

대형 봉상 접지전극의 임펄스 인가위치에 따른 특성

(Property of Long vertical rod according to the different injection point with impulse current)

이복희 · 장근철 · 엄주홍 · 김병근 · 오성균 · 김형준

(Bok-Hee Lee · Kuen-Chul Chang · Ju-Hong Eom, Byung-Keun Kim, Sung-Kyun Oh, Hyung-Jun Kil)

Abstract

To obtain a low ground resistance in high resistivity soil or in insufficient place such as downtown, long vertical ground rods are often used. However, if the lightning current or fault current with high frequency flows into the grounding system, the ground impedance is remarkably increased. This paper presents how the impulse and fault current works on the long vertical ground rods associated with incoming points. When the test current was injected at the bottom of ground rod, the potential waveform of ground rod includes the oscillation with high frequency.

1. 서론

접지설비에 있어서 접지를 하고자 하는 전기·전자기 또는 설비와 대지사이의 접속이 양호한가 또는 양호하지 않은가를 나타내는 지표로 접지저항으로 나타낸다. 접지저항이 낮을수록 대지와 접속이 양호한 경우를 접지가 잘 이루어진 것으로 보며, 대지에 전기적으로 단자를 접속하는 것으로 통상 상용주파수 영역의 감전보호용 접지는 접지저항으로 성능평가가 이루어지지만 상용전원 이외의 고주파수 영역이 적용되는 컴퓨터용 접지나 뇌임펄스, 개폐임펄스 등에 대한 보호를 목적으로 하는 접지에 대해서는 접지임피던스로의 평가가 필요하다. 대형 건축물 등에서 현재 시설되고 있는 피뢰침 접지나 피뢰설비 접지시 사용하는 접지 가운데 접지봉 시설은 지표면 근처의 대지저항률이 높거나 전극시설 면적이 협소한 곳에서 사용하며, 낮은 접지저항값을 얻기 위해 설치깊이, 접지극의 형상 및 충전물 등에서 보다 다양화되고 있다. 이로 인해 시설되는 접지봉은 다양한 지질구조 및 토질을 통과하면서 회로정수도 바뀌게 되어 뇌격전류 분산률 및 과도임피던스 특성에 변화를 주게 된다. 또한, 대지저항률이 비교적 낮은 경우 또는 소규모 건축물에 적당한 접지시스템으로 KS C IEC 61024-1에서 제안하고 있는 A형 접지전극시스템은 봉상 전극시설시 정상상태의 전류를 대상으로 하는 일반적인 접지전극과는 달리 접지전극의 하단부에 접속하도록 되어있다.[1] 본 논문에서는 심매설 접지전극의 하단 및 중간 접속시 임펄스 특성을 알아보기 위해 인가 전류 및 전위상승과형을 측정 및 분석 하였다.

2. 관련이론

그림 1은 봉상의 접지전극의 등가모형을 나타낸 것으로 상용 전원에 의한 고장전류가 아닌 고주파 성분을 갖는 뇌격전류가 전극을 통해 흘러 대지로 방류될 때 전극의 형태를 나타낸 것이다.[2]

과도임피던스는 정상상태 접지저항과 같이 접지시스템을 평가하는데 있어 중요한 요소로 작용하며 임펄스 전류에 대한 임펄스 전압으로 정의하고 있다.[3] 아래의 그림 2는 임펄스전류에 의한 전위와 서지임피던스의 파형을 나타낸 것으로 전압과 전류가 최대일 때 구할 수 있는 계산식을 나열하였다.

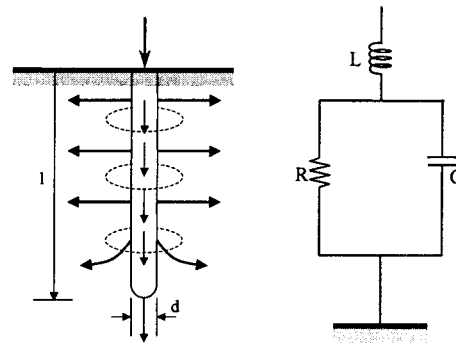


그림 1 임펄스전류의 유입과 등가회로
Fig. 1 Impulse current and equivalent circuit for a ground rod under impulse

실효 서지임피던스는 서지에 대한 대표적인 접지임피던스를 나타내는 것으로 전압과 전류가 최대인 값을 나타낼 때 전류에 대한 전압의 비로 산출한다.[4] 접지

전극의 실효서지임피던스는 다음의 식 (1)과 같이 정의한다.

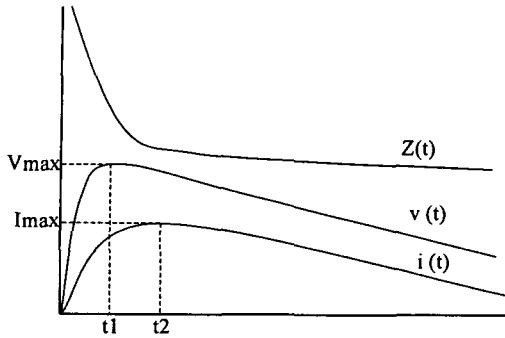


그림 2 임펄스임피던스의 정의
Fig. 2 Definition of the impulse impedance

$$Z_{eff} = \frac{v_P(t_1)}{i(t_1)} \quad (1)$$

3. 실험계 구성 및 방법

대형 봉상 접지전극의 인가점에 대한 임펄스 응답을 알아보기 위해 대지저항률이 65~75 [$\Omega \cdot m$]의 분포를 가지는 대지에 직경 150 [mm] 크기로 천공하여 지표면 깊이 2[m] 아래에 접지전극을 시설하였다. 천공 후 생긴 빈 공간은 충전재의 영향을 받지 않도록 작업으로 발생된 흙으로 되 매움을 하였다. 아래 그림 3은 설치된 전극을 보여주는 것으로 전극의 길이는 12[m], 48[m]이며, 동관의 규격은 KSD 5301의 배관용 동관규격으로 외경은 53.98 [m]로 상용 접지전극의 외경보다 큰 것을 사용하였다. 심매설 전극의 인가점은 12 [m]의 경우, 단면적이 작은 38 [mm] GV전선을 사용하여, 상단과 하단에 연결시켰으며, 48 [m]는 상하단과 중간 24 [m] 지점에 접지도선을 연결하였다.

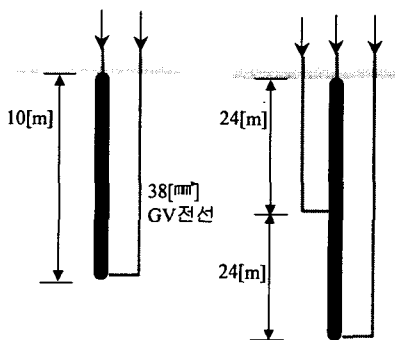


그림 3 피측정 전극모델
Fig. 3 Model of long ground rods

전류보조전극은 피측정 접지전극으로부터 60[m] 거리에 위치 시켰으며, 접지전극에 빠른 상승시간을 갖는 전류를 인가하기 위해 전류보조전극까지의 리드선은 단면적이 굵은 전선을 사용하였다. 전위보조전극은 임펄스전류가 인가될 때 측정전류 페루프와의 상호 유도되는 오차를 줄이기 위해 IEEE의 권장사항에 의거하여 90°의 각도를 이루도록 시설하였다. 서지임피던스의 계산은 전극과 전위보조극 사이에서 발생한 전위파형과 인가전류 파형을 스프레드시트로 저장 후 전압파형 피크값에서의 전류값으로 나누어 계산하였다.

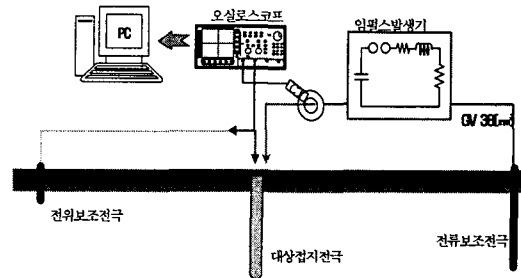


그림 4 실험계 구성
Fig. 4 Experimental set-up

4. 결과 및 검토

4.1 피측정 전극 주위의 대지저항률

그림 5는 전극이 시설된 인하대학 교내에서 측정된 대지저항률을 보여주고 있다. 측정 시기는 장마가 집중되는 7월 중순에 실시하였으며, Wenner의 4전극법을 이용하여 측정하였다. 전극간 거리는 5 [m] 간격으로 증가시켜 40 [m]까지 측정 하였으며, 지층구조는 대지저항이 높은 지표면과 70 [$\Omega \cdot m$]의 분포를 나타내는 2층 구조를 나타내고 있다.

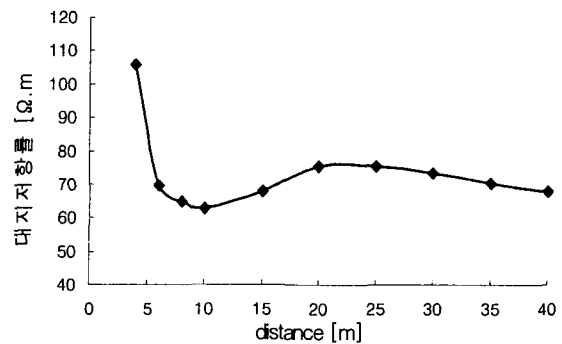
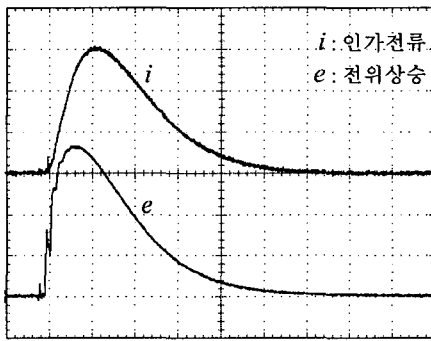


그림 5 전극주변의 대지저항률
Fig. 5 Ground resistivity of the electrode surrounding

접지극이 포설된 깊이를 고려할 때 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 5 [m] 이하의 대지저항률은 65~75 [$\Omega \cdot m$]로 나타나 중간과 하단에 임펄스 인가시 대지저항률에 의한 영향을 적게 받을 것으로 예상된다.

4.2 12 [m] 동봉 접지전극

심매설 접지전극의 임펄스 위치에 대한 임펄스 특성을 알아보기 위해 전류의 크기는 180[A], 파두시간이 6 [μs]인 임펄스 전류를 인가하였다. 아래 그림 6은 동봉의 길이가 12[m]인 접지극 하단에 인가한 임펄스 전류와 전극에 나타난 전위상승 파형을 나타내고 있다. 하단 인가시 전위파형의 파두부분이 가파른 상승을 나타내고 있으며, 전류 파형보다 앞선 위상을 나타내고 있다.



e : 전위상승 400[V/div], 10[μs /div]
 i : 인가전류 500[A/div], 10[μs /div]

그림 6 인가전류와 접지전극의 전위 파형
 Fig. 6 Waveforms of and potential of ground rod

그림 7은 상승시간이 다른 전류를 10[m] 동봉의 상단과 하단에 인가 시 측정된 임피던스를 계산하여 나타낸 것으로, 시간에 대한 전류의 변화량이 클수록 상단과 하단의 임피던스 차가 커지는 것을 알 수 있다.

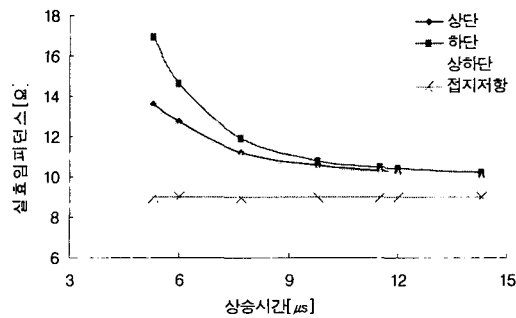
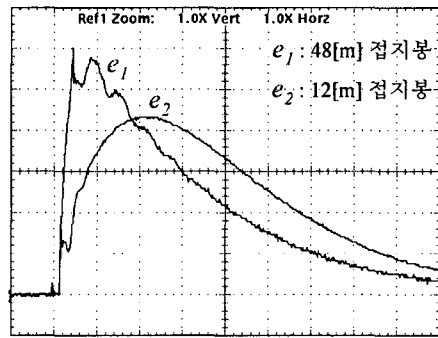


그림 7 실효임피던스의 분포
 Fig. 7 Distribution of effective impedance

지표면부터 하단까지 연결된 접지도선은 동봉의 길이와 동일한 깊이로 시설되어 접지도선이 가지는 인덕턴스 영향이라고 볼 수 있다. 상하단을 접속시킨 경우는 하단보다 더 작게 나타나는 것을 볼 수 있는데 이는, 상단과 하단에 연결된 접지도선이 병렬 접속되어 접지체의 임피던스가 작아진 것으로 사료된다.

4.3 48 [m] 동봉 접지전극

동봉의 길이가 48 [m]로 길어진 경우 임펄스 전류의 인가 위치에 따라 파형의 변화를 알아보았다. 아래 그림 8은 10 [m] 동봉 접지극에 인가했던 동일한 전류를 상단, 중간, 하단에 인가시 대형 접지전극에 나타난 전위파형으로 중간의 경우 상단보다 값이 크고 전류와의 위상차도 커지는 것을 알 수 있다. 또한 전위상승파형에 진동성 성분을 볼 수 있는데, 이는 접지전극과 접지도선의 자체인덕턴스와 두 도체의 전류도전 통로가 달라 사이에 작용하는 표류정전용량에 의해 나타나는 것으로 보인다. 하단부에 인가한 경우 전위파형의 크기는 가장 컸으며, 진동파형의 크기는 커지며, 진동주기도 짧아지는 것을 알 수 있다.



e_1 : 전위상승 250[V/div], 5[μs /div]
 e_2 : 전위상승 200[V/div], 5[μs /div]

그림 8 전극의 길이에 따른 전위상승파형
 Fig. 8 Waveform of potential rise according to the length of ground rod

아래 그림 9는 48 [m] 동봉에 임펄스 전류를 인가했을 때 인가 위치에 따라 나타나는 대지전위상승 분포를 나타낸 도표이다. 그림에서 48 [m] 동봉하단에 임펄스 전류 인가시 대지전위는 1.77 [kV]로 가장 큰 값을 보이며, 상단과 상하단 및 상중간의 경우 비슷한 값을 나타낸다. 이는 임펄스 전류 인가점으로부터 접지극까지의 접지도선에 의한 영향으로 접지도선의 길이가 길어짐에 따라 유도되는 전압의 크기가 커지기 때문이며, 상중단과 상하단시 도선의 병렬연결에 의해 상단인가시의 전위상승 값과 비슷하게 나타났다.

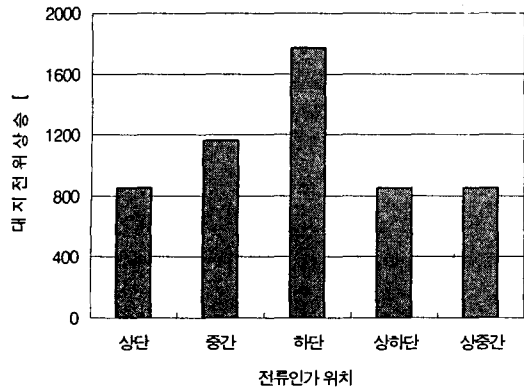


그림 9 인가점에 따른 접지전극의 전위분포
 Fig. 9 Distribution of potential of ground rod according to the injection point

아래 그림 10은 48[m] 동봉에 파두시간이 다른 임펄스 전류를 각각 다른 접속점에 인가했을 때 나타나는 대지전위 분포를 도표로 나타낸 것이다. 빠른 상승시간을 갖는 임펄스 전류가 인가되었을 때 임피던스가 가장 큰 하단 인가시 큰 값을 보이며, 파두시간이 18 [μs] 이후에서는 비슷한 크기를 나타내어 임피던스 영향이 거의 차이가 없었다. 상단 보다는 중간과 하단에서 전류의 변화량에 따라 전압의 크기가 크게 변화하였다.

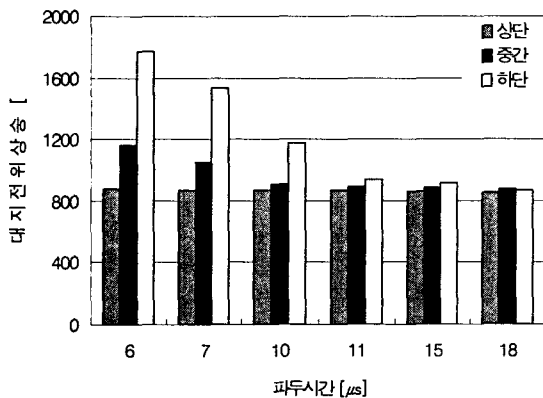


그림 10 인가전류의 파두시간에 따른 접지전극의 전위분포
 Fig. 10 Distribution of potential of ground rod according to the rise time of incident current

3. 결 론

대상 봉상 접지전극과 접지도선의 접속점의 위치에 따른 임펄스특성을 평가하기 위해 12, 48[m]의 접지봉을 천공법을 이용하여 시설하였다. 임펄스 전류를 인가하여 접지임피던스를 측정된 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 임펄스전류 인가시 전극에 나타나는 대지전위는 하단부 인가시 가장 크게 나타났으며, 전극과 도선의 인덕턴스 및 표류정전용량에 의해 진동부분이 나타났다.

(2) 상단과 하단 및 중간 부분을 연결시 도선의 병렬 임피던스에 의해 전위 및 임피던스의 크기는 상부에 단일 인가보다 다소 작게 나타났다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이복희, "정보화 설비의 뇌서지보호기술", 차세대 고전압전력기술연구센터 기술자료집, pp. 84~88,
- [2] M. Abdel, H. Anis, A. El-Morshedy, R. Radwan, "High-Voltage Engineering, Theory and Practice", Dekker, pp. 419-428, 2000.
- [3] I.F.Gonos, F.V.Topalis, "Transient impedance of grounding rods", High voltage eng. Sym. Conference publication, pp. 22-27 Aug. 1999.
- [4] 이복희, "전력통신용 보안장치 적용기술 연구", 전력연구원 최종보고서, TR.95YJ26.97.72-1 pp. 398~409, Sep. 1997.