

접지설비 절차 개선을 통한 경제적 접지설계

최홍규 · 김양수 · 송영주 · 최신킨 · 신혜영

Economic Design of Grounding System Using an Improved Model

Hong-Kyoo Choi · Yang-Soo Kim · Young-Joo Song · Sin-Gwon Choi · Hye-Young Shin

**Abstract** - 국내 접지시스템 설계시 가장 널리 사용되는 것은 ANSI/IEEE Std. 80-2000이나 국내 접지설계 환경의 적정성 여부는 검토되고 있지 않다. 따라서, 본 논문에서는 국내 접지설계 환경을 고려한 새로운 접지도체의 굵기 산정방법과 접지도체의 위험전압 산정방법, 접지도체의 Grid간격 산정방법을 적용하여 ANSI/IEEE Std.80-2000을 보완한 새로운 접지시스템 설계 방법을 제시하였다.

1. 서 론

접지 시스템의 근본적인 목적은 내부의 단락, 지락 고장이나 외부의 낙뢰 등에 의해 높은 고장전류가 흐를 때 대지표면의 전위상승을 억제하여 전기설비의 기능향상은 물론 인간의 안전성을 확보하는 것이다. 높은 고장전류는 접지시스템의 단락이나 낙뢰 현상 등에 의해서 발생되며, 발생된 고장전류가 흐르면 전위차가 발생되고 발생된 전위차는 인간의 손과 발 사이 또는 두발 사이를 통해 전기적인 전류경로를 형성한다. 만약, 발생된 고장전류가 인간의 허용한계(심실세동전류)보다 크면 충격으로 죽음에 이를 수 있으므로 인간의 허용한계 접촉전압, 보폭전압을 고려한 최적의 저임피던스 접지 시스템을 구축해야 한다.

따라서, 본 논문에서는 접지 시스템 설계시 일반적으로 사용하는 ANSI/IEEE Std.80-2000을 바탕으로 새로운 접지도체의 굵기 산정, 접지도체의 위험전압 산정, 접지도체의 Grid간격 산정방법을 적용하여 보완된 새로운 접지시스템 설계 방법을 제시하고 사례연구를 통해 검증하여 건설현장에서 엔지니어들이 쉽게 적용할 수 있고 접지시스템의 신뢰성을 높이는데 목적이 있다.

2. 본 론

2.1 접지설계 기호

표 1. 접지설계 기호

기 호	내 용
$\rho$	대지 고유저항률 [ $\Omega \cdot m$ ]
$\rho_s$	표면층 고유저항률 [ $\Omega \cdot m$ ]
$3I_0$	대칭 고장전류(=I <sub>f</sub> ) [A]
A	접지망 포실면적 [ $m^2$ ]
$C_s$	표면층 감소계수
$C_p$	계통확장 계수
d	접지도체 직경 [m]
D	접지도체 접지Grid 간격 [m]
$D_f$	대지전류 $I_G$ 를 구하기 위한 감소계수

표 1. 접지설계 기호(계속)

기 호	내 용
$D_m$	접지망의 대각선 최대길이 [m]
$E_m$	최대예상 Mesh전압 [V]
$E_s$	최대예상 보폭전압 [V]
$E_{step\ 50}$	50[kg] 사람의 최대허용 보폭전압 [V]
$E_{step\ 70}$	70[kg] 사람의 최대허용 보폭전압 [V]
$E_{touch\ 50}$	50[kg] 사람의 최대허용 접촉전압 [V]
$E_{touch\ 70}$	70[kg] 사람의 최대허용 접촉전압 [V]
h	접지도체 매설깊이 [m]
$h_s$	표면층 두께 [m]
$I_G$	대지전류, 최대 접지전류 [A]
$I_g$	대칭 접지전류 [A]
K	반사계수
$K_h$	접지도체 매설깊이에 따른 보정계수
$K_i$	전위경도 변화에 따른 보정계수
$K_{in}$	외곽도체에 대한 내부도체의 보정계수
$K_m$	Mesh전압 산출을 위한 간격계수
$K_s$	보폭전압 산출을 위한 간격계수
$K_a$	수계산 보정계수
$L_c$	접지망 총길이 [m]
$L_R$	접지봉 총길이 [m]

2.2 접지설계

최대허용보폭전압 및 최대허용 접촉전압의 한계를 결정 한 후 다음과 같은 순서로 접지계통을 설계한다.

- 단계 1 : 현장 데이터 정보를 파악한다.
- 단계 2 : 접지도체의 굵기를 결정한다.
- 단계 3 : 감전방지를 위한 안전한계의 기준값을 결정한다.
- 단계 4 : 예비설계의 접지도체 제원을 설정한다.
- 단계 5 : 접지저항을 계산한다.
- 단계 6 : 대지전류를 결정한다.
- 단계 7 : GPR과 최대허용 접촉전압의 크기를 비교·판정한다.
- 단계 8 : 구내의 전위경도를 평가하기 위한 위험 전압을 결정한다.
- 단계 9 : 최대예상 Mesh전압과 최대허용 접촉 전압의 크기를 비교·판정한다.
- 단계 10 : 최대예상 보폭전압과 최대허용 보폭 전압의 크기를 비교·판정한다.
- 단계 11 : 단계 9, 10에서 최대허용 접촉, 최대허용 보폭전압의 안전 기준값을 만족하지 못하는 경우, 설계 제원을 수정하고 단계 5 이하를 다시 검토한다.

· 단계 12 : 설계완료

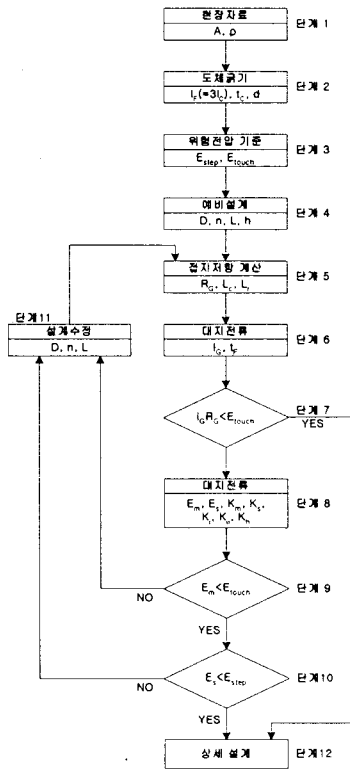


그림 1. 접지설계 흐름도

2.3 제안된 접지설계

2.3.1 단계 2 (접지도체 굵기 선정)

접지도체는 지락전류나 뇌전류가 흘렀을 경우 용단되거나 피복이 소손되면 주위의 가연물 등에 위험이 미치게 되므로 이 온도에 견딜 수 있도록 도체의 단면적을 충분히 해야 한다. 그리고 이외에 기계적 강도와 내식성에 대한 검토도 함께 이루어져야 한다.

1) IEEE Std. 80

IEEE Std. 80에서 사용하는 접지도체의 굵기는 고장전류크기, 고장지속시간, 온도, 재료의 특성값 등을 적용하여 수식 (1)과 같이 구한다.

$$A = I \sqrt{\frac{t_c \alpha_r \rho_r \times 10^4}{TCAP} \frac{1}{\ln \left[ 1 + \left( \frac{T_m - T_a}{K_0 + T_0} \right) \right]}} \quad [mm^2] \quad (1)$$

이에 필요한 재료의 물리적 정수는 표 2와 같다.

표 2. 접지도체 상수

도체 종류	도전율 [%]	$\alpha_r$ [20℃]	$K_0$ [0℃]	$T_m$ [℃]	$\rho_r$ [20℃]	TCAP
연동선	100.0	0.0039	234	1083	1.7241	3.422
경동선	97.0	0.0038	242	1084	1.7774	3.422
동복강선	40.0	0.0037	245	1084	4.397	3.846

2) 제안된 접지도체 굵기 제안식

제안된 접지도체 굵기 제안식은 IEEE Std. 80-2000 수식과 같이 고장전류크기, 고장지속시간, 최대허용온도, 주위온도, 접지도체 재료에 쓰이는 금속의 물리적인 정

수를 고려한 도체 재질에 따른 비례상수 등을 적용하여 수식 (2)와 같이 구한다.

$$A = \frac{\alpha K I \sqrt{t_c}}{[a + b(T_m - T_a)^c]} [mm^2] \quad (2)$$

여기서, 상수  $a = -1.21$ ,  $b = 0.91$ ,  $c = 0.64$

필요한 도체 재질에 따른 비례상수 K는 표 3과 같다.

표 3. 도체 재질에 따른 비례상수

도체 종류	연동선	경동선	알루미늄 납선	동복 강선	아연 도금 강선	스테인 레스강 #304
K	5.714	5.780	8.500	8.575	17.748	30.549

접지도체의 굵기 선정 시 종전까지는 지락고장전류에 해당하는 접지도체를 선정함으로써 필요이상으로 과설계되었다. 실제 접지망으로 유입되는 고장전류는 접속점에서 연결된 각도체로 분산 되므로 최대 50[%]에서 최소 25[%] 정도가 된다. 그러므로, 경제성이 신뢰성보다 중요하게 생각되는 장소에는 전류 분류율 50[%] 적용하고 경제성 보다 신뢰성이 중요하다고 생각되는 장소에는 여유를 두어 100[%]를 적용한다.

3) 공통 사항

전류유입 시간은 계통에 적용된 보호계전 방식을 감안하여 1.0-3.0초로 결정한다. 최대허용온도  $T_m$ 은 압축접속 방식에서는 350[℃]를 적용하며, 경납땜(Brazed Connection)에서는 450[℃], Exothermic Weld에서는 원래 도체의 용단온도를 적용한다. 그리고, 접지도체의 최소 굵기는 기계적 강도와 설치 후 유지보수가 어려운 점을 감안하여 100[mm<sup>2</sup>]로 한다.

2.3.2 단계 4 (예비설계)

1) IEEE Std. 80

예비설계에서는 접지망 매설깊이 h를 결정하고, 접지망 Grid 간격 D를 정하여 단계 1에서 구한 접지망의 포설 면적으로부터 접지망 한 변의 도체수 n을 구하고 접지계 도체의 총길이 L을 구한다.

2) 제안된 예비설계 방법

제안된 예비설계에서는 접지망 매설깊이 h를 결정하고, 최대허용 접촉전압을 넘지 않는 범위 내에서 비동간격 접지 Grid 간격비율  $D_0$ 와 한 변의 도체수 n을 구하고 접지계 도체의 총길이 L을 구한다.

3) 공통사항

접지봉의 타설 위치는 대지전류  $I_G$ 의 크기와 접지망이 포설될 면적을 감안하여 결정한다.

2.3.3 단계 8 (위험전압 계산)

1) IEEE Std. 80

가. 최대예상 접촉전압 ( $E_m$ )

Mesh전극은 대규모 접지계통에서 많이 이용되는 접지전극이다. Mesh를 포설하는 경우 Mesh전극의 중심부와 4개 모서리 사이에 전위차가 발생한다. 최대예상 접촉전압은 최대접지 전위상승에서 Mesh전위를 뺀 것으로 수식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_m = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_G [V]}{L_M} \quad (3)$$

여기서, L : 접지도체 전체길이 [m]

$$L_M = L_c + \left\{ 1.15 + 1.22 \left( \frac{L_c}{\sqrt{L_1^2 + L_2^2}} \right) \right\} L_R$$

이 때 사용되는 Mesh전압 산출을 위한 간격계수  $K_m$ 은 수식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \left( \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dt} - \frac{h}{4} \right) \right] + \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{K_{11}}{K_h} \ln \left( \frac{8}{\pi(2n-1)} \right) \right] \quad (4)$$

나. 최대예상 보폭전압 ( $E_s$ )

접지망주변의 보폭전압은 수식(5)와 같이 나타낼수있다.

$$E_s = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_G}{L_S} [V] \quad (5)$$

여기서, L : 접지도체 전체길이 [m]

$$L_S = 0.75L_c + 0.85L_d$$

이 때 사용되는 보폭전압 산출을 위한 간격계수  $K_s$ 는 수식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right\} \quad (6)$$

보폭전압 산출을 위한 간격계수  $K_s$ 는 매설깊이에 따라 결정되며 매설깊이가 깊을수록 보폭전압이 낮아진다.

다. 전위경도 변화에 따른 보정계수 ( $K_i$ )

접지망으로 흐르는 전류밀도는 접지망의 가장자리인 모서리 부분이 중심부분 보다 높으므로 이것을 보정하기 위한 보정계수  $K_i$ 를 적용한다. 보정계수  $K_i$ 는 접지도체 개수 n에 대한 일차함수로 표시되며 수식 (7)과 같다.

$$K_i = 0.644 + 0.148n \quad (7)$$

여기서, n : 도체개수 [개],  $n = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4$

$$n_1 = \frac{2L_c}{L_p}$$

$$n_2 = 1(\text{정방형}), n_2 = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}} \quad (\text{그외})$$

$$n_3 = 1(\text{정, 직사각형}), n_3 = \left[ \frac{L_p L_b}{A} \right]^{0.7A} \quad (\text{그외})$$

$$n_4 = 1(\text{정, 직사각형, L형}), n_4 = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \quad (\text{그외})$$

## 2) 제안된 위험전압 계산

가. 최대예상 접촉전압 ( $E_m$ )

IEEE Std. 80의 접촉전압 계산식은 한 번의 도체개수 보다는 접지도체 간격과 관련이 있으며, 접지도체 간격이 10-12[m]를 초과하는 경우에는 컴퓨터 모의실험 결과 보다 크게 나오고 10-12[m]이하에서는 컴퓨터 모의실험 결과보다 작게 나오는 오차가 발생하였다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 IEEE Std. 80 접촉전압 계산식에 접지도체 간격에 따른 컴퓨터 모의실험 보정계수  $K_a$ 를 곱하여 IEEE Std. 80 접촉전압 계산식의 정확도를 높였다.

$$E_m = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot K_a \cdot I_G}{L_M} [V] \quad (8)$$

여기서, L : 접지도체 전체길이 [m]

$$L_M = L_c + \left\{ 1.15 + 1.22 \left( \frac{L_c}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right\} L_R$$

이 때 사용되는 최대예상 접촉전압 산출을 위한 접지도체 간격에 따른 컴퓨터 모의실험 보정계수  $K_a$ 는 수식 (9)과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_a = \frac{0.754}{1 - 0.713e^{-0.0924D}} \quad (9)$$

그리고 이 때 사용되는 최대예상 접촉전압 산출을 위한 간격계수  $K_m$ 과 전위경도 변화에 따른 보정계수  $K_i$ 는 IEEE Std. 80의 수식과 동일하다.

### 2.3.4 제안된 접지설계 단계

제안된 접지설계 절차는 그림 2와 같이 나타낼수 있다.

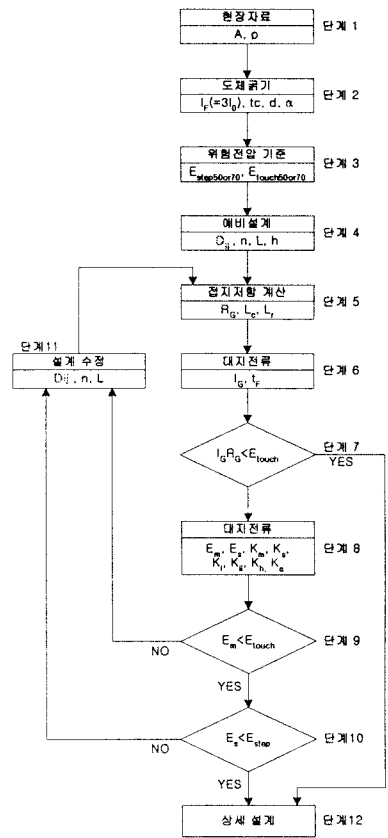


그림 2. 제안된 접지설계 흐름도

## 3. 결 론

본 논문에서는 접지 시스템 설계시 일반적으로 사용되는 ANSI/IEEE Std.80-2000을 기본으로 새로운 접지도체의 굵기 산정방법, 접지도체의 위험전압 산정방법, 접지도체의 Grid간격 산정방법을 적용하여 보완된 새로운 접지시스템 설계 방법을 제시하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] ANSI/IEEE Std. 80-2000, "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 2000.
- [2] 최홍규, 송영주 "최적 접지도체간격에 관한 매수함수제어", 한국조명전기설비학회, VOL. 20, No. 5, 2006
- [3] 최홍규, 송영주 "접지도체의 간격배치에 따른 개선된 접지설비 모델", 한국조명전기설비학회, VOL. 19, No. 3, 2005
- [4] 최홍규, 송영주 "접지도체 굵기 산정에 관한 수식제어 모델링", 한국조명전기설비학회, VOL. 20, No. 4, 2006
- [5] B.Phithakwong, M.Kando "New Techniques the Computer-Aided Design for Substation Grounding", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Vol 3, 2000