

KR E-02040

Rev.10, 28. March 2025

변전소의 간격 및 위치

2025. 03. 28



국가철도공단

REVIEW CHART

| 개정 번호 | 개정 일자 | 개정사유 및 내용(근거번호) | 작성자 | 검토자 | 승인자 |
|----------|-------------|---|-------------------|------------|-----|
| 0 | 2008.11.12 | 철도전철전력설비 시설지침 제정 (국토부→공단 이관, 제정) (기준탐-2757호, '08.11.12) | 유향복 이해원 | 이시용 김도원 | 강창호 |
| 1 | 2010.02.10 | 철도전철전력설비시설지침 전면개정 (기준심사처-269호, '10.02.10) | 김동철 박순달 조성희 | 유승위 김도원 | 김영국 |
| 2 | 2011.12.01 | 철도전철전력설비설계지침 제정 (국토부 기준관리 체계 부합화) (설계기준처-373호, '11.12.01) | 최석효 이해원 조성희 | 석종근 양인동 | 김영우 |
| 3 | 2012.12.05 | 설계기준체계 전면개정 (설계기준처-3537호, 12.12.05) | 최석효 | 석종근 김은태 | 김영우 |
| 4 | 2014.03.06 | 철도설계기준(시스템편) 개정반영 (설계기준처-554, '14.03.06) | 최석효 | 유승위 김은태 | 김영우 |
| 5 | 2014.12.29 | 철도설계지침 및 편람(KR CODE) 개정 (설계기준처-3909, '14.12.29) | 최석효 | 김대원 최태수 | 이동렬 |
| 6 | 2020.02.15 | 철도설계지침 및 편람개정 (기준심사처-483, '21.02.09) | 임남희 이석원 | 박창완 구연봉 | 최원일 |
| 7 | 2022.12.09. | 철도설계지침 및 편람 개정 (기준심사처-4696, '22.12.07) | 황재광 양다은 | 이창현 박재윤 | 김종호 |
| 8 | 2023.11.27. | 관계 법령, 설계기준 등 인용 기준 최신화, 표현방식 변경, 오류사항 수정 등 단순사항 수정 (기준심사처-4429호, '23.11.27) | 황재광 양다은 | 이창현 황석규 | 김종호 |
| 9 | 2024.11.25 | KR CODE 고도화 방안에 따른 전면개정 (심사기준처-3508호, '24.11.22) | 황재광 이석원 | 백효순 황석규 | 손병두 |
| 10 | 2025.03.28 | 공단 건설기준 내실 정비 방안에 따른 개정 (심사기준처-1192호, '25.03.27) | 황재광 이석원 | 황석규 | 박진용 |
| | | | | | |
| | | | | | |

목 차

지침

| | |
|--------------------|---|
| 1. 변전소의 간격 | 1 |
| 2. 변전소 등의 위치 | 1 |

편람

| | |
|------------------------------------|----|
| 해설 1. 변전소의 간격 | 2 |
| 1.1 변전소 간격 선정 기준 | 3 |
| 해설 2. 변전소 등의 위치 | 14 |
| 2.1 공통사항 | 15 |
| 2.2 전철변전소 | 15 |
| 2.3 보조급전구분소 및 급전구분소 | 16 |
| 2.4 전철변전소 및 급전구분소 설치 조건 및 기준 | 16 |

| | |
|-------------------------------|----|
| 참고 1. 전압강하 계산 | 17 |
| 1.1 부하산정 | 17 |
| 1.2 부하산정의 예 | 17 |
| 1.3 교류전차선로의 선로정수 | 17 |
| 1.4 단상교류회로에서 전압강하의 간이계산 | 19 |
| 1.5 AT방식 전압강하 계산 | 20 |
| 1.6 고장전류 계산 예 | 21 |

| | |
|----------------------|----|
| RECORD HISTORY | 36 |
|----------------------|----|

경 과 조 치

이 철도설계지침 및 편람(KR CODE) 이전에 이미 시행중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 “철도설계지침 및 편람”을 그대로 사용할 수 있습니다.

일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 “철도설계지침” 및 “편람”을 국제적인 방식에 맞게 체계를 각 코드별로 변경하였습니다.
또한, 모든 항목에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 코드별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 “철도설계지침 및 편람(KR CODE)”은 개정 소요가 발생할 때마다 각 코드별로 수정되어 공단 EPMS, CPMS에 게시되며 설계적용시 최신판을 확인 바랍니다.
- “철도설계지침 및 편람(KR CODE)”에서 “지침”은 설계 시 준수해야 하는 사항이며, “편람”은 설계용역 업무수행에 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서로 지침에 대한 해설과 참고자료를 수록하였습니다.

1. 변전소의 간격

- (1) 변전소의 간격은 전차선전압의 최저한도를 유지할 수 있고 급전계통에서 발생하는 사고전류를 확실하게 검출하여 차단할 수 있는 간격이어야 한다.
- (2) 열차운전의 실적 및 계산에 의하여 정하되, 열차운전계획·선구의 중요도 및 장래 수송수요를 고려한다.
- (3) 단권변압기 방식의 사고전류는 급전전압 55kV를 적용하여 산출한다.

2. 변전소 등의 위치

변전소등의 위치는 급전구간의 부하중심으로 하되 다음의 각호를 감안하여 결정한다.

- (1) 전원에 가까운 곳(변전소에만 해당)
- (2) 기기와 시설자재의 운반이 편리한 곳
- (3) 공해·염해·수해 등 각종 재해의 영향이 최소화 되는 곳
- (4) 보호지구(개발제한지구, 문화재보호지구, 군사시설보호지구 등) 또는 보호시설물에 가급적 지장을 주지 않는 곳
- (5) 변전소나 구분소 앞 절연구간에서 열차의 타행운전(동력을 주지 아니하고 관성으로 운전하는 것을 말한다)이 가능한 곳
- (6) 민원발생가능성이 적은 곳



해설 1. 변전소의 간격

※ 아래는 사용자 편의를 위해 본 해설과 연관된 기준을 표현한 것이며, 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.

철도건설규칙

제29조(전철변전소의 위치)

- ① 전철변전소나 급전구분소(給電區分所) 등의 위치는 급전구간의 부하중심으로 하되, 건설 및 운영 측면을 고려하여 정하여야 한다.
- ② 전철변전소의 간격은 전차선 전압의 최저한도를 유지할 수 있고 급전계통에서 발생하는 사고전류를 검출할 수 있는 간격으로 정하되, 열차운행계획, 선로구간의 중요도, 앞으로의 수송수요 등을 고려하여야 한다..

철도설계기준(KDS 47 30 20 전철전원 설비)

2.1.1 전철전원설비의 계획

2.1.1.4 변전소 등의 위치

- (1) 변전소의 간격은 전차선전압의 최저한도를 유지할 수 있고 급전계통에서 발생하는 사고전류를 확실하게 검출할 수 있는 간격으로, 열차운전의 실적 및 계산에 의하여 정하되, 열차운전계획·선구의 중요도 및 장래의 수송수요를 고려한다.
- (2) 변전소나 급전구분소 등의 위치는 다음 각 호의 사항을 고려하여 결정하여야 한다.
 - ① 전원에 가까운 곳(변전소에만 해당)
 - ② 변압기 등 변전기와 시설자재의 운반이 편리한 곳
 - ③ 공해, 염해 등 각종 재해의 영향이 최소화 되는 곳
 - ④ 보호지구(개발제한지구, 문화재보호지구, 군사시설보호지구 등) 또는 보호시설물에 가급적 지장을 주지 아니하는 곳
 - ⑤ 변전소나 구분소 앞 절연구간에서 열차의 타행운전(동력을 주지 아니하고 관성으로 운전하는 것을 말한다)이 가능한 곳
 - ⑥ 민원발생 요인이 적은 곳

철도설계지침

1. 변전소의 간격

- (1) 변전소의 간격은 전차선전압의 최저한도를 유지할 수 있고 급전계통에서 발생하는 사고전류를 확실하게 검출하여 차단할 수 있는 간격이어야 한다.
- (2) 열차운전의 실적 및 계산에 의하여 정하되, 열차운전계획·선구의 중요도 및 장래 수송수요를 고려한다.
- (3) 단권변압기 방식의 사고전류는 급전전압 55kV를 적용하여 산출한다.

변전소 설치 간격은 연장급전 시에 변전소 급전말단의 전차선 전압이 전기차 운전에 지장이 없는 최저 기준전압을 유지하여야 하며 급전계통에 발생하는 사고전류를 확실히 검출하여 차단할 수 있는 간격이어야 한다.

1.1 변전소 간격 선정 기준

전차선 전압의 최저한도는 열차운전 상태 및 계산에 의하여 산정하고 계산에는 열차운전계획, 선구의 중요도, 장래 수송수요 등을 고려하여야 한다.

전압강하는 전기차의 정상운전에 지장이 없고 전동기에 과도한 온도상승이 발생되지 않으며 순시 최대 전압강하가 전기차의 제어전원 또는 보조기기 운용에 지장을 주지 않도록 설정되어야 한다.

전차선로의 전압강하는 열차운전 조건(열차단위, 열차간격, 기울기, 장거리 간격 등), 급전계통(급전방식, 급전선의 종류) 및 변전소 간격 등에 의해 결정된다. 전압강하의 경감대책으로는 급전선의 증설에 의한 선로저항의 경감, 변전소의 증설, 급전전압 보상장치의 설치, 교류의 상하선 접속(cross bonding)에 의한 방법 등을 적용 가능하다.

1.1.1 수전계통의 전압강하(3상평형부하의 경우)

전차 선로의 전압 강하는 열차 운전 조건 (열차 단위 · 열차 간격 · 기울기 · 정차장 간격 등). 급전 계통 (급전 방식 · 급전선의 종류) 및 변전소 간격 등에 따라 정해진다. 전압 강하의 경감 대책으로서 급전선의 증설에 따라 선로 저항의 경감, 변전소의 증설, 급전 전압 보상 장치의 설치, 직류 복선 구간 경우 급전 구분소, 급전 타이포스트, 교류의 상하 타이방식에 의한 방법이 있다.

1.1.1.1 전압강하 영향

(1) 전기차 속도특성 감소

전기차의 전동기 특성은 같은 견인력에 대하여 속도는 전압에 거의 비례하여 저하되므로 전차선 전압이 내려가면 같은 표정속도를 유지하기 위해서는 역행시간이 길어지거나 혹은 규정의 운행시간이 유지될 수 없게 된다.

(2) 전기차 보기 기능 상실

주간제어기나 주회로의 개폐기 등을 조작하기 위하여 보기로 사용하는 전동기의 특성은 전차선 전압이 어느 정도 떨어져도 출력 측의 제어전원전압은 그다지 떨어지지 않는 특성을 가지고 있으나 이 제어전원은 어느 한도를 넘어가면 급격히 출력이 떨어져서 운전불능으로 된다.

1.1.1.2 전압의 변동범위

표 1. 전압의 변동범위

| 구 분 | 전 압[kV] |
|------------------------|---------|
| 최고 전압 (5분간 허용되는 최고) | 29 |
| 연속 최고 전압 | 27.5 |
| 공칭 전압 | 25 |
| 연속 최저 전압 | 19 |
| 비지속성 최저전압(2분) | 17.5 |



직류방식으로 시행할 경우에는 1,500V를 기준으로 한다.

1.1.1.3 전압강하의 경감대책

교류방식의 선로임피던스는 저항분에 비해서 리액턴스분이 크기 때문에 도체의 단면적을 증가시켜 저항분을 감소 시켜도 선로임피던스의 경감효과가 작다.

(1) 직렬콘덴서를 사용하여 리액턴스분을 보상하는 방법

직렬콘덴서는 가격은 저렴하지만 전차선로 전 구간의 전압을 상승시켜 경부하 시에 과전압이 되는 경우가 있고 공진현상을 일으키는 등의 단점이 있다.

(2) 단권변압기의 승압효과를 이용하는 방법

(3) 자동전압 보상장치를 사용하여 부하전류의 변화에 대응하여 전압을 조정하는 방법

무효전력 보상장치(SVC, SPQ 등)는 부하상태를 감지하여 필요한 만큼의 무효전력을 공급하기 때문에 저전압 상태에서만 동작하여 효과적인 전압보상을 기할 수 있으나 가격이 비싸다는 단점이 있다. 이 장치는 전차선 전압을 검출하여 일정 전압 이하로 내려가면 필요에 따라 한 개 또는 두 개의 뱅크를 선택하고 사이리스터 스위치에 신호를 보내어 콘덴서를 투입하게 된다.

(4) 전기차의 역률을 개선하는 방법

(5) 변전소에서 병렬콘덴서를 부하와 병렬로 접속하고 무효전력을 공급하여 부하의 역률을 개선하는 방법

(6) 동기조상기를 설치하는 방법

(7) 동축케이블을 급전선으로 사용하는 방법

3상 평형부하시의 수전계통의 전압강하(정격전압에 대한 %)는 다음에 의하여 구한다.(그림 참조)

$$E_s - E_r = (\%Z) \times \frac{\text{부하 (kVA)}}{100,000(\text{kVA})} \times \cos(\Theta - \phi)$$

다만, Θ 는 수전계통의 임피던스각

ϕ 는 부하의 역률

E_s 는 송전전압

E_r 는 수전전압

일반적으로 $\Theta=90^\circ$ 로 되는 경우가 많기 때문에 이 경우는 다음 식으로 된다.

$$E_s - E_r \approx (\%Z) \times \frac{\text{부하 (kVA)}}{100,000(\text{kVA})} \times \sin \phi$$

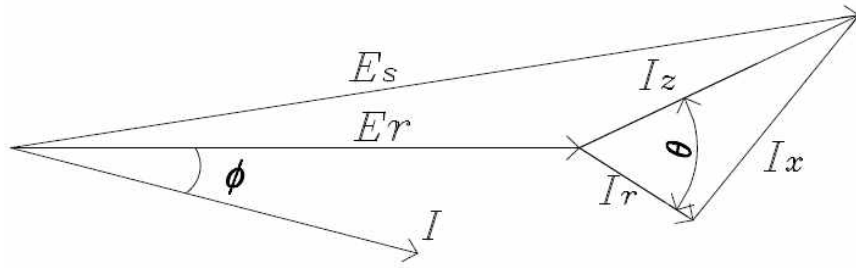


그림 1. 전압강하 벡터도

1.1.2 수전계통의 전압불평형률

교류전철화 구간의 급전용 변전소의 수전계통의 전압불평형률은 전압의 정상성분과 역상성분의 비로 정의하며, 그 변전소의 수전점에서 3% 이하로 한다.

(「한국전기설비규정(KEC) 핸드북」의 “411.1 전력수급조건” 중 “2 수전계통의 계통구성 고려사항” 및 한전 「송·배전용 전기설비 이용규정」의 “별표 3”)

(1) 단상 결선인 경우

$$K = ZP \times 10^{-4}$$

K : 백분율로 표시한 전압불평형률

Z : 변전소의 수전점에서의 3상 전원계통의 10,000kVA를 기준으로 하는 퍼센트 임피던스 또는 퍼센트 리액턴스

P : 전기철도용 급전 전구역에서의 연속 2시간의 평균부하(kVA를 단위로 한다)

(2) T결선인 경우

$$K = Z(P_A - P_B) \times 10^{-4}$$

P_A, P_B : 각각의 전기철도용 급전 구역에서의 연속 2시간 평균부하(kVA를 단위로 한다)

K, Z : 각각 제1호에 정하는 바에 의한다.

(3) V결선인 경우

$$K = Z \sqrt{P_A^2 - P_A P_B + P_B^2} \times 10^{-4}$$

K, Z : 각각 제1호에, P_A 및 P_B는 각각 제2호에 정하는 바에 의한다.

1.1.3 전차선로의 전압강하

전압강하 및 고장전류의 계산은 아래 방법에 의한다. 사고전류 검출의 고려방안은 보호협조내용을 참조한다.

전차선로의 전압강하는 열차운전 조건 (열차단위, 열차간격, 기울기, 정거장간격 등), 급전계통(급전방식, 급전선의 종류) 및 변전소 간격 등에 의해 정해진다. 전압강하의 감쇄대책으로는 급전선의 증설에 의한 선로저항의 경감, 변전소의 증설, 급전전압보상 장치의 설치, 교류의 상하 결합방식에 의한 방법 등이 있다.

1.1.3.1 교류AT방식



(1) 계산에 이용되는 제 정수

① 전원임피던스(Z_0)

급전측에서 본 전원임피던스는 다음 식에 의해 단상변환 한다.

$$Z_0 = \frac{E^2 \cdot 2}{P_s} (\Omega) \quad \text{혹은} \quad Z_0 = \frac{10 \cdot E^2 \cdot \%Z_0 \cdot 2}{100,000} [\Omega] \quad \text{----- (1)}$$

다만, P_s : 수전점의 3상단락전류-----[MVA]

E : 급전용변압기 2차정격전압-[kV]

$\%Z_0$: 수전점의 퍼센트 임피던스(100MVA기준)-[%]

② 급전용 변압기 임피던스(Z_T)

급전측에서 본 급전용 변압기의 임피던스는 다음 식에 의하여 단상으로 변환한다.

$$Z_T = \frac{10 \cdot E^2 \cdot \%Z_T}{P_T} [\Omega] \quad \text{----- (2)}$$

다만, P_T : 2차권선 1상의 정격용량[kVA]

3/2상 스코트변압기는 변압기 용량의 1/2

단상은 변압기 용량

E : 급전용 변압기의 2차 정격전압[kV]

$\%Z_T$: 급전용 변압기의 퍼센트 임피던스[%]

③ 직렬콘덴서의 임피던스 (Z_c)

AT방식의 변전소에 설치되는 직렬콘덴서의 리액턴스는 급전선측으로 환산하여 다음 식에 의하여 구한다.

$$Z_c = \left(\frac{n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 X_c \quad [\Omega] \quad \text{----- (3)}$$

다만, X_c : 콘덴서의 리액턴스[Ω]

n_1 : 단권변압기의 F-R간의 권선수

n_2 : 단권변압기의 T-R간의 권선수

일반적으로 권선비는 1:1 이기 때문에 <식 (3)>은

$$Z_c = \left(\frac{1}{1+1} \right)^2 X_c = \frac{1}{4} X_c \quad \text{로 된다.}$$

④ 급전회로의 임피던스(Z)

$$Z = \frac{Z_T + Z_F - 2Z_{F-T}}{4} = 0.2340 \quad (V/A \cdot km)$$

개략 전압강하를 구하는 값으로 사용하여도 좋지만 단권변압기의 설치를 고려하여

각 점의 계산을 하기에는 적당하지 않기 때문에 다음 식에 의하여 구한다.
 구하려는 임의의 n점의 임피던스 Z_n 은

$$Z_n = Z_L \cdot l_n + Z'_L \left(1 - \frac{X_n}{D_n}\right) X_n \quad [\Omega] \quad \text{-----} \quad (4)$$

$$Z_L = Z_1 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3} \quad \text{-----} \quad (5)$$

$$Z'_L = \frac{Z_2^2}{Z_2 + Z_3} \quad \text{-----} \quad (6)$$

Z_1 : 상호임피던스를 소거한 임피던스 (전차선)

Z_2 : 상호임피던스를 소거한 임피던스 (레일)

Z_3 : 상호임피던스를 소거한 임피던스 (AT급전선)

Z_L : 선로 임피던스

X_n : AT에서 부하까지의 거리

D_n : AT설치간격

(2) 전압강하의 계산

그림과 같은 급전계통에서 AT(단권변압기)사이에 열차부하가 있는 n점의 전압강하는 다음과 같이 구한다.

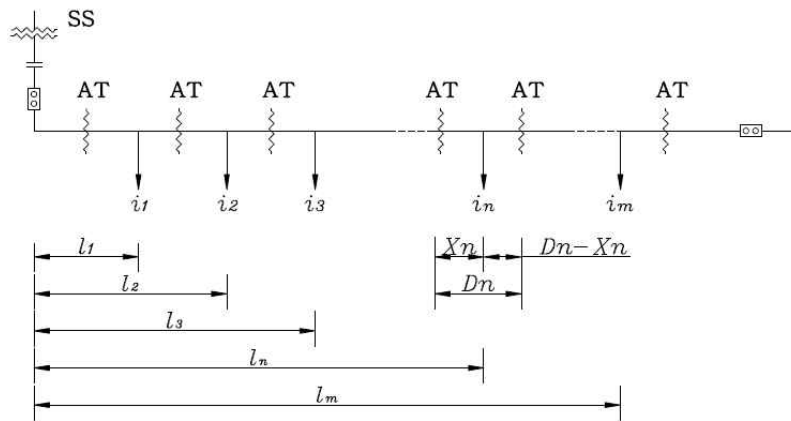


그림 2. 급전계통에서의 전류

① 변전소내의 전압강하

$$e_0 = (Z_0 + Z_T - Z_c) \sin \theta \sum_{j=1}^m i_j \quad [V] \quad \text{-----} \quad (7)$$

② 급전회로의 전압강하

급전회로 단위 km당의 임피던스는 <식 (5), (6)>에 의해

$$Z_L = R_L \cos \theta + X_L \sin \theta \quad [V/A\text{-km}] \quad \text{-----} \quad (5)'$$

$$Z'_L = R'_L \cos \theta + X'_L \sin \theta \quad [V/A\text{-km}] \quad \text{-----} \quad (6)'$$



로 하면 n점 전차선로의 전압강하는

$$e_n = Z_L \left(\sum_{j=1}^m l_j \cdot i_j + l_n \sum_{j=n+1}^m i_j \right) + Z'_L \left(1 - \frac{X_n}{D_n} \right) X_n \cdot I_n \text{ [V]} \text{ ----- (8)}$$

③ n점의 전압강하는 <식 (7), (8)>에 의해

$$e_0 + e_n \text{ [V] 로 된다.}$$

(3) AT방식의 급전회로 정수에 대하여

AT급전방식은 회로가 망상(網狀)이기 때문에 전류분포는 복잡하다. 따라서 회로계산은 엄밀히 필산(筆算)이 곤란하여 계산기에 의하여야 하기 때문에, 등가회로 계산법에 의하여 용이하게, 더구나 상당히 정밀한 계산이 가능하다. 전항에 표시한 식은 등가 회로계산법에 의한 것이며, 다음에 유도방법이나 고려사항을 표시한다.

① AT급전회로의 등가회로에의 변환과 임피던스의 정의

가. 원래 회로

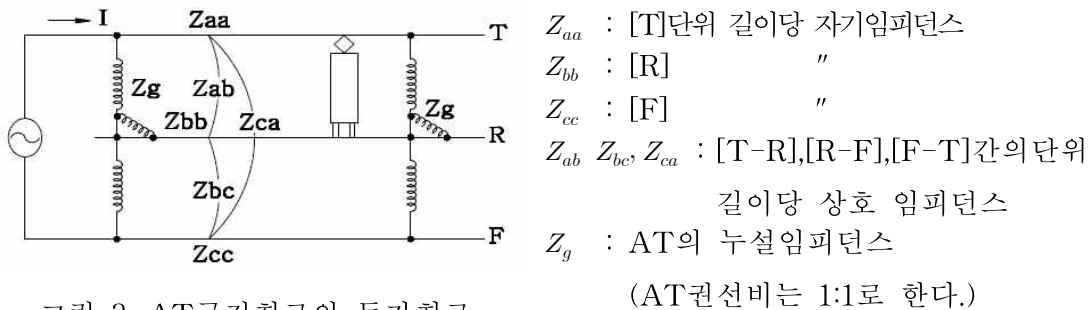


그림 3. AT급전회로의 등가회로

나. 등가회로-1

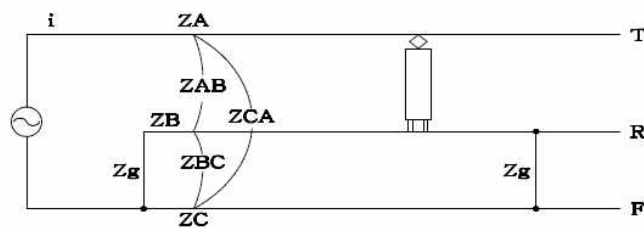


그림 4. 등가회로 1

$$Z_A = Z_{aa}$$

$$Z_B = Z_{bb}$$

$$Z_C = (Z_{cc} + 2Z_{ca} + Z_{aa})/4$$

$$Z_{AB} = Z_{ab}$$

$$Z_{BC} = (Z_{bc} + Z_{ab})/2$$

$$Z_{CA} = (Z_{ca} + Z_{aa})/2$$

$$i = 2I$$

등가회로에서 [T][R][F]
(9) 의 자기임피던스 및 상호임피던스

다. 등가회로-2

나. 에서 $Z_g = 0$, [T] [R] [F]의 전류의 총화가 0의 조건으로 놓고

$Z_{AB} \cdot Z_{BC} \cdot Z_{CA}$ 를 소거한다.

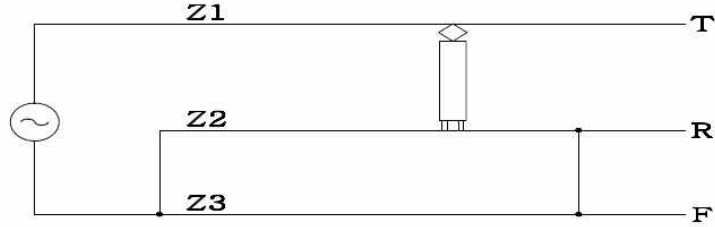
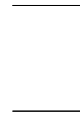


그림 5. 등가회로 2

$$Z_1 = Z_A + Z_{BC} - Z_{AB} - Z_{CA}$$

$$Z_2 = Z_B + Z_{CA} - Z_{AB} - Z_{BC}$$

$$Z_3 = Z_C + Z_{AB} - Z_{BC} - Z_{CA}$$



(10)

다만, 등가회로에서 상호임피던스를 소거하고, 자기임피던스 만의 모양으로 표시한 [T] [R] [F]의 각 임피던스

② 급전회로의 임피던스

급전회로의 임의의 점의 등가회로는 그림과 같이 된다.

No.1 AT

에서 본 임피던스
 Z_n

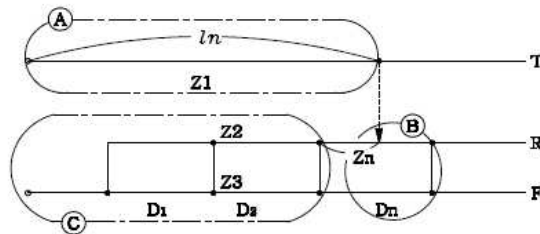


그림 6. 임의의 점의 등가회로

등가회로는 또한 그림과 같이 생각할 수 있다.

Z_2 와 Z_3 의 병렬임피던스

$$\frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3}$$

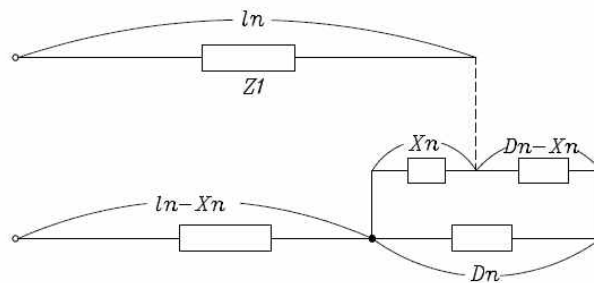


그림 7. 등가회로



①의 임피던스 $Z_1 l_n$

②의 임피던스 $\frac{Z_2 X_n \left\{ Z_2 \left(1 - \frac{X_n}{D_n} \right) + Z_3 \right\}}{Z_2 + Z_3}$

③의 임피던스 $\frac{Z_2 Z_3 (l_n - X_n)}{Z_2 + Z_3}$

회로 전체의 임피던스 Z_n 는

$$\begin{aligned} Z_n &= Z_1 l_n + \frac{Z_2 X_n \left(Z_2 \left(1 - \frac{X_n}{D_n} \right) + Z_3 \right)}{Z_2 + Z_3} + \frac{Z_2 Z_3 (l_n - X_n)}{Z_2 + Z_3} \\ &= \frac{1}{Z_2 + Z_3} \left((Z_2 + Z_3) Z_1 l_n + Z_2^2 X_n \left(1 - \frac{X_n}{D_n} \right) + Z_2 Z_3 X_n + Z_2 Z_3 (l_n - X_n) \right) \\ &= \frac{1}{Z_2 + Z_3} \left((Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_3 Z_1) l_n + Z_2^2 X_n \left(1 - \frac{X_n}{D_n} \right) \right) \\ &= \left(Z_1 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3} \right) l_n + \frac{Z_2^2}{Z_2 + Z_3} \left(1 - \frac{X_n}{D_n} \right) X_n \\ &= Z_L l_n + Z'_L \left(1 - \frac{X_n}{D_n} \right) X_n \text{ ----- (11)} \end{aligned}$$

$$\text{다만, } Z_L = Z_1 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3} \text{ ----- (12)}$$

$$Z'_L = \frac{Z_2^2}{Z_2 + Z_3} \text{ ----- (13)}$$

로 되어 먼저 표시한 <식 (11), (12), (13)>으로 된다.

AT점까지의 임피던스는

$X_n = 0$ 혹은 $X_n = D_n$ 로 되어 <식 (11)>은

$$Z_n = Z_L l_n$$

$$X = 0$$

다만, 이 임피던스는 [급전전압기준의 임피던스]이다

③ 전압강하의 계산

$$e = e_0 + e_r - e_c + e_n \text{ ----- (14)}$$

전전압 전원에서AT 선로전압

강하분까지의 강하분 강하분

$$e_n = Z_L \left(\sum_{j=1}^n l_j \cdot i_j + l_n \sum_{j=n+1}^m i_j \right) + Z'_L \left(1 - \frac{X_n}{D_n} \right) X_n \cdot i_n \text{ [V] ----- (15)}$$

전압강하는 역율에 의하여 변하기 때문에 역율이 정해지지 않고는 전압강하를 계산할 수 없다. Z_L, Z'_L 은 $\cos\phi=0.8$ 로 해서 구한다.

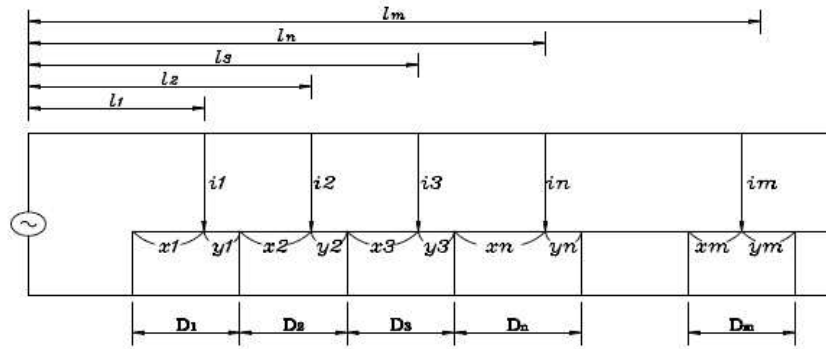


그림 8. 전압강하의 계산

④ 급전회로 각점의 전압 계산방법

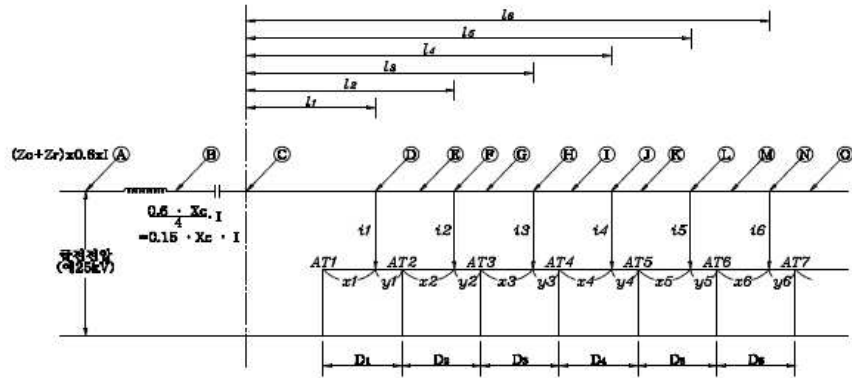


그림 9. 급전회로 각점의 전압 계산

$$I = i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + i_5 + i_6$$

① 급전전압(예: 25kV)

② $A - (Z_0 + Z_T) \cdot 0.5 \cdot I$ 이하는 ③점의 전압을 기초로 고려한다.

③ $B + 0.15 \cdot X_C \cdot I$

④ $C - Z_L I_1 (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + i_5 + i_6) + Z'_L (1 - \frac{X_1}{D_1}) X_1 i_1$

⑤ $C - Z_L \{ I_1 i_1 + D_1 (i_2 + i_3 + i_4 + i_5 + i_6) \}$

⑥ $C - [Z_L \{ l_1 i_1 + l_2 (i_2 + i_3 + i_4 + i_5 + i_6) \} + Z'_L (1 - \frac{X_2}{D_2}) X_2 i_2]$

⑦ $C - Z_L \{ I_1 i_1 + I_2 i_2 + (D_1 + D_2) (i_3 + i_4 + i_5 + i_6) \}$

⑧ $C - [Z_L \{ l_1 i_1 + l_2 i_2 + l_3 (i_3 + i_4 + i_5 + i_6) \} + Z'_L (1 - \frac{X_3}{D_3}) X_3 i_3]$



$$\textcircled{\text{I}} \quad \textcircled{\text{C}} - Z_L \{l_1 i_1 + l_2 i_2 + l_3 i_3 + (D_1 + D_2 + D_3)(i_4 + i_5 + i_6)\}$$

$$\textcircled{\text{J}} \quad \textcircled{\text{C}} - [Z_L \{l_1 i_1 + l_2 i_2 + l_3 i_3 + l_4 (i_4 + i_5 + i_6)\} + Z'_L (1 - \frac{X_4}{D_4}) X_4 i_4]$$

$$\textcircled{\text{M}} \quad \textcircled{\text{C}} - Z_L \{l_1 i_1 + l_2 i_2 + l_3 i_3 + l_4 i_4 + l_5 i_5 + (D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5) i_6\}$$

$$\textcircled{\text{N}} \quad \textcircled{\text{C}} - [Z_L \{l_1 i_1 + l_2 i_2 + l_3 i_3 + l_4 i_4 + l_5 i_5 + l_6 i_6\} + Z'_L (1 - \frac{X_6}{D_6}) X_6 i_6]$$

$$\textcircled{\text{O}} \quad \textcircled{\text{C}} - Z_L \{l_1 i_1 + l_2 i_2 + l_3 i_3 + l_4 i_4 + l_5 i_5 + l_6 i_6\}$$

요약하면 차량점까지의 선로 전압강하분을 구하는 것은

$$V_n = Z_L \{(\text{자신에서 전원측의 차량전류와 그 거리의 총화})$$

$$+ (\text{자신의 차량을 포함한 하부측의 전류}) \times (\text{자기차의 거리})\}$$

$$+ Z'_L (1 - \frac{X_n}{D_n}) X_n i_n \text{ 이다.}$$

$\{X_n, D_n$ 은 자기 차의 AT위치와의 관련 i_n 은 그 차의 전류}

앞서 표기한 예는 전원측에서 순차적으로 계산하는 것을 나타냈으나 ①이하⑥까지는 각각 단독으로 계산할 수가 있으므로 필요한 부분만 계산하면 된다.

⑤ 선로 임피던스의 개략치

전압강하의 계산은 등가회로법에 의하지만 AT급전회로의 임피던스는 거리에 대하여 비례하지 않고 AT설치점을 정점으로 하는 파상(波狀)의 특성이 있다. 각 점의 임피던스에 구애되지 않으면

$$Z = \frac{Z_T + Z_F - 2Z_{T-F}}{4} \text{로서 대략 파악할 수가 있다.}$$

1.1.4 급전회로의 고장전류

AT방식에는 사고점에 유입하는 사고전류 I_0 [A]는 변전소의 급전용 차단기에 흐르는 전류 I_a (A)의 2배가 된다.

$$I_0 = 2I_a$$

고장전류 I_0 의 계산에 있어서는 전원, 급전용 변압기 등의 임피던스를 구하여 다음 식에 의하여 계산한다.

$$I_0 = \frac{E}{Z_0 + Z_T + Z_n + R_a} \text{ [A]}$$

$$I_0 = \frac{E}{(r \cdot l_n + R_a) + j(x \cdot l_n + Z_0 + Z_T)}$$

$$|I_0| = \frac{E}{\sqrt{(r \cdot l_n + R_a)^2 + (x \cdot l_n + Z_0 + Z_T)^2}}$$

다만, E : 급전회로 정격전압 [V]

r : 급전회로 1km당 실효저항[Ω/km]

x : 급전회로 1km당 리액턴스[Ω/km]

l_n : 고장점의 거리[km]

Z_0 : 전원의 2차측(단상) 환산 리액턴스[Ω]

Z_T : 급전변압기의 2차1상분 리액턴스[Ω]

R_a : 고장점 저항[Ω] (약10Ω)

거리계전기가 보호해야 할 회로의 임피던스, 즉 변전소에서 본 급전회로의 임피던스 Z_a 는 다음 식으로 된다.

$$Z_a = \sqrt{(r \cdot l_n + R_a)^2 + (x \cdot l_n + Z_0 + Z_T)^2}$$

- 사고전류는 회로의 임피던스 · 고장점 저항과 아크저항을 고려하여 산출하며, 이때 적용하는 정수는 다음 표에 의한다.

표 2. 사고전류 계산에 사용하는 정수

| 방 식 | 급전전압 | 사고점의 저항 | 아크저항 |
|------|------|---------|------|
| AT방식 | 55kV | 10Ω | 0Ω |



해설 2. 변전소 등의 위치

※ 아래는 사용자 편의를 위해 본 해설과 연관된 기준을 표현한 것이며, 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.

철도건설규칙

제29조(전철변전소의 위치)

- ① 전철변전소나 급전구분소(給電區分所) 등의 위치는 급전구간의 부하중심으로 하되, 건설 및 운영 측면을 고려하여 정하여야 한다.
- ② 전철변전소의 간격은 전차선 전압의 최저한도를 유지할 수 있고 급전계통에서 발생하는 사고전류를 검출할 수 있는 간격으로 정하되, 열차운행계획, 선로구간의 중요도, 앞으로의 수송수요 등을 고려하여야 한다..

철도의 건설기준에 관한 규정

제30조(전철변전소의 위치)

전철변전소나 급전구분소 등의 위치는 다음 각 호의 사항을 고려하여 결정하여야 한다.

1. 전원에 가까운 곳(변전소에만 해당)
2. 변압기 등 변전기기와 시설자재의 운반이 편리한 곳
3. 공해, 염해 등 각종 재해의 영향이 최소화 되는 곳
4. 보호지구(개발제한지구, 문화재보호지구, 군사시설보호지구 등) 또는 보호시설물에 가급적 지장을 주지 아니하는 곳
5. 변전소나 구분소 앞 절연구간에서 열차의 타행운전(동력을 주지 아니하고 관성으로 운전하는 것을 말한다)이 가능한 곳
6. 민원발생 요인이 적은 곳

철도설계기준(KDS 47 30 20 전철전원 설비)

2.1.1 전철전원설비의 계획

2.1.1.4 변전소 등의 위치

- (1) 변전소의 간격은 전차선전압의 최저한도를 유지할 수 있고 급전계통에서 발생하는 사고전류를 확실하게 검출할 수 있는 간격으로, 열차운전의 실적 및 계산에 의하여 정하되, 열차운전계획·선구의 중요도 및 장래의 수송수요를 고려한다.
- (2) 변전소나 급전구분소 등의 위치는 다음 각 호의 사항을 고려하여 결정하여야 한다.
 - ① 전원에 가까운 곳(변전소에만 해당)
 - ② 변압기 등 변전기기와 시설자재의 운반이 편리한 곳
 - ③ 공해, 염해 등 각종 재해의 영향이 최소화 되는 곳
 - ④ 보호지구(개발제한지구, 문화재보호지구, 군사시설보호지구 등) 또는 보호시설물에 가급적 지장을 주지 아니하는 곳
 - ⑤ 변전소나 구분소 앞 절연구간에서 열차의 타행운전(동력을 주지 아니하고 관성으로 운전하는 것을 말한다)이 가능한 곳
 - ⑥ 민원발생 요인이 적은 곳

철도설계지침

1. 변전소의 간격

- (1) 변전소의 간격은 전차선전압의 최저한도를 유지할 수 있고 급전계통에서 발생하는 사고전류를 확실하게 검출하여 차단할 수 있는 간격이어야 한다.
- (2) 열차운전의 실적 및 계산에 의하여 정하되, 열차운전계획·선구의 중요도 및 장래 수송수요를 고려한다.
- (3) 단권변압기 방식의 사고전류는 급전전압 55kV를 적용하여 산출한다.

2.1 공통사항

- (1) 도심 및 주거 밀집지역 등 민원발생 우려지역은 피할 것.
- (2) 급전선로의 인·출입이 용이하고 급전선로의 길이가 짧을 것.
- (3) 교량 및 터널개소는 피할 것.
- (4) 환경오염 등 공해지역은 피할 것.
- (5) 수해 등 재해발생 우려 개소는 피할 것.

단, 하천 및 저지대 등의 인접 개소는 침수가 발생하지 않는 사전 조치(성토 등) 후 건축 시행할 수 있도록 노반 및 건축분야와 인터페이스를 해야 한다.

- ① 변전부지 계획고는 변전부지 인근 하천 또는 소하천의 계획홍수위(HWL)를 참조하여 계획홍수위(HWL) 보다 높게 결정하여야 하며, 노반 또는 건축 분야와 인터페이스를 시행하여 인근 하천의 최소 제방고 높이가 이상으로 선정하여 홍수 발생시에도 변전 설비 운전이 지장이 발생하지 않도록 하여야 한다.
- (6) 도시계획 및 토지이용계획 등에 저촉되지 않을 것.
- (7) 기기운반, 유지보수 등에 필요한 진입로 개설이 용이할 것.
- (8) 유지보수 관리가 용이하도록 국도 등으로부터 가까울 것.
- (9) 장래 확장계획이 용이할 것.
- (10) 가급적 철도부지를 활용하여 용지비를 절감하고 인·허가 등 행정업무를 간소화할 것.

2.2 전철변전소

- (1) 변전소의 상별(M상, T상) 부하균형을 이룰 수 있는 부하중심에 위치할 것.
- (2) 수전선로의 인·출입이 용이하고 수전선로의 길이가 짧을 것.
- (3) 전차선로 절연구분장치 설치개소에 전기차가 노치오프(Notch Off) 운전이 용이하도록 선로조건(기울기, 곡선반경, 신호기 설치위치 등)에 만족할 것.
- (4) 변전소 정전 또는 고장시 인접변전소와 상호 연장 급전하여 전압강하로 인한 열차 운전이 지장이 없는 개소일 것.
- (5) 인접선구의 전철화 계획 시 급전범위 및 부하를 고려할 것.



2.3 보조급전구분소 및 급전구분소

- (1) 급전구분소의 건설위치는 급전선의 인출이 용이하며 전차선로의 절연구분장치 설치가 용이하고, 전기차 운전상 노치오프로 통과할 수 있는 장소로서 선로는 급기울기와 곡선구간이 아닌 곳, 전기차가 일시 정차할 우려가 없는 곳, 전차선로의 보수작업 상 곤란하지 않은 곳을 검토하여야 한다.
- (2) 보조급전구분소의 건설위치는 급전선의 인출이 용이하고, 열차안전운전 조건에 지장이 없는 곳이어야 한다. 그러나 주변여건상 부득이 역구내에 설치하는 경우 전차선로 유지보수관리(오인 감전사고 등) 및 열차운전의 안전 상 문제가 없도록 시설방안을 검토하여야 한다.

2.4 전철변전소 및 급전구분소 설치 조건 및 기준

표 3. 전철변전소 및 급전구분소 설치 조건 및 기준

| 조 건 | 기 준 | 비 고 |
|---------------------------------------|---|-----|
| 1. 부하중심에 위치할 것 | ◦ 변전소의 상별 부하 균형을 이룰 것 | |
| 2. 수전선로의 인·출입에 지장이 없을 것 | ◦ 도심 및 주거 밀집지역 등을 가급적 피할 것 ◦ 수전선로 길이가 짧을 것 | |
| 3. 급전선로의 인·출입에 지장이 없을 것 | ◦ 토공구간을 기준으로 하며, 교량 및 터널구간은 가급적 피할 것(급전선 인상각을 최소화하기 위함) | |
| 4. 절연구분장치 (Neutral Section) 설치에 적합할 것 | ◦ 전기차가 노치오프(Notch Off)로 통과하여야 함. | |
| 5. 용지 확보의 용이 | ◦ 수해 산사태의 우려가 없는 곳 ◦ 문화재 보존지구, 경관지구 및 도시계획 등에 지장이 없는 곳 ◦ 유해가스, 분진발생지역이 아닌 곳 | |
| 6. 기기 운반이 가능 | ◦ 변전소 근처에 도로(국도 또는 지방도)가 있는 곳 ◦ 진입로 개설 또는 확장이 가능하고 가급적 거리가 짧을 것 | |
| 7. 유지보수 및 점검 순회의 편리 | ◦ 국도 또는 지방도 인근이 적합 | |

참고 1. 전압강하 계산

1.1 부하산정

일반적으로 최대의 선로전압강하가 발생하는 조건은 직류구간에서는 병렬급전방식이 표준이기 때문에 변전소의 중간부분이 되며, 교류구간에서는 편송 급전방식이 표준이기 때문에 급전 최원단 등에서 전기차가 기동최대전류로 운전될 때라고 생각된다. 이 경우의 부하산정은 각 전기차의 선로조건을 가미한 전류-시간특성과 열차 시각표에서의 위치상태를 파악하여 가장 전압강하가 많다고 예상되는 조건을 선택한다.

1.2 부하산정의 예

교류 급전방식은 일반적으로 일방 전송급전이기 때문에 전기차 부하를 일정하게 하면, 변전소에서 먼 위치에 있을수록 전압강하가 커진다. 부하산정에 있어서는 부하전류와 부하점까지의 거리(Amp-km)가 멀수록 전압강하가 커지므로 이와 같은 부하의 시간을 열차 시각표에 의해서 추출한다.

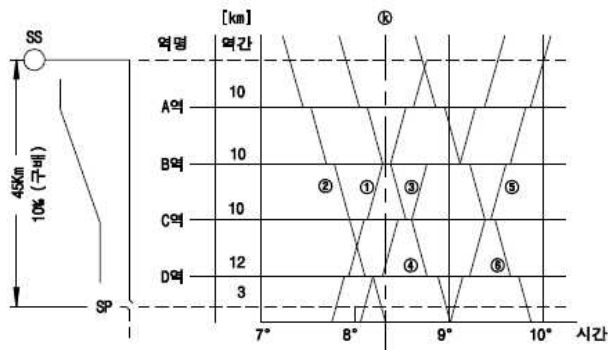


그림 10. 열차 시각표의 예

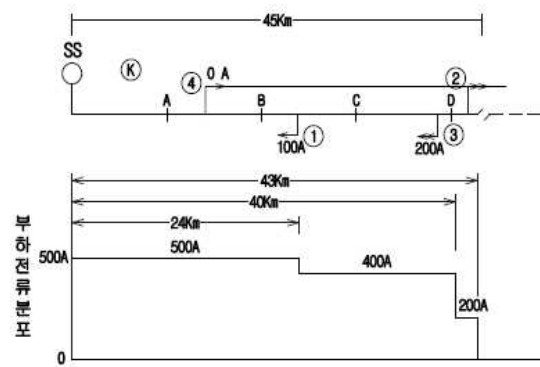


그림 11. 최대전압강하 시간대의
부하분포의 예

1.3 교류전차선로의 선로정수

교류전차선로의 전압강하를 계산하는 경우의 선로정수는 직류전차선로와 같이 저항만은 아니며 전차선의 장주에 의거하여 사용전선의 대지귀로의 자기 임피던스와 각 전선 상호간에 발생하는 상호 임피던스를 고려해야 한다.

교류회로의 임피던스는 일반의 3상 송전선과는 달리 1선은 레일에 의하여 대지에 접속된 1선접지의 불평형 회로로 된다.

(1) 자기임피던스 : Z

$$Z = Z_s + Z_i [\Omega/\text{km}]$$

① Z_s : 외부임피던스



$$Z_S = \left\{ \omega \left(\frac{\pi}{2} - \frac{4\chi}{3\sqrt{2}} \right) + j\omega \left(4.605 \times \log_{10} \frac{4h}{r\chi} + \frac{4\chi}{3\sqrt{2}} - 0.1544 \right) \right\} \times 10^{-4} [\Omega/\text{km}]$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$\chi = 4\pi h \sqrt{20\sigma f} \times 10^{-4} [\text{V}/\text{km}]$$

h : 지표상에서 도체(전선)까지의 평균높이[m]

r : 도체반경[m]

σ : 대지 도전율(1×10^{-2})

f : 주파수[Hz]

② Z_i : 내부 임피던스

$$Z_i = R_i + j\omega L_i [\Omega/\text{km}]$$

$$L_i = \frac{\mu}{2} \times 10^{-4} [\text{H}/\text{km}]$$

μ : 전선 비투자율[Cu, $A \ell = 1$, $St = 100$]

R_i : 전선 고유저항[Ω]

L_i : 전선 내부유도계수[H]

(2) 상호 임피던스 : Z_M

지표상에서 높이 h_1, h_2 [m] 그 수평거리 b [m]에 가설된 2도체간의 상호 임피던스

$$Z_M = \left[\omega \left\{ \frac{\pi}{2} - \frac{4x'(h_1 + h_2)}{3\sqrt{2}} \right\} + j\omega \left\{ 4.605 \times \log_{10} \frac{2}{x' \sqrt{b^2 + (h_1 - h_2)^2}} - 0.1544 + \frac{4x'(h_1 + h_2)}{3\sqrt{2}} \right\} \right] \times 10^{-4} (\Omega/\text{km})$$

$$x' = 2\pi \sqrt{20\sigma f} \times 10^{-4}$$

h_1 : 지표상에서 도체(1)까지 평균높이[m]

h_2 : 지표상에서 도체(2)까지 평균높이[m]

b : 도체간의 수평거리[m]

(3) 전차선의 등가반경과 등가고(Simple Catenary의 경우)

① 전차선의 등가반경

$$r_e = (r_m r_t S^2)^{\frac{1}{4}} [\text{m}]$$

② 전차선의 등가높이

$$h_e = h_t + \frac{h_m}{h_m + h_t} \cdot S \quad [\text{m}]$$

rm : 조가선의 등가반경[m]

rt : 전차선의 등가반경[m]

hm : 조가선의 지상에서의 높이[m]

ht : 전차선의 지상에서의 높이[m]

S : 조가선과 전차선과의 등가 가교[m]

$$S = S_0 - \frac{2}{3}d \quad S_0 : \text{가교}$$

$$\text{합성이도} \quad d = \frac{wL^2}{8T} \quad W: \text{합성전차선의 단위중량}, L: \text{경간}, T: \text{장력}$$

1.4 단상교류회로에서 전압강하의 간이 계산

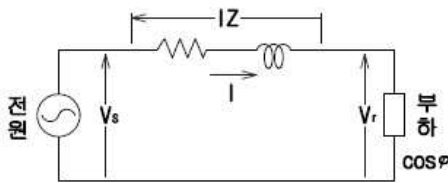


그림 12. 전압강하계산 모델

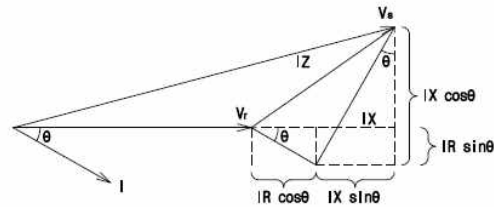


그림 13. 벡터도

$$V_s = \sqrt{\{V_r + I(R\cos\phi + X\sin\phi)\}^2 + \{IX\cos\phi - IR\sin\phi\}^2}$$

상기 식의 2항은 1항에 비하여 극히 작으므로 무시하면

$$V_s = V_r + I(R\cos\phi + X\sin\phi) \quad [\text{V}]$$

V_s : 송전단 전압[V]

I : 부하전류[A]

V_r : 수신단 전압[V]

$\cos\phi$: 전기차 부하역율

R, X : 저항 및 Reactance

선로 전압강하

$$V = V_s - V_r = I(R\cos\phi + X\sin\phi) \quad [\text{V}]$$

따라서 전차선로의 전압강하

$$V_L = Z_L \sum_{j=1}^n I_j \cdot L_j \quad [\text{V}]$$

$$Z_L = R\cos\phi + X\sin\phi$$



ZL : 전차선로 1A-km 당의 전압강하[V/A-km]

Ij · Lj : 변전소에서 1~n개의 열차까지의 (부하전류) × (거리)의 누계

cosΦ : 전기차 부하역율

전기차 부하역율은 정류기식의 경우 실측결과에서 정격치 부근 0.75~0.85정도를 지시하고 있으며 전압강하 계산에는 보통 0.8을 인용하고 있다.

1.5 AT방식 전압강하 계산

(1) 선로정수계산

경부선 동대구-부산간 기본설계 자료의 고속전철 선로정수는,

$$Z_L = 0.0539 + j0.1704$$

$$Z'_L = 0.3169 + j0.6503$$

이므로 역률 95%, cosψ=0.95, sinψ=0.31이므로

$$Z_L = 0.0539 \times 0.95 + 0.1704 \times 0.31 = 0.104$$

$$Z'_L = 0.3169 \times 0.95 + 0.6503 \times 0.31 = 0.5026$$

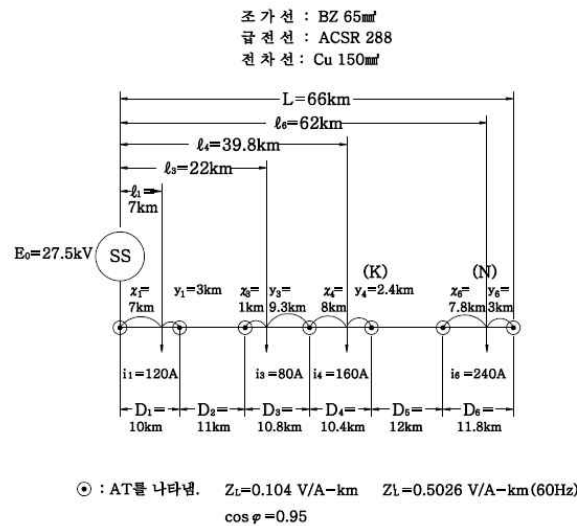


그림 14. 부하분포 예

(2) 임의의 전기차 부하[K]의 경우

전차선로 전압강하 : e_K

$$\begin{aligned} e_K &= Z_L \sum_{j=1}^4 \ell_j i_j + \ell_K \sum_{j=6}^6 i_6 + Z'_L \left(1 - \frac{X_4}{D_4} \right) X_4 i_4 \\ &= \{ 0.104 (7 \times 120 + 22 \times 80 + 39.8 \times 160 + 39.8 \times 240) \\ &\quad + 0.5026 \left(1 - \frac{8}{10.4} \right) \times 8 \times 160 \} / 1,000 \end{aligned}$$

$$= 2.07 \text{ (kV)}$$

K점에 있어서의 전차선 전압 : E_K

$$E_K = E_0 - e_k = 27.5 - 2.07 = 25.43 \text{ (kV)} > 20 \text{ (kV)}$$

(3) 최원단 전기차 부하[N]의 경우

전차선로 전압강하 [en]

$$\begin{aligned} e_n &= Z_L \sum_{j=1}^6 \ell_j i_j + Z'_L \left(1 - \frac{X_6}{D_6} \right) X_6 i_6 \\ &= \{ 0.104(7 \times 120 + 22 \times 80 + 39.8 \times 160 + 62 \times 240) \\ &\quad + 0.5026 \left(1 - \frac{7.8}{11.8} \right) \times 7.8 \times 240 \} / 1,000 \\ &= 2.80 \text{ (kV)} \end{aligned}$$

N점에 있어서의 전차선 전압 : E_N

$$E_N = E_0 - e_n = 27.5 - 2.80 = 24.7 \text{ [kV]} > 20 \text{ [kV]}$$

1.6 고장전류 계산 예

1.6.1 154kV 수전

고장전류는 전철변전소, 보조구분소 및 구분소의 고장전류 계산 예를 나타낸다.

임피던스 변환 기본 공식

$$Z_{(\Omega)} = \frac{10 \times V^2 \times Z_{(\%)}}{100 \times 1000} (100 \text{ MVA 기준})$$

$$Z_{(\%)} = \frac{100 \times 1000 \times Z_{(\Omega)}}{10 \times V^2} (100 \text{ MVA 기준})$$

$$V = \text{선간전압 [kV]}$$

1.6.1.1 변압기의 임피던스

변압기의 실제 임피던스가 알려지지 않을 때 한국철도표준규격 상에 표기된 용량 및 %Z 적용하여 고장전류를 계산 한다.

표 4. 용량별 임피던스

| 변압기의 용량[MVA] | 임피던스[%] |
|--------------------|---------|
| 20, 30, 45, 60, 90 | 10.0 |



| 변압기의 용량[MVA] | 최소임피던스[%] |
|-----------------|-----------|
| 0.630까지 | 4.0 |
| 0.631 ~ 1.25 | 5.0 |
| 1.251 ~ 3.15 | 6.25 |
| 3.151 ~ 6.30 | 7.15 |
| 6.301 ~ 12.50 | 8.35 |
| 12.501 ~ 25.00 | 10.0 |
| 25.001 ~ 200.00 | 12.5 |

1.6.1.2 계통의 임피던스

(1) 전원자료

- ① 한전 변전소의 계통임피던스 자료는 아래와 같다.

표 5. 한전 계통임피던스 자료

| 변전소 | 모선고장용량 [MVA] 3상단락 | 모선고장전류 [kA] | 정상임피던스[P.U.] | |
|-------|-------------------------|----------------|--------------|---------|
| | | | R1 | X1 |
| 한전S/S | 5,734 | 21.50 | 0.0041 | 0.01734 |

상기 임피던스는 향후 계통확장 시 단락용량의 증대를 고려하여 여유율 1.2배를 주어 적용한다.

② 정상 및 역상 임피던스

가. 154kV 기준

$$Z_{s\%} = \sqrt{0.41^2 + 1.734^2} = 1.7818[\%]$$

$$Z_s = \frac{10 \times E^2 \times Z_{s\%}}{P_n} = \frac{10 \times 154^2 \times 1.7818}{100 \times 1000 \times 1.2} = 3.5214[\Omega]$$

$$\%Z_S = \frac{100 \times 1000 \times 3.5214}{10 \times 154^2} = 1.4848[\%](=1.7818/1.2)$$

나. 27.5kV 기준

$$Z_s = \frac{10 \times E^2 \times \%Z_s}{P_n} = \frac{10 \times 27.5^2 \times 1.7818}{100 \times 1000 \times 1.2} = 0.1123[\Omega]$$

(2) 송전선로(선로길이 : 5.4km)

① 정상 및 역상 임피던스

$$Z_e = 5.4 \times (0.135 + j0.4931) = 0.7263 + j2.6627 = 2.7600[\Omega]$$

$$\%Z_e = \frac{100 \times 1000 \times 2.7600}{10 \times 154^2} = 1.1637[\%]$$

② 영상 임피던스

$$Z_{e0} = 5.4 \times (0.0801 + j0.5619) = 0.4325 + j3.0342 = 3.0649 [\Omega]$$

$$\%Z_{e0} = \frac{100 \times 1000 \times 3.0649}{10 \times 154^2} = 1.2923 [\%]$$

(3) 급전용 변압기

$$\%Z_T = 10 \times \frac{100}{15} = 66.66 (\%) : 100\text{MVA 기준}$$

$$Z_T = \frac{10 \times 27.5^2 \times 66.66}{100 \times 1000} = 5.0411 (\Omega) : 27.5\text{kV 기준}$$

(4) 단권변압기

$$Z_{AT} = 0.45 (\Omega) : 27.5\text{kV 기준}$$

$$\%Z_{AT} = \frac{100 \times 1000 \times 0.45}{10 \times 27.5^2} = 5.9504 [\%]$$

1.6.1.3 고장전류 계산

(1) 전철변전소

① 154kV BUS 단락용량

$$\text{가. \%임피던스}(\%Z) = 1.4848 + 1.1637 = 2.6485 [\%]$$

$$\text{나. 3상 단락용량 (MVA)} = \frac{100 \times 100}{2.6485} = 3,776 [\text{MVA}]$$

$$\text{다. 3상 단락전류 (kA)} = \frac{3,776}{\sqrt{3} \times 154} = 14.16 [\text{kA}]$$

② 55kV BUS 단락용량

$$\text{가. \%임피던스}(\%Z) = 1.4848 + 1.1637 + \frac{66.66}{2} = 35.9785 [\%]$$

: 주변압기 2뱅크 운전

$$\text{나. 주변압기 2차측 단락용량 (MVA)} = \frac{100 \times 100}{35.9785} = 278 [\text{MVA}]$$

$$\text{다. 주변압기 2차측 단락전류 (kA)} = \frac{278}{55} = 5.1 [\text{kA}] : 55\text{kV 기준}$$

③ 단권변압기 2차측 단락용량

$$\text{가. \%임피던스}(\%Z) = (1.4848 + 1.1637) \times 2 + \frac{66.66}{2} + 5.9504 = 44.5774 [\%]$$

$$\text{나. 단권변압기 2차측 단락용량 (MVA)} = \frac{100 \times 100}{44.5774} = 224 [\text{MVA}]$$

$$\text{다. 단권변압기 2차측 단락전류 (kA)} = \frac{224}{27.5} = 8.16 [\text{kA}]$$

(2) 보조구분소 (전차선로 거리 : 12.17km)



- 전차선로 선로정수 : $0.0549 + j0.1768 [\Omega/\text{km}]$

- 전차선로 거리 : 12.17(km)

- 전차선로 임피던스

$$Z_L = 12.17 \times (0.0549 + j0.1768) = 0.6681 + j2.1516 = 2.2529 [\Omega]$$

$$\%Z_L = \frac{100 \times 1000 \times 2.2529}{10 \times 27.5^2} = 29.7904 [\%]$$

① 55kV BUS 고장전류

가. %임피던스 (%Z) = $44.5774 + 29.7904 = 74.3678 [\%]$

나. 55kV BUS 단락용량 (MVA) = $\frac{100 \times 100}{74.3678} = 134 [\text{MVA}]$

다. 55kV BUS 단락전류(kA) = $\frac{134}{55} = 2.44 [\text{kA}]$

(3) 구분소 (전차선로 거리 : 22.81km)

- 전차선로 선로정수 : $0.0549 + j0.1768 [\Omega/\text{km}]$

- 전차선로 거리 : 22.81km

- 전차선로 임피던스

$$Z_L = 22.81 \times (0.0549 + j0.1768) = 1.2522 + j4.0328 = 4.2227 [\Omega]$$

$$\%Z_L = \frac{100 \times 1000 \times 4.2227}{10 \times 27.5^2} = 55.8379 [\%]$$

① 55kV BUS 고장전류

가. %임피던스 (%Z) = $44.5774 + 55.8379 = 100.4153 [\%]$

나. 55kV BUS 단락용량 (MVA) = $\frac{100 \times 100}{100.4153} = 100 [\text{MVA}]$

다. 55kV BUS 단락전류(kA) = $\frac{100}{55} = 1.81 [\text{kA}]$

1.6.2 66kV 수전

1.6.2.1 임피던스 계산

(1) 한전변전소 모선 고장 임피던스

$$\%Z_{S1} = 0.614 + j3.176 \quad (100\text{MVA 기준})$$

$$\%Z_{S2} = 0.614 + j3.176 \quad (100\text{MVA 기준})$$

$$\%Z_{S0} = 1.82 + j8.779 \quad (100\text{MVA 기준})$$

$$\begin{aligned} Z_{S1} &= \%Z_{S1} \times 10 \times (\text{kV})^2 / P \\ &= 0.2675 + j1.3835 \quad (66\text{kV}, 3\text{상 기준}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{S0} &= \%Z_{S0} \times 10 \times (\text{kV})^2 / P \\ &= 0.7928 + j3.8241 \quad (66\text{kV}, 3\text{상 기준}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{S1} &= \%Z_{S1} \times 10 \times (\text{kV})^2 \times 2 / P \\ &= 0.0929 + j0.4804 \quad (27.5\text{kV}, 1\text{상 기준}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{S0} &= \%Z_{S0} \times 10 \times (\text{kV})^2 \times 2 / P \\ &= 0.2753 + j1.3278 \quad (27.5\text{kV}, 1\text{상 기준}) \end{aligned}$$

(2) 송전선로

가공선로 : ACSR 95mm², 6.2km

$$Z_{t1} = (0.7746 + j1.2025) \times 6.2 = 4.8025 + j7.4555$$

$$Z_{t2} = (0.7746 + j1.2025) \times 6.2 = 4.8025 + j7.4555$$

$$Z_{t0} = (0.7285 + j2.5132) \times 6.2 = 4.5167 + j15.5818$$

$$\begin{aligned} \%Z_{t1} &= Z_{t1} \times P / 10(\text{kV})^2 \\ &= 11.0251 + j17.1155(\%) \quad (100\text{MVA 기준}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%Z_{t0} &= Z_{t0} \times P / 10(\text{kV})^2 \\ &= 10.3689 + j35.7710(\%) \quad (100\text{MVA 기준}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{t1} &= \%Z_{t1} \times 10(\text{kV})^2 \times 2 / P \\ &= 1.6675 + j2.5887(\Omega) \quad (27.5\text{kV}, 1\text{상 기준}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{t0} &= \%Z_{t0} \times 10(\text{kV})^2 \times 2 / P \\ &= 1.5683 + j5.4104(\Omega) \quad (27.5\text{kV}, 1\text{상 기준}) \end{aligned}$$

(3) 급전용 변압기

30/40 MVA, 66kV/55kV, %Z = 8%

X/R = 18(15MVA기준 IEEE Std. 141-1993, Page 184, Fig. 4A-1)

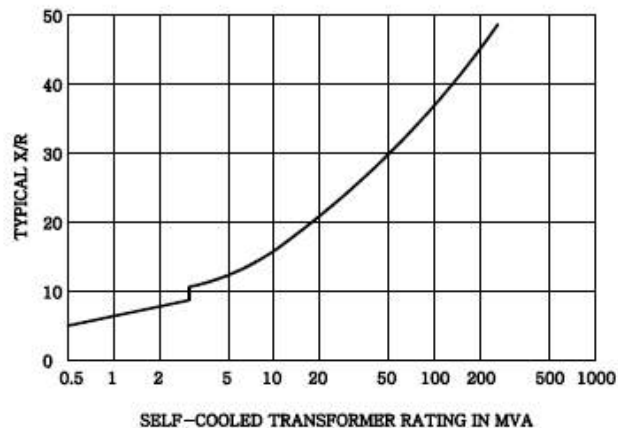


그림 15. 변압기 X/R Ratio

$$X = 18R, \quad \tan^{-1}18 = 86.82$$

$$R = 8 \times \cos 86.82 = 0.4438$$

$$X = 8 \times \sin 86.82 = 7.9877$$

$$\%Z_{tr} = 0.4438 + j7.9877 \quad (15\text{MVA 기준})$$

$$\begin{aligned} \%Z_{tr} &= \%Z_{tr} \times 100 \div 15 \\ &= 2.9857 + j53.2513 \quad (100\text{MVA 기준}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{tr} &= \%Z_{tr} \times 10 (\text{kV})^2 / P \\ &= 1.2888 + j23.1963 \quad (66\text{kV, 3상 기준}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{tr} &= \%Z_{tr} \times 10 (\text{kV})^2 / P \\ &= 0.2238 + j4.0271 \quad (27.5\text{kV, 1상 기준}) \end{aligned}$$

(4) 단권 변압기

$$10 \text{ MVA}, \quad Z = 0.45 \Omega \quad (27.5\text{kV 기준})$$

$$X/R = 16 (\text{IEEE Std. 141-1993 Page 184, Fig. 4A-1})$$

$$X = 16R, \quad \tan^{-1}16 = 86.42$$

$$R = 0.45 \times \cos 86.42 = 0.02807$$

$$X = 0.45 \times \sin 86.42 = 0.44912$$

$$Z_{at} = 0.02807 + j0.44912 \quad (10\text{MVA 기준})$$

$$Z_{at} = Z_{at} \times 100 \div 10$$

$$= 0.2807 + j4.4912 \quad (100\text{MVA 기준})$$

$$5 \text{ MVA}, \quad Z = 0.45\Omega \quad (27.5\text{kV 기준})$$

$$X/R = 12 (\text{IEEE Std. 141-1993 Page 184, Fig. 4A-1})$$

$$X = 12R, \quad \tan^{-1}12 = 85.236$$

$$R = 0.45 \times \cos 85.236 = 0.03737 [\Omega]$$

$$X = 0.45 \times \sin 85.236 = 0.44845 [\Omega]$$

$$Z_{at} = 0.03737 + j0.44845 \quad (5\text{MVA 기준})$$

$$Z_{at} = Z_{at} \times 100 \div 5$$

$$= 0.7474 + j8.9690 \quad (100\text{MVA 기준})$$

(5) 전차선로

① 전차선 : Cu 110mm²

$$Z_t = 0.1114 + j0.2116 [\Omega/\text{km}]$$

② 선로

가. S/S - SP : 29.3km

$$Z_t = (0.1114 + j0.2116) \times 29.3 = 3.2640 + j6.1999$$

나. S/S - SSP : 21.7km

$$Z_t = (0.1114 + j0.2116) \times 21.7 = 2.4174 + j4.5917$$

(6) 부하

$$\text{T상} : P = 6,857\text{kVA}, \quad \cos\Phi = 0.95$$

$$Z_{lt} = V^2 \div P \quad \sin\Phi = 0.31$$

$$= 110.2888 \angle 18.1948$$

$$= 104.7743 + j34.43765 [\Omega] \quad (27.5\text{kV}, 1\text{상 기준})$$

$$\%Z_{lt} = Z_{lt} \times P / 10(\text{kV})^2$$

$$= 1385.4455 + j455.3739 [\%] \quad (100\text{MVA 기준})$$

$$Z_{lt} = \%Z_{lt} \times 10(\text{kV})^2 / P$$

$$= 603.5000 + j198.3609 [\Omega] \quad (66\text{kV}, 3\text{상 기준})$$



$$M\text{상} : P = 9,884\text{kVA}, \quad \cos\Phi = 0.95$$

$$Z_{lt} = V^2 \div P \quad \sin\Phi = 0.31$$

$$= 76.5125 \angle 18.1948$$

$$= 72.6869 + j23.89103 [\Omega] \quad (27.5\text{kV}, 1\text{상 기준})$$

$$\%Z_{lt} = Z_{lt} \times P / 10(\text{kV})^2$$

$$= 961.1493 + j315.9145 \quad (100\text{MVA 기준})$$

$$Z_{lt} = \%Z_{lt} \times 10(\text{kV})^2 / P$$

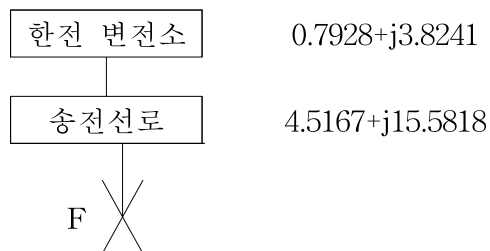
$$= 418.6766 + j137.6124 \quad (66\text{kV}, 3\text{상 기준})$$

1.6.2.2 전철변전소

(1) 66kV 고장전류

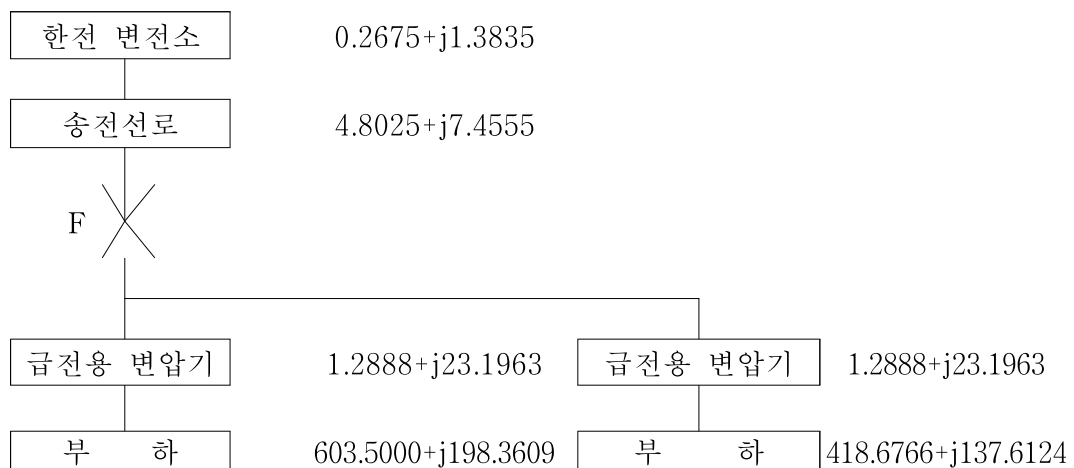
① 1선 지락전류 - 임피던스도

가. 영상회로



$$Z_0 = 5.3095 + j19.4059 [\Omega]$$

나. 정상, 역상회로



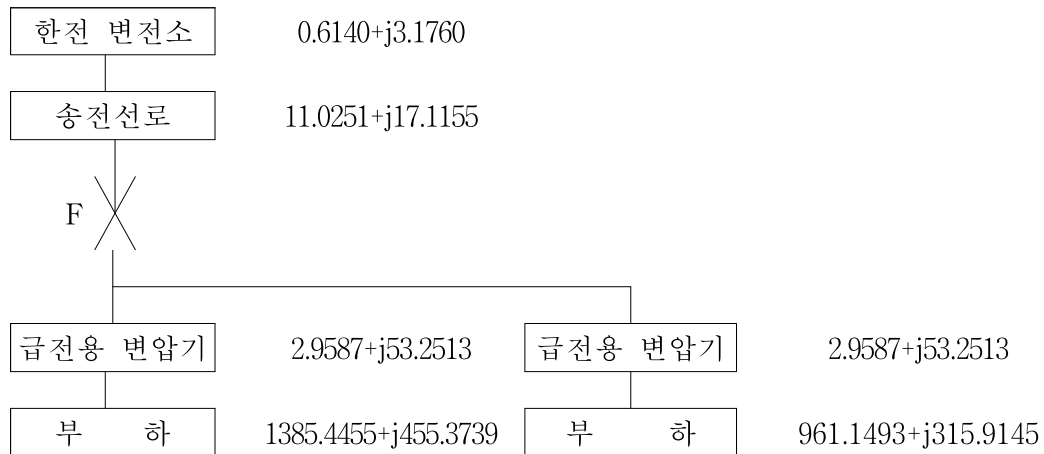
$$Z_1 = Z_2 = 5.1252 + j8.463$$

$$Z_0 + Z_1 + Z_2 = 15.5601 + j26.3306 = 30.5845 [\Omega]$$

$$I_g = \frac{3E}{Z_0 + Z_1 + Z_2} = 3737.68[A]$$

② 3상 단락전류

가. 임피던스



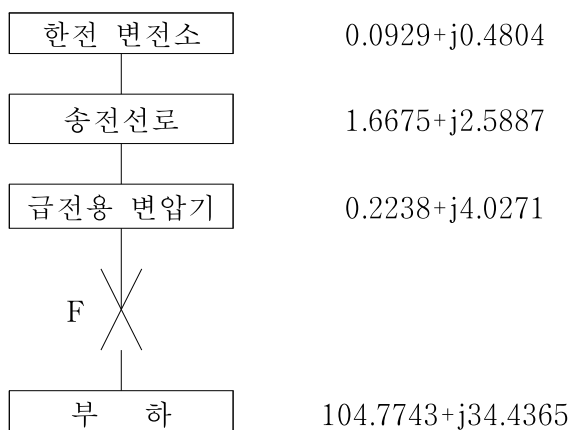
$$\%Z_{SF} = 11.7660 + j19.4268 = 22.7121[\%]$$

$$P_S = \frac{100 \times P_n}{\%Z_{SF}} = 440.293[MVA]$$

$$I_{S3} = \frac{P_S}{\sqrt{3} \times V} = 3.8516[kA]$$

(2) 55kV 단락전류

① 변압기 2차 단락





$$Z_{SF} = 2.2727 + j6.7202 = 7.0941[\Omega]$$

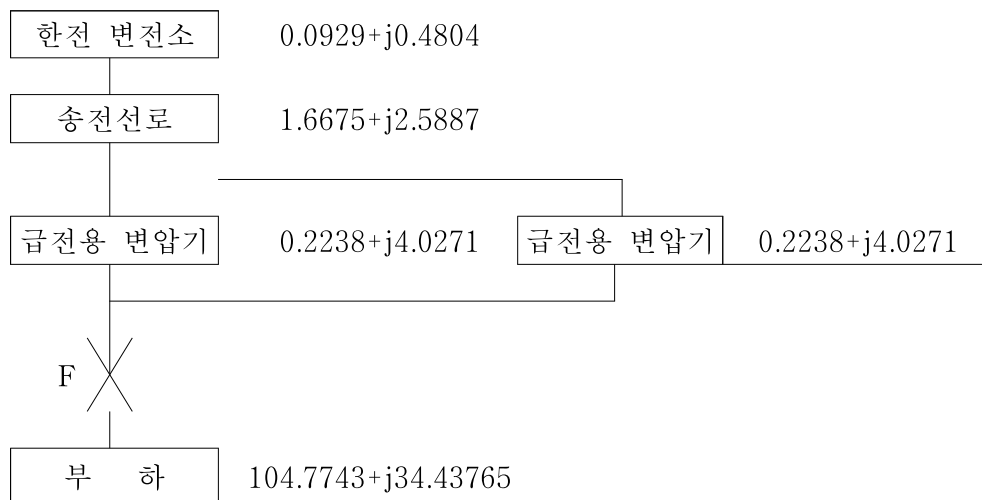
$$I_{SF} = \frac{E}{Z_{sf}} = 3876.5[A] \quad (27.5kV \text{ 기준})$$

$$I_{SF} = \frac{3876.5}{2} = 1938.2[A] \quad (55kV \text{ 기준})$$

② 급전 모선 단락

가. 변압기 1대 운전시 : (1) 항과 동일

나. 변압기 2대 운전시



$$Z_{SF} = 1.9982 + j4.8575 = 5.2525[\Omega]$$

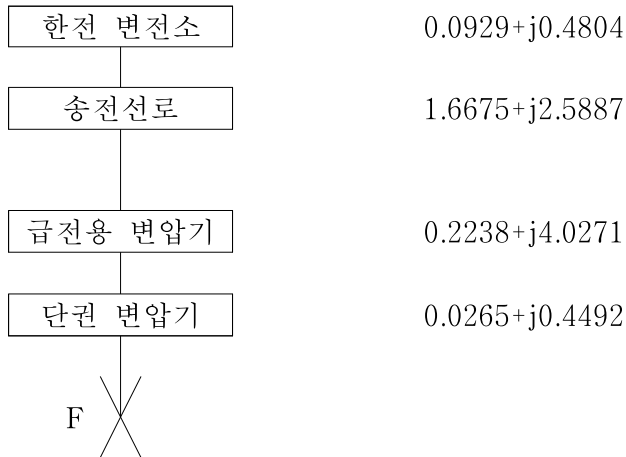
$$I_{SF} = \frac{E}{Z_{SF}} = 5235.6[A] \quad (27.5kV \text{ 기준})$$

$$I_{SF} = \frac{5235.6}{2} = 2617.8[A] \quad (55kV \text{ 기준})$$

(3) 27.5kV 단락전류

① AT 외선 단락

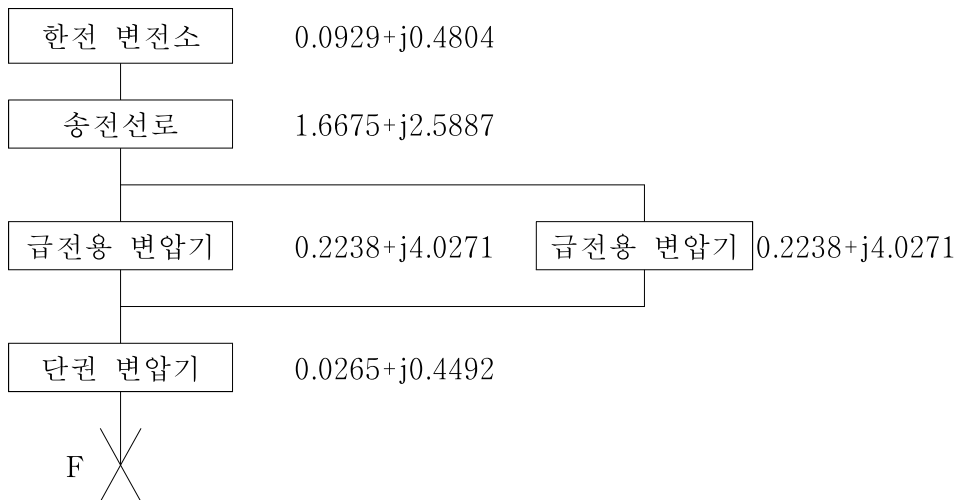
가. 변압기 1대 운전시



$$Z_{SF} = 2.0107 + j7.5454 = 7.8087[\Omega]$$

$$I_{SF} = \frac{E}{Z_{SF}} = 3521.6[A] \quad (27.5kV \text{ 기준})$$

나. 변압기 2대 운전시



$$Z_{SF} = 1.8988 + j5.5319 = 5.8486[\Omega]$$

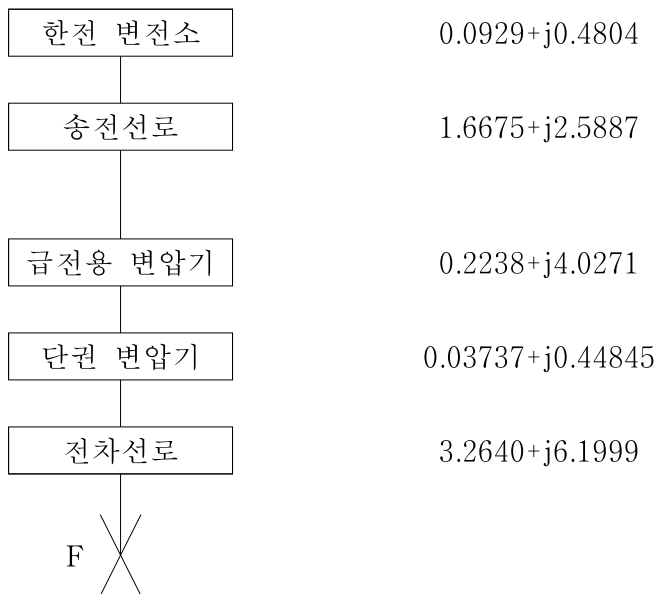
$$I_{SF} = \frac{E}{Z_{SF}} = 4701.6[A] \quad (27.5kV \text{ 기준})$$

1.6.2.3 구분소 (전철변전소에서 29.3km 지점)

(1) 단락전류

① 차단기 투입시

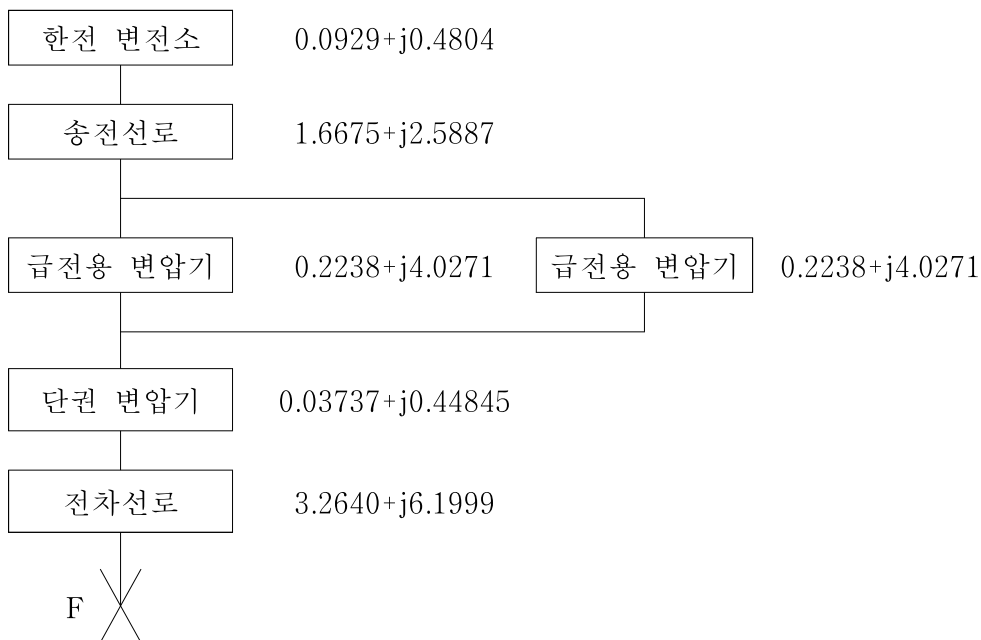
가. 변압기 1대 운전시



$$Z_{SF} = 5.2856 + j13.7445 = 14.7258[\Omega]$$

$$I_{SF} = \frac{E}{Z_{SF}} = 1867.5[A] \quad (27.5kV \text{ 기준})$$

나. 변압기 2대 운전시

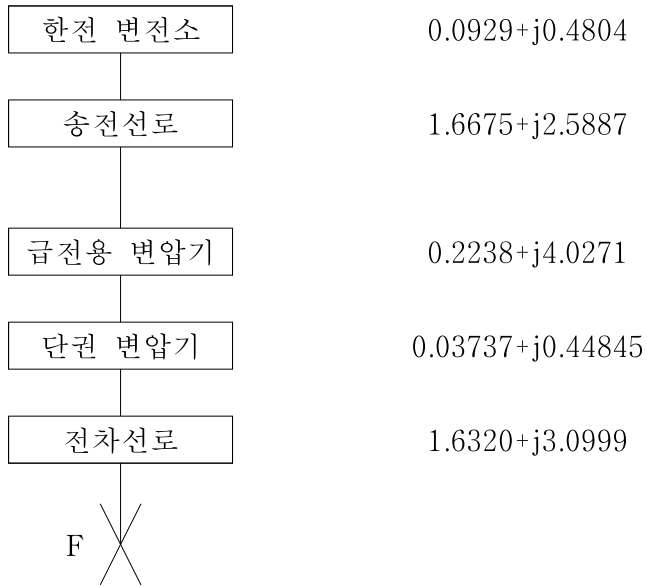


$$Z_{SF} = 5.1737 + j11.731 = 12.8212[\Omega]$$

$$I_{SF} = \frac{E}{Z_{SF}} = 2144.9[A] \quad (27.5kV \text{ 기준})$$

② 차단기 개방시

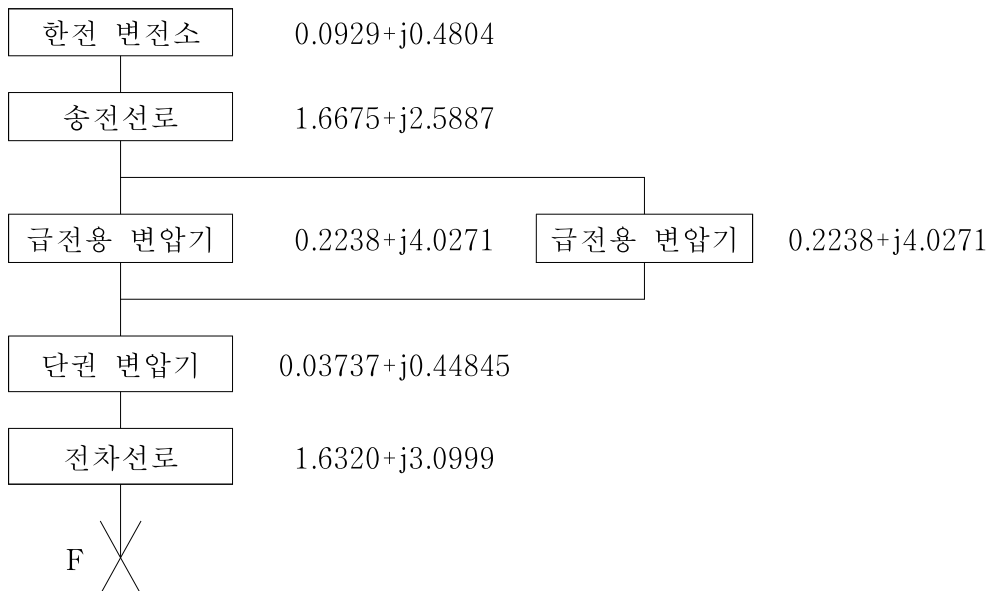
가. 변압기 1대 운전시



$$Z_{SF} = 3.6536 + j10.6445 = 11.2541[\Omega]$$

$$I_{SF} = \frac{E}{Z_{SF}} = 2443.5[A] \quad (27.5kV \text{ 기준})$$

나. 변압기 2대 운전시



$$Z_{SF} = 3.5416 + j8.631 = 9.3293[\Omega]$$

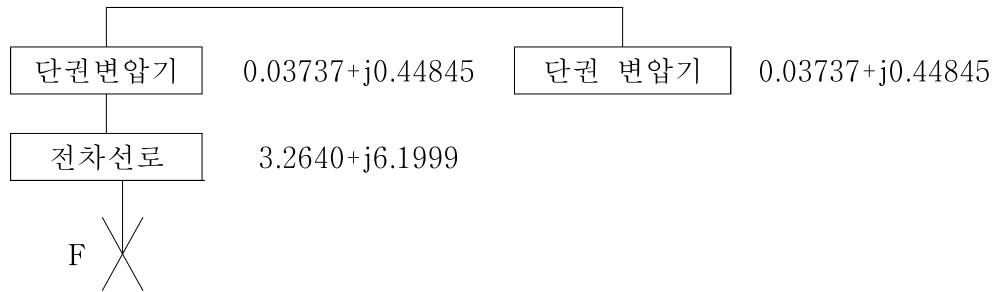
$$I_{SF} = \frac{E}{Z_{SF}} = 2947.7[A] \quad (27.5kV \text{ 기준})$$

(2) 지락전류



① 임피던스도

가. 영상회로



$$Z_0 = 0.04434 + j0.4236$$

나. 정상, 역상회로

$$Z_1 = Z_2 = 5.1737 + j11.731 \quad (\text{차단기 투입, 변압기 2대 운전시})$$

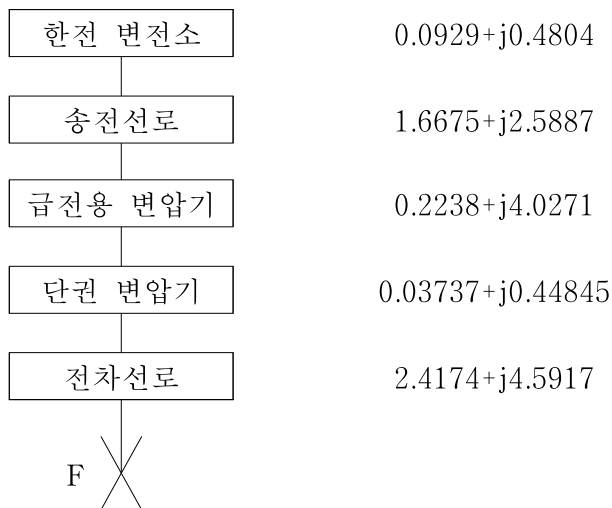
$$\begin{aligned} Z_0 + Z_1 + Z_2 &= 0.04434 + j0.4236 + 2 \times (5.1737 + j11.731) \\ &= 10.3919 + j23.8856 = 26.0482[\Omega] \end{aligned}$$

$$I_g = \frac{E}{Z_0 + Z_1 + Z_2} = 1055.7[\text{A}]$$

1.6.2.4 보조구분소 (전철변전소에서 21.7km 지점)

(1) 단락전류

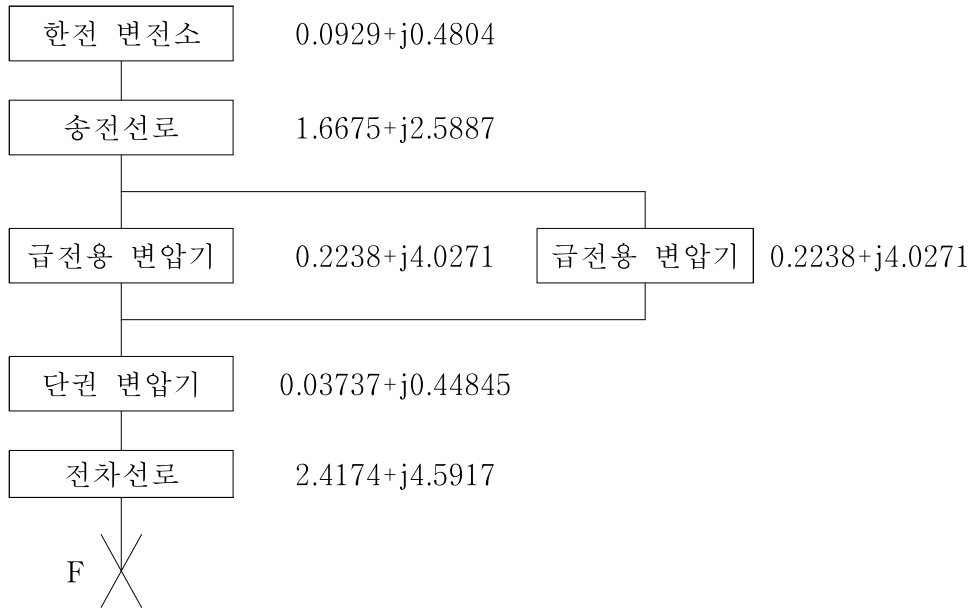
① 변압기 1대 운전시



$$Z_{SF} = 4.4390 + j12.1363 = 12.9227[\Omega]$$

$$I_{SF} = \frac{E}{Z_{SF}} = 2128.0[\text{A}] \quad (27.5\text{kV 기준})$$

② 변압기 2대 운전시



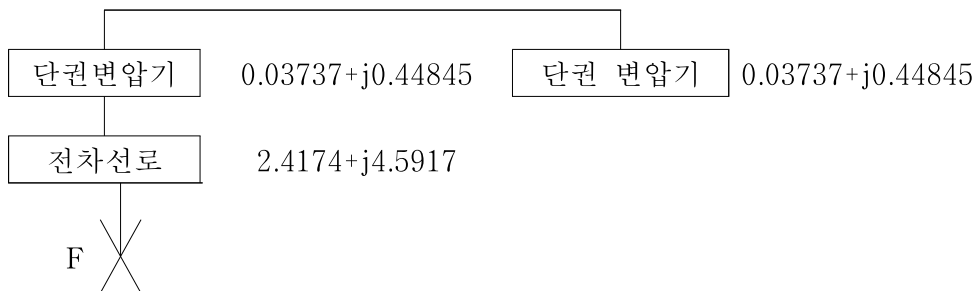
$$Z_{SF} = 4.3271 + j10.1228 = 11.0088[\Omega]$$

$$I_{SF} = \frac{E}{Z_{SF}} = 2498.0[A] \quad (27.5kV \text{ 기준})$$

(2) 지락전류

① 임피던스도

가. 영상회로



$$Z_0 = 0.04601 + j0.4159$$

나. 정상, 역상회로

$$Z_1 = Z_2 = 4.3271 + j10.1228 \quad (\text{변압기 2대 운전시})$$

$$Z_0 + Z_1 + Z_2 = 0.04601 + j0.4159 + 2 \times (4.3271 + j10.1228)$$

$$= 8.7001 + j20.6616 = 22.4186[\Omega]$$

$$I_g = \frac{E}{Z_0 + Z_1 + Z_2} = 1226.7[A]$$



RECORD HISTORY

- Rev.3(12.12.05) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둬.
- Rev.4(14.03.06) 철도설계기준(시스템편) 개정(국토부 고시 제2013-757호, '13.12.05)사항을 반영하여 해설 1. 변전소의 간격의 “비지속성 최저전압 17.5kV”를 추가하여 개정함
- Rev.5(14.12.29) 급전전압을 사고전위로 수정
- Rev.6(21.02.15) 철도건설기준 개정(안) 마련 전문가 워크숍 결과(기준심사처-4495호, '20.11.17)를 반영하여 단권변압기 방식의 사고전류 적용 전압값 표기 개정
- Rev.7(22.12.09) “전철전력분야 공단, 철도공사 상생협력 전철전력분야 기술협의체 회의결과”(전철처-9947호, 2021.12.15.)를 반영하여 변전건물을 하천 인접하거나, 저지대 등에(상습침수지역) 신축시 자연재해(침수) 예방 반영
- Rev.8(23.11.27) 관계 법령, 설계기준 등 인용 기준 최신화, 표현방식 변경, 오류사항 수정 등 단순사항 수정(기준심사처-4429호, 2023.11.27.)
- Rev.9(24.11.25) “전철전력분야 철도건설기준 고도화 용역”으로 도출된 KR CODE 고도화 방안(편람을 해설과 참고로 구분, 국가기준 병기 등)에 따른 개정(심사기준처-3508호, 2024.11.22)
- Rev.10(25.03.28) “전철전력분야 철도건설기준 고도화 용역”으로 도출된 공단 건설기준 내실 정비 방안(건설기준 및 설계 참고도 상충 사항 통일, 최신 설계 반영, 인용 기준 최신화, 불명확한 사항 수정)에 따른 개정(심사기준처-1192호, 2025.03.27.)