

# 바른답 알찬풀이

개념학습편 ..... 2

시험대비편 ..... 88

# I 힘과 에너지

## 01 힘과 운동

### 01강 평형과 구조물의 안정성

#### 기본 탄탄 문제

13쪽

- 01 (1) ○ (2) × (3) ×      02 ㉠ 돌림힘, ㉡ 2  
03 4.4 N·m      04 a: 2.5 m, b: 0.5 m  
05 (1) 3 N (2) 3 N·m (3) 1 N (4) 2 N  
06 (1) ○ (2) ○ (3) ×

01      ㉠ (1) ○ (2) × (3) ×

(1) 물체에 작용하는 알짜힘은  $(-3 \text{ N}) + (-2 \text{ N}) + 5 \text{ N} = 0$ 이므로 물체는 힘의 평형 상태에 있다.

(2), (3) 정지해 있던 물체에 작용하는 알짜힘이 0이므로 뉴턴 제 1법칙에 따라 물체는 정지 상태를 유지한다.

02      ㉠ ㉠ 돌림힘, ㉡ 2

물체의 회전 운동을 변화시키는 물리량을 돌림힘이라고 한다. 돌림힘의 크기는 팔 길이와 작용한 힘의 크기의 곱과 같으므로 물체에는  $0.2 \text{ m} \times 10 \text{ N} = 2 \text{ N} \cdot \text{m}$ 의 돌림힘이 작용한다.

03      ㉠ 4.4 N·m

누름못으로 고정한 지점이 회전축이므로 회전축으로부터 2 N, 5 N의 힘이 작용하는 지점까지의 팔 길이는 각각 0.8 m, 1.2 m이다. 반시계방향을 (+)로 하면 막대에 작용하는 알짜 돌림힘은  $-(0.8 \text{ m} \times 2 \text{ N}) + (1.2 \text{ m} \times 5 \text{ N}) = 4.4 \text{ N} \cdot \text{m}$ 이다.

04      ㉠ a: 2.5 m, b: 0.5 m

밀도와 모양이 균일한 물체의 무게 중심은 기하학적 중심에 있다. 따라서 a는 5 m의  $\frac{1}{2}$  배인 2.5 m, b는 1 m의  $\frac{1}{2}$  배인 0.5 m이다.

05      ㉠ (1) 3 N (2) 3 N·m (3) 1 N (4) 2 N

(1) 평형 상태이므로 막대에 작용하는 알짜힘이 0이다. 따라서 막대에 연직 위 방향으로 작용하는  $F$ 와  $F_A$ 의 합력의 크기는 막대에 연직 아래 방향으로 작용하는 힘, 즉 막대에 작용하는 중력의 크기인 3 N과 같다.

(2) 받침대가 막대를 떠받치는 지점을 회전축으로 할 때, 막대를 시계방향으로 회전시키는 돌림힘은 막대에 작용하는 중력에 따른 돌림힘과 같고, 그 크기는  $1 \text{ m} \times 3 \text{ N} = 3 \text{ N} \cdot \text{m}$ 이다. 또, 막대를 반시계방향으로 회전시키는 돌림힘은  $F$ 에 따른 돌림힘과 같다. 평형 상태에서 막대에 작용하는 알짜 돌림힘이 0이므로  $F$ 에 따른 돌림힘의 크기는  $3 \text{ N} \cdot \text{m}$ 이다.

(3)  $3 \text{ N} \cdot \text{m} = (1 \text{ m} + 2 \text{ m}) \times F$ 에서  $F = 1 \text{ N}$ 이다.

(4)  $F + F_A = 3 \text{ N}$ 이고  $F = 1 \text{ N}$ 이므로  $F_A = 2 \text{ N}$ 이다.

06

㉠ (1) ○ (2) ○ (3) ×

(1) 구조물이 기울었을 때, 무게 중심이 바닥면의 끝부분에 그은 연직선을 벗어나면 중력에 따른 돌림힘이 구조물을 넘어뜨리는 방향으로 작용해 구조물이 넘어진다.

(2), (3) 구조물 바닥의 면적이 넓을수록, 무게 중심의 높이가 낮을수록 구조물을 넘어뜨리기 위해 기울여야 하는 각도가 커서 안정적이다.

#### 실력 꼭꼭 문제

14~17쪽

- 01 ㉠    02 ㉢    03 ㉢    04 ㉤    05 ㉡    06 ㉢    07 ㉢  
08 ㉢    09 ㉡    10 ㉠    11 ㉢    12 ㉤

#### 단답형·서술형 문제

13 예시답안  $+x$  방향 2 N, 물체가 일정한 방향과 속력으로 운동하려면 물체에 작용하는 알짜힘이 0이어야 하기 때문이다.

14 예시답안 돌림힘의 평형 상태이므로  $4 \text{ m} \times 2 \text{ N} + r \times 2.5 \text{ N} = 6 \text{ m} \times 3 \text{ N}$ 에서  $r = 4 \text{ m}$ 이다.

15 예시답안  $m_A < m_B$ , 받침대가 막대를 받치는 지점을 회전축으로 할 때, A, B, 막대에 작용하는 중력에 따른 돌림힘을 각각  $\tau_A$ ,  $\tau_B$ ,  $\tau_{\text{막대}}$ 라고 하면,  $\tau_A + \tau_{\text{막대}}$ 의 크기와  $\tau_B$ 의 크기가 같아야 돌림힘의 평형이 된다. 따라서  $\tau_A < \tau_B$ 인데, A와 B까지의 팔 길이가 같으므로  $m_A < m_B$ 이어야 한다.

16 (1) 예시답안  $L$ , 무게 중심은 길이  $8L$ 를 절반으로 나누는 지점에 있으므로 받침대가 막대를 받치는 지점에서 무게 중심까지의 수평 거리는  $L$ 이다.

(2) 예시답안  $5L$ , 물체가 막대의 오른쪽 끝부분에 있을 때 물체의 중력에 따른 돌림힘이 최대이어서 실이 막대를 당기는 힘이 가장 크기 때문이다.

(3) 예시답안 힘의 평형에 따라 실이 당기는 힘이 0일 때  $F_{\text{최소}} = 4mg$ 이다. 한편 받침대가 받치는 지점을 회전축으로 할 때, 돌림힘의 평형에 따라  $3LT = 16Lmg$ 이므로 이때  $T = \frac{16}{3}mg$

이다. 따라서  $F_{\text{최대}} = \frac{16}{3}mg + 4mg = \frac{28}{3}mg$ 이다. 따라서  $F_{\text{최소}} : F_{\text{최대}} = 3 : 7$ 이다.

17 예시답안 오목이를 기울이면 무게 중심이 접촉점 위에서 벗어나 중력에 따른 돌림힘이 원래 상태로 돌아가게 하는 방향으로 작용하기 때문이다.

01

㉠ ㉠

• A: 위쪽과 아래쪽으로 작용하는 세 힘의 합력이 0이므로, 알짜힘은 왼쪽으로 2 N이다.

- B: 왼쪽과 오른쪽으로 작용하는 두 힘의 합력이 0이고, 위쪽과 아래쪽으로 작용하는 두 힘의 합력이 아래쪽으로 2 N이므로, 알짜힘은 아래쪽으로 2 N이다.
- C: 위쪽과 아래쪽으로 작용하는 두 힘의 합력이 0이고, 왼쪽과 오른쪽으로 작용하는 두 힘의 합력이 왼쪽으로 1 N이므로, 알짜힘은 왼쪽으로 1 N이다.
- D: 왼쪽과 오른쪽으로 작용하는 세 힘의 합력이 0이므로, 알짜힘은 아래쪽으로 3 N이다.

## 02

답 ③

물체에 작용하는 알짜힘이 0일 때, 관성에 의해 물체의 운동 상태는 변하지 않는다. 즉, 힘의 평형일 때 정지해 있던 물체는 계속 정지해 있고, 운동하는 물체는 방향과 속력이 일정한 운동을 한다. 이를 관성 법칙 또는 뉴턴 제1법칙이라고 한다.

ㄱ. 나뭇잎에 작용하는 알짜힘이 0이기 때문에 나뭇잎이 계속 정지해 있다.

ㄴ. 물체에 작용하는 알짜힘이 0이기 때문에 물체가 직선 경로를 따라 일정한 속력으로 운동한다.

오답 피하기 ㄷ. 물체의 속력이 점점 빨라지므로 알짜힘이 0이 아니다.

## 03

답 ③

막대에 작용하는 힘의 크기를  $F$ , 반시계방향을 (+)로 할 때, 알짜 돌림힘은 다음과 같다.

$$① 4r \times F - 2r \times F = 2rF$$

$$② 2r \times F + 2r \times F = 4rF$$

$$③ -(4r \times F) + 2r \times F = -2rF$$

$$④ -(r \times F) + 3r \times F = 2rF$$

$$⑤ 3r \times F - r \times F = 2rF$$

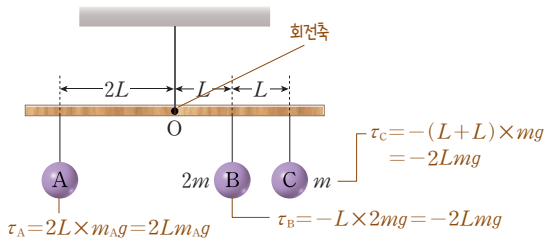
따라서 ③의 막대만 시계방향으로 회전한다.

## 04

답 ⑤

### 자료 분석 ⑤ 막대에 작용하는 돌림힘의 분석

중력 가속도를  $g$ , A의 질량을  $m_A$ , 반시계방향을 (+) 방향으로 하면, O를 회전축으로 할 때 A, B, C에 작용하는 중력에 따른 돌림힘  $\tau_A, \tau_B, \tau_C$ 는 다음과 같다.



ㄴ. 막대는 수평을 이루며 정지해 있으므로 돌림힘의 평형 상태로,  $\tau_A + \tau_B + \tau_C = 0$ 이다. 즉,  $2Lm_Ag - 2Lmg - 2Lmg = 0$ 에서  $m_A = 2m$ 이다.

ㄷ. B와 C의 위치를 바꾸면 시계방향의 돌림힘은  $-2L \times 2mg - L \times mg = -5Lmg$ 가 되어 바꾸기 전보다 그 크기가 더 커진다. 따라서 막대는 시계방향으로 기운다.

오답 피하기 ㄱ.  $\tau_B$ 와  $\tau_C$ 의 크기는  $2Lmg$ 로 같다.

## 05

답 ②

막대를 이루는 입자 전체에 작용하는 중력은 무게 중심 한 점에 모두 작용하는 것으로 볼 수 있다. 막대의 무게 중심은 막대의 길이를 절반으로 나누는 위치에 있기 때문에 무게 중심은 회전축인 P점으로부터 수평 거리 0.5 m만큼 떨어져 있다. 따라서 막대에 작용하는 중력에 따른 돌림힘의 크기는  $0.5 \text{ m} \times (8 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2) = 40 \text{ N} \cdot \text{m}$ 이다.

## 06

답 ③

ㄱ. 선반은 평형 상태이므로 선반에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 선반에 연직 위 방향으로 작용하는 두 힘  $F_A, F_B$ 의 합력  $F_A + F_B$ 의 크기는 연직 아래 방향으로 작용하는 선반 및 물체에 작용하는 중력의 크기의 합과 같다.

ㄴ. 회전축을 선반의 무게 중심으로 할 때,  $F_A$ 에 따른 돌림힘은 시계방향,  $F_B$ 에 따른 돌림힘은 반시계방향으로 작용한다.

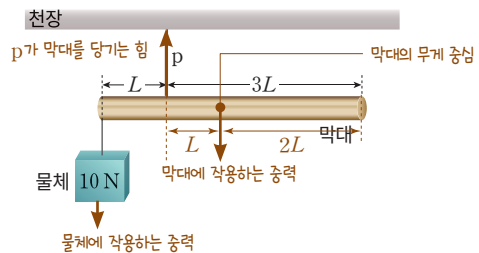
오답 피하기 ㄷ. 선반은 평형 상태이므로 회전축을 어느 지점으로 잡더라도 선반에 작용하는 알짜 돌림힘은 0이다.

## 07

답 ③

### 자료 분석 ③ 막대의 평형 상태 분석

막대가 수평을 이루며 정지해 있으므로 막대는 평형 상태이다. 따라서 막대는 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 동시에 만족한다.



- 힘의 평형: 연직 위 방향으로 작용하는 힘과 연직 아래 방향으로 작용하는 힘의 합력이 0이다.

| 연직 위 방향      | 연직 아래 방향                 |
|--------------|--------------------------|
| p가 막대를 당기는 힘 | 물체에 작용하는 중력, 막대에 작용하는 중력 |

- 돌림힘의 평형: 반시계방향으로 작용하는 돌림힘과 시계방향으로 작용하는 돌림힘의 합이 0이다. p가 막대에 매달린 지점을 회전축으로 하면 돌림힘은 다음과 같다.

| 반시계방향               | 시계방향                       |
|---------------------|----------------------------|
| 물체에 작용하는 중력에 따른 돌림힘 | 막대의 무게 중심에 작용하는 중력에 따른 돌림힘 |

막대의 무게를  $w$ ,  $p$ 가 막대에 매달린 지점을 회전축으로 하면 막대에는 물체에 작용하는 중력에 따른 돌림힘과 막대에 작용하는 중력에 따른 돌림힘이 작용한다. 막대의 무게 중심은 막대의 가운데, 즉  $p$ 로부터 수평 거리  $L$ 만큼 떨어진 곳에 있으므로 돌림힘의 평형을 적용한 식  $L \times 10 \text{ N} = L \times w$ 에서  $w = 10 \text{ N}$ 이다. 한편 막대에는 연직 위 방향으로  $p$ 가 당기는 힘이, 연직 아래 방향으로 물체 및 막대에 중력이 작용한다. 따라서 힘의 평형을 적용하면  $p$ 가 막대를 당기는 힘의 크기는  $10 \text{ N} + 10 \text{ N} = 20 \text{ N}$ 이다.

08

답 ③

ㄱ. 막대는 평형 상태이므로 힘의 평형을 만족한다. 따라서 막대에 연직 위 방향으로 작용하는 두 힘의 합력의 크기  $F_A + F_B$ 는 막대의 무게  $10 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 100 \text{ N}$ 과 같다.

ㄴ. 막대의 무게 중심은 막대의 가운데에 있으므로 A가 받치는 지점으로부터 수평 거리  $1.5 \text{ m}$ , B가 받치는 지점으로부터 수평 거리  $2.5 \text{ m}$  떨어져 있다. 막대는 돌림힘의 평형 상태이므로, 막대의 무게 중심을 회전축으로 하면  $1.5 \text{ m} \times F_A = 2.5 \text{ m} \times F_B$ 가 성립한다. 따라서  $F_A : F_B = 5 : 3$ 이다.

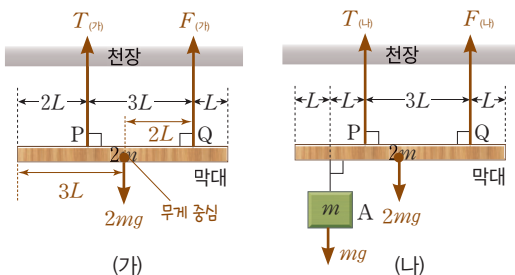
오답 피하기 ㄷ.  $F_A + F_B = 100 \text{ N}$ 과  $F_A : F_B = 5 : 3$ 을 연립하면  $F_B = \frac{75}{2} \text{ N}$ 이다.

09

답 ②

#### 자료 분석 평형 상태 분석

- (가)에서 막대에는 중력  $2mg$ 와 실 P가 막대를 당기는 힘  $T_{(가)}$ , 실 Q가 막대를 당기는 힘  $F_{(가)}$ 가 작용하며, 이 힘들에 따른 돌림힘들은 돌림힘의 평형을 이룬다.
- (나)에서 막대에는 중력  $2mg$ 와 A가 막대를 당기는 힘  $mg$ , 실 P가 막대를 당기는 힘  $T_{(나)}$ , 실 Q가 막대를 당기는 힘  $F_{(나)}$ 가 작용하며, 이 힘들에 따른 돌림힘들은 돌림힘의 평형을 이룬다.



Q가 막대에 연결된 지점을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면 다음과 같다.

$$(가): 2L \times 2mg = 3L \times T_{(가)}$$

$$(나): 4L \times mg + 2L \times 2mg = 3L \times T_{(나)}$$

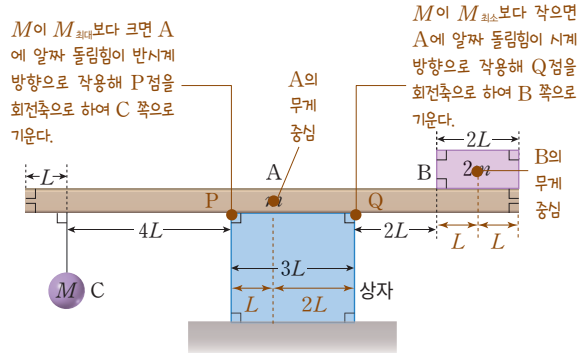
이를 정리하면  $T_{(가)} : T_{(나)} = \frac{4}{3}mg : \frac{8}{3}mg = 1 : 2$ 이다.

10

답 ①

#### 자료 분석 돌림힘의 평형과 평형 상태

- 물체가 평형 상태이기 위해서는 알짜 돌림힘이 0이어야 한다.
- 물체에 작용하는 알짜 돌림힘의 방향으로 물체는 회전한다.



중력 가속도를  $g$ 라 하고,  $M = M_{\text{최소}}$ 일 때 상자의 오른쪽 위 끝점인 Q점을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면 다음과 같은 식을 세울 수 있다.

$$7L \times M_{\text{최소}}g + 2L \times mg = 3L \times 2mg \cdots (i)$$

한편  $M = M_{\text{최대}}$ 일 때 상자의 왼쪽 위 끝점인 P점을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면 다음과 같은 식을 세울 수 있다.

$$4L \times M_{\text{최대}}g = L \times mg + 6L \times 2mg \cdots (ii)$$

(i), (ii)에 따라  $M_{\text{최소}} : M_{\text{최대}} = \frac{4}{7}m : \frac{13}{4}m = 16 : 91$ 이다.

11

답 ③

ㄷ. p점에 작용하는 힘을 제거하면 나무판의 회전 방향은 (가)에 서는 시계방향, (나)에서는 반시계방향이다.

오답 피하기 ㄱ, ㄴ. (가), (나) 모두 나무판에 작용하는 알짜 돌림힘은 0이다. 한편 (가)에서는 무게 중심이 바깥면 끝부분의 연직선을 벗어나지 않아서 중력에 따른 돌림힘이 시계방향으로 작용한다. 반대로 (나)에서는 무게 중심이 바깥면 끝부분의 연직선을 벗어나서 중력에 따른 돌림힘이 반시계방향으로 작용한다. 따라서 (가), (나)에서 p점에 작용하는 힘에 따른 돌림힘의 방향은 각각 반시계방향, 시계방향이어야 한다. 따라서 (가)에서는 p점에 수평면에 대해 수직 위 방향, (나)에서는 수평면에 대해 수직 아래 방향으로 힘을 작용해야 한다.

12

답 ⑤

무게 중심의 높이가 낮을수록, 바닥면의 면적이 클수록 물체를 많이 기울여야 무게 중심이 바깥면 끝부분에 그은 연직선을 벗어나서 넘어진다. A와 B의 무게 중심의 높이는 같지만 바닥면의 면적은  $B > A$ 이다. 따라서 물체를 넘어뜨리기 위해 기울여야 하는 각도도  $B > A$ 이다. 한편 B와 C의 바닥면의 넓이는 같지만 무게 중심의 높이는  $C < B$ 이다. 따라서 물체를 넘어뜨리기 위해 기울여야 하는 각도는  $C > B$ 이다.



따라서 A~C를 넘어뜨리기 위해 기울여야 하는 각도를 비교하면  $C > B > A$ 이다.

### 13

뉴턴 제1법칙에 따라 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 정지해 있던 물체는 계속 정지해 있고, 운동하던 물체는 운동 방향과 속력이 일정한 운동을 계속한다. 따라서 물체가 수평면에서 일정한 속력으로 운동하기 위해서는  $-x$  방향으로 작용하는 마찰력과 크기가 같고 방향이 반대인 힘, 즉  $+x$  방향으로 2 N의 힘이 추가로 작용해 알짜힘이 0이 되어야 한다.

| 채점 기준                                                             | 배점(%) |
|-------------------------------------------------------------------|-------|
| 추가로 작용해야 하는 힘의 크기와 방향을 옳게 쓰고, 그 까닭을 알짜힘이 0이어야 함을 근거로 들어 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 추가로 작용해야 하는 힘의 크기와 방향을 옳게 쓰고, 그 까닭을 뉴턴 제1법칙(관성 법칙)에 따른다고만 설명한 경우  | 70    |
| 추가로 작용해야 하는 힘의 크기와 방향만 옳게 쓴 경우                                    | 40    |

### 14

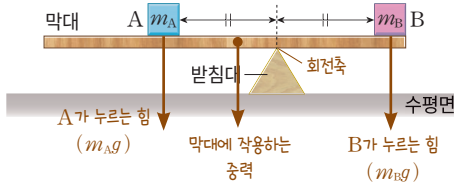
2 N인 힘과 2.5 N인 힘에 따른 돌림힘은 막대를 시계방향으로 회전시키는 돌림힘이고, 3 N인 힘에 따른 돌림힘은 막대를 반시계방향으로 회전시키는 돌림힘이다. 막대가 회전하지 않으므로 막대는 돌림힘의 평형 상태로, 반시계방향으로 (+) 방향으로 할 때  $6 \text{ m} \times 3 \text{ N} - 4 \text{ m} \times 2 \text{ N} - r \times 2.5 \text{ N} = 0$ 의 식이 성립한다. 따라서  $r = 4 \text{ m}$ 이다.

| 채점 기준                                     | 배점(%) |
|-------------------------------------------|-------|
| 돌림힘의 평형을 이용해 식을 옳게 세우고, 팔 길이의 값을 옳게 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 팔 길이의 값만 옳게 쓴 경우                | 40    |

### 15

#### 자료 분석 ● 돌림힘의 평형 분석

막대에는 중력, A가 누르는 힘(=A에 작용하는 중력), B가 누르는 힘(=B에 작용하는 중력)이 작용한다. 중력 가속도를  $g$ 라고 할 때, 막대에 작용하는 힘을 표시하면 다음과 같다.



받침대가 막대를 받치는 지점을 회전축으로 할 때, A, B까지의 팔 길이를  $d$ , 막대에 작용하는 중력에 따른 돌림힘의 크기를  $\tau_{\text{막대}}$ 라고 하면, 돌림힘의 평형에 따라 다음과 같은 식이 성립한다.

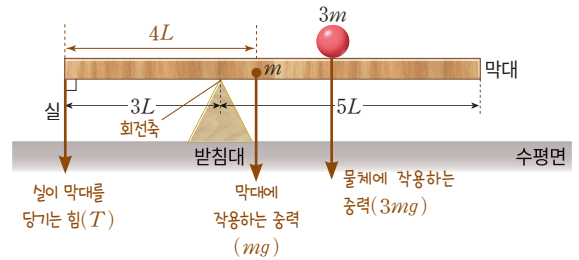
$$dm_A g + \tau_{\text{막대}} = dm_B g$$

이를 정리하면  $\tau_{\text{막대}} = dg(m_B - m_A)$ 이므로  $m_A < m_B$ 이어야 한다.

| 채점 기준                                                                           | 배점(%) |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|
| A와 B의 질량을 옳게 비교하고, 그 까닭을 A, B, 막대에 작용하는 중력에 따른 돌림힘을 포함해 돌림힘의 평형과 관련지어 옳게 설명한 경우 | 100   |
| A와 B의 질량을 옳게 비교하고, 그 까닭을 돌림힘의 평형을 이루기 위해서는 $m_A < m_B$ 이어야 한다고만 설명한 경우          | 50    |
| A와 B의 질량 비교만 옳게 한 경우                                                            | 30    |

### 16

#### 자료 분석 ● 평형 상태 분석



- 막대의 무게 중심은 길이  $8L$ 을 절반으로 나누는 지점에 있다.
- 만약 물체가 없을 경우, 받침대가 받치는 지점을 회전축으로 할 때 막대에는 실이 당기는 힘에 따른 돌림힘(반시계방향)과 막대에 작용하는 중력에 따른 돌림힘(시계방향)이 작용하며, 이 두 돌림힘은 평형을 이룬다.
- 물체가 회전축의 왼쪽에 있을 때, 물체에 작용하는 중력에 따른 돌림힘과 막대에 작용하는 중력에 따른 돌림힘이 평형을 이루면  $T$ 는 0이다.
- 물체가 막대의 오른쪽 끝에 있을 때, 막대에 시계방향으로 작용하는 돌림힘의 크기가 최대이다. 따라서 반시계방향으로 작용하는  $T$ 에 따른 돌림힘의 크기도 최대이다.

(1) 막대의 밀도가 균일하고 두께와 폭을 무시할 수 있으므로 무게 중심은 길이  $8L$ 을 절반으로 나누는 지점에 있다. 따라서 받침대가 막대를 받치는 지점에서 무게 중심까지의 수평 거리는  $4L - 3L = L$ 이다.

| 채점 기준                                                     | 배점(%) |
|-----------------------------------------------------------|-------|
| $L$ 을 옳게 구하고, 그 까닭을 균일한 막대의 무게 중심이 가운데 있음을 이용하여 옳게 설명한 경우 | 100   |
| $L$ 만 쓴 경우                                                | 40    |

(2) 막대는 힘의 평형 상태이므로 받침대가 막대를 떠받치는 힘의 크기는 연직 아래 방향으로 작용하는  $T, mg, 3mg$ 의 합과 같다. 실이 막대를 당기는 힘인  $T$ 가 가장 클 때가  $F_{\text{최대}}$  일 때이며, 이때 막대에 반시계방향으로 작용하는 돌림힘이 최대이다. 돌림힘의 평형에 따라 막대에 반시계방향으로 작용하는 돌림힘이 최대일 때 시계방향으로 작용하는 돌림힘 또한 최대이다. 즉, 물체가 막대의 오른쪽 끝부분에 있을 때가 연직 아래 방향으로 작용하는 힘들의 합력이 최대가 되어  $F_{\text{최대}}$  일 때이다.

| 채점 기준                                                                    | 배점(%) |
|--------------------------------------------------------------------------|-------|
| 5L을 옮겨 구하고, 그 까닭을 돌림힘의 평형을 이용해 5L 일 때 실이 당기는 힘이 가장 크기 때문이라는 것을 옮겨 설명한 경우 | 100   |
| 5L을 옮겨 구하고, 그 까닭을 5L일 때 실이 당기는 힘이 가장 크기 때문이라고만 설명한 경우                    | 70    |
| 5L만 쓴 경우                                                                 | 30    |

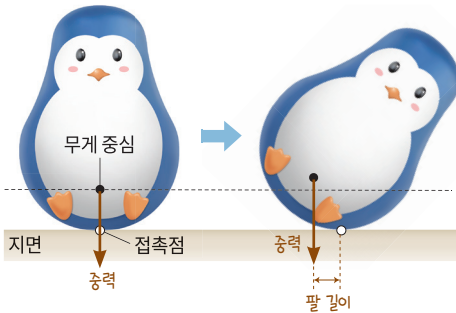
(3) 받침대가 막대를 받치는 힘을  $F$ 라 하면  $T=0$ 일 때  $F=F_{\text{최소}}=mg+3mg=4mg$ 이다. 한편 받침대가 막대를 받치는 지점을 회전축으로 할 때, 돌림힘의 평형에 따라  $3L \times T = L \times mg + 5L \times 3mg$ 이므로 이때  $T = \frac{16}{3}mg$ 이다. 따라서 힘의 평형에 따라  $F = \frac{16}{3}mg + mg + 3mg = \frac{28}{3}mg = F_{\text{최대}}$ 이다. 이를 정리하면  $F_{\text{최소}} : F_{\text{최대}} = 3 : 7$ 이다.

| 채점 기준                                                               | 배점(%) |
|---------------------------------------------------------------------|-------|
| 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 적절하게 이용해 $F_{\text{최소}} : F_{\text{최대}}$ 를 옮겨 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 $F_{\text{최소}} : F_{\text{최대}}$ 만 옮겨 쓴 경우                 | 40    |

17

#### 자료 분석 ○ 오목이의 안정성

- 오목이가 바로 서 있을 때에는 무게 중심이 접촉점 위에 있어서 팔 길이가 0이므로, 돌림힘이 작용하지 않는다.
- 오목이가 한쪽 방향으로 기울면, 기운 방향과 반대 방향으로 팔 길이가 생겨 기운 방향과 반대 방향으로 돌림힘이 생긴다.



오목이를 기울이기 전에는 무게 중심이 접촉점 위에 있어서 중력에 따른 돌림힘이 작용하지 않아, 오목이는 평형 상태이다. 한편 오목이를 기울이면 무게 중심이 접촉점 위에 있지 않아 중력에 따른 돌림힘이 원래 상태로 돌아가게 하는 방향으로 작용한다. 따라서 오목이는 다시 원래 상태로 돌아가는 것이다.

| 채점 기준                                                          | 배점(%) |
|----------------------------------------------------------------|-------|
| 오목이를 기울일 때 무게 중심이 이동해 원래 상태로 돌아가게 하는 돌림힘이 작용하기 때문이라고 옮겨 설명한 경우 | 100   |
| 오목이를 기울이면 돌림힘이 작용하기 때문이라고만 설명한 경우                              | 60    |

## 02강 가속도 법칙과 등가속도 운동

21 쪽

### 탐구 확인문제

01 (1)  $\times$  (2)  $\bigcirc$  (3)  $\times$  (4)  $\times$  02  $\square$

01  $\square$  (1)  $\times$  (2)  $\bigcirc$  (3)  $\times$  (4)  $\times$   
수레는 속도의 크기가 일정하게 증가하는 운동을 한다. 따라서 수레에는 운동 방향과 같은 방향으로 일정한 크기의 알짜힘이 작용한다.

02  $\square$   
수레의 크기 때문에 수레의 위치를 추적할 때마다 약간의 오차가 발생한다. 따라서 수레의 운동 데이터를 점으로 찍은 결과는 들쭉날쭉해 보이지만, 전체적인 분포를 따라 추세선으로 표현하면 그 규칙성을 알 수 있다. 따라서 그래프를 해석할 때에는 추세선을 이용한다. 추세선에 따르면 시간에 따른 가속도 그래프는 시간축과 나란한 형태, 시간에 따른 속도 그래프는 일차함수 형태, 시간에 따른 위치 그래프는 이차함수 형태이다.

ㄷ. 시간에 따른 가속도 그래프 아랫부분의 넓이는 수레의 속도 변화량과 같다.

오답 피하기 ㄱ, ㄴ. 시간에 따른 속도 그래프의 기울기는 수레의 가속도와 같고, 그래프 아랫부분의 넓이는 수레의 변위와 같다.

### 기본 탄탄 문제

23 쪽

01 (1)  $\bigcirc$  (2)  $\bigcirc$  02 (1)  $\frac{3}{5} \text{ m/s}^2$  (2)  $-\frac{7}{5} \text{ m/s}^2$   
03 ㉠ 비례, ㉡ 반비례 04  $a_B < a_A < a_C$   
05 1 : 2 06 (1)  $2 \text{ m/s}^2$  (2)  $15 \text{ m}$   
07  $22.5 \text{ m}$

01  $\square$  (1)  $\bigcirc$  (2)  $\bigcirc$   
(1) 변위의 크기는 처음 위치 P점에서 나중 위치 R점까지의 직선 거리와 같으므로  $5 \text{ m} - 3 \text{ m} = 2 \text{ m}$ 이다.  
(2) 이동 거리, 즉 물체가 실제로 이동한 거리는 P점에서 Q점까지 이동한 거리인  $5 \text{ m}$ 와 Q점에서 R점까지 이동한 거리인  $3 \text{ m}$ 의 합과 같은  $8 \text{ m}$ 이다.

02  $\square$  (1)  $\frac{3}{5} \text{ m/s}^2$  (2)  $-\frac{7}{5} \text{ m/s}^2$   
가속도  $a$ 는 속도 변화량  $\Delta v$ 를 걸린 시간  $\Delta t$ 로 나누어 구한다. 여기서 속도 변화량은 나중 속도  $v_{\text{나중}}$ 에서 처음 속도  $v_{\text{처음}}$ 을 뺀 값과 같다.

$$(1) \frac{v_{\text{나중}} - v_{\text{처음}}}{\Delta t} = \frac{5 \text{ m/s} - 2 \text{ m/s}}{5 \text{ s}} = \frac{3}{5} \text{ m/s}^2$$

$$(2) \frac{v_{\text{나중}} - v_{\text{처음}}}{\Delta t} = \frac{-5 \text{ m/s} - 2 \text{ m/s}}{5 \text{ s}} = -\frac{7}{5} \text{ m/s}^2$$

03

답 ㉠ 비례, ㉡ 반비례

뉴턴 제2법칙 또는 가속도 법칙에 따르면 물체의 가속도 크기는 물체에 작용하는 알짜힘의 크기에 비례하고 물체의 질량에 반비례한다.

04

답  $a_B < a_A < a_C$

물체에 작용하는 알짜힘은 물체의 질량과 가속도의 곱과 같으므로, A~C의 가속도의 크기는 각각 다음과 같다.

$$a_A = \frac{2F}{2m} = \frac{F}{m}, a_B = \frac{F}{3m}, a_C = \frac{3F}{m}$$

따라서  $a_B < a_A < a_C$ 이다.

05

답 1 : 2

A와 B의 가속도를 각각  $a_A, a_B$ 라 하면, 시간에 따른 속도 그래프의 기울기로 구한 가속도  $a_A = \frac{10 \text{ m/s}}{4 \text{ s}} = \frac{5}{2} \text{ m/s}^2, a_B = \frac{5 \text{ m/s}}{4 \text{ s}} = \frac{5}{4} \text{ m/s}^2$ 이다.

A, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 같으므로  $m_A a_A = m_B a_B$ 에서  $m_A : m_B = a_B : a_A = \frac{5}{4} : \frac{5}{2} = 1 : 2$ 이다.

06

답 (1)  $2 \text{ m/s}^2$  (2)  $15 \text{ m}$

(1) 가속도를  $a$ 라 할 때, 등가속도 운동의 식  $v = v_0 + at$ 에서  $a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{8 \text{ m/s} - 2 \text{ m/s}}{3 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이다.

(2) P점에서 Q점까지의 거리를  $s$ 라고 할 때, 등가속도 운동의 식  $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ 에 각각의 물리량을 대입하면 다음과 같다.

$$s = 2 \text{ m/s} \times 3 \text{ s} + \frac{1}{2} \times 2 \text{ m/s}^2 \times (3 \text{ s})^2 = 15 \text{ m}$$

등가속도 운동의 식  $v^2 - v_0^2 = 2as$ 를 이용할 수도 있다. 식을 변형하면  $s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{(8 \text{ m/s})^2 - (2 \text{ m/s})^2}{2 \times 2 \text{ m/s}^2} = 15 \text{ m}$ 이다.

07

답  $22.5 \text{ m}$

자동차는 브레이크 페달을 밟은 직후부터 정지할 때까지 등가속도 운동을 한다. 이때 이동한 거리를 제동 거리라고 한다. 제동 거리를  $s$ , 가속도를  $-a$ , 브레이크 페달을 밟기 직전의 속도를  $v_0$ 이라 하면, 나중 속도  $v = 0$ 이므로 등가속도 운동의 식  $v_0^2 - v^2 = 2as$ 를  $s = \frac{v_0^2}{2a}$ 으로 변형할 수 있다. 즉, 제동 거리는 브레이크 페달을 밟기 직전 속도의 제곱에 비례한다. 따라서  $15 \text{ m/s}$ 의 속력으로 운동할 때의 제동 거리를  $s$ 라 하면, 다음 식이 성립한다.

$$(10 \text{ m/s})^2 : (15 \text{ m/s})^2 = 10 \text{ m} : s$$

따라서  $s = 22.5 \text{ m}$ 이다.

일력  
목표  
문제

- 01 ③ 02 ① 03 ② 04 ⑤ 05 ④ 06 ⑤ 07 ④  
08 ⑤ 09 ② 10 ① 11 ③ 12 ②

단답형·서술형 문제

13 (1) 예시 답안 0 초부터 10 초까지 이동한 거리는  $100 \text{ m}$ 이고, 이는 0 초부터 10 초까지 그래프 아래부분의 넓이와 같으므로  $\frac{1}{2} \times v \times 5 + \frac{1}{2} \times (v + 20) \times 5 = 100(\text{m})$ 에서  $v = 10 \text{ m/s}$ 이다.

$$(2) \text{ 예시 답안 } \frac{S_2}{S_1} = \frac{\frac{1}{2} \times (10 + 20) \times 5}{\frac{1}{2} \times 10 \times 5} = 3 \text{이다.}$$

14 (1) 예시 답안 A의 가속도의 크기는 (가)에서 (나)에서의  $\frac{3}{5}$  배이므로  $\frac{M}{M+m}g = \frac{3}{5} \left( \frac{m}{M+m} \right)g$ 에서 B의 질량  $M = \frac{3}{5}m$ , 즉  $m$ 의  $\frac{3}{5}$  배이다.

(2) 예시 답안 (가)에서 A에 작용하는 알짜힘의 크기와  $T_1$ 이 같고, (나)에서 B에 작용하는 알짜힘의 크기와  $T_2$ 가 같다. 따라서  $T_1 : T_2 = m a_1 : M a_2 = m \times \frac{3}{5} a_2 : \frac{3}{5} m \times a_2 = 1 : 1$ 이다.

15 예시 답안 0 초부터 6 초까지 A, B가 각각 이동한 거리는 그래프 아래부분의 넓이와 같으므로  $d = 36 \text{ m} - 24 \text{ m} = 12 \text{ m}$ 이다.

16 예시 답안  $m_A > m_B$ , 각 구간에서의 이동 거리는 속력으로, 구간 이동 거리의 차이는 가속도의 크기로 볼 수 있다. 가속도의 크기는 (나)에서 (다)에서보다 작고, 알짜힘의 크기는 같으므로  $m_A > m_B$ 이다.

01

답 ③

ㄱ. 시간에 따른 위치 그래프의 기울기는 속도와 같으므로, 1 초일 때 A의 속도의 크기, 즉 속력은  $\frac{4 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}$ , B의 속력은

$$\frac{4 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 1 \text{ m/s} \text{이다.}$$

ㄴ. B의 속력은  $1 \text{ m/s}$ 로 일정하므로, B의 위치는 2 초일 때  $2 \text{ m}$ , 6 초일 때  $6 \text{ m}$ 이다. 따라서 A와 B 사이의 거리는 2 초일 때  $4 \text{ m} - 2 \text{ m} = 2 \text{ m}$ , 6 초일 때  $8 \text{ m} - 6 \text{ m} = 2 \text{ m}$ 이다.

오답 피하기 ㄷ. B는 일정한 속도로 운동하지만, A는 4 초 이후로 같은 위치에 있다. 즉, A는 4 초 이후로 정지해 있다.

02

답 ①

ㄱ. P점에서 Q점까지 속도의 크기가 증가하므로  $a_1$ 의 방향은 운동 방향과 같고, Q점에서 R점까지 속도의 크기가 감소하므로  $a_2$ 의 방향은 운동 방향과 반대이다. 즉,  $a_1$ 과  $a_2$ 의 방향은 반대이다.

오답 피하기 ㄴ. 가속도는 속도 변화량을 걸린 시간으로 나누어 구하고, 속도 변화량은 나중 속도에서 처음 속도를 뺀 값과 같으므로  $|a_1| : |a_2| = \left| \frac{6 \text{ m/s}}{4 \text{ s}} \right| : \left| \frac{2 \text{ m/s} - 6 \text{ m/s}}{2 \text{ s}} \right| = 3 : 4$ 이다.

ㄷ. P점에서 R점까지 평균 가속도는 4 초+2 초=6 초 동안 속도 변화량과 같으므로  $\frac{2 \text{ m/s} - 0}{6 \text{ s}} = \frac{1}{3} \text{ m/s}^2$ 이다.

03 답 ②  
ㄴ. 평균 속력은 p에서 q까지가 r에서 s까지의 2 배이므로 속도 변화량 또한 p에서 q까지가 r에서 s까지의 2 배이다. 한편 p와 s에서 속력은 0이므로 q에서의 속력은 r에서의 2 배이다.

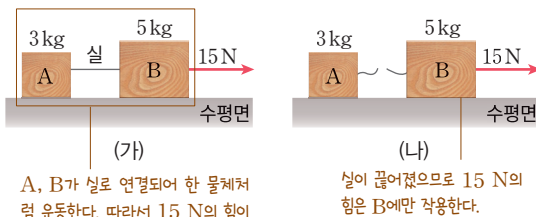
오답 피하기 ㄱ. p와 q, r와 s 사이의 거리는 같고, 평균 속력은 p에서 q까지가 r에서 s까지의 2 배이므로 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 r에서 s까지 운동하는 데 걸린 시간의  $\frac{1}{2}$  배이다.

ㄷ. 물체의 속도 변화량의 크기는 p에서 q까지가 r에서 s까지의 2 배이고, 물체가 운동하는 데 걸린 시간은 p에서 q까지가 r에서 s까지의  $\frac{1}{2}$  배이다. 따라서 물체의 가속도 크기는 p에서 q까지가 r에서 s까지의 4 배이다.

04 답 ⑤

#### 자료 분석 ㉠ 알짜힘이 같을 때 질량과 가속도의 관계

같은 크기의 알짜힘이 작용할 때, 물체의 질량과 가속도 크기는 반 비례 관계이다.



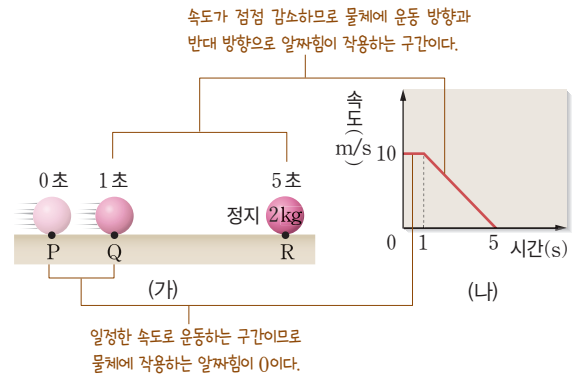
(가)에서 A, B는 실로 연결되어 함께 운동하므로, 질량이 3 kg + 5 kg = 8 kg인 하나의 물체에 알짜힘 15 N이 작용하는 상황으로 볼 수 있다. 따라서  $a_{(가)} = \frac{15 \text{ N}}{8 \text{ kg}} = \frac{15}{8} \text{ m/s}^2$ 이다. (나)에서는 실이 끊어져서 B에만 알짜힘 15 N이 작용하므로  $a_{(나)} = \frac{15 \text{ N}}{5 \text{ kg}} = 3 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서  $a_{(가)} : a_{(나)} = 5 : 8$ 이다.

05 답 ④  
알짜힘은 질량과 가속도의 곱과 같고, 가속도는 속도 변화량을 걸린 시간으로 나눈 값과 같다. 따라서 (가)에서  $-F = m \frac{v-3v}{t}$ 이므로  $t = \frac{2mv}{F}$ 이고, (나)에서  $F = 2m \frac{5v-2v}{t'}$ 이므로  $t' = \frac{6mv}{F}$ 이다. 따라서  $t' = 3t$ 이다.

06

답 ⑤

#### 자료 분석 ㉠ 뉴턴 제2법칙과 시간에 따른 속도 그래프



ㄱ. P에서 Q까지 물체는 10 m/s의 일정한 속도로 운동하므로, 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. 시간에 따른 속도 그래프의 기울기는 가속도와 같다. 따라서 Q에서 R까지 가속도는 (나)에서 1 초부터 5 초까지의 기울기와 같은  $\frac{0-10 \text{ m/s}}{5 \text{ s}-1 \text{ s}} = -\frac{5}{2} \text{ m/s}^2$ 이다. 알짜힘의 크기는 질량과 가속도 크기의 곱과 같으므로  $2 \text{ kg} \times \frac{5}{2} \text{ m/s}^2 = 5 \text{ N}$ 이다.

ㄷ. 시간에 따른 속도 그래프 아랫부분의 넓이는 변위와 같고, 물체의 운동 방향이 일정하므로 변위는 이동 거리와 같다. 따라서 P에서 R까지의 거리는  $\frac{1}{2} \times (5+1) \times 10 = 30 \text{ (m)}$ 이다.

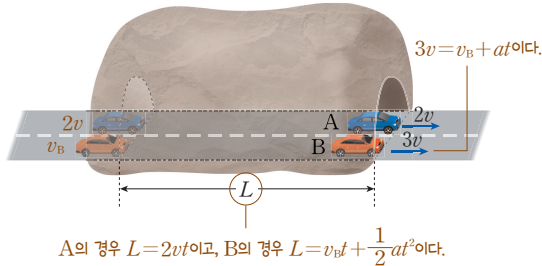
07 답 ④

A가 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간을  $t$ 라고 하면, B가 P에서 R까지 이동하는 데 걸린 시간 또한  $t$ 이다. 직선상에서 등가속도 운동의 식  $v = v_0 + at$ 에 A, B의 운동을 각각 적용하면,  $2v = v + a_A t$ 에서  $a_A = \frac{v}{t}$ 이고,  $v_B = a_B t$ 에서  $a_B = \frac{v_B}{t}$ 이다.

한편  $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ 에 A, B의 운동을 각각 적용하면,  $L = vt + \frac{1}{2} \times \frac{v}{t} t^2 = \frac{3}{2} vt$ 이고,  $2L = \frac{1}{2} \times \frac{v_B}{t} t^2$ 에서  $L = \frac{1}{4} v_B t = \frac{3}{2} vt$ 이므로  $v_B = 6v$ 이다. 따라서  $a_A : a_B = \frac{v}{t} : \frac{6v}{t} = 1 : 6$ 이다. 평균 속도를 이용할 수도 있다. A, B의 걸린 시간이 같고, 이동 거리는 B가 A의 2 배이므로, B의 평균 속도는 A의 2 배이다. 따라서  $2 \times \frac{v+2v}{2} = \frac{0+v_B}{2}$ 에서  $v_B = 6v$ 이다. 이를 등가속도 운동의 식  $v^2 - v_0^2 = 2as$ 에 적용하면  $a_A : a_B = \frac{(2v)^2 - v^2}{2L} : \frac{(6v)^2 - 0}{4L} = 1 : 6$ 이다.

### 자료 분석 ⑤ 등속운동과 등가속도운동

A는 등속 운동을 하므로 터널에 들어가는 순간의 속력은  $2v$ 이다. B는 등가속도 운동을 하며, 터널에 들어가는 순간의 속력을  $v_B$ , 가속도를  $a$ 라고 놓는다. A, B가 동시에 터널에 들어가는 순간부터 동시에 터널을 빠져나오는 순간까지 걸린 시간을  $t$ 라고 놓는다.



ㄱ. 등속 운동을 하는 A의 경우  $L=2vt$ 이다.

한편 B의 경우 등가속도 운동의 식  $v=v_0+at$ 에서  $3v=v_B+at$  (...①)이다.

또한  $s=v_0t + \frac{1}{2}at^2$ 에서  $2vt=v_Bt + \frac{1}{2}at^2$  (...②)이다.

①, ②를 연립하면  $v=v_B$ 이다.

ㄷ. B가 속력이  $2v$ 가 될 때까지 이동한 거리를  $x_B$ 라고 하면, 등가속도 운동의 식  $v^2-v_0^2=2as$ 에서  $4v^2-v^2=2 \times \frac{4v^2}{L} \times x_B$ 이므로  $x_B=\frac{3}{8}L$ 이다. 한편 B의 속력이  $v$ 에서  $2v$ 로 될 때까지 걸린 시간을  $t_B$ 라고 하면,  $2v=v + \frac{4v^2}{L}t_B$ 이므로  $t_B=\frac{L}{4v}$ 이다. 이 시간 동안 A가 속력  $2v$ 로 등속 운동을 하며 이동한 거리를  $x_A$ 라고 하면,  $x_A=2v \times \frac{L}{4v}=\frac{L}{2}$ 이다.  $x_A-x_B=\frac{L}{2}-\frac{3}{8}L=\frac{1}{8}L$ 이므로 B의 속력이  $2v$ 가 된 순간 A는 B보다  $\frac{1}{8}L$ 만큼 앞서 있다.

오답 피하기 ㄴ. B에 등가속도 운동의 식  $v^2-v_0^2=2as$ 를 적용하면  $9v^2-v^2=2aL$ 이므로  $a=\frac{4v^2}{L}$ 이다.

## 09

## 답 ②

ㄷ. A, B가 정지해 있을 때 A, B에 작용하는 알짜힘은 0이다. B에는 연직 위 방향으로  $p$ 가 B를 당기는 힘, 연직 아래 방향으로 중력이 작용한다.  $p$ 가 B를 당기는 힘의 크기를  $T_p'$ 이라 하고 식을 세우면  $T_p'=30\text{ N}$ 이다. 한편 A에는 연직 위 방향으로  $p$ 가 A를 당기는 힘, 연직 아래 방향으로  $q$ 가 A를 당기는 힘과 중력이 작용한다.  $q$ 가 A를 당기는 힘의 크기를  $T_q'$ 이라 하고 식을 세우면,  $p$ 가 A를 당기는 힘의 크기는  $p$ 가 B를 당기는 힘의 크기와 같으므로,  $T_p'=T_q'+20\text{ N}$ 에서  $T_q'=10\text{ N}$ 이다.

오답 피하기 ㄱ, ㄴ.  $q$ 가 끊어진 뒤, A에 작용하는 알짜힘은  $p$ 가 연직 위 방향으로 당기는 힘과 A에 연직 아래 방향으로 작용하는 중력의 합력과 같다. 한편 A, B는 실로 연결되어 같은 크기의 가속도로 운동하므로 (나)에서 그래프의 기울기를 통해 A의 가속도 크기를 구하면  $\frac{4\text{ m/s}}{2\text{ s}}=2\text{ m/s}^2$ 이다.  $p$ 가 연직 위 방향으로

A를 당기는 힘의 크기를  $T_p$ 라 하고 식을 세우면  $T_p-m_A \times 10\text{ m/s}^2=m_A \times 2\text{ m/s}^2$  (...①)이다.

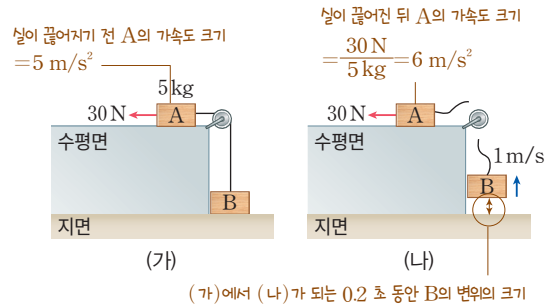
한편  $q$ 가 끊어진 뒤, B에 작용하는 알짜힘은  $p$ 가 연직 위 방향으로 당기는 힘과 B에 연직 아래 방향으로 작용하는 중력의 합력과 같다.  $p$ 가 B를 당기는 힘의 크기는  $p$ 가 A를 당기는 힘의 크기와 같고, B의 가속도 크기는 A의 가속도 크기와 같은  $2\text{ m/s}^2$ 이므로 식을 세우면  $3\text{ kg} \times 10\text{ m/s}^2-T_p=3\text{ kg} \times 2\text{ m/s}^2$ 이다. 따라서  $T_p=24\text{ N}$ 이고, 이를 ①에 대입하면  $m_A=2\text{ kg}$ 이다.

## 10

## 답 ①

### 자료 분석 ⑥ 뉴턴운동법칙과 등가속도운동

(가)에서 (나)가 되는 0.2 초 동안 A, B는 실로 연결되어 같은 크기의 가속도로 등가속도 운동을 한다. 0.2 초 동안 속도의 크기가  $1\text{ m/s}$ 만큼 증가했으므로, 실이 끊어지기 전 A, B의 가속도 크기는  $5\text{ m/s}^2$ 이다.



(가)에서 (나)가 되는 0.2 초 동안 B는  $\frac{1}{2} \times 5\text{ m/s}^2 \times (0.2\text{ s})^2=0.1\text{ m}$ 만큼 이동했다. 즉, (나)의 순간 B는 지면으로부터  $0.1\text{ m}$  높이에 있다.

(나)에서 B는 연직 위 방향으로  $1\text{ m/s}$ 의 속도로 운동하고, 가속도는 연직 아래 방향으로  $10\text{ m/s}^2$ 이므로, 다시 지면에 도달할 때까지, 즉 변위가  $-0.1\text{ m}$ 가 될 때까지 걸린 시간을  $t$ 라 하면

$$-0.1\text{ m}=1\text{ m/s} \times t - \frac{1}{2} \times 10\text{ m/s}^2 \times t^2 \text{ (...①)이다.}$$

한편 (나)에서 A는 실이 끊어지기 직전 B와 같은 크기의 속도  $1\text{ m/s}$ 로 운동하고, 실이 끊어진 순간으로부터 A의 가속도 크기는  $\frac{30\text{ N}}{5\text{ kg}}=6\text{ m/s}^2$ 이다. 즉, A가 시간  $t$  동안  $6\text{ m/s}^2$ 의 일정한

가속도로 운동하며 이동한 거리  $s$ 는  $s=1\text{ m/s} \times t + \frac{1}{2} \times 6\text{ m/s}^2 \times t^2$  (...②)이다.



①에서  $t = \frac{1+\sqrt{3}}{10}$  s이고, 이를 ②에 대입하면  $s = \frac{11+8\sqrt{3}}{50}$  m이다.

11

㉓ ③

(가)에서 A는 정지해 있으므로  $mg = 3F$ 에서  $F = \frac{1}{3}mg$ 이고, 실이 B를 당기는 힘의 크기는  $3F$ 이고 손이 B에 작용하는 힘의 크기는  $F$ 이므로 빗면에 나란한 아래 방향으로 B에 작용하는 힘의 크기는  $2F$ 이다. (나)에서 A, B의 가속도의 크기는  $\frac{1}{5}g$ 이므로  $mg - 2F = (m + m_B) \times \frac{1}{5}g$ 이다. 이 식에  $F = \frac{1}{3}mg$ 를 대입하면  $m_B = \frac{2}{3}m$ 이다.

(나)에서 실이 B를 당기는 힘의 크기는 실이 A를 당기는 힘의 크기와 같으므로 A에 작용하는 힘은  $mg - T = m \times \frac{1}{5}g$ 에서  $T = \frac{4}{5}mg$ 이다.

12

㉓ ②

ㄴ. 자동차의 브레이크를 작동한 순간부터 정지할 때까지 이동한 거리를 제동 거리라고 한다.

오답 피하기 ㄱ. 등가속도 운동의 식  $v^2 - v_0^2 = 2as$ 에 나중 속도 0, 가속도  $-a$ 를 적용하면  $s = \frac{v_0^2}{2a}$ 이다. 즉,  $s$ 는  $v_0^2$ 에 비례한다.

ㄷ. 도로가 젖으면 물기가 없을 때보다 미끄러워서 자동차를 멈추게 하는 알짜힘의 크기가 작아져, 가속도의 크기 또한 작아진다.

13

(1)  $S_1 = \frac{1}{2} \times v \times 5$ 이고,  $S_2 = \frac{1}{2} \times (20 + v) \times (10 - 5)$ 이다. 한편 시간에 따른 속도 그래프 아랫부분의 넓이는 변위와 같으므로 0 초~10 초까지의 변위  $100 \text{ m} = S_1 + S_2$ 이다. 따라서  $100 = 5v + 50$ 에서  $v = 10 \text{ m/s}$ 이다.

| 채점 기준                                      | 배점(%) |
|--------------------------------------------|-------|
| 시간에 따른 속도 그래프 아랫부분의 넓이를 이용해 $v$ 를 옮겨 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 $v$ 만 옮겨 쓴 경우                    | 40    |

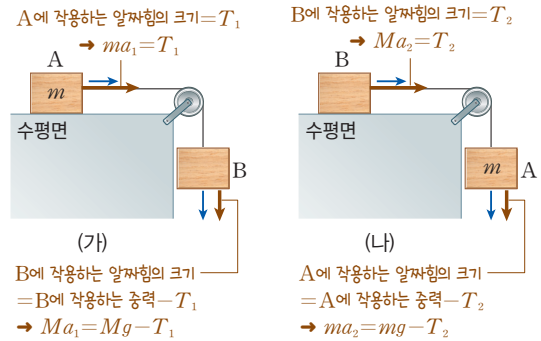
(2)  $v = 10 \text{ m/s}$ 이므로  $S_1 = \frac{1}{2} \times 10 \times 5 = 25(\text{m})$ 이고,  $S_2 = \frac{1}{2} \times (20 + 10) \times (10 - 5) = 75(\text{m})$ 이다. 따라서  $\frac{S_2}{S_1} = 3$ 이다.

| 채점 기준                                            | 배점(%) |
|--------------------------------------------------|-------|
| (1)에서 구한 $v$ 값을 이용해 $\frac{S_2}{S_1}$ 를 옮겨 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 $\frac{S_2}{S_1}$ 만 옮겨 쓴 경우            | 40    |

14

#### 다량 분석 뉴턴 운동 법칙과 등가속도 운동

A, B는 실로 연결되어 함께 운동하므로 A, B의 가속도 크기는 같다. 또한 (가)와 (나) 모두 실이 A, B를 당기는 힘의 크기는 같다. B의 질량을  $M$ , (가)와 (나)에서 A의 가속도 크기를 각각  $a_1$ ,  $a_2$ 라 하면 다음과 같이 알짜힘에 관한 식을 세울 수 있다.



(1) (가)의 두 식에서  $T_1$ 을 소거하면  $ma_1 = Mg - Ma_1$ 이므로  $a_1 = \frac{M}{M+m}g$ 이고, (나)의 두 식에서  $T_2$ 를 소거하면  $Ma_2 = mg - ma_2$ 이므로  $a_2 = \frac{m}{M+m}g$ 이다. 문제의 조건에서  $a_1 = \frac{3}{5}a_2$ 이므로  $\frac{M}{M+m}g = \frac{3}{5} \left( \frac{m}{M+m}g \right)$ 에서  $M = \frac{3}{5}m$ 이다.

| 채점 기준                                                                  | 배점(%) |
|------------------------------------------------------------------------|-------|
| 뉴턴 제2법칙을 이용해 (가), (나)에서의 가속도 크기에 관한 식을 세워 B의 질량이 $m$ 의 몇 배인지를 옮겨 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 B의 질량이 $m$ 의 몇 배이지만 옮겨 쓴 경우                                  | 40    |

(2) (가)의 식  $ma_1 = T_1$ 에  $a_1 = \frac{3}{5}a_2$ 를 대입하면  $T_1 = \frac{3}{5}ma_2$ 이고, (나)의 식  $Ma_2 = T_2$ 에  $M = \frac{3}{5}m$ 을 대입하면  $T_2 = \frac{3}{5}ma_2$ 이다. 따라서  $T_1 : T_2 = 1 : 1$ 이다.

| 채점 기준                                                                      | 배점(%) |
|----------------------------------------------------------------------------|-------|
| 뉴턴 제2법칙을 이용해 세운 식에 (가), (나)에서의 가속도비와 A, B의 질량비를 대입해 $T_1 : T_2$ 를 옮겨 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 $T_1 : T_2$ 만 옮겨 쓴 경우                                            | 40    |

15

0 초일 때 B가 A보다  $d$ 만큼 앞서 있고, 6 초일 때 A와 B가 만났으므로 0 초~6 초 동안 A가 이동한 거리는 B가 이동한 거리보다  $d$ 만큼 길다. 한편 시간에 따른 속도 그래프 아랫부분의 넓이는 변위와 같다. 따라서 (나)에서 0 초~6 초 동안 그래프 아랫부분의 넓이는 A가 B보다  $d$ 만큼 크다. 이를 식으로 나타내면  $\frac{1}{2} \times 6 \times 12 = d + 6 \times 4$ 이므로  $d = 12(\text{m})$ 이다.



| 채점 기준                                                                                                                                                                                                   | 배점(%) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 시간에 따른 속도 그래프 아랫부분의 넓이를 이용해 $d$ 를 올바르게 구한 경우                                                                                                                                                            | 100   |
| 시간에 따른 속도 그래프의 기울기를 이용해 A의 가속도를 구하고, 이 가속도를 등가속도 직선 운동의 식에 적용함과 동시에, B가 등속 운동을 하는 것을 이용하여 $d$ 를 올바르게 구한 경우에도 정답 인정                                                                                      | 100   |
| 시간에 따른 속도 그래프의 기울기를 이용해 A의 가속도를 구해 A의 속도 $v_A = 2t$ 이며, B와 A의 시간에 따른 속도 차이는 $-4 + 2t$ 이기 때문에 $d$ 는 처음 속도가 $-4$ m/s, 가속도가 $2$ m/s <sup>2</sup> 인 물체가 6 초 동안 이동한 거리로 볼 수 있다는 원리로 $d$ 를 올바르게 구한 경우에도 정답 인정 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 $d$ 만 올바르게 쓴 경우                                                                                                                                                                               | 40    |

16

**자료 분석** 뉴턴 제2법칙과 등가속도 운동

각 구간에서의 이동 거리는 0.1 초라는 일정한 시간 간격 동안 이동한 거리이므로 속력으로 볼 수 있다. 그리고 각 구간에서의 이동 거리 차이는 일정한 시간 동안 속력 변화인 가속도의 크기로 볼 수 있다. 따라서 (나), (다)에서 이동 거리를 통해 알 수 있는 속력과 가속도의 크기는 다음 표와 같다.

| 구간                                 | I   | II  | III | IV  | V    |
|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|
| (나)에서 이동 거리(cm)                    | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5  |
| (나)에서의 속력 (cm/s)                   | 5   | 10  | 15  | 20  | 25   |
| (나)에서의 가속도 크기 (cm/s <sup>2</sup> ) | 50  | 50  | 50  | 50  | 50   |
| (다)에서 이동 거리(cm)                    | 2.0 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 10.0 |
| (다)에서의 속력 (cm/s)                   | 20  | 40  | 60  | 80  | 100  |
| (다)에서의 가속도 크기 (cm/s <sup>2</sup> ) | 200 | 200 | 200 | 200 | 200  |

(나)에서의 가속도 크기는 50 cm/s<sup>2</sup>, (다)에서의 가속도 크기는 200 cm/s<sup>2</sup>로, 가속도의 크기는 (다)에서가 (나)에서보다 크다. 한편 (나), (다)에서 작용한 알짜힘의 크기는 1 N으로 같다. 따라서 뉴턴 제2법칙에 따라 질량은 (나)에서가 (다)에서보다 커야 하므로  $m_A > m_B$ 이다.

| 채점 기준                                                                                                              | 배점(%) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 질량을 올바르게 비교하고, 그 까닭을 구간마다의 이동 거리가 의미하는 물리량이 속력(또는 속도의 크기)임을 이용해 가속도의 크기를 비교하고, 이를 뉴턴 제2법칙에 적용하여 질량 비교를 올바르게 설명한 경우 | 100   |
| 질량을 올바르게 비교하고, 속도 변화량(또는 가속도)이 (나)에서가 (다)에서보다 작기 때문이라고만 설명한 경우                                                     | 50    |
| 질량을 올바르게 비교하였으나, 그 까닭을 올바르게 설명하지 않은 경우                                                                             | 20    |

03강 작용 반작용과 운동량 보존

**탐구 확인 문제**

30 쪽

01 (1) × (2) ○ (3) ○

02 (1)  $-0.858$  kg·m/s (2)  $0.776$  m/s

01

㉠ (1) × (2) ○ (3) ○

(1) 탐구 결과 표에서 두 수레가 충돌 직전 수레 1의 운동량의 크기는  $0.456$  kg·m/s로 수레 2의 운동량의 크기인  $0.309$  kg·m/s보다 크다.

(2) 수레 2의 충돌 직전 속도는 (−) 방향, 충돌 직후 속도는 (+) 방향이다. 따라서 수레 2의 충돌 직전과 충돌 직후의 운동 방향은 서로 반대이다.

(3) 작용 반작용 법칙에 따라 수레 1과 2가 충돌하면서 서로에게 가한 힘의 크기는 같고, 방향은 반대이다.

02

㉠ (1)  $-0.858$  kg·m/s (2)  $0.776$  m/s

(1) 모든 마찰과 공기 저항을 무시하므로 운동량은 보존된다. 따라서 충돌 후 수레 1과 2의 운동량 합은 충돌 전 수레 1과 2의 운동량 합과 같은  $0.540$  kg×0 +  $0.286$  kg×(−3 m/s) =  $-0.858$  kg·m/s이다.

(2) 충돌 후 수레 2의 속도를  $v$ 라 하면, 충돌 전후 운동량 보존 법칙을 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$-0.858 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0.540 \text{ kg} \times (-2 \text{ m/s}) + 0.286 \text{ kg} \times v$$

위 식을 풀면  $v = 0.776$  m/s이다.

**기본 탄탄 문제**

31 쪽

01 ㉠ 반작용, ㉡ 같, ㉢ 반대

02 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○

03 (1) ○ (2) × (3) ×

04 ㉠  $mv_2$ , ㉡  $mv_1$ , ㉢ 운동량

05 (1) ○ (2) ○ (3) ×

06  $2$  kg·m/s

01

㉠ ㉠ 반작용, ㉡ 같, ㉢ 반대

한 물체 A가 다른 물체 B에 힘을 작용하면, 물체 B도 물체 A에 크기가 같고 방향이 반대인 힘을 작용한다. 이때 A가 B에 작용하는 힘을 작용이라고 하면, B가 A에 작용하는 힘을 반작용이라고 한다.

즉, 작용 반작용 관계에 있는 두 힘은 크기가 같고 방향은 서로 반대이다.

02

답 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○

- (1) 작용 반작용 관계에 있는 두 힘은 각각 서로 다른 물체에 동시에 작용한다.
- (2) 나뭇가지에 매달린 사과를 나뭇가지를 당긴다. 이 힘에 대한 반작용으로 나뭇가지도 사과를 당긴다. 이때 서로를 당기는 두 힘의 크기는 같고, 방향은 서로 반대이다.
- (3) 사람이 벽을 밀면, 벽은 사람이 미는 힘과 크기가 같고 방향이 반대인 힘을 사람에게 작용한다.
- (4) 지구가 인공위성을 당기는 힘과, 인공위성이 지구를 당기는 힘은 작용 반작용 관계에 있는 두 힘으로, 두 힘의 크기는 같고 방향은 서로 반대이다.

03

답 (1) ○ (2) × (3) ×

- (1) 물체에는 실이 물체를 당기는 힘과 중력, 즉 지구가 물체를 당기는 힘이 작용하여 두 힘이 평형을 이루고 있다. 따라서 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 물체에 작용하는 중력의 크기인 물체의 무게와 같다.
- (2) 실이 물체를 당기는 힘의 반작용은 물체가 실을 당기는 힘이다. 한편 실이 천장을 당기는 힘의 반작용은 천장이 실을 당기는 힘이다.
- (3) 물체가 실을 당기는 힘과 실이 물체를 당기는 힘은 작용 반작용 관계의 힘으로, 두 힘은 한 물체에 작용하지 않아 합성할 수 없다. 따라서 두 힘은 평형을 이루는 두 힘이 아니다.

04

답 ㉠  $mv_2$ , ㉡  $mv_1$ , ㉢ 운동량

$F = ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{mv_2 - mv_1}{\Delta t}$ 이다. 운동량은 질량과 속도의 곱이므로  $mv_2 - mv_1$ 은 운동량의 변화량과 같다. 따라서  $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ 이다.

05

답 (1) ○ (2) ○ (3) ×

- (1) A와 B가 충돌하기 위해서는  $v_A$ 가  $v_B$ 보다 커야 한다.
- (2), (3) 충돌 과정에서 A는 B에 B의 운동 방향과 같은 방향의 힘을 가하고, B는 A에 A의 운동 방향과 반대 방향의 힘을 가한다. 이에 따라 충돌 과정에서 A의 속력은 감소하고, B의 속력은 증가한다.

06

답  $2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

A와 B가 충돌하기 전후 운동량은 보존된다. 즉, A와 B가 충돌한 뒤 운동량의 합은 충돌 전 운동량의 합과 같다. 충돌 전 A, B는 서로 반대 방향으로 운동하므로 두 물체의 충돌 전 운동량의 합은 다음과 같다.

$$1 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s} - 4 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s} = -2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

따라서 충돌 후 A, B의 운동량의 합의 크기는  $2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

일력  
목표 문제

32~35쪽

- 01 ① 02 ② 03 ⑤ 04 ⑤ 05 ① 06 ⑤ 07 ⑤  
08 ⑤ 09 ② 10 ① 11 ① 12 ②

단답형·서술형 문제

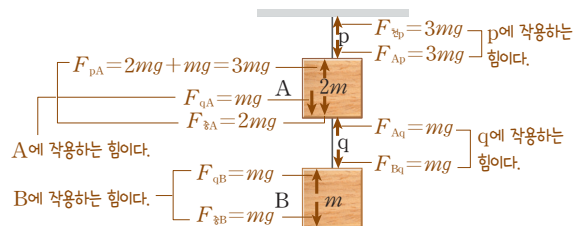
- 13 예시 답안 작용 반작용 법칙에 따라 A가 B에 작용하는 힘의 크기와 B가 A에 작용하는 힘의 크기는 같은데, 질량은 A가 B보다 크기 때문에 가속도 법칙에 따라 가속도의 크기는 B가 A보다 크다.
- 14 (1) 답 A가 용수철을 당기는 힘 (2) 답 실이 A를 당기는 힘  
(3) 예시 답안 실이 B를 당기는 힘의 크기는  $2mg$ 이므로 실이 A를 당기는 힘의 크기는  $2mg$ 이다. 따라서 용수철이 A를 당기는 힘의 크기는  $2mg$ 로,  $mg$ 의 2 배이다.
- 15 예시 답안 운동량 보존 법칙에 따라 (가), (다)에서 모두  $A \sim C$ 의 운동량의 총합은  $p$ 이므로 A의 속력은 (가)에서  $\frac{p}{2m}$ 이고, (다)에서  $\frac{p}{2m+m+m} = \frac{p}{4m}$ 이다. 따라서 (가)의 순간부터 (다)의 순간까지 A의 속도 변화량의 크기는  $\left| \frac{p}{4m} - \frac{p}{2m} \right| = \frac{p}{4m}$ 로  $\frac{p}{m}$ 의  $\frac{1}{4}$  배이다.
- 16 (1) 예시 답안 A의 질량은  $m$ , 충돌 후 속도는  $-3v$ , 충돌 전 속도는  $5v$ 이므로 A의 운동량 변화량의 크기는  $| -3mv - 5mv | = 8mv$ , 즉  $mv$ 의 8 배이다.  
(2) 예시 답안 충돌 전후 A, B의 운동량의 총합은 보존되므로  $5mv - m_B v = -3mv + 2m_B v$ 에서 B의 질량  $m_B = \frac{8}{3}m$ 이다. 즉, B의 질량은 A의  $\frac{8}{3}$  배이다.

01

답 ①

자료 분석 ② 작용 반작용과 힘의 평형

- p에는 천장이 p를 당기는 힘( $F_{\text{tp}}$ )과 A가 p를 당기는 힘( $F_{\text{Ap}}$ )이 작용하여 평형을 이룬다.
- A에는 중력( $F_{\text{gA}}$ )과 q가 A를 당기는 힘( $F_{\text{qA}}$ ), 그리고 p가 A를 당기는 힘( $F_{\text{pA}}$ )이 작용하여 평형을 이룬다.
- q에는 A가 q를 당기는 힘( $F_{\text{Aq}}$ )과 B가 q를 당기는 힘( $F_{\text{Bq}}$ )이 작용하여 평형을 이룬다.
- B에는 중력( $F_{\text{gB}}$ )과 q가 B를 당기는 힘( $F_{\text{qB}}$ )이 작용하여 평형을 이룬다.



7. B에 작용하는 알짜힘은 0이므로  $F_{qB}$ 의 크기는 B에 작용하는 중력의 크기와 같은  $mg$ 이다.

**오답 피하기** ㄴ.  $F_{pA}=2mg+mg=3mg$ 이고,  $F_{qA}=mg$ 이다. 따라서 p가 A를 당기는 힘의 크기는 q가 A를 당기는 힘의 크기의 3 배이다.

ㄷ. q가 B를 당기는 힘( $F_{qB}$ )의 반작용은 B가 q를 당기는 힘( $F_{Bq}$ )이다.

## 02

㉔ ②

ㄷ. 학생이 철봉을 당기는 힘의 크기는 학생의 무게와 같다. 한편 지면이 철봉을 떠받치는 힘의 크기는 철봉의 무게와 학생의 무게의 합이다. 따라서 학생이 철봉을 당기는 힘의 크기는 지면이 철봉을 떠받치는 힘의 크기보다 작다.

**오답 피하기** ㄱ. 학생은 정지해 있으므로 학생에 작용하는 알짜힘은 0이다.

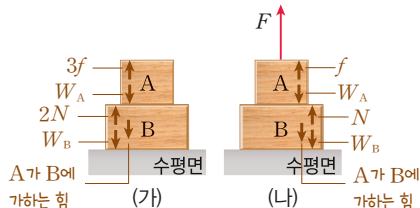
ㄴ. 학생에 작용하는 중력, 즉 지구가 학생을 당기는 힘의 반작용은 학생이 지구를 당기는 힘이다. 학생에 작용하는 중력과 철봉이 학생에 작용하는 힘은 힘의 평형 관계이다.

## 03

㉔ ⑤

### 자료 분석 작용 반작용과 힘의 평형

A와 B에 작용하는 중력의 크기, 즉 무게를 각각  $W_A$ ,  $W_B$ , (가)와 (나)에서 수평면이 B를 떠받치는 힘의 크기를 각각  $2N$ ,  $N$ , (가)와 (나)에서 B가 A에 가하는 힘의 크기를 각각  $3f$ ,  $f$ 라고 하면 (가), (나)에 다음과 같이 힘을 표시할 수 있다.



7. (가)에서 A에는 B가 A에 가하는 힘과 중력이 작용해 힘의 평형을 이루고 있으므로  $W_A=3f$ 이다. (나)에서 A에는 B가 A에 가하는 힘과 중력, 연직 위 방향으로 가한 크기  $F$ 인 힘이 작용해 힘의 평형을 이루고 있으므로  $W_A=F+f$ 이다. 두 식을 연립하면  $f=0.5F$ 이다.

ㄷ.  $3f+W_B=2N$ 에  $W_B=f$ ,  $f=0.5F$ 를 대입해 정리하면  $2N=2F$ 이다.

**오답 피하기** ㄴ. (가), (나)에서 B에는 A가 B에 가하는 힘과 중력, 수평면이 B를 떠받치는 힘이 작용해 힘의 평형을 이루고 있다. 이때 A가 B에 가하는 힘과 B가 A에 가하는 힘은 작용 반작용 관계이므로, A가 B에 가하는 힘의 크기는 (가), (나)에서 각각  $3f$ ,  $f$ 이다. 따라서 (가)에서  $3f+W_B=2N$ 이고, (나)에서  $f+W_B=N$ 이다. 두 식을 연립하면  $W_B=f$ 이다.  $W_A=3f$ 이므로  $W_A$ 는  $W_B$ 의 3 배이다. 따라서 질량은 A가 B의 3 배이다.

## 04

㉔ ⑤

7. A, B를 한 덩어리로 생각하면 (가)에서는 질량  $3m$ 인 물체에 크기가  $F$ 인 알짜힘이 작용하는 것이고 (나)에서는 질량  $3m$ 인 물체에 크기가  $2F$ 인 알짜힘이 작용하는 것이다. 따라서 가속도 법칙에 따라 한 덩어리로 운동하는 A, B의 가속도의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2 배이다.

ㄴ. (가)에서 A가 B에 가하는 힘은 B에 알짜힘으로 작용한다. 이때 B의 가속도의 크기는  $\frac{F}{3m}$ , B의 질량은  $2m$ 이므로 알짜힘의

크기는  $\frac{2F}{3}$ 이다. (나)에서 A가 B에 가하는 힘의 반작용은 B가

A에 가하는 힘이며, 이 힘은 A에 알짜힘으로 작용한다. 즉, A가 B에 가하는 힘의 크기는 A에 작용하는 알짜힘의 크기와 같다.

이때 A의 가속도의 크기는  $\frac{2F}{3m}$ , 질량은  $m$ 이므로 알짜힘의 크

기는  $\frac{2F}{3}$ 이다. 따라서 A가 B에 가하는 힘의 크기는 (가)에서와

(나)에서가  $\frac{2F}{3}$ 로 같다.

ㄷ. (나)에서 A가 B에 가하는 힘의 반작용은 B가 A에 가하는 힘이다.

## 05

㉔ ①

7. (가)에서 C의 가속도 크기를  $a$ 라 하면, (나)에서 C의 가속도 크기는  $2a$ 이다. 한편 (가), (나)에서 가속도의 방향은 반대이므로 (가)에서 C의 가속도 방향은 연직 위 방향, (나)에서 C의 가속도 방향은 연직 아래 방향이다.

(나)에서 실이 C를 당기는 힘의 크기를  $T_{(나)}$ 라 하면, C에는 중력  $3mg$ 과  $T_{(나)}$ 의 합력이 알짜힘으로 작용하므로  $3m \times 2a = 3mg - T_{(나)}$ (...①)이다. 한편 A, B는 질량이  $3m$ 인 하나의 물체로 볼 수 있고, 이 물체에는  $T_{(나)}$ 가 알짜힘으로 작용하므로  $3m \times 2a = T_{(나)}$ (...②)이다. 두 식 ①, ②를 연립하면  $a = \frac{1}{4}g$ 이다.

**오답 피하기** ㄴ. (가)에서 실이 C를 당기는 힘의 크기를  $T_{(가)}$ 라 하면, C에는 중력  $3mg$ 과  $T_{(가)}$ 의 합력이 알짜힘으로 작용하고, 알짜힘의 방향은 가속도의 방향과 같은  $T_{(가)}$ 의 방향이다. 따라서  $3m \times a = T_{(가)} - 3mg$ (...①)이다. 한편 (가)에서 A, B를 하나의 물체로 보면, 물체에는  $T_{(가)}$ 와  $F$ 의 합력이 알짜힘으로 작용한다. 이때 알짜힘의 방향은 가속도의 방향, 즉  $F$ 의 방향과 같으므로  $3m \times a = F - T_{(가)}$ (...②)이다. 두 식 ①, ②를 연립한 뒤  $a = \frac{1}{4}g$

를 대입하면  $F = \frac{9}{2}mg$ 이다.

ㄷ. 작용 반작용 법칙에 따라 A가 B에 가하는 힘의 크기는 B가 A에 가하는 힘의 크기와 같고, B가 A에 가하는 힘은 A에 알짜힘으로 작용한다. 가속도 법칙에 따라 알짜힘의 크기는 가속도 크기에 비례하므로 A가 B에 가하는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

06

답 ⑤

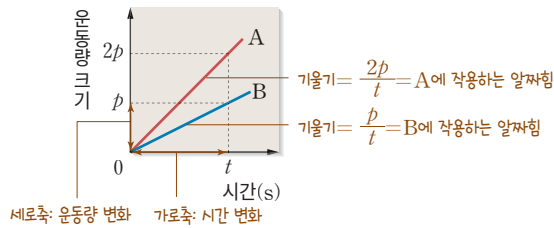
A, B의 질량을 각각  $m_A, m_B$ 라고 하자. 0부터  $t$ 까지 가속도는  $\frac{v}{t}$ 이므로  $F = (m_A + m_B) \times \frac{v}{t}$ 이고,  $t$ 부터  $2t$ 까지 가속도는  $\frac{3v-v}{2t-t} = \frac{2v}{t}$ 이므로  $F = m_A \times \frac{2v}{t}$ 이다. 두 식을 연립하면  $m_A = m_B$ 이다. 실이 끊어진 뒤 B는 속력  $v$ 로 등속 운동을 하므로  $2t$ 일 때 B의 속력은  $v$ 이다.  $2t$ 일 때 A의 속력은  $3v$ 이므로  $p_A : p_B = 3 : 1$ 이다.

07

답 ⑤

### 자료 분석 ⑤ 시간에 따른 운동량 그래프

그래프 가로축은 시간 변화량  $\Delta t$ , 세로축은 운동량 변화량  $\Delta p$ 이므로 그래프의 기울기는  $\frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{m \Delta v}{\Delta t} = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = ma = F$ , 즉 물체에 작용한 알짜힘과 같다.



ㄱ. 그래프 기울기는 일정하므로 물체에 작용하는 알짜힘은 일정하다. 따라서 A는 등가속도 운동을 한다.

ㄴ. 같은 시간 동안 운동량 변화량의 크기는 A가 B의 2 배이므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 A가 B의 2 배이다.

ㄷ. 물체의 질량은 A가 B의 2 배이고,  $t$ 일 때 운동량의 크기는 A가 B의 2 배이다. 따라서  $t$ 일 때 속력은 A와 B가 같다.

08

답 ⑤

A, B의 질량은 같고, A의 속력이 B의 속력보다 크므로 충돌 전 A, B의 운동량 합은 A의 운동 방향과 같은  $+x$  방향이다. 운동량 보존 법칙에 따라 충돌 후 A, B의 운동량 합 또한  $+x$  방향이 되어야 한다.

ㄴ. A, B가 한 덩어리가 되어 운동할 때 운동량이  $+x$  방향이어야 하므로, 충돌 후 A, B의 운동 방향이  $+x$  방향이라면, 이는 일어날 수 있는 운동이다.

ㄷ. 충돌 후 A, B가 모두  $+x$  방향으로 운동하므로 충돌 후 운동량의 합의 방향은  $+x$  방향이다. 따라서 이는 일어날 수 있는 운동이다.

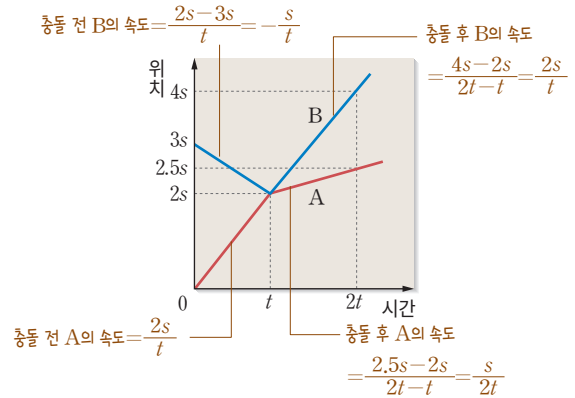
오답 피하기 ㄱ. 충돌 후 서로 반대 방향으로 운동한다고 했으므로 A는  $-x$  방향으로 운동하고 B는  $+x$  방향으로 운동한다. 질량은 A와 B가 같으므로 충돌 후 속력이 A가 B보다 크다면, 운동량의 크기는 A가 B보다 크다. 따라서 충돌 후 운동량의 합의 방향이  $-x$  방향이 되므로 이는 일어날 수 없는 운동이다.

09

답 ②

### 자료 분석 ② 충돌과 시간에 따른 위치 그래프

시간에 따른 위치 그래프의 기울기는 속도를 의미한다.



충돌 전 A의 속도를  $2v$ 라고 하면, 충돌 후 A의 속도는  $\frac{1}{2}v$ , 충돌 전 B의 속도는  $-v$ , 충돌 후 B의 속도는  $2v$ 이다.

ㄴ. A, B의 질량을 각각  $m_A, m_B$ 라고 하면, 운동량 보존 법칙에 따라  $m_A \times 2v - m_B \times v = m_A \times \frac{1}{2}v + m_B \times 2v$ 에서  $m_A = 2m_B$ 이다.

따라서 질량은 A가 B의 2 배이다.

오답 피하기 ㄱ. 충돌 과정에서 A, B의 속도 변화량의 크기는 각각  $|\frac{1}{2}v - 2v| = \frac{3}{2}v$ ,  $|2v - (-v)| = 3v$ 이다. 따라서 속도 변화량의 크기는 A가 B보다 작다.

ㄷ. 질량은 A가 B의 2 배이고,  $2t$ 일 때 속력은 B가 A의 4 배이다. 따라서  $2t$ 일 때 운동량의 크기는 B가 A의 2 배이다.

10

답 ①

ㄱ. 운동량 보존 법칙에 따라 용수철이 완전히 퍼진 직후 B와 C의 운동량의 크기는 같다. 질량은 C가 B의 2 배이므로 B가 A와 충돌하기 직전, 속력은 B가 C의 2 배이다.

오답 피하기 ㄴ. 용수철이 완전히 퍼진 직후 C의 속력이  $v_C$ 이므로 B의 속력은  $2v_C$ 이다. A와 B가 충돌하여 한 덩어리가 되기 전과 후 운동량은 보존되므로  $m \times 2v_C = (m + m) \times v$ 에서  $v_C = v$ 이다.

ㄷ. (나)에서 A와 B가 충돌한 뒤 A의 운동량의 크기는  $mv$ 이고, C의 운동량의 크기는  $2mv_C = 2mv$ 이다.

11

답 ①

ㄱ. A가 B를 미는 과정에서 운동량의 총합은 보존되므로 A의 운동량이 감소한 만큼 B의 운동량이 증가한다. 따라서 A의 운동량 변화량의 크기는 B의 운동량 변화량의 크기와 같다.

오답 피하기 ㄴ. A가 B를 미는 힘의 반작용은 B가 A를 미는 힘이다. 따라서 A가 B를 미는 동안 A가 B에 작용하는 힘의 크기와 B가 A에 작용하는 힘의 크기는 같다.

ㄷ. 운동량은 보존되므로 다음 식이 성립한다.

$$60 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s} + 50 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s} = 60 \text{ kg} \times v + 50 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s}$$

따라서  $v = \frac{5}{2} \text{ m/s}$ 이다.

12

답 ②

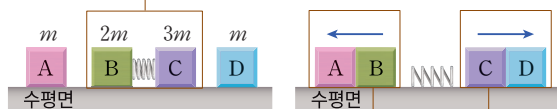
### 자료 분석 ● 분열 및 융합과 운동량 보존

용수철이 완전히 펴졌을 때 B, C의 속력을 각각  $v$ ,  $v_C$ 라고 하자.

용수철이 완전히 펴져 분열한 뒤 B, C의 운동량 합은 분열 전과 같은 0이다.

→ 용수철이 완전히 펴진 뒤 B, C의 운동량의 크기는 같고 방향은 반대이다.

→  $v : v_C = 3 : 2$ 이다.



A, B의 융합 후 운동량 합은 융합 전 운동량 합, 즉 B의 운동량과 같다.

C, D의 융합 후 운동량 합은 융합 전 운동량 합, 즉 C의 운동량과 같다.

운동량 보존 법칙에 따라  $0 = -2mv + 3mv_C$ 이므로  $v_C = \frac{2}{3}v$ 이다.

(나)에서 한 덩어리가 된 A와 B의 속력을  $v_{AB}$ 라고 하면  $-2mv = -(m+2m) \times v_{AB}$ 이므로  $v_{AB} = \frac{2}{3}v$ 이고, 한 덩어리가

된 C와 D의 속력을  $v_{CD}$ 라고 하면  $3m \times \frac{2}{3}v = (3m+m) \times v_{CD}$

이므로  $v_{CD} = \frac{1}{2}v$ 이다.

충돌 전후 B, C의 운동량 변화량의 크기는 각각 A, D의 운동량 변화량의 크기와 같으므로  $p_1 = \left| -m \times \frac{2}{3}v - 0 \right| = \frac{2}{3}mv$ ,

$p_2 = \left| m \times \frac{1}{2}v - 0 \right| = \frac{1}{2}mv$ 이다. 따라서  $\frac{p_1}{p_2} = \frac{4}{3}$ 이다.

13

작용 반작용 법칙에 따라 A에 고정된 자석이 B에 고정된 자석에 가하는 힘의 크기와 B에 고정된 자석이 A에 고정된 자석에 가하는 힘의 크기가 같고, 방향은 서로 반대이다. 각 자석이 서로에게 가하는 힘이 수레 A, B에 알짜힘으로 작용하므로, A, B에 작용하는 알짜힘의 크기가 같다. 따라서 가속도 법칙에 따라 질량이 더 큰 A의 가속도 크기가 더 작다.

| 채점 기준                                                                | 배점(%) |
|----------------------------------------------------------------------|-------|
| ‘가속도 법칙’과 ‘작용 반작용 법칙’이라는 용어를 모두 포함해 가속도를 올바르게 비교한 경우                 | 100   |
| ‘가속도 법칙’과 ‘작용 반작용 법칙’이라는 용어 중 한 가지만 포함해 가속도를 올바르게 비교한 경우             | 75    |
| ‘가속도 법칙’과 ‘작용 반작용 법칙’이라는 용어를 포함하지는 않았지만, 그 까닭을 올바르게 설명하여 가속도를 비교한 경우 | 50    |
| 가속도 비교만 올바르게 쓴 경우                                                    | 20    |

14

(1) 용수철이 A를 당기는 힘과 A가 용수철을 당기는 힘은 작용 반작용 관계에 있는 두 힘이다.

(2) A에는 왼쪽으로 용수철이 A를 당기는 힘과, 오른쪽으로 실이 A를 당기는 두 힘이 작용한다. 이때 A는 정지 상태이므로 두 힘은 힘의 평형 관계에 있다.

(3) 실이 B를 당기는 힘과 B에 작용하는 중력은 힘의 평형 관계이므로 실이 B를 당기는 힘의 크기는  $2mg$ 이다. 따라서 B가 실을 당기는 힘의 크기도  $2mg$ 이다. 한편 실에는 A가 실을 당기는 힘과 B가 실을 당기는 힘이 작용해 평형을 이루므로 A가 실을 당기는 힘의 크기는  $2mg$ 이다. 따라서 실이 A를 당기는 힘의 크기 또한  $2mg$ 이고, 실이 A를 당기는 힘과 힘의 평형 관계에 있는 용수철이 A를 당기는 힘의 크기 또한  $2mg$ 이다. 즉, 용수철이 A를 당기는 힘의 크기는  $mg$ 의 2 배이다.

| 채점 기준                                                       | 배점(%) |
|-------------------------------------------------------------|-------|
| 용수철이 A를 당기는 힘의 크기가 $mg$ 의 2 배임을 힘의 평형 관계를 이용해 옳게 설명한 경우     | 100   |
| 용수철이 A를 당기는 힘의 크기가 $2mg$ 임을 힘의 평형 관계를 이용해 옳게 설명한 경우에도 정답 인정 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 용수철이 A를 당기는 힘의 크기가 $mg$ 의 2 배라는 것만 쓴 경우           | 40    |

15

(가)에서 A의 속력은  $\frac{p}{2m}$ 이고, A, B, C가 충돌하는 과정에서

운동량의 총합은 보존되므로 (나), (다)에서 A, B, C의 운동량의 총합은  $p$ 이다. 따라서 (다)에서 한 덩어리가 된 A, B, C의 속력은

$\frac{p}{2m+m+m} = \frac{p}{4m}$ 이다. 따라서 속도 변화량의 크기는

$\left| \frac{p}{4m} - \frac{p}{2m} \right| = \frac{p}{4m}$ 로  $\frac{p}{m}$ 의  $\frac{1}{4}$  배이다.

| 채점 기준                                                                     | 배점(%) |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|
| A의 속도 변화량의 크기가 $\frac{p}{m}$ 의 $\frac{1}{4}$ 배임을 운동량 보존 법칙을 이용해 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 A의 속도 변화량의 크기가 $\frac{p}{m}$ 의 $\frac{1}{4}$ 배라는 것만 쓴 경우        | 40    |

16

(1) 충돌 전 A의 속도는  $5v$ , 충돌 후 A의 속도는  $-3v$ 이다. A의 질량이  $m$ 이므로 충돌 전후 A의 운동량 변화량은  $-3mv - 5mv = -8mv$ 이다. 따라서 운동량 변화량의 크기는  $8mv$ 이다.

| 채점 기준                                                      | 배점(%) |
|------------------------------------------------------------|-------|
| 그래프에서 충돌 전과 후 A의 속도를 찾아 운동량 변화량의 크기가 $8mv$ 라는 것을 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 운동량 변화량의 크기가 $8mv$ 라는 것만 쓴 경우                    | 40    |



(2) 충돌 전후 A, B의 운동량의 총합은 보존되므로 B의 운동량 변화량은  $8mv$ 이다. B의 질량을  $m_B$ 라 하면  $8mv = 2m_Bv - (-m_Bv)$ 에서  $m_B = \frac{8}{3}m$ 이다. 즉, B의 질량은 A의  $\frac{8}{3}$  배이다.

| 채점 기준                                                                               | 배점(%) |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 그래프에서 충돌 전과 후 B의 속도를 찾아 운동량 보존 법칙을 이용해 B의 질량이 A의 질량의 $\frac{8}{3}$ 배라는 것을 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 B의 질량이 A의 질량의 $\frac{8}{3}$ 배라는 것만 쓴 경우                                   | 40    |



36~39쪽

**01 ② 02 ① 03 ④ 04 예시답안** 막대, A, B의 무게는 각각 50 N, 20 N, 40 N이므로 막대와 Q가 연결된 곳을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면,  $4m \times F = 3m \times 20N + 2m \times 50N + 1m \times 40N$ 이 성립한다. 따라서  $F = 50N$ 이다.

**05 ② 06 ① 07 ① 08 ②**

**09 (1) 예시답안** A, B의 가속도가 같으므로 A, B의 속도 변화량을  $v_0$ 이라고 하면  $v_A = 5v - v_0$ ,  $v_B = v + v_0$ 이다. A, B가 충돌할 때까지 평균 속도의 크기는 A가 B의 2 배이므로  $\frac{5v + (5v - v_0)}{2}$

$= v + (v + v_0)$ 에서  $v_0 = 2v$ 이다. 따라서  $\frac{v_A}{v_B} = \frac{5v - 2v}{v + 2v} = 1$ 이다.

(2) 예시답안 A의 가속도의 크기를  $a$ 라고 하면,  $(5v)^2 - (3v)^2 = 2 \times a \times 2L$ 에서  $a = \frac{4v^2}{L}$ 으로  $\frac{v^2}{L}$ 의 4 배이다.

**10 ① 11 (1) 예시답안** 빗면을 따라 내려가는 방향이다. 실이 끊어진 뒤 B의 속력이  $2v$ 이기 위해서는 B가 빗면을 따라 올라가면서 속력이 감소하다가 운동 방향이 반대로 바뀐 뒤 속력이 다시 증가해야 하기 때문이다.

(2) 예시답안 (가)에서 등속 운동을 하므로 A, B가 각각 빗면을 내려가려는 힘의 크기는 같다. (나)에서 같은 시간 동안 A, B의 속도 변화량의 크기, 즉 가속도의 크기비  $a_A : a_B = v : 3v = 1 : 3$ 이므로 질량비  $m_A : m_B = 3 : 1$ 이다.

**12 ② 13 ② 14 ⑤ 15 ⑤**

**16 예시답안** A, B, C의 운동량의 총합은 (가), (나)에서 같으므로  $(m + 2m)v = -0.5mv + (2m + 3m)V$ 에서  $V = 0.7v$ 이다. 따라서  $\frac{p_2}{p_1} = \frac{1.4mv}{2mv} = 0.7$ 이다.

**01**

**②**

ㄴ. B에 작용하는 알짜힘은 0이므로 B에 연직 위 방향으로 작용하는 실이 B를 당기는 힘의 크기  $T$ 는 연직 아래 방향으로 작용하는 중력의 크기인  $mg$ 와 같다.

**오답 피하기** ㄱ. A, B는 일정한 속도로 운동하므로 A, B에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄷ. A에 작용하는 알짜힘은 0이므로 A에 왼쪽으로 작용하는 마찰력의 크기  $f$ 는 오른쪽으로 작용하는 실이 A를 당기는 힘의 크기  $T$ , 즉  $mg$ 와 같다.

**02**

**①**

막대 A의 경우 A를 실로 매단 곳을 회전축으로 하면, A의 무게 중심은 회전축으로부터 수평 거리  $3L$ 만큼 떨어져 있고, A의 오른쪽 끝에는 B와 물체의 무게의 합만큼의 중력이 작용한다. 따라서 A에 돌림힘의 평형을 적용하면 다음 식을 만족한다.

$$3L \times m_{Ag} = 2L \times (m_B + 2m)g \cdots (i)$$

한편 막대 B의 경우 B를 실로 매단 곳을 회전축으로 하면, B의 무게 중심은 회전축으로부터 수평 거리  $L$ 만큼 떨어져 있다. 따라서 B에 돌림힘의 평형을 적용하면 다음 식을 만족한다.

$$L \times m_{Bg} = 2L \times 2mg \cdots (ii)$$

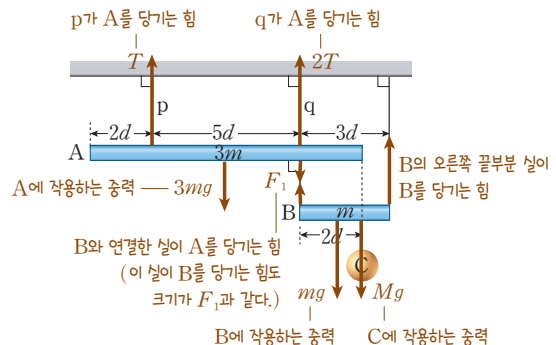
(i), (ii)에 따라  $\frac{m_A}{m_B} = \frac{4m}{4m} = 1$ 이다.

**03**

**④**

#### 자료 분석 물체의 평형 상태 분석

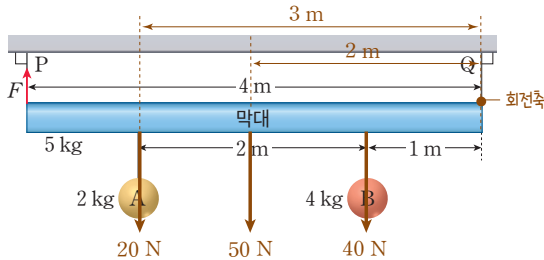
- A에는 다음과 같이 네 힘이 작용한다. 네 힘은 평형을 이루며, 네 힘에 따른 돌림힘 또한 평형을 이룬다.
- B에는 다음과 같이 네 힘이 작용한다. 네 힘은 평형을 이루며, 네 힘에 따른 돌림힘 또한 평형을 이룬다.



q가 A를 당기는 지점을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면,  $2.5d \times 3mg = 5d \times T$ 에서  $T = 1.5mg$ 이다. 한편 A에 작용하는 알짜힘은 0이므로  $3T = 3mg + F_1$ 에서  $F_1 = 1.5mg$ 이다. C의 질량을  $M$ 이라 하고, B의 오른쪽 끝을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면,  $1.5d \times mg + d \times Mg = 3d \times F_1$ 에서  $M = 3m$ 이다.

### 자료 분석 ● 평형 상태 분석

막대에는 A에 작용하는 중력 20 N, 막대에 작용하는 중력 50 N, B에 작용하는 중력 40 N, P가 당기는 힘  $F$ , Q가 당기는 힘이 작용한다. 막대와 Q가 연결된 점을 회전축으로 하면,  $F$ , 20 N, 50 N, 40 N의 힘에 따른 돌림힘들은 평형을 이룬다.



막대와 Q가 연결된 점을 회전축으로 하면  $F$ 에 따른 돌림힘은 시계방향으로 작용하고, 20 N, 50 N, 40 N에 따른 돌림힘은 반시계방향으로 작용한다. 이 네 돌림힘들의 합이 0이므로 다음과 같은 식이 성립한다.

$4 \text{ m} \times F = 3 \text{ m} \times 20 \text{ N} + 2 \text{ m} \times 50 \text{ N} + 1 \text{ m} \times 40 \text{ N}$   
따라서  $F = 50 \text{ N}$ 이다.

| 채점 기준                            | 배점(%) |
|----------------------------------|-------|
| 돌림힘의 평형을 이용하여 $F$ 의 크기를 옳게 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정 없이 $F$ 의 크기만 옳게 쓴 경우       | 40    |

### 05 답 ②

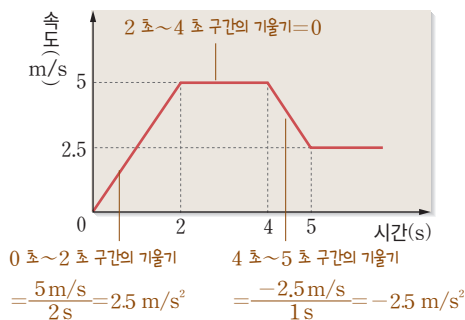
ㄴ. 무게 중심이 접촉점에서 그은 연직선의 왼쪽에 있으므로 오뎅이를 반시계방향으로 회전시키려는 알짜 돌림힘이 작용한다.

오답 피하기 ㄱ. 오뎅이에 중력이 작용하므로 접촉점에는 오뎅이가 지면을 연직 아래 방향으로 누르는 힘이 작용한다. 이에 대한 반작용으로 지면이 오뎅이를 떠받치는 힘이 작용한다.

ㄷ. 오뎅이에 작용하는 알짜 돌림힘에 따라 오뎅이는 평형 상태를 유지하지 않고 반시계방향으로 회전한다.

### 06 답 ①

#### 자료 분석 ● 시간에 따른 속도 그래프의 기울기



ㄱ. 0 초 이후로 속도의 방향, 즉 운동 방향은 계속 (+) 방향으로 같다.

오답 피하기 ㄴ. 3 초일 때는 그래프의 기울기가 0이므로 가속도가 0이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

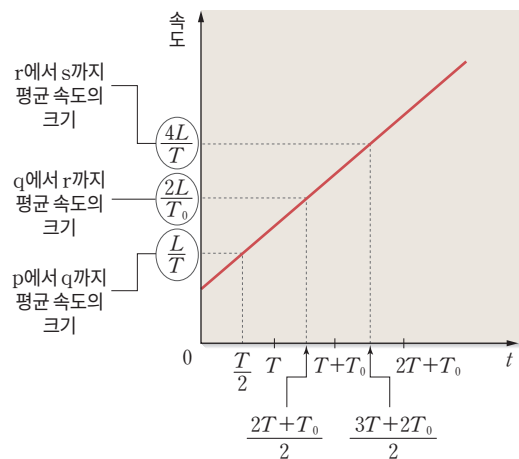
ㄷ. 0 초~2 초까지 그래프의 기울기 크기와 4 초~5 초까지 그래프의 기울기 크기는 같으므로 가속도의 크기가 같다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기도 같다.

### 07 답 ①

(가)에서 A가 빔면 아래 방향으로 내려가려는 힘의 크기, 즉 A에 작용하는 알짜힘의 크기는  $ma$ 이다. 빔면은 (가)에서와 (나)에서가 같고, 질량은 B가 A의 2 배이므로 B가 빔면 아래 방향으로 내려가려는 힘의 크기는  $2ma$ 이다. 한편 B는 빔면 위 방향의 가속도  $a$ 로 운동하므로, B에 작용하는 알짜힘은 빔면을 올라가는 방향으로  $2ma$ 이다. 따라서  $F - 2ma = 2ma$ 에서  $a = \frac{F}{4m}$ 이다.

### 08 답 ②

p에서 q까지 평균 속도의 크기는  $\frac{L}{T}$ 이고, r에서 s까지 평균 속도의 크기는  $\frac{4L}{T}$ 이다. 물체가 시간  $t=0$ 일 때 p를 통과한다고 하면, 물체는 등가속도 운동을 하므로 p에서 q까지 평균 속도의 크기는  $t = \frac{T}{2}$ 일 때 속도의 크기와 같다. 물체가 q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간을  $T_0$ 이라고 하면, 물체는  $t = T + T_0$ 일 때 r를 지나고  $t = 2T + T_0$ 일 때 s를 지난다. 따라서 r에서 s까지 평균 속도의 크기는  $t = \frac{(T+T_0) + (2T+T_0)}{2} = \frac{3T+2T_0}{2}$ 일 때 속도의 크기와 같다. 이를 시간  $t$ 에 따른 속도 그래프로 나타내면 다음과 같다.



물체는 등가속도 운동을 하므로 q에서 r까지 평균 속도의 크기는  $\frac{T}{2}$ 일 때와  $\frac{3T+2T_0}{2}$ 일 때 속도 크기의 중간값과 같다. 따라서

$$\frac{2L}{T_0} = \frac{\frac{L}{T} + \frac{4L}{T}}{2} \text{에서 } T_0 = \frac{4}{5}T \text{이다.}$$

## 09

(1) A, B의 가속도가 같으므로 A가 p에서 q까지 운동하는 동안 속도 변화량과 B가 r에서 q까지 운동하는 동안 속도 변화량이 같다. 이때 빗면을 올라가는 방향을 (-) 방향, A, B의 속도 변화량을  $v_0$ 이라고 하면,  $v_0 = -v_A - (-5v)$ 에서  $v_A = 5v - v_0$ 이고,  $v_0 = v_B - v$ 에서  $v_B = v + v_0$ 이다. 한편 A, B가 각각 p, r를 지나는 순간으로부터 q에서 충돌할 때까지 이동한 거리는 A가 B의 2 배이므로 평균 속도의 크기는 A가 B의 2 배이다. 따라서  $\frac{5v + (5v - v_0)}{2} = 2 \times \frac{v + (v + v_0)}{2}$ 이다. 이를 정리하면,  $v_0 = 2v$ 이므로  $\frac{v_A}{v_B} = \frac{5v - 2v}{v + 2v} = 1$ 이다.

| 채점 기준                                                                             | 배점(%) |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 등가속도 운동의 평균 속도를 이용하여 $\frac{v_A}{v_B}$ 를 옳게 구한 경우                                 | 100   |
| A, B의 시간에 따른 속도 그래프를 그려 그래프 A, B가 만드는 평행사변형의 면적을 이용해 $\frac{v_A}{v_B}$ 를 옳게 구한 경우 | 100   |
| 에도 정답 인정                                                                          |       |
| 풀이 과정이 없이 $\frac{v_A}{v_B}$ 만 옳게 쓴 경우                                             | 40    |

(2) A의 가속도의 크기를  $a$ 라고 하면, 등가속도 운동의 식  $v^2 - v_0^2 = 2as$ 에 A의 처음 속도  $-5v$ 와 나중 속도  $-3v$ 를 대입하면  $(-3v)^2 - (-5v)^2 = 2a \times (-2L)$ 이므로  $a = \frac{4v^2}{L}$ 이다.

| 채점 기준                                                                              | 배점(%) |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 등가속도 운동의 식 $v^2 - v_0^2 = 2as$ 를 이용하여 A의 가속도 크기가 $\frac{v^2}{L}$ 의 몇 배인지를 옳게 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 A의 가속도 크기가 $\frac{v^2}{L}$ 의 몇 배인지만 옳게 쓴 경우                              | 40    |

## 10



(가)에서 A에 작용하는 알짜힘은 0이므로  $F$ 와  $T$ 는 크기가 같고, B에 작용하는 알짜힘은 0이므로 B, C가 연결된 실이 당기는 힘의 크기 또한  $T$ 와 같다. C에 작용하는 알짜힘 또한 0이므로 B, C가 연결된 실이 당기는 힘의 크기는 C에 작용하는 중력의 크기, 즉  $3mg$ 와 같다. 따라서 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$T = F = 3mg \cdots (i)$$

(나)에서는 B, C에 작용하는 중력 때문에 (가)에서보다 A를 오른쪽으로 당기는 힘의 크기가 더 크다. 따라서 A의 가속도의 방향은  $F$ 의 방향과 반대이어서 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\bullet \text{ A의 운동: } ma_{(나)} = T_{(나)} - F \cdots (ii)$$

$$\bullet \text{ B, C의 운동: } (2m + 3m)g - T_{(나)} = (2m + 3m)a_{(나)} \cdots (iii)$$

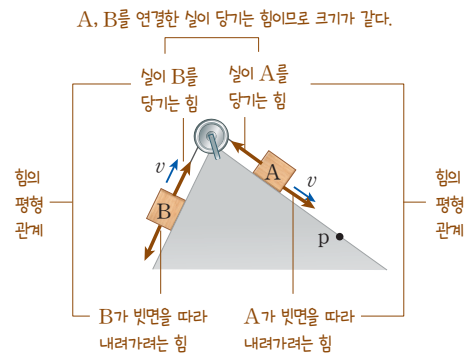
(i), (ii), (iii)을 연립하여  $T_{(나)}$ 를 소거해 정리하면  $a_{(나)} = \frac{1}{3}g$ 이고,

이를 (ii)에 대입해 정리하면  $T_{(나)} = \frac{10}{9}T$ 이다.

## 11

### 자료 분석 뉴턴 제2법칙과 등가속도 운동

(가)에서 A, B는 등속 운동을 하므로 A, B에 작용하는 알짜힘은 0이다.



(1) B는 빗면을 따라  $v$ 의 일정한 속력으로 올라가다가, 실이 끊어지면 운동 방향과 반대 방향의 가속도로 운동한다. 따라서 B의 속력은  $v$ 에서 점점 감소하다가, 어느 정도 시간이 지나면 운동 방향이 반대로 바뀌어 빗면을 따라 내려가는 방향으로 등가속도 운동을 한다. 그리고 A가 p를 지나는 순간, B는 빗면을 내려가는 방향으로  $2v$ 의 속력으로 운동한다. 한편 A는 빗면을 따라  $v$ 의 일정한 속력으로 내려가다가, 실이 끊어지면 운동 방향과 같은 방향의 가속도로 운동한다. 따라서 A의 속력은  $v$ 에서 점점 증가하다가, p를 지나는 순간에는 속력이  $2v$ 가 된다.

| 채점 기준                                                                                                                                       | 배점(%) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| B의 운동 방향을 옳게 고르고, B의 운동 방향과 알짜힘(또는 가속도)의 방향이 서로 반대이기 때문에 B의 속력이 $v$ 보다 큰 $2v$ 가 되기 위해서는 B의 운동 방향이 한 번 바뀌어 빗면을 내려가는 방향이 되어야 한다는 것을 옳게 설명한 경우 | 100   |
| B의 운동 방향을 옳게 고르고, B의 시간에 따른 속도 그래프를 그려 B의 속력이 $2v$ 이기 위해서는 속도가 반대 방향으로 바뀌어야 한다고 설명한 경우에도 정답 인정                                              | 100   |
| B의 운동 방향만 옳게 쓴 경우                                                                                                                           | 20    |

(2) 실이 끊어진 순간부터 A가 p를 지날 때까지 A의 속도 변화량의 크기는  $2v - v = v$ 이고, B의 속도 변화량의 크기는  $|-2v - v| = 3v$ 이다. 실이 끊어진 뒤 A가 p를 지날 때까지 속도 변화량의 크기는 B가 A의 3 배이므로 가속도의 크기는 B가 A의 3 배이다. 즉, (나)에서 A, B의 가속도의 크기를  $a_A$ ,  $a_B$ 라고 하면,  $a_B = 3a_A$ 이다. (가)에서 A, B가 빗면을 따라 내려가려는 힘

의 크기는 같으므로,  $m_A a_A = m_B a_B$ 이고,  $a_B = 3a_A$ 이므로  $m_A : m_B = 3 : 1$ 이다.

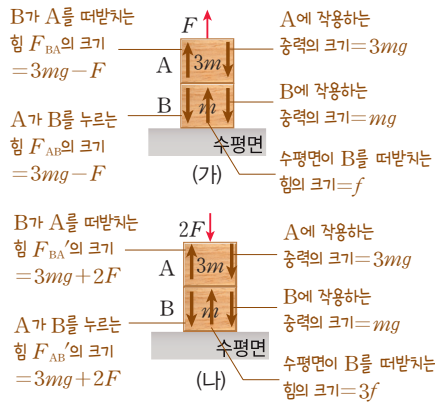
| 채점 기준                                                             | 배점(%) |
|-------------------------------------------------------------------|-------|
| 속도 변화량비를 통해 가속도비를 유도하고, 알짜힘의 크기가 같은 것과 뉴턴 제2법칙을 이용해 질량비를 옳게 구한 경우 | 100   |
| 중간 과정이 없이 가속도비를 언급하고, 이를 통해 질량비를 옳게 구한 경우                         | 70    |
| 풀이 과정이 없이 질량비만 옳게 쓴 경우                                            | 40    |

12

답 ②

**자료 분석** ● 작용 반작용과 힘의 평형

- (가), (나)에서 A, B에 작용하는 힘을 표시하면 다음과 같다.
- (가)에서  $F_{BA}$ 와  $F_{AB}$ 는 작용 반작용 관계이므로 크기가 같다.
  - (나)에서  $F_{BA}'$ 와  $F_{AB}'$ 는 작용 반작용 관계이므로 크기가 같다.
  - 수평면이 B를 떠받치는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 3 배이므로, (가)에서 이 힘을  $f$ 라 하면 (나)에서는  $3f$ 이다.



(가), (나)에서 B는 힘의 평형 상태이므로 다음 식을 만족한다.

- (가):  $3mg - F + mg = f$
- (나):  $3mg + 2F + mg = 3f$

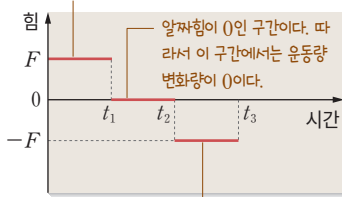
두 식을 연립하면  $F = \frac{8}{5}mg$ 이다.

13

답 ②

**자료 분석** ● 시간에 따른 힘 그래프와 운동량 변화량

알짜힘이 (+) 방향인 구간이다. 따라서 이 구간에서는 운동량 변화량이 (+)이다.



알짜힘이 (-) 방향인 구간이다. 따라서 이 구간에서는 운동량 변화량이 (-)이다.

물체에 작용하는 알짜힘을  $F$ , 힘을 작용한 시간을  $\Delta t$ , 운동량 변화량을  $\Delta p$ 라 하면,  $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ 의 관계가 있다. 0부터  $t_1$ 까지 정지해 있던 물체에 일정한 알짜힘이 작용하므로 운동량의 크기는 0부터 일정하게 증가한다.  $t_1$ 부터  $t_2$ 까지 물체에 작용하는 알짜힘은 0이므로 물체의 운동량 변화량이 0이어서 운동량은 일정하다.  $t_2$ 부터  $t_3$ 까지 물체에 작용하는 힘의 방향은 물체의 운동 방향과 반대이므로 운동량 변화량은 음(-)의 값을 갖는다. 즉, 운동량의 크기는 감소한다.

14

답 ⑤

(나)에서 그래프의 기울기는 A와 B의 가속도와 같으므로, A의 가속도 크기는  $\frac{12 \text{ m/s}}{2 \text{ s}} = 6 \text{ m/s}^2$ 이다. A의 질량을  $m$ , 실이 A와 B를 당기는 힘의 크기를  $T$ 라고 하면, A에 작용하는 알짜힘의 크기는  $m \times 6 \text{ m/s}^2 = T$ 이고, B에 작용하는 알짜힘의 크기는  $3 \text{ kg} \times 6 \text{ m/s}^2 = 3 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 - T$ 이다. 두 식을 연립하면  $m = 2 \text{ kg}$ 이다. 한편 등가속도 운동의 식에 따라 3 초일 때 A의 속력은  $6 \text{ m/s}^2 \times 3 \text{ s} = 18 \text{ m/s}$ 이므로 A의 운동량의 크기는  $2 \text{ kg} \times 18 \text{ m/s} = 36 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

15

답 ⑤

ㄴ. 충돌할 때 A가 B에 작용하는 힘의 방향은 충돌 전 B의 운동 방향과 같으므로 충돌 과정에서 B의 속력은 증가한다. 따라서 B의 속력은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

ㄷ. 질량은 A가 B보다 작고, 충돌 전후 A와 B의 운동량 변화량의 크기는 같으므로 충돌 전후 속도 변화량의 크기는 A가 B보다 크다.

**오답 피하기** ㄱ. A와 B의 운동 방향이 같고, 충돌 전 A는 B의 뒤에서 운동하고 있었다. 따라서 A와 B가 충돌하기 위해서는 충돌 전 속력이 A가 B보다 커야 한다. 충돌 전 운동량의 크기는 A와 B가 같으므로 질량은 A가 B보다 작다.

16

(가)에서  $p_1 = 2mv$ 이다.

한편 운동량 보존 법칙에 따라 A, B, C의 운동량의 총합은 (가)에서와 (나)에서가 같다. 이때 오른쪽을 (+) 방향으로 하면 다음과 같은 식이 성립한다.

$$(m + 2m)v = -0.5mv + (2m + 3m)V$$

위 식에서  $V = 0.7v$ 이므로  $p_2 = 1.4mv$ 이다.

$$\text{따라서 } \frac{p_2}{p_1} = \frac{1.4mv}{2mv} = 0.7 \text{이다.}$$

| 채점 기준                                       | 배점(%) |
|---------------------------------------------|-------|
| 운동량 보존 법칙을 이용해 $\frac{p_2}{p_1}$ 를 옳게 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 $\frac{p_2}{p_1}$ 만 옳게 쓴 경우       | 40    |

## 02 에너지와 열

### 04강 일과 에너지

#### 기본 탄탄 문제

43쪽

- 01 (1) × (2) × (3) ○      02 30 J    03  $2\sqrt{7}$  m/s  
 04 ㉠ 중력, ㉡ 탄성력      05 (1) 20 J (2) 0.1 J  
 06 ㉠ 0, ㉡ 10, ㉢ 20, ㉣ 20    07 (1) ○ (2) × (3) ×

01      ㉠ (1) × (2) × (3) ○  
 (1) 힘이 물체에 한 일은 힘의 크기와 힘의 방향으로 이동한 거리의 곱이다.

(2) 물체가 힘과 수직인 방향으로 이동할 때 힘이 한 일은 0이다.

02      ㉠ 30 J  
 물체에 10 N의 일정한 힘을 가해 힘의 방향으로 3 m만큼 이동시켰으므로 힘이 한 일은  $10 \text{ N} \times 3 \text{ m} = 30 \text{ J}$ 이다.

03      ㉠  $2\sqrt{7}$  m/s  
 일·운동 에너지 정리에 따라 물체에 운동 방향으로 작용하는 알짜힘이 한 일의 양만큼 물체의 운동 에너지가 증가하므로 다음 식이 성립한다.

$$\frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times (2 \text{ m/s})^2 + 3 \text{ N} \times 4 \text{ m} = \frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times v^2$$

따라서  $v = 2\sqrt{7}$  m/s이다.

04      ㉠ ㉠ 중력, ㉡ 탄성력  
 중력에 의한 위치 에너지는 중력이 작용하는 공간에서 물체가 기준면으로부터 다른 위치에 있을 때 가지는 에너지이고, 탄성력에 의한 위치 에너지는 용수철과 같이 탄성을 갖는 물체가 변형되었을 때 가지는 에너지이다.

05      ㉠ (1) 20 J (2) 0.1 J  
 (1)  $4 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0.5 \text{ m} = 20 \text{ J}$   
 (2)  $\frac{1}{2} \times 20 \text{ N/m} \times (0.1 \text{ m})^2 = 0.1 \text{ J}$

06      ㉠ ㉠ 0, ㉡ 10, ㉢ 20, ㉣ 20  
 A에서 물체는 정지해 있으므로 운동 에너지는 0이다. A에서 B까지 중력에 의한 위치 에너지가 10 J 감소했으므로, B에서 운동 에너지는 A에서 10 J만큼 증가한 10 J이다. A와 B, B와 C 사이의 높이가 같으므로 B에서 C까지 중력에 의한 위치 에너지도 10 J이 감소한다. 따라서 C에서 운동 에너지는 B에서보다 10 J이 증가한 20 J이다.

07      ㉠ (1) ○ (2) × (3) ×  
 (1) 역학적 에너지는 보존되므로 운동 에너지는 탄성력에 의한 위치 에너지가 0인 O에서 최대이다.

(2) 탄성력의 크기는 원래 길이에서 변형된 길이에 비례하므로 O에서 멀어질수록 탄성력의 크기는 증가한다.

(3) 물체가 왕복 운동을 하는 동안 용수철이 변형된 길이는 변하므로 탄성력에 의한 위치 에너지는 변한다.

#### 실력 꼭꼭 문제

44~47쪽

- 01 ④    02 ①    03 ②    04 ②    05 ③    06 ①    07 ④  
 08 ③    09 ②    10 ①    11 ③    12 ①

#### 단답형·서술형 문제

13      예시 답안 알짜힘의 크기는 0~5 m 구간에서 20 N, 5 m~10 m 구간에서 0이므로 일·운동 에너지 정리에 따라  $20 \text{ N} \times 5 \text{ m} = \frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times v^2$ 에서 10 m 지점에서의 속력  $v = 10 \text{ m/s}$ 이다.

14 (1)      예시 답안 (나)에서 B의 속력을  $v_B$ 라고 하면, 운동량과 역학적 에너지 보존에 따라  $3mv_0 = 3mv + mv_B$ ,  $\frac{3}{2}mv_0^2 = \frac{3}{2}mv^2 + \frac{1}{2}mv_B^2$ 이다. 두 식을 연립하면  $v_0 : v = 2 : 1$ 이다.

(2)      예시 답안 용수철이 최대 압축된 순간 A와 B의 속력이 V로 같다고 하면 운동량 보존 법칙에 따라  $3mv_0 = (3m + m)V$ 에서  $V = \frac{3}{4}v_0$ 이다. 충돌 과정에서 역학적 에너지의 총합은 보존되어  $\frac{3}{2}mv_0^2 = E_2 + \frac{1}{2}(3m + m)V^2$ 에서  $E_2 = \frac{3}{8}mv_0^2$ 이므로  $\frac{E_1}{E_2} = 4$ 이다.

15      예시 답안 A가 p에서 q까지 운동하는 동안 B의 중력에 의한 위치 에너지와 운동 에너지는 증가한다. 따라서 B의 역학적 에너지는 증가한다. A와 B의 역학적 에너지 총합은 보존되므로 A의 역학적 에너지는 감소한다.

16 (1)      예시 답안 운동량 보존 법칙에 따라  $2mv_1 = (2m + m)v_2$ 이다. 따라서  $v_1 : v_2 = 3 : 2$ 이다.

(2)      예시 답안 역학적 에너지는 보존되므로  $2mgh = mv_1^2$ 에서  $v_1 = \sqrt{2gh}$ 이므로  $v_2 = \frac{2}{3}\sqrt{2gh}$ 이다. 한 덩어리가 된 A, B의 운동 에너지와 용수철이 최대 압축되었을 때 탄성력에 의한 위치 에너지는 같으므로  $\frac{1}{2}(2m + m)v_2^2 = \frac{1}{2}kL^2$ 에서  $h = \frac{3kL^2}{8mg}$ 이다. 따라서  $h$ 는  $\frac{kL^2}{mg}$ 의  $\frac{3}{8}$  배이다.

01      ㉠ ④

④ 물체에 작용한 알짜힘의 크기는 10 N이고, 물체가 알짜힘의 방향으로 이동한 거리는 2 m이다. 따라서 알짜힘이 한 일은  $10 \text{ N} \times 2 \text{ m} = 20 \text{ J}$ 이다.



**오답 피하기** ① 물체에 운동 방향과 같은 방향으로 일정한 알짜힘이 작용하므로 물체는 속력이 증가하는 등가속도 운동을 한다. 따라서 물체의 운동 에너지는 증가한다.

② 일·운동 에너지 정리에 따라 알짜힘이 물체에 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 증가한다. 물체가 p에서 정지해 있었으므로 q에서 물체의 운동 에너지는 물체에 작용한 알짜힘이 한 일과 같다. q에서 물체의 속력을  $v$ 라고 하면,  $20 \text{ J} = \frac{1}{2} \times 5 \text{ kg} \times v^2$ 에서  $v = 2\sqrt{2} \text{ m/s}$ 이다.

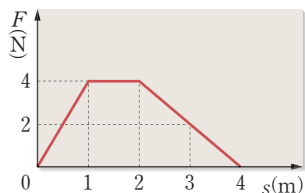
③, ⑤ 물체에 작용한 중력의 방향이나 수평면이 물체를 떠받치는 힘의 방향은 연직 방향이고, 물체는 수평 방향으로 이동한다. 즉, 중력이나 수평면이 물체를 떠받치는 힘의 방향으로 물체가 이동한 거리는 0이므로 이 힘들이 한 일은 0이다.

## 02

답 ①

### 자료 분석 ① 힘-이동 거리 그래프와 일·운동 에너지 정리

- $F$ 는 알짜힘이므로, 일·운동 에너지 정리에 따라  $F$ 가 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 증가한다.



- $F$ 와 이동 거리  $s$ 의 관계 그래프 아랫부분의 넓이는 알짜힘이 한 일과 같으므로, 각 구간별 운동 에너지 증가량은 다음 표와 같다.

| 구간        | 운동 에너지 증가량                                          |
|-----------|-----------------------------------------------------|
| 0 m ~ 1 m | $\frac{1}{2} \times 1 \times 4 = 2(\text{J})$       |
| 1 m ~ 2 m | $1 \times 4 = 4(\text{J})$                          |
| 2 m ~ 3 m | $\frac{1}{2} \times 1 \times (4 + 2) = 3(\text{J})$ |
| 3 m ~ 4 m | $\frac{1}{2} \times 1 \times 2 = 1(\text{J})$       |

ㄱ. 위 표의 값을 이용해 구한  $s=3 \text{ m}$ 일 때 운동 에너지는  $2 \text{ J} + 4 \text{ J} + 3 \text{ J} = 9 \text{ J}$ 이다.

**오답 피하기** ㄴ. 위 표의 값을 이용해 구한  $s=4 \text{ m}$ 일 때 운동 에너지는  $2 \text{ J} + 4 \text{ J} + 3 \text{ J} + 1 \text{ J} = 10 \text{ J}$ 이다. 이때의 속력을  $v$ 라 하면  $\frac{1}{2} \times 5 \text{ kg} \times v^2 = 10 \text{ J}$ 에서  $v = 2 \text{ m/s}$ 이다.

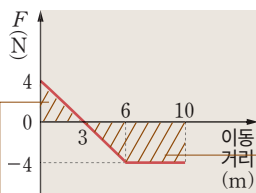
ㄷ.  $s=4 \text{ m}$ 일 때 운동 에너지는  $10 \text{ J}$ 로,  $s=2 \text{ m}$ 일 때 운동 에너지인  $2 \text{ J} + 4 \text{ J} = 6 \text{ J}$ 의  $\frac{5}{3}$  배이다.

## 03

답 ②

### 자료 분석 ② 힘-이동 거리 그래프 분석

- $F$ 는 알짜힘이므로, 일·운동 에너지 정리에 따라  $F$ 가 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 달라진다.
- $F$ 와 이동 거리 관계 그래프 아랫부분의 넓이는  $F$ 가 한 일과 같으므로 다음과 같이 운동 에너지가 달라진다.



알짜힘의 방향과 운동 방향이 같다.

따라서 그래프 아랫부분의 넓이만큼 물체의 운동 에너지가 증가한다.

알짜힘의 방향과 운동 방향이 반대이다.

따라서 그래프 아랫부분의 넓이만큼 물체의 운동 에너지가 감소한다.

ㄴ. p에서부터 3 m까지 운동 에너지가 증가하고, 3 m부터 10 m까지 운동 에너지가 감소한다. 따라서 물체의 운동 에너지가 최대인 지점은 p로부터 3 m 떨어진 지점으로, 운동 에너지의 최대값은  $\frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times (4 \text{ m/s})^2 + 6 \text{ J} = 22 \text{ J}$ 이다.

**오답 피하기** ㄱ. p에서 q까지  $F$ 가 한 일, 즉 운동 에너지 변화량은  $\frac{1}{2} \times 4 \times 3 - \frac{1}{2} \times 4 \times (7 + 4) = -16(\text{J})$ 이다. 물체의 속력은 p에서  $v$ , q에서 0이므로  $0 - \frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times v^2 = -16 \text{ J}$ 에서  $v = 4 \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ. p에서부터 3 m 떨어진 지점까지 속력이 증가하고, 이후에는 속력이 감소하다가 10 m 떨어진 지점에서 정지한다. 따라서 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 운동 방향은 변하지 않는다. 즉, 물체의 운동 방향은 1 초일 때와 5 초일 때가 같다.

## 04

답 ②

(가)에서 물체에 작용하는 중력과 탄성력이 평형을 이루므로 두 힘의 크기는 같다. 따라서  $2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 100 \text{ N/m} \times x$ 에서  $x = 0.2 \text{ m}$ 이다. 즉, (가)는 용수철이 원래 길이에서 0.2 m만큼 늘어난 상태이다. (나)에서 용수철이 0.2 m만큼 더 늘어남과 동시에 물체의 높이가 0.2 m만큼 낮아졌으므로  $E_{\text{탄성}}$ 은 증가,  $E_{\text{중력}}$ 은 감소한다. 각각의 변화량은 다음과 같다.

$$E_{\text{탄성}} = \frac{1}{2} \times 100 \text{ N/m} \times [(0.4 \text{ m})^2 - (0.2 \text{ m})^2] = 6 \text{ J}$$

$$E_{\text{중력}} = 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0.2 \text{ m} = 4 \text{ J}$$

## 05

답 ③

물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 마찰 및 공기 저항을 무시하므로 물체의 역학적 에너지는 보존된다. 물체가 p에서 q까지 운

동하는 동안 물체의 중력에 의한 위치 에너지의 감소량은  $mgh$  이므로, 이 감소량만큼 물체의 운동 에너지가 증가한다. 따라서  $3E - E = mgh$ 에서  $h = \frac{2E}{mg}$ 이다.

## 06

답 ①

7. 수평면에서 물체의 운동량의 크기는  $4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이고, 속력은  $2 \text{ m/s}$ 이므로 질량은  $2 \text{ kg}$ 이다.

오답 피하기 ㄴ. 운동량을 시간에 따라 나타낸 그래프에서 그래프의 기울기는  $\frac{\Delta p}{\Delta t} = F$ , 즉 물체에 작용한 알짜힘이다. 따라서 빗면에 서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는  $\frac{4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{8 \text{ s}} = 0.5 \text{ N}$ 이다.

ㄷ. 최고점의 높이를  $h$ 라고 하면, 역학적 에너지 보존 법칙에 따라  $\frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times (2 \text{ m/s})^2 = 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times h$ 이다. 따라서  $h = 0.2 \text{ m}$ 이다.

## 07

답 ④

7. A를 가만히 놓은 순간부터 A, B의 높이가 같아질 때까지, A가 올라간 거리와 B가 내려간 거리는 같다. 질량은 A가 B보다 작으므로 A의 중력에 의한 위치 에너지 증가량은 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량보다 작다.

ㄷ. A와 B 각각의 역학적 에너지는 보존되지 않지만, 실로 연결되어 함께 운동하므로 A와 B의 역학적 에너지의 총합은 일정하게 보존된다. A를 가만히 놓은 순간부터 A, B의 높이가 같아질 때까지, A의 높이와 속력은 증가하므로 A의 역학적 에너지는 증가한다. 따라서 B의 역학적 에너지는 감소한다.

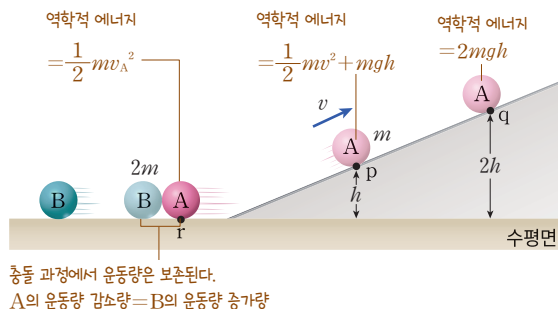
오답 피하기 ㄴ. A를 가만히 놓은 순간부터 A와 B의 속력은 같고 질량은 A가 B보다 작으므로 운동 에너지는 A가 B보다 작다.

## 08

답 ③

### 자료 분석 ① 운동량 보존과 역학적 에너지 보존

- 마찰과 공기 저항을 무시하므로, A는 충돌 전까지 역학적 에너지가 보존된다. 중력 가속도를  $g$ , 수평면에서 B와 충돌 직전 A의 속도를  $v_A$ 라 하면, 다음 그림에서와 같이 역학적 에너지에 관한 식을 세울 수 있다.
- 마찰과 공기 저항을 무시하므로, A와 B는 충돌 전후 운동량의 총합이 보존된다.



물체는 높이  $2h$ 인 지점에 도달한 순간 정지하므로 운동 에너지가 0이다. 물체가 높이  $h$ 인 지점에서  $2h$ 인 지점으로 올라가는 동안 증가한 중력에 의한 위치 에너지는  $mgh$ 이고, 감소한 운동 에너지는  $\frac{1}{2}mv^2$ 이므로 역학적 에너지 보존 법칙에 따라

$mgh = \frac{1}{2}mv^2$ 이다. 따라서 수평면에 도달한 순간 A의 운동 에너지는  $mgh + \frac{1}{2}mv^2 = mv^2 = E$ 이다. 이때 A의 속력을  $v_A$ 라 하면,

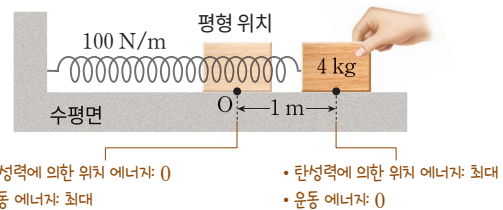
$\frac{1}{2}mv_A^2 = mv^2$ 에서  $v_A = \sqrt{2}v$ 이다. 따라서 수평면에서 충돌 전 A의 운동량의 크기는  $\sqrt{2}mv$ 이다.

A와 B가 충돌한 뒤 A는 정지하므로 운동량 보존 법칙에 따라 B의 운동량의 크기 또한  $\sqrt{2}mv$ 이다. 이때 B의 속력을  $v_B$ 라고 하면,  $2mv_B = \sqrt{2}mv$ 에서  $v_B = \frac{\sqrt{2}}{2}v$ 이다. 따라서 B의 운동 에너지는  $E_B = \frac{1}{2} \times 2m \times \left(\frac{\sqrt{2}}{2}v\right)^2 = \frac{mv^2}{2} = \frac{1}{2}E$ 이다.

## 09

답 ②

### 자료 분석 ② 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존



물체를 가만히 놓으면 물체는 탄성력을 받아 운동한다. 물체가 운동하는 동안 역학적 에너지, 즉 운동 에너지와 탄성력에 의한 위치 에너지의 합은 일정하므로 다음 식을 만족한다.

$$\frac{1}{2} \times 100 \text{ N/m} \times (1 \text{ m})^2 = \frac{1}{2} \times 4 \text{ kg} \times v^2$$

따라서 O에서 물체의 속력  $v = 5 \text{ m/s}$ 이다.

## 10

답 ①

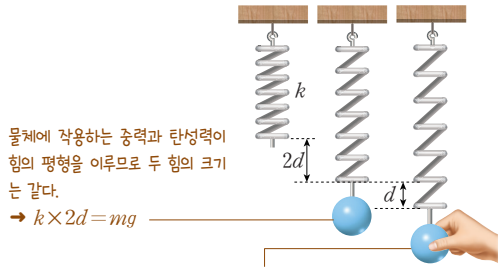
7. 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는 용수철에서 분리된 뒤 수평면에서 물체의 운동 에너지와 같고, 이는 용수철이 압축된 길이의 제곱에 비례한다. 용수철이 압축된 길이는 (나)에서가 (가)에서의 2 배이므로 용수철에서 분리된 뒤 수평면에서 물체의 운동 에너지는 B가 A의 4 배이다.

오답 피하기 ㄴ. 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지의 최대값은 빗면의 최고점에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지와 같다. 따라서 최고점에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 B가 A의 4 배이다.

ㄷ. 최고점에서 중력에 의한 위치 에너지는 B가 A의 4 배이므로 A, B의 질량을 각각  $m_A$ ,  $m_B$ 라고 하면,  $m_B g \times 2h = 4m_A g h$ 이다. 이를 정리하면  $m_B = 2m_A$ , 즉 질량은 B가 A의 2 배이다.

### 자료 분석 ● 중력과 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

물체의 질량을  $m$ , 중력 가속도를  $g$ 라고 할 때 물체에 작용하는 힘과 물체의 에너지는 다음과 같다.



물체에 작용하는 중력과 탄성력이  
힘의 평형을 이루므로 두 힘의 크기는 같다.

$$\rightarrow k \times 2d = mg$$

이 위치를 중력에 의한 위치 에너지의 기준면으로 하면, 물체의 에너지는 다음과 같다.

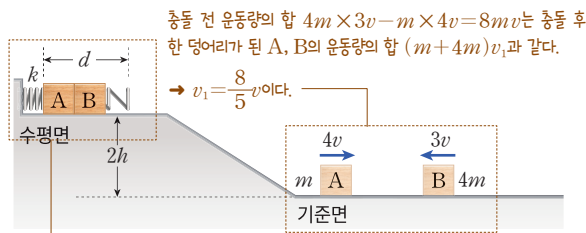
- 운동 에너지: 정지해 있으므로 ()이다.
- 중력에 의한 위치 에너지: 기준면에 있으므로 ()이다.
- 탄성력에 의한 위치 에너지:  $\frac{1}{2} \times k \times (2d + d)^2 = \frac{9}{2}kd^2$ 이다.

물체를 놓는 순간 역학적 에너지는 탄성력에 의한 위치 에너지와 같은  $\frac{9}{2}kd^2$ 이다. 이 순간 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 중력의 크기보다 크므로 물체는 연직 위로 운동한다. 용수철이 원래 길이보다  $2d$ 만큼 늘어난 위치를 지나는 순간 물체의 운동 에너지를  $E_k$ 라 하면, 이때의 역학적 에너지는  $E_k$ 와 탄성력에 의한 위치 에너지  $\frac{1}{2}k \times (2d)^2 = 2kd^2$ , 중력에 의한 위치 에너지  $mgd = 2kd \times d = 2kd^2$ 의 합과 같다. 역학적 에너지 보존 법칙에 따라  $E_k + 4kd^2 = \frac{9}{2}kd^2$ 이므로  $E_k = \frac{1}{2}kd^2$ 이다.

## 12

### 자료 분석 ● 운동량 보존과 역학적 에너지 보존

- 마찰과 공기 저항을 무시하므로, A, B의 충돌 전후 운동량은 보존된다. 한 덩어리가 된 A와 B의 속력을  $v_1$ , 충돌 전 B의 운동 방향을 (+) 방향이라 하면, 다음 그림에서와 같이 운동량 보존에 관한 식을 세울 수 있다.
- 한 덩어리가 된 A, B의 질량은  $5m$ 이다. 수평면에 도달한 직후 A, B의 속력을  $v_2$ 라 하면, 한 덩어리가 된 A, B의 역학적 에너지 보존을 다음 그림에서와 같이 분석할 수 있다.



충돌 전 운동량의 합  $4m \times 3v - m \times 4v = 8mv$ 는 충돌 후 한 덩어리가 된 A, B의 운동량의 합  $(m + 4m)v_1$ 과 같다.

$$\rightarrow v_1 = \frac{8}{5}v \text{이다.}$$

한 덩어리가 된 A, B의 역학적 에너지는 보존되므로 기준면에서 한 덩어리가 된 A, B의 역학적 에너지는 수평면에 도달한 직후 A, B의 역학적 에너지와 같고, 용수철을 최대로 압축한 순간 A, B의 역학적 에너지와도 같다.

$$\rightarrow \frac{5}{2}mv_1^2 = \frac{5}{2}mv_2^2 + 10mgh = \frac{1}{2}kd^2 + 10mgh \text{이다.}$$

7. 용수철이 최대로 압축되었을 때 탄성력에 의한 위치 에너지는  $\frac{1}{2}kd^2$ 이고, A와 B의 중력에 의한 위치 에너지의 합은  $\frac{1}{2}kd^2$ 의 2 배인  $kd^2$ 이다. 그리고 용수철이 최대로 압축된 순간 한 덩어리가 된 A와 B의 운동 에너지는 0이다. 따라서 이때 A와 B의 역학적 에너지는  $\frac{1}{2}kd^2 + kd^2 = \frac{3}{2}kd^2$ 이다. 한 덩어리가 된 A와 B의 역학적 에너지는 보존되므로 충돌 후 기준면에서 A와 B의 운동 에너지의 합은  $\frac{3}{2}kd^2$ 이다.

오답 피하기 ㄴ. 운동량 보존 법칙에 따라  $8mv = 5mv_1$ 에서  $v_1 = \frac{8}{5}v$ 이다. 한편 용수철이 최대로 압축되었을 때 A와 B의 중력에 의한 위치 에너지는  $10mgh$ 이므로 이때 탄성력에 의한 위치 에너지는  $10mgh$ 의  $\frac{1}{2}$  배인  $5mgh$ 이다. 따라서 A와 B의 역학적 에너지는  $10mgh + 5mgh = 15mgh$ 이다. 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면  $\frac{1}{2} \times 5m \times \left(\frac{8}{5}v\right)^2 = 15mgh$ 이므로  $v = \frac{5}{8}\sqrt{6gh}$ 이다.

ㄷ. 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 수평면에서 용수철을 압축하기 직전 A, B의 운동 에너지는 용수철이 최대로 압축되었을 때 탄성력에 의한 위치 에너지와 같다. 용수철을 압축하기 직전 A와 B의 속력을  $v_2$ 라고 하면  $\frac{1}{2} \times 5m \times v_2^2 = 5mgh$ 에서  $v_2 = \sqrt{2gh}$ 이다.

## 13

일·운동 에너지 정리에 따라 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 물체에는 연직 아래 방향으로  $2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$ 의 중력이 작용하므로 물체가 지면으로부터  $5 \text{ m}$ 만큼 올라갈 때까지 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는  $40 \text{ N} - 20 \text{ N} = 20 \text{ N}$ 이고,  $5 \text{ m} \sim 10 \text{ m}$  올라갈 때까지 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 물체는  $5 \text{ m} \sim 10 \text{ m}$ 인 높이를 운동하는 동안 등속 운동을 하여 운동 에너지가 일정하다. 이때의 속력을  $v$ 라고 하면,  $20 \text{ N} \times 5 \text{ m} = \frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times v^2$ 에서  $v = 10 \text{ m/s}$ 이다.

| 채점 기준                                                                                            | 배점(%) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 물체에 작용하는 알짜힘을 높이에 따라 분석하고, 이를 이용해 알짜힘이 한 일을 구한 뒤, 일·운동 에너지 정리를 이용하여 속력을 옳게 구한 경우                 | 100   |
| 그래프 아랫부분의 넓이를 이용하여 전동기가 한 일을 구한 뒤, 중력에 의한 위치 에너지 증가량을 빼서 운동 에너지를 구하고, 이를 통해 속력을 옳게 구한 경우에도 정답 인정 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 속력만 옳게 쓴 경우                                                                            | 40    |

### 과목 분석 ● 충돌과 탄성력에 의한 위치 에너지 변화

(가)에서 A가 용수철에 접촉한 순간으로부터, (나)에서 용수철이 A로부터 분리되어 나갈 때까지 다음과 같은 과정을 거친다.



- ① 용수철에 닿는 순간부터 A는 운동 방향과 반대 방향, B는 같은 방향으로 알짜힘을 받는다. 따라서 A의 속력은 점점 감소, B의 속력은 점점 증가하며, 용수철의 길이는 점점 감소한다.
- ② 어느 순간 A와 B의 속력이 같아진다. 이 순간 용수철의 길이는 최소가 된다.
- ③ 용수철의 길이가 점점 증가하면서 A는 운동 방향과 반대 방향, B는 같은 방향으로 알짜힘을 받는다. 이에 따라 A가 분리되기 전까지 A의 속력은 계속 감소, B의 속력은 계속 증가한다.

(1) (나)에서 B의 속력을  $v_B$ 라고 하면, 충돌 전후 A, B의 운동량 총합은 보존되므로  $3mv_0 = 3mv + mv_B$ 에서  $v_0 = v + \frac{1}{3}v_B$  (…①)이다. 한편 역학적 에너지의 총합은 (가), (나)에서 같으므로  $\frac{1}{2} \times 3m \times v_0^2 = \frac{1}{2} \times 3m \times v^2 + \frac{1}{2} \times m \times v_B^2$  (…②)이다. ①, ②를 연립하면  $v_0 = 2v$ 이므로  $v_0 : v = 2 : 1$ 이다.

| 채점 기준                                     | 배점(%) |
|-------------------------------------------|-------|
| 운동량 및 역학적 에너지 보존을 통해 $v_0 : v$ 를 옳게 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 $v_0 : v$ 만 옳게 쓴 경우             | 40    |

(2)  $E_1 = \frac{1}{2} \times 3m \times v_0^2 = \frac{3}{2}mv_0^2$ 이다. 용수철이 최대로 압축되었을 때 탄성력에 의한 위치 에너지는 최대이고, 이 순간 A와 B의 속력이 같다. 이 속력을  $V$ 라고 하면, A와 B의 운동량은 보존되므로  $3mv_0 = (3m+m)V$ 에서  $V = \frac{3}{4}v_0$ 이다. 용수철이 압축되기 전과 용수철이 최대로 압축되었을 때 역학적 에너지, 즉 A와 B의 운동 에너지와 탄성력에 의한 위치 에너지의 합은 같으므로  $\frac{3}{2}mv_0^2 = E_2 + \frac{1}{2} \times (3m+m) \times \left(\frac{3}{4}v_0\right)^2$ 에서  $E_2 = \frac{3}{8}mv_0^2$ 이다. 따라서  $\frac{E_1}{E_2} = 4$ 이다.

| 채점 기준                                             | 배점(%) |
|---------------------------------------------------|-------|
| 운동량 및 역학적 에너지 보존을 통해 $\frac{E_1}{E_2}$ 를 옳게 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 $\frac{E_1}{E_2}$ 만 옳게 쓴 경우             | 40    |

A와 B는 실로 연결되어 같이 운동하므로 A와 B 각각의 역학적 에너지는 보존되지 않지만, A와 B의 역학적 에너지의 합은 보존된다. 질량이 A가 B보다 크기 때문에 A가 p에서 q까지 운동하는 동안 B의 높이가 증가하므로 중력에 의한 위치 에너지는 증가하고, 속력 또한 증가하므로 운동 에너지도 증가한다. 즉, B의 역학적 에너지는 증가한다. 한편 A와 B의 역학적 에너지의 합은 보존되므로 A의 역학적 에너지는 감소한다.

| 채점 기준                                                                                                      | 배점(%) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| B의 중력에 의한 위치 에너지와 운동 에너지 변화를 설명하고, A와 B의 역학적 에너지의 합이 보존됨을 통해 A의 역학적 에너지가 감소하는 것을 옳게 설명한 경우                 | 100   |
| A와 B의 역학적 에너지의 합이 보존됨을 언급하지 않고, B의 중력에 의한 위치 에너지와 운동 에너지가 증가하므로 B의 역학적 에너지는 증가하고 A의 역학적 에너지가 감소한다고만 설명한 경우 | 80    |
| A, B의 역학적 에너지 변화만 옳게 쓴 경우                                                                                  | 40    |

(1) 운동량 보존 법칙에 따라 정지해 있던 B와 충돌하기 직전 A, B의 운동량의 합과 충돌 직후 한 덩어리가 된 A, B의 운동량의 합은 같다. 따라서  $2mv_1 = (2m+m)v_2$ 에서  $v_1 : v_2 = 3 : 2$ 이다.

| 채점 기준                                 | 배점(%) |
|---------------------------------------|-------|
| 운동량 보존 법칙을 이용해 $v_1 : v_2$ 를 옳게 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 $v_1 : v_2$ 만 옳게 쓴 경우       | 40    |

(2) 역학적 에너지는 보존되므로 p에서 정지해 있던 A의 중력에 의한 위치 에너지는 수평면에서 A의 운동 에너지와 같다. 따라서  $2mgh = \frac{1}{2} \times 2m \times v_1^2$ 에서  $v_1 = \sqrt{2gh}$ 이고,  $v_1 : v_2 = 3 : 2$ 이므로  $v_2 = \frac{2}{3}\sqrt{2gh}$ 이다. 한 덩어리가 된 뒤에도 역학적 에너지는 보존되므로 한 덩어리가 된 A, B의 운동 에너지와 용수철이 최대로 압축되었을 때 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는 같다. 따라서 다음 식이 성립한다.

$$\frac{1}{2} \times (2m+m) \times \left(\frac{2}{3}\sqrt{2gh}\right)^2 = \frac{1}{2}kL^2$$

위 식을 정리하면  $h = \frac{3kL^2}{8mg}$ 이다.

| 채점 기준                                                                                                                     | 배점(%) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| A에 적용된 역학적 에너지 보존을 이용해 $v_1$ 과 $v_2$ 를 구한 뒤, 한 덩어리가 된 A와 B에 적용된 역학적 에너지 보존을 이용해 $h$ 가 $\frac{kL^2}{mg}$ 의 몇 배인지를 옳게 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 $h$ 가 $\frac{kL^2}{mg}$ 의 몇 배이지만 옳게 쓴 경우                                                                        | 40    |

## 기본 탄탄 문제

51 쪽

- 01 ㉠ 감소, ㉡ 일정하다      02 (1) × (2) ○ (3) ×  
 03 (1) × (2) ○ (3) ×      04 (1) 400 J (2) 25 %  
 05 ㉠ 화석 연료, ㉡ 작, ㉢ 작      06 (1) ○ (2) ×

01 답 ㉠ 감소, ㉡ 일정하다  
 공기 저항이나 마찰이 작용할 때, 물체의 역학적 에너지의 일부는 열에너지 등으로 전환되면서 점점 감소한다. 하지만 에너지 총량은 일정하게 보존된다.

02 답 (1) × (2) ○ (3) ×  
 (1) 물체는 a에서 b까지 마찰이 있는 면에서 운동하므로 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 운동 에너지 증가량보다 크다.  
 (2) 수평면에서는 마찰 및 공기 저항이 없으므로 역학적 에너지가 보존되어 c와 d에서 물체의 운동 에너지는 같다.  
 (3) 빗면에는 마찰이 있으므로 역학적 에너지가 감소한다. 따라서 물체의 역학적 에너지는 b에서 d에서보다 크다.

03 답 (1) × (2) ○ (3) ×  
 (1) 복사는 열이 물질을 통하지 않고 전자기파의 형태로 직접 전달되는 열전달 방식이다.  
 (2) 고체에서 액체, 고체에서 기체, 액체에서 기체로 상태 변화 할 때 열에너지를 흡수하고, 그 반대의 상태 변화 과정에서는 열에너지를 방출한다.  
 (3) 기상 현상이 일어나는 과정에서 물이 열에너지를 흡수해 수증기가 되거나, 공기 중의 수증기가 열에너지를 방출해 구름이 되는 등 열에너지를 흡수 및 방출하는 과정을 모두 포함한다.

04 답 (1) 400 J (2) 25 %  
 (1) 에너지 보존 법칙에 따라 열기관이 흡수한 열에너지는 전환한 역학적 에너지와 방출한 열에너지의 합과 같다.  
 따라서  $1600 \text{ J} = W + 1200 \text{ J}$ 에서  $W = 400 \text{ J}$ 이다.  
 (2) 에너지 효율  $e = \frac{W}{Q_1} = \frac{400 \text{ J}}{1600 \text{ J}} \times 100 \% = 25 \%$ 이다.

05 답 ㉠ 화석 연료, ㉡ 작, ㉢ 작  
 열기관에 필요한 열에너지는 주로 화석 연료를 연소해 얻는다. 화석 연료는 매장량에 한계가 있고, 연소 과정에서 환경 오염 물질이 나오기 때문에 사용량을 줄여야 한다. 열기관의 에너지 효율이 높을수록 같은 역학적 에너지를 얻는 데 사용하는 열에너지가 작고, 그 과정에서 방출하는 열에너지 또한 작다.

06 답 (1) ○ (2) ×  
 공급한 에너지가 없이 계속해서 외부에 일을 한다는 것은 에너지 보존 법칙에 위배된다. 따라서 이러한 기관은 과학기술의 발전과는 무관하게 실현 불가능하다.

## 일력 뚝 문제

52~55 쪽

- 01 ㉢    02 ㉤    03 ㉢    04 ㉢    05 ㉡    06 ㉢    07 ㉤  
 08 ㉢    09 ㉢    10 ㉡    11 ㉠    12 ㉢

## 단답형·서술형 문제

13 (1) 답 1 : 2 (2) 답 3 배

(3) 예시 답안 감소한 역학적 에너지는 마찰력이 한 일과 같고,  $2t_0 \sim 3t_0$  동안 이동 거리는  $\frac{1}{2}v_0t_0$ 이므로  $3mg \times \frac{1}{2}v_0t_0 = \frac{3}{2}mgv_0t_0$ 이다. 즉,  $mgv_0t_0$ 의  $\frac{3}{2}$  배만큼의 역학적 에너지가 감소했다.

14 예시 답안 (가): 같은 역학적 에너지를 얻더라도 에너지 효율이 높을수록 적은 열에너지를 공급하기 때문이다.  
 (나): 같은 열에너지를 공급하더라도 에너지 효율이 높을수록 많은 양의 역학적 에너지를 얻어 방출하는 열에너지가 적기 때문이다.

15 (1) 예시 답안 에너지 효율은 A와 B가 같으므로 B가 고온의 물체로부터 흡수한 열에너지를 Q라고 하면  $\frac{2W}{Q_0} = \frac{4W}{Q}$ 에서  $Q = 2Q_0$ 이다.

(2) 예시 답안 B가 흡수한 열에너지는  $2Q_0$ 이고 방출하는 열에너지는  $Q_0$ 이므로  $4W = Q_0$ 이다. 따라서 B의 에너지 효율은  $\frac{Q_0}{2Q_0} = 0.50$ 이고, A의 에너지 효율 또한 0.50이다.

16 예시 답안 물의 역학적 에너지의 일부로 수차를 돌리는 일을 하므로, 끌어 올린 물은 처음에 가졌던 만큼의 역학적 에너지를 가질 수 없다. 즉, 물을 처음 높이까지 끌어 올릴 수 없기 때문에 실현 불가능하다.

01 답 ㉢  
 ㄱ. 물체의 높이는 p에서 q에서보다 크므로 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 p에서 q에서보다 크다.

ㄴ. 물체가 빗면에서 등속 운동을 하므로 운동 에너지 변화량은 0이고, p에서 q까지 운동하는 동안 중력에 의한 위치 에너지의 감소량은  $mgh$ 이다. 따라서 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 물체의 역학적 에너지 감소량은  $mgh$ 이다.

오답 피하기 ㄷ. 물체의 역학적 에너지 감소량은 마찰력이 한 일과 같으므로  $mgh = F \times 3h$ 에서  $F = \frac{1}{3}mg$ 이다.

02 답 ㉤  
 A, B가 실로 연결되어 정지해 있을 때, 중력에 의한 위치 에너지는 A와 B가 같다. 질량은 A와 B가 같고, 높이는 q가 p보다 높으므로 감소한 높이는 A가 B보다 크다. 따라서  $\Delta E_{pA} > \Delta E_{pB}$ 이다. 한편 A, B가 실로 연결되어 같은 높이에 정지해 있을 때 역학적 에너지는 A와 B가 같다. 또한 p, q에서 A와 B의 속력이 같으므로 p에서 A의 운동 에너지와 q에서 B의 운동 에너지는 같다.



따라서 p에서 A의 역학적 에너지는 q에서 B의 역학적 에너지보다 작다. 따라서  $\Delta E_A > \Delta E_B$ 이다.

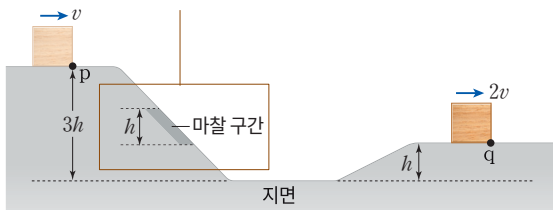
### 03

답 ③

#### 자료 분석 ③ 마찰 구간에서 등속 운동을 하는 물체의 역학적 에너지 감소량

물체의 질량을  $m$ , 중력 가속도를  $g$ 라고 하면 마찰 구간에서 물체의 역학적 에너지 변화는 다음과 같다.

- 빗면의 마찰 구간을 물체가 등속 운동을 하여 내려간다.
- 등속 운동을 하므로 물체의 운동 에너지가 일정하다.
- 높이가  $h$ 만큼 낮아지므로 중력에 의한 위치 에너지가  $mgh$ 만큼 감소한다.
- 운동 에너지 변화량은 0, 중력에 의한 위치 에너지 감소량이  $mgh$ 이므로 역학적 에너지 감소량은  $mgh$ 이다.



마찰 구간에서 물체의 역학적 에너지 감소량은 중력에 의한 위치 에너지 감소량인  $mgh$ 와 같다. 즉, p에서의 역학적 에너지로부터  $mgh$ 만큼 감소한 값이 q에서의 역학적 에너지이다. 따라서 다음 식이 성립한다.

$$mg \times 3h + \frac{1}{2}mv^2 - mgh = mgh + \frac{1}{2}m \times (2v)^2$$

위 식을 정리하면  $v = \sqrt{\frac{2}{3}gh}$ 이므로  $E_1, E_2$ 는 다음과 같다.

$$\bullet E_1 = \frac{1}{2}m \times (2v)^2 = \frac{4}{3}mgh \quad \bullet E_2 = mgh$$

따라서  $\frac{E_2}{E_1} = \frac{3}{4}$ 이다.

### 04

답 ④

마찰 구간을 통과하기 전 물체의 운동 에너지를  $E_0$ 이라고 하면, 지면에서 물체의 운동 에너지는  $4E_0$ 이다. 마찰 구간에서 물체의 역학적 에너지 감소량을  $E_{\text{꺾}}$ 이라고 하면, 물체가 수평면에서 지면까지 운동하는 동안 역학적 에너지는  $E_{\text{꺾}}$ 만큼 감소한다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$E_0 + mg \times 2L - E_{\text{꺾}} = 4E_0 \cdots (i)$$

p에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 운동 에너지의 2 배이므로 역학적 에너지는  $mgL + \frac{1}{2}mgL = \frac{3}{2}mgL$ 이고, p에서 지면까지 역학적 에너지는 보존된다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{3}{2}mgL = 4E_0 \cdots (ii)$$

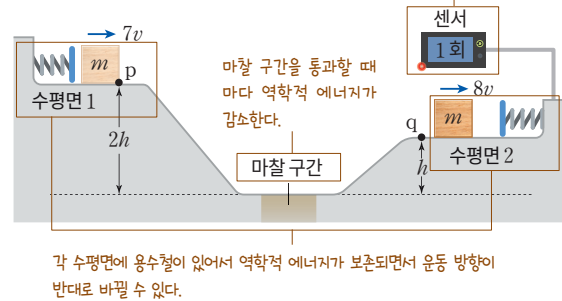
(i), (ii)를 연립하면  $E_{\text{꺾}} = \frac{7}{8}mgL$ 이다.

### 05

답 ②

#### 자료 분석 ⑤ 마찰 구간을 통과한 횟수와 역학적 에너지 감소량

- ① 최초로 마찰 구간을 지나 q를 통과할 때 숫자가 1 올라간다.
- ② 최초로 수평면 2의 용수철에 부딪힌 뒤 q를 통과할 때 숫자가 1 올라간다.
- ③ 마찰 구간을 지나고 왼쪽 빗면을 갔다가 내려온 뒤 다시 마찰 구간을 지나 q를 통과할 때 숫자가 1 올라간다.
- ④ 용수철에 부딪힌 뒤 q를 통과할 때 숫자가 1 올라간다.
- ⑤, ⑥을 반복하므로 센서 화면에 표시된 숫자는 마찰 구간을 지나면 횟수로 볼 수 있다.



ㄴ. q점으로부터 온 물체가 마찰 구간을 통과한 순간의 운동 에너지가 p점에서의 중력에 의한 위치 에너지  $2mgh = \frac{79}{4}mv^2$ 보다 크면 수평면 1에 도달할 수 있다. 처음 역학적 에너지는  $2mgh + \frac{49}{2}mv^2 = \frac{177}{4}mv^2$ 이다. 한편 마찰 구간을 4 회 통과한 직후의 역학적 에너지, 즉 중력에 의한 위치 에너지의 기준면에서의 운동 에너지는  $\frac{177}{4}mv^2 - 4 \times \frac{19}{8}mv^2 = \frac{139}{4}mv^2$ 으로  $\frac{79}{4}mv^2$ 보다 크다. 따라서 수평면 1에 도달할 수 있다.

오답 피하기 ㄱ. 중력 가속도를  $g$ 라고 할 때, 수평면 1에서 처음 역학적 에너지  $2mgh + \frac{49}{2}mv^2$ 과 수평면 2에서 처음 역학적 에너지  $mgh + 32mv^2$ 의 차이인  $mgh - \frac{15}{2}mv^2$ 이 마찰 구간을 1 번 통과할 때 감소한 역학적 에너지이다. 한편 물체가 q점을 지날 때마다 센서 화면에 표시된 숫자가 1씩 올라가므로, q점을 지나 수평면 2에 진입한 뒤 다시 q점을 지나 빗면을 내려가면 센서 화면에는 '2 회'가 표시된다. 따라서 센서 화면에 '2 회'가 표시되어 있을 때 물체가 p점에 도달했다는 것은 마찰 구간을 2 번 통과해 왔다는 의미이다. 그리고 이때 중력에 의한 위치 에너지와 운동 에너지가 같으므로 역학적 에너지는  $2mgh + 2mgh = 4mgh$ 이다. 이 역학적 에너지는 처음 수평면 1에서의 역학적 에너지에서  $mgh - \frac{15}{2}mv^2$ 이 2 번 감소한 값과 같다. 따라서  $2mgh + \frac{49}{2}mv^2 - 2\left(mgh - \frac{15}{2}mv^2\right) = 4mgh$ 에서  $mgh = \frac{79}{8}mv^2$ 이다. 즉, 마찰 구간을 1 번 통과할 때마다  $mgh - \frac{15}{2}mv^2 = \frac{79}{8}mv^2 - \frac{15}{2}mv^2 = \frac{19}{8}mv^2$ 만큼 역학적 에너지가 감소한다.

ㄷ. 물체의 역학적 에너지가 계속 감소하여 기준면에서의 운동 에너지가 q점에서 중력에 의한 위치 에너지보다 작아지면 물체가 q점까지 도달하지 못하여 센서 화면의 숫자가 더 증가하지 못한다. 즉, 마찰 구간을 통과한 횟수를  $n$ 이라고 하면, 처음 역학적 에너지에서 마찰 구간을  $n$  번 통과한 뒤의 역학적 에너지가  $mgh = \frac{79}{8}mv^2$ 보다 커야 한다. 따라서  $\frac{79}{8}mv^2 < \frac{177}{4}mv^2 - n \times \frac{19}{8}mv^2$ 에서  $n < \frac{275}{19}$ 이므로 센서의 화면에 표시될 수 있는 최댓값은 14 회이다.

06

답 ③

A. 대류가 잘 일어나기 위해서는 열을 얻어 가벼워진 물질이 위로 올라가고, 상대적으로 차가운 윗부분의 물질이 아래로 내려오는 순환 과정을 거쳐야 한다. 따라서 중력이 작용하지 않는 무중력 상태에서는 대류가 일어나기 어렵다.

B. 복사는 열을 전달하는 물질이 없어도 전자기파 형태로 열을 전달하는 방식이다.

오답 피하기 C. 전도는 물질을 구성하는 입자 운동이 인접한 입자에 전달되면서 열을 전달하는 방식이다.

07

답 ⑤

고체가 기체가 되기 위해서는 열에너지를 흡수해야 하므로 A는 고체, B는 기체이다.

ㄱ. 물이 수증기로 상태가 변하는 것은 액체가 열에너지를 흡수하여 B와 같은 기체가 되는 것과 같은 상태 변화이다.

ㄴ. 얼음 알갱이가 비가 되기 위해서는 A와 같은 고체 상태인 얼음이 열에너지를 흡수하여 액체 상태인 물이 되는 상태 변화가 일어나야 한다.

ㄷ. 공기 중의 수증기가 구름이 되기 위해서는 물방울이나 얼음 알갱이로 상태가 변해야 한다. 즉, 기체가 고체가 되는 상태 변화가 일어난다.

08

답 ③

ㄷ. (가)에서 열기관이 전환한 역학적 에너지는  $2Q$ 이고, (나)에서 열기관이 전환한 역학적 에너지는  $\frac{10}{3}Q - 2Q = \frac{4}{3}Q$ 이다.

따라서 열기관이 전환한 역학적 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

오답 피하기 ㄱ. (가)에서 에너지 보존 법칙에 의해 열기관이 전환한 역학적 에너지는  $5Q - 3Q = 2Q$ 이다. 따라서 열기관의 에너지 효율은  $\frac{2Q}{5Q} = 0.4$ 이다.

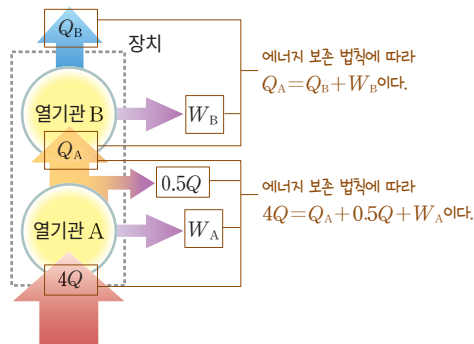
ㄴ. 열기관의 에너지 효율은 (가), (나)에서 0.4로 같으므로  $0.4 = \frac{\textcircled{7} - 2Q}{\textcircled{7}}$ 에서  $\textcircled{7} = \frac{10}{3}Q$ 이다.

09

답 ③

### 자료 분석 열기관에서의 에너지 보존 법칙

에너지 보존 법칙에 따라 열기관이 흡수한 열에너지는 전환한 역학적 에너지와 방출한 열에너지의 합과 같다.



ㄱ, ㄴ. A의 에너지 효율은 0.3이므로  $0.3 = \frac{W_A}{4Q}$ 에서  $W_A = 1.2Q$ 이다. 에너지 보존 법칙에 따라  $4Q = 1.2Q + Q_A + 0.5Q$ 에서  $Q_A = 2.3Q$ 이다. B의 에너지 효율 또한 0.3이므로  $0.3 = \frac{W_B}{2.3Q}$ 에서  $W_B = 0.69Q$ 이다. 에너지 보존 법칙에 따라  $2.3Q = 0.69Q + Q_B$ 에서  $Q_B = 1.61Q$ 이다.

오답 피하기 ㄷ. 장치에 공급한 열은  $4Q$ , 장치로부터 얻은 역학적 에너지는  $W_A + W_B = 1.2Q + 0.69Q = 1.89Q$ 이다. 따라서 장치의 에너지 효율은  $\frac{1.89Q}{4Q} = 0.4725$ 이다.

10

답 ②

ㄱ. 열기관에 필요한 열에너지는 주로 석탄, 석유와 같은 화석 연료를 연소해 얻는다.

ㄴ. 열기관을 작동할 때 반드시 재사용이 어려운 열에너지가 방출된다. 따라서 에너지 효율을 높여서 같은 양의 역학적 에너지를 얻더라도 방출되는 열에너지를 줄여야 한다.

오답 피하기 ㄷ. 열기관을 사용하는 과정에서 방출되는 열에너지는 대기 오염 물질이나 온실 기체와 함께 방출된다. 따라서 방출되는 열에너지를 줄이는 것은 환경적, 경제적 측면에서 모두 중요하다.

11

답 ①

ㄴ. 영구 기관은 별도의 에너지를 공급하지 않아도 계속해서 외부에 일을 할 수 있는 기관을 뜻한다.

오답 피하기 ㄱ. 영구 기관은 에너지 보존 법칙 등에 위배되므로 과학기술의 발전과 관계없이 실현할 수 없다.

ㄷ. 마찰과 공기 저항이 없더라도, 역학적 에너지의 일부가 외부의 일로 전환되면 역학적 에너지가 보존되지 않고 점점 감소한다. 따라서 역학적 에너지가 보존되는 현상을 동력으로 삼더라도 영구 기관으로 만들 수 없다.

12



만약 엔진이 바닷물로부터 계속해서 열에너지를 얻는다면 엔진의 온도가 점점 높아진다. 하지만 별도의 장치 없이 열이 온도가 낮은 바닷물에서 온도가 높은 엔진으로 저절로 이동하는 것은 불가능하다. 따라서 이 영구 기관은 실현할 수 없다.

13

(1) 시간에 따른 속력 그래프의 기울기는 가속도와 같으므로

$$a_1 = \frac{v_0}{2t_0}, a_2 = \left| \frac{-v_0}{t_0} \right| = \frac{v_0}{t_0} \text{이다. 따라서 } a_1 : a_2 = 1 : 2 \text{이다.}$$

(2) 마찰 구간이 아닌 곳에서 A에 작용하는 알짜힘은 실이 A를 당기는 힘  $T_1$ 과 같고, B에 작용하는 알짜힘은 B에 작용하는 중력과 실이 B를 당기는 힘의 합력과 같다. 따라서 이와 관련하여 뉴턴 제2법칙을 다음과 같이 적용할 수 있다.

$$\bullet A: 2m \times \frac{v_0}{2t_0} = T_1 \quad \bullet B: mg - T_1 = m \times \frac{v_0}{2t_0}$$

위 두 식을 연립해  $T_1$ 을 소거하여 정리하면  $\frac{2}{3}g = \frac{v_0}{t_0}$ 이다.

마찰 구간에서 A에 작용하는 알짜힘은 실이 A를 당기는 힘  $T_2$ 와 마찰력  $F$ 의 합력과 같고, B에 작용하는 알짜힘은 B에 작용하는 중력과 실이 B를 당기는 힘의 합력과 같다. 따라서 이와 관련하여 뉴턴 제2법칙을 다음과 같이 적용할 수 있다.

$$\bullet A: -2m \times \frac{v_0}{t_0} = T_2 - F \quad \bullet B: mg - T_2 = -m \times \frac{v_0}{t_0}$$

위 두 식을 연립해  $T_2$ 를 소거하고  $\frac{2}{3}g = \frac{v_0}{t_0}$ 을 대입해 정리하면  $F = 3mg$ 이다.

(3) 감소한 역학적 에너지는 마찰력이 한 일과 같다.  $2t_0$ 부터  $3t_0$ 까지 이동한 거리를 그래프 아랫부분의 넓이로 구하면  $\frac{1}{2}v_0 t_0$ 이다.

따라서 마찰력이 물체에 한 일은  $3mg \times \frac{1}{2}v_0 t_0 = \frac{3}{2}mgv_0 t_0$ 으로  $mgv_0 t_0$ 의  $\frac{3}{2}$  배이다.

| 채점 기준                                                                      | 배점(%) |
|----------------------------------------------------------------------------|-------|
| 역학적 에너지 감소량이 마찰력이 한 일과 같음을 이용하여 감소한 역학적 에너지가 $mgv_0 t_0$ 의 몇 배인지를 옳게 구한 경우 | 100   |
| 역학적 에너지 감소량을 $0 \sim 3t_0$ 까지 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량을 이용해 구한 경우에도 정답 인정      | 100   |
| 풀이 과정이 없이 감소한 역학적 에너지가 $mgv_0 t_0$ 의 몇 배 인지만 옳게 쓴 경우                       | 40    |

14

열기관을 작동하기 위해 필요한 열에너지는 주로 화석 연료를 연소하여 얻는다. 화석 연료는 매장량에 한계가 있고, 사용 과정에서 환경 오염 물질과 온실 기체가 배출된다. 열기관의 에너지 효율을 높이면 같은 역학적 에너지를 얻기 위해 공급하는 열에너지

를 줄일 수 있다. 즉, 열기관의 에너지 효율을 높이면 사용하는 화석 연료의 양을 줄일 수 있다.

또, 열은 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하기 때문에 열기관을 사용하는 과정에서 반드시 방출되는 열에너지가 생긴다. 이렇게 방출되는 열에너지는 다시 사용하기 어렵고, 지구 온난화에 좋지 않은 영향을 미친다. 열기관의 에너지 효율을 높이면 같은 열에너지를 공급하더라도 방출되는 열에너지를 줄일 수 있다.

| 채점 기준                                                                     | 배점(%) |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|
| (가), (나)의 근거를 모두 에너지 효율과 연관해 얻은 역학적 에너지, 공급 및 방출하는 열에너지의 관계를 들어 옳게 설명한 경우 | 100   |
| (가), (나) 중 한 가지만 에너지 효율과 연관해 얻은 역학적 에너지, 공급 및 방출하는 열에너지의 관계를 들어 옳게 설명한 경우 | 50    |
| 환경 오염 물질이나 온실 기체 배출을 줄이기 위해서라고 설명한 경우                                     | 20    |

15

(1) A의 에너지 효율은  $\frac{2W}{Q_0}$ 이고, B가 고온의 물체로부터 흡수한 열에너지를  $Q$ 라고 하면 B의 에너지 효율은  $\frac{4W}{Q}$ 이다. A, B

의 에너지 효율은 같으므로  $\frac{2W}{Q_0} = \frac{4W}{Q}$ 에서  $Q = 2Q_0$ 이다.

| 채점 기준                                        | 배점(%) |
|----------------------------------------------|-------|
| B가 흡수한 열에너지를 A, B의 에너지 효율이 같음을 이용하여 옳게 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 B가 흡수한 열에너지만 옳게 쓴 경우               | 40    |

(2) B는  $2Q_0$ 의 열에너지를 흡수해  $Q_0$ 의 열에너지를 방출했으므로 B가 전환한 역학적 에너지  $4W = 2Q_0 - Q_0 = Q_0$ 이다. 따라서 A가 전환한 역학적 에너지  $2W$ 는  $Q_0$ 의 0.5 배인  $0.5Q_0$ 이다. 따라서 A의 에너지 효율은  $\frac{0.5Q_0}{Q_0} = 0.5$ 이다.

| 채점 기준                                                                        | 배점(%) |
|------------------------------------------------------------------------------|-------|
| B가 전환한 역학적 에너지를 구해 B의 에너지 효율을 구하고, 이를 통해 A의 에너지 효율을 옳게 구한 경우                 | 100   |
| B가 전환한 역학적 에너지를 먼저 구하고, 이를 통해 A가 전환한 역학적 에너지를 구해 A의 에너지 효율을 옳게 구한 경우에도 정답 인정 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 A의 에너지 효율만 옳게 쓴 경우                                                 | 40    |

16

높은 곳에서 떨어지는 물은 역학적 에너지를 갖는다. 물은 떨어지면서 역학적 에너지의 일부로 수차를 돌리는 일을 한다. 따라서 에너지 보존 법칙에 따라 수차로 끌어 올려진 물은 처음에 가졌던 만큼의 역학적 에너지를 가질 수 없다. 즉, 물이 처음 높이 만큼 끌어 올려지지 못하기 때문에 수차가 계속 작동할 수 없다.

| 채점 기준                                                                          | 배점(%) |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 에너지 보존 법칙 때문에 물의 역학적 에너지의 일부가 수차를 돌리는 일로 전환되어 물을 처음 높이까지 끌어 올릴 수 없다고 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 에너지 보존 법칙(또는 열역학 제1법칙)에 위배되기 때문이라고만 설명한 경우                                     | 50    |

중간  
일전 문제

56~59 쪽

- 01 ⑤ 02 ② 03 (1) 예시 답안 (나)의 그래프 아랫부분의 넓이는 알짜힘이 한 일과 같으므로  $x=L$ 인 위치를 지날 때의 속력을  $v$ 라 하면,  $\frac{1}{2} \times (2m+m) \times v^2 = FL$ 에서  $v = \sqrt{\frac{2FL}{3m}}$ 이다.
- (2) 예시 답안 실이 끊어진 뒤 A에 작용하는 알짜힘이 0이므로 A는 등속 운동을 하기 때문이다. (3) 예시 답안 B가  $x=L \sim 2L$ 까지 운동하는 동안 힘이 한 일만큼 운동 에너지가 증가하므로  $\frac{3}{2}FL = m(v_B^2 - \frac{2FL}{3m})$ 에서  $v_B$ 는  $v_A$ 의  $\frac{\sqrt{13}}{2}$  배이다.
- 04 ③ 05 ⑤ 06 ① 07 ② 08 예시 답안 물체가 P에 있을 때는 원래 길이에서 0.5 m 늘어난 상태이므로, 손을 놓은 뒤 물체가 P를 지나는 순간에는 탄성력에 의한 위치 에너지가 0.9 J만큼 증가하고, 중력에 의한 위치 에너지는 1 J만큼 감소한다. 따라서 운동 에너지는 0.1 J이다. 09 ④ 10 ③ 11 ⑤
- 12 예시 답안 충돌 직전 A와 B의 속력을 각각  $v_A, v_B$ 라 하면 운동량 보존 법칙에 따라  $v_A = 2v_B$ 이다. A가 충돌 직전까지 역학적 에너지는 보존되므로  $mgh = \frac{1}{2}m(2v_B)^2$ 이고, 마찰 구간에서 B의 역학적 에너지 감소량을  $E$ 라고 하면  $4mgh - E = mv_B^2$ 이다. 두 식에 따라  $E = \frac{7}{2}mgh$ 로,  $mgh$ 의  $\frac{7}{2}$  배이다.
- 13 ㉠ (1) A: 액체, B: 기체 (2) 예시 답안 바닷물이나 강물이 증발해 막대한 양의 수증기가 만들어질 때 큰 열에너지를 흡수하기 때문이다. 14 ② 15 ⑤ 16 ⑤

01

㉠ ⑤

ㄱ. 마찰이 없는 수평면이므로  $F$ 는 알짜힘의 크기와 같다.  $F$ 는  $x=1$  m에서  $x=3$  m에서보다 크므로 가속도의 크기 또한  $x=1$  m에서  $x=3$  m에서보다 크다.

ㄴ.  $x=0$ 에서부터  $x=2$  m까지 알짜힘이 한 일은 일·운동 에너지 정리에 따라  $x=2$  m에서의 운동 에너지와 같다. 한편 그래프 아랫부분의 넓이는 알짜힘이 한 일과 같다. 따라서  $x=2$  m에서 물체의 속력을  $v$ 라고 하면,  $(4 \times 2) \text{ J} = \frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times v^2$ 에서  $v = 2\sqrt{2} \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ.  $x=1$  m에서  $x=4$  m까지 물체의 운동 에너지 변화량은 그래프 아랫부분의 넓이와 같은  $\frac{1}{2} \times (1+3) \times 4 = 8(\text{J})$ 이다.

02

㉠ ②

ㄴ. 운동 에너지  $E_k$ 와 운동량  $p$ 는 다음과 같은 관계가 있다.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{m^2v^2}{2m} = \frac{p^2}{2m}$$

따라서  $p = \sqrt{2mE_k}$ 이다. 질량은 A가 B보다 크고, q에서 운동 에너지는 A와 B가 같다. 따라서 q에서 운동량의 크기는 A가 B보다 크다.

오답 피하기 ㄱ. A, B가 p에서 q까지 운동하는 동안, 물체에 작용한 힘의 크기와 힘이 작용한 방향으로의 이동 거리는 A와 B가 같다. 따라서 힘이 한 일은 A와 B가 같고, 일·운동 에너지 정리에 따라 q에서 운동 에너지는 A와 B가 같다.

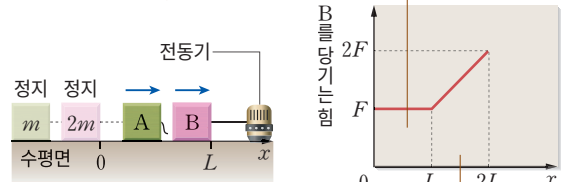
ㄷ. 이동 거리는 A와 B가 같고, 뉴턴 제2법칙에 따라 물체의 가속도의 크기는 질량이 더 큰 A가 B보다 작으므로 q에는 B가 A보다 먼저 도착한다.

03

자료 분석 일·운동 에너지 정리

$x=L$ 을 지나는 순간 실이 끊어지므로, 알짜힘이 한 일과 운동 에너지 변화를 다음과 같이 분석할 수 있다.

0~L까지 그래프 아랫부분의 넓이 =  $FL$   
= 0~L까지 알짜힘이 A, B에 한 일  
= A, B의 운동 에너지 증가량



$L \sim 2L$ 까지 그래프 아랫부분의 넓이 =  $\frac{3}{2}FL$   
=  $L \sim 2L$ 까지 알짜힘이 B에 한 일  
= B의 운동 에너지 증가량

(1) 힘-이동 거리 그래프, 즉 (나)의 그래프 아랫부분의 넓이는 물체에 작용한 알짜힘이 한 일과 같다. 그리고 알짜힘이 한 일은 일·운동 에너지 정리에 따라 운동 에너지 증가량과 같다. 따라서 정지 상태에서 출발한 A, B가  $x=L$ 인 위치를 지날 때의 운동 에너지 합은  $FL$ 이다. 이때의 속력을  $v$ 라 하면,  $\frac{1}{2} \times (2m+m) \times v^2 = FL$ 에서  $v = \sqrt{\frac{2FL}{3m}}$ 이다.

| 채점 기준                                                                                                           | 배점(%) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 힘-이동 거리 그래프 아랫부분의 넓이와 일·운동 에너지 정리를 이용해 식을 세운 뒤 A, B의 속력이 $\sqrt{\frac{2FL}{3m}}$ 인 까닭을 옳게 설명한 경우                | 100   |
| 별도의 설명이 없이 식 $\frac{1}{2} \times (2m+m) \times v^2 = FL$ 만 세워 A, B의 속력이 $\sqrt{\frac{2FL}{3m}}$ 인 까닭을 옳게 설명한 경우 | 60    |

(2) 실이 끊어진 뒤 A에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 A는 관성 법칙에 따라  $\sqrt{\frac{2FL}{3m}}$ 의 일정한 속력을 유지하며 운동한다.

| 채점 기준                                | 배점(%) |
|--------------------------------------|-------|
| 알짜힘이 0이어서 등속 운동을 하기 때문이라고 옳게 설명한 경우  | 100   |
| 알짜힘이 0이기 때문이라거나, 관성 법칙에 따른다고만 설명한 경우 | 70    |
| 힘이 작용하지 않기 때문이라고 설명한 경우              | 30    |

(3) B가  $x=L$ 에서  $x=2L$ 까지 운동하는 동안 B를 당기는 알짜힘이 한 일은  $\frac{3}{2}FL$ 이고, 이는 B의 운동 에너지 변화량과 같다.

따라서  $\frac{3}{2}FL = \frac{1}{2} \times 2m \times \left( v_B^2 - \frac{2FL}{3m} \right)$ 에서  $v_B = \sqrt{\frac{13FL}{6m}}$ 이므로  $v_A$ 의  $\frac{\sqrt{13}}{2}$  배이다.

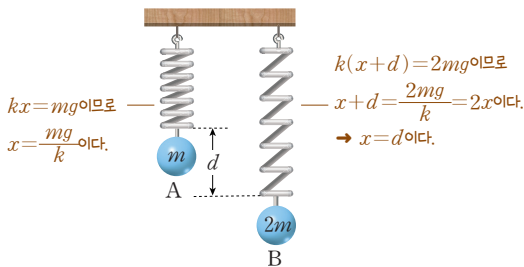
| 채점 기준                                                          | 배점(%) |
|----------------------------------------------------------------|-------|
| 힘이 한 일만큼 B의 운동 에너지가 증가하는 것을 이용해 $v_B$ 가 $v_A$ 의 몇 배인지 옳게 구한 경우 | 100   |
| $v_B$ 가 $v_A$ 의 몇 배인지만 옳게 쓴 경우                                 | 40    |

#### 04

㉓ ③

##### 자료 분석 탄성력과 용수철이 늘어난 길이

- A, B가 용수철에 매달려 정지해 있으므로, A, B는 모두 힘의 평형 상태이다. 따라서 A, B 모두 중력과 탄성력의 크기가 같다.
- 용수철 상수를  $k$ , A를 매달았을 때 용수철이 늘어난 길이를  $x$ 라 하면, 다음과 같은 관계를 통해 A를 매달았을 때는 용수철이 원래 길이에서  $d$ 만큼, B를 매달았을 때는 용수철이 원래 길이에서  $2d$ 만큼 늘어났음을 알 수 있다.



㉒. 탄성력에 의한 위치 에너지는 늘어난 길이의 제곱에 비례하므로 B가 A의 4 배이다.

㉒. B의 중력에 의한 위치 에너지가 0이므로, 중력에 의한 위치 에너지는 A가 B보다  $mgd$ 만큼 크다.

오답 피하기 ㉒. A를 매달았을 때  $kd = mg$ 이므로  $k = \frac{mg}{d}$ 이다.

따라서 탄성력에 의한 위치 에너지는 A가 B보다  $\frac{1}{2} \times k \times$

$[(2d)^2 - d^2] = \frac{3}{2}mgd$ 만큼 작다. 중력에 의한 위치 에너지는 A가 B보다  $mgd$ 만큼 크므로, 역학적 에너지는 A가 B보다  $\frac{1}{2}mgd$ 만큼 작다.

#### 05

㉓ ⑤

A~C는 실로 연결되어 함께 운동하므로 속력이 같고, A가 지면에 닿는 순간 B의 운동 에너지가 C의 2 배이므로 B의 질량은 C의 2 배인  $2m$ 이다. 함께 운동하는 A~C의 질량은  $5m + 2m + m = 8m$ 이고, A쪽으로  $5mg$ 가, B, C쪽으로  $(2m + m)g = 3mg$ 가 작용하므로 A~C에 작용하는 알짜힘의 크기는  $2mg$ 이다. 따라서 A, B, C의 가속도 크기는  $\frac{2mg}{8m} = \frac{g}{4}$ 이다. A가 지면에 닿을 때까지의 물리량을 등가속도 운동의 식  $v^2 - v_0^2 = 2as$ 에 적용하면  $v^2 = \frac{gh}{2}$ 이다.

따라서 A가 지면에 닿는 순간 B의 운동 에너지는  $\frac{1}{2} \times 2m \times v^2 = \frac{1}{2}mgh$ 이다. 즉,  $\Delta E_k = \frac{1}{2}mgh$ 이다. C를 가만히 놓는 순간부터 A가 지면에 닿을 때까지 B의 중력에 의한 위치 에너지 증가량은  $\Delta E_p = 2mgh$ 이다. 따라서  $\Delta E_k : \Delta E_p = 1 : 4$ 이다.

#### 06

㉓ ①

A와 B는 실로 연결되어 운동하므로 A, B 각각의 역학적 에너지는 보존되지 않지만, A와 B의 역학적 에너지의 총합은 일정하게 보존된다. 따라서 A와 B의 중력에 의한 위치 에너지 합이 감소한 양은 A와 B의 운동 에너지 합이 증가한 양과 같다. A가 q를 지나는 순간의 속력을  $v$ 라 하면 다음 식을 만족한다.

$$3mg \times 2h - 2mgh = \frac{1}{2} \times (2m + 3m) \times v^2$$

식을 정리하면  $v^2 = \frac{8}{5}gh$ 이므로 A가 q를 지나는 순간 B의 운동 에너지는  $\frac{1}{2} \times 3m \times v^2 = \frac{12}{5}mgh$ 이다.

#### 07

㉓ ②

㉒. P의 용수철 상수를  $k$ 라고 하면 Q의 용수철 상수는  $2k$ 이다. A, B의 질량을 각각  $m_A, m_B$ , O에서 A, B의 속력을  $v$ 라고 하면, (가)에서  $\frac{1}{2}kL^2 = \frac{1}{2}m_A v^2$ 이고 (나)에서  $\frac{1}{2} \times 2k \times L^2 = \frac{1}{2}m_B v^2$ 이다. 이를 정리하면  $m_B = 2m_A$ 이므로 질량은 B가 A의 2 배이다.

오답 피하기 ㉒. P와 Q가 변형된 길이는  $L$ 로 같고, 용수철 상수는 Q가 P의 2 배이므로 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는 Q가 P의 2 배이다.

㉒. O에서 속력은 A와 B가 같고 질량은 B가 A의 2 배이므로 O에서 물체의 운동 에너지는 B가 A의 2 배이다.



08

물체가 P에 있을 때 탄성력과 중력이 평형을 이루고 있다. 이때 용수철의 원래 길이에서 늘어난 길이를  $x$ 라 하면,  $20 \text{ N/m} \times x = 0.1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2$ 에서  $x = 0.5 \text{ m}$ 이다. 물체를 연직 위로  $0.1 \text{ m}$ 만큼 들어 올렸을 때는 원래 길이에서  $0.4 \text{ m}$ 만큼 늘어난 상태이므로, 손을 놓아서 물체가 Q에서 P로 운동하면 탄성력에 의한 위치 에너지가  $\frac{1}{2} \times 20 \text{ N/m} \times [(0.5 \text{ m})^2 - (0.4 \text{ m})^2] = 0.9 \text{ J}$ 만큼 증가하고, 중력에 의한 위치 에너지는  $1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0.1 \text{ m} = 1 \text{ J}$ 만큼 감소한다. 역학적 에너지는 보존되므로 탄성력에 의한 위치 에너지 변화량, 중력에 의한 위치 에너지 변화량, 운동 에너지 변화량의 합은 0이어야 한다. 따라서 운동 에너지는  $0.1 \text{ J}$ 만큼 증가해야 한다. Q에서 손을 놓은 순간 물체는 정지 상태이므로 P에서 운동 에너지는  $0.1 \text{ J}$ 이다.

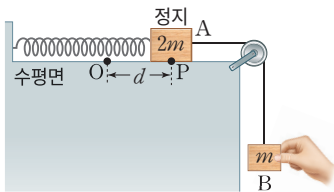
| 채점 기준                                                                                                                                             | 배점(%) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 역학적 에너지 보존을 토대로 하여 탄성력에 의한 위치 에너지와 중력에 의한 위치 에너지 변화량을 이용해 물체가 P를 지나는 순간의 운동 에너지를 옳게 구한 경우                                                         | 100   |
| P를 평형 위치로 잡으면 중력에 의한 위치 에너지를 고려하지 않아도 됨을 이용해 Q에서 P로 이동했을 때 탄성력에 의한 위치 에너지 감소량이 $0.1 \text{ J}$ 이므로 운동 에너지가 $0.1 \text{ J}$ 이라고 설명하여 구한 경우에도 정답 인정 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 물체가 P를 지나는 순간의 운동 에너지만 옳게 쓴 경우                                                                                                          | 40    |

09

답 ④

자료 분석 ● 중력과 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

A가 P에 정지해 있을 때 B의 중력에 의한 위치 에너지를 0, 용수철 상수를  $k$ , A가 O를 지날 때 A와 B의 속력을  $v$ 라고 하자. A의 위치에 따른 에너지는 다음과 같다.



| A의 위치 | 탄성력에 의한 위치 에너지    | A와 B의 운동 에너지의 합   | B의 중력에 의한 위치 에너지 |
|-------|-------------------|-------------------|------------------|
| P     | $\frac{1}{2}kd^2$ | 0                 | 0                |
| O     | 0                 | $\frac{3}{2}mv^2$ | $mgd$            |

탄성력에 의한 위치 에너지, A와 B의 운동 에너지, B의 중력에 의한 위치 에너지의 총합은 보존되므로  $\frac{1}{2}kd^2 = \frac{3}{2}mv^2 + mgd$

이다. A가 O를 지날 때까지 B의 중력에 의한 위치 에너지 증가는 B의 운동 에너지 증가량의 3 배이므로  $mgd = 3 \times \frac{1}{2}mv^2$

에서  $v^2 = \frac{2}{3}gd$ 이다. 이를 역학적 에너지 보존의 식에 대입하면  $\frac{1}{2}kd^2 = 2mgd$ 에서  $k = \frac{4mg}{d}$ 이다.

10

답 ③

마찰 구간 I, II에서 마찰력의 크기를 각각  $2F$ ,  $F$ 라 하면 I, II에서 역학적 에너지 감소량은 각각  $2FL_1$ ,  $FL_2$ 이다. 따라서  $\frac{1}{2}m \times (3v)^2 - 2FL_1 = \frac{1}{2}m \times (2v)^2$ 이고,  $\frac{1}{2}m \times (2v)^2 - FL_2 = \frac{1}{2}mv^2$ 이다. 두 식을 정리하면  $\frac{L_1}{L_2} = \frac{5}{6}$ 이다.

11

답 ⑤

7. 물체가 마찰 구간 I의 끝 지점을 통과한 순간부터 마찰 구간 II의 시작 지점을 지날 때까지 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 I, II의 가장 아래 지점에서 물체의 속력은 같다. I에서 물체는 등속 운동을 하고 II에서 물체의 속력은 감소하므로 물체의 평균 속력은 I에서가 II에서보다 크다.

8. 용수철 상수를  $k$ 라고 하면 용수철을  $d$ 만큼 압축시켰을 때 탄성력에 의한 위치 에너지는  $\frac{1}{2}kd^2$ 이다. 한편 물체가 I, II를 통과

하는 동안 물체의 역학적 에너지 감소량은  $mgd + \frac{1}{2}mgd = \frac{3}{2}mgd$ 이다. p에서 운동 에너지는 0이므로  $\frac{1}{2}kd^2 = \frac{3}{2}mgd$ 가 성립하여  $k = \frac{3mg}{d}$ 이다.

오답 피하기 1. I에서 물체는 등속 운동을 하므로 역학적 에너지 감소량은 중력에 의한 위치 에너지 감소량과 같은  $mgd$ 이다. 역학적 에너지 감소량은 I에서가 II에서의 2 배이므로 II에서 역학적 에너지 감소량은  $\frac{1}{2}mgd$ 이다. II에서 물체의 운동 에너지 감소량은 중력에 의한 위치 에너지 증가량과 역학적 에너지 감소량의 합과 같으므로  $mgd + \frac{1}{2}mgd = \frac{3}{2}mgd$ 이다.

12

A와 B가 충돌 직후 모두 정지하므로, A와 B의 충돌 후 운동량 합은 0이다. 운동량 보존 법칙에 따라 A와 B의 충돌 직전 운동량 합도 0이어야 하므로, 충돌 직전에는 A의 운동량과 B의 운동량은 크기가 같고 방향이 반대이어야 한다. 따라서  $mv_A = 2mv_B$ 에서  $v_A = 2v_B$ 이다.

충돌 직전 A의 속력을  $2v$ 라고 하면 충돌 직전 B의 속력은  $v$ 이다.

A를 가만히 놓은 순간부터 충돌할 때까지 A의 역학적 에너지는 보존되므로  $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ 이다. 마찰 구간에서 B의 역학적 에너지 감소량을  $E$ , 중력에 의한 위치 에너지의 기준면을 수평면으로 하면,  $E$ 는 B를 가만히 놓은 순간의 중력에 의한 위치 에너지와 A와 충돌 직전 B의 운동 에너지의 차이와 같다. 즉,  $4mgh - \frac{1}{2} \times 2m \times v^2 = E$ 이다. 두 식을 연립하여 정리하면,  $E = 4mgh - \frac{1}{2}mgh = \frac{7}{2}mgh$ 이다.

| 채점 기준                                                                                                              | 배점(%) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 운동량 보존 법칙을 이용해 $v_A : v_B$ 를 옳게 구한 뒤, A에 역학적 에너지 보존 법칙을, B에 에너지 보존 법칙을 적용하여 감소한 B의 역학적 에너지가 $mgh$ 의 몇 배인지 옳게 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 감소한 B의 역학적 에너지가 $mgh$ 의 몇 배이지만 옳게 쓴 경우                                                                   | 40    |

### 13

(1) 액체가 기체로 상태가 변할 때 열에너지를 흡수하고, 기체가 액체로 상태가 변할 때 열에너지를 방출한다. 따라서 A는 액체, B는 기체이다.

(2) 100 °C 물 1 kg이 수증기가 되는 데 필요한 열에너지는 질량이 22600 kg인 물체를 약 10 m 높이까지 들어 올리는 데 필요한 역학적 에너지와 비슷하다. 저위도 해상에서는 이렇게 만들어진 막대한 양의 수증기가 구름이 되면서 큰 열에너지를 방출한다. 이 열에너지가 에너지 전환 과정을 거쳐 강한 비바람을 일으키는 현상이 태풍이다.

| 채점 기준                                                               | 배점(%) |
|---------------------------------------------------------------------|-------|
| 액체가 기체로 상태 변화를 할 때 열에너지를 흡수하는 것을 포함하여 태풍이 막대한 에너지를 갖는 까닭을 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 태풍이 만들어질 때 (가)와 같은 상태 변화를 통해 막대한 에너지를 축적한다는 내용이 있으면 정답 인정           | 100   |
| (가)와 같은 상태 변화가 일어나기 때문이라고만 설명한 경우                                   | 30    |

### 14

스털링 엔진이 열에너지로부터 전환한 역학적 에너지는 A, B의 역학적 에너지 변화량과, 마찰면에서 A에 마찰력에 대해 한 일로 전환된다. A의 역학적 에너지는  $\frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times (1 \text{ m/s})^2 = 1 \text{ J}$ 만큼 감소하며, B의 역학적 에너지는  $1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0.4 \text{ m} - \frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times (1 \text{ m/s})^2 = 3.5 \text{ J}$ 만큼 증가한다. 또, A에 마찰력에 대하여 한 일은  $30 \text{ N} \times 0.4 \text{ m} = 12 \text{ J}$ 이다. 즉, 스텔링 엔진이 전환한 역학적 에너지는  $-1 \text{ J} + 3.5 \text{ J} + 12 \text{ J} = 14.5 \text{ J}$ 이므로 스텔링 엔진의 효율은  $\frac{14.5 \text{ J}}{58 \text{ J}} = 0.25$ 이다.

### 15

A. 열기관에 공급하는 열에너지는 주로 화석 연료를 연소해서 얻는다.

B, C. 열기관을 사용할 때에는 반드시 방출하는 열에너지가 생긴다. 즉, 열에너지를 모두 역학적 에너지로 전환할 수 없으므로 열기관의 에너지 효율은 1이 될 수 없다.

### 16

영구 기관이 계속해서 작동하려면 추의 역학적 에너지가 계속 일정하게 보존되면서 외부에 사람이나 물건을 나르는 것과 같은 일을 해야 한다. 하지만 외부에서 별도의 에너지를 공급하지 않으면 추의 역학적 에너지가 점점 외부에 한 일로 전환되기 때문에 추의 역학적 에너지는 보존되지 못한다. 따라서 제시된 주장에 따르면 에너지 보존 법칙이 성립할 수 없다.

## 대단원 평가 문제

62~65쪽

- 01 ③    02 ⑤    03 ②    04 ①    05 ⑤    06 ③  
07 ②    08 ③    09 ②    10 ②    11 ④    12 ①

### 단답형·서술형 문제

13 (1) 답 1 배 (2)  $\frac{5}{4}$  배

14 (1) 예시 답안 (나)에서 B의 속력을  $v_B$ 라고 하면 운동량 보존 법칙에 따라  $9mv = 2mv + mv_B$ 이므로  $v_B = 7v$ , 즉  $v$ 의 7 배이다.

(2) 예시 답안 (가)에서  $E_k = \frac{27}{2}mv^2$ 이고, (나)에서 A, B의 운동 에너지의 합은  $\frac{51}{2}mv^2$ 이다. 역학적 에너지는 보존되므로  $E_p = 12mv^2$ 이다. 따라서  $E_p : E_k = 8 : 9$ 이다.

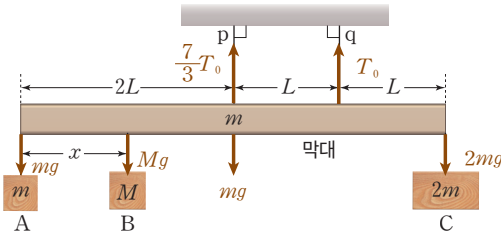
15 예시 답안 실로 연결되어 운동하는 A, B의 역학적 에너지의 합은 보존되므로  $E_1 + E_2 = 3E_2$ 에서  $E_1 : E_2 = 2 : 1$ 이다. 따라서  $m_A : m_B = 2 : 1$ 이다.

16 (1) 예시 답안 속력 증가량은 A와 B가 같고 운동 에너지 증가량은 B가 A의 2 배이므로  $m_A : m_B = 1 : 2$ 이다.

(2) 예시 답안 A, B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량  $4E_0$  중 운동 에너지로  $3E_0$ 이 전환되었으므로, 마찰 구간에서  $E_0$ 만큼의 역학적 에너지가 감소했다.

### 자료 분석 ● 평형 상태 분석

$x = \frac{3}{2}L$ 일 때 막대에 작용하는 힘은 다음과 같으며, 막대는 평형 상태이므로 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 동시에 만족한다.



- 힘의 평형:  $\frac{7}{3}T_0 + T_0 = mg + Mg + mg + 2mg$
- 돌림힘의 평형: p가 막대에 연결된 지점을 회전축으로 잡는다.  
 $2L \times mg + \frac{1}{2}L \times Mg + L \times T_0 = 2L \times 2mg$

ㄱ. 막대는 힘의 평형 상태이므로, 연직 위 방향 힘들의 합력의 크기와 연직 아래 방향 힘들의 합력의 크기는 같다.

- 연직 위 방향: p, q가 막대를 당기는 힘
- 연직 아래 방향: A, B, C, 막대에 작용하는 중력

ㄴ.  $\frac{10}{3}T_0 = 4mg + Mg$ 에  $M = m$ 을 대입하면  $T_0 = \frac{3}{2}mg$ 이다.

오답 피하기 ㄴ. 힘의 평형 식을 정리하면  $\frac{10}{3}T_0 = 4mg + Mg$ 이

고, 돌림힘의 평형 식을 정리하면  $\frac{1}{2}Mg + T_0 = 2mg$ 이다. 두 식을 연립하면  $M = m$ 이다.

## 02

답 ⑤

실이 막대를 당기는 힘과 막대가 실을 당기는 힘은 작용 반작용 관계이므로, 실이 막대를 당기는 힘의 크기를 통해 p 또는 q가 끊어지는지의 여부를 판단할 수 있다. B의 질량이  $m$ 이므로, 막대와 물체 A~C에 작용하는 중력의 합은  $5mg$ 이다. 따라서 각 실이 당기는 힘의 크기의 최댓값은  $5mg$ 로, p는 B의 위치에 관계없이 끊어지지 않고, q는 B의 위치에 따라 끊어질 수 있다. q가 막대를 당기는 힘의 크기를  $T$ 라 하면,  $T \leq 3mg$ 여야 끊어지지 않는다. p가 막대와 연결된 지점을 회전축으로 하면 돌림힘의 평형을 다음과 같이 적용할 수 있다.

(i) B가 p 왼쪽에 있을 때( $0 < x < 2L$ 일 때)

$$2L \times mg + (2L - x) \times mg + L \times T = 2L \times 2mg$$

위 식을 정리하면  $T = \frac{x}{L}mg \leq 3mg$ 이므로  $0 < x < 2L$ 이다. 즉,

B가 p 왼쪽 어느 곳에 있더라도 막대는 수평인 상태를 유지한다.

(ii) B가 p 오른쪽에 있을 때( $2L < x < 4L$ 일 때)

$$2L \times mg + L \times T = 2L \times 2mg + (x - 2L)mg$$

위 식을 정리하면  $T = \frac{x}{L}mg \leq 3mg$ 이므로  $2L < x \leq 3L$ 이다.

즉, B를  $x = 3L$ 인 곳보다 더 오른쪽으로 이동하면 q는 끊어져서 막대는 수평 상태를 유지하지 못한다.

## 03

답 ②

ㄴ. 0 초부터 2 초까지 속도의 크기가 증가하므로 속도의 방향과 가속도의 방향이 같다. 즉, 가속도의 방향은  $+x$  방향이다. 한편 2 초부터 4 초까지 속도의 크기가 감소하므로 속도의 방향과 가속도의 방향이 반대이다. 즉, 가속도의 방향은  $-x$  방향이다. 따라서 가속도의 방향은 1 초일 때와 3 초일 때가 반대이다.

오답 피하기 ㄱ. 1 초일 때와 3 초일 때 속도는  $+x$  방향으로 같다.

ㄷ. 가속도의 크기는 시간에 따른 속도 그래프 기울기의 크기와 같다. 0 초부터 2 초까지 가속도의 크기는  $2.5 \text{ m/s}^2$ 이고, 2 초부터 4 초까지 가속도의 크기는  $1 \text{ m/s}^2$ 이다. 알짜힘의 크기는 가속도의 크기에 비례하므로 1 초일 때 알짜힘의 크기는 3 초일 때의 2.5 배이다.

## 04

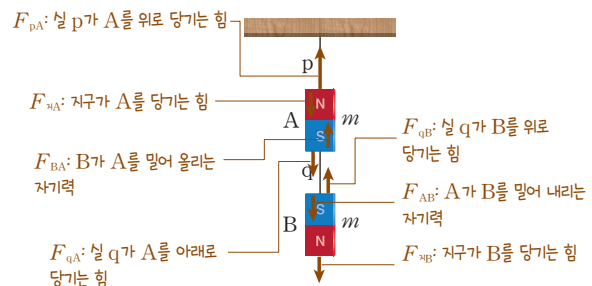
답 ①

A, B의 가속도가 같으므로 같은 시간 동안 속도 변화량이 같다. 따라서 B의 속도가 0에서  $4v$ 가 되는 동안 A의 속도는  $v$ 에서  $5v$ 가 된다. A, B의 가속도를  $a$ 라 하면 A의 경우  $2a(L+x) = (5v)^2 - v^2$ 이고, B의 경우  $2ax = 16v^2$ 이다. 두 식을 정리하면  $L = \frac{4v^2}{a}$ 이고,  $x = \frac{8v^2}{a} = 2L$ 이다.

## 05

답 ⑤

### 자료 분석 ● 힘의 평형과 작용 반작용



- A에 작용하는 네 힘은 힘의 평형 관계이다.
- B에 작용하는 세 힘은 힘의 평형 관계이다.
- $F_{BA}$ 와  $F_{AB}$ 는 작용 반작용 관계인 두 힘이므로 크기가 같다.
- $F_{qA}$ ,  $F_{qB}$ 의 반작용은 각각 A, B가 q를 당기는 힘이다. 실은 힘의 평형 상태이므로, A, B가 q를 당기는 두 힘의 합력은 0이다. 따라서  $F_{qA}$ ,  $F_{qB}$ 의 크기는 같다.

ㄱ. A가 B에 작용하는 자기력의 반작용은 B가 A에 작용하는 자기력이다.

ㄷ.  $F_{qB} + F_{AB} = F_{qB}$ 이므로  $F_{qB} < F_{qB}$ 이다. 즉, q가 B를 당기는 힘의 크기는 지구가 B를 당기는 힘의 크기보다 크다.

오답 피하기 ㄴ. A에 작용하는 네 힘은 힘의 평형 관계이므로, 이를 식으로 나타내면  $F_{pA} + F_{BA} = F_{qA} + F_{qA}$ 이고,  $F_{qA}$ 와  $F_{qB}$ 의 크기는

같은므로  $F_{pA} + F_{BA} = F_{지A} + F_{지B} + F_{AB}$ 이다. 한편  $F_{지A} = F_{지B} = mg$ 이고, 작용 반작용 관계인  $F_{BA}$ 와  $F_{AB}$ 의 크기는 같으므로 p가 A를 당기는 힘의 크기  $F_{pA} = 2mg$ 이다.

06

답 ③

B, C에 빗면을 내려가는 방향으로 작용하는 힘의 크기를 각각  $f_B, f_C$ 라고 하자. (가)에서 실로 연결되어 함께 운동하는 A, B, C에 작용하는 알짜힘은  $3mg - f_B - f_C = 5ma_1(\cdots \textcircled{1})$ 이고, (나)에서 실로 연결되어 함께 운동하는 A, B에 작용하는 알짜힘은  $3mg - f_B = 4ma_2(\cdots \textcircled{2})$ 이다. (나)에서 C에는 빗면을 내려가는 방향으로 작용하는 힘이 알짜힘으로 작용하여 등가속도 운동을 하고, C의 가속도의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 같다고 했으므로  $f_C = ma_1(\cdots \textcircled{3})$ 이다.

③을 ①에 대입하여 정리하면,  $3mg - f_B = 6ma_1$ 이고 이를 ②와 연립하여 정리하면  $6ma_1 = 4ma_2$ 이다. 따라서  $\frac{a_1}{a_2} = \frac{2}{3}$ 이다.

07

답 ②

충돌 전 A, B의 운동량의 합은  $2mv$ 이고, 충돌 후 B의 속력을  $v_B$ 라고 하면 충돌 후 운동량의 합은  $-mv + 3mv_B$ 이다. 충돌 과정에서 운동량의 합은 보존되므로  $2mv = -mv + 3mv_B$ 에서  $v_B = v$ 이다.

08

답 ③

ㄱ. 시간에 따른 속력 그래프에서 물체의 속력이 2 초 동안 1 m/s에서 5 m/s로 4 m/s만큼 증가했다. 따라서 물체의 가속도는  $\frac{4 \text{ m/s}}{2 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이다. 뉴턴 제2법칙에 따라 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는  $5 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 10 \text{ N}$ 이다.

ㄴ. 알짜힘이 한 일이 60 J이고 알짜힘의 크기는 10 N이므로 0 초 ~ 2 초 동안 이동한 거리를  $s$ 라고 하면,  $10 \text{ N} \times s = 60 \text{ J}$ 에서  $s = 6 \text{ m}$ 이다. 시간에 따른 속력 그래프 아래부분의 넓이로 이동 거리를 구하여도  $\frac{1}{2} \times (1+5) \times 2 = 6(\text{m})$ 이다.

오답 피하기 ㄴ. 0 초 ~ 2 초 동안 알짜힘이 한 일은 운동 에너지 변화량과 같으므로  $\frac{1}{2} \times 5 \text{ kg} \times [(5 \text{ m/s})^2 - (1 \text{ m/s})^2] = 60 \text{ J}$ 이다.

09

답 ②

ㄴ. 물체의 질량을  $m$ 이라 하고, p, q에서 물체의 속력을 각각  $v_p, v_q$ 라고 하면 p에서  $\frac{1}{2}mv_p^2 = 3E_0$ 이고 q에서  $\frac{1}{2}mv_q^2 = 5E_0$ 이다.

이를 정리하면  $v_p : v_q = \sqrt{\frac{6E_0}{m}} : \sqrt{\frac{10E_0}{m}} = \sqrt{0.6} : 1$ 이다. 즉, 물체의 속력은 p에서 q에서의  $\sqrt{0.6}$  배이다.

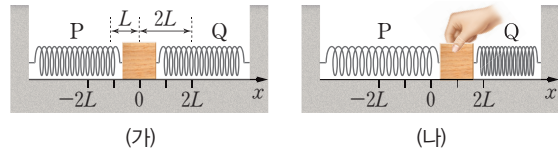
오답 피하기 ㄱ. 물체의 역학적 에너지는 p에서와 q에서가 같다. 따라서  $3E_0 + 4E_0 = 5E_0 + \textcircled{7}$ 에서  $\textcircled{7}$ 은  $2E_0$ 이다.

ㄴ. p의 높이를  $h_p$ 라고 하면 p에서  $mgh_p = 4E_0$ 이고 q에서  $mgh = 2E_0$ 이다.  $h_p = 2h$ 이므로 p와 q의 높이차는  $h$ 이다.

10

답 ②

### 자료 분석 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존



- (가)에서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이므로 P, Q의 탄성력의 크기는 같다. 한편 용수철이 원래 길이에서 늘어난 길이는 Q가 P의 2 배이므로 용수철 상수는 P가 Q의 2 배인  $2k$ 이다.
- (나)에서 물체를  $x=L$ 에서 가만히 놓은 순간,  $x=0$ 을 지나는 순간,  $x=-L$ 을 지나는 순간 P, Q의 탄성력에 의한 위치 에너지는 다음과 같다.

| 위치     | P의 탄성력에 의한 위치 에너지                             | Q의 탄성력에 의한 위치 에너지                                       |
|--------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| $x=L$  | $\frac{1}{2} \times 2k \times (2L)^2 = 4kL^2$ | $\frac{1}{2} kL^2$                                      |
| $x=0$  | $\frac{1}{2} \times 2k \times L^2 = kL^2$     | $\frac{1}{2} \times k \times (2L)^2 = 2kL^2$            |
| $x=-L$ | 0                                             | $\frac{1}{2} \times k \times (3L)^2 = \frac{9}{2} kL^2$ |

ㄴ. 물체의 역학적 에너지는 보존되고, 역학적 에너지는 두 용수철의 탄성력에 의한 위치 에너지와 운동 에너지의 합과 같다.  $x=0$ 일 때와  $x=-L$ 일 때 운동 에너지를 각각  $E_1, E_2$ 라 하면 각 위치에서 역학적 에너지를 다음과 같이 정리할 수 있다.

| 위치     | 탄성력에 의한 위치 에너지의 합  | 운동 에너지 | 역학적 에너지            |
|--------|--------------------|--------|--------------------|
| $x=L$  | $\frac{9}{2} kL^2$ | 0      | $\frac{9}{2} kL^2$ |
| $x=0$  | $3kL^2$            | $E_1$  | $\frac{9}{2} kL^2$ |
| $x=-L$ | $\frac{9}{2} kL^2$ | $E_2$  | $\frac{9}{2} kL^2$ |

따라서  $E_1 = \frac{3}{2} kL^2$ 이고,  $E_2 = 0$ 이므로 물체의 속력은  $x=0$ 일 때가  $x=-L$ 일 때보다 크다.

오답 피하기 ㄱ. 물체의 위치가  $x=L$ 일 때, P의 탄성력에 의한 위치 에너지는  $4kL^2$ 이고, Q의 탄성력에 의한 위치 에너지는  $\frac{1}{2} kL^2$ 이다.

ㄴ. 힘의 평형 상태인  $x=0$ 인 위치를 P, Q가 모두 연결되었을 때의 평형 위치로 볼 수 있으므로 운동 에너지가 최대이고, 탄성력에 의한 위치 에너지가 최대인  $x=L$ 과  $x=-L$ 인 위치에서 운동 에너지가 0이다. 즉, 운동 에너지 최댓값은  $\frac{3}{2} kL^2$ 이다.

**11** ④  
 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 물체의 역학적 에너지는 보존되므로  $2mgh = mgh + \frac{1}{2}m \times (2v)^2$ 에서  $v^2 = \frac{1}{2}gh$ 이다. 마찰 구간에서 물체에 작용한 마찰력이 한 일, 즉 역학적 에너지 감소량은  $Fh$ 이다. 이는 p에서 역학적 에너지와 r에서 역학적 에너지의 차이와 같으므로  $Fh = 2mgh - \left(mgh + \frac{1}{2}mv^2\right)$ 이다. 이 식에  $v^2 = \frac{1}{2}gh$ 를 대입하면  $F = \frac{3}{4}mg$ 이다.

**12** ①  
 7. 열기관을 에너지 효율은 공급한 열에너지에 대해 전환한 역학적 에너지의 비율로,  $\frac{W}{Q_1}$ 이다.  
 [오답 피하기] ㄴ. 열기관을 사용하면서 방출된 열에너지  $Q_2$ 는 다시 사용하기 어렵다. 따라서 방출된 열에너지  $Q_2$ 가 클수록 에너지 효율이 낮은 열기관이다.  
 ㄷ. 열은 반드시 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하므로, 열기관 주변의 저온인 곳으로 방출되는 열에너지  $Q_2$ 는 반드시 존재한다. 따라서  $Q_1 = W$ 인 것은 불가능하다.

**13**  
 (1) (가)에서 A, B, C는 정지해 있으므로 A, B, C에 작용하는 알짜힘은 0이다. 실이 A를 당기는 힘의 크기를  $T_A$ , 실이 C를 당기는 힘의 크기를  $T_C$ 라 할 때, A, B, C에 작용하는 힘을 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.  
 • A:  $F + mg = T_A$     • B:  $T_A = T_C$     • C:  $T_C = 2mg$   
 따라서  $F + mg = 2mg$ 에서  $F = mg$ 이다.  
 (2) (나)에서 A의 가속도의 크기를  $a$ , 실이 C를 당기는 힘의 크기를  $T_C'$ 이라고 할 때, A, B, C에 작용하는 힘을 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.  
 • A:  $T - mg = ma$     • B:  $T_C' - T = ma$   
 • C:  $2mg - T_C' = 2ma$   
 세 식을 모두 더하면  $2mg - mg = (m + m + 2m)a$ 에서  $a = \frac{1}{4}g$   
 이고, 이를 A의 식에 적용하면  $T = \frac{5}{4}mg$ 이다.

**14**  
 (1) 운동량 보존 법칙에 따라 (가)에서 A, B의 운동량 합과 (나)에서 A, B의 운동량 합은 같다. (나)에서 B의 속력을  $v_B$ 라고 하면  $(2m + m) \times 3v = 2mv + mv_B$ 이므로  $v_B = 7v$ 이다.

| 채점 기준                                       | 배점(%) |
|---------------------------------------------|-------|
| 운동량 보존 법칙을 이용해 B의 속력이 $v$ 의 몇 배인지를 묻게 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 B의 속력이 $v$ 의 몇 배이지만 옳게 쓴 경우       | 40    |

(2) (가)에서  $E_k = \frac{1}{2} \times (2m + m) \times (3v)^2 = \frac{27}{2}mv^2$ 이고, (나)에서 A, B의 운동 에너지의 합은  $\frac{1}{2} \times 2m \times v^2 + \frac{1}{2} \times m \times (7v)^2 = \frac{51}{2}mv^2$ 이다. 역학적 에너지는 보존되므로  $E_p = \frac{51}{2}mv^2 - \frac{27}{2}mv^2 = 12mv^2$ 이다. 따라서  $E_p : E_k = 8 : 9$ 이다.

| 채점 기준                                  | 배점(%) |
|----------------------------------------|-------|
| 역학적 에너지 보존을 이용해 $E_p : E_k$ 를 옳게 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 $E_p : E_k$ 만 옳게 쓴 경우        | 40    |

**15**  
 A, B 각각의 역학적 에너지는 보존되지 않지만 실로 연결되어 운동하는 A, B의 역학적 에너지의 합은 보존된다. 따라서 A, B의 운동 에너지 증가량은 A, B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량과 같다. 즉,  $E_1 + E_2 = 3E_2$ 에서  $E_1 = 2E_2$ 이다. 따라서 q에서 A, B의 운동 에너지비  $E_1 : E_2 = 2 : 1$ 이고, A, B의 속력은 같으므로 A, B의 질량비  $m_A : m_B = 2 : 1$ 이다.

| 채점 기준                                                                                                       | 배점(%) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 역학적 에너지 보존을 이용해 운동 에너지비를 구하고, 운동 에너지비를 이용해 질량비를 옳게 구한 경우                                                    | 100   |
| B의 운동 에너지 증가량과 중력에 의한 위치 에너지 감소량 비율을 이용해 감소한 높이와 증가한 속력의 관계를 도출하고, 이를 역학적 에너지 보존에 적용해 질량비를 옳게 구한 경우에도 정답 인정 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 질량비만 옳게 쓴 경우                                                                                      | 40    |

**16**  
 (1) A와 B는 실로 연결되어 운동하므로 속력은 A와 B가 같다. A가 p에서 q까지 운동하는 동안 운동 에너지의 증가량은 B가 A의 2 배이므로 질량은 B가 A의 2 배이다.

| 채점 기준                     | 배점(%) |
|---------------------------|-------|
| 운동 에너지비를 통해 질량비를 옳게 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 질량비만 옳게 쓴 경우    | 40    |

(2) 마찰 구간에서 역학적 에너지의 손실이 없다면, A가 p에서 q까지 운동하는 동안 B의 중력에 의한 위치 에너지의 감소량은 A와 B의 운동 에너지 증가량의 합과 같다. B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은  $4E_0$ 이고, A와 B의 운동 에너지 증가량의 합은  $E_0 + 2E_0 = 3E_0$ 이므로 마찰 구간에서 감소한 역학적 에너지는  $E_0$ 이다.

| 채점 기준                                        | 배점(%) |
|----------------------------------------------|-------|
| 에너지 보존 법칙을 이용해 마찰 구간에서 감소한 역학적 에너지를 옳게 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 마찰 구간에서 감소한 역학적 에너지만 옳게 쓴 경우       | 40    |



## II 전기와 자기

### 01 전기장과 전기 에너지

#### 06 장 전기장과 전위차

#### 기본 탄탄 문제

70 쪽

01 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ 02 ㉠ 비례, ㉡ 같은, ㉢ 다른

03 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○ 04 (1)  $\frac{1}{2}E$  (2)  $\frac{1}{4}qE$

05 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ×

06 ㉠ 높아, ㉡ 비례

- 01 ㉠ (1) ○ (2) × (3) × (4) ○  
 (1) (+)전하와 (+)전하, (-)전하와 (-)전하는 서로 밀어내는 전기력을 작용한다.  
 (2) 전기력은 힘의 한 종류이므로 힘의 합성을 통해 알짜힘을 구할 수 있다.  
 (3) 두 점전하가 서로에게 작용하는 전기력은 작용 반작용 관계이므로 크기는 같고 방향은 반대이다.  
 (4) 전기력의 크기는 거리의 제곱에 반비례하므로 두 점전하 사이의 거리가 가까울수록 전기력이 커진다.

- 02 ㉠ ㉠ 비례, ㉡ 같은, ㉢ 다른  
 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 전하량의 곱에 비례하고 거리의 제곱에 반비례한다. 같은 종류의 전하는 서로 밀어내고, 다른 종류의 전하는 서로 끌어당긴다.

- 03 ㉠ (1) × (2) × (3) ○ (4) ○  
 (1) 전기장에 놓인 단위 양전하(+1 C)가 받는 전기력의 세기와 방향을 그 점에서 전기장의 세기와 방향으로 정한다. 따라서 (-)전하는 전기장의 반대 방향으로 전기력을 받는다.  
 (2) 전하량인 +1 C인 (+)전하가 받는 전기력이 전기장의 세기이므로 점전하 주위의 전기장의 세기는 점전하로부터의 거리의 제곱에 반비례한다.  
 (3) 서로 다른 종류의 전하로 대전된 평행한 두 금속판 사이에는 (+)전하로 대전된 금속판에서 (-)전하로 대전된 금속판 방향으로 세기가 균일한 전기장이 형성된다.  
 (4) (+)전하 주위에는 전하에서 멀어지는 방향으로 전기장이 형성되고, (-)전하 주위에는 전하를 향하는 방향으로 전기장이 형성된다.

- 04 ㉠ (1)  $\frac{1}{2}E$  (2)  $\frac{1}{4}qE$   
 (1)  $E = k \frac{Q}{r^2}$  이므로  $E' = k \frac{2Q}{(2r)^2} = \frac{1}{2}E$ 이다.

- (2) 전기력의 세기는 전하량과 전기장의 곱이고 전기장의 세기가  $\frac{1}{4}E$ 이므로  $F = \frac{1}{4}qE$ 이다.

#### 05

㉠ (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ×

- (1) 전하를 띤 물체가 전기장을 따라 이동하면 전하에 일을 하여 전기력에 의한 위치 에너지가 변한다.  
 (2) 전위는 기준점에 따라 다르고, 전위차는 두 점의 전위의 차이이므로 기준점과 상관없이 같다.  
 (3) 전기장과 같은 방향으로 이동하면 전위가 낮아지고, 반대 방향으로 이동하면 전위가 높아진다.  
 (4) 전위차는 단위 전하당 전기력에 의한 위치 에너지 변화량이므로 전위차는  $\frac{U}{q}$ 이다.  
 (5) 평행한 두 금속판이 서로 다른 종류의 전하로 대전되면 (+)전하로 대전된 금속판에서 (-)전하로 대전된 금속판 방향으로 전기장이 형성된다. 따라서 (+)전하로 대전된 금속판에 가까울수록 전위가 높아진다.  
 (6) (+)전하는 전기장 방향으로 전기력을 받으므로 전기력 방향으로 이동하면 전위가 낮아진다.

#### 06

㉠ ㉠ 높아, ㉡ 비례

- 균일한 전기장에서 전기장과 반대 방향으로 이동할수록 전위가 높아지고, 전기장 방향으로 이동할수록 전위가 낮아진다. 전기장의 세기가  $E$ 이고 이동 거리가  $d$ 일 때 전위차는  $V = Ed$ 이다.

#### 실력 콕콕 문제

71~73 쪽

01 ⑤ 02 ① 03 ③ 04 ② 05 ④ 06 ⑤ 07 ①  
 08 ⑤ 09 ② 10 ③ 11 ③

#### 단답형·서술형 문제

- 12 (1) ㉠ (-)전하 (2) 예시 답안 전기력의 크기는 거리의 제곱에 반비례하므로 거리가  $2r$ 가 되면 전기력의 크기는 1 N이 된다. A와 B가 모두 (-)전하이므로 서로 밀어낸다. 따라서 B가 받는 전기력의 크기는 1 N이고, 방향은  $-x$  방향이다.  
 13 (1) ㉠  $\frac{11}{4}F$  (2) 예시 답안 A, B가 모두 (+)전하이므로 p에서 전기장은  $-x$  방향이다. q에서는 A에 의한 전기장보다 B에 의한 전기장이 더 세므로 전기장은  $-x$  방향이다.  
 14 예시 답안 전기력에 대해 전하에 한 일이 전하의 전기적 위치 에너지 증가량이다. 전하가 등속 운동 하므로 전하에 작용한 힘  $F = qE$ 이고, 전기력에 대해 한 일  $W = Fd = qEd$ 이다. 단위 전하당 전기적 위치 에너지 변화량이 전위차이므로  $V = \frac{W}{q}$ 에서  $V = Ed$ 이다.

01

답 ⑤

ㄱ. A와 B가 서로 당기는 전기력을 작용하고 있으므로 A와 B는 서로 다른 종류의 전하이다. A가 (+)전하이므로 B는 (-)전하이다.

ㄴ, ㄷ. A와 B가 서로에게 작용하는 전기력은 작용 반작용 관계이므로 전기력의 크기는 같고, 방향은 반대이다.

02

답 ①

ㄱ. 물체가 정지해 있으므로 알짜힘이 0이다.

오답 피하기 ㄴ. 전기장의 방향은 단위 양전하(+1 C)가 받는 전기력의 방향이므로 (-)전하를 띠는 물체가 받는 전기력과 전기장의 방향은 반대이다. (-)전하가 오른쪽으로 전기력을 받으므로 전기장의 방향은 왼쪽이다.

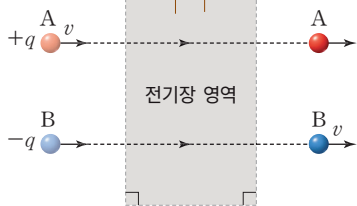
ㄷ. 전하량  $-q$ 인 물체가 받는 전기력의 크기는  $F=qE$ 이다.

03

답 ③

### 자료 분석 전기장에서 운동하는 전하가 받는 힘과 운동 에너지 변화

A, B는 서로 반대 방향으로 전기력을 받는다.  
→ 한쪽은 운동 에너지가 증가하고, 다른 쪽은 감소한다.



- 전기장에서 전하가 일직선을 따라 운동하므로 전기장 방향은 전하의 운동 방향과 나란하다.
- A와 B가 서로 다른 종류의 전하이므로 한쪽은 운동 방향으로 전기력을 받아 속력이 빨라지고, 다른 쪽은 운동 방향과 반대 방향으로 전기력을 받아 속력이 느려진다.
- A와 B의 전하량이 같으므로 A, B가 받는 전기력의 크기는 같다. 또 전기장 영역에서 이동하는 거리도 같으므로 전기력이 A, B에 한 일의 양이 같다.
- A, B가 받은 일이 같으므로 운동 에너지 변화량이 같다.  
A의 처음 운동 에너지 - A의 나중 운동 에너지  
= B의 나중 운동 에너지 - B의 처음 운동 에너지

ㄱ.  $F=qE$ 에서 A와 B의 전하량이 같으므로 전기력의 크기도 같다.

ㄷ. 전기력의 크기가 같고 이동 거리가 같으므로 전기력이 A, B에 한 일의 양은 같다.

ㄴ. A, B의 운동 에너지 변화량이 같고 A의 처음 속력과 B의 나중 속력이 같으므로 A의 나중 속력과 B의 처음 속력이 같다.

오답 피하기 ㄴ. A, B가 서로 다른 종류의 전하이므로 전기장에서 받는 전기력의 방향은 서로 반대이다.

04

답 ②

ㄴ. 점전하 주위에서 전기장의 세기는 거리의 제곱에 반비례한다. A, B가 q에서 만드는 전기장의 세기가 같으므로 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.

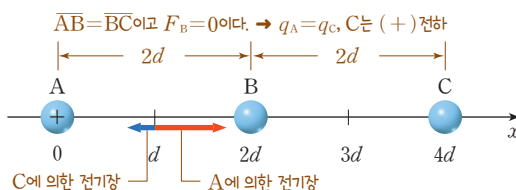
오답 피하기 ㄱ. q에서 전기장이 0이므로 A와 B는 서로 다른 종류의 전하이다. p에서 전기장이  $-x$  방향이므로 A는 (-)전하이므로 B는 (+)전하이다.

ㄷ. A와 B는 서로 다른 종류의 전하이므로 당기는 방향으로 전기력을 작용한다. 따라서 A가 B에 작용하는 전기력은  $-x$  방향이다.

05

답 ④

### 자료 분석 점전하 주위의 전기장



- B에 작용하는 전기력이 0이다.  
→ A가 B에 작용하는 전기력과 C가 B에 작용하는 전기력은 크기가 같고 방향은 반대이다.
- A와 C는 모두 (+)전하이다.
- A와 B, B와 C 사이의 거리가 같으므로 A와 C의 전하량이 같다.
- $x=d$ 에서 전기장이 0이다.  
→ A와 C가 만드는 전기장은  $+x$  방향이다.
- B가 만드는 전기장은  $-x$  방향이므로 B는 (+)전하이다.

④ A, C가 서로에게 작용하는 전기력은 작용 반작용 관계이므로 크기가 같다. 또 A, C의 전하량이 같으므로 B가 A, C에 작용하는 전기력의 크기는 같다. 따라서 A와 C가 받는 전기력의 크기는 같다.

오답 피하기 ① B에 작용하는 전기력이 0이므로 C는 (+)전하이므로, A와 C의 전하량은 같다.

② A와 C가 모두 (+)전하이므로 전하량이 같으므로  $x=d$ 에서 A와 C에 의한 전기장은  $+x$  방향이다.  $x=d$ 에서 A, B, C에 의한 전기장이 0이므로 B는 (+)전하이다.

③  $x=d$ 에서 A와 C가 만드는 전기장을  $+E_0$ 이라고 하면  $x=3d$ 에서 A와 C가 만드는 전기장은  $-E_0$ 이다. 또  $x=d$ 에서 B가 만드는 전기장이  $-E_0$ 이므로  $x=3d$ 에서 B가 만드는 전기장은  $+E_0$ 이다. 따라서  $x=3d$ 에서 전기장은 0이다.

[다른 풀이] A, B, C가 B를 중심으로 대칭이므로  $x=d$ 와  $x=3d$ 에서 전기장은 0이다.

⑤ A와 C는 (+)전하이므로 서로 밀어내는 방향으로 전기력을 작용한다.

06

답 ⑤

⑤ 두 점 사이의 전위차는 각 점의 전위의 차이이므로 기준점에 상관없이 일정하다.

오답 피하기 ① 전위는 단위 양전하(+1 C)당 전기적 위치 에너지이다.

② 전위는 (+)전하에 가까울수록 높고 (-)전하에 가까울수록 낮다.

③ 전기장은 (+)전하에서 (-)전하 방향이므로 전기장 방향으로 이동하면 전위가 낮아진다.

④ (-)전하는 전기장의 반대 방향으로 전기력을 받으므로 전위가 높아지는 쪽으로 전기력을 받는다.

07

답 ①

ㄱ. P에서 멀어질수록 전위가 낮아지므로 P는 (+)전하이다.

오답 피하기 ㄴ. +x 방향으로 이동할수록 전위가 낮아지므로 전기장 방향은 +x 방향이다.

ㄷ. (-)전하는 전기장의 반대 방향으로 전기력을 받으므로  $x=2d$ 에 (-)전하를 가만히 놓으면 -x 방향으로 운동한다.

08

답 ⑤

ㄱ. (+)전하는 전기장 방향으로 전기력을 받는다.

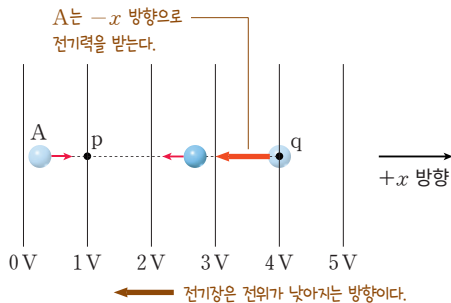
ㄴ. 물체에 전기력이 오른쪽으로 작용하여 물체를 이동시킨다.

ㄷ. 물체가 전기장 방향으로 이동하므로 전위는 낮아진다.

09

답 ②

#### 자료 분석 균일한 전기장에서 전하의 운동



- +x 방향으로 운동하던 A가 전기력을 받아 -x 방향으로 운동한다. → A가 받는 전기력 방향은 -x 방향이다.
- 전기장 방향은 -x 방향이다.
- 전기력이 한 일은 A의 전기적 위치 에너지 변화와 같으므로  $W=qV$ 에서  $2C \times 3V = 6J$ 이다.

ㄴ. +x 방향으로 갈수록 전위가 높아지므로 전기장 방향은 -x 방향이다.

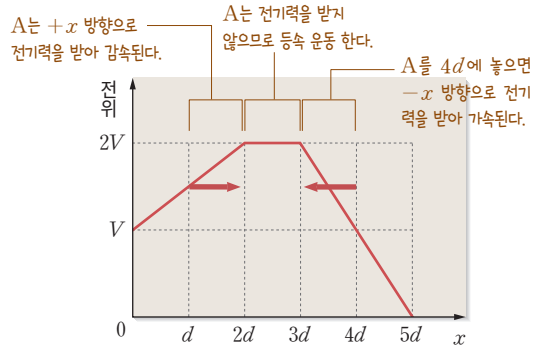
오답 피하기 ㄱ. A가 전위가 낮아지는 쪽으로 전기력을 받으므로 A는 (+)전하이다.

ㄷ. 전하량이 2 C이고, p와 q의 전위차가 3 V이므로 전기력이 한 일은 6 J이다.

10

답 ③

#### 자료 분석 전위와 전하의 운동



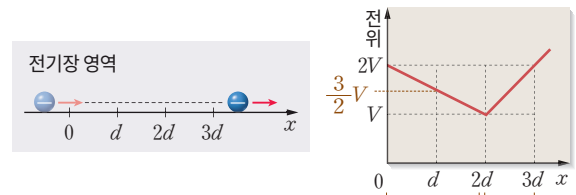
- (-)전하인 A는 전기장과 반대 방향으로 전기력을 받는다.  
→  $x=4d$ 에서 -x 방향으로 전기력을 받는다.  
→  $x=d$ 에서 +x 방향으로 전기력을 받는다.

$x=d$ 와  $x=4d$ 의 전위차가  $\frac{1}{2}V$ 이므로 A의 운동 에너지는  $\frac{1}{2}qV$ 만큼 증가한다. 따라서  $\frac{1}{2}qV = \frac{1}{2}mv^2$ 에서  $v = \sqrt{\frac{qV}{m}}$ 이다.

11

답 ③

#### 자료 분석 전기장 영역에서 운동하는 전하



전하가 0에서  $2d$ 로 운동할 때 전위가 낮아진다. → 전기장은 +x 방향이다.  $x=d$ 에서  $x=2d$ 까지 운동하는 동안 입자는 전기장 반대 방향, 즉 운동 반대 방향으로 전기력을 받아 속력이 감소한다.

전하가  $2d$ 를 지나 운동할 때 전위가 높아진다. → 전기장은 -x 방향이다.  $x=2d$ 에서  $x=3d$ 까지 운동하는 동안에는 운동 방향으로 전기력을 받아 속력이 증가한다.

- $x=d$ 보다  $x=3d$ 에서 전위가 더 높으므로 (-) 입자가  $x=d$ 에서  $x=3d$ 까지 운동하는 동안 전기력이 입자에 한 일만큼 운동 에너지가 증가한다.

ㄱ. 전위가 낮아지는 방향이 전기장 방향이다. 따라서  $x=d$ 에서 전기장은 +x 방향이다.

ㄷ.  $x=d$ 보다  $x=3d$ 에서 전위가  $\frac{1}{2}V$ 만큼 더 높으므로 (-) 입자가  $x=d$ 에서  $x=3d$ 까지 운동하는 동안 전기력이 입자에 한 일만큼 운동 에너지가 증가한다.

오답 피하기 ㄴ.  $x=d$ 와  $x=3d$ 에서 전기장의 방향이 반대이므로 입자가 받는 전기력의 방향은 반대이다.

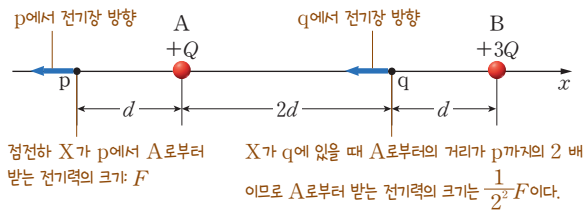
12

- (1) (-)전하인 B가 A로부터 멀어지는 방향으로 전기력을 받으므로 A와 B는 같은 종류의 전하이다.
- (2) 전기력의 크기는 거리의 제곱에 반비례하므로 거리가 2 배가 되면 전기력의 크기는  $\frac{1}{2^2}$  배가 된다. A와 B가 모두 (-)전하이므로 서로 밀어낸다. 따라서 B가 받는 전기력의 크기는 1 N이고, 방향은  $-x$  방향이다.

| 채점 기준                        | 배점(%) |
|------------------------------|-------|
| 전기력의 크기와 방향을 모두 옳게 구한 경우     | 100   |
| 전기력의 크기와 방향 중 한 가지만 옳게 구한 경우 | 50    |

13

자료 분석 직선상에 놓인 세 점전하 사이의 전기력



- (1) q에서 A, B가 X에 작용하는 전기력의 크기는 각각  $\frac{F}{4}$ ,  $3F$ 이고, 방향은 서로 반대이므로 합력의 크기는  $\frac{11}{4}F$ 이다.
- (2) (+)전하 주위에서 전기장은 (+)전하에서 멀어지는 방향이므로 p에서 전기장은  $-x$  방향이다. q에서 A에 의한 전기장은  $+x$  방향, B에 의한 전기장은  $-x$  방향인데 A에 의한 전기장보다 B에 의한 전기장이 더 세므로 전기장은  $-x$  방향이다.

| 채점 기준                           | 배점(%) |
|---------------------------------|-------|
| p, q에서 전기장 방향을 모두 옳게 설명한 경우     | 100   |
| p, q 중 한 점에서의 전기장 방향만 옳게 설명한 경우 | 50    |

14

전기력에 대해 전하에 한 일이 전하의 전기력에 의한 위치 에너지 증가량이다. 전하가 등속 운동 하므로 전하에 작용한 힘은  $F=qE$ 이고, 전기력에 대해 한 일  $W=Fd=qEd$ 이다. 단위 전하당 전기력에 의한 위치 에너지 변화량이 전위차이므로  $V=\frac{W}{q}$ 에서  $V=Ed$ 이다.

| 채점 기준                                      | 배점(%) |
|--------------------------------------------|-------|
| 일-에너지 관계를 이용하여 전위차를 전기장과 거리의 식으로 옳게 나타낸 경우 | 100   |
| 일-에너지 관계를 언급하지 않고 전위의 정의로부터 유도한 경우         | 50    |
| $V=Ed$ 만 쓴 경우                              | 20    |

07강 소비 전력과 전기 안전

77 쪽

탐구 확인문제

01 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ 02 ④

01

답 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○

- (1) 두 저항을 직렬연결하면 전하가 두 저항을 모두 통과하여 흐르므로 전류의 세기가 같다.
- (2) 저항 양단의 전압을 측정할 때는 전압계를 저항에 병렬로 연결한다.
- (3) 저항을 병렬연결하면 각 저항에 걸리는 전압은 전체 전압과 같다.
- (4) 저항을 병렬연결하면 다른 저항에 상관없이 각각 전류가 흐르고 회로의 전체 전류는 각 저항에 흐르는 전류의 합과 같다.

02

답 ④

- ④ 저항을 병렬연결했을 때 회로 전체에 흐르는 전류는 각 저항에 흐르는 전류의 합과 같다.
- 오답 피하기 ① 저항을 병렬연결하면 각 저항에 걸리는 전압은 모두 같다.
- ② 저항값이 다른 저항을 병렬연결하면 저항값이 작은 저항에 더 큰 전류가 흐른다.
- ③ 각 저항에 걸리는 전압이 같으므로 저항값이 작은 저항의 소비 전력이 더 크다.
- ⑤ 병렬연결된 각 저항에 걸리는 전압은 전체 전압과 같다.

기본 탄탄 문제

79 쪽

01 (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○ (6) ×  
 02 ㉠ 비례, ㉡ 반비례 03 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○  
 04 (1) 105 W (2) 440 W (3) 55 W (4) 630 W  
 05 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ 06 (1) 20 Ω (2) 20 Ω  
 07 ㉠ 허용 전류, ㉡ 퓨즈

01

답 (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○ (6) ×

- (1) 전류의 세기는 1 초 동안 도선의 단면을 지나가는 전하량이다. 따라서 도선의 단면을 지나간 전체 전하량을 시간으로 나누어 구할 수 있다.
- (2) 저항이 일정할 때 저항 양단에 걸리는 전압이 2 배가 되면 옴의 법칙에 따라 전류의 세기도 2 배가 된다.
- (3) 전류의 방향은 (+)전하의 이동 방향이므로 (-)전하를 띠는 자유 전자의 이동 방향과 반대이다.
- (4) 옴의 법칙에서 전류와 저항은 반비례하므로 전지의 전압이 일정할 때 저항이 커지면 전류의 세기는 감소한다.
- (5) 1 A는 1 초 동안 1 C의 전하가 도선의 단면을 통과할 때의 전류 세기이다.

(6) 도선에 전류가 흐를 때는 (-)전하를 띠는 자유 전자가 이동한다.

**02** 답 ㉠ 비례, ㉡ 반비례  
 도체에 흐르는 전류의 세기는 도체에 걸린 전압에 비례한다. 이때 전류의 세기와 전압 사이의 비례 상수가 저항의 역수이다.

**03** 답 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○  
 (1) 소비 전력은 단위 시간당 사용한 전기 에너지이며 단위는 W(와트)를 사용한다.  $1\text{ W} = 1\text{ J/s}$ 이다.  
 (2) 소비 전력은 전기 기구가 사용한 전기 에너지를 사용한 시간(초)으로 나누어 구한다.  
 (3)  $P=VI$ 이므로 소비 전력은 전압과 전류의 곱이다.  
 (4)  $P=\frac{V^2}{R}$ 에서 저항이 일정할 때 전압이 2 배가 되면 소비 전력은 4 배가 된다.

**04** 답 (1) 105 W (2) 440 W (3) 55 W (4) 630 W  
 (1)  $P=\frac{W}{t}=\frac{1050\text{ J}}{10\text{ s}}=105\text{ W}$   
 (2)  $P=VI=220\text{ V} \times 2\text{ A}=440\text{ W}$   
 (3)  $P=\frac{V^2}{R}=\frac{(220\text{ V})^2}{880\text{ }\Omega}=55\text{ W}$   
 (4)  $P=I^2R=(3\text{ A})^2 \times 70\text{ }\Omega=630\text{ W}$

**05** 답 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○  
 (1) 저항을 직렬로 연결하면 각 저항에 걸리는 전압의 합이 전체 전압과 같다. 따라서 동일한 저항 2 개를 직렬연결하면 각 저항에 걸리는 전압은 전체 전압의  $\frac{1}{2}$ 이 된다.  
 (2) 직렬연결하면 전류의 세기가  $\frac{1}{2}$ 이 되므로 각 저항의 소비 전력은  $\frac{1}{4}$ 이 된다.  
 (3) 병렬연결하면 각 저항에 걸리는 전압이 변하지 않으므로 각 저항에 흐르는 전류의 세기는 변하지 않는다.  
 (4) 병렬연결하면 각 저항에 걸리는 전압이 전체 전압과 같으므로 각 저항의 소비 전력이 변하지 않는다. 따라서 저항 2 개를 병렬연결하면 전체 소비 전력이 2 배가 된다.

**06** 답 (1) 20 Ω (2) 20 Ω  
 (1)  $R=10+10=20(\Omega)$ 이다.  
 (2)  $\frac{1}{R}=\frac{1}{40}+\frac{1}{40}=\frac{1}{20}$ 에서  $R=20(\Omega)$ 이다.

**07** 답 ㉠ 허용 전류, ㉡ 퓨즈  
 멀티탭에 허용 전류 이상의 전류가 흘러 과부하가 걸리면 전선이 녹거나 전기 화재를 일으킬 수 있다. 퓨즈가 포함된 멀티탭을 사용하면 과부하가 걸렸을 때 퓨즈가 끊어져 전류를 차단할 수 있다.

**일력 목록 문제**

80~83쪽

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

**단답형·서술형 문제**

**16** (1) 답 Q (2) 답 ㉠ 비례, ㉡ 반비례

**17** (1) 답 (나) (2) 예시답안 전구의 저항값은  $R=\frac{(220\text{ V})^2}{110\text{ W}}=440\text{ }\Omega$ 이므로 110 V 전원에 연결하면 소비 전력은  $P=\frac{(110\text{ V})^2}{440\text{ }\Omega}=27.5\text{ W}$ 이다.

**18** (1) 예시답안 A의 저항값이 증가하면 A에 걸리는 전압이 커지고 B와 C에 걸리는 전압은 감소한다. 따라서 C에 흐르는 전류의 세기도 감소한다.

(2) 예시답안 B의 저항값을 증가시키면 B와 C에 걸리는 전압이 증가하여 C에 흐르는 전류의 세기도 증가한다.

**19** 예시답안 가전제품이 정상적으로 작동하려면 정격 전압을 걸어 주어야 하는데, 병렬로 연결하면 가전제품에 같은 전압이 걸리기 때문이다.

**20** 예시답안 가전제품에 과전류가 흐를 때 퓨즈가 끊어지며 전원을 차단하여 내부 회로에 전류가 흐르지 않도록 해야 하므로 퓨즈는 가전제품의 내부 회로에 직렬로 연결해야 한다.

**01** 답 ㉣  
 ㉣ 금속 막대에 흐르는 전류의 세기는 금속 막대 양단의 전위차에 비례하고 저항값에 반비례한다.

**오답 피하기** ㉠ 전류는 전지의 (+)극에서 (-)극 방향으로 흐르므로 ㉡ 방향으로 흐른다.

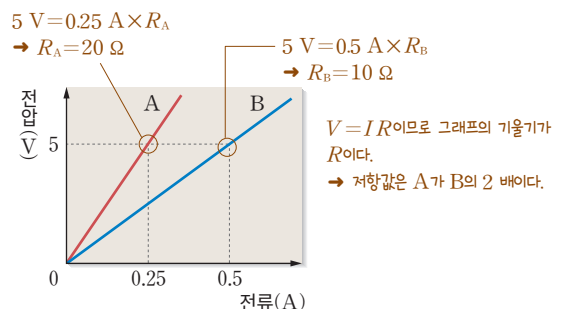
㉢ 저항이 클수록 전류의 세기는 감소한다.

㉤ 전자의 이동 방향과 전류의 방향은 반대이다.

㉥ 금속 막대 양단의 전위차는 전원 장치의 전압과 같다. 따라서 전원 장치의 전압이 증가하면 금속 막대 양단의 전위차도 증가한다.

**02** 답 ㉢

**자료 분석** 전압-전류 그래프 분석





ㄱ.  $V=IR$ 에서  $5\text{ V}=0.25\text{ A}\times R_A$ ,  $5\text{ V}=0.5\text{ A}\times R_B$ 이므로  $R_A=20\ \Omega$ ,  $R_B=10\ \Omega$ 이다.

ㄴ. 저항값이 A가 B의 2 배이므로  $I=\frac{V}{R}$ 에서 저항에 걸리는 전압이 A가 B의 2 배가 되면 A와 B에 흐르는 전류의 세기는 같다.

**오답 피하기** ㄴ. 저항에 걸리는 전압이 5 V일 때 A에는 0.25 A가 흐르고 B에는 0.5 A가 흐른다.

### 03

답 ④

ㄱ. 저항 양단의 전위차는 전원 장치의 전압과 같으므로 전원 장치의 전압이 2 배가 되면 저항 양단의 전위차도 2 배가 된다.

ㄴ. 저항의 소비 전력은  $P=\frac{V^2}{R}$ 이므로  $P'=\frac{(2V)^2}{2R}=2P$ 이다.

**오답 피하기** ㄴ.  $I=\frac{V}{R}$ 이므로 저항값과 전압이 모두 2 배가 되면 전류의 세기는 변하지 않는다.

### 04

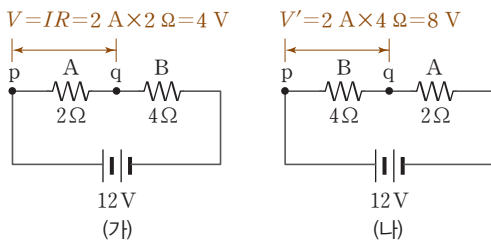
답 ④

전원 장치의 전압을  $V$ 라고 하면, (가)에서 전체 소비 전력은  $P_0=\frac{V^2}{2R}$ 이다. (나)에서 저항을 병렬연결하면 저항 1 개에 걸리는 전압은 전체 전압과 같으므로  $V$ 이고 저항 1 개의 소비 전력은  $\frac{V^2}{R}$ 이다. 따라서 (나)에서 저항 1 개의 소비 전력은  $2P_0$ 이다.

### 05

답 ④

#### 자료 분석 ① 두 저항의 직렬연결



④ p와 q 사이의 전위차  $V=IR$ 이다. (가)와 (나)에서 전류의 세기는 2 A로 같으므로 p와 q 사이의 전위차는 (가)에서는 4 V이고 (나)에서는 8 V이다.

**오답 피하기** ① 두 저항이 직렬연결되어 있으므로 합성 저항은  $R=R_1+R_2$ 에서 6 Ω이다.

② 전압이 12 V이고 합성 저항이 6 Ω이므로 전류의 세기는 2 A이다.

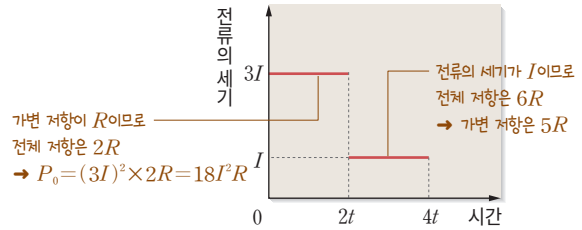
③ 저항을 직렬연결하면 저항에 걸리는 전압은 저항값에 비례하므로 (나)에서 저항에 걸린 전압은 B가 A의 2 배이다.

⑤ 소비 전력은  $P=I^2R$ 이다. (가)와 (나)에서 회로에 흐르는 전류의 세기가 같으므로 B의 소비 전력은 같다.

### 06

답 ③

#### 자료 분석 ② 저항의 직렬연결에서 각 저항의 소비 전력



• 시간  $t$ 일 때 가변 저항의 저항값이  $R$ 이므로 전체 저항은  $R+R=2R$ 이다.

→ 전류의 세기가  $3I$ 이므로  $P_0=(3I)^2\times 2R=18I^2R$

•  $3t$ 일 때 전류의 세기가  $t$ 일 때의  $\frac{1}{3}$ 이므로 전체 저항은 3 배인  $6R$ 이다. → 가변 저항의 저항값은  $5R$ 이다.

• 가변 저항의 소비 전력은  $P=I^2\times 5R=\frac{5}{18}P_0$ 이다.

$P_0=(3I)^2\times (R+R)=18I^2R$ 이고,  $3t$ 일 때 전류의 세기가  $t$ 일 때의  $\frac{1}{3}$ 이므로 전체 저항은  $3t$ 일 때가  $t$ 일 때의 3 배이다. 따라서  $3t$ 일 때 가변 저항의 저항값은  $5R$ 이다.  $3t$ 일 때 가변 저항의 소비 전력은  $P=I^2\times 5R=5I^2R=\frac{5}{18}P_0$ 이다.

### 07

답 ①

ㄱ. P에 흐르는 전류가 4 A일 때 P에 걸리는 전압이 20 V이므로 저항값은 5 Ω이다.

**오답 피하기** ㄴ. Q의 저항값은  $\frac{5}{4}$  Ω이다. P와 Q는 직렬연결되어 있으므로 전류의 세기가 같다. 같은 전류가 흐를 때 소비 전력은 저항에 비례하므로 P가 Q의 4 배이다.

ㄴ. P의 저항이 Q의 4 배이므로 전원 장치의 전압이 25 V가 되면 P에는 20 V, Q에는 5 V가 걸린다.

### 08

답 ①

A에 걸리는 전압이  $6\text{ A}\times 2\ \Omega=12\text{ V}$ 이므로 전원의 전압은 12 V이다. C의 저항이 6 Ω이므로 C에 흐르는 전류의 세기는 2 A이고 회로 전체에 흐르는 전류의 세기는 12 A이다. 따라서 회로 전체의 합성 저항은  $12\text{ V}=12\text{ A}\times R$ 에서 1 Ω이다.

### 09

답 ⑤

⑤ 저항을 직렬연결하면 합성 저항이 증가하고 병렬연결하면 합성 저항이 감소한다.

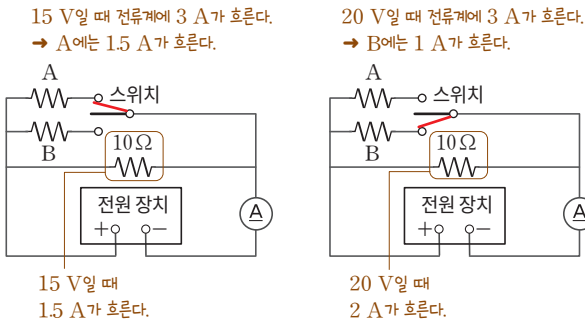
**오답 피하기** ① 두 저항을 직렬연결하면 저항에 걸리는 전압은 각 저항의 저항값에 비례한다.

- ② 두 저항을 병렬연결하면 각 저항에 걸리는 전압이 같고, 저항에 흐르는 전류의 세기는 저항값에 반비례한다.
- ③ 두 저항을 직렬연결하면 전류의 세기가 같으므로  $P=I^2R$ 에서 소비 전력은 저항값에 비례한다.
- ④ 두 저항을 병렬연결하면 저항에 걸리는 전압이 같으므로  $P=\frac{V^2}{R}$ 에서 소비 전력은 저항값에 반비례한다.

10

답 ①

**자료 분석** 저항의 병렬연결 회로와 전류-전압 그래프 분석



[스위치를 저항 A에 연결할 때]

- 전압이 15 V일 때 전류계에 3 A가 흐른다.
- 전압이 15 V일 때 저항값이 10 Ω인 저항에는 1.5 A가 흐른다.  
→ A에는 1.5 A가 흐르므로 A의 저항값은 10 Ω이다.

[스위치를 저항 B에 연결할 때]

- 전압이 20 V일 때 전류계에 3 A가 흐른다.
- 전압이 20 V일 때 저항값이 10 Ω인 저항에는 2 A가 흐른다.  
→ B에는 1 A가 흐르므로 B의 저항값은 20 Ω이다.

저항이 병렬연결된 회로이므로 전원 장치의 전압이 15 V, 20 V일 때 저항값이 10 Ω인 저항에 흐르는 전류의 세기는 각각 1.5 A, 2 A이다. 이때 A, B에는 각각 1.5 A, 1 A가 흐른다. 따라서 A, B의 저항값은 각각 10 Ω, 20 Ω이다.

11

답 ⑤

ㄱ. (가)에서 두 저항이 직렬연결되어 있으므로 각 저항에 흐르는 전류의 세기는 같다.

ㄴ. 전원 장치의 전압을  $V_0$ 이라고 할 때, (가)에서는 두 저항에 걸리는 전압의 합이 전원 장치의 전압과 같으므로  $R_1$ 에 걸리는 전압은  $V = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_0$ 이다. (나)에서는  $R_1$ 에 걸리는 전압이 전원 장치의 전압  $V_0$ 과 같다.

ㄷ.  $R_2$ 에 걸리는 전압이 (가)보다 (나)에서 더 크므로  $P = \frac{V^2}{R_2}$ 에서  $R_2$ 의 소비 전력은 (가)보다 (나)에서 크다.

12

답 ②

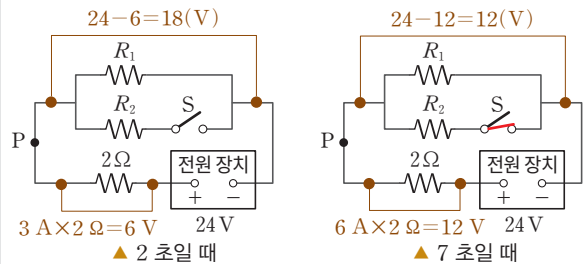
$P=I^2R$ 에서 소비 전력이 같으므로 저항에 흐르는 전류의 세기는 1 Ω인 저항이 9 Ω인 저항의 3 배이다. 9 Ω인 저항에 흐르는

전류의 세기를  $I_0$ 이라고 하면 A에 흐르는 전류의 세기는  $2I_0$ 이다. 병렬연결된 저항에 흐르는 전류의 세기는 저항값에 반비례하므로 A의 저항값은 4.5 Ω이다.

13

답 ⑤

**자료 분석** 저항의 연결에 따른 전류와 전압



- 2 초일 때 3 A가 흐르므로 저항값이 2 Ω인 저항에 걸리는 전압은 6 V이다. →  $R_1$ 에는 18 V가 걸린다.
- 7 초일 때 6 A가 흐르므로 저항값이 2 Ω인 저항에 걸리는 전압은 12 V이다. →  $R_2$ 에는 12 V가 걸린다.
- 2 초일 때와 7 초일 때  $R_1$ 에 걸리는 전압의 비가 3 : 2이므로 소비 전력의 비는 9 : 4이다.

2 초일 때와 7 초일 때 저항값이 2 Ω인 저항에 걸리는 전압이 각각 6 V, 12 V이므로  $R_1$ 에 걸리는 전압은 각각 18 V, 12 V이다. 2 초일 때와 7 초일 때  $R_1$ 에 걸리는 전압의 비가 3 : 2이므로

$P = \frac{V^2}{R}$ 에서 소비 전력의 비  $P_2 : P_7 = 9 : 4$ 이다.

14

답 ③

ㄱ.  $P = \frac{V^2}{R}$ 에서  $R = 220 \Omega$ 이다.

ㄴ.  $V = IR$ 에서  $I = 1 \text{ A}$ 이다.

오답 피하기 ㄷ. 전열기의 저항값은 변하지 않으므로 110 V에 연결하면 전류가 0.5 A가 되어 소비 전력은 55 W가 된다.

15

답 ①

ㄱ. A, B, C가 모두 병렬연결이므로 전기 기구에 걸리는 전압은 모두 같다.

오답 피하기 ㄴ. 전압이 같을 때 소비 전력은 저항값에 반비례한다.

ㄷ. A, B, C에 흐르는 전류의 세기는 각각 10 A, 2 A, 1 A이다. A, B, C를 한꺼번에 사용하면 전류가 13 A가 되어 멀티탭의 최대 허용 전류인 12 A를 초과한다.

16

(1) 전류계는 저항에 직렬로 연결한다.

(2) 전류의 세기는 전위차에 비례하고 저항값에 반비례한다.

17

(1) (나)에서 전구의 저항값이 일정하므로 110 V 전원에 연결하면 소비 전력이 달라진다.

(2) 전구의 저항값은  $R = \frac{(220 \text{ V})^2}{110 \text{ W}} = 440 \Omega$ 이므로 110 V 전원에 연결하면 소비 전력은  $P = \frac{(110 \text{ V})^2}{440 \Omega} = 27.5 \text{ W}$ 이다.

[다른 풀이] 전구의 저항값이 일정하므로 110 V에 연결하면 전구에 흐르는 전류의 세기가  $\frac{1}{2}$  배가 된다. 전압이  $\frac{1}{2}$  배이고 전류의 세기도  $\frac{1}{2}$  배이므로  $P=VI$ 에서 소비 전력은 110 W의  $\frac{1}{4}$  배인 27.5 W이다.

| 채점 기준              | 배점(%) |
|--------------------|-------|
| 풀이 과정과 답이 모두 옳은 경우 | 100   |
| 답만 옳은 경우           | 20    |

## 18

(1) A는 병렬연결된 B, C와 직렬연결이므로 A의 저항값이 증가하면 A에 걸리는 전압이 커지고 B와 C에 걸리는 전압은 감소한다. C의 저항값이 일정하므로 전압이 감소하면 전류의 세기도 감소한다.

| 채점 기준                    | 배점(%) |
|--------------------------|-------|
| 전압과 전류의 변화를 모두 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 전압과 전류 중 하나만 옳게 설명한 경우   | 50    |

(2) B의 저항값이 증가하면 B와 C의 합성 저항이 증가하므로 B와 C에 걸리는 전압이 증가하여 C에 흐르는 전류의 세기가 증가한다.

| 채점 기준                    | 배점(%) |
|--------------------------|-------|
| 전압과 전류의 변화를 모두 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 전압과 전류 중 하나만 옳게 설명한 경우   | 50    |

## 19

가전제품이 정상적으로 작동하려면 정격 전압을 걸어 주어야 한다. 가전제품을 병렬로 연결하면 다른 가전을 끄고 켜는 것과 상관없이 가전제품에 걸리는 전압이 같다.

| 채점 기준                                | 배점(%) |
|--------------------------------------|-------|
| 정격 전압과 관련지어 병렬연결하면 전압이 같다는 것을 설명한 경우 | 100   |
| 병렬연결하면 같은 전압이 걸린다고만 설명한 경우           | 50    |

## 20

퓨즈는 가전제품의 내부 회로에 직렬로 연결되어 있어서 가전제품에 과전류가 흐르면 퓨즈가 끊어지며 전원을 차단한다.

| 채점 기준                       | 배점(%) |
|-----------------------------|-------|
| 퓨즈의 사용 목적과 연결 방법을 모두 설명한 경우 | 100   |
| 연결 방법만 설명한 경우               | 50    |

## 08강 축전기

### 기본 탄탄 문제

86쪽

- 01 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ 02 ㉠ 자유 전자, ㉡ 감소  
03 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × 04 (1) < (2) < (3) <  
05 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ 06 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○  
07 ㉠ 축전기, ㉡ 전류

### 01

답 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○

- (1) 축전기는 두 금속판 사이에 전위차를 만들어 전하를 저장한다.  
(2) 축전기에 전하가 충전되면 전기장을 만들어 전기 에너지가 저장된다.  
(3), (4) 평행판 축전기의 한 금속판에 전자가 모이는 만큼 다른 금속판에서는 전자가 밀려나므로 두 금속판에는 서로 다른 종류의 전하가 같은 양만큼 대전된다.

### 02

답 ㉠ 자유 전자, ㉡ 감소

- 축전기가 방전될 때 (-)전하로 대전된 금속판에서 자유 전자가 전기 기구를 지나 (+)전하로 대전된 금속판으로 이동하며 전기 에너지를 전기 기구에 전달한다.

### 03

답 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) ×

- (1) 축전기가 충전되는 동안 전자는 전지의 (-)극에서 축전기의 금속판으로 이동하여 금속판이 (-)전하로 대전된다. 또 다른 금속판에서 전자가 밀려나 전지의 (+)극으로 이동하여 금속판이 (+)전하로 대전된다.  
(2) 충전되는 동안 축전기의 금속판에서 전자가 전지의 (+)극으로 이동하며 금속판을 (+)전하로 대전시키므로 전지의 (+)극에서 (+)전하로 대전된 금속판으로 전류가 흐른다.  
(3) 축전기의 두 금속판 사이에 형성된 전위차가 전지의 전압과 같아지면 더 이상 전자가 이동할 수 없다.  
(4) 완전히 충전되면 더 이상 전류가 흐르지 않는다.

### 04

답 (1) < (2) < (3) <

- (1) 금속판 사이의 전위차는 축전기에 연결한 전지의 전압과 같다. A의 전위차는 1.5 V이고 B의 전위차는 3 V이다.  
(2) 더 많은 전하가 이동할수록 전위차가 커지므로 축전기에 저장되는 전하량은 B가 A보다 크다.  
(3) 전하량이 많이 충전될수록 전기장이 강해지므로 전기장의 세기는 B가 A보다 세다.

### 05

답 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○

- (1) 축전기가 전지에 연결되어 있으므로 금속판 사이의 전위차는 변하지 않는다.  
(2) 전위차가 일정할 때 금속판 사이의 간격이 증가하면 전기장의 세기는 감소한다.  
(3) 금속판 사이의 간격이 증가하면 전기장이 약해지므로 금속판

에 저장할 수 있는 전하량이 감소한다.

(4) 축전기에 저장된 전하량이 감소하므로 자유 전자는 (-)전하로 대전된 금속판에서 전지의 (-)극으로 이동한다.

06

답 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○

(1) 컴퓨터 자판은 두 금속판 사이의 간격이 변할 때 회로에 전류가 흐르는 현상을 이용해 자판이 눌렸을 때 전기 신호를 입력한다.

(2) 카메라 플래시는 축전기에 저장된 전기 에너지를 한꺼번에 빠르게 방전하며 빛을 내는 장치로, 축전기에 저장된 전기 에너지를 활용하는 장치이다.

(3) 콘덴서 마이크는 소리에 의해 한쪽 금속판이 진동하면 고정된 금속판과의 간격이 변하여 전류가 흐른다.

(4) 전기 용량형 압력 센서는 외부 압력에 의해 두 금속판 사이의 간격이 변할 때 회로에 전류가 흐른다.

07

답 ㉠ 축전기, ㉡ 전류

콘덴서 마이크는 진동판과 고정판의 두 금속판으로 이루어진 축전기가 포함되어 있다. 공기 진동에 따라 두 금속판 사이의 간격이 변하며 회로에 진동하는 전류가 흐르게 된다.

## 입력 문제

87~89 쪽

01 ④ 02 ③ 03 ⑤ 04 ④ 05 ① 06 ⑤ 07 ②  
08 ① 09 ④ 10 ② 11 ③

### 단답형·최소형 문제

12 (1) 예시 답안 전원의 전압이 증가하면 두 금속판 사이의 전위차가 증가하므로 축전기에 저장되는 전하량이 증가한다.

(2) 예시 답안 전위차는 전원의 전압과 같으므로 변하지 않고, 금속판 사이의 간격이 커지면 전기장의 세기는 감소한다.

13 예시 답안 스위치를 a에 연결하면 A가 충전되며 저장되는 전기 에너지가 증가하고, b로 옮겨 연결하면 A가 방전되며 저장된 전기 에너지가 B에서 소모되어 감소한다.

14 (1) 예시 답안 A와 B 사이의 간격이 감소하면 축전기에 충전되는 전하량이 증가하므로 전지의 (+)극에서 B 방향으로 전류가 흐른다.

(2) 예시 답안 공기의 진동에 따라 A가 진동하면 A, B 사이의 간격이 변한다. 이때 전지와 B 사이에 방향이 바뀌는 전류가 흐르게 되어 소리가 전기 신호로 전환된다.

01

답 ④

④ 축전기가 전지에 연결되어 완전히 충전되었을 때 금속판 간격을 변화시켜도 전위차는 변하지 않는다.

오답 피하기 ① B에 전자가 충전되는 만큼 A에서 빠져나가므로 A와 B에 충전된 전하량의 크기는 같다.

② 축전기는 금속판 사이의 전위차가 전지의 전압과 같아질 때까지 충전된다.

③ A는 (+)전하로 대전되고 B는 (-)전하로 대전되므로 A에서 B 방향으로 전기장이 생긴다.

⑤ 충전된 후 스위치를 열면 금속판에 있는 전하가 이동할 수 없으므로 충전된 상태를 유지한다.

02

답 ③

③ A는 전원의 (-)극에 연결되어 있으므로 (-)전하로 대전된다.

오답 피하기 ① A가 전원의 (-)극에 연결되어 있으므로 전자는 전원의 (-)극에서 A로 이동한다. 따라서 전자의 이동 방향은 q이다.

② 충전되는 동안 전자가 B에서 전원의 (+)극으로 이동하므로 점 r에는 전류가 흐른다.

④ 축전기가 충전된 상태에서 스위치를 열면 충전된 상태를 유지하므로 전기장이 형성된 상태를 유지한다.

⑤ A와 B의 전하량의 크기는 같다.

03

답 ⑤

⑤ 금속판 사이의 간격이 줄어들면 전기장의 세기가 증가하므로 충전된 전하량이 증가한다.

오답 피하기 ① A, B 사이의 전위차는 전원의 전압과 같으므로 10 V이다.

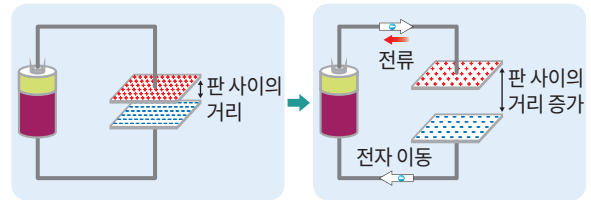
②  $V = Ed$ 에서  $E = \frac{10 \text{ V}}{0.05 \text{ m}} = 200 \text{ V/m}$ 이다.

③  $F = qE$ 에서  $F = 0.1 \text{ C} \times 200 \text{ V/m} = 20 \text{ N}$ 이다.

④ 점전하가 (+)전하이므로 전기장 방향으로 전기력을 받는다.

### 개념 더하기 ① 금속판 간격과 축전기에 저장되는 전하량

- 금속판 간격이 증가할 때 축전기 금속판에 저장할 수 있는 전하량이 줄어들고, 금속판 간격이 감소할 때 축전기 금속판에 저장할 수 있는 전하량이 증가한다.



- 금속판 간격이 좁아졌다 넓어지는 것을 반복하면 축전기에 계속 전류가 흐른다. → 진동을 전기 신호로 바꿀 수 있다.

04

답 ④

④ 축전기가 완전히 충전되면 A, B 사이의 전위차는 전원의 전압과 같다.

오답 피하기 ① B는 전원의 (-)극에 연결되어 있으므로 (-)전하로 대전된다.

② 축전기가 충전될 때 전자는 전원의 (-)극에서 B 쪽으로, A에서 전원의 (+)극으로 이동한다.

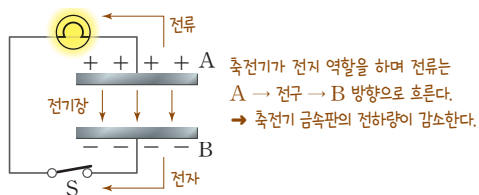
③ 축전기가 완전히 충전되면 더 이상 전류가 흐르지 않으므로 전구가 빛을 방출하지 않는다.

⑤ 축전기가 충전된 후 스위치를 열면 전자가 이동할 수 없으므로 충전된 상태를 유지한다.

05

답 ①

**자료 분석** 축전기의 방전



7. (+)전하로 대전된 A에서 (-)전하로 대전된 B 방향으로 전기장이 형성된다.

오답 피하기 ㄴ. 전류의 방향은 (+)전하의 이동 방향으로 정한다. 전자가 B에서 전구를 거쳐 A로 이동하므로 전류는 A → 전구 → B 방향으로 흐른다.

ㄷ. B에 충전된 전자가 A로 이동하므로 충전된 전하량이 감소한다. 따라서 A, B 사이의 전기장과 전위차가 감소한다.

06

답 ⑤

⑤ 두 금속판 사이의 전위차가 전지의 전압과 같아질 때까지 전자가 이동하여 축전기가 충전된다.

오답 피하기 ① A는 전지의 (+)극에 연결되었고 B는 (-)극에 연결되었으므로 전위는 A가 B보다 높다.

② 전자는 A에서 전지의 (+)극으로 이동하고, 전지의 (-)극에서 B로 이동한다.

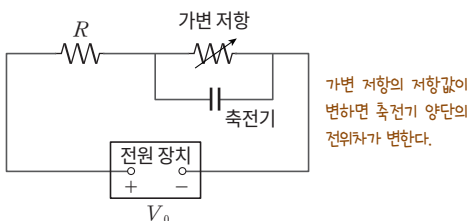
③ A는 (+)전하로, B는 (-)전하로 대전된다.

④ 축전기는 두 금속판 사이에 전위차를 형성하여 전기 에너지를 저장하는 장치이다.

07

답 ②

**자료 분석** 저항의 직렬연결에서 전위차



- 저항 R과 가변 저항은 직렬연결이다.  
→ 저항값이 클수록 더 큰 전압이 걸린다.
- 축전기와 가변 저항은 병렬연결이다.  
→ 축전기와 가변 저항에 걸리는 전압이 같다.

ㄴ. 축전기 내부의 전위차는 가변 저항에 걸리는 전압과 같다. 두 저항이 직렬연결되어 있으므로 가변 저항의 저항값이 2R일 때

가변 저항에 걸리는 전압은  $\frac{2R}{R+2R}V_0 = \frac{2}{3}V_0$ 이다.

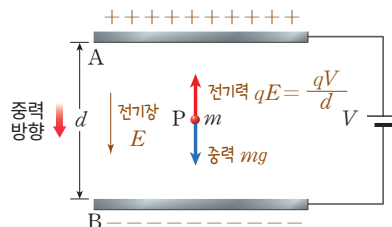
오답 피하기 ㄱ. 축전기가 완전히 충전되면 더 이상 전류가 흐르지 않는다.

ㄷ. 가변 저항의 저항값이 증가하면 가변 저항에 걸리는 전압이 증가한다. 따라서 축전기에 저장되는 전하량도 증가한다.

08

답 ①

**자료 분석** 평행판 축전기의 금속판 사이에 정지해 있는 전하



- P가 정지해 있다. → 알짜힘이 0이다.
- P는 아래로 중력을 받는다. → 위로 전기력을 받는다.
- 중력과 전기력의 크기는 같다.

7. P가 받는 전기력이 위 방향이므로 P는 (-)전하이다.

오답 피하기 ㄴ. 전지의 (+)극에 연결된 A가 (+)전하로 대전되고, 전지의 (-)극에 연결된 B가 (-)전하로 대전되므로 전기장의 방향은 A에서 B 방향이다.

ㄷ.  $mg = qE = \frac{qV}{d}$ 이다. 따라서 전하량의 크기는  $q = \frac{mgd}{V}$ 이다.

09

답 ④

ㄴ. A, B 사이의 간격이 줄면 전기장의 세기와 충전되는 전하량은 증가한다.

ㄷ. A에 충전되는 (-)전하량과 B에 충전되는 (+)전하량이 증가하므로 전자는 ㉞ 방향으로 이동하고 전류는 ㉞ 방향으로 흐른다.

오답 피하기 ㄱ. 전원 장치에 연결된 상태에서 A, B 사이의 전위차는 전원 장치의 전압과 같으므로 A, B 사이의 간격과 상관없이 전위차가 일정하다.

10

답 ②

축전기의 간격이 변해도 전위차는 전원의 전압과 같이 유지되고 충전되는 전하량이 증가한다.

11

답 ③

ㄱ, ㄷ. 자동 심장 충격기와 카메라 플래시는 축전기에 저장된 전기 에너지를 한꺼번에 방출하며 전기 충격을 주거나 밝은 빛을 낸다.

오답 피하기 ㄴ. 전열기는 저항에서 전기 에너지가 열에너지로 전환되는 장치이다.



12

(1) 전원의 전압이 증가하면 두 금속판 사이의 전위차가 증가하므로 축전기에 저장되는 전하량이 증가한다.

| 채점 기준                          | 배점(%) |
|--------------------------------|-------|
| 전위차와 전하량의 변화를 모두 옳게 설명한 경우     | 100   |
| 전위차와 전하량의 변화 중 한 가지만 옳게 설명한 경우 | 50    |

(2) 전위차는 전원의 전압과 같으므로 변하지 않고,  $V=Ed$ 에서 금속판 사이의 간격  $d$ 가 커지면 전기장의 세기  $E$ 는 감소한다.

| 채점 기준                          | 배점(%) |
|--------------------------------|-------|
| 전위차와 전기장의 세기를 모두 옳게 설명한 경우     | 100   |
| 전위차와 전기장의 세기 중 한 가지만 옳게 설명한 경우 | 50    |

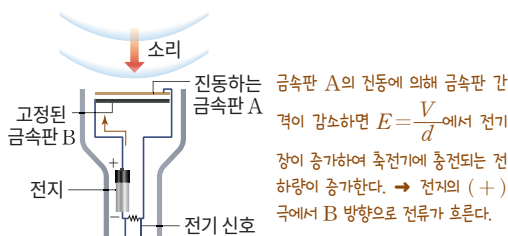
13

스위치를 a에 연결하면 A가 충전되며 전기 에너지가 저장되고, b에 연결하면 A가 방전되며 전기 에너지가 B에서 소모된다.

| 채점 기준                                 | 배점(%) |
|---------------------------------------|-------|
| a, b에 연결한 경우 전기 에너지의 변화를 모두 옳게 설명한 경우 | 100   |
| a, b에 연결한 경우 중 한 가지만 옳게 설명한 경우        | 50    |

14

자료 분석 콘덴서 마이크의 구조와 원리



(1) A와 B 사이의 간격이 감소하면 축전기에 충전되는 전하량이 증가하므로 전지의 (+)극에서 B 방향으로 전류가 흐른다.

| 채점 기준                            | 배점(%) |
|----------------------------------|-------|
| 전하량 변화를 설명하며 전류 방향을 옳게 설명한 경우    | 100   |
| 전하량 변화를 설명하지 않고 전류 방향만 옳게 설명한 경우 | 50    |

(2) 공기의 진동에 따라 A가 진동하면 A, B 사이의 간격이 변한다. A, B 사이의 간격이 커졌다 작아졌다 할 때 전지와 B 사이에 방향이 바뀌는 전류가 흐르게 되어 소리가 전기 신호로 전환된다.

| 채점 기준                                                         | 배점(%) |
|---------------------------------------------------------------|-------|
| 금속판의 간격 변화와 전류 흐름을 관련지어 설명한 경우                                | 100   |
| 금속판 간격 변화와 관련짓지 않고 소리(또는 공기 진동)에 의해 방향이 변하는 전류가 흐른다는 내용만 쓴 경우 | 50    |



90~93 쪽

- 01 ④ 02 ⑤ 03 예시 답안 (가)에서 A는 (+)전하이므로 전기장은  $+x$  방향이다. (나)에서 B는 (-)전하이므로 전기장은  $+x$  방향이다. (다)에서 A는 (+)전하이므로 B는 (-)전하이므로 전기장은  $+x$  방향이다. 따라서 (가), (나), (다)에서 전기장의 방향은  $+x$  방향으로 같다. 04 ① 05 ⑤ 06 ②
- 07 예시 답안  $a \rightarrow d$ 로 이동시킬 때와  $b \rightarrow c$ 로 이동시킬 때 전하에 작용하는 힘의 크기는  $F=qE$ 이다. 따라서 힘이 전하에 한 일은  $W=qEs$ 이다.  $a \rightarrow b$ 로 이동시킬 때와  $c \rightarrow d$ 로 이동시킬 때는 힘의 방향과 이동 방향이 수직이므로 일을 하지 않는다. 따라서  $a \rightarrow d$ 로 이동시킬 때와  $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ 로 이동시킬 때 힘이 전하에 한 일은 같고, 두 경우의 전위차는 같다. 08 ①
- 09  $R_1: 2 \Omega, R_2: 4 \Omega$  10 ① 11 ④ 12 ① 13 ②  
14 ㉠  $C > D > B > A$  15 ⑤ 16 ② 17 ② 18 ②  
19 ④

01

㉠ ④

전기장의 방향은 (+)전하가 받는 전기력의 방향이므로 (+)전하에서 멀어지는 방향이고 (-)전하로 향하는 방향이다. a, b, c에서 점전하에 의한 전기장의 방향과 세기는 표와 같다.

| 위치 | 전기장 방향  |         | 전기장 세기            |
|----|---------|---------|-------------------|
|    | $+Q$    | $-Q$    |                   |
| a  | $-x$ 방향 | $+x$ 방향 | $E_{+Q} > E_{-Q}$ |
| b  | $+x$ 방향 | $+x$ 방향 | $E_{+Q} = E_{-Q}$ |
| c  | $+x$ 방향 | $-x$ 방향 | $E_{+Q} < E_{-Q}$ |

따라서 a, b, c에서 전기장의 방향은 각각  $-x$  방향,  $+x$  방향,  $-x$  방향이다.

02

㉠ ⑤

⑤ B가 A, C에 작용하는 전기력의 방향이 반대이고, A와 C가 서로에게 작용하는 전기력의 방향도 반대이므로 A와 C가 받는 전기력의 방향은 반대이다.

오답 피하기 ① A, C는 B에 수평 방향으로 전기력을 작용한다. B가 연직 방향의 실에 매달려 정지해 있으므로 B가 받는 전기력은 0이다.

② A, C가 B에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 C는 같은 종류의 전하이다.

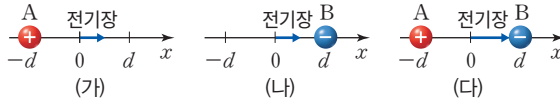
③ A, C의 전하량이 같고, A, C가 B에 작용하는 전기력의 크기가 같으므로  $\overline{AB} = \overline{BC}$ 이다.

④ A와 C가 서로에게 작용하는 전기력은 작용 반작용으로 크기가 같고 방향이 반대이며, B가 A, C에 작용하는 전기력도 크기가 같고 방향이 반대이다. 따라서 A와 C가 받는 전기력의 크기는 같다.

03

자료 분석 ● 점전하에 의한 전기장

| 구분  | A        | B       |
|-----|----------|---------|
| (가) | $x = -d$ | 없음      |
| (나) | 없음       | $x = d$ |
| (다) | $x = -d$ | $x = d$ |



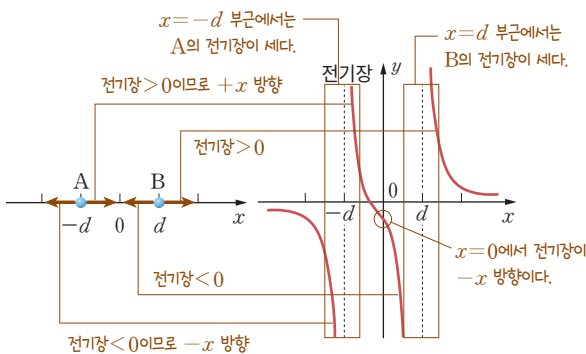
- (가)에서는  $+Q$ 에 의한 전기장이  $+x$  방향이다.
- (나)에서는  $-Q$ 에 의한 전기장이  $+x$  방향이다.
- (다)에서는  $+Q$ 와  $-Q$ 에 의한 전기장이 모두  $+x$  방향이다.

(+)전하 주위에서 전기장의 방향은 (+)전하에서 멀어지는 방향이고 (-)전하 주위에서 전기장의 방향은 (-)전하를 향하는 방향이다. (가), (나), (다)의 경우  $x=0$ 에서 전기장의 방향은 모두  $+x$  방향이다.

| 채점 기준                                | 배점(%) |
|--------------------------------------|-------|
| (가)~(다)에서 전기장의 방향을 모두 옳게 설명한 경우      | 100   |
| (가)~(다) 중 두 가지에서 전기장의 방향을 옳게 설명한 경우  | 60    |
| (가)~(다) 중 한 가지에서만 전기장의 방향을 옳게 설명한 경우 | 30    |

04

자료 분석 ● 두 점전하에 의한 전기장을 위치에 따라 나타낸 그래프



- A에 가까울수록 A에 의한 전기장이 더 강하다.  
→ 전기장이 A에서 멀어지는 방향이므로 A는 (+)전하이다.
- B에 가까울수록 B에 의한 전기장이 더 강하다.  
→ B는 (+)전하이다.
- $x=0$ 에서 A는  $+x$  방향으로, B는  $-x$  방향으로 전기장을 만든다. →  $x=0$ 에서 전기장이  $-x$  방향이므로 전하량의 크기는 A가 B보다 작다.

7. A에 가까울 때 A에서 멀어지는 방향으로 전기장이 형성되므로 A는 (+)전하이다.

오답 피하기 ㄴ.  $x=0$ 에서 전기장 방향이  $-x$  방향이므로 전하량의 크기는 B가 A보다 크다.

ㄷ. A, B가 모두 (+)전하이므로  $x=0$ 에서 A와 B에 의한 전기장의 방향은 서로 반대이다.

05

답 ⑤

7. (+)전하에 가까울수록 전위가 높다.

ㄴ. (+)전하 주위에서 전기장의 방향은 (+)전하에서 멀어지는 방향이다.

ㄷ. (+)전하는 전기장 방향으로 전기력을 받으므로 A에 (+)전하를 놓으면 B 방향으로 운동한다.

06

답 ②

ㄷ. (-)전하는 전위가 높은 쪽으로 전기력을 받는다. 따라서 A에서 B로 이동하는 동안 전기력이 입자에 일을 한다.

오답 피하기 7. 전위는 전원의 (+)극에 연결된 극판으로 갈수록 높아진다. 왼쪽 극판이 전원의 (-)극에 연결되어 있고 오른쪽 극판이 전원의 (+)극에 연결되어 있으므로 A보다 B의 전위가 높다.

ㄴ. B와 C의 전위는 같으므로 전위차는 0이다.

07

$a \rightarrow d$ 로 이동시킬 때와  $b \rightarrow c$ 로 이동시킬 때 전하에 작용하는 힘의 크기는  $F=qE$ 이다. 따라서 힘이 전하에 한 일은  $W=qEs$ 이다.  $a \rightarrow b$ 로 이동시킬 때와  $c \rightarrow d$ 로 이동시킬 때는 힘의 방향과 이동 방향이 수직이므로 일을 하지 않는다. 따라서  $a \rightarrow d$ 로 이동시킬 때와  $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ 로 이동시킬 때 힘이 전하에 한 일은 같고, 두 경우의 전위차는 같다.

| 채점 기준                        | 배점(%) |
|------------------------------|-------|
| 두 경우의 일을 구하여 전위차가 같음을 설명한 경우 | 100   |
| 일을 구하지 않고 전위차가 같음을 설명한 경우    | 50    |

08

답 ①

7. B에 4 V 전압이 걸렸을 때 2 A가 흐르므로 저항값은 2 Ω이다.

오답 피하기 ㄴ. A, C의 저항값은 각각 1 Ω, 6 Ω이다.

ㄷ. B와 C를 병렬연결하면 합성 저항  $R$ 는  $\frac{1}{R} = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} = \frac{2}{3}$ 에서 1.5 Ω이다.

09

답  $R_1: 2 \Omega, R_2: 4 \Omega$

S가 닫혀 있을 때는  $R_2$ 에는 전류가 흐르지 않고  $R_1$ 에만 전류가 흐른다. 따라서  $R_1$ 은 2 Ω이다. S가 열려 있을 때는 전체 저항이 6 Ω이고,  $R_1$ 과  $R_2$ 가 직렬연결이므로  $R_2$ 는 4 Ω이다.

10

답 ①

$V=IR$ 에서 전압이 3 V일 때 A, B에 흐르는 전류의 세기가 각각 3 A, 2 A이므로 A, B의 저항값은 각각 1 Ω, 1.5 Ω이다. A와 B를 직렬연결하면 합성 저항이 2.5 Ω이 되므로 전류의 세기는  $I = \frac{3V}{2.5\Omega} = 1.2$  A이다.

11

답 ④

ㄴ.  $R_2$ 와  $R_3$ 에 걸리는 전압은 같다. 따라서  $R_2$ 에 걸리는 전압이 증가하므로 소비 전력은 증가한다.

ㄷ.  $R_3$ 의 저항값이 증가하면  $R_2$ 와  $R_3$ 의 합성 저항값이 증가하므로  $R_3$ 에 걸리는 전압이 증가한다.

오답 피하기 ㄱ.  $R_3$ 에 걸리는 전압이 증가하므로  $R_1$ 에 걸리는 전압은 감소한다. 따라서  $R_1$ 에 흐르는 전류의 세기는 감소한다.

12

답 ①

ㄱ. A의 저항값이 증가하면 A와 R에 걸리는 전압이 증가한다.

오답 피하기 ㄴ. B의 저항값이 증가하면 A와 R에 걸리는 전압이 감소한다.

ㄷ. 나머지 저항들과 C는 병렬연결되어 있으므로 C의 저항값이 증가해도 R에 걸리는 전압은 변하지 않는다.

13

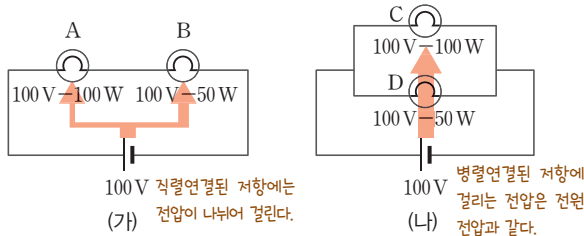
답 ②

저항을 직렬연결하면 전류의 세기가 같고, 병렬연결하면 전압이 같다.

14

답 C&gt;D&gt;B&gt;A

#### 자료 분석 저항의 정격 전압과 소비 전력



• 정격 전압과 소비 전력 관계를 이용해 저항값을 구한다.

$$P = \frac{V^2}{R} \text{에서 } R = \frac{V^2}{P} \text{이다.}$$

$$\rightarrow \text{A, C의 저항값은 } \frac{100^2}{100} = 100 \text{ Ω이다.}$$

$$\rightarrow \text{B, D의 저항값은 } \frac{100^2}{50} = 200 \text{ Ω이다.}$$

A와 B를 직렬연결한 (가)에서 A에는  $\frac{100}{3}$  V의 전압이 걸리고 B에는  $\frac{200}{3}$  V가 걸린다. 따라서 A, B의 소비 전력은 각각  $\frac{100}{9}$  W,  $\frac{200}{9}$  W이다. C, D에는 정격 전압이 걸리므로 C, D의 소비 전력은 각각 100 W, 50 W이다.

15

답 ⑤

⑤ 전원의 전압이 증가하면 축전기 양단의 전위차가 증가하여 더 많은 전기 에너지가 저장된다.

오답 피하기 ① 축전기의 두 극판 사이에서는 전자가 이동하지 않는다. 다만 너무 과도한 전압을 걸면 극판 사이의 절연이 깨어지며 방전이 일어난다.

② 축전기의 두 극판 사이의 전위차는 전원의 전압과 같으므로 증가한다.

③ 축전기 양단의 전위차가 증가하면 더 많은 전하가 충전된다.

④ 극판 사이의 전위차가 증가하므로 전기장의 세기가 증가한다.

16

답 ②

ㄴ. 축전기가 충전되면서 두 극판 사이의 전위차가 증가하면 전원에서 축전기로 흐르는 전류의 세기가 감소한다.

오답 피하기 ㄱ. 전하가 충전되면서 두 극판 사이의 전위차는 점점 증가하여 전원의 전압과 같아진다.

ㄷ. 축전기가 충전되는 동안에는 저항에 전류가 흐르므로 전압이 0이 아니다.

17

답 ②

ㄷ. S를 b에 연결하면 축전기에 저장된 전기 에너지가 방전되며 B가 켜진다.

오답 피하기 ㄱ. A가 켜졌을 때는 계속 전류가 흐르는 상태이므로 두 극판 사이의 전위차가 전지의 전압보다 작다.

ㄴ. 전지에 연결된 축전기가 완전히 충전되면 더 이상 전류가 흐르지 않으므로 A가 꺼진다.

18

답 ②

ㄴ. 완전히 충전된 상태에서 방전되는 시간이 B가 A보다 길므로 축전기에 저장된 전기 에너지는 B가 A보다 크다.

오답 피하기 ㄱ. 완전히 충전되었을 때 두 극판 사이의 전위차는 전원 장치의 전압과 같다.

ㄷ. 전구가 켜져 있는 동안 전구에는 전류가 흐른다. 즉, 축전기에 충전된 전하가 전구로 흐른다. 따라서 축전기에 충전된 전하량은 감소한다.

19

답 ④

④ 축전기가 방전될 때 충전된 전하량이 감소하면서 전위차도 감소한다.

오답 피하기 ① 스위치를 a에 연결하면 P는 전원의 (-)극에 연결되므로 (-)전하로 대전된다.

② 축전기가 완전히 충전되면 두 극판 사이의 전위차는 전원의 전압과 같다.

③ 스위치를 b에 연결하면 축전기에 저장된 전기 에너지가 저항에서 소모되므로 축전기에 저장된 전기 에너지는 감소한다.

⑤ 축전기가 충전될 때는 전류가 시계방향으로 흐르고, 방전될 때는 반시계방향으로 흐른다.

## 02 전기와 자기의 상호작용

### 09 장 자성체의 종류와 활용

#### 기본 탄탄 문제

96쪽

- 01 ㉠ 자성, ㉡ 전자, ㉢ 원자 자석 02 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) ×  
03 자기 구역 04 ㉠ 강자성체, ㉡ 같은  
05 (1) 강 (2) 반 (3) 반 (4) 강 (5) 상 (6) 상 (7) 반  
06 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × 07 ㉠ 강자성체, ㉡ 자기장

01 **답** ㉠ 자성, ㉡ 전자, ㉢ 원자 자석  
자성은 물질이 갖는 자기적 성질을 말한다. 전자의 스핀, 전자의 궤도 운동 등에 의해 원자 하나하나가 자석처럼 자기장을 형성하는데, 이를 원자 자석이라고 한다.

02 **답** (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) ×  
(1) 자석을 가까이 가져가면 물질에 따라 자석의 자기장에 다르게 반응한다. 이를 이용해 자성체를 강자성체, 상자성체, 반자성체로 분류할 수 있다.  
(2) 강자성체는 외부 자기장 방향으로 자기화되어 자석에 강하게 끌려온다.  
(3) 상자성체는 외부 자기장 방향으로 약하게 자기화되어 살짝 끌려온다.  
(4) 반자성체는 원자가 자기장을 띠지 않지만 외부 자기장을 걸어 주면 외부 자기장의 반대 방향으로 자기화된다.

03 **답** 자기 구역  
강자성체에서 같은 방향의 자기장을 형성하는 원자 자석들이 모여 자기 구역을 이룬다.

04 **답** ㉠ 강자성체, ㉡ 같은  
강자성체는 자기 구역으로 이루어져 있고, 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되어 강하게 끌려온다.

05 **답** (1) 강 (2) 반 (3) 반 (4) 강 (5) 상 (6) 상 (7) 반  
(1) 강자성체에는 철, 니켈, 크롬, 산화 철 등이 있다.  
(2) 반자성체는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화된다.  
(3) 반자성체는 원자가 자기장을 띠지 않지만 외부 자기장을 걸어 주면 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화된다.  
(4) 강자성체는 외부 자기장이 사라져도 자기화된 상태를 유지하지만 상자성체와 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 즉시 자기화된 상태가 사라진다.  
(5) 종이, 알루미늄, 산소 등은 상자성체이다.  
(6) 상자성체는 자석을 가까이 가져갔을 때 약하게 끌려온다.  
(7) 반자성체는 자석을 가까이 가져갔을 때 약하게 밀려난다.

06 **답** (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ×  
(1) 나침반의 자침은 강자성체로 만들어 지구 자기장에 강하게 반응한다.

(2) 하드 디스크의 플래터는 강자성체인 산화 철로 표면이 코팅되어 있다.  
(3) 초전도체는 반자성을 띠므로 밀어내는 자기력을 이용해 자기 부상 열차를 뜨게 할 수 있다.  
(4) 기중기의 전자석은 강자성체로 철심을 만들어 코일에 전류가 흐를 때 강한 자기장을 형성한다. 철심의 재료인 연철은 외부 자기장이 사라졌을 때 짧은 시간 동안만 자기화된 상태를 유지하는 특성이 있다.

07 **답** ㉠ 강자성체, ㉡ 자기장  
액체 자석은 강자성체 가루를 액체에 넣어 섞은 것으로, 진공 밀폐, 의료용, 화폐 위조 방지 기술 등에 활용되고 있다.

#### 실력 쏙쏙 문제

97~99쪽

- 01 ③ 02 ② 03 ① 04 ① 05 ③ 06 ① 07 ②  
08 ① 09 ③ 10 ③ 11 ⑤

#### 단답형·서술형 문제

- 12 (1) **예시 답안** (나)에서 A와 B가 서로 밀어내므로 A, B 중 하나는 강자성체, 하나는 반자성체이다. (가)에서 A는 자석 쪽으로 끌려오므로 강자성체이다. 따라서 B는 반자성체이다.  
(2) **예시 답안** B는 반자성체이므로 자석의 자기장과 반대 방향으로 자기화된다. 따라서 B의 왼쪽은 S극이 된다.  
13 **예시 답안** ㉠은 '밀어낸다.'이다. A와 C가 자기력을 작용하지 않으므로 A와 C 중 하나는 상자성체, 하나는 반자성체이다. 따라서 B는 강자성체이다. A와 B가 서로 끌어당기므로 A는 상자성체이고 C는 반자성체이다. 따라서 B와 C는 서로 밀어낸다.  
14 **예시 답안** 전자석에 전류가 흘러 자석이 될 때 철심이 더 강한 자기장을 만들므로 철심은 강자성체이다.

01 **답** ③  
강자성체는 강하게 끌려오고 상자성체는 약하게 끌려온다. A는 약하게 끌려오므로 상자성체이고, B는 강하게 끌려오므로 강자성체이다. C는 약하게 밀려나므로 반자성체이다.

02 **답** ②  
ㄴ. 쇠못은 강자성체이므로 외부 자기장 방향으로 자기화된다.  
**오답 피하기** ㄱ. 쇠는 철이고 철은 강자성체 물질이다.  
ㄷ. 강자성체는 외부 자기장이 사라져도 자기화된 상태를 유지한다.

03 **답** ①  
ㄱ. 외부 자기장이 오른쪽 방향인데 자성체 내부의 원자 자석은 왼쪽으로 자기화되었으므로 이 물질은 반자성체이다.  
**오답 피하기** ㄴ. 철은 강자성체이다. 반자성체에는 구리, 유리, 플라스틱, 물, 탄소(흑연), 수소 등이 있다.

ㄷ. 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 즉시 자기화된 상태가 사라진다.

**04** 답 ①  
 ㄱ. 원자 자석이 외부 자기장과 반대 방향으로 배열되므로 흑연은 반자성체이다.

**오답 피하기** ㄴ. 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 즉시 자기화된 상태가 사라진다.

ㄷ. 흑연은 반자성체이므로 흑연판과 자석은 서로 밀어내는 방향으로 자기력을 작용하여 자석 위에 흑연판이 떠 있게 된다.

**05** 답 ③  
 ㄱ. A는 자석에 밀려났으므로 반자성체이다.  
 ㄷ. C는 자석에 강하게 끌려오므로 강자성체이다. 강자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.

**오답 피하기** ㄴ. B는 자석 쪽으로 약하게 끌려오므로 상자성체이다. 반자성체와 상자성체는 외부 자기장이 없으면 자기화되지 않는다. 따라서 자석 없이 A와 B를 가까이 하면 자기력을 작용하지 않는다.

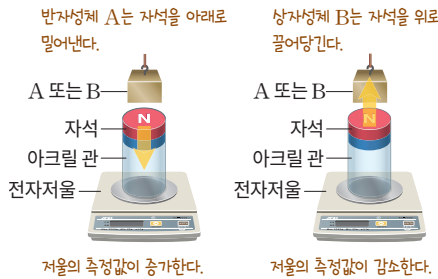
**06** 답 ①  
 ㄱ. A가 밀려났으므로 A는 반자성체이다. 반자성체는 자석의 자기장과 반대 방향으로 자기화된다. A가 오른쪽 방향으로 자기화되므로 p는 S극이 된다.

**오답 피하기** ㄴ. S극을 가까이 가져가면 A는 왼쪽으로 자기화되어 밀려난다.

ㄷ. 알루미늄은 상자성체이다.

**07** 답 ②

**자료 분석** 자석과 자성체의 상호작용



- 물체가 없을 때 저울의 측정값: 자석과 아크릴 관의 무게
- 물체가 있을 때 저울의 측정값: 자석과 아크릴 관의 무게와 자석이 받는 자기력의 합력
- 자석이 아래로 자기력을 받으면 측정값이 증가한다.
- 자석이 위로 자기력을 받으면 측정값이 감소한다.

② A가 반자성체이므로 B는 상자성체이다. 상자성체는 자석과 서로 당기는 방향으로 자기력을 작용하므로 자석이 위쪽으로 자기력을 받는다. 따라서 저울의 측정값이 감소한다.

**오답 피하기** ① A를 자석 위로 가져갔을 때 저울의 측정값이 증가

하였으므로 A와 자석 사이에는 서로 밀어내는 방향으로 자기력이 작용한다. 따라서 A는 반자성체이다.

③ B는 상자성체이므로 자석의 자기장 방향으로 자기화된다.

④ 상자성체와 자석은 서로 당기는 방향으로 자기력을 작용한다.

⑤ 반자성체와 자석은 서로 밀어내는 자기력을 작용하므로 자석의 자기장 방향과 상관없이 저울의 측정값이 증가한다.

**08** 답 ①  
 강자성체는 자기 구역이 외부 자기장 방향으로 배열된다. 강자성체에는 철, 니켈, 크롬, 산화 철 등이 있다.

**09** 답 ③  
 ㄱ. 전자석 기중기의 철심은 강자성체인 연철로 만들어져 코일에 전류가 흐를 때 코일에 의한 자기장 방향으로 강하게 자기화된다.

ㄴ. 나침반 자침은 강자성체로 만들어져 지구 자기장 방향으로 정렬된다.

**오답 피하기** ㄷ. 우주복 관절에는 강자성체 가루가 포함된 액체 자석을 이용한다.

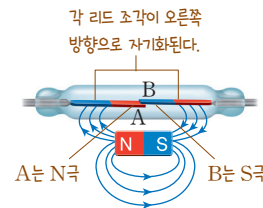
**10** 답 ③  
 ㄱ. 헤드의 코일에 전류가 흐르면 코일 내부에 균일한 방향으로 자기장이 생긴다. 이 자기장이 철심을 따라 이어져 플래터 표면의 산화 철을 자기화시킨다.

ㄷ. 산화 철은 강자성체이므로 헤드를 통과하며 자기화된 후 그 상태를 유지한다. 이 성질을 이용해 정보를 저장할 수 있다.

**오답 피하기** ㄴ. 플래터 표면에는 강자성체인 산화 철이 코팅되어 있다.

**11** 답 ⑤

**자료 분석** 리드 스위치의 작동 원리



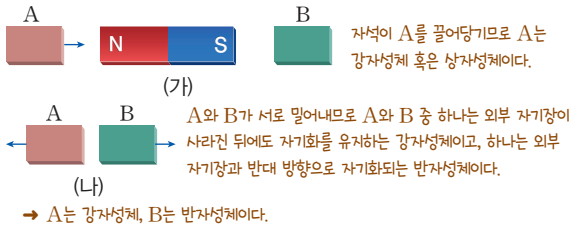
- 외부 자기장이 있으면 각 리드 조각이 외부 자기장 방향으로 자기화된다. → A와 B는 서로 다른 자극이 되므로 서로 끌어당겨 접촉한다. → 전류가 흐른다.
- 외부 자기장이 사라지면 리드 조각이 탄성에 의해 원래 위치로 돌아오며 A와 B가 떨어진다. → 전류가 차단된다.

ㄱ. 리드 조각은 강자성체이므로 외부 자기장 방향으로 자기화된다.

ㄴ, ㄷ. A와 B는 각각 N극과 S극이 되어 서로 당기는 방향으로 자기력을 작용한다.



## 자료 분석



(1) (나)에서 A와 B가 서로 밀어내므로 A, B 중 하나는 외부 자기장을 제거해도 자기화를 유지하는 강자성체이고 다른 하나는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되는 반자성체라는 것을 알 수 있다.

| 채점 기준                                | 배점(%) |
|--------------------------------------|-------|
| 타당한 근거를 바탕으로 A, B의 자성체 종류를 옳게 설명한 경우 | 100   |
| A, B의 자성체 종류만 옳게 쓴 경우                | 40    |

(2) B는 반자성체이므로 자석의 자기장과 반대 방향으로 자기화된다. 따라서 B의 왼쪽은 S극이 된다.

| 채점 기준                                                   | 배점(%) |
|---------------------------------------------------------|-------|
| B가 반자성체이며, 반자성체는 외부 자기장과 반대로 자기화된다고 설명하고 왼쪽이 S극임을 밝힌 경우 | 100   |
| B가 반자성체이므로 왼쪽이 S극이라고 설명한 경우                             | 80    |
| 왼쪽이 S극이라고만 쓴 경우                                         | 40    |

## 13

A와 C가 자기력을 작용하지 않으므로 A와 C 중에는 강자성체가 없다. 즉 B는 강자성체이다. A와 B가 서로 끌어당기므로 A는 상자성체이고 C는 반자성체이다.

| 채점 기준                                                  | 배점(%) |
|--------------------------------------------------------|-------|
| ㉠에 밀어낸다고 쓰고, 근거로서 B, C의 자성체 종류를 찾는 과정을 설명한 경우          | 100   |
| 자성체 종류를 찾는 과정에 대한 설명없이 B, C의 자성체 종류만으로 서로 밀어낸다고 설명한 경우 | 60    |
| B, C의 자성체 종류만 쓴 경우                                     | 20    |

## 14

전자석은 코일 안에 강자성체를 넣고 전류를 흘려 주면 강자성체가 전류에 의한 자기장 방향으로 강하게 자기화되어 강한 자석이 된다.

| 채점 기준                                   | 배점(%) |
|-----------------------------------------|-------|
| 철심이 더 강한 자기장을 만든다는 것을 근거로 강자성체임을 설명한 경우 | 100   |
| 철심이 강자성체라는 것만 쓴 경우                      | 50    |

## 10강 전류에 의한 자기장과 에너지 전환

## 탐구 확인 문제

102 쪽

01 (1) ○ (2) × (3) ○ 02 ④

## 01

답 (1) ○ (2) × (3) ○

- (1) 스피커의 코일에 공급된 전기 에너지가 진동판을 진동시켜 소리 에너지로 전환된다.
- (2) 스피커의 코일에는 시간에 따라 세기와 방향이 변하는 전류가 흐른다.
- (3) 코일에 흐르는 전류의 세기가 시간에 따라 변하므로 코일이 자석으로부터 받는 자기력의 세기도 시간에 따라 변한다.

## 02

답 ④

④ 스피커에서는 전기 에너지가 자석과 코일의 상호작용을 통해 소리 에너지로 전환된다.

오답 피하기 ① 코일과 자석은 자기장을 형성하여 상호작용하므로 자석도 코일로부터 자기력을 받는다.

② 코일에 흐르는 전류의 방향이 바뀌면 코일이 자석으로부터 받는 자기력의 방향도 바뀐다.

③ 코일에 흐르는 전류의 세기가 시간에 따라 변하므로 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기도 시간에 따라 변한다.

⑤ 코일에 흐르는 전류의 방향이 바뀌면 코일이 형성하는 자기장의 방향이 바뀌고, 코일과 진동판이 받는 자기력의 방향이 바뀐다. 따라서 코일에 입력되는 전기 신호의 진동수와 소리의 진동수는 같다.

## 기본 탄탄 문제

104 쪽

01 (1) ○ (2) × (3) × 02 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×  
 03 ㉠ 비례, ㉡ 비례, ㉢ 오른손 04 (1) B (2) 2B  
 05 (1) × (2) × (3) ○ (4) × (5) ○ 06 ㉠ 같은, ㉡ 다른

## 01

답 (1) ○ (2) × (3) ×

- (1) 자기장은 자석 주위와 같이 자기력이 작용하는 영역이다.
- (2) 자기장의 방향은 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향으로 정한다.
- (3) N극과 S극은 서로 끌어당기고 N극과 N극은 서로 밀어낸다. 지구의 자기 북극은 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향이므로 S극이다.

## 02

답 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×

(1) 직선 도선에 흐르는 전류의 세기가 셀수록 전류에 의한 자기장의 세기가 세다.

(2) 직선 전류에 의한 자기장은 직선 도선을 중심으로 하는 동심원 모양이다.

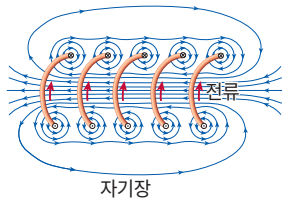
(3) 원형 도선은 작은 직선 도선을 동그랗게 이어 붙인 것으로 볼 수 있다. 원형 도선 주위의 한 점에서 자기장은 각 직선 도선이 만드는 자기장을 합하여 구할 수 있다.

(4) 솔레노이드는 도선을 코일 형태로 촘촘히 감아 만든 것으로, 솔레노이드 내부에서는 세기와 방향이 균일한 자기장이 만들어진다.

(5) 솔레노이드 외부에서는 막대자석 주위와 비슷하게 N극에서 나와 S극을 향하는 방향으로 자기장이 형성되고, 내부에서는 솔레노이드의 S극에서 N극 방향으로 자기장이 형성된다.

**03**  ㉠ 비례, ㉡ 비례, ㉢ 오른손 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 단위 길이당 감은 수에 비례한다.

**개념 더하기** 솔레노이드 내부의 균일한 자기장



- 자기장 방향: 오른손 네 손가락을 전류의 방향으로 감아칠 때 엄지손가락이 가리키는 방향
- 자기장 세기: 전류의 세기에 비례하고, 단위 길이당 코일의 감은 수에 비례한다.

**04**  (1) B (2) 2B  
(1) 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 거리에 반비례한다. 전류의 세기가 2 배, 거리도 2 배이므로 자기장의 세기는 같다.

(2) 솔레노이드 내부의 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례한다. 전류의 세기만 2 배가 되면 자기장의 세기도 2 배가 된다.

**05**  (1)  $\times$  (2)  $\times$  (3)  $\bigcirc$  (4)  $\times$  (5)  $\bigcirc$   
(1) 전동기는 전기 에너지를 운동 에너지로 변환하는 장치이다.  
(2) 전동기가 회전할 때 코일에 의한 자기장과 자석의 자기장이 평행이 되는 순간 코일에 흐르는 전류의 방향이 반대로 바뀐다.  
(3) 스피커는 자석의 자기장과 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장의 상호작용으로 진동판이 진동하는 장치이다.  
(4) 스피커는 전기 에너지를 운동 에너지로 변환하여 진동판을 진동시키고, 이 진동이 공기를 진동시켜 소리를 만드는 장치이다.  
(5) 스피커의 코일에 흐르는 전류의 세기와 방향이 주기적으로 바뀌면 코일에 의한 자기장의 세기와 방향이 주기적으로 바뀐다. 따라서 코일과 자석 사이의 자기력의 세기와 방향도 주기적으로 바뀐다.

**06**  ㉠ 같은, ㉡ 다른  
자기력은 같은 극 사이에는 밀어내는 방향, 다른 극 사이에는 당기는 방향으로 작용한다.

**일괄 목록 문제**

105 ~ 107 쪽

- 01 ②    02 ⑤    03 ⑤    04 ④    05 ②    06 ③    07 ④  
08 ⑤    09 ①    10 ③    11 ⑤

**단답형·서술형 문제**

- 12** (1)  예시 답안 나침반 자침의 N극이 북동쪽으로 회전하였으므로 전류에 의한 자기장 방향은 동쪽이다. 따라서 전류는 위에서 아래로 흐른다.  
(2)  예시 답안 전류의 세기를 더 세게 한다. 나침반을 도선에 더 가까운 곳으로 옮긴다.
- 13** (1)  예시 답안 레일과 전자석 사이에 당기는 자기력이 작용해야 하므로 강자성체로 만들어야 한다.  
(2)  예시 답안  $d$ 가 증가했다는 것은 전자석과 레일 사이의 자기력이 커졌다는 뜻이므로 전자석에 흐르는 전류의 세기를 줄여 전자석과 레일 사이의 자기력의 세기가 작아지게 해야 한다.
- 14** (1)  예시 답안 스위치를 a에 연결하면 솔레노이드의 오른쪽이 N극이 되므로 자석의 S극이 끌려온다. 따라서 자석은 시계방향으로 회전한다.  
(2)  예시 답안 자석의 S극이 끌려와 솔레노이드에 가장 가까이 왔을 때 스위치를 b에 연결하면 솔레노이드의 오른쪽이 S극이 되어 자석의 S극이 밀려나며 시계방향으로 회전한다. 이런 식으로 스위치를 a, b에 번갈아 연결하며 자석을 계속 회전시킬 수 있다.

**01**  ②  
② 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다.

**오답 피하기** ① 도선에 흐르는 전류에 의해 자기장이 형성된다는 것은 외르스테드가 발견하였다.

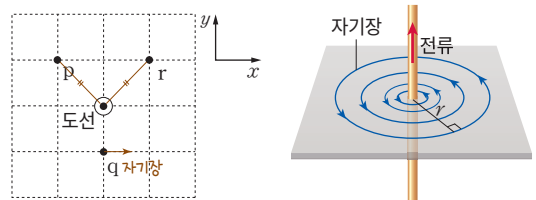
③ 직선 도선 주위에서는 도선을 중심으로 하는 동심원 모양의 자기장이 형성된다.

④ 도선으로부터의 거리가 멀수록 자기장이 약해진다.

⑤ 전류의 방향이 바뀌면 자기장 방향도 바뀐다.

**02**  ⑤

**자료 분석** 직선 전류에 의한 자기장



$$B \propto \frac{I}{r} \quad (B: \text{자기장}, I: \text{전류의 세기}, r: \text{도선으로부터의 거리})$$

ㄱ. 도선에서 p와 r까지 거리는 같다. 따라서 p와 r에서 자기장의 세기는 같다.

ㄴ. 도선에서 전류가  $xy$  평면에서 나오는 방향으로 흐르므로 도선 주위의 자기장은 반시계방향으로 형성된다.

ㄷ. 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례한다. 전류의 세기가 증가하면 p에서 자기장의 세기가 증가한다.

### 03

답 ⑤

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 거리에 반비례한다. P에서 A에 의한 자기장을  $+B$ 라고 할 때, P, Q에서 A, B에 의한 자기장과 전체 자기장은 표와 같다.

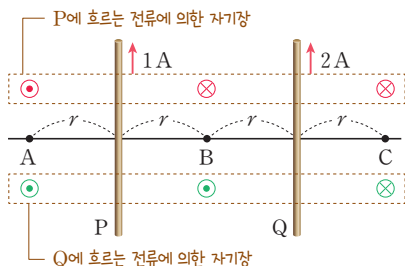
| 위치 | A               | B     | 전체              |
|----|-----------------|-------|-----------------|
| P  | $+B$            | $+2B$ | $+3B$           |
| Q  | $-\frac{1}{2}B$ | $-2B$ | $-\frac{5}{2}B$ |

$B_0=3B$ 이므로 Q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{5}{2}B$   
 $=\frac{5}{2} \times \frac{B_0}{3} = \frac{5}{6}B_0$ 이다.

### 04

답 ④

#### 자료 분석 나란한 두 직선 전류에 의한 자기장



- 도선의 왼쪽에서는 평면에서 나오는 방향, 오른쪽에서는 평면으로 들어가는 방향으로 자기장이 형성된다.
- 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 거리에 반비례한다. P로부터 거리  $r$ 만큼 떨어진 지점에서 P의 전류에 의한 자기장의 세기를  $B_0$ 이라 하고, 평면에서 나오는 방향을 (+), 들어가는 방향을 (-)라 하면 A, B, C에서 자기장은 다음 표와 같다.

| 위치 | P                 | Q                 | 전체                |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|
| A  | $+B_0$            | $+\frac{2}{3}B_0$ | $+\frac{5}{3}B_0$ |
| B  | $-B_0$            | $+2B_0$           | $+B_0$            |
| C  | $-\frac{1}{3}B_0$ | $-2B_0$           | $-\frac{7}{3}B_0$ |

ㄱ. P, Q 모두 위쪽으로 전류가 흐르므로 도선의 왼쪽에서는 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장을 만들고, 도선의 오른쪽에서는 평면에서 수직으로 들어가는 방향의 자기장을 만든다. A는 두 도선에 흐르는 전류가 만드는 자기장 방향이 같으므로 A에서

자기장의 방향은 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. B에서는 Q에 의한 자기장이 P에 의한 자기장보다 세므로 B에서 자기장의 방향은 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄷ. P와 Q를 바꾸어 놓으면 B에서 자기장의 방향이 반대로 바뀐다. 그러나 자기장의 세기는 같다.

오답 피하기 ㄴ. P로부터 거리  $r$ 만큼 떨어진 지점에서 P의 전류에 의한 자기장의 세기를  $B_0$ 이라고 하면, A에서 자기장은  $+\frac{5}{3}B_0$ 이고 C에서 자기장은  $-\frac{7}{3}B_0$ 이다. 따라서 자기장의 세기는 C에서 A에서의  $\frac{7}{5}$  배이다.

### 05

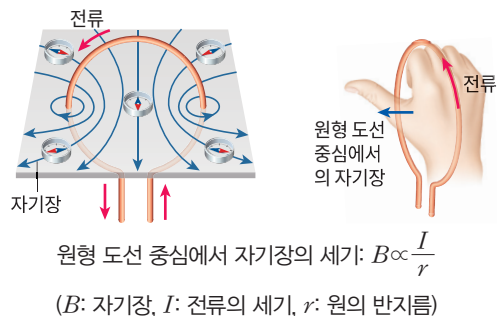
답 ②

ㄴ. 도선에 전류가  $b$  방향으로 흐르므로 P에서는 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향이 O에서와 반대가 된다.

오답 피하기 ㄱ. 원형 도선 중심에서 자기장은 오른손 네 손가락을 전류 방향으로 감아줄 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다. 따라서 도선에는  $b$  방향으로 전류가 흐른다.

ㄷ. 원형 도선 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하므로 전류의 세기가 2 배가 되면 O에서 자기장의 세기는 2 배가 된다.

#### 개념 더하기 원형 전류에 의한 자기장



### 06

답 ③

ㄷ. 가변 저항의 저항값을 증가시키면 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 감소한다. 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 감소하면 자기장 세기도 감소한다. 따라서 회전각은 (라)에서가 (나)에서보다 작다.

오답 피하기 ㄱ. a가 전원의 (+)극에 연결되어 있으므로 전류는 a→스위치→솔레노이드 방향으로 흐른다. 솔레노이드 내부의 자기장 방향은 서쪽이다.

ㄴ. a, b를 바꾸면 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향이 바뀐다. 솔레노이드에 흐르는 전류 방향이 바뀌면 자기장 방향도 바뀐다.

### 07

답 ④

ㄱ. 스피커는 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장과 자석의 상호작용을 이용해 진동판을 진동시켜 전기 신호를 소리로 바꾸는 장치이다.

ㄷ. 손 선풍기 안에 있는 전동기는 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장과 자석의 상호작용을 이용한다.

**오답 피하기** ㄴ. 발광 다이오드는 반도체의 성질을 이용하여 전기 에너지를 빛에너지로 바꾼다.

## 08

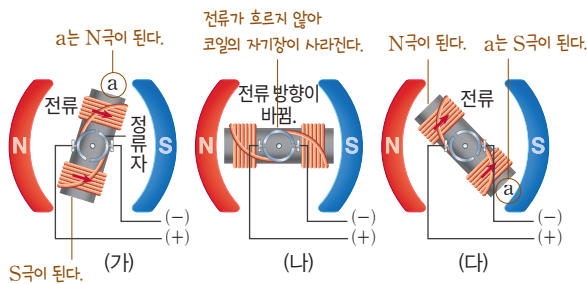
답 ⑤

전류 방향이 바뀌면 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 바뀌고, 전류의 세기가 증가하면 전류에 의한 자기장의 세기도 증가한다. 따라서 나침반의 자침은 반대 방향인 동북쪽으로 회전하며, 회전각은 증가한다.

## 09

답 ①

### 자료 분석 전동기의 작동 원리



- (가): a는 N극이 되어 오른쪽으로 자기력을 받고, 반대쪽 끝은 S극이 되어 왼쪽으로 자기력을 받는다. → 코일이 시계방향으로 회전한다.
- (나): 코일의 정류자와 전원 사이의 연결이 끊어지므로 전류가 흐르지 않는다.
- (다): a는 S극이 되어 왼쪽으로 자기력을 받고, 반대쪽은 N극이 되어 오른쪽으로 자기력을 받는다. → 코일이 시계방향으로 회전한다.

ㄱ. 코일의 a는 N극이 되어 자석의 N극에서 밀려나고 S극으로 끌려가며 코일이 회전한다.

**오답 피하기** ㄴ. (나)에서 전류 방향이 바뀌면 (다)에서 a는 S극이 되어 자석의 S극에서 밀려난다.

ㄷ. 전원의 (+)극과 (-)극이 바뀌면 코일에 흐르는 전류의 방향이 바뀐다. (가)에서 a가 S극이 되어 N극 방향으로 끌려가므로 코일은 반시계방향으로 회전하게 된다.

## 10

답 ③

스피커는 코일에 공급된 전기 에너지를 운동 에너지로 전환하고, 진동판이 진동할 때 주변 공기가 진동하며 소리 에너지를 주변으로 전달한다.

## 11

답 ⑤

ㄱ. P와 Q에서 전류 방향이 반대이므로 전류에 의한 자기장의 방향도 반대이다.

ㄴ. R에서 전류의 세기가 최대가 되므로 전류에 의한 자기장의 세기는 Q보다 R에서 더 크다.

ㄷ. 스피커는 전류에 의한 자기장과 자석의 자기장 사이의 상호작용을 이용하여 전기 에너지를 소리 에너지로 전환하는 장치이다.

## 12

(1) 나침반 자침의 N극이 북동쪽으로 회전하였으므로 전류에 의한 자기장 방향은 동쪽이다. 오른손 네 손가락을 자기장 방향으로 하고 도선을 감아쥐면 엄지손가락이 아래를 향하므로 전류는 위에서 아래로 흐른다.

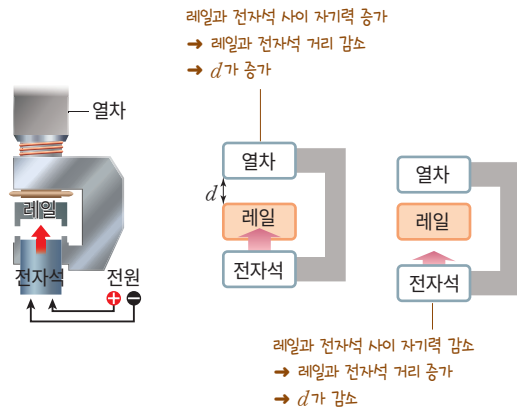
| 채점 기준                     | 배점(%) |
|---------------------------|-------|
| 자기장 방향을 근거로 전류 방향을 설명한 경우 | 100   |
| 전류 방향만 설명한 경우             | 40    |

(2) 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 도선에서 떨어진 거리에 반비례한다.

| 채점 기준                      | 배점(%) |
|----------------------------|-------|
| 회전각을 크게 하는 방법 2 가지를 제시한 경우 | 100   |
| 회전각을 크게 하는 방법 1 가지만 제시한 경우 | 50    |

## 13

### 자료 분석 자기부상 열차의 원리



- 센서를 이용해 레일과 열차 사이의 간격을 일정하게 유지한다.
- 열차와 레일 간격  $d$ 가 변할 때 전류 변화

|          |                                                                                                                                                |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $d$ 가 증가 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 전자석에 흐르는 전류의 세기가 증가하여 레일과 전자석 사이의 거리가 줄었기 때문이다.</li> <li>→ 전류 세기를 줄여 레일과 전자석 사이의 자기력을 줄인다.</li> </ul> |
| $d$ 가 감소 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 전자석에 흐르는 전류의 세기가 감소하여 레일과 전자석 사이의 거리가 늘었기 때문이다.</li> <li>→ 전류 세기를 늘려 레일과 전자석 사이의 자기력을 키운다.</li> </ul> |

(1) 전자석에 전류가 흘러 자기장이 만들어질 때 레일과 전자석 사이에 당기는 자기력이 작용해야 하므로 강자성체로 만들어야 한다.

| 채점 기준                       | 배점(%) |
|-----------------------------|-------|
| 자기력을 이용하여 레일이 강자성체임을 설명한 경우 | 100   |
| 강자성체로 만든다고만 서술한 경우          | 60    |

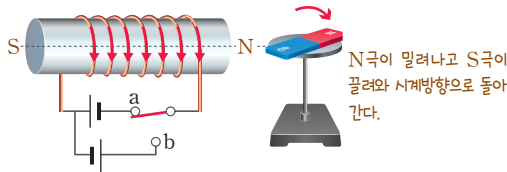
(2)  $d$ 가 증가하면 레일과 전자석 사이의 거리는 감소한다. 즉, 전자석과 레일 사이의 자기력이 커졌다는 뜻이다. 따라서 전자석에 흐르는 전류의 세기를 줄여 전자석과 레일 사이의 자기력의 세기가 작아지게 해야 한다.

| 채점 기준                                       | 배점(%) |
|---------------------------------------------|-------|
| $d$ 의 증가를 자기력과 연관 짓고, 전류의 세기를 줄여야 함을 설명한 경우 | 100   |
| 전류의 세기를 줄여야 한다고만 설명한 경우                     | 50    |

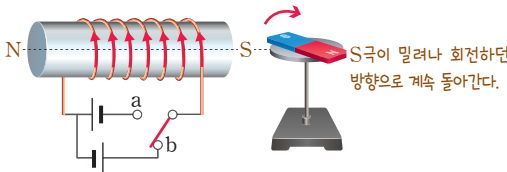
## 14

### 자료 분석 전동기의 원리

• a에 연결했을 때



• b에 연결했을 때



(1) 스위치를 a에 연결하면 솔레노이드의 오른쪽이 N극이 되므로 자석의 S극이 끌려온다. 따라서 자석은 시계방향으로 회전한다.

| 채점 기준                                | 배점(%) |
|--------------------------------------|-------|
| 솔레노이드 자기장의 방향을 근거로 자석의 회전 방향을 설명한 경우 | 100   |
| 자석의 회전 방향만 명시한 경우                    | 50    |

(2) 자석의 S극이 끌려와 솔레노이드에 가장 가까이 왔을 때 스위치를 b에 연결하면 솔레노이드의 오른쪽이 S극이 되어 자석의 S극이 밀려나며 시계방향으로 계속 회전한다. 이런 식으로 스위치를 a, b에 번갈아 연결하며 자석을 계속 회전시킬 수 있다.

| 채점 기준                                                      | 배점(%) |
|------------------------------------------------------------|-------|
| b에 연결했을 때 자석의 회전 방향을 설명하고, 스위치 조작을 통해 자석을 회전시키는 방법을 제시한 경우 | 100   |
| 스위치 조작을 통해 회전시킬 수 있다고만 언급한 경우                              | 50    |

## 11강 전자기 유도와 에너지 전달

### 탐구 확인문제

111 쪽

01 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ 02 ④

### 01

㉠ (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○

- (1) 송신부 코일에 흐르는 전류의 세기와 방향이 변하므로 수신부 코일에서 전자기 유도가 일어난다.
- (2) 송신부 코일에서 형성되는 자기장의 세기와 방향이 시간에 따라 변하므로 수신부 코일을 통과하는 자기장의 세기와 방향이 시간에 따라 변한다.
- (3) LED는 전기 에너지를 빛에너지로 전환하는 반도체 소자이다.
- (4) 송신부 코일에 전달되는 전기 에너지는 전류의 자기 작용에 의해 자기 에너지로 전환되고, 수신부 코일에서 전자기 유도에 의해 다시 전기 에너지로 전환된다.

### 02

㉠ ④

송신부 코일은 전류의 자기 작용으로 전기 에너지를 자기 에너지로 전환하고, 수신부 코일은 전자기 유도를 이용해 자기 에너지를 전기 에너지로 전환한다.

### 기본 탄탄 문제

113 쪽

01 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × 02 ㉠ 증가, ㉡ 증가, ㉢ 증가  
03 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ 04 (1) × (2) × (3) ○ (4) ×  
05 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ○ (7) ○ (8) ×  
06 ㉠ 에너지, ㉡ 센서

### 01

㉠ (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ×

- (1) 코일과 자석이 같은 속도로 운동하면 상대적인 운동이 없어 코일을 통과하는 자기장이 변하지 않아 유도 전류가 흐르지 않는다.
- (2) 코일 위에서 자석이 진자 운동을 하면 코일을 통과하는 자기장이 변하여 코일에 유도 전류가 흐른다.
- (3) 유도 전류는 자석의 운동을 방해하는 방향으로 흐르므로 자석이 가까워질 때와 멀어질 때 코일에 흐르는 유도 전류의 방향이 반대이다.
- (4) 외부 자기장이 감소할 때는 유도 전류에 의한 자기장과 외부 자기장의 방향이 같다.

### 02

㉠ ㉠ 증가, ㉡ 증가, ㉢ 증가

단위 시간당 코일을 통과하는 자기장의 변화가 클수록 유도 전류의 세기가 증가한다.

### 03

㉠ (1) ○ (2) × (3) × (4) ○

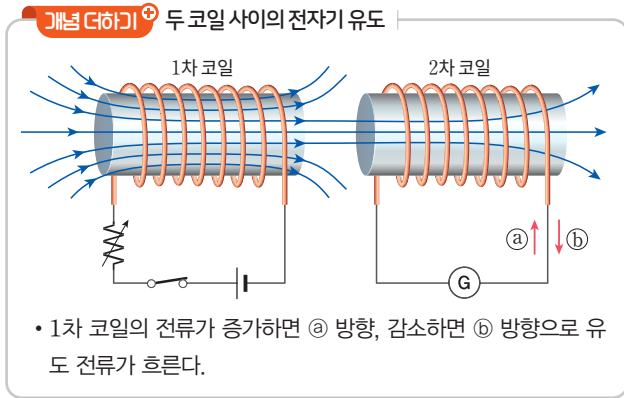
- (1) A에 흐르는 전류가 변하면 B를 통과하는 자기장이 변하므로 B에 전자기 유도가 일어난다.
- (2) A에 흐르는 전류의 세기가 일정하게 증가하면 B를 통과하는 자기장의 세기도 증가하므로 B에 전자기 유도가 일어나 유도 전



류가 흐른다.

(3) A에 흐르는 전류의 방향이 주기적으로 변하면 B를 통과하는 자기장의 방향도 주기적으로 변한다.

(4) 유도 전류의 세기는 코일의 감은 수에 비례하므로 B의 감은 수를 증가시키면 B에 흐르는 유도 전류의 세기가 증가한다.



04

답 (1) × (2) × (3) ○ (4) ×

(1) 1차 코일에 흐르는 교류의 세기가 최대인 순간 자기장이 최대가 된다. 이때 시간당 자기장의 변화율은 0이므로 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 0이다.

(2) 1차 코일에 흐르는 전류의 변화에 의해 2차 코일에 유도 전류가 흐르므로 두 코일 사이에 정보를 전달할 수 있다.

(3) 1차 코일에 흐르는 전류가 변할 때 2차 코일에 유도 전류가 흐르므로 전자기 유도를 이용해 전기 에너지를 전달할 수 있다.

(4) 1차 코일에서 전송하는 에너지 중 일부는 손실되고 나머지가 2차 코일로 전달된다.

05

답 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ○ (7) ○ (8) ×

(1) 휴대 전화 무선 충전은 전자기 유도를 이용해 에너지를 전달하는 기술이다.

(2) 전동 자전거의 모터는 전류의 자기 작용으로 생기는 자기장과 영구 자석 사이의 자기적 상호작용(자기력)을 이용한 것이다.

(3) 고속도로 하이패스는 전자기 유도를 이용해 정보를 전달하는 무선 통신 기술이다.

(4) 인덕션 레인지는 자기장의 변화를 이용해 금속 냄비에 전류가 흐르도록 하여 열을 내는 방식으로, 전자기 유도를 이용해 에너지를 전달하는 기술이다.

(5) 항해용 나침반은 강자성체의 성질을 이용한 장치이다.

(6) 교통 카드는 전자기 유도를 이용해 단말기와 통신하며 에너지와 정보를 주고받는 장치이다.

(7) 금속 탐지기의 전송 코일에서 자기장을 발생시켜 땅에 묻힌 금속에 유도 전류가 흐르게 하여 탐지한다.

(8) 스피커는 전류가 만드는 자기장과 자석의 상호작용을 이용한다.

06

답 ㉠ 에너지, ㉡ 센서

전자기 유도 기술은 각종 센서, 무선 에너지 전송 기술, 무선 통신 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

## 일련 문목

114~117쪽

01 ② 02 ③ 03 ① 04 ④ 05 ① 06 ⑤ 07 ③  
08 ③ 09 ⑤ 10 ② 11 ④ 12 ⑤ 13 ④ 14 ④

### 단답형·서술형 문제

15 (1) 예시 답안 자석이 p를 통과할 때 아랫면이 금속 고리에 접근한다. 이때 ㉠ 방향으로 유도 전류가 흐르므로 유도 전류가 만드는 자기장의 방향은 위쪽이다. 따라서 자석의 아랫면은 N극이고 윗면은 S극이다.

(2) 예시 답안 자석의 S극이 멀어지므로 금속 고리에는 아래쪽이 N극이 되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 유도 전류는 ㉡ 방향으로 흐른다.

16 (1) 답 A: 플라스틱 관, B: 구리 관 (2) 예시 답안 B에서 자석이 운동할 때 유도 전류가 흘러 자석의 운동을 방해하기 때문이다.

17 (1) 예시 답안  $0 \sim t_0$ 일 때 1차 코일에는 화살표와 반대 방향으로 전류가 흐르며, 전류의 세기는 감소한다. 따라서 1차 코일에 의한 자기장은 왼쪽 방향이며 세기가 감소한다. 이때 2차 코일에는 왼쪽 방향으로 자기장이 만들어지도록 유도 전류가 흐른다. 즉, a→검류계→b 방향으로 유도 전류가 흐른다.

(2) 예시 답안  $t_0 \sim 2t_0$ 일 때 1차 코일에는 화살표 방향으로 전류가 흐르며, 전류의 세기는 증가한다. 따라서 1차 코일에 의한 자기장은 오른쪽 방향이며 세기가 증가한다. 이때 2차 코일에는 왼쪽 방향으로 자기장이 만들어지도록 유도 전류가 흐른다. 즉, a→검류계→b 방향으로 유도 전류가 흐른다.

18 (1) 답 ㉠ 강자성체, ㉡ 유도 전류, ㉢ 전기 (2) 예시 답안 기타 줄이 아래로 운동할 때는 S극이 코일에 접근하므로 코일에는 위쪽이 S극이 되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 유도 전류의 방향은 ㉡이다.

01

답 ②

② 코일의 감은 수가 많을수록 전류의 세기가 세다.

오답 피하기 ① 자석과 코일의 상대적인 운동이 있으면 유도 전류가 흐른다.

③ 자석이 더 빨리 움직이면 코일을 통과하는 자기장의 시간당 변화가 증가하므로 유도 전류의 세기가 증가한다.

④ 코일을 통과하는 자기장이 변할 때 코일에 유도 전류가 흐르는 현상을 전자기 유도라고 한다.

⑤ 코일과 자석의 상대적인 운동이 있을 때 전류가 흐른다.

02

답 ③

ㄱ. 코일과 자석이 서로 멀어지면 코일을 통과하는 자기장이 약해지므로 코일에 유도 전류가 흐른다.

ㄴ. 자석이 제자리에서 시계방향으로 회전하면 N극과 S극이 번갈아 가며 멀어졌다 가까워졌다를 반복하므로 코일에 유도 전류가 흐른다.

**오답 피하기** ㄴ. 코일과 자석이 같은 속도로 운동하면 상대적인 운동이 없어 코일을 통과하는 자기장이 변하지 않는다.

### 03

답 ①

ㄱ. 자석을 빠르게 움직일수록 코일을 통과하는 자기장의 변화 정도가 커지므로 유도 전류의 세기가 증가한다.

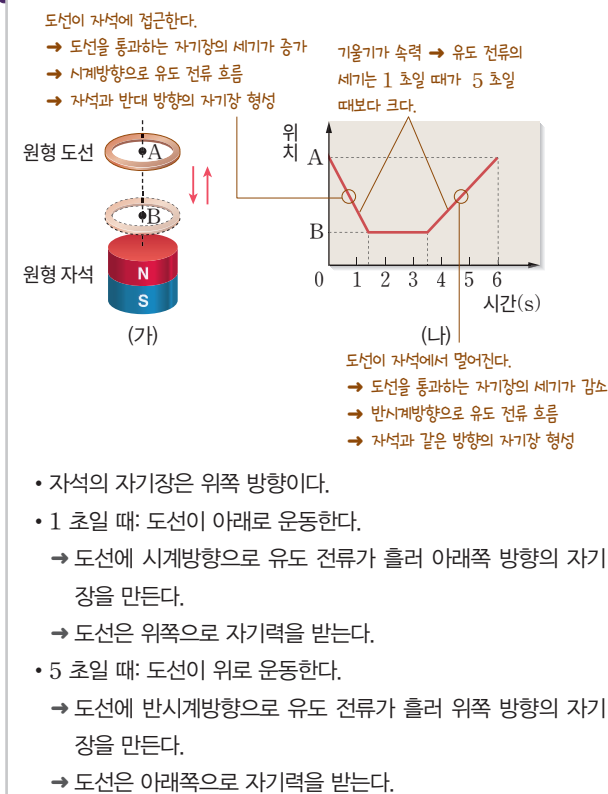
**오답 피하기** ㄴ. 자석을 위로 움직일 때는 코일을 통과하는 자기장이 약해지고, 아래로 움직일 때는 코일을 통과하는 자기장이 강해지므로 유도 전류의 방향이 서로 반대이다. 따라서 검류계 바늘의 회전 방향도 반대이다.

ㄷ. 자석이 정지해 있으면 솔레노이드를 통과하는 자기장이 변하지 않아 유도 전류가 흐르지 않는다.

### 04

답 ④

#### 자료 분석 ④ 도선의운동과전자기유도



④ 2 초일 때는 도선의 위치가 변하지 않으므로 유도 전류가 흐르지 않는다. 도선이 자기장을 만들지 않으므로 도선과 자석은 자기력을 작용하지 않는다.

**오답 피하기** ① 1 초일 때 도선이 아래쪽으로 운동한다. 전자기 유도에 의한 자기력은 도선의 운동을 방해하므로 도선은 위쪽으로 자기력을 받는다.

② 도선은 1 초일 때는 아래쪽으로 운동하고 5 초일 때는 위쪽으로 운동하므로 유도 전류의 방향은 반대이다.

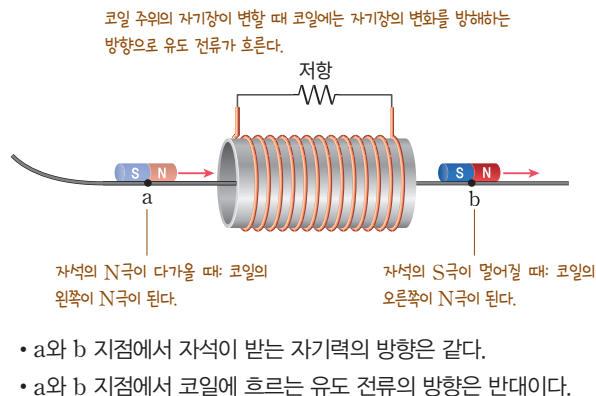
③ 도선의 속력이 1 초일 때가 5 초일 때보다 크므로 유도 전류의 세기는 1 초일 때가 5 초일 때보다 크다.

⑤ 5 초일 때는 도선이 위쪽으로 운동하므로 도선을 통과하는 자기장이 약해진다. 따라서 도선에는 자석의 자기장과 같은 방향으로 자기장이 생기도록 유도 전류가 흐른다.

### 05

답 ①

#### 자료 분석 ⑤ 도선의운동과전자기유도



ㄱ. 자석과 코일의 상호작용은 항상 자석의 운동을 방해하는 방향으로 작용한다. a에서는 자석이 코일에 접근하지 못하도록, b에서는 자석이 코일에서 멀어지지 못하도록 자기력이 작용한다. 따라서 a, b에서 자석이 받는 자기력의 방향은 왼쪽으로 같다.

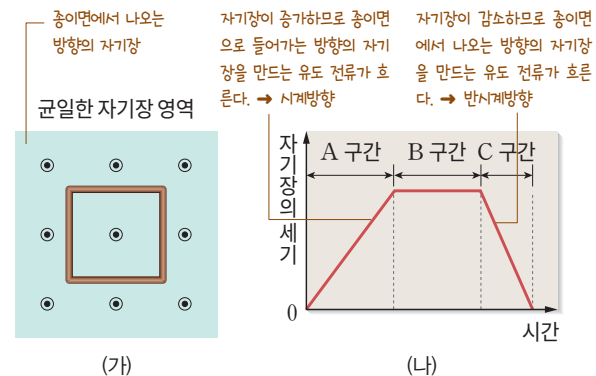
**오답 피하기** ㄴ. 자석이 a를 통과할 때 유도 전류에 의한 자기장 방향은 왼쪽이고, 자석이 b를 통과할 때 유도 전류에 의한 자기장 방향은 오른쪽이다. 따라서 자석이 a와 b를 통과할 때 유도 전류의 방향은 반대이다.

ㄷ. 자석이 운동하는 동안 운동 반대 방향으로 자기력을 받으므로 운동 에너지는 감소한다. 감소한 자석의 운동 에너지는 전자기 유도에 의해 전기 에너지로 전환되어 저항으로 전달된다.

### 06

답 ⑤

#### 자료 분석 ⑥ 자기장 영역에 고정된 금속 고리의 전자기유도



• (가)에서 자기장 세기가 변할 때 금속 고리에는 자기장 변화를 방해하는 방향으로 전류가 흐른다.

• B 구간은 자기장 세기가 변하지 않으므로 유도 전류가 발생하지 않는다.

ㄱ. B에서는 금속 고리를 통과하는 자기장이 변하지 않으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

ㄴ. 단위 시간당 자기장의 변화 정도가 A보다 C에서 크므로 유도 전류의 세기는 A보다 C에서 크다.

ㄷ. A에서는 자기장의 세기가 증가하고 C에서는 감소하므로 유도 전류의 방향은 A와 C에서 반대이다.

**07** 답 ③

ㄱ. A와 C에서 도선의 속력이 같으므로 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 같다.

ㄷ. A와 C에서 도선의 운동을 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 도선이 받는 자기력의 방향은 운동 방향과 반대이다.

**오답 피하기** ㄴ. A에서 도선이 자기장 영역으로 들어가므로 도선에는 반시계방향으로 유도 전류가 흘러 외부 자기장과 반대 방향의 자기장을 형성한다.

**08** 답 ③

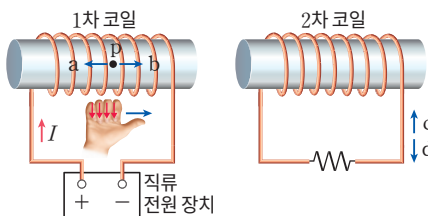
ㄱ. A에는 전원의 (+)극→코일→저항 방향으로 전류가 흐르므로 오른쪽 방향의 자기장이 형성된다.

ㄴ. 전원 장치의 전압이 증가하면 A에 의한 자기장이 증가한다. 이때 B에는 왼쪽 방향의 자기장을 만들도록 유도 전류가 흐르므로 전류가 a→저항→b 방향으로 흐른다. 따라서 전위는 a가 b보다 높다.

**오답 피하기** ㄷ. A에 흐르는 전류의 세기가 감소하면 B를 통과하는 자기장의 세기도 감소한다. 따라서 B에는 A에 의한 자기장과 같은 방향의 자기장을 만들도록 유도 전류가 흐른다.

**09** 답 ⑤

#### 자료 분석 ⑤ 두 코일 사이의 전자기 유도



- 1차 코일에 의한 자기장: b 방향
- 1차 코일의 전류  $I$ 가 증가하면 2차 코일에는 c 방향 전류가 흘러 1차 코일과 반대 방향의 자기장을 만든다.  $I$ 가 감소하면 2차 코일에는 d 방향의 전류가 흐른다.

ㄱ. 1차 코일에서 전류가 전원의 (+)극→코일→(-)극으로 흐르므로 p에서 자기장은 b 방향이다.

ㄴ.  $I$ 의 세기가 증가하면 2차 코일을 오른쪽으로 통과하는 자기장의 세기가 증가하므로 2차 코일에는 왼쪽으로 향하는 자기장을 만들도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 2차 코일에는 c 방향으로 유도 전류가 흐른다.

ㄷ. 2차 코일이 오른쪽으로 이동하면 2차 코일을 통과하는 자기장의 세기가 감소한다. 이때 2차 코일에는 1차 코일에 의한 자기장과 같은 방향으로 자기장을 만들도록 유도 전류가 흐른다.

**10** 답 ②

ㄷ. 인덕션 레인지는 금속 냄비에서 일어나는 전자기 유도 현상을 이용해 전기 에너지를 인덕션 레인지에서 냄비로 전달한다.

**오답 피하기** ㄱ. 코일에 흐르는 전류의 세기와 방향이 일정하면 전자기 유도가 일어나지 않는다. 코일에는 세기와 방향이 변하는 교류가 흐른다.

ㄴ. 인덕션 레인지가 만드는 자기장의 세기와 방향이 변하여 금속 냄비 바닥에서 전자기 유도가 일어난다.

**11** 답 ④

ㄱ. A에서 만드는 자기장이 변하므로 B에서는 전자기 유도에 의해 유도 전류가 흐른다.

ㄷ. 무선 충전기는 전자기 유도를 이용해 전기 에너지를 전달하는 장치이다.

**오답 피하기** ㄴ. A에 흐르는 전류의 세기가 증가하면 A가 만드는 자기장의 세기가 증가하므로 B에는 A와 반대 방향의 자기장을 만들도록 유도 전류가 흐른다.

**12** 답 ⑤

⑤ 전동기는 전류에 의한 자기장과 자석의 상호작용을 이용한다.

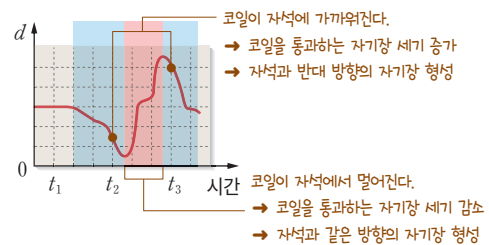
**오답 피하기** ①, ④ 전자기 유도를 이용한 무선 충전 기술로 인해 무선으로 전자 기기를 충전할 수 있게 되었고, 전선이 필요 없으므로 과전류로 인한 화재 위험이 감소하였다.

② 전자기 유도를 이용한 무선 통신 기술을 통해 별도의 통신망 없이 전자 기기끼리 직접 정보를 주고받을 수 있다.

③ 전자기 유도를 이용한 센서는 물체의 운동이나 자기장의 변화를 감지하여 전기 신호를 입력할 수 있다.

**13** 답 ④

#### 자료 분석 ④ 전자기 유도를 이용한 마이크



- $d$ 가 감소하면 코일을 통과하는 자기장이 증가한다.  
→ 자석의 자기장과 반대 방향의 자기장을 만든다.
- $d$ 가 증가하면 코일을 통과하는 자기장이 감소한다.  
→ 자석의 자기장과 같은 방향의 자기장을 만든다.

ㄴ.  $t_3$ 일 때  $d$ 가 감소하므로 코일과 자석이 가까워진다. 따라서 코일에는  $t_2$ 일 때와 같은 방향으로 유도 전류가 흐른다.

ㄷ. 마이크는 전자기 유도를 이용해 공기의 진동을 전기 신호로 바꾸는 장치이다.

**오답 피하기** ㄱ.  $t_2$ 일 때  $d$ 가 감소하므로 코일과 자석이 가까워진다. 코일을 통과하는 자기장의 세기가 증가하므로 코일에는 자석의 자기장과 반대 방향의 자기장을 만들도록 유도 전류가 흐른다.

**14** ㉔ ㉔  
ㄱ. 단말기와 교통 카드는 전자기 유도를 이용해 무선 통신을 한다.  
ㄴ. 교통 카드는 전자기 유도를 이용해 단말기로부터 전기 에너지를 공급받는다.

**오답 피하기** ㄷ. 교통 카드에 흐르는 유도 전류의 세기와 방향이 변하므로 자기장의 세기도 변한다.

**15**  
(1) 자석이 p를 통과할 때 아랫면이 금속 고리에 접근한다. 이때 ㉔ 방향으로 유도 전류가 흐르므로 유도 전류가 만드는 자기장의 방향은 위쪽이다. 따라서 자석의 아랫면은 N극이고 윗면은 S극이다.

| 채점 기준                      | 배점(%) |
|----------------------------|-------|
| 윗면이 S극임을 쓰고 타당한 근거를 제시한 경우 | 100   |
| 윗면이 S극임만 명시한 경우            | 40    |

(2) 금속 고리에는 자석의 운동을 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 자석의 S극이 멀어지므로 금속 고리에는 아래쪽이 N극이 되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 유도 전류는 ㉔ 방향으로 흐른다.

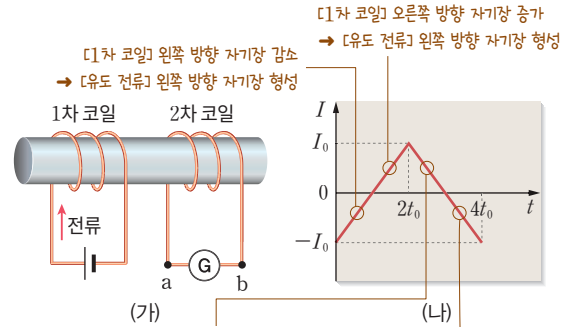
| 채점 기준                               | 배점(%) |
|-------------------------------------|-------|
| 유도 전류의 방향을 ㉔ 방향으로 쓰고 타당한 근거를 제시한 경우 | 100   |
| 유도 전류의 방향만 옳게 쓴 경우                  | 40    |

**16**  
(1) (나)에서 A는 가속도가 일정하므로 자석이 받는 알짜힘의 크기가 일정하다. B에서는 자석의 속도가 증가할수록 알짜힘의 크기가 감소한다. 따라서 B에서는 자석이 운동 반대 방향으로 유도 전류에 의한 자기력을 받는다.  
(2) B에서 자석이 운동할 때 구리 관에는 자기장의 변화를 방해하는 방향의 유도 전류가 흐른다. 즉, 유도 전류가 흘러 자석의 운동을 방해하므로 막대자석이 지면에 닿는 순간의 속력이 A보다 B에서 느리다.

| 채점 기준                                                   | 배점(%) |
|---------------------------------------------------------|-------|
| ‘유도 전류’, ‘자석의 운동을 방해(또는 자기장의 변화를 방해)’라는 표현을 포함하여 설명한 경우 | 100   |
| 자기력에 의해 자석의 운동이 방해 받는다고만 설명한 경우                         | 50    |

17

**자료 분석** 두 코일 사이의 전자기 유도



- 전류-시간 그래프에서 기울기가 전류의 시간당 변화율이다.  
→ 기울기가  $0 \sim 2t_0$  사이에는 (+),  $2t_0 \sim 4t_0$  사이에는 (-)이다.  
→ 유도 전류에 의한 자기장의 방향은  $0 \sim 2t_0$  사이에는 왼쪽,  $2t_0 \sim 4t_0$  사이에는 오른쪽이다.

(1)  $0 \sim t_0$ 일 때 1차 코일에는 화살표와 반대 방향으로 전류가 흐르며, 전류의 세기는 감소한다. 따라서 1차 코일에 의한 자기장은 왼쪽 방향이며 세기가 감소한다. 이때 2차 코일에는 왼쪽 방향으로 자기장이 만들어지도록 유도 전류가 흐른다.

| 채점 기준                     | 배점(%) |
|---------------------------|-------|
| 타당한 추론으로 유도 전류의 방향을 찾은 경우 | 100   |
| 유도 전류의 방향만 옳게 찾은 경우       | 40    |

(2)  $t_0 \sim 2t_0$ 일 때 1차 코일에는 화살표 방향으로 전류가 흐르며, 전류의 세기는 증가한다. 따라서 1차 코일에 의한 자기장은 오른쪽 방향이며 세기가 증가한다.

| 채점 기준                            | 배점(%) |
|----------------------------------|-------|
| 타당한 추론으로 유도 전류의 방향이 같은 시간을 찾은 경우 | 100   |
| 유도 전류의 방향이 같은 시간만 명시한 경우         | 40    |

18

(1) 전기 기타 줄은 강자성체로 만들기 때문에 영구 자석에 의해 강하게 자기화된다. 기타 줄이 진동하면 기타 줄과 코일 사이의 거리가 변하므로 코일을 통과하는 자기장이 변한다.  
(2) 기타 줄이 아래로 운동할 때는 S극이 코일에 접근하므로 코일에는 위쪽이 S극이 되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 유도 전류의 방향은 ㉔이다.

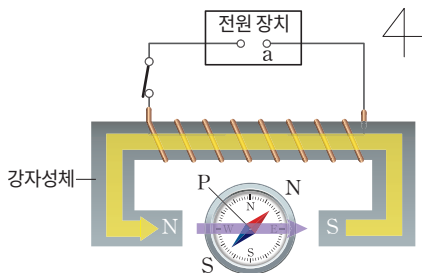
| 채점 기준                          | 배점(%) |
|--------------------------------|-------|
| 타당한 근거를 통해 유도 전류의 방향을 옳게 찾은 경우 | 100   |
| 유도 전류의 방향만 명시한 경우              | 40    |

- 01 ① 02 ① 03 ③ 04 ② 05 예시 답안 흑연판은 반자성체이므로 자석과 흑연판 사이에 서로 밀어내는 자기력이 작용하기 때문이다. 06 ⑤ 07 ④ 08 예시 답안 A, B, C 모두 오른쪽을 가리킨다. 09 ③ 10 ④ 11 ③ 12 ⑤ 13 ② 14 ③ 15 예시 답안 자석의 속력은 a에서 b에서보다 빠르다. 솔레노이드에서 전자기 유도에 의해 자석의 운동 에너지 중 일부가 전기 에너지로 전환되기 때문이다. 16 ① 17 예시 답안 송신부 코일에 흐르는 전류의 세기와 방향이 변하면 수신부 코일을 통과하는 자기장이 변하여 수신부 코일에 유도 전류가 흐른다. 이 과정을 통해 송신부 코일에 공급된 전기 에너지가 수신부 코일로 전달된다. 18 ② 19 ③

01 답 ①  
A는 외부 자기장 방향으로 자기화되고, 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태가 유지되므로 강자성체이다. 강자성체에는 철, 니켈, 크롬, 산화 철 등이 있다.

02 답 ①

자료 분석 코일로 둘러싸인 강자성체의 자기장



- P에서 나침반 자침의 N극이 북동쪽을 가리킨다. → P에서 전류에 의한 자기장(→) 방향은 동쪽이다.
- 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장(→)은 강자성체를 따라 형성된다. → 코일 내부에서 전류에 의한 자기장 방향은 서쪽이다.

ㄴ. P에서 자기장 방향이 동쪽이므로 코일 내부에서 자기장 방향은 서쪽이다. 따라서 전원 장치의 a는 (+)극이다.

오답 피하기 ㄱ. P에서 나침반 자침의 N극이 북동쪽으로 회전하였으므로 전류에 의한 자기장 방향은 동쪽이다.

ㄷ. 강자성체는 외부 자기장이 사라져도 자기화된 상태를 유지한다.

03 답 ③

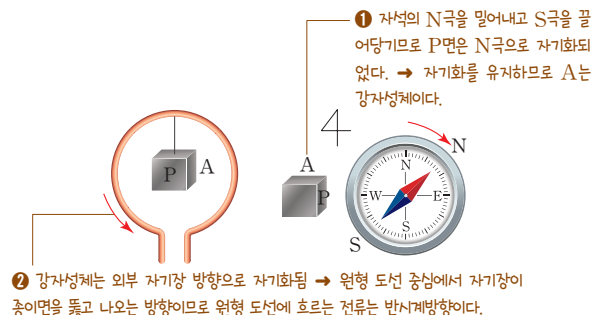
ㄱ. A를 가까이 가져갔을 때 자석이 밀려나므로 A는 반자성체이다.  
ㄷ. B를 가까이 가져갔을 때 자석이 끌려오므로 자석과 B 사이에는 서로 당기는 방향으로 자기력이 작용한다.

오답 피하기 ㄴ. B를 가까이 가져갔을 때 자석이 끌려오므로 B는 강자성체나 상자성체이고 외부 자기장 방향으로 자기화된다.

04

답 ②

자료 분석 강자성체의 자기화



② 나침반의 N극이 북동쪽으로 회전하였으므로 P는 N극이다.

오답 피하기 ① A는 전류가 흐르는 도선을 제거해도 자기화된 상태를 유지하고 있으므로 강자성체이다.

③ A의 P면이 N극이 되므로 도선에는 반시계방향으로 전류가 흐른다.

④ A는 강자성체이므로 전류에 의한 자기장 방향으로 자기화된다.

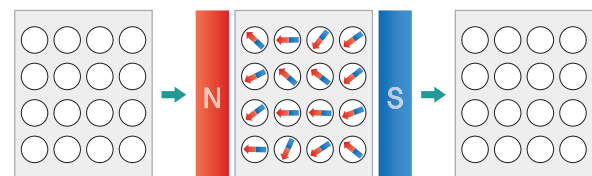
⑤ 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 증가하면 A가 더 강하게 자기화된다. 따라서 (나)에서 나침반 자침의 회전 각이 증가한다.

05

반자성체는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되며 반자성체에 자석을 가까이 하면 약하게 밀려난다. 흑연판은 반자성체이므로 네오디뮴 자석 위에 떠 있다.

| 채점 기준                                | 배점(%) |
|--------------------------------------|-------|
| 반자성체이므로 서로 밀어내는 자기력이 작용한다는 것을 설명한 경우 | 100   |
| 서로 밀어내는 자기력이 작용한다는 것만 서술한 경우         | 40    |
| 흑연판이 반자성체라고만 쓴 경우                    | 40    |

개념 더하기 반자성체

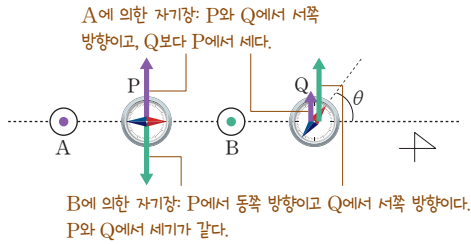


각각의 원자가 자기 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화된다. 자기화된 상태가 즉시 사라진다.

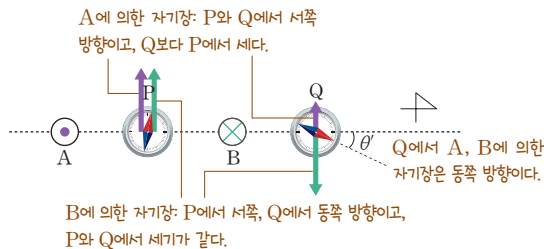
- 반자성체에 자석을 가까이 하면 약하게 밀려난다.
- 반자성체에는 구리, 금, 유리, 플라스틱, 물, 탄소, 수소 등이 있다.



### 자료 분석 나란한 두 직선 전류에 의한 자기장



- P에서 N극이 북쪽을 가리킨다.  
→ P에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 크기가 같고 방향이 반대이다.
- B에는 종이면에 수직으로 나오는 방향으로 전류가 흐른다.
- Q에서 전류에 의한 자기장의 세기는 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기의 합이다.



- B에 흐르는 전류 방향이 바뀌면 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장 방향이 P에서는 같고, Q에서는 반대이다.
- Q에서 자기장의 세기는 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기의 차이이다.

㉠. 현재 P에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 크기가 같고 방향이 반대이다. B에 흐르는 전류의 방향이 반대가 되면 P에서는 A, B의 전류에 의한 자기장이 같은 방향이 된다.

㉡. 현재 Q에서는 A, B의 전류에 의한 자기장이 같은 방향이지만 B에 흐르는 전류의 방향이 반대가 되면 A, B의 전류에 의한 자기장이 반대 방향이 된다.

㉢. A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 P에서는 같은 방향이고 Q에서는 반대 방향이다. B에 의한 자기장의 세기는 P와 Q에서 같으므로 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 P에서 Q에서보다 크다. 따라서 나침반 자침의 회전각은 Q보다 P에서 크다.

07

답 ④

㉠. a에서는 P, Q에 의한 자기장이 반대 방향이고, b에서는  $+y$  방향으로 같다.

㉡. P에 의한 자기장의 세기는 a와 b에서 같다. a에서는 P, Q에 의한 자기장이 반대 방향이므로 전류에 의한 자기장의 세기는 P에 의한 자기장의 세기보다 작다. b에서는 P, Q에 의한 자기장이

같은 방향이므로 전류에 의한 자기장의 세기는 P에 의한 자기장의 세기보다 크다.

오답 피하기 ㉢. a에서 자기장이  $-y$  방향이므로 P에는  $xy$  평면에서 수직으로 나오는 방향으로 전류가 흐른다.

08

오른손 네 손가락을 전류 방향으로 감아주면 엄지손가락이 오른쪽을 향하므로 솔레노이드 내부의 자기장 방향은 오른쪽이다.

| 채점 기준                      | 배점(%) |
|----------------------------|-------|
| A, B, C의 방향을 모두 옳게 쓴 경우    | 100   |
| A, B, C 중 2 개의 방향만 옳게 쓴 경우 | 20    |

09

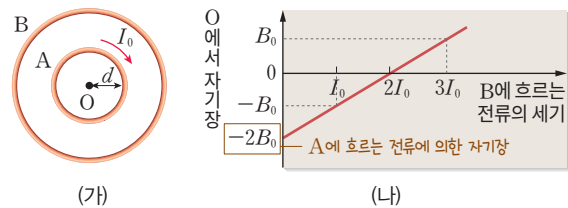
답 ③

원형 도선 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 반지름에 반비례한다. A에 세기가  $I$ 인 전류가 흐를 때 O에서 전류에 의한 자기장의 세기가  $B_0$ 이므로 B에 세기가  $I$ 인 전류가 흐를 때 O에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는  $2B_0$ 이다. A, B에 세기가  $I$ 인 전류가 서로 반대 방향으로 흐르면 O에서 전류에 의한 자기장의 세기는  $2B_0 - B_0 = B_0$ 이다.

10

답 ④

### 자료 분석 두 원형 전류에 의한 자기장



- B에 흐르는 전류의 세기가 0일 때 O에서 자기장이  $-2B_0$ 이다. → O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장이  $-2B_0$ 이다.
- B에 흐르는 전류의 세기가  $2I_0$ 일 때 O에서 자기장이 0이다.  
→ B에 흐르는 전류에 의한 자기장은  $+2B_0$ 이다.  
→ B에는 반시계방향으로 전류가 흐른다.

B에 흐르는 전류가 0일 때 A에 의한 자기장이  $-2B_0$ 이므로 B에 흐르는 전류의 세기가  $2I_0$ 일 때 O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은  $+2B_0$ 이다. 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하므로 B에 흐르는 전류의 세기가  $I_0$ 이면 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은  $+B_0$ 이다.

11

답 ③

㉠. 두 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장 방향이  $+x$  방향이므로 A, B도  $+x$  방향으로 자기화된다. 따라서 a에서 자기장의 방향은  $+x$  방향이다.

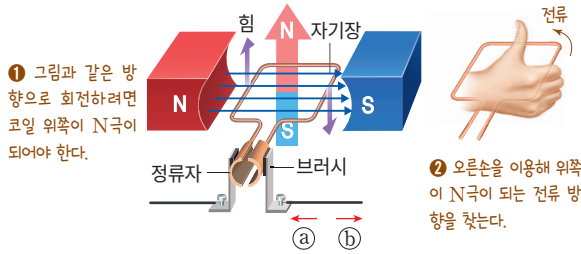
㉡. 두 막대가 같은 방향으로 자기화되므로 서로 끌어당기는 자기력이 작용한다.

**오답 피하기** ㄷ. S를 열어 전류가 흐르지 않아도 강자성체인 B는 자기화된 상태를 유지하므로 A도 B의 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.

12

답 ⑤

**자료 분석** ⑤ 전동기에서 코일이 받는 힘



코일에 ㉔ 방향으로 전류가 흐르면 전류에 의한 자기장은 코일의 윗면이 N극, 아랫면이 S극이 된다. → 자석과 전류가 만드는 자기장이 상호작용하여 같은 극끼리는 밀어내고 다른 극끼리는 끌어당긴다. → 코일이 시계방향으로 회전한다.

- ㄱ. 전류가 ㉔ 방향으로 흐를 때 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장은 위쪽이 N극이 되어 코일이 시계방향으로 회전한다.
- ㄴ. 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가할수록 전류에 의한 자기장의 세기가 증가하므로 더 큰 자기력을 받는다.
- ㄷ. 코일 중심에서 전류에 의한 자기장 방향은 위쪽이다.

13

답 ②

ㄷ. 스피커는 자석과 코일이 만드는 자기장의 상호작용을 이용해 전기 에너지를 소리 에너지로 변환한다.

**오답 피하기** ㄱ. 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장은 왼쪽이 N극이 되므로 진동판은 a 방향으로 자기력을 받는다.

ㄴ. 스피커에서 나는 소리의 진동수는 입력되는 전기 신호의 진동수와 같다.

14

답 ③

ㄱ. (나)에서 유도 전류가 흐르므로 A는 외부 자기장이 사라져도 자기화된 상태를 유지하는 강자성체이다.

ㄷ. (가)에서는 A와 솔레노이드가 서로 당기는 방향으로 자기력이 작용하고, (나)에서는 서로 밀어내는 방향으로 자기력이 작용한다.

**오답 피하기** ㄴ. (나)에서 저항에 화살표 방향으로 유도 전류가 흐르므로 A의 아랫면은 N극으로 자기화되어 있다. 따라서 ㉔는 (-)극이다.

15

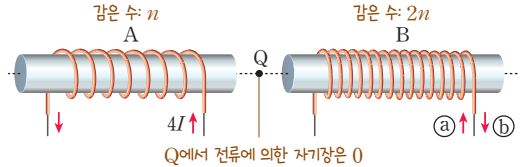
자석이 솔레노이드에 접근할 때와 멀어질 때 모두 솔레노이드에는 자석의 운동을 방해하는 방향으로 유도 전류가 발생하므로 자석의 속력이 감소한다. 이때 자석의 운동 에너지 일부가 전기 에너지로 전환된다.

| 채점 기준                           | 배점(%) |
|---------------------------------|-------|
| 속력이 느려지는 까닭을 에너지 전환으로 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 속력이 느려지는 까닭을 자기력과 관련하여 설명한 경우   | 50    |
| 속력이 느려진다고만 서술한 경우               | 20    |

16

답 ①

**자료 분석** ① 두 코일 사이의 전자기 유도



- Q에서 전류에 의한 자기장이 0이므로 Q에서 A와 B의 자기장 방향이 반대이다. → B의 전류는 ㉔ 방향이다.
- B의 단위 길이당 감은 수가 A의 2 배이므로 전류의 세기는 A가 B의 2 배이다.

ㄱ. Q에서 A와 B가 만드는 자기장 방향이 반대이므로 B에 흐르는 전류 방향은 ㉔이다.

**오답 피하기** ㄴ. 솔레노이드에서 전류의 세기와 단위 길이당 감은 수가 클수록 자기장의 세기가 크다. Q에서 자기장의 세기가 같은데 단위 길이당 감은 수는 B가 더 많으므로 전류의 세기는 A가 B보다 커야 한다.

ㄷ. Q에서 A와 B가 만드는 자기장 방향이 반대이므로 A, B의 내부에서 자기장 방향이 반대이다.

17

송신부 코일에 흐르는 전류의 세기와 방향이 변하면 전류에 의한 자기장의 세기와 방향도 변한다. 송신부 코일을 수신부 코일에 가까이 가져가면 수신부 코일을 통과하는 자기장이 변하므로 수신부 코일에 유도 전류가 흐른다.

| 채점 기준                                            | 배점(%) |
|--------------------------------------------------|-------|
| 자기장의 변화로 전자기 유도가 일어나는 과정을 포함하여 전기 에너지 전달을 설명한 경우 | 100   |
| 수신부 코일의 자기장 변화를 언급하지 않고 전자기 유도라고만 설명한 경우         | 50    |

18

답 ②

ㄴ. 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 단위 시간당 2차 코일을 통과하는 자기장의 세기의 변화에 비례한다. 2차 코일을 통과하는 자기장은 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장이므로 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 더 빨리 변할수록 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 세기가 크다. 1 초일 때가 8 초일 때보다 그래프 기울기의 절대값이 크므로 R<sub>2</sub>에 흐르는 전류의 세기는 1 초일 때가 8 초일 때보다 크다.

**오답 피하기** ㄱ. 1 초일 때와 8 초일 때 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장 방향은 같다. 1 초일 때는 1차 코일에 의한 자기장

의 세기가 감소하고 8 초일 때는 증가하므로 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 반대이다.

ㄷ. 전원 장치에서 공급되는 전기 에너지 중 일부는 전자기 유도를 통해 2차 코일로 전송되어  $R_2$ 에서 소모된다.

**19** 답 ③

ㄱ. 전자기 유도를 이용한 무선 에너지 전달 기술을 활용하여 전자 기기를 충전할 수 있다.

ㄴ. 전자기 유도를 이용한 무선 통신 기술로 가까운 거리에서 전자 기기끼리 직접 통신이 가능해졌다. 교통 카드 등에 쓰이는 NFC 방식이 그 예이다.

**오답 피하기** ㄷ. 스피커는 자석과 코일의 상호작용을 이용하는 장치로서 전자기 유도를 활용하는 사례에 속하지 않는다.

**대단원 평가 문제**

124~127 쪽

- 01 ②   02 ②   03 ③   04 ②   05 ③   06 ②   07 ③  
08 ⑤   09 ②   10 ①   11 ③   12 ⑤   13 ①

**단답형·서술형 문제**

**14** (1) **답 C** (2) **예시 답안** • 직렬연결: 전기 기구에 걸리는 전압을 분할하여 정격 전압에 맞출 수 있다. 퓨즈가 끊어져 전류를 차단하므로 저항에 과전류가 흐르는 것을 막을 수 있다. • 병렬 연결: 다른 전기 기구가 끊어져도 계속 사용할 수 있다. 다른 전기 기구와 상관없이 일정한 정격 전압이 걸리도록 할 수 있다.

**15** **예시 답안** 스위치가 열렸으므로 전하가 이동할 수 없어 충전된 전하량은 (가)에서와 같고, 전기장도 (가)에서와 같다. 전위차는  $V = Ed$ 이므로 (나)에서 (가)에서보다 크다.

**16** **예시 답안** 코일에 생기는 자기장 방향이 아래쪽이므로 코일은 반시계방향으로 회전한다. 이때 전기 에너지가 운동 에너지로 전환된다.

**17** (1) **예시 답안** O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장을  $-B_0$ 이라고 하면,  $t=t_0$ 일 때  $I = \frac{5}{2}I_0$ 이므로 O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장은  $+\frac{5}{4}B_0$ 이다. 따라서  $t=t_0$ 일 때 O에서 자기장은  $+\frac{1}{4}B_0$ 이고, 방향은 종이면에 수직으로 나오는 방향이다. (2) **예시 답안**  $t=3t_0$ 일 때  $I = \frac{3}{2}I_0$ 이므로 O에서 A의 전류에 의한 자기장은  $+\frac{3}{4}B_0$ 이다. 따라서 O에서 자기장은  $-\frac{1}{4}B_0$ 이고  $t=t_0$ 일 때와 세기가 같다.

**18** **예시 답안** 전송 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장이 변하면 금속 물체에 전자기 유도에 의한 유도 전류가 흐른다. 이 유도 전류에 의한 자기장이 변하면 전자기 유도에 의해 검출 코일에 유도 전류가 흐른다.

**01** 답 ②

② p에서 전기장이  $+x$  방향이므로 B는 (-)전하이므로, 전하량의 크기는 B가 A보다 크다.

**오답 피하기** ① 단위 양전하(+1 C)를 가져갈 때 A에 가까울수록 A의 영향을 더 크게 받는다. q에서 전기장이  $-x$  방향이므로 양(+)전하는  $-x$  방향으로 전기력을 받는다. 따라서 A는 (+)전하이므로, 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.

③ A는 (+)전하이므로 B는 (-)전하이므로 A와 B 사이에서 전기장은  $+x$  방향이다.

④ p, q에서 전기장 방향이 반대이므로 p와 q 사이에 전기장이 0이 되는 지점이 있다.

⑤ A와 B가 서로 다른 종류의 전하이므로 서로 당기는 전기력이 작용한다.

**02** 답 ②

ㄱ. A에 의한 전위는  $x=d$ 에서  $x=2d$ 에서보다 높으므로 A는 (+)전하이므로, 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.

ㄷ. 점전하 주위의 전기장 방향은 점전하를 중심으로 서로 대칭적이다. 따라서  $x=d$ 와  $x=-d$ 에서 전기장의 방향은 반대이다.

**오답 피하기** ㄴ. 점전하에서 멀어질수록 전기장의 세기는 감소한다. 따라서 전기장의 세기는  $x=d$ 보다  $x=2d$ 에서 작다.

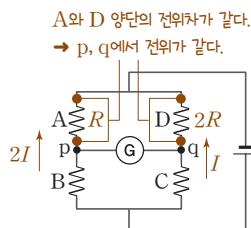
ㄹ. (-)전하는 전위가 높아지는 쪽으로 전기력을 받는다. 따라서  $x=2d$ 에 (-)전하를 가만히 놓으면  $-x$  방향으로 운동한다.

**03** 답 ③

두 저항이 병렬연결되어 있으므로 저항 양단에 걸리는 전압은 같다. 전압이 일정할 때 저항에 흐르는 전류의 세기는 저항값에 반비례한다. S를 닫았을 때  $10\ \Omega$  저항에는 전류  $I_0$ 이 흐르고  $20\ \Omega$  저항에는 전류  $0.5I_0$ 이 흐른다. 따라서 S를 닫았을 때 전류계에 흐르는 전류의 세기는  $I_0 + 0.5I_0 = \frac{3}{2}I_0$ 이다.

**04** 답 ②

**자료 분석** 저항 양단의 전위차와 소비 전력



- 저항값이 D가 A의 2 배이고 A, D 양단의 전위차가 같으므로 저항에 흐르는 전류의 세기는 A가 D의 2 배이다.
- A, D 양단의 전위차가 같으므로 B, C 양단의 전위차도 같다.
  - p, q에서 전위가 같다.
  - 검류계에는 전류가 흐르지 않는다.
- 저항에 흐르는 전류의 세기는 B가 C의 2 배이다.
  - 소비 전력은  $P = VI$ 에서 B가 C의 2 배이다.

ㄴ. 저항 양단의 전위차가 같을 때 전류의 세기는 저항값에 반비례한다. 저항값이 D가 A의 2 배이므로 전류의 세기는 A가 D의 2 배이다.

**오답 피하기** ㄱ. A, D 양단의 전위차가 같으므로 p와 q에서 전위는 같다. 따라서 검류계에는 전류가 흐르지 않는다.

ㄷ. B와 C 양단의 전위차가 같고, 전류의 세기는 B가 C의 2 배이므로 소비 전력은 B가 C의 2 배이다.

05

답 ③

ㄱ. S를 닫으면 B에 충전된 전자가 전구를 지나 A로 이동하므로 전류는 A→전구→B 방향으로 흐른다.

ㄷ. 축전기에 저장된 전기 에너지가 전구에서 빛에너지로 전환되어 방출된다. 따라서 축전기에 저장된 전기 에너지는 감소한다.

**오답 피하기** ㄴ. 전류가 흘러 금속판에 충전된 전하가 감소하면 전위차가 감소하여 전구에 흐르는 전류의 세기가 감소한다.

06

답 ②

축전기를 전원에 연결하면 금속판 사이의 전위차가 전원의 전압과 같다. (가)와 (나)에서는 전원에 연결된 상태이므로 축전기 간격에 상관없이 두 금속판 사이의 전위차는 전원의 전압과 같다. 따라서  $V_1 = V_2 = V$ 이다. (나)에서 S를 열면 충전된 전하량이 변하지 않으므로 두 극판 사이의 균일한 전기장의 세기가 일정하다.  $V = Ed$ 에서 금속판 간격이 감소하므로 전위차도 감소한다. 따라서  $V_1 = V_2 > V_3$ 이다.

07

답 ③

ㄱ. 외부 자기장을 제거한 후에도 A와 B 사이에 자기력이 작용하므로 A는 강자성체이다.

ㄴ. A는 강자성체이고 B는 상자성체이므로 (가)에서 A와 B는 모두 외부 자기장 방향으로 자기화된다.

**오답 피하기** ㄷ. (나)에서 외부 자기장이 사라져도 강자성체인 A가 자기화된 상태를 유지하므로 상자성체인 B도 A의 자기장 방향으로 자기화된다.

08

답 ⑤

ㄱ. A는 반자성체이므로 자석의 자기장과 반대 방향으로 자기화된다. 자석의 윗면이 N극이므로 A의 아랫면은 N극으로 자기화된다.

ㄷ. A가 B보다 더 무거우므로 자석을 치우면 A는 아래쪽으로 가속 운동 한다.

**오답 피하기** ㄴ. A는 위쪽으로 자기력을 받는다. A에 작용하는 중력과 자기력의 합력이 B에 작용하는 중력과 같으므로 질량은 A가 B보다 크다.

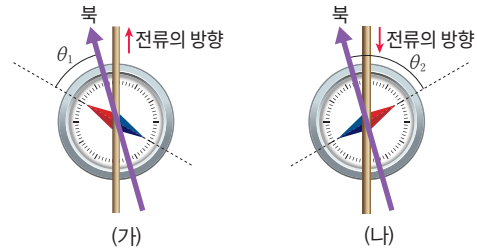
09

답 ②

ㄴ. (가)보다 (나)에서 전류의 세기가 크므로 북쪽으로부터의 회전각도 크다.

**오답 피하기** ㄱ. (가)와 (나)에서 전류 방향이 반대이므로 나침반이 놓인 지점에서 전류에 의한 자기장 방향이 반대이다.

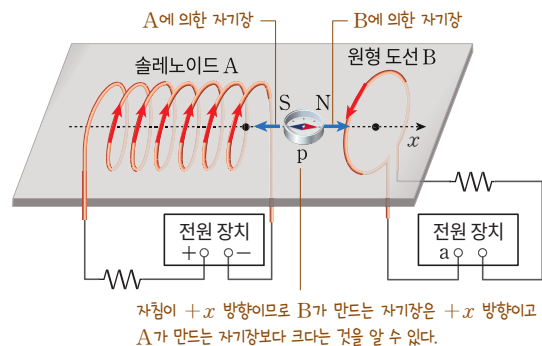
ㄷ. (가)보다 (나)에서 회전각이 크므로 ( $\theta_1 < \theta_2$ ) 북쪽은 그림에서와 같이 도선의 왼쪽 방향으로 좀 더 회전한 방향이다.



10

답 ①

#### 자료 분석 솔레노이드와 원형 전류에 의한 자기장



A와 B 사이에 놓인 자침이 A에 의한 자기장과 반대 방향을 가리키므로 B에 의한 자기장 방향이 +x임을 알 수 있다. → 오른쪽을 이용해 B의 전류 방향을 구하면 a는 (-)극이다.

ㄱ. 나침반의 N극이 +x 방향을 가리키려면 B가 만드는 자기장이 +x 방향이고, A가 만드는 자기장보다 더 커야 한다.

**오답 피하기** ㄴ. 나침반의 N극이 +x 방향을 가리키려면 B가 만드는 자기장이 A가 만드는 자기장보다 더 커야 한다.

ㄷ. B에 의한 자기장 방향이 +x 방향이므로 a는 (-)극이다.

11

답 ③

ㄱ. 코일에 ㉔ 방향으로 전류가 흐르면 전류에 의한 자기장 방향이 자석의 자기장 방향과 반대이다. 따라서 코일과 자석 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

ㄴ. 코일에 ㉕ 방향으로 전류가 흐르면 전류에 의한 자기장 방향은 오른쪽이 N극이 되므로 자석의 자기장 방향과 같다.

**오답 피하기** ㄷ. 진동판이 1 회 진동하는 동안 자석과 코일 사이에는 미는 자기력과 당기는 자기력이 번갈아 작용한다. 따라서 코일에 흐르는 전류의 방향이 변한다.

12

답 ⑤

ㄱ. 1 초일 때 자기장 영역의 자기장 세기가 증가하므로 도선에는 B와 반대 방향으로 자기장이 형성되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 전류는 a→R→b 방향으로 흐른다.

ㄴ. 단위 시간당  $B$ 의 변화율이 클수록 유도 전류의 세기가 크다. 따라서 R에 흐르는 전류의 세기는 1 초일 때가 3 초일 때보다 크다.  
 ㄷ. 코일을 통과하는 자기장이 감소할 때는 이 자기장과 같은 방향으로 자기장을 형성하도록 유도 전류가 흐른다.

13

①

ㄱ. A에 흐르는 전류의 세기가 감소하면 B를 통과하는 자기장의 세기가 감소하므로 B에는 A와 같은 방향으로 자기장이 형성되도록 유도 전류가 흐른다.

**오답 피하기** ㄴ. A에 흐르는 전류의 세기가 증가할 때는 A에 의한 자기장과 반대 방향으로 자기장이 형성되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 A에 흐르는 전류의 세기가 증가할 때와 감소할 때 R에 흐르는 유도 전류의 방향은 반대이다.

ㄷ. 전원 장치에서 공급하는 전기 에너지 중 일부는 전자기 유도를 통해 A에서 B로 전달되어 R에서 소모된다.

14

- (1) B의 퓨즈가 끊어지면 직렬연결된 A와 B에는 전류가 흐르지 않는다.  
 (2) 전기 기구를 직렬연결하면 전체 전압이 각 전기 기구에 나누어 걸린다. 전기 기구를 병렬연결하면 다른 전기 기구와 상관없이 일정한 전압이 걸린다.

| 채점 기준                             | 배점(%) |
|-----------------------------------|-------|
| 직렬연결과 병렬연결의 장점을 각 1 가지씩 옳게 서술한 경우 | 100   |
| 직렬연결과 병렬연결 중 하나만 장점을 옳게 서술한 경우    | 50    |

15

스위치가 열렸으므로 전하가 이동할 수 없어 충전된 전하량은 (가)에서와 같고, 전기장도 (가)에서와 같다. 전위차는  $V=Ed$ 이므로 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

| 채점 기준                       | 배점(%) |
|-----------------------------|-------|
| 전하량, 전기장, 전위차를 모두 옳게 비교한 경우 | 100   |
| 3 가지 중 2 가지만 옳게 비교한 경우      | 50    |
| 3 가지 중 1 가지만 옳게 비교한 경우      | 20    |

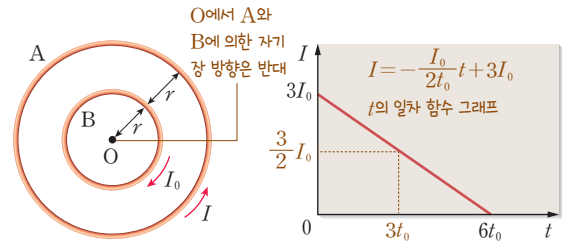
16

사각 코일의 왼쪽 도선은 아래로, 오른쪽 도선은 위로 힘을 받아 반시계방향으로 회전한다.

| 채점 기준                               | 배점(%) |
|-------------------------------------|-------|
| 코일의 회전 방향과 에너지 전환을 모두 옳게 설명한 경우     | 100   |
| 코일의 회전 방향과 에너지 전환 중 한 가지만 옳게 설명한 경우 | 50    |

17

자료 분석 중심이 같은 두 원형 전류에 의한 자기장



$t=t_0$ 일 때  $I=\frac{5}{2}I_0$ 이고 A의 반지름은 B의 2 배이므로 O에서 A에 의한 자기장은 B에 의한 자기장의  $\frac{5}{4}$  배이다.

(1) O에서 A에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 나오는 방향이고, B에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. B에 흐르는 전류의 세기가 일정하므로 O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장을  $-B_0$ 이라고 하면,  $t=t_0$ 일 때  $I=\frac{5}{2}I_0$ 이므로 O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장은  $+\frac{5}{4}B_0$ 이다. 따라서  $t=t_0$ 일 때 O에서 자기장은  $-B_0+\frac{5}{4}B_0=+\frac{1}{4}B_0$ 이고, 방향은 종이면에 수직으로 나오는 방향이다.

| 채점 기준              | 배점(%) |
|--------------------|-------|
| 풀이 과정과 답이 모두 옳은 경우 | 100   |
| 답만 옳은 경우           | 40    |

(2)  $t=3t_0$ 일 때  $I=\frac{3}{2}I_0$ 이므로 O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장은  $+\frac{3}{4}B_0$ 이다.  $t=3t_0$ 일 때 O에서 자기장은  $+\frac{3}{4}B_0-B_0=-\frac{1}{4}B_0$ 이다. 따라서  $t=t_0$ 일 때와  $t=3t_0$ 일 때 O에서 자기장의 세기는 같다.

| 채점 기준              | 배점(%) |
|--------------------|-------|
| 풀이 과정과 답이 모두 옳은 경우 | 100   |
| 답만 옳은 경우           | 40    |

18

금속 탐지기는 전자기 유도 원리를 이용한다.

| 채점 기준                                          | 배점(%) |
|------------------------------------------------|-------|
| 금속 물체와 검출 코일에서 유도 전류가 흐르는 과정을 모두 옳게 설명한 경우     | 100   |
| 금속 물체와 검출 코일 중 한 가지에서 유도 전류가 흐르는 과정을 옳게 설명한 경우 | 50    |



### III 빛과 물질

#### 01 빛과 물질의 이중성

##### 12장 빛의 파동성

##### 탐구 확인문제

132 쪽

01 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × 02 ⑤

- 01 답 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ×  
 (1) 이중 슬릿의 모양과 달리 여러 줄의 무늬가 나타난다.  
 (2), (3) 빛이 입자이면 이중 슬릿을 통과한 빛은 스크린에서 두 줄의 이중 슬릿 모양으로 나타나야 된다. 그러나 빛이 파동의 성질을 가지므로 이중 슬릿을 통과한 빛은 스크린에서 중첩되어 밝고 어두운 여러 줄의 간섭무늬로 나타난다.  
 (4) 밝은 부분이 보강 간섭 지점이고, 어두운 부분이 상쇄 간섭 지점이다.

- 02 답 ⑤  
 스크린과 이중 슬릿 사이의 거리가 멀어질수록 간섭무늬의 간격이 커진다.

##### 기본 탄탄 문제

133 쪽

01 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○  
 02 ㉠ 간섭, ㉡ 보강 간섭, ㉢ 상쇄 간섭  
 03 5 cm 04 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○  
 05 (1) 0 (2) 350 nm 06 ㉠ 간섭, ㉡ 보강 간섭

- 01 답 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○  
 (3) 파동의 독립성에 따라 중첩이 끝나면 다른 파동으로부터 영향을 받지 않고 파형을 그대로 유지하면서 처음 진행 방향과 동일하게 진행한다.

- 02 답 ㉠ 간섭, ㉡ 보강 간섭, ㉢ 상쇄 간섭  
 위상이 같은 두 파동이 중첩할 때에는 합성파의 진폭이 커지는 보강 간섭이 일어나고, 위상이 반대인 두 파동이 중첩할 때에는 합성파의 진폭이 작아지는 상쇄 간섭이 일어난다.

- 03 답 5 cm  
 위상이 같은 최대 지점의 진폭을 합하면  $3\text{ cm} + 2\text{ cm} = 5\text{ cm}$ 이다.

- 04 답 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○  
 (1) 이중 슬릿은 틈이 2 개인 모양이지만 간섭무늬는 여러 줄의 밝고 어두운 무늬가 번갈아 가며 띠처럼 나타난다.  
 (3) 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리가 가까울수록 간섭무늬의 간격이 작아진다.

- 05 답 (1) 0 (2) 350 nm  
 (1) 중심 O은 각 슬릿과의 거리가 같으므로 경로차가 0이며, 보강 간섭이 일어난다.  
 (2) 첫 번째 어두운 무늬가 나타나는 지점이므로 파장 700 nm의  $\frac{1}{2}$ 인 350 nm만큼 경로 차이가 난다.

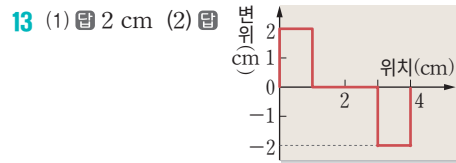
- 06 답 ㉠ 간섭, ㉡ 보강 간섭  
 색깔마다 파장이 다르므로 경로차에 따라 보강 간섭이 일어나는 색깔이 다르다. 따라서 어떤 색깔은 보강 간섭이 일어나고, 어떤 색깔은 보강 간섭이 일어나지 않을 수 있다.

##### 실력 쏙쏙 문제

134 ~ 137 쪽

01 ⑤ 02 ③ 03 ① 04 ⑤ 05 ① 06 ⑤ 07 ②  
 08 ④ 09 ③ 10 ⑤ 11 ⑤ 12 ②

##### 단답형·서술형 문제



- 14 (1) 답 ㉠ A, C, E, ㉡ B, C, D (2) 예시 답안 이중 슬릿에 의한 간섭무늬는 중심에서 대칭적으로 나타나는데, 파장이 길수록 중심에서 밝은 무늬까지의 거리가 크다. C는 두 종류의 빛 모두에 의해서 나타나며, B와 D는 짧은 파장의 레이저 빛에 의한 것이고, A와 E는 긴 파장의 레이저 빛에 의한 것이다.  
 15 (1) 답 500 nm (2) 예시 답안 파장이 더 짧은 레이저 빛을 사용한다. L의 크기를 줄인다. d의 크기를 크게 한다.  
 16 예시 답안 빛이 모르포 나비의 미세 구조 표면에서 반사될 때, 파란색 빛이 보강 간섭을 일으켜 우리 눈에 들어오기 때문에 나비가 파란색으로 보인다.

- 01 답 ⑤  
 ⑤ 합성파의 변위는 각 파동이 단독으로 진행할 때의 변위의 합과 같다.

**오답 피하기** 위상이 같은 파동이 중첩하면 보강 간섭이 일어나고, 위상이 반대인 파동이 중첩하면 상쇄 간섭이 일어난다. 중첩이 끝나면 원래의 파형을 유지하면서 진행한다.

- 02 답 ③  
 ㄱ. 매질은 파동을 전달하는 물질로, 실험에서 용수철이 파동을 전달하는 매질이다.

ㄴ. 두 파동은 위상이 반대이므로 중첩할 때 진폭이 줄어든다.

**오답 피하기** ㄷ. 중첩이 끝나면 다른 파동으로부터 영향을 받지 않고, 원래의 파형을 유지하면서 진행한다.

03

답 ①

ㄱ. 한 매질에서 진행하는 두 파동이 만나서 겹칠 때 매질 각 부분의 변위는 파동이 단독으로 진행할 때 변위의 합과 같다.

오답 피하기 ㄴ, ㄷ. 두 파동 A와 B의 중첩이 끝나면 다른 파동으로부터 아무런 영향을 받지 않고 원래의 파형을 그대로 유지하면서 진행 방향으로 진행한다.

04

답 ⑤

ㄱ. 두 파동의 파장은 20 cm로 같다.

ㄴ. 합성과 변위의 최대값은  $2\text{ cm} + 1\text{ cm} = 3\text{ cm}$ 이다.

ㄷ. 왼쪽 파동의 속력은  $2\text{ cm/s}$ 이므로 5 초 후에는 10 cm를 이동하며, 변위가  $-2\text{ cm}$ 인 골 부분이 P점에 온다. 오른쪽 파동의 속력은  $4\text{ cm/s}$ 이므로 5 초 후에 20 cm를 이동하며, 변위가 1 cm인 마루 부분이 P점에 온다. 두 변위를 더하면  $-1\text{ cm}$ 가 되고, 그 크기는 1 cm이다.

05

답 ①

A, B가 각각 반파장만큼 이동해 P점에서 파동 A의 변위는  $-4\text{ cm}$ 이고, 파동 B의 변위는  $2\text{ cm}$ 이다. 이때 P점에서 합성파의 변위는  $-2\text{ cm}$ 로 최소가 된다.

06

답 ⑤

ㄱ. 간섭은 파동의 특성으로 소리도 파동이므로 간섭이 일어난다.

ㄴ. 두 파동의 마루와 골이 만나면 위상이 반대이므로 진폭이 작아지는 상쇄 간섭이 일어난다.

ㄷ. 두 파동이 보강 간섭하면 합성파의 진폭이 커지고, 상쇄 간섭하면 합성파의 진폭이 작아진다.

07

답 ②

ㄷ. 간섭무늬의 간격은 파장이 길수록, 슬릿 사이 간격이 좁을수록, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리가 멀수록 커진다.

오답 피하기 ㄱ. A는 어두운 곳으로 상쇄 간섭이 일어난 지점이다.

ㄴ. B는 첫 번째 밝은 무늬이므로 보강 간섭이 일어난 지점이다.

따라서 경로차는 반파장의 짝수배인  $\frac{\lambda}{2}(2) = \lambda$ 이다.

08

답 ④

#### 자료 분석 ④ 간섭무늬의 간격에 영향을 주는 요소

광원의 파장이 길수록, 슬릿 사이 간격이 작을수록, 슬릿과 스크린 사이의 거리가 멀수록 간섭무늬 간격이 커진다.

| 구분       | 슬릿 간격이 작을 때 | 슬릿 간격이 클 때 |
|----------|-------------|------------|
| 파장이 긴 빛  |             |            |
| 파장이 짧은 빛 |             |            |

→ 파장이 긴 빛은 파장이 짧은 빛보다 간섭무늬 간격이 크다.

→ 슬릿 사이 간격이 작을 때가 슬릿 간격이 클 때보다 간섭무늬 간격이 크다.

ㄴ. 초록색 레이저 빛의 파장은 빨간색 레이저 빛의 파장보다 짧으므로 이중 슬릿을 통과한 간섭무늬의 간격은 더 좁아진다.

ㄷ. 이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭 실험을 통해 빛이 파동성을 가지고 있음을 알 수 있다.

오답 피하기 ㄱ. (가)가 (나)보다 간섭무늬 사이의 간격이 넓으므로 이중 슬릿 사이의 간격은 더 좁다.

09

답 ③

세로 방향의 밝고 어두운 무늬가 여러 줄 나타나므로 세로 방향의 이중 슬릿을 통과한 간섭무늬이다. 따라서 실험에는 세로 방향의 이중 슬릿을 사용하였다.

10

답 ⑤

ㄱ. A는 빛의 본성을 알갱이의 흐름으로 보는 입자설을 설명한다.

ㄴ. 이중 슬릿을 통과한 두 빛이 상쇄 간섭을 하면 어둡게 보이고, 보강 간섭을 하면 밝게 보인다.

ㄷ. 빛의 이중 슬릿 실험에서 스크린에 밝고 어두운 간섭무늬가 반복하여 나타나는 것을 통해 빛의 파동성을 설명할 수 있다.

11

답 ⑤

B, C. 기름막, 공작새 깃털 등에서 볼 수 있는 다양한 색은 빛이 간섭하기 때문에 나타나는 현상이다.

오답 피하기 A. 안경의 렌즈에서 반사하는 빛이 상쇄 간섭을 하도록 렌즈에 반사 방지막을 코팅하면 반사하는 빛의 세기를 줄여 렌즈를 투과하는 빛의 세기를 증가시키므로 시야가 밝아진다.

12

답 ②

ㄴ. 반사 방지막 코팅 렌즈의 표면에서 반사하는 빛이 상쇄 간섭에 의해 줄어든다.

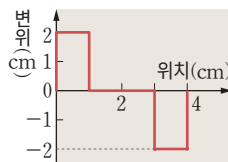
오답 피하기 ㄱ. (가)는 빛의 상쇄 간섭을 활용한 예이고, (나)는 빛의 보강 간섭을 활용한 예이다.

ㄷ. (나)에서 지폐의 숫자가 노란색으로 보이는 것은 노란색 빛이 보강 간섭을 한 것이고, 초록색으로 보이는 것은 초록색 빛이 보강 간섭을 한 것이다.

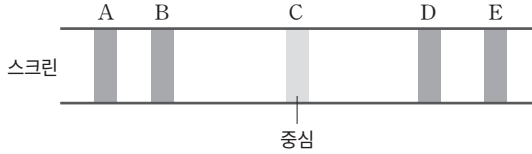
13

(1) 두 파동의 최대 진폭이 모두 1 cm이므로 중첩되었을 때 합성파의 최대 변위는  $1\text{ cm} + 1\text{ cm} = 2\text{ cm}$ 이다.

(2) 두 파동이 완전히 겹쳐질 때 같은 위상으로 만나는 곳은 보강 간섭이 일어나고, 반대 위상으로 만나는 곳은 상쇄 간섭이 일어나므로 합성파의 모양은 다음과 같다.



### 자료 분석 파장이 다른 빛에 의한 간섭무늬 간격 비교



- 광원의 파장이 짧을수록 간섭무늬 간격이 작아진다.
- 간섭무늬는 C를 중심으로 대칭적으로 나타나므로 간섭무늬 간격이 작은 B, C, D는 파장이 짧은 레이저 빛을, 간섭무늬 간격이 큰 A, C, E는 파장이 긴 레이저 빛을 사용한 경우이다.

- (1) A, C, E는 긴 파장의 레이저 빛에 의한 간섭무늬이고, B, C, D는 짧은 파장의 레이저 빛에 의한 간섭무늬이다.
- (2) 이중 슬릿에 의한 간섭무늬는 중심에서 대칭적으로 나타나는데, 파장이 길수록 중심에서 밝은 무늬까지의 거리가 크다. C는 두 종류의 빛 모두에 의해서 나타나며, B와 D는 짧은 파장의 레이저 빛에 의한 것이고, A와 E는 긴 파장의 레이저 빛에 의한 것이다.

| 채점 기준                                                              | 배점(%) |
|--------------------------------------------------------------------|-------|
| 중심을 기준으로 대칭으로 나타나는 것과 파장이 길수록 무늬 사이의 간격이 크다는 것을 설명한 경우             | 100   |
| 중심을 기준으로 대칭으로 나타나는 것과 파장이 길수록 무늬 사이의 간격이 크다는 것 중에서 1 가지만 옳게 설명한 경우 | 50    |

### 15

- (1) 스크린의 P는 첫 번째 밝은 무늬가 나타나는 지점으로 보강 간섭이 일어난 곳이다. 따라서 경로차가 반파장의 짝수배만큼 차이가 나므로  $\frac{\lambda}{2}(2m) = \frac{500}{2} \times (2 \times 1) = 500(\text{nm})$ 이다.
- (2) 광원의 파장이 짧을수록, 슬릿 사이 간격이 넓을수록, 슬릿과 스크린 사이의 거리가 가까울수록 간섭무늬 사이의 간격이 작아진다.

| 채점 기준                         | 배점(%) |
|-------------------------------|-------|
| 줄일 수 있는 방법 3 가지를 모두 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 줄일 수 있는 방법 2 가지를 옳게 설명한 경우    | 60    |
| 줄일 수 있는 방법 1 가지를 옳게 설명한 경우    | 30    |

### 16

빛이 모르포 나비의 미세 구조 표면에서 반사될 때, 파란색 빛이 보강 간섭을 일으켜 우리 눈에 들어와 나비가 파란색으로 보인다.

| 채점 기준                                  | 배점(%) |
|----------------------------------------|-------|
| 제시된 단어를 모두 사용하여 옳게 설명한 경우              | 100   |
| 제시된 단어를 모두 사용하여 문장을 완성하였으나 논리성이 부족한 경우 | 50    |

### 13장 빛의 굴절과 광학 기술

141 쪽

#### 탐구 확인문제

01 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ 02 ⑤

#### 01

답 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○

(1) 볼록 렌즈에 의해 스크린에 만들어지는 상은 실상이다.

#### 02

답 ⑤

태양을 향하게 할 때 스크린에 맺히는 상은 실상이다.

#### 기본 탄탄 문제

143 쪽

01 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ 02 (1)  $\sqrt{2}$  (2)  $\sqrt{3}$   
 03 ㉠ 굴절, ㉡ 초점 04 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○  
 05 ㉠ 실상, ㉡ 허상  
 06 (1) 10 cm (2) 포토 리소그래피 (3) 노광 과정

#### 01

답 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○

(1) 서로 다른 매질이 만나는 경계면에서 빛의 진행 방향이 꺾이는 현상을 굴절이라고 한다.

#### 02

답 (1)  $\sqrt{2}$  (2)  $\sqrt{3}$ 

$$(1) n_{12} = \frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2}}}{\frac{1}{2}} = \sqrt{2}$$

$$(2) n_{12} = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{1}{2}} = \sqrt{3}$$

#### 03

답 ㉠ 굴절, ㉡ 초점

광축에 나란하게 입사한 빛이 렌즈에서 굴절한 뒤 모이는 한 점을 초점이라고 한다.

#### 04

답 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○

(2) 광축과 나란하게 렌즈로 입사한 광선은 굴절한 뒤 초점을 지나도록 그린다.

#### 05

답 ㉠ 실상, ㉡ 허상

볼록 렌즈의 초점 거리는 정해진 값이며, 렌즈로부터 물체의 거리에 따라 상의 모양, 종류, 크기가 다르다.

#### 06

답 (1) 10 cm (2) 포토 리소그래피 (3) 노광 과정

(1) 물체와 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 2 배일 때 렌즈와 상까지의 거리도 초점 거리의 2 배로 같다.

(3) 노광 과정에서는 빛을 마스크로 보내 마스크에 새겨진 회로의 상을 만들고 이를 볼록 렌즈로 축소해 감광액을 펴 바른 기판에 투영한다.

- 01 ④ 02 ⑤ 03 ③ 04 ③ 05 ③ 06 ⑤ 07 ②  
08 ③ 09 ③ 10 ⑤ 11 ⑤ 12 ⑤

단답형·서술형 문제

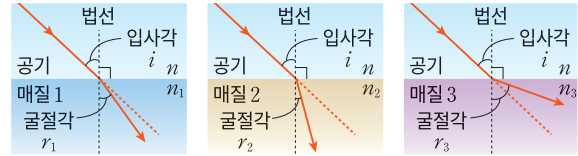
- 13 (1) ③ 30° (2) ③ 45°  
14 (1) ③ 30 cm (2) **예시답안** 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 2 배일 때 물체에서 렌즈까지의 거리와 렌즈에서 상까지의 거리가 같고, 상의 크기가 물체의 크기와 동일하다. 따라서  $x$  가 30 cm이면, 초점 거리의 2 배인 30 cm 지점에 물체가 있게 된다.  
15 (1) ③ 허상 (2) ③ 실상, 11  
16 (1) ③ 마스크 (2) **예시답안** 볼록 렌즈는 물체보다 작은 실상을 만들 수 있다. 따라서 마스크에 새겨진 전자 회로는 볼록 렌즈를 통해 웨이퍼에 축소된 상으로 만들 수 있기 때문에 15 cm 크기의 전자 회로를 작은 크기로 웨이퍼에 새길 수 있다.

- 01 ④  
④ 빛이 굴절률이 작은 매질에서 굴절률이 큰 매질로 비스듬히 입사할 때 입사각보다 굴절각이 작아진다.  
**오답 피하기** ① 진공에 대한 매질의 상대 굴절률을 그 매질의 절대 굴절률이라고 한다.  
② 서로 다른 매질이 만나는 경계면에서 빛의 진행 방향이 꺾이는 현상을 굴절이라고 한다.  
③ 굴절률이 다른 매질을 통해 물체를 관찰하면 빛의 굴절에 의해 나타나는 다양한 모습을 볼 수 있다.  
⑤ 빛이 매질 1에서 매질 2로 진행할 때 입사각( $i$ )과 굴절각( $r$ )의 사인값의 비  $\frac{\sin i}{\sin r}$  는 입사각의 크기와 관계없이 항상 일정한 값을 갖는다.

- 02 ⑤  
7. 입사각이 굴절각보다 크므로 매질의 굴절률은 매질 2가 매질 1보다 크다.  
나.  $\frac{\sin i}{\sin r} = n_{12}$ 의 관계를 스넬 법칙이라고 하며,  $n_{12}$ 는 매질 1에 대한 매질 2의 상대 굴절률이다.  
다. 매질 2의 굴절률이 매질 1의 굴절률보다 크므로 빛이 매질 2에서 매질 1로 입사하면 굴절각이 입사각보다 커진다.

- 03 ③  
A. 연필에서 반사한 빛이 물에서 공기로 진행하는 과정에서 굴절하기 때문에 연필이 꺾여 보인다.  
B. 굴절률이 다른 매질을 통해 물체를 관찰하면 빛의 굴절에 의한 다양한 상을 볼 수 있다.  
**오답 피하기** C. 공기의 굴절률보다 유리의 굴절률이 더 크다.

자료 분석 빛의 굴절에 의한 입사각과 굴절각



- 매질 1과 2는 입사각이 굴절각보다 크므로 매질의 굴절률이 공기의 굴절률보다 크다.
- 공기에서 매질 1과 2로 각각 입사할 때 입사각은 같지만, 굴절각은 매질 2에서가 더 작다. 따라서 굴절률은  $n_1 < n_2$ 이다.
- 매질 3은 입사각이 굴절각보다 작으므로 매질의 굴절률이 공기의 굴절률보다 작다.

다. 매질 2의 굴절률이 매질 1의 굴절률보다 크므로 굴절률이 큰 매질 2에서 굴절률이 작은 매질 1로 초록색 레이저 빛을 입사하면 굴절각이 입사각보다 커진다.

**오답 피하기** 7. 입사각이 커지면 굴절각도 커진다.

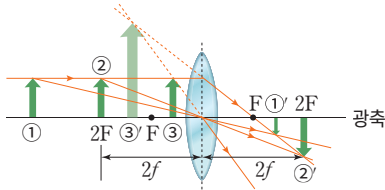
나. 굴절률이 큰 매질로 바꾸면 굴절각이 작아진다.

- 05 ③  
③ 초점에서 퍼져 나가는 빛은 볼록 렌즈에서 굴절한 뒤 광축에 나란하게 진행한다.  
**오답 피하기** ① 가운데가 두껍고 바깥쪽이 얇은 렌즈는 볼록 렌즈이고, 가운데가 얇고 바깥쪽이 두꺼운 렌즈는 오목 렌즈이다.  
② 광축에 나란하게 진행하다가 볼록 렌즈에서 굴절한 빛은 한 점에서 모인다.  
④ 물체의 위치가 초점 거리보다 가까우면 실체보다 커 보인다.  
⑤ 빛이 모이는 점을 초점이라고 하며, 렌즈의 중심에서 초점까지의 거리를 초점 거리라고 한다.

- 06 ⑤  
7. 광선 a는 광축에 나란하게 입사하였으므로 렌즈에서 굴절한 뒤 초점 F'을 지난다.  
나. 물체의 한 점 P에서 반사한 광선들은 렌즈에서 굴절한 뒤 상점 P'으로 모인다. 이처럼 물체의 각 점에 대한 상점이 모여 형성된 모습을 상이라고 한다.  
다. 광선 e는 볼록 렌즈의 초점 F를 지나므로 렌즈에서 굴절한 뒤 광축과 나란하게 진행한다.

- 07 ②  
다. 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 짧을 때에는 물체보다 크고 바로 선 모습의 허상이 생긴다.  
**오답 피하기** 7. 물체의 위치가 초점 거리의 2 배보다 멀 때에는 물체보다 작은 거꾸로 선 실상이 생긴다.  
나. 물체의 위치가 초점 거리보다 멀고 초점 거리의 2 배보다 가까울 때에는 물체보다 큰 거꾸로 선 실상이 생긴다.

**자료 분석** ● 물체와 렌즈의 거리에 따른 상의 특성



a: 물체와 렌즈 거리, F: 초점, f: 초점 거리

| 물체 | 물체의 위치          | 상의 모양    | 크기                                |
|----|-----------------|----------|-----------------------------------|
| ①  | $a > 2f$        | 거꾸로 선 실상 | 물체보다 작음.                          |
| ②  | $f < a \leq 2f$ | 거꾸로 선 실상 | 물체와 같거나 큼.<br>( $a = 2f$ 일 때 같음.) |
| ③  | $a < f$         | 바로 선 허상  | 물체보다 큼.                           |

**08** A. 돋보기는 볼록 렌즈로 만들어져 있으며, 물체를 확대해 볼 때 사용한다.

B. 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 짧을 때 돋보기로 물체의 확대된 바로 선 상을 볼 수 있다.

**오답 피하기** C. 돋보기로 본 물체의 확대된 바로 선 상은 허상이다.

**09** D. 물체의 위치가 초점 거리의 2 배일 때 물체와 같은 크기의 실상이 생긴다.

**오답 피하기** ㄱ. 물체의 위치가 초점 거리보다 짧을 때, 확대된 허상이 생긴다. 이때 허상은 렌즈 뒤쪽에서 만나지 않으므로 스크린에 맺히지 않는다.

ㄴ. 물체와 렌즈 사이의 거리(a)와 렌즈와 상 사이의 거리(b)가 같을 때 a의  $\frac{1}{2}$ 이 초점 거리 f가 된다.

**10** ㄱ, ㄴ, D. 물체가 초점 거리의 2 배(10 cm)보다 멀리 있으므로 렌즈의 오른쪽에 물체보다 크기가 작고 상하좌우가 뒤집힌 실상이 생긴다.

**11** ㄱ, ㄴ. 포토 리소그래피 공정의 노광 과정에서는 정밀 광학 기술을 이용해 기판에 미세 회로를 만든다. A와 C는 렌즈이고, B는 회로가 그려져 있는 마스크이다.

D. 마스크에 새겨진 회로의 상을 렌즈를 통해 축소해 감광액을 펴 바른 기판에 투영하면 기판이 놓여 있는 아래 판이 이동하면서 각 칩에 회로를 정밀하게 새긴다.

**12** ⑤ 마스크에 새겨진 회로의 상은 렌즈를 통해 축소된 상이 기판에 투영된다.

**오답 피하기** ①, ④ 포토 리소그래피 공정 중 노광 과정에서는 빛을 마스크로 보내 마스크에 새겨진 회로의 상을 만들고 이를 렌즈를 통해 축소하여 기판에 투영해 미세한 회로를 새긴다.

②, ③ 반도체 소자나 디스플레이 제작 공정에서 매우 정밀한 회로를 기판에 인쇄할 때 포토 리소그래피라는 광학 기술을 사용하며, 기판 준비, 산화, 감광액 도포, 노광, 현상, 식각의 공정을 거친다.

**13**

(1)  $\frac{\sin 45^\circ}{\sin x} = \sqrt{2}$ 에서  $\sin x = \frac{\frac{1}{\sqrt{2}}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2}$ 이므로  $x = 30^\circ$ 이다.

(2) 빛이 진행할 때 같은 매질에서는 굴절률이 같다. 따라서 매질 A에서 공기로 빛이 다시 진행할 때에는 O 지점에서의 입사각과 같은  $45^\circ$ 로 굴절한다.

**14**

(1) 물체의 거리가 초점 거리의 2 배일 때 물체와 같은 크기의 실상이 생기며, 이때 물체에서 렌즈까지의 거리와 렌즈에서 상까지의 거리가 같다. 따라서 x가 초점 거리(15 cm)의 2 배인 30 cm 일 때 스크린에 물체와 동일한 크기의 상이 생긴다.

(2) 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 2 배일 때 물체에서 렌즈까지의 거리와 렌즈에서 상까지의 거리가 같고, 상의 크기가 물체의 크기와 동일하다. x가 30 cm이면, 초점 거리의 2 배인 30 cm 지점에 물체가 있게 된다.

| 채점 기준                                              | 배점(%) |
|----------------------------------------------------|-------|
| 물체와 렌즈 사이의 거리에 따른 상의 특징을 근거로 들어 옳게 설명한 경우          | 100   |
| 물체와 렌즈 사이의 거리에 따른 상의 특징을 근거로 들어 설명하였으나 논리성이 부족한 경우 | 50    |

**15**

(1) 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 짧으므로 물체보다 큰 바로 선 허상이 생긴다.

(2) 물체의 위치가 초점 거리와 초점 거리의 2 배 사이에 있으므로 물체보다 큰 거꾸로 선 실상이 생긴다.

**16**

(1) 노광 과정의 마스크에는 정밀한 회로의 상이 그려져 있으며, 빛이 마스크에 새겨진 회로의 상을 만들고 이를 렌즈를 통해 축소하여 웨이퍼에 투영한다.

(2) 볼록 렌즈는 물체보다 작은 실상을 만들 수 있다. 따라서 마스크에 새겨진 전자 회로는 볼록 렌즈를 통해 웨이퍼에 축소된 상으로 만들 수 있기 때문에 15 cm 크기의 전자 회로를 작은 크기로 웨이퍼에 새길 수 있다.

| 채점 기준                                               | 배점(%) |
|-----------------------------------------------------|-------|
| 포토 리소그래피 공정에서 볼록 렌즈가 물체보다 작은 실상을 만들 수 있음을 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 볼록 렌즈가 작은 실상을 만들기 때문이라고만 쓴 경우                       | 30    |



## 기본 탄탄 문제

151 쪽

01 (1) × (2) ○ (3) ○

02 한계 진동수 03 ㉠ 진동수, ㉡ 광자

04 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × 05 ㉠ 파동성, ㉡ 반비례

06 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×

01 ㉡ (1) × (2) ○ (3) ○

(1) (-)전하로 대전된 알루미늄 캔에 자외선등을 비추면 전자가 튀어나와 알루미늄 캔의 전자가 감소한다.

(3) 빛의 진동수가 한계 진동수보다 작은 경우에는 빛의 세기가 강해도 광전 효과가 일어나지 않는다.

02 ㉡ 한계 진동수  
어떤 금속에서 광전자를 방출시킬 수 있는 빛의 최소 진동수를 한계 진동수라고 한다.

03 ㉠ 진동수, ㉡ 광자  
광양자설은 광전 효과를 설명하기 위해 아인슈타인이 제안한 이론으로, 광자의 에너지  $E = hf$ 이다. 여기서  $h$ 는 플랑크 상수이고,  $f$ 는 진동수이다.

04 ㉡ (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×  
(1), (3) 렌즈를 통해 들어온 빛이 광전 효과에 의해 CCD에서 전기 신호로 전환된다. 그리고 아날로그 디지털 변환 장치에서 디지털 데이터로 변환되어 메모리 카드에 저장된다.

(2) CCD는 빛 신호를 전기 신호로 전환한다.  
(4) CCD는 기본적으로 흑백 영상만 얻을 수 있어서 컬러 영상을 얻기 위해서 RGB(빨간색, 초록색, 파란색) 컬러 필터를 CCD 위에 설치한다. 이때 각 필터를 통과한 빛의 세기를 측정하여 그 지점의 색을 결정한다.

05 ㉠ 파동성, ㉡ 반비례  
드브로이는 전자와 같은 입자도 파동의 성질을 가질 것이라고 주장하였다. 질량이  $m$ 인 입자가 속력  $v$ 로 운동할 때 입자의 운동과 관련된 파동의 파장  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이며, 운동하는 입자가 나타내는 파동을 물질파 또는 드브로이파라고 한다.

06 ㉡ (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×  
(2) 톰슨은 전자선 실험을 통해 X선에 의한 무늬와 전자선이 형성하는 무늬가 유사한 것을 확인하였다.  
(4) 주사 전자 현미경은 시료 표면을 전기 전도성이 좋은 물질로 얇게 코팅해야 한다.

## 일련 문제

152 ~ 155 쪽

## 개념 학습판

01 ① 02 ① 03 ② 04 ② 05 ② 06 ③ 07 ④  
08 ④ 09 ③ 10 ⑤ 11 ⑤

## 단답형·서술형 문제

12 (1) 예시답안 광전 효과는 한계 진동수 이상의 빛을 금속에 비추어야 전자가 튀어나온다. 따라서 (가)에서 비춘 빛의 진동수  $f_0$ 은 금속판의 한계 진동수보다 작아서 세기가 강해도 광전자가 방출되지 않고, (나)에서 비춘 빛의 진동수  $2f_0$ 은 금속판의 한계 진동수보다 커서 세기가 약한 빛을 비추어도 광전자가 튀어나온다. (2) 예시답안 광전자의 수는 빛의 세기에 비례하므로 튀어나오는 광전자의 수가 증가한다.

13 (1) ㉡ 광전 효과 (2) 예시답안 CCD는 광전 효과를 이용하여 빛 신호를 전기 신호로 저장한다. 이때 전자의 발생 여부를 결정하는 것은 빛의 진동수이고, 발생하는 전자의 수를 결정하는 것은 빛의 세기이다.

14 (1) ㉡ ㉠ 짧아, ㉡  $\frac{h}{p}$  (2) 예시답안 물질파 파장  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ 에서 질량이 일정한 경우 속력이 빠를수록 물질파 파장은 짧아진다.

15 ㉡ ㉡ 보강 간섭

16 (1) ㉡ (가) 투과 전자 현미경, (나) 주사 전자 현미경, (다) 광학 현미경 (2) 예시답안 전자 현미경은 광학 현미경보다 분해능이 더 뛰어나다. 그 까닭은 전자 현미경에서 사용하는 전자의 물질파 파장이 광학 현미경에서 사용하는 가시광선의 파장보다 더 짧기 때문이다.

01 ㉡ ①

① 빛의 진동수와 방출되는 광전자의 운동 에너지가 비례한다. 광전자의 수는 빛의 세기와 비례한다.

오답 피하기 ② 빛의 파동설로는 광전 효과의 실험 결과를 설명할 수 없었으며, 이를 설명하기 위해 아인슈타인은 빛은 광자라고 하는 불연속적인 에너지 입자의 흐름이라고 설명하였다.

③ 광전 효과는 금속에 비춘 빛에 의해 금속 내부의 전자가 밖으로 튀어나오는 현상으로 금속의 전자와 광자의 충돌에 의해 나타난다.

④ 헤르츠는 (-)전하로 대전된 아연판에 자외선을 비추었을 때 전자가 방출되는 현상을 발견하였다.

⑤ 한계 진동수보다 작은 빛을 비추면 빛의 세기가 아무리 강해도 광전자가 튀어나오지 않는다.

02 ㉡ ①

7. 광전자는 한계 진동수 이상의 빛을 비추어야 튀어나오므로 금속판에 한계 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비추면 광전자가 튀어나온다.

오답 피하기 ㄴ. 한계 진동수보다 작은 빛에서는 오랫동안 비추어도 광전 효과가 일어나지 않는다.

ㄷ. 한계 진동수보다 작은 빛에서는 빛을 세게 비추어도 광전 효과가 일어나지 않는다.

03

답 ②

B. 광전자 1 개의 에너지( $E$ )는 빛의 진동수에 비례하므로  $E=hf$ 의 관계가 성립한다.

오답 피하기 A. 한계 진동수 이상의 빛이면 세기가 약해도 광전자가 방출된다.

C. 한계 진동수보다 작으면 빛을 오래 비추어도 광전자가 방출되지 않는다.

04

답 ②

ㄴ. 동일한 빛을 비추었을 때 금속 A는 광전자가 방출되지 않고, 금속 B는 광전자가 방출되었으므로 금속 A의 한계 진동수가 금속 B의 한계 진동수보다 큰 것을 알 수 있다.

오답 피하기 ㄱ. 빛의 진동수가 한계 진동수보다 작으면 빛의 세기가 커도 광전 효과가 일어나지 않는다.

ㄷ. 빛의 세기를 증가시키면 광전자의 수가 증가한다. 광전자의 운동 에너지는 빛의 세기와 무관하며, 빛의 진동수와 관련이 있다.

05

답 ②

빛이 입자라고 주장한 뉴턴, 플랑크, 아인슈타인 등의 과학자들과 빛이 파동이라고 주장한 하위헌스, 영, 맥스웰 등의 과학자들의 논쟁은 오랫동안 이어져 왔으며, 이후 여러 연구 결과로 빛은 입자의 성질과 파동의 성질을 모두 가지는 것으로 알게 되었다.

06

답 ③

ㄱ, ㄴ. 디지털카메라 속의 전하 결합 소자(CCD)는 광전 효과를 이용해 렌즈를 통해 들어온 빛을 전기 신호로 전환하여 피사체의 상을 맺히게 한다.

오답 피하기 ㄷ. 피사체에서 반사한 빛의 진동수가 한계 진동수보다 커야 CCD에서 광전 효과를 일으킬 수 있다.

07

답 ④

ㄱ. 단색광 A의 경우 빛의 세기가  $2I_0$ 일 때 측정된 전류의 세기가  $2I_0$ 이므로 진동수가 한계 진동수 이상임을 알 수 있다. 광전자의 수는 빛의 세기에 비례하므로 빛의 세기가  $I_0$ 일 때 측정된 전류의 세기는  $I_0$ 이다.

ㄴ. 단색광 B의 경우 빛의 세기가  $I_0$ 일 때 측정된 전류의 세기가 0이므로 진동수가 한계 진동수보다 작음을 알 수 있다. 따라서 빛의 세기가  $2I_0$ 일 때도 측정된 전류의 세기는 0이다.

오답 피하기 ㄷ. B의 진동수는 CCD의 한계 진동수보다 작지만, A의 진동수는 한계 진동수와 같거나 크다.

08

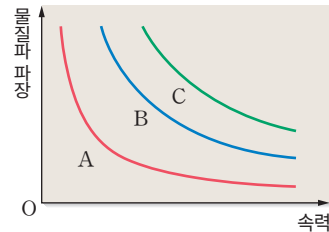
답 ④

ㄴ. 물질파 파장은 입자의 운동량에 반비례하므로 A와 C의 속력이 같을 때 운동량은 물질파 파장이 작은 A가 C보다 크다.

ㄷ. 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로 속력이 일정할 때 입자의 질량은 파장이 더 긴 것이 질량이 더 작다. 따라서 입자의 질량은  $A > B > C$ 이다.

오답 피하기 ㄱ. 운동량이 같으면 물질파 파장은 같다.

#### 자료 분석 물질파 파장과 운동량



입자의 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}$  ( $h$ : 플랑크 상수)이다.

- 운동량의 크기가 같으면 물질파의 파장이 같다.
- 물질파 파장이 같을 때 입자의 질량과 속력은 반비례한다.  
→ 속력은  $C > B > A$ 이므로 질량은  $A > B > C$ 이다.

09

답 ③

A. 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로 축구공과 전자의 속력이 같을

때 질량이 큰 축구공의 물질파 파장은 매우 작아 관찰하기 어렵다.

B. 톰슨은 금속막 뒤에 형광판을 두고 전자선을 입사해 얻은 무늬가 금속막에 X선을 입사해 얻은 무늬와 유사함을 확인하여 전자가 파동의 성질을 가지고 있음을 증명하였다.

오답 피하기 C. 전자 현미경은 전자의 속력을 빠르게 하여 물질파 파장을 짧게 만들어 분해능을 높인다.

10

답 ⑤

ㄱ. (가)는 광학 현미경으로 유리 렌즈를 이용하여 빛을 초점에 모으며, 가시광선을 이용한다. (나)는 전자 현미경으로 자기렌즈로 전자선을 모으며, 전자의 물질파 파장을 이용한다.

ㄴ. (나)의 전자 현미경은 전자의 속력을 빠르게 하여 물질파 파장을 짧게 만들 수 있으므로 분해능을 높일 수 있다.

ㄷ. (나)의 전자 현미경은 전자선이 시료를 투과할 수 있도록 시료를 얇게 만들어야 한다.

11

답 ⑤

ㄱ. 질량이  $m$ 인 전자가 속력  $v$ 로 운동할 때 전자의 운동과 관련된

된 물질파 파장  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이다.

ㄴ. 전압  $V$ 를 높이면 속력이 증가하여 물질파 파장이 줄어들고, 파장이 짧을수록 간섭무늬 간격이 줄어든다.

ㄷ. 스크린에 간섭무늬가 나타난 것은 전자의 파동성을 보여 주는 증거이고, 여러 개의 점이 나타난 것은 입자성을 보여 주는 증거이므로 물질의 이중성을 보여 주는 실험이다.

12

(1) 광전 효과가 나타나려면 한계 진동수 이상의 빛을 금속에 비추어야 하지만  $f_0$ 의 빛은 금속판의 한계 진동수보다 작은 진동수의 빛이라서 세기가 강해도 광전자가 방출되지 않는다.

| 채점 기준                                           | 배점(%) |
|-------------------------------------------------|-------|
| 광전 효과가 일어나지 않는 까닭을 한계 진동수를 이용해서 구체적으로 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 광전 효과가 일어나지 않는 까닭을 한계 진동수보다 작기 때문이라고만 설명한 경우    | 50    |

(2) 단위 시간당 방출하는 광전자의 수는 빛의 세기에 비례하므로 빛의 세기를 강하게 하면 튀어나오는 광전자의 수가 증가한다.

| 채점 기준                                | 배점(%) |
|--------------------------------------|-------|
| 빛의 세기에 따라 광전자의 수가 달라지는 현상을 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 광전자의 수가 증가한다고만 설명한 경우                | 50    |

13

(1) CCD는 광전 효과를 이용하여 빛 신호를 전기 신호로 전환한다.  
(2) CCD는 광전 효과를 이용하여 빛 신호를 전기 신호로 저장한다. 이때 전자의 발생 여부를 결정하는 것은 빛의 진동수이고, 발생하는 전자의 수를 결정하는 것은 빛의 세기이다.

| 채점 기준                                                                  | 배점(%) |
|------------------------------------------------------------------------|-------|
| CCD에서 일어나는 광전 효과를 설명하고, 광전 효과의 발생 조건과 광전자의 수를 결정하는 빛의 요소를 모두 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 광전 효과의 발생 조건이나 광전자의 수를 결정하는 빛의 요소 중 하나만 옳게 설명한 경우                      | 50    |
| CCD에서 일어나는 광전 효과만 설명한 경우                                               | 30    |

14

(1) 질량이  $m$ 인 입자가 속력  $v$ 로 운동할 때 입자의 운동과 관련된

된 물질파 파장  $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}$ 이다.

(2) 물질파 파장  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ 에서 질량이 일정한 경우 속력이 빠를수록 물질파 파장은 짧아진다.

| 채점 기준                                         | 배점(%) |
|-----------------------------------------------|-------|
| 물질파의 표현식을 쓰고, 속력과 물질파 파장의 관계를 옳게 설명한 경우       | 100   |
| 물질파의 표현식을 쓰거나, 속력과 물질파 파장의 관계 중 하나만 옳게 설명한 경우 | 40    |

15

특정한 각도  $50^\circ$ 에서 전자가 많이 검출되는 실험 결과를 전자의 물질파가 보강 간섭한 것으로 설명할 수 있었다.

16

(1) 전자 현미경은 투과 전자 현미경과 주사 전자 현미경이 있다.  
(2) 광학 현미경은 가시광선을 사용하고, 전자 현미경은 전자의 물질파를 사용하는데, 가시광선의 파장보다 전자의 물질파 파장이 더 짧아 전자 현미경의 분해능은 광학 현미경의 분해능보다 더 좋다.

| 채점 기준                              | 배점(%) |
|------------------------------------|-------|
| 분해능이 차이 나는 까닭을 물질파 파장과 관련지어 설명한 경우 | 100   |
| 분해능이 차이 나는 까닭을 파동의 종류로만 설명한 경우     | 50    |



156~159쪽

01 ⑤ 02 ④ 03 예시 답안  $L$ 의 거리를 멀게 하거나,  $d$ 의 간격을 작게 하면 간섭무늬 사이의 간격이 커진다. 04 ⑤  
05 ④ 06 ③ 07 ⑤ 08 ㉠ 1.5 09 ⑤ 10 ③  
11 ⑤ 12 ③ 13 ③ 14 ④ 15 ⑤ 16 (1) 예시 답안  
전압을 높이면 전자의 속도가 빨라져 물질파 파장이 짧아지므로 무늬의 간격이 좁아진다. (2) 예시 답안 전자의 물질파 파장과 비슷한 X선으로 실험을 하면 전자선과 유사한 동심원 모양의 무늬가 나타난다. (3) ㉠ 전자의 파동성 17 ①

01

- ㉠ ⑤  
㉠. 완전히 중첩되었을 때의 모습이다.  
㉡. 두 파동이 절반만 중첩되었을 때의 모습이다.  
㉢. 중첩된 후 서로 지나쳤을 때의 모습이다.

02

㉠ ④  
④ 파동의 진행 방향과 관계없이 파동은 중첩될 수 있다.  
오답 피하기 ①, ③ 위상이 같은 빛이 중첩되면 보강 간섭되어 밝게 보이고, 위상이 반대인 빛이 중첩되면 상쇄 간섭되어 어둡게 보인다.  
②, ⑤ 두 파동이 서로 중첩할 때 합성파의 진폭이 커지거나 작아지는 현상을 파동의 간섭이라고 하며, 합성파의 진폭은 두 파동 각각의 최대 진폭보다 클 수 있다.

03

파장이 큰 빛을 사용하거나,  $L$ 의 거리를 멀게 하거나,  $d$ 의 간격을 작게 하면 간섭무늬 사이의 간격이 커진다.

| 채점 기준                             | 배점(%) |
|-----------------------------------|-------|
| $4x$ 의 간격을 커지게 하는 방법 2 가지를 설명한 경우 | 100   |
| $4x$ 의 간격을 커지게 하는 방법 1 가지를 설명한 경우 | 50    |

04

답 ⑤

ㄴ. 위상이 같은 파동이 만날 때 보강 간섭이 일어난다.

ㄷ. 반사 방지막 코팅 렌즈는 상쇄 간섭을 이용해 렌즈에서 반사하는 빛을 줄여 렌즈를 투과하는 빛의 세기를 증가하게 한다.

오답 피하기 ㄱ. 특정한 색이 뚜렷하게 보이기 때문에 ㉠은 보강 간섭을 한 것이다.

05

답 ④

ㄱ. 스크린상의 P는 어두운 무늬이므로 위상이 다른 빛이 상쇄 간섭하여 생긴 무늬이다.

ㄴ. 스크린상의 O는 밝은 무늬이므로 같은 위상의 빛이 보강 간섭하여 생긴 무늬이다.

오답 피하기 ㄷ. 이중 슬릿을 통과한 빛에 의해 간섭무늬가 생기는 것은 빛이 파동의 성질을 가지고 있음을 알 수 있는 현상이다.

06

답 ③

ㄱ. (가)에서  $\frac{\sin i}{\sin r_1} = \frac{n_B}{n_A}$  이고, (나)에서  $\frac{\sin i}{\sin r_2} = \frac{n_C}{n_A}$  이다. 그

리고  $n_B > n_C$  이므로 사인값의 비는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

ㄴ. 굴절률이 작은 매질에서 큰 매질로 입사하는 경우에는 입사각 > 굴절각이고, 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 입사하는 경우에는 입사각 < 굴절각이다. 따라서 매질의 굴절률은  $C < A < B$  이다.

오답 피하기 ㄷ. 빛이 매질 A에서 매질 B로 진행할 때 입사각(i)과 굴절각(r<sub>1</sub>)의 사인값의 비는 입사각의 크기와 관계없이 일정하다.

07

답 ⑤

⑤ 빛이 두 매질의 경계에서 비스듬히 입사할 때 입사각이 굴절각보다 크면 입사하는 매질보다 굴절하는 매질의 굴절률이 더 크다.

오답 피하기 ① 두 매질의 상대적인 굴절률을 상대 굴절률이라 하고, 진공에 대한 매질의 상대 굴절률을 절대 굴절률이라고 한다.

②, ③ 서로 다른 매질이 만나는 경계에서 빛의 진행 방향이 꺾이는 현상을 굴절이라고 하며, 매질에 따라 빛의 굴절률이 다르기 때문에 굴절이 일어난다.

④ 다른 매질을 통해 물체를 관찰할 때 실제와 다르게 보이는 것은 굴절에 의한 현상이다.

08

두 매질의 상대 굴절률은  $\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\frac{3 \text{ cm}}{R}}{\frac{2 \text{ cm}}{R}} = 1.5$  이다.

09

답 ⑤

ㄴ. 물체에서 렌즈까지의 거리가 렌즈에서 상까지의 거리보다 짧으면 물체보다 큰 거꾸로 선 실상이 생긴다.

ㄷ. 물체는 초점 거리와 초점 거리의 2 배 사이에 위치해 있으므로 초점 거리로부터 멀리하면 상의 크기는 작아진다.

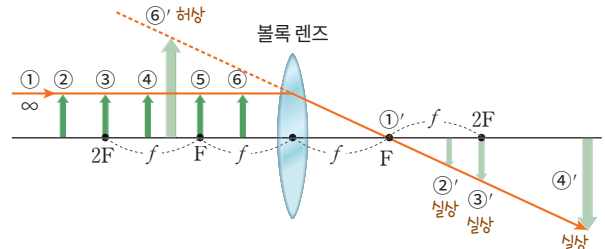
오답 피하기 ㄱ. d가 초점 거리보다 짧으면, 바로 선 확대된 허상이 생긴다.

10

답 ③

#### 자료 분석 ● 볼록 렌즈에 의한 상

렌즈의 중심과 물체 사이의 거리(①~⑥)에 따라 다른 상(①'~⑥')이 나타난다. 렌즈의 뒤쪽에 상이 맺히면 실상이고, 렌즈의 앞쪽에 상이 맺히면 허상이다.



ㄷ. 물체의 위치가 초점 거리의 2 배일 때, 물체에서 렌즈까지의 거리(L)와 렌즈에서 상까지의 거리(D)가 같다. 따라서 초점 거리는  $\frac{L}{2}$  이다.

오답 피하기 ㄱ. 물체와 렌즈 사이의 거리(L)가 멀어질수록 렌즈와 상 사이의 거리(D)는 가까워진다.

ㄴ. 허상은 렌즈 뒤쪽에서 서로 만나지 않으므로 실제 상이 맺히지 않는다. 따라서 스크린에 생긴 상은 실상이다.

11

답 ⑤

ㄱ, ㄴ, ㄷ. 포토 리소그래피 공정 중 빛을 이용해 미세 회로를 만드는 과정을 노광 과정이라고 한다. 노광 과정에서는 빛을 마스크로 보내 마스크에 새겨진 상을 만들고, 이를 렌즈를 이용해 4 : 1 또는 5 : 1 정도로 축소하여 기판에 투영한다. 이때 기판에 맺히는 상은 축소된 상이므로 실상이다.

12

답 ③

ㄷ. 광전자의 개수는 빛의 세기에 비례하므로 빛의 세기를 약하게 하여 비추면 광전자가 방출되는 개수가 줄어든다.

오답 피하기 ㄱ. 금속판 A에 단색광 P를 비추었을 때에는 광전자가 방출되지 않고, 단색광 Q를 비추었을 때에는 광전자가 방출되었으므로 P의 진동수는 한계 진동수보다 작은 진동수의 빛이다. 따라서 파장은 P가 Q보다 길다.

ㄴ. 한계 진동수보다 작은 진동수를 가진 빛을 비추면 빛의 세기가 아무리 강해도 광전자가 방출되지 않는다.

13

답 ③

ㄱ. 단색광 A만 광전자가 방출되었으므로 단색광 A의 진동수가 가장 큰 빛이다. 따라서 A는 파란색 빛이다.

ㄴ. 단색광 B를 비추었을 때 광전자가 방출되지 않았으므로 B는 한계 진동수보다 진동수가 작다.

**오답 피하기** ㄷ. 진동수가 한계 진동수보다 작은 빛을 비추면 빛의 세기가 커도 광전자가 방출되지 않는다.

14

답 ④

ㄱ. 렌즈를 통해 CCD에 피사체의 상이 맺힐 때 렌즈에 의한 상을 구성하는 빛의 진동수는 한계 진동수보다 커서 CCD에 전자가 방출되게 한다.

ㄴ. CCD는 광전 효과를 이용해 빛 신호를 전기 신호로 바꾼다.

**오답 피하기** ㄷ. CCD는 광전 효과를 이용하므로 빛의 입자성을 이용한 대표적인 활용 예이다.

15

답 ⑤

질량이  $m$ 인 입자가 속력  $v$ 로 운동할 때 입자의 운동과 관련된 물질파 파장  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이다.

ㄱ. 물질파 파장  $\lambda_A : \lambda_B = \frac{1}{2} : \frac{1}{4} = 2 : 1$ 이다.

ㄴ. 질량이 일정한 입자의 물질파 파장은 속력에 반비례한다.

ㄷ. 전자 현미경은 전자의 물질파 파장을 이용하므로 파동성을 이용한 예이다.

16

(1) 전압을 높이면 전자의 속도가 빨라져 물질파 파장이 짧아지므로 무늬의 간격이 좁아진다.

| 채점 기준                       | 배점(%) |
|-----------------------------|-------|
| 전압을 높였을 때 무늬의 변화를 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 전압을 높였을 때 무늬의 변화만 쓴 경우      | 30    |

(2) 전자의 물질파 파장과 비슷한 X선으로 실험을 하면 전자선과 유사한 동심원 모양의 무늬가 나타난다.

| 채점 기준                                    | 배점(%) |
|------------------------------------------|-------|
| 전자의 물질파 파장과 X선에 의해 나타난 무늬를 옳게 비교해 설명한 경우 | 100   |
| 동심원 모양의 무늬가 나타난다고만 쓴 경우                  | 50    |

(3) 전자선에 의한 무늬를 금속막에 입사해 얻은 X선에 의한 무늬와 비교하는 실험으로 두 무늬가 유사함을 확인하였다. 이는 전자가 파동성을 가지고 있음을 확인하는 실험이다.

17

답 ①

ㄱ. (나)는 특정 산란각에서 보강 간섭을 할 조건으로부터 구한 전자선의 파장이 드브로이의 물질파 파장과 거의 같았기 때문에 전자의 파동성을 증명한 실험이다.

**오답 피하기** ㄴ. 시료 표면에서 반사되는 전자를 이용한 현미경은 주사 전자 현미경이다.

ㄷ. 전자의 속력이 변하면 물질파 파장이 달라지고, 보강 간섭하는 각도가 달라진다.

## 02 물질과 시공간의 세계

### 15강 원자와 스펙트럼

기본  
탄탄  
문제

162쪽

01 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ 02 ㉠ 전자, ㉡ 빛

03 (1) 흡수 (2) 방출

04 ㉠ 불연속, ㉡ 양자화, ㉢ 에너지 준위, ㉣ 가까운, ㉤ 양자수

05 (1) 크다 (2) 짧다 (3) 커질수록

06 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×

01

답 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○

(2) 선 스펙트럼은 특정한 위치에 파장이 다른 밝은 선이 띄엄띄엄 나타난다.

(3) 고온의 기체 방전관에서 나온 빛을 분광기로 관찰하면 특정한 파장의 빛만 불연속적인 선 모양으로 나타난다.

(4) 기체 방전관의 선 스펙트럼은 원소에 따라 밝은 선의 위치와 선의 개수가 다르다. 이를 분석하여 원소의 종류를 알 수 있다.

02

답 ㉠ 전자, ㉡ 빛

원자 내의 전자는 특정한 궤도에서 원운동을 하며, 특정한 궤도 사이를 이동할 때에만 그 에너지 차이에 해당하는 에너지를 빛의 형태로 방출하거나 흡수한다.

03

답 (1) 흡수 (2) 방출

(1) 전자가 바닥상태에서 들뜬상태로 전이할 때에는 에너지를 흡수한다.

(2) 전자가 들뜬상태에서 바닥상태로 전이할 때에는 에너지를 방출한다.

04

답 ㉠ 불연속, ㉡ 양자화, ㉢ 에너지 준위, ㉣ 가까운, ㉤ 양자수

기체 원자에서 방출하는 빛의 스펙트럼은 불연속적인 선 스펙트럼으로 나타나며, 전자는 띄엄띄엄한 불연속적인 에너지만을 가질 수 있다. 전자가 전이할 때 에너지 준위의 차이에 해당하는 빛을 흡수하거나 방출한다.

05

답 (1) 크다 (2) 짧다 (3) 커질수록

(1)  $E = hf$ 에서 진동수가 클수록 광자의 에너지가 크다.

(2)  $E = \frac{hc}{\lambda}$ 에서 파장이 짧을수록 광자의 에너지가 크다.

(3)  $E_n = \frac{E_1}{n^2}$ 에서 전자가 각 궤도에서 가질 수 있는 에너지는 양자수가 커질수록 커진다.

06

답 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×

(2) 자외선 영역의 빛이 방출된다.

(4) 보어의 수소 원자 모형은 수소처럼 전자가 1개인 원자 외 다른 원자의 스펙트럼을 설명할 수 없었다.



- 01 ② 02 ④ 03 ④ 04 ③ 05 ③ 06 ④ 07 ⑤  
08 ④ 09 ③ 10 ⑤

단답형·서술형 문제

- 11 (1) 답 햇빛→기체 방전관, 연속적→불연속적  
(2) 예시 답안 햇빛을 분광기로 관찰하면 연속 스펙트럼으로 나타나며, 선 스펙트럼은 고온의 기체 방전관에서 방출한 빛을 관찰할 때 나타난다. 선 스펙트럼에서 특정한 빛이 띄엄띄엄 선으로 나타난 것은 전자의 에너지 준위가 불연속적이기 때문이다.
- 12 예시 답안 가시광선 영역이므로  $n=2$ 로 전이해야 하며, 파장이 가장 길어 에너지가 가장 작은 전이 과정은  $n=3$ 에서  $n=2$ 로 전이할 때이다.
- 13 답 2.55 eV
- 14 (1) 답 A: 적외선, B: 가시광선, C: 자외선 (2) 예시 답안 전자가 전이할 때 방출하는 에너지는 두 궤도의 에너지 준위 차와 같으며, 빛의 진동수에 비례한다. 에너지 준위 차가 가장 큰 C에서 방출되는 광자 1 개의 에너지는  $hf_c$ 이고,  $E_4 - E_1 = hf_c$ 에서  $f_c = \frac{E_4 - E_1}{h}$ 이다.

- 01 답 ②  
② 특정한 파장의 빛만 불연속적인 선 모양으로 나타나는 선 스펙트럼을 분석해야 원소의 종류를 알 수 있다.  
오답 피하기 ① 스펙트럼은 빛이 프리즘과 같은 매질을 통과할 때 여러 가지 색깔로 나뉘어 나타나는 띠이다.  
③, ⑤ 선 스펙트럼은 특정한 파장의 빛만 불연속적인 선 모양으로 나타나고, 연속 스펙트럼은 여러 가지 파장의 빛이 색의 경계 없이 연속적으로 나타난다.  
④ 기체 방전관에서 방출되는 빛은 파장이 불연속적인 선 스펙트럼으로 나타난다.

- 02 답 ④

자료 분석 여러 가지 스펙트럼



- 태양에서 방출되는 빛은 (가)와 같은 연속 스펙트럼으로 나타난다.
- 기체 방전관에서 방출되는 빛은 (나)와 같이 파장이 불연속적인 선 스펙트럼으로 나타나며, 기체의 종류에 따라 밝은 선의 위치와 모양이 모두 다르다.
- (나)의 선 스펙트럼을 분석하면 원소의 종류를 알 수 있다.

7. 햇빛을 분광기로 관찰하면 여러 가지 파장의 빛이 색의 경계 없이 연속적인 색의 띠로 나타난다.

- ㄷ. 기체 방전관의 기체의 종류에 따라 밝은 선의 위치, 개수 등이 다르므로 분석하면 원소의 종류를 알 수 있다.

오답 피하기 ㄴ. (나)는 특정 파장의 빛만 불연속적인 선 모양으로 나타난 것으로 기체 방전관의 빛을 관찰한 선 스펙트럼이다.

- 03 답 ④

- A. 수소 기체 방전관을 분광기로 관찰한 선 스펙트럼이다.  
B. 파장이 짧을수록 광자의 에너지가 크므로 광자 1 개의 에너지는 a가 가장 크다.

오답 피하기 C. 파장이 짧을수록 에너지가 높으므로 에너지의 크기를 비교하면  $a > b > c > d$ 이다. 에너지가 낮은 궤도에서 높은 궤도로 전자가 전이할 때에는 에너지를 흡수하고, 에너지가 높은 궤도에서 낮은 궤도로 전자가 전이할 때에는 에너지를 빛의 형태로 방출한다.

- 04 답 ③

③ 보어의 원자 모형은 전자가 특정한 에너지 준위에서만 안정적으로 존재하며, 에너지 준위 사이의 전이 과정에서 빛의 흡수와 방출이 발생한다고 가정했다. 이것은 전자의 에너지가 연속적인 값이 아니라 특정한 불연속적인 값(양자화된 값)을 갖기 때문이다.

오답 피하기 ① 전자의 질량이 일정한 것과 전자가 특정한 에너지를 갖는 상태로 존재하는 것은 관련이 없다.

- ② 원자핵이 전자를 끌어당기는 것은 전기력에 의한 현상이다.  
④ 전자의 운동 에너지는 항상 일정하지 않다.  
⑤ 보어의 수소 원자 모형은 전자의 주기율에 따른 배치를 설명하지 못한다.

- 05 답 ③

7. 원자 속의 전자는 양자수에 해당하는 불연속적인 에너지값만 가질 수 있다.

ㄴ. 에너지 준위는 원자 내의 전자가 가질 수 있는 양자화된 에너지를 단계적으로 나타낸 것으로 양자수에 따라 불연속적인 값을 가지며, 양자수가 클수록 에너지 준위도 크다.

오답 피하기 ㄷ. 전자가 원자핵에서 가장 가까운  $n=1$ 인 궤도에 있을 때 가장 작은 에너지를 가지며, 이를 바닥상태라고 한다. 전자가  $n \geq 2$ 인 궤도에 있을 때 바닥상태보다 큰 에너지를 가지며, 이를 들뜬상태라고 한다.

- 06 답 ④

$n=1, 2, 3$ 으로 전이하여 빛을 방출할 수 있는 경우의 수는  $3(4 \rightarrow 1, 3 \rightarrow 1, 2 \rightarrow 1), 2(4 \rightarrow 2, 3 \rightarrow 2), 1(4 \rightarrow 3)$ 이므로  $3+2+1=6$ (개)이다.

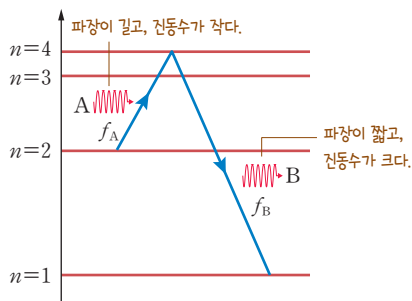
- 07 답 ⑤

ㄴ. 전이하는 전자의 에너지 준위 차가 클수록 파장이 짧은 빛을 방출하므로 A의 파장이 B의 파장보다 길다.

ㄷ.  $n=1$ 인 상태의 전자가 진동수  $f_B$ 의 광자를 흡수했다가 진동수  $f_A$ 의 광자를 방출하면  $n=2$ 인 상태로 전이할 수 있다.

오답 피하기 7. 전이하는 전자의 에너지 준위의 차이가 클수록 더 큰 진동수의 광자를 방출하므로  $f_A < f_B$ 이다.

### 자료 분석 ④ 전자의 전이와 광자의 흡수 및 방출



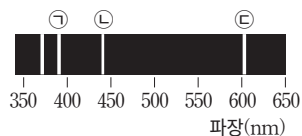
수소 원자의 에너지 준위는 양자수  $n$ 에 따라 불연속적인 값을 가지며, 전자는 이 에너지 준위 사이를 전이하면서 광자를 흡수하거나 방출한다. 전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이할 때에는 광자를 방출하며, 전자가 낮은 에너지 준위에서 높은 에너지 준위로 전이할 때에는 광자를 흡수한다. 빛의 에너지는  $E = hf$ 이다. ( $h$ : 플랑크 상수,  $f$ : 진동수)

•  $f_A$ 와  $f_B$ 는 서로 다른 에너지 준위 사이의 전이에서 발생하는 빛의 진동수로서  $hf_A = |E_4 - E_2|$ ,  $hf_B = |E_1 - E_4|$ 에서  $f_A < f_B$ 이다.

•  $f_A < f_B$ 이므로  $\lambda = \frac{c}{f}$ 에서  $\lambda_A > \lambda_B$ 이다.

08 전이 과정에서 필요한 에너지의 차이는  $|E_4 - E_1| = |-0.85 - (-13.60)| = 12.75(\text{eV})$ 이고, 에너지 준위가 낮은 상태에서 높은 상태로 전자가 전이하므로 에너지를 흡수해야 한다.

### 09 자료 분석 ③ 수소 원자에서 방출하는 선 스펙트럼 분석



- 전자가 전이할 때 방출하는 광자 1 개의 에너지가 클수록 빛의 파장이 짧아진다.
- 가시광선 영역에서 방출하는 에너지는 ㉠, ㉡, ㉢ 순으로 크다. 따라서 ㉠은  $n=5$ 에서  $n=2$ 로 전이하는 빛이고, ㉡은  $n=4$ 에서  $n=2$ 로 전이하는 빛이며, ㉢은  $n=3$ 에서  $n=2$ 로 전이하는 빛이다.

7. ㉢은 전자가 b의 전이 과정에서 방출하는 에너지이므로  $hf = E_3 - E_2$ 에서 광자의 진동수  $f = \frac{E_3 - E_2}{h}$ 이다.

ㄴ. a와 c의 전이 과정에서는 자외선 영역의 빛을 방출하고, b와 d의 전이 과정에서는 가시광선 영역의 빛을 방출하며, e의 전이 과정에서는 적외선 영역의 빛을 방출한다.

오답 피하기 ㄷ. b의 전이 과정에서 나타나는 스펙트럼선은 ㉢이고, c의 전이 과정에서는 자외선 영역의 빛을 방출한다.

10 A, B, C. 보어의 수소 원자 모형은 수소 외 다른 원자의 스펙트럼을 설명할 수는 없었지만 원자 내의 전자가 불연속적인 에너지를 갖는다는 사실을 알아낸 것에 의의가 있다. 그리고 오늘날 반도체 등 새로운 물질을 개발하는 데 중요한 역할을 하였다.

11 (1) 불연속적인 선 스펙트럼이 관찰되므로 기체 방전관에서 방출한 빛을 분광기로 관찰한 것이다.  
(2) 햇빛을 분광기로 관찰하면 연속 스펙트럼으로 나타나며, 선 스펙트럼은 고온의 기체 방전관에서 방출한 빛을 관찰할 때 나타난다. 선 스펙트럼에서 특정한 빛이 띄엄띄엄 선으로 나타난 것은 전자의 에너지 준위가 불연속적이기 때문이다.

| 채점 기준                              | 배점(%) |
|------------------------------------|-------|
| 잘못된 내용 2 가지를 고쳐 쓴 까닭을 모두 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 잘못된 내용 중 고쳐 쓴 까닭을 하나만 설명한 경우       | 50    |

12 가시광선 영역이므로  $n=2$ 로 전이해야 하며, 파장이 가장 길어 에너지가 가장 작은 전이 과정은  $n=3$ 에서  $n=2$ 로 전이할 때이다.

| 채점 기준                                                | 배점(%) |
|------------------------------------------------------|-------|
| 가시광선 영역의 선 스펙트럼 중에서 가장 긴 파장을 갖는 전자의 전이 과정을 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 설명 없이 전이 과정만 쓴 경우                                    | 40    |

13 보어의 수소 원자 모형에서 양자수에 따른 에너지는  $E_n = -\frac{13.6}{n^2}(\text{eV})$ 이므로  $-\frac{13.6}{4^2} - \frac{13.6}{2^2} = -0.85 + 3.4 = 2.55(\text{eV})$ 이다.

14 (1) 수소 원자의 전자가 높은 에너지 준위에서  $n=1$ 인 에너지 준위로 전이하면 자외선 영역의 빛을 방출하고,  $n=2$ 인 에너지 준위로 전이하면 가시광선 영역의 빛을 방출하며,  $n=3$ 인 에너지 준위로 전이하면 적외선 영역의 빛을 방출한다.  
(2) 전자가 전이할 때 방출하는 에너지는 두 궤도의 에너지 준위 차와 같으며, 빛의 진동수에 비례한다. 에너지 준위 차가 가장 큰 C에서 방출되는 광자 1 개의 에너지는  $hf_c$ 이고,  $E_4 - E_1 = hf_c$ 에서  $f_c = \frac{E_4 - E_1}{h}$ 이다.

| 채점 기준                                    | 배점(%) |
|------------------------------------------|-------|
| A~C 전이 과정 중 가장 큰 진동수를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우 | 100   |
| 가장 큰 진동수만 쓴 경우                           | 40    |

## 기본 탄탄 문제

169 쪽

- 01 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○  
 02 ㉠ 전도띠, ㉡ 원자가 띠, ㉢ 띠 간격, ㉣ 도체, ㉤ 반도체  
 03 (1) 잘 흐르지 않는다 (2) 흐른다  
 04 (1) ○ (2) ○ (3) ×  
 05 (1) 한쪽, 정류 (2) 순방향 (3) 역방향 (4) 흐른다 (5) 흐르지 않는다  
 06 ㉠ 정류, ㉡ 띠 간격

01 **답** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○  
 (2) A는 원자가 띠 바로 위에 있는 전도띠로 전자가 채워져 있지 않은 띠이다.  
 (3) B는 원자가 띠와 전도띠 사이의 전자가 존재할 수 없는 에너지 영역의 띠 간격이다.  
 (4) C는 전자가 채워져 있는 가장 바깥에 있는 에너지띠이다.

02 **답** ㉠ 전도띠, ㉡ 원자가 띠, ㉢ 띠 간격, ㉣ 도체, ㉤ 반도체  
 고체의 에너지띠는 에너지 준위가 매우 가깝게 존재하여 연속적인 띠 모양을 이룬다. 에너지띠 구조에 따라 도체, 부도체, 반도체로 구분이 된다. 띠 간격 크기에 따라 고체의 전기 전도성이 달라지므로 띠 간격은 고체의 특징을 결정하는 중요한 요인이다.

03 **답** (1) 잘 흐르지 않는다 (2) 흐른다  
 (1) 순수 반도체는 원자가 전자가 4 개인 규소(Si)와 저마늄(Ge)이 대표적인 물질이며, 전류가 잘 흐르지 않는다.  
 (2) 불순물 반도체는 순수 반도체에 불순물을 첨가한 반도체로 전류가 흐른다. p형 반도체와 n형 반도체가 있다.

04 **답** (1) ○ (2) ○ (3) ×  
 (1) 알루미늄, 붕소, 인듐, 갈륨은 원자가 전자가 3 개이다.  
 (2) 인, 비소, 안티모니, 비스무트는 원자가 전자가 5 개이다.  
 (3) p형 반도체는 결합 과정에서 전자가 1 개 부족하여 생긴 양공이 전하를 운반하는 역할을 하고, n형 반도체는 결합 과정에서 남는 전자가 전하를 운반하는 역할을 한다.

05 **답** (1) 한쪽, 정류 (2) 순방향 (3) 역방향 (4) 흐른다 (5) 흐르지 않는다  
 순방향 전압 연결은 p형 반도체에 전원의 (+)극을, n형 반도체에 전원의 (-)극을 연결한 것으로 전류가 흐른다. 역방향 전압 연결은 p형 반도체에 전원의 (-)극을, n형 반도체에 전원의 (+)극을 연결한 것으로 전류가 흐르지 않는다.

06 **답** ㉠ 정류, ㉡ 띠 간격  
 p-n 접합 다이오드는 충전기 어댑터, 발광 다이오드 등 일상생활에서 다양하게 이용되고 있다.

## 일찍 꼭꼭 문제

170~173 쪽

- 01 ③ 02 ③ 03 ③ 04 ④ 05 ② 06 ④ 07 ③  
 08 ④ 09 ② 10 ⑤ 11 ③ 12 ⑤ 13 ⑤ 14 ③

## 단답형·서술형 문제

- 15 **답** ㉠ 도체, ㉡ 전자, ㉢ 전도띠, ㉣ 크다  
 16 (1) **답** B (2) **예시 답안** 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하려면 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 하므로 A는 5.5 eV 이상의 에너지를 흡수해야 하고, B는 1.1 eV 이상의 에너지를 흡수해야 한다.  
 17 (1) **답** A: 양공, B: 전자 (2) **예시 답안** A는 순수 반도체에 양공이 많아지게 도핑하였으므로 p형 반도체이고, B는 순수 반도체에 전자가 많아지게 도핑하였으므로 n형 반도체이다.  
 18 **예시 답안**

|   |   |
|---|---|
| - | + |
| - | + |
| - | + |

, 접합면을 기준으로 양공의 농도가 높은 p형 반도체에서 n형 반도체 쪽으로 양공이 확산되고, 전자의 농도가 높은 n형 반도체에서 p형 반도체 쪽으로 전자가 확산된다. 따라서 접합면 주변에는 고정된 양이온과 음이온을 띠는 영역이 생기며, 전자와 양공에 전기력을 작용해 더 이상 확산하는 것을 막는 역할을 한다.  
 19 **예시 답안** X는 원자가 전자가 5 개인 인(P)을 첨가한 n형 반도체이고, Y는 원자가 전자가 3 개인 붕소(B)를 첨가한 p형 반도체이다. 따라서 X에 (+)전극이 연결되고, Y에 (-)전극이 연결되어 역방향 전압 연결이므로 전류가 흐르지 않는다.  
 20 (1) **예시 답안** 다이오드의 p형 반도체 쪽을 (+)극에, n형 반도체 쪽을 (-)극에 연결할 때에만 전구에 불이 켜졌으므로, 다이오드는 회로에 전류가 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 정류 작용을 한다. (2) **예시 답안** 충전기 어댑터는 다이오드를 이용해 반대 방향으로 흐르는 전류를 제어해 한 방향으로만 전류가 흐르도록 하는 정류 작용을 통해 교류를 직류로 바꾸어 노트북 등 전자 제품을 작동하거나 충전해 사용할 수 있도록 한다.

01 **답** ③  
 ③ 원자가 1 개일 때에는 인접한 원자의 영향을 받지 않기 때문에 에너지 준위가 명확한 선으로 구분된다.  
**오답 피하기** ①, ④ 고체는 기체와 달리 원자들 사이의 간격이 매우 가깝기 때문에 인접한 원자들이 전자 궤도에 영향을 주어 연속적인 띠 모양의 에너지 준위를 가진다.  
 ②, ⑤ 에너지띠는 전자가 존재할 수 있는 영역이고, 띠 간격에는 전자가 존재할 수 없으며, 에너지 준위 사이의 간격은 원자핵으로부터 멀어질수록 좁아진다.

02 **답** ③  
 (가)는 부도체, (나)는 반도체, (다)는 도체의 에너지띠 구조이다. 도체는 띠 간격이 없거나 매우 좁고, 부도체의 띠 간격은 반도체보다 크다.

03

답 ③

③ 도체는 띠 간격이 없거나 매우 좁아 전류가 잘 흐른다.

오답 피하기

- ① 띠 간격이 좁을수록 전기 전도성이 크다.
- ② 원자가 띠의 폭은 전기 저항과 관련이 거의 없다.
- ④ 반도체는 온도가 높아지면 전기 전도성이 증가한다.
- ⑤ 부도체라도 원자가 띠에 있는 전자가 띠 간격보다 큰 에너지를 얻으면 전도띠로 전이하여 전류가 흐를 수 있다.

04

답 ④

ㄴ. B 영역은 전자가 존재할 수 없는 영역으로 띠 간격에 해당한다.  
ㄷ. C는 전자가 존재할 수 있는 영역으로 원자가 띠이고, 전자는 원자가 띠에 해당하는 C부터 채워진다.

오답 피하기 ㄱ. A는 전자가 존재할 수 있는 영역으로 전도띠이다.

05

답 ②

ㄷ. 부도체의 전자는 거의 원자가 띠에만 채워져 있고, 띠 간격이 크기 때문에 전자가 전도띠로 쉽게 이동할 수 없다.

오답 피하기 ㄱ. 전기 전도도는 띠 간격이 작은 B가 A보다 더 크다.  
ㄴ. 띠 간격이 작은 P는 반도체이고, 띠 간격이 큰 Q는 부도체이다.

06

답 ④

ㄱ. 원자가 띠는 양공이 이동하는 에너지띠이다.  
ㄴ. 전자는 대부분 원자가 띠부터 채워지므로 상온에서 원자가 띠는 대부분 양공이 아닌 전자로 채워져 있다.

오답 피하기 ㄷ. p형 반도체가 되도록 도핑할 경우 원자가 띠 가까이 불순물 에너지 준위가 추가되므로 원자가 띠의 전자가 쉽게 전이하여 원자가 띠에 양공이 생성된다.

07

답 ③

ㄱ, ㄴ. (가)와 (라)는 원자가 띠 바로 위에 양공에 의한 새로운 에너지띠가 만들어지는 p형 반도체이고, (나)와 (다)는 남는 전자에 의한 새로운 에너지띠가 전도띠 바로 아래에 만들어지는 n형 반도체이다.

오답 피하기 ㄷ. 도핑 과정에서 중성 상태의 불순물이 중성 상태의 반도체에 투입되어 p형, n형 반도체 모두 전기적으로 중성이다.

08

답 ④

㉠은 원자가 전자가 5 개인 원소이고, ㉡은 원자가 전자가 3 개인 원소이다. 인(P)과 비소(As)는 원자가 전자가 5 개인 원소이고, 붕소(B)와 알루미늄(Al)은 원자가 전자가 3 개인 원소이다.

09

답 ②

ㄷ. p형 반도체에는 음이온이 남는 영역이 형성되고, n형 반도체에는 양이온이 남는 영역이 형성되므로 접합면 주변에 형성되는 내부 전기장의 방향은 n형 반도체에서 p형 반도체를 향한다.

오답 피하기 ㄱ. 접합면 주변에는 고정된 양이온과 음이온을 띠는 영역이 생긴다.

ㄴ. 접합부에는 전자와 양공의 확산을 막는 전기력이 작용한다.

10

답 ⑤

ㄱ. X에는 음이온이 남는 영역이 형성되므로 p형 반도체이고, Y에는 양이온이 남는 영역이 형성되므로 n형 반도체이다.

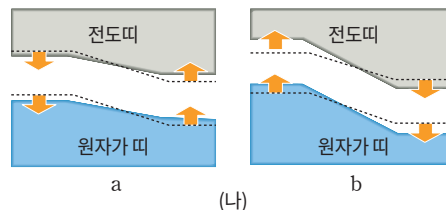
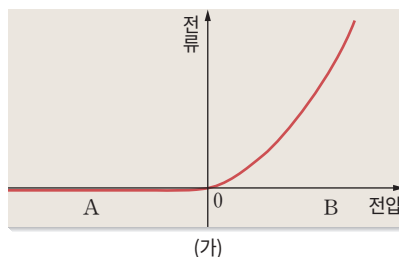
ㄴ. Q는 전하 운반자가 없는 영역으로 전자와 양공이 확산되는 것을 막는다.

ㄷ. p형 반도체인 a에 전원의 (+)극을 연결하고, n형 반도체인 b에 전원의 (-)극을 연결하면 p형 반도체의 양공이 (-)극 쪽으로, n형 반도체의 전자가 (+)극 쪽으로 이동한다. 따라서 영역 Q가 얇아지면서 에너지 준위가 낮아진다.

11

답 ③

자료 분석 p-n 접합 다이오드의 전압-전류 그래프



- 순방향 전압 연결(B)일 때에는 전류가 잘 흐르고, 역방향 전압 연결(A)일 때에는 전류가 거의 흐르지 않는다.
- a에서는 에너지 준위가 낮아지므로 순방향 전압 연결이고, b에서는 에너지 준위가 높아지므로 역방향 전압 연결이다.

ㄱ. A는 역방향 전압 연결이고, B는 순방향 전압 연결이다.

ㄴ. B는 순방향 전압 연결되어 에너지 준위가 낮아진 a 상태이다.

오답 피하기 ㄷ. a 상태에서는 에너지 준위가 낮아져 p형 반도체에서 n형 반도체로 전류가 흐르고, b 상태에서는 에너지 준위가 높아져 p형 반도체의 양공이 n형 반도체로 확산되기 어렵고, n형 반도체의 전자도 p형 반도체로 확산되기 어렵다.

12

답 ⑤

정류 작용은 순방향 전압 연결에서 전류를 허용하고, 역방향 전압 연결에서 전류를 차단하는 효과를 말한다.

13

답 ⑤

ㄴ. X는 전류를 한쪽 방향으로 흐르게 하는 정류 작용을 하므로 p-n 접합 다이오드이다.

ㄷ. 전압이 (-)일 때에만 전류가 흐르므로 전원의 극을 바꾸어 반대로 연결하면 전압이 (+)극일 때에만 전류가 흐른다.

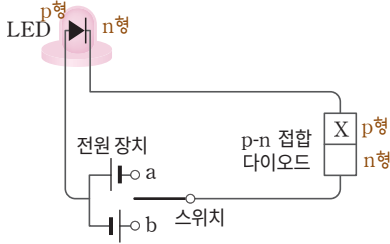
오답 피하기 ㄱ. p-n 접합 다이오드이므로 회로 기호는  $\rightarrow|$ 이다.

14

③

#### 자료 분석 ● p-n 접합 다이오드와 LED를 연결한 회로

LED가 빛을 방출시키려면 순방향 전압 연결이어야 한다. LED에 순방향 전압이 연결되려면, 스위치가 a에 연결되고, p-n 접합 다이오드의 X가 p형 반도체이어야 한다.



ㄷ. LED가 빛을 방출하려면 모두 순방향 전압 연결이 되어야 한다.

오답 피하기 ㄱ. 다이오드 기호에서 LED의 왼쪽이 p형, 오른쪽이 n형 반도체이므로 X는 p형 반도체이어야 LED에 순방향 전압이 연결되어 불이 켜진다.

ㄴ. 스위치를 a에 연결해야 LED에 순방향 전압이 연결된다.

15

도체는 원자가 띠의 일부분만 전자가 채워져 있어 전자가 자유롭게 이동할 수 있으며, 원자가 띠와 전도띠가 겹쳐 있다. 따라서 약간의 에너지만 흡수하여도 전자는 쉽게 전도띠로 이동할 수 있어 전류가 잘 흐르기 때문에 전기 전도성이 크다.

16

(1) B가 A보다 띠 간격이 작다. 따라서 전자가 전도띠로 이동하기가 B에서 더 쉬우므로 전기 전도성은 B가 A보다 크다.

(2) 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하려면 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 하므로 A는 5.5 eV 이상의 에너지를 흡수해야 하고, B는 1.1 eV 이상의 에너지를 흡수해야 한다.

| 채점 기준                                | 배점(%) |
|--------------------------------------|-------|
| A, B가 흡수해야 할 최소한의 에너지를 모두 옳게 설명한 경우  | 100   |
| A, B가 흡수해야 할 최소한의 에너지를 하나만 옳게 설명한 경우 | 50    |

17

(1) A는 양공이 전하를 운반하는 역할을 하고, B는 전자가 전하를 운반하는 역할을 한다.

(2) A는 순수 반도체에 양공이 많아지게 도핑하였으므로 p형 반도체이고, B는 순수 반도체에 전자가 많아지게 도핑하였으므로 n형 반도체이다.

| 채점 기준                        | 배점(%) |
|------------------------------|-------|
| A, B의 반도체 종류를 모두 옳게 설명한 경우   | 100   |
| A, B의 반도체 종류 중 하나만 옳게 설명한 경우 | 50    |

18

접합면을 기준으로 양공의 농도가 높은 p형 반도체에서 n형 반도체 쪽으로 양공이 확산되고, 전자의 농도가 높은 n형 반도체에서 p형 반도체 쪽으로 전자가 확산된다. 따라서 접합면 주변에는 고정된 양이온과 음이온을 띠는 영역이 생기며, 전자와 양공에 전기력을 작용해 더 이상 확산하는 것을 막는 역할을 한다.

| 채점 기준                           | 배점(%) |
|---------------------------------|-------|
| ㉠의 전하 분포를 그리고, 역할을 옳게 설명한 경우    | 100   |
| ㉠의 전하 분포를 그리지 않고, 역할만 옳게 설명한 경우 | 50    |
| ㉠의 전하 분포만 그린 경우                 | 30    |

19

X는 원자가 전자가 5 개인 인(P)을 첨가한 n형 반도체이고, Y는 원자가 전자가 3 개인 붕소(B)를 첨가한 p형 반도체이다. 따라서 X에 (+)전극이 연결되고, Y에 (-)전극이 연결되어 역방향 전압 연결이므로 전류가 흐르지 않는다.

| 채점 기준                                              | 배점(%) |
|----------------------------------------------------|-------|
| 전기 회로의 스위치를 닫았을 때 전류계에 흐르는 전류의 흐름을 구체적으로 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 전기 회로의 스위치를 닫았을 때 전류계에 흐르는 전류의 흐름 여부만 간단히 설명한 경우   | 50    |

20

(1) 다이오드의 p형 반도체 쪽을 (+)극에, n형 반도체 쪽을 (-)극에 연결할 때에만 전구에 불이 켜졌으므로, 다이오드는 회로에 전류가 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 정류 작용을 한다.

| 채점 기준                      | 배점(%) |
|----------------------------|-------|
| 다이오드의 특징을 근거를 들어 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 다이오드의 특징을 정류 작용이라고만 쓴 경우   | 40    |

(2) 충전기 어댑터는 다이오드를 이용해 반대 방향으로 흐르는 전류를 제어해 한 방향으로만 전류가 흐르도록 하는 정류 작용을 통해 교류를 직류로 바꾸어 노트북 등 전자 제품을 작동하거나 충전해 사용할 수 있도록 한다.

| 채점 기준                                             | 배점(%) |
|---------------------------------------------------|-------|
| 다이오드를 일상생활에서 어떻게 이용하고 있는지 이용 사례를 원리와 함께 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 다이오드가 일상생활에서 어디에 이용되고 있는지만 쓴 경우                   | 40    |



기본 탄탄 문제

177 쪽

- 01 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ×  
 02 ㉠ 관성, ㉡ 상대성 원리  
 03 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○  
 04 (1) 연직, 비스듬한 (2)  $t_0$ , 길다 (3)  $L_0$ , 짧다 (4) 수평  
 05 ㉠ 줄어들어, ㉡ 늘어나

01 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ×  
 (3) 오토바이에서 본 자동차의 속력은  $60 - 40 = 20(\text{km/h})$ 이다.  
 (4) 달리는 사람이 본 버스의 속력은  $50 - (-10) = 60(\text{km/h})$ 이다.

02 ㉠ 관성, ㉡ 상대성 원리  
 서로 다른 관성 좌표계에서 운동하는 물체에 운동 법칙이 동일하게 적용되므로, 기준을 알지 못한 상태에서 정지 상태와 등속도 운동 상태를 구별할 수 없다. 이를 갈릴레이의 상대성 원리라고 한다.

03 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○  
 (2) 진공 중에서 진행하는 빛의 속력( $c$ )은 모든 관성 좌표계에서  $c$ 로 같다.  
 (3) 관성 좌표계의 관찰자가 상대적으로 운동하는 관찰자를 보았을 때, 상대방의 시간은 느리게 간다.  
 (4) 관성 좌표계의 관찰자가 상대적으로 운동하는 물체를 보았을 때, 길이가 수축되어 보인다.  
 (5) 빠르게 지구 주위를 도는 GPS 위성은 상대성 이론에 따라 지구와의 시간 간격과 차이가 나기 때문에 이를 보정하는 과정을 거친다.

04 (1) 연직, 비스듬한 (2)  $t_0$ , 길다 (3)  $L_0$ , 짧다 (4) 수평  
 (1) A가 관측할 때 빛은 연직 방향으로 진행하고, B가 관측할 때 빛은 비스듬한 방향으로 진행한다.  
 (2) 빛 시계에 대해 정지한 관찰자 A가 측정한 시간이 고유 시간이며, 고유 시간  $t_0$ 은 관찰자 B가 측정한 시간  $t$ 보다 짧다.  
 (3) 두 행성에 대해 정지한 관찰자 B가 측정한 거리  $L_0$ 은 고유 길이이며, 고유 길이  $L_0$ 은 관찰자 B가 측정한 거리  $L$ 보다 길다.  
 (4) 길이 수축은 물체가 운동하는 방향으로만 일어나며, 운동 방향과 수직인 방향으로 일어나지 않는다.

05 ㉠ 줄어들어, ㉡ 늘어나  
 뮤온과 같이 움직이는 좌표계에서 관측할 때 뮤온이 발생한 지점에서 지표면까지의 거리가 줄어들기 때문에 뮤온이 지표면에 도달한다. 지표면에서 관측할 때 뮤온의 수명이 늘어나기 때문에 뮤온이 지표면에 도달한다.

일찍 뚫는 문제

178~181 쪽

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

단답형·서술형 문제

- 15 (1) 예시답안 관찰자 A의 좌표계는 등속도 운동을 하고, 관찰자 B의 좌표계는 정지해 있으므로 모두 관성 좌표계이다.  
 (2) 예시답안 관찰자 A는 공이 연직 위로 올라갔다 떨어지는 것으로 관찰하고, 관찰자 B는 공이 포물선으로 운동하는 것으로 관찰한다. (3) 예시답안 관찰자 A가 본 공은 지면에 있을 때와 같은 운동을 하므로 자신이 정지해 있는지 등속도 운동을 하는지 구별할 수 없다.  
 16 답 빛의 속력  
 17 예시답안 B, 정지한 관찰자 C가 측정한 운동하는 우주선 A, B의 시간은 팽창되고, 운동하는 우주선의 속력이 빠를수록 시간은 더 크게 팽창한다. 따라서 관찰자 C가 측정할 때 B의 속력이 A의 속력보다 빠르므로 B의 시간이 더 길다.  
 18 (1) 답  $L < L_0$  (2) 답  $S = S_0$  (3) 예시답안 우주선의 운동 방향으로 속력이 느려져 길이 수축이 더 작게 나타나므로  $L$ 은 더 길어지고, 운동 방향과 수직인 방향으로 길이가 변하지 않으므로  $S$ 는 변하지 않는다.  
 19 (1) 예시답안 시간 팽창을 고려하면 지표면에서 측정되는 뮤온의 수명은  $77 \mu\text{s}$ 이므로 진행할 수 있는 거리는  $3 \times 10^8 \times 77 \times 10^{-6} = 23.1(\text{km})$  정도로 15 km보다 길어서 충분히 지표면에 도달할 수 있다.  
 (2) 예시답안 뮤온이  $2.2 \mu\text{s}$  동안 진행할 수 있는 거리는  $3 \times 10^8 \times 2.2 \times 10^{-6} = 0.66(\text{km})$ 이지만, 뮤온 입장에서 지표면까지의 거리는 길이 수축을 고려하면 0.43 km 정도로 짧아서 충분히 지표면에 도달할 수 있다.

01 ㉡ ⑤  
 상대 속도는 관찰자가 측정하는 물체의 속도로, 물체의 속도에서 관찰자의 속도를 빼서 구한다. A에서 보는 B의 상대 속도  $v_B - v_A = 60 - (-45) = 105(\text{km/h})$ 이다.

02 ㉡ ⑤  
 E의 속력은 일정해도 방향이 변하므로 가속도 운동을 하는 비관성 좌표계이다.

오답 피하기 A, B, C, D는 정지해 있거나 등속 직선 운동을 하므로 관성 좌표계이다.

03 ㉡ ④  
 A. 정지해 있거나 등속 직선 운동을 하는 기준 좌표계를 관성 좌표계라고 한다.

C. 서로 다른 관성 좌표계에서 물체의 운동은 상대 속도 차이만 있을 뿐 운동 법칙은 동일하게 적용된다.

오답 피하기 B. 가속도 운동을 하는 기준 좌표계는 비관성 좌표계이다.

04

답 ④

ㄴ. A는 관성계에 있으므로 갈릴레이의 상대성 원리에 따라 정지 상태인지 등속도 운동 상태인지 구분할 수 없다.

ㄷ. 상대성 원리에 따라 A, B의 관성계에서 b의 운동 상태를 기술하는 물리 법칙은 동일하다.

오답 피하기 ㄱ. A가 보는 a처럼 B가 보는 b 역시 기울어져 있지 않고, 연직 방향으로 매달려 있다.

05

답 ②

ㄷ. 두 상황에서 정지한 관성 좌표계와 운동하는 관성 좌표계가 구별되어 갈릴레이의 상대성 원리에 위배된다. 이를 해결하기 위해 특수 상대성 이론의 가설이 제시되었다.

오답 피하기 ㄱ, ㄴ. 정지해 있는 관찰자 A는 자신의 얼굴을 볼 수 있지만 빛과 같은 속력으로 움직이고 있는 관찰자 B는 자신의 얼굴에서 반사한 빛과 같은 속력으로 움직이고 있으므로 얼굴에서 반사된 빛이 거울에 닿지 않아 자신을 볼 수 없다. 따라서 관성 좌표계가 구별되므로 갈릴레이의 상대성 원리에 위배된다.

06

답 ③

특수 상대성 이론에서 진공 속을 진행하는 빛의 속력( $c$ )은 광원이나 관찰자의 속력에 관계없이 모든 관성계에서  $c$ 로 일정하다.

07

답 ①

상대성 원리에 의하면 모든 관성 좌표계에서 물리 법칙은 동일하게 성립한다. 광속 불변 원리에 의하면 진공에서 빛의 속력( $c$ )은 모든 관성 좌표계에서  $c$ 로 일정하다.

08

답 ⑤

진공에서 빛의 속력은 모든 관성 좌표계에서  $c$ 로 동일하다. 따라서 관찰자 A, B, C가 측정한 빛의 속력은  $c$ 로 모두 같다.

09

답 ④

ㄴ. 모든 관성계에서 빛의 속력은  $c$ 로 일정하다. 따라서 A, B, C가 측정한 빛의 속력은 모두  $c$ 로 같다.

ㄷ. 시간 팽창은 우주선의 속력이 빠를수록 더 크게 나타나므로 정지한 관찰자 C가 측정했을 때 우주선 A의 시간은 우주선 B의 시간보다 느리게 측정된다.

오답 피하기 ㄱ. 우주선 밖 정지한 관찰자 C가 보았을 때 우주선 안 A, B의 시간은 느리게 간다.

10

답 ③

ㄷ. 관찰자 B가 측정할 때 빛이 왕복하는 데 걸린 시간은  $\frac{2L}{c}$ 이

고, 관찰자 A가 측정할 때 빛은 비스듬히 이동하므로 왕복하는 데 이동한 거리는  $2L$ 보다 길다. 따라서 빛이 왕복하는 데 걸리는 시간은  $\frac{2L}{c}$ 보다 길다.

오답 피하기 ㄱ. 지면에 정지한 관찰자 A가 측정한 시간은 우주선 안 관찰자 B가 측정한 시간보다 느리게 간다.

ㄴ. A의 관성계에서 빛이 왕복하는 데 걸린 시간은 상대 시간이고, B의 관성계에서 빛이 왕복하는 데 걸린 시간은 고유 시간이다.

11

답 ④

B, D는 막대의 길이 방향과 상대 운동 방향이 수직하므로 길이 수축이 발생하지 않고, C는 막대의 길이 방향과 상대 운동 방향이 나란하므로 길이 수축이 발생한다. 즉, 상대 운동에 의한 길이 수축 효과는 운동 방향에 놓인 길이에 해당하므로  $a=b=d>c$ 이다.

12

답 ②

ㄷ. A의 속력  $0.6c$ 는 B의 속력  $0.8c$ 보다 느리다. 따라서 B에 의한 길이 수축이 더 크게 나타나므로 A가 측정한 P와 Q 사이의 거리는 B가 측정할 때보다 길다.

오답 피하기 ㄱ. C의 관성계에서 A가  $6L$ 을  $0.6c$ 로 이동하는 데 걸린 시간과 B가  $8L$ 을  $v$ 의 속력으로 이동하는 데 걸린 시간은 같으므로  $v=0.8c$ 이며, B의 속력이  $c$ 보다 클 수 없다.

ㄴ. 기준선 P, Q는 관찰자 C에 대해 정지해 있으므로 관찰자 C가 관측한 P와 Q 사이의 길이  $14L$ 이 고유 길이이다. 관찰자 A가 측정한 P와 Q 사이 길이는 상대 길이로  $14L$ 보다 짧다.

13

답 ④

ㄴ. (가)의 경우 시간 팽창에 의해 뮤온의 수명이 늘어나 뮤온이 지표면에 도달한다. (나)의 경우 길이 수축에 의해 지표면까지의 거리가 감소해 뮤온이 지표면에 도달한다.

ㄷ. (나)의 경우 뮤온이 발생한 지점에서 지표면까지의 거리가 줄어들기 때문에 지표면에 도달한다.

오답 피하기 ㄱ. 지표면에 있는 관찰자가 측정할 때 상대적으로 빠르게 운동하는 뮤온의 수명은 시간 팽창에 의해 늘어나므로  $2.2\mu s$ 보다 길다.

14

답 ④

A. 상대성 이론은 GPS 위성 등 과학과 기술 분야에 큰 영향을 미쳤다.

C. 인공위성은 매우 매우 빠른 속도로 지구 주위를 돌기 때문에 상대성 이론에 따라 지구에서와 인공위성에서의 시간이 다르게 흐른다. 따라서 시간을 보정하지 않으면 오차가 발생해 정확도가 떨어진다.

오답 피하기 B. 상대성 이론은 과학과 기술, 예술, 문화, 사회 등 다양한 분야에 영향을 미쳤다.

15

(1) 관성 좌표계는 관성 법칙이 성립하는 좌표계이다. 관찰자 A의 좌표계는 등속도 운동을 하고, 관찰자 B의 좌표계는 정지해 있으므로 모두 관성 좌표계이다.

| 채점 기준                      | 배점(%) |
|----------------------------|-------|
| A, B 모두 관성 좌표계라고 옳게 설명한 경우 | 100   |
| A, B 중 하나만 관성 좌표계로 설명한 경우  | 50    |
| 관성 좌표계라고만 쓴 경우             | 30    |

(2) 관찰자 A는 공이 연직 위로 올라갔다 떨어지는 것으로 관찰하고, 관찰자 B는 자신은 정지해 있고, A가 움직인다고 보기 때문에 공이 포물선으로 운동하는 것으로 관찰한다.

| 채점 기준                           | 배점(%) |
|---------------------------------|-------|
| A, B가 관찰한 공의 운동을 모두 옳게 설명한 경우   | 100   |
| A, B가 관찰한 공의 운동 중 하나만 옳게 설명한 경우 | 50    |

(3) 관찰자 A가 본 공은 지면에 있을 때와 같은 운동을 하므로 자신이 정지해 있는지 등속도 운동을 하는지 구별할 수 없다.

| 채점 기준                              | 배점(%) |
|------------------------------------|-------|
| 관찰자 A가 자신의 운동을 구별할 수 있는지 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 구별할 수 없다고만 쓴 경우                    | 40    |

## 16

모든 관성 좌표계에서 보았을 때, 진공에서 진행하는 빛의 속력은 관찰자나 운동하는 물체의 속력에 관계없이 일정하다. 이를 광속 불변 원리라고 한다.

## 17

정지한 관찰자 C가 측정한 운동하는 우주선 A, B의 시간은 팽창되고, 운동하는 우주선의 속력이 빠를수록 시간은 더 크게 팽창한다. 따라서 관찰자 C가 측정할 때 B의 속력이 A의 속력보다 빠르므로 B의 시간이 더 길다.

| 채점 기준                              | 배점(%) |
|------------------------------------|-------|
| 관찰자 C가 측정한 A, B의 시간을 옳게 비교해 설명한 경우 | 100   |
| 관찰자 C가 측정한 A, B의 시간을 비교만 옳게 한 경우   | 30    |

## 18

- (1)  $x$  방향으로 길이 수축이 일어나므로  $L < L_0$ 이다.  
 (2)  $y$  방향으로 길이 수축이 일어나지 않으므로  $S = S_0$ 이다.  
 (3) 우주선의 운동 방향으로 속력이 느려져 길이 수축이 더 작게 나타나므로  $L$ 은 더 길어지고, 운동 방향과 수직인 방향으로 길이가 변하지 않으므로  $S$ 는 변하지 않는다.

| 채점 기준                                             | 배점(%) |
|---------------------------------------------------|-------|
| 우주선의 속력을 바꾸었을 때 $L$ , $S$ 의 길이 변화를 모두 옳게 설명한 경우   | 100   |
| 우주선의 속력을 바꾸었을 때 $L$ , $S$ 의 길이 변화 중 하나만 옳게 설명한 경우 | 50    |

## 19

(1) 시간 팽창을 고려하면 지표면에서 측정되는 뮤온의 수명은  $77 \mu\text{s}$ 이므로 진행할 수 있는 거리는  $(3 \times 10^8) \text{ m/s} \times (77 \times 10^{-6}) \text{ s} = 23.1 \text{ km}$  정도로 15 km보다 길어서 충분히 지표면에 도달할 수 있다.

| 채점 기준                                | 배점(%) |
|--------------------------------------|-------|
| 시간 팽창 개념을 이용하여 뮤온 관측이 가능함을 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 뮤온의 시간이 늘어나 관측이 가능하다고만 설명한 경우        | 40    |

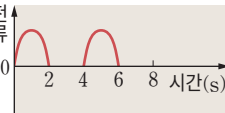
(2) 뮤온이  $2.2 \mu\text{s}$  동안 진행할 수 있는 거리를 구하면  $(3 \times 10^8) \text{ m/s} \times (2.2 \times 10^{-6}) \text{ s} = 0.66 \text{ km}$ 이지만, 뮤온 입장에서 지표면까지의 거리는 길이 수축을 고려하면 0.43 km 정도로 짧아서 충분히 지표면에 도달할 수 있다.

| 채점 기준                                | 배점(%) |
|--------------------------------------|-------|
| 길이 수축 개념을 이용하여 뮤온 관측이 가능함을 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 지표면까지의 거리가 줄어들어 관측이 가능하다고만 설명한 경우    | 40    |



182~185쪽

- 01 ㉠ ㉡ 연속 스펙트럼, ㉢ 선 스펙트럼 02 ㉠ 03 ㉠  
 04 ㉡ 05 예시 답안 보어의 수소 원자 모형은 전자 사이의 상호 작용을 고려하지 않기 때문에 수소 외 다른 원자의 스펙트럼을 설명할 수 없다. 06 ㉠ 07 ㉠ 08 ㉠ 09 예시 답안 두 반도체 X, Y를 접합하면 접합면을 기준으로 양공의 농도가 높은 반도체 X에서 반도체 Y 쪽으로 양공이 확산되고, 전자의 농도가 높은 반도체 Y에서 반도체 X 쪽으로 전자가 확산되므로 반도체 X에는 음이온이 남는 영역이 형성되고, 반도체 Y에는 양이온이 남는 영역이 형성된다. 10 ㉡ 11 ㉠  
 12 ㉠ 전류 13 ㉡ 14 ㉠



- 15 ㉠ 상대성 원리 16 ㉠ 17 ㉢  
 18 예시 답안 C, 정지한 관성 좌표계의 관찰자가 볼 때 상대적으로 빠르게 움직이는 물체의 시간이 느리게 가는 시간 팽창 현상이 나타나고, 상대적으로 빠르게 움직이는 물체의 길이가 수축되는 길이 수축 현상이 나타난다.

01

여러 파장의 빛이 섞여 있는 햇빛을 분광기로 관찰하면 색의 경계 없이 연속적으로 나타나는 연속 스펙트럼을 관찰할 수 있다. 기체 방전관을 분광기로 관찰하면 특정한 파장의 빛만 불연속적인 선 모양으로 나타나는 선 스펙트럼을 관찰할 수 있다.

02

답 ④

ㄱ. 실험 과정 (가)에서는 B의 연속 스펙트럼이 관찰되고, 실험 과정 (나)에서는 A의 선 스펙트럼이 관찰된다.

ㄷ. 기체 방전관에서 방출되는 빛은 파장이 불연속적인 선 스펙트럼으로 나타나며, 기체의 종류에 따라 밝은 선의 위치와 모양이 모두 다르므로 분석하면 원소의 종류를 알 수 있다.

오답 피하기 ㄴ. 연속 스펙트럼에서 빛의 파장은 보라색에서 빨간색으로 갈수록 길고, 빛이 갖는 에너지는 파장이 짧을수록 크다.

03

답 ④

ㄱ. 햇빛과 같이 백색광을 분광기로 관찰하면 여러 가지 파장의 빛이 색의 경계 없이 연속적으로 나타나는 연속 스펙트럼을 관찰할 수 있다.

ㄴ. 기체 방전관에서 방출되는 빛은 파장이 불연속적인 선 스펙트럼으로 나타나며, 기체의 종류에 따라 밝은 선의 위치와 모양이 모두 다르다.

오답 피하기 ㄷ. 햇빛을 분광기로 관찰하면 보는 각도에 관계없이 연속 스펙트럼이 나타난다.

04

답 ②

ㄴ. b와 c에서 방출되는 광자의 에너지 차이는  $n=4$ 와  $n=5$ 에 해당하는 에너지 준위의 차이이므로  $-0.54 \text{ eV} - (-0.85 \text{ eV}) = 0.31 \text{ eV}$ 이다.

오답 피하기 ㄱ. ㉠은 파장에 해당한다.

ㄷ. 스펙트럼의 a는 에너지 준위가  $n=6$ 에서  $n=2$ 로 전이하는 상황으로 광자의 에너지는  $3.02 \text{ eV}$ , b는 에너지 준위가  $n=5$ 에서  $n=2$ 로 전이하는 상황으로 광자의 에너지는  $2.86 \text{ eV}$ , c는 에너지 준위가  $n=4$ 에서  $n=2$ 로 전이하는 상황으로 광자의 에너지는  $2.55 \text{ eV}$ , d는 에너지 준위가  $n=3$ 에서  $n=2$ 로 전이하는 상황으로 광자의 에너지는  $1.89 \text{ eV}$ 이다. 진동수가  $f$ 인 광자의 에너지는  $hf$ 이므로  $\frac{3.02}{1.89} \neq 2$ 이고, 진동수 역시 2 배가 아니다.

05

보어의 수소 원자 모형은 전자 사이의 상호작용을 고려하지 않기 때문에 수소 외 다른 원자의 스펙트럼을 설명할 수 없다.

| 채점 기준                          | 배점(%) |
|--------------------------------|-------|
| 보어의 수소 원자 모형의 한계에 대해 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 전자 사이의 영향과 관련이 있다고만 쓴 경우       | 40    |

06

답 ④

(가)에서 가능한 전이의 개수는 총 6 가지이고,  $0.91 \text{ eV}$  이상의 에너지를 갖는 빛을 방출하는 전이는  $n=5$ ,  $n=4$ ,  $n=3$ 에서  $n=2$ 로 전이할 때와  $n=5$ 에서  $n=3$ 으로 전이할 때의 총 4 가지이다.

07

답 ①

ㄱ. A는 도체, B는 반도체에 해당하므로 전기 전도도는 A가 B보다 크다.

오답 피하기 ㄴ. 에너지띠는 에너지 준위가 미세하게 갈라져서 형성된 것으로 에너지띠에 있는 전자들의 에너지 상태는 모두 다르다. ㄷ. 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이할 때 에너지를 흡수한다.

08

답 ①

① 규소(Si)나 저마늄(Ge)과 같은 순수한 반도체는 원자가 전자가 4 개이고, 전류가 잘 흐르지 않는다. 이러한 순수 반도체에 불순물을 첨가하면 전기적 특성이 달라지며, 순수한 반도체에 불순물을 첨가하는 것을 도핑이라고 한다.

오답 피하기 ② 도핑은 에너지띠 구조를 거의 변형시키지 않는다.

③ n형 반도체를 생성하는 도핑의 경우 양공의 개수 변화는 거의 없다.

④ 도핑을 통해 전하 운반자가 추가되어 전기 전도도는 증가하므로 도핑된 반도체가 순수 반도체보다 전기 전도도가 크다.

⑤ 도핑은 불순물의 교체 과정이 아니라 추가 과정이다.

09

두 반도체 X, Y를 접합하면 접합면을 기준으로 양공의 농도가 높은 반도체 X에서 반도체 Y 쪽으로 양공이 확산되고, 전자의 농도가 높은 반도체 Y에서 반도체 X 쪽으로 전자가 확산되므로 반도체 X에는 음이온이 남는 영역이 형성되고, 반도체 Y에는 양이온이 남는 영역이 형성된다.

| 채점 기준                                      | 배점(%) |
|--------------------------------------------|-------|
| 접합면 주변에 양이온과 음이온을 띠는 영역이 생기는 원리를 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 접합면 주변에서 양공과 전자가 이동하기 때문이라고만 쓴 경우          | 30    |

10

답 ②

ㄴ. X는 p형 반도체이고, Y는 n형 반도체이므로 S를 a에 연결하면 순방향 전압 연결이고, S를 b에 연결하면 역방향 전압 연결이다.

오답 피하기 ㄱ. 반도체 X는 양공의 농도가 높으므로 p형 반도체이고, 반도체 Y는 전자의 농도가 높으므로 n형 반도체이다.

ㄷ. S를 a에 연결하면 순방향 전압 연결이므로 저항 R에 전류가 흐르고, S를 b에 연결하면 역방향 전압 연결이므로 저항 R에 전류가 흐르지 않는다. 따라서 회로에서 다이오드는 정류 작용을 한다.

**11** 답 ④  
ㄴ. 반도체 P는 p-n 접합 다이오드로 회로에서 정류 작용을 한다. 충전기 어댑터 내부에 들어 있는 다이오드가 정류 작용을 하여 가정에 공급되는 교류를 직류로 바꾸어 전기 기구를 사용할 수 있게 한다.

ㄷ. p-n 접합 다이오드 기호에서 왼쪽은 p형 반도체이고, 오른쪽은 n형 반도체이다. 따라서 a에 전원의 (+)극을, b에 (-)극을 연결했을 때에만 전류가 흐른다.

**오답 피하기** ㄱ. 다이오드에 전압이 순방향 전압으로 연결되었을 때에만 전류가 흐른다. 따라서 저항 R에는 전압이 (+)일 때에만 전류가 흐른다.

**12**  
다이오드의 정류 작용으로 a에 (+)극, b에 (-)극을 연결했을 때에만 전류가 흐르며, 전류-시간 그래프는 오른쪽과 같다.



**13** 답 ⑤  
ㄱ. 태양 전지에서 n형 반도체는 전지의 (-)극과 같고, LED에 순방향 전압이 연결되어야 빛을 방출하므로 X는 n형 반도체이다. 따라서 주로 전자가 전하를 운반한다.

ㄴ. 태양 전지에서는 광전 효과에 의해 전자-양공 쌍이 생성된다.  
ㄷ. LED의 p형 반도체에 있던 양공과 n형 반도체에 있던 전자는 접합면으로 이동하여 전류가 흐른다.

**14** 답 ④  
ㄱ. 정지해 있거나 등속 직선 운동을 하는 기준 좌표계는 관성 좌표계이므로 관찰자 A의 좌표계는 관성 좌표계이다.  
ㄷ. 자동차 B에 대한 A의 상대 속도는  $0 - 30 \text{ km/h} = -30 \text{ km/h}$ 이고, 자동차 B에 대한 C의 상대 속도는  $55 \text{ km/h} - 30 \text{ km/h} = 25 \text{ km/h}$ 이다.

**오답 피하기** ㄴ. 자동차 C에 탑승한 관찰자에 대한 자동차 B의 상대 속도는  $30 \text{ km/h} - 55 \text{ km/h} = -25 \text{ km/h}$ 이다. 따라서 자동차 B가 25 km/h의 속력으로 멀어지는 것으로 보인다.

**15**  
상대성 원리를 설명한 내용으로 정지 상태와 등속도 운동 상태를 구분할 수 없음을 설명하는 내용이다.

**16** 답 ④  
ㄱ. 빛의 속력은 관찰자의 운동에 관계없이 일정하다.  
ㄷ. 우주선 밖의 관찰자 B가 측정한 우주선 안의 시간은 관찰자 A가 측정한 고유 시간보다 느리게 간다.

**오답 피하기** ㄴ. 우주선의 길이는 우주선에 대해 정지해 있는 관찰자 A가 측정한 값이 고유 길이이며, 우주선에 대해 상대적으로 운동하는 관찰자 B가 측정한 우주선의 길이는 고유 길이보다 짧게 측정된다.

**17** 답 ③  
ㄷ. A가 측정한 우주선의 길이  $L_A$ 는 길이 수축에 의해 고유 길이  $L_B$ 보다 짧게 측정된다. A가 관찰할 때 빛 시계의 빛은 위아래로 왕복 운동을 하고, B가 관찰할 때 빛은 사선을 따라 올라갔다 내려오므로  $t_B$ 는 시간 팽창 현상이 나타난다. 따라서 걸린 시간은  $t_A < t_B$ 이고, 우주선의 길이는  $L_A < L_B$ 이다.

**오답 피하기** ㄱ. 빛 시계에 대해 상대적으로 정지해 있는 관찰자 A가 측정한 시간  $t_A$ 가 고유 시간이다.

ㄴ. 우주선에 대해 상대적으로 정지해 있는 관찰자 B가 측정한 우주선의 길이  $L_B$ 가 고유 길이이다.

**18**  
정지한 관성 좌표계의 관찰자가 볼 때 상대적으로 빠르게 움직이는 물체의 시간이 느리게 가는 시간 팽창 현상이 나타나고, 상대적으로 빠르게 움직이는 물체의 길이가 수축되는 길이 수축 현상이 나타난다.

| 채점 기준                         | 배점(%) |
|-------------------------------|-------|
| 틀리게 말한 학생을 고르고, 옳게 고쳐서 설명한 경우 | 100   |
| 틀리게 말한 학생만 고른 경우              | 30    |

## 대단원 평가 문제

188~191 쪽

- 01 ④   02 ②   03 ⑤   04 ③   05 ③   06 ②   07 ⑤  
08 ③   09 ①   10 ⑤   11 ①   12 ②   13 ①

### 단답형·서술형 문제

**14** (1) **예시 답안** P에서보다 Q에서 간섭무늬 간격이 작기 때문에 이중 슬릿의 간격은 P보다 Q에서 넓다. (2) **예시 답안** 파장이  $\lambda_1$ 일 때가 파장이  $\lambda_2$ 일 때보다 간섭무늬 간격이 작기 때문에 파장은  $\lambda_2$ 가  $\lambda_1$ 보다 더 짧다.

**15** (1) **예시 답안** 방출된다. C는 B보다 진동수가 크므로 C의 진동수가 금속판의 한계 진동수보다 커서 광전자가 방출된다. 빛의 세기는 B보다 약하므로 광전자의 수는 B보다 적게 방출된다.

(2) **예시 답안** 방출되지 않는다. A는 한계 진동수보다 낮은 진동수이므로 광자 1 개의 에너지가 광전 효과를 일으킬 만큼의 충분한 에너지를 갖지 못해 빛의 세기를 증가시켜도 광전자가 방출되지 않는다.

**16** 답 ㉠ 에너지 준위, ㉡ 양자화

**17** **예시 답안** (가)에 전자가 많아지게 도핑한 (나)는 n형 반도체이고, (가)에 양공이 많아지게 도핑한 (다)는 p형 반도체이다.

**18** **예시 답안**  $v_A < v_C < v_B$ 이므로 빛 시계의 주기는  $t_A < t_C < t_B$ 이다. B의 우주선 길이 방향은 운동 방향과 수직하므로 길이 수축이 일어나지 않으며, 우주선의 길이는  $L_B > L_A > L_C$ 이다.



01

답 ④

ㄴ. 5 초 후에 두 파동의 굴 부분이 P 지점에 도착하여 진폭의 크기가 최대인 3 cm가 된다.

ㄷ. 두 파동의 마루가 최초로 중첩되는 위치는 20 cm이므로 P점보다 왼쪽에 있다.

오답 피하기 ㄱ. 두 파동의 최대 진폭은 각각 2 cm, 1 cm이므로 합성파의 최대 진폭은 2 cm + 1 cm = 3 cm이다.

02

답 ②

② 백색광이 프리즘을 통과할 때 프리즘에서 무지개 색의 빛이 나타나는 것은 빛의 굴절에 의한 현상이다.

오답 피하기 ①, ③, ④, ⑤ 렌즈의 반사 방지막 코팅, 지폐의 색 변환 잉크, 모르포 나비 날개의 색, 빛의 이중 슬릿 실험 결과 등은 빛의 간섭과 관련 있는 현상이다.

03

답 ⑤

ㄴ. CCD에서는 광전 효과에 의해 빛을 전기 신호로 전환한다.

ㄷ. 물체에서 나온 빛의 진동수가 CCD의 한계 진동수보다 커야 광전 효과에 의해 전자가 튀어나와 상을 맺히게 할 수 있다.

오답 피하기 ㄱ. 허상은 CCD에 투사하지 않으므로 렌즈에 의해 CCD에 맺히는 상은 실상이다.

04

답 ③

ㄷ. 물체의 위치가 초점 거리의 2 배일 때 물체와 같은 크기의 실상이 생긴다. 이때 물체에서 렌즈까지의 거리와 렌즈에서 상까지의 거리가 같다.

오답 피하기 ㄱ. 허상이 생기는 경우 상의 크기는 물체의 크기보다 크다.

ㄴ. 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 짧을 때에는 허상이 생기고, 길 때에는 거꾸로 선 실상이 생긴다.

05

답 ③

ㄱ. 광학 현미경은 가시광선을 사용하고, 전자 현미경은 전자의 물질파를 사용한다.

ㄴ. 현미경의 분해능은 사용하는 파동의 파장이 짧을수록 좋으며, 전자의 물질파 파장이 가시광선의 파장보다 짧기 때문에 전자 현미경은 광학 현미경보다 분해능이 더 좋다.

오답 피하기 ㄷ. 광학 현미경이 사용하는 가시광선의 파장보다 전자 현미경이 사용하는 전자의 물질파 파장이 더 짧다.

06

답 ②

ㄷ. C의 에너지는 1.89 eV이고, A의 에너지는 0.97 eV이므로 C가 A보다 에너지가 크다. 따라서 C를 비출 때에도 광자가 방출된다.

오답 피하기 ㄱ. A가 B보다 에너지가 크므로 파장은 A가 B보다 짧다.

ㄴ. 빛의 세기를 증가시켜도 빛의 진동수가 금속판 P의 한계 진동수보다 작으면 광전자는 방출되지 않는다.

07

답 ⑤

ㄱ. 흡수하는 빛의 진동수가 가장 크고, 적외선의 진동수가 가장 짧으므로  $f_a > f_c > f_b$ 이다.

ㄴ. 흡수하는 빛의 에너지는  $hf_a = E_4 - E_2 = \frac{hc}{\lambda}$ 에서  $\lambda = \frac{hc}{E_4 - E_2}$ 이다.

ㄷ.  $f_a - f_b = f_c$ 이므로  $n=3$ 인 상태에 있는 전자가 진동수  $f_a - f_b$ 인 빛을 방출하면  $n=2$ 인 상태로 전이한다.

08

답 ③

ㄷ. n형 반도체가 되도록 도핑하면 전도띠의 전자가 증가하고, p형 반도체가 되도록 도핑하면 원자가 띠의 양공이 증가한다.

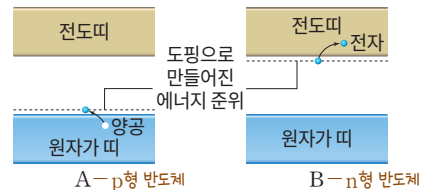
오답 피하기 ㄱ. 반도체의 전도띠는 전자가 이동할 수 있는 에너지 띠이다.

ㄴ. 상온에서 대부분의 전자는 원자가 띠에 채워져 있고, 전도띠는 거의 비어 있다.

09

답 ①

#### 자료 분석 불순물 반도체의 에너지 띠 구조



- A는 원자가 띠 바로 위에 양공에 의한 새로운 에너지 띠가 만들어져 원자가 띠의 전자가 이 에너지 준위로 전이하여 원자가 띠에 양공이 생겨 전류를 흐르게 하는 p형 반도체이다.
- B는 남은 전자에 의한 에너지 띠가 전도띠 바로 아래에 만들어져 남은 전자들이 쉽게 전도띠로 올라가 전류를 흐를 수 있게 하는 n형 반도체이다.

ㄱ. A는 전도띠이므로 도핑된 원자에 의한 에너지 준위는 불순물 에너지 준위이고, a는 전자이다. 따라서 n형 반도체의 에너지 띠 구조이다.

오답 피하기 ㄴ. A는 전도띠이고, B는 원자가 띠이다.

ㄷ. a는 전자이며, 작은 에너지로도 A로 쉽게 전이할 수 있다.

10

답 ⑤

⑤ p-n 접합 다이오드에 순방향 전압이 연결되면 전류가 흐르고, 역방향 전압이 연결되면 전류가 흐르지 않는다. 따라서 전류를 한 방향으로만 흐르게 하는 정류 작용을 한다.

오답 피하기 ①, ② (가)는 역방향 전압 연결이고, (나)는 순방향 전압 연결이므로 A는 p형 반도체이고, B는 n형 반도체이다.

③, ④ (가)에서는 전류의 세기가 0이 되고, (나)에서는 전자와 양공이 접합면 쪽으로 이동하여 전류가 흐른다.

11

답 ①

7. 순방향 전압 연결이므로 X는 n형 반도체이며, n형 반도체의 전하 운반자에 해당하는 전도띠에 위치한 전자들이 접합면으로 이동한다.

오답 피하기 ㄴ. 전압을 바꾸어 세기를 조절할 수 있지만, 방출되는 빛의 파장을 바꾸려면 띠 간격이 다른 LED를 사용해야 한다.

ㄷ. 띠 간격이 증가하면 초록색보다 더 큰 에너지에 해당하는 파장이 짧은 빛이 나오므로 빨간색 빛을 방출하려면 띠 간격이 더 작은 LED로 바꾸어 연결해야 한다.

12

답 ②

ㄷ. B의 관성계에서 측정한 P와 Q 사이의 거리를  $L'$ 이라고 하면  $L' = 0.8cT$ 이다.

오답 피하기 ㄱ. 속력이 빠를수록 시간 팽창이 크므로 속력이 빠른 광자의 시간이 B의 시간보다 느리게 간다.

ㄴ. 속력이 빠를수록 길이 수축 현상이 크므로 P와 Q 사이의 거리는 B에서 측정할 때가 광자에서 측정할 때보다 길다.

13

답 ①

7. 관찰자 A에 대해 상대적으로 운동하는 관찰자 B가 측정할 길이는 수축하므로 8 광년보다 짧다.

오답 피하기 ㄴ. 빛 신호를 수신하는 과정에서 우주선은 지구로부터 멀어지기 때문에 시간 팽창을 고려하지 않더라도 첫 신호부터 1년보다 더 긴 시간이 지난 후에 신호를 받게 되고, 그 이후의 신호 역시 1년보다 긴 시간 이후에 받는다.

ㄷ. B가 측정한 행성에 도달하는 데 걸리는 시간은 고유 시간이므로 B의 관성계에서 흐른 시간은 10년보다 짧다.

14

광원의 파장이 길수록, 슬릿 사이의 간격이 좁을수록, 슬릿과 스크린 사이의 거리가 멀수록 간섭무늬 간격이 커진다.

(1) P에서보다 Q에서 간섭무늬 간격이 작기 때문에 이중 슬릿의 간격은 P보다 Q에서 넓다.

| 채점 기준                                     | 배점(%) |
|-------------------------------------------|-------|
| 두 이중 슬릿의 간섭무늬 간격의 크기를 비교하고, 까닭을 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 이중 슬릿 간격이 넓을수록 간섭무늬 간격이 작아진다고만 설명한 경우     | 50    |

(2) 파장이  $\lambda_2$ 일 때가 파장이  $\lambda_1$ 일 때보다 간섭무늬 간격이 작기 때문에 파장은  $\lambda_2$ 가  $\lambda_1$ 보다 더 짧다.

| 채점 기준                                | 배점(%) |
|--------------------------------------|-------|
| 파장에 따른 간섭무늬 간격을 비교하고, 까닭을 옳게 설명한 경우  | 100   |
| 파장이 짧을수록 간섭무늬 간격이 작아지기 때문이라고만 설명한 경우 | 50    |

15

(1) C는 B보다 진동수가 크므로 금속판보다 한계 진동수가 커서 광전자가 방출된다. 빛의 세기는 B보다 약하므로 광전자의 수는 B보다 적게 방출된다.

| 채점 기준                                      | 배점(%) |
|--------------------------------------------|-------|
| 광전자의 방출 여부를 방출되는 광전자의 수를 비교하여 옳게 설명한 경우    | 100   |
| 광전자의 방출 여부를 언급 없이 방출되는 광전자의 수만 비교하여 설명한 경우 | 50    |
| 광전자의 방출 여부만 쓴 경우                           | 30    |

(2) A는 한계 진동수보다 낮은 진동수이므로 광자 1개의 에너지가 광전 효과를 일으킬 만큼의 충분한 에너지를 갖지 못해 빛의 세기를 증가시켜도 광전자가 방출되지 않는다.

| 채점 기준                          | 배점(%) |
|--------------------------------|-------|
| 광전자의 방출 여부와 그 까닭을 모두 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 광전자의 방출 여부만 쓴 경우               | 40    |

16

보이는 수소 원자의 불연속적인 선 스펙트럼 관찰 결과를 설명하기 위해 전자가 원자핵 주위의 특정한 궤도에서만 존재하고 궤도 사이에는 존재하지 않는다는 새로운 원자 모형을 제시하였다. 원자 내의 전자는 특정한 궤도에서 운동을 하며, 이때 빛을 방출하지 않고 안정한 상태로 존재한다. 전자가 특정한 궤도 사이를 이동할 때 두 궤도의 에너지 차이에 해당하는 에너지를 빛의 형태로 방출하거나 흡수한다.

17

순수한 반도체에 전자가 많아지게 도핑한 (나)는 n형 반도체이고, 순수한 반도체에 양공이 많아지게 도핑한 (다)는 p형 반도체이다.

| 채점 기준                                 | 배점(%) |
|---------------------------------------|-------|
| (나), (다)의 반도체 종류를 근거를 들어 모두 옳게 설명한 경우 | 100   |
| (나)와 (다) 중 하나만 옳게 설명한 경우              | 50    |

18

$v_A < v_C < v_B$ 이므로 빛 시계의 주기는  $t_A < t_C < t_B$ 이다. B의 우주선 길이 방향은 운동 방향과 수직하므로 길이 수축이 일어나지 않으며, 우주선의 길이는  $L_B > L_A > L_C$ 이다.

| 채점 기준                                 | 배점(%) |
|---------------------------------------|-------|
| 빛 시계의 주기와 우주선 길이를 비교하여 모두 옳게 설명한 경우   | 100   |
| 빛 시계의 주기, 우주선 길이 중 하나만 옳게 비교하여 설명한 경우 | 50    |
| 빛 시계의 주기와 우주선 길이의 대소 관계만 설명 없이 쓴 경우   | 30    |

일련  
점검하기

I 힘과 에너지

II 힘과 운동

2~5 쪽

- 01 ③ 02 ① 03 ④ 04 ③ 05 ② 06 ④ 07 ②  
08 ④ 09 ② 10 ③ 11 ① 12 ③

단답형·서술형 문제

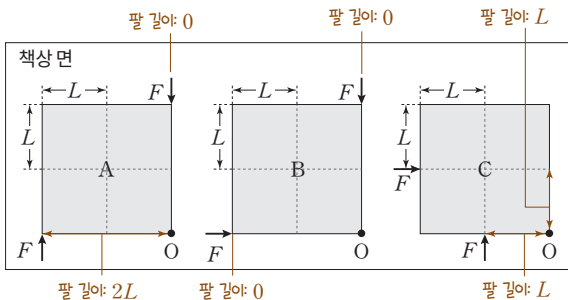
- 13 예시답안 C→B→A, 세 상자를 쌓은 구조물의 무게 중심이 낮을수록 안정적이다. 따라서 아래에서부터 무거운 순서대로 쌓아 올려 무게 중심을 낮게 한다.
- 14 (1) ④  $3 \text{ m/s}^2$  (2) ②  $\frac{2}{3}$  초 (3) ④  $2 \text{ m}$
- 15 예시답안 A와 B 모두  $10 \text{ N}$ 이다. 힘의 평형에 의해 벽이 A를 당기는 힘과 B가 A를 당기는 힘의 크기는 같고, A가 B를 당기는 힘과 손이 B를 당기는 힘  $10 \text{ N}$ 의 크기는 같다. 한편 B가 A를 당기는 힘과 A가 B를 당기는 힘의 크기는 작용 반작용으로 같다. 즉, 손이 B를  $10 \text{ N}$ 으로 당기고, B가 A를  $10 \text{ N}$ 으로 당기므로 A, B 모두 측정값은  $10 \text{ N}$ 이다.
- 16 (1) 예시답안 B의 운동량 변화량의 크기는 A와 충돌할 때와 C와 충돌할 때의 3 배이므로  $mv_B = 3m(v_B - v)$ 에서  $v_B = \frac{3}{2}v$ 이다.
- (2) 예시답안 B와 C의 충돌 전후 운동량의 총합은 보존되므로  $\frac{3}{2}mv = (m + m_C)v$ 에서  $m_C = \frac{1}{2}m$ 이다.

01

③

자료 분석 ● 돌림힘의 크기와 방향

회전축에서 힘의 연장선에 내린 수선의 발까지의 거리가 팔 길이이다. 따라서 각 경우에 팔 길이는 다음과 같다.



- A에 작용하는 돌림힘의 합:  $2L \times F + 0 \times F = 2LF$
- B에 작용하는 돌림힘의 합:  $0 \times F + 0 \times F = 0$
- C에 작용하는 돌림힘의 합:  $L \times F + L \times F = 2LF$

7, 1. A에는 크기가  $2LF$ 인 돌림힘이 시계방향으로 작용한다. 따라서 A는 시계방향으로 회전한다. C에는 크기가  $LF$ 인 두 돌림힘이 모두 시계방향으로 작용한다. 따라서 C에는 크기가  $2LF$ 인 알짜 돌림힘이 시계방향으로 작용하여, C는 시계방향으로 회전한다.

오답 피하기 ④. B에 작용하는 두 힘에 대한 팔 길이가 모두 0이므로 B에는 돌림힘이 작용하지 않아 B는 회전하지 않는다.

02

①

받침대가 막대를 떠받치는 지점을 회전축으로 할 때 반시계방향으로 작용하는 돌림힘의 크기는 다음과 같다.

$$0.5 \text{ m} \times 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 + 2 \text{ m} \times 10 \text{ N} = 30 \text{ N} \cdot \text{m}$$

한편 시계방향으로 작용하는 돌림힘의 크기는 다음과 같다.

$$0.5 \text{ m} \times 5 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 + (x - 0.5 \text{ m}) \times 3 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = (10 + 30x) \text{ N} \cdot \text{m}$$

돌림힘의 평형 상태이므로  $30 = 10 + 30x$ 에서  $x = \frac{2}{3}(\text{m})$ 이다.

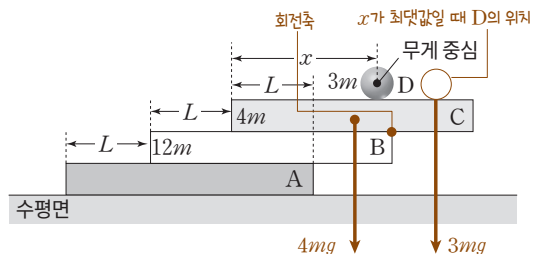
03

④

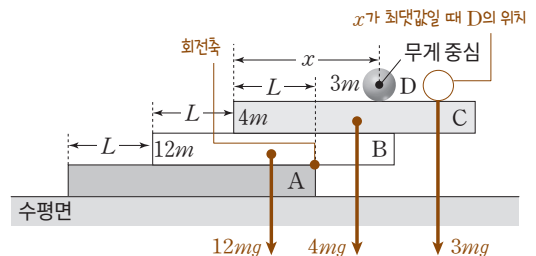
자료 분석 ● 돌림힘의 평형

D의 위치에 따라 평형 상태가 깨지는 경우는 다음과 같다.

- A, B는 그대로 있고 B의 우측 모서리를 회전축으로 하여 C가 기울어질 때



- A는 그대로 있고 A의 우측 모서리를 회전축으로 하여 B가 기울어질 때



D가 C 위에서 오른쪽으로 계속 이동하여 C가 기울어진다고 가정하면, C가 기울어지는 회전축은 B의 오른쪽 끝점이다. 이 순간에 돌림힘의 평형을 적용하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{2}L \times 4mg = (x - 2L) \times 3mg$$

이 식을 풀면 A와 B가 그대로 있다고 가정할 때 D가 움직여

$x = \frac{8}{3}L$ 이 되는 순간 C가 기울면서 평형 상태는 깨진다.

만약 B가 기울어진다고 가정하면, B가 기울어지는 회전축은 A의 오른쪽 끝점이다. 이 순간에 돌림힘의 평형을 적용하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{2}L \times 12mg = \frac{1}{2}L \times 4mg + (x-L) \times 3mg$$

이 식을 풀면 A가 그대로 있다고 가정할 때 D가 움직여  $x = \frac{7}{3}L$

이 되는 순간 B가 기울면서 평형 상태는 깨진다.

$\frac{8}{3}L > \frac{7}{3}L$ 이므로 D를 C 위에서 오른쪽으로 이동시킬 때 C가 기울어지기 전에 B가 먼저 기울어지므로 평형 상태를 유지할 수 있는  $x$ 의 최댓값은  $\frac{7}{3}L$ 이다.

#### 04

답 ③

A, B, C의 규모 및 바닥의 면적이 같고, 회전축과 힘을 가한 지점이 같으므로 무게 중심이 낮을수록 넘어질 때까지 많이 기울어야 해서 늦게 넘어진다. 한편 각 구조물에서 가장 무거운 질량 5m인 직육면체가 낮은 곳에 있을수록 구조물의 무게 중심이 낮다. 따라서 무게 중심이 가장 높은 B가 가장 먼저 넘어지고, 무게 중심이 가장 낮은 A가 가장 나중에 넘어진다.

#### 05

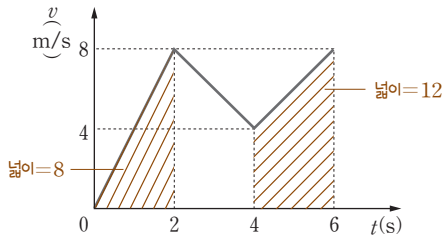
답 ②

##### 자료 분석 시간에 따른 가속도 그래프 분석

물체의 속도는 다음과 같이 변한다.

- 0 초~2 초: 가속도가 4 m/s<sup>2</sup>로 일정하므로 8 m/s만큼 일정한게 증가
- 2 초~4 초: 가속도가 -2 m/s<sup>2</sup>로 일정하므로 4 m/s만큼 일정한게 감소
- 4 초~6 초: 가속도가 2 m/s<sup>2</sup>로 일정하므로 4 m/s만큼 일정한게 증가

이를 토대로 도출한 시간에 따른 속도 그래프는 다음과 같다.



ㄷ. 물체의 속도는 2 초일 때와 6 초일 때 8 m/s로 같다.

오답 피하기 ㄱ. 물체가 출발한 순간부터 6 초까지 속도는 (+) 방향으로 일정하다. 즉, 운동 방향은 바뀌지 않는다.

ㄴ. 일정한 방향으로 운동하는 물체의 이동 거리는 시간에 따른 속도 그래프 아랫부분의 넓이와 같다. 시간에 따른 속도 그래프 아랫부분의 넓이는 0 초부터 2 초까지가 4 초부터 6 초까지보다 작다. 따라서 물체가 이동한 거리는 0 초부터 2 초까지가 4 초부터 6 초까지보다 작다.

#### 06

답 ④

ㄱ. A, B가 동시에 같은 속력으로 R를 통과하기 위해서는 A, B의 가속도가 모두 B의 운동 방향과 같아야 한다. R에서의 속력을  $v'$ 이라고 하면,  $\frac{v'-v}{t} = \frac{-v'-0}{t}$ 에서  $v' = 0.5v$ 이다.

ㄴ.  $t$  초 동안 A, B가 이동한 거리의 합은  $L$ 이고, A의 속도와 가속도는 방향이 서로 반대이므로 A, B의 가속도의 크기를  $a$ 라 하면,  $(vt - \frac{1}{2}at^2) + \frac{1}{2}at^2 = L$ 이다. 따라서  $t = \frac{L}{v}$ 이다.

오답 피하기 ㄷ.  $a = \frac{v-0.5v}{t}$ 이고,  $t = \frac{L}{v}$ 이므로  $a = \frac{v^2}{2L}$ 이다.

#### 07

답 ②

ㄴ. A의 질량을  $M$ 이라고 하면 (나)에서  $\frac{1}{3}g = \frac{m}{M+m}g$ 이므로  $M = 2m$ 이다.

오답 피하기 ㄱ. (가)에서 A의 가속도의 크기를  $2a$ , 실이 B를 당기는 힘의 크기를  $T$ 라고 하면, (나)에서는 각각  $a$ ,  $\frac{2}{5}T$ 이다. 이를 이용해 (가), (나)에서 B에 작용하는 알짜힘에 관한 식을 다음과 같이 세울 수 있다.

$$(가): T - mg = m \times 2a$$

$$(나): mg - \frac{2}{5}T = ma$$

두 식을 정리하면  $a = \frac{1}{3}g$ 이다.

ㄷ. (가)에서 실로 연결된 A, B에 작용하는 알짜힘에 관한 식을 세우면  $F - mg = (2m + m) \times \frac{2}{3}g$ 이므로  $F = 3mg$ 이다.

#### 08

답 ④

제동 거리는 브레이크 작동 직전 속력의 제곱에 비례하고, 브레이크를 작동하고 있는 동안의 가속도에 반비례한다. 세 자동차가 동일하므로 가속도는 마찰력에 비례한다. 따라서 세 자동차에 대해 다음과 같은 비례 관계가 성립한다.

$$\frac{(2v)^2}{f} : L_A = \frac{v^2}{2f} : L = \frac{v_c^2}{2f} : 2L$$

비례식을 정리하면  $L_A = 8L$ 이고,  $v_c = \sqrt{2}v$ 이다.

#### 09

답 ②

ㄴ. 물체는 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 물체에 연직 아래로 작용하는 중력의 크기는 30 N이고, 손이 물체를 연직 위로 미는 힘의 크기는 50 N이므로 천장이 물체를 연직 아래로 미는 힘의 크기는 20 N이다.

오답 피하기 ㄱ. 천장이 물체를 미는 힘의 반작용은 물체가 천장을 미는 힘이다. 한편 손으로 물체를 미는 힘은 물체가 손을 미는 힘과 작용 반작용 관계이다.

ㄷ. 물체에 작용하는 중력의 크기는 손이 물체를 미는 힘의 크기보다 작으므로 두 힘은 힘의 평형 관계가 아니다.

10

㉓ ③

ㄷ. 가속도의 크기는 A와 B가 같으므로  $a = \frac{2F}{5m_A} = \frac{3F}{5m_B}$ 에서  $m_A = \frac{2}{3}m_B$ 이다.

오답 피하기 ㄱ. A가 B에 가하는 힘의 크기는 B에 작용하는 알짜힘의 크기와 같다.

ㄴ. A, B의 질량을 각각  $m_A, m_B$ , 가속도의 크기를  $a$ 라고 하면,  $F = (m_A + m_B)a$ 이다. 한편 A가 B에 가하는 힘의 크기는 B에 작용하는 알짜힘의 크기와 같으므로  $\frac{3}{5}F = m_B a$ 이다. 따라서  $m_A a = \frac{2}{5}F$ 이다. 즉, A에 작용하는 알짜힘의 크기는  $\frac{2}{5}F$ 이다.

11

㉓ ①

ㄱ. A, B가 용수철에서 분리되기 전에는 정지해 있으므로 운동량의 합은 0이다. 운동량 보존 법칙에 따라 용수철에서 분리된 후 서로 반대 방향으로 운동하는 A, B의 운동량의 합 또한 0이어야 한다. 따라서 분리 직후 A, B의 운동량 크기는 같고, 방향은 서로 반대이다.

오답 피하기 ㄴ. 용수철의 질량을 무시하므로, 용수철에 작용하는 알짜힘은 0이다. 용수철이 A, B에 작용하는 힘을 각각  $F_{\text{spring A}}, F_{\text{spring B}}$ 라 하면, 각 힘에 대한 반작용은 A, B가 용수철에 작용하는 힘인  $F_{\text{A spring}}, F_{\text{B spring}}$ 이다. 이 두 힘은 용수철에 작용하는 두 힘이므로, 두 힘의 크기는 같고 방향은 반대이다. 따라서  $F_{\text{A spring}}, F_{\text{B spring}}$ 과 작용 반작용 관계인  $F_{\text{spring A}}, F_{\text{spring B}}$  또한 크기가 같고 방향이 서로 반대이다.

ㄷ. 충돌 과정에서 운동량의 총합은 보존되어  $m_A v_A = m_B v_B$ 이므로  $\frac{m_A}{m_B} = \frac{v_B}{v_A}$ 이다.

12

㉓ ③

운동량 보존 법칙에 따라 실험 2, 3에서 다음 식이 성립한다.

- 실험 2:  $1 \text{ kg} \times \text{㉠} = 2 \text{ kg} \times 0.23 \text{ m/s}$ ,  $\therefore \text{㉠} = 0.46 \text{ m/s}$
- 실험 3:  $1 \text{ kg} \times 0.48 \text{ m/s} = \text{㉡} \times 0.16 \text{ m/s}$ ,  $\therefore \text{㉡} = 3 \text{ kg}$

13

구조물의 규모가 같을 때, 바닥의 면적이 넓고 무게 중심이 낮을수록 많이 기울어져야 넘어진다. 즉, 바닥의 면적이 넓고 무게 중심이 낮을수록 안정적이다. 세 상자를 쌓아 만든 구조물은 바닥의 면적이 같지만, 아래에서부터 무거운 순서대로 쌓아 올릴 때가 무게 중심이 가장 낮아 가장 안정적이다.

| 채점 기준                                                | 배점(%) |
|------------------------------------------------------|-------|
| 상자를 쌓는 순서를 옳게 쓰고, 그 까닭을 무게 중심을 낮게 하기 위해서라고 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 상자를 쌓는 순서를 옳게 쓰고, 그 까닭을 잘 넘어지지 않게 하기 위해서라고만 설명한 경우   | 50    |
| 상자를 쌓는 순서만 옳게 쓴 경우                                   | 30    |

14

(1) p에서 속도를 4 m/s라 하면 2 초 뒤 r에서 속도는 -2 m/s이다. 따라서 가속도의 크기는  $\left| \frac{-2 \text{ m/s} - 4 \text{ m/s}}{2 \text{ s}} \right| = 3 \text{ m/s}^2$ 이다.

(2) 등가속도 운동의 식  $v = v_0 + at$ 에 q에서 속도 0, r에서 속도 -2 m/s, 가속도  $-3 \text{ m/s}^2$ 를 대입하면 q에서 r까지 이동하는데 걸린 시간  $t = \frac{2}{3}$  초이다.

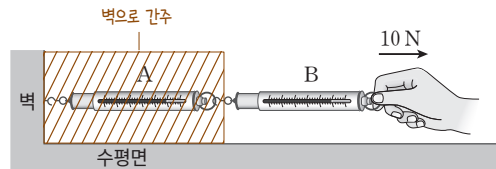
(3) 등가속도 운동의 식  $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ 에 p에서의 속도 4 m/s, 가속도  $-3 \text{ m/s}^2$ , p에서 r까지 걸린 시간 2 초를 대입하면 2 초 동안의 변위, 즉 p에서 r까지의 거리는 2 m이다.

등가속도 운동의 식  $v^2 - v_0^2 = 2as$ 에서  $s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$ 에 각각의 물리량들을 대입하여도 p에서 r까지의 거리 2 m를 구할 수 있다.

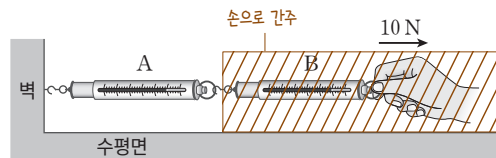
15

#### 자료 분석 ㉓ 작용 반작용 관계에 있는 힘의 분석

- A는 정지해 있으므로 A를 벽으로 간주한다면, 벽에 고정된 B를 10 N으로 당기는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 B에서의 측정값은 10 N이다.
- B는 힘의 평형 상태이므로, 손이 B를 당기는 힘과 벽으로 간주한 A가 B를 당기는 힘의 크기는 10 N으로 같다.



- A가 B를 당기는 힘과, B가 A를 당기는 힘은 작용 반작용 관계이므로 두 힘의 크기는 같다.
- B가 A를 당기는 것을 손이 A를 당기는 것으로 간주한다면, 벽에 고정된 A를 10 N으로 당기는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 A에서의 측정값도 10 N이다.



B에는 다음 두 힘이 작용하여 힘의 평형을 이룬다.

- $F_{\text{spring B}}$ : 손이 B를 당기는 힘
- $F_{\text{AB}}$ : A가 B를 당기는 힘

따라서  $F_{\text{spring B}}$ 와  $F_{\text{AB}}$ 의 크기는 10 N으로 같다.

A에는 다음 두 힘이 작용하여 힘의 평형을 이룬다.

- $F_{\text{wall A}}$ : 벽이 A를 당기는 힘
- $F_{\text{BA}}$ : B가 A를 당기는 힘



$F_{AB}$ 과  $F_{BA}$ 는 작용 반작용 관계이므로 크기는 10 N으로 같다. 따라서  $F_{BA}$ 의 크기 또한 10 N이다.

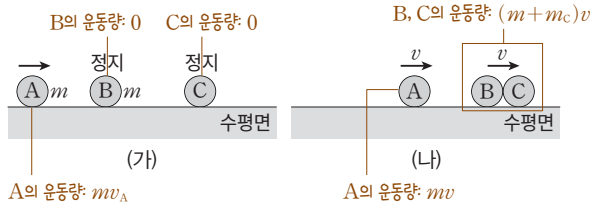
한편 용수철저울에 나타난 측정값을 용수철저울의 고리를 당기는 힘의 크기라고 한다면, A에 나타난 측정값은  $F_{BA}$ 이고, B에 나타난 측정값은  $F_{AB}$ 로 모두 10 N이다.

| 채점 기준                                                                                              | 배점(%) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| A, B의 측정값을 모두 옳게 쓰고, 그 까닭을 두 용수철저울에 작용하는 알짜힘이 0이라는 것과, A와 B가 서로를 당기는 힘은 작용 반작용 관계인 것을 들어 옳게 설명한 경우 | 100   |
| A, B의 측정값을 모두 옳게 쓰고, 그 까닭을 두 용수철저울이 작용 반작용에 의해 서로 같은 크기의 힘으로 당기기 때문이라고만 설명한 경우                     | 70    |
| A, B의 측정값만 옳게 쓴 경우                                                                                 | 40    |

## 16

### 자료 분석 ● 운동량 보존 법칙

- 운동량 보존 법칙에 따라 (가)에서 충돌 전후 A의 운동량 변화량의 크기는 B의 운동량 변화량의 크기와 같다.
- 운동량 보존 법칙에 따라 (나)에서 충돌 전 B의 운동량의 크기는 충돌 후 B, C의 운동량의 크기와 같다.



(1) A와 충돌 직후 B의 속력을  $v_B$ 라고 하면, 정지해 있던 B가 A와 충돌할 때 B의 운동량 변화량의 크기는  $mv_B$ 이고, B가 C와 충돌할 때 B의 운동량 변화량의 크기는  $mv_B - mv$ 이다. 문제의 조건에서 B의 운동량 변화량의 크기는 A와 충돌할 때가 C와 충돌할 때의 3 배이므로  $mv_B = 3(mv_B - mv)$ 이다. 이를 정리하면  $v_B = \frac{3}{2}v$ 이다.

| 채점 기준                                                 | 배점(%) |
|-------------------------------------------------------|-------|
| A, C와 충돌할 때 B의 운동량 변화량비를 이용해 A와 충돌 직후 B의 속력을 옳게 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 A와 충돌 직후 B의 속력만 옳게 쓴 경우                     | 40    |

(2) B와 C의 충돌 전후 운동량의 총합은 보존된다. 충돌 전 C는 정지 상태이므로 운동량은 0이다. 따라서 C의 질량을  $m_C$ 라고 하면  $m \times \frac{3}{2}v = (m + m_C) \times v$ 이다. 이를 정리하면  $m_C = \frac{1}{2}m$ 이다.

| 채점 기준                          | 배점(%) |
|--------------------------------|-------|
| 운동량 보존 법칙을 이용해 C의 질량을 옳게 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 C의 질량만 옳게 쓴 경우       | 40    |

## 02 에너지와 열

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

### 단답형·서술형 문제

09 [예시 답안] 정지해 있는 물체에 알짜힘이 한 일만큼이 물체의 운동 에너지가 되므로  $p = \sqrt{2mE_k} = \sqrt{2mFd}$ 이다. 이 식에 문제에 주어진 조건들을 대입하면  $p_A = p_B = p_C = p_D$ 이다.

10 답 9

11 (1) [예시 답안] 용수철에서 분리된 직후 A의 역학적 에너지는 마찰 구간에서 마찰력이 한 일과 같은  $\frac{3f_1d}{2}$ 이고, 빗면에서 A의 역학적 에너지는  $f_1d$ 만큼 감소한  $\frac{f_1d}{2}$ 이므로 용수철에서 분리된 직후의  $\frac{1}{3}$  배이다.

(2) [예시 답안] 운동량 보존 법칙에 따라 용수철과 분리 직후 A, B의 속력비는 2 : 1이고, 질량비는 1 : 2이므로, A와 B의 역학적 에너지비는 2 : 1이다. A와 B 모두 빗면에서의 역학적 에너지는 처음의  $\frac{1}{3}$  배이므로 최고 높이에서 A와 B의 역학적 에너지비는 2 : 1이다. 여기에 질량비 1 : 2를 적용하면 최고 높이비  $h_1 : h_2 = 4 : 1$ 이다.

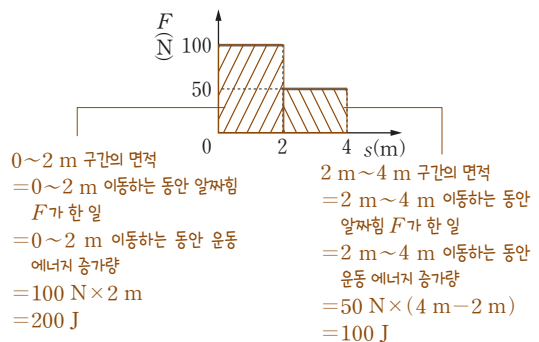
- 12 (1) ㉠ 2Q, ㉡ 4Q, ㉢ 0.5Q, ㉣ 3Q  
(2) ㉠  $e_C < e_A < e_B < e_D$

## 01

㉠ ⑤

### 자료 분석 ● 일·운동 에너지 정리와 알짜힘-이동 거리 그래프

알짜힘-이동 거리 그래프 아랫부분의 넓이는 알짜힘이 한 일과 같고, 알짜힘이 한 일은 운동 에너지 변화량과 같다.



물체가 p에서 정지해 있다가 q까지 운동하는 동안 알짜힘이 한 일 200 J만큼 운동 에너지가 증가하므로 q에서의 운동 에너지는 200 J이고, q에서 r까지 운동하는 동안 알짜힘이 한 일 100 J만큼 운동 에너지가 증가하므로 r에서의 운동 에너지는 300 J이다. 따라서  $\frac{1}{2} \times 10 \text{ kg} \times v_q^2 = 200 \text{ J}$ ,  $\frac{1}{2} \times 10 \text{ kg} \times v_r^2 = 300 \text{ J}$ 이므로  $v_q : v_r = \sqrt{2} : \sqrt{3}$ 이다.

## 02

답 ①

ㄱ. 2 초부터 6 초까지 물체는 일정한 속도로 운동하므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 이때 전동기가 물체를 당기는 힘의 크기는 100 N이므로 물체의 질량은 10 kg이다.

오답 피하기 ㄴ. 등속 운동을 하는 2 초부터 6 초까지 물체가 연직 위로 올라간 높이는  $4 \text{ m/s} \times (6 \text{ s} - 2 \text{ s}) = 16 \text{ m}$ 이고, 전동기가 물체를 당기는 힘의 크기는 100 N이므로 한 일은  $100 \text{ N} \times 16 \text{ m} = 1600 \text{ J}$ 이다.

ㄷ. 6 초부터 8 초까지 물체의 가속도를 그래프의 기울기로 구하면  $\frac{0-4 \text{ s}}{8 \text{ s}-6 \text{ s}} = -2 \text{ m/s}^2$ 이다. 즉 물체에는 운동 방향과 반대 방향인 연직 아래 방향으로 알짜힘이 작용하며, 그 크기는  $10 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$ 이다. 물체에는 연직 아래 방향으로 100 N의 중력이 작용하므로 전동기가 물체를 당기는 힘은 연직 위 방향으로  $100 \text{ N} - 20 \text{ N} = 80 \text{ N}$ 이다.

## 03

답 ②

ㄴ. 물체가 낙하하는 동안 역학적 에너지는 보존되므로 지면에 도달하는 순간의 운동 에너지는 감소한 중력에 의한 위치 에너지와 같다. A와 B의 감소한 중력에 의한 위치 에너지는  $2mgh$ 로 같으므로 지면에서 운동 에너지도 같다. 질량은 A가 B보다 크므로 지면에 도달하는 순간 물체의 속력은 A가 B보다 작다.

오답 피하기 ㄱ. 물체가 낙하하는 동안 A와 B의 가속도는 중력 가속도로 같으므로 낙하 거리가 짧은 A가 B보다 지면에 도달할 때까지 걸린 시간이 작다.

ㄷ. 물체가 낙하하는 동안 중력이 물체에 한 일은 물체의 중력에 의한 위치 에너지 감소량과 같다. 따라서 A와 B를 가만히 놓는 순간부터 지면에 도달할 때까지 중력이 A와 B에 한 일은  $2mgh$ 로 같다.

## 04

답 ③

ㄷ. 용수철의 변형된 길이가 길수록 탄성력에 의한 위치 에너지는 증가하고 탄성력의 크기 또한 증가한다. 따라서 탄성력에 의한 위치 에너지가 클수록 물체의 가속도의 크기가 크다.

오답 피하기 ㄱ. 물체가 운동하는 동안 역학적 에너지는 보존되므로 탄성력에 의한 위치 에너지와 운동 에너지의 합은 처음 탄성력에 의한 위치 에너지인  $E_1$ 과 같다. 따라서  $E_1 = 2E_0$ 에서  $E_0 = 0.5E_1$ 이다.

ㄴ. 용수철 상수를  $k$ , 운동 에너지가  $E_0$ 일 때 용수철이 원래 길이로부터 늘어난 길이를  $x$ 라고 하면,  $2E_0 = E_0 + \frac{1}{2}kx^2$ 에서  $E_0 = \frac{1}{2}kx^2$ 이다. 한편  $2E_0 = \frac{1}{2}kL^2$ 이므로  $x = \frac{\sqrt{2}}{2}L$ 이다.

## 05

답 ②

p에서 중력에 의한 위치 에너지는 운동 에너지의 2 배이므로  $3mgh = 2 \times \frac{1}{2}mv^2$ 에서  $mv^2 = 3mgh$ 이다. 이를 마찰 구간에서

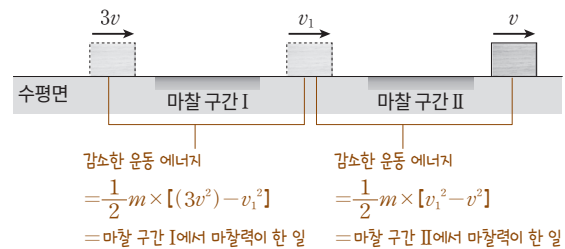
역학적 에너지 감소량  $\frac{1}{2}m \times (2v)^2 - \left( \frac{1}{2}mv^2 + 3mgh \right)$ 에 적용하면 역학적 에너지 감소량은  $\frac{3}{2}mgh$ 이다. 한편 물체가 마찰 구간을 통과하는 동안 중력에 의한 위치 에너지 증가량은  $mgh$ 이므로, 운동 에너지 감소량은  $mgh + \frac{3}{2}mgh = \frac{5}{2}mgh$ 이다.

## 06

답 ④

## 자료 분석 에너지 보존 법칙

물체에 마찰력이 작용하는 경우, 마찰력이 한 일은 마찰력과 마찰력을 받으며 이동한 거리의 곱과 같고, 이 일만큼 물체의 역학적 에너지가 감소한다.



마찰 구간 I에서 역학적 에너지 감소량을  $2E$ 라고 하면, 마찰 구간 II에서 역학적 에너지 감소량은  $E$ 이다. 물체의 질량을  $m$ 이라고 하면  $\frac{1}{2}m \times [(3v)^2 - v_1^2] = 2E$ ,  $\frac{1}{2}m \times (v_1^2 - v^2) = E$ 이며, 이 두 식을 연립하여 정리하면  $v_1 = \sqrt{\frac{11}{3}}v$ 이다.

## 07

답 ④

ㄱ. (다)에서 열에너지가 방출되어 (가)가 되는 승화이므로, (다)는 수증기, (가)는 얼음이다.

ㄴ. 저위도 지역의 바다에서 열에너지를 흡수해 증발하여 만들어진 많은 양의 수증기는 막대한 에너지를 갖는다. 이 수증기가 구름이 되면서 방출한 열에너지는 에너지 전환 과정을 거쳐 강한 비바람을 일으킨다. 즉, 태풍의 강한 비바람이 가진 에너지는 B 과정에서 축적된 막대한 에너지가 전환된 것이다.

오답 피하기 ㄷ. 공기 중의 수증기가 상승해 열에너지를 방출하면 물방울이나 얼음 알갱이가 되어 구름이 된다.

## 08

답 ③

ㄱ. 열은 온도가 높은 곳에서 온도가 낮은 곳으로 이동하므로  $T_1 > T_2$ 이다.

ㄴ. 에너지 보존 법칙에 따라  $Q = W + 3W = 4W$ 이다. 따라서  $W = \frac{1}{4}Q$ 이다.

오답 피하기 ㄷ. 열기관의 에너지 효율은  $\frac{W}{Q} = \frac{W}{4W} = 0.25$ 이다.

09

운동 에너지를  $E_k$ , 운동량을  $p$ , 질량을  $m$ , 속력을  $v$ 라고 하면  $E_k$ 와  $p$ 는 다음과 같은 관계가 있다.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2m}(mv)^2 = \frac{p^2}{2m} \rightarrow p = \sqrt{2mE_k}$$

한편 정지해 있는 물체에 작용한 알짜힘  $F$ 가 물체를  $d$ 만큼 이동시키는 데 한 일은 물체의 운동 에너지와 같으므로,  $E_k = Fd$ 이다. 따라서  $p = \sqrt{2mFd}$ 이다.

- $p_A = \sqrt{2 \times 1 \text{ kg} \times 2 \text{ N} \times 4 \text{ m}} = 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
- $p_B = \sqrt{2 \times 1 \text{ kg} \times 1 \text{ N} \times 8 \text{ m}} = 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
- $p_C = \sqrt{2 \times 2 \text{ kg} \times 1 \text{ N} \times 4 \text{ m}} = 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
- $p_D = \sqrt{2 \times 4 \text{ kg} \times 4 \text{ N} \times 0.5 \text{ m}} = 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

따라서  $p_A = p_B = p_C = p_D$ 이다.

| 채점 기준                                                                    | 배점(%) |
|--------------------------------------------------------------------------|-------|
| 운동 에너지와 운동량의 관계에 알짜힘이 한 일을 적용한 식을 도출해 운동량의 크기를 옳게 비교한 경우                 | 100   |
| 각 물체의 운동 에너지를 구해 속력을 구한 뒤, 이를 질량과 곱해 운동량을 각각 구하여 그 크기를 옳게 비교한 경우에도 정답 인정 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 운동량의 크기 비교만 옳게 한 경우                                            | 40    |

10

물체의 질량을  $m$ , 중력 가속도를  $g$ , A와 B의 용수철 상수를 각각  $5k$ ,  $k$ 라고 하면, 지면에서 수평면까지 운동하는 동안 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{2} \times 5k \times L^2 = mg \times 2h + \frac{1}{2} k \times (2L)^2, \therefore kL^2 = 4mgh$$

한편 p에서 역학적 에너지는  $E_1 + E_2 = \frac{5}{2}kL^2$ 이고,  $E_2 = mgh$

이므로  $E_1 = \frac{5}{2}kL^2 - mgh = 10mgh - mgh = 9mgh$ 이다.

따라서  $\frac{E_1}{E_2} = 9$ 이다.

11

(1) 마찰 구간에서 물체 A, B에 마찰력이 한 일만큼 물체의 역학적 에너지가 감소한다. A의 경우 마찰 구간 I을 처음 통과할 때 마찰력  $f_1$ 을 받으며  $f_1d$ 만큼의 역학적 에너지가 감소하고, 빗면을 올라갔다 내려와 다시 마찰 구간 II에서  $f_1 \times \frac{d}{2} = \frac{f_1d}{2}$ 만큼의 역학적 에너지가 감소하여 0이 된다. 따라서 용수철에서 분리된 직후 A의 역학적 에너지는  $f_1d + \frac{f_1d}{2} = \frac{3f_1d}{2}$ 와 같다. 마찰 구간을 제외한 곳에서 A의 역학적 에너지는 보존되므로, 빗면의 높이  $h_1$ 인 곳에 도달한 순간 역학적 에너지는  $\frac{3f_1d}{2} - f_1d = \frac{f_1d}{2}$ 와 같다. 즉, 빗면의 높이  $h_1$ 인 곳에 도달한 순간의 역학적 에너지는 용수철에서 분리된 직후 역학적 에너지의  $\frac{1}{3}$  배이다.

| 채점 기준                                                                           | 배점(%) |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 마찰력이 한 일만큼 역학적 에너지가 감소하는 것을 이용해 빗면에서 역학적 에너지와 용수철에서 분리된 직후 역학적 에너지의 비를 옳게 구한 경우 | 100   |
| 풀이 과정이 없이 빗면에서 역학적 에너지와 용수철에서 분리된 직후 역학적 에너지의 비만 옳게 쓴 경우                        | 40    |

(2) A, B는 처음에 정지해 있었으므로, 용수철에서 분리 전 A, B의 운동량의 합은 0이다. 운동량 보존 법칙에 따라 용수철에서 분리된 A, B의 운동량의 크기는 같고 방향은 반대이다. 따라서 분리 직후 질량  $2m$ 인 B의 속력을  $v$ 라고 하면, 질량  $m$ 인 A의 속력은  $2v$ 이고, A의 역학적 에너지는  $\frac{1}{2}m \times (2v)^2 = 2mv^2$ , B의 역학적 에너지는  $\frac{1}{2} \times 2m \times v^2 = mv^2$ 이다. 즉, 용수철에서 분리된 직후 역학적 에너지는 A가 B의 2 배이다.

A, B는 모두 마찰 구간에서 역학적 에너지가  $\frac{2}{3}$ 만큼 감소하여 빗면에서는 처음의  $\frac{1}{3}$  배가 되므로,  $h_1$ 에서 A의 역학적 에너지는  $mgh_1 = \frac{1}{3} \times 2mv^2$ 이고,  $h_2$ 에서 B의 역학적 에너지는  $2mgh_2 = \frac{1}{3} \times mv^2$ 이다. 따라서  $h_1 : h_2 = \frac{2v^2}{3g} : \frac{v^2}{6g} = 4 : 1$ 이다.

| 채점 기준                                                                                                                                         | 배점(%) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 운동량 보존 법칙을 이용해 분리 직후 A, B의 속력비를 구하고, 이를 통해 A, B의 분리 직후 역학적 에너지비를 구한 뒤, 빗면에서의 역학적 에너지 보존을 이용해 높이비를 옳게 구한 경우                                    | 100   |
| 운동량 보존 법칙을 이용해 분리 직후 A, B의 속력비를 구하고, 이를 통해 A, B의 분리 직후 역학적 에너지비를 구한 뒤, 빗면에서의 역학적 에너지 보존을 이용해 높이비를 구하는 과정은 옳게 설명했으나, 계산의 착오로 높이비를 옳게 구하지 않은 경우 | 60    |
| 풀이 과정이 없이 높이비만 옳게 쓴 경우                                                                                                                        | 40    |

12

(1) 에너지 보존 법칙에 따라 흡수한 열에너지는 역학적 에너지와 방출한 열에너지의 합과 같다.

- A:  $3Q = Q + \textcircled{7}, \therefore \textcircled{7} = 2Q$
- B:  $\textcircled{4} = 1.5Q + 2.5Q = 4Q$
- C:  $2Q = \textcircled{6} + 1.5Q, \therefore \textcircled{6} = 0.5Q$
- D:  $5Q = 2Q + \textcircled{9}, \therefore \textcircled{9} = 3Q$

(2) A~D의 에너지 효율은 다음과 같다.

- $e_A = \frac{Q}{3Q} = \frac{1}{3}$
- $e_B = \frac{1.5Q}{4Q} = \frac{3}{8}$
- $e_C = \frac{0.5Q}{2Q} = \frac{1}{4}$
- $e_D = \frac{2Q}{5Q} = \frac{2}{5}$

따라서  $e_C < e_A < e_B < e_D$ 이다.

## II 전기와 자기

### 01 전기장과 전기 에너지

9~12 쪽

01 ① 02 ⑤ 03 ③ 04 ③ 05 ③ 06 ⑤ 07 ③  
08 ③ 09 ⑤ 10 ③ 11 ⑤ 12 ① 13 ④ 14 ⑤

#### 단답형·서술형 문제

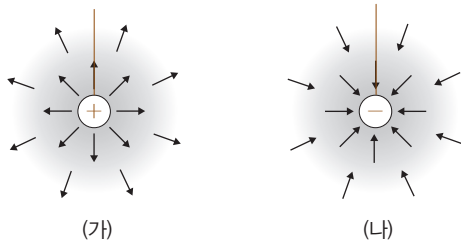
- 15 (1) 답  $-x$  방향 (2) 예시 답안  $(-)$  전하는 전위가 높은 쪽으로 전기력을 받는다. A, B에서 P의 전기적 위치 에너지는 각각  $qV_A, qV_B$ 이고, 전기적 위치 에너지 변화량이 운동 에너지와 같으므로  $q|V_A - V_B| = \frac{1}{2}mv^2$ 이다. 따라서  $V_A - V_B = -\frac{mv^2}{2q}$ 이다.
- 16 (1) 답  $1.5I_0$  (2) 예시 답안 B의 저항값이 증가하면 전체 저항이 증가하므로 A에 흐르는 전류의 세기는 감소한다. 따라서 A의 소비 전력도 감소한다.
- 17 (1) 예시 답안 멀티탭에 흐르는 전류의 세기는 각 전기 기구에 흐르는 전류의 합이므로 멀티탭에 연결한 전기 기구의 개수가 증가하면 멀티탭의 저항에 흐르는 전류의 세기도 증가한다.  
(2) 예시 답안 멀티탭에 연결하는 전기 기구의 개수가 증가하면 멀티탭의 저항에 흐르는 전류의 세기가 증가하므로 소비 전력이 증가한다.
- 18 (1) 예시 답안 저항 R과 가변 저항이 직렬연결되어 있으므로 가변 저항의 저항값이 증가하면 R에 걸리는 전압은 감소한다. R과 A는 병렬연결되어 있으므로 A의 두 금속판 사이의 전위차도 감소한다. (2) 예시 답안 가변 저항의 저항값이 증가하면 가변 저항에 걸리는 전압이 증가하고, 가변 저항과 병렬연결된 B의 두 금속판 사이의 전위차도 증가한다. 따라서 B에 충전되는 전하량도 증가한다.
- 19 예시 답안 전위차, 전기장의 세기, 충전된 전하량은 (다)에서가 (나)에서보다 크다.

### 01

답 ①

#### 자료 분석 ● 점전하 주위의 전기장

(+) 전하에 가까울수록 전위가 높다. (-) 전하에 가까울수록 전위가 낮다.



ㄴ. 전위는 (+) 전하에 가까울수록 높고 (-) 전하에 가까울수록 낮다.

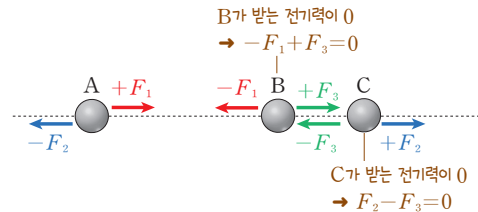
오답 피하기 ㄱ. 전기장이 A에서 멀어지는 방향이므로 A는 (+) 전하이다.

ㄷ. 전기장의 세기는 전하로부터 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 B에서 멀어질수록 전기장의 세기가 약해진다.

### 02

답 ⑤

#### 자료 분석 ● 세 전하 사이의 전기력



- B가 받는 전기력이 0이다.  
→ A와 C는 같은 종류의 전하이다.  
→ A와 C가 B에 작용하는 전기력은 평형을 이룬다. ( $F_1 = F_3$ )
- C가 받는 전기력이 0이다.  
→ A와 B는 다른 종류의 전하이다.  
→ A와 B가 C에 작용하는 전기력은 평형을 이룬다. ( $F_2 = F_4$ )
- 작용 반작용 법칙에 의해 A가 받는 전기력은  $F_1 - F_2$ 이다.  
→  $F_1 = F_2 = F_3$ 이므로 A가 받는 전기력은 0이다.

ㄱ. A와 C가 B에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 C는 서로 같은 종류의 전하이다.

ㄴ. A와 B가 C에 작용하는 전기력이 0이고, A가 B보다 C로부터 더 멀리 있으므로 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.

ㄷ. A와 B가 C에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 B는 서로 다른 종류의 전하이다. A가 B에 작용하는 전기력을  $-F_1$ 이라고 하면, A와 C가 B에 작용하는 전기력이 0이므로 C가 B에 작용하는 전기력은  $+F_1$ 이다. A가 C에 작용하는 전기력을  $+F_2$ 라고 하면, A와 B가 C에 작용하는 전기력이 0이므로 B가 C에 작용하는 전기력은  $-F_2$ 이다. B와 C 사이에 작용하는 전기력은 작용 반작용 관계이므로  $F_1 = F_2$ 이다.

B가 A에 작용하는 전기력은  $+F_1$ 이고, C가 A에 작용하는 전기력은  $-F_2$ 이므로 B와 C가 A에 작용하는 전기력의 합력은 0이다.

[다른 풀이] A와 B, A와 C, B와 C 사이에 작용하는 전기력은 각각 작용 반작용 관계이다. B와 C가 받는 알짜힘이 0이므로 A가 받는 알짜힘도 0이 되어야 한다.

### 03

답 ③

ㄱ. q에서 B와 C에 의한 전기장이 0이므로 B와 C는 다른 종류의 전하이므로, 전하량은 B가 C보다 크다. 또 p로부터 거리는 B가 C보다 가까우므로 p에서 B와 C에 의한 전기장의 방향은 B에 의한 전기장의 방향과 같다. 그런데 p에서 A, B, C에 의한 전기장이 0이므로 A에 의한 전기장 방향은 B에 의한 전기장 방향과 반대이다. 따라서 A와 B는 다른 종류의 전하이다.

ㄴ. A, C는 같은 종류의 전하이므로 p에서 A, C에 의한 전기장은 B에 의한 전기장과 방향이 반대이다. A, C에 의한 전기장의 합이 B에 의한 전기장과 세기가 같으므로 전하량의 크기는 A가 B보다 작다.

**오답 피하기** ㄷ. B로부터 p, q까지의 거리는 같으므로 p, q에서 B에 의한 전기장의 세기는 같다. p보다 q에서 A가 더 멀리 있으므로 A에 의한 전기장의 세기는 p에서가 q에서보다 세다. A와 B에 의한 전기장의 방향이 서로 반대이므로 A, B에 의한 전기장의 세기는 p에서가 q에서보다 작다.

04

답 ③

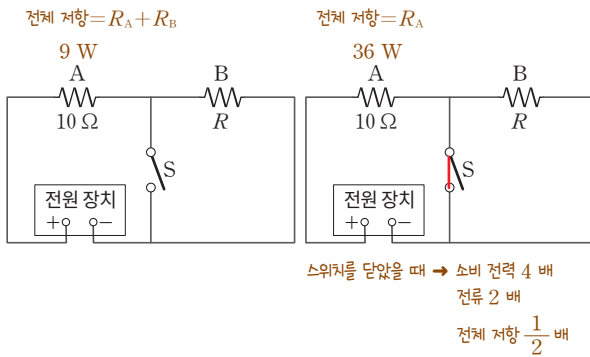
③ A의 운동 에너지는 전위차에 비례한다. 0과  $3d$  사이의 전위차가 0과  $2d$  사이의 전위차의 2 배이므로 A의 운동 에너지는  $3d$ 에서가  $2d$ 에서의 2 배이다.

**오답 피하기** ① A가  $+x$  방향으로 운동하므로 A는  $(-)$ 전하이다.  
 ②  $V=Ed$  이므로 전위와 거리 그래프에서 기울기가 전기장의 세기이다. 기울기가  $2.5d$ 에서가  $d$ 에서의 2 배이므로 전기장의 세기는  $2.5d$ 에서가  $d$ 에서의 2 배이다.  
 ④  $F=qE$ 에서 0에서  $2d$ 까지 전기장의 세기가 일정하므로 A가 받는 전기력의 크기는 일정하다.  
 ⑤ 전기력이 한 일은 전위차에 비례한다.  $0 \sim 2d$  사이와  $2d \sim 3d$  사이의 전위차가 같으므로 전기력이 A에 한 일은 같다.  
**[다른 풀이]**  $W=Fs$ 에서 전기력은  $2d \sim 3d$  구간이  $0 \sim 2d$  구간의 2 배이고, 거리는 절반이므로 한 일은 같다.

05

답 ③

**자료 분석** 스위치와 저항 연결

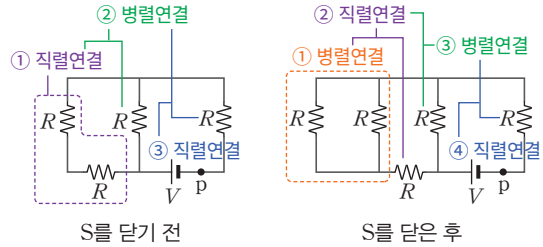


S를 닫았을 때 A의 소비 전력이 4 배가 되므로  $P=I^2R$ 에서 A에 흐르는 전류의 세기는 S를 닫은 후가 닫기 전의 2 배이다. 회로의 전체 저항은 S를 닫기 전이 닫은 후의 2 배이다. A, B의 저항값을 각각  $R_A$ ,  $R_B$ 라고 하면, S를 닫기 전에는 A와 B가 직렬 연결되어 있으므로 회로의 전체 저항은  $R_A + R_B$ 이다. 또 S를 닫은 후에는 A에만 전류가 흐르므로 회로의 전체 저항은  $R_A$ 이다.  $R_A + R_B = 2R_A$ 이므로 A와 B의 저항값은 같다.

06

답 ⑤

**자료 분석** 저항이 혼합 연결된 회로의 전체 저항 구하기



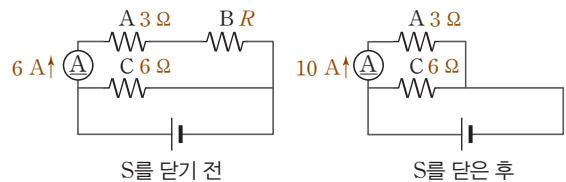
- S를 닫기 전
  - ① 두 저항이 직렬연결: 합성 저항  $2R$
  - ② ①에 세 번째 저항이 병렬연결: 합성 저항  $\frac{2}{3}R$
  - ③ ②에 네 번째 저항이 직렬연결: 합성 저항  $\frac{5}{3}R$
- S를 닫은 후
  - ① 두 저항이 병렬연결: 합성 저항  $\frac{1}{2}R$
  - ② ①에 세 번째 저항이 직렬연결: 합성 저항  $\frac{3}{2}R$
  - ③ ②에 네 번째 저항이 병렬연결: 합성 저항  $\frac{3}{5}R$
  - ④ ③에 다섯 번째 저항이 직렬연결: 합성 저항  $\frac{8}{5}R$

S를 닫기 전 전체 저항은  $\frac{5}{3}R$ 이고, 닫았을 때 전체 저항은  $\frac{8}{5}R$ 이다. 전원의 전압을  $V$ 라고 하면  $I_1 = \frac{3V}{5R}$ ,  $I_2 = \frac{5V}{8R}$ 이므로  $I_1 : I_2 = 24 : 25$ 이다.

07

답 ③

**자료 분석** 스위치와 여러 개의 저항이 연결된 회로



- S를 닫기 전: A와 B가 직렬연결 → A, B에 C가 병렬연결
- S를 닫은 후: B에는 전류가 흐르지 않음 → A와 C가 병렬연결
- S를 닫기 전과 후에 C에 걸리는 전압은 같다.

③ 전원의 전압이 30 V이고 C의 저항값이 6 Ω이므로 C에 흐르는 전류의 세기는 5 A이다. 따라서 소비 전력은 150 W이다.

**오답 피하기** ①, ② B의 저항값을  $R$ 라고 하면 S를 닫기 전에는 6 A의 전류가 직렬연결된 A와 B에 흐르고, S를 닫은 후에는 10 A의 전류가 A에 흐른다. 전원의 전압을  $V$ 라고 하면  $\frac{V}{3+R} = 6$ ,



$\frac{V}{3}=10$ 에서  $V=30(V)$ 이고,  $R=2(\Omega)$ 이다.

④ S를 닫으면 A에 흐르는 전류는 모두 S를 지나 전원의 (-)극으로 흐른다.

⑤ S를 닫기 전과 후 C에 걸리는 전압은 일정하므로 C에 흐르는 전류의 세기는 같다.

08

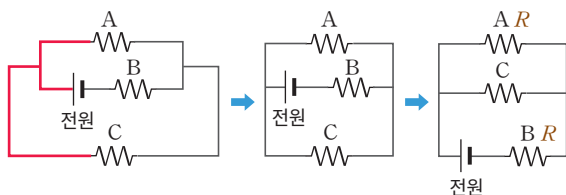
답 ③

저항에 걸리는 전압이  $R_2$ 가  $R_1$ 의 2 배이므로 저항값이 6  $\Omega$ 인 저항과  $R_2$ 의 합성 저항이 4  $\Omega$ 이다. 따라서  $R_2$ 의 저항값은 12  $\Omega$ 이고,  $R_2$ 의 소비 전력은  $P=\frac{V^2}{R}$ 에서  $\frac{2}{3}P_0$ 이다.

09

답 ⑤

자료 분석 ⑤ 저항 연결 회로를 다르게 만들기



- 첫 번째 회로에서 빨간색 도선 부분은 전위가 같다.  
→ 회로에서 길이나 모양을 바꾸어도 상관없다.
- 두 번째 회로에서 전원에서 나온 전류는 A 또는 C 중 한 곳으로만 흐른다. → A와 C는 병렬연결되어 있다.

ㄱ. 전원과 B는 직렬연결되어 있고, A와 C는 병렬연결되어 있다. B에 흐르는 전류의 세기를  $3I$ 라고 하면, A와 C에 흐르는 전류의 세기의 합과 같으므로 A, C에 흐르는 전류의 세기는 각각  $2I$ ,  $I$ 이다. 따라서 저항은 C가 A의 2 배이므로 C의 저항값은  $2R$ 이다.  
ㄴ. A와 C는 병렬연결되어 있으므로 저항에 걸리는 전압이 같다.  
ㄷ. A와 B의 저항값은 같고, 전류의 세기는 B가 A보다 크므로 저항의 소비 전력은 B가 A보다 크다.

10

답 ③

A: 가정용 전기 기구의 정격 전압은 같으므로 소비 전력이 다르면 전기 기구에 흐르는 전류의 세기가 다르다.

B: 멀티탭에 허용 전류 이상의 과전류가 흐르면 과열로 인한 전기 화재 위험이 있으므로 멀티탭에 너무 많은 전기 기구를 연결하지 않도록 주의해야 한다.

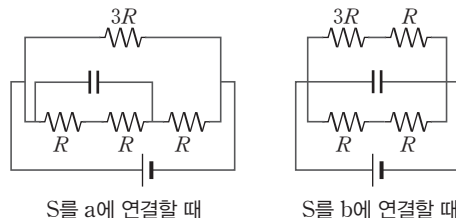
오답 피하기 C: 전원 차단기(퓨즈)는 모든 전기 기구에 직렬연결되어 있다. 과전류가 흐를 때 전원 차단기가 끊어지면 모든 전기 기구에 흐르는 전류가 차단된다.

11

답 ⑤

S를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때 회로를 간단하게 나타내면 그림과 같다. S를 a에 연결하면 저항값이  $R$ 인 저항 3 개가 직렬 연결되고 축전기에 걸리는 전압은 그 중 2 개의 저항 양단의 전

위차와 같다. S를 b에 연결하면 축전기에 걸리는 전압은 전원의 전압과 같다.



전원의 전압을  $V_0$ 이라고 하면  $V=\frac{2}{3}V_0$ 이다. S를 b에 연결하면 축전기 양단의 전위차는 전원의 전압과 같다. 따라서 S를 b에 연결했을 때 축전기 양단의 전위차는  $\frac{3}{2}V$ 이다.

12

답 ①

ㄴ. 축전기의 극판 사이의 간격이 감소하면 전기장의 세기가 증가하여 충전되는 전하량이 증가한다. 따라서 전류는 ① 방향으로 흐른다.

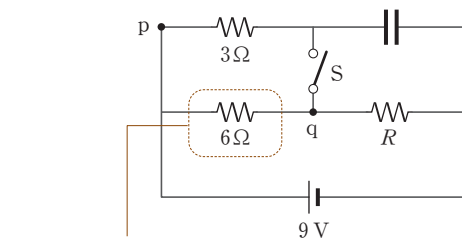
오답 피하기 ㄱ. 전압이 일정한 전원에 연결된 상태에서 축전기의 극판 간격이 변할 때 극판 사이의 전위차는 일정하다.

ㄷ. 극판 간격이 증가하면 전기장의 세기와 충전된 전하량이 감소한다.

13

답 ④

자료 분석 ④ 스위치 개폐에 따른 저항 연결 회로 분석



p, q 사이의 전위차는 6  $\Omega$  저항에 걸리는 전압과 같다.

ㄴ. S를 닫았을 때 저항값이 3  $\Omega$ 인 저항에 2 A가 흐르므로 저항값이 6  $\Omega$ 인 저항에는 1 A가 흐르고, R에는 3 A가 흐른다. 저항값이 6  $\Omega$ 인 저항에 걸린 전압이 6 V이므로 R에 걸린 전압은 3 V이다. 따라서 R는 1  $\Omega$ 이다.

ㄷ. S를 닫기 전에는 저항값이 3  $\Omega$ 인 저항에 전류가 흐르지 않으므로 전압 강하가 일어나지 않는다. 따라서 축전기 두 극판 사이의 전압이 전원의 전압과 같은 9 V이다. S를 닫으면 축전기 두 극판 사이의 전압은 저항값이 R인 저항에 걸리는 전압과 같은 3 V가 된다.

오답 피하기 ㄱ. p, q 사이의 전위차는 저항값이 6  $\Omega$ 인 저항에 걸리는 전압과 같다. S를 닫으면 저항값이 6  $\Omega$ 인 저항에 걸리는 전압이 감소하므로 p, q 사이의 전위차도 감소한다.

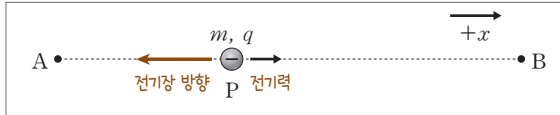
14

㉮ ⑤

- ㄱ. 컴퓨터 자판의 축전기의 극판 간격이 변할 때 전류가 흐르는 성질을 이용하여 전기 신호를 만든다.  
 ㄴ. 축전기가 방전될 때 전위차가 감소한다.  
 ㄷ. 자동 심장 충격기는 축전기에 저장된 전기 에너지를 이용해 심장에 전기적인 충격을 준다.

15

자료 분석 ㉮ 균일한 전기장 영역에서 직선 운동 하는 전자



- (1) (-)전하는 전기장과 반대 방향으로 전기력을 받는다.  
 (2) (-)전하는 전위가 높은 쪽으로 전기력을 받는다. A, B에서 P의 전기적 위치 에너지는 각각  $qV_A$ ,  $qV_B$ 이고, 전기적 위치 에너지 변화량이 운동 에너지와 같으므로  $q|V_A - V_B| = \frac{1}{2}mv^2$ 이다.

따라서  $V_A - V_B = -\frac{mv^2}{2q}$ 이다.

| 채점 기준                                             | 배점(%) |
|---------------------------------------------------|-------|
| $V_A - V_B$ 를 옳게 구한 경우                            | 100   |
| 부호를 고려하지 않고 $V_A - V_B = \frac{mv^2}{2q}$ 로 구한 경우 | 50    |

16

- (1)  $V_A : V_B = 1 : 1$ 이면  $R_B = R_0$ 이므로 전체 저항은  $2R_0$ 이다.  $V_A : V_B = 1 : 2$ 이면  $R_B = 2R_0$ 이므로 전체 저항은  $3R_0$ 이다. 전류의 세기는 저항에 반비례하므로 ㉮은  $1.5I_0$ 이다.  
 (2) B의 저항값이 증가하면 전체 저항이 증가하므로 A에 흐르는 전류의 세기는 감소한다. 따라서 A의 소비 전력도 감소한다.

| 채점 기준                           | 배점(%) |
|---------------------------------|-------|
| 전류의 세기와 소비 전력의 변화를 모두 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 1 가지만 옳게 설명한 경우                 | 50    |

17

- (1) 멀티탭에 연결한 전기 기구는 병렬로 연결되므로 멀티탭에 흐르는 전류의 세기는 각 전기 기구에 흐르는 전류의 세기의 합과 같다. 따라서 멀티탭에 연결한 전기 기구의 개수가 증가하면 멀티탭의 저항에 흐르는 전류의 세기도 증가한다.

| 채점 기준                         | 배점(%) |
|-------------------------------|-------|
| 근거를 포함하여 전류의 세기 변화를 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 전류의 세기 변화만 옳게 서술한 경우          | 50    |

- (2) 멀티탭에 연결하는 전기 기구의 개수가 증가하면 멀티탭의 저항에 흐르는 전류의 세기가 증가하므로 소비 전력도 증가한다.

| 채점 기준                         | 배점(%) |
|-------------------------------|-------|
| 근거를 포함하여 소비 전력의 변화를 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 소비 전력의 변화만 옳게 서술한 경우          | 50    |

18

- (1) 저항 R과 가변 저항이 직렬연결되어 있으므로 가변 저항의 저항값이 증가하면 R에 걸리는 전압은 감소한다. R과 A는 병렬 연결되어 있으므로 A의 두 금속판 사이의 전위차도 감소한다.

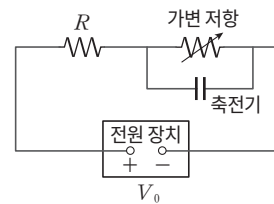
| 채점 기준                                  | 배점(%) |
|----------------------------------------|-------|
| R에 걸리는 전압 변화를 이용해 A의 전위차 변화를 옳게 설명한 경우 | 100   |
| A의 전위차 변화만 옳게 서술한 경우                   | 60    |

- (2) 가변 저항의 저항값이 증가하면 가변 저항에 걸리는 전압이 증가하고, 가변 저항과 병렬연결된 B의 두 금속판 사이의 전위차도 증가한다. 따라서 B에 충전되는 전하량도 증가한다.

| 채점 기준                             | 배점(%) |
|-----------------------------------|-------|
| B의 전위차 변화를 이용해 전하량의 변화를 옳게 설명한 경우 | 100   |
| B의 전하량 변화만 옳게 서술한 경우              | 60    |

개념 더하기 ㉮ 가변 저항과 병렬연결된 축전기의 전위차

그림과 같이 전원과 저항, 가변 저항으로 이루어진 회로에서 축전기를 가변 저항에 병렬로 연결하면 축전기 양단의 전위차는 가변 저항 양단의 전위차와 같다. 축전기에 병렬연결된 가변 저항의 저항값을 증가시키면 축전기 양단의 전위차도 증가한다. 이렇게 하면 전원의 전압이 일정해도 축전기 양단의 전위차를 조절할 수 있다.



19

- 스위치를 닫은 채 극판 간격을 증가시키면 극판 사이의 전위차는 전원의 전압과 같고 전기장의 세기는 감소하며 충전된 전하량도 감소한다. 스위치를 열고 극판 간격을 증가시키면 충전된 전하량과 전기장의 세기는 변하지 않고 전위차가 증가한다.

| 채점 기준                  | 배점(%) |
|------------------------|-------|
| 3 가지를 모두 옳게 비교한 경우     | 100   |
| 3 가지 중 2 가지만 옳게 비교한 경우 | 60    |
| 3 가지 중 1 가지만 옳게 비교한 경우 | 30    |

01 ⑤    02 ⑤    03 ③    04 ①    05 ③    06 ④    07 ③  
 08 ③    09 ⑤    10 ④    11 ③    12 ①    13 ①

**단답형·서술형 문제**

- 14 **예시 답안** (1)에서 A가 솔레노이드와 나란한 상태를 유지하였으므로 A는 솔레노이드에 의한 자기장과 같은 방향으로 자기화되는 강자성체 또는 상자성체이다. (2)에서 A를 움직일 때 유도 전류가 흐르므로 A는 외부 자기장이 없어져도 자기화된 상태를 유지하는 강자성체이다.
- 15 (1) **예시 답안** P에서 자침의 N극이 가리키는 방향은 지구 자기장과 전류에 의한 자기장이 합쳐진 자기장 방향이다. P에서 직선 도선에 의한 자기장 방향은  $x$ 축과 나란하므로 P에서 전류에 의한 자기장 방향은  $-x$  방향이다. 따라서 도선에는  $xy$  평면에서 수직으로 나오는 방향으로 전류가 흐른다.
- (2) **예시 답안** P, Q에서 자침의 N극이 가리키는 방향이  $y$ 축과  $45^\circ$ 를 이루므로 P, Q에서 전류에 의한 자기장의 세기와 지구 자기장의 세기가 같다. 따라서 도선에서 P, Q까지의 거리는 같다.
- 16 **예시 답안** 코일을 더 촘촘하게 많이 감는다. 더 강한 네오디뮴 자석을 사용한다. 코일에 흐르는 전류의 세기를 증가시킨다.
- 17 **예시 답안** 자석의 N극이 접근하면 솔레노이드를 통과하는 자기장의 세기가 증가한다. 렌츠 법칙에 따라 솔레노이드에는 자기장의 변화를 방해하는 방향, 즉 전류에 의한 자기장이 위쪽 방향이 되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서  $a \rightarrow$  검류계  $\rightarrow b$  방향으로 유도 전류가 흐른다.
- 18 **예시 답안** 전기 기타는 ㉠센서에 해당하며, 기타 줄의 운동 에너지가 전자기 유도에 의해 전기 에너지로 전환된다.

01 **답 ⑤**  
 강자성체와 상자성체는 자석을 위쪽으로 당기는 자기력을 작용하므로 저울의 측정값이 감소하고, 반자성체는 자석을 아래쪽으로 밀어내는 자기력을 작용하므로 저울의 측정값이 증가한다. 강자성체는 상자성체보다 강하게 자기화되므로 더 큰 자기력이 작용한다. 따라서 저울의 측정값은 반자성체일 때가 가장 크고, 강자성체일 때가 가장 작다.

02 **답 ⑤**  
 ㄱ. P는 반자성체이다. S를 a에 연결하면 P 위치에서 솔레노이드에 의한 자기장은 왼쪽 방향이므로 P는 왼쪽이 S극으로 자기화된다.  
 ㄴ. b에 연결하면 전류가 전원  $\rightarrow S \rightarrow$  솔레노이드로 흐르므로 솔레노이드 내부의 자기장은 오른쪽 방향이다.  
 ㄷ. P는 반자성체이므로 솔레노이드에 의한 자기장의 방향과 상관없이 솔레노이드로부터 밀려나는 방향, 즉 오른쪽으로 자기력을 받는다.

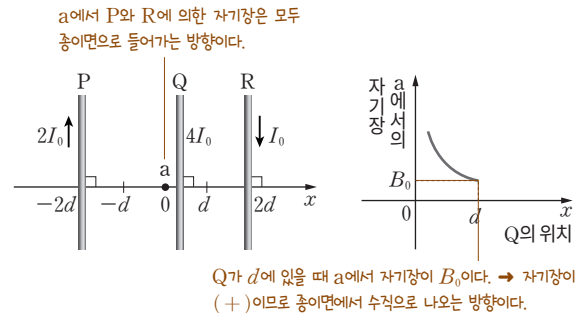
03 **답 ③**  
 ㄱ. A~C에 공통적으로 활용되는 자성체는 강자성체이다. 강자성체는 외부 자기장 방향으로 자기화된다.  
 ㄴ. 강자성체는 자석을 가까이 하면 자석 쪽으로 끌려온다.  
**오답 피하기** ㄷ. 강자성체는 외부 자기장이 사라져도 자기화된 상태를 유지한다.

04 **답 ①**  
 A가 자석에 가장 강하게 끌려오고 C는 자석에서 밀려난다. 따라서 A는 강자성체이고 C는 반자성체이다.

05 **답 ③**  
 $x=0$ 에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장을 각각  $-B, +B$ 라고 하면  $x=d$ 에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 각각  $-\frac{1}{2}B, +2B$ 이고,  $B_0 = \frac{3}{2}B$ 이다.  $x=3d$ 에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 각각  $-\frac{1}{4}B, -2B$ 이므로 자기장 합을  $B'$ 이라고 하면  $B' = -\frac{9}{4}B = -\frac{3}{2}B_0$ 이다.

06 **답 ④**

**자료 분석** 나란한 세 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장



a에서 P, R에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. Q가  $x=d$ 에 있을 때 a에서 자기장이  $+B_0$ 이므로 Q에는  $+y$  방향으로 전류가 흐른다. Q가  $x=d$ 에 있을 때 a에서 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를  $B$ 라고 하면  $-\frac{1}{4}B + B - \frac{1}{8}B = B_0$ 에서  $B = \frac{8}{5}B_0$ 이다.

07 **답 ③**  
 a, b에서 P에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각  $B_1, \frac{1}{2}B_1$ 이라고 하면 자기장의 세기가 b에서가 a에서보다 크므로 Q에는  $+y$  방향으로 전류가 흘러야 한다. a에서 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를  $B_2$ 라고 하면  $\frac{1}{2}B_1 + B_2 = 5(B_1 - B_2)$ 에서  $B_2 = \frac{3}{4}B_1$ 이다. 도선 P, Q에서 a까지 거리가 같으므로  $I_2 = \frac{3}{4}I_1$ 이고,  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{4}{3}$ 이다.

08

답 ③

ㄱ, ㄴ. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 단위 길이당 감은 수에 비례한다.

오답 피하기 ㄷ. 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 오른손 네 손가락을 전류 방향으로 감아줄 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다. 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향이 바뀌면 자기장의 방향도 바뀐다.

09

답 ⑤

ㄱ, ㄴ. ad는 위쪽으로, bc는 아래쪽으로 자기력을 받아 코일이 시계방향으로 회전한다.

ㄷ. 코일에 흐르는 전류의 세기가 셀수록 전류에 의한 자기장의 세기도 증가한다. 따라서 자석으로부터 받는 자기력의 크기도 증가하므로 코일이 더 빨리 회전한다.

10

답 ④

자석의 S극이 접근하면 코일을 통과하는 오른쪽 방향의 자기장의 세기가 증가하므로 코일에는 A → 검류계 → B 방향으로 유도 전류가 흘러 왼쪽 방향의 자기장이 생긴다.

④ 코일이 자석의 N극에서 멀어지면 코일을 통과하는 왼쪽 방향의 자기장이 약해지므로 코일에는 왼쪽 방향의 자기장이 생기도록 전류가 흐른다. 따라서 유도 전류는 A → 검류계 → B 방향으로 흐른다.

오답 피하기 ① 자석의 S극이 코일에서 멀어지면 코일을 통과하는 오른쪽 방향의 자기장이 약해지므로 코일에는 오른쪽 방향의 자기장이 생기도록 유도 전류가 B → 검류계 → A 방향으로 흐른다.

② 자석의 N극이 가까워지면 코일을 통과하는 왼쪽 방향의 자기장이 강해지므로 코일에는 오른쪽 방향의 자기장이 생기도록 유도 전류가 B → 검류계 → A 방향으로 흐른다.

③ 코일이 자석의 S극에서 멀어지면 코일을 통과하는 오른쪽 방향의 자기장이 약해지므로 코일에는 오른쪽 방향의 자기장이 생기도록 유도 전류가 B → 검류계 → A 방향으로 흐른다.

⑤ 코일과 자석이 같은 속도로 왼쪽으로 운동하면 코일을 통과하는 자기장이 변하지 않으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

11

답 ③

ㄱ. P, R의 속력이 같으므로 자기장이 클수록 유도 전류가 크다. R가 P보다 전류의 세기가 크므로 자기장의 세기는 I보다 II에서 더 크다.

ㄴ. P는 자기장 영역으로 들어가고 R는 자기장 영역에서 나오므로 같은 방향으로 유도 전류가 흐르려면 I과 II에서 자기장 방향은 반대이다. 따라서 I에서 자기장 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

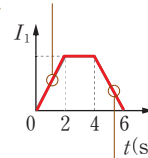
오답 피하기 ㄷ. Q를 통과하는 자기장이 변하지 않으므로 Q에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

12

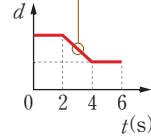
답 ①

### 자료 분석 ① 두 코일 사이의 전자기 유도

1차 코일에 흐르는 전류가 증가한다.  
→ 2차 코일을 통과하는 자기장이 강해진다.



1차 코일이 2차 코일에 접근한다.  
→ 2차 코일을 통과하는 자기장이 강해진다.



1차 코일에 흐르는 전류가 감소한다.

→ 2차 코일을 통과하는 자기장이 약해진다.

- 0~2 초: 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하면 2차 코일을 통과하는 자기장의 세기가 증가한다. → 유도 전류가 흐른다.
- 2~4 초: 1차 코일이 2차 코일에 접근하면 2차 코일을 통과하는 자기장의 세기가 증가한다. → 유도 전류가 흐른다.
- 4~6 초: 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 감소하면 2차 코일을 통과하는 자기장의 세기가 감소한다. → 유도 전류가 흐른다.

ㄱ. 1 초일 때는 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하므로 2차 코일을 통과하는 자기장의 세기가 증가한다. 5 초일 때는 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 감소하므로 2차 코일을 통과하는 자기장의 세기가 감소한다. 따라서 1 초일 때와 5 초일 때 검류계에 흐르는 유도 전류의 방향은 반대이다.

오답 피하기 ㄴ. 1 초일 때와 5 초일 때 1차 코일에 흐르는 전류의 변화율은 같지만 거리가 5 초일 때가 1초일 때보다 가까우므로 자기장의 변화율은 5 초일 때가 1초일 때보다 크다. 따라서 유도 전류의 세기는 5 초일 때가 1초일 때보다 크다.

ㄷ. 3 초일 때 1차 코일에 흐르는 전류는 일정하지만 거리가 가까워지므로 2차 코일을 통과하는 자기장이 증가한다. 따라서 유도 전류가 흐른다.

13

답 ①

ㄱ. 자기장의 세기가  $t$ 일 때는 증가하고  $3t$ 일 때는 감소하므로 유도 전류의 방향은 반대이다.

오답 피하기 ㄴ.  $2t$ 일 때는 원형 도선을 통과하는 자기장의 시간당 변화율이 0이므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

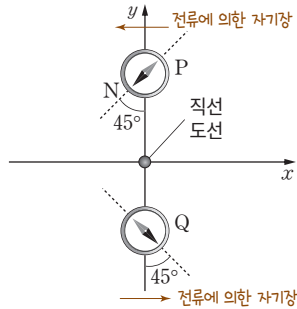
ㄷ.  $4t$ 일 때는 원형 도선을 통과하는 자기장이 변하므로 유도 전류가 흐른다.

14

(1)에서 A가 솔레노이드와 나란한 상태를 유지하였으므로 A는 솔레노이드에 의한 자기장과 같은 방향으로 자기화되는 강자성체 또는 상자성체이다. A가 반자성체라면 솔레노이드에서 밀려나므로 나란하지 않게 된다.

| 채점 기준                           | 배점(%) |
|---------------------------------|-------|
| 실험 결과를 근거로 A의 자성체 종류를 옳게 설명한 경우 | 100   |
| A의 자성체 종류만 옳게 서술한 경우            | 30    |

### 자료 분석 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장



- P, Q에서 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은  $x$ 축에 나란하고, 서로 반대 방향이다.  
→ P, Q에서 자기장의  $y$ 축 성분은 지구 자기장에 의한 것이다.
- P에서 자기장이 왼쪽 아래 방향이므로 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장 방향은  $-x$  방향이다.  
→ 도선에는  $xy$  평면에서 수직으로 나오는 방향으로 전류가 흐른다.
- P, Q에서 지구 자기장과 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장은 같다.

(1) P에서 자침의 N극이 가리키는 방향은 지구 자기장과 전류에 의한 자기장이 합쳐진 자기장 방향이다. P에서 직선 도선에 의한 자기장 방향은  $x$ 축과 나란하므로 P에서 전류에 의한 자기장 방향은  $-x$  방향이다. 따라서 도선에는  $xy$  평면에서 수직으로 나오는 방향으로 전류가 흐른다.

| 채점 기준                                | 배점(%) |
|--------------------------------------|-------|
| 근거를 바탕으로 직선 도선에 흐르는 전류 방향을 옳게 추론한 경우 | 100   |
| 직선 도선에 흐르는 전류 방향만 옳게 서술한 경우          | 40    |

(2) P, Q에서 자침의 N극이 가리키는 방향이  $y$ 축과  $45^\circ$ 를 이루므로 P, Q에서 전류에 의한 자기장의 세기와 지구 자기장의 세기가 같다. P와 Q에서 지구 자기장은 같으므로 도선에서 P, Q까지의 거리는 같다.

| 채점 기준                  | 배점(%) |
|------------------------|-------|
| 근거를 바탕으로 거리를 옳게 비교한 경우 | 100   |
| 거리만 옳게 비교한 경우          | 40    |

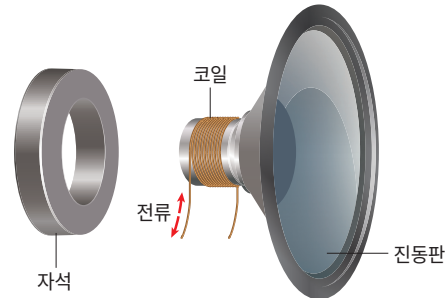
### 16

코일을 더 촘촘하게 많이 감는다. 더 강한 네오디뮴 자석을 사용한다. 코일에 흐르는 전류의 세기를 증가시킨다.

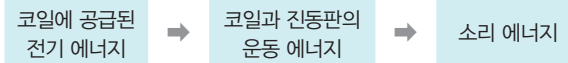
| 채점 기준             | 배점(%) |
|-------------------|-------|
| 2 가지 모두 옳게 서술한 경우 | 100   |
| 1 가지만 옳게 서술한 경우   | 50    |

※ 단, 3 가지 이상 서술한 경우에는 처음 두 가지만 채점함.

### 개념 더하기 스피커의 구조와 작동 원리



- ① 구조: 스피커는 코일 주위에 배치된 영구 자석과 코일, 코일이 고정된 진동판으로 이루어져 있다.
- ② 작동 원리: 코일에 주기적으로 방향이 바뀌는 전류가 흐르면 자석과 코일이 작용하는 힘의 방향이 주기적으로 바뀐다. 코일이 고정된 진동판이 밀거나 당기는 힘에 의해 진동한다. → 진동판 주위의 공기가 밀려나가거나 끌려오며 진동하여 소리가 발생한다.
- ③ 스피커에서의 에너지 전환



### 17

자석의 N극이 접근하면 솔레노이드를 통과하는 자기장의 세기가 증가한다. 렌츠 법칙에 따라 솔레노이드에는 자기장의 변화를 방해하는 방향, 즉 전류에 의한 자기장이 위쪽 방향이 되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서  $a \rightarrow$  검류계  $\rightarrow b$  방향으로 유도 전류가 흐른다.

| 채점 기준                                              | 배점(%) |
|----------------------------------------------------|-------|
| 자기장의 변화와 렌츠 법칙을 모두 사용하여 유도 전류의 방향을 옳게 설명한 경우       | 100   |
| 자기장의 변화 또는 렌츠 법칙 중 1 가지만 사용하여 유도 전류의 방향을 옳게 설명한 경우 | 50    |
| 자기장의 변화 또는 렌츠 법칙을 명시하지 않고 유도 전류의 방향만 옳게 설명한 경우     | 30    |

### 18

전기 기타는 기타 줄의 진동을 감지하여 전기 신호를 발생시키므로 ㉠센서에 해당한다. 전자기 유도 현상을 센서로 활용하는 예에는 전기 기타 외에도 금속 탐지기, 도난 방지 등 등이 있다.

| 채점 기준                                  | 배점(%) |
|----------------------------------------|-------|
| 전기 기타가 ㉠에 해당함을 명시하고, 에너지 전환을 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 에너지 전환만 옳게 설명한 경우                      | 50    |
| 전기 기타가 ㉠에 해당함만 옳게 서술한 경우               | 30    |



### III 빛과 물질

#### 01 빛과 물질의 이중성

17~20쪽

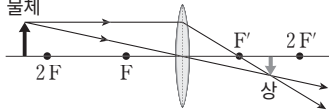
01 ④ 02 ④ 03 ③ 04 ① 05 ⑤ 06 ③ 07 ④  
08 ② 09 ⑤ 10 ⑤ 11 ④ 12 ③

##### 단답형·서술형 문제

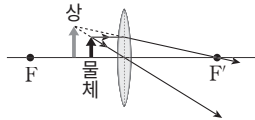
13 답 ㉠ 진폭, ㉡ 보강, ㉢ 상쇄

14 (1) 답 A: 단색광, B: 백색광 (2) 예시 답안 비누막에 단색광을 비추면 막의 윗면에서 반사한 빛과 아랫면에서 반사한 빛이 간섭을 일으켜 두께에 따라 밝고 어두운 무늬가 나타나고, 백색광을 비추면 막의 두께와 보는 각도에 따라 특정한 파장의 빛이 간섭하게 되어 무지개 색과 같은 여러 가지 색의 빛이 나타난다.

15 (1) 예시 답안  $F'$ 과  $2F'$  물체 사이에 물체보다 작은 거꾸로 선 실상이 생긴다.



(2) 예시 답안 광선의 연장선이 만나는 위치에 물체보다 크고 상하좌우가 바뀌지 않는 바로 선 허상이 생긴다.



16 예시 답안 (가)에서는 금속박이 빨리 오므라들고, (나)에서는 변화가 없다. 그 까닭은 단색광 A는 금속판의 한계 진동수보다 크므로 빛의 세기가 커지면 광전자가 더 많이 튀어나와 금속박이 빨리 오므라들고, 단색광 B는 금속판의 한계 진동수보다 작으므로 빛의 세기가 커져도 광전 효과가 일어나지 않기 때문이다.

17 예시 답안  $\lambda_A = \frac{h}{3mv}$  이고,  $\lambda_B = \frac{h}{2mv}$  이므로  $\frac{h}{3mv} : \frac{h}{2mv}$  에서  $\lambda_A : \lambda_B = 2 : 3$  이다.

18 예시 답안 전자 현미경은 전자의 물질파를 활용하는 현미경으로 전자의 운동량을 조절하여 매우 짧은 파장의 물질파를 만들어 상을 만들기 때문에 분해능이 광학 현미경에 비해 높다.

01 답 ④

ㄱ. 파동 A는 4 초 동안 10 cm를 이동하므로 속력은  $\frac{10 \text{ cm}}{4 \text{ s}} = 2.5 \text{ cm/s}$  이다.

ㄴ. 두 파동 A, B의 속력은 2.5 cm/s이므로 8 초일 때 합성파는 25 cm 지점에서 음으로 진폭 2 cm, 35 cm 지점에서 양으로 진폭 2 cm이다. 그리고 30 cm 지점에서 변위는 0이다.

오답 피하기 ㄷ. (나) 이후 25 cm인 지점의 진폭은 2 초 동안 줄어 들고, 나머지 2 초 동안은 음의 방향으로 증가한다.

02 답 ④

지폐의 숫자는 보는 각도에 따라 보강 간섭을 하는 빛의 파장이 달라지므로 다른 색으로 보인다.

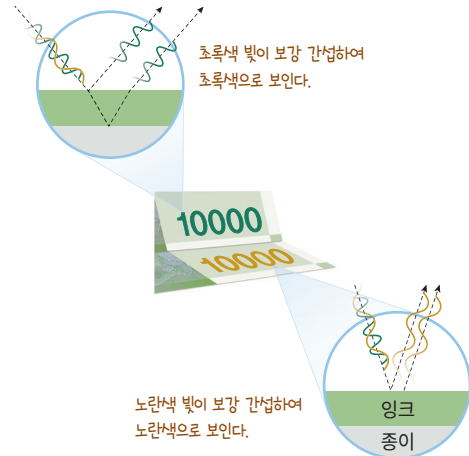
ㄱ. 지폐의 숫자가 노란색으로 보이는 것은 노란색 빛이 보강 간섭을 하기 때문이다.

ㄴ. (나)와 (다)에서는 각도에 따라 중첩되는 두 빛의 경로 차이가 달라지면서 각각 노란색, 초록색으로 보인다.

오답 피하기 ㄷ. 초록색 빛이 보강 간섭을 하여 초록색으로 보인다.

##### 자료 분석 지폐에서의 간섭

숫자를 보는 각도에 따라 보강 간섭되는 빛의 파장이 달라지기 때문에 보이는 색깔이 달라진다.



03 답 ③

ㄱ. 간섭무늬의 밝은 부분은 보강 간섭이, 어두운 부분은 상쇄 간섭이 일어나는 부분이다. O 지점은 밝은 무늬이므로 보강 간섭이 일어난다.

ㄷ. P는 세 번째 어두운 무늬이므로 경로차는  $\frac{\lambda}{2}(2m+1) = \frac{\lambda}{2}(2 \times 2 + 1) = \frac{5}{2}\lambda$  이다.

오답 피하기 ㄴ. P는 상쇄 간섭이 일어난 곳으로 빛의 위상이 반대인 곳이다.

04 답 ①

ㄱ. 매질 A의 굴절률은  $\frac{\sin 60^\circ}{\sin 45^\circ} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{\sqrt{2}}{2}} = \frac{\sqrt{6}}{2}$  이다.

오답 피하기 ㄴ. 공기보다 매질 A의 굴절률이 크므로 공기에서 매질 A로 빛을 입사하면 입사각이 굴절각보다 크다.

ㄷ. 입사각의 크기와 상관없이 사인값의 비는 항상 일정한 값을 갖는다.

05 답 ⑤

ㄱ, ㄴ. 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 길 때에는 거꾸로 선 실상이 스크린에 맺힌다. 허상은 스크린에 투사하여 관찰할 수 없으므로 스크린에는 거꾸로 선 실상이 맺힌다.

ㄷ. 상이 선명하게 맺히는 거리  $x$ 는 초점 거리이며, 물체의 위치가 초점 거리의 2 배일 때 물체와 같은 크기의 상이 생긴다.

06

답 ③

ㄱ. 렌즈 A에 의해 물체가 확대되어 보이므로 렌즈 A는 볼록 렌즈이다.

ㄴ. 볼록 렌즈에 의해 물체의 확대된 바로 선 상이 생겼다면, 이때 생긴 상은 허상이다.

오답 피하기 ㄷ. 눈으로 입사하는 광선의 연장선이 만나는 위치에 물체의 허상이 생기므로, 허상은 렌즈 A의 뒤쪽에 생긴다.

07

답 ④

ㄱ. 포토 리소그래피는 빛을 이용해 미세한 회로 무늬를 새긴 뒤, 필요한 부분만 남기고 필요 없는 부분을 깎아내며 원하는 회로의 형태를 만드는 광학 기술이다.

ㄴ. 노광 과정에서 감광액을 펴 바른 웨이퍼 위에 원하는 회로 무늬가 그려진 마스크를 댄 뒤 빛을 쏘아 빛에 노출된 부분의 화학적 성질을 변화시킨다.

오답 피하기 ㄷ. 포토 리소그래피 공정의 노광 과정에서 볼록 렌즈는 웨이퍼에 축소된 상을 맺히게 하는 역할을 한다.

08

답 ②

ㄴ. 금속 C의 경우 모든 파장에서 광전자가 검출되었으므로 한계 진동수가 가장 낮다.

오답 피하기 ㄱ. 파장이  $\lambda_3$ 일 때 모든 금속에서 광전 효과가 일어났으므로 파장이 가장 짧고,  $\lambda_1$ 일 때 금속 C에서만 광전 효과가 일어났으므로 파장이 가장 길다. 따라서 파장의 크기는  $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ 이다.

ㄷ. 광전 효과는 한계 진동수 이상의 빛에서만 일어나므로 빛을 세게 비추어도 광전자가 방출되지 않는다.

09

답 ⑤

ㄱ. 간섭무늬는 파동이 중첩하여 나타나는 현상으로 빛의 파동성을 나타내는 현상이다.

ㄴ. 광전 효과는 한계 진동수 이상의 빛을 금속 표면에 비추었을 때 전자가 튀어나오는 현상으로 금속의 전자와 광자의 충돌에 의한 결과이다. 따라서 광전 효과는 빛의 입자성을 나타내는 현상이다.

ㄷ. 실험에 의해 빛은 파동의 성질과 입자의 성질을 모두 가지고 있음을 알 수 있다.

10

답 ⑤

ㄱ. 화소에서 생성된 (-)전하를 띠는 전자는 (+)전압이 걸려 있는 전극 아래쪽에 쌓인다.

ㄴ. CCD의 화소에서 전자가 (+)극으로 이동하여 전극 아래쪽에 저장되고, 전극의 전압을 순차적으로 변화시키면서 전자를 전하량 측정 장치로 이동시킨다.

ㄷ. 저장된 전자의 수는 입사한 빛의 세기에 비례하는 전기 신호를 생성한다.

11

답 ④

ㄴ. X선의 파장을 짧게 하면 (가)의 동심원 반지름이 줄어든다.

ㄷ. 전자의 운동량을 높이면 전자의 물질파 파장이 작아지므로 (나)의 동심원 반지름이 줄어든다.

오답 피하기 ㄱ. 전자선의 무늬는 전자의 파동성을 보여 주는 실험이다.

12

답 ③

③ (가)는 투과 전자 현미경으로 정확한 상을 관찰하려면 시료가 얇아야 한다.

오답 피하기 ①, ④ (나)의 주사 전자 현미경은 (가)의 투과 전자 현미경보다 분해능은 낮지만 입체 구조를 볼 수 있다.

② 투과 전자 현미경에서 사용하는 전자의 물질파 파장은 가시광선 파장보다 짧다.

⑤ 주사 전자 현미경은 투과 전자 현미경보다 분해능이 낮다.

13

위상이 같은 두 파동이 중첩하여 진폭이 커지는 것을 보강 간섭이라 하고, 위상이 반대인 두 파동이 중첩하여 진폭이 작아지는 것을 상쇄 간섭이라고 한다.

14

(1) 얇은 막에 빛을 비출 때 단색광의 경우 밝고 어두운 간섭무늬가 생기고, 여러 가지 색의 빛이 포함된 백색광의 경우 여러 가지 색의 빛의 무늬가 나타난다.

(2) 비누막에 단색광을 비추면 막의 윗면에서 반사한 빛과 아랫면에서 반사한 빛이 간섭을 일으켜 두께에 따라 밝고 어두운 무늬가 나타나고, 백색광을 비추면 막의 두께와 보는 각도에 따라 특정한 파장의 빛이 간섭하게 되어 무지개 색과 같은 여러 가지 색의 빛이 나타난다.

| 채점 기준                      | 배점(%) |
|----------------------------|-------|
| A, B가 어떤 빛인지 모두 옳게 설명한 경우  | 100   |
| A, B가 어떤 빛인지 하나만 옳게 설명한 경우 | 30    |

15

(1) F'와 2F' 사이에 물체보다 작은 거꾸로 선 실상이 생긴다.

| 채점 기준                           | 배점(%) |
|---------------------------------|-------|
| 물체의 상을 옳게 그리고, 상의 특징을 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 물체의 상의 특징만 옳게 설명한 경우            | 50    |
| 물체의 상만 옳게 그린 경우                 | 40    |

(2) 광선의 연장선이 만나는 위치에 물체보다 크고 상하좌우가 바뀌지 않는 바로 선 허상이 생긴다.

| 채점 기준                           | 배점(%) |
|---------------------------------|-------|
| 물체의 상을 옳게 그리고, 상의 특징을 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 물체의 상의 특징만 옳게 설명한 경우            | 50    |
| 물체의 상만 옳게 그린 경우                 | 40    |

16

단색광 A의 진동수는 금속판의 한계 진동수보다 크고, 단색광 B의 진동수는 금속판의 한계 진동수보다 작다. 따라서 빛의 세기가 커진 (가)의 검전기는 금속박이 빨리 오므라들고, (나)의 검전기는 빛의 세기가 증가해도 금속박의 변화가 없다.

| 채점 기준                  | 배점(%) |
|------------------------|-------|
| 금속박의 변화를 모두 옳게 설명한 경우  | 100   |
| 금속박의 변화를 하나만 옳게 설명한 경우 | 50    |

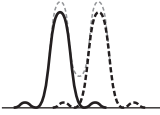
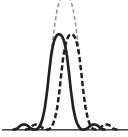
17

$\lambda_A = \frac{h}{3mv}$ 이고,  $\lambda_B = \frac{h}{2mv}$ 이므로  $\frac{h}{3mv} : \frac{h}{2mv}$ 에서  $\lambda_A : \lambda_B = 2 : 3$ 이다.

| 채점 기준                               | 배점(%) |
|-------------------------------------|-------|
| 물질파 A, B의 파장의 비를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우 | 100   |
| 물질파 A, B의 파장의 비만 옳게 쓴 경우            | 30    |

18

**자료 분석** 광학 기기의 분해능

| (가) 두 상을 구별할 수 있는 상태                                                                | (나) 두 상을 구별할 수 있는 최소한의 조건                                                           | (가) 두 상을 구별할 수 없는 상태                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
|  |  |  |

- 광원에서 나온 빛은 광학 기기에 의해 무늬를 만든다.
- 각각의 무늬가 멀리 떨어져 있을수록 두 상을 구별하기 쉽다.
- 인접한 두 상이 서로 구별될 수 있는 최소한의 조건은 (나)와 같이 한 무늬의 중앙의 밝은 무늬가 다른 무늬의 첫 번째 어두운 무늬와 일치할 때이다.
- 분해능이 좋을수록 아주 가까운 두 물체를 서로 다른 물체로 구별할 수 있다.

전자 현미경은 전자의 물질파를 활용하는 현미경으로, 전자의 운동량을 조절하여 매우 짧은 파장의 물질파를 만들어 상을 만들기 때문에 분해능이 광학 현미경에 비해 높다.

| 채점 기준                                                           | 배점(%) |
|-----------------------------------------------------------------|-------|
| 전자 현미경이 전자의 물질파를 활용하고 짧은 파장의 물질파를 활용하여 분해능이 높음을 설명한 경우          | 100   |
| 전자 현미경이 물질파를 활용하는 것과 짧은 파장의 물질파를 활용하여 분해능이 높은 것 중에 1 가지를 설명한 경우 | 30    |

**02 물질과 시공간의 세계**

21~23 쪽

01 ④ 02 ⑤ 03 ③ 04 ③ 05 ④ 06 ③ 07 ②  
08 ④ 09 ④ 10 ③

**단답형·서술형 문제**

11 답 D

12 (1) 답 A: p형 반도체, B: n형 반도체 (2) 예시 답안 양공과 전자가 각각 p-n 접합면으로부터 멀어지는 방향으로 이동하여 전류가 흐르지 않으므로 다이오드에 역방향 전압이 연결되어 있다.

13 예시 답안 우주선 안 관찰자 A는 빛 시계에 대해 정지해 있으므로 관찰자 A가 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 고유 시간이다. P와 Q는 관찰자 B에 대해 정지해 있으므로 관찰자 B가 측정한 P와 Q 사이의 거리는 고유 길이이다.

01

답 ④

ㄱ. (가)는 연속 스펙트럼이다. 파장이 짧을수록 빛이 갖는 에너지가 크므로 에너지는 A에서가 B에서보다 크다.

ㄴ. (나)는 기체 방전관에서 방출되는 선 스펙트럼으로 밝은 선은 전자가 전이하면서 빛의 형태로 방출한 에너지이다.

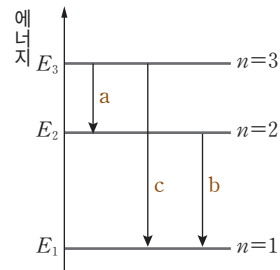
오답 피하기 ㄴ. 분석하여 원소의 종류를 알 수 있는 스펙트럼은 선 스펙트럼이다.

02

답 ⑤

**자료 분석** 전자의 전이

광자 a, b, c의 전이 과정에서 광자 b, c가 방출되는 상황은  $n=1$ 인 상태의 전자에 흡수될 수 있고,  $n=2$ 인 상태의 전자에 흡수될 수 없다. 따라서  $n=2$ 에 전이하는 과정에서 방출되는 광자는 a이다. 그리고 c의 진동수가 가장 크므로 각각의 전이 과정에서 방출되는 광자는 다음과 같다.



ㄱ.  $E_3 \rightarrow E_2$ 로 전이할 때 a,  $E_2 \rightarrow E_1$ 로 전이할 때 b,  $E_3 \rightarrow E_1$ 로 전이할 때 c가 방출되므로 광자의 파장은  $a > b > c$ 이다.

ㄴ. a, b, c의 진동수는 서로 다르면서 두 광자의 진동수의 합은 한 광자의 진동수와 같은 상황이다. a, b, c 중에서 c의 진동수가 가장 크므로 a와 b의 진동수의 합과 같아야 한다. 따라서 광자의 진동수는  $c = a + b$ 이다.

ㄷ.  $n=2$ 인 상태의 전자에 a를 입사시키면 a는 전자에 흡수된다.

03

답 ③

㉠과 ㉡은 자외선 영역, ㉢과 ㉣은 가시광선 영역, ㉤은 적외선 영역이다. a는 가시광선 영역이므로  $n=2$ 로 전이해야 하며, 파장이 두 번째로 긴 빛을 방출하는 전이 과정은  $n=4$ 에서  $n=2$ 로 전이하는 과정이다.

04

답 ③

7. 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하려면 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다. 따라서  $E_1 > E_0$ 이다.

ㄴ. ㉠은 전자가 전도띠로 이동하여 생긴 빈 자리로 양공이다.

오답 피하기 ㄷ. 에너지띠에는 인접한 에너지 준위가 거의 연속적으로 분포하므로 원자가 띠에 위치한 전자의 에너지는 모두 다르다.

05

답 ④

7. (가)의 규소(Si)는 원자가 원자가 4 개인 순수 반도체이고, 순수 반도체에 불순물을 첨가하는 것을 도핑이라고 한다.

ㄷ. ㉠에 원자가 전자가 3 개인 붕소(B), 갈륨(Ga), 인듐(In) 등을 첨가하여 만든 반도체를 p형 반도체라 하고, ㉡에 원자가 전자가 5 개인 인(P), 비소(As), 안티모니(Sb) 등을 첨가하여 만든 반도체를 n형 반도체라고 한다.

오답 피하기 ㄴ. (나)는 양공이 전하를 운반하는 역할을 하는 p형 반도체이고, (다)는 전자가 전하를 운반하는 역할을 하는 n형 반도체이다.

06

답 ③

7. 발광 다이오드에 불이 들어왔으므로 X는 p형 반도체이고, Y는 n형 반도체이다.

ㄴ. 발광 다이오드에는 순방향 전압이 연결되어 있다.

오답 피하기 ㄷ. S를 b에 연결하면 역방향 전압이 연결되므로 불이 켜지지 않는다.

07

답 ②

ㄷ. 스위치를 a에 연결했을 때 LED에 순방향 전압이 연결되므로 A의 n형 반도체의 전자는 접합면을 향해 이동한다.

오답 피하기 7. 스위치를 a에 연결했을 때 LED에 순방향 전압이 연결되고 b에 연결했을 때 역방향 전압이 연결되므로 X는 p형 반도체이다.

ㄴ. 스위치를 a에 연결했을 때 LED에 순방향 전압이 연결되므로 ㉠은 (+)극이다.

08

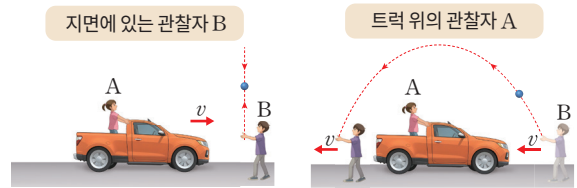
답 ④

ㄴ. 관성 좌표계에서 A와 B가 측정하는 물리량은 다를 수 있지만 공의 질량( $m$ )이 같고, 가속도가 중력 가속도( $g$ )로 같기 때문에 공의 운동을 뉴턴의 운동 법칙  $F=ma$ 로 설명할 수 있으므로 물리량 사이의 관계식은 동일하다.

ㄷ. A는 자신이 정지해 있고 B가 움직인다고 보기 때문에 공이 포물선 운동을 하는 것으로 관측하고, B는 공이 똑바로 올라갔다가 아래로 떨어지는 것으로 관측한다.

오답 피하기 7. A와 B의 좌표계는 모두 관성 좌표계이다.

## 자료 분석 상대성 원리



- 지면에 정지한 B는 공이 똑바로 올라갔다가 떨어지는 것으로 관측한다.
- 등속도 운동을 하는 트럭 위의 A는 자신이 정지해 있고 B가 움직인다고 보기 때문에 공이 포물선 운동을 하는 것으로 관측한다.

09

답 ④

7. 모든 관성 좌표계에서 보았을 때, 빛의 속력은  $c$ 로 일정하다.

ㄴ. A가 측정한 우주선의 길이는 고유 길이로  $L$ 보다 길다.

오답 피하기 ㄷ. B가 측정한 A의 시간은 상대 시간으로 자신의 시간보다 느리게 간다.

10

답 ③

7. 상대 시간  $T'$ 에 대해  $L < vT'$ 이라면  $T' > T$ 이어야 한다.

ㄴ. 상대 길이  $L'$ 에 대해  $L' < vT$ 이라면  $L' < L$ 이어야 한다.

오답 피하기 ㄷ. 묶은과 함께 운동하는 관찰자에게 묶은의 수명은 고유 수명이지만 지면까지의 거리는 길이 수축에 의해  $L$ 보다 짧으므로 관찰이 가능하다.

11

가시광선 영역이므로  $n=2$ 로 전이해야 하며, 파장이 가장 길어 에너지가 가장 작은 전이 과정은  $n=3$ 에서  $n=2$ 로 전이해야 한다.

12

(1) A는 양공의 농도가 높으므로 p형 반도체이고, B는 전자의 농도가 높으므로 n형 반도체이다.

(2) 양공과 전자가 접합면에서 멀어지는 방향으로 이동하여 전류가 흐르지 않으므로 다이오드에 역방향 전압이 연결되어 있다.

| 채점 기준                           | 배점(%) |
|---------------------------------|-------|
| 다이오드에 어떤 전압이 연결되어 있는지 옳게 설명한 경우 | 100   |
| 설명 없이 전압의 연결 방향만 옳게 쓴 경우        | 30    |

13

우주선 안 관찰자 A는 빛 시계에 대해 정지해 있으므로 관찰자 A가 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 고유 시간이다. P와 Q는 관찰자 B에 대해 정지해 있으므로 관찰자 B가 측정한 P와 Q 사이의 거리는 고유 길이이다.

| 채점 기준                              | 배점(%) |
|------------------------------------|-------|
| 고유 시간일 때와 고유 길이일 때를 모두 옳게 설명한 경우   | 100   |
| 고유 시간일 때와 고유 길이일 때 중 하나만 옳게 설명한 경우 | 50    |