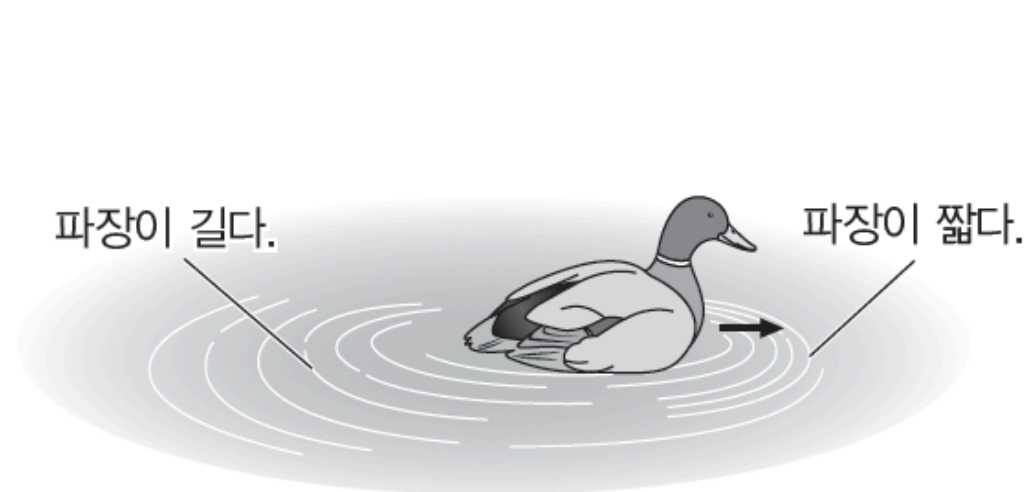


도플러효과



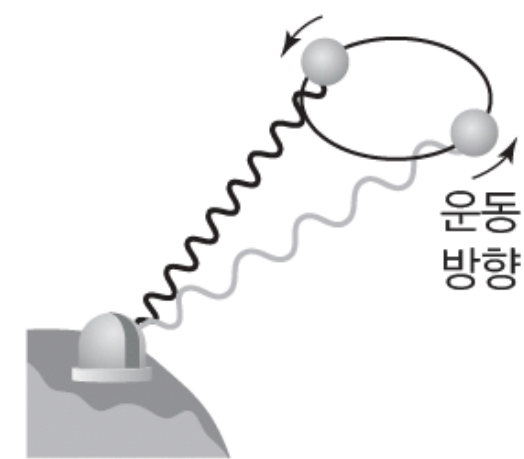
(1) 도플러 효과: 파원이나 관찰자가 움직이게 되면 정지해 있을 때와는 다른 진동수의 파동을 측정하게 되는데, 이를 도플러 효과라고 한다. 파원과 관찰자가 서로 가까워지면 파동의 진동수가 커지고, 서로 멀어지면 파동의 진동수가 작아진다.



물결파의 도플러 효과



음파의 도플러 효과



전자기파의 도플러 효과

① 음원이 정지해 있는 관찰자를 향해 다가올 때: 관찰자가 듣는 소리의 진동수 f' 는 다음과 같다.

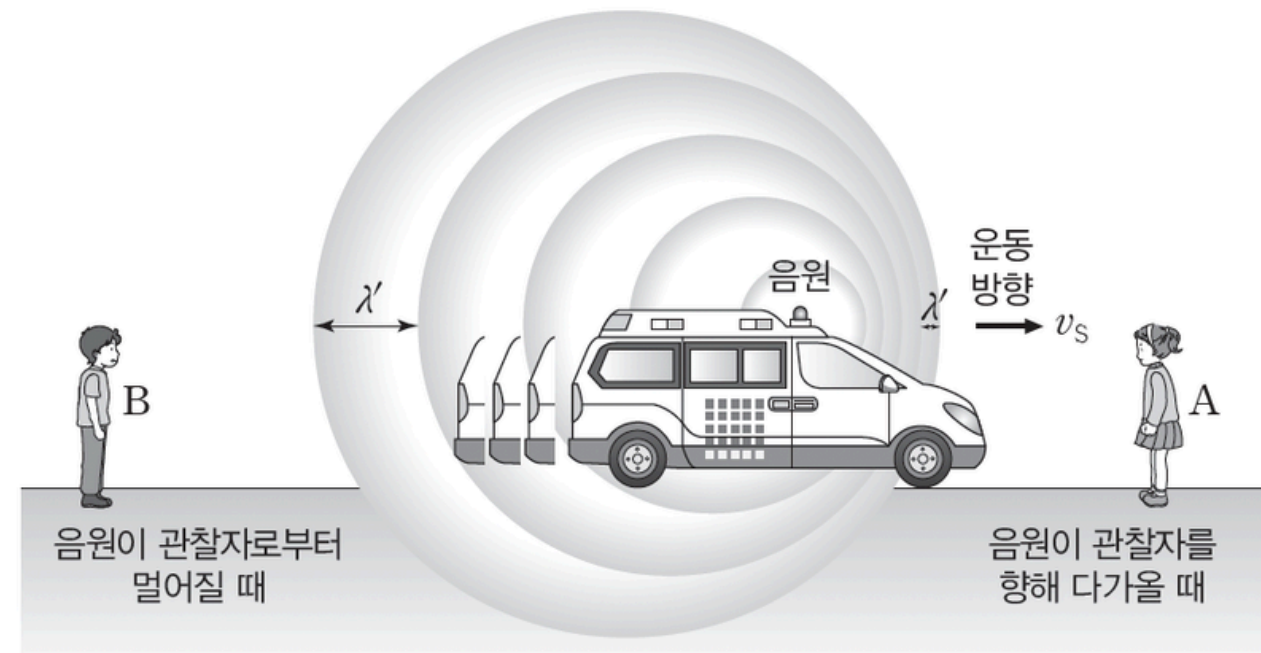
$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda - \frac{v_s}{f}} = \frac{v}{\frac{v}{f} - \frac{v_s}{f}} = \left(\frac{v}{v - v_s} \right) f$$

음원이 관찰자 쪽으로 가까이 다가오면 소리의 파장이 λ' 로 짧아진다. 소리의 속력은 음원이 정지해 있을 때와 동일하므로, 관찰자가 듣는 소리의 진동수가 커져서 진동수 f 인 소리보다 더 높은 소리를 듣게 된다.

② 음원이 정지해 있는 관찰자로부터 멀어질 때: 관찰자가 듣는 소리의 진동수 f' 는 다음과 같다.

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda + \frac{v_s}{f}} = \frac{v}{\frac{v}{f} + \frac{v_s}{f}} = \left(\frac{v}{v + v_s} \right) f$$

음원이 관찰자로부터 멀어지면 소리의 파장이 λ' 로 길어진다. 소리의 속력은 음원이 정지해 있을 때와 동일하므로, 관찰자가 듣는 소리의 진동수가 작아져서 진동수 f 인 소리보다 더 낮은 소리를 듣게 된다.



음원은 정지한 상태에서 관찰자가 운동할 때 관찰자가 듣는 소리의 파장은 변하지 않고 관찰자가 듣게 되는 소리의 상대적인 속력이 변하여 관찰자가 측정하는 소리의 진동수가 변한다.

(공기 중 소리의 속력: v , 음원의 파장: λ , 음원의 진동수: f , 관찰자가 측정하는 소리의 진동수: f' , 관찰자의 속력 v_0)

- 관찰자가 정지해 있는 음원을 향해 다가올 때:

$v = \lambda f$, $v' = \lambda f'$ 이고, 관찰자가 듣게 되는 소리의 상대 속도 v' 는 $v' = v + v_0$ 이므로

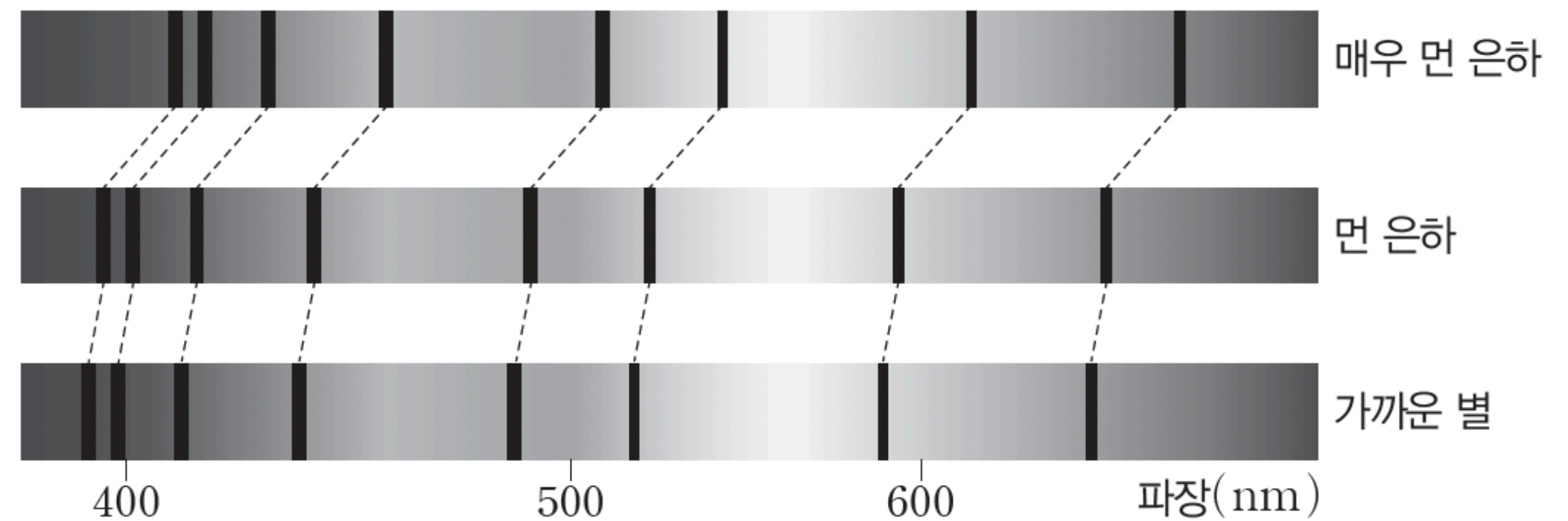
$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v + v_0}{\lambda} = \frac{v + v_0}{v} f \text{이다. 따라서 } f' > f \text{이다.}$$

- 관찰자가 정지해 있는 음원으로부터 멀어질 때:

$v = \lambda f$, $v' = \lambda f'$ 이고, 관찰자가 듣게 되는 소리의 상대 속도 v' 는 $v' = v - v_0$ 이므로

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v - v_0}{\lambda} = \frac{v - v_0}{v} f \text{이다. 따라서 } f' < f \text{이다.}$$





흡수 스펙트럼의 적색 이동

$$f' = \frac{v \pm v_o}{v \mp v_s} f$$

관찰자가 음원 쪽으로 다가갈 때 (+), 멀어질 때(-)

음원이 관찰자 쪽으로 다가올 때 (-), 멀어질 때(-)

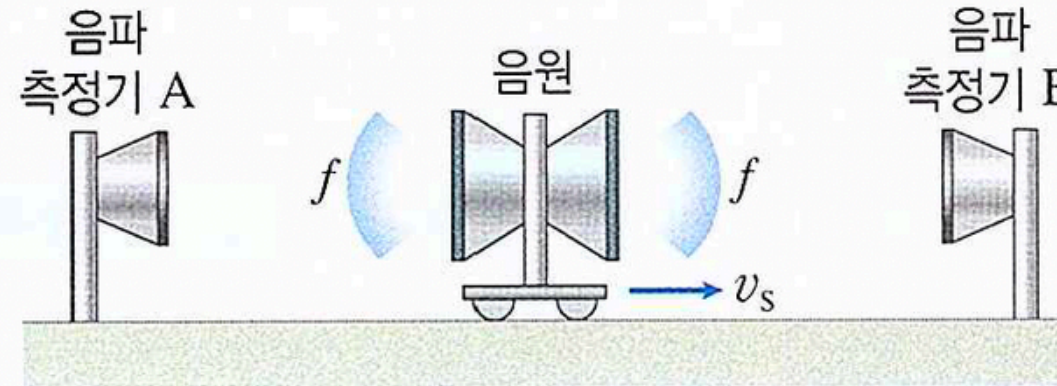
(f : 소리의 진동수, v : 소리의 속력, v_o : 관찰자의 속력, v_s : 음원의 속력)

예제 진동수가 100 Hz인 소리를 내는 음원이 철수를 향해 20 m/s의 속력으로, 철수는 음원을 향해 60 m/s의 속력으로 이동하고 있다. 소리의 속력이 340 m/s일 때, 철수가 듣는 소리의 진동수는 몇 Hz인지 쓰시오.

해설 > $f' = \frac{v + v_o}{v - v_s} f = \frac{340 + 60}{340 - 20} \times 100 = 125(\text{Hz})$

답 125 Hz

01 그림과 같이 정지해 있는 음파 측정기 A와 B 사이에서 진동수가 f 인 소리를 내는 음원이 일정한 속력 v_s 로 B를 향해 이동하고 있다.



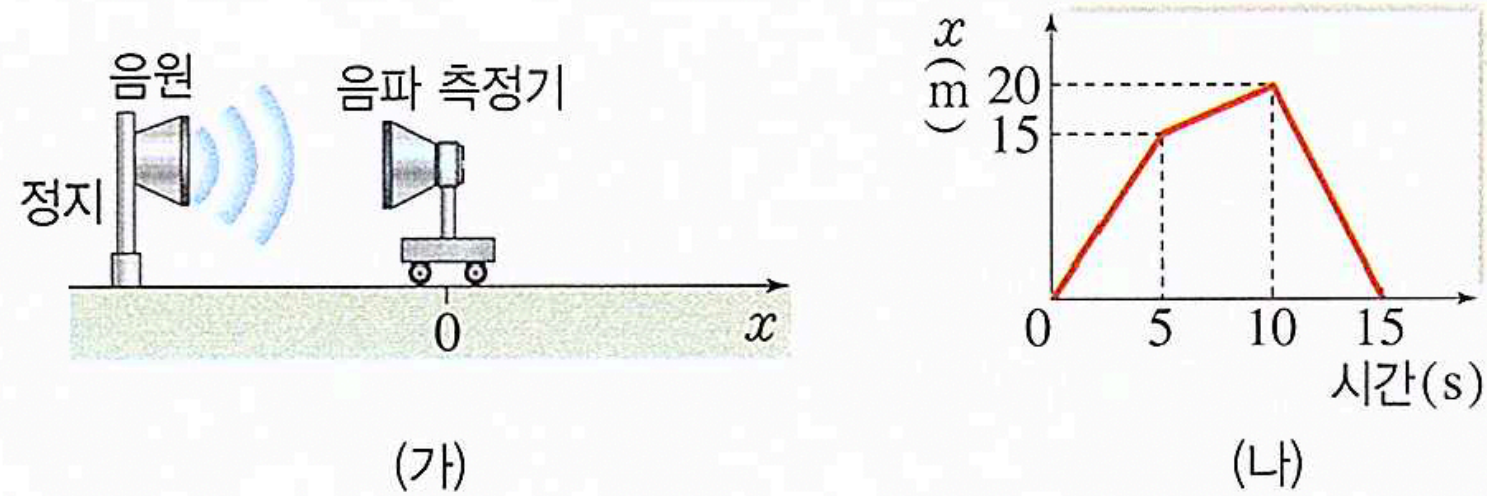
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 소리의 속력은 v 로 v_s 보다 크며, A, B, 음원은 동일 직선상에 있다.)

보기

- ㄱ. A에서 측정한 소리의 진동수는 $\frac{v}{v+v_s}f$ 이다.
- ㄴ. 측정한 소리의 진동수는 A에서가 B에서보다 작다.
- ㄷ. v_s 가 증가하면, B에서 측정한 소리의 진동수는 증가한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 그림 (가)는 정지 상태에서 진동수 680 Hz 의 소리를 발생시키는 음원과 음파 측정기의 모습을, (나)는 (가)에서 음파 측정기의 위치 x 를 시간에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 소리의 속력은 340 m/s 이다.)

보기

- ㄱ. 음파 측정기의 속력은 3초일 때가 7초일 때의 3배이다.
- ㄴ. 음파 측정기에서 측정한 소리의 진동수는 3초일 때가 7초일 때보다 크다.
- ㄷ. 12초일 때, 음파 측정기에서 측정한 소리의 진동수는 688 Hz 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 그림과 같이 버스가 진동수 900 Hz의 경적음을 내며 철수를 향해 40 m/s의 일정한 속력으로 운동하고 있고, 철수는 버스를 향해 10 m/s의 일정한 속력으로 운동하고 있다.



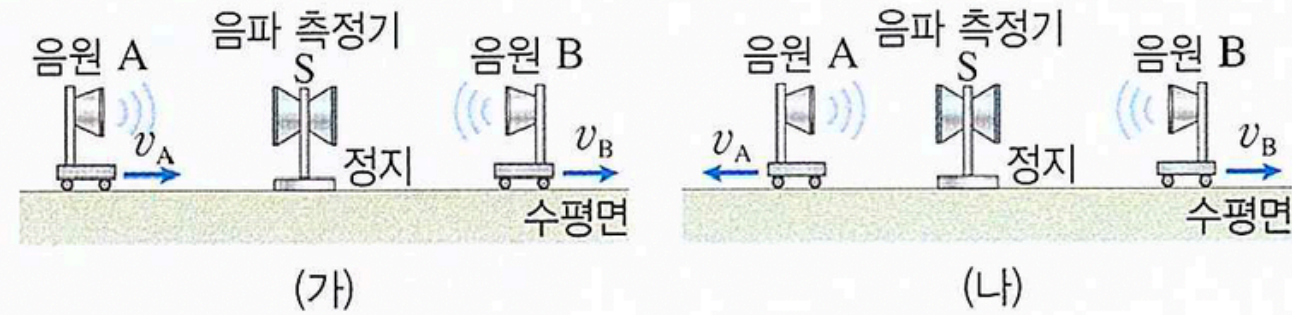
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 소리의 속력은 340 m/s이고, 버스와 철수는 동일 직선상에 있다.)

보기

- ㄱ. 철수가 듣는 경적음의 속력은 340 m/s이다.
- ㄴ. 철수가 듣는 경적음의 진동수는 1050 Hz이다.
- ㄷ. 철수가 듣는 경적음의 파장은 버스가 내는 경적음의 파장보다 짧다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 그림 (가)는 수평면에 정지해 있는 음파 측정기 S와 진동수가 f_0 인 소리를 발생시키는 음원 A, B가 각각 일정한 속력 v_A, v_B 로 같은 방향으로 운동하는 모습을, (나)는 (가)에서 A가 속력 v_A 로 S로부터 멀어지는 모습을 나타낸 것이다. (가)에서 S가 측정한 A의 소리의 진동수는 $\frac{10}{9}f_0$ 이고, B의 소리의 진동수는 S가 측정한 A의 소리의 $\frac{3}{4}$ 배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 소리의 속력은 v 로 v_A, v_B 보다 크며, S, A, B는 동일 직선상에 있다.)

보기

ㄱ. $v_A = \frac{1}{10}v$ 이다.

ㄴ. $v_B = 2v_A$ 이다.

ㄷ. (나)에서 S가 측정한 A의 소리의 진동수는 S가 측정한 B의 소리의 진동수보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ