

봉형접지전극 주변에서 토중방전현상에 대한 실험적 고찰

(Experimental investigations of Breakdown Phenomena in Soils in the vicinity of Ground rod)

이복희, 김병근*, 이우철

(Bok-Hee Lee · Byoung-Gun Kim* · Woo-Chul Lee)

Abstract

Morden electronic equipments are becoming very important in information oriented society, but they are vulnerable to lightning surges. Soil resistivity in the vicinity of grounding electrodes may be affected by the current flowing from the grounding electrodes into the surrounding soil. Electrical conduction in soils depends on the grain size, compactness, and variability of the grain sizes. When a high current is injected into the soil, and the breakdown phenomenon occur. In the present work, Electrical behaviors related to discharge in soils were investigated. The breakdown voltages in soil were lower than that sparkover voltage in air. The breakdown voltage in the gravel layer is relatively low, and the breakdown was caused by the flashover through the surface of gravels

1. 서론

현대의 고도정보화 사회에서는 컴퓨터를 비롯한 전자 장비의 중요성이 증가하고 있으나 이러한 기기들은 뇌 서지나 전자장해에 매우 취약하다. 전자장비를 보호하기 위해 접지임피던스가 낮은 접지시스템이 필요하다. 토양을 구성하는 성분, 입자의 크기, 분포, 균질성, 조밀도 등에 따라 대지의 전기적 성질이 달라진다. 접지전극의 전위경도가 토양의 절연파괴강도를 넘게 되면 아크가 발생한다. 따라서 접지전극 주변의 토양 저항률은 대지로 대전류가 유입되기도 한다.⁽¹⁾

본 연구에서는 뇌격전류와 같은 대전류가 접지전극에 유입되었을 때 발생하는 토중방전현상과 이에 관련하여 변동하는 접지임피던스를 비롯한 전기적 특성의 분석을 목적으로 실험실에서 토양을 크게 4가지로 모의하여 각 토양 중에서 발생하는 방전현상과 절연파괴전압 및 임피던스를 알아보았다. 실험대상으로는 봉상 접지전극을 축소시킨 형상의 전극에 1.2/50 μ s 임펄스전압을 인가하는 실험을 하였다.

2. 과도접지임피던스

그림 1은 접지전극의 등가모델을 나타낸 것으로 상용 전원에서 의한 고장전류가 아닌 고주파 성분을 갖는 뇌격전류가 접지전극을 통해 흘러 대지로 방류되는 양상을 도식적으로 나타낸 것이다⁽²⁾. 접지임피던스는 정상상태 접지저항과 같이 접지시스템을 평가하는데 있어 중요한 요소로 작용하며, 임펄스전류에 대한 전위상승을

기초로 하여 산출한다.⁽³⁾

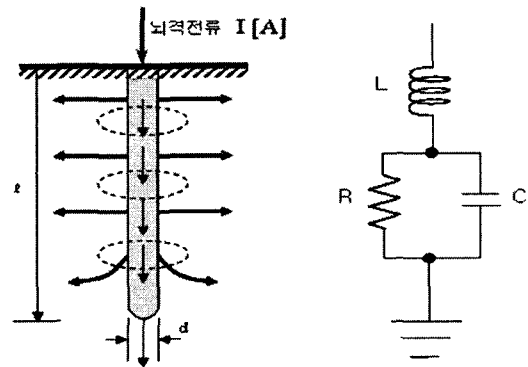


그림 1 봉상 접지전극으로 임펄스전류의 유입과 전기적 등가회로

Fig. 1 Impulse current injection into a ground rod and electrical equivalent circuit

접지전극에 전류 I [A]가 유입되어 접지전극의 전위가 V [V]만큼 상승되었다면, 접지임피던스를 Z [Ω]은 이론적으로 옴의 법칙에 따라 접지전극의 전위상승 값과 접지전류의 비이다. 토중방전이 일어나는 경우 아크방전에 이르렀을 때 임피던스는 가장 낮게 나타난다. 따라서 토중방전시의 임피던스를 전류가 최대일 때의 특성을 평가의 대상으로 하였다. 즉, 토양의 아크방전에 대한 과도임피던스는 다음 식 (1)과 같이 정의하였다.

$$Z = \frac{v_1}{i(t_p)} \text{ [}\Omega\text{]} \dots \dots \dots (1)$$

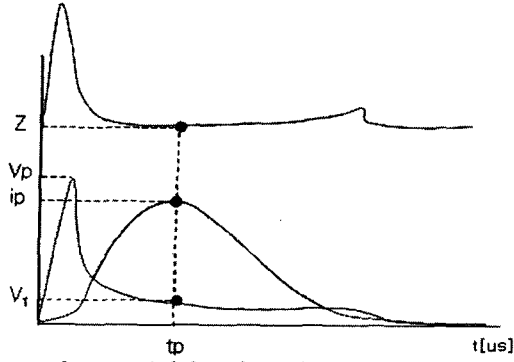


그림 2 토중방전시 임피던스의 정의

Fig. 2 Definition of the impedacne for arc discharge in soils

3. 실험

3. 1 실험계의 구성

Marx형 임펄스발생장치에서 발생하는 1.2/50 μ s의 뇌 임펄스전압을 시험전압으로 사용하였으며, 실험계의 구성은 그림 3과 같다. 접지전극 양단의 전압은 용량성 분압기(10,000 : 1)로 토양의 절연파괴전압과 전류 프로브(80i - 1000s)를 배울 10 mV/A로 측정했다.

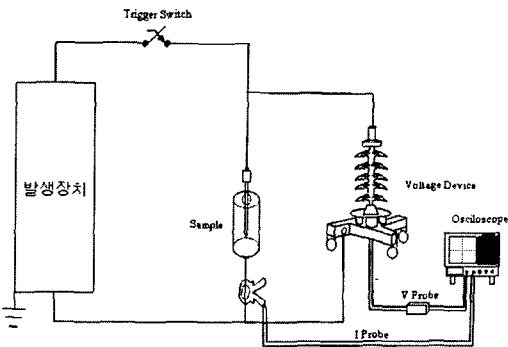


그림 3 실험계 구성

Fig. 3 Experimental set-up

토양의 종류는 토양 입자의 크기에 따라 한국공업규격에 의해 자갈 4.76~0.05 mm, 황토흙 4.76 mm이하, 모래 0.05~4.76 mm, 세립토 0.05 mm이하로 분류된다. 실험용기로는 아크릴 통으로 높이 200 mm, 지름 100 mm이며, 봉형 접지전극의 끝단 형상은 $d=0.9$ mm, $r=0.7$ mm이며 접지봉을 고정하기 위해 아크릴 통 윗면 중앙에 15 mm의 구멍을 뚫어 접지봉을 보지하였다. 아크릴 통의 밑면은 0.3 mm 두께의 황동판으로 제작하였으며, 그림 4에 실험 접지전극 구조의 개략도를 나타내었다.

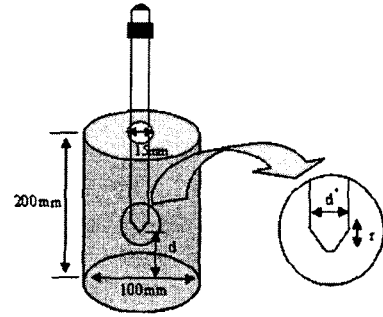


그림 4 접지전극의 구조

Fig. 4 Structure of the test grounding electrode

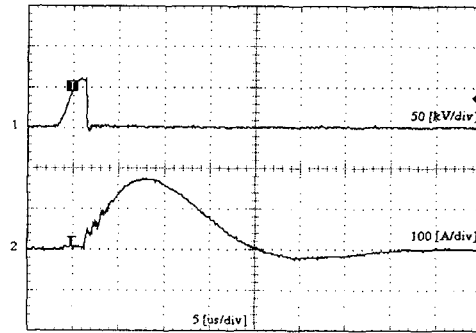
3. 2 실험방법

봉형 접지전극과 평판전극의 이격거리는 그림 3의 d 를 1 ~ 5 cm조절하였다. 임펄스전압의 인가로 아크 방전이 발생할 때 아크전류의 크기에 따라 임피던스가 변화므로 각 토양 방전전류를 100 A기준으로 절연파괴 전압과 임피던스를 측정하였다. 또한 토중방전광을 고속카메라로 촬영하였다.

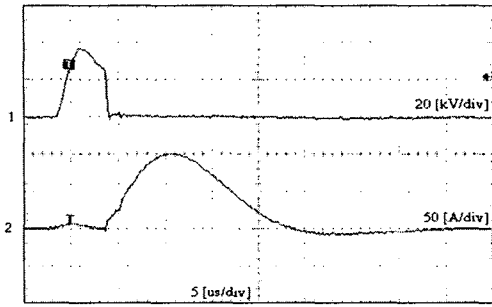
4. 결과 및 고찰

4.1 토중 방전현상

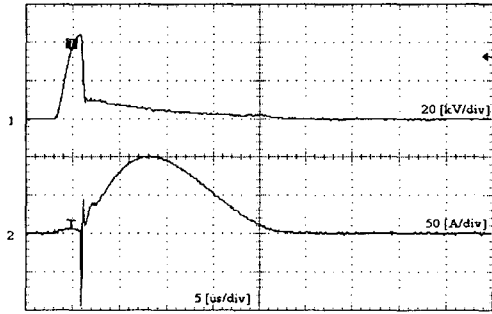
봉형 접지전극 형상에서 이격거리 5 cm인 경우 절연파괴전압과 방전전류 파형의 예를 그림 5에 나타내었다. 각 실험조건에서의 절연파괴전압은 대기중에서 61 kV, 자갈 36.8 kV, 황토흙 44 kV, 모래 56.8 kV, 세립토 40.8 kV이었으며, 모래가 절연파괴전압 최대값이 나타났다. 토양중에서의 방전전압은 대기중의 절연파괴전압보다 낮게 나타났다.



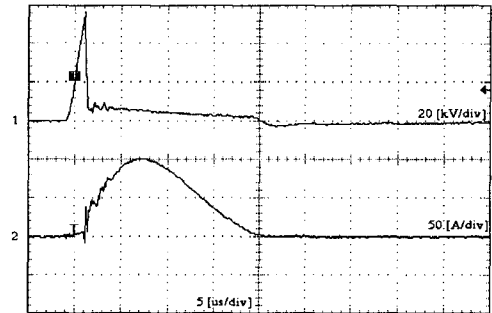
(a)



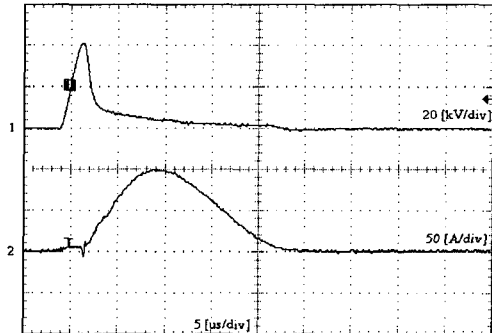
(b)



(c)



(d)



(e)

(a) 대기중 (b) 자갈 (c) 황토흙

(d) 모래 (e) 세립토

1 : 절연파괴전압 2 : 방전전류

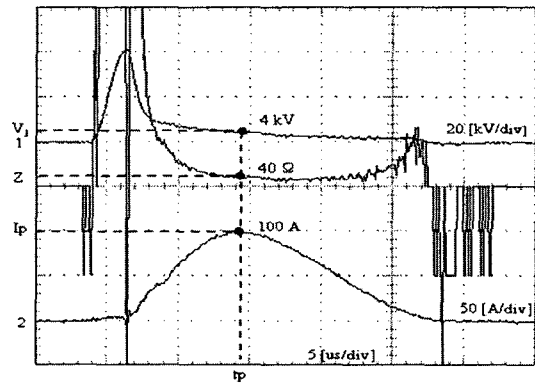
그림 5 여러 가지 토양의 절연파괴전압 및 방전전류 파형의 예

Fig. 5 Typical waveforms of the breakdown voltage and discharge current for various soils

대기중과 자갈의 경우 절연파괴후 잔류전압이 거의 0이었으며, 이는 섬락에 의해 접지전극사이가 완전 단락상태로 되기 때문인 것으로 볼 수 있다. 그러나 다른 토양에서의 방전후 잔류전압은 서서히 감소하는 양상을 보였다. 황토흙, 모래, 세립토는 토중방전현상이 일어나 임피던스를 측정할 수 있었으며, 세립토는 다른 토양과 다르게 완만한 곡선의 방전현상이 나타났다.

4. 2 토중방전시의 임피던스 및 자갈의 표면섬락현상

접지전극 주변에서 절연파괴가 발생한 경우 과도 임피던스를 산출하기 위해 봉상 접지전극과 평판전극의 이격거리를 조절하여 절연파괴전압과 방전전류 파형을 연산한 예를 그림 6에 나타내었다. 절연파괴가 발생하기 전에는 매우 큰 임피던스였으나 절연파괴가 진전되면서 과도임피던스는 급격하게 감소하여 전류 피크치에서 최소값을 나타낸다. 전류 피크치 이후 다시 임피던스가 약간 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 아크방전의 소멸과정으로 전리작용의 감소에 의한 것으로 볼 수 있다.



V_1 : 잔류전압 I_P : 방전전류 최대값 Z : 임피던스
1 절연파괴전압 2 방전전류

그림 6 토중방전시의 과도임피던스

Fig. 6 Transient impedance at the instant of breakdown in soil

$$Z = \frac{V_1(t)}{I_P(t_p)} [\Omega]$$

자갈층에서 표면섬락현상을 관찰하기 위해 고속카메라로 촬영한 사진의 예를 그림 7에 나타내었다. 그림 7(a)는 표면섬락현상을 관찰하기 전의 자갈의 모형이며, 그림 7(b)는 표면섬락의 방전광을 촬영한 것으로 절연파괴가 자갈의 표면을 경유하여 진전됨을 알 수 있다.

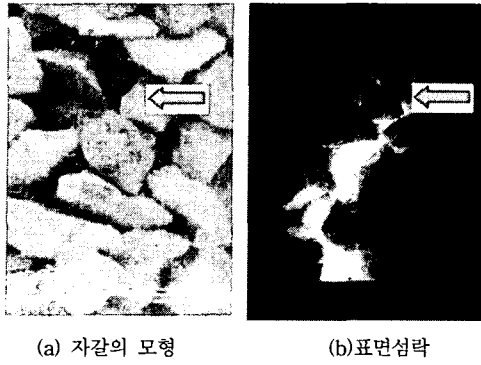


그림 7 자갈의 표면섬락현상
Fig. 7 Surface flashover on the gravel

4. 3 토양의 절연파괴전압 및 과도임피던스
대기중에서의 절연파괴전압은 전극간의 이격거리에 거의 비례하여 증가하지만 토양에서 절연파괴전압은 V_d 와 봉형 접지전극과 평판전극사이의 이격거리 d 사이의 관계에서 $V_d = Ad^n$ 나타났으며 A, n 은 전극재료와 형상, 인가전압에 달라졌다. 따라서 길이에 따른 절연파괴전압은 그림 8에서 그래프와 같이 대기중에서 가장 높았고, 모래, 황토흙, 세립토, 자갈순으로 높아졌다. n 의 값은 1 보다 작으며, 자갈이 가장 작다.

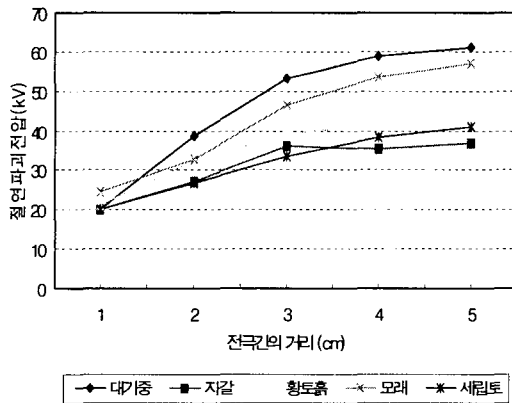


그림 8 토양의 절연파괴전압
Fig. 8 Breakdown voltage for various soils

그림 9은 절연파괴가 발생한 경우 방전전류 피크의 순간에서 토양의 임피던스를 나타냈다. 대기중과 자갈은 절연파괴후 섬락에 의해 접지전극사이가 완전한 단락상태가 되어 임피던스는 0이 되었으며 다른 토양은 봉형 접지전극과 평판사이의 거리 변화에 따라 뇌서지 전압이 인가되었을 때 절연파괴전압이 높으면 잔류전압도 동일하게 높아지는 것이 아니라 토양의 전기적 성질과 화학적 작용에 의해 잔류전압이 차이에 의해 세립토, 모래, 황토흙 순으로 임피던스 값이 낮아졌다.

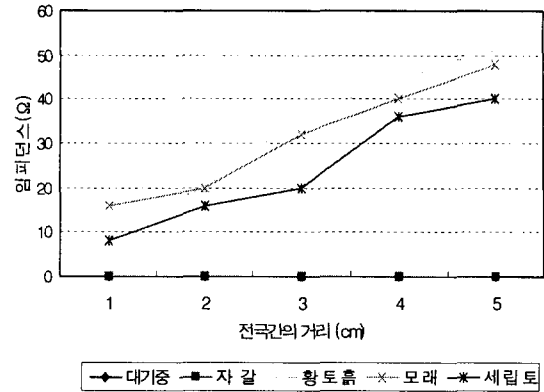


그림 9 토양방전시 임피던스
Fig. 9 Impedance at the instant of breakdown in soils

5. 결론

여러 가지 토양의 임펄스전압에 의해서 방전이 일어난 경우 이의 전기적 특성은 다음과 같다.

- (1) 뇌격전류와 같이 대전류가 대지에 유입되었을 때 봉형 접지전극 근방에서 아크방전이 발생하였다.
- (2) 접지전극 부근에서 절연파괴에 의한 과도접지임피던스는 매우 낮았으며, 토양의 종류에 따라 다르지만 대체로 0 ~ 50 [Ω] 범위이었다.
- (3) 접지전극이 자갈층에 설치된 경우 절연파괴는 자갈 표면을 따른 연면방전에 의해 진전되었으며, 섬락후 임피던스는 거의 0이다.

본 논문은 산업자원부에서 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.
- (3) I.F.Gonos, F.V.Topalis, "Transinet impedacne of grounding rods", High voltage eng. Sym, Conferenc publication, pp. 22-27 Aug. 1999