

6. 전류의 작용
01. 전기 에너지

1. 전류의 열작용

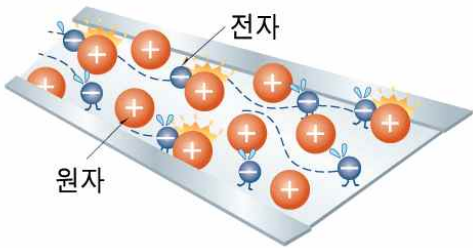
1) 전류의 열작용: 전류가 저항을 지날 때 열이 발생하는 현상

① 열이 발생하는 원인: 자유 전자가 도선의 원자와 충돌하기 때문에 발생한다.

② 전열기: 전류의 열작용을 이용한 기구

예) 전기 밥솥, 전기 다리미, 헤어 드라이어, 전기 주전자, 전기 난로 등

*전자와 원자의 충돌



*니크롬선: 니크롬(니켈-크롬 합금)으로 만든 도선, 높은 온도에 견딜 수 있어 주로 전열기에서 열을 내는 발 열체로 쓰임

2) 발열량

① 발열량: 전류가 흐를 때 저항에서 발생하는 열의 양으로, 단위는 J(줄), 또는 cal(칼로리)를 사용한다.

② 발열량과 전류, 전압, 시간의 관계

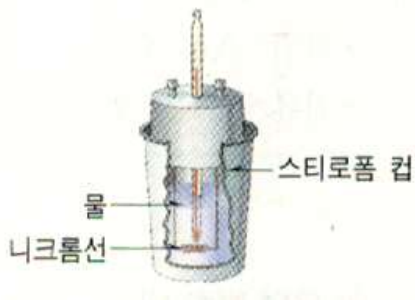
발열량과 전류의 관계	발열량과 전압의 관계	발열량과 시간의 관계
발열량은 전류에 비례한다. → 발열량(Q) ∝ 전류(I)	발열량은 전압에 비례한다. → 발열량(Q) ∝ 전압(V)	발열량은 전류가 흐른 시간에 비례한다. → 발열량(Q) ∝ 시간(t)

· 발열량은 전압, 전류, 시간의 곱에 비례한다.

발열량 ∝ 전압 × 전류 × 시간
 $Q \propto VIt$

$V = IR$ 이므로 $Q \propto I^2 R t$
 $I = \frac{V}{R}$ 이므로 $Q \propto \frac{V^2}{R} t$

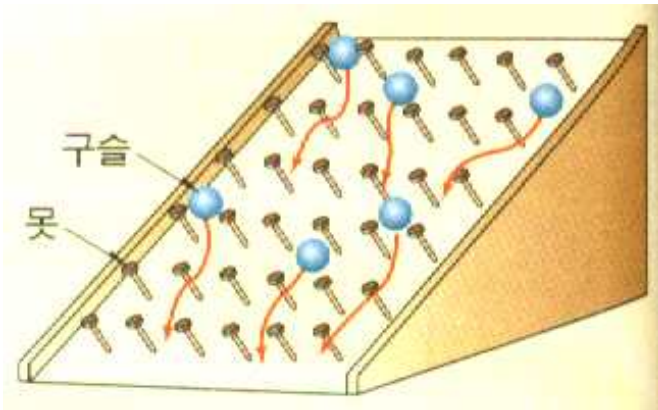
*발열량 측정 장치(열량계)



저항(니크롬선)에 전류가 흐를 때 저항에서 발생하는 열량을 물의 온도 변화로 측정하는 장치이다.
 발열량 $\propto$ 물의 온도 변화

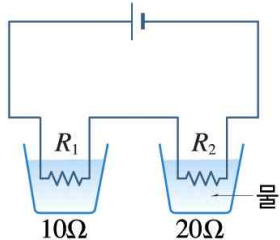
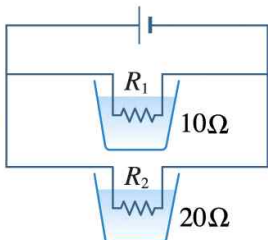
* cal : 1cal는 물 1g의 온도를 1℃ 올리는데 필요한 열량이다.

* 발열량과 전자와 원자의 충돌



구슬은 전자를, 못은 원자를 의미한다. 못과 구슬의 충돌이 많을수록 열이 많이 발생한다.

3) 저항의 연결 방법에 따른 발열량

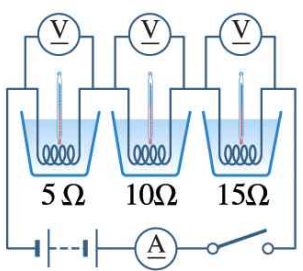
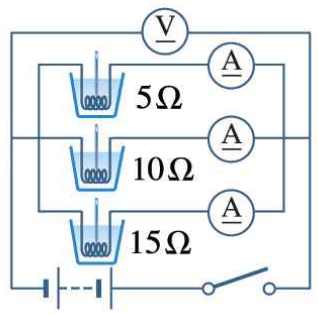
연결 방법	직렬 연결	병렬 연결
전류와 전압	각 저항에 흐르는 전류는 같다. → 전압은 저항에 비례한다.	각 저항에 걸리는 전압은 같다. → 전류는 저항에 반비례한다.
발열량의 크기	$Q \propto I^2 R t$ 에서 I 가 일정하므로 → $Q \propto R$ → 발열량은 저항에 비례한다.	$Q \propto \frac{V^2}{R} t$ 이며, V 가 일정하므로 → $Q \propto \frac{1}{R}$ → 발열량은 저항에 반비례한다.
이유	 ① R_1과 R_2에 흐르는 전류의 세기는 같다. $I_1 = I_2$ ② 저항이 큰 R_2에 높은 전압이 걸린다. $V_1 : V_2 = 1 : 2$ ③ $Q \propto V I t$에서 I가 일정하므로 $Q_1 : Q_2 = V_1 : V_2 = 1 : 2$	 ① R_1과 R_2에 걸리는 전압의 크기는 같다. $V_1 = V_2$ ② 저항이 작은 R_1에 많은 전류가 흐른다. $I_1 : I_2 = 2 : 1$ ③ $Q \propto V I t$에서 V가 일정하므로 $Q_1 : Q_2 = I_1 : I_2 = 2 : 1$

결론	발열량과 전압의 관계를 알 수 있다.	발열량과 전류의 관계를 알 수 있다.
예	저항이 큰 니크롬선에서 더 많은 열이 발생한다.	저항이 작은 니크롬선에서 더 많은 열이 발생한다.

*직렬: 전기 기기나 장치를 차례차례 한 줄로 연결하는 것

*병렬: 전기 기기나 장치를 나란하게 연결하는 것

*저항의 연결과 발열량의 비교

연결 방법	직렬 연결	병렬 연결
전기 회로		
저항의 비	$5\Omega : 10\Omega : 15\Omega = 1 : 2 : 3$	$5\Omega : 10\Omega : 15\Omega = 1 : 2 : 3$
전류의 비	$1 : 1 : 1 \rightarrow$ 일정	$\frac{1}{1} : \frac{1}{2} : \frac{1}{3} = 6 : 3 : 2 \rightarrow$ 저항에 반비례
전압의 비	$1 : 2 : 3 \rightarrow$ 저항에 비례	$1 : 1 : 1 \rightarrow$ 일정
발열량의 비	$1 : 2 : 3 \rightarrow$ 저항에 비례	$6 : 3 : 2 \rightarrow$ 저항에 반비례

2. 전기 에너지

1) 전기 에너지(E): 전류가 흐를 때 공급되는 에너지

① 전기 에너지의 크기: 전류, 전압, 시간에 각각 비례한다.

전기 에너지 = 전압 × 전류 × 시간

$$E = VIt$$

$V = IR \text{ 이므로}$
 $I = \frac{V}{R} \text{ 이므로}$

$E = I^2 R t$
 $E = \frac{V^2}{R} t$

② 전기 에너지의 단위: J(줄)

· 1J: 1V의 전압으로 1A의 전류가 1초 동안 흐를 때 공급되는 전기 에너지

$$1J = 1V \times 1A \times 1s$$

③ 전기 에너지와 발열량의 관계: 전류가 흐를 때 열이 발생하는 것은 전류가 공급한 전기 에너지가 열로 변하기 때문이다. 따라서 발열량은 전기 에너지에 비례한다.

$$\text{전기 에너지} \propto \text{발열량}$$

*전기 에너지의 전환과 이용

① 빛에너지로 전환: 형광등, 백열 전구, 텔레비전, 모니터 등

② 열에너지로 전환: 전기 난로, 다리미, 전기 밥솥, 전지 주전자 등

③ 운동 에너지로 전환: 선풍기, 세탁기, 전동차 등

④ 파동 에너지로 전환: 라디오, 전자 오르간, 전자 레인지, 레이더 등

2) 전력 and 전력량

구분	전력(P)	전력량(W)
정의	전기 기구가 1초 동안 사용한 전기 에너지 (전기 에너지의 일률)	어느 시간 동안 전기 기구가 사용한 전기 에너지의 총량(전력의 양)
단위 시간	s(초)	h(시간)
계산 방법	$\text{전력} = \frac{\text{전기 에너지}}{\text{시간}} = \frac{\text{전압} \times \text{전류} \times \text{시간}}{\text{시간}}$ $= \text{전압} \times \text{전류}$ $P = VI \left(= I^2 R = \frac{V^2}{R} \right)$	$\text{전력량} = \text{전력} \times \text{시간}$ $= \text{전압} \times \text{전류} \times \text{시간}$ $W = VIt \left(= I^2 Rt = \frac{V^2}{R} t \right)$
단위	W(와트), kW(킬로와트) · 1W: 1초 동안 1J의 전기 에너지를 사용 하는 전력, 1V의 전압을 걸었을 때 1A의 전류가 흐르는 전력 · $1W = 1J/s = 1V \times 1A$ $1kW = 1000W$	Wh(와트시), kWh(킬로와트시) · 1Wh: 1W의 전력을 1시간 동안 사용하 였을 때의 전력량 · $1Wh = 1W \times 1h = 1J/s \times 3600s = 3600J$ $1kWh = 1000Wh$
특징	전구의 밝기는 소비 전력에 비례하므로 소 비 전력이 큰 전구일수록 밝다.	사용한 전기 에너지의 총량을 나타낸 값으 로, 전기 요금을 계산하는 데 이용된다.

*전력의 다른 표현

일반적인 표현
→ 전력 = 전압 × 전류 = VI
저항에 걸리는 전압을 알 때
→ 전력 = $\frac{\text{전압}^2}{\text{저항}} = \frac{V^2}{R}$
저항에 흐르는 전류를 알 때
→ 전력 = 전류 ² × 저항 = I ² R

*100V - 50W인 전구 분석하기



① 이 전구는 100V 전압을 걸었을 때 50W의 전력을 소비한다. 즉, 1초 동안 50J의 전기 에너지를 소비한다.

② 전류 = $\frac{\text{전력}}{\text{전압}} = \frac{50W}{100V} = 0.5A$

③ 저항 = $\frac{(\text{전압})^2}{\text{전력}} = \frac{(100V)^2}{50W} = 200\Omega$

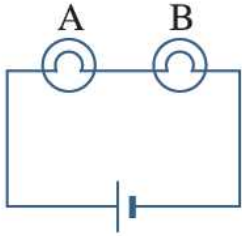
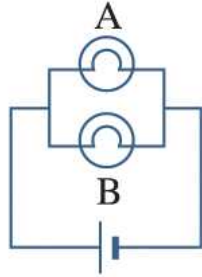
④ 200V 전원에 연결할 때의 소비 전력 = $\frac{(\text{전압})^2}{\text{저항}} = \frac{(200V)^2}{200\Omega} = 200W$

→ 전압이 2배로 되면 전구에 흐르는 전류도 2배가 되어 소비 전력은 4배로 된다.

*전구의 연결과 밝기(저항: A > B)

전구의 밝기는 소비 전력에 비례한다.

구분	직렬 연결	병렬 연결
----	-------	-------

회로도		
전구의 밝기	$P=I^2R$ 에서 I 가 일정하므로 $P \propto R$ $\therefore A$ 가 더 밝다.	$P = \frac{V^2}{R}$ 에서 V 가 일정하므로 $P \propto \frac{1}{R}$ $\therefore B$ 가 더 밝다.

*발열량, 전기 에너지, 전력, 전력량의 비교

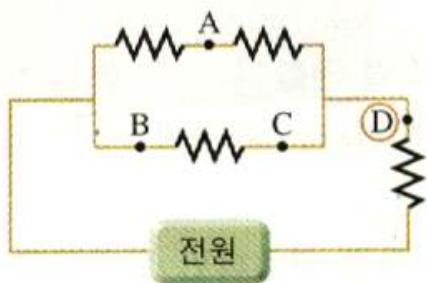
구분	발열량	전기 에너지	소비 전력	소비 전력량
공식	$Q \propto VIt = I^2Rt = \frac{V^2}{R}t$	$E = VIt = I^2Rt = \frac{V^2}{R}t = Pt(s)$	$P = \frac{E}{t} = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}$	$W = VIt = I^2Rt = \frac{V^2}{R}t = Pt(h)$
단위	cal(칼로리)	J(줄)	W(와트)	Wh(와트시)
단위시간(t)	s(초)	s(초)	s(초)	h(시간)
저항의 직렬	I^2Rt 이용	I^2Rt 이용	I^2R 이용	I^2Rt 이용
연결	I 가 일정하므로 저항의 크기에 비례한다.			
저항의 병렬	$\frac{V^2}{R}t$ 이용	$\frac{V^2}{R}t$ 이용	$\frac{V^2}{R}$ 이용	$\frac{V^2}{R}t$ 이용
연결	V 가 일정하므로 저항의 크기에 반비례한다.			

3) 전기 기구의 안전한 사용

- 모든 전기 기구는 표시되어 있는 전압(정격 전압)에서 사용한다. 그렇지 않으면 작동되지 않거나 고장이 날 수 있다.
- 젖은 손으로 전선이나 전기 기구를 만지지 않는다.
- 세탁기나 냉장고 등의 전기 기구는 접지하여 사용한다.
- 한 콘센트에 여러 개의 전기 기구를 연결하지 않는다.
- 퓨즈는 정해진 용량의 것을 사용한다.

*전기의 사용과 관련된 용어

- 정격 전압: 전기 기구를 가장 안전하게 정상적으로 사용할 수 있는 전압
- 누전: 전선이 낡아서 전류가 전선 밖으로 흐르는 현상 → 누전 차단기를 설치하여 감전과 화재를 예방한다.
- 접지: 전기 기구와 땅을 도선으로 연결하는 것 → 누전시 접지선으로 전류가 흘러 감전을 예방한다.
- 합선: 전기 기구의 과다한 사용으로 열이 발생하여 전선 껍질이 녹아 구리선이 맞붙은 상태
- 퓨즈: 과전류가 흘러 화재가 나는 것을 방지하기 위해 설치하는 장치로, 회로의 전체 전류가 흐르는 곳(D)에 설치한다.



02. 전류가 만드는 자기장

1. 자석이 만드는 자기장

1) 자기력: 자석의 두 극 또는 자석의 극과 쇠붙이 사이에 작용하는 힘

① 인력: 다른 극 사이에서 서로 끌어당기는 힘 → N극과 S극

② 척력: 같은 극 사이에서 서로 밀어내는 힘 → N극과 N극, S극과 S극

2) 자기장: 자석의 주위에 자기력이 작용하는 공간

① 자기장의 방향: 자석 주위에 놓은 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향

② 자기장의 세기: 자석의 양 극에서 가장 강하고, 멀어질수록 약해진다.

3) 자기력선: 자기장의 모양을 나타내는 선

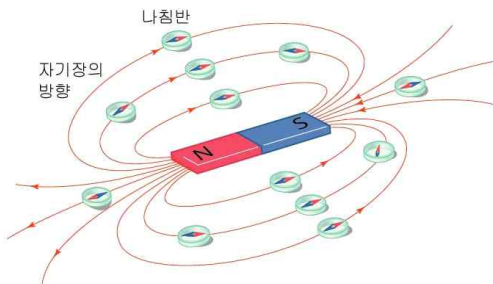
① 나침반의 N극이 가리키는 방향을 연결한 선이다.

② 자석의 N극에서 나와 S극으로 들어간다.

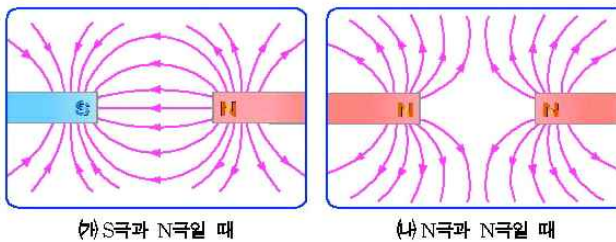
③ 자기력선은 도중에 끊어지거나 교차하지 않는다.

④ 자기력선이 조밀할수록 자기력(자기장의 세기)이 세다.

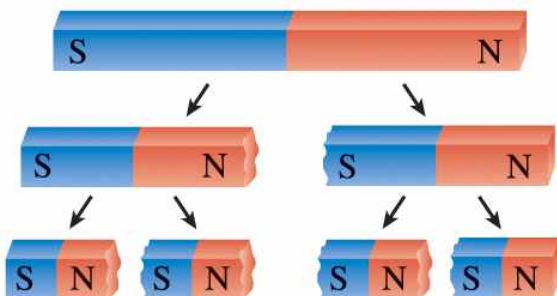
*막대 자석 주위의 자기력선



*두 자석 사이의 자기력선

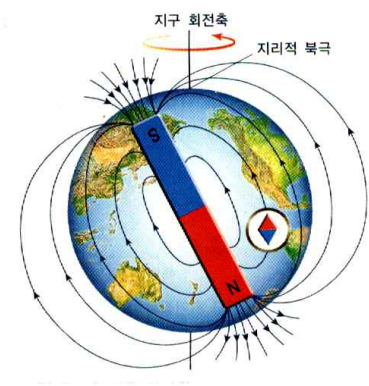


*자석은 잘라도 두 극이 존재한다.



자석을 반으로 자르면 N극과 S극으로 분리되지 않고 자른 면에 새로운 자극이 생겨서 자른 자석은 각각 N극과 S극을 갖는 새로운 자석이 된다. 자석은 반으로 잘라도 두 극이 항상 쌍으로 존재한다. 이것은 자석이 N극과 S극을 가지는 매우 작은 자석들로 이루어져 있기 때문이다.

*지구 자기장: 지구에서 나침반의 N극은 북쪽을 가리킨다. 이는 지구가 북극 부근이 S극, 남극 부근이 N극인 커다란 자석으로, 지구 주위에 자기장을 형성하기 때문이다.



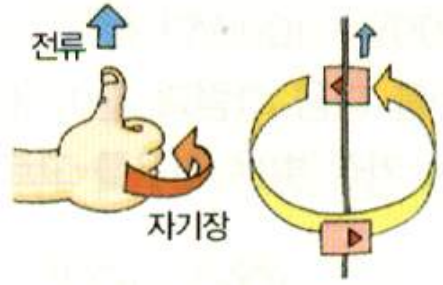
2. 전류가 만드는 자기장

1) 직선 전류가 만드는 자기장

자기장의 모양	도선을 중심으로 한 동심원 모양 · 오른손의 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게 하고, 나머지 네 손가락으로 도선을 감아칠 때 네 손가락이 가리키는 방향이 자기장의 방향이다. · 전류의 방향이 반대로 되면 자기장의 방향도 반대로 된다.
자기장의 방향	
자기장의 세기	· 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례한다. · 도선으로부터의 수직 거리에 반비례하므로 도선에서 가까울수록 세다.

*나침반이 도선의 위와 아래에 있을 때 자침이 가리키는 방향

나침반이 도선 위에 있을 때	나침반이 도선 아래에 있을 때



- ① 오른손을 이용하여 자기장의 방향을 찾고, 직선 도선 주위에 자기장의 방향을 화살표로 그린다.
- ② 도선의 위와 아래에 나침반의 N극이 가리키는 방향을 화살표로 그린다.

*오른나사의 법칙: 프랑스의 물리학자이며, 수학자인 앙페르는 전류의 방향과 자기장의 방향을 오른나사를 이용하여 설명하였다. 이것을 오른나사의 법칙 또는 앙페르의 법칙이라고 한다.

2) 원형 전류가 만드는 자기장

자기장의 모양	직선 도선을 원형으로 구부렸을 때와 같은 모양
자기장의 방향	· 원형 도선의 모든 곳에서 오른손의 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게 하고, 나머지 네 손가락으로 도선을 감아줄 때 네 손가락이 가리키는 방향이 자기장의 방향이다. · 전류의 방향이 반대로 되면 자기장의 방향도 반대로 된다.
	A : 북쪽, B : 남쪽, C : 북쪽
자기장의 세기	· 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례한다. · 원형 도선의 반지름에 반비례하며, 원형 도선의 안쪽이 바깥쪽보다 세다.

*원형 도선 주위의 자기장: 원형 도선의 각 부분을 직선 도선으로 생각할 때 각 직선 도선에 의해 생긴 자기력선의 모양을 합한 것과 같다.

3) 코일이 만드는 자기장

자기장의 모양	막대 자석에서 생기는 자기장과 같은 모양
자기장의 방향	· 코일 안: 오른손의 엄지손가락을 펴고 나머지 네 손가락을 전류가 흐르는 방향으로 감아줄 때, 엄지손가락이 가리키는 방향이 자기장의 방향이다. · 코일 안과 밖에서 자기장의 방향은 반대이다. · 전류의 방향이 반대로 되면 자기장의 방향도 반대로 된다.

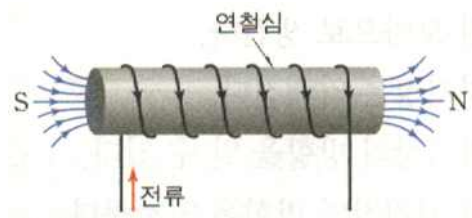
자기장의 세기	· 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례한다. · 단위 길이당 코일의 감은 수에 비례한다.

*코일: 도선을 원통 모양으로 여러 번 감은 것

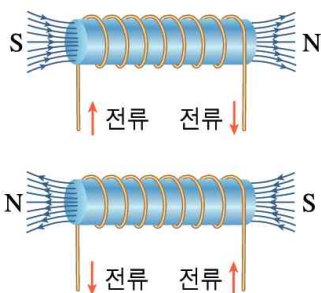
*코일 주위의 자기장: 여러 개의 원형 도선에 의하여 생기는 자기장이 합쳐진 것과 같다.

3. 전자석

1) 전자석: 전류가 흐르는 코일 속에 연철심을 넣어 만든 자석으로, 전류가 흐르는 동안에만 일시적으로 자석의 성질을 갖는다.



2) 전자석의 극: 오른손을 이용하여 코일에 의한 자기장의 방향을 찾을 때, 엄지손가락의 방향이 N극의 방향이다. 전류의 방향이 반대로 되면 전자석의 극도 반대로 된다.



3) 전자석의 세기: 전류의 세기가 셀수록, 단위 길이당 코일의 감은 수가 많을수록 세다.

· 전류의 세기로 전자석의 세기를 조절할 수 있다.

4) 전자석의 이용: 비상벨, 초인종, 전화기, 스피커, 라디오, 자동문, 전자석 기증기, 전동기, 자기 부상 열차 등

*영구 자석: 한 번 자성을 띠면 오랫동안 자력을 지니는 자석

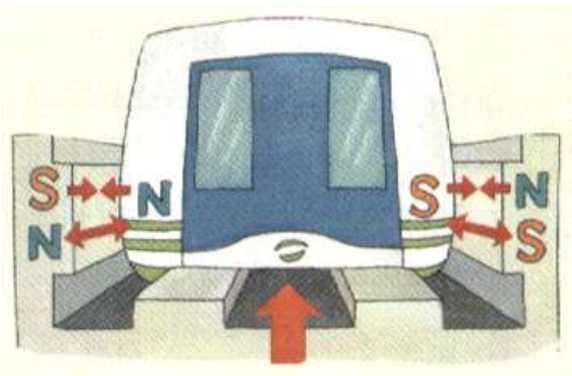
*전자석에 철심을 넣는 이유: 코일 속에 철심을 넣으면 철심의 내부에 외부 자기장과 같은 방향의 자기장이

생겨 전체적으로 자기장이 세어진다.

*전자석의 세기에 영향을 주는 요인: 전류의 세기, 코일의 감은 수, 코일의 굵기, 철심의 종류

*자기 부상 열차는 어떻게 떠서 달릴까?

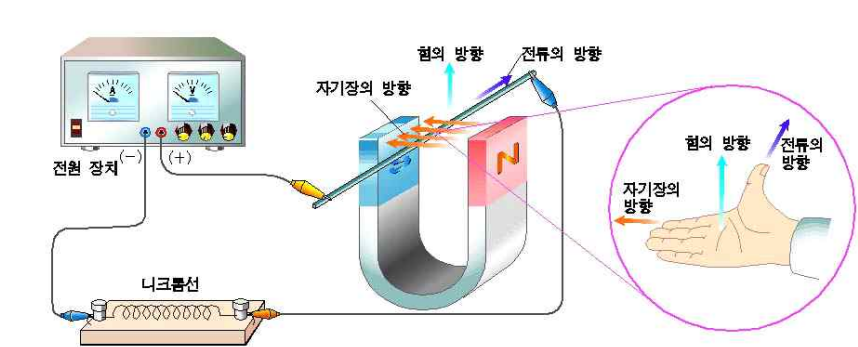
자기 부상 열차는 자기력을 이용하여 열차 바퀴가 선로에 닿지 않고 일정한 높이로 떠서 이동하는 미래형 열차이다. 이와 같이 열차 바퀴가 선로에 닿지 않기 때문에 열차가 받는 마찰력을 최소화하여 열차의 속력을 최대화할 수 있다. 자기 부상 열차가 뜨는 원리는 자석의 같은 극 사이에 발생하는 척력을 이용하는데, 보통의 영구 자석의 자기력은 열차를 띄울만큼 강력하지 않기 때문에 전류의 세기를 조절하여 강한 자기력을 얻을 수 있는 전자석을 이용한다.



03. 자기장에서 전류가 받는 힘

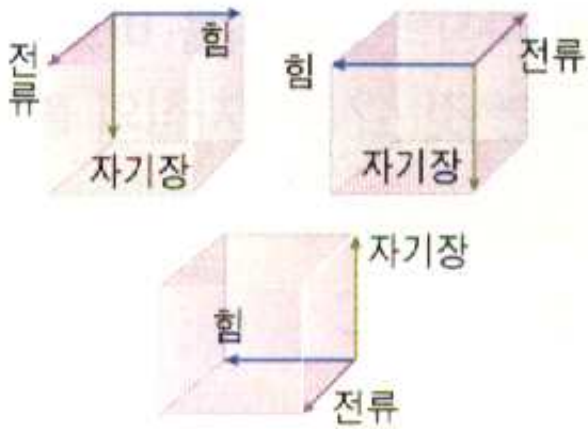
1. 자기장에서 전류가 받는 힘

- 1) 전자기력: 자기장 속에서 전류가 흐르는 도선이 받는 힘
- 2) 전자기력이 생기는 원인: 전류가 흐를 때 생기는 자기장과 자석 주위의 자기장이 서로 영향을 주고 받기 때문에
- 3) 전자기력의 방향: 오른손을 펴고 엄지손가락을 전류의 방향, 네 손가락을 자기장의 방향과 일치시키면 손바닥이 향하는 방향이 힘의 방향이다.



- 엄지손가락: 전류의 방향
- 네 손가락: 자기장의 방향
- 손바닥: 힘의 방향

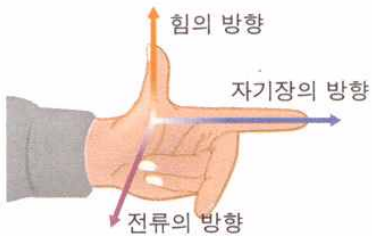
① 전류와 자기장 및 전자기력의 방향은 서로 직각을 이룬다.



② 전자기력의 방향은 전류의 방향과 자기장의 방향에 따라 달라진다.

③ 전자의 이동 방향과 반대 방향을 전류 방향으로 하여 힘의 방향을 찾는다.

*플레밍의 왼손 법칙: 왼손의 엄지, 둘째, 셋째 손가락을 서로 직각이 되도록 펴고 셋째 손가락을 전류의 방향으로, 둘째 손가락을 자기장의 방향으로 일치시키면, 엄지손가락의 방향이 전자기력의 방향이 된다.

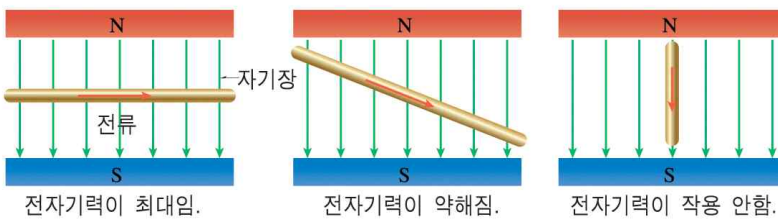


4) 전자기력의 크기

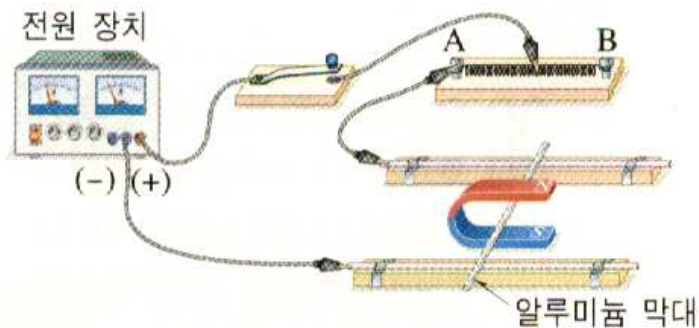
① 전자기력의 크기는 전류가 셀수록, 자기장이 셀수록 크다.

② 전류와 자기장의 방향이 이루는 각과 전자기력의 크기

- 최대: 전류와 자기장의 방향이 이루는 각이 직각(90°)일 때
- 최소(0): 전류와 자기장의 방향이 평행(0° 또는 180°)일 때



*전자기력의 방향과 크기 변화 방법

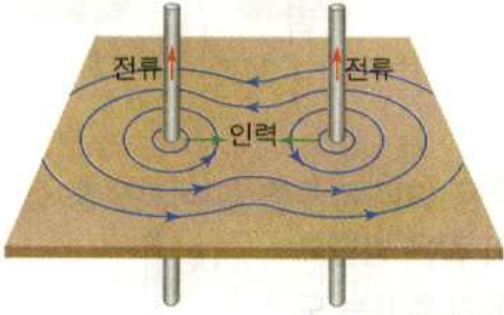
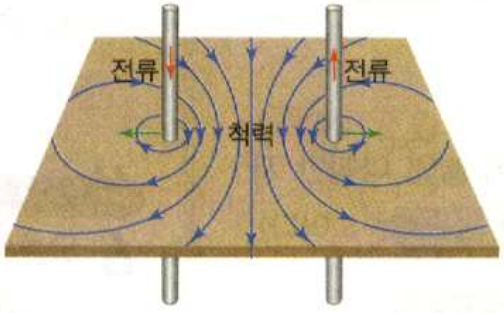


알루미늄 막대의 운동 방향(전자기력의 방향)을 바꾸는 방법	알루미늄 막대가 받는 힘(전자기력의 크기)을 증가시키는 방법
① 전류의 방향을 바꾼다. → 전원 장치의 극을 바꾸어 연결한다.	① 자기장의 세기를 증가시킨다. → 말굽 자석을 센 것으로 바꾸어 연결한다.
② 자기장의 방향을 바꾼다. → 말굽 자석의 극을 바꾸어 연결한다.	② 전류의 세기를 증가시킨다.
주의) 자석의 극과 전원 장치의 극을 동시에 바꾸어 연결하면 전자기력의 방향이 바뀌지 않는다.	→ 전원 장치의 전압을 높인다.
	→ 니크롬선에 연결된 집계를 A쪽으로 옮긴다.(전체 저항이 감소하여 전류 증가)

2. 나란한 두 도선 사이에 작용하는 힘

1) 두 자기장의 합성에 의한 힘의 방향: 두 전류가 만드는 자기장이 상호 작용하여 자기장이 강한 쪽에서 약한 쪽으로 힘이 작용한다.

2) 나란한 두 직선 도선 사이에 작용하는 힘

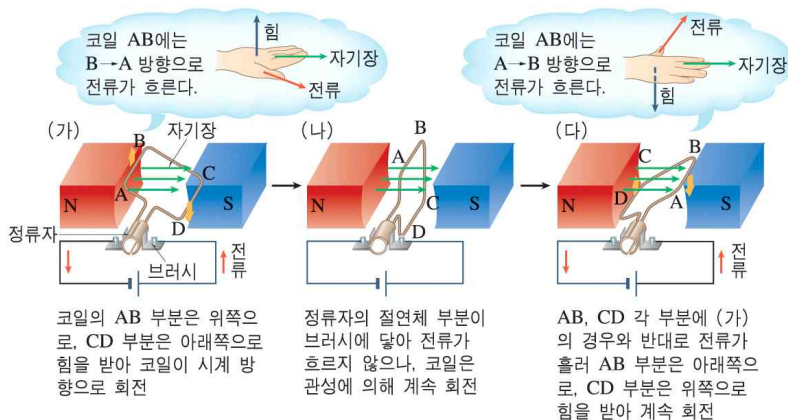
두 전류의 방향이 같을 때	두 전류의 방향이 반대일 때
	
두 도선의 가운데 부분은 자기장의 방향이 반대이므로 자기장이 약해진다. → 두 도선 사이에는 서로 당기는 힘(인력)이 작용한다.	두 도선의 가운데 부분은 자기장의 방향이 같으므로 자기장이 강해진다. → 두 도선 사이에는 서로 밀어내는 힘(척력)이 작용한다.

3. 전자기력을 이용한 기구

1) 전동기: 영구 자석 사이에 있는 코일에 전류가 흐를 때 코일이 전자기력을 받아 회전하도록 만든 장치로, 전기 에너지를 역학적 에너지로 전환한다.

*전동기: 전기의 힘을 이용하여 동력을 얻는 장치

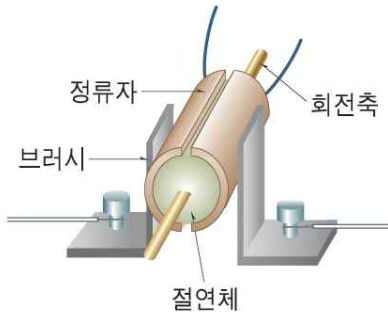
(1) 전동기의 회전 원리



① 코일의 AB 부분은 위쪽으로, CD 부분은 아래쪽으로 힘을 받아 코일이 시계 방향으로 회전한다.

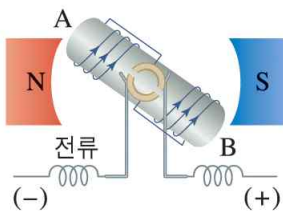
- ② 정류자의 절연체 부분이 브러시에 닿아 전류가 흐르지 않으나, 코일은 관성에 의해 계속 회전한다.
- ③ AB, CD 각 부분에 ①의 경우와 반대로 전류가 흘러 AB는 아래쪽으로, CD는 위쪽으로 힘을 받아 코일이 계속 시계 방향으로 회전한다.

*정류자와 브러시: 금속이 절연체의 양쪽에 붙어 있어 회전축이 반 바퀴 돌 때마다 코일에 흐르는 전류의 방향을 바꾸어 준다. 정류자에 의해 코일이 같은 방향으로 계속 회전할 수 있다.

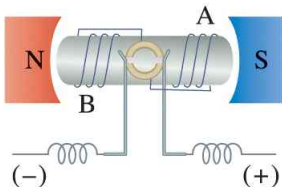


* 전자석의 원리를 이용한 전동기

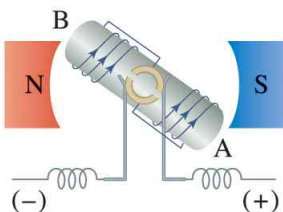
- ① 전류가 흐르면 A부분이 N극, B부분이 S극이 되어 시계 방향으로 회전한다.



- ② 코일에 전류가 흐르지 않지만 관성에 의해 회전한다.



- ③ 전류가 흐르면 A부분이 S극, B부분이 N극이 되어 시계 방향으로 계속 회전한다.

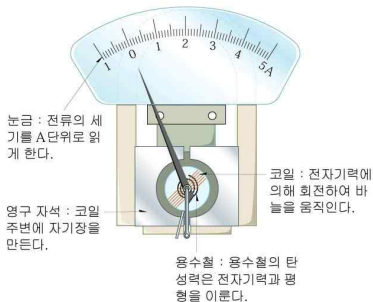
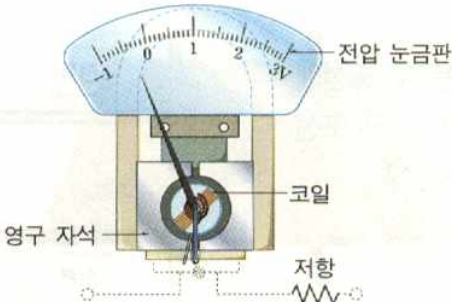


(2) 전동기의 회전 방향과 속력

- ① 회전 방향에 영향을 주는 요인: 자석의 극, 전류의 방향 → 자석의 극이나 전류의 방향이 반대로 되면 코일이 반대 방향으로 회전한다.
- ② 회전 속력에 영향을 주는 요인: 자기장의 세기, 전류의 세기 → 자기력이 큰 자석을 사용할수록(자기장이 셀수록), 전류가 셀수록(전압이 높을수록), 코일의 감은 수가 많을수록 코일이 빠르게 회전한다.

(3) 전동기의 이용: 선풍기, 세탁기, 냉장고, 에어컨 등의 가전 제품과 에스컬레이터, 전동차 등

2) 전류계, 전압계

구분	전류계	전압계
정의	전자기력의 원리를 이용하여 전류의 세기를 측정하는 장치로, 회로에 직렬로 연결한다.	전자기력의 원리를 이용하여 전압의 크기를 측정하는 장치로, 회로에 병렬로 연결한다.
원리	· 코일에 전류가 흐르면 코일은 전자기력을 받아 바늘과 함께 오른쪽으로 회전한다. 이때 코일 위에 붙어 있는 용수철의 탄성력 때문에 코일은 계속 회전하지 않고 코일의 전자기력과 용수철의 탄성력이 평형이 되는 순간까지 바늘이 움직인다. · 전자기력의 세기는 전류의 세기에 비례하므로, 바늘이 회전하는 각도를 이용하여 전류의 세기를 측정할 수 있다.	· 기본 구조와 작동 원리는 전류계와 같으나, 바늘이 가리키는 눈금을 전압의 단위(V)로 고쳐서 나타낸다. · 전압계에는 큰 저항이 코일에 직렬로 연결되어 있어서, 전류가 전압계로 많이 흐르는 것을 막는다.
구조		

4) 스피커

구분	스피커
정의	전자기력을 이용하여 스피커의 진동판을 진동시킴으로써 소리가 재생되도록 만든 장치
원리	스피커는 전기 신호를 소리로 바꾸어 준다. 전류가 스피커 소리통에 감긴 코일을 지나면 이 코일은 전자석이 된다. 그 가까이에 강한 영구 자석이 있다. 전류가 한 방향으로 흐르면 영구 자석의 자기력이 전자석을 밀기 때문에 스피커 앞면은 바깥쪽으로 공기를 민다. 전류가 다른 쪽 방향으로 흐르면 스피커 앞면은 안쪽으로 잡아당겨진다. 이러한 진동이 소리(음파)를 만들어 낸다.
구조	