

전류인가위치에 따른 매설지선의 과도접지임피던스 특성

(Transient impedance characteristics of counterpoise according to the current injection position)

이복희¹ · 이봉^{*1} · 이승주¹ · 유재덕¹ · 조성철²
(Bok-Hee Lee¹ · Feng Li^{*1} · Song-Zhu Lee¹ · Iae-duk Yoo¹ · Sung-Chul Cho²)

인하대학교 IT 공과대학 전기공학부¹ · 기초전력연구원²

Abstract

This paper presents the behaviors of transient and conventional grounding impedances of a 30m counterpoise according to the injection point of lightning impulse currents. As a result, the trend of the conventional grounding impedances measured as a function of risetime of impulse current is similar to the transient grounding impedance of counterpoise. The injection point of impulse current greatly influences on the transient grounding impedance characteristics of counterpoise. The transient grounding impedances strongly depend on the injection point and the rising time of impulse current and the soil characteristics.

1. 서론

접지란 대지에 전기적 단자를 접속하는 것으로 통상 상용 주파수 영역의 감전보호용 접지는 접지저항으로 성능평가가 이루어지지만 고주파수 영역이 적용되는 컴퓨터용 접지나 뇌임펄스, 개폐임펄스 등에 대한 보호를 목적으로 하는 접지에 대해서는 접지임피던스로의 평가가 필요하다. 접지의 목적은 피보호 시스템에 발생되거나 유입된 이상전압을 저감시키고, 이상전류를 대지에 효과적으로 방류시켜 대지전위상승을 억제함으로써 기기의 파손방지와 인체의 안전을 도모하는 것과 접지시스템 전위의 균등화 및 안정된 기준점을 제공하여 전기설비의 안정과 기능의 향상을 도모하는 것이다. 접지전극에 뇌임펄스전류와 같이 고주파수를 포함한 급격하게 변화하는 전류가 유입되면 짧은 시간영역에서 높은 과도접지임피던스 값을 나타내게 된다. 매설지선은 주로 송·배전 지지물의 접지에 많이 이용되고 있는 접지방식 중의 하나이다. 매설지선의 길이가 길면 접지저항의 크기는 작지만 고주파수가 포함된 뇌격전류가 매설지선에 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 대지저항률이 300 Ω·m인 실증실험장에서 30m 매설지선의 전류인가위치에 따라 접지전극에 나타나는 과도접지임피던스와 규약접지임피던스 특성을 측정·분석하였다. 매설지선의 전류인가위치에 따른 전극의 과도접지임피던스 특성을 분석하기 위하여 매설지선의 끝단과 중앙에 각각 임펄스전류를 유입시켜 접지

임피던스의 변화를 비교·분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험계의 구성

매설지선의 과도접지임피던스 특성을 분석하기 위하여 실증실험을 수행하였다. 과도접지 임피던스의 측정 회로를 그림 1에 나타낸다. 매설지선의 인가위치에 따른 특성을 분석하기 위하여 30m 매설지선을 깊이 0.5 m에 시공하였으며 양 끝단 및 중간에 25 mm²의 GV전선을 이용하여 전류주입선을 인출하였고 한쪽 끝단에 1.8 m 접지동봉을 접속하여 전류 인가점에 따른 분석을 수행하였다.

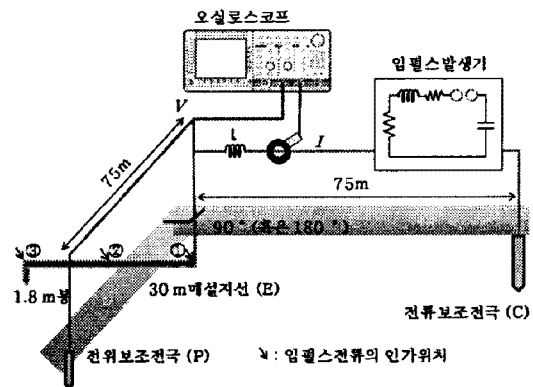


그림 1 실험계 구성
Fig. 1. Configuration of the experimental setup

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, 그림 2(a)와 (c)에서 같이 IEEE81.2-1991에서 권고하는 C극을 P극과 90°로 배치하였고, 임펄스전류를 매설지선의 중앙에 인가하는 경우는 그림 2(b)와 같이 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 접지저항 값을 측정할 경우에는 P극을 E극과 C극 사이의 61.8%지점에 설치하여 접지저항을 정확하게 측정하였다[3]. 측정결과, 30m 매설지선의 정상상태의 접지저항 값은 29 Ω이었다.

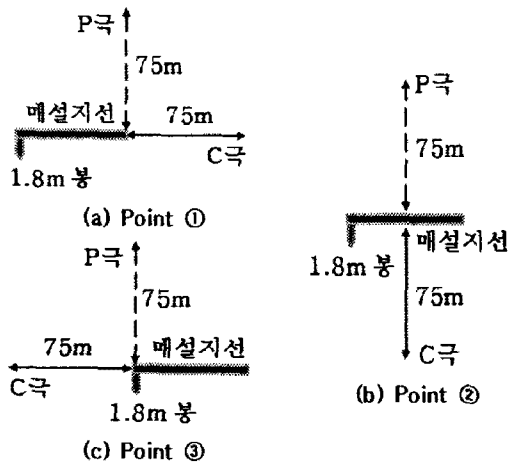


그림 2 C극과 P극의 배치도
Fig. 2. Arrangement of the C and P auxiliary electrodes

측정하고자 하는 접지전극(E)과 전류보조전극(C) 사이의 측정전류 인가용 전선은 측정선의 인덕턴스의 영향을 줄이기 위하여 단면적 10 mm²인 4심 케이블을 일괄하여 사용하였다.

2.2 실험방법

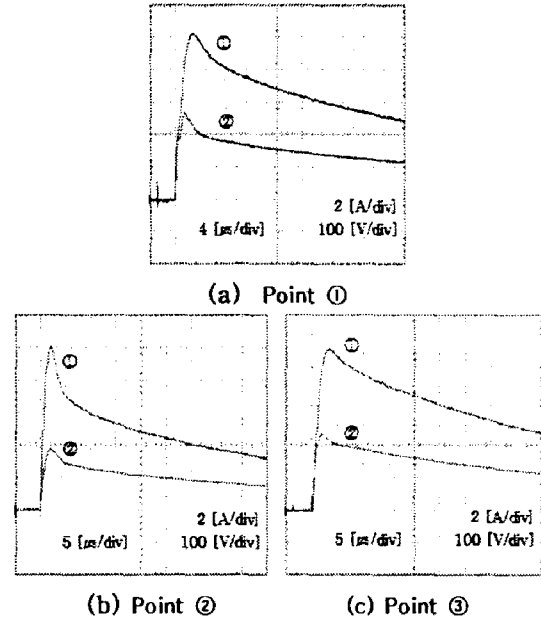
본 연구에서는 임펄스전류는 조합형 임펄스전류발생장치를 사용하였으며, 임펄스전류발생장치의 충전용 커패시터의 용량을 변화시켜 임펄스전류의 상승시간을 1~60 μs의 범위로 하여 접지전극(E)과 전류보조전극(C) 사이에 10 A의 전류를 인가하였다. 주 접지전극(E)과 전류보조전극(C) 사이에 임펄스전류를 인가하였을 때 접지전위상승은 측정대상 접지전극(E)과 전류보조전극(P)간의 전위차로 측정하였다. 인가전류는 주파수 대역이 0~5 MHz인 전류프로브를 이용하여 측정하였으며, 접지전극의 전위는 75 MHz의 주파수 대역을 갖는 능동성 차동프로브로 측정하였다. 측정된 인가전류와 전위파형은 디지털 오실로스코프로 관측하였다. 오실로스코프에 의하여 관측된 전위파형과 전류파형을 이용하여

과도접지임피던스와 규약접지임피던스를 산출하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 인가전류와 전위파형

그림 3은 30m 매설지선의 끝단과 중앙에 피크치가 10 A_p 임펄스전류를 인가했을 때 30m 매설지선에 나타나는 인가전류(①)과 전위상승(②) 파형을 나타낸다.



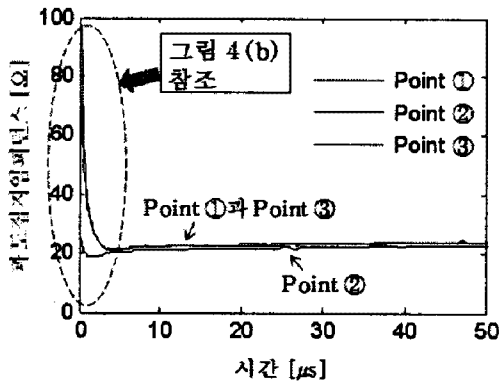
① 인가전류 ② 전위상승

그림 3. 임펄스전류의 인가위치에 따른 30m 매설지선의 인가전류와 전위상승파형의 예
Fig. 3. Examples of waveforms of the injected current and potential rise of 30m counterpoise according to injection point of impulse current

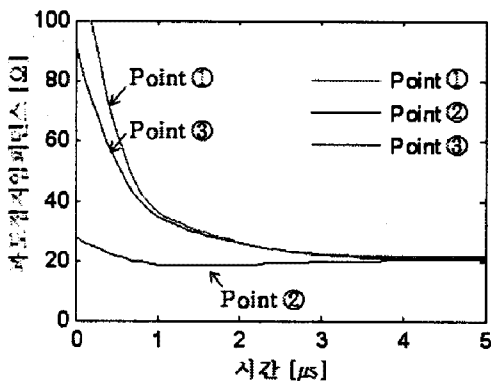
크기가 10 A_p인 임펄스전류를 측정대상 접지전극(E)의 Point ①~③에 각각 인가하여 인가위치별로 특성을 살펴보면, point ①과 ③에서는 전류파형이 전위파형보다 뒤지는 유도성 특성이 나타나고, point ②에서는 전류파형과 전위파형이 거의 동위상으로 나타난다. 그리고 인가위치에 따른 전위파형을 비교할 경우, 중앙보다 끝단에서 더 큰 값을 나타내며, 1.8m 접지동봉을 접속되어 있는 point ③이 1.8m 접지동봉을 접속하지 않은 point ①보다 다소 낮게 나타난다. 이러한 특성은 전류가 중앙지점에 인가됨에 따라 매설지선의 양 끝단 방향으로 분기되어서 접지전극의 병렬로 연결된 효과와 한 방향의 전류가 흐르는 접지선의 길이가 짧아져 인덕턴스성분의 감소 효과가 접지임피던스에 영향을 미치기 때문이라 분석된다.

3.2. 과도접지임피던스 특성

임펄스전류의 인가위치에 따른 30m 매설지선의 과도 접지임피던스 곡선을 그림 4에 나타내었다. point ①은 분기가 없이 매설지선에 전류가 인가되는 경우이며, point ②는 매설지선의 중간에 전류를 주입하여 접지전극의 중앙에서 양쪽으로 전류가 주입되는 것을 모의하였고, point ③은 매설지선 끝단에 1.8m의 추가 접지봉의 영향을 분석하기 위한 것이다.



(a) 인가위치별 과도접지임피던스



(b) 상승부 확대파형

그림 4. 임펄스전류의 인가위치에 따른 과도접지임피던스

Fig. 4. Transient grounding impedances according to the injection point of impulse current

과도접지임피던스는 접지전극의 전위를 인가전류로 나누어 산출하였다. 5 μs 이전의 빠른 시간영역에서 끝단에 임펄스전류를 인가할 경우, 과도접지임피던스가 지속적으로 감소하였으며, 유도성을 나타낸다. 중앙에서는 과도접지임피던스가 1~5 μs구간에서 약간 감소하는 용량성을 나타낸다. 5 μs 이후에서는 끝단과 중앙에서 모두 점차적으로 정상상태 접지저항 값에 수렴하는 것을 볼 수 있다. 전체적으로 중앙에 인가한 경우 끝단에 인가한 때보다 과도접지임피던스가 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 특성은 중앙에 임펄스전류를 인가하면 매설지선의 양 끝단방향으로 전류가 분기되어 흐르면서 접지전극이 병렬로 연결된 효과를 일으킨다. 이때 빠른 시간영역에서 매설지선 자체의 인덕턴스성분보

다 매설지선과 대지 사이의 정전용량성분이 더 우세적으로 작용하였다고 분석된다. 매설지선의 과도접지임피던스 특성은 전극의 길이, 대지저항률, 임펄스전류의 인가위치에 크게 의존하는 것을 알 수 있다.[4-6] 그림 4(b)에서와 같이 point ①과 ③을 비교할 경우, 빠른 시간 영역에서 1.8 m 접지봉이 연결된 point ③이 point ①보다 과도접지임피던스가 약간 낮게 나타났다. 이는 인가된 임펄스전류가 주로 30m 매설지선에 흐르며, 1.8m 접지봉으로 분기되어 흐름을 알 수 있다. 따라서 접지설계시 매설지선의 끝단보다 중앙에 접지전류가 인가되도록 접지도선을 매설지선의 중앙에 접속하여야 빠른 시간영역에서 과도접지임피던스를 저감할 수 있다.

접지시스템의 임펄스과도접지임피던스는 임펄스전류가 무한 대지로 인가되는 지점에서, 그 지점의 대지전위와 전류의 비로 정의된다. 수식적으로 나타내면 다음과 같다.

$$z(t) = \frac{u(t)}{i(t)} \quad (1)$$

임펄스과도접지임피던스는 시간에 따라 크기가 변화하므로, 그 파라미터에 대해서 정의하여야 한다.

접지전극의 과도접지임피던스 해석에 있어서 전류의 최대값과 전위의 최대값의 비를 이용한 규약접지임피던스가 많이 사용되고 있다. 식 (2)는 규약접지임피던스 Z의 정의를 나타낸다.

$$Z = \frac{V_{max}}{I_{max}} \quad (2)$$

여기서 Z는 전위 파형의 최대 값과 전류 파형의 최대 값의 비이다.[7]

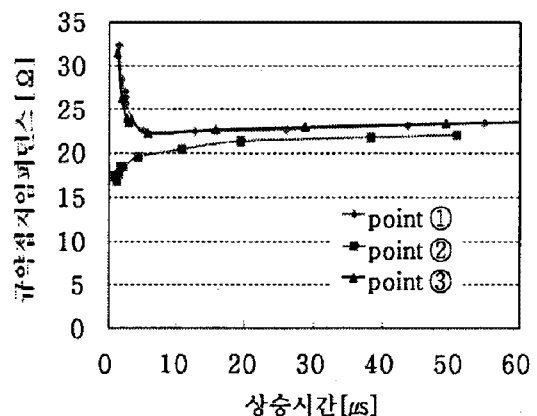


그림 5. 임펄스전류의 인가위치에 따른 규약접지임피던스

Fig. 5. Conventional grounding impedance according to the injection point of impulse current

접지시스템의 과도접지임피던스에 영향을 미치는 요소들은 인가전류의 파형, 인가점, 접지전극주위 토양의 저항률, 접지전극의 길이, 그리고 연결부분 등이다. 동일한 크기의 임펄스전류를 상승시간을 변화시키면서 30m

매설지선에 인가하였을 때 나타나는 규약접지임피던스를 그림 5에 나타내었다. 매설지선의 규약접지임피던스는 그림 4의 과도접지임피던스와 비슷한 양상을 보인다. $5\mu\text{s}$ 이전의 빠른 상승시간을 갖는 전류는 높은 주파수 성분을 갖고 있으며, 그림 4의 과도접지임피던스에서 $5\mu\text{s}$ 이전 시간영역에서의 주파수 성분과 비슷하다.

4. 결 론

본 연구에서는 피뢰설비용 접지나 송·배전 지지물의 피뢰접지에 많이 이용되고 있는 매설지선에 임펄스전류의 인가위치에 따른 과도접지임피던스를 측정하고 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

대지저항률이 $300\ \Omega \cdot \text{m}$ 인 장소에 설치된 30m 매설지선의 중앙점에 임펄스전류를 인가하면 끝단에 인가하는 것에 비하여 입사전류의 분류와 매설지선의 길이가 짧아지는 상승적 효과로 약간의 용량성을 나타내며, 임펄스전류의 상승시간이 빠를수록 끝단과 중앙점에서의 과도접지임피던스 값차이가 현저히 컸다. 이로 인하여 접지전극에 나타나는 전위상승도 과도접지임피던스에 비례하여 중앙보다 끝단이 더 높게 나타났다.

임펄스전류를 인하도선의 끝단에 인가하더라도 추가적으로 1.8m 접지봉을 연결하여 임펄스전류의 분류하도록 하여 과도접지임피던스의 상승을 감소시킬 수 있다고 판단된다.

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

참 고 문 헌

- [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 익제, 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] Leonid Groev, "High frequency performance of ground rods in highly resistive soil", International Conference on Grounding and Earthing, pp.85-89, 2000.
- [5] L. Groev, "Modeling of grounding systems for better protection of communication installations against effects from electric power system and lightning", IEE Conf. Pub., No. 484, pp. 461-468, 2001.
- [6] Leonid Groev, "Improved design of power transmission line grounding arrangements for better protection against effects of lightning", proceedings of the International Symposium on Electromagnetic Compatibility, C1-7, pp.100-103, 1998.
- [7] KS C IEC 62305-1, 피뢰시스템-제1부: 일반원칙, pp.3-15, 2007.