

## 접지용 핵심기술 대지고유저항 분석시스템 개발 및 활용

원봉주\*, 유동희\*\*, 강성철\*\*\*, 박재호\*\*\*\*, 박정우\*\*\*\*\*  
한국전력공사\*

### Core technology for Earthing Development and application of Earth Resistivity Analysis System

Bong-Ju Weon\*, Dong-Hee Yoo\*\*, Sung-Cheol Kang\*\*\* Jae-Ho Park\*\*\*\* Jeong-Woo Park\*\*\*\*\*  
KEPCO\*

**Abstract** - 송·배전 및 정보통신 설비, 건축물 등 모든 분야의 설비 및 인명 보호를 위해서는 반드시 필요하고 중요한 것이 접지이며, 접지설계 시 대상 부지의 정확한 대지고유저항을 측정, 분석하는 것은 가장 중요하다고 할 수 있다. 본 대지고유저항 분석시스템은 이렇듯 중요한 대지고유저항을 기존의 수작업 분석방법이 아닌 시스템 반복계산에 의한 최적 curve 분석방법을 도입, 측정값의 신뢰도 평가 등을 이용한 측정값 분석으로, 분석값의 정확성을 높이고 분석시간을 단축함으로써 보다 정확하고 신속한 접지설계를 가능하도록 한다.

#### 1. 서 론

송·배전 및 정보통신 설비, 건축물 등 모든 분야에 적용하는 접지는 설치기기의 특성, 접지위치의 토양 특성(대지고유저항 값) 및 외부환경 등을 고려한 신뢰성 있는 설계를 통해 안전하고 경제적인 최적의 접지시스템을 구축하여야 하며, 이를 접지공법 및 시공비를 좌우하는 가장 중요한 요소이자 변수는 토양의 특성인 대지고유저항이다.

대지고유저항의 활용범위는 접지설계분야, 광석, 암반의 위치 및 지질학적 현상을 규명하여 지표면 밑의 지구 물리학적 조사(터널, 지하수 개발, 매립지 조사 등)분야 및 지하에 있는 여러 금속관들의 전식(부식)분야 등이며, 접지설계에 적용되는 대지고유저항은 그 값의 크기에 따라 접지공법, 접지공사용 자재의 선택까지 영향을 미친다.

하지만, 현재 대지고유저항 분석업무는 대지parameter 측정 후 그 값을 바탕으로 대지고유저항을 계산해 내는 일련의 과정이 log스케일로 제작된 paper를 활용하는 수작업 분석방법과 컴퓨터 프로그램에 의한 신행필터법이 있으나, 이 두 방법 모두 전문적인 기술을 요하며, 핵심작업 요체는 수동작업이므로, 수행하는 사람에 따라 오차가 발생할 요인이 있고, 데이터의 신뢰성 측면에서도 문제가 있다.

따라서 본 연구에서는 대지고유저항의 분석시간이 단축하고 분석 신뢰도를 향상시킬 수 있는 분석시스템을 개발하고자 한다.

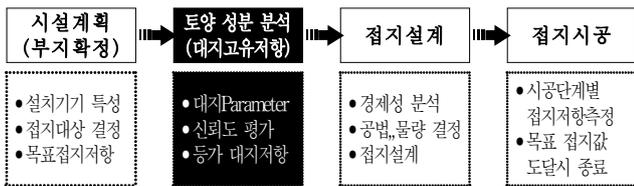
#### 2. 본 론

##### 2.1 이론적 고찰

대지는 물리적으로 보면 여러 개의 토양층(대지고유저항)을 가진 토양의 집합체이다. 우리나라의 경우 측정치를 분석한 결과 일반적으로 3지층 이상이 대부분이며, 이때 구한 지층별 두께 및 대지고유저항 값을 바로 접지설계에 적용할 수는 없다.

대지가 단일 매질인 경우에는 접지전극 표면으로부터 대지로 유출하는 전류가 균등하나, 다층 구조에 있어서는 지층에 따라 대지고유저항이 상이하므로 접지 전극 표면으로부터 대지로 유출하는 전류가 동일하다고 할 수 없다. 따라서, 다층구조 대지에 있어서는 접지전극 표면으로부터 대지로 유출하는 전류 측, 전류 밀도가 대지고유저항에 역비례한다고 가정된 후 각 지층 내에서 전류가 균등하다고 생각하고 단일 구조의 토양 모델로 변환해서 1개의 등가 대지고유저항을 갖도록 하여야 한다.

일련의 과정을 통하여 분석된 대지고유저항을 전력 및 통신 설비의 접지설계 시 적용계수로 활용되게 된다.



〈그림 1〉 접지설계 흐름도

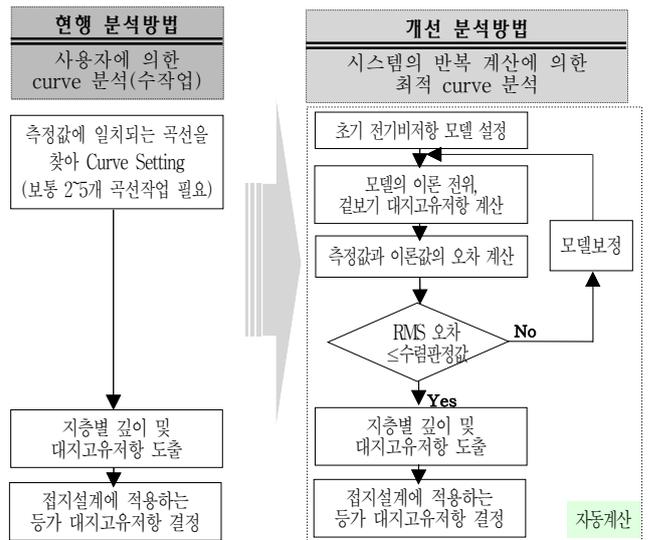
##### 2.2 현황 및 문제점

대지고유저항 측정 및 분석은 전문가 또는 전문부서에서만 시행하고

있을 뿐만 아니라, 분석자 이외에는 분석자료의 적정성 등 검증하기가 어려운 실정이다. 이렇게 대지고유저항 분석업무를 전문부서에 절대적으로 의존하고 있어 분석 시간이 오래 걸리고, 오차발생 유무를 판단하기 어려우며, 측정값에 일치하는 곡선을 찾는 데 숙련이 필요하다는 문제점이 발생하고 있다.

##### 2.3 시스템 설계 기본개념

대지고유저항 분석 알고리즘은 대지고유저항을 측정하는 단계, 대지고유저항의 측정값을 입력받아 초기 대지고유저항 모델을 설정하는 단계, 대지고유저항 모델의 이론 전위 및 결보기 대지고유저항을 연산하여 이론값을 생성하는 단계, 측정값과 이론값의 오차를 계산하여 오차를 미리 설정된 기준값과 비교하는 단계, 대지의 지층별 두께 및 대지고유저항을 도출하는 단계 및 도출된 지층별 두께 및 대지고유저항을 이용하여 접지설계에 적용하는 등가 대지고유저항을 결정하는 단계로 구분된다.



〈그림 2〉 대지고유저항 분석방법 개선방안

##### 2.4 시스템 세부사항

대지고유저항 분석을 위한 대지고유저항의 측정은 웨너법 또는 슬림버저법 모두 가능하며 각 방법에 따른 각각의 분석 또한 가능하다. 측정자료 분석을 위한 입력요소로는 측정방법, 측정간격, 측정값 등이 있으며, 이를 분석하기 위한 실행 단계는 크게 모델(초기 전기비저항 모델) 설정단계, 연산(오차계산)단계 및 출력(결과값 도출)단계로 나뉜다.

모델 설정단계는 1차원 자료 해석에 따른 신행필터법을 이용한 모형반응계산을 위하여 대지의 지층별 두께 및 지층별 대지고유저항에 대한 초기 대지고유저항 모델을 설정하는 것을 말한다. 예를 들면, 최초 대지의 지층이 몇층인지 모르고 지층별 대지고유저항을 모르는 상태이므로 대지의 지층을 3개층으로 설정하고, 전극 배열에 의한 거리 계수를 이용하여 결보기 대지고유저항값을 계산한 후 이 값의 평균을 지층별 대지고유저항으로 설정한다. 여기서 결보기 대지고유저항은 주어진 전극 배열에 따른 대지의 평균적인 대지고유저항으로 나타낼 수 있다.

다음으로 연산단계는 초기 대지고유저항 모델에 따른 이론 전위 및 결보기 대지고유저항을 연산하여 이론값을 생성하며, 결보기 대지고유저항은 전극 배열에 의해 측정된 전위 V와 송신 전류량 I를 이용하여

$$\rho_e = G \cdot \frac{V}{I}$$

으로 계산할 수 있다. 여기서 G [거리계수(geometric

factor)는 전극 배열, 전극간격 a 및 전극개수에 의해 결정되는 계수이다. 이를 통하여 계산된 대지고유저항은 대지의 평균적인 대지고유저항 값을 나타내므로 결보기 비저항이라고 한다. 또한 연산단계에서는 대지고유저항 측정값과 이론값과의 오차를 계산한다. 우선, 측정값과 이론값의 RMS오차(오차비율)를 수렴 판정값과 비교한다. 여기서 수렴 판정값은 약 20%로 설정될 수 있다. 만약 수렴 판정값이 약 20%를 초과할 경우 수렴 수준의 범위가 넓어져 오차 판정이 어려워 RMS오차가 수렴 판정값을 초과할 경우 초기 대지고유저항 모델의 보정을 실시한다. 이러한 보정은 측정오차 2개 이하 발생시 오차발생분을 제외하는 것으로 하고, 측정오차 3개 이상 발생시 재측정을 실시하는 것으로 한다.

RMS오차가 수렴 판정값 이하일 경우에는 대지의 지층별 두께 및 대지고유저항이 바로 도출된다. 여기서 지층별 두께 및 대지고유저항은 역산을 이용하여 도출한다. 예를 들면, 역산을 통해 측정값과 가장 잘 부합하는 최적의 지층 모형, 즉 지층의 두께와 대지고유저항을 도출하는 것이다. 또한 연산단계에서는 접지 설계에 적용하는 등가 대지고유저항을 결정한다. 등가 대지고유저항은 접지체가 매설되는 깊이까지의 여러 지층의 대지고유저항을 하나의 대지고유저항으로 등가화한 값을 말하며,

$$\rho_m = \frac{l}{\sum_{j=1}^{i-1} \frac{h_j}{\rho_j} + \frac{l - \sum_{j=1}^{i-1} h_j}{\rho_i}} \quad (\Omega \cdot m)$$

의 식을 통하여

계산된다. 여기에서 L은 매설깊이 및 H는 지층 두께를 나타낸다. 예를 들어, 접지체가 3층까지 매설되는 경우의 등가 대지고유저항은

$$\rho_m = \frac{l}{\frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} + \frac{l - (h_1 + h_2)}{\rho_3}}$$

의 식으로 계산할 수 있다.

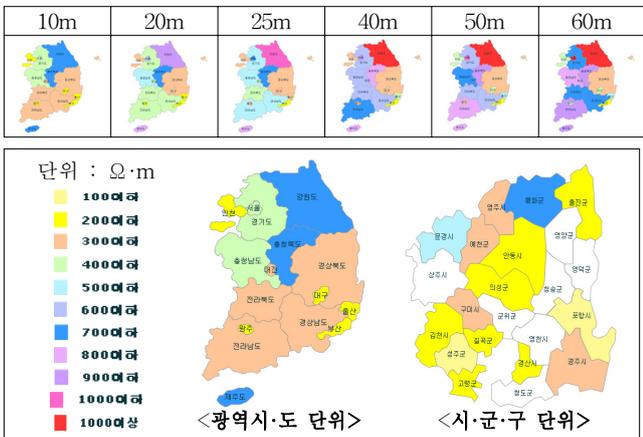
마지막 출력단계는 대지고유저항의 분석 결과를 출력한다. 이 단계에서는 <그림 3>과 같이 측정된 결보기 대지고유저항값, 이론 결보기 대지고유저항값, 역산된 대지고유저항값 및 등가 대지고유저항을 출력한다.



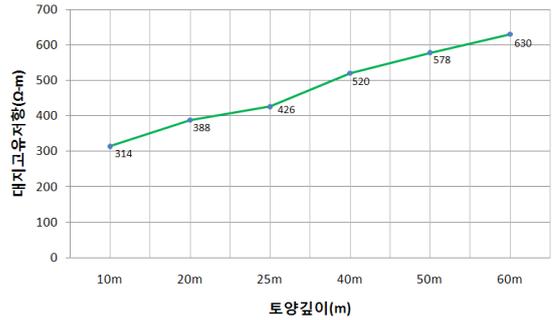
<그림 3> 대지고유저항 분석시스템 출력화면

### 2.5 전국 대지고유저항 분포 및 심도별 대지고유저항 특성 분석

본 분석시스템에서 분석된 대지고유저항 값은 데이터베이스화 되어 누적되고, 국내 전 지역의 대지고유저항 값이 분포도로 표현된다. 본 분석시스템은 축적된 자료를 활용하여 전국의 대지고유저항 값 중에서 가장 많이 활용되고 있는 토양 지층 심도별로 6개(10m, 20m, 25m, 40m, 50m, 60m)의 분포도를 구현하며, 또한, 전국 광역시·도 및 시·군·구 단위별 전국 대지고유저항 분포도를 함께 제공하여 분석값이 보다 쉽게 활용할 수 있도록 했다.



또한, 본 시스템으로 KEPCO의 대지고유저항 데이터베이스를 활용하여 우리나라 토양깊이별 대지고유저항 분포 현황을 분석한 결과, 우리나라 토양은 지하심도가 깊어질수록 대지고유저항이 커짐을 알 수 있다.



<그림 4> 우리나라 토양깊이별 대지고유저항 분포도

### 2.6 시스템 신뢰성 분석

현재 사용되는 대지고유저항 분석 방법은 다음과 같다.

국 가	상용화 프로그램명	해석방법
한국 (한국지질자원연구원)	Soundpro	선형필터법
한국 (KEPCO, KT 등)	없음	대수곡선법
캐나다	CDEGS	선형필터법
미국	1X1D	선형필터법

새로 개발된 시스템은 한국지질자원연구원과 공동으로 개발된 시스템이며, 신뢰성을 검증하기 위하여 실제 측정된 23개의 데이터를 기존 방식 및 타 분석 시스템과의 비교분석을 실시한 결과는 다음과 같다.

비교대상	대수곡선일치방식 (수작업)	1X1D (미국)	CDEGS (캐나다)	
분석조건	측정오차 제외	측정오차 포함	측정오차 포함	
분석편차	± 5%이하	35	26	44
	±10%이하	26	44	17
	±15%이하	22	17	9
	±20%이하	9	4	4
	소 계	92%	91%	74%
분석값 크기	+ 값	9%	22%	56%
	- 값	91%	78%	44%

이와 같이 대지고유저항 분석시스템은 상기 3개의 분석방법(수작업, 1X1D, CDEGS)에 비하여 분석 정확도가 아주 높았음을 확인할 수 있었으며, 측정오차가 포함된 경우에도 정확도를 확인할 수 있었다. 또한, 대수곡선 일치방식과 1X1D와는 91%이상(분석편차 ±20%이하)이 정확도가 있음을 확인하였고, CDEGS 프로그램의 경우는 분석 정확도가 상당히 떨어짐(약 74% 신뢰성)을 확인하였다.

### 3. 결 론

대지고유저항 분석기술은 기존에는 전문부서(전문가)만 분석할 수 있었으나, 이번에 KEPCO에서 개발한 분석시스템은 전문가 뿐만아니라 일반사용자도 쉽게 사용 가능하도록 구성한 자동 분석시스템(Internet 기반)이다. 이는 대지고유저항 분석을 세계최초로 자동화 시스템으로 구현 되었을 뿐만 아니라, 측정자료 입력 즉시 분석 및 오차분석을 가능토록 하여 분석시간을 크게 단축하였으며, 분석 신뢰도도 향상시켰다.

KEPCO에서는 개발된 시스템을 공공기관의 보유자원을 사회에 환원코자 '10. 9월부터 일반인에게도 무료 서비스하고 있으며, 또한, 금년 시스템 개발에 그치지 않고, 모든 접지공법별 접지설계 시스템을 개발하여 One-stop 서비스를 제공할 계획이며, 이를 통한 최소의 비용으로 최대의 효과를 실현함은 물론 인명 및 재산 보호에 크게 기여할 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, 변전 설계기준 접지설계 (DS2601)
- [2] 다카하시 다케히코, "접지, 등전위 본딩 설계 실무지식", 성안당, 2004
- [3] 유보혁, "신경회로망을 이용한 대지파라미터와 대지저항률 해석 알고리즘", 홍익대학교, 2005