

송배전 공학 정리

1. 선로정수 및 코로나
 - (1) 선로정수 (R, L, C, G)
 - (2) 인덕턴스 (L)

- ① 단도체의 인덕턴스 : $L = 0.05 + 0.4605 \log_{10} \frac{D}{r}$ [mH/km]
- ② 다도체의 인덕턴스 : $L_n = \frac{0.05}{n} + 0.4605 \log_{10} \frac{D}{n \sqrt{r s^{n-1}}}$ [mH/km]

- (2) 정전용량(C)

- ① 단도체의 정전용량 $C = \frac{0.02413}{\log_{10} \frac{D}{r}}$ [$\mu F/km$]

- (2) 선로의 작용 정전 용량

- ① 단상 1회선의 경우 $C = C_s + 2C_m$
- ② 3상 1회선의 경우 $C = C_s + 3C_m$

- (3) 충전용량

- (1) 충전전류 : $I_c = \frac{E}{X_c} = \omega CE = 2\pi f C \times \frac{V}{\sqrt{3}}$ [A]

- (2) 충전용량 : $Q_c = 3\omega CE^2$

- (4) 코로나

- (1) 파열극한 전위경도

직류 : 30[kV/cm], 교류 : 21[kV/cm] (실효값), 30[kV/cm] (최대값)

- (2) 코로나의 영향

- ① 전력손실 : peak 식으로 계산
- ② 코로나 잡음
- ③ 전선 부식 (원인 : 오존 O_3)
- ④ 유도장해
- ⑤ 진행파의 파고값 감소(코로나의 장점)

- (3) 코로나의 방지대책

기 코로나 임계전압 E_0 를 크게 한다.

$$E_0 = 24.3 m_0 m_r \delta \log_{10} \frac{D}{r} \text{ [kV]}$$

여기서, δ : 상대공기밀도 ($\delta = \frac{0.386b}{273+t}$), m_0 : 전선 표면계수,

m_r : 기후에 관한 계수, r : 전선의 반지름[m], D : 선간거리[km]

- ① 전선의 지름을 크게 한다.
- ② 다도체(복도체)를 사용한다. : 코로나의 근본 대책
- ③ 가선 금구를 개량한다.

- (5) 연가

- (1) 연가

3상 3선식에서 전체 선로 길이를 3의 정수 배로 나누어 각상의 전선의 위치를 조정 및 등가 선간 거리를 동일하게 조정하여 선로 정수를 평형

- (2) 연가의 효과

- ① 각상의 전압강하 동일
- ② 통신선 유도장해 경감
- ③ 소호리액터 접지 시 직렬공진에 의한 이상전압 상승 방지

- (6) 다도체 방식

- ① 인덕턴스의 감소
- ② 정전용량의 증대
- ③ 코로나 임계전압 상승에 의한 코로나 방지
- ④ 전류 용량 및 송전용량 증대
- ⑤ 고임현상 및 소도체 충돌현상 발생 대책 : 스페이서 설치
- ⑥ 단락시 대전류가 흘러 소도체 사이에 흡인력 발생

- (2) 송전 특성

1) 단거리 송전선로 : R, L 만 고려(C, G 무시), 집중정수회로 취급

- (1) 전압강하 e

$$e \text{ 단상} = I(R \cos \theta + X \sin \theta) \text{ [V]}$$

$$e_3 \text{ 상} = \sqrt{3} I(R \cos \theta + X \sin \theta) = \frac{P}{V_r} (R + X \tan \theta) \text{ [V]}$$

- (2) 전압강하율 δ

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

- (3) 전압변동율 ϵ

$$\epsilon = \frac{V_{ro} - V_r}{V_r} \times 100 \text{ [%]}$$

여기서, V_{ro} : 무부하시 수전단 전압, V_r : 수전단 전압

- (4) 전력손실 PI

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

2) 중거리 송전선로 : R, L, C 만 고려(G 무시), T형회로 혹은 π 형회로
 $E_s = AE_r + BI_r, I_s = CE_r + DI_r$

4단자 정수	T형	π 형
A $\frac{V_s}{V_r} _{I_R=0}$	$1 + \frac{ZY}{2}$	$1 + \frac{ZY}{2}$
B $\frac{V_s}{V_r} _{V_R=0}$	$Z \left(1 + \frac{ZY}{4} \right)$	Z
C $\frac{I_s}{V_r} _{I_R=0}$	Y	$Y \left(1 + \frac{ZY}{4} \right)$
D $\frac{I_s}{I_r} _{V_R=0}$	$1 + \frac{ZY}{2}$	$1 + \frac{ZY}{2}$

- (3) 장거리 송전선로 : R, L, C, G 를 고려, 분포정수회로 취급

- (1) 특성임피던스

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \approx \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ [\Omega]} (\because R=0, G=0), Z_0 = 138 \log_{10} \frac{D}{r} \text{ [\Omega]}$$

- (2) 전파정수 r

$$r = \sqrt{ZY} = \sqrt{(R + j\omega L)(C + j\omega C)}$$

- ① 무손실 조건 $R = G = 0$

- ② 무왜형 조건 $RC = LG$

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

- (4) 송전용량

- (1) 송전전력

$$P = \frac{V_s V_r}{X} \sin \delta \text{ [MW]}$$

여기서, V_s, V_r : 송수전단 전압[kV]

X : 선로의 리액턴스[Ω], δ : 송수전단 전압의 위상차

- (2) 송전전력의 계산

① 고유부하법 : 수전단 전압만 고려

$$P = \frac{V_r^2}{Z_0} \text{ [MW/회선]} \quad Z_0 : \text{특성 임피던스(대략 } 400 \text{ [\Omega])}$$

- ② 송전용량 계수법 : 수전단 전압 및 송전거리 고려

$$P = k \frac{V_r^2}{l} \text{ [kW]}$$

여기서, k : 용량계수 V_r : 수전단 선간전압[kV] l : 송전거리[km]

- (5) 경제적인 송전전압의 결정(still의 식)

$$V \text{ [kV]} = 5.5 \sqrt{0.6l \text{ [km]} + \frac{P \text{ [kW]}}{100}}$$

- (6) 조상설비

- (1) 조상설비의 종류

조상설비는 송전선로의 무효전류를 조정하여 송수전단의 전압을 일정하게 유지

- (2) 조상설비의 비교

항목	전력용 콘덴서	분로 리액터	동기 조상기
무효전류	진상	지상	지상과 진상 양용
조정방법	불연속	불연속	연속적
시 송전	불가능	불가능	가능

- (3) 콘덴서 및 리액터의 종류 및 목적

종류	목적
콘덴서	직렬 콘덴서 : 전압강하 보상 병렬 콘덴서 : 역률 개선
리액터	한류 리액터 : 단락전류제한 \rightarrow 차단기 용량 경감
	직렬 리액터 : 제5고조파제거(이론적 : 콘덴서 용량의 4[%], 실제6[%])
	분로 리액터 : 페란티현상 방지 소호 리액터 : 지락 아크의 소호

- (3) 고장해석

- 1) 3상 단락고장

- (1) 옴법

- ① 단락전류 $I_s = \frac{E}{Z} = \frac{E}{\sqrt{R^2 + X^2}}$ [A]

- (2) %법

- ① $\%Z = \frac{I_n \text{ [A]} \cdot Z \text{ [\Omega]}}{E \text{ [V]}} \times 100 \text{ [%]} = \frac{Z \text{ [\Omega]} \cdot P \text{ [kVA]}}{10 V^2 \text{ [kV]}} \text{ [%]}$

- ② 단락전류 $I_s = \frac{100}{\%Z} \times I_n$ ③ 단락용량 $P_s = \frac{100}{\%Z} \times P_n$

- (2) 대칭표방법

비대칭 3상 교류 = 영상분 + 정상분 + 역상분

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

- (3) 교류발전기 기본식

$$V_0 = -Z_0 I_0 \quad V_1 = E_a - Z_1 I_1 \quad V_2 = -Z_2 I_2$$

- (4) 1선 지락전류

$$I_{g1} = 3I_0 = \frac{3E_a}{Z_0 + Z_1 + Z_2}$$

- (5) 사고별로 존재하는 대칭성분

사고종류	정상분	역상분	영상분
1선지락	○	○	○
2선단락	○	○	
3선단락	○		

- (4) 중성점 접지방식

- 1) 접지목적

① 1선지락시 전위상승 억제, 계통의 기계 기구의 절연 보호

② 지락 사고시 보호계전기 동작 확실

③ 안정도 증진

④ 피뢰기 효과 증진

⑤ 단절연, 절감절연

⑥ 유도장해의 방지

2) 중성점의 접지방식 비교

방식	보호계 동작	지락 전류	고장중 운전	전위 상승	과도 안정도	유도장해	특징
직접접지 (22.9, 154, 345[kV])	확실	최대	×	1.3	최소	최대	중성점영전위, 단절연가능
저항접지	↓	↓	×	$\sqrt{3}$	↓	↓	
비접지 (3.3, 6.6[kV])	×	↓	가능	$\sqrt{3}$	↓	↓	저전압 단거리기에 적용
소호리액터접지 (66[kV])	불확실	최소	가능	$\sqrt{3}$ 이상	최대	최소	병렬공진, 고장전류최소

- * 비접지 방식 지락전류

$$I_g = \frac{E}{Z} = j\omega 3C_s E$$

- * 소호 리액터 접지 방식

소호리액터 용량 : 3선일괄의 대지 충전용량

$$\omega L = \frac{1}{3\omega C_s} \text{ [\Omega]}$$

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

- 5) 이상전압 및 개폐기
 (1) 내부 이상 전압 : 개폐서지
 개폐 이상 전압, 사고시 과도 이상 전압, 계통 조작과 고장시 지속 이상 전압

- (2) 외부 이상 전압 : 직격뢰, 유도뢰
 (1) 외부 이상전압에 대한 방호대책
 ① 가공지선 : 직격뢰 차폐(차폐각이 작을수록 차폐효과 우수)
 ② 매설지선 : 탐각접지저항 값의 감소 → 역설각 방지
 ③ 아킹흔, 아킹링 : 애자련 보호
 ④ 파뢰기 : 기계 기구 보호
 3) 뇌서지
 (1) 파형 : 파두장 × 파미장 = 1.2 × 50 [μsec]
 * 뇌서지와 개폐서지는 파두장과 파미장이 모두 다름.
 (3) 진행파

① 반사계수 $\beta = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$, $Z_1 = Z_2$ (무반사 조건)
 ② 투과계수 $\gamma = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$

4) 피뢰기
 (1) 특징

특성	① 뇌전류 방전	② 속류차단	③ 선로 및 기기보호
정격	2,500[A], 5,000[A], 10,000[A]		
제한전압	충격파 전류가 흐르고 있을 때 단자전압		
정격전압	속류가 차단되는 교류 최고전압		
구성	특성요소와 직렬접		
구비조건	① 제한전압은 낮게 ② 속류 차단 능력 우수 ③ 충격 방전 개시 전압은 낮고, 사용주파 방전 개시 전압은 높게		

- (2) 피뢰기의 제1보호대상
 제 1보호 대상 : 변압기(절연협조의 기본)

5) 차단기
 (1) 차단기의 종류

약호	명칭	소호 매질
ABB	공기 차단기	압축공기
GCB	가스 차단기	SF ₆ (육불화유황)
OCB	유입 차단기	절연유
MBB	자기 차단기	전자력
VCB	진공 차단기	진공

- (2) 차단기의 정격차단용량
 정격차단용량 [MVA] = $\sqrt{3} \times$ 정격전압 [kV] × 정격차단전류 [kA]
 * 정격전압 = 공칭전압 × $\frac{1.2}{1.1}$

- (3) 차단기의 정격차단시간
 트립코일 여자로부터 아크 소호까지의 시간(3-8[Hz])

6) 보호계전기

- (1) 보호계전기의 종류(동작상 분류)
 ① 순한시 계전기 : 정정된 최소 동작 전류 이상의 전류가 흐르면 즉시 동작
 ② 반한시 계전기 : 정정된 값 이상의 전류가 흘려서 동작할 때 계전기 동작시간과 전류는 서로 반비례
 ③ 정한시 계전기 : 정정된 값 이상의 전류가 흐르면 항상 정해진 일정시간에서 동작
 ④ 반한시 정한시 계전기 : 어느 전류값까지는 반한시성이지만 그 이상이 되면 정한시 특성을 갖는 계전기
 (2) 보호계전기의 선정

대상	보호계전기	
선로	방사상선로	전원이 1단에만 존재 과전류 계전기 계전기의 한시차(0.4~0.5초)
	환상선로	전원이 양단에 존재 방향 단락 계전기 + 과전류 계전기
	환상선로	전원이 양단에 존재 방향 거리 계전기
발전기, 변압기 보호	비호출력 계전기(변압기 보호) 차동계전기 : 양단 전류차에 의해 동작 비율 차동 계전기	

- (3) PT 및 CT점검
 ① PT 점검시 : 2차측 개방 ② CT 점검시 : 2차측 단락(2차측 절연보호)
 6. 유도장해
 1) 유도장해의 종류

종류	원인	공식	병행길이관계
정전유도장해	영상전압, 상호정전용량	$E_s = \frac{C_{ab}}{C_{ab} + C_0} E_0$	길이와 무관
전자유도장해	영상전류, 상호인덕턴스	$E_m = j\omega MI_0$	길이에 비례

2) 유도장해 방지대책

전력선측	통신선측
여가를 충분히 한다 소용돌이전지 방식 → 지락전류소멸 고속도 차단기 설치 이격거리 크게 한다 차폐선을 설치(30~50[%] 경감)	전력선과 교차시 수직교차 케이블화 절연강화 배류코일(초크 코일) 설치 피뢰기 시설 소용돌이전지

7. 안정도
 1) 안정도의 정의
 전력계통에서 상호 협조 하에 동기이탈 하지 않고 안정하게 운전 할 수 있는 정도

- ① 정태 안정도 : 불변 부하 또는 극히 서서히 증가하는 부하에 대해 계속적으로 송전할 수 있는 능력
 ② 과도 안정도 : 계통에 급격한 외란이 발생하였을 때 탈조하지 않고 새로운 평형 상태를 회복하여 송전을 계속할 수 있는 능력
 2) 안정도의 향상 대책
 (1) 직렬 리액턴스를 작게 한다.
 ① 발전기나 변압기의 리액턴스를 작게 한다.
 ② 선로의 병행 회선수를 늘리거나 복도체 또는 다도체 방식을 사용한다.
 ③ 직렬 콘덴서를 삽입하여 선로의 리액턴스를 보상한다.

- (2) 전압 변동을 작게 한다.
 ① 속응 여자 방식을 채용한다.
 ② 계통을 연계한다.
 ③ 중간조상 방식을 채용한다.
 ④ 고장전류를 줄이고 고장 구간을 신속하게 차단한다.
 ① 적당한 중성점 접지 방식을 채용하여 지락전류를 줄인다.
 ② 고속도 계전기, 고속도 차단기를 채용한다.
 ④ 고장시 발전기 입출력의 불평형을 작게 한다.
 ① 조속기의 동작을 빠르게 한다.
 ② 고장 발생과 동시에 발전기 회로의 저항을 직렬 또는 병렬로 삽입하여 발전기 입출력의 불평형을 작게 한다.
 8. 전선로
 1) 연선
 ① 소선의 총수 $N = 3n(n+1) + 1$ (n :층수)
 ② 연선의 지름 $D = (2n+1)d$ (d :소선1개의 지름)
 ③ 연선의 단면적 $A = \frac{1}{4}\pi d^2 \times N$ (N :소선의 총수)

- 2) 현수애자
 (1) 목적
 전선을 지지하고 전선과 지지물간의 절연 간격을 유지한다.
 (2) 전압분담
 • 최대 : 전선에 가장 가까운 애자
 • 최소 : 절점에서 1/3 또는 전선에서 2/3되는 지점의 애자
 (3) 애자의 효율

$$\eta = \frac{V_n}{n V_1} \times 100 [\%]$$

여기서, n : 애자의 개수
 V_1 : 애자 1개의 성락전압, V_n : 애자련의 성락전압

(4) 전선로의 합성하중

- $W = \sqrt{(W_c + W_i)^2 + W_w^2}$ [kg/m]
 여기서, W_c : 전선의 하중, W_i : 빙설 하중, W_w : 풍압하중
 (5) 이도 및 전선의 길이

이도 $D = \frac{WS^2}{8T}$ [m], 전선의 실제 길이 $L = S + \frac{8DS^2}{3S}$ [m]

9. 배전

1) 배전방식

가지식(수지상식)	망상식(네트워크)	저압배강방식
① 전선수에 경제성 ② 동전압에 적합 ③ 고장시 고장소 파악 용이 ④ 동전압에 적합	① 전압변동이 적다 ② 전선사고가 발생시 수리비가 저렴하다 ③ 네트워크가 프로덕트 ④ 전압변동 차단을 위한 계전기 • 방형 • 루프 구조	① 전압변동이 적고 용동성 향상 ② 부분회로에 정감 대용량 발생 ③ 케스케이딩기 일부분 또는 전부가 차단되는 현상

2) 전기방식별 비교

종별	전력	손실	전선량	전선중량비	1선당 공급전력비교
1φ2w	$P = VI\cos\theta$	$2I^2R$	2W	1	100[%]
1φ3w	$P = 2VI\cos\theta$	$2I^2R$	3W	3/8	133[%]
3φ3w	$P = \sqrt{3} VI\cos\theta$	$3I^2R$	3W	3/4	115[%]
3φ4w	$P = 3VI\cos\theta$	$3I^2R$	4W	4/12	150[%]

3) 부하 관계 용어

- 부하율 = $\frac{\text{평균전력}}{\text{최대전력}} \times 100 [\%]$
 수율률 = $\frac{\text{실비용량}}{\text{각개최대수용전력의합}} \times 100 [\%]$
 부등률 = $\frac{\text{합성최대수용전력}}{\text{합성최대수용전력}} \times 100 [\%]$
 여기서, 부하율, 수율률 < 1, 부등률 > 1

4) 변압기 용량 선정

변압기 용량 [kVA] ≥ 합성최대전력
 $= \frac{\text{개별최대수용전력}}{\text{부등률}} = \frac{\text{실비용량} [kVA] \times \text{수율률}}{\text{부등률}}$

5) 손실계수와 부하율의 관계

- ① $1 \geq F \geq H \geq F^2 \geq 0$
 ② $H = aF + (1-a)F^2$
 여기서, F : 부하율 H : 손실계수 a : 정수-보통 0.2-0.5

6) 역률 개선용 콘덴서의 용량

$Q_c = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) = P \left(\frac{\sin\theta_1}{\cos\theta_1} - \frac{\sin\theta_2}{\cos\theta_2} \right)$ [kVA]

여기서, Q_c : 콘덴서 용량 [kVA]
 P : 부하전력 [kW]

- $\cos\theta_1$: 개선 전 역률
 $\cos\theta_2$: 개선 후 역률