

보조접지그리드의 시설에 의한 대지표면전위경도의 저감

(Reduction of the the Ground Surface Potential Gradients by
Installing Auxilliary Grounding Grids)

이승철* · 엄주홍 · 이복희 · 김효진

(Seung-Chil Lee · Ju-Hong Eom · Bok-Hee Lee · Hyo-Jin Kim)

요 약

본 논문에서는 효과적인 접지그리드 설치기법에 대하여 기술하였으며, 낙뢰나 지락고장서지, 개폐서지 등으로 부터 인체의 감전보호나 컴퓨터를 비롯한 전기·전자기기의 보호를 위한 접지그리드의 시설 및 배치방법에 따른 실험적인 평가를 수행하였다. 접지그리드의 배치에 따른 대지표면전위경도의 분석과 위험전압으로 작용하는 대지 표면전위상승의 억제에 주안점을 두고 실험용 모델접지전극을 시설한 후 임펄스전류를 인가하였다. 기존의 등간 격 접지그리드의 결점을 보완하기 위해 접지그리드에 경사를 가지는 보조접지그리드를 시설하였으며, 보조접지그 리드를 시설한 접지시스템에서는 인체나 전기·전자기기에 위험전압으로 작용하는 대지표면전위경도를 최대 50%이상 완화시키는 효과를 얻었다.

Abstract

The present paper describes a technique for installing an effective grounding grids, the major objective is forced on the experimental evaluation of the performance and characteristics with the arrangement and installation method for grounding grids consisting of the means to protect electric shock, electronics and computerized facilities against lightning, switching and ground fault surges. The study is oriented on two major areas: (1) the analysis of the ground surface potential gradient with the arrangement of grounding grids, (2) the control of the dangerous ground surface potential rise. The experiments were carried out with the impulse currents as a function of the installation method or arrangement of grounding grids. An installation method of the inclined auxiliary grounding grid was proposed to overcome the drawbacks of equally spaced grounding grids, i.e., an appropriate design concept for the installation of grounding grids was found out. It has been shown that the installation of the inclined auxiliary grounding grid can also result in a more than 50% decrease in the maximum potential gradient on the ground surface and enhance the level of safety for persons and electronic equipments.

Key Words : Grounding grid, Ground surface potential gradient, Auxiliary grounding grid, Ground surface potential rise, Touch voltage, Step voltage, Impulse current, Fall-of-potential method

* 주저자 : (주) 한진중공업 상무(공학박사)

Tel : 02-450-8085, Fax : 02-450-8121

E-mail : scllee@hjcnsst.co.kr

접수일자 : 2002년 2월 7일

1차심사 : 2002년 2월 15일

심사완료 : 2002년 3월 9일

1. 서 론

발변전설비를 비롯하여 산업설비, 지능형 빌딩과

보조접지그리드의 시설에 의한 대지표면전위경도의 저감

사이버아파트에 이르기까지 고도정보통신시스템이 적용되고 있으며, 전력시설물, 생산설비, 금융, 행정, 건물관리 등 모든 사회시스템이 정보통신망과 연계되어 있다. 현대사회의 핵심요소인 전기설비, 정보통신설비, 집중원방감시설비나 생산의 자동화설비 등이 고도화된 전자제어시스템으로 이루어져 있다. 이들 최신의 컴퓨터, 전기, 전자, 정보통신기기는 종래의 기기에 비해서 과전압에 매우 취약한 특성을 가지고 있으며, 이들 전자시스템의 고장은 사회의 큰 혼란과 막대한 경제적 손실을 가져온다[1]-[3].

개폐서지, 뇌서지, 지락고장서지 등의 과전압에 대한 인체의 감전보호와 전자기기의 오동작이나 파손을 방지하기 위해서는 고성능의 접지시스템이 필수 요건이다. 따라서 선진외국에서는 접지시스템의 성능을 단지 접지저항이 아니라 접촉전압, 보폭전압, 매시전압, 이행전압 등 위험전압으로 규제하고 있다 [4][5]. 그러나 우리나라에서의 접지설비에 대한 규제는 단지 접지저항만으로 제한하기 때문에 효과적인 접지시스템의 기능을 기대할 수 없는 실정이다. 낙뢰 또는 지락고장서지의 과전압으로부터 인체의 감전보호는 물론이고 전력설비나 사회시스템의 신경역할을 하는 정보통신제어설비를 효과적으로 보호할 수 있는 대책의 마련이 중요한 과제로 대두되었으며, 이 분야에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 전력설비를 비롯하여 지능형 건물에서 뇌과전압 또는 지락고장의 과전압에 의한 인체의 감전방지에 가장 중요한 요소인 대지표면전위경도를 저감시킬 수 있는 접지그리드의 설치에 대하여 연구하였다. 인체에 감전을 일으키는 전위차의 한계를 살펴보았으며, 접지전극을 시설함에 있어 접지그리드의 가장자리 부분에서 발생하는 급격한 전위변동을 억제할 수 있는 경사형 보조접지그리드의 매설방식을 제안하였다. 실험용 모의접지전극에 대한 대지표면전위분포를 측정하여 인체에 위험요소로 작용하는 전위경도 즉, 보폭전압과 접촉전압을 저감시키는 형태의 접지전극의 구조와 시설방법을 제시하였다.

2. 인체에 대한 전위차의 안전한계

2.1 인체의 안전한계전류

지락고장전류나 뇌격전류가 대지에 유입될 때 대

지전위가 상승하여 일어나는 인체의 감전(electric shock)과 전기·전자통신기기의 사고를 방지하는 것이 접지의 주목적이다. 접지전극 주변에 형성되는 대지표면전위상승(ground surface potential rise)은 접지전극의 시설과 직접적으로 연관된다. 감전에 대한 인체의 위험정도를 나타내는 가장 중요한 요소는 인체를 통과하여 흐르는 전류 값이며, 인체에 인가되는 전압의 크기는 2차적 요소로 전기적 충격을 일으키기도 한다.

인체에 흐를 수 있는 전류의 허용한계는 전류의 크기와 주파수, 통전시간, 체중에 의존하게 된다. 즉, 인체의 안전한계전류(permissible body current limit) $I_s[A]$ 는 통전시간을 $t[sec]$ 라고 하면, 다음 식과 같이 표현된다[6][7].

$$I_s = \frac{k_s}{\sqrt{t}} [A] \quad (1)$$

식 (1)은 통전시간 0.03~3[초]의 범위에서 실험한 결과를 기초로 한 것으로 매우 짧거나 긴 시간 영역에 대하여는 성립되지 않으며, k_s 는 임의의 확률로 허용되는 감전에너지에 관련된 실험 정수이다. 최대 3[초]의 감전시간에 대하여 50[kg]인 사람이 최대 0.5%가 심실세동을 일으키지 않는 경우

$$k_s = 0.116(67 \times 10^{-3} \times \sqrt{3}) \quad (2)$$

이다.

전기기기 및 기구의 절연파괴 또는 지락고장이 발생하였을 때 사람의 생명에 위험을 주지 않는 전압을 안전전압이라고 하며, 주위의 작업 환경과 밀접한 관련이 있다. 안전전압은 지락고장을 일으켰을 때의 상용주파 전원전압에 대한 기준으로 적용되고 있으나 계통접지와 뇌보호설비의 접지가 전기적 본딩에 의해서 접속된 경우는 두 경우를 모두 고려할 필요가 있다. 뇌임펄스전류 또는 뇌임펄스전압에 대한 명확한 안전전압의 규정은 없으나 캐패시터에 충전시킨 전하의 방출을 모의한 단방향성 임펄스전류에 대한 감전에 관한 연구가 이루어져 왔다[8].

감전에 대한 위험전압을 일률적으로 나타낼 수는 없지만 위험성의 한계에 대한 기준으로는 대지에 접촉하고 있는 인체에 인가되어 감전을 일으키는 접촉

전압(touch voltage)과 보폭전압(step voltage) 2 가지로 크게 구별할 수 있다.

2.2 접촉전압

접지전극에 전력계통의 고장전류 또는 뇌격전류가 유입하게 되면 접지전극 근처의 대지표면의 전위가 상승하게 된다. 이 때 사람이 구조물에 접촉했을 때의 전위차를 접촉전압이라 한다. 즉, 접촉전압은 전기계통의 충전부분 또는 뇌보호설비의 접지도선과 인체의 접촉으로 인하여 인체에 인가될 수 있는 전압이며, 보통 사람의 손과 다른 신체의 일부 사이에 인가되는 위험전압이다. 인체가 대지표면에 있는 충전부분과의 접촉상태를 등가회로로 나타내면 그림 1과 같다.

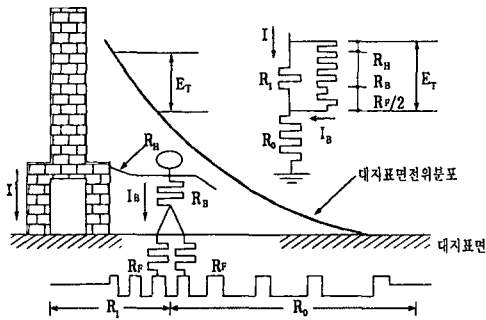


그림 1 접촉전압
Fig. 1 Touch voltage

사람의 발 1족의 접지저항 $R_F[\Omega]$ 은 지표면 부근의 토양의 고유저항 $\rho_S[\Omega m]$ 를 적용하여 나타내면 $3\rho_S[\Omega]$ 이고, 인체의 전기저항 R_B 는 $500\sim 2,300[\Omega]$ 정도이다. 인체의 내부저항 R_B , 손과 구조물의 접촉저항을 R_H , 한쪽 발의 대지와와의 접촉저항을 R_F , 인체에 흐르는 전류를 I_B 라고 하면, 허용접촉전압 E_T 는 R_F 와 R_B 를 각각 $3\rho_S$, $1000[\Omega]$ 으로 가정하고 R_H 를 무시하면 다음과 같이 표현된다.

$$E_T = I_B(R_H + R_B + R_F/2) = (1000 + \rho_S) \frac{0.116}{\sqrt{t}} = \frac{116 + 0.17 \rho_S}{\sqrt{t}} \quad (3)$$

IEEE규정에 의해 정의된 접촉전압은 전압이 충전되는 부분과 대지표면의 직선거리 1[m]인 지점사이의 전위차로 정의한다[9].

2.3 보폭전압

접지전극을 통하여 접지전류가 대지로 유입될 때 그림 2에 나타난 바와 같이 접지전극 주변의 대지표면에 전위차(potential difference)가 발생하여 사람의 양발사이에 인가되는 보폭전압은 접지전류와 접지전극 부근의 양쪽 다리 사이의 거리에 해당하는 접지저항의 곱으로 나타나며, 특히 감전보호에 있어서 매우 중요한 요소이다. 사람이 고장전류가 흐르는 접지전극의 근처에 서 있는 경우, 인체의 내부저항을 R_B , 한쪽 발의 대지와와의 접촉저항을 R_F , 그리고 인체를 통과하여 흐르는 전류를 I_B 라 하면, 허용보폭전압 E_S 는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$E_S = I_B(R_B + 2R_F) = (1000 + 6 \rho_S) \frac{0.116}{\sqrt{t}} = \frac{116 + 0.7 \rho_S}{\sqrt{t}} \quad (4)$$

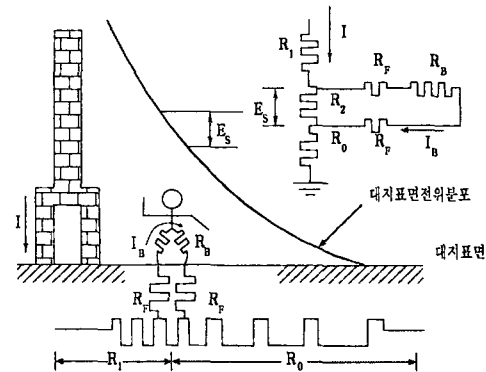


그림 2 보폭전압
Fig. 2 Step voltage

보폭전압과 접촉전압이 가지는 또 다른 의미는 전위경도 즉, 1[m] 거리에서 어느 정도 전위가 감소되는 것을 파악할 수 있고, 또 접지전류가 얼마나 큰 값을 가지는지를 파악할 수 있다. 또한 접촉전압과 보폭전압은 인체 각부의 대지와와의 접촉조건, 대지표면 부근의 전기저항률, 통전시간 등에 따라 복잡하게 변화한다. 특히 접지전극 주변의 대지표면전위상승(ground surface potential rise)은 접지전극의 시설과 직접적으로 연관되므로 접지그리드 형상의 설계와 시공에 주의해야 할 사항이다.

3. 실험계 및 실험방법

3.1 실험계의 구성

감전방지용 접지전극의 구성에 있어서는 단순한 접지저항의 저감보다는 전위경도 즉, 보폭전압의 저감이 중요하며, 최대전위경도는 접지그리드의 최외곽 도체부분에서 나타나므로 최외곽 도체의 외부에 날개모양의 보조접지그리드를 시설하는 구조로 실험용 모의접지전극을 구성하였다. 접지전극에 보조접지그리드를 시설한 경우와 보조접지그리드를 일정한 각도로 경사지게 시설한 경우에 대한 대지표면전위상승을 비교할 수 있는 구조로 하였다. 대지표면으로부터 0.5[m]의 깊이에 접지그리드를 부설하고 각각의 보조접지그리드를 대지표면과 15°, 30°, 45°의 각도를 이루도록 경사지게 시설하였고, 접지저항은 2.7 [Ω]이다.

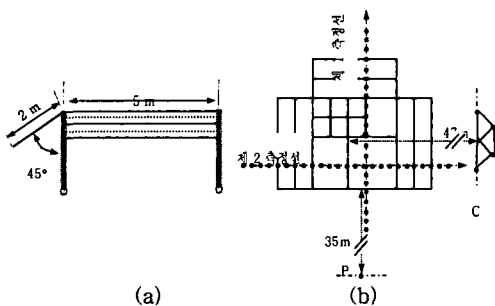


그림 3 실험용 모델접지전극의 구성
Fig. 3 Configuration of the model grounding grids for experiments

접지그리드는 22[mm]의 나동연선을 사용하였으며, 넓이는 5×5[m²]이고 보조접지그리드를 1[m] 간격으로 2개씩 3방향에 설치하였다. 각각의 방향에 따라 보조도체는 지표면을 기준으로 하여 15°, 30°, 45°의 각도로 경사지게 시설하였다.

즉, 제1측정선의 보조접지그리드는 대지표면에 대해 45°의 각도로 시설하였으며, 제2측정선의 좌측의 보조접지그리드는 대지표면에 대해 15°, 우측의 보조접지그리드는 30°의 각도로 시설하였다. 임펄스전류에 의한 대지표면전위상승을 측정하는 회로에서 전류보조전극의 배치는 큰 임펄스전류가 인가될 때 측정전류 페루프와의 상호유도작용에 의한 오차를 줄이기 위하여 IEEE의 권장사항에 따라 피측정 접지전

극으로부터 47[m] 떨어진 지점에 시설한 전류보조전극과 90°의 각도를 이루며 35[m] 떨어진 지점에 전류보조전극을 설치하였다[10][11]. 전류보조전극은 접지저항이 낮아야 충분한 측정전류를 흘릴 수 있으므로 길이 1.8[m]의 봉형 접지전극 5개를 병렬로 접속하여 구성하였으며, 접지저항은 7.7[Ω]이다.

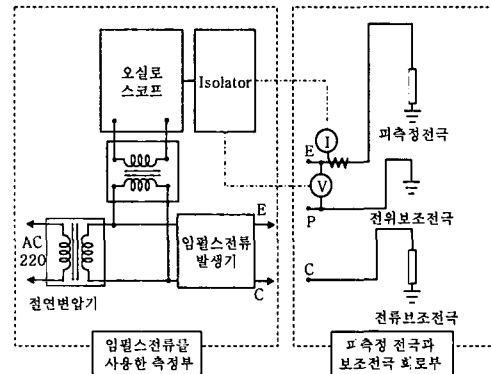


그림 4 대지표면전위상승의 측정회로도
Fig. 4 Circuit diagram for measuring the ground surface potential rises

지락고장 또는 뇌격전류가 접지전극에 입사할 때 대지표면전위상승을 측정하기 위한 회로도를 그림 4에 나타내었다. 측정회로는 시험전류공급장치, 인가전류 및 대지표면전위검출장치 그리고 측정신호의 저장장치로 구성되었다. 특히 대지표면전위상승의 측정에 있어서는 대지에 흐르는 전류와 전위상승을 검출하므로 각 검출신호 상호간의 절연분리가 매우 중요하다.

3.2 측정방법

전위경도, 보폭전압, 접촉전압 등의 위험전압이 낮아 감전보호에 효과적인 접지전극의 형상과 배치방법을 제시하기 위하여 접지그리드를 공통접지전극으로 사용하는 경우를 상정하고 고장서지 또는 낙뢰가 입사한 경우를 모의하여 임펄스전류를 인가하였을 때 나타나는 대지표면전위를 측정하였다. 임펄스전류를 인가한 경우 2개의 측정선 방향과 검출위치는 그림 3-(b)와 같으며, 측정용 리드선은 GV 22[mm] 50[m]를 사용하였고, 측정점사이의 간격은 0.5[m]로 하였다. 이 때 임펄스전류는 변류기(Fluke 80i-1000s), 그리고 대지표면전위는 차동모드를 지원하는

전압측정용 프로브(F5210)로 측정하였다. 각각의 전류 및 대지표면전위의 파형은 4개씩 동시에 측정하였으며, 두 개의 측정선을 따라 10회 반복하여 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 임펄스전류와 대지표면전위의 파형

고장서지 또는 뇌격전류와 같은 임펄스전류가 접지전극에 유입하는 경우를 모의한 측정회로에서 인가되는 임펄스전류와 피측정 접지그리드와 전류보조전극 사이의 인가전압 VEC, 기준전위점 P에 대한 접지전극의 전위 VEP의 파형을 그림 5에 나타내었다. 측정회로에 인가된 임펄스전압의 피크값은 약 10[kV]이며, 임펄스전류의 피크값은 약 824[Apeak]이고, 상승시간은 약 20[μs]이다. 인가전압과 접지전류의 파형은 상당히 다르며, 접지전류의 상승시간이 훨씬 완만하게 나타났다. 이는 접지전류의 흐름에 접지저항 이외에 접지전류가 흐르는 경로 즉, 리드선의 인덕턴스의 영향이 크게 나타났기 때문임을 알 수 있다.

접지그리드와 전류보조전극사이에 그림 5에 나타낸 임펄스전류가 흐를 때 측정된 대지표면전위 파형의 예를 그림 6에 나타내었다. R1은 인가한 임펄스전류 파형이며, R2는 접지그리드의 전위, R3, R4는 대지표면전위를 나타낸 파형이다. 여기에서 인가전류의 파형과 접지전극의 전위 그리고 대지표면에서의 전위파형이 거의 동일하였으며, 이것으로부터 임펄스전류의 도전작용에 의해서 대지표면전위가 유도됨을 알 수 있다.

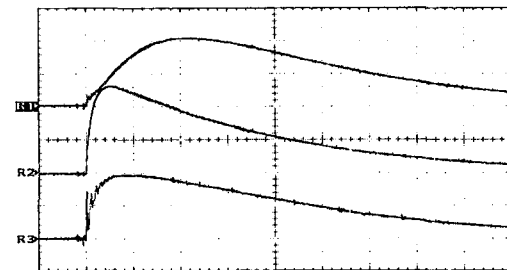
그림 7에는 4전극법으로 측정된 실험장소의 대지저항률을 나타내었다. 전극간 거리에 따라서 약 40~50[Ω·m]의 대지저항률을 가지는 것으로 측정되었다. 지층구조는 대략 3층구조임을 알 수 있으며 대지표면의 저항률이 높았고 지표면으로부터 5~10[m] 깊이의 중간층의 대지저항률이 낮게 나타났다. 따라서 대지표면의 전위는 접지전극의 전위보다는 훨씬 낮게 나타났으며, 대지표면의 전위상승의 억제에 대해서는 지표부의 저항률이 높을수록 효과적이다.

4.2 대지표면전위상승의 분포

접지그리드에 임펄스전류를 인가하여 제1 및 제2

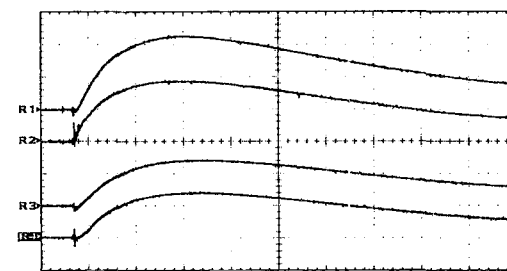
측정선을 따라 측정된 대지표면전위상승의 분포를 그림 8에 도식적으로 나타내었으며, 접지전극의 전위상승은 피크값이다. 각각의 실험조건에서 대지표면전위상승은 인가한 임펄스전류 및 접지그리드의 전위상승의 피크의 변동에 따라 달라지므로 접지그리드의 전위상승을 1,800[V]로 규격화하였을 때의 대지표면전위상승을 그래프로 나타내었다.

제1측정선상의 시작점에서 거리 3~5[m] 구간은 날개형 경사진 보조접지그리드를 시설하지 않았기 때문에 대지표면전위의 급격한 상승을 나타내고 있다.



R1 : 인가전류 400[A/div]
R2 : 인가전압 VEC 4[kV/div]
R3 : 대지전위상승 VEP 1[kV/div]
Time : 10[μs/div]

그림 5. 접지전극에 인가한 임펄스전압과 전류 파형
Fig. 5. Waveforms of the incident impulse voltage and current at the grounding electrodes



R1 : 인가전류 400[A/div]
R2 : 전극전위 VGP 1[kV/div]
R3, R4 : 대지전위상승 VGPR 1[kV/div]
Time : 10[μs/div]

그림 6. 임펄스전류의 유입에 의한 대지전위상승의 파형
Fig. 6. Waveforms of the ground surface potential rise due to the inflow of impulse currents

보조접지그리드의 시설에 의한 대지표면전위경도의 저감

거리 5~10[m] 구간은 하부에 접지전극이 매설되어 있으므로 비교적 높은 대지표면전위를 보이고 있으나 거리 1[m]당의 전위변동이 적게 나타났다. 거리 8~10[m] 구간의 전위가 거리 5~7[m] 구간에서의 대지표면전위보다 높게 나타나는 원인은 직하부에 매설되어 있는 접지도체의 배치에 의한 결과로 분석된다. 즉, 거리 8~10[m]구간에서는 하부에 매설되어 있는 접지도체가 측정선과 나란한 방향으로 매설되어 있으므로 수직으로 교차하는 다른 지점보다는 높은 전위상승을 나타내고 있다. 거리 10~13[m] 구간은 접지그리드에 날개모양의 보조접지그리드가 대지표면과 45°의 각도로 시설되어 있는 위치로서 대지표면전위의 하강이 접지도체의 외곽부에 해당하는 거리 3~5[m] 구간보다 훨씬 완만한 형태를 나타내고 있다.

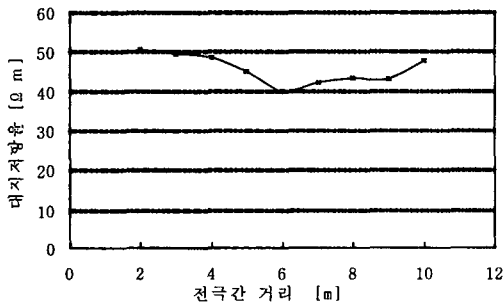


그림 7. 측정장소의 대지저항률
Fig. 7. Earth resistivity measured at the test site

제2측정선에서 거리 0~5[m]의 구간은 날개형 보조접지그리드를 대지표면과 15°의 각도를 이루도록 경사지게 시설한 구간으로서 대지표면전위상승의 변동이 비교적 완만하게 나타났다. 거리 5~10[m] 구간은 하부에 접지도체가 매설되어 있으므로 비교적 높은 대지표면전위를 보이며, 거리 1[m]당 약 100[V] 정도의 적은 전위변동을 보였다. 거리 5, 7, 10[m] 위치에서 측정선의 방향이 하부에 매설되어 있는 접지도체와 직각으로 교차하므로 접지그리드의 다른 지점에 비하여 높은 전위를 나타내었다. 거리 10~13[m] 구간은 접지그리드에 날개모양의 보조접지그리드가 대지표면과 30°의 각도로 시설되어 있는 위치로서 대지표면전위의 변동이 거리 0~5[m] 구간과 비슷한 형태를 나타내었다.

두 개의 측정선에서 측정한 결과를 비교하여 분석하면 거리 0~5[m] 사이에서 최외곽 접지도체의 외부로 보조접지그리드를 시설한 경우와 최외곽 접지도체 단독으로 시설된 경우의 대지표면전위분포의 차이가 크게 나타나 있다. 즉, 보조접지그리드를 접지그리드의 외곽에 경사지게 시설한 경우가 임펄스 전류가 접지를 통하여 대지로 방류될 때의 전위경도 즉, 접촉전압이나 보폭전압을 훨씬 감소시킬 수 있는 것으로 분석된다.

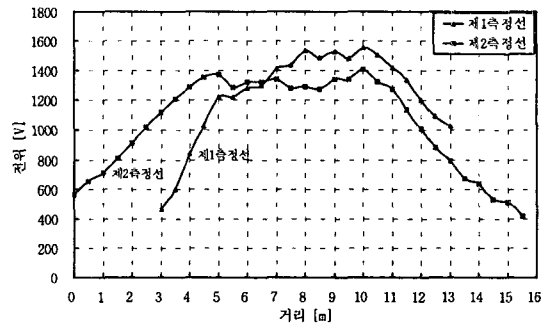


그림 8. 접지전극에 임펄스전류가 흐르는 경우 제1 및 제2측정선을 따라 측정된 전위분포
Fig. 8. Potential distributions measured along the first and second survey lines as the impulse current flows through the grounding grids

4.3 대지표면전위경도

각 구간별 보폭전압(보폭 1[m]를 기준) 즉, 전위경도를 그림 9에 나타내었으며, 여기에서 전위경도는 접지도체의 전위상승이 1,800[V]일 때를 기준으로 산출한 값이며, 거리 1[m]당의 전위차이므로 보폭전압에 해당한다. 제1측정선의 결과에서 보조접지그리드가 설치되지 않은 구간 3~5[m]에서의 전위경도는 370~380[V/m]정도로서 가장 높은 보폭전압을 나타내었다. 구간 10~11[m]에서 구간 12~13[m]은 보조접지그리드를 대지표면과 45°의 각도로 경사지게 시설한 경우의 전위경도로서 1,800[V]의 접지도체 전위를 기준으로 할 때 약 125~220[V/m]이다. 구간 5~6[m]에서 구간 9~10[m]은 접지도체 직상부 대지표면의 전위경도로서 약 130[V/m]이하의 낮은 값을 가지는 것으로 분석되었다.

제2측정선에서 구간 0~1[m]에서 구간 4~5[m]사이의 접지그리드에 날개형 보조접지그리드를 대지표

면과 15°의 각도로 경사지게 시설한 위치와 주변의 전위경도로서 접지도체의 전위가 1,800[V]일 때를 기준으로 할 때의 전위경도는 약 80~210[V/m]정도로 보조접지그리드를 시설하지 않은 경우와 비교할 때 훨씬 낮은 값을 나타내었으며, 45°의 각도로 시설한 경우보다 약간 낮은 값을 나타내었다. 구간 10~11[m]에서 구간 14~15[m]은 제2측정선에서 날개형 보조접지그리드를 대지표면과 30°의 각도로 시설한 경우의 전위경도는 약 65~260[V/m] 범위의 값을 나타내고 있다. 구간 5~6[m]에서 구간 9~10[m]은 접지전극 직상부 대지표면상의 전위경도로서 각각 약 25~65[V/m]로 가장 낮은 값을 나타내었으며, 이는 제1측정선의 결과와 유사한 특성을 나타내는 것으로 분석되었다.

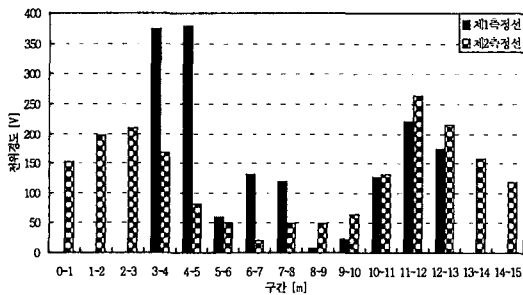


그림 9. 임펄스전류가 흐를 때 제1측정선과 제2측정선을 따라 측정한 대지표면전위경도
 Fig. 9. The ground surface potential gradients measured along the first and second survey lines as the impulse current flows through the grounding grids

보조접지그리드의 설치각도에 따른 영향을 살펴보면 제2측정선의 구간 11~13(30°)에서의 전위경도는 설치각도가 작은 구간 1~4(15°)보다 전위경도가 높게 나타났다. 제1측정선의 구간 11~13(45°)에서도 전위경도는 제2측정선의 구간 11~13(30°)보다는 낮게 나타났으나 설치각도가 15°인 경우에 비하여 높게 나타났다. 이러한 결과를 보면 보조접지그리드의 설치각도가 15°~45° 범위인 경우 전위경도의 큰 차이는 없었다. 대지표면에서의 전위경도는 접지도체의 굵기와 간격, 대지저항률, 매설깊이 등에 의해 변화될 수 있으므로 앞으로 이 분야에 대한 보다 심층적인 연구가 요망된다.

제1측정선과 제2측정선의 측정결과의 분석을 통하

여 접지그리드의 접지도체의 배치나 형상에 따라서 어느 정도 차이를 보이거나 접지도체의 가장자리에서 전위경도가 최대인 것으로 나타났다. 접지그리드의 가장자리에서는 최외각 도체로부터 두 번째 구간 즉, 구간 3~4[m]과 구간 11~12[m]에서 전위경도가 최대인 것으로 나타났다. 또한 접지그리드에 대지표면과 일정한 각도로 경사진 날개형 보조접지그리드를 시설하는 경우가 시설하지 않는 경우에 비하여 약 50[%] 정도로 전위경도 즉, 접촉전압 또는 보폭전압을 감소시키는 결과를 얻었다.

4.4 우리나라 접지방법의 문제점에 대한 검토

접지전극을 통하여 대지로 접지전류가 방출되는 과정에서 대지의 전기저항에 의해서 대지표면전위는 상승하게 되며 접지전류의 방출을 억제하게 된다. 즉, 접지저항이 낮으면 낮을수록 접지전류의 대지로의 방출이 효과적으로 이루어지며, 대지표면전위상승이 낮게 되어 안전성 측면에서 유리하다. 접지저항이 낮아 대지표면전위가 낮아지는 것은 사실이지만 실제의 전력계통에서 고장전류는 대단히 많이 흐르므로 접지저항만을 낮추어 대지표면전위 또는 전위경도를 낮게 하고자 하는 것은 매우 비효율적이고 한계가 있다. 특히 제1종접지 또는 피뢰침용 접지시스템의 접지저항이 10[Ω]이하로 규정되어 있는 우리나라의 기술기준은 합리성이 거의 없다. 왜냐 하면 고장전류가 통상 수백A~수 kA정도이고, 특히 뇌격전류는 수십 kA이므로 접지전극의 전위는 수십~수백 kV가 되게 되므로 대지표면의 절대전위를 낮게 하려는 개념은 효과적이지 못하다.[12] 특히 10[Ω]이하의 접지저항을 얻는다는 것은 대지저항률에 따라 다르겠지만 불가능한 경우도 있고 경우에 따라서는 대단히 많은 비용이 소요되므로 매우 비경제적일 수도 있다.

우리나라와 같이 대지표면전위를 낮게 하여 안전성을 확보하려는 방법 즉, 접지저항을 낮게 하는 방법보다는 전위경도를 줄이는 방법 다시 말하면 접촉전압이나 보폭전압을 낮게 하여 안전성을 확보하는 방법이 기술적, 학술적, 경제적 측면에서도 유리하다. 또한 고장전류 또는 뇌격전류가 입사되면 접지전극 주위에는 높은 보폭전압이 형성되어 감전의 위험을 초래하게 되므로 안전을 확보할 수 있는 접지전극의 형상설계와 시공이 필요하다. 우리나라에서의 감전보

보조접지그리드의 시설에 의한 대지표면전위경도의 저감

호를 목적으로 하는 기기접지나 뇌보호 접지에서는 접촉전압이나 보폭전압을 전혀 고려하지 않고 단지 $10[\Omega]$ 이하의 접지저항을 얻기 위하여 여러 개의 봉형 접지전극을 시설하고, 그들 접지전극의 상단 부분을 병렬로 접속하는 시공방법이 가장 많이 사용되고 있다.

감전보호 또는 전자기기에 미치는 노이즈나 오동작, 파손 등의 장애방지의 관점에서는 접지저항이 가급적 낮으며, 전위분포가 균일한 접지전극의 시설이 가장 바람직하다. 그러나 접지를 시설하는 위치의 입지조건에 따라서는 물리적으로 낮은 접지저항을 얻을 수 없는 경우도 흔히 있으며, 이러한 경우에는 접지전극의 형상이나 시공방법을 고려하여 대지표면에서의 균일한 전위상승분포와 낮은 전위경도를 얻을 수 있는 접지시스템의 구성을 검토하는 것이 매우 중요하다[13][14]. 접지전극의 형상과 배치는 대지표면의 전위상승, 전류분포 및 전위분포의 양상을 고려하여 결정하여야 한다. 즉, 접지전극의 형상과 배치를 적절히 조절함으로써 대지표면전위상승을 억제하고, 전위경도를 비롯하여 접촉전압과 보폭전압을 경감시키도록 하여야 한다. 대지표면전위상승을 억제하는 요소는 접지임피던스이며, 접지임피던스는 접지전극의 규모나 매설깊이 등에 의존하게 된다. 또한 보폭전압을 경감시키는 요소는 접지전극의 형상과 배치에 따른 전위상승과 전위경도를 제어하는 방법이 있으며, 접지전극의 매설깊이를 깊게 할수록 전위경도가 완만해지고 보폭전압도 낮아지게 된다. 접지전극의 규모, 형상, 배치, 매설깊이 등을 적절히 조절함으로써 대지표면전위상승을 억제하거나 전위경도를 완만하게 제어하는 접지전극시스템의 설계상의 개념 전환이 바람직하다.

5. 결 론

전력설비의 고장전류 또는 뇌격전류의 유입에 따른 대지전위상승으로부터 인명과 고도 정보화사회의 근간을 이루고 있는 컴퓨터를 비롯한 전자기기를 효과적으로 보호할 수 있는 접지전극시스템 형상과 시설기법에 대한 연구를 수행한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 접지그리드에 임펄스전류를 인가한 경우 대지표면전위의 파형은 접지전류의 파형과 거의 비슷하

였으며, 전위경도는 접지그리드의 외곽부분에서 가장 높으므로 적절한 형상의 보조접지극을 시설하여 전위경도를 대폭 경감시키는 것이 효과적이다.

(2) 전력설비나 중대형 건축물의 접지전극시스템으로 사용되는 접지그리드의 외곽부분에 경사형 보조접지그리드를 설치하여 위험전압 즉, 보폭전압을 1/2정도 낮출 수 있었다.

(3) 대지표면의 전위파형은 접지도체 인덕턴스의 영향 때문에 접지전류보다 상승시간이 빠른 파형으로 나타났다.

(4) 현대사회에서 전기에너지의 효과적이고 안전한 사용과 정보화·국제화 시대의 사회환경에 적합한 접지시스템의 구축을 위한 과학적이고 합리적인 규격과 기술의 개발이 요구되며, 앞으로 이 분야에 대한 지속적인 연구를 추진할 예정이다.

본 연구(KECA-2001-03)는 한국전기공사협회의 지원에 의하여 수행되었음.

References

- [1] Institute of Electrical Installation Engineers of Japan, Lightning Protection for Information-oriented and Computerized Society, IEE of Japan, pp.10~52, 1999.
- [2] A. Ohmi, "Lightning Protection for Information and Telecommunication System", Journal of IEE Jpn., Vol.21, No.6, pp.450~453, 2001.
- [3] A. Karwowski and A. Zeddani, "Transient currents on lightning protection systems due to the indirect lightning effect", IEE Proceeding of Science and Measurement Technology, Vol.142, No.3, pp.213~216, 1995.
- [4] IEC Pub. 1200-413, Electrical Installations Guide, Part41 3 ; Protection against Indirect Contact Automatic Disconnection of Supply, pp.9~19, 75~84, 1996.
- [5] IEC Pub. 364-413, Electrical Installations of Building, Part4 ; Protection for Safety, Chapter41 ; Protection against Electric Shock, pp.25~37, 1999.
- [6] IEEE Standards Board, "ANSI/IEEE Std 80-1999; An American National Standard/IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., pp.31~48, 1986.
- [7] F. P. Dawalibi, R. D. Southey and R. S. Baishiki, "Validity of Conventional Approaches for Calculating Body Currents Resulting from Electric Shocks", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.5, No.2, pp.613~626, 1990.
- [8] F. P. Dawalibi, R. D. Southey and R. S. Baishiki, "Validity of Conventional Approaches for Calculating Body Currents Resulting from Electric Shocks", IEEE

- Trans. on Power Delivery, Vol.5, No.2, pp.613~626, 1990.
- [9] IEEE Standards Board, "IEEE Std 81-1983: IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., pp.17~30, 1983.
 - [10] J. Ma and F. P. Dawalibi, "Effects of Inductive Coupling between Leads in Ground Impedance Measurements using the Fall-of-Potential Method", 1999 IEEE Transmission and Distribution Conference, Vol.1, pp.266~271, 1999.
 - [11] C.G. Wang, T. Takashima, "Grounding Resistance Measurement Using Fall-of-Potential Method with Potential Probe Located in Opposite Direction to the Current Probe", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.13, No.4, pp.1128~1135, 1998.
 - [12] M. Uman, D. K. McLain and R. J. Fisher, "Currents in Florida Lightning Return Strokes", Journal of Geophysical Research, Vol.78, No.18, pp.3530~3537, 1973.
 - [13] T. Takahashi, Introduction to Grounding Technology, Ohmsha, pp.57~86, pp.101~114, 1997.
 - [14] T. Takahashi, "Earthing concept for Lightning Protection System", Journal of IEE Jpn., Vol.21, No.6, pp.464~467, 2001.

◇ 저자소개 ◇

이 승 철 (李承七)

1943년 4월 1일생. 1971년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 2월 서울산업대 산업대학원 안전공학과 졸업(공학석사). 2002년 2월 인하대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 한진중공업주식회사 상무.
e-mail : scllee@hjcst.co.kr

엄 주 홍 (嚴柱弘)

1972년 9월 5일생. 1998년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2000년 2월 인하대 대학원 졸업(공학석사). 2001년 현재 인하대 대학원 전기공학과 박사과정
e-mail : g2001100@inhavision.inha.ac.kr

이 복 희 (李福熙)

1954년 6월 29일생. 1980년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1988~89년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수. 1999년 Cincinnati대학 방문교수. 현재 인하대 공대 전자전기공학부 교수.
e-mail : bhlee@inha.ac.kr

김 효 진 (金孝鎭)

1960년 6월 12일생. 1989년 2월 경북산업대학 졸업. 1992년 성균관대학교 대학원 졸업(석사). 현재 한국전기공사협회 연구소 부장.
e-mail : hjkim@keca.or.kr