

## 제1장

## 전기자기학

## 1. 벡터해석

## ① 단위 벡터

- 임의의 벡터  $\mathbf{A} = A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k}$  라 하면

이 벡터의 크기는  $A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$  이므로

$$\mathbf{a}_0 = \frac{\mathbf{A}}{A} = \frac{A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k}}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}} = \frac{A_x}{A} \mathbf{i} + \frac{A_y}{A} \mathbf{j} + \frac{A_z}{A} \mathbf{k}$$

② 내적 :  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = AB \cos \theta$ 

- $\mathbf{i} \cdot \mathbf{i} = \mathbf{j} \cdot \mathbf{j} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{k} = 1$
- $\mathbf{i} \cdot \mathbf{j} = \mathbf{j} \cdot \mathbf{k} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{i} = 0$

③ 외적 :  $\mathbf{A} \times \mathbf{B} = AB \sin \theta$ 

- $\mathbf{i} \times \mathbf{i} = \mathbf{j} \times \mathbf{j} = \mathbf{k} \times \mathbf{k} = 0$
- $\mathbf{i} \times \mathbf{j} = \mathbf{k}, \mathbf{j} \times \mathbf{k} = \mathbf{i}, \mathbf{k} \times \mathbf{i} = \mathbf{j}$
- $\mathbf{j} \times \mathbf{i} = -\mathbf{k}, \mathbf{k} \times \mathbf{j} = -\mathbf{i}, \mathbf{i} \times \mathbf{k} = -\mathbf{j}$

④ 미분연산자  $\nabla$ 

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

## 2. 정전계

## ① 정전계

- 전계에너지가 최소로 되는 전하 분포, 가장 안정적

## ② 전자

- 전하량 :  $e = -1.609 \times 10^{-19}$  [C]
- 질량 :  $m = 9.1 \times 10^{-31}$  [kg]

## ③ 쿨롱의 법칙:

- $F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = 9 \times 10^9 \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$  [N] ( + : 반발력 , - : 흡인력 )  
(  $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$  [F/m] )

## ④ 전계의 세기

- 전계내의 한 점에 단위 전하를 놓았을 때 이에 작용하는 힘
- $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$  [V/m], [N/C]
- 선에 수직되는 단위 면적을 통과하는 전기력선수 (전기력선 밀도)
- $E = \frac{F}{Q}$  [V/m]
- $E = -\text{grad } V = -\nabla V$

## ⑤ 전 위

- $V = -\int_{\infty}^r E \cdot dl = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$  [V]

## ⑥ 전기력선의 성질

- 전기력선의 방향은 그 점의 전계 방향과 일치하고 밀도는 그 점에서 전계의 크기와 같다.
- 단위 전하에서  $1/\epsilon_0$  개의 전기력선이 출입한다.
- 전력선은 그 자신만으로 폐곡선이 되는 일이 없다.
- 전력선은 등전위면과 직교한다.
- 전력선은 도체표면에 수직으로 발산한다.
- 도체 내부에는 전력선이 없다.

## ⑦ 등전위면

- 전계 내에서 동일한 전위의 점을 연결하여 얻어지는 면을 등전위면이라 한다.
- 서로 다른 전위를 가진 등전위면은 교차하지 않는다.
- 등전위면과 전기력선은 서로 수직으로 교차한다.

## ⑧ 가우스 법칙

- 대칭전하 분포에 의해 전계를 구할 때 쓰임
- $\oint E \cdot n dS = \frac{Q}{\epsilon_0}$
- 폐곡면을 통해서 나가는 전력선의 총수는 전체 전하의  $1/\epsilon_0$  배가 된다.

## ⑨ 전계의 세기

- 구외부의 전계 및 전위

$$\bullet E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} [\text{V/m}], \quad V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} [\text{V}]$$

- 구내부의 전계 및 전위

- 전하가 표면에만 존재할 때 (일반적인 경우)

$$\therefore E = 0 [\text{V/m}], \quad V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 a} [\text{V}]$$

- 전하가 내부에도 균일하게 분포할 때 (가상의 경우)

$$\therefore E_i = \frac{r Q}{4\pi\epsilon_0 a^3} [\text{V/m}], \quad V_i = \frac{3a^2 - r^2}{8\pi\epsilon_0 a^3} Q [\text{V}]$$

- 동심구에 대한 전계 및 전위

- 도체 사이의 전계 :  $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} [\text{V/m}]$

- 도체 밖의 전계 :  $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} [\text{V/m}]$

- 내구의 전위 :  $V_A = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} + \frac{1}{c} \right) [\text{V}]$

- 무한장 직선, 선전하의 내부

- $E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} [\text{V/m}]$  ( $\lambda$  [C/m]: 선 전하 밀도)

- 무한장 직선, 선전하의 외부

- 전하가 표면에만 있을 경우 :  $E = 0 [\text{V/m}]$

- 전하가 내부에 존재할 경우 :  $E_i = \frac{r\lambda}{2\pi\epsilon_0 a^2} [\text{V/m}]$  \*

- 동축 케이블에서의 전위차 :  $V = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1} [\text{V/m}]$

- 무한 평면 도체에 의한 전계 및 전위

- $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} [\text{V/m}]$  \*(거리와 관계없는 평등 전계이다.)

( $\sigma$  [C/m<sup>2</sup>]: 면 전하 밀도)

- $V = \infty [\text{V}]$

- 무한 평면 도체 사이 (한 면에  $+\sigma$  [C/m<sup>2</sup>] 다른 면은  $-\sigma$  [C/m<sup>2</sup>]의 전하가 분포)

- 내부전계 :  $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$  [V/m]<sup>☆</sup>( 거리와 관계 없는 평등 전계 )

- 간격  $d$  [m]인 양면 사이의 전위차 :  $V = E \cdot d = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \cdot d$  [V]<sup>☆</sup>

- 무한 도체 표면에서의 전계 및 전위

- $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$  [V/m]<sup>☆</sup>(거리와 관계없는 평등 전계이다.)

( $\sigma$  [C/m<sup>2</sup>]: 면 전하 밀도)

- $V = \infty$  [V]

#### ⑩ 전기력선의 발산

- 전계의 발산정리 :  $\oint E \cdot n dS = \int_v \text{div } E \cdot dv$

- 가우스 법칙의 미분형 :  $\text{div } E = \nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0}$

#### ⑪ 프아송의 방정식

- $\text{div } E = \nabla \cdot E = \nabla \cdot (-\nabla \cdot V) = -\nabla^2 V = \frac{\rho}{\epsilon_0}$

#### ⑫ 전기 쌍극자

- $V = \frac{m \cdot \cos \theta}{4\pi\epsilon_0 r^2}$  [V]

- $E = \frac{m}{4\pi\epsilon_0 r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2 \theta}$  [V/m]

(  $m$ (전기 쌍극자 모멘트)=  $Q \cdot \delta$  [Cm] )

#### ⑬ 전기력선 방정식

- $\frac{dx}{E_x} = \frac{dy}{E_y} = \frac{dz}{E_z}$

- $E = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} \rightarrow y = cx$

- $E = x\mathbf{i} - y\mathbf{j} \rightarrow y = \frac{c}{x}$

### 3. 진공중의 도체계

#### ① 전위계수

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 r_1} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 R} = P_{11}Q_1 + P_{12}Q_2 \\ V_2 &= \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 R} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2} = P_{21}Q_1 + P_{22}Q_2 \end{aligned}$$

- 전위계수의 단위 : [V/C]
- 성질
  - $P_{11} \geq P_{21} > 0$
  - $P_{12} = P_{21}$
  - $P_{11} = P_{21}$  : 도체 2가 도체 1에 포위되어 있다.

#### ② 용량계수와 유도계수

- 첨자가 같은 것은 용량계수, 첨자가 다른 것은 유도계수
- 용량(유도)계수의 단위 : [C/V]=[F]
- 성질
  - $q_{11} > 0$  일반적으로  $q_{rr} > 0$
  - $q_{12} \leq 0$  일반적으로  $q_{rs} \leq 0$
  - $q_{12} = q_{21}$                       일반적으로  $q_{rs} = q_{sr}$
  - $q_{11} \geq -(q_{21} + q_{31} + \dots + q_{n1})$

#### ③ 정전용량

- 일정한 전위  $V$ 를 주었을 때 전하  $Q$ 를 저축하는 능력을 표시하며  $Q$ 는  $V$ 에 비례, 이때 비례상수를  $C$ 라 하면 이를 정전용량이라한다.
- $Q = CV$  단위 : [F]      \*  $\frac{1}{F} = F^{-1} = \text{daraf} = \text{엘라스턴스}$

#### ④ 정전용량의 계산

- 반경  $a$  [m]인 고립도체구의 정전용량 :  $V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 a}$
- $C = \frac{Q}{V} = 4\pi\epsilon_0 a = \frac{a}{9 \times 10^9} \text{ [F]}$
- 동심구 사이의 정전용량 (내구에  $+Q$  외구에  $-Q$ 를 주었을 때)
  - $V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) \text{ [V]}$
  - $C = \frac{Q}{V} = \frac{4\pi\epsilon_0}{\frac{1}{a} - \frac{1}{b}} \text{ [F]}$

- 동심 원통사이의 정전용량

$$\bullet V = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{b-a}{a} \text{ [V]}$$

$$\bullet C_0 = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{b}{a}} \text{ [F/m]}$$

- 평행도선 사이의 정전용량

$$\bullet V = \frac{\lambda}{\pi\epsilon_0} \ln \frac{d-a}{a} \text{ [V]}$$

$$\bullet C_0 = \frac{C}{l} = \frac{\lambda}{V} = \frac{\pi\epsilon_0}{\ln \frac{d-a}{a}} \text{ [F/m]}$$

- 평행판 콘덴서의 정전용량

$$\bullet V = E \cdot d = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \cdot d \text{ [V]}$$

$$\bullet C = \epsilon_0 \frac{S}{d} \text{ [F]}$$

#### ⑤ 콘덴서 연결

- 병렬연결

$$\bullet C = C_1 + C_2$$

$$\bullet Q_1 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} Q, \quad Q_2 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} Q$$

- 직렬연결

$$\bullet C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} \text{ [F]}$$

$$\bullet Q = Q_1 = Q_2$$

#### ⑥ 도체계의 에너지

$$\bullet \text{정전에너지 : } W = \frac{1}{2} Q V = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{Q^2}{2C} \text{ [J]}$$

$$\bullet \text{공간 전하계가 갖는 에너지 : } W = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 = \frac{1}{2} E D = \frac{D^2}{2\epsilon_0} \text{ [J/m}^3\text{]}$$

#### ⑦ 대전도체표면의 단위 면적에 작용하는 힘

$$\bullet W = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 \left( \frac{V}{d} \right)^2 = \frac{D^2}{2\epsilon_0} \text{ [N/m}^2\text{]}$$

## 4. 유전체

### ① 전기분극

- 유전체에 전계를 가하면 원자핵과 전자가 약간 변위하여 전기 쌍극자를 형성하게 되는 데 이때의 현상을 전기 분극 이라한다.
- 단위 체적 당 나타나는 쌍극자 모멘트를 그점에 대한 분극의 세기 또는 분극도라 하며 크기는 분극 전하 밀도와 같다.
- 분극의 세기  $P$ 는 전계의 세기  $E$ 에 비례하며 다음과 같은 관계가 있다.
  - $P = \epsilon_0 (\epsilon_s - 1)E$

### ② 전속 : 진공이 아닌 유전체에서는 유전율에 따라 전기력선 수가 달라져 새로운 차원의 선을 가정하여 유전속 또는 전속이라 한다.

### ③ 전속밀도 : 단위 면적당 전속수

- $D = \epsilon_0 E + P = \epsilon_0 E + \epsilon_0 (\epsilon_s - 1) E = \epsilon_0 \epsilon_s E = \epsilon E$

### ④ 유전체내의 정전계

- 쿨롱의 법칙 :  $F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_s r^2} = 9 \times 10^9 \frac{Q_1 Q_2}{\epsilon_s r^2} [\text{N}]$

- 전계의 세기 :  $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_s r^2} [\text{V/m}]$

- 전 위 :  $V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_s r} [\text{V}]$

### ⑤ 경계조건

- $D_1 \cos\theta_1 = D_2 \cos\theta_2$  (법선 성분)

- $E_1 \sin\theta_1 = E_2 \sin\theta_2$  (접선 성분)

- $\frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}$

- $\epsilon_1 > \epsilon_2$  이면,  $D_1 > D_2$ ,  $\theta_1 > \theta_2$ ,  $E_1 < E_2$

- 전기력선 및 전속이 경계면에 수직으로 입사되는 경우  $\theta_1 = \theta_2 = 0$ 로 굴절하지 않으며

$D_1 = D_2$  로 전속 밀도는 연속

- 유전율이 다른 두 종류의 경계면에 전속과 전기력선이 수직으로 도달할 때의 특징
  - 전속과 전기력선은 굴절하지 않는다.
  - 전속밀도는 불변이다.
  - 전체의 세기는 불연속이다.
  - 전속선은 유전율이 큰 유전체에 모이려는 성질이 있다.

#### ⑥ 유전체 내의 정전에너지

- 단위 체적내에 축적되는 에너지 밀도

$$W = \frac{D \cdot E}{2} = \frac{1}{2} \epsilon E^2 = \frac{D^2}{2\epsilon} \text{ [J/m}^3\text{]}$$

#### ⑦ Faraday관

- 전기력관 : 유전체 중에서 대전 도체 표면의 미소 면적에서 발산하는 전속으로 이루어지는 관
- 패러데이관 : 전기력관 중 미소 면적상의 전하가 단위 전하 (1[C])인 것
- 패러데이관의 성질
  - 전속 수는 일정하다.
  - 양단에 정, 부의 단위 전하가 있다.
  - 진전하가 없는 점에서 패러데이관은 연속적이다.
  - 패러데이 관의 밀도는 전속 밀도와 같다.

#### ⑧ 유전체에 작용하는 힘

- 전계가 경계면에 수직인 경우 ( $D_1 = D_2$ )
  - $f = \frac{1}{2} (E_2 - E_1) \cdot D = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\epsilon_2} - \frac{1}{\epsilon_1} \right) \cdot D^2 \text{ [N/m}^2\text{]}$
- 전계가 경계면에 평행한 경우 ( $E_1 = E_2$ )
  - $f = \frac{1}{2} (D_1 - D_2) \cdot E = \frac{1}{2} (\epsilon_1 - \epsilon_2) \cdot E^2 \text{ [N/m}^2\text{]}$



## 5. 전기 영상법

### ① 무한평면

- 쿨롱의 힘 :  $F = -\frac{Q^2}{16\pi\epsilon_0 a^2}$  [N] ( - : 흡인력 )
- 전하가 무한평면으로 이동했을 때 한 일 :  $W = \frac{Q^2}{16\pi\epsilon_0 a}$  [J]
- 무한평면 도체로부터 거리  $a$ [m]인 곳에 점전하  $Q$ [C]가 있을 때 무한 평면 도체에 유도되는 면 밀도가 최대인 점의 전하 밀도 :  $\sigma = \frac{-Q}{2\pi a^2}$  [C/m<sup>2</sup>]

### ② 도체 위에 선전하 밀도

- 전위 :  $\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h}{a}$  [V]
- 정전용량 :  $\frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{2h}{a}}$  [F/m]

### ③ 접지 도체구와 점전하

- 영상 전하의 위치 :  $\frac{a^2}{d}$  [m]
- 영상 전하의 크기 :  $-\frac{a}{d} Q$  [C]

## 6. 전류

- ① 저항과 정전 용량과의 관계 :  $R \cdot C = \rho\epsilon$  즉,  $\frac{C}{G} = \frac{\epsilon}{k}$

### ② 열전현상

- 제어백 : 온도차에 의한 열기전력 발생
- 펠티에 : 제어백 현상의 역현상으로 전류가 흐르면 열이 발생(전자냉동)
- 톰슨 : 한 금속에서의 전류에 의한 줄열 이외의 발열 또는 흡열
- 핀치 : DC 전압, 액상 도체

## ③ 변위전류 밀도(유전체 안)

- 변위전류 : 전속밀도의 시간적 변화

$$\bullet i_d = \frac{\partial D}{\partial t} \quad (D = \epsilon E = \epsilon \cdot \frac{V}{d})$$

- $v = V_m \sin \omega t$  [V] 라면

$$\bullet i_d = \frac{\partial D}{\partial t} = \epsilon \frac{\partial E}{\partial t} = \frac{\epsilon}{d} \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\epsilon}{d} \frac{\partial}{\partial t} (V_m \sin \omega t)$$

$$= \frac{\omega \epsilon}{d} V_m \cos \omega t \text{ [A/m}^2\text{]}$$

- $v = V_m \cos \omega t$  [V] 라면

$$\bullet i_d = -\frac{\omega \epsilon}{d} V_m \sin \omega t \text{ [A/m}^2\text{]}$$

## 7. 정자기

## ① 자기

- 자류가 없다 → 유동성이 없다.

## ② 자성체

- 강자성체 : 철, 니켈, 코발트
- 역자성체 : 구리
- 상자성체 : 알루미늄, 망간

## ③ 쿨롱의 법칙:

$$\bullet F = \frac{m_1 m_2}{4\pi\mu_0 r^2} = 6.33 \times 10^4 \frac{m_1 m_2}{r^2} \text{ [N]}$$

- $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  [H/m] ( $m_1, m_2$  : 자극의 세기)

## ④ (점)자계의 세기

$$\bullet H = \frac{F}{m} = \frac{m}{4\pi\mu_0 r^2} \text{ [AT/m], [N/wb]}$$

## ⑤ 전자력

- $m$  [Wb]에서 나오는 자속 수 :  $m$  개
- $m$  [Wb]에서 나오는 총 자력선 수 :  $\frac{m}{\mu}$  개

## ⑥ 자화의 세기 (분극의 세기)

- $\mathbf{J} = \chi \mathbf{H} = \mu_0 (\mu_s - 1) \mathbf{H}$

## ⑦ 자속밀도

- $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} + \mathbf{J} = \mu_0 \mathbf{H} + \chi \mathbf{H} = (\mu_0 + \chi) \mathbf{H} = \mu \mathbf{H}$

- $B(\text{자속밀도}) = \frac{\phi}{S} [\text{Wb/m}^2], \quad \phi(\text{자속}) = B \cdot S [\text{Wb}]$

## ⑧ 감자력

- 자화의 세기와 비례한다.

- $\mathbf{H}' = \frac{N}{\mu_0} \mathbf{J} \quad (N : \text{감자율})$

- 환상 솔레노이드의 감자율은 “0” 이다.

## ⑨ 자위

- $U = \int H \, dr = \frac{m}{4\pi\mu_0 r} [\text{AT}]$

## ⑩ 자기쌍극자

- $U = \frac{M \cos \theta}{4\pi\mu_0 r^2} [\text{AT}]$

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

- $M(\text{자기쌍극자 모멘트}) = m \cdot l [\text{Wb}\cdot\text{m}]$

## ⑪ 등가 판자석

- $U = \frac{m}{4\pi\mu_0} \omega [\text{AT}] \quad (m(\text{판자석의 세기}) = \sigma \cdot \delta [\text{Wb/m}])$

- 구의 입체각  $\omega = 2\pi(1 - \cos \theta) [\text{sr}]$

## ⑫ 회전력

- 막대자석

- $T = MH \sin \theta = m l H \sin \theta = \mathbf{M} \times \mathbf{H} [\text{N}\cdot\text{m}]$

## ⑬ 경계조건

- $B_1 \cos \theta_1 = B_2 \cos \theta_2$  (법선 성분)
- $H_1 \sin \theta_1 = H_2 \sin \theta_2$  (접선 성분)
- $\frac{\tan \theta_2}{\tan \theta_1} = \frac{\mu_2}{\mu_1}$
- $\mu_1 > \mu_2$  이면,  $B_1 > B_2$ ,  $\theta_1 > \theta_2$ ,  $H_1 < H_2$
- 경계면에 작용하는 힘
  - 자계가 경계면에 평행이면 경계면은 압축 응력을 받는다.
  - 자계가 경계면에 수직이면 경계면은 인장 응력을 받는다.
  - 자계가 경계면에 수직이거나 평행일 때 투자율이 작은 쪽으로 이끌리는 힘을 받는다.

## 8. 전류의 자기 현상

## ① 선전류(자계 중 전류)에 작용하는 힘

- $F = BIl \sin \theta = (I \times B)l$  [N]
- 평행 도선간에 작용하는 힘
- $F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi r} = \frac{2I_1 I_2}{r} \times 10^{-7}$  [N/m]

## ② 로렌츠의 힘

- 자계 내에 수직으로 돌입한 전자는 원운동을 한다.

- $F = evB \sin 90^\circ = \frac{mv^2}{r}$  [N]
- 궤적  $r = \frac{mv}{eB}$
- 각속도  $\omega = \frac{v}{r} = \frac{eB}{m} = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$
- 주기  $T = \frac{2\pi m}{eB}$

## ③ 암페어의 주회적분 법칙(전류와 자계와의 관계)

- $\int H dl = \sum I \rightarrow Hl = NI$
- 미분형 :  $\text{rot} \mathbf{H} = \mathbf{i} \left( + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \right)$

## ④ 비오 사바르 법칙 (전류와 자계의세기와의 관계)

$$\bullet dH = \frac{Idl \sin \theta}{4\pi r^2} [\text{AT/m}]$$

## ⑤ 자계의 세기

## • 원주

$$\bullet \text{외부 (무한장 직선)} : H = \frac{I}{2\pi r} [\text{AT/m}]$$

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

## • 유한장 직선

$$\bullet H = \frac{I}{4\pi d} (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) = \frac{I}{4\pi d} (\sin \sigma_1 + \sin \sigma_2) [\text{AT/m}]$$

## • 원형 코일 중심에서 x만큼 떨어진 지점의 전계의 세기 (비오사바르 법칙 응용)

$$\bullet H = \frac{a^2 NI}{2(a^2 + x^2)^{3/2}} [\text{AT/m}]$$

$$\bullet x \text{가 } 0 \text{ 일 경우 (원형 코일 중심)} : H_i = \frac{NI}{2a} [\text{AT/m}]$$

## • 환상 솔레노이드 (암페어의 주회적분 법칙응용)

$$\bullet \text{솔레노이드 내부} : H = \frac{NI}{l} = \frac{NI}{2\pi a} [\text{AT/m}]$$

$$\bullet \text{솔레노이드 중심 및 외부} : H=0 [\text{AT/m}]$$

## • 무한장 솔레노이드 (암페어의 주회적분 법칙응용)

$$\bullet \text{솔레노이드 내부} : H = nI = \left(\frac{N}{l}\right)I [\text{AT/m}]$$

$$\bullet \text{솔레노이드 외부} : H=0 [\text{AT/m}]$$

## • 정삼각형 중심점의 자계 세기 (유한장 직선 응용)

$$\bullet H_3 = \frac{9I}{2\pi l} [\text{AT/m}]$$

## • 정사각형 중심점의 자계 세기

$$\bullet H_4 = \frac{2\sqrt{2}I}{\pi l} [\text{AT/m}]$$

## • 정육각형 중심점의 자계 세기

$$\bullet H_6 = \frac{\sqrt{3}I}{\pi l} [\text{AT/m}]$$

## ⑥ 자화의 세기

$$\bullet J = \frac{dM}{dv} = \frac{M}{V} = \mu_0 (\mu_s - 1) H = \chi H [\text{wb/m}^2] \quad (\chi : \text{자화율})$$

## 9. 자성체와 자기회로

### ① 강자성체의 자화 곡선

- 퀴리 점 : 자화된 철의 온도를 높일 때 강자성이 상자성으로 급격하게 변하는 온도

### ② 히스테리시스 곡선

- 철손  $P_e = \eta f B_m^{1.6} [\text{Wb/m}^3]$
- 횡축은 자계의 세기, 종축은 자속밀도
- 히스테리시스 곡선에서 횡축이 만나는 점 - 보자력
- 히스테리시스 곡선에서 종축이 만나는 점 - 전류 자기
- 전 자 석 보자력 · 면적은 작고 잔류자기는 클 것
- 영구자석 보자력과 면적 · 잔류자기가 클 것

### ③ 자화에 필요한 에너지

- 자계의 에너지 밀도
- $w = \frac{1}{2} \mu H^2 = \frac{B^2}{2\mu} = \frac{1}{2} BH [\text{J/m}^3]$
- 단위 면적당 자석 표면에 작용하는 전자력
- $f = \frac{1}{2} \mu H^2 [\text{N/m}^2]$
- 전체 면적에 작용하는 힘
- $F = f \cdot S = \frac{B^2}{2\mu} S = \frac{1}{2} \mu H^2 \cdot S [\text{N}]$

### ④ 자기회로와 전기회로의 비교

자기회로		전기회로	
자속	$\phi [\text{Wb}]$	전류	$I [\text{A}]$
자계	$H [\text{A/m}]$	전계	$E [\text{V/m}]$
기자력	$F [\text{AT}]$	기전력	$V [\text{V}]$
자속밀도	$B [\text{Wb/m}^2]$	전류밀도	$i [\text{A/m}^2]$
투자율	$\mu [\text{H/m}]$	도전율	$\sigma [\text{S/m}]$
자기저항	$R_m [\text{AT/Wb}]$	전기저항	$R [\Omega]$

- 자기저항 :  $R_m = \frac{l}{\mu A} = \frac{NI}{\phi}$  [AT/Wb]
- 기자력 :  $F = NI$  [AT]
- 자속 :  $\phi = \frac{F}{R_m} = \frac{NI}{R_m} = \frac{\mu SNI}{l} = B \cdot S = \mu H \cdot S$  [Wb]

## ⑤ 공극이 있는 철심

- $\frac{R}{R_m} = \frac{R_m + R_0}{R_m} = 1 + \frac{R_0}{R_m} = 1 + \frac{l_g}{l} \times \frac{\mu}{\mu_0}$

## 10. 전자유도

① 패러데이 전자유도 : 전자유도현상에 의해 발생된 유도기전력은 쇠교 자속의 감쇄율에 비례한다.

- $e = -N \frac{d\phi}{dt} = -N \frac{dB}{dt} \cdot S$  [V]

## ② 유도기전력

- $e = vBl \sin \theta = (v \times B)l$  [V]

## ③ 와전류손 (맴돌이 전류)

- $P_e = k \sigma f^2 B_m^2 V$
- 페라이트 코어의 특징 : 와전류손이 적다.
- 와전류이용 기기 : 적산 전력기의 전자 제동 장치
- 와전류손이 가장 적은 코일은 : 공심

## ④ 표피효과

- 침투 깊이  $\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \sigma \mu}} = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega \mu}} = \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu k}}$  [m] \*
- 침투깊이( $\delta$ )는  $\sqrt{f}$ 에 반비례
- 표피 효과 및 저항은  $\sqrt{f}$ 에 비례

## ⑤ 인덕턴스

- $e = -N \frac{d\phi}{dt} = -N \frac{dB}{dt} S = -L \frac{di}{dt} = -M \frac{di}{dt}$

## ⑥ 인덕턴스 계산

- $L = \frac{N}{I} \Phi = \frac{N}{I} \cdot \frac{NI}{R_m} = \frac{N^2}{R_m} = \frac{\mu S N^2}{l}$
- 쇠교 자속 (N: 전체 권수)
  - $\Phi = N\phi = LI [\text{Wb}]$
- 솔레노이드
  - $H = nI = \left(\frac{N}{l}\right) \cdot I$
  - $L = \frac{\mu S N^2}{l} = \mu S n^2 l [\text{H}] \approx \mu S n^2 [\text{H/m}]$
  - 무한장보다 유한장 솔레노이드의 인덕턴스가 작다.
- 동축 원판 (원주, 동축케이블)
  - $a < r < b : L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln \frac{b}{a} [\text{H}]$
  - $r < a : L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln \frac{b}{a} + \mu \frac{l}{8\pi} [\text{H}]$
- 평행도선 (평행 왕복도선)
  - $L = \frac{\mu_0 l}{\pi} \ln \frac{d}{a} + \mu \frac{l}{4\pi} [\text{H}]$  (  $d$ : 도선간격,  $a$ : 반지름)
  - 원주도체의 내부 인덕턴스 :  $L = \frac{\mu l}{8\pi} [\text{H/m}]$

## ⑦ 인덕턴스 연결

- 직렬연결
  - $L_{\text{직렬}} = L_1 + L_2 \pm 2M = L_1 + L_2 \pm 2k\sqrt{L_1 L_2} [\text{H}]$
- 병렬연결
  - $L_{\text{병렬}} = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \mp 2M} [\text{H}]$
- 결합계수
  - $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (0 \leq k \leq 1)$
- 두 코일이 서로 직교하고 있을 때는 자속의 쇠교가 없으므로  $M = k = 0$

## ⑧ 자계에너지

- $W = \frac{1}{2} L I^2 [\text{J}]$



## 11. 전자계

## ① 특성(파동) 임피던스

$$\bullet Z = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377 \quad \bullet Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

## ② 전파속도

$$\bullet \text{전파속도 } v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \lambda f \text{ [m/s]}$$

$$\bullet \text{파장 } \lambda = \frac{v}{f} = \frac{1}{f\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{1}{f\sqrt{LC}}$$

(공기 중에서 전자파의 전파속도  $c = 3 \times 10^8$  [m/s])

## ③ 포인팅 벡터

$$\bullet \text{단위 면적을 단위 시간에 통과하는 에너지}$$

$$\bullet \mathbf{P} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} \text{ [W/m}^2\text{]} = \mathbf{W} \cdot \mathbf{v} = \frac{1}{2}(\mu H^2 + \epsilon E^2) \times \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$$

$$= \frac{1}{2} \left[ \left( \mu \left( \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} E \right) \cdot \mathbf{H} + \epsilon \left( \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} H \right) \cdot \mathbf{E} \right) \times \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \right] = EH$$

$$\bullet \text{단위 [W/m}^2\text{]} = [\text{J/m}^3] \times [\text{m/s}] = [\text{J/s} \cdot \text{m}^2]$$

## ④ 맥스웰의 전자 방정식

- 가우스 정리의 미분형
  - $\text{div } \mathbf{D} = \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$  (전하에서 전속선이 발산한다.)
  - $\text{div } \mathbf{B} = \nabla \cdot \mathbf{B} = 0$  (고립된 자극은 존재하지 않는다.)
- 패러데이 전자유도법칙의 미분형
  - $\text{rot } \mathbf{E} = \nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$
- 암페어의 주회 적분법칙의 미분형 (전류와 자계의 관계)
  - $\text{rot } \mathbf{H} = \nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{i}_c + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = \mathbf{i}$
- 수평전파 : 대지에 대해 전계가 수평면에 있는 전자파
- 전자파
  - 전계와 자계는 서로 수직이며, 위상은 동위상
  - $\mathbf{E} \times \mathbf{H}$  방향과 같다.

## 제2장 전력 공학

## 1. 송전 선로

## ① 첩탑의 종류

- 보강형
- 직선형 :  $3^\circ$  이하 (A)
- 각도형 (B,C)
- 인류형 : 전선로 말단 (D)
- 내장형 : 경간이 넓은 때 (E)

## ② 전선

- 구비조건
  - 도전율이 클 것
  - 인장강도가 클 것
  - 비중(밀도)이 작을 것
  - 내 부식성이 클 것
  - 가설이 쉽고 가격이 저렴할 것
- 연선
  - 소선의 총수 :  $N = 1 + 3n(n+1)$ ,  $7 \rightarrow 19 \rightarrow 37$  ( $n$ : 층수)
  - 연선의 직경 :  $D = (2n+1)d$  ( $d$ : 소선 1가닥의 지름)
  - 연선의 단면적 :  $A = \frac{\pi d^2}{4} \times N$
  - $K(\text{연입율}) = \frac{\text{소선의길이} - \text{연선의길이}}{\text{연선의길이}}$
  - 중공연선 - 표피효과 이용
  - ACSR

경동선과 ACSR 의 비교

	도전율	직경	비중	인장강도
경동선	91~97%	1	1	1
ACSR	61%	1.4 ~ 1.6	0.8	1.5 ~ 2

## ③ 애자

- 목적
  - 전선지지
  - 전선과 지지물 간의 절연 간격 유지
- 구비조건
  - 절연내력 및 절연 저항이 클 것
  - 기계적 강도가 클 것
  - 충전용량이 작을 것
  - 값이 저렴하고, 수분을 잘 흡수하지 않을 것
- 현수애자
  - 전압분담 : 지지물로부터 세 번째 애자가 전압분담이 가장 적고, 전선으로부터 가장 가까운 애자가 전압 분담이 가장 크다.
- 애자보호대책 : 초호각(소호각)
- 애자효율

$$\eta = \frac{V_n}{n V_1} \times 100 \quad \left( \begin{array}{l} V_n : \text{애자런 전체 섬락 전압} \\ n : \text{애자런의 애자 갯수} \\ V_1 : \text{애자 한 개의 건조 섬락 전압} \end{array} \right)$$

- 애자섬락전압 [kV]
  - 주수섬락 : 50
  - 건조섬락 : 80
  - 충격전압시험 : 125
  - 유중파괴시험 : 140
- OFF SET : 전선도약에 의한 단락방지

## ④ 하중

- 합성하중
  - 수직하중 : 전선의 하중( $W_i$ ), 빙설하중( $W_c$ )
  - 수평하중 : 풍압하중( $W_p$ )
- 빙설이 적은 지방의 합성하중
  - $W = \sqrt{W_i^2 + W_p^2}$
- 빙설이 많은 지방의 합성하중
  - $W = \sqrt{(W_i + W_c)^2 + W_p^2}$

## ⑤ Dip (이도) : 전선의 늘어지는 정도

- $D = \frac{WS^2}{8T}$  (  $T$ : 수평장력,  $W$ : 합성하중,  $S$ : 경간 )
- 수평장력  $T = \frac{\text{인장하중}}{\text{안전율}}$ 
  - 인장하중 : 전선이 완전히 끊어졌을 때 작용한 힘
  - 인장강도 : 소선 1가닥이 끊어졌을 때 작용한 힘 전선의 실제 길이
- 전선의 실제 길이  $L = S + \frac{8D^2}{3S}$

## 2. 선로 정수 및 코로나

## ① 선로정수

- L (인덕턴스)
  - 작용 인덕턴스 :  $L = \frac{0.05}{n} + 0.4605 \log_{10} \frac{D}{\sqrt[n]{r d^{n-1}}} \text{ [mH/km]}$
- C (정전용량)
  - 선로의 단위 길이당 정전 용량 :  $C = \frac{0.02413}{\log \frac{D}{\sqrt[n]{r d^{n-1}}}} \text{ [}\mu\text{F/km]}$
  - 작용 정전용량
    - 단상 :  $C = C_s + 2C_m$
    - 3 상 :  $C = C_s + 3C_m$

## ② 복도체 사용 특징

- 인덕턴스는 감소하고 정전용량은 증가
- 같은 단면적의 단도체에 비해 전류용량의 증대
- 코로나의 방지, 코로나 임계전압의 상승
- 송전용량의 증대
- 꼬임현상, 소도체 충돌현상 ( 대책 : 스페이서의 설치 )
- 단락 시 대전류 등이 흐를 때 정전흡인력이 발생

## ③ 코로나

- 이상전압이 내습 시 전선로 주위의 공기의 절연 또는 자 장이 국부적으로 파괴되면서 빛과 잡음을 내는 현상
- 파열극한전위경도 : DC 30[kV/cm], AC 21.1[kV/cm]
- 코로나 임계전압 높아야 코로나 발생이 적다.
- 코로나 임계 전압 :  $E = 24.3 m_0 m_1 \delta d \log_{10} \frac{D}{r}$ 
  - $m_0$  : 전극의 표면상태
  - $m_1$  : 날씨 계수 ( 맑은 날 1, 우천 시 0.8)
  - $\delta$  : 상대공기밀도  $= \frac{1}{760} \times \frac{273^\circ + 20^\circ}{273^\circ + t}$
  - $d$  : 전선의 직경
- 코로나 현상의 영향
  - 유도장해 및 잡음 발생
  - 전력손실 발생 (임계 전압과 대지 전압의 차의 제곱에 비례)
  - 전선의 부식 ( 원인 : 오존- $O_3$  )
- 코로나 방지 대책
  - 임계전압을 크게 한다. (  $E = 24.3 m_0 m_1 \delta d \log_{10} \frac{D}{r}$  [KV] )
  - 전선의 지름을 크게 한다. ( 중공연선, 복도체 방식 채용 )

## ④ 충전전류

- $I_c = 2\pi f CV$

## ⑤ 충전용량

- $P_{\text{단상}} = V \cdot I_c = 2\pi f CV^2 [\text{VA}]$

- $P_{\Delta} = 3w CV^2 [\text{VA}]$

- $P_Y = w CV^2 [\text{VA}]$

## 3. 선로의 전기 특성 및 조상설비

## ① 단거리 송전선로 : 50[km]이하

- $R, L$  만 취급하며  $C, G$  는 무시

- 집중 정수회로로 취급하여 계산

- 전압강하

- $V_s = V_r + ZI = V_r + I(R\cos\theta + X\sin\theta)$

- $e_{\text{단상}} = I(R\cos\theta + X\sin\theta)$

- $e_{3\text{상}} = \sqrt{3} I(R\cos\theta + X\sin\theta)$

$$= \sqrt{3} \frac{P}{\sqrt{3} V_r \cos\theta} (R\cos\theta + X\sin\theta) = \frac{P}{V_r} \left( R \frac{\cos\theta}{\cos\theta} + X \frac{\sin\theta}{\cos\theta} \right)$$

$$= \frac{P}{V_r} (R + X \tan\theta)$$

- 전압 강하율

- $\delta = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100 = \frac{e}{V_r} \times 100 = \frac{P}{V_r^2} (R + X \tan\theta)$

- 전압 변동률

- $\epsilon = \frac{V_o - V_r}{V_r} \times 100$  (  $V_o$  : 무부하 수전단 전압,  $V_r$  : 수전점 전압 )

- 손실

$$P_L = 3I^2 R = 3 \left( \frac{P}{\sqrt{3} V \cos \theta} \right)^2 R = 3 \frac{P^2 R}{3 V^2 \cos^2 \theta} = \frac{P^2 R}{V^2 \cos^2 \theta}$$

- 전력손실률

$$K = \frac{P_L}{P} \times 100 = \frac{\frac{P^2 R}{V^2 \cos^2 \theta}}{P} \times 100 = \frac{PR}{V^2 \cos^2 \theta} \times 100 = \frac{P \rho l}{V^2 \cos^2 \theta A}$$

- 정리

전압 강하	$e = \sqrt{3} I (R \cos \theta + X \sin \theta)$	$e = \frac{P}{V_R} (R + X \tan \theta)$	$e \propto \frac{1}{V}$
전압 강하율	$\delta = \frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100$	$\delta = \frac{P}{V_R^2} (R + X \tan \theta)$	$\delta \propto \frac{1}{V^2}$
전압 변동률	$\epsilon = \frac{V_{R0} - V_R}{V_R} \times 100$		
전력 손실	$P_L = \frac{P^2 R}{V^2 \cos^2 \theta}$	$P_L \propto \frac{1}{\cos^2 \theta}$	$P_L \propto \frac{1}{V^2}$
전력 손실률	$K = \frac{P \rho l}{V^2 \cos^2 \theta A}$	$K \propto \frac{1}{V^2}$	$P \propto V^2$ $A \propto \frac{1}{V^2}$

② 중거리 송전선로 : 50 ~ 100[km]

- $R, L, C$ 는 존재,  $G$ 는 무시
- 집중 정수회로로 취급하여 계산.
- 4단자정수에 의하여 해석

$$\text{4단자 정수 : } \begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A V_R + B I_R \\ C V_R + D I_R \end{bmatrix}$$

		T 형	$\pi$ 형
A	$\left. \frac{V_S}{V_R} \right _{I_R=0}$	$A = 1 + \frac{ZY}{2}$	$A = 1 + \frac{ZY}{2}$
B	$\left. \frac{V_S}{I_R} \right _{V_R=0}$	$B = Z(1 + \frac{ZY}{4})$	$B = Z$
C	$\left. \frac{I_S}{V_R} \right _{I_R=0}$	$C = Y$	$C = Y(1 + \frac{ZY}{4})$
D	$\left. \frac{I_S}{I_R} \right _{V_R=0}$	$D = 1 + \frac{ZY}{2}$	$D = 1 + \frac{ZY}{2}$

③ 장거리송전선로 : 100[km]이상

- 분포 정수회로로 취급하여 계산
- 특성(파동)임피던스 : 거리와 무관
- $Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{L}{C}} = 138 \log \frac{D}{r} [\Omega]$
- 전파정수 :  $\gamma = \sqrt{ZY} = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$ 
  - 무손실 조건  $R = G = 0$
  - 무왜형 조건  $RC = LG$
- 전파속도 :  $v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

④ 전력 원선도

- 원선도에서 구할 수 있는 것과 없는 것

구할 수 있는 것	없는 것
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 최대출력</li> <li>· 조상설비용량</li> <li>· 4단자정수에 의한 손실</li> <li>· 송·수전 효율</li> <li>· <math>\theta, \delta</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 과도 극한 전력</li> <li>· 코로나 손실</li> </ul>

- 원선도 반지름  $r = \frac{V_s V_L}{B}$

⑤ 조상설비

- 콘덴서 : 진상 전류 (사고 시 → 지락전류)

직렬 콘덴서	전압강하보상
병렬 콘덴서	역률개선

- 리액터 : 지상 전류 (사고 시 → 단락전류)

직렬리액터	제5고조파의 제거 (콘덴서용량의 계산 상 4%로, 실제로는 6%)
병렬(분로)리액터	페란티 효과 방지
소호리액터	지락아크의 소호
한류리액터	차단기용량의 경감 (단락전류제한)



## • 동기조상기

: 무부하 운전 중인 동기전동기를 과여자 운전시 콘덴서로 작용하고 부족여자 운전시 리액터로 작용

## • 비교

	진상	지상	시충전	조정
콘덴서	○	×	×	단계적
리액터	×	○	×	단계적
동기조상기	○	○	○	연속적

## • 페란티 효과

: 무부하시 송전단전압보다 수전단 전압이 커지는 현상

## ⑥ 송전 용량 계산

## • 고유 부하법

$$P = \frac{V^2}{\sqrt{\frac{L}{C}}} = V^2 \sqrt{\frac{C}{L}} \text{ [MW/회선]}$$

## • 용량계수법 → 거리와 전압을 동시 고려

$$P = K \frac{V^2}{l}$$

전압 계급	송전 용량 계수
60[kV]	600
100[kV]	800
140[kV]	1,200

## • 가장 경제적인 송전전압의 결정

$$\text{Still의 식 } V_s = 5.5 \sqrt{0.6l + 0.01P} \text{ [kV]}$$

## 4. 고장 계산

## ① 옴법

$$\text{단락전류 } I_s = \frac{V_P}{Z} = \frac{V}{\sqrt{R^2 + X^2}} \text{ [A]}$$

## ② 단위법

- 퍼센트 동기 임피던스  $\%Z = \frac{Z}{Z_n} \times 100 = \frac{I_n Z}{E} \times 100 = \frac{PZ}{10 V^2}$
- 단락비  $K_s = \frac{I_s}{I_n} = \frac{100}{\%Z}$ ,  $I_s = \frac{100}{\%Z} I_n$
- 단락 용량  $P_s = \frac{100}{\%Z} P_n$

## ③ 대칭좌표법

- 비대칭 3상교류 = 영상분 + 정상분 + 역상분  
(영상분은 접지선의 중성선에만 존재)

대칭 성분	각 상 성분
영상분 $V_0 = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c)$	$V_a = (V_0 + V_1 + V_2)$
정상분 $V_1 = \frac{1}{3}(V_a + a V_b + a^2 V_c)$	$V_b = (V_0 + a^2 V_1 + a V_2)$
역상분 $V_3 = \frac{1}{3}(V_a + a^2 V_b + a V_c)$	$V_c = (V_0 + a V_1 + a^2 V_2)$

- 교류발전기 기본공식
- $V_0 = -Z_0 I_0$ ,  $V_1 = E_a - Z_1 I_1$ ,  $V_2 = -Z_2 I_2$
- 1선 지락 고장해석

$$I_0 = \frac{E_a}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \quad \therefore I_g = 3I_0 = \frac{3E_a}{Z_0 + Z_1 + Z_2}$$

- 대칭좌표법으로 해석할 경우 필요한 것

	정상분	역상분	영상분
1선 지락	○	○	○
2선 단락	○	○	—
3선 단락	○	—	—

- 2선 지락 : 0이 아니고 같게 되는 고장
- $V_0 = V_1 = V_2 = I_0 = I_1 = I_2 \neq 0$

## ④ 영상 임피던스·전압·전류 측정

- 영상임피던스 측정
- $Z_0$ 에  $I_0$ 가 흐를 때  $Z_0 = Z + 3Z_n$

## 5. 중성점 접지

## ① 중성점 접지의 목적

- 1선 지락 시 전위상승 억제, 계통의 기계기구의 절연보호
- 지락 사고 시 보호계전기 동작의 확실
- 안정도 증진
- 피뢰기 효과
- 단절연·저감절연
- 유도장해의 방지

## ② 비접지방식(3.3[kV], 6.6[kV])

- 저전압 단거리에 적합
- 1상고장시 V-V 결선이 가능 (고장 중 운전가능)
- $\sqrt{3}$  배의 전위 상승으로 대지 전압 상승이 가장 크다.

## ③ 직접 접지방식

- 유효접지: 154[kV], 345[kV]  
: 1선지락 사고 시 전압 상승이 1.3배 이하가 되도록 하는 접지방식
- 장점
  - 전위상승이 최소이기 때문에 단절연, 저감 절연가능
  - 기기 값이 저렴
  - 지락전류 검출이 쉽기 때문에 지락 보호기 작동 확실
  - 피뢰기 효과 증가
- 단점
  - 1선지락 시 지락전류가 최대
  - 유도 장애가 가장 크다
  - 이중 고장 발생확률 최소
  - 큰 전류를 차단하므로 차단기 용량 커짐
  - 안정도 저하하고 고장 중 운전이 불가능

## ④ 저항접지방식

- 목적 : 안정도 일정, 효과적 유지
- 종류:
  - 고저항 접지 ( $100 \sim 1000\Omega$  : 소호접지경향)  
: 지락 전류 작고 전위상승이 높다
  - 저저항 접지 ( $30\Omega$  : 직접접지경향)

⑤ 소호 리액터방식(병렬 공진이용  $\Rightarrow$  전류최소)

- 소호 리액터크기
  - $\omega L = \frac{1}{3\omega C_S} [\Omega]$
  - $L = \frac{1}{3\omega^2 C_S} [H]$
- 소호 리액터용량
  - $P = I_L V = I_C V = 2\pi f C_S V^2 l \times 10^{-3} (\times 1.1 \text{ 배}) [kVA]$
  - 과보상하는 이유는 직렬공진시의 이상전압의 상승을 억제한다.
- 합조도
  - $P = \frac{\text{탭전류} - \text{전대지충전전류}}{\text{전대지충전전류}} \times 100 = \frac{I - I_C}{I_C} \times 100$
- 장점
  - 지락전류 최소
  - 안정도 최대
  - 고장 중 운전이 가능
  - 이중고장 발생확률 없다.
  - 유도장해 최소
- 단점
  - 보호계전기 동작 불확실
  - 설비비 고가
- 단선 고장 시 전위 상승이 최대

## ⑥ 중성점 접지 방식별 비교특성

	1선 지락 사고 시 전전상 전압상승	1선 지락 사고 시 고장전류의 크기	유도 장해	절연레벨 경감	과도 안정도	보호 계전기 동작	다중고장 확대 가능성
비접지 방식	최대	—	—	불가능	—	곤란	최대
직접접지 방식	최소	최대	최대	가능	가장 나쁘다.	확실	최소
소호리액터 접지 방식	—	최소	최소	불가능	가장 좋다.	불가능	—

## 6. 이상 전압

## ① 내부이상전압

- 개폐 서지
  - 무부하 송전선로의 개폐
  - 차단기 재투입 (대책 : 차단기내에 저항기 설치)

## ② 외부이상전압

- 직격뢰 → 뇌격이 직접 전선로에 내습
- 유도뢰 → 뇌운이 대지로 방전 시 인접 전선로에 유도되는 뇌

## ③ 외부 이상 전압 방호대책

- 가공지선 :
  - 직격뢰 차폐 (차폐각 작게 할수록 좋음)
  - 효과 : 역섬락 방지, 탐각 저항 줄임, 통신 유도장해 경감
- 매설지선 → 역섬락방지 ⇒ 철타저항을 작게 한다.
- 애자런 보호 - 아킹혼(초호각), 아킹링(초호환)
- 피뢰기 설치 - 기계기구 보호

## ④ 뇌서지 (충격파)

- 파형
  - 파두장 : 0~100%까지 1.2[ $\mu\text{sec}$ ]
  - 파미장 : 0~끝(50%)까지 50[ $\mu\text{sec}$ ]
  - 뇌서지와 개폐서지는 파두장과 파미장 모두 다름

- 이동 속도

- 가공지선 :  $V = \frac{1}{\sqrt{L C}}$

- 케이블 :  $V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon L C}}$  (유전체 고려)

#### ⑤ 반사계수와 투과 계수

- 반사계수  $\beta = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$

- 투과계수  $\gamma = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1}$

- 무반사 조건 :  $\beta = 0 \rightarrow Z_1 = Z_2$

#### ⑥ 피뢰기

- 특성 : 뇌전류 방전, 속류 차단, 선로 및 기기 보호

- 정격전압 : 속류가 차단되는 교류 최고 전압

- 제한전압 : 충격파 전류가 흐르고 있을 때 단자전압, 피뢰기가 처리하고 남은 전압

- $e_a = e_3 - V = \left( \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \right) e_1 - \left( \frac{Z_2 \cdot Z_1}{Z_2 + Z_1} \right) i_a$

- 구성 : 특성요소와 직렬 갭, 설드링

- 구비 조건

- 제한전압은 낮아야 한다.

- 속류 차단 능력이 우수해야 한다.

- 충격파 전압은 낮고, 상용주파 허용 전압은 높아야 한다.

- 방전 용량이 커야 한다.

- 여유도

- $= \frac{\text{기기류의 기준충격 절연강도} - \text{피뢰기의 제한전압}}{\text{피뢰기의 제한전압}}$

- 보호기와 피보호기의 절연강도의 폭

- 보호기 제한전압의 약 20%정도

- 절연협조

- 절연협조의 기본 : 피뢰기의 제한전압

## ⑦ 차단기

- 목적 : 선로 이상상태 (과부하, 단락, 지락)고장 시 고장 전류차단
- 동작책무
  - 일반용
    - A형 : O - 3분 - CO - 3분 - CO
    - B형 : CO - 15초 - CO
  - 고속도 재투입용 : O - 0.3초 - CO - 3분 - CO
- 차단시간 : 트립 코일 여자로부터 소호 시간 (개극 시간 + 아크 시간)
- 차단용량  $P_s = \sqrt{3} \times \text{정격전압} \times \text{정격차단전류}$

$$(P_s = \frac{100}{\%Z} P_n \quad \%Z = \frac{PZ}{10V^2})$$

- 차단기종류

	ABB 공기차단기	GCB 가스차단기	OCB 유입차단기	MBB 자기차단기	VCB 진공차단기
특 징	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 투입과 차단을 압축공기로 한다. (임펄스차단기)</li> <li>• 별도의 조정장치기 필요없다.</li> <li>• 소음이 크다.</li> <li>• 화재의 위험이 없다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 밀폐구조이므로 소음이 없다. (공기차단기에 비해 장점)</li> <li>• 절연내력이 공기의 2-3배정도</li> <li>• 소호능력이 우수함</li> <li>• 인체에 무해하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소호능력이 크다.</li> <li>• 방음설비가 필요 없다.</li> <li>• 부싱변류기를 사용할 수 있다.</li> <li>• 화재의 위험이 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 화재의 위험이 없다.</li> <li>• 보수점검이 비교적 쉽다.</li> <li>• 고유주파수에 차단능력이 좌우되는 일이 없다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 화재의 위험이 없다.</li> <li>• 보수점검이 비교적 쉽다.</li> <li>• 차단시간이 짧고 폭발음이 없다.</li> <li>• 고유주파수에 차단능력이 좌우되는 일이 없다.</li> </ul>
매 질	압축공기	$SF_6$	절연유	전자력	진공

- 차단기와 단로기의 동작특성 비교

차단기	단로기	계전기
① 예상 최대 단락 전류에 의해 결정	① 차단능력 없다.	① 최소동작전류에 의해 구동
② $P_s = \sqrt{3} V_n I_s$ 여기서 $I_s$ 는 정격차단전류	② 차단기가 열려 있어야만 단로기를 닫을 수 있다.	② 정한시 : 일정시간 이상이면 구동 ③ 반한시 : 전기량과 구동시간의 반비례 특성 ④ 순한시 : 일정값 이상이면 구동

- 선택장치(인터록) : 차단기가 열려 있어야 단로기를 열고 닫을 수 있다.

⑧ DS(단로기) → 부하 차단 및 개폐 불가

- 선로기기의 접속 변경
- 기기를 선로로부터 완전 개방
- 무부하 선로의 개폐

## 7. 유도장해

① 정전 유도 장해

- 원인 : 영상 전압, 상호 정전 용량

- 공식 :  $E_s = \frac{C_{ab}}{C_{ab} + C_o} E_0$

- 길이와 무관

② 전자 유도 장해

- 원인 : 영상 전류, 상호 인덕턴스

- 공식 :  $E_0 = -j\omega 3 M I_0 \times l$

- 길이에 비례

③ 연가 → 선로정수의 평형 → 전압 전류의 평형

- 선로정수평형
- 통신선 유도장해 경감
- 소호 리액터 접지 시 직렬공진에 의한 이상전압 상승방지
- 각상 전압강하 동일
- 등가 선간거리 동일



## ④ 유도 장애 방지대책

전력선측	통신선측
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연가를 충분히 한다.</li> <li>• 소호리액터 접지 방식 → 지락전류소멸</li> <li>• 고주파 억제</li> <li>• 고속도 차단기 설치</li> <li>• 교차 시 수직교차</li> <li>• 이격거리 크게 한다.</li> <li>• 차폐선을 설치(30~50% 경감)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 케이블화</li> <li>• 절연강화</li> <li>• 배류코일(쇼크 코일)설치</li> <li>• 피뢰기 시설</li> </ul>

## ⑤ 안정도 의미

- 전력 계통에서 상호 협조 하에 동기 이탈하지 않고 안정되게 운전할 수 있는 정도

## ⑥ 안정도의 종류

- 정태안정도
  - 정상 운전 시 여자를 일정하게 유지하고 부하를 서서히 증가시켜 동기 이탈하지 않고 어느 정도 안정 할 수 있는 정도
  - 안정도 한계 결정 : 바그너 식 :  $\tan \delta = \frac{M_G + M_m}{M_G - M_m} \tan \beta$
- 동태안정도-여자를 제어하지 않고, 발전기를 정전압으로 운전할 수 있는 정도
- 과도안정도-과도상태가 경과 후에도 안정하게 운전할 수 있는 정도.

## ⑦ 안정도 향상대책

발전기	송전선
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정상리액터를 작게</li> <li>• 영상, 역상 리액터를 크게</li> <li>• <math>K_s</math>는 크게</li> <li>• 플라이휠 효과 선정</li> <li>• 제동권선 설치 → 난조방지</li> <li>• 속응 여자방식 채용</li> <li>• 동기탈조 계전기 설치</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• X의 값을 적게 한다. (복도채 채용)</li> <li>• 병행2회선 방식</li> <li>• 중간조상방식 : 전압변동률을 줄임</li> <li>• 분로리액터(페런티 효과방지)</li> <li>• 중간조상방식 및 계통 충격 줄임</li> <li>• 고속도 재폐로 방식 및 고속차단기 설치</li> <li>• 외부이상전압 줄임 (LA설치)</li> <li>• 내부이상전압 줄임 (중성점접지방식)</li> </ul>

## 8. 배전 방식 및 전기 공급 방식 별 특징

### ① 가지식(수지상식)

- 전압 변동률이 크다. → 플리커 현상(깜박깜박)
- 전압강하 최대
- 고장범위 넓다.

### ② 루프식(환상식) → 중소도시

- 가지식에 비해 전압강하 적다.

### ③ 뱅킹방식 → 대도시

- 전압강하 와 전력 손실이 적다.
- 케스케이딩 현상 발생
- 방지책 구분개폐기 설치
  - 고장 구간축소
  - 설치구간은 2[km]이하에 설치

### ④ 네트워크 방식 → 대형도시

- 공급신뢰도가 가장 좋다
- 무정전 공급 방식
- 전압강하 극소
- 단점 : 설비비 고가 ,접지사고가 많다.
- 네트워크 프로텍터 (차단기,Fuse,방향성 계전기) → 역류 개폐 장치

### ⑤ 전기방식별 비교

종별	전력	손실	전선량	1선당 공급전력	1선당 공급전력비교
1 $\phi$ 2W	$P = VI\cos\theta$	$2I^2R$	2W	1/2 P	100 %
1 $\phi$ 3W	$P = 2VI\cos\theta$	$2I^2R$	3W	2/3 P	133 %
3 $\phi$ 3W	$P = \sqrt{3} VI\cos\theta$	$3I^2R$	3W	$\sqrt{3}/3$ P	115 %
3 $\phi$ 4W	$P = 3VI\cos\theta$	$3I^2R$	4W	3/4 P	150 %

## ⑥ 중량비 비교 (전선소모량)

방식	1φ 2W 소요 전선량을 100% 로		절약량
1φ 3w	중성선 굵기동일	$3/8 = 37.5\%$ 소요	62.5%
	중성선 굵기 1/2	2.5/8	
3φ 3w	-	$3/4 = 75\%$ 소요	25%
3φ 4w	중성선 굵기동일	4/12	66%
	중성선 굵기 1/2	$3.5/12 = 29.2\%$ 소요	

- 3φ 3W 와 3φ 4W 중량 비교

$$\bullet \frac{3\phi 4w}{3\phi 3w} = \frac{4/12}{3/4} = \frac{4}{9}$$

## ⑦ 단상 3선식의 특징

- 전선소모량이 단상2선식에 비해 37.5% (경제적)
- 110/220 의 두 종의 전압을 얻을 수 있다.
- 전압의 불평형 → 전압 밸런서의 설치
- 여자임피던스가 크고 누설임피던스가 작다.
- 권수비가 1:1 인 단권변압기 이다.
- 단상 2선식에 비해 효율이 높고 전압강하가 적다.
- 중심선에 Fuse를 설치하면 안된다.

## 9. 배전 선로의 전기적 특성 및 부하 특성

## ① 말단 집중부하와 분산 분포 부하의 비교

	전압강하	전력손실
말단집중부하	$IR$	$I^2R$
분산분포부하	$\frac{1}{2}IR$	$\frac{1}{3}I^2R$

## ② 부하관계 용어

- 부하율 =  $\frac{\text{평균전력}}{\text{최대전력}} \times 100$
- 수용률 =  $\frac{\text{최대전력}}{\text{설비용량}} \times 100$
- 부등률 =  $\frac{\text{각개수용전력의합}}{\text{합성최대전력}} = \frac{\Sigma(\text{설비용량} \times \text{수용률})}{\text{합성최대용량}}$   
(부하율, 수용률 < 1, 부등률 > 1)

## ③ 변압기 용량 계산

- 한 대일 경우  
•  $Tr = \frac{\text{설비용량} \times \text{수용률}}{\text{역률}} \quad / \quad \text{부하역률}$
- 여러 대일 경우  
•  $Tr = \frac{\Sigma(\text{설비용량} \times \text{수용률})}{\text{부등률}}$

## ④ 배전선의 손실계수H와 부하율F의 관계

- $1 \geq F \geq H \geq F^2 \geq 0$

## 10. 수력 발전

## ① 낙차에 의한 분류 : 수로식, 댐식, 댐수로식, 유역 변경식 발전소

## ② 유량에 의한 분류

: 유입식, 저수식, 조정지식, 양수식

## ③ 수두의 종류

- 위치 수두 :  $H \propto P$
- 압력수두 :  $H_P = \frac{P}{W} = \frac{P}{W_g}$
- 속도수두 : 위치 에너지 = 운동에너지  
•  $mgh = \frac{1}{2}mV^2 \rightarrow h = \frac{V^2}{2g}$
- 물의 분출 속도  $V = \sqrt{2gh}$  [m/sec]

## ④ 곡선의 종류

- 유황 곡선 : 유량도를 기준으로 하여 횡축에 일수 365일을, 종축에 유량을 취하여 유량이 큰 것으로부터 순차적으로 배열하여 이들 점을 연결한 곡선으로 연간 발전 계획의 기초 자료
- 갈수량 : 1년 365일 중 355일은 이 유량 이하로 내려가지 않는 유량.
- 저수량 : 1년 365일 중 275일은 이 유량 이하로 내려가지 않는 유량.
- 평수량 : 1년 365일 중 185일은 이 유량 이하로 내려가지 않는 유량.
- 풍수량 : 1년 365일 중 95일은 이 유량 이하로 내려가지 않는 유량.
- 고수량 : 매년 한두 번 발생하는 유량
- 홍수량 : 3~5년에 한번 씩 발생하는 유량
- 적산유량곡선 : 저수지 용량 결정

⑤ 연평균 유량  $Q = \frac{b \times a \times 10^{-3} \times k}{365 \times 24 \times 3600} [\text{m}^3/\text{sec}]$ 

- $b$  : 유역 면적[ $\text{m}^2$ ],  $a$  : 강수량[mm],  $k$  : 유량계수 =  $\frac{\text{유출량}}{\text{강수량}}$

## ⑥ 수력 발전소 계통도

- 취수구의 부속 설비
  - 제수문 : 유량 조절
  - 스크린 : 오물 제거
  - 침사지 : 토사를 침전 배제
- 수로
  - 무압 수로의 기울기 :  $\frac{1}{1000} \sim \frac{1}{1,500}$
  - 압력 수로의 기울기 :  $\frac{1}{300} \sim \frac{1}{400}$
- 수조
  - 상수조
  - 조압수조 : 단동 서지 탱크, 차동 서지 탱크 (surge 주기 가장 빠름)  
수실 서지 탱크
- 수차
  - 펄턴 : 300[m] 이상 고낙차(충동수차) 압력수두 → 속도수두
  - 프란시스 : 30~400[m] 정도 중낙차 (반동수차) - 양수 발전소 펌프수차
  - 카플란수차 (가동형), 효율 大 5~80[m] 저낙차(반동수차)
  - 프로펠러 수차 (고정형), 효율 小
  - 원통(튜블러) 수차 : 조력발전 15[m] 이하
  - 사류수차 : 30~130[m] 변낙차 변부하의 특성이 양호
  - 반동수차에는 낙차를 늘리기 위해 흡출관 설치

## ⑦ 수차의 특성

- 특유 속도

$$N_s = N \frac{P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}} = N \frac{\sqrt{P}}{H \sqrt{\sqrt{H}}} [\text{rpm}]$$

- 각 수차의 특유 속도

- 펄턴 :  $12 \leq N_s \leq 23$

- 프란시스 :  $N_s = \frac{13000}{H+20} + 50$

- 사류 :  $N_s = \frac{20000}{H+20} + 40$

- 프로펠러 :  $N_s = \frac{20000}{H+20} + 50$

- 낙차 변화와 특성의 변화

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left( \frac{H_2}{H_1} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \frac{N_2}{N_1} = \left( \frac{H_2}{H_1} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{H_2}{H_1} \right)^{\frac{3}{2}}$$

## ⑧ 기타 기구

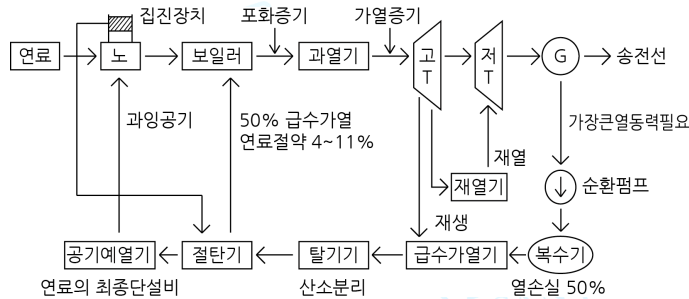
- 조속기 : 출력의 증감에 관계없이 수차의 회전수를 일정하게 유지하기 위해  
출력의 변화에 따라서 수차 유량 조절
- 평속기  $\Rightarrow$  배압밸브  $\Rightarrow$  서보모터  $\Rightarrow$  복원기구
- 수차 입구 밸브
  - 스루우스 밸브 : 200[m] 이상 고낙차
  - 나비형 밸브 : 150[m] 정도
  - 회전 밸브 : 30~100[m]
  - 니들 밸브 : 고낙차 대수량 (펄턴 수차에 많이 사용)

## ⑨ 수력 발전소의 출력

- $P = 9.8QH\eta [\text{kW}]$

## 11. 화력 발전

### ① 기력 발전 계통도



- 증기 및 급수가 흐르는 순서 : 절탄기 → 보일러 → 과열기 → 터빈 → 복수기
- 열손실이 가장 큰 곳 : 복수기(전체의 50[%] 정도)
- 공기 예열기 : 연도의 열을 흡수 공기를 예열한다.
- 재열기 : 증기 가열
- 탈기기 : 산소의 분리
- 절탄기 : 보일러 급수의 가열
- 수냉벽 : 흡수열량이 가장 크다.

### ② 열 사이클의 종류

- 카르노 사이클 : 가장 효율이 좋은 이상적인 사이클
- 랭킨 사이클 : 기력 발전에서 가장 기본이 되는 사이클, 증기를 작동 유체로 사용
- 재열 사이클 : 터빈에서 팽창된 증기가 포화상태에 가까워졌을 때 이 증기를 모두 보일러로 되돌려 보내 증기를 가열하는 방식
- 재생 사이클 : 터빈의 중도에서 증기의 일부분을 추가하여 보일러 급수를 가열함으로써 복수기에서의 열손실을 회수하는 사이클
- 재생 재열 사이클 : 재생 사이클과 재열 사이클을 겸용하여 전 사이클의 효율을 향상 시킨 사이클, 대용량 기력 발전소에서 가장 많이 사용

### ③ 발전소의 열효율

$$\eta = \frac{860 W}{m H} \times 100$$

$W$  : 전력량[kWh]     $m$  : 공급된 연료량[kg]     $H$  : 발열량[kcal]

## 12. 원자력 발전

### ① 제어재

- 핵분열 시 연쇄반응 제어 중성자수를 조절 중성자 흡수 단면적이 커야 한다.
- 재료 : 카드뮴[cd], 하프늄[hf], 붕소[B]

### ② 감속재

- 핵 분열시 연쇄반응을 제어 고속 중성자를 열 중성자로 감속
- 재료 : 경수[H<sub>2</sub>O], 중수[D<sub>2</sub>O], 흑연[C], 산화베릴륨[Be]

### ③ 냉각재

- 핵 분열시 발산되는 열에너지를 노외부로 인출 열교환기로 운반, 열용량이 클 것.
- 재료 : 경수, 중수, 헬륨[He], 탄산가스[CO<sub>2</sub>]

### ④ 반사재

- 핵 분열시 발산되는 열에너지를 노외부로 인출되는 것을 차폐하여 연료 소요량 감소
- 재료 : 경수, 중수, 흑연, 산화베릴륨

### ⑤ 원자로의 종류

- 경수형 원자로(L.W.R)
  - 연료 : 저농축 우라늄, 경수 냉각, 경수 감속
- 가압 수형 원자로(P.W.R)
  - 비등 수형 원자로(B.W.R) - 열교환기 없다.
- 중수형 원자로(H.W.R)
  - 연료 : 천연 우라늄, 중수 냉각, 중수 감속
- 가스 냉각형 원자로 (H.T.G.R, G.C.R)
  - 연료 : 천연 우라늄
  - 감속재, 반사재 : 흑연
  - 냉각재 : 탄산가스 (CO<sub>2</sub>)
- 고속 증식로 (F.B.R)
  - 나트륨 냉각로, 증식비 1이상



## 제3장

## 전기 기기

## 1. 직류기

## ① 직류기 발전기의 원리 및 구조

- 전기자의 3요소 : 계자, 전기자, 정류자
- 계자 : 자속을 발생
- 전기자 : 자속을 끊어 기전력을 유기한다.
- 정류자 : AC를 DC로 변환
- 전기자 철심은 규소강판으로 성층한다.
  - 철심 : 두께 0.35~0.5mm, 규소함유량 : 1~1.4(%)
  - 이유 : 철손(히스테리시스손, 와류손)감소

## ② 전기자 권선법과 유도 기전력

- 유도기전력 :  $E = \frac{PZ\Phi N}{60a}$  [V]
- 직렬도체수 :  $\frac{Z}{a}$

- 전기자 권선법 : 고상권, 페로권, 이층권, 중권, 파권 사용.
- 중권과 파권의 비교

	중권	파권
a (병렬 회로수)	P (mp)	2 (2m)
b (브러쉬 수)	P	2
용 도	대전류	고전압
균압접속	4극 이상	×

## ③ 전기자 반작용

- 전기자권선의 자속이 계자권선의 자속에 영향을 주는 현상
- 전기자 반작용의 영향
  - 발전기 :
    - 주자속이 감소한다.  $\Rightarrow$  유기기전력의 감소
    - 중성축이 이동한다.  $\Rightarrow$  회전방향과 같다.
    - 정류자편과 브러시 사이에 불꽃이 발생한다.  $\Rightarrow$  정류 불량
  - 전동기 :
    - 주자속이 감소한다.  $\Rightarrow$  토크 감소, 속도 증가
    - 중성축이 이동한다.  $\Rightarrow$  회전방향과 반대
    - 정류자편과 브러시 사이에 불꽃이 발생한다.  $\Rightarrow$  정류 불량

(보극이 없는 직류발전기는 브러시를 회전방향으로 이동시킨다. 정류를 양호하게 하기 위함)

- 전기자 반작용의 방지대책
  - 보극과 보상권선을 설치한다.
  - 보극  $\Rightarrow$  중성축 부근의 전기자 반작용을 상쇄시킨다.
  - 보상권선  $\Rightarrow$  대부분의 전기자 반작용을 상쇄시킨다. 가장 유효한 방법

## ④ 정류

- 양호한 정류를 얻는 조건
  - 리액턴스 전압을 작게 한다.
  - 정류주기를 길게 한다.
  - 코일의 자기인덕턴스를 줄인다.(단절권)
  - 전압정류 : 보극설치
  - 저항정류 : 탄소브러시 설치 (접촉저항이 크기 때문)
- 리액턴스 전압 :  $e = -L \frac{di}{dt} \rightarrow e_L = L \frac{2I_c}{T_c} [V]$   
(리액턴스 전압은 무조건 작을수록 좋다.)

## ⑤ 직류발전기의 종류와 특성

- 발전기와 전동기의 비교

종류	발전기	전동기
타 여 자	<ul style="list-style-type: none"> <li>잔류자기가 없어도 발전이 가능</li> <li>운전 중 회전 방향반대 +, - 극성이 반대로 되어 발전</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+, - 극성을 반대로 하면 ⇒ 회전 방향이 반대</li> <li>정속도 전동기</li> </ul>
분 권	<ul style="list-style-type: none"> <li>잔류자기 없으면 발전불가능</li> <li>운전 중 회전 방향반대 ⇒ 발전불가능</li> <li>운전 중 계자회로를 갑자기 열면 ⇒ 고압이 발생된다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>정속도 특성의 전동기</li> <li>운전 중 계자회로 가 단선이 되면 ⇒ 회전속도가 갑자기 고속이 된다.</li> <li>위험상태 ⇒ 정격전압, 무여자 상태</li> <li>+, - 극성을 반대로 하면 ⇒ 회전 방향이 불변</li> </ul>
직 권	<ul style="list-style-type: none"> <li>잔류자기 없으면 발전불가능</li> <li>운전 중 회전 방향반대 ⇒ 발전불가능</li> <li>무부하시 자기여자로 전압을 확립할 수 없다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>변속도 전동기</li> <li>부하에 따라 속도가 심하게 변한다.</li> <li>운전중 무부하 상태가 되면 갑자기 고속이 된다.</li> <li>+, - 극성을 반대로 하면 ⇒ 회전 방향이 불변</li> <li>직류전차용 전동기 ⇒ 토크가 클 때 속도가 작고 속도가 클 때 토크가 작다.</li> <li>벨트부하를 걸 수 없다. ⇒ 벨트가 벗겨지면 갑자기 고속이 된다.</li> <li>위험상태 ⇒ 정격전압 무부하 상태</li> </ul>

- 발전기의 기본식

$$E = R_a I_a + V + e_a + e_b = V + R_a I_a [V]$$

- 자여자 발전기의 전압확립 조건

- 무부하 곡선이 자기포화곡선이 있을 것
- 잔류자기가 있을 것
- 임계저항 > 계자저항
- 회전방향이 잔류자기를 강화하는 방향 일 것  
(회전방향이 반대이면 잔류자기가 소멸하여 발전하지 않는다.)

$$\text{전압변동률} : \epsilon = \frac{V_0 - V_n}{V_n} \times 100 [\%]$$

+	$V_0 > V_n$	타여자, 분권, 부족복권, 차동복권
-	$V_0 < V_n$	직권, 과복권

## ⑥ 직류발전기의 운전 및 병렬운전

- 병렬운전조건
  - 정격전압과 극성이 같을 것
  - 외부특성곡선이 어느 정도 수하특성 일 것
  - 용량이 다른 경우 %부하전류로 나타낸 외부 특성곡선이 일치할 것
  - 용량이 같은 경우 외부특성 곡선이 일치할 것
  - 달라도 되는 것 : 절연저항, 손실, 용량
- 부하의 분담
  - 유기기전력이 크면 부하분담을 많이 한다.
  - 유기기전력이 같으면 전기자 저항에 반비례한다.
  - 용량이 다르고, 나머지가 같으면 용량에 비례한다.
- 병렬운전을 안정히 하기 위해서는 직권계자가 있는 곳에 균압선을 접속한다.
- 직권발전기, 복권발전기는 균압선을 접속한다.

## ⑦ 직류전동기의 구조 및 원리

- 토크(Torque)
  - $T = \frac{P}{\omega} = \frac{pZ\phi I_a}{2\pi a} = K\phi I_a [\text{N}\cdot\text{m}]$
  - $T = 0.975 \frac{P}{N} [\text{kg}\cdot\text{m}]$
  - 직권은 전기자 전류의 제곱에 비례한다.(자기포화 무시한다.)
  - 분권은 전기자 전류에 비례한다.
- 속도
  - 직권전동기의  $N = K' \frac{V - I_a(R_f + R_a)}{\phi} [\text{rps}]$

## ⑧ 직류전동기의 특성

- 직류 전동기의 특성

종류	전동기
타여자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• +, - 극성을 반대로 하면 ⇨ 회전 방향이 반대로 된다.</li> <li>• 정속도 전동기</li> </ul>
분권	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정속도 특성의 전동기</li> <li>• 운전 중 계자회로 가 단선이 되면 ⇨ 회전속도가 갑자기 고속이 된다.</li> <li>• 위험상태 ⇨ 정격전압 , 무여자 상태</li> <li>• +, - 극성을 반대로 하면 ⇨ 회전 방향이 불변이다.</li> </ul>

직권	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 변속도 전동기</li> <li>• 부하에 따라 속도가 심하게 변한다.</li> <li>• 운전 중 무부하 상태가 되면 갑자기 고속이 된다.</li> <li>• +, - 극성을 반대로 하면 ⇨ 회전 방향이 불변이다.</li> <li>• 직류전차용 전동기 ⇨ 토크가 클 때 속도가 작고 속도가 클 때 토크가 작다.</li> <li>• 벨트부하를 걸 수 없다. ⇨ 벨트가 벗겨지면 갑자기 고속이 된다.</li> <li>• 위험상태 ⇨ 정격전압 무부하 상태</li> </ul>
----	---

- 역기전력 :  $E_C = V - R_a I_a [V]$

### ⑨ 직류전동기의 운전

- 속도제어

전압제어	효율 좋다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 광범위 속도제어</li> <li>• 일그너 방식 (부하가 급변하는 곳)</li> <li>• 워드레너드 방식</li> <li>• 정토크 제어</li> </ul>
계자제어	효율 좋다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 세밀하고 안정된 속도제어</li> <li>• 속도조정범위 좁다.</li> <li>• 정출력 구동방식</li> </ul>
저항제어	효율 나쁘다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 속도조정범위 좁다.</li> </ul>

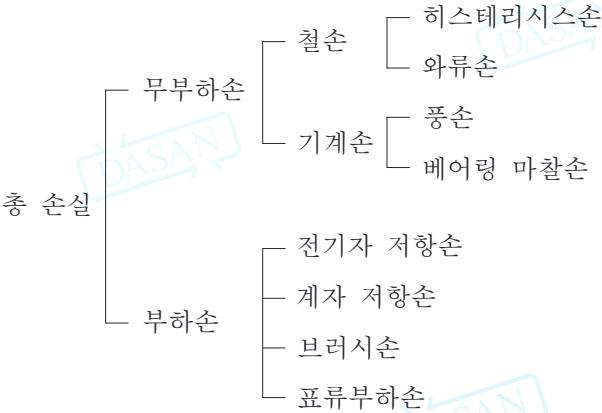
- $N = K' \frac{E_c}{\phi} = K' \frac{V - I_a R_a}{\phi} [ \text{ rps } ]$

- 속도변동률

- $\epsilon = \frac{N_0 - N}{N} \times 100 [\%]$

⑩ 손실 및 효율

- 손실



- 효율
- $\eta = \frac{\text{출력}}{\text{입력}} \times 100 [\%]$
- $\eta_{\text{전동기}} = \frac{\text{입력} - \text{손실}}{\text{입력}} \times 100 [\%]$
- $\eta_{\text{발전기}} = \frac{\text{출력}}{\text{출력} + \text{손실}} \times 100 [\%]$
- 최대효율 조건
- 무부하손(고정손) = 부하손(가변손)

⑪ 직류기의 시험법

- 온도시험법
- 실부하법
- 반환부하법

⑫ 절연물의 허용온도

Y	A	E	B	F	H	C
90℃	105℃	120℃	130℃	155℃	180℃	180℃ 초과

## 2. 동기기

### ① 동기발전기의 원리

- 동기발전기를 회전계자형으로 하는 이유
  - 계자는 기계적으로 튼튼하다.
  - 계자는 소요전력이 작다. 절연이 용이하다.
  - 전기자는 Y결선으로 복잡하다.
  - 전기자는 고압을 유기한다.
- 동기발전기를 Y결선으로 하는 이유
  - 중성점을 접지할수 있어 이상전압의 대책 용이
  - 코일의 유기전압이  $1 / \sqrt{3}$  배 감소하므로 절연용이
  - 순환전류가 흐르지 않아 열이 발생하지 않는다
- 터빈 발전기의 특징
  - 직축형, 원통형 회전자를 가지는 고속발전기로 극수는 2극 또는 4극이다.
  - 전기자는 고규소 강판을 사용하여 철손을 적게 설계했다.
  - 냉각방식은 수소 가스를 기내에 순환시키는 수소냉각 방식을 채용했다.
- 수소냉각방식의 특징
  - 풍손이 공기의 1/10로 격감
  - 열전도조가 좋고 비열이 커서 냉각효과가 크다.
  - 절연물의 산화가 없으므로 절연물의 수명이 길어진다.
  - 소음이 적고 코로나 발생이 적다.
  - 수소가스는 공기와 혼합하면 폭발한다.

### ② 동기발전기의 구조

- 동기속도 :  $N_s = \frac{120f}{P} [\text{rpm}]$
- 코일의 유기기전력 :  $E = 4.44K_w f W \phi$
- 전기자 주변속도 :  $v = \pi D \frac{N}{60} [\text{m/sec}]$

### ③ 전기자 권선법

- 기전력을 정현파로 하기 위한 방법
  - 매극 매상의 슬롯 수  $q$ 를 크게 한다.(전압에 의해좌우)
  - 단절권 및 분포권으로 한다.
  - 반폐 슬롯 채용
  - 전기자철심을 스큐 슬롯(skew slot, 사구)으로 한다.
  - 공극의 길이를 크게 한다.
  - Y결선으로 한다.

- 분포권
  - 파형을 개선한다.
  - 냉각효과가 있다.
  - 누설리액턴스를 감소시킨다.
  - 기전력을 감소시킨다.
- 분포권계수

$$K_d = \frac{\sin \frac{\pi}{2m}}{q \sin \frac{\pi}{2mq}} \quad (m : \text{상수}, \quad q = \frac{\text{슬롯수}}{\text{극수} \times \text{상수}} : \text{매극 매상당 슬롯 수})$$

- 단절권
  - 파형을 개선한다.
  - 코일의 길이 동량이 절약된다.
  - 자기인덕턴스가 감소한다.
  - 기전력을 감소시킨다.

- 단절권 계수

$$K_p = \sin \frac{\beta\pi}{2} \quad \left( \beta = \frac{\text{코일간격}}{\text{극간격}} \right)$$

#### ④ 전기자반작용 및 동기임피던스

- 전기자 반작용
  - 횡축 반작용 (교차자와 작용), 전압과 전류가 동상이다
  - 직축 반작용 (감자작용 : 전류가 뒤질 때, 증자작용 : 전류가 앞설 때)
- 동기임피던스
  - $Z_s = r_a + jx_a + jx_l = r_a + j(x_a + x_l) = j(x_a + x_l) \approx jx_s$
  - 동기임피던스는 실용상 동기리액턴스와 같다.

#### ⑤ 동기발전기의 특성

- %동기임피던스 :  $\%Z = \frac{I_n Z_s}{V_n} \times 100 = \frac{PZ}{10V^2} [\%]$
- 단락비 :  $K_s = \frac{100}{\%Z}$



- 단락비가 큰 기계
  - 동기임피던스가 작아져 전압변동률이 작으며 송전용량 충전용량이 증가
  - 기계의 형태 중량이 커지며 철손, 기계손이 증가하고 가격도 비싸다.
  - 과부하 내량이 크고 안정도도 좋다.
  - 철기계라 불린다.
  - 단락비를 구하는 시험은 3상 단락시험과 무부하 포화시험이다.
- 동기발전기의 자기여자 현상
  - 동기발전기에는 유도부하가 걸리면 뒤진 전류가 흘러 전기자 반작용은 계자를 약화시켜 단자 전압이 강하하나, 용량 부하가 걸리면 앞선 전류가 흘러 전기자 반작용 때문에 계자가 강해져서 단자전압을 상승시킨다.
  - 동기발전기를 무부하 장거리 송전선에 접속 할 때와 같이 그 단자에 용량 C가 큰 일정 정전용량이 접속되는 경우에는 계자가 무여자 일지라도 스스로 전압이 유지 되어 콘덴서의 크기에 따라서는 정격전압보다 큰 전압 상승을 하여 기기의 절연을 위협하는 경우, 이것을 동기발전기의 용량 부하에 대한 자기여자 현상이라 한다.
- 방지법 ⇨ 장거리 고립송전선을 무부하로 충전하는 발전기는 전기자 반작용이 작고 단락비가 큰 발전기를 사용하거나, 발전기를 여러대 병렬로 연결한다. 그렇지 않으면 송전선 말단에 뒤진 전류를 취할 수 있도록 변압기나 동기 조상기, 리액터를 접속하여 충전 전류를 감소시킨다.
- 전압변동률 :  $\epsilon = \frac{E - V}{V} \times 100[\%]$ 
  - 용량부하의 경우 (-) :  $E < V$
  - 유도부하의 경우 (+) :  $E > V$

## ⑥ 단락현상

- 단락현상
  - 3상 동기 발전기를 운전중 갑자기 단락하면 전류는 처음은 크나, 점차 감소한다.
  - 돌발 단락전류의 제한 ⇨ 누설 리액턴스
  - 영구 단락전류의 제한 ⇨ 동기 리액턴스
- 단락전류 :  $I_s = \frac{E}{Z_s} = \frac{100}{\%Z} I_n$  [A]

## ⑦ 동기발전기의 동기 병렬운전

- 병렬운전조건

조 건	다를 경우	계산식
기전력의 크기 같을 것	무효 순환 전류 흐름	$I_C = \frac{E_c}{2Z_s} [A]$
기전력의 위상 같을 것	동기화 전류 흐름	수수전력 : $P = \frac{E^2}{2Z_s} \sin\delta [W]$ 동기화력 : $P = \frac{E^2}{2Z_s} \cos\delta [W]$
기전력의 주파수 같을 것	동기화 전류 흐름	—
기전력의 파형 같을 것	고주파 무효 항류 흐름	—

- 난조 : 부하에 따른 속도변화
- 방지책 : 제동권선을 설치한다.

## ⑧ 안정도

- 정태 안정도: 여자를 일정하게 유지하고 부하를 서서히 증가하는 경우 탈조하지 않고, 어느 범위 까지 안정 하게 운전 할 수 있는 정도
- 동태 안정도 : 발전기를 송전 선로에 접속하고 자동 전압 조정기로 여자 전류를 제어하여 발전기 단자 전압이 정전압으로 안정하게 운전할 수 있는 정도
- 과도 안정도 : 부하의 급변 선로의 개폐, 접지, 단락 등의 고장 또는 기타의 원인에 의해 운전상태가 급변 하여도, 그 과도 상태가 경과한 후에도 안정하게 운전할 수 있는 정도
- 안정도 향상대책
  - 정상 과도리액턴스를 작게 하고, 단락비를 크게 한다.
  - 영상임피던스와 역상임피던스를 크게 한다.
  - 회전자 관성을 크게 한다. (플라이휠 효과의 선정)
  - 속응 여자 방식을 채용한다.
  - 조속기 동작을 신속히 한다.

## ⑨ 동기전동기

- 동기전동기의 특성
- 항상 동기속도로 회전하는 전동기
- 동기속도 이외의 속도에서는 토크를 낼 수 없다.
- 기동 토크가 없다. ⇨ 기동장치 또는 기동법 필요 ⇨ 고가
- 역률 1로 운전할 수 있으며 앞선 역률도 가능 ⇨ 동기조상기원리
- 저속도 대용량의 전동기 ⇨ 대형 송풍기, 압축기, 압연기, 분쇄기

- 토크 :  $T = 0.975 \frac{P}{N} [\text{kg} \cdot \text{m}]$
- 위상특성곡선
  - 여자전류를 변환시키면 전기자 전류와 역률이 변한다.
- 동기조상기
  - 무부하 운전 중인 동기 전동기를 과여자 운전하면 콘덴서로 작용한다.
  - 무부하 운전 중인 동기 전동기를 부족여자 운전하면 리액터로 작용한다.
- 동기전동기의 운전
  - 기동 토크는 0이다.
- 인입 토크
  - 동기속도에 95[%] 에 들어가는 토크를 말함
- 유도전동기의 기동법
  - 자기기동법
  - 기동 전동기법
  - 초동기 전동기법

### 3. 변압기

#### ① 변압기의 원리

- 유도기전력 :  $E = 4.44 f N \phi_m [\text{V}]$
- 권수비 :  $a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$
- 여자전류 :  $I_0 = \sqrt{I_\phi^2 + I_i^2} [\text{A}]$ 
  - 무부하시 흐르는 전류
  - 정현파 기전력을 유기하기 위하여 어떤 왜형파라도 가능하다.
  - 가장 많이 포함된 고조파는 제3고조파이다.
- 철손 :  $P_i = g V_1^2 [\text{W}]$

#### ② 변압기의 등가회로

- 2차를 1차로 변환 :  $Z_{12} = Z_1 + a^2 Z_2 = (r_1 + a^2 r_2) + j(x_1 + a^2 x_2)$
- 1차를 2차로 변환 :  $Z_{21} = \frac{Z_1}{a^2} + Z_2 = \left(\frac{r_1}{a^2} + r_2\right) + j\left(\frac{x_1}{a^2} + x_2\right)$

## ③ 변압기의 구조

- 변압기유의 구비조건
  - 점도가 작고 비열이 커서 냉각효과가 클 것
  - 절연내력이 클 것
  - 인화점이 높고, 응고점이 낮을 것
  - 고온에서 석출물이 생기지 말 것
  - 절연물과 화학작용이 없을 것
- 변압기유의 열화
  - 원인 ⇨ 변압기의 호흡작용
  - 방지책 ⇨ 콘서베이터 (질소 봉입)
- 권선의 누설리액턴스를 줄이는 효과적인 방법
  - 권선을 분할 조립한다.

## ④ 백분율 전압강하와 전압변동률

- 임피던스전압과 임피던스[W]
  - 변압기 2차를 단락하고 1차 전압을 가하여 1차 단락전류를 1차 정격전류와 같이 흐를 때 그 때 전압을 임피던스 전압 이라 하고, 그 때 입력을 임피던스 와트라 한다.
- 백분율 전압강하

$$\bullet \% \text{ 저항강하} : \%R = \frac{I_n R}{V_n} \times 100 = \frac{PR}{10 V^2} = \frac{P_c}{P_n} \times 100 \quad [\%]$$

$$\bullet \% \text{ 리액턴스 강하} : \%X = \frac{I_n X}{V_n} \times 100 = \frac{PX}{10 V^2} [\%]$$

$$\bullet \% \text{ 임피던스 강하} : \%Z = \frac{I_n Z}{V_n} \times 100 = \frac{PZ}{10 V^2} = \frac{100}{K_s} = \frac{I_n}{I_s} \times 100$$

$$\%Z = \sqrt{p^2 + q^2} = \frac{I_n Z_{21}}{V_{1n}} \times 100 = \frac{V_s}{V_{1n}} \times 100$$

- 전압변동률 :  $\epsilon = p \cos \theta + q \sin \theta$  (지상)

$$\epsilon = p \cos \theta - q \sin \theta \text{ (진상)}$$

- 최대전압 변동률과 그때역률 :  $\epsilon_m = \sqrt{p^2 + q^2}$

$$\cos \theta = \frac{p}{\sqrt{p^2 + q^2}}$$

## ⑤ 변압기의 손실 및 정격

- 손실
- 철손:  $P_i = K \frac{V^2}{f}$
- 와류손 (전압이 일정하면 주파수와 무관하다.) :  $P_e = KV^2$
- 히스테리시스손 :  $P_h = K \frac{V^2}{f}$

## ⑥ 변압기의 효율

- 전부하 효율 :  $\eta = \frac{P \cos \theta}{P \cos \theta + P_i + P_c} \times 100 [\%]$
- 부하시 효율 :  $\eta_{\frac{1}{m}} = \frac{\frac{1}{m} P \cos \theta}{\frac{1}{m} P \cos \theta + P_i + \left(\frac{1}{m}\right)^2 P_c} \times 100 [\%]$
- 최대효율이 나타나는 부하:  $P_i = \left(\frac{1}{m}\right)^2 P_c$  에서  $\frac{1}{m} = \sqrt{\frac{P_i}{P_c}}$
- 전일효율 : 전부하 시간일 짧을수록 전일효율을 작게 설계해야 전일효율이 좋아진다.

## ⑦ 단상 변압기의 3상 결선

- $\Delta-\Delta$  결선
- V-V 결선의 변경
- 고조파 전류가 생기지 않는다.
- 상전압 = 선간전압
- Y-Y 결선
- 중성점을 접지할 수 있다.
- 상전압 = 선간전압 /  $\sqrt{3}$
- 제3고조파가 발생하여 통신선 유도장해를 일으킨다.
- $\Delta-Y$  결선, Y- $\Delta$  결선
- Y결선으로 중성점을 접지 가능.
- $\Delta$ 결선으로 제3고조파가 생기지 않음.
- $\Delta-Y$ 는 송전단에 Y- $\Delta$ 는 수전단에 설치
- 1차와 2차의 전압사이에  $30^\circ$ 의 변위가 발생

- V-V 결선
- 출력  $P_V = \sqrt{3} P_1$
- 이용률 : 86.6[%]
- 출력비 : 57.7[%]

## ⑧ 상수의 변환

- 3상에서 2상으로의 변환 : 스코트 결선 (T), 메이어결선, 우드브리지 결선
- T결선 변압기의 T좌변압기 권수비  $\Rightarrow a_T = a_M \times 0.866$

## ⑨ 변압기의 병렬운전

- 변압기 병렬운전 조건

같은 조건	일치하지 않을 때
• 정격전압이 같은 것	• 순환전류가 흘러 권선이 가열
• 극성이 같은 것	• 큰 순환전류가 흘러 권선이 소손
• $\frac{x}{r}$ 비가 같은 것	• 위상차가 생겨 동손이 증가
• % 저항강하가 같은 것	• 부하분담의 균형을 이룰 수 없다.

- 부하분담비

$$\bullet \frac{P_A}{P_B} = \frac{\%Z_B \cdot P_A'}{\%Z_A \cdot P_B'} \Rightarrow \text{부하분담은 누설임피던스에 반비례한다.}$$

## ⑩ 특수변압기

- 3상 변압기
  - 사용 철량이 작아 철손이 작아지므로 효율이 좋다.
  - 전반적으로 사용재료가 경감되고, 중량이 감소되며 값이 싸지고, 설치면적이 절약된다.
  - $\Delta$ 또는 Y결선을 내부에서 행하므로 부싱이 절약된다.
  - 내철형 3상 변압기는 단상변압기로 사용할 수 없다.
    - $\Rightarrow$  독립된 자기회로가 없기 때문

- 3권선변압기
  - Y-Y결선에서 제3고조파를 제거하기 위해 설치한다.
  - 2종의 전원을 얻을 수 있어 변전소내용 전원을 공급하는데 사용된다.
- 누설변압기
  - 2차 정전류 변압기 (전압변동이 심하다.)
  - 아크등, 아크용접기, 방전 등에 사용
- 단권 변압기

	단상	Y	$\Delta$	V
$\frac{\text{자기용량}}{\text{부하용량}} = \frac{\omega}{W}$	$\frac{V_h - V_L}{V_h}$	$\frac{V_h - V_L}{V_h}$	$\frac{V_h^2 - V_L^2}{\sqrt{3} V_h V_L}$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{V_h - V_L}{V_h}$

- 계기용 변성기
  - 고전압 대전류의 변성  $\Rightarrow$  전력량의 측정
  - CT 와 PT를 한 탱크 내에 수용한 것
  - CT(변류기)  $\Rightarrow$  2차측 개방 불가  $\Rightarrow$  2차측 절연보호
  - PT(계기용 변압기)
- 단상 유도 전압 조정기
  - 용량  $P_s = \sqrt{3} E_2 I_2 = \frac{V_h - V_L}{V_h} [\text{kVA}]$
  - 전압조정범위  $V_2 = V_1 \pm E_2 = V_1 + E_2 \cos \alpha [V]$
  - 단락권선  $\Rightarrow$  1차 누설리액턴스에 의한 전압강하를 보상

## ⑪ 변압기의 시험

- 정수측정시험 (등가회로 작성시험)
  - 권선의 저항측정 시험
  - 단락 시험  $\Rightarrow$  임피던스전압, 임피던스ワ트(동손)측정
  - 무부하 시험  $\Rightarrow$  여자전류
- 절연내력시험
  - 가압시험
  - 유도시험
  - 충격전압시험

- 층간절연내력 시험 : 1단 접지 충격전압시험
- 변압기 내부고장 보호 : 차동계전기, 비율차동계전기, 브호홀쯔 계전기, 전류차동 계전기
- 변압기 건조 상태, 열화정도 측정 :  $\tan\delta$  법

#### 4. 유도기

##### ① 유도전동기의 원리

- 동기속도 :  $N_s = \frac{120f}{P} [\text{rpm}]$
- 슬립 :  $s = \frac{N_s - N}{N_s}$
- 유도전동기가 널리 사용되는 이유
  - 전원을 쉽게 얻을 수 있다.
  - 구조가 간단하고, 값이 싸며, 튼튼하다.
  - 취급이 용이하며, 전기 지식이 없는 사람도 쉽게 운전할 수 있다.
  - 부하 변화에 대하여 거의 정속도 특성이다.

##### ② 3상 유도전동기의 구조

- 권선형 회전자와 농형회전자의 비교

농형	권선형
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 구조가 간단하고 튼튼하다.</li> <li>• 취급이 쉽다.</li> <li>• 효율이 좋다.</li> <li>• 보수가 용이하다.</li> <li>• 속도조정이 곤란하다.</li> <li>• 기동토크가 작아 대형이 되면 기동이 곤란하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 중형과 대형에 많이 사용</li> </ul>

##### ③ 유기전압 전류 및 전력과 토크

정지 시	슬립 s로 회전 시
$f = \frac{N_s P}{120} [\text{Hz}]$	$f' = \frac{s N_s P}{120} = s f [\text{Hz}]$
$E_2 = 4.44 K_w f N_2 \phi [\text{V}]$	$E_2 = 4.44 K_w s f N_2 \phi = s E_2 [\text{V}]$
$a = \frac{K_{w1} N_1}{K_{w2} N_2}$	$a' = \frac{K_{w1} N_1}{s K_{w2} N_2} = \frac{a}{s}$



## • 토크

$$T = 0.975 \frac{P_2}{N_s} [\text{kg} \cdot \text{m}] = K \frac{s E_2^2 r_2}{r_2^2 + (s x_2)^2} = K \frac{E_2^2 \frac{r_2}{s}}{\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + x_2^2} \Rightarrow T = K V^2, \quad s = K \frac{1}{V^2}$$

$\Rightarrow P_2$  : 동기와트

$$\bullet \text{ 최대 토크 : } T_m = K \frac{E_2^2}{2x_2}$$

$$\bullet \text{ 최대 토크 발생 조건 : } \frac{r_2}{s_t} = x_2 \Rightarrow s_t \doteq \frac{r_2}{x_{20}} \doteq \frac{r_2}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2)^2}}$$

## ④ 3상유도전동기의 전력의 변환

$$\bullet \text{ 비례식 } P_2 : P_{e2} : P_0 = 1 : s : (1-s)$$

$$\bullet \text{ 2차 효율 : } \eta_2 = \frac{P_0}{P_2} = 1 - s = \frac{N}{N_s} = \frac{\omega}{\omega_0}$$

## ⑤ 비례추이

## • 비례추이의 특징

- 최대 토크는 불변, 최대 토크의 발생 슬립은 변화한다.
- 전부효율과 속도가 떨어진다.
- 슬립이 증가한다.
- 기동 전류는 감소하고, 기동 토크는 증가한다.
- 비례추이 할 수 없는 것 : 출력, 2차 효율, 2차 동손

## ⑥ 유도전동기의 기동법

농형 유도전동기 기동법	권선형 유도전동기 기동법
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전전압 기동 : 5[kW] 이하</li> <li>• Y—△ 기동 : 토크 1/3배, 전류 1/3배 전압 <math>1/\sqrt{3}</math> 배, 15[kW] 급</li> <li>• 기동보상기법 : 단권변압기 사용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2차 저항 기동법 <math>\Rightarrow</math> 비례추이 이용</li> </ul>

## ⑦ 속도제어 및 제동

## • 속도제어

농형	권선형
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주파수 제어법</li> <li>• 극수 제어법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2차 저항법</li> <li>• 2차 여자법</li> </ul>

- 종속법 (권선형 + 농형)
- 직렬종속  $\Rightarrow N_s = \frac{120f}{P_1 + P_2} [\text{rpm}]$
- 차동종속  $\Rightarrow N_s = \frac{120f}{P_1 - P_2} [\text{rpm}]$
- 병렬종속  $\Rightarrow N_s = \frac{2 \times 120f}{P_1 + P_2} [\text{rpm}]$

## ⑧ 유도전동기의 역률제어

- 역률 개선
    - 무부하 유도 전동기는 역률이 나쁘지만 부하를 증가하면 역률이 좋아지는 이유는 전 전류에 대한 유효전류가 증가하기 때문
    - 역률 개선용 콘덴서 용량의 크기
- $$: P_r = \left( \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \theta_1}}{\cos \theta_1} - \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \theta_2}}{\cos \theta_2} \right) [\text{kVA}]$$

## ⑨ 특수유도기

- 유도발전기의 특징
  - 농형회전자를 사용할 수 있어 구조가 간단하고 값이 싸다.
  - 선로에 단락이생기면 여자전류가 없어지므로 단락전류는 작다.
  - 동기화할 필요가 없다.
  - 여자기로 동기발전기가 필요하다.
  - 유도발전기는 단독으로 전압을 확립 할 수 없다.  $\Rightarrow$  여자기 필요
- 3상 유도전압 조정기
  - 3상 유도전동기 2차 측을 구속하고 1차 측에 전압을 공급하면 2차 권선에 기전력이 유기된다. 여기서, 2차권선의 각상의 단자를 1차 측의 각상의 단자에 각각 적당히 접속하면 3상 전압을 조정 할 수 있다.
- $P_s = \frac{V_H - V_L}{V_H} W = \sqrt{3} E_2 I_2 [\text{kVA}]$ 
  - 원리  $\Rightarrow$  3상 유도전동기
  - 회전자계에 의한 유도 작용
  - 단락권선이 없다.
  - 입력전압과 출력전압 사이에 위상차가 존재한다.
- 서보 모터
  - 기동 토크가 크다.
  - 회전자 관성 모멘트가 작다.
  - 제어 권선 전압이 0에서는 기동해서는 안 되고 곧 정지해야 한다.
  - 직류 서보모터의 기동 토크가 교류 서보모터보다 크다.

## ⑩ 단상유도전동기

- 종류 (기동토크가 큰 순서)
  - 반발 기동형 ⇨ 반발 유도형 ⇨ 콘덴서 기동형 ⇨ 콘덴서 운전형
  - ⇨ 분상 기동형 ⇨ 세이딩 코일형
- 단상 유도전동기의 특징
  - 2차 저항의 크기가 변화하면 최대 토크를 발생하는 슬립뿐만 아니라 최대 토크 까지도 변화한다.

## ⑪ 유도 전동기의 시험 및 보수

- 부하시험 : 다이ना모 메터, 프로니 브레이크, 와전류 제동기
- 슬립측정 : DC 밀리볼트계 법, 수화기법, 스트로보 스코프 법

## 5. 특수기

## ① 회전변류기

- 회전변류기의 직류전압 조정법
  - 직렬리액턴스에 의한 방법
  - 유도전압조정기에 의한 방법
  - 부하 시 탭 전환 변압기에 의한 방법
  - 동기 승압기에 의한 방법
- 회전 변류기의 난조원인과 방지책
  - 브러시의 위치가 중성점 보다 낮은 위치
  - 부하의 급변
  - 주파수가 주기적으로 변동할 때
  - 저항이 리액턴스에 비해 클 때
- 난조방지법
  - 제동권선을 설치한다.
  - 전기자 저항에 비해 리액턴스를 크게 한다.

## ② 반도체 정류기

	반파정류	전파정류
다이오드	• $E_d = \frac{\sqrt{2} V}{\pi} = 0.45 V$	• $E_d = \frac{2\sqrt{2} V}{\pi} = 0.9 V$
SCR	• $E_d = \frac{\sqrt{2} V}{2\pi} (1 + \cos\alpha)$	• $E_d = \frac{\sqrt{2} V}{\pi} (1 + \cos\alpha)$
PIV	• $PIV = E_d \times \pi$	

- 맥동률

$$\bullet \text{ 맥동률} = \sqrt{\frac{\text{실효값}^2 - \text{평균값}^2}{\text{평균값}^2}} \times 100 = \frac{\text{교류분}}{\text{직류분}} \times 100 [\%]$$

- 단상 전파 48[%]

- 3상 반파 17[%]

- SCR 의 특징

- 아크가 생기자 않으므로 열의 발생이 적다.
- 과전압에 약하다.
- 게이트 신호를 인가할 때부터 도통할 때까지의 시간이 짧다.
- 전류가 흐르고 있을 때 양극의 전압강하가 작다.
- 정류기능을 갖는 단일방향성 3단자 소자이다.
- 브레이크오버 전압이 되면 애노드 전류가 갑자기 커진다.
- 역률각 이하에서는 제어가 되지 않는다.
- 다이리스터에서는 게이트 전류가 흐르면 순방향 저지 상태에서 ON 상태로 된다.  
게이트 전류를 가하여 도통 완료까지의 시간을 턴온 시간이라고 한다. 시간이 길면 스위칭 시의 전력손실이 많고 사이리스터 소자가 파괴 될 수 있다

- SCR 용어 및 종류

- 유지전류 ⇨ 게이트를 개방한 상태에서 다이리스터 도통 상태를 유지하기 위한 최소의 순전류
- 래칭전류 ⇨ 다이리스터가 턴온 하기 시작하는 순전류
- SCR ⇨ 역저지 3단자
- SSS ⇨ 2방향성 2단자
- SCS ⇨ 역저지 4단자
- TRIAC ⇨ 2방향성 3단자
- 사이클로 컨버터는 주파수 변환기
- 초퍼는 DC 전력을 직접 변환

## ③ 수은정류기

- 수은정류기 특성
  - 역호 ⇨ 음극에 대해 부전위로 있는 양극에 어떠한 원인에 의해 음극점이 형성되어 정류기의 밸브 작용이 상실되는 현상
  - 통호 ⇨ 양극전압에 대하여 격자전압이 임계전압보다 낮은 경우 완전하게 아크를 정지시킨다. 이 기능이 상실되어 억제할 때 방전하는 현상
  - 점호 ⇨ 음극과 양극사이에 불꽃이 생기고 관내에 빛나는 수은 아크가 생기는 것
  - 일반적으로 전철이나 전기화학용 과 같이 비교적 용량이 큰 수은 정류기 일 때 2차 측 결선방식은 6상 2중 성형 결선한다.
  - 고전압 대전력 정류기
  - 진공도 1/1000 [mm·Hg]
- 수은정류기의 역호의 원인
  - 내부 잔존가스의 압력의 상승
  - 전류, 전압의 과대
  - 양극에 수은부착
  - 증기밀도의 과대
- 수은 정류기의 역호 방지 대책
  - 진공도를 높게 한다.
  - 과열, 과냉을 피한다.
  - 과부하를 피한다.
  - 양극재료의 선택에 주의한다.

## ④ 교류정류자기

- 단상 직권 교류 정류자 전동기
  - 직류 교류 양용 만능전동기 ⇨ 가정용 미싱, 소형공구, 영상기, 믹서기
  - 직권형, 보상 직권형, 유도보상 직권형
  - 보상권선을 설치하면 역률을 좋게 할 수 있다.
- 단상 반발전동기
  - 직권형의 교류 정류자 전동기
  - 아트킨슨형, 톰슨형, 데리형, 윈터 아이히베르그 전동기
- 3상 직권 정류자 전동기 : 중간변압기 사용 ⇨ 실효권수비의 조정
- 3상 분권 정류자 전동기 : 시라게 전동기 ⇨ 브러시 이동만으로 속도제어와 역률 개선

## 제4장

## 회로 이론 및 제어 공학

## 1. 직류회로

- ① 전류 :  $I = \frac{Q}{t}$  [C/sec]
- ② 전압 :  $V = \frac{W}{Q}$  [J/C]
- ③ 옴의 법칙 :  $V = RI$
- ④ 저항의 연결
  - 직렬연결  $R_n = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$  [ $\Omega$ ]
  - 병렬연결  $R_n = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$  [ $\Omega$ ]

## 2. 기본 교류 회로

- ① 각속도(각주파수)  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$  [rad/sec]
- ② 위상의 시간표현  $\theta = \omega t$  에서  $t = \frac{\theta}{\omega}$  [sec]
- ③ 정현파 교류의 표현  $v = V_m \sin(\omega t + \theta)$ 로 표현하며 이 값을 순싯값 이라 한다.
  - 정현파교류는 싯값과 평균값으로 표현할수 있으며 다음과 같다.
  - 싯값  $V = \sqrt{\frac{1}{T} \int v(t)^2 dt} = \sqrt{v \text{의 제곱의 한주기 평균값}}$
  - 평균값  $V_{av} = \frac{1}{T} \int v(t) dt$  로 구하여 표현한다.

파형	싯값	평균값	파형률	파고율
정현파	$\frac{V_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{2 V_m}{\pi}$	1.11	1.414
정현반파	$\frac{V_m}{2}$	$\frac{V_m}{\pi}$	1.57	2
삼각파	$\frac{V_m}{\sqrt{3}}$	$\frac{V_m}{2}$	1.15	1.73
구형반파	$\frac{V_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{V_m}{2}$	1.41	1.41
구형파	$V_m$	$V_m$	1	1

## ④ 기본교류 회로소자의 응답

구분	직렬			
	임피던스	위상각	실효전류	위상
R - L	$\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$	$\tan^{-1} \frac{\omega L}{R}$	$\frac{V}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$	전류가 뒤진다.
R - C	$\sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega C})^2}$	$\tan^{-1} \frac{1}{\omega CR}$	$\frac{V}{\sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega C})^2}}$	전류가 앞선다.
R - L - C	$\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$	$\tan^{-1} \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$	$\frac{V}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$	L 이 크면 전류는 뒤진다. C 가 크면 전류는 앞선다.

구분	병렬		
	어드미턴스	위상각	실효전류
R - L	$\sqrt{(\frac{1}{R})^2 + (\frac{1}{\omega L})^2}$	$\tan^{-1} \frac{R}{\omega L}$	$\sqrt{(\frac{1}{R})^2 + (\frac{1}{\omega L})^2} V$
R - C	$\sqrt{(\frac{1}{R})^2 + (\omega C)^2}$	$\tan^{-1} \omega CR$	$\sqrt{(\frac{1}{R})^2 + (\omega C)^2} V$
R - L - C	$\sqrt{(\frac{1}{R})^2 + (\frac{1}{\omega L} - \omega C)^2}$	$\tan^{-1} \frac{\frac{1}{\omega L} - \omega C}{\frac{1}{R}}$	$\sqrt{(\frac{1}{R})^2 + (\frac{1}{\omega L} - \omega C)^2} V$

## ⑤ 정현파 교류의 복소수 표현

- $v = \sqrt{2} V \sin(\omega t + \theta)$  에서

극형식 :  $V \angle \theta$

직각좌표 형식  $\dot{V} = V \cos \theta + j V \sin \theta$  가 된다.

## ⑥ 공진 회로

	직렬공진	병렬공진
조건	$\omega L = \frac{1}{\omega C}$	$\omega C = \frac{1}{\omega L}$
특징	허수부가 0이다. 전압과 전류가 동상이다. 역률이 1이다. 임피던스가 최소이다. 흐르는 전류가 최대이다.	허수부가 0이다. 전압과 전류가 동상이다. 역률이 1이다. 어드미턴스가 최소이다. 흐르는 전류가 최소이다.
전류	$I = \frac{V}{R}$	$I = GV$
공진주파수	$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
선택도 첨예도	$Q = \frac{X}{R} = \frac{\omega L}{R} = \frac{1}{\omega CR} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$	$Q = \frac{R}{X} = \frac{R}{\omega L} = \omega CR = R \sqrt{\frac{C}{L}}$

## 3. 교류 전력

## ① 교류 전력의 계산

종류	직렬회로	병렬회로
피상전력	$P_a = VI = I^2 Z = \frac{V^2 Z}{R^2 + X^2}$	$P_a = VI = YV^2 = \frac{V^2 Y}{G^2 + B^2}$
유효전력	$P = VI \cos \theta = I^2 R = \frac{V^2 R}{R^2 + X^2}$	$P_a = VI \cos \theta = GV^2 = \frac{V^2 G}{G^2 + B^2}$
무효전력	$P = VI \sin \theta = I^2 X = \frac{V^2 X}{R^2 + X^2}$	$P_a = VI \sin \theta = BV^2 = \frac{V^2 B}{G^2 + B^2}$

## ② 최대 전력 전달 조건



조건	최대전력
$R_L = R_g$	$P_m = \frac{V^2}{4R_g}$
$Z_L = \overline{Z_g}$	$P_m = \frac{V^2}{4R_g}$

## 4. 결합 회로

### ① 코일의 결합

구분	직렬	병렬
가동 결합	$L_0 = L_1 + L_2 + 2M$	$L_0 = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 - 2M}$
차동 결합	$L_0 = L_1 + L_2 - 2M$	$L_0 = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 + 2M}$

- 결합계수 :  $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$

## 5. 회로망 해석

### ① 중첩의 원리

: 회로망 내에 전압원 과 전류원이 여러 개 존재하는 경우에 한 지로에 흐르는 전류는 이들의 전압원이나 전류원이 각각 단독으로 존재하는 경우의 전류의 분포를 곱친 것과 같다. 이 때 제거하는 전압원은 단락하고, 전류원은 개방한다.

※ 이상전인 전압원의 내부저항은 0 옴이며, 이상적인 전류원의 내부저항은 ∞ 옴이다.

② 테브낭의 정리 (전압 원과 등가 저항으로 나타낸다.)

③ 노튼의 정리 (전류 원과 등가 저항으로 나타낸다.)

④ 밀만의 정리 (여러 개의 전압원이 병렬로 연결된 회로를 하나의 전원과 어드미턴스로 나타낸다.)

⑤ 키르히호프의 전압 법칙은 선형, 비선형, 시변, 시불변에 구애를 받지 않고 적용 된다.

## 6. 대칭 n상 교류

## ① 3상 교류

항목	Y 결선	△ 결선
전압	$V_l = \sqrt{3} V_p \angle +30^\circ$	$V_l = V_p$
전류	$I_l = I_p$	$I_l = \sqrt{3} I_p \angle -30^\circ$
전력	$P_a = 3 V_p I_p = \sqrt{3} V_l I_l$ $= 3 \frac{V_p^2 Z}{R^2 + X^2} [\text{VA}]$ $P = 3 V_p I_p \cos \theta = \sqrt{3} V_l I_l \cos \theta$ $= 3 \frac{V_p^2 R}{R^2 + X^2} [\text{W}]$ $P_r = 3 V_p I_p \sin \theta = \sqrt{3} V_l I_l \sin \theta$ $= 3 \frac{V_p^2 X}{R^2 + X^2} [\text{Var}]$	$P_a = 3 V_p I_p = \sqrt{3} V_l I_l$ $= 3 \frac{V_p^2 Z}{R^2 + X^2} [\text{VA}]$ $P = 3 V_p I_p \cos \theta = \sqrt{3} V_l I_l \cos \theta$ $= 3 \frac{V_p^2 R}{R^2 + X^2} [\text{W}]$ $P_r = 3 V_p I_p \sin \theta = \sqrt{3} V_l I_l \sin \theta$ $= 3 \frac{V_p^2 X}{R^2 + X^2} [\text{Var}]$

## ② n상 교류

결선	전압	전류	위상	전력
Y	$V_l = 2 \sin \frac{\pi}{n} V_p$	$I_l = I_p$	$\theta = \frac{\pi}{2} (1 - \frac{2}{n})$ 만큼 선간전압이 앞선다.	$P = n V_p I_p \cos \theta$ $= \frac{n}{2 \sin \frac{\pi}{n}} V_l I_l \cos \theta$
△	$V_l = V_p$	$I_l = 2 \sin \frac{\pi}{n} I_p$	$\theta = \frac{\pi}{2} (1 - \frac{2}{n})$ 만큼 선전류가 뒤진다.	

## ③ V 결선

- V 결선 시 출력 :  $P_V = \sqrt{3} P$
- 이용률 =  $\frac{V \text{결선시의 용량}}{2 \text{대의 용량}} = \frac{\sqrt{3} P}{2P} = 0.866$
- 출력비 =  $\frac{V \text{결선시의 용량}}{\text{고장전의 용량}} = \frac{\sqrt{3} P}{3P} = 0.577$

④ △를 Y로 하면

전류	전압	전력	임피던스(R,L)	어드미턴스(G,C)
$\frac{1}{3}$ 배	$\frac{1}{\sqrt{3}}$ 배	$\frac{1}{3}$ 배	$\frac{1}{3}$ 배	3배

## 7. 대칭좌표법

① 각상 성분과 대칭분

대칭분	각상분
영상분 : $V_0 = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c)$	a 상 : $V_a = V_0 + V_1 + V_2$
정상분 : $V_1 = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c)$	b 상 : $V_b = V_0 + a^2V_1 + aV_2$
역상분 : $V_2 = \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c)$	c 상 : $V_c = V_0 + aV_1 + a^2V_2$

※ 영상분은 접지선, 중성선에 존재하며, 비접지 Y, △는 영상분이 존재하지 않는다.

② 교류발전기의 기본식

- 영상분 전압  $V_0 = E_0 - I_0 Z_0$
- 정상분 전압  $V_1 = E_1 - I_1 Z_1$
- 역상분 전압  $V_2 = E_2 - I_2 Z_2$

③ 불평형률 =  $\frac{\text{역상분}}{\text{정상분}} \times 100$  [%]

④ 비대칭 3상 교류의 전력의 계산

$$P = 3(V_0 \bar{I}_0 + V_1 \bar{I}_1 + V_2 \bar{I}_2)$$

## 8. 비정현파 교류

① 비정현파 교류의 해석 : 푸리에 급수의 전개

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\omega t + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega t$$

$$\text{여기서, } a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega t dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n\omega t dt$$

## ② 특수한 파형의 푸리에 급수의 전개

	기함수파 (정현대칭)	우함수파(여현대칭)	대칭파(반파대칭)
대칭조건	$f(t) = -f(-t)$	$f(t) = f(-t)$	$f(t) = -f(t + \frac{T}{2})$
결 과	sin 항 만 존재한다.	cos 항 존재 직류분 존재	고조파 차수가 홀수차 항만 존재한다.

## ③ 비정현파의 실효값

$$\bullet \text{ 실효값 } I = \sqrt{\text{각 파의 실효값의 제곱의 합}} = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2}$$

## ④ 비정현파의 전력 및 역률의 계산

- $v = V_1 \sin \omega t + V_2 \sin 2\omega t + V_3 \sin 3\omega t + \dots$
- $i = I_1 \sin(\omega t + \theta_1) + I_2 \sin(2\omega t + \theta_2) + I_3 \sin(3\omega t + \theta_3) + \dots$  인 경우
- 유효전력  $P = V_1 I_1 \cos \theta_1 + V_2 I_2 \cos \theta_2 + V_3 I_3 \cos \theta_3 + \dots$
- 무효전력  $P_r = V_1 I_1 \sin \theta_1 + V_2 I_2 \sin \theta_2 + V_3 I_3 \sin \theta_3 + \dots$
- 피상전력  $P_a = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots} \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots}$
- 역률  $\cos \theta = \frac{V_1 I_1 \cos \theta_1 + V_2 I_2 \cos \theta_2 + V_3 I_3 \cos \theta_3 + \dots}{\sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots} \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots}}$

## ⑤ 왜형률의 계산

$$\bullet \epsilon = \frac{\text{각 고조파의 실효값}}{\text{기본파의 실효값}}$$

- 각 고조파의 실효값 속에는 기본파의 실효값은 포함되지 않는다.

## 9. 2단자망

구분	내용
임피던스함수	임피던스를 구할 때 $j\omega = s$ 로 치환해서 계산한다.
영점	$Z(s) = 0$ 이 되는 $s$ 의 근 (단락 상태)
극점	$Z(s) = \infty$ 가 되는 $s$ 의 근 (개방 상태)
정저항 회로	$R = \sqrt{Z_1 Z_2} = \sqrt{\frac{L}{C}}$

## 10. 4단자망

① 4단자 정수 (전송 파라미터)

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

- $A = \left. \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} \right|_{\dot{I}_2=0}$  : 개방 전압이득
- $B = \left. \frac{\dot{V}_1}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{V}_2=0}$  : 단락 임피던스 [ $\Omega$ ]
- $C = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{V}_2} \right|_{\dot{I}_2=0}$  : 개방 어드미턴스 [ $\mathcal{U}$ ]
- $D = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{V}_2=0}$  : 단락 전류 이득

② 임피던스 행렬

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

③ 어드미턴스 행렬

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

④ 영상 파라미터

- 1차 영상임피던스 :  $Z_{01} = \sqrt{\frac{AB}{CD}}$
- 2차 영상임피던스 :  $Z_{02} = \sqrt{\frac{BD}{AC}}$
- 전달정수  $\theta = \ln(\sqrt{AD} + \sqrt{BC}) = \cosh^{-1} \sqrt{AD} = \sinh^{-1} \sqrt{BC}$
- 좌우 대칭인 경우의 영상임피던스는  $A = D$  이므로
- $Z_{01} = Z_{02} = Z_0 = \sqrt{\frac{B}{C}}$

- 1차 영상임피던스와 2차 영상임피던스와의 관계

$$\bullet \frac{Z_{01}}{Z_{02}} = \frac{\sqrt{\frac{AB}{CD}}}{\sqrt{\frac{BD}{AC}}} = \sqrt{\frac{A^2}{D^2}} = \frac{A}{D} \text{ 에서 } Z_{01} = \frac{A}{D} Z_{02}$$

$$\bullet Z_{01} \cdot Z_{02} = \sqrt{\frac{AB}{CD}} \cdot \sqrt{\frac{BD}{AC}} = \sqrt{\frac{B^2}{C^2}} = \frac{B}{C} \text{ 에서 } Z_{01} = \frac{B}{C} \cdot \frac{1}{Z_{02}}$$

- 4단자 정수와 영상임피던스와의 관계

$$\bullet A = \sqrt{\frac{Z_{01}}{Z_{02}}} \cosh \theta \quad \bullet B = \sqrt{Z_{01} Z_{02}} \sinh \theta$$

$$\bullet C = \frac{1}{\sqrt{Z_{01} Z_{02}}} \sinh \theta \quad \bullet D = \sqrt{\frac{Z_{02}}{Z_{01}}} \cosh \theta$$

## 11. 분포 정수 회로

### ① 특성임피던스와 전파정수

구분	공식
특성임피던스	$Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$
전파정수	$\gamma = \sqrt{ZY} = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta$

### ② 무손실 선로 및 무왜형 선로

구분	무손실 선로	무왜형 선로
조건	$R = 0, G = 0$	$RC = LG$
특성임피던스	$\sqrt{\frac{L}{C}}$	$\sqrt{\frac{L}{C}}$
전파정수	$\gamma = j\omega \sqrt{LC}$	$\sqrt{RG} + j\omega \sqrt{LC}$
파장	$\frac{2\pi}{\beta} = \frac{2\pi}{\omega \sqrt{LC}} = \frac{1}{f \sqrt{LC}}$	$\frac{2\pi}{\beta} = \frac{2\pi}{\omega \sqrt{LC}} = \frac{1}{f \sqrt{LC}}$
전파속도	$f\lambda = \frac{2\pi f}{\beta} = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$	$f\lambda = \frac{2\pi f}{\beta} = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

## 12. 라플라스 변환

## ① 간단한 함수의 라플라스 변환

• 정의 :  $F(s) = \mathcal{L}[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt$

$f(t)$ 를 라플라스 변환하면  $F(s)$ 가 된다. 다음 표와 같다.

$f(t)$	$F(s)$
$\delta(t)$	1
$u(t), 1$	$\frac{1}{s}$
$t$	$\frac{1}{s^2}$
$t^n$	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
$\sin\omega t$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
$\cos\omega t$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$
$e^{-at}$	$\frac{1}{s + a}$
$t^n e^{at}$	$\frac{n!}{(s - a)^{n+1}}$
$t \sin\omega t$	$\frac{2\omega s}{(s^2 + \omega^2)^2}$
$t \cos\omega t$	$\frac{s^2 - \omega^2}{(s^2 + \omega^2)^2}$
$e^{-at} \sin\omega t$	$\frac{\omega}{(s + a)^2 + \omega^2}$
$e^{-at} \cos\omega t$	$\frac{s + a}{(s + a)^2 + \omega^2}$
$\sinh\omega t$	$\frac{\omega}{s^2 - \omega^2}$
$\cosh\omega t$	$\frac{s}{s^2 - \omega^2}$

## 13. 과도 현상

- ① 과도현상은 시정수가 클수록 오래 지속된다.
- ② 시정수는 특성근의 절댓값의 역이다. 즉,  $e^{-1}$  이 되는  $t$  의 값이다.

	L	C
$t = 0$ 초기상태	개방상태	단락상태
$t = \infty$ 정상상태	단락상태	개방상태
전원 투입 시 흐르는 전류	$i_L = \frac{E}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right)$	$i_C = \frac{E}{R} e^{-\frac{1}{RC}t}$
전원 투입 시 충전되는 전하	-	$Q_C = CE \left( 1 - e^{-\frac{1}{RC}t} \right)$
전원 개방 시 흐르는 전류	$i_L = \frac{E}{R} e^{-\frac{R}{L}t}$	$i_C = -\frac{E}{R} e^{-\frac{1}{RC}t}$
전원 투입 시 양단의 전압	$E_L = E e^{-\frac{R}{L}t}$	$E_C = E \left( 1 - e^{-\frac{1}{RC}t} \right)$
시정수 ( $e^{-1}$ 로 되는 시간)	$\tau = \frac{L}{R}$	$\tau = RC$
특성근	$-\frac{R}{L}$	$-\frac{1}{RC}$
RLC 과도현상	① 비진동	$R^2 > 4\frac{L}{C}$
	② 진동	$R^2 < 4\frac{L}{C}$
	③ 임계진동	$R^2 = 4\frac{L}{C}$
과도상태가 나타나지 않는 위상각(교류의 과도현상)	$\theta = \tan^{-1} \frac{X}{R}$	
과도상태가 나타나지 않는 R의 값	정저항 회로의 정저항 조건 $R = \sqrt{\frac{L}{C}}$	



# 제어 공학

## 1. 자동 제어계의 개요

### ① 용어 정의

- 목표값 : 입력값으로 피드백 요소에 속하지 않는 신호
- 기준입력요소(설정부) : 목표값에 비례하는 기준 입력 신호를 발생 시키는 장치
- 동작 신호 : 페루프에 직접 가해지는 입력으로 기준 입력과 주 피드백 신호와의 차로써, 제어 동작을 일으키는 신호로 편차라고도 함.
- 제어 요소 : 동작 신호를 조작량으로 변환하는 요소 ( 조절부+조작부 )
- 조절부 : 제어 요소가 동작 하는데 필요한 신호를 만들어 조작부에 보내는 부분
- 조작부 : 조절부로부터 받은 신호를 조작량으로 바꾸어 제어 대상에 보내 주는 부분
- 조작량 : 제어 요소가 제어 대상에 가하는 제어 신호로써 제어 요소의 출력 신호
- 외란 : 제어량의 값을 교란시키려 하는 외부 신호
- 제어 대상 : 제어 활동을 갖지 않는 출력 발생 장치로 제어계에서 직접 제어를 받음.
- 검출부 : 제어량을 검출하고 입력과 출력을 비교하는 비교부가 반드시 필요
- 제어량 : 제어를 받는 제어계의 출력, 제어 대상에 속하는 양

### ② 자동제어 장치의 분류

- 제어량의 성질에 따른 분류

프로세서 제어	<ul style="list-style-type: none"><li>• 온도, 유량, 압력, 액위, 농도, 밀도</li><li>• 생산 공정 중의 상태량, 외란의 억제를 주목적으로 함.</li></ul>
서보 기구	<ul style="list-style-type: none"><li>• 위치, 방위, 자세</li><li>• 기계적 변위를 제어량으로 추종</li></ul>
자동 조정	<ul style="list-style-type: none"><li>• 전압, 전류, 주파수, 회전속도, 힘</li></ul>

- 조절부 동작에 의한 분류

비례제어	<ul style="list-style-type: none"><li>• P제어</li><li>• 잔류편차(off-set)가 생기는 결점</li></ul>
비례미분제어	<ul style="list-style-type: none"><li>• PD제어</li><li>• 속응성</li><li>• 과도특성 개선</li></ul>
비례적분제어	<ul style="list-style-type: none"><li>• PI제어</li></ul>
비례적분미분제어	<ul style="list-style-type: none"><li>• PID제어</li><li>• 잔류편차제어</li></ul>
온-오프제어	<ul style="list-style-type: none"><li>• 불연속제어</li></ul>

- 제어목적에 따른 분류

정치제어	어떤 일정한 목표값을 유지하는 것
프로그램 제어	정해진 프로그램에 따라 제어량을 변화 시키는 것
추종제어	임의 시간적 변화를 하는 목표값에 제어량을 추종하는 것
비율제어	목표값이 다른 것과 일정 비율 관계를 가지고 변화하는 것

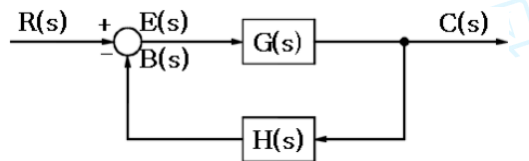
## ② 폐회로 제어계 (closed loop control system)

피드백 제어로써 제어계의 출력이 목표값과 일치하는가를 비교하여 일치하지 않을 경우에는 그 차이에 비례하는 정정 동작 신호를 제어계에 보내어 오차를 수정하도록 하는 폐환 회로(검출부와 비교부)를 갖는 제어계.

- 폐회로 제어계의 장점
  - 외부 조건의 변화에 대한 영향을 줄일 수 있다.
  - 제어기 부품들의 성능이 다소 나빠지더라도 큰 영향을 받지 않는다.
  - 제어계의 특성을 향상시킬 수 있다.
  - 목표값을 정확히 달성할 수 있다.
- 폐회로 제어계의 단점
  - 자동제어에서 설비에 많은 비용이 들고 고도화 된 기술이 필요하다.
  - 설비의 일부에 고장이 있어도 전 생산 라인에 영향을 미친다.

## 2. 블록선도와 신호흐름 선도

### ① 표준 feed back 회로의 전달함수



- 폐루프 전달함수 :  $M(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$
- $G(s)$  : 순방향 전달함수
- $G(s)H(s)$  : 개루프 전달함수
- $H(s)$  : 되먹임(feed back) 전달함수  $\rightarrow H(s)=1$  : 단위 되먹임 제어계

## ② 간이 전달 함수법

$$\bullet \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\sum [G(1 - \text{loop})]}{1 - \sum L_1 + \sum L_2 - \sum L_3}$$

- $G$  : 각각의 순방향 경로의 이득
- loop : 각각의 순방향 경로의 이득에 접촉하지 않는 이득
- $L_1$  : 각각의 모든 폐루프 이득의 곱
- $L_2$  : 서로 접촉하지 않는 2개의 폐루프 이득의 곱
- $L_3$  : 서로 접촉하지 않는 3개의 폐루프 이득의 곱

## 3. 자동 제어계의 과도 응답

## ① 특성 방정식

- 폐루프 전달함수의 분모를 0 으로 놓은 식 (이때의 근을 특성근)

## ② 2차 제어계의 전달함수

$$\bullet G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2}$$

- 특성 방정식 :  $s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2 = 0$

( $\delta$  : 제동비, 감쇠계수,  $\omega_n$  : 고유주파수)

- 근 :  $s = -\delta\omega_n \pm j\omega_n \sqrt{1 - \delta^2}$

•  $\delta < 1$  경우 : 부족제동  $s = -\delta\omega_n \pm j\omega_n \sqrt{1 - \delta^2}$

•  $\delta = 1$  경우 : 임계제동  $s = -\omega_n$

•  $\delta > 1$  경우 : 과제동  $s = -\delta\omega_n \pm \omega_n \sqrt{\delta^2 - 1}$

•  $\delta = 0$  경우 : 무제동  $s = \pm j\omega_n$

## ③ 시간응답 특성

- 오버슈트 : 과도 상태 중 계단입력을 초과하여 나타나는 출력의 최대 편차량

$$\bullet \text{백분율 오버 슈트} = \frac{\text{최대 오버 슈트}}{\text{최종 목표값}} \times 100[\%]$$

- 지연시간(시간 늦음) : 정상 값의 50% 에 도달하는 시간

- 상승시간 : 정상값의 10~90%에 도달하는 시간
- 정정시간 : 응답의 최종 값의 허용 범위가 5~10% 내에 안정되기 까지  
요하는 시간
- 감쇠비 : 감쇠비 =  $\frac{\text{제2 오버 슈트}}{\text{최대 오버 슈트}}$
- 과도현상은 시정수가 클수록 오래 지속된다.

## 4. 자동 제어계의 정상 응답

### ① 정상편차

- 정상위치편차 : 입력이 단위 계단 함수 일 때 편차

$$\begin{aligned}
 - e_{ssp} &= \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{R(s)}{1 + G(s)} = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{1 + G(s)} \cdot \frac{1}{s} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{1 + G(s)} \\
 &= \frac{1}{1 + \lim_{s \rightarrow 0} G(s)} \\
 &= \frac{1}{1 + K_p}
 \end{aligned}$$

$\therefore K_p = \lim_{s \rightarrow 0} G(s) \rightarrow$  위치편차 상수  $\rightarrow 0$  형(단위계단함수에서 생김)

- 정상속도편차 : 입력이 단위 램프 함수

$$e_{ssv} = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{1 + G(s)} \cdot \frac{1}{s^2} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s + sG(s)} = \frac{1}{\lim_{s \rightarrow 0} sG(s)} = \frac{1}{K_v}$$

$\therefore K_v = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s) \rightarrow$  속도편차상수  $\rightarrow 1$ 형 (단위램프함수에서 생김)

- 정상 가속도 편차

$$e_{ssa} = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{1 + G(s)} \cdot \frac{1}{s^3} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s^2 + s^2G(s)} = \frac{1}{\lim_{s \rightarrow 0} s^2G(s)} = \frac{1}{K_a}$$

$\therefore K_a = \lim_{s \rightarrow 0} s^2G(s) \rightarrow$  가속도 편차  $\rightarrow 2$ 형 (포물선 함수에서 생김)

### ② 감도

- 전달함수의 한 파라미터가 지정 값에서 벗어났을 때 전달함수가 지정  
값에서 벗어난 양의 크기

$$S_K^T = \frac{K}{T} \frac{dT}{dK}$$

## 5. 자동 제어계의 주파수 영역 해석

- ① 주파수 응답에 필요한 입력 : 정현파 입력
- ② 벡터궤적 :  $\omega$  가  $0 \sim \infty$  까지 변화하였을 때의  $G(j\omega)$ 의 크기와 위상각의 변화를 극좌표에 그린 것으로 이 궤적을 나이퀴스트 선도라 함.

비례 요소	$G(s) = K$	$G(j\omega) = K$
미분 요소	$G(s) = s$	$G(j\omega) = j\omega$
적분 요소	$G(s) = \frac{1}{s}$	$G(j\omega) = \frac{1}{j\omega} = -j\frac{1}{\omega}$
비례 미분 요소	$G(s) = 1 + Ts$	$G(j\omega) = 1 + j\omega T$
1차 지연 요소	$G(s) = \frac{1}{1 + Ts}$	$G(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega T}$ $G(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \angle -\tan^{-1}\omega T$
부동작 시간 요소	$G(s) = e^{-Ls}$	$G(j\omega) = e^{-j\omega L} = \cos\omega L - j\sin\omega L$
	$G(j\omega) = \sqrt{(\cos\omega L)^2 + (\sin\omega L)^2} \angle \tan^{-1} - \frac{\sin\omega L}{\cos\omega L} = -\omega L$	

### ③ 보드 선도

- 이득선도 : 횡축에 주파수와 종축에 이득값(데시벨)으로 그린 그림
- 위상선도 : 횡축에 주파수와 종축에 위상값( $^\circ$ )으로 그린 그림
- $G[\text{dB}] = 20\log |G(j\omega)|$

$G(s) = s$ 의 보드선도	+20[dB/dec]의 경사를 가지며 위상각은 $90^\circ$
$G(s) = s^2$ 의 보드선도	+40[dB/dec]의 경사를 가지며 위상각은 $180^\circ$
$G(s) = s^3$ 의 보드선도	+60[dB/dec]의 경사를 가지며 위상각은 $270^\circ$

## 6. 제어계의 안정도

- ① 제어계의 안정조건 : 특성방정식의 근이 모두  $s$  평면의 좌반부에 있어야 한다.
- ② 루스 판별법에서 안정 조건
  - 모든 계수의 부호가 동일 할 것.
  - 계수 중 어느 하나라도 0 아닐 것.
  - 루스 표의 제1열의 부호가 같을 것.
- ③ 후르비쯔 판별법 :
  - 특성방정식의 계수로서 만들어진 행렬식에 의해 판별하는 방법
- ④ 나이퀴스트 판별법
  - 계의 주파수 응답에 관한 정보를 준다
  - 계의 안정을 개선하는 방법에 대한 정보를 준다.
  - 안정성을 판별하는 동시에 안정도를 지시해 준다.
  - 안정조건
    - 반시계 방향에서는 바깥쪽에  $(-1, j0)$ 이 있으면 불안정
    - 시계 방향에서는 안쪽에  $(-1, j0)$ 이 있으면 불안정
- ⑤ 이득여유
  - 이득여유는 위상선도가  $-180^\circ$  축과 교차하는 점에 대응되는 이득의 크기 [dB] 값이다.
  - 이득여유  $(GM) = 20 \log \frac{1}{|GH_c|}$  [dB]
- ⑥ 나이퀴스트 선도에서 안정에 요구되는 여유
  - 이득여유  $(GM) = 4 \sim 12$  [dB]
  - 위상여유  $(PM) = 30 \sim 60^\circ$
- ⑦ 보드선도에서 안정계의 조건
  - 위상여유  $\phi_m > -180^\circ$  (이득이 0인 점에서)
  - 이득여유  $g_m < 0^\circ$  (위상이  $-180^\circ$  인 점에서)

- ⑧ 루소-후르비쯔 표를 작성할 때 제1열 요소의 부호 변환의 횟수는  $s$  평면의 우반면에 존재하는 근의 수를 의미한다.
- ⑨ 보상법
- 위치제어계의 종속 보상법중 진상요소의 주된 사용 목적은 속응성을 개선하는 것이다.
  - 진상 보상은 과도응답의 속도를 보상한다.
  - 위상여유가 증가하고, 공진 침투값이 감소한다.

## 7. 근궤적

### ① 정의

- 개루프 전달함수의 이득정수  $K$ 를  $0 \sim \infty$  까지 변화를 시킬 때의 특성근 즉, 폐루프의 전달함수의 궤적을 말함.

### ② 작도법

- 극점에서 출발하여 영점에서 끝남.
- 근궤적은  $G(s)H(s)$ 의 극에서 출발하여 0 점에서 끝나므로 근궤적의 개수는  $z$ 와  $p$  중 큰 것과 일치한다. 또한 근궤적의 갯수는 특성방정식의 차수와 같다.
- 근궤적의 수 : 근 궤적의 수 ( $N$ )는 극점의 수( $p$ )와 영점의 ( $z$ )에서

$$z > p \text{ 이면 } N = z$$

$$z < p \text{ 이면 } N = p$$

- 근궤적의 대칭성 : 특성 방정식의 근이 실근 또는 공액 복소근을 가지므로 실수축에 대하여 대칭
- 점근선의 교차점 : 점근선은 실수 축 상에만 교차하고 그 수는  $n = p - z$  이다.

### ③ 점근선의 교차점

- $\sigma = \frac{\sum G(s)H(s) \text{의 극} - \sum G(s)H(s) \text{의 영점}}{p - z}$

### ④ 이득여유

- 이득 여유 =  $20 \log \frac{\text{허수축과의 교차점에서 } K \text{의 값}}{K \text{의 설계값}}$  [dB]

## 8. 상태 방정식

### ① 상태 천이 행렬

- $\Phi(t) = \mathcal{L}^{-1}[(sI - A)^{-1}]$  이며 천이 행렬은 다음과 같은 성질을 갖는다.
- $\Phi(0) = I$  ( $I$ 는 단위행렬)
- $\Phi^{-1}(t) = \Phi(-t) = e^{-At}$
- $\Phi(t_2 - t_1)\Phi(t_1 - t_0) = \Phi(t_2 - t_0)$
- $[\Phi(t)]^K = \Phi(Kt)$  여기서,  $K$ 는 정수
- $n$  차 선형 시불변 시스템의 상태 방정식은

$$\frac{d}{dx}x(t) = Ax(t) + By(t) \text{ 일 때 제어계의 특성 방정식은 } |sI - A| = 0 \text{ 이다.}$$

### ② $z$ 변환법

- 라플라스 변환 함수의  $s$  대신  $\frac{1}{T} \ln z$  를 대입하여야 한다.
- $s$  평면의 허축은  $z$  평면상에서는 원점을 중심으로 하는 반경 1인 원에 사상
- $s$  평면의 우반평면은  $z$  평면상에서는 이원의 외부에 사상
- $s$  평면의 좌반평면은  $z$  평면상에서는 이원의 내부에 사상

$$\lim_{t \rightarrow 0} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} E(z)$$

$f(t)$	$F(s)$	$F(z)$
$\delta(t)$	1	1
$u(t)$	$\frac{1}{s}$	$\frac{z}{z-1}$
$t$	$\frac{1}{s^2}$	$\frac{Tz}{(z-1)^2}$
$e^{-at}$	$\frac{1}{s+a}$	$\frac{z}{z - e^{-at}}$



## 제5장

## 전기설비기술기준

## 1. 총칙

## 1) 용어

용어	정의
급전소	전력계통의 운용에 관한 지시 및 급전조작을 하는 것을 말한다.
연접인입선	하나의 수용장소의 인입선으로부터 다른 지지물을 거치지 않고 다른 수용장소의 인입구에 이르는 분기 전선
관동회로	방전등용 안정기로부터 방전관까지의 전로
접근상태	<ul style="list-style-type: none"> <li>1차 접근 상태 : 지지물의 높이에 상당하는 거리에 시설</li> <li>2차 접근 상태 : 수평거리 3 m 미만의 곳에 다른 시설물을 시설</li> </ul>
지지물	<ul style="list-style-type: none"> <li>A종 철주 : 강관주, 강판조립주</li> <li>A종 철근 콘크리트주 : 전장 16 m 이하, 설계하중 6.8 kN 이하</li> <li>B종 철근 콘크리트주 : A종 철근 콘크리트주 이외</li> </ul>
조상설비	무효전력을 조절하는 전기기계기구를 말한다.
대지전압	접지식 전로에 있어서는 전선과 대지 사이, 비접지식 선로에서 전선과 전선 사이의 전압
계통연계	둘 이상의 전력계통 사이를 전력이 상호 융통될 수 있도록 선로를 통하여 연결하는 것으로 전력계통 상호 간을 송전선, 변압기 또는 직류-교류 변환설비 등에 연결하는 것.
계통외도전부	전기설비의 일부는 아니지만 지면에 전위 등을 전해줄 위험이 있는 도전성 부분
계통접지	전력계통에서 돌발적으로 발생하는 이상 현상에 대비하여 대지와 계통을 연결하는 것으로, 중성점을 대지에 접속하는 것.
노출도전부	충전부는 아니지만 고장 시에 충전될 위험이 있고, 사람이 쉽게 접촉할 수 있는 기기의 도전성 부분
등전위본딩	등전위를 형성하기 위해 도전부 상호 간을 전기적으로 연결하는 것.
리플프리직류(ripple-free) 직류	교류를 직류로 변환할 때 리플성분의 실효값이 10 % 이하로 포함된 직류
분산형 전원	중앙급전 전원과 구분되는 것으로서 전력소비지역 부근에 분산하여 배치 가능한 전원
소세력 회로	원격제어, 신호 등의 회로로써 최대 사용전압이 60 V 이하의 것.
전기철도용 급전선	전기철도용 변전소로부터 다른 전기철도용 변전소 또는 전차선에 이르는 전선
PEN 도체	중성선 겸용 보호도체

2) 전압의 종별

구 분	교류	직류
저 압	1 kV 이하	1.5 kV 이하
고 압	저압 초과 7 kV 이하	
특고압	7 kV 초과	

3) 감전에 대한 보호 (인축 보호)

기본보호	충전부에 인축이 접촉하여 일어날 수 있는 위험으로부터 보호 (직접접촉방지) ① 몸을 통해 전류가 흐르는 것을 방지 ② 몸에 흐르는 전류를 위험하지 않은 값 이하로 제한
고장보호	기본절연의 고장에 의한 간접접촉을 방지 ① 몸을 통해 고장전류가 흐르는 것을 방지 ② 몸에 흐르는 고장전류를 위험하지 않은 값 이하로 제한 ③ 몸에 흐르는 고장전류의 지속시간을 위험하지 않은 시간까지로 제한

4) 전선의 식별 (상(문자) : 색상)

상 (문자)	L1	L2	L3	N	보호도체
색상	갈색	흑색	회색	청색	녹색-노란색

5) 고·저압 전선 및 케이블의 종류

절연전선	절연전선은 「전기용품 및 생활용품 안전관리법」의 적용을 받는 것 이외에는 KS에 적합하거나 동등 이상의 성능을 만족하는 것을 사용하여야 한다.
저압케이블	사용전압이 저압인 전로(전기기계기구 안의 전로를 제외한다)의 전선으로 사용하는 케이블은 「전기용품 및 생활용품 안전관리법」의 적용을 받는 것 이외에는 KS에 적합하거나 동등 이상의 성능을 만족하는 것을 사용하여야 한다.
고압케이블	사용전압이 고압인 전로(전기기계기구 안의 전로를 제외한다)의 전선으로 사용하는 케이블은 KS에 적합하거나 동등 이상의 성능을 만족하는 것을 사용하여야 한다.

**6) 전선의 접속**

- ① 나전선 상호 또는 나전선과 절연전선 또는 캡타이어 케이블과 접속하는 경우
  - 전선의 세기(인장하중)를 20 % 이상 감소시키지 아니할 것.
  - 접속부분은 접속판 기타의 기구를 사용할 것.
- ② 절연전선 상호, 절연전선과 코드, 캡타이어 케이블과 접속하는 경우에는 접속부분은 절연 전선에 절연물과 동등 이상의 절연효력이 있는 것으로 충분히 피복할 것.
- ③ 코드 상호, 캡타이어 케이블 상호 또는 이들 상호를 접속하는 경우에는 코드 접속기, 접속 함 기타의 기구를 사용할 것. 다만 공칭단면적이 10 mm<sup>2</sup> 이상인 캡타이어케이블 상호를 접속한 경우에는 접속부분을 ① 및 ②의 규정에 준하여 시설할 것.
- ④ 도체에 알루미늄을 사용하는 전선과 동을 사용하는 전선 등 전기 화학적 성질이 다른 도체를 접속 경우 전기적 부식이 생기지 않도록 할 것.

**7) 전로의 절연**

- ① 사용전압이 저압인 전로에서 정전이 어려운 경우 등 절연저항 측정이 곤란한 경우에는 저항성분의 누설전류가 1mA 이하이면 그 전로의 절연성능은 적합한 것으로 본다.
- ② 저압전로의 절연 성능

전로의 사용전압 (V)	DC 시험전압 (V)	절연저항 (MΩ)
SELV 및 PELV	250	0.5
FELV, 500 V 이하	500	1.0
500 V 초과	1000	1.0

- ③ 고압 및 특고압 전로의 절연내력 시험 방법 및 시험전압
  - 절연내력을 시험할 부분에 최대사용전압에 의하여 결정되는 시험전압을 계속하여 10분간 가하여 견디어야 한다.
  - 전선에 케이블을 사용하는 경우에는 직류로 시험할 수 있으며, 시험전압은 교류 시험전압의 2배의 직류 전압을 가하여 견디어야 한다.

## ④ 절연내력 시험전압

최대사용전압	시험전압	최저시험전압
1. 7 kV 이하인 전로	1.5배	
2. 7 kV 초과 25 kV 이하인 중성점 접지식 전로 (중성선 다중 접지식)	0.92배	
3. 7 kV 초과 60 kV 이하인 전로 (2란 제외)	1.25배	10.5 kV
4. 60 kV 초과 중성점 비접지식 전로	1.25배	
5. 60 kV 초과 중성점 접지식 전로	1.1배	75 kV
6. 60 kV 초과 중성점 직접접지식 전로	0.72배	#1
7. 170 kV 초과 중성점 직접 접지식 전로	0.64배	#2
8. 60 kV 초과 정류기에 접속되고 있는 전로	1.1배	

#1. 전력케이블은 정격전압을 24시간 가하여 절연내력시험하였을 때 이에 견딜 경우는 제외

#2. 지중전선로는 최대사용전압의 0.64배의 전압을 전로와 대지사이에 연속 60분간 절연내력시험을 했을때 견디는 경우는 제외

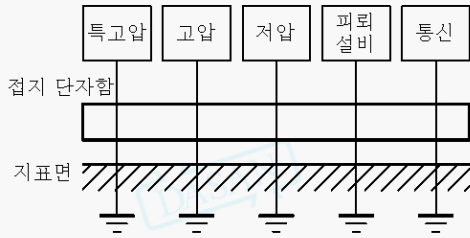
## ⑤ 연료전지 및 태양전지 모듈의 절연내력

최대사용전압의 1.5배의 직류전압 또는 1배의 교류전압(500 V 미만으로되는 경우에는 500 V)을 충전 부분과 대지 사이에 연속하여 10분간 가하여 절연내력을 시험하였을 때에 이에 견디는 것이어야 한다.

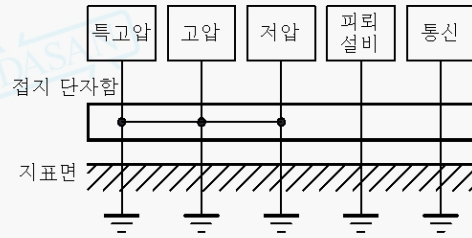
## 8) 접지 시스템의 구분

구 분	① 계통접지 ② 보호접지 ③ 피뢰시스템 접지
시설종류	① 단독접지 ② 공통접지 ③ 통합접지
구성요소	① 접 지 극 ② 접지도체 ③ 보호도체 ④ 기타설비 (접지극은 접지도체를 사용하여 주접지단자에 연결하여야 한다.)

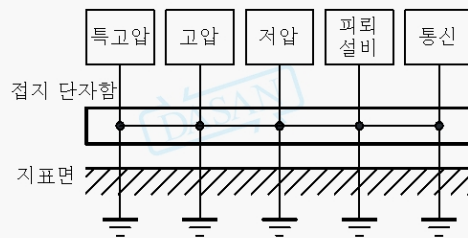
## 9) 접지 시스템의 종류



[단독 접지]

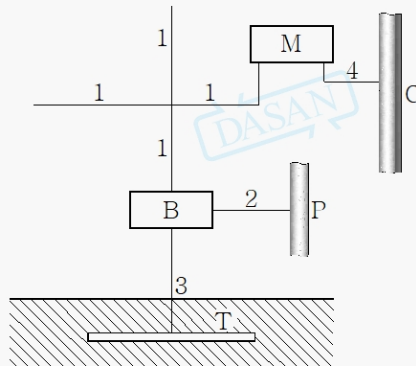


[공통 접지]



[통합 접지]

## 10) 접지 시스템의 구성



[접지 시스템의 구성]

- 1 : 보호도체
- 2 : 보호등전위본딩 도체
- 3 : 접지도체
- 4 : 보조 보호등전위본딩 도체
- B : 주접지단자
- M : 노출도전성 부분
- C : 계통외도전성 부분
- P : 주 금속제 수도관
- T : 접지극

## 11) 접지극의 매설

- ① 접지극은 동결 깊이를 감안하여 시설하되, 고압 이상의 전기설비와 변압기 중성점 접지에 시설하는 접지극의 매설 깊이는 지표면으로부터 0.75m 이상으로 한다.
- ② 철주의 밑변에서 0.3 m 이상의 깊이에 매설하거나 금속체로부터 1 m 이상 떼어 설치 (금속체를 따라 시설하는 경우)
- ③ 접지선은 지하 0.75 m ~ 지표 2 m 이상까지 합성수지관 물드로 덮을 것.

12) 접지도체 단면적

- ① 접지도체에 피뢰시스템이 접속된 경우
  - 구리 : 16 mm<sup>2</sup> 이상
  - 철제 : 50 mm<sup>2</sup> 이상
- ② 접지도체에 큰 고장전류가 흐르지 않는 경우
  - 구리 : 6 mm<sup>2</sup> 이상
  - 철제 : 50 mm<sup>2</sup> 이상
- ③ 고장 시 흐르는 전류를 안전하게 통할 수 있는 경우 연동선

구 분		접지도체 단면적
특고압·고압 전기설비용 접지도체		6 mm <sup>2</sup> 이상
중성점 접지용 접지도체	① 7 kV 이하의 전로 ② 25 kV 이하인 특고압 가공전선로 (중성선 다중접지식 지락사고 시 2초 이내 자동차단하는 장치가 있는 경우)	6 mm <sup>2</sup> 이상
	그 외	16 mm <sup>2</sup> 이상

13) 보호도체의 종류

- ① 다심케이블의 도체
- ② 충전도체와 같은 트렁킹에 수납된 절연도체 또는 나도체
- ③ 고정된 절연도체 또는 나도체
- ④ 금속케이블 외장, 케이블 차폐, 케이블 외장, 전선묶음(편조전선), 동심도체, 금속관(기계적, 화학적, 전기화학적 열화에 대하여 보호할 수 있으며 전기적 연속성을 유지한 경우)

14) 보호도체의 단면적

선도체의 단면적 S (mm <sup>2</sup> , 구리)	보호도체의 최소 단면적 (mm <sup>2</sup> , 구리)	
	보호도체의 재질	
	선도체와 같은 경우	선도체와 다른 경우
16 mm <sup>2</sup> 이하	S	$(k_1/k_2) \times S$
16 mm <sup>2</sup> 초과 35 mm <sup>2</sup> 이하	16 (#1)	$(k_1/k_2) \times 16$
35 mm <sup>2</sup> 초과	S/2 (#1)	$(k_1/k_2) \times (S/2)$

#1 PEN 도체의 최소단면적은 중성선과 동일하게 적용한다.

15) 변압기 중성점 접지 저항값

구 분	접지 저항값
일반	$\frac{150}{I_g}$ 이하
1초 초과 2초 이내에 고압·특고압 전로를 자동 차단하는 장치 설치 시	$\frac{300}{I_g}$ 이하
1초 이내에 고압·특고압 전로를 자동 차단하는 장치 설치 시	$\frac{600}{I_g}$ 이하

16) 공통접지 및 통합접지

고압·특고압 계통 지락사고 시 저압계통에 가해지는 과전압은 아래 표에서 정한 값을 초과하면 안된다.

고압계통에서 지락고장시간 (초)	저압설비 허용 과전압 (V)	비고
> 5	$U_0 + 250$	중성선 도체가 없는 계통에서 $U_0$ 는 선간전압
≤ 5	$U_0 + 1200$	

17) 피뢰시스템 수뢰부의 종류

돌침, 수평도체, 메시 도체 중 한가지 혹은 이를 조합한 형식

18) 건축물·구조물과 분리되지 않은 수뢰부

- ① 지붕 마감재가 불연성 재료로 된 경우 지붕표면에 시설 가능
- ② 지붕 마감재가 가연성 재료로 된 경우지붕 재료와의 이격거리

구 분	이격거리
초가지붕 또는 이와 유사한 경우	0.15 m 이상
다른 재료의 가연성 재료인 경우	0.1 m 이상

19) 병렬 인하도선의 최대 간격

피뢰시스템 등급	최대간격
I · II 등급	10 m
III 등급	15 m
IV 등급	20 m



20) 접지극의 종류

- ① 수평 또는 수직 접지극 (A형)
- ② 환상도체 접지극 또는 기초 접지극 (B형)

21) 접지극 시설

- ① 지표면에서 0.75 m 이상 깊이로 매설하여야 한다.
- ② 대지저항이 높거나 전자통신시스템을 많이 사용하는 시설의 경우 환상도체 접지극 또는 기초 접지극으로 한다.
- ③ 접지극 재료는 대지에 환경오염 및 부식의 문제가 없어야 한다.

22) 건축물·구조물의 등전위본딩

지하 0.5 m와 높이 20 m마다 환상도체를 설치한다. 다만 철근 콘크리트, 철골구조물의 구조체에 인하도록을 등전위본딩하는 경우 환상도체는 설치하지 않아도 된다.

2. 전선로

1) 풍압하중의 종류별 적용

종별	지역	적용방법
갑종	고온계	구성재의 수직 투영면적 1 m <sup>2</sup> 에 대한 풍압을 기초로 하여 계산
을종	저온계 (빙설이 많은)	전선 기타 가설선의 주위에 두께 6 mm, 비중 0.9의 빙설이 부착한 상태에서 갑종 풍압하중의 1/2 적용
병종	인가밀집 지역	갑종풍압하중의 1/2을 기준으로 적용



2) 감중풍압 하중

풍압을 받는 구분			구성재의 수직 투영면적 1 m <sup>2</sup> 에 대한 풍압	
목주			588 Pa	
지지물	철주	원형의 것	588 Pa	
		삼각형 또는 마름모형의 것	1412 Pa	
		강관에 의하여 구성되는 4각형의 것	1117 Pa	
		기타의 것	복재[腹材]가 전·후면에 접치는 경우 1627 Pa 기타의 경우 1784 Pa	
	철근 콘크리트주	원형의 것	588 Pa	
		기타의 것	882 Pa	
	철탑	단주 (원철류는 제외함)	원형의 것	588 Pa
			기타의 것	1117 Pa
		강관으로 구성되는 것 (단주는 제외함)		1255 Pa
		기타의 것		2157 Pa
전선 기타 가설선	다도체를 구성하는 전선 (구성하는 전선이 2가닥마다 수평으로 배열되고 또한 그 전선 상호 간의 거리가 전선 바깥지름의 20배 이하 인 것에 한함)		666 Pa	
	기타의 것		745 Pa	
애자장치 (특고압 전선용의 것에 한한다)			1039 Pa	
목주·철주(원형의 것에 한한다) 및 철근 콘크리트주의 완금류(특고압 전선로용의 것에 한한다)			단일재로서 사용하는 경우 1196 Pa 기타의 경우 1627 Pa	

3) 지지물의 기초 안전율

- ① 일반적으로 2 이상이어야 한다.
- ② 철탑의 경우 이상 시 상정 하중에 대하여 1.33 이상으로 계산한 값과 상시 상정 하중에  
대해 2 이상으로 계산한 값 중에서 큰 값
- ③ 땅에 묻히는 깊이

설계하중 전장	6.8 kN 이하	6.8 kN 초과 9.8 kN 이하	9.81 kN 초과 14.72 kN 이하
14 m 미만	전장 $\times \frac{1}{6}$ 이상	—	—
14 m 이상 ~ 15 m 이하		전장 $\times \frac{1}{6} + 0.3$ m 이상	전장 $\times \frac{1}{6} + 0.5$ m 이상
15 m 초과 ~ 16 m 이하	2.5 m 이상	2.8 m 이상	3 m 이상
16 m 초과 ~ 18 m 이하	2.8 m 이상		3.2 m 이상
18 m 초과 ~ 20 m 이하			

4) 지선의 설치조건

- ① 안전율은 목주, A종 지지물의 경우 1.5 이상, B종의 경우 2.5 이상
- ② 인장하중 4.31 kN 이상
- ③ 3조 이상의 연선인 소선을 사용
- ④ 2.6 mm 금속선 또는 인장강도가 0.68 [kN/mm<sup>2</sup>] 인 아연도 강연선은 지름 2.0 mm도 가능함
- ⑤ 지중 부분 및 지표상 30 cm까지 아연도금 철봉을 사용하고, 근가로 시설한다.

5) 지선의 높이

- ① 도로횡단 5 m
- ② 교통에 지장이 없는 도로 4.5 m
- ③ 보도 2.5 m

6) 저압 가공인입선

- ① 전선은 절연전선 또는 케이블일 것
- ② 전선이 케이블 이외의 경우

경간	전 선
15 m 이하	인장강도 1,25 kN 이상 또는 지름 2.0 mm 이상의 인입용 비닐절연전선
15 m 초과	인장강도 2,30 kN 이상 또는 지름 2.6 mm 이상의 인입용 비닐절연전선

③ 가공 인입선의 높이

구분	(1) 도로횡단	(2) 철도궤도횡단	(3) 횡단보도교 위	(1),(2),(3) 이외 일반장소
저압	5 m #1. (3 m)	6.5 m	3 m	4 m #2. (2.5 m)
고압	6 m		3.5 m	5 m #3. (3.5 m)
35 kV 이하			5 m #4. (4 m)	5 m #5. (4 m)
35 kV 초과 160 kV 이하			6 #6. (5 m)	6 m
	산지[山地] 등에서 사람이 쉽게 들어갈 수 없는 경우 : 5 m			
160 kV 초과	도로횡단, 횡단보도교, 일반장소 : $6 + (\text{단수} \times 0.12)\text{m}$ 철도궤도 횡단 : $6.5 + (\text{단수} \times 0.12)\text{m}$ 산지 : $5 + (\text{단수} \times 0.12)\text{m}$			

※ 단수 =  $\frac{V[kV] - 160}{10}$  (단수 계산에서 소수점 이하는 절상)

- #1. #2. 기술상 부득이한 경우 교통에 지장이 없을 때
- #3. 고압 가공인입선이 케이블 이외의 것인 때에는 그 전선의 아래쪽에 위험표시를 한 경우
- #4. 전선이 특고압 절연전선 또는 케이블인 경우
- #5. #6. 전선이 케이블인 경우

7) 저압 옥측 전선로

시설 장소	전선 상호 간의 간격		전선과 조영재 사이의 이격거리	
	사용전압 400 V 이하	사용전압 400 V 초과	사용전압 400 V 이하	사용전압 400 V 초과
비나 이슬에 젖지 않는 장소	0,06 m	0,06 m	0,025 m	0,025 m
비나 이슬에 젖는 장소		0,12 m		0,045 m

8) 유도장해의 방지

- ① 60 kV 이하의 경우 전화선로 12 km마다 유도전류가 2  $\mu$ A를 넘지 아니할 것.
- ② 60 kV 넘는 경우 전화선로 40 km마다 유도전류가 3  $\mu$ A를 넘지 아니할 것.

9) 가공 케이블의 시설

- ① 케이블은 조가용선에 행거로 시설하며 고압 및 특고압인 경우 행거의 간격을 50 cm 이하
- ② 금속 테이프를 감는 경우에는 20 cm 이하의 간격으로 나선상으로 한다.
- ③ 조가용선은 인장강도 5.93 kN(특고압일 경우는 13.93 kN) 이상의 것 또는 단면적 22 mm<sup>2</sup> 이상인 아연도철연선 일 것을 사용한다.
- ④ 조가용선 및 케이블의 피복에 사용하는 금속체에는 “접지시스템”의 규정에 준하여 접지공사를 할 것.

10) 가공전선의 굵기 (경동선 기준)

사용전압			전선의 인장강도 및 굵기	
저압	400 V 이하	절연전선 외	인장강도 3.43 kN 이상의 것 또는 지름 3.2 mm 이상	
		절연전선	인장강도 2.3 kN 이상의 것 또는 지름 2.6 mm 이상의 경동선	
	400 V 초과	시가지	인장강도 8.01 kN 이상의 것 또는 지름 5 mm 이상의 경동선	
		시가지 외	인장강도 5.26 kN 이상의 것 또는 지름 4 mm 이상의 경동선	
		인입용 비닐절연전선을 사용해서는 안된다.		
고압		인장강도 8.01 kN 이상의 것 또는 지름 5 mm 이상의 경동선		
특고압		인장강도 8.71 kN 이상의 연선 또는 단면적이 22 mm <sup>2</sup> 이상의 경동연선 또는 동등 이상의 인장강도를 갖는 알루미늄 전선이나 절연전선		

11) 가공전선의 안전율

- ① 경동선 : 2.2 이상
- ② 기타 전선(연동, AL선) : 2.5 이상

12) 가공전선의 높이

① 저고압

설치장소	가공전선의 높이
도로횡단	지표상 6 m 이상
철도 또는 궤도 횡단	레일면상 6.5 m 이상
횡단보도교 위	저압 노면상 3.5 m 이상. 단, 절연전선의 경우 3 m 이상
	고압 노면상 3.5 m 이상
일반장소	지표상 5 m 이상 단, 절연전선 또는 케이블을 사용하여 교통에 지장이 없도록 하여 옥외 조명용에 공급하는 경우 4 m까지 감할 수 있다.

② 특고압

전압의 범위	일반장소	도로횡단	철도 또는 궤도횡단	횡단보도교
35 kV 이하	5 m	6 m	6.5 m	5 m (특고압절연전선 또는 케이블 사용할 경우 4 m)
35 kV 초과 160 kV 이하	6 m	6 m	6.5 m	5 m (케이블 사용) 산지 등에서 사람이 쉽게 들어갈 수 없는 장소 : 5 m 이상
160 kV 초과	일반장소	가공전선의 높이 = 6 + 단수 × 0.12 m		
	철도 또는 궤도횡단	가공전선의 높이 = 6.5 + 단수 × 0.12 m		
	산지	가공전선의 높이 = 5 + 단수 × 0.12 m		

13) 가공전선로의 가공지선

전 압	전선의 종류
고 압	인장강도 5.26 kN 이상의 것 또는 지름 4 mm 이상의 나경동선
특고압	인장강도 8.01 kN 이상의 나선 또는 지름 5 mm 이상의 나경동선

14) 가공전선 등의 병가 (2종의 전압을 함께 시설)

- ① 저·고압 가공전선의 병가 : 50 cm 이상 이격 (고압이 케이블 사용할 때 30 cm 이상)  
② 특고 가공전선과 저·고압 가공전선의 병가 시 이격거리

전압	저고압 (m)	35kV이하 (m)	35 kV 초과 60 kV 이하	60kV 초과 (m)
표준	0.5	1.2	2	2+단수×0.12
고압 (케이블)	0.3			
특고압 (케이블) 저고압 (절연전선/케이블)		0.5	1	1+단수×0.12

15) 전선로의 공간 제한

지지물	표준공간	계곡/하천 (장경간)	저·고압 보안공사	특고 1종 보안공사	특고 2·3종 보안공사
목주, A종	150 m	300 m	100 m	×	100 m
B종	250 m	500 m	150 m	150 m	200 m
철탑	600 m	제한없음	400 m	400 m	400 m

16) 보안공사

① 저고압 보안공사

전압	전 선
400 V 이하	인장강도 5.26 kN 이상의 것 또는 지름 4 mm 이상의 경동선
400 V 초과 고 압	인장강도 8.01 kN 이상의 것 또는 지름 5 mm 이상의 경동선

② 제1종 특고압 보안공사

35 kV를 넘는 전선과 건조물과 제2차 접근 상태

사용전압	전 선
100 kV 미만	인장강도 21.67 kN 이상의 연선 또는 단면적 55 mm <sup>2</sup> 이상의 경동연선
100 kV 이상 300 kV 미만	인장강도 58.84 kN 이상의 연선 또는 단면적 150 mm <sup>2</sup> 이상의 경동연선
300 kV 이상	인장강도 77.47 kN 이상의 연선 또는 단면적 200 mm <sup>2</sup> 이상의 경동연선

③ 제2종 특고압 보안공사

35 kV 이하의 전선이 건조물과 제2차 접근 상태

④ 제3종 특고압 보안공사

특고압 가공전선이 건조물 등과 제1차 접근 상태

17) 가공전선의 공가(전력선과 약전류 전선 함께 시설)

시설방법	저압	고압
표준	0.75 m	1.5 m
케이블	0.3 m	0.5 m

18) 가공전선과 건조물의 접근

공작물의 종류		저압 (m)	고압 (m)	특고압 (m)	
				35 kV 이하	35 kV 초과
상부 조영재 위쪽	일반	2	2	3	35 kV 이하 이격거리 + 단수×0.15
	절연전선	1	2	2.5	
	케이블	1	1	1.2	
기타 조영재 & 상부 조영재 옆/아래	일반	1.2	1.2	3	
	절연전선	0.4	1.2	1.5 사람(×) : 1	
	케이블	0.4	0.4	0.5	
	사람의 접근 (×)	0.8	0.8		

19) 가공전선과 가공약전류 전선 등의 접근 또는 교차

가공약전류			표준	절연전선 또는 통신용 케이블인 경우
저압 (m)	절연전선		0.6	0.3
	고압 절연전선 또는 케이블		0.3	0.15
고압 (m)	고압 절연전선		0.8	
	케이블		0.4	
특고압 (m)	35 kV 이하	절연전선	1	
		케이블	0.5	
	35 kV 초과 60 kV 이하		2	
	60 kV 초과		2 + 단수×0.12	

20) 저고압 가공전선 상호간 접근 또는 교차

구분	저압 가공전선	고압 가공전선
저압 가공전선	0.6m #1, (0.3m)	0.8m #2, (0.4m)
저압 가공전선 지지물	0.3m	0.6m #2, (0.3m)
고압 가공전선	0.8m #2, (0.4m)	0.8m #2, (0.4m)
고압 가공전선 지지물	0.3m	0.6m #2, (0.3m)
고압 전차선	1.2m	-

#1. 어느 한 쪽의 전선이 고압/특고압 절연전선, 케이블의 경우  
#2. 고압 가공전선이 케이블인 경우

21) 특고압 전선로의 시가지 등의 시설 (170kV 이하인 전선로)

① 특고압 가공전선로의 경간

지시물의 종류	경간
A종 철주 A종 철근 콘크리트 주	75 m
B종 철주 B종 철근 콘크리트 주	150 m
철    탐	400 m (단주인 경우에는 300 m) 다만, 전선이 수평으로 2 이상 있는 경우에 전선 상호 간의 간격이 4 m 미만인 때에는 250 m

② 전선의 단면적

사용전압	전선
100 kV 미만	인장강도 21.67 kN 이상의 연선 또는 단면적 55 mm <sup>2</sup> 이상의 경동연선
100 kV 이상	인장강도 58.84 kN 이상의 연선 또는 단면적 150 mm <sup>2</sup> 이상의 경동연선

③ 전선의 지표상 높이

사용전압	지표상의 높이
35 kV 이하	10 m (전선이 특고압 절연전선이 경우에는 8 m)
35 kV 초과	10 m에 35 kV를 초과하는 10 kV 또는 그 단수마다 12 cm를 더한 값

- ④ 사용전압이 100 kV를 초과하는 특고압 가공전선에 지락 또는 단락이 생겼을 때에는 1초 이내에 자동적으로 이를 전로로부터 차단하는 장치를 시설할 것.

22) 25 kV 이하 중성선 다중 접지방식의 특고압 가공전선로

- ① 접지선은 공칭단면적 6 mm<sup>2</sup> 이상의 연동선 또는 이와 동등 이상의 세기 및 굵기의 쉽게 부식하지 않는 금속선
- ② 접지공사 시 접지한 곳 상호 간의 거리
- 사용전압이 15 kV 이하인 경우 : 300 m 이하
  - 사용전압이 15 kV 초과 25 kV 이하인 경우 : 150 m 이하
- ③ 각 접지선을 중성선으로부터 분리하였을 경우의 각 접지점의 대지 전기저항치가 1 km마다의 중성선과 대지사이의 합성 전기 저항치

사용전압	각 접지점의 대지 전기저항 치	1 km마다의 합성 전기저항 치
15 kV 이하	300 Ω	30 Ω
15 kV 초과 25 kV 이하	300 Ω	15 Ω



23) 보호망의 시설

- ① 금속선의 상호간격 1.5 m
- ② 특고 가공전선 직하 : 인장강도 8.01 kN 이상의 것 또는 지름 5 mm 이상의 경동선

24) 지중 전선로

- ① 직매식의 매설 깊이
  - 중량을 받는 지역 : 1.0 m 이상
  - 기타 : 0.6 m 이상 매설
- ② 관로식의 매설 깊이 : 매설 깊이를 1.0 m 이상
- ③ 지중전선 상호 간의 접근 또는 교차
  - 저압 지중전선과 고압 지중전선 : 0.15 m 이상
  - 저압이나 고압의 지중전선과 특고압 지중전선 : 0.3 m 이상
- ④ 지중전선과 지중약전류전선 등 또는 관과의 접근 또는 교차

조건	전압	이격거리
지중약전류전선과 접근 또는 교차하는 경우	저압 또는 고압	0.3 m
	특고압	0.6 m
유독성의 유체를 내포하는 관과 접근 또는 교차	특고압	1 m
	25 kV 이하 다중접지방식	0.5 m

⑤ 터널내 전선로

전압	전선의 굵기	시공 방법	애자사용 공사 시 높이
저압	2.6 mm 이상	<ul style="list-style-type: none"><li>• 합성수지관 공사</li><li>• 금속관 공사</li><li>• 가요전선관 공사</li><li>• 케이블 공사</li><li>• 애자사용 공사</li></ul>	노면상, 레일면상 2.5 m 이상
고압	4 mm 이상	<ul style="list-style-type: none"><li>• 케이블 공사</li><li>• 애자사용 공사</li></ul>	노면상, 레일면상 3 m 이상

3. 저압 전기설비

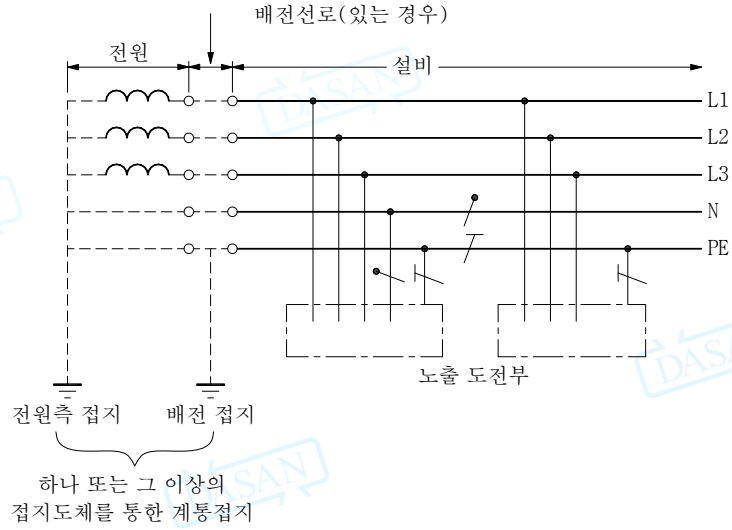
1) 접지 계통의 구성

- ① TN 계통
- ② TT 계통
- ③ IT 계통

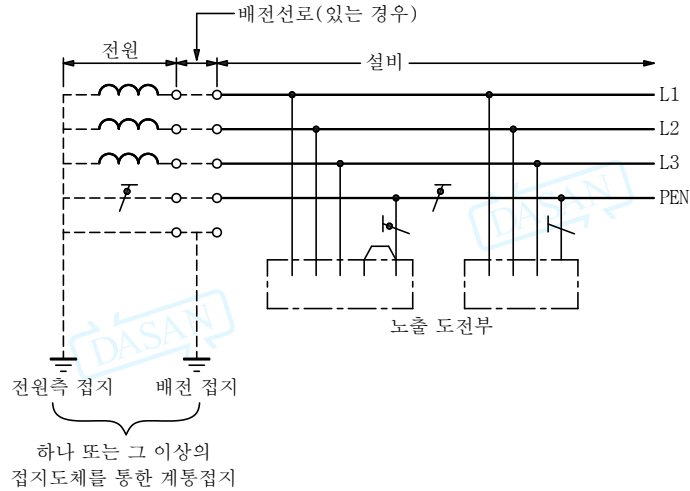


## 2) 계통 접지 방식

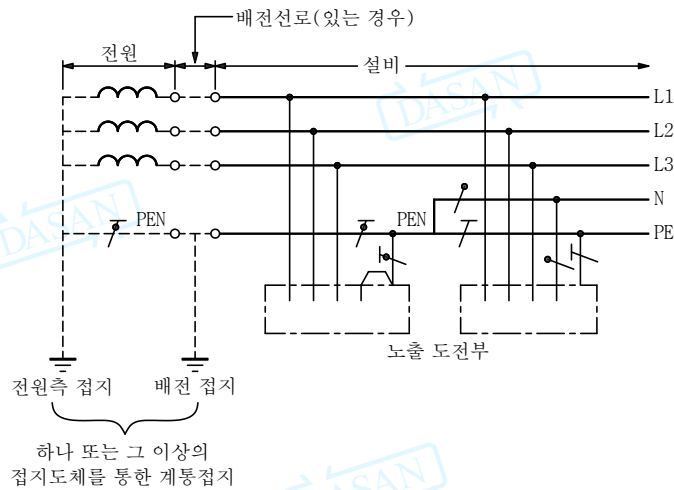
### ① TN-S 계통



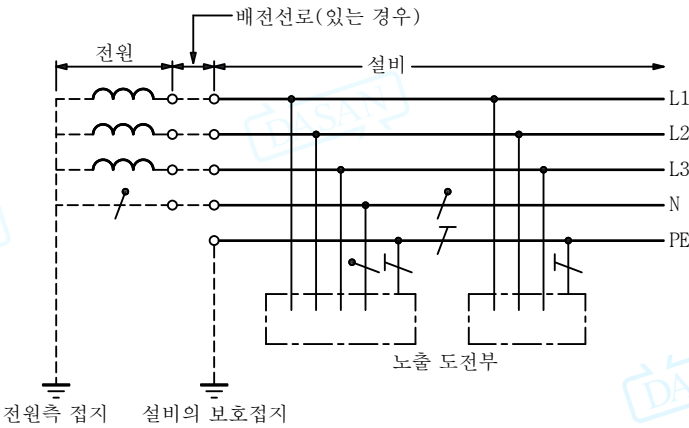
### ② TN-C 계통



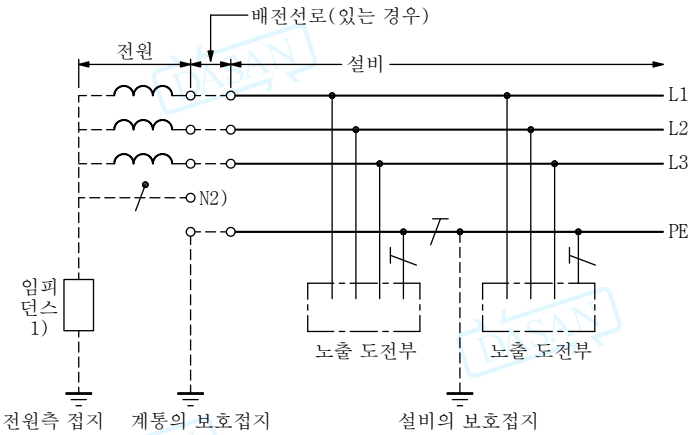
### ③ TN-C-S 계통



④ TT 계통



⑤ IT 계통



3) 안전을 위한 보호의 종류

- ① 감전에 대한 보호
- ② 과전류에 대한 보호
- ③ 과도과전압에 대한 보호
- ④ 열 영향에 대한 보호

4) 고장 시 자동 차단

32A 이하 분기회로의 최대 차단시간

단위 : 초

계통	$50 < U_0 \leq 120$		$120 < U_0 \leq 230$		$230 < U_0 \leq 400$		$400 < U_0$	
	교류	직류	교류	직류	교류	직류	교류	직류
TN	0.8	—	0.4	5	0.2	0.4	0.1	0.1
TT	0.3	—	0.2	0.4	0.07	0.2	0.04	0.1

5) SELV와 PELV용 전원

- ① 안전절연변압기 전원
- ② 축전지 및 디젤발전기 등과 같은 독립전원
- ③ 저압으로 공급되는 안전절연변압기, 이중 또는 강화절연된 전동발전기 등 이동용 전원
- ④ 내부고장이 발생한 경우에도 출력단자의 전압이 규정된 값을 초과하지 않도록 적절한 표준에 따른 전자장치

6) 도체와 과부하 보호장치 사이의 협조

- ①  $I_B \leq I_n \leq I_Z$
- ②  $I_2 \leq 1.45 I_Z$

여기서,  $I_B$  : 회로의 설계전류,  $I_n$  : 보호장치의 정격전류,  $I_Z$  : 케이블(전선)의 허용전류  
 $I_2$  : 보호장치가 규약시간 이내에 유효하게 동작하는 것을 보장하는 전류

7) 과부하 보호장치의 생략

사용 중 예상치 못한 회로의 개방이 위험 또는 큰 손상을 초래할 수 있는 다음과 같은 부하에 전원을 공급하는 회로에 대해서는 과부하 보호장치를 생략할 수 있다.

- ① 회전기의 여자회로                      ② 전자석 크레인의 전원회로
- ③ 전류변성기의 2차회로                  ④ 소방설비의 전원회로
- ⑤ 안전설비(주거침입경보, 가스누출경보 등)의 전원회로

8) 저압전로중의 과전류 차단기의 시설

- ① 퓨즈

정격전류의 구분	시간	정격전류의 배수	
		불용단 전류	용단 전류
4 A 이하	60분	1.5배	2.1배
4 A 초과 16 A 미만	60분	1.5배	1.9배
16 A 이상 63 A 이하	60분	1.25배	1.6배
63 A 초과 160 A 이하	120분	1.25배	1.6배
160 A 초과 400 A 이하	180분	1.25배	1.6배
400 A 초과	240분	1.25배	1.6배

- ② 배선용차단기

- 과전류트립 동작시간 (산업용)

정격전류의 구분	시간	정격전류의 배수 (모든 극에 통전)	
		부동작 전류	동작 전류
63 A 이하	60분	1.05배	1.3배
63 A 초과	120분	1.05배	1.3배

## • 과전류트립 동작시간 (주택용)

정격전류의 구분	시간	정격전류의 배수 (모든 극에 통전)	
		부동작 전류	동작 전류
63 A 이하	60분	1.13배	1.45배
63 A 초과	120분	1.13배	1.45배

## • 순시트립에 따른 구분 (주택용)

형	순시트립 범위
B	$3I_n$ 초과 ~ $5I_n$ 이하
C	$5I_n$ 초과 ~ $10I_n$ 이하
D	$10I_n$ 초과 ~ $20I_n$ 이하

비고 1. B, C, D : 순시트립전류에 따른 차단기 분류

2.  $I_n$  : 차단기 정격전류

## 9) 과도전압에 대한 보호

## ① 기기에 요구되는 임펄스 내전압

설비의 공칭전압 [V]	교류 또는 직류 공칭전압에서 산출한 상전압 [V]	요구되는 정격 임펄스 내전압 <sup>a</sup> (kV)			
		과전압 범주 IV (매우 높은 정격 임펄스 전압 장비) 예) 계기, 원격 제어시스템	과전압 범주 III (높은 정격 임펄스 전압 장비) 예) 배전반, 개폐 기, 콘센트	과전압 범주 II (통상 정격 임펄스 전압 장비) 예) 가정용 배전 전기기기 및 도구	과전압 범주 I (민감한 전자 장비) 예) 민감한 전자장비
120/208	150	4	2.5	1.5	0.8
(220/380) <sup>b</sup> 230/400 277/480	300	6	4	2.5	1.5
400/690	600	8	6	4	2.5
1000	1000	12	8	6	4
1500 DC	1500 DC			8	6

a : 임펄스 내전압은 충전도체와 보호도체 사이에 적용된다.

b : 현재 국내 사용전압이다.

## 10) 나전선의 사용 제한

옥내에 시설하는 저압전선은 다음의 경우를 제외하고 나전선을 사용하여서는 안된다.

## ① 애자사용배선에 의하여 전개된 곳에 시설하는 경우

- 전기로용 전선
- 전선의 피복 절연물이 부식하는 장소에 시설하는 전선
- 취급자 이외의 자가 출입할 수 없도록 설비한 장소에 시설하는 전선

- ② 버스덕트배선에 의하여 시설하는 경우
- ③ 라이팅덕트배선에 의하여 시설하는 경우
- ④ 옥내에 시설하는 저압 접촉전선 배선에 의하여 시설하는 경우
- ⑤ 유희용 전차의 전원장치에 있어서 접촉전선이 3레일 방식에 의하여 시설할 경우

11) 배선 공사의 종류

① 배선설비의 설치 방법

전선 및 케이블		공사방법							
		케이블공사			전선관 시스템	케이블트렁킹 (몰드형, 바닥매입형 포함)	케이블 덕팅 시스템	케이블 트레이 시스템 (래더, 브래킷 등 포함)	애자 공사
		비 고정	직접 고정	지지선					
나전선		—	—	—	—	—	—	—	+
절연전선 <sup>b</sup>		—	—	—	+	+	+	—	+
케이블 (외장 및 무기질절연물을 포함)	다심	+	+	+	+	+	+	+	0
	단심	0	+	+	+	+	+	+	0

+ : 사용할 수 있다.  
- : 사용할 수 없다.  
0 : 적용할 수 없거나 실용상 일반적으로 사용할 수 없다.

- a 케이블트렁킹시스템이 IP4X 또는 IPXXD급의 이상의 보호조건을 제공하고, 도구 등을 사용하여 강제로 덮개를 제거할 수 있는 경우에 한하여 절연전선을 사용할 수 있다.
- b 보호 도체 또는 보호 본딩도체로 사용되는 절연전선은 적절하다면 어떠한 절연 방법이든 사용할 수 있고 전선관시스템, 트렁킹시스템 또는 덕팅시스템에 배치하지 않아도 된다.

② 설치방법별 배선 방법

종류	공사방법
전선관시스템	합성수지관공사, 금속관공사, 가요전선관공사
케이블트렁킹시스템	합성수지몰드공사, 금속몰드공사, 금속트렁킹공사
케이블덕팅시스템	플로어덕트공사, 셀룰러덕트공사, 금속덕트공사
애자공사	애자공사
케이블트레이시스템 (래더, 브래킷 포함)	케이블트레이공사
케이블공사	고정하지 않는 방법, 직접 고정하는 방법, 지지선 방법

**12) 애자공사**

- ① 전선 상호 간격 : 6 cm 이상
- ② 조영재와 이격거리
  - 400 V 이하 : 2.5 cm 이상
  - 400 V 초과 : 4.5 cm 이상 (건조한 곳 2.5 cm)
- ③ 지지점간의 거리
  - 조영재 옆면·윗면 : 2 m 이하
  - 400 V 초과 저압으로 조영재 아래면 : 6 m 이하

**13) 합성수지관 공사**

- ① 단선 사용 시 전선 굵기 10 mm<sup>2</sup> 이하 (Al은 16 mm<sup>2</sup>)
- ② 관 상호 간 삽입 깊이 : 바깥지름의 1.2 배 (접착제 사용 시 0.8배)
- ③ 관의 지지점 간의 거리 1.5 m 이하

**14) 금속관 공사**

- ① 관의 두께
  - 콘크리트 매설 : 1.2 mm 이상
  - 기타의 것 1 mm 이상
- ② 단선 사용 시 전선 굵기 10 mm<sup>2</sup> 이하 (Al은 16 mm<sup>2</sup>)

**15) 금속덕트 공사**

- ① 금속덕트에 넣을 수 있는 전선의 단면적 : 덕트 내부 단면적의 20 % 이하  
(제어회로 등은 50 % 이하)
- ② 폭 40 mm, 두께 1.2 mm 이상의 철판 또는 동등 이상의 기계적 강도를 가지는 금속재로 제작
- ③ 지지점 간의 거리
  - 수직 : 6 m 이하
  - 수평 : 3 m 이하

**16) 버스덕트 공사**

- ① 피더 버스덕트 : 간선용의 덕트
- ② 플러그인 버스덕트 : 플러그의 수구를 설치하여 쉽게 분기할 수 있는 덕트
- ③ 트롤리 버스덕트 : 이동시킬 수 있는 구조
- ④ 덕트는 접지공사를 할 것.

## 17) 배선설비와 다른 공급설비와의 접근

## ① 다른 전기 공급설비의 접근

구 분		거 리
애자사용공사에 의해 시설하는 저압옥내배선이 다른 저압옥내배선 또는 관동회로와 접근 또는 교차하는 경우 이격거리	표준	0.1 m
	나전선	0.3 m
애자사용공사에 의해 시설하는 저압옥내배선이 다른 저압옥내배선 또는 관동회로의 배선과 병행하는 경우 상호 간의 이격거리		6 cm

## ② 통신 케이블과의 접근

구 분		거 리
저압 옥내배선이 약전류전선 또는 수관·가스관이 접근하거나 교차하는 경우 이격거리	표준	0.1 m
	나전선	0.3 m
지중전선이 지중약전류 전선 등과 접근하거나 교차하는 경우에 상호 간의 이격거리		0.3 m
지중 통신케이블과 지중 전력케이블이 교차하거나 접근하는 경우		100 mm

## ③ 비전기 공급설비와의 접근

가스계량기 및 가스관의 이음부와 전기설비의 이격거리

구 분	거 리
가스계량기 및 가스관의 이음부와 전력량계 및 개폐기의 이격거리	0.6 m
가스계량기와 점멸기 및 접속기의 이격거리	0.3 m
가스관의 이음부와 점멸기 및 접속기의 이격거리	0.15 m

## ④ 수용가 설비에서의 전압강하

수용가 설비의 인입구로부터 기기까지의 전압강하는 아래의 값 이하이어야 한다.

설비의 유형	조명 (%)	기타 (%)
저압으로 수전하는 경우	3	5
고압 이상으로 수전하는 경우	6	8

사용자의 배선설비가 100 m를 넘는 부분의 전압강하는 미터 당 0.005 % 증가할 수 있으나 이러한 증가분은 0.5 %를 넘지 않아야 한다.

**18) 도체의 최소 단면적 - 중성선의 단면적**

- ① 다음의 경우 중성선의 단면적은 최소한 선도체의 단면적 이상이어야 한다.
  - 2선식 단상회로
  - 선도체의 단면적이 구리선 16㎟, 알루미늄선 25㎟ 이하인 다상 회로
  - 제3고조파 및 제3고조파의 홀수배수의 고조파 전류가 흐를 가능성이 높고 전류 종합 고조파 왜형률이 15~33%인 3상 회로
- ② 다상 회로의 각 선도체 단면적이 구리선 16㎟ 또는 알루미늄선 25㎟를 초과하는 경우 다음 조건을 모두 충족한다면 그 중성선의 단면적을 선도체 단면적보다 작게 해도 된다.
  - 통상적인 사용시에 상(phase)과 제3고조파 전류 간에 회로 부하가 균형을 이루고 있고, 제3고조파 홀수 배수 전류가 선도체 전류의 15%를 넘지 않는다.
  - 중성선은 과전류 보호된다.
  - 중성선의 단면적은 구리선 16㎟, 알루미늄선 25㎟ 이상이다.

**19) 옥외등**

- ① 사용전압은 대지전압을 300 V 이하로 할 것.
- ② 분기회로
  - 옥외등과 옥내등을 병용하는 분기회로는 20 A 과전류 차단기(배선용 차단기 포함) 분기 회로로 할 것.
  - 옥내등 분기회로에서 옥외등 배선을 인출할 경우는 인출점 부근에 개폐기 및 과전류 차단기를 시설할 것. 다만, 옥외등 배선의 인출구 이후의 전선길이가 8 m 이하일 경우는 개폐기 및 과전류차단기를 생략할 수 있다.
- ③ 옥외등의 인하선
 

옥외등 또는 그의 점멸기에 이르는 인하선은 사람의 접촉과 전선피복의 손상을 방지하기 위하여 다음의 배선방법으로 시설할 것.

  - 애자사용공사 (지표상 2 m 이상의 높이에서 노출된 장소의 시설에 한함)
  - 금속관공사
  - 합성수지관공사
  - 케이블공사



## 20) 특수시설 및 전등

종류	사용전압	전선굵기
전기 올타리	• 1차측 250 V 이하	• 2 mm 이상의 경동선
유흥용 전차	• 1차측 400 V 이하 • 2차측 DC 60 V, AC 40 V 이하 • 절연변압기 사용	
	• 전차내 승압기 사용시 2차전압 150 V 이하	
교통 신호등	• 2차측 사용전압 300 V 이하	• 2.5 mm <sup>2</sup> 연동선
	• 건조물 다른 시설물 등과 이격거리 60 cm (케이블 30 cm) 이상 • 조가용선 4 mm 이상의 철선 2가닥	
전기 온돌	• 대지전압 300 V 이하	
	• 허용온도 80 ℃ 이하 • 전용개폐기, 과전류차단기, 지락차단장치 시설 • 발열선은 MI 케이블 일 것	
전기 욕기	• 1차 300 V 이하 • 2차 10 V 이하	
	• 전극간의 거리 1m 이상	
수중 조명등	• 1차측 400 V 이하 • 2차측 150 V 이하	• 폴용 2.5 mm <sup>2</sup> • 분수등 0.75 mm <sup>2</sup>
	• 150 V 이하의 절연변압기 사용	
전기 방식	• 절연변압기를 사용하여 DC 60 V 이하	
	• 지중매설 양극 깊이 75 cm 이상 • 급전 양극과 1 m 이내 임의의 점 사이의 전위차는 10 V를 초과하지 아니할 것.	
소세력 회로	• 1차 대지전압 300 V 이하	• 1.0 mm <sup>2</sup> 이상의 피복선 • 가공전선의 경우 1.2 mm
아크 용접	• 1차 대지전압 300 V 이하	
	• 전용 개폐기를 시설한 절연변압기의 사용	

## 4. 고압 및 특고압 전기설비

### 1) 고압 또는 특고압과 저압의 혼촉에 의한 위험방지 시설

- ① 고압전로 또는 특고압전로와 저압전로를 결합하는 변압기의 저압측의 중성점에는 접지공사를 하여야 한다.
- ② 사용전압이 35 kV 이하의 특고압전로로서 전로에 지락이 생겼을 때에 1초 이내에 자동적으로 이를 차단하는 장치가 되어 있는 것 및 특고압전로와 저압전로를 결합하는 경우에 계산된 접지저항 값이 10  $\Omega$  을 넘을 때에는 접지저항 값이 10  $\Omega$  이하로 한다.
- ③ 저압전로의 사용전압이 300 V 이하인 경우에 그 접지공사를 변압기의 중성점에 하기 어려울 때에는 저압측의 1단자에 시행할 수 있다.

### 2) 특고압과 고압의 혼촉 등에 의한 위험방지 시설

변압기에 의하여 특고압전로에 결합되는 고압전로에는 사용전압의 3배 이하인 전압이 가하여진 경우에 방전하는 장치를 그 변압기의 단자에 가까운 1극에 설치하여야 한다.

다만, 사용전압의 3배 이하인 전압이 가하여진 경우에 방전하는 피뢰기를 고압전로의 모선의 각 상에 시설하거나 특고압권선과 고압권선 간에 혼촉방지판을 시설하여 접지저항 값이 10  $\Omega$  이하의 경우에는 그러하지 아니하다.

### 3) 고압용 기계 기구의 시설

- ① 지표상의 높이 4.5 m(시가지 외에서는 4 m) 이상
- ② 기계 기구의 주위에 울타리를 설치하고 울타리, 담 등의 높이는 2 m 이상으로 할 것.
- ③ 지표면과 울타리, 담 등의 하단 사이의 간격 : 15 cm 이하

### 4) 특고압용 기계 기구의 시설

- ① 울타리 높이와 울타리로부터 충전부와와의 거리
  - 35 kV 이하 : 5 m 이상
  - 35 kV 초과 160 kV 이하 : 6 m 이상
  - 160 kV를 넘는 것 : 6 m + 단수 $\times$ 0.12 m
- ② 지표상 높이
  - 35 kV 이하 : 5 m 이상
  - 35 kV 초과 160 kV 이하 : 6 m 이상

### 5) 아크 발생장치

고압용 또는 특고압용의 동작시에 아크가 생기는 것은 가연성 물체로부터 이격시켜야 한다.

- ① 고압용 : 1 m 이상
- ② 특고압용 : 2 m 이상

**6) 개폐기의 시설**

- ① 전로 중에 개폐기를 시설하는 경우에는 그곳의 각 극에 설치하여야 한다.
- ② 고압용 또는 특고압용의 개폐기는 그 작동에 따라 그 개폐상태를 표시하는 장치가 되어 있는 것이어야 한다
- ③ 고압용 또는 특고압용의 개폐기로서 중력 등에 의하여 자연히 작동할 우려가 있는 것은 자물쇠장치 기타 이를 방지하는 장치를 시설하여야 한다.
- ④ 고압용 또는 특고압용의 개폐기로서 부하전류를 차단하기 위한 것이 아닌 개폐기는 부하전류가 통하고 있을 경우에는 아래의 경우를 제외하고 개로할 수 없도록 시설하여야 한다.
  - 부하전류 유무를 표시장치를 한 경우
  - 전화기 및 기타의 지령 장치를 시설한 경우
  - 태블릿 등을 사용하여 부하전류 통전 시 개로 조작 방지를 한 경우

**7) 과전류 차단기의 시설**

고압용 퓨즈	포장퓨즈	1.3배에 전디고 2배의 전류로 120분 안에 용단
	비포장퓨즈	1.25배의 전류에 전디고 2배의 전류로 2분 안에 용단

**8) 과전류 차단기의 시설제한**

- ① 접지공사의 접지도체
- ② 다선식 전로의 중성선
- ③ 전로의 일부에 접지공사를 한 저압 가공전선로의 접지측 전선

**9) 피뢰기 등의 시설**

- ① 발·변전소 또는 이에 준하는 장소의 가공 전선 인입구 및 인출구
- ② 가공전선로에 접속하는 배전용 변압기의 고압측 및 특고압측
- ③ 고압·특고압 가공전선로로 공급받는 수용 장소의 인입구
- ④ 가공전선과 지중전선이 접속되는 곳
- ⑤ 피뢰기 접지저항 값은 10 Ω 이하로 할 것.

**10) 압축 공기 계통**

발전소·변전소·개폐소에서 개폐기 또는 차단기에 사용하는 압축공기장치의 시설

- ① 공기압축기는 최고 사용압력의 1.5배의 수압(1.25배의 기압)을 연속하여 10분간 가하여 시험하였을 때에 이에 견디고 또한 새지 아니할 것.
- ② 공기탱크는 사용압력에서 공기의 보급이 없는 상태로 개폐기 또는 차단기의 투입 및 차단을 연속하여 1회 이상 할 수 있는 용량을 가지는 것일 것.
- ③ 주 공기탱크의 압력이 저하한 경우에 자동적으로 압력을 회복하는 장치를 시설할 것.
- ④ 주 공기탱크 또는 이에 근접한 곳에는 사용압력의 1.5배 이상 3배 이하의 최고 눈금이 있는 압력계를 시설할 것.

11) 고압 옥내 배선

- ① 공사방법 : 애자사용공사, 케이블공사, 케이블 트레이 배선
- ② 애자 사용 배선에 의한 고압 옥내배선
  - 전선 : 6 mm<sup>2</sup> 이상의 고압·특고압 절연전선
  - 지지점 간의 거리 : 6 m 이하 (조영재 옆면 : 2 m 이하)
  - 전선 상호 간격 : 0.08 m 이상
- ④ 조영재와 이격거리 : 0.05 m 이상
- ⑤ 수관·가스관과의 이격거리 : 0.15 m 이상

12) 특고압 옥내 전기설비의 시설

- ① 사용전압은 100 kV 이하일 것.  
다만, 케이블트레이배선에 의하여 시설하는 경우에는 35 kV 이하일 것.
- ② 전선은 케이블일 것.
- ③ 케이블은 철재 또는 철근 콘크리트제의 관·덕트 기타의 견고한 방호장치에 넣어 시설할 것.
- ④ 특고압 옥내배선과 다른 시설물과의 이격거리
  - 특고압 옥내배선과 저압 옥내전선·관등회로의 배선 또는 고압 옥내전선 사이의 이격거리는 0.6 m 이상일 것.
  - 특고압 옥내배선과 약전류전선 등 또는 수관·가스관이나 이와 유사한 것과 접촉하지 아니하도록 시설할 것.

13) 발전기, 변압기, 조상기등의 보호장치

기기의 종류	용 량	사고의 종류	보호장치
발전기	원자력 발전소의 비상용 예비발전기를 제외한 모든 발전기	과전류	자동차단장치
	500 kVA 이상	수차 압유장치 유압이 현저한 경우	
	2000 kVA 이상	수차 발전기 스러스트베어링 과열	
	10,000 kVA 이상	내부고장	
	10,000 kVA 초과	증기터빈 베어링의 마모, 과열	
특고압 변압기	5000 kVA 이상 10,000 kVA 미만	내부고장	자동차단장치 또는 경보장치
	10,000 kVA 이상	내부고장	자동차단장치
	타냉식	냉각장치고장	경보장치
전력용콘덴서 분로리액터	500 kVA 초과 15,000 kVA 미만	내부고장, 과전류	자동차단장치
	15,000 kVA 이상	내부고장, 과전류, 과전압	
조상기	15,000 kVA 이상	내부고장	

**14) 계측장치**

- ① 발전기, 변압기, 연료전지 또는 태양전지 모듈의 전압, 전류, 전력
- ② 발전기, 동기조상기의 베어링 및 고정자의 온도
- ③ 정격출력 10,000 kW를 초과하는 증기터빈에 접속하는 발전기 진동의 진폭
- ④ 특고압용 변압기의 온도
- ⑤ 동기 발전기를 시설하는 경우에는 동기검정장치

**15) 수소 냉각 발전기 등의 시설**

- ① 발전기 또는 조상기는 기밀구조
- ② 수소의 순도가 85 % 이하로 저하한 경우 경보장치를 시설할 것.
- ③ 기계 안에 수소 온도 계측장치의 시설
- ④ 동관 또는 연결부 없는 강관 사용
- ⑤ 수소가 새지 않는 구조로 할 것.

**16) 전력보안 통신설비의 시설장소**

송전선로	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 66 kV, 154 kV, 345 kV, 765 kV 계통 송전선로 구간(가공, 지중, 해저) 및 안전상 특히 필요한 경우에 전선로의 적당한 곳</li> <li>• 고압 및 특고압 지중전선로가 시설되어 있는 전력구내에서 안전상 특히 필요한 경우의 적당한 곳</li> <li>• 직류 계통 송전선로 구간 및 안전상 특히 필요한 경우의 적당한 곳</li> <li>• 송변전자동화 등 지능형 전력망 구현을 위해 필요한 구간</li> </ul>
배전선로	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 22.9 kV 계통 배전선로 구간 (가공, 지중, 해저)</li> <li>• 22.9 kV 계통에 연결되는 분산전원형 발전소</li> <li>• 폐회로 배전 등 신배전방식 도입 개소</li> <li>• 배전자동화, 원격검침, 부하감시 등 지능형 전력망 구현을 위해 필요한 구간</li> </ul>
발전소 변전소 변환소	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 원격감시제어가 되지 아니하는 발전소·원격 감시제어가 되지 아니하는 변전소·개폐소, 전선로 및 이를 운용하는 급전소 및 급전분소 간</li> <li>• 2개 급전소(분소) 상호 간과 이들을 통합 운용하는 급전소(분소) 간</li> <li>• 수력설비 중 필요한 곳, 수력설비의 안전상 필요한 양수소[量水所] 및 강수량 관측소와 수력발전소 간</li> <li>• 동일 수계에 속하고 안전상 긴급 연락의 필요가 있는 수력발전소 상호 간</li> <li>• 동일 전력계통에 속하고 또한 안전상 긴급연락의 필요가 있는 발전소·변전소 및 개폐소 상호 간</li> <li>• 발전소·변전소 및 개폐소와 기술원 주재소 간</li> <li>• 발전소·변전소·개폐소·급전소 및 기술원 주재소와 전기설비의 안전상 긴급연락의 필요가 있는 기상대·측후소·소방서 및 방사선 감시계측 시설물 등의 사이</li> </ul>

## 17) 전력보안 통신선의 시설 높이와 이격거리

## ① 전력보안 가공통신선의 높이

시설 장소		가공 통신선 (m)	가공전선로의 지지물에 시설 또는 이에 직접 접속하는 가공 통신선	
			고·저압 (m)	특고압 (m)
도로(차도)위	일반적인 경우	5	6	6
	교통에 지장을 안 주는 경우	4.5	5	
철도 횡단(레일면상)		6.5	6.5	6.5
횡단 보도교 위(노면상)		3	3.5	5
횡단 보도교 위 (저고압에 통신선이 절연전선과 동등 이상의 절연능력이 있는 경우, 특고압에 광섬유케이 블을 사용)			3	4
기타의 장소 (도로, 철도, 횡단보도교 이외의 장소)		3.5	4	5

## ② 가공전선과 첨가 통신선과의 이격거리

전선의 전압	전력선의 종류	통신선의 종류	이격 거리
저압 및 중성선	나선	나선, 절연전선, 케이블	0.6 (m) 이상
	절연 전선 또는 케이블	절연전선 또는 케이블	0.3 (m) 이상
고압	나선 또는 절연전선	나선, 절연전선, 케이블	0.6 (m) 이상
	케이블	절연전선 또는 케이블	0.3 (m) 이상
특고압	나선 또는 절연 전선	나선, 절연전선 또는 케이블	1.2 (m) 이상
	케이블	절연전선 또는 케이블	0.3 (m) 이상
22.9 (kV-Y)	나선 또는 절연 전선	나선, 절연전선, 케이블	0.75 (m) 이상

## 18) 가공통신 인입선 시설

- ① 가공통신선의 지지물에서 지지점 및 분기점 이외의 가공통신 인입선 부분의 높이는 교통에 지장을 줄 우려가 없을 때에 한하여 차량이 통행하는 노면상의 높이는 4.5 m 이상, 조영물의 불임점에서 지표상의 높이는 2.5 m 이상으로 하여야 한다.
- ② 특고압 가공전선로의 지지물에 시설하는 통신선 또는 이에 직접 접속하는 가공 통신선의 지지물에서 지지점 및 분기점 이외의 가공 통신 인입선 부분의 높이 및 다른 가공약전류 전선 등 사이의 이격거리는 교통에 지장이 없고 또한 위험의 우려가 없을 때에 한하여 노면상의 높이는 5 m 이상, 조영물의 불임점에서의 지표상의 높이는 3.5 m 이상, 다른 가공약전류 전선 등 사이의 이격거리는 0.6 m 이상으로 하여야 한다.



5. 전기 철도 설비

1) 전기철도의 전력수급 조건

- ① 수전선로의 전력수급 조건은 부하의 크기 및 특성, 지리적 조건, 환경적 조건, 전력 흐름, 전압강하, 수전 안정도, 회로의 공진 및 운용의 합리성, 장애의 수송수요, 전기 사업자 협의 등을 고려하여 아래의 공칭전압(수전전압)으로 선정하여야 한다.

공칭전압(수전전압)	교류 3상 22.9kV, 154kV, 345kV
------------	----------------------------

- ② 수전선로의 계통구성에는 3상 단락전류, 3상 단락용량, 전압강하, 전압 불평형 및 전압 왜형률, 플리커 등을 고려하여 시설하여야 한다.

2) 전차선로의 전압

① 직류방식 급전전압

구분	최저 영구 전압[V]	공칭전압[V]	최고 영구 전압[V]	최고 비영구 전압[V]	장기 과전압[V]
직류 (평균값)	500 900	750 1500	900 1800	950 1950	1269 2538

- 최고 비영구 전압은 지속시간이 5분 이하로 예상되는 전압의 최솟값으로 한다.
- 회생제동의 경우 1000V의 최고 비영구 전압은 허용가능

② 교류방식 급전전압

주파수 (실효값)	최저 비영구 전압[V]	최저 영구 전압[V]	공칭전압[V]	최고 영구 전압[V]	최고 비영구 전압[V]
60Hz	17,500 35,000	19,000 38,000	25,000 50,000	27,500 55,000	29,000 58,000

- 최저 비영구 전압은 지속시간이 2분 이하로 예상되는 전압의 최솟값으로 한다.

3) 전차선로의 충전부와 건조물 간의 절연이격 거리

시스템 종류	공칭전압 (V)	동적 (mm)		정적 (mm)	
		비오염	오염	비오염	오염
직류	750	25	25	25	25
	1500	100	110	150	160
단상교류	25,000	170	220	270	320

## 4) 전차선로의 충전부와 차량 간의 절연이격 거리

시스템 종류	공칭전압 (V)	동적 (mm)	정적 (mm)
직류	750	25	25
	1500	100	150
단상교류	25,000	170	270

## 5) 급전선로 시설

- ① 급전선은 나전선을 적용하여 가공식으로 가설을 원칙으로 한다.  
다만, 전기적 이격거리가 충분하지 않거나 지락, 섬락 등의 우려가 있을 경우에는 급전선을 케이블로 하여 안전하게 시공하여야 한다.
- ② 가공식은 전차선의 높이 이상으로 전차선로 지지물에 병가하며, 나전선의 접속은 직선 접속을 원칙으로 한다.
- ③ 신설 터널 내 급전선을 가공으로 설계할 경우 지지물의 취부는 C채널 또는 매입전을 이용하여 고정하여야 한다.
- ④ 선상승강장, 인도교, 과선교 또는 교량 하부 등에 설치할 때에는 최소 절연 이격거리 이상을 확보하여야 한다.

## 6) 전차선로 설비의 안전율

- ① 합금전차선의 경우 2.0 이상
- ② 경동선의 경우 2.2 이상
- ③ 조가선 및 조가선 장력을 지탱하는 부품에 대하여 2.5 이상
- ④ 복합체 자재(고분자 애자 포함)에 대하여 2.5 이상
- ⑤ 지지물 기초에 대하여 2.0 이상
- ⑥ 장력조정장치 2.0 이상
- ⑦ 빔 및 브래킷은 소재 허용응력에 대하여 1.0 이상
- ⑧ 철주는 소재 허용응력에 대하여 1.0 이상
- ⑨ 가동브래킷의 애자는 최대 만곡하중에 대하여 2.5 이상
- ⑩ 지선은 선형일 경우 2.5 이상, 강봉형은 소재 허용응력에 대하여 1.0 이상

## 7) 전차선 등과 식물과의 이격거리

교류 전차선 등 충전부와 식물사이의 이격거리는 5 m 이상이어야 한다. 다만, 5 m 이상 확보하기 곤란한 경우에는 현장 여건 등을 고려하여 방호벽 등 안전조치를 하여야 한다.



8) 레일 전위의 위험에 대한 보호

① 교류 전기철도 급전시스템에서의 레일 전위의 최대 허용 접촉전압

시간 조건	최대 허용 접촉전압 (실흔값)
순시 조건 ( $t \leq 0.5$ 초)	670 V
일시적 조건 ( $0.5\text{초} < t \leq 300\text{초}$ )	65 V
영구적 조건 ( $t > 300\text{초}$ )	60 V

단, 작업장 및 이와 유사한 장소에서는 최대 허용 접촉전압을 25 V(실흔값)를 초과하지 않아야 한다.

② 직류 전기철도 급전시스템에서의 레일 전위의 최대 허용 접촉전압

시간 조건	최대 허용 접촉전압
순시 조건 ( $t \leq 0.5$ 초)	535 V
일시적 조건 ( $0.5\text{초} < t \leq 300\text{초}$ )	150 V
영구적 조건 ( $t > 300\text{초}$ )	120 V

단, 작업장 및 이와 유사한 장소에서는 최대 허용 접촉전압을 60 V를 초과하지 않아야 한다.

6. 분산형 전원설비

1) 분산형전원의 용어 정의

풍력터빈	바람의 운동에너지를 기계적 에너지로 변환하는 장치
풍력터빈을 지지하는 구조물	타워와 기초로 구성된 풍력터빈의 일부분
풍력발전소	단일 또는 복수의 풍력터빈을 원동기로 하는 발전기와 그 밖의 기계 기구를 시설하여 전기를 발생시키는 곳
자동정지	풍력터빈의 설비보호를 위한 보호장치의 작동으로 인하여 자동적으로 풍력터빈을 정지시키는 것
MPPT	태양광발전이나 풍력발전 등이 현재 조건에서 가능한 최대의 전력을 생산할 수 있도록 인버터 제어를 이용하여 해당 발전원의 전압이나 회전속도를 조정하는 최대출력추종 (MPPT, Maximum Power Point Tracking) 기능

**2) 태양광 발전설비 설치장소의 요구사항**

- ① 인버터, 제어반, 배전반 등의 시설은 기기 등을 조작 또는 보수점검할 수 있는 충분한 공간을 확보하고 필요한 조명설비를 시설하여야 한다.
- ② 인버터 등을 수납하는 공간에는 실내온도의 과열 상승을 방지하기 위한 환기시설을 갖추어야 하며 적정한 온도와 습도를 유지하도록 시설하여야 한다.
- ③ 배전반, 인버터, 접속장치 등을 옥외에 시설하는 경우 침수의 우려가 없도록 시설하여야 한다.

**3) 태양광 발전설비의 안전 요구사항**

- ① 태양전지 모듈, 전선, 개폐기 및 기타 기구는 충전부분이 노출되지 않도록 시설하여야 한다.
- ② 모든 접속함에는 내부의 충전부가 인버터로부터 분리된 후에도 여전히 충전상태일 수 있음을 나타내는 경고가 붙어 있어야 한다.
- ③ 태양광설비의 고장이나 외부 환경요인으로 인하여 계통연계에 문제가 있을 경우 회로 분리를 위한 안전시스템이 있어야 한다.

**4) 옥내전로의 대지전압 제한**

주택에 시설하는 전기저장장치는 이차전지에서 전력변환장치에 이르는 옥내 직류 전로를 규정에 따라 시설하는 경우 옥내전로의 대지전압은 직류 600V까지 적용할 수 있다.

**5) 태양광설비의 계측장치**

태양광설비에는 전압, 전류, 및 전력을 계측하는 장치를 시설하여야 한다.

## 제6장

## 전기 응용 및 공사 재료

## 1. 조명공학

## ① 용어 정의

- 밝기
  - 광도  $I$  [cd]
  - 조도  $E$  [lx] : 광원에 의해 비쳐지는 곳의 밝기
  - 광속 발산도  $R$  [rlx]
- 복사속과 광도
  - 복사(방사) : 전자파로서 전파되는 energy
  - 복사속(방사속) : 단위 시간당의 복사 에너지 단위 : [J/s]=[W]
- 시감도(視感度)
  - 어느 파장의 에너지가 빛으로 느끼는 정도
  - $380 \sim 760$  [nm] =  $3800 \sim 7600$  [Å]
  - 최대 시감도 :  $680$  [lm/W] ⇨ 이때 파장  $555$  [nm] =  $5500$  [Å]
- 비시감도
  - $V = \frac{\text{시감도}}{555[\mu]\text{에 대한 시감도}} = \frac{S}{K}$
- 광도(光度) : 광원의 밝기
  - 기호 :  $I$
  - 단위 : [cd]
  - $I = \frac{dF}{d\omega}$  [cd]
- 광속 : 단위 시간에 복사되는 에너지 양 ⇨ 눈으로 느끼는 빛의 양
  - 구(면)광원 : 광속  $F = 4\pi I$  [lm] =  $12.57 I$  [lm] (예) 태양, 전구,
  - 원주광원 : 광속  $F = \pi^2 I$  [lm] =  $9.87 I$  [lm] (예) 형광등 (=원통광원=직선광원)
  - 평면판 광원 : 광속  $F = \pi I$  [lm] (예) 확산형 유리창, 매입형 확산조명기구

- 휘도(輝度) : 눈부심의 정도

- 기호 :  $B$

- 단위 :  $[\text{cd}/\text{m}^2]$

- $B = \frac{I}{S} [\text{cd}/\text{m}^2]$

$$1[\text{nt}] = 1[\text{cd}/\text{m}^2] \quad \text{니트(nit)}$$

$$1[\text{sb}] = 1[\text{cd}/\text{cm}^2] \quad \text{스틸브(stilb)}$$

- 눈부심을 느끼는 휘도의 한계 :  $0.5[\text{cd}/\text{cm}^2] = 0.5 \times 10^4 [\text{cd}/\text{m}^2]$

- 조도(照度) : 단위 면적당 입사광속

- 기호 :  $E$

- 단위 :  $[\text{lx}]$

- 공식  $E = \frac{dF}{dA} [\text{lx}]$       의미 : 단위 면적당 입사광속

- 법선조도  $E_n = \frac{I}{r^2} [\text{lx}]$       거리역자승법칙  $E = \frac{I}{r^2} [\text{lx}]$

- 수평면조도  $E_h = \frac{I}{r^2} \cdot \cos\theta [\text{lx}] = \frac{I}{h^2} \cdot \cos^3\theta = \frac{I}{d^2} \cdot \sin^2\theta \cos\theta$

- 수직면조도  $E_v = \frac{I}{r^2} \cdot \sin\theta [\text{lx}] = \frac{I}{h^2} \cdot \cos^2\theta \sin\theta = \frac{I}{d^2} \cdot \sin^3\theta$

- 광속발산도 : 단위면적당 발산광속

- 기호 :  $R$  또는  $M$

- 단위 :  $[\text{rlx}]$

- $R = \frac{dF}{dA} [\text{rlx}]$       의미 : 단위면적당 발산광속

- 완전 확산면 : 어느 방향에서 보아도 휘도(눈부심)가 일정한 면

$$R = \pi B [\text{rlx}]$$

$$B : \text{휘도} [\text{cd}/\text{m}^2], \quad R : \text{광속발산도} [\text{rlx}]$$

- ② 반사율  $\rho$  , 투과율  $\tau$  , 흡수율  $\alpha$  관계

- $\rho + \tau + \alpha = 1$

## ③ 전등효율

- $\eta = \frac{F}{P} [\text{lm/W}]$

## ④ 글로우브 효율

- $\eta = \frac{\tau}{1 - \rho}$

## ⑤ 월뿔의 원형면에서 평균조도

- $E = \frac{2I(1 - \cos\theta)}{r^2} [\text{lx}]$

## ⑥ 발광현상(發光現象)

- 온도복사 : 물체를 가열하여 온도를 높이면 백열 상태가 되어 그 표면에서 여러 가지 파장의 전자파가 복사 되는 것
- 흑체 : 입사하는 복사에너지를 전연 반사 투과하지 않고 전부 흡수하는 이상적인 온도 복사체

- 스테판-볼츠만의 법칙 : 전복사 에너지 W

$$W = \alpha T^4 [\text{W/m}^2] \quad T : \text{절대온도} [^\circ\text{K}]$$

$$\alpha = 5.683 \times 10^{-8} [\text{W/m}^2] : \text{스테판 볼츠만의 상수}$$

- 플랑크의 복사 법칙

$$: \text{분광 복사속의 발산도 } P_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1} [\text{W/cm}^2\mu]$$

## ⑦ 색온도 : 같은 색을 내는 흑체의 온도(color temperature)

즉 어느 광원의 광색이 어떤 온도의 흑체의 광색과 같을 때

## ⑧ 루미네선스(luminescence) : 온도방사 이외의 총칭

- 형광 : 빛 조사시만 발광
- 인광 : 조사 후에도 계속 발광
- 루미네선스의 종류
  - 전기 루미네선스 : 방전등(수은등, 네온관등)
  - 복사 " : 형광등
  - 음극선 " : 텔레비전 영상·브라운관
  - 열 " "
  - 생물 " : 반딧불, 야광충, 형광 박테리아, 발광어류
  - 파이로 " "
  - 화학 " : 화학반응, 산화에 의한 발광
  - 마찰 " : 물질을 기계적 파괴, 마찰시 발광
  - 결정 " "

## ⑨ 백열 전구

- 구조
  - 외부도입선 : 구리
  - 봉착부 도입선 : 니켈강 + 구리 = 듀밋선
  - 앵커 : 필라멘트지지
  - 필라멘트 : 텅스텐
- 가스를 봉입하는 이유
  - 필라멘트의 증발억제/수명연장/발광효율증가
- 게터
  - 적린 (진공용 전구) : 30 W 이하 사용
  - 질화 발륨 (가스입 전구) : 40 W 이상 사용
  - 수명연장
  - 필라멘트의 산화 방지
- 필라멘트의 구비조건
  - 용해점이 높을 것      • 고유저항이 클 것
  - 선팅창 계수가 적을 것      • 온도계수가 정일 것
  - 가공이 용이할 것
- 텅스텐 전구
  - 동정 : 전구가 점등시간의 경과에 따라 광속, 전력, 효율 등이 변화되는 상태
  - 초특성 : 점등 1시간 후에 측정
  - 동정특성 : 점등 후 500 시간 후 특성
  - 전압 특성식

$$\text{전류} : \frac{I}{I_0} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{0.5}$$

$$\text{전력} : \frac{W}{W_0} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{1.5}$$

$$\text{광속} : \frac{F}{F_0} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{3.6}$$

$$\text{효율} : \frac{\eta}{\eta_0} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{1.9}$$

$$\text{수명} : \frac{L}{L_0} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{-13}$$

$$\text{광도} : \frac{I}{I_0} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{3.6}$$

## ⑩ 방전등

## • 종류 및 특성

탄소아크등	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 순탄소아크등 : 실험실 - 빛의 동요가 없는 곳</li> <li>• 발압아크등 : 소형영상기 - 금속염류</li> <li>• 고휘도 아크등 : 대형영상기 - 눈부심 크다.</li> </ul>
나트륨등	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 안개 많은 지역 / 터널 내 조명</li> </ul>
수은등	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 저압 : 살균등/형광등</li> <li>• 고압 : 공원/경기장/공장</li> <li>• 초고압 : 옥외조명/투광기/영화촬영용</li> <li>• 수명 : 3000~6000 시간</li> </ul>
크세논등	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연색성이 좋다.</li> </ul>
글로우방전등	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 네온관등 : 양광주를 이용 / 네온사인</li> <li>• 네온전구 : 네온 + 아르곤 아르곤 + 수은 = 청색 네온등 = 등적색 헬륨 = 백색 아르곤 = 고등색</li> </ul>
형광등	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수명 : 7000시간</li> <li>• 형광물질 텅스텐산칼슘 = 청색 텅스텐산마그네슘 = 청백색 붕산카드뮴 = 핑크색 규산아연 = 녹색 규산카드뮴 = 등색</li> <li>• 역률개선용 콘덴서 용량의 크기 <math display="block">C = \frac{P \times 10^6}{2\pi f V^2} (\tan\theta_2 - \tan\theta_1) [\mu F]</math></li> <li>• 래피트 스타트 형광등 전원 투입후 곧 점등한다. 기동이 빈번한 곳에 사용</li> </ul>
EL 등	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고체등</li> </ul>

## ⑪ 조명설계

- 등기구의 배치와 간격
- 등기구 사이의 간격  $S \leq 1.5H$
- 등과 벽사이의 간격

- 벽사용 불가  $S \leq \frac{1}{2}H$

- 벽사용  $S \leq \frac{1}{3}H$

## • 실지수

- 실지수 =  $\frac{XY}{H(X+Y)}$

## • 광속 및 광원의 크기

- $FUN = EAD$

(도로 조명시 재그재그 및 대칭 배열일 경우  $A = \frac{BS}{2}$ )

- 조명률 =  $\frac{\text{작업면의 광속}}{\text{광원의 광속}}$

### 3. 전열

#### ① 전기가열방식에 따른 분류

종류	용도 및 특징
저항가열	전류에 의한 ohm 손을 이용, 직접식, 간접식, 전기기기 건조
아크가열	아크열을 가열에 이용, 직접식, 간접식
유도가열	와전류에 의한 저항손 또는 히스테리시스 손 이용 금속의 표면처리, 담금질, 고주파 납땜
유전자열	유전체손을 이용 가열, 1~200 Hz 비닐막 접착, 목재의 건조, 목재의접착
적외선가열	복사열이용, 적외선전구, 비금속 발열체
전자빔가열	
복사가열	적외선전구

#### ② 열의 옴의 법칙

$$I = \frac{\theta}{R} = \frac{\theta}{\frac{l}{k \frac{A}{\rho}}} = k \frac{A \theta}{l} \text{ [W]}, \text{ [W]} = \text{[J/C]} = \text{[cal/sec]} = \text{[kcal/h]}$$

- 열도전율의 단위  $\rho$  [kcal/h·℃]
- 비열 : 물을 1℃ 높이는데 필요한 열량
- 주율의 법칙
  - $860 P t \eta = C m \theta$

#### ③ 발열체의 설계

- 전열기의 용량 및 전선의 굵기 선정
  - 저항 :  $R = \rho \frac{4l}{\pi d^2}$       • 전력 :  $P = \frac{\pi d^2 V^2}{4 \rho l}$
  - 열량 : 주율의 법칙  $P = 0.24 I^2 R t$
- 금속발열체
  - 니크롬1종 : 1100℃      • 니크롬2종 : 900℃
  - 철크롬1종 : 1200℃      • 철크롬2종 : 1100℃
- 열전대종류
  - 구리 콘스탄탄 : 600℃      • 철 콘스탄탄 : 900℃
- 제어백 효과 : 서로 다른 두 금속 또는 반도체를 접합하여 접촉점에 온도차를 주면 열기전력이 발생하여 열전류가 흐르는 현상



## ④ 전기로

- 가열 방식에 따른 분류

저항가열	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 흑연과 전기로의 가열</li> <li>• 전기기기의 건조</li> <li>• 카바이드로-카바이드제조 <math>\text{CaO}+3\text{C}=\text{CaC}_2+\text{CO}</math></li> <li>• 흑연화로-열효율이 가장 좋음</li> <li>• 염욕로-역률 70~80%</li> <li>• 흑연전기로-상용주파단상교류 사용</li> <li>• 직류저항가열-알루미늄전해로</li> </ul>	직저항 가열	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 흑연화로</li> <li>• 카어버런덤로</li> <li>• 카바이드로</li> <li>• 알루미늄용해로</li> </ul>
		간접저항 가열	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 흑연저항로</li> <li>• 염욕로</li> <li>• 크리플톨로</li> <li>• 발열체로</li> <li>• 탄화기소로</li> </ul>
아크로	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 흑연전극사용</li> <li>• 역률 70~80%</li> <li>• 수하특성</li> <li>• 엘식 전기제강로-3상교류사용</li> <li>• 인조흑연전극사용</li> <li>• 고압아크로-질산석회제조 방식</li> <li>• 센헨로</li> <li>• 포오링로</li> <li>• 비라제란드 아이데로</li> <li>• 저압아크로-제철, 제강, 합금의생성</li> </ul>	직접아크 가열로	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 엘식 전기제강로</li> <li>• 엘식 아크로</li> </ul>
		간접아크 가열로	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 요동식 아크로</li> </ul>
유도가열	저주파 유도가열	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비철금속의 용해(황동)</li> <li>• 50~60 Hz</li> <li>• 1600℃</li> </ul>	
	고주파 유도가열	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 진공용해</li> <li>• 5~20 MHz</li> <li>• 금속의 표면처리</li> <li>• 특수강, 금속의 용융</li> <li>• 내부가열</li> <li>• 1800℃</li> </ul>	
유전가열	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비닐막 접착</li> <li>• 금속류가열불가 (구리材)</li> <li>• 합성수지 성형:10~50MHz 접착:40~50MHz 미싱:100~200MHz</li> <li>• 목재 접착:5~10MHz 건조:2~5MHz</li> </ul>	장 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 균일하게 가열할 수 있다.</li> <li>• 가열시간을 단축할 수 있다.</li> <li>• 선택적 가열할 수 있다.</li> </ul>
		단 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고주파전원필요</li> <li>• 실비비가 고가</li> <li>• 효율이 나쁘다</li> </ul>
		용 도	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 목재의 고주파 가열 (5~13 Mhz)</li> <li>• 합성섬유의 열처리</li> <li>• 플라스틱 용접 가공</li> <li>• 플라스틱의 성형</li> </ul>
용접부 비파괴검사	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자기검사</li> <li>• X선 투과시험</li> <li>• γ선 투과시험</li> </ul>		

- 고주파 유전가열에서 단위 체적 당 소비되는 전력

$$P' = \frac{5}{9} E^2 f \omega_s \times 10^{-9} \tan \delta \text{ [W/cm}^3\text{]}$$

$$P' = K \omega_s \tan \delta E^2 \text{ [W/cm}^3\text{]}$$

## ⑤ 전기용접

- 가열방식에 따른 분류

저항용접	<ul style="list-style-type: none"> <li>맞대기 용접</li> <li>돌기시임 용접 (봉합용접)</li> <li>점용접</li> <li>저항가열</li> <li>아크가열</li> </ul>
아크용접	<ul style="list-style-type: none"> <li>직류아크용접- 60~70 [V]/수하특성 전원 : 제3브러시발전기/로젠베르크발전기/차동복권발전기</li> <li>교류아크용접- 100~150[V]/누설변압기 이용/수하특성</li> <li>자동아크용접</li> <li>특수아크용접-원자수소아크용접/탄소아크용접/금속아크용접 쓰이는 가스-수소가스</li> </ul>
유도용접	-
발활성 가스 용접	<ul style="list-style-type: none"> <li>알루미늄, 마그네슘 용접</li> </ul>

## ⑥ 전기건조

- 종류
  - 전열건조
  - 적외선건조 : 표면 내부건조, 적외선 전구
  - 고주파건조 : 내부가열건조
- 적외선전구
  - 복사가열
  - 수명 : 500 h
  - 온도 : 2200~2500 °K
  - 고온으로 건조할 수 있다.
- 적외선 건조의 특징
  - 도장 및 표면 건조에 적당
  - 건조기 구조가 간단
  - 조작이 간단, 열손실 작고, 작업시간 단축
  - 설비비 유지비 싸고, 설치장소가 작다.
  - 건조재료 감시 용이, 청결하고, 안전하다.

### 3. 전동기응용

#### ① 전동기 응용의 기초

- 관성 모멘트 및 운동에너지

- $J = mr^2 [\text{kg} \cdot \text{m}^2]$  : 관성 모멘트

- $J = \frac{DG^2}{4}, \omega = 2\pi n$

- $W = \frac{1}{2} G \left( \frac{D}{2} \right)^2 \omega^2 = \frac{1}{8} GD^2 \omega^2 = \frac{1}{2} J \omega^2 [\text{J}]$

- $W = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} mr^2 \omega^2 = \frac{1}{2} J \omega^2 [\text{J}]$

- $W = \frac{\pi^2 GD^2 N^2}{7200} = \frac{GD^2 N^2}{730} [\text{J}]$

- 전동기의 토크

- $T = 0.975 \frac{P}{N} [\text{kg} \cdot \text{m}]$

- 소요 동력의 계산

- 권상기용 모터  $P = \frac{Mv}{6.1\eta} [\text{kW}], M [\text{ton}], v [\text{m/min}]$

- 엘리베이터(기중기)  $P = \frac{WVC}{6.1\eta} [\text{kW}], W [\text{ton}], V [\text{m/min}]$

- 양수펌프  $P = \frac{HQk}{6.1\eta} [\text{kW}], Q [\text{m}^3/\text{min}]$

- 전동기 토크의 이너샤비

- 이너샤비  $= \frac{T}{J} = \frac{\text{전동기 토크}}{\text{관성 모멘트}}$

#### ② 전동기의 선정

- 전동기의 선정 방법

- 속도 특성에 적합한 특성의 것을 선정
- 용도에 알맞은 기계적 형식의 것을 선정
- 가급적 표준출력의 것을 선정
- 사용상황의 알맞은 보호방식의 것을 선정
- 고장이 작고, 신뢰도가 높고, 운전비가 싼 것을 선정

- 사용 장소에 따른 형식
  - 옥외용 : 방수형
  - 조풍이 있는 연안지대 : 방식형 / 내산형
  - 습기가 많은 장소 : 방침형
  - 광산 갱내용 : 방침형 / 방적형 / 방수형 / 방폭형 / 방식형
  - 수적이 많은곳 : 방적형 / 방말형
  - 화학 공장 등 부식성 가스가 많은 곳 : 망식형 / 방부형
  - 암진이 나는 장소 : 방진형
  - 선내 : 방수형 / 방적형 / 수중형

## ③ 직류직권 전동기

- $T = kI_a^2$  : 부하전류에 따라 토크 변화가 심하다.
- 변속도전동기
- 기중기에 사용(교류 3상 권선형 유도 전동기)
- 전기철도에 사용

## ④ 직류전동기의 속도제어

- 전압제어
- 워드레너드방식
- 일그너방식 - 플라이휠 이용/제철용 압축기(급변부하)

정토크 제어

- 저항제어 - 효율이 나쁘다.
- 계자제어 - 정출력 제어/세밀하고 안정된 속도제어

## ⑤ 직류전동기의 기동법

- 저항기동 : 기동전류를 제한하기 위하여

## ⑥ 동기전동기

- 항상 동기속도로 회전하는 전동기
- 역률 100%로 운전가능하며 역률조정도 가능하다.
- 압축기 / 압연기 / 분쇄기 / 대형송풍기 등에 사용된다.

## ⑦ 유도전동기

- 전력의 변환  $P_2 : p_{e2} : P_0 = 1 : s : 1-s$
- 슬립 :  $s = \frac{N_s - N}{N_s}$
- 토크 :  $T = K \frac{SE_2^2 r_2}{r_2^2 + (Sx_2)^2} = K \frac{E_2^2 \frac{r_2}{S}}{\left(\frac{r_2}{S}\right)^2 + x_2^2}$
- 전압과의 관계 :  $T = KV^2$  ,  $S = K \frac{1}{V^2}$
- 최대토크 :  $T_m = K \frac{E_2^2}{2x_2}$
- 최대 토크 발생슬립 :  $\frac{r_2}{S_t} = x_2 \Rightarrow S_t = \frac{r_2}{x_{20}} = \frac{r_2}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2)^2}}$

## ⑧ 유도전동기의 속도제어

권선형	농형
<ul style="list-style-type: none"> <li>2차 저항법(비례추이)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>극수 제어(승강기용 모터)</li> <li>주파수 제어</li> <li>전원주파수 제어 (선박의 추진기, 포트모터)</li> </ul>

## ⑨ 유도전동기의 역회전

- 3선중 2선의 접속을 반대로 한다.

## ⑩ 특수농형 유도 전동기

- 방사용전동기(포트모터) : 가장 빠른 전동기/출력80kW/1차주파수 130 ~ 140Hz
- 2중 농형 유도 전동기 : 컨베어 벨트 구동 전동기
- 반발전동기
  - 브러시 이동만으로 간단하게 속도제어, 제동, 역전이 가능
  - 단상 : 에트킨슨, 톰슨, 데리, 윈터아이히베르그
  - 3상 : 시라게

## ⑪ 단상유도 전동기

- 가정용 전동기
- 반발 기동형 - 반발 유도형 - 콘덴서 기동형 - 콘덴서 운전형 - 분상 기동형
  - 셰이딩 코일형(기통토크가 큰 순서)

## 4. 전기철도

### ① 궤간

- 표준궤간 : 1435 mm
- 광궤 : 1675, 1600, 1523 mm
- 협궤 : 1067, 1000 mm

### ② 레일 : 차량을 지지, 운전저항의 감소

### ③ 유간 : 온도변화에 신축성 있게 대응하기 위하여 레일의 이음부분에 약간의 간격을 두는 것

### ④ 고도(켄트) : 곡선부에서 열차의 탈선을 방지하기 위하여 외측레일을 내측 레일보다 약간 높게 시설하는 것

$$\bullet h = \frac{GV^2}{127R} [\text{mm}]$$

### ⑤ 슬랙(확도) : 궤간을 넓히는 정도

$$\bullet S = \frac{l^2}{8R} [\text{mm}]$$

### ⑥ 철차각과 철차 번호

$$\bullet N = \cot \theta$$

### ⑦ 흡상변압기

- 목적 : 전자유도 경감
- 스코트결선 : 접압의 불평형 방지
- 변전소 간격 짧게 : 전압강하의 방지

### ⑧ 이선율

- 이선율 =  $\frac{\text{이선시간}}{\text{실운전시간}} \times 100[\%]$

## ⑨ 견인력

- 경사부분 :  $F = ma$  [kg]
- 최대견인력 :  $F_m = 1000\mu W_a$  [kg]
- 가속도를 주는데 필요한 힘 :  $F = 31 WA$  [kg]

## ⑩ 전차용전동기

- 직권전동기 : 극성 변화 시 회전방향 불변/기동토크가 크다
- 보극설치 : 역회전방지

## ⑪ 전동기의 출력

- $P = \frac{FV}{367N\eta}$  [kW]

## ⑫ 표정속도

- 표정속도 =  $\frac{\text{시발역에서 종착역까지의 거리}}{\text{주행시간} + \text{정차시간}}$
- 표정속도를 크게 하려면 : 가속도 감속도를 크게, 정차시간을 짧게]

## 5. 전기화학

## ① 패러데이의 법칙 : 전기분해에 의해 석출되는 물질의 량

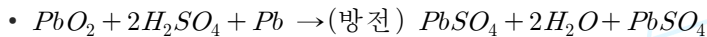
- $W = kQ = KIt$
- 화학당량 =  $\frac{\text{원자량}}{\text{원자가}}$
- 전기화학당량 =  $\frac{\text{화학당량}}{\text{석출량}}$

## ② 1차 전지 : 망간전지, 공기전지, 수은전지, 알칼리전지 (재사용 불가)

망간전지 (보통전지)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 양극 : 탄소봉</li> <li>• 음극 : 아연판(Zn)</li> <li>• 전해액 : 염화 암모늄(<math>\text{NH}_4\text{Cl}</math>)</li> <li>• 감극재 : 아산화 망간(<math>\text{MnO}_2</math>)</li> </ul>
알칼리전지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전해액 : 수산화 칼륨(KOH)</li> <li>• 망간전지보다 용량이 크다.</li> </ul>
공기전지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 양극 : 탄소</li> <li>• 음극 : 아연판</li> <li>• 특징 : 자체방전이 적다 방전용량이 커서 경제적 전압변동이 적다. 내열, 내한 내습성이다.</li> <li>• 용도 : 보청기</li> </ul>
수은전지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전해액 : 수산화 칼륨</li> <li>• 감극재 : 산화수은 (<math>\text{HgO}</math>)</li> <li>• 특징 : 보존수명이 길다. 고온특성이 양호 소형 고성능 용량</li> <li>• 용도 : 보청기, 카메라</li> </ul>
마그네슘 전지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 내한전지</li> <li>• <math>-50^\circ\text{C}</math> 까지 사용</li> </ul>

## ③ 2차 전지 : 납축전지, 알칼리 축전지

## • 납축전지



- 양극 : 이산화 납
- 음극 : 납
- 공칭 방전전압 : 2.0V
- 용량 : 10 Ah
- 전해액 : 묽은 황산

## • 알칼리 축전지

- 공칭전압 : 1.2 V
- 용량 : 5 Ah
- 수명이 길다.
- 급 충전, 급 방전에 강하다.
- 용량이 다소 감소되어도 사용가능하다.



④ 표준전지

- 웨스턴전지, 크라크 전지
- 양극 : 은
- 음극 : 카드뮴 아말감
- 전해액 : 황산 카드뮴 용액

⑤ 전기영동

- 기체 또는 액체속에 고체의 밀입자가 분산되어 있는 경우 전압을 가하면 입자가 이동되는 현상

## 6. 반도체응용

① FET (전계효과 트랜지스터)

- 전압제어소자
- 작은 면적
- 다수 캐리어 흐름에 의한 동작

② 다이리스터

- 단일방향성 소자
  - 3단자 : SCR, LASCR, GTO
  - 4단자 : SCS
- 양방향성 소자
  - 2단자 : DIAC, SSS
  - 3단자 : TRIAC, SBS
- 단점
  - 과전류에 약하다.
  - 열에 약하다

## ③ SCR

- 실리콘 정류소자로 불리워 지고 역저지형 단자 실리콘 다이리스터로 분류되고 있다.
- 부성저항 특성이 없다.
- 동작최고 온도가 가장 크다. (200℃)
- 정류기능의 단일 방향성 3단자 소자
- 게이트의 작용 : 통과전류의 제어작용
- 위상제어, 인버터 초퍼 등에 사용

## ④ 기타 반도체 소자

- 광전자 : 빛에 의해서 : 태양전지
- 서미스터 : 큰 부(-)의 온도계수를 갖는다. 강자성체이용(Fe, Co, Ni합금, Mn, Cu)
- Cds : 광전변환소자

## 7. 전기 공사 재료

① 전선 : 전선이란 강전류 전기의 전송에 사용하는 전기도체, 절연물로 피복한 전기도체 또는 절연물로 피복한 위를 보호피복으로 보호한 전기도체를 말하며, 전선은 다음과 같은 구비 조건을 갖추어야 한다.

- 전선의 구비조건
  - 도전율이 크고, 기계적 강도가 클 것
  - 신장률이 크고, 내구성이 있을 것
  - 비중(밀도)이 작고, 가선이 용이할 것
  - 가격이 저렴하고, 구입이 쉬울 것

## ② 단선과 연선

- 단선(solid wire) : 전선의 단면이 1개의 도체로 된 전선
- 연선(stranded wire) : 여러 단선을 필요한 굵기에 따라 합쳐 끈 전선

총 소선 수 :  $N=3n(n+1)+1$ , 연선의 단면적 :  $A=aN$

연선의 바깥지름  $D=(1+2n)d$

여기서,  $n$  = 중심소선을 뺀 층수,  $d$  = 소선의 지름

$a$  = 소선 한 가닥의 단면적

## ③ 경동선과 연동선

- 경동선 : 인장 강도가 커서 가공 선로에 사용한다.
- 연동선 : 전기 저항이 작고, 부드러운 성질이 있어서 주로 옥내 배선에 사용한다.

## ④ 전선의 고유저항

- 경동선 :  $\frac{1}{55} [\Omega \cdot \text{mm}/\text{m}]$
- 연동선 :  $\frac{1}{58} [\Omega \cdot \text{mm}/\text{m}]$

## ⑤ 종류와 용도

## • 절연전선

: 절연전선은 나전선에 고무나 비닐 등의 절연물을 피복하여 전기적으로 절연한 것으로 종류와 용도는 아래와 같다.

## • 옥외용 비닐 절연전선 (OW 전선)

: 단심의 경동선 또는 경동 연선위에 내구성이 좋은 비닐을 피복한 것

## • 인입용 비닐 절연 전선 (DV 전선)

: 경동선 또는 경동 연선에 비닐 피복을 한 다심의 전선

## • 450/750[V] 이하 염화 비닐 절연 전선 (IV 전선)

: 단선 또는 연선의 경동선이나 연동선에 비닐을 피복한 것

## • 450/750[V] 이하 고무절연전선

: 천연고무를 사용해서 절연 피복 후 종이를 감고 합습용 도장을 한 것

## • 코드

: 코드는 전등이나 전기 기구에 접속하여 사용하는 이동전선이며 사용전압 400[V] 이상의 전로에 사용할 수 없다.

## • 케이블

## • 전력 케이블

: 전력 케이블은 전선을 고무, 비닐 등으로 절연하고 연피, 강대 외장 및 알루미늄 테이프로 외장을 한 것이다.

## • 비닐 절연 비닐 시스 케이블 (VV 케이블)

: 절연과 외장에 비닐을 사용한 것

## • 고무 절연 클로로프렌 시스 케이블 (RN 케이블)

: 절연체로 천연 고무, 외장으로 클로로프렌을 사용한 것

## • 가교 폴리에틸렌 절연 비닐 시스 케이블 (CV 케이블)

: 폴리에틸렌의 결점인 열적 특성을 가교 반응에 의해 개선한 것

## • 미네랄 인슈레이션 케이블 (MI 케이블)

: 전선과 외장인 동관 사이를 산화마그네슘과 같은 무기물의 절연물로 충전한 것

- 캡타이어 케이블

: 공장, 광산, 농장 등에서 이동용 전기기계 기구 및 이와 유사한 용도로 사용.  
도체위에 절연 피복을 하고 그 위에 외장을 한 케이블로 내마모성, 내충격성,  
내 굴곡성, 내수성이 있다.

- 캡타이어 케이블 : 외장이 천연 고무 혼합물
- 클로로프렌 캡타이어 케이블 : 외장이 클로로프렌 고무 혼합물
- 비닐 캡타이어 케이블 : 외장이 비닐 혼합물

### ⑥ 허용 전류

: 전선 및 케이블의 허용 전류는 피복 절연물의 종류, 도체의 굵기, 시설 조건 등에  
의하여 결정되는데, 이것은 온도가 어느 정도 이상 상승하면 절연체의 절연을  
약화시켜 전선으로서의 기능을 다하지 못하게 되기 때문이다.

### ⑦ 전선의 접속과 병렬 사용

- 전선의 접속

- 접속점의 전기적 저항을 증가시키지 않는다.
- 접속점의 기계적 강도를 20[%]이상 감소시키지 않는다.
- 접속점의 절연을 약화시키지 않도록 테이프나 와이어 커넥터로 보호한다.
- 옥내배선 공사에서 전선의 접속은 박스 안에서 하고, 접속점에 장력이 가해지지  
않도록 한다.

- 트위스트 접속 : 단선의 분기 접속에 있어서 분기선의 굵기가  $6[\text{mm}^2]$  이하의 가는  
전선을 접속하는 방법

- 브리타니어 접속 : 두 선을 포개고 조인트 선을 감는 방법으로  $10[\text{mm}^2]$  이상의 굵은  
단선에 적합

- 전선의 병렬 사용

- 동일한 도체, 동일한 굵기, 동일한 길이일 것
- 같은 극의 각 전선은 동일한 터미널 러그에 완전히 접속할 것
- 전류의 불평형을 초래하지 않도록 할 것
- 전선 각각에는 퓨즈를 장치해서는 안되며, 퓨즈를 장치해야 할 경우는  
공용 퓨즈로 할 것

## ⑧ 개폐기

- 나이프 스위치 : 대리석이나 페크라이트판 위에 고정된 칼과 칼 받이의 수에 따라 단극, 2극, 3극용으로 분류되며, 투입 방법에 따라 단투용과 쌍투용이 있다.
- 커버 나이프 스위치 : 수용가의 인입구에 설치하는 자기제 상자형의 스위치로 상자 속에 퓨즈와 칼날, 칼받이가 있다.
- 배선 차단기 : 옥내에서 커버 나이프 스위치 대신 많이 사용되며, 배선의 단락이나 과부하로 규정값 이상의 전류가 흐르면 신속하게 전로를 차단한다.
- 누전 차단기 (ELB) : 누전 차단기는 옥내 배선 회로에 누전이 발생 했을 때 이를 감지하고, 회로를 자동 차단하여, 감전사고 및 화재를 방지할 수 있다.
- 전자 개폐기 : 전자 개폐기는 개폐 조작을 전자석의 힘으로 하는 것으로 전동기의 자동 조작, 원격 조작에 널리 사용되며, 바이메탈을 이용한 열동 계전기 (thermal relay)가 있어 과부하시 자동으로 전로를 개방하게 한다.
- 스위치 : 스위치는 전등이나 소형의 전기 기구 등에 흐르는 전류를 개폐하는 옥내배선기구

## ⑨ 접속 기구

- 소켓과 리셉터클 : 소켓은 전선의 끝에 접속하여 백열전구를 끼워 사용하며, 리셉터클은 벽이나 천장 등에 고정시켜 소켓처럼 사용하는 배선기구이다.
- 콘센트와 플러그 : 콘센트는 전기 기구의 플러그를 꽂아 사용하는 배선 기구로 매입형, 노출형, 방수형 등 여러 종류가 있으며, 멀티탭은 하나의 콘센트에 여러 개의 플러그를 꽂아 사용할 수 있는 배선 기구이다.

## ⑩ 퓨즈 : 퓨즈는 전로에 과전류가 계속 흐르는 것을 방지하기 위해 사용하는 일종의 자동 차단기로 전류에 의해 발생하는 열로 퓨즈가 녹아 전선로를 끊어지게 하는 것으로 개방형과 포장형이 있으며 전기설비 기준의 적용을 받는다.

- 고압용 퓨즈 : 고압 전로에 사용하는 비포장 퓨즈는 1.25배에 견디고 2배의 전류에 2분 안에 용단되어야 하고, 포장 퓨즈는 정격 전류의 1.3배에 견디고, 또한 2배 전류로 120분 이내에 용단되는 것이어야 한다.
- 저압용 퓨즈 : 과전류 차단기로 시설하는 퓨즈 중 저압 전로에 사용하는 퓨즈는 수형으로 붙인 경우, 정격 전류의 110[%]를 통하였을 때 이에 견디고, 200[%] 전류가 흘렀을 경우에는 아래 표의 시간 이내에 용단 되어야 한다.

정격 전류 [A]	정격 전류의 200[%]의 용단시간 [분]
1~30	2
31~60	4
61~100	6
101~200	8
201~400	10
401~600	12

## ⑪ 공구

- 와이어 게이지 : 전선의 굵기를 측정하는 것으로 측정할 전선을 홈에 끼워서 맞는 곳의 숫자가 전선 굵기가 표시된다.
- 버니어 캘리퍼스 : 어미자와 아들자의 눈금을 이용하여 길이, 바깥지름, 안지름, 깊이 등을 하나의 측정기로 측정할 수 있다.
- 펜치 : 전선의 절단, 전선 접속, 전선 바인드 등에 사용한다.
- 와이어 스트리퍼 : 절연 전선이 피복 절연물을 벗기는 자동 공구이다.
- 프레스 툴 : 솔더리스(solderless) 커넥터 또는 솔더리스 터미너를 압착한다.
- 클리퍼 : 굵은 전선을 절단할 때 사용한다.
- 스패너 : 너트를 죄는데 사용한다.
- 벤더 : 금속관을 구부리는 공구이다.
- 파이프 커터 : 금속관을 절단할 때 사용한다.
- 오스터 : 금속관의 나사를 내는 공구이다.
- 리머 : 금속관을 쇠톱이나 커터로 끊은 다음, 관 안의 날카로운 것을 다듬는 공구이다.
- 홀소(hole saw) : 배·분전반 등의 캐비닛에 구멍을 뚫을 때 사용한다.

## ⑫ 금속 전선관의 종류

- 금속 전선관의 종류 : 금속 전선관 배선은 금속 전선관 속에 절연 전선을 넣어서 시공하는 것으로 기계적 충격이 강하고 전선의 인입과 교체가 용이한 등의 특징을 갖고 있어 공장이나 빌딩 등의 배선에 널리 이용되고 있다.
- 후강 전선관 : 관의 근사 안지름 : 16[mm]부터 104[mm]까지 10종
- 박강 전선관 : 관의 근사 바깥 지름 : 15[mm]부터 75[mm]까지 8종
- 후강과 박강 금속 전선관 모두 길이는 3.66m이고, 관의 양 끝은 나사로 되어 있으며, 산화 방지를 위해 아연 도금 또는 에나멜 도장이 되어 있다.

## ⑬ 금속 전선관의 시공

- 관의 절단 및 나사내기 : 금속 전선관의 절단은 파이프 바이스에 고정시키고 파이프 커터 또는 쇠톱으로 절단하고, 절단한 내면을 리머로 다듬어 전선의 피복이 손상되지 않도록 하고, 나사 내기는 오스터로 한다.
- 금속 전선관의 구부리기 : 금속 전선관을 구부릴 때 관의 단면이 심하게 변형되지 않도록 구부려야 하며, 그 안 쪽의 반지름은 관 안지름의 6배 이상이 되게 한다.
- 금속 전선관에는 3개소를 초과하는 굴곡 개소를 만들면 안 된다. 굴곡 개소가 많은 경우 또는 관의 길이가 25m를 초과하는 경우에는 도중에 풀 박스를 설치한다.
- 금속 전선관을 콘크리트에 매입할 경우 1.2[mm] 이상, 기타의 경우에는 1.0[mm] 이상 이어야 한다.
- 금속 전선관을 직접 지중에 매입하여 배관해서는 안된다. 다만 공사상 부득이한 경우 후강 전선관을 사용하고, 방수와 방부 조치로 황마를 감거나 콘크리트로 감싸는 등의 방호 조치를 하는 경우는 예외이다.
- 전선과 금속 전선관의 굽기 선정
  - 금속 전선관의 배선에는 절연 전선을 사용해야 하며 지름 10[mm]를 초과할 때는 연선을 사용한다. 단, 1m 이하의 금속 전선관에 넣는 것은 관계가 없으며, 관내에서는 전선의 접속점을 만들어서는 안된다.
- 교류 회로에서 1회로의 전선 모두를 동일관 내에 넣는 것을 원칙으로 한다.
- 교류 회로에서는 전선을 병렬로 사용하는 경우에는 관내에 전자적 불평형이 생기지 않도록 한다.
- 금속관의 굽기는 전선 및 케이블의 피복절연물 등을 포함한 단면적의 총 합계가 관의 내 단면적의 1/3을 초과하지 않도록 하는 것이 바람직하다.