



인하대학교  
INHA UNIVERSITY



# 일반물리학

## 제17장. 전류와 저항



$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) \frac{d\theta}{d\phi} d\phi = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) d\theta$$

## 목차

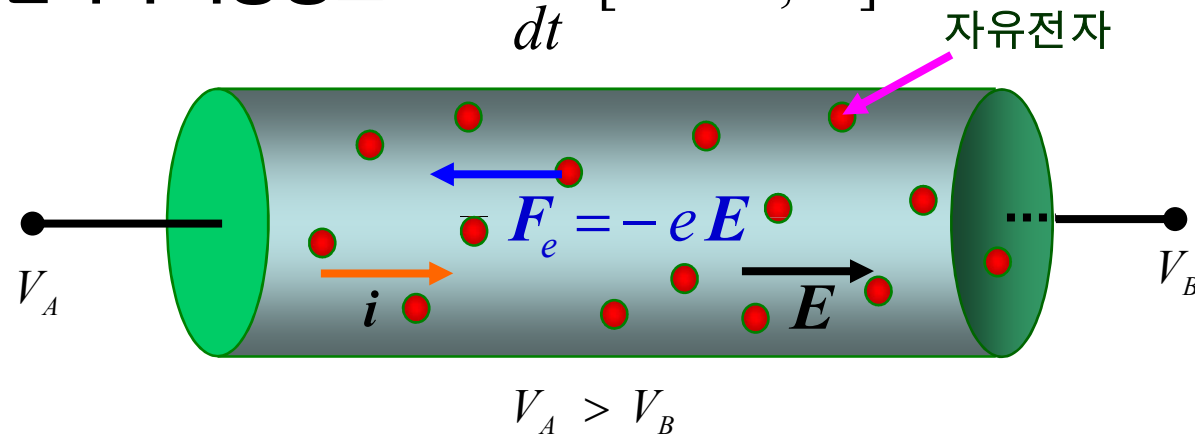
**들어서며**

- 1. 전류**
- 2. 옴의 법칙**
- 3. 전도의 미시이론**
- 4. 전기회로에서의 에너지 전환**

정적상태(statics) → 동적상태(dynamics)

[도체 내에서 이동하는 자유전자들의 정상상태(steady state)]

전류 : 전하의 이동정도:  $i = \frac{dq}{dt}$  [C / sec, A]

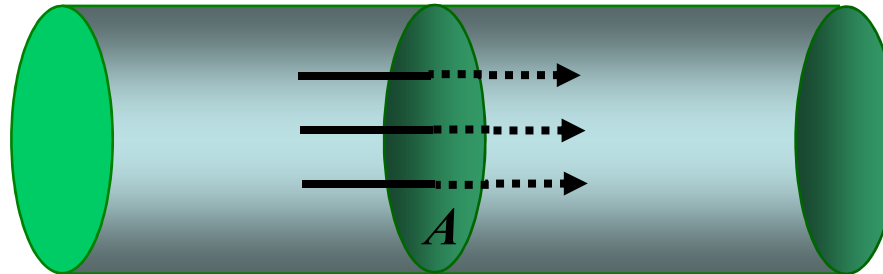


옴의 법칙:  $i = \frac{V}{R}$

저항과 비저항:  $R = \rho \frac{l}{A}$        $\rho$  는 비저항

# 1. 전류

! 전류 : 단위시간에 단면을 통과하는 전하량



❖ 시간  $\Delta t$  동안 단면 A를 통과하는 전하량  $\Delta q$

❖ 전류  $i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$       순간전류  $i = \frac{dq}{dt}$  (C/sec=A: ampere)

! 전류밀도

$$j = \frac{i}{A} \quad [\text{단위면적당 전류}]$$

## 예제 17.1 전류밀도

반지름이 2 mm인 도선의 한쪽 끝이 반지름이 1 mm인 도선과 용접되어 있다. 이 용접된 도선에 1 A의 전류가 흐르고 있을 때 각 도선에서의 전류밀도를 구하여라.

### 풀이]

- 두 도선 모두에 1A의 전류  
면적

$$A_2 = \pi r_2^2 = \pi(2 \times 10^{-3} \text{ m})^2 = 1.256 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A_1 = \pi r_1^2 = \pi(1 \times 10^{-3} \text{ m})^2 = 3.14 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

전류밀도 정의

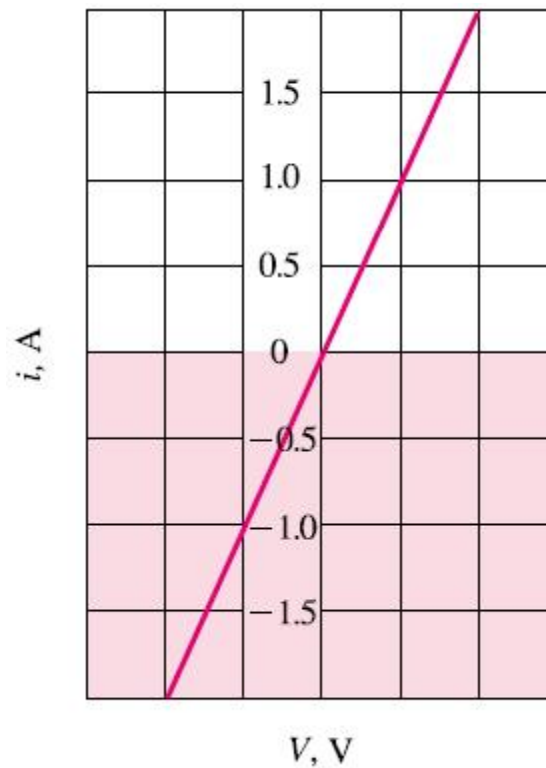
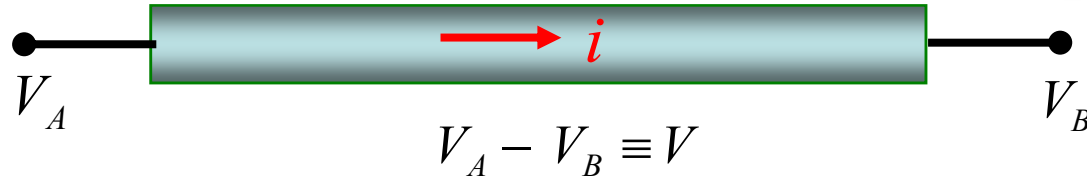
$$J = \frac{i}{A}$$

$$J_2 = \frac{1 \text{ A}}{(1.256 \times 10^{-5} \text{ m}^2)} \approx 8 \times 10^4 \text{ A/m}^2$$

$$J_1 = \frac{1 \text{ A}}{(3.14 \times 10^{-6} \text{ m}^2)} \approx 3.2 \times 10^5 \text{ A/m}^2$$

## 2. 옴의 법칙 (Ohm's Law)

### 저항



$$i \propto V \quad [\text{옴의 법칙}]$$

$$i = \frac{1}{R} V \quad [R: \text{저항}] \quad (V/A = \Omega: \text{ohm})$$

$$j \propto E$$

$$j = \frac{1}{\rho} E \quad [\rho: \text{비저항}] \quad (\Omega \cdot \text{m})$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad [\sigma: \text{전기전도도}]$$

▲ 그림 17.1 | 전위차와 전류 관계 실험

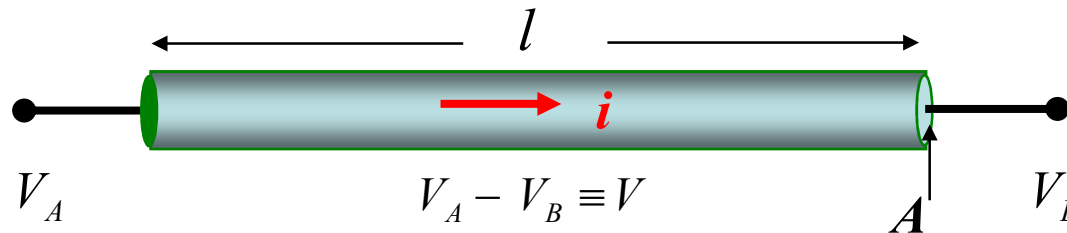
## 2. 옴의 법칙 (Ohm's Law)

### ! 비저항과 저항

- 비저항: 물질의 본질적 특성이며 모양과 관계가 없다.

(예) 구리:  $1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ , 석영:  $10^{16} \Omega \cdot \text{m}$

- 비저항과 저항의 관계



$$i = jA \quad \text{and} \quad V = El$$

$$R = \frac{V}{i} = \frac{El}{jA} = \rho \frac{l}{A}$$



$$R = \rho \frac{l}{A}$$

## 예제 17.2 탄소덩어리의 저항

크기가  $1.0 \times 1.0 \times 50 \text{ cm}^3$ 인 직육면체의 탄소덩어리가 있다. (가) 두 정사각형의 면 간의 저항은 얼마인가? (나) 서로 마주보는 직사각형 면 간의 저항은 얼마인가?

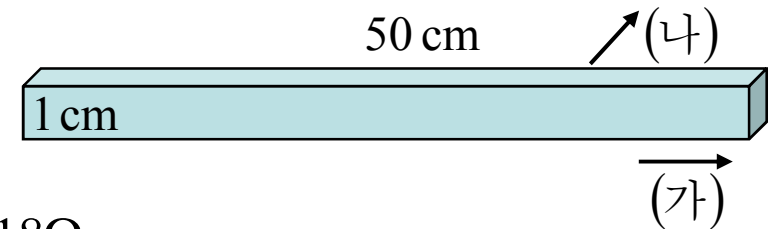
**풀이]**

(가) 정사각형 면적 :  $1.0 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$

$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{(3.5 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{m})(0.5 \text{ m})}{10^{-4} \text{ m}^2} = 0.18 \Omega$$

(나) 직사각형 면적 :  $5.0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$

$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{(3.5 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{m})(10^{-2} \text{ m})}{5.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 7.0 \times 10^{-5} \Omega$$





## 2. 옴의 법칙 (Ohm's Law)

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{1}{a^2 + 2a \cos(\theta - \phi) + 1} d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{1}{a^2 + 2a \cos(\theta - \phi) + 1} d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{1}{a^2 + 2a \cos(\theta - \phi) + 1} d\theta$$

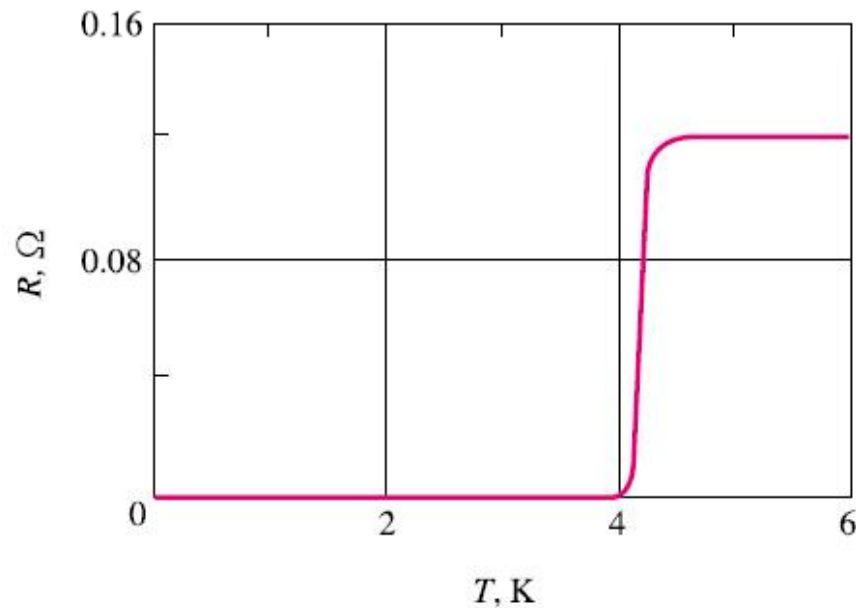
### ! 물질의 저항과 온도

$$\rho = \rho_0 + \alpha \rho_0 (T - T_0)$$

### ! 초전도체와 반도체

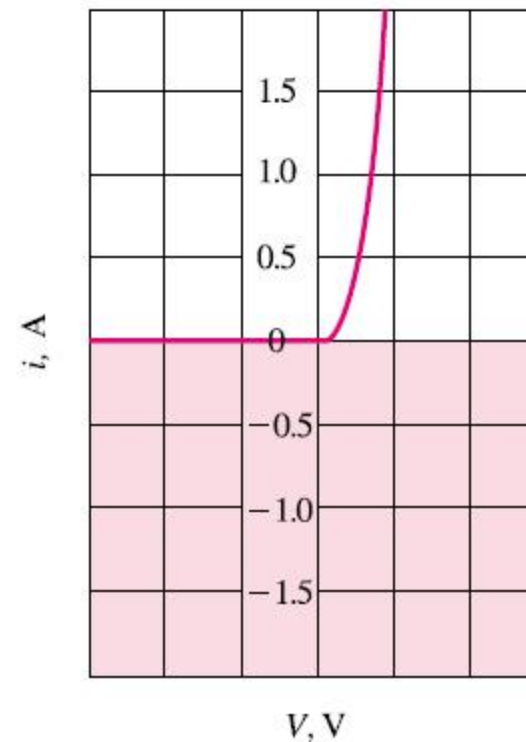
- 초전도체

- 1911년 오네스(Kamerlingh Onnes)가 발견



▲ 그림 17.2 | 수은의 초전도 현상

- 반도체



▲ 그림 17.3 | 다이오드의 전류-전위차 특성

## 2. 옴의 법칙 (Ohm's Law)

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) d\theta$$

### 여러 물질들의 비저항

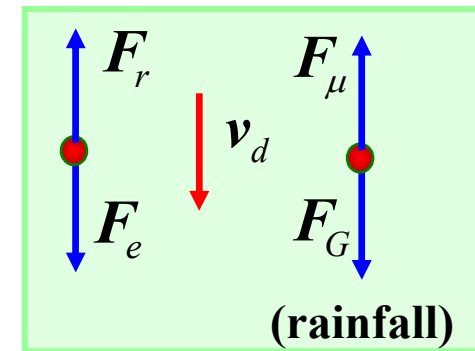
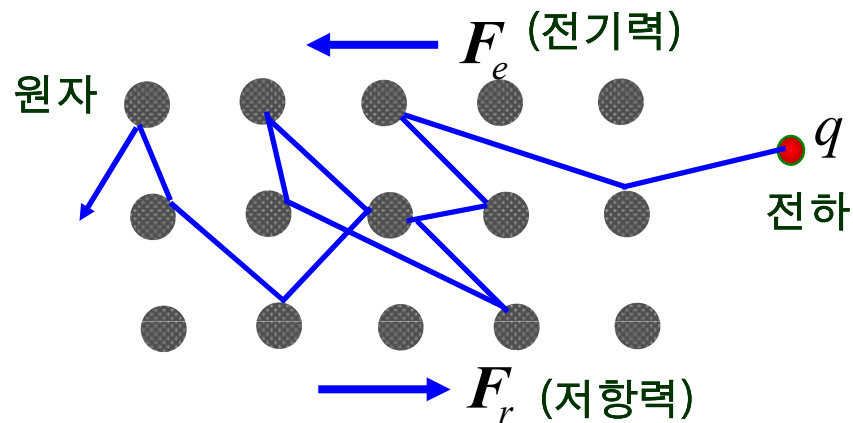
표 17.1 | 실온에서의 비저항

물 질	[ $\Omega \cdot m$ ]	물 질	[ $\Omega \cdot m$ ]
<b>도체</b>		<b>반도체</b>	
금속 - 은	$1.47 \times 10^{-8}$	탄소	$3.5 \times 10^{-5}$
구리	$1.72 \times 10^{-8}$	게르마늄	0.60
금	$2.44 \times 10^{-8}$	실리콘	2300
알루미늄	$2.63 \times 10^{-8}$	<b>절연체</b>	
텅스텐	$5.51 \times 10^{-8}$	호박	$5 \times 10^{14}$
철	$20 \times 10^{-8}$	유리	$10^{10} \times 10^{14}$
납	$22 \times 10^{-8}$	루사이트(합성수지)	$> 10^{14}$
수은	$95 \times 10^{-8}$	운모	$10^{11} \times 10^{14}$
합금 - 망가닌	$44 \times 10^{-8}$	유황	$10^{14}$
콘스탄탄	$49 \times 10^{-8}$	테플론	$> 10^{14}$
니크롬	$100 \times 10^{-8}$	나무	$10^8 \times 10^{11}$

### 3. 전도의 미시이론

#### ! 저항력 (마찰력)

- 전하의 속도에 비례  $F_r = -bv$



- 전하의 운동방정식

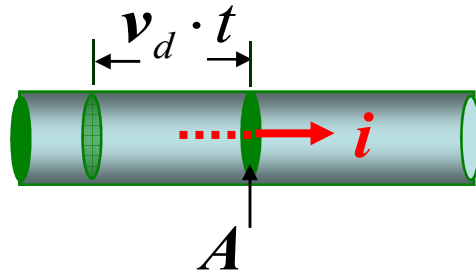
$$m \frac{dv}{dt} = qE - bv$$

### 3. 전도의 미시이론

! 유동속도(drift velocity)  $v_d$

$$qE = b v_d \Rightarrow v_d = \frac{qE}{b} = \frac{qE}{m} \tau \quad \left[ \tau = \frac{m}{b} : \text{폴림 (평균자유) 시간} \right]$$

! 전류밀도와 유동속도



$$\rho = \frac{m}{nq^2 \tau}$$

$$i = n A v_d q \Rightarrow j = n q v_d \quad (n: \text{단위부피당 전하수})$$

## 예제 17.3 전자의 유동속도

한 변이 1.0mm인 정사각형의 단면적을 갖고 있는 구리선에 0.2A의 전류가 흐르고 있을 때, 도선 내 전자들의 유동속도를 구하여라.

### 풀이

- 유동속도

$$v_d = \frac{j}{nq} \quad (\because j = \sigma E = nqv_d)$$

전류밀도

$$j = i / A = (0.2 \text{ A}) / (1 \times 10^{-6} \text{ m}^2) = 2 \times 10^5 \text{ A/m}^2$$

구리 내의 자유전자수 밀도

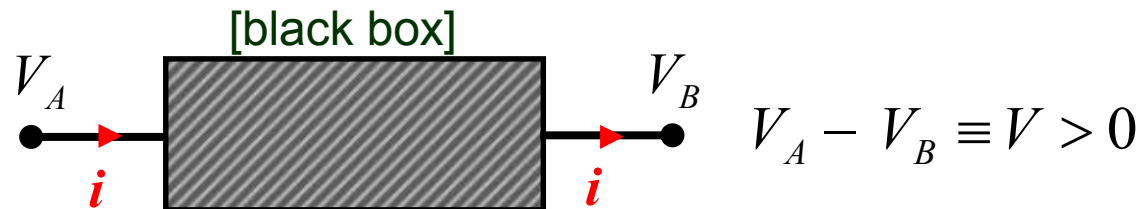
$$n = \frac{N}{V} \approx 10^{29} \text{ m}^{-3} \quad \left[ \because \text{예제 15-1) } m = 1 \text{ g, } N = 9.4 \times 10^{21} \text{ (atoms)} \right]$$
$$\left[ \because V = m / \rho = (1 \text{ g}) / (8.94 \text{ g/cm}^3) = 0.112 \text{ cm}^3 = 1.12 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \right]$$

$$v_d = \frac{j}{nq} = \frac{2 \times 10^5 \text{ A/m}^2}{(10^{29} \text{ m}^{-3})(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})} = 1.25 \times 10^{-5} \text{ m/s} = 12.5 \text{ } \mu\text{m/s}$$

## 4. 전기회로에서의 에너지 전환

### ! 높은 전위에서 낮은 전위로의 전하 이동

- 전기 위치에너지 감소 → 에너지 발생 (열에너지, 기계에너지)



- ❖  $dt$  시간동안  $dq$  만큼의 전하가 A에서 B로 옮겨갔다면
  - 전기에너지의 감소량 :  $dq V = i dt V$  ( $i = dq/dt$ )
  - black box가 외부에 한 일 :  $dU = i dt V$
  - 단위 시간당 black box가 한 일 :  $P = dU/dt = i V$  (power)
  - black box: 저항(열에너지 손실), 전동기(기계에너지 창출)

- [줄의 법칙(Joule's law)]  $P = i V$  ( $V \cdot A = W$ : watt)

옴의 법칙 사용  $\Rightarrow$  
$$P = i V = i^2 R = \frac{V^2}{R}$$

## 예제 17.4 열선의 전력

특별한 합금 니크롬으로 만들어진 4.0 m 길이의 도선이 있다. 이 도선의 저항은  $24\ \Omega$ 이다. 이 도선 전체를 하나의 열선으로 사용하는 경우와, 도선을 반으로 잘라서 두 개의 열선을 만들어 사용하는 경우, 각각 얼마만큼의 열을 얻을 수 있는가? 외부 전원은 110 V로 같다고 한다.

### 풀이]

- 전력

$$P = \frac{V^2}{R}$$

- 자르기 전 :  $P = \frac{V^2}{R} = \frac{(110\text{V})^2}{24\Omega} = 0.5\text{ kW}$

- 자른 후 : 저항은 길이에 비례

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(110\text{V})^2}{12\Omega} = 1.0\text{ kW}$$