

임펄스전류에 의한 토양의 종류별 이온화 특성

(Ionization Behaviors in Various Soils Subjected to Impulse Currents)

이복희* · 김희구 · 박건훈 · 백영환

(Bok-Hee Lee · Hoe-Gu Kim · Geon-Hun Park · Young-Hwan Baek)

요 약

이 논문은 뇌 임펄스전류에 의한 접지시스템의 과도적 특성에 관련된 토양의 이온화 현상과 파라미터를 기술하였다. 몇 가지 토양에서 발생하는 이온화 특성을 실험적으로 조사하였다. 절연파괴 임계전계강도와 이온화 반경을 용이하게 분석하기 위하여 원주형 실험용기를 사용하였다. 전압과 전류 파형을 기초로 토양의 절연파괴 임계전계강도, 임피던스의 임펄스 전류 크기에 대한 의존성, $V-I$ 곡선과 과도임피던스를 검토하였다. 이온화 과정과 비선형 특성은 토양 종류에 매우 의존적이며, 포장용수량의 토양에서 2개의 전류피크는 나타나지 않았다. 본 연구 결과는 토양의 이온화를 고려하여 임펄스전류의 영향을 받는 접지시스템의 과도적 성능의 향상에 유용한 정보가 될 것이다.

Abstract

This paper presents the soil ionization phenomena and parameters associated to characterize the transient performances of grounding system under lightning impulse currents. Ionization properties in occurring some soil media were experimentally investigated. The cylindrical test cell was employed in order to facilitate the analysis of soil breakdown field intensity and ionized radius. The soil breakdown field intensity, dependence of impedance on the amplitude of impulse current, $V-I$ curves and transient impedances were discussed based on the voltage and current oscillograms. It was found that the ionization process and dynamic behaviors were strongly dependent on the types of soil and two current peaks were not observed in highly water-saturated soils. The results presented in this paper will provide useful information on the improvement of transient performance of a grounding system subjected to lightning impulse current considering the soil ionization.

Key Words : Soil ionization, $V-I$ curve, Soil resistivity, Impulse current, Transient grounding impedance

1. 서 론

현대의 고도 정보화 사회에서는 전자장비의 중요성이 한층 더 증가하고 있으나 초소형 전자기기는 뇌서지나 전자계에 매우 취약하다. 뇌서지나 전자계로부터 이러한 전자장비를 보호하기 위해서는 유입된 이상전압이 저감되도록 접지임피던스를 낮추

* 주저자 : 인하대학교 대학원 전기공학과 교수
Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822
E-mail : jackals7@naver.com
접수일자 : 2008년 8월 12일
1차심사 : 2008년 8월 21일
심사완료 : 2008년 9월 16일

임펄스전류에 의한 토양의 종류별 이온화 특성

어야 한다. 따라서 높은 서지전압이 유입될 가능성이 있는 접지의 설계와 시공을 할 때 접지저항을 낮추게 되는 이온화 현상 및 지중방전특성 분석이 선행되어야 하며 과도적 성능과 보호효과가 우수한 접지시스템의 개발이 필요하다. 접지저항은 접지전극의 형상과 재료, 크기, 접지전극이 매설된 대지를 구성하는 토양의 형태와 조건, 대지 구조 등에 따라 변화하며, 특히 대지저항률에 의해서 접지의 효과는 크게 좌우되며, 이에 대한 연구가 많이 진행되어 왔다[1-4]. 우리나라 대지를 구성하는 토양은 진흙, 점토, 모래, 자갈, 암반 등 여러 형태로 구성되어 있으며, 지질의 성질과 지형 및 장소에 따라 토양의 저항률이 다르다. 따라서 접지시스템의 성능에 크게 영향을 미치는 토양의 전기적 특성을 파악할 필요가 있다.

본 논문에서는 여러 가지 토양의 이온화 현상과 접지시스템의 과도적 성능에 관련된 파라미터를 임펄스전류를 매개변수로 하여 분석할 목적으로 모델 접지시스템을 이용하는 실험적 연구를 수행하였다. 포장용수량의 수분을 함유시킨 모래, 황토, 마사토, 자갈 등 여러 가지 토양에 1.2/50[μ s] 표준 뇌임펄스 전압을 인가하였을 때 이온화가 발생하는 전압과 전류 파형을 측정하고, 이를 기초로 하여 절연파괴 임계전계강도, 전압-전류($V-I$)곡선과 과도임피던스 등 접지시스템의 성능에 관련된 파라미터를 산출하고 분석하였다.

2. 실험계의 구성 및 방법

2.1 실험계의 구성

본 연구에서는 뇌임펄스전압에 의한 토양의 이온화에 따른 과도적 접지임피던스의 특성을 분석하기 위해 임펄스전압 발생장치, 전극계 및 전압과 전류 측정장치 등으로 실험계를 구성하였으며, 이의 개략도를 그림 1에 나타내었다.

봉형 접지전극 또는 매설지선을 모의하고 이온화가 전극계의 축과 직각의 방사상의 방향으로 진전되도록 동축원통 전극계로 구성하였다. 실험 용기는 내경 180[mm] 스테인리스강을 이용하여 원주형으

로 단말부에서의 전계집중에 의한 이온화를 방지하기 위해서 끝단을 환상으로 제작하였다. 내부전극으로 직경 2.4[mm]인 원주형 동선을 실험용기 중앙에 축방향으로 고정시켰다. 내부전극의 한 쪽 끝단에는 시험전압이 인가되며, 다른 쪽 끝단은 전계집중에 의한 이온화의 발생을 방지하기 위하여 전극 끝단을 용기 밖으로 배치하고 구형 전극으로 단말 처리하였다. 접지전극을 모의한 원주형 내부전극을 임펄스전압 발생장치의 출력단과 접속하였고, 원주형 용기를 전류측정용 분류기를 경유시켜 접지하였다. 실험전압은 최대 20[kJ], 400[kV]까지 발생하는 Marx형 임펄스전압 발생장치를 사용하여 인가하였다. 시료전극에 인가되는 전압은 용량성 분압기(분압비 10,000:1), 그리고 전류는 0.02[Ω]의 동축형 분류기로 측정하였으며, 모든 파형은 오실로스코프(BW 500[MHZ], 2.5[GS/s])로 관측하고 분석하였다.

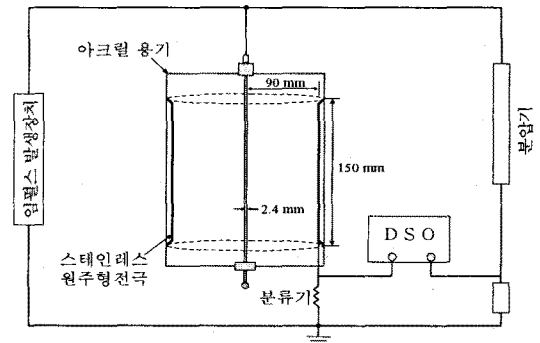


그림 1. 실험계의 구성도

Fig. 1. Schematic diagram of the experimental setup

2.2 실험방법

각 토양별 이온화현상 및 방전특성을 분석하기 위해 자갈, 모래, 마사토, 황토 4가지의 대표적인 토양을 선정하여 실험을 수행하였다. 각 토양의 종류별 시료를 원주형 용기 안에 채우고 정·부극성 뇌임펄스전압을 인가하였다.

뇌서지는 비가 내리는 날에 발생될 확률이 높으므로 저항률이 220[$\Omega \cdot m$]인 빗물을 이용하여 수분을 혼합하기 전 토양을 완전히 건조시킨 후 각 토양의

중량비로 나타낸 포장용수량에 맞도록 자갈 5[%], 모래 15[%], 마사토 24[%], 황토 32[%]의 수분을 혼합하였다. 또한 토양입자 사이의 공극에 의해 방전 현상에 미치는 영향을 피하기 위해 시료에 5[kPa]에 해당하는 압력장치를 이용하여 조밀도를 조정된 뒤 실험을 수행하였다.

각 토양에 따라 전압, 전류 파형 및 전기적 파라미터를 측정/분석하고, 이들 결과를 토대로 절연과피 임계전계강도와 이온화 현상 및 과도접지임피던스의 특성을 파악하였다.

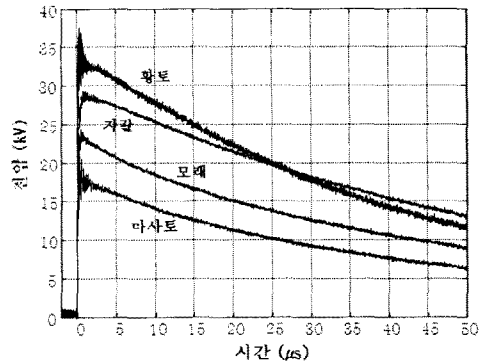
3. 결과 및 고찰

3.1 이온화 전류 파형의 특성

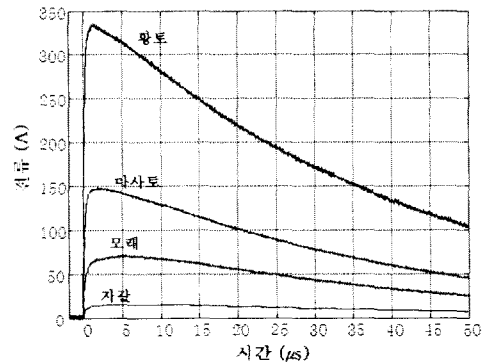
토양의 종류별 절연과피 이전의 전압과 전류 파형의 대표적인 예를 그림 2에 나타내었다.

전류 파형은 포장용수량 이하의 수분함유상태에서 나타나는 2피크 이온화 전류 파형은 관측되지 않았다[5-7]. 각 토양별 접지전극에 인가된 전압은 황토 37.6[kV], 자갈 29.3[kV], 모래 24.3[kV], 마사토 21.5[kV] 순으로 나타났다. 그러나 전류의 크기는 황토, 마사토, 모래, 자갈의 순으로 포장용수량의 크기에 따라 상승하는 것으로 나타났다.

그림 3에 제시된 $V-I$ 곡선의 특성으로부터 알 수 있듯이 황토의 경우 수분을 많이 함유함으로써 물을 통해 전도전류가 많이 흐르게 되어 접지저항과 통전 전류의 곱으로 표현되는 접지전극의 전위가 높게 나타나며, 이온화에 의한 전위의 저감은 거의 나타나지 않는다. 자갈의 경우는 낮은 수분의 함유로 저항률이 크므로 전도성 전류가 작아도 접지전극의 전위는 높게 나타났다. 그리고 그림 3 (a)에서 모래와 마사토의 전압과 전류 곡선에서 전류가 상승할 때와 하강할 때 $V-I$ 곡선의 기울기의 차가 크며, 이온화에 의한 전압과 전류의 위상차가 자갈이나 황토에 비해 큰 모습을 보였다. 이러한 결과는 이온화에 의한 서지전류의 방출과 전위강하를 가져오게 됨을 의미하며, 실제 접지전극을 대지에 시공하였을 때 상대적으로 이온화에 의한 과도전위저감 측면에서 유리한 것으로 볼 수 있다.



(a) 전압



(b) 전류

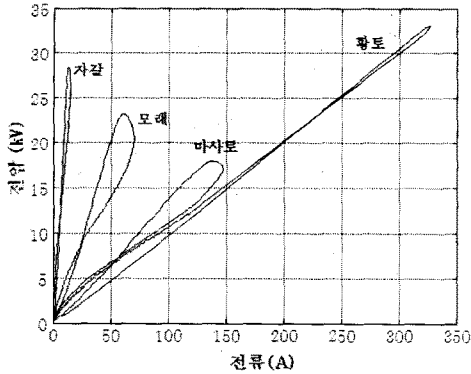
그림 2. 토양 종류별 절연과피 이전 전압과 전류 파형의 예
Fig. 2. Examples of voltage and current waveforms by the types of soil below breakdown level

3.2 $V-I$ 곡선 및 과도임피던스

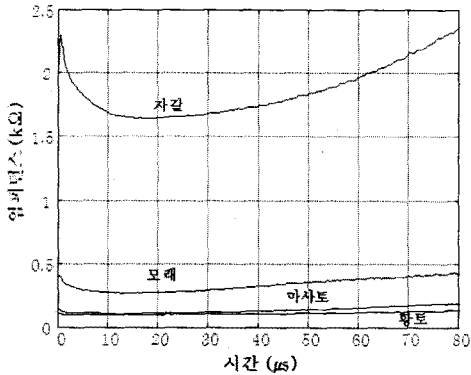
토양의 종류에 따른 이온화의 개시 특성은 전압-전류곡선($V-I$ 곡선)과 임피던스곡선을 통해 해석할 수 있다. 절연과피를 일으키지 않은 경우 Matlab 프로그램을 사용하여 산출한 $V-I$ 곡선과 임피던스곡선의 예를 그림 3에 나타내었다.

$V-I$ 곡선의 각점과 원점을 잇는 직선의 기울기는 임피던스를 의미하며 이온화가 발생하지 않는 경우 전압과 전류가 동시에 변화하여 직선형의 그래프가 나타나고 이온화가 발생할 경우 전류의 증가와 전압의 감소에 따라 그래프는 시계방향으로 부채꼴의 모양을 그리게 된다.

임펄스전류에 의한 토양의 종류별 이온화 특성



(a) V-곡선



(b) 임피던스곡선

그림 3. 토양의 종류별 절연파괴 이전 V-곡선 및 임피던스곡선

Fig. 3. V- / curves and impedance curves by the types of soil below breakdown level

그림 3 (a)의 V-I곡선에서 황토와 자갈은 거의 일직선에 가까운 곡선이 나타났고, 모래와 마사토의 경우 폐루프를 나타냈다. 황토의 경우 수분함유량이 많아서 저항률이 감소하고 큰 전도전류로 인해 이온화에 의한 전류의 증가폭이 작아지게 된다. 이 때문에 전류크기가 커질수록 임피던스는 감소하지만 그 차이가 다른 토양에 비해 상대적으로 작아 폐루프의 면적이 작은 것으로 판단된다.

그림 3 (b)의 임피던스특성 곡선은 임피던스곡선의 시작부분인 전도성 구간, 임피던스가 감소하는 이온화구간, 임피던스가 처음의 크기로 다시 돌아가는 탈이온화 구간으로 나눌 수 있다[8]. 그림 3 (b)의

임피던스곡선으로 보아 자갈의 임피던스가 가장 큰 폭으로 낮아지는 모습을 볼 수 있다.

자갈은 다른 종류의 토양에 비해 임피던스가 크기 때문에 상대적으로 감소하는 것처럼 보여질 뿐, 실제 모래에서 이온화가 가장 크게 일어난 것으로 보인다. 이처럼 이온화가 잘 발생하는 토양일수록 접지전극 주변에 전도도가 높은 이온화 영역이 생성되고, 이러한 이온화 영역이 확장된 접지전극으로 작용하여 접지임피던스가 낮아지는 것으로 분석된다.

3.3 절연파괴 임계전계강도의 분석

토양에서의 전기전도는 근본적으로 전해질 중에 함유되어 있는 이온의 이동에 의한 전기전도에 의해서 이루어지므로 토양 중에 수분이 함유되면 저항률이 저하하며, 수분의 함유량이 증가하면 접지저항은 급격히 감소한다. 본 연구의 시료로 사용한 토양의 포장용수량은 중량비로 각각 자갈은 5%, 모래 15%, 마사토 24%, 황토 32%이다[9]. 각 토양 종류별 저항률 220[Ω · m]의 빗물을 포장용수량인 수분을 함유시킨 후 1.2/50[μs] 표준 뇌임펄스전압 인가하였을 때 KS C IEC-60060-1을 기준으로 승강법으로 10회의 절연파괴전압을 측정후 절연파괴 임계전계강도를 산출하여 그림 4에 나타내었다. 절연파괴 임계전계강도의 식은 다음과 같다[10].

$$E = \frac{V}{r_i \ln \left[\frac{r_o}{r_i} \right]} \tag{1}$$

여기서,

V : 절연파괴전압

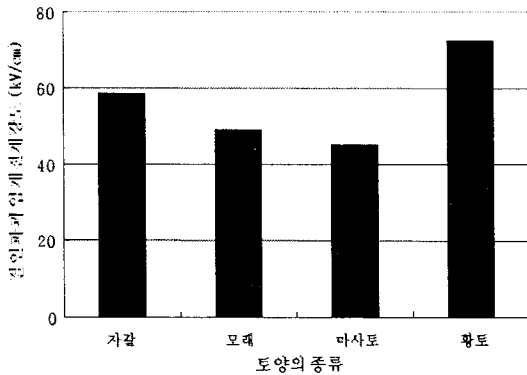
r_i : 내부전극의 반경

r_o : 원주형 실험용기의 반경

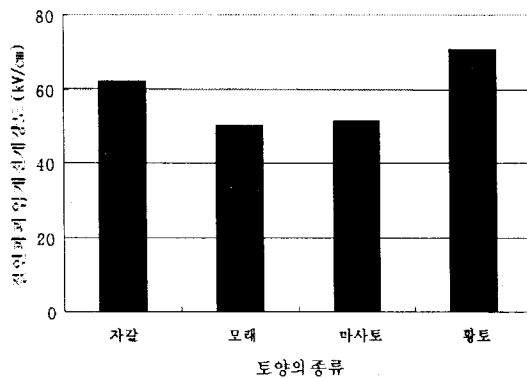
포장용수량인 상태에서 절연파괴 임계전계강도는 자갈이 약 59[kV/cm], 모래 45[kV/cm], 마사토 42[kV/cm], 황토 77[kV/cm]로 황토가 가장 높았고 마사토가 가장 낮게 나타났다. 또한, 부극성에서의 절연파괴 임계전계강도는 모든 시료에서 정극성보다 약간 높게 나타났다. 이 실험결과는 저항률과도

연관이 있다.

토양의 절연파괴강도는 토양을 구성하고 있는 입자의 크기와 다양성, 조밀도, 수분함유량, 저항률 등의 여러 가지 요인의 복합적인 작용과 관련이 있을 것으로 볼 수 있다. 수중방전의 경우 절연파괴전압은 저항률 의존성을 나타내며, 저항률 100[Ω · m]를 전후하여 절연파괴전압은 상승한다. 마사토의 저항률은 42.2[Ω · m], 모래의 저항률은 112.6[Ω · m], 자갈은 저항률이 792.5[Ω · m]이었다.



(a) 정극성



(b) 부극성

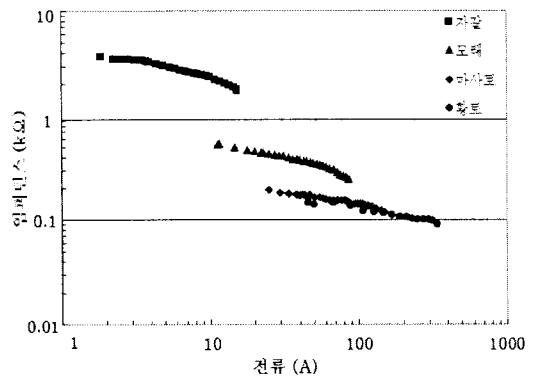
그림 4. 토양의 종류별 절연파괴 임계전계강도
Fig. 4. Breakdown threshold electric field intensity by the types of soil

황토의 저항률은 31.8[Ω · m]로 나타났으며, 32[%]의 수분을 함유한 상태로 수분을 많이 흡수하게 되면 저항률은 매우 낮아지게 되고, 많은 이온이

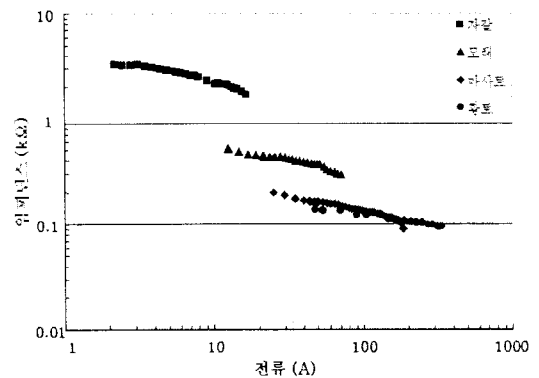
존재하게 되어 수분을 통해 매우 큰 전도전류가 흐르기 때문에 전리증식을 일으킬 전계강도도 매우 상승하게 된다.

3.4 전류의 크기에 따른 임피던스의 변화

포장용수량에서 각 토양의 종류에 따라 절연파괴 이전 전류의 피크에 상응하는 임피던스를 산출한 결과를 그림 5에 나타내었다.



(a) 정극성



(b) 부극성

그림 5. 임펄스전류의 크기에 따른 임피던스
Fig. 5. Impedances as a function of amplitude of impulse current

임피던스는 임펄스전류의 피크가 상승할수록 정극성과 부극성 모두 감소하였다. 자갈이 가장 큰 임피던스를 나타냈으며, 황토가 가장 작게 나타났다.

임펄스전류에 의한 토양의 종류별 이온화 특성

이것은 수분을 많이 함유할 수 있는 포장용수량이 클수록 저항률이 낮아지기 때문인 것으로 보인다. 이와 같이 전류의 크기가 증가함에 따라 임피던스가 감소하는 이유는 참고문헌에 언급한 바와 같이 전극에 일정전압이상이 인가되면 전극주변에 이온화 영역이 발생하여 전류가 증가하게 되고 이 전류의 증가분은 수분을 통한 전도전류와 이온화에 의한 전류가 추가되어 나타나는 현상으로 분석된다[8].

따라서 전류의 크기가 증가할수록 접지전극 주변의 토양은 이온화 영역이 확장되므로 임피던스가 감소하는 것이다. 또한, 극성에 따른 차이는 거의 나타나지 않았다.

3.5 등가이온화 반경의 분석

접지전극의 표면 근방에서 발생하는 코로나는 원주형 용기를 향해 방사상의 방향으로 진전하여 이온화 영역을 형성하기 때문에 이온화가 발생하면 접지전극의 반경이 증가하는 것과 같으므로 접지저항이 감소하게 된다. 따라서 인가전류의 증가에 따른 접지저항의 감소에 대한 측정값으로부터 접지전극의 등가이온화 반경을 산출할 수 있다. 원주형 용기와 내부전극 사이에 저항률이 ρ 인 토양으로 채워진 경우 접지저항은 식 (2)과 같이 계산할 수 있다[11].

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

여기서,

l : 원주형 용기의 길이

r_o : 원주형 용기의 반경

r_i : 원주형 접지전극의 반경

ρ : 대지저항률

이다.

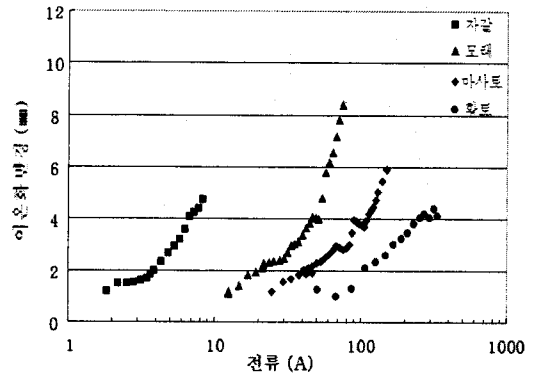
인가전압과 전류의 파형으로부터 인덕턴스의 영향을 제거하고 순수한 접지저항 R 은 식 (3)과 같이 산출한다. 이온화에 의해서 토양의 저항률이 변화하지 않는 것으로 가정하면 식 (4)과 식 (5)로부터 저항률과 이온화 반경을 각각 계산할 수 있다[5,10,12].

$$R = \frac{V_{peak}}{I_{peak}} \quad (3)$$

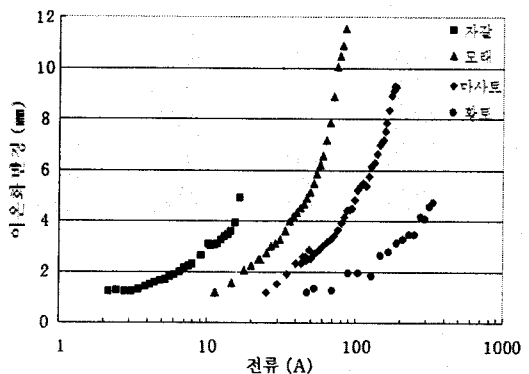
$$\rho = \frac{2\pi l R}{\ln \left[\frac{r_o}{r_i} \right]} \quad (4)$$

$$r_i = \frac{r_o}{e^{\frac{2\pi l R}{\rho}}} \quad (5)$$

절연과피 이전까지 측정된 인가전압과 전류 파형으로부터 전류의 크기에 따라 산출한 이온화 반경의 결과를 그림 6에 나타내었다.



(a) 정극성



(b) 부극성

그림 6. 임펄스전류의 크기에 따른 이온화 반경
Fig. 6. Ionized radius as a function of amplitude of impulse current

이온화 반경은 인가전류의 크기에 따라 증가하는

결과로 나타났으며, 이온화가 어느 범위까지 진전된 후에는 절연과피에 이르는 것으로 나타났다. 이온화가 진전될 수 있는 범위는 정극성의 경우가 넓었으며, 토양의 종류에 따라 크게 다른 것으로 나타났다. 절연과피가 발생하기 이전 이온화가 진전될 수 있는 범위는 모래가 정극성 8[mm], 부극성 12[mm]로 이온화 반경이 가장 크게 나타났으며, 자갈과 황토의 이온화 반경은 접지전극의 크기가 4~5[mm] 정도 밖에 미치지 않았다. 또한 모래와 마사토는 정극성보다 부극성에서 이온화 반경이 크지만 이온화가 거의 일어나지 않은 자갈과 황토는 차이를 보이지 않았다.

이러한 실험결과는 대지나 수중에 매설된 접지전극에 높은 서지 전압이 인가되면 지중방전에 의해서 이온화가 발생하고 이온화 영역이 접지전극으로 작용을 하게 되어 접지저항의 감소로 작용한다.

또한, 이온화에 의한 접지저항 R 의 감소폭은 저항률이 높을수록 크고, 낮은 저항률에서는 이온화에 의한 접지저항의 감소폭이 작아지는 것으로 나타났다. 높은 저항률에서는 전도전류가 작기 때문에 상대적으로 이온화에 의한 전류의 증가가 크게 나타나고, 저항률이 낮아질수록 이온화 이전에 흐르는 큰 전도전류로 인하여 이온화에 의한 전류의 증가율이 작아져 상대적으로 접지저항의 감소율이 작아지는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 논문은 봉형 접지전극 또는 매설지선을 모의하는 동축원통형 용기에서 토양의 종류에 따른 접지전극 근방에서의 이온화 현상에 관련된 전기적 특성의 분석에 대한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 토양의 절연과피 임계전계강도는 저항률과 관련이 있으며, 포장용수량이 약 32[%]로 저항률이 31.8[$\Omega \cdot m$]로 가장 낮은 황토의 경우가 가장 높았다. 또한, 부극성에서의 절연과피 임계전계강도는 정극성보다 약간 높게 나타났다.
- (2) Matlab 프로그램을 이용한 $V-I$ 곡선으로부터 이온화의 개시와 진전특성을 파악하였으며,

$V-I$ 곡선으로부터 자갈과 황토보다는 모래와 마사토에서 이온화가 잘 발생하며, 접지저항의 감소효과도 크게 나타남을 알 수 있다.

- (3) 토양의 이온화에 의한 접지저항은 극성에 상관없이 인가전류가 증가할수록 감소하는 추세를 보였고, 자갈이 가장 높은 저항값을 나타냈으며, 황토가 가장 작게 나타났다.
- (4) 인가전류의 크기에 따른 등가이온화 반경을 산출한 결과 모래가 가장 이온화 반경 크고, 황토가 가장 작게 나타났으며, 본 연구의 결과는 피뢰설비용 접지시스템을 설계할 때 유용한 기초자료로 활용될 것으로 사료된다.

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

References

- [1] P. Espel, R. R. D. 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, pp.1174-1182, 2004.
- [2] A.M. Mousa, "The Soil Ionization Gradient Associated with Discharge of High Currents Into Concentrated Electrodes", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 9, No. 3, pp.1669-1677, 1994.
- [3] R. Kosztaluk, M. Loboda, D. Mukhedkar. "Experimental Study of Transient Ground Impedances", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 11, pp.4653-4660, 1981.
- [4] 이복희, 이승철, "접지의 핵심 기초 기술", 의제, 2판, pp.37-104, 1999.
- [5] 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, 2006.
- [6] N. Mohamad Nor, A. Haddad, and H Griffiths, "Determination of Threshold Electric Field E_c of Soil Under High Impulse Currents.", IEEE Trans. Power Delivery, Vol.20, pp.2108-2113, 2005.
- [7] 김희구, 박건훈, 이복희, "임펄스전압에 의한 동심원통형 전극계에서 토양 이온화특성 분석", 조명전기설비학회 논문지, Vol.22, No.9, 게재 예정.
- [8] S. Sekioka, M. I. Lorentzou, M. P. Philppakou, and J. M.P. rousalidis. "Current-Dependent Grounding Resistance Model Based on Energy Balance of Soil Ionization", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 21, No. 1, pp.194-201, 2006.
- [9] C. W.Fetter, "Applied Hydrogeology," Prentice Hall, pp. 173-194, 1994.

임펄스전류에 의한 토양의 종류별 이온화 특성

- [10] N. Mohamad Nor and A. Ramli "Effects of Moisture content, impulse polarity and earth electrode's dimension on dry and wet sand under high voltage conditions", Euro. Trans. Electr. Power, John Wiley & Sons, Ltd, DOI: 10.1002, 2007.
- [11] P. Chowdhuri, "Impulse impedance tests on laboratory model ground electrodes" IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol.150, No.4, pp.427-433, 2003.
- [12] I. F. Conos and I. A. Stathothopoulos, "Soil ionization under lightning impulse voltages", IEE Proc. Sci.- Measu. Technol., Vol.151, No.5, pp.343-346, 2004.

◇ 저자소개 ◇

이복희 (李福熙)

1954년 6월 29일생 1980년 인하대 공대 전기공학과 졸업 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988년 ~1989년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수. 1999년 Cincinnati대학 방문교수. 현재 인하대공대 전자전기공학부 교수. 본 학회 부회장.

Tel : (032)860-7398

Fax : (032)863-5822

E-mail : bhlee@inha.ac.kr

김희구 (金會九)

1983년 7월 27일생. 2007년 2월 한국교육개발원 졸업. 현재 인하대 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : (032)860-7398

Fax : (032)863-5822

E-mail : jackals7@naver.com

박건훈 (朴建勳)

1982년 4월 28일생. 2007년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : (032)860-7398

Fax : (032)863-5822

E-mail : changeeyes@hanmail.net

백영환 (白英煥)

1959년 12월 8일생. 2002년 2월 서울산업대학교 공대 전기공학과 졸업. 2004년 2월 인하대 산업대학원 전기공학과 졸업, 2005년 현재 인하대 대학원 전기공학과 박사과정.

Tel : (032)860-7398

Fax : (032)875-1276

E-mail : sky4u6006@hanmail.net