

# 다른 형상의 접지전극에 접속된 심매설 접지전극의 실효임펄스임피던스

(Effective impulse impedances of a deep-driven ground rod combined with other grounding electrodes)

이복희 · 장근철 · 이수봉\*

(Bok-Hee Lee · Keun-Chun Chang · Su-Bong Lee)

## Abstract

This paper deals with the characteristics of potential rise and effective impulse impedance of deep-driven ground rods that are used in high resistivity soil or in confined places such as downtown. Also the effects of the impulse and fault currents on the deep-driven ground rods combined with different type grounding electrodes like as mesh grids and counterpoises are described. The  $8/20 \mu s$  impulse current and other wave currents with different rise times are injected into the test ground rod and the effective impedances are examined. The most effective way to obtain the fine transient impedance behaviors of deep-driven ground rods is to reduce the inductive component of grounding electrode systems combined with other ground electrodes.

## 1. 서 론

접지설비에 있어서 접지를 하고자 하는 전기·전자 기기 또는 설비와 대지사이의 접속이 양호한가 또는 양호하지 않은가를 나타내는 지표를 접지저항으로 나타낸다. 접지저항이 낮을수록 대지와 접속이 양호한 경우를 접지가 잘 이루어진 것으로 보며, 대지에 전기적으로 단자를 접속하는 것으로 통상 상용주파수 영역의 감전 보호용 접지는 접지저항으로 성능평가가 이루어지지만 상용전원 이외의 고주파수 영역이 적용되는 컴퓨터용 접지나 뇌임펄스, 개폐임펄스 등에 대한 보호를 목적으로 하는 접지에 대해서는 접지임피던스로의 평가가 필요하다. 대형 건축물 등에서 현재 시설되고 있는 피뢰침 접지나 피뢰설비 접지시 사용하는 접지 가운데 접지봉 시설은 지표면 근처의 대지저항률이 높거나 전극시설 면적이 협소한 곳에서 사용하며, 낮은 접지저항값을 얻기 위해 설치깊이, 접지극의 형상 및 충전물 등에서 보다 다양화되고 있다.<sup>[1~4]</sup>

심매설 접지봉은 다양한 지질구조 및 토질을 통과하면서 회로정수도 바뀌게 되어 뇌격전류 분산을 및 과도 임피던스 특성에 변화를 주게 된다. 따라서 대형 봉상 접지전극에 대한 임펄스 특성을 분석하기 위해 각 접지 시스템에 대한 전위 및 임피던스를 비교·분석하였다. 특히 다른 형상의 접지전극과 심매설 접지전극을 병렬 연결 하였을 경우 나타나는 임피던스 특성에 대하여 실험하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

대형 봉상 접지전극과 다른 형상의 접지전극과의 병렬연결에 대한 임펄스 응답을 알아보기 위해 대지저항률이  $65 \sim 75 \Omega \cdot m$ 의 분포를 가지는 대지에 직경 150 mm 크기로 천공하여 지표면 깊이 2 m 아래에 접지전극을 시설하였다. 천공 후 생긴 빈 공간은 충전재의 영향을 받지 않도록 흙으로 되메움을 하였으며, 상용 접지봉 대신 6 m 동관을 황동 소켓을 이용하여 연결하였다. 동관의 규격은 KDS 5301의 배관용 동관규격으로 외경은 53.98 mm로 상용 접지전극의 외경보다 큰 것을 사용하였다.

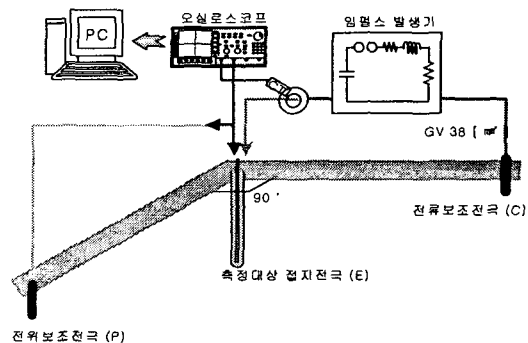


그림 1. 접지임피던스의 측정회로  
Fig 1. Circuit diagram for measuring the ground impedance

전류보조전극은 피측정 접지전극으로부터 60 m 거리에 위치시켰으며, 접지전극에 빠른 상승시간을 갖는 전류를 인가하기 위해 전류보조전극까지의 리드선을 단면적이 굵은 38 mm GV전선을 사용하였다. 전류보조전극은 임펄스전류가 인가될 때 측정전류 패루프와의 상호 유도되는 오차를 줄이기 위해 IEEE의 권장사항에 의거하여 90°의 각도를 이루도록 시설하였다. 이러한 접지 임피던스의 측정회로를 그림 1에 나타내었다. 또한 조합형 임펄스 발생기를 이용하여 표준 뇌임펄스전류 파형인 8  $\mu$ s의 상승시간과 20  $\mu$ s 지속시간을 가지는 전류를 대상전극에 인가하여 실효임피던스의 분포를 알아보았다.<sup>[5-6]</sup>

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 심매설 접지 전극과 메쉬 전극과의 병렬접속

접지시공시 매설부지가 좁은 경우 낮은 접지저항을 얻기 위해서는 매설지선보다는 메쉬 접지가 유리하며, 특히 건물바닥의 접지나 등전위화 접지시공시에 많이 쓰이는 접지형태가 메쉬 접지계이다. 심매설 봉상 전극과 메쉬 전극의 병렬연결시 메쉬 전극의 접속점을 세부분으로 나누어 실험한 접지전극의 개요를 그림 2에 나타내었다. 메쉬 전극의 경우 뇌격전류의 인가점에 따라 실효임피던스의 크기 및 지속시간이 다르므로, 봉상 전극과 병렬 연결시 임피던스에 어떠한 변화를 보이는지 알아보았다. 임펄스 전류의 인가점은 봉상 전극의 직상부이며 메쉬 전극은 지표면으로부터 1.2 m 깊이에 매설되었다.

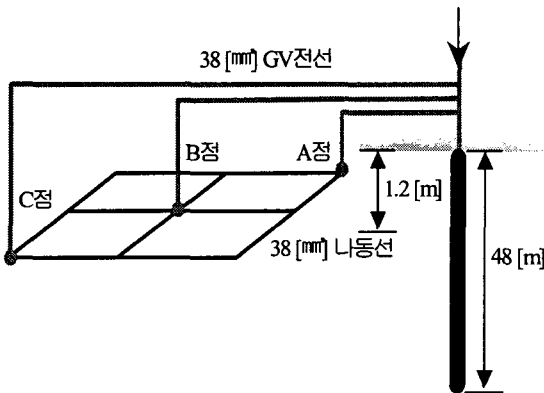


그림 2. 대상접지전극의 모델  
Fig. 2. Model of the test ground rods

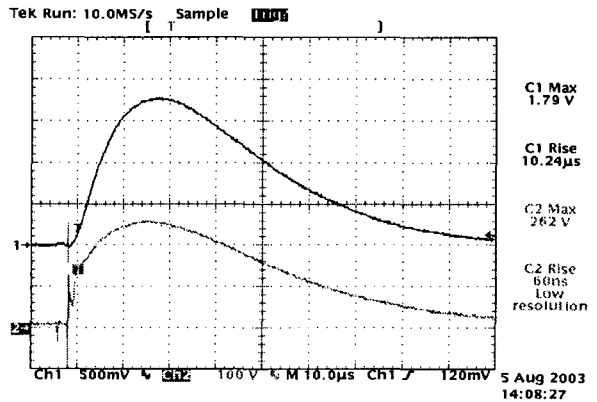
표 1에 심매설 봉상 접지전극과 1 m 거리에 위치한

메쉬 전극의 접지저항을 접지 측정기를 이용하여 측정한 값을 나타내었다. 접지저항의 경우 심매설 접지전극보다 메쉬 전극의 경우가 더 낮게 측정되었다. 또한 두 전극을 병렬 연결할 때 접지저항은 더 낮아졌다.

표 1. 48 m 동봉과 메쉬 전극의 정상상태 접지저항  
Table 1. Static resistances of the 48 m ground rod with mesh grid

접지극의 종류	정상상태 접지저항
48 m 동봉 접지극	4.62 $\Omega$
메쉬 전극(깊이 1.2 m 시설)	3.23 $\Omega$
동봉 + 메쉬 전극	2.71 $\Omega$

그림 3은 1.2 m 깊이에 시공된 메쉬 전극과 심매설 봉상 전극의 병렬 연결시 인가된 전류와 전극의 전위 파형을 나타내고 있다. 전압 파형은 파두부분이 비교적 완만하고 전류와의 위상차가 크지 않아 병렬전극 전체의 리액턴스 성분이 줄어 대부분 저항성분으로 나타나는 것을 알 수 있다.



1 : 인가전류 50 [A/div], 10 [ $\mu$ s/div]  
2 : 전위상승 100 [V/div], 10 [ $\mu$ s/div]

그림 3. 48 (m) 동봉과 메쉬 전극의 인가전류와 접지 전극의 전위 파형의 예  
Fig. 3. Typical waveforms of the applied current and potential of 48 (m) ground rod combined with mesh grids

그림 4는 인가전류의 상승시간을 변화시키면서 병렬 전극에 인가하여 분석한 실효임펄스임피던스의 분포이다. 접지시스템의 근본목적은 계통의 고장전류나 뇌격전류가 유입시 접지극의 전위를 최대한 낮게 유지하는 것이다. 따라서 이상전류의 유입시 전위상승이 낮은 것일수록 우수한 특성의 접지시스템이며, 접지전위가 가장 높았을 때가 가장 위험한 조건이며, 검토의 대상으로 된다. 따라서 본 연구에서는 뇌임펄스 전류가 접지

시스템에 유입됐을 때 접지전극의 전위가 최대일 때 최대전위를 최대전위 순간의 전류값으로 나누는 것으로 실효임펄스임피던스를 정의하였다. 고주파 성분을 주로 포함하는 전류 인가시 실효임피던스는 증가하였지만, 상승폭은 단일 봉상 전극의 경우보다 크지 않음을 알 수 있다. 메쉬 전극의 접속점 C의 경우는 접속도선의 인덕턴스 영향으로 상승폭이 가장 컸으며, 봉상 접지전극과 가장 가까운 거리에 있는 A점의 경우 변화율이 적은 것을 알 수 있었다.

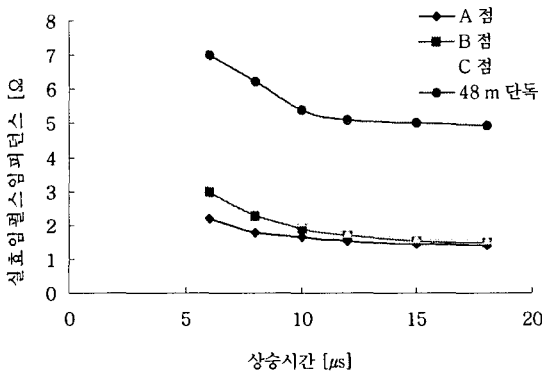


그림 4. 인가전류의 상승시간에 따른 실효임펄스임피던스  
Fig. 4. Effective impulse impedances according to the rise time of incident current

### 3.2. 심매설 접지 전극과 매설지선의 병렬 접속

#### 3.2.1 매설지선과 심매설 봉상 접지전극의 병렬접속

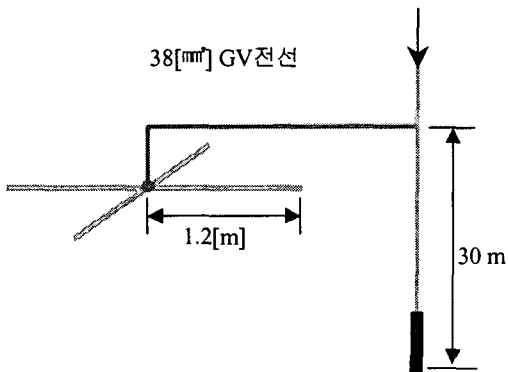


그림 5. 대상접지전극의 모델  
Fig. 5. Model of the test ground rods

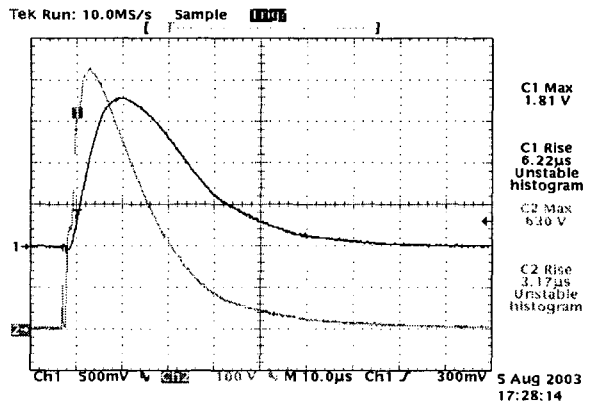
천공으로 시설한 깊이 30 m의 방전극과 매설지선의 병렬접속시 나타나는 과도 임피던스 특성을 분석하였다.

매설지선은 상용 접지봉과 침극 형태의 접지극을 방사상으로 시설하였다. 대상 전극의 거리는 1 m이며, 병렬 연결은 그림 5에서처럼 GV전선을 사용하였다. 임펄스 전류의 인가 위치는 방전극의 상부이며, 전류와 전위 파형은 임펄스 발생기의 출력단에서 검출하였다.

표 2. 접지전극과 매설지선의 정상상태 접지저항  
Table 2. State ground resistance of the test ground rod combined with counterpoise

접지극의 종류	정상상태 접지저항
30 m 접지전극	3.1 Ω
매설지선	25.4 Ω
매설지선 + 접지전극	2.9 Ω

표 2는 방전극과 매설지선의 정상상태 접지저항을 나타낸 것으로 방사상 매설지선의 경우 접지저항이 20 Ω 이상으로 크게 나타났지만, 접지전극과의 병렬연결시 측정된 접지저항은 2.9 Ω으로 되었다.



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

그림 6. 30 m 접지전극과 매설지선을 접속한 경우 인가전류와 접지전극의 전위 파형의 예

Fig. 6. Typical waveforms of the applied current and potential of 30 m ground rod combined with counterpoises

그림 6에서는 상승시간이 6.16 μs인 임펄스 전류 인가시 30 m 접지전극과 매설지선을 병렬 접속한 경우에 나타나는 전위 파형을 보여주고 있다. 상승의 최대값은 단일 접지전극의 경우 582 V, 병렬 접속한 경우는 662 V로 측정되었다. 전위 파형의 상승시간은 단일 접지전극의 경우 더 빠르게 나타났으며, 전류 파형과의 위상차도 단일 접지전극의 경우가 더 크게 나타나 매설지선의 추가 설치시 서지임피던스의 저감에 효과적인 것으로

로 평가할 수 있다.

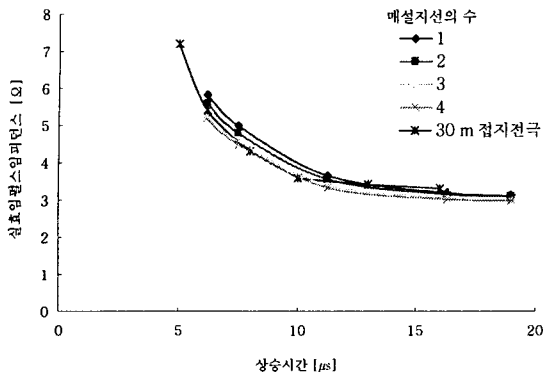


그림 7. 인가전류의 상승시간에 따른 실효임펄스임피던스

Fig. 7. Effective impulse impedances as a function of the rise time of incident currents

또한 전류의 특성 변화에 따른 임피던스 변화를 보기 위해 전류의 피크치가 180 A로 일정하고 상승시간이 다른 전류를 인가했을 때 측정된 실효임펄스임피던스 분포를 그림 7에 나타내었다. 임피던스의 분포는 6~7  $\mu$ s 사이에서 큰 값으로 변하며, 그 보다 큰 상승시간의 전류에 대해서는 정상상태의 접지저항 값에 수렴하여 나타났다.

### 3.2.2 침극형 매설지선과 심매설 접지전극의 병렬접속

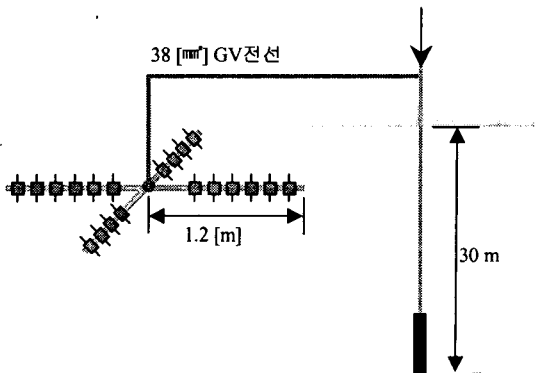


그림 8. 대상접지전극의 모델  
Fig. 8. Model of the test ground rods

심매설 접지전극과 매설지선을 병렬로 접속할 경우 그 형태에 따라 나타나는 임펄스임피던스 특성을 알아 보기 위해 침극형 매설지선을 방사상으로 시설하였다. 침극형 매설지선의 본체는 스테인레스 스틸의 재질의 중공봉이며, 내측에는 알루미늄으로 내장되고 그 안에

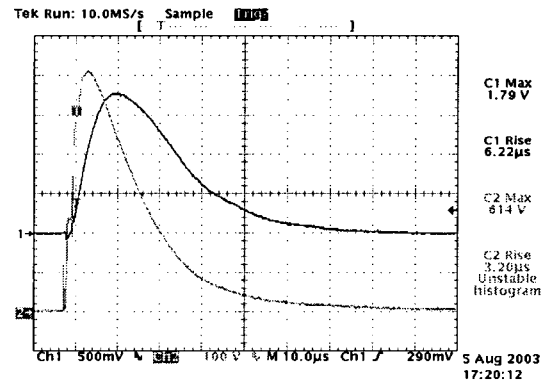
는 폴리에틸렌으로 충전되어 있다. 접지봉을 중심으로 측면에 바늘 모양의 침전극이 추가된 형태이다. 표 3은 매설지선의 정상상태 접지저항을 측정한 결과로 봉상 접지전극과 비교했을 때 큰 차이가 없었으며, 병렬 연결된 접지전극에서도 침극의 영향은 나타나지 않았다.

표 3. 접지전극과 침극형 매설지선의 정상상태 접지저항

Table 3. State ground resistance of the test ground rod combined with counterpoise having needles

접지극의 종류	정상상태 접지저항
30 m 접지전극	3.1 $\Omega$
매설지선	24.6 $\Omega$
매설지선 + 접지전극	2.8 $\Omega$

그림 9에는 침극형 매설지선과 30 m 접지전극의 병렬연결시 측정된 인가전류와 전극의 전위상승 파형을 나타내었다. 180 A의 전류를 인가하였을 때 측정된 전위상승은 동봉형 매설지선의 경우보다 크기는 작아졌지만 전압과 전류의 위상차는 크게 변하지 않은 것을 알 수 있다.



1 : 인가전류 50 [A/div], 10 [ $\mu$ s/div]  
2 : 전위상승 100 [V/div], 10 [ $\mu$ s/div]

그림 9. 30 m 접지전극과 침극형 매설지선이 접속된 경우 인가전류와 접지전극의 전위 파형의 예  
Fig. 9. Typical waveforms of the applied current and potential in the case of 30 [m] ground rod combined with counterpoises having needles

그림 10에 인가전류의 상승시간에 따른 접지임피던스의 분포를 나타내었으며, 동봉형 매설지선과 비슷한 분포를 보이지만 크기는 작게 측정되었다. 매설지선의 설치 수에 따라 전위상승도 다르게 나타나기 때문에 매설지선의 설치 수가 임피던스의 크기에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

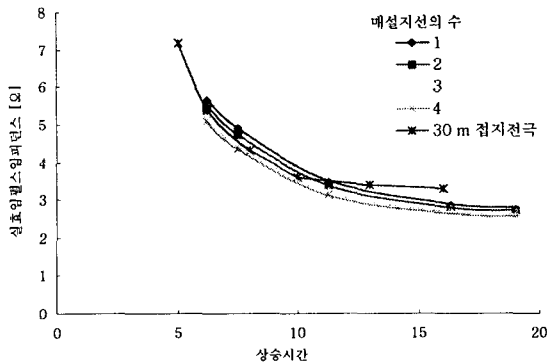


그림 10. 인가전류의 상승시간에 따른 실효임펄스임피던스

Fig. 10. Distribution of effective impulse impedance as a function of the rise time of incident current

#### 4. 결 론

본 연구에서는 도심이나 협소한 장소에서 주로 사용되는 심매설 접지전극에 임펄스 전류가 인가된 경우 접지전극에 나타나는 전위상승과 실효임펄스임피던스의 특성을 측정하고 분석하였다. 특히 매설지선과 메쉬 전극을 병렬로 접속한 심매설 접지전극에 대해 임피던스에 어떠한 변화를 보이는지 알아본 결과 심매설 접지전극 시설 시 좋은 과도접지임피던스 특성을 얻기 위해서는 다른 형상의 접지전극과 병렬연결을 하고 접지시스템의 인덕턴스 성분을 줄이는 것이 가장 효과적인 방법인 것으로 나타났다. 병렬로 조합하는 매설지선의 수를 늘리면 실효임펄스임피던스는 감소하였으나 그다지 현저한 효과가 나타나지는 않았다.

본 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라구축 지원사업의 지원에 의하여 수행된 연구결과입니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] N.Fujimoto, E. P. Dick, S. A. Boggs and G. L. Ford, "Transient Ground Potential Rise in Gas-Insulated Substations-Experimental Studies", IEEE Trans., Vol.PAS-101, No.10, pp.3603~3609, 1982.
- [2] S. Karaki, et al, "Transient Impedance of GIS Grounding Grid", IEEE Trans., Vol.PD-10, No.2, pp.723~738, 1995.
- [3] T. Takahashi, "A Part of Grounding for Lightning Protection Technique", J. of the Institute of Electrical Installation Engineers of Japan, Vol.9, pp.671~676, 1989.9.
- [4] J. H. Bogensperger, J. Frei and S. Pack, "Resistance of Grounding Systems Stationary and Transient Behavior", Proc. 9th international Symposium on High Voltage Engineering, pp.6715-1~4, 1995.9.

- [5] 이복희 외, "조합형 써지전압·전류발생기의 제작과 특성", '96 대한전기학회 하계학술대회 논문지, Vol.C, pp1876~1878, 1996.7.
- [6] 이복희, 외, "로그우스코일을 이용한 과도전류의 측정", 대한전기학회 논문지, Vol.43, No.7, pp1206~1213, 1994.7.