

임펄스전압에 의한 토양의 이온화 특성

김희구, 박건훈, 최종혁, 조정현, 이강수, 이복희
인하대학교

Ionization characteristics in soil Subjected to Impulse Voltage

Hoe-Gu Kim, Geon-Hun park, Jong-Hyuk Choi, Jung-Hyun Cho, Gang-Su Lee, Bok-Hee Lee
INHA University

Abstract - It has been known that the values of soil resistance drops when a high impulse current is injected into a grounding electrode. In this study, the electrical characteristics of medium grain size sand to different water contents are investigated. The results were discussed based on its voltage and current traces, impulse resistances and I-V curve.

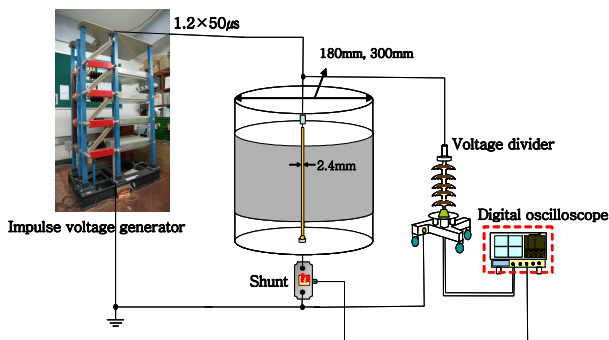
1. 서 론

현대의 고도 정보화 사회에서는 전자장비의 중요성이 한층 더 증가하고 있으나 초소형 전자 기기는 뇌서지나 전자계에 매우 취약하다. 뇌서지나 전자계로부터 이러한 전자 장비를 보호하기 위해서는 유입된 이상전압을 저감시키고 접지임피던스를 낮추어야 한다. 따라서 고전압이 유입될수 있는 접지의 설계와 시공에 있어서 접지저항을 낮추게 되는 이온화현상 및 지중방전특성 분석이 선행되어야 하며 보호효과가 우수한 접지시스템 개발이 필요하다. 접지를 시공하는 장소의 저항률은 토질이나 토양내에 함유되어 있는 화학물질, 염분, 수분의 함유량등에 따라 접지저항은 상당한 변화를 가져온다. 특히, 토양의 저항률은 수분함유량에 의해 지배적으로 영향을 받게 된다. 이전 논문은 실린더형 용기안에 건조모래와 젖은모래를 넣고 1.2/50 [μ s] 표준뇌임펄스 전압을 인가하여 발생하는 모래의 방전특성을 분석하였다.^[1] 본 연구에서는 지름의 크기가 180 [mm]와 300 [mm]인 실린더형 용기를 선정하여 실험용기의 크기 따라 이온화 영역의 증감과 임펄스 전압·전류파형, I-V곡선 및 임피던스특성을 비교 분석하였다.

2. 본 론

2.1 실험장치의 구성

본 실험에 사용된 실험장치 및 측정시스템의 전체적인 구성을 그림 1에 나타내었다.



〈그림 1〉 실험장치의 개략도

서로 다른 크기의 용기에 수분함유량 2% ~ 8%인 모래를 채우고 정극성과 부극성의 뇌임펄스전압을 인가하였다. 실험장치는 내경 180 [mm]와 300 [mm]의 스테인레스강을 이용하여 실린더형으로 제작하였으며, 지름이 2.4 [mm]인 원주형 전극을 실험용기 중앙에 고정시키고, 전극 끝단에서 전계가 집중되는 것을 방지하기 위하여 전극 끝단을 용기 밖으로 빼내어 설치하였다. 내부전극에 전압을 인가하기 위하여 최대 20 [kJ], 400 [kV]까지 발생하는 임펄스전압발생기를 사용하였다. 전극에 인가되는 전압은 용량성 분압기(분압비 10,000:1)를 통해 측정하였고, 전류는 0.02 [Ω]의 분류기를 이용하여 측정하였으며, 모든 파형은 오실로스코프(BW 500 [MHZ], 2.5 [GS/s])를 사용하여 관측하였다.

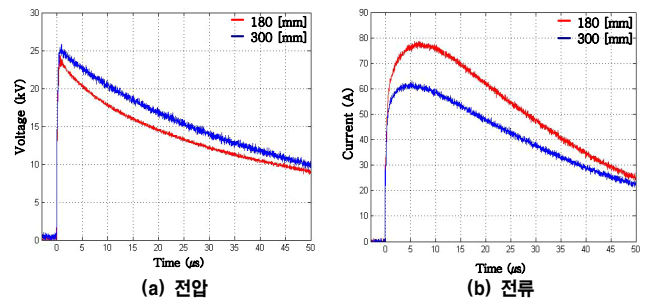
2.2 실험방법

본 연구에서는 실린더형 용기 크기에 따른 모래의 이온화 현상을 분석하기 위해 실험에 사용된 원주형 전극, 모래, 측정장비 등 모두 동일한 것을 사용하였고, 오직 용기의 크기와 모래의 수분함유량을 다르게 하여 측정된 결과를 비교 분석 하였다. 토양의 종류는 수분변화가 용이하고 알갱이의 크기를 쉽게 분류할 수 있는 모래로 선정하였다. 토양에 함유되는 수분의 양은 토양을 구성하고 있는 입자의 크기와 조밀도에 의존하기 때문에 한국산업규격(KSA 5101)에 맞추어 알갱이가 0.425 [mm] ~ 2 [mm]의 중간크기를 갖는 모래로 사용하였고, 일정한 압력을 주기 위해 압력장치를 이용해 5,000 [kPa]의 압력을 인가하였다. 수분의 함유량은 저항률이 70 [Ω]인 수돗물로 조정하였으며, 질량비 2%, 4%, 6%, 8%로 변화시켰다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전압·전류 파형의 특성

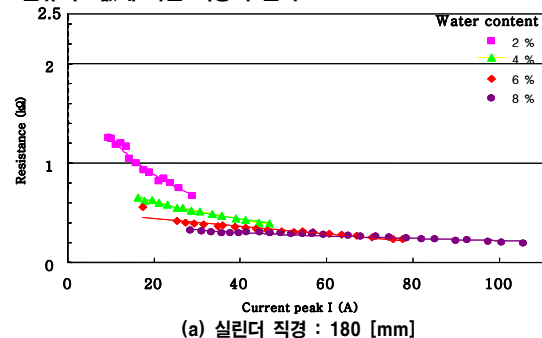
실린더형 용기안에 수분 6%를 함유한 모래를 넣고, 34 [kV]의 임펄스 전압을 각각 인가하여 실린더 크기에 따른 전압·전류파형을 그림 2에 나타내었다.



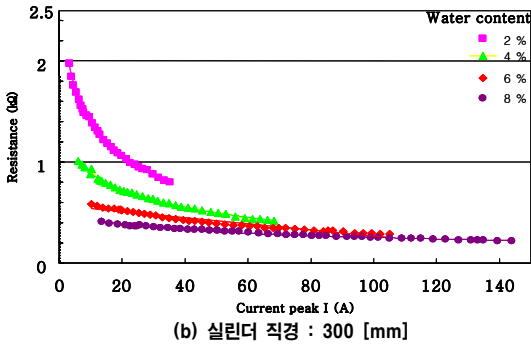
〈그림 2〉 수분함유 6%와 인가전압 34 [kV]에서 실린더 크기에 따른 전압·전류파형의 예

전압파형은 전류가 최대 시점에서 180 [mm]실린더가 300 [mm]에 비해 전압강하가 크게 나타나고, 피크전압은 더욱 낮게 측정되었다. 전류파형에서는 직경 180 [mm]의 실린더가 동일한 인가전압에서 더 큰 전류를 나타냈고, 피크전류 시간은 더 늦게 나타났다. 또한, 그림 2에서 (a)와 (b)같이 전압·전류파형이 비선형적인 모습을 보이고 있다. 이러한 현상은 인가전압이 높을수록 더욱 뚜렷이 나타났다. 이처럼 임펄스전압에 따른 전압과 전류파형이 비선형 곡선을 이루는 것은 토양 알갱이 사이의 공극에서 발생하는 이온화현상 및 열전리에 의해 나타나게 된다.

3.2 전류피크값에 따른 저항의 변화



(a) 실린더 직경 : 180 [mm]

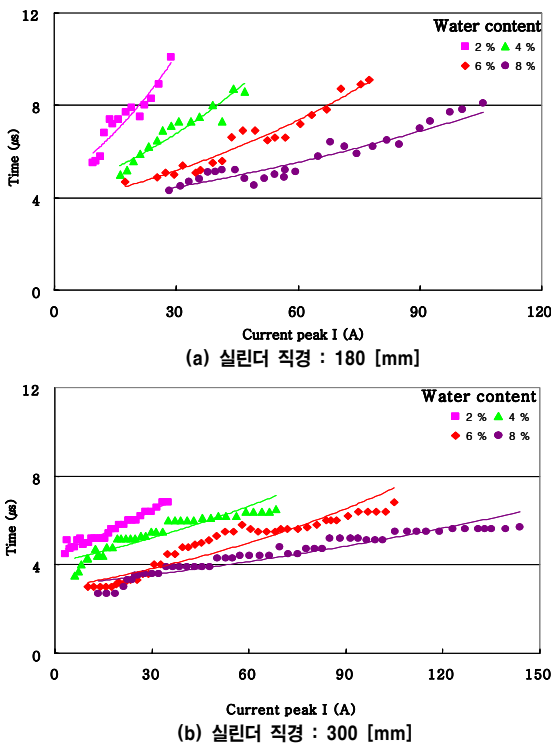


<그림 3> 전류피크에 따른 전기저항의 변화

그림 3은 실린더 크기에 따라 수분의 함유량을 변화시키면서 절연과피 이전 피크전류에 상응하는 저항값을 산출한 결과이다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 실린더 크기에 상관없이 전류크기가 증가함에 따라 저항값이 모두 감소하였고, 180 [mm]실린더에서의 저항값이 300 [mm]실린더 보다 더 낮게 나타났다. 또한, 수분함유량이 많아질수록 두 실린더 모두 저항의 낮은 값을 나타내었다. 이처럼 수분함유량이 많아짐에 따라 모래의 저항값은 낮아지게 되고, 공극사이에는 수분이 채워져 수분 속에 함유된 이온에 의해 이온성 전도전류가 흘러 저항이 감소하게 된다. 전류 크기에 따른 저항의 감소는 전류가 증가할수록 전극 주변에 강한 전계가 형성되어 이온화 전류를 포함하게 되고 이 때, 전류 증가폭이 커져 저항이 점차 작아지는 것으로 분석된다.

3.3 실린더 크기에 따른 전류피크까지의 시간분석

실린더 크기에 따라 절연과피 이전 전류피크까지의 시간지연을 그림 4에 나타내었다.

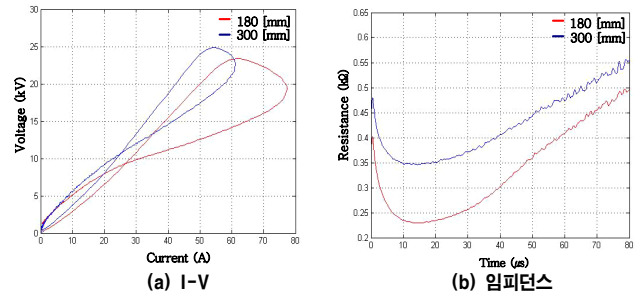


<그림 4> 전류피크에 따른 피크까지의 시간지연

그림 4를 보면 180 [mm]보다 300 [mm]실린더에서 전류크기는 작으나 피크시간은 더 빠르게 나타났고, 180 [mm]와 300 [mm]실린더 모두 수분의 함유량이 많아질수록 전류피크시점에 도달하는 시간이 빨라졌다. 이는 같은 전압을 인가시 수분함유량이 많을수록 이온화 되는 시간이 빨라지고 전압도 낮아져 수분의 증가가 위험전압에 더 안전할 수 있음을 의미한다. 또한, 두 실린더 용기 모두에서 전류가 증가할수록 시간이 점차 길어질 것을 알 수 있다. 이렇게 피크까지의 시간지연이 늘어나는 것은 인가전압을 높일수록 이온화전류의 반응이 확장되고 피크 시간 또한 길어지는 것으로 판단된다.

3.4 I-V곡선 및 임피던스 곡선

실린더형 용기안에 수분 6%를 함유한 모래를 넣고, 34 [kV]의 임펄스 전압을 각각 인가하여 실린더 크기에 따른 전압-전류파형으로부터 산출한 I-V 곡선 및 임피던스 곡선을 그림 5에 나타내었다.



<그림 5> 수분함유 6%와 인가전압 34 [kV]에서의 I-V곡선 및 임피던스 곡선의 대표적인 예

그림 5(a)의 I-V곡선은 그림 1에서 처럼 전압-전류파형이 비선형적이므로 두 곡선 모두 페루프 형태를 띠고 있다. 하지만 180 [mm]실린더가 300 [mm]보다 그 면적이 큰 것을 확인할 수 있다. 즉, 180 [mm]실린더에서 300 [mm]실린더보다 더 많은 에너지가 유입됨을 나타낸다. 그림 5(b)인 임피던스 곡선 또한 180 [mm]에서 저항의 크기가 큰 폭으로 감소하고 전류피크 시간이 길게 나타나는 것으로 보아 용기가 작을수록 이온화가 더 잘 진행됨을 알 수 있다. 임피던스 곡선은 그림 5(b)처럼 시작부분인 전도성 구간, 임피던스가 감소하는 이온화 구간, 이온들이 재결합하여 임피던스가 처음 크기로 다시 돌아오는 탈이온화 구간으로 나눌 수 있다. 토양의 이온화 현상이 나타나지 않는다고 가정하면, 첫 번째의 전도성구간 이 지속되어 임피던스가 일정하게 유지된다. 하지만 토양의 이온화 현상으로 인해 전도성 전류뿐만 아니라 이온성 전류가 함께 흐르기 때문에 토양의 임피던스는 감소하게 된다.^[3]

4. 결 론

두 개의 실린더형 모의실험 용기에서 수분함유량에 따른 모래의 전기 전도 현상과 이온화 특성을 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 전압과 전류파형은 비선형적이었으며, 이러한 현상은 인가전압을 높일수록 더 뚜렷이 나타났다.
- (2) 모래의 전류피크에 따른 저항은 인가전류가 증가할수록 감소하는 추세를 보였고, 수분함유량이 많아짐에 따라 더 낮은 저항값을 나타내었다.
- (3) 180 [mm]와 300 [mm]실린더 모두 전압을 높일수록 전류피크에 도달하는 시간이 길어지고, 수분의 함유량이 많아질수록 전류피크시점에 도달하는 시점이 빨라졌다. 또한 180 [mm]보다 300[mm]실린더에서 전류크기는 작으나 시간은 더 빠른것을 볼수있다.
- (4) 같은 전압을 인가했을시 180 [mm]실린더에서 I-V곡선의 페루프 면적이 컸으며, 임피던스는 큰 폭으로 감소하게 되어 이온화 반응이 커짐을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이복희, 이승철, "접지의 핵심 기초 기술", 의제, 2판, pp.37-104, 1999.
- [2] N. A. Idris, N. Mohamad Nor and H. Ahmad. "Effects of Moisture Contents in Soil and Impulse Polarity of Earth Electrode Under High Impulse Conditions", IEEE 2006
- [3] Shozo Sekioka, Maria I. Lorentzou, Maria p. Philippakou, and Jojn M.P rousalidis. "Current-Dependent Grounding Resistance Model Based on Energy Balance of Soil Ionization", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 21, No. 1, January 2006.
- [4] N. Mohamad Nor, A. Haddad, and H Griffiths, "Characterization of Ionization Phenomena in Soils Under Fast Impulses," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 21, pp. 353-361, Jan. 2006.
- [5] Patrick Espel, Ricardo R. Diaz, A Bonamy, and J. N. Silva, A. Wetz, "Electrical Parameters Associated with Discharges in Resistive Soils", IEEE Trans, on power Delivery, Vol. 19, No. 3, July 2004.
- [6] Abdul M. Mousa, "The Soil Ionization Gradient Associated with Discharge of High Currents Into Concentrated Electrodes", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 9, No. 3, July 1994.