

소비전력

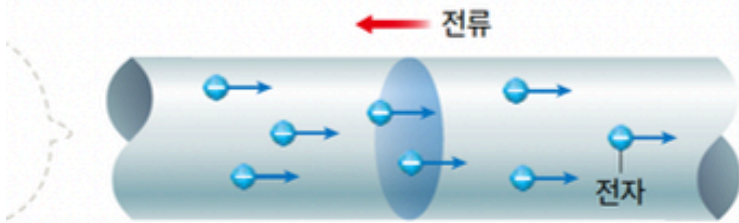


〈물리 상수〉

진공 중의 빛의 속도	c	$3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$	플랑크 상수	h	$6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
중력 상수	G	$6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$			$4.14 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$
아보가드로 수	N_A	$6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$	볼츠만 상수	k	$1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
기체 상수	R	$8.31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$			$8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$
		$8.21 \times 10^{-2} \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}$	기본 전하량	e	$1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$
진공의 유전율	ϵ_0	$8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$	전자의 질량	m_e	$9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
진공의 투자율	μ_0	$1.26 \times 10^{-6} \text{ T} \cdot \text{m/A}$	양성자의 질량	m_p	$1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
패러데이 상수	F	$9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$	중성자의 질량	m_n	$1.68 \times 10^{-27} \text{ kg}$

전류, 전압, 저항의 관계

전류는 전하의 흐름으로, 전류의 세기는 그림 II-7과 같이 단위 시간에 도선의 단면을 통과하는 전하량으로 정의한다. 시간 t 동안 도선의 단면을 통과하는 전하량을 Q 라고 하면 전류의 세기 I 는 다음과 같다.



$$I = \frac{Q}{t} \text{ [단위: A]}$$

그림 II-7 전하의 이동과 전류의 세기

1 A는 1 초 동안 1 C의 전하가 통과할 때 전류의 세기이다. 그림 II-8과 같이 전류가 흐를 때 도선 내부에서 자유 전자는 원자들과 충돌하고, 이러한 충돌은 자유 전자의 이동을 방해한다. 이처럼 전류의 흐름을 방해하는 정도를 **전기 저항**이라고 하며 단위는 Ω 을 사용한다. 그림 II-9처럼 저항이 일정할 때 전압이 클수록 전류의 세기는 커진다. 도선에 걸리는 전압을 V , 도선에 흐르는 전류를 I , 전기 저항을 R 라고 하면 $I = \frac{V}{R}$ 이다. 이를 **옴의 법칙**이라고 한다.

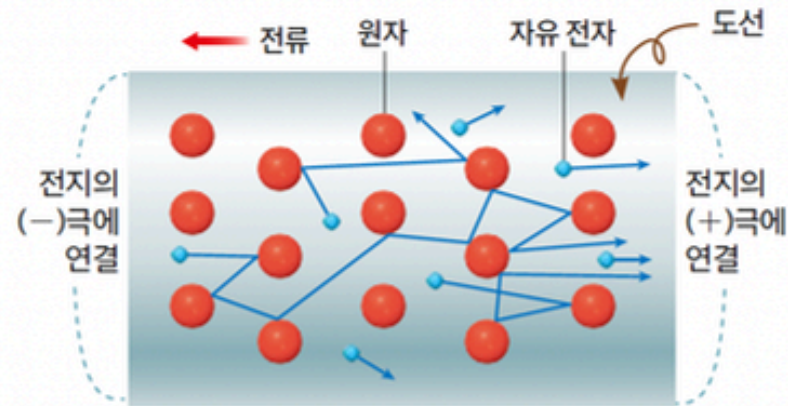


그림 II-8 전지를 연결한 도선 내부

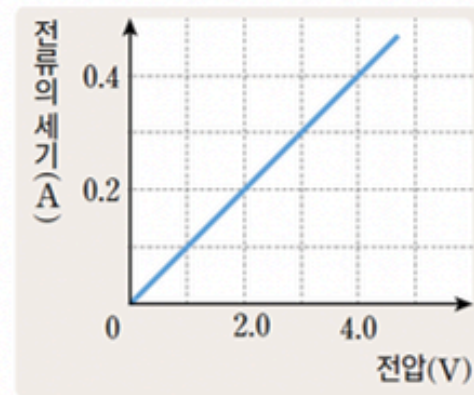


그림 II-9 전압에 따른 전류의 세기

소비 전력

그림 II-10과 같이 전압이 V 인 전지에 저항 R 를 연결하여 전류 I 가 흐르면 시간 t 동안 저항을 통과한 전하량은 $Q = It$ 이다. 시간 t 동안 전지가 한 일은 $W = QV = VIt$ 이다. $V = IR$ 의 관계를 이용하면 다음과 같다.

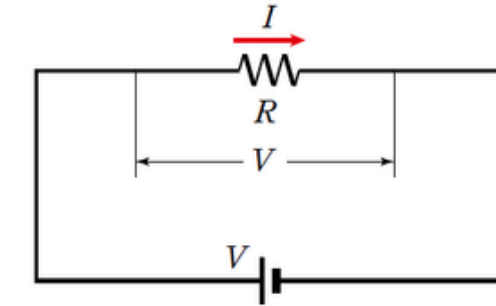


그림 II-10 전류가 하는 일

$$W = VIt = I^2Rt = \frac{V^2}{R}t$$

단위 시간 동안 전지가 한 일과 저항에서 소모한 에너지는 같다. 전기 기구에서 단위 시간 동안 소비하는 전기 에너지를 **소비 전력**이라고 한다. 저항 양단의 전위차가 V 이고 저항에 흐르는 전류가 I 일 때 소비 전력 P 는 다음과 같다.

$$P = \frac{W}{t} = VI = I^2R = \frac{V^2}{R} \text{ [단위: W(와트)]}$$

1 V의 전위차에서 1 A의 전류가 흐를 때 전력은 1 W이며 1 W는 1 J/s와 같다.

전기 기구에는 그림 II-11과 같이 소비 전력이 표기되어 있다. 소비 전력이 800 W인 전기난로는 1 초에 800 J의 에너지를 소비한다.

저항의 연결과 소비 전력

회로에 여러 개의 저항을 연결할 때 저항의 연결 방식에 따라 전류, 전압, 소비 전력이 달라질 수 있다.

그림 II-12는 두 저항 R_1, R_2 를 직렬로 연결한 회로를 나타낸 것으로, 전류는 하나의 회로를 따라 흐른다.

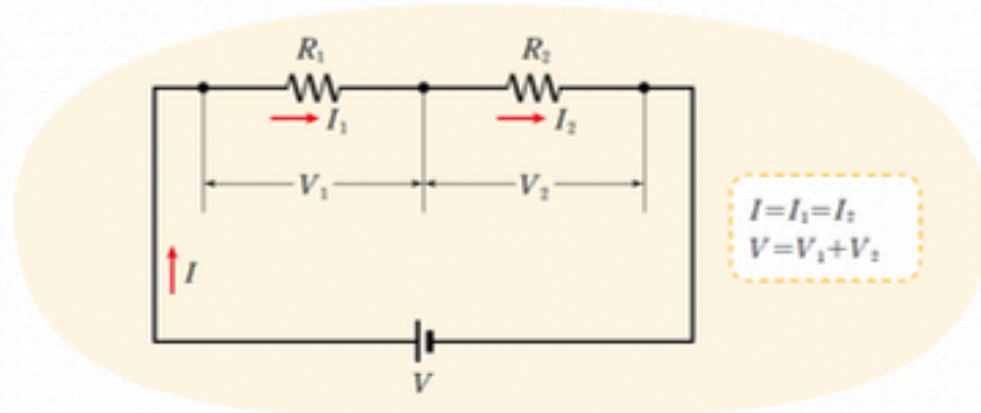


그림 II-12 저항의 직렬연결 회로

두 저항을 직렬로 연결한 회로에서 각 저항에 흐르는 전류의 세기는 I 로 같다. 회로 전체에 걸리는 전압 V 는 각 저항 양단의 전압 V_1, V_2 의 합과 같다.

$$V = V_1 + V_2 = I(R_1 + R_2)$$

각 저항의 소비 전력 P_1, P_2 는 각각 $P_1 = I^2 R_1, P_2 = I^2 R_2$ 이므로 회로 전체의 소비 전력 P 는 다음과 같다.

$$P = P_1 + P_2 = I^2 R_1 + I^2 R_2 = I^2 (R_1 + R_2) \\ = \frac{V^2}{R_1 + R_2}$$

저항을 직렬로 추가하면 합성 저항이 증가하므로 회로에 흐르는 전류가 감소하고 회로 전체의 소비 전력이 작아진다.

그림 II-13은 두 저항 R_1, R_2 를 병렬로 연결한 회로를 나타낸 것으로, 전류는 두 갈래로 나뉘는 회로를 따라 흐른다.

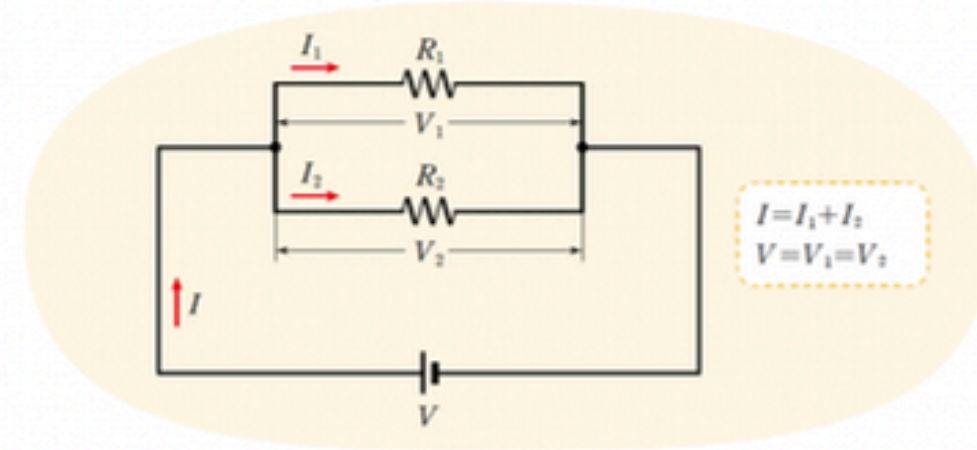


그림 II-13 저항의 병렬연결 회로

두 저항을 병렬로 연결한 회로에서 각 저항 양단의 전압은 전체 전압 V 와 같고, 회로 전체에 흐르는 전류 I 는 각 저항에 흐르는 전류 I_1, I_2 의 합과 같다.

$$I = I_1 + I_2 = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

각 저항의 소비 전력 P_1, P_2 는 각각 $P_1 = \frac{V^2}{R_1}, P_2 = \frac{V^2}{R_2}$ 이므로 회로 전체의 소비 전력 P 는 다음과 같다.

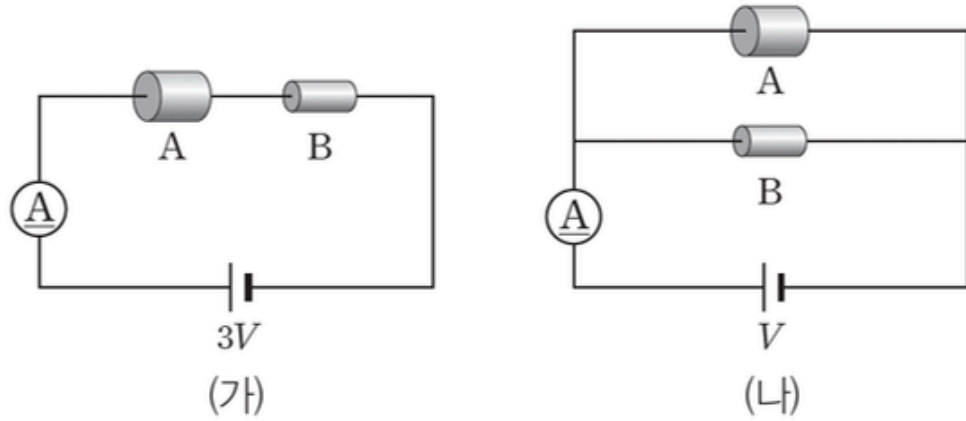
$$P = P_1 + P_2 = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) V^2$$

저항의 병렬연결에서 각 저항에 걸리는 전압이 일정하므로, 저항이 추가되면 그 저항에 흐르는 전류만큼 회로 전체에 흐르는 전류가 증가하고 전체 소비 전력이 커진다.

여러 개의 전기 기구를 병렬로 연결하는 경우 각 전기 기구에 흐르는 전류와 소비 전력은 다른 전기 기구의 작동 여부와 상관없이 일정하게 유지된다. 따라서 가정 내 배선은 그림 II-14와 같이 각 콘센트에 연결하는 여러 전기 기구를 독립적으로 사용할 수 있도록 병렬로 연결되어 있다.



그림 (가), (나)와 같이 원통형 금속 막대 A, B와 전압이 각각 $3V$, V 인 전원으로 회로를 구성하였다. A, B의 길이는 같고 단면적은 A가 B의 2배이며, A 양단에 걸리는 전압은 (가)에서와 (나)에서가 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

(보기)

- ㄱ. B에서 소비되는 전력은 (가)에서가 (나)에서의 4배이다.
- ㄴ. 비저항은 A와 B가 같다.
- ㄷ. 전류계에 흐르는 전류의 세기는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{2}{3}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



저항값은 비저항과 저항체의 길이에 비례하고 단면적에 반비례한다($R = \rho \frac{l}{S}$). 또한, 저항이 병렬로 연결되면 각 저항 양단에 걸리는 전압이 같고 저항이 직렬로 연결되면 각 저항 양단에 걸리는 전압은 각 저항의 저항값에 비례한다.

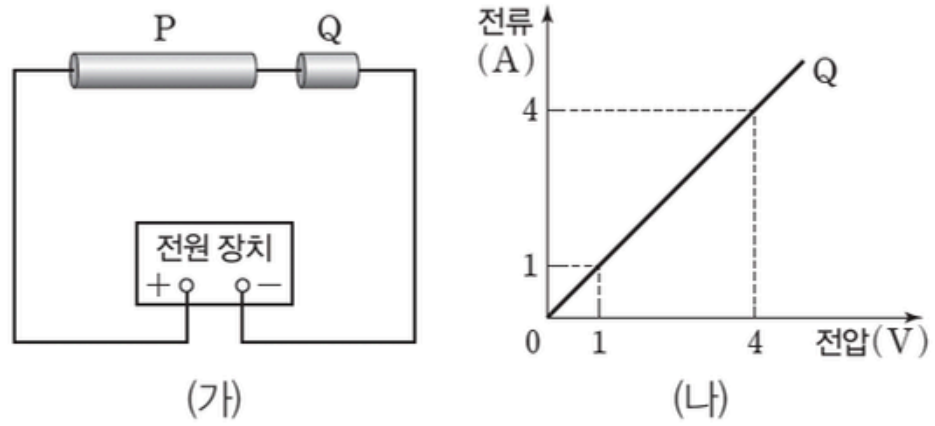
㉠. (나)에서 A, B 양단에 걸리는 전압이 V 이고, A 양단에 걸리는 전압은 (가)에서와 (나)에서가 같으므로 (가)에서 A, B 양단에 걸리는 전압은 각각 $V, 2V$ 이다. 저항값이 같을 때 소비되는 전력은 저항 양단에 걸리는 전압의 제곱에 비례하므로 B에서 소비되는 전력은 (가)에서가 (나)에서의 4배이다($P = \frac{V^2}{R}$).

㉡. (가)에서 저항 양단에 걸리는 전압이 B가 A의 2배이므로 저항값도 B가 A의 2배이다. A, B의 길이는 같고 단면적은 A가 B의 2배이므로 비저항은 A와 B가 같다($R = \rho \frac{l}{S}$).

㉢. A의 저항값을 R 라 하면 B의 저항값은 $2R$ 이다. (가)에서 합성 저항값 $R_{(가)} = R + 2R = 3R$ 이므로 (가)의 전류계에 흐르는 전류 $I_{(가)} = \frac{3V}{3R} = \frac{V}{R}$ 이고, (나)에서 합성 저항값은 $\frac{1}{R_{(나)}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{2R} = \frac{3}{2R}$ 에서 $R_{(나)} = \frac{2R}{3}$ 이므로 (나)의 전류계에 흐르는 전류 $I_{(나)} = \frac{V}{\frac{2R}{3}} = \frac{3V}{2R}$ 이다. 따라서 전류계에 흐르는 전류의 세기는 (가)에

서가 (나)에서의 $\frac{2}{3}$ 배이다.

그림 (가)는 단면적이 같은 원통형 저항 P, Q가 전원 장치에 직렬로 연결된 것을 나타낸 것이고, 이때 Q의 소비 전력은 1 W이다. P와 Q의 비저항은 같고 저항의 길이는 P가 Q의 4배이다. 그림 (나)는 Q에 걸리는 전압에 따라 Q에 흐르는 전류의 세기를 나타낸 것이다.



P에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 걸리는 전압은 2 V이다.
- ㄴ. 저항값은 4 Ω이다.
- ㄷ. 소비 전력은 4 W이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



저항의 소비 전력은 저항에 흐르는 전류의 세기와 저항에 걸리는 전압의 곱이다. 저항의 직렬연결에서 저항의 저항값의 비와 각 저항 양단에 걸리는 전압의 비는 같다.

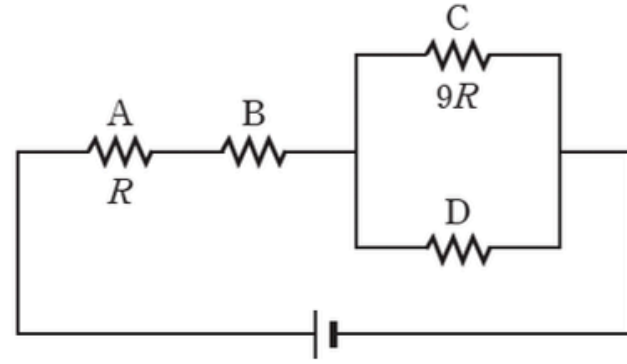
✕. 저항값은 P가 Q의 4배이고, (가)에서 Q의 소비 전력은 1 W 이므로 Q에 걸리는 전압은 1 V, Q에 흐르는 전류의 세기는 1 A 이다. 저항의 직렬연결에서 저항의 저항값의 비와 각 저항 양단에 걸리는 전압의 비는 같으므로 P에 걸리는 전압은 4 V이다.

㉠. (가)에서 Q의 저항값은 $\frac{1\text{ V}}{1\text{ A}}=1\ \Omega$ 이므로 P의 저항값은 4 Ω 이다.

㉡. P와 Q에 흐르는 전류의 세기는 1 A로 같으므로 P에 걸리는 전압은 4 V이다. 따라서 P의 소비 전력은 4 W이다.

03

그림과 같이 전압이 일정한 전원과 저항 A, B, C, D를 연결하였다. A, C의 저항값은 각각 R , $9R$ 이고, A, B, C의 소비 전력은 각각 P , $4P$, P 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 저항에 흐르는 전류의 세기는 B에서가 C에서의 2배이다.
- ㄴ. 저항에 걸리는 전압은 C에서가 A에서의 3배이다.
- ㄷ. 저항값은 D가 B보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



소비 전력 $P=VI=I^2R=\frac{V^2}{R}$ 이다. 저항에 흐르는 전류의 세기는 저항의 저항값에 반비례하고 저항 양단에 걸리는 전압에 비례한다($I=\frac{V}{R}$). 저항의 병렬연결에서 각 저항에 흐르는 전류의 합은 전체 전류와 같다.

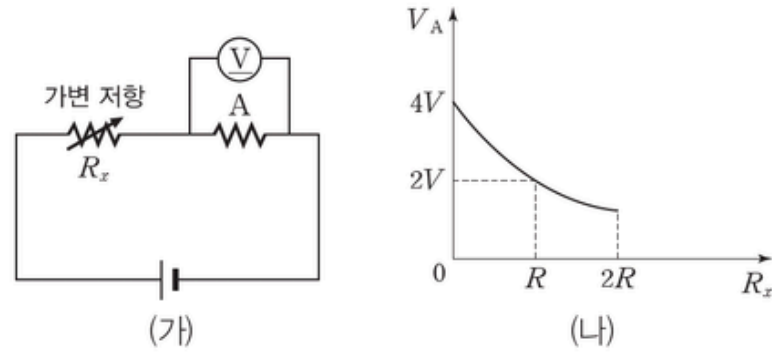
✕. A, C에 흐르는 전류의 세기를 각각 I, I_C 라고 하면, A와 C의 소비 전력이 같으므로 $I^2R=I_C^2 \times 9R$ 가 되어 $I_C=\frac{1}{3}I$ 이다.

A와 B는 직렬연결이므로 흐르는 전류의 세기가 I 로 같다. 따라서 저항에 흐르는 전류의 세기는 B에서가 C에서의 3배이다.

㉠. A, C에 걸리는 전압은 각각 $IR, \frac{1}{3}I \times 9R=3IR$ 이다. 따라서 저항에 걸리는 전압은 C에서가 A에서의 3배이다.

㉡. A와 B는 직렬연결이므로 A와 B에 흐르는 전류의 세기는 같다. 소비 전력은 B가 A의 4배이므로 소비 전력 구하는 식 $P=I^2R$ 를 적용하면 B의 저항값은 $4R$ 이다. D에 흐르는 전류의 세기를 I_D 라고 하면 $I=I_C+I_D$ 이므로 $I_D=\frac{2}{3}I$ 이고, D의 저항값을 R_D 라고 하면 D에 걸리는 전압은 C에 걸리는 전압 $3IR$ 와 같으므로 $3IR=\frac{2}{3}I \times R_D$ 에서 $R_D=\frac{9}{2}R$ 이다.

그림 (가)와 같이 저항값이 R_x 인 가변 저항과 저항 A를 전압이 일정한 전원에 연결하여 회로를 구성하였다. 그림 (나)는 A 양단에 걸리는 전압 V_A 를 R_x 에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

(보기)

- ㄱ. A의 저항값은 R 이다.
- ㄴ. $R_x = R$ 일 때, A에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{V}{R}$ 이다.
- ㄷ. $R_x = 2R$ 일 때, A에서 소비되는 전력은 $\frac{4V^2}{3R}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



저항에서 소비되는 전력은 저항값에 반비례하고 저항 양단에 걸리는 전압의 제곱에 비례한다($P = \frac{V^2}{R}$).

㉠. $R_x = 0$ 일 때 A 양단에는 전원의 전압이 걸리므로 전원의 전압은 $4V$ 이다. $R_x = R$ 일 때 A 양단에는 전원의 전압의 $\frac{1}{2}$ 배인 $2V$ 가 걸리므로 가변 저항의 저항값과 A의 저항값은 같다. 따라서 A의 저항값은 R 이다.

㉡. $R_x = R$ 일 때, 회로의 합성 저항값은 $2R$ 이므로 A에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{4V}{2R} = \frac{2V}{R}$ 이다.

㉢. $R_x = 2R$ 일 때, A 양단에 걸리는 전압은 $\frac{4V}{3}$ 이므로 A에서

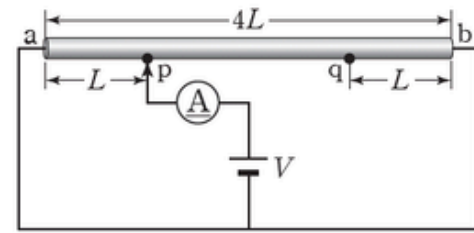
소비되는 전력은 $\frac{\left(\frac{4}{3}V\right)^2}{R} = \frac{16V^2}{9R}$ 이다.

다음은 원통형 저항의 소비 전력을 구하는 실험이다.

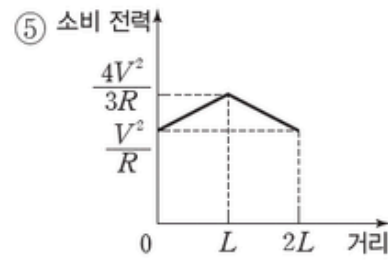
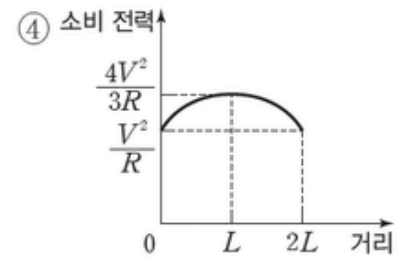
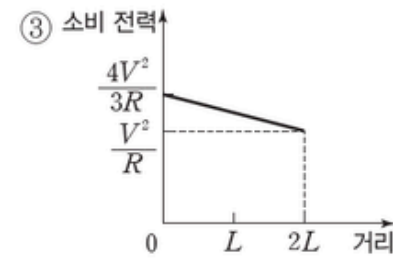
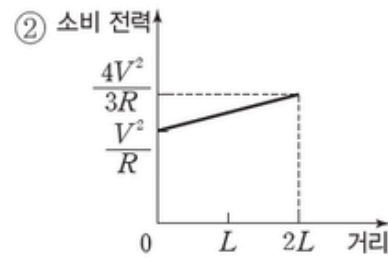
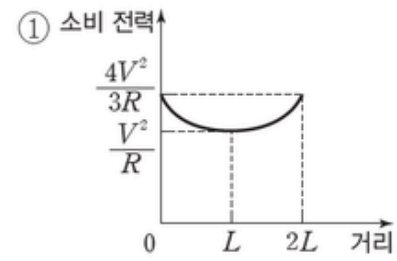
[실험 과정]

(가) 그림과 같이 길이가 $4L$ 이고, 저항값이 $4R$ 인 균일한 재료의 원통형 저항, 전류계, 전압이 V 로 일정한 전원을 연결한다.

(나) 전류계와 저항의 접점을 저항의 왼쪽 끝점 a 로부터 오른쪽으로 L 만큼 떨어진 p 점에서 출발하여 저항의 오른쪽 끝점 b 로부터 왼쪽으로 L 만큼 떨어진 q 점까지 이동하는 동안 전류계에 흐르는 전류의 세기를 측정하여 소비 전력을 계산한다.



접점이 p 에서 q 까지 이동하는 동안 접점의 이동 거리에 따른 원통형 저항의 소비 전력을 개략적으로 나타낸 그래프로 가장 적절한 것은?





저항의 병렬연결에서 합성 저항값의 역수는 각 저항의 저항값의 역수의 합과 같다. 소비 전력 $P=VI=I^2R=\frac{V^2}{R}$ 이다.

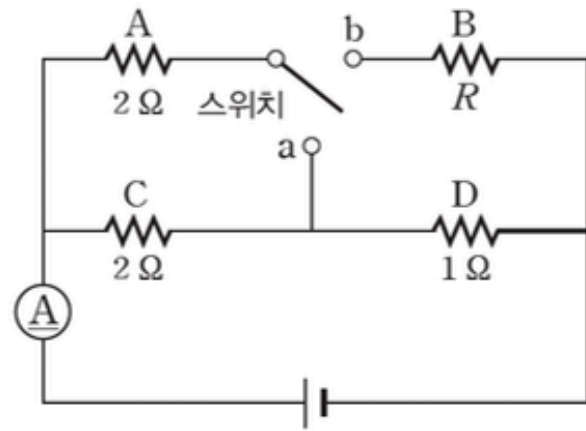
① 접점의 이동 거리를 x , 회로의 합성 저항값을 $R_{\text{합}}$ 이라고 하면,

$$\frac{1}{R_{\text{합}}} = \frac{1}{R + \frac{x}{L}R} + \frac{1}{3R - \frac{x}{L}R} = \frac{4R}{\left(R + \frac{x}{L}R\right)\left(3R - \frac{x}{L}R\right)} \text{이고}$$

$R_{\text{합}} = \frac{R(L+x)(3L-x)}{4L^2}$ 이다. 따라서 원통형 저항의 소비 전력

$$\text{은 } \frac{V^2}{R_{\text{합}}} = \frac{4L^2V^2}{R(L+x)(3L-x)} \text{이다.}$$

그림과 같이 저항 A, B, C, D를 전압이 일정한 전원에 연결하여 회로를 구성하였다. A, B, C, D의 저항값은 각각 $2\ \Omega$, R , $2\ \Omega$, $1\ \Omega$ 이고, 전류계에 흐르는 전류의 세기는 스위치를 a에 연결했을 때가 b에 연결했을 때의 $\frac{3}{4}$ 배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

(보기)

- ㄱ. 회로의 합성 저항값은 스위치를 a에 연결했을 때가 b에 연결했을 때의 $\frac{4}{3}$ 배이다.
- ㄴ. $R=1\ \Omega$ 이다.
- ㄷ. D에서 소비되는 전력은 스위치를 a에 연결했을 때가 b에 연결했을 때의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



저항에 흐르는 전류의 세기는 저항의 저항값에 반비례하고 저항 양단에 걸리는 전압에 비례한다($I = \frac{V}{R}$).

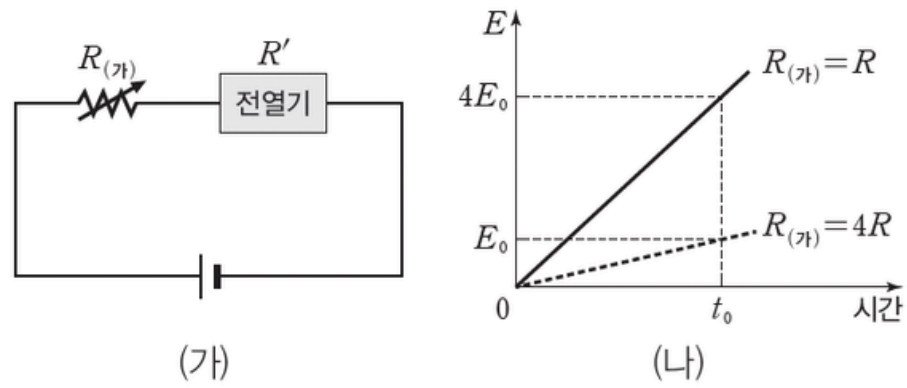
㉠. 스위치를 a에 연결했을 때의 합성 저항값을 R_a , 스위치를 b에 연결했을 때의 합성 저항값을 R_b , 전원의 전압을 V 라 하면 전류 계에 흐르는 전류의 세기는 스위치를 a에 연결했을 때가 b에 연결했을 때의 $\frac{3}{4}$ 배이므로 $\frac{V}{R_a} = \frac{3}{4} \times \frac{V}{R_b}$ 이다. 따라서 $R_a = \frac{4}{3}R_b$ 이다.

㉡. $R_a = \frac{4}{3}R_b$ 이므로 $2\ \Omega = \frac{4}{3} \times \frac{3R+6\ \Omega}{R+5\ \Omega}$ 에서 $R = 1\ \Omega$ 이다.

㉢. 전원의 전압을 V 라 하면, 스위치를 a에 연결했을 때 D에 걸리는 전압은 $\frac{V}{2}$ 이고, 스위치를 b에 연결했을 때 D에 걸리는 전압은 $\frac{V}{3}$ 이다. 저항에서 소비되는 전력은 저항 양단에 걸리는 전압의 제곱에 비례하므로 D에서 소비되는 전력은 스위치를 a에 연결했을 때가 b에 연결했을 때의 $\frac{9}{4}$ 배이다.

07

그림 (가)는 저항값이 $R_{(가)}$ 인 가변 저항과 저항값이 R' 로 일정한 전열기를 전압이 일정한 전원에 직렬연결한 것이고, (나)는 $R_{(가)} = R$ 일 때와 $R_{(가)} = 4R$ 일 때, 전열기에 전류가 흐르는 순간부터 전열기에서 소비되는 전기 에너지 E 를 시간에 따라 나타낸 것이다.



R' 는?

- ① R ② $2R$ ③ $3R$ ④ $4R$ ⑤ $5R$



저항값이 각각 R_1, R_2 인 두 저항의 직렬연결에서 저항 양단에 걸리는 전압의 비는 저항의 비 $R_1 : R_2$ 와 같다.

② (나)에서 전열기의 소비 전력은 $R_{(7)}=R$ 일 때가 $R_{(7)}=4R$ 일 때의 4배이고, $R_{(7)}=R$ 일 때 가변 저항과 전열기 양단에 걸리는 전압을 각각 V_1, V_2 라 하고 $R_{(7)}=4R$ 일 때 가변 저항과 전열기 양단에 걸리는 전압을 각각 V_3, V_4 라고 하면, 전열기의 저항값은 항상 같으므로 전열기의 소비 전력은 전열기 양단에 걸리는 전압의 제곱에 비례한다. 따라서 전열기 양단에 걸리는 전압은 $R_{(7)}=R$ 일 때가 $R_{(7)}=4R$ 일 때의 2배이므로 $V_2=2V_4$ 이다. 가변 저항과 전열기의 저항값의 비는 걸리는 전압의 비와 같으므로, $R_{(7)}=R$ 일 때는 $R : R' = V_1 : V_2 \dots$ ①이고 $R_{(7)}=4R$ 일 때는 $4R : R' = V_3 : V_4 = V_3 : \frac{V_2}{2} \dots$ ②이며, $R_{(7)}=R$ 일 때와 $R_{(7)}=4R$ 일 때 가변 저항 양단에 걸리는 전압과 전열기 양단에 걸리는 전압의 합은 같으므로 $V_1 + V_2 = V_3 + \frac{V_2}{2} \dots$ ③이다. ①, ②,

③을 연립하면 $V_1 = \frac{V_2}{2}$ 이다. 따라서 $R : R' = V_1 : V_2 = 1 : 2$ 가 되어 $R' = 2R$ 이다.

[별해]

② 전열기에서 소비되는 전력은 $R_{(7)}=R$ 일 때가 $R_{(7)}=4R$ 일 때의 4배이므로 전열기에 흐르는 전류의 세기는 $R_{(7)}=R$ 일 때가 $R_{(7)}=4R$ 일 때의 2배이다. 따라서 $4R + R' = 2(R + R')$ 이므로 $R' = 2R$ 이다.

