

KR E-02100

Rev.5, 29. June 2015

변전소 등의 접지

2015. 06. 29



한국철도시설공단

[illegible]

목 차

1. 변전소등의 접지	1
해설 1. 접지	2
1. 접지계통	2
1.1 접지설계	2
1.2 토양 검토	2
1.3 최대 접지전류의 결정	2
1.4 접지방식의 선택	3
1.5 메시 접지전극의 접지저항 계산	3
2 접지저항의 계산	10
3. 접지설비의 시공	11
3.1 접지전선 등의 매설위치	11
3.2 접지첨가체에 의한 접지설비 보강	11
3.3 메시접지와 철근의 연결	11
3.4 울타리 및 출입문의 접지	11
참조 1. 접지	13
1. 접지설계의 개요	13
1.1 접지의 목적	13
1.2 인체를 통하는 전류의 허용치	13
1.3 접지계의 위험전압	14
2. 접지계 설계	14
2.1 개요	14
2.2 토양의 특성조사	15
2.3 최대 지락고장전류의 결정	19
3. 접지저항의 예측 계산 예	21
3.1 계산 조건	21
3.2 접지봉을 사용하지 않은 경우	22
3.3 접지봉을 추가하는 경우	25
3.4. 4전극법에 의한 대지고유저항의 측정	27
RECORD HISTORY	28

경 과 조 치

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

일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 철도설계지침 및 편람(KR CODE)을 국제적인 방식에 맞게 체계를 각 항목별(코드별)로 변경하였습니다. 또한, 모든 항목에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 항목별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 철도설계지침 및 편람(KR CODE)은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별 수정되어 공단 EPMS, CPMS, 홈페이지 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- 철도설계지침 및 편람(KR CODE)에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(편람) 부분은 설계용역 업무수행에 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서로 한다.

1. 변전소등의 접지

- (1) 변전소등의 접지(건물·기기·부대설비 포함)는 지락사고와 역섬락으로 사람이나 기기에 위험을 주지 않도록 견고히 시설한다.
- (2) 접지시설은 다음 각 호의 기준을 만족하도록 하여야 한다.
 - ① 사람이 접촉되었을 때 인체 통과 전류가 15[mA] 이하일 것
 - ② 일반인이 접근하기 쉬운 지역에 있는 경우 연속 정격 전위가 60[V] 이하일 것
 - ③ 일반인이 접근하기 어려운 지역에 있는 경우 연속 정격 전위가 150[V] 이하일 것
 - ④ 순간 정격(200/1,000초 이내) 전위가 650[V] 이하일 것
- (3) 접지전선은 부식을 감안하여 충분한 전류용량을 가진 것으로 하고 그 사용구분은 다음 표에 의하며, 접지저항 계산 및 기계적 강도를 고려하여 규격을 선정할 수 있다.

[단위 : (mm²)]

설치개소	철구, 주요기기	주 Mesh	배전반	건물 접지	기타
SS	150	120	25	120	25
SP	70	70	25	70	25

- (4) 옥내용 접지전선은 경질 비닐관에 수용하고 관내에서 접속하여서는 아니 된다.
- (5) 옥외 접지전선은 직매하고, 기초에 매설하는 것은 경질 비닐관에 수용하여야 한다.
- (6) 접지선은 금속관에 수용함을 금한다.
- (7) 변전소등의 접지는 망상접지로 하며, 선로변에 매설된 **공통**접지와 연결하여야 한다.



해설 1. 접지

1. 접지계통

변전소등에 지락전류, 뇌전류가 들어오면, 기기, 가대 등의 접지전위가 상승하여 대지에는 전위차가 발생한다. 그것에 의해 인체에 전류가 흘러 상해사고가 일어나거나 기기의 절연을 파괴하는 등의 사고를 일으킨다. 접지의 주 목적은 그런 사고를 예방하는 것이다. 따라서 접지의 시공방법에 대해서는 접지저항을 가능한 한 작게 하여 접지전위의 상승을 억제한다. 대지면의 전위경도를 작게 하는 것이 바람직하기 때문에 변전소등의 접지는 메시 방식에 의한 연접접지를 표준으로 한다. 메시 방식으로 하면 변전소 구내는 동전위로 되어 보폭전압 접촉전압은 적게 되지만 외부에서의 원방제어 케이블 등이나 메시 주변 특히 울타리의 주변에 대하여는 별도로 검토한다.

1.1 접지설계

수·변전설비는 전력 공급의 기본이 되는 중요설비이며 변압기를 중심으로 해서 구성되며 조작, 보수 등으로 작업원이 접촉할 기회가 많으므로 뇌해방지(雷害防止) 및 인체의 안전확보라는 면에서 보다 완전한 접지를 해야 하며 수변전설비의 접지설계의 순서는 토질 특성 검토 → 최대접지 전류의 결정 → 소요접지 저항치의 결정 → 접지방식의 선택(접지방식의 예비설계, 접지저항의 계산, 최대접지 전압상승의 계산) → 소내의 인입선 검토 → 안전성 검토 → 공사결과의 확인(현지시험) → 보완 → 종합검토의 순서로 진행된다.

1.2 토양 검토

접지설계의 기본이 되는 흙의 고유저항은 지질, 지하수위에 따라 다르므로 설계에 앞서 실측하여야 하며 실제 현장에서 접지공사를 시행하기 전 다시 한번 흙의 고유저항을 측정하여 설계치와 변화가 있는지 유무를 확인할 필요가 있다.

1.3 최대 접지전류의 결정

계통의 지락사고 시에 변전소의 접지를 통해 대지로 흐르는 접지전류의 최대값을 구한다. 직접접지 계통에서의 지락전류는 3상 단락전류에 가까운 큰 값이 되어 분류(分流)의 영향을 무시할 수 없다. 일본에서는 각종 실험 및 계산 결과에서 가공지선으로의 분류(分流)를 40%로 하고 구내접지계의 최대 접지전류를 최대 지락전류의 60%로 하고 있으나 IEEE (전기전자기술자회) P80 Draft Guide for Safety in Substation Grounding의 Table C1의 Figure C3 "Current Split"에 의하면 분류값이 0.2 전후이나 안전율을 고려하여 0.2~0.4로 적용된다.

1.4 접지방식의 선택

수변전설비의 접지방식은 그 목적에 따라 뇌(雷)보호접지, 기기접지, 계통접지로 분류되며 본 구간의 접지방식은 기본설계 내용에 따라 연접접지로서 뇌(雷)보호접지와 기기접지 및 계통접지를 함께 접속하여 뇌격전류와 지락사고전류가 같은 접지에 흐르도록 하는 메시(Mesh) 접지로 하여 접지선을 격자형으로 매설하고 각 교점을 접속하는 공법이며 낮은 접지저항을 얻을 수 있고 구내의 전위경도를 낮출 수 있는 방식이며 계통전압에 따라 접지저항 상한 기준치는 154kV 계통은 1~2Ω, 66kV 계통은 2~5Ω, 22kV 계통은 5~10Ω로 권장하고 있다.

1.5 메시 접지전극의 접지저항 계산

메시 접지는 그 구조 특성상 아주 넓은 면적에 포설 한다. 이 방식은 그물 모양으로 포설하는 접지로서 대지 저항률이 높은 지역이나, 변전소와 같이 넓은 면적에 주로 시공한다. 망상접지의 효과는 매우 우수하며 낮은 접지저항을 얻을 수 있고, 낮은 접촉전압이나 보폭전압을 얻기가 쉽다. 하지만 매우 넓은 면적이 필요하고 시공이 어려우며, 시공비가 비교적 비싼 편이다. 또한 유지 보수가 불가능하므로 처음 시공 시에 확실하게 시공을 하여야 한다. 일반적으로 망상 접지는 발전소나 변전소 등에서는 필수적으로 시공되며, 플랜트나 공장과 같은 활용 면적이 큰 장소에서도 많이 시공한다.

1.5.1 대지 고유저항 검토

접지계 설계에 있어 변전소 부지의 토질특성은 중요한 요소 중의 하나이고 그 토질특성에 따라 대지 고유저항 값은 매우 광범위하게 변하며, 그 변화요인이 복잡하여 일률적인 식으로 정의하는 것은 불가능하다. 현재 고유저항의 측정은 Wenner의 4전극 법에 의하여 각 지층별 대지 고유저항 값과 그 깊이를 구한 후, 154kV이하 변전소에서는 등가 깊이 15m까지의 등가 대지고유저항 값을 접지계 설계 시 적용하고 있다. 그러나, 각 지층별 대지고유저항 분포가 서로 큰 차이가 없을 때는 별 문제가 없지만 서로 차이가 많을 경우에 등가 대지고유저항 값을 적용하기 위한 검토가 필요하다. 변전소에서 대지 고유저항은 접지망의 저항 값이나 대지 전위경도에 직접적인 영향을 준다. 따라서 이상적인 설계를 위하여서는 각 지점 지층에 대해 정확한 대지 고유 저항 값 측정을 하여야 한다.

1.5.2 표토층의 효과 검토

표토층의 대지고유저항(ρ_s)값은 지표면의 처리상태에 따라 일반적으로 표와 같이 적용되고 있다.



표 1. 표토층 대지고유저항의 적용

토 양	대지고유저항($\Omega \cdot m$)	비 고
자갈	3,000	
콘크리트	1,000~1,500	
아스팔트	5,000이상	

1.5.3 최대 허용 전위차

그림은 발과 발 사이의 접촉에 의한 사고 등가회로이며, 최대 전위차 U_1 은 아래 식과 같다.

$$U_1 = I_B \cdot \{R_B + 2(R_F - R_{MF})\} = I_B \cdot (R_B + R_{2FS})$$

다만, I_B : 사고회로(인체)에 흐르는 전류(A)

R_B : 두 발 사이의 인체 저항(Ω)

R_F : 한쪽 발과 대지 사이의 저항(Ω)

R_{MF} : 두 발 사이의 상호(Mutual)저항(Ω)

R_{2FS} : 두 발 사이의 직접 저항(Ω)

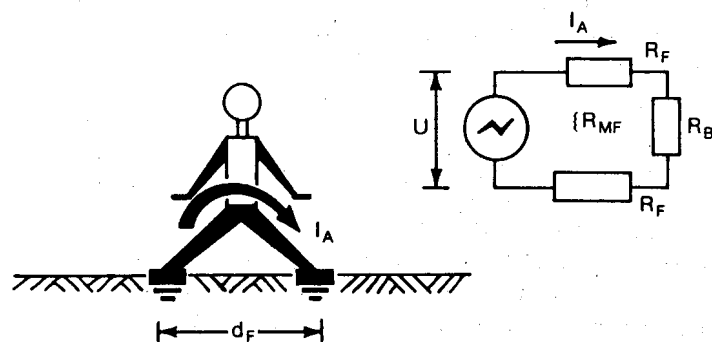


그림 1. 보폭 전압 등가회로

또한, 손과 다른 두 발간의 접촉을 나타내고 있는 등가회로는 그림과 같으며 최대 전위차 U_2 는 아래 식과 같다.

$$U_2 = I_B \cdot \{R_B + 1/2(R_F + R_{MF})\} = I_B \cdot (R_B + R_{2FP})$$

다만, R_B : 한 손과 두 발 사이의 인체 저항(Ω)

R_{2FP} : 두 발 사이의 병렬 저항(Ω)

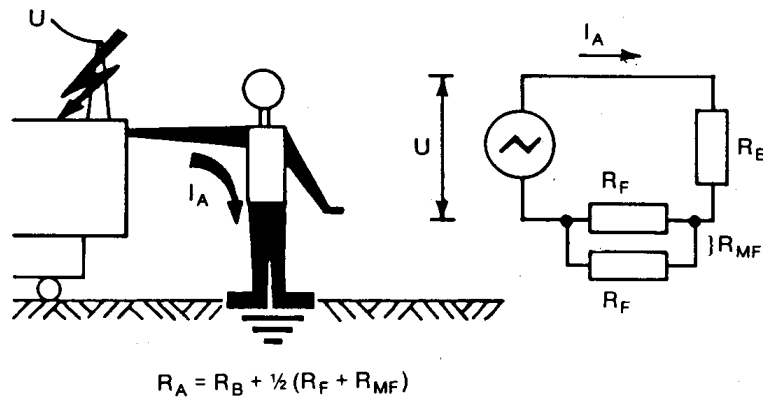


그림 2. 접촉전압 등가회로

상기 두 그림에서 인체의 두 발은 직경 8cm의 금속성의 원판전극과 등가이며, 발밑 토양의 대지 고유저항에서 두 발사이의 직렬저항(R_{2FS})은 $6 \times C_S \times \rho_s$, 두 발사이의 병렬저항(R_{2FP})은 $1.5 \times C_S \times \rho_s$ 정도가 되는 것으로 판명되었다. 따라서, 인체의 내부 저항을 1,000(Ω)이라 가정한 경우 사고회로에서 인체에 인가되는 최대 허용 보폭전압(Estep) 및 접촉전압(Etouch)은 각각 U_1 , U_2 와 같고, 아래와 같이 다시 쓸 수 있다.

(1) 최대 허용 보폭전압 (Estep)

$$= (R_B + R_{2FS}) I_B = (1000 + 6 \cdot C_S \cdot \rho_s) \times 0.116 / \sqrt{t_s}$$

(2) 최대 허용 접촉전압 (Etouch)

$$= (R_B + R_{2FP}) I_B = (1000 + 1.5 \cdot C_S \cdot \rho_s) \times 0.116 / \sqrt{t_s}$$

여기서, C_S : 표토층의 두께와 반사계수에 의해 결정되는 계수

ρ_s : 표면의 대지 고유 저항(Ω -m)

t_s : 사고 지속 시간(s)

I_B : 인체 허용 전류(A)

0.116 사람의 몸무게가 50kg인 경우

0.157 사람의 몸무게가 70kg인 경우

다만, 표토층의 두께와 반사계수에 의해 결정되는 감소계수 C_S 는 그림에 의해 산출하며, 반사계수(K)는 아래 식에 의한다.

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s}$$

ρ : 토양의 고유 저항 (Ω -m)

ρ_s : 표토층 고유 저항 (Ω -m) h_s : 표토층의 두께(m)



또한 식에 위해 C_s 를 계산할 경우는 아래와 같다.

$$C_s = \frac{1}{0.96} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{1 + (2 \cdot n \cdot h_s / 0.82)^2}} \right]$$

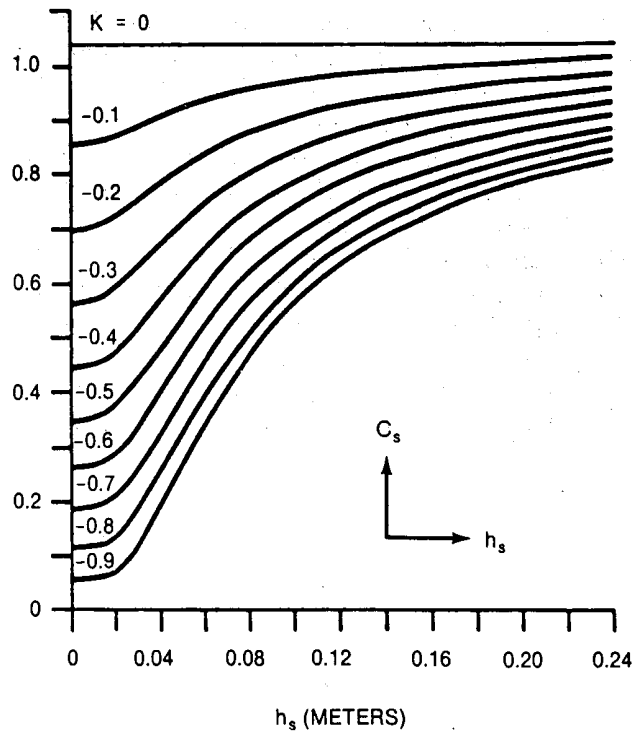


그림 3. 감소계수(C_s)산출

1.5.4 접지 도체의 선정

서로 다른 설계 조건에서 접지도체의 구성물질과 도체의 굵기 및 도체의 최대 허용 온도 등의 요소를 결정하기란 매우 어렵다. 따라서, 접지망 도체의 접속, 접속리드를 포함한 접지 도체는 아래의 조건을 만족하는 것을 선택해야 한다.

(1) 용단 방지를 위한 접지도체의 굵기

접지도체의 단시간 온도상승의 결정에 대한 정량적인 분석은 Sverak에 의한 공식에서 찾아볼 수 있으며, 이 수식은 접지 도체상수나 수식에 의해 계산되는 접지도체의 용량을 구할 수 있다. 공식을 정리하면 아래와 같다.

$$A = I_G \cdot \sqrt{\frac{(t_c \cdot \alpha_r \cdot \rho_r \cdot 10^4) / TCAP}{\ln \left[1 + \left(\frac{Tm - Ta}{Ko + Ta} \right) \right]}}$$

I_G : 1선 지락 실효치(kA)

A : 도체의 단면적(mm²)

T_m : 최대의 허용 온도(℃)

T_a : 주위 온도(℃)

t_c : 전류 유입 시간(s)

α_r : 20℃에서의 저항 온도계수

α_0 : 0℃에서의 저항 온도 계수

ρ_r : 20℃에서의 접지 도체의 고유 저항($\mu \cdot \Omega \cdot \text{cm}$)

TCAP : 체적 열용량($\text{J}/\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$)

위 공식에서 적용되는 계수들은 표와 같다. 단, 경동선을 접지선으로 사용하고 접지 도체의 접속을 압축식에 의한 경우 동의 물리적 성질이 변하는 온도상승 한도 250℃를 적용하는 것이 바람직하다.

표 2. 접지도체 상수

도체종류	도전율 [%]	α_r [20℃]	$K_0[1/\alpha_0]$ [0℃]	T_m [℃]	ρ_r [20℃]	TCAP [$\text{J}/\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$]
연동선	100.0	0.00393	234	1083	1.7241	3.422
경동선	97.0	0.00381	242	1084	1.7774	3.422
동복강선	40.0	0.00378	245	1084/1300	4.397	3.846
동복강선	30.0	0.00378	245	1084/1300	5.862	3.846

(2) 기계적 강도

기계적 강도면에서 본 접지도체의 최소 굽기는 볼트 접속은 80mm²이며, 일반적으로 100~150mm²이다.

(2) 도전율

고장전류에 의한 용단 및 기계적 강도면을 고려하여 결정된 굽기면 도전율은 충분하다.

1.5.5 각종 계수의 결정과 수식의 적용

접지망을 구성하는 접지 도체의 소요 길이를 계산하기 위하여, 메시 전압(E_m)과 보폭 전압(E_s)의 접지도체의 유효길이(L 또는 L_M)와의 관계식은 아래와 같다.

$$E_m = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_g}{L}$$

$$E_s = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_g}{L}$$

다만, K_m : 메시 전압 산출을 위한 계수(Geometric factor)

K_i : 전위경도의 변화에 대한 교정계수(Current irregularity factor)

K_s : 보폭 전압 산출을 위한 간격계수



I_g : 최대 접지망 유입 전류(A) : 여기서는 1선 지락 전류의 분류계수와 감쇠계수를 고려한 최대 Grid 전류를 말한다.

$$I_g = D_f \cdot S_f \cdot (3I_0)$$

D_f : 감쇠계수

S_f : 분류계수(0.4~0.6 정도)

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} (1 - e^{-\frac{2t_f}{T_a}})}$$

t_f : 고장 지속 시간(초)

T_a : DC offset 시정수

표 3. D_f 의 대표적인 값

t_f	D_f			
	X/R=10	X/R=20	X/R=30	X/R=40
0.4	1.033	1.064	1.095	1.125
0.5	1.026	1.052	1.077	1.101
0.75	1.018	1.035	1.052	1.068
1.0	1.013	1.026	1.039	1.052

1.5.6 메시 전압

접지망의 메시 전압 계산식은 다음 식에 의한다.

$$E_m = \frac{\rho \cdot I_g \cdot K_m \cdot K_i}{L}$$

여기서, $L = L_c + L_R$: 접지도체의 유효길이(m), 접지망 외곽에서 떨어진 부분에 접지봉을 설치하거나 설치하지 않은 경우

L_c : 매설 접지도체의 총 길이(m)

L_R : 접지봉의 총 길이(m)

ρ : 대지 고유 저항(Ω -m)

$L = L_c + [1.55 + 1.22(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}})] \cdot L_R$: 접지망 외곽 및 전체에 접지봉을 사용한 경우

L_x : X 방향의 최대길이(m)

L_y : Y 방향의 최대길이(m)

L_r : 각 접지봉의 길이(m)

(1) 이때 사용되는 계수 K_m 은 아래와 같다.

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{Kh} L_n \frac{8}{\pi(2n-1)} \right]$$

다만, $K_{ii} = 1$ (접지망 외곽 및 전체에 접지봉을 사용한 경우)

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{2/n}} \text{ (접지망 외곽에서 떨어진 부분에 접지봉을 설치하거나 설치하지 않은 경우)}$$

$$K_h = \sqrt{1+h/h_0}$$

h_0 = Grid의 기준 깊이(1m)

h : 매설 깊이(m)

K_{ii} : 외곽도체에 대한 내부도체의 보정계수

d : 도체 굵기(m)

K_h : 매설 깊이에 따른 보정계수

D : Grid 간격(m)

n : 도체 수(개) $n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p}$$

$n_b \cdot n_c \cdot n_d = 1$ (사각형 매설 접지인 경우)

L_p : 매설 접지 도선의 주변길이(m)

또한, 사각형 매설 접지가 아닌 경우는

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}}$$

$$n_c = \left[\frac{L_x \cdot L_y}{A} \right]^{\frac{0.7A}{L_x L_y}} \quad A : \text{Grid의 면적(mm}^2\text{)}$$

$$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}$$

D_m : Grid 상 2점간의 최대 길이(m)

(2) 교정계수(K_i)는 다음과 같이 표현된다.

$$K_i = 0.644 + 0.148n$$

K_i 계산식에서 0.656은 0.644로, 0.172는 0.148로 변경되었다. 일반적으로 접촉전압, 보폭전압, Mesh 전압 등의 수식은 대지 고유저항이 매우 균일하거나 Grid 간격이 절대적으로 동일한 이상적인 조건을 가정하여 산출되었으나 이런 이상적인 조건하에서도 접지망으로 흐르는 전류밀도는 접지선의 주변, 특히 모서리에서는 중심부보다 높다. 따라서 전위경도는 변화하며 이런 것을 보정하기 위하여 교정계수 K_i 를 선택한다.

1.5.7 보폭 전압

접지망 주변의 보폭 전압은 다음 식에 의한다.



$$E_s = \frac{\rho \cdot I_g \cdot K_s \cdot K_i}{L}$$

여기서, 유효 매설 접지 도선의 길이는 $L = 0.75 \cdot L_c + 0.85 \cdot L_R$

K_s 의 값은 매설 깊이에 따라 결정되며 산출 공식은 아래와 같으며 일반적인 매설 깊이는 $0.25(m) \leq h \leq 2.5(m)$ 인 경우인 공식을 사용한다.

$$(1) K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

($0.25(m) \leq h \leq 2.5(m)$ 인 경우)

$$(2) K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} W \right] \quad (0.25(m) > h \text{인 경우})$$

$$W = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} \dots + \frac{1}{n-1} \quad (n < 6 \text{인 경우})$$

$$W = \frac{1}{2n-1} + \ln(n-1) - 0.425 \quad (n \geq 6 \text{인 경우})$$

여기서, D 는 평행 접지 도선(Grid)의 간격이다.

2 접지저항의 계산

접지계의 총 저항 값의 산정은 접지계의 기본배치와 크기를 결정하는 첫 번째 단계이며, 변전소의 접지 저항은 접지계를 점유하는 접지 소요면적과 대지 고유저항의 크기에 따라 결정된다. 즉, 이상적인 접지는 원격대지(Remote Earth)에 대해서 “0”에 가까운 저항을 나타내야하지만, 실제적으로는 아래 식에서 보는 바와 같이 대지 고유저항에 비례를 하고 변전소 접지계의 면적(또는 접지도체의 길이)에 반비례 한다.

$$R_g = \frac{\rho}{4} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad (\text{표토층에서의 접지저항 계산식})$$

$$R_g = \frac{\rho}{4} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L} \quad (\text{도체의 매설깊이 } h < 0.25(m) \text{인 경우})$$

$$R_g = \rho \cdot \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right] \quad (0.25 \leq h \leq 2.5(m) \text{인 경우})$$

R_g : 변전소 접지저항(Ω)

ρ : 평균 대지고유저항($\Omega\text{-m}$)

A : 접지 부지(m^2)

L : 매설된 도체의 총 길이(m)

h : 매설깊이(m)

- (1) 접지선의 접속은 압축접속을 표준으로 하고 있지만 조임형 등 가장 실상에 맞는 시공을 한다.

- (2) 철구조 틀에 설치하는 경우는 주재에 직접 설치한다.
또한 설치하는 위치는 콘크리트 면에서 100~200mm위를 표준으로 한다.
- (3) 조임형의 경우는 전선의 단말을 단말처리 금구로 조인다.
- (4) 접속상 내의 접속은 땀납도금 동판 및 압축접속에 의한다.
또한 동판에는 직경 9mm의 황동볼트 나비나사를 설치한다.

3. 접지설비의 시공

3.1 접지전선 등의 매설위치

접지전선 및 전극 매설 후에는 그 위치를 용이하게 판단할 수 있도록 접지선 인입표시를 설치함과 동시에 표적이 되는 건물 기둥 등의 고정물 2개소에서의 거리를 접지선 계통도에 명시한다.

3.2 접지첨가제에 의한 접지설비 보강

앞에서 설명한 순서와 내용에 의거 접지설계를 하여 원하는 접지저항 값을 얻었을 경우라 하더라도 지하에 매설된 접지선은 경년열화에 의해 도체의 부식이 발생하게 되므로 접지도체의 수명연장과 안정된 접지값 유지 및 유지보수 관리면에서 유리하도록 접지도체에 접지첨가제를 도포하고, 대지고유저항이 높아 원하는 접지저항 값을 얻을 수 없는 개소에는 접지도체와 더불어 접지첨가제 혹은 접지판을 병행 시공하여 원하는 접지 값을 유지할 수 있도록 한다.

3.3 메쉬접지와 철근의 연결

기기접지 및 계통접지선은 직접 메쉬 접지망에 연결하고 건물의 철근 및 보수용 도로 철근은 별도의 접지선으로 메쉬 접지망과 연결하여 건물과 보수용 도로가 등전위가 되도록 한다.

3.4 울타리 및 출입문의 접지

변전소, 급전구분소 및 보조급전구분소의 울타리 및 출입문의 접지는 메쉬 접지망을 울타리에서 0.5m~1m 정도 울타리 밖으로 확장하고 **약 15~18m 간격으로** 울타리 접지선과 메쉬 접지망을 연결 시공하여 지락전류에 의해 대지전위 상승시 보수자 또는 통행자가 울타리에 접촉할 경우 접촉전압에 의한 감전사고가 발생하지 않도록 한다. 메쉬의 최고전위 상승치가 접촉전압을 초과할 경우에는

- (1) 접지주변, 울타리 주변에는 자갈, 아스팔트 포장을 한다.
- (2) 울타리와 접지선을 2~5m 이격시키고 매설깊이를 깊게하는 등 접촉전압의 위험을 방지한다.



(3) 울타리에 이르는 구역의 전위경도를 저감한다.

건물의 위치 등에 의하여 접지와 울타리를 분리할 수 없지만 울타리 밖에 보조 접지선을 구성할 여유가 있는 경우는 울타리에 병행하여 매설 접지선을 시설한다.

(4) 울타리에는 사람이 접근할 수 없는 방책을 구한다.

울타리의 양측에 사람이 접촉하지 않도록 도랑, 옹벽, 위험 표시찰 등을 시설한다.

(5) 제어반 및 전원장치의 외함접지

제어반 및 전원장치의 외함접지는 개폐서지를 고려하여 단독으로 시행한다.

참조 1. 접지

1. 접지설계의 개요

1.1 접지의 목적

접지설계는 다음 두 가지 목적을 가지고 있다. 첫째는 정상 및 사고 상황 하에서 각종 변전기기의 운전조건을 초과하거나 전력공급을 중단하지 않고 전류를 대지에 안전하게 흘릴 수 있어야 하며, 둘째는 접지된 설비의 주위에 있는 사람이 치명적인 전기적 충격을 받을 위험이 없어야 한다.

지락사고시 고장전류가 대지 속으로 흘러 들어가면 변전소의 구내 및 주변에 전위차가 발생하여 접지계 설계시 이에 대한 적절한 대책을 세우지 않으면 지락고장 시 지표면에 발생하는 전위경도가 인체에 위험을 초래하게 된다. 특히, 접지한 철구, 기기의 외함 또는 지지물과 부근 대지 위의 인체간에 위험한 전위차가 발생할 수 있다. 이와 같은 위험 전위는 접지계의 구조, 접지지점 토양의 성분 및 균질성, 지락전류의 크기 및 지속 시간, 인체의 전기적 특성 등 관계되는 요소가 많을 뿐 아니라 그 특성이 복잡하고 불확실하여 정확한 계산은 매우 어렵다.

그러나 이에 관한 실험결과에서 얻은 많은 자료에 따라서 각 요소를 검토함으로써 실용적으로 안전한 접지설계가 가능하다. 특히 강조할 것은 낮은 접지 저항치만으로 인체의 안전이 보장되지 못한다는 것이며 방법이야 어떻든 접지된 시설물은 접촉하여도 안정하다고 생각해서는 안된다는 것이다.

1.2 인체를 통하는 전류의 허용치

전류가 인체에 미치는 영향은 주파수, 크기, 지속시간 및 통로에 관계된다.

1.2.1 주파수

본 해설에서는 상용주파수(60Hz)에 대해서만 고려한다. 그러나 일반적으로 사람은 25Hz에서 더 큰 전류에 견딜 수 있고 직류에서는 상용주파수 교류전류크기의 5배까지 견딜 수 있다. 또한 충격전류는 수백 암페어까지 견딜 수 있다.

1.2.2 크기 및 통전시간

사람은 일반적으로 1mA 정도의 전류가 흐르면 감전을 느끼기 시작하여 9~25mA가 흐르면 상당한 고통을 느끼고 손에 잡은 물체를 놓기 곤란하거나 놓을 수 없을 정도로 근육계통의 장애를 초래한다. 보다 큰 전류가 흐르면 근육수축으로 호흡이 곤란해진다. 근육수축이 심하여 호흡이 수분간 정지하지 않는 한 그 영향은 전류만 차단되면 곧 없어진다. 이 보다 큰 전류가 흐르면 심실세동(Ventricular Fibrillation)으로 죽음을 초래한다. 이 심실세동이 시작되는 전류치가 최대 관심사이며, 실험결과에



의하면 심실세동을 일으키지 않고 사람이 견딜 수 있는 전류는 지속시간 3초 이내 일 때 다음 식에 의하여 결정된다.

$$I_k = \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

여기서, I_k : 감전전류 (rms)(A)

t : 감전시간 (sec)

체중 50kg의 인체기준

즉 사람은 감전시간이 짧으면 보다 큰 전류에 견딜 수 있으므로 고속도차단이 안전 측면에서 중요하다는 것을 표시한다.

상기 식은 실험결과로 얻은 식이므로 그 이상의 장시간에 대하여는 적용할 수 없고, 지속시간이 수분 또는 그 이상일 때는 9mA를 적용한다.

1.3 접지계의 위험전압

- (1) 보폭전압(Step Voltage)은 발과 발사이(통상 1m를 기준으로 함)의 대지 표면의 전위차이다.
- (2) 접촉전압(Touch Voltage)은 사람이 서 있는 발의 접지전위와 손을 뻗어 닿을 수 있는 거리(통상 1m로 간주함)에 있는 접지된 기기의 전위차를 말한다.
- (3) 메시전압(Mesh Voltage)은 접지망내의 가장 낮은 지표면전위의 접지도체의 전위상승값과의 전위차를 말하며, 메시전압은 최대 접촉전압을 말한다.
- (4) 전이전압(Transferred Voltage)은 구내접지망과 구외의 통신선, 저압중성선, 수도관, 파이프, 레일, 철제 울타리 등과의 전위차로 발생하는 전압이다. 전이전압은 변전소내의 전위상승과 같거나 보다 큰 전위를 갖기도 하며 실제로 구외의 설비에 유도된 전압이 전이전압으로 작용하기 때문에 전이전압은 해당변전소와 전원단 변전소의 전위상승의 합보다 큰 경우가 있다.

2. 접지계 설계

2.1 개요

허용보폭전압 및 접촉전압한계를 결정한 후는 다음 순서로 접지계를 설계한다.

- (1) 토양의 특성조사
- (2) 최대 지락고장전류의 결정
- (3) 접지계의 예비설계
- (4) 접지계의 접지저항계산
- (5) 접지망의 최대전위상승 계산

- (6) 접지망 주변의 보폭전압 계산
- (7) 접지망 내의 보폭전압 및 접촉전압 계산
- (8) 전이 전압과 특히 위험한 개소의 조사
- (9) (6), (7) 및 (8)항에 의한 예비설계의 수정
- (10) 접지계 시공
- (11) 시공 완료 후의 접지계의 접지저항 측정과 가능하면 보폭전압 및 접촉전압측정
- (12) 실측치에 의한 (5)~(8)항의 재검토
- (13) (12)항의 검토 결과에 따라 접지계의 변경, 스크린 또는 배리어(Barrier)의 추가

2.2 토양의 특성조사

변전소 접지설계에 있어 그 장소의 토양의 특성은 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 토양의 고유저항은 그 성분, 균질성, 온도 및 습기 함유량에 따라 광범위하게 변화한다. 토양의 고유저항은 온도가 0℃이하로 저하되면 급격히 증가하며, 습기함유량이 15% (중량대비)이하로 떨어져도 급격히 증대한다. 따라서 접지도체는 동절기에도 얼지 않는 깊이에 매설할 필요가 있으며, 지표면에는 자갈을 깔아 토양의 습기를 보존하여야 한다. 또한 자갈은 인체와 대지간의 저항을 증대시키는 역할을 한다.

토양의 고유저항율은 실측치를 적용해야 하며 실측치의 조건이 유리한 것이면 그 곳에서 예상된 가장 불리한 조건하(고유저항이 큰 값)의 값으로 교정해야 한다. 접지설계에 적용할 대지고유저항율은 현장조사에서 얻은 토양의 겉보기 고유저항율의 측정값을 근거로 결정하고, 등가측정 깊이는 일반적으로 345kV 경우에는 20~25m, 154kV 이하에서는 15m정도에서 측정토록 한다.

2.2.1 대지 저항률에 영향을 미치는 요인

(1) 토양의 종류

일반적으로 토양을 구성하는 성분, 입자의 크기, 분포, 균질성, 조밀도 등에 따라 대지의 전기적 성질도 다르다. 아래표는 여러 가지 토양의 저항률을 나타낸다.



표 4. 토양의 종류와 저항률

토양의 종류	저항률[Ω · m]
점토질의 논 또는 늪지	10~150
점토질의 밭	10~200
점토질의 산지	200~2,000
암반지대의 산지	2,000~5,000
자갈 · 옥석이 깔린 해안지대	1,000~5,000
해안 지대의 모래땅	50~100
양토(Loam)	20~100
부식토(Humic soil)	10~150
사점토(Sandy clay)	50~500
소성점토	50
무수규산점토	200~3,000
편암	50~300
운모편암	800

또한 아래표처럼 일반적으로 흙의 종류를 진흙, 점토, 모래, 사암의 4가지로 크게 나누어 나타내는 데이터도 있으며, 아래표는 지역적 대지 저항률을 보여준다.

표 5. 흙의 종류와 저항률

흙의 종류	저항률[Ω · m]
늪지 및 진흙	80~200
점토질 · 모래질	150~300
모래질	250~500
사암 및 암반지대	1000~100,000

표 6. 지역에 따른 대지 저항률

지역별 저항률	저항률[Ω · m]	지질 특성
낮은 저항률 지역	100 이하	강, 하천, 바다에 인접한 저지대로 물이 풍부한 지역
중간 저항률 지역	100~1,000	지하수가 풍부한 지역으로 준 평원지역
높은 저항률 지역	1000 이상	배수가 잘되는 지역, 구릉 지대, 고원

(2) 수분의 함유량에 따른 영향

토양에서의 전기전도는 근본적으로 전해질 중에 함유되어 있는 이온의 이동에 의한 전기전도에 의해서 이루어지므로 토양 중에 수분이 함유되면 저항률이 저하하고, 수분의 함유량이 증가하면 대지저항률은 급격히 감소한다. 아래표는 수분 함유량에

따른 대지 저항률을 나타낸다.

표 7. 수분 함유량에 따른 대지 저항률

<div>저항률</div> <div>함유율[%]</div>	대지 저항률[Ω · m]	
	표면 토양	모래가 섞인 퇴적토양 (Sandy loam)
0	1000×10^6	1000×10^6
2.5	2500.0	1500.0
5	1650.0	430.0
10	530.0	185.0
15	190.0	105.0
20	120.0	63.0
30	64.0	42.0

토양의 종류에 따라 다르기는 하지만 위의 표에서 보는 바와 같이 수분의 함유량이 15~20[%] 정도 함유되면 대지 고유저항이 급격히 감소하는 것을 볼 수 있고, 20[%] 이상이 되면 대지 저항률의 감소는 완만해진다. 또한 대지 저항률은 함유된 물의 종류에 따라 다르게 되며 여러 가지 물의 저항률은 표와 같다.

표 8. 물의 종류별 저항률

물의 종류	저항률[Ω · m]
순수	200,000
증류수	50,000
빗물	200
수돗물	70
우물물	20~70
하천물	2
바닷물	0.15~0.3

(3) 전해질 성분(염분)에 따른 영향

토양의 저항률은 수분의 함유량뿐만 아니라 토양 중에 녹아 있는 염분, 산, 알칼리 등 화학물질 및 조성에 따라 매우 크게 변화한다. 아래 표는 염분의 농도에 대한 대지 저항률의 예를 보여주고 있으며, 염분의 농도가 증가하면 대지 저항률은 급격히 감소하는 것을 알 수 있다.



표 9. 전해질 성분(염분)에 따른 대지 저항률

함 유 율[%]	저 항 른	대지 저항률[Ω · m]
0		110
0.1		20
1		10
5		7
10		4
20		3

(4) 온도에 따른 대지 저항률

일반적으로 온도가 높아지면 금속의 저항률은 증가하는데 비해서 반도체나 전해질의 저항률은 감소한다. 토양에 포함된 수분도 전해질이므로 대지 저항률은 온도상승과 더불어 감소한다. 토양이나 암반에 함유되어 있는 수분이 증발되거나 동결될 정도로 높은 온도 또는 낮은 온도로 변화되면 대지 저항률은 수 배정도 변화하는 경우도 있다. 그러나 수분이 증발되지 않는 범위에서 온도가 상승하면 수분에 포함되어 있는 이온의 이동도가 증가하여 대지 저항률은 약간 감소하게 된다. 아래표의 온도에 따른 대지 저항률을 나타낸다.

표 10. 온도에 따른 대지저항률

온도[℃]	저항률	대지 저항률[Ω · m]
20		72.0
10		99.0
0(물)		138.0
0(얼음)		300.0
-5		790.0
-15		3300.0

(5) 계절적 영향

대지 저항률은 토양에 함유되어 있는 수분과 온도 등과 밀접한 관계를 가지고 있으므로 기후나 계절에 따라서도 크게 변화한다. 계절이 변화하면 온도뿐만 아니라 토양에 함유되어 있는 수분의 양도 함께 변하게 되므로 대지 저항률은 대체적으로 기온이 낮으며 건조한 겨울철에 높고, 기온이 높고 습기가 많은 여름철에 낮게 된다. 대지 저항률의 계절적 변동량은 동일한 토질이라고 하더라도 장소와 시간, 접지전극의 형태와 매설깊이 등에 관련된다. 토양은 그 깊이에 따라 온도가 다르거나 토질이 다른 이른바 다층구조를 이루기 때문에 실제로 대지표면의 어느 한 점에서 그 아래 지층의 토양

상태를 평가하기란 쉽지 않으므로 특정한 토질에 대해서 대지 저항률을 명시하기란 곤란하다. 일반적으로 대지 저항률의 연간 변동량은 지역에 따라 다르지만 대략 2~5배 정도인 것으로 알려져 있으며, 접지공사를 시설할 때는 연간 접지저항의 변동을 고려하여 설계·시공할 필요가 있다.

2.3 최대 지락고장전류의 결정

2.3.1 최대 지락고장전류의 계산

예상되는 최대 지락고장전류를 계산하여 접지도체 및 지표면의 전위상승과 전위경도에 관계되는 부분, 즉 접지망과 주위 대지간에 흐르는 부분의 전류치를 결정한다. 아래 그림은 단일 접지시스템의 변전소에 지락사고가 발생했을 때 고장전류가 접지망을 형성하는 금속도체에만 흐르며 대지를 통하는 부분은 거의 없다.

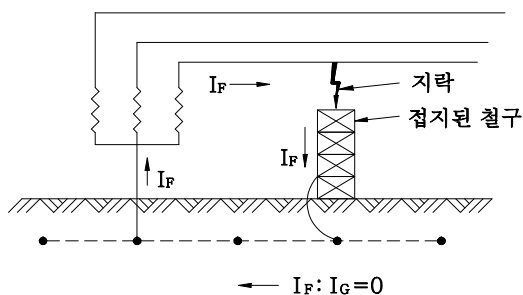


그림 4. 접지된 변전소의 지락사고

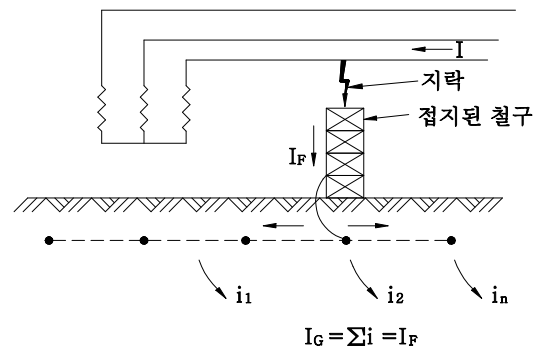


그림 5. 비접지된 변전소의 지락사고

위의 비접지된 변전소의 그림은 중성점 비접지계통 변전소에 지락사고가 발생했을 때 (중성점 접지 변압기는 타 변전소에 있음) 고장전류 전부가 접지망을 통하여 대지에 흘러 들어간다.

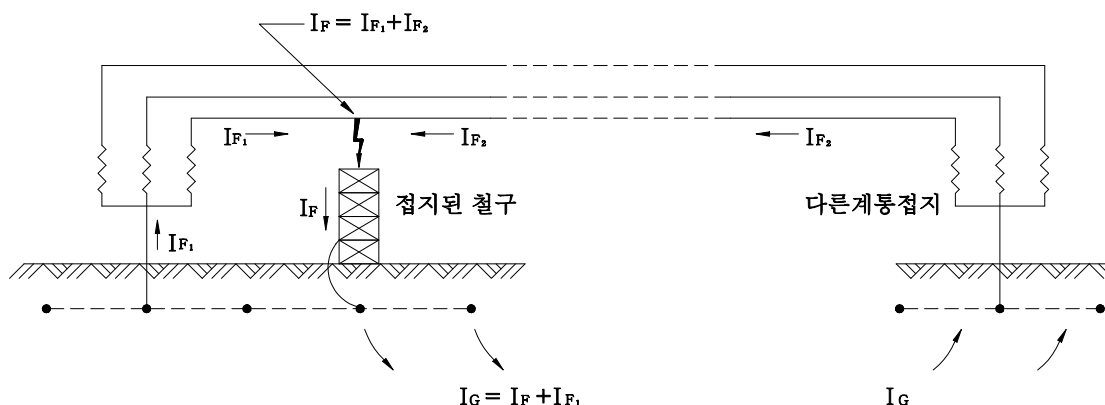


그림 6. 다중접지된 계통에서의 지락사고



예상되는 최대 지락고장전류 I_F 는 일반적으로 다음 식에 의해서 계산하거나 장기 계통계획에 의한 해당 변전소의 1선 지락 고장전류를 활용한다.

$$I_F = \frac{3E}{X_1 + X_2 + X_3} (A)$$

여기서, E : 상전압 (V)

X_1 : 정상 리액턴스 (Ω)

X_2 : 역상 리액턴스 (Ω)

X_0 : 영상 리액턴스 (Ω)

2.3.2 비대칭분에 대한 교정

지락사고 발생 후 주어진 시간동안의 유효전류를 결정하기 위하여 다음 표와 같은 교정계수를 적용한다.

표 11. 비대칭분에 대한 교정계수

고 장 지 속 시 간		교 정 계 수 (Df)
초	주파수(60Hz교류)	
0.008	1/2	1.65
0.1	6	1.25
0.25	15	1.10
0.5또는 그 이상	30또는 그 이상	1.0

선정된 고장전류치에 고장지속 시간에 따른 상기 교정계수를 곱하여 지락전류를 교정한다.

2.3.3 장치의 계통확장

일반적으로 계통이 확장되어 용량이 증대하면 고장전류도 증가한다.

따라서 이점을 고려하여 1.0~1.5의 계통 확장계수(C_p)를 적용한다.

2.3.4 지락전류 분류계수(β)

1선 지락으로 발생한 고장전류가 접지망으로 유입된 후 고장전류의 일정 부분만 변전소 접지망을 통하여 대지로 방출되고 나머지는 여러 가지 경로를 통하여 전원단으로 귀환한다.

분류계수(β)는 1선지락 고장전류 중에서 접지망을 통하여 대지로 방출되는 전류의 크기를 나타내는 계수로 접지설계에서 위험전압 검토 시 사용되는 중요한 변수이다.

지락 분류계수(β)의 크기를 결정하는 중요한 요소들은 아래와 같다.

- (1) 지락사고의 위치
- (2) 변전소 접지저항의 크기

- (3) 접지계통 주위에 매설된 배관 및 도체
- (4) 가공지선, 중성선
- (5) 지중 케이블을 포함한 기타 전류 귀환통로

분류계수(β)의 계산은 가공지선, 중성선, 접지도체, 대지 등에 흐르는 전류를 수학적
으로 해석하는 것이므로 많은 요소를 고려하여야 하지만 일반적으로 위에서 언급한
요소를 고려하여 결정하여야 한다.

일반적으로 접지망을 통하여 대지로 방출되는 전류는 지락고장전류의 10~20%정도를
적용하는 것이 바람직하며, 접지설계 시에는 해당 변전소의 접지저항과 계통으로 연결된
선로수를 감안하여 아래 표에서 적당한 값을 선택한다.

표 12. 지락전류 분류계수

선로수 접지저항	2개 이하	3~5개	6개 이상
3Ω 미만	20%	15%	10%
3Ω 이상	17%	12%	10%

다만, 변전소 인입, 인출이 지중케이블로만 구성된 경우에는 케이블 시스가 접지망에
연결될 경우 지락전류 분류계수(β)를 10%로 적용할 수 있다.

2.3.5 접지전류의 계산

접지전류 I_G 는 최대지락전류 I_f 로부터 다음과 같이 구하며 자세한 내용은 다음 항목
에서 설명한다.

$$I_G = \beta \cdot D_f \cdot C_p \cdot I_f$$

여기서, β : 지락전류분류계수

D_f : 비대칭분에 대한 교정계수

C_p : 장차의 계통확장계수

I_f : 최대 지락전류

3. 접지저항의 예측 계산 예

3.1 계산 조건

- (1) 고장 지속시간 : 0.5초
- (2) 1선 지락전류 및 시정수 : 3,180A, X/R=10
- (3) 전류 분류계수 : 0.6
- (4) 대지 고유저항 : 400Ω-m



- (5) 표토층(자갈)의 고유저항(젖은 상태) : $2,500\Omega\cdot\text{m}$
- (6) 표토층(자갈)의 두께 : 0.102m
- (7) 접지 도선의 매설 깊이 : 0.5m
- (8) 매설 가능 면적 : $63\text{m}\times 84\text{m}$
- (9) 주위온도 : 40°C

3.2 접지봉을 사용하지 않은 경우

접지봉을 사용하지 않고, 접지도선을 매설하여 메시 접지설계를 아래와 같이 한다.

(1) 접지면적

현장은 직사각형 $63\text{m}\times 84\text{m}=5,292\text{m}^2$ 이므로 초기단계에서 접지면적은 $70\text{m}\times 70\text{m}=4,900\text{m}^2$ 로 가정한다.

(2) 접지도체의 굵기

표에서 D_f 는 고장시간 0.5초 일 때 약 1.0이므로 비대칭 고장전류도 3,180A이다. 매설 접지선으로 경동 연선을 적용하고, 주위온도는 40°C , 경동 연선의 용해온도가 $1,084^\circ\text{C}$ 이므로 수식에 의해 매설 접지선의 굵기는 8.1mm^2 로 계산된다. 그러나 여기서는 굵기가 가는 동선대신 동복강선을 사용하기로 한다. 따라서 도체 굵기 d 는 0.01m 로 선정한다.

표 13. D_f 의 대표적인 값

t_f	D_f			
	X/R=10	X/R=20	X/R=30	X/R=40
0.4	1.033	1.064	1.095	1.125
0.5	1.026	1.052	1.077	1.101
0.75	1.018	1.035	1.052	1.068
1.0	1.013	1.026	1.039	1.052

(2) 허용접촉 전압 및 보폭전압

상기 조건을 고려한 반사계수는

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} = \frac{400 - 2,500}{400 + 2,500} = -0.72$$

또한, 표토층의 두께와 반사계수에 의해 결정되는 감소계수 C_s 는 아래 그림에 의해 0.74이다.

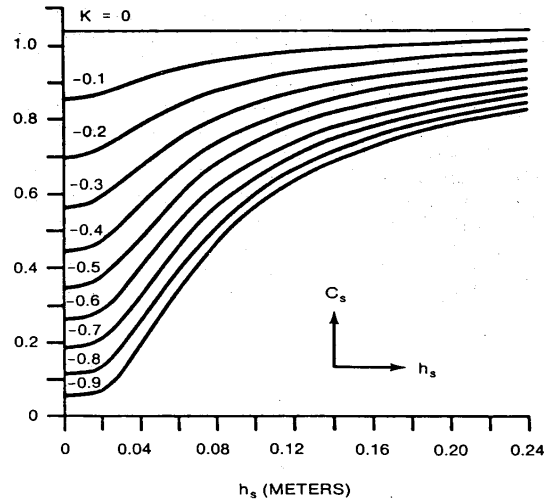


그림 7. 감소계수(C_s) 산출

따라서 70kg인 사람의 경우 허용접촉 전압 및 보폭전압은

① 보폭전압

$$= (R_B + R_{2FS})I_B = (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \times 0.157 / \sqrt{t_s}$$

$$= (1000 + 6 \cdot 0.74 \cdot 2,500) \times 0.157 / \sqrt{0.5} = 2686.6V$$

② 접촉전압

$$= (R_B + R_{2FP})I_B = (1000 + 1.5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \times 0.157 / \sqrt{t_s}$$

$$= (1000 + 1.5 \cdot 0.74 \cdot 2,500) \times 0.157 / \sqrt{0.5} = 838.2V$$

(4) 예비 설계

아래 그림과 같이 매설 면적 70m×70m에 접지 도선의 등 간격 $D = 7m$ 이므로 매설 접지 도선의 총 길이는 $L_c = 2 \times 11 \times 70m = 1,540m$ 이다.(단 접지봉은 사용하지 않는 조건임)

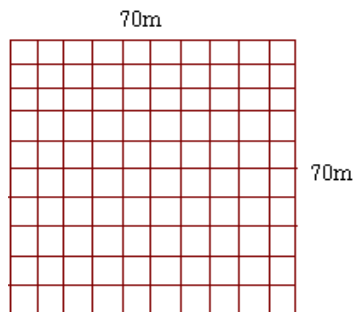


그림 8. 매설 접지도
(Square Grid Without Ground Rods 70m)



(5) Grid 접지저항의 계산

$0.25 \leq h \leq 2.5(\text{m})$ 인 경우이므로

$$\begin{aligned} R_g &= \rho \cdot \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right] \\ &= 400 \cdot \left[\frac{1}{1,540} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 4,900}} \left(1 + \frac{1}{1+0.5\sqrt{20/4,900}} \right) \right] \\ &= 2.78\Omega \end{aligned}$$

(6) I_g : 최대 접지망 유입 전류(A) : 여기서는 1선 지락 전류의 분류계수와 감쇠계수를 고려한 최대 Grid 전류를 말한다.

$$I_g = D_f \cdot S_f \cdot (3I_0) = 1.0 \times 0.6 \times 3,180 = 1,908\text{A}$$

(7) 대지 전위상승(GPR : Ground Potential Rise)과 허용접촉전압의 비교

$\text{GPR} = I_g \times R_g = 1,908 \times 2.78 = 5,304 > \text{Etouch} = 5,304 > 838.2\text{V}$ 로 계산된다. 그러나 대지 전위상승 값이 허용접촉전압보다 매우 높으므로 재검토하여야 한다. 또한, 매설 깊이 따른 보정계수는

$$Km = \frac{1}{2\pi} \left[\text{Ln} \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{Kii}{Kh} \text{Ln} \frac{8}{\pi(2n-1)} \right]$$

여기서, 외곽도체에 대한 내부도체의 계수는

$$Kii = \frac{1}{(2n)^{2/n}} = \frac{1}{(2 \cdot 11)^{2/11}} = 0.57$$

$$Kh = \sqrt{1+h/h_0} = \sqrt{1+0.5/1.0} = 1.225$$

따라서, 메시 전압 산출을 위한 계수(Geometric factor)는

$$\begin{aligned} Km &= \frac{1}{2\pi} \left[\text{Ln} \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{Kii}{Kh} \text{Ln} \frac{8}{\pi(2n-1)} \right] \\ &= \frac{1}{2\pi} \left[\text{Ln} \left(\frac{7^2}{16 \cdot 0.5 \cdot 0.01} + \frac{(7+2 \cdot 0.5)^2}{8 \cdot 7 \cdot 0.01} - \frac{0.5}{4 \cdot 0.01} \right) + \frac{0.57}{1.225} \text{Ln} \left(\frac{8}{\pi(2 \cdot 11 - 1)} \right) \right] = 0.89 \end{aligned}$$

그리고, 교정계수 Ki 는

$$Ki = 0.644 + 0.148n$$

여기서 도체 수 $n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$

$n_a = \frac{2L_c}{L_p}$ 이며, L_p : 매설 접지 도선의 주변길이는 $4 \times 70(\text{m}) = 280(\text{m})$ 이므로

$$n_a = \frac{2 \cdot 1,540}{280} = 11 \text{ 이고}$$

사각형 매설 접지인 경우이므로

$$n_b n_c n_d = 1 \text{ 이다.}$$

즉 도체수 $n = n_a n_b n_c n_d = 11$

$$K_i = 0.644 + 0.148n = 0.644 + 0.148 \cdot 11 = 2.272$$

따라서 메시 전압 E_m 은

$$E_m = \frac{\rho \cdot I_g \cdot K_m \cdot K_i}{L_c + L_R} = \frac{400 \cdot 1,908 \cdot 0.89 \cdot 2.272}{1,540} = 1,002.1 \text{ V}$$

(8) 메시 전압 E_m 과 허용 접촉전압의 비교

$$E_m = 1,002.1 \text{ V} > E_{touch} = 1,002.1 > 838.2 \text{ V} \text{이다.}$$

그러나 여기서도 메시 전압 값이 허용접촉전압보다 높으므로 재검토하여야 한다.

3.3 접지봉을 추가하는 경우

3.2에서는 접지봉을 사용하지 않는 조건으로 예비설계를 하였으나 대지전위 상승 값과 메시 전압이 허용 접촉전압보다 높게 계산되었다. 따라서 여기서는 7.5m 짜리 접지봉 20개를 아래 그림과 같이 매설 접지 도선을 따라 추가하여 재검토한다.

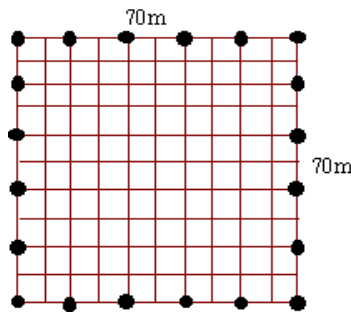


그림 9. 매설 접지도

(Square Grid with Twenty 7.5m Rods)

(1) 그리드(Grid) 접지저항의 계산

3.2의 (5) 단계부터 다시 계산한다.

접지도체의 유효 총 길이는 $L = L_c + L_R = 1,540 + 20 \times 7.5 = 1,690 \text{ m}$ 이다. 따라서

그리드 접지저항은

$$\begin{aligned} R_g &= \rho \cdot \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right] \\ &= 400 \cdot \left[\frac{1}{1,690} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 4,900}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0.5\sqrt{20/4,900}} \right) \right] \\ &= 2.75 \Omega \end{aligned}$$

(2) I_g : 최대 접지망 유입 전류(A) : 여기서는 1선 지락 전류의 분류계수와 감쇠계수를 고려한 최대 Grid 전류를 말한다.

$$I_g = D_f \cdot S_f \cdot (3I_0) = 1.0 \times 0.6 \times 3,180 = 1,908 \text{ A}$$



(3) 대지 전위상승(GPR : Ground Potential Rise)과 허용접촉전압의 비교

$$GPR = I_g \times R_g = 1,908 \times 2.75 = 5,247 > E_{touch} = 5,247 > 838.2V \text{로 매우 높다.}$$

(4) 메시 전압 재검토

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{Kh} \ln \frac{8}{\pi(2n-1)} \right]$$

여기서 접지봉을 사용하는 경우이므로

$$K_{ii} = 1$$

$$Kh = \sqrt{1+h/h_0} = \sqrt{1+0.5/1.0} = 1.225 \text{ 이다.}$$

따라서 K_m 은

$$= \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{7^2}{16 \cdot 0.5 \cdot 0.01} + \frac{(7+2 \cdot 0.5)^2}{8 \cdot 7 \cdot 0.01} - \frac{0.5}{4 \cdot 0.01} \right) + \frac{1.0}{1.225} \ln \left(\frac{8}{\pi(2 \cdot 11 - 1)} \right) \right] = 0.77$$

즉, 메시 전압 E_m 은

$$\begin{aligned} E_m &= \frac{\rho \cdot I_g \cdot K_m \cdot K_i}{L_c + [1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right)] \cdot L_R} \\ &= \frac{400 \cdot 1,908 \cdot 0.77 \cdot 2.272}{1,540 + [1.55 + 1.22 \left(\frac{7.5}{\sqrt{70^2 + 70^2}} \right)] \cdot 150} = 747.4 V \end{aligned}$$

(5) 메시 전압 E_m 이 허용 접촉전압보다 낮으므로 다음 단계를 진행한다.

(6) 보폭전압 기준

$$\begin{aligned} K_s &= \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right] \\ &= \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{20.5} + \frac{1}{D+0.5} + \frac{1}{7} (1 - 0.5^{11-2}) \right] \\ &= 0.406 \end{aligned}$$

따라서 보폭전압은

$$\begin{aligned} E_s &= \frac{\rho \cdot I_g \cdot K_s \cdot K_i}{0.75 \cdot L_c + 0.85 \cdot L_R} \\ &= \frac{400 \cdot 1,908 \cdot 0.406 \cdot 2.272}{0.75 \cdot 1,540 + 0.85 \cdot 150} = 548.9 V \end{aligned}$$

(7) 위에서 계산된 보폭전압은 3.2.3에서 계산된 허용 보폭전압 2686.6V 보다 상당히 낮게 계산되었으므로 설계는 만족스럽게 되었다.

3.4. 4전극법에 의한 대지 고유저항의 측정

전극배치에 의한 Wenner의 4전극법으로 대지 고유저항을 측정할 수 있다.

$$\sigma = 2\pi L \frac{V}{I} \quad (\Omega \cdot m)$$

또한 이 원리에 의한 직접 읽을 수 있는 측정기도 있다.

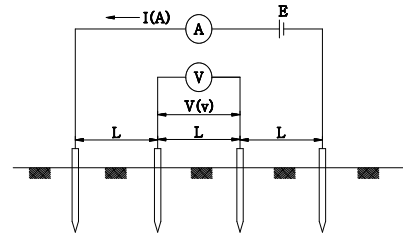


그림 10. Wenner의 4전극법



RECORD HISTORY

Rev.3(12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둔.

Rev.4(14.12.29) 변전소 접지 용어를 공용접지에서 공통접지로 수정

Rev.5(15.06.29) 접지설계에 대한 적정간격 명문화, 해설1 부대설비 및 기타 보호 안전설비 강화 등 설계기준 개선발굴을 위한 워크숍 결과반영(설계기준처-945 '15.04.06)