

# 대지구조에 따른 매설지선의 과도접지임피던스 특성

( Transient impedance characteristics of counterpoise according to the soil structures )

이복희<sup>1</sup> · 이봉<sup>\*1</sup> · 정동철<sup>1</sup> · 김기복<sup>1</sup> · 조성철<sup>2</sup>

(Bok-Hee Lee<sup>1</sup> · Feng Li<sup>\*1</sup> · Dong-Cheol Jung<sup>1</sup> · Ki-Bok Kim<sup>1</sup> · Sung-Chul Cho<sup>2</sup>)

인하대학교 IT 공과대학 전기공학부<sup>1</sup> · 기초전력연구원<sup>2</sup>

## Abstract

This paper presents the characteristics of grounding impedance of counterpoises buried at various soil structures. Grounding impedance measurements were made by the Fall-of-Potential method. The experiments were carried out in 50 m counterpoise of 25 mm<sup>2</sup> buried at a depth of 0.5 m. The test current was injected by the impulse generator having the front time of 1~60 μs. As a result, the soil structures greatly influences on the grounding impedance characteristics of counterpoise. The transient grounding impedances strongly depend on the injection point and the front time of impulse current.

## 1. 서 론

뇌보호설비의 접지와 같이 접지전극에 흐르는 전류가 뇌서지와 같이 빠른 상승시간을 가지는 높은 주파수 성분을 포함하는 경우에는 단순히 접지저항만으로 접지시스템의 성능을 평가하는 방법은 정확성이 떨어지므로 접지임피던스로 평가가 필요하며, 접지시스템의 접지임피던스는 주로 전위강하법으로 측정한다. 빠른 상승시간을 가지는 뇌서지전류와 같은 경우, 전류보조선과 전위보조선의 전자유도결합에 의한 오차를 최소화하기 위하여 전류보조선과 전위보조선과 90도 되게 배치한다. 일반적으로 접지시스템은 토양의 특성, 대지저항률, 대지의 함습정도, 대지구조, 접지전극의 형상 등 여러 가지 요인들이 복합적으로 작용하므로 접지임피던스의 변동을 수식적으로나 정량적으로 분석하기는 어렵다. 뇌서지와 개폐서지 등에 대한 보호를 목적으로 하는 접지시스템에 발생되거나 유입된 이상전압을 저감시키고, 이상전류를 대지에 효과적으로 방류시켜 대지전위상승을 억제함으로써 기기의 파손방지와 인체의 안전을 도모하는 것이 매우 중요하다. . . 은 주로 송·배전 지지물의 접지에 많이 이용되고 있는 접지극 중의 하나이다. . . 의 길이가 길면 접지저항의 크기는 작지만 고주파수가 포함된 뇌격전류가 . . . 에 입사되었을 경우, 접지전극 자체의 인덕턴스와 접지전극과 대지 사이의 접촉면의 커패시터 성분 영향으로 빠른 시간영역에서 과도임피던스의 크기는 정상상태 접지저항보다 크거나 작게 된다.[1, 2]

본 논문에서는 대지구조에 따른 접지임피던스의 특성

을 정확하게 평가할 수 있는 기법을 제안할 목적으로 50 m 매설지선의 접지임피던스특성에 대한 연구를 수행하였다. 대지구조에 따른 매설지선의 접지임피던스 특성을 분석하기 위하여 매설지선의 끝단과 중앙에 각각 임펄스전류를 유입시킨 경우 접지 임피던스의 변화를 비교·분석하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 실험계의 구성

대지구조에 따른 매설지선의 과도접지임피던스 특성을 분석하기 위하여 그림 1과 같이 대지저항률이 약 376 Ω·m과 150 Ω·m인 2층 구조의 대지에 실험대상인 50 m 매설지선을 대지표면으로부터 깊이 0.5 m에 시공하였으며 양 끝단 및 중간에 25 mm<sup>2</sup>의 GV전선을 이용하여 전류주입선을 인출하였다. 설치한 50 m 매설지선의 실험을 실시한 후 50 m의 절반인 25 m에 대하여 대지구조를 변경하였다.

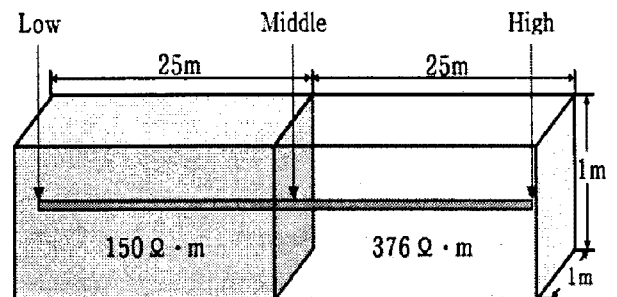


그림 1 2층 대지구조에 매설된 50m 매설지선  
Fig. 1. 50 m counterpoise buried at 2 layered soil

실험장 일대의 대지저항률이 대체적으로 높기 때문에 25 m 전극 주변의 대지를 폭 1 m, 높이 1 m만큼 도전성이 매우 좋은 탄소를 혼합한 토양으로 치환하여 수평 2층 구조를 만들었다. 그 결과 탄소를 사용하여 대지저항률을 감소시킨 부분의 겉보기 대지저항률은 약 150  $\Omega \cdot m$ 를 나타내었으며, 처음의 대지저항률인 약 376  $\Omega \cdot m$ 과 비교했을 때 대지저항률이 0.5배 이하로 감소하였다. 또한 균일한 대지와 수평 2층 구조의 대지에 설치된 50 m 매설지선의 접지임피던스를 측정하기 위하여 그림 2와 같이 측정회로를 구성하여 실증실험을 수행하였다. 그림 2 때 Point 1과 Point 2는 각각 겉보기 대지저항률이 약 376  $\Omega \cdot m$ 인 균일한 대지에 설치한 50 m 매설지선의 전류인가점을 나타내었으며, Low, High, Middle는 각각 수평 2층 구조의 대지에 설치된 50 m 매설지선의 전류인가점을 나타내었다. Low는 탄소를 섞어 대지저항률을 낮춘 쪽의 전류인가점을, High는 반대쪽의 대지저항률이 높은 전류인가점을, 그리고 Middle은 중앙의 전류인가점을 나타내었다.

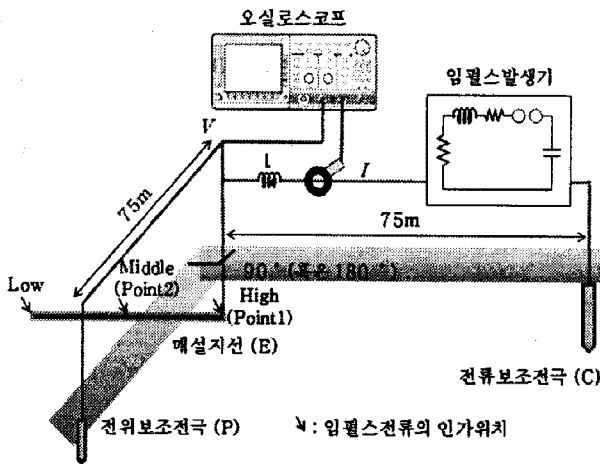


그림 2 실험계 구성  
Fig. 2. Configuration of the experimental setup

도전유도오차와 전자유도오차를 최소화하기 위하여 그림 2와 같이 전류보조전극(C극)과 전위보조전극(P극)을 설치하였다. C극을 연결하는 도선과 P극 사이에 발생하는 전자유도결합에 의한 오차를 최소화하기 위하여 본 실험에서는 임펄스전류를 매설지선의 끝단에 인가하는 경우, IEEE81.2-1991에서 권고하는 C극을 P극과 90°로 배치하였고, 임펄스전류를 매설지선의 중앙에 인가하는 경우는 C극과 P극을 180°로 설치하였다. 또한 도전유도에 의한 오차가 5%미만이 되도록 하기 위하여 측정대상 접지전극(E극)으로부터 P극 또는 C극 사이의 이격거리를 각각 75 m로 하였다. 접지전극의 정상상태 접지저항을 측정할 경우에는 P극을 E극과 C극 사이의 61.8%지점에 설치하여 접지저항을 정확하게 측정하였다 [3]. 측정결과, 겉보기 대지저항률이 약 376  $\Omega \cdot m$ 인 균

일한 대지에 설치한 50 m 매설지선의 접지저항은 26.8  $\Omega$ 이었으며, 수평 2층 구조의 대지에 설치된 50 m 매설지선의 접지저항은 10  $\Omega$ 을 나타내었다. 접지전극의 임피던스를 측정할 경우, 측정선의 인덕턴스의 영향을 줄이기 위하여 측정하고자 하는 접지전극(E)와 전류보조전극(C) 사이의 측정전류 인가용 전선은 단면적 10  $mm^2$ 인 4심 케이블을 일괄하여 사용하였다.

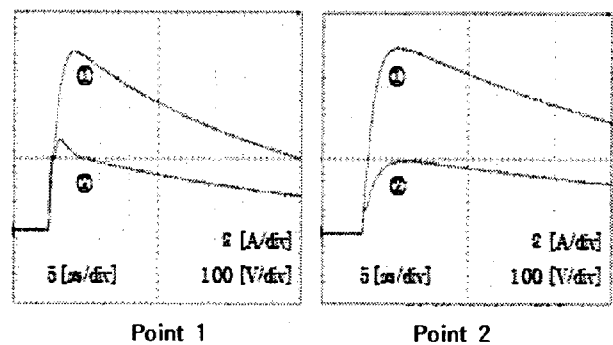
## 2.2 실험방법

본 연구에서 임펄스전류는 조합형 임펄스전류발생장치로 인가하였으며, 임펄스전류발생장치의 충전용 커패시터의 용량을 변화시켜 임펄스전류의 상승시간을 1~60  $\mu s$ 의 범위로 하여 접지전극(E)와 전류보조전극(C) 사이에 10 A의 전류를 인가하였다. 주 접지전극(E)과 전류보조전극(C) 사이에 임펄스전류를 인가하였을 때 전위상승은 측정대상 접지전극(E)과 전위보조전극(P)간의 전위차로 측정하였다. 인가전류는 주파수 대역이 0~5 MHz인 전류프로브를 이용하여 측정하였으며, 접지전극의 전위는 75 MHz의 주파수 대역을 갖는 능동성 차동프로브로 측정하였다. 측정된 인가전류와 전위파형은 디지털 오실로스코프로 관측하였다. 오실로스코프에 의하여 관측된 전위파형과 전류파형을 이용하여 과도접지임피던스와 규약접지임피던스를 산출하였다.

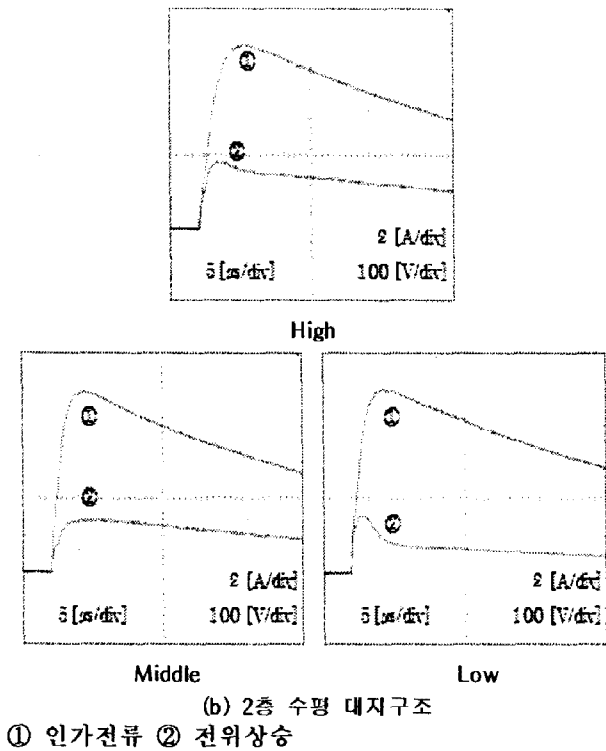
## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 인가전류와 전위파형

균일한 대지에 설치된 50 m 매설지선에 대하여 Point 1, Point 2와 2층 수평구조의 대지에 설치된 High, Middle, Low의 전류인가점에 각각 피크치 10 A<sub>p</sub>인 임펄스전류를 인가했을 때 임펄스전류(①)와 전위상승(②)의 전형적인 파형의 예를 그림 3에 나타내었다. 크기가 10 A<sub>p</sub>인 임펄스전류는 접지전극(E)의 전류인가점과 대지구조에 따라 다른 양상을 나타내었다.



(a) 균일대지구조



(b) 2층 수평 대지구조  
① 인가전류 ② 전위상승

그림 3. 대지구조에 따른 인가전류와 전위상승파형의 예  
Fig. 3. Examples of waveforms of the injected current and potential rise according to the soil structures

임펄스전류를 측정대상 접지전극에 인가하였을 때 대지저항률이 균일한 대지보다 2층 수평 구조로 변경 후 대지에 설치한 50 m 매설지선의 전위상승이 낮게 나타났다. 그리고 2층 수평 구조로 변경 후 그림 3 (b)와 같이 Low 인가점보다 High 인가점의 전위상승이 더 높게 나타났다. 이는 Low 인가점 주위의 겉보기 대지저항률은 약  $150 \Omega \cdot \text{m}$ 이고, High 인가점 주위의 겉보기 대지저항률은 약  $376 \Omega \cdot \text{m}$ 으로 측정점에 해당하는 대지의 대지저항률의 영향을 지배적으로 받는 것을 알 수 있다. 또한 대지구조와 상관없이 인가전류가 1방향으로 흐르는 끝단보다 전류가 2방향으로 분기되는 중앙위치가 전위상승이 낮게 나타났다.

### 3.2. 과도접지임피던스

50 m 매설지선의 대지구조에 따른 과도접지임피던스 ( $Z-t$ 곡선)를 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 ①과 ②는 각각 대지저항률이 균일한 대지에 설치된 50 m 매설지선의 끝단(Point 1)과 중앙(Point 2)에 임펄스전류를 인가하였을 경우 산출한 과도접지임피던스 곡선이며, ③, ④, ⑤는 각각 2층 대지구조에 설치된 50 m 매설지선의 대지저항률이 높은 인가점(High), 경계지점인 중앙점(Middle), 대지저항률이 낮은 인가점(Low)에 임펄스전류를 각각 인가하였을 경우의 과도접지임피던스 곡선

이다.

빠른 시간영역에서 2층 수평 대지구조에 설치된 50 m 매설지선의 과도접지임피던스는 끝단보다 중앙에서 낮게 나타났으며, 대지저항률이 높은 High 인가점보다 대지저항률이 낮은 Low 인가점에서 과도접지임피던스가 낮게 나타났다. 이런 특성은 빠른 시간영역에서 전류가 주로 인가위치 주위에 흐르기 때문에 인가위치 주위의 대지저항률에 크게 의존한다고 판단된다. 2층 수평 대지구조의 대지와 대지저항률이 균일한 대지에 설치된 50 m 매설지선의 과도접지임피던스를 비교한 결과, 2층 수평 대지구조에 설치된 50 m 매설지선의 High 인가점(③)과 대지저항률이 균일한 대지에 설치된 50 m 매설지선의 끝단(①)에서 과도접지임피던스의 곡선이  $0.4 \mu\text{s}$  이전에 거의 일치한 추세를 나타내었다. 그리고 2층 수평 대지구조에 설치된 50 m 매설지선의 Low 인가점은 대지저항률이 균일한 대지에 설치된 50 m 매설지선의 끝단(Point1)보다 과도접지임피던스의 곡선이 전반적으로 낮게 나타났다. 2층 대지구조에 설치된 50 m 매설지선의 Middle 인가점에서도 대지저항률이 균일한 대지에 설치된 50 m 매설지선의 중앙(Point 2)보다 과도접지임피던스가 낮게 나타났다.  $5 \mu\text{s}$  이후에서는 정상상태에서 측정된 접지저항값에 점차 수렴하는 것을 알 수 있다. 따라서 접지설계 시 매설지선의 끝단보다 중앙에 접지전류가 인가되도록 접지도선을 매설지선의 중앙에 접속하여야 빠른 시간영역에서 과도접지임피던스를 보다 효과적으로 저감할 수 있다.

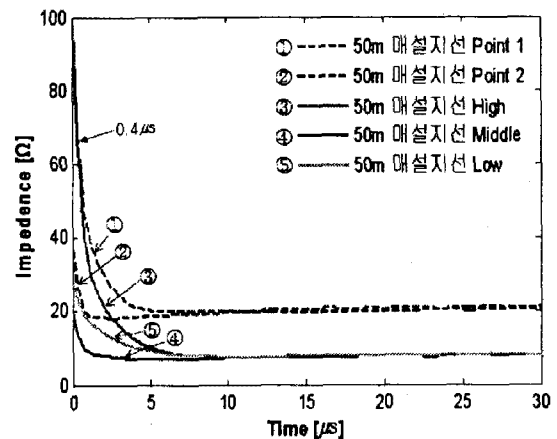


그림 4. 대지구조에 따른 과도접지임피던스  
Fig. 4. Transient grounding impedances according to the soil structures

접지전극의 과도접지임피던스 해석에 있어서 전류의 최대값과 전위의 최대값의 비로 정의하는 규약접지임피던스가 많이 사용되고 있다. 식 (1)은 규약접지임피던스  $Z$ 의 정의를 나타낸다.

$$Z = \frac{V_{max}}{I_{max}} \quad (1)$$

여기서 Z는 전위 파형의 최대 값과 전류 파형의 최대 값의 비이다.[4]

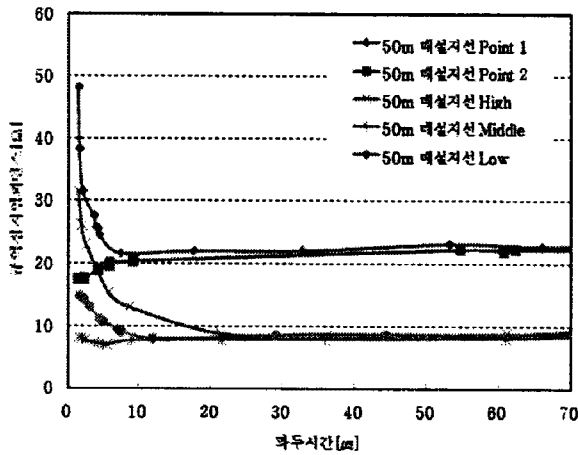


그림 5. 대지구조에 따른 규약접지임피던스  
Fig. 5. Conventional grounding impedance according to the soil structures

대지구조변화에 따른 50 m 매설지선의 규약접지임피던스를 측정하여 인가위치별로 도시한 결과를 그림 5에 나타내었다. 임펄스전류의 파두시간의 변화에 따른 규약접지임피던스는 그림 4의 과도접지임피던스와 비슷한 양상을 나타내며, 대지구조에 크게 의존하는 것으로 나타났다. 전류 인가위치가 끝단일 경우, 대지저항률이 높은 쪽보다 대지저항률이 낮은 쪽을 인가위치로 하는 것이 접지임피던스를 낮추는데 보다 효과적이다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 피뢰설비용 접지나 송·배전 지지물의 접지에 많이 이용되고 있는 매설지선의 대지구조에 따른 과도접지임피던스를 측정하고 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

2층 수평 대지구조에서 매설지선의 끝단에 전류를 인가할 경우, 빠른 시간영역에서 전류가 주로 인가위치 주위에 흐르기 때문에 대지저항률이 큰 쪽보다 대지저항률이 작은 쪽에서의 과도접지임피던스가 더 낮게 나타났다.

균일한 대지저항률에 설치한 50 m 매설지선과 2층 수평 대지구조에 설치한 50 m 매설지선의 중앙점에 임펄스전류를 인가하면 끝단에 인가하는 것에 비하여 입사전류의 분류와 매설지선의 길이가 짧아지는 상승적 효과로 인하여 끝단보다 중앙위치에서 과도접지임피던스가 낮게 나타났으며, 규약접지임피던스에서는 상승시간이 짧을수록 끝단과 중앙점에서의 과도접지임피던스 값차이가 현저히 컸다. 이로 인하여 접지전극에 나타나

는 전위상승도 과도접지임피던스에 비례하여 중앙보다 끝단이 더 높게 나타났다.

따라서 매설지선을 설치할 때 정상상태에서 낮은 접지저항 값을 가지더라도 접지도선을 설치할 때 입사전류의 분류와 대지구조를 동시에 고려한 접지설계가 이루어져야 보다 효과적인 접지시스템을 구성할 수 있다.

#### 참고 문헌

- [1] S. Visacro, "A didactic general approach of grounding behavior for lightning currents", Proceedings of the 27th ICLP-International Conference on Lightning Protection, Avignon, France, Vol. 1, pp. 508-513, 2004.
- [2] 이복희: 접지의 핵심 기초 기술, 도서출판 의재, pp.65-99, 1999.
- [3] IEEE Std 81.2-1991, "IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems", IEEE Inc., pp.1731, 1991.
- [4] KS C IEC 62305-1, 피뢰시스템-제1부: 일반원칙, pp.3-15, 2007.