

수직접지전극의 길이와 대지저항률에 따른 규약접지임피던스 분석

최종혁*, 신희경*, 이복희*, 김태기**, 안창환***
 인하대학교*, 대한전기협회**, 인하공업전문대학***

Conventional Grounding Impedance according to the Length and Soil Resistivity of the vertical grounding electrode

Jong-Hyuk Choi*, Hee-Gyung Shin*, Bok-Hee Lee*, Tae-Ki Kim**, Chang-Hwan Ahn***
 Inha University*, Korea Electric Association**, Inha Technical Collage***

Abstract - 최근 기후변화로 인해 낙뢰의 발생빈도가 크게 증가하고 있으며 이에 따라 피뢰시스템의 중요성이 부각되고 있다. 피뢰시스템의 원활한 기능을 수행하기 위해 접지시스템의 성능이 보장되어야 하며, 접지전극은 뇌격전류를 안전하게 대지로 방류시켜야 한다. 본 논문에서는 피뢰시스템에서 가장 흔하게 사용되는 수직접지전극을 대상으로 서지전류가 인가되었을 때 접지전극이 묻힌 대지저항률, 접지전극의 길이, 서지 전류의 파두시간 등에 따른 규약접지임피던스를 측정하고 그 특성을 분석하였다. 그 결과 대지저항률이 높은 토양과 접지전극의 길이가 짧은 경우 접지임피던스가 감소하는 용량성 특성이 지배적으로 나타나며, 대지저항률이 작고 접지전극의 길이가 긴 경우 접지임피던스가 증가하는 유도성 특성이 지배적으로 나타났다. 따라서 피뢰시스템을 위한 접지시스템 설계 시 대지저항률 및 접지전극의 길이를 고려하여 유도성 특성을 최소화 할 수 있도록 설계해야 한다.

m의 단위 접지전극을 동일 재질의 커플링을 이용하여 연결한 후 황타기를 이용하여 2 m에서 8 m 까지 2 m 단위로 증가시키며 접지임피던스를 측정하였다. 접지임피던스의 측정은 전자유도를 배제하기 위해 IEEE Standard 81.2에서 제시하는 수정된 전위강하법을 사용하였으며 [3], 전류보조전극과 전위보조전극은 20 m 떨어진 위치에 설치하여 측정하였다. 접지전류의 인가는 조합파발생기(Open Circuit :1.2/50µs, Short Circuit:8/20 µs)를 사용하였으며, 임펄스 전류의 파두시간은 충전용 콘덴서를 0.25~30 µf로 조정하고, 접지전극 앞단에 추가적인 인덕턴스를 연결하여 조정하였다. 규약접지임피던스는 100 MHz의 주파수 대역을 갖는 고전압 차동프로브(Tektronix P5210)와 10 MHz의 주파수 대역을 갖는 전류프로브(Pearson 110)를 사용하여 전압과 전류를 측정하였으며, 5 Gs/s, 1 GHz의 주파수 대역을 갖는 오실로스코프로 파형을 산출하였다.

1. 서 론

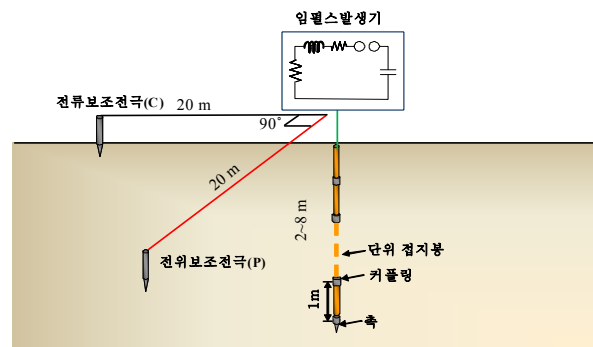
수직 및 수평접지전극과 같이 단순한 형태의 접지전극은 피뢰시스템에 대한 접지단자로 많이 이용된다. 그러한 접지전극의 기본적인 목적은 인명과 설비에 손상을 일으킬 수 있는 전위차 또는 유도전압을 발생시키지 않고 뇌격전류를 대지로 방류시키는데 있다. 상용주파수에 대한 접지시스템의 특성은 이미 충분히 알려져 있으며 접지저항을 고려한 접지시스템의 설계는 이미 널리 사용되고 있다. 하지만 뇌격전류가 접지전극에 인가되었을 때의 특성은 접지저항과는 매우 다르며, 일반적인 경우 뇌격전류는 접지시스템의 보호 효율을 저하시킨다[1]. 최근 급격한 기후변화로 인해 낙뢰의 빈도가 증가하고 있으며, 이에 따라 서지 전류에 대한 접지시스템의 성능을 평가 및 분석 하는 것이 반드시 필요하다. 단순히 접지시스템의 성능 뿐 아니라 전반적인 피뢰시스템의 성능을 보장하기 위해서는 서지전류에 대한 접지성능이 보장되어야 하기 때문에 IEC 62305 규격에서는 규약접지임피던스를 정의하고 서지전류에 대한 접지성능 평가에 반영하는 것을 제안하고 있다[2]. 서지 전류에 대한 접지전극의 성능을 보장하기 위해서 우선적으로 접지전극의 형태 및 크기 토양의 저항률 등에 따른 규약접지임피던스의 분석이 필요하며, 이를 반영한 설계 방법이 제시되어야 한다. 이러한 측면에서 최근에 제시된 접지임피던스에 관한 모델링 기법 및 해석적 연구들은 피뢰시스템과 접지성능을 분석하는데 큰 기여를 하고 있다. 하지만 접지시스템의 형태 및 크기, 토양의 저항률 및 인가된 서지전류 파형 등과 같이 다양한 조건에 대한 측정결과에 기반한 분석 및 해석결과는 매우 부족한 상황이며, 접지임피던스를 고려한 접지성능 분석 및 접지설계 기법 등을 제시하기 위해서는 여러 다양한 조건에서의 분석 결과가 제시되어야 한다.

본 논문은 대지저항률 및 접지전극의 길이와 서지전류의 파형에 따른 규약접지임피던스를 분석하기 위해서 대지저항률이 크게 다른 두 곳을 선정하여 수직접지전극의 길이를 증가시키며, 임펄스 전류의 파두시간에 따른 규약접지임피던스의 측정결과를 나타낸다. 본 논문에서는 큰 서지전류가 인가되었을 때 접지전극 주변에 나타나는 이온화 현상은 기존 접지시스템의 성능을 향상시키는 특성을 보이기 때문에 고려 대상에서 배제 하였다.

2. 본 론

2.1 측정계의 구성 및 분석 방법

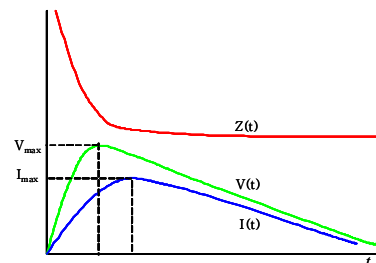
대지저항률에 따른 규약접지임피던스를 분석하기 위해 대지저항률이 크게 차이가 나는 두 곳에 부지를 선정하였다. 첫 번째 장소는 대지저항률이 비교적 높은 야산지역으로 450 Ω·m 이상의 대지저항률을 나타내었다. 두 번째 장소는 대지저항률이 매우 낮은 매립지로 10 Ω·m 이하의 대지저항률을 나타내었다. 두 지역에 동일한 수직접지전극을 설치하였으며 길이를 늘려가며 파두시간에 따른 규약접지임피던스를 측정하였다. 그림 1은 수직접지전극의 길이 및 임펄스 전류의 파두시간에 따른 규약접지임피던스의 측정계를 나타낸다. 그림 1과 같이 직경 14 mm, 길이 1



〈그림 1〉 규약접지임피던스 측정계 구성

규약접지임피던스는 IEC 62305-3 규격에 따라 그림 2와 같이 인가된 임펄스 전류파형과 접지전극의 전위파형의 피크값의 비로 식 (1)과 같이 정의되며, 이 값은 전류파형을 알 때 접지전극의 전위상승을 나타내는 중요한 파라미터가 된다. 본 논문에서는 접지전극에 인가된 임펄스 전류의 파두시간에 따른 규약접지임피던스를 분석하였다.

$$Z = \frac{V_{max}}{I_{max}} \tag{1}$$



〈그림 2〉 IEC 62305 규격에서 정의된 규약접지임피던스

2.2 측정결과 및 분석

규약접지임피던스의 분석에 앞서 두 지역의 길이별 수직접지전극에 대한 접지저항을 측정하였으며, 수직접지전극의 접지저항 산출 식(2)를 이용하여 접지전극이 시공된 부지의 평균 대지저항률을 역산하여 표 1에 나타내었다.

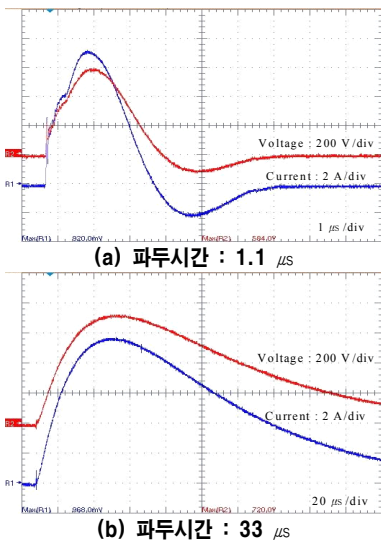
$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{a} \quad (2)$$

야산지역의 수직접지전극은 길이 2 m에서 246 Ω의 접지저항을 나타내었으며, 길이가 늘어남에 따라 감소하여 8 m 전극의 경우 81 Ω의 접지저항을 나타내었다. 접지저항으로부터 환산한 야산지역의 대지저항률은 2 m 수직접지전극을 제외하고 500 Ω·m가 넘는 높은 대지저항률을 나타내었다. 반면, 매립지 지역에 시공된 수직접지전극의 접지저항은 2 m에서 4.2 Ω을 나타내었으며, 8 m에서 0.4 Ω으로 매우 작은 접지저항을 나타내었다. 환산된 대지저항률 또한 2 m에서 8.3 Ω·m로 매우 작게 나타났으며 깊이가 깊어짐에 따라 평균적인 대지저항률이 작아지는 것으로 나타났다.

〈표 1〉 측정대상 접지전극의 접지저항 및 대지저항률

| 야산지역 | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|-----|
| 접지전극의 길이 | 2 m | 4 m | 6 m | 8 m |
| 접지저항 Ω | 246 | 197 | 101 | 81 |
| 대지저항률 Ω·m | 487 | 703 | 511 | 523 |
| 매립지 지역 | | | | |
| 접지전극의 길이 | 2 m | 4 m | 6 m | 8 m |
| 접지저항 Ω | 4.2 | 1.8 | 0.9 | 0.4 |
| 대지저항률 Ω·m | 8.3 | 6.3 | 4.8 | 2.6 |

그림 3은 야산지역에 설치된 8 m 수직접지전극에 대한 규약접지임피던스 측정 파형의 예를 나타낸다. 1.1 μs의 매우 빠른 파두시간의 전류 파형이 인가된 경우 전류의 피크시간이 전위의 피크시간보다 앞서 나타났으며 이때 규약접지임피던스는 64 Ω으로 접지저항보다 크게 작아진 값을 나타내었다. 반면 그림 3(b)의 파두시간이 33 μs인 경우 전류파형과 전위파형의 피크가 거의 같은 시간에 나타났으며 접지임피던스는 빠른 파두시간과 마찬가지로 접지저항보다 작은 75 Ω을 나타내었다. 규약접지임피던스가 접지저항보다 작게 나타나는 점은 접지임피던스의 용량성 특성이 지배적이기 때문이라 판단된다.

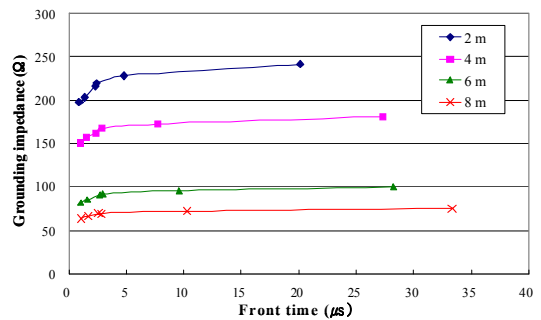


〈그림 3〉 야산지역에 설치된 8 m 수직접지전극의 규약접지임피던스 측정파형의 예

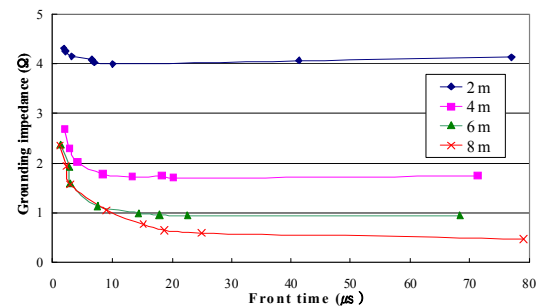
그림 3의 측정결과를 바탕으로 하여 야산지역과 매립지 지역에 설치된 수직접지전극의 길이별 파두시간에 따른 규약접지임피던스를 그림 4에 나타내었다. 야산지역의 규약접지임피던스의 측정 범위는 매립지 지역에 비해 접지전극의 인덕턴스의 영향보다 접지저항 및 커패시턴스의 영향이 크게 나타나기 때문에 동일한 전류를 인가하여도 파두시간이 모두 35 μs보다 작게 나타났으며, 매립지 지역의 경우 동일한 조건에서 약 80 μs까지 분석 되었다. 그림 3(a)의 야산지역의 규약접지임피던스는 모두 접지저항보다 작게 나타났으며 파두시간이 짧아짐에 따라 규약접지임피던스가 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 측정결과는 접지임피던스의 용량성 특성으로 규정되며, 접지전극의 접지저항이 큰 경우 인덕턴스 성분에 비해 커패시턴스의 영향이 크게 나타나기 때문이다. 즉 고주파를 포함하는 빠른 파두시간을 갖는 서지 전류에서 접지전극과 토양의 커패시턴스가 크게 작용하여 용량성 전류가 더 많이 흐르게 되어 접지임피던스가 감소하게 된다. 반면 그림 3(b)의 매립지 지역의 경우 파두시간이 빨라짐에 따라 접지임피던스가 접지저항보다 커지는 유도성 특성이

지배적으로 나타나게 된다. 접지임피던스가 접지저항에 비해 커지는 유도성 특성은 접지전극의 길이가 길수록 크게 나타났으며, 8 m 수직접지전극의 경우 가장 빠른 파두시간에서 접지저항에 약 7 배에 해당하는 규약접지임피던스를 나타내었다. 이는 접지저항이 매우 작은 접지전극에서 저항성 전류가 크게 흘러 용량성 전류는 무시되는 반면, 접지전극을 통해 전류가 흐르면서 접지전극의 인덕턴스성분이 크게 작용하여 접지임피던스가 증가하게 된다. 또한 빠른 파두시간에서 8 m 수직접지전극과 6 m 수직접지전극의 규약접지임피던스가 동일하게 나타나는 결과에서 알 수 있듯이 고주파수 성분을 더 많이 포함하는 빠른 파두시간의 접지전류는 접지전류의 인가점 부분에서 더욱 많이 대지로 분산되어 인가점에서 먼 부분의 접지전극은 접지임피던스를 낮추는데 기여하지 못하게 된다[4].

이러한 결과는 뇌격전류를 고려한 접지시스템 설계에 반드시 고려되어야 하는 사항을 제시해 준다. 뇌격전류를 원활히 대지로 흐르게 하기 위한 접지전극은 접지임피던스가 감소하거나 증가하지 않는 용량성 또는 저항성으로 설계가 되어야 하며, 대지저항률이 낮은 경우 접지저항은 매우 낮으나 서지 전류에 의해 접지임피던스가 크게 증가할 수 있기 때문에 길이를 증가시키는 방법 대신 접지임피던스가 크게 상승하지 않는 적정길이의 전극을 병렬 시공하는 것이 접지임피던스 설계에 반영되어야 한다고 판단된다.



(a) 야산지역



(b) 매립지 지역

〈그림 4〉 수직접지전극의 길이 및 임펄스전류의 파두시간에 따른 규약접지임피던스

3. 결 론

본 논문은 대지저항률이 크게 차이 나는 지역에 설치된 수직접지전극에 대하여 접지전극의 길이 및 임펄스접지전류의 파두시간에 따른 규약접지임피던스의 측정결과를 나타낸다. 그 결과 규약접지임피던스는 대지저항률이 크고 접지전극이 짧을수록 용량성 특성을 나타내었으며, 대지저항률이 작고 접지전극의 길이가 긴 경우 유도성 특성을 나타내었다. 따라서 피뢰시스템의 적용을 위한 접지전극의 설계시 대지저항률과 접지전극의 길이를 고려하여 유도성 특성을 최소화 할 수 있는 접지설계가 요구된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Leonid Grcev, "Lightning Surge Characteristics of Earthing Electrodes", 29th ICLP, pp. 5a-1-1, 2008.
- [2] IEC 62305-3, "Protection against lightning - Part 3 : Physical damage to structures and life hazard", 2006.
- [3] IEEE Std. 81.2-1991, IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems, 1991.
- [4] Jong-Hyuk Choi, Jong-Ho Kim, Bok-Hee Lee, Young-Ki Chung, "An analysis of conventional grounding impedance based on the impulsive current distribution of a counterpoise", 30th ICLP, pp. 1179-1-6, 2010.