

전기치료학

물리치료의 정의

- 물리치료는 물리치료사가 신체적, 정신적, 사회적 건강을 유지 및 증진하고 기능장애의 회복을 위하여 인체구조와 기능을 과학적으로 평가, 진단하고 체계적으로 중재하여 삶의 질을 향상시키는 치료과학이다.

Chapter 1

전기의 역사

고대 그리스

- 탈레스(Thales, BC 600년 경)
 - 호박(amber)에서 마찰 전기 발견
- 마그네스(Magnes)
 - 천연 영구 자석 발견
 - Magnetite

12C~13C

- 넥엄 (Alexander Neckham, 1186)
 - 자기의 이용에 대해 처음 기록
- 마리쿠르 (Pierre de Maricourt, 1269)
 - 천연자석을 이용한 영구 운동 기계 제작
 - 나침반에 대해서 기술
 - 자석의 극 명명
 - 자기 에너지를 기계적 에너지로 변환시킬 수 있음을 제시

16C

- 코페르니쿠스(Nicolaus Copernicus, 1543)
 - 지동설 주장
- 바우어(George Bauer, 1544)
 - 호박의 마찰 전기 대해 정리
- 카르다노(Girolamo Cardano, 1551)
 - 자기와 전기가 다름을 구분

17C

- 길버트(William Gilbert, 1600)
 - 지구가 자석임을 발견
 - electric 이라는 말을 처음 사용
 - De Magnet 출간
- 브라운(Sir Thomas Browne, 1646)
 - electricity을 처음 사용
- 게리케(Otto von Guericke, 1672)
 - 정전기 발생기 제작

18C(1)

- 흑스비(Francis Hauksbee, 1709)
 - 마찰전기 발생기 제작
- 그레이(Stephen Gray)
 - 사람 몸이 도체임 발견(1730)
 - 도체를 통해 전기가 유도됨을 증명(1732)
- 뒤페(Charles Francois DuFay, 1733)
 - 전기가 흐르지 않는 물질을 부도체라 명명
 - 유리전기와 수지전기 두 종류의 전기 발견

18C(II)

- 빈클러(Johann H Winckler, 1733)
 - 전기 발생 기구 제작
- 보제(George M Bosc, 1738)
 - 유리에서 발생된 전기를 도체로 유도하는 방법 소개
- 폰 클라이스트, 반 무스켄브레크
(Von Kleist, Van Musschenbroek, 1745)
 - 축전기의 일종인 라이든 병(Leyden jar) 개발

18C(III)

- 플랭클린(Benjamin Franklin, 1746)
 - 양전기와 음전기로 전기 구분
 - 피뢰침 발명
- 쿨롱(Charles Augustin de Coulomb, 1785)
 - Coulomb's law 정립
- 볼타(Alessandro Volta, 1792)
 - 볼타(Voltaic) 전지 제작

19C(1)

- 외르스테드(Hans Christian Oersted, 1820)
 - 전류와 자기가 밀접한 관계에 있음을 발견
- 암페어(Andre Marie Ampere, 1820)
 - 전류 측정장치 개발
 - 암페어 법칙
- 옴(Georg Simon Ohm, 1827)
 - 옴 법칙 정립

19C(II)

- 다니엘(John Frederic Daniell, 1836)
 - 다니엘 전지 제작
- 패러데이(Michael Faraday)
 - 전자유도 법칙 발견(1831)
 - 유도코일 제작(1842)
- 헨리(Joseph Henry, 1842)
 - 라이든 병 방전 시 진동현상 시사

19C(III)

- 맥스웰(James Clerk Maxwell, 1864)
 - 전자파 존재 제시
- 퀴리 형제(Pieere Curie, Jacques, 1880)
 - 초음파 분야 의 기본인 압전 효과 발견
- 헤르츠(Heinrich Hertz, 1886)
 - 진동전류 발생 방법 제시
- 테슬라(Nikola Tesla, 1886)
 - 고주파 전류 발생 장치 고안

20C

- 헐 (AW Hull, 1920)
 - 자전관(magnetron) 발명
 - 극초단파

Chapter 2

전기 물리학

전기와 전자

전기 (electricity)

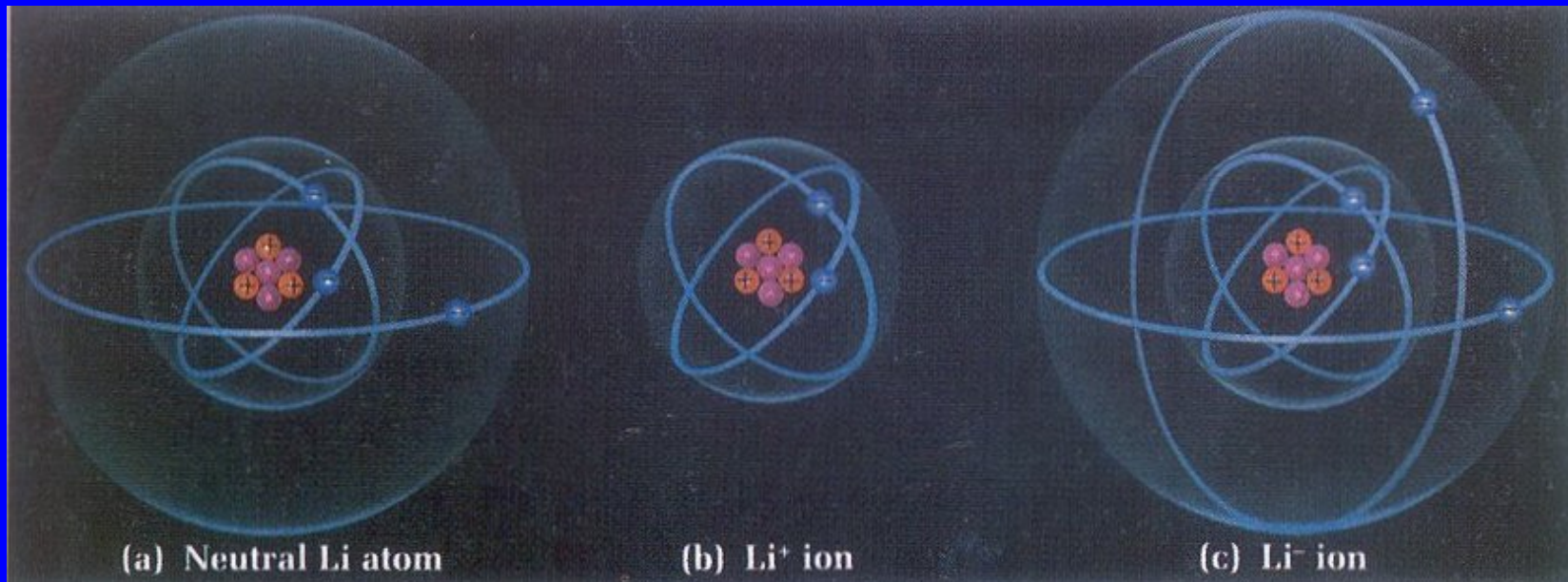
- 전하를 가진 두 물체가 거리를 두고 작용하는 힘
- 기계적인 일 혹은 열 등으로 변환 가능한 에너지
- 대전 (electrification)
 - 중성이 물체가 다른 물체와 접촉 혹은 마찰하였을 때 전자를 잃거나 얻어 전기를 띠게 되는 현상

물질 (matter)

- 물체를 이루는 기본 재료
- 순물질
 - 한 종류의 물질로만 되어 있는 것
- 혼합물
 - 몇 종류의 물질이 섞여 있는 것
- 화합물
 - 두 종류 이상의 원소로 이루어진 순물질
- 고체, 액체, 기체 상태로 존재

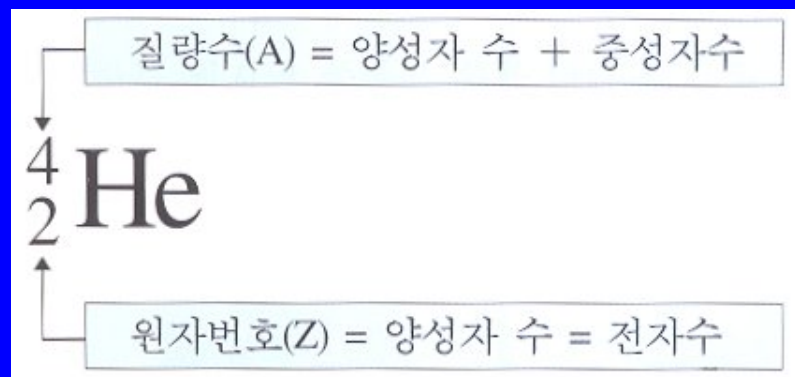
원자(atom)

- 물질의 기본 단위이며, 분자를 이룸
- 양성자, 중성자, 전자로 구성



원자핵(nucleus)

- 원자의 중심
- 양성자와 중성자가 핵력에 의해 묶여 있음
- 원자 질량의 99.95% 차지



양성자와 중성자

- 양성자(proton)
 - 양전하를 띰
 - 양성자 수에 의해 원소의 종류 결정
- 중성자(neutron)
 - 전기적으로 중성
 - 양성자와 함께 원자의 질량수 결정
 - 일반적으로 양성자와 수, 질량이 같음

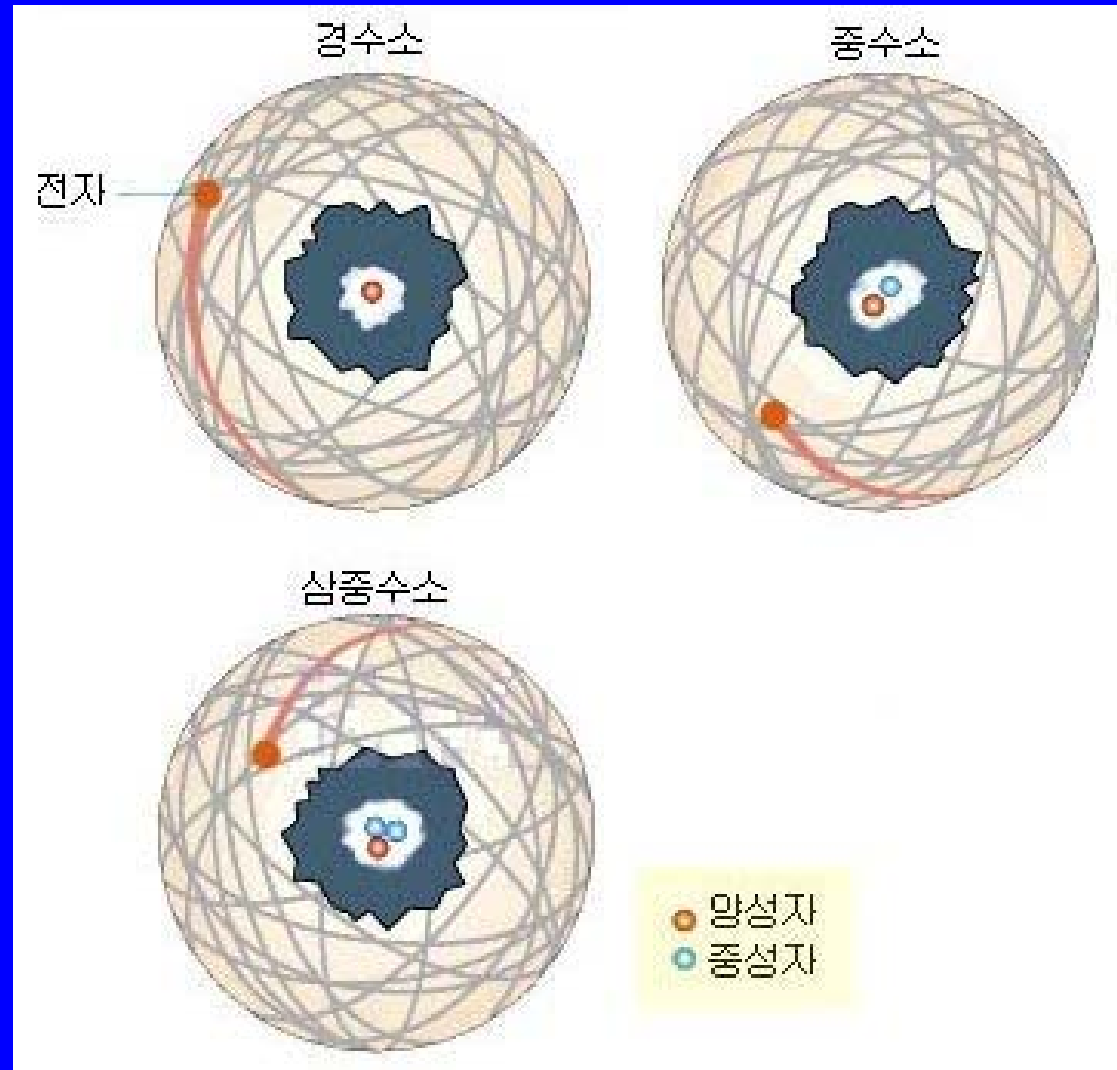
전자 (electron)

- 음전하를 띤
- 핵 주위의 전자각 혹은 원자궤도를 회전
- 중성인 원자에서는 양자와 같은 수를 가짐
- 원자 질량의 0.05% 차지
- 원자 부피의 대부분 차지

동위 원소 (isotope)

- 전자 수는 같지만 원자핵의 질량이나 중성자 수가 다른 원소
- 원자번호와 화학적 성질은 같지만, 질량수와 중성자 수가 다름
- ${}^1\text{H}$, ${}^2\text{H}$, ${}^3\text{H}$

수소의 동위 원소

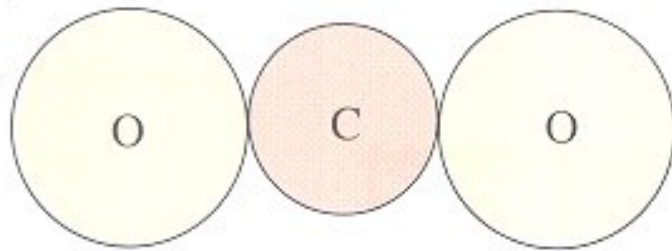


물질의 결합

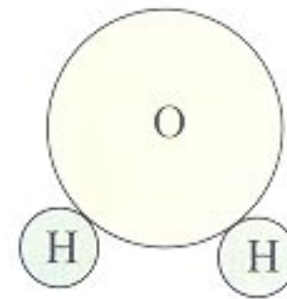
분자(molecule)

- 물질 본래의 성질을 그대로 유지하고 있는 가장 작은 입자
- 원소들이 화학적으로 결합된 원자의 집합체
- 분자식
 - 원자 기호를 사용하여 분자를 구성하는 원자의 종류와 수를 나타낸 식
 - H_2O , H_2

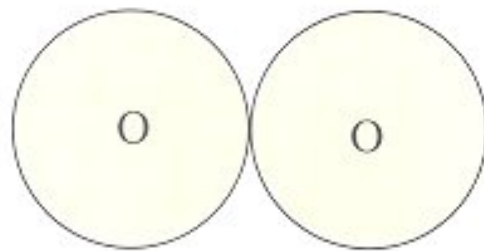
분자 모형



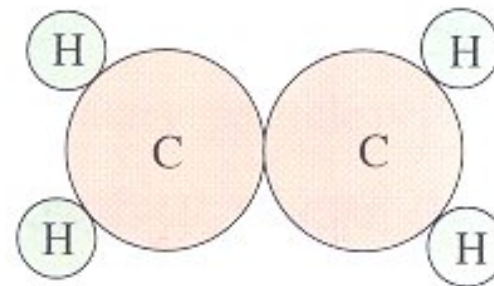
이산화탄소



물



산소



에틸렌

이온 (ion)

- 원자가 전하의 평형을 잃고 극성을 가지게 되는 것
- 음이온(anion, negative ion)
 - 원자가 전하를 얻어 음전하를 띠는 것
 - 예) $\text{Cl} + e^- \rightarrow \text{Cl}^-$
- 양이온(cation, positive ion)
 - 원자가 전자를 잃어 양전하를 띠는 것
 - 예) $\text{Na} - e^- \rightarrow \text{Na}^+$

해리·이온화

- 해리(dissociation)

- 이온으로 이루어진 전해질이 물에 녹아 음이온과 양이온으로 나뉘는 현상



- 이온화(ionization)

- 분자 상태의 물질이 물에 녹아 이온이 되는 현상

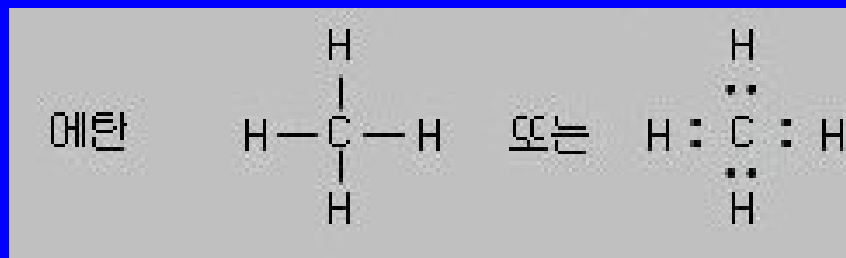


전리

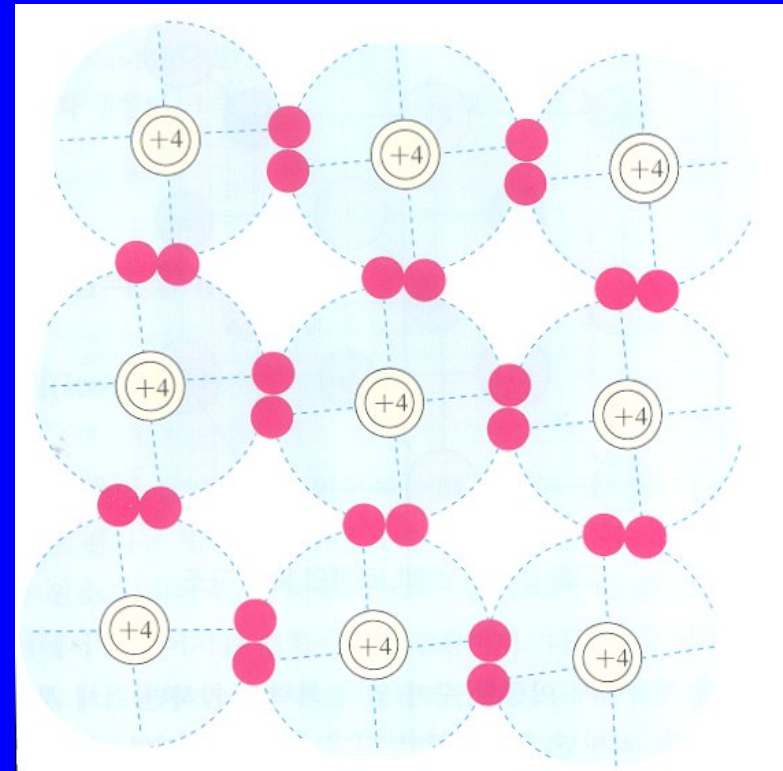
- 전류를 흘렸을 때 어떤 물질이 분자나 이온으로 나뉘어지는 것
- $\text{H}_2\text{O} + \text{전류} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$

공유 결합(covalent bond)

- 2개 이상의 원자가 최외각 전자를 공유하여 서로 결합된 것

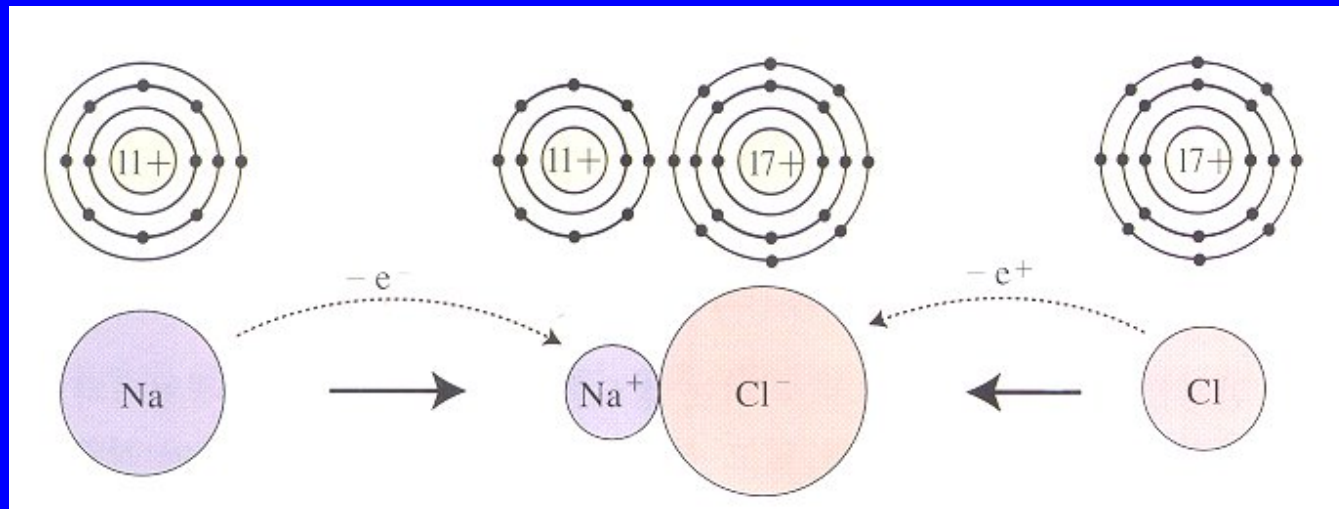


실리콘(Si) 결정원자의 구조 →



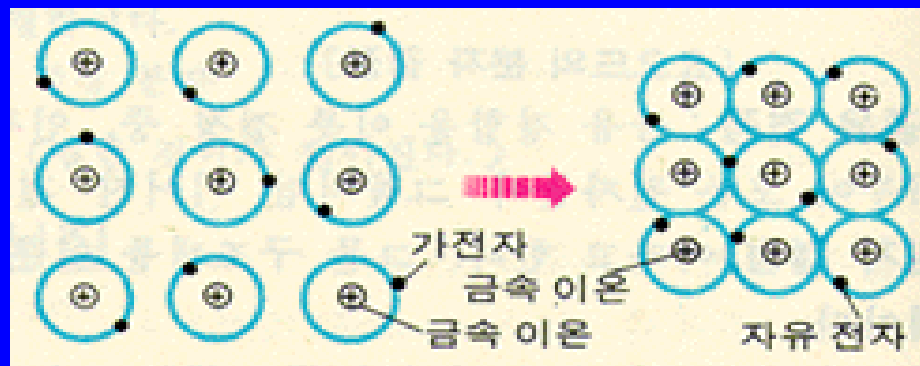
이온 결합(ionic bond)

- 양이온과 음이온이 정전기력에 의해 결합한 것
- 예) $\text{Na}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{Na}^+\text{Cl}^-$



금속 결합(metallic bond)

- 금속 원자의 양이온들과 자유 전자의 상호 작용으로 결합된 것
- 자유 전자(free electron)
 - 한 원자에 구속되지 않고 자유로이 움직일 수 있는 전자
 - 금속에서 전류가 흐르는 원인이 됨



반 데르 발스 결합 (van der Waals bound)

- 극성 분자 사이, 비극성 분자 사이, 극성 분자와 비극성 분자 사이에 전기적 인력에 의해 분자가 결합되는 것
- 물질의 결합력 사이에서 가장 약함
- 거리의 7제곱에 반비례

전하와 전류

전하(electric charge)

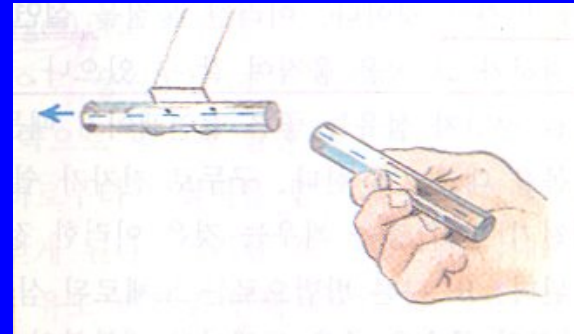
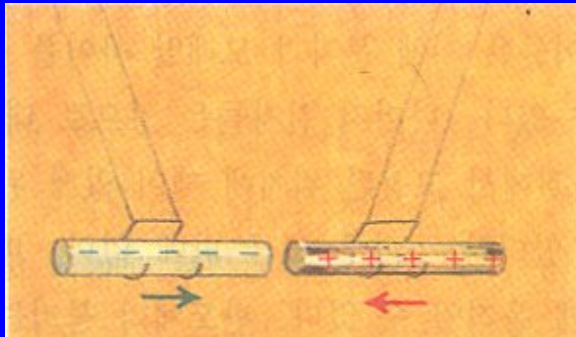
- 대전된 물체가 가지고 있는 전기 혹은 그 전기의 양
- 1C (쿨롱)
-1A의 전류가 1초 동안에 운반하는 전기량

표2-1. 소립자의 질량과 전하량

입자	질량(kg)	전하량(C)
양성자	1.673×10^{-27}	$+1.602 \times 10^{-19}$
중성자	1.675×10^{-27}	0
전자	9.110×10^{-31}	-1.602×10^{-19}

전하(electric charge)

- 인력과 척력을 가짐



- 쿨롱 법칙

(F: 전기력, k: 비례상수, Q: 전하량, r: 거리)

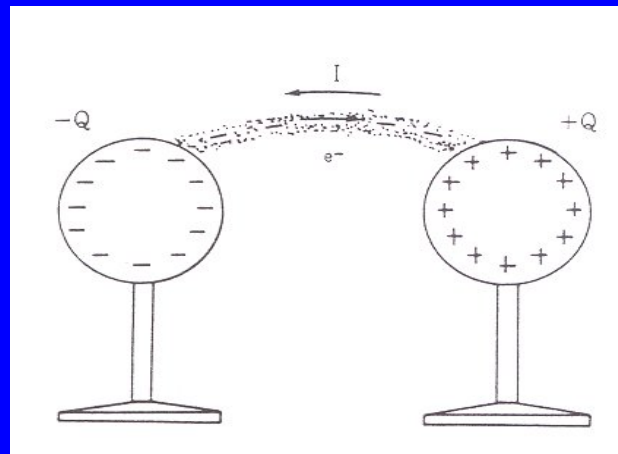
$$F = k \times \frac{Q_A \times Q_B}{r^2}$$

정전기 (static electricity)

- 마찰 전기 (frictional electricity)
 - 마찰에 의해 전기가 발생하는 것
- 정전기 (static electricity)
 - 마찰 전기처럼 대전된 도체 위에 정지하고 있는 전기
 - 흐르는 전류 (current electricity)와 대비

전류 (electric current)

- 전자의 흐름
- 전류의 방향
- 양전하가 흐르는 방향(관례)



[전자와 전류의 흐르는 방향]

전류 (electric current)

- 전류가 두 점 사이에 존재하기 위한 조건
 - 전하가 흐를 수 있는 **길이** 있어야 함
 - 두 점 사이에 **전위차**가 있어야 함
- 전류의 세기
 - 임의의 점을 통과하는 전하의 비율
(I : 전류 세기, Q : 전하량, t : 단위 시간)

$$I = Q / t$$

전기의 전도

도체 (conductor)

- 전자가 자유롭게 움직일 수 있는 물질
- 전도도에 따라 양도체와 부분도체로 구분

절연체 (insulator)

- 전자가 원자나 분자에 구속되어 움직일 수 없는 물질
- 유전체 (dielectric substance) 혹은 부도체 (non conductor)라고도 함
- 비금속 고체, 일부의 액체, 기체

반도체와 초전도체

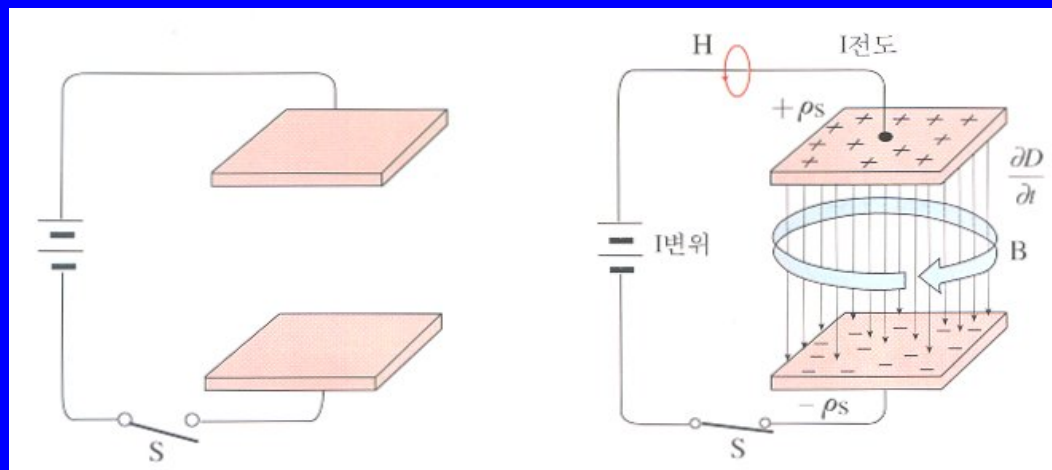
- 반도체(semiconductor)
 - 전기 전도도가 도체와 부도체의 중간
 - 전류의 흐름이 외부 환경에 의해 좌우됨
- 초전도체(superconductor)
 - 온도에 따라 전도도가 변화되는 물질
- 초전도도(super conductivity)
 - 절대온도에서 저항이 0이 되는 것

전류 전도 형태

- 전도 전류(conductive current)
 - 도체를 따라 흐르는 전류
 - 금속 내 자유전자의 흐름에 의해 발생
 - 자계와 열이 발생됨
- 이온화 전류(ionic current)
 - 이온에 의해 흐르는 전류

전류 전도 형태

- 변위전류(displacement current)
 - 유전체(반도체나 절연체)를 통해서 전하가 이동하는 현상
 - 축전기 판 사이 혹은 반도체 부품에서 동작의 원인이 됨
 - 유도 자기장 발생



기전력과 전압

- 기전력(electromotive force)
 - 전압을 연속적으로 만들어 주는 힘
 - 외부회로와 연결되지 않은 상태에서 전기적 에너지원의 양 끝에 존재하는 전위차
- 전압(voltage)
 - 두 점간의 전위차
 - 전하를 흐르게 하는 전기적인 힘
 - 전위(electric potential)

전력 (electric power)

- 전기 에너지가 다른 형태의 에너지로 변환되어 일할 때 단위 시간당 일 하는 능력
- 1초당 1joule의 일을 하는 능력
(P: 전력, I: 전류, V: 전압)

$$P = I \times V$$

전원과 부하

- 부하(electric load)
 - 전기 에너지를 소비하는 모든 장치
- 전원(electric source)
 - 부하에 전기 에너지를 공급하는 장치
 - 전류전원
 - 전압전원

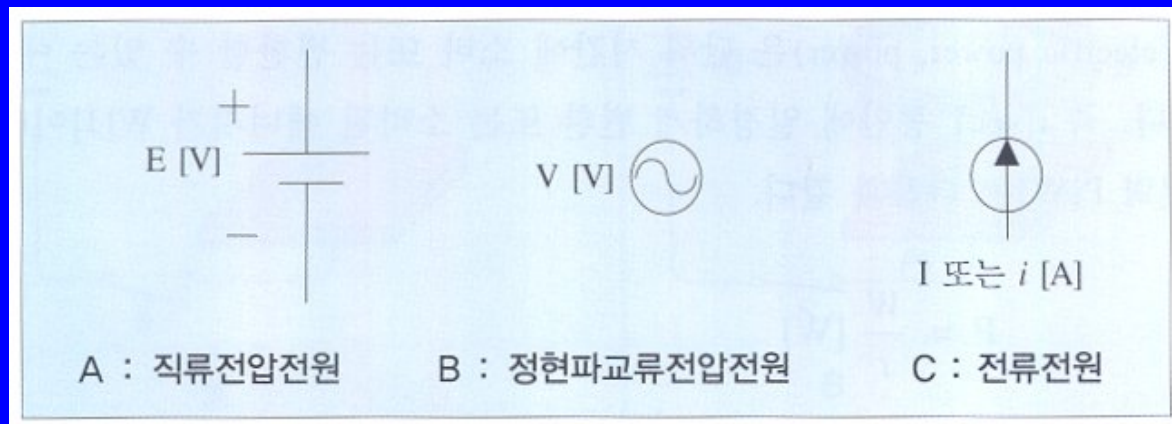
전압전원과 전류전원

- 전압전원

- 부하에 일정한 크기의 전압 공급
- 직류와 교류가 있음

- 전류 전원

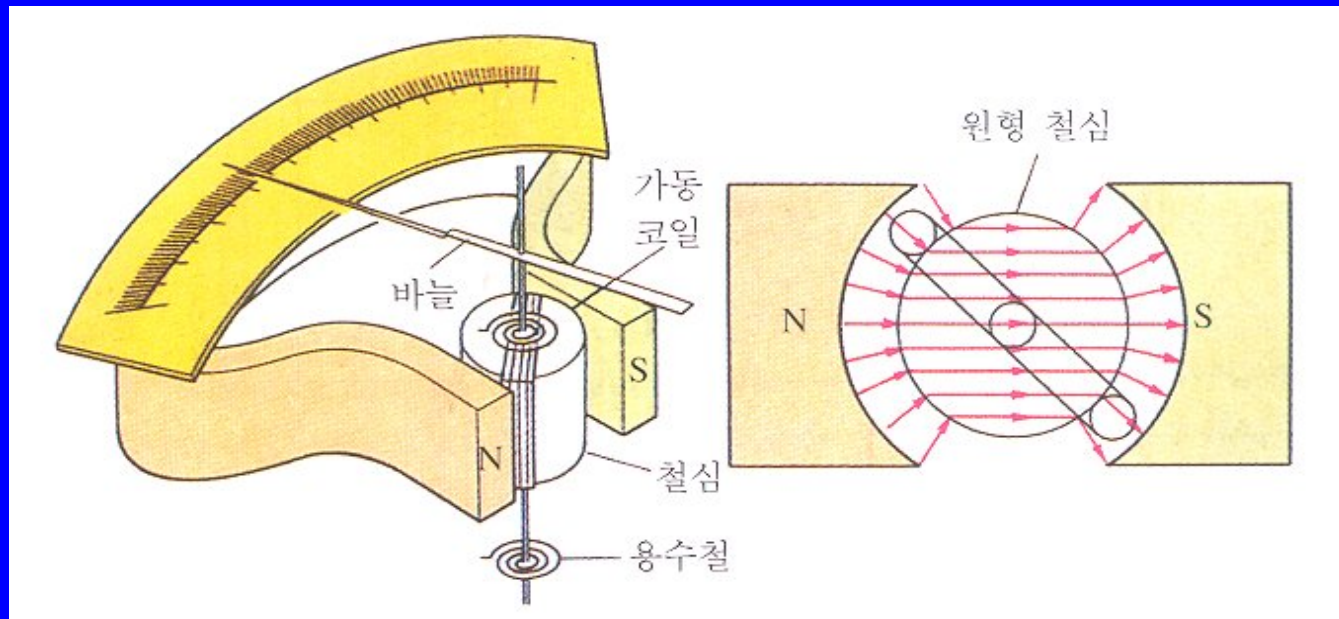
- 부하에 일정한 크기의 전류 공급



[전원의 기호]

전류계와 전압계

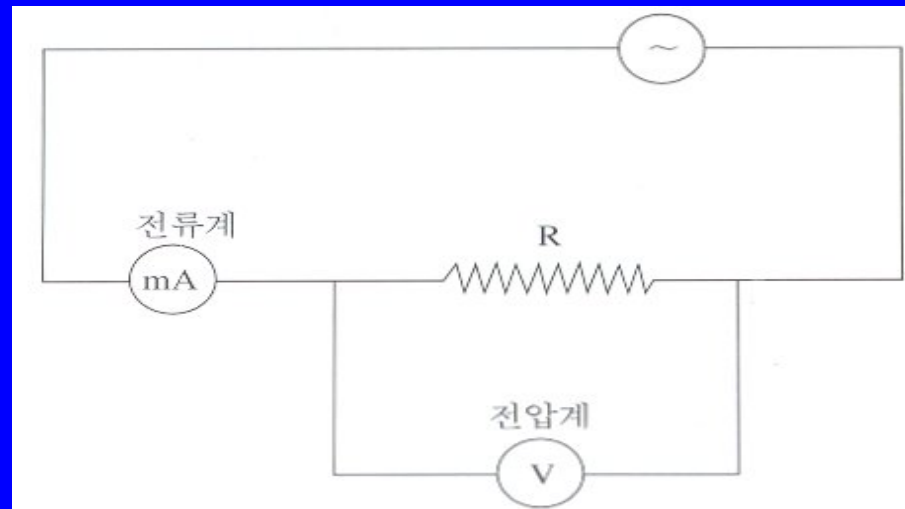
- 전류의 크기에 따라 세기가 다른 자장과 외부의 고정된 자석이 상호 작용하는 힘의 크기를 이용



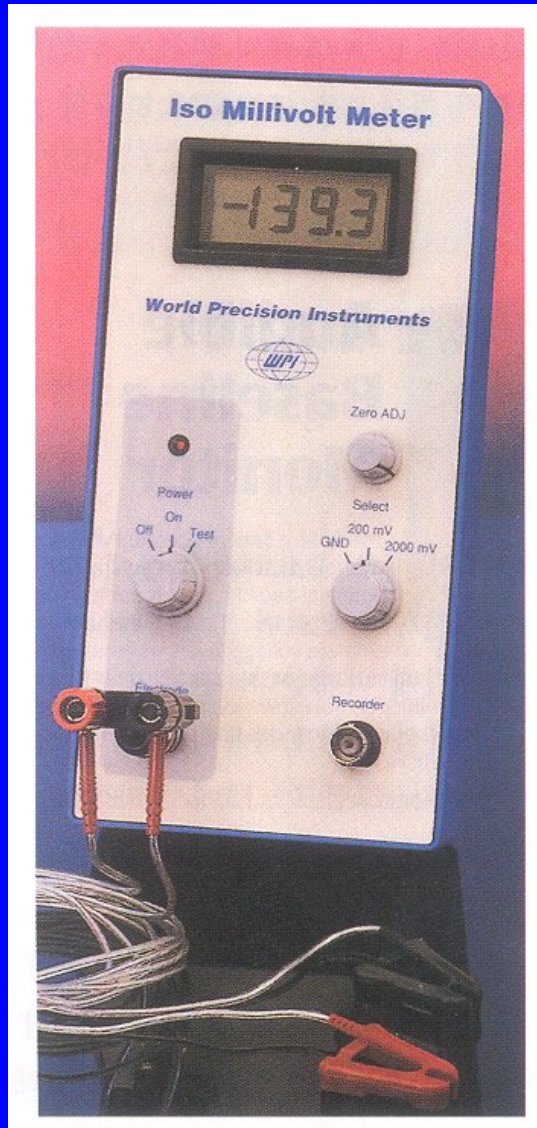
[전압· 전류계의 구조와 원리]

전압·전류 측정법

- 전압
 - 측정하려는 회로와 전압계를 병렬로 연결
- 전류
 - 전류가 흐르고 있는 회로와 전류계를 직렬로 연결



디지털 저전류계



전류의 효과

열효과(1)

- 전류가 도체를 흐를 때 저항을 받아 전기 에너지가 열에너지로 전환
- 단위 시간(t) 동안 저항(R)을 가진 도체에 전류(I)가 도체에 일을 하는 양(W)

$$W = VIt = I^2 R t (\text{J})$$

- 주울 법칙(Joule's law)

$$H = I^2 R t (\text{J})$$

열효과(II)

- 열량

- 1g의 물을 1°C 올리는 데 필요한 열량

- 단위는 칼로리(cal)

- 1cal = 4.184J

- 1J=0.24cal

- 도체 내에서 발생된 총 열량

$$H = 0.24I^2Rt(\text{cal})$$

열효과(III)

- 직접효과(direct effect)
 - 직류나 저주파 전류를 인체에 통전하였을 때, 각종 전해질을 포함하고 있는 인체 조직의 전기적 저항에 의해 열이 발생하는 것
- 간접효과(indirect effect)
 - 고주파 전류를 인체에 통전하였을 때 고주파의 진동이 인체 조직 분자들을 심하게 요동시켜 분자간 충돌을 일으킴으로써 열에너지가 발생하는 것

화학적 효과

- 전해질 (electrolyte)
 - 물에 녹아 이온화(ionization) 되는 물질
 - 도체
- 화학적 효과는 직류에서만 나타남
- 응용
 - 전기도금, 전기판 제작
 - 의용평류치료, 이온도입치료

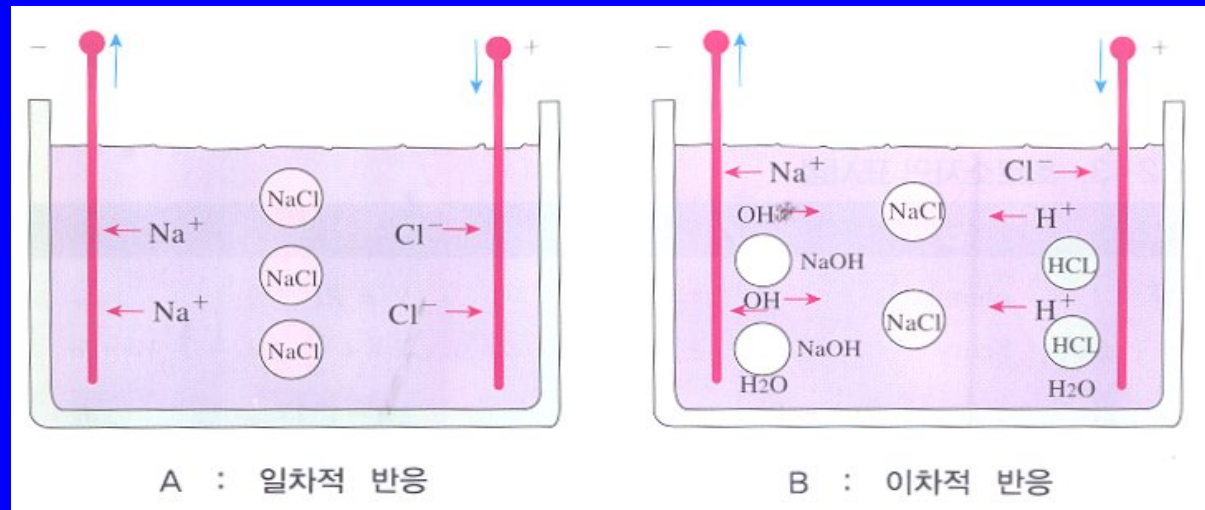
전해질의 전기 분해

- 일차반응(primary reaction)
 - 이온의 재분포(재배치)현상
 - 음이온은 양극, 양이온은 음극으로 재분포
 - 물분자의 전리
- 이차 반응(secondary reaction)
 - 일차반응에 의해 재분포 되어 새로운 화학 물질이 생성

H₂O+NaCl

- 일차 반응 : Na⁺(음극) + Cl⁻(양극)

- 이차 반응

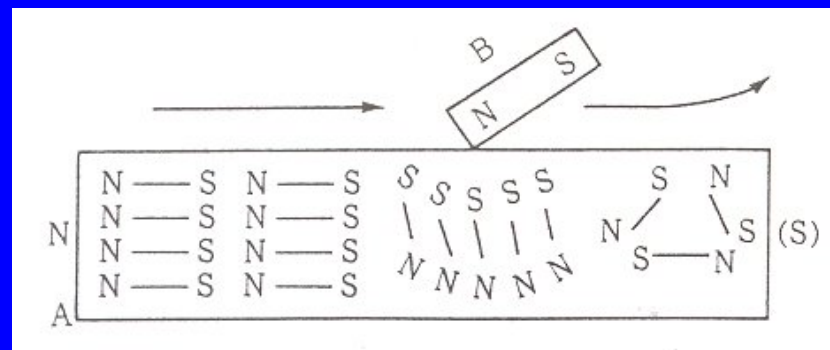


전자기 효과

- 도체에 전류를 흘리면 자석처럼 자계가 발생
- 자기 (magnetism)
 - 자성체를 흡인하는 성질
- 자석 (magnet)
 - 자기를 띤 물질
 - N극과 S극이 있음
 - 인력과 척력을 가짐
 - 자기 유도 성질을 가짐
 - 자기장이 형성됨

자기 유도와 자기장

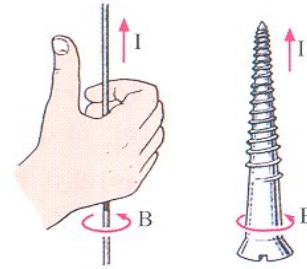
- 자기 유도 (magnetic induction)
 - 어떤 물질에 자기의 성질을 전달
- 자기장 (magnetic field)
 - 자석 주위에 자기력이 작용하는 범위
 - 자력선 형성



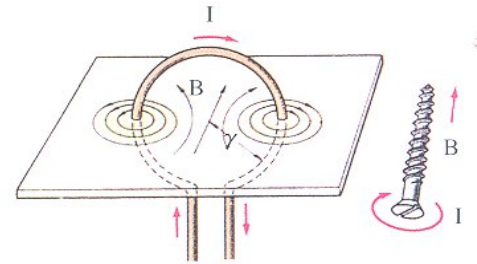
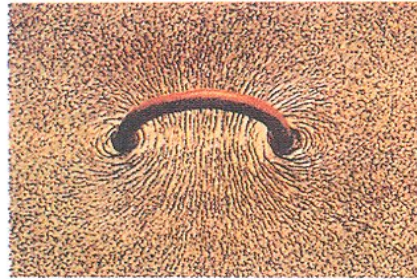
[자기 유도 현상]

자력선 (magnetic force line)

- 자기장에서 자력을 나타내는 가상적인 선
- N극에서 출발, S에서 끝남
- 가장 짧은 거리에서 형성
- 서로 교차되지 않음
- 오른나사 법칙



직선 전류에 의한 자기



원형 전류에 의한 자기

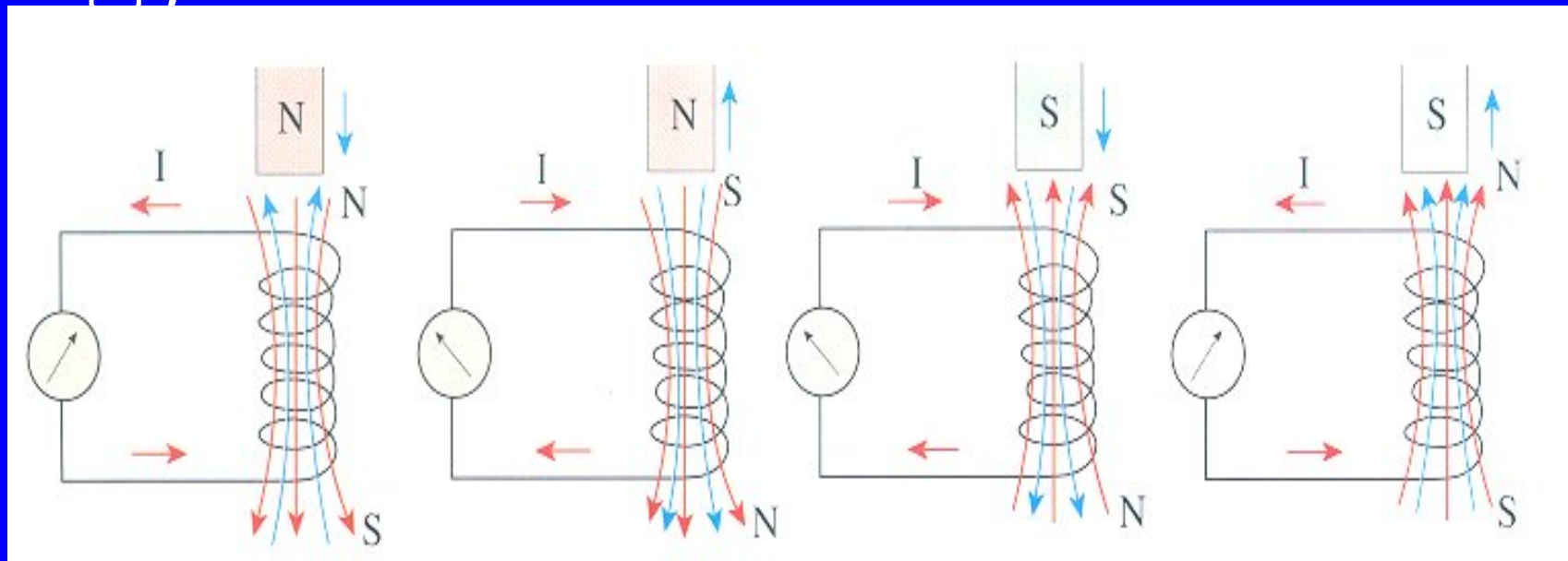
• 자기장의 세기

(B: 자기장 세기, I: 전류, r: 수직거리, k: 비례상수)

$$B = k \times \frac{I}{r}$$

전자기 유도

- 자기에 의해 전류가 발생하여 코일 속을 지나는 자속이 변화함에 따라 코일에 기전력이 유도되는 현상(즉, 자석으로 전기를 만듦)



유도 기전력과 유도 전류

- 유도 기전력 (induced emf)
 - 전자기 유도에 의해 형성되는 기전력
 - 코일을 관통하는 자속의 시간적 변화율, 코일 감은 횟수, 상승 면적에 비례
- 유도 전류 (induced current)
 - 유도 기전력에 의한 전류

인덕터와 인덕턴스

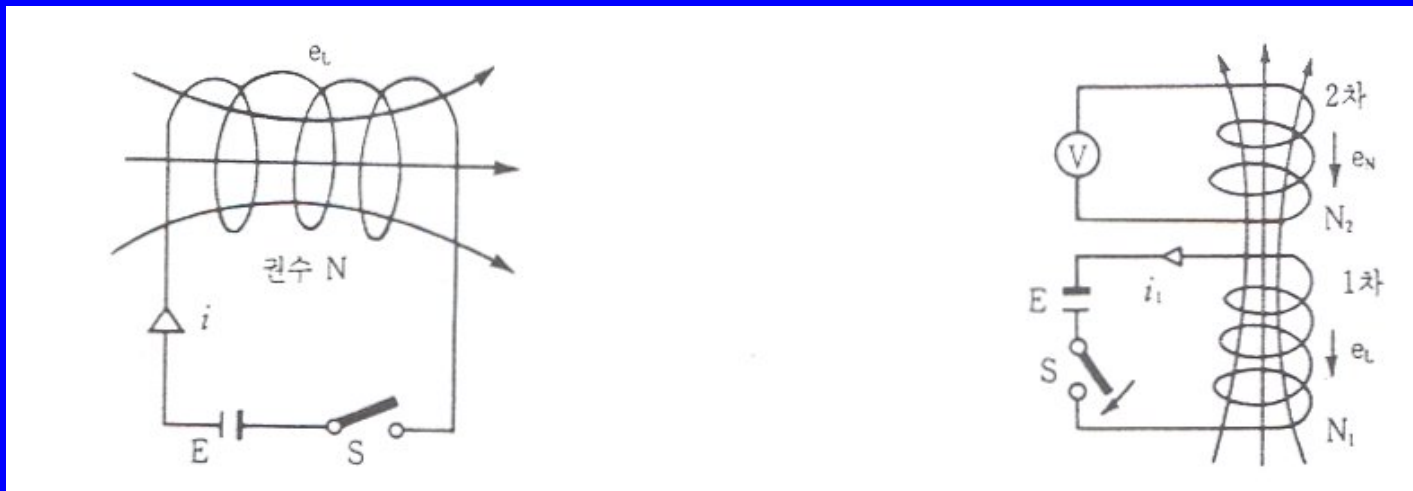
- 인덕터 (inductor)
 - 전류의 변화에 따라 자기유도 기전력이 발생하는 회로 요소
- 인덕턴스 (inductance)
 - 인덕터가 전류를 유도시키는 능력
 - 코일 감은 횟수, 폭, 길이, 단면적, 자성체에 따라 다름

자기 유도(self-induction)

- 코일에 흐르는 전류를 변화시켰을 때 코일 자체의 주위에 자기장이 형성되어 기전력이 발생하는 것
- 유도 기전력
 - 자기 유도에 의해 발생
 - 외부자기속의 변화에 반대방향으로 형성 (역기전력)

상호 유도 (mutual induction)

- 코일에 흐르는 전류를 변화시켰을 때 다른 코일에도 유도 기전력이 발생하는 것



[자기 유도]

[상호 유도]

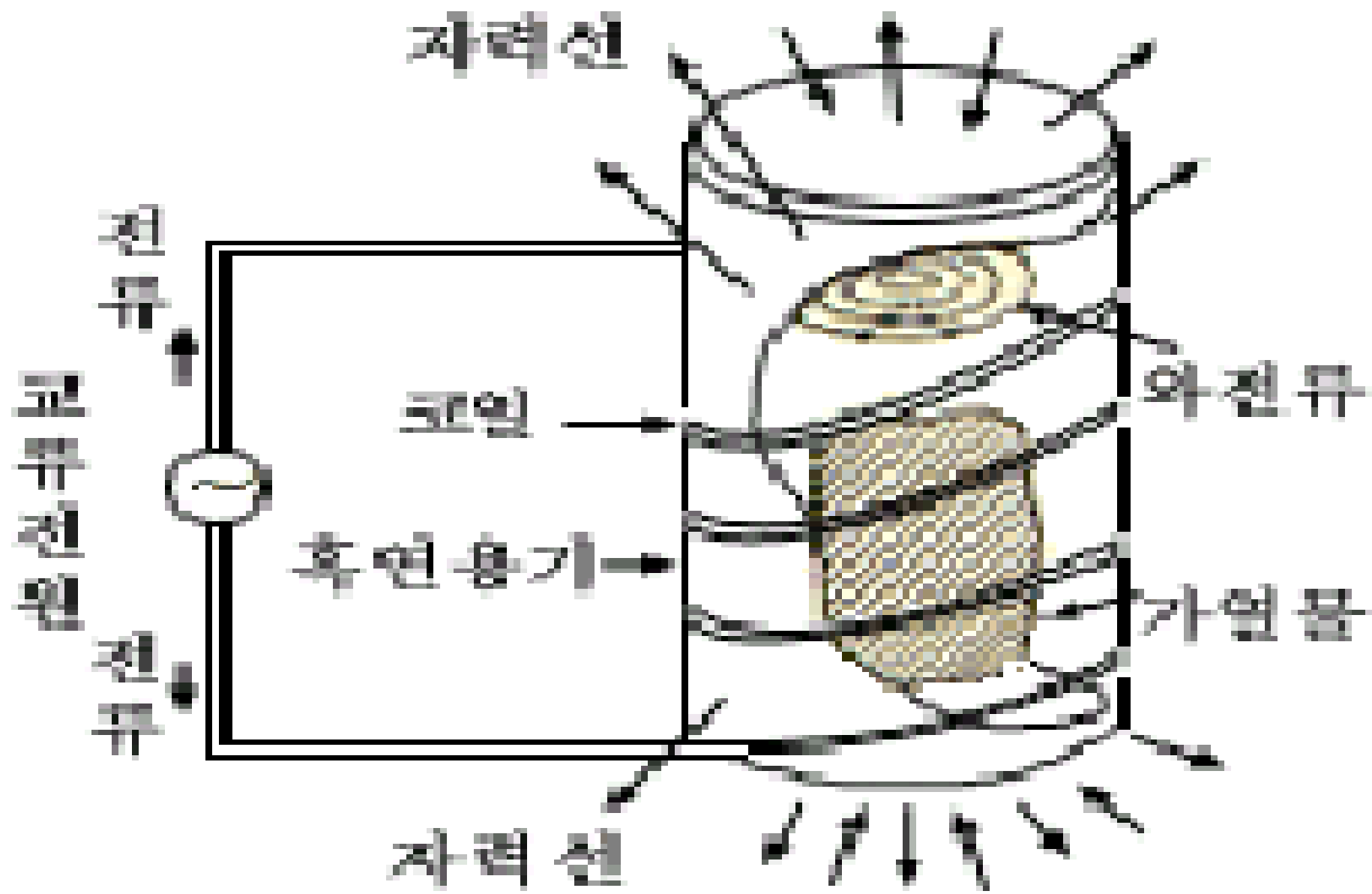
국소 전류(eddy current)

- 변화하는 자기장 내에 있는 도체에서 자력선이 도체를 통과할 때 자력선과 직각을 이루며 형성되는 원형의 전류
- 열효과 발생 (주울의 법칙)

자기조리기

자기조리기는 자기유도방식(magnetic induction heating)을 이용한다. 자기유도방식을 이용한 주방 조리기는 '자기조리기', '자력선 가열방식 압력밥솥', '전기 압력밥솥', '전자조리기' 등 다양한 이름을 쓰고 있으며 IH(Induction Heating)가 첨부되어 있는 경우도 있다. 역사적으로 자기유도에서 발생한 열을 이용하는 방법은 먼저 공학에서 널리 사용되었다.^[3] 최근에는 자기유도방식을 이용한 자기조리기가 등장하였다. 자기유도방식의 원리는 자기장과 유도 전기장(기전력) 관계를 설명하는 페러데이(Faraday)법칙이다. 페러데이법칙은 도체고리(conducting loop)를 통과하는 자기장 선속(magnetic flux)이 시간에 따라 변할 때 도선을 따라 생기는 유도 전기장(기전력)을 설명한다. 도선 안의 자유전자는 유도 전기장을 따라 이동하고 전류의 흐름이 생긴다. 도선에 저항이 존재하면 열이 발생한다.

공학에서는 물질의 가열이나 금속의 용해에 이 원리를 적용하여왔다. 그림 3과 같이 흑연(그래파이트) 용기를 코일로 감고 전류를 교류전원을 공급한다.^[4] 암페어(Ampere)법칙에 따라 도선에 흐르는 전류는 자기장을 발생시킨다.^[1] 시간에 따라 변하지 않는 정상 전류가 흐르면 자기장도 시간에 따라 변하지 않는다. 그러나 교류가 흐르면 자기장도 시간에 따라 변한다. 따라서 흑연용기 안에는 전기장이 유도되고 전기장 방향으로 맴돌이전류(eddy current)가 흐르게 된다. 흑연용기는 전기저항을 갖고 있으므로 옴법칙에 따라 열이 발생된다. 이 열이 금속을 용해시킨다.



유도가열

유도 전기장의 세기는 자기장의 변화율에 비례하므로 전기장의 세기를 증가시키기 위하여 높은 진동수의 교류(고주파)를 사용한다. 또한 맴돌이전류의 세기는 유도 전기장의 세기에 비례한다. 따라서 교류의 주파수가 높을수록 유도되는 와류전류도 증가한다. 자기유도를 이용하는 기구들이 고주파 교류를 사용하는 이유가 여기에 있다.

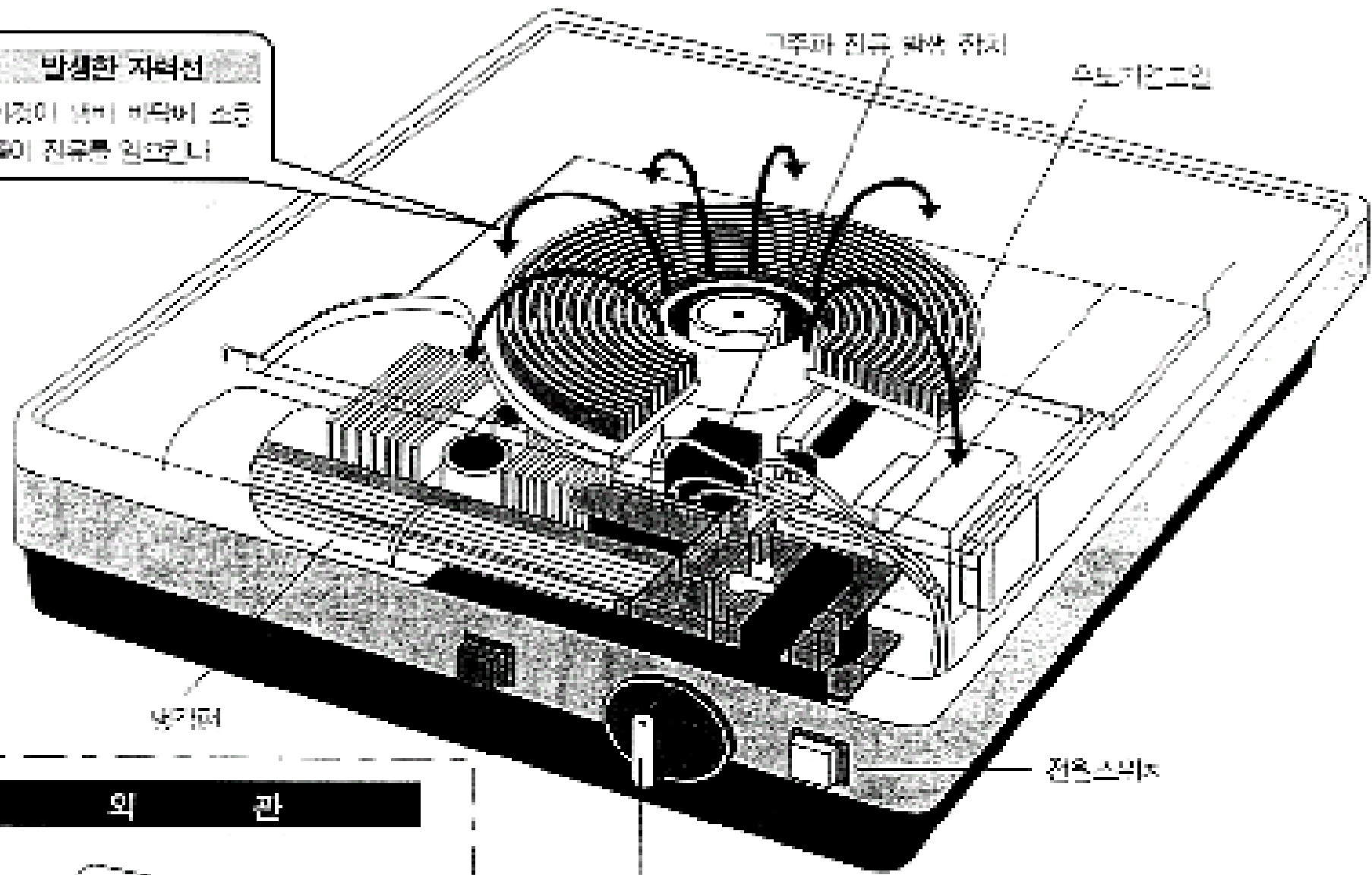
자기유도 원리를 적용하여 자기조리기를 만든다. 그림 4는 대표적인 자기조리기의 구조를 보여준다. 세라믹으로 만든 톱-플레이트(top plate) 밑에 자기유도장치가 놓여있다. 자기유도장치는 모기항과 같은 모양의 코일의 모양을 하고있다. 이 코일에 2만 헤르츠 이상의 고주파 교류를 흘려주면 자기장이 남비 바닥에 유도 전기장을 형성한다(그림 5). 유도된 전기장은 남비의 자유전자를 이동시켜 맴돌이전류를 발생시킨다. 따라서 남비의 전기저항으로 인하여 열이 발생한다.

반생한 자력선

이것이 많이 비약해 소음
없이 진공을 일으킨다

그주파 진공 발생 장치

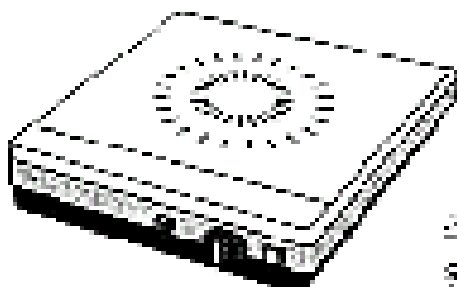
프로그래밍코일



방열판

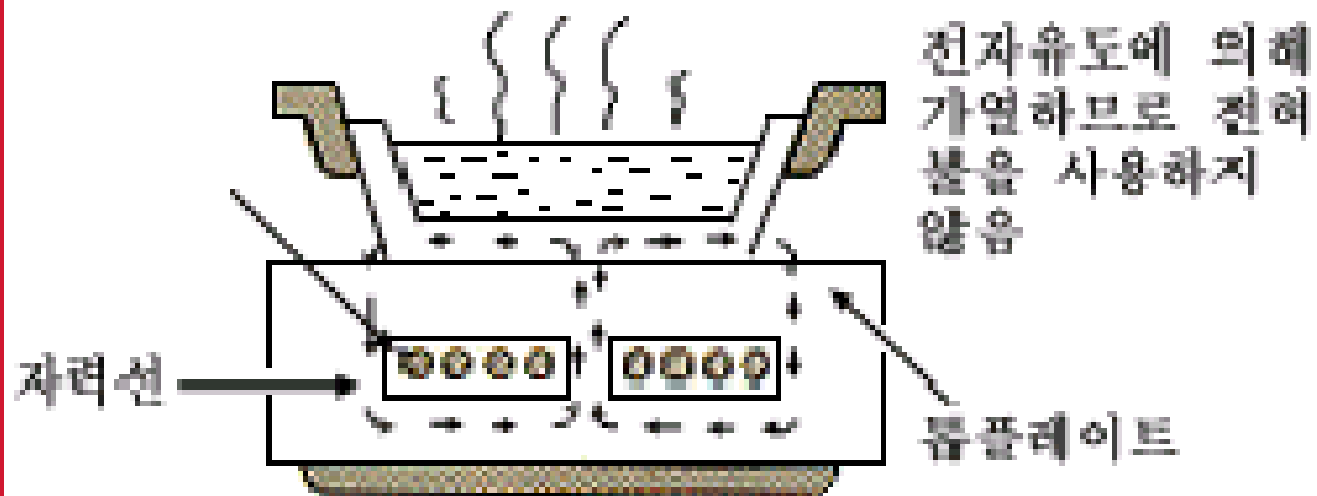
전용 스위치

외 관

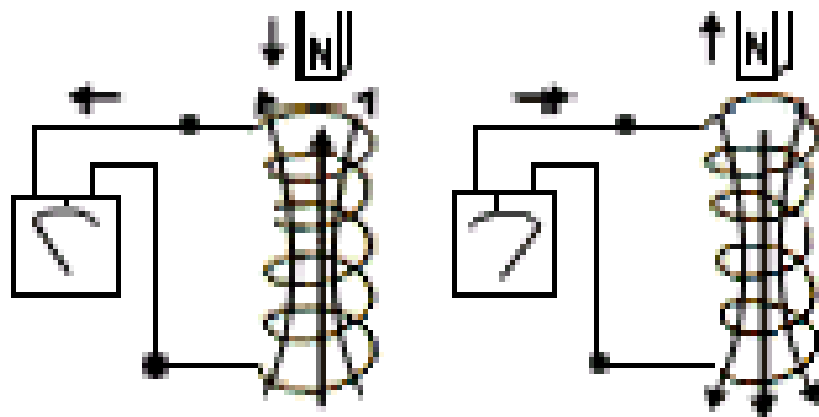


출력 증폭 장치
안전히 동작한다

출력 증폭 장치



전자유도의 법칙



자력선의 방향이 변하면 기전력의 방향이 변한다

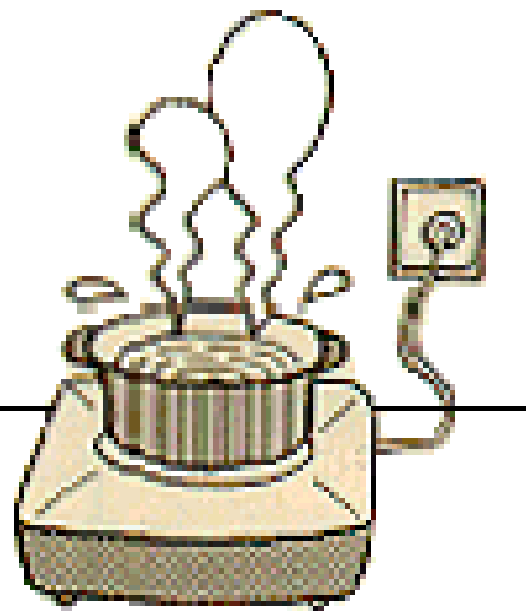
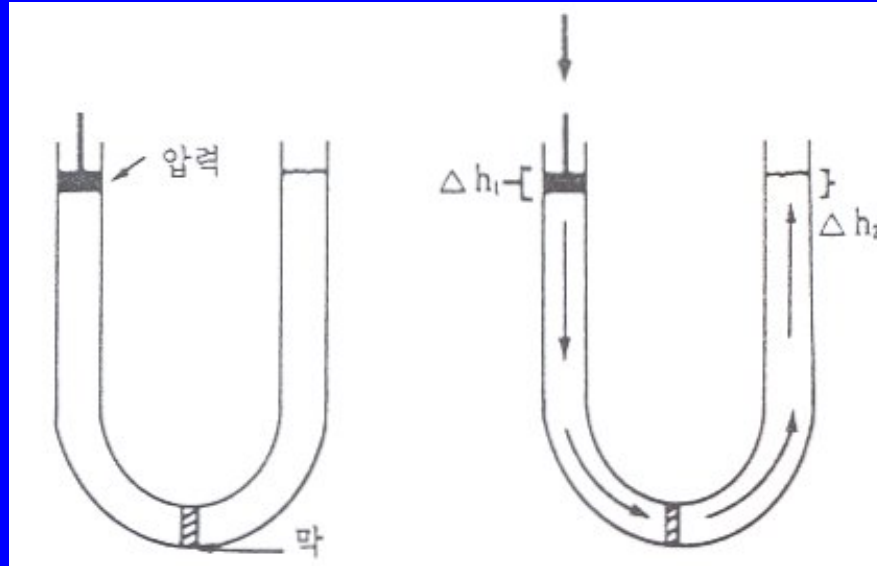


그림 5. 자기조리기의 원리.

전기와 물 및 혈액과의 비교

전류	물	혈액
전류량(amperage)	수량(rate of flow)	혈류량
전압(voltage)	수압(pressure)	혈압
발전기(dynamo)	펌프(pump)	심장
전력(wattage)	수력(water power)	
전선(conductor)	관(pipe)	혈관
스위치(switch)	판(valve)	판막
스위치 폐쇄(switch close)	개판(valve open)	
스위치 개방(switch open)	폐판(valve close)	
전기회로(electric circuit)	수로(water circuit)	혈관망
누전(short circuit)	누수(pipe leaking)	출혈
회로개방(open circuit)	폐관(pipe stopped up)	
전압계(voltmeter)	압력계(water meter)	혈압계
전류계 (ammeter)	유수계(pressure gauge)	혈류측정기



[물과 전기의 비교]

U자관 - 도체

고무막 - 절연체

피스톤 압력 - 전압

물의 흐름 - 전류

전기 용어와 단위

전기양의 기호와 단위 및 명칭

양	기호	기본단위	명칭
전하 (charge)	Q	C	Coulomb
전류 (current)	I	A (C/s)	ampere, coulomb per second
전압 (voltage)	V	V	volt
기전력 (EMF)	E	V	volt
전력 (power)	P	W (erg/s)	watt, erg per second
저항 (resistance)	R	Ω	ohm
리액턴스 (reactance)	X	Ω	ohm
임피던스 (impedance)	Z	Ω	ohm
인덕턴스 (inductance)	L	H	henry
전기용량 (capacitance)	C	F (C/s)	farad
주파수 혹은 진동수	f	Hz (cps, pps)	hertz, cycle per second pulse per second
비저항 (resistivity)	ρ	$\Omega \cdot m$	ohm meter
도전율 (conductance)	σ	Ω	ohm
전기전도도 (conductivity)		S	siemens
자기력밀도(magnetic flux dencity)		T	tesla
자기력선속(magnetic flux)	ϕ	Wb	weber

전하와 전류

- 전하량(Q)

-1A의 전류(I)를 1초(t)동안 흘렸을 때의 전기량

$$Q = I \times t(\text{C})$$

- 전류(electric current)

-전위차가 있는 두 지점간의 도체를 흐르는 전자의 이동

-1A : 1초 당 6.24×10^{18} 개의 전자 흐름

$$I = Q/t = V/R(\text{A})$$

표 34.1 몸에 대한 전류의 효과

전류(암페어)	효과
0.001	느낄 수 있다.
0.005	고통스럽다.
0.010	무의식적으로 근육이 수축하다. (경련)
0.015	근육을 통제할 수 없다.
0.070	심장을 통과하면 파열될 수 있고, 1초 이상 지속되면 죽을 수도 있다.

전압과 기전력

- 전압(voltage)

-1Ω의 저항을 통해 1A의 전류를 운반하는데 필요한 기전력

$$1V = 1J / C$$

$$V = I \times R (V)$$

- 기전력(electromotive force)

-계속해서 전압을 만드는 힘

$$E = A \times R(V)$$

전력량과 전력

- 전력

-단위시간당(1초) 전기기구에 공급되는 전기에너지

$$P = W / t = \frac{V \times I \times t}{t} = V \times I (W)$$

- 전력량

-어느시간동안(h) 사용한 전기에너지의 총량

$$W = V \times I \times t (J \text{ or } Wh)$$

저항(resistance)

- 전류의 흐름을 방해하는 반작용
- 고유저항(specific resistance, 비저항)
 - 물질의 종류에 따라 저항이 다름
- 저항 크기
(R: 도체 저항, ρ : 비저항, L: 길이, A: 단면적)

$$R = \rho \times \frac{L}{A}$$

옴 법칙(Ohm's law)

- 전류(I)는 전압(V)에 비례하고 저항(R)에 반비례

$$I = \frac{V}{R}$$

비저항 · 도전률

- 비저항(specific resistance)
 - 단위 길이에 대한 물질의 전기 저항
- 도전율(conductance)
 - 전기 전도율, 비전기 전도도
 - 저항의 역수
 - 전류가 잘 흐르는 척도

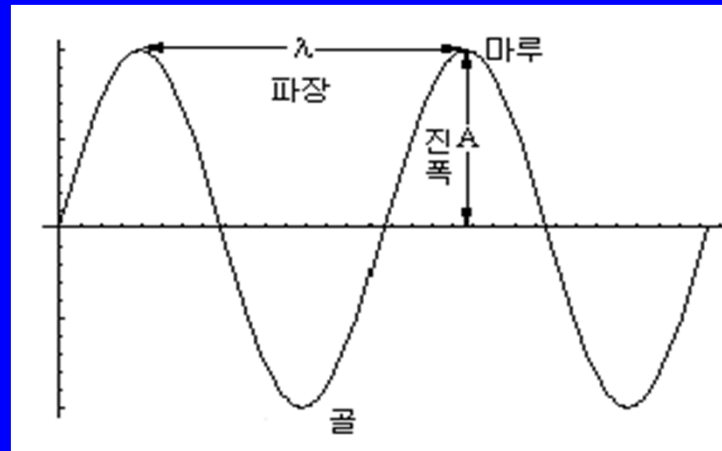
$$\sigma = 1 / R(\Omega)$$

도체와 절연체

양도체	부분도체	절연체
금속	종이	호박 및 유리
탄소	알코올	딱딱한 고무
흑연	등유	파라핀
수용액	보통물	증류수
산	젖은 공기	마른 공기
젖은 나무	마른 나무	초자, 도자기

주파수와 파장

- 주파수 (frequency)
 - 크기와 위상을 가진 전류가 주기적으로 1초 동안 반복되는 횟수
- 파장 (wave length)
 - 파에서 동일 위상에 있는 서로 인접한 두 점 간의 거리



임피던스와 콘덴서

- 임피던스(impedance)
 - 전기 회로 내에서 교류 전류가 흐를 때 저항과 같이 작용하는 모든 저항 성분
- 콘덴서(condenser)
 - 정전 유도를 이용하여 전기를 축전하는 도구

정전용량과 용량 리액턴스

- 정전용량 (capacitance)

-1V의 전압을 가했을 때 극판에 1C의 전하를 축전하는 용량

$$C = Q / V (\text{F})$$

- 용량 리액턴스(capacitive reactance)

- 교류회로에서 정전용량에 의하여 발생하는 리액턴스를 「용량성리액턴스」 (Capacitive reactance)라고 한다

- 용량(콘덴서)이 교류를 흐르지 못하게 방해하는 정도를 말하며 단위는 저항과 마찬가지로 옴을 사용한다. 용량리액턴스는 용량이 클수록 적어지며 또 주파수가 높을수록 적어진다.

인덕턴스와 인덕터








- 인덕턴스(inductance)
 - 코일에 전류가 흐를 때 전류 흐름을 방해하는 요소
- 인덕터(inductor)
 - 회로에 인덕턴스를 만들기 위해 사용하는 전선 코일

전기 화학 당량

(electrochemical equivalent, ECE)

- 전해질에서 1C의 전기량으로 석출되는 물질의 양(전기분해때 1쿨롱의 전기량에 의하여 전해용액으로부터 추출되는 원자 혹은 원자단의 그램수)

회로소자 표시법

소자	단위	기호	특성식
저항	ohm		$V = Ri$
인덕턴스	henry		$V = L \frac{di}{dt}, i = \frac{1}{L} \int_0^t V dt + I_0$
커패시턴스	farad		$V = \frac{1}{C} \int_0^t i dt = V_0, i = C \frac{dv}{dt}$
단락회로	closing		$V = 0$ (어떤 i 에 대하여)
개방회로	opening		$i = 0$ (어떤 V 에 대하여)
전압원	volt		$V = V_s$ (어떤 i 에 대하여)
전류원	ampere		$i = i_s$ (어떤 V 에 대하여)