

# 와자

---

## 정답친해



메리하

# I

## 힘과 에너지

### 1 힘과 운동

#### 01 / 평형과 안정성

##### 개념 확인문제

12쪽

- ① 알짜힘    ② 운동 상태    ③ 돌림힘    ④ 돌림힘    ⑤ 길  
 ⑥ 클    ⑦ 같고    ⑧ 축바퀴    ⑨ 클수록

- 1 (가) 7 N (나) 1 N    2 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○    3 2 N  
 4 1 N·m    5 (1) × (2) ○ (3) ×    6 ㉠ 클수록, ㉡ 클수록

1 (가)에서는 물체에 크기가 각각 3 N, 4 N인 힘이 같은 방향으로 작용하므로 알짜힘의 크기는 3 N + 4 N = 7 N이다.  
 (나)에서는 물체에 크기가 각각 3 N, 4 N인 힘이 반대 방향으로 작용하므로 알짜힘의 크기는 4 N - 3 N = 1 N이다.

2 (1) 한 물체에 작용하는 모든 힘의 합력을 알짜힘이라고 한다.  
 (2) 운동하던 물체가 운동 방향으로 알짜힘을 받으면 속력이 빨라진다.  
 (3) 물체의 운동 방향에 수직으로 힘이 작용하면 물체의 운동 방향은 변하지만 속력은 변하지 않는다.  
 (4) 힘은 물체의 운동 상태를 변화시키는 원인이므로 운동하는 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체는 운동 상태를 유지한다. 따라서 물체는 운동 방향과 빠르기가 변하지 않는 등속도 운동을 한다.

3 물체가 정지해 있으려면 알짜힘이 0이 되어야 한다. 힘  $F$ 와 크기가 1 N인 힘은 같은 방향이고, 크기가 3 N인 힘은 반대 방향이므로  $F + 1 \text{ N} = 3 \text{ N}$ 에서  $F = 2 \text{ N}$ 이다.

4 돌림힘의 크기는 회전 팔의 길이와 힘의 크기의 곱이다. 따라서 돌림힘의 크기는  $\tau = 0.2 \text{ m} \times 5 \text{ N} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$ 이다.

5 (1) 회전 팔의 길이는 회전축으로부터 힘이 작용하는 지점까지의 길이이다.  
 (2) 돌림힘의 크기는 회전 팔의 길이와 힘의 크기의 곱이다. 따라서 회전 팔의 길이가 길수록 돌림힘의 크기가 크다.  
 (3) 물체에 작용하는 알짜힘의 방향이 회전 팔과 나란하면 돌림힘은 0이다.

6 바퀴에 작용하는 돌림힘의 크기는 바퀴의 반지름이 ㉠ 클수록, 바퀴에 작용하는 힘의 크기가 ㉡ 클수록 크다.

##### 완자샘 비법특강

17쪽

- Q1 ①  $\frac{1}{5}$     ② 9L    ③ 20L, 9L    ④ 5L

Q1 ① 막대에 작용하는 모든 힘이 평형을 이루므로  $\frac{7}{10}Mg + \frac{1}{2}Mg = mg + Mg$ 이다. 따라서  $m = \frac{1}{5}M$ 이다.

② 막대의 전체 길이가 22L이므로 무게 중심은 막대의 왼쪽 끝에서 11L인 지점에 있다. A가 막대의 왼쪽 끝에서 2L인 지점에 있으므로 A에서 무게 중심까지의 거리는 9L이다.

③ A가 막대를 받치고 있는 점을 회전축으로 하면, 막대에 작용하는 중력에 의한 돌림힘은 시계 방향으로  $9L \times Mg$ 이고, 물체에 작용하는 중력에 의한 돌림힘은 시계 방향으로  $x \times mg$ 이다. 또 B가 막대를 받치는 힘에 의한 돌림힘은 시계 반대 방향으로  $20L \times \frac{1}{2}Mg = 10LMg$ 이다. 돌림힘이 평형을 이루므로  $10LMg = 9LMg + xmg$ 이다.

④ 위에서  $xmg = LMg$ 이고  $m = \frac{1}{5}M$ 이므로  $x = 5L$ 이다.

##### 개념 확인문제

18쪽

- ① 평형    ② 돌림힘    ③ 역학적    ④ 안정    ⑤ 무게 중심  
 ⑥ 낮    ⑦ 넓    ⑧ 복원력

- 1 (1) × (2) ○ (3) ○    2 (1) 200 (2) 50    3 ㉠ 무게 중심, ㉡ 돌림힘    4 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○

1 (1) 돌림힘의 평형에서  $bW = aF$ 이므로  $F = \frac{b}{a}W$ 이다.

(2)  $W = \frac{a}{b}F$ 이므로  $b$ 가 일정할 때  $a$ 가 클수록 같은 힘으로 들 수 있는 물체의 무게  $W$ 가 증가한다.

(3) 지레가 수평을 유지하고 있으므로 두 힘에 의한 돌림힘이 평형을 이룬다.

2 (1) 돌림힘의 크기는 회전 팔의 길이와 힘의 크기의 곱이다. 받침점으로부터 무게 중심까지의 거리가 2 m이므로 중력에 의한 돌림힘의 크기는  $\tau = 2\text{ m} \times 100\text{ N} = 200\text{ N}\cdot\text{m}$ 이다.

(2) 막대가 수평을 유지하므로 손이 받치는 힘에 의한 돌림힘의 크기도  $200\text{ N}\cdot\text{m}$ 이다. 회전 팔의 길이가 4 m이므로  $200\text{ N}\cdot\text{m} = 4\text{ m} \times x$ 에서 힘의 크기  $x = 50\text{ N}$ 이다.

3 무게 중심을 지나는 연직선이 바닥면을 벗어나면 중력에 의한 돌림힘이 물체를 넘어뜨리는 방향으로 작용한다.

4 (1) 역학적 평형을 유지하려면 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 모두 만족해야 한다.

(2) 무게 중심이 낮으면 물체가 조금 기울어지더라도 무게 중심에 작용하는 중력에 의한 돌림힘이 복원력으로 작용하여 물체가 원래 상태로 돌아오기 쉽다. 따라서 무게 중심이 낮을수록 안정적이다.

(3) 물체에 작용하는 알짜힘이 0이더라도 힘들이 같은 작용선에 있지 않으면 돌림힘의 합이 0이 되지 않을 수 있다.

(4) 타워 크레인으로 물체를 들어 올리거나 옮길 때는 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 모두 고려해야 안전하게 작업할 수 있다.

2 철수와 막대에 작용하는 아래 방향의 중력과 받침대와 실이 막대에 위 방향으로 작용하는 힘의 합력이 0이 되어야 한다.

3 실이 막대에 작용하는 힘의 크기를 모르므로 B를 회전축으로 정하는 것이 편리하다.

4 B를 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면  $8\text{ m} \times 600\text{ N} = 6\text{ m} \times m_{\text{철}} \times 10\text{ m/s}^2 + 4\text{ m} \times 30\text{ kg} \times 10\text{ m/s}^2$ 에서  $m_{\text{철}} = 60\text{ kg}$ 이다.

5 힘의 평형에 의해  $300\text{ N} + 600\text{ N} = 600\text{ N} + F_B$ 에서  $F_B = 300\text{ N}$ 이다.

6 (1) 역학적 평형을 이루고 있는 물체는 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 이루고 있다. 따라서 물체에 작용하는 모든 힘의 합력이 0이다.

(2) 역학적 평형을 이루는 물체는 어느 점을 회전축으로 하든지 돌림힘의 평형을 이루므로 돌림힘의 합이 0이다.

(3) 역학적 평형을 이루는 물체는 어느 점을 회전축으로 하든지 돌림힘의 합은 0이지만 각 힘에 의한 돌림힘은 회전축에 따라 다르다.

(4) 평형 상태에 있는 물체는 돌림힘의 평형을 이루므로 어느 점을 회전축으로 정해도 돌림힘의 합이 0이다.

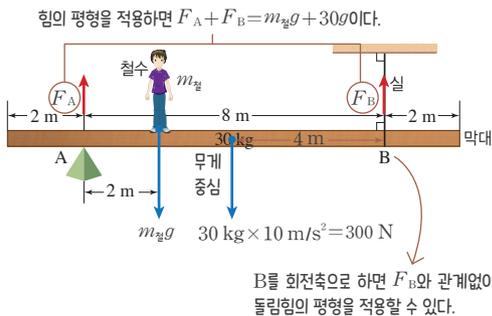
(5) 힘의 평형은 이루지 않고 돌림힘의 평형만 이루면 물체는 회전하지 않고 힘의 방향으로 운동을 한다.

**대표자료분석 1**

19쪽

- 1 4 m, 6 m      2  $30 \times 10 + 10m_{\text{철}} = 600 + F_B$       3 B  
4 60 kg    5 300 N    6 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×

**꼼꼼 문제 분석**



1 막대의 무게 중심은 막대의 중앙점이므로 B로부터 4 m 떨어져 있다. 무게 중심으로부터 철수까지는 2 m 떨어져 있다.

**대표자료분석 2**

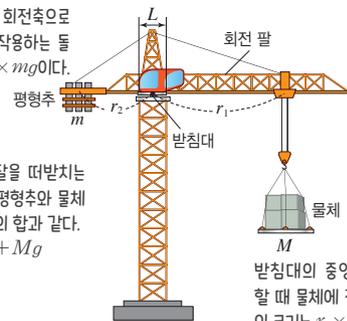
20쪽

- 1  $(M + m)g$     2  $r_1Mg = r_2mg$     3 힘의 평형과 돌림힘의 평형이 모두 이루어져야 한다.    4 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ×

**꼼꼼 문제 분석**

받침대의 중앙을 회전축으로 할 때 평형추에 작용하는 돌림힘의 크기는  $r_2 \times mg$ 이다.

받침대가 회전 팔을 떠받치는 힘의 크기( $F$ )는 평형추와 물체에 작용하는 중력의 합과 같다.  
 $F = mg + Mg$



**1** 힘의 평형이 이루어져야 하므로 평형추와 물체에 작용하는 중력과 타워 크레인의 받침대가 회전 팔을 떠받치는 힘의 합력이 0이다.

**2** 물체에 작용하는 중력에 의한 시계 방향의 돌림힘과 평형추에 작용하는 중력에 의한 시계 반대 방향의 돌림힘의 크기가 같아야 한다.

**3** 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 유지할 때 역학적 평형이라고 한다.

**4** (1) 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체의 운동 상태가 변하지 않는다. 따라서 정지한 물체의 무게 중심은 정지 상태를 유지한다.

(2) 타워 크레인의 받침대를 회전축으로 할 때 평형추와 물체에 작용하는 중력에 의한 돌림힘이 평형을 이루므로 돌림힘의 방향이 서로 반대이다.

(3) 돌림힘의 평형을 이루더라도 힘의 평형을 이루지 못하면 건물은 힘의 방향으로 가속 운동을 하므로 불안정하다.

(4) 복원력은 구조물을 원래 상태로 되돌아가게 하는 힘이므로 복원력이 작용하여 원래의 상태로 돌아가면 안정적이다.

(5) 수평면에 놓인 구조물이 기울어졌을 때 무게 중심의 작용선이 바닥면을 벗어나면 중력이 구조물을 넘어뜨리는 방향으로 돌림힘을 작용하여 구조물이 넘어진다.

**내신 만점문제** 21쪽~24쪽

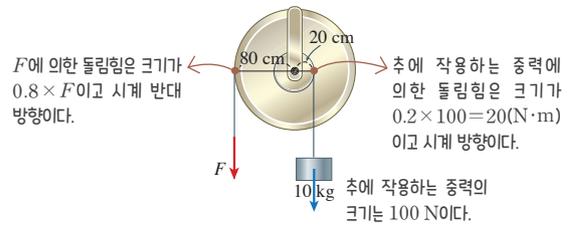
01 ④	02 ③	03 ②	04 ③	05 ②	06 ④
07 ④	08 ①	09 ①	10 해설 참조	11 ⑤	
12 ①	13 ②	14 ③	15 ③	16 ④	
17 해설 참조					

**01** 물체에 작용하는 중력과 수평면이 물체를 떠받치는 힘은 크기가 같고 방향이 반대이므로 서로 평형을 이룬다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는  $F - 10(N)$ 이다. 물체에 작용하는 두 힘이 서로 반대 방향이고 알짜힘의 크기가  $10N$ 이므로  $F - 10N = 10N$ 에서  $F = 20N$ 이고, 알짜힘의 방향은 큰 힘의 방향인 오른쪽이다.

**02**  $F$ 에 의한 돌림힘은 시계 방향으로,  $2F$ 에 의한 돌림힘은 시계 반대 방향으로 작용하므로 돌림힘의 크기는  $2r \times 2F - r \times F = 3rF$ 이다.

**03** 돌림힘의 크기는 회전 팔의 길이와 힘의 크기의 곱이다. 어린이와 어른에 작용하는 중력에 의한 돌림힘의 방향이 서로 반대이므로 시소에 작용하는 돌림힘의 크기는  $1 \times 60 \times 10 - 1.5 \times 20 \times 10 = 300(N \cdot m)$ 이다. 돌림힘의 방향은 어른의 무게에 의한 돌림힘의 방향과 같다.

**04** — 꼼꼼 문제 분석



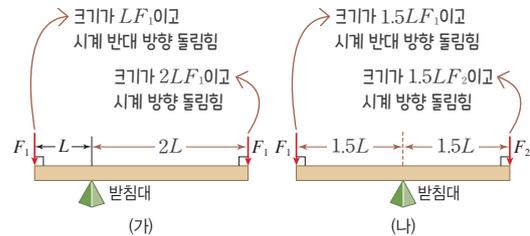
큰 바퀴에 작용하는  $F$ 에 의한 돌림힘과 작은 바퀴에 연결된 추에 작용하는 중력에 의한 돌림힘의 방향이 반대이다.

ㄱ. 추에 작용하는 중력에 의한 돌림힘은 시계 방향으로 작용하고  $F$ 에 의한 돌림힘은 시계 반대 방향으로 작용한다.

ㄴ. 추에 작용하는 중력에 의한 돌림힘은 크기가  $0.2m \times 100N = 20 N \cdot m$ 이다.

**바로알기** ㄷ. 두 힘에 의한 돌림힘의 방향이 반대이므로 돌림힘의 합의 크기는  $|0.8F - 20| N \cdot m$ 이다.

**05** — 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. (가)에서 받침점을 회전축으로 할 때 막대의 왼쪽 끝보다 오른쪽 끝까지의 회전 팔 길이가 더 길다. 오른쪽 끝에 작용하는 힘에 의한 돌림힘의 크기가 왼쪽 끝에 작용하는 힘에 의한 돌림힘의 크기보다 크다. 따라서 막대에는 시계 방향으로 돌림힘이 작용한다.

**바로알기** ㄱ. 두 돌림힘에 의한 회전 방향이 반대이므로 막대에 작용하는 돌림힘의 합은  $2LF_1 - LF_1 = LF_1$ 이다.

ㄷ. (가)에서 시계 방향으로 크기가  $LF_1$ 인 돌림힘이 작용하므로 (나)에서 돌림힘의 합은  $1.5LF_2 - 1.5LF_1 = LF_1$ 에서  $F_2 = \frac{5}{3}F_1$ 이다.

**06** ① 자동차 운전대의 반지름이 크면 같은 힘으로 더 큰 돌림힘을 작용할 수 있다.

② 드라이버 손잡이가 굽을수록 작은 힘으로 같은 돌림힘을 얻을 수 있다.

③ 문 손잡이가 회전축에서 멀수록 돌림힘이 커지므로 작은 힘으로 문을 열 수 있다.

⑤ 자전거 기어는 반지름이 다른 톱니바퀴를 이용하여 바퀴를 돌리는 힘의 크기를 조절할 수 있다.

**바로알기** ④ 시소를 탈 때에는 가벼운 사람이 받침대에서 멀리 있어야 수평을 맞출 수 있다.

**07** ㄴ. 막대가 어깨를 누르는 힘은 물체의 무게와 손이 막대를 누르는 힘의 합이므로  $100\text{ N} + 200\text{ N} = 300\text{ N}$ 이다.

ㄷ. 막대가 수평을 유지하고 있으므로 돌림힘이 평형을 이루고 있다. 즉, 막대에 작용하는 돌림힘의 합이 0이다.

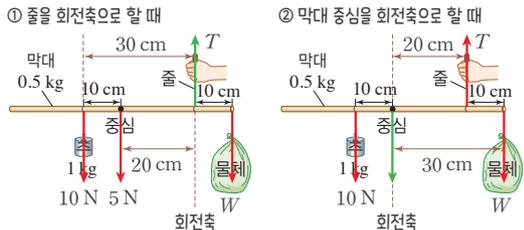
**바로알기** ㄱ. 물체가 작용하는 돌림힘이 시계 반대 방향으로  $60\text{ N}\cdot\text{m}$ 이므로 손에 의한 돌림힘은 시계 방향으로  $60\text{ N}\cdot\text{m}$ 이어야 한다. 따라서 손이 막대에 작용하는 힘의 크기는  $60\text{ N}\cdot\text{m} = 0.3\text{ m} \times F$ 에서  $F = 200\text{ N}$ 이다.

**08** ㄱ. 물체에 작용하는 중력의 크기가  $30\text{ N}$ 이고 회전 팔의 길이가  $1\text{ m}$ 이므로 돌림힘의 크기는  $30\text{ N}\cdot\text{m}$ 이다.

**바로알기** ㄴ. 받침대에서 막대의 무게 중심까지의 거리가  $0.5\text{ m}$ 이므로 시계 방향의 돌림힘의 크기는  $(0.5 \times m \times 10)\text{ N}\cdot\text{m}$ 이다.

ㄷ. 막대가 수평을 유지하고 있으므로 막대의 무게에 의한 돌림힘의 크기는  $30\text{ N}\cdot\text{m}$ 이다. 받침대에서 막대의 무게 중심까지의 거리가  $0.5\text{ m}$ 이므로  $30\text{ N}\cdot\text{m} = 0.5\text{ m} \times m \times 10\text{ m/s}^2$ 에서 질량  $m = 6\text{ kg}$ 이다.

**09** **품목 문제 분석**



- ① 줄을 회전축으로 할 때: 줄이 작용하는 힘에 의한 돌림힘은 0이다.  
 • 돌림힘의 평형:  $0.3 \times 10 + 0.2 \times 5 = 0.1 \times W \Rightarrow W = 40\text{ N}$   
 • 힘의 평형:  $10 + 5 + W = T \Rightarrow T = 55\text{ N}$
- ② 막대 중심을 회전축으로 할 때: 막대의 중력에 의한 돌림힘은 0이다.  
 • 돌림힘의 평형:  $0.1 \times 10 + 0.2 \times T = 0.3 \times W$   
 • 힘의 평형:  $10 + 5 + W = T$

ㄱ. 줄을 회전축으로 할 때 추와 막대의 무게에 의한 돌림힘과 물체의 무게에 의한 돌림힘이 평형을 이룬다. 물체의 무게를  $W$ 라고 하면  $0.3 \times 10 + 0.2 \times 5 = 0.1 \times W$ 에서  $W = 40\text{ N}$ 이다.

**바로알기** ㄴ. 줄이 막대에 작용하는 힘의 크기를  $T$ 라고 하면, 막대에 작용하는 모든 힘이 평형을 이루므로  $10 + 5 + W = T$ 에서  $T = 55\text{ N}$ 이다.

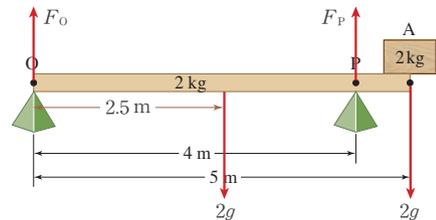
ㄷ. 막대의 중심을 회전축으로 하면 줄이 막대에 작용하는 힘에 의한 돌림힘, 추와 물체의 무게에 의한 돌림힘이 평형을 이룬다.

**10** 역학적 평형을 이루려면 힘의 평형과 돌림힘의 평형 조건을 모두 만족해야 한다.

**모범 답안** (가)에서는 알짜힘이 0이고 돌림힘의 합도 0이므로 물체가 역학적 평형을 이루고 있다. 그러나 (나)에서는 알짜힘은 0이지만 돌림힘의 합이 0이 아니므로 물체가 역학적 평형을 이루지 않는다.

채점 기준	배점
힘의 평형과 돌림힘의 평형을 모두 옳게 비교한 경우	100 %
힘의 평형, 돌림힘의 평형 중 한 가지만 옳게 비교한 경우	50 %

**11** **품목 문제 분석**



- ① 힘의 평형:  $F_O + F_P = 2g + 2g$   
 ② O를 회전축으로 할 때 돌림힘의 평형:  $2.5 \times 2g + 5 \times 2g = 4 \times F_P$   
 ③ 막대의 무게 중심을 회전축으로 할 때 돌림힘의 평형:  
 $2.5 \times F_O + 2.5 \times 2g = 1.5 \times F_P$

ㄱ. 막대가 수평을 유지하고 있으므로 막대에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. 중력 가속도를  $g$ , O와 P에서 받침대가 막대에 작용하는 힘의 크기를 각각  $F_O$ ,  $F_P$ 라고 하자. O를 회전축으로 하면 돌림힘이 평형을 이루므로  $2.5 \times 2g + 5 \times 2g = 4 \times F_P$ 에서  $F_P = \frac{15}{4}g$ 이고, 막대에 작용하는 힘이 평형을 이루므로  $F_O + F_P = 2g + 2g$ 에서  $F_O = \frac{1}{4}g$ 이다.

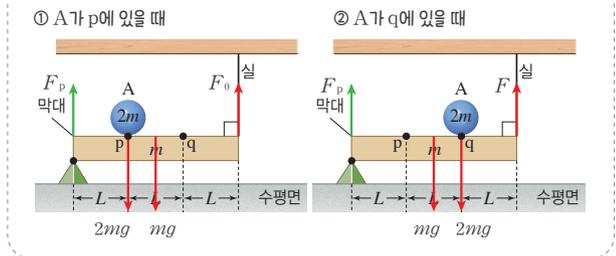
ㄷ. P를 회전축으로 했을 때 A에 작용하는 중력에 의한 돌림힘은 시계 방향으로 작용하고,  $F_O$ 에 의한 돌림힘도 시계 방향으로 작용한다.

**12** ㄱ. 막대에 작용하는 알짜힘이 0이므로 철수와 영희가 막대에 작용하는 합력의 크기는 물체의 무게와 같다. 따라서 철수와 영희가 막대에 작용하는 합력의 크기는 600 N이다.

**바로알기** ㄴ. 돌림힘의 크기는 회전축으로부터의 거리에 비례한다. 막대가 돌림힘의 평형을 이루고 있으므로 물체가 매달린 점을 회전축으로 했을 때 철수가 막대에 작용하는 돌림힘과 영희가 막대에 작용하는 돌림힘의 크기가 같다. 따라서 막대에 작용하는 힘의 크기는 영희가 철수의 2배이다.

ㄷ. 철수와 영희가 막대에 작용하는 합력의 크기가 600 N이고, 힘의 크기는 영희가 철수의 2배이므로 철수가 막대에 작용하는 힘의 크기는 200 N이다. 막대의 오른쪽 끝을 회전축으로 했을 때 철수가 막대에 작용하는 돌림힘의 크기는  $3\text{ m} \times 200\text{ N} = 600\text{ N}\cdot\text{m}$ 이고, 물체가 막대에 작용하는 돌림힘의 크기는  $1\text{ m} \times 600\text{ N} = 600\text{ N}\cdot\text{m}$ 이다. 즉, 막대의 오른쪽 끝을 회전축으로 했을 때 철수와 물체가 막대에 작용하는 돌림힘의 크기는 같다.

**13** **꼼꼼 문제 분석**



중력 가속도를  $g$ 라 하고, 받침대를 회전축으로 하자. A가 p에 있을 때 돌림힘의 평형을 적용하면  $L \times 2mg + 1.5L \times mg = 3LF_0$ 에서  $F_0 = \frac{7}{6}mg$ 이다. A가 q에 있을 때 실이 막대에 작용하는 힘의 크기를  $F$ 라고 하면  $2L \times 2mg + 1.5L \times mg = 3LF$ 에서  $F = \frac{11}{6}mg = \frac{11}{7}F_0$ 이다.

**14** ㄱ. 방망이가 힘의 평형을 이루므로 알짜힘은 0이다.  
ㄴ. 방망이가 돌림힘의 평형을 이루고 있으므로 회전축에 관계없이 돌림힘의 합은 0이다.

**바로알기** ㄷ. 방망이가 대칭적인 모양이 아니므로 무게 중심이 왼쪽으로 치우쳐 있다. 무게 중심의 왼쪽과 오른쪽에 작용하는 돌림힘의 크기는 같지만 회전 팔의 길이가 오른쪽이 더 크므로 질량은 왼쪽 부분이 더 크다.

**15** ㄱ. (가)에서 배에 작용하는 힘이 평형을 이루므로 부력과 중력의 크기는 같다.

ㄴ. 배가 기울어지면 부력과 중력에 의한 돌림힘이 배를 (가) 상태로 되돌리는 방향으로 작용한다.

**바로알기** ㄷ. 무게 중심이 낮을수록 배가 안정적이다.

**16** ㄴ. 오목이가 기울어지면 서 있을 때보다 무게 중심이 높아진다.

ㄷ. 오목이가 기울어지면 중력에 의한 돌림힘이 복원력으로 작용하여 원래 상태로 되돌아오게 된다.

**바로알기** ㄱ. 오목이는 무게 중심이 P의 아래쪽에 있으므로 무게 중심이 낮아 안정적이다.

**17** 팔이 수평을 유지하고 있으므로  $F$ 와  $W$ 에 의한 돌림힘이 평형을 이룬다. 따라서 돌림힘의 크기는 같다. 또 팔꿈치를 회전축으로 할 때 회전축에서  $F$ 의 작용점까지 거리보다  $W$ 의 작용점까지 거리가 더 크므로 힘의 크기는  $F$ 가  $W$ 보다 크다.

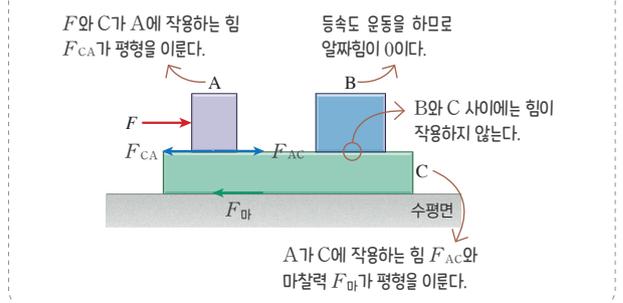
**모범 답안**  $F$ 와  $W$ 에 의한 돌림힘의 크기는 같고, 힘의 크기는  $F$ 가  $W$ 보다 크다.

채점 기준	배점
돌림힘과 힘의 크기를 모두 옳게 비교하여 서술한 경우	100 %
돌림힘과 힘의 크기 중 한 가지만 옳게 비교하여 서술한 경우	50 %

**실력 UP 문제** 25쪽

- 01 ③    02 ③    03 ③    04 ①

**01** **꼼꼼 문제 분석**

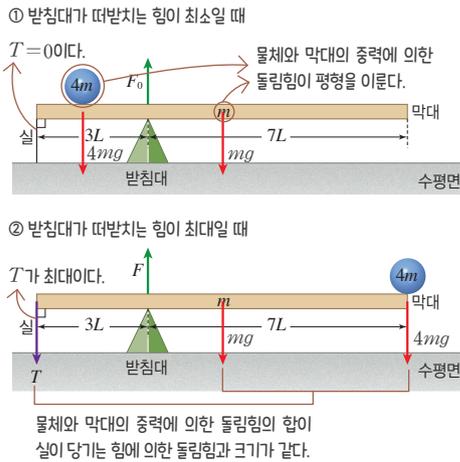


ㄱ. A가 일정한 속도로 운동하므로 A에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. C에 작용하는 알짜힘이 0이므로 A가 C에 작용하는 힘과 마찰력이 힘의 평형을 이룬다. 마찰력의 방향은 C의 운동 방향과 반대 방향이므로 A가 C에 작용하는 힘의 방향은  $F$ 의 방향과 같다.

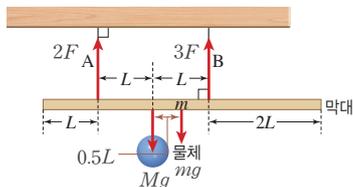
**바로알기** ㄷ. B에 작용하는 알짜힘은 0이므로 B와 C 사이에는 힘이 작용하지 않는다.

## 02 품퐁 문제 분석



③ 받침대가 떠받치는 힘의 크기는 막대와 물체의 중력과 실이 막대에 작용하는 힘의 합력과 같다. 받침대가 막대를 떠받치는 힘의 크기를  $F$ , 실이 막대를 당기는 힘의 크기를  $T$ 라고 할 때  $F=T+4mg+mg$ 이다.  $F$ 가 최소일 때는  $T$ 가 0일 때이므로 물체에 작용하는 중력과 막대에 작용하는 중력에 의한 돌림힘이 평형을 이룬다. 이때  $F_0=5mg$ 이다.  $F$ 가 최대일 때는  $T$ 가 최대일 때이다. 물체가 오른쪽으로 갈수록  $T$ 가 증가한다.  $T$ 가 최대일 때는 물체가 막대의 오른쪽 끝에 있을 때이므로 받침대를 회전축으로 하면 돌림힘의 평형에서  $3LT=2L \times mg+7L \times 4mg$ 이므로  $T=10mg$ 이다. 따라서  $F=15mg=3F_0$ 이다.

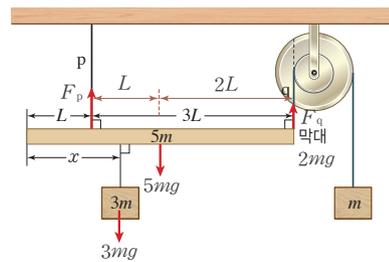
## 03 품퐁 문제 분석



- ① 힘의 평형:  $2F+3F=Mg+mg$
- ② 막대의 무게 중심을 회전축으로 했을 때 돌림힘의 평형:  
 $1.5L \times 2F=0.5L \times Mg+0.5L \times 3F \Rightarrow F=\frac{1}{3}Mg$

③ 물체의 질량을  $M$ , A, B가 막대에 작용하는 힘의 크기를 각각  $2F$ ,  $3F$ 라고 하면 막대에 작용하는 힘의 평형에서  $5F=(M+m)g$ 이고, 막대의 무게 중심을 회전축으로 하는 돌림힘의 평형에서  $1.5L \times 2F=0.5L \times Mg+0.5L \times 3F$ 이다. 따라서  $F=\frac{1}{3}Mg$ 이고,  $M=\frac{3}{2}m$ 이다.

## 04 품퐁 문제 분석



- ① q가 막대를 당기는 힘  $F_q$ : 축바퀴에서 큰 바퀴와 작은 바퀴의 반지름이 2 : 1이므로  $1 \times F_q=2 \times mg$ 에서  $F_q=2mg$ 이다.
- ② p가 막대를 당기는 힘  $F_p$ : 막대에 작용하는 모든 힘이 힘의 평형을 이루므로  $F_p+F_q=3mg+5mg$ 에서  $F_p=6mg$ 이다.
- ③ 막대의 왼쪽 끝을 회전축으로 했을 때 돌림힘의 평형  
 $L \times 6mg+4L \times 2mg=x \times 3mg+2L \times 5mg \Rightarrow x=\frac{4L}{3}$

ㄱ. q가 막대에 작용하는 힘의 크기는  $2mg$ 이고, p와 q가 막대에 작용하는 힘의 합력의 크기는  $8mg$ 이므로 p가 막대에 작용하는 힘의 크기는  $6mg$ 이다. 따라서 실이 막대에 작용하는 힘의 크기는 p가 q의 3배이다.

**바로알기** ㄴ. 막대의 왼쪽 끝을 회전축으로 했을 때  $L \times 6mg+4L \times 2mg=x \times 3mg+2L \times 5mg$ 에서  $x=\frac{4}{3}L$ 이다.

ㄷ. p를 매단 지점을 회전축으로 하면, 질량이  $3m$ 인 물체를 제거했을 때 q가 막대에 작용하는 힘에 의한 돌림힘의 크기는  $3L \times 2mg=6mgL$ 이고 막대에 작용하는 중력에 의한 돌림힘의 크기는  $L \times 5mg=5mgL$ 이므로 평형을 이루지 않는다.

## 02 / 가속도 법칙

### 개념 확인문제

27쪽

- ① 속력   ② 속도   ③ 같다   ④ 가속도   ⑤  $m/s^2$    ⑥ 증가  
 ⑦ 감소   ⑧ 가속도

- 1 (1) 30, 서, 10 (2) 10 (3) 50   2 ㉠ 증가, ㉡ 감소   3 A 구간:  $\frac{v}{t}$ , B 구간:  $-\frac{v}{t}$    4 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○   5 서쪽으로  $3 m/s^2$

1 (1) 이동 거리는  $10\text{ m} + 20\text{ m} = 30\text{ m}$ 이고, 변위는 두 점 사이의 직선 거리이므로 서쪽으로  $10\text{ m}$ 이다.

(2) 속력은 이동 거리를 걸린 시간으로 나눈 값이므로  $\frac{100}{10} = 10(\text{m/s})$ 이다.

(3) 이동 거리는 속력과 걸린 시간의 곱이므로 총 이동 거리는  $5 \times 10 = 50(\text{m})$ 이다.

2 가속도의 방향은 속도 변화량의 방향이다. 가속도와 속도의 방향이 같으면 속도의 크기가 ㉠ 증가하고, 반대이면 속도의 크기가 ㉡ 감소한다.

3 A 구간에서는 속력이 증가하므로 가속도가 (+)이고 B 구간에서는 속력이 감소하므로 가속도가 (-)이다. 가속도는 A 구간에서  $\frac{3v-v}{2t} = \frac{v}{t}$ 이고, B 구간에서  $\frac{v-3v}{2t} = -\frac{v}{t}$ 이다.

4 (1) 직선상에서 운동하던 물체의 운동 방향이 변하여 되돌아오면 변위의 크기는 감소하지만 이동 거리는 계속 증가한다.

(2) 가속도가 일정하면 단위 시간당 속도 변화량이 일정하다. 즉, 속도가 일정하게 증가하거나 감소한다.

(3) 속도와 가속도가 모두 (-)이면 운동 방향이 변하지 않고 속도의 크기가 증가한다.

(4) 처음 속도와 가속도 방향이 반대이면 속도의 크기가 점점 감소하여 0이 된다. 이후 물체는 가속도 방향으로 운동하므로 속도와 가속도의 방향이 같아지면 속도의 크기가 증가한다.

5 동쪽을 (+)방향이라고 하면 가속도  $= \frac{3-12}{3} = -3(\text{m/s}^2)$ 이다.

### 완자샘 비법특강

31쪽

Q1 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

Q2 같다.

Q1 (가)와 (나)에서 A와 B의 질량의 합은 일정하지만 A에 작용하는 알짜힘이 (나)에서가 (가)에서의 4배이므로 A의 가속도의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

Q2 (가)에서 실이 A를 당기는 힘은 A에 작용하는 알짜힘이므로  $F_A = 4\text{ kg} \times 2\text{ m/s}^2 = 8\text{ N}$ 이다. (나)에서는 중력과 실이 A를 당기는 힘의 합력이 알짜힘이므로  $32\text{ N} = 4\text{ kg} \times 10\text{ m/s}^2 - T_A$ 에서  $T_A = 8\text{ N}$ 이다.

### 개념 확인문제

32쪽

① 관성 ② 관성 ③ 비례 ④ 반비례 ⑤ 가속도 ⑥ 1

1 (1) ㉠ 유지하려는, ㉡ 크다 2 B, A, C 3 (1)  $2\text{ kg}$  (2)  $4\text{ N}$

4 ㉠  $2\text{ m/s}^2$ , ㉡  $4\text{ N}$ , ㉢  $6\text{ N}$ , ㉣  $4\text{ N}$  5 (1)  $\times$  (2)  $\times$  (3)  $\circ$

1 물체가 원래의 운동 상태를 계속 유지하려는 성질을 관성이라고 하고, 관성의 크기는 물체의 질량이 클수록 크다.

2 질량  $m$ 인 물체에 알짜힘  $F$ 가 작용하면 가속도는  $a = \frac{F}{m}$ 이

므로 A, B, C의 가속도의 크기는 각각  $\frac{F}{m}$ ,  $\frac{3F}{2m}$ ,  $\frac{F}{3m}$ 이다.

3 (1) 속도-시간 그래프에서 기울기가 가속도이므로 A의 가속도의 크기는  $2\text{ m/s}^2$ 이다.  $F=ma$ 에서  $4=m \times 2$ 이므로  $m=2\text{ kg}$ 이다.

(2) B의 질량은  $4\text{ kg}$ 이고 가속도의 크기는  $1\text{ m/s}^2$ 이므로 B에 작용한 힘의 크기는  $4\text{ N}$ 이다.

4 ㉠ A와 B의 질량의 합이  $5\text{ kg}$ 이므로  $10\text{ N} = 5\text{ kg} \times a$ 에서  $a = 2\text{ m/s}^2$ 이다.

㉡  $a = 2\text{ m/s}^2$ 이므로 A에 작용하는 알짜힘의 크기는  $F = 2 \times 2 = 4(\text{N})$ 이다.

㉢ B에 작용하는 알짜힘의 크기는  $F = 3 \times 2 = 6(\text{N})$ 이다.

㉣ B에 작용하는 알짜힘은  $10\text{ N}$ 과 A가 B에 작용하는 힘의 합력이므로 A가 B에 작용하는 힘의 크기는  $10\text{ N} - 6\text{ N} = 4\text{ N}$ 이다.

5 (1) 운동하던 물체에 알짜힘이 작용하지 않으면 물체의 가속도가 0이므로 속도가 변하지 않는다. 따라서 물체는 등속도 운동을 한다.

(2) 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 일정할 때 가속도의 크기는 질량에 반비례하므로 질량이 2배가 되면 가속도의 크기는  $\frac{1}{2}$ 배가 된다.

(3) 물체의 질량이 일정할 때 가속도의 크기는 힘의 크기에 비례하므로 알짜힘의 크기가 3배가 되면 가속도의 크기도 3배가 된다.

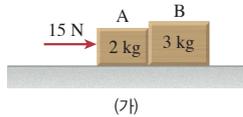
## 대표 자료 분석 1

33쪽

- 1  $3 \text{ m/s}^2$    2  $3 \text{ m/s}^2$    3 6 N, 9 N   4 6 N, 9 N   5 (1) 9 N (2) 6 N   6 (1) ○ (2) × (3) ○

### 품목 문제 분석

질량이  $(m+M)$ 인 한 물체처럼 생각한다.



(가)

하나의 실은 양쪽 물체에 같은 크기의 장력을 각각 작용한다.



(나)

1  $a = \frac{F}{m} = \frac{15 \text{ N}}{2 \text{ kg} + 3 \text{ kg}} = 3 \text{ m/s}^2$

2  $a = \frac{F}{m} = \frac{15 \text{ N}}{2 \text{ kg} + 3 \text{ kg}} = 3 \text{ m/s}^2$

3 A에 작용하는 알짜힘의 크기는  $2 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s}^2 = 6 \text{ N}$ , B에 작용하는 알짜힘의 크기는  $3 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s}^2 = 9 \text{ N}$ 이다.

4 A에 작용하는 알짜힘의 크기는  $2 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s}^2 = 6 \text{ N}$ , B에 작용하는 알짜힘의 크기는  $3 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s}^2 = 9 \text{ N}$ 이다.

5 (1) (가)에서 A가 B에 작용하는 힘은 B에 작용하는 알짜힘이다.  $F = 3 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s}^2 = 9 \text{ N}$ 이다.

(2) (나)에서 A가 B를 당기는 힘과 15 N의 합력이 B에 작용하는 알짜힘이다.  $15 \text{ N} - F = 9 \text{ N}$ 에서  $F = 6 \text{ N}$ 이다. 이 힘은 A에 작용하는 알짜힘과 크기가 같다.

6 (1)  $F = ma$ 에서 가속도가 같을 때 힘의 크기는 질량에 비례한다.

(2) 연결된 두 물체의 가속도는 같으므로 알짜힘의 크기는 질량에 비례한다.

(3) 두 물체를 연결하고 밀거나 당겨도 알짜힘의 크기와 방향이 같으면 가속도의 크기와 방향이 같다.

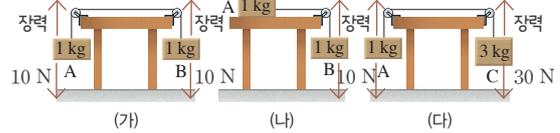
## 대표 자료 분석 2

34쪽

- 1 10 N   2  $5 \text{ m/s}^2$    3  $5 \text{ m/s}^2$    4 15 N   5 (1) ○ (2) × (3) ○

### 품목 문제 분석

A에 작용하는 알짜힘: 장력 - 10 N = 0   A의 운동 방정식: 장력 - 10 N =  $1 \text{ kg} \times a$   
 B에 작용하는 알짜힘: 장력 - 10 N = 0   C의 운동 방정식:  $30 \text{ N} - \text{장력} = 3 \text{ kg} \times a$



(가)

(나)

(다)

A의 운동 방정식: 장력 =  $1 \text{ kg} \times a$

B의 운동 방정식:  $10 \text{ N} - \text{장력} = 1 \text{ kg} \times a$

1 (가)에서 A, B는 정지해 있으므로 A, B는 각각 힘의 평형 상태를 이루고 있다. A, B에는 각각 아래쪽으로 10 N의 중력이 작용하므로 위쪽으로 10 N의 실이 당기는 힘(장력)이 작용한다.

2 (나)에서 A, B에 작용하는 알짜힘은 B에 작용하는 중력이므로 알짜힘의 크기는  $1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 10 \text{ N}$ 이다. A, B를 한 물체로 생각하면 질량이  $1 \text{ kg} + 1 \text{ kg} = 2 \text{ kg}$ 인 물체에 크기가 10 N인 알짜힘이 작용하므로 A, B의 가속도의 크기는  $\frac{10 \text{ N}}{2 \text{ kg}} = 5 \text{ m/s}^2$ 이다.

3 (다)에서 A에 작용하는 중력의 크기는  $1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 10 \text{ N}$ 이고, C에 작용하는 중력의 크기는  $3 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 30 \text{ N}$ 이다. A와 C를 한 물체로 생각하면 질량이  $1 \text{ kg} + 3 \text{ kg} = 4 \text{ kg}$ 인 물체에 알짜힘  $30 \text{ N} - 10 \text{ N} = 20 \text{ N}$ 이 작용하고 있다. 따라서 A와 C의 가속도의 크기는  $\frac{20 \text{ N}}{4 \text{ kg}} = 5 \text{ m/s}^2$ 이다.

4 C에 작용하는 알짜힘의 크기는 C의 질량  $\times$  가속도 =  $3 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s}^2 = 15 \text{ N}$ 이다.

5 (1) (나)에서 A와 B의 가속도는  $5 \text{ m/s}^2$ 이므로 B에 작용하는 알짜힘의 크기는  $1 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s}^2 = 5 \text{ N}$ 이다.

(2) (다)에서 C에 작용하는 중력은 아래쪽으로 30 N이고, C에 작용하는 알짜힘은 아래쪽으로 15 N이므로  $30 \text{ N} - \text{실의 장력} = 15 \text{ N}$ 이다. 따라서 실의 장력은 위쪽으로 15 N이다.

(3)  $F = ma$ 이므로 가속도  $a$ 의 방향은 알짜힘  $F$ 의 방향과 같다.

### 내신 만점 문제

35쪽-38쪽

- 01 ③   02 해설 참조   03 ④   04 ④   05  $0.4 \text{ m/s}^2$   
 06 ②   07 ②   08 ①   09 ③   10 ③   11 ③  
 12 ④   13 알짜힘의 크기: 20 N, 가속도의 크기:  $10 \text{ m/s}^2$   
 14 ④   15 ③   16 ③   17 ①   18 ①   19 해설 참조

**01** ㄱ. 곡선을 따라 이동하면 이동 거리가 변위의 크기보다 크다. A와 B의 변위의 크기가 같으므로 이동 거리는 A가 B보다 크다.

ㄷ. B는 일직선을 따라 운동하므로 변위의 크기와 이동 거리가 같다.

**바로알기** ㄴ. 변위는 물체의 위치 변화이므로 A와 B가 같다.

**02** A, B가 400 m 떨어진 순간부터 두 자동차 사이의 거리가 100 m가 되는 순간까지 걸린 시간을  $t$ 라고 하면 A, B가 이동한 거리는 각각  $10t$ ,  $20t$ 이고,  $10t + 20t = 300$ 에서  $t = 10$ 초이다. 따라서 B가 이동한 거리는 200 m이다.

**다른 풀이** 속력이 B가 A의 2배이므로 B가 이동한 거리는 A가 이동한 거리의 2배이다. A, B가 이동한 거리의 합이 300 m이므로 B가 이동한 거리는 200 m이다.

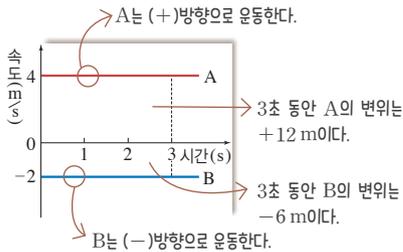
**모범 답안**  $t$ 초 동안 두 자동차가 이동한 거리의 합은 300 m이므로  $10t + 20t = 300$ 에서  $t = 10$ 초이다. 따라서 B가 이동한 거리는 200 m이다.

채점 기준	배점
B가 이동한 거리를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
B가 이동한 거리만 옳게 쓴 경우	30 %

**03** ㄴ. 이동 거리-시간 그래프에서 기울기가 점점 증가하므로 속력은 증가한다. 따라서 속력은 6초일 때가 3초일 때보다 크다.  
ㄷ. 이동 거리-시간 그래프에서 자동차의 속력은 접선의 기울기이므로 6초일 때 자동차의 속력 =  $\frac{90}{6-3} = 30$ (m/s)이다.

**바로알기** ㄱ. 자동차의 속력이 점점 빨라지므로 변위의 크기는 3초부터 6초까지가 0초부터 3초까지보다 크다.

**04** **꼼꼼 문제 분석**



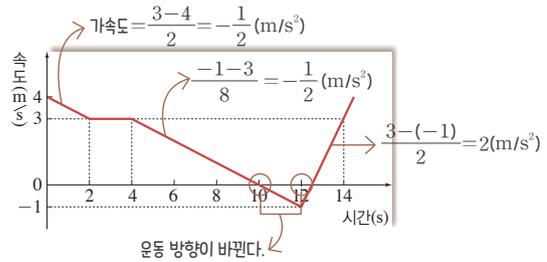
ㄴ. 0초부터 3초까지 A는 12 m 이동하고 B는 6 m 이동한다.  
ㄷ. A와 B의 운동 방향이 반대이므로 3초일 때 A와 B 사이의 거리는 18 m이다.

**바로알기** ㄱ. A는 속도가 (+)이고 B는 (-)이므로 A와 B의 운동 방향은 반대이다.

**05** 자동차의 구간 평균 속도는 20 cm/s, 40 cm/s, 60 cm/s, 80 cm/s, 100 cm/s이다. 따라서 이웃한 구간 사이의 속력 차이가 20 cm/s로 일정하므로 가속도의 크기 =  $\frac{20 \text{ cm/s}}{0.5 \text{ s}} = 40 \text{ cm/s}^2 = 0.4 \text{ m/s}^2$ 이다.

**06** 4초 동안 속력이 8 m/s 증가하였으므로 가속도의 크기는  $a = 2 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 2초일 때 속력  $v = 6 \text{ m/s}$ 이다.

**07** **꼼꼼 문제 분석**



ㄴ. 속도-시간 그래프에서 기울기가 가속도를 나타낸다. 7초일 때와 11초일 때 기울기가 (-)이므로 가속도의 방향은 같다.

**바로알기** ㄱ. 1초일 때 가속도의 크기는  $\frac{4-3}{2} = \frac{1}{2}$ (m/s<sup>2</sup>)이고, 13초일 때 가속도의 크기는  $\frac{3-(-1)}{2} = 2$ (m/s<sup>2</sup>)이다.

ㄷ. 7초일 때와 13초일 때 모두 속도가 (+)이므로 운동 방향은 같다.

**08** ㄴ. 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체의 운동 상태가 변하지 않으므로 정지해 있던 물체는 계속 정지해 있고, 운동하던 물체는 계속 등속도 운동을 한다.

**바로알기** ㄱ. ㄴ. 물체의 운동 방향에 반대 방향으로 알짜힘이 작용할 때이다.

ㄷ. 속력이 일정한 원운동(등속 원운동)을 하는 물체에는 물체의 운동 방향에 수직인 방향으로 알짜힘이 작용한다.

**09** ㄱ. 질량이 클수록 물체의 운동 상태를 바꾸기 어렵다.  
ㄷ. 관성은 물체가 현재의 운동 상태를 유지하려는 성질이다.

**바로알기** ㄴ. 관성이 크면 운동 상태를 바꾸기 어렵다.

**10** ㄱ. 관성 때문에 나타나는 현상으로 뉴턴 운동 제1법칙인 관성 법칙과 관련이 있다.

ㄴ. 버스가 달릴 때 버스에 타고 있던 승객도 같이 운동한다. 버스가 갑자기 정지할 때 승객은 관성에 의해 운동 상태를 유지하려고 하므로 앞으로 넘어진다.

**바로알기** ㄷ. 기체를 뒤로 내뿜으면서 운동 상태를 바꾸는 것은 힘에 의한 운동 상태의 변화이다.

**11** ㄱ. 10초일 때와 45초일 때 속도가 모두 (+)이므로 같은 방향으로 운동한다.

ㄴ. 속도-시간 그래프의 기울기가 가속도이다. 0초부터 20초까지 가속도의 크기는  $\frac{10 \text{ m/s}}{20 \text{ s}} = 0.5 \text{ m/s}^2$ 이다.

**바로알기** ㄷ. 40초부터 50초까지 가속도  $= \frac{-10 \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = -1 \text{ m/s}^2$

이므로 알짜힘의 크기는  $50 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2 = 50 \text{ N}$ 이다.

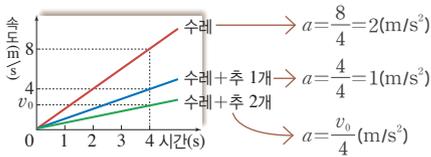
**12** ㄴ. 가속도가 같으므로 알짜힘의 크기는 질량에 비례한다. 질량이 A가 B의 2배이므로 알짜힘의 크기는 A가 B의 2배이다.

ㄷ. A가 받는 알짜힘이 B가 받는 알짜힘의 2배이므로 알짜힘의 크기는 A, B가 각각  $2F$ ,  $F$ 이다. 실이 B에 작용하는 힘과 A에 작용하는 힘의 크기는 같으므로 실이 B에 작용하는 힘의 크기는  $2F$ 이다.

**바로알기** ㄱ. A와 B는 함께 운동하므로 매 순간마다 속도가 같다. 따라서 A와 B의 가속도는 같다.

**13** 물체에는 연직 아래 방향으로  $2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$ 의 중력이 작용한다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는  $40 \text{ N} - 20 \text{ N} = 20 \text{ N}$ 이고, 가속도의 크기는  $\frac{20 \text{ N}}{2 \text{ kg}} = 10 \text{ m/s}^2$ 이다.

**14** **품고 문제 분석**



ㄱ. 수레와 추의 질량을 각각  $M$ ,  $m$ 이라고 하면,  $4 = M \times 2$ ,  $4 = (M+m) \times 1$ 에서  $M = m = 2 \text{ kg}$ 이다.

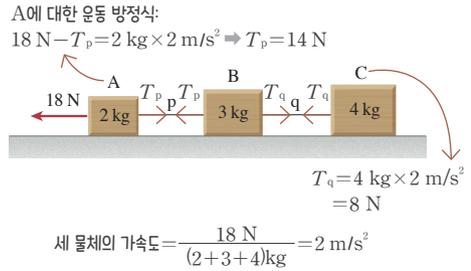
ㄷ. 수레의 질량이 일정할 때 힘의 크기가 2배가 되면 가속도의 크기는 2배가 된다. 따라서 (라)에서 수레의 가속도의 크기는  $4 \text{ m/s}^2$ 이다.

**바로알기** ㄴ. 수레와 추 2개의 전체 질량이  $6 \text{ kg}$ 이므로

$4 = 6 \times a$ 에서 가속도의 크기는  $a = \frac{2}{3} \text{ m/s}^2$ 이고, 4초일 때 속력은

$\frac{v_0}{4} = \frac{2}{3}$ 에서  $v_0 = \frac{8}{3} \text{ m/s}$ 이다.

**15** **품고 문제 분석**



ㄱ. 세 물체의 가속도는 같다. 세 물체의 질량이  $9 \text{ kg}$ 이고, 전체 알짜힘의 크기가  $18 \text{ N}$ 이므로 세 물체의 가속도의 크기는  $\frac{18 \text{ N}}{9 \text{ kg}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이다.

ㄴ. B의 가속도는  $2 \text{ m/s}^2$ 이므로 B에 작용하는 알짜힘의 크기는  $3 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 6 \text{ N}$ 이다.

**바로알기** ㄷ. A에는 왼쪽으로  $18 \text{ N}$ , 오른쪽으로 p의 장력( $T_p$ )이 작용하므로  $18 \text{ N} - T_p = 2 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 4 \text{ N}$ 에서  $T_p = 14 \text{ N}$ 이다. C에는 q의 장력( $T_q$ )이 알짜힘으로 작용하므로  $T_q = 4 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 8 \text{ N}$ 이다. 따라서  $T_p : T_q = 14 \text{ N} : 8 \text{ N} = 7 : 4$ 가 된다.

**다른 풀이** ㄷ.  $T_p$ 는 B와 C를 함께 운동시키는 알짜힘이고,  $T_q$ 는 C를 운동시키는 알짜힘이다. 가속도가 같으므로 알짜힘은 질량에 비례한다. 따라서  $T_p : T_q = (3+4) \text{ kg} : 4 \text{ kg} = 7 : 4$ 가 된다.

**16** ㄱ. 알짜힘의 크기가  $30 \text{ N}$ 이므로  $30 = (2+3) \times a$ 에서 가속도의 크기  $a = 6 \text{ m/s}^2$ 이다.

ㄴ. B에는 아래 방향으로 중력이, 위 방향으로 실이 B를 당기는 힘( $T$ )이 작용하므로  $30 - T = 3 \times 6$ 에서  $T = 12 \text{ N}$ 이다.

**바로알기** ㄷ. 가속도가  $6 \text{ m/s}^2$ 이므로 1초 후 A의 속력은  $6 \text{ m/s}$ 가 된다. 따라서 A가  $s$ 만큼 이동할 때까지 걸린 시간은 1초이다.

**17** ① A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는  $20 \text{ N}$ 이고 질량의 합은  $4 \text{ kg}$ 이므로 A와 B의 가속도의 크기는  $5 \text{ m/s}^2$ 이다.

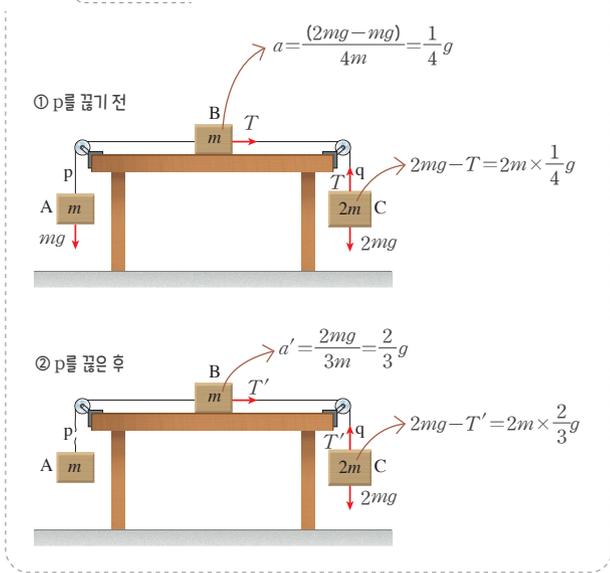
**바로알기** ② 실이 B에 작용하는 힘의 크기를  $T$ 라고 하면 B의 운동 방정식  $30 - T = 3 \times 5$ 에서  $T = 15 \text{ N}$ 이다.

③ A의 가속도가  $5 \text{ m/s}^2$ 이므로 A에 작용하는 알짜힘의 크기는  $1 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s}^2 = 5 \text{ N}$ 이다.

④ A와 B가 같은 가속도로 운동하므로 알짜힘의 크기는 질량에 비례한다.

⑤ 실을 끊으면 A와 B가 모두 중력 가속도로 운동한다.

18 ← 꼼꼼 문제 분석



① 중력 가속도를  $g$ , p를 끊기 전 B의 가속도를  $a$ 라고 하면  $2mg - mg = 4ma$ 에서  $a = \frac{1}{4}g$ 이다. 이때 q가 B와 C에 작용하는 힘의 크기는 같으므로  $2mg - T = 2m \times \frac{1}{4}g$ 에서  $T = \frac{3}{2}mg$ 이다. p를 끊으면 B와 C에 작용하는 알짜힘이  $2mg$ 이므로  $2mg = 3ma'$ 에서  $a' = \frac{2}{3}g$ 이다.  $2mg - T' = 2m \times \frac{2}{3}g$ 에서  $T' = \frac{2}{3}mg$ 이다. 따라서  $T' = \frac{4}{9}T$ 이다.

19 A와 B에 작용하는 힘의 방향이 반대이므로 A와 B가 받는 알짜힘은 오른쪽으로  $F$ 이다.

**모범 답안**  $F = 4ma$ 에서  $a = \frac{F}{4m}$ 이다. (나)에서 A의 운동 방정식은  $-F = ma_A$ 이므로  $a_A = -\frac{F}{m} = -4a$ 이고, B의 운동 방정식은  $2F = 3ma_B$ 이므로  $a_B = \frac{2F}{3m} = \frac{8}{3}a$ 이다. 따라서 (나)에서 A의 가속도는  $-4a$ 이고 B의 가속도는  $\frac{8}{3}a$ 이다.

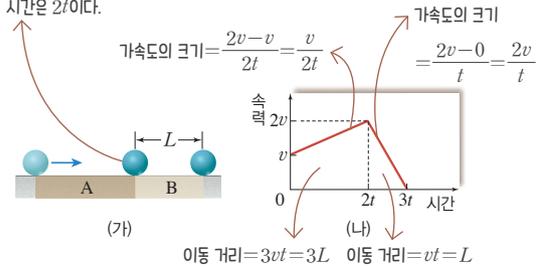
채점 기준	배점
A와 B의 가속도를 $a$ 를 이용하여 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
A와 B의 가속도만 옳게 쓴 경우	50 %

실력 UP 문제

01 ④    02 ⑤    03 ②    04 ③

01 ← 꼼꼼 문제 분석

물체가 B 구간으로 들어가는 시간은  $2t$ 이다.

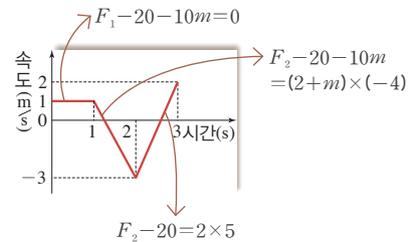


ㄱ. 속도-시간 그래프 아랫부분의 넓이가 이동 거리이다. 그래프에서 B의 구간 거리는  $vt = L$ 이고 A의 구간 거리는  $3vt$ 이므로 A의 구간 거리는  $3L$ 이다.

ㄴ. 전체 이동 거리가  $4L$ 이므로 평균 속도의 크기는  $\frac{4L}{3t} = \frac{4vt}{3t} = \frac{4}{3}v$ 이다.

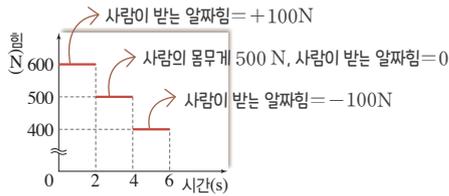
**바로알기** 나. 가속도의 크기는 B에서가 A에서의 4배이므로 알짜힘의 크기도 B에서가 A에서의 4배이다.

02 ← 꼼꼼 문제 분석



2초부터 3초까지 A의 가속도  $= \frac{2 - (-3)}{1} = 5(m/s^2)$ 이므로 운동 방정식  $F_2 - 20 = 2 \times 5$ 에서  $F_2 = 30$  N이다. 1초부터 2초까지 A의 가속도  $= \frac{-3 - 1}{1} = -4(m/s^2)$ 이므로 운동 방정식  $F_2 - 20 - 10m = (2+m) \times (-4)$ 에서  $m = 3$  kg이다. 0초부터 1초까지 가속도가 0이므로 운동 방정식  $F_1 - 20 - 10m = 0$ 에서  $F_1 = 50$  N이다. 따라서  $F_1 : F_2 = 50 : 30 = 5 : 3$ 이다.

### 03 품고 문제 분석



저울의 측정값은 사람이 저울을 누르는 힘이므로 저울이 사람에게 작용하는 힘과 크기가 같다.

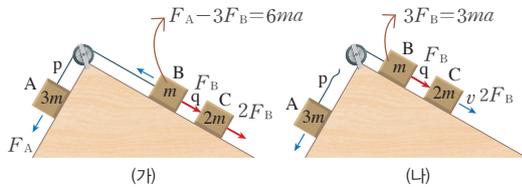
- ① 0초부터 2초: 사람이 위쪽으로 600 N의 힘을 받고 아래쪽으로 500 N의 중력을 받으므로 알짜힘은 100 N이다.  $\rightarrow$  가속도  $= +2 \text{ m/s}^2$
- ② 2초부터 4초: 사람이 위쪽으로 500 N의 힘을 받으므로 알짜힘은 0이다.  $\rightarrow$  등속 운동
- ③ 4초부터 6초: 사람이 위쪽으로 400 N의 힘을 받고 아래쪽으로 500 N의 중력을 받으므로 알짜힘은  $-100 \text{ N}$ 이다.  $\rightarrow$  가속도  $= -2 \text{ m/s}^2$

나. 사람에게 작용하는 알짜힘의 크기는 0초부터 2초까지와 4초부터 6초까지 100 N으로 같으므로 가속도의 크기는 같다.

**바로알기** 가. 4초부터 6초까지는 가속도가 (-)이므로 속력이 감소한다.

다. 저울에서 측정되는 힘의 크기는 저울이 사람을 떠받치는 힘의 크기와 같다. 따라서 1초일 때 저울이 사람을 떠받치는 힘의 크기는 600 N이다.

### 04 품고 문제 분석



가. A, B에 빗면 아래쪽으로 작용하는 힘의 크기를 각각  $F_A$ ,  $F_B$ 라고 하면 C에 빗면 아래쪽으로 작용하는 힘의 크기는  $2F_B$ 이다. (가)와 (나)에서 운동 방정식은 각각  $F_A - 3F_B = 6ma$ ,  $3F_B = 3ma$ 이므로  $F_A = 9ma$ 이다. 따라서 (나)에서 A의 가속도의 크기는  $\frac{9ma}{3m} = 3a$ 이다.

다. (가)에서 p, q가 B에 작용하는 힘의 크기를 각각  $T_p$ ,  $T_q$ 라고 하면 A의 운동 방정식은  $F_A - T_p = 3ma$ 에서  $T_p = 6ma$ 이고, C의 운동 방정식은  $T_q - 2F_B = 2ma$ 에서  $T_q = 4ma$ 이다.

**바로알기** 나. 가속도의 크기가  $a$ 인 C의 속도 변화량의 크기가  $2v$ 이므로 가속도의 크기가  $3a$ 인 A의 속도 변화량은  $6v$ 이다. 실이 끊어질 때 속력이  $v$ 이므로 (나)에서 A의 속력은  $7v$ 이다.

## 03 / 등가속도 운동

### 개념 확인 문제

43쪽

- ① 등속도 운동    ② 등가속도    ③ 증가    ④ 감소    ⑤  $v_0 + at$
- ⑥  $v_0t + \frac{1}{2}at^2$     ⑦ 변위    ⑧ 가속도    ⑨ 평균 속도    ⑩ 제곱

- 1 (1) 8 (2) 같은 (3) 반대 (4) 200 (5) 0    2 (1) 15 m/s (2) 6초 (3) 5 m/s<sup>2</sup>    3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○    4 ㉠ 반대, ㉡ 속도의 제곱

1 (1) 가속도는 속도 변화량을 걸린 시간으로 나누어 구한다.

0초부터 5초까지 가속도  $= \frac{-40 - 40}{10} = -8 \text{ m/s}^2$ 이므로 가속

도의 크기는  $8 \text{ m/s}^2$ 이다.

(2) 5초부터 10초까지 속도의 크기가 증가하므로 가속도 방향과 속도 방향이 같다.

(3) 3초일 때 속도가 감소하고 있으므로 운동 방향과 알짜힘의 방향이 반대이다.

(4) 0초부터 5초까지 100 m를 갔다가 다시 100 m를 되돌아왔으므로 이동 거리는 200 m이다.

(5) 10초일 때 처음 위치로 되돌아왔으므로 변위는 0이다.

2 (1) 정지하는 동안 속도가 일정하게 감소하였으므로 평균 속도  $\bar{v} = \frac{30 + 0}{2} = 15 \text{ (m/s)}$ 이다.

(2) 평균 속도 15 m/s로 90 m를 이동하였으므로  $15 \times t = 90$ 에서  $t = 6$ 초이다.

(3) 6초 동안 속도 변화량이 30 m/s이므로 가속도의 크기는  $5 \text{ m/s}^2$ 이다.

3 (1) 등가속도 직선 운동은 가속도의 크기와 방향이 일정한 운동이다. 따라서 물체에 작용한 알짜힘의 크기와 방향이 일정하다.

(2) 정지해 있던 물체가 등가속도 직선 운동을 하면 위치는  $s = \frac{1}{2}at^2$ 이므로 등가속도 직선 운동에서 변위의 크기(s)는 시간의 제곱( $t^2$ )에 비례한다.

(3) 운동 방향은 속도의 방향이고 힘의 방향은 가속도의 방향이다. 운동 방향과 가속도 방향이 반대이면 속도의 크기가 감소한다.

(4) 물체의 운동 방향과 알짜힘의 방향이 반대이면 물체의 속도가 감소한다. 따라서 속도가 0이 되는 순간이 변위의 크기가 최대가 되는 순간이다. 이 순간이 지나면 물체는 다시 처음 위치로 향해 되돌아온다.

4 달리던 자동차가 멈출 때 속도의 크기가 감소하므로 가속도의 방향은 속도의 방향과 반대이다. 처음 속도가  $v_0$ , 가속도가  $-a$  일 때 제동 거리  $s$ 는  $-2as=0^2-v_0^2$ 의 관계가 있다. 따라서 가속도가 일정할 때 제동 거리는 속도의 제곱에 비례한다.

**완자샘 비법특강**

44쪽

Q1 A, 증가한다. Q2 A, D, 기울기의 절댓값이 증가한다.

Q1 속도와 가속도의 방향이 같으면 속도의 크기가 증가한다. 따라서 속도와 가속도의 방향이 같은 구간은 A이다.

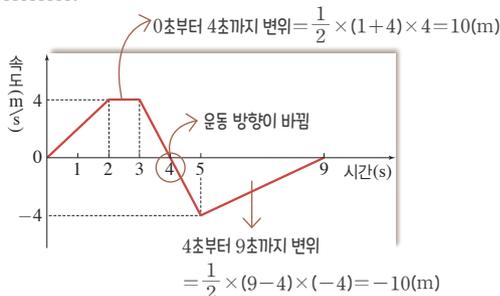
Q2 속도의 크기가 증가하는 구간은 A, D이다. 위치-시간 그래프에서 기울기가 속도이므로 속도의 크기가 증가하면 기울기의 절댓값이 증가한다.

**대표자료분석 1**

45쪽

- 1 1초~2초, 3초~5초, 5초~9초      2 (1) 20 (2) 0 (3) 0  
 3  $2 \text{ m/s}^2$ ,  $-4 \text{ m/s}^2$ ,  $1 \text{ m/s}^2$       4 (1) 반대이다 (2) 5초 (3) 4초, 9초 (4) 같다      5 (1)  $\times$  (2)  $\times$  (3)  $\circ$  (4)  $\circ$  (5)  $\circ$

**꼼꼼 문제 분석**



1 물체가 일정한 가속도로 운동하면 속도-시간 그래프에서 기울기가 일정하다. 1초부터 2초까지 가속도는  $+2 \text{ m/s}^2$ 이고 3초부터 5초까지 가속도는  $-4 \text{ m/s}^2$ 이며, 5초부터 9초까지 가속도는  $+1 \text{ m/s}^2$ 이다.

2 (1) 속도-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 변위를 나타낸다. 물체는 4초일 때 10m만큼 이동했다가 운동 방향을 바꾸어 9초일 때 출발점으로 되돌아왔다. 따라서 이동 거리는  $10 \text{ m} + 10 \text{ m} = 20 \text{ m}$ 이다.

(2) 0초부터 4초까지 위치가 10m만큼 멀어지고, 4초부터 9초까지 다시 10m를 되돌아오므로 변위는 0이다.

(3) 변위가 0이므로 평균 속도도 0이다.

3 가속도는 속도 변화량을 걸린 시간으로 나눈 값이므로

$$a_1 = \frac{4 \text{ m/s} - 0}{2 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2,$$

$$a_4 = \frac{-4 \text{ m/s} - 4 \text{ m/s}}{5 \text{ s} - 3 \text{ s}} = -4 \text{ m/s}^2,$$

$$a_6 = \frac{0 - (-4 \text{ m/s})}{9 \text{ s} - 5 \text{ s}} = 1 \text{ m/s}^2 \text{이다.}$$

4 (1) 속도가 3초일 때는 (+), 5초일 때는 (-)이므로 운동 방향이 반대이다.

(2) 속도-시간 그래프에서 가속도는 그래프의 기울기이다. 5초일 때 기울기의 부호가 바뀌므로 5초일 때 가속도의 방향이 바뀐다.

(3) 4초일 때 가장 멀리 이동했다가 다시 출발점으로 되돌아오므로 변위의 크기는 4초일 때가 가장 크다.

(4) 3초일 때 물체의 위치는 출발점에서 8m 떨어진 지점이고, 5초일 때 물체의 위치는 출발점에서 8m 떨어진 지점이다.

5 (1) 운동 방향은 속도의 방향이므로 4초일 때 한 번 바뀐다.

(2) 2초부터 3초까지 물체의 가속도가 0이므로 물체는  $4 \text{ m/s}$ 의 속력으로 등속도 운동을 한다.

(3) 0초부터 4초까지 그래프 아랫부분의 넓이가 10m이고, 4초부터 9초까지 그래프 아랫부분의 넓이도 10m이다.

(4) 4초일 때가 7초일 때보다 그래프의 기울기 절댓값이 크므로 가속도의 크기도 크다. 따라서 알짜힘의 크기도 4초일 때가 7초일 때보다 크다.

(5) 2초부터 3초까지 속도가 일정하므로 알짜힘이 0이다.

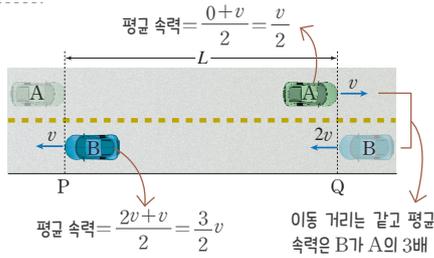
**대표자료분석 2**

46쪽

- 1 (1)  $\frac{1}{2}v$  (2)  $\frac{3}{2}v$  (3)  $\frac{2L}{3v}$       2 (1) 같다 (2) 3배 (3)  $\frac{1}{3}$ 배      3  $\frac{3v^2}{2L}$

- 4 (1)  $\times$  (2)  $\circ$  (3)  $\times$

꼼꼼 문제 분석



1 (1) A는 등가속도 직선 운동을 하므로 A가 P에서 Q까지 이동하는 동안 A의 평균 속도의 크기는  $\frac{0+v}{2} = \frac{1}{2}v$ 이다.

(2) B는 등가속도 직선 운동을 하므로 B가 Q에서 P까지 이동하는 동안 B의 평균 속도의 크기는  $\frac{2v+v}{2} = \frac{3}{2}v$ 이다.

(3) 평균 속도 =  $\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}$  이므로 B가 Q에서 P까지 이동하는 데 걸린 시간은  $\frac{2L}{3v}$ 이다.

2 (1) 속도 변화량 = 나중 속도 - 처음 속도이므로 A의 속도 변화량은  $v-0=v$ 이고, B의 속도 변화량은  $-v-(-2v)=v$ 이다. 따라서 A와 B의 속도 변화량의 크기는  $v$ 로 같다.

(2) A와 B가 이동한 거리는  $L$ 로 같고, 평균 속도의 크기는 B가 A의 3배이므로 운동하는 데 걸린 시간은 A가 B의 3배이다.

(3) 가속도 =  $\frac{\text{속도 변화량}}{\text{걸린 시간}}$  이다. A와 B의 속도 변화량의 크기는 서로 같고, 걸린 시간은 A가 B의 3배이므로 가속도의 크기는 A가 B의  $\frac{1}{3}$ 배이다.

3 B의 가속도를  $a_B$ 라고 하면 등가속도 직선 운동의 식에 따라  $2a_B L = (-v)^2 - (-2v)^2 = -3v^2$ 이므로  $a_B = -\frac{3v^2}{2L}$ 이다. 따라서 B의 가속도의 크기는  $\frac{3v^2}{2L}$ 이다.

4 (1) 이동하는 데 걸린 시간 =  $\frac{\text{이동 거리}}{\text{평균 속도}}$  이므로 A가 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은  $L \times \frac{2}{v} = \frac{2L}{v}$ 이다.

(2) B는 이동하는 동안 속력이 감소하므로 속도의 방향과 가속도의 방향이 서로 반대이다.

(3) 가속도의 크기는 B가 A의 3배이므로 A의 가속도의 크기는  $\frac{v^2}{2L}$ 이고, B가 Q에서 P까지 운동하는 데 걸린 시간은  $\frac{2L}{3v}$ 이다.

등가속도 직선 운동의 식  $s = \frac{1}{2}at^2$ 에 따라 A가 이동한 거리는  $\frac{1}{2} \times \frac{v^2}{2L} \times \left(\frac{2L}{3v}\right)^2 = \frac{1}{9}L$ 이다.

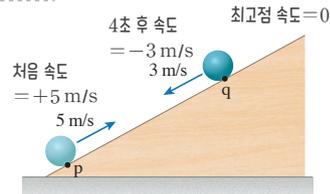
나신 만점 문제

47쪽-52쪽

- |          |        |          |      |      |
|----------|--------|----------|------|------|
| 01 ③     | 02 ⑤   | 03 해설 참조 | 04 ① | 05 ④ |
| 06 ③     | 07 8 m | 08 ④     | 09 ⑤ | 10 ⑤ |
| 12 ②     | 13 ⑤   | 14 ③     | 15 ① | 16 ③ |
| 17 해설 참조 | 18 ⑤   | 19 ④     | 20 ⑤ | 21 ③ |
| 22 ③     | 23 ①   | 24 해설 참조 | 25 ③ |      |

01 ㄱ. 1초일 때 속도의 방향이 바뀌므로 최고점에 도달한다.  
 ㄴ. 2초일 때 변위가 0이므로 처음 위치에 도달한다.  
 (바로알기) ㄷ. 물체는 2초일 때 처음 위치로 돌아왔다가 3초일 때 지면에 도달한다. 따라서 2초부터 3초까지 물체가 이동한 거리는  $h$ 이다. 속도-시간 그래프와 시간축 사이의 넓이는 변위와 같으므로  $h = \frac{1}{2} \times (10+20) \times 1 = 15(\text{m})$ 이다.

02 - 꼼꼼 문제 분석

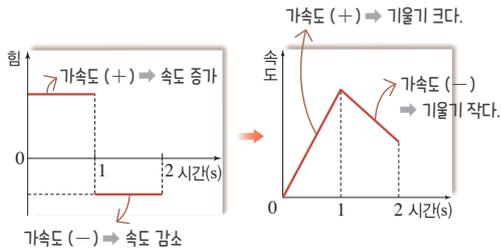


ㄱ. 4초 동안 속도가  $+5 \text{ m/s}$ 에서  $-3 \text{ m/s}$ 로 변하였으므로 가속도 =  $\frac{-3-5}{4} = -2(\text{m/s}^2)$ 이다.  
 ㄴ.  $2as = v^2 - v_0^2$ 에서  $2 \times (-2) \times s = (-3)^2 - 5^2$ 이므로  $s = 4 \text{ m}$ 이다.  
 ㄷ. 가속도가  $-2 \text{ m/s}^2$ 이고 최고점에서 속력이 0이므로  $0 = 5 + (-2) \times t$ 에서  $t = 2.5$ 초이다.

03 (모범 답안)  $t=0$ 일 때 비행기의 속력을  $v_0$ , 가속도를  $a$ 라고 하면  $v_0 T + \frac{1}{2} a T^2 = s, v_0 \times 2T + \frac{1}{2} a (2T)^2 = 3s$ 에서  $v_0 = \frac{s}{2T}$ 이다.

채점 기준	배점
$t=0$ 일 때 비행기의 속력을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
비행기의 속력만 옳게 쓴 경우	30 %

04 **꼼꼼 문제 분석**



① 이동 거리가 1초부터 2초까지가 0초부터 1초까지의 1.5배이므로 평균 속도도 1.5배이다. 1초일 때 속력을  $v$ 라고 하면 0초부터 1초까지의 평균 속력은  $\frac{1}{2}v$ 이므로 1초부터 2초까지의 평균 속력은  $\frac{3}{4}v$ 이다. 따라서 2초일 때 속력은  $\frac{1}{2}v$ 이다.

05 ① 등가속도 직선 운동을 하는 A의 처음 속력은 0이고 나중 속력은 10 m/s이므로 평균 속력은 5 m/s이다.

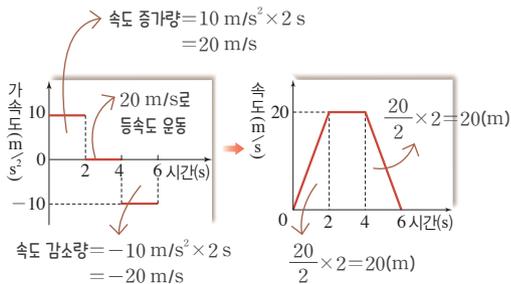
② B의 평균 속력은 15 m/s이므로 Q에서 P까지 이동하는 데 걸린 시간 =  $\frac{30 \text{ m}}{15 \text{ m/s}} = 2 \text{ s}$ 이다.

③ A는 0에서 10 m/s로 변하고, B는 20 m/s에서 10 m/s로 변하므로 속도 변화량의 크기는 10 m/s로 같다.

⑤ B는 속도의 크기가 감소하므로 속도와 가속도 방향이 서로 반대이다.

**바로알기** ④  $2as = v^2 - v_0^2$ 에서  $a = \frac{v^2 - v_0^2}{2s}$ 이므로  $a_A = \frac{10^2}{2 \times 30} = \frac{5}{3} \text{ (m/s}^2\text{)}$ ,  $a_B = \frac{20^2 - 10^2}{2 \times 30} = 5 \text{ (m/s}^2\text{)}$ 이다. 따라서 가속도의 크기는 B가 A의 3배이다.

06 **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. 0초부터 2초까지 속도 증가량이 20 m/s이고, 2초부터 4초까지 등속 운동을 하므로 4초일 때 속도의 크기는 20 m/s이다.  
ㄷ. 0초부터 2초까지 이동 거리가 20 m, 2초부터 4초까지 이동

거리가 40 m, 4초부터 6초까지 이동 거리가 20 m이므로 전체 이동 거리는 80 m이다.

**바로알기** ㄴ. 1초일 때 속도는 +10 m/s이고, 5초일 때 속도는 +10 m/s이므로 운동 방향이 같다.

07 0초부터 3초까지 이동 거리는  $2 \text{ m/s} \times 3 \text{ s} = 6 \text{ m}$ 이고, 3초부터 5초까지 평균 속력은 1 m/s이므로 이동 거리는  $1 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} = 2 \text{ m}$ 이다. 따라서 0초부터 5초까지 이동 거리는 8 m이다.

08 ④ 0초부터 2초까지 A와 B의 가속도의 크기는  $\frac{1}{2} \text{ m/s}^2$ 이고 2초부터 4초까지 B의 가속도의 크기는  $1 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 A의 질량을  $m$ 이라고 하면 운동 방정식은 각각  $4F - F = (m+2) \times \frac{1}{2}$ ,  $4F = 2 \times 1$ 에서  $F = \frac{1}{2} \text{ N}$ ,  $m = 1 \text{ kg}$ 이다. 실이 끊어진 후 A는 왼쪽으로 힘  $F$ 를 받으므로  $-\frac{1}{2} \text{ N} = 1 \text{ kg} \times a$ 에서 가속도  $a = -\frac{1}{2} \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 4초일 때 A의 속도는  $v = 2 - \frac{1}{2} \times 2 = 1 \text{ (m/s)}$ 이다.

09 p에서 q까지와 q에서 r까지 속도 변화량이 각각 8 m/s, 4 m/s이므로 운동하는 데 걸린 시간은 각각 2초, 1초이다. p에서 q까지와 q에서 r까지 평균 속력이 각각 4 m/s, 10 m/s이므로  $L_1 = 4 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} = 8 \text{ m}$ 이고  $L_2 = 10 \text{ m/s} \times 1 \text{ s} = 10 \text{ m}$ 이다.

10 ㄴ. 1.5초일 때 A의 속도는  $4 \text{ m/s} + 2 \text{ m/s}^2 \times 1.5 \text{ s} = 7 \text{ m/s}$ 이므로 B의 속도와 같아진다.

ㄷ. 5초일 때 A의 위치는  $s_A = 4 \times 5 + \frac{1}{2} \times 2 \times 5^2 = 45 \text{ (m)}$ 이고, B의 위치는  $s_B = 7 \times 5 + 10 = 45 \text{ (m)}$ 이므로 5초일 때 A와 B가 만난다.

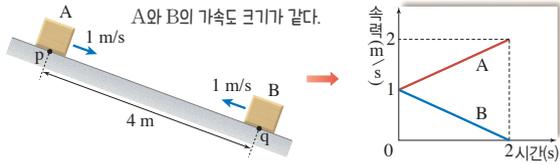
**바로알기** ㄱ. 0초일 때 A의 속도가 +4 m/s이고, 0초부터 3초까지 A의 속도 변화량이 +6 m/s이므로 3초일 때 A의 속도의 크기는 10 m/s이다.

11 ㄱ. 등가속도 직선 운동을 할 때 속도 변화량은 시간에 비례한다. q에서 r까지 속도 변화량이 p에서 q까지 속도 변화량의 2배이므로 걸린 시간이 2배이다.

ㄴ. 평균 속력은 q에서 r까지가 p에서 q까지의 2배이고 걸린 시간도 2배이므로 이동 거리는 4배이다. 따라서 p에서 q까지 거리는  $\frac{1}{4}L$ 이고, p에서 r까지 거리는  $\frac{5}{4}L$ 이다.

**바로알기** ㄷ. 속력이  $3v$ 인 지점을  $s$ 라고 하면  $p$ 에서  $q$ 까지 평균 속력은  $\frac{3}{2}v$ ,  $q$ 에서  $s$ 까지 평균 속력은  $\frac{5}{2}v$ 이고, 걸린 시간은 같으므로  $\overline{pq} : \overline{qs} = 3 : 5$ 이다. 따라서  $\overline{qs} = \frac{5}{12}L$ 이다.

**12** **꼼꼼 문제 분석**



- A와 B의 가속도의 크기가 같으므로 속도-시간 그래프에서 기울기의 크기가 같다.
- A는 속력이 증가, B는 감소하므로 B의 속력이 0이 될 때 A의 속력은 2 m/s이다.

- ① 같은 빗면에서 운동하므로 A, B의 가속도의 크기는 서로 같다.
- ③ 충돌할 때까지 B의 속도 변화량이  $+1 \text{ m/s}$ 이므로 A의 속도 변화량도  $+1 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 충돌 직전 A의 속력은  $2 \text{ m/s}$ 이다.
- ④ A와 B가 1초에 2m씩 가까워지므로 2초 후 충돌한다.
- ⑤ 충돌할 때까지 A, B가 이동한 거리를 각각  $s_A, s_B$ 라고 하면  $2as_A = 2^2 - 1^2 = 3$ ,  $-2as_B = 0 - 1^2 = -1$ 이므로  $s_A = 3s_B$ 이다.
- 바로알기** ② 같은 빗면에서 운동하므로 A, B의 가속도의 방향은 서로 같다.

**13** ㄱ. 가속도의 크기를  $a$ 라고 하면 6초일 때 속력은  $6a$ , 8초일 때 속력은  $8a$ 이다. Q에서 R까지 평균 속력이  $7a$ 이므로  $7a \times 2s = 21 \text{ m}$ 에서  $a = 1.5 \text{ m/s}^2$ 이다.

ㄴ. Q에서 속력은  $6a = 9 \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ. Q에서 속력이  $9 \text{ m/s}$ 이므로 P에서 Q까지 평균 속력은  $4.5 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 P에서 Q까지 거리는  $4.5 \text{ m/s} \times 6 \text{ s} = 27 \text{ m}$ 이다.

**14** ㄱ. 출발 후 2초 동안 자동차의 속력이  $4 \text{ m/s}$  증가하였으므로 가속도 =  $\frac{\text{속도 변화량}}{\text{걸린 시간}} = \frac{4 \text{ m/s}}{2 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이다.

ㄴ. 자동차는  $2 \text{ m/s}^2$ 의 가속도로 등가속도 직선 운동을 하므로 3초일 때 속도  $v = v_0 + at = 2 \text{ m/s} + 2 \text{ m/s}^2 \times 3 \text{ s} = 8 \text{ m/s}$ 이다.

**바로알기** ㄷ. 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 평균 속도 =  $\frac{\text{처음 속도} + \text{나중 속도}}{2}$ 이므로 0초부터 2초까지 자동차의 평균 속력은  $\frac{2 \text{ m/s} + 6 \text{ m/s}}{2} = 4 \text{ m/s}$ 이고, 2초부터 4초까지 자동차의

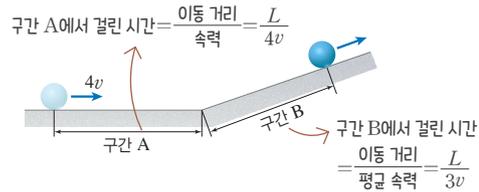
평균 속력 =  $\frac{6 \text{ m/s} + 10 \text{ m/s}}{2} = 8 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 0초부터 2초까지 자동차의 이동 거리 =  $4 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} = 8 \text{ m}$ 이고, 2초부터 4초까지 이동 거리 =  $8 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} = 16 \text{ m}$ 이므로 2초부터 4초까지 이동 거리는 0초부터 2초까지 이동 거리의 2배이다.

**15** ㄱ. 같은 빗면상에서 운동하므로 가속도의 크기는 같다. 따라서 1초당 속도 변화량이 같다.

**바로알기** ㄴ. 높이가 2배가 되면 이동 거리가 2배가 되므로  $2as = v^2 - 0^2$ 에서 속력은  $\sqrt{2}$ 배가 된다.

ㄷ. 가만히 놓는 순간부터 기준면까지 속도 변화량의 크기가  $\sqrt{2}$ 배이고, 가속도의 크기는 같으므로 걸린 시간은  $\sqrt{2}$ 배가 된다.

**16** **꼼꼼 문제 분석**

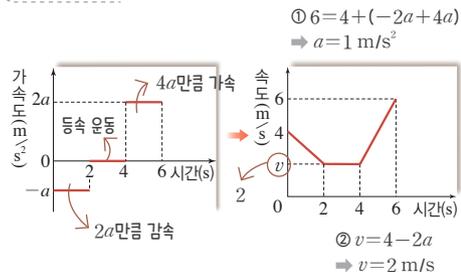


ㄱ. 구간 A와 구간 B의 길이는 같고 구간 A에서 물체의 속력이 구간 B에서 물체의 평균 속도보다 빠르므로 구간 A를 통과하는데 걸린 시간이 구간 B를 통과하는데 걸린 시간보다 작다.

ㄷ. 빗면에서 물체의 가속도를  $a$ 라고 하면 구간 B에 들어갈 때와 나올 때 물체의 속력이 각각  $4v, 2v$ 이므로 등가속도 직선 운동의 식에 따라  $2aL = (2v)^2 - (4v)^2$ 에서  $a = -\frac{6v^2}{L}$ 이다. 따라서 구간 B에서 물체의 가속도의 크기는  $\frac{6v^2}{L}$ 이다.

**바로알기** ㄴ. 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 평균 속력은 처음 속력과 나중 속력의 중간값과 같다. 따라서 구간 B를 빠져나오는 순간 물체의 속력을  $v'$ 라고 하면  $3v = \frac{4v + v'}{2}$ 이므로  $v' = 2v$ 이다.

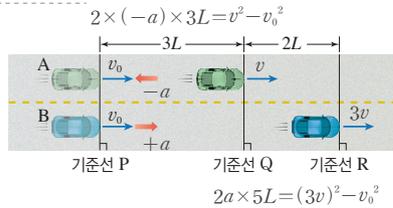
**17** **꼼꼼 문제 분석**



**모범 답안** 0초부터 6초까지 속도 변화량이  $-2a+4a=6-4$ 이므로  $a=1 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 3초일 때 속력은  $4 \text{ m/s}-1 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ s}=2 \text{ m/s}$ 이다.

채점 기준	배점
3초일 때 자동차의 속력을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
자동차의 속력만 옳게 쓴 경우	30 %

**18** 꼼꼼 문제 분석



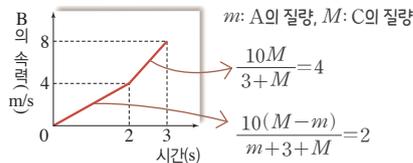
- ① A가 3L만큼 가는 동안 B는 5L만큼 간다.
  - ② P에서 A, B의 속력은  $v_0$ 로 같다.
  - ③ 일정 시간 후 B의 속력이 A의 속력의 3배이다.
- A의 가속도는 운동 방향과 반대 방향이고 B의 가속도는 운동 방향과 같은 방향이다.

ㄱ. 가속도의 크기를  $a$ , Q에서 A의 속력을  $v$ 라고 하면  $-2a \times 3L = v^2 - v_0^2$ ,  $2a \times 5L = 9v^2 - v_0^2$ 에서  $a = \frac{v_0^2}{8L}$ 이다.

ㄴ. Q에서 A의 속력  $v = \frac{1}{2}v_0$ 이고, B의 속력은  $2a \times 3L = v_0^2 - v^2$ 에서  $v_Q = \frac{\sqrt{7}}{2}v_0$ 이다. 따라서 Q에서 속력은 B가 A의  $\sqrt{7}$ 배이다.

ㄷ.  $v = \frac{v_0}{2}$ 이므로 P에서 Q까지 A의 평균 속력이  $\frac{3v_0}{4}$ 이고, 이동하는 데 걸린 시간은  $\frac{4L}{v_0}$ 이다.

**19** 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. 실이 끊어진 후 A는 자유 낙하 운동을 한다. 2초일 때 A의 속도가  $+4 \text{ m/s}$ 이었으므로 3초일 때는  $4-10 = -6 \text{ (m/s)}$ 이다.

ㄷ. C의 질량이  $2 \text{ kg}$ 이므로 중력의 크기는  $20 \text{ N}$ 이다.

**바로알기** ㄱ. A, C의 질량을 각각  $m$ ,  $M$ 이라고 하면 실이 끊어지기 전에는  $10M-10m$ 의 알짜힘이 작용한다. 따라서

$\frac{10(M-m)}{m+3+M} = 2$ , 실이 끊어진 후에는  $10M$ 의 알짜힘이 작용하므로  $\frac{10M}{3+M} = 4$ 에서  $m = \frac{5}{6} \text{ kg}$ ,  $M = 2 \text{ kg}$ 이다.

**20** A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 4배이므로 가속도는 (나)에서가 (가)에서의 4배이다.  $L = \frac{1}{2}at^2$ 에서  $t = \sqrt{\frac{2L}{a}}$ 이므로 가속도  $a$ 가 4배가 되면  $L$ 만큼 이동하는 데 걸린 시간은  $\frac{1}{2}t$ 이고,  $2aL = v^2$ 에서  $a$ 가 4배가 되면 속력은  $2v$ 가 된다.

**21** ㄱ. A는 2초일 때 q를 위쪽으로 통과하고 4초일 때 아래쪽으로 통과한다. 따라서 3초일 때 최고점에 도달한다. 즉, 3초일 때 속력이 0이 된다.

ㄴ. A의 가속도 방향이 빗면 아래쪽이므로 B의 가속도 방향은 연직 위 방향이다.

**바로알기** ㄷ. p, q에서 A의 속력을 각각  $v_p$ ,  $v_q$ 라고 하고, 가속도의 크기를  $a$ 라고 하면  $v_q = v_p + (-a) \times 2$ ,  $0 = v_q + (-a) \times 1$ 이다. 여기서  $v_q = a$ ,  $v_p = 3a$ 이다. 또 p에서 q까지 평균 속도  $= \frac{v_p + v_q}{2} = \frac{8 \text{ m}}{2 \text{ s}}$ 이므로  $v_p = 6 \text{ m/s}$ ,  $v_q = 2 \text{ m/s}$ 이고, 가속도의 크기는  $\frac{4 \text{ m/s}}{2 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이다. 실이 B를 당기는 힘의 크기를  $T$ 라고 하면,  $T-20 = 2 \times 2$ 에서  $T = 24 \text{ N}$ 이다.

**22** ㄱ. 정지해 있을 때 실이 A를 당기는 힘의 크기가  $3F$ 이고 A에 작용하는 알짜힘이 0이므로 A의 무게는  $2F$ 이다.

ㄷ. B가 중력에 의해 빗면 아래쪽으로 받는 힘의 크기가  $3F$ 이므로 A를 놓았을 때 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는  $F$ 이다. 질량은 B가 A의 3배이므로 A가 받는 알짜힘은 위 방향으로  $\frac{1}{4}F$ 이다.

따라서 A의 무게가  $2F$ 이므로 실이 A를 당기는 힘의 크기를  $T$ 라고 하면  $\frac{1}{4}F = T - 2F$ 에서  $T = \frac{9}{4}F$ 이다.

**바로알기** ㄴ. A, B의 질량을 각각  $m$ ,  $M$ 이라고 하면  $2F = mg$ 이고,  $3F - mg = (m+M) \times \frac{1}{8}g$ 에서  $M = 3m$ 이므로 질량은 B가 A의 3배이다.

**23** ① 평균 속력이  $25 \text{ m/s}$ 이므로 B를 통과할 때 속력은  $20 \text{ m/s}$ 이다.

**바로알기** ② 10초 동안 속도 변화량이 10 m/s이므로 가속도의 크기는 1 m/s<sup>2</sup>이다.

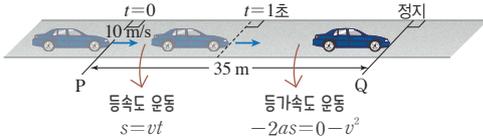
- ③ 속도가 감소하므로 가속도의 방향은 운동 방향과 반대이다.
- ④ 평균 속력이 25 m/s이고 걸린 시간이 10초이므로 A, B 사이의 거리는 25 m/s × 10 s = 250 m이다.
- ⑤ 자동차가 가속도 운동하므로 알짜힘이 작용하고 있다.

**24**  $2as = v^2 - v_0^2$ 에서 나중 속력이 0이므로 거리  $s$ 는 처음 속력의 제곱에 비례한다. 따라서 처음 속력이 2배가 되면 정지할 때까지 이동한 거리는 4배가 된다.

**모범 답안**  $2as = v^2 - v_0^2$ 에서 나중 속력( $v$ )이 0이므로 처음 속력( $v_0$ )이 2배가 되면 정지할 때까지 이동한 거리( $s$ )는 4배가 된다.

채점 기준	배점
풀이 과정과 함께 답을 옳게 구한 경우	100 %
답만 옳게 쓴 경우	30 %

**25** **품목 문제 분석**



ㄱ. 1초 동안 등속도 운동을 하므로 처음 속력이 20 m/s일 때 이동 거리는 20 m이다.

ㄴ. 처음 속력이 10 m/s일 때 1초 동안 등속도 운동을 한 거리가 10 m이므로 정지할 때까지 등가속도 운동을 한 거리는 35 m - 10 m = 25 m이다. 이때  $2 \times (-a) \times 25 = 0 - 10^2$ 에서  $a = 2 \text{ m/s}^2$ 이다. 처음 속력이 20 m/s인 경우에는  $2 \times (-2) \times s = -20^2$ 에서 등가속도 운동을 한 거리는 100 m이다. 따라서 P에서 Q까지 거리는 등속도 운동을 한 거리 20 m와 등가속도 운동을 한 거리 100 m를 합친 120 m이다.

**바로알기** ㄷ. 가속도의 크기가 2 m/s<sup>2</sup>이므로 20 m/s로 달리던 자동차가 멈출 때까지 10초 걸린다. P에서 1초 동안은 등속도 운동을 하므로 P를 지난 후 정지할 때까지 걸린 시간은 11초이다.

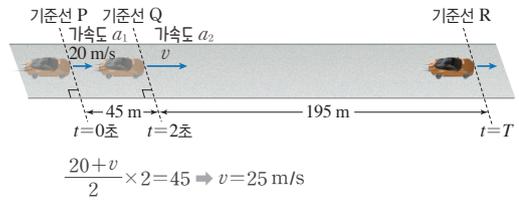
**실력 UP 문제**

53쪽

- 01 ③    02 ⑤    03 ①    04 ④

**01** **품목 문제 분석**

평균 속력  $20 = \frac{45 + 195}{T} \Rightarrow T = 12 \text{ 초}$



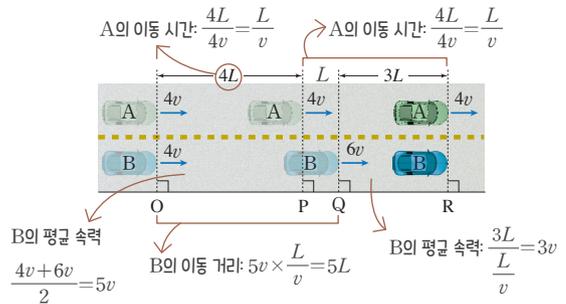
$\frac{20 + v}{2} \times 2 = 45 \Rightarrow v = 25 \text{ m/s}$

ㄱ. P에서 R까지 평균 속력이 20 m/s이므로  $20 = \frac{45 + 195}{T}$ 에서  $T = 12$ 초이다.

ㄴ. P에서 Q까지 운동하는 데 걸린 시간이 2초이므로 Q에서 속력을  $v$ 라고 하면  $\frac{20 + v}{2} \times 2 = 45$ 에서  $v = 25 \text{ m/s}$ 이다.

**바로알기** ㄷ.  $a_1 = \frac{25 - 20}{2} = 2.5 \text{ (m/s}^2\text{)}$ 이다. 또 10초 동안 Q에서 R까지 195 m를 이동하므로  $195 = 25 \times 10 - \frac{1}{2} a_2 \times 10^2$ 에서  $a_2 = 1.1 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서  $a_1 = \frac{25}{11} a_2$ 이다.

**02** **품목 문제 분석**



⑤ A가 O에서 P까지 운동하는 데 걸린 시간이  $\frac{L}{v}$ 이고, O에서 Q까지 B의 평균 속력이  $5v$ 이므로  $\overline{OQ} = 5L$ 이다.

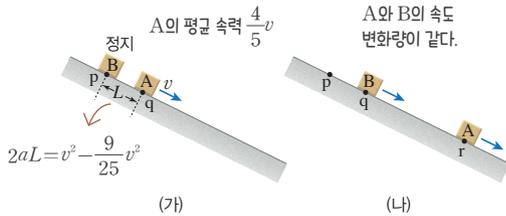
$2a \times 5L = (6v)^2 - (4v)^2$ 에서  $a = \frac{2v^2}{L}$ 이다. 또 Q에서 R까지 B의 가속도의 크기를  $a'$ 라고 하면, B가 Q에서 R까지 운동하는 데 걸린 시간은  $\frac{L}{v}$ 이므로  $3L = 6v \times \frac{L}{v} - \frac{1}{2} a' \times \left(\frac{L}{v}\right)^2$ 에서  $a' = \frac{6v^2}{L}$ 이다. 따라서  $a' = 3a$ 이다.

**03** ㄱ. A, B가 같은 크기의 힘을 받는데 질량이 A가 B의 2배  
이므로 가속도의 크기는 B가 A의 2배이다. B의 속도 변화량이  
 $-\frac{v}{2}$ 이므로 A의 속도 변화량은  $-\frac{v}{4}$ 이다. 따라서 A가  $x=2d$   
인 지점을 지날 때의 속력은  $\frac{3}{4}v$ 이다.

**바로알기** ㄴ.  $2a \times 2d = \left(\frac{3v}{4}\right)^2 - v^2$ 에서  $a = -\frac{7v^2}{64d}$ 이다. 따라  
서 A의 가속도의 크기는  $\frac{7v^2}{64d}$ 이다.

ㄷ. A가  $x=2d$ 인 지점까지 이동하는 동안 평균 속력은  $\frac{7v}{8}$ 이  
므로 걸린 시간은  $\frac{7v}{8} \times t = 2d$ 에서  $t = \frac{16d}{7v}$ 이다. 이 동안 B의  
평균 속력은  $\frac{3v}{4}$ 이므로 B의 이동 거리는  $\frac{3v}{4} \times \frac{16d}{7v} = \frac{12d}{7}$ 이  
다. 따라서 A가  $x=2d$ 인 지점을 지날 때 A와 B 사이의 거리는  
 $\frac{12d}{7} - d = \frac{5d}{7}$ 이다.

**04** **꼭꼭 문제 분석**



- ① p점에서 A의 속력  $v_p$ 는  $\frac{v_p + v}{2} = \frac{4}{5}v$ 에서  $v_p = \frac{3}{5}v$ 이다.
- ②  $2aL = v^2 - \frac{9}{25}v^2$ 에서  $a = \frac{8v^2}{25L}$ 이다.
- ③ q에서 B의 속력  $v_B$ 는  $2 \times \left(\frac{8v^2}{25L}\right) \times L = v_B^2 - 0^2$ 에서  $v_B = \frac{4}{5}v$   
이다.
- ④ (나)에서 A와 B의 속도 변화량이 같다.  $\rightarrow$  r에서 A의 속력은  $\frac{9}{5}v$   
이다.

ㄱ. p에서 q까지 A의 평균 속력이  $\frac{4}{5}v$ 이고 q에서 A의 속력이  
 $v$ 이므로 p에서 A의 속력은  $\frac{3}{5}v$ 이다. 가속도의 크기는  $2aL = v^2$   
 $-\frac{9}{25}v^2$ 에서  $a = \frac{8v^2}{25L}$ 이다.  
ㄷ. p에서 r까지 거리를  $s$ 라고 하면, p, r에서 A의 속력이 각각  
 $\frac{3}{5}v, \frac{9}{5}v$ 이므로  $2 \times \left(\frac{8v^2}{25L}\right) \times s = \left(\frac{9}{5}v\right)^2 - \left(\frac{3}{5}v\right)^2$ 에서  $s = \frac{9}{2}L$   
이다.

**바로알기** ㄴ. q에서 B의 속력을  $v_B$ 라고 하면  $2 \times \left(\frac{8v^2}{25L}\right) \times$   
 $L = v_B^2 - 0^2$ 에서  $v_B = \frac{4}{5}v$ 이다. A와 B의 가속도가 같고 B의 속  
도 변화량이  $\frac{4}{5}v$ 이므로 A의 속도 변화량도  $\frac{4}{5}v$ 이다. r에서 A  
의 속력은  $\frac{9}{5}v$ 이므로 (나)에서 속력은 A가 B의  $\frac{9}{4}$ 배이다.

**04** / **작용 반작용과 운동량 보존**

**개념확인문제**

55쪽

- ① 상호작용 ② 크기 ③ 방향 ④ 작용 반작용 ⑤ 사과 ⑥ 지구
- ⑦ 힘의 평형

**1** (1)  $\times$  (2)  $\circ$  (3)  $\times$  **2** (1)  $\ominus$  같고,  $\ominus$  반대,  $\omin�$  힘의 평형 (2) 드  
론이 지구를 당기는 힘, 드론이 공기를 미는 힘 **3** (1)  $mg$  (2) 물체  
가 지구를 당기는 힘,  $mg$  (3) 0 (4)  $mg$  (5) 물체에 작용하는 중력 (6)  
물체가 책상을 누르는 힘 **4** (1)  $\circ$  (2)  $\times$  (3)  $\times$  (4)  $\circ$

- 1** (1) A가 수평면을 누르는 힘과 수평면이 A에 작용하는 힘은  
작용 반작용 관계이다. A가 수평면을 누르는 힘의 크기가 20 N  
이므로 수평면이 A에 작용하는 힘의 크기도 20 N이다.  
(2) B에는 아래쪽으로 중력이 작용하고 위쪽으로 수평면이 떠받  
치는 힘이 작용하여 연직 방향의 합력이 0이 된다. 따라서 B에  
작용하는 중력과 수평면이 B에 작용하는 힘은 평형을 이룬다.  
(3) A와 B가 서로에게 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이다.
- 2** (1) 지구가 드론을 당기는 힘과 공기가 드론을 떠받치는 힘이  
평형을 이루어 드론이 정지해 있으므로 두 힘의 크기는 같고 방  
향은 서로 반대이다.  
(2) ㉠의 반작용은 드론이 지구를 당기는 힘이고 ㉡의 반작용은  
드론이 공기를 미는 힘이다.
- 3** (1) 물체의 질량이  $m$ 이므로 중력의 크기는  $mg$ 이다.  
(2) 물체에 작용하는 중력의 반작용은 물체가 지구를 당기는 힘이  
다. 작용과 반작용은 크기가 같으므로 물체가 지구를 당기는 힘  
의 크기는  $mg$ 이다.  
(3) 물체가 정지해 있으므로 알짜힘은 0이다.  
(4) 물체가 책상을 누르는 힘과 책상이 물체를 떠받치는 힘의 크  
기가 같다.

- (5) 책상이 물체를 떠받치는 힘은 위쪽으로 작용하고, 물체에 작용하는 중력은 아래쪽으로 작용하여 평형을 이룬다.  
 (6) 책상이 물체를 떠받치는 힘의 반작용은 물체가 책상을 누르는 힘이다.

- 4** (1) 작용과 반작용은 상호작용 하는 힘으로 크기가 같고 방향이 반대이다.  
 (2) 작용 반작용 관계인 힘은 서로에게 작용하므로 작용점이 달라 합력을 구할 수 없다.  
 (3) 힘의 크기가 같을 때 가속도는 질량에 반비례한다.  
 (4) 작용 반작용은 두 물체가 상호작용 하는 힘이다.

**개념 확인문제**

59쪽

- ① 운동량 ② 속도 ③ 증가 ④ 나중 ⑤ 처음 ⑥ 보존 ⑦ 운동량 보존 ⑧ 감소 ⑨ 증가

- 1** (1) × (2) ○ (3) × (4) ○    **2** (1) 3 (2) 2 (3) 6    **3** 2 m/s  
**4** 4 m/s    **5** ㉠ 운동량 보존, ㉡  $v + \frac{m}{M}(v + v_2)$

- 1** (1) 운동량은 질량과 속도의 곱이다.  
 (2) 운동량 변화량의 방향은 속도 변화량의 방향과 같다. 단위 시간당 속도 변화량이 가속도이므로 속도 변화량의 방향은 가속도의 방향과 같다.  
 (3) 충격량의 방향은 운동량의 변화량 방향과 같다.  
 (4) 충격량이 일정하면 운동량 변화량이 일정하다. 따라서 질량이 작을수록 속도 변화량이 크다.

- 2** (1) 2초일 때 운동량의 크기가  $6 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 이고 물체의 질량이  $2 \text{ kg}$ 이므로 속도의 크기는  $3 \text{ m/s}$ 이다.  
 (2) 운동량-시간 그래프에서 기울기는 알짜힘이다.  
 (3) 충격량은 운동량의 변화량이므로  $I = \Delta p = 8 - 2 = 6(\text{N}\cdot\text{s})$ 이다.

- 3** 운동량 보존 법칙에 따라  $2 \times 3 + 0 = (2 + 1) \times v$ 에서  $v = 2 \text{ m/s}$ 이다.

- 4** 운동량 보존 법칙에 따라  $2 \times 5 + 4 \times 2 = 2 \times 1 + 4 \times v$ 에서  $v = 4 \text{ m/s}$ 이다.

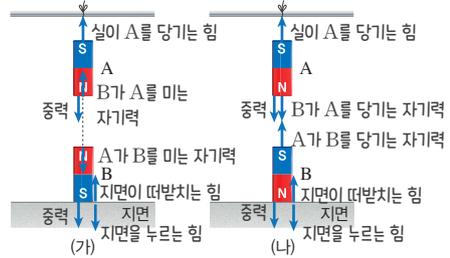
- 5** 우주에서 운동하는 우주선에는 외부에서 힘이 작용하지 않으므로 우주선이 연료를 분사할 때 우주선과 연료의 운동량의 합이 보존된다.

**대표 자료 분석 1**

60쪽

- 1** (1) A가 지구를 당기는 힘 (2) A가 B에 작용하는 자기력 (3) B가 지면을 누르는 힘    **2** (1)  $mg - F$  (2)  $mg + F$     **3** (1) 작다 (2) 작다 (3) 반대이다    **4** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×

**꼭꼭 문제 분석**



- 1** (1) (가)에서 A에 작용하는 중력의 반작용은 A가 지구를 당기는 힘이다.  
 (2) (가)에서 B가 A에 작용하는 자기력의 반작용은 A가 B에 작용하는 자기력이다.  
 (3) (나)에서 지면이 B에 작용하는 힘의 반작용은 B가 지면을 누르는 힘이다.

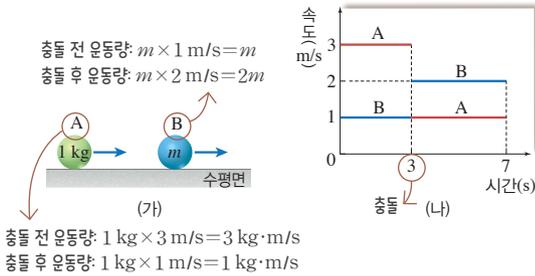
- 2** (1) 실이 A에 작용하는 힘과 B가 A에 작용하는 자기력의 합력의 크기가 A에 작용하는 중력의 크기와 같으므로 실이 A에 작용하는 힘의 크기는  $mg - F$ 이다.  
 (5) B에 작용하는 알짜힘이 0이므로 지면이 B에 작용하는 힘의 크기는 B에 작용하는 중력과 자기력의 합력의 크기와 같다.

- 3** (1) (가)에서 A에는 위쪽으로 자기력, 실이 당기는 힘이 작용하고 아래쪽으로 중력이 작용한다. 따라서 실이 A를 당기는 힘의 크기는 A에 작용하는 중력의 크기보다 작다.  
 (2) (나)에서 B에는 위쪽으로 자기력과 지면이 떠받치는 힘이 작용하고, 아래쪽으로 중력이 작용한다.  
 (3) A가 B에 작용하는 자기력의 방향은 (가)에서는 아래쪽이고 (나)에서는 위쪽이다.

- 4** (1) 물체에 작용하는 중력과 물체가 지구를 당기는 힘은 작용 반작용 관계이므로 크기가 같다.  
 (2) A에 작용하는 중력, 실이 A에 작용하는 힘, B가 A에 작용하는 자기력이 힘의 평형을 이룬다.  
 (3) B에 작용하는 중력, A가 B에 작용하는 자기력, 지면이 B를 떠받치는 힘이 평형을 이룬다.  
 (4) (나)에서 B가 지면을 누르는 힘은 지면이 B를 떠받치는 힘과 같고, 이 힘과 자기력의 합력의 크기가 B의 무게와 같다.

- 1 충돌 전 3 m/s, 충돌 후 1 m/s      2 (1) A: 3 kg·m/s, B:  $m$  kg·m/s (2) A: 1 kg·m/s, B:  $2m$  kg·m/s      3 ㉠ 3 +  $m$ , ㉡ 1 + 2 $m$ , ㉢ 2      4 (1) 같다 (2) 크고, 작다      5 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○

꼼꼼 문제 분석



- 1 3초에 충돌이 일어나므로 충돌 전 A의 속력은 3 m/s, 충돌 후 A의 속력은 1 m/s이다.
- 2 (1) 충돌 전 A와 B의 속도가 각각 +3 m/s, +1 m/s이므로 운동량은 각각 3 kg·m/s,  $m$  kg·m/s이다.  
(2) 충돌 후 A와 B의 속도가 각각 +1 m/s, +2 m/s이므로 운동량은 각각 1 kg·m/s,  $2m$  kg·m/s이다.
- 3 충돌 과정에서 외부에서 힘이 작용하지 않으면 충돌하는 물체들의 운동량의 총합이 보존된다. 충돌 전 A와 B의 운동량의 합은  $(3+m)$  kg·m/s이고 충돌 후 운동량의 합은  $(1+2m)$  kg·m/s이다. 따라서  $3+m=1+2m$ 에서  $m=2$  kg이다.
- 4 (1) (나)에서 충돌 전과 후에 A의 위치가 모두 증가하므로 운동 방향이 같다.  
(2) 충돌 전 운동량의 크기는 A, B가 각각 3 kg·m/s, 2 kg·m/s이므로 A가 B보다 크다. 충돌 후 운동량의 크기는 A, B가 각각 1 kg·m/s, 4 kg·m/s이므로 A가 B보다 작다.
- 5 (1) 충돌 후 A는 속력이 느려지고 B는 빨라지므로 A와 B 사이의 거리는 증가한다.  
(2) A와 B가 충돌할 때 서로에게 크기가 같고 방향이 반대인 힘을 작용하므로 A와 B가 받는 충격량의 크기는 같고 방향은 반대이다.  
(3) 두 물체가 충돌하는 동안 외부에서 힘이 작용하면 운동량이 보존되지 않고 힘에 의해 받은 충격량만큼 운동량이 변한다.  
(4) 충돌 전 운동량의 크기가 같고 방향이 반대인 두 물체의 운동량의 합은 0이다. 따라서 충돌 후에도 운동량의 합은 0이다.

- 01 ㉡    02 해설 참조    03 ㉠    04 ㉢    05 ㉢  
06 ㉤    07 ㉠    08 ㉢    09 B: 2 m/s, C: 4 m/s  
10 ㉤    11 ㉢    12 ㉣    13 해설 참조    14 ㉢  
15 ㉠    16 ㉡    17 해설 참조    18 ㉤    19 ㉢  
20 ㉠    21 ㉣    22 해설 참조

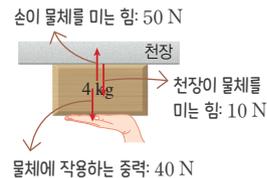
01 나. 지구가 상자를 당기는 힘(중력)과 상자가 지구를 당기는 힘은 작용 반작용 관계인 힘이다.  
[바로알기] 가. 드론이 상자를 드는 힘의 반작용은 상자가 드론을 당기는 힘이다.  
다. 드론에 작용하는 중력의 반작용은 드론이 지구를 당기는 힘이다.

02 지구본에 작용하는 중력은 지구가 지구본을 당기는 힘으로 작용 반작용 관계인 힘은 지구본이 지구를 당기는 힘이다. 지구본에 작용하는 자기력과 중력이 평형을 이루어 지구본이 정지해 있으므로 지구본에 작용하는 중력과 평형을 이루는 힘은 자석이 지구본을 당기는 힘이다.

[모범 답안] 작용 반작용 관계인 힘은 지구본이 지구를 당기는 힘이고, 평형을 이루는 힘은 자석이 지구본을 당기는 힘이다.

채점 기준	배점
두 가지 힘을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
한 가지 힘만 옳게 서술한 경우	50 %

03 꼼꼼 문제 분석



물체에 작용하는 알짜힘이 0이다. → 세 힘이 평형을 이룬다.

- 가. 물체는 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘이 0이다.  
[바로알기] 나. 손이 물체를 미는 힘과 물체가 손을 미는 힘은 작용 반작용 관계이므로 크기가 같다. 따라서 물체가 손을 미는 힘의 크기는 50 N이다.  
다. 물체에 작용하는 중력, 손이 물체를 미는 힘, 천장이 물체를 미는 힘의 합력이 0이다. 따라서 세 힘이 평형을 이룬다.
- 04 가. A, B의 무게의 합이  $F$ 이므로 A가 B를 누르는 힘의 크기는  $F$ 보다 작다. A가 B에 작용하는 힘과 B가 A에 작용하는

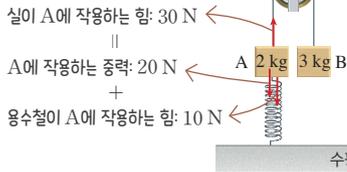
힘은 작용 반작용 관계이므로 크기가 같다. 따라서 B가 A에 작용하는 힘의 크기도  $F$ 보다 작다.

ㄷ. B가 저울에 작용하는 힘과 저울이 B에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계의 힘이다.

**바로알기** ㄴ. (나)에서 A가 B에 작용하는 힘의 크기는 A의 무게와  $F$ 의 합력이고,  $F$ 는 A의 무게보다 크므로 A가 B에 작용하는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배보다 크다.

**05** **꼼꼼 문제 분석**

• A에 작용하는 힘 분석



③ B가 정지해 있으므로 B에 작용하는 알짜힘은 0이다. B에 작용하는 중력과 실이 B에 작용하는 힘이 평형을 이루므로 크기가 같다.

**바로알기** ① B의 무게만큼의 힘이 실을 통해 A에 작용하므로 실이 A에 작용하는 힘은 위쪽으로 30 N이다. A에 작용하는 중력과 용수철이 A에 작용하는 힘의 합력이 실이 A에 작용하는 힘과 평형을 이루므로 용수철이 A에 작용하는 힘은 아래쪽으로 10 N이다.

② 용수철이 A에 작용하는 힘의 크기가 10 N이므로 A가 용수철에 작용하는 힘의 크기도 10 N이다.

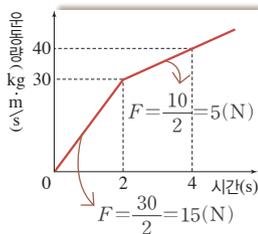
④ 용수철이 A에 작용하는 힘은 아래쪽으로 10 N이므로 중력의 방향과 같다.

⑤ 실과 용수철이 A에 작용하는 힘, A에 작용하는 중력의 합력이 0이다.

**06** **꼼꼼 문제 분석**

운동량-시간 그래프의 기울기는 물체에 작용하는 알짜힘을 의미한다.

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = ma = F$$



ㄱ. 2초일 때 운동량이 30 kg·m/s이므로 속력은 6 m/s이다.

ㄴ. 운동량-시간 그래프에서 기울기는  $\frac{\Delta p}{\Delta t} = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = ma$ 이므로

물체가 받는 알짜힘을 나타낸다. 따라서 알짜힘의 크기는 1초일 때 15 N, 3초일 때 5 N이다.

ㄷ. 2초부터 4초까지 운동량이 증가하므로 운동 방향과 알짜힘의 방향이 같다.

**07** 힘-시간 그래프에서 아랫부분의 넓이가 충격량이다. 0초부터 4초까지 물체가 받은 충격량은  $-20 \text{ N}\cdot\text{s}$ 이고, 0초부터 8초까지 물체가 받은 충격량은  $-40 \text{ N}\cdot\text{s}$ 이다. 물체의 처음 운동량이 50 kg·m/s이므로 4초일 때 운동량은  $p' - 50 = -20$ 에서  $p' = 30 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 이다. 따라서 4초일 때 속력은 6 m/s이다. 8초일 때 물체의 운동량은  $p - 50 = -40$ 에서  $p = 10 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 이다.

**08** ㄱ. 충격량이 운동량의 변화량이다. 충돌 순간 A의 충격량 방향은 왼쪽이고 B의 충격량 방향은 오른쪽이므로 충돌 후 A, B의 운동량은 각각  $16 - 18 = -2 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ ,  $-6 + 18 = +12 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 이다. 따라서 충돌 후 A는 왼쪽으로 1 m/s의 속력으로, B는 오른쪽으로 4 m/s의 속력으로 운동한다.

ㄴ. 충돌 후 A의 운동량의 방향은 왼쪽이므로 충돌 후 A의 운동 방향은 충돌 전과 반대이다.

**바로알기** ㄷ. A와 B가 받는 충격량의 크기가 같으므로 운동량의 변화량 크기도 같다.

**09** A, B가 충돌하기 전 운동량의 총합은 충돌하기 전 A의 운동량과 같으므로  $2 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s} = 6 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 이다. A, B가 충돌한 후 B의 속도를  $v_B$ 라고 하면 운동량 보존 법칙에 따라  $6 \text{ kg}\cdot\text{m/s} = 2 \text{ kg} \times (-1 \text{ m/s}) + 4 \text{ kg} \times v_B$ 이므로  $v_B = 2 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 충돌 후 B의 속력은 2 m/s이다. A, C가 충돌한 후 C의 속도를  $v_C$ 라고 하면 운동량 보존 법칙에 따라  $6 \text{ kg}\cdot\text{m/s} = 2 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s} + 1 \text{ kg} \times v_C$ 이므로  $v_C = 4 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 충돌 후 C의 속력은 4 m/s이다.

**10** ㄱ. A, B의 질량을 각각  $m, 2m$ 이라고 하면 운동량 보존 법칙에 따라  $3mv = (m + 2m)V$ 이므로  $V = v$ 이다.

ㄴ. A는 속력이 3v에서 v로 감소하였으므로 운동량의 크기도 감소한다.

ㄷ. A와 B가 충돌할 때 서로에게 같은 크기의 힘을 같은 시간 동안 작용하므로 운동량의 변화량의 크기는 A와 B가 같다.

**11** B의 질량을  $m_B$ 라고 하면, 충돌 전과 후 A의 속력이 각각 2 m/s, 1 m/s이다. 따라서 운동량 보존 법칙에 따라  $m \times 2 = (m + m_B) \times 1$ 에서  $m_B = m$ 이다.

**12** ㄴ. 2초일 때 A의 속력이 0.1 m/s이므로 운동량의 크기  $= 1 \text{ kg} \times 0.1 \text{ m/s} = 0.1 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 이다.

ㄷ. 분리 후 B의 속력은 0.05 m/s이므로 B의 질량을  $m$ 이라고 하면  $0 = 1 \text{ kg} \times 0.1 \text{ m/s} + m \times (-0.05 \text{ m/s})$ 에서  $m = 2 \text{ kg}$ 이다.

**바로알기** ㄱ. 이동 거리-시간 그래프에서 기울기가 속력이다. A의 속력은 0.1 m/s로 일정하다.

**13** 외부에서 충돌하는 두 물체에 힘이 작용하지 않으므로 충돌 전후에 운동량이 보존된다.

**모범 답안** 충돌 과정에서 A와 B의 운동량이 보존되므로 충돌 후 B의 속력을  $v$ 라고 하면  $4 \text{ kg} \times 4 \text{ m/s} + 2 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s} = 4 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s} + 2 \text{ kg} \times v$ 에서  $v = 4 \text{ m/s}$ 이다.

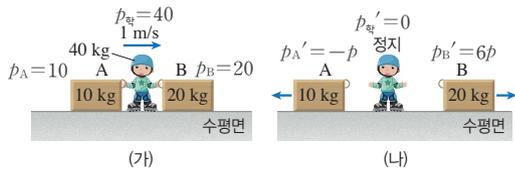
채점 기준	배점
B의 속력을 풀이 과정과 함께 올바르게 구한 경우	100 %
B의 속력만 올바르게 구한 경우	30 %

**14** ㄱ. 충돌 후 운동량의 크기는 A가 B의  $\frac{3}{2}$ 배이고 질량이 A가 B의 3배이므로 속력은 B가 A의 2배이다. 충돌 후 A의 속력을  $v$ 라고 하면  $3mv_0 = 3mv + m \times 2v$ 에서 B의 속력  $2v = \frac{6}{5}v_0$ 이다.

ㄴ. B가 받은 충격량이  $+\frac{6}{5}mv_0$ 이므로 A가 받은 충격량은  $-\frac{6}{5}mv_0$ 이다. 충돌 후 A의 운동량은  $p_A - 3mv_0 = -\frac{6}{5}mv_0$ 에서  $p_A = +\frac{9}{5}mv_0$ 이다. 따라서 충돌 후 A와 B의 운동 방향은 같다.

**바로알기** ㄷ. 충돌 전과 후 A의 운동량의 크기는 각각  $3mv_0$ ,  $\frac{9}{5}mv_0$ 이므로 충돌 후가 충돌 전의  $\frac{3}{5}$ 배이다.

**15** **품목 문제 분석**



ㄴ. (가)에서 학생과 A, B의 운동량의 합이  $70 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. (나)에서 A의 운동량을  $-p$ 라고 하면 B의 운동량은  $6p$ 이므로  $70 = -p + 6p$ 에서  $p = 14 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. (가)에서 A의 운동량의 크기는  $10 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이므로 A의 속력은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

**바로알기** ㄱ. (가)에서 학생과 A, B의 운동량의 합이 (나)에서 A와 B의 운동량의 합과 같다.

ㄷ. (나)에서 B의 운동량의 크기는  $6p = 6 \times 14 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 84 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

**16** (가)에서는 충돌 전 A의 운동량이 충돌 후 한 덩어리가 된 A와 B의 운동량의 합과 같다. A, B, C의 질량을 각각  $m$ 이라고 하면  $mv = 2mv_1$ 에서  $v_1 = \frac{v}{2}$ 이다. (나)에서는 충돌 전 A의 운동량이 충돌 후 C의 운동량과 같다.  $mv = mv_2$ 에서  $v_2 = v$ 이다. 따라서  $v_1 : v_2 = 1 : 2$ 이다.

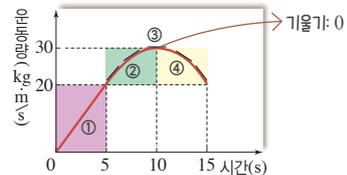
**17** 분리 전 A와 B의 질량의 합이  $3 \text{ kg}$ 이고 속력이  $3 \text{ m/s}$ 이므로 운동량의 합은  $9 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 따라서 분리 후 A와 B의 운동량의 합도  $9 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

**모범 답안** 분리 전 운동량의 합이  $9 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이고 분리 후 A의 운동량이  $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이므로 B의 운동량은  $8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 분리 후 B의 속도를  $v_B$ 라고 하면  $2 \text{ kg} \times v_B = 8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 에서  $v_B = 4 \text{ m/s}$ 이므로 B의 속도는 오른쪽으로  $4 \text{ m/s}$ 이다.

채점 기준	배점
B의 속도를 풀이 과정과 함께 올바르게 구한 경우	100 %
B의 속도(크기와 방향)만 올바르게 쓴 경우	50 %
B의 속도의 크기와 방향 중 하나만 올바르게 쓴 경우	30 %

**18** 충돌 전 A의 속도를  $+v$ 라고 하면 충돌 후 A, B의 속도는 각각  $-\frac{1}{4}v$ ,  $+\frac{1}{2}v$ 이다. A, B의 질량을 각각  $m_A$ ,  $m_B$ 라고 하면 운동량이 보존되므로  $m_A \times v = -\frac{1}{4}m_A v + \frac{1}{2}m_B v$ 에서  $m_B = \frac{5}{2}m_A$ 이다. 따라서 시간  $2t$ 일 때 A, B의 운동량의 크기는 각각  $p_A = \frac{1}{4}m_A v$ ,  $p_B = \frac{5}{4}m_A v$ 이므로  $\frac{p_B}{p_A} = 5$ 이다.

**19** **품목 문제 분석**



- ① 0~5초: 기울기가 일정하므로 힘의 크기는 4 N으로 일정하다.
- ② 5초~10초: 기울기가 점점 감소하므로 힘의 크기가 점점 감소한다.
- ③ 10초: 기울기가 0이므로 힘이 0이다.
- ④ 10초~15초: 기울기가 (-)이므로 힘이 운동 방향과 반대 방향으로 작용한다. ➡ 속력과 운동량이 감소한다.

ㄱ. 단위 시간당 운동량의 변화량이 힘이므로 운동량-시간 그래프에서 기울기의 절댓값이 힘의 크기이다. 따라서 3초일 때 알짜 힘의 크기는  $\frac{20}{5}=4(\text{N})$ 이다.

ㄴ. 5초부터 10초까지 운동량-시간 그래프에서 기울기가 감소하고 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 감소한다.

**바로알기** ㄷ. 5초일 때와 15초일 때 운동량이 모두 (+)이므로 운동 방향이 같다.

**20** 트럭과 탁구공의 상호작용 이외의 힘은 작용하지 않으므로 트럭과 탁구공의 운동량의 총합은 보존된다.

ㄱ. 운동량의 변화량은 질량×속도 변화량이다. 운동량의 변화량의 크기는 트럭과 탁구공이 서로 같고, 질량은 트럭이 탁구공보다 훨씬 크므로 속도 변화량은 탁구공이 트럭보다 크다.

**바로알기** ㄴ. 두 물체가 충돌할 때 작용 반작용 법칙에 따라 두 물체가 주고받은 힘의 크기가 서로 같고, 충돌 시간도 같으므로 두 물체가 받은 충격량의 크기는 서로 같다.

ㄷ. 탁구공과 트럭이 받은 충격량의 크기가 같고 두 물체의 충돌 시간도 같으므로 두 물체가 받은 평균 힘의 크기도 탁구공과 트럭이 서로 같다.

**21** 스톤을 미는 동안 선수의 운동량이  $40 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 만큼 감소하므로  $50(1-v_{\text{선}})=40$ 에서 선수의 속력  $v_{\text{선}}=0.2 \text{ m/s}$ 이다. 운동량 보존 법칙에 따라  $60 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}=50 \text{ kg} \times 0.2 \text{ m/s} + 10 \text{ kg} \times v_{\text{스}}$ 이므로 스톤의 속력  $v_{\text{스}}=5 \text{ m/s}$ 이다.

**22** 분리 후 B의 속력을  $v_B$ 라고 하면  $(M+m)v_0=m \times v_B$ 에서  $v_B=\frac{M+m}{m}v_0=\left(\frac{M}{m}+1\right)v_0$ 이므로 B의 속도 변화량의 크기는  $\frac{M}{m}v_0$ 이다. 따라서  $\frac{M}{m}$ 이 클수록 B의 속력이 빠르다.

**모범 답안** B의 속도 변화량의 크기는  $\frac{M}{m}v_0$ 이다. 따라서 A의 질량을 크게 하고 B의 질량을 작게 할수록 분리 후 B의 속력이 더 빠르다.

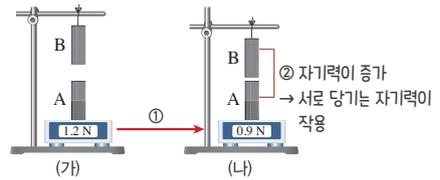
채점 기준	배점
B의 속도 변화량의 크기와 속력을 더 빠르게 하는 방법을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
B의 속력을 더 빠르게 하는 방법만 옳게 서술한 경우	50 %
B의 속도 변화량의 크기만 옳게 쓴 경우	30 %

**실력 UP문제**

67쪽

- 01 ③    02 ②    03 ③    04 ⑤

**01** — **꼼꼼 문제 분석**



- ① (나)에서 자석이 더 가까워지면 A에 작용하는 자기력이 증가한다.  
 ② 눈금 값이 감소하였으므로 A에 작용하는 자기력의 방향은 위쪽이다. → A와 B는 서로 당기는 자기력을 작용한다.

ㄱ. A, B 사이에 당기는 자기력이 작용하므로 A에는 위쪽으로 자기력이 작용한다. 따라서 A의 무게는 1.2 N보다 크다.

ㄷ. A와 B가 서로에게 작용하는 자기력은 작용 반작용 관계의 힘이다.

**바로알기** ㄴ. B에는 실이 B에 작용하는 힘, A가 B를 당기는 힘, B에 작용하는 중력의 세 힘의 합력이 0이다.

**02** — **꼼꼼 문제 분석**



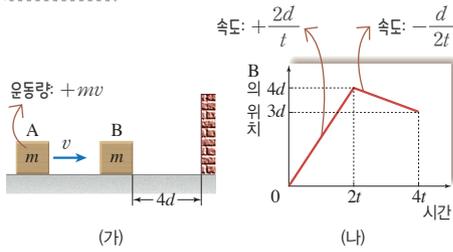
- ① B는 A와 충돌할 때 오른쪽으로 충격량을 받고 C와 충돌할 때 왼쪽으로 충격량을 받는다. 즉, A, C와 충돌할 때 B가 받는 충격량은 각각  $3I, -I$ 이다.  
 ② 두 번의 충돌에서 B가 받은 충격량의 합은 오른쪽으로  $2I$ 이다. → (나)에서 B의 운동량은  $2I$ 이다.  
 ③ B와 충돌할 때 C가 받은 충격량은 오른쪽으로  $I$ 이다. → (나)에서 C의 운동량은  $I$ 이다.  
 ④ (나)에서 B와 C의 속력이 같으므로 질량은 B가 C의 2배이다.  
 ⑤ 운동량의 총합이 보존되므로 (가)에서 A의 운동량은 (나)에서 A, B, C의 운동량의 총합과 같다.

ㄴ. B의 질량을  $2m$ , C의 질량을  $m$ 이라고 하고 A와 충돌 후 B의 속력을  $v_B$ 라고 하면 C와 충돌 과정에서  $2mv_B=2mv+mv$ 이므로  $v_B=\frac{3}{2}v$ 이다.

**바로알기** ㄱ. 모든 충돌 과정에서 B와 C가 받은 충격량의 크기는 각각  $2I, I$ 이므로 모든 충돌이 끝난 후 B와 C의 운동량의 크기는 B가 C의 2배이다. (나)에서 B와 C의 속력이 같으므로 질량은 B가 C의 2배이다.

ㄷ. 충돌 후 A, B, C의 운동량의 합이  $(2m+2m+m)v=5mv$ 이므로 충돌 전 A의 운동량도  $5mv$ 이다. A의 질량이  $2m$ 이므로 충돌 전 A의 속력은  $\frac{5}{2}v$ 이다.

03 **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. 충돌 후 A와 B의 속력이  $\frac{2d}{t}$ 이다. A와 B가 충돌할 때는 운동량이 보존되므로  $mv = 2m \times \frac{2d}{t}$ 이다. 따라서  $v = \frac{4d}{t}$ 이다.

ㄴ.  $t$ 일 때 A의 속력이  $\frac{2d}{t} = \frac{1}{2}v$ 이므로 A의 운동량의 크기는  $\frac{1}{2}mv$ 이다.

**바로알기** ㄷ. B의 운동량의 변화량 크기는 A와 충돌할 때는  $\frac{1}{2}mv$ 이다. B가 벽과 충돌할 때 운동량은  $m \times \left(-\frac{d}{2t}\right) = -\frac{1}{8}mv$ 이므로 벽과 충돌할 때 운동량의 변화량 크기는  $\frac{1}{2}mv - \left(-\frac{1}{8}mv\right) = \frac{5}{8}mv$ 이다. 따라서 B의 운동량의 변화량 크기는 A와 충돌할 때가 벽과 충돌할 때보다 작다.

04 ㄱ. A와 B가 충돌 후 한 덩어리가 된 속력을  $v_1$ 이라고 하면 운동량이 보존되므로  $mv = 3mv_1$ 에서  $v_1 = \frac{1}{3}v$ 이다. 한 덩어리가 된 A와 B가 C와 충돌할 때도 운동량이 보존되므로 한 덩어리가 된 A, B, C의 속력을  $v_2$ 라고 하면  $3m \times \frac{1}{3}v = 6m \times v_2$ 에서  $v_2 = \frac{1}{6}v$ 이다.

ㄴ. A, C와 충돌 과정에서 B의 속도 변화량의 크기가 각각  $\frac{v}{3}$ ,  $\frac{v}{6}$ 이므로 B의 운동량 변화량의 크기는 각각  $2m \times \frac{v}{3} = \frac{2}{3}mv$ ,  $2m \times \frac{v}{6} = \frac{1}{3}mv$ 이다.

ㄷ. A가 B와 충돌할 때까지 걸린 시간  $t = \frac{d}{v}$ 이고, A와 충돌 후 B의 속력은  $\frac{v}{3}$ 이므로 A와 충돌한 순간부터 B와 C가 충돌할 때까지 걸린 시간  $= \frac{d}{\frac{v}{3}} = \frac{3d}{v} = 3t$ 이다. 따라서 B와 C는  $4t$ 일 때 충돌한다.

중단원 **핵심 정리**

68쪽~69쪽

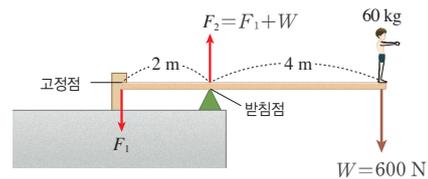
- ① 알짜힘
- ② 돌림힘
- ③ 힘
- ④ 돌림힘
- ⑤ 무게 중심
- ⑥ 가속도
- ⑦ 속도 변화량
- ⑧ 관성
- ⑨ 0
- ⑩ 반비례
- ⑪ 가속도
- ⑫  $v^2 - v_0^2$
- ⑬ 2
- ⑭ 4
- ⑮ 크기
- ⑯ 방향
- ⑰ 다른
- ⑱ 속도
- ⑲ 운동량의 변화량
- ⑳ 알짜힘

중단원 **마무리 문제**

70쪽~73쪽

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

01 **꼼꼼 문제 분석**



- ① 힘의 평형:  $F_1 + W = F_2$
- ② 돌림힘의 평형:  $2m \times F_1 = 4m \times W$

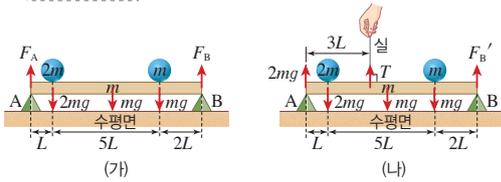
받침점을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면  $2m \times F_1 = 4m \times 600 \text{ N}$ 에서  $F_1 = 1200 \text{ N}$ 이다. 다이빙대에 작용하는 알짜힘이 0이므로  $F_2 = F_1 + 600 \text{ N}$ 에서  $F_2 = 1800 \text{ N}$ 이다.

02 ㄱ. (가)에서 물체에 크기가 같고 방향이 반대인 두 힘이 같은 작용선상에서 작용하고 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘이 0이고, 돌림힘도 발생하지 않는다. 따라서 물체는 평형 상태에 있다.

ㄴ. (가)에서 물체에 돌림힘이 작용하지 않으므로 물체의 회전 상태는 변하지 않는다.

**바로알기** ㄷ. (나)에서 물체에 작용하는 두 힘의 합력은 0이지만 두 힘의 작용선이 다르므로 무게 중심에 대해 시계 반대 방향의 돌림힘이 작용하고 있다. 따라서 물체의 회전 상태가 변한다.

03 — 꼼꼼 문제 분석



- ① (가)에서 힘의 평형:  $F_A + F_B = 4mg$
- ② (나)에서 힘의 평형:  $2mg + T + F_B' = 4mg$
- ③ (가)에서 돌림힘의 평형(회전축 B):  $8LF_A = 20Lmg$
- ④ (나)에서 돌림힘의 평형(회전축 B):  $16Lmg + 5LT = 20Lmg$

ㄱ. (가)에서 막대에 작용하는 돌림힘이 평형을 이루고 있다. A가 막대에 작용하는 힘의 크기를  $F_A$ 라고 하고 B를 회전축으로 할 때  $8L \times F_A = 7L \times 2mg + 4L \times mg + 2L \times mg$ 에서  $F_A = \frac{5}{2}mg$ 이다.

ㄴ. (나)에서 실이 막대를 당기는 힘의 크기를  $T$ 라고 하자. B를 회전축으로 할 때  $8L \times 2mg + 5L \times T = 7L \times 2mg + 4L \times mg + 2L \times mg$ 에서  $T = \frac{4}{5}mg$ 이다.

ㄷ. (가)에서 A와 B가 막대에 작용하는 힘의 합력  $F_A + F_B = 4mg$ 이므로 B가 막대에 작용하는 힘의 크기  $F_B = \frac{3}{2}mg$ 이다.

(나)에서 A와 B가 막대를 떠받치는 힘과 실이 막대를 당기는 힘의 합력이  $4mg$ 이므로 B가 막대에 작용하는 힘의 크기  $F_B' = \frac{6}{5}mg$ 이다. 따라서 B가 막대에 작용하는 힘의 크기는 (가)에서 (나)에서의  $\frac{5}{4}$ 배이다.

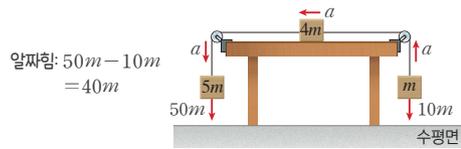
- 04 ㄱ. A는 (+)방향으로, B는 (-)방향으로 운동한다.  
 ㄴ. 위치-시간 그래프에서 기울기가 일정하므로 A의 속도의 크기는 일정하다.  
 [바로알기] ㄷ. 0초부터 3초까지 A, B의 변위의 크기는 각각 2m, 3m이므로 B가 A보다 크다.

- 05 ② A는 15m/s로 등속 운동을 하므로 40초일 때 600m를 이동한다. B는 0초부터 20초까지 300m를 이동하므로 50초일 때 600m를 이동한다. 따라서 A는 40초일 때, B는 50초일 때 다리를 통과한다.  
 [바로알기] ① 속도-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이가 변위이다. 10초일 때 A, B는 각각 150m, 175m 이동한다. 따라서 B가 A보다 25m 앞서 있다.  
 ③ 20초 이후 A, B의 속력이 각각 15m/s, 10m/s로 일정하므로 A와 B 사이의 거리는 1초마다 5m씩 증가한다.

- ④ 0초부터 20초까지 B의 속도의 크기가 감소하므로 가속도 방향이 운동 방향과 반대이다.  
 ⑤ B는 50초 동안 600m를 운동하므로 평균 속력 =  $\frac{600m}{50s} = 12m/s$ 이다.

- 06 ㄱ. A가 추에 작용하는 힘의 크기는 B가 추에 작용하는 힘과 B에 작용하는 중력의 합력의 크기와 같다.  
 ㄷ. 갑자기 큰 힘으로 B를 당기면 추가 가만히 있으려는 관성 때문에 B가 끊어진다.  
 [바로알기] ㄴ. A가 추를 당기는 힘, B가 추를 당기는 힘, 추에 작용하는 중력이 힘의 평형을 이룬다.

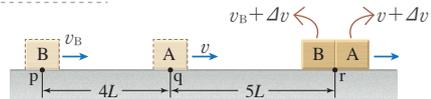
07 — 꼼꼼 문제 분석



세 물체에 작용하는 알짜힘은 양쪽에 매달린 물체에 작용하는 중력의 차이므로 가속도의 크기를  $a$ 라고 하면  $(5m + 4m + m)a = 4m \times 10$ 에서  $a = 4m/s^2$ 이다.

- 08 ㄱ. A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기가 10N이므로 A와 B의 가속도는  $10N = 5kg \times a$ 에서  $a = 2m/s^2$ 이다. 따라서 A에 작용하는 알짜힘의 크기는  $3kg \times 2m/s^2 = 6N$ 이다.  
 ㄴ. A와 B가 함께 같은 방향으로 등가속도 운동하므로 A와 B에 작용하는 알짜힘의 방향이 같다.  
 ㄷ. A가 B에 작용하는 힘이 B에 작용하는 알짜힘이다. A가 B에 작용하는 힘과 B가 A에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이므로 힘의 크기가 같다. 따라서 B가 A에 작용하는 힘의 크기와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 같다.

09 — 꼼꼼 문제 분석



- ① p에 정지해 있던 A가 등가속도 운동을 하여 q를  $v$ 로 통과한다.  $\Rightarrow$  A의 가속도의 크기는  $2a \times 4L = v^2$ 에서  $a = \frac{v^2}{8L}$ 이다.
- ② r에서 A의 속력은  $2a \times 9L = v_A^2$ 에서  $v_A = \frac{3}{2}v$ 이다.
- ③ A와 B의 가속도는 같다.  $\Rightarrow$  A가 q에서 r까지 운동하는 동안 A와 B의 속도 변화량은  $\Delta v = \frac{1}{2}v$ 로 같다.

p, q에서 A의 속력이 각각 0,  $v$ 이므로  $2a \times 4L = v^2$ 에서  $a = \frac{v^2}{8L}$ 이다. r에서 A의 속력은  $2 \times \frac{v^2}{8L} \times 9L = v_A^2$ 에서  $v_A = \frac{3}{2}v$ 이다. A와 B의 가속도가 같으므로 p에서 B의 속력을  $v_B$ 라고 하면 r에서 B의 속력은  $v_B + \frac{1}{2}v$ 이다. 따라서  $2 \times \frac{v^2}{8L} \times 9L = (v_B + \frac{1}{2}v)^2 - v_B^2$ 에서  $v_B = 2v$ 이다.

**10** ㄱ. P에서 R까지 A와 B의 평균 속력이 같다. A의 평균 속력이 10 m/s이므로 R에서 B의 속력을  $v$ 라고 하면  $\frac{0+v}{2} = 10$ (m/s)에서  $v = 20$  m/s이다.

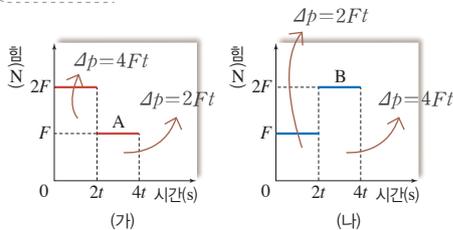
ㄴ. A는 5초일 때 50 m를 이동하여 Q를 통과한다. B의 가속도의 크기는  $\frac{20 \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이고, 5초 동안 B는  $5 \text{ m/s} \times 5 \text{ s} = 25 \text{ m}$ 를 이동한다. 따라서 A가 B보다 먼저 Q를 통과한다.

**바로알기** ㄷ. Q에서 B의 속력을  $v_B$ 라고 하면,  $2 \times 2 \times 50 = v_B^2$ 에서  $v_B = 10\sqrt{2}$  m/s이다. 따라서 Q를 통과할 때 속력은 B가 A보다 크다.

**11** 작용 반작용 관계의 두 힘은  $F_1$ 과  $F_2$ ,  $F_3$ 과  $F_4$ 이다. 힘의 평형 관계의 두 힘은 물체에 작용하는 두 힘인  $F_1$ 과  $F_4$ 이다.

**12** B와 충돌 직후 A의 속력을  $v_A$ 라고 하면 B의 속력은  $v_A + v$ 이다. A와 B가 충돌할 때 운동량 보존을 적용하면  $2mv = mv_A + m(v_A + v)$ 에서  $v_A = \frac{1}{2}v$ 이고 B의 속력은  $\frac{3}{2}v$ 이다. B와 충돌한 후 C의 속력을  $v_C$ 라고 하고 B와 C의 충돌에서 운동량 보존을 적용하면  $\frac{3}{2}mv + mv = 2mv_C$ 에서  $v_C = \frac{5}{4}v$ 이다. 따라서 B와 충돌한 후 A, C의 속력은 각각  $\frac{1}{2}v$ ,  $\frac{5}{4}v$ 이다.

**13** **품평 문제 분석**



- ① 0부터 2t까지 A, B의 운동량의 변화량 크기는 각각  $4Ft$ ,  $2Ft$ 이다.  $\Rightarrow m_A(2v - 0) = 2 \times m_B(2v - v)$ 에서  $m_A = m_B$ 이다.
- ② 0부터 4t까지 A, B의 운동량의 변화량 크기는  $6Ft$ 로 같다.

ㄱ. 충격량은 운동량 변화량과 같다. A와 B의 질량을 각각  $m_A$ ,  $m_B$ 라고 하면, 0부터 2t까지 A가 받은 충격량은  $4Ft = 2m_Av$ 이고 B가 받은 충격량은  $2Ft = m_Bv$ 이다. 따라서  $m_A = m_B$ 이므로 A와 B의 질량은 같다.

ㄷ. 0부터 4t까지 A, B의 그래프 아랫부분의 넓이가 같으므로 운동량 변화량의 크기도 같다.

**바로알기** ㄴ. 0부터 4t까지 B가 받은 충격량은  $6Ft$ 이므로 B의 속력 변화량은  $3v$ 이다. 따라서 4t일 때 B의 속력은  $4v$ 이다.

**14** 물체를 기울였을 때 무게 중심의 연장선이 바닥면을 벗어나지 않으면 무게 중심에 작용하는 중력이 복원력으로 작용한다.

**모범 답안** A는 무게 중심이 낮아서 기울어졌을 때 무게 중심의 연장선이 바닥면을 벗어나지 않고 중력이 복원력으로 작용하여 원래 모양으로 돌아오기 쉽다. 그러나 B는 무게 중심이 높아서 조금만 기울어져도 무게 중심의 연장선이 바닥면을 벗어나 넘어지기 쉽다.

채점 기준	배점
무게 중심과 복원력을 이용하여 안정적인 까닭을 적절하게 서술한 경우	100 %
무게 중심과 복원력을 포함하지 않고 안정적인 까닭을 서술한 경우	50 %

**15** B의 질량을  $M$ 이라고 하면 (가)에서 알짜힘은  $(M - m)g$ , (나)에서 알짜힘은  $(4m - M)g$ 이다.

**모범 답안** B의 질량을  $M$ 이라고 하고, 물체의 가속도의 크기를  $a$ 라고 하면,  $a = \frac{M - m}{M + m}g = \frac{4m - M}{4m + M}g$ 에서  $M = 2m$ 이다.

채점 기준	배점
B의 질량을 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
B의 질량만 옳게 쓴 경우	30 %

**16** B가 정지해 있으므로 B에 작용하는 알짜힘이 0이다. 작용 반작용 관계인 힘은 두 물체가 서로에게 작용하며, 크기가 같고 방향이 반대이다.

**모범 답안** A가 B를 누르는 힘, B에 작용하는 중력, 손이 B를 떠받치는 힘이 평형을 이룬다. A가 B를 누르는 힘의 반작용은 B가 A를 떠받치는 힘이고, B에 작용하는 중력의 반작용은 B가 지구를 당기는 힘이다. 또 손이 B를 떠받치는 힘의 반작용은 B가 손을 누르는 힘이다.

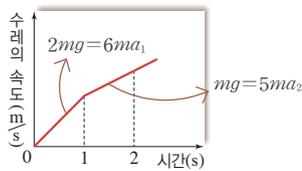
채점 기준	배점
B에 작용하는 세 힘과 작용 반작용 관계인 힘을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
B에 작용하는 세 힘과 작용 반작용 관계인 힘 중 두 가지만 옳게 서술한 경우	40 %
B에 작용하는 세 힘만 옳게 쓴 경우	30 %

**17** 물체가 분리될 때에도 운동량 보존 법칙이 성립한다. 분리 전 운동량의 합이  $5mv_0$ 이므로 분리된 후 A, B의 운동량의 합도  $5mv_0$ 이다.

**모범 답안** 분리 전 A와 B의 운동량의 합이  $5mv_0$ 이고 분리 후 A의 운동량이  $3mv$ 이므로 분리 후 B의 속력을  $V$ 라고 하면, 운동량 보존 법칙에 따라  $5mv_0 = 3mv + 2mV$ 이다. 따라서  $V = \frac{5v_0 - 3v}{2}$ 이다.

채점 기준	배점
B의 속력을 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
B의 속력만 옳게 쓴 경우	30 %

**18** **꼼꼼 문제 분석**



- ① 0초부터 1초까지 가속도의 크기는  $a_1 = \frac{10}{3} \text{ m/s}^2$ 이다.  
 → 1초일 때 속력은  $v_1 = \frac{10}{3} \text{ m/s}$ 이다.
- ② 1초부터 2초까지 가속도의 크기는  $a_2 = 2 \text{ m/s}^2$ 이다.  
 → 2초일 때 속력은  $v_2 = v_1 + a_2 \times 1 \text{ s} = \frac{16}{3} \text{ m/s}$ 이다.

(가)에서 물체에 작용하는 중력이 수레와 물체에 작용하는 알짜 힘이 되어 수레와 물체가 등가속도 운동을 한다.

**모범 답안** 0초부터 1초까지 수레의 가속도의 크기가  $\frac{2mg}{6m} = \frac{1}{3}g$ 이므로 1초일 때 속력은  $\frac{10}{3} \text{ m/s}$ 이다. 평균 속력이  $\frac{5}{3} \text{ m/s}$ 이므로 이동 거리는  $\frac{5}{3} \text{ m}$ 이다. 1초부터 2초까지 수레의 가속도의 크기가  $\frac{mg}{5m} = \frac{1}{5}g$ 이므로 2초일 때 속력은  $\frac{10}{3} \text{ m/s} + 2 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ s} = \frac{16}{3} \text{ m/s}$ 이다. 평균 속력이  $\frac{13}{3} \text{ m/s}$ 이므로 이동 거리는  $\frac{13}{3} \text{ m}$ 이다. 따라서 0초부터 2초까지 수레의 이동 거리는  $\frac{5}{3} \text{ m} + \frac{13}{3} \text{ m} = 6 \text{ m}$ 이다.

채점 기준	배점
수레의 이동 거리를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
이동 거리만 옳게 쓴 경우	30 %

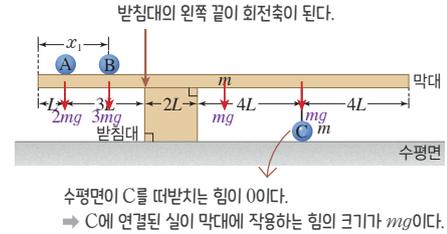
**중단원 고난도 문제**

74쪽~75쪽

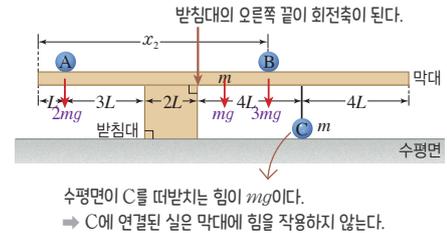
- 01 ③    02 ①    03 ③    04 ④    05 ①    06 ⑤  
 07 ③    08 ③

**01** **꼼꼼 문제 분석**

•  $x$ 가 최소일 때( $x=x_1$ )



•  $x$ 가 최대일 때( $x=x_2$ )

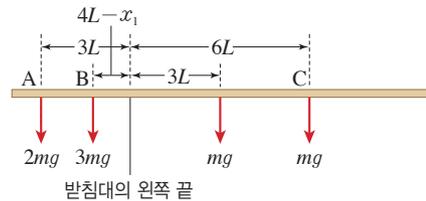


**선택지 분석**

- 2      $\frac{5}{2}$      3      $\frac{10}{3}$      4

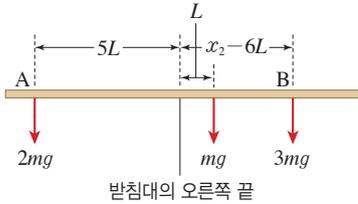
**전략적 풀이** ①  $x$ 가 최소일 때 회전축의 위치를 찾아 돌림힘의 평형을 적용한다.

B가  $x_1$ 에 있을 때는 받침대의 왼쪽 끝이 회전축이 된다. 이때 A, B에 작용하는 중력에 의한 돌림힘은 시계 반대 방향이고, 막대의 중력에 의한 돌림힘과 실이 막대에 작용하는 힘에 의한 돌림힘은 시계 방향이다. B가 가장 왼쪽에 있을 때는 실이 막대에 작용하는 힘이 최대일 때이므로 수평면이 C에 작용하는 힘은 0이 되고 실이 막대에 작용하는 힘의 크기는  $mg$ 이다. 이 상태를 간단하게 나타내면 그림과 같다.



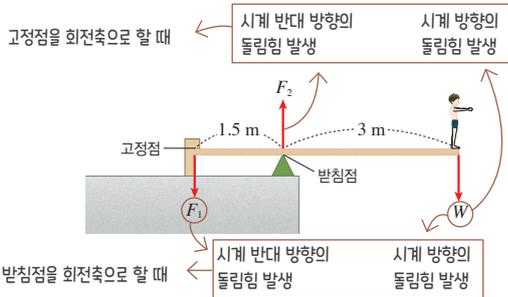
막대가 수평을 유지하므로 돌림힘의 평형을 적용하면  $3L \times 2mg + (4L - x_1) \times 3mg = 3L \times mg + 6L \times mg$ 에서  $x_1 = 3L$ 이다.

②  $x$ 가 최대일 때 회전축의 위치를 찾아 돌림힘의 평형을 적용한다.  
 B가  $x_2$ 에 있을 때는 받침대의 오른쪽 끝이 회전축이 된다. 이때 A에 작용하는 중력에 의한 돌림힘은 시계 반대 방향이고, 막대의 중력에 의한 돌림힘과 실이 막대에 작용하는 힘, B에 작용하는 중력에 의한 돌림힘은 시계 방향이다. B가 가장 오른쪽에 있을 때는 실이 막대에 작용하는 힘이 0일 때이므로 수평면이 C에 작용하는 힘은  $mg$ 가 된다. 이 상태를 간단하게 나타내면 그림과 같다.



막대가 수평을 유지하므로 돌림힘의 평형을 적용하면  $5L \times 2mg = (x_2 - 6L) \times 3mg + L \times mg$ 에서  $x_2 = 9L$ 이다. 따라서  $\frac{x_2}{x_1} = \frac{9L}{3L} = 3$ 이다.

## 02 품평 문제 분석



### 선택지 분석

- ㉠  $F_2 = F_1 + W$ 이다.
- ㉡  $F_1 = 3W$ 이다.  $2W$
- ㉢  $F_2 = 2W$ 이다.  $3W$

전략적 풀이 ① 다이빙대에 작용하는 힘의 평형 조건을 적용한다.

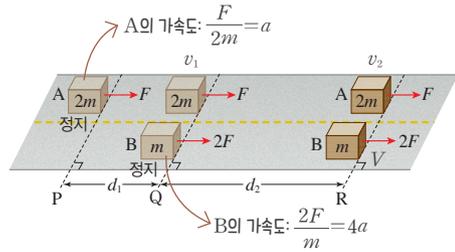
㉠.  $F_2 = F_1 + W$ 이다.

② 받침점을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형 조건을 적용한다.

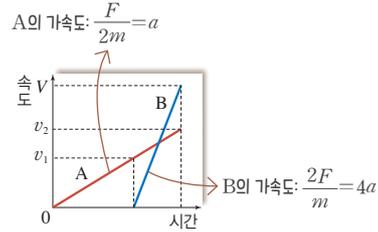
㉡. 돌림힘의 평형 조건을 적용하면  $1.5 \text{ m} \times F_1 = 3 \text{ m} \times W$ 이므로  $F_1 = 2W$ 이다.

㉢.  $F_2 = F_1 + W$ 에서  $F_1 = 2W$ 이므로  $F_2 = 3W$ 이다.

## 03 품평 문제 분석



A와 B의 운동을 속도-시간 그래프로 나타내면 그림과 같다.



### 선택지 분석

- ㉠ 등가속도 직선 운동을 하는 동안 가속도의 크기는 B가 A의 4배이다.
- ㉡  $d_2 = \frac{16}{9}d_1$ 이다.
- ㉢ A가 Q에서 R까지 운동하는 데 걸린 시간은 P에서 Q까지 운동하는 데 걸린 시간과 같다.  $\frac{3}{2}$ 배이다.

전략적 풀이 ① 뉴턴 운동 제2법칙을 이용하여 가속도의 크기를 구한다.

㉠. 등가속도 운동을 하는 동안 가속도는 A가  $\frac{F}{2m}$ , B가  $\frac{2F}{m}$ 이므로 가속도의 크기는 B가 A의 4배이다.

② 등가속도 직선 운동 방정식을 이용하여 가속도, 속력, 이동 거리 관계를 파악한다.

㉡. A의 가속도의 크기를  $a$ 라고 하면 B의 가속도의 크기는  $4a$ 이다. Q, R에서 A의 속력을 각각  $v_1, v_2$ 라고 하고, R에서 B의 속력을  $V$ 라고 하면  $2ad_2 = v_2^2 - v_1^2$ ,  $8ad_2 = V^2$ 이다. 여기서  $v_2^2 - v_1^2 = \frac{1}{4}V^2$ 이다. 또 Q에서 R까지 A와 B의 평균 속력이 같

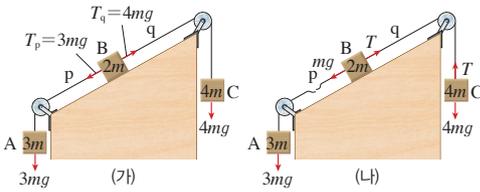
으므로  $\frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{V}{2}$ 에서  $v_1 + v_2 = V$ 이다. 두 식을 연립하여 풀면  $v_1 = \frac{3}{8}V$ ,  $v_2 = \frac{5}{8}V$ 이다.

$2ad_1 = \frac{9}{64}V^2$ ,  $8ad_2 = V^2$ 이므로  $d_2 = \frac{16}{9}d_1$ 이다.

③ 등가속도 직선 운동 방정식을 이용하여 운동하는 데 걸린 시간을 구한다.

ㄷ. A는 등가속도 직선 운동을 하므로 속도 변화량이 시간에 비례한다. P에서 Q까지와 Q에서 R까지 A의 속도 변화량의 크기가 각각  $\frac{3}{8}V$ ,  $\frac{2}{8}V$ 이므로 A가 Q에서 R까지 운동하는 데 걸린 시간은 P에서 Q까지 운동하는 데 걸린 시간의  $\frac{2}{3}$ 배이다.

#### 04 — 꼼꼼 문제 분석



##### 선택지 분석

- (가)에서 p와 q가 B를 당기는 힘의 크기는 같다. 같지 않다.
- (나)에서 가속도의 크기는 A가 B의 2배이다.
- q가 B를 당기는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

**전략적 풀이** ① (가)에서 힘의 평형을 이용하여 각 물체에 작용하는 힘의 관계를 파악한다.

ㄱ. p가 B를 당기는 힘의 크기는 A의 무게  $3mg$ 이고, q가 B를 당기는 힘의 크기는 C의 무게  $4mg$ 이다. 따라서 q가 B를 당기는 힘의 크기가 p가 B를 당기는 힘의 크기보다 크다.

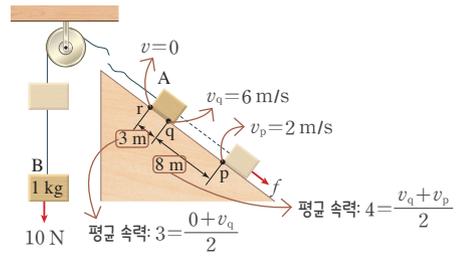
② (나)에서 힘과 가속도 관계를 이용하여 등가속도 운동을 하는 물체의 가속도를 구한다.

ㄴ. (나)에서 B와 C에 작용하는 알짜힘의 크기는 A에 작용하는 알짜힘의 크기와 같다. 즉, 알짜힘의 크기가  $3mg$ 이므로 B와 C의 가속도의 크기는  $a = \frac{3mg}{6m} = \frac{1}{2}g$ 이다. A의 가속도의 크기는  $g$ 이므로 가속도의 크기는 A가 B의 2배이다.

③ 힘의 평형, 힘과 가속도 관계를 이용하여 실이 물체에 작용하는 힘의 크기를 비교한다.

ㄷ. (가)에서 q가 B를 당기는 힘의 크기는  $4mg$ 이다. 또 B에 작용하는 알짜힘이 0이므로 중력에 의해 B에 빗면 아래쪽으로 작용하는 힘의 크기는  $4mg - 3mg = mg$ 이다. (나)에서 q가 B를 당기는 힘의 크기를  $T$ 라고 하면 B의 운동 방정식은  $T - mg = 2m \times \frac{1}{2}g$ 에서  $T = 2mg$ 이다. 따라서 q가 B를 당기는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

#### 05 — 꼼꼼 문제 분석



##### 선택지 분석

- 1 kg
- 1.2 kg
- 1.5 kg
- 2 kg
- 2.4 kg

**전략적 풀이** ① 평균 속도와 거리를 이용해 각 구간에서 운동하는 데 걸린 시간을 구한다.

p에서 q까지 A가  $4\text{ m/s}$ 의 평균 속력으로  $8\text{ m}$ 를 이동하므로 걸린 시간은  $2\text{ 초}$ 이다. q에서 r까지 A가  $3\text{ m/s}$ 의 평균 속력으로  $3\text{ m}$ 를 이동하므로 걸린 시간은  $1\text{ 초}$ 이다.

② 평균 속도를 이용하여 p, q에서 속력을 구한다.

r에서 A의 속력이 0이고 q에서 r까지 평균 속력이  $3\text{ m/s}$ 이므로 q에서 속력은  $6\text{ m/s}$ 이다. 또 p에서 q까지 평균 속력이  $4\text{ m/s}$ 이므로 p에서 속력은  $2\text{ m/s}$ 이다.

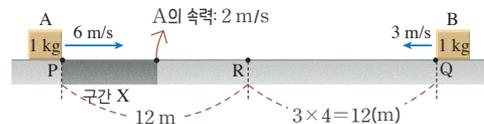
③ 등가속도 직선 운동 방정식을 이용하여 가속도를 구한다.

p에서 q까지와 q에서 r까지 가속도의 크기를 각각  $a_1$ ,  $a_2$ 라고 하면,  $2a_1 \times 8 = 6^2 - 2^2$ ,  $-2a_2 \times 3 = 0 - 6^2$ 에서  $a_1 = 2\text{ m/s}^2$ ,  $a_2 = 6\text{ m/s}^2$ 이다.

④ 운동 방정식을 이용하여 A의 질량을 구한다.

A의 질량을  $m$ 이라고 하고 중력에 의해 A에 빗면 아래쪽으로 작용하는 힘의 크기를  $f$ 라고 하면, p에서 q까지 운동 방정식은  $10 - f = (1 + m) \times 2$ , q에서 r까지 운동 방정식은  $f = m \times 6$ 이다. 따라서  $m = 1\text{ kg}$ 이다.

#### 06 — 꼼꼼 문제 분석



##### 선택지 분석

- X의 길이는  $8\text{ m}$ 이다.
- X에서 A의 가속도의 크기는  $2\text{ m/s}^2$ 이다.
- 충돌 후 A와 B의 운동량의 합은  $1\text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

**전략적 풀이 ①** A의 운동을 등가속도 운동과 등속 운동으로 나누어 걸린 시간을 구한다.

ㄱ. B는 4초 동안 12m를 이동한다. 따라서 P에서 R까지의 거리는 12m이다. A가 X를 벗어날 때 속력을  $v$ 라고 하면  $\frac{6+v}{2} \times 2 + v \times 2 = 12$ 에서  $v = 2$  m/s이다. 따라서 X의 길이는  $\frac{6+2}{2} \times 2 = 8$ (m)이다.

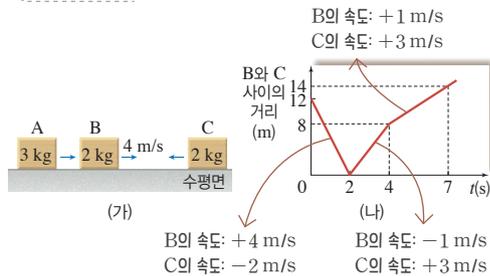
② 속도 변화량과 걸린 시간을 이용해 A의 가속도를 구한다.

ㄴ. Q에서 R까지가 12m이고, A가 등속 운동을 한 거리가 4m이므로 등속 운동을 한 시간은 2초이다. A가 P에서 R까지 운동하는 데 4초 걸리므로 X에서 등가속도 운동을 한 시간은 2초이다. 따라서 A의 가속도는  $-a = \frac{2-6}{2} = -2$ (m/s<sup>2</sup>)이므로 X에서 A의 가속도의 크기는 2 m/s<sup>2</sup>이다.

③ 운동량 보존 법칙을 적용하여 충돌 전 운동량으로부터 충돌 후 운동량을 구한다.

ㄷ. 충돌 전 A, B의 속력이 각각 2 m/s, 3 m/s이므로 충돌 전 A, B의 운동량의 합은  $1 \times 2 + 1 \times (-3) = -1$ (kg·m/s)이다. 따라서 충돌 후 A와 B의 운동량의 합의 크기는 1 kg·m/s이다.

**07** **꼼꼼 문제 분석**



**선택지 분석**

- ㉠ 1초일 때 C의 속력은 2 m/s이다.
- ㉡ 3초일 때 A와 B의 운동 방향은 서로 반대이다.
- ㉢ 6초일 때 A의 속력은 1 m/s이다.  $\frac{2}{3}$  m/s

**전략적 풀이 ①** 거리-시간 그래프를 이용해 C의 속력을 구한다.

ㄱ. 0초부터 2초까지 B와 C 사이의 거리가 1초마다 6m씩 줄어 들고 B의 속력이 4 m/s이므로 C는 2 m/s의 속력으로 B를 향해 운동한다.

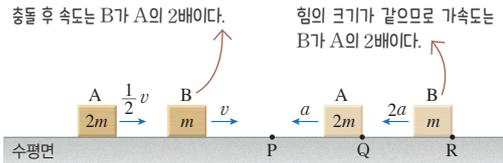
② 운동량 보존 법칙을 적용하여 B와 C의 충돌 후 속도를 파악한다.

ㄴ. 2초부터 4초까지 B와 C 사이의 거리가 1초마다 4m씩 늘어나므로 B의 속도를  $v$ 라고 하면 C의 속도는  $v+4$ 이다. 2초일 때 B와 C가 충돌하므로 운동량 보존 법칙을 적용하면  $2 \times 4 + 2 \times (-2) = 2 \times v + 2 \times (v+4)$ 에서  $v = -1$  m/s이다. 따라서 A와 B의 운동 방향은 서로 반대이다.

③ A와 B의 충돌 과정에서 운동량 보존 법칙을 적용하여 A의 속력을 구한다.

ㄷ. 4초일 때 A와 B가 충돌한다. 충돌 이후 A, B의 속력을 각각  $v_A, v_B$ 라고 하고 운동량 보존 법칙을 적용하면  $3 \times 2 + 2 \times (-1) = 3v_A + 2v_B$ 이다. 2초 이후에 C의 속력이 3 m/s이고 4초 이후 C의 속력은 변하지 않지만 B와 C 사이의 거리가 1초에 2m씩 멀어지므로  $v_B = 1$  m/s이다. 따라서  $v_A = \frac{2}{3}$  m/s이다.

**08** **꼼꼼 문제 분석**



**선택지 분석**

- ㉠ 충돌 전 A의 운동량의 크기는 충돌 직후 B의 운동량의 크기의 2배이다.
- ㉡ P를 지나는 순간부터 정지할 때까지 걸린 시간은 B가 A보다 크다. 같다.
- ㉢ QR=PQ이다.

**전략적 풀이 ①** 이동 거리가 같을 때 속력은 걸린 시간에 반비례한다. 충돌 과정에서 운동량 보존 법칙을 적용하여 속력을 비교한다.

ㄱ. 충돌 지점에서 P까지 운동하는 데 걸린 시간이 A가 B의 2배이므로 속력은 B가 A의 2배이다. A, B의 질량을 각각 2m, m, 충돌 전 A의 속력을  $v$ , 충돌 후 A의 속력을  $v'$ 라고 하면  $2mv = 2m \times v' + m \times 2v'$ 에서  $v' = \frac{1}{2}v$ 이므로 충돌 후 B의 속력은  $v$ 이다. 따라서 충돌 전 A의 운동량의 크기는  $2mv$ , 충돌 후 B의 운동량의 크기는  $mv$ 이다.

② 물체에 작용하는 힘의 크기가 같을 때 가속도의 크기는 질량에 반비례한다.

ㄴ. P를 지난 후 A, B에 작용하는 알짜힘의 크기가 같으므로 가속도의 크기는 B가 A의 2배이다. P에서 속력이  $v_p$ 이고 가속도가  $a$ 일 때 정지하는 데 걸린 시간은  $t = \frac{v_p}{a}$ 이다. P에서 속력이 B가 A의 2배이므로 A와 B의 속력이 0이 되는 데 걸린 시간은 같다.

③ 등가속도 직선 운동의 관계식을 이용하여 물체가 정지할 때까지 이동한 거리를 구한다.

ㄷ. P에서 정지할 때까지 A의 가속도의 크기를  $a$ , A, B가 이동한 거리를 각각  $s_1, s_2$ 라고 하면  $2as_1 = \frac{v^2}{4}$ ,  $4as_2 = v^2$ 에서  $s_2 = 2s_1$ 이다. 따라서  $\overline{QR} = \overline{PQ}$ 이다.

## 2 에너지와 열

### 01 역학적 에너지 보존

#### 개념 확인 문제

81쪽

- ① 일 ② 운동 ③ 알짜힘 ④ 중력 ⑤ 탄성력 ⑥ 위치 ⑦ 위치  
⑧ 운동 ⑨ 증가

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) × 2 12 J 3 200 J 4 4 J  
5 ㉠ 운동, ㉡ 보존

- 1 (1) 일과 에너지는 서로 전환될 수 있는 물리량이다. 따라서 일과 에너지의 단위는 J(줄)로 서로 같다.  
(3) 물체의 운동 에너지는 속력의 제곱에 비례한다.  
(4) 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.  
(5) 탄성력에 의한 위치 에너지가 최대인 지점은 용수철이 최대로 늘어나거나 최대한 압축되었을 때이다. 평형점에서는 운동 에너지가 최대이다.

2 힘-이동 거리 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 물체에 작용한 힘이 한 일이다. 따라서 물체에 힘을 작용한 순간부터 물체가 4 m를 이동했을 때, 물체의 운동 에너지는  $(2+4) \times 4 \times \frac{1}{2} = 12(\text{J})$ 이다.

3 물체의 위치 에너지 변화량은  $10 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ m} = 200 \text{ J}$ 이다.

4 용수철의 전체 길이가 50 cm가 되었을 때 용수철이 변형된 길이는 20 cm이므로 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는  $\frac{1}{2} \times 200 \times (0.2)^2 = 4(\text{J})$ 이다.

5 중력만을 받아 운동하는 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

#### 완자샘 비법특강

82쪽

Q1  $\frac{1}{2}$ 배

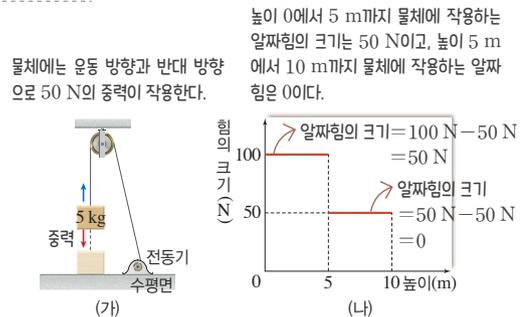
Q1 (나)에서 A와 B의 속력은 같고, 질량은 B가 A의 2배이다. 따라서 (나)에서 운동 에너지는 A가 B의  $\frac{1}{2}$ 배이다.

#### 대표 자료 분석 1

84쪽

- 1 등속도 운동 2 750 J 3 (1) 등가속도, 등속도 (2) 250 (3) 250 4 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ×

#### 꼼꼼 문제 분석



1 물체에 작용하는 중력의 크기는 50 N이고, 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 50 N이므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 물체는 등속도 운동을 한다.

2 힘-이동 거리 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 실이 물체를 당기는 힘이 한 일이다. 따라서 실이 물체를 당기는 힘이 한 일은  $100 \text{ N} \times 5 \text{ m} + 50 \text{ N} \times 5 \text{ m} = 750 \text{ J}$ 이다.

3 (1) 높이 0에서 5 m까지 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 물체에 작용하는 중력의 크기보다 크므로 물체는 등가속도 운동을 하고, 높이 5 m에서 10 m까지 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 물체에 작용하는 중력의 크기와 같으므로 물체는 등속도 운동을 한다.

(2) 높이 0에서 5 m까지 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는  $100 \text{ N} - 50 \text{ N} = 50 \text{ N}$ 이다. 따라서 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은  $50 \text{ N} \times 5 \text{ m} = 250 \text{ J}$ 이다.

(3) 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같으므로 높이가 5 m인 지점에서 물체의 운동 에너지는 250 J이다.

4 (1) 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 증가량과 같다.

(2) 높이가 5 m인 지점에서 10 m인 지점까지 물체에 작용한 알짜힘은 0이므로 물체는 등속도 운동을 한다. 따라서 물체의 속력은 같다.

(3) 높이가 0인 지점에서 5m인 지점까지 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는  $100\text{ N} - 50\text{ N} = 50\text{ N}$ 이고, 물체의 질량은  $5\text{ kg}$ 이므로 가속도의 크기는  $\frac{50\text{ N}}{5\text{ kg}} = 10\text{ m/s}^2$ 이다.

(4) 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 물체의 높이에 비례한다. 따라서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 높이가 10 m인 지점에서가 5 m인 지점에서의 2배이다.

(5) 높이가 5 m인 지점과 10 m인 지점에서 물체의 속력이 같으므로 물체의 운동 에너지는 같다.

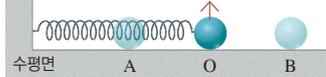
## 대표 자료 분석 2

85쪽

- 1 ㉠ 비례, ㉡ 0      2 ㉠ 증가, ㉡ 감소      3 (1)  $A > B > O$   
 (2)  $O > A = B$  (3)  $A = O = B$       4 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○  
 (5) ○ (6) ×

### 꼼꼼 문제 분석

평형점 O에서는 용수철이 변형된 길이가 0이므로 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는 0이고, 운동 에너지는 최대이다.



운동 방향이 변하는 A와 B에서 추의 속력이 0이므로 추의 운동 에너지는 0이다

1 용수철이 변형된 길이가 같은 A와 B에서 탄성력에 의한 위치 에너지는 같고, 용수철이 변형된 길이가 0인 O에서 탄성력에 의한 위치 에너지는 0이다.

2 O에서 B로 운동할 때 추의 운동 에너지가 탄성력에 의한 위치 에너지로 전환된다.

3 (1) 탄성력에 의한 위치 에너지는 용수철이 변형된 길이의 제곱에 비례하므로 변형된 길이가 최대인 A와 B에서 같고 O에서는 0이다.

(2) O에서 운동 에너지가 최대이고, A와 B에서 운동 에너지는 0이다.

(3) 마찰과 공기 저항이 없으므로 A, O, B에서 역학적 에너지는 모두 일정하게 보존된다.

4 (1) 역학적 에너지는 보존되므로 어느 지점에서나 추의 역학적 에너지는 같다.

(2), (4) A, O, B에서 역학적 에너지=A, B에서 탄성력에 의한 위치 에너지=O에서 운동 에너지이다.

(3) 추가 운동할 때 역학적 에너지는 일정하다.

(5), (6) 추가 O에서 A나 B로 운동할 때 추의 운동 에너지가 감소한 만큼 탄성력에 의한 위치 에너지가 증가한다.

## 내신 만점 문제

86쪽-90쪽

- 01 ㉢      02 ㉢      03 해설 참조      04 ㉡      05 ㉣  
 06 3 : 5      07 ㉢      08 ㉤      09 ㉣      10 ㉤      11 ㉣  
 12 (1) 200 N/m (2) 0.16 J      13 해설 참조      14 ㉤  
 15 ㉣      16 ㉢      17 ㉢      18 ㉢      19 ㉠      20 ㉢  
 21 0.2 m      22 ㉤

01 다. 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 물체가 6 m를 이동한 순간 물체의 속력을  $v$ 라고 하면,  $\frac{1}{2} \times 3\text{ kg} \times v^2 = 15\text{ J}$ 에서  $v = \sqrt{10}\text{ m/s}$ 이다.

**바로알기** ㄱ. 이동 거리가 증가함에 따라 물체에 작용하는 힘의 크기가 증가하므로 물체는 가속도의 크기가 증가하는 운동을 한다.

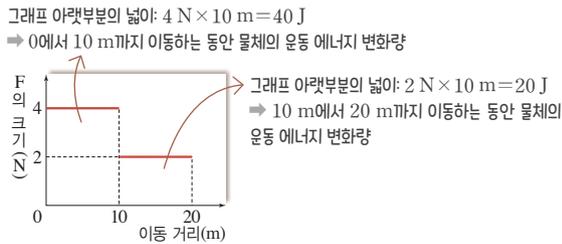
ㄴ. 힘-이동 거리 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 힘이 물체에 한 일이다. 따라서 F가 한 일은  $\frac{1}{2} \times 5\text{ N} \times 6\text{ m} = 15\text{ J}$ 이다.

02 ㄱ. 물체에 작용하는 힘의 크기는 5 N이고, 물체의 가속도의 크기는  $1\text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 물체의 질량은  $\frac{5\text{ N}}{1\text{ m/s}^2} = 5\text{ kg}$ 이다.

ㄴ. 물체에 수평 방향으로 힘이 작용한 순간부터 2초 후 물체의 속력은  $1\text{ m/s}^2 \times 2\text{ s} = 2\text{ m/s}$ 이다. 따라서 이때 물체의 운동 에너지는  $\frac{1}{2} \times 5\text{ kg} \times (2\text{ m/s})^2 = 10\text{ J}$ 이다.

**바로알기** 다. 물체에 수평 방향으로 힘이 작용한 순간부터 5 m를 이동하는 동안 수평 방향으로 작용한 힘이 물체에 한 일은  $5\text{ N} \times 5\text{ m} = 25\text{ J}$ 이다. 따라서 이때 물체의 속력을  $v$ 라고 하면,  $\frac{1}{2} \times 5\text{ kg} \times v^2 = 25\text{ J}$ 에서  $v = \sqrt{10}\text{ m/s}$ 이다.

**03** — **꼼꼼 문제 분석**

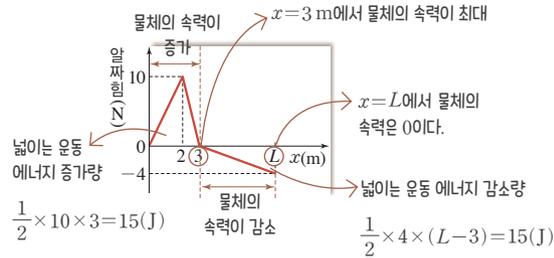


(나)의 그래프 아랫부분의 넓이는 F가 한 일이고, F가 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

**모범 답안** p에서 q까지 물체가 이동하는 동안 F가 한 일은  $40\text{ J} + 20\text{ J} = 60\text{ J}$ 이다. q에서 물체의 속력을  $v$ 라고 하면,  $\frac{1}{2} \times 10\text{ kg} \times v^2 = 60\text{ J}$ 에서  $v = 2\sqrt{3}\text{ m/s}$ 이다.

채점 기준	배점
속력을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
속력만 옳게 쓴 경우	40 %

**04** — **꼼꼼 문제 분석**



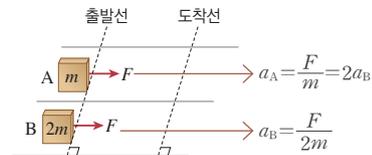
나.  $x=3\text{ m}$ 에서 물체의 운동 에너지는  $15\text{ J}$ 이므로  $x=3\text{ m}$ 에서 물체의 속력을  $v$ 라고 하면,  $15 = \frac{1}{2} \times 10 \times v^2$ 에서  $v = \sqrt{3}\text{ m/s}$ 이다.

**바로알기** ㄱ. 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.  $x=0$ 에서  $x=2\text{ m}$ 까지 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은  $\frac{1}{2} \times 10 \times 2 = 10\text{ (J)}$ 이고,  $x=0$ 에서  $x=3\text{ m}$ 까지 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은  $\frac{1}{2} \times 10 \times 3 = 15\text{ (J)}$ 이다. 따라서 물체의 운동 에너지는  $x=2\text{ m}$ 에서가  $x=3\text{ m}$ 에서보다 작다. ㄴ.  $x=0$ 에서  $x=3\text{ m}$ 까지 물체의 운동 에너지 증가량은  $15\text{ J}$ 이므로  $x=3\text{ m}$ 에서  $x=L$ 까지 물체의 운동 에너지 감소량은  $15\text{ J}$ 이다. 따라서  $\frac{1}{2} \times 4 \times (L-3) = 15$ 에서  $L = \frac{21}{2}$ 이다.

**05** 자동차는 등가속도 운동을 하므로 자동차에 작용하는 알짜힘은 일정하고, 자동차에 작용하는 알짜힘이 한 일은 자동차의 운동 에너지의 변화량과 같다. a에서 자동차의 운동 에너지를  $E_a$ , 자동차에 작용하는 알짜힘의 크기를  $F$ 라고 하자. 자동차가 a에서 b까지 운동하는 동안 알짜힘이 한 일은  $FL = E_b - E_a \dots \textcircled{1}$ 이고 자동차가 b에서 c까지 운동하는 동안 알짜힘이 한 일은  $F(3L) = 2E_c - E_b \dots \textcircled{2}$ 이다. ①, ②를 정리하면,  $E_a = \frac{2}{3}E_c$ 이다.

**06** 운동량의 크기가  $p$ 이고, 물체의 질량이  $m$ 일 때 물체의 운동 에너지는  $\frac{p^2}{2m}$ 이다. 즉, 운동량의 크기가 같을 때 운동 에너지는 질량에 반비례한다. 따라서  $E_A : E_B = 3 : 5$ 이다.

**07** — **꼼꼼 문제 분석**



A와 B에 작용하는 힘의 크기가 같고, 출발선에서 도착선까지 A와 B의 이동 거리도 같다.  $\rightarrow$  물체에 작용한 알짜힘이 한 일이 같으므로 출발선에서 도착선까지 물체의 운동 에너지 변화량이 같다.

ㄴ. 도착선에서 운동 에너지는 A와 B가 같고 질량은 B가 A보다 크므로 도착선에서 속력은 A가 B보다 크다.

**바로알기** ㄱ. A와 B에 작용하는 힘의 크기는 같고 질량은 B가 A의 2배이므로 가속도의 크기는 A가 B의 2배이다. 따라서 출발선에서 도착선까지 이동하는 데 걸린 시간은 A가 B보다 작다.

ㄴ. A와 B에 작용하는 크기가  $F$ 인 힘이 출발선에서 도착선까지 한 일은 같으므로 도착선에서 운동 에너지는 A와 B가 같다. 질량은 B가 A보다 크므로  $E_k = \frac{p^2}{2m}$ 에 의해 도착선에서 운동량의 크기는 A가 B보다 작다.

**08** ㄱ. A가 a에서 b까지 운동하는 동안 크기가  $F$ 인 힘이 A에 한 일은  $FL$ 이다. b에서 A의 속력을  $v_A$ 라고 하면  $\frac{1}{2}(2m)v_A^2 = FL$ 에서  $v_A = \sqrt{\frac{FL}{m}}$ 이다. B가 c에서 d까지 운동하는 동안 크기가  $2F$ 인 힘이 B에 한 일은  $2FL$ 이다. d에서 B의 속력을  $v_B$ 라고 하면  $\frac{1}{2}mv_B^2 = 2FL$ 에서  $v_B = \sqrt{\frac{4FL}{m}}$ 이다. 따라서 b에서 A의 속력은 d에서 B의 속력보다 작다.

ㄴ. b에서 A의 운동량의 크기를  $p_A$ 라 하고, d에서 B의 운동량의 크기를  $p_B$ 라고 하자. (가)에서  $\frac{p_A^2}{2(2m)} = FL$ 이고, (나)에서  $\frac{p_B^2}{2m} = 2FL$ 이다. 이를 정리하면,  $p_A = \sqrt{4mFL}$  이고  $p_B = \sqrt{4mFL}$ 이다. 따라서 b에서 A의 운동량의 크기와 d에서 B의 운동량의 크기는 같다.

ㄷ. A의 가속도의 크기는  $\frac{F}{2m}$ 이고, B의 가속도의 크기는  $\frac{2F}{m}$ 이다. 즉, 가속도의 크기는 B가 A의 4배이고, 이동 거리는 같으므로 걸린 시간은 A가 B의 2배이다.

**09** ㄱ. 물체의 높이가 2 m 증가하였으므로 물체의 중력에 의한 위치 에너지는  $1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ m} = 20 \text{ J}$ 만큼 증가한다.  
 ㄴ. 물체의 속력은 일정하고 높이만 변하므로 실이 물체를 당기는 힘이 물체에 한 일은 물체의 중력에 의한 위치 에너지 변화량과 같다. 따라서 실이 물체를 당기는 힘이 물체에 한 일은 20 J이다.

**바로알기** ㄷ. 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같고, 물체는 p에서 q까지 등속도 운동을 하므로 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 0이다.

**10** ㄴ. 물체의 속력이 일정하므로 물체의 운동 에너지는 일정하다.

ㄷ. 물체의 높이가  $h$ 만큼 높아졌으므로 물체의 중력에 의한 위치 에너지는  $mgh$ 만큼 증가한다.

**바로알기** ㄱ. 물체를 일정한 속력으로 들어 올렸으므로 물체의 가속도는 0이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘이 0이므로  $F = mg$ 이다.

**11** ㄱ. 높이가  $h$ 인 지점에서 중력에 의한 위치 에너지는 A가 B의 2배이므로 질량은 A가 B의 2배이다.

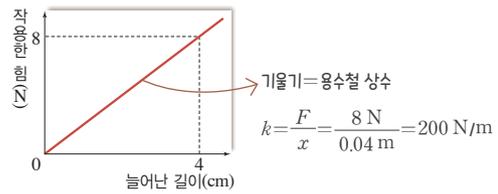
ㄷ. 크기가  $F$ 인 힘이 A와 B에 한 일은 같다. 따라서 지면으로부터 높이가  $h$ 인 지점을 통과할 때까지 역학적 에너지 증가량은 A와 B가 같다.

**바로알기** ㄴ. A의 질량을  $2m$ 이라고 하면, B의 질량은  $m$ 이다. 중력 가속도를  $g$ 라고 할 때, 지면으로부터 높이가  $h$ 인 지점에 도달할 때까지 A에 작용하는 알짜힘의 크기는  $F - 2mg$ 이고 B에 작용하는 알짜힘의 크기는  $F - mg$ 이다. 높이가  $h$ 인 지점에서 A, B의 속력을 각각  $v_A, v_B$ 라고 하면,  $(F - 2mg)h = \frac{1}{2}(2m)v_A^2$

이고,  $(F - mg)h = \frac{1}{2}mv_B^2$ 이다. 이를 정리하면,

$$v_A = \sqrt{\frac{(F - 2mg)h}{m}} \text{ 이고 } v_B = \sqrt{\frac{(2F - 2mg)h}{m}} \text{ 이다. 따라서 높이가 } h \text{인 지점을 통과하는 순간 물체의 속력은 A가 B보다 작다.}$$

**12** **꼼꼼 문제 분석**



(1) 용수철에 작용한 힘-늘어난 길이 그래프의 기울기는 용수철 상수를 의미한다. 따라서 용수철 상수는 200 N/m이다.

(2) 용수철이 4 cm 늘어날 때까지 힘이 한 일은 용수철의 탄성력에 의한 위치 에너지로 저장된다. 따라서 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는  $\frac{1}{2} \times 200 \text{ N/m} \times (0.04 \text{ m})^2 = 0.16 \text{ J}$ 이다.

**13** A와 B의 역학적 에너지의 합은 일정하다. A는 연직 위 방향으로 운동하며 속력이 증가하므로 A의 중력에 의한 위치 에너지와 운동 에너지는 모두 증가한다. 즉, A의 역학적 에너지는 증가한다. 따라서 B의 역학적 에너지는 감소한다.

**모범 답안** A의 역학적 에너지는 증가하고, B의 역학적 에너지는 감소한다.

채점 기준	배점
A와 B의 역학적 에너지 변화를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
A와 B 중 한 가지의 역학적 에너지 변화만 옳게 서술한 경우	50 %

**14** ㄴ. 지면에 도달할 때까지 12 m 낙하하므로 지면에 도달할 때까지 감소한 중력에 의한 위치 에너지는  $2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 12 \text{ m} = 240 \text{ J}$ 이다.

ㄷ. 역학적 에너지가 보존되므로 중력에 의한 위치 에너지가 감소한 만큼 운동 에너지가 증가한다. 따라서 지면에 도달할 순간 물체의 운동 에너지는 중력에 의한 위치 에너지의 감소량과 같은 240 J이다.

**바로알기** ㄱ. 공기 저항을 무시하므로 물체의 역학적 에너지는 일정하게 보존된다. 역학적 에너지가 보존되므로 높이가 3 m인 곳을 지날 때 감소한 중력에 의한 위치 에너지만큼 운동 에너지가 증가한다. 높이가 3 m인 곳에서 운동 에너지는  $2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (12 - 3) \text{ m} = 180 \text{ J}$ 이고, 중력에 의한 위치 에너지는  $2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 3 \text{ m} = 60 \text{ J}$ 이므로 운동 에너지는 중력에 의한 위치 에너지의 3배이다.

**15** 최고점인 b에서 물체의 속력은 0이다. 물체의 질량을  $m$ 이라고 하면, 물체가 a에서 b까지 연직 위로 운동하는 동안  $\frac{1}{2}mv^2 = mgh_1 \dots$  ①이고, 물체가 b에서 c까지 연직 아래로 운동

하는 동안  $\frac{1}{2}m(2v)^2 = mg(h_1 + h_2) \dots$  ②이다. ①, ②를 정리하면,  $4mgh_1 = mgh_1 + mgh_2$ 이므로  $h_2 = 3h_1$ 이다.

따라서  $\frac{h_1}{h_2} = \frac{1}{3}$ 이다.

**16** ㄱ. 지면을 기준점이라고 하면, b와 d의 높이가 같으므로 중력에 의한 위치 에너지는 b에서와 d에서가 같다.

ㄴ. a에서 c까지 운동 에너지 증가량은 중력에 의한 위치 에너지 감소량과 같고, c에서 d까지 운동 에너지 감소량은 c에서 d까지 중력에 의한 위치 에너지 증가량과 같다. 높이 차는 a에서 c까지가 c에서 d까지보다 크므로 a에서 c까지 롤러코스터의 운동 에너지 증가량은 c에서 d까지 운동 에너지 감소량보다 크다.

**바로알기** ㄷ. 롤러코스터의 역학적 에너지는 a, b, c, d에서 모두 같다.

**17** 물체의 질량을  $m$ 이라고 할 때, p, q, r에서 물체의 역학적 에너지는 모두 같으므로  $m \times 10 \times h = \frac{1}{2}mv^2 = m \times 10 \times 2 +$

$\frac{1}{2}m(4)^2$ 이 성립한다. 이를 정리하면,  $10h = 20 + 8 = 28$ 이므로

$h = 2.8$  m이다. 또한  $\frac{1}{2}v^2 = 28$ 에서  $v = 2\sqrt{14}$  m/s이다.

**18** ㄱ. A는 물체를 가만히 놓은 후 에너지가 증가하므로 운동 에너지를 나타낸 것이다. B는 에너지가 감소하므로 중력에 의한 위치 에너지를 나타낸 것이다.

ㄴ. 물체를 가만히 놓는 순간 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 100 J이므로  $2 \times 10 \times h = 100$ 에서  $h = 5$  m이다.

**바로알기** ㄷ.  $t_1$ 일 때 물체의 운동 에너지와 중력에 의한 위치 에너지는 같으므로,  $t_1$ 일 때 물체의 높이는  $\frac{5}{2}$  m이다. 따라서  $t_1 =$

$\sqrt{2 \times \frac{2.5}{10}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$  초이다.  $t_2$ 일 때 물체는 지면에 도달하므로  $t_2 =$

$\sqrt{2 \times \frac{5}{10}} = 1$  초이다. 그러므로  $\frac{t_1}{t_2} = \frac{\sqrt{2}}{2}$ 이다.

**19** 물체의 질량을  $m$ 이라고 하면 (가)에서 물체의 운동 에너지는  $\frac{1}{2}m(3v)^2 = \frac{9}{2}mv^2$ 이다. (나)에서 물체의 운동 에너지와 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지의 합은 (가)에서의 물체의 운동 에너지와 같으므로  $E_2 = \frac{9}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv^2 = 4mv^2$ 이다.

$E_1 = \frac{1}{2}mv^2$ 이므로  $\frac{E_1}{E_2} = \frac{1}{8}$ 이다.

**20** p에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 수평면에서 용수철을 최대 압축했을 때 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지와 같다. 따라서 용수철 상수를  $k$ 라고 하면,  $0.5 \times 10 \times 2 = \frac{1}{2} \times k \times (0.4)^2$ 에서  $k = 125$  N/m이다.

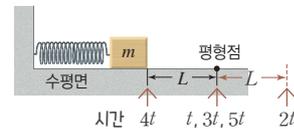
**21** 용수철 상수를  $k$ 라고 하자. (가)에서 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면  $\frac{1}{2} \times k \times (0.1)^2 = 1 \times 10 \times 1$ 에서  $k = 2000$  N/m

이다. (나)에서 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면,

$\frac{1}{2} \times 2000 \times x^2 = 2 \times 10 \times 2$ 에서  $x = 0.2$  m이다.

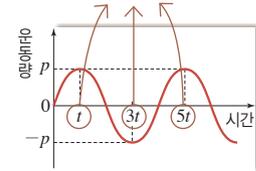
## 22 ———— **꼼꼼 문제 분석**

① 물체가 각 위치를 지나는 시간은 다음과 같다. 즉,  $2t$ 일 때와  $4t$ 일 때 물체의 속력은 0이고, 이때 가속도의 크기는 최대이다.



② 운동량을 시간에 따라 나타낸 그래프의 분석

평형점에서 물체의 운동 에너지는 최대



ㄱ. 물체를 가만히 놓은 후 물체의 운동 에너지의 최댓값은  $\frac{p^2}{2m}$

이고, 용수철을 최대 압축시켰을 때 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는  $\frac{1}{2}kL^2$ 이다. 역학적 에너지 보존 법칙을 적

용하면  $\frac{1}{2}kL^2 = \frac{p^2}{2m}$ 에서  $p = L\sqrt{mk}$ 이다.

ㄷ.  $\frac{3}{2}t$ 일 때 물체는 평형점에서 오른쪽에 있고  $\frac{7}{2}t$ 일 때 물체는

평형점에서 왼쪽에 있다. 따라서 용수철의 길이는  $\frac{3}{2}t$ 일 때가

$\frac{7}{2}t$ 일 때보다 길다.

**바로알기** ㄴ. 물체의 속력이 최댓값일 때 물체의 가속도는 0이고, 물체의 속력이 0일 때 물체의 가속도의 크기는 최대이다. 운동량의 크기가 클수록 물체의 속력이 크므로 물체의 가속도의 크기는  $t$ 일 때가  $2t$ 일 때보다 작다.

01 ③ 02 ④ 03 ⑤ 04 ①

01 ③ p에서 q까지 크기가  $F$ 인 힘이 한 일은 50 J이고, p에서 r까지 크기가  $F$ 인 힘이 한 일은 100 J이다. q에서 물체의 속력을  $v_q$ 라고 하면,  $\frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times v_q^2 = 50 \text{ J}$ 에서  $v_q = 5\sqrt{2} \text{ m/s}$ 이다. 따라서 물체의 속력은 r에서 q에서의  $\sqrt{2}$ 배이다.

① 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. r에서 물체의 운동 에너지는 100 J이므로 물체가 p에서 r까지 운동하는 동안 크기가  $F$ 인 힘이 한 일은 100 J이다. p에서 r까지의 거리는 10 m이므로  $F \times 10 \text{ m} = 100 \text{ J}$ 에서  $F = 10 \text{ N}$ 이다.

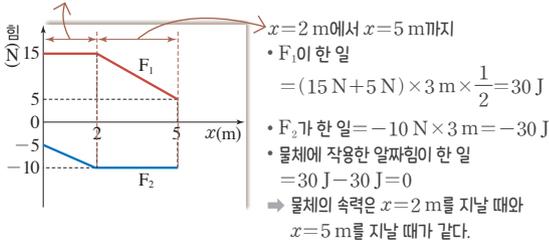
② r에서의 속력을  $v_r$ 이라고 하면,  $\frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times v_r^2 = 100 \text{ J}$ 에서  $v_r = 10 \text{ m/s}$ 이다.

④ 물체의 가속도의 크기는  $\frac{10 \text{ N}}{2 \text{ kg}} = 5 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 물체가 p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은  $\sqrt{\frac{2 \times 10 \text{ m}}{5 \text{ m/s}^2}} = 2 \text{ 초}$ 이다.

⑤ p에서 r까지 크기가  $F$ 인 힘이 한 일은 r에서 물체의 운동 에너지와 같은 100 J이다.

02 - **꼼꼼 문제 분석**

- $x=0$ 에서  $x=2$  m까지
- $F_1$ 이 한 일 =  $15 \text{ N} \times 2 \text{ m} = 30 \text{ J}$
- $F_2$ 가 한 일 =  $-(5 \text{ N} + 10 \text{ N}) \times 2 \text{ m} \times \frac{1}{2} = -15 \text{ J}$
- 물체에 작용한 알짜힘이 한 일 =  $30 \text{ J} - 15 \text{ J} = 15 \text{ J}$

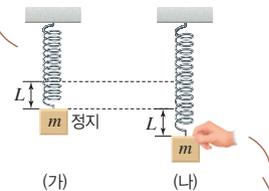


$F_1$ 이  $x=0$ 에서  $x=5$  m까지 한 일을  $W_1$ 이라고 하면,  $W_1 = 15 \times 2 + (15 + 5) \times 3 \times \frac{1}{2} = 60 \text{ (J)}$ 이다.  $F_2$ 가  $x=0$ 에서  $x=5$  m까지 한 일을  $W_2$ 라고 하면,  $W_2 = -(5 + 10) \times 2 \times \frac{1}{2} - 10 \times 3 = -45 \text{ (J)}$ 이다. 따라서  $F_1, F_2$ 가  $x=0$ 에서  $x=5$  m까지 한 일은  $W_1 + W_2 = 60 \text{ J} - 45 \text{ J} = 15 \text{ J}$ 이다.  $x=5$  m에서 물체의 속력을  $v$ 라고 하면,  $\frac{1}{2} \times 5 \times v^2 = 15$ 에서  $v = \sqrt{6} \text{ m/s}$ 이다.

03 물체의 질량을  $m$ 이라고 하면, p, q, r에서 물체의 역학적 에너지는 모두 같으므로  $mgh + \frac{1}{2} m(3v)^2 = mgh_1 + \frac{1}{2} mv^2 = mgh_2$ 이다. q에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 q에서 물체의 운동 에너지의 10배이므로  $mgh_1 = 10 \left( \frac{1}{2} mv^2 \right) = 5mv^2$ 에서  $v = \sqrt{\frac{gh_1}{5}}$ 이다. p, q에서  $mgh = mgh_1 + \frac{1}{10} mgh_1 - \frac{9}{10} mgh_1 = \frac{1}{5} mgh_1$ 이 성립하므로  $h_1 = 5h$ 이다.  $v = \sqrt{\frac{gh_1}{5}} = \sqrt{gh}$ 이고, p, r에서  $mgh + \frac{1}{2} m(3v)^2 = mgh_2$ 가 성립하므로  $mgh_2 = \frac{11}{2} mgh$ 에서  $h_2 = \frac{11}{2} h$ 이다. 따라서  $\frac{h_1}{h_2} = \frac{10}{11}$ 이다.

04 - **꼼꼼 문제 분석**

(가)에서 용수철이 물체를 당기는 탄성력의 크기는 물체에 작용하는 중력의 크기와 같다.



(나)에서 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는  $\frac{1}{2} k(2L)^2$ 이다.

ㄱ. 용수철 상수를  $k$ 라고 하면, (가)에서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이므로  $mg = kL$ 에서  $k = \frac{mg}{L}$ 이다.

① (가)에서 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는  $\frac{1}{2} kL^2 = \frac{1}{2} mgL$ 이고, (나)에서 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는  $\frac{1}{2} k(2L)^2 = 2mgL$ 이다. 따라서 (가)에서와 (나)에서 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지 차는  $2mgL - \frac{1}{2} mgL = \frac{3}{2} mgL$ 이다.

ㄷ. (가)에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지를 0이라고 하면, (나)에서 역학적 에너지는  $\frac{1}{2} k(2L)^2 - mgL = mgL$ 이다. 물체의 속력의 최댓값을  $v$ 라고 하면, 용수철이 원래 길이로부터 늘어난 길이가  $L$ 일 때 물체의 속력이 최대이다. 이때 역학적 에너지는  $\frac{1}{2} kL^2 + \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} mgL + \frac{1}{2} mv^2$ 이다.

따라서  $mgL = \frac{1}{2} mgL + \frac{1}{2} mv^2$ 에서  $v = \sqrt{gL}$ 이다.

## 02 / 열과 에너지

### 개념 확인 문제

95쪽

- 1 열 2 에너지 3  $W=JQ$  4 일당량 5 내부 에너지 6 높다  
7 전도 8 잠열

- 1 (1) × (2) ○ (3) ○ 2 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × 3 역학적  
4 (1) ㉠ (2) ㉡ (3) ㉢ (4) ㉣ 5 (1) × (2) ○

- 1 (1) 물체에 마찰력이나 공기 저항력이 작용하면 물체의 역학적 에너지가 열에너지 등으로 전환되어 보존되지 않는다.  
(2) 에너지 보존에 의해 물체의 총에너지는 항상 보존된다.  
(3) 통 안에 모래를 넣고 흔드는 것은 일을 한 것이다. 이때 한 일은 열로 전환되어 통 안에 들어 있는 모래의 온도가 올라간다.

- 2 (1) 줄의 실험 결과 일과 열 사이의 관계에 대해 정량적으로 알게 되었다.  
(2), (3) 열이 일로 전환되는 비율을 열의 일당량이라고 하며, 열의 일당량( $J$ )은 4.2 J/cal이다.  
(4) 줄의 실험 장치는 추의 역학적 에너지가 열에너지로 전환되는 원리를 이용하는 장치이다.

- 3 물체를 이루는 입자들이 무작위 운동을 하면서 가지는 역학적 에너지를 내부 에너지라고 한다.

- 4 열은 전도, 대류, 복사에 의한 방법으로 전달된다.

- 5 (1) 잠열은 물질의 상태를 변화시키는 데 사용되는 열이다. 따라서 상태 변화가 일어나는 온도가 일정한 구간에서도 물에 열 에너지가 전달된다.  
(2) 상태 변화가 일어날 때 물에 전달된 열에너지는 상태 변화에 이용되므로 물의 온도는 일정하게 유지된다.

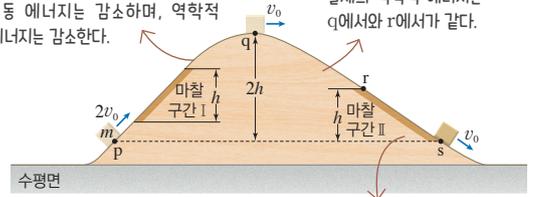
### 대표 자료 분석

96쪽

- 1 ㉠ 운동, ㉡ 작다 2  $\sqrt{2gh+v_0^2}$  3  $W_1 = \frac{3}{2}mv_0^2 - 2mgh$ ,  
 $W_2 = 2mgh$  4  $\sqrt{2}$  배 5 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) ×

### 꼼꼼 문제 분석

p에서 q까지 운동하는 동안 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 증가하고 운동 에너지는 감소하며, 역학적 에너지는 감소한다.  
물체의 역학적 에너지는 q에서와 r에서가 같다.



r에서 s까지 운동하는 동안 물체의 역학적 에너지 감소량은 II에서 I에서의 2배이다.

- 1 물체가 q에서 r까지 운동하는 동안 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 물체의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 물체의 운동 에너지 증가량과 같다.

- 2 r에서의 속력을  $v$ 라고 하면, 물체의 역학적 에너지는 q에서와 r에서가 같으므로  $mg(2h) + \frac{1}{2}mv_0^2 = mgh + \frac{1}{2}mv^2$ 에서  $v = \sqrt{2gh + v_0^2}$ 이다.

- 3 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안  $\frac{1}{2}m(2v_0)^2 - W_1 = mg(2h) + \frac{1}{2}mv_0^2$ 에서  $W_1 = \frac{3}{2}mv_0^2 - 2mgh$ 이다. 물체가 q에서 s까지 운동하는 동안  $2mgh + \frac{1}{2}mv_0^2 - W_2 = \frac{1}{2}mv_0^2$ 에서  $W_2 = 2mgh$ 이다.

- 4  $W_2 = 2W_1$ 이므로  $2mgh = 3mv_0^2 - 4mgh$ 에서  $h = \frac{v_0^2}{2g}$ 이다. 따라서 r에서의 속력은  $\sqrt{2gh + v_0^2} = \sqrt{2}v_0$ 이므로 s에서의 속력의  $\sqrt{2}$ 배이다.

- 5 (1) q에서 r까지 물체에는 마찰력이 작용하지 않으므로 물체의 역학적 에너지는 보존된다.  
(2) 물체가 p에서 s까지 운동하는 동안 I, II를 통과하므로 물체의 역학적 에너지는 감소한다. 따라서 물체의 역학적 에너지는 p에서가 s에서보다 크다.  
(3) 높이 변화량이 같으므로 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 같다.

- (4) r에서 s까지 운동하는 동안 물체의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은  $mgh$ 이고, 운동 에너지 감소량은  $\frac{1}{2}m(\sqrt{2}v_0)^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 = mgh$ 이다. 따라서 중력에 의한 위치 에너지 감소량과 운동 에너지 감소량은 같다.

- 01 ④    02 ③    03 ㄱ, ㄴ    04 ②    05 ②  
 06 (1)  $\frac{3}{4}mv^2$  (2)  $v\sqrt{\frac{5m}{2k}}$     07 ⑤    08 해설 참조  
 09 ①    10 ⑤    11 ③    12 ⑤    13 해설 참조  
 14 ①    15 (1) A: 흡수, B: 방출, C: 방출, D: 방출, E: 흡수, F: 흡수  
 16 해설 참조    17 해설 참조

**01** 물체의 질량을  $m$ , 마찰 구간에서의 마찰력의 크기를  $f$ 라고 하면, p에서 q까지 크기가  $F$ 인 힘이 물체에 한 일은  $FL = \frac{1}{2}m(2v)^2 \dots$  ①이고, q에서 r까지 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은  $(F-f)L = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}m(2v)^2 \dots$  ②이다. ①, ②를 정리하면,  $fL = \frac{7}{2}mv^2$ 이므로 물체가 q에서 r까지 운동하는 동안 물체의 역학적 에너지 감소량은  $\frac{7}{2}mv^2$ 이다.

**02** ← **꼼꼼 문제 분석**



마찰 구간에서 물체의 역학적 에너지 감소량  
 → 마찰 구간을 통과하기 전후의 운동 에너지 감소량

물체가 마찰 구간을 통과한 순간부터 용수철을 최대로 압축시킬 때까지 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면,

$$\frac{1}{2}m(2)^2 = \frac{1}{2} \times 100 \times (0.2)^2 \text{에서 } m = 1 \text{ kg이다.}$$

물체가 마찰 구간을 통과하기 전 수평면에서의 속력을  $v_1$ 이라고 하면,  $m \times 10 \times 0.8 = \frac{1}{2}mv_1^2$ 에서  $v_1 = 4 \text{ m/s}$ 이다. 마찰 구간에서 물체의 역학적 에너지 감소량은 물체의 운동 에너지 감소량과 같으므로  $E = \frac{1}{2} \times 1 \times (4)^2 - \frac{1}{2} \times 1 \times (2)^2 = 6 \text{ (J)}$ 이다.

**03** ㄱ. 나무 도막이 진동할 때, 나무판 빗면이 나무 도막에 작용하는 마찰력의 방향은 나무 도막의 운동 방향과 반대이므로 나무 도막은 진동하는 폭이 점점 감소하다가 멈추게 된다.  
 ㄴ. 나무 도막의 역학적 에너지는 나무판과의 마찰에 의해 열에너지, 소리 에너지 등으로 전환되므로 나무 도막의 역학적 에너지는 감소한다.

**바로알기** ㄷ. 사포는 나무판보다 마찰이 크므로 (다)에서가 (나)에서보다 나무 도막이 정지할 때까지 걸린 시간이 작다. 따라서  $t_{(나)} > t_{(다)}$ 이다.

**04** 물체의 역학적 에너지 감소량은 물체의 운동 에너지 감소량과 같다. 물체의 질량을  $m$ 이라고 하면, 마찰 구간 I을 지나기 전후  $\frac{1}{2}m(16v^2 - 4v^2) = F_1d$ 가 성립하여  $F_1 = \frac{6mv^2}{d}$ 이고, 마찰 구간 II를 지나기 전후  $\frac{1}{2}m(4v^2 - v^2) = F_2(2d)$ 가 성립하여  $F_2 = \frac{3mv^2}{4d}$ 이다. 따라서  $\frac{F_1}{F_2} = 8$ 이다.

**05** A가 용수철에서 분리된 순간부터 빗면에서 속력이 0이 될 때까지 A의 역학적 에너지는 보존되므로  $\frac{1}{2}(2m)v^2 = 2mgh$ 에서  $v = \sqrt{2gh} \dots$  ①이다. B가 용수철에서 분리된 직후의 속력을  $v_B$ 라 하고, 운동량 보존 법칙을 적용하면  $2mv = mv_B$ 에서  $v_B = 2v$ 이다. 따라서  $\frac{1}{2}mv_B^2 = F(4h)$ 에서  $2mv^2 = 4Fh \dots$  ②이다.

①을 ②에 대입하여 정리하면,  $2m(2gh) = 4Fh$ 에서  $F = mg$ 이다.

**06** (1) (가)의 마찰 구간을 지날 때 물체의 역학적 에너지 감소량을  $E$ 라고 하면,  $\frac{1}{2}m(2v)^2 - E = \frac{1}{2}kL^2 \dots$  ①이다. (나)의 마찰 구간을 지날 때 물체의 역학적 에너지 감소량은

$$E = \frac{1}{2}kL^2 - \frac{1}{2}mv^2 \dots$$
 ②이다. ①, ②를 정리하면,

$$2E = \frac{1}{2}m(2v)^2 - \frac{1}{2}mv^2 \text{에서 } E = \frac{3}{4}mv^2 \text{이다.}$$

(2)  $E = \frac{3}{4}mv^2$ 이므로 이를 ①에 대입하여 정리하면,  $\frac{1}{2}kL^2 = 2mv^2 - \frac{3}{4}mv^2 = \frac{5}{4}mv^2$ 이다. 따라서  $L = v\sqrt{\frac{5m}{2k}}$ 이다.

**07** ㄴ. 추가 낙하하면서 실에 의해 회전 날개가 회전한다. 따라서 추의 중력에 의한 위치 에너지는 회전 날개의 운동 에너지로 전환된다. 그러므로 ㉠은 운동 에너지이다.

ㄷ. ㉡은 열에너지이다. 추의 질량이 클수록 추의 중력에 의한 위치 에너지 감소량이 증가하므로 열에너지는 증가한다.

**바로알기** ㄱ. 추가 낙하할수록 추의 높이가 낮아지므로 추의 중력에 의한 위치 에너지는 감소한다.

**08** **모범 답안** 추 2개가 2 m 내려가는 동안 중력에 의한 위치 에너지 감소량은  $5 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ m} \times 2 = 200 \text{ J}$ 이고, 이때 발생한 열량은

$$\frac{200 \text{ J}}{4.2 \text{ J/cal}} = \frac{1000}{21} \text{ cal이다.}$$

채점 기준	배점
발생한 열량을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
발생한 열량만 옳게 쓴 경우	40 %

**09** p에서 q까지 물체의 중력에 의한 위치 에너지 증가량은  $1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 2.1 \text{ m} = 21 \text{ J}$ 이고, 물체의 운동 에너지 감소량은 42 J이다. 마찰에 의해 발생한 열에너지는 물체의 역학적 에너지 감소량과 같으므로 마찰에 의해 발생한 열에너지는

$$42 \text{ J} - 21 \text{ J} = 21 \text{ J} = \frac{21}{4.2} \text{ cal} = 5 \text{ cal이다.}$$

**10** ㄴ, ㄷ. 일이 열로 전환되는 예이다.

**바로알기** ㄱ. 열이 일로 전환되는 예이다.

**11** ㄷ. 온도가 높을수록 입자의 내부 에너지는 크다. 따라서 추에 부착되어 있는 사포지를 구성하는 입자의 내부 에너지는 추가 p를 지날 때가 q를 지날 때보다 작다.

**바로알기** ㄱ. 수레가 운동하면서 추에 부착되어 있는 사포와 감열지 사이에는 마찰이 작용하므로 추의 역학적 에너지가 열에너지로 전환된다. 따라서 추의 역학적 에너지는 p에서가 q에서보다 크다.

ㄴ. 추에 부착되어 있는 사포와 감열지 사이에 작용하는 마찰에 의해 열이 발생하므로 추에 부착되어 있는 사포지의 온도는 추가 p를 지날 때가 q를 지날 때보다 낮다. 온도가 높을수록 입자들의 무작위 운동이 활발하므로 추에 부착되어 있는 사포지를 구성하는 입자의 무작위 운동은 추가 q를 지날 때가 p를 지날 때보다 활발하다.

**12** ㄱ. 물이 수증기로 변하는 것은 액체가 기체로 변하는 것이므로 물은 열을 흡수한다.

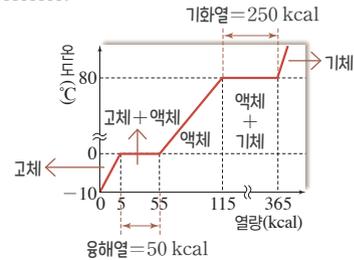
ㄷ. 방 내부에서 에어컨을 높은 곳에 설치하는 까닭은 차가운 공기가 아래로 내려가면서 대류가 원활하게 일어나게 하기 위해서이다. 이는 냄비 속 물의 온도가 높아지는 열 전달 방식인 대류로 설명할 수 있다.

**바로알기** ㄴ. 뜨거워진 냄비 손잡이를 잡을 때 장갑을 끼는 까닭은 주로 전도에 의한 열 전달을 막기 위해서이다.

**13** **모범 답안** 에어컨은 p, 난방기는 r에 설치한다. 공기는 차가워지면 아래로 내려가고 뜨거워지면 위로 올라가면서 순환하기 때문이다.

채점 기준	배점
에어컨과 난방기의 위치를 모두 옳게 쓰고, 대류와 연관지어 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
에어컨과 난방기의 위치만 옳게 쓴 경우	50 %

**14** **꼼꼼 문제 분석**



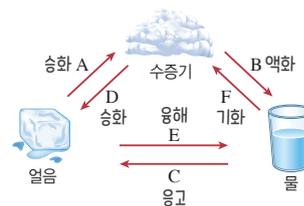
ㄱ. 물질의 온도가 70 °C일 때, 물질의 상태는 액체이다.

**바로알기** ㄴ. 물질의 온도가 0 °C일 때 물질은 고체에서 액체로 변하고, 물질의 온도가 80 °C일 때 물질은 액체에서 기체로 변한다.

ㄷ. 기화열은 물질의 상태가 액체에서 기체로 변하는 데 필요한 열이다. 따라서 기화열은  $365 \text{ kcal} - 115 \text{ kcal} = 250 \text{ kcal} = 250 \text{ kcal} \times 4200 \text{ J/kcal} = 105 \times 10^4 \text{ J}$ 이다.

**15** **꼼꼼 문제 분석**

• 잠열: 물질의 상태가 변할 때 방출하거나 흡수한 열이다. 물질의 온도를 변화시키는 데 사용되지 않고, 상태를 변화시키는 데 사용되는 열이다.



A, E, F 과정에서는 열을 흡수하고 B, C, D 과정에서는 열을 방출한다.

**16** **모범 답안** (가)에서 페트병을 압축시켰을 때 수증기가 형성되었으므로 병 내부의 물은 열을 흡수한다. (나)에서 수증기가 작은 물방울로 변하여 병 내부가 뿌옇게 흐려졌으므로 수증기는 열을 방출한다.

채점 기준	배점
(가), (나) 모두 옳게 서술한 경우	100 %
(가), (나) 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

**17** **모범 답안** ㉠에서 액체가 수증기로 변하므로 바닷물은 열을 흡수한다. ㉡에서 구름 속의 얼음 알갱이가 녹아서 비가 내리는 것이므로 얼음 알갱이가 열을 흡수한다.

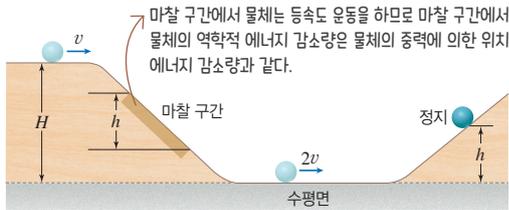
채점 기준	배점
㉠과 ㉡에서 물질의 상태 변화와 열에너지의 흡수에 대해 모두 옳게 서술한 경우	100 %
㉠과 ㉡에서 물질의 상태 변화만 옳게 서술한 경우	50 %
㉠과 ㉡에서 모두 열에너지를 흡수한다고만 서술한 경우	30 %

**실력UP문제**

101쪽

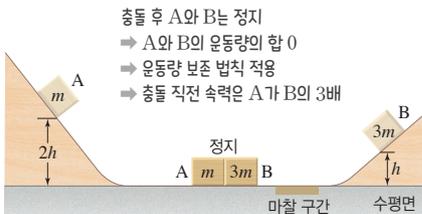
01 ② 02 ④ 03 ② 04 ④

**01** **꼼꼼 문제 분석**



물체의 질량을  $m$ 이라고 하면 마찰 구간에서 물체의 역학적 에너지 감소량은  $mgh = mgH + \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}m(2v)^2 \dots$  ①이다. 수평면에서 운동하는 물체가 높이가  $h$ 인 지점에서 정지할 때까지 물체의 역학적 에너지는 보존되므로  $\frac{1}{2}m(2v)^2 = mgh \dots$  ②가 성립한다. ②를 ①에 대입하여 정리하면,  $mgh = mgH + \frac{1}{4}mgh - mgh$ 에서  $H = \frac{7}{4}h$ 이다.

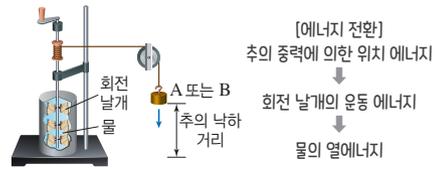
**02** **꼼꼼 문제 분석**



- 충돌 후 A와 B는 정지
- A와 B의 운동량의 합 0
- 운동량 보존 법칙 적용
- 충돌 직전 속력은 A가 B의 3배

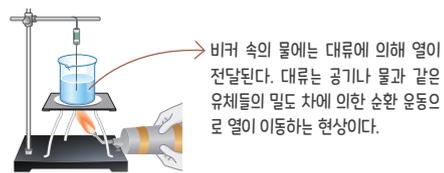
수평면에서 A와 B가 충돌한 후 정지했으므로 수평면에서 충돌하기 전 운동량의 크기는 A와 B가 같다. 질량은 B가 A의 3배이므로 충돌 전 속력은 A가 B의 3배이다. 수평면에서 충돌하기 직전 A의 속력을  $3v$ 라고 하면, B의 속력은  $v$ 이다. A의 역학적 에너지는  $2mgh = \frac{1}{2}m(3v)^2$ 이므로  $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{2}{9}mgh$ 이다. 마찰 구간에서 B의 역학적 에너지 감소량을  $E$ 라고 하면,  $3mgh - E = \frac{1}{2}(3m)v^2$ 에서  $E = 3mgh - \frac{3}{2}mv^2 = 3mgh - \frac{2}{3}mgh = \frac{7}{3}mgh$ 이다.

**03** **꼼꼼 문제 분석**



ㄴ. 추의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 A가 B보다 작으므로  $Q_1 < Q_2$ 이다.  
**[바로알기]** ㄱ. 중력 가속도를  $g$ 라고 하면, 추를 낙하시킬 때 A의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은  $2mgh$ 이고 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은  $3mgh$ 이다. 따라서 추가 낙하할 때, 추의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 A가 B보다 작다.  
 ㄷ. 열의 일당량을  $J$ 라고 하면,  $J = \frac{\text{추의 중력에 의한 위치 에너지 감소량}(J)}{\text{물이 얻은 열량(cal)}}$ 이다. 즉, 열의 일당량은 A를 낙하시킬 때와 B를 낙하시킬 때가 같다.

**04** **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. (가)에서 풍선의 부피는 감소하였으므로 기체의 온도는 낮아진다. 따라서 기체의 내부 에너지는 감소한다.  
 ㄷ. (나)에서 밀도 차에 의해 열이 전달되는 대류가 일어나 물의 온도가 올라간다.  
**[바로알기]** ㄴ. (나)에서 물이 가열된 아랫부분은 밀도가 감소하고 물의 윗부분은 상대적으로 밀도가 크다.

# 03 / 열효율

## 개념 확인 문제

105쪽

1 가역 2 비가역 3 역학적 4 클 5 에너지 6 에너지 보존 법칙 7 100 8 방향성

1 (1) ○ (2) × (3) × 2 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × 3 (1) 30 J  
 (2)  $\frac{3}{10}$  4 ㉠ 고온, ㉡ 저온 5 (1) ○ (2) ○ (3) ○

- (1) (가)에서 (나)로 변하는 현상은 가능하지만, (나)에서 (가)로는 스스로 일어나지 않으므로 비가역 현상이다.  
 (2) 비가역 현상이므로 외부와의 상호작용 없이 다시 원래의 상태로 되돌아가는 것은 불가능하다.  
 (3) 외부에서 에너지를 공급하면 (나)에서 (가)로 변하는 것이 가능하다.

- (1) 열기관은 열을 일로 바꾸는 장치이다.  
 (2) 열원에서 흡수한 열을 모두 일로 바꾸는 것은 불가능하다.  
 (3) 열효율이 1인 열기관을 만드는 것은 불가능하다.  
 (4) 고열원에서 열을 흡수하여 외부에 일을 하고 저열원으로 남은 열을 방출한다.

- (1) 열기관이 한 일은  $100\text{ J} - 70\text{ J} = 30\text{ J}$ 이다.  
 (2) 열기관의 열효율은  $\frac{30\text{ J}}{100\text{ J}} = \frac{3}{10}$ 이다.

- 에너지 흐름의 방향성에 위배되어 열효율이 100%인 열기관은 만들 수 없다.

- (1) 제1종 영구 기관은 외부에서 에너지를 공급하지 않아도 계속 일을 할 수 있는 기관으로 열역학 제1법칙에 위배된다.  
 (2) 열효율이 100%인 기관은 제2종 영구 기관으로 실제로는 만들 수 없다.  
 (3) 제2종 영구 기관은 에너지 보존 법칙(열역학 제1법칙)은 만족하지만 에너지 흐름의 방향성(열역학 제2법칙)에는 위배된다.

## 대표 자료 분석

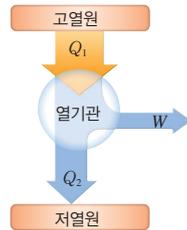
106쪽

1 ㉠ 고열원, ㉡ 저열원, ㉢ 작다 2  $\frac{1}{4}$  3  $15E_0$  4 (1) ×  
 (2) × (3) × (4) ○

## 꼼꼼 문제 분석

열기관이 고열원에서 흡수한 열에너지는 열기관이 한 일과 저열원으로 방출한 열의 합과 같다.

$$Q_1 = W + Q_2$$



에너지 보존 법칙을 적용하면 A에서는  $20E_0 = 5E_0 + \text{㉠}$ 이고, B에서는  $16E_0 = \text{㉡} + \text{㉢}$ 이다.

열기관	A	B
$Q_1$	$20E_0$	$16E_0$
$W$	$5E_0$	㉠
$Q_2$	㉡	㉢

A의 열효율은  $\frac{5E_0}{20E_0}$ 이고, B의 열효율은  $\frac{\text{㉡}}{16E_0}$ 이다.

- 에너지 흐름의 방향성에 의해 고열원에서 흡수한 열에너지의 일부가 저절로 저열원으로 빠져나간다.
- A의 열효율은  $\frac{5E_0}{20E_0} = \frac{1}{4}$ 이다.
- $Q_1 = W + Q_2$ 이므로 ㉡ =  $20E_0 - 5E_0 = 15E_0$ 이다.
- (1) 열기관이 한 일이 일정할 때, 고열원에서 흡수하는 열에너지가 작을수록 열효율이 크다.  
 (2) 열이 모두 일로 전환되면 열효율이 100%이다. 열효율이 100%인 열기관은 불가능하다.  
 (3) 열기관의 열효율은 A가 B의  $\frac{4}{3}$ 배이므로 B의 열효율은  $\frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{16}$ 이다. 따라서  $\frac{\text{㉡}}{16E_0} = \frac{3}{16}$ 에서 ㉡은  $3E_0$ 이다.  
 (4) ㉢ =  $16E_0 - \text{㉡} = 16E_0 - 3E_0 = 13E_0$ 이다. 따라서 ㉢은 ㉡보다 작다.

## 내신 만점 문제

107쪽~110쪽

- |      |      |                    |      |          |
|------|------|--------------------|------|----------|
| 01 ② | 02 ① | 03 ④               | 04 ② | 05 해설 참조 |
| 06 ④ | 07 ⑤ | 08 $\frac{W}{Q_1}$ | 09 ③ | 10 ④     |
| 11 ③ | 12 ③ | 13 ③               | 14 ④ | 15 ①     |
| 16 ① | 17 ③ | 18 ⑤               |      |          |

- 나. 손에 올려놓은 얼음이 녹는 과정은 자발적으로 일어나는 자연 현상이므로 비가역 현상이다.

**바로알기** ㄱ. 손에 올려놓은 얼음이 녹고 있으므로 손의 온도는 얼음의 온도보다 높다. 얼은 온도가 높은 손에서 온도가 낮은 얼음으로 이동한다.

ㄷ. 얼음이 녹는 것과 같이 자연 현상이 한 방향으로만 일어나는 것은 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.

**02** ㄱ. (가)에서는 추가 진동하고 있고 (나)에서는 추가 정지해 있으므로 추의 역학적 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

**바로알기** ㄴ. 추가 공기 분자와 충돌하며 추의 역학적 에너지가 공기 분자의 역학적 에너지로 전환된다. 따라서 상자 속 공기 분자의 역학적 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

ㄷ. 상자 내부의 총에너지는 추의 역학적 에너지와 공기 분자의 역학적 에너지의 합이다. 따라서 상자 내부의 총에너지는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

**03** ㄱ. 한 방울의 잉크가 물속에서 퍼지면 외부에서 에너지 공급 없이 원래의 상태로 되돌아갈 수 없으므로 이는 비가역 현상이다.

ㄷ. 열효율이 100%인 열기관을 제작할 수 없는 까닭은 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다. 열역학 제2법칙은 자연적으로 일어나는 현상에서의 방향성에 대한 설명이다. 잉크 방울이 물속에서 퍼지는 현상은 자연적으로 일어나는 현상이므로 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.

**바로알기** ㄴ. 외부에서 에너지를 공급하지 않으면 다시 원래의 상태로 되돌아갈 수 없는 비가역 현상이다.

**04** ㄷ. 에너지 전환 과정에서 사용할 수 없는 열에너지가 발생하는 것은 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다. 따라서 열효율이 100%인 열기관은 제작할 수 없다.

**바로알기** ㄱ. 에너지의 전환 과정에서 에너지의 총량은 보존되는데 법칙은 열역학 제1법칙이다.

ㄴ. 일은 열로 모두 바꿀 수 있지만, 열은 일로 모두 바꿀 수 없다.

**05** **품평 문제 분석**



비가역 현상은 한쪽 방향으로만 일어나 스스로 처음 상태로 되돌아갈 수 없는 과정이다. 자연계에서 일어나는 대부분의 현상은 비가역 현상이다.

**모범 답안** 찬물과 뜨거운 물을 섞으면 미지근한 물이 된다. 왕복 운동을 하는 진자가 공기 저항에 의해 멈춘다. 마찰이 있는 면에서 운동하는 물체가 정지한다. 등

채점 기준	배점
비가역 현상 두 가지를 모두 옳게 서술한 경우	100%
비가역 현상 한 가지만 옳게 서술한 경우	50%

**06** ㄴ. 자동차 엔진의 열효율은  $\frac{15 \text{ kJ}}{70 \text{ kJ}} = \frac{3}{14}$ 이다.

ㄷ. 휘발유에서 공급된 에너지는 최종적으로 다시 사용할 수 없는 열에너지로 전환된다.

**바로알기** ㄱ. 에너지의 총합은 보존되므로 자동차에 매초 공급되는 에너지와 자동차에서 매초 소모되는 에너지의 총합은 70 kJ로 같다.

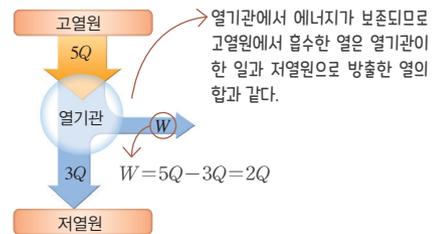
**07** ㄱ. 열기관은 열에너지를 역학적인 일로 바꾸는 장치이다.

ㄷ. 에너지가 전환될 때 에너지 중 일부는 다시 사용할 수 없는 열에너지의 형태로 방출되므로 열기관의 열효율은 100%가 될 수 없다.

**바로알기** ㄴ. 열기관의 열효율은 열기관에 공급된 열에 대해 열기관이 외부에 한 일의 비율이다.

**08** 열기관의 열효율은  $e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ 이다.

**09** **품평 문제 분석**



ㄷ. 열기관이 고열원으로부터 흡수한 열은 5Q이고, 열기관이 한 일은 2Q이므로 열기관의 열효율은  $\frac{2Q}{5Q} = 0.4$ 이다.

**바로알기** ㄱ. 열기관은 열에너지를 일로 전환하는 장치이다.

ㄴ. 열기관에서 에너지는 보존되므로  $W = 5Q - 3Q = 2Q$ 이다.

**10** ㄱ. 열기관의 열효율은  $e = \frac{\text{한 일}}{\text{흡수한 열}}$ 이다. 열효율은 A가

B의 2배이고, A, B가 한 일은 W로 같으므로 ㉠은 ㉡의 2배이다.

ㄴ. A가 고열원에서 흡수한 열을 Q라고 하면 B가 고열원에서 흡수한 열은 2Q이므로 A, B가 저열원으로 방출한 열은 각각  $Q - W$ ,  $2Q - W$ 이다. 따라서 저열원으로 방출하는 열은 A가 B보다 작다.

**바로알기** 다. A의 열효율이 일정하므로 고열원에서 흡수한 열이 증가하면 한 일도 증가한다.

**11** A의 열효율은  $\frac{15\text{kJ}}{20\text{kJ}} = \frac{3}{4}$ 이다. 열효율은 A와 B가 같으

므로  $\frac{\text{㉠}}{15\text{kJ}} = \frac{3}{4}$ 에서  $\text{㉠} = \frac{45}{4}\text{kJ}$ 이다.

**12** C. 열기관에서 에너지가 전환될 때 다시 사용할 수 없는 열 에너지가 항상 발생하므로 열기관이 한 일은 열기관에 공급된 열 에너지의 양보다 항상 작다. 이는 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다. 이처럼 열효율이 100%인 열기관은 제작할 수 없다.

**바로알기** A. 에너지 전환 과정에서 역학적 에너지가 많이 발생하는 것은 열효율이 100%인 열기관을 제작할 수 없는 까닭과는 관련이 없다.

B. 열효율이 100%인 열기관에서 열기관에 공급되는 열에너지는 열기관이 한 일과 같다. 손실되는 에너지와 일로 전환되는 에너지가 같은 것은 열효율이 100%인 열기관을 제작할 수 없는 까닭과는 관련이 없다.

**13** 가. 영구 기관은 영구적으로 일을 할 수 있는 기관이며, 이를 제작하는 것은 불가능하다.

나. 에너지가 전환되는 과정에서 반드시 열에너지가 발생하므로 열효율이 100%인 영구 기관을 만드는 것은 불가능하다.

**바로알기** 다. 에너지의 공급 없이 계속해서 일을 할 수 있는 제1종 영구 기관은 에너지 보존 법칙(열역학 제1법칙)에 위배된다. 제2종 영구 기관은 에너지 보존 법칙(열역학 제1법칙)에는 위배되지 않지만, 에너지 흐름의 방향성(열역학 제2법칙)에 위배된다.

**14** 가. 수조에서 떨어지는 물이 낮은 곳으로 흘러 내려간 후 외부에서 일을 해 주지 않으면 스스로 다시 위로 올라가지 못하므로 비가역 현상이다.

나. 외부에서 에너지 공급 없이 작동하여 계속 에너지를 생산하므로 제1종 영구 기관에 해당한다.

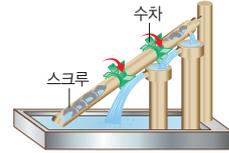
**바로알기** 다. 수력 발전기는 물의 역학적 에너지를 전기 에너지로 전환하는 장치인데, 에너지 보존 법칙에 따르면 전구에서 소비된 전기 에너지만큼 물의 역학적 에너지가 감소하므로 물을 처음 높이까지 올려 보낼 수 없다. 따라서 이 장치는 에너지 보존 법칙(열역학 제1법칙)에 위배된다.

**15** A. 수차가 작동하는 과정에서 발생하는 마찰과 공기 저항에 의해 수차는 영구적으로 작동할 수 없다.

**바로알기** B. 이 수차는 외부에서의 에너지 공급 없이 영구적으로 작동할 수 있는 제1종 영구 기관에 해당하므로 열역학 제1법칙(에너지 보존 법칙)에 위배된다.

C. 제1종 영구 기관은 열역학 제1법칙(에너지 보존 법칙)에 위배되므로 만들 수 없다. 제2종 영구 기관은 열역학 제1법칙(에너지 보존 법칙)에 위배되지 않지만, 열역학 제2법칙(에너지 흐름의 방향성)에 위배되므로 만들 수 없다.

**16** **꼼꼼 문제 분석**



수차를 돌리는 에너지 + 물을 원래 위치로 퍼 올리는 에너지 > 물이 처음에 가진 중력에 의한 위치 에너지

가. 물이 처음에 가진 중력에 의한 위치 에너지보다 수차를 돌리고 물을 원래 위치로 퍼 올리는 데 사용되는 에너지가 더 많으므로, 이 수차는 열역학 제1법칙(에너지 보존 법칙)에 위배되어 제작이 불가능하다.

**바로알기** 나. 열효율이 100%인 영구 기관은 제2종 영구 기관에 해당한다.

다. 물이 처음에 가진 중력에 의한 위치 에너지의 일부는 수차가 돌아가는 과정에서 마찰에 의해 열에너지로 전환된다. 이때 발생하는 열에너지는 다시 사용할 수 있는 에너지가 아니므로 수차는 외부로부터 에너지 공급 없이 계속 일을 할 수 없다.

**17** 다. 이 배는 열이 온도가 낮은 곳에서 스스로 온도가 높은 곳으로 이동해야 하므로 에너지의 흐름에 관한 열역학 제2법칙에 위배된다.

**바로알기** 가. 바닷물에서 흡수한 열에너지를 이용해서 엔진을 작동하고 차가운 바닷물을 배출하므로 열역학 제1법칙에 위배되지 않는다.

나. 열은 온도가 높은 곳에서 온도가 낮은 곳으로 스스로 이동한다. 온도가 낮은 곳에서 온도가 높은 곳으로 열을 이동시키기 위해서는 외부에서 에너지를 공급해야 한다.

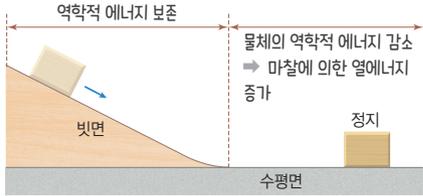
**18** 나. 제2종 영구 기관은 공급받은 에너지를 모두 일로 바꾸는 열효율이 100%인 기관이다.

다. 공급받은 열을 모두 일로 전환하는 영구 기관은 열역학 제2법칙에 위배되므로 제작이 불가능하다.

**바로알기** 가. ㉠으로 적절한 것은 에너지 보존 법칙(열역학 제1법칙)이다.

01 ① 02 ① 03 ③ 04 ④

01 품공 문제 분석

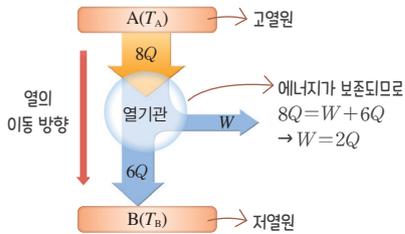


ㄱ. 수평면에 정지해 있는 물체가 스스로 빗면 위로 올라가는 현상은 일어나지 않으므로 비가역 현상이다.

**바로알기** ㄴ. 마찰에 의해 발생한 열에너지는 저절로 다시 모여서 물체의 역학적 에너지로 전환될 수 없다.

ㄷ. 열에너지가 다시 역학적 에너지로 전환되는 것은 에너지 보존 법칙인 열역학 제1법칙에 위배되지 않지만, 자연 현상의 비가역성을 설명하는 열역학 제2법칙에 위배된다.

02 품공 문제 분석

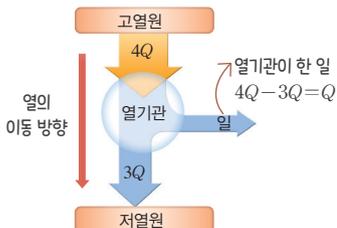


ㄱ. 열은 온도가 높은 곳에서 온도가 낮은 곳으로 이동한다. 열기관은 온도가  $T_A$ 인 고열원에서 열을 흡수하고 온도가  $T_B$ 인 저열원으로 열을 방출하므로  $T_A > T_B$ 이다.

**바로알기** ㄴ. 열기관에서 에너지는 보존되므로  $W = 8Q - 6Q = 2Q$ 이다.

ㄷ. 열기관의 열효율은 열기관에 공급된 열량에 대해 열기관이 한 일의 비율이다. 따라서 열기관의 열효율은  $\frac{W}{8Q} = \frac{2Q}{8Q} = \frac{1}{4}$ 이다.

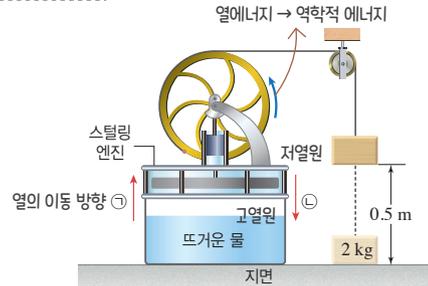
03 품공 문제 분석



열기관이 고열원에서  $4Q$ 의 열을 흡수했을 때, 열기관이 한 일은  $4Q - 3Q = Q$ 이다. 따라서 열기관의 열효율은  $\frac{Q}{4Q} = \frac{1}{4}$ 이다.

이 열기관이  $5Q$ 의 열을 흡수했을 때,  $\frac{1}{4} = \frac{W}{5Q}$ 이므로  $W = \frac{5}{4}Q$ 이다.

04 품공 문제 분석



ㄱ. 열은 온도가 높은 곳에서 온도가 낮은 곳으로 이동한다. 따라서 열의 이동 방향은 ㉠이다.

ㄷ. 스텔링 엔진이 흡수한 열에너지는  $50 \text{ J}$ 이므로 스텔링 엔진의 열효율은  $\frac{10 \text{ J}}{50 \text{ J}} = 0.2$ 이다.

**바로알기** ㄴ. 스텔링 엔진이 한 일은 물체의 중력에 의한 위치 에너지 증가량과 같다. 따라서 스텔링 엔진이 한 일은  $2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0.5 \text{ m} = 10 \text{ J}$ 이다.

중단원 핵심 정리

112쪽~113쪽

- ① 반대
- ②  $\frac{1}{2}mv^2$
- ③ 운동 에너지
- ④ 기준면
- ⑤ 위치
- ⑥ 감소량
- ⑦ 증가량
- ⑧ 열에너지
- ⑨ 열에너지
- ⑩ 높다
- ⑪ 온도
- ⑫ 전도
- ⑬ 대류
- ⑭ 전자기파
- ⑮ 잠열
- ⑯ 태양 복사 에너지
- ⑰ 가역
- ⑱ 비가역
- ⑲ 제1종
- ⑳ 제2종

중단원 마무리 문제

114쪽~117쪽

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

**01** 힘의 크기-위치 그래프 아랫부분의 넓이는 힘이 물체에 한 일이다. 물체가 3 m까지 이동하는 동안 수평 방향으로 작용한 힘이 한 일은 12 J이므로 물체가 3 m인 지점을 통과할 때 속력을  $v_1$ 이라고 하면,  $12 = \frac{1}{2} \times 2 \times v_1^2$ 에서  $v_1 = 2\sqrt{3}$  m/s이다. 물체가 6 m까지 이동하는 동안 수평 방향으로 작용한 힘이 한 일은 18 J이므로 물체가 6 m인 지점을 통과할 때 속력을  $v_2$ 라고 하면,  $18 = \frac{1}{2} \times 2 \times v_2^2$ 에서  $v_2 = 3\sqrt{2}$  m/s이다. 따라서 물체의 속력은 물체의 위치가 6 m일 때가 3 m일 때의  $\sqrt{\frac{3}{2}}$ 배이다.

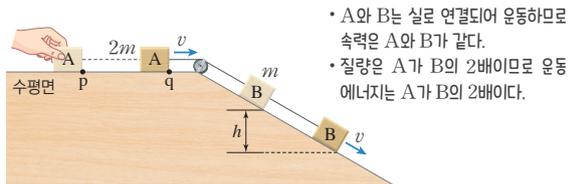
**02** F가 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 힘-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 물체가 받은 충격량과 같으므로 0초부터 6초까지 물체가 받은 충격량의 크기는  $4 \text{ N} \times 2 \text{ s} + 2 \text{ N} \times 4 \text{ s} = 16 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다. 따라서 6초일 때 물체의 속력은  $\frac{16 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{2 \text{ kg}} = 8 \text{ m/s}$ 이고, 0초부터 6초까지 F가 한 일은  $\frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times (8 \text{ m/s})^2 = 64 \text{ J}$ 이다.

**03** **품목 문제 분석**



A의 질량을  $2m$ 이라고 하면 B의 질량은  $m$ 이다. (가)에서 A의 운동량의 크기를  $p$ 라고 하면,  $E_0 = \frac{p^2}{2(2m)} = \frac{p^2}{4m}$ 이다. 충돌 과정에서 운동량의 총합은 보존되므로 (나)에서 A와 B의 운동량의 총합은  $p$ 이다. 따라서 (나)에서 A와 B의 운동 에너지의 총합은  $\frac{p^2}{2(2m+m)} = \frac{p^2}{6m}$ 이다. 그러므로 (나)에서 B의 운동 에너지는  $\frac{p^2}{6m} \left( \frac{1}{3} \right) = \frac{p^2}{18m} = \frac{2}{9} E_0$ 이다.

**04** **품목 문제 분석**



B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량 = A의 운동 에너지 증가량 + B의 운동 에너지 증가량

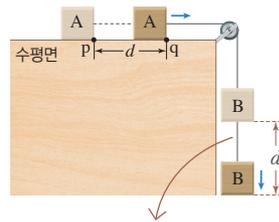
- A와 B는 실로 연결되어 운동하므로 속력은 A와 B가 같다.
- 질량은 A가 B의 2배이므로 운동 에너지는 A가 B의 2배이다.

ㄷ. A의 질량을  $2m$ 이라고 하면 B의 질량은  $m$ 이다. q에서 A의 속력을  $v$ 라고 하면,  $\frac{1}{2}(2m+m)v^2 = mgh$ 이므로  $v = \sqrt{\frac{2}{3}gh}$ 이다.

**바로알기** ㄱ. A는 수평면에서 운동하며 속력이 증가하므로 A의 역학적 에너지는 증가한다. A와 B의 역학적 에너지의 총합은 일정하므로 B의 역학적 에너지는 감소한다.

ㄴ. A, B의 운동 에너지는 증가하고, B의 중력에 의한 위치 에너지는 감소한다. B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 A와 B의 운동 에너지 증가량의 합과 같으므로 A의 운동 에너지 증가량은 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량보다 작다.

**05** **품목 문제 분석**



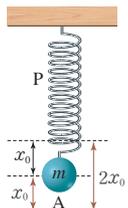
B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량( $m_Bgd$ ) = A의 운동 에너지 증가량 + B의 운동 에너지 증가량

ㄱ. A, B의 질량을 각각  $m_A, m_B$ 라고 하자. A와 B는 실로 연결되어 운동하므로 등가속도 운동을 하는 동안 속력은 같다. A가 q를 지날 때 A, B의 속력을  $v$ 라고 하면, A가 p에서 q까지 운동하는 동안 B의 운동 에너지 증가량은 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량의  $\frac{1}{3}$ 배이므로  $\frac{1}{2}m_Bv^2 = \frac{1}{3}m_Bgd$ 이다. 이를 정리하면,  $v = \sqrt{\frac{2gd}{3}}$ 이다. A, B의 역학적 에너지 총합은 일정하므로  $\frac{1}{2}m_Av^2 + \frac{1}{2}m_Bv^2 = m_Bgd$ 이고  $v = \sqrt{\frac{2gd}{3}}$ 이므로  $m_A = 2m_B$ 이다. A가 q를 지날 때 속력은 A와 B가 같으므로 q에서 운동 에너지는 A가 B의 2배이다.

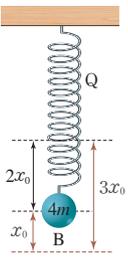
ㄷ. A가 p에서 q까지 운동하는 동안, 실이 B를 당기는 힘의 방향은 B의 운동 방향과 반대이므로 B의 역학적 에너지는 감소한다.

**바로알기** ㄴ. A가 p에서 q까지 운동하는 동안 A의 운동 에너지 증가량은  $\frac{1}{2}m_Av^2 = \frac{1}{2}(2m_B)\left(\frac{2}{3}gd\right) = \frac{2}{3}m_Bgd$ 이고, B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은  $m_Bgd$ 이다. 따라서 A가 p에서 q까지 운동하는 동안, A의 운동 에너지 증가량은 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량의  $\frac{2}{3}$ 배이다.

06 **꼼꼼 문제 분석**



용수철이 원래 길이로부터 늘어난 길이	A의 운동 에너지	A의 중력에 의한 위치 에너지	P에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지
$x_0$	$E_A$	$mgx_0$	$\frac{1}{2}kx_0^2$
$2x_0$	0	0	$\frac{1}{2}k(2x_0)^2=2kx_0^2$



용수철이 원래 길이로부터 늘어난 길이	B의 운동 에너지	B의 중력에 의한 위치 에너지	P에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지
$2x_0$	$E_B$	$4mgx_0$	$\frac{1}{2}(2k)(2x_0)^2=4kx_0^2$
$3x_0$	0	0	$\frac{1}{2}(2k)(3x_0)^2=9kx_0^2$

중력 가속도를  $g$ , P, Q의 용수철 상수를 각각  $k_P$ ,  $k_Q$ 라고 하면,  $k_P x_0 = mg$ 이고,  $k_Q(2x_0) = 4mg$ 에서  $k_Q x_0 = 2mg$ 이다. 따라서 P의 용수철 상수를  $k$ 라고 하면, Q의 용수철 상수는  $2k$ 이다. A의 운동에 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면,  $E_A + mgx_0 + \frac{1}{2}kx_0^2 = 2kx_0^2$ 이고,  $kx_0 = mg$ 이다. 이를 정리하면,

$$E_A = \frac{1}{2}mv_A^2 = \frac{1}{2}mgx_0 \text{ 이므로 } v_A = \sqrt{gx_0} \text{ 이다.}$$

B의 운동에 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면,  $E_B + 4mgx_0 + 4kx_0^2 = 9kx_0^2$ 이고  $kx_0 = mg$ 이다. 이를 정리하면,

$$E_B = \frac{1}{2}(4m)v_B^2 = mgx_0 \text{ 이므로 } v_B = \sqrt{\frac{gx_0}{2}} \text{ 이다. 따라서 } \frac{v_A}{v_B} = \sqrt{2} \text{ 이다.}$$

**07** ㄱ. 0부터  $t$ 까지 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 A와 B의 운동 에너지 증가량의 합과 같다. 따라서 0부터  $t$ 까지 B의 운동 에너지 증가량은  $3E_0 - E_0 = 2E_0$ 이다. 실로 연결되어 운동하는 A와 B의 속력은 같고, 운동 에너지 증가량은 B가 A의 2배이므로 질량은 B가 A의 2배이다. 따라서 B의 질량은  $2m$ 이다.

ㄴ. A의 운동 에너지 증가량은 0부터  $t$ 까지  $E_0 = \frac{1}{2}mv^2$ 이고,  $t$ 부터  $4t$ 까지  $\frac{1}{2}m(4v^2 - v^2) = \frac{3}{2}mv^2 = 3E_0$ 이다. 질량은 B가 A의 2배이므로  $t$ 부터  $4t$ 까지 B의 운동 에너지 증가량은  $6E_0$ 이다.

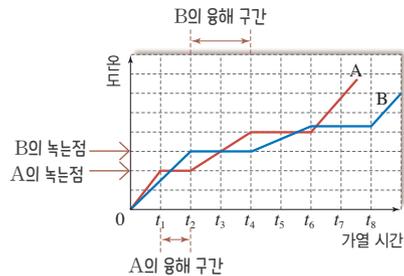
ㄷ. 0부터  $t$ 까지 A의 이동 거리는  $\frac{1}{2}vt$ 이고,  $t$ 부터  $4t$ 까지 A의 이동 거리는  $(v+2v) \times 3t \times \frac{1}{2} = \frac{9}{2}vt$ 이다. 따라서 B가 내려간 거리는  $t$ 부터  $4t$ 까지가 0부터  $t$ 까지의 9배이다. 그러므로  $t$ 부터  $4t$ 까지 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은  $3E_0 \times 9 = 27E_0$ 이다.  $t$ 부터  $4t$ 까지 A의 운동 에너지 증가량은  $3E_0$ 이고, B의 운동 에너지 증가량은  $6E_0$ 이므로 A와 B의 역학적 에너지 감소량의 합을  $W$ 라고 하면,  $27E_0 - W = 3E_0 + 6E_0$ 에서  $W = 18E_0$ 이다.

**08** ㄱ. 추 2개가 1 m 낙하했을 때, 추의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은  $2 \times 5 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m} = 100 \text{ J}$ 이다. 따라서 물이 흡수한 열량은 100 J이다.

ㄷ. 추의 위치 에너지 감소량이 클수록 물에 공급된 열량은 증가한다. 따라서 추의 낙하 거리가 클수록 물의 온도는 높아진다.

**바로알기** ㄴ. 추의 역학적 에너지가 물의 열에너지로 전환된다.

09 **꼼꼼 문제 분석**



물질의 상태가 변할 때 물질의 온도는 일정하고, 물질의 상태가 일정할 때 열을 가하면 물질의 온도는 높아진다. 시간에 따른 물질의 상태는 다음과 같다.

	고체	고체+액체	액체	액체+기체	기체
A	0~ $t_1$	$t_1$ ~ $t_2$	$t_2$ ~ $t_4$	$t_4$ ~ $t_6$	$t_6$ 이후
B	0~ $t_2$	$t_2$ ~ $t_4$	$t_4$ ~ $t_6$	$t_6$ ~ $t_8$	$t_8$ 이후

ㄱ.  $t_5$  일 때, B는 액체 상태이다.

**바로알기** ㄴ. 고체가 액체로 변하는 온도가 녹는점이므로 녹는점은 A가 B보다 낮다.

ㄷ. 용해열은 고체가 액체로 상태가 변화하는 데 필요한 열이다. A에  $t_1$ 부터  $t_2$ 까지 공급되는 열량이 A의 용해열이고, B에  $t_2$ 부터  $t_4$ 까지 공급되는 열량이 B의 용해열이다. 따라서 용해열은 A가 B보다 작다.

**10** 기체가 퍼지는 현상은 외부에서 에너지 공급 없이 다시 원래의 상태로 되돌아갈 수 없는 비가역 현상이다. 이는 자연 현상이 일어나는 방향에는 특별한 방향성이 있다는 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.

ㄱ. 에너지가 전환될 때 일부는 이용할 수 없는 열에너지로 전환된다. 열기관이 100 %인 열기관을 만들 수 없는 까닭은 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.

ㄴ. 물속에서 잉크가 퍼지는 현상은 한 방향으로만 일어나는 비가역 현상이며, 이는 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.

ㄷ. 찬물과 뜨거운 물을 섞으면 미지근한 물이 되지만, 미지근한 물이 뜨거운 물과 찬물로 스스로 분리되는 현상은 일어나지 않는다. 이는 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.

**11** 열기관의 열효율은  $0.3 = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$  이므로  $1 - \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{3}{10}$  에서  $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{7}{10}$  이다. 따라서  $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{10}{7}$  이다.

**12** 품고 문제 분석



[원리] 배 안으로 바닷물을 끌어들인 후 바닷물로부터 열을 빼내어 엔진을 돌리는 일로 전환하고 차가워진 바닷물은 배 뒤로 배출한다. 이렇게 바닷물로부터 에너지를 얻는 과정을 계속 반복하면서 배는 계속 움직인다.

[문제점] 엔진이 작동하면서 엔진의 온도가 올라간다. 열은 온도가 높은 곳에서 온도가 낮은 곳으로 이동하므로 바닷물의 열이 엔진으로 전달되지 않는다. 따라서 바닷물이 스스로 열을 방출하고 차갑게 냉각되는 일은 일어나지 않는다.

ㄷ. (나)에서 바닷물의 열이 뜨거운 엔진으로 이동하는 일은 일어나지 않는다. 이는 열역학 제2법칙에 위배된다.

**바로알기** ㄱ. (가)에서 쇠구슬은 바퀴를 회전시키는 일을 하므로 쇠구슬의 역학적 에너지는 감소한다.

ㄴ. 공기 저항과 마찰이 작용하므로 외부에서 에너지 공급 없이 기관이 계속 작동하는 것은 불가능하다.

**13** **모범 답안** (1) A, B에 작용한 알짜힘의 크기가 같고, 이동 거리가 같으므로  $W_A = W_B$ 이다.

(2) 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같으므로 Q에서 운동 에너지는 A와 B가 같다. 질량은 A가 B보다 크므로  $v_A < v_B$ 이다.

채점 기준	배점
(1) 힘이 한 일을 까닭과 함께 옳게 비교한 경우	100 %
힘이 한 일만 옳게 비교한 경우	50 %
(2) 속력을 까닭과 함께 옳게 비교한 경우	100 %
속력만 옳게 비교한 경우	50 %

**14** **모범 답안** 물체를 잡고 있을 때, 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는  $\frac{1}{2} \times 200 \times (0.4)^2 = 16(\text{J})$ 이다. 물체의 운동 에너지와 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지가 같을 때, 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는 8 J이다. 탄성력에 의한 위치 에너지가 8 J일 때, 평

형점으로부터 떨어진 거리를  $x$ 라고 하면  $\frac{1}{2} \times 200 \times x^2 = 8$ 에서  $x = \frac{\sqrt{2}}{5}$  m이다.

채점 기준	배점
떨어진 거리를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
떨어진 거리만 옳게 쓴 경우	50 %

**15** **모범 답안** (1) 물에 바른 물이 기화하면서 열을 흡수하여 체온이 낮아진다.

(2) 얼음에 뿌려진 물이 응고하면서 열을 방출하여 이글루 내부의 온도가 높아진다.

채점 기준	배점
(1) 기화라는 용어를 사용하여 열의 흡수를 서술한 경우	100 %
열의 흡수만을 서술한 경우	50 %
(2) 응고라는 용어를 사용하여 열의 방출을 서술한 경우	100 %
열의 방출만을 서술한 경우	50 %

**16** **모범 답안** (1) 열은 온도가  $T_1$ 인 열원에서 온도가  $T_2$ 인 열원으로 이동하므로  $T_1 > T_2$ 이다.

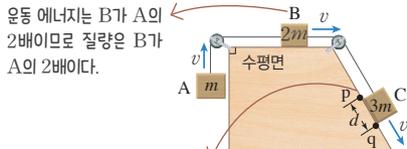
(2) 열기관의 열효율은  $\frac{3Q - 2Q}{3Q} = \frac{1}{3}$ 이다.

채점 기준	배점
(1) 열의 이동 방향과 연관지어 온도를 옳게 비교한 경우	100 %
온도만 옳게 비교한 경우	50 %
(2) 열효율을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
열효율만 옳게 쓴 경우	50 %

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

01 품퐁 문제 분석

C가 p에서 q까지  $d$ 만큼 이동하였으므로 A가 올라간 높이는  $d$ 이다. C가 p에서 q까지 운동하는 동안, A의 중력에 의한 위치 에너지 증가량은  $mgd$ 이다.



C의 중력에 의한 위치 에너지 감소량  
= (A, B, C의 운동 에너지 증가량) + A의 중력에 의한 위치 에너지 증가량

선택지 분석

- ㉠ B의 질량은  $2m$ 이다.
- ✗  $d = \frac{E_0}{4mg}$ 이다.  $\frac{E_0}{5mg}$
- ✗ C가 p에서 q까지 운동하는 동안 B의 운동 에너지 증가량은  $\frac{1}{5}E_0$ 이다.  $\frac{4}{15}E_0$

**전략적 풀이 ①** A, B, C는 실로 연결되어 운동하므로 A, B, C의 속력은 같다는 것을 이용한다.

ㄱ. (나)에서 A, B, C는 실로 연결되어 운동하고 있으므로 A, B, C의 속력은 같다. (나)에서 운동 에너지는 B가 A의 2배이므로 질량은 B가 A의 2배이다. 따라서 B의 질량은  $2m$ 이다.

㉡ A, B, C의 역학적 에너지 총합은 일정하다는 것을 이용한다.  
ㄴ. C가 p에서 q까지 이동하는 동안 A가 올라간 높이는  $d$ 이다. C가 p에서 q까지 운동하는 동안 A의 중력에 의한 위치 에너지와 A, B, C의 운동 에너지는 증가하고 C의 중력에 의한 위치 에너지는 감소한다. C가 q를 지나는 순간 A, B, C의 속력을  $v$ 라고 하면  $mgd + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}(2m)v^2 + \frac{1}{2}(3m)v^2 = E_0 \dots$  ①이다.

C가 p에서 q까지 운동하는 동안 A의 운동 에너지 증가량은 A의 중력에 의한 위치 에너지 증가량의  $\frac{2}{3}$ 배이므로  $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{2}{3}mgd \dots$  ②이다. ①, ②를 정리하면,  $mgd + \frac{2}{3}mgd + \frac{4}{3}mgd + 2mgd = E_0$ 이므로  $d = \frac{E_0}{5mg}$ 이다.

ㄷ. C가 p에서 q까지 운동하는 동안 B의 운동 에너지 증가량은  $\frac{1}{2}(2m)v^2 = mv^2 = \frac{4}{3}mgd = \frac{4}{15}E_0$ 이다.

02 품퐁 문제 분석

A와 B는 실로 연결되어 운동하므로 A와 B를 한 덩어리로 생각할 수 있다. A와 B를 한 덩어리로 생각하여 구간별로 물체의 운동을 분석하면 다음과 같다.

0초부터 2초까지		2초부터 4초까지	
A에 작용하는 중력	F의 크기	A에 작용하는 중력	F의 크기
20 N	40 N	20 N	10 N
A, B에 작용하는 알짜힘은 F의 방향과 같고 크기가 20 N이다. → A와 B의 속력 증가		A, B에 작용하는 알짜힘은 F의 방향과 반대이고 크기가 10 N이다. → A와 B의 속력 감소	

선택지 분석

- ㉠ 1초일 때, 실이 A를 당기는 힘의 크기는 28 N이다.
- ✗ 0초부터 2초까지 F가 한 일은 300 J이다. 320 J
- ✗ 4초일 때, B의 운동 에너지는 28 J이다. 24 J

**전략적 풀이 ①** A와 B에 작용하는 힘을 분석한다.

ㄱ. 1초일 때 실이 A를 당기는 힘의 크기를  $T$ 라 하고, 1초일 때 A와 B의 가속도의 크기를  $a$ 라고 하자.

1초일 때 A에 작용하는 알짜힘은  $2a = T - 20 \dots$  ①이고, B에 작용하는 알짜힘은  $3a = F - T = 40 - T \dots$  ②이다.

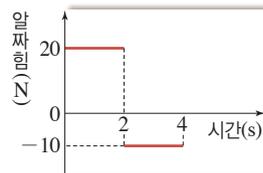
①, ②를 정리하면,  $a = 4 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 1초일 때 실이 A를 당기는 힘의 크기는 ①에서  $T = 2 \text{ kg} \times 4 \text{ m/s}^2 + 20 \text{ N} = 28 \text{ N}$ 이다.

㉡ A와 B에 작용하는 알짜힘을 구하고 가속도를 이용하여 속력의 변화를 구한다. 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같음을 이용한다.

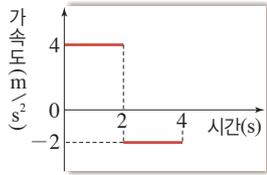
ㄴ. 0초부터 2초까지 A와 B의 가속도의 크기는  $4 \text{ m/s}^2$ 이다. 0초부터 2초까지 B가 이동한 거리를  $s_1$ 이라고 하면,

$s_1 = \frac{1}{2} \times 4 \text{ m/s}^2 \times (2 \text{ s})^2 = 8 \text{ m}$ 이다. 0초부터 2초까지 F의 크기는 40 N이므로 0초부터 2초까지 F가 한 일은  $40 \text{ N} \times 8 \text{ m} = 320 \text{ J}$ 이다.

ㄷ. A에는 연직 아래 방향으로 20 N의 중력이 작용하므로 A, B에 작용하는 알짜힘을 시간에 따라 나타내면 다음과 같다.



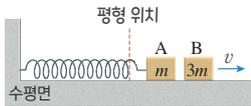
A와 B의 질량의 합은  $2 \text{ kg} + 3 \text{ kg} = 5 \text{ kg}$ 이므로 B의 가속도를 시간에 따라 나타내면 다음과 같다.



따라서 4초일 때, B의 속력은  $4 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ s} + (-2 \text{ m/s}^2) \times 2 \text{ s} = 4 \text{ m/s}$ 이므로 4초일 때 B의 운동 에너지는  $\frac{1}{2} \times 3 \text{ kg} \times (4 \text{ m/s})^2 = 24 \text{ J}$ 이다.

### 03 — 꼼꼼 문제 분석

A와 B가 평형 위치를 지나기 전과 지난 후의 운동 상태를 비교한다.



평형 위치를 지나기 전	평형 위치를 지난 후
A와 B는 접촉한 상태로 운동하며 속력이 증가한다.	용수철에 연결된 A의 속력은 감소하고, B는 A와 분리되는 순간의 속력을 유지하며 등속도 운동을 한다.

#### 선택지 분석

- |                                                                      |               |                                                                      |               |
|----------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------|---------------|
| <input type="checkbox"/> $\frac{L}{4} \sqrt{\frac{k}{m}}$            | $\frac{x}{L}$ | <input type="checkbox"/> $\frac{L}{2} \sqrt{\frac{k}{m}}$            | $\frac{x}{L}$ |
| <input type="checkbox"/> $\frac{L}{4} \sqrt{\frac{k}{m}}$            | $\frac{L}{3}$ | <input checked="" type="checkbox"/> $\frac{L}{2} \sqrt{\frac{k}{m}}$ | $\frac{L}{3}$ |
| <input type="checkbox"/> $\frac{L}{4} \sqrt{\frac{k}{m}}$            | $\frac{L}{2}$ | <input type="checkbox"/> $\frac{L}{2} \sqrt{\frac{k}{m}}$            | $\frac{L}{2}$ |
| <input checked="" type="checkbox"/> $\frac{L}{4} \sqrt{\frac{k}{m}}$ | $L$           |                                                                      |               |

**전략적 풀이** ① A와 B가 분리되는 순간의 속력을 구한다.

(가)에서 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는  $\frac{1}{2}kL^2$ 이다. A가 평형 위치를 지나는 순간부터 용수철이 A를 당기는 힘의 의해 A의 속력은 감소한다. 따라서 A와 B가 분리되는 지점은 평형 위치이다. 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면,

$$\frac{1}{2}kL^2 = \frac{1}{2}(m+3m)v^2 \text{에서 } v = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{k}{m}} \text{이다.}$$

② A와 B가 분리된 후 역학적 에너지 보존 법칙을 이용하여 용수철이 최대 늘어난 길이를 구한다.

A와 B가 분리된 후 용수철이 최대 늘어난 때 A의 운동 에너지는 0이다. 용수철이 최대 늘어난 때 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지를  $E$ 라고 하자. (가)에서 탄성력에 의한 위치 에너지는 (나)에서 탄성력에 의한 위치 에너지의 최댓값과 B의 운동 에너지의 합과 같다. 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면,

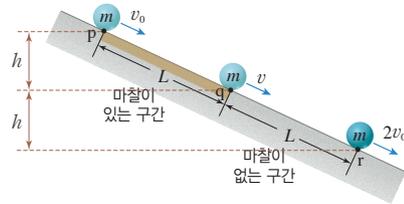
$$\frac{1}{2}kL^2 = E + \frac{1}{2}(3m)v^2 \text{에서 } E = \frac{1}{2}kL^2 - \frac{3}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kL^2$$

$-\frac{3}{8}kL^2 = \frac{1}{8}kL^2$ 이다.  $E = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{8}kL^2$ 이므로  $x = \frac{L}{2}$ 이다.

### 04 — 꼼꼼 문제 분석

p에서 q까지 물체의 역학적 에너지 감소량:  $mgh + \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2$

p에서 q까지 물체의 중력에 의한 위치 에너지 감소량:  $mgh$



#### 선택지 분석

- |                                                   |                                                  |                                |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> $\frac{1}{\sqrt{2}}v_0$  | <input type="checkbox"/> $\frac{1}{\sqrt{3}}v_0$ | <input type="checkbox"/> $v_0$ |
| <input checked="" type="checkbox"/> $\sqrt{2}v_0$ | <input type="checkbox"/> $\sqrt{3}v_0$           |                                |

**전략적 풀이** 물체의 중력에 의한 위치 에너지 변화량과 운동 에너지 변화량을 이용하여  $v$ 와  $v_0$ 의 관계를 구한다.

p와 q의 높이 차, q와 r의 높이 차를  $h$ 라 하고, 중력 가속도를  $g$ 라고 하자. p에서 q까지 물체의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 p에서 q까지 물체의 역학적 에너지 감소량의 2배이므로

$$2\left(mgh + \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2\right) = mgh \text{에서}$$

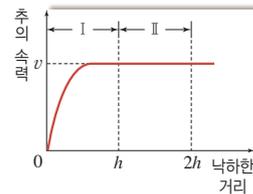
$mgh = mv^2 - mv_0^2 \dots \text{①}$ 이다. q에서 r까지 물체의 역학적 에너지는 보존되므로  $\frac{1}{2}mv^2 + mgh = \frac{1}{2}m(2v_0)^2$ 에서

$$mgh = 2mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2 \dots \text{②}$$
이다. ①, ②를 정리하면,

$$3mv_0^2 = \frac{3}{2}mv^2 \text{에서 } v = \sqrt{2}v_0 \text{이다.}$$

### 05 — 꼼꼼 문제 분석

- I: 운동 에너지 증가, 중력에 의한 위치 에너지 감소
- II: 중력에 의한 위치 에너지 감소



추의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 I에서와 II에서 같다.

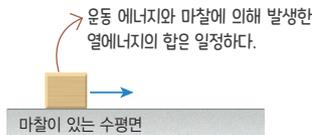
**선택지 분석**

- 추의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 I에서가 II에서보다 크다. **와 같다.**
- I에서 추의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 추의 운동 에너지 증가량보다 크다.
- 물이 얻은 열량은 I에서가 II에서보다 작다.

**전략적 풀이** ① I, II에서 물체의 높이 변화를 이용한다.

- ㄱ. I, II에서 물체가 낙하한 거리는 같으므로 추의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 같다.
- ② 추의 역학적 에너지 감소량이 물에 공급된 열량과 같음을 이용한다.
  - ㄴ. I에서 추의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 추의 운동 에너지 증가량과 물이 얻은 열량의 합과 같다.
  - ㄷ. 추의 질량을  $m$ , 중력 가속도를  $g$ 라고 하면, I에서 물이 얻은 열량은  $mgh - \frac{1}{2}mv^2$ 이고, II에서 물이 얻은 열량은  $mgh$ 이다. 따라서 물이 얻은 열량은 I에서가 II에서보다 작다.

**06** **꼼꼼 문제 분석**



마찰이 있는 면에서 운동하는 물체의 역학적 에너지는 열에너지로 전환된다.

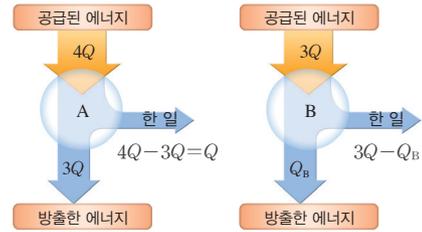
**선택지 분석**

- 열역학 제1법칙에 **위배된다.** **위배되지 않는다.**
- 가역 현상이다. **비가역**
- 외부에서 일을 해주면, ㉠과 반대 과정이 일어날 수 있다.

**전략적 풀이** ① 열역학 제1법칙과 열역학 제2법칙을 구분하여 적용한다.

- ㄱ. 열역학 제1법칙은 에너지 보존 법칙이다. 마찰이 있는 면에서 운동하는 물체의 운동 에너지가 열에너지로 전환되더라도 총 에너지는 보존되므로 열역학 제1법칙에 위배되지 않는다.
- ② 가역 현상과 비가역 현상을 구분한다.
  - ㄴ. 마찰이 있는 면에서 운동하는 물체의 운동 에너지가 열에너지로 전환되는 것은 자연적으로 일어나는 현상이므로 비가역 현상이다.
  - ㄷ. 비가역 현상은 외부에서 일을 해주면 반대 방향으로의 현상이 일어날 수 있다.

**07** **꼼꼼 문제 분석**



**선택지 분석**

- $e = \frac{1}{4}$ 이다.
- $Q_B = \frac{3}{4}Q$ 이다.  **$\frac{9}{4}Q$**
- B가 한 일은  **$\frac{9}{4}Q$** 이다.  **$\frac{3}{4}Q$**

**전략적 풀이** ① A의 열효율을 구한다.

- ㄱ. A의 열효율은  $e = \frac{4Q - 3Q}{4Q} = \frac{1}{4}$ 이다.
- ② A와 B의 열효율이 같음을 이용한다.
  - ㄴ. A, B의 열효율은 같으므로 B의 열효율은  $\frac{1}{4} = \frac{3Q - Q_B}{3Q}$ 이다. 따라서  $Q_B = \frac{9}{4}Q$ 이다.
  - ㄷ. B가 한 일은  $3Q - Q_B = 3Q - \frac{9}{4}Q = \frac{3}{4}Q$ 이다.



## 전기자기

### 1 전기

#### 01 / 전기장과 전위차

##### 개념 확인 문제

124쪽

- 1 중성   2 밀어내는   3 끌어당기는   4 비례   5 전기장  
 6 양(+)   7  $\frac{F}{q}$    8 전위   9 전위차(전압)

- 1  $4F$    2 (1)  $-x$  (2)  $+x$  (3)  $-x$    3 오른쪽,  $E$    4 ㉠ 양(+),  
 ㉡ 높고, ㉢ 낮다   5  $5V$

1 쿨롱 법칙에 따라 A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기  $F = k \frac{3q \times q}{r^2} = k \frac{3q^2}{r^2}$ 이다. A와 B 사이의 거리가  $\frac{r}{2}$ 이 되었을 때 전기력의 크기를  $F'$ 라고 하면  $F' = k \frac{3q \times q}{(\frac{r}{2})^2} = k \frac{12q^2}{r^2} = 4F$ 이므로 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는  $4F$ 이다.

- 2 (1) A와 B가 띠는 전하의 종류가 서로 같으므로 두 전하 사이에는 서로 밀어내는 전기력이 작용한다. 따라서 B가 A에 작용하는 전기력의 방향은  $-x$  방향이다.  
 (2) A와 C가 띠는 전하의 종류가 서로 다르므로 두 전하 사이에는 서로 끌어당기는 전기력이 작용한다. 따라서 C가 A에 작용하는 전기력의 방향은  $+x$  방향이다.  
 (3) 전기력의 크기는 두 전하량의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 전하량의 크기는 B가 가장 크고, A와 B 사이의 거리가 A와 C 사이의 거리보다 짧으므로 B가 A에 작용하는 전기력의 크기는 C가 A에 작용하는 전기력의 크기보다 크다. 따라서 A에 작용하는 전기력의 방향은 B가 A에 작용하는 전기력의 방향과 같은  $-x$  방향이다.

3 양(+)전하 주위에는 양(+)전하로부터 나오는 방향으로 전기장이 형성된다. A는 그대로 있는 상태에서 B 대신 C를 두어도 전기장의 방향은 오른쪽으로 변하지 않는다. 이때 B와 C의 전하량의 크기가 같으므로 전기장의 세기는  $E$ 이다.

4 전위는 전기장 안에서 기준점에 대해 ㉠ 양(+)전하가 가지는 전기력에 의한 위치 에너지이다. 전위는 양(+)전하에 가까울수록 ㉡ 높고, 음(-)전하에 가까울수록 ㉢ 낮다.

5 전위차는 전하를 기준점으로부터 어떤 위치까지 옮기는 데 한 일을 전하량으로 나눈 값이므로  $V = \frac{W}{q} = \frac{10J}{+2C} = 5V$ 이다.

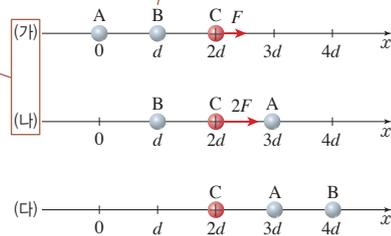
##### 대표 자료 분석 1

125쪽

- 1 음(-)전하   2 양(+)전하   3  $+x$  방향,  $F$    4 (1) ○  
 (2) × (3) ○ (4) × (5) ○

##### 꼼꼼 문제 분석

(가)와 (나)를 비교했을 때 A의 위치 변화에 따라 C에 작용하는 전기력의 크기가 커졌으므로 A는 음(-)전하이다.  
 (가)에서 음(-)전하인 A가 C에 작용하는 전기력의 방향은  $-x$  방향이지만 C에 작용하는 전기력의 방향은  $+x$  방향이므로 B는 양(+)전하이다.



- 1 (가)와 (나)를 비교했을 때 A의 위치 변화에 따라 (나)에서 C에 작용하는 전기력의 크기가 커졌으므로 A는 음(-)전하이다.  
 2 A는 음(-)전하, C는 양(+)전하이므로 (가)에서 A가 C에 작용하는 전기력의 방향은  $-x$  방향이다. 이때 C에 작용하는 전기력의 방향은  $+x$  방향이므로 B는 양(+)전하이다.  
 3 (가)에서 A에 작용하는 전기력의 크기  $2F = F_{AB} + F_{AC}$ 이고, C에 작용하는 전기력의 크기  $F = F_{BC} - F_{AC}$ 이다. (나)에서 C에 작용하는 전기력의 크기  $2F = 4F_{AC} + F_{BC}$ 이므로 이 식들을 연립하면  $F_{AB} = \frac{9}{5}F$ ,  $F_{AC} = \frac{1}{5}F$ ,  $F_{BC} = \frac{6}{5}F$ 이다. (다)에서 A에 작용하는 전기력의 크기는  $F_{AB} - 4F_{AC}$ 이므로  $+x$  방향으로 크기가  $F$ 인 전기력이 작용한다.

- 4 (1) A는 음(-)전하이므로, B와 C는 양(+)전하이므로 (가)에서 A에 작용하는 전기력의 방향은  $+x$  방향이다.  
 (2) 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. (가)에서 A와 C 사이의 거리는  $2d$

이고, (나)에서 A와 C 사이의 거리는  $d$ 이므로 (나)에서 A가 C에 작용하는 전기력의 크기는 (가)에서의 4배이다. 즉, (나)에서 A가 C에 작용하는 전기력의 크기는  $4F_{AC}$ 이다.

(3) (나)에서 A와 B의 위치를 서로 바꾸면 A와 B가 C에 작용하는 전기력의 방향은  $-x$  방향이므로 기준과 반대가 된다.

(4) (나)에서 C가 A에 작용하는 전기력은 인력이므로  $-x$  방향이다.

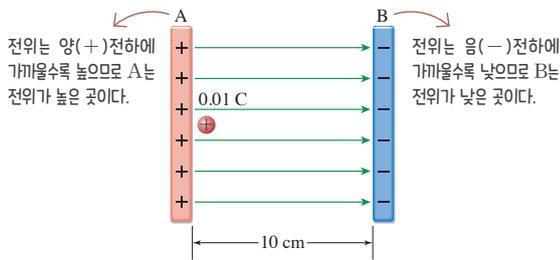
(5) (다)에서 A가 B에 작용하는 전기력은  $-x$  방향으로  $F_{AB}$ 이고, C가 B에 작용하는 전기력은  $+x$  방향으로  $\frac{F_{BC}}{4}$ 이므로 B에 작용하는 전기력은  $-x$  방향으로  $\frac{3}{2}F$ 이다.

## 대표 자료 분석 2

126쪽

1 0.4 J   2 400 V/m   3 4 N   4 (1) 일정하다 (2) 등가속도  
(3) 높다 (4) 0.4 J   5 (1) ○ (2) × (3) × (4) ×

### 꼼꼼 문제 분석



1 전기력에 의한 위치 에너지를  $W$ , 전하량을  $q$ , 전위차를  $V$  라고 하면  $W=qV$ 이므로  $W=0.01\text{ C} \times 40\text{ V}=0.4\text{ J}$ 이다.

2 A와 B 사이에서 전기력이 전하에 하는 일  $W=Fs=qEd$  이고, 전기력에 의한 위치 에너지는  $W=qV$ 이므로 두 식을 정리하면  $E=\frac{V}{d}$ 이다. 즉, 전기장의 세기는 전위차를 두 금속판

사이의 거리로 나눈 것이므로  $E=\frac{40\text{ V}}{0.1\text{ m}}=400\text{ V/m}$ 이다.

3 전기장의 세기  $E=\frac{F}{q}$ 에서  $F=qE$ 이므로  $F=0.01\text{ C} \times 400\text{ V/m}=4\text{ N}$ 이다.

4 (1) 전하에 작용하는 전기력의 크기  $F=qE$ 에서 전하량과 전기장의 세기가 일정하므로 전기력의 크기도 일정하다.

(2) 양(+)-전하가 A에서 B까지 운동하는 동안 크기와 방향이 일정한 힘을 받으므로 등가속도 직선 운동을 한다.

(3) 전위는 양(+)-전하에 가까울수록 높고, 음(-)-전하에 가까울수록 낮으므로 전위는 A에서가 B에서보다 높다.

(4) B를 기준면으로 할 때 A에 놓인 양(+)-전하의 전기력에 의한 위치 에너지가 0.4 J이므로 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 B에서의 운동 에너지는 0.4 J이다.

5 (1) 전기장의 방향은 양(+)-전하가 받는 전기력의 방향과 같다. 양(+)-전하는 오른쪽으로 전기력을 받아 B 쪽으로 운동하므로 전기장의 방향과 전하의 운동 방향은 같다.

(2)  $V=\frac{E}{d}$ 에 따라 두 금속판 사이의 전위차( $V$ )는 전기장의 세기( $E$ )에 비례한다. 따라서 두 금속판 사이의 전위차가 증가하면 전기장의 세기도 증가한다.

(3) 전기장의 세기는 두 금속판에 대전된 전하량에 영향을 받는다. 금속판 사이에 놓인 전하의 전하량과 관계없으므로 전하량이 큰 전하로 바뀌어도 전기장의 세기는 일정하다.

(4) 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 전하의 운동 에너지는 전기력에 의한 위치 에너지로 결정된다.  $W=qV$ 에 따라 전기력에 의한 위치 에너지는 전하량과 두 금속판 사이의 전위차에 영향을 받는다. 따라서 전하의 질량이 커져도 운동 에너지는 변하지 않는다.

## 내신 만점 문제

127쪽~130쪽

01 ①	02 ②	03 ⑤	04 해설 참조	05 ⑤
06 ⑤	07 ③	08 해설 참조	09 ②	10 ③
11 ①	12 ③	13 ③	14 ①	15 해설 참조
16 ④	17 ①	18 ②	19 ④	

01 ㄱ. A와 B는 서로 같은 종류의 전하를 띠므로 두 전하 사이에 서로 밀어내는 전기력이 작용한다.

ㄴ. 작용 반작용 법칙에 따라 A와 B에 작용하는 전기력의 크기는 같고, 방향은 서로 반대이다.

ㄷ. 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하량의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 A의 전하량의 크기가 커지면 A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기도 커진다.

02 쿨롱 법칙에 따라 (가)에서  $F_1=k\frac{3Q^2}{r^2}$ 이고, (나)에서  $F_2=$

$$k\frac{Q^2}{\left(\frac{r}{2}\right)^2}=k\frac{4Q^2}{r^2}\text{이므로 } \frac{F_1}{F_2}=\frac{3}{4}\text{이다.}$$

**03** 쿨롱 법칙에 따라 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하량의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. (나)에서 A와 B 사이의 거리는 (가)의  $\frac{1}{2}$ 배이므로 (나)에서 A가 B에 작용하는 전기력의 크기는 (가)의 4배이다. 두 전하 사이에 작용하는 전기력은 작용 반작용 법칙을 따르므로 (나)에서 B가 A에 작용하는 전기력의 크기도  $4F$ 이다.

**04** A가 음(-)전하라면 A가 B에 작용하는 전기력의 방향은  $-x$  방향이다. C가 B에 작용하는 전기력의 방향도  $-x$  방향이므로 B가  $+x$  방향으로 전기력을 받는다는 조건을 만족하지 못한다. 따라서 A는 양(+)전하이다.

(1) 양(+)전하

(2) **모범 답안** B가 받는 전기력의 크기  $F = F_{AB} - F_{BC}$ 이고, C가 받는 전기력의 크기  $F = F_{AC} + F_{BC}$ 이므로 두 식을 연립하면  $2F = F_{AB} + F_{AC}$ 이다.  $F_{AB} + F_{AC}$ 는 A가 받는 전기력의 크기와 같으므로 A가 받는 전기력은  $-x$  방향으로  $2F$ 이다.

**다른 풀이** B와 C가 받는 전기력은  $+x$  방향으로  $F$ 이므로  $+x$  방향으로 크기가  $2F$ 인 전기력이 작용한다. 작용 반작용 법칙에 따라 전체 계에서 전기력의 합은 0이 되어야 하므로 A가 받는 전기력은  $-x$  방향으로  $2F$ 이다.

채점 기준	배점
(1) A가 띠는 전하의 종류를 옳게 쓴 경우	50 %
(2) A가 받는 전기력의 방향과 크기를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	50 %
A가 받는 전기력의 방향과 크기 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	30 %

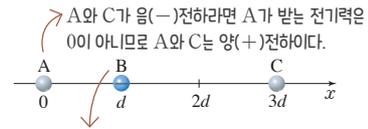
**05** ㄱ. A가 받는 전기력이 0이므로 B와 C는 서로 다른 종류의 전하를 띠어야 한다. 따라서 A와 C는 서로 같은 종류의 전하를 띠고, B는 A, C와 서로 다른 종류의 전하를 띤다.

ㄴ. A와 B의 전하량의 크기가 같고, A와 B 사이의 거리보다 A와 C 사이의 거리가 크므로 쿨롱 법칙에 따라 C의 전하량의 크기는 A보다 크다.

ㄷ. A와 C는 같은 종류의 전하를 띠므로 두 전하 사이에는 서로 밀어내는 힘이 작용한다. B와 C의 위치를 서로 바꿔 고정하면 A는 전하량의 크기가 가장 큰 C와 가까워지므로 A가 받는 전기력의 방향은  $-x$  방향이다.

**06** A가 C에 작용하는 전기력의 크기와 B가 C에 작용하는 전기력의 크기가 같으므로 쿨롱 법칙에 따라 A와 B의 전하량의 크기는 C와 떨어진 거리의 제곱에 비례한다. A와 C 사이의 거리는  $3d$ 이고, B와 C 사이의 거리는  $2d$ 이므로  $\frac{q_1}{q_2} = \frac{9}{4}$ 이다.

**07** **꼼꼼 문제 분석**



B가 받는 전기력이 0이므로 C의 전하량의 크기는 A의 4배이다.

ㄱ. A와 C 사이에 놓인 B가 받는 전기력이 0이므로 A와 C가 띠는 전하의 종류는 서로 같다. 이때 A가 받는 전기력도 0이므로 A와 C는 양(+)전하이여야 한다.

ㄴ. B가 받는 전기력이 0이고, B와 A, C 사이의 거리 비는 1 : 2이므로 쿨롱 법칙에 따라 C의 전하량의 크기는 A의 4배이다. 또한 A가 받는 전기력이 0이고, A와 B, C 사이의 거리 비는 1 : 3이므로 C의 전하량의 크기는 B의 9배이다. C의 전하량의 크기를 기준으로 하면 A, B, C의 전하량의 크기 비는  $\frac{1}{4} : \frac{1}{9} : 1$ 이므로 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.

**바로알기** ㄷ. C와 A, B 사이의 거리 비는 3 : 2이고, A와 B의 전하량의 크기 비는 9 : 4이므로 C가 A와 B로부터 받는 전기력은 0이다.

**08** **모범 답안** B가 받는 전기력의 크기  $F = k \frac{Q^2}{d^2}$ 이므로 A가 B에 작용하는 전기력은  $+x$  방향으로  $F$ 이고, C가 B에 작용하는 전기력은  $-x$  방향으로  $2F$ 이다. C를  $x=3d$ 로 옮겨 고정시키면 B와 C 사이의 거리가 2배로 늘어나므로 C가 B에 작용하는 전기력은  $-x$  방향으로  $\frac{F}{2}$ 이다. 따라서 B가 받는 전기력은  $+x$  방향으로  $\frac{F}{2}$ 이다.

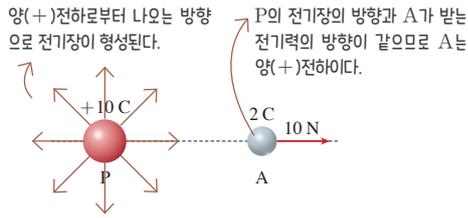
채점 기준	배점
B가 받는 전기력의 방향과 크기를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
B가 받는 전기력의 방향과 크기 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	50 %

**09** ㄷ. A와 B는 같은 종류의 전하를 띠고, (나)에서 B가 받는 전기력은 0이므로 C는 A, B와 같은 종류의 전하를 띤다. 즉, A, B, C는 모두 같은 종류의 전하를 띠므로 A와 C 사이에는 서로 밀어내는 힘이 작용한다.

**바로알기** ㄱ. (가)에서 B는  $+x$  방향으로 전기력을 받으므로 A와 B는 같은 종류의 전하를 띤다.

ㄴ. (나)에서 B가 받는 전기력이 0이므로 A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기는 B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기와 같다. A와 B 사이의 거리는  $d$ 이고, B와 C 사이의 거리는  $2d$ 이므로 쿨롱 법칙에 따라 전하량의 크기는 C가 A의 4배이다.

**10** — **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. 양(+)전하 P에 의해 A가 받는 전기력의 방향은 오른쪽(밀어내는 방향)으로 P의 전기장의 방향과 같다. 따라서 A는 양(+)전하이다.

ㄴ. 전기장의 세기  $E = \frac{F}{q}$ 이므로  $\frac{10\text{ N}}{2\text{ C}} = 5\text{ N/C}$ 이다.

**바로알기** ㄷ. 양(+)전하 P로부터 나오는 방향으로 전기장이 형성되므로 A가 놓인 곳에 형성된 전기장의 방향은 오른쪽이다.

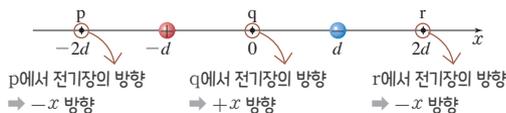
**11** ㄱ. A는 양(+)전하이므로 A가 놓인 지점에서 전기장의 방향은 A가 받는 전기력의 방향과 같다. A는  $+x$  방향으로 전기력을 받으므로 전기장의 방향도  $+x$  방향이다.

**바로알기** ㄴ. A가 놓인 지점의 전기장의 세기를  $E_A$ 라고 하면  $E_A = \frac{2F}{q}$ 이고, B가 놓인 지점의 전기장의 세기를  $E_B$ 라고 하면  $E_B = \frac{3F}{2q}$ 이다. 따라서  $E_A$ 가  $E_B$ 보다 크다.

ㄷ. B는 음(-)전하이므로 B가 놓인 지점에서 전기장의 방향은 B가 받는 전기력의 방향과 반대이다. C는 양(+)전하이므로 C가 놓인 지점에서 전기장의 방향은 C가 받는 전기력의 방향과 같다. 따라서 B와 C가 놓인 지점에서 전기장의 방향은  $-y$  방향으로 같다.

**12** 양(+)전하를 띤 입자가 균일한 전기장 영역에서 등속 직선 운동을 하므로 입자에 작용하는 알짜힘은 0이다. 즉, 입자에 작용하는 전기력과 중력은 크기가 같고, 방향이 서로 반대여야 하므로 전기력의 방향은  $+y$  방향이다. 전기장의 방향은 양(+)전하가 받는 전기력의 방향과 같으므로 균일한 전기장의 방향도  $+y$  방향이다.

**13** — **꼼꼼 문제 분석**

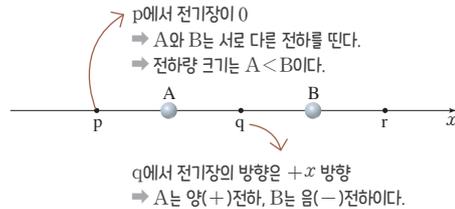


ㄱ. 두 전하 사이에 작용하는 전기력은 작용 반작용 법칙에 따라 크기는 같고, 방향은 서로 반대이다.

ㄴ. 전기장의 방향은 전기장이 형성된 공간에서 단위 양(+)전하가 받는 전기력의 방향이다. 두 전하의 전하량의 크기가 같고, p는 음(-)전하보다 양(+)전하에 가까우므로 양(+)전하에 의한 전기장의 세기가 음(-)전하에 의한 전기장의 세기보다 크다. 따라서 p에서 전기장의 방향은  $-x$  방향이다.

**바로알기** ㄷ. q의 왼쪽에는 양(+)전하가 있고, 오른쪽에는 음(-)전하가 있으므로 q에서 전기장의 방향은  $+x$  방향이다. r은 양(+)전하보다 음(-)전하에 가까우므로 음(-)전하의 영향을 더 크게 받아 r에서 전기장의 방향은  $-x$  방향이다. 따라서 q에서 전기장의 방향과 r에서 전기장의 방향은 서로 반대이다.

**14** — **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. p에서 전기장이 0이 되려면 A와 B에 의한 전기장의 방향은 서로 반대여야 한다. 따라서 A와 B는 서로 다른 종류의 전하를 띤다.

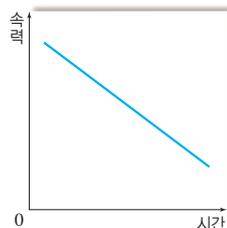
**바로알기** ㄴ. p에서 전기장이 0이므로  $E = \frac{F}{q} = k \frac{Q}{r^2}$ 에 따라 p에서 더 멀리 떨어져 있는 B의 전하량의 크기가 A의 전하량의 크기보다 커야 한다.

ㄷ. q에서 전기장의 방향이  $+x$  방향이므로 A는 양(+)전하, B는 음(-)전하이다. r은 B와 가깝고, 전하량의 크기는 B가 A보다 더 크므로 r에서 전기장의 방향은  $-x$  방향이다.

**15** A가  $+x$  방향으로 속력이 감소하는 운동을 하므로 A는 운동 방향과 반대인  $-x$  방향으로 전기력을 받는다. A는 음(-)전하이므로 전기장의 방향은  $+x$  방향이다.

(1)  $+x$  방향

(2) **모범 답안**



B는 양(+)전하이므로 균일한 전기장 영역에서  $-x$  방향으로 운동하는 동안 전기장의 방향과 같은  $+x$  방향으로 전기력을 받아 속력이 감소하는 운동을 한다.  $F=qE$ 에서 전하량과 전기장의 세기가 일정하므로 B에 작용하는 알짜힘이 일정하여 B는 등가속도 직선 운동을 한다.

채점 기준	배점
(1) 전기장의 방향을 옳게 쓴 경우	50%
(2) B의 시간에 따른 속력 그래프를 옳게 나타내고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	50%
B의 시간에 따른 속력 그래프만 옳게 나타낸 경우	30%

**16** 나. 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하므로 전기력의 크기는 B에서 A에서보다 크다.

다. 두 전하 사이의 거리가 가까워질수록 전기력의 크기가 커지므로  $E = \frac{F}{q}$ 에 따라 전기장의 세기도 증가한다.

**바로알기** 가. Q는 음(-)전하이므로 Q와 가까워질수록 전위는 낮아진다.

**17** 가. 전위가  $+x$  방향으로 낮아지므로 전기장의 방향은  $+x$  방향이다. 전위가 같은 곳을 연결한 선이 일정한 간격으로 있으므로 이 선에 수직인  $+x$  방향으로 전기장이 형성된다.

**바로알기** 나. 전기력이 전하에 한 일  $W=qV$ 에서 A와 B의 전하량이 같고, 전위차는 3V로 같으므로 전기력이 A와 B에 한 일은 서로 같다.

다. B가 (나)의 경로를 따라 이동하는 동안 운동 방향이 변하므로 이동 거리는 변위의 크기보다 크다. 따라서 B의 평균 속력은 평균 속도의 크기보다 크다.

**18** 다. 균일한 전기장 영역에서 전하가 운동하는 동안 전기력이 전하에 한 일  $W=qV$ 이다. p와 q, q와 r 사이의 간격은 같으므로  $V=Ed$ 에 따라 p와 q 사이의 전위차와 q와 r 사이의 전위차는 같다. 따라서 p에서 q까지 운동하는 동안 전기력이 A에 한 일은 q에서 r까지 한 일과 같다.

**바로알기** 가. A가  $+x$  방향으로 속력이 감소하는 운동을 하므로 A에 작용하는 전기력의 방향은  $-x$  방향이다. A는 양(+)전하이므로 전기장의 방향은 전기력의 방향과 같은  $-x$  방향이다. 따라서 전위는 r에서가 p에서보다 높다.

나.  $F=qE$ 에서 전하량과 전기장의 세기가 일정하므로 A가 받는 전기력의 크기는 일정하다.

**19** 나. A가 등속도 운동을 하므로 A에 작용하는 전기력의 방향은 전기장의 방향과 서로 반대이다. 따라서 A는 음(-)전하이므로 전기장의 방향이  $-y$  방향이므로 전위는 p에서가 q에서보다 높다.

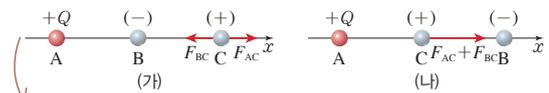
**바로알기** 가. A는 등속도 운동을 하므로 A에 작용하는 알짜힘은 0이다. 즉, A에 작용하는 전기력은 중력과 크기는 같지만, 방향은 서로 반대이어야 하므로  $+y$  방향이다.

## 실력 UP 문제

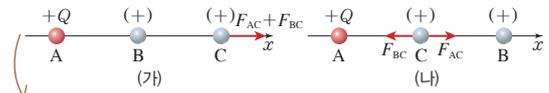
131쪽

01 ④ 02 ① 03 ③ 04 ⑤

### 01 품평 문제 분석



B는 음(-)전하, C는 양(+)전하로 가정하면 C에 작용하는 전기력의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.  $\Rightarrow$  B는 음(-)전하가 아니다.



B와 C를 양(+)전하로 가정하면 C에 작용하는 전기력의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.  $\Rightarrow$  B는 양(+)전하이므로.

B가 음(-)전하라면 C가 띠는 전하의 종류와 관계없이 (가)에서 C에 작용하는 전기력의 크기가 (나)에서보다 크다는 조건에 맞지 않다. 따라서 B는 양(+)전하이므로. C를 양(+)전하라고 하고, (가)에서 A와 C 사이의 전기력의 크기를  $F_{AC}$ , B와 C 사이의 전기력의 크기를  $F_{BC}$ 라고 하면 (가)에서  $3F = F_{AC} + F_{BC}$ 이고, (나)에서  $2F = 4F_{AC} - F_{BC}$ 이므로  $F_{AC} = F$ ,  $F_{BC} = 2F$ 이다.

점전하 사이의 간격을  $d$ 라고 하면 (가)에서  $F_{AC} = F = k \frac{QQ_C}{4d^2}$

이고,  $F_{BC} = 2F = k \frac{Q_B Q_C}{d^2}$ 이므로 B의 전하량은  $+\frac{1}{2}Q$ 이다.

**02** 가. (가)의  $x=d$ 에서 A와 B에 의한 전기장이 0이므로 A와 B는 같은 종류의 전하를 띤다.

**바로알기** 나. (나)와 같이 B를  $x=2d$ 로 옮겼을 때  $x=d$ 에서 전기장의 방향이  $-x$  방향이므로 B는 양(+)전하이므로. (가)의  $x=2d$ 는 B의 영향을 더 크게 받는 곳이므로  $x=2d$ 에서 전기장의 방향은  $-x$  방향이다.

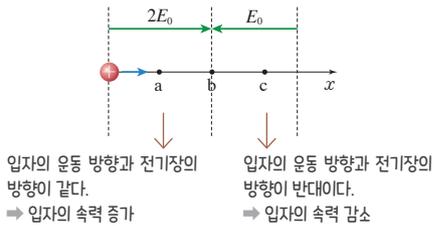
다. (나)에서 B를  $x=4d$ 로 옮기면  $x=d$ 에서 A의 영향이 더 커지므로 전기장의 방향은  $+x$  방향이 된다.

**03** 가. (가)에서 입자는  $+Q$ 로부터 밀어내는 방향으로 전기력을 받으므로 왼쪽으로 직선 운동을 한다.

ㄴ. (가)에서 입자가 받는 힘  $F=ma=qE$ 이므로 가속도의 크기는  $\frac{qE}{m}$ 이다. 이때 전하량과 입자의 질량은 일정하지만  $+Q$ 에서 멀어질수록 전기장의 세기가 작아지므로 가속도의 크기는 점점 감소한다.

**바로알기** ㄷ. (나)에서 입자에 작용하는 알짜힘  $F=qE$ 이고, 두 금속판 사이의 전기장의 세기는 일정하므로 입자는 등가속도 직선 운동을 한다.

#### 04 **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. a에서 b까지 전기장의 방향은  $+x$  방향이고, 입자는 양(+) 전하를 띠므로  $+x$  방향으로 전기력을 받아 속력이 증가하는 등가속도 직선 운동을 한다. 따라서 a에서의 속력이 b에서보다 작다.

ㄴ. 균일한 전기장 영역에서 전위차  $V=Ed$ 이다. a와 b 사이의 거리와 b와 c 사이의 거리는 같지만 전기장의 세기는 a와 b 사이에서가 b와 c 사이에서보다 2배 크므로 전위차도 a와 b 사이에서가 b와 c 사이에서보다 2배 크다.

ㄷ. 전기력이 한 일  $W=qV$ 에서 전하량은 일정하지만, 전위차는 a와 b 사이에서가 b와 c 사이에서보다 크므로 전기력이 한 일도 a와 b 사이에서가 b와 c 사이에서보다 크다.

(3) 저항값은 저항의 길이에 비례하고, 단면적에 반비례한다.

**2** 전류-전압 그래프에서 기울기는 저항의 역수를 나타낸다. 그래프의 기울기는 A가 B보다 크므로 저항값은 B가 A보다 크다.

**3** ㉠ 합성 저항값은  $6\Omega$ 이고, 전체 전압은  $12\text{ V}$ 이므로 전체 전류  $I = \frac{12\text{ V}}{6\Omega} = 2\text{ A}$ 이다.

㉡ 합성 저항값은  $3\Omega$ 이고, 전체 전류는  $10\text{ A}$ 이므로 전체 전압  $V = 3\Omega \times 10\text{ A} = 30\text{ V}$ 이다.

㉢ 합성 저항값을  $R$ 이라고 하면,  $R = \frac{30\text{ V}}{2\text{ A}} = 15\Omega$ 이므로  $R = R_1 + R_2 = 15\Omega$ 에서  $R_2 = 5\Omega$ 이다.

**4** 회로의 합성 저항값을  $R$ 이라고 하면  $\frac{1}{R} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{1}{2}$ 에서  $R = 2\Omega$ 이므로 전체 전류의 세기는  $\frac{12\text{ V}}{2\Omega} = 6\text{ A}$ 이다.

**5** 세 전구의 저항값이 같으므로  $P = I^2 R$ 에 따라 소비 전력은 각 저항에 흐르는 전류의 세기에 비례한다. 전체 전류의 세기를  $I$ , 각 저항에 흐르는 전류의 세기를  $I_A, I_B, I_C$ 라고 하면  $I = I_A = I_B + I_C$ 이고, B와 C는 병렬연결되어 있으므로 각 저항에 걸리는 전압이 같아  $I_B = I_C$ 이다. 따라서 소비 전력은 A가 가장 크고, B와 C의 소비 전력은 같다.

**6** (1) 네온사인인 글자들은 병렬로 연결되어 있어 한 글자가 고장 나도 나머지 글자는 영향을 받지 않는다.

(2) 가정의 분전반에는 전기 기구가 병렬로 연결되어 있어 여러 전기 기구를 독립적으로 사용할 수 있다.

(3) 멀티탭에 연결되는 전기 기구는 병렬로 연결된다. 멀티탭에 전기 기구를 연결할수록 회로의 합성 저항값은 감소하여 전체 회로에 흐르는 전류의 세기는 증가하게 된다.

## 02 / 저항의 연결과 소비 전력

### 개념 확인 문제

135쪽

- 1 1 A   2 전기 저항   3 비례   4 반비례   5 소비 전력  
6 전류   7 전압   8 작아   9 감소

- 1 (1) ○ (2) × (3) ○   2  $A < B$    3 ㉠ 2, ㉡ 30, ㉢ 5   4 6 A  
5  $A > B = C$    6 (1) × (2) × (3) ○

**1** (1) 전기 저항은 전류가 흐를 때 도선 내부에서 자유 전자가 원자들과 충돌하여 생긴다.

(2) 전류의 방향은 전자의 이동 방향과 반대이다.

### 원자샘 비법특강

137쪽

- Q1** (1)  $\frac{7}{3}$  (2) 3 (3) 21 (4) 3 (5) 2 (6) 4

**Q1** (1) B와 C의 합성 저항값은  $\frac{4}{3}\Omega$ 이므로 회로의 합성 저항값은  $\frac{7}{3}\Omega$ 이다.

(2) 회로에 흐르는 전체 전류의 세기는  $\frac{7V}{\frac{7}{3}\Omega} = 3A$ 이다.

(3)  $P = VI = 7V \times 3A = 21W$ 이다.

(4) A는 회로에 직렬연결되어 있으므로 A에 흐르는 전류의 세기는 전체 전류의 세기와 같다. 따라서 A에 걸리는 전압은  $3A \times 1\Omega = 3V$ 이다.

(5) 전체 전압이 7V일 때 A에 걸리는 전압이 3V이므로 B에 걸리는 전압은 4V이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 세기는  $\frac{4V}{2\Omega} = 2A$ 이다.

(6) B와 C는 병렬연결되어 있으므로 걸리는 전압이 4V로 같다.

$P = VI = \frac{V^2}{R}$ 에 따라 C의 소비 전력은  $\frac{(4V)^2}{4\Omega} = 4W$ 이다.

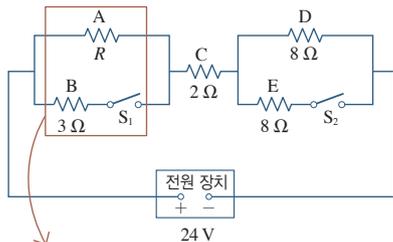
### 대표 자료 분석

138쪽

- 1 (1) I (2)  $R+10\Omega$  (3) 4 (4)  $I + \frac{4}{3}A$  (5) 2 (6) 2    2 (1) 8W  
 (2) 같다 (3) 크다    3 (1) ○ (2) ○ (3) ×

### 품목 문제 분석

$S_1, S_2$ 가 모두 열려 있을 때와 닫혀 있을 때 A의 소비 전력이 같으므로  $P = I^2R$ 에 따라 A에 흐르는 전류의 세기는 변하지 않는다.



$S_1, S_2$ 가 모두 닫혀 있을 때 A와 B는 병렬연결되므로 A에 걸리는 전압은 B에 걸리는 전압과 같다.

1 (1)  $S_1, S_2$ 가 모두 열려 있을 때와 닫혀 있을 때 A의 소비 전력이 같으므로  $P = VI = I^2R$ 에 따라 A에 흐르는 전류의 세기는 같다.  $S_1, S_2$ 가 모두 열려 있을 때 회로에 흐르는 전체 전류의 세기는 I이므로 저항의 직렬연결에 따라 A에 흐르는 전류의 세기도 I이다.

(2)  $S_1, S_2$ 가 모두 열려 있을 때 A, C, D는 직렬연결되므로 전체 전압은 각 저항에 걸리는 전압의 합과 같다. 따라서  $24V = I \times (R + 2\Omega + 8\Omega)$ 이므로  $24V = I \times (R + 10\Omega)$ 이다.

(3)  $S_1, S_2$ 가 모두 닫혀 있을 때 B에 흐르는 전류의 세기는  $\frac{4}{3}A$ 이므로 B에 걸리는 전압은  $\frac{4}{3}A \times 3\Omega = 4V$ 이다.

(4)  $S_1, S_2$ 가 모두 닫혀 있을 때 C에 흐르는 전류의 세기는 A와 B에 흐르는 전류의 세기의 합과 같다. 따라서 C에 흐르는 전류의 세기는  $I + \frac{4}{3}A$ 이다.

(5)  $S_1, S_2$ 가 모두 닫혀 있을 때 병렬연결된 D와 E의 합성 저항값은  $4\Omega$ 이고, 병렬연결된 A와 B에 걸리는 전압은 4V이므로 전체 전압  $24V = 4V + (I + \frac{4}{3}A) \times (2\Omega + 4\Omega)$ 에서  $I = 2A$ 이다.

(6)  $S_1, S_2$ 가 모두 열려 있을 때 전체 전압  $24V = I \times (R + 10\Omega)$ 이고,  $I = 2A$ 이므로  $R = 2\Omega$ 이다.

2 (1) A의 소비 전력  $P = VI = I^2R = (2A)^2 \times 2\Omega = 8W$ 이다.

(2)  $S_1, S_2$ 가 모두 열려 있을 때와 닫혀 있을 때 A에 흐르는 전류의 세기는 2A로 같으므로 A에 걸리는 전압은  $2A \times 2\Omega = 4V$ 로 같다.

(3)  $S_1, S_2$ 가 모두 닫혀 있을 때 C에 흐르는 전류의 세기는  $I + \frac{4}{3}A = \frac{10}{3}A$ 이므로 C의 소비 전력은  $(\frac{10}{3}A)^2 \times 2\Omega = \frac{200}{9}W$ 이다. 따라서 P보다 크다.

3 (1)  $R = 2\Omega$ 이므로  $S_1, S_2$ 가 모두 닫혀 있을 때 회로의 합성 저항값은  $\frac{36}{5}\Omega$ 이다.

(2)  $S_1, S_2$ 가 모두 열려 있을 때 C와 D는 직렬연결되어 있다. 옴의 법칙에 따라 저항에 걸리는 전압은 저항값에 비례하므로 D에 걸리는 전압은 C에 걸리는 전압의 4배이다.

(3)  $S_1, S_2$ 가 모두 열려 있을 때 A와 C는 직렬연결되어 있으므로 두 저항에 흐르는 전류의 세기가 같다. A와 C의 저항값도 같으므로  $P = VI = I^2R$ 에 따라 A와 C의 소비 전력은 서로 같다.

### 내신 만점 문제

139쪽-142쪽

- |      |      |      |          |          |      |
|------|------|------|----------|----------|------|
| 01 ② | 02 ③ | 03 ③ | 04 ②     | 05 해설 참조 |      |
| 06 ⑤ | 07 ⑤ | 08 ① | 09 ④     | 10 ⑤     | 11 ① |
| 12 ② | 13 ④ | 14 ⑤ | 15 해설 참조 | 16 ③     |      |
| 17 ⑤ | 18 ① |      |          |          |      |

01 L. 전류의 방향은 전자의 이동 방향과 반대이다. 전류의 방향은 전지의 (+)극 → (-)극이고, 전자의 이동 방향은 전지의 (-)극 → (+)극이다.

**바로알기** ㄱ. 전류의 세기는 단위 시간 동안 도선의 단면을 통과하는 전하량으로 단위는 C/s=A(암페어)를 사용한다.  
 ㄷ. 전압은 전기 회로에 전류가 흐르게 하는 원인으로 도선의 양 끝에 전위차가 있을 때 전류가 흐른다.

**02** 금속 막대의 저항값은 금속 막대의 길이에 비례하고, 단면적에 반비례한다. 따라서 금속 막대의 저항값의 비  $R_A : R_B : R_C = \frac{10}{2} : \frac{30}{2} : \frac{20}{6} = R : 3R : \frac{2}{3}R$ 이다.

**03** 전류-전압 그래프에서 기울기는 저항의 역수를 나타낸다. 그래프의 기울기는 A가 B의 3배이므로 저항값은 B가 A의 3배이다. 이때 A와 B의 단면적은 같으므로 두 금속 막대의 길이는 저항값에 비례한다. 따라서  $L_A : L_B$ 는 1 : 3이다.

**04** ㄷ.  $P=VI = \frac{V^2}{R}$ 에 따라 전압이 일정한 경우 소비 전력은 저항값에 반비례한다. 저항값은 B가 C의  $\frac{1}{3}$ 배이므로 소비 전력은 B가 C의 3배이다.

**바로알기** ㄱ. 옴의 법칙에 따라 A의 저항값  $= \frac{6V}{6A} = 1\Omega$ , B의 저항값  $= \frac{4V}{2A} = 2\Omega$ , C의 저항값  $= \frac{6V}{1A} = 6\Omega$ 이다. 따라서 저항값은 A가 C의  $\frac{1}{6}$ 배이다.  
 ㄴ. 옴의 법칙에 따라 전류의 세기가 일정한 경우 전압은 저항값에 비례하므로 A보다 B에 큰 전압이 걸린다.

**05** **모범 답안** 헤어드라이어의 정격 전압은 220 V, 정격 소비 전력은 1100 W이므로  $P=VI$ 에 따라 헤어드라이어에 흐를 수 있는 허용 전류는  $\frac{1100W}{220V} = 5A$ 이다. 따라서 헤어드라이어의 저항값은 옴의 법칙에 따라  $\frac{220V}{5A} = 44\Omega$ 이다.

채점 기준	배점
헤어드라이어의 저항값을 풀이 과정과 함께 올바르게 구한 경우	100 %
헤어드라이어의 저항값만 올바르게 쓴 경우	50 %

**06** ㄱ, ㄴ. 두 저항이 직렬연결되어 있으므로 각 저항에 흐르는 전류의 세기는 2 A로 같다. R의 저항값을 R이라고 하면 전체 전압 10 V  $= (3\Omega + R) \times 2A$ 이므로  $R=2\Omega$ 이다. 따라서 회로의 합성 저항값은 5 Ω이다.  
 ㄷ. A에 걸린 전압은  $2A \times 3\Omega = 6V$ 이고, R에 걸린 전압은  $2A \times 2\Omega = 4V$ 이므로 R에 걸린 전압은 A에 걸린 전압의  $\frac{2}{3}$ 배이다.

**07** ㄱ. 세 저항이 병렬연결되어 있으므로 회로의 합성 저항값을 R이라고 하면  $\frac{1}{R} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} = \frac{13}{12}$ 에서  $R = \frac{12}{13}\Omega$ 이다.

ㄴ. 회로에 흐르는 전체 전류의 세기는  $\frac{24V}{\frac{12}{13}\Omega} = 26A$ 이다.  
 ㄷ. 저항이 병렬연결되어 있을 때 각 저항에 걸리는 전압은 전체 전압과 같다. 따라서 각 저항에 흐르는 전류의 세기는  $I_1 = \frac{24V}{2\Omega} = 12A$ ,  $I_2 = \frac{24V}{3\Omega} = 8A$ ,  $I_3 = \frac{24V}{4\Omega} = 6A$ 이므로  $I_1 : I_2 : I_3 = 6 : 4 : 3$ 이다.

**08** ㄱ. 저항이 직렬연결되어 있을 때 각 저항에 흐르는 전류의 세기는 회로에 흐르는 전체 전류의 세기와 같다. 회로의 합성 저항값은 300 Ω이므로 A와 B에 흐르는 전류의 세기를 각각  $I_A$ ,  $I_B$ 라고 하면  $I = I_A = I_B = \frac{100V}{300\Omega} = \frac{1}{3}A$ 이다.

**바로알기** ㄴ.  $P=VI$ 에 따라 회로 전체의 소비 전력은  $100V \times \frac{1}{3}A = \frac{100}{3}W$ 이다.  
 ㄷ. 저항이 직렬연결되어 있을 때 각 저항에 흐르는 전류의 세기가 같으므로  $P=VI = I^2R$ 에 따라 각 저항의 소비 전력은 저항값에 비례한다. 따라서 B의 소비 전력은 A의 2배이다.

**09** 금속 막대의 저항값은 금속 막대의 길이에 비례하고, 단면적에 반비례한다. A와 B의 저항값을 각각  $R_A$ ,  $R_B$ 라고 하면  $R_A : R_B = \frac{2}{2} : \frac{3}{1} = 1 : 3$ 이다. A와 B는 병렬연결되어 있으므로 A와 B에 걸리는 전압은 같다.  $P=VI = \frac{V^2}{R}$ 에 따라 A와 B의 소비 전력은 저항값에 반비례하므로  $P_A : P_B = 3 : 1$ 이다.

**10** ㄱ.  $R_1$ 에 흐르는 전류의 세기는 3 A이고, 저항값은 6 Ω이므로  $R_1$ 에 걸리는 전압은 18 V이다.  
 ㄴ. 전체 전압이 30 V이고,  $R_1$ 에 걸리는 전압은 18 V이므로  $R_2$ 에 걸리는 전압은 12 V이다.  $R_2$ 에 흐르는 전류의 세기는 2 A이므로  $R_2$ 의 저항값은  $\frac{12V}{2A} = 6\Omega$ 이다.

ㄷ.  $R_2$ 와  $R_3$ 은 병렬연결되어 있으므로  $R_3$ 에 걸리는 전압도 12 V이다.  $R_1$ 의 소비 전력을  $P_1$ ,  $R_2$ 의 소비 전력을  $P_2$ ,  $R_3$ 의 소비 전력을  $P_3$ 이라고 하면  $P=VI$ 에 따라  $P_1 = 18V \times 3A = 54W$ ,  $P_2 = 12V \times 2A = 24W$ ,  $P_3 = 12V \times 1A = 12W$ 이므로 세 저항 중 소비 전력이 가장 작은 것은  $R_3$ 이다.

**11** ㄱ. (나)에서 금속 막대 1개의 저항값을  $R$ 이라고 하면 (가)에서 A의 저항값은  $3R$ 이다. (나)에서 회로의 합성 저항값은  $\frac{3}{2}R$ 이므로 (가)와 (나)에서 회로의 합성 저항값의 비는 2 : 1이다. (가)와 (나)에 걸리는 전체 전압은  $V$ 로 일정하므로 옴의 법칙에 따라 회로에 흐르는 전체 전류의 세기는 저항값에 반비례한다. 따라서  $I_P : I_Q = 1 : 2$ 이다.

**바로알기** ㄴ.  $P = VI$ 에서 전체 전압은  $V$ 로 일정하므로 회로 전체의 소비 전력은 회로에 흐르는 전체 전류의 세기에 비례한다. 이때  $I_P : I_Q = 1 : 2$ 이므로 회로 전체의 소비 전력은 (가)에서 (나)에서의  $\frac{1}{2}$ 배이다.

ㄷ. (나)에서 C와 D의 합성 저항값은  $\frac{R}{2}$ 이고, B는 C와 D의 합성 저항과 직렬로 연결되어 있다. 저항의 직렬연결 회로에서 각 저항에 걸리는 전압은 저항값에 비례한다. B의 저항값과 C, D의 합성 저항값은 2 : 1이므로 B에 걸리는 전압은  $\frac{2}{3}V$ 이다. 따라서 B에 걸리는 전압은 A에 걸리는 전압의  $\frac{2}{3}$ 배이다.

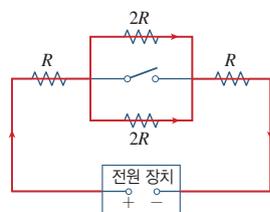
**12** ㄴ.  $R_1$ 의 저항값이 증가하면 회로의 합성 저항값이 증가하여 회로에 흐르는 전체 전류의 세기는 감소한다.  $P = I^2R$ 에 따라  $R_1$ 의 전류의 세기 감소는 제곱으로 작용하여 저항값의 증가보다 효과가 크므로 소비 전력은 감소한다.

**바로알기** ㄱ.  $R_1$ 의 저항값이 증가하면 회로의 합성 저항값이 증가하므로 회로에 흐르는 전체 전류의 세기는 감소한다.

ㄷ.  $R_1$ 과  $R_2$ ,  $R_3$ 의 합성 저항은 직렬연결되어 있으므로 각 저항에 걸리는 전압은 저항값에 비례한다. 전체 전압이 일정할 때  $R_1$ 의 저항값이 증가하면  $R_1$ 에 걸리는 전압이 증가하므로  $R_2$ 에 걸리는 전압은 감소한다.

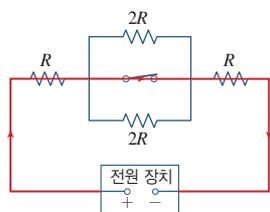
**13** — **포뮬 문제 분석**

[스위치가 열려 있을 때]



저항값이  $2R$ 인 두 저항이 병렬로 연결된다.

[스위치가 닫혀 있을 때]



저항값이  $2R$ 인 두 저항에는 전류가 흐르지 않는다.

ㄱ. S를 닫기 전 저항값이  $2R$ 인 두 저항이 병렬연결되어 있으므로 회로의 합성 저항값은  $3R$ 이다.

ㄷ.  $P = VI = \frac{V^2}{R}$ 에 따라 전압이 일정할 때 소비 전력은 저항값에 반비례한다. S를 닫기 전 회로의 합성 저항값은  $3R$ 이고, S를 닫은 후 회로의 합성 저항값은  $2R$ 이므로 S를 닫기 전 회로 전체의 소비 전력은 S를 닫은 후의  $\frac{2}{3}$ 배이다.

**바로알기** ㄴ. S를 닫으면 저항값이  $2R$ 인 두 저항으로는 전류가 흐르지 않으므로 회로의 합성 저항값은 S를 닫기 전보다 작아진다. 옴의 법칙에 따라 전류의 세기는 저항값에 반비례하므로 S를 닫았을 때 회로에 흐르는 전체 전류의 세기는 S를 닫기 전보다 증가한다.

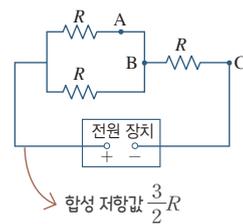
**14** ㄴ. S를 닫기 전 저항값이  $3\Omega$ 인 저항과 저항값이  $6\Omega$ 인 저항의 합성 저항은 저항값이  $4\Omega$ 인 저항과 직렬연결되어 있다. 회로의 합성 저항값을  $R$ 이라고 하면  $R = 6\Omega$ 이고,  $I_1 = \frac{12V}{6\Omega} = 2A$ 이다. S를 닫았을 때 회로의 합성 저항값  $R' = 2\Omega$ 이므로  $I_2 = \frac{12V}{2\Omega} = 6A$ 이다. 따라서  $I_1 : I_2 = 1 : 3$ 이다.

ㄷ.  $P = VI$ 에 따라 S를 닫기 전 회로의 전체 소비 전력은  $12V \times 2A = 24W$ 이다.

**바로알기** ㄱ. S를 닫으면 S를 닫기 전 회로의 합성 저항은 저항값이  $3\Omega$ 인 저항과 병렬연결된다. 이때 합성 저항값을  $R'$ 라고 하면  $R' = 2\Omega$ 이다.

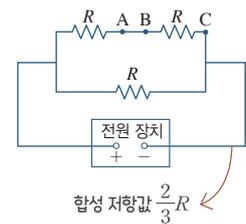
**15** — **포뮬 문제 분석**

[S를 a에 연결했을 때]



합성 저항값  $\frac{3}{2}R$

[S를 b에 연결했을 때]



합성 저항값  $\frac{2}{3}R$

(1) S를 a에 연결하면 회로의 합성 저항값은  $\frac{3}{2}R$ 이고, 회로에 흐르는 전체 전류의 세기는  $\frac{V}{\frac{3}{2}R} = \frac{2V}{3R}$ 이다. 이때 A에 흐르는 전류의 세기  $I_1$ 은 전체 전류의  $\frac{1}{2}$ 배이므로  $I_1 = \frac{V}{3R}$ 이다. 저항의 직렬연결 회로에서 전체 전류의 세기는 각 저항에 흐르는 전류의 세기와 같으므로 B와 C 사이에 걸리는 전압  $V_1$ 은  $\frac{2V}{3R} \times R = \frac{2}{3}V$ 이다.

(2) S를 b에 연결하면 회로의 합성 저항값은  $\frac{2}{3}R$ 이고, 회로에 흐르는 전체 전류의 세기는  $\frac{V}{\frac{2}{3}R} = \frac{3V}{2R}$ 이다. 저항의 병렬연결 회로에서 전류의 세기는 저항값에 반비례하므로 A에 흐르는 전류의 세기  $I_2$ 는 전체 전류의  $\frac{1}{3}$ 배인  $I_2 = \frac{V}{2R}$ 이다. 저항의 직렬연결 회로에서 각 저항에 흐르는 전류의 세기는 같으므로 B와 C 사이에 걸리는 전압  $V_2$ 는  $\frac{V}{2R} \times R = \frac{1}{2}V$ 이다.

(1)  $I_1 = \frac{V}{3R}, V_1 = \frac{2}{3}V$

(2)  $I_2 = \frac{V}{2R}, V_2 = \frac{1}{2}V$

(3) **모범 답안**  $P=VI = \frac{V^2}{R}$ 에 따라 전압이 일정할 때 소비 전력은 저항 값에 반비례한다. S를 a에 연결했을 때 회로의 합성 저항값은  $\frac{3}{2}R$ 이고, S를 b에 연결했을 때 회로의 합성 저항값은  $\frac{2}{3}R$ 이므로 회로의 전체 소비 전력은 S를 b에 연결했을 때가 a에 연결했을 때보다 크다.

채점 기준	배점
S를 a에 연결했을 때와 b에 연결했을 때 회로의 전체 소비 전력을 옮겨 비교하여 서술한 경우	100 %
S를 b에 연결했을 때가 더 크다고만 쓴 경우	40 %

**16** ㄱ. 가정의 분전반에는 전기 기구들이 병렬연결되어 있다.  
 ㄷ. 누전 차단기는 가정 내 허용 전류 이상의 전류가 흐르면 전류를 차단하는 안전장치이다.  
**바로알기** ㄴ. 네온사인의 글자들은 병렬연결되어 있으므로 각 글자에 걸리는 전압은 전체 전압과 같다.

**17** ㄱ. 멀티탭은 내부에 긴 구리판이 나란히 놓여 있어 멀티탭에 연결되는 전기 기구는 병렬로 연결된다.  
 ㄷ. 멀티탭에 연결되는 전기 기구는 병렬로 연결되므로 전기 기구를 추가로 연결해도 연결되어 있던 전기 기구의 전압은 일정하게 유지된다.  
**바로알기** ㄴ. 멀티탭에 연결되는 전기 기구는 병렬로 연결되므로 전기 기구를 연결할수록 회로의 합성 저항값은 작아진다.

**18** A. 소비 전력이 큰 전기 기구들을 1개의 멀티탭에 동시에 연결하면 멀티탭에 허용 전류 이상의 전류가 흘러 화재가 발생할 수 있다.  
**바로알기** B. 전기 기구에 표기된 정격 소비 전력보다 높은 전력을 사용하면 고장나거나 화재의 위험이 있다.  
 C. 퓨즈는 전기 기구에 직렬로 연결되어 있다.

**실력 UP 문제**

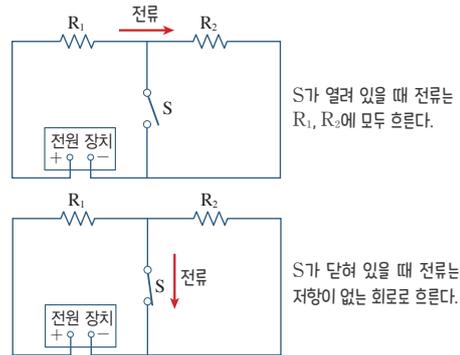
01 ① 02 ⑤ 03 ④ 04 ④

**01** ㄱ.  $R_2$ 의 저항값을 감소시키면  $R_1$ 과  $R_2$ 의 합성 저항값이 감소하므로 A,  $R_1$ ,  $R_2$  세 저항의 합성 저항값이 감소한다. 옴의 법칙에 따라 전류의 세기는 저항값에 반비례하므로 회로에 흐르는 전체 전류의 세기가 증가하여 A에 흐르는 전류의 세기도 증가한다.

**바로알기** ㄴ.  $R_3$ 과 다른 저항들은 병렬연결되어 있으므로  $R_3$ 의 저항값이 증가해도 다른 저항에 걸리는 전압은 변하지 않는다. 따라서 A에 흐르는 전류의 세기는 변하지 않는다.

ㄷ.  $R_1$ 과  $R_2$ 의 저항값을 증가시키면 두 저항의 합성 저항값이 증가하므로 A,  $R_1$ ,  $R_2$  세 저항의 합성 저항값이 증가한다. 옴의 법칙에 따라 전류의 세기는 저항값에 반비례하므로 A에 흐르는 전류의 세기도 감소한다.

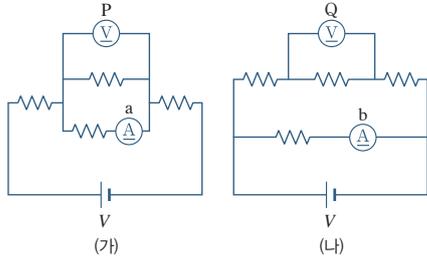
**02** **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. S가 닫혀 있을 때 전원 장치에는  $R_1$ 만 연결되므로 전원 장치의 전압을  $V$ 라고 하면,  $R_1$ 의 소비 전력은  $\frac{V^2}{R_1} = 36 \text{ W}$ 이다. S가 열려 있을 때  $R_1$ 에 걸리는 전압을  $V_1$ 이라고 하면,  $R_1$ 의 소비 전력은  $\frac{V_1^2}{R_1} = 9 \text{ W}$ 이다. S가 닫혀 있을 때와 열려 있을 때  $R_1$ 의 소비 전력을 비교하면  $V_1 = \frac{1}{2}V$ 이고, S가 열려 있을 때 두 저항은 직렬연결되어 있으므로  $R_1$ 의 저항값은  $R_2$ 의 저항값과 같다.  
 ㄷ.  $R_1$ 의 소비 전력은 S가 닫혀 있을 때가 열려 있을 때의 4배이므로  $P=VI = I^2R$ 에 따라  $R_1$ 에 흐르는 전류의 세기는 S가 닫혀 있을 때가 열려 있을 때의 2배이다.  
**바로알기** ㄴ. S가 열려 있을 때  $R_1$ 과  $R_2$ 는 직렬연결되어 각 저항에 흐르는 전류의 세기가 같고, 두 저항의 저항값은 같으므로  $P=VI = I^2R$ 에 따라  $R_2$ 의 소비 전력은 9 W이다.

### 03 - 품목 문제 분석

(가)와 (나)의 회로를 저항의 직렬연결과 병렬연결이 구분되도록 정리하면 그림과 같다.



저항 하나의 저항값을  $R$ 이라고 하면 합성 저항값은 다음과 같다.

- (가) 회로의 합성 저항값:  $\frac{5}{2}R$
- (나) 회로의 합성 저항값:  $\frac{3}{4}R$

ㄴ. (가)에서 P의 측정값은  $\frac{1}{5}V$ 이고, (나)에서 Q의 측정값은  $\frac{1}{3}V$ 이므로 P의 측정값이 Q의 측정값보다 작다.

ㄷ. (가)에서 a가 연결된 저항에 걸리는 전압은  $\frac{1}{5}V$ 이므로 저항값을  $R$ 이라고 하면 a의 측정값은  $\frac{V}{5R}$ 이다. (나)에서 b가 연결된 저항에 걸리는 전압은  $V$ 이므로 b의 측정값은  $\frac{V}{R}$ 이다. 따라서 b의 측정값은 a의 측정값보다 크다.

**바로알기** ㄱ. 저항 하나의 저항값을  $R$ 이라고 하면, (가)에서 회로의 합성 저항값은  $\frac{5}{2}R$ 이고, (나)에서 회로의 합성 저항값은  $\frac{3}{4}R$ 이다. 따라서 회로의 합성 저항값은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

**04** ㄱ.  $S_1$ 만 닫으면  $R_1$ 과  $R_2$ 는 직렬로 연결된다. 저항의 직렬 연결 회로에서 전압은 저항값에 비례한다.  $R_2$ 의 저항값은  $R_1$ 의 저항값의 2배이고,  $R_2$ 에 걸린 전압이 8 V이므로  $R_1$ 에 걸린 전압은 4 V이다. 따라서 전원 장치의 전압은 12 V이다.

ㄷ.  $S_1$ 과  $S_2$ 를 모두 닫았을 때  $R_2$ 에 걸린 전압은 6 V이므로  $R_1$ 에 걸린 전압은 전원 장치의 전압에서  $R_2$ 에 걸린 전압을 뺀 6 V이다.  $R_1$ 과  $R_2$ ,  $R_3$ 의 합성 저항에 걸리는 전압이 6 V로 같으므로  $R_2$ ,  $R_3$ 의 합성 저항값은  $R_1$ 의 저항값과 같다는 것을 알 수 있다. 이때  $R_2$ 의 저항값은  $R_1$ 의 저항값의 2배이므로  $R_3$ 의 저항값도  $R_1$ 의 저항값의 2배이다.

**바로알기** ㄴ. 8초일 때  $R_1$ 에 걸리는 전압은 6 V이고, 3초일 때  $R_1$ 에 걸리는 전압은 4 V이다.  $P=VI=\frac{V^2}{R}$ 에 따라  $R_1$ 의 소비 전력은 8초일 때가 3초일 때보다 크다.

### 03 / 축전기

#### 개념 확인 문제

147쪽

- ① 축전기   ② 충전   ③ 방전   ④ 비례   ⑤ 반비례   ⑥ 방전  
⑦ 전하량   ⑧ 센서

1 V   2 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×   3 L   4 2배   5 L, C

**1** 축전기를 전압이  $V$ 로 일정한 전지에 연결하면 전지의 (+)극과 연결된 금속판은 양(+)전하로 대전되고, 전지의 (-)극과 연결된 금속판은 음(-)전하로 대전된다. 이때 두 금속판 사이의 전위차가 전지의 전압인  $V$ 와 같아질 때까지 전하가 이동하여 축전기가 충전된다.

**2** (1) 축전기의 한쪽 금속판은 전지의 (+)극에, 다른 쪽 금속판은 전지의 (-)극에 연결하여 충전하면 금속판은 각각 양(+)전하와 음(-)전하로 대전된다.

(2) 축전기의 두 금속판에 전하가 모이는 과정에서 축전기에 전기 에너지가 저장된다.

(3) 축전기를 전지에 연결하여 충전하면 두 금속판이 각각 양(+)전하와 음(-)전하로 대전되어 두 금속판 사이에 전기장이 형성된다.

(4) 축전기가 방전되면 두 금속판 사이의 전위차가 0이 될 때까지 전하가 빠져나가므로 두 금속판은 전하를 띠지 않는다.

**3** 축전기를 전지에 연결하면 두 금속판 사이의 전위차가 전지의 전압과 같아질 때까지 두 금속판에 전하가 모인다. 즉, 축전기 양단에 걸린 전압이 클수록 두 금속판에 저장되는 전하량이 많아진다. 따라서 축전기의 두 금속판 사이의 전위차와 비례 관계인 것은 축전기에 저장되는 전하량이다.

**4** 축전기에 저장된 전하량은 금속판의 면적에 비례하고, 두 금속판 사이의 간격에 반비례한다. A와 B 사이의 간격이  $\frac{1}{2}$ 배로 감소하였으므로 축전기에 저장된 전하량은 2배로 증가한다.

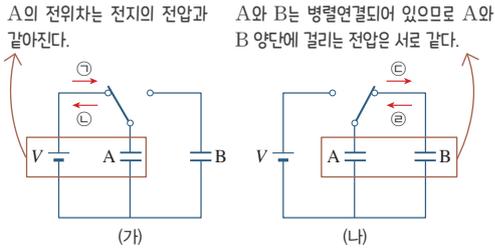
**5** ㄱ. 카메라 플래시는 축전기의 충전과 방전 기능을 활용한 예이다.

#### 대표 자료 분석

148쪽

1  $V_A=V, V_B=0$    2  $Q_A=Q_B$    3 (1) 양(+)전하 (2) 양(+)전하 (3) 작다 (4) 작다   4 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ×

꼼꼼 문제 분석



**1** A는 전압이  $V$ 로 일정한 전지에 연결되어 있으므로 두 금속판의 전위차가  $V$ 와 같아질 때까지 전하가 충전된다. 따라서 A의 양단에 걸리는 전압  $V_A = V$ 이다. 반면 B에는 전하가 공급되지 않으므로 B의 양단에 걸리는 전압  $V_B = 0$ 이다.

**2** (나)에서 A와 B는 병렬연결되어 있으므로 A와 B에 걸리는 전압은 서로 같다. 동일한 축전기에 같은 전압이 걸리므로 A와 B에 충전되는 전하량도 같다.

**3** (1) (가)에서 A의 위쪽 금속판은 전지의 (+)극에 연결되어 있으므로 양(+)전하로 대전된다.

(2) (나)에서 B의 위쪽 금속판은 A의 위쪽 금속판과 연결되어 있다. A의 위쪽 금속판은 양(+)전하로 대전되어 있으므로 B의 위쪽 금속판에 있는 전자가 A의 위쪽 금속판으로 이동한다. 따라서 B의 위쪽 금속판은 양(+)전하로 대전된다.

(3) (나)에서 A에 충전된 전하는 B로 이동하므로 (가)에서 A에 충전된 전하량보다 줄어들게 된다. 따라서 (나)에서 A의 두 금속판 사이의 전위차는  $V$ 보다 작다.

(4) (나)에서 A와 B는 병렬연결되어 있으므로 두 축전기에 걸리는 전압은 서로 같다. 이때 A에 걸리는 전압은  $V$ 보다 작으므로 B에 걸리는 전압도  $V$ 보다 작다.

**4** (1) (가)에서 A의 위쪽 금속판은 전지의 (+)극에 연결되어 있으므로 전자의 이동 방향은  $\ominus$ 이다.

(2) (나)에서 B의 위쪽 금속판은 A의 양(+)전하로 대전된 금속판에 연결되어 있으므로 전류의 방향은  $\oplus$ 이다.

(3) (나)에서 A와 B는 병렬연결되어 있고, A와 B는 동일한 축전기이므로 두 축전기에 저장되는 전하량은 같다. 따라서 A와 B에 저장되는 전기 에너지도 같다.

(4) (가)에서 A에 걸리는 전압은  $V$ 이지만, (나)에서 B에 걸리는 전압은  $V$ 보다 작다. 즉, 축전기에 저장되는 전하량은 (가)의 A에서가 (나)의 B에서보다 크므로 (가)에서 A에 저장된 전기 에너지가 (나)에서 B에 저장된 전기 에너지보다 크다.

내신만점문제

149쪽~152쪽

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

**01** ㄱ. 평행판 축전기는 평평한 두 금속판을 서로 평행하게 마주 보도록 만든 것이다.

ㄴ. 평행판 축전기를 전원 장치에 연결하면 두 금속판은 각각 양(+)전하와 음(-)전하로 대전되어 두 금속판 사이에 전기장이 형성된다. 이때 형성되는 전기장에 의해 평행판 축전기에는 전기 에너지가 저장된다.

ㄷ. 평행판 축전기의 각 금속판에는 같은 종류의 전하가 모여 있어 척력 때문에 많은 전하를 모을 수 없지만, 두 금속판을 서로 마주 보게 놓으면 두 금속판 사이에 인력이 작용하여 많은 전하를 모을 수 있다.

**02** ① A는 전원의 (+)극에 연결되어 있으므로 전자는 A에서 전원의 (+)극 쪽인 p 방향으로 이동하고, 전류는 q 방향으로 흐른다.

② 축전기가 충전되는 동안 전하량이 증가하므로 A와 B 사이에 전기장이 형성된다.

③ A는 전원의 (+)극에 연결되어 있으므로 양(+)전하로 대전된다.

⑤ 축전기가 완전히 충전된 뒤 스위치를 열었으므로 A와 B 사이의 전위차는 전원의 전압과 같다.

**바로알기** ④ 스위치를 열어도 두 금속판에 충전된 전하는 전기력에 의해 저장되므로 A와 B 사이의 전기장은 0이 아니다.

**03** ㄱ, ㄴ. 평행판 축전기를 전원 장치에 연결하면 두 금속판 사이의 전위차가 전원 장치의 전압과 같아질 때까지 두 금속판에 전하가 모인다. 따라서 전원 장치의 전압이 서서히 증가하면 두 금속판 사이의 전위차가 증가하고, 축전기에 충전되는 전하량이 증가한다.

ㄷ. 평행판 축전기를 전원 장치에 연결하면 두 금속판 사이에 균일한 전기장이 형성된다.  $E = \frac{V}{d}$ 에 따라 두 금속판의 간격( $d$ )이 일정할 때 두 금속판 사이의 전위차( $V$ )가 증가하면 두 금속판 사이의 전기장의 세기( $E$ )도 증가한다.

**04** ㄱ. 스위치를 닫으면 전지의 (+)극과 연결된 A에는 양(+)전하가 모이고, 전지의 (-)극과 연결된 B에는 음(-)전하가 모인다.

**바로알기** ㄴ. 스위치를 닫으면 A와 B 사이의 전위차가 전지의 전압인  $V$ 와 같아질 때까지 A와 B에 전하가 모인다. A의 전위가

+V, B의 전위가 -V가 되면 두 금속판의 전위차는 2V가 되므로 전지의 전압인 V와 같지 않다.

ㄷ. 축전기가 완전히 충전된 뒤 스위치를 열어두면 두 금속판에 저장된 전하들의 인력에 의해 축전기에 충전된 전하는 변하지 않는다.

**05** ㄴ. 스위치를 닫으면 축전기가 완전히 충전이 될 때까지만 회로에 전류가 흐르므로 전구에 불이 잠깐 켜졌다가 꺼진다.

ㄷ. 스위치를 닫으면 두 금속판 사이의 전위차가 전지의 전압과 같아질 때까지 전하가 이동하여 각 금속판에는 같은 양의 전하가 분포한다.

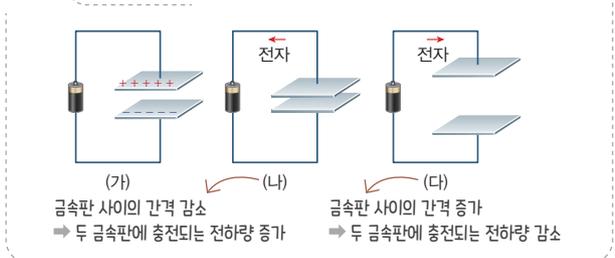
**바로알기** ㄱ. 스위치를 닫으면 축전기에 전하가 충전되므로 방전은 일어나지 않는다. 방전은 충전된 축전기에 전구, 전동기, 저항 등을 연결했을 때 일어난다.

**06** ㄱ. B는 전지의 (-)극에 연결되어 있으므로 B는 음(-)전하를 띤다.

ㄴ. A는 양(+)전하로 대전되고, B는 음(-)전하로 대전되므로 전위는 A가 B보다 높다.

**바로알기** ㄷ. 두 금속판 사이의 간격( $d$ )은 증가하고, 두 금속판 사이에 걸린 전압( $V$ )은 일정하므로  $E = \frac{V}{d}$ 에 따라 두 금속판 사이의 전기장의 세기( $E$ )는 감소한다.

**07** **꼼꼼 문제 분석**



(나) 두 금속판 사이의 간격이 감소하면 두 금속판에 충전되는 전하량이 증가한다. 이때 축전기 양단의 전위차가 전지의 전압과 같아질 때까지 전지의 (+)극에서 축전기의 위쪽 금속판 쪽으로 전류가 흐르므로 전자의 이동 방향은 ㉠이다.

(다) 두 금속판 사이의 간격이 증가하면 두 금속판에 충전되는 전하량이 감소한다. 이때 축전기 양단의 전위차가 전지의 전압과 같아질 때까지 축전기의 위쪽 금속판에서 전지의 (+)극 쪽으로 전류가 흐르므로 전자의 이동 방향은 ㉡이다.

**08** ㄴ, ㄷ. 두 금속판의 면적이 증가하면 금속판에 충전되는 전하량이 증가하므로 금속판에 저장되는 전기 에너지가 증가한다.

**바로알기** ㄱ. 두 금속판의 면적이 증가해도 금속판 사이의 전위차가 전원의 전압과 같아질 때까지 금속판에 전하가 모이므로 두 금속판에 걸리는 전압은 변하지 않는다.

**09** ㄴ. 두 금속판이 서로 마주 보고 있는 면적은 (가)에서 (나)에서보다 크므로 축전기에 충전된 전하량은 (가)에서가 더 크다.

ㄷ. 축전기에 충전된 전하량이 (가)에서 (나)에서보다 크므로 축전기에 저장된 전기 에너지도 (가)에서가 더 크다.

**바로알기** ㄱ. (가)와 (나)에서 축전기에 연결된 전원의 전압은 V로 일정하므로 축전기에 걸리는 전압은 V로 서로 같다.

**10** ㄱ. A와 B는 병렬연결되어 있으므로 각 축전기에 걸리는 전압은 서로 같다.

ㄷ. (나)에서 B의 두 금속판 사이의 간격이 증가하였으므로 B에 저장되는 전하량은 (가)에서보다 작다. 따라서 B에 저장되는 전기 에너지는 (나)에서 (가)에서보다 작다.

**바로알기** ㄴ. 축전기에 저장되는 전하량은 금속판의 면적에 비례하고, 두 금속판 사이의 간격에 반비례한다. (나)에서 두 금속판 사이의 간격은 B가 A보다 크므로 축전기에 저장되는 전하량은 A에서 B에서보다 크다.

**11** ㄴ. S를 a에 연결했을 때 축전기의 위쪽 금속판은 양(+)전하로 대전되고, 아래쪽 금속판은 음(-)전하로 대전되므로 S를 b에 연결하면 전류는 ㉠ 방향으로 흐른다.

**바로알기** ㄱ. A가 꺼졌을 때는 축전기가 완전 충전되어 회로에 더 이상 전류가 흐르지 않는 상태이다. 따라서 축전기에 걸리는 전압은 전원의 전압 V와 같다.

ㄷ. S를 b에 연결하면 축전기에 저장된 전기 에너지가 전구의 빛 에너지로 소모되므로 축전기에 저장된 전하량이 감소한다.

**12** ④ S를 b에 연결하면 축전기에 저장된 전기 에너지가 전구에서 다 소모될 때까지 회로에 전류가 흐르게 된다. 따라서 시간에 따라 전구에 흐르는 전류의 세기를 그래프로 나타내면 점점 감소하는 형태이다.

**13** ㄷ. 전기 용량식 압력 센서는 축전기에 충전된 전하량이 변하는 원리를 활용한 예이다.

**바로알기** ㄱ. 발광 다이오드(LED)는 반도체를 활용한 것으로 전류가 흐를 때 빛을 방출하는 다이오드이다.

ㄴ. 심전도 검사는 전위차를 활용한 것으로 심장 질환을 찾아내는 검사이다.

**14** **모범 답안** 카메라 셔터를 누르면 축전기에 저장된 전하가 순간적으로 방전되고, 저장되어 있던 전기 에너지가 빛에너지로 전환되어 강한 빛이 발생한다.

채점 기준	배점
축전기의 충전과 방전 기능을 바탕으로 카메라 플래시가 작동하는 원리를 옳게 서술한 경우	100 %
축전기에 저장되어 있던 전기 에너지가 빛에너지로 전환되기 때문이라고만 서술한 경우	30 %

**15** B. 자동 심장 충격기(AED)는 심장에 많은 양의 전기 에너지를 짧은 시간에 공급해야 하므로 충전 용량이 큰 축전기를 활용한다.

C. 스마트 기기의 회전 센서는 스마트 기기가 회전하면 두 금속판 사이의 간격 변화에 따른 전하량의 변화를 감지하여 스마트 기기의 화면을 회전시킨다.

**바로알기** A. 컴퓨터 키보드는 축전기에 충전된 전하량이 변하는 원리를 활용한 예이다.

**16** ㄱ. 마이크에 소리를 내면 소리 에너지가 공기를 따라 진행하면서 진동판을 진동시킨다.

ㄴ. 소리 에너지가 진동판을 진동시키면 진동판과 고정 금속판 사이의 간격이 변하면서 축전기에 충전된 전하량이 변하게 된다. 이 전하량의 변화로 회로에 전류가 흘러 전기 신호가 발생한다.

**바로알기** ㄷ. 큰 소리를 내면 진동판은 크게 흔들리지만 두 금속판 사이의 전위차는 전지의 전압인  $V$ 로 일정하다.

**17** ㄷ. 전기 용량식 터치스크린에 손가락을 접촉하면 접촉 지점에 있던 전자가 손가락을 통해 빠져나간다. 이때 센서가 어떤 위치에서 전하량이 변했는지 감지하여 접촉 지점의 위치를 알아낸다.

**바로알기** ㄱ. 투명 전극 사이에 낮은 전압을 걸어 줄 때 유리에 전하가 골고루 퍼진다.

ㄴ. 절연 물체는 전류가 흐르지 않는 물질로, 이 물체를 스크린에 접촉하면 어떤 현상도 일어나지 않는다.

**실력UP문제**

153쪽

01 ① 02 ④ 03 ③ 04 ①

**01** ㄱ. A는 전원의 (+)극에 연결되어 있으므로 양(+)전하로 대전된다.

**바로알기** ㄴ. 스위치가 전압이  $V_1$ 인 전원에 연결되어 있을 때 P는 정지해 있으므로 P는 중력과 반대 방향인 연직 위 방향으로 전기력을 받아야 한다. 이때 A는 양(+)전하, B는 음(-)전하로 대전되었으므로 P는 음(-)전하이다.

ㄷ. 스위치를 전압이  $V_1$ 인 전원에 연결했을 때 P는 정지해 있으므로 P에 작용하는 중력과 전기력의 크기는 서로 같다. 스위치를 전압이  $V_2$ 인 전원에 연결했을 때 P는 연직 위 방향으로 등가속도 직선 운동을 하므로 P에 작용하는 전기력의 크기는 중력의 크기보다 크다. 전기력의 크기  $F=qE=\frac{qV}{d}$ 에 따라  $V_1 < V_2$

이므로 A에 충전되는 전하량은 스위치를 전압이  $V_2$ 인 전원에 연결했을 때가 전압이  $V_1$ 인 전원에 연결했을 때보다 크다.

**02** ㄴ. 두 축전기에 걸린 전압과 두 금속판 사이의 간격이 같고, 금속판의 면적은 A가 B보다 크므로 A에 충전된 전하량이 B에 충전된 전하량보다 크다.

ㄷ. 두 금속판 사이의 간격( $d$ )과 두 축전기에 걸린 전압( $V$ )은 같으므로  $E=\frac{V}{d}$ 에 따라 두 금속판 사이의 전기장의 세기( $E$ )는 A와 B가 서로 같다.

**바로알기** ㄱ. A와 B는 병렬연결되어 있으므로 두 축전기에 걸린 전압은 서로 같다.

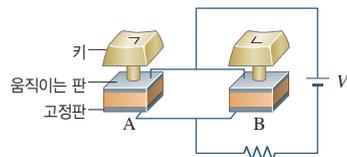
**03** ㄱ. 전압이 같을 때 축전기에 저장되는 전하량은 A가 C의 6배이므로 전기 에너지도 A가 C의 6배이다.

ㄴ. 축전기에 저장되는 전기 에너지는 금속판의 면적에 비례하고, 두 금속판 사이의 간격에 반비례한다. 전압이 같을 때 A와 B에 저장되는 전하량의 비는 2 : 1이므로  $2 : 1 = \frac{2S}{d} : \frac{S}{d}$ 에서 ㉠은 S이다.

**바로알기** ㄷ. 전압이 같을 때 A, B, C에 저장되는 전하량의 비  $6 : 3 : 1 = \frac{2S}{d} : \frac{S}{d} : \frac{S}{3d}$ 이므로 ㉡은  $3d$ 이다. 축전기에 저장되는 전하량은 두 금속판 사이의 간격에 반비례하므로 ㉡이 3배로 증가하면 C에 저장되는 전하량은 감소하게 된다. 따라서 B에 저장되는 전하량보다 더 작아진다.

**04** — **품평 문제 분석**

A와 B가 전원에 병렬로 연결되어 있다.  
 ⇒ A와 B에 걸리는 전압이 같다.



ㄱ. 'ㄱ'자판을 누르면 움직이는 판과 고정판 사이의 간격이 감소하여 축전기에 충전되는 전하량이 증가한다. 따라서 A에 저장되는 전기 에너지가 증가한다.

**바로알기** ㄴ. A는 회로에 병렬로 연결되어 있고, 전원의 전압은  $V$ 로 일정하므로 A에 걸리는 전압은  $V$ 로 일정하다.

ㄷ. B에 걸리는 전압은  $V$ 로 일정하고, B의 움직이는 판과 고정판의 면적이나 두 금속판 사이의 간격이 변하지 않았으므로 B의 전하량은 변하지 않는다.

중단원 핵심정리

154쪽~155쪽

- ① 척력   ② 인력   ③ 반비례   ④ 양(+)
- ⑤ 위치   ⑥ 높다   ⑦ 낮다   ⑧ 전하량
- ⑨ 자유 전자   ⑩ 비례   ⑪ 합   ⑫ 작아
- ⑬ 커   ⑭ 퓨즈   ⑮ 전기   ⑯ 전기력
- ⑰ 0   ⑱ 면적

중단원 마무리 문제

156쪽~159쪽

- 01 ②   02 ②   03 ①   04 ④   05 ③   06 ①
- 07 ④   08  $I_1=I_3>I_2$    09 ④   10 ③   11 ①
- 12 ②   13 ④   14 ②   15 ㉠ 전하량, ㉡ 전류
- 16 해설 참조   17 해설 참조   18 해설 참조

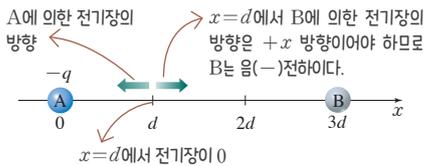
01 B가 C에 작용하는 전기력은  $+x$  방향으로  $k\frac{Qq}{r^2}$ 이고, A가 C에 작용하는 전기력은  $-x$  방향으로  $k\frac{4Qq}{(d+r)^2}$ 이다. C가 받는 전기력이 0이므로  $k\frac{4Qq}{(d+r)^2}=k\frac{Qq}{r^2}$ 에서  $\frac{4}{(d+r)^2}=\frac{1}{r^2}$ 이다.  $\frac{2}{d+r}=\frac{1}{r}$ 이므로  $d=r$ 이다.

02  $\square$ . P에서 Q까지 이동하는 동안 전기력이 입자에 한 일  $W=qV$ 이다. 전위차는 A와 B가 같고, 전하량은 B가 A의 2배이므로 전기력이 입자에 한 일은 B에서 A에서의 2배이다.

**바로알기**  $\square$ . A와 B 모두 전기장과 나란한 방향으로 힘을 받아 운동하므로 두 입자는 모두 양(+)-전하를 띤다.

$\square$ . 균일한 전기장의 세기를  $E$ , A에 작용하는 전기력의 크기를  $F$ 라고 하면  $F=qE$ 이다. 이때 전하량과 전기장의 세기가 일정하므로 전기력의 크기도 일정하다.

03 **꼼꼼 문제 분석**

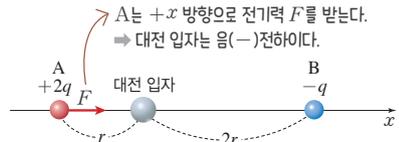


$\square$ .  $x=2d$ 는 B의 영향을 더 받는 곳이므로 전기장의 방향은  $+x$  방향이다.

**바로알기**  $\square$ . 두 전하 사이에 전기장이 0인 곳이 있으므로 A와 B가 띤 전하의 종류는 서로 같다. 전하에 의한 전기장의 세기는 전하량에 비례하고, 거리의 제곱에 반비례한다.  $x=d$ 에서 A와 B로부터 떨어진 거리 비가 1 : 2이므로 전하량의 크기 비는 1 : 4이어야 한다. 따라서 B의 전하량은  $-4q$ 이다.

$\square$ . 전위는 양(+)-전하에 가까울수록 높고, 음(-)-전하에 가까울수록 낮다. 이때 음(-)-전하의 전하량의 크기가 클수록 전위는 더 낮다. 따라서 전위는  $x=d$ 에서  $x=2d$ 에서보다 높다.

04 **꼼꼼 문제 분석**



$\square$ . A가 대전 입자로부터  $+x$  방향으로 전기력을 받으므로 대전 입자는 음(-)-전하이다.

$\square$ . 점전하에 의한 전위는 전하로부터 떨어진 거리에 반비례한다. 대전 입자로부터  $r$ 만큼 떨어진 A에서의 전위가  $V$ 이므로 대전 입자로부터  $2r$ 만큼 떨어진 B에서의 전위는  $\frac{1}{2}V$ 이다.

**바로알기**  $\square$ . 대전 입자의 전하량을  $Q$ 라고 하면 A가 대전 입자로부터 받는 전기력의 크기  $F=k\frac{Q(2q)}{r^2}$ 이다. B가 대전 입자로부터

받는 전기력의 크기를  $F'$ 라고 하면  $F'=k\frac{Qq}{(2r)^2}=k\frac{Qq}{4r^2}$ 이므로  $F'=\frac{1}{8}F$ 이다.

05  $\square$ . 전기장이 오른쪽으로 형성되었으므로 P는 양(+)-전하로 대전된 금속판이고, Q는 음(-)-전하로 대전된 금속판이다. 전위는 양(+)-전하에 가까울수록 높으므로 a에서 c에서보다 높다.

$\square$ . b에 음(-)-전하로 대전된 입자를 놓으면 P로부터 인력이 작용하고, Q로부터 척력이 작용하여 왼쪽으로 힘을 받는다.

**바로알기**  $\square$ . 전하량이  $q$ 인 전하를 전위차  $V$ 만큼 이동시키는 데 한 일  $W=qV$ 이다. b와 c는 전위가 같으므로 전위차가 0이다. 즉, 전하량이  $+q$ 인 전하를 b에서 c까지 이동시키는 데 한 일은 0이다. a와 b는 전위가 같지 않으므로 전위차가 0이 아니다. 따라서 전하량이  $+q$ 인 전하를 b에서 a까지 이동시키는 데 한 일과 b에서 c까지 이동시키는 데 한 일은 같지 않다.

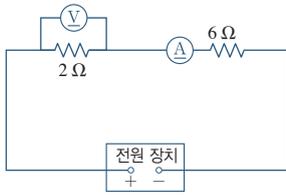
06  $\square$ . 그래프의 기울기가 일정하므로 A와 B에 흐르는 전류의 세기는 전압에 비례한다.

**바로알기**  $\square$ . 전류-전압 그래프에서 기울기는 저항의 역수를 나타낸다. A의 저항값은  $1\Omega$ , B의 저항값은  $2\Omega$ 이므로 저항값은 B가 A의 2배이다.

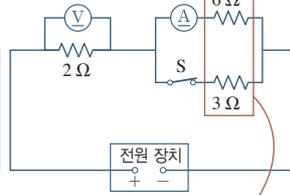
$\square$ . A와 B를 직렬로 연결하면 회로의 합성 저항값은  $3\Omega$ 이다.  $3\Omega$ 의 저항에  $12V$ 의 전압을 걸면 회로에 흐르는 전체 전류의 세기는 옴의 법칙에 따라  $\frac{12V}{3\Omega}=4A$ 이다.

**07** **꼼꼼 문제 분석**

[S가 열려 있을 때]



[S를 닫았을 때]



2 Ω과 6 Ω은 직렬연결  
 → 각 저항에 흐르는 전류의 세기가 같다.  
 → 각 저항에 걸리는 전압은 저항값에 비례한다.

6 Ω과 3 Ω은 병렬연결  
 → 각 저항에 걸리는 전압이 같다.

S가 열려 있을 때 2 Ω과 6 Ω의 저항이 직렬연결되어 있으므로 각 저항에 걸리는 전압은 저항값에 비례한다. S가 열려 있을 때 전압계가 측정한 전압은  $V$ 이므로 6 Ω의 저항에 걸리는 전압은 3V이고, 전원 장치의 전압은 4V이다. 이때 전류계가 측정한 전류의 세기  $I = \frac{V}{2\Omega}$ 이다. S를 닫으면 6 Ω과 3 Ω의 저항이 병렬연결된다. 병렬연결된 합성 저항값은 2 Ω이고, 이 합성 저항은 2 Ω의 저항과 직렬로 연결된다. 따라서 전압계가 측정한 전압(A)은 2V이고, 6 Ω의 저항에 흐르는 전류의 세기는  $\frac{2V}{6\Omega}$ 이므로 전류계가 측정한 전류의 세기(B)는  $\frac{2}{3}I$ 이다.

**08** 전지를 기준으로 회로의 위쪽과 아래쪽은 병렬로 연결된다. 따라서 아래쪽 저항의 연결 방법과 관계없이 위쪽의 저항에는 전지와 동일한 전압이 걸린다. 전지의 전압을  $V$ , 저항 하나의 저항값을  $R$ 이라고 하면 (가)에서  $I_1 = \frac{V}{R}$ 이고, (나)에서  $I_2 = \frac{V}{2R}$ 이다. (다)에서  $I_3 = \frac{V}{R}$ 이므로  $I_1 = I_3 > I_2$ 이다.

**09** ㄱ. 저항값은 저항의 길이( $l$ )에 비례하고, 단면적( $S$ )에 반비례한다. A와 B의 길이 비는 1 : 2이고, 단면적 비는 2 : 1이므로 저항값은 B가 A의 4배이다.  
 ㄷ. 전원 장치의 전압을 5V, A의 저항값을  $R$ 이라고 하면 (가)에서 A와 B는 직렬연결되어 있으므로 각 저항에 걸리는 전압은 저항값에 비례한다. 따라서 A의 소비 전력은  $\frac{V^2}{R}$ , B의 소비 전력은  $\frac{(4V)^2}{4R} = \frac{16V^2}{4R}$ 이다. (나)에서 A와 B는 병렬연결되어 있으므로 각 저항에는 5V의 전압이 걸린다. 따라서 A의 소비 전력은  $\frac{(5V)^2}{R} = \frac{25V^2}{R}$ , B의 소비 전력은  $\frac{(5V)^2}{4R} = \frac{25V^2}{4R}$ 이다. 즉, 소비 전력이 가장 작은 것은 (가)의 A이다.

**바로알기** ㄴ. (가)에서 A에 걸리는 전압은  $V$ , B에 걸리는 전압은 4V이고, (나)에서 A와 B에 걸리는 전압은 5V이므로 금속 막대에 걸리는 전압이 가장 큰 것은 (나)의 A와 B이다.

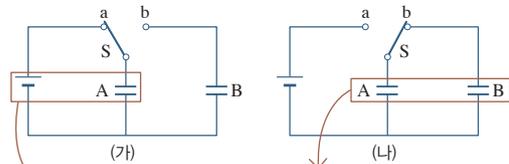
**10** ㄱ. 전선이 굵어지면 단면적이 늘어나 저항값이 작아지므로 허용 전류는 12 A보다 커지게 된다.  
 ㄴ. W(와트)는 소비 전력의 단위이므로  $\text{C}$ 은 '소비 전력'으로 고쳐야 한다.

**바로알기** ㄷ. 멀티탭에 연결되는 전기 기구들은 모두 병렬로 연결되므로 연결되는 전기 기구의 개수와 관계없이 전기 기구에 걸리는 전압은 전체 전압과 같다.

**11** ㄱ. (가)에서 P는 전지의 (+)극에 연결되어 있으므로 양(+)전하로 대전된다.

**바로알기** ㄴ. 축전기는 두 금속판 사이의 전위차가 전지의 전압과 같아질 때까지 충전된다. 따라서 (가)에서 두 금속판 사이의 전위차는  $V$ 와 같다.  
 ㄷ. (나)에서 스위치를 열어두 두 금속판에 저장된 전하들의 인력에 의해 축전기에 저장되는 전하량은 일정하게 유지된다.

**12** **꼼꼼 문제 분석**



(가) 전지의 (+)극에 연결된 A의 위쪽 금속판은 양(+)전하로 대전된다.  
 (나) A와 B는 병렬로 연결되어 있다.

ㄴ. (가)에서 A의 위쪽 금속판은 전지의 (+)극에 연결되어 있으므로 양(+)전하로 대전된다. (나)에서 양(+)전하로 대전된 A의 위쪽 금속판에 B의 위쪽 금속판이 연결되었으므로 B의 위쪽 금속판은 양(+)전하로 대전된다.

**바로알기** ㄱ. (가)에서 A는 전지에 연결되어 있지만, B는 전지에 연결되어 있지 않다. 따라서 B에는 전하가 모이지 않아 전기 에너지가 저장되지 않는다.

ㄷ. (나)에서 A와 B는 병렬로 연결되어 있으므로 두 축전기에는 같은 전압이 걸린다. 따라서 축전기 양단의 전위차는 A와 B가 서로 같다.

**13** ㄴ, ㄷ. 축전이 완료된 축전기에서 마주 보는 두 금속판의 면적이나 거리가 변하면 축전기에 저장된 전하량의 변화로 회로에 전류가 흘러 전기적 신호가 발생하므로 센서가 작동한다.

**바로알기** ㄱ. 축전기가 완전히 충전되어 있으면 회로에 전류가 흐르지 않으므로 센서가 작동하지 않는다.

**14** **ㄷ.** 축전기 금속판의 면적이 클수록 축전기에 저장되는 전하량이 많아져 축전기에 저장되는 전기 에너지가 커진다.

**ⓑ로알기** **ㄱ.** 스위치를 닫으면 전원 장치로부터 축전기에 전기 에너지가 공급되므로 (가)는 '충전'이 적절하다.

**ㄴ.** 축전기에 저장된 전기 에너지가 사람에게 부착된 단자로 한꺼번에 공급되는 상황이므로 (나)는 '방전'이다. 두 금속판 사이의 전위차가 전원 장치의 전압과 같아질 때까지 일어나는 것은 축전기의 충전 과정이다.

**15** 압력 센서는 축전기에 충전된 전하량이 변하는 원리를 활용한 예이다. 압력 센서에 압력이 가해져 두 금속판 사이의 간격이 감소하면 축전기에 충전되는 **㉠ 전하량**이 증가하여 회로에 **㉡ 전류**가 흐르게 된다. 이때 센서가 전기적 신호를 감지하여 외부 압력의 크기를 측정한다.

**16** 균일한 전기장 영역에 양(+)**전하**를 놓으면 양(+)**전하**가 받는 전기력의 방향은 전기장의 방향과 같고, 음(-)**전하**를 놓으면 음(-)**전하**가 받는 전기력의 방향은 전기장의 방향과 반대이다.

**모범 답안** 음(-)**전하**가 오른쪽으로 힘을 받으므로 전기장의 방향은 왼쪽이다. 전기장의 세기는 전하가 받는 전기력을 전하량으로 나눈값이므로

$$\frac{4N}{2C} = 2N/C \text{이다.}$$

채점 기준	배점
P에서 전기장의 방향과 세기를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
전기장의 방향과 세기 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	50 %

**17** 저항의 직렬연결 회로에서 전체 전압은 각 저항에 걸리는 전압의 합과 같고, 저항의 병렬연결 회로에서 전체 전압은 각 저항에 걸리는 전압과 같다.

**모범 답안** (가)에서 B에 걸리는 전압은  $10\Omega \times 2A = 20V$ 이므로 A에

걸리는 전압은  $30V$ 이고, A의 저항값  $R_1 = \frac{30V}{3A} = 10\Omega$ 이다. A에 흐르는 전류의 세기는 B에 흐르는 전류의 세기와 C에 흐르는 전류의 세기의 합이므로 C에 흐르는 전류의 세기는  $1A$ 이다. C는 B와 병렬연결되어 있으므로 C의 저항값  $R_2 = \frac{20V}{1A} = 20\Omega$ 이다. (나)에서 회로의 합성 저항값

을  $R$ 이라고 하면  $\frac{1}{R} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{20} = \frac{5}{20} = \frac{1}{4}$ 에서  $R = 4\Omega$ 이므로 (나)에서 전체 소비 전력은  $P = \frac{V^2}{R} = \frac{(50V)^2}{4\Omega} = 625W$ 이다.

채점 기준	배점
(나)에서 전체 소비 전력을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
(나)에서 전체 소비 전력만 옳게 쓴 경우	50 %

**18** **모범 답안** Q, S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>를 각각 b와 d에 연결하면 A와 B에 저장된 전기 에너지가 방전되면서 전구에 불이 켜진다. 이때 축전기에 걸리는 전압은 B가 A보다 크므로 A와 B가 방전되기 전까지 회로에 흐르는 전류의 세기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 최대 밝기는 Q가 P보다 크다.

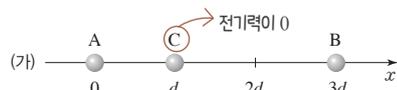
채점 기준	배점
P와 Q 중 최대 밝기가 큰 것을 옳게 쓰고, 그 까닭을 축전기에 걸리는 전압과 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
P와 Q 중 최대 밝기가 큰 것만 옳게 쓴 경우	50 %

### 중단원 고난도 문제

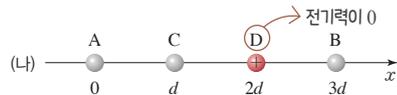
160쪽~161쪽

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

### 01 품공 문제 분석



C로부터 거리는 B가 A의 2배이다.  
→ 전하량의 크기는 B가 A의 4배이다.



전하량의 크기는 B가 A의 4배이고, D에 작용하는 전기력의 크기는 D로부터 거리는 A가 B의 2배이다. → B가 A의 16배이다.

### 선택지 분석

- ㉠ 전하량의 크기는 B가 A의 4배이다.
- ㉡ A와 C는 서로 같은 종류의 전하를 띤다.
- ✕ A의 전하량의 크기를  $q$ 라고 하면 C의 전하량의 크기는  $4q$ 이다.  $\frac{15}{4}q$

**전략적 풀이 ①** C와 D가 받는 전기력을 통해 A, B, C가 띠는 전하의 종류와 전하량의 크기를 파악한다.

ㄱ. (가)에서 C가 정지해 있으므로 A와 B가 C에 작용하는 전기력은 크기가 같고, 방향이 서로 반대이다. 따라서 A와 B가 띠는 전하의 종류는 같다. 전기력의 크기는 전하량의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. C로부터 거리는 B가 A의 2배이므로 전하량의 크기는 B가 A의 4배이다.

ㄴ. (나)에서 D로부터 거리는 A가 B의 2배이고, 전하량의 크기는 B가 A의 4배이므로 D에 작용하는 전기력의 크기는 B가 A의 16배이다. D가 정지해 있으므로 C가 D에 작용하는 전기력의 방향은 A가 D에 작용하는 전기력의 방향과 같아야 한다. 따라서 A와 C는 서로 같은 종류의 전하를 띤다.

② 전하량의 크기를 비교하기 위해 쿨롱 법칙을 적용한다.

ㄷ. (나)에서 A가 D에 작용하는 전기력의 크기를  $F$ 라고 하면, B가 D에 작용하는 전기력의 크기는  $16F$ 이므로 C가 D에 작용하는 전기력의 크기는  $16F - F = 15F$ 이다. D로부터 거리는 A가 C의 2배이므로 전하량의 크기는 C가 A의  $\frac{15}{4}$ 배이다.

**02** **꼼꼼 문제 분석**



$V = k\frac{Q}{r}$  에서 전위는 전하로부터 떨어진 거리에 반비례한다. 양쪽에 고정된 두 전하의 전하량의 크기가 같으므로 q를 기준으로 서로 대칭인 전위 분포를 가진다.

**선택지 분석**

- ㉠ p, q, r에서 전위가 가장 높은 지점은 p이다.
- ㉡ A에 작용하는 전기력의 크기는 q에서 가장 작다.
- ㉢ p와 r에서 전기장의 세기는 같다.

**전략적 풀이 ①** 전기장과 전위의 특징을 이해한다.

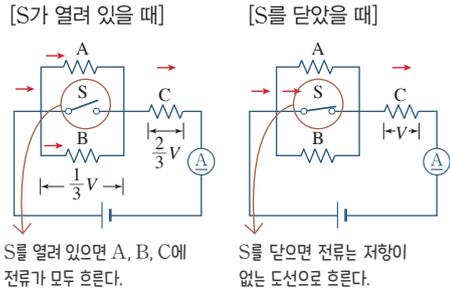
ㄱ. 전위는 양(+)-전하에 가까울수록 높으므로 전위가 가장 높은 지점은 p이다.

ㄷ. q는 양쪽에 고정된 두 점전하 사이의 가운데 지점이고, p와 r은 q로부터 같은 거리만큼 떨어져 있으므로 p와 r에서 전기장의 세기는 같다.

② 전기장과 전기력의 관계를 파악한다.

ㄴ. 대전된 점전하 주위에서 전기장의 세기는 전하로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 왼쪽에 고정된  $+q$ 와 오른쪽에 고정된  $-q$ 에 의한 전기장의 세기는 두 점전하 사이의 가운데 지점인 q에서 가장 작다. 전기장의 세기  $E = \frac{F}{q}$ 에 따라 A에 작용하는 전기력의 크기도 q에서 가장 작다.

**03** **꼼꼼 문제 분석**



**선택지 분석**

- ㉠ A에 걸리는 전압은 증가한다. 감소
- ㉡ 전류계에 흐르는 전류의 세기가 증가한다.
- ㉢ C가 소비하는 전력은 4배로 증가한다.  $\frac{9}{4}$ 배

**전략적 풀이 ①** 스위치를 닫기 전과 닫은 후 회로의 변화를 파악한다.

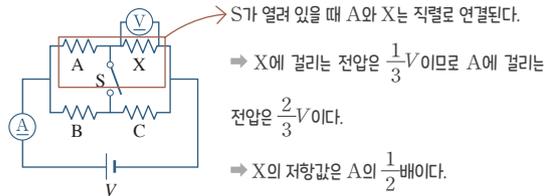
ㄱ. S를 닫으면 전류는 저항이 없는 도선으로 흐른다. 따라서 A와 B에는 전류가 흐르지 않으므로 A에 걸리는 전압은 0으로 감소한다.

② 스위치를 닫기 전과 닫은 후 회로의 합성 저항값을 비교하고 옴의 법칙과 소비 전력 공식을 적용한다.

ㄴ. S를 닫으면 회로에 저항은 C만 연결되므로 회로의 합성 저항값은 작아지고, 회로에 흐르는 전체 전류의 세기는 증가한다.

ㄷ. 전지의 전압을  $V$ , 세 저항의 저항값을  $R$ 이라고 하면 S를 닫기 전 C에 걸리는 전압은  $\frac{2}{3}V$ 이므로 C의 소비 전력은  $\frac{4V^2}{9R}$ 이다. S를 닫으면 C에 걸리는 전압은  $V$ 이므로 C의 소비 전력은  $\frac{V^2}{R}$ 이다. 따라서 C의 소비 전력은  $\frac{9}{4}$ 배로 증가한다.

**04** **꼼꼼 문제 분석**



**선택지 분석**

- ㉠  $\frac{25}{36}I_0$ 이다.  $\frac{36}{35}I_0$
- ㉡  $\frac{2}{5}V$ 이다.
- ㉢ S를 닫았을 때 X의 소비 전력은 B의  $\frac{8}{9}$ 배이다.

**전략적 풀이 ①** 스위치의 동작에 따른 저항의 연결을 분석한다.

ㄱ. S가 열려 있을 때 A와 X는 직렬연결되므로 A와 X에 걸리는 전압의 합은 전체 전압과 같다. X에 연결한 전압계가 측정하는 전압은  $\frac{1}{3}V$ 이므로 A에 걸리는 전압은  $\frac{2}{3}V$ 이다. 저항의 직렬연결 회로에서 저항에 걸리는 전압은 저항값에 비례하므로 X의 저항값은 A의  $\frac{1}{2}$ 배인  $\frac{1}{2}R$ 이다. 이때 회로의 합성 저항값은  $\frac{6}{7}R$

이므로 전류계가 측정하는 전류의 세기  $I_0 = \frac{7V}{6R}$ 이다. S를 닫으면

A와 B, X와 C가 각각 병렬연결되므로 합성 저항값은  $\frac{5}{6}R$ 이고,

전류계가 측정하는 전류의 세기는  $\frac{6V}{5R}$ 이다. 이를 정리하면 ㉠은

$$\frac{36}{35}I_0 \text{이다.}$$

㉡ 저항의 직렬연결과 병렬연결 회로에서 저항에 걸리는 전압과 전류의 세기를 파악한다.

ㄴ. S를 닫았을 때 A와 B, X와 C의 합성 저항값은 각각  $\frac{1}{2}R$ ,

$\frac{1}{3}R$ 이다. 두 합성 저항은 직렬연결되므로 저항에 걸리는 전압은

저항값에 비례한다. 두 합성 저항값의 비는 3 : 2이므로 ㉢은  $\frac{2}{5}V$ 이다.

ㄷ. S를 닫았을 때 X의 저항값은  $\frac{1}{2}R$ 이고, X에 걸리는 전압은

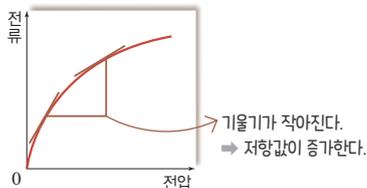
$$\frac{2}{5}V \text{이므로 X의 소비 전력은 } \frac{\left(\frac{2}{5}V\right)^2}{\frac{1}{2}R} = \frac{8V^2}{25R} \text{이다. B의 저항}$$

값은  $R$ 이고, B에 걸리는 전압은  $\frac{3}{5}V$ 이므로 B의 소비 전력은

$$\frac{\left(\frac{3}{5}V\right)^2}{R} = \frac{9V^2}{25R} \text{이다. 따라서 X의 소비 전력은 B의 } \frac{8}{9} \text{배이다.}$$

**05** **품목 문제 분석**

전류-전압 그래프에서 기울기는  $\frac{1}{\text{저항}}$ 을 의미한다.



**선택지 분석**

- ㉠ 전구에 걸리는 전압이 커질수록 전구의 저항값은 증가한다.
- ㉡ 전구에 걸리는 전압이 커질수록 전구의 소비 전력은 감소한다. 증가
- ㉢ 전원 장치의 전압이 일정할 때 가변 저항의 저항값이 증가할수록 전구에 걸리는 전압은 증가한다. 감소

**전략적 풀이 ①** 전류-전압 그래프에서 기울기의 의미를 파악한다.

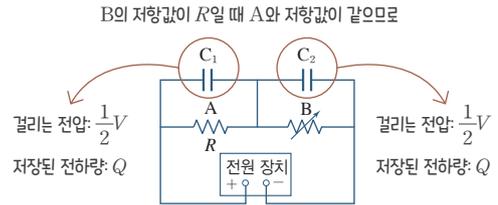
ㄱ. 전류-전압 그래프에서 기울기는 저항의 역수를 나타낸다. 전압이 커질수록 기울기가 작아지므로 전구의 저항값은 증가한다.

㉡ 전압에 따른 회로의 물리량 변화를 파악한다.

ㄴ. 그래프에서 전압이 커질수록 전류의 세기도 증가하므로  $P=VI$ 에 따라 전구의 소비 전력은 증가한다.

ㄷ. 전구와 가변 저항은 직렬연결되어 있으므로 가변 저항의 저항값이 증가하면 회로에 흐르는 전체 전류의 세기는 감소한다. 따라서 전구에 걸리는 전압은 감소한다.

**06** **품목 문제 분석**



**선택지 분석**

- ㉠  $\frac{2}{3}Q$
- ㉡  $Q$
- ㉢  $\frac{4}{3}Q$
- ㉣  $2Q$
- ㉤  $4Q$

**전략적 풀이 ①** B의 저항값에 따라 축전기에 걸리는 전압을 파악한다.

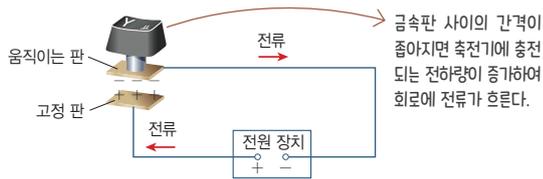
전원 장치의 전압을  $V$ 라고 하면 B의 저항값이  $R$ 일 때 A와 B에 걸리는 전압은  $\frac{1}{2}V$ 이므로  $C_1$ 과  $C_2$ 에는 두 금속판의 전위차가  $\frac{1}{2}V$ 와 같아질 때까지 전하가 저장된다. B의 저항값이  $2R$ 일 때

A와 B에 걸리는 전압은 각각  $\frac{1}{3}V$ ,  $\frac{2}{3}V$ 이므로  $C_1$ 과  $C_2$ 에는 두 금속판의 전위차가 각각  $\frac{1}{3}V$ ,  $\frac{2}{3}V$ 와 같아질 때까지 전하가 저장된다.

② 축전기에 걸리는 전압에 따라 저장되는 전하량을 파악한다.

B의 저항값이  $R$ 일 때 B에 걸리는 전압은  $\frac{1}{2}V$ 으로  $C_2$ 에 저장되는 전하량도  $Q$ 이다. B의 저항값이  $2R$ 일 때 B에 걸리는 전압은  $\frac{2}{3}V$ 이다.  $C_2$ 의 각 금속판에는 두 금속판의 전위차가 저항에 걸리는 전압과 같아질 때까지 전하가 저장되므로 이때  $C_2$ 에 저장되는 전하량은  $\frac{4}{3}Q$ 이다.

### 07 — 꼼꼼 문제 분석



#### 선택지 분석

- 축전기 양단의 전위차가 증가한다. 일정하다.
- 축전기에 충전되는 전하량이 증가한다.
- 회로에는  $\text{㉠}$  방향으로 전류가 흐른다.

**전략적 풀이 ①** 축전기를 연결한 회로의 특징을 파악한다.

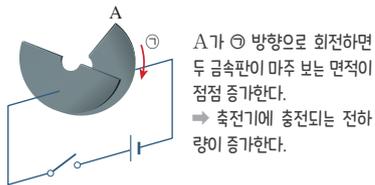
ㄱ. 글자판을 누를 때 전원 장치의 전압은 일정하므로 축전기 양단에 걸리는 전압은 변하지 않는다.

② 두 금속판 사이의 간격 변화에 따른 물리량 변화를 파악한다.

ㄴ. 글자판을 누르면 움직이는 판과 고정판 사이의 간격이 감소하여 축전기에 충전되는 전하량은 증가한다.

ㄷ. 글자판을 누르는 동안 고정 판에 있는 전자들이 전지의 (+)극 쪽으로 끌려가므로 전자는  $\text{㉡}$  방향으로 이동한다. 따라서 회로에 흐르는 전류의 방향은  $\text{㉠}$ 이다.

### 08 — 꼼꼼 문제 분석



#### 선택지 분석

- 두 금속판에 걸리는 전압은 증가한다. 일정하다.
- 축전기에 저장할 수 있는 전기 에너지가 증가한다.
- $\text{㉠}$ 과 반대 방향으로 A를 회전시키면 축전기에 충전할 수 있는 전하량은 감소한다.

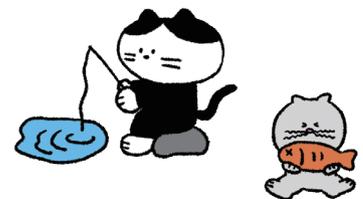
**전략적 풀이 ①** 축전기를 연결한 회로의 특징을 파악한다.

ㄱ. A를  $\text{㉠}$  방향으로 회전시킬 때 전지의 전원은 일정하므로 두 금속판에 걸리는 전압은 변하지 않는다.

② 두 금속판이 마주 보는 면적에 따른 물리량의 변화를 파악한다.

ㄴ. A를  $\text{㉠}$  방향으로 회전시키면 두 금속판이 마주 보는 면적이 증가하므로 축전기에 저장할 수 있는 전기 에너지가 증가한다.

ㄷ. A를  $\text{㉠}$ 과 반대 방향으로 회전시키면 두 금속판이 마주 보는 면적이 감소하므로 축전기에 충전되는 전하량은 감소한다.



## 2 자기

### 01 / 물질의 자성

#### 개념 확인 문제

167쪽

- 1 자기장    2 자성    3 스핀    4 상자성체    5 반자성체  
6 강자성체    7 액체 자석

- 1 ㉠ 자기장, ㉡ 스핀    2 (1) ㉡ (2) ㉢ (3) ㉠    3 (1) 강자성체  
(2) 철, 니켈 등    4 가, 다    5 ㉠ 강자성체, ㉡ 강한

1 전자가 원자핵 주변을 도는 궤도 운동을 하면 전류가 흐르는 것과 같이 ㉠ 자기장이 형성되어 원자 하나도 자성을 띠게 된다. 또한 전자의 ㉡ 스핀에 의해서도 원자의 궤도 운동과 같이 자기장이 형성되어 자성을 띠게 된다.

- 2 (1) 자석에 약하게 끌려오는 물질은 상자성체이다.  
(2) 자석에 약하게 밀려나는 물질은 반자성체이다.  
(3) 자석에 강하게 끌려오는 물질은 강자성체이다.

- 3 (1) 외부 자기장을 가했을 때 원자 자석들이 외부 자기장과 같은 방향으로 강하게 자기화되어 있고, 자기 구역이 존재하므로 이 자성체는 강자성체이다.  
(2) 강자성체로는 철, 니켈, 코발트, 산화 철 등이 있다.

- 4 가. 강자성체는 외부 자기장을 가하기 전에도 원자 자석들이 특정 영역 안에서 일정한 방향으로 정렬되어 있다. 이 영역을 자기 구역이라고 한다.  
나. 외부 자기장을 가하지 않았을 때 상자성체 내부의 원자 자석들은 무질서하게 배열되어 있어 자성을 띠지 않는다.  
다. 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라진다.

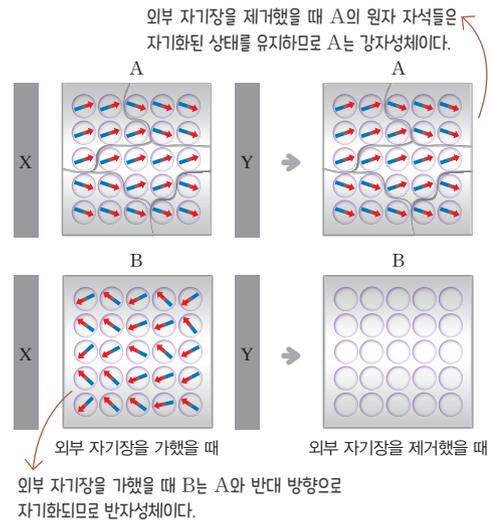
5 전자석은 ㉠ 강자성체인 철심 주위를 코일이 감싸고 있는 구조이다. 코일에 전류가 흐르면 강자성체 내 원자 자석들이 외부 전류에 의한 자기장의 방향으로 배열되어 ㉡ 강한 자기장이 형성된다.

#### 대표 자료 분석

168쪽

- 1 A: 강자성체, B: 반자성체    2 X: N극, Y: S극    3 A: 인력, B: 척력    4 A: 철, 니켈 등, B: 구리, 유리 등    5 (1) × (2) ○  
(3) × (4) × (5) ○

#### 꼼꼼 문제 분석



1 A는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태를 유지하고 있으므로 강자성체이다. B는 외부 자기장을 가했을 때 A와 반대 방향으로 자기화되므로 반자성체이다.

2 강자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다. A의 원자 자석들이 오른쪽으로 자기화되었으므로 X와 Y 사이에서 자석에 의한 자기장의 방향은 오른쪽이다. 따라서 X는 N극, Y는 S극이다.

3 외부 자기장을 가했을 때 A는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되므로 X로부터 인력을 받는다. B는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되므로 X로부터 척력을 받는다.

4 A는 강자성체로 철, 니켈, 코발트, 산화 철 등이 해당되고, B는 반자성체로 구리, 유리, 금, 플라스틱, 탄소, 수소 등이 해당된다.

- 5 (1) A는 강자성체로 외부 자기장을 가할 때 자석의 효과가 난다. 자성체는 저절로 자기화되지 않는다.  
(2) B는 반자성체로 외부 자기장을 가하기 전 전자의 궤도 운동과 스핀의 효과가 서로 상쇄되어 자성을 띠지 않는다.  
(3) 전자석에 이용되는 자성체는 강자성체이다.  
(4) 액체 산소는 상자성을 띤다.  
(5) 초전도체는 완전 반자성을 띤 물질이다. 초전도체 위에 영구 자석을 올리면 외부 자기장이 초전도체 내부를 침투하지 못하여 영구 자석은 초전도체 위에 떠 있게 된다.

내신 만점 문제

169쪽~172쪽

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

01 A. 자성은 물질이 자석에 반응하는 성질로 전자의 궤도 운동과 스핀에 의해 나타난다.

B. 물질을 구성하는 각각의 원자는 그 자체로 작은 자석의 역할을 하여 원자 자석이라고 한다.

**바로알기** C. 자석에 약하게 밀려나는 물질은 반자성체이다. 상자성체에 외부 자기장을 가하면 원자 자석들이 외부 자기장과 같은 방향으로 약하게 자기화되어 자석에 약하게 끌려온다.

02 A. 반자성체는 자석에 약하게 밀려나는 물질이다.

B. 상자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라진다.

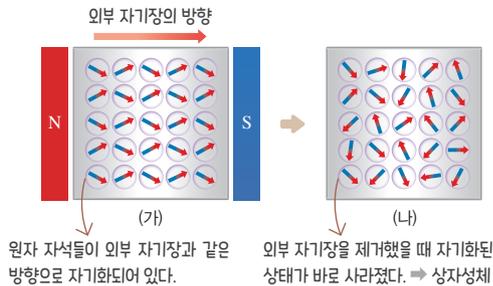
C. 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태가 오래 유지된다.

03 가. A는 자석으로부터 밀려나므로 자석의 자기장과 반대 방향으로 자기화되는 반자성체이다.

**바로알기** 나. B는 자석에 끌려오므로 강자성체이다. 구리는 반자성체에 해당되는 물질이다.

다. 반자성체인 A는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라지지만, 강자성체인 B는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태를 오래 유지한다.

04 품평 문제 분석

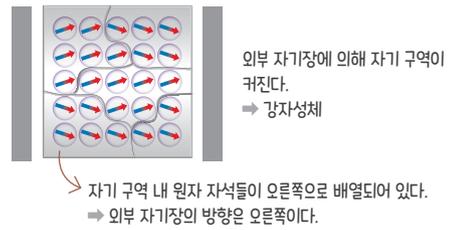


가. (가)에서 원자 자석들이 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되었지만, (나)에서 자기화된 상태가 바로 사라졌으므로 이 물질은 상자성체이다.

**바로알기** 나. 나침반 자침으로 활용되는 것은 강자성체이다.

다. 특정 온도 이하에서 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되는 것은 초전도체로 반자성체이다.

05 품평 문제 분석



④ 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태가 오래 유지된다.

**바로알기** ① 외부 자기장을 가했을 때 물질 내 자기 구역들이 커지면서 원자 자석들이 배열되므로 이 물질은 강자성체이다.

② 물질의 자성은 전자의 궤도 운동과 스핀에 의해 나타나므로 물질 내부에는 전자가 존재한다.

③ 자기 구역 내 원자 자석들이 오른쪽으로 배열되어 있으므로 균일한 자기장의 방향은 오른쪽이다.

⑤ 강자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되므로 강자성체에 자석을 가까이 하면 강자성체와 자석 사이에 서로 끌어당기는 자기력이 작용한다.

06 가. (가)에서 A에 외부 자기장을 가하지 않았으므로 A는 자성을 띠지 않는다.

나. 철은 강자성체이므로 철로 만든 클립 A와 B는 강자성체의 성질을 가진다. 따라서 (나)에서 A는 자석에 의해 자기화되고, B는 자기화된 A에 의해 자기화된다.

**바로알기** 다. A와 B는 강자성체의 성질을 가지므로 자석을 제거하여도 자성을 바로 잃지 않는다.

07 품평 문제 분석



나. A는 상자성체이므로 외부 자기장과 같은 방향으로 약하게 자기화된다. 따라서 A에서 자석과 가까운 쪽은 S극으로 자기화된다.

**바로알기** 가. (가)에서 A와 자석 사이에 서로 끌어당기는 자기력이 작용하므로 A는 강자성체 또는 상자성체이다. 이때 외부 자기장을

제거한 (나)에서 A와 B 사이에 자기력이 작용하지 않으므로 A는 상자성체이다.

ㄷ. 상자성체와 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라지므로 (나)에서 A와 B는 자성을 띠지 않는다.

**08** ㄴ. 유리 막대에 네오디뮴 자석을 가까이 했을 때 유리 막대가 자석으로부터 밀려났으므로 유리 막대는 반자성체이다. 반자성체 내의 원자 자석들은 외부 자기장과 반대 방향으로 배열된다. (나)에서 원자 자석들이  $-y$  방향으로 배열되었으므로 외부 자기장의 방향은  $+y$  방향이다.

**바로알기** ㄱ. 반자성체인 유리 막대는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라진다.

ㄷ. 외부 자기장의 방향은  $+y$  방향이므로 유리 막대에 가까워지는 네오디뮴 자석의 극은 S극이다.

**09** ㄱ, ㄴ. (나)에서 A가 위로 운동하는 까닭은 A가 자석의 자기장과 반대 방향으로 자기화되어 자석으로부터 척력을 받기 때문이다. 따라서 A는 반자성체이고, A의 아랫면은 N극으로 자기화된다.

**바로알기** ㄷ. B는 상자성체이므로 (가)에서 B의 아래에 자석을 놓으면 자석의 자기장과 같은 방향으로 약하게 자기화된다. 따라서 B는 자석으로부터 인력을 받아 아래로 움직인다.

**10** 저울에 측정되는 값은 물체의 무게와 자석이 물체에 작용하는 자기력의 합력과 같다. 자석은 강자성체와 상자성체에 인력을 작용하고, 반자성체에는 척력을 작용한다.

물체	물체의 무게(N)	저울의 측정값(N)	자기력의 방향
A	5	5.02	아래쪽
B	5	4.60	위쪽
C	5	4.97	위쪽

ㄴ. 저울에 B를 올려놓았을 때 저울의 측정값은 물체의 무게보다 작으므로 자석에 의한 자기력의 방향은 위쪽이다. 또한 물체 중에서 저울의 측정값이 가장 작으므로 B는 자석에 강하게 끌려오는 강자성체이다. 강자성체에 해당되는 물질로는 철, 니켈, 코발트 등이 있다.

ㄷ. 저울에 C를 올려놓았을 때 저울의 측정값은 물체의 무게보다 작으므로 자석에 의한 자기력의 방향은 중력의 방향과 반대인 위쪽이다.

**바로알기** ㄱ. 저울에 A를 올려놓았을 때 저울의 측정값은 물체의 무게보다 크므로 자석에 의한 자기력의 방향은 아래쪽이다. 즉, A는 자석에 약하게 밀려나는 반자성체이다.

**11** ㄱ. 외부 자기장이 제거된 A를 철가루에 가까이 했을 때 A에 철가루가 달라붙은 것으로 보아 A는 강자성체, B는 상자성체이다.

ㄴ. A는 강자성체로 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다. 따라서 A의 윗면은 N극이다.

ㄷ. B는 상자성체이므로 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라진다. 따라서 외부 자기장이 제거된 B에는 철가루가 달라붙지 않는다.

**12** ㄱ. 초전도체는 외부 자기장을 밀어내는 완전 반자성 물질이다.

ㄷ. 초전도체는 자기 부상 열차, 자기 공명 영상(MRI) 장치, 양자 컴퓨터, 핵융합 장치의 토카막 등에 활용된다.

**바로알기** ㄴ. 임계 온도 이하에서 물질의 저항값이 0이 되는 현상을 초전도 현상이라고 하며, 이러한 현상이 나타나는 물질을 초전도체라고 한다. 따라서 자석이 떠 있는 동안 초전도체의 저항값은 0이다.

**13** ㄴ. 도서관 책에는 B 강자성체로 만든 감응 테이프가 붙어 있다. 강자성체 내의 특정 영역인 자기 구역 안에 있는 원자 자석들은 모두 같은 방향으로 정렬되어 있다.

**바로알기** ㄱ. 냉장고 문의 테두리에는 A 강자성체 분말로 만든 고무 자석을 사용한다.

ㄷ. 자기 공명 영상(MRI) 장치의 해상도를 높이기 위해 조영제에 나노 크기 입자인 C 액체 자석을 사용한다. 액체 자석은 고운 알갱이의 강자성체 가루를 액체에 넣어 서로 영키지 않게 만든 것이다.

**14** ㄱ. 전자석은 강자성체인 철심을 코일이 감싸고 있는 구조이다.

ㄴ. 전자석은 전류의 세기를 조절하여 자기장의 세기를 조절할 수 있다. 코일에 흐르는 전류의 세기가 클수록 전자석의 세기도 강해진다.

**바로알기** ㄷ. 전류의 방향을 바꾸면 전자석의 극이 달라질 뿐 전자석의 성질은 그대로 유지된다. 따라서 전류의 방향을 바꾸어도 금속은 전자석에 달라붙는다.

**15** ㄱ. 자기장에 의해 디스크가 자기화되면서 정보를 기록하기 위해 플래터 표면은 강자성체로 코팅되어 있다.

ㄴ. 헤드가 플래터 위에서 움직이면 코일에 정보가 담긴 전류가 흘러 자기장이 형성되고, 강자성체가 자기장의 방향으로 자기화되어 디스크에 정보가 기록된다.

ㄷ. 강자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되므로 플레이트 표면이 자기화되는 방향은 전류에 의한 자기장의 방향과 같다.

**16** 액체 자석을 활용한 예로는 지폐의 숫자에 사용되는 자석 잉크, 조영제, 우주복, 스피커, 예술 작품 등이 있다.

**바로알기** (다) 자기 저항 메모리는 강자성체를 활용한 예이다.

**17** **모범 답안** 캡슐이 몸속을 지나가는 동안 외부 자기장을 가하면 캡슐의 강자성체가 자기화되어 캡슐의 위치와 방향을 조절할 수 있다. 이를 통해 캡슐의 이동 경로를 제어하고, 몸속 특정 기관의 영상을 얻을 수 있다.

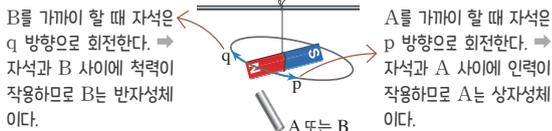
채점 기준	배점
캡슐형 내시경의 원리를 자성과 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
캡슐형 내시경의 강자성을 띠는 부품 때문이라고만 서술한 경우	40 %

**실력UP문제**

173쪽

01 ② 02 ④ 03 ① 04 ⑤

**01** **꼼꼼 문제 분석**



ㄷ. B는 반자성체이므로 자석에 가까이 하면 자석의 자기장과 반대 방향으로 자기화된다.

**바로알기** ㄱ. A는 상자성체이므로 자석에 A를 가까이 하면 A는 자석의 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.

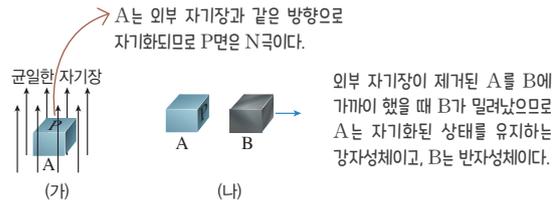
ㄴ. 자석에 B를 가까이 했을 때 자석이 q 방향으로 밀려났으므로 B는 반자성체이다.

**02** ㄱ. A 내부에 자기 구역이 있으므로 A는 강자성체이다.

ㄷ. 강자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되므로 자석의 극을 바꾸어 A에 가까이 하면 A 내부의 원자 자석들은 반대 방향으로 배열된다.

**바로알기** ㄴ. A의 자기 구역 내 원자 자석들이 오른쪽을 향하므로 자석에 의한 자기장의 방향도 오른쪽이다. 따라서 ㉠은 N극이다.

**03** **꼼꼼 문제 분석**

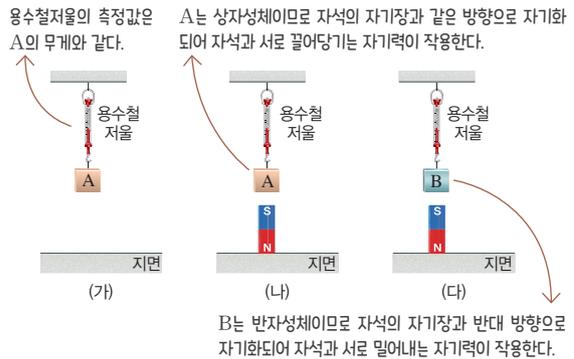


ㄱ. 균일한 자기장 영역에 있던 A를 꺼내어 B에 가까이 했을 때 B가 오른쪽으로 밀려났다는 것은 A가 자기화된 상태를 유지하고 있다는 것을 의미한다. 따라서 A는 강자성체이다.

**바로알기** ㄴ. A는 강자성체이므로 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다. 따라서 P면은 N극이다.

ㄷ. A를 B에 가까이 했을 때 B가 오른쪽으로 밀려났으므로 B는 반자성체이다. 자기화 배열에 따라 저항이 달라지는 메모리에 이용되는 것은 강자성체이다.

**04** **꼼꼼 문제 분석**



ㄴ. (나)에서 자석이 상자성체인 A를 끌어당기므로 용수철저울의 측정값은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

ㄷ. (다)에서 자석이 반자성체인 B를 밀어내므로 용수철저울의 측정값은 (가)에서가 (다)에서보다 크다.

ㄹ. (나)에서 상자성체인 A가 자석을 끌어당기므로 자석이 지면을 누르는 힘은 자석의 무게보다 작다. 반면 (다)에서 반자성체인 B가 자석을 밀어내므로 자석이 지면을 누르는 힘은 자석의 무게보다 크다.

**바로알기** ㄱ. A는 상자성체이므로 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다. 따라서 (나)에서 A의 아랫면은 N극으로 자기화된다.

## 02 / 전류의 자기 작용

### 개념 확인 문제

177쪽

1 전류 2 반비례 3 감은 수 4 자기 5 자기 부상 열차 6 운동

1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 ㉠ 3  $\frac{3}{2}B_0$  4 A 5 동쪽

6 ㉠ 운동 에너지, ㉡ 소리 에너지

1 (1) 전류가 흐르는 직선 도선 주위에 형성되는 자기장은 직선 도선을 중심으로 하는 동심원 모양이다.

(2) 원형 도선 주위의 자기장은 오른손 엄지손가락이 전류의 방향을 향하게 할 때 네 손가락이 도선을 감아주는 방향으로 형성된다.

(3) 솔레노이드에 전류가 흐르면 솔레노이드 내부에는 솔레노이드의 중심축과 나란한 모양의 자기장이 형성된다.

2 도선에 전류가 흐를 때 북쪽을 향하던 나침반 자침의 N극이 동쪽으로 회전하였으므로 나침반이 놓여 있는 곳에서 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 동쪽이다. 오른손 네 손가락을 동쪽으로 감아주면 엄지손가락은 위쪽을 향하므로 도선에 흐르는 전류의 방향은 ㉠이다.

3 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 수직으로 떨어진 거리에 반비례한다. 세기가  $I$  인 전류가 흐르는 도선으로부터 떨어진 거리가  $d$  인 곳에서  $B_0 \propto \frac{I}{d}$

이므로 도선으로부터 떨어진 거리가  $\frac{2}{3}d$  인 곳에서의 자기장의 세기를  $B$  라고 하면  $B \propto \frac{I}{(\frac{2}{3}d)} = \frac{3I}{2d} = \frac{3}{2}B_0$  이다.

4 오른손 엄지손가락을 전류의 방향인 시계 반대 방향으로 향하게 하고, 원형 도선을 따라 네 손가락을 감아주면 O에서 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향(A)이다.

5 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손 네 손가락을 전류의 방향으로 감아줄 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다. 따라서 A에서 자기장의 방향은 동쪽이다.

6 스피커의 코일에 전기 에너지가 공급되면 코일에 전류가 흘러 전류에 의한 자기장이 발생한다. 전류에 의한 자기장과 자석에 의한 자기장의 상호작용으로 코일과 진동판이 진동하면 전기 에너지는 ㉠ 운동 에너지로 전환된다. 이때 진동판이 진동하면서 소리가 발생하므로 진동에 의한 운동 에너지는 ㉡ 소리 에너지로 전환된다.

## 완자샘 비법특강

178쪽~179쪽

Q1 3:1 Q2 2:5

Q1 A와 B 사이에 있는 P에서 합성 자기장이 0이므로 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 같고, 전류의 세기는 A와 B로부터 P까지의 거리에 비례한다. A와 B로부터 P까지의 거리 비가 3:1이므로 A와 B에 흐르는 전류의 세기 비도 3:1이다.

Q2 A와 B에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대이고, 합성 자기장이 0인 곳인 P는 두 도선 밖으로 있으므로 A와 B에 흐르는 전류의 세기는 A와 B로부터 P까지의 거리에 비례한다. P는 A로부터  $2r$ 만큼, B로부터  $5r$ 만큼 떨어져 있으므로 A와 B에 흐르는 전류의 세기 비는 2:5이다.

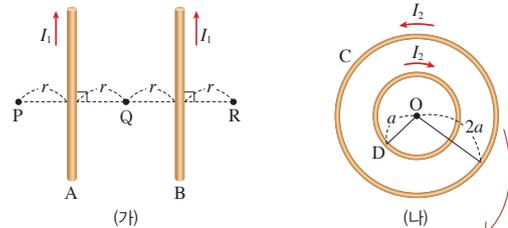
## 대표 자료 분석

180쪽

1  $\frac{4}{3}B_0$ , 종이면에서 수직으로 나오는 방향 2 0, 없음 3  $\frac{4}{3}B_0$ , 종이면에 수직으로 들어가는 방향 4  $B_0$ , 종이면에 수직으로 들어가는 방향 5 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×

### 꼭꼭 문제 분석

A와 B에 흐르는 전류의 방향이 같으므로 합성 자기장이 0인 곳은 두 도선 사이에 있다.



O에서 C의 전류에 의한 자기장:  $B_0$ (㉠)  
O에서 D의 전류에 의한 자기장:  $2B_0$ (㉡)

1 A에 흐르는 전류의 방향이 위쪽이므로 P에서 A의 전류에 의한 자기장은 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로  $B_0$ 이다. B에

흐르는 전류의 방향도 위쪽이므로 P에서 B의 전류에 의한 자기장은 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로  $\frac{1}{3}B_0$ 이다. 종이면에 수직으로 들어가는 방향을 (+)로 하면 P에서 합성 자기장은  $\left| -B_0 - \frac{1}{3}B_0 \right| = \frac{4}{3}B_0$ 으로 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

2 Q에서 A의 전류에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로  $B_0$ 이고, B의 전류에 의한 자기장은 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로  $B_0$ 이다. 따라서 Q에서 합성 자기장은  $B_0 - B_0 = 0$ 이다.

3 R에서 A의 전류에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로  $\frac{1}{3}B_0$ 이고, B의 전류에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로  $B_0$ 이다. 따라서 R에서 합성 자기장은  $\frac{1}{3}B_0 + B_0 = \frac{4}{3}B_0$ 으로 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

4 O에서 C의 전류에 의한 자기장은 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로  $B_0$ 이고, D의 반지름은 C의  $\frac{1}{2}$ 배이므로 전류에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로  $2B_0$ 이다. 따라서 O에서 합성 자기장은  $2B_0 - B_0 = B_0$ 으로 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

5 (1) 직선 전류에 의한 자기장은 도선으로부터 수직으로 떨어진 거리에 반비례한다. A로부터 수직으로 떨어진 거리는 R이 Q보다 길어 A의 전류에 의한 자기장의 세기는 R에서가 Q에서보다 작다.

(2) B에 흐르는 전류의 세기가 2배로 증가해도 두 도선에 흐르는 전류의 방향은 같으므로 합성 자기장이 0이 되는 곳은 두 도선 사이에 있다. 이때 두 도선에 흐르는 전류의 세기 비와 두 도선으로부터 합성 자기장이 0인 곳이 떨어진 거리 비는 같으므로 합성 자기장이 0인 곳은 A와 Q 사이에 있게 된다.

(3) O에서 C의 전류에 의한 자기장은 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로  $B_0$ 이고, O에서 D의 전류에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로  $2B_0$ 이므로 C에 흐르는 전류의 세기가 2배로 증가하면 O에서 합성 자기장이 0이 된다.

(4) D에 흐르는 전류의 방향을 반대로 하면 O에서 C와 D의 전류에 의한 자기장의 방향이 같아지므로 합성 자기장의 세기는  $3B_0$ 가 된다.

### 내신만점문제

181쪽~184쪽

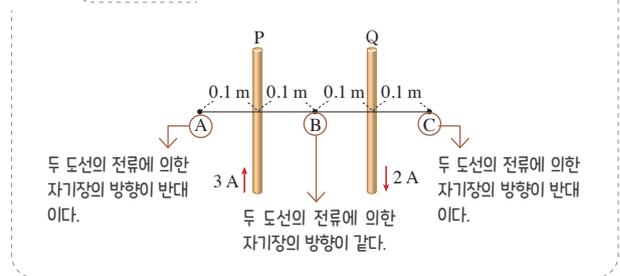
- |      |          |                      |          |      |
|------|----------|----------------------|----------|------|
| 01 ② | 02 ③     | 03 해설 참조             | 04 ⑤     | 05 ② |
| 06 ① | 07 ③     | 08 수평면에 수직으로 들어가는 방향 |          |      |
| 09 ① | 10 해설 참조 | 11 ③                 | 12 ④     | 13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

01 다. 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 직선 도선으로부터 수직으로 떨어진 거리에 반비례한다. 직선 도선으로부터 수직으로 떨어진 거리는 p에서가 q에서보다 길어 자기장의 세기는 p에서가 q에서보다 작다.

(바로알기) ㄱ. 오른손 네 손가락을 자기장의 방향인 시계 방향으로 감아주면 엄지손가락은 도선의 아래쪽을 향하므로 도선에 흐르는 전류의 방향은 b이다.

ㄴ. 오른손 네 손가락을 자기장의 방향으로 감아주면 p에서 자기장의 방향은 수평면에 수직으로 들어가는 방향이고, q에서 자기장의 방향은 수평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

### 02 꼬집 문제 분석



B에서 두 도선의 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 같으므로 합성 자기장의 세기가 가장 크다. A와 C에서는 두 도선의 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이므로 합성 자기장의 세기가 B에서보다 작다. 이때 전류의 세기가 큰 도선에 가까운 A에서 합성 자기장의 세기가 C에서보다 크므로 합성 자기장의 세기는  $B_B > B_A > B_C$ 이다.

03 p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기를  $B_A$ 라고 하고, 종이면에 수직으로 들어가는 방향을 (+)로 한다.

① A와 B에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대일 때: p에서 A와 B의 전류에 의한 자기장은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이므로 합성 자기장은  $-B_A - B$ 이다. q에서 A의 전류에 의한 자기장은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이고, B의 전류에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이므로 합성 자기장은  $-\frac{1}{3}B_A + B$ 이다. p와 q에서 합성 자기장의 세기와 방향이 같으므로  $-B_A - B = -\frac{1}{3}B_A + B$ 에서  $B_A = | -3B |$ 이다. 이때

q에서 합성 자기장은 0이 되므로 p와 q에서 합성 자기장의 세기와 방향이 같다는 조건을 만족하지 않는다.

② A와 B에 흐르는 전류의 방향이 서로 같을 때: p에서 A의 전류에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, B의 전류에 의한 자기장은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이므로 합성 자기장은  $B_A - B$ 이다. q에서 A와 B의 전류에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이므로 합성 자기장은  $\frac{1}{3}B_A + B$ 이다. p와 q에서 합성 자기장의 세기와 방향이 같으

므로  $B_A - B = \frac{1}{3}B_A + B$ 에서  $B_A = 3B$ 이고, p와 q에서 합성 자기장이 같다는 조건을 만족한다.

**모범 답안** p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기를  $B_A$ 라고 하면 A와 B에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대일 때 p와 q에서 합성 자기장은 같으므로  $-B_A - B = -\frac{1}{3}B_A + B$ 에서  $B_A = |-3B|$ 가 된다. 이때 q에서 합성 자기장은 0이 되어 p와 q에서 합성 자기장이 같다는 조건과 맞지 않으므로 A에 흐르는 전류의 방향은 B에 흐르는 전류의 방향과 같은  $+y$  방향이다. 이때 p와 q에서 합성 자기장은 같으므로  $B_A - B = \frac{1}{3}B_A + B$ 이고,  $B_A = 3B$ 이므로 A에 흐르는 전류의 세기는  $3I_0$ 이다.

채점 기준	배점
A에 흐르는 전류의 세기와 방향을 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
A에 흐르는 전류의 세기와 방향 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	50 %

**04** ㄴ. 합성 자기장이 0인 원점으로부터 A와 B까지의 거리 비는 1 : 3이므로 A와 B에 흐르는 전류의 세기 비도 1 : 3이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 세기는  $3I_0$ 이다.

ㄷ. B에 흐르는 전류의 방향이 반대가 되면 A와 B에 흐르는 전류의 방향이 같아지므로 합성 자기장이 0인 곳은 두 도선 사이에 있게 된다. A와 B로부터 합성 자기장이 0인 곳까지의 거리 비는 A와 B에 흐르는 전류의 세기 비와 같으므로  $x = \frac{3}{2}d$ 에서 합성 자기장이 0이 된다.

**바로알기** ㄱ. A와 B 밖에 합성 자기장이 0인 곳이 있으므로 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

**05** ㄷ. 원형 도선에 흐르는 전류의 세기가 증가하면 원형 도선의 중심에서 자기장의 세기가 증가하므로 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향은 변하지 않는다.

**바로알기** ㄱ. 나침반 자침의 N극이 남쪽을 가리킨다는 것은 원형 전류에 의한 자기장의 세기가 지구 자기장의 세기보다 크다는 것을 의미한다. 원형 전류에 의한 자기장의 방향으로 오른손 네 손가락을 감아주면 원형 도선에 흐르는 전류의 방향은  $a$ 이다.

ㄴ. 원형 도선 중심에서 원형 전류에 의한 자기장의 세기는 원의 반지름에 반비례하므로 원형 도선의 반지름이 감소하면 원형 도선 중심에서 자기장의 세기는 증가한다. 원의 반지름이 감소하기 전에도 원형 전류에 의한 자기장의 세기가 지구 자기장의 세기보다 컸으므로 원의 반지름이 감소해도 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향은 변하지 않는다.

**06** ㄱ. O에서 P의 전류에 의한 자기장은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이고, O에서 P와 Q의 전류에 의한 합성 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이므로 O에서 Q의 전류에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이어야 한다. 따라서 Q에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다.

**바로알기** ㄴ. 원형 도선 중심에서 원형 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 원의 반지름에 반비례한다. Q의 반지름은 P의 2배이고, O에서 Q의 전류에 의한 자기장의 세기가 P의 전류에 의한 자기장의 세기보다 커야 하므로  $I_P < I_Q$ 이다.

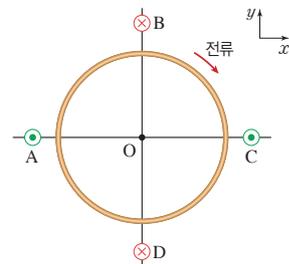
ㄷ. P의 반지름이  $2r$ 로 증가하면 O에서 P의 전류에 의한 자기장의 세기가 감소한다. 따라서 O에서 합성 자기장의 방향은 변하지 않는다.

**07** ㄱ. 오른손 엄지손가락을 전류의 방향인 시계 반대 방향으로 향하게 하고 나머지 네 손가락을 감아주면 (가)의 P에는 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로 자기장이 형성된다.

ㄴ. (나)의 P에서 합성 자기장이 0이 되려면 A의 전류에 의한 자기장의 방향과 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대가 되어야 한다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다.

**바로알기** ㄷ. (나)의 P에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_0$ 이고, B의 반지름은 A의  $\frac{1}{2}$ 배이므로  $B_0 \propto \frac{I_0}{2a} = \frac{I}{a}$ 에서  $I = \frac{1}{2}I_0$ 이다.

### 08 ———— 푼답 문제 분석



[O에서 직선 전류에 의한 자기장의 방향]

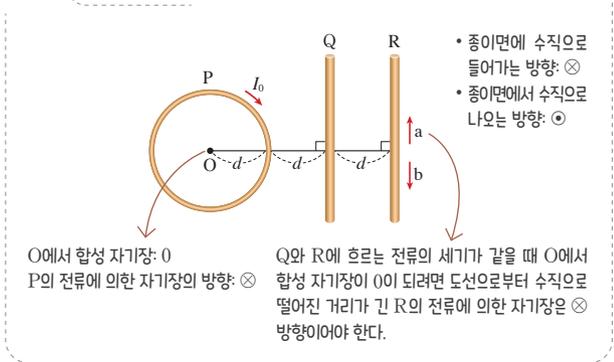
A의 전류에 의한 자기장의 방향:  $+y$  방향, B의 전류에 의한 자기장의 방향:  $-x$  방향,

C의 전류에 의한 자기장의 방향:  $-y$  방향, D의 전류에 의한 자기장의 방향:  $+x$  방향

→ O에서 직선 전류에 의한 합성 자기장은 0이다.

A와 C에 흐르는 전류의 세기와 방향이 같으므로 O에서 A와 C의 전류에 의한 합성 자기장은 0이다. 또한 B와 D에 흐르는 전류의 세기와 방향도 같으므로 O에서 B와 D의 전류에 의한 합성 자기장은 0이다. 결국 A, B, C, D의 전류에 의한 합성 자기장은 0이고, 원형 전류에 의한 자기장만 남게 된다. 원형 도선에 시계 방향으로 전류가 흐르므로 O에서 합성 자기장의 방향은 수평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

**09** **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. 오른손 엄지손가락을 P에 흐르는 전류의 방향인 시계 방향으로 향하게 하고 나머지 네 손가락을 감아쥐면 O에서는 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로 자기장이 형성된다.

**바로알기** ㄴ. Q와 R에 흐르는 전류의 세기가 같고, O에서 수직으로 떨어진 거리는 R이 Q보다 길다. O에서 합성 자기장이 0이므로 O에서 Q의 전류에 의한 자기장의 세기는 P의 전류에 의한 자기장의 세기보다 커야 한다.

ㄷ. 두 도선 밖인 O에서 합성 자기장이 0이므로 Q와 R에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다. O에서 수직으로 떨어진 거리가 긴 R의 전류에 의한 자기장이 P의 전류에 의한 자기장과 같이 종이면에 수직으로 들어가는 방향이어야 조건을 만족하므로 R에 흐르는 전류의 방향은 b이다.

**10** **모범 답안** (나)의 O에서 합성 자기장은 0이므로 B의 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_0$ 이다. 종이면에 수직으로 들어가는 방향을 (+)로 하면 (다)의 O에서 A와 B의 전류에 의한 자기장은 각각  $B_0$ 이고, C에 흐르는 전류의 세기는 B의  $\frac{1}{2}$ 배이므로 C의 전류에 의한 자기장은  $\frac{1}{2}B_0$ 이다. 따라서 (다)의 O에서 합성 자기장은  $B_0 + B_0 + \frac{1}{2}B_0 = \frac{5}{2}B_0$ 로 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

**11** 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기와 단위 길이당 코일의 감은 수에 비례한다. 코일의 감은 수를  $N$ 이라고 하면  $B_{(가)} : B_{(나)} = 1A \times \frac{N}{30} : 2A \times \frac{N}{40} = 2 : 3$ 이다.

**12** ㄴ. 솔레노이드 외부에서 자기장은 막대자석에 의한 자기장의 모양과 같으므로 P와 R에서 자기장의 방향은 왼쪽이고, Q에서 자기장의 방향은 오른쪽이다.

ㄷ. 전류의 방향을 반대로 바꾸면 솔레노이드에 의한 자기장의 방향도 반대로 바뀐다.

**바로알기** ㄱ. 오른손 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥐면 엄지손가락이 오른쪽을 가리키므로 솔레노이드의 오른쪽은 N극이 된다. 따라서 막대자석과 솔레노이드 사이에는 서로 끌어당기는 힘이 작용한다.

**13** ㄴ. 오른손 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥐면 A의 오른쪽은 S극, B의 왼쪽은 N극이 되므로 A와 B 사이에는 서로 끌어당기는 힘이 작용한다.

**바로알기** ㄱ. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 단위 길이당 코일의 감은 수와 전류의 세기에 비례한다. A와 B의 길이는 같고, 코일의 감은 수와 전류의 세기 모두 B가 A의 2배이므로 내부에서 자기장의 세기는 B가 A의 4배이다.

ㄷ. A의 왼쪽은 N극, B의 오른쪽은 S극이 되므로 P의 N극 자침은 시계 반대 방향으로 회전하고, Q의 N극 자침도 시계 반대 방향으로 회전한다. 즉, P와 Q의 N극 자침은 서로 같은 방향으로 회전한다.

**14** ㄱ. (가) 자기 부상 열차는 전류가 흐르는 전자석과 레일 하부에 붙어 있는 자석 사이의 자기력(척력)을 이용하여 열차가 공중에 뜨게 한다.

ㄴ. (가) 자기 부상 열차에서 전자석의 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하면 전자석에 형성되는 자기장의 세기도 증가한다.

ㄷ. (나) 자기 공명 영상(MRI) 장치는 초전도체로 만든 코일에 강한 전류가 흐를 때 내부에 형성되는 자기장으로 신체 내부 영상을 얻는 장치이다.

**15** ㄴ. 전동기는 전기 에너지를 **ⓐ 운동** 에너지로 전환하는 장치이다.

ㄷ. 전동기에 흐르는 전류의 세기가 커지면 코일에 형성되는 자기장의 세기도 커져 코일이 받는 힘의 세기가 커진다. 따라서 전동기가 더 빠르게 회전한다.

**바로알기** ㄱ. 전동기는 회전축을 중심으로 회전하는 코일과 코일을 둘러싼 **ⓑ 영구 자석**으로 구성되어 있다.

**16** ㄷ. 코일에 흐르는 전류의 세기와 방향이 시간에 따라 계속 변하면 코일에 작용하는 힘의 세기와 방향이 변하여 코일이 진동한다.

**바로알기** ㄱ. 코일에 전류가 a 방향으로 흐르면 코일의 왼쪽은 N극이 되므로 코일과 자석 사이에 서로 끌어당기는 힘이 작용한다.

나. 코일에 전류가  $b$  방향으로 흐르면 코일의 오른쪽은 N극이 되므로 코일 중심에서 자기장의 방향은 오른쪽이다. 코일 중심에서 자석에 의한 자기장의 방향은 왼쪽이므로 두 자기장의 방향은 서로 반대이다.

**17** **모범 답안** 스피커의 코일에 전기 에너지가 공급되면 코일에 전류가 흐르게 된다. 이때 스피커의 자석과 코일의 자기 작용으로 진동판이 진동하여 전기 에너지가 운동 에너지로 전환된다. 코일의 진동으로 공기가 떨리며 소리가 발생하고, 운동 에너지는 소리 에너지로 전환된다.

채점 기준	배점
제시된 용어를 모두 포함하여 스피커의 원리를 옳게 서술한 경우	100 %
제시된 용어 중 전기 에너지, 운동 에너지, 소리 에너지의 언급 없이 스피커의 원리를 서술한 경우	30 %

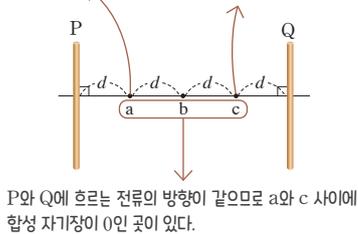
## 실력 UP 문제

185쪽

01 ①    02 ①    03 ③    04 ⑤

### 01 **꼼꼼 문제 분석**

a에서 합성 자기장의 방향:  $\otimes$                       c에서 합성 자기장의 방향:  $\odot$   
 → a는 P의 전류에 의한 자기장의 영향이 큰 곳이므로 P에 흐르는 전류의 방향은 위쪽이다.                      c는 Q의 전류에 의한 자기장의 영향이 큰 곳이므로 Q에 흐르는 전류의 방향은 위쪽이다.

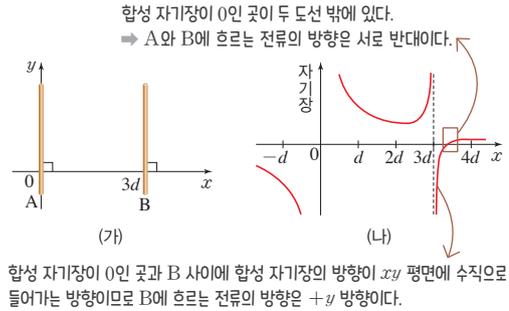


나. P와 Q에 흐르는 전류에 의한 합성 자기장의 세기는 a에서가 c에서보다 크므로 전류의 세기는 P에서가 Q에서보다 크다.

**바로알기** 나. a는 P의 전류에 의한 자기장의 영향이 큰 곳이고, c는 Q의 전류에 의한 자기장의 영향이 큰 곳이다. a에서 합성 자기장의 방향은  $\otimes$ 이므로, P에 흐르는 전류의 방향은 위쪽이다. c에서 합성 자기장의 방향은  $\odot$ 이므로 Q에 흐르는 전류의 방향은 위쪽이다. 따라서 P와 Q에 흐르는 전류의 방향은 서로 같다.

다. b는 P와 Q에서 같은 거리만큼 떨어진 곳이다. P에 흐르는 전류의 세기가 Q에 흐르는 전류의 세기보다 크므로 b에서 합성 자기장의 방향은  $\otimes$ 이다.

### 02 **꼼꼼 문제 분석**



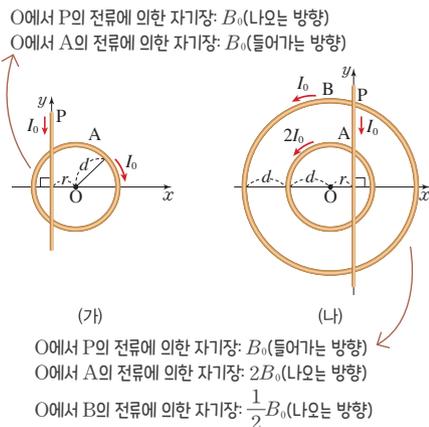
나. 합성 자기장이 0인 곳이 두 도선 밖에 있으므로 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다. 합성 자기장이 0인 곳과 B 사이는 B의 영향을 크게 받는 곳이다. 이 영역에서 합성 자기장의 방향이  $xy$  평면에 들어가는 방향이므로 B에 흐르는 전류의 방향은  $+y$  방향이고, A에 흐르는 전류의 방향은  $-y$  방향이다.

**바로알기** 나. A와 B 사이에서 그래프는 B 쪽으로 치우쳐 있으며, 합성 자기장의 방향은  $xy$  평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 이는 A에 흐르는 전류의 세기가 B에 흐르는 전류의 세기보다 크기 때문에 나타나는 현상이다.

**다른 풀이** A와 B로부터 합성 자기장이 0인 곳까지의 거리 비는 A가 B보다 크므로 도선에 흐르는 전류의 세기는 A가 B보다 크다.

다. B에 흐르는 전류의 방향을 반대로 바꾸면 A와 B에 흐르는 전류의 방향이 같으므로 합성 자기장이 0인 곳은 A와 B 사이에 있다.

### 03 **꼼꼼 문제 분석**



(가)의 O에서 합성 자기장이 0이므로 A의 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_0$ 이다. 종이면에 수직으로 들어가는 방향을 (+)로 하면 (나)의 O에서 P의 전류에 의한 자기장은  $B_0$ , A의 전류에 의한 자기장은  $-2B_0$ , B의 전류에 의한 자기장은  $-\frac{1}{2}B_0$ 이므로 합성 자기장의 세기는  $|B_0 - 2B_0 - \frac{1}{2}B_0| = \frac{3}{2}B_0$ 이다.

- 04** ㄱ. 오른손 네 손가락을 전류의 방향으로 감아주면 엄지손가락이 가리키는 방향이 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향이다. 솔레노이드 내부에서 A와 B에 의한 자기장의 방향이 모두 왼쪽이므로 P에서 전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽이다.
- ㄴ. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 단위 길이당 코일의 감은 수와 전류의 세기에 비례한다. 단위 길이당 코일의 감은 수와 전류의 세기 모두 B가 A의 2배이므로 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 B가 A의 4배이다.
- ㄷ. A의 오른쪽은 S극이고, B의 왼쪽은 N극이므로 A와 B 사이에는 서로 끌어당기는 힘이 작용한다.

**3** 막대자석의 N극이 코일에서 멀어지면 코일을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하기 위해 코일의 왼쪽은 S극으로 유도되어 b 방향으로 유도 전류가 흐른다. 이때 코일의 오른쪽은 N극으로 유도되므로 나침반 자침의 N극은 동쪽을 가리키게 된다.

- 4** (1) 자석의 N극이 아래쪽을 향하며 구리관 속으로 낙하하므로 A 부분의 위쪽은 자기 선속의 변화를 방해하기 위해 N극으로 유도된다. 유도 전류의 방향은 오른손 엄지손가락이 유도 전류에 의한 자기장의 방향을 향하게 할 때 네 손가락이 감아주는 방향이므로 시계 반대 방향으로 흐른다.
- (2) 렌츠 법칙에 따라 자석이 구리관을 통과할 때 구리관에 유도되는 자기장은 자석의 운동을 방해한다. 따라서 자석이 구리관으로부터 받는 힘의 방향은 위쪽이다.
- (3) 전자기 유도에 의해 자석이 낙하하는 동안 자석의 역학적 에너지 일부는 전기 에너지로 전환된다.

**5** 무선 충전기의 송신 코일에 시간에 따라 변하는 전류가 흐를 때 스마트폰 내부의 수신 코일을 통과하는 자기 선속이 변하여 수신 코일에 유도 전류가 흐르게 된다. 즉, 무선 충전기에 시간에 따라 변하는 전류가 흐를 때 스마트폰 내부 코일에 전류가 유도되어 스마트폰의 배터리가 충전된다.

## 03 / 전자기 유도

### 개념 확인문제

189쪽

- ① 전자기 유도   ② 유도 전류   ③ 유도 기전력   ④ 렌츠   ⑤ 셀수룩  
⑥ 빠르게   ⑦ 많을수록   ⑧ 전기   ⑨ 자기 선속

- 1 (1) ○ (2) × (3) ○   2 a → ⊙ → b   3 b, 동쪽   4 (1) 시계 반대 (2) 위쪽 (3) 역학적 에너지   5 (나)

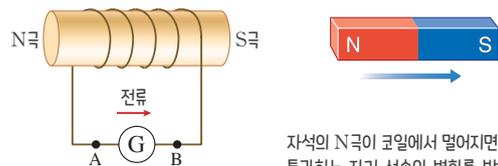
- 1** (1) 코일을 통과하는 자기 선속이 시간에 따라 변하면 코일에 전류가 유도된다.  
(2) 자석이 코일 속에 정지해 있으면 코일을 통과하는 자기 선속이 변하지 않으므로 코일에 유도 전류가 흐르지 않는다.  
(3) 유도 전류는 옴의 법칙에 따라 유도 기전력에 비례한다.
- 2** 막대자석의 S극이 코일에서 멀어지면 코일을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하기 위해 코일의 위쪽은 N극으로 유도된다. 유도 전류의 방향은 오른손 엄지손가락을 유도 전류에 의한 자기장의 방향으로 향하게 할 때 네 손가락이 감아주는 방향이므로 검류계에 흐르는 유도 전류의 방향은 a → ⊙ → b이다.

### 대표 자료 분석

190쪽

- 1 ① S, ⊙ 유도 전류   2 A → ⊙ → B   3 ⊙   4 A → ⊙ → B  
5 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○

### 포뮬러 문제 분석



자석과 코일의 상대 운동으로 유도 기전력이 발생하여 코일에 유도 전류가 흐른다.

자석의 N극이 코일에서 멀어지면 코일을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하기 위해 코일과 자석 사이에 인력이 작용한다.  
→ 코일의 오른쪽에 S극이 유도된다.

- 1** 자석의 N극이 코일로부터 멀어지면 코일을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하기 위해 코일의 왼쪽 방향으로 유도 자기장이 형성된다. 즉, 코일의 오른쪽에 ① S극이 유도되도록 ② 유도 전류가 흐른다.

2 코일의 오른쪽이 S극이 되도록 유도 자기장이 형성되어야  
 하므로 검류계에 흐르는 유도 전류의 방향은  $A \rightarrow \text{㉔} \rightarrow B$ 이다.

3 ㄱ, ㄷ. N극을 코일에 가까이 하거나 S극을 코일에서 멀리  
 하면 코일의 오른쪽이 N극이 되도록 유도 자기장이 형성된다.  
 따라서 N극이 코일에서 멀어질 때와 반대 방향으로 유도 전류가  
 흐른다.

ㄴ. S극을 코일에 가까이 하면 코일의 오른쪽이 S극이 되도록  
 유도 자기장이 형성된다. 따라서 N극이 코일에서 멀어질 때와  
 같은 방향으로 유도 전류가 흐른다.

4 전자기 유도는 자석과 코일의 상대 운동으로 나타나는 현상  
 이다. 자석은 가만히 두고 코일을 자석으로부터 멀어지게 하는  
 것은 코일은 가만히 두고 자석을 코일로부터 멀어지게 하는 것과  
 같으므로 서로 같은 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 검류  
 계에 흐르는 유도 전류의 방향은  $A \rightarrow \text{㉔} \rightarrow B$ 이다.

5 (1) 자석의 N극이 코일로부터 멀어지면 코일의 오른쪽은  
 S극으로 유도되므로 자석과 코일 사이에는 서로 끌어당기는 인  
 력이 작용한다.

(2), (3) 유도 전류의 세기는 자석의 세기가 셀수록, 자석을 빠르  
 게 움직일수록, 코일의 감은 수가 많을수록 크다.

(4) 자석이 정지하면 코일을 통과하는 자기 선속이 변하지 않으므  
 로 코일에 전류가 유도되지 않는다.

**내신 만점 문제**

191쪽~194쪽

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

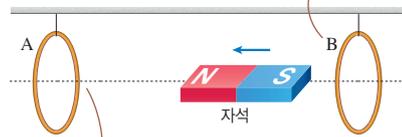
01 ㄱ. 코일에 막대자석의 N극을 가까이 하면 코일을 통과하  
 는 자기 선속이 증가한다. 자기 선속의 변화를 방해하기 위해  
 코일의 위쪽에는 N극이 유도되므로 막대자석과 코일 사이에는  
 서로 밀어내는 힘이 작용한다.

ㄴ. 코일에 막대자석의 S극을 가까이 하면 자기 선속의 변화를  
 방해하기 위해 코일의 위쪽에는 S극이 유도되므로 N극을 가까이  
 할 때와 반대로 검류계 바늘은 왼쪽으로 움직인다.

**바로알기** ㄷ. 막대자석의 세기만 세질 뿐 코일에 가까이 하는 막  
 대자석의 극은 N극으로 변하지 않으므로 코일에 유도되는 자기  
 장의 방향은 변하지 않는다.

**02** **꼼꼼 문제 분석**

S극이 멀어지므로 왼쪽 방향의 자기 선속이 감소한다.  
 → B의 왼쪽이 N극이 되도록 유도 자기장이 형성된다.



N극이 접근하므로 왼쪽 방향의 자기 선속이 증가한다.  
 → A의 오른쪽이 N극이 되도록 유도 자기장이 형성된다.

ㄴ. 자석은 A보다 B에 더 가까이 있으므로 자기 선속의 변화는  
 B에서가 A에서보다 크다. 따라서 유도 전류의 세기는 B에서가  
 A에서보다 크다.

**바로알기** ㄱ. A에는 오른쪽이 N극이 되도록 유도 자기장이 형성  
 되고, B에는 왼쪽이 N극이 되도록 유도 자기장이 형성된다. 따  
 라서 A와 B에 흐르는 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.

ㄷ. 자석은 A로부터 오른쪽으로 척력을 받고, B로부터 오른쪽  
 으로 인력을 받는다. 따라서 자석이 A와 B로부터 받는 자기력의  
 방향은 서로 같다.

**03** **꼼꼼 문제 분석**

윗면  
 막대자석이 p를 지날 때 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.  
 → X의 아래쪽은 N극으로 유도된다.  
 → 막대자석의 윗면은 S극이다.

막대자석의 N극이 가까워진다.  
 → 자기 선속의 증가를 방해하는 방향으로 유도 자기장이 형성  
 된다.  
 → Y의 위쪽은 N극으로 유도된다.

ㄴ. 막대자석이 p를 지나는 순간 Y에는 막대자석의 N극이 가까  
 워지므로 Y의 위쪽은 N극으로 유도된다. 따라서 Y에는 b 방향  
 으로 유도 전류가 흐른다.

ㄷ. 막대자석이 p를 지나는 순간 X와 Y는 막대자석의 운동을  
 방해하는 방향으로 자기력을 작용한다. 즉, 막대자석은 X와 Y  
 로부터 위쪽으로 자기력을 받는다.

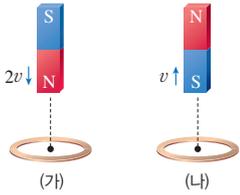
**바로알기** ㄱ. 막대자석이 p를 지나는 순간 X에 시계 방향으로 유  
 도 전류가 흐르므로 X의 아래쪽은 N극으로 유도된 것이다. 따  
 라서 막대자석의 윗면은 S극이다.

04 ㄱ. 유도 전류의 세기는 자석을 빠르게 움직일수록 크므로  
 $\theta$ 가 커진다.

ㄴ. 동일한 자석 2개를 같은 극끼리 겹치면 자석의 세기가 세져  
 코일에 유도되는 전류의 세기가 커지므로  $\theta$ 가 커진다.

**바로알기** ㄷ. 자석이 코일 내부에 정지해 있으면 코일을 통과하는 자기 선속의 변화가 없으므로 코일에 유도 전류가 흐르지 않는다. 이때 검류계 바늘은 영점을 가리키게 되므로  $\theta$ 는 작아진다.

**05** — **꼼꼼 문제 분석**



(가)에서 N극이 가까워지므로 금속 고리의 위쪽은 N극으로 유도된다.   
 → 금속 고리에 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.   
 (나)에서 S극이 멀어지므로 금속 고리의 위쪽은 N극으로 유도된다.   
 → 금속 고리에 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

ㄷ. 자석의 속력이 (가)에서가 (나)에서의 2배이므로 시간에 따른 자기 선속의 변화는 (가)에서가 (나)에서보다 크다. 따라서 자석이 원형 도선의 중심에서 같은 거리에 있는 점을 지날 때 유도 전류의 세기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

**바로알기** ㄱ. (가)에서 자석의 N극이 가까워지므로 금속 고리의 위쪽은 N극으로 유도되어 자석은 위쪽으로 자기력을 받는다. (나)에서 자석의 S극이 멀어지므로 금속 고리의 위쪽은 N극으로 유도되어 막대자석은 아래쪽으로 자기력을 받는다. 따라서 (가)와 (나)에서 자석이 받는 자기력의 방향은 서로 반대이다.   
 ㄴ. (가)와 (나)에서 금속 고리의 위쪽은 N극으로 유도되므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향으로 서로 같다.

**06** ㄱ. 막대자석이 최고점에 도달할 때 순간적으로 정지하므로 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 변화량은 0이 된다. 따라서 A에 흐르는 유도 전류의 세기는 최소(0)이다.

ㄴ. p에서 자석이 올라갈 때 A의 아래쪽은 N극으로 유도되고, 자석이 내려올 때 A의 아래쪽은 S극으로 유도된다. 따라서 A에 흐르는 유도 전류의 방향은 p에서 자석이 올라갈 때와 내려올 때 서로 반대이다.

**바로알기** ㄷ. p에서 자석이 올라갈 때 A로부터 받는 힘의 방향은 아래쪽이고, 자석이 내려올 때 A로부터 받는 힘의 방향은 위쪽이므로 자석이 받는 힘의 방향은 서로 반대이다.

**07**  $t$ 일 때 막대자석의 S극이 코일로부터 멀어지고 있으므로 코일의 왼쪽은 N극으로 유도된다.  $3t$ 일 때 코일과 자석 사이의 거리가 변하지 않으므로 막대자석이 정지해 있는 상태이다. 따라서 코일에 유도 전류가 흐르지 않는다.  $5t$ 일 때 막대자석의 S극이 코일에 가까워지므로 코일의 왼쪽은 S극으로 유도된다.

**모범 답안** (1)  $t$ 일 때 막대자석의 S극이 코일에서 멀어지고 있으므로 코일의 왼쪽은 N극으로 유도되어 전류는 a 방향으로 흐른다.  $3t$ 일 때 막대자석이 정지해 있으므로 전류는 흐르지 않는다.

(2)  $I_t > I_{5t}$ , 거리-시간 그래프에서 기울기는 속력을 나타낸다. 그래프의 기울기는  $t$ 일 때가  $5t$ 일 때보다 크므로 속력은  $t$ 일 때가  $5t$ 일 때보다 빠르다. 유도 전류의 세기는 자석이 움직이는 속력이 빠를수록 크므로 코일에 흐르는 전류의 세기는  $I_t > I_{5t}$ 이다.

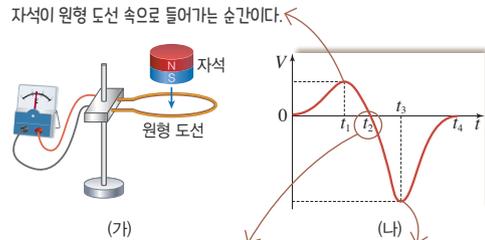
채점 기준	배점	
(1)	$t, 3t$ 일 때 검류계에 흐르는 전류의 방향을 옳게 서술한 경우	50 %
	$t, 3t$ 일 때 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	30 %
(2)	$t, 5t$ 일 때 코일에 흐르는 전류의 세기를 옳게 비교하여 서술한 경우	50 %
	$t, 5t$ 일 때 코일에 흐르는 전류의 세기만 옳게 비교한 경우	30 %

**08** ㄱ. 자석이 코일 근처에서 운동할 때 자석의 운동 방향과 반대 방향으로 자기력이 작용하므로 시간이 지날수록  $\theta$ 는 점점 감소한다.

ㄴ. 자석이 코일에 접근할 때는 자석의 S극이 코일에 가까워지는 경우이고, 코일에서 멀어질 때는 자석의 S극이 코일에서 멀어지는 경우이므로 자석이 코일에 접근할 때와 멀어질 때 검류계 바늘이 움직이는 방향은 서로 반대이다.

ㄷ. 자석이 코일에서 멀어질 때 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 자기력이 작용하므로 자석과 코일 사이에 인력이 작용한다.

**09** — **꼼꼼 문제 분석**



V=0이므로 자석의 중심부가 원형 도선 안에 있는 순간이다.   
 자석이 원형 도선에서 빠져나오는 순간이다.

ㄱ. 자석이 원형 도선에 가까워질 때 자석의 S극이 원형 도선에 가까워지므로 원형 도선의 위쪽에는 S극이 유도된다. 자석이 원형 도선에서 멀어질 때 자석의 N극이 원형 도선에서 멀어지므로 원형 도선의 아래쪽에는 S극이 유도된다. 따라서 두 경우에 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.

ㄷ.  $t_2$ 일 때  $V=0$ 이므로 원형 도선을 통과하는 자기 선속이 없다. 즉, 자석의 중심부가 원형 도선 안에 있을 때이다.

**바로알기** ㄴ. 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 유도 기전력에 비례한다. 그래프에서 자석이 원형 도선에 가까워질 때의 전압이 자석이 원형 도선을 통과하여 멀어질 때의 전압보다 작으

므로 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 최댓값은 자석이 원형 도선에서 멀어질 때가 가까워질 때보다 크다.

**다른 풀이** 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석의 속력에 비례한다. 자석이 원형 도선에 가까워질 때의 속력은 자석이 원형 도선을 통과하여 멀어질 때의 속력보다 작으므로 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 최댓값은 자석이 원형 도선에서 멀어질 때가 가까워질 때보다 크다.

**10** **ㄷ.** 자석이 a를 지날 때 솔레노이드와 자석 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용하고, 자석이 b를 지날 때 솔레노이드와 자석 사이에는 서로 끌어당기는 자기력이 작용한다. 즉, 자석이 a와 b를 지날 때 솔레노이드로부터 왼쪽으로 자기력을 받는다.

**바로알기** **ㄱ.** 렌츠 법칙에 따라 자석이 a를 지날 때 솔레노이드의 왼쪽은 N극으로 유도되어 저항에는 왼쪽으로 유도 전류가 흐르고, 자석이 b를 지날 때 솔레노이드의 오른쪽은 N극으로 유도되어 저항에는 오른쪽으로 유도 전류가 흐른다.

**ㄴ.** 솔레노이드에 유도 전류가 흐르는 동안 자석에는 운동을 방해하는 방향으로 자기력이 작용하므로 자석이 b를 지날 때의 속력은 a를 지날 때보다 느리다. 따라서 유도 전류의 세기는 자석이 b를 지날 때가 a를 지날 때보다 작다.

**11** **ㄴ.** 알루미늄관에서 B의 낙하 시간이 A보다 더 긴 것은 B의 세기가 A보다 커서 자기력을 크게 받기 때문이다. 따라서 자석의 세기는 A가 B보다 약하다.

**ㄷ.** 자석이 알루미늄관과 구리관 속에서 낙하하는 동안 전자기 유도에 의해 자석의 역학적 에너지 일부가 전기 에너지로 전환되므로 자석이 낙하하는 동안 역학적 에너지는 감소한다.

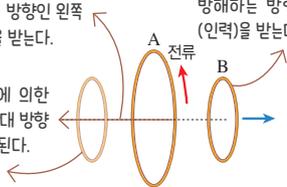
**바로알기** **ㄱ.** 구리관은 알루미늄관보다 전기 저항이 작으므로 구리관에서 더 센 유도 전류가 발생한다. 즉, 자석은 알루미늄관보다 구리관에서 늦게 떨어진다. 따라서 구리관에서 B의 낙하 시간은 알루미늄관에서의 2.2초보다 길다.

**12** **꼼꼼 문제 분석**

자기 선속 증가 → A의 전류와 반대 방향으로 유도 전류가 흐르며, 운동을 방해하는 방향인 왼쪽으로 자기력(척력)을 받는다.

자기 선속 감소 → A의 전류와 같은 방향으로 유도 전류가 흐르며, 운동을 방해하는 방향인 왼쪽으로 자기력(인력)을 받는다.

B에는 A의 전류에 의한 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기장이 형성된다.



**ㄱ.** A를 통과하기 직전 B에는 A의 전류에 의한 자기 선속이 증가하므로 유도 전류가 흐른다. 이때 B는 운동을 방해하는 방향으로 자기력을 받으므로 자기력의 방향은 왼쪽이다.

**ㄷ.** 유도 전류의 세기는 유도 기전력의 크기에 비례한다. B의 속력이 클수록 B를 통과하는 자기 선속의 변화율이 크므로 B에 유도되는 전류의 최댓값이 커진다.

**바로알기** **ㄴ.** A를 통과한 직후 B를 통과하는 자기 선속이 감소하므로 B에는 이를 방해하기 위한 방향으로 유도 전류가 흐른다. 즉, A가 만드는 자기장과 같은 방향으로 유도 자기장이 발생해야 하므로 B에 흐르는 유도 전류의 방향은 A에 흐르는 전류의 방향과 같다.

**13** **①** 발전기에서는 회전하는 코일의 운동 에너지가 전기 에너지로 전환된다.

**②** 코일이 회전할 때 코일을 통과하는 자기 선속이 증가하거나 감소하므로 코일에 흐르는 유도 전류의 세기와 방향은 시간에 따라 변한다.

**③** 코일의 회전 속도가 클수록 코일을 통과하는 자기 선속의 변화율이 크므로 유도 기전력이 크게 발생하여 전구의 밝기가 밝아진다.

**⑤** 전류를 얻기 위해서는 코일을 계속 회전시키는 에너지가 필요하다.

**바로알기** **④** 코일은 자석 사이에서 계속 회전하므로 코일을 통과하는 자기 선속은 시간에 따라 변한다. 코일의 단면과 자기장의 방향이 수직일 때 코일을 통과하는 자기 선속은 최대가 되고, 코일의 단면과 자기장의 방향이 나란할 때 코일을 통과하는 자기 선속은 0이 된다. 즉, 코일을 통과하는 자기 선속은 시간에 따라 증가와 감소를 반복한다.

**14** **ㄴ.** 무선 충전기는 A에 시간에 따라 변하는 전류가 흐를 때 B에 전류가 유도되어 스마트폰의 배터리가 충전되는 원리로서 전자기 유도 현상을 이용한 예이다.

**ㄷ.** A에 흐르는 전류의 세기가 증가하면 B를 통과하는 자기 선속이 증가한다. 렌츠 법칙에 따라 B에는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 자기장이 유도되므로 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이다.

**바로알기** **ㄱ.** A에 시간에 따라 변하는 전류가 흘러야 무선 충전기에 놓인 스마트폰의 배터리가 충전된다.

**15** **ㄱ.** 스마트폰 내부에는 코일이 있어 버스 단말기에서 방출하는 자기장의 변화에 의해 유도 전류가 흐르게 된다.

**ㄷ.** 스마트폰과 버스 단말기 사이의 거리가 증가하면 스마트폰 내부의 코일을 통과하는 자기 선속이 점점 감소하므로 유도 기전력의 크기는 감소한다.

**바로알기** **ㄴ.** 버스 단말기에서 세기와 방향이 변하는 전류가 흐를 때 스마트폰 내부의 코일에 전자기 유도가 일어나 근거리에서 서로 정보를 주고받게 된다.

**16** ㄱ. 자기화된 기타 줄이 진동하면 코일을 통과하는 ㉠ 자기 선속이 변하여 코일에 유도 전류가 흐르게 된다.

ㄴ. 자기화된 줄이 진동하는 것은 코일에 자석이 가까워지거나 멀어지는 것과 같으므로 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 변한다.

ㄷ. 코일로 이루어진 픽업은 줄의 진동을 전기 신호로 변환하여 스피커로 전달하는 역할을 한다.

**17** **모범 답안** 송신 코일에서 발생한 자기장 안으로 금속 물체가 들어오면 전자기 유도 현상에 의해 금속 물체에 전류가 흐르게 된다. 금속 물체의 유도 전류에 의한 자기장이 수신 코일에 유도 전류를 흐르게 하여 금속을 찾아낸다.

채점 기준	배점
제시된 용어를 모두 포함하여 금속 탐지기의 원리를 옳게 서술한 경우	100 %
전자기 유도 현상에 의해 금속을 탐지한다고만 서술한 경우	40 %

**실력UP문제**

195쪽

01 ③ 02 ③ 03 ② 04 ①

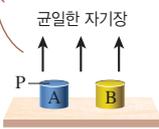
**01** ㄱ. 자석의 N극이 코일에 가까워지므로 자기 선속의 변화를 방해하기 위해 코일의 위쪽은 N극으로 유도된다. 따라서 검류계에 흐르는 전류의 방향은  $a \rightarrow \text{㉠} \rightarrow b$ 이다.

ㄴ. 코일의 위쪽은 N극으로 유도되므로 코일의 유도 전류에 의한 자기장은 위쪽으로 형성되어 자석은 위쪽으로 힘을 받는다. 자석의 운동 방향은 아래쪽이므로 코일로부터 자석이 받는 힘의 방향과 자석의 운동 방향은 서로 반대이다.

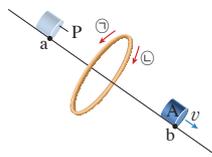
**바로알기** ㄷ. 자석이 코일의 중심축을 따라 낙하하면 전자기 유도에 의해 코일의 역학적 에너지 일부는 전기 에너지로 전환된다. 따라서 자석이  $h$ 만큼 낙하했을 때 자석의 운동 에너지 증가량은  $mgh$ 보다 작다.

**02** **품평 문제 분석**

A는 강자성체이므로 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.  
 → A의 P면은 N극이다.



(가)



(나)

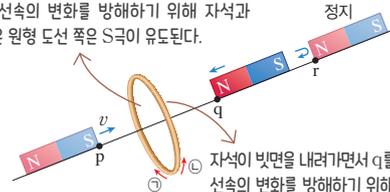
ㄱ. A는 강자성체이므로 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다. 따라서 A의 P면은 N극으로 자기화된다.

ㄴ. (나)에서 A가 a를 지날 때 자기화된 A의 N극이 원형 도선에 가까워지는 경우이므로 자석과 가까운 원형 도선 쪽은 N극으로 유도된다. 따라서 원형 도선에 흐르는 전류의 방향은 ㉠이다.

**바로알기** ㄷ. B는 반자성체이므로 균일한 자기장 영역에서 꺼내는 순간 자기화가 사라져 원형 도선을 지날 때 자기력을 받지 않는다. 따라서 b를 지날 때의 속력은  $v$ 보다 크다.

**03** **품평 문제 분석**

자석이 빗면을 따라 올라가면서 p를 지날 때 자기 선속의 변화를 방해하기 위해 자석과 가까운 원형 도선 쪽은 S극이 유도된다.



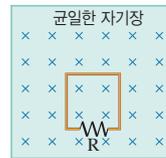
자석이 빗면을 내려가면서 q를 지날 때 자기 선속의 변화를 방해하기 위해 자석과 가까운 원형 도선 쪽은 N극이 유도된다.

ㄷ. 자석이 빗면을 따라 운동하면서 원형 도선을 통과할 때 전자기 유도에 의해 자석의 역학적 에너지 일부는 전기 에너지로 전환된다. 자석이 원형 도선을 통과한 뒤 다시 내려올 때 자석의 역학적 에너지 일부가 전기 에너지로 전환되므로 p를 지날 때의 속력은  $v$ 보다 작다.

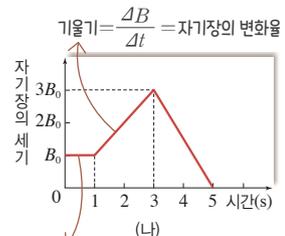
**바로알기** ㄱ. 자석이 빗면을 올라가면서 q를 지날 때 자석의 N극이 원형 도선으로부터 멀어지므로 자석과 가까운 원형 도선 쪽은 S극이 유도되어 ㉠ 방향으로 전류가 흐른다.

ㄴ. 자석이 빗면을 올라가면서 p를 지날 때는 원형 도선으로부터 척력을 받아 빗면 아래 방향으로 힘을 받고, q를 지날 때는 원형 도선으로부터 인력을 받아 빗면 아래 방향으로 힘을 받는다. 즉, 두 경우에 자석이 원형 도선으로부터 받는 힘의 방향은 서로 같다.

**04** **품평 문제 분석**



(가)



자기장의 세기가 일정하다.  
 → 도선을 통과하는 자기 선속이 변하지 않는다.

ㄱ. 0초부터 1초까지 자기장의 세기가 일정하므로 도선을 통과하는 자기 선속이 변하지 않는다. 즉, 유도 전류가 흐르지 않는다.

**바로알기** 나. (나)에서 그래프의 기울기는 자기장의 변화율을 나타낸다. 그래프의 기울기는 4초일 때가 2초일 때보다 크므로 유도 전류의 세기는 4초일 때가 2초일 때보다 크다.

ㄷ. 1초부터 3초까지 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장의 세기가 증가하므로 도선에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다. 3초부터 5초까지 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장의 세기가 감소하므로 도선에는 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다. 즉, 3초를 기준으로 유도 전류의 방향이 바뀐다.

**중단원 핵심정리** 196쪽~197쪽

1 N	2 스프링	3 강자성체	4 상자성체	5 반대
6 고무 자석	7 전류	8 직선	9 단위 길이당 코일의 감은 수	
10 자기 부상 열차	11 전기	12 소리	13 유도 전류	14 렌즈
15 자기 선속	16 많을	17 전기	18 무선 통신	19 자기장

**중단원 마무리 문제** 198쪽~201쪽

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

**01** 나. B는 강자성체로 철, 니켈, 코발트 등이 해당된다.  
 ㄷ. C는 상자성체이므로 외부 자기장을 가하면 원자 자석들이 외부 자기장과 같은 방향으로 약하게 자기화된다. 따라서 C에 자석을 가까이 하면 C와 자석 사이에 인력이 작용한다.

**바로알기** 가. A는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되므로 반자성체이다.

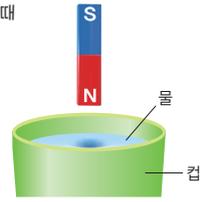
**02** 가. 외부 자기장을 가하기 전 원자 자석들이 특정 영역(자기 구역) 안에서 일정한 방향으로 정렬되어 있으므로 이 물질은 강자성체이다.

**바로알기** 나. 강자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다. 외부 자기장을 가했을 때 원자 자석들이  $-x$  방향으로 배열되었으므로 외부 자기장의 방향은  $-x$  방향이다.

ㄷ. 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태가 오래 유지된다.

**03** **꼼꼼 문제 분석**

- 물의 표면에 자석의 N극을 가까이 했을 때 물의 표면이 아래로 살짝 내려갔다.
- 자석과 물 사이에 척력이 작용한다.
- 물은 반자성체이다.



가. 물의 표면에 자석을 가까이 했을 때 물의 표면이 살짝 아래로 내려간 것으로 보아 물은 반자성체이다.

**바로알기** 나. 자석의 S극을 물의 표면에 가까이 해도 물의 성질은 변하지 않으므로 물이 표면은 자석에 밀려나 아래쪽으로 살짝 내려간다.

ㄷ. 물은 반자성체이므로 자석의 자기장과 반대 방향으로 자기화된다.

**04** 가. A를 물 위에 띄웠을 때 자석의 한쪽 극에 접촉한 A의 p 부분이 천천히 회전하여 북쪽을 가리키므로 A는 강자성체이고, p 부분은 N극으로 자기화되어 있다.

나. B는 자석에 밀려나므로 반자성체이다.

**바로알기** ㄷ. 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라진다. 따라서 B의 q 부분을 자석의 한쪽 극에 접촉한 뒤 물 위에 띄우면 B의 q 부분은 자성이 바로 사라지므로 반드시 특정한 위치를 가리키지는 않는다.

**05** 나. 자석으로부터 떼어 놓은 철 클립들이 서로 달라붙으므로 철 클립은 외부 자기장을 제거했을 때 자기화된 상태가 오래 유지되는 강자성체이다.

ㄷ. 외부 자기장을 제거해도 철 클립은 자기화된 상태를 오래 유지하므로 상자성체인 알루미늄 클립에 가까이 하면 알루미늄 클립은 철 클립의 자기화된 방향과 같은 방향으로 자기화된다. 따라서 서로 끌어당기는 힘이 작용한다.

**바로알기** 가. 자석에 붙어 있던 알루미늄 클립을 자석에서 떼어 놓았을 때 자기화된 상태가 바로 사라졌으므로 알루미늄 클립은 상자성체이다. 반자성체를 자석에 가까이 하면 서로 밀어내는 자기력이 작용하므로 자석에 붙지 않는다.

**06** 가. A는 중력과 자기력이 힘의 평형을 이루어 정지된 상태이므로 A에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄷ. A는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되어 자석 위에 떠 있으므로 반자성체이다. 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라진다.

**바로알기** 나. 하드디스크의 정보 저장 물질은 강자성체를 이용한다.

**07** 종이면에 수직으로 들어가는 방향을 (+)로 하고, P에서 X의 전류에 의한 자기장의 세기를  $B$ 라고 하면 P에서의 합성 자기장은  $B - \frac{2}{3}B = \frac{1}{3}B$ 이고, Q에서의 합성 자기장은  $-B - 2B = -3B$ 이다. R에서의 합성 자기장은  $-\frac{1}{3}B + 2B = \frac{5}{3}B$ 이므로 P, Q, R에서 합성 자기장의 세기  $B_P : B_Q : B_R = \frac{1}{3}B : 3B : \frac{5}{3}B = 1 : 9 : 5$ 이다.

**08** (나)는 (가)에서 원형 도선을 한 번 감아 이중 원형 도선으로 만든 것이므로 반지름은 (가)의  $\frac{1}{2}$ 배가 되고, 전류의 세기는 (가)의 2배가 된다. 원형 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 원의 반지름에 반비례하므로 (나)의 원형 도선 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기는  $4B$ 이다.

**09** **꼼꼼 문제 분석**

• O에서 A의 전류에 의한 자기장:  $\odot$  방향  
 • O에서 B의 전류에 의한 자기장:  $\odot$  방향  
 O에서 A와 B의 전류에 의한 합성 자기장과 C의 전류에 의한 자기장과 크기는 같고 방향은 반대이다.

ㄱ. A에 시계 반대 방향으로 전류가 흐르므로 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.  
 ㄴ. O에서 A, B, C의 전류에 의한 합성 자기장이 0이므로 C의 전류에 의한 자기장의 세기는 A와 B의 전류에 의한 자기장의 세기와 같아야 한다. 따라서 C에 흐르는 전류의 세기는 B에서보다 크다.

**바로알기** ㄴ. O에서 A, B, C의 전류에 의한 합성 자기장이 0이므로 C의 전류에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이어야 한다. 따라서 C에 흐르는 전류의 방향은 B에 흐르는 전류의 방향과 반대이다.

**10** ㄱ. 솔레노이드에 화살표 방향으로 전류가 흐르면 솔레노이드의 위쪽은 N극, 아래쪽은 S극이 된다. 자석의 S극과 솔레노이드의 아래쪽 사이에 척력이 작용하므로 저울의 측정값은 증가한다.

**바로알기** ㄴ. 솔레노이드의 위쪽은 N극, 아래쪽은 S극이므로 솔레노이드 내부 자기장의 방향은 위쪽이다.

ㄴ. 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향을 반대로 하면 솔레노이드의 아래쪽이 N극이 된다. 솔레노이드와 자석 사이에 인력이 작용하므로 저울의 측정값은 감소한다.

**11** ㄱ. 원형 도선이 자석의 N극 위에서 자석의 중심축을 따라 낙하하므로 렌츠 법칙에 따라 원형 도선의 아래쪽이 N극이 되도록 유도 자기장이 형성된다. 따라서 원형 도선에는 a 방향으로 유도 전류가 흐른다.

ㄴ. (나)에서 원형 도선을 통과하는 자기 선속의 변화가 없으므로 원형 도선에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

**바로알기** ㄴ. 원형 도선은 낙하하는 동안 중력과 자기력을 받는다. 자석에 접근할수록 전자기 유도에 의해 원형 도선의 운동을 방해하는 자기력이 증가하므로 원형 도선은 가속도가 변하는 운동을 한다.

**12** **꼼꼼 문제 분석**

A가 가까이 오면 솔레노이드의 왼쪽에 N극이 유도된다.  
 ⇒ 유도 전류의 방향:  $b \rightarrow \text{㉞} \rightarrow a$   
 B가 가까이 오면 솔레노이드의 오른쪽에 S극이 유도된다.  
 ⇒ 유도 전류의 방향:  $b \rightarrow \text{㉞} \rightarrow a$

ㄴ. A의 속력을 크게 하면 같은 시간 동안 A에 의한 자기 선속의 변화가 커지므로 검류계 눈금은 더 큰 폭으로 움직인다.

ㄴ. 솔레노이드에 B만 가까이 하면 B에 의한 유도 전류만 남게 되므로 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향은  $b \rightarrow \text{㉞} \rightarrow a$ 이다.

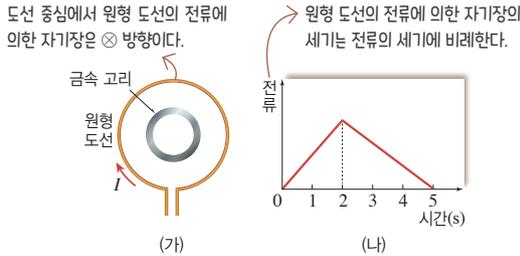
**바로알기** ㄱ. A와 B에 의해 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은  $b \rightarrow \text{㉞} \rightarrow a$ 이므로 검류계에 흐르는 전류의 방향은  $b \rightarrow \text{㉞} \rightarrow a$ 이다.

**13** ㄱ. 자석이 A를 지나는 동안 구리관의 왼쪽은 자기 선속의 변화를 방해하기 위해 N극으로 유도된다. 따라서 구리관 내부에 유도된 자기장의 방향은 왼쪽이다.

**바로알기** ㄴ. 자석이 p를 지나기 전 구리관의 왼쪽에 N극이 유도되므로 척력이 작용하여 자석은 왼쪽으로 자기력을 받는다. p를 지난 후 구리관의 오른쪽에는 N극이 유도되므로 인력이 작용하여 자석은 왼쪽으로 자기력을 받는다. 따라서 두 경우에 자석이 받는 자기력의 방향은 왼쪽으로 서로 같다.

ㄴ. 자석이 구리관을 통과하는 동안 전자기 유도에 의해 운동을 방해하는 방향으로 자기력을 받아 자석의 속력은 감소한다. B와 C의 구간 거리는 같지만 자석이 운동하는 시간은 C에서가 B에서보다 길어 평균 속력은 B에서가 C에서보다 크다.

14 **꼼꼼 문제 분석**



- ⊗ 방향의 자기 선속이 증가하면 금속 고리에는 ⊙ 방향의 자기장이 유도되고,
- ⊗ 방향의 자기 선속이 감소하면 금속 고리에는 ⊗ 방향의 자기장이 유도된다.

ㄱ. 원형 도선에 시계 방향으로 전류가 흐르므로 도선의 중심에서 원형 도선에 흐르는 전류에 의해 형성되는 자기장은 수평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄷ. 4초일 때 전류의 세기가 감소하므로 원형 도선의 전류에 의한 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 감소한다. 이를 방해하기 위해 금속 고리에는 원형 도선에 흐르는 전류의 방향과 같은 방향인 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

**바로알기** ㄴ. 전류-시간 그래프에서 기울기는 시간에 따른 전류의 변화율을 나타낸다. 그래프의 기울기는 1초일 때가 3초일 때보다 크므로 원형 도선의 전류에 의한 자기장의 변화율도 1초일 때가 3초일 때보다 크다. 따라서 금속 고리에 유도되는 전류의 세기는 1초일 때가 3초일 때보다 크다.

15 가늘고 무한히 긴 두 직선 도선에 같은 방향으로 전류가 흐르는 경우 두 도선 사이에 합성 자기장이 0인 곳이 있다. 이때 두 도선에 흐르는 전류의 세기 비와 두 도선으로부터 합성 자기장이 0인 곳이 떨어진 거리 비는 같다. A와 B에 흐르는 전류의 세기 비는 1 : 3이므로 두 도선으로부터 합성 자기장이 0인 곳의 거리 비도 1 : 3이어야 한다. 따라서  $x=3$ 에서 합성 자기장이 0이다.

- (1)  $x=3$  m  
 (2) **모범 답안**  $x=0$ , B에 흐르는 전류의 방향이  $-y$  방향으로 바뀌면 A와 B에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대가 되므로 합성 자기장이 0인 지점은 두 도선 중 전류의 세기가 작은 A의 왼쪽 밖에 있다. 합성 자기장이 0인 지점이 A로부터 떨어진 거리를  $r$ 이라고 하면  $\frac{I}{r} = \frac{3I}{4+r}$ 이므로  $r=2$ 이다. 따라서  $x=0$ 에서 합성 자기장이 0이 된다.

채점 기준	배점
(1) 합성 자기장이 0인 지점을 옳게 쓴 경우	50 %
(2) 합성 자기장이 0인 지점과 그 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
합성 자기장이 0인 지점만 옳게 쓴 경우	20 %

16 **모범 답안** (1) 자석의 중심이 P를 지나는 순간 A가 B보다 자석에 더 가까이 있으므로 자기 선속의 변화율은 A에서 B에 비해 크다. 따라서 유도 전류의 세기는 A에서 B에 비해 크다.

(2) 자석의 중심이 Q를 지나는 순간 자석은 위쪽으로 자기력을 받으므로 알짜힘의 크기는 중력의 크기보다 작다. 즉,  $F=ma=mg-F_{\text{자기력}}$ 에 따라 자석의 가속도의 크기는 중력 가속도의 크기보다 작다.

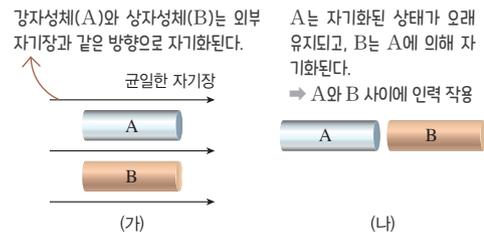
채점 기준	배점
(1) 패러데이 법칙을 바탕으로 A와 B에 흐르는 유도 전류의 세기를 옳게 비교하여 서술한 경우	50 %
A에 흐르는 유도 전류의 세기가 B보다 크다고만 서술한 경우	30 %
(2) 자석이 받는 자기력의 방향을 바탕으로 자석의 가속도의 크기를 중력 가속도의 크기와 옳게 비교하여 서술한 경우	50 %
자석의 가속도의 크기가 중력 가속도의 크기보다 작다고만 서술한 경우	30 %

중단원 고난도 문제

202쪽~203쪽

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

01 **꼼꼼 문제 분석**



선택지 분석

- Ⓐ (가)에서 B는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.
- Ⓑ (나)에서 A는 자기화된 상태를 오래 유지한다. **작용한다.**
- Ⓒ (나)에서 A와 B 사이에는 자기력이 **작용하지 않는다.**

**전략적 풀이 ①** 외부 자기장에 의한 자성체의 자기화를 이해한다.

ㄱ. A는 강자성체, B는 상자성체이므로 A와 B 모두 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.

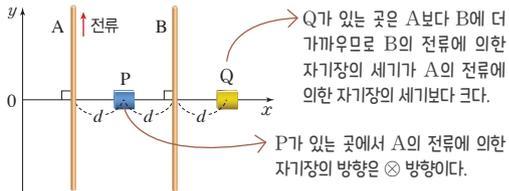
ㄴ. 강자성체인 A는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태를 오래 유지한다.

**②** 외부 자기장을 제거했을 때 자성체의 성질을 이해한다.

ㄷ. 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태를 오래 유지하므로 (나)에서 A는 자기화된 상태이다. 상자성체인 B는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라지지만, 자기화된 상태를 오래 유지하고 있는 A에 의해 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다. 따라서 A와 B 사이에는 서로 끌어당기는 인력이 작용한다.

**02** — **꼼꼼 문제 분석**

A와 B에 흐르는 전류의 방향이 같으면 P가 있는 지점에서 합성 자기장이 0이 되어 P는 자기화되지 않는다.



**선택지 분석**

- B에 흐르는 전류의 방향은 +y 방향이다. -y 방향
- P는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 자기화된다.
- Q는 P와 같은 방향으로 자기화된다.

**전략적 풀이 ①** P가 자기화되기 위한 조건을 파악한다.

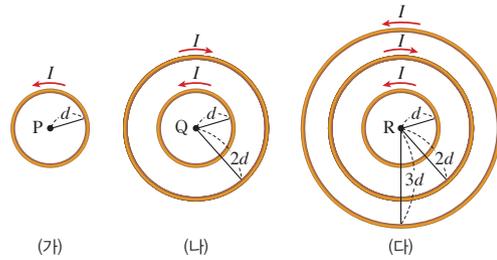
ㄱ. A와 B에 흐르는 전류의 방향이 같으면 P가 있는 곳에서 합성 자기장이 0이 되어 P는 자기화되지 않는다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 -y 방향이다.

**②** 자성체의 종류에 따라 자기화되는 방향을 파악한다.

ㄴ. P가 있는 곳에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. P는 강자성체이므로 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되어 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 자기화된다.

ㄷ. Q는 A보다 B에 더 가까이 있으므로 Q가 있는 곳에서 자기장의 방향은 B의 전류에 의한 자기장의 방향인 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. Q는 반자성체이므로 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되어 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 자기화된다. 즉, P와 같은 방향으로 자기화된다.

**03** — **꼼꼼 문제 분석**



도선 중심	P	Q	R
수직으로 들어가는 방향	-	$\frac{I}{2d}$	$\frac{I}{2d}$
수직으로 나오는 방향	$\frac{I}{d}$	$\frac{I}{d}$	$\frac{I}{d} + \frac{I}{3d}$

**선택지 분석**

- 1 : 2 : 3
- 1 : 3 : 2
- 3 : 2 : 1
- 3 : 5 : 6
- 6 : 3 : 5

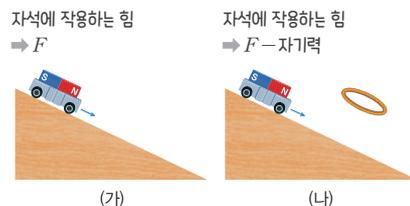
**전략적 풀이 ①** 원형 전류에 의한 자기장의 기준을 정한다.

종이면에 수직으로 들어가는 방향을 (+)로 하고, (가)의 P에서 원형 전류에 의한 자기장의 세기를  $B_0$ 라고 한다.

**②** 각 원형 전류에 의한 자기장의 세기와 방향을 바탕으로 원형 도선의 중심에서 합성 자기장을 파악한다.

P에서 합성 자기장은  $-B_0$ 이고, Q에서 합성 자기장은  $\frac{1}{2}B_0 - B_0$   
 $= -\frac{1}{2}B_0$ 이다. R에서 합성 자기장은  $\frac{1}{2}B_0 - B_0 - \frac{1}{3}B_0$   
 $= -\frac{5}{6}B_0$ 이므로 원형 도선의 중심 P, Q, R에서 합성 자기장 세기의 비  $B_P : B_Q : B_R = B_0 : \frac{1}{2}B_0 : \frac{5}{6}B_0 = 6 : 3 : 5$ 이다.

**04** — **꼼꼼 문제 분석**



**선택지 분석**

- ㉠ (가)에서 수레에 작용하는 알짜힘은 일정하다.
- ㉡ (나)에서 수레는 운동 방향과 반대 방향으로 자기력을 받는다.
- ㉢ 바닥에 도달하는 순간 수레의 속력은 (가)에서가 (나)에서 보다 크다.

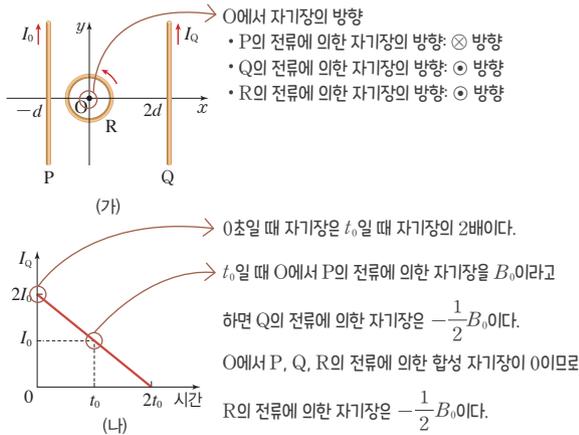
**전략적 풀이 ①** 물체에 작용하는 알짜힘을 파악한다.

㉠. (가)에서 수레가 빗면을 내려오는 동안 마찰력이 작용하지 않으므로 수레에 작용하는 알짜힘은 일정하다.

② 자기력이 물체의 운동에 어떤 영향을 주는지 파악한다.

㉡, ㉢. (나)에서 수레는 원형 전류에 의한 자기장으로부터 운동 방향과 반대 방향으로 자기력을 받게 된다. 따라서 수레는 (가)에서보다 덜 가속되므로 바닥에 도달하는 순간의 속력은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

**05** — **꼼꼼 문제 분석**



**선택지 분석**

- ㉠  $t_0$ 일 때 Q의 전류에 의한 자기장의 세기는 R의 전류에 의한 자기장의 세기와 같다.
- ㉡ 합성 자기장의 세기는 0초일 때가  $2t_0$ 일 때보다 크다. 같다.
- ㉢  $2t_0$ 일 때 합성 자기장의 방향은  $xy$  평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

**전략적 풀이 ①** O에서 P, Q, R의 전류에 의한 자기장의 방향과 세기를 파악한다.

㉠.  $xy$  평면에 수직으로 들어가는 방향을 (+)로 하고,  $t_0$ 일 때 O에서 P의 전류에 의한 자기장의 세기를  $B_0$ 이라고 하면 Q의 전류에 의한 자기장은  $-\frac{1}{2}B_0$ 이다. O에서 합성 자기장이 0이 되려면

R의 전류에 의한 자기장은  $-\frac{1}{2}B_0$ 이어야 하므로  $t_0$ 일 때 Q의 전류에 의한 자기장의 세기는 R의 전류에 의한 자기장의 세기와 같다.

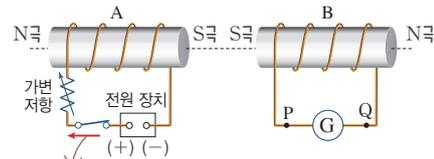
② Q에 흐르는 전류의 세기에 따라 O에서의 합성 자기장의 방향과 세기를 파악한다.

㉡. 0초일 때 Q에 흐르는 전류의 세기가  $2I_0$ 이므로 P, Q, R의 전류에 의한 합성 자기장은  $B_0 - \frac{1}{2}B_0 - B_0 = -\frac{1}{2}B_0$ 이다.  $2t_0$

일 때 Q에 흐르는 전류의 세기가 0이므로 합성 자기장은  $B_0 - \frac{1}{2}B_0 = \frac{1}{2}B_0$ 이다. 따라서 0초일 때와  $2t_0$ 일 때 합성 자기장의 세기는 같다.

㉢.  $2t_0$ 일 때 P의 전류에 의한 자기장의 세기가 R의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크므로 합성 자기장의 방향은 P의 전류에 의한 자기장의 방향인  $xy$  평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

**06** — **꼼꼼 문제 분석**



화살표 방향으로 전류가 흐르므로 A의 오른쪽은 S극이 된다.  
 → A와 B를 가까이 하면 B의 왼쪽은 S극으로 유도된다.

**선택지 분석**

- ㉠ A와 B를 가까이 하면 B에  $Q \rightarrow \text{㉠} \rightarrow P$  방향으로 유도 전류가 흐른다.  $P \rightarrow \text{㉠} \rightarrow Q$
- ㉡ A에 연결한 가변 저항의 저항값을 감소시키면 B 내부에는 오른쪽으로 자기장이 형성된다.
- ㉢ A에 연결한 전원 장치의 전압과 가변 저항의 저항값이 일정하면 B에 일정한 세기의 전류가 흐른다. 흐르지 않는다.

**전략적 풀이 ①** 유도 전류의 방향을 파악한다.

㉠. A에 흐르는 전류의 방향에 따라 A의 오른쪽은 S극이 되므로 A와 B를 가까이 하면 자기 선속의 변화를 방해하기 위해 B의 왼쪽에는 S극이 유도된다. 따라서 B에  $P \rightarrow \text{㉠} \rightarrow Q$  방향으로 유도 전류가 흐른다.

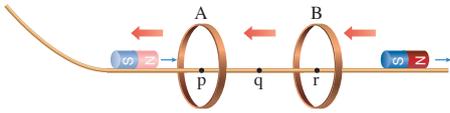
② 자기 선속의 변화에 따른 유도 전류를 이해한다.

㉡. A에 연결한 가변 저항의 저항값을 감소시키면 슬레노이드에 흐르는 전류의 세기가 증가하여 B를 통과하는 자기 선속이 증가한다. 즉, B의 왼쪽이 S극으로 유도되는 자기장이 강해져 B 내부에는 오른쪽으로 자기장이 형성된다.

ㄷ. A에 연결한 전원 장치의 전압과 가변 저항의 저항값이 일정 하면 A에 흐르는 전류의 세기가 일정해서 B를 통과하는 자기 선속의 변화가 없다. 따라서 B에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

07 **꼼꼼 문제 분석**

자석이 A와 B를 통과할 때 운동 방향과 반대 방향으로 자기력을 받으므로 자석의 속력은 점점 감소한다.



**선택지 분석**

- 자석이 q를 지날 때 자석에 작용하는 알짜힘은 0이다. 0이 아니다
- 자석이 q를 지날 때 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.
- 자석이 p를 지날 때 B에 흐르는 전류의 세기와 자석이 r을 지날 때 A에 흐르는 전류의 세기는 서로 같다. B에 흐르는 전류의 세기가 크다.

**전략적 풀이 ①** 자석이 원형 도선으로부터 받는 자기력을 파악한다.

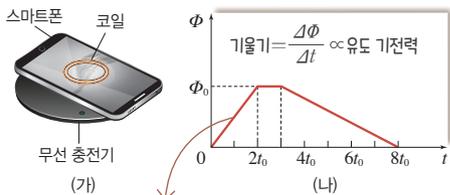
ㄱ. 자석이 q를 지날 때 A와 B로부터 왼쪽으로 자기력을 받으므로 알짜힘은 0이 아니다.

ㄷ. 자석이 A와 B를 통과할 때 운동 방향과 반대 방향으로 자기력을 받으므로 자석의 속력은 점점 감소한다. 따라서 자석의 속력은 p를 지날 때가 r을 지날 때보다 크다. 유도 전류의 세기는 자석의 속력에 비례하므로 자석이 p를 지날 때 B에 흐르는 전류의 세기가 자석이 r을 지날 때 A에 흐르는 전류의 세기보다 크다.

**②** 유도 전류의 발생 원리를 파악한다.

ㄴ. 자석이 q를 지날 때 자기 선속의 변화를 방해하기 위해 A의 오른쪽은 N극으로 유도되고, B의 왼쪽은 N극으로 유도된다. 따라서 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

08 **꼼꼼 문제 분석**



- 0~2t<sub>0</sub>일 때 그래프의 기울기 일정  
→ 유도 전류의 세기 일정
- 기울기의 크기: t<sub>0</sub> > 5t<sub>0</sub>  
→ 유도 전류의 세기: t<sub>0</sub> > 5t<sub>0</sub>
- 기울기의 부호: t<sub>0</sub>일 때와 6t<sub>0</sub>일 때 반대  
→ 유도 전류의 방향 반대

**선택지 분석**

- 0~2t<sub>0</sub> 동안 유도 전류의 세기는 증가한다. 일정하다.
- 유도 전류의 세기는 t<sub>0</sub>일 때가 5t<sub>0</sub>일 때보다 크다.
- 유도 전류의 방향은 t<sub>0</sub>일 때와 6t<sub>0</sub>일 때 서로 같다. 반대이다.

**전략적 풀이 ①** 시간에 따른 자기 선속의 변화율로 유도 전류의 세기를 파악한다.

ㄱ. 그래프의 기울기는 단위 시간 동안 코일을 통과하는 자기 선속으로 유도 전류의 세기에 비례한다. 0~2t<sub>0</sub> 동안 그래프의 기울기는 일정하므로 유도 전류의 세기도 일정하다.

ㄴ. 그래프의 기울기는 t<sub>0</sub>일 때가 5t<sub>0</sub>일 때보다 크므로 유도 전류의 세기는 t<sub>0</sub>일 때가 5t<sub>0</sub>일 때보다 크다.

**②** 자기 선속의 변화에 따른 유도 전류의 방향을 파악한다.

ㄷ. t<sub>0</sub>일 때 코일을 통과하는 자기 선속이 증가하고, 6t<sub>0</sub>일 때 코일을 통과하는 자기 선속이 감소하므로 유도 전류의 방향은 t<sub>0</sub>일 때와 6t<sub>0</sub>일 때 서로 반대이다.

**다른 풀이** 그래프에서 기울기의 부호는 유도 전류의 방향을 나타낸다. t<sub>0</sub>일 때와 6t<sub>0</sub>일 때 기울기의 부호가 서로 반대이므로 유도 전류의 방향은 t<sub>0</sub>일 때와 6t<sub>0</sub>일 때 서로 반대이다.





# 빛과 물질

## 1 빛의 이해

### 01 / 빛의 중첩과 간섭

#### 개념 확인 문제

209쪽

- 1 중첩
- 2 독립성
- 3 간섭
- 4 보강
- 5 상쇄
- 6 짝수
- 7 홀수
- 8 파동성

- 1 (1) × (2) ○    2 (1) 0 (2) 상쇄 간섭    3 ㉠ 보강, ㉡ 상쇄  
 4 (1) × (2) ○ (3) ×    5 ㄱ, ㄴ

**1** (1) 두 파동의 마루와 골이 만나면 합성파의 진폭이 작아진다.  
 (2) 중첩 원리에 따라 두 파동이 중첩될 때 만들어진 합성파의 변위는 각 파동의 변위 합과 같다.

**2** (1) 진폭의 크기가 같은 파동이 반대 위상으로 만나므로 합성파의 진폭은 0이 된다.  
 (2) 두 파동이 반대 위상으로 만나 합성파의 진폭이 작아지므로 상쇄 간섭을 한다.

**3** 두 빛이 ㉠ 보강 간섭하여 진폭이 커지면 스크린에 밝은 무늬가 생기고, ㉡ 상쇄 간섭하여 진폭이 0이 되거나 매우 작아지면 스크린에 어두운 무늬가 생긴다.

**4** (1) 경로차가 반 파장( $\frac{\lambda}{2}$ )의 홀수 배인 지점에서는 두 빛이 반대 위상으로 만나 상쇄 간섭하므로 어두운 무늬가 나타난다.  
 (2), (3) 경로차가 반 파장( $\frac{\lambda}{2}$ )의 짝수 배인 지점에서는 두 빛이 같은 위상으로 만나 보강 간섭하므로 밝은 무늬가 나타난다.

**5** ㄱ. 무반사 코팅 렌즈는 렌즈에 얇은 막을 입혀 상쇄 간섭으로 반사광을 없애 코팅을 하지 않았을 때보다 더 많은 빛을 투과시켜 시야를 선명하게 한다.  
 ㄴ. 위조 방지용 홀로그램은 바라보는 각도에 따라 보강 간섭하는 빛의 파장이 다른 것을 이용하여 다른 색깔이나 다른 문양이 나타나게 한다.

ㄷ. 자외선 차단 크림은 자외선을 반사하거나 흡수하는 물질을 크림에 넣어 자외선이 피부에 도달하지 못하도록 하는 원리로 간섭 현상과 관련이 없다.

#### 대표 자료 분석

210쪽

- 1** (1) 보강 (2) 상쇄 (3) 보강    **2** (1) 짝수 배, 같은 위상 (2) 홀수 배, 반대 위상 (3) 같은 위상    **3** 간격이 더 커진다.    **4** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×

**1** (1) P에서는 밝은 무늬가 나타났으므로 보강 간섭이 일어난 것이다.  
 (2) Q에서는 어두운 무늬가 나타났으므로 상쇄 간섭이 일어난 것이다.  
 (3) O에서는 밝은 무늬가 나타났으므로 보강 간섭이 일어난 것이다.

**2** (1) 밝은 무늬에서는 경로차가 반 파장( $\frac{\lambda}{2}$ )의 짝수 배이므로 두 빛이 항상 같은 위상으로 만나 보강 간섭한다.  
 (2) 어두운 무늬에서는 경로차가 반 파장( $\frac{\lambda}{2}$ )의 홀수 배이므로 두 빛이 항상 반대 위상으로 만나 상쇄 간섭한다.  
 (3) 이중 슬릿에서 두 빛이 같은 위상으로 나오므로 경로차가 0인 지점에서는 같은 위상으로 만나 보강 간섭한다.

**3** 밝은 무늬 사이의 간격은 슬릿 사이의 간격에 반비례하므로 슬릿 사이의 간격이 좁아지면 밝은 무늬 사이의 간격은 더 커진다.

**4** (1) 두 빛이 스크린에서 같은 위상으로 만나면 보강 간섭하여 밝은 무늬를 만들고, 반대 위상으로 만나면 상쇄 간섭하여 어두운 무늬를 만든다.  
 (2) 상쇄 간섭 지점에서 두 빛의 경로차는 반 파장의 홀수 배이므로 경로차 =  $\frac{\lambda}{2}(2m+1)$  ( $m=0, 1, 2, 3, \dots$ )이다.  
 (3) 스크린의 중앙에서 경로차는 0, 첫 번째 어두운 무늬에서 경로차는  $\frac{\lambda}{2}$ , 첫 번째 밝은 무늬에서 경로차는  $\lambda$ 이므로 스크린의 중앙에서 멀어질수록 두 빛의 경로차는 커진다.

- (4) 이중 슬릿에서 두 빛이 같은 위상으로 나오므로 경로차가 0인 스크린의 중앙에서는 항상 보강 간섭이 일어나 밝은 무늬가 나타난다.  
 (5) 초록색 빛은 빨간색 빛보다 파장이 짧으므로 밝은 무늬 사이의 간격은 더 좁아진다.

### 내신 만점문제

211쪽~214쪽

- 01 ④    02 7 cm    03 (가) 15 cm, (나) 5 cm    04 ④  
 05 ③    06 ①    07 해설 참조    08 해설 참조    09 ⑤  
 10 ④    11 ①    12 해설 참조    13 ②    14 ②  
 15 ③    16 ③    17 ④

01 ㄱ. 파동이 반대 위상으로 중첩되면 상쇄 간섭이 일어나므로 진폭이 작아진다.

ㄷ. 소리도 파동이므로 여러 악기에서 동시에 소리가 나오더라도 파동의 독립성에 따라 각 소리의 특성이 그대로 유지된 채로 진행된다. 따라서 각 악기의 소리를 구분할 수 있다.

**바로알기** ㄴ. 중첩이 끝난 파동이 원래 모양을 유지하면서 진행하는 성질은 파동의 독립성이다.

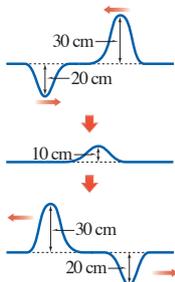
02 두 파동은 같은 위상으로 진행하므로 파동의 중첩 원리에 따라 중첩된 파동의 최대 진폭은  $4\text{ cm} + 3\text{ cm} = 7\text{ cm}$ 이다.

03 (가)는 같은 위상으로 만나 보강 간섭하므로 합성파의 진폭은  $10\text{ cm} + 5\text{ cm} = 15\text{ cm}$ 이다.

(나)는 반대 위상으로 만나 상쇄 간섭하므로 합성파의 진폭은  $10\text{ cm} - 5\text{ cm} = 5\text{ cm}$ 이다.

### 04 — 품평 문제 분석

두 파동이 만나 겹쳐지면 합성파의 변위는 각 파동의 변위를 합한 것과 같다. 중첩 후 두 파동은 겹쳐지기 전의 파동의 모양을 유지하며 독립적으로 진행한다.



변위가 각각  $-20\text{ cm}$ ,  $30\text{ cm}$ 인 두 파동이 서로 반대 방향으로 진행하고 있다.

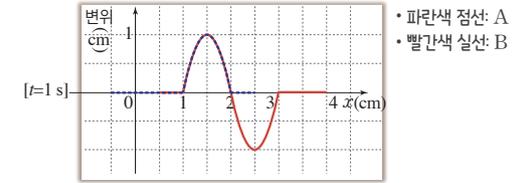
두 파동이 겹쳐질 때 합성파의 최대 변위는  $(-20\text{ cm}) + 30\text{ cm} = 10\text{ cm}$ 이다.

중첩이 끝난 후 두 파동은 겹쳐지기 전의 파동으로 진행하던 방향으로 계속 진행한다.

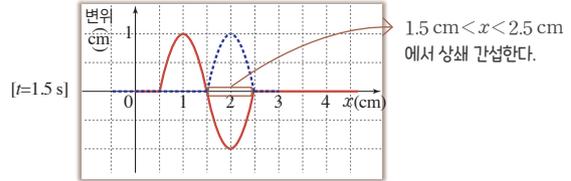
④ 파동의 독립성에 따라 두 파동은 중첩된 이후 각각 원래 모양을 그대로 유지하며 진행한다.

### 05 — 품평 문제 분석

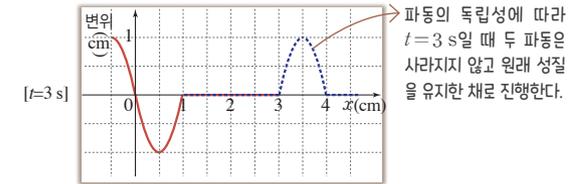
파동의 속력은  $1\text{ cm/s}$ 이므로  $t=1\text{ s}$ 일 때와  $t=1.5\text{ s}$ 일 때 두 파동의 위치를 생각한 뒤 중첩 원리를 적용한다.



• 파란색 점선: A  
• 빨간색 실선: B



$1.5\text{ cm} < x < 2.5\text{ cm}$ 에서 상쇄 간섭한다.



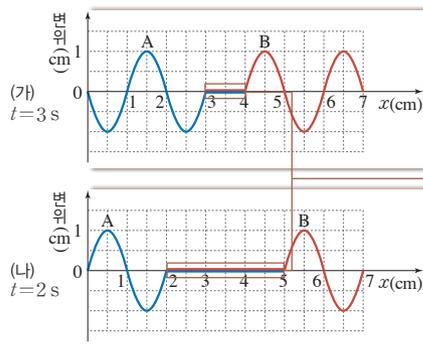
파동의 독립성에 따라  $t=3\text{ s}$ 일 때 두 파동은 사라지지 않고 원래 성질을 유지한 채로 진행한다.

ㄱ.  $t=1\text{ s}$ 일 때  $1\text{ cm} < x < 2\text{ cm}$ 에서 A와 B는 같은 모양으로 만나 완전히 겹쳐진다. 따라서  $x=1.5\text{ cm}$ 에서 두 파동이 같은 위상으로 만나므로 보강 간섭한다.

ㄴ.  $t=1.5\text{ s}$ 일 때  $1.5\text{ cm} < x < 2.5\text{ cm}$ 에서 A와 B는  $x$ 축에 대칭인 모양으로 만난다. 따라서  $x=2\text{ cm}$ 에서 합성파의 변위는 0이다.

**바로알기** ㄷ. 파동의 독립성에 따라  $t=3\text{ s}$ 일 때 두 파동은 사라지지 않고 원래 모양을 유지한 채로 진행한다.

### 06 — 품평 문제 분석

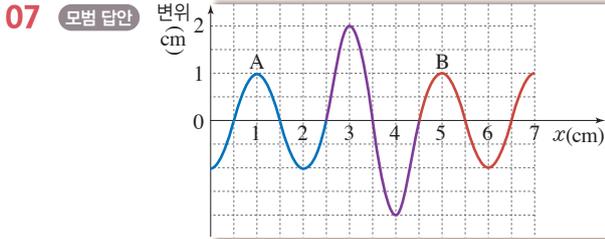


1초 동안 A는  $+x$  방향으로 1 cm, B는  $-x$  방향으로 1 cm 이동했음을 알 수 있다.

ㄱ. 시간이 지남에 따라 중첩되는 구간이 점점 더 넓어졌으므로 A는  $+x$  방향으로, B는  $-x$  방향으로 이동한다.

**바로알기** ㄴ. 1초 동안 1 cm을 이동하였으므로 두 파동의 속력은 1 cm/s이다. 따라서  $t=0$ 일 때  $x=2.5$  cm에서 변위는 1 cm이다.

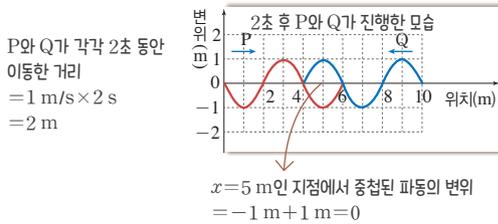
ㄷ. (나)의  $2\text{ cm} < x < 5\text{ cm}$  구간에서 합성파의 진폭이 0이므로  $3\text{ cm} < x < 4\text{ cm}$ 에서 상쇄 간섭이 일어난다.



보강 간섭이 일어나는 지점인  $x=3\text{ cm}$ ,  $x=4\text{ cm}$ 에서 변위의 크기가 최대이다.

채점 기준	배점
합성파의 모습을 옳게 그리고, 변위의 크기가 최대인 지점의 위치에 대해 옳게 서술한 경우	100 %
합성파의 모습은 옳게 그렸으나, 변위의 크기가 최대인 지점의 위치에 대해 서술하지 못한 경우	70 %

**08** **꼼꼼 문제 분석**



**모범 답안** 속력이 1 m/s인 P와 Q가 2초 동안 진행한 거리는 2 m이다. P와 Q가 2 m 진행하였을 때  $x=5\text{ m}$ 인 지점에서 P와 Q의 변위는 각각  $-1\text{ m}$ ,  $1\text{ m}$ 이므로 중첩된 파동의 변위는  $-1\text{ m} + 1\text{ m} = 0$ 이다.

채점 기준	배점
중첩된 파동의 변위를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
중첩된 파동의 변위만 옳게 쓴 경우	30 %

**09** ㄱ. 이중 슬릿을 통과한 두 빛이 스크린에서 만날 때 간섭 현상을 일으킨다.

ㄴ, ㄷ. 이중 슬릿을 통과한 두 빛이 스크린에서 같은 위상으로 만나는 지점에서는 보강 간섭이 일어나 밝은 무늬가 나타나고, 반대 위상으로 만나는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어나 어두운 무늬가 나타난다.

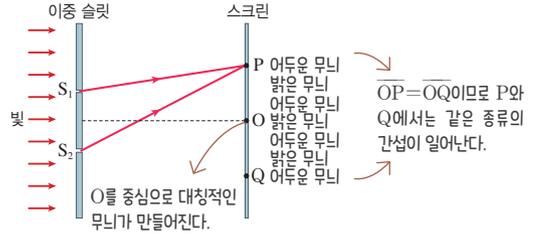
**10** ㄱ. 두 슬릿을 통과한 빛이 중첩 원리에 따라 보강 간섭하거나 상쇄 간섭하여 밝고 어두운 무늬를 만든다.

ㄷ. 밝은 무늬 사이의 간격은 파장에 비례하므로 파장이 더 짧은 초록색 단색광으로 바꾸면 밝은 무늬 사이의 간격은 좁아진다.

**바로알기** ㄴ. 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭 실험의 결과는 빛의 파동성의 근거이다.

**11** **꼼꼼 문제 분석**

P에서 어두운 무늬가 생기므로 두 빛이 서로 반대 위상으로 만나 상쇄 간섭하는 지점이다. O는 두 슬릿으로부터 거리가 같은 지점으로 밝은 무늬의 중심이다.



ㄱ. P는 어두운 무늬가 생기는 점이므로 두 빛이 서로 반대 위상으로 만난다.

**바로알기** ㄴ. O는 두 슬릿으로부터의 거리가 같은 지점이고, 두 슬릿에서 같은 위상으로 빛이 나오므로 O에서는 보강 간섭이 일어난다.

ㄷ.  $\overline{OP} = \overline{OQ}$ 이고 P에서 두 번째 어두운 무늬가 나타나므로 Q에서도 두 번째 어두운 무늬가 나타난다. 따라서 P와 Q 사이에 각각 1개의 밝은 무늬가 나타나고, O에서도 밝은 무늬가 나타나므로 총 3개의 보강 간섭 지점이 있다.

**12** **모범 답안**  $\overline{OP} = \overline{OQ}$ 이므로 두 빛의 경로차는 P에서와 Q에서가 같고, Q에서도 두 번째 어두운 무늬가 생긴다. 상쇄 간섭이 일어날 조건인 경로차( $\Delta$ ) =  $\frac{\lambda}{2}(2m+1)$ 에  $m=1$ 을 대입하면 Q에서 두 빛의 경로차는  $\frac{3\lambda}{2}$ 이다.

채점 기준	배점
$\overline{OP} = \overline{OQ}$ 로부터 Q에서 두 번째 상쇄 간섭이 일어남을 언급하고, 풀이 과정과 함께 경로차를 옳게 구한 경우	100 %
Q에서 두 빛의 경로차만 옳게 답한 경우	30 %

**13** ㄴ. 밝은 무늬 사이의 간격은 파장에 비례한다. 빛의 파장은 빨간색 빛이 초록색 빛보다 길기 때문에 ㉠의 밝은 무늬 사이의 간격은 (나)에서보다 넓다.

**바로알기** ㄱ. 밝은 무늬 사이의 간격은 이중 슬릿 사이의 간격에 반비례한다. 밝은 무늬 사이의 간격은 (가)에서 (나)에서보다 크므로 이중 슬릿 사이의 간격은 A가 B보다 작다.

㉔. 이중 슬릿으로부터 밝은 무늬까지의 경로차는 반 파장의 짝수 배이고, 어두운 무늬까지의 경로차는 반 파장의 홀수 배이므로 경로차는 같지 않다.

**14** 기름 막의 두께와 보는 각도에 따라 보강 간섭을 일으키는 빛의 파장이 달라지고, 그에 따라 관찰되는 색깔도 달라진다.

**15** ㄱ. 비단벌레, 모르포 나비, 공작새 깃털에서 볼 수 있는 다양한 색은 표면 구조에 따라 빛이 간섭하여 나타나는 것이다.

ㄴ. 표면 구조에 따라 반사된 빛이 보강 간섭을 일으키는 파장이 다르므로 보강 간섭을 일으키는 빛의 색이 다르게 나타난다.

**바로알기** ㉔. 나비의 날개가 파란색으로 보이는 까닭은 파란색 빛이 날개에서 반사될 때 보강 간섭하기 때문이다.

**16** ㄱ, ㄴ. 무반사 코팅 안경의 코팅막에서 반사된 빛은 서로 반대 위상으로 만나 상쇄 간섭을 일으킨다. 그 결과 반사된 빛의 양이 줄어들고, 투과되는 빛의 세기가 증가해 시야가 선명해진다.

**바로알기** ㉔. 코팅막의 양쪽 면에서 반사된 빛의 위상은 서로 반대이므로 상쇄 간섭한다.

**17** ㄱ. 위조 방지용 홀로그램은 빛의 간섭 현상을 이용하여 보는 각도에 따라 다른 색깔이나 모양으로 보이게 만든 것이다.

㉔. 보강 간섭을 일으킨 빛의 색깔이 관찰되므로 보는 각도에 따라 다른 색깔로 보인다는 것은 보는 각도에 따라 보강 간섭하는 빛의 파장이 달라진다는 것을 의미한다.

**바로알기** ㄴ. (나)에서 노란색이 관찰되었으므로 노란색 빛이 보강 간섭을 일으킨 것이다. 노란색 빛이 상쇄 간섭을 했다면 밝기가 약해져 노란색이 보이지 않았을 것이다.

**실력UP문제**

215쪽

- 01 ⑤    02 ⑤    03 ②    04 ④

**01**  $x=0$ 인 지점에서 A와 B의 마루(골)까지의 거리가 같으므로 속력이 같은 A와 B는  $x=0$ 인 지점에서 같은 위상으로 만나 보강 간섭한다. A와 B의 속력이 1 cm/s이므로  $x=0$ 인 지점에 도달하기까지 1초가 걸린다. 따라서 1초 후부터 중첩되어 진폭이 변하기 시작하고, 2초일 때 두 파동의 마루와 마루가 중첩하여 변위는 2 cm가 된다. 따라서 ⑤가 가장 적절한 그래프이다.

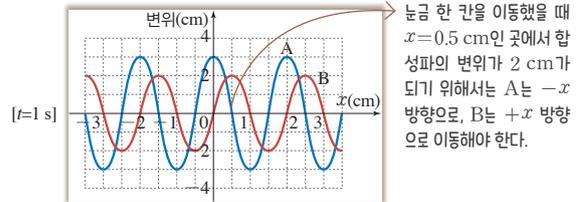
**02** ㄱ. 밝은 무늬 사이의 간격은 파장에 비례한다.  $\lambda_1 > \lambda_2$ 이므로 a는 파장이 더 긴 빛에 의해 생긴 밝은 무늬이다.

ㄴ. b와 d는 둘 다 중심으로부터 거리가 같은 첫 번째 밝은 무늬이므로 같은 파장의 빛에 의해 생긴 밝은 무늬이다.

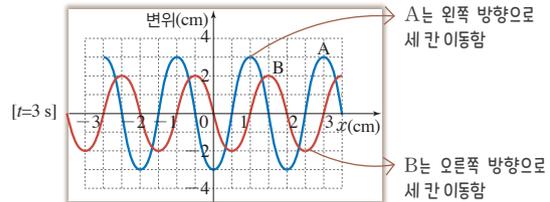
㉔. 스크린상의 점 a~e에만 밝은 무늬가 생겼으므로 a는 파장이 긴 빛에 대한 첫 번째 밝은 무늬이고, b는 파장이 짧은 빛에 대한 첫 번째 밝은 무늬이다. 따라서 a와 b는 파장이 각각  $\lambda_1, \lambda_2$ 인 단색광에 의해 생긴 무늬이다. a와 b는 각각 첫 번째 밝은 무늬이므로 경로차는 파장과 같다.

**03** — **품고 문제 분석**

파동 A와 B의 파장이 모두 2 cm이고, 주기가 4초이므로 1초마다 0.5 cm씩 서로 반대 방향으로 이동한다.



◆ 조금 한 칸을 이동했을 때  $x=0.5$  cm인 곳에서 합성파의 변위가 2 cm가 되기 위해서는 A는  $-x$  방향으로, B는  $+x$  방향으로 이동해야 한다.



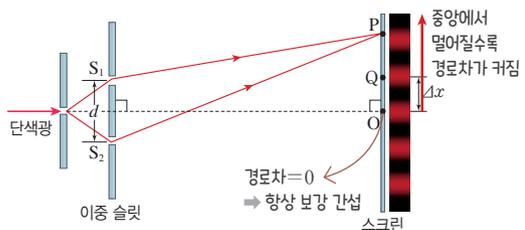
◆ A는 왼쪽 방향으로 1.5 cm 이동함  
B는 오른쪽 방향으로 1.5 cm 이동함

ㄴ. 두 파동의 파장은 2 cm로 같고 주기는 4초이므로 속력은  $\frac{\lambda}{T} = \frac{2 \text{ cm}}{4 \text{ s}} = 0.5 \text{ cm/s}$ 이다.

**바로알기** ㄱ.  $t=1$  s일 때  $x=0.5$  cm인 곳에서 합성파의 변위가 2 cm이므로 A는  $-x$  방향으로, B는  $+x$  방향으로 이동한다.

㉔. 두 파동의 속력은 0.5 cm/s이므로  $t=3$  s일 때 A와 B는 운동 방향으로 1.5 cm를 이동한 상태이다.  $x=1$  cm에서 A의 변위는 3 cm이고, B의 변위는 0이므로 합성파의 변위는 3 cm이다.

**04** — **품고 문제 분석**



ㄴ. 스크린의 중앙 O에서 멀어질수록 이중 슬릿 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>로부터의 경로차는 커지므로 P에서 Q에서보다 크다.

ㄷ. 밝은 무늬 사이의 간격( $\Delta x$ )은 이중 슬릿 사이의 간격( $d$ )에 반비례한다. 따라서 이중 슬릿의 간격이  $d$ 보다 크면 밝은 무늬 사이의 간격은  $\Delta x$ 보다 작아진다.

**바로알기** ㄱ. O는 경로차가 0인 지점이므로 사용한 빛의 파장과 관계없이 밝은 무늬가 만들어진다.

## 02 / 빛의 굴절

### 개념 확인 문제

219쪽

- 1 굴절 2 사인값 3 볼록 렌즈 4 초점 5 광축 6 중심  
7 실상 8 허상 9 포토 리소그래피

- 1 ㄴ    2 (1) ㉠ (2) ㉡ (3) ㉢    3 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○  
4 ㄱ, ㄷ

1 ㄱ, ㄷ. 굴절 법칙에 따라  $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$ 이다.

ㄴ.  $v=f\lambda$ 에서  $f$ 가 일정하므로  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{f\lambda_1}{f\lambda_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ 이다.

- 2 (1) 물체가 초점 안쪽에 있으면 물체의 크기보다 큰 바로 선 상이 생기며, 이때 생긴 상은 빛의 연장선이 만나 만든 허상이다.  
(2) 물체가 초점 바깥쪽에 있으면 거꾸로 선 상이 생기며, 이때 생긴 상은 실제 빛이 모여 만든 실상이다.  
(3) 물체가 초점에 있으면 볼록 렌즈를 지난 빛이 나란하게 진행하여 상이 생기지 않는다.

- 3 (1) 렌즈의 중심과 렌즈 양쪽 곡면의 중심을 연결한 직선을 광축이라고 한다. 광축은 볼록 렌즈에서 광선 추적법을 적용할 때 중요한 기준선이다.  
(2) 볼록 렌즈의 중심을 지나는 광선은 직진한다.  
(3) 볼록 렌즈의 초점에서 나온 빛은 볼록 렌즈에서 굴절하여 광축과 나란하게 진행한다.  
(4) 볼록 렌즈의 광축과 나란하게 입사한 광선은 굴절 후 반대편 초점을 지나 직진한다.

4 ㄱ. 망원경과 현미경은 볼록 렌즈 여러 개를 이용한다. 대물 렌즈에 의한 상을 접안렌즈의 물체가 되도록 하여 물체를 크게 확대한 허상을 볼 수 있다.

- ㄴ. 돋보기 초점 안쪽에 물체를 두면 확대된 허상을 볼 수 있다.  
ㄷ. 포토 리소그래피 공정은 반도체 소자나 디스플레이 제작 공정에서 볼록 렌즈가 축소된 실상을 맺는 원리를 이용하여 웨이퍼에 미세한 회로도를 새기는 기술이다.

### 완자샘 비법특강

220쪽

**Q1** 상의 크기는 점점 커진다.

**Q1** 태양처럼 매우 먼 물체에서 렌즈로 입사한 빛은 모두 광축과 나란한 빛이라고 생각할 수 있고, 그 빛들은 한 점(초점)에 모이므로 상의 크기가 없는 점의 형태이다. 물체가 매우 먼 곳에서 볼록 렌즈에 가까워지면 상의 크기는 점점 커진다.

### 대표 자료 분석

222쪽

- 1 (1) 거꾸로 선 (2) 실상 (3) 바로 선, 뒤쪽    2 ㄷ, ㄹ    3 (1) ○  
(2) × (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ×

- 1 (1), (2) 물체가 초점 거리보다 먼 곳에 있을 때는 항상 거꾸로 선 실상이 생긴다.  
(3) 물체가 초점 안쪽에 있을 때는 물체의 뒤쪽에 바로 선 허상이 생긴다.

2 ㄱ. 물체가 초점 거리의 2배인  $x = -2f$ 에 있으면  $x = 2f$  위치에 물체와 같은 크기의 실상이 생긴다.

ㄴ. 물체가 초점과 초점 거리 2배 사이인  $x = -\frac{3}{2}f$ 에 있으면 물체보다 큰 실상이 생긴다.

ㄷ. 물체가 초점인  $x = -f$ 에 있으면 상이 생기지 않는다.

ㄹ. 물체가 초점 안쪽인  $x = -\frac{1}{2}f$ 에 있으면 물체의 뒤쪽에 물체보다 큰 허상이 생긴다.

- 3 (1) 물체가 볼록 렌즈의 초점 거리 2배 뒤쪽에 있으면 물체보다 작은 상이 생긴다.  
(2) 물체가 볼록 렌즈의 초점에 있으면 상이 생기지 않는다.  
(3) 광축과 나란하게 진행한 빛은 볼록 렌즈를 통과한 뒤 초점인  $x=f$ 를 지난다.

(4), (5) 물체가 볼록 렌즈 초점 거리의 2배인 위치에 있을 때 상의 크기는 물체의 크기와 같고, 물체와 렌즈 사이의 거리와 렌즈와 상 사이의 거리가 같다.

(6) 포토 리소그래피 공정은 볼록 렌즈가 축소된 실상을 맺는 원리를 이용하는데, 물체가  $-f < x < 0$ 에 있으면 물체의 뒤쪽에 물체보다 큰 허상이 생긴다.

### 내신 만점 문제

223쪽~226쪽

- |      |          |         |          |          |
|------|----------|---------|----------|----------|
| 01 ④ | 02 해설 참조 | 03 ①    | 04 ③     | 05 ③     |
| 06 ⑤ | 07 ④     | 08 ③    | 09 ①     | 10 해설 참조 |
| 11 ⑤ | 12 ④     | 13 ㄷ, ㄹ | 14 ④     | 15 ②     |
| 17 ③ | 18 ⑤     | 19 ①    | 20 해설 참조 |          |

**01** ㄴ. 빛이 다른 매질로 진행하더라도 진동수는 변하지 않는다. 진동수는 파원에 의해 결정된다.

ㄷ. 굴절 법칙에 따라 법선과 이루는 각이 클수록 매질의 굴절률이 작으므로 굴절률은 매질 1이 매질 2보다 크다.

**바로알기** ㄱ. 굴절 법칙에 따라 법선과 이루는 각이 클수록 매질에서 빛의 속력이 빠르므로 빛의 속력은 매질 2에서가 매질 1에서보다 빠르다.

**02** **모범 답안** 굴절 법칙에 따라  $n_{12} = \frac{\sin i}{\sin r}$  이므로  $\frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ} = \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{2}}}$   
 $= \frac{\sqrt{2}}{2}$  이다.

채점 기준	배점
굴절 법칙에 따라 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
매질 1에 대한 매질 2의 굴절률만 옳게 쓴 경우	50 %

**03** ㄱ. 굴절률은 유리가 공기보다 크므로 빛이 유리로 입사할 때 빛의 속력은 느려진다.

**바로알기** ㄴ. 법선과 이루는 각이 작을수록 매질의 굴절률이 크므로 굴절률은 유리가 공기보다 크다.

ㄷ. 굴절 법칙에 따라  $\frac{\sin i}{\sin r}$ 는 일정하므로 입사각( $i$ )이 커지면 굴절각( $r$ )도 커진다.

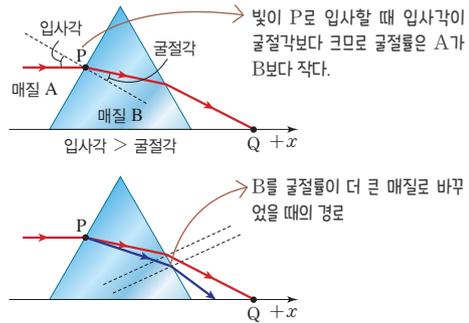
**04** ㄱ. 첫 번째 굴절에서  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$  이고, 두 번째 굴절에서

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_3} = \frac{n_1}{n_2} \text{ 이므로 } \theta_1 = \theta_3 \text{ 이다.}$$

ㄷ. 빛이 A에서 B로 입사했을 때  $\theta_1 > \theta_2$  이므로 굴절 법칙에 따라  $v_1 > v_2$  이다. 빛의 진동수는 A와 B에서 같으므로 속력과 파장은 비례한다. 따라서 빛의 파장은 A에서가 B에서보다 길다.

**바로알기** ㄴ. 굴절 법칙에 따라  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$  이고,  $\theta_1 > \theta_2$  이므로  $v_1 > v_2$  이다.

### 05 **꼼꼼 문제 분석**



B의 굴절률이 커지면 P에서 굴절각이 작아져 B에서 A로 진행할 때 입사각은 기존 경로보다 커진다.

ㄷ. B를 굴절률이 더 큰 매질로 바꾸면 P에서 굴절각이 작아져 B에서 A로 진행할 때 입사각이 커지고, 굴절 법칙에 따라 굴절각이 입사각보다 크므로 Q는  $-x$  방향으로 이동한다.

**바로알기** ㄱ, ㄴ. P에서 법선을 그려 입사각과 굴절각을 나타내면 입사각이 굴절각보다 크다. 따라서 굴절률은 굴절 법칙에 따라 A가 B보다 작다.

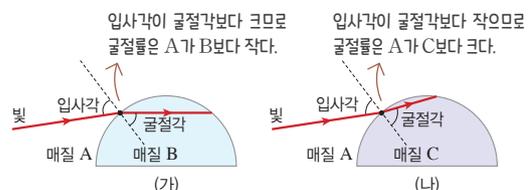
**06** ㄱ. A의 입사각이 굴절각보다 크므로 굴절률은 매질 1이 매질 2보다 작다.

ㄴ. 굴절 법칙에 따라 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률은  $n_{12} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{3}{2}$  이다.

ㄷ. 굴절 법칙은 빛의 진행 방향과 무관하게 성립하므로 빛이 매질 1에서 매질 2로 입사할 때와 매질 2에서 매질 1로 입사할 때 사인값의 비는 일정하게 유지된다. 따라서 빛을 매질 2에서 매질 1로 A의 굴절 광선과 나란하게 입사시키는 경우 굴절 광선 경로를 그리면 A의 입사 광선 경로와 나란하다.

### 07 **꼼꼼 문제 분석**

원에서 접선에 수직인 선은 원의 중심을 지나므로 법선도 원의 중심을 지난다.



ㄱ. B와 C는 반원이므로 법선은 반원의 중심을 지난다. 법선을 그려 입사각과 굴절각을 표시하면 굴절각은 B에서가 C에서보다 작다.

ㄴ. (나)에서 입사각이 굴절각보다 작으므로 굴절률은 A가 C보다 크다. 따라서 파장은 A에서가 C에서보다 짧다.

**바로알기** ㄴ. 굴절률은 (가)에서 A가 B보다 작고, (나)에서 A가 C보다 크므로 B가 C보다 크다.

**08** ㄱ. 광축과 나란한 광선 A는 굴절 후 초점을 지난다.

ㄴ. 물체가 볼록 렌즈로부터  $2f$  떨어진 곳에 있으면 물체와 같은 크기의 거꾸로 선 실상이 볼록 렌즈로부터  $2f$  떨어진 곳에 생긴다.

**바로알기** ㄴ. 초점을 지나 볼록 렌즈로 입사한 광선은 굴절 후 광축과 나란하게 진행하므로 광축상의 점을 지나지 않는다.

**09** ㄱ. 물체와 상이 볼록 렌즈를 기준으로 같은 쪽에 위치하므로 A는 허상이고, B는 물체이다. 허상이 생기기 위해서는 물체가 렌즈의 초점 거리 안쪽에 있어야 한다.

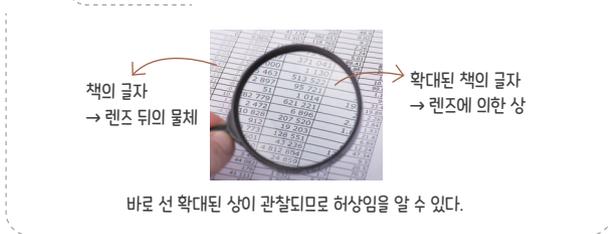
**바로알기** ㄴ. 허상은 빛이 실제로 모여서 생기는 것이 아니라 광선의 연장선이 만나는 점에 생기는 것이므로 스크린을 놓아도 빛이 모이지 않는다.

ㄷ. 볼록 렌즈에 의한 허상의 크기는 물체보다 크다.

**10** **모범 답안** 물체가  $2f$ 까지 이동하는 동안은 상의 크기가 물체보다 큰 상태에서 점점 작아지다가  $2f$ 인 곳에서 물체와 크기가 같아진다. 이후 다시 물체의 크기보다 작아진다.

채점 기준	배점
$f \sim 2f$ , $2f$ 이상인 곳으로 나누어 상의 크기를 옮겨 서술한 경우	100 %
$f \sim 2f$ , $2f$ 이상인 곳으로 나누어 상의 크기를 서술하지 않고 단순히 크기 변화만 서술한 경우	80 %

**11** **꼼꼼 문제 분석**



ㄴ. 책의 글자와 볼록 렌즈를 통해 본 글자를 비교해 보면 볼록 렌즈를 통해 본 글자인 상의 크기가 물체보다 크다는 것을 알 수 있다.

ㄷ. 물체가 볼록 렌즈와 초점 사이에 있을 때 물체보다 크기가 크고 바로 선 허상을 관찰할 수 있다.

**바로알기** ㄱ. 물체보다 크기가 큰 바로 선 상이므로 볼록 렌즈에 의한 허상이 있다.

**12** ① 볼록 렌즈로 실상과 허상을 모두 만들 수 있다.

② 물체가 초점에 있으면 볼록 렌즈에 의해 굴절된 빛은 광축과 나란하게 진행하여 모이지 않으므로 상이 생기지 않는다.

③ 광축과 나란하게 입사한 빛은 초점에 모인다.

⑤ 허상은 광선의 연장선이 모이는 점이므로 빛이 실제로 모이는 위치가 아니다.

**바로알기** ④ 물체가 볼록 렌즈로부터 초점 거리의 2배보다 멀리 있으면 물체보다 크기가 작고 거꾸로 선 실상이 생긴다.

**13** ㄴ. 물체보다 크기가 크고 거꾸로 선 실상이 생긴다.

ㄹ. 물체보다 크기가 크고 바로 선 허상이 생긴다.

**바로알기** ㄱ. 물체보다 크기가 작은 거꾸로 선 실상이 생긴다.

ㄴ. 물체와 같은 크기의 거꾸로 선 실상이 생긴다.

ㄷ. 상이 생기지 않는다.

**14** ㄴ. (나)에서 상이 물체와 크기가 같고 거꾸로 선 모습이므로 촛불이 초점 거리의 2배 되는 곳에 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 이 볼록 렌즈의 초점 거리는 10 cm이다.

ㄷ. (다)에서 촛불이 초점 거리 안쪽에 있으므로 촛불 뒤쪽에 허상이 생겨 스크린에서 상을 관찰할 수 없다.

**바로알기** ㄱ. (가)에서 촛불은 초점 거리의 2배보다 멀리 있으므로 물체보다 크기가 작고 거꾸로 선 상이 생긴다.

**15** ㄴ. (나)에서는 볼록 렌즈의 왼쪽에 물체보다 큰 바로 선 허상이 생긴다.

**바로알기** ㄱ. (가)에서는 물체보다 크기가 작은 실상이 생기고, (나)에서는 물체보다 크기가 큰 허상이 생긴다.

ㄴ. (가)에서는 거꾸로 선 실상이 생긴다.

**16** ㄱ, ㄴ. 망원경은 볼록 렌즈인 대물렌즈와 접안렌즈를 이용하며, 대물렌즈에 의한 상을 접안렌즈의 물체가 되도록 하여 물체를 크게 확대한다.

**바로알기** ㄴ. 망원경으로 물체를 보면 여러 번의 확대 과정으로 물체보다 크게 확대된 허상을 볼 수 있다.

**17** ㄱ. (가)는 돋보기로 한 개의 볼록 렌즈로 구성되어 있으며, 돋보기 가까이 있는 물체가 확대된 허상을 볼 수 있다.

ㄴ. (나)에서 스크린에 빛이 실제로 모여서 영상을 볼 수 있으므로 스크린에 생긴 상은 실상이다.

**바로알기** ㄷ. (다)는 먼 곳에 있는 것처럼 보이는 가상의 큰 화면을 만들기 위해서는 내부의 작은 디스플레이의 이미지를 볼록 렌즈를 통해 확대해야 한다. 이때 볼록 렌즈와 물체(디스플레이의 이미지) 사이의 거리가 매우 가까우므로 확대된 허상이 만들어진다.

18 ㄱ, (가)에서 웨이퍼 위에 산화막을 형성하고 감광액을 바르는데, 산화막은 웨이퍼 표면을 보호하는 막이다.

ㄴ, (나) 과정은 현상으로 현상액을 이용하여 빛에 노출되지 않아 화학적 성질이 변하지 않은 감광액 부분을 선택적으로 제거한다.

ㄷ, (나)에서 볼록 렌즈가 축소된 실상을 만드는 원리를 이용하여 미세한 회로도를 만든다.

19 포토 리소그래피 공정은 실리콘 웨이퍼 위에 ㉠ 마스크에 그려진 회로도를 새기는 기법이다. 이를 위해 회로도가 그려진 마스크에 빛을 비춰 ㉡ 볼록 렌즈로 축소된 회로도를 웨이퍼에 새긴다.

20 **모범 답안** 마스크의 회로도는 실제로 필요한 크기보다 크게 그려진다. 이것을 웨이퍼에 작게 축소하여 그려야 하므로 작은 크기의 실상을 만들 수 있는 볼록 렌즈를 활용한다.

채점 기준	배점
볼록 렌즈가 상을 만드는 원리를 바탕으로 옳게 서술한 경우	100 %
볼록 렌즈가 상을 만드는 원리만 쓴 경우	50 %

실력UP문제

227쪽

- 01 ④    02 ②    03 ②    04 ③

01 **꼼꼼 문제 분석**

	입사각 30°	입사각 35°	입사각 35°
실험 과정	(가)	(나)	(다)
굴절각	60°	㉠	60°

굴절각은 같지만 입사각은 (다)가 크다. → 굴절률은 B가 C보다 작다.      입사각은 같지만 굴절률은 C가 크다. → 굴절각은 (나)가 크다.

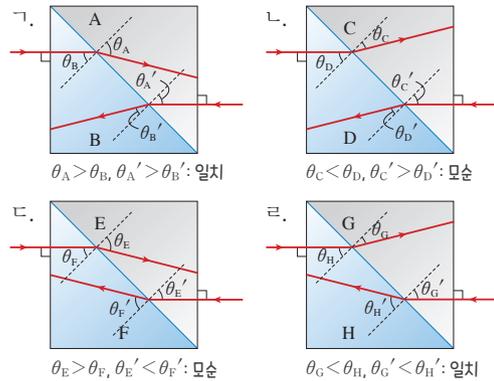
ㄱ, (가)와 (다)의 결과를 비교하면 굴절각은 60°로 같지만 입사각은 (다)에서 35°로 더 크므로 굴절 법칙에 따라 (가)에서  $n_B = n_A \frac{\sin 30^\circ}{\sin 60^\circ}$ 이고, (다)에서  $n_C = n_A \frac{\sin 35^\circ}{\sin 60^\circ}$ 이므로  $n_B < n_C$ 이다.

ㄴ, (나)와 (다)를 비교하면 굴절률은 B가 C보다 작으므로 입사각이 같으면 굴절각은 (나)가 (다)보다 크다. 따라서 ㉠은 60°보다 크다.

**바로알기** ㄷ, 빛이 A에서 B로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 작으므로 굴절률은 A가 B보다 크다. 따라서 빛의 속력은 A에서 B에서보다 느리므로 빛이 A에서 B로 진행할 때 속력이 빨라진다.

02 **꼼꼼 문제 분석**

굴절 법칙  $\frac{\sin i}{\sin r} = n_{12}$ 에 따라 법선과 이루는 각의 대소 관계는 모든 광선에 대해 같아야 한다.



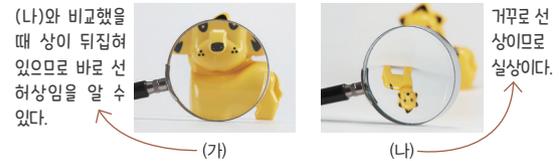
ㄱ, A의 굴절률이 B보다 작으며 광선은 굴절 법칙을 만족한다.

ㄴ, G의 굴절률이 H보다 크며 광선은 굴절 법칙을 만족한다.

**바로알기** ㄴ, 왼쪽에서 입사한 광선은 C가 D보다 굴절률이 큰 방향으로 굴절하지만, 오른쪽에서 입사한 광선은 C가 D보다 굴절률이 작은 방향으로 굴절하므로 서로 모순되어 가능하지 않다.

ㄷ, 왼쪽에서 입사한 광선은 E가 F보다 굴절률이 작은 방향으로 굴절하지만, 오른쪽에서 입사한 광선은 E가 F보다 굴절률이 큰 방향으로 굴절하므로 서로 모순되어 가능하지 않다.

03 **꼼꼼 문제 분석**



ㄷ, 허상이 만들어질 때 물체는 초점 거리 안쪽에 위치하고, 실상이 만들어질 때 물체는 초점 거리 바깥에 위치한다. 따라서 물체와 렌즈 사이의 거리는 (가)에서 (나)에서보다 가깝다.

**바로알기** ㄱ, (가)와 (나)의 상이 서로 반대로 서 있으므로 (나)에서 실상이 관찰된다면 (가)에서는 허상이 관찰된다.

ㄴ, 볼록 렌즈가 만드는 허상은 물체보다 크기가 크다.

04 ㄱ, (가)는 현상액으로 빛에 노출되지 않은 부분의 감광액을 제거하는 과정이고, (나)는 감광액이 없는 부분의 산화막을 제거하는 과정이다. (가)와 (나)는 (다)와 같이 웨이퍼에 회로를 새긴 뒤 진행되는 과정이므로 (다) → (가) → (나) 순서로 진행된다.

ㄴ, (나)는 식각 과정을 나타낸 것이다.

**바로알기** ㄷ, ㉠은 회로도가 새겨진 유리로 마스크이다.

# 03 / 빛의 이중성

## 개념확인문제

231쪽

- 1 광전 효과   2 입자성   3 진동수   4 진동수   5 세기  
6 광자   7 광전 효과
- 1 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○   2 ㉠ 한계 진동수, ㉡ 진동수,  
㉢ 광양자설   3 (1) ○ (2) ○ (3) ×   4 ㉠ 광전 효과, ㉡ 전기,  
㉢ 컬러 필터   5 ㉠ 마이크로 렌즈, ㉡ 컬러 필터, ㉢ 광 다이오드

- 1 (1) 한계 진동수보다 작은 진동수의 빛은 아무리 세 빛을 비추어도 광전자가 방출되지 않는다.  
(2) 한계 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비추면 세기가 약해도 광전자가 즉시 방출된다.  
(3) 광자 1개의 에너지는 진동수에 비례하므로 진동수가 큰 빛일수록 광자의 에너지가 커서 전자에 전달하는 에너지도 크다.  
(4) 빛의 세기가 세면 광자의 수가 많으므로 전자와 충돌하는 광자의 수가 많아져 방출되는 광전자의 수가 많아진다.

2 광전 효과가 일어날 때 전자가 방출되기 위해 필요한 최소한의 에너지가 있다. 이 최소한의 에너지는 광자 1개의 에너지와 관련해서 진동수로 표현되는데, 이를 ㉠ 한계 진동수라고 한다. 즉, 빛의 ㉡ 진동수가  $f$ 이고 금속의 한계 진동수가  $f_0$ 이면  $f > f_0$  일 때 광전자가 방출된다는 조건은  $hf > hf_0$ 과 같으며, 이는 광전자 방출에 필요한 에너지 조건을 충족했다는 의미이다. ㉢ 광양자설에서는 광자 1개의 에너지를  $E = hf$ 로 나타낸다.

- 3 (1) 빛의 간섭 현상은 빛의 파동성을 보여주는 대표적인 증거이다.  
(2) 광전 효과를 통해 빛의 입자성을 증명하였다.  
(3) 빛은 파동성과 입자성을 모두 가지고 있지만, 두 성질은 동시에 나타나지 않는다.

4 CCD는 광 다이오드를 규칙적으로 배열한 반도체 소자로 빛을 받으면 ㉠ 광전 효과에 의해 빛 신호를 ㉡ 전기 신호로 전환한다. CCD는 빛의 세기만을 측정할 수 있고 색을 구분할 수 없기 때문에 RGB ㉢ 컬러 필터를 이용하여 색상에 따른 밝기 정보를 얻는다.

5 CCD의 화소는 ㉢ 광 다이오드로 이루어져 있으며, 색상에 따른 밝기 정보를 얻기 위해 광 다이오드 위에 ㉣ 컬러 필터를 배열한다. ㉠ 마이크로 렌즈를 통해 CCD에 도달한 빛을 모아서 컬러 필터와 광 다이오드에 전달한다.

## 대표자료분석

232쪽

- 1 (다)   2 광전 효과   3  $f_1 < f_0 < f_2$    4 (1) ○ (2) × (3) ×  
(4) ○ (5) ○

1 (나)에서는 금속박에 아무런 변화가 없으므로 광전자가 방출된 (다)에서 음(-)전하의 양이 더 적다.

2 (다)에서 금속박이 오므라든 것은 광전 효과가 일어나 광전자가 방출되어 금속박에 대전된 음(-)전하가 줄어들었기 때문이다.

3 아연판의 한계 진동수보다 빛의 진동수가 커야 광전자가 방출된다. (나)에서 형광등 빛에 의해 광전자가 방출되지 않았으므로  $f_1 < f_0$ 이고, (다)에서 자외선등 빛에 의해 광전자가 방출되었으므로  $f_0 < f_2$ 이다. 따라서  $f_1 < f_0 < f_2$ 이다.

4 (1) 광전 효과에 의해 금속판에서 전자가 방출되기 위해 필요한 최소한의 진동수를 한계 진동수라고 한다. 금속판에 비추는 빛의 진동수가 한계 진동수보다 커야 광전자가 방출된다.

(2) 한계 진동수는 금속마다 고유한 값을 가지므로 금속마다 서로 다르다.

(3) 한계 진동수보다 진동수가 작은 빛은 빛의 세기를 아무리 세게 하여도 광전자가 방출되지 않는다. 따라서 (나)에서 형광등을 하나 더 추가하여 비추어도 광전자가 방출되지 않는다.

(4) 광전자의 방출 여부는 진동수로 결정되므로 빛의 세기와는 관계가 없다. (다)에서 자외선등에서 나오는 빛의 진동수는 아연판의 한계 진동수보다 크므로 빛의 세기가 약하더라도 광전자가 방출된다.

(5) 빛의 세기가 세다는 것은 광자의 수가 많다는 것을 의미하므로, (다)에서 자외선등의 빛의 세기를 더 세게 하면 광전자가 더 많이 방출되어 금속박이 더 빠르게 오므라든다.

## 내신만점문제

233쪽~236쪽

- |          |          |      |          |      |
|----------|----------|------|----------|------|
| 01 ③     | 02 ③     | 03 ② | 04 해설 참조 | 05 ④ |
| 06 ④     | 07 해설 참조 | 08 ⑤ | 09 ②     | 10 ④ |
| 11 ②     | 12 ③     | 13 ① | 14 ④     | 15 ③ |
| 17 해설 참조 | 18 ③     | 19 ③ |          |      |

01 ㄱ. 금속 표면에 빛을 비출 때 전자가 방출되는 현상을 광전 효과라고 한다.

ㄴ. 광전자가 방출되기 위한 최소한의 빛의 진동수를 한계 진동수라고 한다. 진동수가  $f$ 인 빛을 비추었을 때 광전자가 방출되었으므로 이 금속판의 한계 진동수는  $f$ 보다 작다.

**바로알기** ㄷ. 빛의 진동수가  $f$ 일 때 광전자가 방출되었으므로  $f$ 는 금속판의 한계 진동수보다 크다. 따라서 진동수가  $f$ 보다 큰 빛을 비추면 빛의 세기와 관계없이 광전자가 항상 방출된다.

**02** ㄱ. 빛의 진동수가 금속판의 한계 진동수보다 큰 경우에만 광전자가 방출된다. 빛의 진동수가 한계 진동수보다 작으면 아무리 센 빛을 비추어도 광전자는 방출되지 않는다.

ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크다.

**바로알기** ㄴ. 금속판의 한계 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비추면 빛의 세기가 약하더라도 광전자는 즉시 방출되므로 (나)는 파동성으로 예상한 결과와 일치하지 않는다.

**03** ㄴ. 광자 1개의 에너지는 진동수에 비례하므로 광자 1개의 에너지는 X선이 자외선보다 크다. 따라서 X선을 비추면 광전자의 최대 운동 에너지가 커진다.

**바로알기** ㄱ. 아연판에 자외선을 비출 때 전자가 방출되므로 자외선의 진동수가 아연판의 한계 진동수보다 크다.

ㄷ. 방출되는 광전자의 수는 빛의 세기에 비례한다. 따라서 빛의 세기가 셀수록 방출되는 광전자의 수도 많아진다.

**04** 금속 표면에서 전자 1개를 튀어나오게 하기 위해서는 전자에게 주어야 할 최소한의 에너지가 있다. 이 에너지가 큰 금속일수록 비추어 주는 빛의 에너지가 커야 광전 효과가 나타나므로, 금속 표면에서 전자를 방출시킬 수 있는 빛의 최소 진동수인 한계 진동수가 커진다.

**모범 답안** 한계 진동수는 금속 표면에서 전자를 방출시키기 위해 필요한 최소한의 에너지를 갖는 광자의 진동수로 금속마다 다르다.

채점 기준	배점
전자가 방출되기 위해서 필요한 에너지를 언급하며 한계 진동수에 대해 옳게 서술한 경우	100 %
에너지에 대한 언급 없이 광전자 방출에 필요한 최소한의 진동수라고만 서술한 경우	50 %

**05** ㄱ. (가)에서는 광전자가 방출되고 (나)에서는 광전자가 방출되지 않으므로  $f_1 < f < f_2$ 이다.

ㄴ. 진동수가  $f$ 인 광자 1개의 에너지는  $hf$ 이다. (가)에서 광전자가 방출되므로  $f_1 < f$ 이고  $hf_1 < hf$ 이다.

**바로알기** ㄷ. (나)에서 광전자가 방출되지 않으므로 금속판의 한계 진동수가 빛의 진동수보다 크다. 따라서 진동수가  $f$ 보다 작은 빛을 비추면 진동수가 금속의 한계 진동수보다 작으므로 광전자가 방출되지 않는다.

**06** ④ 빛은 광자라고 불연속적인 에너지 덩어리로 이루어져 있으며, 광자 1개의 에너지는 진동수에 비례하여  $hf$ 로 나타낸다.

**바로알기** ① 빛의 입자성을 주장한 것이 파동성을 부정하는 것은 아니다. 빛은 파동과 입자의 성질을 모두 가지고 있으며, 다만 그 두 성질이 동시에 나타나지 않을 뿐이다.

② 빛이 에너지를 연속적으로 전달한다는 것은 빛의 파동설에 따른 설명이다.

③ 광양자설은 빛의 입자성을 설명한 것이고, 빛의 간섭은 빛의 파동성의 대표적인 증거이다.

⑤ 빛의 에너지가 진폭의 크기에 비례한다는 것은 빛의 파동설에 따른 설명이다.

**07** **모범 답안** 광자의 진동수가 금속의 한계 진동수보다 작아 전자가 방출되는 데 필요한 에너지보다 광자 1개의 에너지가 더 작기 때문이다. 광전자가 방출되기 위해서는 금속의 한계 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비추어야 한다.

채점 기준	배점
광전자가 방출되지 않는 까닭과 광전자가 방출되기 위한 조건을 옳게 서술한 경우	100 %
광전자가 방출되지 않는 까닭만 옳게 서술한 경우	50 %

**08** ㄱ. 광자와 전자는 1 : 1로 상호작용 하므로 광자 1개가 전자 1개와 충돌하여 에너지를 전달한다.

ㄴ. 광자 1개의 에너지는 진동수에 비례한다. 광자 1개의 에너지는 A가 B보다 작으므로 진동수도 A가 B보다 작다.

ㄷ. 금속에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 전자가 충돌한 광자 B의 에너지에서 전자가 방출되기 위해 필요한 에너지 ( $E$ )를 뺀 값과 같다.

**09** ㄷ. (나)에서 자외선의 진동수는 아연판의 한계 진동수보다 크고, (다)에서 자외선의 진동수는 금속 A의 한계 진동수보다 작다. 따라서 한계 진동수는 아연이 금속 A보다 작다.

**바로알기** ㄱ. (가)와 (나)를 비교했을 때 같은 아연판에 서로 다른 빛을 비추고 있으므로 광전자가 방출되어 금속박이 오르라든 (나)가 진동수가 더 큰 빛을 비추는 상황이다.

ㄴ. 스마트폰 조명의 개수를 늘리면 빛의 세기가 세지지만 한계 진동수보다 진동수가 작은 빛의 세기를 세게 하여도 광전자는 방출되지 않으므로 금속박은 오르라들지 않는다.

**10** ㄱ, ㄴ. Q를 비출 때 A에서는 광전자가 방출되지 않고, B에서는 광전자가 방출되므로 금속판의 한계 진동수는 A가 B보다 크다. 따라서 R을 A에 비출 때 광전자가 방출되므로 R을 B에 비출 때도 광전자가 방출된다. 단색광의 세기는 일정하므로 ㉠은  $N_2$ 이다.

**바로알기** **ㄷ.** 빛의 세기는 광자의 수에 비례하고, 광자와 전자는 1 : 1로 충돌한다. 즉, 방출되는 광전자의 수는 빛의 세기에 비례한다. P와 Q를 각각 B에 비출 때 방출되는 광전자의 수가  $N_1$ 로 같으므로 P와 Q의 세기는 같다.

**11** **꼼꼼 문제 분석**

같은 진동수의 빛을 비출 때 한계 진동수가 작은 금속일수록 광전자의 최대 운동 에너지가 크다.  $\rightarrow E_1 > E_2$

빛의 진동수	금속판		광전자의 최대 운동 에너지	
	A	B	A	B
$f_1$	$E_1$	$E_2$	$E_1$	$E_2$
$f_2$	$E_3$	방출되지 않음	$E_3$	방출되지 않음

A에서는 광전자가 방출되고, B에서는 방출되지 않으므로 한계 진동수는 B가 A보다 크다.   
 진동수가  $f_2$ 인 빛에서는 광전자가 방출되지 않았다.  $\rightarrow f_1 > f_2$

**ㄴ.** 진동수가  $f_2$ 인 빛을 A, B에 비출 때를 비교하면 B에서 광전자가 방출되지 않았으므로 한계 진동수는 B가 A보다 크다. 따라서 진동수가  $f_1$ 인 빛을 비출 때 광전자의 최대 운동 에너지는 A에서가 B에서보다 크므로  $E_1 > E_2$ 이다.

**바로알기** **ㄱ.** B에 빛을 비출 때를 비교하면  $f_2$ 인 빛은 광전자를 방출하지 않으므로  $f_1 > f_2$ 이다.

**ㄷ.**  $f_1 > f_2$ 이므로 같은 금속에 두 빛을 비출 때  $E_1 > E_3$ 이다.

**12** **꼼꼼 문제 분석**

금속의 한계 진동수가 일정하므로 금속판에 비추는 빛의 진동수가 클수록 튀어나오는 광전자의 최대 운동 에너지가 크다.

빛의 세기가 셀수록 크다.

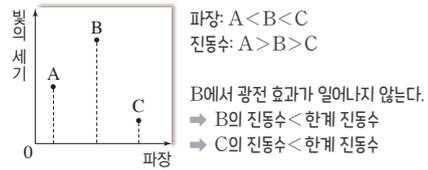
단색광	전류의 최대값	광전자의 최대 운동 에너지
A	$I_0$	$2E_0$
B	$I_0$	$E_0$
C	$2I_0$	$E_0$

**ㄱ.** 진동수가 큰 빛일수록 광자 1개의 에너지가 크므로, 광전자로부터 에너지를 얻어 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 크다. 따라서 단색광의 진동수는 A가 C보다 크다.

**ㄴ.** 빛의 세기는 광자의 수에 비례하고 광자 1개가 금속에 충돌할 때 전자 1개가 방출되므로, 빛의 세기가 셀수록 방출되는 광전자의 수도 많아져서 회로에 흐르는 전류의 세기도 세다. 따라서 단색광의 세기는 B가 C보다 약하다.

**바로알기** **ㄷ.** 회로에 흐르는 전류의 세기가 같을 때 빛의 세기도 같다. 방출되는 광전자의 수는 빛의 세기에 비례하므로, 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 A를 비출 때와 B를 비출 때가 같다.

**13** **꼼꼼 문제 분석**



**ㄱ.** 빛의 속력이 일정할 때 빛의 진동수는 파장에 반비례하므로 빛의 진동수는 파장이 짧은 A가 파장이 긴 B보다 크다.

**바로알기** **ㄴ.** 광전자는 빛의 세기와 관계없이 금속판의 한계 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비출 때만 방출된다. 그래프에서 B는 C보다 파장이 짧고, 진동수는 파장에 반비례하므로 빛의 진동수는 B가 C보다 크다. B를 비추었을 때 광전자가 방출되지 않았으므로 진동수가 B보다 작은 C를 비출 때도 금속판에서 광전자가 방출되지 않는다.

**ㄷ.** 빛의 진동수는 A가 B보다 크다. B를 비추었을 때 광전자가 방출되지 않았으므로 A와 B를 동시에 비추었을 때의 광전자의 최대 운동 에너지는 진동수가 가장 큰 A에 의해 결정된다. 따라서 A와 B를 동시에 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지는 A만 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지와 같다.

**14** **ㄴ.** X선 광자의 운동량  $p = \frac{h}{\lambda}$ 이므로 전자와 충돌하는 과정에서 운동량 보존 법칙에 따라 운동량의 일부를 잃어 파장이 길어진다.

**ㄷ.** 전자에 X선을 쬐었을 때 X선의 진행 방향이 바뀌는 현상을 콤프턴 효과라고 한다. 콤프턴 효과는 X선 광자와 전자의 충돌로 해석할 수 있어 빛의 입자성에 대한 증거가 된다.

**바로알기** **ㄱ.** 콤프턴 효과는 빛의 간섭과 관계없다. X선 광자가 전자와 충돌하면 운동량 보존 법칙에 따라 X선 광자는 운동량의 일부를 잃고, X선의 파장은 길어진다. 빛의 속력이 일정할 때 진동수는 파장에 반비례하므로 X선 광자의 에너지는 작아진다.

**15** **ㄷ.** 광전 효과는 불연속적인 에너지 입자인 광자가 전자와 충돌하여 에너지를 전달하면 전자가 에너지를 얻어 방출되는 현상이다.

**ㄴ.** 빛은 입자의 성질과 파동의 성질을 모두 가지고 있으며, 이를 빛의 이중성이라고 한다. 상황에 따라 파동의 성질을 보이거나 입자의 성질을 보이며, 두 성질은 동시에 나타나지 않는다.

**바로알기** **ㄱ.** 빛의 굴절은 빛의 파동성으로도 입자성으로도 설명할 수 있다.

**ㄴ.** 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭 실험을 통해 빛의 파동성을 확인하였다.

**16** ㄱ. CCD는 빛의 입자성을 이용하여 빛 신호를 전기 신호로 바꾸는 이미지 센서의 일종이다.

ㄴ. CCD에 빛이 닿으면 광전 효과에 의해 전자가 발생하며, 이 과정을 통해 빛의 세기 정보를 전기 신호로 바꾼다.

**바로알기** ㄷ. CCD의 광 다이오드는 광전 효과로 전자를 방출하므로 방출되는 전자의 양은 빛의 진동수가 아니라 빛의 세기와 관련이 있다.

**17** **모범 답안** 이미지 센서란 빛의 입자성을 이용하여 빛 신호를 전기 신호로 바꾸는 장치이다. 이미지 센서는 천체 망원경, CCTV 등 대부분의 영상 장치에 이용된다.

채점 기준	배점
이미지 센서의 정의를 옳게 서술하고, 예시를 옳게 두 가지 쓴 경우	100 %
이미지 센서의 정의만 서술한 경우	50 %

**18** ㄱ. 광 다이오드에서 광전 효과에 의해 빛이 전기 신호로 전환된다.

ㄴ. CCD는 빛의 세기만을 측정할 수 있고 색을 구분할 수 없으므로 컬러 필터를 통해 빛을 RGB로 분리하여 광 다이오드로 보낸다.

**바로알기** ㄷ. CCD는 광전 효과를 이용해 영상 정보를 전기 신호로 전환하므로 빛의 입자성을 이용한 것이다. 빛의 간섭 현상과 관련 있는 빛의 성질은 빛의 파동성이다.

**19** ㄱ. 이미지 센서는 광전 효과를 이용하며, 빛의 세기 정보를 전기 신호로 변환하는 장치이다. 빛의 입자성을 이용하는 대표적인 장치이다.

ㄴ. 광전 효과가 일어나면 광자의 에너지를 전자에 전달하여 전자가 운동 에너지를 가지고 튀어나오므로 빛에너지를 전기 에너지로 변환한다고 볼 수 있다.

**바로알기** ㄷ. 빛의 이중성은 빛이 파동의 성질과 입자의 성질을 모두 가지고 있음을 의미한다. 현상에 따라서 파동성 또는 입자성은 한 가지만 나타나지 동시에 관찰되지는 않는다.

ㄷ. 한계 진동수가 더 작은 금속판을 검전기 위에 올리면 광전 효과가 일어나 전자가 방출되고 검전기는 양(+전하)로 대전되어 금속박이 벌어질 수 있다.

**바로알기** ㄴ. 금속판의 한계 진동수보다 작은 진동수의 빛을 비추면 광전자가 방출되지 않으며, 빛을 더 오래 비추거나 세게 비추더라도 광전자는 방출되지 않는다.

**02** **꼼꼼 문제 분석**

진동수	빛의 세기	전류의 세기
$f_1$	$S_1$	0
$f_2$	$S_2$	$1.5I_0$
$f_2$	$S_3$	$I_0$
$f_3$	$S_1$	⊖

$f_1$ 일 때 전류가 0이므로 광전자가 방출되지 않는다.  $\rightarrow f_1 < f_2$   
 광전류는 빛의 세기가  $S_2$ 일 때가  $S_3$ 일 때보다 크다.  
 $f_2 < f_3$ 이므로 ⊖은 0이 아니다.

ㄱ. 진동수가  $f_1$ 일 때 전류가 0이므로  $f_1$ 은 금속판의 한계 진동수보다 작음을 알 수 있다. 진동수가  $f_2$ 일 때 전류가 흐르므로  $f_2$ 는 한계 진동수보다 크다. 따라서  $f_1 < f_2$ 이다.

**바로알기** ㄴ. 전류의 세기는 빛의 세기가  $S_2$ 일 때가  $S_3$ 일 때보다 크므로  $S_2 > S_3$ 이다.

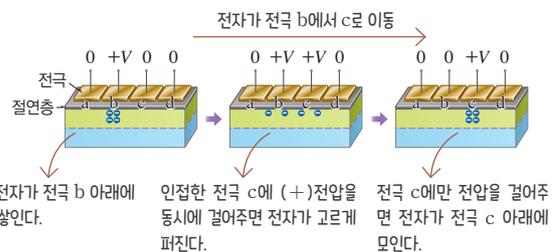
ㄷ. 진동수가  $f_2$ 일 때 전류가 흐르고  $f_2 < f_3$ 이므로  $f_3$ 일 때도 전류가 흐른다. 따라서 ⊖은 0이 아니다.

**03** ㄴ. (다)에서 진동수가  $f_2$ 인 빛은 광전자 방출 여부에 영향을 주지 않으므로 방출되는 광전자의 수는 (가)에서와 (다)에서가 같다.

ㄷ. 한계 진동수보다 작은 진동수의 빛을 아무리 세게 비추어도 광전자는 방출되지 않는다.

**바로알기** ㄱ. (가)에서 광전자가 방출되었으므로  $f_1$ 은 금속판의 한계 진동수보다 크다. (나)에서 광전자가 방출되지 않았으므로  $f_2$ 는 한계 진동수보다 작다. 따라서  $f_1 > f_2$ 이다.

**04** **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. 회소에서 생성된 음(-)전하를 띠는 전자는 (+)전압이 걸려 있는 전극 b 아래쪽에 쌓인다.

**실력 UP 문제** 237쪽

**01** ③    **02** ①    **03** ④    **04** ⑤

**01** ㄱ. 진동수가 더 큰 단색광을 비추면 광전 효과가 일어나 전자가 방출되고 검전기는 양(+전하)로 대전되어 금속박이 벌어질 수 있다.

나. 전자가 쌓인 전극 b의 오른쪽 전극 c에 (+)전압을 걸면 전자가 두 전극에 고루 퍼지며, 전극 b의 전압을 0으로 하면 전자는 모두 전극 c 아래로 이동한다. 이와 같이 전극의 전압을 순차적으로 변화시키는 방식에 의해 전자는 전하량 측정 장치까지 이동한다.

다. 각 화소 에서 발생하여 전극을 따라 이동한 전자는 전송단을 따라 전하량 측정 장치로 이동한다. 전하량 측정 장치에서 전하의 양에 비례하는 전압이 출력되는데, 출력된 이 전기 신호는 각 화소에 입사된 빛의 세기에 대한 정보를 담고 있다.

## 04 / 물질의 이중성

### 개념 확인 문제

241쪽

- ① 물질파    ② 째울    ③ 회절    ④ 파동성    ⑤ 째기    ⑥ 전자선  
 ⑦ 자기렌즈    ⑧ 투과    ⑨ 주사

- 1 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○    2 1 : 1    3  $\lambda_A > \lambda_B$     4 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○

- 1 (1) 물질파는 드브로이가 제안하였다.  
 (2) 전자와 같은 입자가 파동성을 나타낼 때 이 파동을 물질파라고 한다.  
 (3) 물질파 파장은 입자의 운동량에 반비례하므로 입자의 운동량 크기가 클수록 물질파 파장이 짧다.  
 (4) 회절은 파동성을 나타내는 현상이다. 톰슨의 실험에서 전자선이 금속박을 통과하여 회절 무늬가 나타나는 것은 전자가 파동성을 가지고 있기 때문이다.

2 A와 B의 질량을  $m_A, m_B$ 라고 할 때  $2\lambda = \frac{h}{m_A v}$ 이고,  $\lambda = \frac{h}{m_B(2v)}$ 이므로  $m_A : m_B = 1 : 1$ 이다.

3 (가)는 두 점의 구별이 불가능하고, (나)는 두 점의 구별이 가능하므로 분해능은 B가 A보다 좋다. 파장이 짧을수록 분해능이 좋으므로  $\lambda_A > \lambda_B$ 이다.

4 (1), (3) 전자 현미경에서 사용되는 전자의 물질파 파장은 광학 현미경에서 사용되는 가시광선의 파장보다 짧으므로 전자 현미경의 분해능은 광학 현미경의 분해능보다 좋다.

(2) 투과 전자 현미경은 분해능이 좋아 세포의 내부 구조를 관찰하는 데 주로 사용한다.

(4) 주사 전자 현미경은 투과 전자 현미경보다는 분해능이 다소 떨어지지만 입체 구조를 볼 수 있다는 장점이 있다.

### 대표 자료 분석

242쪽

- 1 (가) 광학 현미경, (나) 투과 전자 현미경, (다) 주사 전자 현미경  
 2 ① 유리(광학) 렌즈, ② 자기렌즈, ③ 자기장    3 (1) 째울 (2) 파동성 (3) 빛, 전자선 (4) 전자    4 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ×

1 (가) 접안렌즈, 대물렌즈와 같은 유리 렌즈를 이용하는 현미경은 빛을 이용하는 광학 현미경이다.

(나) 전자선을 얇은 시료에 투과시킨 뒤 형광 스크린에 형성된 시료의 단면 구조를 볼 수 있는 전자 현미경은 투과 전자 현미경(TEM)이다.

(다) 가속된 전자선을 시료 표면에 쏘일 때 튀어나온 전자를 검출하여 시료의 표면 구조를 볼 수 있는 전자 현미경은 주사 전자 현미경(SEM)이다.

2 광학 현미경은 가시광선을 사용하기 때문에 빛이 유리에서 속력이 느려지는 것을 이용해 ① 유리(광학) 렌즈로 빛을 굴절시켜 초점에 모은다. 전자 현미경은 전자를 사용하기 때문에 ② 자기렌즈로 전자선을 모은다. 이때 코일로 만든 원통 모양의 전자석인 자기렌즈에서는 전자가 ③ 자기장에 의해 자기력을 받아 전자의 진행 경로가 휘어지며 초점에 모인다.

3 (1) 현미경에서 렌즈의 크기가 같을 때 사용하는 빛의 파장이 짧을수록 분해능이 좋다.

(2) 전자 현미경은 빛 대신 전자의 물질파를 이용하여 상을 관찰하므로 물질의 파동성을 이용한 것이다.

(3) 광학 현미경은 유리 렌즈로 빛을 굴절시켜 상을 맺게 하고, 전자 현미경은 자기렌즈로 전자선을 굴절시켜 상을 맺게 한다.

(4) 주사 전자 현미경은 관찰하려는 시료의 표면에 계속해서 전자를 쏘이므로 시료의 전기 전도도가 좋아야 한다. 전기 전도도가 나쁘면 시료에 전하가 모여 관찰하기 어렵다.

4 (1) 물체의 크기가 광학 현미경에서 사용하는 빛의 파장보다 작으면 빛의 회절 때문에 물체의 상을 관찰할 수 없다. (가)는 광학 현미경으로 분해능은  $0.2 \mu\text{m}$  정도이다. 바이러스의 크기는 이보다 작으므로 (가)로 바이러스를 관찰할 수 없다.

(2) (나) 투과 전자 현미경은 전자선을 얇은 시료에 투과시킨 후, 형광 스크린에 형성된 시료의 2차원적 단면 구조의 상을 관찰하므로 세포의 내부 구조를 볼 수 있다.

(3) (다) 주사 전자 현미경은 전자선을 시료 표면에 차례대로 쪼일 때 시료에서 튀어나온 전자를 검출기로 수집하여 컴퓨터의 모니터에 형성된 시료의 3차원적 입체상을 관찰할 수 있다.

(4) (나) 투과 전자 현미경의 분해능이 (다) 주사 전자 현미경보다 우수하다.

(5) 전자의 속력이 작을수록 물질파 파장이 길어지므로 분해능은 나빠진다.

**내신 만점 문제**

243쪽~246쪽

- 01 ④    02 ④    03 해설 참조    04 ④    05 ⑤  
 06 ④    07 ④    08 ③    09 ④    10 ④    11 ①  
 12 ①    13 ①    14 ⑤    15 ②    16 ①  
 17 해설 참조    18 ④    19 ④

**01** 물질파 파장  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에 따라 A의 파장  $\lambda_A = \frac{h}{m \times 2v}$ 이고, B의 파장  $\lambda_B = \frac{h}{2m \times 3v}$ 이므로  $\lambda_A : \lambda_B = 3 : 1$ 이다.

**02** ④ 질량이  $m$ 이고 속도가  $v$ 인 입자의 물질파 파장  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로 물질파 파장  $\lambda$ 는 운동량  $mv$ 에 반비례한다.

**03** 야구공은 전자에 비해 질량이 매우 커서 운동량( $mv$ )의 크기가 크고 물질파 파장이 매우 짧다. 따라서 회절의 특성이 거의 나타나지 않기 때문에 파동성을 관찰하기 어렵다. 반면에 전자는 질량이 매우 작아 운동량의 크기가 작고, 물질파 파장이 커서 파동성을 관찰할 수 있다.

**모범 답안** 야구공, 야구공은 전자에 비해 질량이 매우 커서 물질파 파장이 매우 짧지만, 전자는 질량이 매우 작아서 물질파 파장이 매우 길다. 따라서 전자에 비해 야구공은 파동성을 관찰하기 어렵다.

채점 기준	배점
파동성을 관찰하기 어려운 것을 옳게 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
파동성을 관찰하기 어려운 것만 옳게 쓴 경우	40 %

**04** A와 B의 충돌 과정에서 운동량의 총합은 보존된다. A와 B가 충돌하기 전 운동량의 총합은  $m(2v_0) + 3mv_0 = 5mv_0$ 이므로 충돌 후 A의 운동량의 크기는  $mv_0$ , B의 운동량의 크기는  $4mv_0$ 이다.  $\lambda_A = \frac{h}{mv_0}$ 이고,  $\lambda_B = \frac{h}{4mv_0}$ 이므로  $\lambda_A : \lambda_B = 4 : 1$ 이다.

**05** ㄱ. 물질은 입사성과 파동성을 모두 가지고 있지만, 입자의 조건에 따라 한쪽의 성질이 더 강하게 나타난다. 물질파 파장이 짧을수록 입사성을 잘 나타내고, 물질파 파장이 길수록 파동성을 잘 나타낸다.

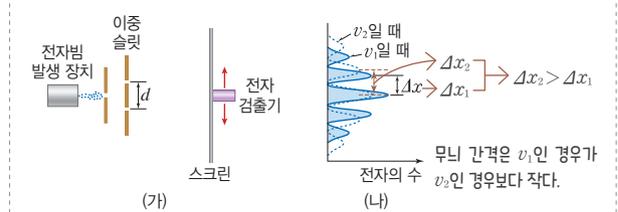
ㄷ. 드브로이가 물질파를 제안한 후 미국의 과학자 데이비슨과 거머가 전자선을 니켈 결정에 입사시켰을 때 회절 현상이 나타나는 것을 관찰하였다. 이 실험에서 구한 전자의 물질파 파장이 드브로이가 제안한 물질파 파장과 일치하며 전자가 파동성을 갖는다는 것을 알게 되었다.

**바로알기** ㄴ. 물질파 파장이 길수록 파동성이 잘 나타난다. 물질파 파장은 운동량의 크기에 반비례하므로 운동량의 크기가 클수록 물질파 파장은 짧아진다. 따라서 물질의 운동량의 크기가 클수록 물질의 파동성은 잘 나타나지 않는다.

**06** 데이비슨과 거머는 가속된 전자의 물질파 파장과 실험에서 산란된 전자가 회절하여 (가) **보강 간섭**을 하는 조건에서 구한 물질파 파장이 일치하는 것을 확인하여 드브로이의 (나) **물질파** 이론을 검증하였다.

**07** 전자가 입자의 성질만 갖는다면 전자는 직진하여서 스크린에는 2개의 밝은 무늬만 나타날 것이다. 이중 슬릿을 통과한 전자의 (가) **간섭**에 의해 보강 간섭과 상쇄 간섭이 일어나 스크린에 밝고 어두운 무늬가 생기므로 전자는 (나) **파동**의 성질을 갖는다는 것을 알 수 있다.

**08** **포맷 문제 분석**



ㄱ. 이중 슬릿을 통과한 전자가 스크린에 간섭무늬를 만든 것은 전자가 회절과 간섭을 했다는 것이다. 따라서 전자의 파동성을 확인할 수 있는 실험이다.

ㄷ. 파동의 파장이 길수록, 슬릿의 폭이 좁을수록 간섭무늬 사이의 간격이 넓다. 따라서 전자의 속력이  $v_1$ 일 때 이중 슬릿의 간격  $d$ 가 작아지면  $\Delta x$ 는 커진다.

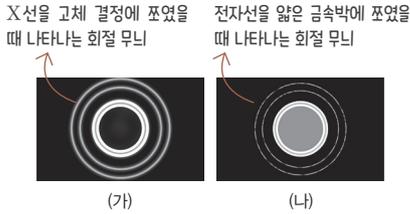
**바로알기** ㄴ. 물질파 파장  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로 속력에 반비례한다. 슬릿의 폭이 일정할 때 간섭무늬 사이의 간격은 파장에 비례하므로 속력에 반비례한다. 따라서 간섭무늬 간격은  $v_1$ 일 때가  $v_2$ 일 때보다 작으므로 속력은  $v_1$ 이  $v_2$ 보다 크다.

**09** ㄱ. 특정 각도에서 검출되는 전자 수가 많은 것은 전자의 물질파가 회절하여 보강 간섭을 하기 때문이다.

ㄷ. 이 실험을 통해 구한 전자선의 파장이 드브로이가 제안한 물질파 파장과 같다는 것이 입증되었다.

**바로알기** 나. 보강 간섭은 파동의 성질이므로 (나)를 통해 전자의 파동성을 설명할 수 있다.

**10** — **꼼꼼 문제 분석**



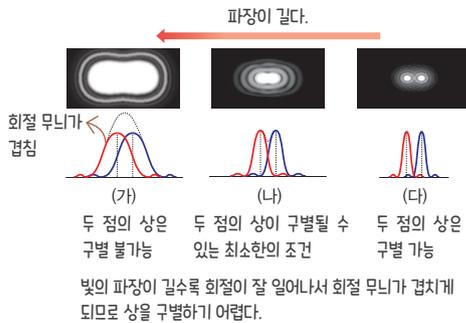
X선과 전자선은 회절 현상을 보이므로 파동의 성질을 가지고 있다.

나. 전자선을 얇은 금속박에 쬐었을 때 나타나는 무늬는 같은 파장의 X선을 고체 결정에 쬐었을 때 나타나는 회절 무늬와 같은 형태이다. 따라서 전자선도 X선처럼 회절 현상을 일으킨다는 것을 알 수 있다.

다. 전자선이 X선과 같이 회절 현상을 보이므로 전자의 파동성을 확인할 수 있다.

**바로알기** 가. X선의 회절 무늬는 파동의 성질을 보여준다.

**11** — **꼼꼼 문제 분석**



① 파동이 장애물이나 좁은 틈을 지나면서 넓게 퍼지는 현상을 회절이라고 하며, 파동의 파장이 길수록 회절하는 정도가 커져서 파동이 더 넓게 퍼진다. 인접한 두 광원의 파동이 같은 슬릿을 지나면서 각각 회절하여 스크린에 상을 맺을 때 빛의 파장이 길수록 회절하는 정도가 커져 각각의 회절 무늬가 많이 겹치면 두 점의 상이 하나로 보이기 때문에 구별하는 것이 불가능하다.

**12** 가. 시료의 영상이 더 선명한 것은 (가)이므로 전자 현미경으로 관찰한 영상은 (가)이다.

**바로알기** 나. (나)는 광학 현미경으로 관찰한 영상이다. 광학 현미경은 아무리 배율을 높여도 가시광선의 파장보다 작으면 빛의 회절 현상 때문에 상이 흐려진다. 따라서 물체의 크기가 작으면 선명한 상을 관찰할 수 없다.

다. 전자 현미경에 사용되는 물질파 파장은 가시광선보다 짧으므로 (가)에 사용되는 파동의 파장은 (나)에 사용되는 파동의 파장보다 짧다.

**13** 가. 투과 전자 현미경(TEM)은 전자가 시료 내부를 통과할 때 산란되는 정도의 차이를 이용한다.

**바로알기** 나. 시료를 두껍게 제작하면 전자가 시료를 통과하는 동안 전자의 속력이 느려져서 전자의 물질파 파장이 길어지고, 분해능은 낮아진다. 따라서 투과 전자 현미경(TEM)에서 시료는 얇게 제작해야 한다.

다. 투과 전자 현미경(TEM)은 전자가 얇은 시료를 통과하므로 주로 평면 영상(2차원적 구조)을 관찰하는 데 사용된다.

**14** 가. 전자 현미경은 전자의 물질파를 사용하므로 물질의 파동성을 이용한다.

나. 전자 현미경의 자기렌즈는 코일로 만든 전자석의 자기장을 이용하여 전자선의 진행 경로를 휘게 한다.

다. 빛이나 전자의 속력이 빠를수록 파장이 짧으며, 현미경에서 파장이 짧을수록 구별할 수 있는 두 점 사이의 거리가 작으므로 분해능이 우수하다.

**15** B. 광학 현미경에서 렌즈를 이용하여 배율을 조절하고 전자 현미경에서는 자기렌즈를 이용하여 배율을 조절한다. 전자총의 가속 전압이 바뀌면 전자의 속력이 달라져 전자의 파장이 달라지므로 가속 전압을 변화시켜 전자 현미경의 분해능을 조절할 수 있다.

**바로알기** A. 주사 전자 현미경(SEM)은 전자총에서 방출된 전자의 파동성을 이용하여 광학 현미경보다 더 높은 배율로 시료의 영상을 관찰할 수 있다.

C. 주사 전자 현미경(SEM)은 시료 표면의 3차원 구조를 관찰하기에 적합하다.

**16** — **꼼꼼 문제 분석**

주사 전자 현미경과 투과 전자 현미경의 특징 비교

구분	주사 전자 현미경(SEM)	투과 전자 현미경(TEM)
모식도		
특징	가속된 전자선을 시료 표면에 쬐을 때 튀어나온 전자를 검출하여 시료의 입체상을 관찰한다.	전자선을 얇은 시료에 투과시킨 후, 형광 스크린에 형성된 시료의 2차원 단면 구조의 상을 관찰한다.

ㄴ. A에서 전자의 속력이 빠를수록 물질과 파장은 짧아지고 분해능은 좋아진다.

**바로알기** ㄱ. A는 주사 전자 현미경(SEM)이고, B는 투과 전자 현미경(TEM)이다. 전자 현미경은 전자의 파동성을 이용한다.

ㄷ. 3차원적 구조를 관찰할 수 있는 것은 주사 전자 현미경(A)이다.

**17** 시료의 크기보다 사용하는 파동의 파장이 짧을수록 회절 현상이 작게 일어나 분해능이 좋아진다. 전자의 물질과 파장은 가시광선의 수천 분의 일 정도이므로 전자 현미경에서는 광학 현미경으로 볼 수 없는 바이러스나 세포 구조를 관찰할 수 있다.

**모범 답안** 전자 현미경에서 사용하는 전자의 물질과 파장이 광학 현미경에서 사용하는 가시광선의 파장보다 짧으므로 전자 현미경의 분해능이 광학 현미경보다 우수하다.

채점 기준	배점
전자의 물질과 파장과 가시광선의 파장을 비교하여 옳게 서술한 경우	100 %
파장이 짧다고만 서술한 경우	70 %

**18** ㄴ. 주사 전자 현미경으로 관찰하고자 하는 대상은 전기 전도성이 좋아야 뚜렷한 상을 얻을 수 있다.

ㄷ. 주사 전자 현미경에서는 시료에 전자선을 쬐어 튀어나오는 전자를 측정하여 얻은 신호를 해석하여 상을 재구성한다.

**바로알기** ㄱ. A를 통해 얻은 상은 3차원 영상이므로 A는 주사 전자 현미경이다.

**19** ㄱ. (가)는 전자선을 시료에 표면에 쬐어 방출되는 전자를 검출하여 상을 만드는 주사 전자 현미경(SEM)이고, (나)는 전자선을 시료에 투과시켜 상을 만드는 투과 전자 현미경(TEM)이다.

ㄷ. (나) 투과 전자 현미경은 형광 스크린에 형성된 시료의 2차원적 단면 구조의 상을 관찰할 수 있다.

**바로알기** ㄴ. 전자총에서 방출되는 전자의 속력이 빠를수록 전자의 물질과 파장은 짧아진다. 전자총에서 방출되는 전자의 속력은 투과 전자 현미경(TEM)이 주사 전자 현미경(SEM)보다 빠르므로 전자의 물질과 파장은 주사 전자 현미경(SEM)인 (가)에서 가 투과 전자 현미경(TEM)인 (나)에서보다 길다.

**실력UP문제**

247쪽

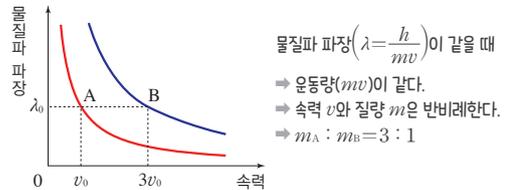
- 01 ③    02 ②    03 ⑤    04 ④

**01** ㄱ. 전자가 금속박의 틈새를 지나면서 (가)와 같은 원형의 회절 무늬가 생긴 것이다.

ㄴ. 전자선에 의한 회절 무늬가 X선에 의한 회절 무늬와 비슷하게 나타나므로 전자도 X선과 같은 파동성을 갖고 있음을 알 수 있다.

**바로알기** ㄷ.  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에서 전자선의 속력이 빠를수록 물질과 파장이 짧아지므로 밝은 무늬 사이의 간격은 작아진다.

**02** — **꼼꼼 문제 분석**



ㄴ. 물질과 파장( $\lambda = \frac{h}{mv}$ )이 같으면 운동량( $mv$ )의 크기가 같다. 운동량( $mv$ )이 같으면 입자의 질량( $m$ )과 속력( $v$ )은 반비례한다. 그래프에서 A와 B의 물질과 파장이  $\lambda_0$ 로 같을 때 속력의 비가  $v_0 : 3v_0 = 1 : 3$ 이므로 질량의 비는 3 : 1이다. 따라서  $m_A : m_B = 3 : 1$ 이다.

**바로알기** ㄱ. 물질과 파장  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이고,  $h$ 는 플랑크 상수이므로 운동량  $mv$ 가 같으면 물질과 파장  $\lambda$ 도 같다. 따라서 A, B의 운동량 크기가 같을 때 물질과 파장은 A와 B가 같다.

ㄷ. 물질과 파장  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에서 질량( $m$ )이 같을 때 파장( $\lambda$ )과 속력( $v$ )은 반비례한다. A의 속력이  $v_0$ 일 때 물질과 파장이  $\lambda_0$ 이므로 속력이 3배인  $3v_0$ 이 되면 물질과 파장은  $\frac{1}{3}$ 배인  $\frac{1}{3}\lambda_0$ 이 된다.

**03** ㄴ.  $V$ 가 증가하면 전자의 운동량의 크기는 증가하고 물질과 파장은 감소한다.

ㄷ. 전자의 물질과 파장이 감소하면 회절의 정도가 감소하므로 형광판에 나타난 간섭무늬의 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 감소한다.

**바로알기** ㄱ.  $V$ 가 증가하면 양극판을 통과한 전자의 속력이 증가하므로 전자의 운동량의 크기는 증가한다.

**04** ㄱ. 자기렌즈는 자기장으로 전자의 진행 경로를 휘게 하여 전자들을 초점에 모으는 역할을 한다.

ㄴ. 전자가 시료를 투과하는 동안 속력이 느려지므로 전자의 물질과 파장이 길어져 분해능이 낮아지고 시료의 영상이 흐려진다.

**바로알기** ㄷ. 시료가 두꺼우면 시료를 투과하는 동안 전자의 속력이 느려져 분해능이 낮아진다. 따라서 투과 전자 현미경의 시료는 최대한 얇게 만들어야 한다.

중단원 핵심정리

248쪽~249쪽

- ① 같은    ② 반대    ③ 파동성    ④ 보강 간섭    ⑤ 상쇄 간섭
- ⑥ 사인값    ⑦ 광선 추적법    ⑧ 실상    ⑨ 허상    ⑩ 실상
- ⑪ 광전 효과    ⑫  $hf$     ⑬ 한계 진동수    ⑭ 이중성    ⑮ 전기 신호
- ⑯ 드브로이    ⑰ 회절    ⑱ 이중성    ⑲ 물질파    ⑳ 자기렌즈
- ㉑ 투과

중단원 마무리 문제

250쪽~253쪽

- 01 ①    02 ②    03 ③    04 ③    05 ①    06 ⑤
- 07 (1) (가) (2) (나), (다) (3) (라)    08 ④    09 ①    10 ⑤
- 11 ⑤    12 ④    13 ③    14 ④    15 해설 참조
- 16 해설 참조    17 해설 참조    18 해설 참조

01 ① A와 B가 P를 지날 때 겹쳐진 파동의 모습은 중첩 원리에 따라 두 파동을 합한 모습이므로 최대 진폭은 3 cm이다.

02 ㄷ. 각도에 따라 보강 간섭을 일으키는 빛의 파장이 달라져 다른 색깔이나 그림이 보이는 원리이다.

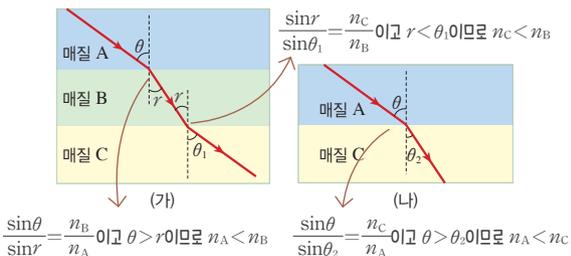
**바로알기** ㄱ, ㄴ. 안경의 반사 방지 코팅과 태양 전지의 반사 방지 막은 반사된 빛이 서로 상쇄 간섭을 일으켜 빛의 반사를 줄이고 투과된 빛의 양을 늘리는 원리가 적용된 예이다.

03 광 다이오드는 광전 효과를 이용하여 빛의 세기 정보를 전기 신호로 전환하므로 (나)에서 세로축의 값은 빛의 세기로 해석할 수 있다.

ㄱ. P에서 빛의 세기가 최소이므로 상쇄 간섭이 일어난 지점이다.  
 ㄷ. 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭(파동성)을 광전 효과를 이용한 장치인 광 다이오드(입자성)로 관찰하는 실험이다.

**바로알기** ㄴ. Q는 첫 번째 보강 간섭 지점이므로 두 슬릿에서 경로차는  $\lambda$ 이다.

04 **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. B에서 빛이 법선과 이루는 각을  $r$ 라고 하면 (가)에서 A와 B 사이에서 굴절할 때  $\frac{\sin\theta}{\sin r} = \frac{n_B}{n_A}$ 이고, B와 C 사이에서 굴절할

때  $\frac{\sin r}{\sin\theta_1} = \frac{n_C}{n_B}$ 이므로 두 식을 연립하면  $\frac{\sin\theta}{\sin\theta_1} = \frac{n_C}{n_A}$ 이다.

(나)에서  $\frac{\sin\theta}{\sin\theta_2} = \frac{n_C}{n_A}$ 이므로  $\theta_1 = \theta_2$ 이다.

ㄴ. (가)와 (나)에서 빛이 굴절할 때 입사각과 굴절각을 비교하면 굴절률은  $n_A < n_C < n_B$ 이다. 따라서 굴절률은 B가 가장 크다.

**바로알기** ㄷ.  $\sin\theta_1 = \frac{n_A}{n_C} \sin\theta$ 이다.

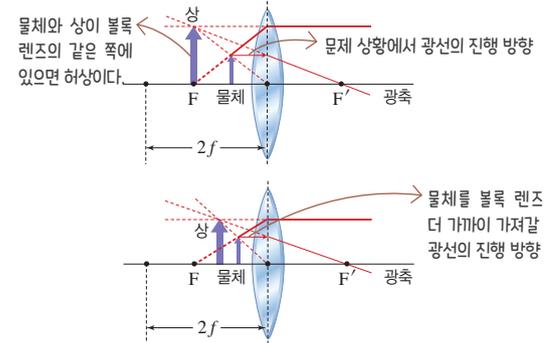
05 ㄱ. A의 초점에서 빛이 나오므로 A를 지난 빛은 광축과 나란하게 진행한다.

**바로알기** ㄴ. B에 입사하는 빛은 광축과 나란하게 진행하므로 B에서 굴절된 빛은 B의 초점에 모인다. B의 초점 거리는  $2f$ 이고, B가  $x=2f$ 인 위치에 있으므로 B의 초점의 위치는  $x=4f$ 인  $x$ 축상의 점이다.

ㄷ. A를 제거하면 빛은 B의 초점에서 나오고 있으므로 B에서 굴절된 빛은 광축과 나란하게 진행하여  $x$ 축상에 모이지 않는다.

06 **꼼꼼 문제 분석**

광선 추적법으로 상의 위치와 크기를 알아볼 수 있다.



ㄱ. 물체와 상이 볼록 렌즈의 같은 쪽에 있으므로 상은 허상이다. 물체가 볼록 렌즈와 초점 사이에 있을 때 허상이 생긴다.

ㄴ. 허상의 위치에는 빛이 실제로 모이지 않는다.

ㄷ. 물체를 볼록 렌즈에 더 가까이 가져가면 위 그림과 같이 상의 크기가 작아진다.

07 (1) 물속에서 나온 빛이 수면에서 굴절되어 우리 눈으로 들어오기 때문에 물속 다리의 위치가 실제보다 위에 있는 것처럼 보인다.

(2) 모르포 나비의 날개에서 나는 푸른 빛은 날개의 표면 구조에서 비롯된 빛의 간섭 현상에 의한 것이다. 비눗방울 막의 안쪽 면과

바깥쪽 면에서 각각 반사된 빛이 서로 간섭을 일으켜 다양한 색깔이 관찰된다. 간섭 현상은 파동의 성질로 설명할 수 있다.

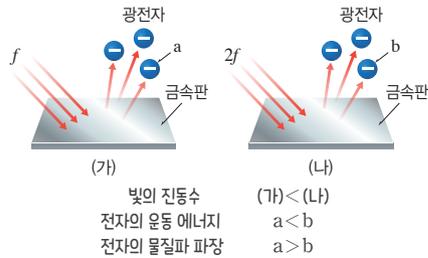
(3) 스마트폰의 광센서는 광전 효과를 이용하여 빛의 세기를 전기 신호로 바꾸므로 입자의 성질로 설명할 수 있다.

**08** 나. A를 비출 때 광전자가 방출되지 않았으므로 A의 진동수는 금속판의 한계 진동수인  $f_0$ 보다 작다.

다. 같은 금속판에 다른 진동수의 빛을 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 C일 때가 B일 때보다 크므로 광자 1개의 에너지는 C가 B보다 크다.

**바로알기** 가. (나)는 광전자의 최대 운동 에너지만 나타낸 것이므로 방출되는 광전자의 수는 알 수 없다. 따라서 (나)의 그래프만 가지고는 빛의 세기를 판단할 수 없다.

**09** **꼼꼼 문제 분석**



가. 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크다. 이때 a와 b는 진동수가  $f, 2f$ 인 단색광을 금속판에 각각 비추었을 때 방출되는 광전자 중 속력이 최대인 광전자이다. 따라서 운동 에너지는 a가 b보다 작다.

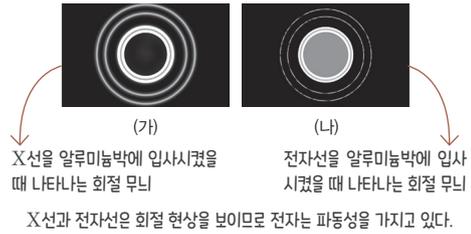
**바로알기** 나. 광전자의 운동 에너지  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 이 a가 b보다 작으므로 속력은 a가 b보다 작다. 이때 전자의 물질파 파장  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 는 속력에 반비례하므로 물질파 파장은 속력이 작은 a가 속력이 큰 b보다 크다.

다. 진동수가  $f, 2f$ 인 빛을 함께 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는  $2f$ 인 빛을 비출 때와 같다. 따라서 진동수가  $f, 2f$ 인 빛을 함께 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 b와 같다.

**10** 가, 다. 전하 결합 소자(CCD)의 광 다이오드는 빛의 세기만 측정할 수 있어 색깔을 구분하지 못하므로 컬러 필터를 이용한다. 컬러 필터로 특정 색의 빛만을 광 다이오드에 도달하게 하여 색상에 따른 세기 정보를 저장한다.

나. 빨간색 필터가 빨간색 빛을 통과시키므로 A에만 빛이 도달하여 A에서는 광전 효과가 일어난다.

**11** **꼼꼼 문제 분석**



나. 회절 무늬의 간격은 (가)에서와 (나)에서가 같으므로 전자의 물질파 파장은  $\lambda$ 이다. 따라서 전자의 운동량의 크기는  $\frac{h}{\lambda}$ 이다.

다. 전자의 속력을 증가시키면 전자의 파장이 짧아지므로 회절 무늬 사이의 간격은 감소한다.

**바로알기** 가. 회절과 간섭을 파동에서 나타나는 현상이다.

**12** 가. 형광관에 만들어진 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 B와 C가 같으므로 물질파 파장은 B와 C가 같다.

따라서  $\frac{h}{\text{㉠}} \times v = \frac{h}{m \times 2v}$ 이므로  $\text{㉠} = 2m$ 이다.

다. 질량은 A와 B가 같고, 속력은 B가 A의 2배이므로 운동 에너지는 B가 A의 4배이다.

**바로알기** 나. 슬릿의 폭이 같을 때 파동의 파장이 길수록 간섭무늬의 간격이 넓다. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 A가 B의 2배이므로 물질파 파장은 A가 B의 2배이다. 따라서  $\frac{h}{2m \times \text{㉡}} = \frac{2h}{2m \times v}$ 에서  $\text{㉡} = \frac{1}{2}v$ 이다.

**13** 가. 입자의 운동량의 크기는 물질파 파장에 반비례한다.

나. A, B의 질량을 각각  $m_A, m_B$ 라고 하면  $\lambda = \frac{h}{m_A v_1}$ 이고,

$2\lambda = \frac{h}{m_B v_2}$ 이므로  $m_A = 2m_B$ 이다.

**바로알기** 다. 입자의 물질파 파장이  $\lambda$ 일 때  $\lambda = \frac{h}{m_A v_1} = \frac{h}{m_B v_2}$ 이다.  $m_A = 2m_B$ 이므로  $v_2 = 2v_1$ 이다.

**14** 나. 전자 현미경에서 전자의 운동량의 크기를 증가시키면 전자의 물질파 파장이 짧아지므로 (나)에서보다 더욱 선명한 물체의 세부 구조를 관찰할 수 있다.

다. 전자 현미경은 전자의 파동성을 이용한다.

**바로알기** 가. 전자 현미경(나)은 광학 현미경(가)보다 파장이 짧으므로 분해능이 좋다.

**15** 매질에 따라 빛의 속력이 다르기 때문에 진행 방향이 꺾여 빛이 굴절한다.

**모범 답안** 빛의 굴절은 매질에 따라 빛의 속력이 다르기 때문에 나타나는 현상이다. 매질의 굴절률은 매질에서의 빛의 속력에 대한 진공에서의 빛의 속력의 비로 매질에서의 빛의 속력이 느릴수록 굴절률이 크다.

채점 기준	배점
굴절 현상이 일어나는 까닭과 매질에서의 빛의 속력과 굴절률의 관계를 옳게 서술한 경우	100 %
굴절 현상이 일어나는 까닭과 매질에서의 빛의 속력과 굴절률의 관계 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

**16** **모범 답안** 볼록 렌즈, 볼록 렌즈가 빛을 굴절시켜 물체보다 작은 실상을 만들어 축소된 회로도를 웨이퍼에 새길 수 있기 때문이다.

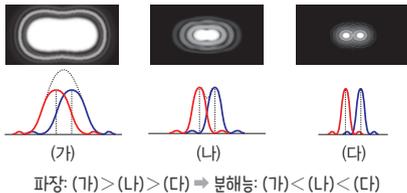
채점 기준	배점
볼록 렌즈를 쓰고, 웨이퍼에 회로도를 새길 때 볼록 렌즈를 사용하는 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
볼록 렌즈만 옳게 쓴 경우	30 %

**17** **모범 답안** 빛의 파동설에 따르면 빛에너지는 진동수와 빛의 세기에 따라 달라지므로 진동수가 작더라도 세기가 충분히 강한 빛을 비추면 광전자가 튀어나와야 하지만, 빛의 세기가 아무리 강해도 진동수가 작으면 광전자가 튀어나오지 않는다. 이는 빛이 파동일 때 해석할 수 없는 결과로 빛이 입자라는 증거가 된다.

채점 기준	배점
빛이 파동일 때의 광전 효과 결과를 증거로 제시하여 광전 효과가 빛의 입자설의 증거가 되는 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
빛이 파동일 때의 광전 효과 결과를 증거로 제시하였으나 설명이 미흡한 경우	50 %

**18** **꼼꼼 문제 분석**

파장이 짧을수록 회절 무늬가 겹치지 않아 두 점의 상을 잘 구별할 수 있다.



파동이 장애물이나 좁은 틈을 지나면서 넓게 퍼지는 현상을 회절이라고 한다. 인접한 두 광원의 파동이 슬릿을 지나면서 각각 회절하여 스크린에 상을 맺을 때, 빛의 파장이 길수록 회절하는 정도가 크다. 각각의 회절 무늬가 많이 겹치면 두 점의 상이 하나로 보이기 때문에 상을 구별하는 것이 불가능하다. 따라서 빛의

파장이 짧을수록 회절이 적게 일어나므로, 두 점을 구분하여 볼 수 있는 분해능이 좋아진다.

**모범 답안** 회절, 분해능은 사용하는 빛의 파장이 짧을수록 좋아진다.

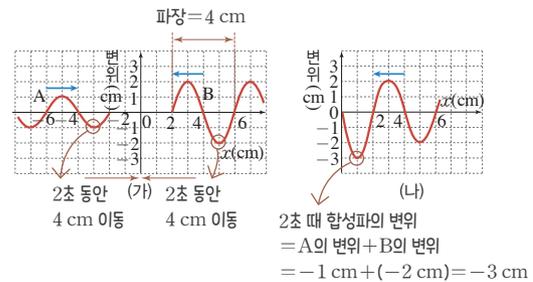
채점 기준	배점
파동의 성질과 함께 분해능과 빛의 파장의 관계를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
파동의 성질만 옳게 쓴 경우	50 %

**중단원 고난도 문제**

254쪽~255쪽

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

**01** **꼼꼼 문제 분석**



**선택지 분석**

- A의 속력은 4 cm/s이다. 2 cm/s
- B의 진동수는 1 Hz이다. 0.5 Hz
- t=4초일 때 x=5 cm에서 중첩된 파동의 변위는 -3 cm이다.

**전략적 풀이** ① 2초 동안 A와 B의 이동 거리를 파악하여 속력을 구한다. ㄱ. (나)에서 x=1 cm인 지점의 합성파의 변위가 -3 cm인 것은 (가)에서 A와 B의 골이 2초 동안 각각 진행 방향으로 4 cm를

이동하여 중첩된 결과이다. 즉, A가 2초 동안 4 cm 이동하므로 A의 속력은  $\frac{4 \text{ cm}}{2 \text{ s}} = 2 \text{ cm/s}$ 이다.

② 파동의 속력을 나타내는 식에 B의 파장과 속력을 대입하여 B의 진동수를 구한다.

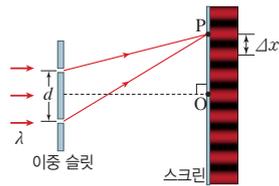
ㄴ. (가)에서 B의 파장은 4 cm, 속력은 2 cm/s이므로 B의 진동수  $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{2 \text{ cm/s}}{4 \text{ cm}} = 0.5 \text{ Hz}$ 이다.

③ 4초일 때  $x=5 \text{ cm}$ 에서 A와 B의 변위를 각각 파악한 뒤 중첩 원리를 이용하여 합성파의 변위를 구한다.

ㄷ. 4초일 때  $x=5 \text{ cm}$ 에서 A와 B의 변위는 각각  $-1 \text{ cm}$ ,  $-2 \text{ cm}$ 이므로 합성파의 변위는  $-3 \text{ cm}$ 이다.

## 02 - 꼼꼼 문제 분석

밝은 무늬 사이의 간격( $\Delta x$ )은 빛의 파장( $\lambda$ )에 비례하고, 슬릿 사이의 간격( $d$ )에 반비례한다.  
 $\Rightarrow \lambda$ 보다 작은 파장의 빛을 이용하면 밝은 무늬 사이의 간격이 좁아져 P에서 어두운 무늬가 생성될 수 있다.



### 선택지 분석

- ㉠ 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는  $3\lambda$ 이다.
- ✗  $d$ 보다 슬릿 간격이 작은 이중 슬릿을 사용하면 밝은 무늬 사이의 간격이 좁아진다. 넓어
- ✗  $\lambda$ 보다 작은 파장의 빛을 이용하여 P에서 어두운 무늬를 만들 수 없다. 있다.

**전략적 풀이** ① 보강 간섭이 일어날 경로차 조건을 통해 경로차를 파장으로 나타낸다.

ㄱ. 보강 간섭이 일어날 조건은 경로차가 반 파장의 짝수 배일 때로 다음과 같이 나타낸다.

$$\Delta L = |S_2P - S_1P| = \frac{\lambda}{2}(2m) \quad (m=0, 1, 2, 3, \dots)$$

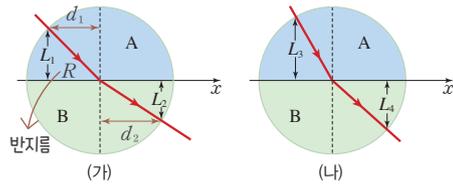
$m=0$ 은 중앙의 밝은 무늬이고,  $m=1$ 은 첫 번째 밝은 무늬이다. P는 세 번째 밝은 무늬가 생긴 지점이므로 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는  $m=3$ 을 대입하면  $3\lambda$ 이다.

② 슬릿 사이의 간격과 빛의 파장이 밝은 무늬 사이의 간격에 미치는 영향을 생각해 본다.

ㄴ. 밝은 무늬 사이의 간격은 빛의 파장에 비례하고 슬릿 사이의 간격에 반비례하므로,  $d$ 보다 슬릿 사이의 간격이 작은 이중 슬릿을 사용하면 밝은 무늬 사이의 간격이 넓어진다.

ㄷ.  $\lambda$ 보다 작은 파장의 빛을 이중 슬릿에 입사시키면 밝은 무늬 사이의 간격이 좁아지므로 P의 위치에 세 번째 밝은 무늬 다음의 무늬인 세 번째 어두운 무늬가 올 수 있다.

## 03 - 꼼꼼 문제 분석



빛의 경로와 원이 만나는 점과 법선 사이의 거리를 각각  $d_1, d_2$ 라고

하면 굴절 법칙에 따라  $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{d_1/R}{d_2/R} = \frac{d_1}{d_2} = \text{일정}$ 으로 나타난다.

$\frac{L_1}{L_2} = \frac{L_1/R}{L_2/R} = \frac{\cos i}{\cos r}$ 이므로 굴절 법칙과 관계가 없으며, 값도 일정하지 않다.

### 선택지 분석

- ㉠ 빛의 파장은 A에서가 B에서보다 작다.
- ✗  $\frac{L_1}{L_2} = \frac{L_3}{L_4}$ 이다.  $\frac{L_1}{L_2} \neq \frac{L_3}{L_4}$
- ✗ 굴절률은 A가 B보다 작다. 크다.

**전략적 풀이** ① 굴절 법칙에 따라 입사각과 굴절각의 사인값이 어떻게 표현되는지 파악한다.

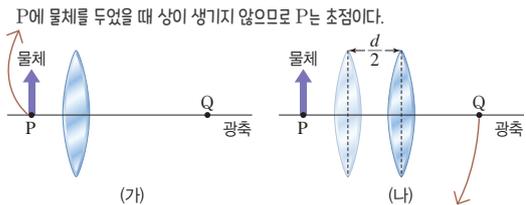
ㄴ. 굴절 법칙은 입사각과 굴절각의 사인값의 비가 일정하다는 것으로  $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{d_1/R}{d_2/R} = \frac{d_1}{d_2} = n_{12}$ 로 나타난다. 문제에서 주어진

$L_1, L_2$ 는 굴절 실험에서 측정이 쉬운 값일 뿐 굴절 법칙에 그대로 적용해서는 안 된다.

② 입사각과 굴절각의 크기를 비교하여 굴절률의 대소 관계를 알아낸다.

ㄱ, ㄷ. 입사각이 굴절각보다 작으므로 굴절률은 A가 B보다 크다. 따라서 빛의 속력과 파장은 A에서가 B에서보다 작다.

## 04 - 꼼꼼 문제 분석



Q에 물체와 같은 크기의 상이 생기므로 초점 거리  $f$ 라고 하면  $\Rightarrow f + \frac{d}{2} = 2f$

### 선택지 분석

- ✗ 볼록 렌즈의 초점 거리는  $d$ 이다.  $\frac{d}{2}$ 이다.
- ㉠ (가)에서 P는 볼록 렌즈의 초점이다.
- ㉡ (나)에서 Q에 생긴 상은 거꾸로 선 실상이다.

**전략적 풀이** ① 상이 생기지 않는 경우와 물체와 같은 크기의 상이 생기는 경우를 파악한다.

ㄱ, ㄴ. 볼록 렌즈에서 상이 생기지 않을 때는 물체가 초점에 있을 때이다. 따라서 (가)에서 P는 볼록 렌즈의 초점이다. P와 볼록 렌즈 사이의 거리를 초점 거리  $f$ 라고 하면 (나)에서 렌즈를  $\frac{d}{2}$ 만큼 이동시켰을 때 Q에 물체와 같은 크기의 상이 생겼으므로  $f + \frac{d}{2} = 2f$ 이다. 따라서 초점 거리는  $f = \frac{d}{2}$ 이다.

② 물체가 볼록 렌즈로부터 초점 거리 2배 되는 곳에 있을 때 상의 모양을 생각해 본다.

ㄷ. (나)에서 물체가 렌즈로부터 2f만큼 떨어진 곳에 있을 때는 렌즈 반대편의 거리가 2f인 지점에 물체와 크기가 같고 거꾸로 선 실상이 생긴다.

**05** — **꼼꼼 문제 분석**

금속판	빛	$E_k$
P	A	$1.5E_0$
	B	㉠
Q	A	$2E_0$
	A+B	㉡

$hf_1 - E_0 = 1.5E_0 \Rightarrow hf_1 = 2.5E_0$   
 $hf_2 - E_0 = \frac{2}{3}hf_1 - E_0 = \frac{5}{3}E_0 - E_0 = \frac{2}{3}E_0$  (㉠)  
 ㉡ → 빛의 진동수가 큰 A가  $E_k$ 를 결정한다.

**선택지 분석**

- ㉠ 금속판의 한계 진동수는 P가 Q보다 크다.
- ㉡ ㉠은  $\frac{2}{3}E_0$ 이다.
- ✗ ㉡은  $2E_0$ 보다 크다.  $2E_0$ 이다.

**전략적 풀이** ① P, Q에 A를 비출 때를 비교하여 금속판의 한계 진동수를 구한다.

ㄱ. 같은 진동수의 빛을 서로 다른 금속판에 비출 때 광전자의 최대 운동 에너지가 큰 금속판의 한계 진동수가 더 작다. 광전자의 최대 운동 에너지는 A를 P에 비출 때  $1.5E_0$ 이고, Q에 비출 때  $2E_0$ 이므로 금속판의 한계 진동수는 P가 Q보다 크다.

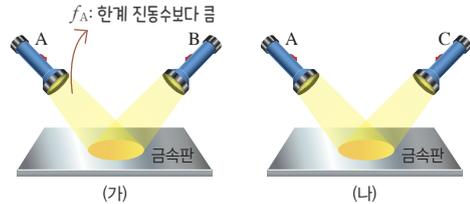
② 광자가 전자에 에너지를 전달하여 광전자가 방출된다는 사실로부터 ㉠을 구한다.

ㄴ. 금속판의 한계 진동수를  $f_0$ 이라고 하면  $E_0 = hf_0$ 이다. 따라서 P에 A를 비출 때  $hf_1 - E_0 = 1.5E_0$ 가 성립하므로  $hf_1 = 2.5E_0$ 이다. P에 B를 비추면  $hf_2 - E_0 = \frac{2}{3}hf_1 - E_0 = \frac{5}{3}E_0 - E_0 = \frac{2}{3}E_0$ 이므로 ㉠은  $\frac{2}{3}E_0$ 이다.

③ P에 A, B를 각각 비출 때를 비교하여 단색광의 진동수를 비교한다.

ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지는 P에 A를 비출 때  $1.5E_0$ 이고 B를 비출 때  $\frac{2}{3}E_0$ 이므로 빛의 진동수는 A가 B보다 크다. Q에 A, B를 동시에 비추어도 진동수가 큰 A가 광전자의 최대 운동 에너지를 결정하므로 ㉡은  $2E_0$ 이다.

**06** — **꼼꼼 문제 분석**



광전자의 최대 운동 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 진동수가 가장 큰 빛은 A가 아니다.

**선택지 분석**

- ✗ ① 광전자의 최대 운동 에너지는 금속판에 B만 비출 때가 A만 비출 때보다 작다. 크다.
- ② (나)에서 C를 끄더라도 광전자는 방출된다.
- ③ (가)에서 A를 더 밝게 비추면 방출되는 광전자의 수는 많아진다.
- ④ B의 진동수는 C의 진동수보다 크다.
- ⑤ B의 진동수는 한계 진동수보다 크다.

**전략적 풀이** ① 진동수가 가장 큰 빛이 무엇인지 찾는다.

① A의 진동수가 가장 크다면 광전자의 최대 운동 에너지는 (가)와 (나)에서 같아야 하므로 진동수가 가장 큰 빛은 A가 아니다. 만약 C가 가장 크다면 광전자의 최대 운동 에너지가 (가)에서가 (나)에서보다 크다는 조건에 모순이므로 B의 진동수가 가장 크다. 따라서 금속판에 B만 비출 때가 A만 비출 때보다 광전자의 최대 운동 에너지가 크다.

② 세 빛의 진동수의 대소 관계를 이용하여 나머지 보기의 옳고 그름을 판단한다.

② A의 진동수는 금속판의 한계 진동수보다 크므로 (나)에서 C를 끄더라도 A에 의해 광전자는 방출된다.

③ A는 금속판의 한계 진동수보다 크므로 A를 더 밝게 비추면 광전자의 수가 증가한다.

④ B의 진동수가 세 빛 중에서 가장 크다.

⑤ B의 진동수는 세 빛 중에서 가장 크며, A의 진동수가 한계 진동수보다 크므로 B의 진동수도 한계 진동수보다 크다.

07 - **꼼꼼 문제 분석**

가속 전압이 클수록 전자의 속력이 크다.

가속 전압	속력	$d$	$\Delta x$
$V_0$	$\text{㉠}$	$d_0$	$x_0$
$3V_0$	$v_0$	$2d_0$	$\text{㉡}$

$x_0 = \frac{Lh}{m} \frac{1}{d_0 \text{㉠}}$   
 $\text{㉡} = \frac{Lh}{m} \frac{1}{2d_0 v_0}$

**선택지 분석**

- $\text{㉠}$ 은  $v_0$ 보다 크다. **작다.**
- 전자의 물질파 파장은 가속 전압이  $V_0$ 일 때가  $3V_0$ 일 때보다 길다.
- $\frac{\text{㉠}}{\text{㉡}} = \frac{2v_0}{x_0}$ 이다.

**전략적 풀이 ①** 전자총의 가속 전압과 전자총에서 방출되는 전자의 속력의 관계를 생각해 본다.

ㄱ. 가속 전압이 클수록 전자의 속력은 크다. 따라서  $\text{㉠}$ 은  $v_0$ 보다 작다.

ㄴ. 전자의 속력이 작을수록 물질파 파장은 길어진다. 따라서 전자의 물질파 파장은 가속 전압이  $V_0$ 일 때가  $3V_0$ 일 때보다 길다.

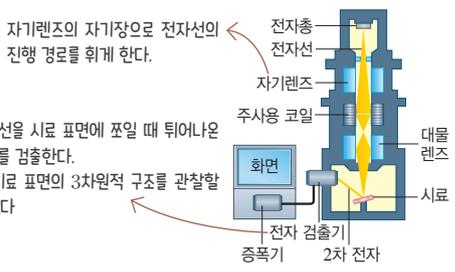
**②** 형광판에서의  $\Delta x$ 를 변화시키는 원인을 찾는다.

ㄷ. 전자의 물질파 파장을  $\lambda$ , 이중 슬릿과 형광판 사이의 거리를  $L$ 이라고 하면  $\Delta x = L \frac{\lambda}{d}$ 이다. 전자의 질량을  $m$ , 플랑크 상수를

$h$ 라고 하면  $x_0 = \frac{Lh}{m} \frac{1}{d_0 \text{㉠}}$ 이고,  $\text{㉡} = \frac{Lh}{m} \frac{1}{2d_0 v_0}$ 이다. 이를

정리하면,  $\frac{\text{㉠}}{\text{㉡}} = \frac{2v_0}{x_0}$ 이다.

08 - **꼼꼼 문제 분석**



**선택지 분석**

- 시료의 2차원적 단면 구조를 관찰할 때 이용한다.
- 운동 에너지가  $2E_0$ 인 전자의 물질파 파장은  $\frac{1}{2} \lambda_0$ 이다.
- 자기장으로 전자의 진행 경로를 휘게 하여 초점을 맞춘다.

**전략적 풀이 ①** 주사 전자 현미경(SEM)과 투과 전자 현미경(TEM)에서 볼 수 있는 상의 차이를 이해한다.

ㄱ. 주사 전자 현미경에서는 시료의 표면에 전자선을 쪼인 후 튀어나온 전자를 검출하여 시료 표면의 3차원적 구조를 관찰한다.

**②** 물질파 파장과 운동 에너지와의 관계식으로부터 운동 에너지가 달라질 때의 물질파 파장을 구한다.

ㄴ. 물질파 파장  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로 입자의 운동 에너지  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

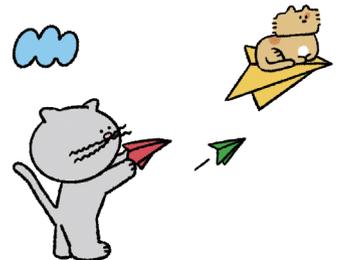
$= \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{1}{2m} \left( \frac{h}{\lambda} \right)^2$ 에서  $\lambda \propto \frac{1}{\sqrt{E_k}}$ 이다. 전자의 운동 에너지가

$E_0$ 일 때 물질파 파장이  $\lambda_0$ 이므로 운동 에너지가  $2E_0$ 인 전자의

물질파 파장은  $\frac{1}{\sqrt{2}} \lambda_0$ 이다.

**③** 자기장에서 전하를 띤 입자의 진행 경로가 휘어짐을 알고, 전자 현미경의 자기렌즈의 역할을 파악한다.

ㄷ. 전자 현미경의 자기렌즈는 코일로 만든 전자석의 자기장을 이용하여 음(-)전하를 띤 전자선의 진행 경로를 휘게 하여 초점을 맞춘다.



## 2 물질의 이해

### 01 에너지 준위

#### 개념 확인 문제

261쪽

- ① 스펙트럼    ② 선 스펙트럼    ③ 전이    ④ 에너지 준위  
 ⑤ 들뜬상태    ⑥ 바닥상태

- 1 (1) ○ (2) × (3) ○    2 ㉠ 안정성, ㉡ 선 스펙트럼    3 (1) A, B  
 (2) A > C > B    4 (1) a (2)  $n=4, n=2$  (3) 발머

1 (1) 연속 스펙트럼은 햇빛, 백열등 빛 등 백색광을 분광기로 관찰할 때 나타난다.

(2) (나)는 기체 방전관에서 나오는 빛을 분광기로 관찰할 때 나타나는 방출 스펙트럼이다.

(3) 원자에 따라 고유한 선 스펙트럼이 나타나고, 한 종류의 원소는 방출하거나 흡수하는 빛의 파장이 서로 일치하므로 스펙트럼 선의 파장이 일치하면 같은 원소라고 판단할 수 있다.

2 전자가 원자핵을 중심으로 임의의 궤도에서 원운동을 하는 러더퍼드 원자 모형은 전자가 원자핵 주위에서 안정하게 존재해야 한다는 원자의 ㉠ 안정성을 설명하지 못한다. 또한 전자가 원자핵으로 끌려 들어가면 반지름이 점차 감소하면서 연속 스펙트럼이 관찰되는 빛을 방출해야 하므로 실제 기체에서 관찰되는 ㉡ 선 스펙트럼을 설명하지 못한다.

3 (1) 전자가 양자수가 큰 궤도에서 양자수가 작은 궤도로 전이할 때 빛이 방출되므로 A, B가 이에 해당한다.

(2) 전자가 전이할 때 에너지 준위 차이가 클수록 흡수하거나 방출하는 에너지가 크므로 가장 큰 경우는 A이고, 가장 작은 경우는 B이다.

4 (1) 파장이 짧을수록 광자 1개의 에너지가 크므로 파장이 가장 짧은 a의 에너지가 가장 크다.

(2) 파장이 가장 긴 d는 전자가  $n=3$ 에서  $n=2$ 로 전이할 때 방출된 빛이고, 파장이 두 번째로 긴 c는 전자가  $n=4$ 에서  $n=2$ 로 전이할 때 방출된 빛이다.

(3) 가시광선은 전자 전이의 최종 상태가  $n=2$ 인 빛이므로 발머 계열로 분류된다.

#### 대표 자료 분석 1

262쪽

- 1 (라)    2 (1) 방출, 흡수 (2) (가) (3) 불연속적    3 (다)  
 4 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ×

1 파장이 짧을수록 빛의 에너지가 크므로 파장이 가장 짧은 빛이 방출된 (라)에서 에너지가 가장 큰 빛이 방출된다.

2 (1) 검은 바탕 위에 밝은 선이 나타나는 것은 방출 스펙트럼이고, 연속 스펙트럼 위에 검은 선이 나타나는 것은 흡수 스펙트럼이다.

(2) 백열등에서 나오는 빛은 백색광이며, 백색광은 모든 파장의 빛이 섞여 있으므로 (가)와 같은 연속 스펙트럼이 관찰된다.

(3) (라)에서 불연속적인 선 스펙트럼이 관찰되므로 전자가 에너지 준위 사이를 전이할 때 전자가 방출하는 광자의 파장도 불연속적으로 나타난다.

3 (가)를 만드는 빛은 백색광이다. 백색광을 저온의 기체 방전관에 통과시키면 저온의 기체가 특정 파장의 빛만 흡수하여 그 파장의 빛이 있어야 할 위치에 검은색 선이 나타난다. 이것이 (다)의 흡수 스펙트럼이다.

4 (1) 스펙트럼에서 빨간색에서 보라색으로 갈수록 파장은 짧아지므로  $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3 < \lambda_4$ 이다.

(2) 방출 스펙트럼과 흡수 스펙트럼은 각각 동일한 파장의 밝은 선과 흡수 선이 만들어진다. 따라서 (나)가 수소 기체의 방출 스펙트럼이므로 (다)도 수소 기체에 의한 흡수 스펙트럼이다.

(3) (나)에서 파장이  $\lambda_2$ 인 빛이 방출되었으므로 이 빛의 에너지에 해당하는 에너지 준위 차이가 수소 원자의 에너지 준위에 존재한다. 따라서 수소 기체는 같은 파장의 빛을 흡수할 수 있다.

(4) 기체마다 고유한 선 스펙트럼을 만들기 때문에 더 많은 에너지를 가한다고 해서 방출 스펙트럼이 달라지지 않는다.

#### 대표 자료 분석 2

263쪽

- 1 (1) A, D (2) C (3) B    2 (1) 클수록 (2) 작다 (3) 짧다    3 C  
 4 r    5 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○

1 전자의 전이 중에서 최종 상태가  $n=1$ 인 전이를 라이먼 계열,  $n=2$ 인 전이를 발머 계열,  $n=3$ 인 전이를 파셴 계열이라고 한다.

2 (1), (3)  $E_{\text{광자}} = \frac{hc}{\lambda}$ 에 따라 빛의 파장과 광자 1개의 에너지는

서로 반비례하므로 전자가 전이할 때 에너지 준위 차이가 클수록 방출되는 빛의 파장이 짧다. 따라서 (가)에서 방출되는 빛의 파장은 에너지 준위 차이가 큰 A에서 C에서보다 짧다.

(2) 전이할 때 에너지 준위 차이가 클수록 방출되는 광자의 에너지가 크므로 (가)에서 방출되는 광자의 에너지는 A에서 가장 크고, B에서 가장 작다.

3 (나)의 s는 수소 원자의 가시광선 스펙트럼 중 파장이 가장 긴 빛이므로 최종 상태가  $n=2$ 인 전이 중에서 에너지 차이가 가장 작은 전이이다. 따라서 (가)의 C가 해당한다.

4 전자의 궤도 양자수가  $n=4$ 에서  $n=2$ 로 변할 때 방출되는 빛은 가시광선 중에서 파장이 두 번째로 긴 빛이므로 (나)에서 r에 해당한다.

5 (1) 에너지 준위가 띄엄띄엄한 값을 가지므로 불연속적이다.

(2) A에서 방출되는 광자의 에너지는  $E_4 - E_1$ 이고, D에서 방출되는 광자의 에너지는  $E_2 - E_1$ 이므로 두 값의 차이는  $E_4 - E_2$ 이다.

(3) 수소 원자 스펙트럼에서 가시광선은 모두 발머 계열에 속한다.

(4) 전자는 두 에너지 준위 차이와 같은 값의 에너지만 흡수할 수 있으므로  $n=1$ 에 있는 전자는 에너지가  $E_6 - E_2$ 인 p를 흡수할 수 없다.

(5) s는 발머 계열 중에서 에너지가 가장 작은 빛이므로 이 빛의 에너지는  $n=3$ 과  $n=2$ 인 궤도의 에너지 차이와 같다. 따라서  $n=2$ 에 있는 전자가 s를 흡수하면  $n=3$ 으로 전이한다.

**내신 만점문제**

264쪽~266쪽

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

01 가. 햇빛은 백색광이므로 (가)와 같은 연속 스펙트럼이 관찰된다.

나. (나)와 (다)는 밝은 선의 위치가 다르므로 서로 다른 원소에서 나온 빛의 스펙트럼이다.

다. 원소마다 고유한 스펙트럼의 빛을 방출하므로 방출 스펙트럼을 분석하여 방전관 속 원소의 종류를 알 수 있다.

02 다. 방출되는 빛의 스펙트럼이 선 스펙트럼으로 나타나는 것은 원자의 에너지 준위가 양자화되어 있다는 증거이다.

바로알기 가. 방출 스펙트럼은 고온의 헬륨 기체에서 나오는 빛에서 나타난다. 백색광을 저온의 기체에 통과시키면 흡수 스펙트럼을 관찰할 수 있다.

나. 광자 1개의 에너지  $E_{\text{광자}} = hf = \frac{hc}{\lambda}$ 이므로 파장이 667 nm인 빛의 에너지가 파장이 438 nm인 빛보다 작다.

03 가. 고온의 기체에서 방출되는 빛의 스펙트럼은 선 스펙트럼이다.

다. 같은 종류의 기체에서 관찰되는 방출 스펙트럼과 흡수 스펙트럼은 서로 같은 파장에서 각각 밝은 선과 검은 선이 나타난다.

바로알기 나. (나)에서 저온의 기체를 치우면 백열등에서 나오는 빛에 의해 연속 스펙트럼이 나타난다.

04 나.  $\lambda_1$ (노란색)에서  $\lambda_2$ (빨간색)으로 갈수록 빛의 파장은 길어지므로  $\lambda_1 < \lambda_2$ 이다.

바로알기 가. 두 스펙트럼 모두 불연속적인 선으로 나타나므로 선 스펙트럼 중 방출 스펙트럼에 해당한다.

다. 광자 1개의 에너지  $E_{\text{광자}} = hf = \frac{hc}{\lambda}$ 이므로 파장이 짧을수록 에너지가 크다. 파장은  $\lambda_1 < \lambda_2$ 이므로 파장이  $\lambda_1$ 인 광자의 에너지가 파장이  $\lambda_2$ 인 광자의 에너지보다 크다.

05 ④ 전자구름은 보어 원자 모형 이후에 나온 이론으로 현대 원자 모형에서 양자 역학적으로 계산된다.

바로알기 ① 보어 원자 모형도 러더퍼드 원자 모형과 마찬가지로 전자가 원자핵 주위를 돌고 있다고 설명하지만, 특정한 궤도를 돌 때만 안정성이 유지된다고 말한다.

②, ⑤ 전자가 안정적으로 정해진 궤도를 돌고 있을 때는 빛을 방출하지 않고, 궤도 사이를 전이할 때 빛을 흡수하거나 방출한다.

③ 원자핵으로부터 멀리 떨어진 궤도일수록 양자수가 크며, 양자수가 클수록 전자의 에너지가 크다.

06 나. 전자의 에너지는 불연속적인 값을 가지고 있으며, 이를 양자화되어 있다고 한다.

다. 전자가 양자수가 작은 궤도에서 큰 궤도로 전이할 때 빛을 흡수한다.

바로알기 가. 보어 원자 모형에 따르면 전자는 특정한 궤도만 돌 수 있으며, 이 궤도에서는 안정적인 상태를 유지한다. 궤도 운동을 하는 전자가 전자기파를 발생하며 에너지를 잃고 원자핵에 가까워지는 것은 러더퍼드 원자 모형의 한계이다.

07 ㄱ. 양자수가 클수록 전자의 에너지가 크다. 따라서  $E_1 < E_2 < E_3$ 이다.

ㄴ. 전자의 양자수  $n=1$ 일 때 전자가 바닥상태에 있다고 한다. 양자수가 작을수록 에너지가 작으므로 전자가 안정하다. 따라서 전자가 바닥상태에 있을 때 전자가 가장 안정하다.

ㄷ. 전자가 전이할 때 흡수하는 에너지는 두 궤도의 에너지 준위의 차이와 같다. 따라서  $n=1$ 인 궤도에 있던 전자가 에너지가  $E_2 - E_1$ 인 광자를 흡수하면 전자는  $n=2$ 인 궤도로 전이한다.

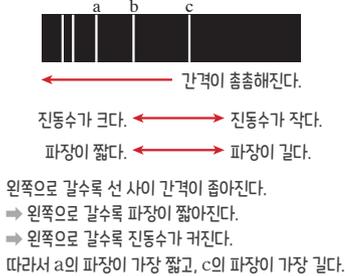
08 광자의 에너지  $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$ 이고, 전자가 전이할 때 방출하는 광자의 에너지는 두 궤도의 에너지 준위 차이와 같다.

**모범 답안** 방출하는 광자의 에너지  $E = \frac{hc}{\lambda} = E_3 - E_2$ 이므로 방출하는 빛의 파장  $\lambda = \frac{hc}{E_3 - E_2}$ 이다.

채점 기준	배점
빛의 파장을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
빛의 파장만 옳게 쓴 경우	50 %

### 09 **꼼꼼 문제 분석**

수소 원자의 에너지 준위  $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$  eV이므로 양자수가 클수록 간격이 촘촘해진다. 즉, 같은 계열에서 에너지가 큰 쪽일수록 스펙트럼 선 사이의 간격이 좁아진다.

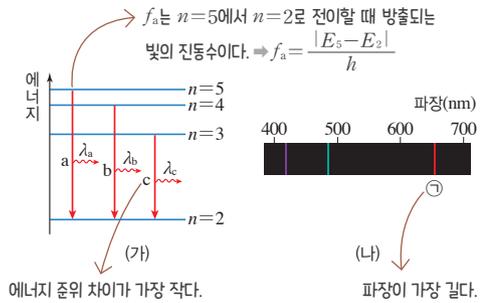


ㄴ. 라이먼 계열의 빛은 자외선에 해당하므로 b는 자외선이다.  
 ㄷ. 수소 원자의 에너지 준위는 양자수  $n$ 이 커질수록 그 간격이 좁아지므로 스펙트럼 선의 간격이 좁은 쪽일수록 파장이 짧다.  
**바로알기** ㄱ. 라이먼 계열은  $n \geq 2$ 인 궤도에서  $n=1$ 인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛이다.

10 ㄱ. 전자가 A와 같이 전이할 때 방출하는 광자의 에너지는 두 궤도의 에너지 준위 차이인  $E_4 - E_2$ 와 같다.  
**바로알기** ㄴ.  $n \geq 2$ 인 상태를 모두 들뜬상태라고 하므로 C에서 전자는 들뜬상태에서 들뜬상태로 옮겨진다.

ㄷ. B는 전자가 빛을 흡수하는 전이 과정이다. 따라서 B에서는 파장이  $\lambda_2$ 인 빛을 흡수한다.

### 11 **꼼꼼 문제 분석**



ㄷ. 전자가 전이할 때 에너지 준위 차이가 작을수록 파장이 긴 빛이 방출된다. (나)에서 ㉠은 파장이 가장 긴 빛으로 에너지 준위 차이가 가장 작은 c에서 방출된 빛이다.

**바로알기** ㄱ. 방출되는 빛의 파장은 에너지 준위의 차이에 반비례한다. 에너지 준위 차이는 a가 b보다 크므로 방출되는 빛의 파장은 a에서가 b에서보다 짧다. 따라서  $\lambda_a < \lambda_b$ 이다.

ㄴ. 방출되는 빛의 진동수는 에너지 준위의 차이에 비례한다.  $f_a$ 는  $n=5$ 에서  $n=2$ 로 전이할 때 방출되는 빛의 진동수이므로  $n=5$ 에서  $n=4$ 로 전이할 때 방출되는 빛의 진동수와  $n=4$ 에서  $n=2$ 로 전이할 때 방출되는 빛의 진동수( $f_b$ )의 합과 같다.  $n=5$ 에서  $n=4$ 로 전이할 때 방출되는 빛의 진동수는  $n=3$ 에서  $n=2$ 로 전이할 때 방출되는 빛의 진동수( $f_c$ )보다 작다. 따라서  $f_a = \frac{E_5 - E_2}{h}$ ,  $f_b = \frac{E_4 - E_2}{h}$ ,  $f_c = \frac{E_3 - E_2}{h}$ 에서  $f_a - f_b = \frac{E_5 - E_4}{h} < \frac{E_3 - E_2}{h} = f_c$ 이므로  $f_a < f_b + f_c$ 이다.

12 ㄷ. 방출된 빛을 분광기로 관찰할 때 선 스펙트럼이 나타나는 까닭은 수소 원자의 에너지 준위가 양자화되어 있기 때문이다.  
**바로알기** ㄱ. (나)와 같이 연속 스펙트럼 위에 검은색의 흡수 선이 있는 스펙트럼을 흡수 스펙트럼이라고 한다.

ㄴ. 보어 원자 모형은 수소 이외에 전자가 많은 원자의 스펙트럼과는 잘 맞지 않는 한계점이 있다. (가)와 (다)는 스펙트럼이 다르므로 (다)는 수소가 아님을 알 수 있으며, 보어 원자 모형으로는 (다)를 정확히 설명할 수 없다.

13 ㄷ. 전자가 존재할 확률이 높은 영역을 전자구름이라고 한다.  
**바로알기** ㄱ. 궤도를 도는 전자가 전자기파를 방출하며 에너지를 잃고 붕괴하는 것은 러더퍼드 원자 모형의 한계이다.  
 ㄴ. 현대의 원자 모형에서도 전자 에너지 준위는 불연속적이라고 설명한다.

01 ⑤    02 ②    03 ①    04 ③

01 나. 에너지 준위 차이가 클수록 전자가 전이할 때 방출하는 광자의 에너지도 크므로 방출되는 광자 1개의 에너지는 C에서가 A에서보다 크다.

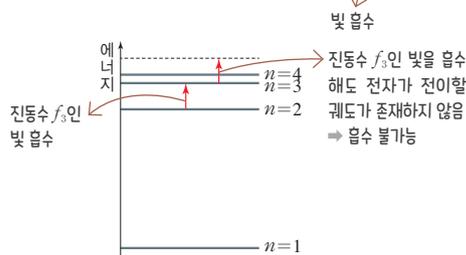
다. B는 들뜬상태의 전자가 양자수  $n=1$ 인 에너지 준위로 전이하는 것이므로 라이먼 계열에 해당하며, 이때 자외선 영역의 빛이 방출된다.

**바로알기** ㄱ.  $E_3$ 은 바닥상태와 다른 궤도와 에너지 차이에 해당하지 않으므로 바닥상태에 있는 전자는  $E_3$ 의 에너지를 흡수할 수 없다.

02 **꼼꼼 문제 분석**

- 전이 전 양자수 > 전이 후 양자수: 빛 방출
- 전이 전 양자수 < 전이 후 양자수: 빛 흡수

양자수 ( $n$ )	전이 전	4	3	2	2
	전이 후	2	1	3	1
방출 또는 흡수하는 빛의 진동수		$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$



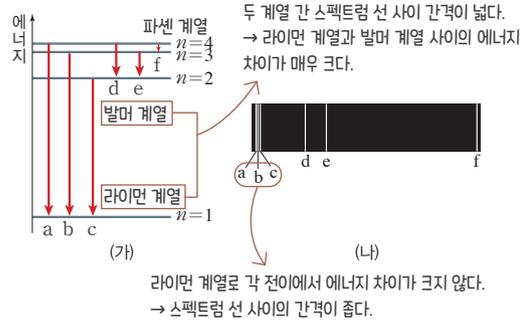
나.  $n=4$ 와  $n=2$ 의 에너지 차이는  $hf_1$ 이고,  $n=3$ 과  $n=2$ 의 에너지 차이는  $hf_2$ 이므로  $n=4$ 와  $n=3$ 의 에너지 차이는  $h(f_1 - f_2)$ 이다.

**바로알기** ㄱ. 라이먼 계열의 가장 진동수가 작은 빛은 발머 계열의 가장 진동수가 큰 빛보다 진동수가 크다. 따라서  $f_1 < f_4$ 이다.

다. 표에 따르면 진동수가  $f_3$ 인 빛의 에너지는 양자수  $n=2$ 와  $n=3$  사이의 에너지 준위 차이에 해당한다. 따라서 전자가  $n=2$ 에서  $n=3$ 으로 전이할 때는 진동수  $f_3$ 인 빛을 흡수하고, 전자가  $n=3$ 에서  $n=2$ 로 전이할 때는 진동수  $f_3$ 인 빛을 방출한다.  $n=3$ 인 궤도에 있는 전자가 진동수  $f_3$ 인 빛을 흡수하여 전이할 수 있는 궤도는 존재하지 않는다.

03 **꼼꼼 문제 분석**

- 전이 전 양자수 > 전이 후 양자수: 빛 방출
- 전이 전 양자수 < 전이 후 양자수: 빛 흡수

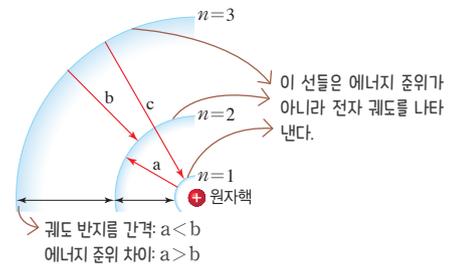


ㄱ. (가)의 양자수 범위에서 방출될 수 있는 빛은 라이먼 계열 3개, 발머 계열 2개, 파셴 계열 1개이다. 따라서 (나)에서 간격이 좁은 선 3개가 모여있는 a, b, c가 양자수  $n \geq 2$ 인 궤도에서  $n=1$ 로 전이할 때 방출되는 자외선임을 알 수 있다.

**바로알기** 나. c는 라이먼 계열인 자외선 중에서 가장 파장이 긴 빛에 해당한다.

다. (나)에서 a에서 f로 갈수록 파장은 길어지고 진동수는 작아지므로 광자 1개의 에너지는 a가 가장 크고, f가 가장 작다.

04 **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. 에너지 준위 차이는 c가 가장 크고 b가 가장 작으므로 각 전이에서 흡수 또는 방출하는 광자의 에너지의 크기는  $E_b < E_a < E_c$ 이다. 광자의 에너지를 파장으로 나타내면  $E_{\text{광자}} = \frac{hc}{\lambda}$ 이므로 파장의 크기는  $\lambda_b > \lambda_a > \lambda_c$ 이다.

나. b는  $n=3$ 에서  $n=2$ 로 전이한 것이므로 발머 계열 중에서 파장이 가장 긴 빛인 가시광선이 방출된다.

**바로알기** ㄷ.  $E_a + E_b = E_c$ 이고 광자의 에너지를 파장으로 표현하면  $E_{\text{광자}} = \frac{hc}{\lambda}$ 이므로  $\frac{hc}{\lambda_a} + \frac{hc}{\lambda_b} = \frac{hc}{\lambda_c}$ 에서  $\frac{1}{\lambda_a} + \frac{1}{\lambda_b} = \frac{1}{\lambda_c}$ 이다.

## 02 / 에너지띠와 반도체

### 개념 확인문제

270쪽

① 에너지띠    ② 원자가 띠    ③ 전도띠    ④ 띠 간격    ⑤ 자유 전자  
⑥ 양공    ⑦ 띠 간격    ⑧ 부도체    ⑨ 반도체

1 (1) 원자가 띠 (2) 전도띠 (3) 띠 간격    2 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ×    3 ㉠ 띠 간격, ㉡ 전도띠, ㉢ 양(+)  
4 (가) 도체, (나) 반도체, (다) 부도체    5 ㄱ, ㄴ

1 (1) 0 K에서 전자는 바닥상태부터 채워지며, 전자가 채워진 에너지띠 중에서 가장 에너지 준위가 높은 띠를 원자가 띠라고 한다.

(2) 원자가 띠 바로 위에 있는 전자가 채워지지 않은 띠를 전도띠라고 한다.

(3) ㉠은 허용된 띠 사이에 전자가 존재할 수 없는 금지된 영역으로 띠 간격이다.

2 (1) 원자가 1개만 있을 때 특정한 궤도 외에는 전자가 존재할 수 없는 것처럼 고체에서도 에너지띠 사이의 띠 간격에는 전자가 존재할 수 없다.

(2) 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하면 원자가 띠에는 양공이 생기고, 전도띠에는 자유 전자가 생긴다. 양공과 자유 전자가 많을수록 전기 전도성이 좋아진다.

(3) 물질마다 에너지띠의 구조가 서로 다르므로 띠 간격 또한 물질마다 서로 다르다.

(4) 전자는 띠 간격보다 큰 에너지를 흡수해야만 전도띠로 전이할 수 있다.

3 원자가 띠에 있던 전자가 원자가 띠와 전도띠의 에너지 준위 차이에 해당하는 ㉠ 띠 간격 이상의 에너지를 흡수하여 ㉡ 전도띠로 전이하면 자유 전자가 되어 고체 내에서 움직일 수 있게 된다. 전자의 전이로 인해 생긴 양공은 이웃한 전자가 채워지면서 움직일 수 있으며 전자가 빠져나간 자리이므로 ㉢ 양(+)전하를 띤 입자와 같은 역할을 한다.

4 (가)는 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 없으므로 도체이고, (나)는 띠 간격이 (가)보다 넓고 (다)보다 좁으므로 반도체이다. (다)는 띠 간격이 가장 넓으므로 부도체이다.

5 ㄱ. (가)는 도체로 띠 간격이 없어 전자가 약간의 에너지만 흡수해도 쉽게 전도띠로 이동하여 고체 안을 자유롭게 이동하므로 전류가 잘 흐른다. 따라서 (가)의 전기 전도성이 가장 좋다.

ㄴ. (나)와 (다)는 각각 반도체와 부도체로, 원자가 띠에 전자가 완전히 채워져 있다.

ㄷ. (다)는 띠 간격이 매우 넓어 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 어렵다.

### 개념 확인문제

273쪽

① 4    ② 도핑    ③ 3    ④ 5    ⑤ 순방향    ⑥ 정류 작용

1 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ×    2 (1) 양공 (2) p형 반도체  
3 (1) 역방향 전압 연결 (2) ㉠ 양공, ㉡ 전자    4 ㄱ, ㄴ, ㄷ

1 (1) 원자가 전자가 4개인 원자가 공유 결합을 하여 완벽한 결정 구조를 이룬 것을 순수한 반도체라고 한다.

(2) 순수한 반도체의 띠 간격은 부도체보다 작아 원자가 띠의 전자가 에너지를 흡수하여 전도띠로 전이할 수 있다. 이 경우 전도 띠에는 자유 전자가 생기고, 원자가 띠에는 양공이 생긴다.

(3) 원자가 전자가 3개인 13족 원자나 원자가 전자가 5개인 15족 원자를 첨가하여 불순물 반도체를 만드는 과정을 도핑이라고 한다.

(4) 불순물 반도체는 불순물 원자에 의해 형성된 에너지 준위로 인해 전자의 전이가 잘 일어나므로 전하를 운반하는 양공 또는 전자가 순수한 반도체보다 많아 전기 전도성이 좋다.

2 (1) Y 주변에 공유 결합을 이루지 못한 빈자리가 1개 있으므로 양공이 주로 전하를 운반한다.

(2) 양공이 주로 전하를 운반하는 불순물 반도체는 p형 반도체이다.

3 (1) p형 반도체에 전지의 (-)극을, n형 반도체에 전지의 (+)극을 연결했으므로 역방향 전압이 연결된 상태이다.

(2) p-n 접합 다이오드에 역방향 전압이 걸리면 p형 반도체에 있는 ㉠ 양공과 n형 반도체의 ㉡ 전자가 접합면으로부터 멀어지는 방향으로 움직이고 있는 것을 확인할 수 있다. 그 결과 접합면 근처에 고정된 불순물만 있는 층이 점점 넓어지며, 그 층에 생긴 전기장에 의해 양공과 전자가 확산하기 더 어려워져 전류가 잘 흐르지 않는다.

4 ㄱ. 다이오드의 정류 작용은 교류를 직류로 바꾸는 정류 회로에 이용된다.

ㄴ. 발광 다이오드도 일반적인 p-n 접합 다이오드와 마찬가지로 순방향 전압 연결일 때만 전류가 흐른다.

ㄷ. 광 다이오드는 빛을 감지하여 전기 신호를 만든다. 화재로 연기가 발생하면 연기에 의한 빛의 산란을 감지하여 경보를 울리는 화재경보기에 광 다이오드가 쓰인다.

**Q1** 불순물 이온만 남아 전기장을 형성하기 때문이다.

**Q2** 전류가 흐르지 않는다.

**Q1** 공핍층은 접합면에서 양공과 전자가 만나 소멸하면서 고정된 불순물 이온만 남은 층을 말한다. 이 층에서는 n형 반도체에서 p형 반도체 쪽으로 전기장이 생기는데, 이 전기장에 의해 양공과 전자가 접합면을 향해 더 이상 확산하지 못한다.

**Q2** p-n 접합 다이오드에 역방향 전압이 걸리면 다이오드의 정류 작용으로 전류가 흐르지 않는다.

대표자료분석 1

- 1** (가) 부도체, (나) 도체, (다) 반도체      **2** (나) > (다) > (가)  
**3** (1) 클수록 (2) 없다 (3) 큰 (4) 원자가 띠      **4** (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○

**1** (나)는 띠 간격이 없으므로 도체, (가)는 띠 간격이 가장 크므로 부도체, (다)의 띠 간격은 (가)와 (나)의 중간이므로 반도체이다.

**2** 띠 간격이 좁을수록 전기 전도성이 좋으므로 (나) > (다) > (가)이다.

**3** (1) 띠 간격이 클수록 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 어려우므로 전기 전도성이 좋지 않다.  
 (2) (가)의 띠 간격은 불연속적인 전자의 에너지 준위에 의해 만들어진 영역으로 전자가 존재할 수 없다.  
 (3) (다)에서 원자가 띠에 있는 전자는 띠 간격보다 큰 에너지를 흡수해야 전도띠로 전이할 수 있다. 만약 띠 간격보다 작은 에너지를 흡수한다면 전자는 띠 간격 안으로 전이해야 하는데, 띠 간격은 전자가 존재할 수 없으므로 전자는 띠 간격보다 작은 에너지를 흡수할 수 없다.  
 (4) 0K일 때 전자는 가장 아래쪽 에너지 준위부터 차례로 채워진다. 전자가 채워진 에너지 띠 중에서 가장 에너지 준위가 높은 띠를 원자가 띠라고 한다.

**4** (1) 전도띠에 있는 전자는 고체 내부를 자유롭게 이동할 수 있으며 이를 자유 전자라고 한다.  
 (2) (가)의 띠 간격이 (나)의 띠 간격보다 크므로 (가)는 (나)에 비해 원자가 띠의 전자가 전도띠로 이동하기 어렵다.

(3) 원자가 띠는 미세하게 갈라진 에너지 준위로 구성되어 있으며, 각 에너지 준위는 미세하게 다르다.

(4) (다)는 반도체로 온도가 높으면 더 많은 전자가 에너지를 흡수하여 전도띠로 전이한다. 따라서 온도가 높을수록 전기 전도성이 좋아진다.

(5) (다)는 반도체로 원자가 띠의 전자가 에너지를 흡수하면 전도띠로 전이하여 자유 전자가 될 수 있다.

대표자료분석 2

- 1** n형 반도체    **2** p형 반도체    **3** (다) p형 반도체, (라) n형 반도체  
**4** (1) 4개 (2) 양공 (3) 있다 (4) 전도띠 바로 아래    **5** (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○

**1** (가)에는 공유 결합에 참여하지 않은 전자가 있으며 이 전자가 주로 전류를 흐르게 하므로 n형 반도체이다.

**2** (나)에는 공유 결합 후 양공이 생겼으며 이 양공이 주로 전류를 흐르게 하므로 p형 반도체이다.

**3** (다)는 불순물에 의해 원자가 띠 바로 위에 새로운 에너지 준위가 만들어졌으므로 p형 반도체이다. (라)는 불순물에 의해 전도띠 바로 아래에 새로운 에너지 준위가 만들어졌으므로 n형 반도체이다.

**4** (1) 원자가 전자가 4개인 규소(Si)는 원자가 공유 결합을 하여 안정된 상태를 이룬다.

(2) (나)는 p형 반도체이므로 양공이 주로 전하를 운반한다.

(3) (다)의 원자가 띠 위의 에너지 준위는 원자가 전자가 3개인 불순물 원자에 의해 생긴 에너지 준위로 비어 있으며, 여기로 전이한 전자에 의해 원자가 띠에 양공이 생긴다.

(4) (가)는 n형 반도체이므로 불순물에 의한 에너지 준위는 (라)와 같이 전도띠 바로 아래에 생긴다.

**5** (1) n형 반도체에서도 원자가 띠에 있는 전자가 전도띠로 전이하면 양공이 생긴다.

(2), (3) X는 원자가 전자가 5개이므로 X를 도핑하면 자유 전자의 수가 증가하고, Y는 원자가 전자가 3개이므로 Y를 도핑하면 양공의 수가 증가한다.

(4) Y는 원래 전기적으로 중성이므로 전자를 하나 얻으면 음이온이 된다.

(5) (가)에서 주로 전하를 운반하는 것은 전자이다.

내신 만점문제

277쪽~280쪽

- 01 ④    02 ④    03 ⑤    04 ②    05 해설 참조  
 06 ①    07 ③    08 ④    09 공유 결합    10 ③  
 11 ⑤    12 ①    13 ③    14 ②    15 ③  
 16 해설 참조    17 ①    18 ③

**01** ㄱ. 전자 궤도의 양자수는 원자핵과 가까운 궤도에서 가장 작고, 원자핵과 먼 궤도일수록 커진다.

ㄴ. 인접한 원자의 수와 관계없이 전자는 항상 양자수가 작은 에너지 준위부터 차례로 채워진다.

**바로알기** ㄴ. (다)에서 원자의 수가 매우 많아지면 에너지 준위는 미세하게 갈라져 에너지띠를 이루고, 에너지띠 사이에 띠 간격이 생긴다. 띠 간격이 존재하므로 A에서 연속적이라고 할 수 없다.

**02** C는 원자가 띠, ㉠은 띠 간격, B는 전도띠이다.

ㄴ. 원자가 띠의 전자는 띠 간격보다 큰 에너지를 흡수하면 전도 띠로 전이할 수 있다.

ㄷ. 띠 간격에는 전자가 존재할 수 없다.

**바로알기** ㄱ. C는 원자가 띠이다. 전도띠는 원자가 띠 바로 위에 있는 전자가 채워지지 않은 에너지띠로 B이다.

**03** ㄱ. (가)에서 전자의 에너지 준위는 띄엄띄엄하게 배열되어 있으며 특정한 값만을 가질 수 있다. 즉, 전자의 에너지 준위는 불연속적이다.

ㄴ, ㄷ. 무수히 많은 원자가 매우 가까이 붙어있으면 파울리 배타 원리에 의해 인접한 원자가 서로 영향을 주어 전자의 에너지 준위가 미세하게 갈라지고, 많은 에너지 준위가 (나)와 같이 거의 연속적인 띠의 형태를 이룬다.

**04** ㄷ. (다)는 반도체의 에너지띠 구조이므로 저마늄(Ge)은 적절한 예이다.

**바로알기** ㄱ. (가)는 부도체, (나)는 도체이므로 전기 전도성은 (나)가 (가)보다 좋다.

ㄴ. (나)는 원자가 띠와 전도띠가 서로 겹쳐 있으므로 띠 간격이 없다. 따라서 띠 간격은 (나)가 가장 작다.

**05** 원자가 띠보다 전도띠의 에너지가 더 크므로 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하려면 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다.

**모범 답안** 전자가 외부에서 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다.

채점 기준	배점
외부에서 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다고 옳게 서술한 경우	100 %
에너지를 흡수해야 한다고만 서술한 경우	50 %

**06** ㄱ. 띠 간격이 작을수록 전자가 전도띠로 전이하기 쉬우므로 전기 전도성이 좋아진다. 규소의 띠 간격이 다이아몬드보다 작으므로 전기 전도성은 규소가 다이아몬드보다 좋다.

**바로알기** ㄴ. 반도체는 온도가 높아질수록 원자가 띠에서 전이하는 전자가 많아지므로 온도가 높아지면 규소의 전도띠에 전자가 많아진다.

ㄷ. 띠 간격은 전자가 가질 수 없는 에너지 영역이다. 다이아몬드의 띠 간격은 5.33 eV이므로 원자가 띠의 가장 위에 있는 전자가 3 eV의 에너지를 흡수해도 전도띠로 전이하지 못하고, 새로운 에너지 준위가 생기지도 않는다.

**07** ㄱ. A는 전도띠이다. A에 있는 전자는 고체 내부를 자유롭게 이동할 수 있으므로 전도띠에 전자가 많을수록 고체에 전류가 잘 흐른다.

ㄴ. C를 원자가 띠, A를 전도띠라고 한다. 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격(B)이 작을수록 전기 전도성이 좋아진다.

**바로알기** ㄷ. 전자가 채워진 에너지띠 중에서 가장 에너지 준위가 높은 띠를 원자가 띠라고 한다. 에너지띠 E는 특별히 부르는 이름이 없다.

**08** 붕소(B)는 13족 원소로 원자가 전자가 3개이다. 원자가 전자가 4개인 규소(Si)에 붕소를 첨가하면 공유 결합에 필요한 전자 1개가 부족하여 빈자리인 양공이 생긴다. 이를 p형 반도체라고 하며, 양공이 주로 전하를 운반한다.

**09** 원자의 가장 바깥쪽 껍질에 전자 8개가 배치될 때 가장 안정해지므로 이웃한 원자와 서로 전자를 공유하며 안정된 상태를 만들게 된다. 이러한 결합을 공유 결합이라고 한다.

**10** ㄱ. (가)의 원자가 띠와 A와의 간격이 작으므로 원자가 띠에 있는 전자는 A로 전이할 수 있다.

ㄷ. (나)는 n형 반도체의 에너지띠 구조이다. 원자가 전자가 5개인 불순물에 의해 전도띠 바로 아래에 새로운 에너지 준위가 생긴다.

**바로알기** ㄴ. 파울리 배타 원리에 의해 에너지 준위가 미세하게 갈라져 에너지띠를 구성하므로 같은 에너지띠에 있는 전자일지라도 에너지 준위는 서로 다르다.

**11** ㄱ. 순수한 반도체에 약간의 불순물을 첨가하여 전기 전도성을 조절하는 과정을 도핑이라고 한다.

ㄴ. 원자의 가장 바깥쪽 껍질에 전자가 8개 배치될 때 가장 안정하므로 규소(Si)는 4쌍의 공유 결합을 통해 안정적인 상태를 유지한다.

㉔. 원자가 전자가 5개인 인(P)을 첨가하면 공유 결합에 참여하지 않는 전자가 생긴다. 이 전자가 주로 전하를 운반하여 전기 전도성이 좋아진다.

**12** ㉔. (가)는 순수한 반도체에 원자가 전자가 3개인 붕소(B)를 도핑한 모습으로 p형 반도체이다. p형 반도체에 해당하는 에너지 준위는 (나)이다.

**바로알기** ㉔. (나)는 p형 반도체, (다)는 n형 반도체의 에너지 준위이다. 이 둘을 접합하면 p-n 접합 다이오드가 된다.

㉔. (다)에서 주로 전하를 운반하는 것은 불순물의 에너지 준위에서 전도띠로 전이한 전자이지만, 원자가 띠의 전자도 띠 간격 이상의 에너지를 흡수하여 전도띠로 전이할 수 있다.

**13** ㉔. a에 연결했을 때 전류가 흐르지 않았으므로 이는 역방향 전압 연결이며, X는 n형 반도체이다.

㉔. 스위치를 b에 연결하면 다이오드에는 순방향 전압이 걸린다. 이때 p형 반도체의 양공과 n형 반도체의 자유 전자는 접합면 쪽으로 이동하여 전류가 흐른다.

**바로알기** ㉔. a에 연결했을 때 전류가 흐르지 않았으므로 이는 역방향 전압 연결이다.

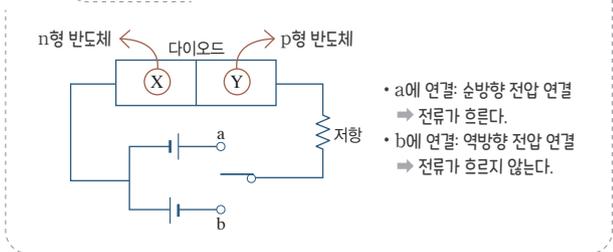
**14** ㉔. 다이오드에 순방향 전압이 걸려 있으므로 접합면에서 양공과 전자가 계속 결합하면서 전류가 흐른다.

**바로알기** ㉔. (나)에서 b 주변에 남는 전자가 있으므로 B는 n형 반도체임을 알 수 있다. (가)에서 n형 반도체에 전지의 (-)극이 연결되어 있으므로 다이오드에 순방향 전압이 걸려 있다.

㉔. 안티모니(Sb)는 원자가 전자가 3개이므로 p형 반도체를 만들 때 사용하는 원소이다.

**15** ③ 다이오드의 정류 작용으로 전류는 a → 다이오드 → b 방향으로만 흐를 수 있다. 교류 전원에 의해 (나)와 같이 전압이 걸릴 때 (-) 방향의 전류는 차단된다.

**16** **꼼꼼 문제 분석**



규모에 원자가 전자가 3개인 붕소를 도핑한 Y는 p형 반도체이므로 p-n 접합 다이오드의 X는 n형 반도체이다. 따라서 저항에 전류가 흐르게 하기 위해서는 p형 반도체인 Y에 전지의 (+)극을 연결하고, n형 반도체인 X에 전지의 (-)극을 연결해야 하므로 스위치 S를 a에 연결해야 한다.

(1) n형 반도체

(2) **모범 답안** a. 전류가 흐르기 위해서는 p형 반도체인 Y에 전지의 (+)극이 연결되어야 하기 때문이다.

채점 기준	배점
(1) 반도체의 종류를 옳게 쓴 경우	50 %
(2) a를 옳게 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
a만 옳게 쓴 경우	20 %

**17** ㉔. 전도띠(㉔)의 전자가 원자가 띠(㉔)로 전이하면서 광자를 방출하므로 ㉔과 ㉔ 사이의 간격인 띠 간격이 클수록 방출하는 광자의 에너지  $E = \frac{hc}{\lambda}$ 도 크다. 따라서 띠 간격의 크기에 따라 다양한 파장의 빛을 방출한다.

**바로알기** ㉔. 발광 다이오드는 순방향 전압이 걸려 있을 때만 전류가 흐른다.

㉔. 빛이 방출될 때는 순방향 전압이 걸려 있을 때이므로 접합면의 공핍층이 얇아진다.

**18** ㉔. (가)의 정류 회로는 p-n 접합 다이오드의 특성에 의해 순방향 전압이 걸려 있을 때만 전류를 흐르게 하는 성질을 이용한다.

㉔. (다)에 이용된 반도체 레이저 다이오드는 작고 가벼워 광통신 외에도 레이저 포인터, 프린터, 디스플레이, 바코드 스캐너, 빔 프로젝터, 각종 측정 장치 등에 활용된다.

**바로알기** ㉔. (나)에 이용된 발광 다이오드에 순방향 전압이 걸려 접합면에서 전자와 양공이 결합하면 띠 간격에 해당하는 에너지를 갖는 빛이 방출된다.

**실력 UP 문제**

281쪽

**01** ②    **02** ②    **03** ⑤    **04** ⑤

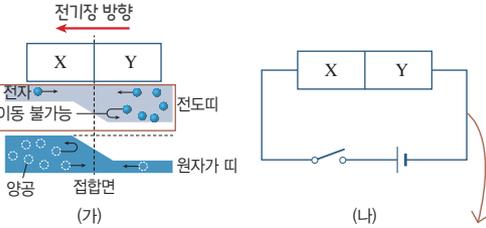
**01** ㉔. (나)는 원자가 띠의 전자 일부가 전도띠로 전이하면서 양공과 자유 전자가 생긴 상태이므로 전하를 운반하는 전자나 양공의 수가 (가)에서보다 많다.

**바로알기** ㉔. ㉔. 반도체는 온도가 높아지면 에너지를 얻어 전도띠로 전이하는 전자의 수가 많아진다. 즉, 전하를 운반하는 전자나 양공의 수가 많아져 전기 전도성이 좋아지므로  $T_1 < T_2$ 이다.

**02** ㉔. 전기 전도성은 도체가 반도체보다 좋으므로 모양이 같을 때 도체의 저항이 반도체의 저항보다 작다. 따라서 반도체인 규소(Si) 결정의 저항은 도체인 구리의 저항보다 크다.

- 바로알기** ㄱ. A와 B는 띠 간격이 존재하므로 도체가 아니다. B의 띠 간격은 A보다 크므로 반도체이다. 따라서 A는 규소(Si) 결정과 같은 순수한 반도체의 에너지띠 구조이다.  
 ㄴ. 구리는 도체이므로 에너지띠 구조에서 띠 간격이 없다.

**03** **꼼꼼 문제 분석**

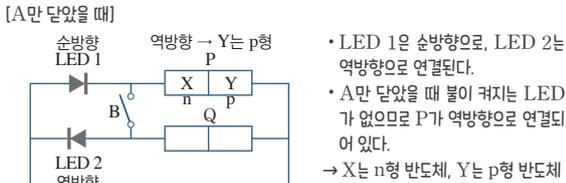


Y의 주요 전하 운반자인 전자가 X 쪽으로 이동하지 못하므로 전기장의 방향은 Y에서 X 방향이다.  
 → X는 p형 반도체, Y는 n형 반도체이다.  
 p형 반도체인 X는 (+)극에, n형 반도체인 Y는 (-)극에 연결되어 있으므로 순방향 전압이 걸린다.

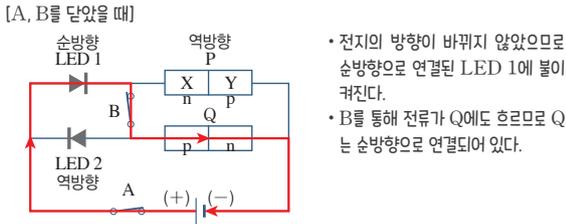
- ㄴ. X에 (+)극, Y에 (-)극이 연결되어 있으므로 순방향 전압이 걸린 상태이다.  
 ㄷ. 전기장 속에서 전자는 전기장과 반대 방향으로 전기력을 받고, 양공은 전기장과 같은 방향으로 전기력을 받는다. (가)를 보면 접합면에서 Y의 전자가 X 쪽으로 이동할 수 없으므로 전기장이 Y에서 X 방향으로 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 따라서 X는 p형 반도체, Y는 n형 반도체이다.

**바로알기** ㄱ. X는 p형 반도체이므로 X에서 주로 전하를 운반하는 것은 양공이다.

**04** **꼼꼼 문제 분석**



A만 닫았을 때 → 불이 켜지는 LED 없음



A, B를 닫았을 때 → 1개의 LED에서 불이 켜짐

ㄱ, ㄷ. A만 닫았을 때 LED 1은 순방향, LED 2는 역방향인 걸리므로 LED 2를 지나는 경로는 전류가 흐를 수 없다. 그런데 LED 1을 지나는 경로에도 전류가 흐르지 않으므로 P에 역방향 전압이 걸려 있음을 알 수 있다. 따라서 (-)극에 연결된 Y가 p형 반도체이다.

ㄴ. A와 B를 닫으면 LED 1과 Q를 지나는 경로를 통해 전류가 흐르므로 LED 1에 불이 켜진다. Q에는 순방향 전압이 걸린다.

**03** **특수 상대성 이론**

**개념 확인 문제**

283쪽

- ① 물체    ② 관찰자    ③ 관성    ④ 특수 상대성 이론    ⑤ 물리 법칙  
 ⑥ 광속 불변 원리

- 1 ㉠ B, ㉡ A    2 관성    3 (1) ○ (2) ×    4 상대성 원리, 광속 불변 원리    5 (1) ○ (2) ○ (3) ×    6  $v_A = v_B = v_C$

- 1 A가 측정한 B의 상대 속도는  $v_{AB} = v_B - v_A$ 이다.
- 2 관성 좌표계는 정지 또는 등속도로 운동하는 좌표계이다.
- 3 (2) 진공 중에서 빛의 속력은 관찰자 또는 광원의 운동 상태에 관계없이  $c$ 로 일정하다.
- 4 특수 상대성 이론의 두 가지 가정은 상대성 원리와 광속 불변 원리이다.
- 5 (2) A와 B가 측정한 공의 가속도는 중력 가속도로 같다.  
 (3) A가 측정할 때 공은 포물선 운동을 하고, B가 측정할 때 공은 직선 운동을 한다.
- 6 빛의 속력은 광원과 관찰자의 운동 상태에 관계없이  $c$ 로 일정하므로  $v_A = v_B = v_C$ 이다.

**개념 확인 문제**

287쪽

- ① 고유 시간    ② 느리게    ③ 고유 길이    ④ 운동    ⑤ 길이 수축
- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ×    2 (1) × (2) × (3) ○    3 ㄷ    4 (1) A  
 (2) 크다 (3) 크다

- 1 (3) 길이 수축은 운동 방향과 나란한 방향으로만 일어난다.  
 (4) 물체의 속력이 클수록 물체의 길이 수축 효과는 커진다.

- 2 (1) A가 측정한 우주선의 길이는 수축된 길이이다. 우주선에 탄 사람이 측정한 길이가 고유 길이이다.  
 (2) 속력이 클수록 길이 수축이 크게 일어나므로 A가 측정한 우주선의 길이는 B가 C보다 작다.  
 (2) 속력이 클수록 시간은 느리게 가므로 A가 측정할 때 B의 시간이 C의 시간보다 느리게 간다.

- 3 ㄱ. 광원과 검출기 사이의 거리는 우주선의 운동 방향과 수직인 방향이므로 길이 수축이 일어나지 않는다. 따라서 광원과 검출기 사이의 거리는 A가 측정할 때와 B가 측정할 때가 같다.  
 ㄴ. B가 측정한 우주선의 길이는 고유 길이이고, A가 측정한 우주선의 길이는 길이 수축이 일어난 길이이다. 따라서 우주선의 길이는 A가 측정할 때가 B가 측정할 때보다 작다.  
 ㄷ. A가 측정할 때 광원에서 검출기까지 빛은 대각선 경로로 이동하고, B가 측정할 때는 직선 경로로 이동한다. 따라서 광원에서 검출기까지 진행한 거리는 A가 측정할 때가 B가 측정할 때보다 크다.  
 ㄹ. 광속 불변 원리에 의해 광원에서 방출된 빛의 속력은 A가 측정할 때와 B가 측정할 때가 같다.

- 4 (1) P와 Q에 대해 정지해 있는 A가 측정한 길이가 고유 길이이다.  
 (2) B가 측정한 거리는 길이 수축이 일어난 길이이므로 P와 Q 사이의 거리는 A가 측정할 때가 B가 측정할 때보다 크다.  
 (3) B가 측정한 시간이 고유 시간이므로 A가 측정할 때 우주선이 P에서 Q까지 운동하는 데 걸린 시간은 고유 시간인 T보다 크다.

- 1 빛의 속력은 관찰자 또는 광원의 운동 상태에 관계없이 광속  $c$ 로 일정하다.

- 2 B의 관성계에서 빛은 수직으로 왕복하고, A의 관성계에서 빛은 대각선 방향으로 이동하므로 빛이 진행한 거리는 A의 관성계에서 B의 관성계에서보다 크다.

- 3 (1) B의 관성계에서 빛은 수직으로 왕복하고, A의 관성계에서 빛은 대각선 방향으로 이동한다. 빛의 속력은 A와 B의 관성계에서 같으므로 빛이 광원과 거울 사이를 1회 왕복하는 데 걸린 시간은 A의 관성계에서 B의 관성계에서보다 크다.  
 (2) A의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 고유 길이이고, B의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 수축된 길이이다. 따라서 P와 Q 사이의 거리는 A의 관성계에서 B의 관성계에서보다 크다.  
 (3) 우주선의 속력이 클수록 시간 팽창 효과가 커진다.

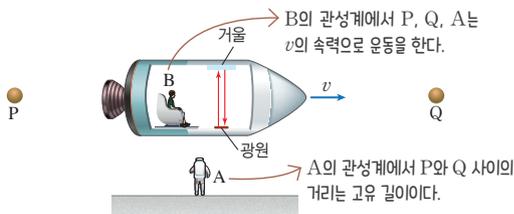
- 4 (1) 광원과 거울을 잇는 직선은 우주선의 운동 방향에 대해 수직이므로 길이 수축이 일어나지 않는다. 따라서 광원과 거울 사이의 거리는 A의 관성계에서와 B의 관성계에서가 같다.  
 (2) B의 관성계에서 A는 운동하므로 B의 관성계에서 A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다.  
 (3) B의 관성계에서 A의 속력은 A의 관성계에서 B의 속력과 같은  $v$ 이다.  
 (4) A의 관성계에서는 빛이 광원에서 방출된 지점과 다시 광원으로 되돌아오는 지점이 다르다. 따라서 A의 관성계에서 빛이 1회 왕복하는 데 걸린 시간은 고유 시간이 아니다. B의 관성계에서는 빛이 광원에서 방출된 지점과 다시 광원으로 되돌아오는 지점이 같다. 따라서 B의 관성계에서 빛이 1회 왕복하는 데 걸린 시간이 고유 시간이다.

대표 자료 분석 1

289쪽

- 1 같다. 2 A의 관성계 3 (1) 크다 (2) 크다 (3) 커진다 4 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○

꼼꼼 문제 분석

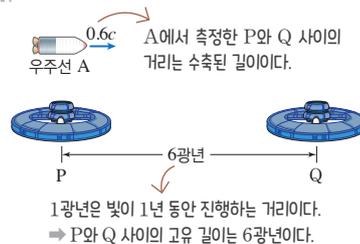


대표 자료 분석 2

290쪽

- 1 6광년 2  $0.6c$  3 (1) 작다 (2) 느리게 (3)  $c$ 이다 (4) 10년이다  
 4 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○

꼼꼼 문제 분석



1 P와 Q 사이의 고유 길이는 P와 Q에 대해 정지해 있는 관찰자가 측정한 길이이다. 따라서 P에서 측정한 길이가 고유 길이이며, P와 Q 사이의 고유 길이는 6광년이다.

2 A의 관성계에서 측정할 때 P와 Q가 운동을 한다. 따라서 A의 관성계에서 측정한 P의 속력은  $0.6c$ 이다.

3 (1) P의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 고유 길이이고, A의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 수축된 길이이다.

(2) P의 관성계에서 A는 등속도 운동을 하므로, P의 관성계에서 A에서의 시간은 P에서의 시간보다 느리게 간다.

(3) 빛의 속력은 관찰자 또는 광원의 운동 상태에 관계없이  $c$ 로 같다.

(4) P의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 6광년이고, A의 속력은  $0.6c$ 이므로 A가 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은  $\frac{6\text{광년}}{0.6c} = 10\text{년}$ 이다.

4 (1) A의 관성계에서, P와 Q 사이의 거리는 수축된 길이이므로 6광년보다 작다.

(2) A의 관성계에서, P와 Q의 속력은  $0.6c$ 이고, P와 Q 사이의 거리는 6광년보다 작다. 따라서 A에서 측정할 때 P가 지나는 순간부터 Q가 지나는 순간까지 걸린 시간은 10년보다 작다.

(3) P의 관성계에서, A가 P를 지나는 순간부터 Q를 스쳐 지나갈 때까지 걸린 시간은  $\frac{6\text{광년}}{0.6c} = 10\text{년}$ 이고, Q에서 보낸 빛 신호가 P에 도달할 때까지 걸린 시간은  $\frac{6\text{광년}}{c} = 6\text{년}$ 이다. 따라서 P에서 측정할 때, A가 P를 지나는 순간부터 Q의 빛 신호가 P에 도달할 때까지 걸린 시간은 16년이다.

(4) A에서 측정한 P의 속력과 P에서 측정한 A의 속력은  $0.6c$ 로 같다.

### 내신 만점문제

291쪽~294쪽

- |                   |      |                    |         |         |      |
|-------------------|------|--------------------|---------|---------|------|
| 01 ①              | 02 ③ | 03 ⑤               | 04 ㄱ, ㄴ | 05 ④    | 06 ① |
| 07 $\frac{6}{7}c$ | 08 ④ | 09 ⑤               | 10 ②    | 11 ㄱ, ㄷ | 12 ⑤ |
| 13 ㄱ, ㄴ           | 14 ③ | 15 ㉠ 느리게, ㉡ 특수 상대성 |         |         |      |
| 16 해설 참조          | 17 ③ |                    |         |         |      |

01 동쪽을 (+)방향으로 정하면 A의 속도  $v_A = +80\text{ km/h}$ , B의 속도  $v_B = -80\text{ km/h}$ , C의 속도  $v_C = +100\text{ km/h}$ 이다.

ㄱ. A에 대한 B의 상대 속도는  $v_{AB} = v_B - v_A = -80\text{ km/h} - (+80\text{ km/h}) = -160\text{ km/h}$ 이므로 서쪽으로  $160\text{ km/h}$ 이다.

(바로알기) ㄴ. A에 대한 C의 상대 속도는

$v_{AC} = v_C - v_A = +100\text{ km/h} - (+80\text{ km/h}) = +20\text{ km/h}$ 이므로 동쪽으로  $20\text{ km/h}$ 이다.

ㄷ. 앞서가는 C의 속력이 A의 속력보다 크므로 A와 C 사이의 거리는 점점 멀어진다.

02 ㄱ. 정지 또는 등속도 운동을 하는 좌표계는 관성계이므로 등속도 운동을 하는 엘리베이터 안의 A의 좌표계는 관성계이다.

ㄴ. A는 자신과 엘리베이터가 정지해 있다고 생각한다. 따라서 물체를 들고 있다가 가만히 놓으면 물체가 자유 낙하 운동을 하는 것으로 관찰한다.

(바로알기) ㄷ. 상대성 원리에 따르면 모든 관성계에서 물리 법칙은 동일하게 성립한다. A와 B의 좌표계는 모두 관성계이므로 B가 관찰할 때에도 물체의 운동은 뉴턴 운동 법칙이 적용된다.

### 03 ———— 곱셈 문제 분석

관성계에서 물리 법칙은 동일하게 적용된다.

→ "정지해 있거나 등속도 운동을 하는 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다."



A의 관성계에서 P는 등속도 운동을 하고, B의 관성계에서 P는 정지해 있다.

ㄱ. B의 관성계에서 P는 정지해 있으므로 P에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄷ. A의 관성계에서 P의 속력은  $10\text{ m/s}$ 이고, B의 관성계에서 P는 정지해 있다. 따라서 P의 속력은 A의 관성계에서보다 크다.

(바로알기) ㄴ. A의 관성계에서 P는 등속도 운동을 하므로 P에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 실이 P를 당기는 힘의 크기는 A의 관성계에서와 B의 관성계에서 모두 P에 작용하는 중력의 크기와 같다.

04 ㄱ. 모든 관성계에서 물리 법칙은 동일하게 성립한다. 따라서 A의 관성계에서와 B의 관성계에서 모두 운동량 보존 법칙이 성립하므로 A의 관성계에서 P와 Q의 운동량의 총합은 (가)에서와 (나)에서가 같다.

ㄴ. B의 관성계에서 P와 Q가 충돌한 후 한 덩어리가 되었을 때 Q의 속력을  $v$ 라 하고, 운동량 보존 법칙을 적용하면,  $2 \times 5 = (2+3)v$ 에서  $v=2$  m/s이다. (나)의 A의 관성계에서 버스의 속력은 5 m/s이므로 Q의 속력은 2 m/s+5 m/s=7 m/s이다.  
**바로알기** ㄷ. B의 관성계에서 P의 운동량의 크기는 (가)에서는  $2 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s} = 10 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이고, (나)에서는 P의 속력이 2 m/s이므로  $2 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s} = 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

**05** 광속 불변 원리에 따라 광원이나 관찰자의 속력에 관계없이 빛의 속력은 항상 30만 km/s로 일정하다.

**06** ㄱ. A의 관성계에서 B가 탄 우주선의 속력은  $0.9c$ 이므로 B의 관성계에서 A의 속력은  $0.9c$ 이다.

**바로알기** ㄴ. 빛의 속력은 관성계의 운동에 관계없이  $c$ 로 일정하다.  
 ㄷ. A의 관성계에서 B는  $0.9c$ 의 속력으로 운동한다. 따라서 A의 관성계에서 B의 시간은 A의 시간보다 느리게 간다.

**07** A의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 6광년이므로 우주선이 P를 지나는 순간 방출한 빛이 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 6년이다. A의 관성계에서 우주선이 P를 지나는 순간 방출한 빛은 우주선보다 1년 먼저 Q에 도달하므로 우주선이 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 7년이다. 따라서 A의 관성계에서 우주선의 속력은  $\frac{6\text{광년}}{7\text{년}} = \frac{6}{7}c$ 이다.

**08** ㄱ. A의 관성계에서 우주선의 길이는 고유 길이이므로 우주선의 길이는  $L$ 보다 크다.

ㄷ. B의 관성계에서 A는 운동하고 있으므로 A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다.

**바로알기** ㄴ. B의 관성계에서 우주선의 길이는  $L$ 이므로  $T = \frac{L}{0.8c}$ 이다. A의 관성계에서 우주선의 길이는  $L$ 보다 크고, 기준선의 속력은  $0.8c$ 이다. 따라서 A의 관성계에서 기준선이 우주선의 앞을 지난 순간부터 뒤를 지날 때까지 걸린 시간은  $T$ 보다 크다.

**09** ㄴ. A는 막대에 대해 운동하고 있으므로 A가 측정한 막대의 길이는 수축된 길이이다. 따라서 A가 측정한 막대의 길이는  $L$ 보다 작다.

ㄷ. B의 관성계에서 A는 운동하고 있으므로 B가 측정할 때 A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다.

**바로알기** ㄱ. B에 대해 막대는 정지해 있으므로 B가 측정한 막대의 길이는 고유 길이이다. 따라서 막대의 고유 길이는  $L$ 이다.

**10** ㄴ. A의 관성계에서 광원에서 나온 빛이 진행되는 방향은 우주선의 운동 방향과 반대이다. B의 관성계에서 광원과 검출기는 정지해 있다. 따라서 광원에서 나온 빛이 검출기에 도달할 때까지 걸린 시간은 A의 관성계에서보다 B의 관성계에서보다 작다.

**바로알기** ㄱ. B의 관성계에서 광원과 검출기 사이의 거리는 고유 길이이다. A의 관성계에서 광원과 검출기 사이의 거리는 수축된 길이이므로 광원과 검출기 사이의 거리는 A의 관성계에서보다 작다.

ㄷ. 광원에서 나온 빛의 속력은 관찰자의 운동에 관계없이  $c$ 로 일정하다.

**11** **꼼꼼 문제 분석**

빛 시계에 대해 운동하고 있는 B가 측정한 시간은 팽창된 시간이다.

구분	빛이 왕복하는 데 걸리는 시간	빛이 왕복하는 동안 진행한 거리
A	$T_A \rightarrow$ 고유 시간 $L_A$	
B	$T_B$	$L_B$

빛 시계에 대해 정지해 있다. 따라서 A가 측정한 시간은 고유 시간이다.

ㄱ. A의 관성계에서 빛이 왕복하는 데 걸리는 시간인  $T_A$ 는 고유 시간이다. 따라서  $T_A < T_B$ 이다.

ㄷ.  $\frac{L_A}{T_A} = \frac{L_B}{T_B} = c$ 이다.

**바로알기** ㄴ. A의 관성계에서 빛은 연직 방향으로 왕복하고 B의 관성계에서 빛은 대각선 경로로 운동한다. 따라서  $L_A < L_B$ 이다.

**12** ㄱ. 광원과 P를 잇는 직선은 우주선의 운동 방향과 수직이므로 B의 관성계에서 광원과 P 사이의 거리는 길이 수축 효과가 나타나지 않는다. 따라서 광원과 P 사이의 거리는 A의 관성계에서와 B의 관성계에서가 같다.

ㄴ. A의 관성계에서 빛은 연직 방향으로 이동하며, B의 관성계에서 빛은 대각선 방향으로 이동한다. 따라서 광원에서 방출된 빛이 P까지 진행한 거리는 A의 관성계에서보다 B의 관성계에서보다 작다.

ㄷ. 광원에서 방출된 빛의 속력은 A의 관성계에서와 B의 관성계에서가 같다. 광원에서 방출된 빛이 P에 도달할 때까지 빛이 진행한 거리는 B의 관성계에서보다 A의 관성계에서보다 크다. 따라서 B의 관성계에서 광원에서 방출된 빛이 P까지 도달하는 데 걸린 시간은  $T$ 보다 크다.

**13** ㄱ. A의 관성계에서 속력은 B가 C보다 크다. 따라서 A의 속력은 B의 관성계에서 C의 관성계에서보다 크다.

ㄴ. A의 관성계에서 속력은 B가 C보다 크므로 A의 관성계에서 B의 시간은 C의 시간보다 느리게 간다.

**바로알기** ㄷ. 우주선의 길이가 수축된 정도는 B가 C보다 크다. A의 관성계에서 B와 C의 길이는 같으므로 우주선의 고유 길이는 B가 C보다 크다.

**14** ㄱ. O에서 방출된 빛이 P, Q를 향해 진행하는 속력은 같다. B의 관성계에서 P, O, Q는 정지해 있고, O에서 방출된 빛은 P, Q에 동시에 도달하므로  $L_P = L_Q$ 이다.

ㄴ. B의 관성계에서 P와 Q 사이의 고유 길이는  $L_P + L_Q$ 이다. A의 관성계에서 B가 탄 우주선은 운동하고 있으므로 길이 수축 현상이 나타난다. 따라서 A의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는  $L_P + L_Q$ 보다 작다.

**바로알기** ㄷ. 우주선은 등속도 운동을 하므로 O와 P 사이의 거리가 수축된 정도와 O와 Q 사이의 거리가 수축된 정도는 같다. 따라서 A의 관성계에서 O와 P 사이의 거리와 O와 Q 사이의 거리는 같다.

**15** GPS 위성은 14000 km/h의 속력으로 운동하므로 지표면에서 측정할 때, GPS 위성에서의 시간이 지표면에서보다 ㉠ 느리게 간다. 이렇게 지표면과 GPS 위성 사이에 시간의 차이가 나는 것은 ㉡ 특수 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

**16** **모범 답안** ㉠ 뮤온의 좌표계: 뮤온의 좌표계에서는 길이 수축이 일어나므로 뮤온이 생성된 지점의 높이는 뮤온의 좌표계에서가 지표면의 좌표계에서보다 작다. 따라서 뮤온이 지표면에서 발견될 수 있다.

㉡ 지표면의 좌표계: 지표면의 좌표계에서 뮤온은 운동하고 있으므로 시간 팽창 효과가 나타난다. 따라서 뮤온의 평균 수명은 지표면의 좌표계에서가 뮤온의 좌표계에서보다 길므로 뮤온이 지표면에서 발견될 수 있다.

채점 기준	배점
㉠과 ㉡에 대해서 모두 옳게 서술한 경우	100 %
㉠과 ㉡ 중 한 가지에 대해서만 옳게 서술한 경우	50 %

**17** A. 빠른 속력으로 공전하는 인공위성의 시간은 지표면의 시간과 다르게 흐른다. 특수 상대성 이론은 이 차이를 보정할 수 있게 해주었고, 위성 항법 시스템이 등장할 수 있게 되었다.

B. 시간과 공간에 대한 새로운 이해는 많은 사람에게 영감을 일으켜서 창의적인 예술품, 영화, 게임 등을 창작할 수 있게 하였다.

**바로알기** C. 과거에는 지구 둘레를 참고하여 만든 미터원기의 길이로 1 m를 정의하여 사용했었지만, 현재는 빛의 속력을 이용하여 1 m를 정의하고 있다.

**실력 UP 문제**

295쪽

01 ㉡ 02 ㉣ 03 ㉤ 04 ㉤

**01** 0초일 때, A가 p로부터 떨어진 거리는 40 m이고 B가 p로부터 떨어진 거리는 30 m이다. A와 B는 p에서 만나므로 속력은 A가 B의  $\frac{4}{3}$ 배이다. 따라서 0초일 때 A의 속력은 4 m/s이고 B의 속력은 3 m/s이므로 B에 대한 A의 속력은  $4 \text{ m/s} - 3 \text{ m/s} = 1 \text{ m/s}$ 이다.

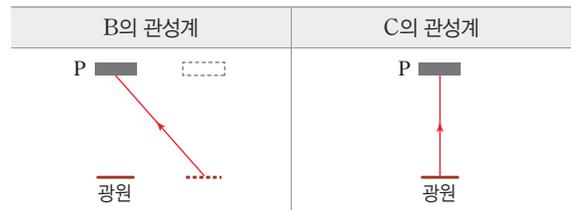
**02** ㄱ. A의 관성계에서 P, Q, R는 정지해 있으므로 P와 Q, Q와 R 사이의 거리는 고유 길이이다. 따라서 P와 Q 사이의 거리는 A의 관성계에서 B의 관성계에서보다 크다.

ㄷ. B의 관성계에서 Q, R의 속력은  $0.9c$ 이다. Q와 R 사이의 거리는 B의 관성계에서 A의 관성계에서보다 작다. 따라서 B의 관성계에서 Q가 지나간 순간부터 R가 지날 때까지 걸린 시간은 T보다 작다.

**바로알기** ㄴ. A의 관성계에서 P와 Q, Q와 R 사이의 거리는 같으므로 B의 관성계에서 P와 Q, Q와 R 사이의 길이가 수축된 정도는 같다. 따라서 B의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 Q와 R 사이의 거리와 같다.

**03** **꼼꼼 문제 분석**

B, C의 관성계에서 각각 관측한 광원에서 방출된 빛의 진행 방향은 다음과 같다.



B의 관성계에서 C가 탄 우주선은 등속도 운동을 하므로 광원에서 방출된 빛의 진행 방향은 대각선 방향이다. C의 관성계에서 광원과 P는 정지해 있다. 따라서 광원에서 방출된 빛이 P까지 진행한 거리는 B의 관성계에서가 C의 관성계에서보다 크다.

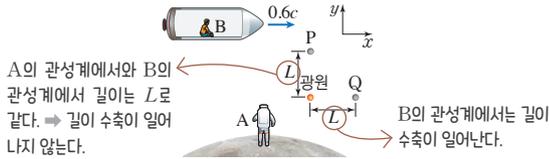
ㄱ. A의 관성계에서 B가 탄 우주선의 속력은 C가 탄 우주선의 속력보다 작으므로 우주선 길이가 수축된 정도는 B가 탄 우주선이 C가 탄 우주선보다 작다. B, C가 탄 우주선의 고유 길이는 같으므로 A의 관성계에서 B가 탄 우주선의 길이는 C가 탄 우주선의 길이보다 크다.

ㄴ. A의 관성계에서 B, C가 탄 우주선의 운동 방향은 서로 반대이므로 C의 속력은 B의 관성계에서 A의 관성계에서보다 크다.

따라서 광원에서 방출된 빛이 P에 도달할 때까지 진행한 거리는 B의 관성계에서 A의 관성계에서보다 크다.

ㄷ. B의 관성계에서 C가 탄 우주선의 광원에서 방출된 빛의 진행 방향은 대각선 방향이다. 따라서 광원에서 방출된 빛이 P에 도달할 때까지 진행한 거리는 B의 관성계에서 C의 관성계에서보다 크다. 빛의 속력은 B의 관성계에서와 C의 관성계에서가 같으므로  $t_B > t_C$ 이다.

**04** — **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. A의 관성계에서 광원과 P를 잇는 직선은 B가 탄 우주선의 운동 방향에 대해 수직이고, 광원과 Q를 잇는 직선은 B가 탄 우주선의 운동 방향과 나란하다. 따라서 B의 관성계에서 광원과 P 사이의 거리는 길이 수축이 일어나지 않고, 광원과 Q 사이의 거리는 길이 수축이 일어난다. 그러므로 B의 관성계에서 광원과 P 사이의 거리는 광원과 Q 사이의 거리보다 크다.

ㄴ. B의 관성계에서 A, 광원, P, Q는  $0.6c$ 의 속력으로 운동한다. B의 관성계에서 광원에서 방출된 빛이 P에 도달할 때까지 빛은 대각선 방향으로 진행하므로 빛이 진행한 거리는  $L$ 보다 크다. 따라서 B의 관성계에서 광원에서 방출된 빛이 P에 도달할 때까지 걸린 시간은  $\frac{L}{c}$ 보다 크다.

ㄷ. A의 관성계에서 광원에서 방출된 빛이 Q에 도달할 때까지 진행한 거리는  $L$ 이다. B의 관성계에서 Q는 광원에서 방출된 빛과 가까워지는 방향, 즉  $-x$  방향으로 운동하므로 광원에서 방출된 빛이 Q에 도달할 때까지 진행한 거리는  $L$ 보다 작다. 따라서 광원에서 방출된 빛이 Q에 도달할 때까지 걸린 시간은 A의 관성계에서 B의 관성계에서보다 크다.

**중단원 핵심 정리**

296쪽~297쪽

- ① 백색광
- ② 방출
- ③ 흡수
- ④ 양자화
- ⑤ 좋다
- ⑥ 부도체
- ⑦ 반도체
- ⑧ 공유 결합
- ⑨ 양공
- ⑩ 관성
- ⑪ 물리 법칙
- ⑫ 빛
- ⑬ 느리게
- ⑭ 운동 방향

**중단원 마무리 문제**

298쪽~301쪽

- 01 ④
- 02 ②
- 03 ②
- 04 궤도의 에너지 준위 차이
- 05 ③
- 06 ②
- 07 ①
- 08 ③
- 09 ④
- 10 ⑤
- 11 ③
- 12 ㄱ
- 13 ①
- 14 ㄱ, ㄴ, ㄷ
- 15 ②
- 16 해설 참조
- 17 해설 참조
- 18 해설 참조

**01** — **꼼꼼 문제 분석**

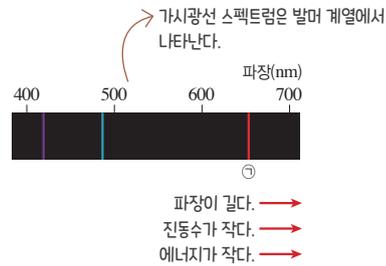


ㄱ. 백색광은 모든 파장의 빛이 섞여 있는 빛을 말하며, 햇빛, 백열등 등에서 나오는 빛이 대표적인 백색광이다.

ㄷ. 전자의 에너지 준위가 양자화되어 있다는 보어 원자 모형을 통해 선 스펙트럼을 설명할 수 있다.

**바로알기** ㄴ. 러더퍼드 원자 모형은 원자핵의 존재를 최초로 밝혀냈으며, 태양계 모형과 유사한 원자 모형을 주장하였다. 하지만 기체에서 방출된 빛의 선 스펙트럼을 설명하지 못하는 한계가 있었다.

**02** — **꼼꼼 문제 분석**



ㄷ. 흡수 스펙트럼과 방출 스펙트럼의 스펙트럼 선은 같은 위치(파장)에서 나타난다. 따라서 백색광을 수소 기체 방전관에 통과시키면 파장이 656 nm인 곳에 검은색 흡수선이 나타난다.

**바로알기** ㄱ, ㄴ. ①은 파장이 가장 길므로 발머 계열에서 에너지가 가장 작은 빛이다. 따라서  $n=3$ 에서  $n=2$ 로 전이할 때 방출된 빛이다.

**03** ① 보어 원자 모형에서 전자는 원자핵 주위를 회전하며, 러더퍼드 원자 모형과의 차이점은 불연속적인 특정한 궤도에서만 안정적으로 원운동을 한다는 것이다.

③, ④, ⑤ 보어 원자 모형에서 전자의 에너지 준위는 양자화되어 있으며, 전자가 전이할 때 에너지 준위 차이만큼의 빛을 방출하거나 흡수한다. 이를 통해 수소 원자의 방출 스펙트럼을 정확히 설명할 수 있다.

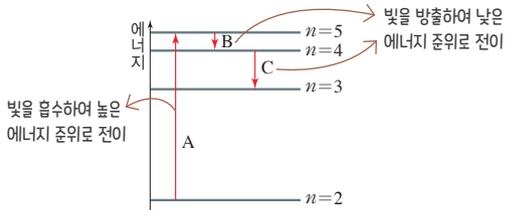
**바로알기** ② 보어의 원자 모형은 수소 원자의 선 스펙트럼을 정확히 설명할 수 있지만, 전자가 2개 이상인 다전자 원자의 경우 전자 사이의 상호작용을 고려하지 않는 등의 한계점으로 인해 정확히 설명할 수 없었다. 즉, 보어의 원자 모형은 헬륨 원자의 스펙트럼 파장을 정확히 계산할 수 없다.

**04** 전자가 낮은 양자수의 궤도에서 높은 양자수의 궤도로 전이할 때는 에너지를 흡수하며, 높은 양자수의 궤도에서 낮은 양자수의 궤도로 전이할 때는 에너지를 방출한다. 이때 흡수하거나 방출하는 빛의 에너지는 전이하기 전후 궤도의 에너지 준위 차이와 같다.

**05** ① 전자는 원자핵에 가까울수록 안정하며, 양자수  $n=1$ 인 바닥상태일 때 가장 안정하다.

**바로알기** ③ 광자가 방출될 때는 전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이할 때이다. 전자가 특정 궤도를 돌 때에는 광자를 방출하지 않는다.

**06** **꼼꼼 문제 분석**

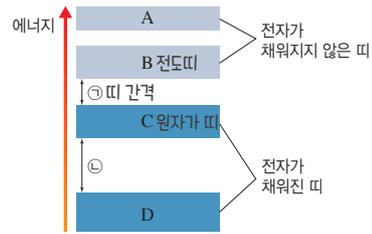


ㄷ. A, B, C에서 방출 또는 흡수하는 빛의 에너지를 각각  $E_A$ ,  $E_B$ ,  $E_C$ 라고 하면  $E_A = E_3 - E_2$ ,  $E_B = E_4 - E_3$ ,  $E_C = E_5 - E_3$ 이다.  $n=3$ 에서  $n=2$ 인 궤도로 전이하는 빛의 에너지는  $E_3 - E_2 = E_A - E_B - E_C$ 이므로, 이 빛의 진동수는  $f_A - f_B - f_C$ 이다.

**바로알기** ㄱ. 낮은 에너지 준위에서 높은 에너지 준위로 전이하는 A에서는 빛을 흡수하고, 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이하는 B, C에서는 빛을 방출한다.

ㄴ. 광자의 에너지는  $E_{\text{광자}} = \frac{hc}{\lambda}$ 이므로 광자의 에너지가 클수록 빛의 파장이 짧다. A에서 방출하는 빛의 에너지가 가장 크므로 A에서 방출하는 빛의 파장이 가장 짧다.

**07** **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. ㉠, ㉡은 모두 띠 간격이며, 전자가 존재할 수 없는 영역이다.

**바로알기** ㄴ. 기체 전자의 에너지 준위는 에너지띠로 나타나지 않는다. 에너지띠의 구조는 고체에서 나타난다.

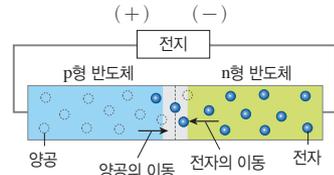
ㄷ. ㉢은 전자가 채워진 띠 사이의 띠 간격이다. 고체의 전기 전도성을 결정하는 요인은 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격인 ㉠이다.

**08** ㄱ. 전도띠는 원자가 띠보다 높은 에너지 준위가 모여서 생긴 에너지띠이므로 전도띠에 있는 전자는 모두 원자가 띠에 있는 전자보다 에너지 준위가 높다.

ㄴ. 원자가 띠에 남아 있는 전자는 양공을 채우면서 이동하고, 원래 있던 자리에 양공을 만든다. 이러한 과정이 연쇄적으로 일어나면서 원자가 띠에 있는 전자와 양공이 고체 내부에서 움직인다.

**바로알기** ㄷ. 양공에 전자가 연쇄적으로 채워지는 과정을 통해 양공도 고체 내부에서 움직이며, 이 때문에 양공도 전기 전도성에 영향을 주는 전하 나르개 중 하나이다.

**09** **꼼꼼 문제 분석**



접합면에서 양공과 전자가 결합하므로 순방향 연결  
 ➔ p형 반도체는 (+)극 쪽에, n형 반도체는 (-)극 쪽에 연결

ㄱ. 순방향 전압 연결일 때는 p형 반도체의 양공과 n형 반도체의 전자가 접합면을 향해 이동하여 접합면 부근에서 만나 소멸한다. 따라서 그림에 제시된 상황은 순방향 전압 연결 상태이다.

ㄴ. 접합면에서 양공과 전자가 만나 소멸하면 p형 반도체 영역에는 음(-)이온이, n형 반도체 영역에는 양(+)이온이 남게 되므로 접합면에서 전기장의 방향은 n형 반도체에서 p형 반도체를 향하는 방향이 된다.

**바로알기** ㉔. 역방향 전압 연결일 때는 순방향 전압 연결과는 반대로 p형 반도체의 양공과 n형 반도체의 전자가 전원 장치의 극을 향해 이동하므로 접합면으로부터 멀어진다.

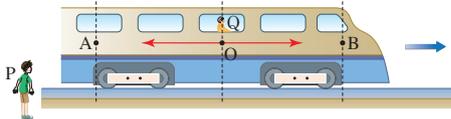
**10** ㄱ, ㉔. 리모컨에서 나오는 적외선은 발광 다이오드(LED)에서 나오는 빛이다. 리모컨에서 적외선 신호를 방출하므로 TV의 신호 수신부에서는 적외선을 흡수하여 전기 신호를 만드는 광다이오드가 사용된다.

㉔. 발광 다이오드(LED)는 띠 간격에 해당하는 에너지를 빛의 형태로 방출한다. 빨간색 광자의 에너지가 파란색 광자의 에너지보다 작으므로 빨간색 LED의 띠 간격이 더 작다.

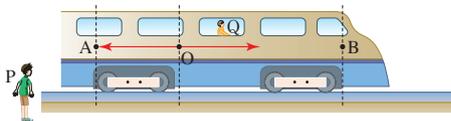
**11** 동쪽을 (+)방향으로 하고 지면에 대한 기차의 속도를  $v_{\text{기차}} = +60 \text{ km/h}$ , 자동차의 속도를  $v_{\text{자동차}}$  라고 하자. 기차에 타고 있던 관찰자가 측정한 맞은편 도로의 자동차의 속도가 서쪽으로  $140 \text{ km/h}$ 이므로  $v_{\text{자동차}} - v_{\text{기차}} = v_{\text{자동차}} - (+60 \text{ km/h}) = -140 \text{ km/h}$ 이다. 따라서  $v_{\text{자동차}} = -80 \text{ km/h}$ 이므로 지면에 대한 자동차의 상대 속도는 서쪽으로  $80 \text{ km/h}$ 이다.

**12** **품목 문제 분석**

① P가 측정할 때 기차는 오른쪽으로 움직인다.



② 그 결과 A는 레이저 빛이 처음 출발한 지점에 접근하고, B는 멀어진다.



ㄱ. Q가 측정할 때, 레이저 빛의 속력은 어느 방향으로나 같고, O와 A, O와 B 사이의 거리가 같으므로 레이저 빛은 A와 B에 동시에 도착한다.

**바로알기** ㉔. P가 측정할 때에도 레이저 빛의 속력은 어느 방향으로나 같지만, 기차가 오른쪽으로 움직이므로 A는 처음 레이저 빛이 출발한 지점에 가까워지고 B는 멀어진다. 따라서 B에 비해 더 가까운 A에 레이저 빛이 먼저 도착하는 것으로 보인다.

㉔. 관성계에서 레이저 빛의 속력은 광원이나 관찰자의 운동 상태에 관계없이 항상 같다.

**13** ㉔. A에서의 시간 팽창의 효과는 C의 관성계에서 B의 관성계에서보다 크다. 따라서  $t_B < t_C$ 이다.

**바로알기** ㄱ. A가 탄 우주선의 속력은 B의 관성계에서 C의 관성계에서보다 작다. 따라서 우주선의 길이 수축 효과는 C의 관성계에서 B의 관성계에서보다 크므로 우주선의 길이는 B의 관성계에서 C의 관성계에서보다 크다.

㉔. 광원에서 방출된 빛의 속력은 B의 관성계에서와 C의 관성계에서 같고  $t_B < t_C$ 이므로 광원에서 방출된 빛이 거울에서 반사되어 다시 광원으로 되돌아올 때까지 진행한 거리는 B의 관성계에서 C의 관성계에서보다 작다.

**14** ㄱ. 우주선의 길이는 P에서 Q에서보다 작으므로 길이가 수축된 정도는 P에서 Q에서보다 크다. 따라서 우주선의 속력은 P에서 Q에서보다 크다.

㉔. B의 관성계에서 광원과 바닥 사이의 거리는 P에서와 Q에서 같다. 빛의 속력은 P에서와 Q에서 같으므로  $t_P = t_Q$ 이다.

㉔. 우주선이 Q에서 운동할 때, 광원에서 나온 빛이 바닥에 도달할 때까지 진행한 거리는 A의 관성계에서 B의 관성계에서보다 크다. 따라서 우주선이 Q에서 운동할 때, A의 관성계에서 광원에서 나온 빛이 바닥에 도달할 때까지 걸린 시간은  $t_Q$ 보다 크다.

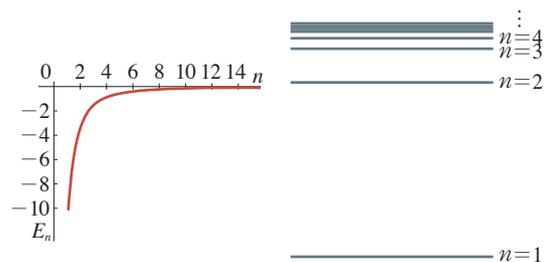
**15** ㉔. P와 Q 사이의 거리는 A의 관성계에서 B의 관성계에서보다 작다. 따라서 A의 관성계에서 P에서 Q까지 이동하는데 걸린 시간은  $T$ 보다 작다.

**바로알기** ㄱ. P와 Q 사이의 고유 길이는 B의 관성계에서 측정된 길이인  $L$ 이다. 따라서 A의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는  $L$ 보다 작다.

㉔. A의 관성계에는 B가 운동하므로 A의 시간은 B의 시간보다 빠르게 간다.

**16** 수소 원자의 에너지 준위를 나타내는 식  $E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV}$

를 그래프로 나타내면 다음과 같다. 양자수  $n$ 이 커질수록  $E_n$ 의 변화가 작아지는 것을 알 수 있다.



에너지 준위 그래프

에너지 준위

이 때문에  $n$ 이 큰 부분에서는 에너지 준위 사이의 간격이 매우 좁게 형성되는 것을 볼 수 있다. 따라서 같은 계열의 빛 중에서 에너지가 큰 빛일수록 스펙트럼에서 촘촘하게 모여 있는 것이다.

**모범 답안** 수소 원자 전자의 에너지 준위는  $E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV}$ 이므로 양자 수  $n$ 이 커질수록  $\frac{1}{n^2}$  항의 변화가 작아져 에너지 준위 사이의 간격이 촘촘해진다. 따라서 높은 양자수에서 전이할수록 방출되는 광자의 에너지 차이도 작아져 스펙트럼 선 사이의 간격이 좁아진다.

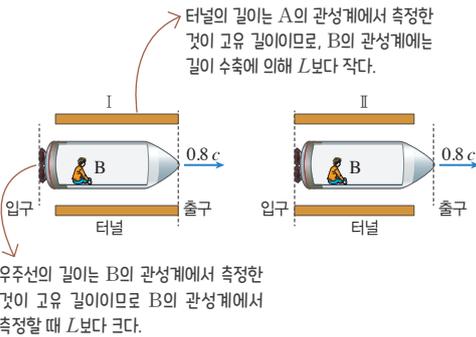
채점 기준	배점
에너지 준위를 나타내는 식의 특징을 언급하고 스펙트럼 선 사이 간격이 좁아지는 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
에너지 준위를 나타내는 식의 특징만 언급한 경우	50 %

**17** **모범 답안** 확산이 일어날 때 p형 반도체는 양공이 소멸하여 고정된 음(-)이온만 남게 되고 n형 반도체는 자유 전자가 소멸하여 고정된 양(+)이온만 남게 된다. 그 결과 고정된 이온들에 의해 n형 반도체에서 p형 반도체 방향으로 전기장이 형성되어 전자가 접합면을 넘어 이동할 수 없게 된다.

채점 기준	배점
접합면에서 전기장이 형성되는 과정과 전기장에서 전자가 받는 힘의 방향을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
접합면에서 전기장이 형성되는 과정만 옳게 서술한 경우	50 %
'전기장이 형성되어서'라고만 서술한 경우	30 %

**18** **꼼꼼 문제 분석**

B의 관성계에서 관찰하는 모습은 다음과 같다.



**모범 답안** B의 관성계에서 터널의 길이는  $L$ 보다 작고 우주선의 길이는  $L$ 보다 크다. 따라서 터널의 출구가 우주선의 앞쪽 끝을 지나는 사건(Ⅰ) 이후에 터널의 입구가 우주선의 뒤쪽 끝을 지나는 사건(Ⅱ)이 발생한다.

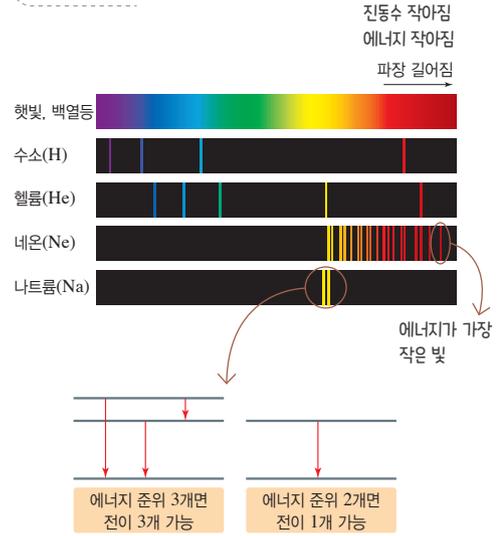
채점 기준	배점
까닭과 함께 순서를 옳게 서술한 경우	100 %
순서만 옳게 쓴 경우	50 %

**중단원 고난도 문제**

302쪽~303쪽

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

**01** **꼼꼼 문제 분석**



**선택지 분석**

- ✗ 나트륨(Na) 원자의 전자가 가질 수 있는 에너지 준위는 총 2개이다. **최소 3개**
- 관찰된 스펙트럼 중에서 에너지가 가장 작은 빛을 내는 원소는 네온(Ne)이다.
- 각 원소는 고유한 스펙트럼을 가지므로 스펙트럼을 통해 방전관 속 기체를 구분할 수 있다.

**전략적 풀이** ① 나트륨(Na)의 스펙트럼을 분석한다.

ㄱ. 나트륨(Na) 기체 방전관에서 나오는 빛의 스펙트럼은 가시광선 영역에서 두 개의 선으로 나타난다. 이는 에너지가 다른 전자의 전이가 두 개 있다는 것을 의미하며, 최소한 3개의 에너지 준위가 있어야 두 개의 서로 다른 전이가 가능하므로 보기 ㄴ은 옳지 않다.

② 스펙트럼을 파장별로 분석하여 빛의 에너지를 판단한다.

ㄴ. 가시광선은 보라색에서 빨간색으로 갈수록 파장은 길어지고 에너지는 작아진다.

가장 에너지가 작은 빛을 내는 원소를 찾으려면 파장이 가장 긴 빛을 내는 원소를 찾으면 되는데, 네온(Ne)이 파장이 가장 긴 빨간색 빛을 낸다는 것을 확인할 수 있다.

ㄷ. 관찰 결과에서도 볼 수 있듯이 스펙트럼은 원소마다 고유한 패턴을 가지므로 스펙트럼을 통해 방전관 속 기체를 구분할 수 있다.

02 - 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- A에 속한 빛은 모두 가시광선이다. -가시광선을 일부 포함
- 파센 계열의 빛은 라이먼 계열의 빛보다 파장이 길다.
- 라이먼 계열은 양자수가 2보다 큰 궤도에서 양자수가 1인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛이다.

전략적 풀이 ① 스펙트럼을 분석한다.

ㄱ. A는 라이먼 계열과 파센 계열 사이에 있으므로 발머 계열이다. 계열을 구분하는 기준은 전자 전이의 최종 상태이며, 발머 계열은 최종 상태가 양자수  $n=2$ 일 때이다.  $n=3, 4, 5, 6$ 에서  $n=2$ 로 전이하는 4개의 전자 전이에서 가시광선이 방출되고, 전자가  $n \geq 7$ 인 궤도에서  $n=2$ 로 전이할 때는 자외선이 방출된다. 이처럼 발머 계열은 가시광선을 일부 포함하는 빛들로 구성되어 있으므로 모두 가시광선이라는 설명은 옳지 않다.

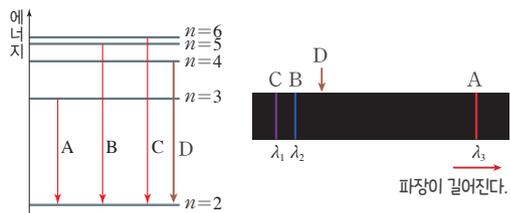
② 수소 원자 스펙트럼에서 계열을 구분하는 기준을 이해한다.

ㄴ. 파센 계열은 전자 전이의 최종 상태가  $n=3$ 인 전이에서 방출되는 빛들이며, 파센 계열은 적외선으로 구성되어 있어 자외선으로 구성된 라이먼 계열보다 파장이 길다.

ㄷ. 수소 원자 스펙트럼에서 계열의 구분은 전자 전이의 최종 상태에 따라 결정된다.

구분	전자 전이	빛의 파장 영역
라이먼 계열	$n \geq 2 \rightarrow n=1$	자외선
발머 계열	$n \geq 3 \rightarrow n=2$	가시광선을 포함
파센 계열	$n \geq 4 \rightarrow n=3$	적외선

03 - 꼼꼼 문제 분석



(가)  
에너지:  $A < D < B < C$   
파장:  $A > D > B > C$

(나)

선택지 분석

- A에서 방출되는 빛의 파장은  $\lambda_1$ 이다.  $\lambda_3$
- $n=2$ 인 궤도에 있는 전자는  $\frac{hc}{\lambda_2}$ 의 에너지를 흡수할 수 있다.
- $n=4$ 인 궤도에서  $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛의 파장은  $\lambda_2$ 보다 길고  $\lambda_3$ 보다 짧다.

전략적 풀이 ① (가)의 전이 A, B, C와 (나)의 스펙트럼 선을 대응시킨다.

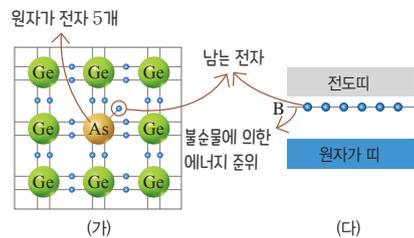
ㄱ. (가)에서 제시된 세 개의 전이와 (나)의 스펙트럼 선이 서로 대응되므로 광자의 에너지  $E_{\text{광자}} = \frac{hc}{\lambda}$ 를 이용하여 각 전이에서 방출되는 빛의 파장을 알 수 있다. 에너지가 클수록 파장이 짧으므로 가장 에너지가 작은 전이인 A에서 가장 긴 파장의 빛이 방출된다. 따라서 A에서 방출되는 빛의 파장은  $\lambda_3$ 이다.

② 전자의 전이 과정에서 흡수 또는 방출하는 빛의 에너지를 구한다.

ㄴ. B는  $n=5$ 에서  $n=2$ 로 전이하므로 이때 방출하는 빛의 에너지는  $E_5 - E_2 = \frac{hc}{\lambda_2}$ 이다. 따라서  $n=2$ 인 궤도에 있는 전자는 에너지가  $\frac{hc}{\lambda_2}$ 인 빛을 흡수하면  $n=5$ 인 궤도로 전이할 수 있다.

ㄷ.  $n=4$ 인 궤도에서  $n=2$ 인 궤도로 전이하는 것을 전이 D라고 하고 각 전이에서 방출되는 광자의 에너지를 비교하면  $A < D < B < C$ 이다. 광자의 에너지와 파장은 서로 반비례하므로 파장을 비교하면  $A > D > B > C$ 이다. 따라서 D에서 방출되는 빛의 파장은  $\lambda_2$ 보다 길고  $\lambda_3$ 보다 짧다.

04 - 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- (가)의 에너지띠 구조는 (다)에 해당한다.
- (나)에서 원자가 띠에 있는 전자가 A로 전이하면 양공이 생긴다.
- (다)에서 B에 있는 전자가 전도띠로 전이할 때 양공이 생긴다. 생기지 않는다.

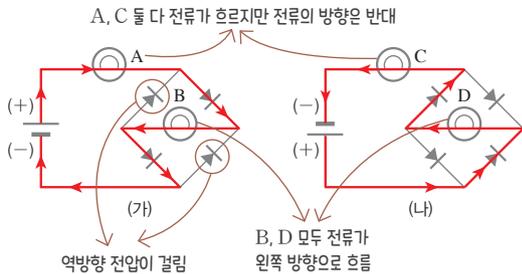
**전략적 풀이 ①** 결정 구조와 전자 배치로부터 (가)의 종류를 알아낸다.  
 ㄱ. (가)는 저마늄(Ge)에 원자가 전자가 5개인 비소(As)를 도핑한 모습으로, 공유 결합에 쓰이지 않은 남은 전자가 1개 있다. 따라서 (가)는 주요 전하 나르개가 전자인 n형 반도체이고, n형 반도체에서 불순물에 의한 에너지 준위는 전도띠 바로 아래에 생긴다. 따라서 (가)의 에너지띠 구조는 (다)에 해당한다.

② 양공이 생기는 과정을 이해한다.

ㄴ. (나)는 p형 반도체의 에너지띠 구조이다. 불순물에 의한 에너지 준위는 원자가 띠 바로 위에 생기므로 원자가 띠에 있는 전자가 불순물의 에너지 준위로 쉽게 전이할 수 있으며, 전자가 전이한 자리에 양공이 생긴다.

ㄷ. (다)는 n형 반도체의 에너지띠 구조이다. 불순물에 의한 에너지 준위는 전도띠 바로 아래에 생기므로 불순물에 의해 생긴 남은 전자가 전도띠로 쉽게 전이할 수 있다. 이 전자는 공유 결합 전자쌍에 있던 전자가 아니므로 전도띠로 전이하더라도 공유 결합을 깨지 않는다. 따라서 이러한 전이에 의해서는 양공이 생기지 않는다.

**05** — **꼼꼼 문제 분석**



**선택지 분석**

- (가)에서 역방향 전압이 연결된 다이오드는 1개이다. 2개
- A에는 전류가 흐르고 C에는 전류가 흐르지 않는다. A, C 모두 전류가 흐른다.
- B와 D에 전류가 흐르는 방향은 서로 같다.

**전략적 풀이 ①** 전지의 극 방향으로부터 순방향, 역방향 전압이 걸린 다이오드를 구분한다.

ㄱ. 다이오드 기호에서 p형 반도체와 n형 반도체는 다음과 같이 구분되며, 전지의 극 방향과 다이오드의 연결 상태를 확인하여 순방향 전압과 역방향 전압을 구분할 수 있다.



(가)에서 전지가 연결된 방향을 볼 때 순방향 전압과 역방향 전압 연결 상태인 다이오드는 각각 2개씩 있다.

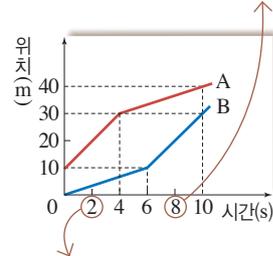
② 다이오드의 정류 작용을 회로에 적용하여 전류의 방향을 알아낸다.  
 ㄴ. 다이오드 기호를 화살표처럼 이해하면 가능한 전류의 방향을 쉽게 알 수 있다.

(가)의 A와 (나)의 C에는 모두 전류가 흐르지만, 전류의 방향은 서로 반대임을 알 수 있다.

ㄷ. B와 D에는 모두 오른쪽에서 왼쪽 방향으로 전류가 흐른다.

**06** — **꼼꼼 문제 분석**

8초일 때, 속력은 A가 B보다 작다. 따라서 A가 측정할 때 B는 A를 향해 운동한다.



2초일 때, 속력은 A가 B보다 크다. 따라서 A가 측정할 때 B는 A에서 멀어지는 방향으로 운동한다.

**선택지 분석**

- A의 속력은 2초일 때가 6초일 때보다 크다.
- A가 측정할 때, B의 운동 방향은 2초일 때와 8초일 때가 같다. 반대이다.
- A에 대한 B의 상대 속도의 크기는 2초일 때와 8초일 때가 같다.

**전략적 풀이 ①** (나)를 통해 A와 B의 속도를 구하고, 속도의 크기를 비교한다.

ㄱ. 위치를 시간에 따라 그래프에서 기울기는 속도이다. 0초부터 4초까지 A의 속도의 크기는  $\frac{20\text{ m}}{4\text{ s}} = 5\text{ m/s}$ 이고, 4초부터 10초까지 A의 속도의 크기는  $\frac{10\text{ m}}{6\text{ s}} = \frac{5}{3}\text{ m/s}$ 이다. 따라서 A의 속력은 2초일 때가 6초일 때보다 크다.

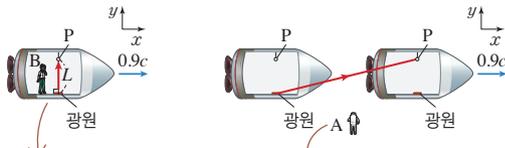
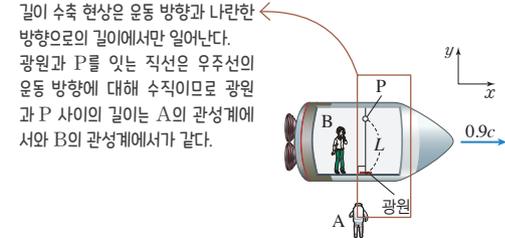
② A와 B의 속도를 통해 A에서 측정할 B의 상대 속도를 구하고 운동 방향을 비교한다.

ㄴ. 0초부터 6초까지 B의 속도의 크기는  $\frac{10\text{ m}}{6\text{ s}} = \frac{5}{3}\text{ m/s}$ 이고, 6초부터 10초까지 B의 속도의 크기는  $\frac{20\text{ m}}{4\text{ s}} = 5\text{ m/s}$ 이다. 2초일 때 속력은 A가 B보다 크고, 8초일 때 속력은 A가 B보다 작다. 따라서 A가 측정할 때, B의 운동 방향은 2초일 때와 8초일 때가 반대이다.

- ㉓ 2초일 때와 8초일 때, A에 대한 B의 상대 속도의 크기를 구한다.  
 2초일 때 A에 대한 B의 상대 속도의 크기는  $\left| \frac{5}{3} \text{ m/s} - 5 \text{ m/s} \right|$   
 $= \frac{10}{3} \text{ m/s}$ 이고, 8초일 때 A에 대한 B의 상대 속도의 크기는  
 $\left| 5 \text{ m/s} - \frac{5}{3} \text{ m/s} \right| = \frac{10}{3} \text{ m/s}$ 이다. 따라서 A에 대한 B의 상대 속도의 크기는 2초일 때와 8초일 때가 같다.

07 **꼼꼼 문제 분석**

길이 수축 현상은 운동 방향과 나란한 방향으로의 길이에서만 일어난다. 광원과 P를 잇는 직선은 우주선의 운동 방향에 대해 수직이므로 광원과 P 사이의 길이는 A의 관성계에서와 B의 관성계에서가 같다.



B의 관성계에서 광원과 P는 정지해 있으므로 광원에서 방출된 빛의 진행 방향은  $+y$ 방향이다.

A의 관성계에서 광원과 P는 등속 운동을 하므로 광원에서 방출된 빛은 대각선 방향으로 진행한다.

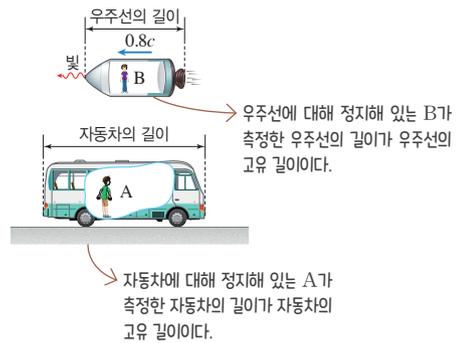
**선택지 분석**

- ㉠ A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛의 속력은  $c$ 이다. L이다.
- ㉡ A의 관성계에서, 광원과 P 사이의 거리는  $L$ 보다 작다. X
- ㉢ 광원에서 방출된 빛이 P에 도달할 때까지 빛의 진행 방향은 A의 관성계에서와 B의 관성계에서가 같다. 다르다.

**전략적 풀이 1** 특수 상대성 이론의 광속 불변 원리를 생각해 본다.

- ㄱ. 광원에서 방출된 빛의 속력은 관찰자의 운동 상태에 관계없이  $c$ 로 일정하다.
- ㉡ 특수 상대성 이론에 의한 길이 수축 현상을 생각해 본다.
  - ㄴ. A의 관성계에서 광원과 P를 잇는 직선은 B가 탄 우주선의 운동 방향에 대해 수직이므로 광원과 P 사이의 거리는 길이 수축이 일어나지 않는다. 따라서 A의 관성계에서 광원과 P 사이의 거리는  $L$ 이다.
- ㉢ 광원에서 방출된 빛의 진행 방향을 A, B의 관성계에서 비교한다. A의 관성계에서 우주선은  $+x$ 방향으로 운동하므로 광원에서 방출된 빛이 P에 도달할 때까지 빛의 진행 방향은 대각선 방향이다. 따라서 광원에서 방출된 빛이 P에 도달할 때까지 빛의 진행 방향은 A의 관성계에서와 B의 관성계에서가 다르다.

08 **꼼꼼 문제 분석**

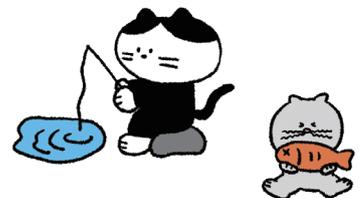


**선택지 분석**

- ㉠  $v_A = v_B$
- ㉡  $L_A < L_B$
- ㉢  $D_A > D_B$

**전략적 풀이 1** 광속 불변의 원리를 생각해 본다.

- ㄱ. 광원에서 방출된 빛의 속력은 관찰자의 운동 상태에 관계없이  $c$ 로 일정하다. 따라서  $v_A = v_B = c$ 이다.
- ㉡ 고유 길이를 측정하는 관찰자를 고르고, 물체의 길이를 고유 길이와 비교한다.
  - ㄴ. B의 관성계에서 우주선은 정지해 있으므로 B의 관성계에서 우주선의 길이는 고유 길이이다. 따라서 우주선의 길이는 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 작다. 즉,  $L_A < L_B$ 이다.
  - ㄷ. A의 관성계에서 자동차는 정지해 있으므로 A의 관성계에서 자동차의 길이는 고유 길이이다. 따라서 자동차의 길이는 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 크다. 즉,  $D_A > D_B$ 이다.





# Memo

A large white rectangular area with rounded corners, containing 20 horizontal dashed lines for writing.



# Memo

A series of horizontal dashed lines for writing, spanning the width of the page.