

가변주파수 및 임펄스 전류를 이용한 과도접지임피던스 분석

(An Analysis Method for the Transient Ground Impedance Using Variable Frequency Current and Lightning Impulse)

조성철 · 임주홍 · 이태형

(Sung-Chul Cho · Ju-Hong Eom · Tae-Hyung Lee)

Abstract

This paper presents an analysis method of transient ground impedance using the lightning impulse and variable frequency currents. The transient ground impedance strongly depends on the configuration and size of grounding electrodes and the shapes of impulse currents, and the inductance of grounding electrodes has a significant affect on the transient impedance of the grounding system. There are some differences between the effective impulse ground impedance which was introduced some papers and the transient ground impedance. The transient ground impedance measured from the peak value of impulse voltage and the peak value of impulse current is more reliable than the effective impulse ground impedance.

1. 서론

낙뢰에 의한 사고의 증대로 접지시스템의 과도접지임피던스에 많은 관심이 증대되고 있다. 과도접지임피던스는 접지시스템의 특성을 구분짓는 중요한 요소이며, 기존의 접지저항만큼 과도접지임피던스의 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 과도접지임피던스의 정확한 정의가 아직 이루어지지 않은 상태로 남아있으며 지역별로 다른 정의로 과도접지임피던스를 나타내고 있다.

접지시스템의 과도접지임피던스를 결정하는 중요한 요소들은 접지저항, 접지전극 자체의 저항 및 인덕턴스 그리고 토양의 정전용량 등이다[1]. 특히 과도접지임피던스는 접지전극의 자기인덕턴스와 상호인덕턴스의 영향을 받으므로 동봉을 접지전극으로 사용한 경우 저항과 인덕턴스의 조합으로 전기적 등가회로를 구성할 수 있다. 특히 낮은 대지저항률을 가지는 토양에 접지전극을 시설하는 경우 대지의 커패시턴스성분은 무시되기도 한다[2].

접지전극에 존재하는 인덕턴스는 임펄스 전압과 전류에 위상차를 만들면서 전압의 최대값과 전류의 최대값이 시간차를 나타내게 하는 원인이 된다. 이 때 과도접지임피던스는 크게 세 가지의 경우를 가지게 된다. 기존에는 전압이 최대값을 갖는 지점에서의 임피던스를 정의했던, 실효임펄스접지임피던스가 가장 많이 사용되어 왔다. 하지만 여전히 과도접지임피던스에 실효임펄스접지임피던스를 사용하는 것에 많은 의구심이 남아있

는 실정이다.

이 논문에서는 가변주파수 인버터를 이용한 전류와 임펄스 전류를 이용하여 과도접지임피던스를 구한다. 인덕턴스 성분을 포함한 모의 접지전극에 임펄스 전류를 인가하여 과도접지임피던스의 세 가지 경우를 모두 구한다. 그 이후 가변주파수 인버터를 이용하여 과도접지임피던스를 구하고 서로 비교하여 실효임펄스접지임피던스와 과도접지임피던스의 관계를 분석하였다.

2. 본론

2.1 과도접지임피던스

접지전극에 임펄스 전류를 인가한 후 측정된 전압과 전류를 통하여 과도접지임피던스를 측정하게 된다. 접지전극이 순수 저항성분으로만 이루어져있다면 전압과 전류의 위상차이는 없게 되며 과도접지임피던스는 고유의 값을 갖게 될 것이다. 하지만 접지전극에 포함되어 있는 인덕턴스는 전압과 전류 파형 사이에 위상 차이를 만든다. 전압의 최대값과 전류의 최대값은 서로 다른 시간에 발생하게 되므로 이 때 과도접지임피던스는 다음과 같이 크게 세 가지의 경우로 나뉘게 된다. 첫 번째는 전압의 최대값과 전류의 최대값을 이용하여 구하는 방법(Z), 두 번째는 전압의 최대값과 전압의 최대값을 갖는 시간(t_1)에서의 전류값을 이용하여 구하는 방법

(Z_2), 마지막으로 전류의 최대값과 전압의 최대값을 갖는 시간(t_2)에서의 전압값을 이용하여 구하는 방법(Z_3)이다. 그림 1은 과도접지임피던스의 세 가지 경우를 나타내고 있다.

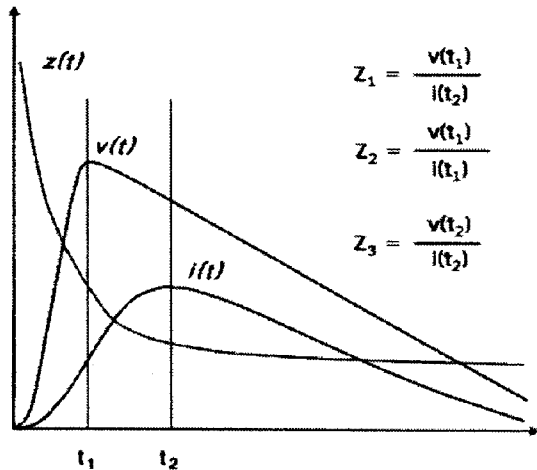


그림 1. 과도접지임피던스
Fig. 1. Transient ground impedance

기존의 실효임펄스접지임피던스(Z_2)는 두 번째의 경우인 전압의 최대값과 전압의 최대값을 갖는 시간의 전류값을 이용하여 구한다[3].

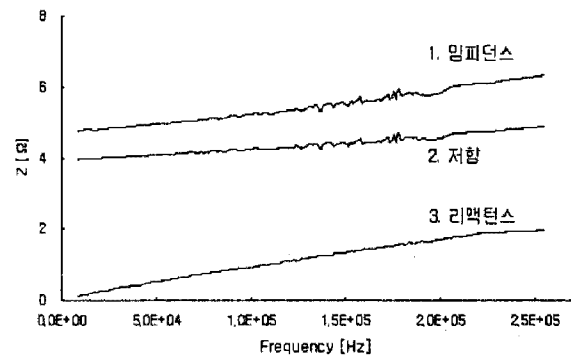
2.2 실험계 구성

주파수에 따른 접지임피던스 측정에는 300 [kHz]까지의 구형파를 발생시키는 가변주파수인버터를 이용하였으며, 측정프로그램은 주파수가 변화하는 동안 연속적으로 전압과 전류를 측정한다. 동시에 FFT와 디지털필터를 이용한 전압 및 전류 파형, 그리고 임피던스 값과 저항성분, 리액턴스성분을 동시에 모니터에 출력해 주도록 구성하였다[4]. 측정프로그램은 Visual Studio를 이용하였다. 임펄스 전류를 위한 임펄스발생기는 KeyTek의 장비를 사용하였으며, 차동프로브와 로고스키코일로 전압과 전류를 측정하였다. 측정보드는 NI사의 10 MS/s, 14Bit의 PCI 6115보드를 사용하였으며, 측정 및 분석 프로그램은 LabVIEW를 이용하여 제작하였다. 고주파 노이즈를 줄이기 위해서 디지털 필터를 사용하였으며 측정된 전압과 전류를 이용하여 계산된 서지임피던스를 출력하도록 하였다.

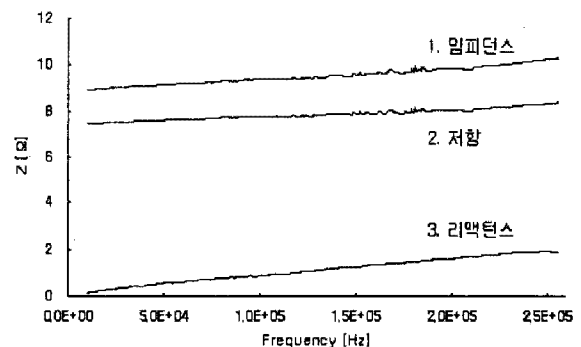
과도접지임피던스의 여러 가지 경우를 모의하기 위하여 순수저항성분과 리액턴스성분으로 4가지의 접지전극을 모의하였다. 무유도저항 5 [Ω], 10 [Ω]과 인덕턴스 19.5 [μH], 97.5 [μH]를 사용하였다.

2.3 가변주파수 전류에 의한 접지임피던스

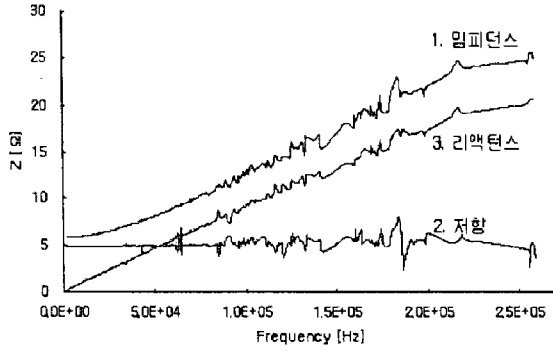
가변주파수 인버터를 이용하여 약 300 [kHz]까지 주파수를 변화시키면서 접지임피던스를 구하였다[5]. 그림 2는 4가지 경우의 접지임피던스를 보여주고 있다. 무유도 저항 5 [Ω] 인 경우 리액턴스는 매우 작은 값을 보이고 있는 것을 볼 수 있다. 임피던스는 저항성분의 영향을 크게 받는 것을 볼 수 있다. 무유도 저항 10 [Ω] 역시 주파수가 증가하면서 리액턴스의 값이 약간 증가하긴 하지만 임피던스는 저항의 값에 가장 큰 영향을 받을 수 있다. 하지만 인덕턴스 19.5 [μH]인 경우에 주파수가 50 [kHz]를 넘어서면서부터 리액턴스가 저항값보다 커지기 시작함을 볼 수 있다. 주파수가 증가하면서 임피던스는 크게 증가함을 알 수 있는데 이는 인덕턴스의 영향임을 한눈에 알 수 있다. 리액턴스의 값에 비해 저항성분의 값은 거의 일정함을 알 수 있다. 이는 무유도 저항의 그래프 (a), (b)와는 큰 차이를 보이는 결과이다. 인덕턴스 97.5 [μH]인 경우에는 임피던스의 값은 더욱 커짐을 알 수 있다. 리액턴스의 값은 수 [kHz]에서 저항값 보다 커지기 시작했으며 주파수의 증가에 따라 두 값의 차이는 급격하게 나타났다. 저항값 역시 주파수의 변화에 거의 영향을 받지 않고 일정함을 알 수 있다.



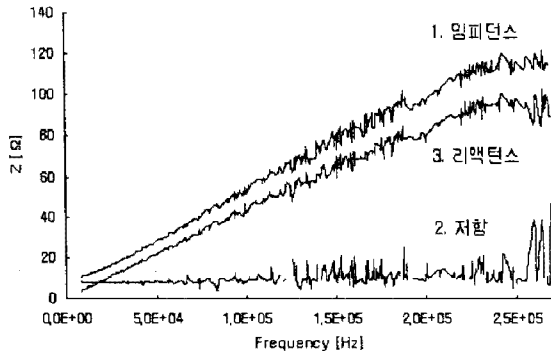
(a) 저항 5 [Ω]



(b) 저항 10 [Ω]



(c) 저항 6 [Ω] + 인덕턴스 19.5 [μH]



(d) 저항 10 [Ω] + 인덕턴스 97.5 [μH]

그림 2. 가변주파수를 이용한 접지임피던스
Fig. 2. Ground Impedance using variable frequency

2.4 임펄스전류에 의한 접지임피던스

임펄스 발생기를 이용하여 너임펄스 전류 8/20 [μ s]을 각각의 경우에 인가하였다. 그림 3은 측정프로그램에서 각각의 전압과 전류의 파형을 나타내주고 있으며 전압과 전류의 위상차이를 한눈에 알 수가 있다. 무유도 저항은 순수 저항성분만을 가지고 있어서 전압과 전류에 위상차이가 발생하지 않음을 알 수 있다. 이때 서지임피던스의 세 가지 경우 Z_1 , Z_2 , Z_3 은 모두 471 [Ω]으로 같은 값을 갖는다. 무유도 저항 10 [Ω]인 경우 역시 Z_1 , Z_2 , Z_3 모두 8.75 [Ω]로 같은 값을 갖는다. 하지만 그림 3 (c)와 (d)에서는 인덕턴스의 성분이 포함이 되면서 전류의 상승시간이 지연되는 것을 볼 수 있다.

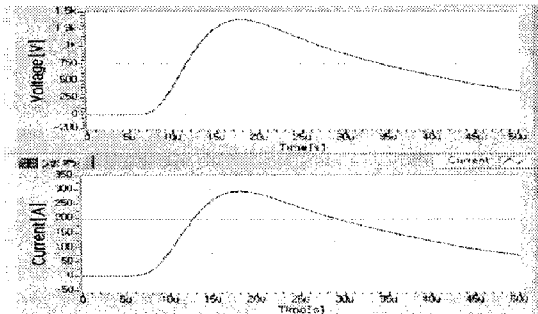


그림 3. 임펄스전류를 이용한 접지임피던스
Fig. 3. Ground Impedance using impulse current

인덕턴스 19.5 [μ H]인 경우에 전압의 최대값과 전류의 최대값의 시간차이가 발생하여 세 가지 임피던스의 값은 $Z_1 = 6.04$ [Ω], $Z_2 = 6.63$ [Ω], $Z_3 = 5.85$ [Ω] 이 된다. 또한 인덕턴스 97.5 [μ H]인 경우도 $Z_1 = 12.69$ [Ω], $Z_2 = 19.17$ [Ω], $Z_3 = 9.72$ [Ω]로 모두 다른 값이 된다.

2.5 과도접지임피던스의 비교

지금까지 가변주파수 및 임펄스 전류에 의하여 접지 임피던스를 구하였다. 서로 다른 이 두 방법으로 구한 접지임피던스는 임펄스 전류의 주파수성분을 찾아서 가변주파수법을 이용하여 측정된 접지임피던스와 비교할 수 있다. 예를 들어 측정된 임펄스 전류의 상승시간이 8 [μ s]이면 한 주기는 32 [μ s]라고 가정할 수 있다. 이때 주파수는 주기의 역수 값을 통해 얻을 수 있으며

그 값은 약 30 [kHz]이다. 그 이후에 가변주파수를 이용하여 측정된 접지임피던스, 그림 2에서 주파수가 30 [kHz] 일 때의 임피던스 값을 찾아 임펄스 전류에 의하여 구해진 접지임피던스 값과 비교를 한다.

무유도 저항의 전류 상승시간은 약 10 [μ s]로 한 주기는 약 40 [μ s]가 되며, 주파수는 25 [kHz]가 된다. 인덕턴스 19.5 [μ H]의 전류 상승시간은 약 12 [μ s]로 한 주기는 약 48 [μ s]가 되며, 주파수는 20 [kHz]가 된다. 인덕턴스 97.5 [μ H]의 전류 상승시간은 약 17 [μ s]로 한 주기는 약 68 [μ s]가 되며, 주파수는 15 [kHz]가 된다. 표 1은 각 경우의 과도접지임피던스의 값을 나타내고 있다.

표 1. 과도접지임피던스의 비교

Table 1. Comparison of transient ground impedance

	Z^*	Z_1	Z_2	Z_3
R: 5 [Ω]	4.85	4.71	4.71	4.71
R: 10 [Ω]	9.03	8.75	8.75	8.75
R: 6 [Ω] + L: 19.5 [μ H]	6.15	6.05	6.64	5.85
R: 10 [Ω] + L: 97.5 [μ H]	12.57	12.69	19.17	9.72

◎ Z^* : 가변주파수 전류에 의한 접지임피던스

표 1의 과도접지임피던스를 서로 비교해보았을 때 가변주파수전류에 의한 접지임피던스는 Z_1 , 즉 전압의 최대값과 전류의 최대값을 이용하여 임피던스를 구한 값과 가장 근접한 것을 알 수 있다. 기존의 실효임펄스임피던스인 Z_2 와는 값이 큰 차이가 있음을 볼 수 있다. 전류의 최대값을 갖는 시간에서의 임피던스 Z_3 역시 많은 차이를 보이고 있다.

이는 과도접지임피던스를 평가하고 정의하는데 기존의 실효임펄스임피던스는 실제의 과도접지임피던스와는 다르다는 것을 보여주고 있으며 전압의 최대값과 전류의 최대값을 이용하여 하는 것이 보다 정확하게 접지임피던스를 평가할 수 있는 방법이라고 할 수 있다.

3. 본론

본 논문은 기존의 실효임펄스임피던스가 실제 과도접지임피던스를 얼마나 효과적으로 정확하게 나타내고 있는가에 대한 분석과 더불어 보다 효과적인 과도접지임피던스 평가방법에 대하여 실험적인 결과를 토대로 제시하였다. 가변주파수 인버터를 이용하여 가변주파수 전류에 의한 접지임피던스를 구하고, 임펄스 전류에 의

한 접지임피던스를 구하여 두 가지 경우의 접지임피던스를 비교하였다. 저항성분과 인덕턴스를 포함한 모의 접지전극을 이용하여 가변주파수법에 의한 임피던스 값과 임펄스 전류에 의한 임피던스를 측정하였다. 이 두 값을 비교 했을 때 기존의 실효임펄스임피던스의 값보다는 전압의 최대값과 전류의 최대값을 이용하여 과도접지임피던스를 구한 임피던스 값이 서로 근접함을 확인하였다.

본 연구는 기초전력연구원(R-2005-7-143) 주관으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] M. Ramamoorthy, M. M. Ba \ddot{u} r Narayanan, S. Parameswaran and D. Mukhedkar, "Transient Performance of Grounding Grids", IEEE Trans. Vol.PD-4, pp.2053~2058, No.4, 1989.
- [2] T. Takahashi, "A Part of Grounding for Lightning Protectino Technique", J. IEEE of Japan, Vol.9, pp.671~676, 1989.
- [3] IEEE Std 81.2-1991, "IEEE guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Inter connected Grounding System", IEEE Inc., pp.17~31, Dec, 1991.
- [4] 이복희, 이수봉, 이태형, 정현욱, 정동철, "접지전극의 형상에 따른 과도접지임피던스", 조명전기설비학회, 2006.
- [5] 엄주홍, "접지시스템 임피던스의 주파수 의존성을 평가하는 새로운 분석기법", 인하대학교, 2004.