

대지저항률의 주파수 의존성

(Frequency relativity of soil resistivity)

이복희 · 조성철* · 엄주홍

(Bok-hee Lee · Sung-chul Cho · Ju-hong Eom)

인하대학교

Abstract

A new method measuring soil resistivity in frequency range of 5-500[kHz] using variable frequency inverter was presented, and soil resistivity was analysed by resistive and reactive components on the basis of magnitude and phase of measured ground impedance. The test lead arrangement was proposed to reduce the inductive coupling in test circuit for measuring the soil resistivity. The frequency dependence of soil resistivity was mainly caused by the inductive current flowing through grounding conductors over the frequency of 70[kHz].

1. 서론

최근 들어서 접지를 단순히 피접지물과 대지를 전기적으로 접속한다는 개념에서 벗어나 접지전극의 형상과 시공기법에 많은 발전이 있었다. 접지시스템의 다변화로 인하여 접지시스템에는 복잡 다양한 주파수 성분을 포함하게 되었지만 접지시스템의 설계 및 평가시 50-400[Hz]부근의 특정 주파수에 의한 결과만을 이용하고 있어 실제 접지시스템의 운용시 기대했던 안정성 및 특성을 발휘하지 못하는 경우가 발생하고 있다.

따라서 접지시스템을 설계할 때에 가장 중요한 대지파라미터중의 하나인 대지저항률에 대한 보다 정확한 데이터가 필요하다. 특히 대지 고유의 저항으로써 항상 일정한 값을 가지는 것으로 여겨져 왔던 대지저항률의 주파수 의존성에 대한 연구가 요구되었다. 그동안 대지의 구조에 따라 대지저항률을 측정하고 분석하는 다양한 이론과 기법들이 연구 되어져 왔었지만, 높은 주파수 성분을 포함하는 뇌서지나 대규모 접지시스템에서 접지임피던스의 복잡 다양한 양상에 대처하기에는 부족하였다.[1] 이에 본 연구에서는 실제 토양에 Wenner의 4전극법을 응용하여 대지저항률의 주파수 의존성을 측정함과 동시에 뇌서지 주파수 영역에서의 대지저항률 양상에 대한 연구를 수행하였다.

2. 본론

2.1. 측정대상

접지시스템을 설계할 때에 가장 중요한 요소는

대지파라미터, 즉 지층의 종류, 지층의 두께와 이의 대지저항률이다. 토양은 그 주성분의 특성상 수분을 함유하게 되면 대지의 저항률은 급격한 감소를 보인다. 따라서 대지의 종류나 수분의 함유량 등에 따른 특정 대지의 대지저항률을 측정하여 그것의 데이터를 기초로 하여 접지시스템을 설계하게 된다.

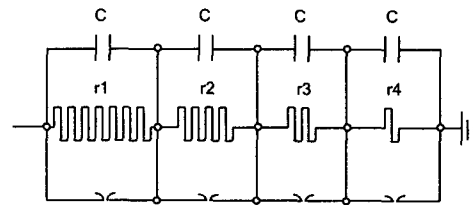


그림 1. 토양의 모델

Fig.1. Soil model

대지의 등가모델은 그림 1과 같이 저항성분과 용량성분의 직병렬 배치로 이루어져 있는 것으로 알려졌다. 또한 높은 전위차에 의해 발생할 수 있는 절연파괴현상의 해석을 위한 갭이 결합된 구조이다.[2] 낮은 주파수 대역에서 대지는 단순한 저항체로 동작하지만 높은 주파수를 가지거나 상승시간이 빠른 파형이 입사하는 경우에는 단순한 저항체로 볼 수 없으며, 유전체를 통하여 흐르는 변위전류를 고려한 대지고유임피던스로 분석할 필요가 있다.[3]

2.2. 측정장비 및 방법

대지저항률 측정장치는 기본적으로 시험전류를 인가해 주는 전원장치와 전류계 및 전압계로 구성

되며, 별도의 노이즈를 제거할 수 있는 신호처리장치를 가지는 것도 있다. 상용화된 제품들은 대부분 단일 주파수의 시험전류를 발생시키며, 간단한 단자접속을 통해 접지저항과 대지저항률 모드를 측정할 수 있는 경우가 많다. 하지만 이러한 측정장치들이 전압 V 와 전류 I 에 의해 연산된 R 값만을 표시해 줌으로써 대지저항률 값을 사용자가 직접 계산하여야 한다. 본 실험에서 사용한 대지저항률 측정장치는 이 과정을 연산프로그램에 내장시켜 그래프로 표시해 주는 기능을 가지고 있으므로 대지저항률 값을 바로 확인할 수 있도록 하였다.

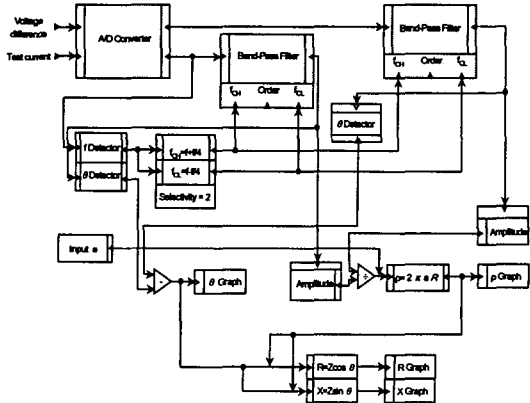


그림 2 대지저항률 측정을 위한 신호처리 과정
Fig.2. Procedure of signal processing for resistivity measurement

본 실험에서는 가변주파수 인버터 및 측정시스템을 제작하여 사용함과 동시에 대지저항률 분석 알고리즘을 별도로 개발하였다. 그림 2는 대지저항률의 주파수 의존성을 측정하는 프로그램의 신호처리 과정을 나타내었다. Wenner의 4전극법을 사용한 대지저항률 측정회로를 그림 3에 나타내었다.[4]

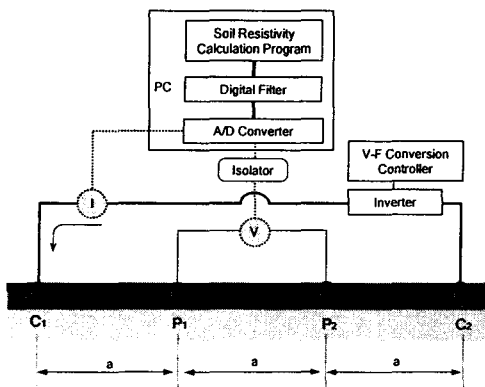


그림 3 대지저항률 측정회로
Fig.3. Circuit diagram for measuring the resistivity

대지저항률의 산출에 적용한 측정용 인가전류와 접지전극의 전위상승 파형은 각각 CT와 절연불리 기능이 있는 능동형 프루브로 측정하였다. 측정된 파형들은 12bit, 50 [MS/s]의 A/D변환기를 사용하여 디지털 신호로 변환하였으며, 변환된 신호들은 디지털필터를 통과시킨 후 대지저항률의 산출에 적용하였다. 하지만 그림 3과 같은 전극 및 측정선 배치에서는 시험전류를 인가하기 위한 측정선과 전위차를 측정하기 위한 측정선이 거리 a 만큼 중첩되기 때문에 높은 주파수를 인가하는 본 측정설비에서는 유도결합에 의한 오차를 저감시키는 새로운 측정선 배치방법이 필요하다.

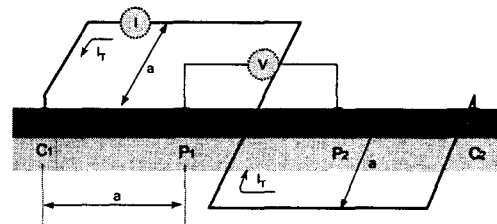


그림 4 유도결합 저감을 위한 측정선 배치
Fig.4. Test lead arrangement reducing the inductive coupling

따라서 시험전류를 인가하기 위한 측정선을 그림 4와 같이 포설하여 가능한 유도결합을 작게 하고 측정선간 거리를 전극간 거리 a 만큼 이격시킴으로써 오차를 줄이는 측정회로를 구성하여 측정값의 정확도를 높였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 대지저항률의 측정

대지저항률을 측정하기 위하여 필요한 요소는 시험전류와 두 전위측정전극 사이의 전위차이다. 50[Hz]의 주파수를 가지는 시험전류의 파형은 그림 5와 같다. 시험전류의 크기는 약 $2[A_{p-p}]$ 이며, 주파수는 1.5~230[kHz]의 범위에서 가변시키면서 측정을 하였다.

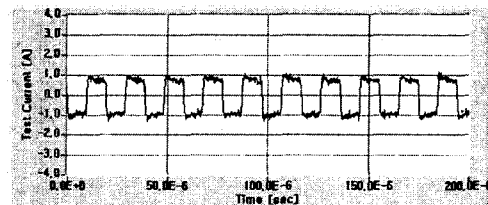


그림 5 시험전류 파형(주파수 : 50(kHz))
Fig.5. Test current waveform

일반적인 Wenner의 전극배치와 측정선의 중첩으로 인한 유도결합은 전위차 파형이 크게 측정되며, 그림 6에서는 측정선이 완전히 중첩되었을 때의 전위차 측정파형을, 그리고 그림 7에는 그림 4와 같이 배치하였을 때의 전위차 측정파형을 나타내었다.

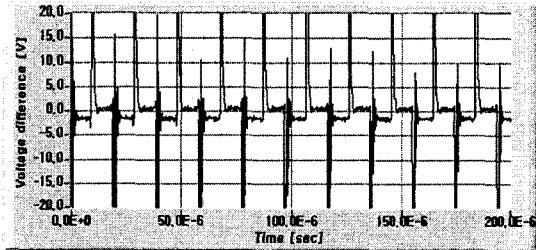


그림 6. 측정선 평행배치시 전위차 측정파형 (측정선의 이격거리는 0 (m))

Fig.6. Measurement waveforms of voltage difference when test leads are paralleled (Test lead separation distance is 0 m)

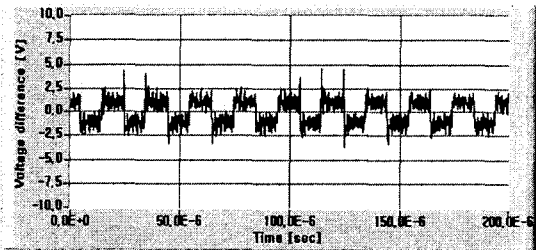


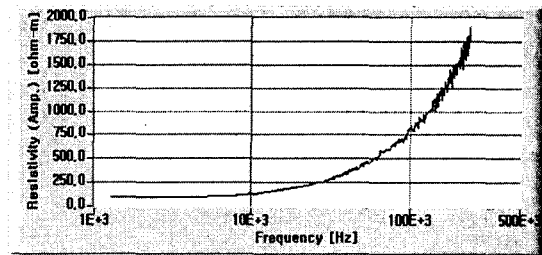
그림 7. 새로운 측정선 배치법에 의한 전위차 측정파형

Fig.7. Measurement waveforms of voltage difference by the new arrangement method of test lead

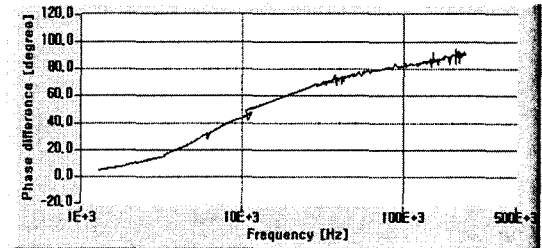
대지저항률의 주파수 의존성 측정에서 전극간거리 a 는 10[m]이며, 이때 측정선이 중첩되어 나타나는 유도결합의 영향은 그림 6에서 알 수 있듯이 전위차 측정파형의 왜곡을 초래한다. 이에 반하여 새로운 측정선 배치의 경우는 전위차 측정파형에 유도되는 영향이 거의 존재하지 않는다. 이러한 결과는 대지저항률의 주파수 의존성 측정에서 유도결합의 영향이 매우 중요하게 다루어져야 함을 보여주고 있다.

3.2. 대지저항률의 주파수 의존성

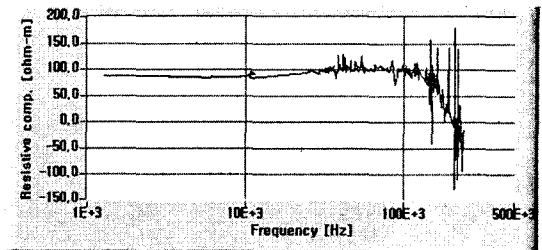
대지저항률의 주파수 의존성에 대한 측정결과를 그림 8과 그림 9에 나타내었다. 측정에서 적용한 전극간 거리 a 는 10[m]이다.



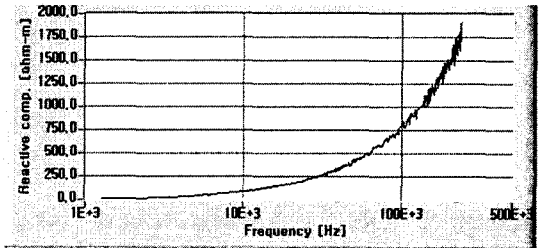
(a) 대지저항률



(b) 위상



(c) 저항성분



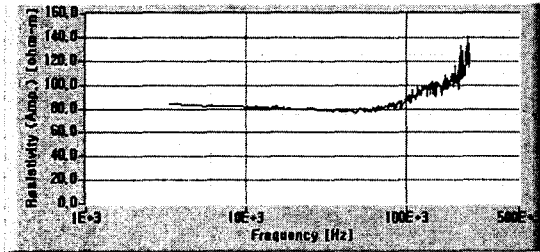
(d) 리액턴스 성분

그림 8. 측정선 평행배치시 대지저항률의 주파수 의존성(측정선의 이격거리는 0 (m))

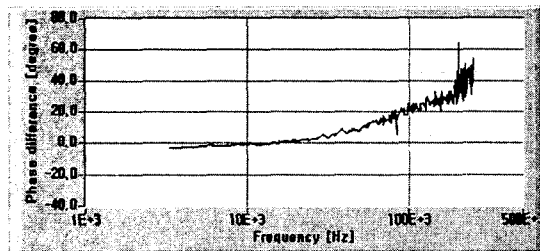
Fig.8. Frequency dependency of resistivity when test leads are paralleled (Test lead separation distance is 0 m)

측정선을 평행하게 배치하였을 때 대지저항률은 유도결합에 의해 실제의 값보다 매우 큰 값으로 측정되었으며, 측정선이 완전히 중첩되는 경우에 200[kHz]에서 약 20배 정도 큰 값으로 나타났다. 또한 10 [m]의 전극간 거리는 시험전류를 인가하기 위한 측정선의 길이가 30 [m] 정도이므로 시험전류 파형에서 알 수 있듯이 구형파 전류의 상승시간이 비교적 빠르다. 이렇게 빠른 상승시간을 가지는 전류파형은 전위차를 측정하기 위한 측정선에 보다 큰 유도전압을 받

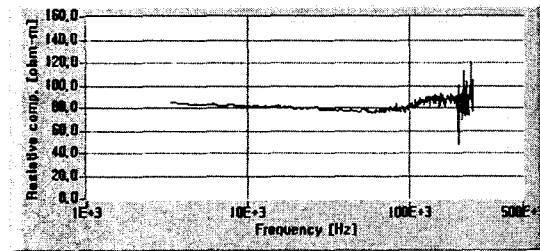
생시하게 되고 대지저항률은 실제의 값에 비하여 비약적으로 큰 값을 나타내게 된다. 따라서 일반적인 측정선 배치에 의해서 접지임피던스나 대지저항률의 주파수 의존성을 측정할 경우 유도결합은 대지저항률에 매우 큰 오차를 유발할 수 있다.



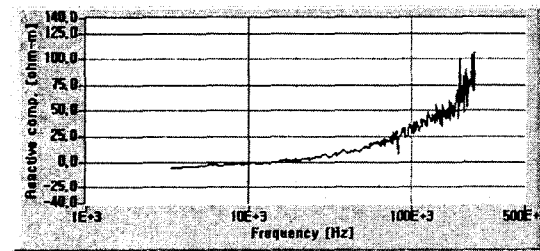
(a) 대지저항률



(b) 위상



(c) 저항성분



(d) 리액턴스 성분

그림 9. 새로운 측정선 배치방법으로 측정된 대지저항률의 주파수 의존성

Fig.9. Frequency dependency of resistivity by the new arrangement method of test lead

그림 9에 나타난 결과는 측정선을 평행 배치한 결과와 비교해서 유도결합에 의한 영향이 거의 제거되었음을 알 수 있다. 낮은 주파수에서 대지저항률은 약 $8.4[\Omega \cdot m]$ 이었으나 주파수가 증가함에 따

라 점차 감소하다가 약 $70[kHz]$ 이후에 다시 증가하는 양상을 보인다. 이러한 특성은 그림 9 (b)의 위상곡선에서도 확인이 가능하며, 초기의 (-)의 부호를 가지는 위상에서 약 $15[kHz]$ 의 주파수 이상에서는 (+)부호로 변화한다. 즉, 최초 용량성인 대지저항률이 주파수가 증가함에 따라 유도성으로 변화하는 특성을 보인다. 또한 약 $70[kHz]$ 를 넘어서면서 대지저항률은 다소 증가하는데 이는 대지저항률을 측정하기 위하여 사용된 길이 $1[m]$ 의 봉전극이 가지는 인덕턴스 성분과 완전히 제거되지 않은 유도결합 성분이 영향을 미치기 때문인 것으로 보인다.

4. 결론

본 실험에서는 실제 토양에 Wenner의 4전극법을 응용하여 대지저항률의 주파수 의존성을 측정하였다. 측정결과로부터 대지저항률의 주파수 의존성을 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 대규모 접지시스템에서 뇌서지 주파수 영역에서의 대지저항률을 측정할 수 있는 새로운 측정방법을 제안하였다.
- (2) Wenner의 4전극법에서 측정선 사이의 중첩된 거리에 의해서 발생하는 유도결합을 제거하고 측정정확도를 높일 수 있는 측정선 배치기법을 제시하였다.
- (3) 대지저항률의 주파수 의존성에 대해서 본 연구에서 제시한 측정 및 분석기법은 높은 주파수를 대상으로 하는 접지시스템의 설계와 특성분석에 활용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 이복희, 이승철, "접지의 핵심 기초기술", 도서출판 義價, 1999, pp.64~69, 1981.
- [2] IEEE, "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", IEEE Std 80-2000, p.46, 2000.
- [3] A. D. Papalexopoulos, A. P. Meliopoulos, "Frequency Dependent Characteristics of Grounding System", IEEE Trans. on PAS, Vol. 100, No.4, pp.1918~1922, 1981.
- [4] EPRI, "Transmission Line Grounding", Vol.1, pp.9-2~9-9, pp.4-16~4-26, 1982.
- [5] Ma, J., Dawalibi, F. P., "Influence of Inductive Coupling Between Leads on Resistivity Measurements in Multilayer Soils", IEEE Tras. on PD, Vol. 13, No. 4, pp.999~1004, 1998.