

아두이노 기반 IT융합 스마트 대지저항 측정 기술 연구

A Study on Smart Ground Resistance Measurement Technology Based on Aduino

김홍용*

Hong Yong Kim*

Professor, Department of Smart Electric, Korea Polytechnic, Incheon, Republic of Korea

*Corresponding author: Hong Yong Kim, hykim2020@kopo.ac.kr

ABSTRACT

Purpose: The purpose is to establish a safe facility environment from abnormal voltages such as lightning by developing a smart land resistance measuring device that can acquire real-time land resistance data using Arduino. **Method:** This paper studied design models and application cases by developing a land resistance acquisition and analysis system with Arduino and a power line communication (PLC) system. Some sites in the wind power generation complex in Gyeongsangnam-do were selected as test beds, and real-time land resistance data applied with new technologies were obtained. The electrode arrangement adopted a smart electrode arrangement using a combination of a Wenner four electrode arrangement and a Schlumberger electrode arrangement. **Result:** First, the characteristic of this technology is that the depth of smart multi-electrodes is organized differently to reduce the error range of the acquired data even in the stratigraphic structure with specificity between floors. Second, IT convergence technology was applied to enable real-time transmission and reception of information on land resistance data acquired from smart ground electrodes through the Internet of Things. Finally, it is possible to establish a regular management system and analyze big data accumulated in the server to check the trend of changes in various elements, and to model the optimal ground algorithm and ground system design for the IT convergence environment. **Conclusion:** This technology will reduce surge damage caused by lightning on urban infrastructure underlying the 4th industrial era and design an optimized ground system model to protect the safety and life of users. It is also expected to secure intellectual property rights of pure domestic technology to create jobs and revitalize our industry, which has been stagnant as a pandemic in the post-COVID-19 era.

Keywords: Smart Earth Resistance, Smart Core, Ground Arduino, Multifunctional Earth Resistance Measuring Instrument

요약

연구목적: 아두이노를 이용하여 실시간 대지저항 데이터를 취득할 수 있는 스마트 대지저항 측정장치를 개발하여 낙뢰 등 이상전압으로부터 안전한 설비환경을 구축하는 것에 목적이 있다. **연구방법:** 본 논문은 아두이노와 전력선 통신(PLC) 체계를 갖춘 대지저항 취득 및 분석 시스템을 개발하여 설계모델과 적용사례를 연구하였다. 경남지역의 풍력발전 단지 내 일부 부지를 테스트 베드로 선정하여 신기술을 적용한 실시간 대지저항 데이터를 취득하였다. 전극배열은 웨너(Wenner) 4전극배열과 슈렘버거(Schlumberger) 전극배열을 혼용한 스마트 전극배열을 채택하였다. **연구결과:** 본 기술의 특징은 첫 번째로 스마트 다 전극의 깊이를 각기 다르게 편성해 층간에 특이성을 가지는 지층 구조에도 취득 데이터의 오차범위를 축소하였다. 두 번째로 스마트 접지전극에서 취득한 대지저항 데이터의 정보를 사물인터넷으로 실시간 송·수신이 가능하도록 IT융합 기술을 적용하였다. 마지막으로 규칙적인 관리 체계를 구축하고 Server에 축적된 빅 데이터를 분석하여 다양한 요소들의 변화추이를 확인할 수 있으며, IT융합 환경에 최적의 접지 알고리즘과 접지시스템 설계 모델링이 가능하다. **결론:** 본 기술은 4차 산업 시대에 근간이 되는 도시 기반시설에 낙뢰로 인한 서지(Surge)의 피해를 줄이고 최적화된 접지시스템 모델을 설계하여 사용자의 안전과 생명을 보호 할 것이다. 또한 순수 국산 기술력의 지적재산권을 확보하여 포스트 코로나 시대에 팬데믹으로 정체되어있는 우리산업의 일자리 창출과 활기를 불어넣는 효과도 기대된다.

핵심용어: 스마트 대지저항, 스마트 코어, 아두이노 접지, 다기능 접지저항 측정기

Received | 10 August, 2021

Revised | 12 October, 2021

Accepted | 12 October, 2021

 OPEN ACCESS


This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in anymedium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

서론

본 논문에서 전력선 통신을 이용한 자동 측정기술과 아두이노를 이용한 데이터 수신방식을 채택한 스마트 대지저항 측정 기법을 설명하고자 한다. 대지는 물리학적으로 여러 개의 토양지층(고유저항)으로 구성된 집합체다. 우리나라 대지의 취득 데이터를 분석한 결과 일반적으로 2지층 또는 3지층 이상이 대부분이며, 이때 구한 지층별 고유저항 수치와 층별 두께 등의 데이터를 접지설계에 바로 활용할 수 없다. 만약 대지가 단일 지층일 경우는 접지전극의 표피에서 대지상으로 유출되는 전류가 균등하지만, 다양한 매질인 구조에서는 각 층에 따라 고유저항이 상이하게 되므로 대지로 유출되는 전류가 동일할 수 없을 것이다. 따라서 다양한 지층을 가지는 구조에서는 접지전극 표피에서 대지상으로 유출되는 전류의 밀도는 고유저항 수치에 반비례한다고 가정한다면 각 지층에 전류가 균일하게 유출하는 단일지층의 구조로 토층을 모델링하여 변환된 1가지의 등가 고유저항을 갖게 조건을 갖는다. 이러한 절차를 거쳐 분석한 대지의 고유저항을 전력·통신 설비 등의 접지설계에 적용하여 이용하게 된다. 스마트 접지전극에서 취득한 대지저항 데이터의 정보를 사물 인터넷으로 실시간 송·수신이 가능하도록 IT융합 기술을 적용하였다. 따라서 규칙적인 관리체계를 구축하여 서버에 축적된 빅 데이터를 분석하여 다양한 요소들의 변화추이를 확인할 수 있다.

본 연구는 대지의 지층 파라미터의 데이터를 스마트 다 전극으로 다양하게 취득하고 취득한 빅 데이터를 3차원적으로 분석하여 IT융합 환경에 최적의 접지 알고리즘과 접지시스템 설계 모델링이 가능한 기술을 제안하고자 한다.





스마트 대지저항 측정 기술

개발환경

스마트 대지저항 측정 시스템(이하 GMS: Ground Measurement System)은 아두이노를 적용한 측정전극과 스마트 대지 저항 측정 장치(이하 GMD: Ground Measurement Device)가 전력선 통신을 하는 IT융합된 새로운 측정 장치를 사용해 토양 환경을 체계적으로 분석하고 모니터링 할 수 있다. 또한, 전력선 통신을 적용하면 토양 환경의 분석 결과를 실시간으로 확인 하는 등 대지 내에 접지저항을 3차원으로 파악이 가능하다. GMS의 개발환경을 Table 1, 2에 나타내었다.

GMS는 메인 컴퓨터(PC)에서 전용 소프트웨어로 운영되며, 취득한 데이터는 서버(Sever)에 저장된다. 스마트 전극(Smart Core)에 부착된 하드웨어 구성품은 측정전극과 아두이노 보드(Arduino Wifi Shield), 전력선 통신장치(Ethernet

Table 1. GMS hardware condition

| Division | Function | Division | Function |
|---|--|---|---|
|  | 스마트 측정 전극(Smart Core) 대지에 접속되어 대지저항을 측정하는 장치 |  | 전력선 통신 장치(Ethernet LAN) 스마트 측정 전극(Smart Core)과 메인장치(GMD)간 통신장치 |
|  | 아두이노 보드(Arduino Wifi Shield) 무선통신이 탑재된 아두이노 보드 |  | 전력 공급 장치(Power Supply) 스마트 측정 전극(Smart Core)과 연결되어서 측정용 전력을 공급하는 장치 |

LAN and PLC), 전원 공급 장치(Power Supply)로 구성된다. 스마트 전극은 외부 대지에 설치되며, 스마트 대지저항 측정 장치(GMD)는 메인 컴퓨터와 같이 중앙감시센터(Control Room)에 설치된다.

Table 2. GMS software condition

| | | |
|----------------------|----------------|-------------|
| Server | Apache Tomcat | Ver. 8.5 |
| Web Development tool | eclipse EE | Ver. Oxygen |
| DBMS | MySQL | Ver. 8.0 |
| Android Devel. tool | Android Studio | Ver. 3.1 |
| Arduino | Android IDE | Ver. 1.8 |

스마트 대지저항 측정기술의 알고리즘

스마트 대지저항 실시간 측정하는 GMS 소프트웨어 프로그램의 메인 화면은 Fig. 1과 같다. 모니터링 메인 화면에는 시험 전압(TEST Menu)과 대지저항(Soil Resistivity), 이상전압(Risk Voltage) 그리고 실시간 PLC 통신 주파수를 표시한다.

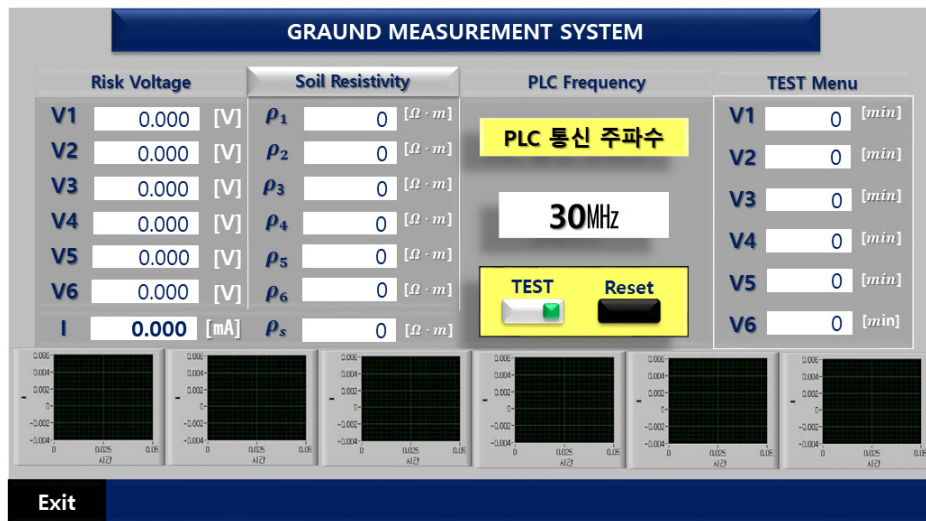


Fig. 1. GMS software program screen

대지저항 측정 현장에 적용되는 스마트 대지저항 측정 기술에 전체 알고리즘 구성을 Fig. 2에 나타내었다. 스마트 전극 배열에 대한 대지저항률 분석을 위한 대지 고유저항 측정데이터 신호가 아두이노 보드(Arduino Wifi Shield)의 입력(Input)에서 P₁, C₁ 전극으로 전달되면 일정간격으로 떨어진 P₂, C₂ 전극에 무선통신(Wifi Module)으로 연결된다. 측정전극(Smart Core)에 부착되어 있는 전원 공급 장치(Power Supply)에서 측정용 전압과 전류가 대지로 흘러 대지저항을 측정한다. 측정된 데이터 신호가 전력선 통신을 통해 메인 컴퓨터와 서버에 저장된다. 이러한 방식으로 실시간 고유저항 값을 측정하게 되며 측정기법의 전극 상세도를 Fig. 3에 나타내었다.

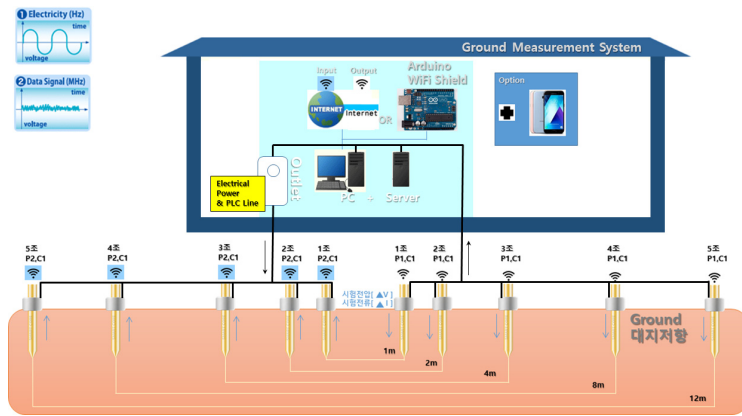


Fig. 2. Smart ground resistance measurement technology (GMS) complete composition

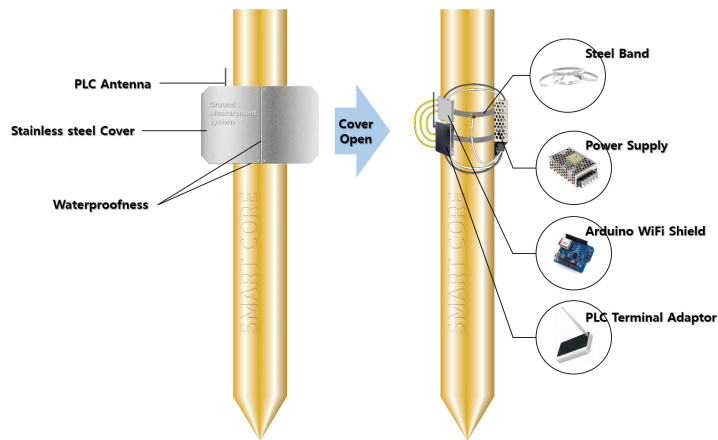


Fig. 3. Smart core detail

연구모델

테스트 베드 환경

대지고유저항 분석을 위한 실험 대상지역을 Fig. 4와 같이 선정하였다. 대지 저항률의 측정 방법으로 웨너(Wenner)와 슬룸버거(Schlumberger)를 혼용한 스마트 전극배열을 사용하여 대지저항계와 접지저항계를 사용하여 데이터를 수집하였다.



Fig. 4. Experimental target area

측정용 전극은 전력선 통신(PLC)을 스마트 측정전극 4개씩 각각 6열 총 24개를 사용하여 측정용 전극을 사용하였다.

현장고도 및 경사도

Table 3. Site topography distribution

| 구분 | 면적(m ²) | 구성비(%) | 비고(m) |
|----------|---------------------|--------|----------------------|
| 합계 | 9,862 | 100 | |
| 656~680m | 6,609 | 67 | 최저:656.3 최고:698.3 |
| 680m이상 | 3,253 | 33 | |

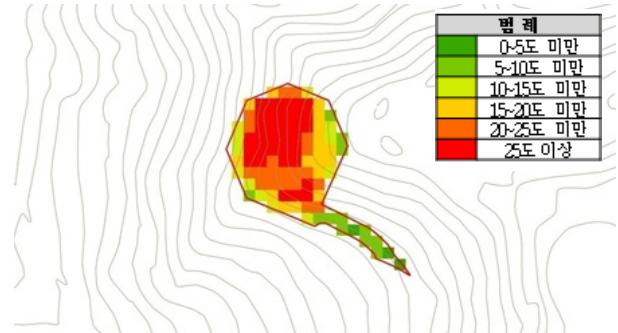


Fig. 5. Experimental object area gradient

스마트 대지저항 측정 시험 환경 설정

Fig. 4의 실험대상 지역은 산악지형으로 Fig. 5와 같은 고도와 경사도를 갖는다. 이와 같은 지형에 Fig. 6과 같이 A, B group으로 스마트 전극의 단계적 측정 전극배열 n과 스마트 전극을 a간격으로 각 24개씩 설치한다.

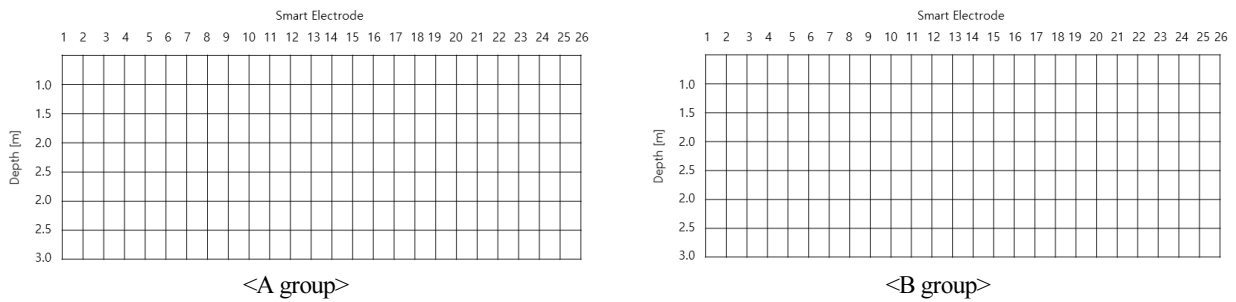


Fig. 6. Model black array

전극배열에 측정단계 n에 대한 측정 데이터의 취득에 대한 오차 값을 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Data model of electrode array

| 전극배열 | A group | | | | | | B group | | | | | |
|-----------|-----------------------|---|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|---|
| 전극의 수 | 24 | | | | | | 24 | | | | | |
| 측정단계(n) | 6 | | | | | | 6 | | | | | |
| 전극 깊이(m) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 오차범위 | 3%+0.1[mV] 전류 100[mA] | | | | | | 3%+0.1[mV] 전류 100[mA] | | | | | |
| 데이터 수(시간) | 60(1) | | | | | | 60(1) | | | | | |
| 에러[%] | ±5 | | | | | | ±5 | | | | | |

고정된 전류 측정용 전극을 기준으로 전위 전극의 간격이 증가하면 대지 깊이에 감도가 저하된다. 따라서 오차의 범위가 높아지게 된다. 또한, Table 5와 같이 실험 대상지역에 설치된 스마트 측정 전극에 각각에 번호를 설정하고 전극의 상태 변화를 확인한다. 번호가 설정된 측정 전극을 Fig. 8의 (a), (b)와 같이 스마트 측정전극을 나누어 설치한다.

Table 5. Smart measurement electrode arrangement

| 측정전극 | 측정전극 간격(a) | A Group. | B Group. |
|------|---------------|-----------|-----------|
| n=1 | 1 | #A1~#A4 | #B1~#B4 |
| n=2 | 2 | #A5~#A8 | #B5~#B8 |
| n=3 | 4 | #A9~#A12 | #B9~#B12 |
| n=4 | 6 | #A13~#A16 | #B13~#B16 |
| n=5 | 8 | #A17~#A20 | #B17~#B20 |
| n=6 | 12 | #A21~#A24 | #B21~#B24 |

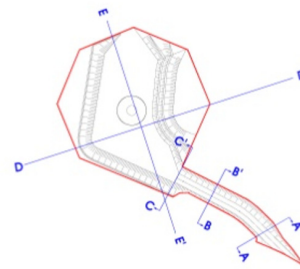


Fig. 7. Experimental area KEY MAP

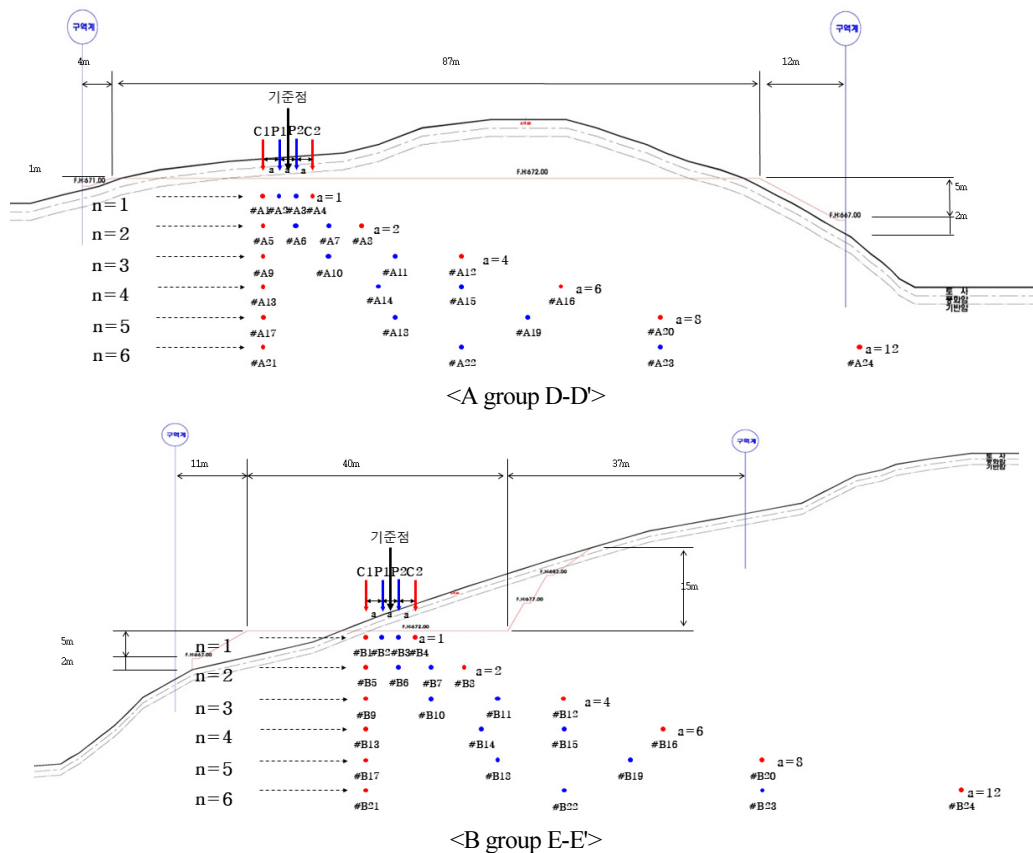


Fig. 8. Installation of smart measurement electrode in the experiment area

시뮬레이션 결과

본 논문에서는 스마트 대지 저항측정 기법을 사용하여 대지의 전기적 측정 모델 설계를 위해 웨너(Wenner)와 슬렘버거(Schlumberger) 전극 배열을 혼용한 스마트 전극배열에 따른 3차원적 분석을 수행하였다. 기존에 사용하는 전기적 대지 측정 모델의 신뢰도를 검증할 수 있도록 유전자 알고리즘에 관한 사용을 제안하였다. 테스트베드에 설계된 스마트 대지 저항측정 기법의 전극배열을 Fig. 5와 같이 설치하여 대지 파라미터를 취득한다. 테스트베드의 토양은 산악지형으로 2층 대지구조에서 1층의 저항률 $100[\Omega \cdot m]$, 2층의 저항률을 $1,000[\Omega \cdot m]$ 으로 가정하였다. 이러한 기준은 산악지형에 대비하기 편리하도록 기초 값으로 임의로 선정하였다. 또한, 각각의 모델에 측정전극 #1~#24 사이의 대지저항률 파라미터를 설정하고, 층상의 n1~n6 순서로 1~6m의 깊이로 대지에 스마트 측정전극을 각각 설치하여 대지구조에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 각각의 전극배열에 대해 모델을 설계하고 이론적 역산 값과 취득 값을 비교하게 되면, 전극배열의 특성과 계산 수치와의 오차범위를 찾을 수 있다.

스마트 측정 측정전극 전송응답

스마트 전극배열로 설치된 A group과 B group의 스마트 측정 전극 전송신호에 대한 추이는 Fig. 9와 같이 나타났다. 전송되는 주파수 영역에 따라 색상이 변하는 모습을 관찰할 수 있으며, 색상별 전송 주파수 대역을 확인할 수 있다.

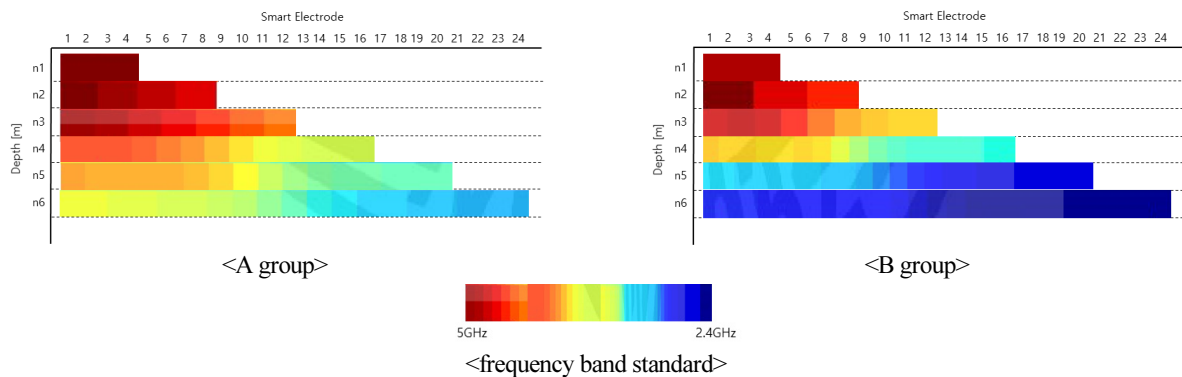


Fig. 9. GMS software program screen

스마트 대지저항 시뮬레이션 결과

테스트 베드에 설치된 n=1~6의 스마트 측정 전극에 1분 간격으로 60분간 계측 신호를 A, B group에 전송하여 대지저항률 $[\Omega \cdot m]$ 를 취득한 결과 데이터를 A group을 Fig. 10, B group을 Fig. 11에 각각 10분씩 분할하여 차례대로 나타내었다.

테스트 베드를 이용한 스마트 측정전극 A, B group의 1분 간격으로 60분간 대지저항의 취득 후 평균 데이터를 Table 6과 Fig. 12에 나타내었다.

다만, 60분간 취득한 데이터의 결과로는 토양의 온도, 습도, 계절적 요인의 경련변화의 분석에는 한계가 있으며, 토양의 접지 설계를 수행하는 것은 매우 부적절하다고 판단된다. 따라서 본 연구의 취지에 따라 현재의 취득 시스템에 시험 환경을 유지하고 12개월간 시험을 지속적으로 진행 하였다.

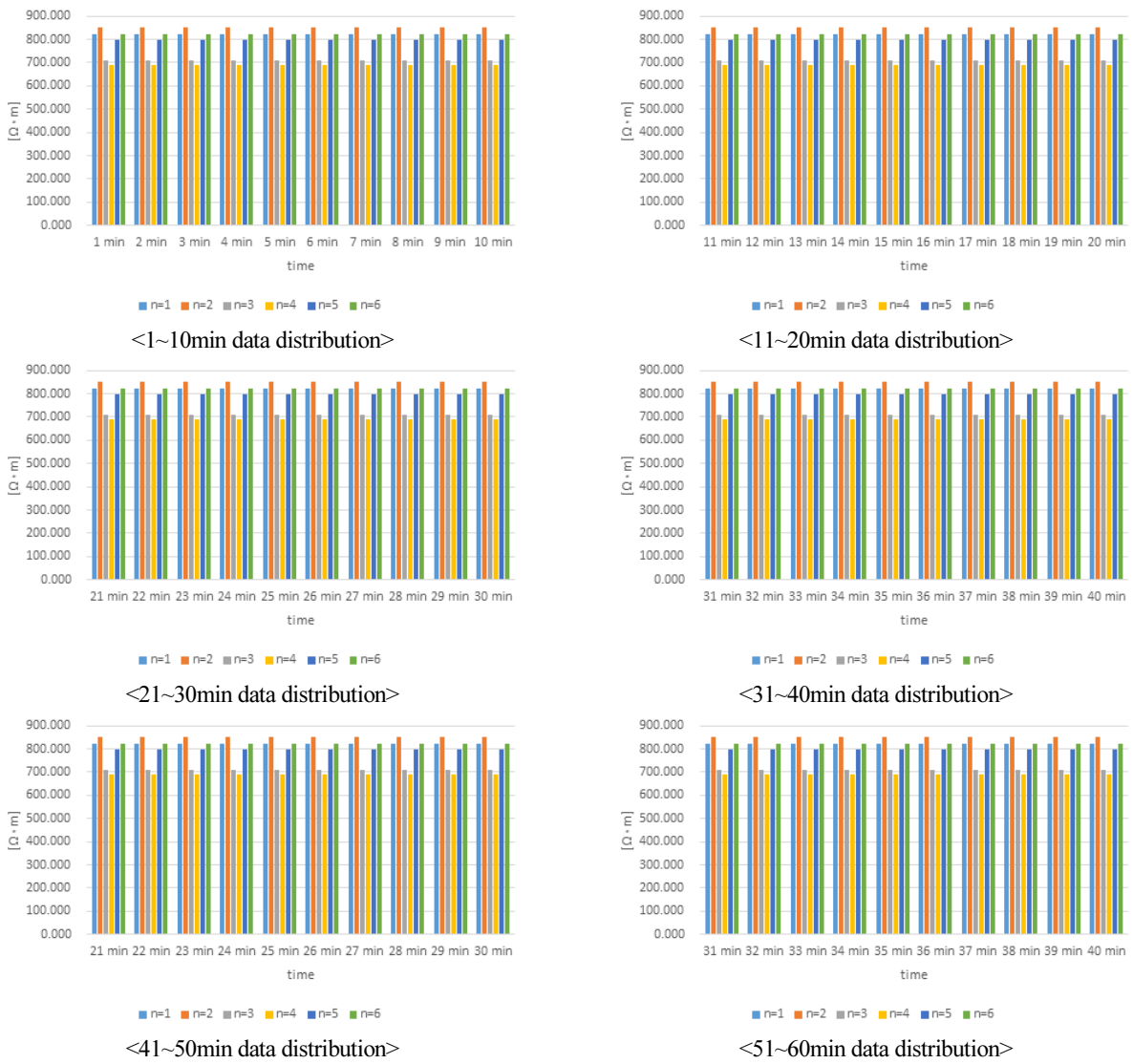


Fig. 10. A group 60 minutes acquisition data

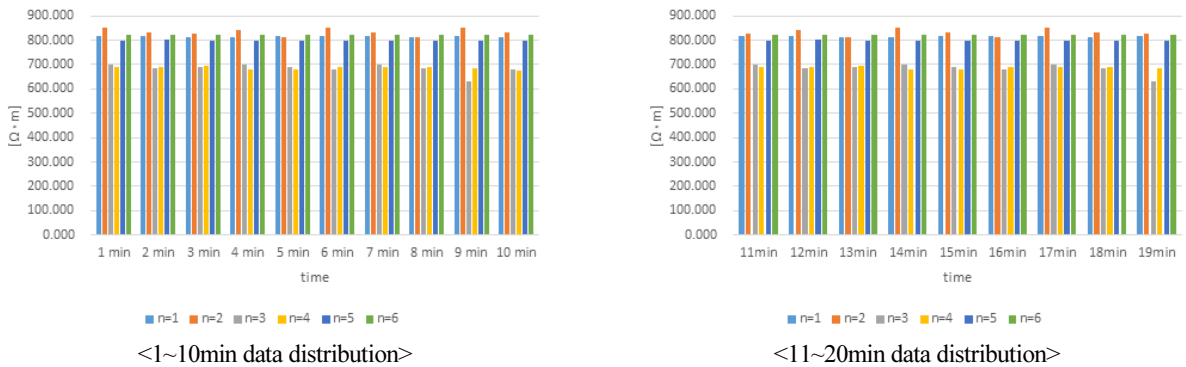


Fig. 11. B group 60 minutes acquisition data

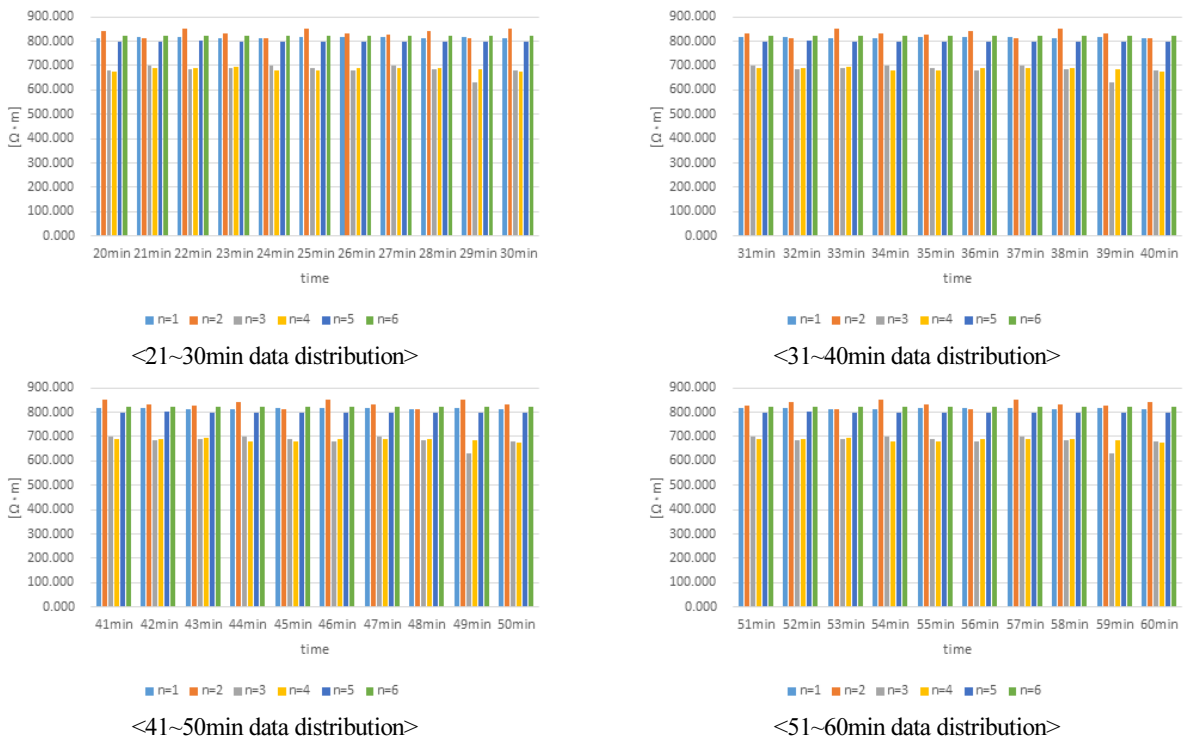


Fig. 11. B group 60 minutes acquisition data (Continue)

Table 6. Comparison of mean data on land resistance acquisition for 60 minutes

| 전극간격(a) | A Group[Q · m] | B Group[Q · m] |
|---------|-----------------|-----------------|
| n=1 | 821.7 | 816.1 |
| n=2 | 852.8 | 833.0 |
| n=3 | 708.4 | 684.3 |
| n=4 | 688.3 | 686.1 |
| n=5 | 798.8 | 799.4 |
| n=6 | 823.9 | 822.0 |

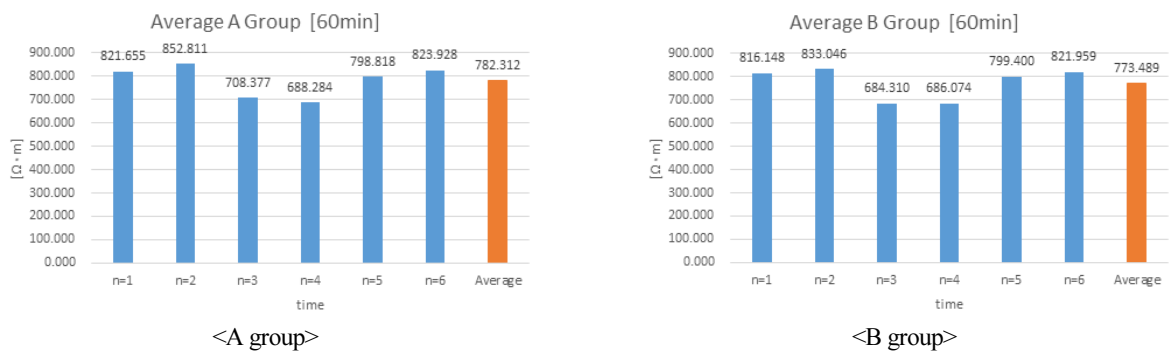


Fig. 12. 60 Minutes ground resistance measurement results

그에 따른 대지 저항률 평균 데이터를 분석하여 Fig. 13과 같이 나타냈다. 12월에서 1월에 파라미터 데이터가 840.3[Ω·m]로 가장 높게 상승하였고 7월에서 8월에 742.1[Ω·m]로 가장 낮은 분포를 나타내었다.

본 실험으로 계절에 따른 대지 파라미터의 변화에 대해 파악할 수 있었으며, 접지설계 시 적합한 접지위치와 기준을 정립할 수 있었다.

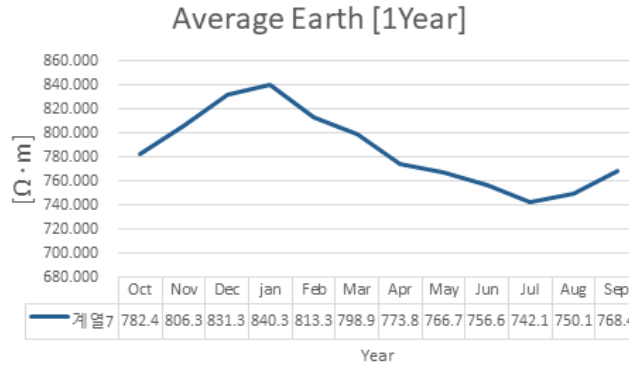


Fig. 13. Average earth resistance data analysis for 12 months

결론

현재의 대지저항 기법과 분석의 기술을 개선하기 위해 아두이노를 사용한 고도화된 시스템과 안전접지시장을 선도하고 발전된 형태의 스마트 대지저항 취득 기술을 제안한다. 웨너(Wenner) 4전극 배열과 슬렘버거(Schlumberger) 전극 배열을 혼용한 스마트 전극배열을 적용한 다전극 기법이다.

기존의 유선 데이터 취득 방식을 전력선 통신(PLC)과 와이파이 무선통신으로 측정 장비(GMD)와 스마트 측정전극(Smart Core)이 통신하며, 데이터를 취득 할 수 있도록 개선하였다. 스마트 전극기법의 알고리즘을 사용하여 대지에 파라미터를 특정시간의 간격으로 취득하게 되어 기존의 단편적인 측정결과보다 촘촘한 해석이 가능해졌다.

또한 다전극의 설치로 수직과 수평적인 최적의 접지설치 위치를 선정하는 데 효과적이었다. 또한, 측정 데이터를 서버(Server)에 보관하고 촘촘해진 빅 데이터를 분석하여 계절적 요인과 온·습도 등으로 토양에 미치는 영향을 분석이 가능해졌다.

References

- [1] Boo, C.J. (2006). "Image reconstruction of subspace object using electrical resistance tomography." International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, Vol. 6, No. 1, pp. 47-51.
- [2] Kim, H.Y. (2017). "A study on the safety grounding for prevention of electric shock hazard in construction of industrial plant in maritime landfill area." Journal of the Society of Disaster Information, Vol. 13, No. 3, pp. 305-312.
- [3] Kim, H.Y. (2018). "A study on the safety characterization grounding design of the inner photovoltaic system." Journal of the Society of Disaster Information, Vol. 14, No. 2, pp. 130-140.