# 전기자기학 핵심요약 정리

## ■1장 벡터의 해석

- 내적(dot) : $A \cdot B = AB\cos\theta$ , $divA = \nabla \cdot A$ , 발산
  외적(cross) : $A \times B = AB\sin\theta$ , $rot\ A = curl\ A = \nabla \times A$ , 회전
- 미분연산자 : $\nabla = grad = (\frac{\partial}{\partial x} i + \frac{\partial}{\partial y} j + \frac{\partial}{\partial z} k)$
- $A \cdot B = AB\cos\theta$, $(i \cdot i = j \cdot j = k \cdot k = 1,\ i \cdot j = j \cdot k = k \cdot i = 0)$
  $A \times B = AB\sin\theta$, $(i \times i = j \times j = k \times k = 0,\ i \times j = k,\ j \times k = i,\ k \times i = j)$
- $l$(선) →STOKES→ $s$(면적) →발산의정리→ $v$(체적)

  스토욱스의 정리 : $\int_l E \cdot dl = \int_s rot \cdot E\ ds$

  가우스 발산의 정리 : $\int_s E\ ds = \int_v div\ E \cdot dv$

## ■2장 진공중의 정전계

- 쿨롱의법칙 : $F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = 9\times 10^9 \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2}[N]$

  $\varepsilon_0$(진공의 유전율) $= 8.855\times 10^{-12}$

* 전계의 세기

- 구도체 : 표면: $E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ , 내부$E=0$ $V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$

  ③ 내부에 균일분포 : 내부 : $E = \frac{rQ}{4\pi\varepsilon_0 a^3}$ 외부 : $E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$
- 축 대칭(선, 원통)

  ①도체 표면 : $E = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$

  ②내부에 균일분포 : 표면 $E = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$ , 내부 $E = \frac{r\lambda}{2\pi\varepsilon_0 a^2}$
- 무한평면 : $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ , 내부$E=0$
- 표면에 전하분포 : $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ , 내부$E=0$

- 전기력선

  ①전기력선수 : $N = \frac{Q}{\varepsilon_0}$

  ②성질 : → 전기력선의 접선방향 = 전계의 방향
  → 전계의 세기 = 전기력선의 밀도
  → 불연속
  → (+) 에서 (-) 로
  → 전위가 높은 곳에서 낮은 곳으로
- 전기력선 방정식 : $\frac{dx}{Ex} = \frac{dy}{Ey} = \frac{dz}{Ez}$
- 프아송의방정식: $div E = \frac{\rho}{\epsilon_0}$ $\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$ ( ρ : 체적전하밀도$[C/m^3]$)
- 라플라스 방정식 : $\nabla^2 V = 0$
- 전기쌍극자 : $V = \frac{M}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\cos\theta$ , $E = \frac{M}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\sqrt{1+3\cos^2\theta}$

  ( $\theta$ = $0°$(최대) , $90°$(최소) )
- 정전응력 : $F = \frac{\sigma^2}{2\epsilon_0} = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2 = \frac{D^2}{2\epsilon_0}[J/m^3],[N/m^2]$
- 전기이중층 : 전위 $V_P = \frac{M}{4\pi\varepsilon_0}\omega$ $\omega = 2\pi(1-\cos\theta)$

  $M$ : 이중층의세기$M = \sigma\delta[c/m]$

## ■3장 진공중의 도체계

- 전위계수 : $P_{rr}$ , $P_{ss}$ $>0$ , $P_{rs}$ , $P_{sr}$ $\geq 0$ , $P_{rr} \geq P_{rs}$
- 용량계수 : $q_{11}$ , $q_{22}$ $>0$ , 유도계수 : $q_{12}$ , $q_{21}$ $\leq 0$
- 전위계수가 주어질 때 정전용량 : $C = \frac{1}{P_{11} - 2P_{12} + P_{22}}$
- 정전용량 계산

  ①구도체 : $C = 4\pi\varepsilon_0 a$

  ②동심구 : $C = \frac{4\pi\varepsilon_0 ab}{b-a}$

  ③동축케이블(원통) : $C = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{b}{a}}$

  ④왕복동선 : $C = \frac{\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{d}{r}}$

  ⑤평행판콘덴서 : $C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$
- 에너지 : $W = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{Q^2}{2C}$
- 콘덴서 연결

  ①직렬 : $C_0 = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ (저항의 병렬)

  ②병렬: $C_0 = C_1 + C_2$ (저항의 직렬)

## ■4장 유전체

- 전속밀도 : $D = \varepsilon_0 \varepsilon_S E$

  분극의 세기 : $P = \varepsilon_0(\varepsilon_S - 1)E$ : 체적당 모멘트

  모멘트 $M = Q\delta[c \cdot m]$
- $\varepsilon_S$과의 관계

  ①힘 : $F = \frac{1}{\varepsilon_S}F_0$

  ②전계 : $E = \frac{1}{\varepsilon_S}E_0$ (전하량일정)

  ③전위 : $V = \frac{1}{\varepsilon_S}V_0$

  ④전기력선수 : $N = \frac{1}{\varepsilon_S}N_0$

  ⑤전속밀도 : $D = \varepsilon_S D_0$(전위일정)

  ⑥정전용량 : $C = \varepsilon_S C_0$
- 경계조건 : ① $E_1\sin\theta_1 = E_2\sin\theta_2$

  ② $\varepsilon_1 E_1\cos\theta_1 = \varepsilon_2 E_2\cos\theta_2$

  ③ $\frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$

  ④ $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$ 일 경우 $E_1 < E_2$ , $D_1 > D_2$ , $\theta_1 > \theta_2$

  ⑤수직으로 입사 $E=0$, $D = D_1 = D_2$, $f = \frac{1}{2}(\frac{1}{\varepsilon_2} - \frac{1}{\varepsilon_1})D^2$

  ⑥평형일 때 $D=0$, $E = E_1 = E_2$, $f = \frac{1}{2}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)E^2$

## ■5장 전기영상법

- 접지도체구

  ①위치 : $b = \frac{a^2}{d}$

  ②크기 : $Q' = -\frac{a}{d}Q$

  ③힘 : $F = -\frac{adQ^2}{4\pi\varepsilon_0(d^2 - a^2)^2}$
- 평판도체 : $F = -\frac{Q^2}{16\pi\varepsilon_0 a^2}$

## ■6장 전류

- 전류밀도 $i = \frac{I}{S} = env$ , $i = kE$ ($k$ : 도전율)
- 접지저항 : $R = \frac{\rho\varepsilon}{C}$
- 저항 : $R = \rho\frac{\ell}{S}$

## ■7장 정자계

### · 전계와 자계의 비교

| 정전계 | 전자계 |
|---|---|
| 전하 Q | 자극 m |
| 유전율 $\varepsilon_0$ | 투자율 $\mu_0$ |
| 전계 E | 자계 H |
| 전위 V | 자위 u |
| 전속밀도 D | 자속밀도 B |
| 전기력선수 N | 자기력선수 S |
| 분극의 세기 P | 자화의 세기 J |
| 전기쌍극자 | 자기쌍극자 |
| 경 계 조 건 | |

• 자계의 세기

①원형코일의 중심 : $\frac{I}{2a}$ (원형코일에 전류가 흐를 때)

②무한장 직선(원통) : 직선도체에 전류가 흐를 때

중심에서 r 만큼 떨어진 지점 $H=\frac{I}{2\pi r}$

내부균일하게 전류가 흐를 때 $H=\frac{rI}{2\pi a^2}$

(내부)

③ 유한장 직선도체 : $H=\frac{I}{4\pi a}(\sin\theta_1+\sin\theta_2)$

④ 환상솔레노이드 : $H=\frac{NI}{2\pi r}$ (N :권수)

⑤무한장 솔레노이드 : $H=n_0 I$ ( $n_0$:단의 1[m]당 권수)

• 자장내의 전류가 흐르고 있는 도체가 받는 힘(전동기)

: $F=I\times B=IB\ell\sin\theta$

• 자장내의 회전하는 도체가 만드는 유기기전력(발전기)

: $e=(v\times B)l=vB\ell\sin\theta$

• 회전력 : $T=M\times H=MH\sin\theta=mlH\sin\theta$

$T = NIBS\cos\theta = NIB\ell_1\ell_2\cos\theta$

• 평행도선(무한장 평행도선)사이의 힘

$F=\frac{2I_1I_2}{r}\times 10^{-7}[N/m]$

• 일 : $W=I\Phi=IBS=MH(1-\cos\theta)$

• 로렌쯔의 힘 : $F=F_e+F_m = eE+e(V\times B) = e[E+(V\times B)]$

• 판자석 : 자위 $U_P=\frac{M}{4\pi\mu_0}\omega$

$M$ : 판자석의세기 $M=\sigma\delta[wb/m]$

## ■8장 자성체와 자기회로

| 전기회로 | 자기회로 |
|---|---|
| 전류 I | 자속 $\phi$ |
| 전기저항 R | 자기저항 $R_m$ |
| 기전력 E | 기자력 $F_m$ |
| 도전율 $k$ | 투자율 $\mu$ |

*** 전기회로와 자기회로와의 관계**

• 자화의 세기 : $J=\mu_0(\mu_S-1)H=xH=B(1-\frac{1}{\mu_S})=\frac{M}{v}[Wb/m^2]$

자기 모멘트 $M=m\delta[wb\cdot m]$

• 경계조건 : ① $B_1\cos\theta_1=B_2\cos\theta_2$

② $H_1\sin\theta_1=H_2\sin\theta_2$

③굴절의 법칙 : $\frac{\tan\theta_2}{\tan\theta_1}=\frac{\mu_2}{\mu_1}$

④ $\mu_1>\mu_2$일 때 $\theta_1>\theta_2$ , $B_1>B_2$ , $H_1<H_2$

• 자기저항 : $R_m=\frac{\ell}{\mu S}=\frac{NI}{\phi}=\frac{F}{\phi}[AT/Wb]$

• 자 속 : $\phi=\frac{F}{R_m}=\frac{\mu SNI}{\ell}[Wb]$

• 자계의 에너지 밀도 : $W=\frac{1}{2}\mu H^2=\frac{B^2}{2\mu}=\frac{1}{2}HB\ [J/m^3]$

• 단위면적당 작용하는 힘 : $f=\frac{1}{2}\mu H^2=\frac{B^2}{2\mu}=\frac{1}{2}HB\ [N/m^2]$

## ■9장 전자유도

• 패러데이 전자유도 법칙 : $E=-N\frac{d\phi}{dt}=-N\frac{dB}{dt}S$

• 표피효과

침투깊이 : $\delta=\sqrt{\frac{2}{\omega\mu k}}=\sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}}$

※침투깊이가 작을수록 즉 $f$, $\mu$, $k$가 클수록 표피효과가 커진다.

## ■10장 인덕턴스

* 자기인덕턴스 : $L_1=\frac{N_1^2}{R_m}$ $L_2=\frac{N_2^2}{R_m}$

상호인덕턴스 : $M=\frac{N_1N_2}{R_m}$

• $e=-L\frac{di}{dt}[V]$

• $M=k\sqrt{L_1L_2}$ (k: 결합계수)

• 인덕턴스계산

①원주도체의 내부 자기 인덕턴스 : $L=\frac{\mu}{8\pi}[H/m] = \frac{\mu\ell}{8\pi}[H]$

자기 에너지 : $W=\frac{\mu\ell I^2}{16}\pi$

②환상솔레노이드 : $L=\frac{\mu SN^2}{\ell}$

③무한장 솔레노이드 : $L=\mu\pi a^2N^2=\mu SN^2[H/m]$

④동축케이블 : $L=\frac{\mu}{2\pi}\ln\frac{b}{a}+\frac{\mu}{8\pi}[H/m]$

⑤평행왕복도선 : $L=\frac{\mu}{\pi}\ln\frac{d}{a}+\frac{\mu}{4\pi}[H/m]$

• 인덕턴스의 합성 : 상호인덕턴스가 없는 경우

①직렬접속 : $L=L_1+L_2$

②병렬접속 : $L=\frac{L_1L_2}{L_1+L_2}$

• 인덕턴스의 합성 : 상호인덕턴스가 있는 경우

①직렬접속 : $L=L_1+L_2+2M$ : 가동결합

$L=L_1+L_2-2M$ : 차동결합

②병렬접속 : $L=\frac{L_1L_2-M^2}{L_1+L_2+2M}$ : 차동결합

$L=\frac{L_1L_2-M^2}{L_1+L_2-2M}$ : 가동결합

• 자기에너지 : $W=\frac{1}{2}LI^2=\frac{1}{2}N\Phi I[J]$

$LI=N\Phi \Rightarrow \phi=BS=\mu HS=\mu_0\mu_S HS$

## ■11장 전자계

• 변위전류밀도 : 유전체에서 발생

$i_d=\frac{I}{S}=\frac{\partial D}{\partial t}$ $(D=\varepsilon E=\varepsilon\frac{V}{d})$

• 임계주파수 : $f=\frac{K}{2\pi\varepsilon}$

• 손실각 : $\tan\delta=\frac{f_c}{f}$

• 고유(파동,특성)임피던스 $Z_0=\sqrt{\frac{L}{C}}=\frac{E}{H}=\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}=\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}\sqrt{\frac{\mu_S}{\varepsilon_S}}=377\sqrt{\frac{\mu_S}{\varepsilon_S}}$

• 전파(위상)속도 : $v=\frac{1}{\sqrt{LC}}=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$

• 파장 : $\lambda = \frac{C}{f} = \frac{1}{f\sqrt{\mu\varepsilon}}$

• maxwell

① $rot\ E = -\frac{\partial B}{\partial t} = -\frac{\mu\ \partial H}{\partial t}$

$rot\ H = \nabla \times H \Rightarrow i = i_D + i_C = \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} + KE$

② $div\ D = \rho$ (불연속), $div\ B = 0$ (연속)

③ $\nabla^2 E = \varepsilon\mu \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$

④ $\nabla^2 H = \varepsilon\mu \frac{\partial^2 H}{\partial t^2}$

⑤ $\nabla^2 F = \frac{1}{V^2} \frac{\partial^2 F}{\partial t^2}$

• 포인팅벡터 : $P = E \times H = EH\sin\Theta = EH$