

심매설 접지전극에 대한 접지임피던스의 주파수특성

강성만*, 김태기*, 김한수* ·이복희**
 대한전기학회 기술기준처*, 인하대학교 전기공학과**

Frequency Characteristics of Grounding Impedances of the Deeply-driven Ground Rods

Sung-Man Kang*, Tae-Ki Kim*, Han-Soo Kim*, Bok-Hee Lee**
 Korean Electric Association*, Inha University**

Abstract - Grounding impedance depends on the frequency of current flowing into a grounding system. Especially, the lightning gives a broad frequency spectrum from low frequency up to 1 MHz. So the grounding impedance related to high frequency current like lightning should be measured with high frequency source. In this paper, we described the grounding impedances of deeply-driven ground rods of 10 ~ 48 m long with respect to the frequency of injected currents. For the experiments, we used the wideband power amplifier which can produce sinusoidal voltages with the frequency ranges of DC ~ 250 MHz. As a result, the longer the ground rod is, the lower the ground resistance is. However the grounding impedance of deeply-driven ground rod in the range of higher frequency is significantly increased. As a consequence, it is important to evaluate the high frequency performance of grounding systems for lightning protection.

접지전극은 직경 54 mm이고 길이가 각각 10, 30, 48 m인 동관을 사용하였다. 전류를 인가하는 위치에 따른 특성파악을 할 수 있도록 38 mm의 GV전선을 이용하여 접속하였다. 그리고 전류보조전극(C)은 측정대상의 접지전극(E)으로부터 64 m를 이격시켜 최대한 낮은 접지저항을 갖도록 시설하였으며, 전위보조전극(P)은 0.2 m의 동관을 사용하여 접지전극(E)으로부터 직각으로 67 m를 이격하여 시설하였다.

접지전극의 길이에 따라 10, 30과 48 m 접지동관의 결보기 토지저항률은 각각 75.5, 83.1과 52.3 Ω·m이고, 정상상태의 접지저항은 각각 8.2, 11.52과 5.8 Ω으로 나타났다. 정상상태의 접지저항은 접지전극의 치수뿐만 아니라 대지저항률에 의해 달라지며, 본 연구에 사용된 실험장의 경우 전극의 치수보다 대지저항률에 의한 영향이 크게 나타났다.

실험에 사용된 측정기기를 표 1에 나타내었으며, 피측정 접지전극과 전류보조극 사이에 인가전류의 주파수를 10 kHz에서 20 MHz까지 가변시켜 가며 인가전압, 인가전류, 접지전극의 전위상승을 측정하였다.

1. 서 론

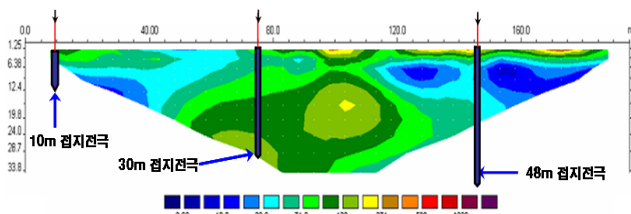
고주파수 성분을 갖는 통신용 접지시스템이나 낙뢰 또는 개폐임펄스 전압에 대한 보호를 주 목적으로 하는 접지시스템에 대해서는 단순한 접지저항의 저감만으로는 효과적이지 못하며, 주파수특성이 고려된 접지임피던스로의 평가가 반드시 필요하다.[1]-[3] 대지저항률이 높거나 장소의 제약을 받는 최근의 건축현장 등에서 심매설 봉상 접지전극이 주로 사용되고 있으며, 양호한 접지를 얻기 위해 설치깊이, 접지전극의 형상 등에서 보다 다양화 되고 있다.

본 논문에서는 고주파 전류가 흐를 수 있는 피뢰설비 및 통신용 접지에 주로 사용되고 있는 실규모의 심매설 접지전극을 시설하고 10 kHz ~ 20 MHz까지의 전류를 인가할 수 있는 광대역 전력증폭기를 이용하여 고주파수영역에서 접지임피던스를 측정하고 분석한 결과에 대하여 기술하였다.

2. 본 론

2.1 실험계의 구성

피측정 접지전극-전위보조전극-전류보조전극이 일직선상으로 배치되는 전형적인 전위강하법은 접지시스템의 접지임피던스를 측정하는 기본적인 방법이지만 고주파수의 측정전류에 대해서는 측정대상의 접지전극으로부터 전류보조전극을 연결하는 도선과 전위보조극 사이에 발생하는 전자유도결합에 의해서 오차가 발생하게 되므로 적절하지 않다. 따라서 본 실험에서는 IEEE 81.2-1991에서 권고하는 전위강하법을 적용하여 측정상의 오차를 최소화 할 수 있도록 전류보조전극을 전위보조극과 90도 각도로 배치하였다.[4]-[5]



〈그림 1〉 심매설 접지전극의 시설

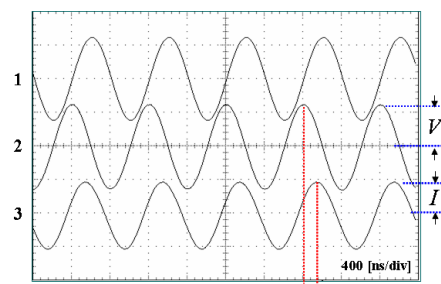
실규모의 접지시스템에 대한 접지임피던스의 주파수존성을 평가하기 위해 그림 1과 같이 심매설 접지전극을 시설하였으며, 실험에 사용

〈표 1〉 실험에 사용된 측정기기

장 비 명	규 격
함수발생기	Amplitude : 10 mV _{pp} ~ 10 V _{pp} Bandwidth : 1 uHz ~ 80 MHz
광대역 전력증폭기	최대출력 75 W Bandwidth : DC ~ 250 MHz
오실로스코프	4 Chnells, 500 MHz, 2.5 GS/s
전류프로브	400 MHz, 1 mV/mA
전압프로브	100 MHz

2.2 분석방법

그림 2에 주파수에 따른 인가전압, 인가전류 및 접지전위상승의 파형을 나타내었다. 측정된 인가전류와 접지전극의 전위상승파형은 오실로스코프의 연산기능을 이용하여 인가전류파형과 접지전극의 전위상승파형 사이의 위상차를 계산하였으며, 개인용 컴퓨터를 이용하여 임피던스, 저항, 리액턴스 성분을 분석하였다.



1 : 인가전압 2 : 접지전위상승 3 : 인가전류

〈그림 2〉 주파수에 따른 인가전압, 인가전류 및 접지전위상승의 파형

일반적으로 접지시스템의 임피던스(Z)는 접지전극에 흐르는 전류(I)의 실효값에 대한 접지전극의 전위상승(V)의 실효값의 비로 표현할 수 있으며, 인가전류와 접지전위상승의 위상차로부터 접지임피던스(Z) 및 접지저항(R), 접지리액턴스(X)의 각 성분을 다음 식 (1)~식 (3)과 같이 간략하게 나타낼 수 있다.

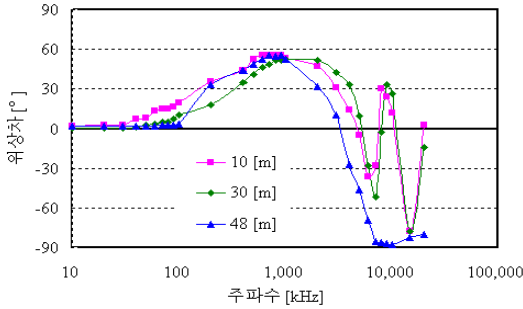
$$Z = R + jX = |Z| \cdot (\cos\theta + j\sin\theta) \quad (1)$$

$$|Z| = V/I \quad (2)$$

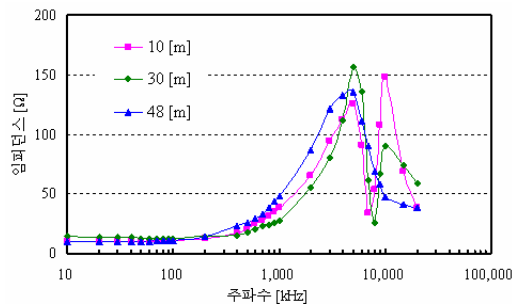
$$R = |Z| \cdot \cos\theta, \quad X = |Z| \cdot \sin\theta \quad (3)$$

2.3 접지임피던스의 주파수 의존성

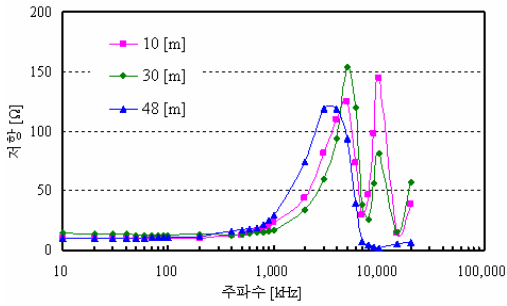
측정된 인가전류 파형과 접지전위상승 파형으로부터 위상차와 접지임피던스의 각 저항성분과 리액턴스 성분을 분석하였다. 그림 3에 접지전극의 상단에 전류를 인가하였을 때 접지전극의 길이에 따른 위상차, 임피던스, 저항 및 리액턴스 성분의 주파수 의존성을 나타내었다.



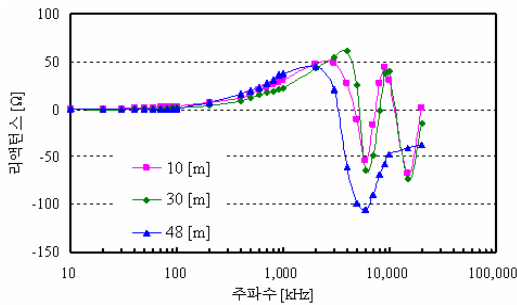
(a) 위상차의 변화



(b) 임피던스의 변화



(c) 저항의 변화



(d) 리액턴스의 변화

〈그림 3〉 주파수에 따른 위상차, 임피던스, 저항 및 리액턴스의 변화

그림 3 (a)에서 위상차의 변화는 인가전류 파형에 대하여 대지전위상승 파형이 진상인 경우를 (+)로, 지상인 경우를 (-)로 정의하였으며, 주파수변화에 따라 위상차의 변화가 크게 나타남을 확인하였다. 모든 접지

전극 즉, 10, 30, 48 m의 접지전극에서 약간의 차이를 보이나 약 1 Mhz까지는 주파수 증가에 따라 인가전류에 대한 접지전위상승의 위상차(진상)가 점점 더 크게 증가하였다. 그러나 주파수가 점점 증가할수록(1 Mhz ~ 6 Mhz) 위상차가 감소하다가 오히려 전류와 전위의 위상이 역전되어 위상차(지상)가 증가하는 양상을 보였으며, 그 이상의 주파수에서는 위상 위상의 재역전이 나타났다. 이와 같은 위상의 변화에 대한 명확한 근거를 설명할 수 없지만 수백 kHz 이상의 고역 주파수영역에서는 접지전극 자체의 인덕턴스에 의한 유도성분과 대지접촉면에서 전극과 대지 사이의 정전결합에 의한 용량성분에 의해 나타나는 것으로 사료된다.[6]-[7]

그림 3 (b)의 접지임피던스는 100 Mhz의 저주파영역에서의 접지임피던스는 상용접지저항계로 측정된 정상상태의 접지저항(8.2, 11.52, 5.8 Ω)과 거의 유사하게 일치하였다. 그러나 주파수가 점점 증가할수록(100 Mhz ~ 1 Mhz) 접지임피던스는 유도성을 보이며 크기가 증가하였다. 접지임피던스와 더불어 저항성분과 리액턴스성분 모두 주파수의 증가에 따라 크기가 모두 유사하게 증감을 반복하는 진동특성을 나타내었으며, 약 5 Mhz, 7 Mhz, 10 Mhz 부근에서 공진하는 현상을 나타내었다. 그러나 공진곡선의 첨예도는 정상상태의 접지저항이 가장 큰 30 m 접지전극에서 가장 크게 나타났고, 접지저항이 가장 작은 48 m 접지전극에서 가장 작게 나타났다. 향후 이러한 실험결과에 대한 근거를 설명하기 위한 추가연구가 진행되어야 한다.

특히, 5 Mhz의 주파수 부근에서 공진시 접지임피던스는 저주파영역의 정상상태의 접지저항에 비해 약 20 배 가량의 크기인 130 ~ 160 Ω 정도로 매우 크게 급증했다가 그 이상의 주파수영역에서는 다시 감소하는 변화특성을 나타내었다. 이는 실제 뇌격이 건축물에 발생했을 시 피뢰시스템의 조건(인하도선 및 접지극의 자체인덕턴스)에 따라 접락현상과 같은 극한상황을 초래할 수도 있게 된다. 따라서 유입전류가 고주파수 성분을 가지는 뇌보호 접지나 통신접지용 심매설 접지전극의 접지임피던스를 작게 하기 위한 접지시스템의 설계가 필요하다.

일반적으로 국제 또는 국가표준에서 적절한 접지저항 값으로 10 Ω 이하를 제시하고 있으나 이는 고주파영역에서의 접지임피던스는 고려치 않은 것이다. 특히, 고주파수영역에서 길이가 긴 접지전극 또는 인하도선이 포함된 접지임피던스는 인덕턴스에 의한 주파수 의존성이 있어 상용 접지저항계로 측정된 접지저항과는 큰 차이를 나타내므로 피뢰설비용 접지나 통신설비용 접지로서 심매설 접지전극의 경우에는 시설 후 고주파 접지임피던스를 측정하여 평가하는 것이 바람직하다.[6]-[7]

3. 결 론

심매설 접지전극에 대한 접지임피던스의 주파수 의존성에 대한 평가실험을 수행한 결과 저역 주파수에서의 접지임피던스는 정상상태의 접지저항값과 거의 유사하게 나타났으나 수백 kHz 이상의 고역 주파수영역에서는 특정 주파수에서 공진현상을 보이며, 크기가 증감하는 복잡한 주파수 의존성을 나타내었다. 그리고 접지전극 길이에 따른 위상차의 변화뿐만 아니라 임피던스, 저항, 리액턴스의 변화는 유사한 경향을 보였다. 따라서 피뢰설비용 접지시스템 성능은 고주파 임피던스 특성의 평가가 필요하며, 저주파 영역에서의 접지저항뿐만 아니라 고주파영역에서의 접지임피던스를 고려한 접지시스템의 설계와 평가가 매우 중요한 요소이다.

[참 고 문 헌]

- [1] I. D. Lu, R. M. Shier: "Application of a digital signal analyzer to the measurement of power system ground impedance", IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-100, pp.1918-1922, Apr. 1981.
- [2] A. D. Papalexopoulos, A. P. Meliopoulos: "Frequency dependent characteristics of grounding system", IEEE Trans. Power Del, vol .PWRD-2, pp.1073-1081, Oct. 1987.
- [3] "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", IEEE Std. pp.80-2000, 2000.
- [4] "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System", IEEE Std. pp.81-1983, 1983.
- [5] "IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems", IEEE Std. pp.142-1991, 1991.
- [6] Wojtas S., Rousseau A. "Impulse and high frequency tests of lightning earthing", Proceedings of 27th ICLP, Avignon, France, pp.13-16, Sep. 2004
- [7] Rousseau A., P. Gruet, P., "Practical high frequency measurement of a lightning earthing system", Proceedings of 27th ICLP, Avignon, France, pp.13-16, Sep. 2004