

심매설 접지봉의 위치결정을 위한 대지구조 분석 방법들의 비교분석

(Comparison Analysis of Soil Structure Methods for Deciding the Position of a Deeply Driven Ground Rod)

엄주홍* · 조성철 · 이태형 · 이복희

(Ju-Hong Eom · Sung-Chul Cho · Tae-Hyung Lee · Bok-Hee Lee)

요 약

최근 뇌보호용 접지시스템 심매설 봉전극을 사용하는 경우가 늘고 있다. 심매설 봉전극의 경우에는 수직으로 깊게 봉전극을 시설하기 때문에 메시그리드 전극에 비해 장소의 제약을 덜 받는 장점이 있지만 국지적인 대지저항률에 의해 접지임피던스가 크게 변동하므로 설계시에 세밀한 대지구조의 분석이 필요하다. 기존의 Wenner법에 의한 대지저항률 측정은 널리 사용되는 방법이지만 국지적인 대지저항률의 변화를 알아내기가 불가능하였고 또한 길보기 대지저항률로 측정결과가 나타나므로 정확한 깊이를 예측하기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 96채널 측정설비를 이용하여 대지구조를 2-D 이미지로 분석하였으며, 뇌보호용 심매설 전극을 효과적으로 설계하기 위해 국지적인 대지저항률 변동 및 대지층 깊이의 분석을 시도하였다. 대지저항률의 2-D 이미지 분석은 Wenner alpha법, Dipole-dipole법, Schlumberger법을 사용하였으며, 분석결과를 토대로 기존의 Wenner 1-D법으로 측정한 결과를 CDEGS로 분석한 대지구조와 비교하였다.

Abstract

Recently, there has been an increase of the use of ground system for lightning protection called deeply driven grounding electrode. In the case of deeply driven grounding electrode, the rod electrode is equipped perpendicularly and deeply, therefore, it has a benefit to have less restriction of place compared to mesh grid electrode. However, ground impedance is largely changed by the local earth resistivity, so it requires a detailed analysis of the ground structure when planning. The measurement of earth resistivity by existing Wenner's method has been widely used, however, this method can not find out a change in the local ground resistance and it shows the result outwardly to be difficult to estimate exact depth. Therefore, this study analyzed the ground structure as 2-D image using 96 channels measurement facility and tried to analyze change in the local ground resistance and depth of the ground in order to design a deeply driven electrode effectively for lightning protection. It used Wenner alpha method, dipole-dipole method and Schlumberger method for 2-D image analysis of the ground resistivity and, based on it, the result was compared with the ground structure analyzed with the result using the CDEGS and Wenner 1-D method.

Key Words : Dipole-dipole, Wenner, Resistivity, Ground

* 주저자 : 기초전력연구원 선임연구원

Tel : 02-885-9443, Fax : 02-883-0827, E-mail : eommas@snu.ac.kr

접수일자 : 2007년 3월 22일, 1차심사 : 2007년 3월 28일, 심사완료 : 2007년 4월 9일

1. 서 론

접지저항은 접지전극이 매설된 대지를 구성하는 토양의 종류와 물리적조건, 토양의 구조 등에 따라 변화하는데, 특히 대지저항률이 직접적으로 큰 영향을 미친다. 접지전극이 매설되는 지점에서 토양의 저항률 또는 대지저항률이 접지의 성능을 크게 좌우하게 되므로 대지저항률이 낮은 장소일수록 낮은 접지저항을 얻기 쉽다. 따라서 접지의 설계와 시공에 있어서 접지전극 매설지점의 대지저항률과 지층의 구조를 정확하게 측정하는 절차가 필요하다.

일반적으로 대지표면에서 깊은 지점까지 동일한 토질로 이루어진 단층 구조의 대지는 거의 없고 대단히 복잡한 지층, 지형으로 이루어져 있는 경우가 대부분이므로 대지 표면의 지층을 비롯하여 지하층의 대지저항률을 정확하게 측정할 필요가 있다. 특히 뇌보호용 접지전극으로 최근 많이 사용하고 있는 심매설 봉전극은 수직으로 깊게 시공하게 되므로 접지저항이 국지적인 대지구조의 변화에 크게 영향을 받는다.

현재 국내에서는 Wenner의 4전극법을 이용하여 대지저항률을 측정하는 방법(Wenner's alpha method)이 널리 제안되어 사용되고 있으며, 측정이 간편한 방법으로 인식되어 있다. 이러한 Wenner의 4전극법은 Wenner가 발표한 3가지 방법 중 alpha법에 해당하며, 이 외에도 beta법, gamma법이 있다. 또한 Wenner의 4전극법 이외에도 Schlumber법과 Pole-pole법, Dipole-dipole법이 있으며, 특히 Dipole-dipole법의 경우에는 전기분야 이외의 토목공학이나 지질학 분야에서 지질구조 해석에 널리 사용되어 왔다. 기존의 Wenner 4전극법은 대지표면을 따라 전극간 거리를 증가시키면서 측정하게 되므로 측정결과가 지표면 거리 a 에 대한 겉보기 대지저항률 ρ_a 의 값으로 1-D 그래프 형태로 표현된다. 이후 CDEGS와 같은 분석 소프트웨어를 통해 각 지층의 두께와 저항률을 분석하게 되지만 단순한 수평층 구조로 분석이 이루어지므로 국지적인 대지저항률 분석이나 수직방향의 층구조 분석은 불가능하다. 따라서 심매설 봉전극과 같이 수직방향으로 깊게 시공되는 전극의 접지저항이 설계값과 큰 오차를 나타낼

수 있다.

본 논문에서는 국내에서 널리 사용되는 기존의 Wenner의 4전극법(alpha법) 이외에 Schlumberger법, Dipole-dipole법을 사용하여 대지의 전기적 구조를 분석하였으며, 각각의 측정방법을 이용하여 측정된 결과를 비교하였다. 특히 Dipole-dipole법에 의한 2-D 형태의 대지구조 분석결과가 심매설 봉전극의 시공위치를 결정하는데 매우 효과적임을 실험결과를 통해 입증하였으며, 기존의 1-D 분석결과에서 발생하는 대지층의 깊이와 수직방향으로 층을 이루는 구조에서 위치선정에 따라 발생하는 접지저항 오차를 보정할 수 있는 대안임을 확인하였다.

2. 본 론

2.1. 측정원리

2.1.1 Wenner의 4전극법과 Schlumberger법

Wenner의 4전극법은 Frank Wenner가 1915년에 발표한 4개의 전극을 직선상의 동일한 간격으로 배치하는 방법으로서 대지저항률의 측정방법으로 널리 사용되고 있다. 이 방법은 그림 1에 나타낸 바와 같이 4개의 전극을 지표면에 설치하고 바깥쪽의 두 전극간에 흐르는 전류 I 와 안쪽 두 전극간에 나타나는 전압 V 를 측정하여 대지저항률을 산출하는 방법이다. 전극 간격을 a [m]라고 하면 대지저항률 ρ [$\Omega \cdot m$]은 식(1)로부터 계산된다.

$$\rho = 2\pi aR \quad (1)$$

식 (1)에 의해 계산된 대지저항률은 겉보기 대지저항률로 ρ_a 로 나타내기도 한다. 이 계산법은 측정용 접지전극의 매설깊이(d)가 전극간 거리에 비해서 대단히 작은 경우 즉, $d \ll a$ 의 조건에서 적용되며, 측정용 전압 또는 전류 접지전극 C_1, C_2, P_1, P_2 의 접지저항에는 관계없이 대지저항률이 산출된다.

Wenner의 4전극법은 전극간격 a 를 넓혀 더 깊은 영역에까지 측정전류가 침투하는 깊이의 대지저항률의 평균값을 측정할 수 있게 된다. 지중에 수도관이나 가스관 등 금속관이 매설되어 있으면 측정용

전류가 이들 금속 도체를 통하여 흐를 수도 있으므로 측정에 오차를 가져올 수도 있다. 따라서 4전극법을 이용하여 대지저항률의 정확한 측정을 위해서는 4전극의 배열 방향과 간격을 변화시켜가면서 여러 회 반복 측정한 그 결과를 접지설계에 사용한다.

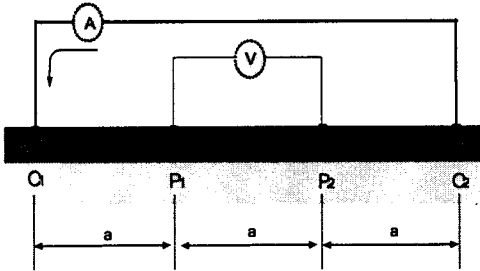


그림 1. Wenner의 4 전극법
Fig. 1. Wenner's 4 electrodes method

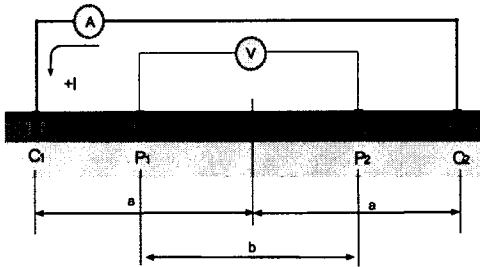


그림 2. Schlumberger법
Fig. 2. Schlumberger method

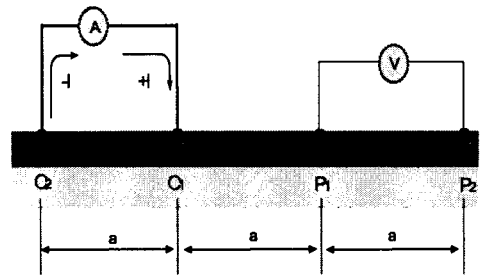
Schlumberger법은 Wenner 4전극법과 측정원리는 유사하나 그림 2와 같이 측정전극 배치가 다르다. 전위측정용 전극(P₁, P₂)의 간격이 Wenner 4전극법에 비해 크므로 전위측정시 정확도가 높은 장점이 있다. Schlumberger법에 의한 대지저항률 측정에서 대지저항률은 식 (2)와 같이 계산된다.

$$\rho = \pi \left(\frac{a^2}{b} - \frac{b}{4} \right) R \quad (2)$$

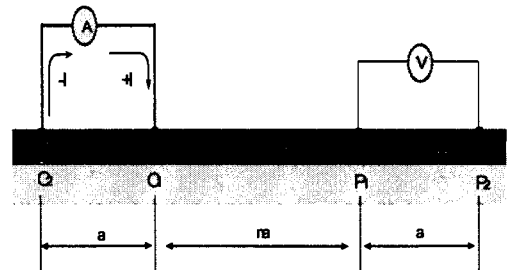
2.1.2 Dipole-dipole 법

Dipole-dipole 법은 그림 3과 같이 Wenner의 beta 법에서 측정의 편의성을 도모하기 위해 C₁전극과 P₁전극의 거리를 C₁전극과 C₂전극 또는 P₁전극과 P₂전극간 거리의 정수배가 되도록 배치한 방법이다.

Wenner는 3가지의 전극배치를 가지는 4전극법을 발표하였으며, 일반적으로 알고 있는 4전극법은 Wenner의 alpha법이다. 그림 3의 (a)는 Wenner의 beta법으로 그림과 같이 C₂, C₁, P₁, P₂의 순서로 전극을 배치하여 대지저항률을 측정하는 방법이다. 이 방법을 보다 발전시킨 것이 dipole-dipole법으로 등간격 배치에서 C₁, P₁ 전극 사이의 거리를 *a*의 정수배로 확장시킨 방법이다.



(a) Wenner beta법



(b) Dipole-dipole법

그림 3. Wenner beta법과 Dipole-dipole 법
Fig. 3. Wenner's beta method and Dipole-dipole method

Wenner beta법과 Dipole-dipole법에서의 대지저항률은 다음과 같이 계산된다. 그림 3 (b)에서 C₁과 C₂전극에 흐르는 전류에 의해 P₁과 P₂ 전극에 나타나는 전위 V₁, V₂는 식 (3)과 (4)와 같다.

$$V_1 = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{na} - \frac{1}{(n+1)a} \right) \quad (3)$$

$$V_2 = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{(n+1)a} - \frac{1}{(n+2)a} \right) \quad (4)$$

따라서 P₁전극과 P₂전극 사이의 전위차 V는

심매설 접지봉의 위치결정을 위한 대기구조 분석 방법들의 비교분석

$$\begin{aligned}
 V &= V_1 - V_2 \\
 &= \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{na} - \frac{1}{(n+1)a} - \frac{1}{(n+1)} + \frac{1}{(n+2)a} \right) \\
 &= \frac{\rho I}{\pi} \left(\frac{1}{n(n+1)(n+2)a} \right) \quad (5)
 \end{aligned}$$

가 된다. 식 (5)로부터 Dipole-dipole법에 의해 측정되는 대지저항률은 식 (6)과 같이 표현된다. $n=1$ 인 경우, 즉 등간격인 경우 Wenner의 beta법이 되며 이때의 대지저항률은 식 (7)과 같다.

$$\rho = n(n+1)(n+2)\pi aR \quad (6)$$

$$\rho = 6\pi aR \quad (7)$$

Dipole-dipole법에 의한 대지저항률 측정은 전류 인가 전극 C_1, C_2 를 이동시키지 않으면서 전류를 인가하는 폐회로 외측에 존재하는 P_1, P_2 전극을 등간격으로 멀리 이동시켜 보다 깊은 영역까지 대지저항률을 측정할 수 있다. 따라서 그림 4에 나타난 바와 같이 전극간 거리 a 를 일정하게 고정시키고 n 을 변화시키는 방법으로 다수의 등간격을 이루는 전위 측정점을 통해 짧은 시간에 많은 수의 측정 데이터를 확보할 수 있다.

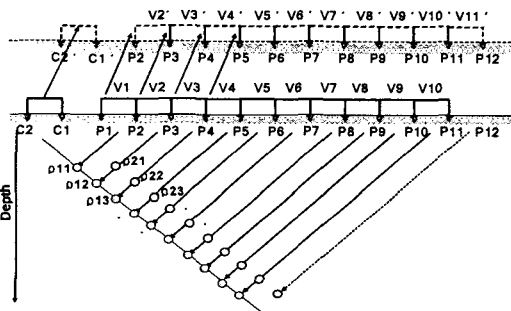


그림 4. Dipole-dipole법을 이용한 대지저항률 측정
Fig. 4. Ground resistivity measurement using the Dipole-dipole method

2.1.3 측정방법에 따른 감도계수와 침투깊이 균질(homogeneous) 대지모델에 대한 감도함수(sensitivity function)로부터 대지저항률의 측정깊이와 대지표면의 수직 또는 수평방향의 저항률 변동에

대한 감도가 결정되어진다. 기본적으로 감도함수는 지표면에서의 대지저항률 변화가 전극배치방법에 따라 측정되는 전위에 영향을 주는 정도를 말하는데 감도함수 값이 클수록 측정하고자 하는 대지표면의 영향이 크게 작용한다. 수학적으로 감도함수는 Frechet 미분계수에 의해 유도된다.

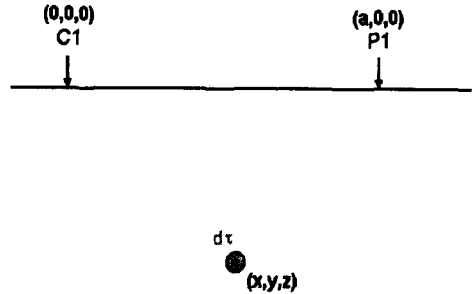


그림 5. 감도함수를 위한 단순배열 구성
Fig. 5. Simple array configuration for the sensitivity function

원점(0,0,0)에 위치한 단 하나의 전류전극과 (a,0,0)에 위치한 하나의 전위전극의 가장 간단한 전극배치 방법을 생각할 수 있다. 두 전극은 대지면에 존재하며 $a[m]$ 떨어져 있다. 1[A]의 전류를 C_1 전류전극을 통해서 대지로 인가하면 P_1 전극에서 전위 ϕ 가 나타난다. 대지의 (x,y,z)에 위치한 미소체적 내의 대지저항률 변화를 $\delta\rho$ 라 가정한다면 대지저항률의 변화 $\delta\rho$ 는 식 (8)에 주어진다.

$$\delta\rho = \frac{\delta\rho}{\rho^2} \int_V \delta\phi \cdot \delta\phi' d\tau \quad (8)$$

대지저항률의 변화는 미소체적 내에서는 일정하며, 그 외에서는 0이다. ϕ' 는 P_1 전위 전극과 전류 전극사이의 전위이다. 단일 반구의 특별한 경우에 대하여 표면의 전류원 때문에 반구안의 한 지점에서의 전위 ϕ 는 비교적 간단한 형태를 갖는다. 얻어진 ϕ 와 ϕ' 를 대입하고 양변을 미분하면 3-D Frechet 미분계수가 된다.

$$F_{3D}(x,y,z) = \frac{1}{4\pi^2} \cdot \frac{x(x-a) + y^2 + z^2}{(x^2 + y^2 + z^2)^{1.5} [(x-a)^2 + y^2 + z^2]^{1.5}} \quad (9)$$

식 (9)를 Frechet 미분계수 혹은 감도함수라 한다. Wenner법의 4개 전극에 대한 Frechet 미분계수를 얻기 위해서 4개의 전류-전위 전극에 대하여 식 (10)으로 구한다.

$$\delta\rho = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{C_1P_1}} - \frac{1}{r_{C_2P_1}} - \frac{1}{r_{C_1P_2}} + \frac{1}{r_{C_2P_2}} \right) \quad (10)$$

대지저항률을 측정할 때, 전극간의 간격이 증가할수록 더 깊은 층까지 측정할 수 있다. 침투깊이는 Frechet 미분계수와 밀접한 관계를 갖으며, 1-D 감도함수는 식 (11)로 된다[1].

$$F_{1D} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{z}{(a^2 + 4z^2)^{1.5}} \quad (11)$$

식 (11)은 침투깊이 특성으로 잘 알려져 있으며, 대지저항률 측정시 다양한 측정방법의 특성을 결정하기 위해서 사용되고 있다.

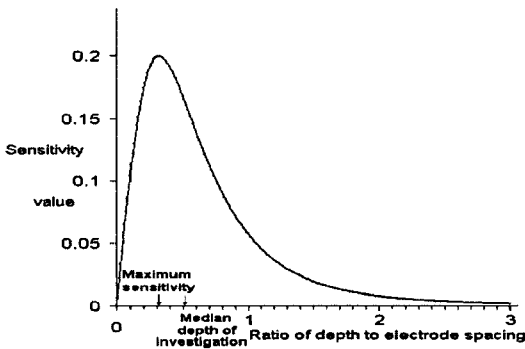


그림 6. 1-D 감도함수의 그래프
Fig. 6. A plot of the 1-D sensitivity function

그림 6은 식 (11)의 함수를 Wenner법 1-D 감도함수로 나타낸 도표이다. 감도값은 영점에서 시작하여 약 0.32 a의 깊이에서 최대값까지 증가하고 난 이후 영으로 수렴하면서 감소하고 있다. 약 0.5 a에서 평균깊이의 감도값이 나타난다. 감도함수에서 감도값을 선택할 때 최대값과 평균값을 선택하느냐에 따라 침투깊이가 달라지기 때문에 측정된 값을 2-D 전용 프로그램인 Syscal-pro로 분석하여 대지저항률을 결정함에 있어 직접적으로 영향을 주게 된다.

감도함수를 적용할 때 Wenner법, Schlumberger법, Dipole-dipole법은 그림 7에 나타난 두 측정전극 거리에 대하여 약 0.2배의 깊이까지, Pole-pole법은 약 0.9배의 깊이까지의 대지저항률을 측정하는 것으로 가정할 수 있다. 이는 전극간 간격 a와 비교했을 때 Wenner법에서는 약 0.5a배 정도의 깊이가 되며, 전극간 거리와 측정 깊이 사이의 추정 과정에서 감도 분포곡선상의 최대값 또는 중간값 등을 선택하는 방법에 따라 대략 0.5 a ~ a로 나타날 수 있다[2-3].

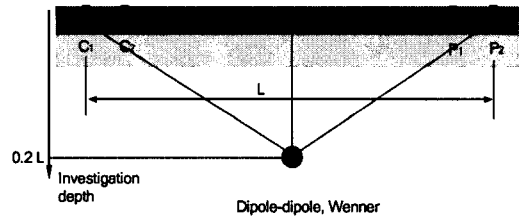


그림 7. Dipole-dipole법과 Wenner법의 침투깊이
Fig. 7. Investigation depth of dipole-dipole method and Wenner method

대지저항률 측정시 감도함수는 측정방법과 전극간 거리 n에 따라 차이를 보인다. Wenner법은 전극간 중앙에 위치한 대지저항률의 수직 변화에는 감도가 좋으며, 수평변화에는 상대적으로 낮다. 또한 여러 측정법 중에서 가장 강한 신호세기를 갖고 있는 측정법이기도 하다. 반면에 dipole-dipole법은 전류와 전위를 측정하는 회로간에 낮은 EM 커플링이 결합되므로 많이 사용되며, Wenner법보다 더 감도가 좋은 수평 데이터를 얻을 수 있다. 하지만 전극간 거리 n이 커질수록 신호의 세기가 매우 작아지는 것이 단점으로 지적되고 있다.

2.2 대지저항률 측정결과

2.2.1 Wenner법과 Pole-pole법에 의한 측정결과

Wenner의 3가지 측정방법과 Pole-pole법에 의한 대지저항률 측정결과를 그림 8에 나타내었다. 그림 8에 나타난 1-D 형태의 대지저항률 측정과 분석은 일반적으로 많이 사용되는 방법이며, 측정된 결과는 지표면의 전극간 거리 a에 대한 겉보기 대지저항률

심매설 접지봉의 위치결정을 위한 대지구조 분석 방법들의 비교분석

ρ_a 로 표현된다. 측정결과에서 4가지 방법 모두 지표면의 거리 a 가 증가함에 따라 약 $25[\Omega \cdot m]$ 로 근접하는 값을 얻었다. 즉 지표면의 측정거리가 증가함에 따라 보다 깊은 위치까지의 대지저항률의 평균적인 값은 4가지 방법 모두에서 비슷하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

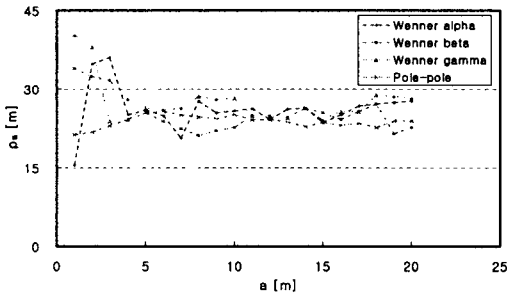


그림 8. Wenner법과 pole-pole법을 이용한 측정결과
Fig. 8. Measurement results using Wenner's methods and pole-pole method

측정결과에서 알 수 있듯이 최초 측정거리 1~3 [m]의 결과는 다소 변동이 크게 나타나고 있다. 이 변동은 각 측정방법의 전극배치도에서 알 수 있듯이 전위를 측정하기 위한 전극의 위치와 간격에 영향을 받기 때문이다. 최초 전위측정 기준위치는 Wenner alpha법에서 내부의 두 전극인 P_1, P_2 전극의 중심점이 되며, 두 전극의 거리는 a 와 동일한 1[m]가 된다. 하지만 Wenner beta법에서는 전위측정 전극의 위치가 alpha법에 비해 우측으로 1[m] 이동한 위치이며, gamma법에서는 전극간 거리가 $2a$ 인 2[m]가 된다. 따라서 지표면에서 나타날 수 있는 토양의 건조상태, 수평방향으로 나타날 수 있는 대지저항률의 차이 등이 크게 영향을 미치고 있다고 분석할 수 있다. 또한 전극간 거리 a 에 비하여 상대적으로 큰 측정전극 매설깊이 d 에 의한 영향도 무시할 수 없다. 이러한 미세한 대지의 수직 및 수평구조의 변화에 따른 대지저항률의 변화는 일반적인 측정방법에서 측정거리 a 가 작은 범위 외에는 나타나지 않으며, 측정거리 a 가 증가함에 따라 단지 평균화된 겉보기 대지저항률로 나타난다. 이러한 측정결과는 실제의 깊이에 대한 대지저항률이 아니므로 심매설 봉전극 등을 시설

함에 있어서는 적용에 어려움이 따른다. 최근에는 CDEGS라고 하는 접지해석 프로그램을 이용하여 측정된 1-D 그래프로부터 대지를 2개 또는 그 이상의 수평층으로 구분하고 각 층의 두께를 적용하여 접지전극 설계에 활용하기도 한다. 하지만 이러한 방법은 뇌보호용 심매설 봉전극과 같이 국지적인 수직방향의 대지저항률 변동에 민감한 접지전극 시공에는 큰 효과가 없다. 따라서 본 논문에서는 보다 많은 측정데이터를 가지고 대지구조해석 프로그램인 RES2D 프로그램을 이용한 대지의 2-D 구조분석을 적용하였다. 2-D 분석에는 Dipole-dipole법, Wenner's alpha법, Schlumberger법을 적용하여 보다 세밀한 대지의 전기적 구조를 분석하였다.

2.2.2 Dipole-dipole법에 의한 2-D 대지저항률 측정

그림 9에는 Dipole-dipole법에 의해 측정된 대지의 전기적 구조를 나타내었다. 우리는 2-D 맵 형태의 측정결과로부터 대지저항률의 수평 및 수직 방향에 대한 변화를 자세하게 알 수 있다. 이 측정방법은 약 500~1,000여개 또는 그 이상의 측정값을 이용하여 실제의 대지깊이에 따른 대지저항률을 분석하게 되므로 일반적인 Wenner법에 비하여 접지전극 설계나 접지저항 예측에 효과적으로 사용될 수 있다.

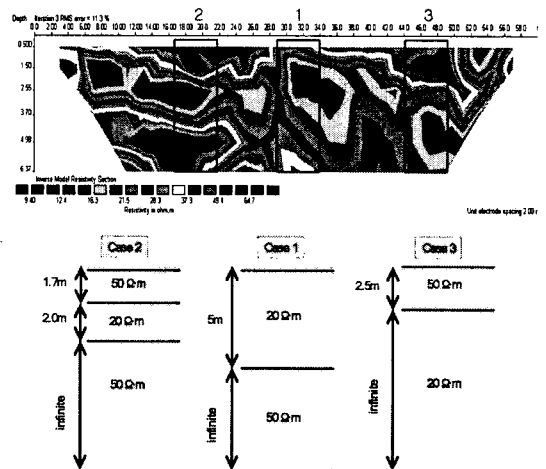


그림 9. Dipole-dipole법을 이용한 측정결과
Fig. 9. Measurement results using dipole-dipole method

그림 9의 결과는 Case 1, 2, 3에 따라 각기 다른 층구조의 등가 대지모형을 적용할 수 있다. 하지만 기존의 Wenner의 1-D 방법은 오직 하나의 수평층 구조 모델만이 존재하므로 봉전극과 같이 수직방향으로 깊게 시설하는 접지전극에서는 시공 후의 접지저항을 예측하기가 매우 어렵다.

2.2.3 1-D와 2-D 모델을 적용한 접지저항 계산

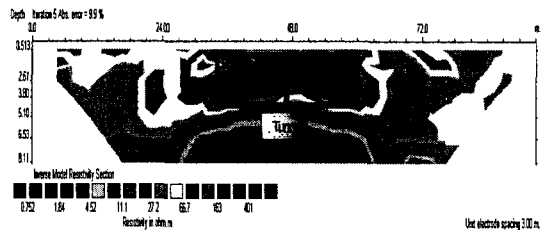
표 1에는 Wenner의 4전극법에 의해 측정된 결과 (Fig. 8)를 바탕으로 CDEGS 프로그램에서 대지구조를 분석한 후 1, 1.8, 2.4[m] 봉전극에 대한 접지저항 계산결과를 나타내었다. 이 결과를 그림 9에서 나타난 3가지 위치에 접지봉을 시설할 경우 각각의 Case별로 대지구조 모델을 적용하여 예상되는 접지저항 값을 비교하여 나타내었다. 일반적인 Wenner법에서는 전체 대지의 평균화된 대지저항률이 측정되며, CDEGS를 이용해 대지구조를 분석하면 단순 수평층 구조로 나타난다. 봉전극과 같은 접지전극을 시설할 경우에 시설위치에 따라 접지저항이 매우 크게 차이를 나타내지만 설계과정에서 여러 위치에서의 접지저항 예측은 불가능하다. 그러므로 실제로 대지저항률을 측정하고 이에 따라 예상되는 접지저항을 계산하여 접지전극을 설계하고 시공하더라도 측정값과는 큰 차이를 보이는 경우가 많다. 이에 반하여 대지구조의 2-D 분석은 봉전극이나 보링공법을 활용한 심매설 전극과 같이 수직으로 매설하는 접지전극의 경우 시설 위치에 따른 접지저항을 다양하게 예측할 수 있다. 시설위치에 따라 지층구조를

달리할 수 있으며, 각각의 지층구조에 따라 접지저항의 계산값이 다양하게 산출된다. 따라서 dipole-dipole법에 의한 대지의 전기적 구조분석은 접지전극 설계시에 보다 접지저항을 낮게 할 수 있는 위치를 선정하거나, 시설하고자 하는 위치에서 정확한 접지저항을 예측하는데 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

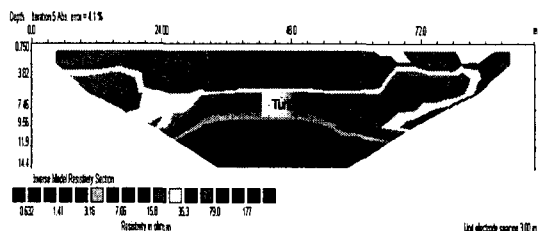
2.3 특수 지형의 대지저항률 측정

2.3.1 지하터널 지형의 대지저항률

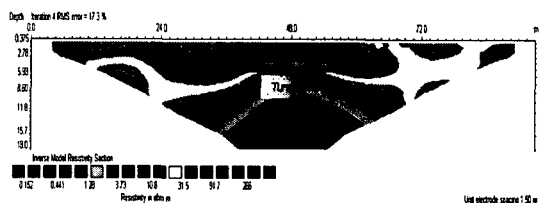
그림 10에는 지표면 아래에 터널이 있는 지대의 대지저항률을 2-D로 분석한 결과이다. 기존의 Wenner법에 의한 1-D 대지저항률 곡선은 지하에 존재하는 터널 또는 동굴 등을 감지하기가 불가능하



(a) dipole-dipole법



(b) Wenner법



(c) Schlumberger법

표 1. 대지저항률을 이용한 접지봉의 저항값 계산
Table 1. Resistance calculation of grounding rod using the ground resistivity

Length of rod [m]	Calculated ground resistance [Ω]			
	Wenner alpha	Dipole-dipole		
		Case 1	Case 2	Case 3
1	17.5	15.8(15.85°)	30.9(38.1°)	37.3
1.8	10.8	9.9(8.34°)	13.9(15.11°)	20.5
2.4	8.5	7.8	10.2	12.3

∴ measured value

그림 10. 지하차도의 2-D 이미지
Fig. 10. Underground tunnel 2-D image

심매설 접지봉의 위치결정을 위한 대지구조 분석 방법들의 비교분석

다. 하지만 2-D 이미지로 분석된 대지저항률 분석방법은 국지적으로 저항률이 급격히 증가하거나 감소하는 부분을 감지할 수 있으므로 접지전극의 시공위치를 결정하는데 매우 효과적이다. 표 2에는 기존의 Wenner법에 의한 1-D 그래프와 CDEGS 프로그램을 이용한 대지의 전기적 수평층 분석결과와 Schlumberger법에 의해 분석된 대지의 전기적 층구조를 비교하여 나타내었다.

표 2. Wenner 1-D와 Schlumberger 2-D법으로 분석된 전기적 대지층의 비교

Table 2. Comparison of electrical ground layer analysed with Wenner's 1-D and Schlumberger's 2-D method

Wenner method and CDEGS (1-D)		Schlumberger method (2-D)	
Electrical layer thickness [m]	Resistivity [$\Omega\cdot m$]	Electrical layer thickness [m]	Resistivity [$\Omega\cdot m$]
0~0.2	170.81	0~5	91.7~266
0.2~5	92.27	5~8.6	3.7~31.5
5~∞	0.54	8.6~∞	0.15~1.28

터널이 존재하는 지층의 두께는 1-D 분석에서 2번째 층까지를 고려하면 2-D 분석 결과와 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 하지만 이러한 분석은 1-D 분석의 결과만 놓고 볼 때는 2번째 정확한 터널의 두께를 2번째 층까지로 확정지을 수 없으므로 2-D 분석의 결과에 비하여 분석상의 오류가 발생할 가능성이 크다고 할 수 있다.

2.3.2 경사진 습곡지층 대지저항률 해석

특수한 지형 중 기존의 Wenner법을 기반으로 한 1-D 분석에서 정확도가 급격히 낮아지는 지층구조는 경사진 습곡구조 또는 수직방향의 단층구조이다. 그림 11과 같이 좌우가 현격한 대지저항률 차이를 보이는 경사진 습곡지형에서는 접지전극을 우측의 대지저항률이 낮은 위치에 시설하는 것이 매우 효과적이다. 하지만 표 3에 나타난 기존의 1-D 분석에 의하면 측정선 전반에 걸쳐서 3개의 수평층으로 분석되므로 접지전극의 수평방향 시공위치에 상관없이 접지저항은 동일하게 계산되어 설계에 반영된다.

하지만 2-D 분석을 적용하게 되면 접지전극을 측정선의 우측 부분, 즉 수평위치 52~70[m] 부분에 시공할 때 가장 낮은 접지저항을 얻을 수 있다.

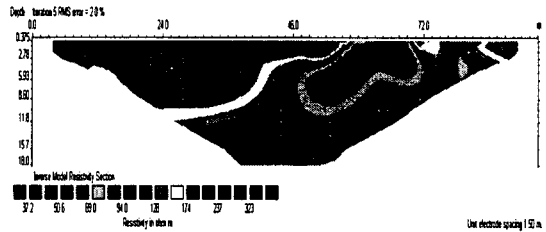


그림 11. 경사진 습곡구조의 저항률 분석
Fig. 11. Resistivity analysis for the dipped flexure layer

표 3. Wenner의 1-D와 Schlumberger의 2-D 방법으로 분석한 전기적 대지층의 비교

Table 3. Comparison of electrical ground layer analysed with Wenner's 1-D and Schlumberger's 2-D method

Wenner method and CDEGS (1-D)		Schlumberger method (2-D)	
Electrical layer thickness [m]	Resistivity [$\Omega\cdot m$]	Electrical layer thickness [m]	Resistivity [$\Omega\cdot m$]
0~0.2	238.42	0~2.4	237~323
0.2~2.4	289.7	2.4~∞	128~174
2.4~∞	111.50		

3. 결 론

피뢰용 심매설 접지전극을 효과적으로 시설하기 위해 대지저항률 측정을 통해 대지의 전기적 구조를 해석할 수 있는 측정방법에 대하여 다각도로 접근하였으며, 실측결과를 제시하였다. 실측결과를 활용하여 접지저항을 계산하는 과정에서는 dipole-dipole법을 비롯한 Wenner법, Schlumberger법 등을 이용한 2-D 차원의 대지구조 분석이 매우 효과적임을 알 수 있었다. 특히 2-D 분석은 봉 형태의 심매설 접지전극을 설치하는 위치, 시공하는 깊이 결정에 효과적으로 사용할 수 있으며, 지하 터널이나 경사진 습곡지형 등 특수하고 복잡한 지층구조에서 적용성능이 1-D 분석방법에 비하여 월등하게 우수하였다. 따라

서 2-D 분석기법은 앞으로 다양하고 복잡한 형태의 대지저항률 측정과 분석에 널리 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 기초전력연구원 (과제번호: R-2005-7-113) 주관으로 수행된 과제임.

References

- [1] IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System, IEEE Std. 81-1983, 1983.
- [2] M. H. Loke, 2-D and 3-D electrical imaging surveys, Instrument Tutorial, 2003.
- [3] N. Harid, H. Griffiths, A. Haddad and K. Walker, "Soil resistivity mapping of non-homogeneous soils," proc. of ISH 2003, Rotterdam, Netherlands, 2003.

◆ 저자소개 ◆

엄주홍 (嚴柱弘)

1972년 9월 5일생. 1998년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 기초전력연구원 선임연구원.
Tel : (02)885-9443
E-mail : eommas@snu.ac.kr

조성철 (趙成哲)

1977년 12월 16일생. 2003년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2005년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업. 현재 기초전력연구원 전임연구원.
Tel : (02)885-9443
E-mail : canfeel@snu.ac.kr

이태형 (李泰炯)

1978년 6월 21일생. 2004년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2006년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업. 현재 기초전력연구원 전임연구원.
Tel : (02)885-9443
E-mail : tanghi@snu.ac.kr

이복희 (李福熙)

1954년 6월 29일생. 1980년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1996년 호주 Queensland대학 방문교수. 현재 인하대 공대 전자전기공학부 교수.
Tel : (032)860-7398
E-mail : bhlee@inha.ac.kr