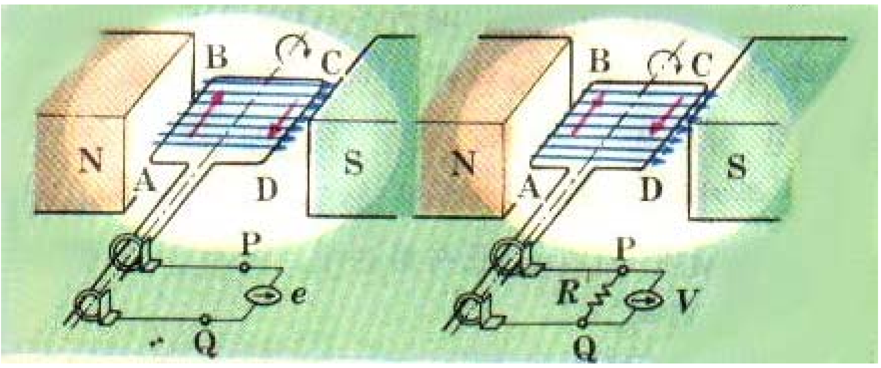
교 류

1. 교류의 발생

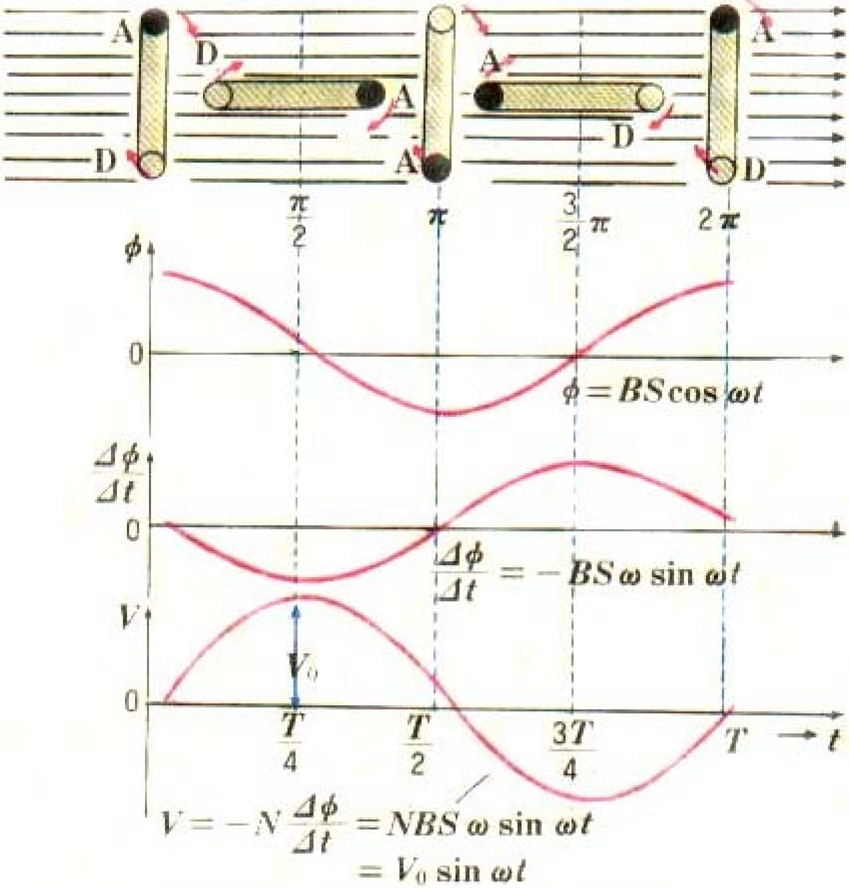


전류의 크기와 방향이 주기적으로 변하는 전류를 교류(alternating current 기호 A.C)라고 한다.

그림과 같이 코일 ABCD 를 자기장에서 회전시키면 코일을 지나는 자속이 변하면서 도선 AB,CD 부분에 시간이 따라 주기적으로 방향이 바뀌는 유도 기전력이 발생한다.

이때 코일을 일정한 각속도 w 로 회전시키면 코일을 지나는 자속은 $Ø = BScoswt$ 로서 주기적으로 변하게 된다. 이 자속의 시간적인 변화율 ($ΔØ/Δt$)에 비례하여 그래프와 같이 크기와 방향이 주기적으로 변하는 유도 기전력이 생기게 되는데 이것이 교류 전압이다.

2. 교류 기전력



〔교류의 발생과 기전력의 변화〕

코일면이 처음에 자기장에 수직하게 있었고 자기장을 B(T), 코일 면적을 $S(m_2)$, 코일 회전 가속도를 w(rad/s), 코일 감은 수를 N 회, 시간을 t 라고 할 때 자속은 Ø = BScoswt 이고 패러데이 법칙에 의해 유도 기전력 V 는 다음과 같이 된다.

$$V = -N\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = NBS\omega\sin\omega t = V_0\sin\omega t$$

여기서 V 를 순간 전압, V_0(= N BSw)를 최대 전압이라 한다.

1) 교류 전류 : 저항 R 에 교류 저압 V 를 걸어주면 저항에는 교류 전류 I 가 흐른다.

$$I = I_0 \sin wt$$

2) 주파수 : 교류에서 전류가 1 회 진동하는 데 걸리는 시간을 주기 T 라고 한다. 또한, 교류는 전류의 방향이 주기적으로 변하게 되는데 1 초 동안에 변하는 횟수(진동 횟수)를 주파수(υ)라고 한다.

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{T}(\mathrm{Hz})$$

주파수의 단위로는 헤르츠(Hertz,기호 Hz)를 사용하고 우리나라에 공급되고 있는 모든 교류 전원의 주파수는 60Hz 이다.

3.교류의 실효값

교류 전압과 전류는 시간에 따라 크기와 방향이 변하므로 이들의 순간값을 측정하기도 어렵다. 또한 이들의 세기를 나타내기 위하여 어떤 평균값을 생각하게 된다. 그러나 반주기(T/2)마다 방향이 반대가 되어 그때까지 평균을 구하면 0 이 되므로 방향에 무관계한 양으로서 제곱의 평균값을 생각하게 된다.

즉, 1 주기에 대하여 교류의 전압 또는 전류의 제곱의 평균값의 제곱근을 취하여 전류 또는 전압의 세기를 표시하는데, 이것을 교류 또는 교류 전압의 실효값(effective value) 이라 한다.

일반적으로 1V 또는 1A 의 교류라는 것은 실효값이 1V 또는 1A 인 것을 의미한다. 교류 전압 $V = V_0 \sin wt$ 와 교류 전류 $I = I_0 \sin wt$ 에서 V 와 I 는 순간값, V_0 와 I_0 는 최대값이고 그들의 실효값을 각각 V_e, I_e 라고 하면

$$V_e = \sqrt{\overline{V^2}} = V_0/\sqrt{2},\ \ I_e = \sqrt{\overline{I^2}} = I_0/\sqrt{2}$$ 가 된다.

$$\text{실효값} = \frac{\text{최대값}}{\sqrt{2}}$$

1) 교류의 실효값은 직류와 같은 효과를 나타내는 값이고 실효값으로 직류에서의 공식을 그대로 적용하여 계산한다.

2) 교류 전압과 교류 전류의 최대값은 실효값의 $\sqrt{2}$ 배가 된다.

3) 교류 계측기의 눈금으로 측정되어지고 전기 기구에 표시된 값은 보통 실효값을 나타낸다.

4. 교류의 실효값(보충설명)

전압, 전류의 순간값을 V,I,최대값을 V_0, I_0 실효값을 V_e, I_e 라고 하면 $V = V_0 \sin wt$, $I = I_0 \sin wt$ 이고 $V_e = \sqrt{\overline{V^2}},\ I_e = \sqrt{\overline{I^2}}$ 의 관계에서 V_e 는 다음과 같이 구한다.

V^2 의 평균값 $\overline{V^2}$ 은,

$$\overline{V^2} = \frac{1}{T}\int_0^T V_0^2 \sin^2 \omega t\, dt = \frac{V_0^2}{T}\int_0^T \frac{1}{2}(1-\cos 2\omega t)dt = \frac{V_0^2}{T}\cdot\frac{1}{2}\left[t - \frac{1}{2\omega}\sin 2\omega t\right]_0^T$$

$$= \frac{V_0^2}{2} \qquad \therefore V_e = \sqrt{\overline{V^2}} = \frac{V_0}{\sqrt{2}},\ \text{같은 방법으로},\ I_e = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$$

교류의 전력

교류 전압을 V = V_0sinwt, 전류의 전압에 대한 위상차를 Ø 라고 하면 전류 I 는

I = I_0sin(wt - ø)로 표시하므로,

$$I\ V = I_0\ V_0\ \text{coswt}\ \sin(wt - Ø)$$

는 시각 t 에서 회로의 소비 전력이 된다.

이 교류의 1 주기에 대하여 평균한 것을 소비 전력 P 라고 하면 다음과 같다.

$$P = \frac{1}{2} I_0 V_0 \cos\phi = I_e V_e \cos\phi$$

이 식의 COSØ 를 회로의 역률(power factor)이라 한다.

1.교류 전압과 전류의 위상이 같을 때

교류 전원에 저항만 연결했을 때는 전압과 전류의 위상이 같다. Ø = 0^o

$$\therefore \cos Ø = 1,\ \text{따라서}\ P = IeVe$$

2.교류 전압과 전류의 위상이 다를 때

교류 전원에 저항 이외에 코일이나 축전기를 연결할 때 교류 전압과 전류의 위상이 다르다.

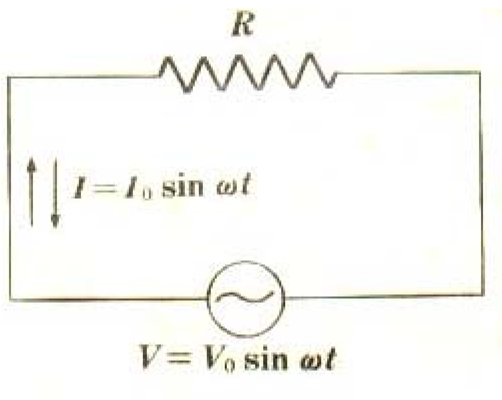
$$P = I_e V_e \cos Ø$$

3.코일 또는 축전기만의 회로

교류 전원에 코일 또는 축전기만을 연결할 때

$|Ø| = 90^0$ ∴cosØ = 0, 따라서 P = 0

즉, 저항이 무시되는 코일 또는 축전기만을 연결한 회로에 교류를 흐르게 하면 에너지는 소모되지 않는다.

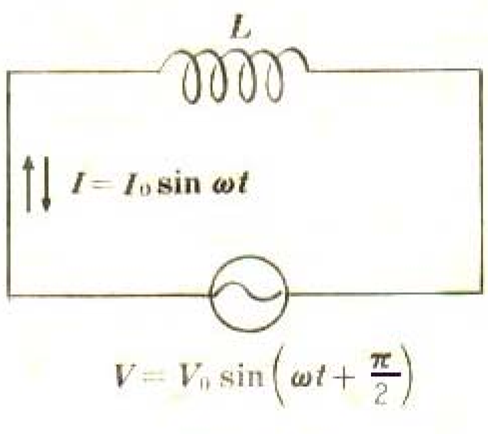


[저항과 교류]

교류 회로

1.저항만을 연결한 교류 회로

저항 R 에 V = V_0sinwt 의 교류 전압을 가하면 저항에 걸리는 전압은 시간에 따라 변하나, 각 순간에 흐르는 전류는 옴의 법칙에 따라 다음과 같이 표시된다.



[코일과 교류]

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V_0}{R}\sin\omega t = I_0 \sin\omega t$$

따라서 저항 R 를 흐르는 전류의 위상이 전압의 위상과 같다.

2.코일을 연결한 교류 회로

교류 전원에 자체 유도 계수 L 인 코일을 연결하면 코일에는 자기력선의 변화를 방해하려는 유도 기전력이 생겨 전류의 흐름을 방해하므로 교류가 잘 흐르지 못한다.

1) 코일에 의한 리액턴스(유도 리액턴스)

코일에 교류가 흐를 때 자체 유도에 의해 코일에는 일종의 저항이 생기는데 이것을 교류 회로에서 코일에 의한 리액턴스 (reactance, 기호 X_L)라 하며, 단위는 옴(Ω)을 쓴다.

$$X_L = \omega t = 2\pi\upsilon(\Omega)$$

2) 코일에는 주파수(υ)가 많은 교류일수록 흐르기 어렵다.

3) 전압과 전류의 위상

코일에 교류 전압 V를 가하면 유도 기전력 V' 가 V 를 소거하듯이, 즉 V 와 V' 가 평형(V + V' = 0)을 이루는 파형의 전류가 흐르므로 전류와 전압의 위상이 다르게 된다. 전류 $I = I_0 \sin wt$ 가 흐른다고 하면 이 전류 변화에 의한 유도 기전력 V' 는

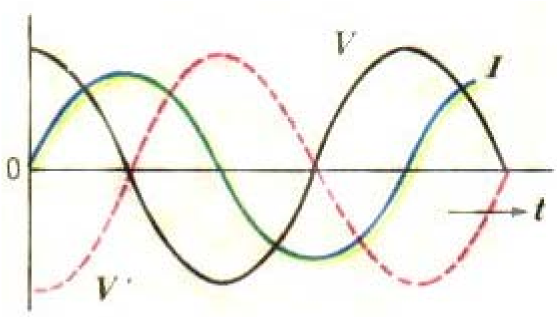
$$V' = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

I 를 t 로 미분한다고 하면

$$\left(V' = -L\frac{dI}{dt}\right)$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{d}{dt}I_0\sin\omega t = I_0\omega\cos\omega t$$

이므로,



[코일에 흐르는 교류의 위상]

$$V' = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} = -LI_0\omega\cos\omega t$$

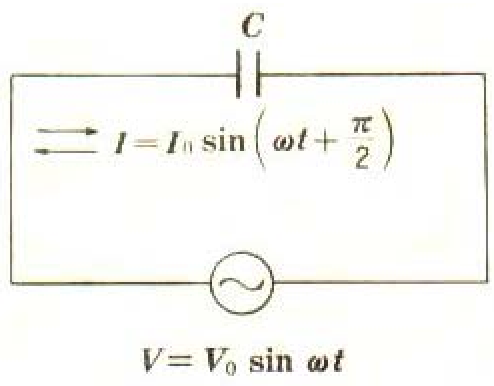
이 유도 기전력 V' 는 전류 I 의 변화를 방해 하듯이 작용하므로 만일 전류 I 의 변화를 계속 유지하려면 이 유도 기전력 V' 를 제거할 만한 전압 V 를 코일 양단에 가하지 않으면 안된다. V 와 V' 는 서로 반대 방향이므로

$$V = -V' = L\omega I_0 \cos\omega t = L\omega\, I_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

즉, 전류의 위상은 전압의 위상보다 $90°\left(\frac{\pi}{2}\right)$ 만큼 늦다.

또한, $V_0 = L\omega I_0$에서 $V = IR$와 비교하면 $L\omega$는 저항 R와 같은 의미를 갖는다.

3.축전기를 연결한 교류 회로



[축전기와 교류]

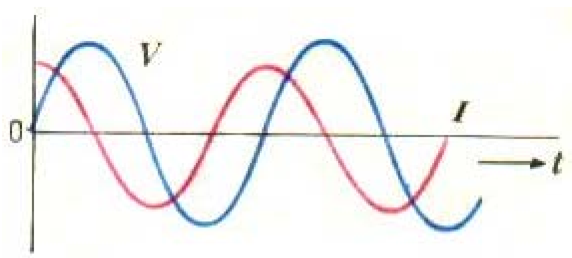
양 극판이 떨어져 있는 축전기에 교류가 흐르는 것은 정전기 유도 때문이다. 즉, 축전기에 교류전압을 걸어주면 충전과 방전이 반복된다.

1) 축전기에 의한 리액턴스(용량 리액턴스)

교류는 추기적으로 방향이 바뀌는 전류이므로 전기 용량 C 인 축전기는 충전과 방전을 주기적으로 되풀이 하면서 전류가 흐르게 된다.

축전기가 연결된 교류 회로에서는 전기 용량 C 가 클수록 , 주파수 υ가 클수록 저항의 작용이 작아진다.
이 회로에서 저항의 역할을 축전기에 의한 리액턴스(기호 X_c)라고 하며, 저항과 같이 옴(Ω)의 단위를 사용한다.

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C}(\Omega)$$



[축전기에 흐르는 교류의 위상]

2) 전압과 전류의 위상

축전기 양 끝에 교류 전압 $V = V_0 \sin wt$ 를 걸어주면 축전기 극판에 충전되는 전하량 Q 는 다음과 같다.

회로에 흐르는 전류 I 는 $\frac{\Delta Q}{\Delta t}\left(\frac{dQ}{dt}\right)$ 이므로,

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt} C V_0 \sin\omega t = C V_0 \omega \cos\omega t = C\omega V_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

즉 전류의 위상은 전압의 위상보다 $90°\left(\frac{\pi}{2}\right)$ 빠르다.

또한 여기서 $I_0 = C\omega V_0$ 이므로 $\frac{1}{C\omega}$ 이 저항 R 에 해당함을 알 수 있다.

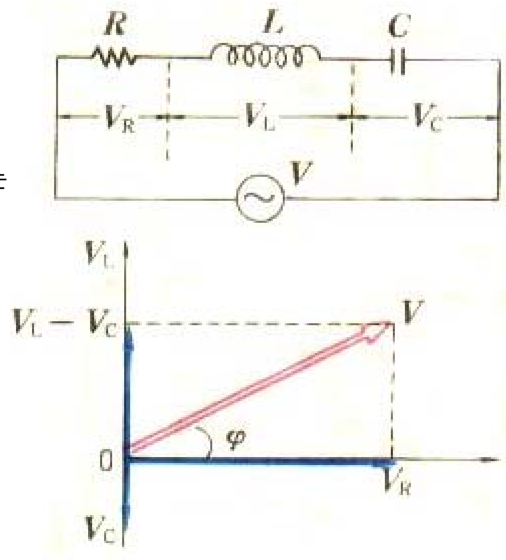
4.저항 · 코일 · 축전기를 연결한 교류 회로 (R-L-C 회로)

그림과 같이 저항 R, 자체 유도 계수 L 인 코일, 전기 용량 C 인 축전기를 직렬로 연결했을 때 이 회로의 합성 저항을 임피던스(impedance 기호 Z)라고 하며 그 단위로는 옴(Ω)을 쓴다.

회로에 전류 I 가 흐를때 저항 R 에 의한 전압 강하 V_R는 전류 I 와 위상이 같고, 코일에서의 전압 강하 V_L는 전류 I 보다 위상이 90° 빠르며, 축전기에 의한 전압 강하 V_C는 전류 I 보다 90° 가 늦다.

따라서, 임피던스에 의한 전압 강하는 그림과 같이 벡터함으로 나타낸다.

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$



[R-L-C 회로의 전압 강하]

여기서 $V = IZ$, $V_R = IR$, $V_L = IX_L$, $V_C = IX_C$ 이므로 교류 회로의 임피던스 Z 는 다음과 같이 표시된다.

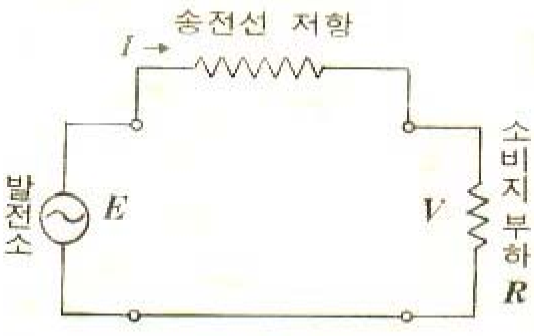
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

이 때 교류 전압이 실효값을 V_e라 하면 ,전류의 실효값 I_e는 $I_e = \frac{V_e}{Z}$ 가 된다.

또한,Z 가 최소, 즉 $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$ 일때 회로에는 최대 전류가 흐르게 되는데 이 때의 주파수를 교류 회로의 고유 주파수 라고 한다. 고유 주파수 υ는 $2\pi\nu L = \frac{1}{2\pi\nu C}$ 에서 다음과 같이 표시된다.

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} (\text{Hz})$$

전력 수송



[전력 수송]

화력 발전소는 비교적 전력 소비지 근처에 설치하지만 수력 발전소는 항상 산간 지방에 설치하므로 소비지까지 보통 100 200 Km 거리를 송전하지 않으면 안된다.

따라서, 송전선의 저항에 의한 발열의 손실을 생각하여야 한다.

그림과 같이 발전소에서 발전한 전압 E는 긴 송전선을 통하여 소비지의 부하 저항 R 에 도달할 때까지 송전선의 저항 r 와 흐르는 전류 I 에 의한 전압 강하 Ir 가 생긴다.

따라서, 소비의 부하 저항 R에 걸리는 전압 V는, V = E - Ir

가 되고 발전한 전력 IE(W) 가운데 도중에 잃은 전력 I^2r 를 뺀 값 IV 만이 소비지에 송전된 전력이 된다.

$$IV = IE - I^2R$$

즉, 일정한 전력 $P_{보} = IE$ 를 보낼 때 송전선의 저항을 r 라 하면 손실 전력 $P_{손} = I^2r$ 가 되고 소비지에서 받는 전력 $P_{받}$ 은 $P_{받} = P_{보} - P_{손}$이 된다.

따라서, $P_{손} = I^2 r = r \times \left(\frac{P_{보}}{E}\right)^2$ 이 되므로 손실 전력을 최소로 하려면 송전 전압 E를 높은 전압으로 높여야 하고 송전선의 저항은 작게 한다.

따라서, 송전 전압을 n 배로 하면 송전 전류는 $\frac{1}{n}$ 배로 되고, 전력 손실은 $\frac{1}{n^2}$ 배로 줄어든다.

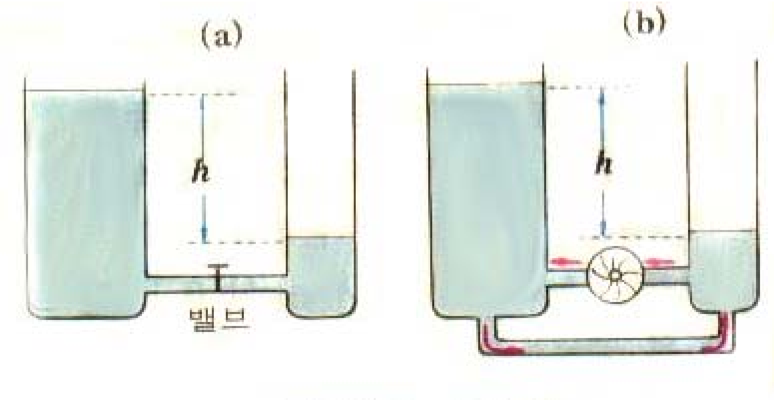
전기회로와 기전력

1. 전기 회로

전지와 꼬마 전구를 도선으로 연결하면 전류가 계속 흐르면서 전구에 불이 켜진다. 이와 같이 전류가 흐르는 경로를 전기 회로라고 한다.

이 때 전기 회로가 완전히 연결되어 전류가 흐르는 회로를 닫힌 회로라 하고, 도선의 일부가 끊겼거나 회로가 완전히 연결되지 않아 전류가 흐를 수 없는 회로를 열린 회로라고 한다.

2. 기 전 력



[기전력과 수위차]

전류가 흐르는 도체의 두 점 사이의 전위차를 전압이라 한다 이 전압은 물이 흐를 때의 수압에 비교될 수 있다. 오른쪽 그림 (a)와 같이 수위가 다른 두 개의 물통을 놓고 중간의 밸브를 열어주면 수위가 높은 쪽의 물이 수위가 낮은 쪽으로 흘러들어 양쪽의 수위가 같아지면 물의 흐름이 멈춘다.

그러나 그림 (b)와 같이 밸브 대신에 펌프를 달아 물을 순환시키면 수위차 h 를 계속 유지시킬 수 있어 물은 한 방향으로 계속 흐르게 된다.

이와 마찬가지로 도선에 전류가 흐를 때에도 두 점 사이의 전위차(전압)에 의하여 전류가 흐르다가 두 점 사이의 전위차가 차차로 줄어듬에 따라 결국에는 전류의 흐름이 멈추게 된다. 도선에 전류가 계속해서 흐르게 하려면 일정한 전위차(전압)를 계속 유지시켜 주어야 하는데 전지는 화학 변화에 의해서 항상 일정한 전위차를 생기게 하는 능력을 가지고 있다.

① 기전력

전지나 발전기 등에서와 같이 회로에 전류가 계속 흐르도록 두 극 사이의 전위차를 유지시켜 주는 능력을 기전력(electromotive force, e.m.f.)이라 한다.

② 기전력의 단위

기전력의 크기는 유지되는 전위차로 나타내므로 단위는 전위차와 같이 볼트(V)를 사용한다.

③ 건전지나 축전지에서 1.5V, 6V 라는 것은 전지의 기전력을 나타내고 전위가 높은 쪽을 (+)극, 낮은 쪽을 (-)극으로 표시한다.

④ 전원

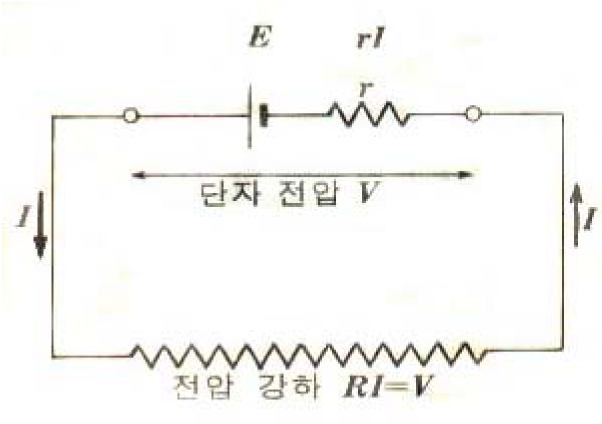
전지와 같이 기전력을 공급하는 장치를 전원 또는 기전력의 자리라고 한다.

⑤ 부하

전기 회로에서 전지 에너지가 다른 형태의 에너지로 변하는 부분을 말하며 전열기, 전동기, 전구 등은 부하(load)의 일종이다. 부하는 반드시 저항을 가지며 회로도에서 보통 R 로 나타낸다.

기전력과 내부저항

1. 전지의 기전력과 내부 저항



[전지의 기전력과 내부 저항]

전기 회로에서 전류는 전지의 (+)극에서 (-)극으로 흐르지만 전지의 내부에서는 (-)극 → 전해질 → (+) 극을 향하여 흐른다.

이 때 전지 내부에도 전류가 흐르는 것을 방해하는 저항이 있다. 이것을 전지의 내부 저항이라한다.

기전력 E, 내부저항 r 인 전지에 저항 R 를 연결하였을 때의 전류를 I 라고 하면 R 와 r 는 직렬 연결이므로

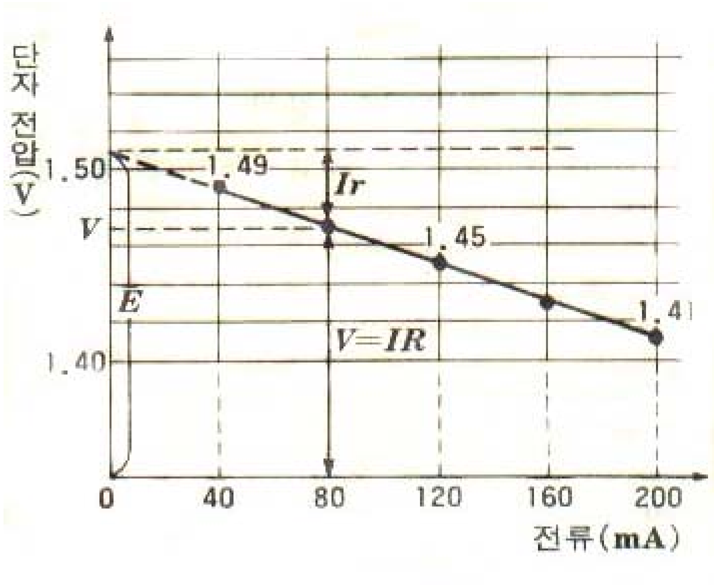
$E = I(R + r)$, $V (= IR) = E - Ir$

즉, 전지의 단자 전압 V(IR)는 기전력 E 보다 내부 저항에 의한 전압 강하 Ir 만큼 작아진다.

2. 전지의 내부저항의 크기

두 극판 사이의 거리, 두 극판의 넓이, 용액의 농도 등에 따라 정해진다. 보통 1.5V 건전지에서는 약 0.1Ω, 2V 의 납축전지에서는 약 0.02Ω 정도이다.

(V - I)그래프에서 직선의 기울기는 내부 저항의 크기이다.



[단자 전압과 전류]

3. 전지의 기전력

전지에 전류가 흐르지 않을 때의 전지 양극 사이의 전압은 전지의 기전력이다.

4. 단자 전압

회로에 전류가 흐르고 있을 때 전지 양 극 사이의 전압이며 이것은 외부 저항 R 에 의한 전압 강하 IR 와 같다.

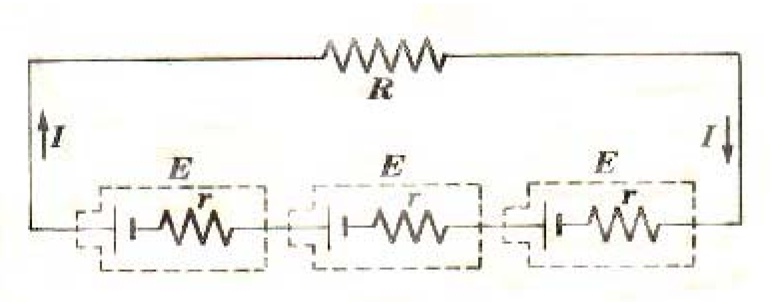
전지의 연결

높은 전압을 필요로 하는 경우에는 전지를 직렬로 연결하여 사용하고 많은 전류를 필요로 하는 경우에는 병렬로 연결하여 사용한다.

1.전지의 직렬 연결

그림과 같이 한 개의 전지의 (-)극에 다음 전지의(+)극을 연결하고 같은 방법으로 차례로 연결하는 방법을 직렬 연결이라 한다.

기전력 E, 내부저항 r 인 전지를 n 개 직렬로 연결하면 회로속의 총 기전력은 nE, 내부 저항의 합은 nr 가 된다.



〔전지의 직렬 연결〕

따라서 회로 전체의 저항은 R + nr 이고 회로에 흐르는 전류를 I 라고 하면

$$nE = (I(R + nr)$$

2.전지의 병렬 연결

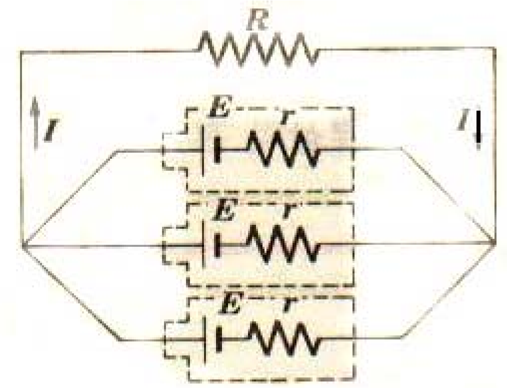
그림과 같이 전지의 (+)극은 (+)극끼리 (-)극은 (-) 극끼리 차례로 이은 것을 병렬 연결이라 한다.

기전력 E, 내부저항 r 인 같은 전지 n 개를 병렬 연결하면 회로의 총 기전력은 전지 1 개의 기전력 E 와 같다.

외부 저항을 R, 내부저항의 총합은 $\frac{r}{n}$, 흐르는 전류를 I 라고 하면

$$E = I\left(R + \frac{r}{n}\right)$$

가 된다.



전지의 병렬 연결

회로에 흐르는 전류와 전위

저항이나 축전기를 연결한 직류 회로에 흐르는 전류와 전위를 구할 때 다음의 사항에 유의한다.

1.회로를 흐르는 전류

1) 스위치를 닫고 충분한 시간이 경과하면 축전기와 직렬로 연결된 저항에는 전류가 흐르지 않는다.

2) 스위치를 닫는 순간에는 축전기와 직렬로 연결되어 있는 저항에도 전류가 흐른다. 이 때 저항에 가하는 전압은 축전기를 저항 0인 도선이라고 생각할 때의 전압과 같다.

3) 저항에 전류가 흐를 때에는 축전기를 포함한 회로에서도 키르히호츠의 법칙이 성립한다. 축전기의 극판 사이의 전위차는 전지의 기전력과 같이 취급하면 된다.

2.회로상의 전위

1) 전지 : 단자 전압 V일 때 (+)극은 (-)극보다 V만큼 전위 높다.

2) 저항 : 저항 R에 전류 I가 흐른 때 전류 방향으로 IR만큼 전압 강하

3) 전하량 Q를 저장한 전기 용량 C인 축전기에서 (-)극에서 (+)극을 향하여 Q/C만큼 전위가 높다.

4) 어스(접지, earth) 되어 있는 점의 전위는 0이다.

5) 저항이 없는 도선이나 전류가 흐르지 않는 저항선의 양 끝은 전위가 같다.

키르히호프(Kirchhoff)의 법칙

복잡한 회로에서 각 회로에 흐르는 전류와 전압 사이의 관계는 옴의 법칙으로 풀기 어려우며 이 때에는 다음과 같은 키르히호프의 법칙을 이용한다.

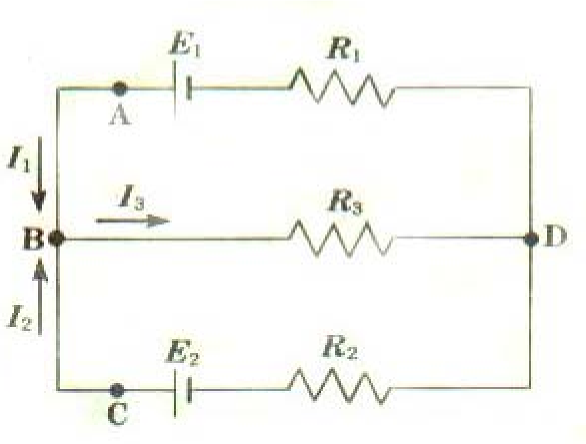
1.제 1 법칙

여러 개의 회로가 한 점에서 만날 때 이 점에 흘러 들어오는 전류의 총합은 그 점에서 흘러나가는 전류의 총합과 같다. (전하량 보존 의미)

따라서 그림의 B점에서 $I_3 = I_1 + I_2$ 가 된다.

2.제 2 법칙

임의의 닫힌 회로에서 그 회로의 기전력의 총합은 각 저항과 저항을 흐르는 전류와의 곱의 대수합과 같다. (에너지 보존)



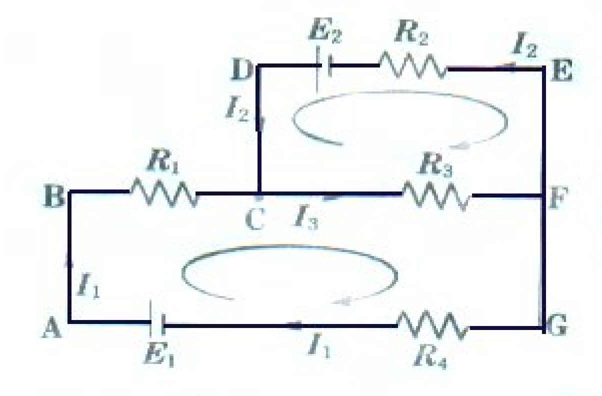
[키르히호프의 법칙]

제2법칙을 사용할 때에는 먼저 회로를 도는 방향 (시계 방향이나반시계 방향)을 정하고 그 방향으로 돌아가면서 기전력 E나 전압 강하 IR의 부호를 정한다.

즉, 전류의 방향이 정해진 방향과 같을 때는 (+), 반대일 때는 (-)로 한다.

$$\sum E_n = \sum I_n R_n$$

그림의 경우



닫힌 회로 ABDA 에서는 $E_1 = I_1R_1 + I_3R_3$ (시계방향으로 돈다.)

닫힌 회로 CBDC 에서는 $E_2 = I_2R_2 + I_3R_3$ (반시계 방향으로 돈다.) 가 성립한다.

● 그림의 회로에서 전류를 정하고 분기점 C 에 제 1 법칙을 적용하면

$I_3 = I_1 + I_2$ 각 폐회로에 제 2 법칙을 적용하면 (그림의 화살표 방향으로 순서대로 돌아가며 생각)

ABCFG 회로 : $E_1 = I_1R_1 + I_3R_3 + I_1R_4$

CDEF 회로 : $-E_2 = I_2R_2 + I_3R_3$

ABCDEFG 회로 $E_1 - E_2 = I_1R_1 - I_2R_2 + I_1R_4$

● 키리히 호프의 제 2 법칙은 에너지 보존을 의미하므로 회로에서 공급하는 총기전력과 총 전압 강하는 같다. 따라서 제 2 법칙은 다음과 같이 표현하여 문제를 풀어도 된다.

즉 " 닫힌 회로를 시계 방향으로 돌면서 전지, 저항 모든 경우에서 전압 상승은 (+)부호, 전압 강하이면 (-)부호 붙여 이들 총합은 0 이다 " $\Sigma V_n = 0$

ABCDEFG 회로에 적용해 보면 (R_1)부터 시계방향으로 돈다

$$- I_1R_1 - E_2 + I_2R_2 - I_1R_4 + E_1 = 0 \rightarrow E_1 - E_2 = I_1R_1 - I_2R_2 + I_1R_4$$

3. 키르히호프의 법칙을 사용할 때의 순서

1) 회로의 각 부분을 흐르는 전류의 크기, 방향을 적당히 가정하여 표시한다.

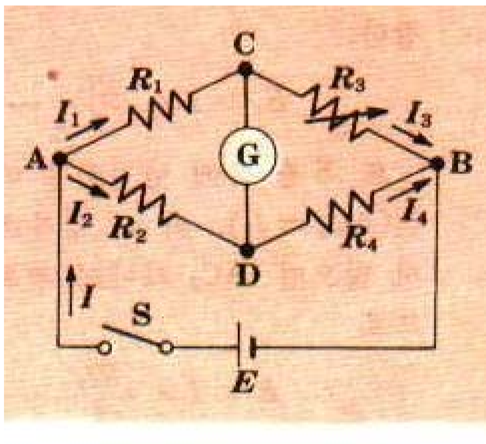
2) 회로내의 모든 분기점에 대하여 제 1 법칙을 사용하여 방정식을 세운다.

3) 회로내의 생각할 수 있는 모든 폐회로에 대하여 회로를 도는 방향을 정하고 제 2 법칙을 사용하여 방정식을 만든다.

4) 2)와 3)에서 만들어진 방정식에서 미지수의 개수만큼 선택하여 연립 방정식을 푼다.

5) 구한 전류 값이 (-)이면 그 전류의 방향은 1)에서 가정한 방향과 반대가 된다.

휘트스톤 브리지(Wheatstone's bridge)



[휘트스톤 브리지]

미지의 저항을 정밀하게 측정하기 위해서 그림과 같은 휘트스톤 브리지 회로가 사용된다.

스위치를 닫아 검류계 G에 전류가 흐르지 않도록 가변 저항 R_3를 조절하면 C, D점의 전위가 같으므로

$$I_1R_1 = I_2R_2 \quad , \quad I_3R_3 = I_4R_4$$

또 $I_1 = I_3$, $I_2 = I_4$ 이므로

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$ 또는 $$R_1R_4 = R_2R_3$$

따라서 R_1, R_2, R_3 의 저항값은 알고 있으므로 미지 저항 R_4 의 값을 구할 수 있다.

1.브리지(C,D) 사이의 전위차

그림에서 CD 사이가 끊어져 있다면 ACB를 흐르는 전류는,

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + R_3}$$ 전류 I_2는, $$I_2 = \frac{E}{R_2 + R_4}$$

B에 대한 C, D의 전위는

$$V_C = I_1R_3 = \frac{R_3E}{R_1 + R_3} \qquad V_D = I_2R_4 = \frac{R_4E}{R_2 + R_4}$$

따라서 C, D 사이의 전위차는

$$V_C - V_D = \frac{(R_2R_3 - R_1R_4)}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)}E$$

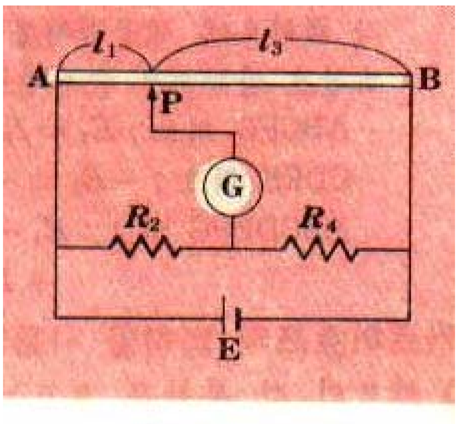
이 된다. 여기서 $R_1R_4 = R_2R_3$ 이면 C, D 사이의 전위차는 0이 되어 검류계 G를 연결하여도 검류계의 바늘은 움직이지 않는다.

2.전류가 브리지(C, D) 사이를 흐를 때

위 식 (V_C - V_D) 에서 $R_2R_3 > R_1R_4$ 이라면 $V_C > V_D$ 로 되어 전류가 C → D 방향으로 검류계를 흐른다. 반대로 $R_2R_3 < R_1R_4$ 이라면 $V_C < V_D$ 로 되어 D → C 의 방향으로 전류가 검류계를 흐른다.

미터 브리지 (meter bridge)

휘스톤 브리지의 원리와 같고 사용하기 좋게 만든 것이 미터 브리지이다. 도선의 저항 R 는 길이 L에 비례하므로 접점



[미터 브리지]

P 를 AB 위에서 이동시켜 검류계 G 에 전류 흐르지 않게 할 때 $AP_1 = L_1$, $BP_1 = L_2$를 측정하면

$$\frac{R_2}{R_4} = \frac{l_1}{l_3} \quad \text{또는} \quad R_2 l_3 = R_4 l_1$$

전위차계 (potentionmeter)

전위차계는 전지의 기전력이나 두 점 사이의 전위차를 측정하는 장치이다.

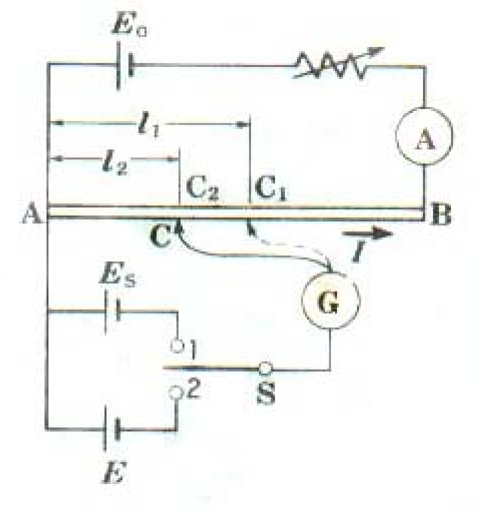
그림에서 AB 는 길이 L ,저항값 R 인 저항선 , E0 는 보조전지 , ES 는 표준 전지 , E 는 미지 전지, C 는 AB 상을 이동하는 접점이다.

또 스위치 S 를 1 에 연결했을 때 접점의 위치를 C_1 ($AC_1 = L_1$),

이 때 검류계 G 에 전류 흐르지 않으면 AC_1 사이 전위차는

$$E_s = I \times \frac{Rl_1}{L} \cdots\cdots ①$$

E_S와 같다.



[전위차계]

또 S 를 2 에 연결했을 때 접점의 위치를 C_2 ($AC_2 = L_2$),

이 때 검류계 G 에 전류 흐르지 않으면 AC_2 사이의 전위차는 E 와

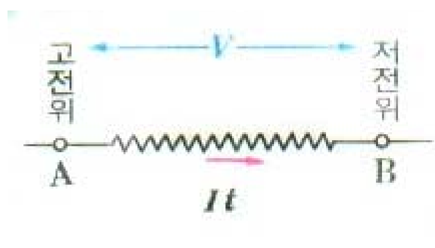
$$E = I \times \frac{Rl_2}{L} \cdots\cdots ②$$

같으므로

①②에서 $E = E_s \cdot \frac{l_2}{l_1}$ 가 되어 E_S , L_2 ,L_1 값에서 E 의 값을 구한다.

전기 에너지

흐르는 물이 물레방아를 돌리는 일을 할 수 있는 것과 같이 도선을 흐르는 전하, 즉 전류는 전동기를 돌리는 일을 할 수 있다.



[전기 에너지]

전위가 높은 곳에서 낮은 곳으로 전하가 이동할 때 전기장이

일을 하게 되고 이 일은 전기 에너지로 나타난다.

전위차가 V 인 두 점 사이에서 전하량 q 가 이동할 때 전기장이 전하에 하는 일은 W=qV(J)이다.
그림과 같이 도선 AB 의 저항이 R 일 때 A 점은 B 점보다 V 만큼 전위가 높고 시간 t 초 동안 전류 I 가 흐르면 도선의 단면을 지나간 전하량 q 는 q = It 이므로 전류가 하는 일, 즉 전기 에너지 W 는 다음과 같다.

$$W = qV = IVt = I^2Rt = \frac{V^2}{R}t(\mathrm{J})$$

이 일은 전류가 회로를 흐를 때 열로 전환되거나 모터를 돌리는 등의 일로 된다.

줄 열

니크롬선이나 텅스텐과 같이 저항이 큰 도선에 전류가 흐르면 열이 발생한다. 이것은 도선 내의 자유전자가 이동하면서 수 많은 원자들과 충돌하기 때문에 열이 발생하는 것이며 이 열을 줄열이라한다. 이것은 전기 에너지가 열에너지로 전환된 것이므로 저항 R 인 저항선에 전압 V 를 걸어 전류 I 가 t 초 동안 흘렀을 때 발생한 열량 Q 는 다음과 같다.

$$Q = IVt = I^2Rt = \frac{V^2}{R}t(\mathrm{J})$$

이것을 줄의 법칙(Joule's law)이라 한다.

● 열량의 단위를 J 에서 Cal 로 바꿀 때에는 열의 일당량 4.2 j/cal 를 사용하면 된다.

전 력

1. 전력

1 초 동안에 공급된 전기 에너지, 즉 전기 에너지의 일률을 전력(electric power)이라 한다. 따라서 전력 P 는

$$P = \frac{W}{t} = \frac{IVt}{t} = IV = I^2R = \frac{V^2}{R}(\mathrm{W})$$

이 된다. 전력의 단위는 와트(W)가 사용되며 1W 는 1V 의 전위차에서 1A 의 전류가 흐를 때의 전력(1 초에 1J 의 일)을 나타낸다.

2. 전력량

전력은 1 초 동안에 소비되는 전기 에너지를 말하므로 어느 기간에 사용한 전기 에너지의 총량은 (전력) × (시간)으로 나타낼 수 있다. 이 전기 에너지의 총량을 전력량이라 한다.

$$W = P\ t\ (J)$$

1) 1Wh : 1W 의 전력으로 1 시간 사용한 전력량을 말한다.

2) 1kWh : 1kW 의 전력으로 1 시간 사용한 전력량을 말한다.

3) 1kWh : 1000W × 3600s = 3.6×10^6J

저항과 전력의 비교

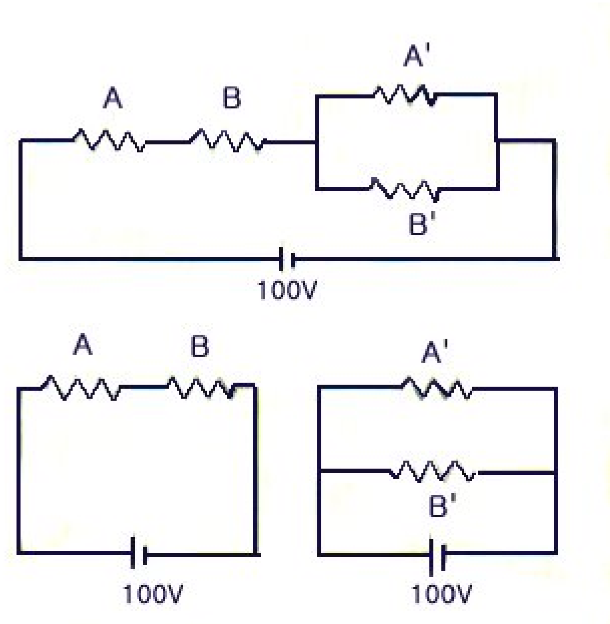
저항이 연결된 회로에서 에너지의 크기 비를 물을 때 (열량, 전력, 등) 전력의 크기를 비교하면 된다.

먼저 100V - 200W 전열기 식으로 주어지면 저항 R 을 구한다 ($P = V^2/R$)

1. 저항이 직렬 연결 : 전류 I 는 일정 $P = I^2R$ 에서 $P \propto R$

2. 저항이 병렬 연결 : 전압 V 는 일정 $P = V^2/R$ 에서 $P \propto 1/R$

● 두 개의 전열기가 있다. A 는 100V - 100W 용 , B 는 100V - 200W 용이면 A 의 저항 R_1 =100 Ω B 의 저항 R_2 = 50Ω 이 된다. 이들을 다음과 같이 연결할 때 소모되는 전력이 큰 순서로 나열하여라.



1. 두 개를 직렬, 다시 두 개를 병렬로 연결

병렬로 연결한 부분의 합성저항은 작은 값 (50 Ω)보다도 작다. 따라서 직렬연결로 생각하면 $P \propto R$ 이므로 직렬부분 - 병렬부분 순, 병렬부분에서는 V = 일정이므로 $P \propto 1/R$ 이므로

전력이 큰 순서는 A - B - B' - A'

2. 직렬과 병렬을 따로 따로 100V의 전원에 연결할 때

이 때에는 A'와 B'의 합성저항이 50Ω보다 작고 전압은 100V에 걸리지만 A와 B에는 저항이 50Ω보다 크고 각 저항에 100V보다 작은 전압이 걸리므로 $P = V^2/R$ 공식으로 비교하면 병렬부분 - 직렬부분의 순이 된다. 따라서 병렬 연결에서는 또 저항이 작은 것이 크고 ($P \propto 1/R$)직렬부분에서는 저항 큰 것이 크다 ($P \propto R$)

전력소모가 큰 순서로 배열하면 B' - A' - A - B

자석

철, 니켈, 크롬과 같은 금속을 끌어당기는 성질을 자성이라 하며, 자성을 띤 물체를 자석이라 한다.

1.자극

자석을 수평으로 매달았을 때 지구의 북쪽을 가리키는 극을 북극(N 극) 남쪽을 가리키는 극을 남극(S 극)이라 한다.

2.분자 자석

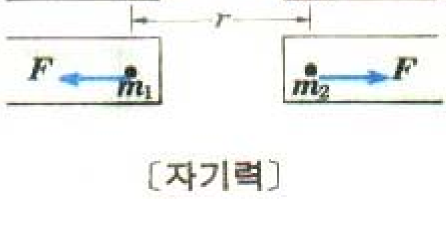
자석을 계속해서 잘라가면 최후에는 대단히 작은 단위 자석이 된다. 이와 같은 자석을 분자 자석이라 한다.

3.자기 유도

쇠못이나 철편에 자석을 가까이하면 쇠못이나 철편은 자석으로 되면서 자석에 달라붙는다. 이 때 자석에 가까운 쪽에는 자석과 반대 종류의 자극이, 먼 쪽에는 같은 종류의 자극이 생긴다. 이러한 현상을 자기 유도라 하며 정전기 유도와 유사한 현상이다. 또한 자속 가까이에서 철편이 자성을 띠는 것을 자화라고 한다.

자기력

자석의 극을 가까이하면 같은 종류의 극 사이에는 척력이 작용하고 다른 종류의 극 사이에는 인력이 작용한다. 자석의 이와 같은 힘을 자기력이라 하며, 자기력은 쿨롱의 법칙에 의해 구할 수 있다.



〔자기력〕

◎ 자기력에 의한 쿨롱의 법칙 : 두 자극 사이에 작용하는 자기력의 크기는 거리의 제곱에 반비례하고, 자극의 세기(자기량)에 비례한다.

오른쪽 그림과 같이 자기량 m_1, m_2인 자극이 거리 r만큼 떨어져 있을 때 자기력의 크기 F는

$$F = k\frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (k : \text{비례 상수})$$

여기서 자기량의 단위는 웨버(Wb)가 사용되고 비례 상수 k는 진공 중에서

$$k = \frac{1}{4\pi\mu_0} = \frac{10^7}{(4\pi)^2} \quad (\text{진공의 투자율} \quad \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \mathrm{N/A^2})$$

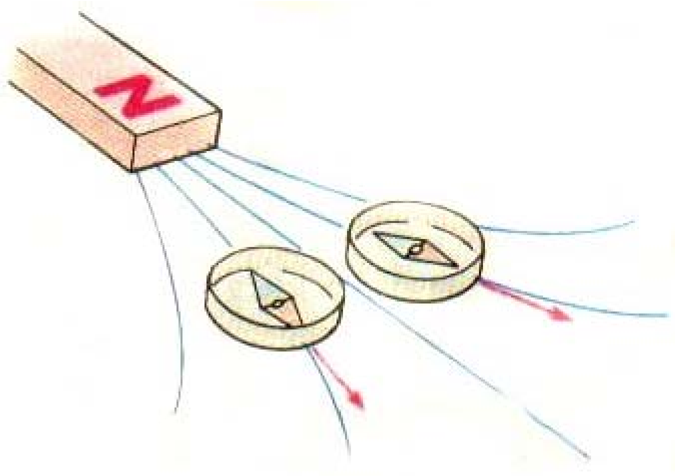
이 된다.

자기장

자석 근처에 나침반을 놓으면 자석으로부터 자기력을 받아 자침이 움직이면서 잠시후 일정한 방향을 가리킨다.

전하가 그 주위 공간에 전기장을 만들고 다른 전하에 전기력을 미치는 것과 마찬가지로 자석의 자극도 그 주위 공간에 있는 다른 자극에 자기력을 미치는 공간을 만든다고 생각할 수 있다

이와 같이 자기력이 미치는 공간을 자기장(MAGNETIC FIELD)이라 한다. 자기장은 벡터량이며 B로 표시한다.



[자기장]

◎ 자기장의 방향

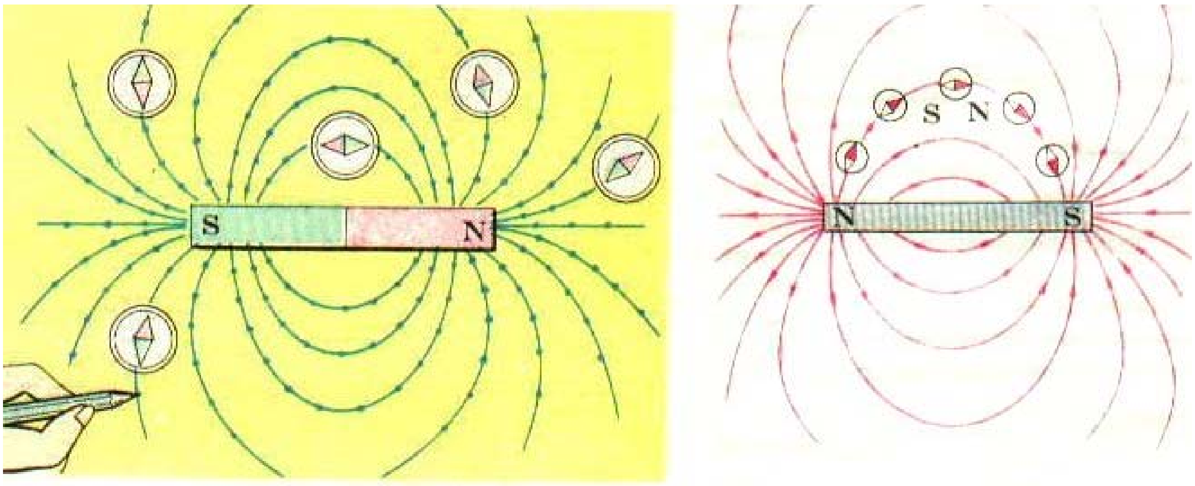
자기장의 방향은 N극에 작용하는 힘의 방향으로 정한다. 이는 전기장의 방향을 (+)전하가 받는 힘의 방향으로 정하는 방법과 같다. 또, 자기력선의 임의의 점에서의 접선은 그 점의 자기장의 방향과 일치한다.

자기력선

자기장 내에서 자침이 가리키는 방향을 따라 조금씩 이동해 가면 하나의 곡선이 그려진다. 이를 자기력선이라 한다.

1.자기력선의 방향은 N극에서 나와 S극으로 향하며 그 선상의 임의의 점에서의 접선의 방향이 그 점의 자기장의 방향과 일치한다.

2.자기력선은 도중에 끊어지거나 교차하지 않으며 자기력선의 밀도가 그 점에서의 자기장의 세기를 나타낸다. 즉, 자기력선이 밀할수록 자기장의 세기가 크다.



(a) 자기력선의 작도　　(b) 자기력선

[자기력선]

자속과 자속 밀도

1. 자속

자기장에 수직인 단면을 지나는 자기력선의 총 수를 자기력선속 또는 자속이라 한다. 자속은 ψ로 표시하고 단위는 자기량의 단위와 같은 웨버(Wb)를 사용한다.

2.자속 밀도

자기장에 수직한 단위 단면적($1m^2$)을 지나는 자속을 자속 밀도 또는 자기장 B라고 한다. 자속 밀도 B의 단위는 Wb/m^2이며 이것을 테슬라(T)라 한다.

즉, $1T = 1Wb/m^2$이다.

자속 밀도 B에 수직한 단면적 S를 지나는 자기력선의 총 수(자속) ψ는

$$\psi = B \times S$$

가 된다.

지자기

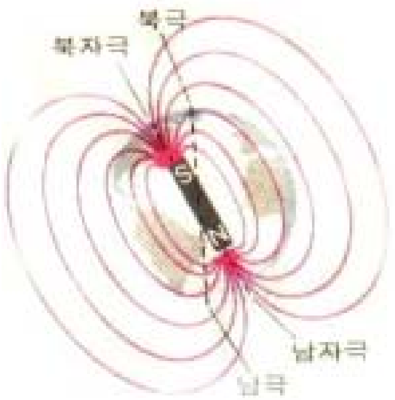
지상에서 나침반이 남북을 가리키는 것은, 지구가 한 개의 커다란 자석으로 되어 있기 때문이라고 생각할 수 있다. 이와 같이 지구를 커다란 자석이라 생각할 때 지구 주위에 형성되는 자기장을 지자기라 한다.

1.편각 : 지리학적인 자오면과의 각을 방위각 또는 편각이라 한다. 우리 나라는 서쪽으로 5 6° 기울어져 있다.

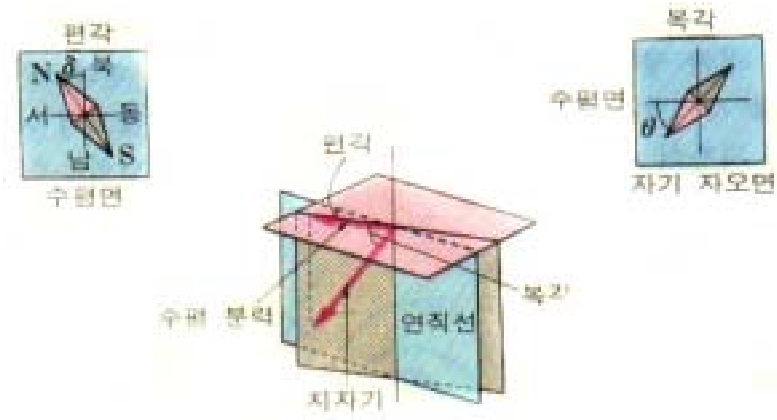
2.복각 : 자석의 중심을 실로 매달고 자유롭게 움직일 수 있도록 했을 때 자석의 수평면과의 경사를 복각 또는 경사각이라 한다.

3.수평 자력 : 지자기에 의한 어느 점의 자기자의 세기의 수평 방향의 분력을 수평 분력 또 는 수평 자력이라 한다.

$$H = \frac{H_0}{\cos\theta}$$



[지자기]



[지자기의 3 요소]

위의 방위각, 복각, 수평 자력을 지자기의 3요소라 하며 이 3요소는 지구 위의 한 지점의 자기장의 방향과 세기를 나타내는 데 쓰인다.

전류에 의한 자기장

자기장은 자석에 의해 생기지만 도선에 전류가 흐르면 그 주위에 자기장이 생긴다는 사실이 덴마크의 외르스테드(H.C. Oersted)에 의해 알게 되었다.

직선 전류에 의한 자기장

직선 도선에 전류가 흐르면 그 주위에는 도선을 중심으로 동심원을 이루는 모양의 자기장이 생긴다.

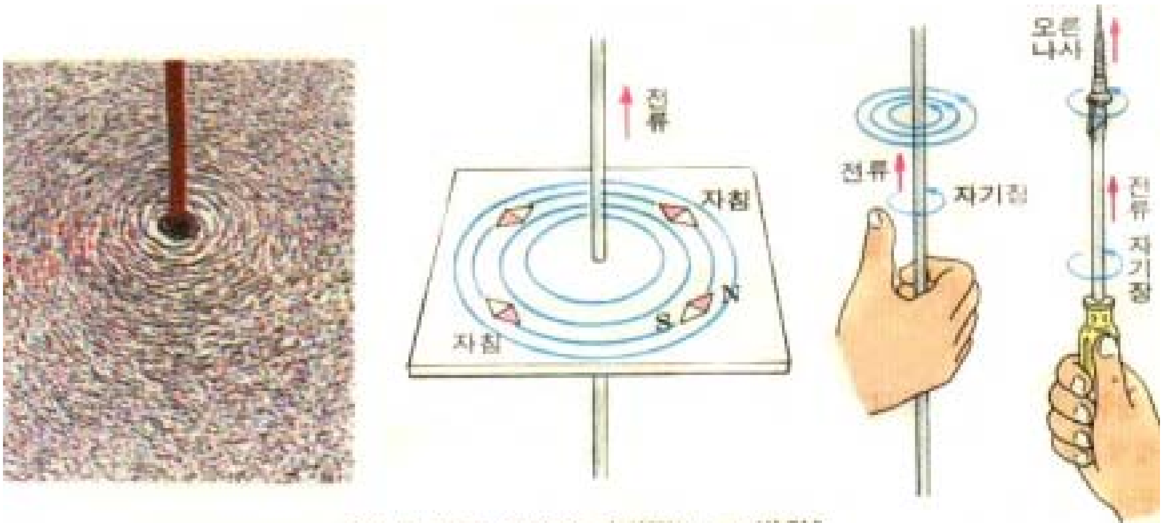
1.자기장의 방향

1) 오른 나사의 법칙(앙페르의 법칙)

직선 전류에 의한 자기장의 방향은 전류의 방향으로 오른 나사를 진행시킬 때 나사가 돌아가는 방향이다.

2) 오른손 법칙

오른손의 엄지손가락을 네 손가락과 수직으로 편 다음 전류의 방향으로 엄지손가락을 향하게 하고 나머지 네 손가락으로 도선을 감아 쥐었을 때 네 손가락이 감기는 방향(손가락 끝이 가리키는 방향)이 자기장 방향이다.



[직선 전류 주위의 자기장과 그 방향]

2. 자기장 B

긴 직선 도선에 전류가 흐를 때 주위에 생기는 자기장 B는 도선에 흐르는 전류의 세기 I에 비례하고 도선으로부터의 거리 r에 반비례한다.

$$B = k\frac{I}{r} = (2 \times 10^{-7})\frac{I}{r}(\mathrm{T})$$

자기장 B의 단위는 테슬라(tesla, 기호 T)가 사용된다.

$$1\,\mathrm{T} = 1\,\mathrm{Wb/m^2} = 1\,\mathrm{N/A \cdot m}$$

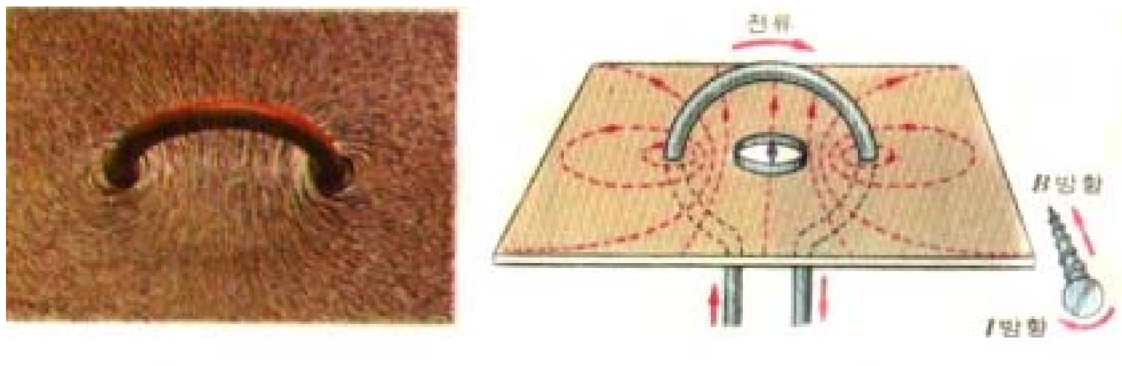
● 자기장 B의 C.G.S 단위계로는 가우스 (gauss.G) 가 있으며 1T = 10^4 G 이다.

원형 전류에 의한 자기장

원형의 도선에 전류가 흐르면 그림과 같이 도선을 중심으로 한 자기장이 생긴다.

1.자기장의 방향

원형 도선을 매우 짧은 도선들의 모임이라고 생각하면 각 도선에 흐르는 전류의 방향으로 직선 도선 주위의 자기장 방향을 찾는 것과 같이 구할 수 있다. 따라서 오른손 법칙에 의하여 자기장의 방향을 알 수 있다.



[원형 전류에서의 자기장 방향]

2.원형 전류 중심에서의 자기장 B

반지름 r의 원형 도선에 전류가 흐르고 있을 때 원형 중심에서의 자기장 방향은 엄지손가락을 전류의 방향으로 하여 굽어진 각 부분을 네 손가락 감아 쥘 때 손가락이 감기는 방향이다.

원형 전류 중심에서의 자기장 B는 전류 I에 비례하고 반지름 r에 반비례한다.

$$B = (2\pi \times 10^{-7})\frac{I}{r}(\mathrm{T})$$

또 같은 도선을 n번 두껍게 감았을 때 중심에서의 자기장 B는 n배가 된다.

솔레노이드

긴 원통에 원형의 도선을 여러 번 감은 것을 솔레노이드(solenoid)라고 하며 이는 원형 전류를 여러 개 겹쳐 놓은 것과 같은 효과를 낸다.

1. 자기장 모양

굵기에 비해 길이가 충분히 긴 솔레노이드에 전류를 흐르게 할 때 생기는 자기장은 막대 자석이 만드는 자기장과 같다.

1) 솔레노이드 내부

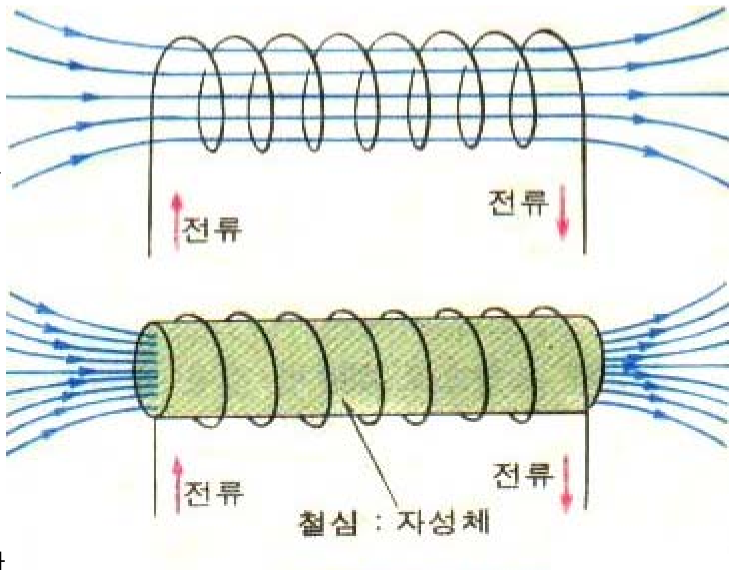
내부의 자기장 B는 균일하고 중심축에 평행한 방향의 자기장이 된다.

2) 솔레노이드 외부

길이와 굵기가 같은 막대 자석이 만드는 자기장과 비슷한 자기장을 만든다. 이 때 자기력선이 솔레노이드로 들어가는 쪽은 자석의 S극에 해당하고 자기력선이 나오는 쪽은 자석의 N극에 해당한다.

전자석

코일에 연철 막대를 넣어서 사용하는 경우가 흔히 있다. 철심은 약한 자기장의 작용으로 대단히 강한 자석이 되므로 솔레노이드에 전류를 흘리면 전류에 의한 자기장에 의해 철심은 자석이 된다.



[전자석의 자기장]

이 자석은 솔레노이드가 만드는 자기장과 같은 방향으로 자화되므로 철심의 자기장과 솔레노이드의 자기장이 합쳐져서 강한 자기장을 만든다.

이러한 물질을 강자성체라고 하며 철, 니켈 같은 금속이 여기에 속한다

솔레노이드 안에 철심을 넣은 것을 전자석이라 하고 전자석은 전류의 세기로 자기장을 조정할 수 있어 전자기기 등에 많이 사용된다.

전기장

1. 전 기 장

대전체 주위에 전하를 놓으면 전하는 대전체로부터 힘을 받는다. 즉, 어떤 공간에 전하량 Q 를 놓으면 주위 공간은 다른 전하에 전기력을 미칠 수 있는 공간으로 변한다. 이와 같이 전하를 가져가면 전기력을 미치게 하는 공간을 전기장(electric field)이라 한다.

● 힘을 미치게 하는 성질을 띤 공간을 장(field)이라 하고 중력이 작용하는 공간은 중력장,전기력,자기력이 작용하면 전기장,자기장이라 한다.

2. 전기장의 세기와 방향

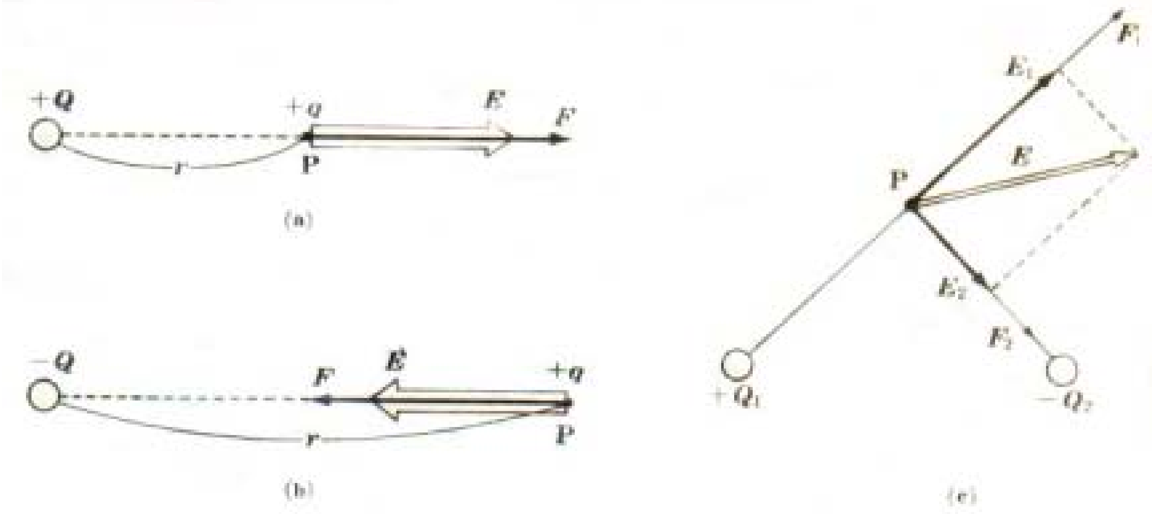
전기장 내의 한 점에 단위 양전하(+1C)를 놓았을 때 이 단위 (+)전하가 받는 전기력의 크기를 그 점의 전기장의 세기라 하고 이 힘의 방향을 전기장의 방향이라 한다. 전기장은 힘과 마찬가지로 그 크기와 방향을 같이 나타내야 하는 양이며 기호 E 로 표시한다.

전기장 내에 + q(C)인 전하를 놓았을 때 전하가 받는 힘을 F(N)이라면 전기장의 세기 E 는

$$E = \frac{F}{q}\,(\mathrm{N/C})$$

이고 그 단위는 N/C 이다.

따라서 전하 q 가 전기장 E 에서 받는 전기력 F 는 다음과 같이 된다.



[전기장의 세기]

F = qE(N)

① (+)전하 주위에서의 전기장의 방향은 그 전하에서 멀어진 쪽을 향하고 (-)전하 주위에서의 전기장의 방향은 (-)전하를 향한다.

② 그림의 (c)와 같이 두 전하 + Q_1 과 - Q_2 가 점 P 에 만드는 전기장은 각 전하가 따로 존재하면서 점 P 에 만드는 전기장 E_1, E_2 를 평행사변형법으로 합성한 것과 같다.

E = E1 + E2 (벡터합)

③ 점전하 주위의 전기장

작은 전하(점전하) q 에서 거리 r 만큼 떨어진 곳에서의 전기장 세기 E 는 쿨롱의 법칙에서 q` = 1C 이므로

$$E = \frac{F}{q'} = \frac{kq}{r^2}\,(\mathrm{N/C})$$

가 된다. 따라서 전기장의 세기는 거리의 제곱에 반비례한다.

전기력선

전기장의 상태는 전기력선으로 나타내면 전기장을 시각적으로 이해할 수 있어 편리하다. 즉, 전기장 내에 작은 (+)전하를 놓으면 그 전하가 받는 힘의 방향으로 조금씩 움직여 가는데 이와 같이 전기장 내에서 (+)전하가 이동해 가면서 그리는 직선이나 곡선을 전기력선이라 한다.

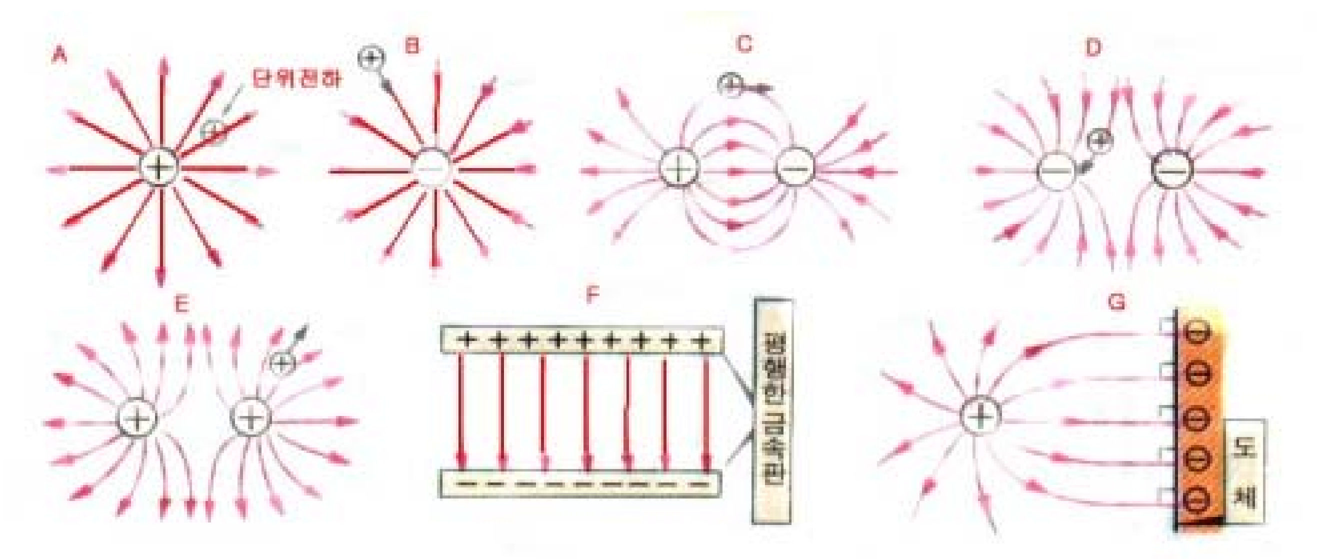
1. 전기력선은 (+)전하에서 시작하여 (-)전하 또는 무한원에서 끝난다.

2. 전기력선은 진행 도중 분리되거나 서로 교차하지 않는다.

3. 전기력선에 그은 접선 방향이 그 점에서의 전기장 방향이 된다.

4. 전기력선이 밀하게 나타나는 곳은 전기장의 세기가 큰 곳이고 전기력선 밀도가 소한 곳은 전기장이 약하다. 즉, 전기장 세기 E는 전기력선 밀도에 비례한다.

5. 전기장 세기 E인 점에서는 전기장 방향에 수직한 면을 지나는 전기력선을 1㎡당 E개의 비율로 그리는 것으로 정한다.



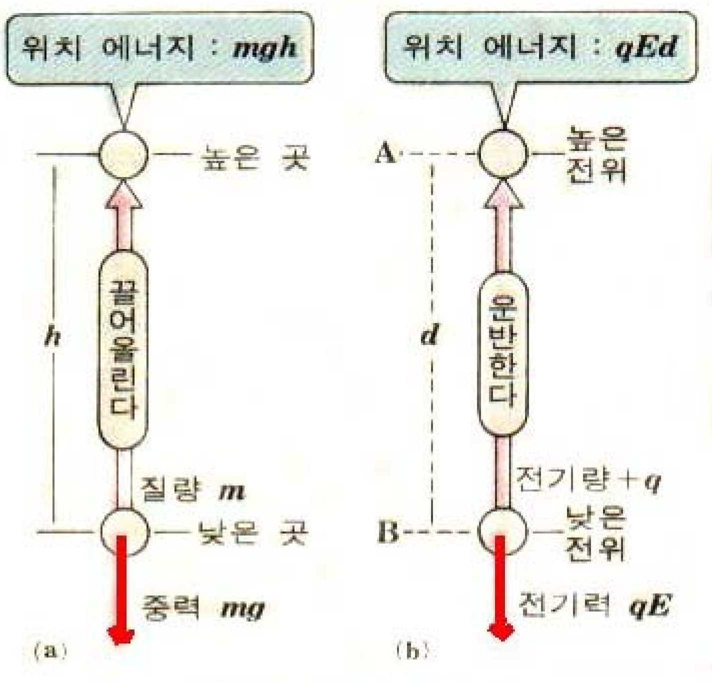
[전기력선의 모양]

전 위

1. 전 위

중력장에서는 낮은 곳에 있는 물체를 높이 h만큼 이동시키려면 중력에 대하여 일을 해주어야 한다.

이 때 해 준 일은 물체의 위치 에너지로 저장되고 다시 원래의 낮은



[위치 에너지와 전위]

곳으로 이동할 때 중력은 물체에 일을 하게 된다.

그림에서와 같이 전기장 내에서도 (+)전하를 전기장과 반대 방향으로 거리 d 만큼 이동시키려면 전기력에 거슬러서 일을 해 주어야 한다. 이 (+) 전하를 B 에서 A 까지 이동시킬 때 외부에서 한 일만큼(+) 전하는 A 점에서 전기력에 의한 위치 에너지를 갖게 된다. 즉, A 점은 B 점보다 전기적 위치 에너지가 높다.
전기장 내의 기준점으로부터 어떤 점까지 단위(+) 전하 (+ 1C)를 옮기는 데 필요한 일의 양을 그 점에서의 전위(electric potential)라 한다.

1) 전위의 기준점

전위의 기준점은 중력장에서와 같이 어느 점을 택하여도 상관없으나 기준점을 달리하면 각 점의 전위는 달라지게 된다. 그러나 두 점 사이의 전위차는 변하지 않는다.

이론상으로 대전체에서 무한히 떨어진 점의 전위를 0 이라 정하고 기준점으로 하지만 실용적으로 지표면의 전위를 0 으로 하여 기준점으로 정하는 경우가 많다.

2) + q 인 전하에서 거리 r 인 점까지 무한원(전위 0 인 곳)에서 + q'인 전하를 가져오는 데 필요한 일 W 는

$$W = \frac{kqq'}{r} (J)$$ 이 된다.

따라서 그 점에서의 전위 V_r는 다음과 같이 나타낸다.

$$V_r = \frac{W}{q'} = \frac{kq}{r} \quad (단위\ V)$$

3) 전위의 단위는 볼트(v)를 사용한다.

4) (+)대전체 근처로 갈수록 전위는 높고, (-)대전체로 갈수록 전위는 낮다.

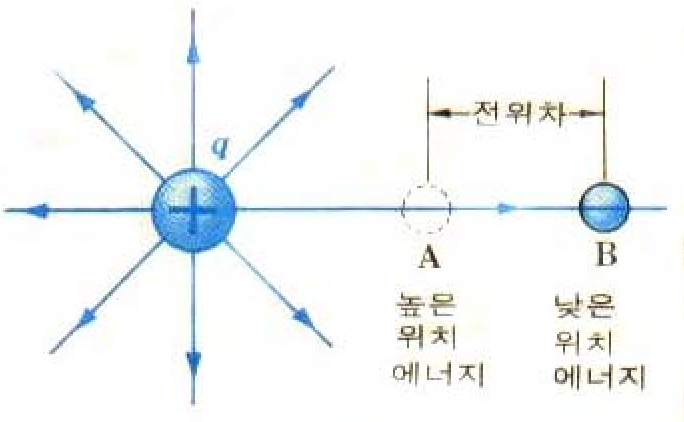
5) (+)대전체 주위의 전위는 (+)로, (-)대전체 주위의 전위는 (-)로 나타낸다.

6) (+)전하는 전위가 높은 곳에서 전위가 낮은 곳으로 이동한다.(전류의 방향)

2. 전 위 차(전압)

중력에 의한 위치 에너지가 위치에 따라 다른 것과 같이 전기적 위치 에너지도 위치에 따라 다르다.

그림과 같이 단위(+)전하를 B 점까지 가져오는 것보다는 A 점까지 가져오는 것이 더 많은 일을 필요로 하므로 A 점은 B 점보다 전위가 높다고 한다.



[전위차]

이 때 A 점과 B 점의 전위의 차이를 전위차 또는 전압이라 한다. (+)전하 q 를 B 점에서 A 까지 옮기는 데 필요한 일을 W 라고 하면 A 점과 B 점 사이의 전위차 V 는 다음과 같다.

$$V = \frac{W}{q}$$

1) 전위차(전압)의 단위

+ 1C 의 전하을 옮기는 데 1J 의 일이 필요할 때 두 점 사이의 전위차를 1 볼트(V)라 하고 전위차 또는 전압의 단위로 사용한다.

$$1V = 1J/C$$

2) 전위차 V 인 두점 사이에서 전하량 q 인 전하를 옮기는 데 필요한 일

전기장 내에서 전위차 V 인 두 점 사이에 놓인 + 1C 의 전하를 이동시키는 데는 V(J)의 일이 필요하다. 따라서 전위차 V 인 두 점 사이에서 전하량 q 를 이동시키는 데 필요한 일 W 는 다음과 같다.

$$W = qV(J)$$

3) 전기장 내에서 전하를 이동시킬 경우

(+)전하의 경우 전위가 낮은 곳에서 높은 곳으로 이동시키려면 전기장에 대하여 외부에서 일을 해 주어야 하는데 이 때 하여 준 일은 전하의 전기적 위치 에너지로 증가된다. 또 전위가 높은 곳에서 전위가 낮은 곳으로 이동시킬 때는 전기장이 w = qv 의 일을 해 주게 되는데 이것은 입자의 운동 에너지로 된다.

이때 물체의 속력이 0 으로부터 v 로 되었다면 다음의 관계가 성립된다.

$$1/2\ mv^2 = qv$$

또한 (+)전하의 경우에는 전위가 높은 곳에서 낮은 곳으로 스스로 이동하고 (-)전하의 경우에는 이와는 반대로 전위가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동할 때 외부에서 일을 해 주어야 한다.

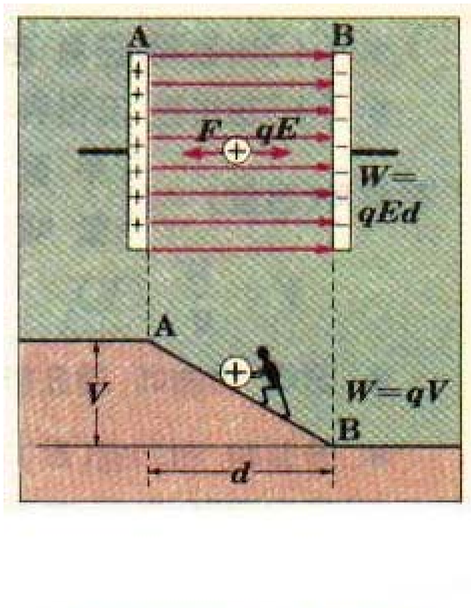
4) 전자 볼트(eV)

전자나 양성자 등과 같이 작은 전하를 옮기는 데 필요한 일의 단위로 J 은 너무 크기 때문에 전위차가 1V 인 두 점 사이에서 하나의 기본 전하(기호 e)를 옮기는 데 필요한 일을 1 전자 볼트(1eV)라고 하여 일 또는 에너지의 단위로 사용한다.

$$1eV = 1.6 \times 10^{-19}C \times 1V = 1.6 \times 10^{-19}J$$

균일한 전기장과 전위차

그림과 같이 평행 도체판 사이에 있는 전하는 균일한 전기장으로부터 일정한 크기의 전기력을 받는다.



〔균일한 전기장에서의 일〕

전기장 세기가 E 인 균일한 전기장에서(+)q 의 전하를 B 점에서 거리 d 만큼 떨어진 A 점으로 옮기는데 필요한 일 W 는

$$W = Fd = qEd$$

가 된다.

또 두 전극 사이의 전위차를 V 라고 하면 이 전위차에서 전하 q 를 옮기는 데 필요한 일 W 는 W = qV 이므로 두 식에서 전기장 E 와 전위차 V 의 관계는

$$V = Ed$$

가 된다. 따라서 전기장 세기 E 의 단위는 V/m(= N/C)로도 표시된다.

등전위면

그림과 같이 전기장 내에서 같은 점을 연결시켜 이은 선을 등전위선 또는 등전위면이라고 한다.

1. 등전위면을 위의 모든 점에서는 전위가 같으므로 전위차는 0 이다.(V = 0)

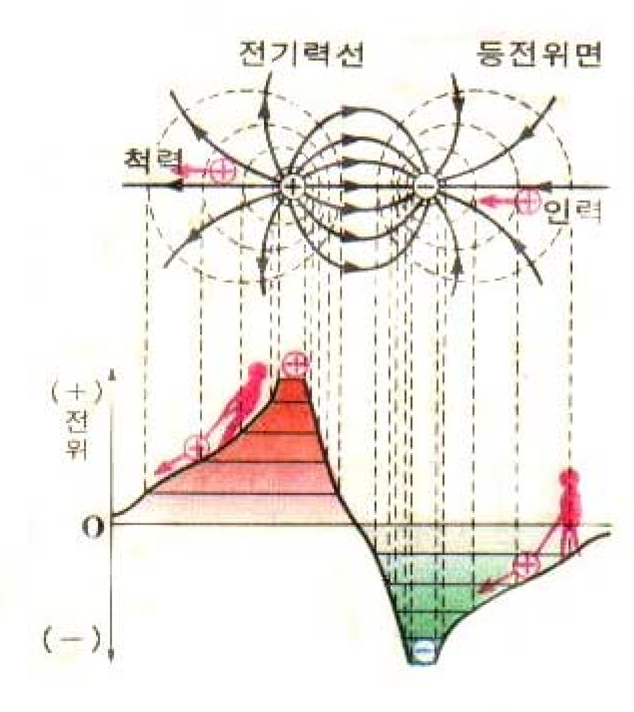
2. 등전위면을 따라 전하를 이동시킬 때는 V 가 0 이므로 일의 양도 0 이된다. (W = 0)

3. 전하가 전기장으로로부터 받는 힘의 방향은 등전위면에 대하여 수직한 방향이다.

4. 등전위면과 전기력선은 항상 서로 직교한다.

5. 등전위면을 밀하게 나타낸 곳은 전기장의 세기가 강하고 등전위면을 소하게 나타낸 곳은 전기장의 세기가 약하다.

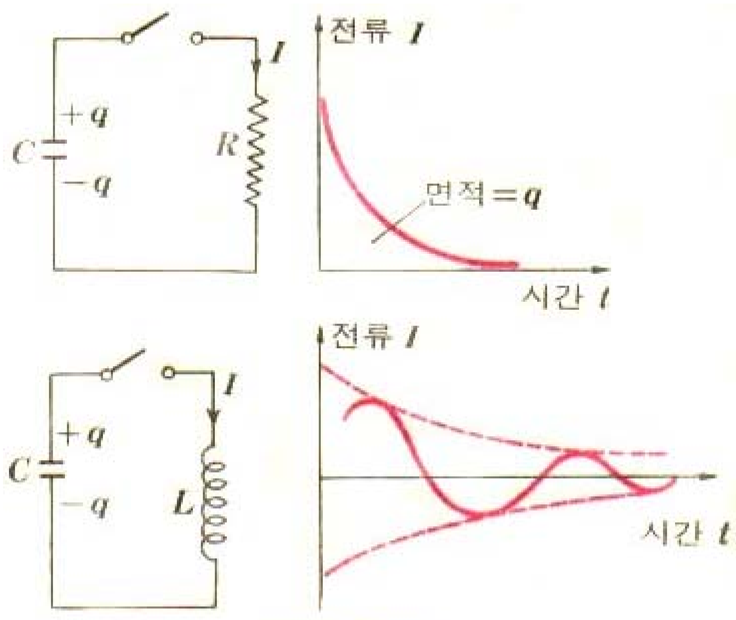
6. 도체 표면은 전기장 속에서 등전위면을 이룬다.



[전기력선과 등전위면]

전 기 진 동

1. 전기 진동
축전기 C 를 충전시켜 놓고
스위치를 닫아 저항선을 통하여
방전시키면 전기 에너지가
열에너지로 변환되고 전류는 점점
약해져서 0 이 된다.

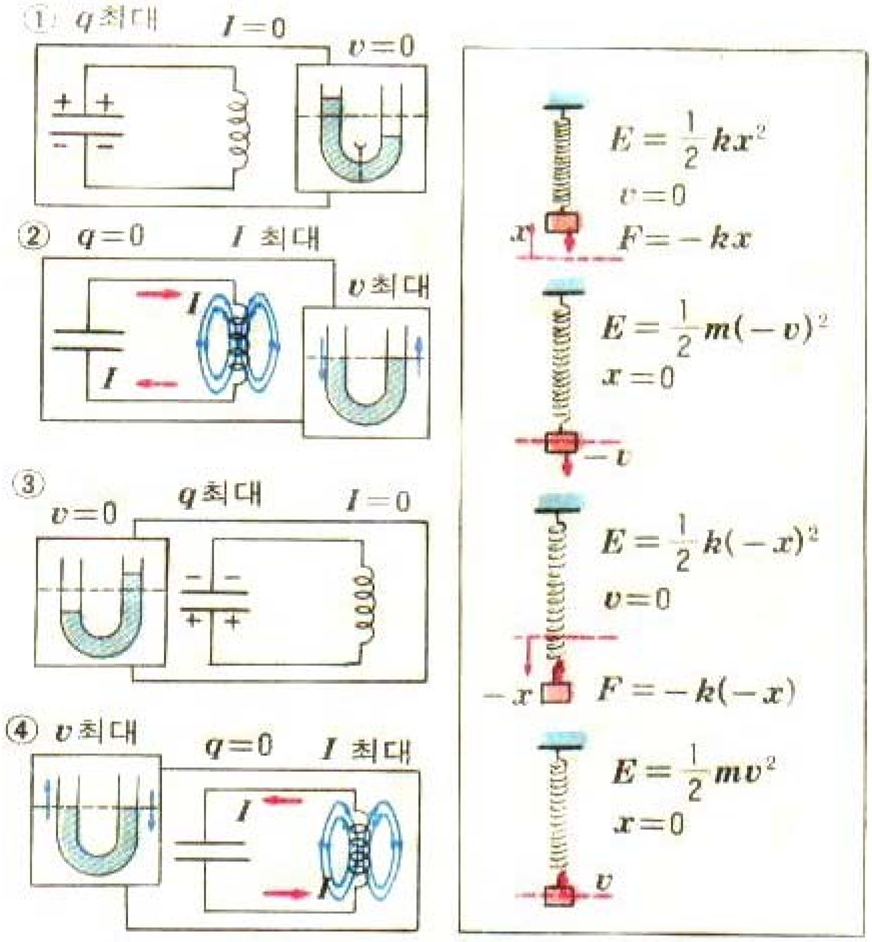


〔전기 진동〕

그러나 그림에서와 같이 코일 L 을
통하여 방전시키면 자체 유도에
의해 전하량 q 가 전부 방전되어 0
이 되어도 흐르던 전류를 계속
흐르게 하려 하기 때문에 역으로
충전되어 다시 반대 방향으로
전류가 흐르게 된다.

이와같이 L-C 회로충전과 방전이
반복되면서 회로에는 진동전류가
흐르게 되는데 이러한 현상을 전기
진동 (electricoscillation)이라 한다. 만일 전류가 흐르는 동안 외부로 에너지의 손실이 없다면
전류의 진폭이 항상 일정한 진동전류가 흐를 것이나 실제로는 줄열 등에 의해 감쇠진동 전류가
된다.

2. 진동회로의 고유 진동수



〔전기 진동과 용수철의 진동〕

L-C 회로에서 코일의 자체 유도 계수를 L, 축전기의 전기 용량을 C, 진동전류의 주파수(진동수)를 υ,L 과 C 양단 사이에서 나타나는 교류전압을 V 라고 하자.

이 때 코일을 흐르는 전류는 $I_L = V/\omega L = V/2\pi\nu L$ 이고

축전기에 흐르는 전류는 $I_C = \omega C V = 2\pi\nu CV$ 가 되지만 같은 회로를 흐르는 전류이므로 두 전류는 같다.

따라서 $I_L = I_C$ 이므로

$$\frac{V}{2\pi\nu L} = 2\pi\nu C V$$

$$\therefore\ 4\pi^2\nu^2 LC = 1$$

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\,(\mathrm{Hz})$$

υ를 이 회로의 고유 진동수(주파수) 라고 하고 진동의 주기를 T 라고 하면

$$T = 2\pi\sqrt{LC}\ (\mathrm{s})$$

3. 전기 진동의 에너지 변환

전기진동은 용수철에 의한 추의 단진동으로 바꾸어서 생각할 수 있다. 앞의 그림 ① 과 같이 처음의 축전기가 충전된 상태는 용수철이 압축되어 위치 에너지를 가지고 있는 것과 대응된다. 이하 ② - ④ 그림에서도 전기 진동과 추의 단진동은 각각 대응된다. 전기 진동의 에너지는 처음 축전기에 저장되었던 에너지가 전류로 되어 흘러 전압이 0, 전류가 최대로 될 때 이 에너지는 전부 코일속에 자기 에너지로 저장된다. 다음에 전류가 약해져 0 이 되고 전압이 최대로 될 때 이 에너지는 다시 축전기로 되돌아와 전기 에너지로 저장되며 이것이 되풀이 진행된다. 이와같이 축전기와 코일이 에너지를 주고 받고 하는 현상을 전기진동이라 한다.

〈표〉 용수철 진자와 전기 진동

용수철 진자		전기 진동	
변위	x	전하량	q
속도	$v = dx/dt$	전류	$I = dq/dt$
복원력	$F = -kx$	축전기 전압	$V = -\frac{1}{C}q$
질량	m	인덕턴스	L
운동 에너지	$\frac{1}{2}mv^2$	자기 에너지	$\frac{1}{2}LI^2$
위치 에너지	$\frac{1}{2}kx^2$	전기 에너지	$\frac{1}{2}\frac{1}{C}q^2$
주기	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$	주기	$T = 2\pi\sqrt{LC}$
역학적 에너지 보존		진동 회로의 에너지 보존	
$\frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}mv^2 =$ 일정		$\frac{1}{2}\frac{1}{C}q^2 + \frac{1}{2}LI^2 =$ 일정	

4. 전기공진

자체유도계수 L 인 코일, 전기 용량 C 인 축전기, 저항이 R 인 직렬회로에 주파수 υ의 교류전원을 연결하면 회로를 흐르는 전류 I 는

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (\omega = 2\pi\nu)$$

로 주어진다.

따라서,R=일정일 때 회로의 리액턴스 $X = \omega L - \frac{1}{WC}$ 이 0이 되면 전류 I는 최대가 된다. 이와같은 현상을 회로의 전기공진(electric resonance)이라 한다. 즉 진동 회로의 고유 진동수와 같은 진동수를 가진 에너지가 외부에서 주어지면 회로에 큰 진동전류가 흐르게 되며 이것을 전기공진이라 한다.

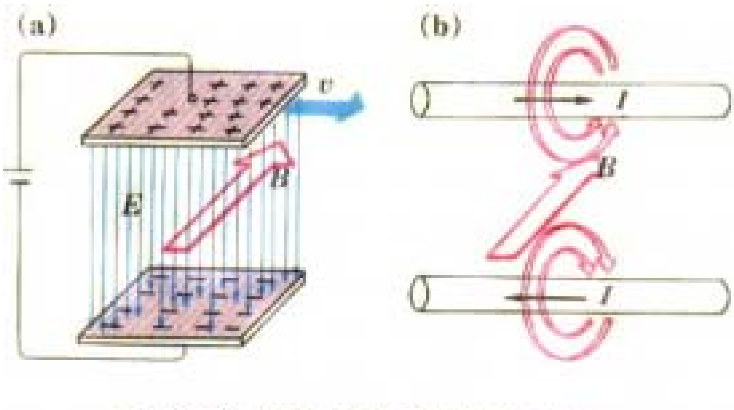
R-L-C의 직렬회로에서 L과 C사이에 $4\pi^2\nu^2LC = 1$ 의 관계가 성립되면 이 회로는 주파수 υ의 교류전원에 공진한다고 말하고 이러한 회로를 공진회로(동조회로)라고 한다.

전자기파

1. 전기장과 자기장의 변화

코일을 지나는 자력선속이 시간적으로 변하면 코일에는 전기장이 생겨 유도 전류가 흐른다는 것을 이미 배웠다.

즉, 자기장이 시간적으로 변하면 전기장이 생긴다고 할 수 있다. 또한 도선에 전류가 흐르면 도선 주위에 자기장이 생긴다는 것도 알고 있다.



[전기장이 변할 때의 자기장의 발생]

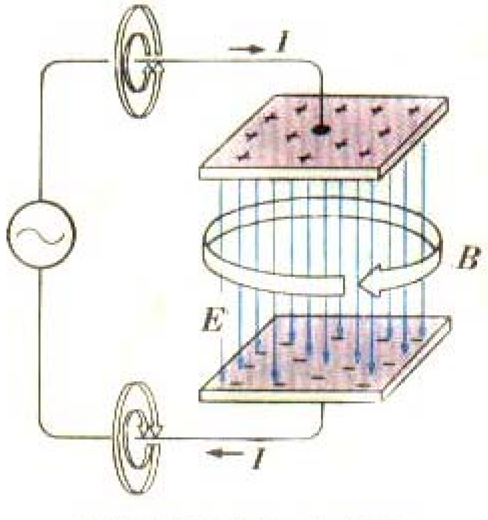
그림과 같이 (+),(-) 전하로 대전된 축전기판이 일정한 속도로 이동하면 이것은 마치 전류의 흐름과 같은 효과를 나타내 화살표 방향으로 자기장이 생긴다.

이와같은 사실은 전하의 이동인 전류의 입장에서가 아니라 축전기 양단에 생긴 전기장의 변화로 생각하여도 같은 해석이 되어야 한다. 즉, 전기장이 시간적으로 변하면 자기장이 생긴다고 할 수 있다.

2. 변위전류

그림과 같이 축전기를 교류 전원에 연결시키면 전압은 시시각각으로 변하므로 축전기속에 생기는 전기장도 시간적으로 변하여 자기장이 생긴다.

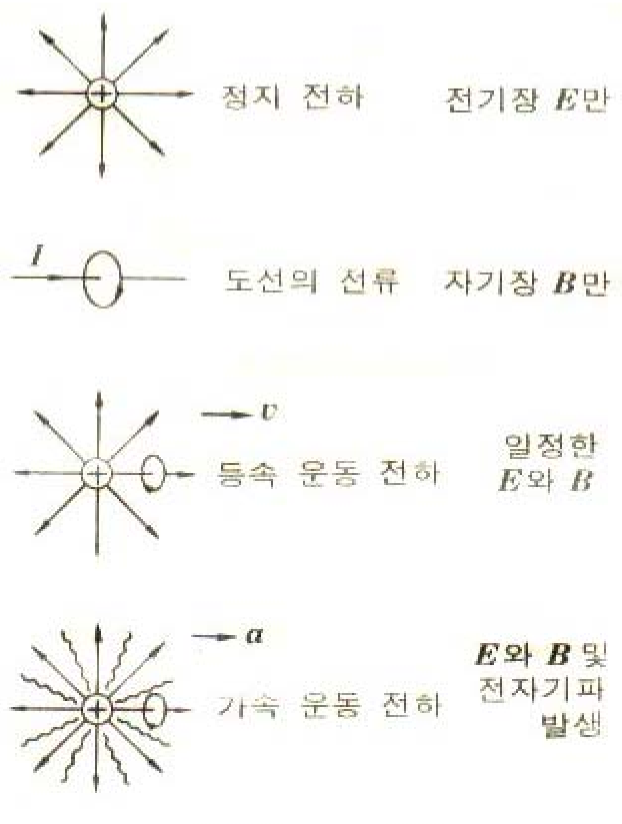
전류가 흐르는 도선의 주위에 자기장이 생기고 있으나 축전기속에도 도선에서 생기는 자기장과 같은 방향으로 자기장이 생기고 있기 때문에 축전기에도 도선에서와 같은 전류가 흘러 이에 의한 자기장이 생겼다고 볼 수 있다.



[변위 전류와 자기장]

이와 같이 자기장을 유도하는 전기장의 변화를 전류로 나타낼 때 이 전류를 도선에 흐르는 전류와 구분하여 변위전류(displacement curent)라고 한다.

3. 전자기파의 발생



[전자기파의 발생]

변하는 자기장은 그 공간에 전기장을 만들고 변하는 전기장은 그 공간에 자기장을 만든다는 것을 알았다.

그림에서와 같이 정지하고 있는 전하는 시간에 따라 일정한 전기장만을 만들고 도선에 흐르는 일정한 전류는 외부에 자기장만을 만든다. 그러나 등속도로 운동하고 있는 전하는 자기장 뿐만 아니라 전기장도 만드는데 이것은 시간에 따라 변하지 않는다.

그러나 가속운동을 하는 전하는 시간에 따라 변하는 전기장과 자기장을 동시에 만들게 된다.

즉, 전기 진동으로 자기장이 변하면 전기장이 생기고 , 또 전기장이 변하면 자기장이 발생하는 과정을 반복한다.

이것은 서로 원인이 되고 또 결과가 되어서 전기장과 자기장이 파동의 형태로 공간을 퍼져 나가는데 이와 같은 파동을 전자기파(electromagnetic wave)라고 한다.

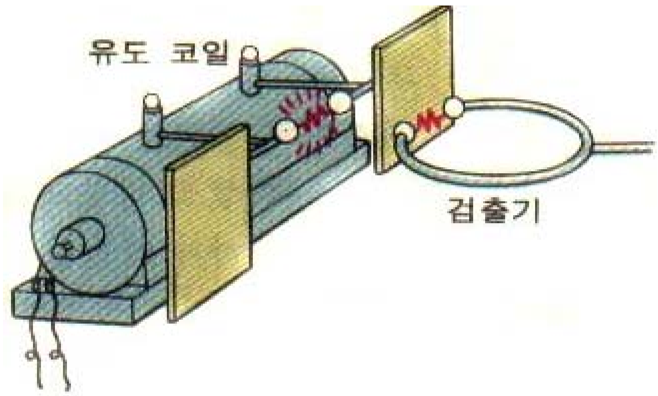
1) 전자기파 존재의 예언

1864 년 맥스웰(Maxwell)에 의해 예언되었으며 그의 이론에 의하면 가속 운동하는 전하는 전자기파를 발생시킨다. 이 때 전하를 가속시킬 때 전하에 일을 해 주어야 하며 이것이 전자기장에 에너지를 공급하는 것이 되며 이 에너지가 전자기파로 퍼져 나가는 것이다.

2) 전자기파의 존재 싏증

1888 년 헤르쯔(Hertz)는 유도 코일과 축전기로 만든 공진회로를 이용하여 전자기파의 존재를 확인하였다.

그림과 같이 유도 코일의 두 극에서 방전시키면 전자기파가 발생되고 검출기(공진기)를 유도 코일 근처로 가져가면 방향을 적당히 조절하면 유도 코일에서 방전이 일어날 때마다 검출기에서도 불꽃 방전현상이 일어난다.



〔헤르츠의 실험〕

이것은 검출기에서 공진현상을 일으킨 것이다.

4. 전자기파의 성질

1) 전자기파의 전파 : 전기장과 자기장은 서로 수직인 방향으로 나타나고 이들에 수직인 방향으로 진행한다.

2) 전자기파는 횡파이다.

3) 전자기파의 전파 속도는 광속과 같고 진공 속에서 C = 3×10^{8}m/s 이다.

4) 전기장 파동과 자기장 파동은 단독으로 존재할 수 없고 반드시 한 쌍으로 존재하며 그들의 진동면은 서로 수직이다.

5) 전자기파는 빛과 같이 반사, 굴절, 회절, 간섭을 하며 운동량과 에너지를 갖고 있다.

5. 빛의 전자기파설

맥스웰의 전자기 이론에 의하면 유전율 ε,투자율 μ인 매질에서 전자기파의 속도는 다음과 같이 주어진다.

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$$

진공의 유전율 $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} C^2/N\cdot m^2$, 진공의 투자율 $\mu_0 = 1.26 \times 10^{-6} N/A^2$
을 대입하면 진공에서 전자기파의 속도 C 는 다음과 같다.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} \fallingdotseq 3 \times 10^8 \ m/s$$

이것은 진공에서의 광속 C 와 같다. 굴절률을 전자기 이론에 의해 구해보면

$$n = c\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}$$

로 되며 이것은 실험적으로 얻은 값과 일치하므로 빛도 전자기파의 일종이다.

6. 전자기파의 스펙트럼

전자기파를 발생원인에 따라 크게 나누면 전파(전기진동), 열복사선(원자 또는 분자 상태의 변호), X 선(고속 전자와 물질의 원자와의 충돌) , γ선(원자핵의 상태의 변화)로 구분된다. 전자 공학적 방법으로는 진동수가 10^{12}Hz 정도인 전자기파만을 얻을 수 있고 진동수가 10^{20}Hz 이상인전자기파의 발생은 원자핵이 불안정한 상태에서 보다 안정한 상태로 되면서 방출되어 나오는 γ선의 형태로 얻을 수 있다.

[전자기파의 종류와 용도]

전 류

1. 전 류

전기장 내에 놓여 있는 대전 입자는 전기력에 의해서(+)대전 입자는 전위가 높은 곳에서 낮은 곳으로, (-)대전 입자는 전위가 낮은 곳에서 높은 곳으로 이동하게 된다. 이와 같이 대전 입자가 이동할 때에는 전하를 운반하게 되어 전하가 흐르게 된다. 이 때의 전하의 흐름을 전류라 한다.

① 전하의 운반체

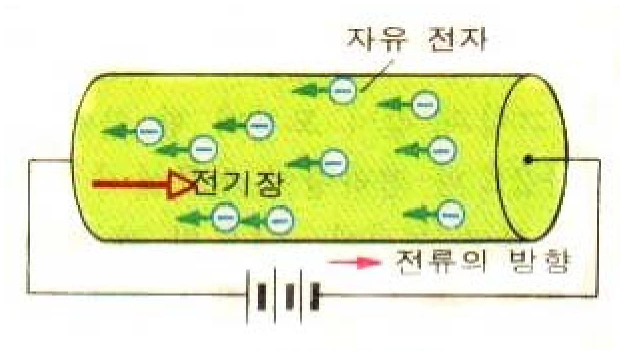
금속 도체 속에서 전류가 흐를 때에는 자유 전자의 이동으로 전하가 운반되고 진공 방전관의 경우에는 음극에서 방출된 전자의 이동이다.

또 전해질 수용액이나 네온관 같은 방전관에서는 양전하를 띤 입자(양이온)와 음전하를 띤 입자(음이온)가 전지의 반대 전극으로 이동하면서 전하를 운반한다.

② 전류가 흐르는 도선 속에는 전기장이 형성되고 두 점 사이에 전위차가 있다.

2. 전류의 방향

도체 내에 전기장이 생기면 어떤 전자 하나가 한쪽 끝에서 다른 쪽 끝까지 직접이동하여 가는 것이 아니고 한 전자가 전기장에 의하여 힘을 받아 가속되면 다른 원자들과 충돌하여 감속되나 평균적으로 일정한 속도로 이동한다. 전류의 방향은 관례상 (+) 전하가 흐르는 방향으로 정한다. 그러나 도체 내에서는 자유 전자가 흐르고 있으므로 전류의 방향은 자유 전자가 이동하는 방향과 반대가 된다.



〔전류의 방향〕

전기 저항과 옴의 법칙

1. 전기 저항

도체에 흐르는 전류는 자유 전자의 흐름이며 전자들은 도체 속을 운동하면서 원자와 수 많은 충돌을 하게 되어 운동에 방해를 받는다. 이 때 도체에는 열이 발생하며 전류의 세기도 약해진다.

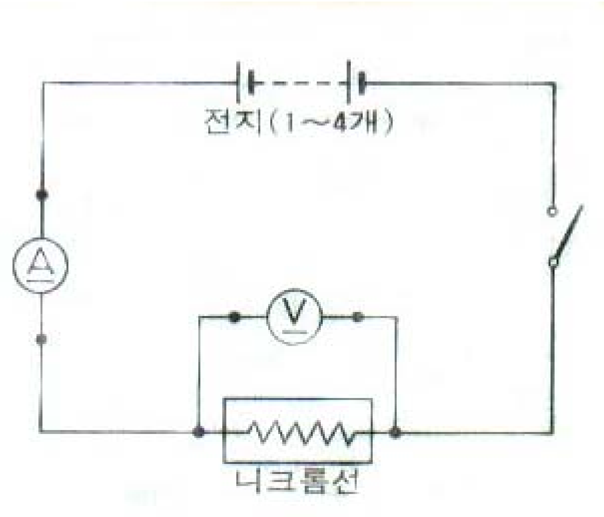
이와 같이 전류의 흐름을 방해하는 것을 전기 저항 또는 저항이라 한다.

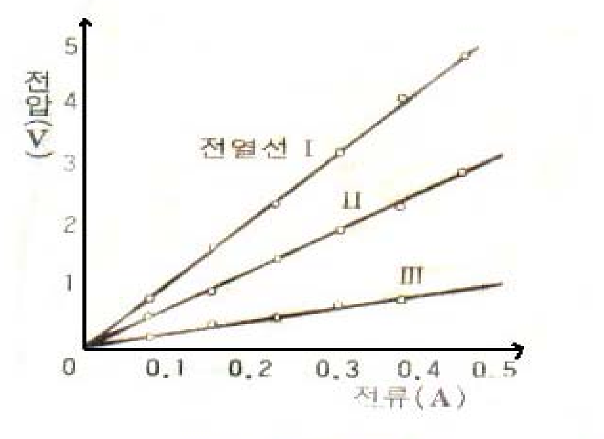
2. 옴의 법칙

그림과 같은 장치로 전압 V를 변화시키면서 전류 I 를 측정하면 도선에 흐르는 전류의 세기 I 는 도선 양단의 전위차 V에 비례하고 저항 R에 반비례함을 알 수 있다.

$$V = IR$$

이 관계를 옴(G.S. Ohm)의 법칙이라고 한다.





[전압-전류 그래프]

① (V - I) 관계 그래프에서 직선 기울기는 저항 R이다.

② 저항이 커지면 도선에 흐르는 전류의세기가 작아진다.

③ 온도 변화가 크지 않은 범위에서의 저항은 거의 일정하다.

3.전기 저항의 단위

저항의 단위는 옴(Ω)을 사용한다. 도선 양단에 1V의 전압을 걸었을 때 1A의 전류가 흐르는 도선의 전기 저항을 1Ω이라 한다.

4.온도에 의한 저항의 변화

도체의 온도가 높아지면 물질 속의 원자들의 진동이 활발하게 되어 전자와 원자와의 충돌 횟수가 증가하여 저항이 커진다.
어떤 도체의 0°C때의 전기 저항을 R_0, t°C일 때의 전기 저항을 R 라 하면

$$R= R_0(1 + \alpha t)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 α를 전기 저항의 온도 계수라고 한다.

① 순수한 금속의 α값은 약 1/273 이며 기체의 부피 팽창 계수와 같다.

② 저항 온도계

온도 계수를 알고 있는 물질을 이용하여 전기 저항을 측정하면 온도를 측정할 수 있다.

③ 초전도 현상

0K(- 273°C)보다 약간 높은 온도에서 전기 저항이 0 이 되는 초전도 현상이 발견되었으며 이러한 성질을 나타내는 물질을 초전도체라고 한다.

④ 도체의 경우 온도가 높아지면 저항이 커지고 반도체, 부도체의 경우 온도가 높아지면 저항이 작아지는 경우가 많다.

비 저 항

도선의 전기 저항 R 는 도선의 길이 L 에 비례하고 그 단면적 S 에 반비례한다.

$$R = \rho \frac{l}{S} (\Omega)$$

여기서 비례 상수 ρ는 물질의 종류에 따라 정해지는 값으로 비저항이라 하고 그 단위는 Ω· ㎙ 이다.
비저항은 길이 1㎙, 단면적 1㎡인 물질의 저항값이다.

〈표〉 여러 가지 물질의 비저항

물질		비저항(Ω·m)	물질		비저항(Ω·m)
도체	은	1.62×10^{-8}	반도체	게르마늄(순)	0.50
	구리	1.69×10^{-8}		게르마늄(불순)	$10^{-4} \sim 10^{-5}$
	알루미늄	2.75×10^{-8}		규소(순)	2.3×10^{3}
	텅스텐	5.51×10^{-8}	부도체	유리	$10^{10} \sim 10^{14}$
	니크롬	1.09×10^{-6}		에보나이트	$10^{13} \sim 10^{15}$
	탄소	3.50×10^{-5}		고무	$10^{13} \sim 10^{14}$

전압 강하

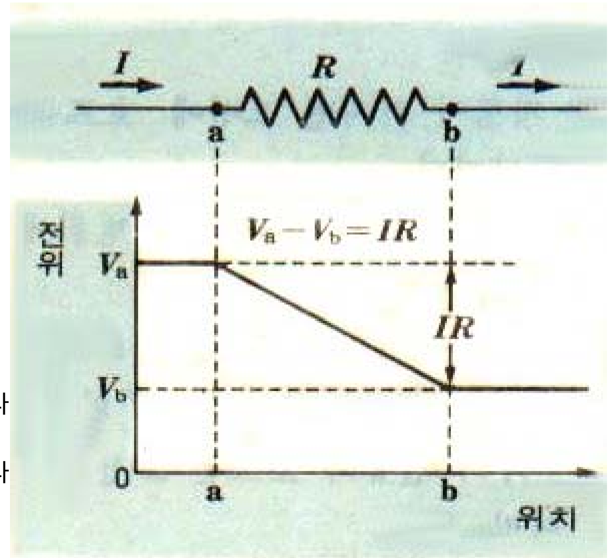
그림과 같이 저항 R 의 도선에서 a 점에서 b 점으로 전류가 I 흐르면 a 점의 전위가 b 점의 전위보다 높다.

즉, 전류는 항상 전위가 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐른다. 따라서 b 점의 전위가 a 점의 전위보다 IR 만큼 낮아진다.

저항 R 에 전류 I 가 흐를 때 IR 만큼 전위가 낮아지는 것을 저항에 의한 전압 강하라고 한다

전압 강하는 저항 R 의 양단에 걸린 전압과 같다

전압 강하 V = IR



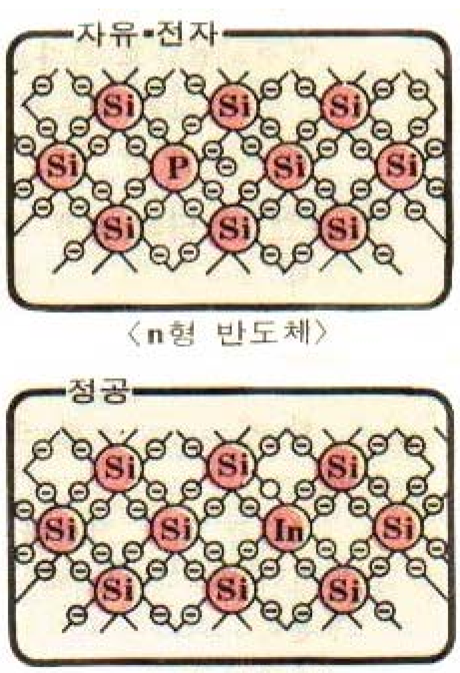
〔저항에 의한 전압 강하〕

반 도 체

순수한 규소(Si)나 게르마늄(Ge)은 부도체보다 전기 저항이 작으므로 어느 정도 약한 전기는 통한다. 그러나 금속과 같은 도체보다는 저항이 매우 크기 때문에 전류의 세기는 작다.

즉, 도체에 비하여 매우 작은 수의 자유 전자를 포함하고 있는 이와 같은 물질을 반도체라고 한다.

반도체에 인(P)이나 안티몬(Sb), 인듐(In), 알루미늄(Al) 등의 불순물을 조금 넣으면 순수한 반도체보다 전기를 잘 통하게 된다. 이것을 불순물 반도체라고 한다.



〈p형 반도체〉

〔반도체의 모형〕

1.n 형 반도체

규소나 게르마늄은 4 가의 원소이며 이 속에 불순물로 5 가인 인, 안티몬 등을 혼합하면 원자간의 결합 후 여분의 전자가 생긴다. 이 때 남는 전자는 자유 전자처럼 자유롭게 이동 할 수 있게 된다.전압을 걸면 이 여분의 전자들이 움직이면서 전류가 흐르게 된다. 이러한 반도체를 n 형

반도체라고 한다. (n 은 negative(-)의 앞머릿자를 딴 것이다.)

2. p 형 반도체

규소나 게르마늄에 불순물로서 3 가의 인듐, 알루미늄 등을 혼합하면 전자가 부족해져 전자가 들어갈 자리에 빈 구멍이 생기며 이 구멍은 겉보기에 (+)전하를 갖는 구멍과 같다. 따라서 이 구멍을 정공 또는 홀(hole)이라 하고 이 결정체에 전압을 가하면 전자가 인접한 정공을 메우게 되고 전자의 자리가 정공이 된다. 이와 같이 계속 전자가 메우게 되면 정공은 전기장 방향으로 이동해 가는 것이 되며 전류가 흐르게 된다.

이와 같이 정공이 이동해 감으로써 전류를 흐르게 하는 반도체를 p 형 반도체라고 한다.(p 는 positive(+)의 앞머릿자를 딴 것이다.)

3. 반도체의 이용

1) 반도체 다이오드의 정류작용

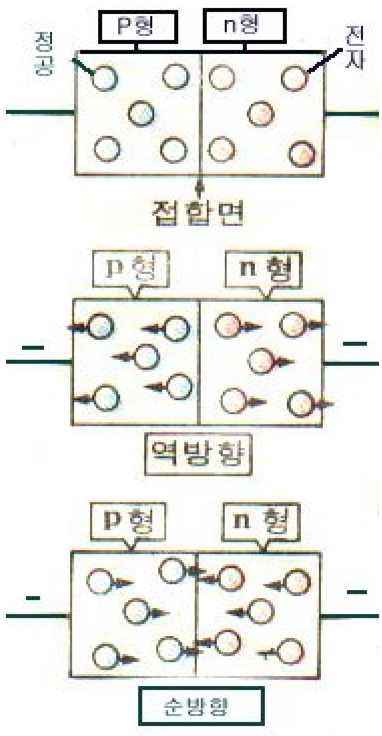
p 형 반도체와 n 형 반도체를 그림과 같이 접합한 것을 p-n 접합이라 하고 그 양단에 전원을 연결한 것이 반도체 다이오드이다.

① 역방향

반도체 다이오드의 p 형이 (-),n 형이 (+) 되게 전압을 걸면 p 형의 정공은 (-)극으로 끌리고 n 형의 전자는 (+)극으로 끌려 p 형과 n 형의 접합부분에 전기를 운반하는 것이 남아 있지 않게 된다.
따라서 전류가 흐르지 않는다. 이 경우를 역방향으로 연결되었다고 한다.

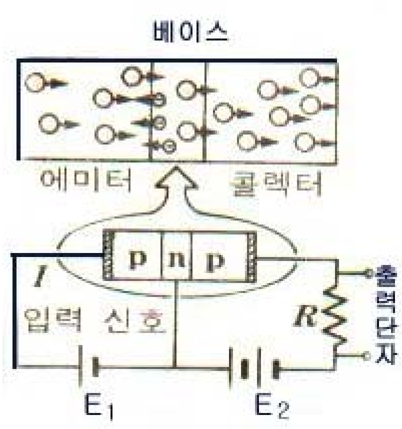
② 순방향

p 형이 (+),n 형이 (-)로 되도록 전압을 걸면 p 형 부분의 정공과 n 형 부분의 전자는 접합면을 통하여 반대쪽 영역으로 나아간다. 각 영역에서는 정공과 전자와의 결합이 일어나도 p 형의 전극에서는 정공이 n 형의 전극에서는 전자가 계속 공급되기 때문에 전류는 계속 흐르게 된다. 이 경우를 순방향으로 연결되었다고 한다.
이와같이 반도체 다이오드는 p 형에서 n 형으로 향할 때만 전류를 흐르게 하는 정류작용을 할 수 있다.



[반도체 다이오드]

2) 트랜지스터의 증폭작용



[p-n-p 형 트랜지스터]

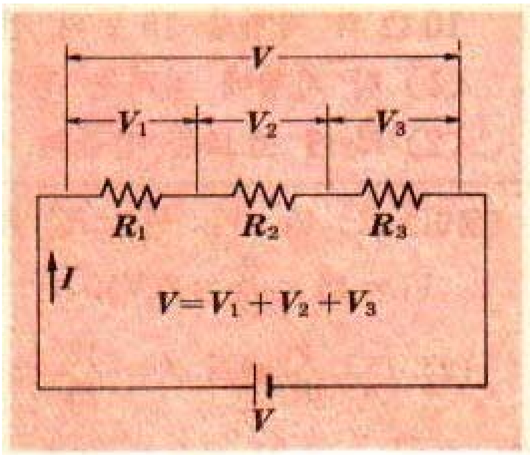
그림과 같이 2 개의 p 형 반도체 사이에 얇은 n 형 반도체를 삽입한 것을 p-n-p 형 트랜지스터 ,2 개의 n 형 반도체 사이에 얇은 p 형 반도체를 삽입한 것을 n-p-n 형 트랜지스터라고 한다.

한 예로 p-n-p 형 트랜지스터의 증폭작용을 알아 보자

그림과 같이 전지와 단자를 연결할 때 각각의 부분을 이미터(emitter),베이스(base),콜렉터(collecter)라고 부른다. 콜렉터와 베이스 사이는 베이스가 (+)가 되도록 전압이 전지 E_2에 의해서 가해진다. 이것은 역방향이므로 전류가 거의 흐르지 않는다. 그러나 이미터와 베이스 사이에 이미터가 (+)로 되도록 전지 E_1을 사용하여 전압을 가하면 이것은 순방향이므로 정공이 이미터에서 베이스로 흐른다. 또 베이스가 매우 얇고 이미터에 비해 콜렉터의 전위가 낮기 때문에 이 정공은 베이스를 통하여 콜렉터로 흐르게 되어 콜렉터의 전류가 된다. 이미터에서 베이스로 흐르는 베이스 전류가 조금 변하여도 콜렉터 전류는 크게 변한다. 따라서 그림과 같이 이미터와 베이스 사이에 들어오는 입력 신호는 크게 증폭되어서 콜렉터와 베이스 사이에 연결된 출력단자로 나타난다. 이것을 트랜지스터의 전류 증폭작용이라 한다.

전기 저항의 연결

1. 저항의 직렬 연결



[직렬 연결]

그림과 같이 세 개의 저항 R_1, R_2, R_3를 차례로 연결하는 방법을 직렬 연결이라 한다.

① 각 저항에 흐르는 전류 세기 I 는 일정하다.

② 각 저항에 걸리는 전압 V_1, V_2, V_3의 합은 전지의 전압 V 와 같다.

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

③ 각 저항에 걸리는 전압은 저항에 비례($V \propto R$)하고 옴의 법칙에서

$V_1 = IR_1$, $V_2 = IR_2$, $V_3 = IR_3$

④ 각 저항에서 전압 강하는 전체 전압(전위차)과 같으므로

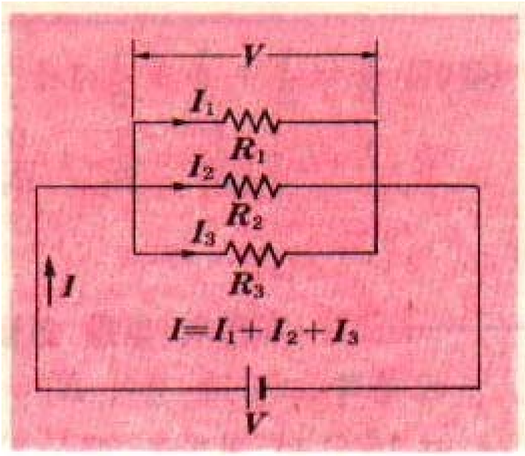
$$V = V_1 + V_2 + V_3 = I(V_1 + V_2 + V_3) = IR$$

⑤ 저항을 직렬로 연결하였을 때 전체 합성 저항 R는 각 저항의 합과 같다.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots\cdots$$

2. 저항의 병렬 연결

그림과 같이 전체를 흐르는 전류 I가 한 점에서 여러 갈래로 나누어져 각 저항 R_1, R_2, R_3…를 각각 I_1, I_2, I_3…의 전류가 흐르도록 연결한 것이 병렬 연결이다.



[병렬 연결]

① 각 저항 양단에 걸리는 전압 V는 일정하다.

② 각 저항에 흐르는 전류 I_1, I_2, I_3의 합은 회로에 흐르는 전체 전류 I와 같다.

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

③ 각 저항선에 흐르는 전류 I는 저항 R에 반비례한다.

$$\left(V = \text{일정},\ I \propto \frac{1}{R}\right)$$

$$I_1 = \frac{V}{R_1},\quad I_2 = \frac{V}{R_2},\quad I_3 = \frac{V}{R_3}$$

④ 합성 저항을 R라고 하면

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) = \frac{V}{R} \text{에서},\quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

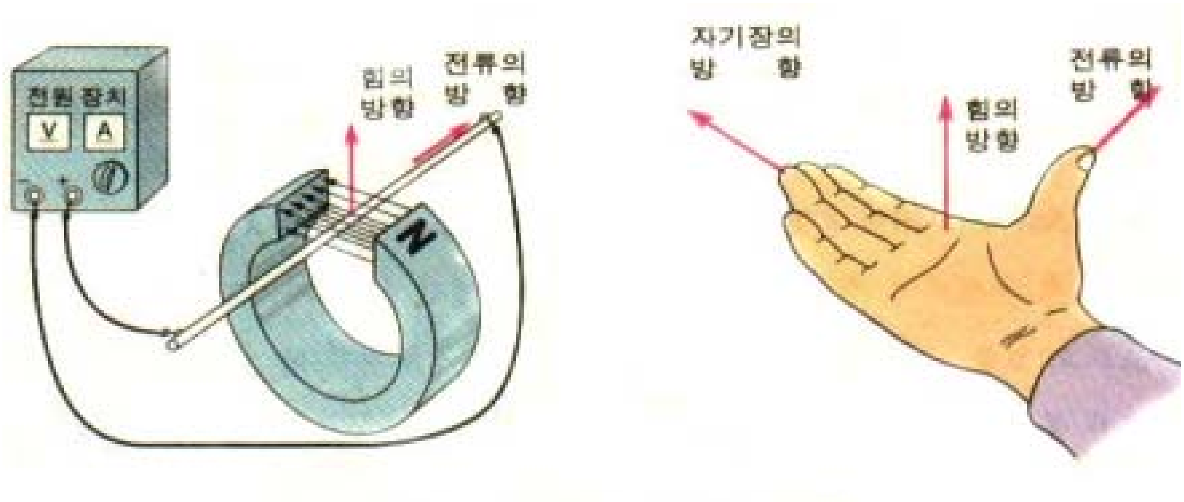
자기장 속에서 전류가 받는 힘(전자기력)

1.전자기력

도선에 전류가 흐르면 도선 주위에 자기장이 생긴다. 따라서 전류가 흐르는 도선 주위에 자침이나 가벼운 자석을 놓으면 힘을 받게 된다. 이 현상은 두 자석 사이에서 서로 끌어당기거나 밀어내는 자기력과 같은 현상으로 설명할 수 있다.전류가 흐르는 도선은 자석과 같이 생각되어 다른 자기장으로부터 힘을 받게 된다. 이와 같이 자기장 속에서 전류가 흐르는 도선이 받는 힘을 전자기력이라 한다.

2.전자기력의 방향

전자기력의 방향은 도선에 흐르는 전류의 방향이나 자기장의 방향에 따라 달라진다. 그림과 같이 오른손의 엄지손가락과 다른 네 손가락을 직각이 되도록 펴고 엄지손가락이 전류의 방향을, 다른 네 손가락은 자기장의 방향을 가리키도록 하면 손바닥이 내다 보이는 방향이 전류가 받는 힘의 방향이 된다.



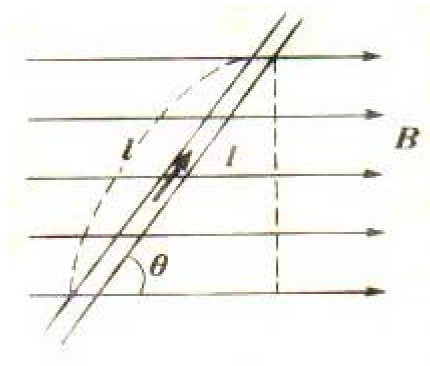
[전류가 자기장에서 받는 힘의 방향]

3.전자기력의 크기

정확한 실험에 의하면 자기장의 방향에 수직으로 놓인 도선에 전류가 흐를 때 받는 전자기력 F는 자기장 B, 전류의 세기 I, 그리고 자기장 속에 놓인 도선의 길이 l에 비례한다. 여기서 힘의 단위를 N, 자기장의 단위를 T, 길이의 단위를 m, 전류의 단위를 A로 쓰면 전자기력 F는

$$F = BIL$$

로 되고 직각을



[자기장과 각 θ 이룰 때]

이 식은 도선의 방향(전류의 방향)과 자기장의 방향이 이루는 경우를나타낸 것이다.

① 서로

전자기력의 크기는 자기장의 방향과 전류의 방향이 수직일 때 최대이며 평행일 때는 0이다.

② 자기장에 된다.

전류의 방향과 자기장이 이루는 각이 θ일 때에는 수직한 성분의 도선의 길이가 받는 힘을 생각하면

$$F = BIL\sin\theta (N)$$

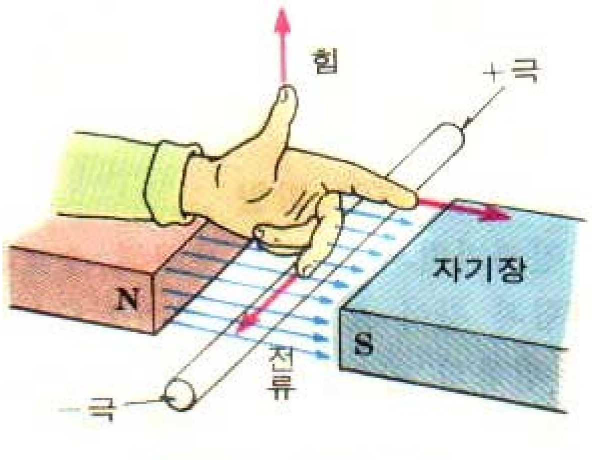
따라서 자기장 B의 방향과 전류 I가 이루는 각이 감소함에 따라 전자기력 F의 크기도 작아지게 되고 두 방향이 일치(서로 평행)하면 전류는 자기장으로부터 힘을 받지 않는다.

4. 플레밍의 왼손법칙

전자기력의 방향을 정하는 방법으로 플레밍의 왼손법칙이 있다.

그림과 같이 왼손의 엄지, 둘째, 셋째 손가락을 서로 직각이 되게 펴서 전류의 방향을 셋째 손가락에 자기장의 방향을 둘째 손가락에 맞추면 엄지 손가락이 가리키는 방향이 전류가 받는 힘의 방향이 된다.

이러한 관계를 플레밍의 왼손법칙이라 한다.

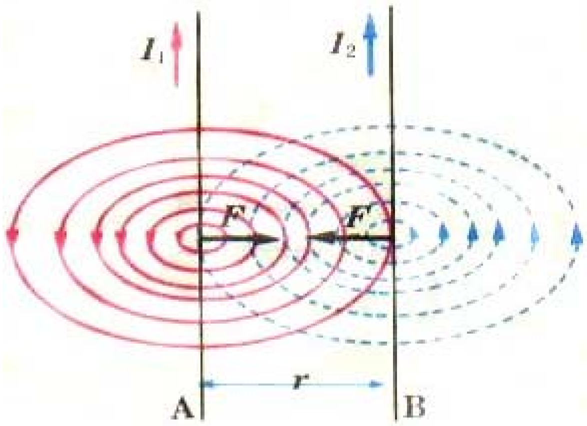


[플레밍의 왼손 법칙]

평행한 두 직선 전류 사이의 힘

1.평행한 두 직선 전류 사이의 힘의 크기

두 평행한 직선 도선에 전류가 흐를 때 첫 번째 도선에 흐르는 전류 I_1이 자기장을 형성하면, 그 자기장 속에 놓여 있는 두 번째 직선 도선을 따라 흐르는 I_2가 힘을 받게 된다고 가정하면 이해하기 편리하다.
그림과 같이 두 개의 나란한 도선 A,B에 같는 방향으로 전류가 흐르면 도선 B는 I_1에 의한 자기장 속에 놓여 있는 도선이 되므로 오른손으로 전자기력의 방향을 찾으면 A쪽으로 끌어당겨지는 힘을 받게 된다.



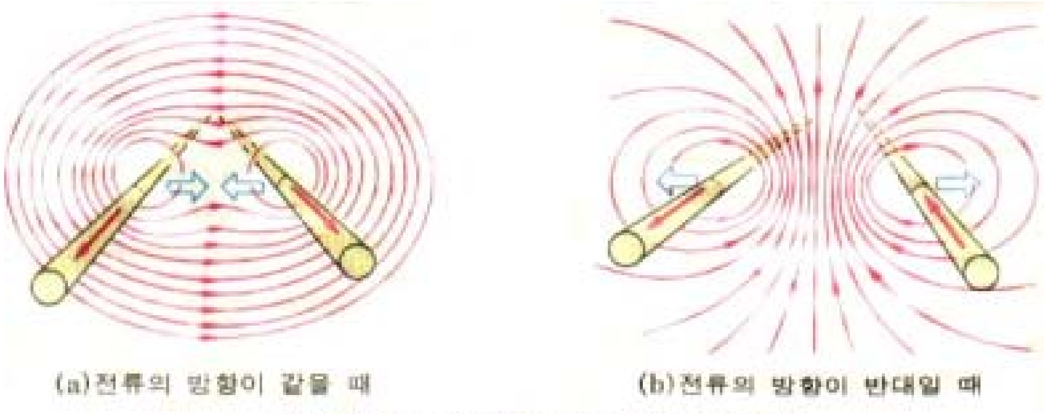
[직선 전류에 작용하는 힘]

1) 전류 I_1으로부터 거리 r만큼 떨어진 곳의 자기장 B는 $B = k\frac{I_1}{r}$

2) 전류 I_1의 도선에서 거리 r만큼 떨어진 곳에 생긴 B의 자기장 속에서 전류 I_2가 흐르고 있을 때 I_2가 받는 힘 F는 $F = BI_2l = k\frac{I_1I_2l}{r}$ 이 된다.

3) 평행한 두 직선 전류 I_1, I_2 사이에 작용하는 힘 F는 $F = (2 \times 10^{-7})\frac{I_1I_2l}{r}(N)$

2.평행한 두 직선 전류 사이에 작용하는 힘의 방향



[평행한 두 직선 전류 사이의 자기장과 힘]

평행한 두 직선 도선에 전류가 흐를때 전류의 방향이 같으면 인력, 전류의 방향이 반대일 때에는 척력이 작용한다.

1) 전자기력을 찾을 때와 같이 오른손을 이용하여 힘의 방향을 찾는다.

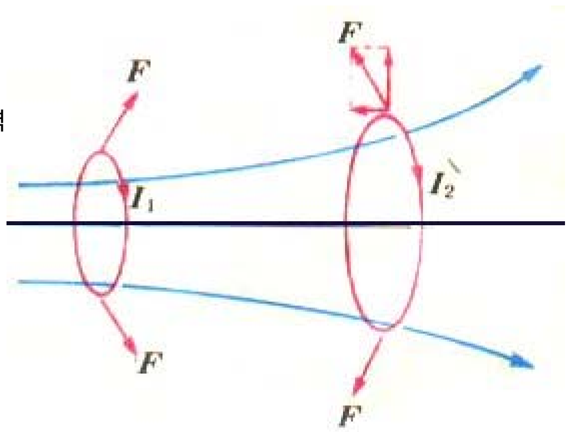
즉 직선 전류 I_1이 거리 r 인 I_2의 위치에 만드는 자기장 B 의 방향을 찾는다(직선 전류에 의한 자기장). 다음에 오른손의 네 손가락은 B 방향, 엄지는 I 방향을 향하게 하면 손바닥이 가리키는 방향이 힘(전자기력)의 방향이 된다. 같은 방법으로 전류 I_2에 의해 I_1이 받는 힘의 방향을 구할 수 있다.

2) 자기력선 밀도에 의한 방법

전자기력은 자기력선 밀도가 큰 쪽에서 밀도가 작은 쪽으로 작용한다. 그림의 (a)에서는 두 전류 사이의 밀도가 작으므로 인력이 되고 (b)에서는 전류 사이의 밀도가 크므로 척력이 된다.

● 원형전류 사이에 작용하는 힘

그림과 같이 I_1 I_2 의 원형전류가 중심축을 공통으로 하는 경우 전류의 방향이 같을 때는 인력 반대 방향일 때는 척력이 작용한다. I_1 의 전류가 I_2 의 위치에 만드는 자기장을 B 라 하면 I_2 상의 각 점에 작용하는 힘 ($F = BI_2L$)은 B 와 I_2에 수직을 이루는 그림과 같은 방향이 된다. F 는 비스듬한 B 에 수직을 이루는 방향이므로 F 는 안쪽 방향을 이루고 X,Y 직교 좌표로 분해하면 I_1쪽으로 끌리는 성분력을 갖게 된다.

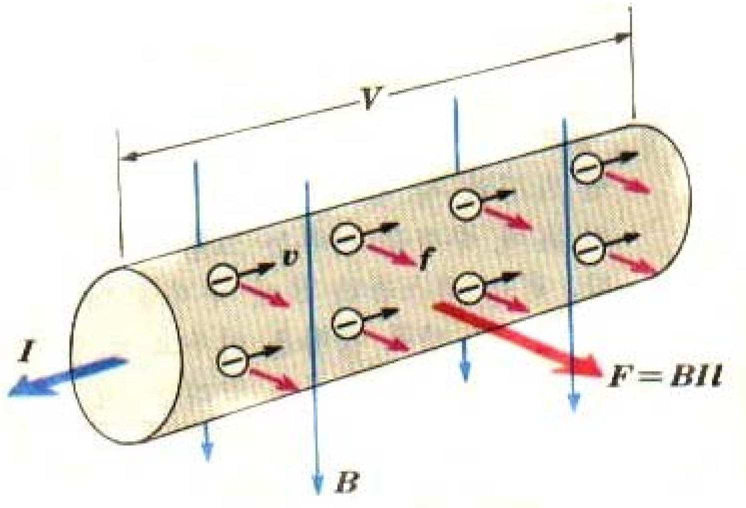


[원형 전류 사이의 힘]

자기장 속에서 운동하는 전하가 받는 힘

1.자기장 속에서 운동하는 전하가 받는 힘

자기장 속에 있는 도선에 전류가 흐르면 도선은 자기장으로부터 힘을 받게 된다. 이 때 전류는 전하의 흐름이므로 자기장 속에서 운동하는 전하는 힘을 받는다고 설명된다.



〔자기장에서 운동하는 전하가 받는 힘〕

그림과 같이 균일한 자기장 B 속에 놓여 있는 도선에 전류가 흐르면 이 도선은 F = BIL 의 전자기력을 받게 되고 그 방향은 B 와 I 의 방향에 대하여 수직한 방향이다.

이 때 도선 내에서는 전류의 이동 방향과 반대 방향으로 자유 전자가 이동하고 이 전자는 도선이 받는 힘 F 의 방향 쪽으로 힘 f 를 받게 된다.

2. 로렌츠의 힘

1) 로렌츠의 힘의 크기

자기장 B 에 수직으로 놓인 길이 L 인 도선에 전류 I 가 시간 t 동안 흐르면 도선이 받는 힘 F=BIL 이 된다.

도선을 흐르는 전류 I 는 단위 시간에 도선의 단면적을 지나는 전하량이므로

$$I = \frac{Ne}{t}$$

가 된다. 여기서 e 는 자유 전자의 전하량이고 N 은 도선의 단면적을 지나간 자유전자의 개수이다. 따라서 전자기력 F 는

$$F = B\left(\frac{Ne}{t}\right)l = BNe\left(\frac{l}{t}\right) = NevB$$ 이며

v 는 도선 내를 지나는 자유 전자의 속력이다.

따라서, 도선 내를 지나는 자유 전자 한 개가 받는 힘 f 는 다음과 같이 나타낸다.

$$f = F/N = evB$$

일반적으로 자기장 B에 수직하게 속도 v로 운동하는 전하량 q인 대전 입자가 받는 힘 F는

$$F = qvB(N)$$

가 된다. 이 힘을 전자기력 또는 로렌쯔의 힘(Lorentz's force)이라고 한다.

2) 로렌츠의 힘의 방향

대전 입자의 운동 방향 쪽으로 전류의 흐름은 생각한다. 즉, (-)전하가 운동하면 운동 반대 방향으로 전류가 흐르는 것으로, 또 (+)전하가 운동하면 운동 방향으로 전류가 흐르는 것으로 생각한다.

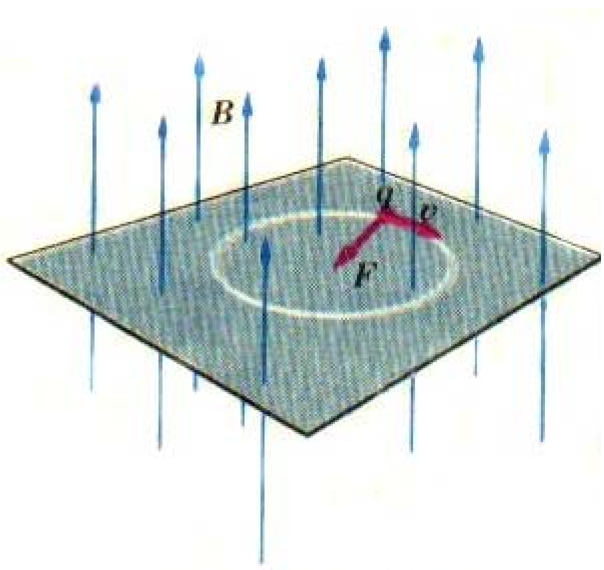
그러면 자기장에서 전류가 받는 힘, 즉 전자기력의 방향을 구하면 된다. 자기장의 방향으로 오른손의 네 손가락을, 엄지의 방향으로 전류의 방향을 일치시키면 손바닥이 내다보이는 방향이 전자기력(로렌츠 힘)의 방향이 된다.

자기장에서 대전 입자의 운동

질량 m, 전하량 q인 입자가 자기장 B의 균일한 자기장에 수직으로 속력 v로서 입사되어 운동할 때 대전 입자는 자기장으로부터 로렌츠 힘 qvB를 받는다. 로렌츠 힘은 자기장과 운동방향에 수직으로 작용하므로 속력은 변하지 않고 운동 방향만이 변하게 된다.

즉, 입자에 작용하는 로렌츠 힘의 크기는 변하지 않고 항상 운동 방향에 수직한 방향으로 작용한다.

그림과 같이 로렌츠 힘이 구심력이 되어 대전입자는 등속 원운동을 하게 된다.



[대전 입자의 운동]

1.자기장에 수직한 방향으로 대전 입자가 입사되어 운동할 때

대전 입자에 작용하는 로렌츠 힘은 운동하는 평면 내에서 항상 운동 방향에 수직한 방향으로 작용하므로 이 힘이 구심력이 되어 대전 입자는 등속 원운동을 한다.

구심력 = 로렌츠 힘

1) 원운동의 반지름(r)

질량 m, 전하량 q, 자기장 B, 속력 v 일 때 반지름을 r 라 하면 $\frac{mv^2}{r} = qvB$ 에서

반지름 r 는 $r = \frac{mv}{Bq}$ 가 된다.

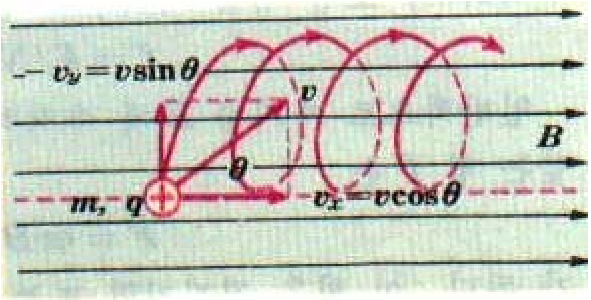
2) 원운동의 주기(T)

원운동의 주기(1 회전하는데 걸리는 시간) T 는 $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{Bq}$

즉, 원운동의 반지름 r 는 속도 v 에 비례하고 주기 T 는 v 에 관계없이 질량에 비례한다.

2.자기장에 대하여 각 θ로 입사할 때

그림과 같이 전하량 q 인 대전 입자가 자기장 B 에 각 θ로 비스듬히 속도 v 로 입사할 때 자기장에 평행한 속도성분 $v_x = v\cos\theta$에 의해서는 전자기력을 받지 않으므로 등속도 운동을 하게 되고 자기장 B 에수직한 속도 성분 $v_y = v \sin\theta$에 의해 로렌츠 힘 $F = qvB \sin\theta$를 받아 등속 원운동을 하게 된다.
따라서 대전 입자는 그림과 같이 나선 운동을 한다.



[자기장에 비스듬히 입사]

만일 자기장이 균일하지 않고 점점 강해지는 자기장이라면 $r = \frac{mv}{Bq}$ 에서 원운동의 반지름이 작아지는 나선 운동을 한다. 먼 우주에서 지구로 쏟아지는 대전 입자(우주선)는 양 극쪽에 가까운 곳으로 모아지는 것도 지구 자기장 때문이다.

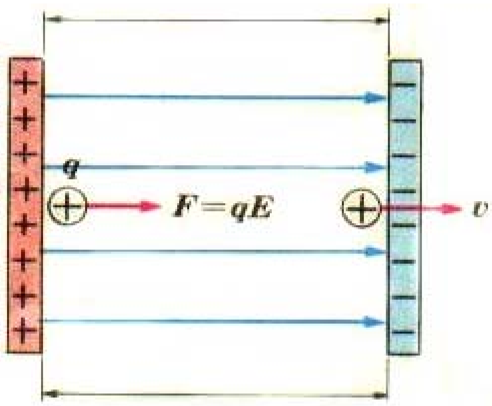
전기장에서 대전 입자의 운동

1.대전 입자의 가속도 : 힘의 관계에서 생각.

전하량 q 인 대전 입자가 균일한 전기장 E 에서 받는 힘

F 는 $F= qE = ma$ 이므로 가속도 크기 a 는

$$a = \frac{qE}{m} = \frac{qV}{md}$$



전하가 받는 힘은 일정하므로 등가속도 운동을 하는 일이 되어 운동 공식

$$v = v_0 + at, s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2, 2a = v^2 -$$

[대전 입자의 운동]

이 그대로 적용된다.

2.대전 입자의 속도 : 에너지 보존 관계에서 생각.

전하 q 를 전압 V 로 가속시킬 때 얻는 운동 에너지는 전하가 전기장으로부터 받는 qv 와 같게 된다.

즉 초속도 0 이면 에너지 보존 $\frac{1}{2}mv^2 + qV = \text{일정}$ 에서

$$0 + qV = \frac{1}{2}mv^2 + 0 \qquad \therefore v = \sqrt{\frac{2qV}{m}}$$

3.전기장에 수직으로 입사된 대전 입자의 운동

전기장에 수직으로 초속도 v_0 로 입사된 전하량 e 인 대전 입자는 y 방향으로 일정한 힘 F = eE 를 받으며 행동한다.

x 축 방향으로는 등속도 운동하고 y 축 방향으로는 a = eE/m 의 등가속도 운동을 하므로 대전 입자는 포물선 운동을 하게 된다.

1) 1 초 후의 속도 :

$$v_x = v_0, \quad v_y = at = \frac{eE}{m}t$$

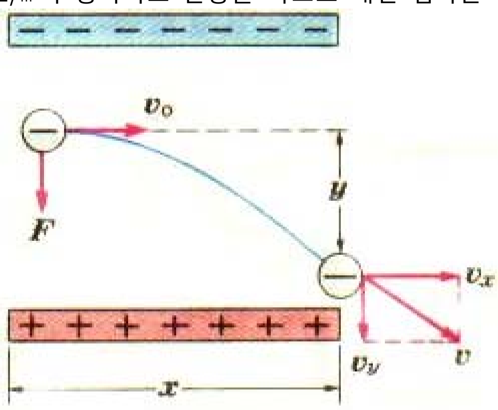
2) t 초 후의 위치 :

$$x = v_0 t, \quad y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}\frac{eE}{m}t^2$$

x,y 식에서 t 를 소거하면 운동 방정식은

$$y = \frac{1}{2}\frac{eE}{m}\left(\frac{x}{v_0}\right)^2 = \frac{eE}{2mv_0^2}x^2$$

이 된다.



[전기장에 수직 입사]

전류계와 전압계

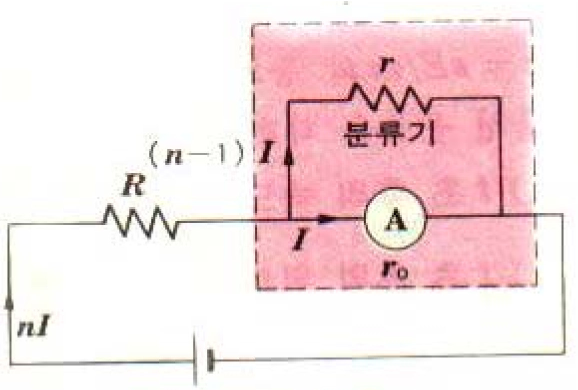
전기에 관한 실험을 할 때 많이 사용하는 전류계나 전압계는 자기장 속을 지나는 도선에 전류가 흐를 때 도선이 받는 힘을 이용한 기구이다.

전류계와 전압계는 같은 원리로 용수철의 탄성력과 가동 코일의 회전력이 평형을 이루는 곳에서 멈추게 하도록 만들어졌다.

전류계는 회로에 전압이 직렬로 연결하고 내부 저항은 매우 작도록 하지만 전압계는 회로에 병렬로 연결하고 내부 저항은 매우 크도록 만든다.

1. 전류계의 분류기

전류계의 가동 코일에 많은 전류가 흐르면 가열되어 손상될 우려가 있어 대부분의 전류를 흐르게 하는 작은 저항 r를 코일의 저항 r_0와 병렬로 전류계 속에 연결한다. 이 저항 r을 분류기라고 한다.



〔전류계와 분류기〕

내부 저항 r_0에 전류 I가 흐를 때 측정 범위를 n배로 한다면 회로에는 nI의 전류가 흐르고 분류기 r에는 (n - 1)I 의 전류가 흐르게 된다.

r_0와 r는 병렬 연결이므로 양 끝의 전위차

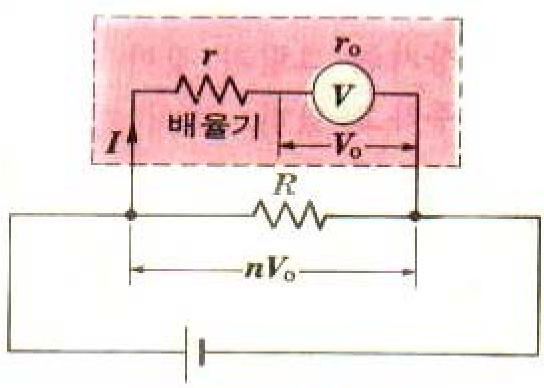
$$V = Ir_0 = (n-1)Ir$$

$$\therefore r = \frac{r_0}{(n-1)}$$

v는 같게 된다.

2.전압계의 배율기

전압계는 외부 저항과 회로에 병렬로 연결되므로 전압계 쪽으로 전류는 적게 흘러야 한다. 따라서 전압계의 내부 저항은 크게 되어야 하며 큰 저항 r를 코일의 내부저항 r_0와 전압계 속에 직렬로 연결된다.



〔전압계와 배율기〕

저항 r_0에 흐르는 전류를 I라고 하면 V_0 = Ir_0이고 저항 r의 전위차는 V = Ir가 된다.

전압계의 측정 범위를 n배라고 하면 외부 저항 R의 양단의 전위차는 nV_0 = nIr_0가 된다. 따라서 nV_0 = V_0 + V이므로

$$nIr_0 = Ir_0 + Ir \text{에서} \qquad r = (n-1)r_0$$

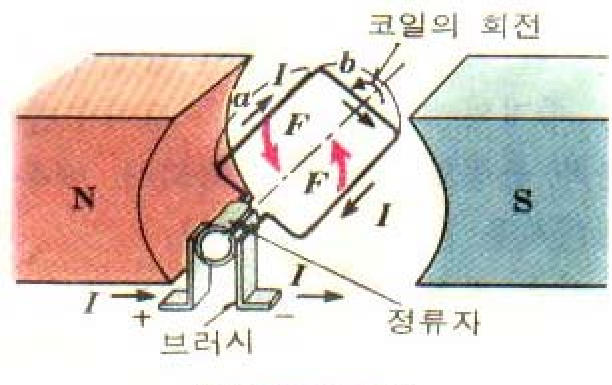
큰 저항 r를 전압계 속에 r_0와 병렬로 연결해야 하며 이 저항을 배율기라 한다.

직류 전동기

전류가 자기장 속에서 받는 힘을 이용하여 전기 에너지를 기계적인 일로 바꾸는 장치를 전동기 (모터) 라 한다.

그림과 같이 자기장 B 속에 직사각형(각 변의 길이 a,b)의 코일(전기자라고 한다)이 있고 정류자를 통하여 직류 전류를 흘리면 코일의 두 변에 F = Bla 인 힘이 작용한다.

이 힘은 코일을 회전시키려는 짝힘으로서 코일에 모멘트(M = FL)가 생기게 하여 항상 일정한 방향의 회전력을 얻게 한다



〔직류 전동기〕

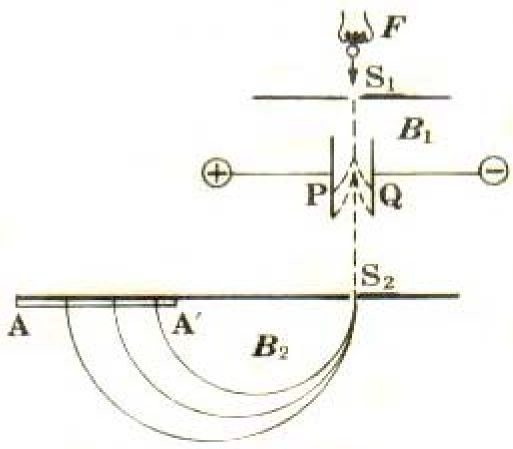
질량 분석기

그림과 같은 장치(속은 진공)의 필라멘트 F 에서 튀어나온 여러 가지 속도를 지닌 대전 입자중 슬릿 S_1 을 통과한 것은 PQ 의 평향한 전기장을 이루는 평행 극판사이를 지난다. 또 이 극판 사이에는 지면에 수직한 자기장 B_1 이 걸려있다.

극판 사이의 전기장 세기가 E 일 때 속도 v 인 대전 입자가 직진하여 슬릿 S_2 를 통과한다면 힘의 평형에서

$F = qE = qvB_1$ 이 되고 속도 v 는 $V = E/B_1$ 가 된다.

속도 v 를 가진 대전 입자는 지면에 수직한 자기장 B_2 속에 수직 입사되어 반지름 r 인 등속 원운동 한다.



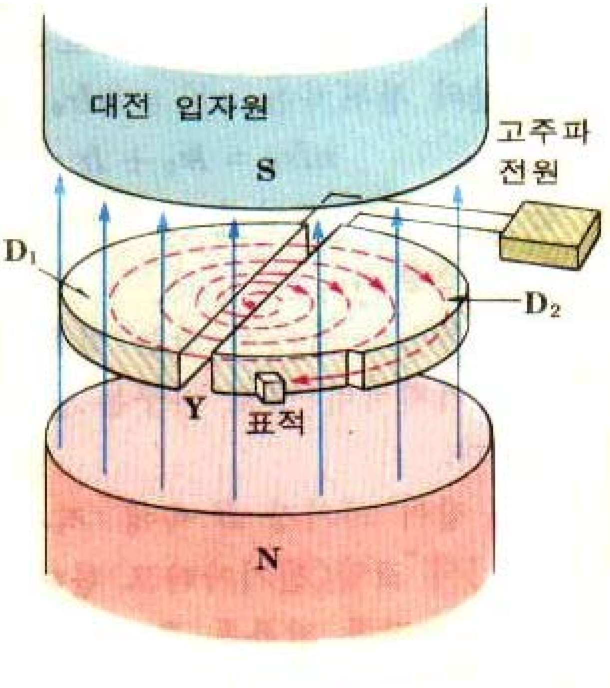
〔질량 분석기〕

이 때 구심력 = 로렌츠 힘 관계에서 $\left(\frac{mv^2}{r} = qvB\right) \quad r = \frac{mv}{B_2 q}$ 가 된다.

반지름 r 는 질량 m 에 비례하므로 AA'부분에 필름을 장치하면 질량에 따른 스펙트럼을 얻을 수 있다. 이것을 질량 분석기라고 한다.

사이클로트론

사이클로트론(cyclotron)은 1931년 미국의 로렌스(Lawrence)에 의해 만들어졌다.이것은 대전입자를 가속시켜 큰 에너지를 갖도록 하는 가속기의 일종이다.



[사이클로트론]

이 장치는 그림과 같이 큰 자석 N,S극 사이에 D자 모양의 가속 전극 D_1,D_2가 서로 마주하고 있다. 속이 진공인 이 전극 속에 대전 입자를 넣어 주면 이 입자는 자기장으로 인해 등속 원운동을 하게 된다.

D_1, D_2 사이에 고주파 진동 전압을 걸어 주면 이온 (대전 입자) 이 D속에 있을 때는 자기장에 의한 원운동만 하지만 D_2, 에서 D_1 으로 갈 때, 또 D_1에서 D_2 로 갈 때는 가속되어 속도는 점차 빨라지게 되고 원운동의 반지름도 커진다.

앞에서 공부한 자기장 속의 대전 입자 운동에서와 같이 반지름 r는

$$r = \frac{mv}{Bq}$$

이고 원운동의 주기 T는

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{Bq}$$

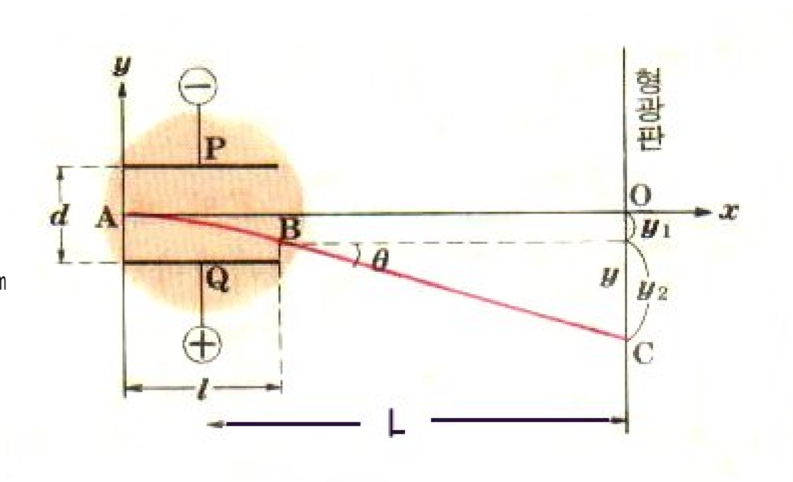
이 된다.

따라서 원운동으로 반바퀴 도는 시간은 반지름의 크기에 관계없이 일정하므로 T와 같은 주기의 고주파 전압을 걸어주면 D사이를 왕복 운동할 때마다 가속되어 매우 큰 운동 에너지를 갖게 할 수 있다.

가속 장치는 원자핵을 깨뜨리는 핵반응 연구 등에 이용되고 있다.

전자의 비전하(e/m)의 측정

전자의 전하량 e와 질량 m과의 비 e/m를 비전하라고 한다. 진공관 속의 전자선 통로에 두 장의 편향 전극 PQ를 놓고 전극판에 그림과 같이 전압 V를 걸어주면 전자는(+)극 쪽으로 끌리게 되어 AB곡선처럼 포물선을 그리고 전기장을 빠져나와서는 직진하여 형광판 C에 밝은점을 만든다.



전자의 비전하 측정

전자의 전하량을 e, 질량을 m 전자 속력을 v라고 하면 전자가 받는 힘은 아래쪽으로

$$F = eE = e\frac{V}{d}$$ 이므로

아래 방향의 가속도는 $a = \dfrac{eV}{md}$

로 되고 (포물선 운동과 같다),

전극을 전자가 지나는 시간을 t 라 하면 t = l/v 이므로

$$y_1 = \frac{1}{2}\frac{eV}{md}\left(\frac{l}{v}\right)^2 \left(y = \frac{1}{2}at^2 \text{에서}\right)$$

또 B 점에서의 전자의 속도 x 성분, y 성분을 v_x, v_y 라 하면

$$v_x = v,\ \ v_y = \frac{eV}{md}\frac{l}{v}\ (v = at \text{ 에서})\text{이므로}\ \ \tan\theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{eVl}{mdv^2}$$

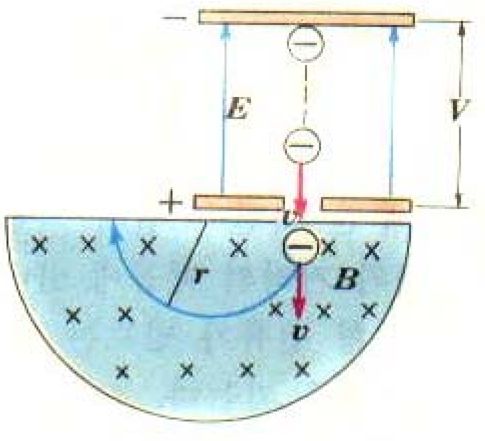
이 된다. BC 사이는 힘이 작용하지 않으므로 전자는 직진한다.

$$y_2 = \left(L - \frac{l}{2}\right)\tan\theta = \left(L - \frac{l}{2}\right)\frac{eVl}{mdv^2}, \quad \therefore\ y = y_1 + y_2 = \frac{e}{m}\frac{VLl}{dv^2}$$

여기서 y , l , L , d , v 를 측정하여 e/m 를 구할 수 있다.

속도 v 는 그림의 전극 부분에 자석을 놓아 PQ 사이의 전기장 방향에 수직으로 자기장을 만들어 전자는 로렌츠 힘 evB 를 위로 받게 하고 아래쪽으로 전기력 $eE = e\dfrac{V}{d}$ 를 받게 한다. PQ 에 걸린 전압 V 를 조절하여 두 힘이 같게 하면 전자는 O 점에 충돌하여 밝은 빛을 낸다. 이 때 $evB = e\dfrac{V}{d}$ 이므로 $v = \dfrac{V}{Bd} = \dfrac{E}{B}$ 로 v 를 구한다.

● 그림과 같이 전위차 V 인 평행판 축전기 사이에서 전자가 가속될 때 입자의 운동에너지



[자기장에서의 전자 운동]

$\frac{1}{2}mv^2 = eV$ 에서 속도 V는 $v = \sqrt{2eV/m}$ 가 된다. 전자가 자기장 B에 수직 입사되면 $\frac{mv^2}{r} = evB$ 관계가 성립하고 속도 V를 윗 식에 대입 정리하면

$$\frac{e}{m} = \frac{2V}{B^2r^2}$$

가속전압 V와 반지름 r , 자기장 B를 측정하면 e/m를 구할 수 있다.

톰슨은 1897년 전자의 비전하를 측정하여 e/m = 1.76 $\times 10^{11}$C/kg인 것을 알아 내었다.

전자기 유도

1820년 외르스테드(Oersted)에 의해 전류 주위의 자기장이 알려진 후 과학자들은 자기장에 의해 전류를 발생시킬수 있을 것이라는 생각을 갖게 되었다.

1. 전자기 유도

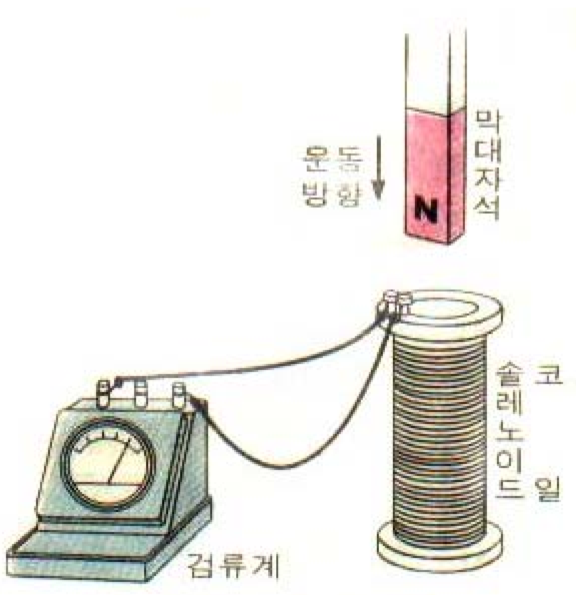
1831년 영국의 과학자 패러데이(Faraday)는 이러한 생각으로 코일과 자석을 이용한 여러 가지 실험으로 자석과 코일을 움직여 처음으로 회로에 전류가 흐르게 하였다.

그림과 같이 코일을 고정시키고 자석을 움직이거나 자석을 고정시키고 코일을 움직이면 전류가 발생하여 검류계의 바늘이 움직이게 된다

① 코일과 자석이 상대적 운동 : 전류가 발생한다.

② 코일과 자석이 상대적 정지 : 전류가안 흐른다.

③ 자석이 코일에 가까이 올 때와 멀어질 때 또는 자석의 극을 바꾸면 유도되는 전류의 방향이 달라진다.



[전자기 유도 실험]

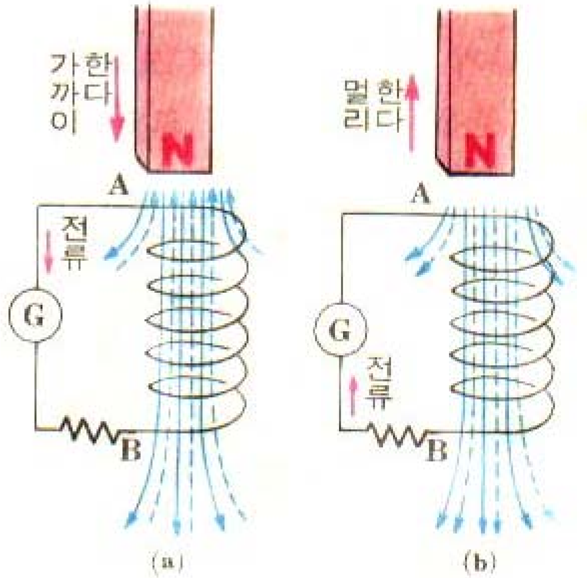
이와 같이 코일과 자석 사이의 상대적인 운동으로 전류가 유도되는 현상을 전자기 유도 (electromagnetic induction)이라 하고 코일 양단에 발생된 기전력을 유도 기전력이라 한다. 코일의 회로가 닫힌 경우에는 유도 기전력에 의해 전류가 흐르게 되며 이것을 유도 전류라고 한다.

2. 유도 전류의 방향

그림의 (a)와 같이 코일을 향하여 자석의 N극을 가까이할 때는 코일의 위쪽에 N극이 생기도록 유도 전류가 흘러서 자석의 N 극이 가까이 오는 것을 방해한다.

이 때 코일은 하나의 자석이 되어 A 쪽은 N 극 B 쪽은 S 극의 역활을 하며 유도 전류는 A→G→B로 흐르게 된다.

그림의 (b)와 같이 자석의 N극을 코일에서 멀리 가져가면 코일 속을 지나는 자기력선의 세기가 약해지므로 코일에는 이것을 강하게 하려는 방향,즉 A 쪽에 S 극이 되는 자기장이 생기도록 유도 전류가 B→G→A로 흐르게 된다.



[유도 전류의 방향]

① 자석의 N극이 코일에 접근할 때 : 자석이 접근하는 쪽은 N극, 반대쪽은 S극이 되는 자기장이 생기도록 유도 전류가 흐른다.

② 자석의 N극이 코일에서 멀어질 때 : 접근할 때와 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

③ 자석의 S극이 접근할 때 : 접근하는 쪽은 S극, 반대쪽은 N극이 되는 자기장이생기도록 코일에 유도 전류가 흐른다.

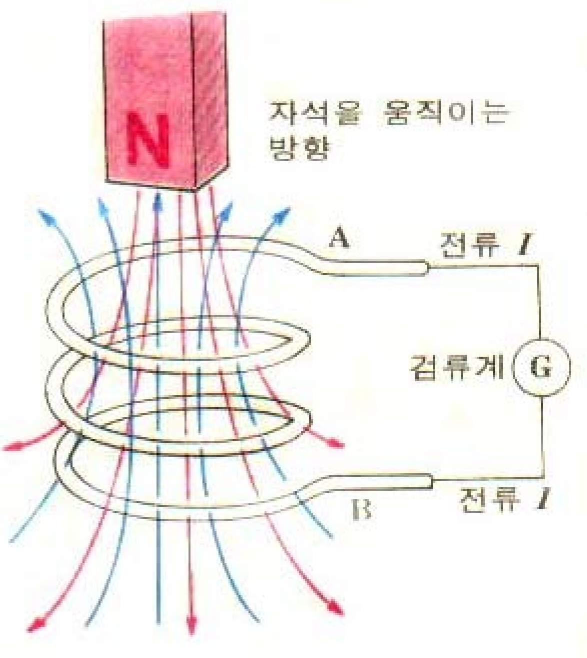
④ 코일과 자석의 상대 운동 속력이 빠를수록 유도 전류(유도 기전력)가 크다.

렌츠의 법칙

자석을 코일에 가까이하거나 멀리 할 때 코일에는 자석의 운동을 방해하려는 방향으로 유도전류가 흐른다. 즉 전자기 유도에 의한 유도 전류의 방향은 코일을 지나는 자기력선속이 변하는 것을 방해하려는 방향으로 흐르게 된다.

이것을 렌츠(Lenz, H.F.E)의 법칙 이라 한다.

● 물체는 운동 상태를 변하지 않으려는 관성이 있고 화학 평형의 이동에 관한 르.샤틀리에의 법칙이 있다. 즉 물체 또는 물체계의 현상을 변화시킨다면 자연은 이 작용에 적극 반대한다는 것이다. 이와 유사하게 전자기 유도 현상은 코일을 지나는



[렌츠의 법칙]

자기력선속이 변할 때 이 변화를 방해하는 방향으로 유도 기전력이 생긴다는 것이다.

그림과 같이 자석의 N 극을 코일에 가까이 가져가면 코일을 지나는 자기력선이 증가하게 되는데 이때 코일에 유도되는 전류에 의한 자기력선은 자석에 의한 자기력선의 증가를 방해하는 방향이 되도록 유도 전류가 흐른다. 이때 코일은 하나의 자석이 되어 A 쪽은 N 극, B 쪽은 S 극의 역할을 한다. 따라서 유도 전류는 B→G→A 로 흐르게 된다.

패러데이의 법칙

전자기 유도 현상에서 도선 또는 자석의 운동 속도를 크게 하거나 강한 자석을 사용하면 같은 시간 동안에 코일을 자나는 자기장(자기력선속)의 변화가 커지게 된다.

또 코일의 감은 수를 증가시켜도 큰 유도 기전력이 나타난다. 패러데이는 이러한 사실을 정리하여 다음과 같이 발표하였다.

'유도 기전력의 크기는 코일 속을 지나는 자기력선속(자속)의 시간적 변화율에 비례하고 코일의 감은 횟수에 비례한다.' 이것을 페러데이(Faraday, M)의 법칙이라 한다.

즉 유도 기전력을 V, 코일의 감은 수를 n, 시간 Δt 동안에 코일을 관통하는 자속의 변화를 Δψ라고 하면 다음과 같다.

$$V = -n\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

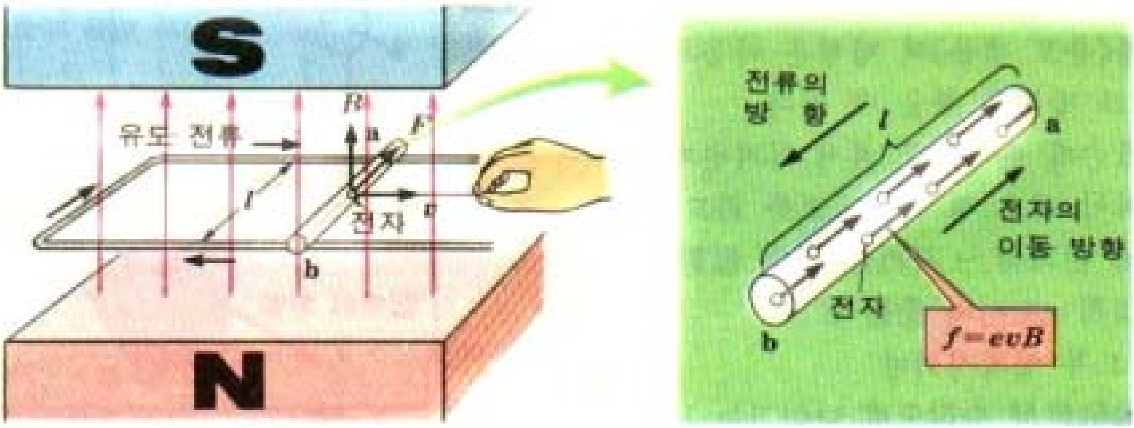
여기서 (-)는 코일을 관통하는 자속 ψ의 변화에 반대 방향으로 생김을 의미한다.

자기장 속에서 움직이는 도선에 생기는 유도 기전력

1. 자기장에서 운동하는 도선에 생기는 유도 기전력의 크기

그림과 같이 도선 ab 를 자석이 만드는 균일한 자기장 속에서 자기장에 수직한 방향으로 끌면 도선 속에 들어 있는 자유 전자도 같은 방향으로 이동하는 것과 같이 된다. 따라서 자기장 속에서

운동하는 전자와 같이 로렌츠 힘을 받게 되므로 도선 내의 자유 전자는 b→a 쪽으로 힘을 받아 움직이게 되어 도선에는 a→b 쪽으로 유도 전류가 흐른다.



[자기장 속에서 움직이는 도선에 생기는 유도 기전력]

균일한 자기장 B 속에서 길이 L 인 도선 ab 를 자기장에 수직한 방향으로 속력 v 로 끌 때 전하량 e 인 도선 속 자유 전자도 자기장 B 속을 v 로 움직이게 된다. 따라서 도선 속의 전자는 로렌츠의 힘 F = evB 의 힘을 받아 b 에서 a 로 이동한다.

로렌츠 힘과 같은 크기의 전기력을 전자가 받아 이동한다고 생각하여 도선 ab 속에 a 에서 b 로 향하는 전기장 E 를 구하면 eE = evB 에서

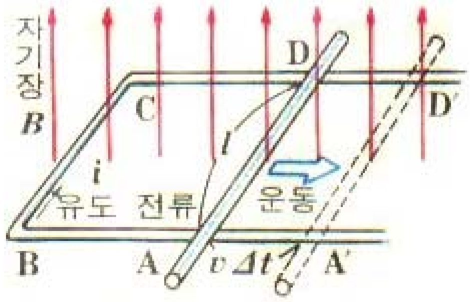
$$E = Bv$$

가 된다. 따라서 ab 사이의 전위차 V 는 V = Ed 식에서 길이가 L 이므로

$$V = Blv$$

로 된다. 도선 ab 의 운동으로 기전력이 발생되므로 도선 ab 를 기전력 자리(건전지등)로 생각할 수 있다. 이 때 b 쪽에는 (+)전하가 생기므로 b 쪽의 전위가 a 쪽보다 V = Blv 만큼 높게 된다. 즉 전지의 (+)극에 해당한다.

● 그림과 같이 자기장 B 속에 놓인 길이 L 인 도선 AD 가 속도 V 로 오른쪽으로 움직여서 △t 초후 A'D' 로 이동하였다고 하자. ABCD 를 한 번 감은 코일이라면 AA'의 길이는 V△t 이므로 코일을 통과한 자속은 ADD'A'의 넓이 (V△t.L)를 지난 것만큼 증가한 것이 된다. △t 초 동안 △φ는 △φ= BS = BV△tL 만큼 증가하므로 패러데이 법칙에서 유도 기전력 V 는 다음과 같이 된다.



[운동하는 도선의 유도 기전력]

$$V = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -\frac{Blv\Delta t}{\Delta t} = -Blv$$

여기서 (-)는 V 의 방향이 자속의 변화를 방해하는 방향으로 생긴다는 것을 의미한다.

2 유도 기전력의 방향

그림과 같이 자기장 B 속에서 도선 L 이 속도 v 로 운동할 때 도선 ab 에는 유도 기전력 Blv 가 생기고 a→b 로 유도 전류가 흐른다.

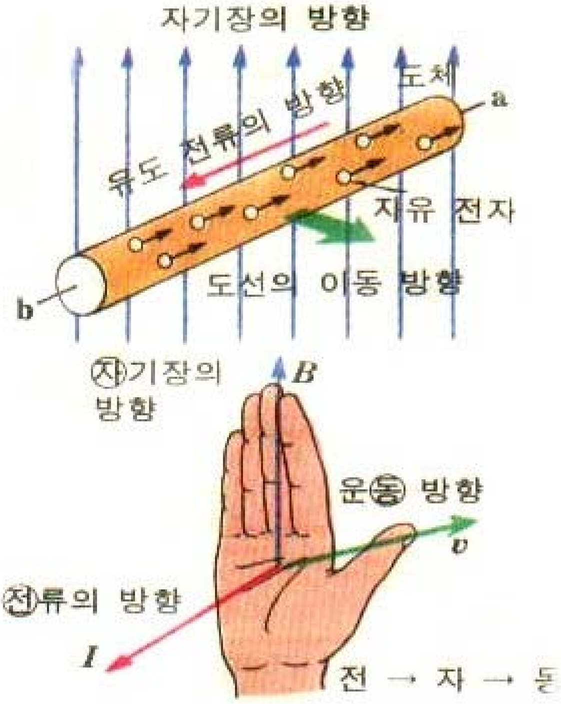
이 때 b 쪽이 a 쪽보다 전위가 높아지고 도선 ab 속에는 a→b 방향으로 전기장이 생긴다.

자기장 속에서 도선이 운동할 때 생기는 유도 기전력(유도 전류)의 방향은 다음과 같이 오른손으로 그 방향을 찾을 수 있다.

오른손의 손바닥을 펴서 엄지손가락과 다른 네 손가락이 서로 직각이 되도록 하고

네 손가락→자기장 B 의 방향
엄지 → 도선의 운동 방향이 되도록
일치시키면

손바닥에서 수직으로 나아가는 방향 → 유도 전류 방향이 된다.

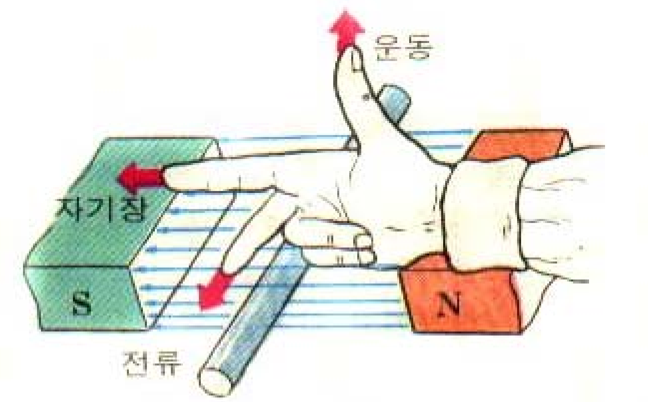


[유도 기전력의 방향]

● 플레밍의 오른손 법칙

전자기 유도에 의해 직선 도선에 유도되는 전류의 방향은 그림과 같이 오른손을 이용하여 찾을 수 있다. 즉 오른손의 엄지, 둘째, 셋째 손가락을 서로 직각이 되게 펴서 엄지 손가락을 도선의 운동 방향, 둘째 손가락을 자기장의 방향이 되게 하면 셋째 손가락이 가리키는 방향이 유도 전류의 방향을 나타낸다.

이것을 플레밍의 오른손 법칙이라 한다.

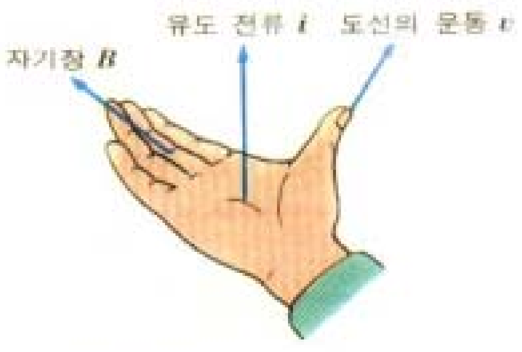


[플레밍의 오른손 법칙]

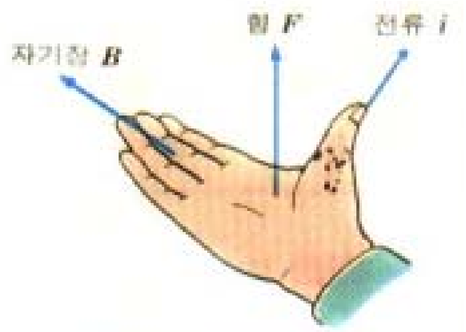
플레밍의 법칙을 오른손으로 하는 방법

플레밍의 오른손 법칙은 아래 그림에서와 같이 오른손의 손 바닥을 펴서 엄지와 다른 네 손가락이 서로 직각이 되도록 하고 엄지 손가락이 도선의 운동방향을 향하고 네 개의 손가락이 자기장의 방향을 향하게 하면 손바닥에서 수직으로 나아가는 방향이 유도 전류(유도 기전력)의 방향이 된다.

발전기의 원리는 플레밍의 오른손 법칙이 적용되고 전동기는 플레밍의 왼손 법칙을 이용한다. 플레밍의 오른손 법칙과 같이 왼손 법칙도 그림과 같이 오른손의 손 바닥을 펴서 엄지와 네 손가락이 직각을 이루게 하고 네 손가락이 자기장을 엄지 손가락이 전류의 방향을 향하게 하면 손 바닥에서 나아가는 방향이 도선이 받는 힘의 방향이 된다.



[플레밍의 오른손 법칙]



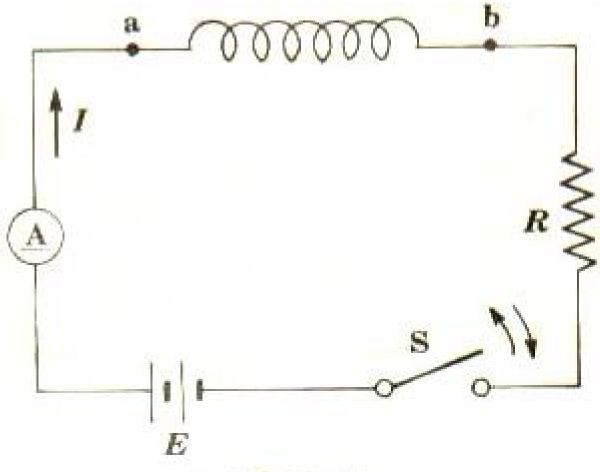
[플레밍의 왼손 법칙]

자체유도

그림과 같이 전지와 코일, 저항을 연결하고 스위치를 닫으면 전류계의 눈금은 즉시 일정한 값을 가리키지 않고 서서히 증가하여 일정한 값에 이르는 것을 볼 수 있다.

코일에 흐르는 전류의 세기가 일정하면 솔레노이드 내부의 자기장도 일정하지만 전류의 세기가 변하면 자기장도 시간에 따라 변한다.

즉 한 개의 코일에서도 코일을 흐르는 전류의 세기가 변하면 코일을 지나는 자기력선속이 변하게 되어 유도 기전력이 발생한다.



[자체 유도]

그림에서 스위치를 단속할 때 코일에 흐르는 전류의 세기가 변하므로 코일 주위의 자기장이 변하면서 코일 자체에 유도 기전력이 생긴다.

이와 같이 코일에 흐르는 전류의 변화에 의해서 그 코일 자체에 유도 기전력이 생기고 유도 전류가 흐르는 현상을 자체유도(self induction)라고 한다.

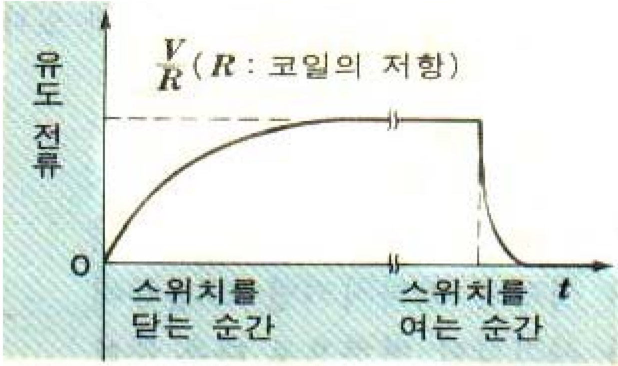
1.자체 유도 기전력
자체유도 현상이 생길때 유도 기전력은 전류의 시간적인 변화율에 비례한다. 따라서 시간 Δt 초 동안에 전류의 세기가 ΔI 만큼 변한다면 자체 유도 기전력 V 는 다음과 같이 표시된다.

$$V = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}(\mathrm{V})$$

여기서 비례상수 L 을 자체 유도 계수(self inductance)라 하며 이것은 코일의 감은수, 길이, 철심의 종류 등에 의해서 정해진다.

2.자체 유도 게수의 단위

자체 유도계수의 단위로 헨리(H)가 사용된다. 코일을 흐르는 전류의 시간적 변화가 단위 시간(1 초)당 1A 일때 그 코일에 생기는 유도 기전력이 1V 이면 코일의 자체 유도 계수 L 을 1 헨리(Henry,기호 H)라고 한다.



(a) 코일을 흐르는 전류의 변화

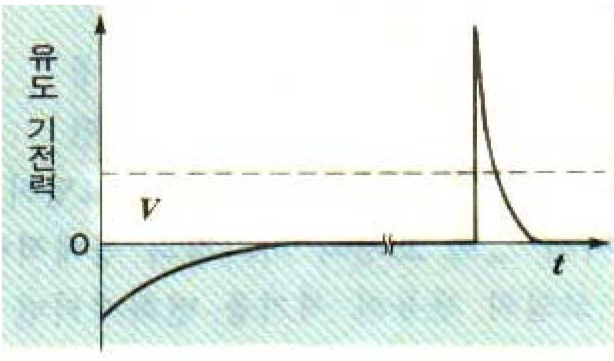
3.코일에 흐르는 유도 전류

모든 코일은 전류 변화를 반대하는 자체 유도 계수 L 을 가지므로 코일을 흐르는 전류는 일종의 관성을 갖는 것처럼 흐르게 된다.

스위치 S 를 닫아 코일에 전류를 흐르게 하면 역기전력이 생겨 전류는 급격히 증가하지 않고 서서히 증가하여 그 변화는 작게된다. 반대 방향 의 기전력이 줄어 들면서 결국에는 $I = \frac{E}{R}$ (E 는전 지의 기전력)인 전류가 흐른다.

회로에 전류 $\frac{E}{R}$ 가 흐르고 있을때 스위치 S 를 열면 전류는 순간적으로 0 으로 되어 전류의 급격한 변화는 큰 자속의 변화를 일으켜 그 변화를 방해하는 방향, 즉 이제까지 흐르던 전류의 방향으로 큰 유도 기전력이 생긴다.

따라서 전류는 즉시 0 이 되지 않고 그림과 같이 짧은 시간 동안 감소하면서 0 이 된다.



(b) 유도 기전력의 변화

[자체 유도 기전력]

스위치를 닫을 때보다 열 때가 훨씬 큰 유도 기전력이 생기므로 스위치를 열 때 불꽃이 튕기는 것을 볼 수 있고 매우 큰 전압이 발생되므로 이로 인한 피해 예방에도

주의하여야 한다.

자체유도 계수와 코일의 연결

1. 자체 유도계수(L)

감은 수 N,길이 L,단면적 S,내부 철심의 투자율 μ인 코일 내부의 자기장 B는 전류 I에 의해 $B=\mu\frac{N}{l}I$ 가 된다.

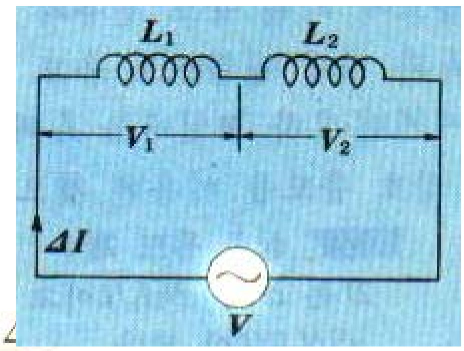
Φ= BS 이므로 유도 기전력 V는

$$V=-N\frac{\Delta\phi}{\Delta t}=-\frac{NS\Delta B}{\Delta t}=-\frac{NS\mu\cdot\frac{N}{l}\Delta I}{\Delta t}$$
$$=-\frac{\mu N^2 S}{l}\frac{\Delta I}{\Delta t}=-L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

따라서 근사적으로 $L=\frac{\mu N^2 S}{l}$ 가 된다.

2. 코일의 연결과 합성 자체 유도 계수

1) 직렬 연결



두 코일을 지나는 전류의 시간적 변화율 △I/△t는 같고

V = V1 + V2 가 된다.

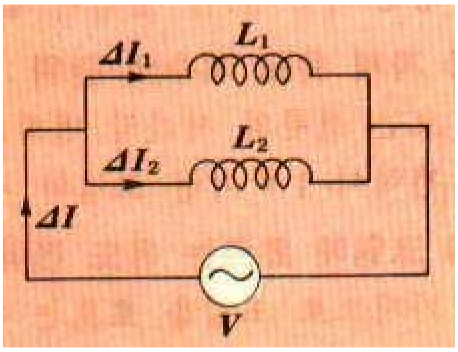
합성 자체 유도 계수를 L이라 하면

$$V=-L\frac{\Delta I}{\Delta t},\quad V_1=-L_1\frac{\Delta I}{\Delta t},\quad V_2=-L_2\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

이므로

$V = V_1 + V_2$ 식에 대입하여 정리하면 $L = L_1 + L_2$ 된다.

2) 병렬 연결



코일 양단에 걸린 전압은 V 로 일정하므로

또

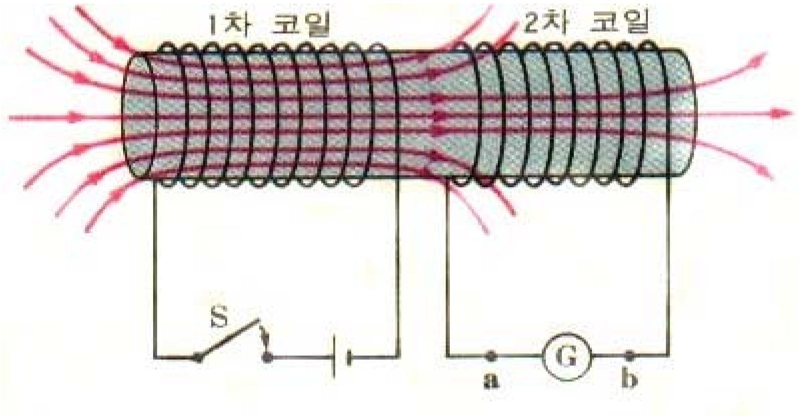
$$V = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} = -L_1\frac{\Delta I_1}{\Delta t} = -L_2\frac{\Delta I_2}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{\Delta I_1}{\Delta t} + \frac{\Delta I_2}{\Delta t}$$

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$$

이다.

상호 유도



[상호 유도]

그림과 같이 인접한 두 개의 코일에서 한쪽의 코일에 흐르는 전류의 세기를 변화시키면 그 전류에 의한 자기장이 변하므로 다른 쪽의 코일을 지나는 자기력선속(자속 Ø)이 변하게 되어 이 코일에 유도 기전력이 생긴다.

그림에서 1 차코일의 스위치를 닫았다. 열었다 하면 그 순간에 전류의 세기가 변하게 되어 2 차 코일의 검류계 바늘이 움직이는 것을 볼 수 있다.

이와 같이 도선과 자기장의 상대적인 운동이 없어도 두 개의 코일을 가까이 놓고 한 쪽 코일의 전류의 세기를 변화시키면 다른 코일에 유도 기전력이 생긴다. 이러한 현상을 상호 유도(mutual induction)라고 한다.

1.상호 유도 기전력

상호 유도에 의해 생기는 유도 기전력의 크기는 1 차 코일에 흐르는 전류의 시간적 변화율에 비례한다. 따라서 1 차 코일의 전류의 세기가 시간 Δt 동안에 ΔI 만큼 변할 때 유도 기전력 V 는 다음과 같이 표시된다.

$$V = -M\frac{\Delta I}{\Delta t}\,(\mathrm{V})$$

여기서 비례 상수 M을 상호 유도 계수(mutual iductance)라고 하며 코일의 모양, 감은수, 철심의 종류 등에 의해 정해지는 상수이다.

2.상호 유도 작용의 단위

자체 유도 계수와 같은 헨리(H)의 단위를 사용한다.

● 상호유도 계수

1차 코일의 감은 수 N_1, 길이 L , 전류 I_1 이면 코일속의 자기장 B는 $B = \mu N_1 I_1/L$ 이고 그 단면적을 S라고 할 때 1차 코일속의 자속 φ는 $\phi = BS = \mu S N_1 I_1/L$ 이 된다.

시간 △t 동안에 전류 I_1 이 $\triangle I_1$ 만큼 변하면 $\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \mu S \frac{N_1}{l}\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ 이 된다.

이 자속의 변화는 2차 코일 속에서도 일어 나므로 2차 코일의 감은 수를 N_2라면 패러데이 법칙에서 2차 코일에 생기는 유도 기전력은 $V = -N_2 \mu S \frac{N_1}{l}\frac{\Delta I_1}{\Delta t} = -M\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ 이 된다. 따라서 $M = \frac{\mu N_1 N_2 S}{l}$ 는 코일의 모양, 철심의 유무에 의해 정해진다.

3.유도 전류의 방향

2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 1차 코일에 생긴 자체 유도에 의한 유도 전류의 방향과 같다. 즉 1차 코일에 흐르는 전류 I_1이 증가하면 I_1과 반대 방향으로 유도 전류가 흐르고 1차 코일의 스위치를 끊어 전류 I_1을 감소 시키면 2 차 코일에는 I_1과 같은 방향으로 유도 전류가 흐른다.

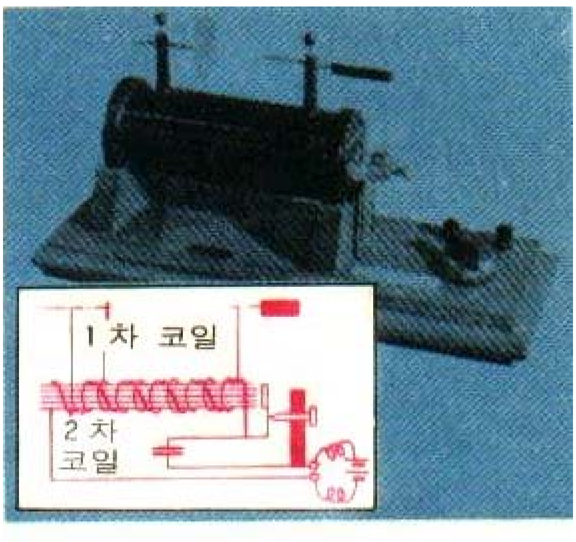
4. 상호 유도를 이용한 것으로 변압기, 유도 코일 등이 있다.

유도 코일

상호 유도의 원리를 이용하여 수 V의 직류로부터 수만 V의 고전압을 얻는 장치를 유도 코일(induction coil)이라 한다.

그림과 같이 철심에 1차 코일을 감고 코일의 한 끝은 전종과 같은 원리로 된 자동 단속 장치를 통해서 전원에 연결 시킨다.

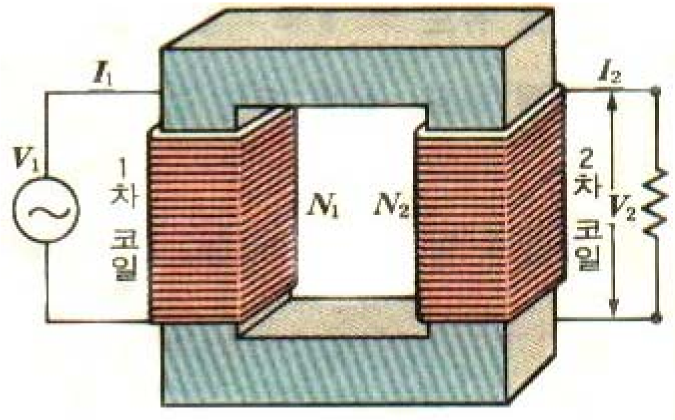
한편, 2차 코일은 아주 가는 도선으로 1차 코일 위에 수천 수만 번 감는다.



[유도 코일]

1차 코일에 전류를 흘리면 단속 장치에 의해 전류의 변화에 따른 자력선속의 시간적 변화가 계속되므로 2차 코일에는 고압의 기전력이 유도되어 고압 전원으로 사용된다.

변압기



〔변압기의 원리〕

상호 유도의 경우, 1차 코일에 전지를 연결한 회로에서는 스위치를 단속할 때만 유도 기전력이 생기지만 전지 대신 교류 전원을 연결하면 전류의 세기가 계속 변하므로 2차 코일에는 항상 유도 기전력이 생긴다.

이와 같이 상호 유도를 이용하여 교류의 전압을 변화시키는 장치가 변압기이다.

그림과 같이 철심에 1차 코일과 2차 코일을 감고 1차 코일 쪽에 교류 전원을 연결한다.

1차 코일과 2차 코일의 감은 수를 각각 N_1, N_2 1차 코일에 주어진 전압을 V_1, 2차 코일에 유도되는 기전력을 V_2라 하면

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

의 관계가 있다.

또 변압기에서 에너지 손실이 없다고 가정하면 1차 코일의 전력과 2차 코일의 전력은 같아야 한다. 따라서 1차 코일과 2차 코일에 흐르는 전류의 세기를 각각 I_1, I_2라고 하면 $I_1V_1 = I_2V_2$의 관계에서 다음과 같이 된다.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

코일에 저장된 자기 에너지

자기장도 전기장과 마찬가지로 위치에너지를 갖는다. 자체 유도 계수 L인 코일에 일정한 전류가 흐를 때 코일 내에 저장된 에너지 W는,

$$W = \frac{1}{2}LI^2 \text{(J)}$$

이 에너지는 전류 I 를 0 에서 어떤 일정한 값 I 까지 증가시키는 데 자체유도 기전력에 대항해서 해 주어야 하는 일과 같다.

● 자체 인턱턴스 L 인 코일에 유도되는 기전력은 $V = L\frac{\Delta I}{\Delta t}$ 이다.

이러한 관계는 뉴턴의 운동 방정식과 유사하다.(표 참조)

코 일	입 자
V(전위차)	F(힘)
I(전류)	v(속도)
q(전하)	x(변위)
$V = L\frac{\Delta I}{\Delta t}$	$F = m\frac{\Delta v}{\Delta t}$
$\frac{1}{2}LI^2$(자기 에너지)	$\frac{1}{2}mv^2$
VI(일률)	Fv

유도 기전력에 의해 소비된 전력(일률) P 는
P = △W/△t = VI

윗 식과 관련 지으면 $\frac{\Delta W}{\Delta t} = -LI\frac{\Delta I}{\Delta t} \quad \therefore \Delta W = -LI\Delta I$

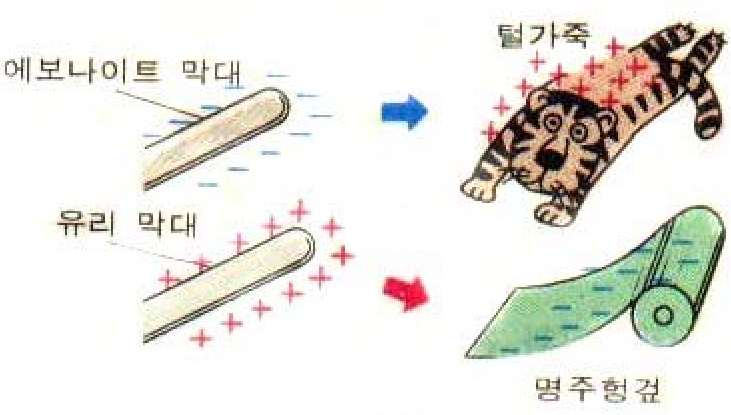
따라서 전류가 I 에서 0 까지 하는 일 W 는 $W = \int_I^0 (-IL)dI = \frac{1}{2}LI^2$

전하와 대전

1. 마찰전기

건조한 날 에보나이트 막대나 유리 막대 등을 털가죽 또는 명주 헝겊으로 문지르면 에보나이트 막대나 유리막대 또는 털가죽 등은 다른 물체를 끌어당기는 성질을 띠게 된다.

이 현상은 물체를 마찰시켰을 때 물체가 전기를 띠게 됨으로써 일어난다.



[마찰 전기]

이와 같이 물체를 마찰시켜 얻어지는 전기를 마찰 전기 또는 정전기라고 한다.

1) 대전체

물체가 전기를 띠는 현상을 대전, 전기를 띤 물체를 대전체라고 한다.

2) 전　하

대전체가 띠고 있는 전기를 전하(electric charge)라고 하며 그 양을 전하량또는 전기량이라 한다.

2. 전하의 종류

마찰 전기에는 두 종류가 있다. 털 가죽과 에보나이트 막대를 마찰시켰을 때 털가죽이 띤 전기를 (+)전하(또는 양전기), 에보나이트 막대가 띤 전기를 (-)전하(또는 음전기) 라고 한다.

3. 전기력

전하를 띤 두 대전체 사이에 작용하는 힘을 전기력이라 하며 다른 종류의 전하 사이에는 인력이, 같은 종류의 전하 사이에는 척력이 작용한다.

4. 대 전 열

두 물체를 마찰 시키면 한쪽 물체는(+)전기를, 다른 쪽에는 같은 양의 (-)전기를 띠게 되는 데, 같은 물체라도 마찰하는 상대방의 물체에 따라 (+)또는(-)로 대전된다. 이와 같은 현상을 실험적으로 얻은 물체를 순서적으로 나열한 것을 대전열이라고 하는데, 임의의 두 물체를 마찰시킬 때, 앞의 물질은 (+)전기, 뒤의 물질은 같은 양의(-) 전기를 띠게 된다.

대　전　열

(+) 털가죽 - 상아 - 털헝겊 - 수정 - 유리 - 명주 - 나무 - 솜 - 고무 - 유황 - 셀룰로이드 - 에보나이트　(-)

● 모든 물질은 원자로 되어 있으며 원자는 (+) 전하를 띤 원자핵과 그와 똑같은 전하량을 띤 (-) 전하의 전자로 구성되어 있다. 지금 털까죽과 폴리에틸렌 막대를 마찰시키면 털까죽은 전자를 잃고 (+)로 대전되며 반대로 폴리에틸렌 막대는 그만큼의 전자를 얻어 (-)전자로 대전된다. 이와같이 대전이란 물체에 전자를 주거나 빼앗는 현상이며 이 때 (+) (-) 전하량의 총합은 서로 같다.

5. 전하량의 보존 법칙

마찰 전기의 발생에서와 같이 두 물체가 띤 전하는 외부에서 얻어지는 것이 아니고 두 물체를 마찰하는 과정에서 전자를 서로 주거나 받기 때문에 생기는 것으로 어느 한쪽 물체에 전하가 새로 생성되거나 소멸되는 것이 아니다.

일반적으로 전하는 어떤 반응 전후에도 그 총량은 변하지 않는다. 이것을 전하량 보존의 법칙이라고 한다.

도체와 부도체

1.자유 전자

원자핵 주위를 돌고 있는 전자는 원자핵으로부터 인력을 받고 있어 대부분 원자핵 주위를 돌며 속박되어 있다. 그러나 원자핵에 약하게 속박되어 있는 일부 외곽 전자는 특정한 원자에 속박되어 있지 않고 원자 사이를 자유롭게 돌아다닐 수 있다. 이러한 전자를 자유 전자(free electron)라고 한다.

2. 도체와 부도체

주위에 있는 물체 중에는 전기를 잘 통하는 물체도 있고 전기를 전혀 통하지 않는 물체도 있다. 전기를 잘 통하는 물체는 전하를 잘 이동시켜 도체라 하고 전기를 잘 통하지 못하는 물체는 전하를 이동시키지 못하여 부도체 또는 절연체라고 한다.

1) 도체

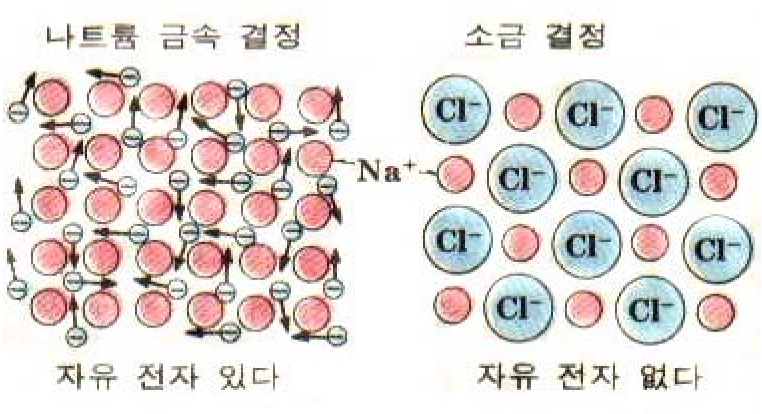
도체 내부에는 자유 전자가 많아 전하를 잘 이동시킨다.

① 금속, 탄소 막대, 지구, 인체, 산 염기의 수용액 등은 도체이다.

② 도체 내부의 전기장 세기 E는 E= 0이다.

③ 도체에 전하를 주면 표면에만 분포하고 뾰족한 곳에 많이 분포한다.

④ 도체 표면, 내부는 모두 등전위면을 이룬다.



[도체와 부도체]

2) 부도체

부도체에는 자유전자는 없고 원자핵에 속박된 전자뿐이다.
고무, 유리, 플라스틱, 나무, 공기 등은 부도체이다.

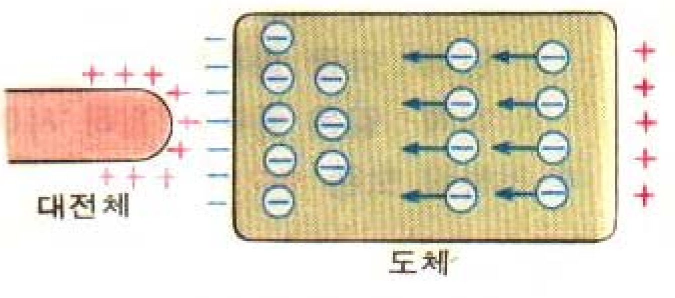
3) 반도체

도체와 부도체 사이의 중간 성질을 띠는 물질을 반도체라고 한다. 반도체로는 실리콘(Si), 게르마늄(Ge)등이 있다.

정전기 유도

1.정전기 유도

그림과 같이 (+)전하로 대전된 대전체를 도체 가까이 가져가면 도체 내에 있는 자유 전자는 대전체의 양전하로부터 인력을 받아 대전체 쪽으로 끌리므로 대전체 가까운 쪽에는



[도체의 정전기 유도]

(-) 전하가 유도되고, 먼쪽에는 전자를 빼앗겨서 (+) 전하가 유도된다.

이와 같이 도체에 대전체를 가까이 하면 대전체와 가까운 쪽에는 대전체와 반대 종류의 전하가 유도되고 먼쪽에는 대전체와 같은 종류의 전하가 유도되는 현상을 정전기 유도라고 한다.

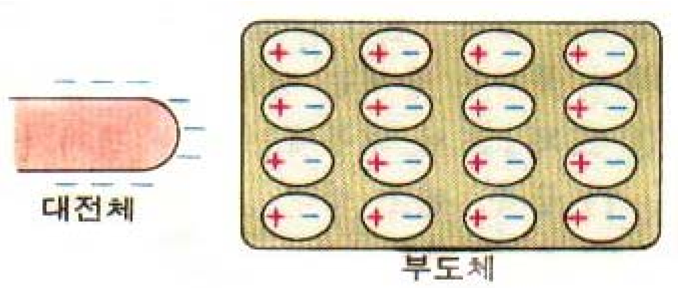
① 정전기 유도 현상은 자유 전자의 이동에 의해 일어난다.

② 도체에 유도된 (+)전하량과 (-)전하량은 같다.

③ 정전기 유도에서 도체를 양분하면 유도된 (+)전하와 (-)전하로 분리할 수 있다.

2. 부도체에서의 정전기 유도

부도체인 작은 종이 조각에 대전체를 가까이 가져가면 이들이 대전체에 달라붙는 것을 볼 수 있다. 부도체에는 자유 전자가 없으나 대전체를 가까이하면 분자내의 전자가 영향을 받아 분자들이 극성을 띠게 되고 이 극성을 띤 분자들이 대전체에서 힘을 그림과 같이 배열하게 된다. 이러한 유도 현상을 유전 분극 이라고한다.



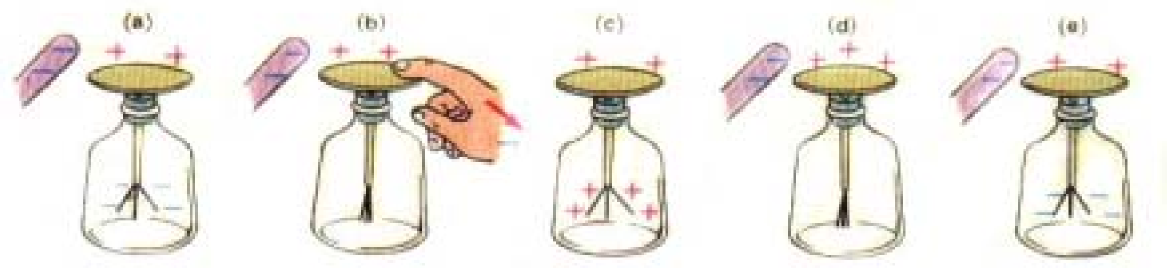
[부도체에서의 정전기 유도]

● 유전체와 유전율

부도체는 유전 분극을 나타내는 물질이라는 뜻에서 유전체라고도 한다. 유전체는 정전기 유도에 의하여 전기적으로 분극된다. 이러한 분극을 일으키는 정도는 물질의 종류에 따라 다르며 그 정도를 유전율 ε으로 나타낸다. 진공의 유전율 ε_0는 쿨롱의 법칙에서 결정되며 그 값은 $\varepsilon_0=8.85\times10^{-12}$ F/m 이다. 진공의 유전율에 대한 유전체의 유전율의 비 $\varepsilon/\varepsilon_0$를 그 물질의 유전율 ε_r 이라고 한다. 비유전율이 큰 물질은 축전기나 도선의 피복 등에 많이 이용된다.

검 전 기

정전기 유도 현상을 이용하여 대전체의 전하량, 전하의 종류를 알아보기 위한 기구로 금속박 검전기가 사용된다.



[금속박 검전기의 대전 방법]

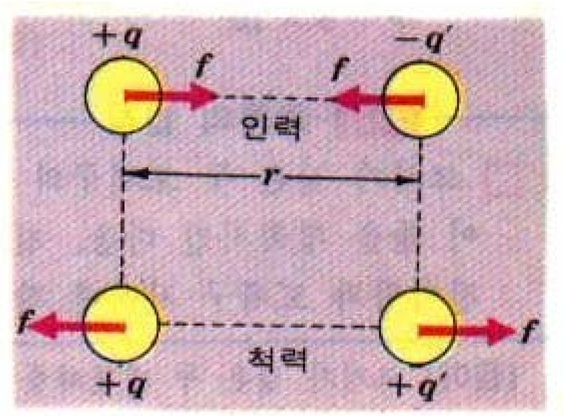
그림(a)와 같이 금속판에(-)전하를 띤 대전체를 접근시켜 금속박이 벌어지게 한 다음 그림(b)와 같이 금속판에 손을 대면 금속박에 잇는 (-)전하가 손을 거쳐서 땅속으로 전달되고 이때 (+)전하는(-) 전하로부터 인력을 받아 달아나지 못하고 금속판에 남게 된다. 따라서, 금속박은 닫혀진다.

다음에 그림 (c)와 같이 손과 대전체를 금속판에서 멀리하면 다시 금속박은 열리게 된다. 이것은 금속판에 남아 있던 (+)전하가 균일하게 분포되면서 금속박에도 (+)전하가 모여 반발력으로 열리게 되는 것이다. 이 다음에 (d)와 같이 금속판에 (-)로 대전된 대전체를 가까이하면 금속판에 (+)전하가 유도되어 금속박이 순간적으로 닫히게 된다.

이후 금속판으로의 (+)전하의 유도가 끝나면 금속박에는 (-)전하가 대전되어 벌어지게 된다.

쿨롱의 법칙

1. 쿨롱의 법칙



〔쿨롱의 법칙〕

같은 종류의 전하는 서로 밀어내고 다른 종류의 전하 사이는 서로 끌어 당긴다. 이때 두 전하 사이에 작용하는 전기력은 두 전하를 잇는 직선상에서 작용하고 이때의 전기력의 크기는 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하고 두 전하량의 곱에 비례한다.

즉, 진공 중에서 거리 r 만큼 떨어져 있는 전하량 q_1, q_2 인 두 대전체 사이에 작용하는 전기력 F 는

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

의 관계가 성립한다. 이것을 쿨롱의 법칙이라 한다.

여기서 비례 상수 k 는 두 대전체 사이에 있는 물질의 종류에 따라 정해지며 일반적으로 진공(유전율 ε_0)에서의 k 는

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9.0 \times 10^9\ \mathrm{N \cdot m^2/C^2}$$

이 된다.

2.   전하량의 단위

국제 단위계(SI 단위계)에서 쿨롱(C)을 사용하며 1C 은 도선에서 1A(암페어)의 전류가 흐를 때 그 단면을 1 초 동안에 지나가는 전하량으로 정의한다.

3. 전기력과 전하량의 단위

진공에서 1m 떨어져 있는 같은 전하량 사이에 작용하는 힘이 9 $\times 10^9$ N 일 때 각각의 전하량을 1 쿨롱(C)이라 한다. 따라서 K = 9 $\times 10^9$ N.m^2/C^2 이 되므로 쿨롱의 정전기력 F 는

$$F = 9 \times 10^9 \frac{q_1 q_2}{r^2}$$ 가 된다.

그러나 C.G.S 단위계(Centimeter, Gram, Second)로 생각하면 같은 두 전하량이 진공중에서 1cm 떨어져 있을 때 작용하는 힘이 1 다인(dyne)일 때의 전하량의 크기를 1C.G.S 정전단위(C.G.Sesu)라 한다. 따라서 C.G.S 단위계를 쓰면 쿨롱의 법칙에서 비례상수 K 는 K=1dyn.cm^2/esu^2 가 된다.

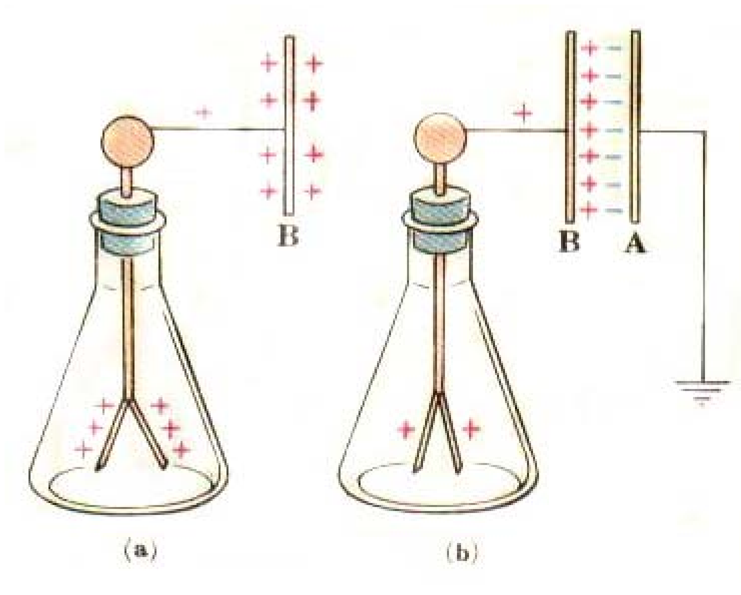
$$F = \frac{q_1 q_2}{r^2} (\mathrm{dyn})$$

그러나 국제적으로 C.G.S 단위계보다는 SI 단위계를 많이 사용한다.

축 전 기

1. 축전기

한 개의 금속구나 한 장의 금속판에 대전된 전하는 서로 반발하여 표면으로 흩어지므로 많은 양의 전하를 한 곳에 모아둘 수가 없다.
그러나 그림의 (b)와 같이 접지된 도체를 가까이해 주면 정전기 유도에 의해서 B 판에 가까운 쪽 A 판에 반대 종류 전하가 유도된다.
이 때 이들 전하들은 오랫동안 모여있게 된다.
이와 같은 방법으로 전하를 모아두는 기구를 축전기라고 한다.



[축전기의 원리]

● 충전과 방전

축전기에 전하를 공급하여 축전시키는 현상을 충전, 그 반대 현상을 방전이라 한다. 충전은 두 극판 사이에 전압이 전지의 전압과 같게 될 때까지 일어난다.

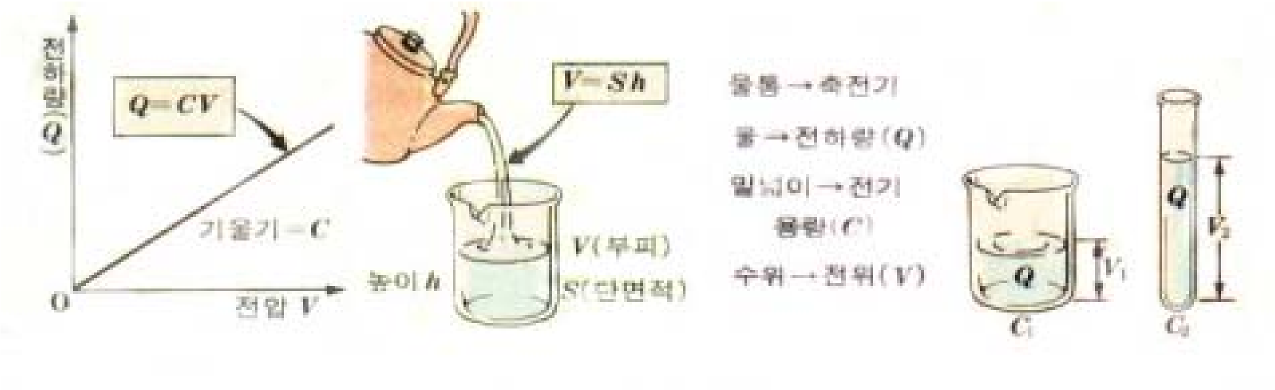
2. 전기 용량

물통에 물을 부으면 수위가 높아지는 것과 같이 도체에 전하를 주면 전위가 높아진다. 도체에 저장된 전하량이 2 배가 되면 주위의 전기장 세기도 2 배가 되고 도체까지 전하를 이동시키는 데 필요한 일 (W = Fd = qEd = qV)도 2 배로 되어 전위차도 2 배가 된다.

평행한 축전기의 두 극판 사이의 거리가 일정할 때 전하량이 크면 클수록 극판 사이의 전기장이 세어지므로 전위차가 커지게 된다. 따라서 축전지에 전하량 Q 를 저장시켰을 때 전위차가 V 이라면

$$Q = C V$$

의 관계가 성립된다. 여기서 비례 상수 C를 축전기의 전기 용량이라고 한다.



[축전기의 전기 용량]

1) 축전기의 전기 용량

축전기의 전압을 1V 높이는 데 필요한 전하량

2) 전기 용량의 단위

전기 용량의 단위는 패럿(기호 F)이 사용된다. 1V의 전압을 걸었을 때 1C의 전하량이 충전되는 축전기의 전기 용량을 1F으로 정한다.

따라서 1F = 1C/V이고 이것은 일상 생활에서 사용하기에 큰 값이므로 10^{-6}배인 마이크로 패럿, 10^{-12}배인 피코 패럿(pF)이 실용적으로 많이 사용된다.

1 μF=10^{-6}F, 1pF=10-12F

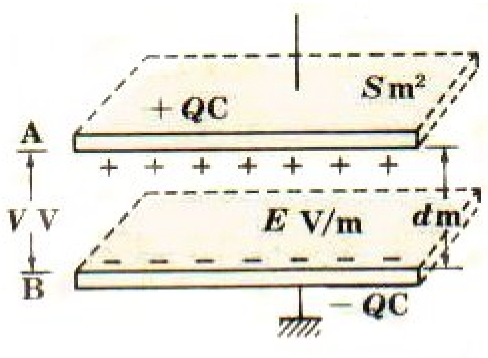
3) 전기 용량은 축전기 극판의 크기, 모양, 극판 사이의 거리, 극판 사이에 있는 물질의 종류에 따라 그 값이 달라진다.

4) 전기 용량이 큰 축전기일수록 같은 전하를 주었을 때 전압이 높아지기 어렵다.

5) 축전기를 물통에 비유할 때 물의 양은 전하량, 수위는 전위, 밑넓이는 축전기의 전기 용량에 대응된다.

평행판 축전기의 전기 용량

그림과 같은 평행한 축전기에 전하를 충전시키면 전하는 극판 안 쪽에만 분포하고 전기력선은 극판에 수직하며 평행한 모양을 이루어 균일한 전기장을 이룬다.
두 평행판 사이의 전기 용량 C(F)는 극판의 넓이 S(m^2)에 비례하고 두 판 사이의 거리 d(m)에 반비례한다. 또한 두 극판 사이에 있는 절연체의 유전율 ε(F/m)에 비례한다.



[평행한 축전기의 전기 용량]

따라서 평행판 축전기의 전기 용량 C는 다음과 같이 나타낸다.

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

1. 평행판 축전기의 전기 용량 C를 증가시키려면

1) 판의 넓이 (S)를 크게 하고 극판 사이의 거리(d)는 짧게 한다.

2) 극판 사이에 유전율(ε)이 큰 물질을 넣는다.

3) 극판 사이에 두께 있는 도체판을 평행하게 넣는다. 이 때 도체판 여러 가지 물질의 두께만큼 거리가 짧아지는 것이 된다.

2. 비유전율

두 극판 사이를 진공으로 하였을 때의 유전율(또는 전기용량)에 대한 유전체를 넣었을 때의 유전율(또는 전기 용량)의비를 그 유전체의 비유전율이라 한다.

진공의 경우를 ε_0, C_0, 유전체의 경우를 ε, C 라고 할 때 비유전율 ε_r는

$$\varepsilon_r = \frac{C}{C_0} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

가 된다.

〈표〉 여러 가지 물질의 비유전율

물질	비유전율
진공	1
공기(건조)	1.0005
변압기 기름	2.22
고무(자연)	2.94
종이	2.25
에보나이트	2.1~3.3
운모	3~6
유리	5~9
물	80.4

축전기의 내전압

축전기의 양 극판 사이에 걸어주는 전위차에는 한도가 있어서 어느 한도 이상의 전위차가 주어지면 절연을 파괴하여 극판 사이를 전기가 흐르게 된다(방전).이와 같이 축전기의 두 극판 사이에서 방전되지 않고 견딜 수 있는 최대의 전압을 축전기의 내전압이라 한다.

내전압의 크기는 극판 사이의 유전체의 종류에 따라 다르고 또 극판 사이의 거리 (유전체의 두께)에 거의 비례한다.

축전기를 사용할 때에는 축전기에 표시된 내전압을 확인하고 축전기에 걸리는 전압은 내전압이상의 전압이 걸리지 않도록 주의한다.

축전기의 연결

1.직렬 연결

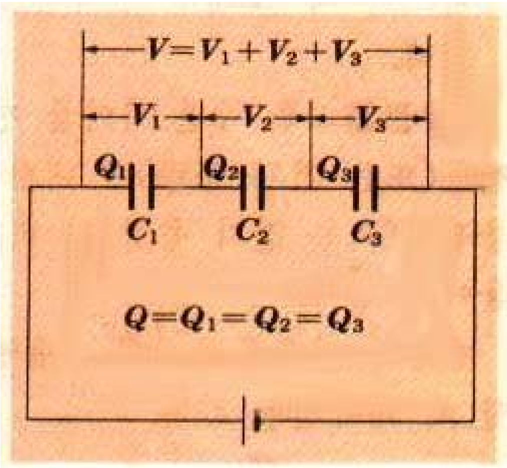
여러 개의 축전기의 극판을 순서대로 그림과 같이 연결하는 방법을 직렬 연결이라 한다.

전기 용량이 C_1, C_2, C_3 인 3 개의 축전기를 직렬로 연결하여 전압이 V 인 전지에 연결하면 축전기에는 각각 V_1, V_2, V_3 의 전압이 걸린다.

$$(V = V_1 + V_2 + V_3)$$

이 때 각 축전기에는 같은 양의 전하량이 충전되고 전체의 전하량도 같아지게 된다.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$



[축전기의 직렬 연결]

또한 합성 전기 용량을 C 라고 하면

$Q = CV = C_1V_1 = C_2V_2 = C_3V_3$ (Q = 일정, $C \propto \frac{1}{V}$)이므로

$$V = \frac{Q}{C}, \quad V_1 = \frac{Q}{C_1}, \quad V_2 = \frac{Q}{C_2}, \quad V_3 = \frac{Q}{C_3}$$

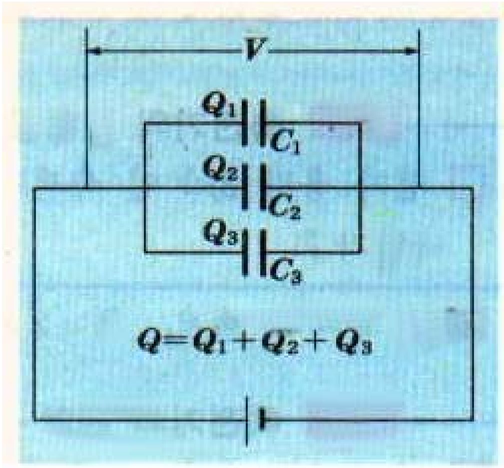
가 된다. 전체 전압 $V = V_1 + V_2 + V_3$이므로 여기에 윗 식을 대입하여 정리 하면 다음의 관계가 성립한다.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

즉, 직렬로 연결한 축전기의 합성 전기 용량의 역수는 각 축전기의 전기 용량의 역수의 합과 같다. 따라서, 축전기를 직렬로 연결하면 합성 전기 용량은 축전기 중 전기 용량이 가장 작은 값보다도 더 작아진다.

2. 병렬연결

축전기 여러 개를 그림과 같이 각 극판을 각각 한 개로 묶어서 연결하는 방법을 병렬 연결이라 한다.



[축전기의 병렬 연결]

전기용량이 C_1, C_2, C_3 인 3 개의 축전기를 병렬로 연결하여 전압 V 인 전지에 연결하면 같은 도선으로 연결한 극판의 전위는 모두 공통으로 같으므로 각 축전기의 전위차는 V 로 같게 된다. 또한 각 축전기에 충전된 전하량을 Q_1, Q_2, Q_3 라면

$$Q_1 = C_1V \quad , \quad Q_2 = C_2V \quad , \quad Q_3 = C_3V$$

가 된다. 합성 전기 용량을 C 라고 하면 전체 축적되는 전하량 Q 는

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$ 가 되므로

$$Q = CV = C_1V_1 = C_2V_2 = C_3V_3 = (C_1 + C_2 + C_3)V = CV$$

가 된다. 따라서 병렬로 연결한 축전기의 합성 전기 용량은 다음과 같이 된다.

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

즉, 병렬로 연결한 축전기의 합성 전기 용량은 각 축전기의 전기 용량의 합과 같으므로 합성 전기 용량은 커진다.

3. 축전기의 직렬 연결과 병렬 연결의 비교

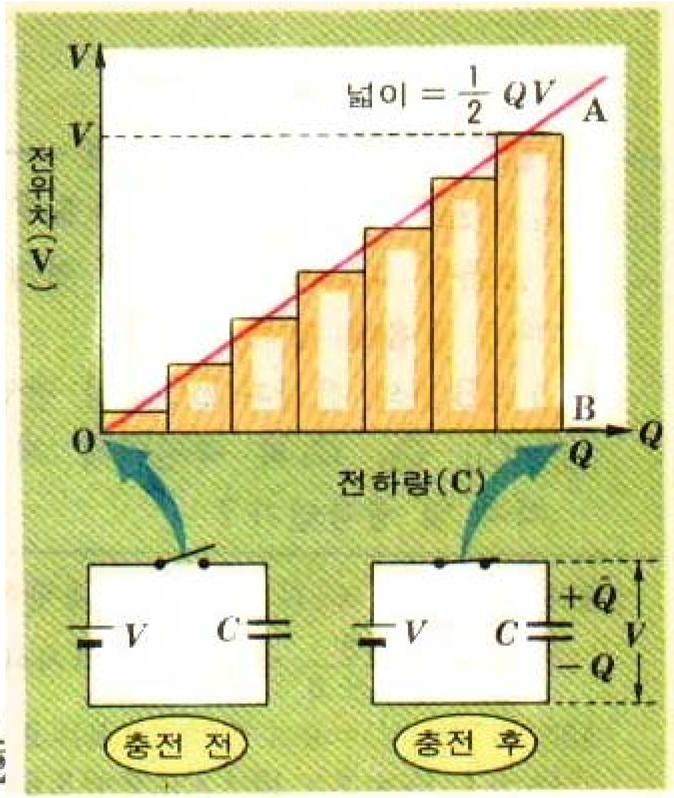
1) 직렬 연결의 경우에는 충전되는 전하량은 Q = 일정이므로 Q = CV 에서 $V \propto \frac{1}{C}$ 병렬 연결에서는 전압 V 가 일정하므로 V = 일정, 따라서 $Q \propto C$ 가 된다.

2) 직렬 연결의 경우, 합성 용량이 최소 용량의 축전기보다 작아지나 병렬 연결의 경우에는 합성 전기 용량이 커진다.

3) 직렬 연결의 경우 합성 내전압은 커지나 병렬 연결의 경우는 가장 작은 내전압이 전체 내전압이 된다.

4) 직렬 연결과 병렬 연결을 혼합하면 전체 내전압과 합성 용량을 크게 할 수 있으며 합성 용량을 구할 때 병렬 연결의 합성 용량 먼저 구한다.

축전기의 정전 에너지



[축전기의 에너지]

전기 용량 C 인 축전기에 전압 V 를 연결하여 충전을 시작하면 충전이 되는 동안 (+)전하가 축전기를 이동해가기 시작한다. 이 때는 전지에서 (+)전하를 보내기 위하여 일을 하게 되는데 이 전지가 해 준일이 축전기의 에너지로 저장된다. 이 에너지를 정전 에너지라 한다.

지금 전기 용량 C(F)인 축전기가 충전을 시작하여 Q(C)의 전하량을 주어 전위차가 V 볼트가 되었다면 이 때의 전하량은 Q = CV 이므로 오른쪽 그래프와 같이 0 점을 지나는 직선이 된다. 이 때 축전기의 전압이 0 에서 V 로 되었다면 평균 전압은 V/2 가 된다.

따라서, 저장된 전기 에너지 W 는

$$W = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}$$

이 된다.

즉, 축전기에 저장된 정전 에너지는 (Q - V)그래프에서 △AOB 의 넓이가 된다.