일 때만
- ② 경로차가 소리 파장의 정수배일 때
- ③ 경로차가 소리 반파장의 홀수 배일 때
- ④ 경로차가 소리 반파장의 짝수 배일 때
- ⑤ 경로차가 소리 속력의 제곱에 비례할 때

- 06** 그림과 같이 진동수가 500 Hz인 진폭과 위상이 동일한 소리를 발생하는 스피커 A, B를 서로 마주 보게 설치하였다.



A와 B를 연결하는 직선을 따라 이동하면서 소리의 세기를 측정할 때, 소리의 세기가 최대인 이웃한 두 지점 사이의 거리는? (단, 소리의 속력은 340 m/s이다.)

- ① 0.17 m ② 0.34 m ③ 0.68 m
④ 1.36 m ⑤ 1.70 m

- 07** 그림과 같이 나란하게 놓인 두 스피커에서 진동수와 진폭이 같은 소리가 동일한 위상으로 발생하고 있다. 마이크 A, B는 각각 두 스피커를 잇는 직선과 나란한 가까운 곳, 먼 곳의 직선을 따라 이동하면서 소리의 세기를 측정하였다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 소리 세기의 최댓값은 A가 B보다 크다.
- ㄴ. A, B가 이동하는 동안 소리의 세기가 큰 곳과 작은 곳이 반복된다.
- ㄷ. 소리의 세기가 작은 곳에서는 두 스피커에서 발생한 소리가 같은 위상으로 중첩된다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

- 08** 다음은 소음 제거 원리에 대한 설명이다.

소음 제거는 소리에 소리를 더해 불필요한 소음을 없애는 기술이다. 밀폐된 공간에서 ㉠외부로부터 유입되는 소음을 분석한 후, ㉡소음 제거를 위한 소리를 발생시켜 소음을 사라지게 만드는 원리이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. ㉠과 ㉡은 위상이 서로 반대이다.
- ㄴ. ㉡의 진폭이 ㉠의 진폭보다 클수록 효과적이다.
- ㄷ. 소음 제거 원리는 보강 간섭 현상을 이용한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

- 09** 그림은 가전제품에서 발생한 소음을 줄이는 방법을 나타낸 것이다.



위의 방법에서 이용한 파동의 성질로 설명할 수 있는 현상만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 공사장 소음은 밤에 더 멀리 전달된다.
- ㄴ. 수영장 물의 깊이는 실제보다 더 얇게 보인다.
- ㄷ. 동일한 소리가 나오는 두 스피커 주위에서 소리가 잘 들리지 않는 지점이 있다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

- 10** 그림은 야외 무대의 양쪽에 설치된 두 스피커와 무대 앞에 배열된 좌석을 나타낸 것이다. 두 스피커에서는 진동수와 진폭이 같은 소리가 동일한 위상으로 발생하며, A는 두 스피커로부터 거리가 같은 곳을 연결한 직선이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

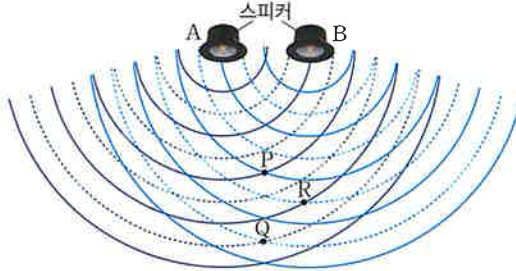
- ㄱ. A를 따라 소리가 크게 들리는 좌석과 작게 들리는 좌석이 반복된다.
- ㄴ. 소리가 크게 들리는 좌석에서는 두 스피커에서 발생한 소리가 서로 반대 위상으로 중첩한다.
- ㄷ. 소리가 작게 들리는 좌석은 두 스피커에서 온 소리의 경로차가 반파장의 홀수 배인 곳이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

개념 적용 문제

▶ 소리의 간섭

- 01** 그림은 두 스피커 A, B에서 발생한 파장과 진폭이 같은 소리를 파면으로 나타낸 것이다. 실선은 공기 입자들이 밀한 곳, 점선은 소한 곳을 나타낸다. P, Q, R은 스피커 앞에 고정된 세 지점이다.



▶ 파장과 진폭이 같은 두 소리가 같은 위상으로 중첩할 때는 보강 간섭, 반대 위상으로 중첩할 때는 상쇄 간섭이 일어난다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

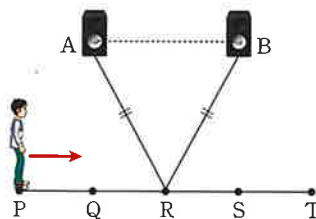
보기

- ㄱ. P에서는 소리가 크게 들린다.
- ㄴ. P와 Q를 잇는 직선상에서 소리가 작게 들리는 지점이 있다.
- ㄷ. R에 도달한 A, B에서 발생한 소리의 위상은 서로 반대이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 소리의 세기와 소리의 간섭

- 02** 그림과 같이 일정한 진동수의 소리를 발생하는 두 스피커 A, B를 설치하였다. A와 B를 잇는 직선과 나란한 선분 PT를 따라 이동할 때 소리의 세기가 다르게 들렸다. P, R, T는 소리의 세기가 최소인 지점이고, Q, S는 소리의 세기가 최대인 지점이다. R에서 두 스피커까지의 거리는 같다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



▶ 경로차는 두 파동이 진행한 거리의 차이이다. 보강 간섭할 때 소리의 세기가 증가한다.

보기

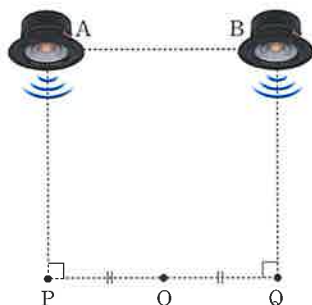
- ㄱ. Q, S에서는 A, B에서 발생한 소리가 보강 간섭을 한다.
- ㄴ. R에서는 A, B로부터의 경로차가 반파장이다.
- ㄷ. A, B에서 발생한 소리의 위상은 서로 반대이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 소리의 간섭 조건

- 03** 그림과 같이 정사각형의 두 꼭짓점에 놓인 스피커 A, B에서 세기와 진동수가 같은 소리가 발생한다. 점 O는 두 꼭짓점 P, Q를 잇는 선분 PQ의 중점이다. A, B에서 발생한 소리는 O에서 보강 간섭하고, A, B에서 P까지의 경로차는 소리 파장의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



▶ 진동수와 진폭이 같고 위상이 동일한 두 소리가 중첩될 때, 두 파원으로부터의 경로차가 반파장의 홀수 배인 지점에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

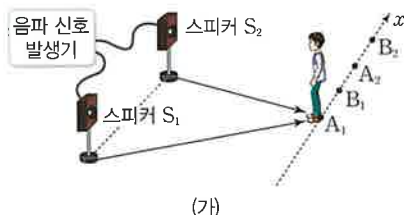
보기

- ㄱ. A, B에서 같은 위상으로 소리가 발생한다.
- ㄴ. Q에서 소리의 세기는 P에서와 같다.
- ㄷ. P와 Q 사이에 보강 간섭이 일어나는 지점은 3개이다.

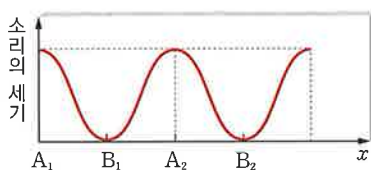
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 파원 사이의 거리와 소리의 간섭

- 04** 그림 (가)와 같이 진동수 500 Hz의 소리를 발생하는 두 스피커 S_1, S_2 를 잇는 직선과 나란한 x 축을 따라 이동하면서 소리의 세기를 측정하였다. 그림 (나)는 측정한 소리의 세기를 x 축에 따라 나타낸 것이다. 두 스피커로부터 A_1 까지의 거리는 같다. 소리의 속력은 340 m/s이다.



(가)



(나)

▶ 파동의 속력은 $v = f\lambda$ 이고, 파원 사이의 거리가 가까울수록 보강(상쇄) 간섭하는 이웃한 지점 사이의 거리가 증가한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 소리의 파장은 0.68 m이다.
- ㄴ. $|S_1B_2 - S_2B_2| = 0.34$ m이다.
- ㄷ. 두 스피커 사이의 거리가 멀어지면 A_1 과 A_2 사이의 거리가 증가한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 소리의 진동수와 소리의 간섭

- 05** 그림은 위상이 같고 진동수가 일정한 소리를 발생하는 두 스피커 A, B 사이에서 두 스피커를 연결한 직선을 따라 마이크를 이동시키면서 소리 분석 장치로 소리의 세기를 측정하는 것을 나타낸 것이다. 표는 스피커에서 발생하는 소리의 진동수를 변화시킬 때, 소리의 세기가 최소인 이웃한 두 지점 사이의 거리를 측정한 결과이다.



소리의 진동수	두 지점 사이의 거리
f_1	$3d$
f_2	$4d$

➤ 두 파원을 잇는 직선상에서 상쇄 간섭하는 이웃한 두 지점 사이의 거리는 반파장이다.

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

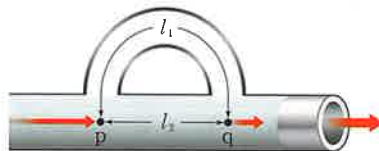
보기

- ㄱ. 진동수가 f_1 인 소리의 파장은 $3d$ 이다.
- ㄴ. 소리의 세기가 최소인 지점에서는 A, B에서 발생한 두 소리가 상쇄 간섭을 한다.
- ㄷ. $f_1 : f_2 = 3 : 4$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 소리의 간섭의 활용

- 06** 그림은 자동차 배기음을 줄이는 장치가 설치된 배기관 구조를 나타낸 것으로, 파장이 λ 인 배기음은 점 p에서 나누어져 길이가 각각 l_1, l_2 인 통로를 지난 후, 점 q에서 중첩되어 상쇄된다.



➤ 진동수와 진폭이 같고 위상이 동일한 두 파동의 경로 차이가 반파장의 홀수 배일 때 상쇄 간섭이 일어난다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 길이가 각각 l_1, l_2 인 통로를 지난 배기음은 q에서 같은 위상으로 만난다.
- ㄴ. q에서는 상쇄 간섭이 일어난다.
- ㄷ. $l_1 - l_2$ 의 최솟값은 $\frac{\lambda}{2}$ 이다.

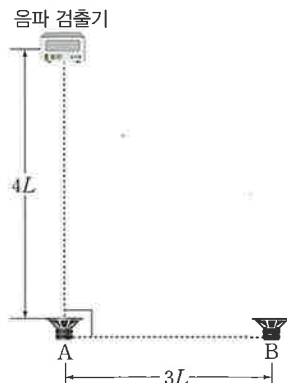
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 소리의 보강 간섭 조건

- 07 그림은 진동수, 진폭, 위상이 같은 소리를 발생하는 두 스피커 A, B 사이의 거리가 $3L$ 이고, A로부터 A와 B를 잇는 직선에 수직인 방향으로 $4L$ 만큼 떨어진 지점에 음파 검출기가 있는 것을 나타낸 것이다. 소리의 속력은 v 로 일정하다.

A, B에서 발생한 소리가 음파 검출기에서 보강 간섭을 하기 위한 소리의 진동수 중 가장 작은 것은?

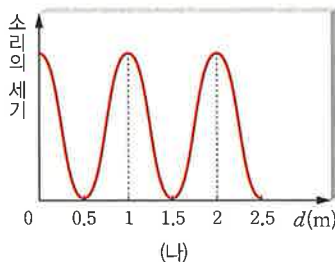
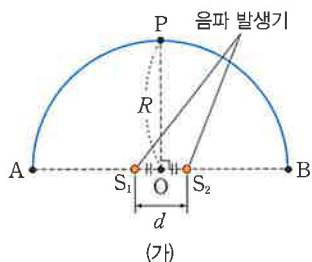
- ① $\frac{v}{5L}$ ② $\frac{v}{4L}$ ③ $\frac{v}{3L}$
 ④ $\frac{v}{2L}$ ⑤ $\frac{v}{L}$



▶ 보강 간섭은 경로차가 반 파장의 짝수 배, 즉 파장의 정수배일 때 일어난다.

▶ 소리의 간섭 조건

- 08 그림 (가)와 같이 직선 $\overline{AB}$ 의 중점 O를 기준으로 같은 거리에 두 음파 발생기 S_1, S_2 를 설치하고, S_1 과 S_2 사이의 거리 d 를 변화시키면서 반지름 R 인 반원 위의 점에서 소리의 세기를 측정하였다. S_1 과 S_2 에서는 세기와 진동수가 일정한 음파가 같은 위상으로 발생하고 있으며, 점 P는 S_1 과 S_2 로부터 떨어진 거리가 같은 반원 위의 점이다. 그림 (나)는 A 지점에서 측정한 소리의 세기를 d 에 따라 나타낸 것이다.



▶ 직선 $\overline{OP}$ 위에서 두 스피커까지의 경로차는 0이다. P에서 반원을 따라 이동하면 경로차가 증가하며, A, B에서 경로차가 최대이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 음파 발생기에서 발생하는 소리의 파장은 0.5 m이다.
 ㄴ. 직선 $\overline{OP}$ 위에 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 있다.
 ㄷ. $d = 2.5$ m일 때, 반원 위에서 보강 간섭이 일어나는 지점은 5개이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 (1) A 지점에서는 소리가 크게 들리므로 보강 간섭, B 지점에서는 소리가 작게 들리므로 상쇄 간섭이 일어난다.
 (2) 소음을 제거하려면 소음이 작게 들리게 해야 하므로, 반대 위상의 파동과 중첩되어 진폭이 작아지는 상쇄 간섭의 원리를 이용한다. 따라서 소음 제거에 이용되는 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 B이다.

05 두 파원에서 동일한 위상으로 진동수와 진폭이 같은 소리를 발생시켰을 때, 두 파원로부터의 경로차가 반파장의 홀수 배가 되는 지점에서는 두 소리가 서로 반대 위상으로 만나 진폭이 작아지는 상쇄 간섭이 일어난다.

06 A, B에서 발생하는 소리의 진동수가 500 Hz이므로 소리의 파장은 $\frac{340 \text{ m/s}}{500 \text{ Hz}} = 0.68 \text{ m}$ 이다. 두 파원 A와 B를 연결하는 직선상에서 보강 간섭을 하는 이웃한 두 지점 사이의 거리는 반파장이다. 따라서 소리의 세기가 최대인 이웃한 두 지점 사이의 거리는 반파장인 0.34 m이다.

07 ㄱ. 스피커에 가까울수록 소리의 세기가 크므로 소리 세기의 최댓값은 스피커에 더 가까운 A가 B보다 크다.
 ㄴ. A, B가 이동하는 동안 두 스피커로부터의 경로차가 변하므로 두 스피커의 소리가 보강 간섭, 상쇄 간섭하여 소리의 세기가 큰 곳과 작은 곳이 반복된다.

[바로알기] ㄷ. 두 파동이 반대 위상으로 중첩될 때 상쇄 간섭이 일어난다. 소리의 세기가 작은 곳은 상쇄 간섭이 일어나는 곳이므로 두 스피커에서 발생한 소리가 반대 위상으로 중첩된다.

08 ㄱ. 소음을 제거하는 원리는 소음과 진폭이 같고 위상이 반대인 소리를 만들어 상쇄 간섭이 일어나게 하는 것이다. 따라서 ㉠과 ㉡의 위상은 서로 반대이다.

[바로알기] ㄴ. 같은 진폭의 두 소리가 반대 위상으로 중첩되어 상쇄될 때 합성파의 진폭이 0이 된다. 따라서 ㉠과 ㉡의 진폭은 서로 같아야 한다.

ㄷ. 소음 제거 원리는 상쇄 간섭 현상을 이용한다.

09 ㄷ. 동일한 소리가 나오는 두 스피커 주위에서 소리가 잘 들리는 않는 지점이 있다는 것은 상쇄 간섭 현상으로 설명할 수 있다.

[바로알기] ㄱ. 공사장 소음이 밤에 더 멀리 전달되는 것은 파동의 굴절로 설명할 수 있다.

ㄴ. 수영장 물의 깊이가 실제보다 얕게 보이는 현상은 빛의 굴절로 설명할 수 있다.

10 ㄷ. 소리가 작게 들리는 좌석은 두 스피커에서 발생한 소리가 상쇄 간섭하는 곳이다. 두 스피커에서 발생한 소리의 진동수, 진폭, 위상이 같으므로, 상쇄 간섭이 일어나기 위해서는 두 스피커로부터의 경로차가 반파장의 홀수 배가 되어야 한다.

[바로알기] ㄱ. 직선 A 위의 모든 점은 두 스피커로부터의 경로차가 0이므로 보강 간섭이 일어난다. 따라서 소리가 작게 들리는 좌석이 없다.

ㄴ. 소리가 보강 간섭할 때 크게 들리고, 보강 간섭은 위상이 같은 두 소리가 중첩할 때 나타난다. 따라서 소리가 크게 들리는 좌석에서는 두 스피커에서 발생한 소리가 같은 위상으로 중첩한다.

개념 적용 문제

222쪽~225쪽

01 ③ 02 ③ 03 ⑤ 04 ① 05 ② 06 ④
 07 ⑤ 08 ②

01 ㄱ. P에서는 위상이 같은 두 밀한 곳의 파면이 중첩되므로 보강 간섭이 일어나 진폭이 커져 소리가 크게 들린다.

ㄷ. R에서는 밀한 곳과 소한 곳의 파면이 중첩되므로 위상이 서로 반대인 소리가 중첩되어 상쇄 간섭이 일어난다.

[바로알기] ㄴ. P와 Q를 잇는 직선 PQ 상에서는 A, B까지의 경로차가 0이므로 보강 간섭만 일어나 소리가 작게 들리는 곳이 없다.

02 ㄱ. Q, S에서는 소리의 세기가 최대이므로 두 스피커 A, B에서 발생한 소리가 보강 간섭을 한다.

ㄷ. 경로차가 0인 지점 R에서 소리의 세기가 최솟이므로 상쇄 간섭을 하고 있다. 따라서 A, B에서 발생한 소리의 위상은 서로 반대이다.

[바로알기] ㄴ. R에서는 두 스피커 A, B까지의 거리가 같으므로 경로차가 0이다.

03 ㄱ. A와 B로부터의 경로차가 0인 지점 O에서 보강 간섭을 하므로 A, B에서 같은 위상으로 소리가 발생하고 있다.

ㄴ. A, B에서 세기와 진동수가 같은 소리가 발생하고 있고, Q는 P와 대칭인 지점이므로 Q에서 소리의 세기는 P에서와 같다.

ㄷ. A, B에서 P까지의 경로차가 파장의 $\frac{3}{2}$ 배이므로 O와 P 사이에는 경로차가 한 파장인 보강 간섭을 하는 지점이 존재한다. 마찬가지로 O와 Q 사이에 경로차가 한 파장인 지점이 존재한다. 따라서 O를 포함하여 P와 Q 사이에 보강 간섭이 일어나는 지점은 3개이다.

- 04 ㄱ. 스피커 소리의 진동수가 500 Hz이므로 소리의 속력 $v=f\lambda$ 로부터 소리의 파장은 $\frac{340 \text{ m/s}}{500 \text{ Hz}}=0.68 \text{ m}$ 이다.

[바로알기] ㄴ. B_2 는 두 스피커와 거리가 같은 A_1 에서 두 번째로 상쇄 간섭이 나타나는 곳이므로, 경로차가 파장의 $\frac{3}{2}$ 배($\frac{3}{2}\lambda$)인 지점이다. 따라서 두 스피커 S_1, S_2 로부터 B_2 의 경로차 $|\overline{S_1B_2}-\overline{S_2B_2}|=\frac{3}{2}\times 0.68 \text{ m}=1.02 \text{ m}$ 이다.

ㄷ. 두 파원 사이의 거리가 멀어지면 같은 거리를 이동할 때 발생하는 경로차의 변화량이 커지므로, 경로차가 파장 만큼 변화하기 위해 이동해야 하는 거리가 감소한다. 따라서 x 축 위의 보강 간섭하는 이웃한 지점 사이의 거리는 감소한다. 즉, 두 스피커 사이의 거리가 멀어지면 A_1 과 A_2 사이의 거리는 감소한다.

- 05 ㄴ. A, B에서 위상이 같은 소리를 발생하므로 합성된 소리의 세기가 최소인 지점에서는 A, B에서 발생한 두 소리가 상쇄 간섭을 한다.

[바로알기] ㄱ. 두 파원을 잇는 직선상에서 이웃한 보강(상쇄) 간섭 지점 사이의 거리는 반파장과 같다. 따라서 소리의 진동수가 f_1 일 때 이웃한 상쇄 간섭 지점 사이의 거리가 $3d$ 이므로 이 소리의 파장은 $6d$ 이다.

ㄷ. 진동수 f_1, f_2 일 때 소리의 파장은 각각 $6d, 8d$ 이다. 소리의 속력은 일정하므로 $f_1:f_2=\frac{v}{6d}:\frac{v}{8d}=4:3$ 이다.

- 06 ㄴ. 배기 소음을 줄이는 장치이므로 두 통로를 지난 배기음은 q에서 반대 위상으로 만나 상쇄 간섭을 한다.

ㄷ. q에서 상쇄 간섭이 일어나므로, 이때의 경로차는 반파장의 홀수 배이다. 따라서 경로차 l_1-l_2 의 최솟값은 반파장인 $\frac{\lambda}{2}$ 이다.

[바로알기] ㄱ. q에서 소음이 작아져야 하므로 상쇄 간섭을 하여야 한다. 따라서 길이가 각각 l_1, l_2 인 통로를 지난 배기음은 q에서 반대 위상으로 만나 중첩된다.

- 07 A에서 음파 검출기까지의 거리는 $4L$, B에서 음파 검출기까지의 거리는 $5L$ 이므로 A, B에서 음파 검출기까지의

경로차는 L 이다. 따라서 음파 검출기에서 보강 간섭하는 소리의 파장 중 최댓값은 L 이다. 소리의 속력이 일정할 때 $v=f\lambda$ 에서 진동수는 파장의 역수에 비례하므로, 파장이 최대일 때 진동수는 최소이다. A, B에서 발생한 소리가 보강 간섭을 하기 위한 소리의 진동수 중 가장 작은 것은 파장이 최대인 L 일 때이므로, 이때의 진동수는 $\frac{v}{L}$ 이다.

- 08 ㄷ. P에서 A로 반원을 따라 이동하는 동안 두 음파 발생기 위치와의 경로차의 최댓값은 d 이고, $d=2.5 \text{ m}$ 일 때 경로차가 $1 \text{ m}, 2 \text{ m}$ 인 곳에서 두 소리는 보강 간섭을 한다. P에서 B로 반원을 따라 이동하는 동안에도 마찬가지로이다. 따라서 $d=2.5 \text{ m}$ 일 때, 반원 위에서 보강 간섭이 일어나는 지점은 P를 포함하여 5개이다.

[바로알기] ㄱ. (나)에서 경로차가 $d=0.5 \text{ m}$ 일 때 A에서 처음으로 상쇄 간섭이 나타나므로, 소리의 반파장이 0.5 m 이다. 따라서 음파 발생기에서 발생하는 소리의 파장은 1 m 이다.

ㄴ. 직선 OP 위에서는 두 파원까지의 거리가 모두 같아 경로차가 0이므로 보강 간섭하는 지점뿐이고, 상쇄 간섭하는 지점은 없다.

05 정상파

중요 개념 체크

230쪽

1 (1) ○ (2) ×

2 $3f_1, 2f_2$

탐구 확인 문제

231쪽

1 ①

- 1 ㄱ. 관 내부에 정상파가 형성될 때 공명 현상이 일어나 진폭이 커져서 소리가 크게 들린다.

[바로알기] ㄴ. x_1, x_2, x_3 는 소리가 크게 들릴 때의 피스톤의 위치이고, 이때 피스톤이 있는 곳에 정상파의 마디가 생긴다. 따라서 피스톤이 x_3 에 위치할 때 x_2 에는 정상파의 마디가 형성된다.

ㄷ. 정상파에서 이웃한 마디 사이의 거리가 반파장과 같으므로, 음파의 파장은 x_3-x_1 이다.

- 01 ㉠ 02 ㉠ 1 m, ㉡ 3 m
 03 (나), (다), (라) 04 ㉠ 05 ㉠
 06 ㉠ 정상파, ㉡ 공명 07 ㉠
 08 (1) 3:2 (2) 2:3 09 ㉠ 10 ㉡

- 01 ㄱ. 정상파는 서로 반대 방향으로 진행하는 진동수와 진폭이 같은 두 파동에 의해 발생한다.
 ㄴ. 정상파에서 배 부분의 매질은 진폭이 최대, 마디 부분의 매질은 진폭이 0이다. 즉, 위치에 따라 매질의 진폭은 서로 다르게 나타난다.
[바로알기] ㄷ. 이웃한 마디 사이의 거리는 반파장이다.
- 02 ㉠ 양 끝이 고정된 줄에서 생긴 4배 진동의 정상파에는 배가 4개이다. 길이가 2 m인 줄에 생긴 4배 진동의 파장은 $\lambda_n = \frac{2L}{n}$ 에서 $\frac{2 \times 2 \text{ m}}{4} = 1 \text{ m}$ 이다.
 ㉡ 줄의 길이를 L 이라고 하면, 양 끝이 고정된 줄에 생긴 3배 진동의 정상파 파장이 2 m이므로, 파장 $\lambda_n = \frac{2L}{n}$ 에서 $\frac{2 \times L}{3} = 2 \text{ m}$ 이므로 $L = 3 \text{ m}$ 이다.
- 03 초록색으로 나타낸 파동(왼쪽 방향으로 진행하는 파동)이 (나), (다), (라)의 순으로 왼쪽 방향으로 진행하므로, 시간 순서대로 나열하면 (나), (다), (라)이다.
- 04 ㄱ. 두 파동 A, B의 파장이 4 cm, 주기가 1초로 같으므로 두 파동의 진행 속력은 $\frac{4 \text{ cm}}{1 \text{ s}} = 4 \text{ cm/s}$ 로 같다.
 ㄷ. $x = 6 \text{ cm}$ 인 부분은 정상파의 마디이므로 이 부분에서 변위는 항상 0이다.
[바로알기] ㄴ. 정상파의 배는 서로 반대 방향으로 진행하던 두 원래의 파동이 중첩되어 보강 간섭을 하는 곳이므로 정상파 배의 진폭은 원래 파동의 2배이다. 원래 파동 A, B의 진폭이 모두 2 cm이므로 정상파 배의 진폭은 4 cm이다.
- 05 ㄱ. 정상파의 배는 두 파동이 보강 간섭하는 곳이므로 배의 진폭은 원래 파동(정상파를 만든 파동)의 2배이다. 정상파의 진폭이 $\frac{H}{2}$ 이므로 원래 파동의 진폭은 $\frac{H}{4}$ 이다.
 ㄴ. 정상파의 파장은 원래 파동의 파장과 같으며, 이웃한 마디 사이의 거리가 L 이므로 정상파의 파장은 $2L$ 이다. 따라서 원래 파동의 파장도 $2L$ 이다.

[바로알기] ㄷ. 파동의 전파 속력은 $v = f\lambda$ 로 진동수와 파장의 곱이므로, $f \times 2L = 2fL$ 이다.

- 06 정상파(㉠)는 진폭과 진동수가 같은 두 파동이 서로 반대 방향으로 진행할 때 형성된다. 공명(㉡)은 물체의 고유 진동수와 같은 진동수를 가진 힘(외력)이 물체에 주기적으로 가해질 때, 진폭이 급격히 커지는 현상이다.
- 07 ㄴ. 진동수 f 일 때 2배 진동을 하므로 줄에 생기는 정상파의 기본 진동수는 $\frac{f}{2}$ 이다.
 ㄷ. 정상파의 기본 진동수가 $\frac{f}{2}$ 였으므로, 진동수를 기본 진동수의 4배인 $2f$ 로 바꾸면 4배 진동을 하여 줄에 배가 4개인 정상파가 만들어진다.
[바로알기] ㄱ. 정상파에서 마디와 마디 사이의 길이는 반파장이다. 따라서 줄에서 파동의 파장은 L 이다.
- 08 (1) (가)에서는 기본 진동을, (나)에서는 3배 진동을 하므로 줄에 만들어진 정상파의 파장은 $\lambda_n = \frac{2L}{n}$ 에서 $\lambda_A = 2L_0$, $\lambda_B = \frac{4}{3}L_0$ 이므로 $\lambda_A : \lambda_B = 3 : 2$ 이다.
 (2) 줄에서 파동의 속력이 서로 같으므로 $f_A \lambda_A = f_B \lambda_B$ 가 성립한다. 따라서 $f_A : f_B = \frac{1}{\lambda_A} : \frac{1}{\lambda_B} = \frac{1}{3} : \frac{1}{2} = 2 : 3$ 이다.
- 09 ㄴ. 표에서 측정값 사이의 차는 25 cm로, 이는 관의 내부에 형성되는 정상파의 반파장에 해당한다. 따라서 소리의 파장은 50 cm(=0.5 m)이다.
 ㄷ. 진동수와 파장의 곱이 파동의 속력이다. 따라서 스피커에서 나오는 소리에서 $f_0 \times 0.5 \text{ m} = 340 \text{ m/s}$ 이므로, 소리의 진동수 $f_0 = \frac{340 \text{ m/s}}{0.5 \text{ m}} = 680 \text{ Hz}$ 이다.
[바로알기] ㄱ. 한쪽 끝만 열린 관(폐관)의 막힌 부분에서는 공기가 좌우로 진동할 수 없으므로 정상파의 마디가 생긴다.
- 10 ㄷ. 악기의 율림통은 줄의 진동에 의해 발생하는 소리와 공명하여 소리를 크게 하므로 (가), (나)의 소리는 모두 율림통에서 정상파를 만든다.
[바로알기] ㄱ. (가), (나)는 같은 줄에서 발생하므로 파동의 속력이 같다. 파동의 속력이 같을 때 파장이 작을수록 진동수가 크다. 따라서 진동수는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 (나)의 소리가 (가)보다 높은 소리이다.

ㄴ. 공기에서 소리의 속력은 진동수에 관계없이 일정하다. 따라서 공기에서 (가)의 소리와 (나)의 소리의 전파 속력은 서로 같다.

개념 적용 문제

234쪽~237쪽

01 ③ 02 ① 03 ④ 04 ⑤ 05 ① 06 ①
07 ① 08 ⑤

- 01 ㄱ. (가)에서 중첩되는 두 파동의 파장은 4 m, (나)에서 두 파동의 주기는 4 s임을 알 수 있다. 따라서 중첩되는 두 파동의 속력은 각각 $\frac{4\text{ m}}{4\text{ s}} = 1\text{ m/s}$ 이다.

ㄴ. (가)에서 $x=1\text{ m}$ 와 $x=3\text{ m}$ 는 각각 정상파의 배이다. 정상파의 이웃한 두 배에서 매질은 서로 반대 방향으로 진동하므로, $x=3\text{ m}$ 에 있는 매질은 $x=1\text{ m}$ 에 있는 매질과 반대 방향으로 진동한다. (나)에서 $t=2\text{ 초}$ 인 순간, $x=1\text{ m}$ 에 있는 매질의 변위가 -2 m 이므로 $x=3\text{ m}$ 에 있는 매질의 변위는 2 m 이다.

[바로알기] ㄷ. $x=5\text{ m}$ 는 정상파의 배이므로 보강 간섭을 하는 곳이다. 보강 간섭은 위상이 같은 두 파동이 중첩되는 것이므로 $x=5\text{ m}$ 에서 두 파동의 위상차는 0이다.

- 02 ㄱ. 정상파에서 이웃한 마디 사이의 거리는 반파장이므로 줄에서 파동의 파장은 $\frac{2}{3}L$ 이다. 파동의 속력은 파장을 주

기로 나눈 값이므로 줄에서 파동의 속력 $v = \frac{\frac{2}{3}L}{T} = \frac{2L}{3T}$ 이다.

[바로알기] ㄴ. (나)는 (가)에서 $\frac{3}{8}T$ 가 지난 모습이므로 P가 아래로 내려가는 중이다. 따라서 (나)에서 P의 운동 방향은 아래쪽이다.

ㄷ. 양 끝이 고정된 줄에서의 고유 진동수는 $f_n = n \frac{v}{2L}$ 이므로 3배 진동인 (가)의 진동수는 $f_3 = \frac{3v}{2L} = \frac{1}{T}$ 이다. 기본 진동수는 $f_1 = \frac{v}{2L}$ 로, (가)의 진동수의 $\frac{1}{3}$ 배이다. 따라서 줄에 생기는 기본 진동의 진동수는 $\frac{1}{3T}$ 이다.

- 03 ㄴ. 줄이 벽에 고정되어 있으므로 줄을 따라 진행하는 파동은 경계면에서 고정단 반사를 하며, 이때 반사파의 위상은 입사파의 반대가 된다. 따라서 $x=0$ 에서 중첩되는 두 파동의 위상은 서로 반대이다.

ㄷ. (나)로부터 $\frac{3}{4}T$ 가 지난 순간, 정상파의 배에서 줄의 변위는 0이다. 따라서 정상파의 배인 $x=x_0$, $x=3x_0$ 에서의 변위는 0으로 같다.

[바로알기] ㄱ. (나)에서 정상파의 파장이 $4x_0$ 임을 알 수 있다. 정상파의 주기는 원래 파동과 같은 T 이므로 줄을 따라 진행하는 파동의 속력은 $\frac{4x_0}{T}$ 이다.

- 04 ㄱ. 그림에서 파동의 파장이 L_0 이므로 실에서 파동의 속력은 $f_0 L_0$ 이다.

ㄴ. 그림의 정상파는 2배 진동으로 진동수가 f_0 이므로 실의 기본 진동수는 $\frac{f_0}{2}$ 이다. f_1 은 f_0 보다 큰 첫 번째 정상파의 진동수이므로 3배 진동수이다. 따라서 진동 발생 장치의 진동수가 f_1 일 때, p의 진동수는 다음과 같다.

$$f_1 = \frac{f_0}{2} \times 3 = \frac{3}{2}f_0$$

ㄷ. f_2 는 3배 진동수인 f_1 다음으로 큰 정상파의 진동수이므로 4배 진동수일 때의 값이다. 따라서 $f_2 = \frac{f_0}{2} \times 4 = 2f_0$ 이 성립한다.

- 05 그림 중간과 아래의 같은 줄 B에 만들어진 정상파에서 파동의 속력은 서로 같다. 중간은 배가 4개인 4배 진동, 아래는 배가 3개인 3배 진동이므로 진동수의 비는 $f_1 : f_2 = 4 : 3$ 이다. 정상파에서 이웃한 마디 사이의 거리는 반파장이므로, 줄의 길이를 L 이라고 하면 그림 위와 중간의 정상파에서 파장은 각각 L , $\frac{1}{2}L$ 이다. 따라서 A, B에서 진행하는 파동의 속력은 각각 $v_A = f_1 L$, $v_B = f_2 \times \frac{1}{2}L$ 이고, 속력의 비 $v_A : v_B = 2 : 1$ 이다.

- 06 ㄱ. A를 가까이 가져갈 때 B와 연결된 소리통에서 공명하여 큰 소리가 발생하였으므로 두 소리굽쇠 A와 B는 서로 공명한다.

[바로알기] ㄴ. 한쪽이 막혀 있는 소리통에서 발생하는 소리는 열린 입구가 배, 막힌 끝이 마디인 기본 진동을 하는 파동이므로 이 소리의 파장은 $4L$ 이다. 따라서 소리의 속력은 $4fL$ 이다.

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 유리 관에서 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.