

농약살포시스템 이동을 위한 기구물 설치를 위한 대지 분석방법

Earth Analysis Method for Installation of Equipment for Moving Pesticide Spraying System

부 창 진*[★]

Chang-Jin Boo*[★]

Abstract

In this paper, we try to solve the difficulties of the location of the structure for the movement of the wire - based pesticide spraying equipment designed for field farming. To do this, we apply earth resistivity measurement method and analysis technique which can indirectly grasp the earth structure. Electrodes are installed on the field in a selected farming area, and multi-switches built in the control board are driven to automatically acquire ground resistivity data. Then, the optimal point suitable for the actual structure installation is selected through the site analysis using the 2D image restoration algorithm.

요 약

논문에서는 밭농사에 적합하도록 설계된 와이어 기반 농약살포장비의 이동을 위한 구조물 설치 위치의 어려움을 해결하고자 한다. 이를 위해 간접적으로 대지구조를 파악할 수 있는 대지저항률 측정방법과 분석기술을 적용한다. 선정된 밭농사 지역에 일정 간격의 전극을 현장에 설치하고 내장형 제어보드에 다수의 스위치를 구동시켜 대지저항률 데이터를 자동 취득한다. 그리고 2차원 영상복원 알고리즘을 사용하여 대지분석을 수행하고 그 결과를 통해 실제 구조물 타설에 적합한 최적지점을 선정하고자 한다.

Key words : Soil resistivity, Electrode array, Pesticide Spraying, Apparatus, Data acquisition

* Dept. of Electrical Engineering, Jeju Int. University

★ Corresponding author

E-mail : bool004@jeju.ac.kr, Tel : +82-64-754-0294

※ Acknowledgment

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry and Fisheries(IPET) through Technology Commercialization Support Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA)(114029-03) Manuscript received Dec. 9, 2018; revised Dec. 19, 2018; accepted Dec. 24, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

밭농사에서 농약을 살포하는 것은 살포 방식, 유지비용, 건강, 환경 오염 등 많은 문제를 발생시킬 수 있으며, 발생농업인구 감소와 고령화에 대비한 무인화, 자동화 필요성이 대두되고 있고, 농업환경개선 통한 농업경쟁력 향상이 요구되고 있다. 이러한 요구사항을 해결하고자 밭농사 지역에 구조물을 세워 공중에서 이동하며 농약을 무인으로 살포할 수 있는 Fig. 1과 같은 농약살포시스템을 개발하였다. 하지만 제주도에 분포하고 있는 토양은 토양색에 의한 암갈색 비화산회토, 농암갈색 화산회토, 흑색 화산회토, 산악지 화산회토 등 4개 토양군으로

나눌 수 있다. 토양의 특성을 좀더 세분화하여 특성을 고려하게 되면 63개 토양통으로 분류할 수 있다. 또한 암반지대가 많고 공극특성 등이 다양하기 때문에 토양에 타설되는 구조물을 설치하는 것은 농약살포시스템이 공중에서 이동중 추락 등을 방지할 수 있는 안정성 확보와 시행착오 방식의 시공위치 선정으로 인한 시공비용 증가가 나타날 수 있다.

토양의 매설된 암반등은 현장 시추를 통해 직접적으로 확인이 가능하지만 넓은 지역에 대한 조사는 현실적으로 불가능하기 때문에 구조물 타설의 최적 위치를 선정하는 것은 어려운 일이다. 간접적인 측정방법에 사용되는 대지저항률은 단위 체적당 대지가 지니고 있는 고유한 대지의 체적 저항을 의미하며, 대지 내에 분포된 지질 구조와 특성 그리고 습도와 같은 변화 요인에 따라 큰 차이를 나타낸다[1, 2].



Fig. 1. Pesticide spraying system structure.
그림 1. 농약살포 시스템 구조물

이러한 대지저항률 측정법은 직접 측정법인 전기검층법과 간접측정법인 웨너4전극법(Wenner method)과 슬럼버거법(Schlumberg method)가 사용되고 있다. 이러한 전극의 배열은 현장여건을 고려하여 측정하여야 하나 측정데이터의 수가 작아 다층구조인 경우 해석에 어려움을 주고 있다.[3, 4]

본 논문에서는 토양에 대한 상태를 간접 측정할 수 있는 대지저항률 측정방법을 이용하여 무인 농약살포시스템의 발농사지역에 설치되는 구조물 타설의 최적지점을 선정하고 2차원 영상복원알고리즘을 적용하여 설치지역의 대지상태를 분석하고자 한다.

II. 대지저항률 측정법

일반으로 측정 전극을 4개를 사용하는 측정법은 Fig. 2와 같이 전류전극과 전압전극으로 구성한다. 전류전극 A와 B는 각각 + 와 -로 동작하며 이때의 전극 A의 의해 C는 $+\rho I / (2\pi r_{AC})$ 이고 B에 의해서는 $-\rho I / (2\pi r_{BC})$ 가 된다.

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

위와 같은 형태로 D전극에서의 전압은 다음과 같다.

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

저항률을 측정하기 위해서는 전류인가(A, B 전극)에 의한 전극 C와 전극 D사이의 전압차를 측정하여 저항률로 나타낼 수 있다.[5]

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

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.

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

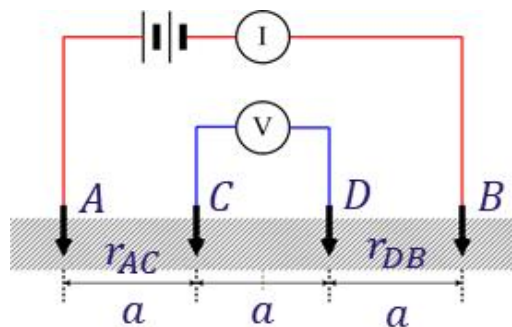


Fig. 2. Four-point electrode measurement.
그림 2. 4전극 측정방법

대지저항률 측정은 측정 포인트를 Fig. 3과 같이 전극간의 간격을 등간격 a, 2a, 3a, 4a 의 총 26개의 데이터 포인트를 설정하게 된다.

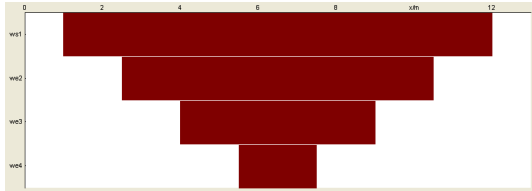


Fig. 3. Data sets of the measured data.
그림 3. 측정데이터 설정

설계된 측정 포인트는 Fig. 4에 나타난 다수의 전극을 설치하여 측정할 수 있도록 설계된 스위칭 시스템 내장형 제어보드로 전송되어 4개의 전극을 구성한다. 또한 측정 포인트에 적합한 스위칭 동작을 수행하게되며 측정은 4채널로 구성되나 실제 측정된 데이터는 측정을 위한 전극설계에 의해 결정된다.

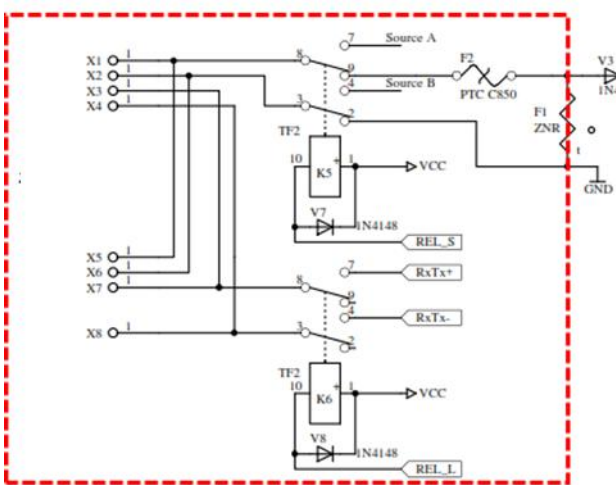


Fig. 4. Measurement of multi-electrode system
그림 4. 멀티전극 측정시스템

현장에서 계측된 데이터를 통하여 대지의 상태를 파악하기 위해서는 대지의 표면의 물리적 속성 p 에 영향을 받는 N 번의 측정은 데이터 벡터 $d = (d_1, d_2, \dots, d_N)^T$ 에 의해 나타내어야하고 공간 파라미터 분포(spatial parameter distribution) $p(\vec{r})$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$p(\vec{r}) = \sum_{i=1}^M m_i \phi_i(\vec{r}) \quad (5)$$

여기서 m_i 는 모델 파라미터이며 다음과 같이 모델 벡터로 정의할 수 있다.

$$m = (m_1, m_2, \dots, m_M)^T \quad (6)$$

계측데이터를 통해 실제의 대지모델을 알아내는 역산의 주된 목적은 모델 m 을 $f(m)$ 을 통해 측정된 데이터와 모델을 근사화 시키는 것이다.

$$f(m) = F_m \quad (7)$$

여기서 모델 m 의 업데이트는 식 8과 같다.

$$m^{k+1} = m^k + \Delta m^k \quad (8)$$

$$f(m^k + \Delta m^k) = f(m^k) + \frac{\partial f(m^k)}{\partial m} \Delta m^k + \dots \approx f(m^k) + S \Delta m^k \quad (9)$$

여기서 감도 S 는 식 10과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{ij}(m^k) = \frac{\partial f_i(m^k)}{\partial m_j}, \quad S \Delta m = d - f(m) \quad (10)$$

$$\Phi_d(m) = \sum_{i=1}^N \left| \frac{d_i - f_i(m)}{\epsilon_i} \right|^p = \|D(d - f(m))\|_p^p \quad (11)$$

일반적으로 p 의 다른값은 외부 노이즈 특성을 결정하는데 사용되어 진다.[6]

$$\Phi_d = [D(d - f(m))]^T [D(d - f(m))] = (d - f(m))^T D^T D (d - f(m)) \quad (12)$$

여기서 $D^T D$ 는 표준편차 ϵ_i 와 편차 ϵ_i^2 무상관의 경우 Tarantola 의해 사용된 데이터 공분산행렬 C_d 의 역이다.[7]

역산에 사용된 가우스 뉴턴법은 갱신 모델 $m + \Delta m$ 의 함수 Φ 에 대한 2차 테일러 급수로 나타낼 수 있다.

$$\Phi(m + \Delta m) \approx \tilde{\Phi}(m + \Delta m) \quad (13)$$

$$\Phi(m + \Delta m) = \tilde{\Phi}(m) + (\nabla_m \Phi(m))^T \Delta m + \quad (14)$$

$$\frac{1}{2} \Delta m^T (\nabla_m^2 \Phi(m)) \Delta m + \dots$$

여기서 ∇_m^2 는 요소들의 헤시안(Hessian) 행렬이다.

$$(\nabla_m^2 \Phi)_{ij} = (\nabla_m \nabla_m^T \Phi)_{ij} = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial m_i \partial m_j} \quad (15)$$

2차 $\tilde{\Phi}$ 를 근사화하면

$$\nabla_m \Phi(m) + \nabla_m^2 \Phi(m) \Delta m = 0 \tag{16}$$

모델 갱신 Δm^k 는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$(\nabla_m^2 \Phi) \Delta m^k = -\nabla_m \Phi \tag{17}$$

Gauss-Newton 알고리즘을 적용하여 현장의 대지 상태를 확인하기 위해서 대지 구조 각각 저항률 값이 하나의 매개변수가 되어야 하므로 추정하여야 할 매개변수 벡터는 모든 대지저항률 값을 원소로 포함해야 하며, Fig. 5와 같이 각 단계에 따라 반복계산을 수행하게 된다. 초기에 설정한 허용오차 범위를 만족하게 되면 반복수행을 완료한다.

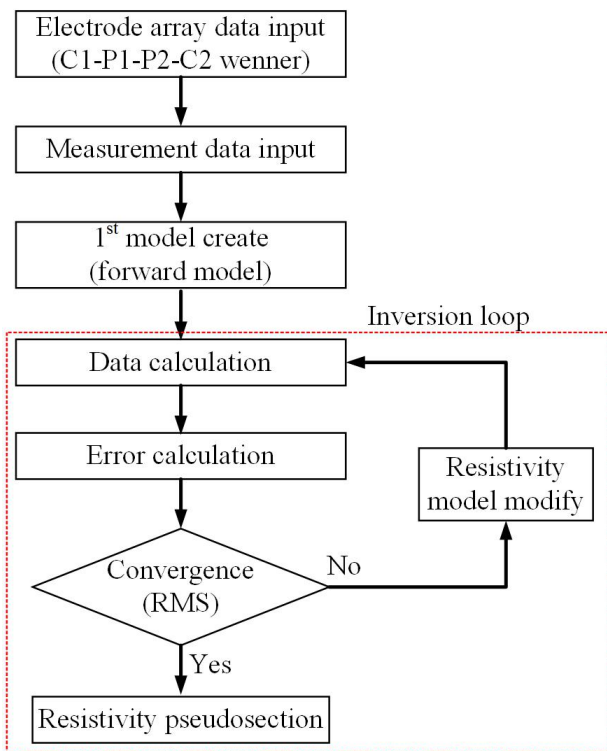


Fig. 5. Flow chart of Gauss Newton method.
그림 5. 가우스뉴턴 방법 알고리즘

III. 측정결과 및 분석

대지저항률 측정을 위해 전류와 전압 전극의 기능을 동시에 할 수 있는 14개의 측정용 전극을 등간격 1m의 거리로 설치하고 설계한 제어용 보드의 스위칭 장치에 연결한 후 자동으로 데이터 측정지점에 대해 전극간격이 최소에서 최대되는 방향으로 순차적으로 측정하게 된다. 이때 측정 데이터 포인트는 1m 단위 11개, 2m 단위 8개, 3m 단위 5

개, 4m 단위 2개의 측정포인트의 데이터를 측정하였다. Fig. 6는 측정 데이터 포인트별 측정의 결과이며, x축은 데이터 측정 포인트, y축은 저항률을 나타내었다.

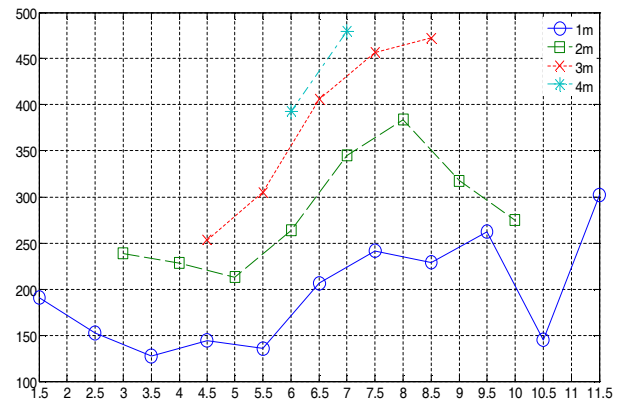


Fig. 6. Soil resistivity of electrode distance 1m.
그림 6. 전극거리 1m의 대지저항률

Fig. 7은 측정 데이터 포인트에 대한 현장 측정 데이터를 입력한 것으로 하부에 값이 높게 나타나고 있으며 대지저항률의 최대값은 447[Ωm]이다. 현장에서 계측된 값에 3%의 퍼센트 노이즈를 추가하여 대지의 변화에 대한 고려를 하였다.

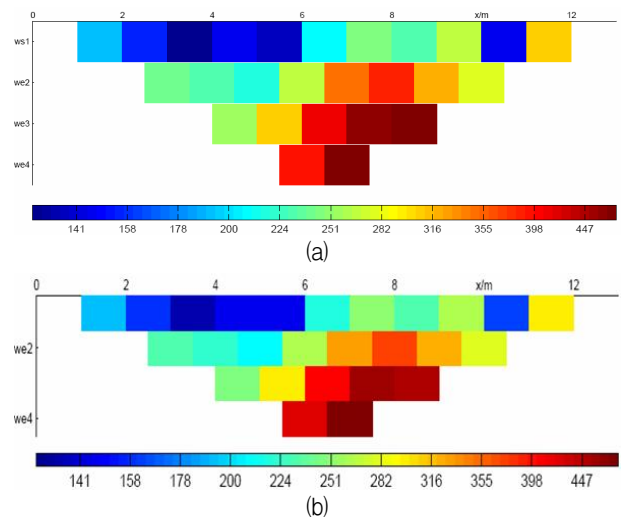


Fig. 7. Measurement data input(a) and calculated data(b).
그림 7. 측정데이터 입력과 계산 데이터

Fig. 8은 역산을 수행할 대지모델을 나타낸 것으로 x축은 14개의 전극에 대한 배치를 나타내었다. 모델 선정은 웨너법 사용에서 1[m], 2[m], 3[m], 4[m] 전극간격에 대한 계산을 하게 되면 깊이(z축) 2.34[m]의 등방형 그리드 모델이 되며, 이를 사용하여 시뮬레이션하였다.

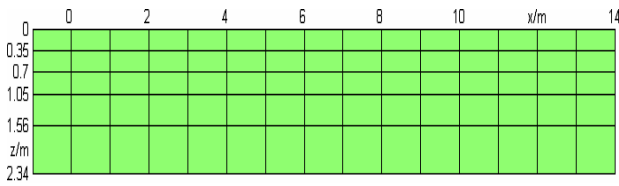


Fig. 8. Soil resistivity model.

그림 8. 대지저항률 모델

Fig. 9는 4층에 대한 층상구조로 역산을 수행한 결과로써 RMS는 20.85%이며 깊이(z축)에 대한 값은 2.39[m]이며 1.55[m] 깊이부터 저항률 변화가 크게 나타나고 있다. 4[m] 간격의 2개의 측정데이터로 최하부 깊이에 대한 역산을 진행하게 되기 때문에 오차율이 높게 나타나게 되며, 암반등의 존재시에 검출이 어려워 시공위치 선정에 사용하기에 적합하지 않다.

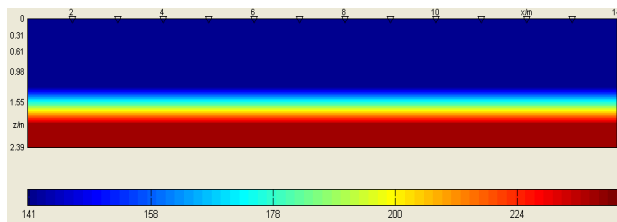


Fig. 9. Layer model inversion.

그림 9. 층상모델 역산결과

Fig. 10은 2차원 구조를 확인하기 위한 역산을 수행한 결과로써 RMS는 2.37% 이다. 이는 층상구조시 고려할 수 없었던 부분에 대한 해상도가 높아짐을 확인할 수 있고 시공위치 선정에 대한 깊이별 적합한 위치를 선정할 수 있다. 현장에 구조물을 설치할 경우 1[m] 깊이에는 적합하며, 중심부 보다는 좌측에 시공하여야 할 것이다. 또한 전극을 확장하여 1번전극과 14번 전극의 주변에 대한 역산을 수행하여 주변의 대지 상태를 추가하게 되면 시공지점 선정 시 연속성을 보장할 수 있다.

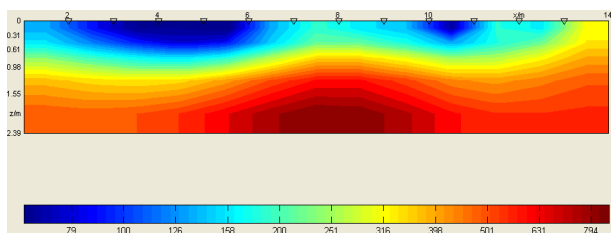


Fig. 10. 2D model inversion.

그림 10. 2차원 모델 역산

IV. 결론

본 논문에서는 대지저항률 측정과 분석방법을 사용하여 발농사지역에 설치되는 무인 농약 살포시스템의 구조물을 안정적으로 타설하기 위한 최적지점을 선정하였다. 이를 위해 대지저항률 측정 방법 중에 웨너법을 사용하여 대지의 데이터를 측정하였으며, 등방형 모델을 사용하여 측정된 데이터 영상복원하여 2차원 구조로 대지의 상태를 분석하였다. 층상 모델의 분석의 경우 대지저항률이 증가되는 지점에 대한 확인은 가능하나 층상 분석으로 오차율이 높아 구조물 설치의 최적위치 선정에는 적합하지 않았다. 2차원 구조의 역산의 경우 오차율이 적게 나타났으며, 깊이에 따른 구조물의 타설 위치선정이 가능함을 확인하였다.

향후 대지저항률 측정범위를 확장하여 주변의 대지의 특성과 타설이 주로 이루어 질 깊이에 대한 영상복원을 수행하여 분석을 수행한 후에 현장에 직접 시공데이터를 확보하여 영상복원 성능을 검증하게 된다면 안정적인 구조물 설치가 가능하게 되고 이는 농약살포용 이동체의 사고등의 문제에 대한 안정성 확보와 타설 시 공사비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Tagg, G. F., Earth Resistance, London, U. K.: George Newnes Ltd., 1964.
- [2] IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System, *IEEE Std. 81-1983*, 1983.
- [3] H. G Choi, B. S Choi, Y.J Song, Grounding Equipment and design, Seongandang, 2004.
- [4] Young-Chul Cho, Gyeong-seok Yoon, Jeong-min Park, "The Calculation of Corrective Coefficient for Grounding Electrode Resistance according to Variation of Soil Resistivity by Field Measurement," *Journal of Advanced Engineering and Techonolgy*, vol.10, no.2 pp.213-218, 2017.
- [5] Dobrin M B, Introduction to Geophysical Prospecting, McGraw-Hill, p.630, 1976.
- [6] Farquharson, C. G, "Non-linear inversion using

general measures of data misfit and model structure,”

Geophys. J. Int., 134, 213–227, 1998.

DOI:10.1046/j.1365-246x.1998.00555.x

[7] Tarantola, A., *Inverse Problem Theory.*, Elsevier, 1978.

[8] Jegen, M. D., Everett, M. E., and Schultz, A., “Using homotopy to invert geophysical data,” *Geophysics*, 66(6), 1749–1760, 2001.

DOI:10.1190/1.1487117

BIOGRAPHY

Chang-Jin Boo



2001 : BS degree in Electrical Engineering, Jeju National University.

2003 : MS degree in Electrical Engineering, Jeju National University.

2007 : PhD degree in Electrical Engineering, Jeju National University.

2014~Current : Dept. of Electrical Eng. Jeju International University.