

다양한 전류원에서 접지동봉과 탄소접지극의 임피던스 특성 비교

(Comparison of Impedance Characteristics of Copper- and Carbon-Eearth Electrode by Application of Various Current Source)

김황국* · 문병두 · 지홍근 · 박대원 · 길경석

(Hwang-Kuk Kim · Byung-Doo Moon · Hong-Keun Ji · Dae-Won Park · Gyung-Suk Kil)

Abstract

In this paper, we carried out an comparative analysis on ground impedance of single copper-, three linked copper- and single carbon- electrodes by the application of various current sources such as sine, square, and surge with fast risetime. Impedance of single-copper electrode was the highest among them and was affected as the amplitude and the frequency of applied current.

However, impedance characteristics of the three linked copper- and the single carbon- electrodes showed a similar tendency.

1. 서론

최근에는 접지저항을 가능한 낮추기 위해 다양한 형태의 접지극을 개발하고 있다[1,2]. 이러한 접지극의 주된 목적은 회로의 기준전위를 정하거나, 뇌격전류 또는 지락전류가 대지로 유입될 때 대지의 전위상승을 억제하여 감전이나 전자·통신 기기의 사고를 미연에 방지하기 위함이다[3,4]. 접지의 중요 파라미터는 접지저항과 위험전압 등이 있다. 일반적으로 접지저항은 1 [kHz] 이하의 상용주파수 전류를 인가하여 측정하며, 고주파영역에서는 접지임피던스로 측정된다. 접지저항과 접지임피던스 차이는 접지극의 리액턴스 성분에 의한 영향이다. 단순히 저항성분으로 표시되는 것은 저주파로 리액턴스 성분의 영향이 매우 작기 때문이며, 고주파 즉, 낙뢰나 지락에 의한 서지 및 과도전류가 유입되면 접지극의 리액턴스에 의한 전압강하, 도체간의 유도전압 및 대지의 커패시턴스에 대한 영향이 매우 커져 접지임피던스로 측정된다[5,6]. 이때 접지저항 값과 접지임피던스 값은 상당한 차이가 있다[7].

따라서 본 논문에서는 접지동봉과 탄소접지극의 실험용 모의 접지극을 매설하고 전위강하법을 이용하여 정현파, 구형파, 서지 전류의 다양한 전류원을 인가하여 임피던스를 측정하고 비교·분석하였다.

2. 본론

2.1. 접지극

대지에 매설한 접지극은 접지동봉, 탄소접지극을 사용하였다. 접지동봉은 길이 1 [m], 직경 10 [mm]이며, 단일 접지동봉과 3연접 접지동봉으로 나누어 평가하였다. 3연접 접지동봉은 각 변의 길이가 50 [cm]인 정삼각형 형태로 매설하였다. 탄소접지극은 길이 1.5 [m], 직경 250 [mm]인 정육각형 형태이며 접지동봉 주변의 접지자재 양도체인 흑연은 접지본체와 토양사이의 접촉 면적을 극대화시켜 전류흐름의 원충역할을 하며, 접지동봉에 비해 부식이 없어 영구적으로 사용이 가능하다.

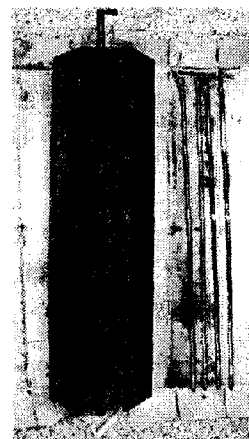


그림 1. 접지극의 사진
Fig. 1. Photographs of earth electrode

2.2. 측정방법

본 논문에서는 전위강하법을 이용하였고, 실험계의 구조는 그림 2와 같다. 접지극 E는 접지동봉과 탄소접지극을 사용하며, E와 전류보조극 C사이의 거리를 20

[m]로 하였고, C사이의 거리를 20[m]로 하였고, 20[m]의 61.8[%]되는 12[m]에 전위보조극 P를 매설하였다. 접지극을 통해 대지로 인가되는 전류의 측정은 광대역 변류기 (1 [Hz]~20 [MHz], 0.1 [V/A]), 전위차는 고전압 프로브 (DC~70 [MHz])를 사용하여 측정하였다.

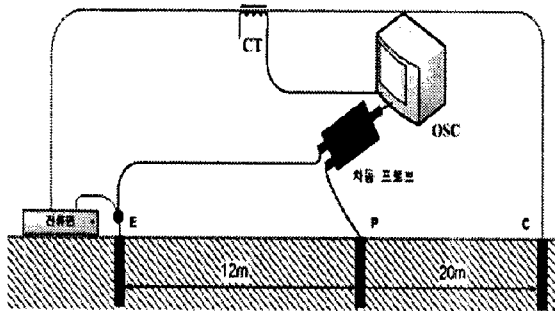
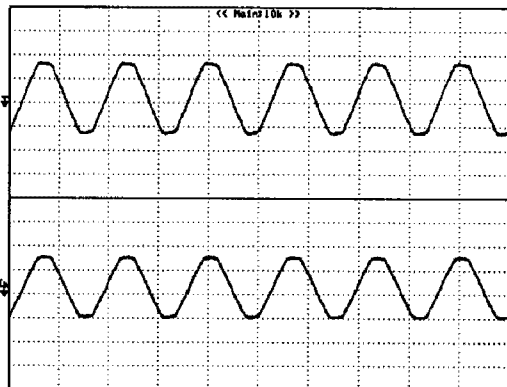
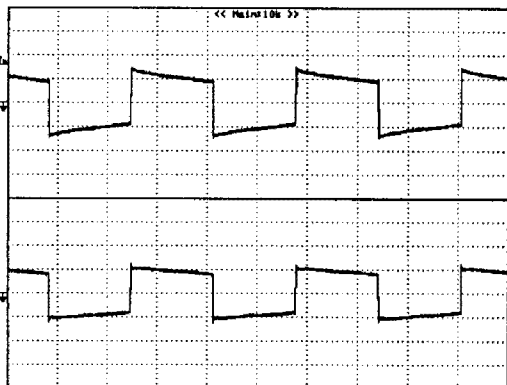


그림 2. 실험계의 구성
Fig. 2. Configuration of the experimental system

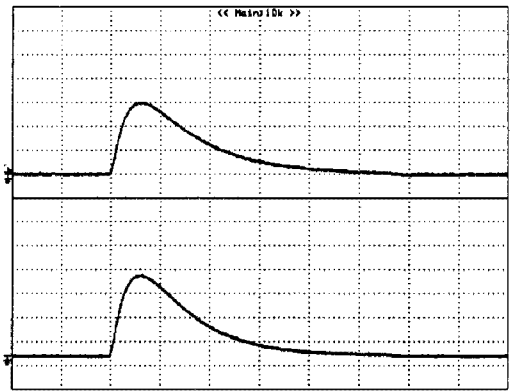
전류원은 교류절연변압기 (0~220 [V], 20 [A]), Pulse Power Supply (정격출력 300 [V_{p-p}], 6 [A], 60 [Hz]~1 [kHz]), 서지발생장치 (출력전압 5 [kV], 상승시간 50~500 [ns])를 사용하여 정현파, 구형파, 서지전류를 인가하였다.



Ch.1 : 인가전류 [2 A/div, 10 ms/div]
Ch.2 : 전위차 [0.2 kV/div, 10 ms/div]
(a) 정현파 전류



Ch.1 : 인가전류 [2 A/div, 5 ms/div]
Ch.2 : 전위차 [50 V/div, 5 ms/div]
(b) 구형파 전류



Ch.1 : 인가전류 [1 A/div, 5 μ s/div]
Ch.2 : 전위차 [20 V/div, 5 μ s/div]
(c) 서지전류

그림 3. 3연접 접지동봉에서 전압전류 파형의 예
Fig. 3. Typical voltage and current waveforms in three-linked copper electrodes

2.3. 측정결과

2.3.1 인가전류에 대한 비교

절연변압기를 사용하여 정현파 전류의 크기를 1~3 [A]로 접지극의 임피던스를 측정·비교하였다. 임피던스의 크기는 단일 접지동봉이 60 [Ω]으로 3연접 접지동봉의 22 [Ω]과 탄소접지극의 21 [Ω]에 3 배로 나타났으며, 3연접 접지동봉과 탄소접지극은 동일하였다.

따라서 전류가 증가하더라도 동일한 임피던스가 나타나므로 전류원의 크기에 대한 영향은 작다. 그러나 접지극의 재질이나 구조로 인해 얼마만큼의 빠른 시간에 전류를 방전시키는가에 따라 임피던스가 달라진다.

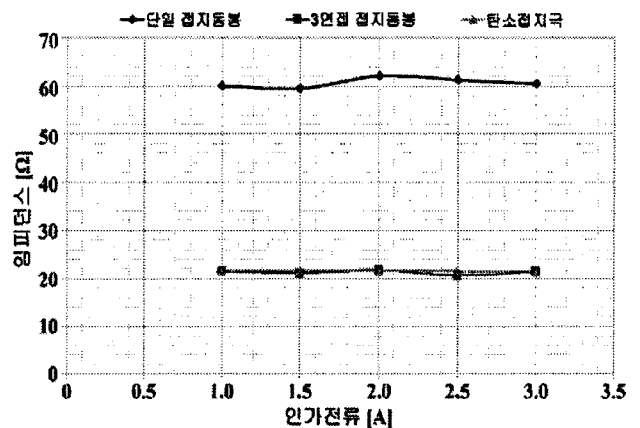


그림 4. 정현파 전류에서 임피던스 비교
Fig. 4. Comparison of impedance in sine-wave current application

Pulse Power Supply를 이용한 구형파 전류의 평가는 60 [Hz]로 고정하고 1~3 [A]의 범위에서 각 접지극의 임피던스 특성을 비교하였다. 단일 접지동봉은 전류의 크기가 커짐에 따라 임피던스가 감소하는 용량성 특성을 나타내었고, 3연접 접지동봉은 정현파 전류의 결과와 거의 동일하며, 탄소접지극은 단일 접지동봉과 반대

로 점차 증가하다가 2[A]이상에서는 임피던스가 변화하지 않는다.

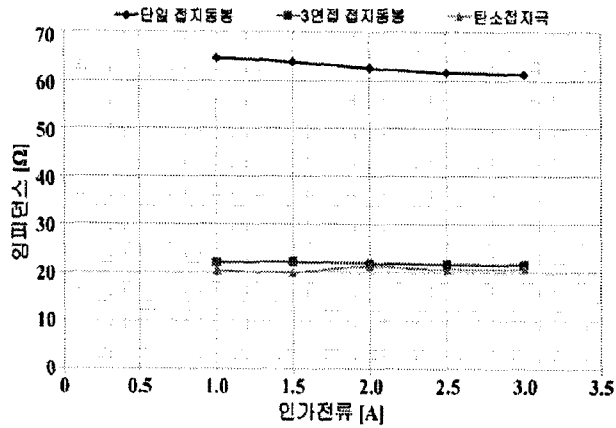


그림 5. 구형파 전류에 따른 임피던스 비교
Fig. 5. Comparison of impedance in square-wave current application

서지전류를 상승시간 500 [ns]로 고정하고 1~3 [A]로 임피던스를 비교·측정하였다. 단일 접지동봉은 전류의 크기가 커짐에 따라 임피던스가 상승되었고, 3연접 접지동봉과 탄소접지극은 거의 동일하게 측정되었다.

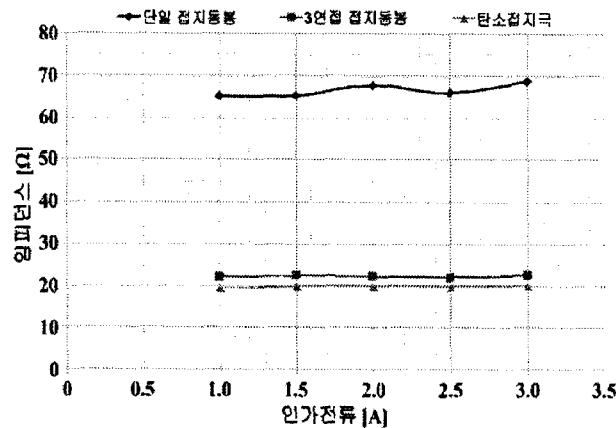


그림 6. 서지전류에 대한 임피던스 비교
Fig. 6. Comparison of impedance in surge current application

전류원에 따른 접지임피던스의 측정결과, 단일 접지동봉에 정현파 전류를 인가한 경우, 임피던스는 60.5 [Ω]으로 측정되었으며, 구형파 및 서지전류에서는 각각 61.3 [Ω]와 68.75 [Ω]로 증가되었다. 3연접 접지동봉에서는 정현파 전류 인가시 21.37 [Ω], 구형파와 서지전류에서 21.53 [Ω], 22.6 [Ω]로 측정되었으며, 탄소접지극에서는 정현파 전류 인가시 21.37 [Ω], 구형파 및 서지전류 인가시 20.83 [Ω], 20.1 [Ω]으로 3연접 접지동봉보다는 다소 작지만 거의 동일한 접지임피던스가 측정되었다. 단일 접지동봉을 매설한 경우, 전류원의 종류에 따라 접지임피던스의 차이가 크게 나타났다.

2.3.2 주파수에 대한 비교

정현파, 구형파 전류의 주파수에 대한 접지극의 임피던스를 측정·비교하였다. 낙뢰는 1.2/50 [μs]의 전압파형에서 가장 큰 주파수영역을 가지며, 이때의 주파수는 2 [MHz]~35 [MHz]이므로 측정 주파수영역의 최대값으로 설정하였다[8]. 측정결과, 전체적인 접지극의 임피던스는 50 [kHz]이하의 영역은 임피던스가 점차 감소하는 용량성 특성을 보이며 이상의 영역에서는 유도성 특성을 나타낸다.

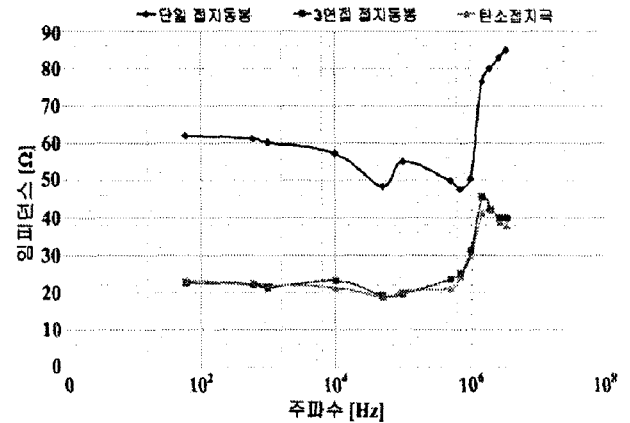


그림 7. 정현파전류에서 주파수에 따른 임피던스 비교
Fig. 7. Comparison of impedance as a function of frequency in sine-wave current application

구형파 전류에 대한 주파수 측정의 범위는 60 [Hz]~100 [kHz]이다. 단일 접지동봉은 60 [Hz]~1 [kHz]의 영역에서 유도성 특성을 보이고 1 [kHz] 이후에는 점차 낮아지는 용량성 특성을 나타낸다. 3연접 접지동봉과 탄소접지극 또한 임피던스의 특성이 같다. 따라서 정현파 전류의 결과와 비교하면, 구형파의 10 [kHz] 이후 임피던스가 동일하며, 정현파는 10 [kHz]영역에서부터 용량성 특성이 나타났다.

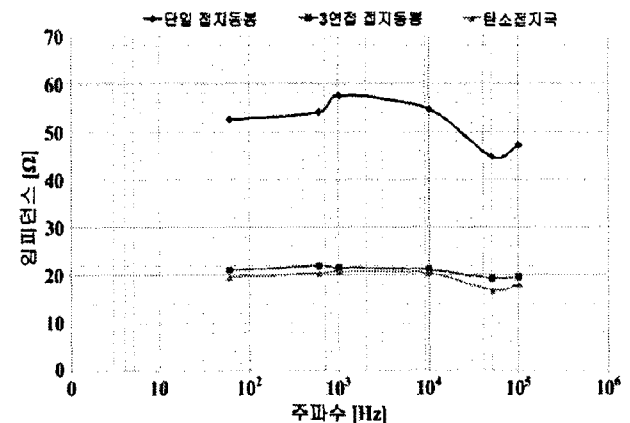


그림 8. 구형파전류에서 주파수에 따른 임피던스 비교
Fig. 8. Comparison of impedance as a function of frequency in square-wave current application

2.3.3 상승시간에 대한 비교

서지발생장치를 사용하여 출력전압을 5 [kV]로 고정하고 상승시간 (50 [ns] ~ 500 [ns])에 대한 접지극의 임피던스 특성을 측정·비교하였다. 측정 결과, 임피던스는 전류의 크기변화와 주파수 변화에 측정된 결과보다 작게 측정이 되며, 이는 서지전류가 대지를 통해 흐르면서 상승시간이 500 [ns]에서 25 [ms]로 변화가 되기 때문이며, 측정된 상승시간을 주파수 영역으로 환산하면 14 [kHz]가 된다. 상승시간의 임피던스를 주파수 10 [kHz]~ 50 [kHz]에 대한 임피던스와 비교하면 거의 동일하게 나타난다. 따라서 서지전류에 대한 임피던스는 광대역으로 측정된 정현파 전류의 임피던스에 포함되어 나타남을 알 수 있다[9].

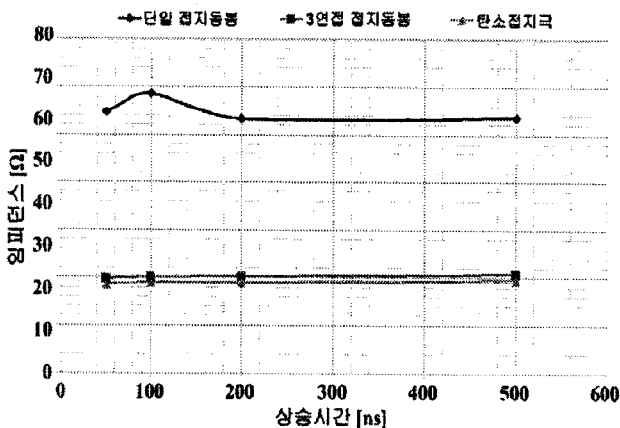


그림 9. 서지전류의 상승시간에 따른 임피던스 비교
Fig. 9. Comparison of impedance as a function of rise-time in surge current application

3. 결론

본 논문에서는 단일 접지동봉, 3연접 접지동봉 및 탄소접지극에서 전위강하법으로 정현파, 구형파 및 서지전류에 대한 임피던스를 측정하였고, 결과는 다음과 같다.

① 전류의 크기를 변화시키면 서지전류에 대한 단일 접지동봉에서 임피던스가 변화하지만 그 외의 접지극에 대한 임피던스의 변화는 거의 없었다.

② 정현파 전류의 주파수를 변화시키면서 측정한 결과, 저주파영역의 임피던스는 용량성 특성을 가지며, 50 [kHz]이상의 영역에서는 유도성 특성을 보인다. 10 [kHz]이후 측정된 임피던스는 구형파와 정현파가 동일하다. 그러나 구형파 전류의 저주파영역에서 단일 접지동봉은 임피던스가 증가되는 특성이 나타났다.

③ 서지의 상승시간에 대한 임피던스의 변화는 거의 없었으나 측정된 파형의 변화된 상승시간을 주파수로 환산하면 이때의 임피던스가 정현파 전류의 주파수 측

정결과 값에 포함되어 나타난다.

따라서 다양한 전류원에 대한 접지동봉과 탄소접지극의 임피던스 변화는 단일 접지동봉이 다른 접지극들에 비해 크게 나타난다. 그러나 3연접 접지동봉과 탄소접지극의 임피던스는 변화가 적으며 유사한 경향을 나타낸다.

본 연구는 지식경제부의 전력산업연구개발사업 (R-2007-1-014-02)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] A. Geri, "Behaviour of Grounding Systems Excited by High Impulse Currents: the Model and Its Validation", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 3, pp.1008~1017, 1999.
- [2] G. Vijayaraghavan, Mark Brown, and Malcolm Barnes, "Practical Grounding, Bonding, Shielding and Surge Protection", Newnes, pp.62~78, 2004.
- [3] Ronald P. O. Riley, "Electrical Grounding : Bringing Grounding Back to Earth", DELMAR, pp.40~43, 2002.
- [4] Chien-Hsing Lee, A. P. Sakis Meliopoulos, "A Comparison of IEC 479-1 and IEEE Std. 80 on Grounding Safety Criteria", Proc. Natl. Sci. Coun. ROC(A), Vol. 23, No. 5, pp.612~621, 1999.
- [5] 高橋 健彦, 金聖模, 李炯秀, "接地技術入門", 오름사, pp.203~218, 1997.
- [6] Ralph Morrison, Warren H. Lewis, "GROUNDING AND SHIELDING IN FACILITIES", John Wiley & Sons, pp.44~45, 1990.
- [7] T. Hiyama, T. Miyake, T. Kita, and H. Andou, "Experimental Evaluation of Fuzzy Logic Excitation Control System on Analog Simulator", Trans. IEE of Japan, Vol. 118-B, No. 1, pp.37~43, 1998.
- [8] 한국정보통신기술협회, "접지임피던스 측정", TTAS. KO - 04. 0042, pp.1~3, 2002.
- [9] H. K. Kim, B. D. Moon, J. S. Choi, G. S. Kil, "Design and Fabrication of a Wideband Ground Impedance Meter", The 5th Asia Lighting Protection Forum, pp.149~151, 2008.