

대전류 임펄스에 대한 소규모 메쉬전극의 과도접지임피던스 특성

이태형*, 조성철*, 엄주홍*, 유양우*, 이복희**
기초전력연구원*, 인하대학교**

Characteristics of Transient Ground Impedance of a Scaled Grounding Grid on the High Current Impulse

Tae-Hyung Lee*, Sung-Chul Cho*, Ju-Hong Eom*, Yang-Woo Yoo*, Bok-Hee Lee**
KESRI*, Inha University**

Abstract - This paper presents the transient impedance when high current impulse up to 5 kA is applied to a scaled grounding grid in test field. For a realistic analysis of transient impedance on the high current impulse in the ground systems, grounding electrode installed outdoors and impulse current generator was used. The results were discussed based on its voltage and current trace, impulse impedance and V-I curve.

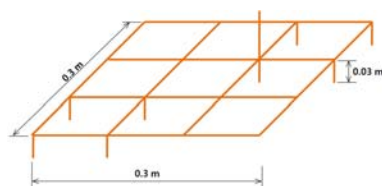
1. 서 론

뇌격전류의 크기는 수 kA에서 수백 kA로 추산한다. 이러한 대전류가 접지시스템에 유입될 때 접지시스템의 접지임피던스는 주위의 토양에 발생한 이온화 현상에 의한 전류 의존특성을 보이는 것으로 알려져 있다. 이 과도특성에 영향을 미치는 요소로는 접지시스템의 규모와 형상, 접지시스템 주위 토양의 대지저항률, 토양 이온화의 발생 여부, 방전 포인트, 방전전류의 파형 등이다[1][2]. 이 중 토양의 이온화는 접지임피던스를 감소시키는 작용을 하여 뇌서지 전류가 보다 쉽게 대지로 흘러나가도록 한다[3]. 지금까지 접지시스템에 큰 뇌서지 전류가 유입될 때 접지전극 주변 토양에서 발생하는 이온화 특성에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다. 하지만 대부분의 연구는 전해질 수조를 이용한 실내에서 이루어져 왔기 때문에 실제 토양에서의 이온화에 의한 과도접지임피던스를 분석하는데 한계가 있다. 이에 본 논문에서는 옥외 시험장에서 축소된 접지전극을 사용하여 대전류 임펄스 조건하에서 과도접지임피던스 특성을 분석하였다.

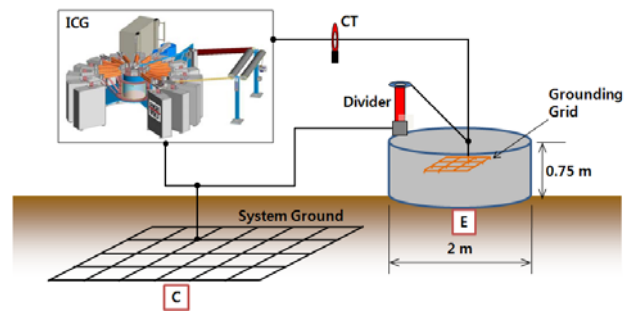
2. 본 론

2.1 실험장치의 구성

대전류 임펄스에 의한 접지전극의 과도접지임피던스를 측정하기 위해 실험에 사용된 실험대상전극과 측정시스템의 전체적인 구성을 그림 1, 2에 나타내었다. 실험대상전극으로는 축소된 봉전극과 메쉬전극을 사용하였다. 봉전극은 길이 0.3 m의 스테인리스 재질의 봉형 전극을 사용하였고 메쉬전극은 실제 접지실험장에 시설된 15×15 m 메쉬접지전극을 1/50 비로 축소된 크기로 제작하였다. 과도접지임피던스 측정을 위한 전원장치로는 100 kV / 150 kA급 임펄스 전류발생기(ICG)를 사용하였다. 임펄스 전류발생기는 표준 뇌임펄스 파형인 8/20 μs의 전류임펄스를 발생시키며 최대 충전에너지량은 200 kJ이다. 또한 옥외에서 실제 지중에 매설된 접지전극의 임펄스 특성을 분석하기 위해 직경 2 m, 높이 0.75 m 크기의 콘크리트 블럭조 시험장을 사용하였다. 5 kA 범위의 대전류 임펄스에서 접지전극의 과도임피던스 특성을 분석하기 위해 시험장 내부의 토양을 저항률이 비교적 낮은 진흙(8 Ω·m)으로 치환하여 실험하였다. 실험대상전극의 접지저항은 봉전극일 때 약 17 Ω, 메쉬전극일 때 약 12 Ω이었다. 임펄스전류에 의한 접지전극의 전위를 측정할 때 전류인가선에 의한 영향을 피하기 위해 접지전극의 전류인가점에서 85000:1 분압기를 사용하여 전압을 측정하고 10000:1 CT를 사용하여 전류를 측정하였으며 모든 파형은 PC 기반(100 MS/s) 측정시스템을 사용하여 측정하였다.



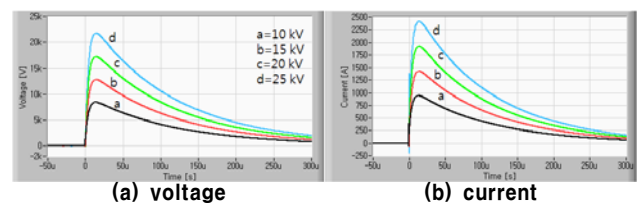
〈그림 1〉 시험대상전극



〈그림 2〉 실험계 구성

2.2 실험방법

대전류 임펄스 발생기를 사용한 실제 대지에서 과도접지임피던스 특성을 분석하기 위한 실험을 진행하기 때문에 그림 2와 같이 안정적인 2전극법을 사용하였다. 대전류 영역을 고려한 과도접지임피던스의 측정에는 높은 전압의 임펄스가 사용되게 되며 E극과 C극의 접지저항에 의해 인가전압이 분압된다. 높은 전압을 측정하는 분압기의 경우 대부분이 접지식 구조로 되어 있으며 임펄스 발생기와 같은 전위기준점을 가지도록 분당되어 사용된다. 따라서 기존의 전위강화법을 사용하여 P극을 기준전위점으로 삼게 되면 P극의 기준전위와 임펄스 발생기의 기준전위인 C극의 전위가 서로 차이를 나타내어 측정시스템에 오류 또는 고장을 유발하게 된다. 본 실험에 적용한 임펄스 발생기는 접지방식으로 설계가 되어 있으며, 모든 측정시스템이 동일 접지 상에서 등전위를 이루도록 분당되어 있으므로 2전극법을 적용하는 것이 C극과 P극을 동일전극으로 사용하므로 전위측정용 분압기와 임펄스 발생기의 접지가 동일한 전위기준점에 접속되어 임펄스 고전압 측정이 매우 안정적이다[4]. 임펄스전류 발생기를 사용하여 충전전압을 10 kV에서 25 kV까지 점진적으로 증가시키면서 인가할 때의 실험접지전극에서 측정된 전압과 전류 파형의 예를 그림 3에 나타내었다.

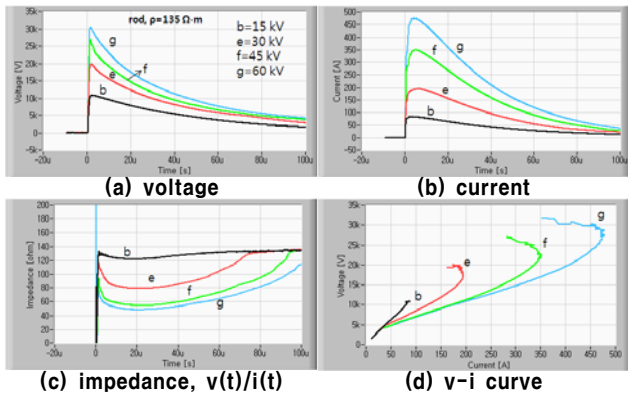


〈그림 3〉 접지전극에서 측정된 전압과 전류 파형

2.3 소전류 영역에서의 과도접지임피던스

대지저항률이 비교적 높은 $\rho = 135 \Omega \cdot m$ 인 모래토양에서 임펄스 발생기의 충전전압을 60 kV 까지 증가시키면서 측정된 전압, 전류 파형을 그림 4에 나타내었다. 그림 4(a)의 전압파형에서 15 kV 충전전압일 때의 전압파형은 특이한 점을 발견할 수 없지만 30 kV 이상의 충전전압일 때 접지전극의 전압 피크값이 점점 감소하였다. 그림 4(b)에 이 때의 전류파형을 보면 전류피크 도달 시간이 증가하고 전류피크도 충전전압의 증가율보다 더 크게 증가하였다. 이는 30 kV 이상의 충전전압이 인가될 때 토양에서 이온화가 발생하여 접지임피던스가 감소하면서 생기는 현상으로 보인다. 이는 그림 4(c)에 보이는 측정 전압파형과 전류 파형의 비인 임피던스 그래프, 즉 $Z = \frac{v(t)}{i(t)}$ 에 의한 그래프로 쉽게 확인이 가능하다. 충전전압이 증가함에 따라 수십 μs 동안 일시적으로 임

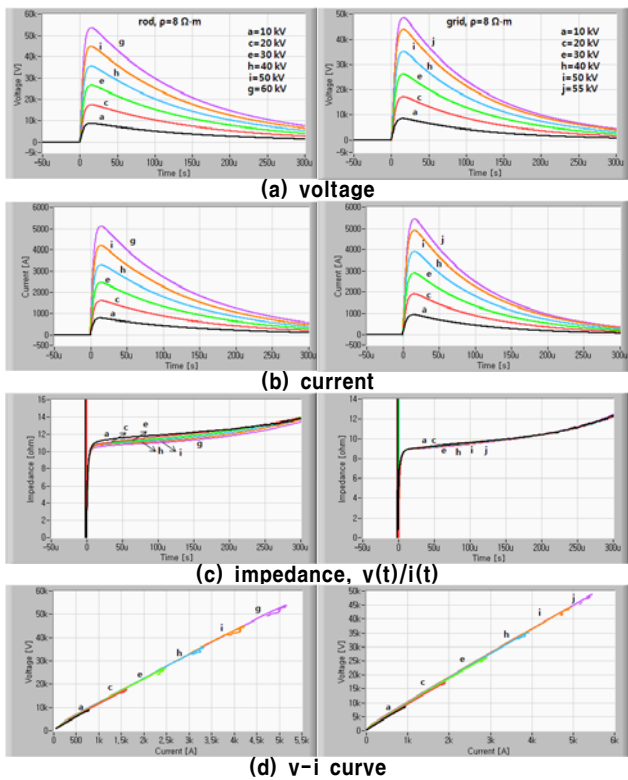
피던스가 낮아지는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 그림 4(c)의 V-I 그래프에서 충전전압이 증가함에 따라 기울기가 오른쪽으로 더 기울어지는 것으로 확인할 수 있다.



<그림 4> $\rho=135 \Omega \cdot m$ 일 때 접지전극의 과도임피던스 특성

2.4 대전류 영역에서의 과도접지임피던스

대전류영역에서의 과도접지임피던스 특성을 분석하기 위해 대지저항률(ρ)이 $8 \Omega \cdot m$ 로 비교적 낮은 진흙을 사용하여 임펄스전류에 따른 과도접지임피던스를 측정하였다. 그림 5에 이 때 봉전극과 메쉬전극에서 측정된 결과를 비교하여 나타내었다.

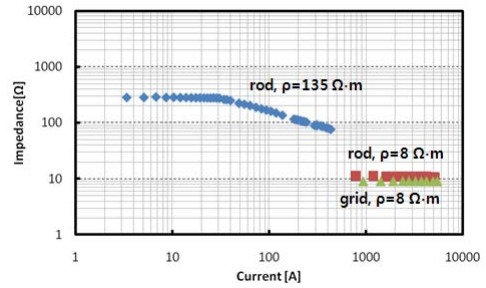


<그림 5> $\rho=8 \Omega \cdot m$ 인 경우 전극형상에 따른 과도임피던스 특성

충전전압을 60 kV까지 증가시키면서 측정된 결과 그림 5(a)의 전압파형에서 나타난 것과 같이 봉전극과 메쉬전극에서 모두 충전전압이 증가해도 전압파형에는 변화가 보이지 않는다. 그림 5(b)의 전류추정파형에서도 전류피크 도달시간이나 전류파형에서 변화가 발생하지 않았다. 그림 (c)의 임피던스 그래프에서 봉전극의 경우 임피던스가 10 kV에서 60 kV 증가함에 따라 임피던스가 약 1 감소한 것으로 나타났다. 하지만 메쉬전극의 경우 충전전압의 증가함에 따른 임피던스 변화는 없었다. 이는 비교적 높은 대지저항률의 토양에서와는 달리 대지저항률이 매우 낮아 접촉저항이 낮으므로 이온화 현상이 크게 발생하지 않는 것으로 보인다. 메쉬전극의 경우 봉전극보다 접촉저항이 더 낮으므로 이온화 현상이 거의 발생하지 않아서 임피던스 변화가 없는 것으로 보인다. 그림 5(d)의 V-I 그래프에서도 기울기가 거의 일정하여 임피던스가 변하지

않음을 확인할 수 있다.

또한 인가전류의 크기에 따른 과도접지임피던스 특성을 알아보기 위해 그림 6과 같이 측정결과를 나타내었다.



<그림 6> 인가전류의 크기에 따른 과도접지임피던스

과도접지임피던스는 각 임펄스 측정파형에서 전압피크와 전류피크의 비, 즉 $Z = \frac{V_p}{I_p}$ 에 의해 정의된다. 임펄스 발생기의 충전전압을 60 kV까지 증가시키면서 과도접지임피던스를 측정하였을 때 비교적 높은 대지저항률에서는 접지임피던스의 변화가 거의 없다가 인가전류의 크기가 증가함에 따라 약 40 A 이상의 전류피크에서 임피던스가 지수함수적으로 감소하여 약 60 옴으로 감소하였다. 이는 접지전극에서 측정전압은 일반적으로 임펄스 발생기의 충전전압에 의존적이지만 충전전압이 증가함에 따라 토양의 이온화가 발생하여 접지임피던스를 변화시켜 접지전류를 크게 흐르게 하는 것으로 보인다.

낮은 대지저항률에서는 60 kV까지 충전전압을 증가시켰을 때 비교적 높은 대지저항률인 경우와는 다르게 인가전류가 증가하여도 임피던스의 변화가 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 이는 높은 대지저항률에서 이온화가 활발히 발생하는 것을 확인할 수 있고 과도접지임피던스를 고려하였을 때 메쉬전극의 경우가 봉전극보다 이온화 현상이 발생하지 않으면서도 낮은 임피던스를 나타내는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 대전류 임펄스에 의한 소규모 메쉬접지전극의 과도접지임피던스 특성에 대해 분석하였다. 대전류 임펄스를 발생시키기 위해 대지저항률이 낮은 진흙을 사용하였으며 비교적 높은 대지저항률을 갖는 모래토양의 결과와 비교하였다. 또한 전극형상에 따른 차이를 확인하기 위해 봉전극을 사용하여 측정된 결과와 비교하였다. 높은 대지저항률인 경우의 소전류 영역에서서는 이온화 현상에 의한 접지임피던스 변화가 뚜렷하게 나타났지만 낮은 대지저항률일 때의 대전류 영역에서는 과도접지임피던스의 변화가 거의 나타나지 않았다.

본 연구는 지식경제부 지원에 의하여 한국전기안전공사(과제번호 : R-2007-1-014) 주관으로 수행된 과제임.

[참 고 문 헌]

[1] Shozo Sekioka, Toshio Sonoda, and Akihiro Ametani, "Experimental Study of Current-Dependent Grounding Resistance of Rod Electrode", IEEE Trans. on power delivery, vol. 20, no. 2, April 2005
 [2] I F Gonos, "Experimental study of transient behaviour of grounding grids using scale models", Meas. Sci. Technol., no.17, pp.2022-2026, 2006
 [3] Yaqing Liu, Nelson Theethayi, Raul M. Gonzalez and Rajeev Thottappillil, "The Residual Resistivity in Soil Ionization Region Around Grounding System for Different Experimental Results", IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, vol. 2, pp.794-799, 2003
 [4] Yang-Woo Yoo 외, "Ionization Characteristics of a Ground Rod with radial needles under Lightning Impulse", Asia Lightning Protection Forum, 2008