

봉상 접지전극 주변에서의 토중방전현상

이복희 · 김병근

Breakdown Phenomena in the vicinity of Ground rod

Bok-Hee Lee · Byoung-Gun Kim

Abstract - Electrical conduction in soils depends on the grain size, compactness, humidity and etc. When a high current is injected into the soil, and the breakdown phenomenon occurs and electrical behaviors in the vicinity of grounding electrodes may be changed. In the present work, electrical behaviors in the vicinity of ground rod due to the injection of impulse current were investigated. Spark-over phenomena at the tip of ground rod depend on the grain size and kinds of soils.

1. 서 론

현대의 고도정보화 사회에서는 컴퓨터를 비롯한 전자장비의 중요성이 증가하고 있으나 이러한 기기들은 뇌서지나 전자장해에 매우 취약하다. 뇌서지로부터 전자장비의 보호와 안정적 사용을 위해서는 임피던스가 낮은 접지시스템이 필요하다. 토양을 구성하는 성분, 입자의 크기, 분포, 균질성, 조밀도 등에 따라 대지의 전기적 성질이 달라진다. 접지전극의 전위경도가 토양의 전연과파괴도를 넘게 되면 아크가 발생한다. 따라서 접지전극 주변의 전기적 특성은 대전류의 유입에 따라 변하기도 한다.^[1]

본 연구에서는 뇌격전류와 같은 대전류가 접지전극에 유입되었을 때 발생하는 토중방전현상과 과도접지임피던스의 분석을 목적으로 여러 토양의 습도를 변화시켜 토양에서 발생하는 방전현상과 과도접지임피던스를 분석하였다. 봉상 접지전극을 축소시킨 형상의 전극에 1.2/50 μ s 임펄스전압을 인가하여 토중방전광 현상에 대하여 실험하였다.

2. 실 험

2.1 실험계의 구성

1.2/50 μ s 임펄스전압을 사용하는 그림 1과 같은 실험계 구성을 구성하였다. 방전개시전압과 방전전류는 용광성분압기(10,000:1)와 전류프로브(80i-1000s)로 측정하였다. 또한 접지전극의 끝단에서 일어나는 방전광은 고속도 디지털카메라로 촬영하였다.

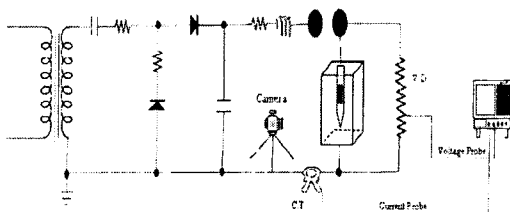


그림 1 실험계 구성
Fig. 1 Experimental setup

한국산업규격에서 토양은 입자의 크기에 따라 자갈 4.76-19.1 μ , 흙 4.76 μ 이하, 모래 0.05-4.76 μ , 세립토 0.05 μ 이하로 분류된다. 토양의 습도에 따른 방전개시전압과 과도임피던스를 측정하기 위해 실험용기로 아크릴 통으로 높이 200 μ , 지름 100 μ 이며, 봉상 접지전극의 끝단 형상은 $d_1=0.9\mu$, $r_1=0.7\mu$ 이며 접지봉을 고정하기 위해 아크릴 통 윗면 중앙에 15 μ 의 구멍을 뚫어 접지봉을 지지하였다. 아크릴통의 밑면은 0.3 μ 두께의 황동판으로 제작하였다. 여러 토양의 방전현상을 관찰하기 위해 봉상 접지전극을 단면을 절단하여 고속카메라로 방전현상을 촬영하였다. 방전현상을 관찰하기 위해서는 열이 발산하여야 하기 때문에 토양의 실험용 용기 두께 보다 얇은 0.1 μ 의 아크릴 통으로 높이 200 μ , 지름 100 μ 로 만들었으며 접지봉의 단면의 두께 0.3 μ , 끝단 형상은 토양의 용기와 동일하게 $d_2=0.9\mu$, $r_2=0.7\mu$ 로 하였다. 아크릴통과 접지전극 단면과 아크릴통의 거리를 $r_3=0.1\mu$ 로 이격하여 제작하였으며, 그림 2는 접지전극 구조의 개략도이다.

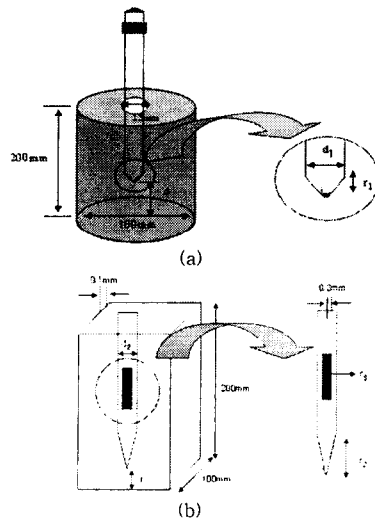


그림 2 접지전극의 구조
Fig. 2 Configuration of the test ground electrode

3.2 실험방법

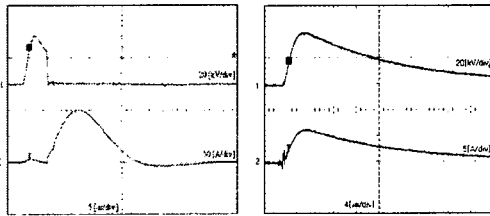
봉상 접지전극과 평판전극의 이격거리는 그림 2(a)의 d 를 1-5 μ 조절하여 아크방전이 발생할 때 아크전류의 크기에 따라 임피던스가 변화하므로 토양의 습도가 10%이하, 40%, 80%일 때의 방전개시전압과 과도접지임피던스를 측정하였다. 여러 토양의 방전현상을 관찰하기 위해

그림 2(b)의 r 을 2m로 고정시켰으며 아크방전이 일어날 시 모의 접지전극과 아크릴의 연면방전현상을 피하기 위해 접지전극 끝단을 $r_3=0.1m$ 보다 더 이격시켜 방전현상을 고속카메라로 촬영하였다.

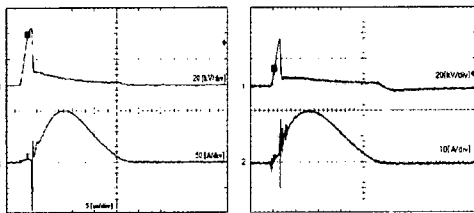
3. 결과 및 고찰

3.1 습도 변화에 따른 토중 방전현상

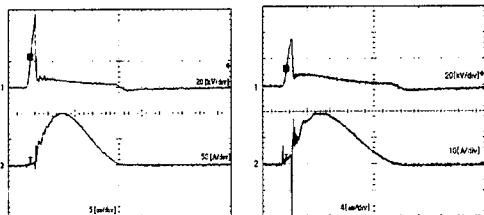
봉상 접지전극에서 이격거리를 5m인 경우 토중방전전압과 방전전류 파형의 예를 그림 3에 나타내었다. 각 실험 조건에서 대기 중에서의 방전개시전압은 61 kV이고, 자갈 36.8 kV이며, 자갈에 습도가 약 25%일 때의 방전개시전압은 40 kV이었다.



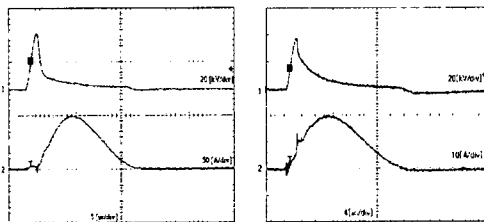
습도 10% 습도 80% (a) 자갈



습도 10% 습도 80% (a) 흙



습도 10% 습도 80% (a) 모래



습도 10% 습도 80% (d) 세립토

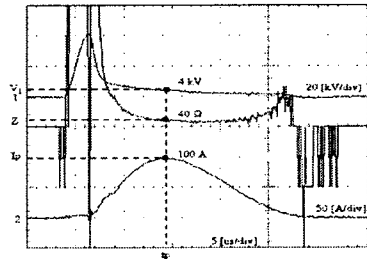
그림 3 여러 가지 토양의 방전전압 및 방전전류 파형의 예

Fig. 3 Typical waveforms of the breakdown voltage and discharge current in various soils

토양의 습도가 10%이하일 때 흙, 모래, 세립토는 40~56.8 kV이었으며, 습도 80%인 경우 흙 36 kV, 모래 35.6 kV, 세립토 38 kV로 토양의 습도가 증가할수록 각 토양의 방전개시전압은 점점 낮아지는 것을 볼 수 있다.

3.2 과도접지임피던스 및 방전현상

토양의 습도 변화에 따른 접지전극 주변에서 방전이 발생한 경우 접지전극의 잔류전압을 방전전류로 나누어 산출한 과도접지임피던스의 파형 예를 그림 4에 나타내었다. 토양의 습도 10%, 40%, 80%가 방전이 발생하기 전에는 매우 큰 임피던스였으나 토중방전이 진전하면서 과도임피던스는 급격히 감소하여 전류피크에서 최소를 나타내었다. 토양의 습도 10%일 때에는 전류피크 후 임피던스가 증가하는 것을 볼 수 있으며, 습도 80%이상일 때의 임피던스가 다시 상승하는 것을 볼 수 있었다.



V_1 : 잔류전압 I_P : 방전전류 최대값 Z : 과도임피던스

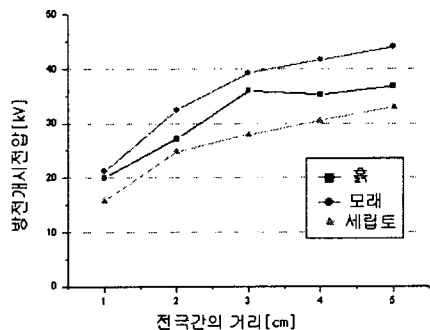
그림 4 습도 10%일 때 토중방전시 과도접지임피던스

Fig. 4 Transient ground impedance at the instant of breakdown in soil at the humidity of 10%

3.2.1 과도접지임피던스의 습도의존성

여러 가지 토양의 습도변화에 의한 방전개시전압은 습도 10%이하일 때 15~45 kV사이로 나타났으며, 40%일 때는 19~45 kV이고, 80%일 때는 15~38 kV의 범위이었다. 토양의 습도의 증가와 더불어 비례적으로 방전개시전압이 높아지는 것이 아니라 토양의 입자들 사이의 밀집정도에 따라 토중방전현상이 달라진다. 전극간 거리에 따른 토양의 토중방전개시전압을 그림 5에 나타내었다.

토양의 습도가 증가할수록 토중방전전압은 낮아졌으며, 방전전류는 감소하였다. 세립토의 경우 즉, 토양 입자가 작을수록 토중방전전압의 습도의존성이 작은 것으로 나타났다. 토양의 습도가 80%인 경우 방전전압은 토양의 종류에 대한 상관성이 거의 나타나지 않았으며, 이는 토양 입자의 크기보다 습도가 토중방전에 미치는 영향이 지배적인 것을 의미한다.



전극간의 거리 [cm]

(a) 습도 10%

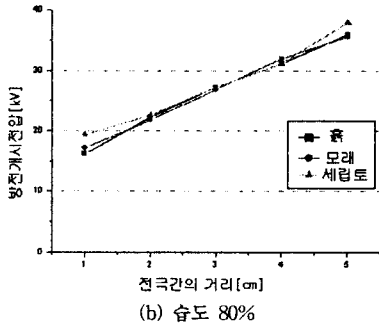


그림 5 여러 토양의 방전전압
Fig. 5 Breakdown in various soils

토양 중에서 방전이 발생한 후 접지임피던스의 변동특성을 분석하기 위하여 토중방전에 의해 감소하는 최소의 접지임피던스를 식 (1)과 같이 정의하여 평가하였다.

$$Z = \frac{V_p(t_p)}{I_p(t_p)} \quad (1)$$

(1)

여기서 $I_p(t_p)$ 는 인가전류의 피크치이며, $V_p(t_p)$ 는 전류 피크인 순간의 잔류전압이다. 습도 10%, 80%일 때 자갈, 흙, 세립토에 대한 토중방전시의 최소접지임피던스를 그림 6에 나타내었다. 토중방전개시전압이 높다고 해서 잔류전압이 비례적으로 높아지는 것이 아니라 토양의 습도와 물리적 성질에 따라 방전시의 최소접지임피던스가 차이가 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한 토양의 습도가 증가함에 따라 토중방전시 잔류전압이 높고 방전전류가 작아져 접지임피던스는 증가하는 것으로 나타났다.

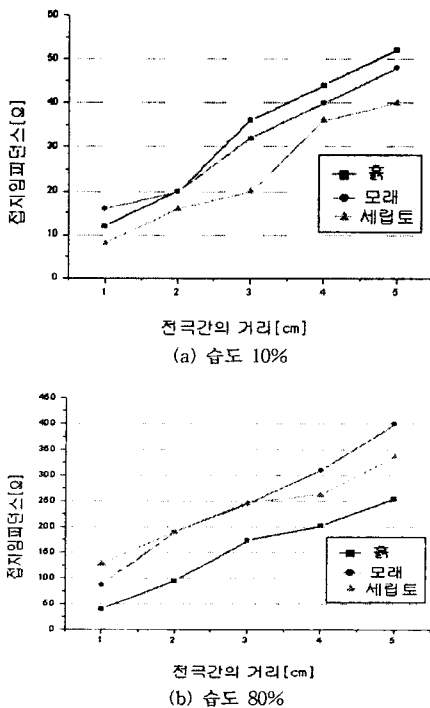


그림 6 토중방전시의 최소접지임피던스
Fig. 6 Minimum ground impedance at the instant of

breakdown in soil

3.2.2 토중방전현상

봉상 접지전극을 단면을 절단한 형상을 축소 모델하여 각 대기와 토양의 시료에 대하여 뇌임펄스전압을 인가하였을 때 발생하는 방전광 현상을 고속카메라로 촬영한 결과의 예를 그림 7에 나타내었다.

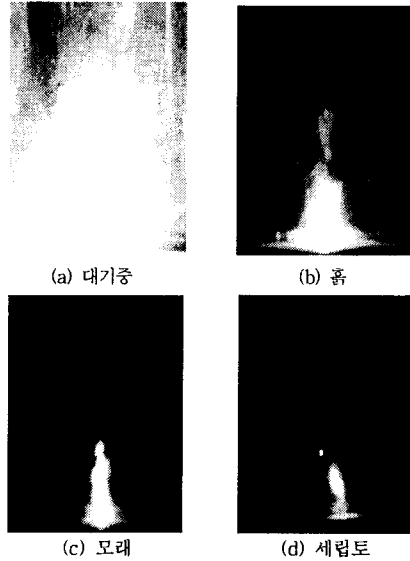


그림 7 토중방전현상
Fig. 7 Breakdown light images in soils

대기 중에 모의 접지전극에 평판전극으로 아크가 분산하여 방전하는 것을 볼 수 있었지만 토양의 입자 크기가 작아질수록 아크방전이 분산하지 않고 좁아지는 것을 볼 수 있었다. 토양 입자의 크기에 따라 방전이 진전되는 양상이 다르며, 이에 따라 접지임피던스가 변동하는 것으로 볼 수 있다.

4. 결 론

여러 가지 토양의 습도에 따른 임펄스전압에 의한 토중방전에 실험결과는 다음과 같다.

- (1) 뇌격전류와 같이 대전류가 대지에 유입되었을 때 봉형 접지전극에 아크방전이 발생할 때 토양의 습도 10%이하일 때 전류피크치 후 과도임피던스가 증가하고 다시 감소하였다.
- (2) 토양의 수분함유량이 증가할 때 토중방전개시전압은 낮아지지만 잔류전압이 높아지므로 과도접지임피던스는 증가하는 것으로 나타났다.

본 논문은 산업자문부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성 지원사업에 의해 작성되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이복희, 이승철, "접지의 핵심 기초 기술", pp.39-40. 9, 1999.
- [2] M. Abdel, H. Anis., Serge A. El-Morshedy, R. Radwan, " High-Voltage Engineering, Theory and Practice", Dekker, pp. 419-428, 2000.