

ERT를 이용한 전력설비용 대지모델 영상복원

부창진*, 최승준*, 정광자*, 고봉운**
(주)대원계전산업*, 제주산업정보대학**

Grounding model Image Reconstruction for Electric Power Facilities Using ERT

Chang-Jin Boo*, Seung-Joon Choi*, Kwang-Ja Jeong*, Bong-Woon Ko**
Daewon Instrument Electric Co.*, Jeju College of Technology**

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 ERT.

1. 서 론

Electrical resistance tomography(ERT)는 적절하게 설계된 전류를 대지 지하에 주입하여 이에 따른 인가전압을 대지 경계에서 측정후 이를 근거로 ERT의 영상복원 알고리즘에서 대지 지하의 대지저항률 분포를 얻고 대지 지하에 물체를 크기와 위치, 그리고 저항률에 대한 특성을 파악할 수 있는 기술이다. ERT에서 대지 저항률은 단위 체적당 대지가 지니고 있는 고유한 대지의 체적 저항을 의미하며, 접지 시스템에 있어서 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 측정은 접지 전극 시스템 구성에 가장 기본적인 요소이며, 접지 저항값을 얻는데 가장 중요한 데이터이다. 전기설비에 관련된 접지분야에서 대지저항률 측정법은 웨너전극법(Wenner 4-point method)와 슬렘버거 전극법(Schlumberg method) 가사용되고 있다. 이러한 전극의 배열은 현장 여건을 고려하여 측정하여야 하나 측정데이터의 수가 작아 다층구조인 경우 해석에 어려움을 주고 있다.[1]

본 논문에서는 웨너법과 슬렘버거법을 사용하여 2차원 구조의 데이터를 취득하고 ERT 기술을 이용하여 역산된 대지구조를 영상복원하고 각 블록에 대한 접지저항을 예측하고자 한다.

2. 본 론

2.1 대지저항률 측정법

일반적인 4전극 측정법은 그림 1과 같은 전극구성으로 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 의해서는 $- \rho I / (2\pi r_{CB})$ 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]

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

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.

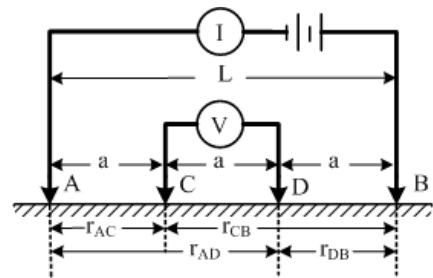
$$\rho = 2\pi \frac{R}{I} a, \quad R = \frac{\rho I}{2\pi a} \quad (4)$$

슬렘버거법의 경우는

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

이며 식(3)에 대입하여 다음의 식을 얻을 수 있다.

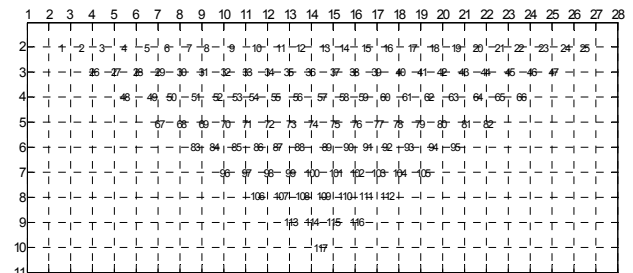
$$\rho = \frac{\pi \phi}{4 I} \left(\frac{L^2 - a^2}{a} \right) \quad (6)$$



<그림 1> 4전극 측정법

2.2 데이터 취득방법

대지저항률을 측정하기 위해 28개의 다전극을 현장에 설치한다. 그림 2에 대지저항률 데이터 취득 순서를 나타내었으며, 최초의 측정은 수평축의 전극 1과 4는 전류를 인가하여 전극 2와 3사이의 측정데이터를 얻을 수 있다. 연속하여 수직축 2의 전극간격이 1[m]인 25개의 데이터를 측정후 전극간격을 2[m]로 하여 수직축 3의 데이터를 측정하게 된다. 전극 간격을 증가 시킬수록 깊은 지역의 데이터를 취득할 수 있으며, 측정법의 특성상 동일한 측정전극을 사용하더라도 웨너법 보다 슬렘버거법의 경우가 많은 데이터를 취득할 수 있다.



<그림 2> 대지저항률 데이터 취득 순서

2.3 대지저항률 역산

대지의 표면의 물리적 속속 p에 영향을 받는 N변의 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 m과 $f(m)$ 을 통해 측정된 데이터와 모델을 근사화 시키는 것이다.

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

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

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

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

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

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

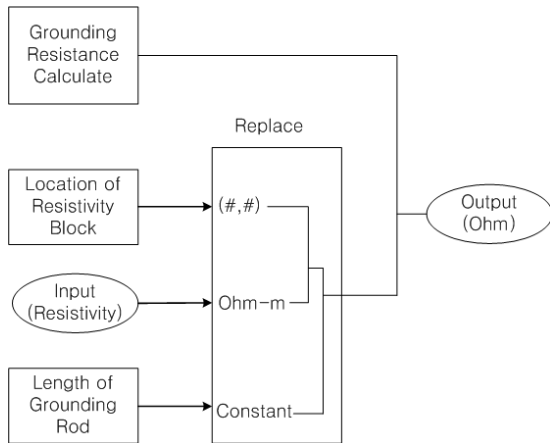
일반적으로 p 의 다른값은 외부 노이즈 특성을 결정하는데 사용되어 진다.[3]

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

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

2.4 접지저항 계산

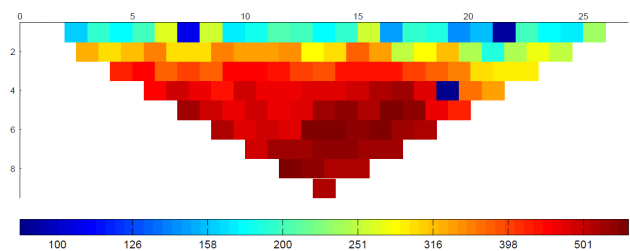
ERT를 이용하여 생성된 대지모델에 전극의 길이와 두께를 고려한 접지저항을 계산방법을 그림 3에 나타내었다. 대지모델의 블록위치에 대한 데이터와 대지저항을 그리고 접지봉의 길이와 두께를 입력으로 하여 접지저항을 계산하게 된다. 여기서 블록위치와 대지저항들은 배열형태로 재배치하여 반복하여 계산하게 된다.



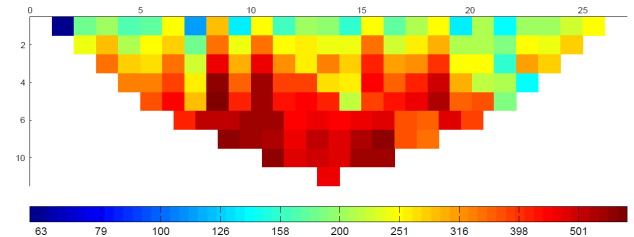
〈그림 3〉 접지저항 계산

3. 측정결과 및 분석

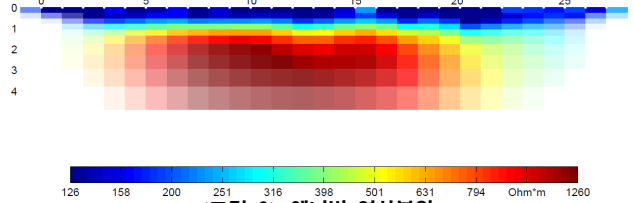
측정은 웨너법과 솔렘버거법을 사용하여 측정하였으며 역산알고리즘으로는 일반적으로 많이 사용되는 가우스 뉴턴법을 사용하였다. 현장의 깊이 2m 이상 지점은 암반으로 구성되어 있음을 확인할 수 있다. 그림 4와 5는 각각 웨너법과 솔렘버거법을 사용하여 데이터를 측정할 것을 나타내었고, 그림 6과 7은 역산알고리즘을 통해 대지를 영상복원한 것을 나타내었다. 그림7은 역산된 결과를 바탕으로 각셀에 대한 대표적인 저항률 값에 따른 접지봉의 접지저항 값을 나타내었다. 높은 저항률의 대지일수록 접지저항이 높아지고 있음을 확인할 수 있다.



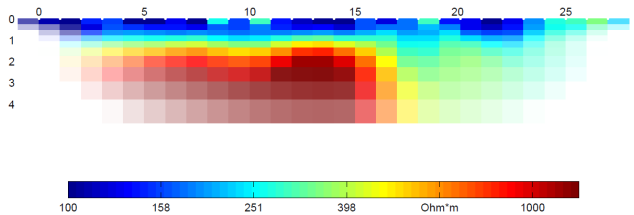
〈그림 4〉 웨너법 측정데이터



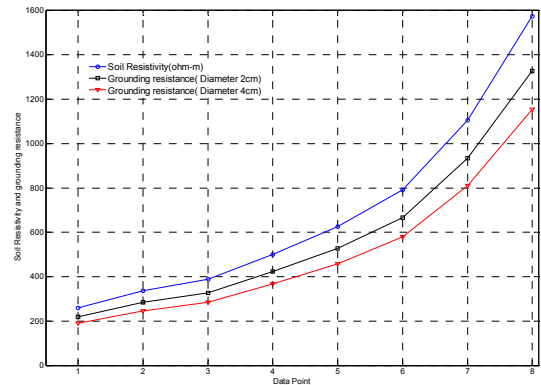
〈그림 5〉 솔렘버거 측정데이터



〈그림 6〉 웨너법 영상복원



〈그림 7〉 솔렘버거법 영상복원



〈그림 7〉 솔렘버거법 영상복원

4. 결 론

본 논문에서는 ERT를 이용하여 대지에 대하여 분석하였고 영상복원된 대지모델에 대하여 접지전극의 길이와 두께에 따른 접지저항값의 변화를 나타내었다. 현재 전기분야의 접지설계 시 대지구조에 대한 데이터의 부족으로 인한 다층구조 해석의 어려움을 ERT 기법의 영상화를 통해 정확성을 향상 시킬 수 있었다. 또한 측정지점이 동일하다 하더라도 측정법에 따라 해석이 다르게 이루어 질수 있으므로 두가지 측정법을 조합하여 측정하고 접지매설물의 특성을 고려한 접지저항 계산 모듈의 성능향상을 통해 대지구조에 대한 분석의 신뢰성이 향상되리라 기대된다.

[참 고 문 헌]

[1] 최홍규 외, “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