2장 기초 공학 이론

학습목표

- 단위의 개념을 이해하고 환산할 수 있다.
- 물리량의 개념을 이해하고 설명할 수 있다.

[핵심 용어]

- 단위, 힘, 일(에너지, 전력량), 일률(공률, 전력), 운동, 전기, 옴의 법칙, 플레밍의 법칙 등

2.1 단위와 물리량

2.1.1 단위

기본 물리량의 단위를 기본단위라 하며, 기본단위의 조합으로 이루어지는 단위를 유도단위라 한다. 1970년대 이전까지 사용된 단위는 절대단위계와 공학 단위계를 주로 사용하였다. 1960년 제 11차 국제 도량형 총회에서 국제단위계(SI단위 : System of International Units)로 공식적으로 채택하였고, 1971년 제14차 국제 도량형 총회에서 기본단위에 물질의 양(몰)을 추가하여 7개의 기본 단위가 되었다.

2.1.1.1 기본단위

국제단위계의 기본단위는 길이(m), 질량(kg), 시간(s), 온도(K), 광도(cd), 전류(A), 물질량(mol)이 있다. 여기서 7개 기본단위 중 MKS단위계는 길이(m), 질량(kg), 시간(s) CGS 단위계는 길이(cm), 질량(g), 시간(s)가 있다. 즉, SI단위는 MKS단위계 외 온도(K), 광도(cd), 전류(A), 물질량(mol)를 더욱 확장하여 사용하는 것이다. 그러므로 7개의 기본단위를 제외한 모든 단위를 SI 단위의 유도단위라 한다.

[표 2-1] 국제단위계의 기본단위

양	기호	명칭
길이	m	미터
질량	kg	킬로그램
시간	s	세컨드
전류	A	암페어
열역학적 온도	K	켈빈
물질의 양	mol	몰
광도(광원의 밝기)	cd	칸델라

[표 2-2] 단위계의 비교

단위계	단위		
SI단위계	m, kg, s, A, K, mol, cd		
MKS단위계	m	kg	s
CGS단위계	cm	g	s

2.1.1.2 공학(중력) 단위계

뉴턴의 운동 제2법칙에서 힘(F)은 질량(m)과 가속도(α)의 곱으로 정의한다. 또는 중력가속도(g)로 표기. 그러므로 힘 1(kg$f$)은 질량 1(kg)에 중력가속도 9.8(m/s^2)의 곱으로 나타낸다. 즉, 힘을 공학 단위로 표현하면 다음과 같다.

$$1\text{kg}f = 1\text{kg} \cdot 9.8\text{m/s}^2 = 9.8\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 = 9.8N$$

$$1\text{g}f = 1\text{g} \cdot 9.8\text{m/s}^2 = 1\text{g} \cdot 980\text{cm/s}^2 = 980\text{dyne}$$

2.1.1.3 단위 환산

(1) 힘(무게)의 단위

[표 2-3] 힘의 단위 환산

	분 류	환 산
국제단위	dyne	$1\text{dyne} = 1\text{g} \cdot \text{cm/s}^2$
	N	$1N = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2 = 10^5\text{g} \cdot \text{cm/s}^2 = 10^5\text{dyne}$
공학 단위	gf	$1\text{g}f = 980\text{dyne}$
	kg$f$	$1\text{kg}f = 9.8N = 9.8 \cdot 10^5\text{dyne}$

(2) 일(에너지, 전력량, 열량)의 단위

[표 2-4] 일의 단위 환산

	분 류	환 산
국제단위	erg	erg = (dyne) • cm = g • cm^2/s^2
	$J = N$ • m	$J = N$ • m = kg • m/s^2 • m = 10^7erg
공학단위	gf • cm	gf • cm = g • 9.8m/s^2 • cm = 980erg
	kg$f$ • m	kg$f$ • m = kg • 9.8m/s^2 • m = 9.8 • 10^7erg

(3) 일률(공률, 출력, (출)전력)의 단위

[표 2-5] 일률의 단위 환산

	분 류	환 산
국제단위	erg/s	erg/s = dyne • cm/s
	$W = J$/s	$W = J$/s = N • m/s = 10^7erg/s
공학단위	gf • cm/s	gf • cm/s = 980dyne • cm/s = 980erg/s
	kg$f$ • m/s	1kg$f$ • m/s = 9.8N • m/s = 9.8J/s

(4) 기본단위 값

1) 1m = 100cm = 1,000mm

2) 1km = 1,000m

3) 1h = 60min = 3,600s

4) 1L = 1,000mL

5) 1ton = 1,000kg

6) $1m^2$ = 1m ×1m = 100cm ×100cm = $10,000cm^2$

7) $1m^3$ = $1,000,000cm^3$

8) 1N = 100,000dyne

9) 1kg$f$ = 9.8N

10) 1PS = 75kg$f$ m/s = 735.5W

11) 1Hp = 76kg$f$ m/s = 744.8W

12) 1bar = 1.019kg$f$/cm^2

13) 1m/s = 3.6km/h

14) 1m/s/s = 3.6km/h/s (1km/h/s = 1/3.6m/s/s)

(5) SI 10진 접두어

[표 2-6] SI 10진 접두어

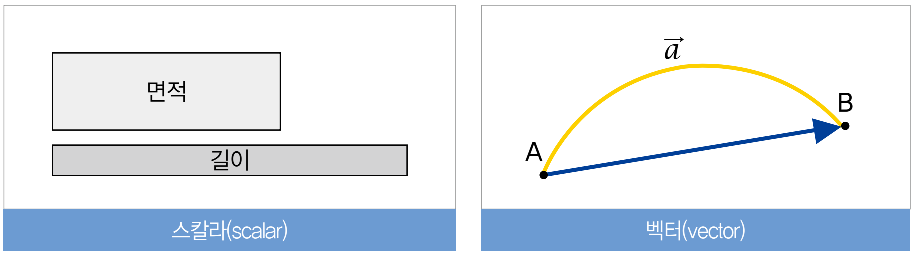
접두어	인자	기호	접두어	인자	기호
엑사(exa)	10^{18}	E	아토(atto)	10^{-18}	a
페타(peta)	10^{15}	P	펨토(femto)	10^{-15}	f
테라(tera)	10^{12}	T	피코(pico)	10^{-12}	p
기가(giga)	10^{9}	G	나노(nano)	10^{-9}	n
메가(mega)	10^{6}	M	마이크로(micro)	10^{-6}	μ
킬로(kilo)	10^{3}	k	밀리(milli)	10^{-3}	m
헥토(hecto)	10^{2}	h	센티(centi)	10^{-2}	c
데카(deca)	10^{1}	da	데시(deci)	10^{-1}	d

2.1.2 물리량

자연현상에서 측정할 수 있는 특성을 가진 거리, 변위, 속력, 속도, 가속도, 힘, 중력, 구심력, 원심력, 관성력, 마찰력, 충격량, 운동량, 탄성력, 토크, 일, 전류, 전력, 전력량, 비중, 면적, 체적, 질량, 중력가속도, 밀도, 비중량, 압력, 에너지, 온도, 열량 등 물리적인 현상을 양적으로 나타낸 것을 물리량이라 한다.

2.1.2.1 벡터와 스칼라

시간, 길이, 온도, 속력, 일, 에너지 등과 같이 그 양을 하나의 실수로 나타낼 수 있는 크기만 갖는 물리량을 스칼라(량)이라 하고, 변위, 속도, 가속도, 힘, 충격량, 운동량, 전기장 세기, 자기장 세기 등은 그 양을 크기 외에 방향까지 함께 나타내어야 한다. 이와 같이 크기와 방향을 갖는 물리량을 벡터(량)이라 한다.



[그림 2-1] 스칼라와 벡터

2.1.2.2 속력

전기동차 A와 B가 같은 시간 동안에 이동한 거리가 각각 100km와 50km일 때 전기동차 A는 전기동차 B보다 빠르다 할 수 있다. 즉, 물체의 빠른 정도를 나타내는 물리량을 속력(speed)이라고 한다. 속력은 걸린 시간에 대한 이동 거리로 나타내며, 크기(빠르기)만 나타내는 스칼라(량)이다. 여기서 거리는 항상 양(+)의 값을 갖는 물리량이다.

$$\text{속력} = \frac{\text{이동거리}}{\text{걸린시간}}$$

$$v = \frac{s}{t},\ (m/s)\ \cdots\cdots\ 1\text{–}1\text{식}$$

1) 이동 거리 : 항상 양의 값을 갖는 물리량

2) 빠르기(크기)만 있는 스칼라(량)

3) 스칼라(량) : 속력, 질량, 온도, 시간, 부피, 일, 에너지, 비중, 밀도, 거리 등

4) $\text{속력} = \dfrac{\text{이동거리}}{\text{걸린시간}}$, (km/h, m/s)

(예1) A라는 사람이 2시간 동안 동쪽으로 5km 걸은 후, 다시 서쪽으로 3km 걸어 왔다. A의 속력을 구하시오.

속력 = 이동 거리/걸린 시간(m/s, km/h)

$$v = \frac{s}{t} = \frac{8km}{2h} = 4km/h = \frac{4.0}{3.6}\ m/s$$

(예2) 전기동차가 2km의 시험 선로를 40초 동안 주행하였다. 전기동차의 평균속력을 구하시오.

평균속력(v_a) = 총 이동 거리/총 걸린 시간

$$(v_a) = \frac{s}{t} = \frac{2000m}{40s} = 50m/s = 180km/h$$

(예3) 전기동차가 서울역에서 천안역까지 80km/h의 속력으로 갔다가 다시 천안역에서 서울역까지 40km/h의 속력으로 왕복하였다. 전기동차의 평균속력을 구하시오.

평균속력(v_a) = 총 이동 거리/총 걸린 시간

서울역에서 천안역까지 거리를 L이라 하면, 서울역에서 천안역까지 걸린 시간은 L/80, 그리고 천안역에서 서울역까지 걸린 시간은 L/40이 된다.
총 이동 거리는 2L, 그러므로 총 걸린 시간은 (L/80 + L/40)이 된다.

$$v_a = \frac{\text{총 이동거리}}{\text{총 걸린시간}} = \frac{2L}{\frac{L}{80}+\frac{L}{40}} = \frac{2L}{\frac{3L}{80}} = \frac{160L}{3L} = 53.33km/h$$

2.1.2.3 속도

두 전기동차가 같은 속력으로 같은 시간을 이동했더라도 이동한 방향이 서로 다르다면 도착 결과는 다르게 나타나게 된다. 이를 보완하기 위하여 속력뿐만 아니라 이동한 방향까지 함께 고려한 물리량이 속도(velocity)이다. 속도는 걸린 시간에 대한 변위로 나타내며, 크기(빠르기)와 방향을 나타내는 벡터(량)이다. 여기서 변위는 물체가 움직인 시작점과 종착점을 잇는 직선거리로 나타내며, 항상 양의 값을 갖는 물리량은 아니다.

$$\text{속도} = \frac{\text{변위}}{\text{걸린시간}}$$

$$v = \frac{\vec{s}}{t}, \ (m/s) \ \cdots\cdots \ 2\text{–}2\text{식}$$

1) 변위 : 물체의 출발점과 종착점을 잇는 직선 거리

2) 빠르기(크기)와 방향이 있는 벡터(량)

3) 벡터(량) : 변위, 속도, 가속도, 힘, 충격량, 운동량, 자기장 등

4) 속도 = $\dfrac{\text{변위}}{\text{걸린시간}}$ (km/h, m/s)

(예1) 전기동차가 서울역을 출발해서 2시간 동안 180km를 이동 후, 다시 서울역 방향으로 178km 되돌아왔다. 이때 전기동차의 속도를 구하시오.

변위는 2km가 된다.

속도 = 변위 / 걸린 시간 (m/s, km/h)

$$v = \frac{l}{t} = \frac{(180-178)\text{km}}{2\text{h}} = \frac{2\text{km}}{2\text{h}} = 1\text{km/h} = \frac{1}{3.6}\ \text{m/s}$$

2.1.2.4 표정속도

시간표 속도 또는 스케줄 속도라고도 한다. 열차의 이동 거리를 걸린 시간으로 나눈 물리량으로, 걸린 시간에는 운전 시간과 도중 정차한 시간도 포함된다. 즉, 표정속도를 v_s, 이동 거리를 s, 걸린 시간을 $t_t(= t_{s(\text{정차시간})} + t_{d(\text{운전시간})})$라 하면 표정속도는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$v_s = \frac{S_{(\text{이동거리})}}{t_{t(\text{걸린시간})}}$$

$$v_s = \frac{S_{(\text{이동거리})}}{t_{s(\text{정차시간})} + t_{d(\text{운전시간})}},\ (\text{km/h}) \cdots\cdots \text{2-3식}$$

(예1) 전기동차는 오전 8시 정각 서울역을 출발하여 수원역에 8시27분에 도착하여 3분간 정차한 뒤 출발해 천안역에 9시 정각에 도착하였다. 이때 전기동차의 표정속도를 구하시오.(단, 서울역에서 천안역까지는 120km이다.)

$$표정속도(v_s) = \frac{이동거리}{운전시간 + 정차시간},\ (m/s,\ km/h)$$

$$v_s = \frac{S_{(이동거리)}}{t_{t(걸린시간)}} = \frac{S_{(이동거리)}}{t_{s(정차시간)} + t_{d(운전시간)}} = \frac{120km}{3분 + 57분} = \frac{120km}{1h} = 120km/h$$

(1) 표정속도 향상 방안

1) 운전 시간 및 정차 시간 단축

2) 정차 역 수 최소화

3) 고가속도 및 고감속도 운전

4) 최고 속도 향상

(2) 도중 정차 역이 적은 고속 열차의 경우 표정속도는 최고 속도의 70−80%이며, 역 간의 거리가 짧은 각 역 정차의 경우 표정속도는 최고 속도의 30−40% 정도로 낮아지게 된다. 즉, 역 간 거리가 짧은 경우는 최고 속도를 높여도 표정속도 향상 효과는 적다.

2.1.2.5 평균속력과 평균속도

전기동차가 서울역에서 광주역까지 300km의 거리를 두 시간 만에 주행하였다면 한 시간에 150km의 거리를 주행한 것이 된다. 그렇지만 전기동차가 한 시간마다 정확하게 150km씩 이동했다는 뜻은 아니다. 단지 일정한 빠르기로 주행했을 때 한 시간에 150km씩 주행한 것이 된다는 의미이다. 이처럼 전체 거리를 일정한 빠르기로 주행했다고 가정했을 때, 단위시간 동안 얼마나 주행했는지를 나타내는 값을 평균속력이라 한다. 그리고 직선 선로 위를 주행하는 전기동차가 시간 t동안 A역에서 B역까지 주행하였다면 이 동안 전기동차의 변위는 직선 선로 AB구간이 된다. 그러므로 평균속도 v_a는 다음과 같이 정의한다.

$$평균속도 = \frac{AB(직선구간)}{순수운전시간}$$

$$v_a = \frac{\overrightarrow{AB}}{t}$$

여기서 평균속도의 방향은 $\overrightarrow{AB}$가 된다. 즉 열차의 이동 거리를 도중역의 정차 시간을 포함하지 않는 순수 운전 시간으로 나눈 값을 평균속도라고 한다.

2.1.2.6 제한속도

열차가 주행 시 운전 설비 또는 신호 조건에 따라 열차 운행 속도를 일시적으로 제한할 필요가 있을 때, 신호 현시 조건에 따른 제한, 내리막 선로의 운행 속도 제한, 곡선 선로의 반지름 크기에 따른 제한, 선로 분기기 종류에 따른 제한, 측선 선로의 운행 속도에 따른 제한 등이 있다.

2.1.2.7 상대속도

열차를 타고 가면서 같은 방향으로 달리는 열차를 보면 느리게 이동하는 것처럼 보이고, 반대 방향으로 달리는 열차를 보면 매우 빠르게 이동하는 것처럼 보인다. 이렇게 물체의 운동 상태는 관측자의 운동 상태에 따라 다르게 보이는데, 운동하고 있는 물체에서 관측자가 본 물체의 속도를 상대속도라 한다. 일반적으로 속도 v_a로 운동하고 있는 관측자 A가 속도 v_b로 운동하는 B를 보았을 때 느끼는 상대속도는 다음과 같이 정의한다.

$$v_{ab} = v_b - v_a \text{ , (m/s) …… 2–4식}$$

2.1.2.8 가속도

가속도는 단위 시간에 대한 속도의 변화량을 의미한다. 즉, 속도의 변화량을 시간으로 나눈 식으로 정의할 수 있다. 예를 들어 보면, 고속 기관차가 서울역을 통과할 때 속도가 v_1이었는데, t시간 후 용산역을 지날 때는 v_2속도가 되었다면 가속도(a)는 다음과 같이 정의한다.

$$\text{가속도}(a) = \frac{\text{나중속도} - \text{처음속도}}{\text{시간}}$$

$$(a) = \frac{v_2 - v_1}{t} \text{ , (m/s/s) …… 2–5식}$$

1) 속도 변화량 : 나중 속도에서 처음 속도를 뺀 값
2) 빠르기(크기)와 방향이 있는 벡터(량)
3) 벡터(량) : 변위, 속도, 가속도, 힘, 충격량, 운동량, 자기장 등
4) 가속도 = $\dfrac{\text{속도변화량}}{\text{걸린시간}}$, (km/h/s)

(예1) 서울역을 지날 때 25m/s의 속도로 주행하던 전기동차가 10초 후에는 35m/s가 되었다. 전기동차의 가속도를 구하시오.(단, km/h/s)

$$\text{가속도} = \frac{\text{나중속도} - \text{처음속도}}{\text{시간}}$$

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t} = \frac{35(m/s) - 25(m/s)}{10(s)} = \frac{10}{10} = 1m/s/s = 3.6km/h/s$$

단위 환산 : 1m/s/s = 3.6km/h/s

2.1.2.9 진동 가속도

진동 가속도는 진동하는 물체의 속도가 시간에 대하여 변화하는 비율을 나타낸 것으로, 열차가 주행하고 있는 동안 승객에게는 열차의 진동으로 인하여 끊임없이 상하, 좌우 방향으로 가속도가 작용한다. 이때 열차의 진동으로 작용한 가속도를 지구의 중력가속도($g = 9.8m/s^2$) 단위로 환산해서 나타낸 물리량을 진동 가속도(g_b)라 한다.

따라서 $1g_b = 980cm/s^2$된다.

(예1) 주행하는 전기동차에 작용한 가속도가 $0.15g_b$일 때, 진동 가속도 크기를 구하시오.

$1g_b = 980cm/s^2$이므로

$0.15(g_b) = 0.15 \cdot (980cm/s^2) = 147cm/s^2$

2.1.2.10 밀도

어떤 물질의 단위 부피당 질량을 그 물질의 밀도라 한다. 밀도는 물질을 구성하는 원자 및 분자가 얼마나 조밀하게 모여 있는가를 나타내는 물리량이다. 물질의 질량을 m(kg), 물질의 부피를 $V(m^3)$라 할 때, 밀도 p는 다음과 같이 정의한다.

$$p = \frac{m}{V}\ (kg/m^3) \cdots\cdots \text{2-6식}$$

(1) 두 물질의 부피가 같을 때는 질량이 큰 물질이 밀도가 크다.

(2) 두 물질의 질량이 같을 때는 부피가 작은 물질이 밀도가 크다.

2.1.2.11 비중

어떤 물질의 질량과, 이 물질과 같은 부피를 가진 4℃ 물의 질량과의 비율을 비중이라 한다. 그리고 비중은 단위가 없다. 수치로만 표시되며, 그 수치는 결국 밀도의 수치와 같기 때문에 다음과 같이 정의한다.

$$\text{비중} = \frac{\text{어떤 물질의 질량}}{\text{같은 부피의 4℃ 순수한 물의 질량}} = \frac{\text{어떤 물질의 밀도}}{\text{4℃ 순수한 물의 밀도}} \quad \cdots\cdots \text{ 2-7식}$$

물의 비중이 1이기 때문에 어떤 물질의 비중이 1보다 크다면 물속에 가라앉게 되고 작다면 뜨게 된다.

2.1.2.12 압력

어떤 물체에 수직한 방향으로 힘을 가할 때 단위 면적당 가해진 힘을 압력이라 한다. 즉, 어떤 물체의 단면적에 수직으로 작용하는 힘의 크기를 단면적으로 나눈 물리량으로, 압력은 가해진 힘의 크기와 비례하고 힘을 가한 면적과 반비례한다. 여기서 가한 함을 F, 단면적을 A라 하면, 압력 P는 다음과 같이 정의한다.

$$P = \frac{F}{A}, \ (N/\mathrm{m}^2) \quad \cdots\cdots \text{ 2-8식}$$

$$1\mathrm{bar} = 10^5 Pa = 10^5 N/\mathrm{m}^2 = 1.019\mathrm{kg}f/\mathrm{cm}^2 = 1{,}000\mathrm{mb}(\text{밀리bar})$$

$$1a\mathrm{tm} = 1.0332\mathrm{kg}f/\mathrm{cm}^2 = 760\mathrm{mm}Hg = 1.01325\mathrm{bar}$$

(1) 압력(p)의 단위

bar, $(1N/\mathrm{m}^2 = 1Pa)$, $\mathrm{kg}f/\mathrm{cm}^2$, 등이 있으며 응력의 단위와 같이 사용한다.

(2) 철도차량에서 많이 사용되는 압력 단위는 bar, $\mathrm{kg}f/\mathrm{cm}^2$가 있다.

(3) 절대압력

1) 절대압력 = 표준대기압 + 계기 압력

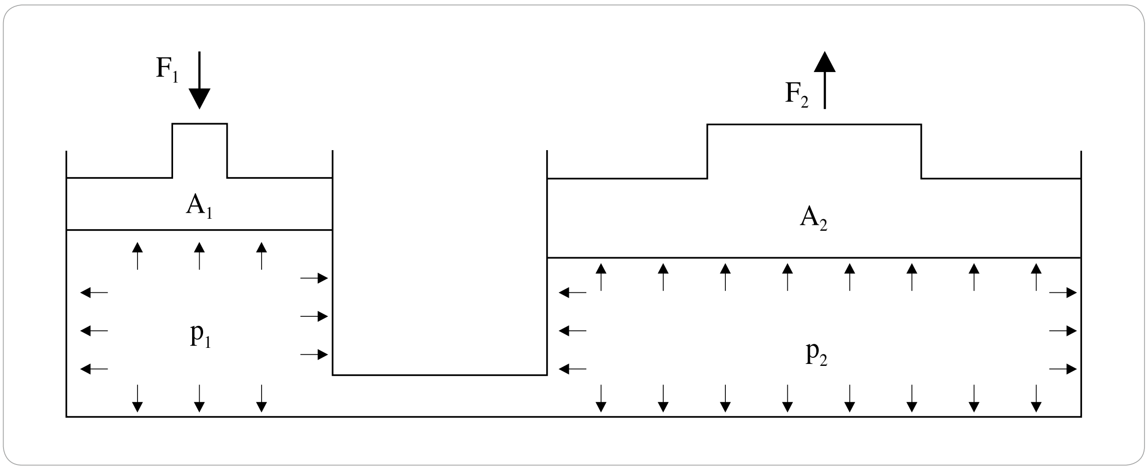
2) 절대압력 = 표준대기압 − 진공 압력

2.1.2.13 파스칼의 원리

액체는 압력을 가했을 때 그 부피는 줄지 않고 밀도가 그대로 유지되는 특성을 가지고 있다. 즉, 액체에 가해 준 압력은 그 크기가 변하지 않고 액체의 모든 부분에 같은 크기로 전달되는데, 이를 파스칼의 원리라 한다. 수압기의 원리를 보면 작은 피스톤 A_1에 힘 F_1을 가하면 수압기에는 압력 P가 발생되는데, 이 압력은 파스칼의 원리에 의하여 큰 피스톤 A_2에 그대로 전달된다. 이 압력에 의하여 힘 F_2가 발생하는데, 다음과 같이 정의한다.

$$\frac{F_1}{A_1} = P = \frac{F_2}{A_2},\ (N/\mathrm{m}^2)\ \cdots\cdots\ 2\text{–}9\text{식}$$

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1}F_1,\ (N)$$



[그림 2-2] 파스칼의 원리

2.2 운동과 힘

2.2.1 운동

물체가 운동할 때 얼마나 빠르게 이동하였는가를 나타내는 양으로 속력과 속도가 있다. 물체의 빠르기는 단위시간 동안에 이동한 거리를 비교하면 쉽게 알 수 있는데, 속력이 크면 클수록 물체가 더 빨리 이동하고 있음을 의미한다. 그러나 운동하고 있는 대부분의 물체들은 시간에 따라 속력이 변하는 운동을 한다. 즉 운동은 물체가 시간이 지남에 따라 위치를 바꾸어 나가는 현상이라고 하고, 시간이 지나더라도 그 위치가 변하지 않고 있다면 물체는 정지하고 있다고 한다.

2.2.1.1 등가속도 직선운동

물체의 속력과 운동 방향이 일정한 운동으로 등속 직선운동이라고도 한다. 이는 물체가 일정한 속력으로 운동하였으므로 이동 거리는 속력과 시간의 곱으로 나타낼 수 있다. 또한 물체가 이동하는 동안 운동 방향은 일정한 상태에서 속력이 시간에 따라 일정하게 증감하게 되는 경우는 등가속도 직선운동이라 하며, 속도의 변화, 즉 가속도가 일정한 운동이다. 이러한 등가속도 운동을 하는 물체의 이동 거리를 s, 걸린 시간을 t, 처음 속도를 v_1, 나중 속도를 v_2, 가속도를 a라 할 때 등가속도 직선운동 방정식은 다음과 같이 정의할 수 있다.

(1) $s = v_1 t + \frac{1}{2} a t^2$ …… 2-10식

(2) $2as = (v_2)^2 - (v_1)^2$ …… 2-11식

(3) $v_2 = v_1 + at$ …… 2-12식

2.2.1.2 등속원운동(等速圓運動)

등속(等速)이란 속력이 일정하다는 뜻으로, 만일 속도가 일정하다면 직선운동을 하지 원운동은 하지 못한다. 그러므로 등속원운동을 하는 물체는 각속도가 일정하다. 각속도는 물체의 주기에 반비례하고 주기와 역수 관계인 진동수에 비례한다. 등속 원운동은 반지름의 크기가 r인 원둘레를 물체가 일정한 속력으로 회전하는 운동으로, 속력의 크기는 변화가 없으나 방향이 항상 변하는 가속도운동이다.

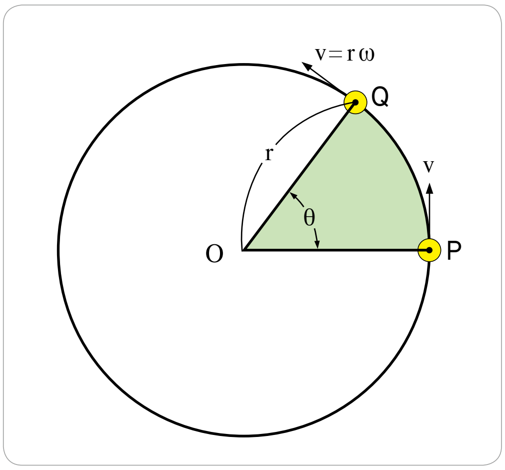
즉, 등속원운동을 하는 물체가 점 P에서 점 Q로 이동하는 경우, 물체의 주기를 T, 진동수를 f, 각속도를 ω, 속력을 v라고 할 때 등속원운동은 다음과 같이 정의할 수 있다.

(1) 주기(T) : 물체가 반지름의 크기가 r인 원둘레를 1 회전하는 데 걸린 시간으로 정의할 수 있으며, 단위는 시간(s)이 된다.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi r}{v},\ (s) \cdots\cdots 2\text{-}13식$$

(2) 진동수(f) : 단위시간 동안 물체가 반지름의 크기가 r인 원둘레를 회전한 수로 정의할 수 있으며, 단위는 헤르츠(Hz)가 된다.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{v}{2\pi r},\ (Hz,\ \frac{1}{s}) \cdots\cdots 2\text{-}14식$$



[그림 2-3] 등속원 운동

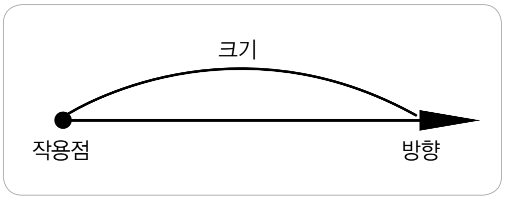
(3) 각속도(ω) : 단위시간 동안 물체가 회전한 각도로 정의할 수 있으며, 단위는 ($\frac{rad}{s}$)가 된다.

$$w = \frac{\triangle\theta}{\triangle T} = \frac{2\pi}{T},\ (rad/sec),\ T = \frac{2\pi r}{v},\ (2\pi\ rad = 360^{\circ})$$

$$w = \frac{2\pi}{T} = \frac{v}{r},\ (rad/s) \cdots\cdots 2\text{-}15식$$

2.2.2 힘

물체에 힘을 가하면 그 물체는 운동 상태가 되거나 모양이 달라지며, 물체는 가한 힘의 방향으로 가속도가 발생한다. 물체에 작용하는 힘의 크기가 증가하면 이에 비례하여 가속도도 증가하게 된다. 힘의 특성은 관성을 파괴하며, 접촉 및 비접촉을 통해서 힘의 전달이 가능하다. 힘의 3요소에는 힘의 크기, 힘의 방향, 힘의 작용점이 있다.



[그림 2-4] 힘의 3요소

힘을 F, 물체의 질량을 m, 물체에 작용하는 가속도를 a라고 하면, 힘은 다음과 같이 정의한다.

$F = \mathrm{m} \cdot a$, …… 2–16식

힘의 단위에는 kg$f$, gf, N, dyne이 있다.

(1) 1N은 1kg의 질량을 1m/s^2 만큼 가속시키는 데 필요한 힘으로 표현한다.

(2) 1dyne은 1g의 질량을 1cm/s^2 만큼 가속시키는 데 필요한 힘으로 표현한다.

$$1\mathrm{dyne} = 1\mathrm{g} \cdot 1\mathrm{cm/s^2}$$

$$1N = 1\mathrm{kg} \cdot 1\mathrm{m/s^2}$$

2.2.2.1 중력

만유인력(F)이라고도 하며, 물체가 서로 떨어져 있어도 작용하는 힘을 말한다. 중력(W)은 질량(m)과 중력가속도(g)와의 곱으로 정의할 수 있으며, 질량과 중력가속도 크기에 비례한다.

$W = F = \mathrm{m} \cdot \mathrm{g}$, ($N$) …… 2–17식

여기서 m은 질량(kg), g는 중력가속도(9.8m/s^2)이다.

(1) 중력가속도

중력에 의하여 물체는 지구 중심부로 이동하며 운동을 한다. 이때 운동하는 물체가 가지는 가속도를 중력가속도(g)라 한다. 즉, 중력가속도는 중력(W)을 질량(m)으로 나눈 값으로 지구 중심에서 멀어질수록 감소하며, 적도 지역보다 극 지역에서 증가한다.

중력가속도는 다음과 같은 특징이 있다.

1) 중력가속도의 방향은 연직 아래 방향이다. 즉, 지구 중심을 향한다.
2) 중력가속도는 장소에 따라 약간씩 다르지만 평균적으로 9.8m/s^{2}이다.
3) 지구 표면에서 모든 낙하운동은 등가속도운동이 된다.
4) 물체에 작용하는 무게(W)는 mg가 된다.
5) 적도 지역 9.78m/s^2, 양 극 지역에서는 9.83m/s^{2}의 크기를 갖는다.
6) 중력가속도는 고도가 높아질수록 작아진다.

$\mathrm{g} = \dfrac{W}{\mathrm{m}}$, (m/s^2) …… 2–18식

(2) 질량

중력은 천체의 질량 크기에 비례하므로 천체[1]에 따라 물체의 무게는 다르게 된다. 그러나 달라질 수 없는 물체 고유의 양을 질량이라 한다. 물체의 무게를 W, 중력가속도를 g라고 하면 질량 m은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$m = \frac{W}{g},\ (\mathrm{kg})\ \cdots\cdots\ 2\text{–}19식$$

2.2.2.2 구심력

질량 m인 물체가 일정한 속력으로 등속원운동을 할 때 원의 중심 방향으로 작용하는 힘을 구심력이라고 하며, 이때 힘의 방향으로 발생한 가속도가 구심가속도가 된다. 구심력과 구심가속도는 중심을 향한 같은 방향이 된다. 등속원운동에서 물체의 속도는 항상 변하지만 속력은 일정하다. 등속원운동을 하는 물체의 속도와 구심력은 직각이 된다. 예를 들어 곡선 반지름이 r인 선로 위를 기관차가 탈선하지 않고 일정한 속력으로 주행하고 있다면, 기관차에 작용하는 구심력은 차륜과 레일에서 발생되는 마찰력이 된다. 따라서 물체의 질량 m, 선로의 곡선 반지름 r, 물체의 속도 v, 각속도 w라 하면 구심력 F_g는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$F_g = m\frac{v^2}{r} = mrw^2\ (N)\ \cdots\cdots\ 2\text{–}20식$$

따라서 구심력은 다음과 같이 정리할 수 있다.

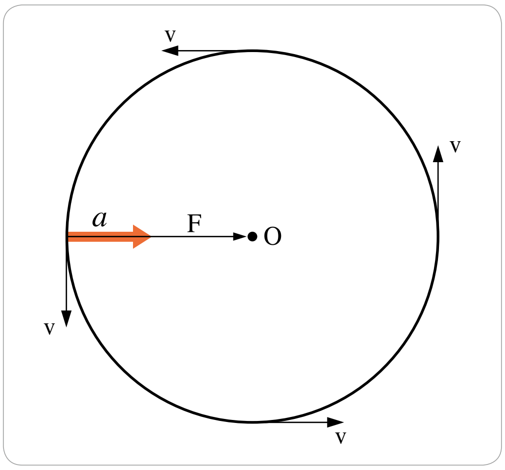
(1) 등속원운동 하는 물체의 질량에 비례한다.

(2) 등속원운동 하는 물체의 속도 제곱에 비례한다.

(3) 등속원운동 하는 원의 반지름에 반비례한다.

(4) 등속원운동 하는 물체의 주기를 고려하면, 원의 반지름에 비례한다.

(5) 등속원운동 하는 물체의 주기를 고려하면, 각속도 제곱에 비례한다.



[그림 2-5] 구심력과 구심가속도

1) 천체 : 우주에 존재하는 별, 달, 행성 등과 같이 뭉쳐 있는 물질 덩어리를 의미한다.

2.2.2.3 원심력

원심력은 원운동 하는 물체에서 나타나는 관성력을 말하며 가상의 힘이다. 구심력과 크기가 같으며, 방향은 반대가 된다. 따라서 원운동 하는 물체의 질량을 m, 선로의 곡선 반지름을 r, 물체의 속도를 v, 각속도를 w라 할 때 원심력 F_c는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$F_c = (-)\,m\,\frac{v^2}{r} = (-)\,m r w^2,\ (N) \cdots\cdots 2\text{–}21\text{식}$$

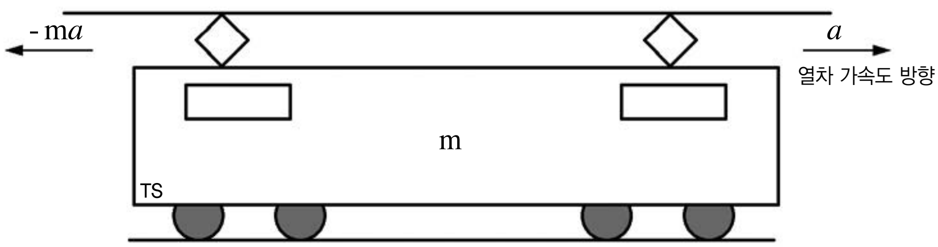
여기서 (–)는 방향을 나타내는 것이다.

2.2.2.4 관성력

정지해 있거나 등속도운동을 하던 시스템(계)이 가속도운동을 할 때 시스템 속에 있는 물체는 시스템의 운동 방향과 반대 방향으로 작용하는 힘을 받게 되는데, 이 힘을 관성력이라 하며 실제로 물체에는 작용하지 않는 가상의 힘이다. 예를 들어 보면 정지하고 있던 열차가 갑자기 출발하면 열차 안에 탄 승객은 열차 진행 방향과 반대 방향으로 쏠린다. 실제로는 승객에게 힘이 작용하지 않았는데도 열차가 가속도운동을 하기 때문에 열차 안 승객은 힘을 받은 것처럼 느낀다. 이렇게 승객에게 작용한 힘을 관성력이라 한다. 즉 물체의 운동 방향과 반대 방향으로 작용하는 힘을 말한다. 관성력은 실제로 작용하는 힘이 아니므로 반작용이 없다. 시스템 속에 있는 물체의 질량을 m, 시스템의 가속도를 a라 하면 관성력을 F_i는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$F_i = (-)\,m \cdot a,\ (N) \cdots\cdots 2\text{–}22\text{식}$$

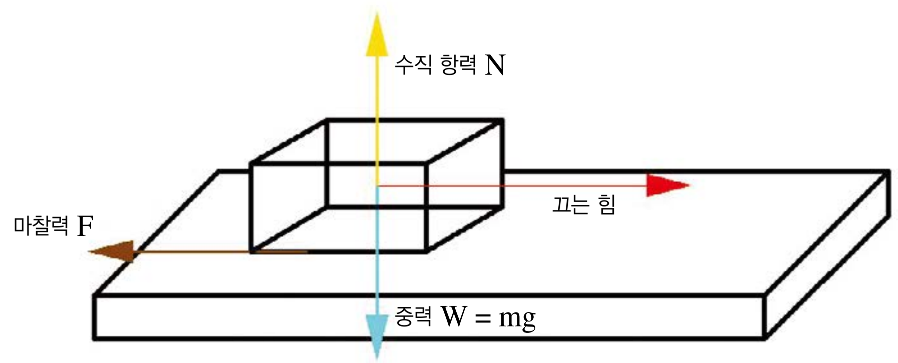
여기서 (–)는 물체의 운동 방향과 반대 방향을 뜻한다.



[그림 2–6] 관성력

2.2.2.5 마찰력

물체가 어떤 면과 접촉하여 운동할 때 물체의 접촉면을 따라서 끄는 힘과 반대 방향으로 물체의 운동을 방해하는 힘이 생기는데, 이 힘을 마찰력이라 하며 종류에는 정지마찰력, 최대정지마찰력, 그리고 운동마찰력이 있다. 또한 마찰력의 크기와 수직항력의 비례관계에서 비례상수를 마찰계수라 하며 μ로 나타낸다. 면 사이의 마찰력은 접촉하는 물질의 종류와 면을 누르는 수직항력과 관계가 있다. 또한 마찰력은 정지마찰력과 최대정지마찰력, 그리고 운동마찰력으로 분류한다. 마찰계수에는 정지마찰계수와 운동마찰계수가 있으며, 운동마찰계수는 미끄럼마찰계수와 굴림마찰계수로 나눠진다. 즉, 마찰력은 수직항력과 마찰계수에 비례한다. 전기동차가 레일 위에서 미끄러지지 않고 진행할 수 있는 것은 레일과 차륜 사이에 마찰력이 작용하기 때문이며, 이 힘으로 전기동차는 앞으로 진행할 수 있다. 마찰계수에 대한 예를 들어보면, 고무와 콘크리트 사이의 마찰력은 강철과 강철 사이의 마찰력보다 크게 작용한다. 이러한 이유로 고속도로의 중앙분리대를 콘크리트로 바꾼 이유다. 자동차의 속력을 감소시키는 데는 자동차의 타이어와 콘크리트 사이에서 발생하는 마찰력이 자동차 차체와 강철로 된 분리대 사이의 마찰력보다 훨씬 충격력을 줄일 수 있다. 그러한 이유로 콘크리트 분리대 밑부분을 자세히 살펴보면 분리대 밑면을 넓게 제작해서 설치하였다. 즉, 자동차 차체가 분리대와 스치기 전에 타이어의 옆 부분이 먼저 스치게 되는 것이다.



[그림 2-7] 마찰력

(1) 수직항력

책상 위에 질량 m인 물체를 올려 놓으면 질량 m이 책상으로부터 받는 힘을 항력이라고 하며, 이 항력의 수직한 분력을 수직항력(N)이라고 한다. 이 경우에 수직항력은 중력과 크기는 같지만 방향은 반대이다.

(2) 정지마찰력

접촉면 위에 질량 m인 물체를 놓으면 물체에 작용하는 힘은 중력($W = mg$)과 반대 방향으로 작용하는 수직항력 N이 작용하므로 힘의 평형을 이루게 되어 물체는 정지하고 있다. 이때 물체에는 마찰력이 작용하지 않는다. 그러나 접촉면 위에 정지하고 있는 물체를 움직이게 하려고 힘을 가하는 순간부터 물체에는 마찰력이 작용하게 된다. 즉, 물체에 힘이 작용하여도 움직이지 않고 정지하고 있는 물체에 작용하는 마찰력을 정지마찰력이라 한다.

정지마찰력의 특징은 다음과 같다.

1) 접촉면에 대하여 물체를 움직이게 하려고 힘을 가할 때부터 작용한다.
2) 물체와 접촉면에 따라 다르게 작용한다.
3) 물체가 운동하려는 방향과 정반대 방향으로 물체에 작용한다.
4) 물체에 힘을 가했을 때 물체가 정지하고 있거나 등속도 운동을 하고 있다면 물체에 가한 힘과 마찰력의 크기는 같다.

(3) 최대정지마찰력

접촉면 위에 질량 m인 물체를 놓고 움직이게 하려고 물체에 작은 힘을 가하면 처음에는 움직이지 않는다. 그러나 물체에 가하는 힘을 점점 증가시키면 정지마찰력도 함께 증가하게 되지만, 정지마찰력에는 한계가 있기 때문에 어떤 크기의 힘을 물체에 가하면 물체는 움직이기 시작한다. 이때 물체가 막 움직이는 순간에 작용한 마찰력이 정지마찰력 중에서 가장 크기 때문에 최대정지마찰력이라고 한다. 그러므로 최대정지마찰력을 F_m, 물체가 접촉면을 수직으로 누르는 힘(수직항력)을 N, 정지마찰계수를 μ_s라 할 때 최대정지마찰력은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

$F_m = \mu_s \cdot N$, (N) …… 2-23식

1) 수직항력에 비례한다.
2) 정지마찰계수에 비례한다.
3) 접촉면의 넓이에는 관계없다.
4) 접촉면의 성질(매끄러운 정도)에 따라 달라진다.
5) 정지마찰력 중 가장 크고 정지마찰계수는 1보다 작다.

(4) 운동마찰력

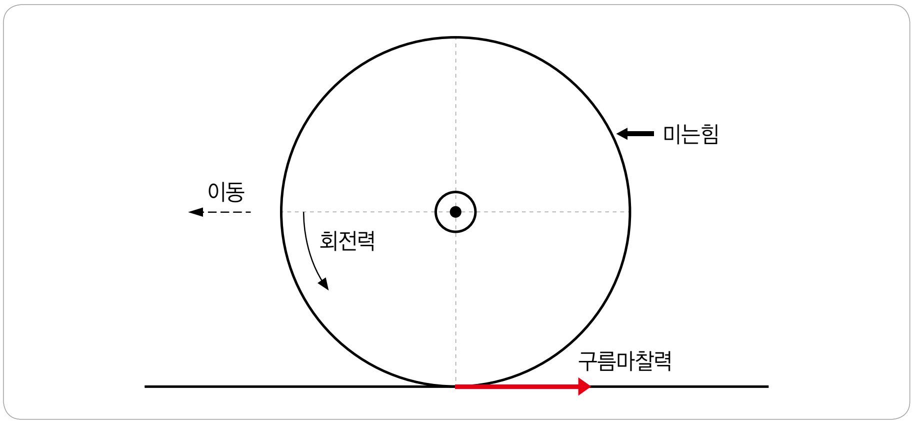
주행하던 전기동차에 비상제동을 체결하게 되면 바로 정차하지 않고 수십 미터 진행하다가 정지하게 되는데, 이것은 레일과 차륜 사이에 운동을 방해하는 마찰력이 작용했기 때문이다. 이와 같이 물체가 운동하고 있는 중에도 마찰력이 작용하고 있다. 이때의 마찰력을 운동마찰력 F_k이라 하고, 두 물체 사이에 작용하는 마찰계수를 운동마찰계수 μ_k라 하면 운동마찰력은 다음과 같은 특징이 있다.

$F_k = \mu_k \cdot N$, (N) …… 2-24식

1) 수직항력에 비례한다.
2) 운동마찰계수에 비례한다.
3) 접촉면의 성질에 따라 달라진다.
4) 물체의 이동 속도와는 관계없다.
5) 물체가 미끄러질 때의 마찰력인 미끄럼 마찰력과 둥근 물체가 구를 때의 마찰력인 구름 마찰력이 있다.
6) 항상 운동 방향의 반대 방향이고, 가속도나 외력의 방향과는 관계없다.

(5) 구름(회전) 마찰력

운동마찰력에 속하는 마찰력으로, 둥근 원기둥이나 공이 면 위를 굴러갈 때 작용하는 마찰력을 구름 마찰력이라 한다. 미끄럼 마찰력보다도 작으며 철도차량에서는 축수와 차축 사이의 볼베어링은 이것을 이용한 것이다.



[그림 2-8] 구름 마찰력

(6) 미끄럼 마찰력

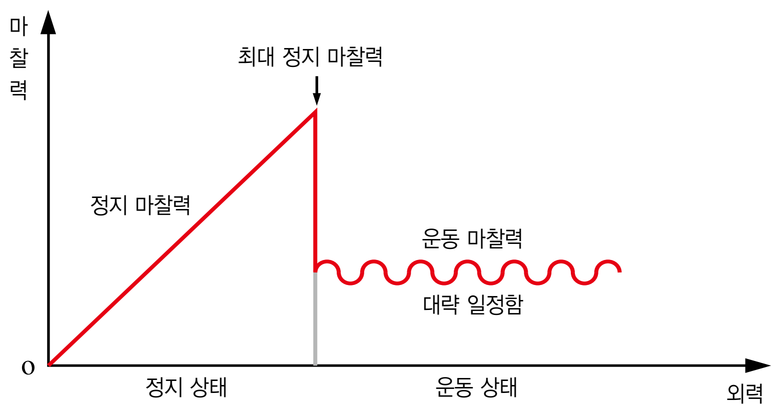
접촉하고 있는 두 면 사이에 상대적인 움직임이 있는 경우, 상대적인 움직임을 방해하는 힘이 작용하는 현상을 미끄럼 마찰력이라 한다.

(7) 마찰계수의 크기

1) 정지마찰계수 〉 운동마찰계수

2) 운동마찰계수는 미끄럼마찰계수와 구름마찰계수로 분류할 수 있다.

3) 정지마찰계수 〉 미끄럼마찰계수 〉 구름마찰계수



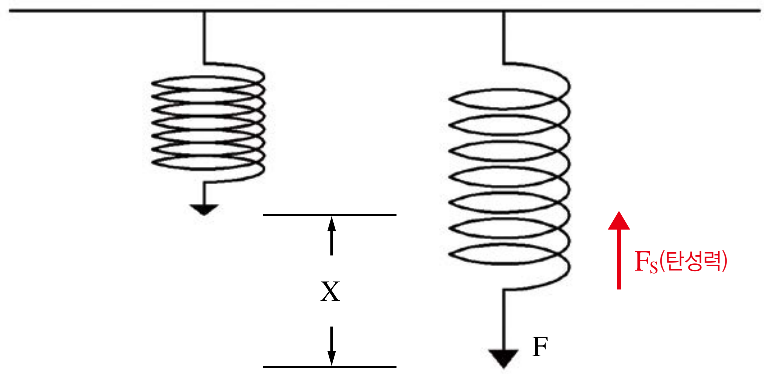
[그림 2-9] 마찰계수의 크기

[표 2-7] 물체 표면 특성에 따른 마찰계수의 크기

물 질	정지마찰계수	운동마찰계수
철판과 철판	0.74	0.57
눈과 얼음	0.10	0.03
기름 친 금속과 금속	0.15	0.06

2.2.2.6 탄성력

탄성체는 외력을 받으면 변형을 하게 되는데, 그때 한 일은 탄성에너지로 흡수하여 축적하고 외력을 제거하면 탄성에너지를 방출하는 특성을 가지고 있다. 대표적인 것으로 스프링은 탄성이 큰 재료를 특별한 모양 또는 만들어진 것으로, 외력이 가해지면 큰 변형을 일으켜서 에너지를 흡수하거나



[그림 2-10] 탄성력

축적하고 외력을 제거하면 에너지를 방출하는 기계요소이다. 즉, 스프링은 탄성에너지를 이용하여 진동 방지, 충격 완화 등에 사용되고 있다.

(1) 훅의 법칙(Hooke's law)

자유 높이[2)]가 L, 스프링 상수가 k인 스프링에 힘 F_s를 가하면 스프링은 탄성한계 내에서 x만큼 늘어나게 되는데, 이것을 훅의 법칙이라고 한다. 이때 스프링의 탄성력 F_s는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$F_s = (-)\mathrm{k} \cdot x \ (N), \ \cdots\cdots \ 2\text{–}25\text{식}$$

여기서 k는 스프링의 재질과 모양에 따라 결정되는 스프링 상수인데, 스프링에 작용한 힘과 탄성력은 서로 반대 방향이 되기 때문에 (–)가 된다. 스프링의 탄성력은 스프링 상수와 늘어난 길이에 비례한다.

(2) 탄성

금속재료에 외력을 가하면 약간의 변형이 일어나고 가해진 외력을 제거하면 원상태로 돌아오는데 이러한 성질을 탄성이라 한다. 또한 탄성이 일어나는 범위의 외력 가운데 최대 외력을 탄성한계라 한다.

2) 자유 높이 : 코일 스프링에 있어서는 코일의 양단간의 간격을 스프링의 높이라고 한다. 또한 무하중(無荷重)의 높이를 자유 높이라 한다.

(3) 소성

재료에 탄성한계 이상의 외력을 가하면 원상태로 돌아오지 않고 변형이 되는데 이 성질을 소성이라 하며, 이러한 성질을 이용하여 재료를 변형시키는 가공을 소성가공이라 한다.

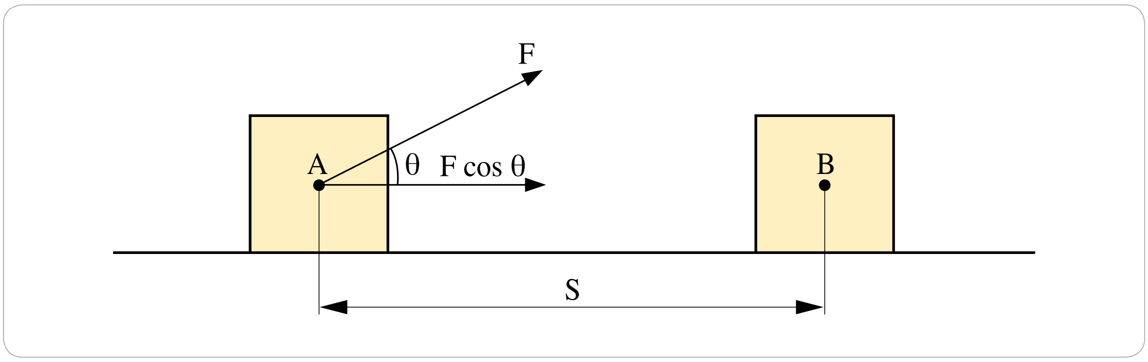
2.3 일과 에너지

2.3.1 일

힘에 의해 물체의 이동이 있을 때에 정의되는 개념으로, 힘이 들지 않는 일이란 존재할 수 없고 힘은 들지만 이동이 없거나 이동이 된다 하더라도 힘의 방향과 이동 방향이 일치하지 않는다면 역시 일로 볼 수 없다. 즉, 어떤 힘 에 의해 물체가 힘의 방향으로 S만큼 이동하였다면 이때 행한 일(W)은 다음과 정의할 수 있다.

$W = F \cdot S, \ (N \cdot \mathrm{m}),$ …… 2–26식

따라서 일의 단위는 $J(joule)$, $N \cdot \mathrm{m}$, $\mathrm{kg}f \cdot \mathrm{m}$ 등이 된다.



[그림 2–11] 일

특히 일의 단위 중에 MKS단위계에서 $N \cdot \mathrm{m}$를 J(줄)이라고 하며, CGS단위계로는 dyne • cm가 있는데 erg(에르그)라고 한다. 1J이란 1N의 힘을 작용하여 물체를 힘의 방향으로 1m 이동하였을 때 행하여진 일의 값을 의미한다. 따라서 다음의 관계가 성립한다.

$1J = 1N \cdot \mathrm{m} = 1\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m/s^2} \cdot \mathrm{m} = 1\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m^2/s^2}$

$1\mathrm{erg} = 1\mathrm{dyne} \cdot \mathrm{cm} = 1\mathrm{g} \cdot \mathrm{cm/s^2} \cdot \mathrm{cm} = 1\mathrm{g} \cdot \mathrm{cm^2/s^2}$

$1J = 10^7\mathrm{erg}$

2.3.2 운동량

움직이는 물체가 충돌할 때의 운동 효과를 비교하려면 물체의 질량과 속도를 고려해야만 한다. 물체의 운동량은 질량과 속도의 곱으로 나타낼 수 있는데, 이러한 물리량을 운동량이라고 한다. 따라서 운동량을 P, 물체의 질량을 m, 물체의 속도를 v라 하면 다음과 같이 정의할 수 있다.

$P = \mathrm{m} \cdot \mathrm{v}$ $(\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m/s})$, …… 2-27식

충격량은 운동량의 변화량이므로 운동량과 충격량의 단위는 같다.

$I_{(\text{충격량})} = \triangle P_{(\text{운동량의 변화량})}$

$Ft = \mathrm{mv}$

$F_{(\text{충격력})} \cdot \mathrm{t}_{(\text{시간})} = \mathrm{m}_{(\text{질량})} \cdot \mathrm{v}_{(\text{속도})}$ 에서 충격력은 다음과 같다.

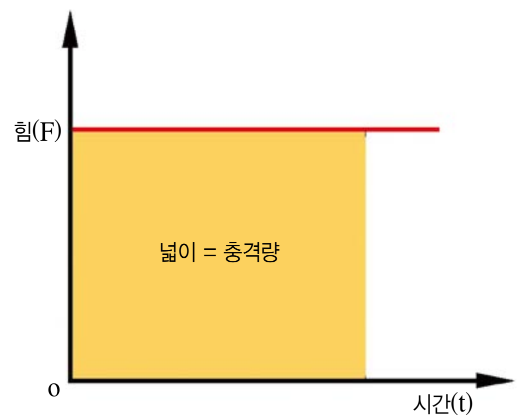
$$F_{(\text{충격력})} = \frac{\mathrm{m}_{(\text{질량})} \cdot \mathrm{v}_{(\text{속도})}}{\mathrm{t}_{(\text{시간})}} \quad \cdots\cdots \text{ 2-28식}$$

충격력은 물체의 질량과 속도에 비례하고, 접촉 시간에 반비례한다. 고속철도차량(KTX)이 눈이 많이 내리는 겨울철에 운행할 때 객차 유리창이 깨지는 경우가 있다. 이는 내린 눈이 대차 부분에 얼음덩어리로 퇴적되어 있다가 기온이 상승하게 되면서 퇴적된 얼음덩어리가 녹아 선로에 떨어지게 되는데, 이때 얼음덩어리가 자갈에 충격력을 주게 되면 자갈이 튀어 올라 선로 변 물체에 부딪친 후 다시 객차 창문에 충격력을 주게 되므로 객차 유리창이 깨지는 것이다. 즉, 충격력은 물체의 속도와 비례하므로 유리창이 깨지는 것을 방지하기 위해서 관제사는 고속철도차량의 운행 속도를 내림차순으로 낮추어 운행하도록 지시한다.

2.3.3 충격량

물체에 어느 시간 동안 힘을 작용할 때 물체가 얻는 운동량의 변화량은 작용한 힘의 크기가 클수록, 작용한 시간이 길수록 크다. 이와 같이 운동량에 영향을 주는 물리량을 힘과 작용 시간의 곱으로 나타낸 것을 충격량이라 한다. 충격량을 I, 충격력을 F, 힘의 작용 시간을 t라 하면 다음과 같이 정의할 수 있으며, 충격량의 단위는 힘의 단위와 시간의 단위 곱으로 나타낸다.

$I = F \cdot \mathrm{t},\ (N \cdot s)$ …… 2-29식



[그림 2-12] 충격량

2.3.4 각운동량

회전하는 물체가 어느 특정한 축을 중심으로 계속해서 회전하려는 경향에 대한 척도이다. 회전하는 물체에 외력을 가해 강제로 정지시키려 해도 물체는 계속 회전하려고 한다. 이것은 회전하는 물체가 회전 상태의 관성을 가지고 있기 때문이다. 즉, 모든 물체는 운동 상태의 관성(각운동량)을 가지고 있다. 따라서 물체의 회전 관성(관성모멘트)을 I_r, 각속도를 w라 할 때 각운동량(P_r)은 다음과 같이 정의할 수 있다.

각운동량 = 관성모멘트 × 각속도

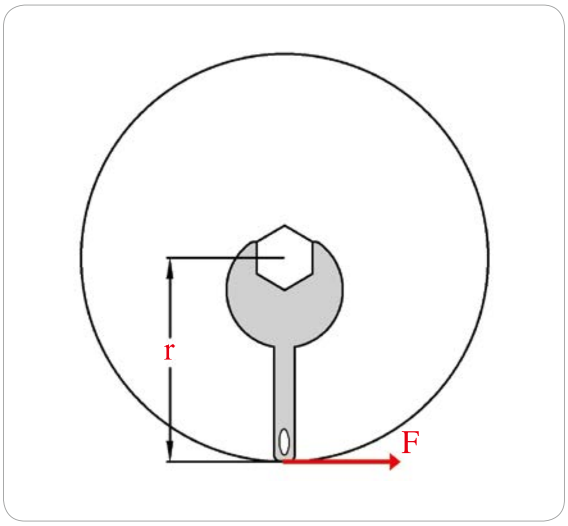
$P_r = I_r \times w\ (\mathrm{m} \cdot \mathrm{rad/s}),$ …… 2-30식

2.3.5 토크

길이 r인 스패너 끝에 힘 F를 가할 때 이 스패너가 원점을 회전축으로 하여 회전한다고 가정하면, 회전이 얼마나 크게 이루어지는가 하는 정도를 힘의 모멘트 또는 토크(torque)라 한다. 즉, 가하는 힘(스패너를 돌리려는 힘)을 F, 원점에서 힘점까지 거리를 r이라 하면 토크 T는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$T = F \cdot \mathrm{r}, (N \cdot \mathrm{m}),$ …… 2-31식

토크가 커지려면 회전하는 스패너에 가해지는 힘이 크거나 스패너의 길이가 길어야 한다.



[그림 2-13] 토크

2.3.6 뉴턴의 운동 법칙

2.3.6.1 관성

만일 물체에 작용하는 모든 힘이 서로 상쇄되어 합력이 0이라면 물체의 운동 상태는 바뀌지 않는다. 정지해 있는 물체는 언제까지나 정지해 있고, 운동하던 물체는 같은 방향으로 계속 등속도 운동을 하게 된다. 즉, 물체는 운동을 계속 유지하려는 성질을 가지고 있는데, 이것을 관성이라 한다. 관성은 물체의 질량이 클수록 운동 상태를 유지하려는 성질이 크다.

2.3.6.2 뉴턴의 운동 제1법칙(관성의 법칙)

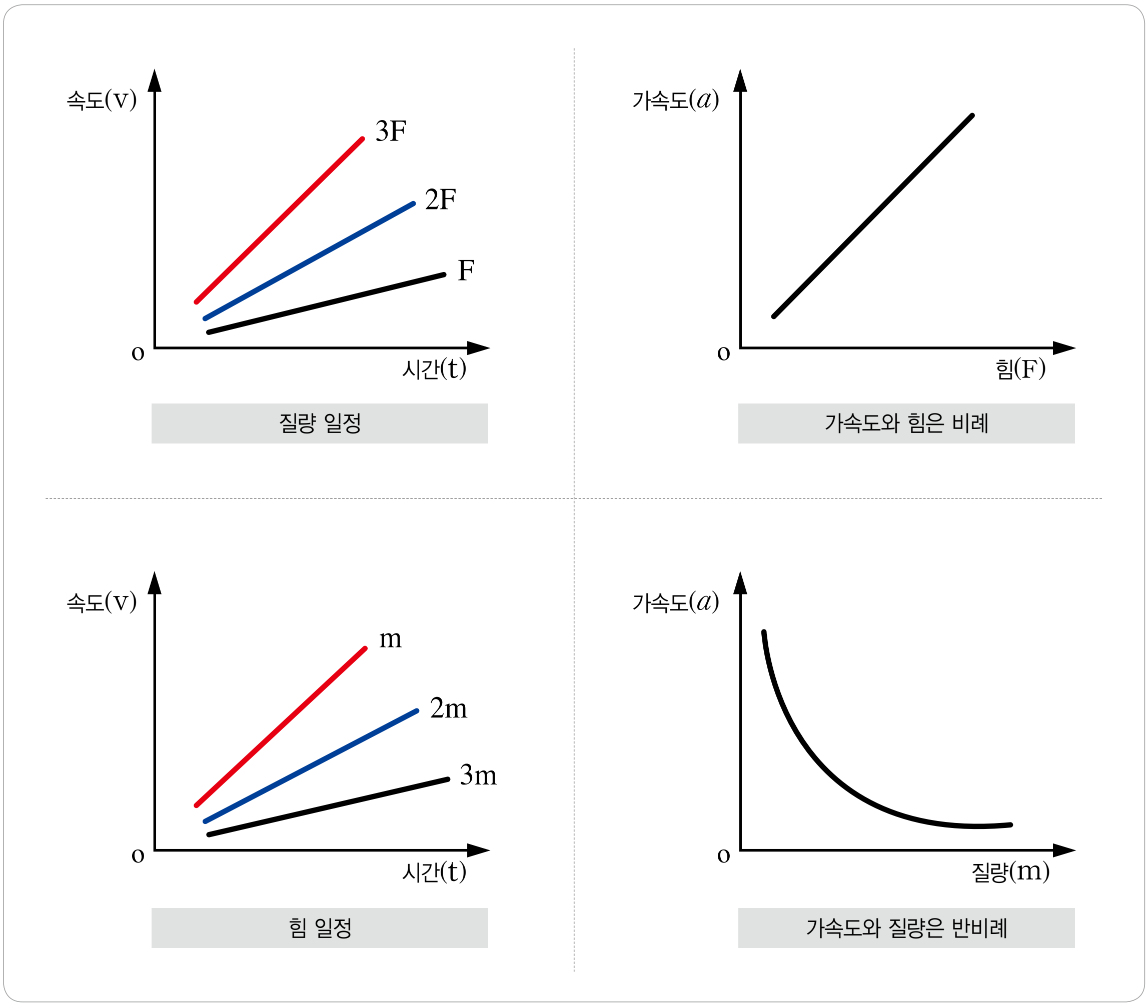
외부로부터 물체에 힘이 작용하지 않거나 작용하는 힘의 합이 0이면 정지하고 있는 물체는 계속 정지해 있고, 운동하던 물체는 등속도 운동을 한다. 즉, 관성의 크기는 물체의 질량에 비례한다는 법칙이다.

2.3.6.3 뉴턴의 운동 제2법칙(힘과 가속도와 질량 관계 법칙)

물체에 힘을 가하면 힘의 크기와 가속도 크기는 서로 비례하고 힘이 작용하는 방향으로 가속도가

발생한다. 즉, 힘(F)은 힘을 받는 물체의 질량(m)과 그 힘으로 생긴 물체의 가속도(a) 곱으로 나타낸 것을 뉴턴의 운동 제2법칙이라 하며, 다음과 같이 정의할 수 있다.

$F = \mathrm{m} \cdot a(N)$ …… 2-32식



[그림 2-14] 뉴턴의 운동법칙

3) 중실축 : 축의 단면의 중심부에 구멍이 뚫려 있지 않은 속이 꽉 찬 축
4) 중공축 : 축의 자중을 가볍게 하기 위해 단면의 중심부에 구멍이 뚫려 있는 축

힘이 일정할 때 가속도와 질량은 반비례하며 질량이 클수록 가속도는 작아진다.

2.3.6.4 뉴턴의 운동 제3법칙(작용력 반작용력 법칙)

물체 A가 물체 B에 어떤 힘($\overrightarrow{F_{ab}}$)를 가하면 물체 B도 크기가 같고 방향이 반대인 힘($\overrightarrow{F_{ba}}$)을 물체 A에 작용하게 되는데, 이것을 작용력 반작용력이라 하며 다음과 같이 정의할 수 있다.

$\overrightarrow{F_{ab}} = -\overrightarrow{F_{ba}}$, …… 2–33식

철도차량이 레일 위를 주행할 수 있는 것은 차륜이 레일을 밀게(작용력) 되면, 레일이 차륜을 밀게(반작용력) 되어 철도차량은 레일 위를 주행하게 되는 것이다. 뉴턴의 운동 제3법칙의 특징은 다음과 같다.

(1) 힘의 작용점이 두 개이므로 두 힘의 합력을 구할 수 없다.
(2) 두 힘의 크기는 같다.
(3) 두 힘의 작용 방향은 서로 반대가 된다.
(4) 두 힘은 같은 작용선상에서 작용한다.
(5) 두 힘이 서로 밀고 당길 때 발생하는 속도, 가속도는 물체 질량에 반비례한다.

[표 2–8] 두 힘의 평형 법칙과 작용력 반작용력법칙 비교

구분	두 힘의 평형 법칙	작용력 반작용력 법칙
공통점	1. 힘의 크기는 같다. 2. (두) 힘의 작용 방향은 서로 반대 3. 두 힘은 같은 작용선상에서 작용	1. 힘의 크기는 같다. 2. 두 힘의 작용 방향은 서로 반대 3. 두 힘은 같은 작용선상에서 작용
차이점	힘의 작용점이 한 개다.	힘의 작용점이 두 개다.

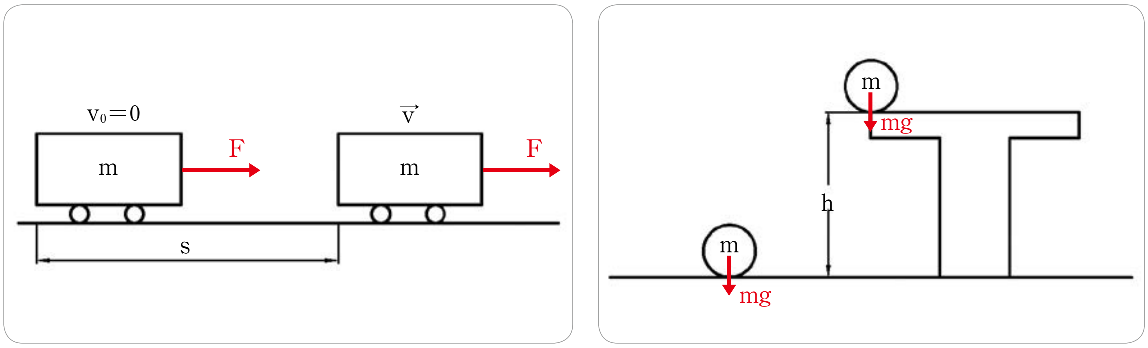
2.3.7 에너지

물체의 운동 방향과 같은 방향으로 힘을 가하여 물체를 더 빠른 속력으로 가속시키면 물체의 운동에너지(E_k)는 증가한다. 반대로 물체의 운동 방향과 반대 방향으로 물체에 힘을 가하여 물체의 속력을 느리게 하면 물체의 운동에너지는 감소한다. 운동에너지의 변화 원인은 물체에 가해진 힘에 의해

서 에너지가 공급 또는 감소하는 것으로 물리량 중 일(work)로 설명할 수 있다.

(1) 운동에너지

정지하고 있는 물체에 일을 해 주면 물체의 운동 상태는 변하게 되는데 이때 에너지의 증가가 이루어진다. 여기서 물체에 해 준 일이 모두 에너지로 변하였다면 증가한 물체의 에너지는 물체에 해 준 일과 같다. 즉, 마찰이 없는 평평한 직선 선로 위에 질량 m인 철도차량에 일정한 힘 F를 작용하여 속력이 v가 될 때까지, 이동한 거리가 s일 때 철도차량은 일정한 힘 F를 받는 동안 등가속도 직선운동을 했으므로, 다음과 같이 등가속도 직선운동의 식 $2as=(v)^2-(v_0)^2$에 처음 속도$(v_0)=0$을 대입하면 철도차량에 힘 F를 주는 동안 철도차량의 가속도 a의 크기는 $\frac{v^2}{2s}$가 된다. 그러므로 철도 차량에 가한 힘 F는 $ma=\frac{mv^2}{2s}$이며 힘이 철도차량에 한 일은 다음과 같이 정의할 수 있다.



[그림 2-15] 운동에너지와 위치에너지

$$W = F \cdot s = \frac{mv^2}{2 \cdot s} \cdot s = \frac{1}{2}mv^2,\ (N \cdot m) \cdots\cdots 2\text{-}34식$$

위 식에서 알 수 있듯이 물체의 운동에너지는 물체의 질량과 속도 제곱에 비례한다.

$$(E_k) = \frac{1}{2}mv^2,\ (N \cdot m) \cdots\cdots 2\text{-}35식$$

(2) 위치에너지

지구 표면 가까이 있는 질량 m인 물체는 항상 지구 중심 방향으로 중력(W = mg)이 작용한다. 여기서 질량 m인 물체를 중력의 반대 방향으로 h[m]만큼 들어 올렸다면 이때 한 일이 위치에너지(E_p)가 되며 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$(E_p) = F \cdot s = mgh, \ (N \cdot m) \ \cdots\cdots \ 2\text{–}36\text{식}$$

2.3.8 일률(공률, 출력)

입환 기관차 A는 1시간에 3,600J의 일을 하였고, B는 2시간에 3,600J의 일을 한다고 하자. 이때 이 두 입환 기관차의 능력을 서로 비교하기 위해 단위 시간당 한 일을 각각 구하면 입환 기관차 A의 경우는 $\frac{3{,}600J}{1h} = \frac{3{,}600J}{3{,}600s} = 1(J/s) = 1W$이고 입환 기관차 B의 경우는 $\frac{3{,}600J}{2h} = \frac{3{,}600J}{7{,}200s} = 0.5(J/s) = 0.5W$이다. 따라서 1시간 동안 A 입환 기관차가 B 입환 기관차보다 일을 더 할 수 있는 능력을 갖고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 능력은 행한 일을 일한 시간으로 나누어 보면 알 수 있게 되는데, 이것을 일률(P : 공률)이라 하며 단위 시간당 행한 일로 다음과 같이 정의된다.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot v = mav, \ (J/s = Watt) \ \cdots\cdots \ 2\text{–}37\text{식}$$

(s : 이동 거리, v : 이동 속도, m : 질량, a : 가속도, F : 힘, W : 일)

J/s를 $Watt$(와트)라고 하며 다음의 관계가 성립한다.

$1Watt(W) = 1J/s = 1N \cdot m/s$

(1) 영국식 마력 : 1마력(HP) = 744.8$Watt$ = 76kg$f$ · m/s

(2) 프랑스식 마력 : 1마력(PS) = 735.5$Watt$ = 75kg$f$ · m/s

(3) 일률의 단위 : HP, PS, J/s, $N \cdot$ m/s, $Watt$, kg$f$ · m/s 등

2.4 전기

전기(電氣)란 영어로는 일렉트리시티(Electricity)라 표현되며, 호박이라는 보석에서 유래되었다. 기원전 600년경 탈레스가 호박(琥珀)을 문지르면 털이 달라붙는 현상에서 최초로 발견되었기 때문에 붙여진 이름이다. 우주에 존재하는 모든 것은 원자라는 아주 작은 입자들로 이루어져 있는데, 원자의 가운데는 원자핵이 있고 그 주위에 전자들이 구름처럼 퍼져 있다. 원자핵은 양성자와 중성자로 되어 있는데, 이 중 양성자와 전자는 서로 반대되는 성질을 가지고 있다. 전기력은 서로 다른 성질을 가진 양성자와 전자 사이에서 생긴다. 그런데 이 전기력은 원자핵에서 멀리 떨어져 있으면 약해진다. 전기력이 약한 전자들은 언제든 외부의 충격이 있으면 원자 밖으로 빠져나와 무리를 지으면서 한쪽 방향으로 움직이게 되는데, 이러한 전자의 흐름으로 전기가 발생한다.

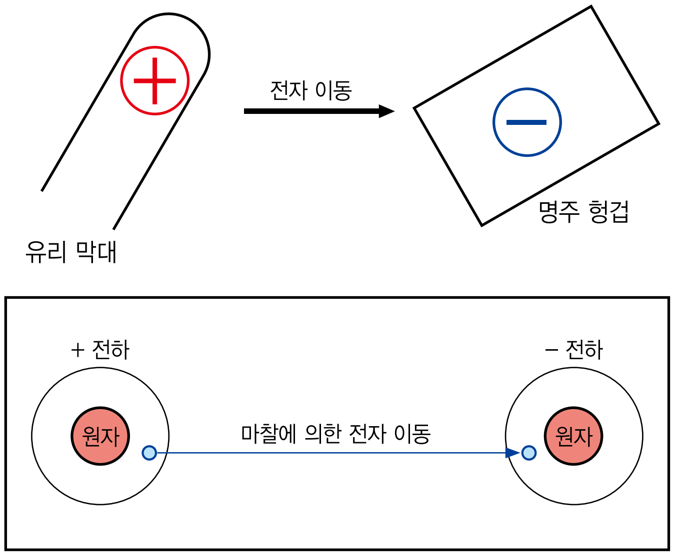
2.4.1 전하와 전류

2.4.1.1 전하

물체가 전기를 띠는 현상을 대전이라 하고, 전기를 띤 물체를 대전체라 한다. 이때 대전체 안에 있는 전기를 전하라고 하며 그 양을 전하량 또는 전기량이라 하는데 전하량의 단위는 쿨롱(c)이다. 전하에는 원자핵 속의 양성자가 띠고 있는 양전하(+전하)와 원자 속의 전자가 띠고 있는 음전하(−전하)가 있다. 한편 전하를 띤 두 대전체 사이에 작용하는 힘을 전기력이라고 하는데, 다른 종류의 전하 사이에는 인력, 같은 종류의 전하 사이에는 척력이 작용한다. 전하 간에 작용하는 인력과 척력은 두 전하량(q_1, q_2)의 곱에 비례하고, 전하 간 거리 r의 제곱에 반비례한다. 이를 쿨롱의 법칙(F)이라고 하며 다음과 같다.

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2},\ (N),\ \cdots\cdots\ 2\text{−}38\text{식}$$

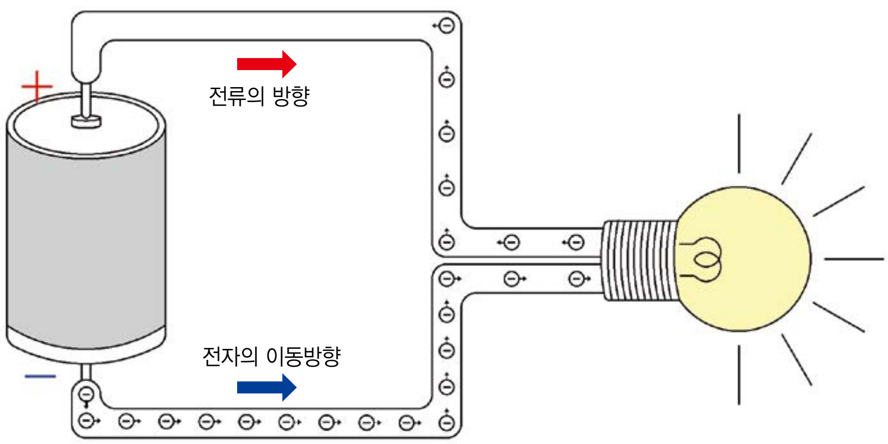
여기서 k는 쿨롱 상수이며, 크기는 $9\times10^9(Nm^2/C^2)$가 된다.



[그림 2-16] 전하의 흐름

2.4.1.2 전류

전기의 흐름은 전하의 이동을 의미하며, 이때 전하의 이동을 전류라고 한다. 양전하는 흐르지 못하는 반면, 음전하는 이동할 수 있으므로 전류는 음전하, 즉 전자의 흐름이라 볼 수 있다. 전류 I는 단위 시간 t에 흐르는 전하량으로, 도선의 단면을 시간 t초 동안 Q의 전하량이 통과하였을 때 다음



[그림 2-17] 전류

과 같이 나타낸다. 그리고 전류의 단위에는 암페어(A), (C/s)가 있다.

$$I = \frac{Q}{t},\ (C/s),\ \cdots\cdots\ 2\text{-}39식$$

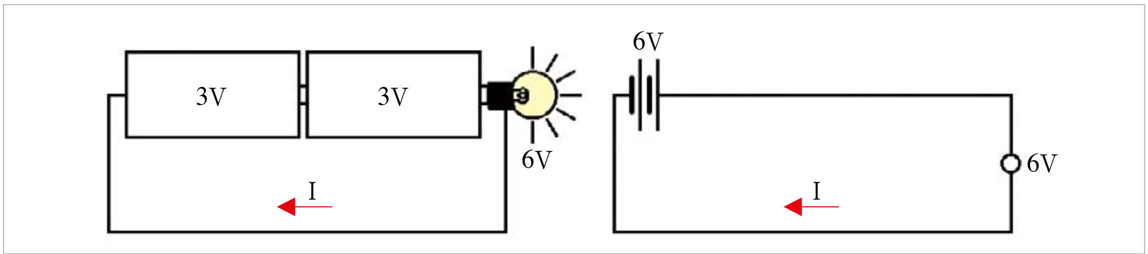
1A는 1초 동안에 도선의 단면을 통해서 1쿨롱(C)의 전하량이 흘러가는 것을 뜻한다. 따라서 1초 동안에 1C의 전하량이 도선의 단면을 흐르면 6.25×10^{18}개의 전자가 이동하는 것이다.

2.4.2 전압

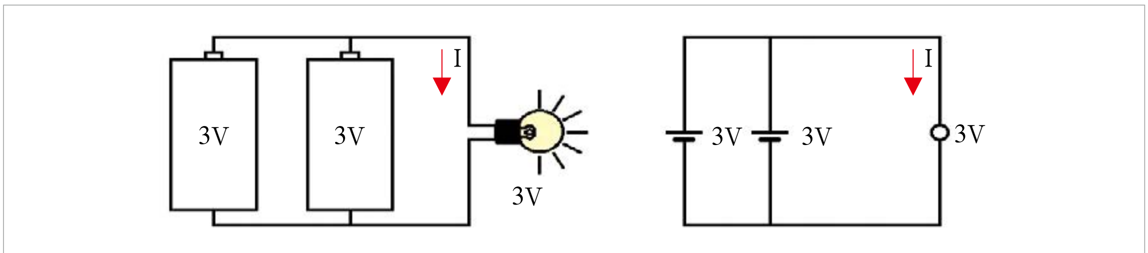
전압은 전류를 흐르게 하는 전기적인 압력으로서 전류가 흐를 때 발생되는 전위의 차이므로 그 차가 클수록 전압은 높아진다. 따라서 전압이 높으면 전류의 세기가 커진다.

전압의 크기는 전지의 연결 방법에 따라 달라지는데, 다음 그림의 (1)에서와 같은 연결 방법을 직렬연결이라 하고 (2)에서와 같은 연결방법을 병렬연결이라 한다.

직렬연결은 병렬연결의 경우보다 전압이 커서 전류의 세기도 크며, 따라서 전지의 소모도 크다. 그러므로 전압이 낮더라도 전지를 오래 사용하고자 할 때에는 여러 개의 전지를 병렬로 연결하여 사용한다. 전압의 단위는 국제단위계 유도단위인 볼트(V)라는 단위를 사용하여 표시한다.



(1) 직렬연결



(2) 병렬연결

[그림 2-18] 전압

2.4.3 전기저항

도체를 따라 자유전자가 이동할 때에는 도체 내의 원자와 충돌하여 저항을 받게 된다. 이와 같이 도체에서 전류를 흐르기 어렵게 하는 물질의 작용을 그 도체의 전기저항이라고 한다. 전기저항은 도체의 길이가 길수록 크며 단면적이 클수록 작다. 따라서 도체의 길이를 L, 단면적을 A라고 할 때 도체의 전기저항 R은 다음과 같이 정의한다.

$$R = \frac{V_{(\text{전압})}}{I_{(\text{전류})}} = \rho_{(\text{비저항})} \cdot (\frac{L_{(\text{도체길이})}}{A_{(\text{도체단면적})}}),\ (\Omega) \ \cdots\cdots \ 2\text{–}40\text{식}$$

여기서 ρ는 도선의 재질에 관계하는 비저항이라고 한다. 비저항의 단위로는 $\Omega \cdot \mathrm{m}$를 사용하는데, 여기에서 그리스 문자 Ω(오메가)를 옴이라고 하며 전기저항의 단위로 사용한다.

2.4.3.1 옴의 법칙

저항 R인 도선에 흐르는 전류 I와 전압 V 사이의 관계를 설명한 법칙으로, 전압을 V, 전류를 I, 저항을 R라 할 때 다음과 같이 정의한다.

$$V = I \cdot R,\ I = \frac{V}{R},\ R = \frac{V}{I} \ \cdots\cdots \ 2\text{–}41\text{식}$$

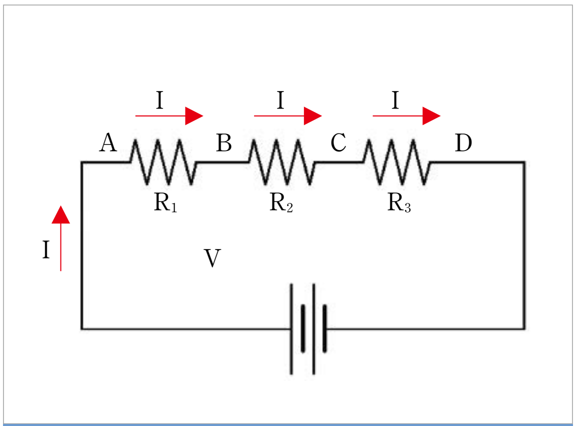
저항이 일정할 때 전압을 늘리면 전류의 세기도 그에 비례하여 증가하며, 전류를 일정하게 하기 위해서는 저항이 증가하는 것만큼 전압도 증가시켜야 한다는 것이다.

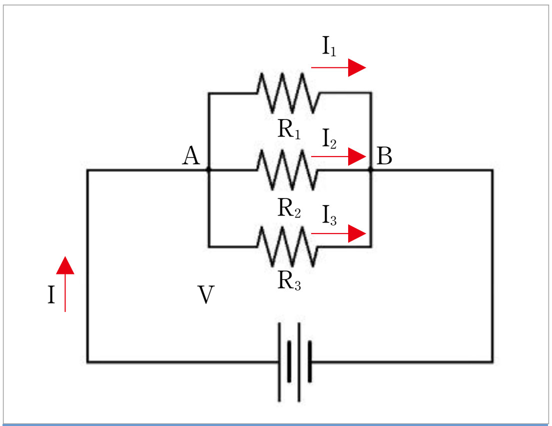
2.4.3.2 합성저항

전기회로에 여러 개의 저항이 있게 되면 연결 방법에 따라 합성저항의 값이 각각 다르게 나타난다. 전기회로에서는 전지의 연결에서와 같이 저항도 직렬 또는 병렬로 연결시켜 사용하게 되는데, 그 경우의 합성저항은 다음 그림 2–19에서와 같이 구할 수 있다.

직렬 저항의 경우 저항 R_1, R_2, R_3가 직렬로 연결되어 있는데, 이때에는 각 저항에 흐르는 전류값에 변화가 없다. 그러나 전압은 A에서 D로 각 저항을 지날 때마다 강하될 것이므로 AB 사이에서의 전압을 V_1, BC 사이에서의 전압을 V_2, CD 사이에서의 전압을 V_3라고 하면,

$V = V_1 + V_2 + V_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3)$가 된다. 그런데 옴의 법칙에서 $V = I \cdot R$이므로 합성저항은 다음과 같이 된다.





[그림 2-19] 합성저항

$R = R_1 + R_2 + R_3$ …… 2-42식

병렬 저항의 경우 저항 R_1, R_2, R_3가 병렬로 연결되어 있는데, 이때에는 전류 I가 I_1, I_2, I_3로 나누어진다. 그러나 AB에 걸리는 전압 V는 일정하므로

$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} = V(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3})$이 된다.

그런데 옴의 법칙에서 $I = \frac{V}{R}$ 이므로 합성저항은 다음과 같이 된다.

$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$, …… 2-43식

따라서 저항을 직렬로 연결하면 합성저항은 가장 큰 저항보다 커지고, 병렬로 연결하면 가장 작은 저항보다 더 작아진다. 이상을 정리하면, 다음과 같다.

(1) 도선의 길이를 L, 단면적을 A라고 할 때 도선의 전기저항 R은 다음과 같이 정의한다.

$R = \rho \frac{L}{A}$, (ρ : 비례상수) …… 2-44식

(2) 옴의 법칙

$$V = I \cdot R,\ R = \frac{V}{I},\ I = \frac{V}{R},\ \cdots\cdots\ 2\text{−}45\text{식}$$

(3) 저항 R_1, R_2, R_3가 직렬로 연결되었을 때에는 각 저항에 흐르는 전류 값에 변화가 없으므로 다음과 같이 정의한다.

$$V = V_1 + V_2 + V_3,\ R = R_1 + R_2 + R_3,\ \cdots\cdots\ 2\text{−}46\text{식}$$

(4) 저항 R_1, R_2, R_3가 병렬로 연결되었을 때에는 각 저항에 흐르는 전압 값에 변화가 없으므로 다음과 같이 정의한다.

$$I = I_1 + I_2 + I_3,\ \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3},\ \cdots\cdots\ 2\text{−}47\text{식}$$

2.4.4 전기에너지(전력량)

전기동차의 전열 기구에 전류가 흐르면 저항에 의해 열이 발생한다. 즉 전자의 이동을 통해 일을 하거나 다른 에너지를 발생시킬 수 있는 에너지를 전기에너지라고 한다. 전류가 회로에 흐를 경우에는 열로 전환되거나 모터를 돌리는 등의 일을 하게 된다. 즉, 전기에너지는 전압 V, 전류 I와 시간 t에 비례하므로 전력량(Wh : 전력×시간)은 다음과 같이 정의한다.

$$W \cdot \mathrm{t} = V \cdot I \cdot \mathrm{t} = (IR) \cdot I \cdot \mathrm{t} = \left(\frac{V}{R}\right) R \left(\frac{V}{R}\right) \mathrm{t} = \frac{V^2}{R} \mathrm{t},\ (W\mathrm{h},\ \mathrm{k}W\mathrm{h})\ \cdots\cdots\ 2\text{−}48\text{식}$$

2.4.5 줄의 법칙

도선 내 자유전자가 이동하면서 많은 원자들과 충돌하기 때문에 열이 발생하는데, 이것은 전기에너지가 열에너지로 전환된 것이다. 이때 이 열을 줄(Joule)열 Q라고 하고, 이에 대한 줄의 법칙(Joule's law)은 다음과 같다.

$$Q = VIt = I^2Rt = \frac{V^2}{R}t, \ (J), \ \cdots\cdots \ 2\text{−}49식$$

1cal = 4.186J, 1J = 0.239cal

2.4.6 전력과 전력량

2.4.6.1 전력

전력은 단위 시간에 공급되는 전기에너지를 말한다. 따라서 전력 P = 전압$(V)\times$전류(I)이며, 옴의 법칙에 의해 다음과 같이 정의한다.

$$P = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}, \ (W, \mathrm{k}W) \ \cdots\cdots \ 2\text{−}50식$$

2.4.6.2 전력량

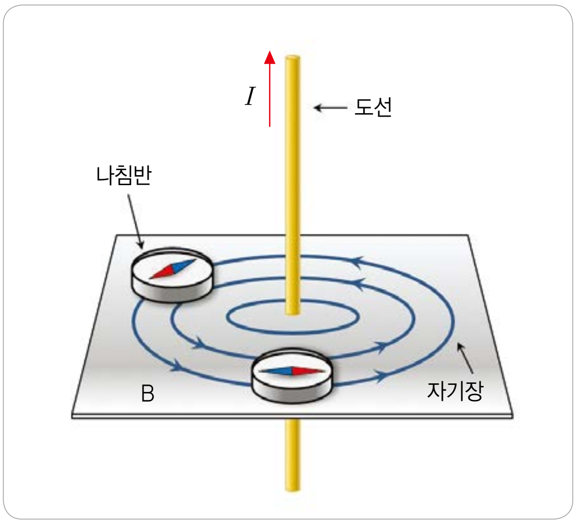
전력이 행한 일을 전력량이라 하는데, 일정 시간 동안 사용한 전기에너지의 총량을 말하며 다음과 같이 정의한다.

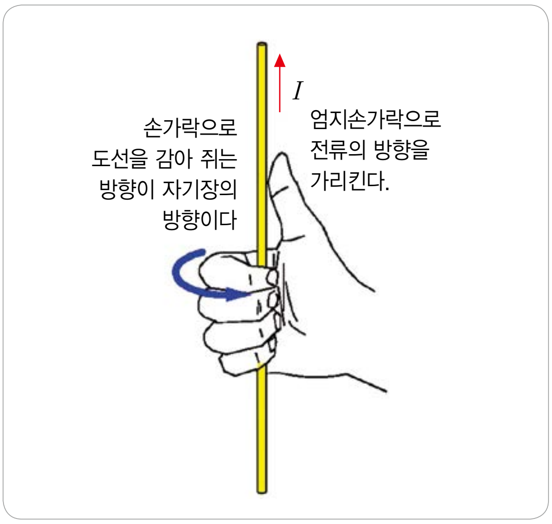
$$P\mathrm{t} = VI\mathrm{t} = I^2R\mathrm{t}, \ (W\mathrm{h}, \mathrm{k}W\mathrm{h}), \ \cdots\cdots \ 2\text{−}51식$$

1kW의 전력으로 1시간 동안 행한 일(전력량)은 1kWh가 된다.

2.4.7 자기장(자계)

도체에 전류를 공급하면 도체 주위에는 보이지는 않지만 전류에 비례하는 동심원 모양의 자기장이 발생 하는데, 여기서 앙페르의 오른손 법칙에 의해서 자기장의 방향도 알 수 있다. 또한 자석은 서로 다른 극끼리 달라붙기도 하지만, 쇠나 니켈 등도 끌어당기는데, 이렇게 끌어당기는 힘은 자석과 어느 정도 떨어져 있어도 작용하며, 이 힘을 자기력이라 하고, 자기력의 활동 공간을 자계 또는 자기장이라고도 한다.

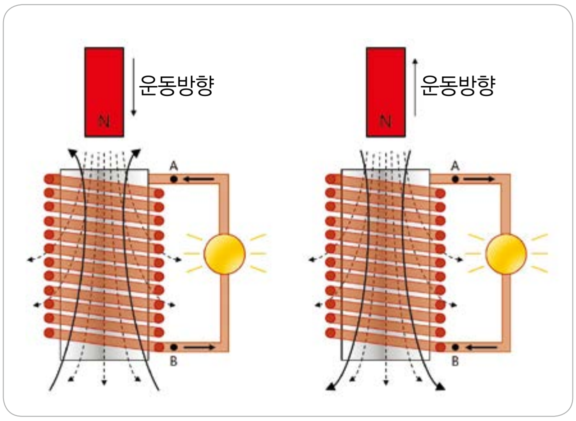


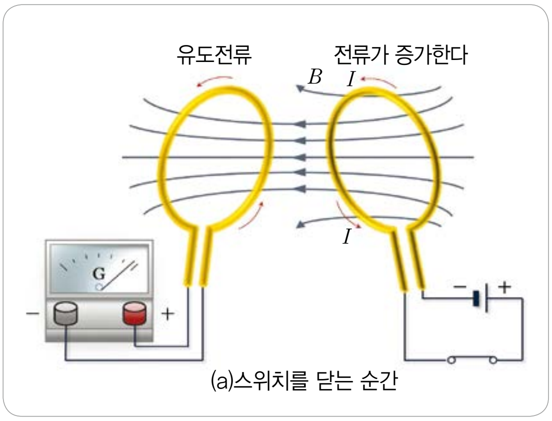


[그림 2-20] 자기장

2.4.8 전자기유도 법칙

검류계로 자기장 내에서 도체(코일 등과 같이 전기가 통하는 물체)를 움직이면 검류계의 바늘이 움직이는데, 이것은 전류가 흐른다는 것으로 전류의 크기는 자석을 움직이는 속도가 빠를수록 크다. 그리고 전류의 방향은 자석의 N극이나 S극 또는 가까이 할 때나 멀리 할 때 반대가 된다. 이러한 현상은 자석을 그대로 둔 채 코일 쪽을 움직여도 마찬가지이다. 이와 같이, 자기장의 변화에 의해 도체에 기전력이 발생하는 현상을 전자유도라고 한다. 이것은 영국의 패러데이가 발견해서 패러데이의 전자유도 법칙이라고 한다. 이 법칙을 응용한 전기기기에는 발전기와 변압기 등이 있다.

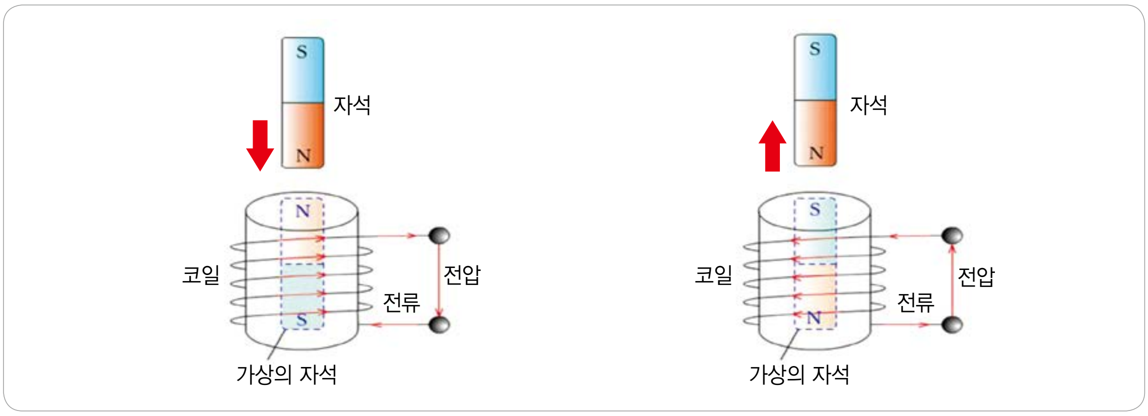




[그림 2-21] 전자기유도 현상

2.4.9 렌츠의 법칙

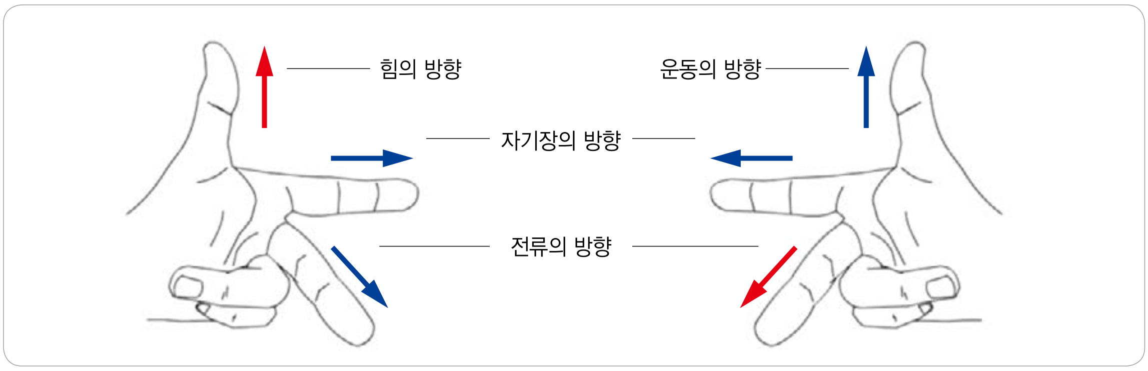
렌츠에 의하여 전자유도 작용으로 유도기전력의 방향을 알아낸 법칙으로, 1834년 렌츠는 유도기전력은 유도전류의 발생 원인이 되는 자기력선속의 변화를 방해하려는 방향으로 발생한다는 법칙을 밝혀냈다. 이것을 렌츠의 법칙이라고 한다. 이 법칙은 코일에 흐르는 유도전류의 방향을 알 수 있게 한다.



[그림 2-22] 렌츠의 법칙

2.4.10 플레밍의 오른손 법칙

엄지, 검지, 중지를 서로 직각이 되게 벌리고 엄지를 도체의 이동 방향으로, 검지를 자기장의 방향으로 향하게 하면 중지는 유도전압의 방향을 알 수 있는데, 이것을 플레밍의 오른손 법칙이라고 한다. 자속밀도를 $B(Wb/\mathrm{m}^2)$, 전류를 $I(A)$, 도체의 길이를 $L(\mathrm{m})$, 회전자 속도 $V(\mathrm{m/s})$라 하면 유



[그림 2-23] 플레밍의 법칙

도된 기전력(E)은 다음과 같이 정의한다.

$E = B \cdot L \cdot \mathrm{v}, (V), \cdots\cdots$ 2-52식

2.4.11 플레밍의 왼손 법칙

세 손가락을 서로 직각으로 펼쳐서 왼손의 집게손가락을 자기장 방향, 가운뎃손가락을 전류 방향, 엄지손가락을 도체의 운동 방향으로 하면 전동기의 회전 방향과 전자력의 크기는 플레밍의 왼손 법칙으로 결정할 수 있다. 즉, N극과 S극으로 형성된 자기장 B내에 도체를 놓고 도체에 직류전류 I를 공급하면 도체는 전자력 F라는 힘을 받기 때문에 도체의 이동 방향은 플레밍의 왼손 법칙으로 설명할 수 있다.

$F = B \cdot I \cdot L, (N), \cdots\cdots$ 2-53식

핵심정리

1. 단위(기본단위)

양	기호	명칭
길이	m	미터
질량	kg	킬로그램
시간	s	세컨드
전류	A	암페어
열역학적 온도	K	켈빈
물질의 양	mol	몰
광도(광원의 밝기)	cd	칸델라

2. 단위와 물리량

1) 힘의 단위, 의 단위, 일률의 단위
2) 속력, 속도, 가속도, 표정속도, 진동 가속도, 압력, 파스칼의 원리. 등가속도 직선운동 힘, 등속원운동, 중력, 구심력, 원심력, 관성력, 마찰력, 충격량, 운동량, 탄성력, 토크, 뉴턴의 운동 법칙, 일

3. 일과 에너지

$1J = 1N \cdot \mathrm{m} = 1\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m/s^2} \cdot \mathrm{m} = 1\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m^2/s^2}$

$1\mathrm{erg} = 1\mathrm{dyne} \cdot \mathrm{cm} = 1\mathrm{g} \cdot \mathrm{cm/s^2} \cdot \mathrm{cm} = 1\mathrm{g} \cdot \mathrm{cm^2/s^2}$

4. 전기

전류, 옴의 법칙, 전력, 전력량, 렌츠 법칙, 플레밍 법칙, 전자기유도 현상 등