1장. 벡터

1. 스칼라곱 (dot product , 내적)

$\vec{A}\cdot\vec{B}=|A||B|\cos\Theta$

(벡터에서 각계산, A,B 수직조건 $\vec{A}\cdot\vec{B}=0$)

$\vec{A}\cdot\vec{B}=A_xB_x+A_yB_y+A_zB_z$

2. 벡터의 곱 (cross product , 외적)

$\vec{A}\times\vec{B}=|A||B|\sin\Theta$

$$\overrightarrow{i\quad j\quad k\quad i\quad j\quad k}\ +$$
$$-\ \overleftarrow{\qquad\qquad\qquad\qquad}$$

$$\vec{A}\times\vec{B}=\begin{vmatrix} i & j & k \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

$= (A_yB_z-A_zB_y)i+(A_zB_x-A_xB_z)j+(A_xB_y-A_yB_x)k$

3. 스칼라 함수의 기울기(gradint) ⇐ 경도 , 구배

grad V=▽V $= \frac{\partial V}{\partial x}i+\frac{\partial V}{\partial y}j+\frac{\partial V}{\partial z}k$

$\nabla = \frac{\partial}{\partial x}i+\frac{\partial}{\partial y}j+\frac{\partial}{\partial z}k$ ←(편미분함수)

4. 벡터의발산(DIVERGENCE)

$div\vec{E}=\nabla\cdot\vec{E} = \frac{\partial E_x}{\partial x}+\frac{\partial E_y}{\partial y}+\frac{\partial E_z}{\partial z}$

5. 벡터의 회전(ROTATION, CURL)

$$rot\vec{E}=Curl\vec{E}=\nabla\times\vec{E}=\begin{vmatrix} i & j & k \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & E_y & E_z \end{vmatrix}=0$$

6.LAPLACIAN (∇^2)

$div\ grad\ V=\nabla\cdot\nabla V=\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 V}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 V}{\partial z^2}$

7. 발산정리(면적적분 ⇄ 체적적분)

$\int_s \vec{E}ds=\int_v div\vec{E}dv=\int_v \nabla\cdot\vec{E}dv$

8. STOKES정리(선적분 ⇄ 면적적분)

$\int_l \vec{E}dl=\int_s rot\vec{E}ds=\int_s \nabla\times\vec{E}ds$

2장. 진공중 정전계

	전 계		자 계
전 하	Q [C]	자극	m [wb]
유전율	$\varepsilon = \varepsilon_0\varepsilon_s$[F/m] $\varepsilon_0 = 8.855\times10^{-12}$ [F/m]	투자율	$\mu=\mu_0\mu_s$[H/m] $\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}$ [H/m]
쿨롱의 법칙	$F=\frac{Q_1Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ [N]	쿨롱의 법칙	$F=\frac{m_1m_2}{4\pi\mu_0 r^2}$ [N]
전계의 세기	$E=\frac{F}{Q}$ [V/m] $=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$	자계의 세기	$H=\frac{F}{m}$ [AT/m] $=\frac{m}{4\pi\mu_0 r^2}$
전 위	$V=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$ [V]	자위	$U=\frac{m}{4\pi\mu_0 r}$ [AT]
전 속 밀 도	$D=\varepsilon E$[C/m²]	자 속 밀 도	$B=\mu H$[wb/m²]

1. 쿨롱의법칙(실험식) : 두 점전하간 작용력으로 힘은 항상 일직선상에 존재

2. 전계의세기(E): 전계내의임의의점에 "단위정전하(+1[C])"를 놓았을때 이단위 정전하에 작용하는 힘

3. 전위 $V=-\int_{\infty}^{r}Edl = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r} = E\cdot r$[V]

4. 전기력선의성질

① 전기력선은 정전하에서 시작하여 부전하에서 끝난다.
② 전기력선은 전위가높은곳에서 낮은곳으로 향한다.
③ 전기력선은 그 자신만으로 폐곡선이 되지 않는다.
④ 전기력선은 도체표면에서 수직으로 출입한다.
⑤ 서로다른 두 전기력선은 교차하지 않는다
⑥ 전기력선밀도는 그 점의 전계의 세기와같다.
⑦ 전하가없는 곳에서는 전기력선이 존재하지 않는다.
⑧ 도체내부에서의 전기력선은 존재하지 않는다.
⑨ 단위 전하에서는 $\frac{1}{\varepsilon_0}$개의 전기력선이 출입한다.

5. 전하의성질

① 전하는 "도체표면에만"존재한다.
② 도체 표면에서 전하는 (곡률이큰부분, 곡률 반경이작은 부분)에 집중한다.

6. 등전위면 : 전위가 같은 점을 연결하여 얻어지는면

① 서로 다른 등전위면은 교차하지않는다.
② 등전위면과 전기력선(전계의세기)은 수직 교차한다.

7. 전위경도 및 전위의 기울기

grad V =▽V=-E
↳전위경도와 전계의세기는 크기같고 방향이 반대이다.
↳ 전위(V)주어진경우 전계의세기(E)계산식.

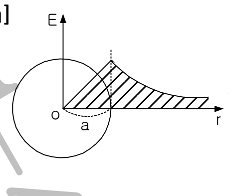
$E=-\nabla V=-\frac{\partial V}{\partial x}i-\frac{\partial V}{\partial y}j-\frac{\partial V}{\partial z}k$

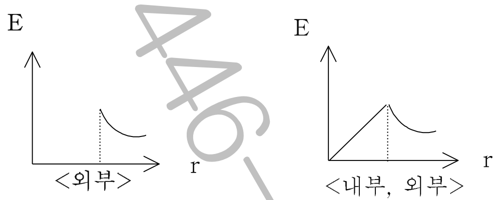
8. 가우스법칙(gauss law) ⇒ 임의의 폐곡면을 통하여 나오는 전기력선은 폐곡면내 전하총합의 $\frac{1}{\varepsilon_0}$배와 같다.

$\int_s E\ ds=\frac{Q}{\varepsilon_0}$ (전기력선수) $\int_s D\ ds=Q$ (전속선수)

9. 전계의 세기 E[V/m]

① 구전하



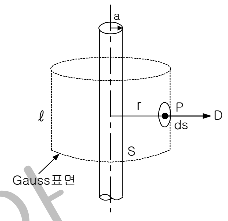


(a) (b)

(a) 외부 $E=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ [V/m] (r > a)

(b) 내부 $E=\frac{rQ}{4\pi\varepsilon a^3}$ [V/m] (r < a)

② 동축원통(무한장직선 = 원주, 원통) 선전하밀도 λ[C/m] 준경우



a) 외부 $E=\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$ [V/m] (r > a)

b) 내부 $E=\frac{r\lambda}{2\pi\varepsilon_0 a^2}$ [V/m] (r < a)

③ 무한평면 면전하밀도 σ[C/m^2] 준 경우

$E=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ [V/m] <얇은 평판>

$E=\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ [V/m] <두꺼운평판 구도체표면>

※ 면전하밀도에 의한 전계의 세기는 **거리와 무관**하다

10. 전계의 세기가 0 되는점: 크기가 같고 방향이 반대

▶두전하의 극성이 같으면: 두전하 사이에 존재
▶두전하의 극성이 다르면: 크기가 작은측의 외측에 존재

11. 전기력선의 방정식 $\frac{dx}{E_x}=\frac{dy}{E_y}=\frac{dz}{E_z}$

① E_x, E_y가 동일 부호이면 $y=kx$ k(임의 상수)

② E_x, E_y가 다른 부호이면 $y=\frac{1}{x}k$

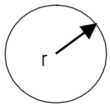
③ (x,y)한점이 주어지면 각식에 대입하여 등식이 성립

12. 전위 <전압 = 전위차> : V

※ 정의 : 전계 E=0인 무한원점에서 임의의 점(r)까지 1[C] 전하를 이동시키는데 필요한 일

※ 계산식 $V=\frac{W}{Q}$ [J/C]

$V=E\cdot r$[V] ⟸평등전계
(전위가 일정한 전계)



※ 평등전계가 아닌 경우

$V_A=\int_A^{\infty}E\,dr=-\int_{\infty}^{A}E\,dr$

무한원점에서 A까지

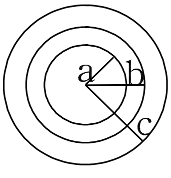
※ $V=-\int_B^A E\,dr$<B점에 대한 A점의 전위>

-을 쓰는 이유 : 전위 V을 +값으로 해석하기 위하여

① 구전하

(1) 구도체 전위 $V=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$ [V]

(2) 동심구 전위



a) A도체에 +Q을 준 경우 B = 0

$V=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}+\frac{1}{c}\right)$

b) A도체 +Q, B도체 −Q $V=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)$

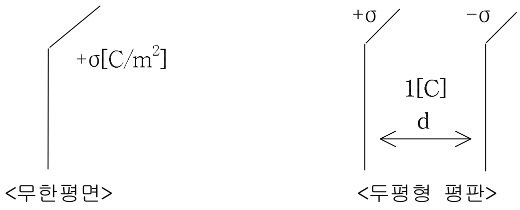
② 동축원통<동심케이블 = 무한장 직선>

전위 : $V=\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\ell n\frac{b}{a}$ [V]

③ 무한평면

전계 $E=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ [V/m] 전위 $V=\infty$[V]

간격d가 존재하지 않는다

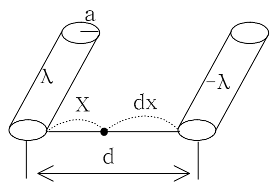


④ 두평형 평판

전계 $E=\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ [V/m] 전위 $V=\frac{\sigma}{\varepsilon_0}\cdot d$[V]

간격d가 존재

⑤ 평행 두 도체 (도선)



전계 $E=\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{x}-\frac{1}{d-x}\right)$[V/m]

전위 $V=\frac{\lambda}{\pi\varepsilon_0}\ell n\frac{d}{a}$ [V]

13. 전기 쌍극자와 자기쌍극자

① 전기쌍극자

전위 $V=\frac{M}{4\pi\varepsilon_o r^2}\cos\Theta=\frac{Ql}{4\pi\varepsilon_o r^2}\cos\Theta=9\times10^9\frac{M\cos\Theta}{r^2}$ [V]

전계 $E_{r(\text{중심축})}=\frac{2M}{4\pi\varepsilon_o r^3}\cos\Theta=\frac{M}{2\pi\varepsilon_o r^3}\cos\Theta$

$E_\Theta=\frac{M}{4\pi\varepsilon_o r^3}\sin\Theta$ [V/m]

전체 $E=\frac{M}{4\pi\varepsilon_o r^3}\sqrt{1+3\cos^2\Theta}$ [V/m] $\propto\frac{1}{r^3}$

M = Q·δ [C·m] 전기 쌍극자 모우멘트

② 자기쌍극자

자위 $U=\frac{M\cos\Theta}{4\pi\mu_0 r^2}$ [AT]

자계 $H_{r(\text{중심축})}=\frac{2M}{4\pi\mu_o r^3}\cos\Theta$ [AT/m] $=\frac{M}{2\pi\mu_o r^3}\cos\Theta$ [AT/m]

$H_\Theta=\frac{M}{4\pi\mu_o r^3}\sin\Theta$ [AT/m]

$H=\frac{M\sqrt{1+3\cos^2\Theta}}{4\pi\mu_0 r^3}$ [AT/m] $\propto\frac{1}{r^3}$

M = $m\cdot l$ [wb·m] 자기 쌍극자 모우멘트

,

※ 크기가같고 극성이다른 두 점전하가 아주 미소한 거리에 있는 상태를 전기쌍극자 상태라한다.

14. POISSON 방정식

$\mathrm{div}E = \nabla \cdot E = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$ →E가 주어진 경우 체적전하 ρ[C/m³]계산식

$\mathrm{div}D = \nabla \cdot D = \rho$ →D가 주어진 경우 체적전하 ρ[C/m³]계산식

$\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$ ← POISSON 방정식

↳전위가 주어진 경우 체적전하 ρ[C/m³]계산식

15. LAPLACE 방정식 (ρ= 0)

$\nabla^2 V = 0$ ←LAPLACE 방정식

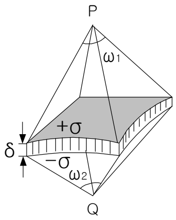
↳전하가 없는 곳에서 전위(V)계산식

16. 도체표면에 단위면적당 작용하는힘(정전응력)

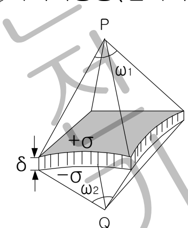
$$f_e = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 = \frac{1}{2}DE = \frac{D^2}{2\varepsilon_0}\,[N/m^2] = w_e[J/m^3]$$

17. 전기이중층과 자기이중층의 세기

① 전기이중층



②자기이중층(판자석)



P점의 전위 $V_P = \frac{M}{4\pi\varepsilon_0}\omega_1$

P점의 자위 $U_P = \frac{M}{4\pi\mu_0}\omega_1$[AT]

Q점의 전위 $V_Q = \frac{-M}{4\pi\varepsilon_0}\omega_2$

Q점의 자위 $U_Q = \frac{-M}{4\pi\mu_0}\omega_2$[AT]

P, Q점의 (무한히접근) $V_{PQ} = \frac{M}{\varepsilon_0}$

P,Q점의(무한의접근) $U_{PQ} = \frac{M}{\mu_0}$

M= σδ[C/m]←이중층세기

M= σδ[wb/m]←판자석세기

3장. 진공중 도체계

1. 전위계수

$$V_1 = \frac{Q_1}{4\pi\varepsilon_0 R_1} + \frac{Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r} = P_{11}Q_1 + P_{12}Q_2$$

$$V_2 = \frac{Q_1}{4\pi\varepsilon_0 r} + \frac{Q_2}{4\pi\varepsilon_0 R_2} = P_{21}Q_1 + P_{22}Q_2$$

※ 전위계수 성질

① P_{rr} (ex $P_{11}, P_{22}, P_{33}\cdots\cdots$) ≧ 0

② P_{rs} (ex $P_{12}, P_{23}, P_{34}\cdots\cdots$) ≧ 0

③ $P_{rs} = P_{sr}$ $(P_{12} = P_{21})$

④ $P_{rr} = P_{sr}$ $(P_{11} = P_{21})$

↳ s 도체가 r 도체 내부에 있다.

2. 용량계수 및 유도계수

$Q_1 = q_{11}V_1 + q_{12}V_2$

$Q_2 = q_{21}V_1 + q_{22}V_2$

※ 용량계수 : $q_{rr}(q_{11}, q_{22}, q_{33}\cdots\cdots) \geq 0$

※ 유도계수 : $q_{rs}(q_{12}, q_{23}, q_{34}\cdots\cdots) \leq 0$

Q = CV $C = \frac{Q}{V}$[F] = [C/V]

↳ 정전용량 (Capacitance) [F]

3. 각종 콘덴서의 정전용량

1) 반지름 a[m]인 고립도체구 $C = \frac{Q}{V} = 4\pi\varepsilon_0 a[F]$

2) 동심구 콘덴서←중심이 같은 두개의구

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{4\pi\varepsilon_0}{\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)} = \frac{4\pi\varepsilon_0 ab}{b-a}[F]$$

3) 평행판 콘덴서

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\varepsilon_0 \cdot S}{d}[F]$$

4) 두개의 평행도선 (선간 정전용량)

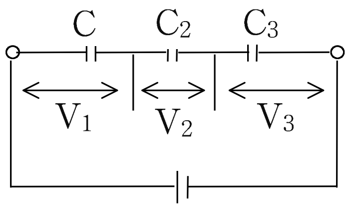
$$C = \frac{\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{d}{r}}\,l[F] = \frac{\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{d}{r}}[F/m]$$ ←단위 길이당 정전용량

5) 동축원통 콘덴서

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{b}{a}}\,l[F] = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{b}{a}}[F/m]$$ ←단위 길이당 정전용량

4. 콘덴서의 접속 : C[F]

① 직렬



a) 합성정전용량

$$C_0 = \frac{1}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3}}[F]$$

b) 전압증가 <최초로 파괴되는 콘덴서>

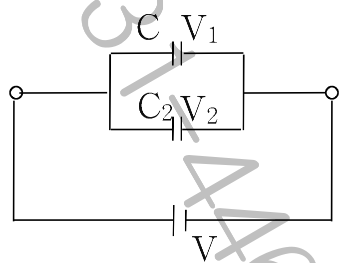
$(Q_1 = C_1V_1 \quad Q_2 = C_2V_2 \quad Q_3 = C_3V_3)$

Q의 값이 가장 적을 값일수록 먼저 파괴됨.

ex) $Q_1 < Q_2 < Q_3$ 에서 Q_1 값이 가장 적으므로 가장 먼저 파괴

$$V_1 = \frac{\frac{1}{c_1}}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3}} \times V$$

② 병렬 (가는도선으로 연결했다)



a) 합성 정전 용량 $C_0 = C_1 + C_2[F]$

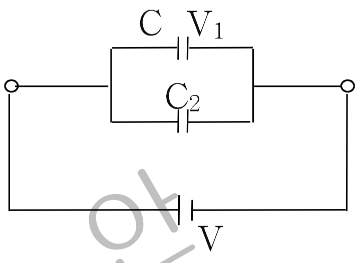
b) 병렬 전압

$$V = \frac{Q_1 + Q_2}{C_1 + C_2} = \frac{C_1V_1 + C_2V_2}{C_1 + C_2}[V]$$

※ 구도체 두 개를 가는 도선으로 연결했다

$$V = \frac{r_1V_1 + r_2V_2}{r_1 + r_2}[V]$$

c) 분배되는 전기량



$$V = \frac{C_1 V_1}{C_1 + C_2}$$

C_2 의 전기량 $Q_2 = C_2 V$

$$Q_2 = C_2 \times \frac{C_1 V_1}{C_1 + C_2} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \times V_1 [C]$$

5. 콘덴서에 축적되는 에너지 (정전에너지)

$$W = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV = \frac{Q^2}{2C} [J]$$

↳ V일정 ↳ Q일정 $\left\{ \begin{array}{l} \text{전압으로 충전한다음} \\ \text{전원을 제거한후} \end{array} \right\}$

※ 정전력 $F = \frac{W}{d}$ [N]

① 전압일정

$$W = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon_0 s}{d} V^2 = \frac{\varepsilon_0 S V^2}{2d} [J]$$

$$F = \frac{\partial W}{\partial d} = \frac{-\varepsilon_0 S V^2}{2d^2} [N]$$

② 전하량일정

$$W = \frac{Q^2}{2C} = \frac{dQ^2}{2\varepsilon_0 S} [J] \qquad F = \frac{\partial W}{\partial d} = \frac{Q^2}{2\varepsilon_0 S} [N]$$

5. 판간 작용력 (흡인력)

▶ 정전응력 (f [N/m²])

① 단위면적당 힘

$$f = \frac{D^2}{2\varepsilon_0} = \frac{1}{2} E \cdot D = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 [N/m^2]$$

② 총 힘 F[N]

$F = f \times S$ [N]

4장. 유전체

1. 유전체 및 투자율의 경계면의 조건

	전 계	자 계
경계 조건	$E_1 \sin\Theta_1 = E_2 \sin\Theta_2$ $D_1 \cos\Theta_1 = D_2 \cos\Theta_2$ $\frac{\tan\Theta_1}{\tan\Theta_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$	$H_1 \sin\Theta_1 = H_2 \sin\Theta_2$ $B_1 \cos\Theta_1 = B_2 \cos\Theta_2$ $\frac{\tan\Theta_1}{\tan\Theta_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2}$
정전 응력	$f_e = \frac{1}{2} \varepsilon E^2 = \frac{1}{2} DE = \frac{D^2}{2\varepsilon}$ $= W_e [J/m^3]$	$f_m = \frac{1}{2} \mu H^2 = \frac{1}{2} BH = \frac{B^2}{2\mu}$ $= W_m [J/m^3]$
분극 세기 및 자화 세기	$P = x_e E = \varepsilon_0 (\varepsilon_s - 1) E$ [C/m²] $D = P + \varepsilon_0 E$	$J = x_m H = \mu_0 (\mu_s - 1) H$ [wb/m²] $B = J + \mu_0 H$

2. 경계면에 작용하는힘(MAXWELL응력)

▶ 전계및 전속밀도가 경계면에 수직 입사하면(인장응력)

$$f_e = f_{e2} - f_{e1} = \frac{1}{2} (\varepsilon_2 E_2^2 - \varepsilon_1 E_1^2)$$
$$= \frac{1}{2} (E_2 - E_1) D^2$$
$$= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - \frac{1}{\varepsilon_1} \right) D^2 [N/m^2]$$

▶ 전계및 전속밀도가 경계면에 평행입사하면(압축응력)

$$f_e = f_{e1} - f_{e2} = \frac{1}{2} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) E^2$$
$$= \frac{1}{2} (D_1 - D_2) E$$

※ 경계면에 작용하는 맥스웰응력은 유전율이 큰쪽에서 작은쪽으로 작용한다

3. 분극의 세기 : P [C/m²]

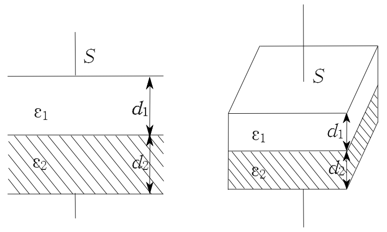
: 유전체에 전계가 가해지면 분극되어 쌍극자 모우먼트가 발생

$P = \varepsilon_0 (\varepsilon_s - 1) E$, 분극율 $x = \varepsilon_0 (\varepsilon_s - 1)$

$$P = D\left(1 - \frac{1}{\varepsilon_s}\right)$$

$P = \frac{M}{V}$ [C/m²]단위체적당 쌍극자 모멘트

4. 유전체 콘덴서 연결



$$C_1 = \frac{\varepsilon_1 S}{d_1}$$

$$C_2 = \frac{\varepsilon_2 S}{d_2}$$

<직 렬>

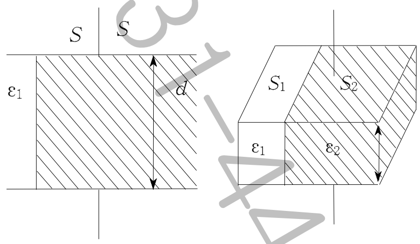
직렬 : 간격이 다르고 면적은 일정

합성 정전 용량

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 S}{\varepsilon_2 d_1 + \varepsilon_1 d_2}$$

※ 공기콘덴서 절반에 비유전율을 채워 넣으면

$\frac{2 \times \varepsilon s}{1 + \varepsilon s} \times Co$ ※Co 공기콘덴서의 용량



$$C_1 = \frac{\varepsilon_1 s_1}{d}$$

$$C_2 = \frac{\varepsilon_2 s_2}{d}$$

<병 렬>

병렬 :간격은 일정 면적이 다르다

$$C = C_1 + C_2 = \frac{\varepsilon_0}{d} (\varepsilon_{s1} S_1 + \varepsilon_{s2} S_2)$$

5. 페러데이관 <유리관 : 매질과 무관>

① 관 양단에 + - 전하 존재

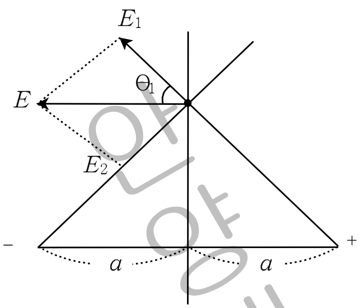
② 전속밀도 = 관밀도 <전속수 = 관수>

③ 전하가 없으면 연속적이다.

ex) 5Q 면 관수는 5개

5장. 전계의 특수 해법 (전기영상법)

1. 무한평면과 점전하



①전계의세기 $E = \dfrac{Q \cdot a}{2\pi\varepsilon_0 (a^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}$ [V/m]

$(x=0)$ $E_{max} = -\dfrac{Q}{2\pi\varepsilon_0 a^2}$ [V/m]

② 표면전하 밀도

$D = -\varepsilon_0 E = \dfrac{-Q \cdot a}{2\pi(a^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}$ [C/m²]

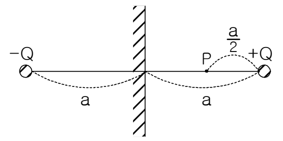
※ 표면전하 밀도의 최대값($x=0$)

$D_{max} = -\dfrac{Q}{2\pi a^2}$ [C/m²]

③ 힘

$F = \dfrac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \dfrac{Q(-Q)}{4\pi\varepsilon_0 (2a)^2} = -\dfrac{Q^2}{16\pi\varepsilon_0 a^2}$ [N] (항상흡입력)

2. 무한평면도체와 점전하(가정)



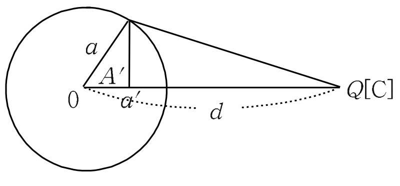
1) P점의전위

$V = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 \frac{a}{2}} + \dfrac{-Q}{4\pi\varepsilon_0 \frac{3a}{2}} = \dfrac{Q}{3\pi\varepsilon_0 a}$ [V]

2) P점의전계세기

$E = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 \left(\frac{a}{2}\right)^2} + \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 \left(\frac{3a}{2}\right)^2} = \dfrac{10\ Q}{9\pi\varepsilon_0 a^2}$ [V/m]

3. 접지구도체와 점전하(가정)



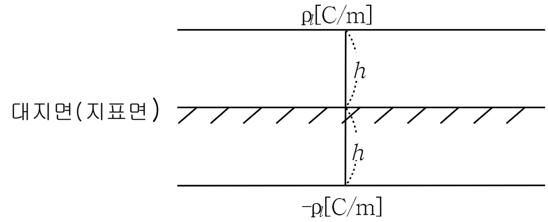
① 영상전하위치 $\overline{OA'} = \dfrac{a^2}{d}$

② 영상전하 $Q' = \dfrac{-a}{d} Q$

③ 힘

$F = \dfrac{QQ'}{4\pi\varepsilon_0 \left(d - \frac{a^2}{d}\right)^2} = \dfrac{QQ'}{4\pi\varepsilon_0 \left(\frac{d^2-a^2}{d}\right)^2} = -\dfrac{adQ^2}{4\pi\varepsilon_0 (d^2-a^2)^2}$ [N]

4. 무한평면과 선전하



① 전계의 세기 $E = \dfrac{-\rho_l}{4\pi\varepsilon_0 h}$ [V/m]

② 단위길이당 힘

$F = -\rho_l E = \dfrac{-\rho_l^2}{4\pi\varepsilon_0 h}$ [N/m]

5. 영상전하수 $n = \dfrac{360}{\theta} - 1$

① 무한평면 $n = \dfrac{360}{180} - 1 = 1$ [개]

② 직교(직각)

$n = \dfrac{360}{90} - 1 = 3$ [개]

6장. 전류

1. 전류의정의 $I = \dfrac{Q}{t}$ [C/sec] = [A]

2. 전류밀도(i)

$i = \dfrac{I}{S} = K\dfrac{V}{\ell} = KE$ [A/m²]

$i = Q \cdot V = neV = ItV$ [A/m²]

$i = KE = neV = ItV$ [A/m²]

온도계수에 따른 온도상승 → 저항상승

1) $R_2 = R_1[1 + \alpha_1(t_2 - t_1)] = Rt\dfrac{234.5 + T}{234.5 + t}$

0[℃] $\Rightarrow \alpha_1 = \dfrac{1}{234.5}$ $\quad t$[℃] $\Rightarrow \alpha_2 = \dfrac{1}{234.5 + t}$

(α_1, α_2 : 온도계수)

2) 저항이 R_1 R_2일 때 직렬연결시 합성 온도계수

$\alpha_t = \dfrac{R_1\alpha_t 1 + R_2\alpha_t 2}{R_1 + R_2}$

3. 정상전류,키르히호프 제1법칙 ⇒ divi= $\nabla \cdot i = 0$

4. 저항과 정전용량관계 $RC = \rho\varepsilon$

① 구 <도체구> $R = \dfrac{\rho}{4\pi a}$ [Ω]

<2개구> $R = \dfrac{\rho}{4\pi}\left(\dfrac{1}{a} + \dfrac{1}{b}\right)$ [Ω]

② 동심구 $R = \dfrac{\rho}{4\pi}\left(\dfrac{1}{a} - \dfrac{1}{b}\right)$ [Ω]

③ 동축케이블 <원통> $R = \dfrac{\rho}{2\pi\ell} \ln\dfrac{b}{a}$ [Ω]

④ 두평행 도체 $R = \dfrac{\rho}{\pi\ell} \ln\dfrac{d}{a}$ [Ω]

5. 열전효과 및 여러 가지 전기현상

① **제어백 효과** : 두 종류 금속에 온도차가 있으면 전류가 흐른다.

② **펠티어 효가** : 두 종류 금속에 전류를 흘리면 온도차가 발생하여 열의 흡수, 발생하는 현상

③ **톰슨효과** : 한종류(균질) 금속에 전류를 흘리면 열의 흡수, 발생하는 현상

④ **호울효과** : 전류가 흐르는 결정체에 자계를 가하면 전기가 발생

⑤ **핀치효과** : 유동(녹아있는) 금속에 대전류를 흘리면 수축과 팽창을 반복 직류를가하면도체중심으로전류밀도가 커지는현상

⑥ **볼타전기** : 두 물체를 접촉하거나 마찰시키면 전위가 생긴다.

7장. 진공중 정자계

< 전 계 >	< 자 계 >
① 전하<전속>: $Q[\mathrm{C}]$	① 자하<자극>: $\mathrm{m[Wb]}$
② 전위 : $V[\mathrm{V}]$	② 자위 : $\mathrm{u[AT]}$
③ 전계 : $E[\mathrm{V/m}]$	③ 자계 : $H[\mathrm{AT/m}]$
④ 전속밀도: $D[\mathrm{C/m^2}]$	④ 자속밀도: $B[\mathrm{Wb/m^2}]$
⑤ 유전율 : $\varepsilon\,[\mathrm{F/m}]$	⑤ 투자율 : $\mu[\mathrm{H/m}]$
$\varepsilon_0 = 8.855\times 10^{-12}$	$\mu_0 = 4\pi\times 10^{-7}$

1. GAUSS법칙

전계

$\int_s E ds = \frac{Q}{\varepsilon_0}$ (전기력선수)

$\int_s D ds = Q$ (전속선수)

자계

$\int_s H ds = \frac{m}{\mu_0}$ (자력선수)

$\int_s B ds = m$(자속선수)

$\nabla\cdot B = 0$←고립된 자극은 존재하지 않는다　　(연속성)

2. Bio - Savart 법칙 (전류와 자계관계)

$$dH = \frac{I\,dl \sin\theta}{4\pi r^2}\ [\mathrm{AT/m}]$$

1) 반지름이 a [m]인 원형코일 중심의자계　$H = \frac{NI}{2a}$ [AT/m]

2) 원형코일 중심축상의자계

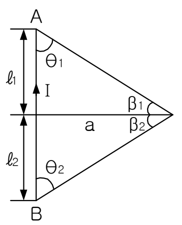
$$H = \frac{Ia^2}{2(a^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}\ [\mathrm{AT/m}] \left\{ \begin{array}{l} x=0 \text{ 을대입하여 } \frac{I}{2a} \text{ 나오면답} \\ a\text{와}x\text{를 } \frac{1}{2} \text{ 배하면}H\text{는}2\text{배} \end{array} \right\}$$

3) 반원　$H = \frac{I}{4a}$ [AT/m]

4) $\frac{3}{4}$ 원　$H = \frac{3I}{8a}$ [AT/m]

5) $\frac{3}{4}$ 원과 반무한장(유한장)직선　$H = \frac{(3\pi-2)I}{8\pi a}$ [AT/m]

3. 유한직선 전류에 의한 자계



$$H = \frac{I}{4\pi a}(\cos\theta_1 + \cos\theta_2) = \frac{I}{4\pi a}(\sin\beta_1 + \sin\beta_2)$$

1) 정삼각형 중심의자계　$H = \frac{9I}{2\pi l}$ [AT/m]

2) 정사각형 중심의자계　$H = \frac{2\sqrt{2}I}{\pi l}$ [AT/m]

3) 정육각형중심의자계　$H = \frac{\sqrt{3}I}{\pi l}$ [AT/m]

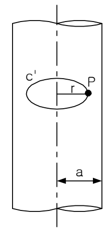
4) 정 n 각형 중심의자계　$H = \frac{nI}{2\pi a}\tan\frac{\pi}{n}$ [AT/m] (a는 반지름)

4. Amper 주회적분법칙 (전류와 자계관계)

$$\oint H dl = \sum NI$$

1). 무한장 직선전류에 의한자계　$H = \frac{I}{2\pi r}$ [AT/m]

2). 무한장 원통형 도체에흐르는 전류에의한자계
(반경 a [m]인 원통형 도체내부에 전류가균일하게 분포된경우)

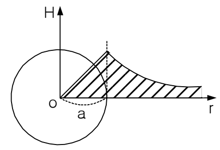


① r >a (무한직선에의한자계)

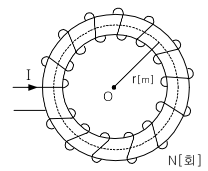
$H = \frac{I}{2\pi r}$ [AT/m]

② r <a (가정有)

$H = \frac{rI}{2\pi a^2}$ [AT/m]



3). 환상솔레노이드에 의한자계



ⅰ) 솔레노이드 내부자계

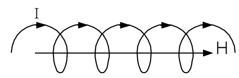
$H = \frac{NI}{2\pi r}$ [AT/m]

{내부는 평등자장이다, 누설자속이없다,}

ⅱ) 솔레노이드 외부자계

H=0

4). 무한장 직선 솔레노이드



ⅰ) 솔레노이드 내부자계

H=nI [AT/m]

↳단위길이당 권수[T/m]

{내부는 평등자장이다, 누설자속이없다,}

ⅱ) 솔레노이드 외부자계

H=0

5. 자계내에서 자석이 받는회전력(토오크 T)

$T = Fl\sin\theta = m\,lH\sin\theta = MH\sin\theta\,[\mathrm{N{\cdot}m}]$

M=m·/ [wb·m]←자기쌍극자 모우멘트

벡터로표기　$\vec{T} = M\times H[\mathrm{N\cdot m}]$

6. 자계내에서 평판 코일의 회전력　$T = NBS(A)I\cos\theta\,[\mathrm{N{\cdot}m}]$

※　N (권수)　B (자속밀도)　I (전류)　S,A (면적)

7. 플레밍왼손법칙←전동기원리

⇒ 자계 내에서 전류가 흐르는 도선에 작용하는 힘

$$F = IB\,l\sin\theta = \oint (I\,dl)\times B = qvB\sin\theta[\mathrm{N}]$$

하전입자에 작용하는 힘 <로렌쯔의 힘>

$$F = qvB\sin\theta = q(v\times B)\ [\mathrm{N}]$$

q : 전하량　[C]　　v : 속도 [m/s]　B : 자속밀도 [$\mathrm{Wb/m^2}$]

θ : v, B가 이루는 각

※ <전계, 자계> 동시존재

$$F = qE + q(v\times B) = q[E + (v\times B)]$$

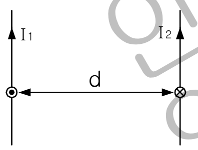
8. 플레밍 오른손법칙 (발전기원리)

↳자계내에서 도선을왕복 운동시키면 도선에 기전력이 유기된다

$e = vBl\sin\Theta$ [V]

$\vec{e} = (v \times B)\, l$ [V]

9 . 두개의 평행도선간 작용력



$$F_1 = F_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} = \frac{2 I_1 I_2}{d} \times 10^{-7} \text{[N/m]}$$

※두 전류의 방향이 같으면 : 흡인력

두 전류의 방향이 반대면 : 반발력

※ 자계내에 수직으로 돌입한 원운동

① 궤도반경 $r = \dfrac{mv}{eB}$ [m]

② 각속도 $\omega = \dfrac{v}{r} = \dfrac{eB}{m}$ [rad/sec]

③ 주기 $T = \dfrac{2\pi m}{eB}$ [sec]

8장. 자성체

1. 자화의세기

$$J = \mu_0(\mu_s - 1)H = \left(1 - \frac{1}{\mu_s}\right)B = \frac{M}{V}\ [Wb/m^2]$$

※ 자화의 근본적인 이유 : 전자의 자전

2. 자성체의 종류

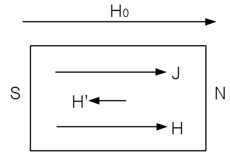
·강자성체 : 철, 니켈, 코발트 ($\mu_s \gg 1$)

·상자성체 : 알루미늄, 백금, 산소 ($\mu_s > 1$)

·역(반)자성체 : 구리, 비스무트, 금, 납 ($\mu_s < 1$)

* 큐리점 : 온도를 서서히 올리면 강자성이 상자성으로 변화하는 온도지점 770℃

3. 상자성체 자계 세기



$$H = \frac{H_0}{1 + N(\mu_s - 1)}$$

H_0 : 외부자계 H' : 감자력 $\left(H' = \dfrac{N}{\mu_0} J\right)$

N : 감자율 H : 내부자계

※ 감자력 : H'

$H = N\dfrac{J}{\mu_0}$ (N : 감자율, J : 자화세기)

감자율 : N

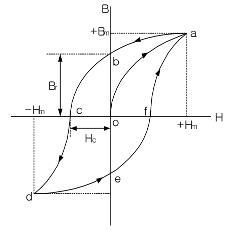
① 가늘고 긴 막대 $N \fallingdotseq 0$

② 환상 철심 $N = 0$

③ 굵고 짧은 막대 $N = 1$

④ 구자성체 $N \fallingdotseq \dfrac{1}{3}$

4. 히스테리시스곡선 (B-H곡선)



종축 : B ← 종축과 만남(잔류자기)

횡축 : H ← 횡축과 만남(보자력)

※ 영구자석의 조건

1. 히스테리 면적이 클 것(大) 2. 잔류자기와 보자력이 클 것(大)

※ 전자석 재료 조건

1. 히스테리 면적, 보자력이 적을 것(小)

2. 적은 보자력으로 큰 잔류자기를 얻을 것

히스테리시스손 $P_h = fv\eta B_m^{1.6}$ [W] (각형 $w_h = 4B_C H_L$)

5. 자기회로

① 자기저항 $R_m = \dfrac{\ell}{\mu S} = \dfrac{\ell}{\mu_0 \mu_s S}$ $R_m = \dfrac{F}{\Phi_m}$

② 자 속 $\Phi_m = \dfrac{F}{R_m} = \dfrac{\mu SNI}{\ell}$ [Wb] $\Phi_m = B \cdot S = \mu HS$[Wb]

③ 기자력 $F = R_m \Phi = NI$ [AT]

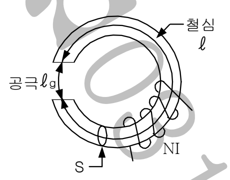
전 기 회 로	자 기 회 로
전 압 : V[V]	기 자 력 : F[AT]
전 류 : I[A]	자 속 : Φ[Wb]
저 항 : R[Ω]	자기저항 : R_m[AT/Wb]
전도율 : K[℧/m]	투 자 율 μ[H/m]

※ 자기회로의 특징

① 주울열이 없다. ② 누설자속이 없다.

③ L.C 해당하는 소자가 없다. ④ 비직선적이다.

2).공극(Air gap)이 있는 환상솔레노이드 자기저항 ($l \gg l_g$)



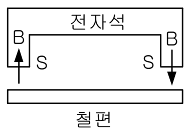
$$R_m = R_{m1} + R_{m2} = \frac{1}{\mu S} + \frac{l_g}{\mu_0 S}\ \text{[AT/wb]}$$

※공극발생시 자기저항 증가율 = $\dfrac{\dfrac{l + \mu_s l_g}{\mu S}}{\dfrac{l}{\mu S}} = 1 + \dfrac{l_g}{l}\mu_s$ 배

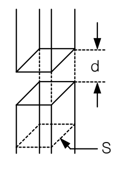
6. 전자석의 흡입력

$F = f_m \cdot S = \dfrac{B^2}{2\mu_0} \cdot S$ [N] $\propto B^2$

ex)



$F = f_m \cdot 2S = \dfrac{B^2}{2\mu_0} \cdot 2S = \dfrac{B^2}{\mu_0} \cdot S$ [N]



$F = f_m \cdot S = \dfrac{B^2}{2\mu_0} \cdot S$ [N]

9장. 전자유도

1. 패러데이 법칙 및 렌쯔의 법칙

패러데이는 유도기전력의 크기 , 렌쯔는 유도기전력의 방향

$$e=-\frac{d\phi}{dt}=-N\frac{d\phi}{dt}=-L\frac{di}{dt} \qquad L\,I = N\phi$$

패러데이의 정의 : 자속의 시간적 변화는 감쇄율(-)에 비례

2. 표피효과 ⇒ 도선에 교류전류가흐르면 전류는 도선바깥쪽으로 흐르려는성질

▶ 표피깊이

$$\delta=\sqrt{\frac{2}{\omega\cdot\sigma\cdot\mu}}=\sqrt{\frac{1}{\pi f\sigma\mu}}\,[m]$$

※ ω , μ , σ가 大 →표피깊이 小 →표피효과 大

10장. 인덕턴스

1. 자기 인덕턴스 : L[H]

① $N\Phi=LI \qquad L=\frac{N\Phi}{I}$

② 자속 $\Phi=\frac{F}{R_m}=\frac{\mu SNI}{\ell}$ [Wb] $\qquad \Phi=BS$[Wb]

③ 인덕턴스 $L=\frac{N\Phi}{I}=\frac{\mu SN^2}{\ell}$ [H] $=\frac{N^2}{R_m}$ [H]

2. 상호인덕턴스 : M[H]

$$e_1=-N_1\times\frac{d\Phi}{dt}=-L_1\times\frac{dI_1}{dt}\ [V]$$

$$M=k\sqrt{L_1L_2}\,[H] \quad =-M\times\frac{dI_2}{dt}\ [V]$$

* 자기 인덕턴스와 상호인덕턴스의 관계

$$L_1=\frac{\mu S\,N_1^2}{\ell} \quad L_2=\frac{\mu S\,N_2^2}{\ell} \qquad M=\frac{\mu SN_1N_2}{\ell}=\frac{L_1L_2}{N_1}\ [H]$$

ex) ① 솔레노이드 $L=\frac{\mu SN^2}{\ell}$ [H] (환상) $\qquad L=\frac{\mu SN^2}{2\pi a}$ [H]

② 무한장 솔레노이드

$$L=\frac{\mu\pi a^2(n\ell)^2}{\ell}=\mu\pi a^2n^2\ell\ [H]$$

1[m] 당 인덕턴스

$$L'=\frac{L}{\ell}=\mu\pi a^2n^2\,[H/m]$$

③ 동축원통(무한장 직선. 원주)

$$L=\frac{\mu_0\ell}{2\pi}\ln\frac{b}{a}+\frac{\mu\ell}{8\pi}\ [H]$$

④ 평행 도선

$$L=\frac{\mu_0\ell}{\pi}\ln\frac{d}{a}+\frac{\mu\ell}{4\pi}\ [H]$$

3. 코일의 접속

① 직렬

$L_0=L_1+L_2\pm2M$[H] (가동이면 +, 차동이면 -)

②병렬

$$L_0=\frac{L_1L_2\pm2M^2}{L_1+L_2\pm2M} \quad \text{(가동이면 -, 차동이면 +)}$$

4. 코일의 축적에너지 : W[J]

$$W=\frac{1}{2}LI^2=\frac{\Phi^2}{2L}=\frac{1}{2}\phi I$$

11장. 전자계

1. 변위 전류 : 시간에 대한 전속밀도의 변화율로서 유전체를 통해 흐르는 전류를 변위 전류라 한다.

1) 변위 전류 밀도 $i_d=\frac{\partial D}{\partial t}$ [A/m^2]

2) 전압 $v=V_m\sin wt$ [V]

변위전류밀도 $i_d=w\frac{\varepsilon}{d}V_m\cos wt$ [A/m^2]

3) 변위 전류 $I_d=i_d\times S=wCV_m\cos wt$ [A]

2. 파동 고유 임피던스 : η[Ω]

: 자계에대한 전계의 비 ⇒ $\eta=\frac{E}{H}=\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$

1) 진공(공기)중일 때

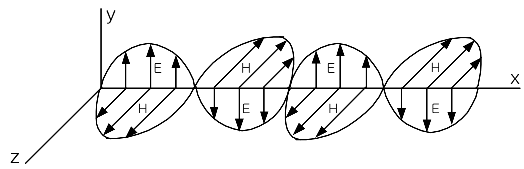
① $E=\sqrt{\frac{\mu_o}{\varepsilon_o}}H=377H$

② $H=\sqrt{\frac{\varepsilon_o}{\mu_o}}E=\frac{1}{377}E=0.265\times10^{-2}E$

3. 속도 v [m/sec]

$$v=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}}=\frac{3\times10^8}{\sqrt{\varepsilon_s\mu_s}}=\frac{w}{\beta}=\frac{1}{\sqrt{LC}}=\lambda f\ [m/s]$$

4. 전자파(평면파)



1) 전자파에서는 전계와 자계가 동시에 존재하고 동상이다.
2) 전계 에너지와 자계 에너지는 같다
3) 포인팅 벡터 : 면적당 전력

$$P=\frac{P}{S}=E\times H=EH\sin\Theta=EH\sin90^o=EH\ [W/m^2]$$

4) 진공, 공기중에서 포인팅 벡터

$$P'=EH=377H^2=\frac{1}{377}E^2=\frac{P}{S}\ [W/m^2]$$

5) 전자파의 진행 방향 : $E\times H$ 의 방향이다.
6) 전자파는 진행 방향에 대한 전계와 자계의 성분은 없다

5. 맥스웰의 방정식(전자 방정식)

1) 맥스웰의 제 1의 기본 방정식

$$rotH=curlH=\nabla\times H=i_c+\frac{\partial D}{\partial t}=i_c+\varepsilon\frac{\partial E}{\partial t}=i\,[A/m^2]$$

① 암페어의 주회적분법칙에서 유도한 식이다.
② 전도 전류, 변위 전류는 자계를 형성한다.(전류와 자계와의 관계)
③ 전류의 연속성을 표현한다.

2) 맥스웰의 제 2의 기본 방정식

$$rotE = curlE = \nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} = -\mu\frac{\partial H}{\partial t}$$

① 자속 밀도의 시간적 변화는 전계를 회전 시키고 유기 기전력을 형성한다.
② 패러데이의 법칙에서 유도한 전계에 관한식

3) $divD = \nabla \cdot D = \rho [C/m^3]$
① 임의의 폐곡면 내의 전하에서 전속선이 발산한다.
② 가우스 발산 정리에 의하여 유도된 식

4) $divB = \nabla \cdot B = 0$
① N , S 극이 항상 공존한다. ② 자기력선은 연속적이다.

5) $rot\vec{A} = \nabla \times \vec{A} = B\,[\mathrm{wb/m^2}]$
벡터 포텐셜 ($\vec{\mathrm{A}}$)의 회전은 자속 밀도를 형성한다.

6. 전자파의 파동방정식(완전 절연체인 경우)

1) $\nabla^2 E = \varepsilon\mu\frac{\partial^2 E}{\partial^2 t}$ 2) $\nabla^2 H = \varepsilon\mu\frac{\partial^2 H}{\partial^2 t}$