

# 변전소 옥내화에 따른 접지설계

최종기, 주병수, 김문덕, 김정부  
전력연구원 765kV송변전그룹

## Grounding System Design According to Indoor Substation

J.K.Choi, B.S.Joo, M.D.Kim, J.B.Kim  
KEPRI 765kV Transmission Group

### Abstract

Current design standard of substation grounding systems is primarily concerned with conventional outdoor substations. But in case of 154kV substations in the nation, almost all are indoor-type GIS substations. So there became to be something not proper for application of present design standard to indoor-type substations.

In this paper, as a preliminary stage of drawing-up of the grounding system design standard which concerned with indoor-type substations, issues of current design standard are mentioned and directions of improvement are also presented.

### 1. 서론

근래에 들어 변전소를 건설하는 경우, 부지확보의 곤란으로 인한 부지축소화의 제약이 따르게 되었다. 실제로 국내의 154kV급 변전소의 경우는 신설 변전소는 물론이고, 기존 변전소도 옥내화 추세에 있는 실정이다. 이처럼 건설부지가 축소되고, 변전소가 옥내GIS화 됨에 따라 기존의 변전소 접지설계기준을 적용하기에는 맞지 않는 상황이 발생하게 되었다. 즉, 옥외철구형 변전소의 경우 고장전류의 접지망 유입시 구내 대지위에 있는 사람의 안전을 고려한 접지설계 기준이 사용되고 있으나, 옥내변전소의 경우는 사람이 대지가 아닌 건물안에 있게 되어 대지와 기기와의 전위차에 의한 접촉전압 외에 GIS enclosure 사이의 전위차에 의한 접촉전압도 고려하여야 한다. 또한 SCADA나 RTU, 디지털 릴레이 등 중요한 약전설비들의 보호를 고려한 접지설계의 필요성이 높아지게 되었다. 그러나 현재의 변전소 접지설계는 옥외철구형 변전소를 대상으로 한 기준(한전 설계기준 2602)이 있을 뿐, 옥내변전소용 설계기준이 없는 실정이어서 옥내형에도 옥외철구형 설계기준을 그대로 적용하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 옥내형변전소에 적합한 접지설계 기준작성의 전 단계로써 기존 설계방식을 적용한 비주요환경의 접지설계 프로그램을 시험작성하여 향후 옥내형변전소 적용을 위한 문제점을 찾아내고, 그에 대한 개선방향을 제시하고자 한다.

### 2. 현행 접지설계기준

현재 154kV급 옥내 GIS변전소 접지는 한전의 접지설계기준 2602에 준하여 설계되고 있으며, 안전허용 접촉/보폭전압, 예상 접지저항치 및 접촉/보폭전압 등의 평가에 IEEE Std 80 (IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding)에서 제시한 간략화된 계산식들을 주로 사용하고 있다. IEEE Std 80 은 재래식 또는 옥외 GIS 변전소를 주요 대상으로 하여 안전한 변전소 접지설계의 지침을 제시하고자 하는 목적에서 만들어졌으며, 1961년도에 처음 작성되어 1976, 1986년 두 번에 걸쳐 개정되었다. 1986년에 나온 개정판은 예상 접촉/보폭전압의 간략한 계산식 및 안전허용전압치 등이 수정되었으며, 자갈 포설에 따른 derating factor의 도입, 접지봉의 영향고려, 구리 외의 접지도체에서의 최소굵기 계산식 및 다중 토양구조에 대한 언급 등이 추가되었고 GIS변전소일 때의 특별고려사항도 한 chapter가 첨가되었다. 한편 접지설계기준 2602는 1984년에 개정된 것으로 1986년 개정된 IEEE Std 80이 감안되지 못하고 1976년에 개정된 IEEE Std 80을 주로 참조하여 작성된 것이다.

### 2.1 접지설계 프로그램

IEEE Std 80-1976 및 1986의 변전소 접지설계기준을 그대로 전산화한 프로그램을 작성하였으며, 그 과정에서 기존의 설계방법이 가지고 있는 문제점들을 도출해 내하고자 하였다. 본 프로그램은 윈도우 3.1/95 환경에서 운용되도록 함으로써 비주요 환경이 갖는 사용자 편의성이 강조되었다. 또한 접지망의 그리드 간격, 매설깊이, 도체길이 등의 변경에 따른 각종 설계 파라메타의 변화를 한 눈에 볼 수 있게 함으로써 기존의 수작업으로는 하기 어려웠던, 접지망 설계제원 변경에 따른  $K_m$ ,  $K_i$ , 접지저항, 보폭/접촉전압 등의 민감도를 쉽게 알 수 있다는 것이 장점이라 할 수 있다.

그림 1~4 는 프로그램의 각종 운용 윈도우들을 보여주고 있다. 그림 1은 접지설계 프로그램의 초기화면을 보여준다. 그림 2의 설계조건 입력윈도우에서 각종 계통조건들을 입력하고 접지망으로 유입되는 고장전류의 크기가 결정되면, 그림 3의 접지도체를 선정하는 윈도우에서 접지도체와 도체굵기를 결정하게 된다. 도체굵기 결정 후, 그림 4의 윈도우에서 안전허용 보폭/접촉전압을 만족하도록 그리드 간격이나 매설깊이, 도체 길이 등을 조정하여 최종적으로 접지시스템의 설계를 완료하도록 하였다.

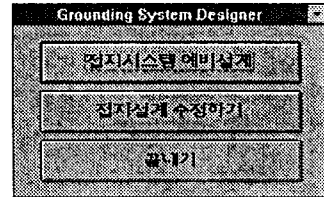


그림 1. 프로그램의 초기화면

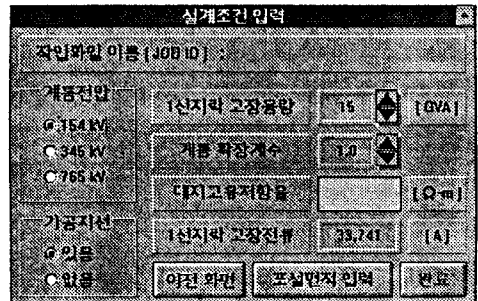


그림 2. 계통조건 입력화면

그림 4는 고장용량 10(GVA), 부지면적 50x70(m<sup>2</sup>), 대지 저항률 200(Ω·m), 가공지선에 의한 분류효과 60%, 접지도체 굵기 200(mm<sup>2</sup>)를 가정했을 때, 소요도체 길이, 매설깊이, 도체 간격 등을 조정하여 안전허용 보폭/접촉전압을 만족시킨 한 예를 보여주고 있다. 이 경우는 매설깊이 1(m), 그리드 간격 3.4(m), 총 소요도체 길이는 4,370(m)로 했을 때 안전허용

전선지름	100.0	125.0	150.0	175.0	200.0
중심간격	97.0	0.0036	242	1084	
보폭간격	40.0	0.0039	245	1084	
내측 접지선	30.0	0.0039	245	1084	
내측 접지선 #5005	61.0	0.0040	228	857	
내측 접지선 #6201	53.5	0.0035	253	860	
내측 접지선 #6201	52.5	0.0035	268	860	
내측 접지선 #6201	20.3	0.0036	258	860	
아연도금강선	8.5	0.0032	293	419	
스테인리스강	2.4	0.0015	749	749	

그림 3. 접지도체 및 도체제기 선정

예상 접촉전압 (V)	612	예상 보폭전압 (V)	2216
허용 접촉전압 (V)	626	허용 보폭전압 (V)	2216
예상 접지저항 (Ω)	1.544	수직 소모도체 (단위) (m)	500
타다 전위차 (V)	34.725	접지봉 개수	500
실제 소모도체 (m)	4.170	모서리 저항 (Ω)	700
최소 소모도체 (m)	4.470	타다 수직도체	950
매쉬 간격계수 Km	0.1932	매쉬 길이 (m)	3.00
보폭전압 계수 Ks	0.4934	도체 간격 (m)	2.40
매쉬 보폭계수 Kt	1.477	이전 화면	현재 화면

그림 4. 접지설계 완료 화면

치를 만족함을 볼 수 있다. 위 그림에서 보이는 것과 같이 설계제원의 변화에 따른 각종 파라미터들의 변동을 한눈에 볼 수 있어, 수계산으로 설계를 하는 경우에 비해 각종 계산결과와 민감도 해석이 쉽다.

### 2.2 IEEE Std 80-1976과 1986년 개정판의 비교

2.1에서 소개한 접지설계 프로그램을 이용하여 IEEE Std 80의 1976년판과 1986년 개정판을 각각 적용하여 접지설계를 하는 경우, 예상 접촉/보폭전압, 접지저항 및 각종 파라미터들의 차이를 비교하여 보았다. 표 1의 경우 1과 2는 IEEE Std 80-1976에 준하여 안전허용 보폭 및 접촉전압을 만족하는 설계의 예이며 표 2는 같은 설계제원일 때 1986년판 IEEE Std 80의 계산식을 적용했을 때의 차이점을 보인 것이다. 두 경우 모두 Km계수는 (8)식에 의하여 계산한 것이다.

#### 표 1. 설계조건

	경우 1	경우 2
고장용량 (GVA)	10	15
대지저항 (Ω-m)	183	251
포설면적 (m <sup>2</sup> )	65 x 70	67 x 47
도체단면적 (mm <sup>2</sup> )	180	200
도체길이 (m)	4.189	6.678
그리드간격 (m)	3.4	3.5
매설깊이 (m)	1	1.3

#### 표 2. 보폭/접촉전압의 비교 (단위: Volt)

	IEEE Std 80-1976		IEEE Std 80-1986	
	접촉전압	보폭전압	접촉전압	보폭전압
경우 1	586	2206	2072	1418
경우 2	623	2204	2592	1529

(허용기준치는 접촉전압 626(V), 보폭전압 2216(V))

표 1과 2를 볼 때, IEEE Std 80-1976은 1986년 개정판에 비해 접촉전압을 과소평가하고 있으며, 반면 보폭전압은 과대평가하는 경향이 있음을 알 수 있다. 그 이유는 IEEE Std 80-1986에서는 1976년 개정판의 모델보다 개선된 mathematical model을 사용함에 따라 Km, Ks, Kt의 계산식이 다르기 때문인

데, 이에 관하여는 Km, Ks는 2.2.1에서, Kt는 2.2.2에서 보다 상세히 기술하였다.

표 3은 동일한 계통조건(1선지락 고장용량 10 (GVA), 접지망 포설면적 65x70 (m<sup>2</sup>), 대지저항을 183 (Ω-m), 그리드간격 3 (m), 매설깊이 0.75(m))을 가정하고 설계제원 변경에 따른 각각의 예상 보폭/접촉전압, 접지저항치 및 각종 파라미터들의 변화양상을 비교한 것이다.

표 3. 설계제원 변경에 따른 변화양상

	IEEE Std 80-1976			IEEE Std 80-1986		
	E <sub>touch</sub>	E <sub>step</sub>	R <sub>g</sub>	E <sub>touch</sub>	E <sub>step</sub>	R <sub>g</sub>
예비설계 시	786	3671	1.260	2708	2502	1.242
매설깊이 (m) 0.75 → 1.0	507	3309	1.260	2769	2140	1.233
접지도체 길이 1000(m) 추가	386	2515	1.246	2105	1629	1.219
GRID 간격 (m) 3.0 → 3.4	664	2304	1.250	2264	1549	1.223
접지도체 길이 240(m) 추가	625	2168	1.247	2131	1458	1.221

단, E<sub>touch</sub>:접촉전압 (V), E<sub>step</sub>:보폭전압 (V), R<sub>g</sub>:접지저항 (Ω)

표 3은 IEEE Std 80-1986은 매설깊이, 그리드간격의 조정에 따라 접촉/보폭전압 및 접지저항의 감도가 1976년판에 비해 작음을 보이기 위한 것이다. IEEE Std 80-1986에 따르면, 대지 저항율이 높은 경우 매설깊이, 그리드간격만을 조정하여 보폭/접촉전압을 안전허용 기준치 이내로 맞추는데 한계가 있으며, 도체 총길이를 증가시키는 방법(포설면적의 증가 또는 접지봉 길이의 증가) 외에는 선택의 여지가 적은 것으로 판단된다.

이 외에도 IEEE Std 80-1976 기준에 따라 설계하는 경우, 접촉전압이 negative값을 갖는 등 물리적으로는 불가능한 결과를 내는 경우가 있어, 각종 계산식의 일괄적인 적용에는 한계가 있음을 알 수 있다. 이는 접촉전압 계산에서 Km계수가 음수가 되기 때문인데 이에 대해서는 2.2.1에 설명되었다.

#### 2.2.1 계수 Km, Ks의 계산

$$E_m = \frac{\rho K_m K_t I_G}{L} \quad \text{----- 예상접촉전압} \quad (1)$$

$$E_s = \frac{\rho K_s K_t I_G}{L} \quad \text{----- 예상보폭전압} \quad (2)$$

$$L = \frac{K_m K_t \rho I_G \sqrt{L_c}}{116 + 0.174 \rho_s} \quad \text{----- 최소소요 도체길이} \quad (3)$$

예상 접촉/보폭전압의 계산에는 (1), (2)식이 사용되고 있으며, 안전허용치 내의 접촉전압을 얻기위한 최소 도체길이의 계산에는 (3)식이 사용된다. 위 식에서 사용되는 Km, Ks, Kt 계수들의 계산에는 다음과 같은 식들(4식~8식)이 사용된다.

$$K_m = \frac{1}{\pi} \ln \left( \frac{D}{4\sqrt{hd}} \right) \left( \frac{3}{4} \right) \left( \frac{5}{6} \right) \dots \left( \frac{2n-3}{2n-2} \right) \quad (4)$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} \dots \right) \quad (5)$$

위 (4)식과 (5)식은 IEEE Std 80-1976에서 각각 Km, Ks 계수를 구하는 수식이다. (4)식에 따라 Km값을 계산하게 되면, 그리드가 좁은 경우 Km값은 Koch의 실험결과치에 의한 KmKi 값보다 10~40% 낮은 값으로 계산되며, 도체간격 D가 매설깊이 h에 가까워지고 일반적으로 D가 5(m)보다 작고 h가 0.25(m)보다 큰 경우 평행도체의 개수 n이 큰 경우 negative 값을 갖게 된다. 따라서 (1)식에 의해 접촉전압이 negative값으로 계산되거나 이는 물리적으로 불가능한 현상이어서 Km 계산식에 전제된 가정을 고려하지 않고 일괄적으로 적용하기에는 문제가 있음을 알 수 있다.

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \left( \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) \quad (6)$$

$$+ \frac{K_{t1}}{K_h} \ln \frac{8}{\pi(2n-1)}$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1-0.5^{n-2}) \right) \quad (7)$$

(6)식과 (7)식은 IEEE Std 80-1986에서 개선된 식인데, 1976년판 IEEE Std 80의 Km식은 매쉬전압의 수직성분 계산에 한 개의 도체만을 고려하여 유도되었으나, 1986년 개정판에는 매쉬전압의 수직성분과 수평성분 모두를 고려한 보다 개선된 수학적 모델을 근거로 유도되었다. 참고문헌(3)에 의하면 매쉬 전압 계산식에의 적용 한계조건으로 0.25(m) < h < 2.5(m), n < 25개, d < 0.25h, D > 2.5(m)을 권고하고 있다. (7)식의 Ks는 보폭전압을 접촉전압보다는 덜 위험하다: 사설에 근거하여 몇가지 가정을 도입함으로써 5) 식을 단순화한 수식이다.

### 2.2.2 계수 $K_i$ 의 결정

접촉 및 보폭전압 등의 계산에 사용되는 current irregularity factor  $K_i$ 는 명확히 정의된 계수는 아니다. 설계자는 아래 (8) 식을 이용하거나, Koch의 실험데이터를 참고하여 자신의 경험과 판단에 근거하여 임의로 결정하거나 또는 IEEE Std 80에서 주어진 대로 1.2~2.0 정도의 값을 사용하게 된다.

$$K_i = 0.65 + 0.172n \quad (8)$$

한전의 설계기준 2602에 의하면  $K_i$ 의 결정에 Koch의 실험데이터를 참고하여 설계자의 경험과 판단에 기초하여 값을 결정하도록 하고 있다. Koch의 실험데이터는 메쉬갯수가 최대 64인 경우의 값이 주어져 있어, 메쉬갯수가 그 이상인 경우는 그야말로 설계자의 주관적인 판단에 의할 수 밖에 없게 되어 있다. 154kV 육내형변전소 접지설계의 경우, 대부분 접지망 메쉬의 개수가 64개를 훨씬 초과하고 있어  $K_i$ 값의 결정이 어려우며 대개 1.2~1.8사이의 값을 주고 설계를 하고 있는 실정이다. 이는 높은 대지저항을 및 좁은 부지면적 등으로 인해 현행 설계기준의 안전허용 보폭/접촉전압값을 만족시키기 어려운 데에도 그 원인이 있는 것으로 보인다.

### 2.2.3 접지도체 굵기 선정

접지도체의 용단을 방지하기 위한 최소굵기를 구하는 식은 아래와 같다.

$$A = I \sqrt{\frac{8.5 \times 10^{-6} \times t_c}{\log_{10} \left( \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right)}} \quad (9)$$

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

(9)식은 1976년판 IEEE Std 80에서 제시한 식(Onderdonk's equation)인데, 발생한 열은 모두 도체안에 저장된다는 가정하에, 도체가 구린 경우에만 적용가능한 식이다. 1986년 개정판에는 열손실을 고려하고 구리 외에 다른 도체일 때에도 적용 가능한 (10)식을 제시하였다. 위 식을 비교해 보면 (9)식을 적용한 경우 열손실을 고려하지 않기 때문에 IEEE Std 80-1986의 (10)식을 적용하는 경우보다 과다설계될 가능성이 있음을 알 수 있다. 실제로 연동선의 경우, 고장전류를 1(kA)로 가정했을 때 (9)식에 의한 용단방지 최소 도체면적은 5.3(mm<sup>2</sup>)이나, (10)식을 적용한 경우 5.0(mm<sup>2</sup>)가 됨을 볼 수 있었다.

### 2.2.4 접지봉의 고려

$$R_g = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} \quad (11)$$

$$R_g = \rho \left( \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{hV}{1+hV/20A} \right) \right) \quad (12)$$

(11), (12)식은 접지저항을 계산하는 식들이다. 계산식의 L은 매쉬도체의 총길이를 나타내며, 접지봉의 길이도 매쉬도체의 길이와 똑같이 간주한다. 그러나 매쉬도체에 비해 접지망 주변에 접지봉의 대지전류의 밀도가 더 높기 때문에, IEEE Std 80-1986에서는 도체 총길이를 계산할 때 접지봉 길이는 115%의 가중치를 주고 있으며 접지망 가장자리의 접지봉 길이는 200%이상의 가중치를 주어도 무리가 없다고 기술하고 있다. 따라서  $L = L_c + 1.15 L_r$  로 환산된다. (단,  $L_c$  : 매쉬도체 길이,  $L_r$  : 접지봉도체 길이)

### 2.3 현행설계의 개선방향

IEEE Std 80은 육외변전소를 주요 대상으로 한 것어서 육내 GIS변전소에는 적용하기 어려운 점이 있다. 또한 IEEE Std 80-1976은 1986년 개정판을 적용한 경우와 비교해 볼 때, 설계제원변경에 따른 각종 접지설계 파라미터의 변화양상이 다름을 알 수 있었다. 현행 설계기준의 발견된 문제점들을 다음과 같이 정리하였다.

#### 2.3.1 안전허용 보폭/접촉전압

현행 설계기준 즉, 육외철구형 변전소의 경우 안전허용 보폭/접촉전압의 계산식은 아래와 같다.

$$E_{st50} = \frac{(1000 + 6\rho_s) \cdot 0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (13)$$

$$E_{touch50} = \frac{(1000 + 1.5\rho_s) \cdot 0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (14)$$

(13), (14)식에서 1000은 신체의저항값(ohm),  $t_s$ 는 고장지속시간,  $6\rho_s$ 과  $1.5\rho_s$ 는 각각 자갈층과 발파의 직렬 및 병렬 연결시 접촉저항값이다. 육내형 변전소의 경우는 자갈을 깔지 않는 데도, 안전허용치의 계산에 자갈포설을 전제로 한 (13), (14)식을 그대로 적용하는 경우가 있다. 육내형변전소의 경우 사람이 밟

딛안에 서 있게 되므로 이를 고려한 안전허용 접촉/보폭전압의 계산이 필요하다.

#### 2.3.2 고장전류의 분류효과

고장 발생시 고장전류의 접지망 유입정도는

- 고장발생 위치
- 변전소 접지저항의 크기
- 접지망 인근 또는 직접 연결되어 있는 파이프나 케이블
- 가공지선/중선선/대지귀로

등에 따라 영향을 받게된다. 현행 기준은 이 중 d)가공지선에 의한 분류효과만을 고려하여 고장전류의 40~60%가 접지망으로 유입되는 것으로 가정하고, 설계시 일률적으로 60%를 적용하고 있다. 일본에서는 c)의 케이블에 의한 분류효과도 매우 큰 것으로 평가하고 있는데 반해 현 기준은 c)에 의한 분류효과를 전혀 고려하지 않고 있는 실정이다.

접지망 유입전류는 접지설계에 큰 영향을 주는 요소이므로, 과다설계 방지 및 좁은 부지에서 안전허용치 내의 접지설계 등을 위해서는 c)와 d)에 의한 분류효과를 보다 정확히 평가하여야 할 필요가 있다.

#### 2.3.3 토양구조모델

접지설계에 있어서 가장 큰 영향을 주는 요인은 바로 대지저항이다. 앞의  $K_m$ ,  $K_i$ ,  $K_s$ , 접지저항 및 보폭/접촉전압의 계산식에 있어서  $\rho$ 값은 절대적인 영향을 주고 있음을 볼 수 있다. 따라서 토양구조를 얼마나 정확하게 모델링하는가는 접지설계에 있어 절대적인 영향을 준다고 할 수 있다.

IEEE Std 80의 접촉/보폭전압의 계산식은 균일토양모델을 전제한 것이다. 1986년 개정판에서 Schwarz는 2층 토양구조인 경우의 접지저항 계산을 제시한 바 있다.

컴퓨터 시뮬레이션 결과에 의하면 균일토양모델을 가정한 경우와 다층 토양모델을 가정한 경우, 해석결과에 많은 차이가 생길 수 있음을 볼 수 있다. 이 외에도 참고문헌 [8]에서, 비균일 토양구조를 균일토양구조로 모델링한 경우 접촉/보폭전압 및 접지저항치의 계산에 큰 차이를 보이는 것으로 보고되고 있다. 따라서 안전허용전압 등의 평가과정의 오류를 줄이기 위해서는 다층 토양구조모델의 도입이 필요하다.

### 3. 결론

접지설계 프로그램을 이용하여 IEEE Std 80-1976과 1986년 개정판과의 접촉/보폭전압 및 접지저항 계산식의 차이점 및 설계제원 변경에 따른 감도의 차이를 살펴보았다. 또한 현행 접지설계 기준의 육내변전소 적용에 따르는 문제점 및 개선방향을 제시하였다.

현행 변전소 접지설계기준은 IEEE Std 80의 1976년 개정판을 기초로 만들어진 것으로서 접촉/보폭전압, 용단방지 도체 최소단면적 및 접지저항 계산식에 1986년판의 개선된 수식으로 개정이 필요하다. 또한 높은 대지저항을, 좁은 부지면적 등의 악조건하에서 접지효과 저감방법 및 육내GIS변전소 접지설계시 특별고려사항을 포함한 설계기준 제정이 시급히 요구된다.

### 4. 참고문헌

- F. Dawalibi, M. Bouchard, D. Mukhedkar, "Survey on power system grounding design practices", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-99, No. 4, pp. 1396-1405, Jul/Aug, 1980
- J. G. Sverak, "Sizing of ground conductors against fusing", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-100, No. 1, pp. 51-59, Jan. 1981
- J. G. Sverak, "Simplified analysis of electrical gradients above a ground grid-I", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-103, No. 1, pp. 7-25, Jan. 1984
- F. Dawalibi, C. J. Blattner, "Earth resistivity measurement interpretation techniques", IEEE trans. on PAS, Vol. PAS-103, No. 2, pp. 374-382, Feb. 1984
- 한국전력공사, "設計基準", 변전편-설계기준 2602, 1984
- "IEEE GUIDE FOR SAFETY IN SUBSTATION GROUNDING", IEEE Standard 80, 1986
- Takahashi/이형수譯, "接地設計入門", 東逸出版社, 1993
- F. Dawalibi, J. Ma, R. D. Southey "Behaviour of grounding systems in multilayer soils", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 9, No. 1, pp. 334-342, Jan. 1993
- 전병선, "Visual Basic", 삼양출판사, 1994