

변전소의 접지설계기준에 관한 연구

김익수<sup>\*</sup> · 김민규<sup>\*</sup> · 허대행<sup>\*</sup> · 윤진열<sup>\*\*</sup> · 한기선<sup>\*\*</sup>  
<sup>\*</sup>한국전기연구원 · <sup>\*\*</sup>한국전력공사

A Study on the Criteria of Earthing Systems for Substation

I. S. Kim<sup>\*</sup> · M. K. Kim<sup>\*</sup> · D. H. Huh<sup>\*</sup> · J. Y. Yoon<sup>\*\*</sup> · G. S. Han<sup>\*\*</sup>  
 KERI<sup>\*</sup> · KEPCO<sup>\*\*</sup>

**Abstract** - This paper represents the criteria of earthing system for substation design in Korea. The construction of new substations and expansion of existing facilities are commonplace projects in KEPCO(Korea Electric Power Corporation). The KEPCO has had the only design criteria, which need to be adequate criteria considering the new technology and environment in Korea.

1. 서 론

전기에너지는 수송, 변환, 제어 등이 편리한 이점을 가지고 있으므로 산업발달과 경제 향상에 따라 수요가 급격히 증가하고 있으며, 최근 고도정보화 사회로의 발전을 위하여 고품질의 전력을 안정적으로 공급하는 것을 강하게 요구하고 있다. 이를 충족하기 위한 변전소 건설은, 그 동안 국가기간산업으로 인정되어 국민들의 큰 저항 없이 건설돼 왔다. 그러나 최근 전력설비에 대한 부정적 시각과 기피현상의 확산으로 집단민원이 빈번해지자 대부분의 송변전설비가 적기에 준공되지 못하여 전력공급에도 차질이 초래되는 위기를 맞게 되었다.

변전소는 전기에너지의 수송 면에서 가장 중요한 요소의 하나로 국민의 복리에 직접적인 연관이 있기 때문에, 필수적으로 요구되고 있으므로, 전력수요의 급성장에 효과적으로 대처하고 한정된 국토의 이용률을 제고하여야 한다. 본 논문은 신뢰성 있는 변전소 건설을 위한 설계에 있어서, 최근에 적용되고 있는 신기기 및 설계기술을 반영하고, 이에 대한 근거를 제시하고자 기존의 설계기준(우리나라에서는 유일한 한국전력공사의 변전설계기준)을 보완한 것으로, 변전소의 접지설계에 적용한다.

2. 본 론

2.1 접지설계 기본사항

2.1.1 인체 허용전류

- (1) 전류가 인체에 미치는 영향은 주파수, 크기, 지속 시간 및 통로에 관계되며, 본 기준에서는 상용주파수(60 Hz)에 대하여만 고려한다.
- (2) 인체에 허용되는 전류 값은 아래 식을 적용한다.  
 $(I_K)^2 \cdot t = 0.0135$  .....(1)

$$I_K = \frac{0.116}{\sqrt{t}} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$I_K$  : 인체 허용전류 [A r.m.s]  
 단, 3초 이내만 적용(數分 : 9 mA 적용)  
 $t$  : 인체 감전시간 [s]

2.1.2 최대허용전압

- (1) 보폭전압(step voltage)  
 최대허용 보폭전압( $E_{step}$ )은 아래 식을 적용한다.

$$E_{step} = (R_K + R_{2FS}) \cdot I_K = (1,000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} [V] \quad \dots\dots\dots(3)$$

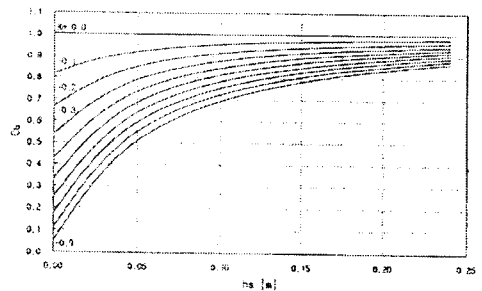
$R_K$  : 인체 내부저항(1,000 Ω 적용)  
 $R_{2FS}$  : 두발사이의 직렬저항( $6 \times C_s \times \rho_s$  적용)  
 $\rho_s$  : 대지표면(표토층)의 고유저항률 [Ω·m]  
 $t_s$  : 인체 감전시간 [s]  
 $I_K$  : 인체 허용전류 [A r.m.s]  
 $C_s$  : 감소계수

(a) 감소계수  $C_s$ 의 계산

표토층의 두께와 반사계수에 의해 결정되는 감소계수  $C_s$ 는 <그림 1>에서 구하며, 이때 사용되는 반사계수( $K$ )는 아래 식과 같다.

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$\rho_s$  : 대지표면(표토층)의 고유저항률 [Ω·m]  
 $\rho$  : 토양의 등가고유저항률 [Ω·m]



<그림 1> 감소계수  $C_s$  곡선

수식의 경우  $C_s$ 는 식 5로 구한다.

$$C_s = \frac{1}{0.96} \left\{ 1 - 0.106 \left( \frac{1 - \frac{\rho}{\rho_s}}{2h_s + 0.106} \right) \right\} \quad \dots\dots\dots(5)$$

$h_s$  : 대지표면(표토층)의 두께 [m]  
 $\rho$  : 토양의 등가고유저항률 [Ω·m]  
 $\rho_s$  : 대지표면(표토층)의 고유저항률 [Ω·m]  
 (자갈의 저항율은 3,000 [Ω·m])

(2) 접촉전압(touch voltage)

최대허용 접촉전압( $E_{touch}$ )은 식 6을 적용한다.

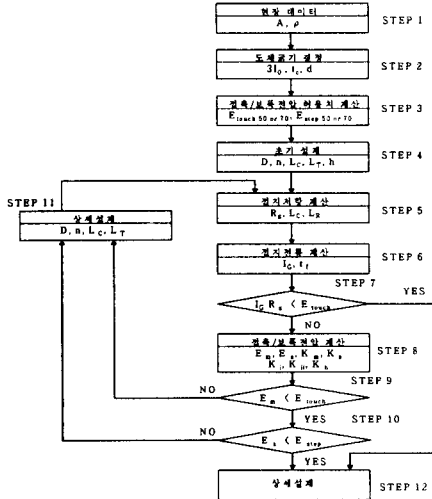
$$E_{touch} = (R_K + R_{2FP}) \cdot I_K = (1,000 + 1.5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} [V] \quad \dots\dots\dots(6)$$

$R_{2FP}$  : 두발사이의 병렬저항( $1.5 \times C_s \times \rho_s$  적용)

- (3) 대지전위상승(GPR : Ground Potential Rise)  
대지전위상승값은 가능한 한 10,000 V 이내로 하  
되 부득이한 경우에는 통신 접속함을 구외에 설  
치하고 배전선로는 절연변압기를 사용하는 등의  
대책수립을 전제로 15,000 V 이내로 한다.

## 2.2 접지 설계

변전소 접지는 다음 순서로 설계한다.



<그림 2> 접지설계 흐름도

### 2.2.1 접지설계 개요

- 변전소 접지는 망접지를 원칙으로 하고 접지저항  
치는 가능한 낮게 한다.
- 변전소의 기기배치를 고려하여 가능한 한 변전소  
내에 최대한 넓은 지면을 점유할 수 있도록 접지  
망 포설면적을 산정한다.
- 접지는 주접지전극으로 접지망(ground grid)을 사  
용하고 소요접지저항 및 허용전압을 얻기 어려운  
곳에서는 보조 접지망, 접지봉, 침상접지봉  
(electric with needles), 심매설 전극 등 보조접지  
전극을 병용한다. 또한 건물이나 기초의 철골 및  
콘크리트, 금속계 수도관 등을 보조접지전극으로  
활용할 수 있다.
- 접지망은 다음과 같이 구성한다.
  - 접지망은 정방형 또는 장방형으로 하고 접지도  
체는 일정한 간격으로 배열한다.
  - 접지망 외곽도체의 모서리부분은 접지도체를 추  
가하여 도체간격을 조밀하게 한다.
  - 가공지선, 변압기 중성점, 피뢰기의 접지점 또는  
계기용변압기와 변류기 등이 접속되는 곳에는  
접지망의 접지도체를 추가하거나 도체간격을  
조밀하게 할 수 있다.
  - 접지망 도체는 나연동선을 사용하고 접지봉은  
동피복 감심봉을 사용한다.
  - 접지망 모서리, 외곽도체의 접속점, 접지망 내부  
에 있는 기기의 접지 리드선 연결점, 변압기 중  
성점, 가공지선 및 피뢰기의 접지점 등에는 접  
지봉을 타설하고, 접지망에 접속시킨다.
  - 케이블 덕트 및 트레이 상부에는 접지선을 설치  
하여 접지도체로 활용하고 양단을 접지한다.
  - 기초파일 및 건축물 구조체의 접지전극 활용은  
접지저항 계산시 고려하지 않으나, 접지망과 건  
물철근은 연결함을 원칙으로 한다.
- 인체에 위험을 주는 보폭전압과 접촉전압 허용치  
를 크게 하고 토양의 습기보존을 위하여 접지망  
이 포설된 변전소 지표면위에 10cm 이상의 자갈

또는 적정 절연능력을 가진 재료를 포설한다.

### 2.2.2 토양의 특성조사

- 토양의 고유저항율은 현장의 실측치(겉보기 고유  
저항율 : apparent soil resistivity)를 적용하며,  
그 곳에서 예상된 가장 불리한 조건하(고유저항  
율이 큰 값)의 값으로 교정해야 한다.
- 등가측정 깊이는 일반적으로 765 kV 경우에는 50~  
70m, 345 kV에는 20~25m, 154 kV 이하에서는  
15m 정도로 한다.
- 정확한 등가대지고유저항율을 결정할 필요가 있  
을 때는 이에 적합한 프로그램을 활용한다.

### 2.2.3 접지선 매설 깊이 산정

- 접지선 매설 깊이는 동계에도 얼지 않도록 산정  
해야 한다.
- 매설깊이는 지표면 하 0.5~1.5m로 하며 지역에  
따라 동결심도 계산식을 참조하여 산출한다.

### 2.2.4 접지전류의 산정

접지전류  $I_G$ 는 식 7로 산정한다.

$$I_G = \beta \cdot D_f \cdot C_p \cdot I_F [A] \dots\dots\dots(7)$$

- $\beta$  : 지락전류분류계수
- $D_f$  : 비대칭분에 대한 교정계수
- $C_p$  : 장차 계통확장계수
- $I_F$  : 최대지락전류

- 최대지락고장전류( $I_F$ )의 산정  
 $I_F$ 는 장기 계통 계획에 의한 해당 변전소의 1선  
지락 고장전류를 활용하나 계통 확장을 고려하여  
차단기 정격차단전류로 한다.
- 비대칭분에 대한 교정계수( $D_f$ )
  - 지락고장 발생 후 고장지속시간에 대한 유효전  
류를 결정하기 위하여 <표 1>을 적용한다.
  - 산정된  $I_F$ 에 고장지속시간에 따른 교정계수를  
곱하여 지락전류를 교정한다.

<표 1> 비대칭분의 대한 교정계수

고장 지속시간		교정계수( $D_f$ )
초	주파수 (60Hz 교류)	
0.008	1/2	1.65
0.1	6	1.25
0.25	15	1.10
0.5 또는 그 이상	30 또는 그 이상	1.0

- 계통확장계수( $C_p$ )  
1.0~1.5의 계통 확장계수( $C_p$ )를 적용하지만 차단  
기 정격차단전류를 사용 시 1.0으로 한다.
- 지락전류 분류계수( $\beta$ )
  - $\beta$ 는 접지망을 통하여 대지로 방출되는 전류의  
크기를 나타내는 계수로 요소는 아래와 같다.
    - 지락사고의 위치
    - 변전소 접지저항의 크기
    - 접지계통 주위에 매설된 배관 및 도체
    - 가공지선, 중성선
    - 지중 케이블을 포함한 기타 전류 귀환통로
  - $\beta$ 는 지락고장전류의 10~20% 를 적용하며,  
해당변전소의 접지저항과 계통으로 연결된 선  
로수를 감안하여 <표 2>에서 선택한다.

<표 2> 지락전류 분류계수( $\beta$ )

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

단, 변전소 인입, 인출이 지중케이블로만 구성  
된 경우에는 케이블 시스가 접지망에 연결된  
경우  $\beta$ 를 10%로 적용할 수 있다.

2.2.5 접지도체의 굵기 및 간격

- (1) 접지도체는 최대지락전류 및 허용온도 등을 고려하여 아래와 같이 선정한다.
  - (a) 국부적으로 위험한 전위차가 발생하지 않도록 충분한 도전율을 가져야 한다.
  - (b) 접속점은 예상되는 최대지락전류가 고장지속 시간동안 흐를 경우에도 용단되거나 열화 되지 않아야 한다.
  - (c) 부식이나 충격에 견딜 수 있도록 기계적으로 충분한 강도를 가져야 한다.
- (2) 접지도체의 굵기는 식 8에 의하여 산정한다.

$$A = I_F \alpha \sqrt{\frac{t_c \cdot \alpha_r \cdot \rho_r \cdot 10^4}{TCAP \cdot \ln \left( 1 + \frac{T_m - T_a}{K_0 + T_a} \right)}} \text{ [mm}^2\text{]} \dots\dots (8)$$

$I_F$  : 1선지락전류 [kA]  
 $A$  : 도체의 단면적 [mm<sup>2</sup>]  
 $T_m$  : 최대 허용온도 [°C]  
 $T_a$  : 주위온도 [°C]  
 $t_c$  : 고장전류지속시간 [s]  
 $\alpha_r$  : 20 °C에서의 저항온도계수  
 $\alpha_0$  : 0 °C에서의 저항온도계수  
 $\alpha$  : 도체전류분류율 [%]  
 $\rho_r$  : 20 °C에서의 도체의 고유저항 [ $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ]  
 $K_0$  :  $1/\alpha_0$

- TCAP : 열용량계수 [J/cm<sup>3</sup>/°C]
- (a) 고장전류 지속시간( $t_c$ )  
765 kV 변전소의 경우 0.5초, 345 kV 이하 변전소의 경우 1초로 적용한다.
  - (b) 최대 허용온도( $T_m$ )  
압축접속 방식은 350 °C를 적용하고, 자유용접은 도체의 용단온도를 적용한다.
  - (c) 도체전류 분류율( $\alpha$ )  
접지망으로 유입되는 고장전류는 접속점에서 연결된 각 도체로 분산되는 계수  $\alpha$ 를 50%로 상정하여 접지도체 굵기 산정시 적용한다.
  - (d) 접지선의 상수

전선 종류	도전율 [%]	$\alpha_r$ 온도계수 [20 °C]	$K_0$ ( $1/\alpha_0$ ) [0 °C]	$T_m$ 용단 온도 [°C]	$\rho_r$ 고유저항 (20 °C) [ $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ]	열용량계수 TCAP [J/cm <sup>3</sup> /°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	4.397	3.846
동복강선	30.0	0.00378	245	1084	5.862	3.846

- (3) 주접지망 접지도체의 최소 굵기는 기계적 강도와 설치 후 유지보수가 어려운 점을 감안하여 150 mm<sup>2</sup>적용을 원칙으로 한다.
- (4) 접지도체 간격은 보폭전압 및 접촉전압이 최대허용전압 이하가 되도록 선정하며, 필요시 적합한 프로그램을 활용한다.
- (5) 접지망과 시설물과의 연결
  - (a) 접지망과 연결할 시설물
    - 1) 기기 외함  
변압기, 분로리액터, 배전반, 계기용변압변류기, 차단기, 개폐기, 피뢰기, GIS(CB, DS, ES, HSGS, CT, VT, LA, Bushing) 등
    - 2) 건물철골, 철구, 금속제 지지물
    - 3) 금속제 전선관, 금속제 수도관, 접지봉 등
    - 4) 케이블 시스템 또는 철도링
    - 5) 회로나 기기의 접지 중성점
    - 6) 콘크리트 내의 철근

- 7) 가공지선
- 8) 피뢰기, HSGS 또는 접지개폐기의 접지단자
- 9) 덕트 내 금속지지물 및 케이블 트레이
- (b) 접지망과 시설물을 연결하는 도체의 굵기
  - 1) 연결용 접지도체는 충분한 기계적 강도를 가져야 한다.
  - 2) 접지망과 시설물을 연결하는 접지도체의 길이는 최대한 짧게 하여야 한다.
  - 3) 변압기, 분로리액터, GIS, 차단기, 단로기 등 단독 기초 상에 설치된 기기와의 연결용 접지도체는 동일 굵기 2개의 도체로 주접지망의 서로 다른 두 번에 접속한다.  
단, 765 kV 변전소의 전력용변압기 중성점, 1차측 피뢰기 및 고속도 접지개폐기의 접지선은 3개를 연결하여야 한다.
  - 4) 변압기, 분로리액터, 및 콘덴서 뱅크 등의 중성점은 두 개의 접지도체로 주접지망의 서로 다른 두 번에 접속한다.
  - 5) 피뢰기 접지축 단자 및 가대, 접지용 단로기와 가대, 계기용변성기 2차측의 접지는 동일 굵기 2개의 도체로 주접지망의 서로 다른 두 번에 연결한다.
  - 6) 배전반 내 수평접지모선에서는 60 mm<sup>2</sup>의 나연동선을 사용하여 주접지망과 연결한다.
  - 7) 철구나 기기 가대는 그 위에 설치된 기기의 접지도체로써 사용할 수 있으나 아연도금 강철재로써 소요동선 단면적의 7배 이상이어야 한다.
- (c) 접속  
각 접지 리드와 접지망 도체간 또는 접지망 내 Grid간의 접속, 접지리드선의 철구나 기기가대측의 접속은 압축식을 원칙으로 하며 필요시 볼트접속 또는 자유용접을 사용할 수 있다. 단, 납땜 접속은 금지한다.
- (d) 부식에 대한 대책  
타 금속과 접촉하거나 고유저항이 상이한 토양층을 통과할 때 다음과 같이 대책을 세운다.
  - 1) 철구 및 기기기초의 지중에 매설되는 부분은 콘크리트를 씌운다.
  - 2) 리드선은 GV전선 또는 PVC전선관을 사용한다.

3. 결 론

국내 유일한 변전설계기준인 한국전력공사의 기준은 변전소의 건설 및 변전설비 신설 및 증설 시에 지켜야 할 기준으로, 전기산업계에 광범위하게 적용되고 있으므로, 기술 여건 변화를 반영하였고, 기술·환경변화에 적절히 대응할 수 있도록 개정함으로써 변전설비 건설 및 유지·보수 시 경제성 확보와 건설품질을 확보하고 결과적으로 전기품질 향상을 시키며, 전기시설, 전기기기 제작 및 설치 시공분야 등에 대한 신뢰도향상에 일익을 하도록 변전소 형태 선정 기준에 대하여 서술 하였다. 향후 본 변전설계기준개정(안)을 적용한 변전소의 설계, 운용 기술 향상에 따라 제품의 성능향상은 물론, 전기의 안정적 공급에 크게 이바지하리라 사료된다.

본 연구는 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라인 축지원산업의 “국내 변전설계기준 개정 연구”의 결과의 일부임.

[참 고 문 헌]

- [1] IEEE std. 80, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, 2000
- [2] John D. McDonald, "Electric power substations engineering", 2003
- [3] "동상방지를 두께 산출", 건설교통부, 행정정보 3399번, 2004