

5장. 전류 및 도체

- 미시적 및 거시적인 옴(Ohm)의 법칙을 제시

5.1 전류 및 전류밀도

- 전류(I , current); 1초 동안의 시간에 통과하는 전하의 양

$$\rightarrow I = \frac{dQ}{dt} \text{ ampere, A}$$

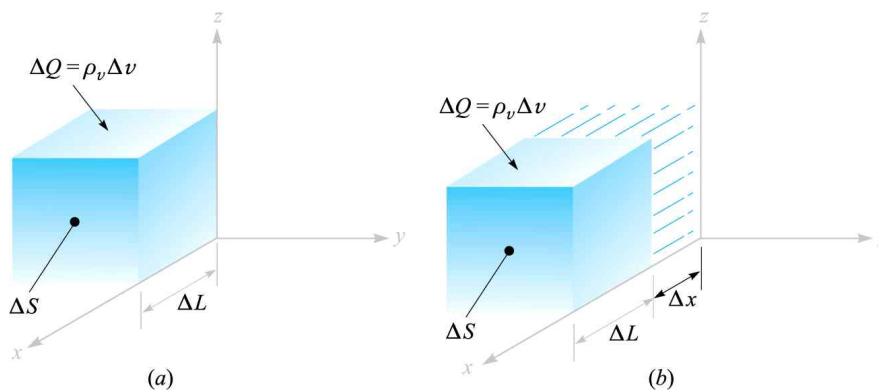
- 전류밀도($\mathbf{J}$, current density); 단위면적을 지나는 전류의 양

$$\rightarrow \mathbf{J} = \frac{\Delta I}{\Delta S} \text{ ampere/m}^2, \text{ A/m}^2$$

$$\rightarrow \Delta I = \mathbf{J} \cdot \Delta \mathbf{S}$$

$$\rightarrow I = \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S}$$

- 전류밀도($\mathbf{J}$)와 체적전하밀도(ρ_v)의 관계



$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\rho_v \Delta v}{\Delta t} = \rho_v \frac{\Delta S \Delta x}{\Delta t} = \rho_v \Delta S v_L = \rho_v v_L \Delta S$$

$$\therefore \mathbf{J} = \rho_v \mathbf{v}_L$$

(응용예제 5.1) $\mathbf{J} = 10\rho^2 z \mathbf{a}_\rho - 4\rho \cos^2 \phi \mathbf{a}_\phi$ mA/m²

(a) $\mathbf{J} = ?$ at $P(\rho = 3, \phi = 30^\circ, z = 2)$

$$\begin{aligned}\mathbf{J} &= 10\rho^2 z \mathbf{a}_\rho - 4\rho \cos^2 \phi \mathbf{a}_\phi \text{ mA/m}^2 \\ &= 10 \times 3^2 \times 2 \mathbf{a}_\rho - 4 \times 3 \cos^2 30^\circ \mathbf{a}_\phi \text{ mA/m}^2 = 180 \mathbf{a}_\rho - 9 \mathbf{a}_\phi \text{ mA/m}^2\end{aligned}$$

(b) $I = ?$ at $\rho = 3, 0 < \phi < 2\pi, 2 < z < 2.8$

$$\begin{aligned}I &= \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} \\ &= \int_{z=2}^{2.8} \int_{\phi=0}^{2\pi} (10\rho^2 z \mathbf{a}_\rho - 4\rho \cos^2 \phi \mathbf{a}_\phi) \times 10^{-3} \cdot \rho d\phi dz \mathbf{a}_\rho \Big|_{\rho=3} \\ &= \int_{z=2}^{2.8} \int_{\phi=0}^{2\pi} (10\rho^2 z \mathbf{a}_\rho \cdot \mathbf{a}_\rho - 4\rho \cos^2 \phi \mathbf{a}_\phi \cdot \mathbf{a}_\rho) \times 10^{-3} \rho d\phi dz \Big|_{\rho=3} \\ &= \int_{z=2}^{2.8} \int_{\phi=0}^{2\pi} (10\rho^3 z) \times 10^{-3} d\phi dz \Big|_{\rho=3} \\ &= \int_{z=2}^{2.8} \int_{\phi=0}^{2\pi} 270 \times 10^{-3} z d\phi dz \\ &= 270 \times 10^{-3} \times \frac{1}{2} [2.8^2 - 2^2] \times 2\pi = 3.26 \text{ A}\end{aligned}$$

5.2 전류의 연속성

- 전류의 연속 방정식(continuity equation)

$$I = \oint_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} = - \frac{dQ_i}{dt}$$

어떤 폐곡면을 통하여 밖으로 나가는 전류는 폐곡면 내의 전하감소량과 같다.

$$= \int_{vol} (\nabla \cdot \mathbf{J}) dv = - \frac{d}{dt} \int_{vol} \rho_v dv$$

$$\therefore \nabla \cdot \mathbf{J} = - \frac{d\rho_v}{dt}$$

미소체적소에서 흘러나오는 단위체적당의 전류값은 그 점에서의 단위체적당의 전하량의 시간적 감소율과 같다.

(ex 1) $\mathbf{J} = \frac{1}{r} e^{-t} \mathbf{a}_r \text{ A/m}^2$

$t = 1 \text{ sec}$ 일 때 $r = 5 \text{ m}$ 인 표면을 통해 바깥 쪽으로 흐르는 총 전류

$$I = \mathbf{J} \cdot \mathbf{S} = \left(\frac{1}{5} e^{-1} \right) (4\pi 5^2) = 23.1 \text{ A}$$

5.3 금속도체

- 물질의 에너지대 구조

가전자대(valence band)

에너지갭(energy gap)

전도대(conduction band)

- 에너지대 구조에 따른 물질의 분류

금속도체(metallic conductor),

절연체(insulator)

반도체(semiconductor)

- 금속도체

자유전자(free electron, 가전자 또는 전도전자) $Q = -e$

+ 전계 $\mathbf{E}$

$$\rightarrow \mathbf{F} = Q\mathbf{E} = -e\mathbf{E}$$

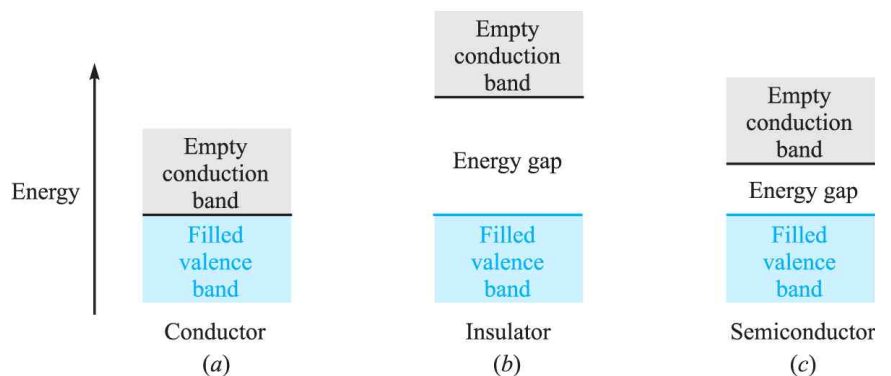
→ 전자가 가속되어 이동

→ 격자와의 충돌에 따라 일정속도 유지

→ 드리프트 속도(drift velocity) $\mathbf{v}_d = -\mu_e \mathbf{E}$

$$\rightarrow \mathbf{J} = \rho_v \mathbf{v}_L = \rho_e \mathbf{v}_d = -\rho_e \mu_e \mathbf{E} = \sigma \mathbf{E}$$

→ 도전율(conductivity) σ [siemens/meter, S/m, $1/\Omega$]



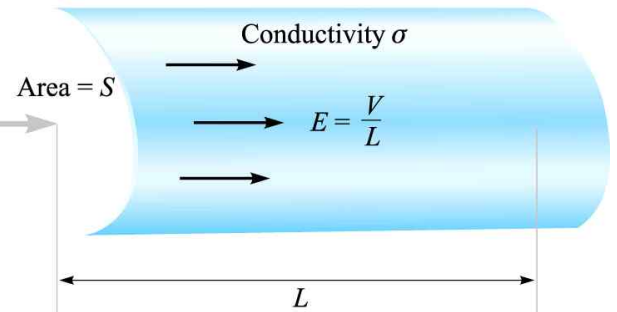
- 옴의 법칙

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad \leftarrow I = JS, \quad V = EL$$

$$\frac{I}{S} = \sigma \frac{V}{L}$$

$$V = \frac{L}{\sigma S} I = RI \quad \leftarrow R = \frac{L}{\sigma S}$$

$$I = JS$$



(예제 5.1) 동선의 저항?

$$d = 0.0508 \text{ inch}, \quad l = 1.0 \text{ mile}, \quad \sigma = 5.80 \times 10^7 \text{ S/m}$$

$$R = \frac{L}{\sigma S} = \frac{1 \text{ mile}}{(5.8 \times \text{S/m})(0.0508 \text{ inch})}$$

$$= \frac{1 \text{ mile}}{(5.8 \times \text{S/m})(\pi \times 0.0254^2 \text{ inch}^2)} = 21.2 \quad \Omega$$

5.7 유전재료의 성질

- 유극성분자 $\rightarrow$ 정상상태에서는 랜덤한 방향, 외부 전계하에서는 같은방향으로 배열
- 무극성분자 $\rightarrow$ 전계를 가하면 쌍극자를 형성함 : 쌍극자 모멘트 $\mathbf{p} = Q\mathbf{d}$
 - 단위체적당 쌍극자모멘트 $\rightarrow$ 분극 : $\mathbf{P}$

- 무극성분자의 경우 전계가 없으면 : $\mathbf{P} = 0$, 전계를 가하면 $\mathbf{P} = Q\mathbf{d}$
 - $\rightarrow$ 물체의 표면에서 전속이 발생
 - $\rightarrow \mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}$

- 전계의 세기와 분극의 관계 : 전계 $\uparrow \rightarrow$ 분극 $\uparrow \Rightarrow \mathbf{P} = \chi_e \epsilon_0 \mathbf{E}$
 - $\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \chi_e \epsilon_0 \mathbf{E} = (\chi_e + 1) \epsilon_0 \mathbf{E}$, $\mathbf{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{E} = \epsilon \mathbf{E}$
 - $\epsilon_r = \chi_e + 1$, $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$
 - ϵ_r : 비유전율 or 유전상수

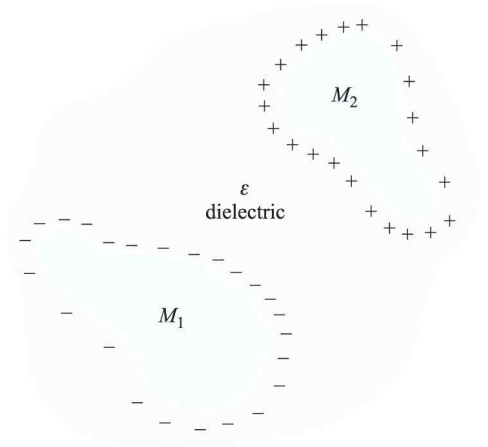
6. 정전용량

6.1 정전용량의 정의

- 균질 유전체 내의 2개의 도체가 있을 때 한 도체가 갖는 전하의 크기와 두 도체 사이의 전위차

→ 정전용량 (capacitance) C

$$C = \frac{Q}{V_0} \text{ [F]}$$



6.2 평행판 커패시터

- 평행판 커패시터의 용량

$$\rightarrow C = \frac{Q}{V_0} = \frac{\epsilon S}{d}$$

