

대형 봉상 접지전극의 길이에 따른 뇌 임펄스 특성

이복희, 장근철, 엄주홍, 김병근, 정동철, 길형준*
 인하대 차세대 고전압전력기술연구센터, 한국전기안전공사

Lightning impulse characteristics of large-scale ground rods with different length

B.H. Lee, K.C. Chang, J.H Eom, B.K Kim, D.C Jeong, H.J Kil
 Inha Univ. HEIRC, KESCO

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 significantly increased. This paper presents how the impulse current works on the long vertical ground rods with a different length. As a result, it can be estimated what the waveform is composed of and how the GPR is affected by the rate of current change.

1. 서 론

접지설비에 있어서 접지를 하고자 하는 전기·전자기 기 또는 설비와 대지사이의 접속이 양호한가 또는 양호하지 않은가를 나타내는 지표를 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 뇌 임펄스, 개폐임펄스 등에 대한 보호를 목적으로 하는 접지에 대해서는 접지임피던스로서의 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 접지저항률을 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. 따라서 대형 봉상 타입의 접지전극에 대한 임펄스 특성을 알아보기 위해 각 접지시스템에 대한 전위 및 임피던스를 비교·분석하였다.

2. 관련이론

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

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

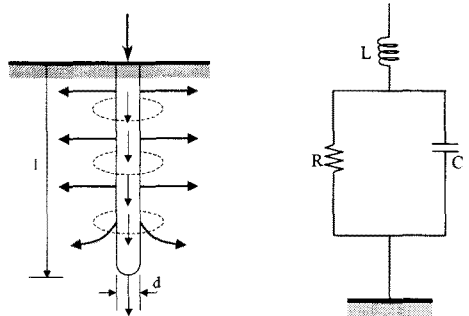


그림 1 임펄스전류의 유입과 등가회로
 Fig. 1 Impulse current and equivalent circuit for a ground rod under impulse

실효 서지임피던스는 서지에 대한 대표적인 접지임피던스를 나타내는 것으로 전압과 전류가 최대인 값을 나타낼 때 전류에 대한 전압의 비로 산출한다.^[3] 접지전극의 실효서지임피던스는 다음의 식 (1)과 같이 정의한다.

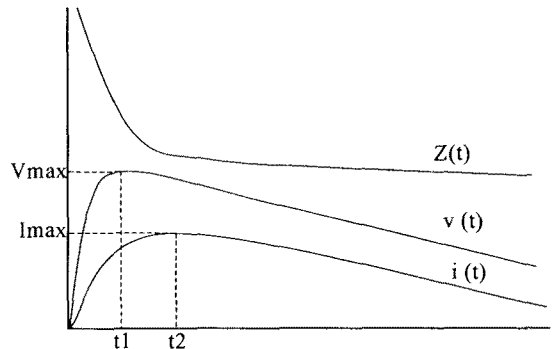


그림 2 임펄스임피던스의 정의
 Fig. 2 Definition of the parameters of impulse impedance

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

3. 실험계 구성 및 방법

대형 봉상 접지전극의 길이에 대한 임펄스 응답을 알아보기 위해 대지저항률이 65~75[Ω·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 메움을 하였으며, 임펄스에 대한 길이 특성을 알아보기 위해 상용 접지봉 대신 6[m] 동관을 황동 소켓을 이용하여 연결하였다. 전극의 길이는 12[m], 30[m], 48[m]로 시설하였으며, 동관의 규격은 KSD 5301의 배관용 동관규격으로 외경은 53.98[m]로 상용 접지전극의 외경보다 큰 것을 사용하였다.

전류보조전극은 피측정 접지전극으로부터 60[m] 거리에 위치시켰으며, 접지전극에 빠른 상승시간을 갖는 전류를 인가하기 위해 전류보조전극까지의 리드선은 단면적이 굵은 38[mm] GV전선을 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.

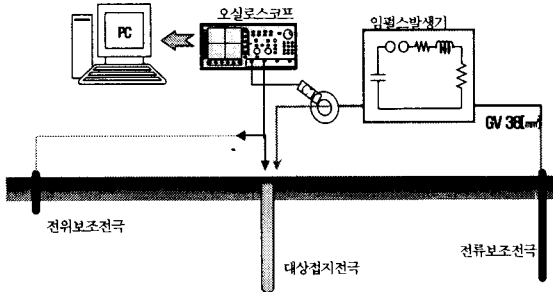


그림 3 실험계 구성
Fig. 3 Experimental set-up

4. 결과 및 검토

4.1 접지봉의 길이에 따른 접지저항 분포

지표면으로부터 2[m] 깊이에 설치된 심매설 동봉 접지전극에 대하여 전류보조전극을 피측정 접지전극으로부터 60[m] 이격시켜 5[m] 간격으로 전위강하법을 이용하여 측정된 접지저항의 곡선을 아래 그림 4에 나타내었다. 측정 시기는 장마철이 끝난 8중순이며, 공사 후 3개월 경과 후에 실시하였다. 전류보조전극의 접지저항이 피측정전극의 저항값과 큰 차이를 보이는 경우 오차가 발생할 수 있어 다른 길이로 시설된 접지전극을 보조전극으로 사용하였으며, 측정에 사용된 전류보조전극의 저항치는 세 경우 모두 수 요를 나타내어 측정에 영향을 주지 않았다.

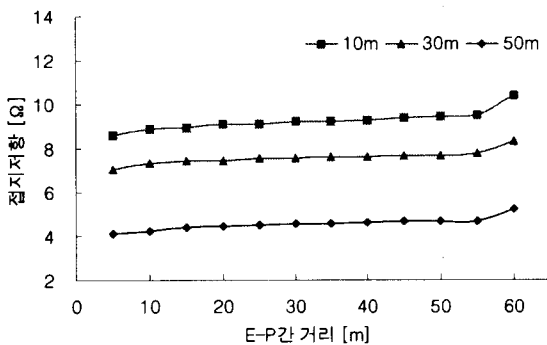


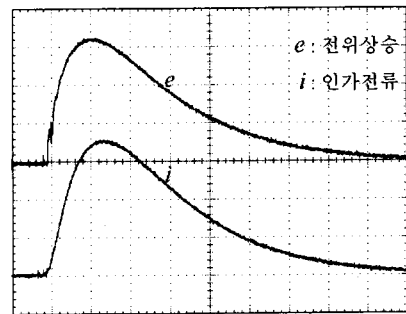
그림 4 접지저항 분포
Fig. 4 Distribution of ground resistance

봉형 접지전극이 지중에 매설된 경우 매설지점의 직상부의 접지 저항값은 0이 아닌 값으로 나타났다. 지표면

에 설치된 전극의 0[m] 지점의 접지저항은 0[Ω]에 가깝게 나타나지만, 지중에 설치한 경우는 전위보조전극과 접지전극의 상부까지의 깊이가 이격거리로 작용한 것으로 보인다. 접지전극의 길이가 길어질수록 접지저항은 낮아졌으며, 전위보조전극의 위치를 이동시켜 측정된 접지저항 분포 곡선은 전위분포곡선과 동일한 형태를 나타내므로, 그림 4에서 알 수 있듯이 전극의 길이가 길어질수록 전극 주위의 전위상승도 작은 것을 알 수 있었다.

4.2.2. 전극 길이에 대한 과도임피던스 특성

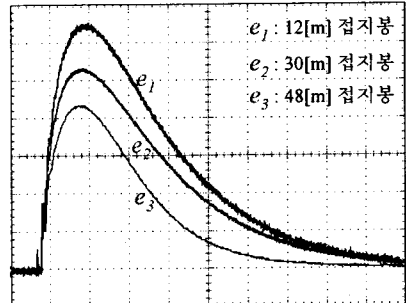
심매설 접지전극의 길이에 대한 임펄스 특성을 알아보기 위해 전류의 크기는 180[A], 파두시간이 8[μs]인 임펄스 전류를 인가하였다. 그림 5는 동봉의 길이가 30[m]인 접지전극 상단에 인가한 임펄스 전류와 전극의 전위상승 파형을 나타내고 있다. 전위파형의 파두부분이 가파른 상승을 나타내고 있으며, 전류파형보다 앞선 위상을 나타내고 있다.



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

그림 5 전위상승파형과 인가전류파형
Fig. 5 Waveform of GPR and applied current

그림 6은 전류 인가시 길이가 다른 대형 접지전극에 나타난 전위파형으로 길이가 길어짐에 따라 크기는 작아지지만, 전류와의 위상차가 점점 벌어지는 것을 알 수 있다. 이는 동봉의 길이가 길어짐에 따라 자체 인덕턴스 성분과 시간에 대한 전류변화에 의한 성분이 증가하였지만, 저항성분이 더 크게 나타나 $L \frac{di}{dt}$ 보다는 Ri 에 의한 유도전압 성분이 주를 이룬 것으로 사료된다.



e₁ : 전위상승 250[V/div], 10[μs/div]
e₂ : 전위상승 200[V/div], 10[μs/div]
e₃ : 전위상승 200[V/div], 10[μs/div]

그림 6 전극의 길이에 따른 전위상승파형
Fig. 6 Waveform of GPR with the length of rod

접지저항과 임피던스는 전극의 길이가 길어질수록 모두 작아졌으며, 50[m]의 경우 접지저항과 임피던스가 가장 낮은 것으로 나타났다. 접지임피던스는 접지저항과 과도

성분의 함으로 볼 수 있기 때문에, 전극이 길어질수록 과도임피던스가 접지저항과 비슷한 비율로 작아지는 것은 전극의 인덕턴스의 영향보다 낮은 대지저항률에 의한 저항성분의 영향이 크게 작용한 것으로 생각된다.

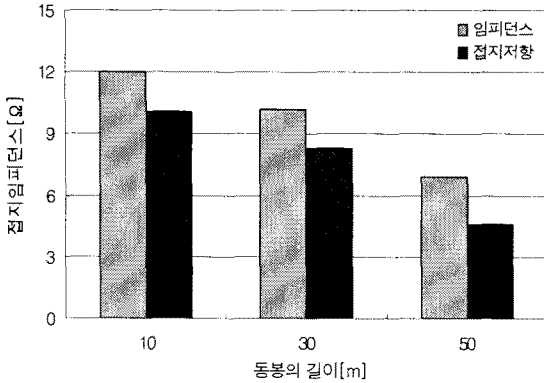


그림 7 길이에 따른 서지임피던스와 접지저항의 비교
Fig. 7 Comparison of the surge impedance and ground resistance according to the length

4.2.3. 전극 길이에 대한 유도전압 시물레이션

전극의 길이가 길어짐에 따라 인덕턴스 성분과 저항성분이 가감 되었을 때 나타나는 유도되는 전압을 시물레이션 하였다. 아래 그림 8과 그림 9는 저항성분과 인덕턴스 성분만 각각 증가된 경우 나타나는 유도전압의 파형이다.

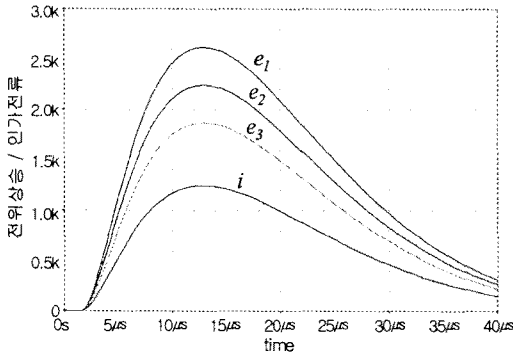


그림 8 저항의 변화에 따른 유도전압
Fig. 8 Induced voltage with variation of the ground resistance

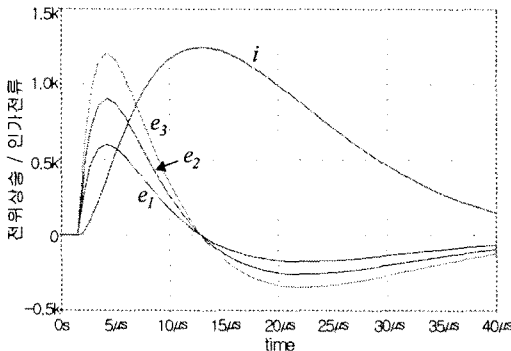


그림 9 인덕턴스의 변화에 따른 유도전압
Fig. 9 Induced voltage with variation of the

inductance

저항성분의 경우 전류와 동위상을 나타내며 크기만 비례적으로 증가하였고, 인덕턴스의 경우는 인가전류의 미분적으로 인덕턴스에 비례하여 증가하는 것을 알 수 있었다.

아래 그림 10은 저항과 인덕턴스 성분이 복합적으로 가감하여 나타나는 유도전압 파형으로 전극의 길이가 짧은 경우 인덕턴스 성분은 작고 저항성분은 크게 작용하여, 전류와 위상차가 작게 나타나게 된다. 반면, 전극의 길이가 긴 경우 저항은 작아지고 인덕턴스 성분이 크게 작용하여 전류와 전류파형의 위상차는 크게 벌어지게 된다. 시물레이션에서의 L값과 R값은 임의로 지정하였으며, 기준전류는 표준 뇌 임펄스 파형을 이용하였다.

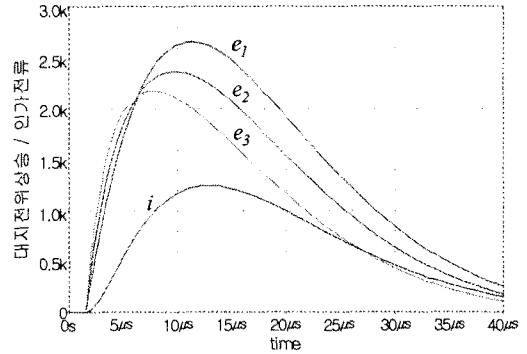


그림 10 전극의 길이에 따른 유도전압
Fig. 10 Induced voltage with the length of rod

5. 결 론

대상 봉상 접지전극의 길이에 대한 임펄스특성을 평가하기 위해 접지임피던스를 측정된 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 심매설 봉상 접지전극에 나타나는 유도전압은 인덕턴스 성분과 저항성분이 주를 이루며, 길이가 길어지면 인덕턴스 성분은 증가하고, 대지저항률과 관계있는 접지저항은 낮아지게 된다.

(2) 접지전극의 길이에 따라 나타나는 유도전압을 시물레이션을 통해 예측하는 기법을 제안하였다.

[참 고 문 헌]

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