

# 그리드접지와 심매설 접지전극의 과도임피던스

(Transient Impedance of the Ground Grid and Deeply-driven Ground Rod)

이복희 · 이수봉\* · 이태형 · 정현욱 · 정동철 · 길형준

(Bok-Hee Lee · Su-Bong Lee · Tae-Hyung Lee · Hyun-Uk Jung · Dong-Cheol Jeong · Hyoung-Jun Gil)

## Abstract

This paper presents the transient behaviors of grounding system impedance against lightning impulse currents. The dynamic characteristics of the deeply driven ground rod and grounding grid subjected to the impulse current with various rise time were investigated. It was found that 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 ground impedance of grounding system in the short time domain.

*Keywords: Transient ground impedance, effective ground impedance, surge protection, GPR*

## 1. 서 론

접지의 목적은 접지시스템에 발생한 이상전압, 전류를 대지로 방류하여 전위상승을 억제하는 것과 전위의 균등화를 도모하는 것이다. 낙뢰가 발생한 대지의 어느 지점에 뇌격전류가 유입될 때 그 지점 근방의 전위가 상승하고 전위경도를 가지게 된다.

접지시스템의 임펄스임피던스는 낙뢰에 대한 전기설비의 보호에 있어서 중요한 요소이며, 접지시스템의 성능을 임펄스임피던스로 분석하는 연구가 이루어지고 있다. 뇌격전류에 주안점을 둔 접지시스템에서의 임펄스 임피던스 특성은 대지저항률, 접지전극의 형상과 치수 및 뇌격전류의 특성에 따라 매우 다양하다. 접지시스템의 임펄스임피던스 특성에 관한 연구는 아직 부족하며, 특히 실제 접지시스템의 경우에 대한 특성은 더욱 미흡한 실정이다. 그러므로 접지시스템의 과도임피던스 특성에 대한 면밀한 검토가 요구되며, 실효임펄스접지임피던스로 평가할 필요가 있다.<sup>[1,2]</sup>

따라서 본 논문에서는 도심과 같은 협소한 장소나 표면 대지저항률이 높은 곳에서 주로 사용되는 심매설 봉상 접지전극과 건물 바닥의 접지나 등전위화 접지에 주로 사용되는 그리드 접지전극에 임펄스전류를 인가한 경우 접지전극에 나타나는 전위상승과 실효임펄스접지임피던스의 특성을 측정하고 분석하였다. 인가된 임펄스전류의 상승시간 변동에 따라 나타나는 전위상승과 접지임피던스의 결과를 실험적으로 검토하고, 그리드 접지전극과 심매설 봉상 접지전극이 병렬로 접속된 경우 임펄스전류에 대한 효과를 검토하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험계의 구성

전위강하법은 대형 접지시스템의 접지임피던스를 측정하는 기본적인 방법이지만 전자유도작용의 영향 때문에 임펄스전류 또는 고주파를 가지는 시험전류를 측정 전류로 하는 경우에는 적절하지 않다. 즉, 측정대상의 접지전극으로부터 전류보조전극을 연결하는 도선과 전위보조전극 사이에 발생하는 전자유도결합에 의해서 오차가 발생하게 된다. 그러므로 본 연구에서는 IEEE 81.2-1991에서 권고하고 있는 그림 1과 같이 전류보조전극을 전위보조전극과 90° 각도로 배치하는 수정된 전위강하법을 적용하였다.<sup>[3]</sup>

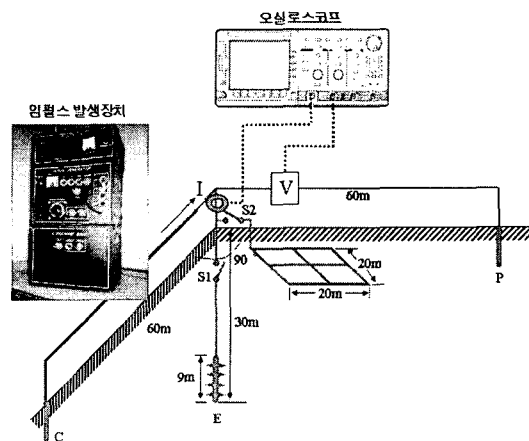


그림 1. 접지임피던스의 측정회로  
Fig. 1. Circuit for measuring the ground impedance

심매설 봉상 접지전극의 경우 보링공법을 이용하여 9 [m] 봉상 접지전극을 지표면으로부터 30 [m]의 깊이에 수직으로 설치하고, 100 [mm] 나동선 2가닥으로 인출하였다. 또한 그리드 접지전극의 경우 20×20 [m] 크기의 100 [mm] 나동선으로 구성된 주 그리드를 지표면으로부터 0.75 [m] 깊이에 매설하였다. 측정대상 접지전극(E)으로부터 전위보조전극(P)과 전류보조전극(C)은 각각 60 [m] 떨어진 지점에 설치하였으며, 전류보조전극은 낮은 접지저항을 얻기 위해 1 [m] 봉상 접지전극 8개를 병렬로 연결하였다. 또한 임펄스전류를 인가시키는 전류보조선으로 38 [mm] GV전선을 사용하였다.

## 2.2 측정방법

임펄스전류를 시험용 접지전극에 인가하기 위해 조합형 임펄스 전압·전류 발생장치를 사용하였다. 충전용 커패시턴스의 용량과 최대 충전전압은 각각 30 [μF]과 10 [kV]이다. 20 [Hz]~100 [kHz]의 주파수 대역을 갖는 변류기를 이용하여 전류를 측정하였으며, 접지전극의 전위는 75 [MHz]의 주파수 대역을 갖는 능동성 차동프로브로 측정하였다. 인가전류와 접지전극의 전위 파형은 500 [MHz], 2.5 [GS/s] 분해능의 오실로스코프로 관측하였다. 오실로스코프의 연산기능을 이용하여 접지전극의 전위 파형을 인가전류의 파형으로 나누어 임펄스임피던스 파형을 산출하였다.

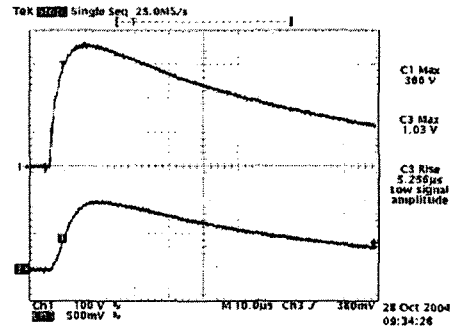
## 3. 결과 및 검토

### 3.1 과도접지임피던스

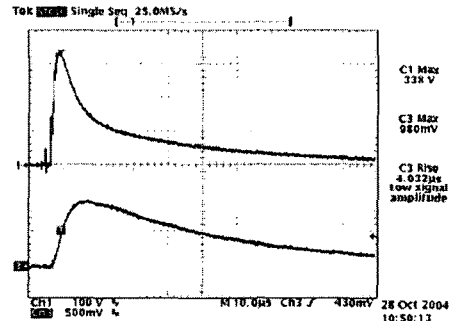
길이 30 [m]인 심매설 봉상 접지전극, 20×20 [m] 그리드 접지전극과 두 접지전극이 병렬로 연결된 경우의 정상상태 접지저항은 각각 3.8, 1.6, 1.3 [Ω]이다. 정상상태 접지저항은 길이 30 [m]인 심매설 봉상 접지전극이 가장 크게 나타났고, 30 [m] 심매설 봉상 접지전극과 20×20 [m] 그리드 접지전극을 병렬로 연결한 경우가 가장 낮게 나타났다. 접지전극에 인가한 임펄스 전류와 전위상승의 전형적인 파형을 그림 2에 나타내었다.

인가된 임펄스전류의 피크값과 상승시간은 각각 100 [A], 8 [μs]이다. 접지전극에 유도된 전위 파형의 상승시간은 인가전류의 상승시간보다 약간 빠르게 나타났다. 이러한 인가전류와 전위의 상승시간의 차이는 시험용 접지전극의 회로요소가 저항과 인덕턴스로 이루어졌기 때문이며, 인덕턴스의 영향이 크게 작용하게 되면 위상차는 더욱 커지게 된다. 특히, 전위 파형은 시험용 접지전극의 접지저항과 인덕턴스에 강하게 의존한다. 길이 30 [m]의 심매설 봉상 접지전극에서 전위 파형의 상승시간은 20×20 [m] 그리드 접지전극에 비해 다소 빠르게

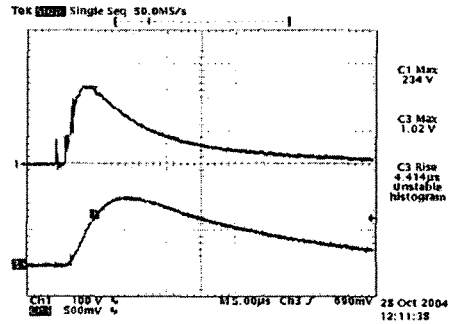
나타났다. 이는 길이 30 [m]인 심매설 봉상 접지전극의 높은 접지저항이 원인이며, 20×20 [m] 그리드 접지전극의 경우 대부분 접지전극 자체의 인덕턴스 성분이 지배적인 것으로 나타났다.



(a) 30 m 심매설 봉상 접지전극



(b) 20×20 m 그리드 접지전극



(c) 30 m 심매설 봉상 접지전극과 20×20 m 그리드 접지전극의 병렬연결

- 1: 전위상승 [100 V/div, 10 μs/div]
- 3: 인가전류 [50 A/div, 10 μs/div]

그림 2 시험용 접지전극의 형상별 인가전류와 전위 파형

Fig. 2. Typical waveforms of the incident impulse current and potential rise of the different test grounding electrodes

과도접지임피던스는 시험용 접지전극의 전위를 인가

전류로 나누어 산출하였다. 접지전극의 형상에 따른 과도접지임피던스 파형( $Z-t$ 곡선)을 그림 3에 나타내었다. 일반적으로 과도접지임피던스는 접지전극의 형상과 크기, 접지도체의 인덕턴스, 대지저항률, 인가전류의 크기와 형태 등 여러 가지 요인의 복합적 효과에 의존한다. 과도접지임피던스는 20 [ $\mu s$ ] 이후부터 지수 함수적으로 감소하여 정상상태 접지저항 값으로 수렴하였다. 길이 30 [m]인 심매설 봉상 접지전극의 과도접지임피던스는 20×20 [m] 그리드 접지전극에 비해 다소 높게 나타났으며, 봉상 접지전극과 그리드 접지전극을 병렬 연결하였을 때 가장 낮게 나타났다.

20 [ $\mu s$ ] 이전의 시간 범위에서 과도접지임피던스는 큰 값을 가지는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 과도접지임피던스의 인덕턴스 성분이 우세하게 작용한 것이며, 시간이 지남에 따라 주파수의 영향을 덜 받게 되는 저항 성분에 의하여 임피던스는 일정한 값으로 수렴한다. 특히, 봉상 접지전극과 그리드 접지전극이 6 [ $\mu s$ ]를 전후로 서로 교차하는 것을 볼 수 있다. 이는 20×20 [m] 그리드 접지전극의 경우 빠른 상승시간에서 인덕턴스의 영향이 뚜렷이 나타나며, 길이 30 [m]인 심매설 봉상 접지전극의 경우 주로 인덕턴스의 영향보다는 저항 성분의 영향이 지배적으로 나타났기 때문이다.

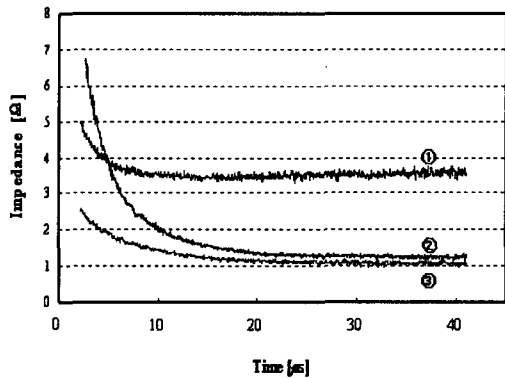


그림 3. 시험용 접지전극의 형상별  $Z-t$  곡선 (①: 심매설 봉상 접지전극, ②: 그리드 접지전극, ③: 심매설 봉상 접지전극 + 그리드 접지전극)

Fig. 3.  $Z-t$  curves of different the test grounding electrodes(①: Ground rod, ②: Ground Grid, ③: Ground rod+Ground Grid)

### 3.2 실효임펄스접지임피던스

임펄스접지임피던스는 인가전류와 접지전극의 전위로부터 얻을 수 있으며, 임펄스전류의 인가에 대한 과도임피던스의 개략도를 그림 4에 나타내었다. 접지시스템의 주요 목적이 계통의 고장전류 및 뇌격전류에 의해 나타나는 전위상승을 제한하는 것이므로 접지전극의 전

위가 최대인 상태에서의 접지임피던스는 중요한 의미를 가진다. 그러므로 실효임펄스접지임피던스  $Z_{eff}$ 는 전위가 최대인 점에서의 임피던스로 정의된다.<sup>[4,5]</sup>

$$Z_{eff} = \frac{V_{max}}{I} \quad (2)$$

그림 4에서  $V_{max}$ 는 접지전극의 전위 파형의 최대값이며,  $I$ 는 전위가 최대인 순간의 전류이다.

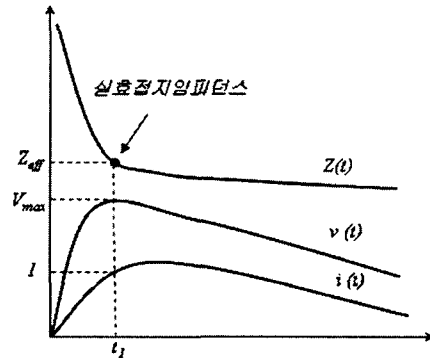


그림 4. 실효임펄스접지임피던스의 정의  
Fig. 4. Definition of the effective impulse ground impedance

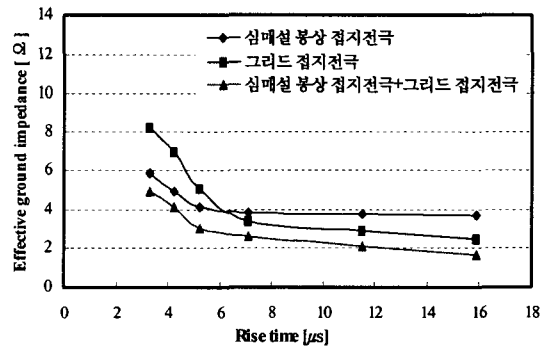


그림 5. 시험용 접지전극의 세 가지 형태에서 인가전류의 상승시간에 따른 실효임펄스접지임피던스

Fig. 5. Effective impulse ground impedance against the rise time of the injected impulse current for three test grounding electrodes

임펄스전류의 상승시간에 따른 접지전극의 실효임펄스접지임피던스를 측정하여 접지전극의 형상별로 도시한 결과를 그림 5에 나타내었다. 실효임펄스접지임피던스는 심매설 봉상 접지전극과 그리드 접지전극을 병렬로 연결하였을 때 가장 낮게 나타났다. 실효임펄스접지임피던스는 인가전류의 상승시간과 접지전극의 형상에 강하게 의존하는 것으로 나타났다. 심매설 봉상 접지전극의 실효임펄스접지임피던스는 6 [ $\mu s$ ]이전의 빠른 상승시간에서 그리드 접지전극에 비해 다소 낮게 나타났지만, 6 [ $\mu s$ ]이후로 갈수록 더 높은 값으로 나타났다. 이것

은 빠른 상승시간에서 실효임펄스접지임피던스는 주로 그리드 접지전극의 낮은 접지저항과 상대적으로 인덕턴스 성분의 영향이 지배적으로 작용한 결과이며, 느린 상승시간에서는 심매설 봉상 접지전극의 높은 접지저항 값의 영향이 지배적으로 나타났기 때문이다. 본 실험에서 길이 30 [m]인 심매설 봉상 접지전극의 경우가 인가전류의 상승시간에 따른 영향이 그리드 접지전극에 비해 상대적으로 적으며, 심매설 봉상 접지전극과 그리드 접지전극을 병렬로 연결하였을 때 실효임펄스접지임피던스 특성의 변동이 적은 것으로 나타났다. 결국 접지저항과 접지도체의 인덕턴스 성분의 저감이 접지시스템의 실효임펄스접지임피던스를 줄이는 핵심적 요소임을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 심매설 봉상 접지전극과 그리드 접지전극에 임펄스전류가 인가된 경우 나타나는 전위상승과 실효임펄스접지임피던스의 특성을 실험적으로 측정·분석하였다.

과도접지임피던스는 인가전류의 상승시간과 접지전극의 크기 및 형태에 강하게 의존하며, 실효임펄스접지임피던스는 접지전극의 인덕턴스와 접지저항에 상당히 의존적이다. 특히 심매설 봉상 접지전극과 그리드 접지전극을 병행해서 설치하는 것이 과도접지임피던스의 저감에 매우 효과적이며, 접지시스템의 적절한 과도접지임피던스를 얻기 위한 최선의 방법은 접지저항과 인덕턴스를 동시에 감소시키는 것이 효과적임 밝혀졌다.

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성사업에 의해 작성되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] T. Takahashi, "A Part of Grounding for Lightning Protection Technique", J. IEE of Japan, Vol.9, pp.671~676, 1989.
- [2] Bok-Hee Lee, Dong-Cheol Jeong, Su-Bong Lee and Keun-Chul Chang, "Effective Impulse Impedances of Deeply Driven Grounding Electrodes", KIEE International Trans on EA, vol. 4-C, no. 5, pp. 207214, 2004.
- [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] Z. Stojkovic, M.S. Savic, J.M. Nahman, D. Salamon and B. Bukorovic, "Sensitivity Analysis of Experimentally Determined Grounding Grid Impulse Characteristics", IEEE Trans., vol. PD-13, no. 4, pp.11361141, Oct. 1998
- [5] B. H. Lee, J. S. Park and S. C. Lee, "Experimental Investigations of Transient Impedances of Some Grounding Systems", 1997 Japan-Korea Joint Syms.ED & HVE, pp.237~240, 1997