

제1장 전선로

◎ 전선로

• 전선의 종류

가닥수: 단선→1가닥

연선→여러 가닥

재료: 연동선

경동선

알루미늄선 AI

피복: 나전선

절연전선→피복이 하나

케이블→피복이 2개 이상

• 연선

소선의 총 가닥수

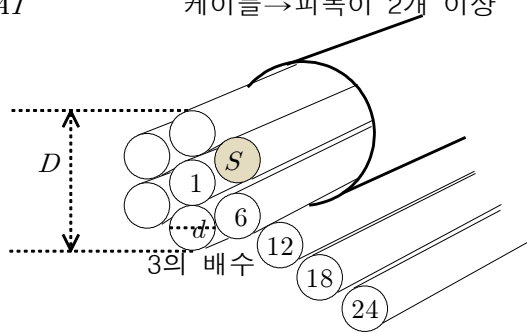
7	19	37	61	91
1층	2	3	4	5

총 소선의 수(가닥수) $N = 1 + 3n(n+1)$

바깥지름 $D = (1 + 2n)d [mm]$

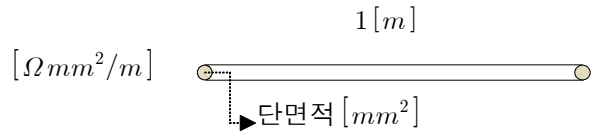
공칭 단면적 $S = \frac{\pi}{4} d^2 \times n [mm^2]$

(n -소선의 수 d -소선의 지름)



• 중공연선-코로나 방지와 표피효과를 줄이기 위해 장거리 송전선로에 주로사용하며

파이프와 같이 속이 빈전선

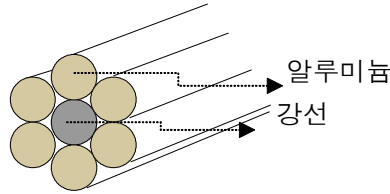


• 고유 저항

①연동선 $\rho = \frac{1}{58} [\Omega mm^2/m]$ ②경동선 $\rho = \frac{1}{55} [\Omega mm^2/m]$ ③AI $\rho = \frac{1}{35} [\Omega mm^2/m]$

• ASCR-강심 알루미늄 연선

송전선로, 장 경간에 사용



• 인장 강도 연동선 > 경동선 > AI

• 구리 황에 부식 온천 지역 사용불가

• 알루미늄 염분에 부식 바닷가 지역 사용불가

• 전선의 굵기 선정

①허용전류 ②전압강하 ③기계적 강도

• 경제적인 전선의 굵기-켈빈의 법칙

• 표피효과- $\frac{1}{\sqrt{\pi f \mu k}}$ 전류가 도체 안으로 흐르지 못하고 도체 바깥으로 흐르는 현상

• 전선의 보호

①댐퍼-전선의 진동 방지 (스톡브리지 댐퍼, 토셔널 댐퍼, 베이츠 댐퍼 등)

②아마로드-전선 지지점 에서의 단선 방지

③오프셋-전선도약에 의한 상부 전선과 하부전선의 단락 사고 방지

• 전선의 진동이 발생 하기 좋은 조건

①가변운 전선 ②경간이 길 경우 ③가선 장력이 클 경우 ④전선의 바깥지름이 클경우

• 이도 $D = \frac{WS^2}{8T} [m]$

• 전선의 실제 길이 $L = S + \frac{8D^2}{3S} [m]$

• 지지점 에서의 장력 $T_0 = T + WD$

• 전선의 평균 높이 $H_0 = H - \frac{2}{3}D [m]$

• 전선의 하중

①전선하중 ↓ ②빙설하중 ↓ ③풍압하중 ↔

고온지방 $W = \sqrt{\text{전선하중}^2 + \text{풍압하중}^2}$

저온지방 $W = \sqrt{\text{풍압하중}^2 + (\text{전선하중} + \text{빙설하중})^2}$

● 지지물

• 지지물용도 (수평각도)

A 직선형-평지 3° 이하

B 경각도형 3 ~ 20° 이하

C 중각도형 20° 초과

D 인류형-전선로가 끝나는 지점

● 애자

• 전압별 애자 개 수

22kV: 2 ~ 3

66kV: 4 ~ 5

154kV: 9 ~ 11

345kV: 18 ~ 23

※ 22kV 3상3선식 △결선

22.9kV 3상4선식 Y결선

• 애자의 종류-현수애자, 핀애자, 장간애자, LP애자, 폴리머

• 250mm 현수애자 시험

건조 섬락- 80[kV] 건조 상태

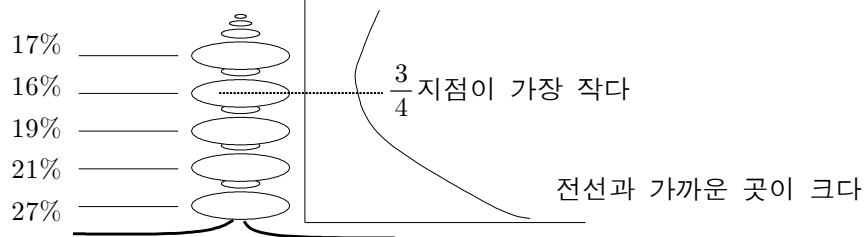
주수 섬락- 50[kV] 물이 있을 때

유중 섬락- 140[kV] 기름 안에서

충격 섬락- 125[kV] 충격파 1.2×50μ sec

• 애자련의 능력 $n = \frac{\text{애자련의 섬락 전압}}{\text{애자개수} + 1\text{개의 섬락 전압}}$

• 애자의 전압 분담



• 애자련의 보호-소호환(아킹링), 소호각(아킹혼) 설치

①애자련의 전압 분포가 개선

②선로의 섬락으로부터 애자 보호

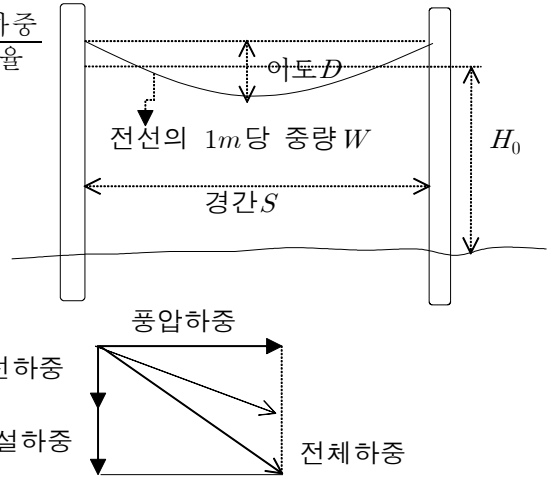
• 지선의 가닥 수

수평 장력 $T_0 = \frac{P}{\cos \theta}$

가닥수 $n = \frac{T_0}{1\text{가닥 장력}} \times \text{안전율}$

※소수점 이하는 올림으로 절삭

수평 장력 $T = \frac{\text{인장하중}}{\text{안전율}}$



E 내장형-전선로 양쪽 경간 차가 큰 부분
보강형

• 애자의 구비조건

①절연내력이 클 것

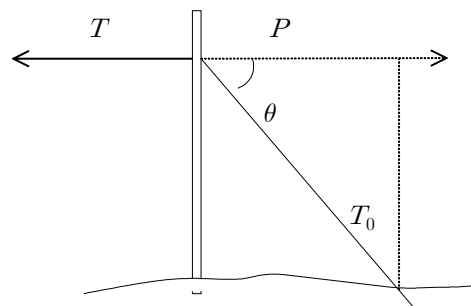
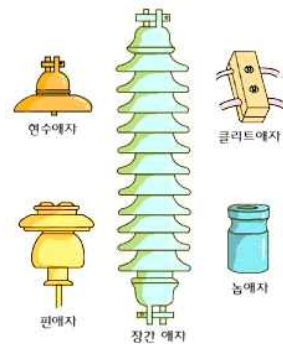
⑤누설전류가 작을 것

②기계적 강도가 클 것

⑥온도에 변화가 적을 것

③충전 용량이 작을 것

④값이 저렴하고, 수분을 잘 흡수하지 않을 것



제2장 선로정수 코로나

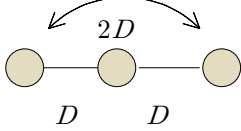
3p

● 등가 선간 거리 및 등가 반지름

• 등가 선간거리

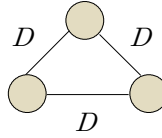
$$D_0 = \sqrt[n]{D_1 D_2 D_3 \dots} \text{ 기본 공식}$$

• 일직선 배치



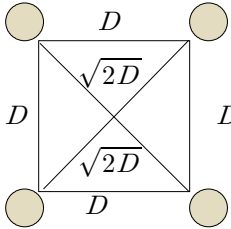
$$D_0 = \sqrt[3]{2} D = D 2^{\frac{1}{3}} [m]$$

• 정삼각형 배치



$$D_0 = \sqrt[3]{D \times D \times D} = D [m]$$

• 정사각형 배치



$$D_0 = \sqrt[6]{D \times D \times D \times D \times \sqrt{2D} \sqrt{2D}} = \sqrt[6]{2} D$$

• 복도체(다도체) 특징

고전압의 송전선에서 전선 주변의 전기장이 강해져서 코로나 방전이 발생 하여 전력이 손실 되거나 통신선에 장애를 주기 때문에 도체를 2개 이상의 복도체를 구성한다

① L 값 감소 C 값 증가

② 안정성 증가 코로나 방지

③ 송전용량 증가

④ 페란티 현상-수전단 전압이 송전단 전압 보다 높아지는 현상, 수전단 전압 상승

전압 보다 위상이 90° 앞선 충전 전류(정전용량 C)가 흘러 발생,

수전단-분로 리액터 설치 동기 조상기의 부족여자 운전

④ 단락사고시 흡입력 발생

• 등가 반지름

$$r_e = r^n S^{\frac{n-1}{n}} = \sqrt[n]{r^n s^{n-1}} = \sqrt[n]{r s^{n-1}}$$

(r_e : 등가 반지름 r : 소도체 1개 반지름 n : 소도체 개수 s : 소도체 간의 간격)

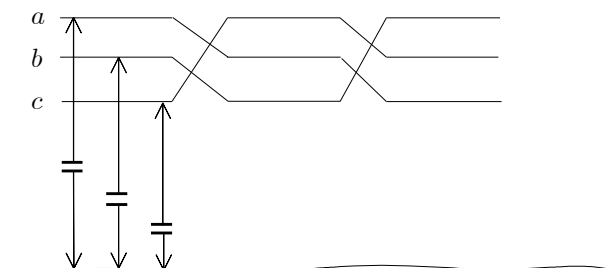
$$\bullet \text{ 2복도체 } r_e = r^{\frac{1}{2}} s^{\frac{2-1}{2}} = \sqrt{rs}$$

연가

선로정수를 평행 시킨다

통신선 유도장해 경감 직렬공진 방지

3의 배수 구간으로 등분하여 시설 R L C G 평형



◎ 선로정수

• 선로정수: $R-L-C-G$ 값

• 전선 자기저항 $R = \rho \frac{\ell}{A} [\Omega]$ (ρ :고유저항 $= \frac{1}{\text{도전율}} = \frac{1}{\text{전도율}}$)

• 작용 인덕턴스 L (자속 발생 능력)

①전선 1가닥에 대한 작용 인덕턴스

$$L = L_i + L_m = 0.05 + 0.4605 \log \frac{D}{r} [mH/km] \quad (r: \text{전선 반지름 } D: \text{선간거리})$$

②왕복 2도선

$$\text{복도체 } L = 0.05 + 0.4605 \log \frac{D}{\sqrt[n]{rs^{n-1}}} [mH/km] \quad (r: \text{등가 반지름 } D: \text{등가선간거리})$$

2복도체일 경우 ($\frac{0.05}{2} = 0.026$) 또는 값이 적어 생략 하는 경여우도 있다

• 작용 정전용량

$$\text{단상 } C = C_s + 2C_m \quad \text{3상 } C = C_s + 3C_m$$

• 왕복 2도선

$$\text{단도체 } C = \frac{0.02413}{\log \frac{D}{r}} [\mu F/km] \quad \text{복도체 } C = \frac{0.02413}{\log \frac{D}{\sqrt[n]{rs^{n-1}}}} [\mu F/km]$$

• 3상 1회선 대지 정전 용량

$$C = \frac{0.02413}{\log \frac{8h^2}{rD^2}} [\mu F/km]$$

• 지중 전선로의 특징

- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| ①케이블만 사용가능 | ⑧감전 우려가 적음 |
| ②가공전선로에 비하여 L은 감소하고 C는 증가 | ⑨수용밀도가 현저하게 높은 지역 공급 |
| ③도시의 미관상 좋다 | ⑩보안상 제한조건으로 가공전선로는 공급 불가 |
| ④기상조건에 의한 영향이 적음 | ⑪공사비가 상승 |
| ⑤통신선에 대한 유도장해가 작음 | ⑫ 고장의 발견, 보수가 어렵다 |
| ⑦전선로 통과지의 확보가 용이 | |

• 지중 선로 케이블 보수에 선로 측정

①우전체의 역률 측정 $= \tan \delta$ ②누설 전류 측정

• 지중 선로의 고장 탐지

①머레이 후트법-휘스톤 브릿지 ②펄스 레이더법 ③수색 코일

◎ 코로나 현상

초 고압 송전 선로에서 공기 절연이 파괴 되면서 일어나는 부분 방전현상

• 공기의 절연 파괴전압

① $D.C$ 30 $[kV/cm]$ -실효값 ② $A.C$ 21 $[kV/cm]$ -최대값

• 코로나 발생 결과

$$\text{①코로나 손실 전압 발생 } P_c = \frac{241}{\delta} (f+25) \sqrt{\frac{r}{D}} (E-E_0)^2 \times 10^{-5} [kW/km]$$

(δ :상대 공기 밀도 f :주파수 r :지름 D :선간 거리 E :대지 전압 E_0 :코로나 임계 전압)

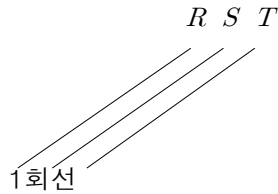
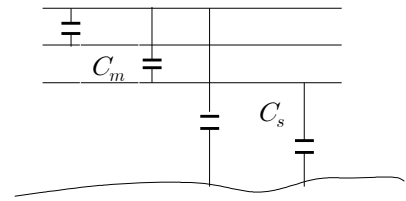
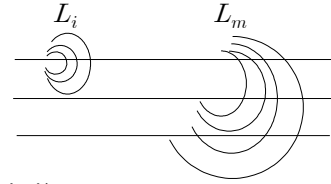
②코로나 소음 발생 ③고조파 ④부식

• 코로나 임계전압

$$E_0 = 24.3 m_0 m_1 \delta \log \frac{D}{r}$$

• 코로나 방지대책

- ①임계전압을 크게하기 위하여 전선의 직경을 크게한다 $\Rightarrow$ 복도체 중공연선 ACSR 채용
②가선 구급류 개선



제3장 송전특성 및 조상설비

단거리 송전선로 $R-L$ (집중 정수 회로)

• 전압강하 e

$$e = E_s - E_r$$

$$E_s = E_r + e$$

$$E_s = \sqrt{(E_r + IR\cos\theta + IX\sin\theta)^2 + (IX\cos\theta - IR\sin\theta)^2}$$

$$= E_r + IR\cos\theta + IX\sin\theta$$

$$= E_r + I(R\cos\theta + X\sin\theta)$$

$$\textcircled{1} \text{ 2선 전체분 } e_{\text{단상}} = I(R\cos\theta + X\sin\theta)$$

$$\textcircled{2} \text{ 3상 1선분 } e_{3\text{상}} = \sqrt{3} I(R\cos\theta + X\sin\theta)$$

$$P = \sqrt{3} V I \cos\theta \quad I = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos\theta}$$

$$e_{3\text{상}} = \sqrt{3} I(R\cos\theta + X\sin\theta) \text{에 } I \text{를 대입 하면}$$

$$\textcircled{3} e = \frac{P}{V} (R + X \tan\theta)$$

• 전압 강하율

전압강하 $e = V_s - V_r$ 에서

$$\textcircled{1} \text{ 전압 강하율 } \epsilon = \frac{e}{V_r} \times 100\%$$

$$\textcircled{2} \epsilon = \frac{V_s - V_r}{V_r}, \quad V_s = (\epsilon + 1) V_r$$

$$\textcircled{3} \text{ 3상 } \epsilon = \frac{\sqrt{3} I(R\cos\theta + X\sin\theta)}{V_r} \quad \epsilon = \frac{\frac{P}{V_r} (R + X \tan\theta)}{V_r} = \frac{P}{V^2} (R + X \tan\theta) \quad \epsilon \propto \frac{1}{V^2}$$

• 전압 변동율

전압변동: $V_0 - V_n$ 에서

$$\delta = \frac{\text{무부하전압} - \text{정격전압}}{\text{정격전압}} = \frac{V_0 - V_n}{V_n} = \frac{V_0 - V_r}{V_r} \times 100\%$$

무부하 전압 V_0 : 무부하시 2차 측 수전단 전압, 정격전압 V_n : 수전단 전압의 V_r

• 전력손실

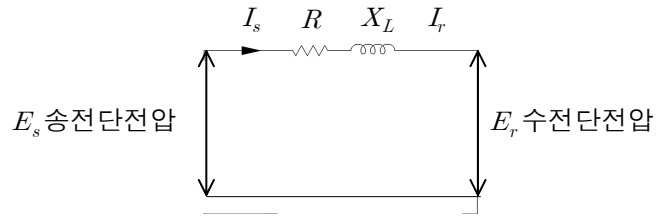
$$P_{\ell 3\text{상}} = 3I^2 R$$

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

$$P_{\ell} \propto \frac{1}{V^2} \quad P_{\ell} \propto \frac{1}{\cos^2\theta} \quad P_{\ell} \propto P$$

$$\text{• 전력손실율} = \frac{P_{\ell}}{P} \times 100\%$$

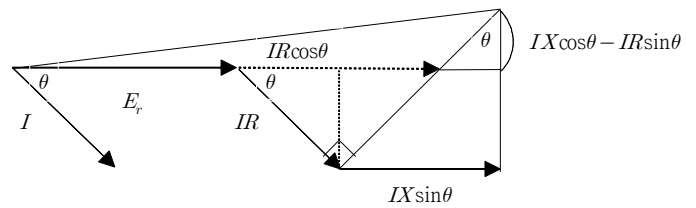
$$K = \frac{\text{전력손실}}{\text{정격전력}} \quad K = \frac{\frac{P^2 R}{V^2 \cos^2\theta}}{P} = \frac{PR}{V^2 \cos^2\theta}$$



I 는 $R-L$ 회로에서 V 보다 위상이 뒤진다

IR 은 I 와 동상

IX 은 IR 보다 위상이 90° 빠르다



● **중거리 송전선로** $R-L-C$ (집중 정수 회로)

$$V_s = A V_r + B I_r$$

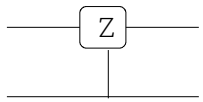
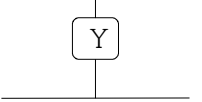
$$I_s = C V_r + D I_r$$

$$A = \left. \frac{V_s}{V_r} \right|_{I_r=0} \text{ 전압이득} \quad B = \left. \frac{V_s}{I_r} \right|_{V_r=0} \text{ 임피던스}$$

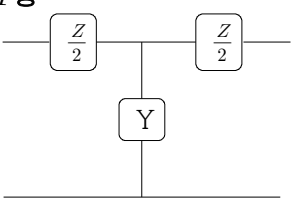
$$C = \left. \frac{I_s}{V_r} \right|_{I_r=0} \text{ 어드미턴스} \quad D = \left. \frac{I_s}{I_r} \right|_{V_r=0} \text{ 전류이득}$$

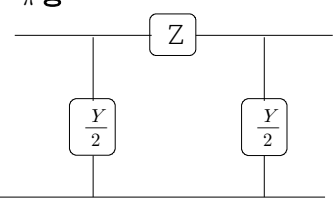
$$\bullet AD - BC = 1$$

● **단일 소자 4단자 정수**

직렬  $\begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ 병렬  $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix}$

● **중거리 선로의 4단자 정수**

T형  $\begin{bmatrix} 1 + \frac{ZY}{2} & Z(1 + \frac{ZY}{4}) \\ Y & 1 + \frac{ZY}{2} \end{bmatrix}$

π 형  $\begin{bmatrix} 1 + \frac{ZY}{2} & Z \\ Y(1 + \frac{ZY}{4}) & 1 + \frac{ZY}{2} \end{bmatrix}$

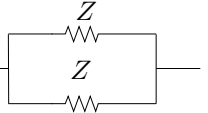
$$E_s = (1 + \frac{ZY}{2})E_r + Z(1 + \frac{ZY}{4})I_r$$

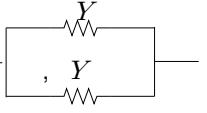
$$I_s = Y E_r + (1 + \frac{ZY}{2})I_r$$

$$E_s = (1 + \frac{ZY}{2})E_r + Z I_r$$

$$I_s = Y(1 + \frac{ZY}{4})E_r + (1 + \frac{ZY}{2})I_r$$

● **선로의 병렬접속시 선로정수**

AD 불변 B 임피던스 $\frac{1}{2}$ 배 

C 어드미턴스 2배 

● **장거리 송전선로** $R-L-C-G$ (분포정수회로)

쌍곡선 함수로 표현

$$A = \cosh \alpha \ell E_r \quad B = Z_0 \sinh \alpha \ell I_r$$

$$B = \frac{1}{Z_0} \sinh \alpha \ell E_r \quad D = \cosh \alpha \ell E_r$$

$$E_s = \cosh \alpha E_r + Z_0 \sinh \alpha I_r$$

$$I_s = \frac{1}{Z_0} \sinh \alpha \ell E_r + \cosh \alpha I_r$$

● **특성임피던스** 길이와 무관한 선로의 대표임피던스

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{r + j\omega L}{g + j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

● **전파정수**-입력에 대한 출력의 크기와 위상관계

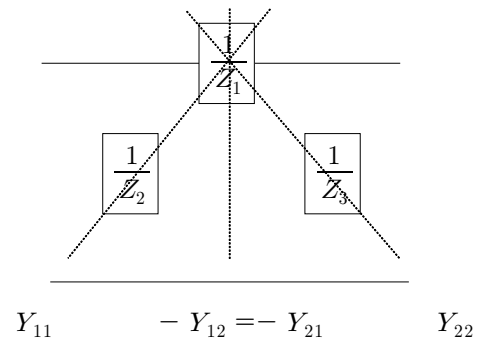
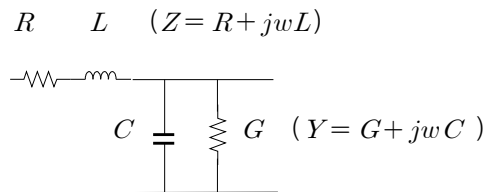
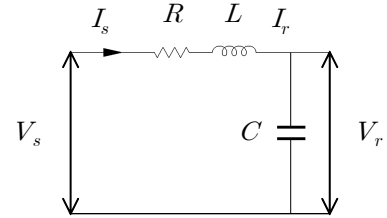
$$\gamma = \sqrt{ZY} = \sqrt{(r + j\omega L)(g + j\omega C)} = \sqrt{(j\omega)^2 LC} = j\omega \sqrt{LC}$$

● **전파속도** $v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 3 \times 10^8 [m/sec]$

● L 과 C

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{0.4605 \log \frac{D}{r}}{0.02413 \log \frac{D}{r}}} = \sqrt{\frac{0.4605}{0.02413}} \log \frac{D}{r} = 138 \log \frac{D}{r} [\Omega]$$

$$L = 0.4605 \times \frac{Z_0}{138} [mH/km] \quad C = \frac{0.02413}{\frac{Z_0}{138}} [\mu F/km]$$



$$Y_{11} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}$$

$$Y_{22} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_3}$$

$$Y_{12} = Y_{21} = -\frac{1}{Z_1}$$

◎ 조상설비

7p

송전선을 일정한 전압으로 운전하기 위해 필요한 무효전력을 공급하는 장치
동기조상기, 전력용 콘덴서, 분로 리액터 등이 있다

• 역률 개선의 필요성

① 전력의 손실 감소 $P_\ell = I^2 R = \frac{P^2}{V^2 \cos^2 \theta} R$ 에서 $P_\ell \propto \frac{1}{\cos^2 \theta}$

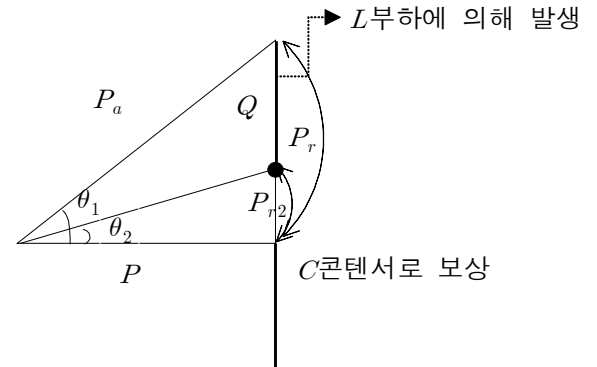
② 전압강화 감소

③ 수전 설비 용량 감소 $P_a = \frac{\text{유효전력}}{\text{역률}}$

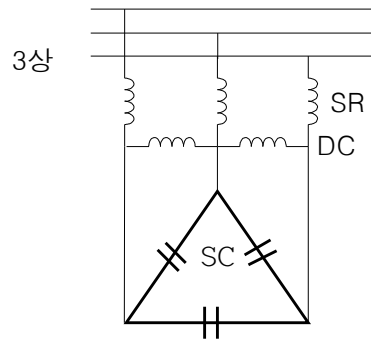
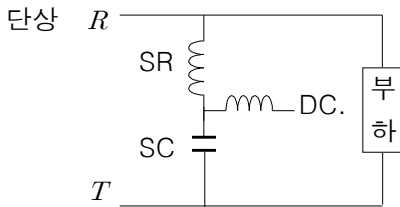
④ 전기 요금 감소

• 전력용 콘덴서 SC(병렬콘덴서)

$$\begin{aligned} Q &= P_r - P_{r2} \\ &= P \tan \theta_1 - P \tan \theta_2 \\ &= P (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \\ &= P \left(\frac{\sin \theta_1}{\cos \theta_1} - \frac{\sin \theta_2}{\cos \theta_2} \right) \\ &= P \left(\frac{\sqrt{1 - \cos^2 \theta_1}}{\cos \theta_1} - \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \theta_2}}{\cos \theta_2} \right) [KVA] \end{aligned}$$



• 전력용 콘덴서의 구조



• SR 직렬 리액터 용량

공진을 이용하여 단상- 3고조파 제거, 3상- 5고조파 제거

단상 $3wL = \frac{1}{3wC}$ $wL = \frac{1}{9} \frac{1}{wC} = 11\%$ 이론적으로 11%, 실제 11~13%

3상 $5wL = \frac{1}{5wC} \Rightarrow wL = \frac{1}{25} \frac{1}{wC} = 4\%$ 실제 5~6%

• 리액터의 종류

분로 리액터	페란티 현상 방지	직렬 리액터	5고조파 제거
한류 리액터	단락 전류의 제한	소호 리액터	지락 아크의 소호

• 방전코일 DC- 콘덴서의 잔류전하 방전

• 충전 전류와 충전 용량

충전 전류- 콘덴서에 흐르는 전류로 전압보다 앞선다

$$I = \frac{V}{R} \quad I_c = \frac{V}{X_c} = \frac{V}{\frac{1}{wc}} = wCV \quad (V \text{상전압})$$

$$\text{충전용량 } P = \frac{V^2}{R} \quad Q_c = \frac{V^2}{R} = \frac{V^2}{X_c} = \frac{V^2}{\frac{1}{wc}} = wCV^2 \quad 3\text{상} = 3wcV^2$$

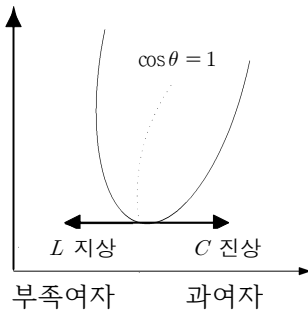
$$\Delta \text{결선에선의 충전 용량 } Q_c = wcV^2 = 3wcV^2 = 3 \times 2\pi fcV^2 = 6\pi fcV^2 [KVA]$$

$$Y \text{결선에서의 충전 용량 } Q_c = wcV^2 = 3wcV^2 = 3wc \left(\frac{E}{\sqrt{3}} \right)^2 = wcV^2 = 2\pi fcV^2 [KVA]$$

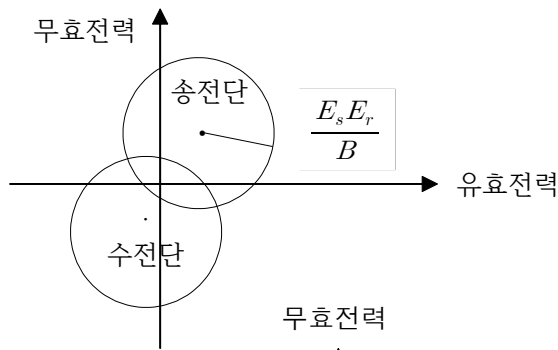
$$\frac{Q_\Delta}{Q_Y} = \frac{6\pi fcV^2}{2\pi fcV^2} = 3 \quad Q_\Delta = 3Q_Y$$

※ 직렬 콘덴서-역률조정

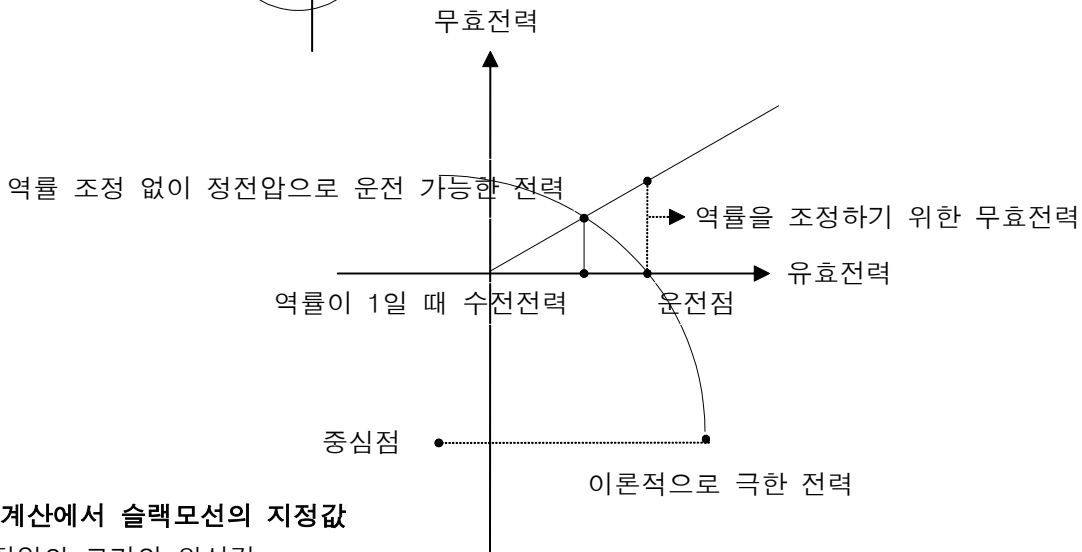
동기조상기-진, 지상 전류 공급



• 전력원선도



- 전력 원선도에서 구할 수 없는 것
- 과도 안정극한 전력
- 코로나 손실



• 조류계산에서 슬랙모선의 지정값

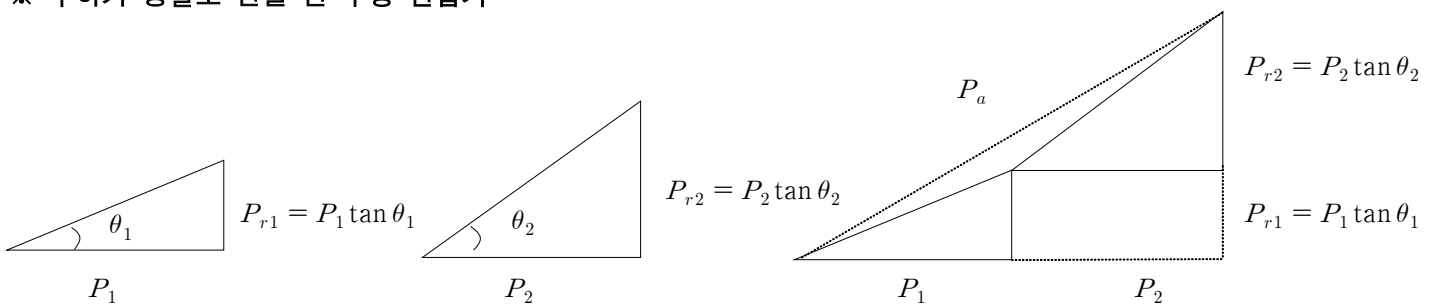
모선 전압의 크기와 위상각

● 송전용량 및 송전 전압

• Still 식 (송전전압 결정) $V = 5.5 \sqrt{0.6\ell + 0.01P}$ ($V[kV]$ $\ell[km]$ $P[kW]$)

• 송전전력 $P = \frac{E_s E_r}{X} \sin \delta [MW]$ • 송전용량계수법 $P = K \frac{E_r^2}{\ell}$ • 고유부하 $P = \frac{E_r^2}{\sqrt{\frac{L}{C}}}$

※ 부하가 병렬로 연결 된 주상 변압기



$$P_a = \sqrt{(P_1 + P_2)^2 + (P_1 \tan \theta_1 + P_2 \tan \theta_2)^2}$$

$$\cos \theta = \frac{P_1 + P_2}{\sqrt{(P_1 + P_2)^2 + (P_1 \tan \theta_1 + P_2 \tan \theta_2)^2}}$$

제4장 고장계산

9p

• 고장계산의 목적

- ① 차단기 용량계산
- ② 보호 계전기 설정
- ③ 통신선 유도장해 감소

• %Z

$$\%Z = \frac{IZ}{E} \times 100\% = \frac{\text{전압강하}}{\text{전체수전단 전압}}$$

$$Z = \frac{\%ZE}{I \times 100}$$

$$\%Z = \frac{IZ}{E[KV]} \times 100 = \frac{IZ}{E \times 1000} \times 100 = \frac{IZ}{10E} \times \frac{E}{E} = \frac{ZP}{10E^2}$$

$$\%Z_{3\phi} = \frac{ZP}{10E^2} = \frac{Z \times \frac{1}{3}P}{10(\frac{V}{\sqrt{3}})^2} = \frac{ZP}{10E^2} \quad ((\frac{V}{\sqrt{3}})^2 \text{ 한 상의 전압} \quad \frac{1}{3}P \text{ 한 상의 전력})$$

$$\%Z = \frac{ZP}{10V^2} \quad \%x = \frac{XP}{10V^2} \quad \%r = \frac{rP}{10V^2} \quad (V: \text{선간전압} \quad P: 3\text{상전체 전력})$$

$$\%Z = \frac{IZ}{E} \times 100 \quad Z = \frac{\%ZE}{I \times 100}$$

• 단락전류

$$\text{정상적일 경우 } I = \frac{E}{Z + Z_0} = \frac{1000}{10 + 90} = 10[A]$$

$$\text{단락이 발생할 경우 } I_s = \frac{E}{Z} = \frac{1000}{10} = 100[A]$$

$$I_s = \frac{E}{Z} = \frac{E}{\frac{\%ZE}{I \times 100}} = \frac{100}{\%Z} \times I_n [A] \quad (I_n: \text{정격전류})$$

$$I_s = \frac{100}{\%Z} \times I_n = \frac{100}{\%Z} \times \frac{P_n}{\sqrt{3}V} \quad (P_n = \sqrt{3}V_\ell I_\ell \quad I_\ell = \frac{P_n}{\sqrt{3}V})$$

• 단락용량 $\Rightarrow$ 차단기용량 결정

$$P_s = E \times I_s = E \times \frac{100}{\%Z} \times I_n = \frac{100}{\%Z} \times P_n$$

단락용량 < 차단기용량

단상

단락용량 = 공칭전압 $\times$ 단락전류

차단용량 = 전격전압 $\times$ 단락전류

3상 $\sqrt{3}V$ (정격전압)

전격용량 = $\sqrt{3}V \times$ 정격전류

충전용량 = $\sqrt{3}V \times$ 충전전류

단락용량 = $\sqrt{3}V \times$ 단락전류

• 기준용량 P_n 의 설정

변압기 45M를 기준

$$G_1 = \frac{45M}{15M} = 3 \quad 3 \times 10\% = 30\%$$

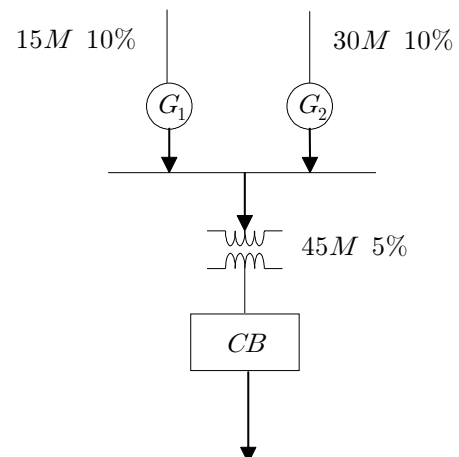
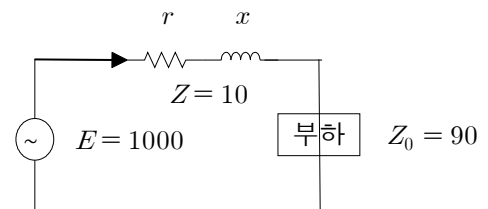
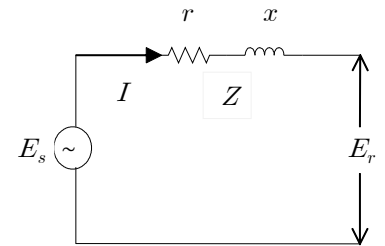
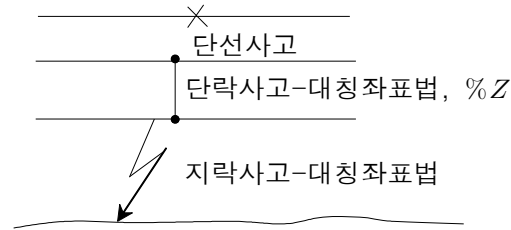
$$G_2 = \frac{45M}{30M} = 1.5 \quad 1.5 \times 10\% = 15\%$$

$$\%Z = \frac{30 \times 15}{30 + 15} + 5 = 15\%$$

$$P_s = \frac{100}{\%Z} \times P_n = \frac{100}{15} \times 45 = 450[MVA]$$

$$I_s = \frac{100}{\%Z} \times I_n$$

• 고장의 종류



● 대칭 좌표법

• 벡터 연산자 a

$$V_a = V \angle 0^\circ = V$$

$$V_b = V \angle 240^\circ = a^2 V$$

$$V_c = V \angle 120^\circ = a V$$

• 상의 전압

$$V_a = V_0 + V_1 + V_2$$

$$V_b = V_a + a^2 V_1 + a V_2$$

$$V_c = V_0 + a V_1 + a^2 V_2$$

• 대칭분

$$\text{영상분 } V_0 = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c)$$

$$\text{정상분 } V_1 = \frac{1}{3}(V_a + a V_b + a^2 V_c)$$

$$\text{역상분 } V_2 = \frac{1}{3}(V_a + a^2 V_b + a V_c)$$

발전기

$$V_0 = -I_0 Z_0$$

$$V_1 = E_1 - I_1 Z_1$$

$$V_2 = -I_2 Z_2$$

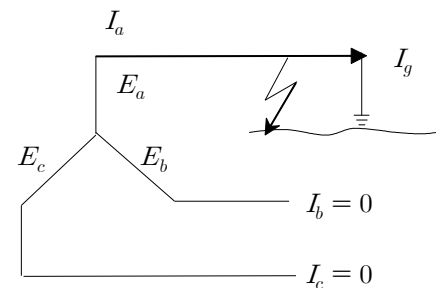
• 1선지락 사고

I_a 에 지락 사고가 발생하면 I_b, I_c 에 차단기가 작용하여

I_a 로 전류가 흐른다 $I_b = I_c = 0$

$$I_0 = I_1 = I_2$$

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



• 선간 단락사고

$$I_0 = 0 \quad I_1 = -I_2 = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2}$$

• 3선 단락사고

$$I_0 = I_2 = 0 \quad I_a = \frac{E_a}{Z_1} \quad I_b = a^2 \frac{E_a}{Z_1} \quad I_c = a \frac{E_a}{Z_1}$$

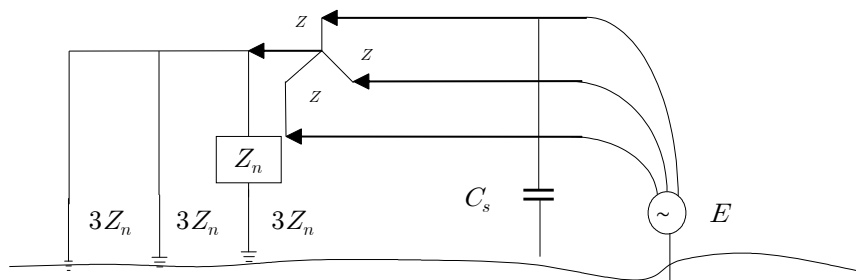
	정상분	역상분	영상분
1선지락	0	0	0
선간단락	0	0	×
3선단락	0	×	×

• 영상회로 영상임피던스

전류가 흐를 수 있는 범위의 회로

영상임피던스 $Z_0 = Z + 3Z_n$

정상, 역상임피던스 $Z_1 = Z_2 = Z$



$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z + 3Z_n} + \frac{1}{\frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{Z + 3Z_n} + j\omega C$$

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{Z + 3Z_n} + j\omega C} = \frac{Z + 3Z_n}{1 + j\omega C(Z + 3Z_n)}$$

제5장 중성점 접지 방식과 유도장해

● 중성점 접지

중성점 접지의 목적

- ①이상 전압의 경감 및 발생 방지 ③보호계전기의 신속 확실한 동작
②전선로 및 기기의 절연레벨 경감 ④소호리액터 접지계통 1선지락 아크 소멸

• 비 접지 (Δ결선)

- ①1상 고장시 V결선 운전 가능
②선로에 3고조파 미 발생⇒통신선 장애 미 발생
③지락사고 발생시 건전 상 전압 상승 $\sqrt{3}$ ⇒최대 6배

대지전압 Y결선 $\frac{\text{선간전압}}{\sqrt{3}}$ Δ결선 $\frac{\text{선간전압}}{\sqrt{3}}$

전압 비교 선간전압 대지전압

Y결선 380[V] $\frac{380}{\sqrt{3}} 220[V]$ 220[V]

Δ결선 380[V] 380[V] $\frac{380}{\sqrt{3}} = 220[V]$

- ④절연레벨이 높고 2중 고장 발생 가능성이 높다

$$I_g = \frac{V}{Z} = \frac{V}{\frac{1}{3\omega C_s}} = 3\omega C_s V \ell [A] \quad \text{콘덴서에 의한 } 90^\circ \text{ 빠른 진상전류}$$

- ⑤30KV이하 저압에서 사용, 단거리 송전 선로

• 직접 접지 (Y결선)

- ①지락 사고시 전압 상승 최저 (이상전압 발생 최저)
②절연레벨 경감, 초 고압 송전 선로 사용
③지락 전류가 크기 때문에 계전기 동작 확실
④과도 안정도가 나쁘다
⑤지락전류가 통신선 유도장해 발생, 기기수명 단축

• 저항접지

R저항 값이 크다- 비접지 고저항 접지:100~1000[Ω]

R저항 값이 작다-직접 접지 저 저항 접지:30 [Ω]

• PC접지 소호리액터 접지

1선 지락시 고장 전류 및 유도장해 최소⇒계전기 동작 불확실

$$L \text{과 } C \text{를 병렬공진} \Rightarrow \text{전류 최소} \quad \omega L = \frac{1}{3\omega C_s}$$

3선 일괄한 대지 충전 용량과 같다

$$L = \frac{1}{3\omega C_s} = \frac{1}{3(2\pi f)^2 C_s}$$

$$\omega L = \frac{1}{3\omega C_s} - \frac{x_t}{3}$$

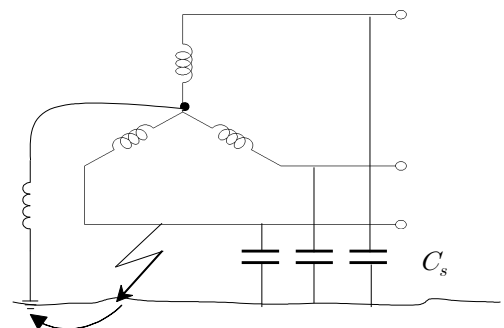
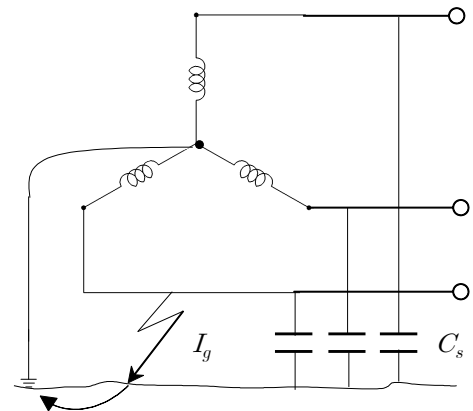
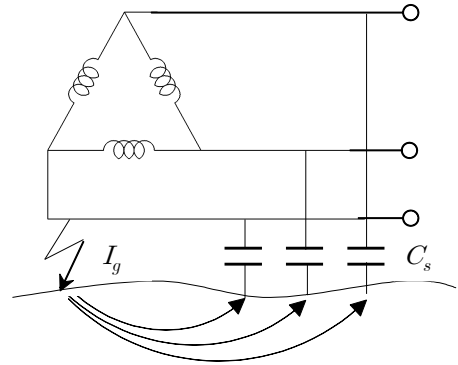
• 합조도

단선 사고시 직렬공진 발생⇒ 전류가 최대⇒ 이상전압이 최대

직렬공진 방지를 위해 $\omega L \neq \frac{1}{3\omega C}$ 같지 않도록 10%정도 여유를 준다

$$P = \frac{I - I_c}{I_c}$$

$$\omega L < \frac{1}{3\omega C_s} : \text{과보상} \quad \omega L = \frac{1}{3\omega C_s} : \text{공진} \quad \omega L > \frac{1}{3\omega C_s} : \text{부족보상}$$



● 유도장해

• 정전유도장해

정전용량 C 에 의하여 발생 -영상전압 발생

전력선과 통신선 사이 상호정전용량과 통신선과 대지사이 대지정전용량에 의하여

전력선과 대지사이 대지전압이 걸리면서 통신선에 대지전압이

분배되어 통신선에 전류가 흐른다

선로의 길이와 무관하게 발생

• 정전유도 전압

$$\text{단상 } E = \frac{C_m}{C_m + C_s} E_s$$

$$\text{3상 } E_s = \frac{3C_m}{3C + C_s} V_0 \quad (E_s: \text{통신선 전압} \quad V_0: \text{대지전압})$$

$$E_s = \frac{\sqrt{C_a(C_b - C_c) + C_b(C_b - C_c) + C_c(C_c - C_a)}}{C_a + C_b + C_c} \times E [V]$$

$$E_s = 0 \Rightarrow C_a = C_b = C_c$$

• 정전유도 방지 대책

연가설시 -선로정수 평형

간격을 넓게 한다

• 전자유도장해

$$\text{① 전자 유도전압 } V_0 = wMI = wM(I_a + I_b + I_c) = 0$$

$$\text{② 1선 지락시 발생 전자유도전압 } V_0 = 3wMI_0\ell \quad (\text{영상전류})$$

$$3I_0 = I_g \quad (\text{기유도 전류})$$

• 전력선측 방지대책

① 차폐선 실시 - 30~50% 차폐 효과

$$\text{차폐계수 } \lambda = 1 - \frac{Z_{1s}Z_{2s}}{Z_sZ_{12}}$$

② 이격거리를 크게 한다

③ 기유도전력(지락전류)감소, 중성점 접지를 PC접지

④ 고속도 지락보호 계정 방식

• 통신선측 방지대책

① 절연변압기(중계코일), 구간을 분할(병행길이 단축)

② 연피 통신 케이블사용

③ 선능 우수한 피뢰기 설치

• 안정도- 전력 공급 한도, 전력을 많이 보낸다

① 정태안정도-정상상태에서 전력공급

② 과도안정도-고장상태에서 전력공급

③ 동태안정도-전압을 조정하면서 공급

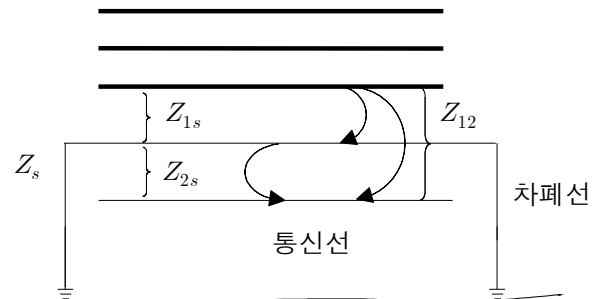
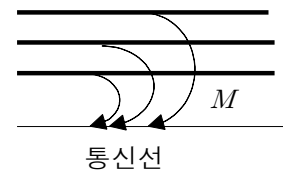
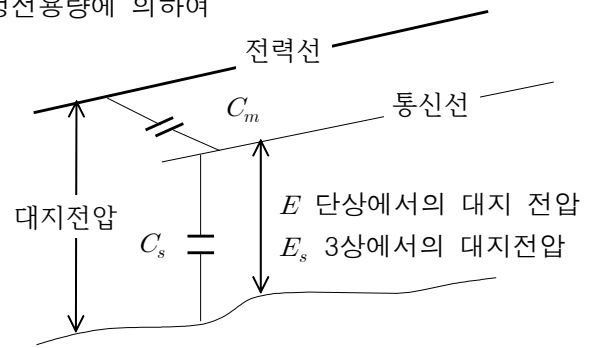
• 안정도 향상 대책

① 계통의 직렬 리액턴스 감소- 리액턴스 작은기기, 복도체 사용, 병행 다회선, 직렬 콘덴서 설치, 단락비 큰 기기

② 전압 변동 제어- 속응 여자방식, 계통 연계, 중간 조상 방식

③ 고장 전류 감소, 고장구간 신속차단

④ 고장시 발전기의 입출력 불평형 감소



제6장 이상 전압 및 보호 계전방식

◎ 이상전압과 방지 대책

• 이상전압의 원인

내부적 요인- 개폐서지(대지전압의 4배), 개폐이상전압은 전류를 차단할 100가장 크다

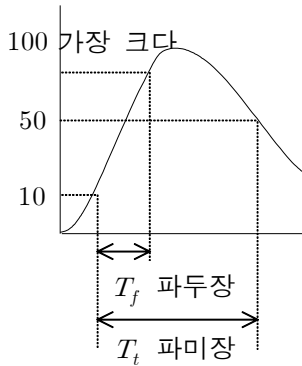
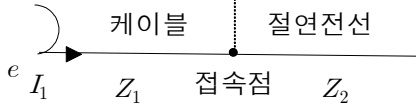
외부적 요인- 뇌서지 50

국제기준 충격파 $1.2 \times 50 [\mu/\text{sec}]$

파두장 파미장

파두장은 짧고 파미장은 길다
반사 e_2 ← → e_3 투과

• 이상전압



$$\text{투과파 } e_3 = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} e_1 \quad \text{투과계수 } \alpha = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$\text{반사파 } e_2 = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} e_1 \quad \text{반사계수 } \beta = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

$$\text{ex) } Z_1 = Z_2 \quad Z_2 = \infty \quad Z_2 = 0$$

$$\alpha = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} = 1 \quad \text{반사 } 1 \quad \text{반사 } -1$$

$$\beta = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} = 0 \quad \text{투과 } 2 \quad \text{투과 } 0$$

• 피뢰기 [LA]

기기로 유입되는 이상전압을 대지로 방전, 선로보호

• 구조

① 직렬갭-속류차단, 저전압방전

② 특성요소-전위 상승을 억제하여 절연파괴, 이상전압 대지로 방전

③ 실드링-전자기적인 충격보호

• 피뢰기의 전압

제한전압-충격파 전류가 흐르고 있을때의 피뢰기의 단자전압

정격전압-속류를 끊을수 있는 최고 교류전압

충격방전개시전압-낮다

상용주파 방전 개시 전압-높다 피뢰기의 정격전압 1.5배이상

※ 속류-이상전압을 차단하고도 계속 흐르는 전류

• 피뢰기의 구비 조건

① 속류 차단 능력이 있을 것

② 제한 전압이 낮을 것

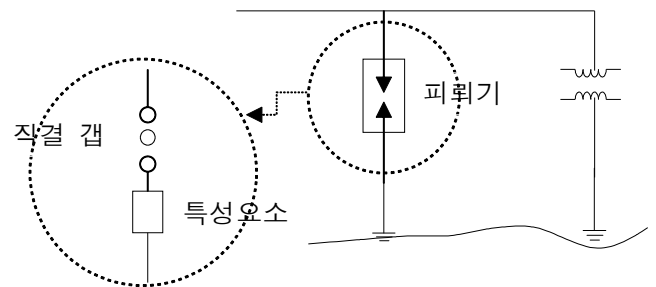
③ 충격방전 개시전압은 낮을 것

④ 상용주파 방전 개시 전압은 높을 것

⑤ 방전 내량이 클 것

⑥ 내구성 및 경제성이 있을 것

• 변압기의 절연 강도 > 피뢰기 제한 전압 + 접지 저항 전압 강하

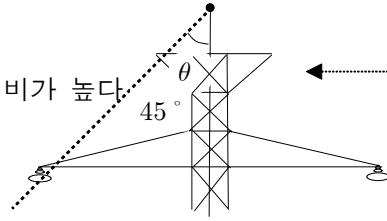


• 가공지선

직격뢰로부터 선로 보호

• 차폐각

차폐각이 작을수록 보호율이 높고 건설비가 높다
보호율 97%



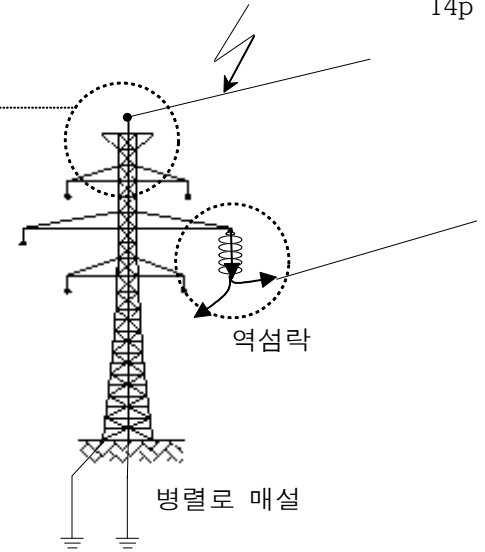
• 매설지선

철탑의 접지저항이 크면 철탑의 전위가 높아

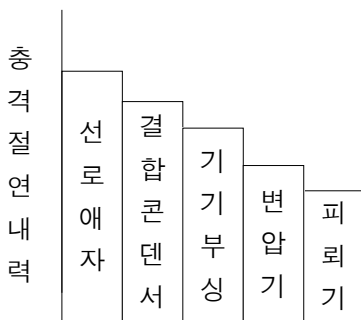
애자의 절연이 파괴되면서 역섬락이 발생하는데 이를 방지하도록

철탑의 접지저항을 작게 하기 위해 사용

병렬연결



• 절연협조- 절연을 합리적, 경제적으로 할수 있게 한 것



• 기준 절연 강도 BIL

기준-피뢰기 제한 전압

• 기기의 여유도

$\frac{\text{기기류의 기준 충격 절연강도} - \text{피뢰기의 제한 전압}}{\text{피뢰기의 제한 전압}}$

◎ 보호 계전 방식

• 보호계정기의 구비조건

- ① 고장의 정도 및 위치를 정확히 파악 할 것
- ② 동작이 예민하고 오동작이 없을 것
- ③ 소비 전력이 적고 경제적인 것
- ④ 적당한 후비보호 능력이 있을 것

• 계정기의 한시 특성

순한시-고장 검출 즉시 동작

정한시-고장 검출 일정 시간후에 동작

반한시-고장전류가 크면 짧게동작 고장전류가 작으면 천천히 동작

반한시 정한성-반한시+정한시

• 단락보호 목적의 계전기

과전류 계전기 OCR - 전류가 일정 값 이상 흐를 때 작동

과전압 계전기 OVR - 전압이 일정 값 이상 작동

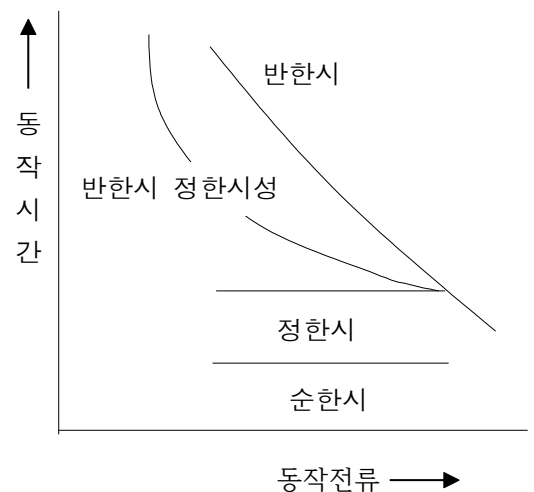
부족 전압 계전기 UVR - 전압이 일정 값 이하 작동

단락 방향 계전기 DS - 일정한 방향으로 단락 전류가 흘렀을 때 작동

선택 단락 계전기 SS - 병행 2회선 송전선로에서 1회선 단락 사고시 고장 회선 선택 차단

거리 계전기 Z - 계전기에서 고장점까지의 거리에 비례한 한시에서 작동

방향 거리 계전기 DZ - 거리계전기에 방향성을 가지게 한 것



- 선택지락 계전기 SGR

병행2회선 송전선로의 지락 사고가 일어 났을 경우 영상전압과 영상지락고장 전류 검출하여 선택 차단

- 방사상 선로의 단락보호

①전원이 1단자에만 있는 경우-과전류 계전기 OCR

②전원이 양단에 있는 경우-방향단락 계전기 DS + 과전류 계전기 OC

- 표지선 계전방식

①전류순환 ②전압 반향 ③방향비교

- 환상선로의 단락 보호

①전원이 1단자에만 있는 경우-방향단락 계전기 DS

②전원 2군데 이상 있는 경우- 방향거리 계전기 DZ

- 모선보호 계전방식

①전류차동 ②전압차동 ③위상비교 ④방향비교

- 변압기의 보호 계전 방식

①차동 계전기 ②비율 차동 계전기 ⑤부호홀썸 계전기

- 비율차동계전기

①발전기나 변압기 내부 고장에 대한 보호용

②변압기 결선 $Y-\Delta$ $\Delta-Y$ 변류기결선 $\Delta-Y$ $Y-\Delta$

③변압기 고.저압간의 전류의 크기 및 위상을 보상

● 변전소의 설비

• 변전소 역할

- ①전압의 변성과 조정 ③전력 조류 제어
- ②전력의 집중과 배분 ④송배전 선로 및 변전소의 보호

• 변압기

- ①전압의 크기를 바꾸는 기기 ③부하시 탭 전환 전압 무효전력 제어상 조정 장치
- ②강압용 변압기 ④전력 조류제어 ⇒전압 위상 조정 장치

• 조상설비 역률제어

- 중부하시 ⇒진상 무효전력 공급
- 경부하시 ⇒지상 무효전력 공급

• 모선의 종류

- ①단일 모선 ②이중모선(복모선) ③환상모선

• 기타 설비

- ①피뢰기 ②중성점 접지기기, ③접지장치 ④배전반 ⑤서지흡수기 ⑥소내 설비

● 차단 기기

차단기-개폐+차단 개폐기-개폐만 가능

• 단로기 DS ① CB 를 보조 ② 충전전류 소전류 차단 큰 전류는 차단 불가

• 차단기의 종류

OCB 유입차단기-절연유

MBB 자기차단기-전자력

ABB 공기차단기 -압축공기, 사용 전압이 가장 크다

ACB 기중차단기-천연공기

VCB 진공차단기-진공, 개폐시 서지전압이 가장 크다

GCB 가스차단기- SF_6 가스

SF_6 가스의 특징

- ①무색, 무취, 무독, 불연성가스
- ②공기에 비해 소호능력이 약100배
- ③절연 내력이 공기의 2~3배
- ④밀폐구조로 소음이 없다

• 차단기의 특성

표준동작 책무

일반A형:OPEN→1분→CO→3분→CO

일반B형:O→15초→CO

고속형:O→ θ 설정시간→CO→1분→CO

• 차단기의 정격

정격 전압 = 공칭 전압 $\times \frac{1.2}{1.1}$ (3300, 6600 V에서 사용)

정격차단 전류 $I_s = \frac{100}{\%a} I_n$ 차단용량 $\sqrt{3} \times \text{정격전압} \times \text{정격차단전류}$

• 차단기의 정격 차단시간(TC 트립코일 여자~아크소호) 3,5,8[Hz]

• 차단기의 트립 방식

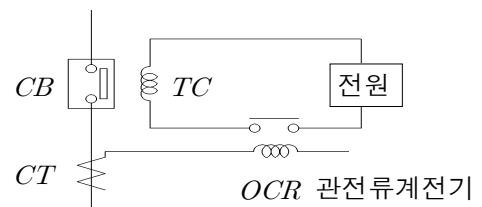
DC-전압 방식

CTD콘덴서 트립

CT-2차트립 방식 } 특고압

차단기 동작 원리

2차 측에 과전류가 흐르면 스위치가 자기력으로 붙어 TC 트립 코일에서 차단기에 신호를 보내 차단기가 작동



• 단로기, 차단기에 의한 전원의 투입 및 순서

인터록 동작-CB가 열려 있을 때 DS 조작 가능

전기가 흐를 때 DS조작 금지

전원 차단: CB off → DS off

전원 투입: DS on → CB on

• PF 전력퓨즈(파워 퓨즈=전력용 퓨즈)

기기의 단락 보호용

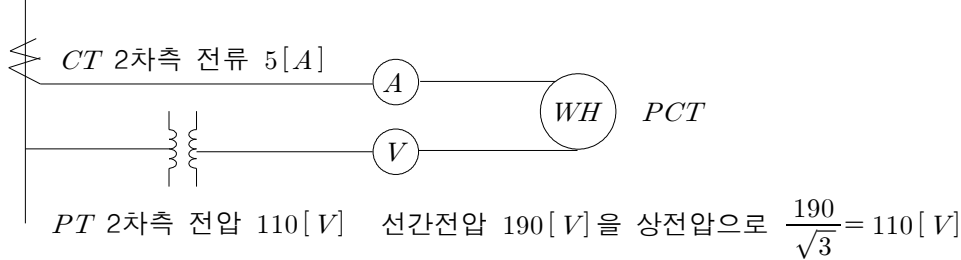
퓨즈의 단점-재 사용 불가능

• 퓨즈의 특성

①용단 특성 ②단시간 허용특성 ③전차단 특성

● 계기용 변성기

계기용 변류기-고전류를 저전류로 변성하여 전류 측정, 2차측 점검시 CT 단락

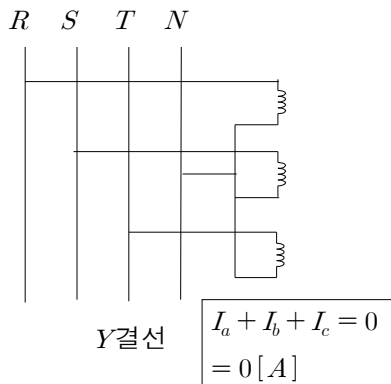


계기용 변압기- 고전압을 저전압으로 변성하여 측정, 2차측 점검시 PT 개방

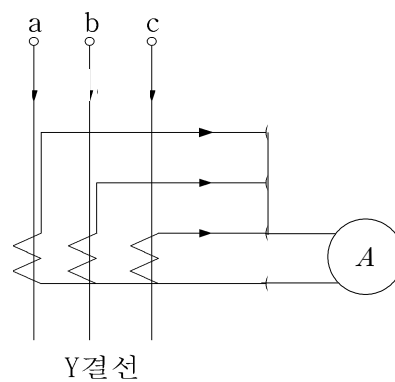
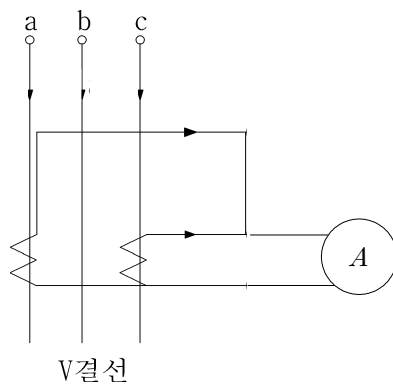
• 결선

계기용 변압기 3상 3선식 2대 V결선

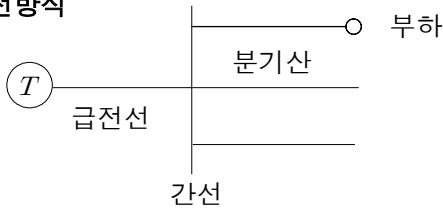
3상 4선식 3대 Y결선



계기용 변류기

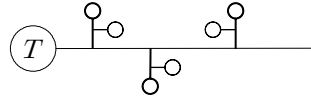


◎ 배전방식



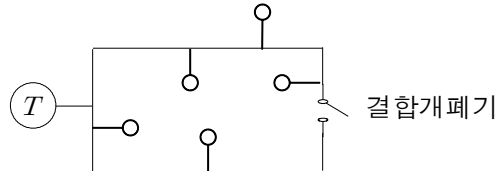
• 가지식, 수지식 tree

- ①시설이 간단
- ②전압 강하가 크고 정전 범위가 넓다(신뢰도가 낮다)
- ③농 어촌 지역



• 환상식 loop

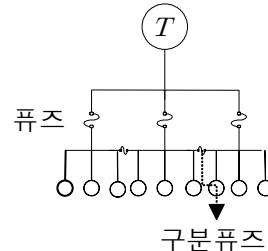
- ①전류 통로에 융통성이 있다
- ②전압강하, 전력손실 경감
- ③공급 신뢰도 향상
- ④선로 복잡하에 따른 부하 증설이 어렵다
- ⑤부하 밀집 지역



결합개폐기-고장시에만 자동적으로 폐로해서 전력 공급

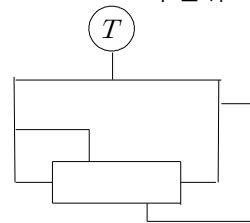
• 뱅킹방식 banking

- ①전압강하 전력손실 경감
- ②플리커 현상 감소
- ③케스케이딩 현상에 의한 정전 범위가 넓다
- ④공급 신뢰도 향상
- ⑤부하 밀집 지역



• 망상식, 네트워크 방식 network

- ①무정전 전력공급 가능
- ②대형 빌딩가 고밀도 부하 지역
- ③인축에 감전 위험이 높다
- ④네트워크 프로텍터-변전소 차단기 동작시 1차측으로 역가압



◎ 배전선로의 전기 공급 방식

• 1선당 전력 공급비

결선방식	공급 전력 1선당 공급비	1선당 공급 전력비	전선중량비=전력 손실비
단상 2선식	$P = VI$ $\frac{VI}{2}$	단상 2선식 기준	단상 2선식 기준
단상 3선식	$P = 2VI$ $\frac{2}{3} VI$	$\frac{\frac{2}{3}}{\frac{1}{2}} = \frac{4}{3} = 133\%$	$\frac{3}{8} = 37.5\%$
3상 3선식(Δ결선)	$P = \sqrt{3} VI$ $\frac{\sqrt{3}}{3} VI$	$\frac{\frac{\sqrt{3}}{3}}{\frac{1}{2}} = \frac{2\sqrt{3}}{3} = 115\%$	$\frac{3}{4} = 75\%$
3상 4선식(Y결선)	$P = \sqrt{3} VI$ $\frac{\sqrt{3}}{4} VI$	선간 $\frac{\frac{\sqrt{3}}{4}}{\frac{1}{2}} = 86.6\%$ 상 $\frac{\frac{3}{4}}{\frac{1}{2}} = 150\%$	$\frac{1}{3} = 33.3\%$

선간 전압기준 가장 큰 것 3상 3선식

상전압 기준 가장 큰 것 3상 4선식

◎ 전압의 n배 승압

- 전력손실 $P_\ell = I^2 R = \left(\frac{P}{V \cos \theta}\right)^2 R = \frac{P^2}{V^2 \cos^2 \theta} R$ $P_\ell \propto \frac{1}{V^2}$
- 전력 손실율 $K = \frac{P_\ell}{P} = \frac{\frac{P^2 R}{V^2 \cos^2 \theta}}{P} = \frac{PR}{V^2 \cos^2 \theta}$ $K \propto \frac{1}{V^2}$
- 공급전력 $P = K \frac{V^2 \cos^2 \theta}{PR}$ $P \propto V^2$
- 전선단면적 $P = \frac{KV^2 \cos^2 \theta}{R} = \frac{KV^2 \cos^2 \theta}{\rho \frac{\ell}{A}} = \frac{KV^2 \cos^2 \theta A}{\rho \ell}$ $A = \frac{\rho \ell}{KV^2 \cos^2 \theta}$ $A \propto \frac{1}{V^2}$
- 압 강하율 $e = \frac{P}{V}(R + X \tan \theta)$ $e \propto \frac{1}{V^2}$
 $\epsilon = \frac{P}{V^2}(R + X \tan \theta)$ $\epsilon \propto \frac{1}{V^2}$

V^2 에 비례($\propto n^2$) - P, ℓ

V^2 에 반비례($\propto \frac{1}{n^2}$) - $P_\ell, K, A, \epsilon,$

V 에 반비례($\propto n$) - e

• 단상 2선식

장점

1선당전력 공급비 1.33배

전력 손실비 전선 종량비 37.5%

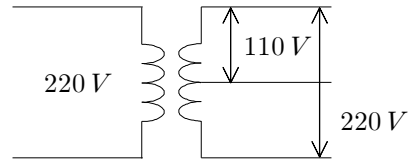
2종류의 전압 얻을수 있다

전압강하 손실 감소

단점

부하 불평형시 전압 불평형 발생

부하 불평형시 $\Rightarrow$ 중성선 단선 $\Rightarrow$ 전압 불평형이 되어 부하 소손 $\Rightarrow$ 말단에 저압 밸런서 설치



◎ 전원 종류별 배전 방식의 특징

• 교류 송전 방식

변압기 이용 전압의 크기 변환이 용이

일관된 운용 가능(200V, 60Hz)

회전 자계를 얻기 쉽다

• 직류 송전 방식

절연계급을 낮 출수 있다

송전 효율이 좋다 ($\cos \theta = 1$ 주파수가 없기 때문에 무효 전력이 없다)

안정도가 좋다

변환, 역변환 장치 비싸다 (인버터-DC $\rightarrow$ AC, 컨버터-AC $\rightarrow$ DC)

직류송전-해저 케이블

◎ 선로정수와 전압 강하

- 선로정수

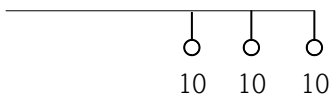
$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad L = 0.05 + 0.4605 \log \frac{D}{r}$$

- 전압강하

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

- 부하의 위치

균등 부하



$$\begin{aligned} \text{전압강하} &= \frac{1}{2} \\ \text{전력손실} &= \frac{1}{3} \end{aligned}$$

말단 집중 부하



◎ 부하특성

- 수용율-단독 수용가의 변압기 결정

$$\text{수용율} = \frac{\text{최대수용 전력}}{\text{수용설비용량}}$$

$$\text{변압기용량} = \text{최대수용 전력}$$

$$\frac{\text{수용설비용량} \times \text{수용율}}{\text{역율} \times \text{효율}}$$

- 부동율-다수 수용가 변압기 용량 결정

$$\text{부동율} = \frac{\text{각 수용가구의 최대수용 전력의 합}}{\text{합성 최대 수용 전력}}$$

$$\text{변압기용량} = \text{합성 최대 수용 전력}$$

$$\frac{\text{각수용가의 최대수용 전력의 합}}{\text{부동율} \times \text{역율} \times \text{효율}} \left(\frac{\text{설비용량} \times \text{수용율}}{\text{부동율}} \right)$$

- 부하율-전기 시설물 이용정도

$$\text{부하율} = \frac{\text{평균 전력}}{\text{최대수용 전력}} \times 100\%$$

$$\text{평균 수용전력} = \frac{\text{전력량 [kwh]}}{\text{기준시간 [h]}}$$

$$\frac{\text{일 사용 전력량}}{24\text{시간}}$$

$$\text{일 부하율} = \frac{\text{일 사용 전력량}}{\text{일 최대 전력량}} = \frac{\text{일 전력량}}{24 \times \text{일 최대 전력량}}$$

$$\text{월 부하율} = \frac{\text{전력량}}{24 \times 30 \times \text{월간 최대 전력량}}$$

$$\text{연 부하율} = \frac{\text{전력량}}{24 \times 365 \times \text{연간 최대 전력량}}$$

- 손실계수 H

$$H = \frac{\text{평균 손실 전력}}{\text{최대 손실 계수}}$$

- 부하율 F 손실계수 H와의 관계

$$1 > F > H > F^2 > 0$$

$$H = \alpha F + (1 - \alpha) F^2$$

단독 수용가의 수용율과 변압기 용량

TV: 300w 에어컨: 1000w
냉장고: 500w 다리미: 1000w
세탁기: 300w 히터: 700w

하절기로 에어컨과 히터는 동시에 사용하지 않는다 라고 가정하면

$$\text{수용율} = \frac{3100}{3800} \times 100 = 81.6$$
$$\text{변압기용량} = \frac{3100 \times 0.816}{0.8 \times (\text{효율})} = 2774.5w$$

다수 수용가의 부동율과 변압기 용량

	A	B	C
오전	100w	100w	$\boxed{400}$ = 600
오후	200w	200w	100 = 500
밤	$\boxed{300}$ w	$\boxed{300}$ w	200 = $\boxed{800}$

$$\text{부동율} = \frac{300 + 300 + 400}{800} = \frac{1000}{800} = 1.25$$
$$\text{변압기용량} = \frac{1000}{1.25 \times 0.8 \times (\text{효율})} = 1000w$$

오전 오후 밤

$$\text{부하율} = \frac{\frac{200 + 300 + 400}{3}}{400} = \frac{300}{400} = 0.75$$

◎ 배선 선로의 전압조정

공칭 전압	유지전압
110V	110V±6V
220V	220V±13V
380V	380V±38V
60Hz	60Hz±0.2Hz

• 주상 변압기의 1차측 탭 변환

$$\text{권수비 } n = \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow V_1 n_2 = V_2 n_1$$

$K = V_1 n_2$ 고정 값 이므

n_1 의 탭을 조정하면 V_2 전압이 변화 한다

$$V_2 = \frac{K}{n_1} \quad n_1 = \frac{K}{V_2} \quad (V_2 \propto \frac{1}{n_1})$$

• 승합기(단권 변압기)

$$\text{승압후 전압 } E_2 = E_1 + \frac{n_2}{n_1} E_1 = E_1 + \frac{e_2}{e_1} E_1$$

$$\frac{\text{자기용량 } w}{\text{부하용량 } W} = \frac{e_2 I}{E_2 I} = \frac{e_2}{E_2} w = \frac{e_2}{E_2} W (\text{단상 Y결선})$$

$$V\text{결선 } w = \frac{2}{\sqrt{3}} \left(\frac{e_2}{E_2} \right) W = \frac{2}{\sqrt{3}} \left(\frac{E_2 - E_1}{E_2} \right) W$$

$$\Delta\text{결선 } w = \frac{e_2}{\sqrt{3} E_2} W = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{E_2^2 - E_1^2}{E_2 - E_1} \right) W$$

• 유도 전압 조정기

$$\text{승압후 전압 } E_2 = E_1 + \frac{e_2}{e_1} E_1$$

• 고조파 경감 대책

직렬리액터 삽입 및 용량 증가

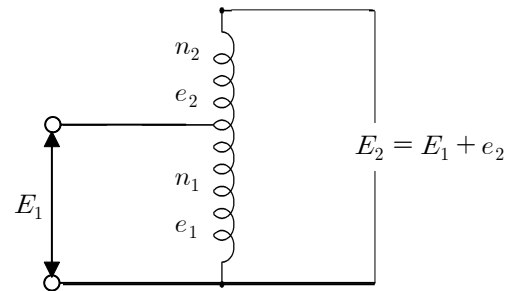
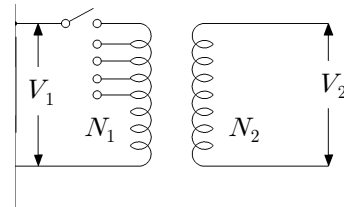
교류 필터 설치

기기자체의 고조파 내량을 강화

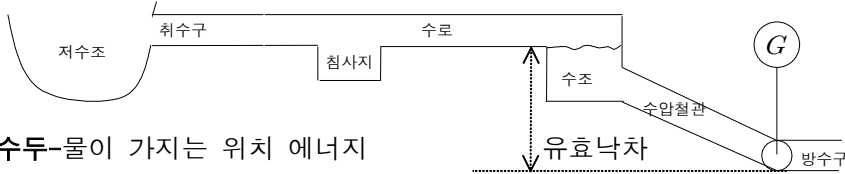
• 주상 변압기 보호

1차측-컷아웃 스위치

2차측-캐치홀더



● 수력발전 개요



• 수두-물이 가지는 위치 에너지

① 위치 에너지 $H[m]$

② 압력수두-물의 단위 체적당 중량 $w = 1000[kg/m^3]$ 압력 $P = \frac{P_2}{S} [kg/m^2] = wH$ $H = \frac{P}{w} = \frac{P}{1000} [m]$

③ 속도수두- $H = \frac{1mv^2}{2mg} = \frac{v^2}{2g} [m]$ $v^2 = 2gh$ $v = \sqrt{2gH} [m/sec]$ (g 중력가속도 9.8)

• 베르누이의 정리-수두 일정 $H_1 + \frac{P_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = H_2 + \frac{P_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g}$

• 유량 연속의 정리 $Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$

• 하천의 유량 측정

연평균 유량 $Q = \frac{\frac{a}{1000}bk}{365(일) \times 24(시간) \times 60(분) \times 60(초)} = 3.17abk \times 10^{-5} [m^3/sec]$ (a 강수량 $[mm]$ b 면적 k 유출계수)

• 유량도-매일 매일의 유량을 날자 순서로 나타낸 것

• 유황곡선-유량을 크기 순서에 따라 배열

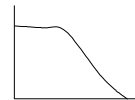
• 적산 유황곡선-사용량을 적산하여 나타낸 것 댐 설계 및 저수지 용량결정



유량도



적산 유황곡선



유황곡선

갈수량-355일	-80
저수량-275일	-90
평수량-185일	-90
홍수량-95	
고수량-1년에	1~2
홍수량-3~5년에	한번

• 수력발전의 종류

취수방식 (낙차)- 수로식, 댐식, 댐 수로식, 유역변경식

운용방법 (유량)- 자류식, 저수지식, 조정지식, 양수식

※ 양수식-심야나 휴일에 남는 전력으로 상부 저수지로 펌프, 전력 필요시 발전

• 출력 $P = 9.8QH\eta_t\eta_g [KW]$

Q 사용유량 $[m^2/sec]$ H 유효낙차 $[m]$ η_t 수차효율 η_g 발전기 효율

• 전력량 $P = 9.8QH\eta_t\eta_g t [kWh]$

• 양수발전의 출력 $P = \frac{9.8QH}{\eta_p\eta_m} [KW]$

Q 펌프의 양수량 $H[m]$ 양정 η_p 펌프 효율 η_m 전동기 효율

● 도수설비

• 수조 무압수조-가울기 $\frac{1}{1000} \sim \frac{1}{1500}$, 유량조절

조압수조-기울기 $\frac{1}{300} \sim \frac{1}{400}$, 유량+압력조절

{

차동수조-써징주기 최대

수실수조-수심이 깊을 경우

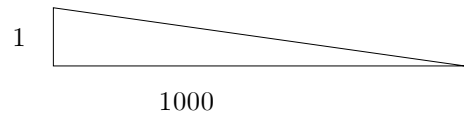
단동수조-수조 높이만을 증가

• 수압관로=수압철관 유량 $Q = \frac{\pi}{4} D^2 v [m^3/sec]$

• 수차의 종류

충동수차: 펄턴 (고 낙차용)

반동수차: 카플란, 프란시스, 프로펠러 (중, 저 낙차용)



- 펠턴수차

니들밸브- 서보모터로 조속기를 조절하여 유량 조절

- 카플란- 무구속 속도, 특유속도가 가장 크다

- 수차의 특유속도

$$N_s = NP^{\frac{1}{2}} H^{-\frac{5}{4}} = N \frac{P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}} [rpm] \quad N \text{수차의 회전수} \quad P \text{출력} \quad H \text{낙차}$$

- 수차의 무구속 속도: 무부하 속도가 상승

무부속 속도크기- 카플라>프로펠러>프란시스>펠턴

- 수차의 특유 속도

펠턴 $12 \leq N_s \leq 21$

$$\text{프란시스 } N_s \leq \frac{13000}{H+20} + 50$$

$$\text{카플란 } N_s \leq \frac{20000}{H+20} + 50$$

- 수차의 낙차에 대한 특성변화

$$\text{회전수} \quad \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$\text{유량} \quad \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$\text{출력} \quad \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^{\frac{3}{2}} = \frac{P_2}{P_1}$$

● 기타설비

- 조속기의 동작 순서- 평속기→배압밸브→서보모터→복원기구보

- 흡출관- 반동수타 낙차를 물리기 위한 설비

- 공동현상(케비테이션)

①부식, ②진동, 소음 발생, ③출력 및 효율의 저하

제11장 화력발전

24p

• 열역학

$$1[kwh] = 860[kcal] \quad 1[BTU] = 0.252[kcal]$$

$$1[cal] = 4.18[J] \quad 1[kcal] = 3.968[BTU]$$

• 포화증기

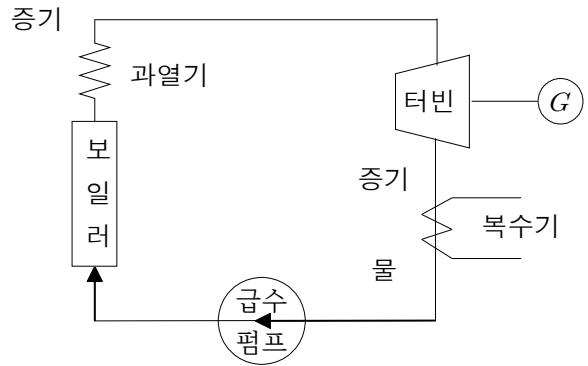
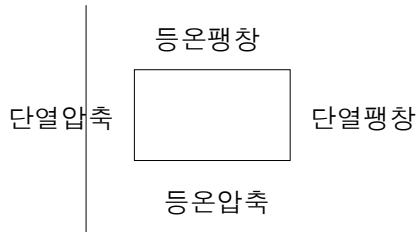
습포화증기, 건포화증기 → 과열증기

• 엔탈피- 전체열량

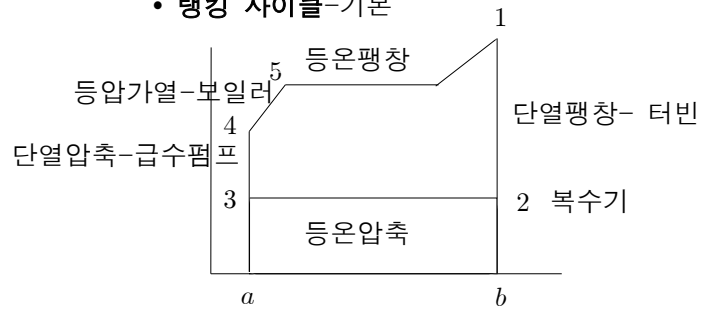
• 엔트로피- $\frac{\text{열량증가분}}{\text{절대온도}}$

◎ 화력 발전소의 열사이클

• 카르노 사이클-가장 이상적



• 랭킹 사이클-기본



$a451b$ 보일러 공급 열량

12345 발생한 일

$a32b$ 복수기에서 버리는 열량

• 재생사이클- 급수 가열기

• 재열사이클- 재열기

• 재생-재열사이클- 급수가열기+재열기

◎ 보일러 및 부속설비

• 공기 과잉율- 미분탄:1.2 ~ 1.4 중유:1.1 ~ 1.2

• 절탄기- 배기가스로 급수 가열

$$\text{보일러 효율} = \frac{\text{출력(증기)}[kcal]}{\text{입력(연료)}[kcal]} \quad \eta = \frac{G_s(i - i_0)}{WH}$$

$$\text{터빈 효율} \eta_0 = \frac{\text{출력}}{\text{입력}} = \frac{860P}{w(i_1 - i_2)} \times 100$$

$$\text{발전소 효율} \eta = \frac{\text{출력}}{\text{입력}} = \frac{\text{전기}}{\text{연료}} = \frac{860W}{mH} \times 100$$

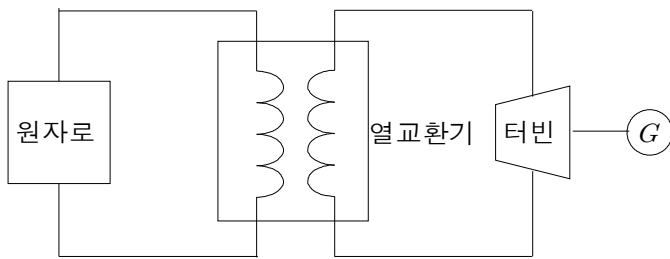
(W :발생한 총 전력량 m :소비된 총열량 H :소비된 총연료에 의한 발열량)

◎ 복수기 및 급수 장치

• 복수기 방열 손실- 5 ~ 55%

• 순환펌프- 복수기에서 냉각수를 보내기 위한 펌프

• 급수 펌프- 보일러에 용수를 공급



- ${}_{92}U^{235}$ 질량결손 $0.215[amu] = 200[MeV]$
- 우라늄 석탄
 $1g = 3.3t = 33000kg = 3300000g$
- 감속재-중성자 속도를 감소
 H_2O (경수), D_2O (중수), C (흑연), B (산화바륨)
- 냉각제- 원자로내의 발생열을 외부로 빼내는 역할
 CO_2 , He , H_2O , D_2O , Na
- 제어봉- 원자로 내에서 연쇄반응을 제어, 중성자 흡수
카드뮴(Cd), 붕소(B), 하프늄(Hf)
- 차폐재- 방사선을 차단하는 역할
납, 콘크리트, 물
- 독작용- 중성자를 잘 흡수하는 물질들이 원자로에유해작용
- 원자로의 종류
비등수형(BWR)- 열 교환기가 없다, 경수 사용
가압수형(PWR)- 경수로
가압중수형(PHWR)-중수로 천연 우라늄
고속증식로(FBR)- 고농축 우라늄 소요