

위험전압 저감을 위한 피뢰설비용 접지전극의 설계

이복희, 이승철*, 영주홍
인하대학교 전기공학과

Grounding Electrode Design for the Reduction of Hazardous Voltage in Lightning Protection

B.H. Lee, S.C. Lee*, J.H. Eom
Inha Univ. Dept. of Electrical Engineering.

Abstract - Grounding electrode design is an important part in lightning protection, and the limit of hazardous voltages (step and touch voltages) below the permissible voltage for human body has been the main goal of grounding electrode design. In this paper, the grounding electrode for the reduction of hazardous voltages was designed and evaluated newly. It was known that the inclined auxiliary grounding conductors installed outside the grounding mesh grid are very effective to reduce the step and touch voltages.

1. 서 론

최근의 피뢰설비용 접지전극의 설계는 단순한 접지 저항의 저감보다는 위험전압의 저감에 중점을 두고 설계되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 피뢰설비용 접지에 적합하도록 위험전압의 저감에 중점을 두고 축소형 접지전극을 설계하였으며, 임펄스 전류가 접지전극에 인가될 때 발생하는 대지전위상승을 측정하여 특성평가를 수행하였다.

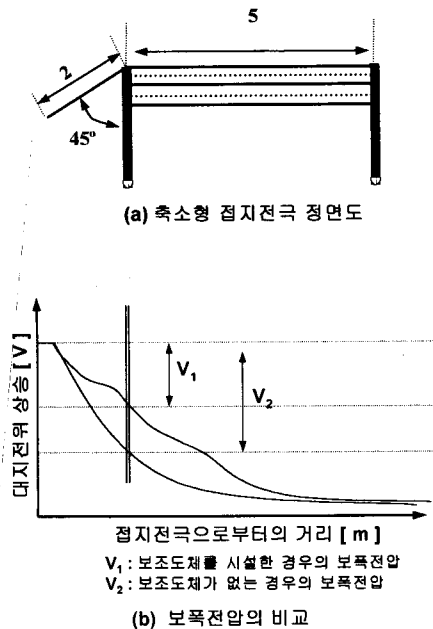


그림 1 축소형 접지전극 설계
Fig. 1 Design of the small scaled grounding electrode

기존의 망형 접지전극이 전극상부 대지의 전위분포를

등전위화 하는데 중점을 두어 설계되었으며, 최외곽 도체의 외부방향으로의 높은 위험전압이 발생하는 문제점을 가지고 있는데 반하여 본 연구에서 설계 및 시설한 피뢰설비용 접지전극의 축소모델은 망형 접지전극에서 외곽 도체의 모서리부분에서 발생하는 위험전압을 경감시키는 형태를 가지도록 하였다. 즉, 망형 접지전극의 최외곽 도체 외부에 보다 깊은 깊이로 2단의 층을 이루는 날개형태의 추가도체를 시설하여 그림 1(a)와 같은 형상을 가진다. 이러한 날개형상의 추가도체에 의하여 망형 접지전극의 외곽에서 나타나는 대지전위의 상승은 그림 1(b)에 나타낸 것과 같이 보조도체를 시설하지 않은 경우에 비하여 보폭전압의 경감에 큰 효과를 나타낸다는 가정하에 임펄스 전류를 인가하여 특성평가를 수행하였다. 축소형 접지전극은 지하 0.75 [m]의 깊이에 시설하여 약 800 [A_{peak}]의 임펄스 전류가 유입되는 경우를 모의 실험하였다. 실험결과 날개형 추가도체를 시설하는 경우가 시설하지 않는 경우보다 최외곽 도체 외부방향으로 약 50 [%] 정도 이하로 위험전압을 감소시키는 성능을 나타내었다.

2. 본 론

2.1 측정장치 및 방법

임펄스 전류에 대한 지표면의 대지전위분포에 대한 측정계를 그림 2와 같이 구성하였다.

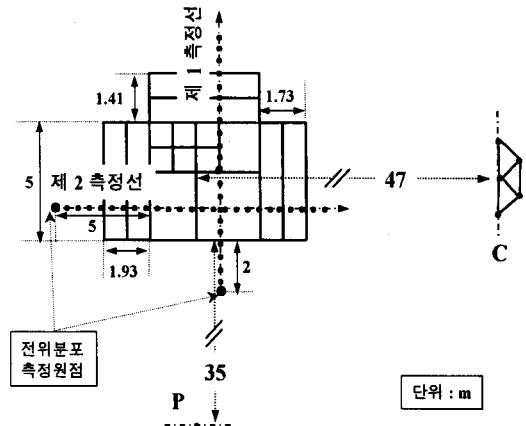


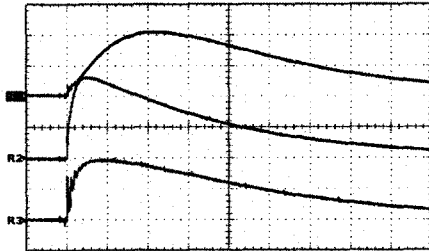
그림 2 대지전위분포 측정계 개략도
Fig. 2 Schematic diagram of the ground potential distribution measurement system

전류보조전극(C극)은 피측정 망형 접지전극으로부터 47 [m] 이격하여 시설하였으며, 전류보조전극은 전류보조전극의 방향과 90°의 각도를 이루어 35 [m] 이격하여 시설하였다. 전류보조전극은 길이 1.8 [m]의 봉형 접지전

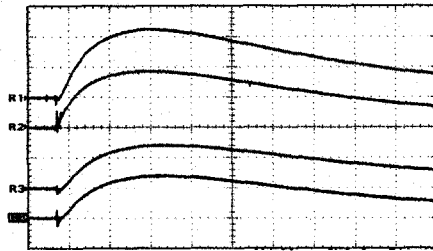
극 5개를 병렬로 연결하여 구성하였으며, 접지저항값은 7.7 [Ω]이었다. 전위보조전극은 길이 1 [m]의 봉형 접지전극을 사용하였으며, 큰 임펄스 전류가 인가될 때 측정전류 폐루프와의 유도에 의하여 발생하는 오차를 줄이기 위하여 IEEE의 권장사항에 의거하여 90°의 각도를 이루도록 시설하였다. 측정점 사이의 간격은 0.5 [m] 단위로 하였다.

2.2 측정결과 및 검토

2.2.1 측정파형



R1 : 인가전류 400 [A/div], 10 [μs/div]
 R2 : 인가전압 V_{EC} 4 [kV/div], 10 [μs/div]
 R3 : 접지전위 V_{EP} 1 [kV/div], 10 [μs/div]
 (a)



R1 : 인가전류 400 [A/div], 10 [μs/div]
 R2 : 전극전위 V_{CP} 1 [kV/div], 10 [μs/div]
 R3, R4 : 대지전위상승 V_{GPR} 1 [kV/div], 10 [μs/div]
 (b)

그림 3 측정파형
 Fig. 3 Measured waveforms

그림 3(a)에 측정시 인가되는 전류 I와 피측정 망형 접지전극과 전류보조전극 사이의 인가전압 V_{EC} , 접지전극 및 측정용 리드선에 나타나는 접지전위 V_{EP} 파형을 나타내었다. 측정시 인가되는 측정전류는 약 824 [A_{peak}]이며, 상승시간은 약 20 [μs]이다. 일반적으로 표준 뇌임펄스 전류는 8/20 [μs]의 파형을 가지나 이는 시험용 임펄스 발생기의 출력단을 단락상태로 하였을 때 나타나는 파형으로 실제의 부하에 접속된 상태에서는 변형된 파형으로 나타난다. 즉, 측정에 있어서는 부하로 약 10.7 [Ω]의 접지저항과 측정용으로 사용한 리드선의 인덕턴스가 어느 정도 포함되어 있으므로 상승시간이나 지속시간이 길게 나타났다. 측정용 리드선은 GV 22 [mm] 50 [m]를 사용하였다. 측정된 파형에서는 이러한 리드선의 인덕턴스의 영향이 뚜렷이 나타나고 있는데 전류의 파형과 전압의 파형 사이에 피크값에 도달하는 시간이 크게 차이를 나타낸다. 이는 상용 전류에 의한 측정의 경우 위상차에 해당하며, 전압파형이 급준하게 상승되는 결과를 나타낸다. 측정계에 인가된 전압의 피크값은 약 10 [kV]이며, 피측정 메시전극에 나타나는 전위상승은 약 2 [kV]이다.

그림 3(b)에서 R1은 측정시 인가된 전류파형이며, R2는 피측정 메시전극 자체의 전극전위, R3, R4는 대지전

위상승을 나타내는 파형이다. 지표면의 대지전위 상승을 측정하는데 있어서 임펄스 전류를 인가하기 때문에 현실적으로 일정한 측정전류를 인가하기는 불가능하여 매회 측정시 인가전류와 피측정 메시전극의 파형을 동시에 측정하였다. 이렇게 측정된 인가전류와 피측정 메시전극의 전위상승을 기준으로 하여 메시전극에 나타나는 전위상승을 일정한 값으로 규격화 할 때 지표면에 나타나는 전위상승을 분석하였다.

2.2.2 대지전위 분포

피측정 망형 접지전극에서 제1측정선을 따라 임펄스 전류를 인가하여 측정된 대지전위분포를 그림 4에 나타내었다. 망형 접지전극의 전위상승은 임펄스 전압의 피크값으로 나타내었으며, 매회 측정시 임펄스 발생기의 충전량이 어느 정도 변동하므로 접지전극의 전위상승 및 대지전위 상승을 일정한 값으로 규격화하여 나타내었다. 즉, 각각의 대지전위상승은 인가된 임펄스 전류 및 망형 접지전극의 전위상승 피크값의 변동에 따라 달라지므로 망형 접지전극의 전위상승을 1800 [V]로 규격화할 때 지표면에 나타나는 대지전위상승을 그래프로 나타내었다. 측정점은 0.5 [m] 간격으로 제1측정선을 따라 이동하며 측정하였다.

거리 3~5 [m] 구간에서는 보조도체를 시설하지 않았기 때문에 대지전위가 급격한 변동을 나타내고 있다. 거리 5~10 [m] 구간은 하부에 망형 접지전극이 시설되어 있으므로 비교적 높은 대지전위를 보이나, 거리의 변동에 따라서 약 300 [V] 이하의 낮은 전위차를 가진다. 거리 8~10 [m] 구간의 전위가 거리 5~7 [m] 구간의 전위보다 높게 나타나는 원인은 하부에 매설되어 있는 망형 접지전극의 포설형상에 의한 결과로 분석된다. 즉, 거리 8~10 [m] 구간에서는 하부에 매설되어 있는 망형 접지전극의 도체가 측정선과 나란한 방향으로 포설되어 있으므로 수직으로 교차하는 다른 지점보다는 높은 전위상승을 나타내고 있는 것으로 분석된다. 거리 10~13 [m] 구간은 망형 접지전극에 날개모양의 보조도체가 지표면과 45°의 각도로 시설되어 있는 위치로서 대지전위의 감소가 거리 3~5 [m] 구간보다 훨씬 완만한 형태를 가진다.

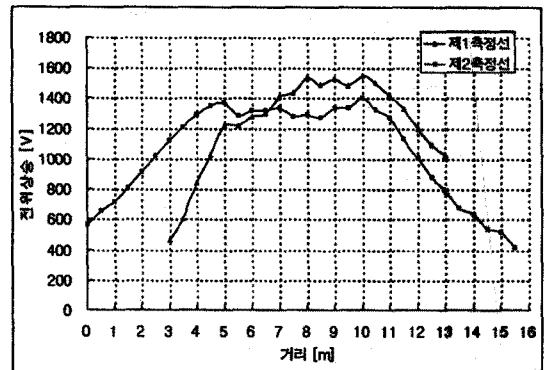


그림 4 대지전위 분포
 Fig. 4 Ground potential distribution

피측정 망형 접지전극에서 제2측정선을 따라 임펄스 전류를 인가하여 측정된 대지전위분포를 그림 4에 나타내었다. 각각의 대지전위상승은 제1측정선과 동일하게 망형 접지전극의 전위상승을 1800 [V]로 규격화할 때 지표면에 나타나는 대지전위상승을 그래프로 나타내었다. 측정점은 0.5 [m] 간격으로 제2측정선을 따라 이동하며 측정하였다.

거리 0~5 [m] 구간에서는 보조도체를 지표면과 15°

의 각도를 이루도록 시설하였기 때문에 대전위의 상승이 비교적 완만하다. 거리 5~10 [m] 구간은 하부에 망형 접지전극이 시설되어 있으므로 비교적 높은 대전위를 보이며, 거리의 변동에 따라서 약 100 [V] 정도의 낮은 전위변동을 보인다. 거리 5, 7, 10 [m] 위치에서 측정선의 방향이 하부에 매설되어 있는 망형 접지전극 도체와 직각으로 교차하므로 전극상의 다른 지점들에 비하여 전위가 다소 높은 마루를 형성하는 모양을 가진다. 거리 10~13 [m] 구간은 망형 접지전극에 날개모양의 보조도체가 지표면과 30°의 각도로 시설되어 있는 위치로서 대전위의 감소가 거리 0~5 [m] 구간과 비슷한 형태를 나타내었다.

의 보폭전압으로서 1800 [V]의 메시전극 전압을 기준으로 할 때 약 65~260 [V]의 값을 가진다. 구간 5~6에서 구간 9~10은 메시전극 직상부의 보폭전압으로서 약 25~65 [V]로 낮은 값을 가지며, 이는 제1측정선의 결과와 유사한 특성을 나타내는 것으로 분석되었다.

제1 및 제2측정선의 측정결과와 분석을 통하여 망형 접지전극을 사용하는 경우에 전극도체의 포설에 따라서 어느 정도 차이를 보이거나 일반적으로 망형 접지전극은 도체의 가장자리에서 보폭전압이 최대값을 가진다. 외곽도체의 외부방향으로 경사진 보조도체를 시설한 경우에는 최외각 도체로부터 두 번째 구간, 즉, 3~4구간과 11~12구간에서 보폭전압의 최대값이 나타나는 것으로 분

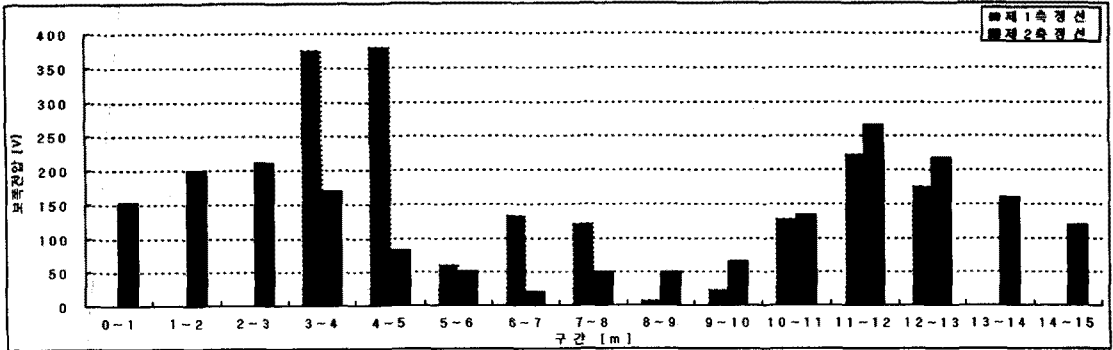


그림 5 임펄스 전류에 의한 구간별 보폭전압
Fig. 5 Step voltage of each section associated with impulse current injection

거리 0~5 [m] 사이에서 최외곽 도체의 외부로 보조도체를 시설한 경우와 최외곽도체 단독으로 시설된 경우의 전위분포의 차이가 크게 나타나고 있다. 즉, 보조도체를 시설한 경우가 임펄스 전류가 접지를 통하여 대지로 방류될 때 접촉전압이나 보폭전압을 보조도체를 시설하지 않은 경우보다 크게 감소시킬 수 있는 것으로 분석된다. 보조도체를 포설하는 각도에 있어서는 15~45° 사이에서 큰 차이를 나타내지 않는 것으로 나타났다.

2.2.3 구간별 보폭전압

각 구간별 보폭전압을 보폭 1 [m]를 기준으로 하여 그림 5에 나타내었다. 제1측정선에서 구간 3~4와 4~5는 피측정 메시전극에 보조도체를 시설하지 않은 위치의 보폭전압으로서 망형 접지전극의 전위상승이 1800 [V]일 때를 기준으로 한 값이다. 보폭전압의 크기는 370~380 [V]정도로써 가장 큰 보폭전압을 가진다. 구간 10~11에서 12~13은 제1측정선에서 보조도체를 지표면과 45°의 각도로 시설한 경우의 보폭전압으로서 1800 [V]의 메시전극 전압을 기준으로 할 때 약 125~220 [V]의 값을 가진다. 구간 5~6에서 9~10은 메시전극 직상부의 보폭전압으로서 약 130 [V]이하의 낮은 값을 가지는 것으로 분석되었다. 또한 보조도체를 시설하지 않은 경우에는 최대 보폭전압이 망형 접지전극 외곽도체의 외부방향으로 첫째 구간에서 나타나지만 45°의 각도로 시설한 경우에는 어느 정도 완만한 경사를 이루며 세 번째 구간인 구간 11~13에서 나타나고 있다.

제2측정선에서 구간 0~1에서부터 구간 4~5는 피측정 메시전극에 보조도체를 지표면과 15°의 각도로 시설한 위치의 보폭전압으로서 망형 접지전극의 전위상승이 1800 [V]일 때를 기준으로 할 때 보폭전압의 크기는 약 80~210 [V]정도로써 보조도체를 시설하지 않은 경우(제1측정선, 구간 3~4 및 구간 4~5)와 비교할 때 훨씬 작은 값을 가지며, 45°각도로 시설한 경우와 근사한 값을 가진다. 구간 10~11에서부터 구간 14~15는 제2측정선에서 보조도체를 지표면과 30°의 각도로 시설한 경우

석되었다. 또한 메시도체에 지표면과 일정한 각도로 보조도체를 시설하는 경우가 보조도체를 시설하지 않는 경우에 비하여 약 50 [%](최대감소 : 25 [%]) 정도로 보폭전압을 감소시키는 결과를 얻었다.

3. 결 론

본 연구에서는 피뢰설비용 접지전극에 대하여 위험전압의 저감에 중점을 두어 축소형 접지전극을 설계 및 시설하였고, 모의 뇌격전류를 인가하여 특성평가를 수행하였다.

피뢰설비용 접지전극의 설계에서 망형 접지전극의 외곽으로 날개 형태의 보조도체를 경사지게 하여 깊이차를 두고 시설하는 경우 약 50 [%] 이상의 보폭전압 감소효과가 나타났으며, 최대 보폭전압의 감소는 보조도체를 시설하지 않은 경우와 15° 각도로 보조도체를 시설한 경우에서 약 75 [%]로 측정되었다. 날개모양의 보조도체를 시설하지 않은 형태의 접지전극에서는 최외곽 도체로부터 외부방향으로 첫째 구간에서 최대보폭전압이 나타나지만 보조도체를 시설한 경우에는 보폭전압이 어느 정도 분산되어 둘째나 셋째 구간에서 나타났다. 따라서 피뢰설비용 접지전극을 설계함에 있어서 외곽도체에 외부방향으로 약 30° 정도의 경사를 지닌 보조도체를 추가하는 것이 보폭전압의 경감에 효과적으로 작용함을 실험적인 결과를 통하여 입증하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Z. Stojkovic, M.S. Savic, "Experimental Investigation of Grounding Grid Impulse Characteristics", ETEP Vol.8, No.6, pp417-421, 1998
- [2] J.G. Sverak, "Simplified Analysis of Electrical Gradients Above a Ground Grid - I", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-103, No.1, pp7-25, 1984
- [3] F. Dawalibi, D. Mukhedkar "Parametric Analysis of Grounding Grid", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-98, No.5, pp1659-1668, 1979