

02

탄성파

수록 구성

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

O₂ 탄성파

핵심 내용 **미리보기**

●● **탄성파**는 탄성이 있는 매질을 통해 진행하며, 진행하다가 다른 매질을 만나면 매질의 **경계면**에서 **반사와 투과**가 일어난다. ●●

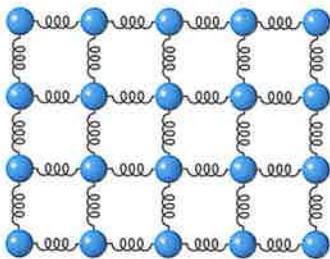
1 탄성파의 표현

기다란 용수철이나 줄을 일정하게 흔들면 파동이 발생하는 것을 관찰할 수 있다. 이처럼 탄성이 있는 매질에 힘을 가할 때 복원력에 의해 발생하는 파동을 탄성파라고 한다.

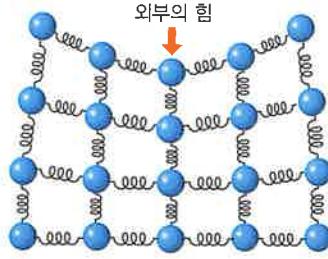
1. 탄성파

(1) **탄성**: 외부의 힘에 의해 변형된 물체가 힘이 제거되었을 때 원래의 모양으로 되돌아가려는 성질이다.

① **고체의 탄성**: 고체를 구성하는 입자들은 아래의 그림 (가)처럼 전기력에 의해 마치 서로 용수철로 연결된 것처럼 움직인다. 그림 (나)처럼 외부의 힘에 의해 평형 상태의 배열에 변화가 생기면 복원력이 작용해 다시 평형 상태로 돌아오면서 진동한다.



(가) 평형 상태



(나) 외부의 힘이 작용할 때

▲ 고체의 탄성 모형

② **액체의 탄성**: 액체의 경우 구성 입자들 사이의 결합력이 약하지만, 고체처럼 모양이 변하면 복원력이 작용해 평형 상태로 돌아오면서 진동한다.

③ **기체의 탄성**: 기체 입자들은 고체와 달리 입자들 사이의 전기력이 매우 약하여 자유롭게 움직이므로 모양의 변형에 의한 탄성은 나타나지 않는다. 하지만 기체가 압축되거나 팽창할 때 원래의 부피로 돌아가려는 복원력이 작용해 진동한다.

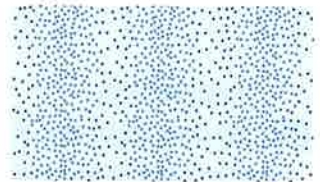
(2) **탄성파**: 잔잔한 호수에 돌을 던지면 돌이 떨어진 점을 중심으로 물결파가 동심원을 그리며 바깥쪽으로 퍼져 나간다. 돌이 떨어진 부분의 입자들이 흔들리고 결합력에 의해 *매질을 따라 주변의 입자들로 *파동이 전달된다. 물결파와 같이 탄성을 가진 매질을 통해 진행되는 파동을 탄성파라고 한다.



▲ 물결파

기체의 탄성 모형

기체의 압력 변화로 인해 구성 입자의 밀도가 달라지며 진동한다.



밀 소 밀 소 밀

탄성파와 전자기파의 차이

탄성파와 전자기파는 매질의 유무에 따라 나뉜다. 탄성파는 진동이 물질(매질)을 따라 전달되는 반면, 전자기파(빛)는 물질(매질)이 없이도 전달된다.

탄성파를 전달하는 매질

탄성파를 전달하는 매질의 예로는 공기, 땅, 철도 레일, 팽팽한 줄, 용수철 등이 있다.

용어 리마인드

***매질** [중학교 과학]

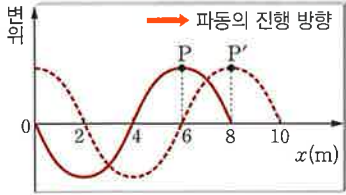
제자리에서 진동하며 파동을 전달하는 물질을 매질이라고 한다.

***파동** [중학교 과학]

한 곳에서 생긴 진동이 주변으로 퍼져 나가는 현상을 파동이라고 한다.

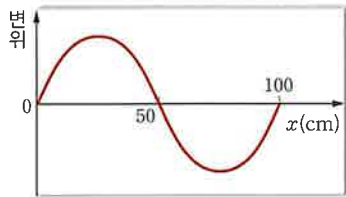
개념 기본 문제

01 그림과 같이 $+x$ 방향으로 진행하는 파동이 있다. 마루의 위치 P가 처음으로 P'가 되는 데 걸린 시간은 0.1초이었다.



- (1) 이 파동의 파장을 구하시오.
- (2) 이 파동의 주기를 구하시오.
- (3) 이 파동의 진동수를 구하시오.
- (4) 이 파동의 속력을 구하시오.

02 그림은 0초일 때 횡파의 일부를 나타낸 것으로, 4초일 때 처음으로 같은 모양이 나타났다.



2초일 때 파동의 모양으로 옳은 것은?

- ① 변위 vs. x(cm) graph: Starts at (0,0), peaks at x=25, crosses x-axis at x=50, trough at x=75, back to x-axis at x=100.

② 변위 vs. x(cm) graph: Starts at (0,0), trough at x=25, crosses x-axis at x=50, peak at x=75, back to x-axis at x=100.

③ 변위 vs. x(cm) graph: Starts at (0,0), trough at x=25, crosses x-axis at x=50, peak at x=75, back to x-axis at x=100.

④ 변위 vs. x(cm) graph: Starts at (0,0), peaks at x=25, crosses x-axis at x=50, trough at x=75, back to x-axis at x=100.

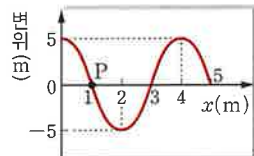
⑤ 변위 vs. x(cm) graph: Starts at (0,0), peaks at x=25, crosses x-axis at x=50, trough at x=75, back to x-axis at x=100.

03 다음은 두 종류의 파동에 대한 설명이다.

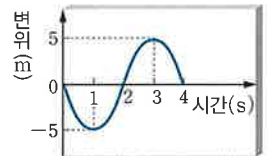
- 횡파는 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 서로 (㉠)인 파동이다.
- (㉡)는 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 서로 나란한 파동이다.

㉠, ㉡에 알맞은 말을 각각 쓰시오.

04 그림 (가)는 x 축을 따라 진행하는 파동에 대하여 0초일 때 변위를 위치에 따라 나타낸 것이고, (나)는 (가)의 점 P의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

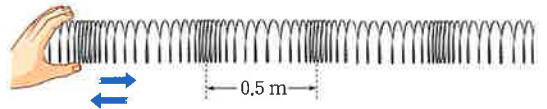
이 파동에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 진동수는 4 Hz이다.
- ㄴ. $+x$ 방향으로 진행한다.
- ㄷ. 전파 속력은 1 m/s이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

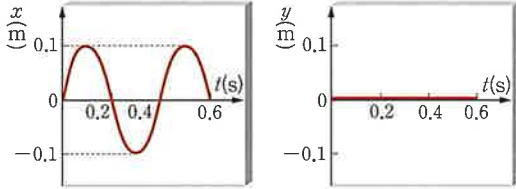
05 그림과 같이 용수철의 한끝을 잡고 1초당 2번씩 용수철을 앞뒤로 흔들어 파동을 발생시켰더니, 이웃한 밀한 부분 사이의 거리가 0.5 m이었다.



이 파동의 전파 속력을 구하시오.

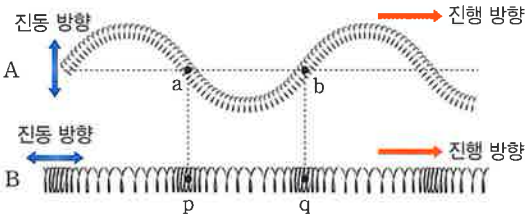
06 피아노를 조율할 때 사용하는 대표적인 소리굽쇠의 진동수는 A4 '라' 음인 440 Hz이다. 이 소리굽쇠에서 발생하는 소리의 파장은 몇 m인지 구하시오. (단, 공기에서 소리의 속력은 340 m/s이고, 소수 셋째 자리에서 반올림한다.)

- 07** 그림은 xy 평면에서 용수철을 진동시켜 x 축 방향으로 진행하는 파동을 발생시켰을 때, 용수철에 있는 한 점의 x 축, y 축 방향의 변위를 각각 시간 t 에 따라 나타낸 것이다. 이 파동의 파장은 0.5 m이다.



- (1) 이 파동의 종류를 쓰시오.
- (2) 이 파동의 주기를 구하시오.
- (3) 이 파동의 진동수를 구하시오.
- (4) 이 파동의 전파 속력을 구하시오.

- 08** 그림은 두 용수철을 서로 다른 방향으로 각각 진동시켜 발생한 파동 A, B가 전파되고 있는 어느 한 순간의 모습을 나타낸 것이다. a와 b는 A에서 변위가 0인 두 지점이고, p와 q는 B에서 가장 밀한 두 지점이다. a와 b 사이, p와 q 사이의 거리는 서로 같다.



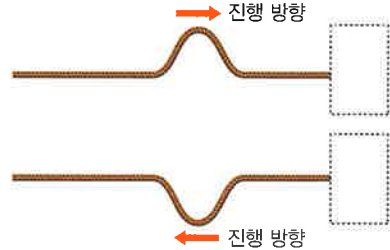
두 파동에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A는 종파, B는 횡파이다.
- ㄴ. 파장은 A가 B의 2배이다.
- ㄷ. 음파는 A처럼 진행하는 파동이다.
- ㄹ. 이 순간 a, b의 운동 방향은 서로 반대이다.

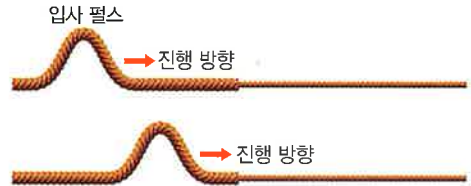
- ① ㄱ, ㄴ ② ㄱ, ㄷ ③ ㄴ, ㄹ
- ④ ㄱ, ㄴ, ㄹ ⑤ ㄴ, ㄷ, ㄹ

- 09** 그림은 줄을 따라 오른쪽으로 진행하던 펄스가 줄의 끝에 도달하여 반사한 후 왼쪽으로 진행하는 모습을 나타낸 것이다.



- (1) 이러한 반사를 무엇이라고 하는지 쓰시오.
- (2) 반사파와 입사파의 위상차를 쓰시오.

- 10** 그림은 굵은 줄에서 가는 줄로 입사 펄스가 진행하는 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ① 선밀도는 가는 줄이 굵은 줄보다 크다.
- ② 두 줄에서 파동의 전파 속력은 서로 같다.
- ③ 두 줄의 경계면에서 고정단 반사가 일어난다.
- ④ 투과 펄스의 위상은 입사 펄스의 위상과 같다.
- ⑤ 반사 펄스의 위상은 입사 펄스의 위상과 반대이다.

- 11** 다음은 탄성파의 활용에 대한 설명이다.

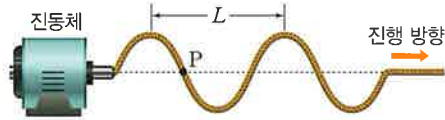
- 탄성파를 이용하는 (㉠)을 이용하면 구조물을 파괴하지 않고도 내부 결함을 검사할 수 있다.
- (㉡)가 몸속의 장기를 투과하고 반사하는 정도가 다른 것을 이용하면 인체의 내부 구조나 임산부 몸속 태아의 모습을 관찰할 수 있다.

㉠, ㉡에 알맞은 말을 각각 쓰시오.

개념 적용 문제

▶ 탄성파의 종류와 매질의 진동

01 그림은 상하로 진동하는 진동체에 의해 만들어진 횡파 방향으로 진행하는 파동의 어느 순간 모습으로, 파동의 이웃한 마루 사이의 거리는 L 이고, 줄 위의 점 P의 변위는 0이다.



▶ 파동의 전파 속도 $v=f\lambda$ 이다. 음파는 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 서로 나란한 종파이다.

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

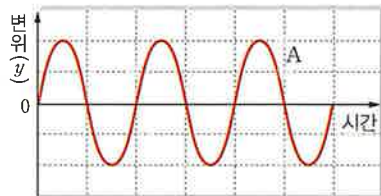
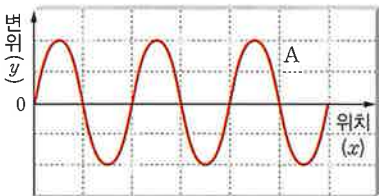
보기

- ㄱ. 이 순간 P의 운동 방향은 위쪽이다.
- ㄴ. 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향 사이의 관계는 음파에서와 같다.
- ㄷ. 진동체의 진동수만 2배로 증가하면 L 이 2배로 증가한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 탄성파의 종류와 속력

02 그림 (가)는 x 축 방향으로 진행하는 두 파동 A, B의 어느 순간의 변위를 위치에 따라 나타낸 것이고, (나)는 A, B가 진행하는 매질의 어느 한 점의 y 축 방향 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.



▶ 횡파는 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 수직이다. 진동수는 주기의 역수이고, 파동의 전파 속도 v 는 $v=f\lambda$ 이다.

(가)

(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

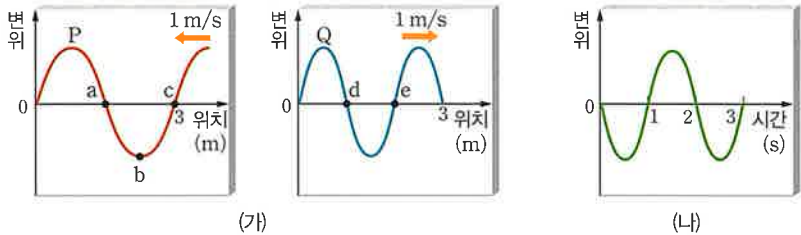
- ㄱ. A는 횡파, B는 종파이다.
- ㄴ. 진동수는 B가 A의 2배이다.
- ㄷ. 전파 속력은 B가 A의 4배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 탄성파의 표현

03 그림 (가)는 파동 P, Q가 각각 화살표 방향으로 1 m/s의 속력으로 진행할 때, 어느 순간 매질의 변위를 위치에 따라 나타낸 것이고, (나)는 (가)의 순간부터 점 a~e 중 하나의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.

▷ 파장은 위상이 같은 이웃한 두 지점 사이의 거리이고, 주기는 진동수의 역수이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 파장은 P가 Q의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

ㄴ. 진동수는 P가 Q의 $\frac{2}{3}$ 배이다.

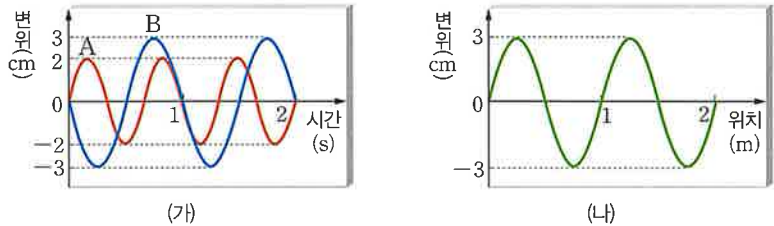
ㄷ. (나)는 e의 변위를 나타낸 것이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 탄성파의 표현과 전파속력

04 그림 (가)는 x축을 따라 진행하는 파동 A, B의 어느 한 점의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이고, (나)는 어느 순간에 A와 B 중 하나의 변위를 위치에 따라 나타낸 것이다. 파동의 전파 속력은 A가 B의 3배이다.

▷ 파동은 한 주기 동안 한 파장만큼 이동하므로, 파동의 속력은 파장을 주기로 나눈 값과 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 진동수는 A가 B의 $\frac{2}{3}$ 배이다.

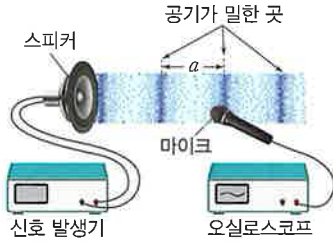
ㄴ. B의 전파 속력은 1 m/s이다.

ㄷ. A의 파장은 2 m이다.

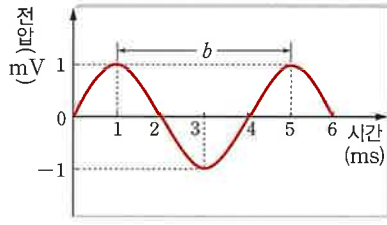
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 음파의 표현

- 05 그림 (가)와 같이 마이크를 이용하여 스피커로부터 나오는 진동수가 일정한 음파를 측정하였다. (나)와 같은 파형이 오실로스코프에 나타났다. (가)에서 a 는 이웃한 공기가 밀한 곳 사이의 거리이다.



(가)



(나)

▶ 종파는 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 나란하여 소한 곳과 밀한 곳이 생긴다.

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

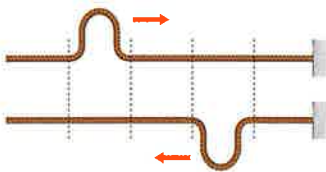
보기

- ㄱ. 음파는 종파이다.
- ㄴ. a 가 짧을수록 b 가 길어진다.
- ㄷ. a 를 b 로 나눈 값이 음파의 속력이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 탄성파의 반사

- 06 그림 (가)는 벽에 고정된 줄에서의 입사 펄스와 반사 펄스의 모습을 나타낸 것이고, (나)는 (가)와 동일한 줄에 다른 모양의 파동을 입사시키는 것을 나타낸 것이다.



(가)



(나)

▶ 끝이 고정된 줄에서 반사파의 위상은 입사파와 정반대이다.

(나)에서 나타날 수 있는 파동의 모양으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 줄의 장력은 일정하며, 파동의 에너지 손실은 무시한다.)

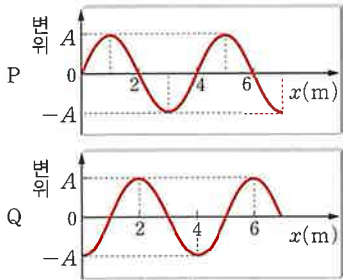
보기

- ㄱ.
- ㄴ.
- ㄷ.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 탄성파의 표현

- 07 그림은 5 m/s의 속력으로 x 축과 나란하게 진행하는 파동의 변위를 위치 x 에 따라 나타낸 것으로, 어느 한 순간 파동의 모양이 P, 또 다른 한 순간 Q와 같았다. 표는 파동의 모양이 P에서 Q로, 또는 Q에서 P로 바뀌는 데 걸린 최소 시간을 나타낸 것이다.



구분	파동의 모양이 바뀌는 데 걸린 최소 시간(s)
P → Q	0.2
Q → P	0.6

▷ 이웃한 마루 사이의 거리가 파장이고, 진동수는 주기의 역수이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

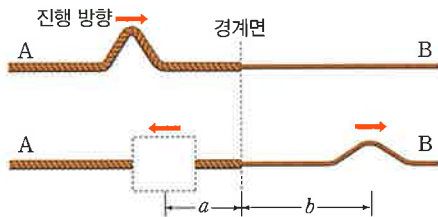
보기

- ㄱ. 파동의 파장은 4 m이다.
 ㄴ. 파동의 진동수는 0.8 Hz이다.
 ㄷ. 파동은 $-x$ 방향으로 진행한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 탄성파의 반사와 투과

- 08 그림은 서로 다른 두 줄 A와 B를 연결하고 A에서 B로 펄스를 보냈을 때 두 줄의 경계면에서 반사 펄스와 투과 펄스가 발생하여 진행되는 것을 나타낸 것이다. a , b 는 각각 두 줄의 경계면에서 반사 펄스, 투과 펄스까지의 거리이며, $a < b$ 이다.



▷ 파동의 속력이 느린 매질에서 빠른 매질로 파동이 진행하다 두 매질의 경계면에서 반사한 파동은 위상 변화가 없다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 줄 A, B의 장력은 각각 일정하며, 파동의 에너지 손실은 무시한다.)

보기

- ㄱ. A에서와 B에서 파동의 전파 속력은 같다.
 ㄴ. 반사파의 위상은 입사파와 정반대이다.
 ㄷ. 파장은 B에서가 A에서보다 길다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 ㄱ. 단진동을 하는 물체의 최대 가속도 크기는 등속 원운동에서의 가속도 $(a = \frac{v^2}{r})$ 와 같으므로 $\frac{V^2}{A}$ 이다.

ㄴ. 역학적 에너지가 보존되므로 평형 위치에서의 역학적 에너지 $\frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mV^2$ 이고, 용수철 상수 $k = \frac{mV^2}{A^2}$ 이다.

ㄷ. 등속 원운동과 비교하면 주기 $T = \frac{2\pi r}{V} = \frac{2\pi A}{V}$ 이다.

07 ㄱ. 두 진자의 진동수가 서로 같으므로 주기도 서로 같다. 따라서 $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 에서 $mg = kl$ 이다.

ㄷ. 용수철 진자의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로 추의 질량 m 이 증가하면 주기가 증가한다.

ㄴ. 단진자의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이므로 단진자의 길이 l 이 증가하면 주기가 증가한다.

[바로알기] ㄴ. 단진자의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이므로 추의 질량이 변해도 주기는 변하지 않는다.

ㄹ. 용수철 진자의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로 중력 가속도가 변해도 주기는 변하지 않는다.

08 (1) 단진자의 주기는 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이므로 실의 길이가 길수록 주기가 크다. 따라서 $T_A = T_B < T_C$ 이다.

(2) 최하점을 지나는 순간 추는 등속 원운동과 같은 운동을 하므로, 최하점에서의 속력이 v 이면 최하점에서의 가속도의 크기는 $\frac{v^2}{l}$ 이다. 최하점과 최고점의 높이차를 h 라고 할 때 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ 이다. 단진자가 이루는 최대 각도가 동일하므로 h 는 실의 길이에 비례한다. 따라서 v^2 은 C 가 A, B 의 2배이지만, 실의 길이는 C 가 A, B 의 2배이므로, 최하점에서의 가속도 크기 $\frac{v^2}{l}$ 은 A, B, C 가 모두 같다.

09 (1) $x = 0.1\sin 10t$ 이므로 $10T = 2\pi$ 에서 주기 $T = \frac{\pi}{5}$ s이다.

(2) 등속 원운동과 비교하면 주기가 $\frac{\pi}{5}$ s이므로 평형 위치에서의 속력은 $\frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \times 0.1 \text{ m}}{\frac{\pi}{5} \text{ s}} = 1 \text{ m/s}$ 이다.

(3) $x = 0.1\sin 10t$ 이므로 속도는 $v = 1\cos 10t$, 가속도는 $a = -10\sin 10t$ 이다. 변위가 0.1 m일 때 $\sin 10t = 1$ 이므로, 가속도의 크기는 10 m/s^2 이다.

10 (1) 용수철 상수는 $k = \left| -\frac{F}{x} \right| = \frac{10 \text{ N}}{0.1 \text{ m}} = 100 \text{ N/m}$ 이다.

(2) 역학적 에너지가 보존되므로 평형 위치에서 역학적 에너지 $\frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mv^2$ 이고, 평형 위치에서의 물체의 속력은

$$v = A\sqrt{\frac{k}{m}} = 0.1 \text{ m} \times \sqrt{\frac{100 \text{ N/m}}{1 \text{ kg}}} = 1 \text{ m/s}$$

(3) 평형 위치에서 변위가 0.1 m, 즉 변위가 최대인 지점까지 물체가 이동하는 데 걸린 시간은 주기의 $\frac{1}{4}$ 배이므로, 주

$$\text{기 } T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \text{에서 } \frac{1}{4} \times 2\pi\sqrt{\frac{1 \text{ kg}}{100 \text{ N/m}}} = \frac{\pi}{20} \text{ s}$$

개념 적용 문제

184쪽~187쪽

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

01 ㄱ. 등속 원운동을 하는 공의 그림자의 주기와 단진동을 하는 추의 주기는 서로 같으므로, $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{1 \text{ kg}}{100 \text{ N/m}}}$
 $= \frac{\pi}{5}$ s이다.

[바로알기] ㄴ. 공의 주기가 $\frac{\pi}{5}$ s이므로, 등속 원운동을 하

는 공의 속력은 $\frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \times 0.2 \text{ m}}{\frac{\pi}{5} \text{ s}} = 2 \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ. 추가 최하점에 있을 때 추에 작용하는 알짜힘은 위쪽 방향의 탄성력과 아래쪽 방향의 중력의 합력이다. 따라서 $F_{\text{알짜}} = F_T - mg = kx = 100 \text{ N/m} \times 0.2 \text{ m} = 20 \text{ N}$ 에서 탄성력의 크기는 $F_T = kx + mg = 20 \text{ N} + (1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2) = 30 \text{ N}$ 이다.

02 변위 $x = 0.4\sin \frac{t}{2}$ 에서 속도는 $v = 0.2\cos \frac{t}{2}$, 가속도는 $a = -0.1\sin \frac{t}{2}$ 이다.

ㄱ. 시간 t_1 일 때 물체의 속력이 최대이므로 0.2 m/s 이다.

ㄴ. 시간 $t = \pi$ s일 때 $|a| = 0.1\sin \frac{\pi}{2} = 0.1 (\text{m/s}^2)$ 이다.

[바로알기] ㄷ. 변위 $x = 0.4\sin \frac{t}{2}$ 에서 각속도 $\omega = \frac{1}{2}$ 이

므로 주기는 $\frac{2\pi}{\omega} = 4\pi (\text{s})$ 이다. 물체의 질량은 1 kg 이므로, 주

$$\text{기 } T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{1}{k}} = 4\pi \text{에서 } k = 0.25 \text{ N/m}$$

03 나. 보기 ㄱ의 해설에 따라 $4k_A = k_B$ 이므로 $T_A = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_A}}$,

$T_B = 2\pi\sqrt{\frac{m}{4k_A}}$ 이다. 따라서 주기는 A가 B의 2배이다.

ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘은 탄성력이다. A, B의 질량이 같으므로 최대 가속도는 탄성력의 최댓값에 비례하며, 탄성력 $F = -kx$ 에서 A, B의 진폭이 같고 $4k_A = k_B$ 이므로 최대 가속도의 크기는 B가 A의 4배이다.

[바로알기] ㄱ. 용수철의 위치 에너지가 운동 에너지로 전환되므로 최대 속력 V 에 대하여 $\frac{1}{2}mV^2 = \frac{1}{2}kL^2$ 이 성립한다. 물체는 평형 위치에서 최대 속력이 되므로 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}k_AL^2$, $\frac{1}{2}m(2v)^2 = \frac{1}{2}k_B L^2$ 이고, $4k_A = k_B$ 이다.

04 ㄷ. 용수철 진자의 진폭이 클수록 탄성 위치 에너지가 크므로 진폭이 큰 B의 최대 속력이 A의 최대 속력보다 크다.

[바로알기] ㄱ. 용수철 진자의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 으로 물체의 질량과 용수철 상수에만 관계하므로, A와 B의 주기는 같다.
나. 빗면에 있을 때 중력의 빗면 방향 성분이 작용하므로 (나)에서 평형 위치까지의 거리가 길어진다. 손을 치웠을 때, 그림의 위치에서 평형 위치까지의 거리가 용수철 진자의 진폭이 되므로 진폭은 B가 A보다 크다.

05 ㄱ. (나)에서 물체의 주기는 $T = 2\pi\sqrt{\frac{1}{k}} = \frac{\pi}{5}$ 이므로 용수철 상수는 $k = 100 \text{ N/m}$ 이다.

ㄷ. 역학적 에너지가 보존되므로 $\frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$ 에서 $\frac{1}{2} \times (100 \text{ N/m}) \times (0.1 \text{ m})^2 = \frac{1}{2} \times (1 \text{ kg}) \times v^2 + \frac{1}{2} \times (100 \text{ N/m}) \times (0.05 \text{ m})^2$ 이다. $v^2 = 0.75$ 이므로, 변위가 0.05 m일 때 물체의 속력은 $v = \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ m/s}$ 이다.

[바로알기] 나. 가속도의 최댓값은 탄성력이 최대일 때이므로 $a = \frac{kx}{m} = \frac{100 \text{ N/m} \times 0.1 \text{ m}}{1 \text{ kg}} = 10 \text{ m/s}^2$ 이다.

06 역학적 에너지가 보존되므로 최고점에서의 중력에 의한 위치 에너지가 최하점에서의 운동 에너지로 전환된다. 따라서 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ 에서 $v^2 = 2gh$ 이다.

ㄱ. 최고점과 최하점의 높이차는 최하점에서의 속력의 제곱에 비례한다. 추의 속력은 B가 A의 2배이므로 최고점과 최하점의 높이차는 B가 A의 4배이다.

나. 높이차는 B가 A의 4배이므로 최고점에서의 실이 기울어진 각도 θ 는 B가 A보다 크다. 최고점에서 추의 가속도는 $g\sin\theta$ 이므로, B가 A보다 크다.

ㄷ. 단진자의 주기는 실의 길이의 제곱근에 비례하므로 B가 A의 $\sqrt{2}$ 배이다. 추가 최하점에서 최고점까지 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{1}{4}$ 주기이므로 이 시간은 B가 A의 $\sqrt{2}$ 배이다.

07 A와 B의 역학적 에너지가 보존되므로 각각 $\frac{1}{2}(2k)L^2 = \frac{1}{2}m_A v^2$, $\frac{1}{2}k(2L)^2 = \frac{1}{2}m_B(2v)^2$ 이고, $m_A = 2m_B$ 이다.
ㄱ. $m_A = 2m_B$ 이므로 질량은 A가 B의 2배이다.
나. B의 질량을 m 이라고 하면 A의 질량은 $2m$ 이고, A, B의 주기는 각각 $T_A = 2\pi\sqrt{\frac{2m}{2k}}$, $T_B = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이 되어서 같다.

ㄷ. A, B의 최대 가속도는 각각 탄성력이 최대일 때이므로 $a_A = \frac{2kL}{2m}$, $a_B = \frac{k(2L)}{m}$ 에서 B가 A의 2배이다.

08 나. (나)의 그래프를 통해 Q를 같은 복원력을 가지는 용수철 진자로 간주해 보자. $x = 0.1 \text{ m}$ 일 때 F_x 는 P가 Q의 2배이므로, 용수철 상수도 P가 Q의 2배이다. 따라서 단진동의 주기는 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 에서 Q가 P의 $\sqrt{2}$ 배이다.

[바로알기] ㄱ. 진동 중심 O를 지나는 순간 Q는 등속 원운동을 하므로 가속도의 크기가 0이 아니다.

ㄷ. P와 연결된 용수철의 용수철 상수는 $\frac{1}{0.1} = 10 \text{ (N/m)}$ 이고, P의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{1}{10}}$ s이다. Q의 주기가 P의 $\sqrt{2}$ 배이므로, $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{10}} = \sqrt{2} \times 2\pi\sqrt{\frac{l}{10}}$ 에서 $l = 2 \text{ m}$ 이다.

02 탄성파

중요 개념 체크

192쪽

1 탄성파 2 (1) ○ (2) × (3) ○ 3 초음파

탐구 확인 문제

193쪽

1 ①

1. 파동의 파장은 이웃한 마루와 마루 사이의 거리이다. 그래프에서 이웃한 마루와 마루 사이의 거리가 10 m이므로, 이 파동의 파장은 10 m이다.

[바로알기] ㄴ. A점의 주기가 0.5초이므로, 이 파동의 진동수는 $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.5 \text{ s}} = 2 \text{ Hz}$ 이다.

ㄷ. 파동의 전파 속력은 파동의 진동수와 파장의 곱과 같다($v = f\lambda$). 제시된 파동의 진동수가 2 Hz, 파장이 10 m이므로 전파 속력은 $v = 2 \text{ Hz} \times 10 \text{ m} = 20 \text{ m/s}$ 이다.

개념 기본 문제

194쪽~195쪽

- 01 (1) 8 m (2) 0.4 s (3) 2.5 Hz (4) 20 m/s
 02 ③ 03 ㉠ 수직, ㉡ 종파
 04 ② 05 1 m/s 06 0.77 m
 07 (1) 종파 (2) 0.4 s (3) 2.5 Hz (4) 1.25 m/s
 08 ③ 09 (1) 고정단 반사 (2) $180^\circ(\pi)$
 10 ④ 11 ㉠ 비파괴 검사, ㉡ 초음파
- 01 (1) 그림에서 파동의 한 주기에 해당하는 거리가 8 m이므로 이 파동의 파장은 8 m이다.
 (2) P에서 P'까지는 2 m로, $\frac{1}{4}$ 파장만큼 이동한 거리이다. P에서 P'까지 진행하는 데 걸린 시간이 0.1초이므로 한 파장을 진행하는 데 걸리는 시간인 주기는 0.4초이다.
 (3) 파동의 진동수는 주기의 역수이므로 이 파동의 진동수는 $\frac{1}{0.4 \text{ s}} = 2.5 \text{ Hz}$ 이다.
 (4) 파동의 속력은 진동수와 파장의 곱이므로 이 파동의 속력은 $2.5 \text{ Hz} \times 8 \text{ m} = 20 \text{ m/s}$ 이다.
- 02 4초일 때 처음으로 같은 모양이 나타났으므로, 이 파동의 주기는 4초이다. 2초는 주기의 반으로, 주기의 반이 지나면 파동의 모양은 위상이 180° 바뀐다. 따라서 2초일 때 파동의 모양은 ③과 같은 모양이 적절하다.
- 03 횡파는 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 서로 수직(㉠)인 파동이고, 종파(㉡)는 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 서로 나란한 파동이다.

- 04 ㄷ. (가)에서 이웃한 마루 사이의 거리가 4 m이므로 파장은 4 m이고, (나)에서 주기는 4 s이다. 따라서 파동의 전파 속력은 $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{4 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 1 \text{ m/s}$ 이다.

[바로알기] ㄱ. 주기의 역수가 진동수이므로 이 파동의 진동수는 $\frac{1}{4 \text{ s}} = \frac{1}{4} \text{ Hz}$ 이다.

ㄴ. (나)에서 0초 직후 점 P의 변위가 (-)이므로 P는 아래로 내려가고, 이를 만족하기 위해서는 파동이 $-x$ 방향으로 이동해야 한다.

- 05 용수철을 1초당 2번씩 흔들었으므로 진동수는 2 Hz이고, 종파에서 이웃한 밀한 부분 사이의 거리가 파장이므로 파장은 0.5 m이다. 따라서 이 파동의 전파 속력은 $v = f\lambda = 2 \text{ Hz} \times 0.5 \text{ m} = 1 \text{ m/s}$ 이다.

- 06 파동의 속력은 $v = f\lambda$ 이므로, 속력이 340 m/s이고 진동수가 440 Hz인 소리의 파장은 $\frac{340 \text{ m/s}}{440 \text{ Hz}} \approx 0.77 \text{ m}$ 이다.

- 07 (1) x 축 방향으로 진행하는 파동이고, y 축 방향으로 매질의 변위가 0이므로 매질은 진행 방향에 나란하게 진동한다. 따라서 이 파동의 종류는 종파이다.

(2) x 축 방향의 매질 변위가 0.4 s마다 반복되므로 이 파동의 주기는 0.4 s이다.

(3) 파동의 진동수는 주기의 역수이므로 이 파동의 진동수는 $\frac{1}{0.4 \text{ s}} = 2.5 \text{ Hz}$ 이다.

(4) 진동수가 2.5 Hz이고 파장이 0.5 m이므로 전파 속력은 $v = f\lambda = 2.5 \text{ Hz} \times 0.5 \text{ m} = 1.25 \text{ m/s}$ 이다.

- 08 ㄴ. a와 b 사이의 거리는 반파장이고, p와 q 사이의 거리는 한 파장이다. 두 거리가 서로 같으므로 파장은 A가 B의 2배이다.

ㄹ. A가 오른쪽으로 진행하면 다음 순간 a는 위 방향, b는 아래 방향으로 이동하므로, 이 순간 a, b의 운동 방향은 서로 반대이다.

[바로알기] ㄱ. A는 용수철의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 서로 수직이므로 횡파이고, B는 용수철의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 서로 나란하므로 종파이다.

ㄷ. 음파는 종파이므로, 종파인 B처럼 진행하는 파동이다.

- 09 (1) 반사한 후 입사 펄스와 위상이 반대인 아래 방향의 반사 펄스가 발생하였으므로 고정단 반사이다.
 (2) 고정단 반사에서 반사파와 입사파의 위상은 정반대이므로, 위상차는 $180^\circ(\pi)$ 이다.

- 10 ④ 투과 펄스의 위상은 경계면의 성질에 상관없이 항상 입사 펄스의 위상과 같다.

[바로알기] ① 선밀도는 줄의 단위 부피당 질량이므로 굵은 줄이 가는 줄보다 크다.

② 줄에 생긴 파동의 전파 속력은 장력이 같다면 선밀도가 작을수록 빠르다. 즉, 전파 속력은 굵은 줄에서가 가는 줄에서보다 느리므로 서로 같지 않다.

③ 파동의 속력이 느린 매질에서 빠른 매질로 이동할 때 두 매질의 경계면에서 자유단 반사가 일어난다.

⑤ 자유단 반사에서는 입사 펄스의 위상과 같은 위상의 반사 펄스가 발생한다.

- 11 탄성파를 이용한 비파괴 검사(㉔)로 구조물을 파괴하지 않고도 내부 결함을 검사하는 안전 진단을 할 수 있다. 초음파(㉔)가 몸속 장기를 투과하고 반사하는 정도가 다른 것을 이용하여 인체 내부 구조나 입산부 몸속 태아의 모습을 관찰할 수 있다.

개념 적용 문제

196쪽~199쪽

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

- 01 ㄱ. 파동이 오른쪽으로 진행하므로 다음 순간 P는 위로 올라간다. 따라서 이 순간 P의 운동 방향은 위쪽이다.

[바로알기] ㄴ. 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 수직이므로 이 파동은 횡파이다. 음파는 종파이므로 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향 사이의 관계가 이 파동과 같지 않다.

ㄷ. 파동의 속력 $v=f\lambda$ 이므로 진동수(f)가 증가하면 파장(λ)은 감소한다. 따라서 진동수가 2배로 증가하면 이웃한 마루 사이의 거리, 즉 이 파동의 파장인 L 은 $\frac{1}{2}$ 배가 된다.

- 02 ㄴ. (나)에서 같은 시간 동안 매질이 진동하는 횟수는 B가 A의 2배이므로 진동수는 B가 A의 2배이다.

ㄷ. (가)에서 파장은 B가 A의 2배이다. 진동수도 B가 A의 2배이므로, 파동의 속력 $v=f\lambda$ 에 따라 전파 속력은 B가 A의 4배이다.

[바로알기] ㄱ. A, B에서 매질은 y 축 방향으로 진동하고 파동은 x 축 방향으로 진행하므로 두 파동은 모두 횡파이다.

- 03 ㄱ. (가)에서 P, Q의 파장은 각각 3 m, 2 m이므로 파장은 P가 Q의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

ㄴ. 두 파동의 속력은 1 m/s로 같으므로 $f=\frac{v}{\lambda}$ 에서 P,

Q의 진동수는 각각 $\frac{1}{3}$ Hz, $\frac{1}{2}$ Hz이다. 따라서 진동수는 P가 Q의 $\frac{2}{3}$ 배이다.

ㄷ. (나)의 파동은 주기가 2 s이므로, 진동수가 $\frac{1}{2}$ Hz인 Q의 한 점의 변위를 나타낸다. 또한 (나)에서 0초 직후 변위가 (-)이므로, Q가 오른쪽으로 진행할 때 이동 방향이 아래쪽인 점이어야 한다. 따라서 (나)는 e의 변위를 나타낸 것이다.

- 04 ㄴ. (나)에 나타난 파동은 진폭이 3 cm이므로, B의 변위를 나타낸 것이다. 따라서 B의 파장은 (나)에서의 파장인 1 m이고, (가)에서 B의 주기가 1 s이므로 B의 전파 속력은 1 m/s이다. 또한 전파 속력은 A가 B의 3배이므로, A의 전파 속력은 3 m/s이다.

ㄷ. A의 속력이 3 m/s이고 주기가 $\frac{2}{3}$ s이므로 $3=\frac{\lambda}{\frac{2}{3}}$ 에

서 A의 파장은 $\lambda=2$ (m)이다.

[바로알기] ㄱ. (가)에서 2 s 동안 A는 3번 진동하고 B는 2번 진동하므로 A의 진동수는 1.5 Hz, B의 진동수는 1 Hz이다. 따라서 진동수는 A가 B의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

- 05 ㄱ. (가)의 파동에서 공기가 밀한 곳과 소한 곳이 반복되므로, 음파는 매질의 진동 방향과 파동의 진동 방향이 나란한 종파임을 알 수 있다.

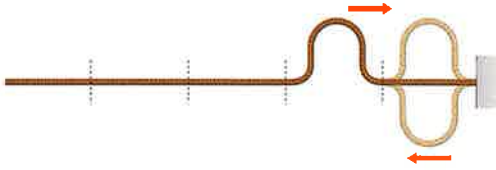
ㄷ. (가)에서 이웃한 공기가 밀한 곳 사이의 거리인 a 는 음파의 파장 λ 이고, (나)에서 b 는 음파의 주기 T 이다. 따라서 a (파장)를 b (주기)로 나눈 값은 음파의 속력이다.

[바로알기] ㄴ. 같은 조건이라면 음파의 속력이 일정하므로 $v=\frac{\lambda}{T}$ 에서 a (파장, λ)가 짧아지면 b (주기, T)도 짧아진다.

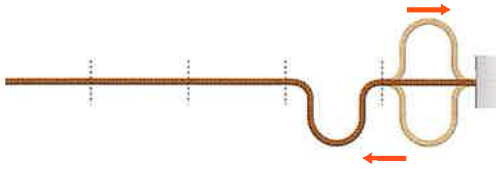
- 06 매질의 한쪽 끝이 고정되어 파동이 도달해도 진동할 수 없는 상태를 고정단이라고 하며, 이러한 상태의 매질에서의 반사를 고정단 반사라고 한다.

ㄱ. 고정단에서 파동이 반사할 때 반사파의 위상 변화는 180° 이다. (나)의 파동에서 가장 오른쪽 입사 파형이 전부 반사되면, 위상이 반대인 반사 파형과 두 번째 입사 파형이

서로 중첩되어 상쇄되므로 ㄱ과 같은 모양이 만들어진다.



ㄷ. (나)의 파동에서 오른쪽 2개의 입사 파형이 전부 반사 되면 위상이 반대인 반사 파형 중 하나가 남아 있는 세 번째 입사 파형과 중첩되어 상쇄되므로 ㄷ과 같은 모양이 만들어진다.



[바로알기] ㄴ. 입사파가 위상이 반대인 반사파와 중첩되어도 이와 같은 모양은 나타날 수 없다.

07 ㄱ. 그림에서 이웃한 마루 사이의 거리가 4 m이므로 이 파동의 파장은 4 m이다.

[바로알기] ㄴ. P에서 Q로 1 m 진행하는 데 걸린 최소 시간이 0.2 s이므로 파장인 4 m를 진행하는 데 걸린 시간은 0.8 s이다. 따라서 이 파동의 진동수는 $\frac{1}{0.8 \text{ s}} = 1.25 \text{ Hz}$ 이다.

ㄷ. 만약 파동이 $-x$ 방향으로 진행한다면, P에서 Q로 바뀌는 데 걸린 최소 시간이 Q에서 P로 바뀌는 데 걸린 최소 시간보다 커야 한다. 하지만 (나)에서 P에서 Q로 바뀌는 데 걸린 최소 시간이 Q에서 P로 바뀌는 데 걸린 최소 시간보다 작으므로, 파동은 $+x$ 방향으로 진행한다.

08 ㄷ. 한 매질에서 진행하던 파동이 다른 매질을 만나 경계면에서 반사와 투과가 일어날 때 파동의 진동수는 변하지 않는다. 보기 ㄱ의 해설에 따라 파동의 속력이 B에서가 A에서보다 빠르므로 $v=f\lambda$ 에 의해 파장은 B에서가 A에서보다 길다.

[바로알기] ㄱ. A와 B의 경계면에서 반사 펄스와 투과 펄스가 동시에 발생하며, b 가 a 보다 크므로 같은 시간 동안 펄스가 이동한 거리는 B에서가 A에서보다 멀다. 따라서 파동의 전파 속력은 B에서가 A에서보다 빠르다.

ㄴ. 파동의 속력이 느린 A에서 빠른 B로 펄스가 진행하는 경우이므로, 두 줄의 경계면에서 자유단 반사가 일어난다. 자유단 반사에서 반사파의 위상은 입사파의 위상과 같다.

03 도플러 효과

중요 개념 체크

205쪽

1 도플러 2 높은, 낮은 3 커진다 4 파장

탐구 확인 문제

206쪽

1 ③

1 ㄱ. 소리의 속력을 V 라고 할 때 $V=f\lambda$ 이므로, A에서 발한 소리의 파장은 $\lambda = \frac{V}{f} = \frac{340 \text{ m/s}}{680 \text{ Hz}} = 0.5 \text{ m}$ 이다.

ㄴ. 관찰자만 음원에서 멀어질 때 도플러 효과에 의해 측정되는 진동수 $f' = \frac{V-v}{V}f$ 이다. B에서 측정한 소리의

진동수는 $678 \text{ Hz} = \frac{V-v}{V} \times 680 \text{ Hz}$ 이므로 $\frac{680-2}{680} = \frac{340-1}{340} = \frac{V-v}{V}$ 이다. 따라서 $v=1 \text{ m/s}$ 이다.

[바로알기] ㄷ. 음원만 관찰자에서 멀어지면 도플러 효과에 의해 측정되는 진동수가 음원의 진동수보다 작다. 따라서 B가 정지해 있고 A가 B에서 멀어지면, B에서 측정한 소리의 진동수는 A(음원)의 진동수인 680 Hz보다 작다.

개념 기본 문제

208쪽~209쪽

01 (1) $\lambda_A > \lambda_B$ (2) $v_A = v_B$ (3) $f_A < f_B$

02 A: 1029 Hz, B: 1011 Hz (2) 2배

03 (1) 340 Hz (2) 302 Hz (3) 1 m **04** $f_{(v)} < f_{(u)}$

05 (1) $\frac{V}{V-v}f$ (2) $\frac{V+v}{V-v}f$ **06** $\frac{(V+v)^2}{(V-v)^2}$

07 ④ **08** ③ **09** (가) - A, (나) - C, (다) - B

01 (1) 파면 사이의 간격이 A에서가 B에서보다 크므로 측정 한 사이렌 소리의 파장은 A에서가 B에서보다 길다.

(2) 동일한 공기(매질)에서 소리가 진행하므로 A에서와 B에서 측정한 사이렌 소리의 전파 속력은 서로 같다.

(3) 파동의 전파 속력 $v=f\lambda$ 식에서 $f=\frac{v}{\lambda}$ 이다. 소리의 전파 속력은 A에서와 B에서가 서로 같고, 파장은 A에서가 B에서보다 길므로 진동수는 A에서가 B에서보다 작다.