

대형 봉상 접지전극의 접지임피던스와 주파수 응답특성

이복희*, 엄주홍*, 김태두*, 정동철*, 김형준**
*인하대학교, **전기안전연구원

Ground Impedance and Frequency Response Characteristics of Large-scale Ground Rods

Bok-Hee Lee*, Ju-Hong Eom*, Tai-Doo Kim*, Dong-Chul Chung*, Hyeong-Joon Kil**
*Inha University, **Electrical Safety Research Institute

Abstract - In order to analyze the dynamic characteristics of ground impedance in large grounding system for lightning and surge protections, a novel method for measuring the ground impedance as a function of frequency was proposed. The experiments were carried out in the grounding system composed of ground rods and mesh grids. The test current was injected by the variable frequency inverter whose frequency is linearly controlled in the range of 5~500 kHz. The ground impedance and frequency response of the grounding system were mainly caused by the inductive current flowing through grounding conductors over the frequency of 20 kHz. In the combined grounding system of rods and mesh grids, inductive component of ground impedance was significantly decreased. It was turned out that the grounding system is effective for the surge protection.

단상 구형과 전압이며, 출력은 3 [kW]로 접지임피던스 측정에 필요한 충분한 시험전류를 인가할 수 있도록 하였다.

전위강하법을 이용한 접지임피던스의 측정회로를 그림 1에 나타내었으며, 측정전류는 설정된 시간동안 주파수제어가 선형적으로 이루어지는 인버터를 사용하여 인가하였다. 구형과 측정전류의 주파수를 5~500 [kHz]의 범위에서 가변시키면서 측정대상인 접지전극(E)과 전류보조전극(C) 사이에 인가하여 기준전위전극인 전위보조전극 P에 대한 파측정 접지전극의 전위상승을 측정하였다. 측정대상 접지전극은 그림 2에 나타낸 바와 같이 36 [m] 깊이로 천공한 후 6 [m]길이의 동봉을 시설하고 나머지 부분은 저감제로 밀봉을 한 구조를 가지고 있다. 동봉에서 지표면까지의 인출선은 단면적이 100 [mm²]인 연동선 2조를 사용하였다. 이러한 봉형 접지전극은 최근 대규모 접지공사에서 자주 적용되고 있는 형태이다. 측정대상 전극은 공사가 진행되는 과정에 따라 단일 봉형 접지전극과 봉형 접지전극 2개가 철근콘크리트 메시에 접속된 형태로 나누어서 측정하였다. 철근콘크리트 메시는 두께가 0.3 [m]이고, 도체간 간격은 약 0.2 [m]이며, 포설면적은 45×50 [m²]이다.

전위보조전극은 측정대상 접지전극으로부터 50 [m]지점에 길이 1 [m]의 접지전극을 사용하여 시설하였으며, 전류보조전극은 전위보조전극 반대방향으로 50 [m]지점에 길이 1 [m]의 접지전극 3조를 병렬로 연결하여 시설하였다.

1. 서 론

우리나라에서는 접지저항이 접지시스템의 성능을 평가하는데 사용하는 주요 지표이다. 접지저항은 소규모 접지시스템이나 저주파 영역에서의 접지성능을 나타내주는 요소이지만 접지시스템에 따라서는 접지저항이 효과적이지 못한 경우도 있다. 접지시스템의 규모가 크거나 접지저항이 대단히 작아서 상대적으로 리액턴스 성분이 큰 값을 가지는 경우, 또는 뇌보호설비의 접지와 같이 접지전극에 흐르는 전류가 빠른 상승시간을 가지는 높은 주파수 성분을 포함하는 경우에는 접지저항 보다는 측정된 접지임피던스의 리액턴스 성분을 분석하여 접지시스템의 성능평가의 지표로 삼는 것이 바람직하다.[1][2] 최근 등전위접지의 사용이 늘어나 개별로 시설되던 여러 종별 접지를 공통으로 접속하는 접지시스템이 사용되기도 한다. 이 때 각각의 접지시스템은 사용목적에 따라 접지전류의 주파수 대역이 다른 경우가 존재하므로 접지임피던스 차원의 분석과 더불어 특정 범위의 주파수 대역에서 접지임피던스의 주파수 의존성을 평가할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 가변주파수 인버터로 5~500 [kHz]의 주파수범위에서 시험전류를 발생시켜 접지임피던스를 측정하는 새로운 방법을 개발하였으며, 접지임피던스의 크기 및 위상을 토대로 접지임피던스를 저항성분과 리액턴스성분으로 분리하여 분석하였다.

2. 측정장비 및 방법

접지임피던스의 측정과 주파수 의존성 분석에 적합한 시험전류를 인가하기 위하여 가변주파수 인버터를 사용하였다. 인버터의 구성은 full-bridge 정류부와 평활용 필터부, IGBT 구동부로 이루어져 있으며, 출력 V_{out} 은

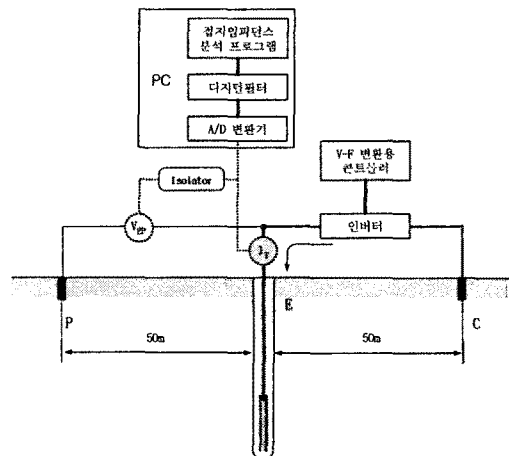


그림 1 접지임피던스의 측정회로
Fig.1. Circuit diagram for measuring the ground impedance

접지임피던스의 산출에 적용한 측정용 인가전류와 접지전극의 전위상승 파형은 각각 CT와 절연분리기능이 있는 능동형

프로브로 측정하였다. 측정된 파형들은 12bit, 50 [MS/s]의 A/D변환기를 사용하여 디지털 신호로 변환하였으며, 변환된 신호들은 디지털필터를 통과시킨 후 접지임피던스의 산출에 적용하였다. 디지털필터는 2차 버터워스(Butterworth)형 대역통과필터로 설계하였으며, 검출된 구형파의 접지전위상승 및 시험전류 파형의 기본파 성분만을 통과시킨다. 즉, 구형파 전압은 기본파 성분과 기수고조파 성분의 합으로 이루어져 있으므로 대역통과필터를 사용하면 기본파 성분의 정현파 시험전류와 접지전위상승 파형을 선택하여 접지임피던스의 산출을 위한 연산이 가능하다. 접지임피던스의 크기는 접지전극의 전위상승과 시험전류의 amplitude(peak-to-peak) 값의 비이며, 위상 θ 는 두 정현파의 위상차를 측정하여 산출하였다.

접지임피던스의 위상은 두 개의 채널에서 설정된 필터의 차단주파수가 일치되지 않으면 변동될 수 있으므로 인버터의 인가전류파형으로부터 기본파 주파수를 읽어 들여 동일한 선택도를 가지도록 프로그래밍하였다. 따라서 가변주파수 인버터의 출력주파수가 증가함에 따라 저역측 및 고역측 차단주파수가 자동으로 설정되어 선택도 2를 유지하면서 필터링 기능을 수행하도록 하였다.

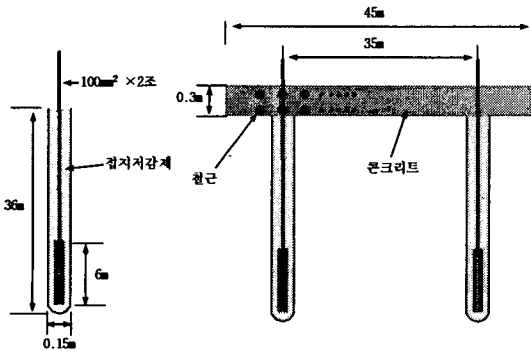


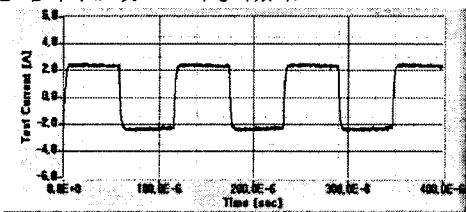
그림 2 접지전극의 구조
Fig.2. Configuration of grounding electrodes

3. 결과 및 고찰

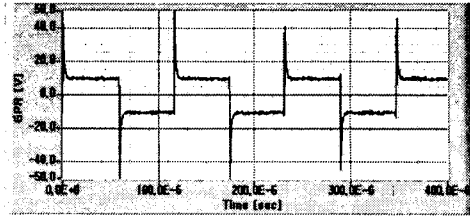
3.1 단일 봉형전극의 접지임피던스

가변주파수 인버터를 사용하여 측정용 접지전극과 전류보조 전극 사이에 구형파 전압을 인가하여 측정된 시험전류의 파형과 접지전극의 전위상승파형의 예를 그림 3에 나타내었다.

그림 4(a)는 주파수의 증가에 따라 변화하는 접지임피던스를 접지전위상승과 시험전류 파형의 amplitude 값을 사용하여 연산한 결과이다. Amplitude 값을 이용한 연산과정은 계측기의 coupling이 DC인 경우 심한 움셋 전압이 발생하여도 정확도가 좋은 장점이 있다. 약 4 [kHz]의 주파수에서 접지임피던스는 5.0 [Ω]이며, 주파수의 증가함에 따라 증가하여 200 [kHz]에서는 20 [Ω]을 넘어서는 것으로 측정되었다.



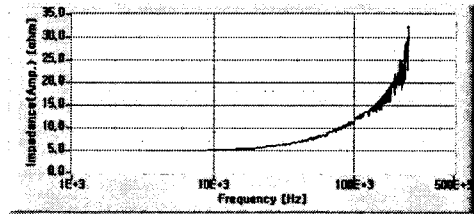
(a) 시험전류 파형



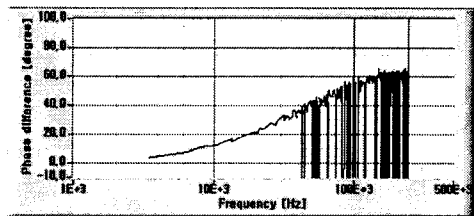
(b) 접지전위상승 파형

그림 3 8.6 [kHz]에서 측정된 접지전위상승과 시험전류 파형

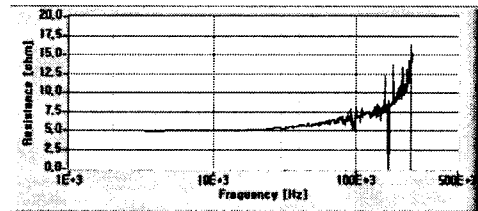
Fig.3. Waveforms of the test current and GPR of 8.6kHz



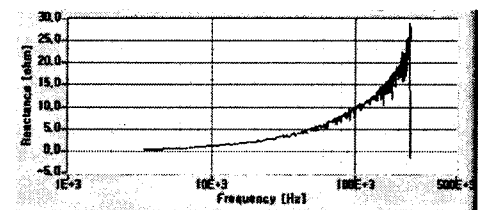
(a) 접지임피던스의 크기



(b) 위상



(c) 접지임피던스의 저항성분



(d) 접지임피던스의 리액턴스성분

그림 4 측정전류의 주파수에 따른 접지임피던스

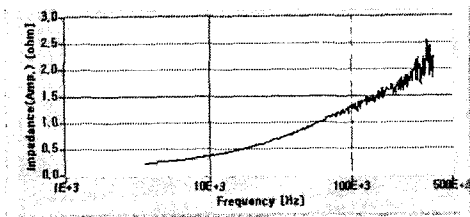
Fig.4. Ground impedances as a function of the frequency of test current

주파수가 증가함에 따라 변동하는 접지임피던스의 위상을 그림 4(b)에 나타내었다. 접지임피던스의 위상 θ 는 접지전극의 전위상승파형과 시험전류파형간의 위상차

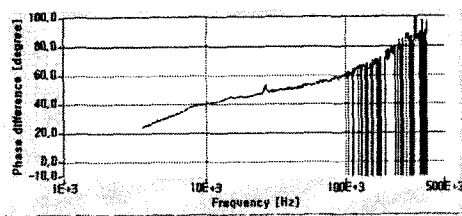
로 결정되며, 접지시스템이 유도성인 경우 정(+)의 부호를, 용량성인 경우 부(-)의 부호를 가진다. 위상은 4 [kHz]에서 약 4°이며 이후 점차 증가하여 10 [kHz]에서 12°가 된다. 이후 약 100 [kHz]까지 지속적으로 증가하며, 100 [kHz]를 넘어서면서 어느 정도 완만한 증가율을 보인다. 그림 4(c), (d)에는 그림 4(b)에서 구한 접지임피던스의 위상각 θ 를 이용하여 접지임피던스의 저항성분과 리액턴스성분의 변화를 나타내었다.

3.2 봉상 전극과 철근콘크리트 메시가 결합된 전극의 접지임피던스

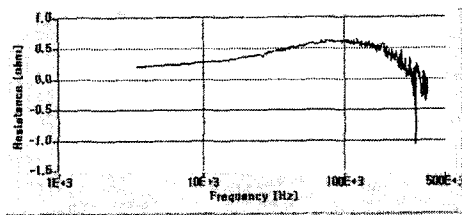
그림 5는 봉상 접지전극 2개가 두께 0.3 [m]의 건물바닥면 철근콘크리트에 여러 지점에서 용접에 의해 접속되어 사용되는 접지시스템의 접지임피던스를 측정된 결과이다. 그림 5(a)에는 접지임피던스의 크기를 주파수의 증가에 따라 나타내었다. 약 4 [kHz]의 주파수에서 접지임피던스는 0.2 [Ω]이며, 주파수가 증가함에 따라 증가하여 100 [kHz]에서는 1.3 [Ω]을 넘어서는 것으로 측정되었다.



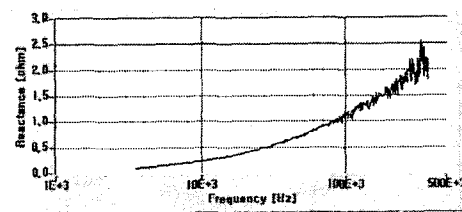
(a) 접지임피던스의 크기



(b) 위상



(c) 접지임피던스의 저항성분



(d) 접지임피던스의 리액턴스성분

그림 5 측정전류의 주파수에 따른 접지임피던스
Fig.5. Ground impedances as a function of the

frequency of test current

주파수가 증가함에 따라 변동하는 접지임피던스의 위상을 그림 5(b)에 나타내었다. 위상은 4 [kHz]에서 약 34°이며 이후 점차 증가하여 10 [kHz]에서 40°가 된다. 이후 약 100 [kHz]까지 지속적으로 증가하여 60°가 된다. 그림 4(b)와 확연한 차이를 보이는 것은 약 4 [kHz] 부분에서의 위상이 큰 값에서부터 시작한다는 점이다. 이는 접지시스템의 규모가 커서 접지저항이 대단히 작아지고, 이에 비하여 상대적으로 큰 리액턴스 성분을 가지고 있음을 알 수 있다. 그림 5(c), (d)에는 그림 5(b)에서 구한 접지임피던스의 위상각 θ 를 이용하여 접지임피던스의 저항성분과 리액턴스성분의 변화를 나타내었다.

봉상 접지전극 2조를 철근콘크리트 메시에 접속하였을 때 접지임피던스는 크게 감소하였으며, 주파수가 증가하여 약 100 [kHz]의 주파수에서도 낮은 접지임피던스값을 가지므로 뇌서지와 같은 높은 주파수 성분을 가지는 전류에 대해서도 낮은 접지전위상승을 유지하여 보호효과가 향상됨을 알 수 있다. 그림 4(d)와 그림 5(d)의 측정 결과를 서로 비교하였을 때 철근콘크리트를 접지전극에 접속하는 경우가 접지임피던스의 리액턴스 성분을 약 1/10로 저감시키는 효과를 얻고 있으며, 높은 주파수에서 접지임피던스의 과도응답특성의 향상을 기대할 수 있는 것으로 분석되었다.

4. 결 론

대형 봉상 접지전극과 철근콘크리트 메시전극의 접지임피던스의 주파수존성에 대한 실험적 연구를 수행한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 봉상 접지전극 단독으로 사용하는 경우에는 높은 주파수에서 유도성 특성이 지배적으로 나타났다.
- (2) 철근콘크리트 메시전극에 봉상 접지전극을 접속하는 경우에는 접지저항의 저감뿐만 아니라 높은 주파수에서도 대단히 낮은 접지임피던스를 가지는 것으로 분석되었다.
- (3) 건축물의 구조체인 철근콘크리트 메시지를 접지전극과 접속하는 경우 높은 주파수에서 접지임피던스 특성이 향상되며 뇌격전류와 같이 높은 주파수를 포함하는 접지전류의 유입시 과도응답특성의 향상을 기대할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] I. D. Lu, R. M. Shier, "Application of a Digital Signal Analyzer to the Measurement of Power System Ground Impedance", IEEE Trans. on PAS, Vol. 100, No. 4, pp.1918~1922, 1981.
- [2] A. D. Papalexopoulos, A. P. Meliopoulos, "Frequency Dependent Characteristics of Grounding System", IEEE Trans. on PAS, Vol. 100, No. 4, pp.1918~1922, 1981.