

[출처] 네이버 백과사전 <http://100.naver.com>

[출처] 위키백과 <http://ko.wikipedia.org>

전자기학관련 주요 용어 설명

- ① 전자기학 : 전기 · 자기
- ② 정전기장, 전하, 전기장, 전기선속, 전위, 유전율, 정전기유도, 전기 쌍극자모멘트, 분극 밀도, 쿨롱의 법칙, 가우스의 법칙
- ③ 정자기장, 전류, 자기장, 투자율, 자화, 자속, 자기 모멘트, 바이오-사바르의 법칙, 앙페르의 주회법칙, 자기장 가우스의 법칙
- ④ 전자기역학 : 기전력, 전자기유도, 변위전류, 전자기장, 전자기파, 와전류, 패러데이의 유도 법칙, 렌츠의 법칙, 로렌츠 힘의 법칙, 맥스웰의 방정식
- ⑤ 전기 회로 : 전기전도, 전기저항, 전기용량, 인덕턴스, 임피던스, 키르히호프의 법칙

① 전자기학(電磁氣學, electromagnetics / electromagnetism)

전기력과 자기력은 근본적으로 같은 힘이다. 전자석처럼 전기로 자기력을 만들 수 있고, 반대로 발전기처럼 자기력으로 전기를 만들 수도 있다. 이와 같이 전기와 자기는 밀접한 관련을 가지고 상호작용하므로 이를 통틀어 전자기라 하고, 이를 연구하는 학문이 전자기학이다.

역사적으로 고대 그리스에 마찰전기에 대한 기록이 있고, 중국에도 지남석에 관한 단편적 기록이 있다. 그러나 전자기현상을 체계적으로 연구하기 시작한 것은 17세기부터이다. 1785년 쿨롱의 법칙이 발견되면서 전자기현상에 대한 수학적 연구의 기초가 세워진다. 그리고 1792년의 갈바니전지와 1799년 볼타전지의 발명으로 연속적인 전류가 얻어진다. 이후 1820년 외르스테드에 의해 전류의 자기작용이 발견되고, 1827년 옴의 법칙이 발견된다. 그리고 1831년 패러데이에 의해 전자기유도작용이 발견되는 등 전기와 자기 사이의 밀접한 학문적 체계가 확립된다. 그러나 이때까지는 전기와 자기를 같은 현상으로 파악하지 못하였고, 1873년 맥스웰이 처음으로 전자기장의 개념을 수학적으로 정립하여 전자기파의 존재를 주장하였고, 헤르츠가 이를 실험적으로 입증하였다.

▶ 전기(電氣, Electricity)

양, 음의 부호를 가진 두 종류의 전기적 성질을 가진 전하가 나타내는 여러 가지 자연현상을 말함.

고대 그리스 과학자 탈레스는 BC 600년경 호박(琥珀)을 모피에 문지르면 전하를 띠게 되어 가벼운 물체를 잡아당기는 것을 보고, 최초로 전기현상을 발견한다. 호박을 의미하는 그리스어의 ‘엘렉트론’에서 ‘일렉트리시티(electricity)’라는 말이 유래된 것으로 전해진다.

16세기 말 영국의 윌리엄 길버트는 자석에 대한 연구로 호박이 지니는 인력(전기력)과 자석의 인력(자기력)과의 차이를 처음으로 명확히 밝힌다. 1752년 미국의 벤저민 프랭클린은 연을 이용한 실험을 통해 번개의 전기적 성질을 증명한다. 프랑스의 물리학자 뒤페는 전하에 양(陽)과 음(陰)의 구별이 있다는 사실을 발견하였다. 프랑스의 토목공학자 쿨롱은 전하를 띤 두 물

체 사이에 작용하는 전기력에 관한 쿨롱의 법칙을 발견하였다. 이탈리아의 물리학자 볼타는 볼타전지라 불리는 화학전지를 발명하였다. 영국의 물리학자 톰슨은 전자(電子)의 존재를 발견하여 원자물리학의 발전에 공헌하였다.

▶ 자기(磁氣, Magnetism)

자석이 갖는 물리적인 성질. 대표적인 예로 철조각이 막대자석에 달라붙는 현상을 들 수 있는데, 이는 자기에 의한 것이다. 전기력과 자기력이 확실하게 구분되기 시작한 것은 16세기 말이며, 19세기 초에 전류에 의한 자기현상을 발견하면서 자기와 전기가 밀접한 관련을 맺고 있다는 것이 밝혀졌다. 그 후로 전자기학이 성립되었다.

마찰전기(정전기)의 인력과 함께 BC 5세기~BC 4세기경부터 알려져 있던 것으로, 그리스신화 등 고대문학에서도 천연자석인 자철석(磁鐵石)이 지니는 자기에 관한 기록을 종종 볼 수 있다. 자석을 뜻하는 영어인 magnet는 옛날에 자철석의 산지였던 소아시아 서부의 마그네시아(Magnesia)에서 유래한다고 한다.

자극(磁極)은 1269년 프랑스의 P. 펠레그리누스가 발견하였으나, 전기력과 자기력의 차이가 명확히 구별된 것은 16세기 말경이며, 영국의 길버트가 실험에 입각해서 쓴 저서 《자석에 대하여》(1600)는 자기의 기본현상을 계통적으로 밝힌 것으로 알려져 있다. 이 때문에 길버트는 ‘자기학의 아버지’라고 불린다. 그 후 1820년 덴마크의 외르스테드가 전류의 자기작용을 발견하였으며, 1831년 영국의 패러데이가 전자기유도(電磁氣誘導)를 발견함으로써 자기현상과 전기현상의 밀접한 관계가 밝혀진 후, 전기학과 자기학을 통합한 전자기학이 성립되었다.

② 정전기장, 전하, 전기장, 전기선속, 전위, 유전율, 정전기유도, 전기 쌍극자모멘트, 분극 밀도, 쿨롱의 법칙, 가우스의 법칙

② 정전기장(靜電氣場, electrostatic field)

시간적으로 변하지 않는 전하분포에 의해 생기는 전기장을 말함. 정전기장 $\vec{E}$ 는 대체로 전위 (potential) V 로부터 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\vec{E} = -\text{grad } V$$

정전기장 $\vec{E}$ 속에서 전하 q 에 작용하는 힘 $\vec{F}$ 는 다음과 같다.

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

▶ 전하(電荷, electric charge)

물체가 띠고 있는 정전기의 양으로 모든 전기현상의 근원이 되는 실체이다. 양전하와 음전하가 있고 전하가 이동하는 것이 전류이다. 정전기나 전류뿐만 아니라 모든 전기현상은 전하

에 의해 일어난다.

전하는 양전하와 음전하로 나눌 수 있다. 동일한 부호의 전하 사이에는 서로 밀어내는 척력이 작용하고, 다른 부호의 전하 사이에는 서로 잡아당기는 인력이 작용한다. 이는 마치 자기력의 인력, 척력과 유사하다.

전하의 양을 전하량이라 부른다. 단위는 [C, 쿨롱]으로 도선에 1[A, 암페어]의 전류가 흐를 때 1[sec, 초] 동안 전선을 통과하는 전하량을 1[C]으로 정한다. 하지만 정확한 전하량은 항상 기본전하량 e , 1.6021×10^{-19} [C]의 정수배이다. 이는 전하가 기본전하량을 지닌 전자나 이온으로 이루어져 있기 때문이다. 따라서 전하량은 연속적인 모든 값이 될 수 없다. 즉, e 나 $2e$, $-3e$ 나 $1000e$ 등은 가능하지만, $1.5e$ 나 $-0.3e$ 와 같은 값을 가질 수는 없다.

▶ 전기장(electric field)

전하로 인하여 전기력이 미치는 공간이다. 전기장의 세기는 전기장 내의 한 점에 단위 양전하(+1C)를 놓았을 때 그 전하가 받는 전기력의 크기로 정한다. 전기장의 방향은 고전위인 양극에서 저전위인 음극으로 향한다.

전기를 띤 전하나 시간에 따라 변하는 자기장 주위의 공간에는 전기장이 형성된다. 이 전기장 안에서 하전된 물체는 전기력을 받게 된다. 전기장은 패러데이(Michael Faraday)가 처음 소개한 물리량으로 전장 또는 전계라고도 한다. 전기장은 보통 기호 $\vec{E}$ 로 표시하며, 크기와 방향을 갖는 벡터량이다. 국제표준단위계의 단위로 N/C(newton per coulomb), 혹은 V/m(volt per meter)를 사용한다.

정전기에서는 단위 전하에 작용하는 전기적인 힘을 전기장으로 정의한다. 전기장의 방향은 양전하에서 나가서 음전하로 들어오는 방향이며 이것이 곧 힘의 방향이기도 하다. 전기장의 크기는 전하의 크기에 대한 전기력으로 정의한다. 곧 전기장은 힘과 전하량 사이의 비례상수가 된다. 식으로 표현하면 $\vec{E} = \vec{F}/q$ (굵은 글자는 벡터를 의미한다.)이며, 이것이 쿨롱의 법칙이다. (쿨롱의 법칙은 정전기에서의 전기장만 설명할 수 있을 뿐, 전하의 움직임이 있을 경우는 로렌츠의 법칙으로 전기장을 설명할 수 있다.) 여러 개의 전하가 분포되어 있을 경우에, 전기장은 전하들의 상대적인 위치와 크기에 따라서 결정되며, 각각의 전하에 의한 전기장의 벡터 합과 같다. 또한 전기장 내의 한 위치에서의 전기장의 크기는 전하로부터 거리의 제곱에 반비례한다. 한편 움직이는 전하는 전기장과 함께 자기장도 만들어내는데, 자기장이 시간에 따라 변할 경우 전기장을 만들어낸다. 이것을 이차전기장(secondary electric field)이라고 하며 패러데이의 유도법칙을 사용하여 계산할 수 있다. 일반적으로 전기장과 자기장은 완전히 분리되지 않기 때문에 전자기장이라고 한다.

전기장 내에 탐색전하(test charge)가 있을 경우, 탐색전하는 공간의 각 점에서 전기장 방향으로 이동한다. 이 방향을 이어가면 하나의 곡선을 얻을 수 있으며, 곡선상 각 점에서의 접선은 그 점에서의 전기장의 방향을 나타낸다. 전기장의 방향을 그린 전기력선과 전위가 같은 점을 이은 등전위면을 통해 전기장의 분포상황을 나타낼 수 있다.

▶ 전기력선속 [電氣力線束, electric flux]

전기력선속(=전기선속=전속)은 전기장 내의 매질의 종류가 변해도 같은 선의 갯수로 연속하는 것처럼 생각된 가상선이다. $Q[C]$ 의 전하에서 Q/ϵ_0 개의 전기선속이 나와 $-Q[C]$ 의 전하로 연결되어 멈춘다. 한편, 전기선속의 단위면적당 밀도는 전기선속밀도라고 한다.

단위면적당의 전기선속의 수를 전기선속밀도라고 하며 기호는 D , 단위로는 C/m^2 를 사용하고 있다. $Q[C]$ 의 전하를 중심으로 한 반지름 $r[m]$ 의 구면(球面)을 지나는 전기선속은 Q 개이므로 구면상의 전기선속밀도는 $\vec{D} = Q/4\pi r^2 = \epsilon \vec{E} [C/m^2]$ 로 된다. 단 $E(V/m)$ 는 전기장의 크기, ϵ 는 매질의 유전율(유전체의 고유의 값)이다.

패러데이나 맥스웰의 매질이론에서는 진공은 일종의 유전체로서 전기장에 의해 분극(分極)하는 것으로 생각되고 있다. 그리고 물질이 있으면 분극은 더욱 촉진되는 것으로 생각하여 이 분극을 전기변위라 했으나 현재는 진공에서의 분극은 고려되지 않는다.

▶ 전위 [電位, electric potential]

전기장 내에서 단위전하가 갖는 위치에너지이다. 스칼라(scalar)량이며, 일반적으로 국제표준단위로 $V(volt)$ 라는 단위를 사용한다. 편의상 지표면의 전위를 $0V$ 로 할 때가 많다. 특히, 전기장 내의 두 점 사이의 전위의 차이를 전위차 또는 전압이라고 한다.

정전기장이나 정상전류가 흐르는 전기장 내의 기준점으로부터 어떤 점까지 단위전하를 옮기는 데 필요한 일의 양을 전위라고 한다. 전기장 안의 전하는 전기장으로부터 전기적인 압력을 받는다. 이 때 전기적인 압력이 공간 내에서 불균일하다면 전하는 힘을 받아 가속 운동을 하게 된다. (+)전하 근처가 고전위이며, (-)전하 근처는 저전위이다. (+)전하에서 (-)전하 방향으로 전기장이 형성되며, 양전하는 전기장의 방향으로 가속된다. 힘의 크기는 전하량에 전기장의 크기를 곱한 값으로 주어진다.

중력장에서와 마찬가지로 전기장 내에서도 (+)전하를 전기장의 반대방향으로 이동시키려면 전기력을 거슬러 일을 해 주어야 한다. 전하를 이동시킬 때 외부에서 전하에 해 준 일만큼 전하는 전기력에 의한 위치 에너지를 갖게 된다. 따라서, 수식으로 표현하자면, 전위 $V=W/q$ (W 는 일, q 는 전하량)가 된다. 전위는 q 에 무관한 공간의 함수이다. 전위는 시간에 무관한 전기장 내에서, 단위전하 당 위치에너지인 셈이다. 시간에 의존하는 전기장에서의 전위와 구별하기 위해 정전기전위라고도 한다.

전위의 기준점은 임의적이며, 따라서 기준점을 달리하면 각 점의 전위값은 변하게 된다. 그래서 물리적으로 의미있는 양은 두 점 사이의 전위차이다. 사실 전위 V 에 어떤 상수를 더해도 전기장에는 아무런 영향을 미치지 않으며, 이것을 전기장이 게이지불변(gauge invariant)이라고 한다. 단위전하(+1C)를 옮기는데 $1J(줄)$ 의 일이 필요할 때 두 점 사이의 전위차를 $1V(볼트)$ 라고 정의하고 전위차 또는 전압의 단위로 사용한다. 수식으로 쓰자면, $1V=1J/C$ 이 된다. 대전체에서 무한히 멀리 떨어진 점의 전위를 0 이라 정할 때, 무한히 먼 곳에서 전위 V 인 한 점으로 전하량 q 를 갖는 점전하를 가져오는데 필요한 일은 $W=qV$ 이다. 전위의 국제표준단위(SI)는 $V(volt)$ 이며, $avolt$ 나 $statvolt$ 와 같은 단위들이 드물게 사용되기도 한다.

시간에 따라 변하는 전자기장에서는 일반화전위(generalized scalar electric potential)를 구별하여 사용하기도 하지만, 간단히 전위로 설명하기도 한다. 그러나 이 때에는 전기장이 보존되지 않으며, 포텐셜함수(potential function)가 공간 내의 모든 점에서 정의될 수 없다는 차이가 있다. 또한 이러한 상황에서는 실제적인 전위강하(effective potential drop)를 함축하고 있으며, 회로의 인덕턴스로 해석된다. 이러한 일반화 전위차를 기전력(emf)이라고 부른다.

전위는 회로의 모양이나 전자기장에 대한 자세한 지식없이 전기회로에 대한 분석을 할 수 있는 수단이다. 또한 전위를 사용하면 전자기장이나 회로에 대해 맥스웰방정식을 자세히 풀 필요없이 키르히호프의 법칙을 사용하여 간단하게 전기 네트워크를 분석할 수 있기도 하다.

▶ 전기에너지 [electric energy; electric potential energy]

전기에너지는 전자의 이동을 통해 일을 하거나 다른 에너지를 발생시킬 수 있는 에너지이며, 전하 주위에 전기장을 형성시킴으로써 발생된다. 단위는 에너지 일의 단위인 줄(J)이며, 암페어(A), 볼트(V), 초(s)로 표시하면 아래와 같이 정의된다.

$$[Joule] = [Volt][Ampere][sec]$$

전위가 높은 곳에서 낮은 곳으로 양전하가 이동할 때 전기장이 일을 하게 되는데, 이 일을 전기에너지로 나타낼 수 있다. 다시말해 전위차가 V인 두 점 사이에서 전하량 q가 이동할 때 전기장이 전하에 하는 일은 $W = qV$ 로 단위는 줄(J, joule)로 나타낸다.

전력의 단위 $[watt] = [volt][ampere]$ 와 비교하면 전기에너지는 전력으로 일정한 시간동안 일한 양이 된다. 예를 들어 30와트(W)전구를 1시간동안 사용했다면 사용한 전기에너지는 $30 \times 3600 = 108 \text{ (kJ)}$ 이 된다. 여기서 k(킬로)는 1000을 의미한다.

전기에너지가 일한 결과는 여러 형태로 나올 수 있는데 전열기를 사용한 경우처럼 열에너지로 변환되거나, 모터를 돌리는 경우는 일로, 전구를 사용한 경우는 빛으로 에너지가 전환된다.

전기에너지는 주로 발전소의 발전기처럼 운동에너지를 변환해서 발생시키는데, 화력발전소에서는 연료를 연소시킬 때 나오는 열에너지로 물을 끓여 증기를 발생 시키고, 이 증기가 외부로 팽창할 때 터빈을 돌려 발전기를 회전시킨다. 원자력발전소에서는 핵분열할 때 발생하는 질량결손에너지로 증기를 발생시킨다. 수력발전소에서는 물의 흐름을 이용하여 발전기를 회전시켜 발전하므로 물의 위치에너지가 전기에너지로 변환된다. 양수발전은 수력발전의 일종이며 야간에 다른 발전소에서 만들어지지만 사용량이 작아 남아도는 전기에너지로 저지대의 물을 고지대 저수지로 양수기로 이동시킨다. 이때 전기에너지가 물의 위치에너지로 바뀐다. 위치에너지를 축적된 물을 전력소모가 많은 낮에 다시 수력발전을 통해 전기에너지로 전환시켜 사용한다.

대체에너지로 관심이 증대된 발전형태로 조력발전, 태양광발전, 태양열발전, 풍력발전 등이 있다. 조력발전은 밀물 때 올라온 바닷물을 저수지에 담았다가 썰물 때 흘러 발전한다. 태양광발전은 반도체소자를 이용하여 태양빛을 바로 전기에너지로 전환시키는 방법이며, 태양열발전

은 반사경을 이용 태양열을 한곳으로 모아 물을 끓여 증기를 발생시켜 전기에너지를 만든다. 풍력발전은 큰 바람개비로 발전기를 회전시킨다.

화학에너지로 전기에너지를 발생시키는데 예로서 건전지가 있다. 축전지는 전기에너지와 화학에너지 양방향으로 에너지 전환이 가능하게 만든 것으로 전기를 연결하면 전기에너지가 화학에너지 형태로 바뀌어서 축적되며, 축적된 화학에너지는 전기기구를 연결하면 다시 전기에너지로 바뀌어서 사용된다.

▶ 정전기유도 [靜電氣誘導, electrostatic induction]

도체나 유전체에 대전체를 가까이 가져갈 때, 전기장의 영향으로 물체의 표면에 전하가 유도되는 현상을 정전유도라고 한다. 대전체와 가까운 쪽에는 대전체와 다른 종류의 전하가, 반대쪽에는 같은 종류의 전하가 나타난다. 이 현상을 이용하여 대전상태를 알아내는 검전기를 만들거나, 전기를 저장하는 라이덴병을 만든다. 접지하거나 대전체에 닿지 않으면, 물체는 전체적으로 원래의 전기적 중성상태를 유지한다.

금속과 같은 도체에 양전하로 대전된 물체를 접근시키면 도체 내의 자유전자가 양전하로부터 인력을 받아 대전체 쪽으로 움직인다. 결과적으로 대전체와 가까운 표면에 음전하가 유도되고, 반대편에는 양전하가 유도된다. 음전하로 대전된 물체를 접근시키면 그 반대가 된다. 이때 다시 대전체를 멀리 가져가면 다시 원래의 중성 상태로 돌아온다. 이는 전하량은 보존되면서 전하의 분포만 바뀐 것이기 때문이다. 따라서 도체의 양쪽으로 유도된 양전하와 음전하의 크기는 같다.

빛으로 머리를 빗은 다음 작은 종이 조각에 가까이 가져가면 종이 조각이 빗에 달라붙는다. 종이 같은 부도체에는 자유전자가 없으나 대전체를 가까이 가져가면 극성을 지닌 분자들의 배열이 변한다. 이런 성질이 있는 물체를 유전체라고 한다. 이때 유전체 내부는 양전하와 음전하의 양이 같으므로 아무런 변화가 없다. 하지만 양끝에서는 분자들이 한쪽 방향으로 배열되어 전하가 유도된다. 합성섬유에 먼지가 잘 달라 붙는 것은 이와 같은 이유 때문이다.

▶ 모멘트 [moment] ≈순간)

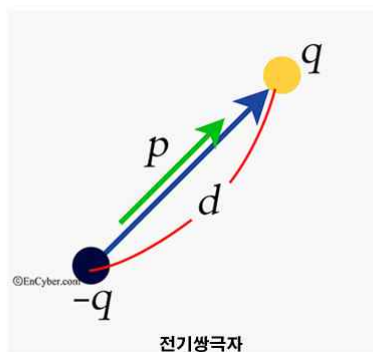
어떤 종류의 물리적 효과가 하나의 물리량뿐만 아니라 그 물리량의 분포상태에 따라서 정해질 때에 정의되는 양이다. 그 예로, 회전운동에서의 관성모멘트는 물체의 질량이 같더라도 그 분포도에 따라 다른 값을 갖게 되는 것을 들 수 있다.

물체의 회전운동의 관성은 그 물체의 관성질량뿐만 아니라 회전축에 대한 물체 각부의 질량의 분포상태로 결정되므로, 그 비율을 나타내기 위하여 관성모멘트라는 특별한 양을 정의한다. 또 물체에 작용하는 힘의 회전효과는 힘만이 아니라 회전축과 힘의 작용점과의 거리에도 의존하게 되므로 물체의 회전운동을 논할 때는 흔히 합력(合力)의 모멘트라는 양(量)을 쓴다. 이것은 회전축에서 힘의 작용점에 그은 반지름벡터 r 와 힘의 벡터 F 의 외적(外積)인 $[r, F]$ 로 정의되는 벡터량이며, 힘 F 대신 운동량벡터를 취한 것을 운동량의 모멘트 또는 각운동량이라고 한다.

▶ 전기쌍극자 [electric dipole]

물질은 (-)전하를 띤 전자와 (+)를 띤 핵이 평형을 이루고 전기적으로 중성을 이루고 있다. 그러나 총 (-)전하와 총 (+)전하의 위치가 일치하지 않을 경우나, (-)전하를 띤 물질과 (+)전하를 띤 물질이 일정한 거리를 두고 떨어져 있는 상태를 전기쌍극자라고 한다. 그 크기를 보통 전기쌍극자모멘트(electric dipole moment)로 나타낸다.

전기쌍극자는 보통 같은 크기이지만 극성이 다른 전하 q 가 d 만큼의 거리를 사이에 두고 있는 형태이다. 이 전기쌍극자의 크기(p)를 나타내는 전기쌍극자모멘트는 다음과 같이 전하량에 거리를 곱한 양이며 (-)전하에서 (+)전하 방향으로 전기쌍극자의 방향을 정한다.



$$p = qd$$

이 전기쌍극자는 주변에 전하를 띤 물질에 전기력을 작용하게 되는데 그 힘은 전기쌍극자모멘트와 물질의 전하량을 곱한 양에 비례하고, 거리의 삼승에 반비례한다. 따라서 두 전하 사이에 작용하는 전기력이 거리 제곱에 반비례하는 것과 비교하면 전기쌍극자와 전하 사이에 작용하는 힘은 전기쌍극자에서 떨어질수록 힘이 급격히 줄어드는 것을 알 수 있다. 또 외부에서 균일한 전기장을 걸어주면 전기쌍극자는 전체적으로 중성이므로 전기장에서 전기쌍극자 중심이 움직이지는 않지만 (즉 알짜힘을 받지 않지만) 전기쌍극자모멘트의 방향이 전기장방향과 같은 방향으로 정렬하려는 회전하는 힘을 받게 된다.

물분자는 산소원자 1개와 수소원자 2개로 이루어져 있는데 수소와 산소는 일직선에 연결되어 있지 않고 105도 정도 기울어져 있다. 이때 전자는 산소쪽으로 치우쳐 분포하여 전체적으로 전기쌍극자를 이룬다. 전기쌍극자에 불균일한 전기장을 걸어주면 이 때는 회전력뿐 아니라 전체가 움직이는 알짜 힘도 받게 된다. 수도에서 흐르는 물에 (-)로 대전된 플라스틱 막대를 가져가면 물의 흐름이 휘는 것을 볼 수 있다. 물처럼 전기쌍극자 성질을 지속적으로 가지는 물질을 영구쌍극자라 한다.

▶ 유전율 [誘電率, permittivity]

외부 전기장을 유전체에 가하면 유전분극 현상이 일어나 가해진 외부 전기장에 반대방향으로 분극에 의한 전기장이 생긴다. 결과 유전체내 전기장 세기가 작아진다. 이때 작아진 비율이

유전율이다. 유전율 ϵ 은 전기변위장(electric displacement field) $\vec{D}$ 와 전기장 $\vec{E}$ 로 다음과 같은 관계를 가진다.

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$$

전기변위장은 전기장을 만드는 전하량에만 관계하는 양이다. 따라서 일정한 전하량이 있을 경우 유전율이 높을수록 전기장은 작아진다. 이는 유전체내에서 유전분극이 증가함을 의미하기도 한다. 단위당 유전분극 $\vec{P}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi \vec{E}$$

이 식에서 나타난 전기감수율 χ (chi,카이)와 유전율 ϵ (엡실론)의 관계는 다음과 같다.

$$\epsilon = \epsilon_0 (\chi + 1)$$

즉, 전기감수율이 높을수록 유전분극이 증가하고, 유전율도 증가하며, 전기장은 작아진다. 진공에서 유전율을 특별히 ϵ_0 로 표시하며 다음과 같이 정의된다.

$$\epsilon_0 = \frac{1}{c^2 \mu_0} = 8.85418 \times 10^{-12} [F/m]$$

여기서 c 는 빛의 속도이고, μ_0 (뮤 제로)는 진공의 투자율이다. [Farad,패러드]는 축전용량을 나타내고 [meter,길이]는 길이의 단위이다. 한편 진공의 유전율에 대한 비율을 유전상수(dielectric constant) ϵ_r 라 하고 다음과 같이 정의한다.

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$$

공기의 유전상수는 1.0005, 종이는 3, 고무는 7, 메탄올은 30, 물은 80 등이다.

▶ 유전분극 [誘電分極, dielectric polarization]

전기장을 가했을 때 전기적으로 극성을 띤 분자들이 전체적으로 정렬하여 물체가 전기를 띠는 현상을 유전분극이라 한다. 전기장 내에 물체를 놓으면 도체인 경우는 자유전자들이 물체 내에서 움직여 정전기 유도현상이 나타난다. 하지만 전기적으로 극성을 띤 분자로 이루어진 유전체는 전기장을 가하면 극성 분자들이 전기장과 반대방향으로 정렬하여 표면에 전기를 띠게 된다. 물질마다 분극 되는 정도는 가해진 전기장의 세기 E 에 비례하며, 그 비례상수를 전기

감수율(electric susceptibility) χ_e 라 한다. 단위면적당 분극 P 는 다음과 같이 나타낸다.

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi_e \vec{E}$$

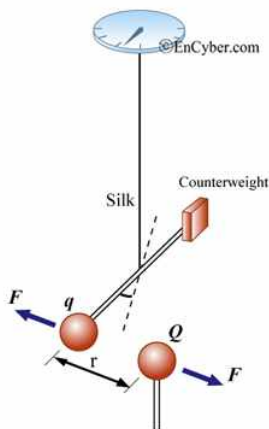
여기서 ϵ_0 는 진공에서의 유전율이다.

유전체의 분극은 두 가지 경우로 나눌 수 있다. 첫째는 영구쌍극자가 정렬하는 경우이다. 분자와 같이 작은 범위에서 (+)전기를 띤 부분과 (-)전기를 갖는 부분으로 나뉘어져 있는 것을 전기쌍극자라 한다. 보통의 경우 영구쌍극자의 방향은 열에너지에 의해 일정치 않아 물체는 전기를 띠지 않는다. 하지만 외부 전기장이 강할수록 영구쌍극자가 정렬하여 전기를 띠게 된다. 두 번째는 유도쌍극자의 경우이다. 외부 전기장을 주면 극성이 없던 분자가 전기력에 의해 전자가 이동하여 전기를 띠어 쌍극자가 된다. 그리고 유도쌍극자의 방향이 전기장을 따라 정렬되어 있어 전기를 띠게 된다. 분극에 의한 전기장의 방향은 외부 전기장 방향과 반대 방향이므로 유전체 내에서 전기장 세기는 외부전기장의 세기보다 작아진다.

▶ 쿨롱의 법칙(一法則, Coulomb's law)

전하를 가진 두 물체 사이에 작용하는 힘의 크기는 두 전하의 곱에 비례하고 거리의 제곱에 반비례한다. 같은 극성의 전하는 서로 미는 척력을 다른 극성의 전하는 서로 잡아당기는 인력이 작용한다. 이 법칙은 1785년 프랑스의 물리학자인 C.A.쿨롱이 비틀림 저울을 사용한 실험에서 발견되었다.

쿨롱의 법칙은 만유인력과 같이 거리제곱에 반비례하는 힘이지만, 전하의 극성에 따라 인력 혹은 척력이 작용된다. 쿨롱의 법칙에 의한 두 전하 q_1 , q_2 사이에 작용하는 전기력(F)은 다음과 같이 표시된다.



$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

여기서 힘 $\vec{F}$ 의 단위는 뉴턴(N), 거리 r 은 미터(m), 전하 q_1 , q_2 는 쿨롱(C)이다. ϵ_0 는 진공에서 유전율을 의미하며, π 는 원주율을 의미한다. 비례상수 값은 다음과 같다.

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.988 \times 10^9 [Nm^2C^{-2}]$$

전하 q가 있을 때 거리 r에서 전기장(E)은 단위전하 즉 1C의 전하가 놓였을 때 힘으로 다음과 같이 정의 된다. 이때 전기장의 방향은 전하 q가 (+)일 경우 전하 q에서 거리 r로 화살표를 그렸을 때 방향이고, (-)일 경우는 반대로 향하는 방향이다.

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

전기장의 단위는 [N/C]이다.

▶ 가우스의 법칙 [一法則, Gauss's law]

물리학의 기본적인 법칙 중의 하나로서 역제곱법칙(inverse square law)이 적용되는 중심력장에서 성립되는 법칙이다. 전하나 질량과 같은 근원물질(source)의 주위에 가우스 곡면(폐곡면)을 가정할 때, 폐곡면 바깥으로 흘러나오는 유량은 폐곡면 내부에 있는 근원물질의 전체량에 비례한다는 법칙이다. 주로 전기장을 둘러싼 폐곡면에 대해 수직으로 통과하는 전기장의 흐름, 즉 전기력선속은 전체 전하량에 비례한다는 전자기 법칙으로 잘 알려져 있다. 이것은 가우스의 정리(Gauss's theorem)가 정전기장에 응용된 예로, 일반적으로는 중력이나 전자기력과 같이 역제곱 법칙이 성립하는 모든 힘에 응용할 수 있다. 가우스(Carl Friedrich Gauss)가 1835년 발견한 법칙으로 근원물질이 대칭성을 갖는 경우 큰 위력을 발휘하는 법칙이다.

정전기장에서 다수의 점전하 또는 전하분포가 만드는 전기장을 쿨롱의 법칙과 중첩의 원리를 이용해 직접 계산할 수도 있지만, 가우스의 법칙을 사용하면 보다 간단하게 구할 수 있다. 주어진 전하분포의 바깥에 부피 V인 폐곡면을 가정하면, 폐곡면의 표면 S를 통과하는 총 전기력선속 Φ_E 은 그 폐곡면 속에 포함된 총 전하량과 같다.

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot \hat{n} dA = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho dV = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

여기서 E는 전기장, ϵ_0 는 진공의 유전율, ρ 은 전하밀도, Q은 전체 전하량이다. 무한 도선 주위에 원통형의 가우스 폐곡면을 가정하면 도선 주위의 전기장을 쉽게 구할 수 있으며, 전하가 분포된 구는 구의 내부와 외부에 각각 가우스 표면을 가정하여 구할 수 있다.

③ 정자기장, 전류, 자기장, 투자율, 자화, 자속, 자기 모멘트, 비오-사바르의 법칙, 앙페르의 주회법칙, 자기장 가우스의 법칙

③ 정자기장(靜磁氣場, magnetostatic field)

전하가 일정한 속도로 움직이면서 발생하는 전류(직류)는 일정한 정상 상태(Stationary state)의 자기장을 발생함. 이것을 정자기장이라 함.

▶ 전류 [電流, electric current]

전위(電位)가 높은 곳에서 낮은 곳으로 전하(電荷)가 연속적으로 이동하는 현상. 물이 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르듯이 전하는 전기적인 위치에너지가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동한다. 물이 흐르는 이유가 중력 때문이라면 전류는 기전력(起電力)이라는 힘에 의해 흐른다. 전류가 흐르는 길을 전기회로라 하며, 이는 물이 흐르는 수로(水路)에 대응된다. 그리고 전류에 의하여 에너지를 공급받는 장치를 부하(負荷)라 하고, 이것은 물에 의해 돌게 되는 물레방아에 대응된다.

전류의 크기를 나타내는 단위는 A(암페어)이다. 1A는 도선의 임의의 단면적을 1초 동안 1C(쿨롱)의 전하가 통과할 때의 크기다. 전류의 방향은 정전하(정지한 전하, 양전하)의 이동방향을 양(+)의 방향으로 정한다. 그러나 실제로 도선 안에서는 전류의 반대방향으로 자유전자가 이동한다. 1A의 전류가 흐르는 도선에는 1초에 약 6.25×10^{18} 개의 자유전자가 단면적을 통과한다. 전류의 종류에는 그 크기 및 방향이 변하지 않는 직류(直流)와 크기와 방향이 주기적으로 변하는 교류(交流)가 있다.

도선에 전류가 흐르면 자유전자가 도선 내의 원자 또는 전자와 충돌하여 열이 발생한다. 백열전구나 전기밥솥·전기다리미와 같은 전열기구 등에서 알 수 있다. 일반 전기기기에서 열이 발생하면 전력 손실이 생기고 기기 내의 절연성이 떨어지기도 한다. 또 도선에 전류가 흐르면 도선 주위에 자기장이 형성된다. 이 원리를 사용해 전자석, 전류계, 전동기나 자기부상고속철도처럼 전기에너지를 역학적 에너지로 바꿀 수 있다.

변위전류라는 용어는 맥스웰이 전자기현상을 통일시키기 위해 제안한 것으로, 자유공간 내의 전기력선속밀도가 시간적으로 변화하면, 전도전류가 자기장을 발생시키는 것처럼 자기장이 발생한다고 하고, 이를 변위전류라 하였다.

▶ 자기장 [磁氣場, magnetic field]

자석이나 전류 또는 시간에 따라 변화하는 전기장에 의해 그 주위에 자기력이 작용하는 공간을 만든다. 그 공간을 자기장이라고 한다. 자기장은 운동하는 전하에 영향을 미치며, 운동하는 전하는 자기장을 발생시킬 수 있다.

자기장은 크기와 방향을 갖는 벡터량으로 그 크기는 자기장 강도 $\vec{H}$ 또는 자기장선속밀도 $\vec{B}$ 로 나타낸다. 자기장 $\vec{H}$ 는 자기장이 있는 공간의 자기적 특성을 생각하지 않는 양이며, 자기장 $\vec{B}$ 는 자기적 특성을 생각한 양으로 자기력을 계산할 때 직접 사용되는 양이다. 자기장 $\vec{H}$ 와 자기장 $\vec{B}$ 는 $\vec{B} = \mu \vec{H}$ 의 관계가 있다. μ 는 자기장이 놓여진 공간의 자기적 특성인 자기투자율이다.

자기장의 방향은 자기장 내에 있는 나침반 자침의 N극이 받는 힘의 방향이다. 자기장은 자기력선으로 표현할 수 있는데, 자기장 내의 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향을 따라 이동하면 하나의 곡선이 그려진다. 이 선을 자기력선이라고 하며, 자기력선의 방향은 N극에서 나와 S극을 향하고, 닫힌곡선이다. 자기력선은 도중에 끊어지거나 서로 엇갈리지 않으며, 자기력선 위의 한 점에서의 접선의 방향이 그 점에서의 자기장의 방향이다.

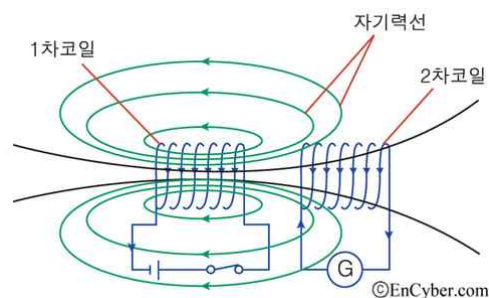
자기력선의 밀도는 자기장의 세기를 나타낸다. 자기력선의 간격이 촘촘할수록 자기장의 세기가 세다. 자석의 양쪽 자극에서 자기력선의 밀도가 높고, 자극으로부터 점차 멀어지면 자기력선의 밀도가 낮다. 흰 종이 아래 자석을 놓고, 종이 위에 섯가루를 뿌리면 자기력선을 간접적으로 볼 수 있다.

단위 면적을 지나는 자기력선의 수(자속, 자기선속)가 자속밀도 $\vec{B}$ 이다. 자속밀도의 단위는 T(tesla, 테슬라)이다. 자기선속은 Φ (파이)로 표시하며 그 단위는 웨버(Wb)이다. 따라서 자기선속과 자기력은 다음의 관계에 있다.

$$\vec{B} = \vec{\Phi} / S, \quad 1[T] = 1[Wb] / m^2$$

주위에 다른 영향을 주는 자기력이 없는 경우 나침반의 N극은 자기북극을 가리킨다. 막대 자석의 중심을 실을 매고 공중에 매달아도 N극은 북쪽을 향하게 된다. 이를 통해 지구 자체를 하나의 커다란 자석이라고 생각할 수 있다. 이러한 지구자기에 의해 형성된 자기장을 지구자기장이라고 하며 1600년경 영국 엘리자베스 1세 여왕의 궁중 의사였던 길버트(William Gilbert)에 의해 발견되었다.

전류가 흐르는 도선 주위에는 항상 자기장이 형성된다. 이는 전류가 흐르는 도선 위에 나침반을 가져다 놓았을 때, 자침이 움직이는 것을 보고 알 수 있다. 이와 같이 전기장과 자기장은 상호작용하며, 이 원리는 발전기, 전동기 등에 널리 이용된다.



▶ 자화 [磁化, magnetization]

물체가 자성을 지니는 현상이다. 모든 물체는 자기장 내에 두면 크건 작건 자화되는데, 자화되는 양상에 따라 강자성체(強磁性體)·상자성체·반자성체·페리자성체 등으로 구분된다. 이 중에서 상자성체와 반자성체는 자화되는 정도가 약하고 자기장을 제거하면 자성이 없어지지만, 강

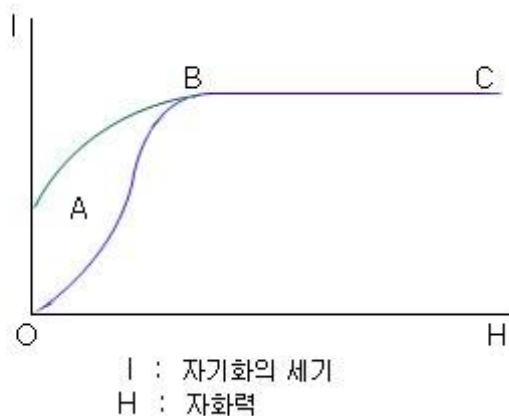
자성체는 자화되는 정도가 강하고, 또 자기장을 제거해도 자성이 남아 있는 경우가 많다. 자화율은 물질이 자화되는 세기와 외부 자기장의 자화력의 비율로 상자성체나 반자성체는 물질의 고유상수이나, 강자성체는 자화과정과 자기장의 세기에 따라 자화율이 변한다.

자화의 세기는 일반적으로 물체의 단위부피에 대한 자기모멘트에 의해서 측정된다. 예를 들면, 길다란 막대의 길이를 L , 자극(磁極)의 세기를 m (따라서 자기모멘트는 ml), 자화되는 방향에 수직인 단면적을 s 라고 하면, 자화의 세기 I 는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$I = mL/sL = m/s$$

자화의 세기는 단면적에 나타나는 자하(磁荷:자극의 세기)의 표면밀도를 나타내는 것이라고도 할 수 있다. 이 밖에 자화에 관한 양으로는 자화율이 있는데 이것은 자화의 세기와 그때의 외부 자기장(=자화력)사이의 비이며, 상자성체나 반자성체에서는 자기장의 세기와 관계가 없는 물질 고유의 상수이지만, 강자성체에서는 자기장의 세기와 자화과정에 따라 그 값이 복잡하게 변한다.

전혀 자성을 가지지 않은, 즉, 자기소거상태(소자상태)인 철에 외부자기장(자화력)을 가하고 이것을 차차 세게 하면, 자화는 일반적으로 아래 그림과 같이 진행된다. 즉, 처음($O \rightarrow A$)에는 자기장의 세기와 거의 비례하여 자화가 진행되므로 일정한 자화율(초기자화율이라고 한다)을 가지지만, 자기장의 세기가 어느 정도에 이르면 자화가 급격히 증가하고($A \rightarrow B$), 자기장을 더 강화하여 일정한 한계를 넘게 되면 그 이상은 자화가 진행되지 않는 자기포화상태($B \rightarrow C$)에 이른다.



이와 같은 곡선을 일반적으로 처녀곡선이라고 한다. 초기자화율을 보이는 $O \rightarrow A$ 의 범위에서는 반대로 자기장을 점점 약화시키면 자화는 $A \rightarrow O$ 의 선을 따라 감소하며 그 변화는 가역적(可逆的)이지만, 일단 A점을 넘으면 자기장을 약화시켜도 자화상태의 변화는 $C \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow O$ 와 다른 경로를 밟으며, 자기장이 0이 되어도 자성이 남는다. 이것을 잔류자화(殘留磁化)라고 한다. 이와 같이 강자성체의 자화가 자기장의 세기와 1대 1의 관계에 있지 않고, 그 이전의

자화상태에 관련되는 일을 자기이력(磁氣履歷)이라고 한다.

철 등 강자성체의 자화가 이상과 같은 과정을 밟는 것은, 이들이 자기적인 미소영역(微小領域)의 구성체라는 데서 설명이 가능하다. 즉, 강자성체의 내부에는 자화력이 작용하지 않는 경우에도 어느 정도 자화되어 있는(이것을 자발자화라고 한다) 자기구역이라는 영역이 있으며, 자기소거상태에서는 각 자기구역의 자화 방향이 제각기이기 때문에 자성이 밖으로 나타나지 않으나, 자화력이 가해지면 자기구역이 회전하여 차차 자화력의 방향에 접근해서 자성이 나타나게 된다. 이 단계가 초기자화율을 가지는 $0 \rightarrow A$ 의 범위이다. 그러나 자기구역은 자신이 회전함과 동시에 어떤 자기구역의 자화 방향이 인접하는 자기구역보다 자화 방향에 가까울 때는, 자화력의 방향을 향하지 않은 부자연한 부분을 줄이기 위해 자기구역벽(磁氣區域壁)을 이동시켜서 보다 큰 자기구역을 형성하는 성질이 있다. 따라서 자화력이 어느 정도를 넘으면 이 자기구역벽이동이 갑자기 격렬해지므로 외부에는 자화의 급격한 강화로 나타난다. 자화력이 한층 더 강화되면 마침내 물질 전체가 하나의 자기구역으로 되어 그 이상 자화력을 강화해도 자화가 진행되지 않는 자기포화상태가 되는 것으로 생각된다.

▶ 자속 [磁束, magnetic flux]

어떤 표면을 통과하는 자기력선의 수에 비례하는 양. 크기와 방향이 균일한 자기장 $\vec{B}$ 가 있다. 자기력선이 자기장과 수직이고 면적이 A 인 평면을 통과할 때 단위면적을 지나는 자기력선의 수는 자기장의 크기 $\vec{B}$ 에 비례한다. 따라서 면적 A 인 표면을 통과하는 선의 수는 $B \cdot A$ 에 비례한다. 이때 자기장의 세기 $\vec{B}$ 와 자기장에 수직인 면적 A 의 곱 $B \cdot A$ 를 이 표면적을 지나는 자속이라고 한다.

만약 평면이 자기장에 수직이 아니라면 자기력선의 수는 $B \cdot A$ 보다 작다. 평면의 법선과 자기장이 이루는 각이 θ 일 때, 자속은 $B \cdot A \cdot \cos\theta$ 이다. 따라서 자기장과 면이 서로 수직일 때 자속은 $B \cdot A$ 로 가장 큰 값을 가지며, 자기장과 표면적이 서로 평행일 때 0으로 가장 작은 값을 가진다.

일반적인 모양의 구부러진 표면을 지나는 자속을 구하려면 그 면을 잘게 나누어서 각각의 조그만 면이 평면에 가까워지도록 만든 다음, 조그만 면을 지나는 자속을 전부 더하여 전체 자속을 구한다. 자속의 단위는 웨버(Wb) = $1\text{T} \cdot \text{m}^2$ 이며, 이때 T(테슬라)는 자기장의 단위이다.

▶ 자기력선속밀도 [磁氣力線束密度, magnetic flux density]

단위 면적을 수직으로 지나는 자기력선의 수. 줄여서 자속밀도라고도 하며, 자기장의 크기를 나타내는데 사용한다. 단위는 가우스(G) 또는 테슬라(T)를 사용한다.

자기장에 수직인 단면을 지나는 자기력선의 총 수를 자기선속(자속, magnetic flux)라고 하며 보통 Φ (파이)로 표시한다. 단위는 자극의 자기량 단위인 Wb(웨버)를 사용한다. 단위 면적을 지나는 자기선속을 자기력선속밀도(자속밀도)라고 하며 단위는 가우스(G) 또는 테슬라(T)를 사용한다.

자기선속밀도는 자기장의 세기를 나타내며, 넓이 S 인 단면을 수직으로 지나는 자기선속 Φ 와

자기장 B의 세기는 다음의 관계에 있다.



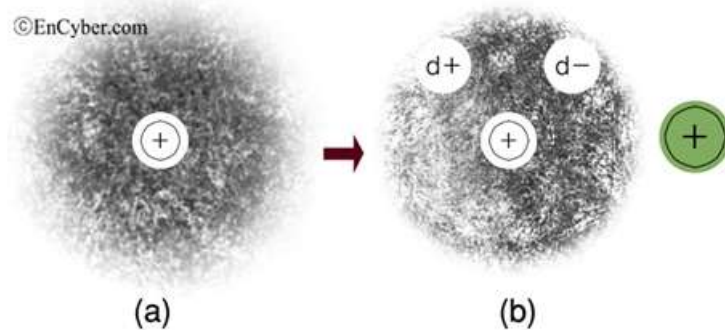
$$\vec{B} = \frac{\vec{\Phi}}{S}, \quad 1[Tesla] = 1[Wb/m^2]$$

자기력선의 간격이 촘촘할수록 자기장의 세기가 세다. 자석의 경우, 양쪽 자극에서 자기력선의 밀도가 높고 자극으로부터 점차 멀어지면 자기력선의 밀도가 낮다. 흰 종이 아래 자석을 놓고, 종이 위에 섯가루를 뿌리면 이를 확인할 수 있다.

▶ 쌍극자모멘트 [雙極子-, dipole moment]

쌍극자 사이의 세기와 거리를 곱한 것이다. 전기쌍극자모멘트의 방향은 음(-)전하로부터 양(+)전하로 향하는 벡터량으로 나타내며, 전하로 이루어지는 전기쌍극자모멘트와, 자기쌍극자에 의한 자기쌍극자모멘트가 있다. 쌍극자·이중극자(二重極子)모멘트, 이극자모멘트라고도 한다. 크기가 같은 양(陽)과 음(陰) 두 극이 아주 가까운 거리를 두고 마주하고 있을 때 이 두 극을 쌍극자라고 하는데, 이때 두 극의 세기와 거리를 곱한 것을 쌍극자모멘트라고 한다. 이것은 방향을 고려하여 음(-)극에서 양(+)극을 향하는 벡터로 나타낸다. 양·음의 전하(電荷)로 구성되는 쌍극자에 의한 전기쌍극자모멘트와, 자기쌍극자에 의한 자기쌍극자모멘트가 있다.

한 분자의 음전하무게중심과 양전하의 무게중심이 정확히 일치되지 않으면 쌍극자모멘트를 갖게 된다. 전기장 하에서 모든 분자들은 일그러진 편극(distortionpolarization)이 발생하기 때문에 유도된 쌍극자모멘트(전기장 방향과 거의 평행하도록 정렬된다)를 갖는다.



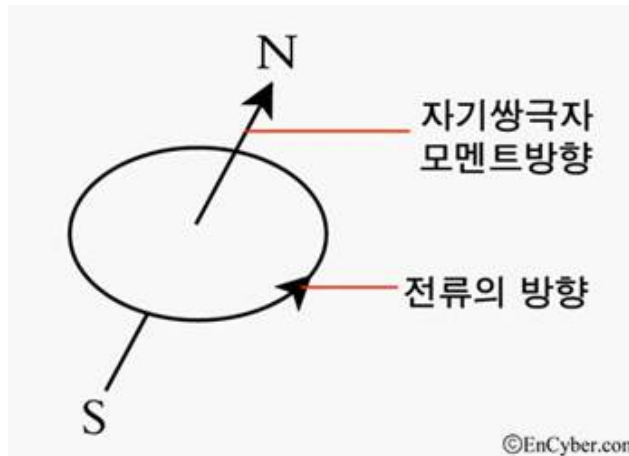
자기쌍극자는 작은 자석이나 작은 **환상전류**(環狀電流)를 비롯하여 전자·양성자·중성자(中性子) 등 **소립자**(素粒子)나 **원자핵**·원자·분자 등으로 알려져 있으며, 큰 자석 또는 보통 **자성체**(磁性體)는 자기쌍극자의 집합으로 간주하고 있다.

▶ 자기쌍극자 [magnetic dipole]

자석과 같이 한쪽은 N극 반대쪽은 S극을 갖는 물질을 자기쌍극자라 한다. 전기력에서 전기력을 일으키는 단위는 (-)전하와 (+)전하다. 물질은 전기적으로 (-)극을 갖거나 (+)극을 갖는 물질로 나눌 수 있고, 이 둘 사이에 작용하는 전기력 현상을 볼 수 있다. 하지만 자기력을 갖는 물질은 N극과 S극으로 양분될 수 없고, 항상 한쪽은 N극 다른 쪽은 S극을 띤 자기쌍극자 형태로 나타나게 된다. 전자석을 살펴보면 원형으로 굽어진 전선에 전기를 흘려 자석의 성질을 띠게 되어 자기쌍극자를 이루게 된다. 영구자석의 경우는 전자가 전자석의 역할을 한다. 전자는 (-)전하를 띠고 있는데 스스로 회전하는 효과를 갖고 있다. 이 회전하는 효과에는 두 가지가 있다. 하나는 자기 자신을 축으로 회전하는 스핀이라는 효과가 있고, 다른 하나는 핵을 중심으로 주위 공간을 회전하는 효과이다. 이 회전하는 효과에 의해 전류가 흐르는 효과가 발생한다. 이 전류가 흐르는 효과에 의해 전자석에서처럼 자기력을 띠게 되어 자기쌍극자가 된다. 보통의 물질은 이런 자기쌍극자가 불규칙하게 배열되어 전체적으로 자기력이 없다. 하지만 영구자석의 경우 이런 자기쌍극자들이 한쪽으로 정렬되어 전체적으로 자기력을 잃지 않아 자석이 된다.

▶ 자기쌍극자모멘트(magnetic dipole moment)

자기쌍극자의 크기는 자기쌍극자모멘트로 나타낸다. 예를 들어, 원형으로 만든 전선에 전류 I가 흐를 때, 이 원형 전선의 넓이를 S라 하면, 자기쌍극자모멘트의 크기는 전류와 넓이를 곱한 값 IS가 되고, 자기쌍극자모멘트의 방향은 전류의 방향으로 오른손 검지를 감쌀 때 엄지손가락이 가리키는 방향이 된다.

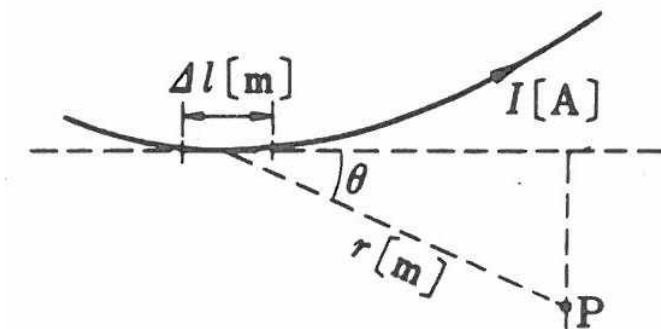


원형전선에 전기가 흐를 때 자기쌍극자가 형성

▶ 비오사바르의 법칙 [一法則, Biot-Savart's Law]

정상전류가 흐르고 있는 도선 주위의 자기장의 세기를 구하는 법칙이다. 이 법칙을 이용하면 도선 밖의 한 점에서의 자기장의 세기는 회로 안의 작은 면적의 자기장의 벡터합으로써 구할 수 있다.

원형전류와 자기장에 관한 암페어의 법칙이 발견된 시점을 전후해서 1820년 장밥티스트 비오(Jean-Baptiste Biot)와 펠릭스 사바르(Félix Savart)가 발견하였다. 이 발견을 계기로 전자기(電磁氣) 현상의 통일적인 이론을 얻는 것이 물리학의 중요한 과제가 되었다. 비오-사바르 법칙은 전류밀도와 주변 자기장의 관계를 나타내주는 법칙으로 임의의 점 P 에서의 자기장의 세기는 다음과 같이 계산된다.



$$\vec{B} = k_m \int \frac{Id\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

$$\vec{B} = k_m I \int \frac{dl \sin\theta}{r^2}$$

여기서 $k_m = \frac{\mu_0}{4\pi}$ 가 되며, $\hat{r} = \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$ 로서, $\vec{r}$ 방향으로의 단위벡터가 된다.

▶ 앙페르의 회로법칙(Ampère's circuital law)

자기장에 대한 가우스 법칙에 해당하며, 프랑스의 물리학자 앙드레마리 앙페르가 발견했다.

앙페르의 회로법칙은 전류밀도 $\vec{J}$ 와 그것이 만들어내는 자기장 $\vec{H}$ 에 관련된 법칙으로 다음과 같다.

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{a}$$

여기서,

$\vec{H}$ 는 자기장의 [암페어/미터]

$d\vec{l}$ 곡선 C의 미소 미분요소

$\vec{J}$ 곡면 C의 표면 S를 통과하는 전류밀도 (암페어/미터²)

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ 자유공간에서의 투자율 (테슬라/헨리)

$\oint_C$ 폐곡면 C의 적분

이다. 마찬가지로 이 방정식의 미분형은 다음과 같다.

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}$$

자기장 $\vec{H}$ 는 자속밀도 $\vec{B}$ (단위: 테슬라(T))와 다음과 같은 관계가 있다.(진공인 경우)

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

앙페르 법칙을 적용할 때의 모순을 발견한 제임스 클러크 맥스웰은 이 법칙이 불완전하다고 결론 내린다. 이 문제를 해결하기 위해 그는 변위전류의 개념을 고안하였으며 이를 통해 맥스웰 방정식에 편입된 일반화된 앙페르의 회로법칙을 만들었다. 맥스웰에 의해 교정된 앙페르의 회로법칙의 적분형은 다음과 같다.

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{A} + \frac{d}{dt} \int_S \vec{D} \cdot d\vec{A}$$

변위전류밀도 $\vec{D}$ 는 다음과 같다. (단위: 쿨롱/미터²)(진공인 경우)

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$$

이 앙페르-맥스웰 법칙은 다음과 같은 미분형으로도 표현된다.

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

두 번째 항이 변위전류에서 나온 것을 알 수 있다. 변위전류의 개념을 통해 맥스웰은 빛이 전자기파의 일종임을 (정확히) 가정할 수 있었다

► Gauss's law for magnetism(자기 가우스 법칙)

자성에 대한 가우스 법칙(Gauss's law)은 닫혀진 곡면에 대해서 그 곡면을 지나는 자기력선의 수(자기장)와 곡면으로 둘러싸인 공간 안의 자기원천의 관계를 나타내는 물리법칙이다. 가우스 법칙을 적분형태로 쓰면 다음과 같다.

$$\Phi = \oint_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

여기서 $\vec{B}$ 는 자기장 벡터, $d\vec{A}$ 는 표면 A 위의 미소 면적을 나타내는 벡터로 그 지점의 접평면에서 바깥쪽을 향하는 법선벡터를 뜻하고 $\oint_A$ 는 표면 A 전체에 대한 면적분을 뜻한다.

자성에 대한 가우스 법칙의 미분형은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

여기서 $\nabla \cdot$ 는 발산(divergence), $\vec{B}$ 는 자기장벡터이다. 즉, 이 법칙은 자석의 N극과 S극이 같이 있어야 하며 고립된 자극이 없음을 나타내는 법칙이다.

④ 전자기역학 : 기전력, 전자기유도, 변위전류, 전자기장, 전자기파, 와전류, 패러데이의 유도 법칙, 렌츠의 법칙, 로렌츠 힘의 법칙, 맥스웰의 방정식

④ 전기역학 [電氣力學, electrodynamics]

전자기 현상을 역학의 형식을 이용하여 해석하는 학문이다. 전자기학과 같은 내용이며, 이름의 차이만 있을 뿐이다. 현재는 전자기장이 양자화된 것을 논의하고 있어서 이 학문을 양자전기역학이라 부른다.

H.C.외르스테드에 의한 전류의 자기작용의 발견에 이어 A.M.앙페르는 전류 상호간에 미치는 역학적 원격작용(遠隔作用)의 정식화(定式化)에 성공하여 이 상호작용을 다루는 학문을 전기역학이라 하였다. 앙페르의 전기역학을 발전시킨 W.베버의 전자론(電子論)에서는 하전입자(荷電粒子:電子)의 움직임에 대하여 전자기론을 빌려 종래의 전기역학과 정전기론과의 통합이 시도되었다. 전자론(電子論)에 의해 전기역학이 새로운 내용을 첨가하게 되었다. 이어서 베버의 전기역학과 맥스웰의 전자기장론과의 종합이라고도 생각할 수 있는 로런츠의 고전전자론(古典電子論)이 등장한다. 여기서 맥스웰방정식에 나타나는 하전과 전류는 본질적으로 하전입자의 움직임에 연관성이 부여됨으로써 그 현상론적(現象論的) 성격이 해소된다.

결국 전자기론은 하전입자의 역학적 운동과 관련됨으로써 '운동체의 전기역학'이라는 성격을 가지게 되었다. 전자기론 또는 전자기학은 전기역학에 귀착되었고, 전자기학과 전기역학과의 차이는 단지 명칭상의 차이에 지나지 않으며, 내용에서는 차이가 없다.

▶ 유도기전력 [誘導起電力, induced electromotive force]

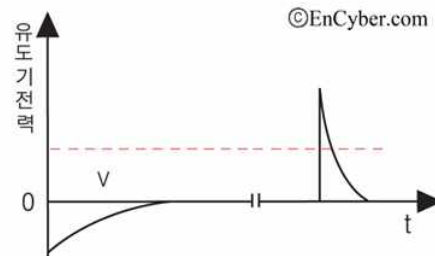
전자기유도현상에 의해 생기는 기전력을 말한다. 시간에 따라 변하는 자기장 내부의 도체 혹은 자기장 내에서 움직이는 도체에서 발생하는 기전력으로 전압의 단위를 갖는다.

1820년, 덴마크의 물리학자 외르스테드(Hans Christian Oersted, 1777-1851)는 전도전류가 자침을 움직이게 하는 현상을 발견하였다. 영국의 물리학자 패러데이(Michael Faraday, 1791-1867)는 여기서 더 나아가 자기장의 변화가 전류를 유도한다는 사실을 알아내었다. 이렇게 전류와 자기장이 서로 영향을 주고받는 것을 전자기유도현상이라고 한다. 폐회로(閉回路:예컨대 코일 등) 가까이에서 자석을 움직이거나 전류가 흐르는 다른 회로를 이용해 자기장을 변화시키면 폐회로에 전류가 통하게 되는데 이 때 전류를 생성하는 힘을 유도기전력이라고 한다. 유도기전력은 자기력선속에 대해 아래와 같은 식으로 표현된다.

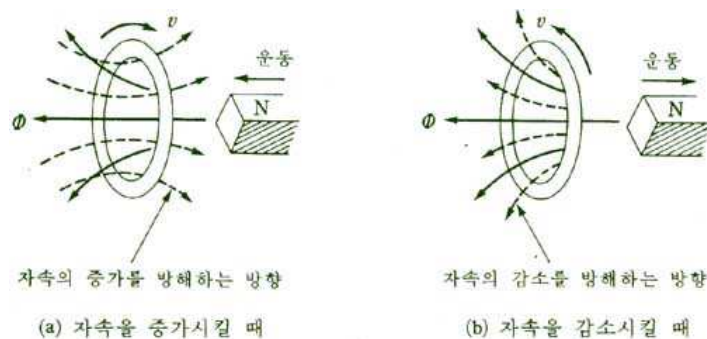
$$emf = - \frac{\partial \vec{\Phi}}{\partial t}$$

이 때, 기전력은 자기력선속의 시간에 대한 변화량에 비례하는 크기를 갖고 음의 부호를 갖는다. 이것은 유도기전력에 의한 유도전류가 자기력선속의 변화를 상쇄하는 방향으로 흐르는 것

을 의미하며 이를 렌츠의 법칙이라고 부른다.



유도기전력은 발전기가 역학적에너지를 전기에너지로 바꾸는 원리가 되며 자기장의 변화만으로 전력을 전달하는 비접촉식 송전기로 사용되기도 한다.



유도 기전력의 방향

▶ 변위전류 [變位電流, displacement current]

전기력선속의 시간에 대한 변화량으로 나타내며 전속전류라고도 한다. 일반적으로 알고 있는 전도전류에 대응하는 개념으로 실제로는 흐르지 않지만 마치 전류가 흐르는 것처럼 생각할 수 있는 경우에 사용한다.

덴마크의 물리학자 외르스테드(Hans Christian Oersted, 1777-1851)는 1820년, 전도전류가 자침을 움직이게 하는 현상을 발견하였다. 영국의 물리학자 패러데이(Michael Faraday, 1791-1867)는 여기서 더 나아가 자기장의 변화가 전류를 유도한다는 사실을 알아내었다. 이를 정리한 것이 패러데이의 법칙으로 자기장의 시간에 대한 변화량이 전기장과 갖는 관계에 관한 식으로 나타낼 수 있다.

이에 대응하는 개념으로 앙페르(Andre Marie Ampere, 1775-1836)의 법칙을 들 수 있는데, 이는 전류와 자기장 사이의 관계에 관한 식으로 정리할 수 있다. 여기서 맥스웰(James Clerk Maxwell, 1831-1879)은 수학적 기교로 앙페르의 법칙에 전기장의 시간에 대한 변화량 항을

첨가함으로써 전기장과 자기장 모두에 대해 대칭적인 수식을 완성하였다.

패러데이의 법칙
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{\partial \Phi_B}{\partial t}$$

맥스웰에 의해 개선된 앙페르의 법칙
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (I + \epsilon_0 \frac{\partial \Phi_E}{\partial t})$$

이 관계식에서 보이는 새로운 항이 의미하는 것이 변위전류이다. 앙페르의 법칙에서는 전류로 정의되던 부분이 맥스웰의 수식에서는 전류와 전기장의 변화량 항의 합으로 나타나고 있다. 이것은 전기장의 변화량이, 실제로 전류가 흐르는 것은 아니지만, 마치 전류가 흐르는 것과 같은 결과를 보일 것임을 암시한다. 이러한 변위전류의 개념이 도입됨으로써 자기장과 전기장의 상호연관이 완전히 규명되고 전기장과 자기장 성분을 동시에 가지는 전자기파의 존재가 입증된다. 축전지와 같이 실제로는 끊어진 회로에서 변위전류를 관찰할 수 있다. 축전지를 회로에 연결하여 전류를 흐르게 하면 축전지의 전극면에 전하가 모이면서 전극 사이의 전기장이 변화하게 된다. 이 때 전극 사이에 실제의 전류가 흐르지는 않지만 회로상에는 전류가 흐르는 것처럼 보이는데 이를 변위전류의 개념으로 이해할 수 있다.

▶ 전자기장 [電磁氣場, electromagnetic field]

전기장과 자기장을 총칭하는 말로 전기장과 자기장이 서로 연관되어 나타날 때, 양쪽을 합쳐서 전자기장 혹은 전자장이라고도 한다. 원래 전기장은 정전하(靜電荷)의 주위에, 자기장은 자극(磁極)의 주위에 생기는 것으로 각각 독립된 물리대상이지만, 전하가 운동하여 전기장이 시간적으로 변동하는 곳에서는 반드시 자기장이 생기고, 역으로 자기장이 변동하면 전기장이 동반되는 등, 일반적으로는 양쪽이 동시에 나타나는 경우가 많으므로 이를 전자기장이라고 한다. 특히 회로에 주기적인 진동 전류가 흐르면 주위의 공간에는 그것과 같은 주기로 변동하는 자기장이 나타나고, 또한 이 진동 자기장은 전기장을 유발하는 원인이 되어, 결과적으로 전기장과 자기장이 서로 유기되면서 일종의 파동(波動)으로서 공간에 전파하게 된다. 이것이 전자기파(電磁氣波)이다.

전자기장은 이와 같이 전하나 자기의 운동에 의해 야기되는 공간의 상태이지만, J.C.맥스웰은 이와 같은 특수한 공간의 장(場)을 그 발생원(發生源)인 전하나 자기에서 분리된 독립적인 물리적 존재로 취급하고, 1864년 전기장·자기장의 상호관계를 조사하여 전자기장이론을 세웠다. 이 이론의 기초가 되는 전자기장방정식은 전자기이론의 기초가 되는 것으로 맥스웰방정식이라 한다.

▶ Electromagnetic radiation(전자기 복사)

전자기파(電磁氣波, Electromagnetic radiation, EMR)는 전기장과 자기장의 두 가지 성분으로 구성된 파동으로, 공간을 광속으로 전파한다. 전자기파는 광자를 매개로 전달되며 파장에

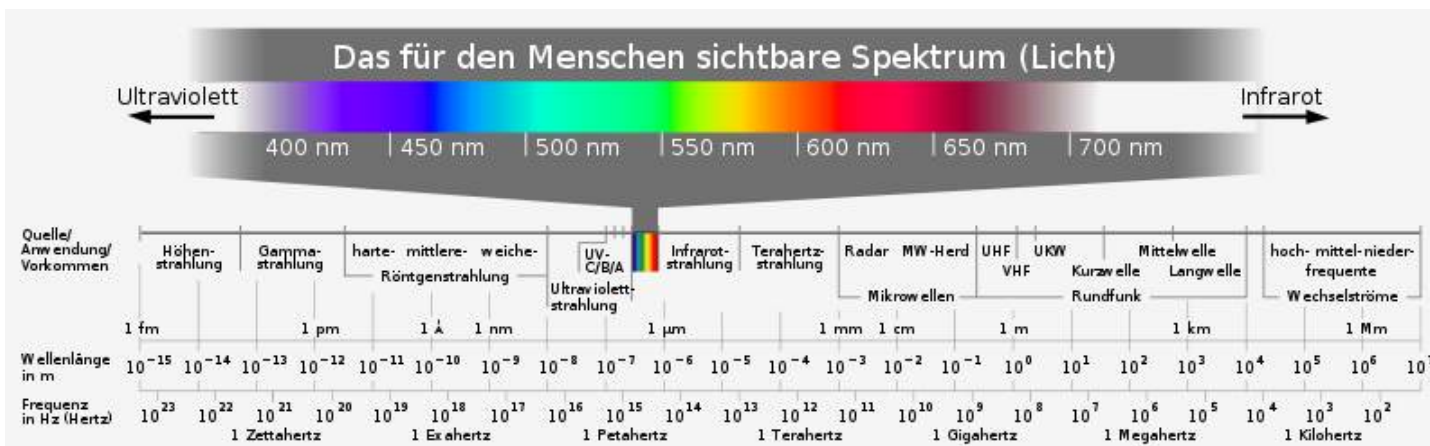
따라 전파, 적외선, 가시광선, 자외선, X선, 감마선 등으로 나뉜다. 인간의 눈에서 인지하는 빛은 가시광선(visible ray)이며, 가시광선을 비롯한 여러 파장의 빛은 전자기파의 일부이다.

전자기파는 전자기학에 관한 맥스웰 방정식에 의해 고전적으로 설명되는데, 전기장과 자기장을 하나의 방정식으로 표현할 때 파동방정식의 모양을 갖는다는 점에 착안하여, 전기장과 자기장이 서로 상호작용하면서 파동의 형태로 공간 속을 진행하는 현상으로 해석한 것이다. 일반적인 파동과는 달리 전자기파는 매질이 없이 진행할 수 있으며, 그 속도는 유전율과 투자율의 곱의 제곱근으로 흔히 알파벳 c로 나타내고 파장 λ 과 진동수 ν 와 함께 다음의 관계에 있다.

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

양자 역학에 의하면 전자기파는 파동인 동시에 입자적 성질 또한 가지게 되는데 이때 사용된 입자라는 단어는 당구공과 같은 가시적인 입자가 아닌 에너지 덩어리로서의 입자이다. 즉 특정 진동수를 가지는 전자기파는 그 진동수 ν 와 플랑크상수 h 의 곱에 해당하는 에너지를 단위로 양자화되어 있다.

$$E = h\nu$$

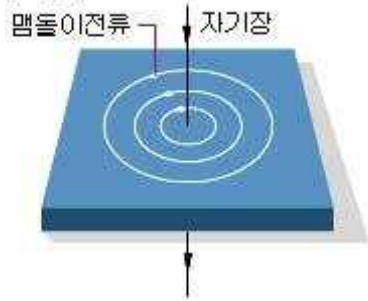


전자기파 스펙트럼

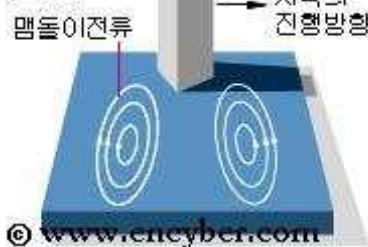
▶ 맴돌이전류 [一電流, eddy current]

맴돌이전류는 도체의 내부안에서 만들어지는 전류로, 도체 전체가 아닌 일부분에 소용돌이 모양으로 닫힌 통로를 흐르는 전류로서, 도체 내부를 지나는 자기력선속의 변화로 인해서 생기는 전류를 말한다. 자석을 도체판 위에서 이동시키면 자기력선속이 변하면서 맴돌이전류가 생기고, 맴돌이전류의 자기장은 자석의 이동을 방해하게 된다.

[그림1]



[그림2]



와전류(渦電流) 또는 발견자의 이름을 따서 푸코전류(Foucault current)라고도 한다. 아라고의 원판으로 그 존재를 간단히 알 수 있다. 자기장 내부의 도체판에 대해 가한 자기장을 변화시키면 자기장의 변화를 방해하는 전류가 흐르게 되며 이를 멤돌이전류라고 한다. 또한 자기장 내부에서 도체판을 움직여 도체판에 가해진 자기장이 변화할 때에도 멤돌이전류가 생긴다. 멤돌이전류는 도체가 자기장의 변화에 저항하는 렌츠의 법칙에 의해 나타나며 이 때 전류의 방향은 도체에 가해진 자기장의 변화에 반대되는 자기장을 생성하는 방향으로 결정된다.

멤돌이전류는 자기장의 변화에 저항하는 전류로 이는 자기장 내에서 움직이는 도체의 운동을 방해하는 효과로 나타난다. 전동기나 발전기 등은 자기장을 만드는 부분과 자기장에서 움직이는

도체로 이루어지며 이를 통해 역학적에너지와 전기에너지를 변환한다. 이 때 발생하는 멤돌이전류는 구동부분의 역학적 에너지를 줄열 가열(Joule heating)로 소모시켜 효율을 떨어뜨린다. 이를 해결하기 위해서는 자기장 내부의 도체를 낮은 전기전도도를 갖는 물질로 대체하거나 멤돌이전류가 부분적으로 나타나도록 부도체 층을 첨가한 재료를 사용한다. 한편 멤돌이전류가 움직임을 감쇄시키는 점을 이용한 예로 멤돌이 브레이크가 있다. 이 브레이크는 일반적인 마찰브레이크와는 달리 물리적인 마찰을 이용하지 않기 때문에 마모나 소음 등의 문제에 대해 비교적 자유롭고 전기적으로 제어하기가 쉽다는 장점을 갖는다.

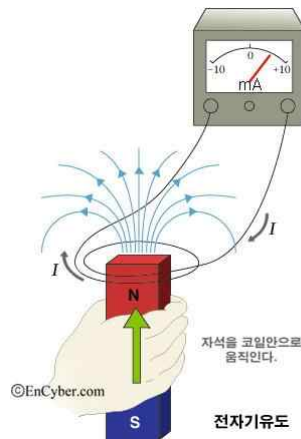
▶ 전자기유도 [電磁氣誘導, electromagnetic induction]

도체의 주변에서 자기장을 변화시켰을 때 전압이 유도되어 전류가 흐르는 현상. 전류가 자기장을 형성한다는 사실이 알려지고 나서 자기장을 이용해 전류를 만들 수 있지 않을까 하는 의문이 자연스럽게 생겼다. 패러데이와 헨리는 각각 전선 코일 속에 자석을 넣었다 뺐다 하는 단순한 운동으로 전선 속에 전류가 흐른다는 사실을 발견하였다. 이때 기전력을 만드는 것은 코일에 대한 자석의 상대적인 운동에 의한 자기장의 변화이다. 자석이 도체 주위를 움직이거나 도체가 자석 주위를 움직이는 두 가지 경우 모두 전선에 기전력이 유도되며 도선에 유도전류가 흐른다. 도선에 흐르는 전류의 크기는 코일에 감긴 전선의 수와 코일을 통과하는 자기장의 시간당 변화율에 비례한다. 이처럼 전자기유도에 의해 회로 내에 유발되는 기전력의 크기는, 회로를 관통하는 자기력선속의 시간적 변화율에 비례하며, 이 관계를 나타낸 것을 패러데이의 법칙이라고 한다.

▶ 패러데이의 법칙 [一法則, Faraday's law]

M.패러데이가 발견한 법칙으로 1831년에 발견한 전자기유도 법칙이 이에 해당한다. 전자기

유도에 의해 회로 내에 유발되는 기전력의 크기는, 회로를 관통하는 자기력선속(磁氣力線束)의 시간적 변화율에 비례한다. 기전력의 방향을 정하는 렌츠의 법칙과 함께 전자기유도가 일어나는 방식을 나타낸다.



$$emf = - \frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

▶ 렌츠의 법칙 [一法則, Lenz's law]

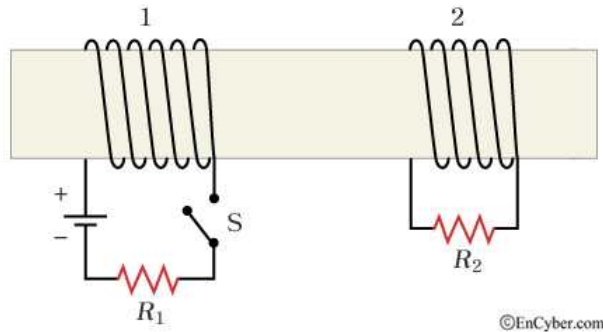
유도기전력과 유도전류는 자기장의 변화를 상쇄하려는 방향으로 발생한다는 전자기법칙이다. 패러데이 법칙의 부호(sign)가 렌츠의 법칙을 의미한다. 1834년 러시아의 물리학자 렌츠(H.F.E.Lenz)가 발견하였다. 회로와 전자기장의 상대적인 위치관계 또는 전류에 대한 자극의 크기가 변화할 경우 유도전류와 유도기전력은 원래의 자기장의 변화를 상쇄하는 방향으로 발생한다는 전자기법칙이다. 패러데이 법칙의 (-)부호가 렌츠의 법칙을 의미하며, 렌츠의 법칙은 에너지보존의 다른 표현이기도 하다.

회로와 전기장의 상대적인 위치가 변할 경우, 그 변화를 저지하려는 방향으로 유도기전력이 발생한다. 전류가 흐르고 있는 코일에 자석의 N극을 가까이 하면 코일의 자기력선(자속)이 증가한다. 이때 코일에는 유도전류가 발생하고, 자석에 의한 자속의 증가를 방해하는 방향으로 유도전류가 흐른다.

그림과 같이 스위치와 전원이 연결된 회로(회로 1)과 저항만이 연결된 회로(회로 2)가 가까운 거리에 위치해 있다. 회로 1의 스위치를 닫으면 시계방향으로 전류가 흐르고, 회로 2의 자속이 변하여 회로 2에 반시계 방향으로 전류가 흐르게 된다. 이때 회로 1의 스위치를 열면 회로 1의 전류와 자기장이 감소한다. 그러면 회로 2에는 변화에 대항하여 원래의 자속을 유지하기 위해 시계방향의 전류가 흐르게 되는 것이다.

렌츠의 법칙은 에너지 보존의 다른 표현이기도 하다. 만약 한 회로 1에 발생한 기전력이 회로 2에 같은 방향의 유도기전력을 발생시킨다면, 회로 2의 변화에 의해 다시 회로 1에 같은 방향의 유도기전력이 발생할 것이다. 결국 이런 일이 한없이 되풀이 되고 두 회로의 전력은 무한대로 커지게 된다. 즉, 적은 에너지로 큰 에너지를 얻을 수 있게 되는 이러한 현상은 일어날 수 없으므로 렌츠의 법칙은 성립하게 된다. 곧 에너지 보존이 성립하기 위해서는 렌츠의

법칙이 옳다는 결론이 된다.



▶ 맥스웰방정식 [一方程式, Maxwell's equations]

전자기 현상의 모든 면을 통일적으로 기술하고 있는, 전자기학의 기초가 되는 방정식이다. 이 방정식을 기본으로 하여 맥스웰이 전자기장이론을 확립하였다.

가우스 법칙, 자기에 대한 가우스 법칙, 패러데이 법칙, 맥스웰이 수정한 앙페르 법칙, 이상 4개의 법칙을 맥스웰 방정식이라고 한다. 맥스웰은 전자기 현상이 4개의 방정식을 토대로 완전하게 기술될 수 있음을 보였다. 즉 전자기장과 관련된 어떠한 방정식도 이 방정식으로부터 정확하게 유도할 수 있다. 다음 그림은 맥스웰 방정식을 나타낸 것이다.

- | | |
|---------------------|---|
| (1) 전기장의 가우스 법칙 | $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}$ |
| (2) 자기의 가우스 법칙 | $\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$ |
| (3) 패러데이 법칙 | $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial \Phi_B}{\partial t}$ |
| (4) 맥스웰이 수정한 앙페르 법칙 | $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0(I + \epsilon_0 \frac{\partial \Phi_E}{\partial t})$ |

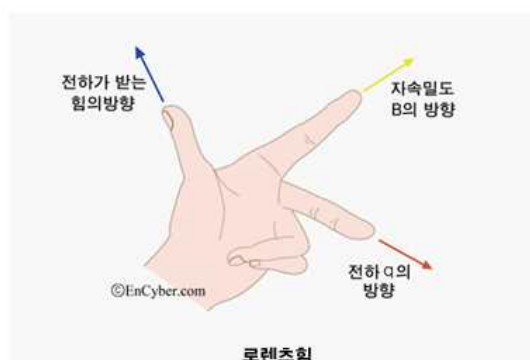
1. 가우스법칙은 전하에 의한 전기장을 기술하며, 쿨롱의 법칙을 유도하는데 사용할 수 있다.
2. 자기에 대한 가우스법칙은 자기력선은 연속이며, 자기 홀극(magnetic monopole)은 존재하지 않는다. 자기 홀극이 없다는 것은 자석을 아주 작게 잘라도 N극과 S극으로 나누어진다는 말이다.
3. 패러데이 법칙은 시간에 따라 변하는 자기장은 전기장을 생성할 수 있다.
4. 맥스웰이 수정한 앙페르 법칙은 시간에 따라 변하는 전기장은 자기장을 생성할 수 있다는 앙페르 법칙에 맥스웰이 다른 항을 하나 더 추가하여 만들었다. 이 부가적인 항을 변위 전류라 하며, 전기선속의 시간 변화율에 의존한다.

전자기장에 대하여 맥스웰이 수학적으로 이론화시킨 이 식이 물리적으로 중요한 의의를 가지는 것은 전자기현상의 모든 면을 통일적으로 기술할 뿐만 아니라 그 속에 변위전류(displacement current)라 하는 기지의 여러 법칙에 대응되지 않는 항도 포함하기 때문이다. 즉, 맥스웰은 그 물리적 의미의 연구에서 이 항으로 표현되는 매질의 전기적인 변위가 자기적인 상호작용을 매개로 하여 공간을 전파하는 과정(전자기파)으로 존재하고, 그 전파속도의 계산값이 광속과 일치하는 사실로부터 빛의 전자기파설을 세웠다. 더욱 이 방정식이 갈릴레이-뉴턴의 상대성원리를 만족하지 않는 상황이 주목되어 이 모순을 해결하려고 하는 구상 가운데서 1905년 A.아인슈타인에 의해 특수상대성이론이 탄생하였다. 즉, 이 방정식을 기본으로 하는 맥스웰의 전자기장이론 확립은 물리학의 역사상 뉴턴역학의 형성과 비교될 만한 의의를 가지는 것으로, L.볼츠만에 의한 통계역학의 건설과 더불어 19세기 물리학이 이룩한 큰 성과로 높이 평가되고 있다.

▶ 로런츠힘 [Lorentz force]

하전입자가 자기장 속에서 받는 힘을 말한다. 이 힘은 운동하는 전하만 받고, 정자기장에서는 자기장이 전하의 운동 방향에만 영향을 미친다. 이 힘을 표현한 식을 이용하면 임의의 전자기장 내의 힘의 작용 전체를 나타낼 수 있다.

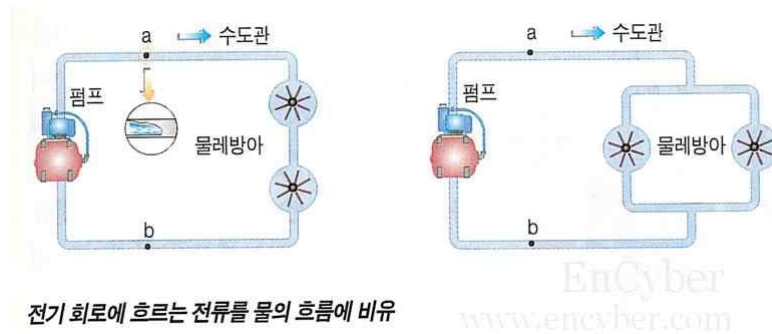
입자의 전하를 e , 자속밀도를 B , 속도를 v , 광속을 c 라 하면, 이 힘은 $\vec{F} = e[\vec{v} \times \vec{B}]/c$ 가 된다. 즉, 운동 전하에 대해서는 힘을 미치나, 힘의 방향은 자속과 속도 방향과 수직이므로 정자기장(靜磁氣場)은 운동하는 하전입자에 대해서는 일을 하지 않고, 다만 그 운동 방향만 바꿀 뿐이다. H.A.로런츠는 금속의 전자론에 이 힘을 도입했는데, 식 자체는 간단하지만 임의의 전자기장 내의 힘의 작용 전체를 나타낼 수 있음을 밝혔다. 또 이 힘을 가정함으로써 물질의 밀도·분자량·굴절률 등 전자기적 및 광학적 성질을 설명하는 데 성공하였다.



⑤ 전기 회로 : 전기전도, 전기저항, 전기용량, 인덕턴스, 임피던스, 키르히호프의 법칙

⑤ 전기회로 [電氣回路, electrical network]

전류가 흐를 수 있도록 전지, 도선, 스위치 등을 연결해 놓은 통로.



전기회로는 전류의 순환회로를 의미하며, 단순히 회로라고도 한다. 전기회로 내 전류의 흐름을 수학적으로 표현하는 두 가지 기본법칙은 옴의 법칙과 키르히호프의 법칙이다.

회로는 저항, 콘덴서, 트랜지스터, 진공관 등의 회로소자로 구성되어 있으며, 각 소자는 도선으로 연결된다. 소자는 수동소자와 능동소자로 나눌 수 있다. 수동소자는 에너지를 만들거나 증대시키지 않는 소자로 저항, 콘덴서, 코일 등이 있다. 반면 능동소자는 에너지를 발생, 증대 또는 변환시키는 소자로 트랜지스터, 진공관 등이 있다.

전원에 따라 직류회로와 교류회로로 나눌 수 있다. 직류회로에서는 전류가 한 방향으로만 흐르고, 교류회로에서는 1초에 수십 번씩 전류의 방향이 바뀐다. 또 회로의 접속방법에 따라 직렬회로와 병렬회로로 나눌 수 있다. 직렬회로는 회로가 나누어지지 않고, 각 소자마다 전체 전류가 흐르는 하나의 경로로 구성된다. 병렬회로는 회로가 나누어져 있고, 각각의 나누어진 회로에는 전체 전류의 일부분이 흐른다.

▶ 전기저항 [電氣抵抗, electric resistance]

물체에 전류가 통과하기 어려운 정도를 나타내는 수치. 물체가 움직일 때 이동방향의 반대 방향으로 이동을 방해하는 저항이 있을 수 있다. 예를 들어, 비행기가 날아갈 때는 반대방향으로 공기저항이 작용한다. 저항은 움직임을 방해하는데, 물체뿐만 아니라 열이나 전기의 이동에서도 저항이 존재한다. 전기의 흐름에 대한 저항을 전기저항이라 한다. 따라서 전기저항이 크면 전류가 잘 통하지 않고 전기전도율이 낮다.

전기저항의 크기를 나타내는 단위는 Ω (옴)이다. 1Ω 은 $1V$ (볼트)의 전압으로 $1A$ (암페어)의 전류가 흐를 때의 저항이다. 저항값은 물질의 종류에 따라 다르다. 은과 구리는 전기저항이 가장 작은 금속이기 때문에 전선을 만드는 재료로 많이 사용한다. 또한 전기저항은 길이에 비례하고 단면적에 반비례한다. 즉, 도선의 길이가 길면 전자가 지나가야 할 길이 길기 때문에 저항이 크고, 단면적이 넓으면 전자가 이동하기 쉬우므로 저항이 작다. 도선은 굵게 만들수록 저항이 작아져서 더 효율적이지만 재료가 더 많이 사용되므로, 용도와 가격에 맞는 적당한 굵기로 만

든다. 도선의 길이, 단면적과 저항의 관계를 식으로 나타내면, 도선상의 두 점 사이의 길이를 L , 단면적을 A 라 할 때 두 점 사이의 저항은 다음과 같이 된다.

$$R = \rho L / A$$

비례상수 ρ 는 물질의 고유한 값으로 저항률 또는 비저항이라 한다. 일반적으로 물질의 저항 값은 온도에 따라 변하는데 도체는 온도가 상승하면 전기저항이 증가하지만 반도체나 절연체에서는 오히려 작아지는 경향을 보인다.

▶ 커패시턴스 [Capacitance]

축전기에서 걸어준 전위(전압)당 충전되는 전하량으로서 1V의 전압을 걸었을 때 축전기 역할을 하는 회로에 모이는 전하량이다. 단위는 패럿(F)이다. 정전기용량(정전용량) 또는 커패시턴스(capacitance)라고도 한다. 축전기 역할을 하는 회로에서 도체의 모양이나 도체판 사이를 절연하고 있는 유전체에 의해 정해지며, 도체계에서는 용량계수(容量係數, capacity coefficient)가 사용된다. 정전용량은 보통 물체의 총 전하량을 물체의 전압으로 나눈 값으로 정의한다.

$$C = Q / V$$

이상적인 평행판 축전기의 경우, 축전기의 전기용량 C 의 크기는 다음과 같다.

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

즉, 전극의 면적과 유전체의 유전상수에 비례하고 전극 사이의 거리에 반비례한다.

물리학자 제임스 클러크 맥스웰은 축전기 같은 곳에서 전하가 모일 때에도 암페어의 법칙이 성립하도록 하기 위해 변위 전류 $\frac{d\vec{D}}{dt}$ 라는 개념을 고안해 냈다.(변화하는 전기장은 자기장을 만들어낸다).

▶ 인덕턴스 [inductance]

회로를 흐르는 전류의 변화에 의해 전자기유도로 생기는 역기전력의 비율을 나타내는 양으로 단위는 H(헨리)이다. 자속(磁束) 변화의 원인에 따라 자체인덕턴스와 상호인덕턴스로 나눈다. 회로를 흐르는 전류가 변하면 회로를 관통하는 자력선속(磁力線束)도 함께 변한다. 자속의 변화는 전자기유도현상을 일으키고 회로에는 전류의 변화를 방해하는 방향으로 유도기전력이 생긴다. 따라서 자속 변화의 영향을 많이 받는 고리모양의 회로, 특히 코일에서 이 현상이 두드러진다. 전자기유도현상에서 유도기전력의 크기는 자속의 변화율로 결정된다. 하지만 회로

또는 코일의 모양이 일정한 경우 자속의 변화량은 전류의 변화량에 비례하고, 이때 비례상수가 인덕턴스가 된다. 따라서 유도기전력의 크기는 인덕턴스와 전류의 시간당 변화율의 곱으로 표현된다.

유도기전력의 원인, 즉 회로를 통과하는 자속 변화의 원인에 따라 두 가지로 나눈다. 역기전력이 자기 자신의 회로에 흐르는 전류의 변화로 유도될 때의 인덕턴스를 자체인덕턴스라 하고, 결합되어 있는 상대방의 회로에 흐르는 전류의 변화로 유도될 때는 상호인덕턴스라고 한다.

N번 감은 코일(이하 솔레노이드)에 흐르는 전류 I는 자속 Φ (파이)을 발생시킨다. 전류가 변화할 때 자속도 변화하고, 전류의 변화에 비례하는 유도 기전력이 나타나게 된다. 이 때 비례상수를 코일의 유도용량이라 한다. 전류 I가 흐르는 N번 감긴 솔레노이드를 고려해보자. 솔레노이드에 흐르는 전류에 의해 솔레노이드의 각 고리를 통과하는 자기장이 발생한다. 솔레노이드를 통과하는 전체 자속은 하나의 고리를 지나는 자기 선속과 감은 수의 곱이다. 이것은 코일에 흐르는 전류에 비례한다. 이 말을 식으로 간단히 써보면 다음과 같다.

$$N\Phi = LI$$

여기서 Φ (파이)는 솔레노이드를 통과하는 자속, I는 솔레노이드에 흐르는 전류, L은 유도용량으로 비례상수이다. 상호 유도용량과 구별하기 위해 자체 유도용량이라고도 한다. 유도용량의 단위는 H(헨리, henry)를 사용한다. 단면적이 A이고 무한히 긴 솔레노이드의 단위 길이당 유도 용량은 솔레노이드의 감긴 코일의 수와 솔레노이드의 단면적에 의존한다.

유도용량을 나타내는 회로 부품은 인덕터(inductor)라 하며 보통 스프링 모양으로 표현한다. 인덕터는 감은 수(N)가 많을수록 주어진 전류에 대해 전체 자기 선속이 더 크게 된다. 이는 더 큰 유도 용량을 갖는다는 말과 같다. 그리고 인덕터는 변압기에 사용되기도 한다.

▶ 임피던스 [impedance]

교류회로에서 전류가 흐르기 어려운 정도를 나타낸다. 복소수로서 실수부분은 저항, 허수부분은 리액턴스를 의미하며, 크기뿐 아니라 위상도 함께 표현할 수 있는 벡터량이다. 단위는 SI 단위계로 옴(Ω)을 사용하며, 보통 기호 Z로 표시한다. 임피던스의 역수는 어드미턴스라고 한다. 저항, 코일, 축전기가 직렬로 연결된 교류회로의 합성저항을 임피던스라고 한다. 임피던스는 전압과 전류의 비율외에 위상도 함께 나타내는 벡터량이다. 복소수 $Z=R + ix$ (i는 허수단위)로 표시하며 실수부분 R은 저항값이며, 허수부분 x는 리액턴스이다.

직류회로에서는 전기저항이 곧 전압과 전류의 비를 의미한다. 그러나 교류회로에서는 코일이나 축전기에 의해 전압과 전류의 위상이 달라지므로 복소임피던스를 사용하여 저항값과 위상을 함께 나타낸다.

저항을 통과한 전류는 전압과 위상이 같으며, 코일에 전류가 흐르면 전류보다 전압의 위상이 90° (1/4주기)가 빠르며, 축전기에 의해서는 전압이 전류보다 90° 늦다. 따라서 저항, 코일,

축전기를 통과한 후 위상 δ 는 다음과 같이 쓸 수 있으며, 곧 복소 임피던스의 각이 된다.

$$\tan \delta = \frac{|V_L| + |V_C|}{|V_R|} = \frac{X_L - X_C}{X_R}$$

임피던스 Z 는 직류에서의 저항값에 해당하며, 크기는 아래와 같다.

$$Z = \sqrt{(R^2 + X^2)} = \sqrt{R^2 + (X_L^2 - X_C^2)}$$

여기서 R 은 저항, $X = X_L - X_C$ 는 전체 리액턴스(total reactance)이다. X 값은 유도성일 때는 양의 값을 용량성일 때는 음의 값을 갖는다. 직렬 접속시킨 회로의 임피던스는 각 요소들의 합이 되며, 병렬 접속시킨 것의 임피던스의 역수는 각 임피던스의 역수의 합과 같다.

$$Z_{series} = Z_1 + Z_2 = (R_1 + R_2) + i(X_1 + X_2)$$

$$(Z_{parallel})^{-1} = Z_1^{-1} + Z_2^{-1}$$

교류는 시간에 따라 그 값이 변화하므로 전류와 전압의 실효값을 사용한다. 따라서 교류전압의 실효값을 V_e 라고 하면, 전류의 실효값 $I_e = V_e / Z$ 가 된다.

▶ 키르히호프의 법칙 [一法則, Kirchhoff's law]

독일의 물리학자 G.R.키르히호프(Gustav R. Kirchhoff, 1824~1887)가 1849년 발견한 법칙으로 전자기학 분야에서 정상전류에 대한 옴의 법칙을 일반화하였다. 임의의 복잡한 회로를 흐르는 전류를 구할 때 사용되며, 전류에 관한 제1법칙과 전압에 관한 제2법칙이 있다. 이 두 법칙을 수식으로 나타낸 연립방정식의 해로 전류를 구할 수 있다.

(1) 제1법칙 : 접합점법칙 또는 전류법칙이라고 한다. 회로 내의 어느 점을 취해도 그곳에 흘러들어오거나(+) 흘러나가는(-) 전류를 음양의 부호를 붙여 구별하면, 들어오고 나가는 전류의 총계는 0이 된다. 즉, 전류가 흐르는 길에서 들어오는 전류와 나가는 전류의 합이 같다. 제1법칙은 전하가 접합점에서 저절로 생기거나 없어지지 않는다는 전하보존법칙에 근거를 둔다.

(2) 제2법칙 : 폐회로 법칙, 고리법칙 또는 전압법칙이라고 한다. 임의의 닫힌 회로(폐회로)에서 회로 내의 모든 전위차의 합은 0이다. 즉, 임의의 폐회로를 따라 한 바퀴 돌 때 그 회로의 기전력의 총합은 각 저항에 의한 전압 강하의 총합과 같다. 먼저 회로의 도는 방향(시계방향 또는 반시계방향)을 정하고 그 방향으로 돌아가는 기전력 E 와 전압강하 IR 의 부호를 정한다. 전류와 저항과의 곱의 총계($\sum I_n R_n$)는 그 속에 포함된 기전력의 총계($\sum E_n$)와 같다. 이 법칙은 직류와 교류 모두 적용할 수 있으며, 저항 외에 인덕턴스, 콘덴서를 포함하거나 저항을 임피던스로 바꿀 수 있다. 제2법칙은 에너지 보존법칙에 근거를 둔다.

전류에 관한 법칙	전압에 관한 법칙
$I_3 = I_1 + I_2$ $I_1 = 5[A]$ $I_2 = 2[A]$ $I = 7[A]$ $V = 10[V]$ 병렬회로의 전류분배	$\sum \text{기전력} = \sum \text{전압강하}$ $R = 1 + 2 + 3 = 6[\Omega]$ $V = 6[V]$ $V = 1 + 2 + 3 = 6[V]$ 직렬회로의 전압분배

키르히 호프법칙

● 전기분야에 공헌한 과학자(Scientists)

년도	이름
1736.06.14. ~ 1806.08.23.	샤를 오귀스탱 드 쿨롱(Charles Augustin de Coulomb)
1745.02.18. ~ 1827.03.05.	알레산드로 주세페 안토니오 아나타시오 볼타(Alessandro Giuseppe Antonio Anatasio Volta)
1774.04.21. ~ 1862.02.03.	장-바티스트 비오(Jean-Baptiste Biot)
1775.01.20. ~ 1836.06.10.	앙드레마리 앙페르(André-Marie Ampère)
1777.04.30. ~ 1855.02.23.	카를 프리드리히 가우스(Carl Friedrich Gauss)
1777.08.14. ~ 1851.03.09.	한스 크리스티안 외르스테드(Hans Christian Ørsted)
1804.02.12. ~ 1865.02.10.	하인리히 렌츠(Heinrich Friedrich Emil Lenz)
1791.09.22. ~ 1867.08.25.	마이클 패러데이(Michael Faraday)
1797.12.07. ~ 1878.05.13.	조지프 헨리(Joseph Henry)
1804.10.24. ~ 1891.06.23.	빌헬름 에두아르트 베버(Wilhelm Eduard Weber)
1831.06.13. ~ 1879.11.05.	제임스 클러크 맥스웰(James Clerk Maxwell)
1853.07.18. ~ 1928.02.04.	헨드릭 안톤 로런츠(Hendrik Antoon Lorentz)
1856.07.10. ~ 1943.01.07.	니콜라 테슬라(Nikola Tesla)
1857.02.22. ~ 1894.01.01.	하인리히 루돌프 헤르츠(Heinrich Rudolf Hertz)

- ▶ 샤를 오귀스탱 드 쿨롱(Charles Augustin de Coulomb, 1736.6.14. ~ 1806.8.23.)
프랑스의 토목학자, 물리학자, 전기학자. 정전기력의 크기를 나타낸 쿨롱의 법칙으로 유명하다. 전하량을 나타내는 SI 단위 쿨롱은 그의 이름을 딴 것이다
- ▶ 알레산드로 주세페 안토니오 아나타시오 볼타(Alessandro Giuseppe Antonio Anatasio Volta, 1745.2.18. ~ 1827.3.5.)
이탈리아의 물리학자. 연속 전류를 공급해 줄 수 있는 전지를 처음으로 개발. 전압을 측정하는 단위인 볼트는 1881년 볼타의 업적을 기려 그의 이름을 딴 것이다.
- ▶ 장-바티스트 비오(Jean-Baptiste Biot, 1774.4.21. ~ 1862.2.3.)
프랑스의 수학자, 물리학자, 천문학자. 1820년에는 동료 사바르와 함께 전류가 자석에 미치는 힘에 관한 비오·사바르의 법칙을 세웠다.
- ▶ 앙드레마리 앙페르(André-Marie Ampère, 1775.1.20. ~ 1836.6.10.)
프랑스의 물리학자. 전기·자기의 연구에 몰두하여 근대 전기학의 기초를 세웠다. 전류를 측정하는 데 쓰이는 단위 암페어는 앙페르의 이름에서 온 것이다.
- ▶ 카를 프리드리히 가우스(Carl Friedrich Gauss, 1777.4.30. ~ 1855.2.23.)
독일의 수학자, 과학자. 정수론, 통계학, 해석학, 미분기하학, 측지학, 정전기학, 천문학, 광

학 등 많은 분야에서 크게 기여하였다. 가장 위대한 수학자로 불리는 가우스는 수학과 과학의 많은 영역에 주목할 만한 업적을 이루었다. 가우스는 수학을 ‘과학 중의 여왕’으로 칭하였다.

▶ 한스 크리스티안 외르스테드(Hans Christian Ørsted, 1777.8.14. ~ 1851.3.9.)

덴마크의 물리학자, 화학자. 전자기학 부분에서 전기와 자기의 관계에 대해 발견한 것으로 잘 알려져 있는데, 그뿐만 아니라 과학 실험에 대해 명쾌하게 설명하고 이름 붙인 최초의 사람이기도 하다. 1820년 4월 21일에 저녁 실험 강의에서 전류가 흐를 때, 전선의 주변에 있던 나침반 바늘이 북극을 가리키지 않는 것을 알아차리면서, 전류가 자기장을 발생시킨다는 것을 처음으로 발견하였다. 외르스테드가 발견한 것은 정말로 인류 역사 이래 과학분야에서 가장 위대한 발견중의 하나이다. 자기장의 세기의 단위인 에르스텟(Oe)은 그의 업적을 기리기 위해 이름을 딴 것이다.

▶ 하인리히 렌츠(Heinrich Friedrich Emil Lenz, 1804.2.12 ~ 1865.2.10)

러시아에서 태어난 독일의 물리학자. 1834년 전자기유도(電磁氣誘導)가 일어나는 방향에 대해 처음으로 일반적인 법칙을 발견, 이를 ‘렌츠의 법칙’이라 했다. 또 유도기전력의 세기를 측정하여 그것이 회로를 만드는 도체의 종류와는 관계가 없다고 하는 ‘렌츠의 실험’을 하여 전자기유도 연구를 개척했다.

▶ 마이클 패러데이(Michael Faraday, 1791.9.22. ~ 1867.8.25.)

영국의 물리학자, 화학자. 직류 전류가 흐르는 도체의 자기장에 대해 연구하여 이에 대한 기초를 세웠다. 그는 전자기유도, 반자성 현상, 그리고 전기 분해를 발견했다. 또한, 자성이 광선에 영향을 미칠 수 있다는 것과, 그들 사이의 근본적인 관계가 있다는 것을 확립했다. 그가 발명한 전자기 회전 장치는 전기 모터의 근본적 형태가 되었다. 화학자로서, 패러데이는 벤젠을 발견했고, 초기 형태의 벤젠 버너, 산화 상태들의 체계, 그리고 양극, 음극, 전극, 이온과 같이 널리 쓰이는 전문 용어들을 발명했다.

▶ 조지프 헨리(Joseph Henry, 1797.12.7. ~ 1878.5.13.)

미국의 물리학자. 원래 시계 기술자였으나, 후에 물리학을 연구하였다. 1830년에 패러데이와는 다르게 전자 유도와 전류의 자기 유도 현상을 발견하여 전자기학을 발전시키는 데 크게 이바지하였다. 유도계수의 단위인 헨리는 그의 이름을 딴 것이다.

▶ 빌헬름 에두아르트 베버(Wilhelm Eduard Weber, 1804.10.24. ~ 1891.6.23.)

독일의 물리학자. 전자기론의 개척자이다. 1846년 '베버의 법칙'을 발견하여 전기 역학적 현상의 기초를 세웠다. 전류계, 지자기, 감응기 등을 고안하고 전기의 여러 양의 절대 단위계를 도입하였다. 가우스와 자기학을 연구해 1864년에 전하의 절대 단위 체계를 포함하는 논문을 발표했다. SI 단위 중 자속을 나타내는 웨버(symbol: Wb)는 그의 이름을 딴 것이다.

▶ 제임스 클러크 맥스웰(James Clerk Maxwell, 1831.6.13. ~ 1879.11.5.)

영국의 이론물리학자, 수학자. 그는 전기 및 자기 현상에 대한 통일적 기초를 마련하여 전자기학의 성립에 큰 영향을 주었다. 전기와 자기를 단일한 힘으로 통합해 뉴턴 역학과 함께 과학 발전의 초석이 되었다. 수학에 뛰어났던 그가 기존에 존재했던 패러데이 법칙, 쿨롱의 법칙 등 전자기 이론을 수식적으로 정리하여 나타낸 식이 “맥스웰 방정식”이다. 이 방정식은 전자기학의 기초가 되는 미분 방정식으로 이는 볼츠만의 통계역학과 함께 19세기 물리학이 이룬 큰 성과로 높이 평가받고 있다. 그는 전기장과 자기장이 모두 공간에서 빛의 속도로 전파되는 파동으로 설명될 수 있다는 것을 증명하였고, 1864년 《전자기장에 관한 역학 이론》을 발표하여 빛이 전기와 자기에 의한 파동, 즉 전자기복사라는 것을 증명하였다.

▶ 헨드릭 안톤 로런츠(Hendrik Antoon Lorentz, 1853.7.18. ~ 1928.2.4.)

네덜란드의 물리학자. 맥스웰의 전자기학 이론을 발전시켜, 물질을 하전 입자의 집합이라고 생각하는 전자론에 기반하여 광학·전자기 분야의 다양한 현상을 설명해, 전자가 실제로 존재하는 입자라는 사실을 확고히 했다. 전자론으로 제만 효과를 이론적으로 설명해 낸 것은 그의 가장 대표적인 업적이라고 하겠다. 또, 하전 입자가 전기장이나 자기장 안에서 힘을 받는 것을 유도하였으며, 이 힘은 현재 로렌츠 힘이라고 불리고 있다.

▶ 니콜라 테슬라(Nikola Tesla, 1856.7.10. ~ 1943.1.7.)

미국의 물리학자, 기계공학자, 전기공학자. 그는 상업 전기에 중요한 기여를 했으며, 19세기 말과 20세기 초 전자기학의 혁명적인 발전을 가능케 한 인물로 잘 알려져 있다. 테슬라의 이론적 연구는 전기 배전의 다상시스템과 교류 모터를 포함한 현대적 교류 시스템의 기초를 형성하였다. 그의 이러한 연구는 2차 산업 혁명을 선도하는 역할을 하였다.

라디오를 통한 무선 통신을 1894년 최초로 실현하였다. 그는 현대 전기 공학을 개척했으며 수많은 그의 발명은 선도자로서 중요한 역할을 하였다. 현재 그의 이름 테슬라는 자속 밀도를 재는 SI 단위로 사용된다.

▶ 하인리히 루돌프 헤르츠(Heinrich Rudolf Hertz, 1857.2.22. ~ 1894.1.1.)

독일의 물리학자. 일상생활에서 자주 사용하는 주파수의 단위 헤르츠는 그의 이름에서 따온 것이다. 헤르츠는 라디오파를 만들어 내는 장치를 만들어 전자기파의 존재를 처음 실증해 보았다.

실험을 통해 전기 신호가 공기 중을 통해 전달될 수 있다는 제임스 클러크 맥스웰과 마이클 패러데이의 예견을 실증한다. 이는 무선통신을 발명하게 된 기초가 된다. 또한 알베르트 아인슈타인이 설명하는 광전효과를 처음으로 발견한다. 광전효과는 물체에 주파수가 높은 빛을 비출수록 전자를 잘 내놓는 현상을 말한다.