<081027 mon>
9주차

1 장 전자파의 기초이론.

* 전자기학 취급 물질.

물질에 따라

부도체.	반도체.	도체
‖	‖	‖
유전체.	도전율이 σ인 매질	자성체
↓		↓
전계 $\mathbb{E}$		자계 $\mathbb{H}$
전위		자위

전자기학

분극 $\mathbb{D} = \varepsilon_0 \mathbb{E} + \mathbb{P}$

$\nabla \cdot \mathbb{D} = \rho$

(분극현상)

C

$\mathbb{B} = \mu_0 \mathbb{H} + \mathbb{M}$

$\nabla \cdot \mathbb{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$

$\nabla \cdot \mathbb{B} = 0$ (자기 분극)

L

정전계.

$$\oint \mathbb{E} \cdot d\mathbb{l} = 0 \qquad \mathbb{E} = -\nabla V \ , \quad \nabla \times \mathbb{E} = 0$$

$$\nabla \circ \mathbb{E} = \rho/\varepsilon_0 \Rightarrow \int \mathbb{E} \cdot ds = Q/\varepsilon_0$$

정자계

$$\begin{cases} \text{자석} & \oint \mathbb{H} \cdot d\mathbb{l} = 0 \\ \text{전류} & \oint \mathbb{H} \cdot d\mathbb{l} = nI \qquad \nabla \times \mathbb{H} = \mathbb{J} \end{cases}$$

Q . electronic charge

$$\mathbb{F}_Q = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \cdot \mathbb{R}$$

$$= Q_1 \cdot \mathbb{E}$$

$$\mathbb{E} = \mathbb{F}/Q = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \cdot \mathbb{R}$$

$$= -\nabla V$$

$$V = Q/4\pi\varepsilon_0 r$$ electronic potential

$$= -\oint \mathbb{E} \cdot dl$$

$$\oint \mathbb{E} \cdot dl = 0$$

Electrostatic Field 정전계.

m . magnetic charge.

$$\mathbb{F}_m = \frac{m_1 m_2}{4\pi\mu_0 r^2} \mathbb{R}$$

$$= m_1 \cdot \mathbb{H}$$

$$\mathbb{H} = \mathbb{F}/m_1 = \frac{m_2}{4\pi\mu_0 r^2} \cdot \mathbb{R}$$

$$= -\nabla V_m$$

$$V_m = m/4\pi\mu_0 r$$ magnetic potential.

$$= -\oint \mathbb{H} \cdot dl$$

$$\oint \mathbb{H} \cdot dl = 0$$

Magetrostatic Field. 정자계

유전체 ← $\mathbb{E}$

< polarization > 발생

electric dipole 생성 → $\mathbb{P}$

$$\begin{cases} \mathbb{D} = \varepsilon_0 \mathbb{E} + \mathbb{P} \\ \nabla \cdot \mathbb{D} = \rho \end{cases}$$

$\oint \mathbb{D} \cdot ds = Q$ [$\Rightarrow \oint \mathbb{E} \cdot ds = Q/\varepsilon_0$]

선전하 $\mathbb{E} = \rho_l / 2\pi\varepsilon_0 r \cdot \bar{\mathbb{R}}$

면전하 $\mathbb{E} = \rho_s / 2\varepsilon_0 \ \bar{n}$

자성체 ← $\mathbb{H}$

< magnetization > 발생.

자기분극

Magnetic dipole 생성 → $\mathbb{M} = \mathbb{P}_m$

$\mathbb{B} = \mu_0 \mathbb{H} + \mathbb{M}$

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

$\oint \mathbb{B} \cdot ds = 0$ [$\Rightarrow \oint \mathbb{H} \cdot ds = 0$]

$\oint \mathbb{H} \cdot dl = nI.$

1. 1 전하의 보존 법칙

$$\oint \mathbb{J} \cdot ds = - \partial Q / \partial t$$

$$= - \partial / \partial t \int \rho \, dv \qquad \text{by 발산 정리.}$$

$$\int \nabla \cdot \mathbb{J} \, dv = - \frac{\partial}{\partial t} \int \rho \, dv \qquad : \text{전하의 보존 법칙}$$

$$\nabla \cdot \mathbb{J} = - \partial \rho / \partial t \qquad : \text{전류의 연속 법칙.}$$

$$\langle \nabla \cdot \mathbb{J} = 0 \rightarrow \text{steady} \rangle$$

1.2 Maxwell 방정식.

$$\begin{cases} \nabla \times \mathbb{E} = -\partial \mathbb{B} / \partial t \\ \nabla \times \mathbb{H} = \mathbb{J} + \dfrac{\partial \mathbb{D}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \mathbb{J} = -\dfrac{\partial \rho}{\partial t} \end{cases}$$

보조 방정식

$$\mathbb{D} = \varepsilon_0 \mathbb{E}$$

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

$$\mathbb{J} = \sigma \cdot \mathbb{E}$$

where, $\varepsilon_0 . \mu_0 \ \sigma$ → 매질에 의해 결정.

1) linear isotropic matial (선형 등방성 매질.)

: ε, μ, σ 가 $\mathbb{E}$, $\mathbb{H}$ 의 크기와 방향에

관계없이 일정한 매질.

$\mathbb{D} = \varepsilon \mathbb{E}$, $\mathbb{B} = \mu \mathbb{E}$, $\mathbb{J} = \sigma \mathbb{E}$

2) linear anisotropic medium (선형 비등방성 매질.)

: ε. μ. σ 가 $\mathbb{E}$. $\mathbb{H}$ 의 방향에 따라 변화.

$$\begin{bmatrix} D_x \\ D_y \\ D_z \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix}}_{\text{유전율 tensor 양}} \begin{bmatrix} \mathbb{E}_x \\ \mathbb{E}_y \\ \mathbb{E}_z \end{bmatrix}$$

$$= [\varepsilon] \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix}$$

3) nonlinear Medium 비선형 매질

: ε, μ, σ 가 $\mathbb{E}$, $\mathbb{H}$ 의 크기에 따라 변화

$$\mathbb{B} = \mu(\mathbb{H}) \cdot \mathbb{H}$$

4) homogeneouse medium

non - homogeneouse medium

5) 단순 매질

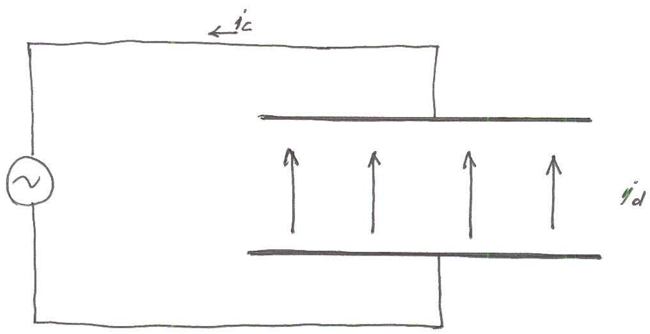
= linear isotropic homogeneous 인 매질

< 081028 화 > 9th

복습
$$\begin{cases} \nabla \cdot \mathbb{J} = -\partial \rho / \partial t \\ \nabla \times \mathbb{E} = -\partial \mathbb{B} / \partial t , \quad \nabla \times \mathbb{H} = \mathbb{J} + \partial \mathbb{D} / \partial t \\ \langle \mathbb{D} = \varepsilon_0 \mathbb{E} , \quad \mathbb{B} = \mu_0 \mathbb{H} , \quad \mathbb{J} = \sigma \mathbb{E} \rangle \end{cases}$$

1.3 변위 전류.

전류
- 도전 전류 → $\mathbb{J} = \rho \mathbb{W}$
  - (전해액, 전이체 내에서 + 이온, − 이온의 전계의 작용으로 한점에서 다른 점으로 이동하여 형성되는 전류.)
- 대류 전류
  - 도전 전류, 대류 전류 → $\mathbb{J} = \sigma \mathbb{E}$ → 금속과 같은 고체 내에서 자유전하가 운반하는 입자로 가본 전류.
- 변위 전류 → { 축전기의 양극판에 유도에 의한 전하 축적이 시간에 따라 변화함으로써 형성되는 전류 }



i_c = 도전전류 (도체에서 흐르는 전류)

- 전하의 이동에 의한 전류 $i_c = \frac{dQ}{dt} = C\frac{dV_c}{dt} = \frac{S \cdot dD}{dt}$ [A]

i_d = 변위전류 (유전체에 흐르는 전류)

- 전속 밀도의 시간적인 변화에 의한 전류.

$$i_d = i_c/S = \varepsilon \frac{dE}{dt} = \frac{dD}{dt} \quad [A/m]$$

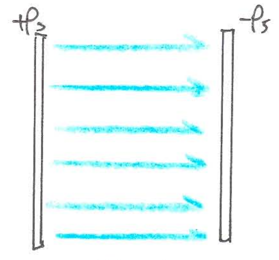
$$V_c = V_0 \sin \omega t$$

$$i_c = C \cdot \frac{dV_c}{dt} = V_0 \cdot C \cdot \omega \cdot \cos \omega t$$

$$\left(C = \varepsilon \frac{A}{d} = \varepsilon \frac{S}{d} \right)$$

★ 면전하에 의한 전계.

$$\mathbb{E} = \frac{\rho_s}{2\varepsilon_0} \cdot \overline{n}$$



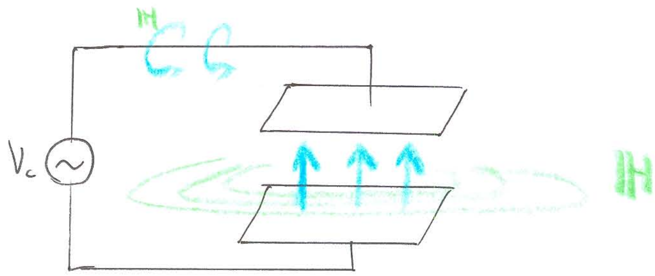
$\mathbb{E} = V/d$

$\cdot\ E \propto 1/d^2 = Q/4\pi\varepsilon d^2$

$\cdot\ V \propto 1/d = Q/4\pi\varepsilon d$

$I = \int i_c \, ds$ 전도

$I = \int i_d \, ds$ 변위



1.4 전자계의 페이저 표현.

* 순시치 (실시간 함수)

$$\vec{E}(x.y.z,t) = A_{(x.y.z)} \cos(\omega t + \phi) \cdot \bar{x}$$

* phasor

$$\mathbb{E}(x.y.z) = A(x.y.z)\, e^{j\phi} \cdot \bar{x}$$

= phasor Vector

= Complex Vector

where, ϕ $(t=0)$ 에서의 기준위상.

phasor를 실시간 함수로 변형

$$\mathbb{E}(x.y.z.t) = Re\left[\, \mathbb{E}(x.y.z)\, e^{j\omega t} \,\right]$$

* phasor 를 사용하여 전력의 시평균을 구하면 P_{avg}

$$\mathbb{E} = E_1 \cos(\omega t + \phi_1)\,\bar{x} + E_2 \cos(\omega t + \phi_2)\,\bar{y}$$

$$+ E_3 \cos(\omega t + \phi_3)\,\bar{z}$$

$R = 1\,\Omega$ 부하에서 시평균 전력 P_{avg}

$$P_{av} = \frac{1}{T}\int_0^T \mathbb{E}\cdot\mathbb{E}\,dt$$

$$= \frac{1}{T}\int_0^T \left[E_1^2 \cos^2(\omega t + \phi_1) + E_2^2 \cos^2(\omega t + \phi_2) + E_3^2 \cos^2(\omega t + \phi_3) \right] dt$$

$$= \frac{1}{2}\left[E_1^2 + E_2^2 + E_3^2 \right]$$

where, $\mathbb{E}$의 phasor 는,

$$\mathbb{E} = E_1 e^{j\phi_1}\cdot\bar{x} + E_2 e^{j\phi_2}\cdot\bar{y} + E_3 e^{j\phi_3}\cdot\bar{z}$$

$$= \frac{1}{2}\,\mathbb{E}\cdot\mathbb{E}^*$$

$$= \frac{1}{2} |\mathbb{E}|^2 = |\mathbb{E}|^2_{rms} = P_{av}$$

where, $|\mathbb{E}|_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} |\mathbb{E}|$

$$\underline{\nabla \times \mathbb{E} = -\frac{\partial \mathbb{B}}{\partial t}} \longrightarrow \underline{\nabla \times \mathbb{E} = -j\omega \mathbb{B}}$$

《 $\mathbb{E}(x, y, z, t)$ 》　　《 $\mathbb{E}(x, y, z)$ 》

1.5 매질의 성질

유전체 $\mathbb{D} = \varepsilon_0 \mathbb{E} + \mathbb{P}$

polarization

1. 유전체 선형 매질

$$\mathbb{P}_e = \varepsilon_0 \chi_e \mathbb{E}$$

$$\mathbb{D} = \varepsilon_0 \mathbb{E} + \varepsilon_0 \chi_e \mathbb{E}$$

$$= (\varepsilon_0 + \varepsilon_0 \chi_e)\mathbb{E} = \varepsilon \cdot \mathbb{E}$$

where, $\varepsilon = \varepsilon_0 (1 + \chi_e)$

where, χ_e = $\mathbb{E}$의 주파수에 따른..

전자운동에서 전하의 변위진동은

관성 때문에 제동을 받으므로, 전력손실 발생.

Complex.

$$\chi_e = \chi_e' - j\chi_e''$$

$$\therefore \varepsilon = \varepsilon_0 (1 + \chi_e' - j\chi_e'')$$

$$= \varepsilon' - j\varepsilon''$$

유전체 내에서 energy 손실 (Loss : 열)

2. 완전 유전체가 아니고 도전율 σ 를 갖는

(loss 유전체) 라면...

→ energy loss 는 전류가 흐르는 도체이므로

(by 1-1번 식)

$$\nabla \times \mathbb{H} = \mathbb{J} + j\omega \mathbb{D}$$

$$= \sigma \mathbb{E} + j\omega \cdot \varepsilon \mathbb{E}$$

$$= \sigma \mathbb{E} + j\omega \cdot (\varepsilon' - j\varepsilon'') \mathbb{E}$$

$$= \underbrace{(\sigma + \omega\varepsilon'')}_{\text{실효 도전율.}} \mathbb{E} + j\omega \underbrace{\varepsilon'}_{\text{실효 유전율.}} \mathbb{E}$$

where, $\sigma + \omega\varepsilon'' \rightarrow \sigma$ (등가 도전율)

$\varepsilon' \rightarrow \varepsilon$ 로 하면,

$$\therefore \nabla \times \mathbb{H} = \sigma \mathbb{E} + j\omega \cdot \varepsilon \mathbb{E}$$

$$= j\omega \varepsilon \left(\frac{\sigma}{j\omega\varepsilon} + 1 \right) \mathbb{E}$$

$$= j\omega \cdot \varepsilon_c \mathbb{E}$$

복소 유전율.

where, $\varepsilon_c = \varepsilon \left(1 + \sigma / j\omega\varepsilon \right)$

3. 유전체 손실량을 계산하면,

(by 1-22)

$$\nabla \times \mathbb{H} = (\sigma + \omega\varepsilon'')\mathbb{E} + j\omega\varepsilon'\mathbb{E}$$

$$= j\omega\left(\frac{\sigma}{j\omega} + \frac{\omega\varepsilon''}{j\omega} + \varepsilon'\right)\cdot\mathbb{E}$$

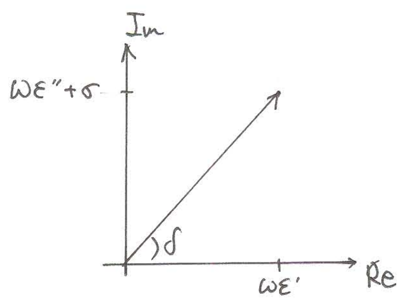
$$= j\omega\left(-j\frac{\sigma}{\omega} - j\varepsilon'' + \varepsilon'\right)\cdot\mathbb{E}$$

$$= j\omega\left(\varepsilon' - j\varepsilon'' - j\frac{\sigma}{\omega}\right)\cdot\mathbb{E}$$

$$= j\omega\left(\varepsilon' - j\cdot\left(\varepsilon'' + \frac{\sigma}{\omega}\right)\right]\cdot\mathbb{E}$$

$$= j\omega\left[\varepsilon' - j\cdot\left(\frac{\omega\varepsilon''+\sigma}{\omega}\right)\right]\cdot\mathbb{E}$$

$$= j\omega\varepsilon'\left[1 - j\left(\frac{\omega\varepsilon''+\sigma}{\omega\varepsilon'}\right)\right]\cdot\mathbb{E}$$



where,

허수항 "−j" 이므로 "loss"

loss tangent = tan(δ)

$$\therefore \tan(\delta) = \frac{\omega\varepsilon'' + \sigma}{\omega\varepsilon'} = \frac{허수값}{실수값}.$$

※ Cheng 책. 32Pp.

유전체 성질
1. ε
2. ε_r
3. loss tangent 로 표시.

★ 교재. 1-24 a) $\mathbb{B} = \mu_0 (\mathbb{H} + \mathbb{P}_m)$

↓

(1-26 식)

↳ 강자성체, ~

1.6은 다음시간에...