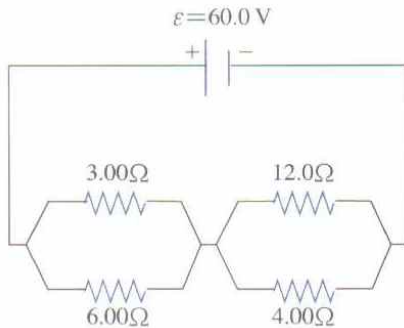


대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (18장) - by 송현석

1. 아래 그림과 같은 회로에서 전체 등가 저항을 계산하고, 각 저항에 흐르는 전류를 구하여라.



$$R_{eq} = \left( \frac{1}{\frac{1}{3\Omega} + \frac{1}{6\Omega}} \right) + \left( \frac{1}{\frac{1}{12\Omega} + \frac{1}{4\Omega}} \right) = 2\Omega + 3\Omega = 5\Omega$$

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{60\text{ V}}{5\Omega} = 12\text{ A}$$

$$I_{3\Omega} = 8\text{ A}, \quad I_{6\Omega} = 4\text{ A}, \quad I_{12\Omega} = 3\text{ A}, \quad I_{4\Omega} = 9\text{ A}$$

2.  $1\text{ k}\Omega$ 의 동일한 저항 4개가 직렬로 연결되어 있는 곳에 기전력 장치를 통해  $12\text{ V}$ 의 전위차를 가해주었다.

(1) 각 저항에 흐르는 전류는 얼마인가?

$$R_{eq} = 4R = 4 \times (1\text{ k}\Omega) = 4\text{ k}\Omega = 4 \times 10^3\Omega$$

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12\text{ V}}{4 \times 10^3\Omega} = 3 \times 10^{-3}\text{ A} = 3\text{ mA}$$

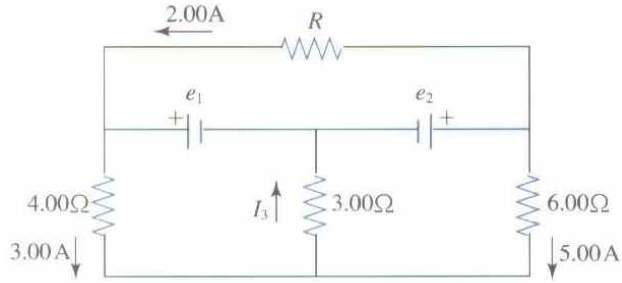
(2) 처음 두 개의 저항 전체에 걸리는 전위차는 얼마인가?

$$V = IR = (3 \times 10^{-3}\text{ A}) \times (2 \times 10^3\Omega) = 6\text{ V}$$

(3) 이 회로를 이용해서  $3\text{ V}$ ,  $9\text{ V}$ 의 전위차를 얻어낼 수 있는 방법은 무엇인가?

저항 1개, 3개의 양단 전압을 이용한다.

3. 그림의 회로에서 다음을 구하여라.



(1) 전류  $I_3$

$$I_3 = 3A + 5A = 8A$$

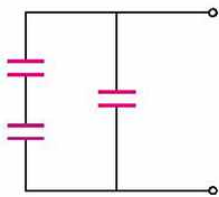
(2) 미지의 기전력  $\epsilon_1, \epsilon_2$

$$\begin{cases} -\epsilon_1 + \epsilon_2 - 2A \times R = 0 \\ +\epsilon_1 - 3A \times 4\Omega - I_3 \times 3\Omega = 0 \\ +\epsilon_2 - 5A \times 6\Omega - I_3 \times 3\Omega = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{aligned} \epsilon_1 &= 3A \times 4\Omega + 8A \times 3\Omega = 36V \\ \epsilon_2 &= 5A \times 6\Omega + 8A \times 3\Omega = 54V \end{aligned}$$

(3) 저항  $R$ 의 저항값

$$\begin{aligned} -\epsilon_1 + \epsilon_2 - 2A \times R &= 0 \Rightarrow -36V + 54V - 2A \times R = 0 \\ \Rightarrow R &= \frac{54V - 36V}{2A} = 9\Omega \end{aligned}$$

4. 그림과 같이 동일한 축전기들이 연결된 회로에 3 V의 전위차를 가해주었다. 각 축전기에 축적된 전하를 구하여라. 각 축전기의 전기용량은  $10\mu F$  이다.



$$\text{우측 축전기} \quad q = CV = (10 \times 10^{-6} F) \times (3V) = 30 \times 10^{-6} C = 30\mu C$$

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C} = \frac{2}{C} \Rightarrow C' = \frac{1}{2}C$$

$$\text{좌측 축전기} \quad q = C'V = \frac{1}{2}CV = \frac{1}{2} \times (10 \times 10^{-6} F) \times (3V) = 15 \times 10^{-6} C = 15\mu C$$

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (18장) - by 송현석

5. 금속 평행판 축전기의 전기용량이  $C = 250 \text{ pF}$  이고 평행판 사이의 거리는  $0.40 \text{ mm}$  이다.  
여기에  $Q = 0.20 \mu\text{C}$ 의 전하를 축적하였다.

(1) 축전기 양단의 전위차는 얼마인가?

$$\Delta V = \frac{Q}{C} = \frac{(0.20 \times 10^{-6} \text{ C})}{(250 \times 10^{-12} \text{ F})} = 800 \text{ V}$$

(2) 평행판의 면적은 얼마인가?

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad \Rightarrow \quad A = \frac{d}{\epsilon_0} C = \frac{(0.40 \times 10^{-3} \text{ m})}{(8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m})} \times (250 \times 10^{-12} \text{ F}) \approx 0.0113 \text{ m}^2$$

(3) 축전기 내부의 전기장의 세기는 얼마인가?

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 A} = \frac{(0.20 \times 10^{-6} \text{ C})}{(8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}) \times (0.0113 \text{ m}^2)} \approx 2.00 \times 10^6 \text{ V/m}$$

(4) 표면전하밀도는 얼마인가?

$$\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{(0.20 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.0113 \text{ m}^2)} \approx 17.7 \times 10^{-6} \text{ C/m}^2$$

$$\sigma = \epsilon_0 E = (8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}) \times (2.00 \times 10^6 \text{ V/m}) \approx 17.7 \times 10^{-6} \text{ C/m}^2$$

6. 평행판 축전기를 충분히 충전한 후 기전력장치를 제거하였다. 이제 평행판 축전기의 간격을 두 배로 늘리면 전기용량, 두 판의 표면의 전하밀도, 저장된 에너지, 두 판 사이의 전기장, 판의 전하는 각각 몇 배가 되는가?

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{\frac{Qd}{\epsilon_0 A}} = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad \Rightarrow \quad C \sim \frac{1}{d} \quad \Rightarrow \quad d \rightarrow 2d \quad \Rightarrow \quad C \rightarrow \frac{1}{2} C$$

$$U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} Q V \quad \Rightarrow \quad d \rightarrow 2d \quad \Rightarrow \quad C \rightarrow \frac{1}{2} C$$

$$\Rightarrow \quad U \rightarrow 2U$$

$$\Rightarrow \quad V \rightarrow 2V$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 A} \quad \Rightarrow \quad \sigma: \text{불변}, \quad E: \text{불변} \quad Q: \text{불변}$$

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (18장) - by 송현석

7. 전기용량이  $C = 2.50 \times 10^{-10} F$ 인 축전기에 기전력장치를 연결해  $V_0 = 10.0 V$ 의 전위차를 가해 전하를 축적시켰다.

(1) 축적된 전하량의 값을 계산하여라.

$$q_0 = CV_0 = (2.50 \times 10^{-10} F) \times (10.0 V) = 2.50 \times 10^{-9} C$$

(2) 이렇게 대전된 축전기에서 기전력장치를 떼어 내고 미지의 전기용량  $C_x$ 를 갖는 축전기를 병렬로 연결하였다. 새롭게 형성된 축전기 양단의 전위차  $V$ 와 원래의 전위차  $V_0$ 와의 관계식을 구하여라.

$$q + q_x = q_0 \quad \Rightarrow \quad q + q_x = CV_0 \quad \Rightarrow \quad C = \frac{q + q_x}{V_0}$$

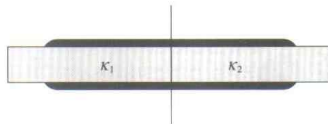
$$\begin{cases} V = \frac{q}{C} \\ V = \frac{q_x}{C_x} \end{cases} \Rightarrow \frac{q}{C} = \frac{q_x}{C_x} \Rightarrow \frac{C_x}{C} = \frac{q_x}{q}$$

$$V = \frac{q}{C} = \frac{q}{q + q_x} V_0 = \frac{1}{\frac{q + q_x}{q}} V_0 = \frac{q}{1 + \frac{q_x}{q}} V_0 = \frac{1}{1 + \frac{C_x}{C}} V_0 = \frac{C}{C + C_x} V_0$$

(3) 만약 나중의 전위차  $V$ 가  $8.00 V$ 라면 전기용량  $C_x$ 는 얼마인가?

$$\begin{aligned} V = \frac{C}{C + C_x} V_0 &\Rightarrow V(C + C_x) = CV_0 \Rightarrow CV + C_x V = CV_0 \\ &\Rightarrow C_x = \frac{CV_0 - CV}{V} = C \left( \frac{V_0}{V} - 1 \right) = (2.50 \times 10^{-10} F) \left( \frac{10.0 V}{8.00 V} - 1 \right) \\ &= 6.25 \times 10^{-11} F \end{aligned}$$

8. 그림과 같이 유전 상수가 서로 다른 두 물질로 채워진 평행판 축전기의 전기용량이 다음과 같다는 것을 보여라. (힌트: 병렬연결된 축전기로 생각하여라.)



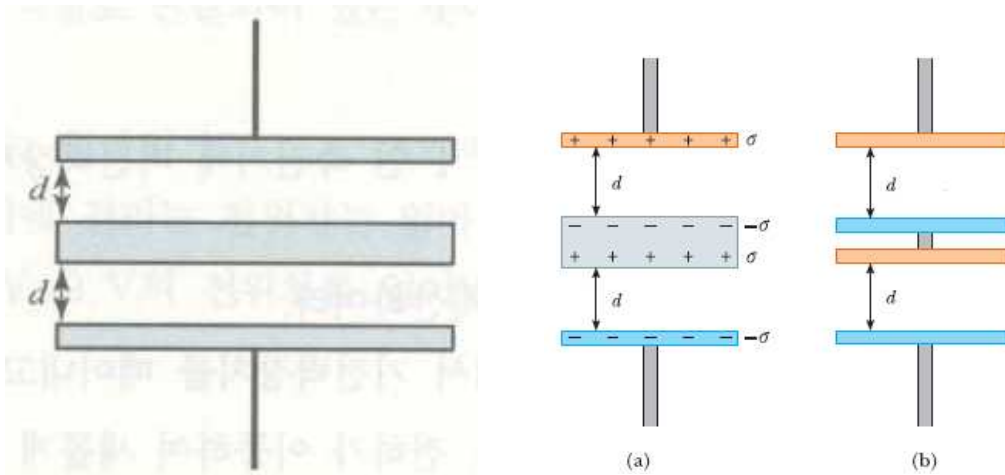
$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \left( \frac{\kappa_1 + \kappa_2}{2} \right)$$

$$C = \kappa C_0 = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} = \epsilon \frac{A}{d}$$

$$\begin{cases} C_1 = \kappa_1 \epsilon_0 \frac{A_1}{d} \\ C_2 = \kappa_2 \epsilon_0 \frac{A_2}{d} \end{cases} \Rightarrow \text{병렬} \quad C = C_1 + C_2 = (\kappa_1 A_1 + \kappa_2 A_2) \frac{\epsilon_0}{d} = (\kappa_1 + \kappa_2) \frac{A}{2} \frac{\epsilon_0}{d}$$

$$= \frac{\epsilon_0 A}{d} \frac{\kappa_1 + \kappa_2}{2}$$

9. 그림과 같이 평행판 축전기 안에 금속판을 넣으면 이 금속판 표면에 양전하와 음전하가 대전되게 된다.



- (1) 대전된 전하의 전하밀도가 평행판 축전기의 표면전하밀도와 크기가 같음을 증명하라.

위의 그림 (a)에 보이는 것처럼, 축전기의 도체판에 있는 전하는 마주보는 금속판의 가까운 표면에 크기가 같고 부호가 반대인 전하를 유도한다.

- (2) 이때 축전기의 전기용량이 두 개의 축전기를 직렬연결 한 것과 같음을 보여라.

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C} = \frac{1}{\left(\frac{\epsilon_0 A}{d}\right)} + \frac{1}{\left(\frac{\epsilon_0 A}{d}\right)} = 2 \frac{d}{\epsilon_0 A} = 2 \frac{1}{C} \quad \Rightarrow \quad C_{eq} = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 A}{d} = \frac{1}{2} C$$

10. 그림 18.12와 같은 회로에서 저항이  $12\Omega$ 이고 축전기의 전기용량은  $4.0\mu F$ 이라고 한다. 기전력으로는  $1.5V$ 의 건전지를 사용한다.

- (1) 스위치를  $a$ 에 연결한 후 오랜 시간이 지났을 때에 축전기의 전하량은 얼마인가?

오랜 시간이 지났을 때, 회로에 흐르는 전류는 점점 줄어들어 0이 된다. 따라서, 저항에서의 전압 소모는 없어지고 공급되는 전압은 모두 축전기의 양단에 걸리게 된다.

$$Q = CV = (4.0 \times 10^{-6} F) \times (1.5 V) = 6.0 \times 10^{-6} FV = 6.0 \times 10^{-6} C = 6.0 \mu C$$

- (2) 이제 스위치를  $b$ 에 연결하여 축전기를 방전시킨다. 전하량의 95%가 방전되는 데 걸리는 시간은 얼마인가?

$$\begin{aligned} Q(t) &= Q_{\max} e^{-t/\tau} \quad \Rightarrow \quad e^{-t/\tau} = 0.05 \quad \Rightarrow \quad -t/\tau = \ln(0.05) \\ \Rightarrow \quad t &= -\tau \times \ln(0.05) = -RC \times \ln(0.05) = -(12 \Omega) \times (4.0 \times 10^{-6} F) \times \ln(0.05) \\ &\approx +1.438 \times 10^{-4} \Omega F = +1.438 \times 10^{-4} s \end{aligned}$$

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (18장) - by 송현석

11. 전위차가  $220\text{ V}$ 인 축전기와 저항이 달려 있는 회로의 스위치를  $t=0\text{ s}$  일 때 닫았다.  $t=10.0\text{ s}$  지났을 때 축전기에 걸쳐 있는 전위차가  $10.0\text{ V}$ 로 낮아졌다. 이 회로의 시상수를 구하여라.  $t=20.0\text{ s}$  지났을 때 축전기에 걸리는 전위차를 구하여라.

$$\begin{aligned} Q = CV &\Rightarrow V = \frac{Q}{C} = \frac{Q_f}{C} e^{-t/\tau} = V_f e^{-t/\tau} \\ \Rightarrow \frac{V}{V_f} &= e^{-t/\tau} = \frac{10.0\text{ V}}{220\text{ V}} \\ \Rightarrow -t/\tau &= \ln\left(\frac{1}{22}\right) = \ln(1) - \ln(22) \\ \Rightarrow \tau &= \frac{t}{\ln(22)} = \frac{10\text{ s}}{\ln(22)} \approx 3.2352\text{ s} \end{aligned}$$

$$V = V_f e^{-t/\tau} = (220\text{ V}) e^{-20\text{ s}/3.2352\text{ s}} \approx 0.4546\text{ V}$$

12. 실제적인 기전력장치는 내부에 저항이 존재하며 이를 내부저항이라고 부른다.  $9\text{ V}$ 의 기전력장치의 내부에  $3\Omega$ 의 내부저항이 존재하는 경우, 이 기전력장치를  $6\Omega$ 의 저항에 연결하면 저항의 양 끝에 걸리는 전위차는 얼마인가?

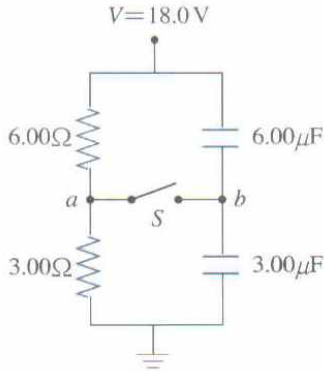
$$\begin{aligned} V = iR = \epsilon - ir &\Rightarrow i = \frac{\epsilon}{R+r} = \frac{9\text{ V}}{6\Omega + 3\Omega} = \frac{9\text{ V}}{9\Omega} = 1\text{ A} \\ \Rightarrow V = iR &= 1\text{ A} \times 6\Omega = 6\text{ V} \end{aligned}$$

13. 위 문제의 기전력장치 두 개를 직렬로 연결한 다음 여기에  $6\Omega$ 의 저항을 연결하면 저항에 걸리는 전위차는 얼마인가? 두 개를 병렬로 연결한 경우는?

$$\begin{aligned} V = iR &= (\epsilon - ir) + (\epsilon - ir) = 2\epsilon - 2ir \\ \Rightarrow i &= \frac{2\epsilon}{R+2r} = \frac{2 \times 9\text{ V}}{6\Omega + 2 \times 3\Omega} = \frac{18\text{ V}}{12\Omega} = \frac{3}{2}\text{ A} \\ \Rightarrow V = iR &= \frac{3}{2}\text{ A} \times 6\Omega = 9\text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i = i_1 + i_2 = 2i_1 = 2i_2 &\quad < i_1 = i_2 > \quad < \text{접합점 법칙} > \\ \epsilon - i_1 r - iR = 0 &\Rightarrow \epsilon - \frac{1}{2}ir - iR = 0 \quad < i_1 = \frac{1}{2}i > \quad < \text{고리 법칙} > \\ \Rightarrow i &= \frac{\epsilon}{R + \frac{1}{2}r} = \frac{9\text{ V}}{6\Omega + \left(\frac{1}{2} \times 3\Omega\right)} = \frac{9\text{ V}}{\frac{15}{2}\Omega} = \frac{6}{5}\text{ A} = 1.2\text{ A} \\ \Rightarrow V = iR &= \frac{6}{5}\text{ A} \times 6\Omega = \frac{36}{5}\text{ V} = 7.2\text{ V} \end{aligned}$$

14. 그림과 같은 회로에서,



(1) 스위치  $S$ 가 열렸을 때  $b$ 점에 대한  $a$ 점의 전위는 얼마인가?

$$I_{6\Omega} = I_{3\Omega} = I$$

$$q_{6\mu F} = q_{3\mu F} = q$$

$$R = 6\Omega + 3\Omega = 9\Omega$$

$$V_{6\mu F} = \frac{q}{6\mu F}, \quad V_{3\mu F} = \frac{q}{3\mu F}$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{18V}{9\Omega} = 2A$$

$$V = V_{6\mu F} + V_{3\mu F} = \left( \frac{1}{6\mu F} + \frac{1}{3\mu F} \right) q = \frac{q}{2\mu F} = 18V$$

$$V_{6\Omega} = I \times 6\Omega = 2A \times 6\Omega = 12V$$

$$q = 2\mu F \times 18V = 36\mu FV = 36\mu C$$

$$V_a = 18V - 12V = 6V$$

$$V_{6\mu F} = \frac{36\mu C}{6\mu F} = 6C/F = 6V$$

$$V_b = 18V - 6V = 12V$$

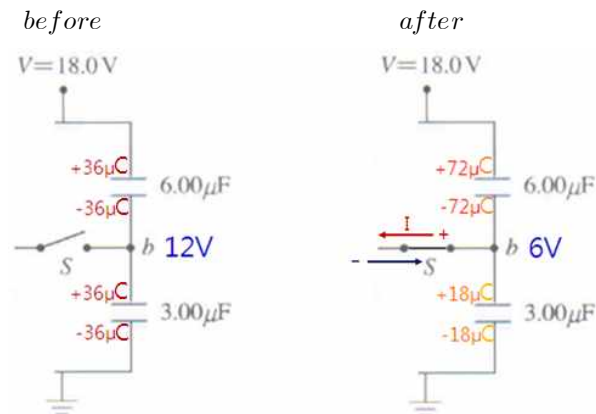
$$\Delta V = V_a - V_b = 6V - 12V = -6V \quad (a\text{점이 } b\text{점 보다 낮다})$$

(2) 스위치  $S$ 가 닫혔을 때 접지에 대한  $b$ 점의 최종 전위는 얼마인가?

직류전원에 대해 축전기는 열린회로처럼 동작한다!!!  $\Rightarrow V_b = V_a = 6V$

$$\Delta V = V_b - V_{\text{접지}} = 6V - 0V = 6V$$

(3) 스위치가 닫힌 이후 스위치를 통해 얼마나 많은 전하량이 흐르는가?



$$(-72\mu C + 18\mu C) - (-36\mu C + 36\mu C) = -54\mu C$$

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (18장) - by 송현석

15. 빈 공간에 두 공이 거리  $R$ 만큼 떨어져 있다. 이 거리가 두 공의 반지름보다 훨씬 더 크다고 할 때 이 계의 전기용량은 얼마인가?

$$E(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \quad < \text{두 도체구 사이의 전기장} >$$

$$\begin{aligned} \Delta V &= V(r = \frac{d}{2}) - V(r = R - d) = \int_{r=R-d}^{r=\frac{d}{2}} E(r) dr = \int_{r=R-d}^{r=\frac{d}{2}} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} dr \\ &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \int_{r=R-d}^{r=\frac{d}{2}} \frac{1}{r^2} dr = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[ -\frac{1}{r} \right]_{r=R-d}^{r=\frac{d}{2}} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \left( -\frac{2}{d} \right) - \left( -\frac{1}{R-d} \right) \right\} \\ &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{1}{R-d} - \frac{2}{d} \right\} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{d-2(R-d)}{d(R-d)} \right\} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{3d-2R}{d(R-d)} \right\} \end{aligned}$$

$$C = \frac{q}{\Delta V} = \frac{q}{\frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{3d-2R}{d(R-d)} \right\}} = 4\pi\epsilon_0 \frac{d(R-d)}{3d-2R}$$

16. 두 평행판 축전기는 서로  $F = \frac{1}{2}QE$  의 힘으로 당김을 보여라. 여기에서  $Q$ ,  $E$ 는 각각 축전기의 전하량과 내부 전기장 세기이다. (도움말: 축전기 판면 간격을  $x$ 에서  $x + \Delta x$ 로 변화시킬 때 필요한 일을 계산하여라.)

$$U = \frac{1}{2}QV, \quad E = -\frac{\partial V}{\partial d}$$

$$F = -\frac{\partial U}{\partial d} = -\frac{\partial}{\partial d} \left( \frac{1}{2}QV \right) = -\frac{1}{2}Q \frac{\partial V}{\partial d} = +\frac{1}{2}QE$$

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} = Fd \cos 180^\circ = -Fd \quad \Rightarrow \quad F = -\frac{W}{d} = \frac{U}{d} = \frac{1}{2}Q \frac{V}{d} = \frac{1}{2}QE$$

17. 반지름이  $a$ 인 도체 원통을 이보다 더 큰 반지름  $b$ 인 원통 모양의 도체가 둘러싸고 있다. 두 원통의 중심축은 같다. 이 두 원통 사이가 유전율이  $\epsilon$ 인 유전물질로 채워져 있을 때 이 원통형 축전기의 전기용량을 구하여라.

$$\Phi_S = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{a} = E2\pi rL = \frac{Q}{\epsilon_0} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0} \quad \Rightarrow \quad E2\pi rL = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad \Rightarrow \quad E = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 rL}$$

$$\begin{aligned} \Delta V &= V(b) - V(a) = \int_a^b E(r) dr = \int_a^b \frac{Q}{2\pi\epsilon rL} dr = \frac{Q}{2\pi\epsilon L} \int_a^b \frac{1}{r} dr = -\frac{Q}{2\pi\epsilon L} [\ln r]_a^b \\ &= \frac{Q}{2\pi\epsilon L} (\ln b - \ln a) = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 L} \ln \left( \frac{b}{a} \right) \end{aligned}$$

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{\frac{Q}{2\pi\epsilon L} \ln \left( \frac{b}{a} \right)} = \frac{2\pi\epsilon L}{\ln \left( \frac{b}{a} \right)}$$



대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (18장) - by 송현석

18. 전기용량이 각각  $4.0\mu F$ 인 두 개의 평행판 축전기가 직렬로 연결되어 있고, 전위차가  $25V$ 인 배터리에 연결되어 있다. 여기서 두 축전기 중 하나의 평행판 사이의 거리가 반으로 줄어들었다. 이 경우에 이 두 축전기에 축적되는 전체 전하량을 구하여라.

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad \Rightarrow \quad C' = \epsilon_0 \frac{A}{d/2} = 2\epsilon_0 \frac{A}{d} = 2C$$

$$C_{eq} = \frac{1}{\left(\frac{1}{C} + \frac{1}{C'}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{4.0\mu F} + \frac{1}{8.0\mu F}\right)} = \frac{1}{\frac{3}{8.0\mu F}} = \frac{8}{3}\mu F$$

$$Q = C_{eq} V = \left(\frac{8}{3}\mu F\right) \times (25V) \approx 66.6\mu C \quad < \text{한 축전기에 축적되는 전하량} >$$

$$\begin{aligned} Q_{total} &= Q + Q \quad < \text{직렬연결 이므로 두 축전기에 축적되는 전하량이 동일하다} > \\ &\approx (66.6\mu C) + (66.6\mu C) \\ &\approx 133.3\mu C \quad < \text{두 축전기에 축적되는 전체 전하량} > \end{aligned}$$

19. RC 회로에서 충전 중에 건전지가 제공하는 에너지 중 정확히 반은 축전기에 저장되고, 나머지 반은 저항에서 소모된다. 여기서 나머지 반이 저항에서 줄열로 소모된다는 사실을 식 (18.43)과 전력의 정의를 이용하여 구체적으로 보여라.

$$i = \frac{dq}{dt} = -\frac{Q_0}{RC} e^{-t/RC} = I_0 e^{-t/RC} \quad \dots\dots \quad \text{식 (18.43)} \quad P = iV = i^2 R = \frac{V^2}{R}$$

$$P_{\text{저항}} = \frac{dW_{\text{저항}}}{dt} = i_{\text{저항}}^2 R = (I_0 e^{-t/RC})^2 R = \left(\frac{\epsilon}{R} e^{-t/RC}\right)^2 R = \frac{\epsilon^2}{R} e^{-2t/RC}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{저항}} &= \int dW_{\text{저항}} = \int P_{\text{저항}} dt = \int_{t=0}^{t=\infty} \frac{\epsilon^2}{R} e^{-2t/RC} dt = \frac{\epsilon^2}{R} \int_{t=0}^{t=\infty} e^{-2t/RC} dt \\ &= \frac{\epsilon^2}{R} \left(-\frac{RC}{2}\right) \left[e^{-2t/RC}\right]_{t=0}^{t=\infty} = -\frac{\epsilon^2 C}{2} (0 - 1) = \frac{1}{2} \epsilon^2 C = \frac{1}{2} Q\epsilon = \frac{1}{2} W_{\text{전지}} \end{aligned}$$

20. 반지름이  $R$ 인 독립된 구형 도체의 전기용량은  $R$ 의 몇 제곱에 비례하는가?

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}} = 4\pi\epsilon_0 R \quad \Rightarrow \quad C \sim R$$

21. 두 개의 도체 구가 매우 멀리 떨어져 있다. 작은 구의 전하량은  $q$ 이고 큰 구의 알짜 전하는 없다. 만일 두 구가 매우 가는 철사로 연결되는 경우 큰 구의 전위와 전하량은 각각 작은 구의 전위와 전하량의 몇 배가 되는가?



$$V_{\text{작은}} = V_{\text{큰}}$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_{\text{작은}}}{d/2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_{\text{큰}}}{d}$$

$$Q_{\text{큰}} = 2Q_{\text{작은}}$$

$$Q_{\text{큰}} + Q_{\text{작은}} = q$$

$$Q_{\text{큰}} = \frac{2}{3}q \quad Q_{\text{작은}} = \frac{1}{3}q$$