

다전극 배열을 사용한 DC 저항률 취득 시스템의 최적화 방법

부창진, 김호찬  
 제주대학교 전기 전자공학과

Optimization method of DC resistivity data acquisition system using multi-electrode arrays

Chang-Jin Boo, Ho-chan Kim  
 Faculty of Electrical and Electronic Engineering, Cheju National University

**Abstract** - The accurate measurement of soil resistivity and earthing system resistance is fundamental to electrical safety. However, geological and meteorological factors can have a considerable effect on the accuracy of conventional measurements and the validity of the measurement methods. This paper presents optimization method of dc resistivity data acquisition system using multi-electrode arrays.

1. 서 론

대지 저항률은 단위 체적당 대지가 지니고 있는 고유한 대지의 체적 저항을 의미하는 것으로, 접지 시스템에 있어서 대지저항률은 접지 저항과 전위분포 특성을 결정하는 가장 중요한 요소이다. 대지 저항률은 대지 내에 분포된 지질 구조와 특성 그리고 습도와 같은 변화 요인에 따라 큰 차이를 나타낸다. 따라서 현장의 정확한 대지 저항률의 측정에는 접지 전극 시스템 구성에 가장 기본적인 요소이며, 접지 저항값을 얻는데 가장 중요한 데이터이다. 이러한 대지저항률 측정법은 직접 측정법인 전기집중법과 간접측정법인 웨너전극법(Wenner 4-point method)과 슬렘버거 전극법(Schlumberger method)가 사용되고 있다. 이러한 전극의 배열은 현장여건을 고려하여 측정하여야 하나 측정데이터의 수가 작아 다층구조인 경우 해석에 어려움을 주고 있다.[1]

본 논문에서 제안한 방법은 웨너법과 슬렘버거법 측정 시 일정 간격의 전극을 설치하고 제어보드에 내장시킨 스위치를 구동시켜 대지저항률 데이터를 자동 취득함과 동시에 특정지점에 설치한 4개의 접지 동봉을 3점법을 통해 측정하여 컴퓨터 시뮬레이션 시 역산된 대지구조와 실제 접지봉이 타설 시에 데이터를 비교하여 다층구조의 대지의 경우에 대한 정확도를 높일 수 있는지를 확인하도록 한다.

2. 본 론

2.1 대지저항률 측정법

일반적인 4전극 측정법은 1쌍의 전류전극과 1쌍의 전압전극으로 구성된 배열에 대해 고려한다. 전류전극 A와 B는 각각 + 와 -로 동작하며 이때의 전극 A의 의해 C는  $+ \rho I / (2\pi r_{AC})$ 이고 B에 의해서  $- \rho I / (2\pi r_{BC})$  가 된다.

$$R_C = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r_{AC}} - \frac{1}{r_{CB}} \right) \quad (1)$$

위와 같은 형태로 D전극에서의 전압은 다음과 같다.

$$R_D = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r_{AD}} - \frac{1}{r_{DB}} \right) \quad (2)$$

C전극과 D전극사이의 전압차를 저항률로 나타낼 수 있다.[2]

$$\rho = 2\pi \frac{R}{I} \frac{1}{\left( \frac{1}{r_{AC}} - \frac{1}{r_{CB}} \right) - \left( \frac{1}{r_{AD}} - \frac{1}{r_{DB}} \right)} \quad (3)$$

웨너법의 경우 식(3)에 의해  $r_{AC} = a$ ,  $r_{AD} = 2a$  그리고  $r_{DB} = a$ 이다. 이 식을 식 (3)에 대입하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

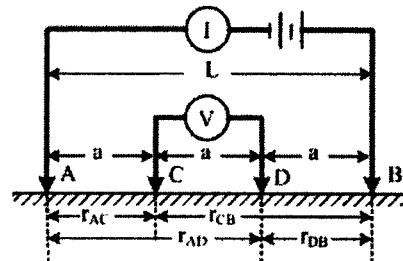
$$\rho = 2\pi \frac{R}{I} a, \quad R = \frac{\rho I}{2\pi a} \quad (4)$$

슬렘버거법의 경우는

$$r_{AC} = r_{DB} = \frac{(L-a)}{2} \quad (5)$$

이며 식(3)에 대입하여 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$\rho = \frac{\pi \phi}{4 I} \left( \frac{L^2 - a^2}{a} \right) \quad (6)$$

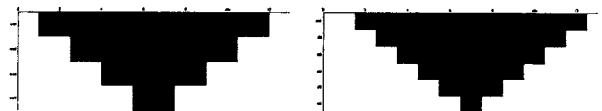


<그림 1> 4전극 측정법

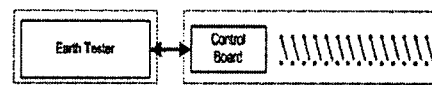
2.1.1 대지저항률 측정데이터 취득방법

대지저항률을 측정하기 위한 측정 포인트는 그림 2와 같이 웨너법의 경우 등간격 a, 2a, 3a, 4a 의 총 26개의 데이터 포인트, 슬렘버거법의 경우 C-D의 간격을 1m로 유지시키고 A-B를 1-6m 이동시키면 36데이터 포인트를 설정하게 된다.

설계된 측정 포인트는 그림3의 다전극 측정시스템의 제어보드로 전송되어 4개의 전극을 구성하고 측정 포인트에 적합한 스위칭 동작을 하게 되어 측정은 4채널로 구성되나 실제 측정된 데이터는 설계된 측정법에 의해 결정된다. 이때 사용된 계측기는 RS232포트를 지원하는 접지저항계를 사용하게 된다.



<그림 2> 웨너법과 슬렘버거법 측정 포인트



<그림 3> 다전극 측정시스템 구성도

2.2 데이터 역산 방법

대지의 표면의 물리적 속속  $p$ 에 영향을 받는 N번의 측정은 데이터 벡터  $d = (d_1, d_2, \dots, d_N)^T$ 에 의해 나타낼 수 있고 공간 파라미터 분포(spatial parameter distribution)  $p(\vec{r})$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$p(\vec{r}) = \sum_{i=1}^M m_i \phi_i(\vec{r}) \quad (7)$$

여기서  $m_i$ 는 모델 파라미터이며 다음과 같이 모델벡터로 정의할 수 있다.

$$m = (m_1, m_2, \dots, m_M)^T \quad (8)$$

역산의 주 목적은 모델  $m$ 과  $f(m)$ 을 통해 측정된 데이터와 모델을 근사화시키는 것이다.

$$f(m) = F_m \quad (9)$$

$$m^{k+1} = m^k + \Delta m^k \quad (10)$$

$$f(m^k + \Delta m^k) = f(m^k) + \frac{\partial f(m^k)}{\partial m} \Delta m^k + \dots \approx f(m^k) + S \Delta m^k \quad (11)$$

$$S_{ij}(m^k) = \frac{\partial f_i(m^k)}{\partial m_j} \quad (12)$$

$$S\Delta m = d - f(m) \quad (13)$$

$$\Phi_d(m) = \sum_{i=1}^N \left| \frac{d_i - f_i(m)}{\epsilon_i} \right|^p = \|D(d-f(m))\|_p^p \quad (14)$$

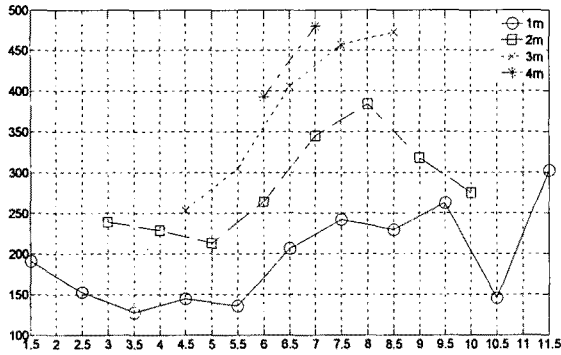
일반적으로 p의 다른값은 외부 노이즈 특성을 결정하는데 사용되어 진다.[3]

$$\Phi_d = [D(d-f(m))]^T [D(d-f(m))] = (d-f(m))^T D^T D (d-f(m)) \quad (15)$$

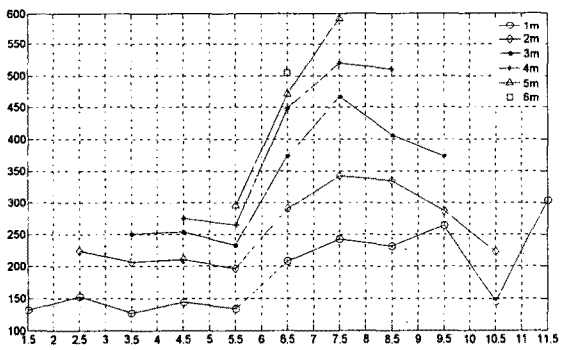
여기서  $D^T D$ 는 표준편차  $\epsilon_i$ 와 편차  $\epsilon_i^2$  무상관의 경우 Tarantola 의해 사용된 데이터 공분산행렬  $C_d$ 의 역이다.[4]

### 3. 측정결과 및 분석

대지저항률 측정을 위해 설치한 14전극을 등간격 1m의 거리로 설치하고 제어용 보드의 스위칭 장치에 연결한 후 설계된 웨너법과 슬렘버거법 데이터 측정지점을 순차적으로 측정하게 된다. 이때 측정 데이터 포인트는 웨너법의 경우 1m 단위 11개, 2m 단위 8개, 3m 단위 5개, 4m 단위 2개의 측정 포인트의 데이터를 취득하게 되고, 슬렘버거법의 경우 C-D 지점을 1m로 고정시키고 1m단위 11개, 2m 단위 9개, 3m 단위 7개, 4m 단위 5개, 5m 단위 3개, 6m 단위 1개의 전류전극을 이동한 데이터를 측정하였다. 또한 측정 지점 7-10지점에 1m의 동봉을 각각 타설하여 3점법을 이용한 접지저항률 측정을 실시하였다. 그림 4와 그림 5는 측정 데이터 포인트별 웨너법과 슬렘버거법 측정의 결과이며, x축은 데이터 측정 포인트, y축은 저항률을 나타내었다. 슬렘버거법의 경우 1m 지점의 경우 웨너법과 동일한 데이터 포인트를 나타내고 있으나 6m 거리의 경우 600Ωm의 저항률을 나타내고 있다.



〈그림 4〉 웨너법을 이용한 측정데이터



〈그림 5〉 슬렘버거법을 이용한 측정데이터

표 1은 측정된 대지저항률에 1m 동봉을 타설하여 3점법을 통해 측정된 결과로 P1지점 7-8m 데이터 포인트의 경우가 접지저항값이 가장 낮고 P3지점 9-10m 지점의 접지저항값이 가장 높게 나타났다.

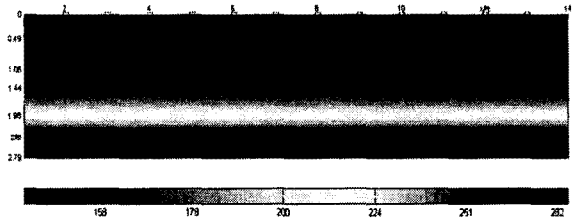
〈표 1〉 전극 7-10 사이의 접지저항값 비교

	P1	P2	P3	P4
접지저항값(Ω)	144	215	432	288

그림 6-7은 층상구조의 역산의 결과로써 웨너법의 경우 RMS는 20.85% 이고 슬렘버거법의 경우 22.29% 이며 z축(깊이)에 대한 값은 각각 2.39m 와 2.79m 이다. 슬렘버거법의 경우가 표토층에 대한 데이터의 깊이가 크게 나타났다.

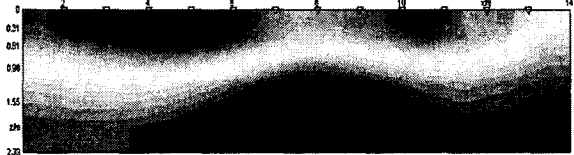


〈그림 6〉 층상의 구조로 해석한 웨너법의 역산결과

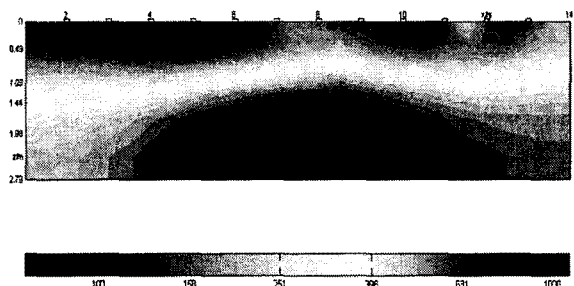


〈그림 7〉 층상의 구조로 해석한 슬렘버거법의 역산결과

그림 8-9는 2차원구조의 역산의 결과로써 웨너법의 경우 RMS는 2.37% 이고 슬렘버거법의 경우 2.54% 이다. 이는 층상구조시 고려할 수 없었던 부분에 대한 해상도가 높아져 실제 RMS 값이 낮아지기 때문이다.



〈그림 8〉 2차원 웨너법의 역산의 결과



〈그림 9〉 2차원 슬렘버거법의 역산결과

### 4. 결 론

본 논문에서는 웨너법과 슬렘버거법을 동시에 측정하여 대지의 다층구조를 분석하는 방법을 제안하였다. 현재 접지에서 대지저항 측정시 사용하는 측정 데이터의 부족으로 인한 다층구조 해석의 어려움을 웨너법과 슬렘버거법 측정법을 동시에 측정함으로써 데이터 포인트의 정확성을 향상시킬 수 있었다. 또한 같은 지역이라 하더라도 측정법에 따른 해석이 다르게 이루어 질수 있으므로 두가지 측정법을 조합하여 측정하고 3점법을 통한 검증 등을 통해 대지구조에 대한 분석의 신뢰성이 향상되리라 기대된다.

본 논문은 전력산업연구개발사업(과제번호: R-2004 -0-164)에 의해 지원되었습니다.

### 〈참 고 문 헌〉

- [1] 최홍규의, "접지설비 및 설계", p141-141, 2004
- [2] Dobrin M B, "Introduction to Geophysical Prospecting, McGraw-Hill, p 630, 1976
- [3] Farquharson, C. G, "Non-linear inversion using general measures of data misfit and model structure.", Geophys.J. Int., 134, 213-227, 1998
- [4] Tarantola, A, "Inverse Problem Theory.", Elsevier, 1978