

컴퓨터 프로그램을 이용한 66 KV 변전소 접지설계

최종기,곽주식,강연욱,정길조,심응보,김경철\*  
한전 전력연구원, \*홍익대학교

66 kV Substation Grounding Design using Computer Programs

Jongkee Choi, Joosik Kwak, Yeonwook Kang, Eungbo Shim, Kyungchul Kim\*  
Korea Electric Power Research Institute, \*Hongik University

**Abstract** - 변전소 접지설계를 위한 지침으로서 북미지역과 우리나라에서도 사용되는 IEEE Std 80은 접지저항, 위험전압 및 고장전류 분류계수의 평가를 위한 간단한 수계산식을 제공함으로써 접지성능을 예측계산하도록 하고 있다. 컴퓨터 성능의 비약적인 향상에 따라 수작업이 아닌 컴퓨터 프로그램을 이용하여 변전소 접지설계를 하는 사례가 점차 증가하고 있으며 한국전력공사에서도 자체 제작한 접지설계 프로그램들을 사내 진단망을 통해 배포하고 있다. 본 논문에서는 한전이 해외사업을 일환으로 수행 중에 있는 리비아 전력청 절연협조 진단프로그램 내용 중 66 kV 변전소 접지설계 사례를 제시한다.

1. 서 론

변전소 전력계통은 불평형 지락사고시 고장전류를 대지로 안전하게 분산시켜 작업자와 기기의 안전을 확보하고 정상운전시에는 각종 기기들의 안정적인 기준전압을 제공함으로써 원활한 전력공급을 그 목적으로 한다. 발 변전소 접지설계에서 접지계통의 성능을 대표하는 가장 대표적인 지수로서 접지저항이 있으며 사고시 위험전압의 예측은 필요한 접지성능을 확보하는데 있어서 매우 중요한 작업이다.

현행 발변전소 접지설계시 대부분 IEEE Std-80[1,2], Std-665[3]에서 제시한 간략한 접지저항, 접촉/보폭전압 계산식을 이용하고 있다. 그러나 이와 같은 간략한 계산식은 사용이 편리한 대신 많은 가정과 전제를 포함하게 되어 정확한 접지성능 예측이 어렵고, 안전여유를 지나치게 많이 포함하는 경우도 생긴다.

본 논문에서는 IEEE Std-80의 수계산식이 아닌 컴퓨터 프로그램을 활용한 접지설계에 관하여 기술하였다. 여기에 사용된 프로그램들을 소개하면 한전 전력연구원 에서 자체 제작한 접지망 설계프로그램 (Grounding grid Design Program)과 접지전류 계산프로그램 (IGcalc : Ground Current Calculation Program)을 사용하였으며, 등가토양모델의 식별에는 한국지질자원연구원에서 개발한 1D토양모델 프로그램 (DCsounding)을 이용하였다.

2. 본 론

2.1 IEEE Std-80을 이용한 접지설계의 한계

접지망의 접지저항 계산에는 식 (1)이 주로 사용되고 있다. 이 식은 Sverak이 제안한 식으로 접지망의 매설깊이까지 고려한 식이다.

$$R_s = \rho \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right] \quad (1)$$

(단, ρ:대지저항율, A:접지면적, L:도체총길이, h:매설깊이)

일반적인 접지망의 경우, 접지도체를 통하여 대지로 누설되는 전류는 접지망 중간보다는 외곽으로 더 많이 빠져나간다. 이는 도체가 조밀히 배열된 중간부분은 전류누설 통로가 중복되나, 외곽은 상대적으로 중복이 덜하기 때문이다. 즉, 도체길이 L은 접지망 외곽에 위치한 경우가 중간에 위치한 경우에 비해 접지저항 저감효과가 더 좋으나, (1)식은 이러한 효과가 고려되지 않는다. 이러한 불균일한 전류분포는 특히 지표면전위경도에 매우 큰 영향을 준다.

위험전압의 계산에는 아래 (2)~(5)식이 사용되며, 안전허용치가 높고 덜 치명적인 보폭전압보다는 접촉전압이 더욱 중요한 요인이다.

$$E_{touch} = \rho K_m K_i \frac{I}{L} \quad (2)$$

$$E_{step} = \rho K_s K_i \frac{I}{L} \quad (3)$$

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

$$K_i = 0.656 + 0.172n \quad (5)$$

(단, ρ:대지저항율, I:접지망 유입전류, L:접지도체 총 길이, K<sub>m</sub>:접촉전압 계수, K<sub>s</sub>:보폭전압 계수, K<sub>i</sub>:전류 분균일 보정계수, D:접지도체 간격, h:매설깊이, d:접지도체 직경, n: 접지망 한번 도체갯수, K<sub>ii</sub>, K<sub>h</sub> : 기타 계수)

K<sub>m</sub>계수의 유도는 그림 1과 같이,

- 1) 무한길이의 도체가 등간격으로 매설되어 있으며,
- 2) 도체를 통한 누설전류밀도는 일정하고,
- 3) 최대 접촉전압은 최외곽의 첫째와 둘째 도체의 중간 점에서 발생한다는 가정하에 유도되었다.

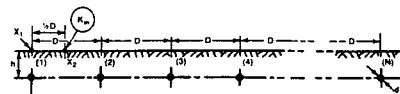


Fig. 1. K<sub>m</sub>계수 유도모델

이와 같이 유도된 K<sub>m</sub>계수를 이용하여 유도된 접촉전압은 식(9)와 같다.

$$E_{touch} = \rho K_m J = \rho K_m \frac{I}{L} \quad (6)$$

(단, J:전류밀도, I:접지망 유입전류, L:도체 총길이)

그러나 이 식은 2.1.1절에서 언급한 바와 같이 접촉/보폭전압에 큰 영향을 주는 접지망의 불균일한 누설전류 밀도가 고려되지 않은 식이다. 따라서 이를 보정하기 위한 전류 불균일계수 K<sub>i</sub>가 곱해져서 식 (5)가 되었으나

Km, Ks 계수의 적용관계가 그대로 적용되므로 정사각형 배위접근에만 고려가 가능하다는 단점이 있다.

### 2.2 컴퓨터를 이용한 대지저항을 해석

접지설계에 있어서 토양의 전기적 특성은 접지극의 형상과 더불어 가장 중요한 설계요소 중 하나이다. 실제 토양은 복잡한 매질과 구조로 구성되어 있어 정확한 토양구조나 특성의 모델링에는 많은 측정작업과 복잡한 해석절차가 필요하다. 그러나 토양특성의 기후 등 주변환경에의 의존성과 접지극 매설시 굴착 등에 의한 토양구조와 특성의 변동 등 불확실한 요인이 많기 때문에 2차원 모델 이상의 정밀한 토양모델링은 비현실적일 수 있으며 이런 이유로 접지설계를 위한 토양 모델링에는 수평다층구조 또는 균일구조로 등가화하여 사용하는 것이 일반적이다.

그림 2는 한국지질자원연구원이 개발한 1차원 토양모델 해석프로그램인 DCSounding V1.1을 이용한 토양모델 식별결과를 보인 것이다. 실측치 입력데이터를 읽어 들여서 사용자가 반복적으로 토양모델을 수정함으로써 계산치와 실측치의 오차를 줄이는 방법으로 토양모델을 식별한다. 사용자가 직접 토양모델을 수정해가면서 겐보기저항을 실측치와 등가인 토양모델을 식별함으로써 식별절차의 직관적인 이해가 가능하다는 장점이 있다.

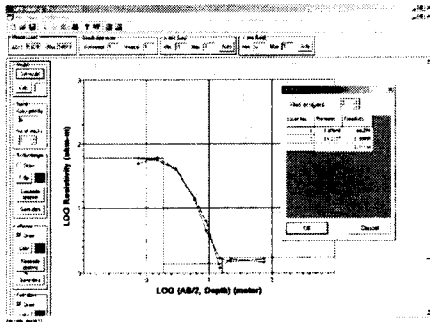


그림 2. 토양모델 식별 프로그램

### 2.3 컴퓨터 프로그램을 이용한 접지분류계수 계산

접지전류의 계산에는 전력연구원에서 자체 개발한 IgCalc 프로그램을 이용한다. 이 프로그램은 전원으로선 전류원을 이용하고 중첩의 원리를 이용함으로써 회로방정식의 개수를 최소화하도록 설계되었으며 그래픽 사용자 인터페이스와 송전선로정수 DB를 내장함으로써 사용자 편리성을 극대화하였다. 또한 가공지선의 전류분포도 계산함으로써 송전선 인근의 유도전압 해석에도 사용이 가능하다.

그림 3, 4 및 표 1은 IgCalc 프로그램의 사용자 환경과 및 CDEGS와의 계산치 비교결과를 보인 것이다.

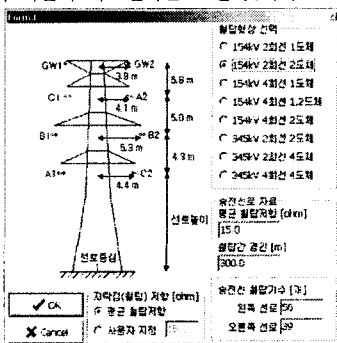
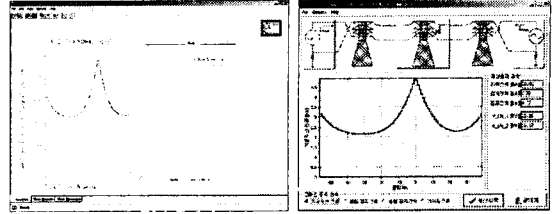


그림 3. 송전철탑(선로정수) 선택



(a) CDEGS (b) IgCalc  
그림 4. 지락사고시 가공지선전류 계산결과 비교

표 1. 가공지선 전류 계산결과 비교

	Igcalc 계산결과			CDEGS 계산결과		
	TowerNo.	Real	Imaginary (A)	TowerNo.	Real	Imaginary (A)
가공지선	1	765.69	-4807.94	1	765.06	-4807.4
전류원쪽	2	594.95	-4577.52	2	594.60	-4576.7
전원단	3	454.14	-4357.99	3	454.06	-4356.3
	4	339.88	-4148.48	4	340.05	-4147.2
	5	249.05	-3951.42	5	249.47	-3950.0
지락점	Active (A) Reactive (A)		Active (A) Reactive (A)			
접지전류	204.28	-239.44	203.99	-239.82		

### 2.4 컴퓨터 프로그램을 이용한 접지망 설계

표 2는 변전소 접지설계 조건을 요약한 것이다. 대부분의 설계조건은 리비아 전력청의 협조를 필요로 하는 것이었지만 선로정수나 계통조건 등을 자료를 제공받지 못하였고 대지저항을 실측도 지연되고 있는 관계로 본문에서는 보수적인 조건을 상정한 접지설계의 예를 보여주고자 한다.

표 2. 접지설계 조건 요약

설계항목	설계조건
고장전류 지속시간( $t_f$ )	1초
지락고장전류 크기( $I_f$ )	10 kA
고장전류 분류계수( $S_f$ )	0.3
대지저항율( $\rho$ )	100 $\Omega\text{m}$
자갈저항율( $\rho_s$ )	3000 $\Omega\text{m}$
자갈두께( $h_s$ )	0.1 m
접지망 매설깊이( $h$ )	0.5
접지망 면적(A)	70 x 50 $\text{m}^2$

그림 5와 6은 상기 조건을 상정하였을 때 GDP를 이용한 접지설계의 사례를 보인 것이다.

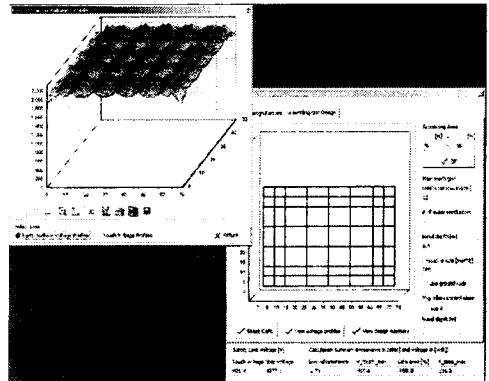


그림 5. 지표면 전위분포 및 접지망 체인

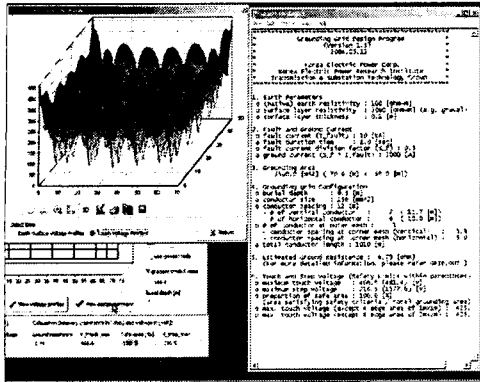


그림 6. 접촉전압 분포 및 접지설계서 출력

### 3. 결 론

기존의 IEEE Std-80 계산식에 의한 접지설계 방식과 컴퓨터 프로그램을 이용하는 방법에는 각각의 장단점이 있다. 수계산은 작업이 간단한 대신 안전여유를 많이 포함하게 되며, 컴퓨터 프로그램에 의한 방법은 계산은 정확하나 과정이 복잡하다. 대지저항율이 비교적 높고 부지가 한정된 경우, 컴퓨터 프로그램을 이용함으로써 접지망 외곽의 도체보강이나 접지봉에 의한 접촉/보폭전압 저감효과를 정확히 평가할 수 있다. 그러나 수계산에 비하여 안전여유는 적어지며, 복잡한 연산을 직접 확인할 수 없으므로 계산과정의 직관적 이해가 어려운 불편이 있다.

본 논문에서는 IEEE Std-80 계산식의 적용상 한계를 기술하였으며, 기존의 사용이 복잡한 상용 접지설계 프로그램 인터페이스를 지양한 최대한 단순한 사용자 인터페이스와 접지저항/지표면전위 계산모듈을 통합시킨 접지설계 프로그램을 제작하였고, 이를 이용한 사례연구를 통하여 접지저항, 지표면 전위경도와 접촉/보폭전압을 정확히 평가할 수 있음을 보였다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] F.P.Dawalibi, D.Mukhedkar, "Optimum design of substation grounding in two-layer earth structure; Part I-Analytical study", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-94, No.2, pp.252-261, Mar./Apr. 1975
- [2] R.J.Heppe, "Computation of potential at surface above an energized grid or other electrode, allowing for nonuniform current distribution", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-98, No.6, pp.1978-1989, Nov./Dec. 1979
- [3] F. P. Dawalibi, F. Donoso, "Integrated Analysis Software for Grounding, EMF, and EMI", IEEE Computer Applications in Power, Vol. 6, No. 2, April 1993, pp. 19-24.
- [4] 한국전력공사, 변전설계기준 2602, 2000
- [5] 한국전력공사, 송전설계기준 1101, 2000