

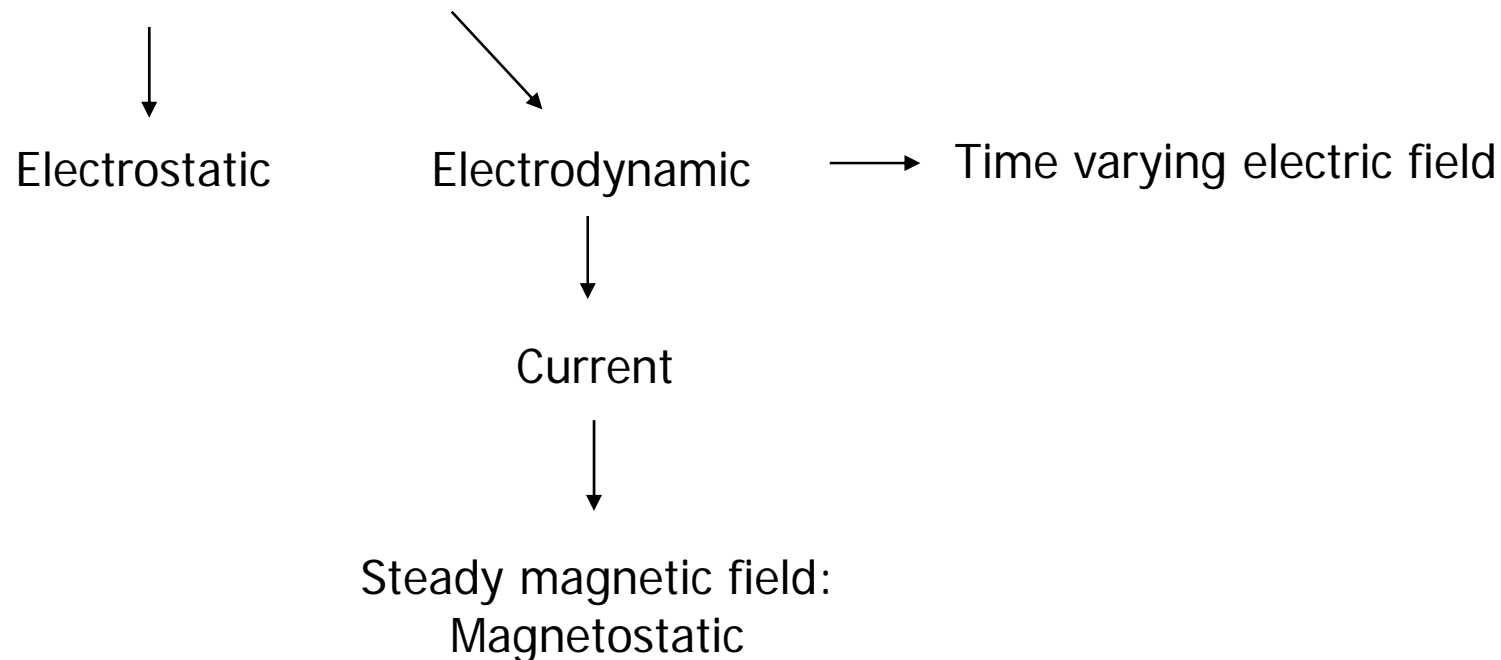
Field and Wave Electromagnetics

Chapter1. The electromagnetic model

Introduction

❖ Electromagnetics :

the study of the effects of electric charges
at rest and in motion



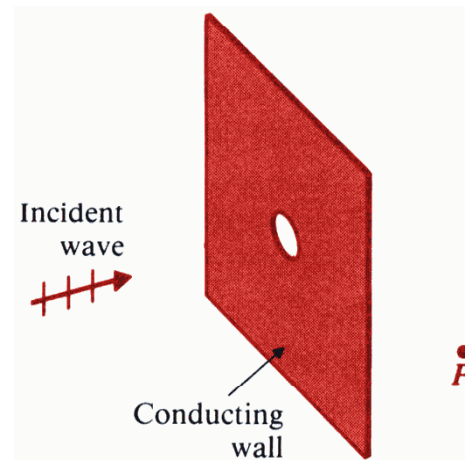
Introduction

❖ Fields

1. Static
2. Time varying

- ✓ Electric field and magnetic field: coupled then electromagnetic field
- ✓ Under certain conditions : time-dependent electromagnetic fields
→ produce wave that the source radiates.
- ✓ Mechanics → gravitational field (postulating)

Introduction



- ❖ Comparison:
 - circuit theory → time function (single dimension), ordinary differential equation.
 - EM theory → time and space (three dimensions)

- ❖ Vector algebra and Vector calculus
 - Technique for solving partial differential equation

The Electromagnetic Model

- ❖ EM model
 - Inductive: observations of some simple experiment
→ inferring laws and theorems
 - Deductive: postulate a few fundamental relations for an idealized model → derive postulate laws and theorems

- ❖ Example for building a theory
 - Basic quantities
 - Rules of operation (the mathematics) of these quantities
 - Fundamental relations are postulated based on numerous experimental observations

The Electromagnetic Model

- ❖ Example for building a theory (cont'd)
 - EM quantities
 - ✓ source quantities → electric charge, (magnetic charge)
 - ✓ field quantities → electric field, magnetic field

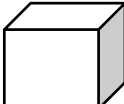
 - Charge
 - ✓ electric charge (q) : positive or negative integral multiples of an electron, $-e$
$$e = 1.6 \times 10^{-19} \quad (\text{C})$$
 - ✓ fundamental postulate : conservation of electric charge

The Electromagnetic Model

➤ volume charge density

✓ $\rho = \lim_{\Delta v \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta v}$ (C/m³) : smoothed-out average function

cf) $\Delta v \rightarrow$ small enough to represent an accurate variation of ρ
but large enough to contain a very large number of
discrete charges

ex)  $\rightarrow 1\mu\text{m}$ \longrightarrow In volume $\Delta v = 10^{-18}$ (m³)
 \rightarrow about 10^{11} atoms

The Electromagnetic Model

- Surface and line charge density

$$\rho_s = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta s} \quad (\text{C/m}^2)$$

$$\rho_l = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta l} \quad (\text{C/m})$$

cf) $\rho, \rho_s, \rho_l \rightarrow$ point function of space coordinates

- Current : the rate of change of charge with respect to time; not a point function

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (\text{C/s or A})$$

The Electromagnetic Model

- Current density function : vector point function
 - ✓ volume current density function \vec{j} = amount of current flowing through a unit area normal to the direction of current flow
 - unit: A/m²
 - direction: current flow direction
 - ✓ surface current density \vec{j}_s = current per unit width into direction of current flow
 - unit: A/m
 - direction: current flow direction

- Vector field quantities

\vec{E} : electric field intensity (V/m)

\vec{D} : electric flux density (electric displacement) (C/m²)

\vec{B} : magnetic flux density T (wb/m²) = 10⁴ Gauss

\vec{H} : magnetic field intensity (A/m)

SI Unit and Universal Constants

- ❖ SI: MKSA system

(Meter, Kilogram, Second, Ampere)

- ❖ Constant

$$c \cong 3 \times 10^8 \text{ (m/s)}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}, \quad \epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} \text{ (F/m) : permittivity}$$

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}, \quad \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ (H/m) : permeability}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \text{ (m/s)}$$

SI Unit and Universal Constants

➤ E (field intensity) : V/m

➤ Potential V : unit charge 를 옮기는데 드는 일

$$[V] = \vec{F} \times \text{거리}$$

✓ $N \times m / C$:

$$\left\{ (\text{kg} \times \text{m} / \text{s}^2) \times \text{m} \right\} / (\text{A} \times \text{s}) = \text{kg} \times \text{m}^2 / \text{A} \times \text{s}^3 \quad (\text{C} = \text{A} \times \text{s}, \text{N} = \text{kg} \times \text{m} / \text{s}^2)$$

전자장의 이해와 그 응용분야

1. 전자장이란 무엇인가

❖ 전자장의 특성

(1) 전자장 (Eelectromagnetic Fields : EMFs)

전기장과 자기장의 합성어이며 송·배전선, 전기제품 등 전기를 사용하는 모든 것으로부터 발생됨.

(2) 전기장은 발생원으로부터 수직방향으로 직선형태로 발생되며 나무, 건물, 사람의 피부 등에 의하여 쉽게 제거되거나 약해짐

(3) 자기장은 발생원을 중심으로 원형으로 형성되는 특성을 가지며 어떤 물체나 재료 등에 의해 쉽게 제거 혹은 약해지지 않는 특성을 보임.

1. 전자장이란 무엇인가

❖ 전기장과 자기장의 특성 비교

구분	전기장	자기장
발생원	전하 또는 전압차에 의해 발생	전류에 의해 발생
측정단위	단위 전하당 힘 N/C 단위길이당 전압 V/m, kV/m	가우스(G) 또는 테슬라(T) 또는 단위길이당 전류 mA/m 1mG=0.1mT=800mA/m
차폐물질	금속이나 건물 같은 물체에 의해 쉽게 차폐, 약해짐	어떤 물체라도 쉽게 차폐시키거나 약화시키기 어려움
거리감쇠	발생원으로부터 거리가 멀어질수록 급격히 감소	

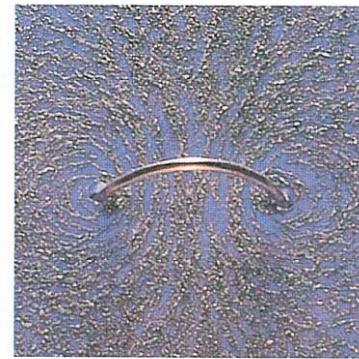
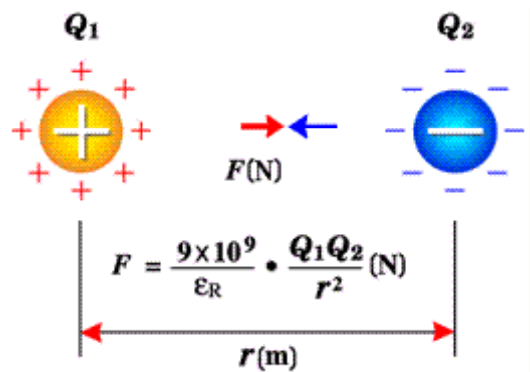
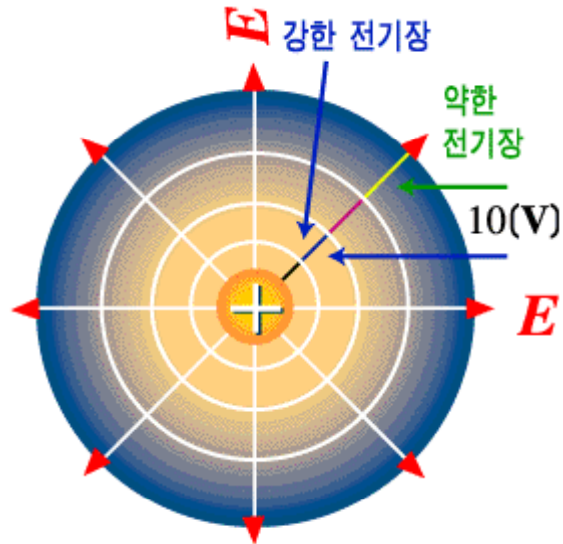
1. 전자장이란 무엇인가

❖ Electromagnetic Wave Historical Advancement

순위	년 대	국 가	발견 및 실험 내용
1	인류가 최초 발견 기원전 약 500년	그리스	호박을 마찰하면 물체를 잡아당기는 성질 발견
2	1492년	이탈리아	Columbus, 자기 컴퍼스 이용 항해
3	1600년	영국	영국의 의사 Giber, “지구는 커다란 자성체” 논문발표
4	1785년	프랑스	Coulomb, “쿨롬에 법칙
5	1820년	덴마크 프랑스	Oersted, 전류원 자기 현상 발견 Biot-savart, “비오사바르 법칙”
6	1822년	프랑스	Ampere, “Ampere법칙”
7	1831년	영국	Faraday, Faraday의 전자유도 법칙 발견
8	1864년	영국	Maxwell, 변위전류 개념을 도입 전계, 전자계, 전하 관계를 정리하여 Maxwell방정식 수립 : “전기장의 역학적 이론” 논문 발표
9	1888년	독일	Hertz, 전자파의 실증 실험
10	1895년	이탈리아	Marconi, 무선전신 실험 성공
11	1901년	이탈리아	Marconi, 대서양 횡단 교신 실험 성공

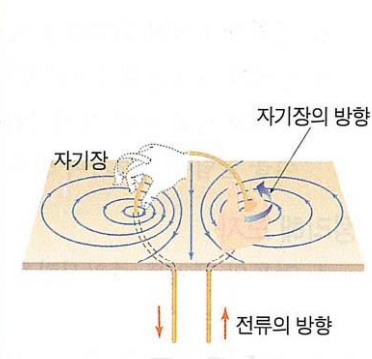
1. 전자장이란 무엇인가

❖ 전기장 및 자기장 이미지



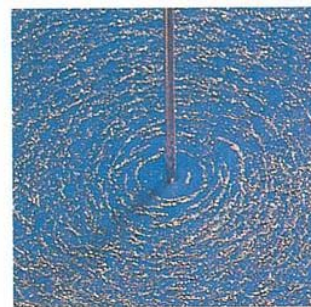
(가)

원형 전류에 의한 자기장



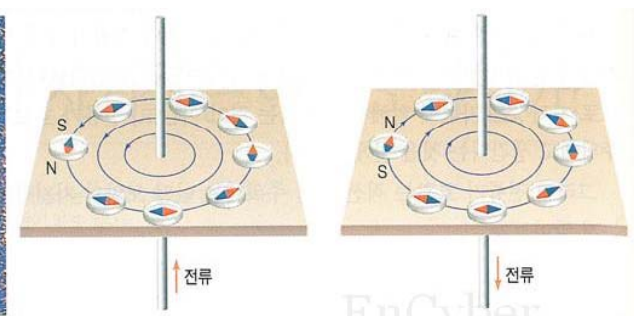
(나)

www.encyber.com



(가)

직선 전류에 의한 자기장



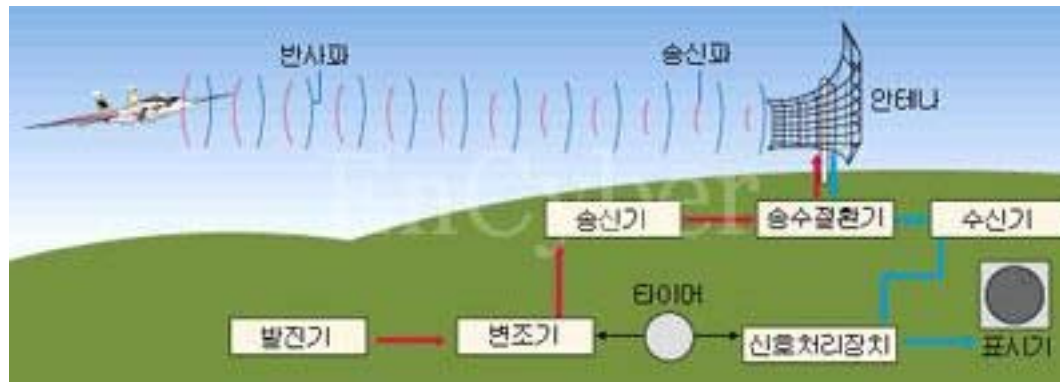
(나)

www.encyber.com

2. 전자장 응용 예

❖ 각국 정찰기 (레이더)

펄스레이더의 작동원리



[E-2C 호크아이]

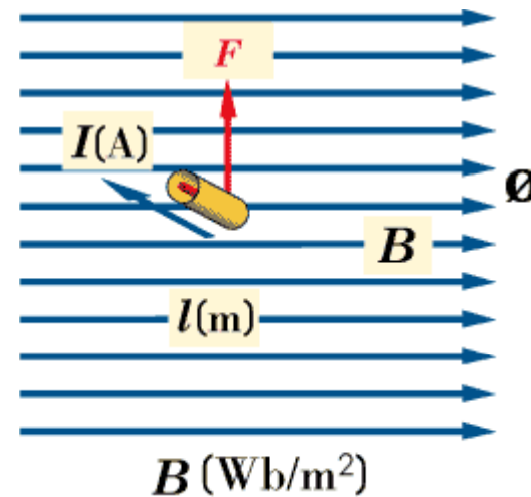
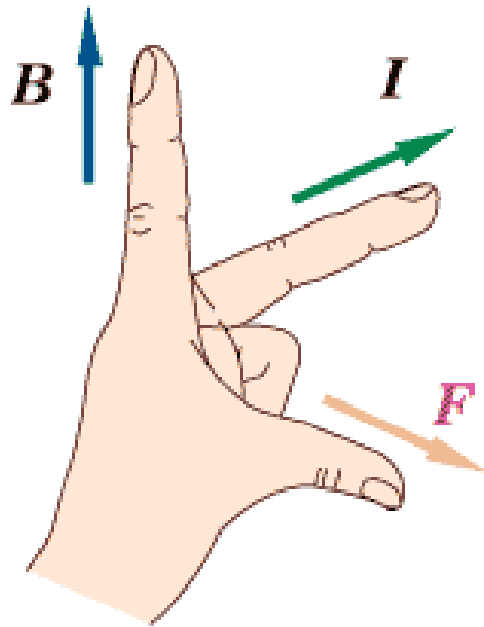


[E-3 센트리]

2. 전자장 응용 예

◀ 전자기 유도

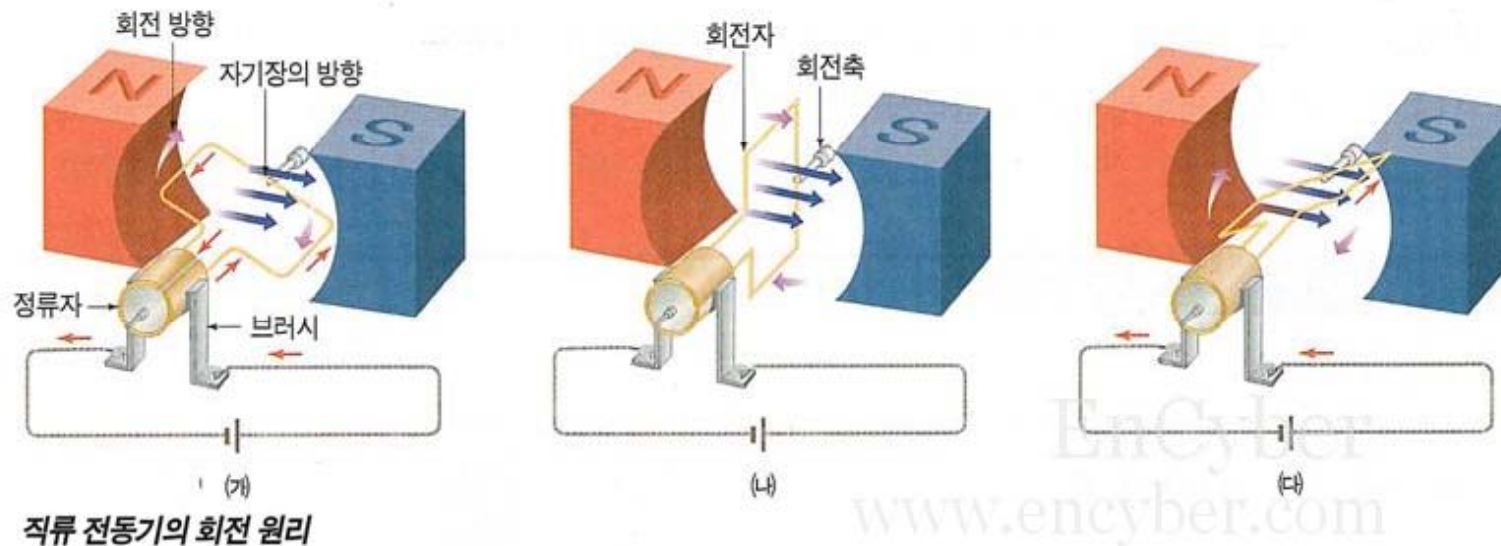
- 자기력선에 수직한 방향으로 도선이 움직일때 Lenz의 법칙에 의해 도선에 전류가 유기됨



2. 전자장 응용 예

▶ 전동기, 발전기의 원리

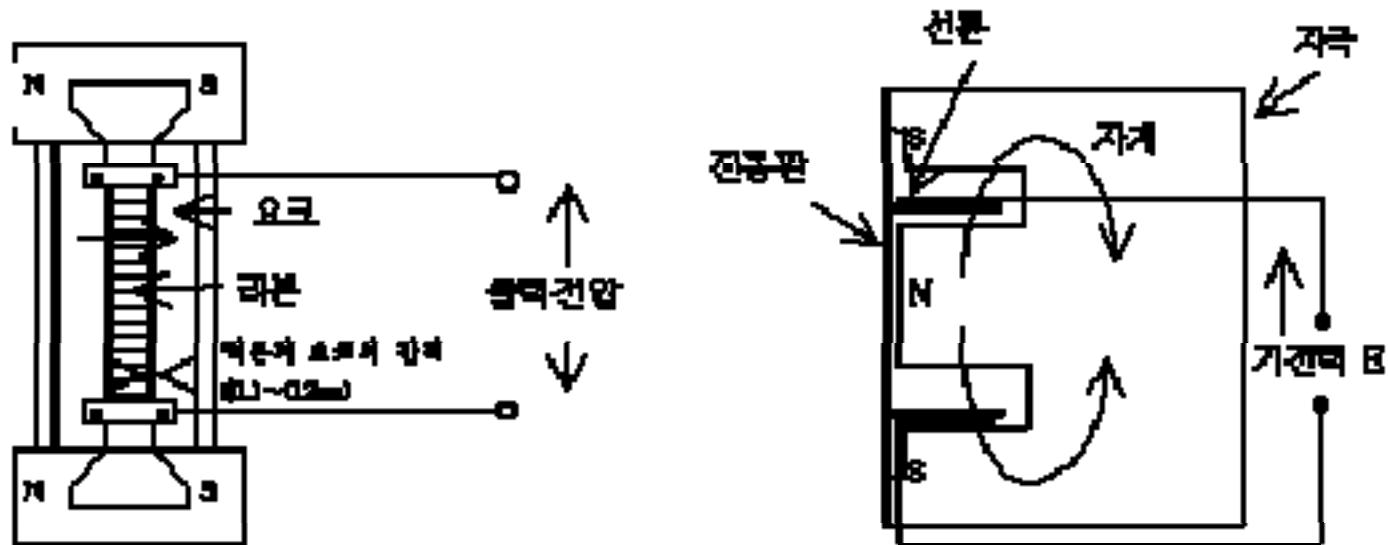
- ▶ 영구자석이나 전자석 사이에 직사각형의 코일을 설치하여 플레밍의 왼손 법칙에 의해 코일이 회전하게 됨
- ▶ 이 코일에 전류를 흘려주되 계속해서 같은 방향으로의 토크가 발생되도록 전류가 흐르는 방향을 정류자로 바꾸어 줌



2. 전자장 응용 예

◆ 마이크의 원리

- ▶ 음성신호 → 공기의 진동 → 코일의 수직 운동
→ 음성신호와 같은 전류가 코일에 유기
- ▶ 영구자석 사이에 코일을 설치하여 진동판의 운동에 의해 기전력이 발생



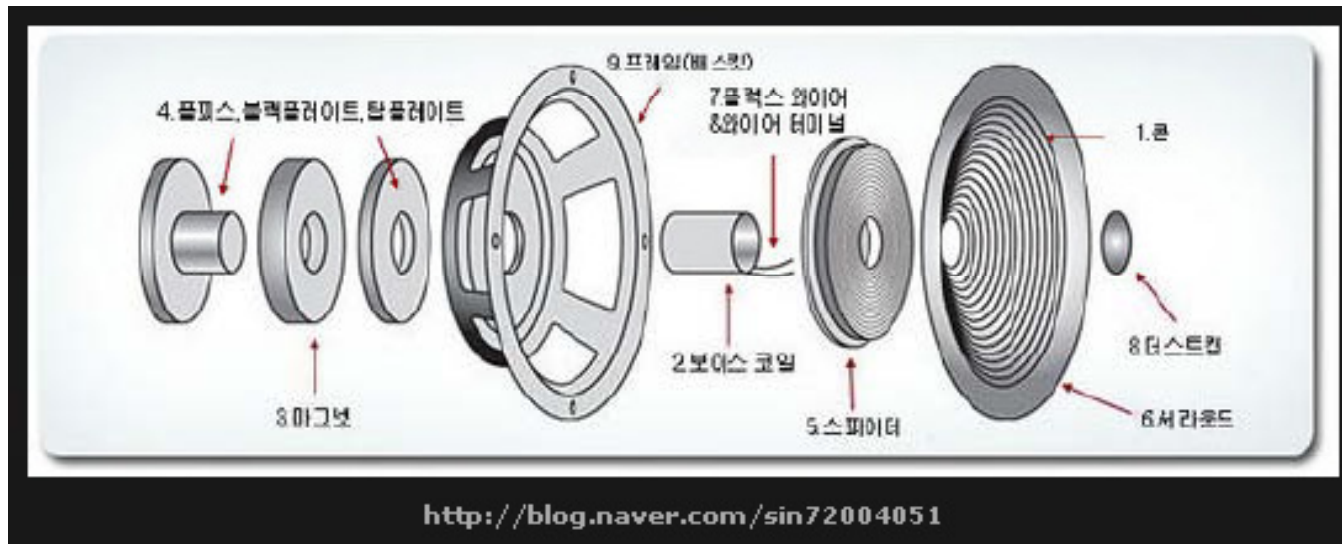
2. 전자장 응용 예

스피커

음파가 전류로 변환되어 보이스 코일에 인가

전류와 자석의 상관관계에 의해 유도된 magnetic force로 보이스 코일이 앞뒤로 진동

보이스 코일에 연결된 콘이 진동하여 공기의 진동을 만들어냄

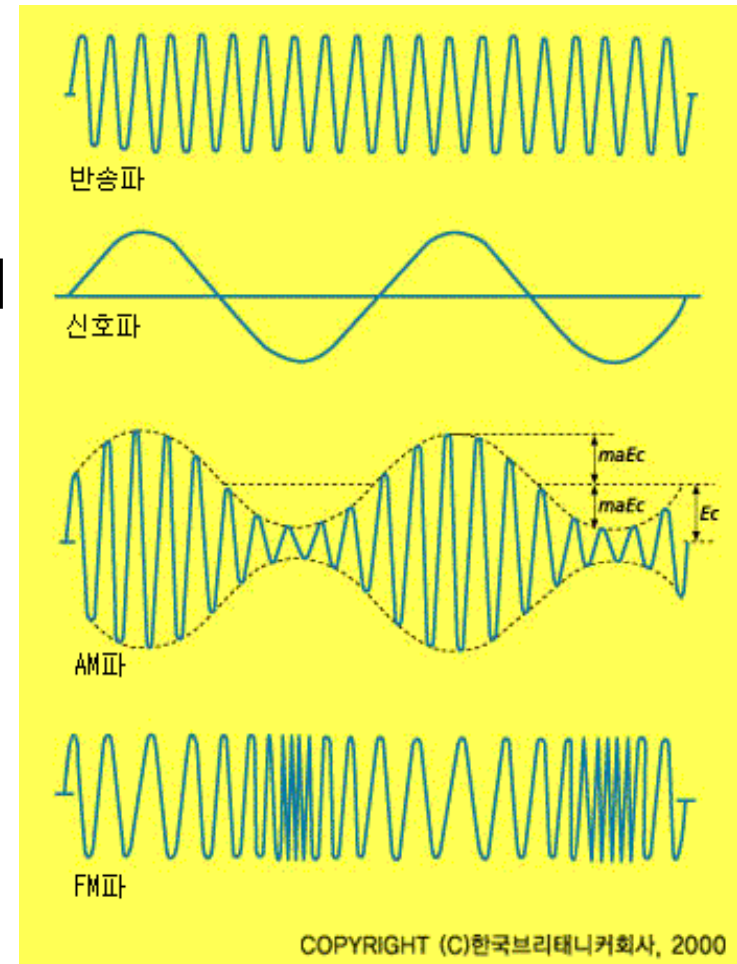


2. 전자장 응용 예

◀ 변조 (Modulation)

- 신호주파수대의 스펙트럼을 일정한 폭으로 분할하여 그 하나 하나에 다른 신호를 주어서 주파수분할다중전송
- 신호의 파장

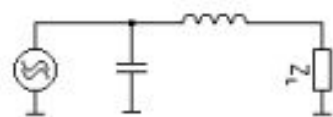
$$\lambda = \frac{c}{f}$$



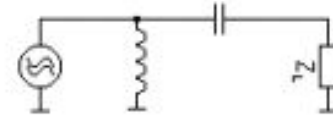
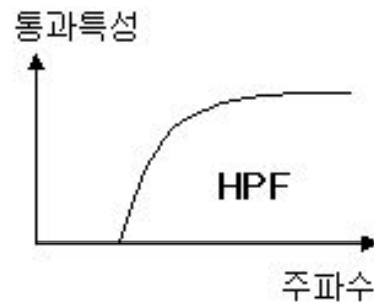
2. 전자장 응용 예

Filter

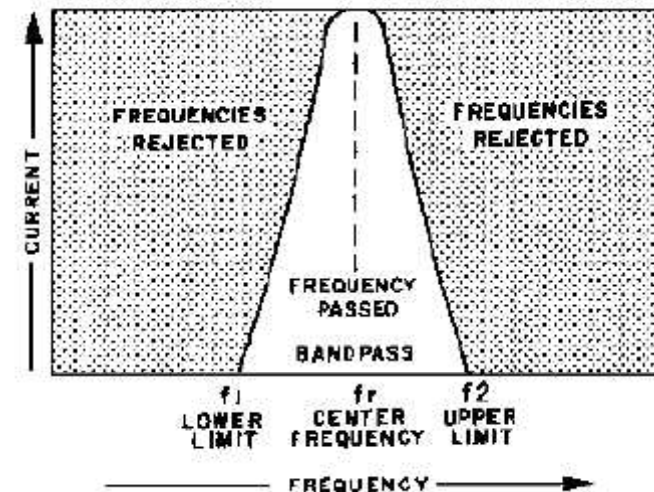
- 특정 주파수 대역을 선택적으로 수신



Low Pass Type



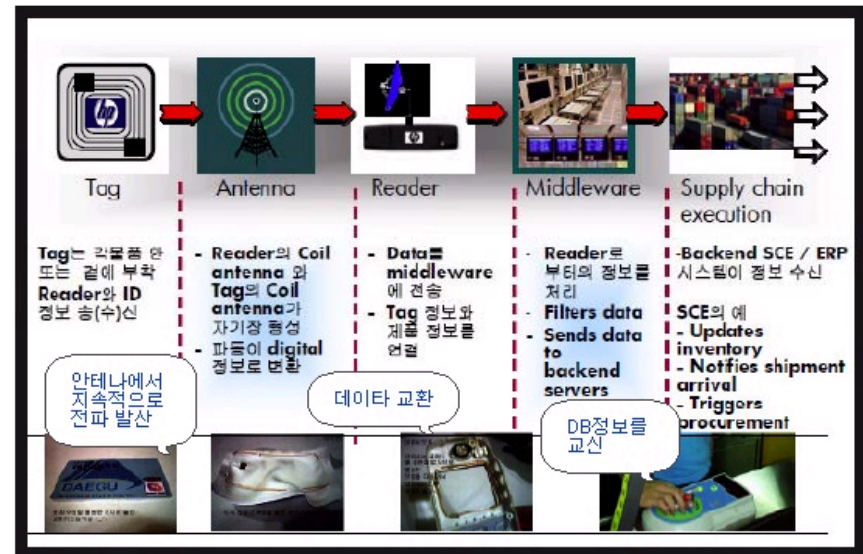
High Pass Type



2. 전자장 응용 예

❖ RFID (radio frequency identification)

- 소형 반도체 칩을 이용해 사물의 정보를 처리하는 기술
- 기존의 바코드를 대체할 차세대 기술로 평가 받고 있음
- 저주파/고주파 전파식별 시스템(짧은/먼 거리에서 사용), 수동식/능동식 (내부 전원의 유무)
- 적용 예시
 - ✓ 버스카드, 매장의 도난 방지용 Tag, 고속도로 자동 요금 징수기, 회사 출입카드 등
- 동작원리
 - ✓ RFID 판독기 안테나에서 지속적인 전파 발생
 - ✓ ID와 데이터가 저장된 태그가 전파의 범위 안으로 이동
 - ✓ 태그가 데이터를 안테나로 전송
 - ✓ 판독기에서 태그의 정보를 파악하여 네트워크로 연결된 DB 정보를 교신

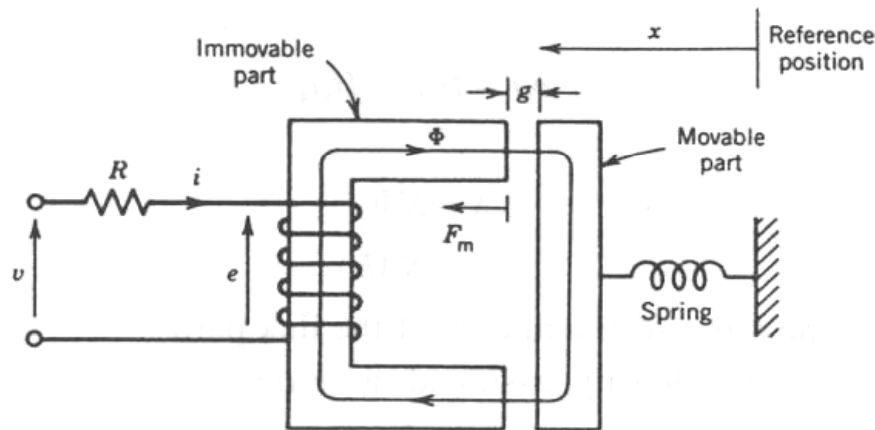


2. 전자장 응용 예

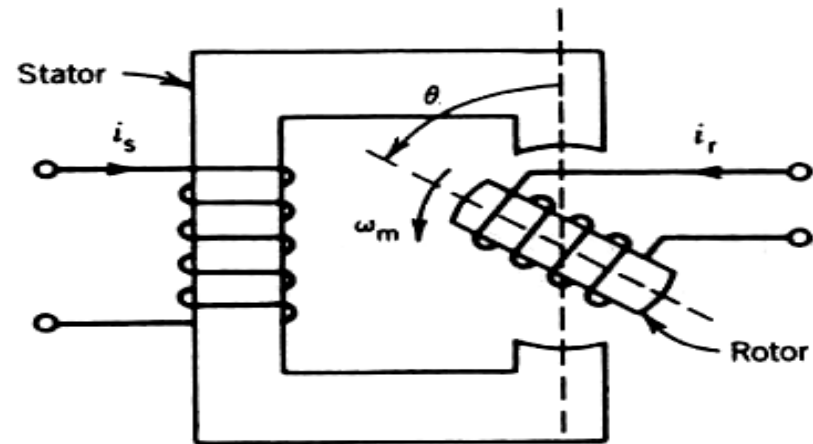
전자기 응용 분야

전기에너지 변환 :

전기에너지(I) → 자기에너지(Φ) → 운동에너지(F)



☞ 직선운동으로의 변환 (선형전동기, Linear Motor)



☞ 회전운동으로의 변환 (회전기, MOTOR)

2. 전자장 응용 예

전기 기기 (Electrical Machinery)

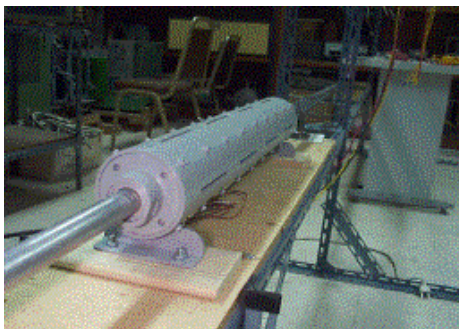
리니어 모터, 특수 모터, 전기자동차용 회전기, 초고속 모터,
변압기 등 다양한 전기기기의 설계



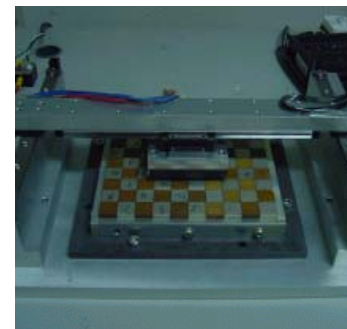
x-y 다축 구동용 리니어 모터
반도체 장비용



고속 리니어 모터



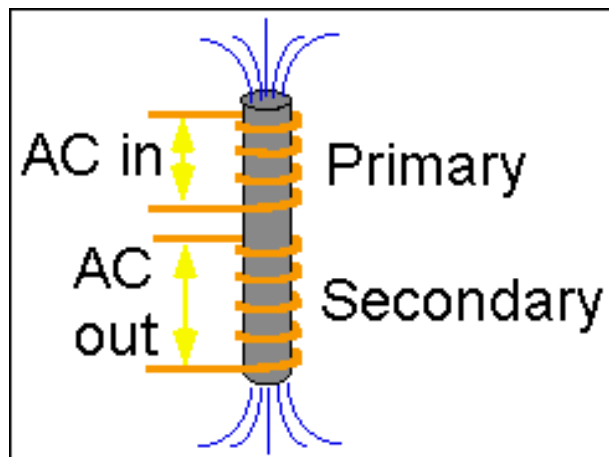
지하철 문 개폐용 선형 유도기



평면 모터 (반도체장비)

2. 전자장 응용 예

❖ Transformer

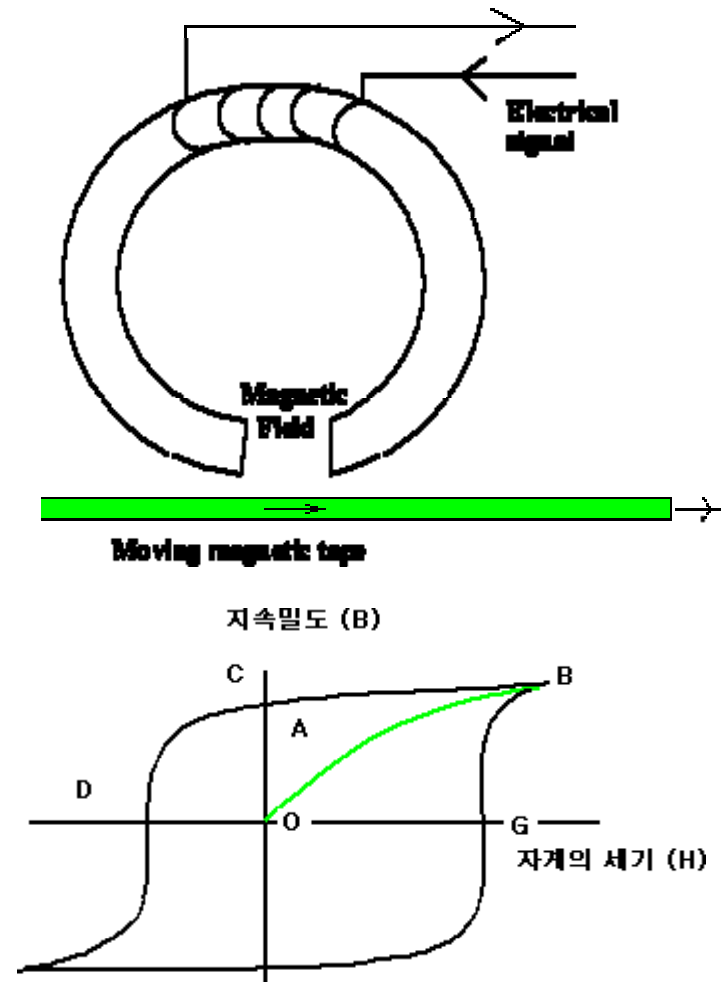


- A transformer is an electrical device used to convert AC power at a certain voltage level to AC power at a different voltage, but at the same frequency.
- The construction of a transformer includes a ferromagnetic core around which multiple coils, or windings, of wire are wrapped.

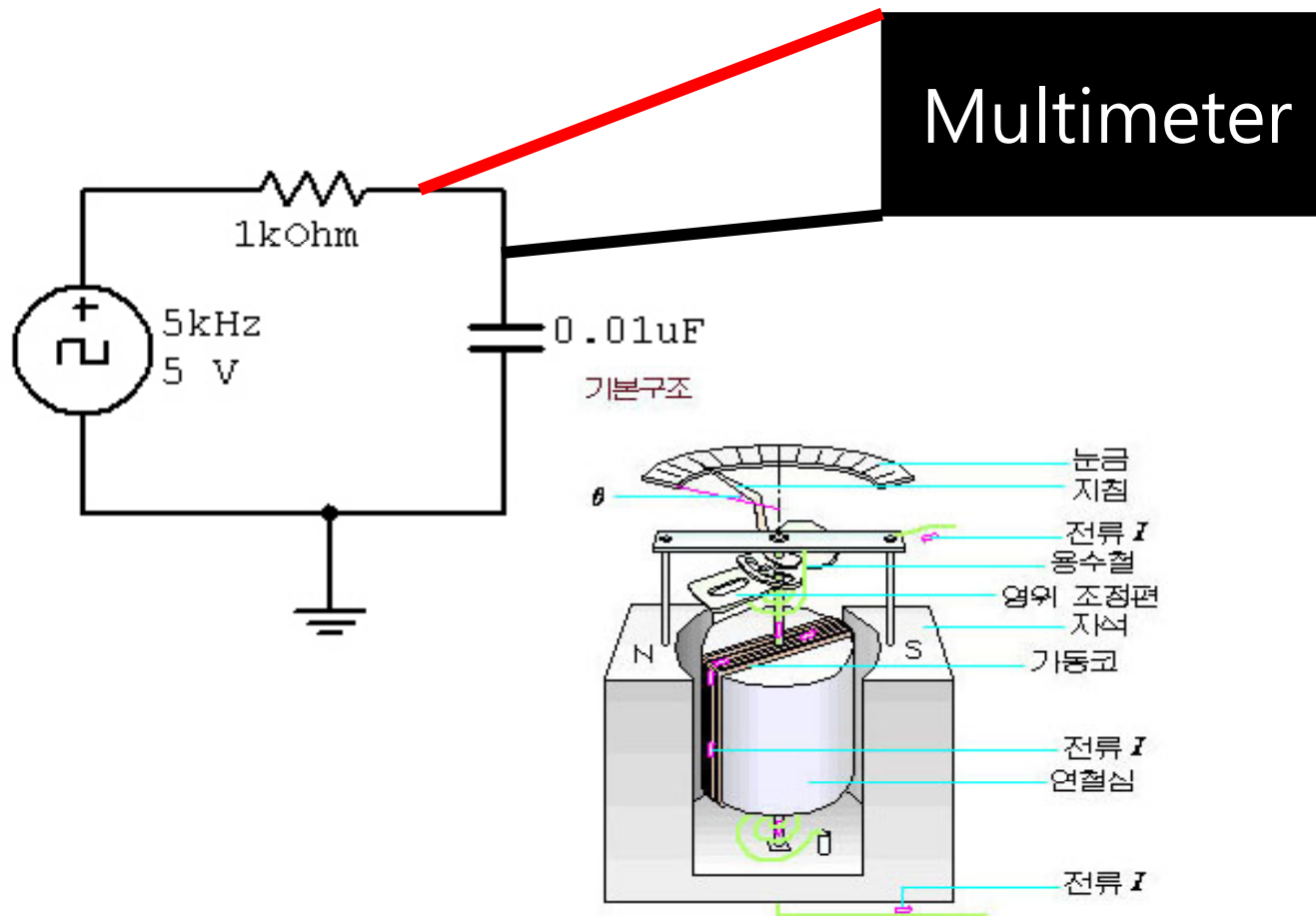
2. 전자장 응용 예

❖ Magnetic tape reader

- A magnetic tape reader takes the information from a magnetic tape and converts it into an electrical signal
- A magnetic tape is passed underneath the reader, which causes a magnetic field to be induced through the plane of the wire loops.



2. 전자장 응용 예



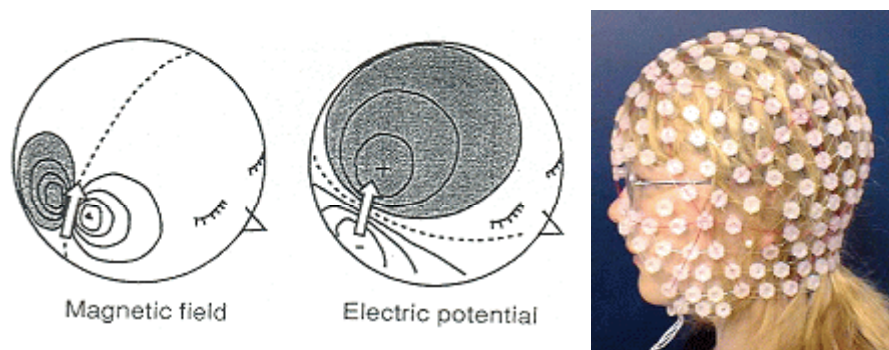
가동코일에 전류가 흐를 때 생기는 전자기력에 의하여 지침이 움직인다 이때 지침이 가리키는 눈금이 전류의 크기이다

2. 전자장 응용 예

전자기 응용 분야

❖ 전자파 수치해석 :

뇌전도(EEG) 및 뇌자도(MEG) 분석을 통한 뇌질환 검사, 각종 전자제품 및 소자에 영향을 주는 전자파 장애 연구



뇌파의 분포 및 뇌파측정 예
(뇌전도 측정전극)

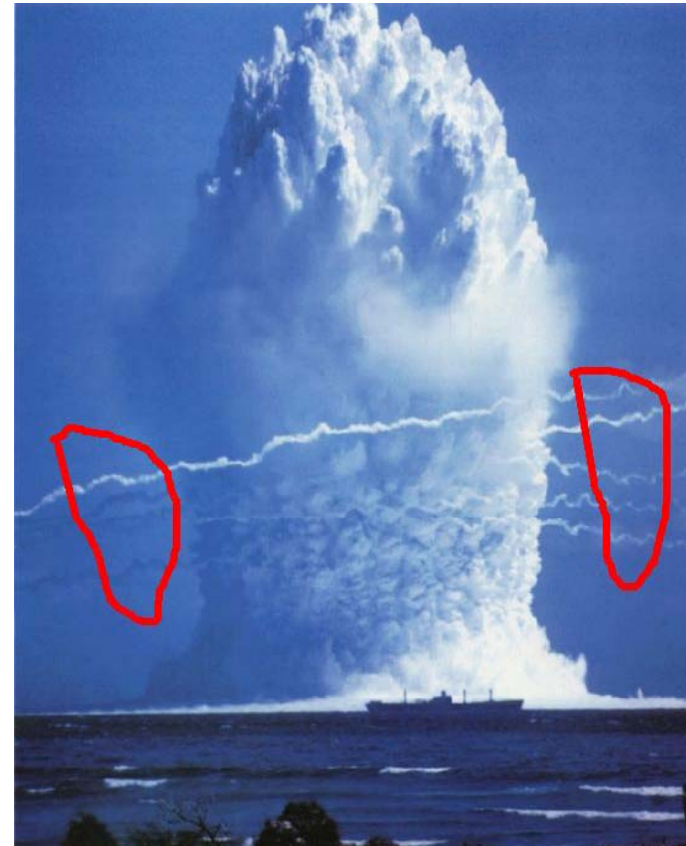


EMP (ElectroMagnetic Pulse)
→ 회로 및 전파장애

2. 전자장 응용 예

❖ Electro Magnetic Pulse

- ▶ 핵폭발에 의해 발산된 감마선 광자가 원자핵과 전자에 에너지를 공급
- ▶ 질량이 작은 전자에게는 상당히 많은 에너지를 가하는 반면에 상대적으로 질량이 상당히 큰 원자핵은 거의 에너지를 받지 못하게 됨
- ▶ 음전하를 띤 전자와 양전하를 띤 원자핵은 플러스, 마이너스로 분극
- ▶ 위 과정에 의해 유기된 전기장에 수직인 방향으로 자기장이 유기되어 강력한 에너지를 가진 E-M wave가 공기를 매개로 propagation됨



2. 전자장 응용 예

❖ 자기공명영상법 [magnetic resonance imaging / MRI]

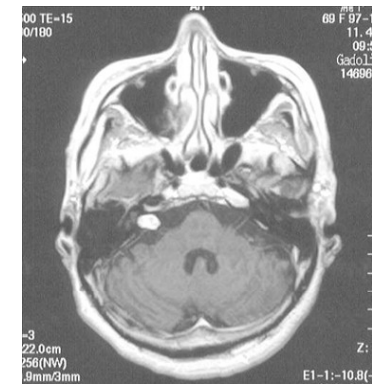
- ▶ 자력에 의하여 발생하는 자기장을 이용하여 생체의 임의의 단층상을 얻을 수 있는 첨단의학기계, 또는 그 기계로 만든 영상법

원자핵(평소 회전운동) → 세차운동(강한 자기장)
 세차운동의 속도 → 자기장이 셀수록 빨라짐

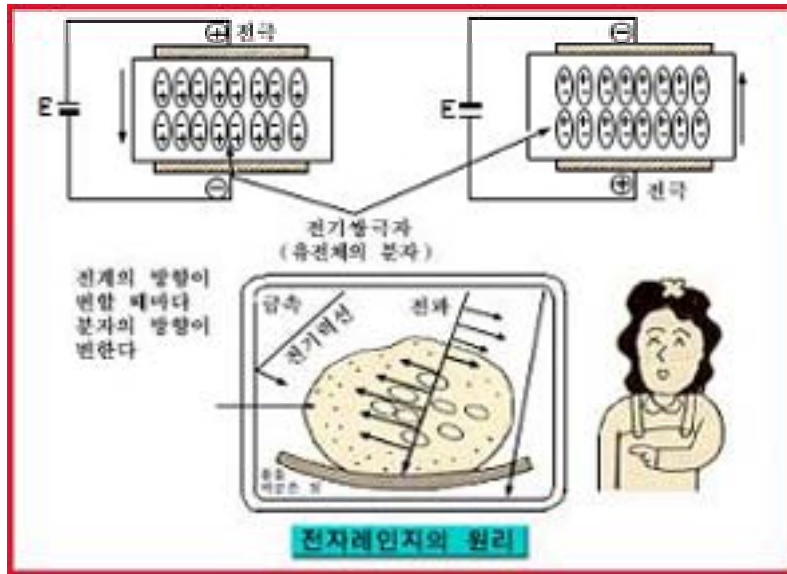
이렇게 자화되어 있는 원자핵에 고주파를 가하면 고에너지 상태, 다시 고주파를 끊으면 원래의 상태로.

이때 방출되는 에너지는 가했던 고주파와 똑같은 형태의 고주파를 방출 이렇게 원자핵이 고유하게 방출되는 고주파를 예민한 안테나로 모아서 컴퓨터로 영상화한 것이 MRI이다.

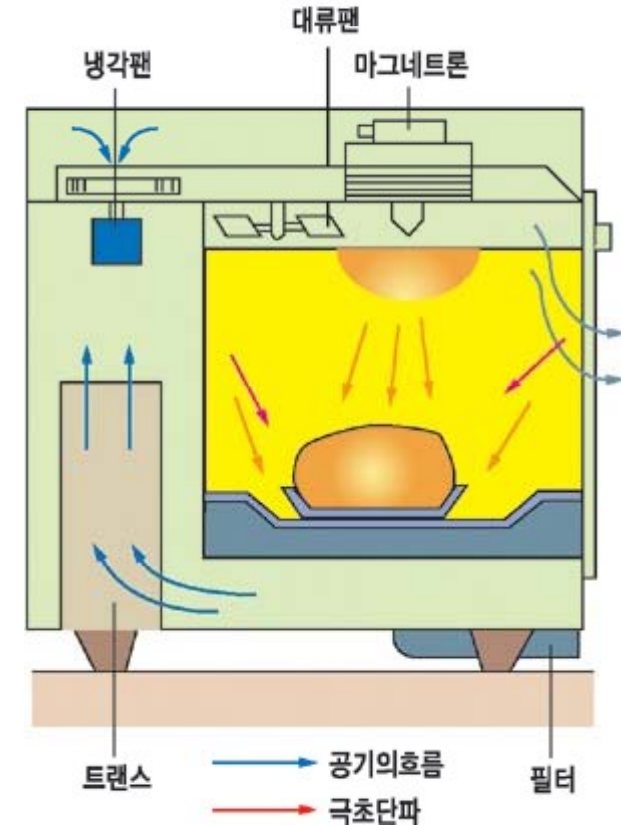
즉, 인체를 구성하는 물질의 자기적 성질을 측정하여 컴퓨터를 통하여 다시 재구성, 영상화하는 기술이다.



2. 전자장 응용 예



전자레인지 유전가열의 원리







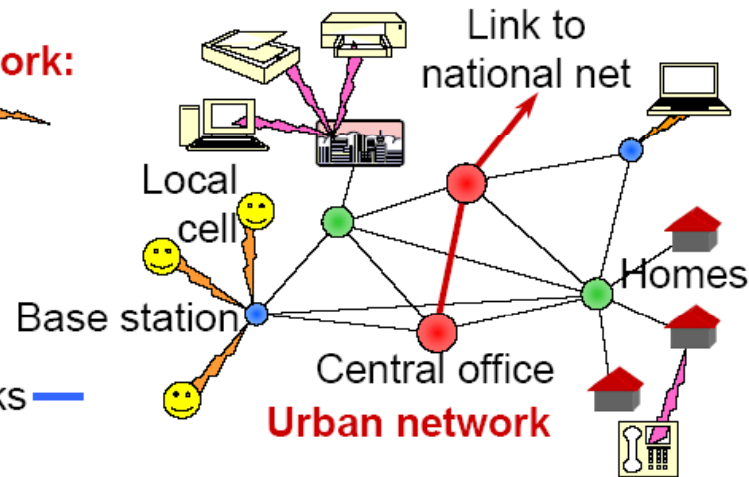
- 마그네트론에서 빠른 주기를 가지는 전자파를 송출
- 전기적으로 절연체인 음식의 구성 분자들이 전자파에 의해 쌍극자로 전이
- 빠른 주기에 의해 분자들의 극성이 변하면서 회전하여 마찰열에 의해 음식이 데워짐

2. 전자장 응용 예


WIRELESS COMMUNICATION IS UBIQUITOUS

Local Telecommunications Network:

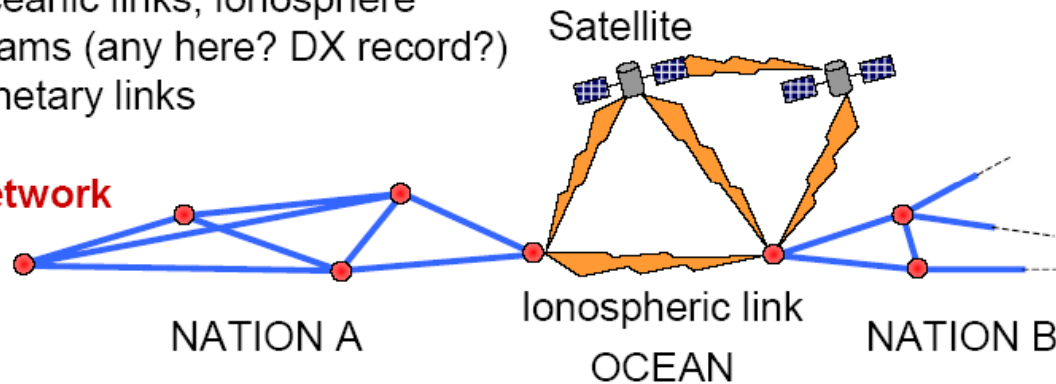
- Cell phones (who has one?) 
- Wireless phones, data 
- Wires, coaxial cables 
- Optical fibers 



Other Communications Links:

- Microwave and optical fiber links 
- International satellite links
- Transoceanic links, ionosphere
- Radio hams (any here? DX record?)
- Interplanetary links

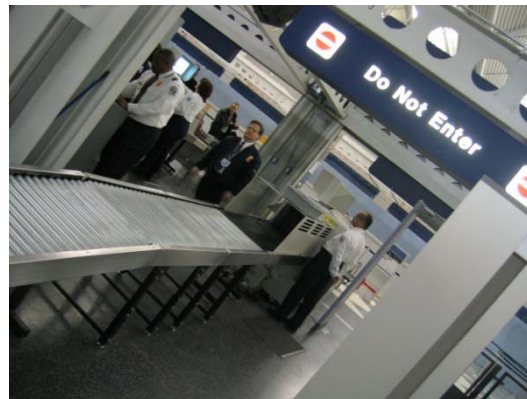
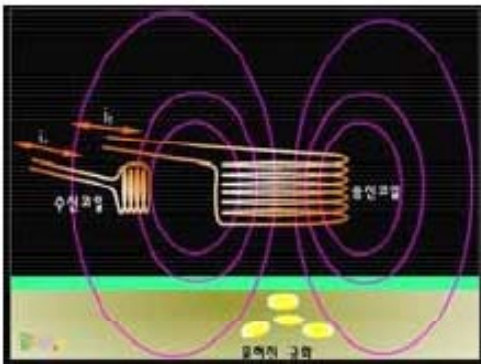
National Network



2. 전자장 응용 예

❖ 금속탐지기, 지뢰탐지기(전자기유도현상을 이용)

1. 금속 탐지기 속에는 교류전류가 흐르는 코일
2. 교류전류(전류의 방향이 일정한 시간마다 계속 변화)
3. 교류전류가 코일 주변에 만드는 자기장은 전류의 방향이 바뀔 때마다 변화
4. 만약 이 변화하는 자기장 속에 금속이 들어오면, 전자기유도 현상에 의해 금속 내부에 전류가 발생
5. 이 전류는 약간의 자기장을 만들어내고, 그 자기장 변화는 금속탐지기 내의 수신 코일에 전류를 발생
6. 따라서 주변에 금속으로 된 지뢰가 있는지 없는지를 수신 코일에 흐르는 전류량을 통해 확인



3. Summary

❖ 전자장이란?

- 전기장 : 공간상의 한 전하가 다른 전하에 작용하는 힘
- 자기장 : 전하가 움직일 때 그 주위로 회전하는 방향으로 미치는 힘

❖ 시변 맥스웰 방정식에서 알 수 있듯이 전기장과 자기장은 서로를 수직한 방향으로 유기하며 매질 내를 전파

❖ 전자장은 앞으로 배울 모든 전자공학의 근간이 되는 전하와 자기의 흐름을 수식을 통하여 설명하는 가장 중요한 과목