

인하도선 길이에 따른 과도접지임피던스 특성

이복희, 정동철, 이수봉, 이태형, 정현욱, 이규선, 이승철*
 인하대학교, (주)한진중공업*

Effects of Length of Down Conductor on Transient Ground Impedance

B.H Lee, D.C Jeong, S.B Lee, T.H Lee, H.U Jung, K.S Lee, S.C Lee*
 Inha University, Hanjin Heavy Industries & Construction*

Abstract - This paper presents the transient impedance behaviors of grounding systems to lightning impulse current. The potential rise and effective impulse ground impedance of the test grounding electrodes were measured as a function of the rise time of impulse currents and lengths of down conductor. The transient ground impedances strongly depend on the configuration and size of grounding electrodes, the impulse current shapes and lengths of down conductor, and the inductance of reduce of grounding electrode inductance is an important factor to improve the transient ground impedance.

가 발생하게 된다. 그러므로 본 연구에서는 IEEE 81.2-1991에서 권고하고 있는 그림 1과 같이 전류보조전극을 전위보조전극과 90° 각도로 배치하는 수정된 전위강하법을 적용하였다.^[3]

1. 서 론

건축물에서 접지를 하는 목적은 이상전압 및 전류를 신속하게 대지로 방류하고, 전위상승의 억제하는 것이다. 따라서 낙뢰로 인한 뇌격전류 유입시 임펄스임피던스는 전기설비의 보호에 있어서 중요한 요소이며, 접지시스템의 성능을 임펄스임피던스로 분석하는 연구가 이루어지고 있다. 뇌격전류에 주안점을 둔 접지시스템에서의 임펄스임피던스 특성은 대지저항률, 접지전극의 형상과 치수 및 뇌격전류의 특성, 인하도선의 길이에 따라 매우 다양하다. 접지시스템의 임펄스임피던스 특성에 관한 연구는 아직 부족하며, 특히 실제 접지시스템의 경우에 대한 특성 파악기법은 더욱 미흡한 실정이다. 따라서 접지시스템의 과도임피던스 특성에 대한 면밀한 검토가 요구되며, 실효임펄스접지임피던스로 평가할 필요가 있다.^[1,2] 본 논문에서는 다양한 형상의 접지전극에 인하도선을 포함하여 임펄스전류에 의한 전위상승과 실효임펄스접지임피던스의 특성을 측정하고 분석하였다. 인가된 임펄스전류의 상승시간 변동에 따라 나타나는 전위상승과 접지임피던스의 결과를 실험적으로 검토하고, 그리드 접지전극과 봉상 접지전극이 병렬로 접속된 경우 임펄스전류에 대한 효과를 검토하였다. 또한 인하도선의 길이에 따른 영향을 분석하기 위해 접지전극에 인하도선으로 사용되는 38 [mm] GV전선을 설치한 경우 과도 임피던스 특성을 분석하였다.

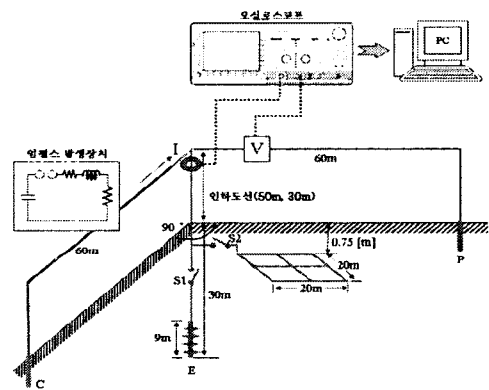


그림 1 접지임피던스의 측정회로
 Fig. 1 Test circuit of ground impedance

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 20x20 [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 사용하였고, 인하도선의 영향을 평가하기 위하여 50 [m], 30 [m] 길이의 38 [mm] GV 전선을 인하도선으로 설치하였다.

2.2 측정방법

임펄스전류를 시험용 접지전극에 인가하기 위해 조합형 임펄스 전압-전류 발생장치를 사용하였다. 충전용 커패시터의 정전용량과 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 대역 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.

2. 실 험

2.1 실험계의 구성

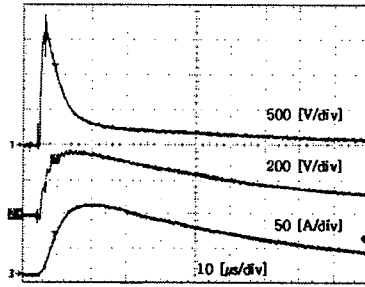
전위강하법은 대형 접지시스템의 접지임피던스를 측정하는 기본적인 방법이지만 전자유도작용의 영향 때문에 임펄스전류 또는 고주파를 가지는 시험전류를 측정전류로 하는 경우에는 오차를 가져올 수 있다. 즉, 측정대상의 접지전극으로부터 전류보조전극을 연결하는 도선과 전위보조전극 사이에 발생하는 전자유도 결합에 의해서 오차

3. 결과 및 고찰

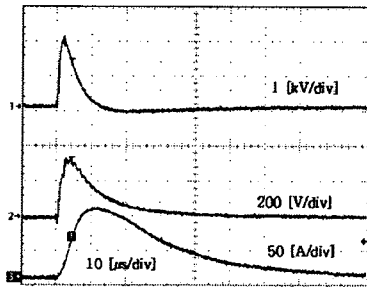
3.1 과도접지임피던스

길이 30 [m]인 봉상 접지전극, 20×20 [m] 그리드 접지전극과 봉상 접지전극과 20×20 [m] 그리드 접지전극이 병렬로 연결된 경우의 정상상태 접지저항은 각각 3.8, 1.6, 1.3 [Ω]이다. 정상상태 접지저항은 길이 30 [m]인 봉상 접지전극이 가장 크게 나타났고, 다음이 20×20 [m] 그리드 접지전극, 30 [m] 봉상 접지전극과 20×20 [m] 그리드 접지전극을 병렬로 연결한 경우의 순으로 나타났다. 여러 가지 길이의 인하도선이 설치된 접지전극에 인가한 임펄스 전류와 전위상승의 전형적인 파형을 그림 2에 나타내었다.

인가된 임펄스전류의 피크값과 상승시간은 각각 100 [A], 8 [μ s]이다. 접지전극에 유도된 전위파형의 상승시간은 인가전류의 상승시간보다 약간 빠르게 나타났다. 이러한 인가전류와 전위 상승시간의 차이는 시험용 접지전극의 회로요소가 저항과 인덕턴스 성분으로 이루어져 있기 때문이다. 따라서 전위파형은 접지저항과 인덕턴스에 강하게 의존한다. 길이 30 [m]의 봉상 접지전극에서 전위파형의 상승시간은 20×20[m] 그리드 접지전극에 비해 다소 빠르게 나타났다. 이는 30 [m]의 봉상 접지전극의 높은 접지저항이 원인이며, 20×20[m] 그리드 접지전극의 경우 대부분 접지전극 자체의 인덕턴스 성분이 지배적인 것으로 나타났다.



(a) 30 m 봉상 접지전극



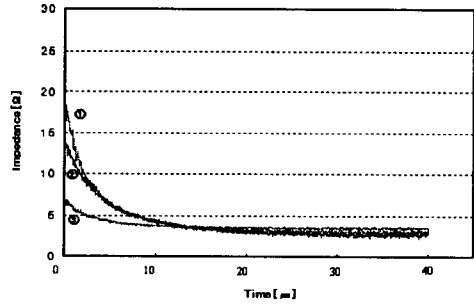
(b) 20×20 m 그리드 접지전극

- 1 : 인하도선 50 m 지점의 전위상승
2 : 인하도선 0 m 지점의 전위상승 , 3 : 인가전류

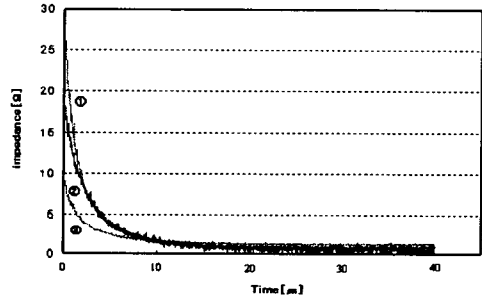
그림 2. 시험용 접지전극의 형상별 인가전류와 전위 파형
Fig. 2. Typical waveforms of the incident impulse current and potential rise for different test grounding electrodes

과도접지임피던스는 시험용 접지전극의 전위를 인가전류로 나누어 산출하였다. 접지전극의 형상에 따른 과도접지임피던스 파형($Z-t$ 곡선)을 그림 3에 나타내었다. 일반적으로 과도접지임피던스는 접지전극의 형상과 크기, 접지도체의 인덕턴스, 대지저항률, 인가전류의 크기

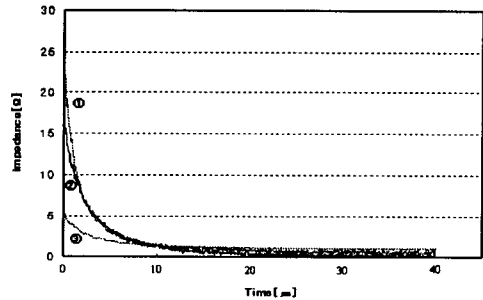
와 형태 등 여러 가지 요인의 복합적 효과에 의존한다. 과도접지임피던스는 10 [μ s] 이전에는 지수 함수적으로 감소하여 정상상태 접지저항 값으로 수렴하였다. 이러한 현상은 과도접지임피던스의 인덕턴스 성분이 우세하게 작용한 것이며, 시간이 흐름에 따라 저항성분에 의하여 임피던스는 일정한 값으로 수렴한다. 그림 3에서 인하도선의 길이가 길수록 과도접지임피던스가 높게 나타났으며, 특히 20×20 [m] 그리드 접지전극은 높은 인덕턴스로 인해 초기 과도임피던스가 높게 나타났다.



(a) 30 m 봉상 접지전극



(b) 20×20 m 그리드 접지전극



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

그림 3. 시험용 접지전극의 형상별 $Z-t$ 곡선 (인하도선의 길이는 ① 50 m, ② 30 m, ③ 0 m)

Fig. 3. $Z-t$ curves of different test grounding electrodes (length of down conductor : ① 50m, ② 30m, ③ 0m)

3.2 실효임펄스접지임피던스

임펄스접지임피던스는 인가전류와 접지전극의 전위로 부터 얻을 수 있으며, 실효임펄스접지임피던스의 정의를 그림 4에 나타내었다. 접지시스템의 주요 목적이 계통의

고장전류 또는 뇌격전류에 의해 나타나는 전위상승을 억제하는 것이므로 접지전극의 전위가 최대인 상태에서의 접지임피던스는 중요한 의미를 가진다. 그러므로 실효임펄스접지임피던스 Z_{eff} 는 전위가 최대인 점에서의 임피던스로 정의된다.^[4]

$$Z_{eff} = \frac{V_{max}}{I} \quad (1)$$

여기서 V_{max} 는 접지전극의 전위 파형의 최대값이며, I 는 전위가 최대인 순간의 전류이다.

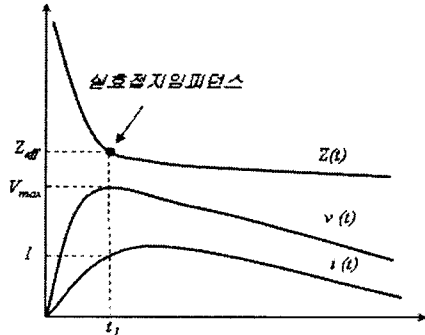
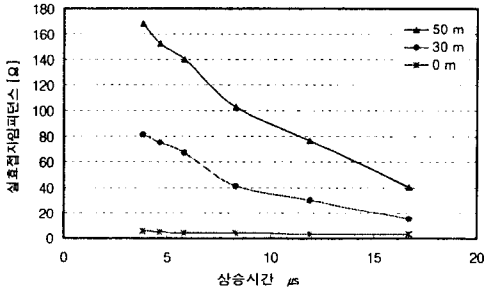
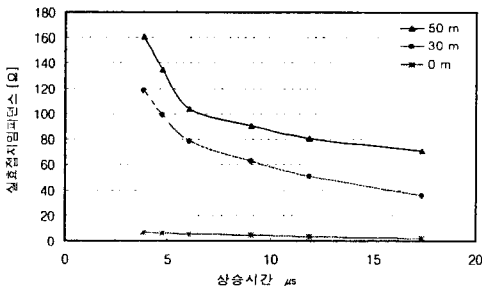


그림 4 실효임펄스접지임피던스의 정의
Fig. 4. Definition of the effective impulse ground impedance

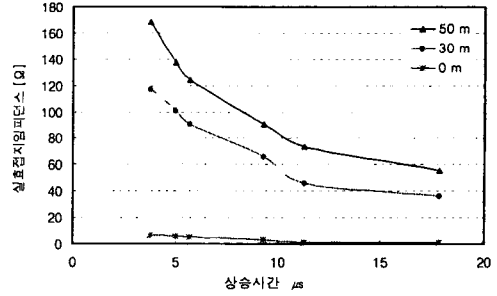
임펄스전류의 상승시간과 인하도선의 길이에 따른 접지전극의 실효임펄스접지임피던스를 측정하여 접지전극의 형상별로 도시한 결과를 그림 5에 나타내었다. 실효임펄스접지임피던스는 인하도선의 길이가 길수록 큰 값으로 나타났다.



(a) 30 m 봉상 접지전극



(b) 20×20 m 그리드 접지전극



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

그림 5. 시험용 접지전극의 형태별 인하도선의 길이에 따른 실효임펄스접지임피던스

Fig. 5. Effective impulse ground impedance according to the length of down conductor by test grounding electrodes

그림 5의 (a), (b), (c)의 경우가 모두 비슷한 기울기의 값으로 수렴하는 것은 인하도선의 길이에 크게 영향을 받음을 알 수 있다. 즉, 접지의 형상에 관계없이 실효임펄스접지임피던스는 인덕턴스 성분에 크게 영향을 받고 있으므로, 인하도선의 인덕턴스 성분의 저감이 접지시스템의 실효임펄스접지임피던스를 줄이는 핵심적 요소임을 알 수 있다.

4. 결론

봉상 접지전극과 그리드 접지전극 등 다양한 형태의 접지전극에서 임펄스 전류의 상승시간과 인하도선의 길이에 따라 나타나는 전위상승과 실효임펄스접지임피던스의 특성을 실험적으로 분석하였다. 과도접지임피던스는 인가전류의 상승시간과 접지전극의 크기 및 형태에 크게 의존하며, 실효임펄스접지임피던스는 접지전극과 인하도선의 인덕턴스에 크게 영향을 받는다. 특히, 실효임펄스접지임피던스는 인하도선의 길이에 크게 의존한다. 따라서, 건축물의 접지시스템 설계시 인하도선의 길이를 최소화하고 부득이 건축물의 높이가 높을 경우 인하도선의 규격검토 및 수평도체에 의한 인하도선의 병렬 인하로 인덕턴스를 줄이는 방법이 중요하게 검토되어야 할 것이다.

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성사업에 의해 작성되었습니다.

[참고 문헌]

- [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] 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 & IIVE, pp.237-240, 1997