

고저항을 지대의 접지 설계 기법

김 왕^o 동신전문대학
 임 한 석 건국대학교

"Grounding Design Techniques of High Resistivity Sites"

Wang Kim Dong Shin Junior College
 Han-suck Yim Kon Kuk University

ABSTRACT

This study aims to present grounding design techniques of high resistivity sites, develop a program for grounding mesh design and prove the effectiveness of the program by comparison between simulation results and field measurements.

1. 서론

최근, 변전기기 축소화에 따른 변전소 부지의 협소로 대지 저항율이 높은 경우에 안전한 접지설계를 도모하기가 매우 어려운 실정이며 또한, 재택식 옥외 변전소의 경우에 있어서도 점차 용지난이 대두 되어가고 있는 실정이므로 접지계 구성 측면에서 조건이 좋지 않은 산악지대에 건설하는 경우가 많은데 대지속에 대부분 암반이 포함되어 있는 이러한 고저항을 지대에서는 종래의 접지동봉을 부가한 Mesh 접지 방법 만으로는 효율적인 효과를 기대하기란 어렵다고 할수 있겠다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 악조건(고저항을지대, 부지 협소등)에서의 효과적이고 경제성을 감안한 안전 설계 기법을 제시하고 그 타당성을 입증하고자 한다.

2. 고저항을 지대의 접지

일반적으로 대지 저항율이 1000(Ω·m)이상인 경우를 고저항을 지대라고 할 수 있는데 이렇게 저항율이 높거나 Switch Yard(부지)가 협소한 지역에서는 저 임피던스 접지계를 얻기란 쉽지 않은 일이다. 이러한 곳에서의 접지설계는 특별한 기법이 요구된다고 하겠다.

2.1 Mesh 형 접지^{1), 4)}

낮은 접지저항을 필요로 하는 발전소에서 널리 채택 하고 있는 접지 방식이긴 하나 고저항을 지대에서는 이 방법 단독으로는 안전설계를 유도하기란 어려우므로 타 방법과 병행하여 사용하여야 더욱 효과적인 설계가 가능할 것이다.

2.1.1 보폭 및 접촉전압 기준

입의의 사고 회로의 최대 구동전압은 아래에 정의된 한계치를 초과하지 않아야 한다. (그림 1 및 2참조)

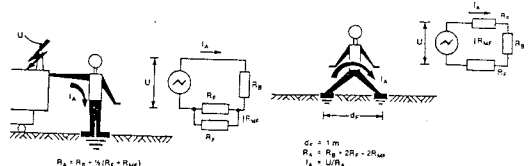


그림 1. 접촉전압회로

그림 2. 보폭전압회로

먼저 보폭전압에 대한 한계는

$$E_{step} = (R_g + R_{2fs}) I_g \tag{1}$$

따라서,

$$E_{step} = (1000 + 6C_s(h_s, k)\rho_s)\lambda / \sqrt{E_s} \tag{2}$$

(단, λ 값은 50kg 인 경우 0.116, 70kg 인 경우 0.157)

여기서,

$$C_s \begin{cases} \text{보호층 무} : 1 \\ \text{보호층 유} : \text{부도로부터 결정} \end{cases}$$

ρ_s : 지표면 보호재질의 고유저항 (Ω·m) -

t_s : 고장 지속시간 [s]

h_s : 접지 자갈층의 두께 (부도 참조)

k : 반사 계수 ($k = \rho - \rho_s / \rho + \rho_s$)

유사한 방법으로 접촉 전압 한계치는

$$E_{touch} = (R_g + R_{2fp}) I_g \tag{3}$$

따라서,

$$E_{touch} = (1000 + 1.5 C_s (h_s, k) \rho_s) I / \sqrt{t_s} \quad (4)$$

2. 1. 2 접지저항의 계산

수평 (그리드) 과 수직 (접지봉) 전극의 합성으로 이루어진 접지계의 총합저항 R_g 는

$$R_g = \frac{R_{11} R_{22} - R_{12}^2}{R_{11} + R_{22} - 2 R_{12}} \quad (5)$$

여기서, R_{11} : 그리드도체의 저항
 R_{22} : 모든 접지봉 (Rodbed) 의 합성저항
 R_{12} : 그리드도체군과 접지봉군의 상호저항

Schwarz 는 기본설계 Parameter로 R_{11}, R_{22} 및 R_{12} 를 규정하여 편리한 식을 개발했는데, 실제에 있어서는 도 전성이 보타나는 토양에 담게하기 위해 접지봉을 대지속에 깊숙히 타입하는것이 바람직한 경우도 있으므로 아래 식에서 R_{22} 및 R_{12} 에 대한 표현은 이러한 가능성을 위해 수정되었다.

$$R_{11} = (\rho_s / \pi l_s) \{ l_n (2l_s / h_s) + K_1 (l_s / \sqrt{A}) - K_2 \} \quad (6)$$

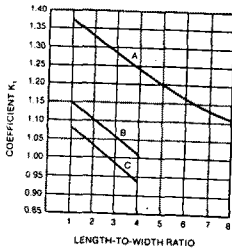
$$R_{22} = (l_n / 2\pi l_s) \{ l_n (\rho_s / l_s) - 1 + 2K_1 (l_s / \sqrt{A}) (\sqrt{A} - 1) \} \quad (7)$$

$$R_{12} = (l_n / \pi l_s) \{ l_n (2l_s / l_s) + K_1 (l_s / \sqrt{A}) - K_2 + 1 \} \quad (8)$$

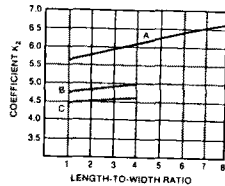
여기서,

A : Grid 에 의해 점유한 면적 [m^2]

K_1, K_2 : 접지계의 기하학적 구조에 관련된 상수 (그림 3. 참조)



CURVE A - FOR DEPTH $h = 0$
 $f_A = 0.04 + 1.41$
 CURVE B - FOR DEPTH $h = 1/10 \sqrt{AREA}$
 $f_B = -0.05x + 1.20$
 CURVE C - FOR DEPTH $h = 1/8 \sqrt{AREA}$
 $f_C = -0.05x + 1.12$



CURVE A - FOR DEPTH $h = 0$
 $f_A = 0.15x + 5.50$
 CURVE B - FOR DEPTH $h = 1/10 \sqrt{AREA}$
 $f_B = 0.10x + 4.68$
 CURVE C - FOR DEPTH $h = 1/8 \sqrt{AREA}$
 $f_C = -0.05x + 4.40$

(a) 계수 K_1 (b) 계수 K_2

그림 3. Schwarz 식의 계수

2.2 구조체 접지

건축 구조체(입체의 입체적 전기회로망)를 접지 전극으로서 이용 (미국의 H.G. Ufer 가 제안한 것으로 "Ufer Electrode" 로 알려져 있다.) 하는 것은 매우 경제 적 이라 할 수 있으며 접지의 본래 목적인 안전성 향상 의 관점에서 도 바람직하다고 할 수 있다.

2.2.1. 구조체의 저항율과 접지저항 실측예

건축 구조체의 접지 저항이 낮은 이유는 그 기초가 대지와 접촉하고 있는 면적이 크기 때문인데, 콘크리트 는 보통의 암석과는 달리 흡수성이 커서 습윤 상태에서

는 저항율이 매우 낮다.

표 1. 에 콘크리트 흡수율과 저항율, 표 2. 에 각종 구조체 접지저항 실측예를 보인다.

표 1 콘크리트의 흡수율 및 저항율

배합 비율	흡수율 (%)	저항률 ($\Omega \cdot m$)
1 : 3 : 6	4.9	80
1 : 2 : 4	6.2	51.6
1 : 3 : 0	13.9	47.2
1 : 2 : 0	16.1	37.9

표 2 각종 구조체 접지저항 실측예

건물명	층 수	바닥면적 [m^2]	구조	구조체접지저항
외무성	1/8	27,604	A	0.2
전철회관	1/4	1,767	B	0.6
영빈관	1/2	15,355	C	0.35

(주) 1. 단위; 바닥면적: [m^2], 접지저항 : [Ω]

2. 구조; 철골콘크리트조 : A, 철근콘크리트조 : B
 철골연약적 : C

3. 측정 년월 : 1962. 2 - 1972. 3.

4. 측정 방법 : 접지저항 측정기

5. 층수 : 지하/지상

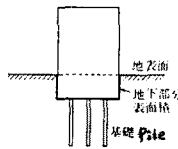
2.2.2 구조체의 접지저항 추정법

그림 4. 와 같은 구조체 지하 부분의 연표면적을 A [m^2] 라고 이것을 반구로 치환하여 놓으면

$$2\pi r^2 = A \quad \text{이 되고, 구조체의 등가반경은}$$

$$r = \sqrt{A/2\pi}$$

$$\text{따라서, } R = \rho_s / 2\pi r = \rho_s / \sqrt{2\pi A} \approx 0.4 \rho_s / \sqrt{A} \quad (9)$$



즉, 윗식으로 부터 대지 저항율 과 구조체 지하부분의 연표면적 에 의해 접지저항을 간접적으로 결정할 수 있다.

그림 5. 구조체의 지하부분

2. 3. 콘크리트로 포장된 전극의 사용¹⁾

콘크리트에 싸여진 전선 또는 금속봉은 땅속에 직접 매설된 유사 전극보다 더 낮은 저항을 갖는데, 이것은 토양의 화학적 취급에서와 같이 금속성분 주위에 있는 물질의 고유저항을 저감시키기 때문이다.

콘크리트 속에 넣어진 수직봉의 저항을 구하기 위해서는 다음 식을 이용한다.

$$R_{ca-rod} = \frac{1}{2\pi l} \{ \rho_c \{ l_n (D/d) \} + \rho \{ l_n (\rho l/b) - 1 \} \} \quad (10)$$

여기서, ρ_c 는 콘크리트 저항율($\Omega \cdot m$), l 는 접지봉길이(m)
 d 는 접지봉 직경 그리고 D 는 콘크리트 폭의 직경(m)

이다. 또한 다른 형상을 가진 임의의 전극에 대해서는 일반적으로 아래와 같이 나타낼수 있다.

$$R_{SM} = F(\ell, S_o, G) \quad (11)$$

$$R_{OM} = F(\ell_c, S_o, G) + F(\ell, S_i, G) + F(\ell_c, S_i, G) \quad (12)$$

여기서, R_{SM} : 단일 매체의 전극저항 (Ω)
 R_{OM} : 이중 매체의 전극저항 (Ω)
 S_o : 주어진 전극의 표면적 (m^2)
 S_i : 공유 영역의 면적 (m^2)
 G : 주어진 전극의 특유 형상에 의해 규정 되는 기하학적 계수

이러한 식은 저중에 매설된 여러가지 전극에 적용시킬수 있고, 토양에 비하여 상이한 고유 저항을 가진 매질의 동심들에 의해 둘러 싸여져 있다고 가정된다.

Radbed 에 대하여 Schwarz의 식이 쉽게 수정 될 수 있는 이러한 형태의 한 가능한 모델을 그림5에 보였다.

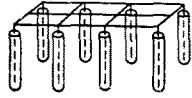


그림 5. 포장된 수직전극을 부가한 그리드

2. 4. 접지 전극의 삽타

대지 저항율은 일반적으로 층상구조를 이루고 있고 지표 부근의 대지저항율이 매우 높더라도 그 밑에는 비교적 저항율이 낮은 층이 존재하는 경우가 많은데 이러한 장소에 삽타 공법을 적용한다.

그림6과 표 3에 접지극 매설 길이와 접지저항치 간의 관계를 보였다.

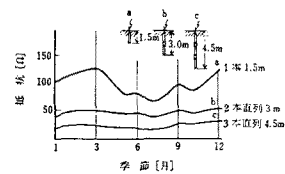


그림 6 타입용 길이와 접지저항

표 3. 접지극 타입용 길이에 따른 접지저항 실험치

장 소	절 관규기	토질	타입용길이 [m]	접지저항 [Ω]
A	1 1/2"	사력	8	120
B	"	"	18	80
C	"	"	20	90

2. 5 저감제의 이용

접지저항 저감제에 의한 저감저항 접지방법은 도전성 물질을 대지에 고정하여 낮은 저항을 유지케할 수 있는 화학 처리에 의한 토양 개량 방법인데 이방법은 시간이 경과함에 따라 그 신뢰도가 심각하게 저하됨으로 유도로 간주하고 효율식등의 산출은 생략한다.

3. 시뮬레이션

3. 1. 프로그램의 개요

일반적인 수치 계산 프로그램은 계산속도, 기억용량 절감등이 중요 사항이라고 할수 있겠지만 최적 설계를 위한 본 접지 설계계산용 프로그램과 같은 경우는 접지 계에 주어지는 조건 변경여의 적응성이 무엇보다도 중요하다 할 수 있겠다. 이러한 적응성을 제고하기 위해서 본 프로그램은 단일 장치를 통해서 인간 - 기계 간의 상시대화를 확보토록 하여 조작상의 오류를 즉시 확인 할 수 있을 뿐만 아니라 나아가서는 단순한 집계나 통계를 내는 것과 그 성질이 근본적으로 다른 고급 전문기술이 요구되는 접지 설계 계산을 설계자가 의도하는대로 유도 할 수 있게 하였다.

그림 7은 프로그램의 흐름도이며 프로그램은 IBM XT 개인용 컴퓨터를 써서 개발 했으며, 프로그래밍 언어는 BASIC 을 사용 하였다.

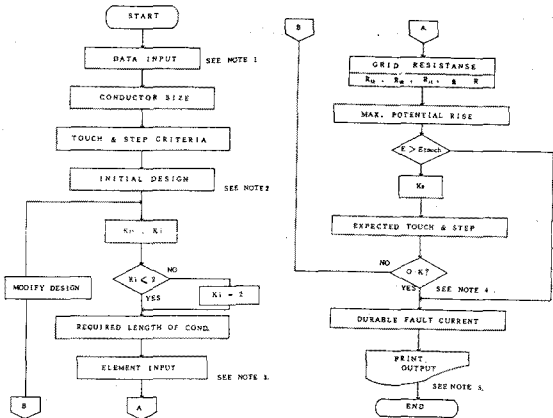


그림 7. 프로그램의 흐름도

3. 2. 적용사례

본 논문에서 개발한 프로그램의 효용성을 입증하기 위해 전산처리 결과치를 실험치와 비교하였다.

표 4는 계산제원이고 표 5는 전산처리 결과치이다. 실험치와의 비교를 위해서 실제 설계방법인 Mesh에 접지봉을 부가한 것으로 상정하여 계산하였고 그외의 접지저항 저감 방법은 유도로 간주하였다.

표 4 입력 자료

ITEM	S/S	절원S/S	여수S/S	신인천S/S
Switch Yard [m]	135X97	57X24	236X140	
Grid Interval (m)	3	3	4	
Soil Resistivity (Ω -m)	1191	150	521	
Max. Ground Fault current [A]	18,900	22,500	30,565	
Fault Duration (sec)	1	1	1	
Coefficient k1 & k2 (K_1/K_2)	1.36/5.6	1.08/4.7		

표 5. 전산출력과 접지저항 실측치

ITEM	S/S	철원	여수	신인천
Conductor size (mm ²)		91.4(150)	120(200)	161(150)
Required Length of Conductor (m)		12,924	1,400	22,974
Actual Length of Conductor (m)		12,670	1,263	21,400
Number of Rods (ea)		1,402	196	4,872
Length of Rod (m)		1	1.93	1
Buried Depth (m)		1	2.1	1
Total Resistance (Ω)		4.71	1.57	1.30
Measured Resistance (Ω)		0.35	0.92	0.80

* 도체 규격 칸의 ()의 숫자는 실제 적용 규격임 .

4. 결과 의 고찰

3.2항에서 접지저항에 대한 전산처리 결과와 실측치를 비교하였다. 이 비교표에서 알수있는 것은 먼저 최대지락 전류치에 비례하여 도체 규격이 증가함을 확인할 수 있는데, 이 최대지락 전류의 선정은 일반적으로 차단기의 3상 단락 용량을 최대치로 간주하여 산출하는것이 보통이나 이러한 계산 방법은 안전한 설계는 될수 있겠지만 과다설계가 되기 쉽다. 따라서 정확한 계산에 의한 최대지락 전류의 선정은 매우 중요한 문제라 할수 있겠다.

다음으로 소요도체 길이가 여수와 신인천에 비해 철원이 상대적으로 많이 소요 되는 이유는 고저항을지대에 속한 때문일 것이다. 또한 여수의 경우는 GIS 육내형이므로 부지가 협소하기 때문에 그리드 간격을 최소치인 3(m)로 하였음에도 불구하고 소요길이를 포섭하는데 문제가 있었으므로 접지전극의 십타방법의 일환인 접지봉 2개를 직렬 연결하여 타설함으로써 문제를 해결하고 있다.

그리고 대지 고유저항이 결코 낮다고 할수없는데도 불구하고 부지 면적이 가장 넓은 신인천의 경우가 접지저항이 가장 낮게 산출된것은 예상한대로 대지 고유저항치와 더불어 부지 면적이 접지저항을 결정하는 가장 중요한 변수임을 알수 있다.

마지막으로 실측치는 설계계산치 보다 모두다 낮게 측정되었는데 이것은 계산에 넘치않고 유도로 간주한 구조체 접지, 접지전극의 십타, 콘크리트 파일과의 연결 및 저감제 등에의한 효과로 생각된다.

5. 결 론

본 연구에서는 고저항을 지대의 효과적인 접지설계 기법을 실용화 할 수 있도록 이론 및 실측 자료를 정리하여 제시하였다.

시뮬레이션을 위한 프로그램은 단말장치를 통해 대화를 확보 함으로써 단순한 계산에 그치지 않고 조작상의 오류를 즉시 확인하고 설계조건 변화에 대응한 적응성을 높임으로써 접지계 설계 업무에 직접 활용될 수 있도록 하였

고 사례 적용을 통해서 전산처리 결과치와 실측치를 비교 하여 미소 오차의 원인을 확실하게 분석하여 밝힘으로써 제시한 설계 기법과 프로그램의 타당성을 확인하였다.

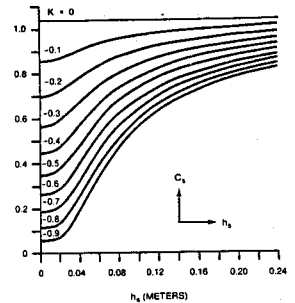
각종 접지 설계에의 실용화를 목표로한 본 연구의 주요 성과는 아래와 같이 요약 될 수 있다.

1. 고저항을 지대에서의 안전 설계를 유도할 수 있는 접지설계 기법을 제시하였다.
2. 부지가 협소한 육내 GIS 변전소의 경제적이고 효과적인 접지 방법을 제시하였다.
3. 인간 - 기계 간의 상시 대화를 확보하도록 일반화된 프로그램을 개발함으로써 각종 접지 설계시 직접 적용이 가능하게 하였다.

참 고 문 헌

1. ANSI/IEEE Std 80-1986: IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, 1985
2. 才 - △社: 지막보호와 접지기술, 1979.
3. 전기설비공사기술연구회: 접지공사 (설계, 시공) 7 = 2714, 才 - △社, 1979
4. KEPCO: 접지계 설계지침, 1984

(부도) 감소 계수 C_s



NOTE 1

- 1) 대지고유저항
- 2) 지표면의 고유저항
- 3) 최대지락고장전류
- 4) 고장 지속시간
- 5) 최고허용온도
- 6) 주위온도

(부 표)

NOTE 2

- 1) 접지선 단면적
- 2) 접지선 외 경
- 3) 매설깊이
- 4) GRID 간격
- 5) GRID 도체수
- 6) 접지봉의 수효

NOTE 4.

- 1) 허용접촉전압>예상접촉전압
- 허용보폭전압>예상보폭전압

NOTE 5.

- 1) 접지선 단면적
- 2) 소요도체 길이 및 실공장
- 3) 접지봉의 수효 및 길이
- 4) 매설깊이
- 5) GRID 간격
- 6) GRID 도체수
- 7) 합성 접지 저항
- 8) 최대전위상승
- 9) 저속성 지락 고장 전류

NOTE 3

- 1) 접지선 실공장
- 2) 접지봉 직경
- 3) 계수K₁, K₂
- 4) 접지봉의 길이