

뇌보호 설비를 위한 접지임피던스 측정기 개발

이태형, 조성철, 엄주홍
기초전력연구원

Development of Ground Impedance Measuring Instrument for Lightning Protection System

Tae-Hyung Lee, Sung-Chul Cho, Ju-Hong Eom
KESRI

Abstract - This study evaluated the impedance characteristics of earth termination system and developed a variable frequency-typed inverter (measuring tool) for the utilization in ground design for lightning protection. The variable-frequency-typed inverter were composed of rectification part, voltage adjuster, IGBT controller and measuring part. Meanwhile, the square wave signal of variable frequency converted its frequency up to lightning surge band by using an IGBT after rectifying an alternating current (AC). It conducted performance evaluation of ground impedance of actual earth termination system by using the developed measuring tool for ground impedance and confirmed that such impedance-oriented performance evaluation was effective in the design of lightning protection.

1. 서 론

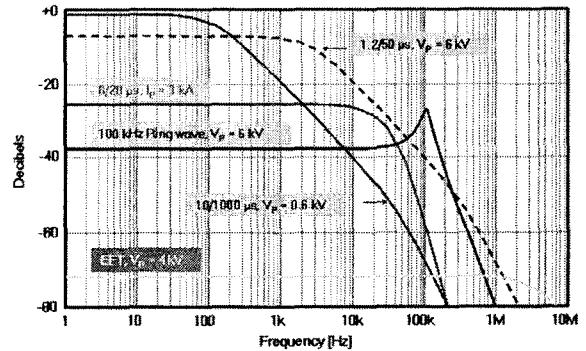
지금까지의 건축물의 접지시스템은 접지저항을 기준으로 그 성능을 평가하였으나 피뢰설비 분야에서의 뇌격전류의 주파수 특성에 대한 평가를 위해 접지임피던스에 의한 성능 평가가 필요하게 되었다.[1] 하지만 상용주파수 전류로 접지임피던스를 측정할 경우 일반적인 접지시스템에서는 리액턴스 성분이 매우 작아서 무시할 수 있을 때 접지임피던스를 접지저항으로 표현한다. 하지만 변전소 접지나 대형 건축물의 망상접지 등과 같이 접지시스템의 규모가 매우 크고 접지저항이 낮은 경우에는 상대적으로 리액턴스 성분이 저항 성분에 비하여 무시할 수 없기 때문에 접지시스템의 성능지표로 사용하는 것이 불충분하다. 또한 접지시스템이 상용주파수 접지전류만을 대상으로 하지 않고 뇌보호와 같이 높은 주파수 성분의 접지전류까지 고려하여야 할 경우에도 접지저항은 그 효용성이 매우 낮다. 따라서 고주파 영역에서 접지시스템의 성능을 평가하는 지표로 접지저항 보다는 접지임피던스의 적용이 보다 효과적이며, 다양한 기기의 접지시스템이 공동접지화 되는 최근의 접지기술 경향에 입각할 때 접지분야의 기술진보가 필요한 시점이다.[2] 그리하여 본 연구에서는 접지시스템의 임피던스 특성을 평가하여 뇌보호용 접지설계에 활용하기 위한 가변주파수 인버터형 측정기를 개발하였다.

2. 본 론

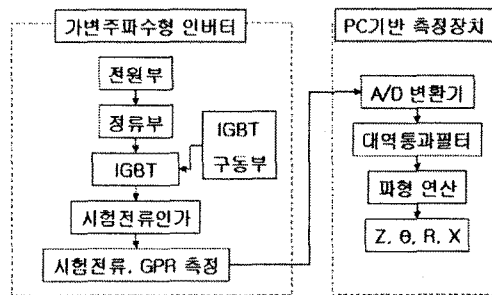
2.1 장치의 구성

그림 1에서 5종의 표준 뇌서지 전압·전류 파형의 주파수 스펙트럼을 나타내었다.[3] 그림에서 알 수 있듯이 상용주파수 영역에 비하여 뇌서지 전압·전류는 상당히 높은 주파수 대역까지 분포하고 기존의 접지저항에 의한 접지시스템의 성능 평가로는 이러한 높은 주파수 영역의 성능을 예측하기 어렵다. 8/20[μs] 표준 뇌서지전류 파형의 주파수 성분은 30[kHz]까지 분포하고 있으며, 0.5[μs]/100[kHz] 감쇠진동파(ring-wave)파형은 100[kHz]에서 최대 피크를 나타낸다. 이러한 뇌서지 전압·전류 주파수 스펙트럼으로부터 뇌보호용 접지시스템이 갖추어야 하는 중요한 조건에는 약 200[kHz] 정도의 주파수에 이르는 접지임피던스의 주파수 특성을 분석하여 의존성이 양호한 특성을 나타내어야 한다는 점이다.

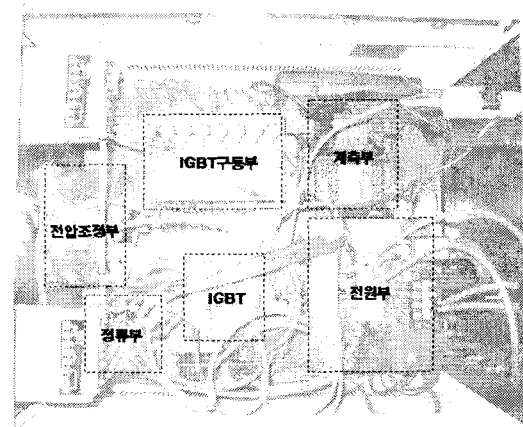
그러므로 접지임피던스의 측정을 통한 주파수 특성 분석에 적합한 전류를 발생시키기 위하여 가변주파수 인버터를 제작하였다. 그림 2에 접지임피던스 측정기가 동작하는 흐름도를 나타내었다. 인버터의 구성은 그림 2에서와 같이 상용전원을 받아 절연변압기를 사용하여 출력전원과 내부회로 전원으로 절연 분리시키는 전원부와 full-bridge 다이오드와 평활용 캐패시터로 이루어진 정류부, 인버터를 구동하기 위한 IGBT 구동회로부와 IGBT, 접지전위상승(ground potential rise: GPR)과 시험전류를 측정하기 위한 계측부로 이루어져 있으며, 출력 V_{out} 은 단상 구형파 전압이다. IGBT를 이용한 가변주파수 인버터는 주파수 및 출력전압의 조정이 용이하며 구조가 비교적 간단한 특징을 가진다. 또한 출력은 2[kW]로 접지임피던스 측정에 필요한 충분한 크기의 전류를 인가할 수 있도록 하였다. 인버터의 구동을 위한 제어회로는 논리소자 및 광 결합소자(photo coupler)를 이용하여 구성하였으며, 이 회로의 기준신호는 전압-주파수 변환기를 사용하여 발생시킨다. 출력전압의 주파수는 5~500[kHz]의 범위에서 가변되며, 최대발전주파수는 500[kHz] 정도이다. 그림 3에 제작된 가변주파수형 인버터의 내부사진을 나타내었다.



〈그림 1〉 뇌서지의 주파수 대역



〈그림 2〉 접지임피던스 측정기 구성도



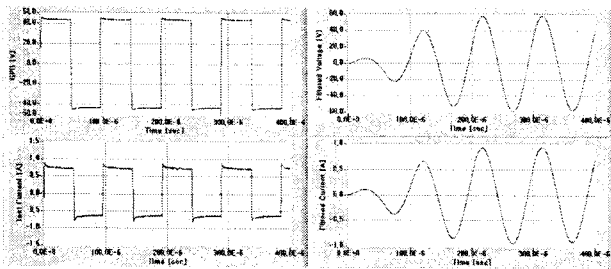
〈그림 3〉 가변주파수 인버터형 측정기 내부

2.2 PC 기반 접지임피던스 측정 장치

위에서 제작한 가변주파수 인버터를 사용하여 보다 정확한 접지임피던스 분석을 위하여 PC 기반의 접지임피던스 측정장치를 구현하였다. 측정 장치에는 인가전류와 GPR를 측정하여 디지털 신호로 변환시켜 주는 A/D 변환기가 사용되었다. A/D 변환기는 12bit의 분해능을 가지고 있으며, 아날로그 신호를 최대 50[MS/sec]의 속도로 디지털 신호로 변환시켜 준다. 주파수 대역은 25[MHz]이며, PC의 PCI슬롯에 장착하여 사용한다. 보드의 제어는 Labview에서 프로그램된 구동소프트웨어를 통하여 이루어진다. 인가전류 파형과 GPR 파형은 각각 절연분리 기능이 있는 프로브를 통하여 A/D 변환기에 입력된다. 절연분리 기능을 가진 프로브의 사용은 측정대상인 접지와 계측용 전원간의 도전경로를 차단하기 위하여 사용되었다. 또한 계측용 전원을 측정전류 인가용 회로와 절연분리 기능을 가진 프로브의 사용

은 측정대상인 접지와 계측용 전원간의 도전경로를 차단하기 위하여 사용되었다. 이러한 프로브는 측정의 정확도를 높이고 계측기의 안정된 동작을 보장하기 위하여 반드시 필요하다. 또한 계측용 전원을 측정전류 인가용 회로와 절연분리를 시켜주어야 하므로 이를 위하여 절연변압기를 사용하였다. 절연변압기는 2단으로 사용하였으며, 제 1단은 전원선과 접지측정용 전류인 가선의 분리를 위하여, 제 2단은 계측기의 절연분리를 위하여 각각 적용하였다. A/D변환기로 입력된 두 채널의 신호는 디지털 신호로 변환되어 접지 임피던스의 연산에 사용된다. A/D 변환기를 통하여 변환된 신호들은 디지털 필터를 통과하게 된다. 디지털 필터는 버터워스(butterworth)형 대역통과 필터로 설계하였다. 설계된 디지털 필터는 단안으로 이루어져 있으며, 차수는 프로그램 상에서 사용자의 요구에 따라 변할 수 있도록 하였다. 대역통과 필터는 접지시스템에서 공통모드 노이즈 (common-mode noise)로 작용하는 60[Hz]의 전력주파수 및 180[Hz]의 3고조파 주파수의 간섭을 제거함과 동시에 측정전류로 인가한 구형파 신호의 고조파 성분을 제거하기 위해 사용된다. 따라서 -3[dB] 지점인 차단주파수에서부터 차단주파수의 10배 떨어진 주파수 사이의 감쇠량이 약 90[dB/oct]로, 약 2배 떨어진 주파수 사이의 감쇠량은 약 20[dB/oct]로 구형파 신호의 기본주파수 성분만을 측정하기에 충분하도록 설계하였다. 구형파 신호는 기본과 성분과 기수 고조파 성분의 합으로 이루어져 있으므로 대역통과필터를 사용하면 기본과 성분의 정형과 측정전류와 접지전위상승 파형을 선택하여 접지임피던스의 연산이 가능하다. 접지임피던스의 크기는 접지전극의 전위상승과 측정전류의 amplitude (peak-to-peak) 값의 비로, 위상 θ 는 두 정형파의 위상차로부터 산출된다.

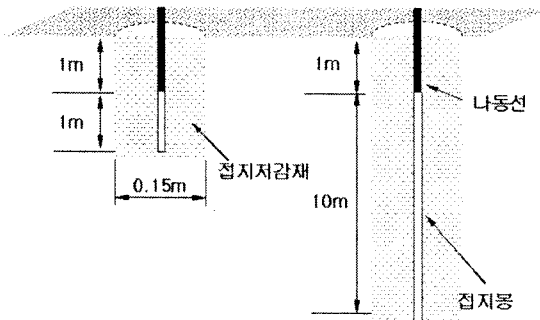
그림 4는 접지임피던스 측정을 위해 접지전극에 인가한 시험전류와 전극에서 측정된 GPR과 필터를 통과한 인가전류 및 접지전위상승 파형의 예를 보여주고 있다.



(a) 필터링 전 (b) 필터링 후
〈그림 4〉 인가전압과 시험전류

2.3 접지임피던스 측정

위에서 제작한 접지임피던스 측정기를 사용하여 1[m] 접지봉과 10[m] 봉 전극에서의 접지임피던스를 측정하여 제작한 인버터의 성능을 시험하였다. 실험은 D사의 접지실험장에 기 시설되어 있는 1[m] 접지봉과 10[m] 봉 전극의 접지임피던스를 측정하였다.

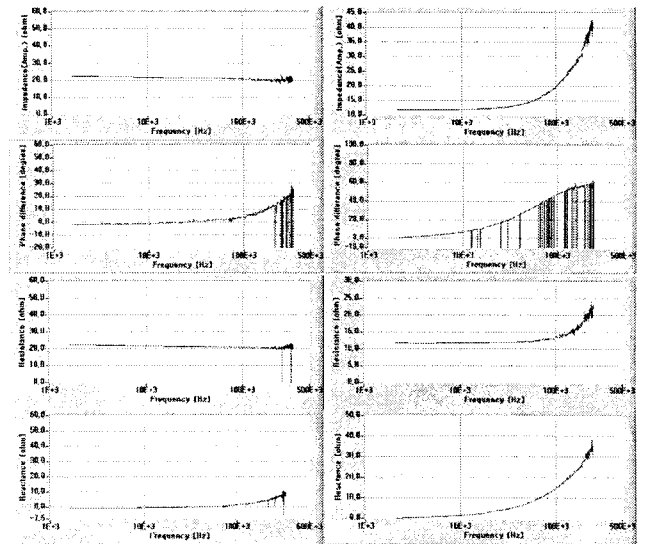


(a) 1[m] 접지봉 (b) 10[m] 봉전극
〈그림 5〉 대상전극

대상전극은 그림 5와 같이 1[m] 접지봉과 10[m] 봉전극을 지표면과 수직으로 지름 15[cm] 크기로 보링한 후 접지전극을 1[m] 길이로 묻고 60[mm] 나동선을 연결하여 인출한 후 접지저감제를 사용하여 배우기를 하였다. 접지임피던스는 전위보조전극과 전류보조전극을 사용하여 실험대상 접지전극을 중심으로 전위강화법을 사용하여 측정하였다. 측정전류는 본 연구에서 개발한 가변주파수 인버터를 사용하여 설정된 시간동안 주파수를 선형적으로 제어하며 인가하였다. 구형파 측정전류의 주파수를 5~200[kHz]의 범위에서 가변시키면서 측정대상인 접지전극(E)과 전류보조전극(C) 사이에 인가하여 전위보조전극(P)에 대한 접지전극(E)의 전위상승을 측정하였다. 전위보조전극은 1[m] 접지봉 실험의 경우 측정대상 접지전극으로부터 12[m] 지점에 길이 1[m]의 접지봉을 사용하여 시설하였으며, 전류보조전극은 전위보조전극 반대 방향으로 12[m] 지점에 길이 1[m]의 봉상접지전극 3조를 병렬로 연결하여 시설하였다. 이 때 전위분포곡선을 측정하여 전위보조전극과 전류보조전극의 위치가 측정값에 영향을 미치지 않음을 확인하였다. 10[m] 봉전극의 경우 전위보조전극을 50[m] 지점에 시설한 후 전류보조전극을 12[m] 떨어진 지점에서 시설하여 시험전류를 인가하였다.

인가전류의 기본과 성분의 크기는 약 1[A] 미만이며, 이 인가전류에 의하여 접지전극에 나타나는 전위상승 파형의 기본과 성분의 크기는 그림 4에서 알 수 있듯이 약 60[V]로 측정되었다. 따라서 측정된 인가전류와 접지전극의 전위상승을 amplitude값으로 측정하여 산출한 접지임피던스의 크기는 설정된 일정시간 동안 인버터의 주파수를 증가시키면서 측정된 데이터의 시간에 따른 그래프를 그림 6에 나타내었다. 접지임피던스의 측정과정에서 시간에 따라 변동시켜 주는 요소는 주파수이다. 주파수의 변동에 따라 대역통과 필터의 통과대역이 결정되면, 접지전극의 전위상승 파형과 인가전류 파형으로부터 접지임피던스의 연산에 필요한 파라미터가 얻어지며, 접지임피던스의 크기와 위상이 결정된다. 접지임피던스의 크기와 위상으로부터 저항 성분과 리액턴스 성분의 크기가 계산되어 그래프로 나타내어진다. 이러한 일련의 과정들은 설정한 시간동안 누적되는 데이터에 의해 표현되며, A/D변환기와 연산 프로그램 내에서 변수를 모두 시간으로 설정하여 연속적으로 수행된다.

두 전극 모두 수 [kHz] 이하의 주파수에 대한 접지임피던스는 저항성 성분이 주로 나타나는 것을 알 수 있고 수십 [kHz]를 넘는 주파수에서는 리액턴스의 영향이 나타났는데 길이가 10[m]인 봉전극은 200[kHz]가 넘는 주파수에서 리액턴스가 약 38[Ω] 정도로 크게 나타나면서 접지저항인 12[Ω]에 비해 임피던스가 크게 증가하게 되었다. 1[m] 접지봉의 경우는 접지저항이 약 22[Ω] 정도로 나타났으나 주파수가 증가하면서 임피던스가 2[Ω] 정도 낮아지는 결과를 볼 수 있었는데 이는 주파수가 증가하면서 접지전극과 대지사이의 커패시턴스에 의해 저항성 성분이 낮아지면서 접지임피던스가 약간 감소하다가 수백kHz 대역을 넘어서면서 리액턴스 성분이 증가하면서 임피던스가 증가하는 양상을 나타내었다.[4-5]



(a) 1m 접지봉 (b) 10m 봉전극
〈그림 6〉 각 전극에서의 주파수 변화에 따른 임피던스, 위상, 저항성분, 리액턴스성분

3. 결 론

본 연구에서는 접지시스템의 임피던스 특성을 평가하여 뇌보호용 접지설계에 활용하기 위한 가변주파수 인버터형 측정기를 개발하였다. 개발한 접지임피던스 측정기를 이용하여 실제 접지시스템의 접지임피던스 성능 평가를 수행하였으며, 임피던스 차원의 성능평가가 뇌보호 설계에 필수적임을 확인했다.

본 연구는 산업자원부 자원에 의하여 기초전력연구원(과제번호 : R-2005-7-143) 주관으로 수행된 과제임.

〔참 고 문 헌〕

- [1] A. D. Papalexopoulos, A. P. Meliopoulos, "Frequency Dependent Characteristics of Grounding System", IEEE Trans. on PAS, Vol. 100, No. 4, pp. 1918~1922, 1981
- [2] 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
- [3] R. B. Standler, Protection of Electronic Circuits from Overvoltages, John Wiley & Sons, pp104~108, 1989
- [4] R. Verma, D. Mukhedkar, "Fundamental Considerations and Impulse Impedance of Groundings", IEEE Trans. on PAS, Vol. 100, No.3, pp.1023~1030, 1981
- [5] IEEE Std. 80-1986, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE Inc, pp.277~284, 1986