

수조실험장치를 이용한 접지전극 상호간의 전위간섭 평가

(Evaluation of Potential Interferences between Grounding Electrodes using an Electrolytic Tank)

이복희* · 이수봉 · 이태형 · 길형준

(Bok-Hee Lee · Su-Bong Lee · Tae-Hyung Lee · Hyoung-Jun Gil)

요 약

본 논문은 여러 가지 형상의 접지시스템에서 접지전극 상호간의 전위간섭에 대해 다루었다. 접지전극의 일정한 형상과 크기, 접지전극간 이격거리에 따른 전위상승과 전위간섭계수를 수조실험장치를 이용하여 측정하고, CDEGS 프로그램으로 해석하였다. 전위상승과 전위간섭계수는 접지전극의 이격거리, 접지전극의 형상과 크기에 강하게 의존한다. 격자형 접지전극과 격자형 접지전극 사이의 전위간섭은 격자형 접지전극과 봉형 접지전극 사이의 전위간섭보다 낮은 것으로 나타났다.

Abstract

This paper deals with the potential interferences between grounding electrodes in various grounding electrodes. The ground potential rise and potential interference coefficients were measured by using and electrolytic tank and calculated by CDEGS program as functions of the configuration and size of grounding electrodes and the distance between grounding electrodes. The ground potential rise and potential interference coefficient strongly depend on the distance between grounding electrodes, the shape and size of grounding electrodes. The potential rise interferences between grounding grid and grounding grid is lower than those between grounding grid and ground rod.

Key Words : Potential interferences coefficients, Potential rise, CDEGS, Hemispherical grounding simulation system, Ground rod, Ground grid

1. 서 론

오늘날 정보화 사회로의 이행과 더불어 전자·통

신기기가 전력계통에 광범위하게 설치되면서 접지방식에 의해 전자·통신기기가 오동작 하는 문제가 대두 되었다. 이와 관련하여 국제규격 등을 보면 종전에 비해 키워드가 상당히 변하고 있음을 알 수 있다. 즉 접지라고 하면 종전의 경우 접지저항이라는 용어를 연상하였으나 최근에는 기준접지, 등전위 접지, GPR, EMI, EMC 등의 용어가 많이 등장하고 있다. 그러나 국내의 접지기술은 단순히 접지봉을 대지

* 주저자 : 인하대학교 전자전기공학부
Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822
E-mail : bhlee@inha.ac.kr
접수일자 : 2005년 12월 15일
1차심사 : 2005년 12월 20일
심사완료 : 2006년 1월 4일

수조실험장치를 이용한 접지전극 상호간의 전위간섭 평가

에 매설하고 접지선을 연결하여 접지 저항치를 충족 시키기에만 치중해 왔으며, 그 중요성에 비해 소홀이 취급되고 있어 전기 안전에 심각한 우려를 낳고 있다. 전기설비기술기준에 의한 접지공사는 독립접지로 규정하고 있었으나, 정보화 사회의 필수적인 컴퓨터, 통신기기 등 외부 노이즈에 민감한 고정밀 기기가 채용되고, 또한 건축물의 고밀도화로 기존의 접지방식만으로는 한계에 도달해 있다. 특히 접지전극간의 이격거리 미확보로 인한 전위간섭으로 인한 문제를 야기시키고 있어 이에 대한 대책 수립이 시급하다[1-2].

따라서 본 논문에서는 기존의 독립접지방식으로 시공된 전원계통과 약전설비의 접지전극 상호간의 전위간섭의 영향을 평가하고 전위간섭에 의한 문제점의 해결을 위한 기초자료를 얻기 위하여 반구형 수조모의접지시스템과 CDEGS 접지설계 프로그램을 이용하여 실제 크기의 100분의 1로 축소된 격자형 접지전극을 모의하고 주변에 다양한 형상의 접지전극을 설치하는 경우 유도되는 전위분포를 조사하였다. 또한 격자형 접지전극 주변에 설치된 봉상 접지전극 및 격자형 접지전극에서의 전위간섭의 정도를 전위간섭계수로 평가하였다.

2. 접지전극상호간의 유도전위간섭

접지시스템에 고장전류가 유입하게 되면 접지전극은 물론이고 접지전극 주변의 대지표면의 전위가 상승하게 되어 동일한 접지시스템으로 접속된 정보통신기기나 전력설비에 전위상승에 의한 악영향을 미치게 된다. 독립접지는 독립적으로 장비나 설비를 보호할 수 있다는 장점이 있으나, 시공시 각각의 접지전극간에 충분한 이격거리를 두어야 하며, 서지나 노이즈전류 유입시 장비나 설비간에 전위차가 발생하여 손상을 주거나 오동작을 유발하는 단점이 있어 독립접지의 전위간섭에 대한 문제점을 고려한 적용이 필요하다.

그림 1에서와 같이 접지전극 A에 고장전류가 유입하였을 때 인접 접지전극의 전위상승이 전혀 일어나지 않는 것이 가장 바람직하며, 이와 같은 이상적인 독립접지를 얻기 위해서는 2개의 접지전극을 충

분히 이격시켜야 한다. 그러나 접지전극의 설치에 있어서 충분히 이격시키는 것이 현실적으로 불가능한 경우 접지전극 B에는 ΔV 만큼의 전위상승이 일어나게 되므로 서로 완전히 독립되었다고 볼 수 없다. 따라서 접지시스템을 시설할 때 유도전위 간섭을 충분히 고려하여 설계하고 시공하여야 한다.

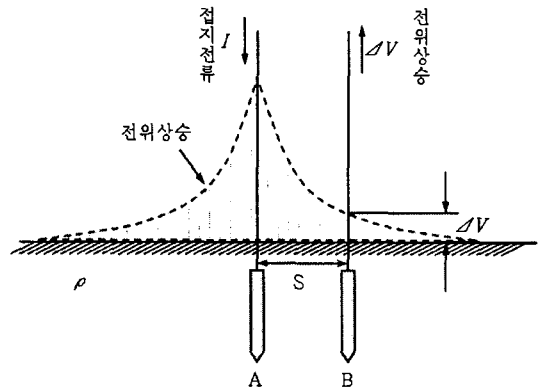


그림 1. 접지전극간의 유도전위간섭

Fig. 1. Potential interference between grounding electrodes

접지전극 A의 전위변동에 의해 접지전극 B의 전위가 변동하는 것을 전위간섭이라고 하고, 접지전극 A에 의해 접지전극 B에 미치는 전위간섭의 정도를 평가하는 척도로서 전위간섭계수 K를 아래 식 (1)과 같이 정의한다[3-4].

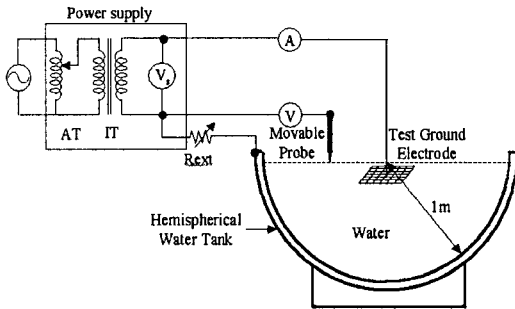
$$\text{전위간섭계수 } K = \frac{\text{접지전극 B의 전위}}{\text{접지전극 A의 전위}} \quad (1)$$

3. 실험장치 및 방법

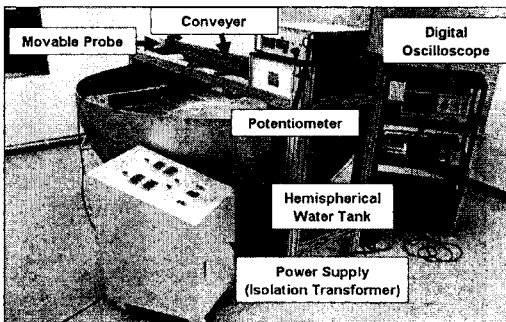
반구형 수조모의접지시스템을 설계 및 제작하여 접지전극 주변의 전위측정을 위한 실험을 수행하였고, 컴퓨터 접지해석 프로그램(CDEGS: Current Distribution, Electromagnetic Interference, Grounding and Soil Structure)을 이용하여 분석한 결과와 비교하였다[5].

실험에 사용된 반구형 수조모의접지시스템의 측정회로 및 외형사진을 그림 2에 나타내었다. 모의접지 실험장치는 접지전극에 인가전류를 일정하게 공급하

기 위한 단상 220[V], 60[Hz]의 교류전원장치, 측정점의 궤적과 전위상승을 측정하는 이송형 전위계측장치(Potentiometer), 반구형 수조탱크로 구성되어 있다. 실제 건축물에 시설된 접지전극을 임의의 축적으로 축소시킨 실험용 접지전극을 수면 아래 중심부에 설치하였다. 실험용 접지전극과 수조 외함 사이에 전류를 인가하였을 때 나타나는 전위상승을 수조 직경을 따라 이송하는 탐침으로 측정하였다. 탐침에 연결된 모터의 가변 속도 범위는 0~0.01[m/s]이며, 탐침은 전기전도도가 우수한 구리로 만들었다. 반구형 수조는 두께 6[mm], 직경 2000[mm], 높이 1200[mm]의 스테인리스 재질이며, 토양의 특성을 모의하기 위해 물저항계에 의해 측정된 저항률이 25.4 [$\Omega \cdot m$]이며, 수온이 20[$^{\circ}C$]인 수돗물을 사용하였다. 또한 인가전압은 고전압 프로브로 측정하였으며, 측정된 신호는 오실로스코프로 관측하였다.



(a) 측정회로



(b) 외형

그림 2. 반구형 수조모의접지시스템의 측정기기 및 외형
Fig. 2. Measuring devices and shape of the hemispherical water tank grounding simulator

4. 결과 및 검토

4.1 격자형 접지전극의 주변의 전위상승

CDEGS 접지해석 프로그램과 반구형 수조모의접지시스템을 이용하여 격자형 접지전극을 주 접지전극으로 시설하고, 인접한 지점에 여러 가지 형상과 길이, 배치를 가지는 접지전극을 설치하였을 때 주변에 나타나는 전위상승의 분포를 조사하고, 접지전극 간의 전위간섭 정도를 전위간섭계수로 평가하였다.

실제로 시공되고 있는 접지극의 규격과 수조실험장치의 크기를 고려하여 실제 크기의 100분의 1로 축소한 직경 0.0002[m], 길이 0.1×0.1[m]인 격자형 접지전극을 전기설비기술기준에 규정되어 있는 표면으로부터 0.0075[m]의 깊이에 수평으로 설치하였다. 또한 반구형 수조모의접지시스템에서 전위상승 측정상의 문제를 감안하여 접지전극이 매설된 표면으로부터 약 0.025[m] 떨어진 지점에서 전위상승을 측정하였으며, 그림 3에 실험에 사용한 격자형 접지전극의 배치도를 나타내었다.

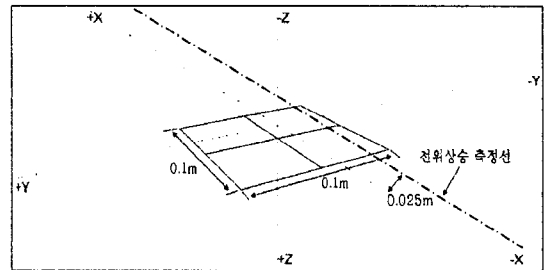


그림 3. 실험용 격자형 접지전극의 배치
Fig. 3. Arrangement of test electrodes

격자형 접지전극 주변의 전위상승 분포 곡선을 그림 4에 나타내었다. 1[A]의 접지전류를 접지전극에 인가하였을 때 전위간섭에 대한 특성의 파악이 용이하고 정확도가 우수하였으며, 이것을 CDEGS 접지설계 프로그램과 반구형 수조모의접지시스템으로 측정된 전위상승의 최대값은 각각 94.76[V]와 92.3[V]로 나타났고, 접지전류의 인가지점인 격자의 중심부에서 전위상승이 가장 높게 나타났었다. 그림 4에서 전위상승의 최대값은 CDEGS 접지설계 계산결과와 반

수조실험장치를 이용한 접지전극 상호간의 전위간섭 평가

구형 수조모의접지시스템 측정결과는 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 이는 그림 5의 격자형 접지전극의 접지전류 분포에서와 같이 접지전극이 설치된 지점에 일정한 1[A]의 접지전류를 인가하였을 때 전위상승의 최대값은 CDEGS 접지설계 프로그램과 반구형 수조모의접지시스템에서 접지전류가 접지전극의 도체를 통해서 일정한 방향으로 거의 동일하게 분포하기 때문에 오차가 거의 나타나지 않는 것으로 판단된다[6-7]. 하지만 전위상승 분포곡선의 하반부에서 나타나는 전위상승의 오차는 CDEGS 접지설계의 경우 기준전위를 무한대지로 가정하고 평가하는데 반해 반구형 수조모의접지시스템은 반구형 수조의 중앙에서 양쪽으로 1[m] 거리까지를 0 전위로 보고 측정하였기 때문에 발생하는 것으로 생각된다[8].

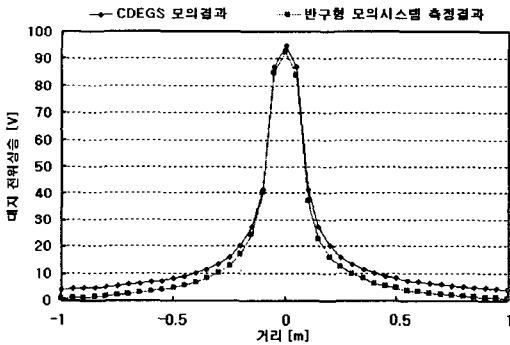


그림 4. 격자형 접지전극 주변의 전위상승 분포
Fig. 4. Distribution of potential rise around the grounding grid

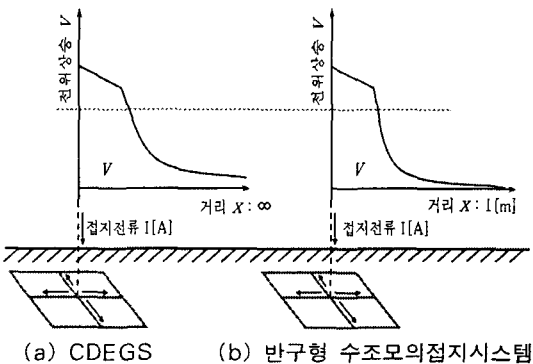


그림 5. 격자형 접지전극의 접지전류 분포
Fig. 5. Distribution of ground current flowing into earth from ground grid

4.2 격자형 접지전극-봉상 접지전극상호간의 전위간섭

격자형 접지전극 A를 시설하고 근접한 위치에 봉상 접지전극 B를 설치할 경우 나타나는 접지전극간 전위간섭 정도를 평가하기 위한 실험용 접지전극의 배치도를 그림 6에 나타내었다.

직경 0.0002[m], 길이 0.1×0.1[m]인 격자형 접지전극을 표면으로부터 0.0075[m]의 깊이에 수평으로 설치하고, 접지전극 B로는 동일한 직경 0.001[m]의 재질이 강철인 길이가 각각 0.024[m], 0.06[m], 0.12[m], 0.3[m], 0.48[m]의 봉상 접지전극을 모의하였다. 접지전극 A에 1[A]의 전류를 인가하고 접지전극간 거리를 0.1~0.7[m]까지 이격시키면서 전위상승을 측정하고, 전위상승은 접지전극이 매설된 중앙선으로부터 약 0.025[m] 떨어진 직선상의 위치에서 측정하였다.

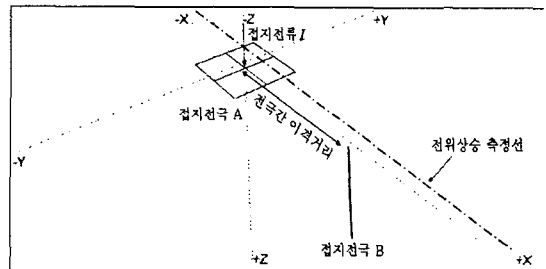


그림 6. 실험용 접지전극의 배치도
Fig. 6. Arrangement of test grounding electrodes

0.48[m] 봉상 접지전극을 0.1×0.1[m] 격자형 접지전극으로부터 0.2[m] 이격시켜 설치한 경우 봉상 접지전극 A 주변의 전위상승 분포 곡선을 그림 7에 나타내었다. 1[A]의 접지전류를 접지전극에 인가하였을 때 접지전극 A가 매설된 0[m] 지점의 전위상승은 CDEGS 접지설계 프로그램과 반구형 수조모의접지시스템에서 각각 94.48[V]와 90.8[V]로 나타났으며, 0.48[m] 봉상 접지전극 B가 설치된 0.2[m] 지점의 전위상승은 CDEGS의 계산결과는 18.72[V], 반구형 수조모의접지시스템의 측정결과는 14.47[V]로 나타났다.

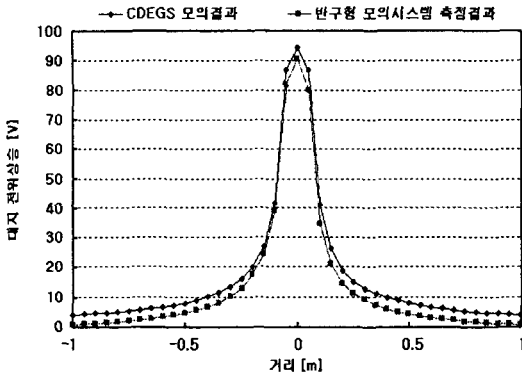


그림 7. 격자형 접지전극 주변의 전위상승 분포(접지전극 B : 0.48(m) 봉상 접지전극)

Fig. 7. Distribution of potential rise around the grounding grid(grounding electrode B : ground rod of 0.48(m) long)

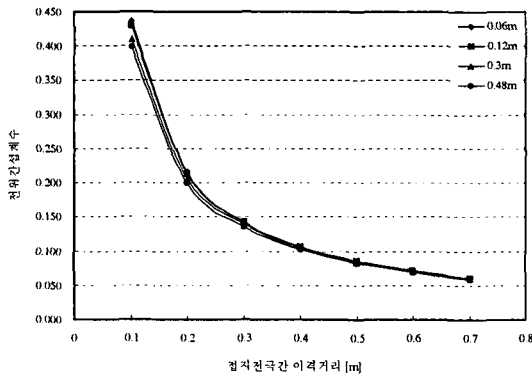
0.024[m], 0.06[m], 0.12[m], 0.3[m] 0.48[m] 길이의 봉상 접지전극을 0.1~0.7[m]까지 이격시켜 설치한 경우 접지전극 A의 전위상승에 의해 접지전극 B에 미치는 전위간섭의 정도를 정량적으로 평가하기 위한 척도로서 전위간섭계수를 측정하였다. 식 (1)에 의해 접지전극 B의 전위상승을 접지전극 A의 전위상승으로 나누어 계산한 봉상 접지전극 B의 길이별 전위간섭계수를 그림 8에 나타내었다.

그림 8에서 전위간섭계수는 CDEGS 계산결과가 반구형 수조모의접지시스템 측정결과보다 약간 높

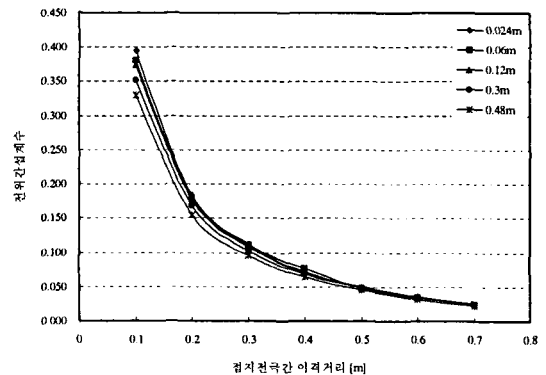
게 나타났다. 이는 CDEGS 계산결과에서 접지전극 A에 나타나는 전위상승이 반구형 수조모의접지시스템의 측정결과에서 나타나는 전위상승에 비해 높기 때문에 접지전극 A에 의한 접지전극 B의 비로 표현한 전위간섭계수는 측정결과가 CDEGS 계산결과보다 다소 높게 나타나는 것으로 확인되었다. 접지전극간 이격거리가 가까울수록 전위간섭계수는 접지전극 길이의 영향이 나타났지만, 이격거리가 0.4[m] 이상 멀어질수록 접지전극의 길이가 전위간섭에 미치는 영향이 나타나지 않았다. 따라서 격자형 접지전극을 설치하고 주변에 봉상 접지전극을 설치할 경우 봉상 접지전극의 길이를 고려한 접지설계로는 전위상승을 저감시키는 효과를 기대하기는 어려울 것으로 판단되며, 이를 전위간섭계수로서 평가함으로써 확인할 수 있었다.

4.3 격자형 접지전극 - 격자형 접지전극 상호간의 전위간섭

격자형 접지전극상호간의 전위간섭 정도를 평가하기 위한 실험용 접지전극의 배치도를 그림 9에 나타내었고, 접지전극 B로 사용된 격자형 접지전극의 종류를 그림 10에 나타내었다.



(a) CDEGS 프로그램의 계산결과



(B) 반구형 수조모의접지시스템의 측정결과

그림 8. 격자형 접지전극 A에 의한 봉상 접지전극 B의 전위간섭계수

Fig. 8. Potential interference coefficients between grounding grid and ground rod

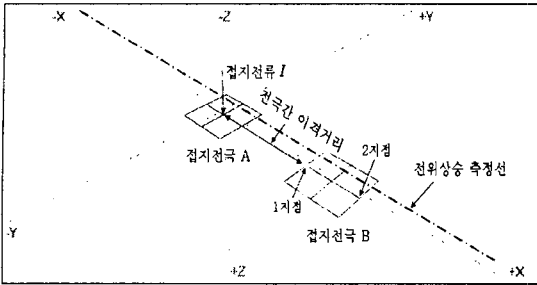


그림 9. 실험용 접지전극의 배치도
Fig. 9. Arrangement of test grounding electrodes

직경 0.0002[m], 길이 0.1×0.1[m]인 격자형 접지전극을 표면으로부터 0.0075[m]의 깊이에 수평으로 설치하고, 인근에 동일한 직경 0.001[m]의 재질이 스테인리스인 형상과 크기가 다양한 그림 10 (a), (b), (c), (d), (e)와 같은 격자형 접지전극을 각각 설치하였다. 접지전극 A에 1[A]의 전류를 인가하고 접지전극간 거리를 0.1~0.7[m]까지 이격시키면서 1지점과 2지점에서 나타나는 전위상승을 측정하고, 전위상승은 접지전극의 중앙에서 약 0.025[m] 떨어진 직선상의 위치에서 측정하였다. 또한 반구형 수조모의접지시스템을 이용하여 격자형 접지전극 (b)와 (e)의 경우에 대해서 실험을 수행하였고, CDEGS 접지설계 프로그램을 이용하여 모든 종류의 격자형 접지전극에 대해서 계산하였다.

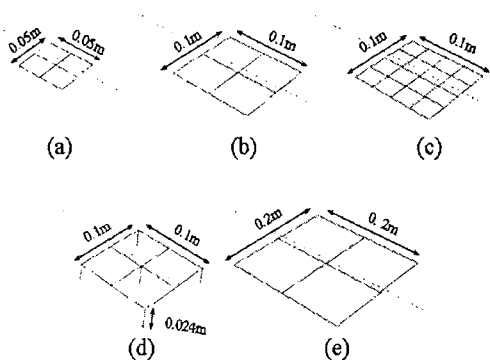


그림 10. 실험용 격자형 접지전극의 형상
Fig. 10. Shapes of test grounding grids

0.2×0.2[m] 격자형 접지전극을 0.1×0.1[m] 격자형 접지전극으로부터 0.2[m] 이격시켜 설치한 경우 전위상승 분포 곡선을 그림 11에 나타내었다.

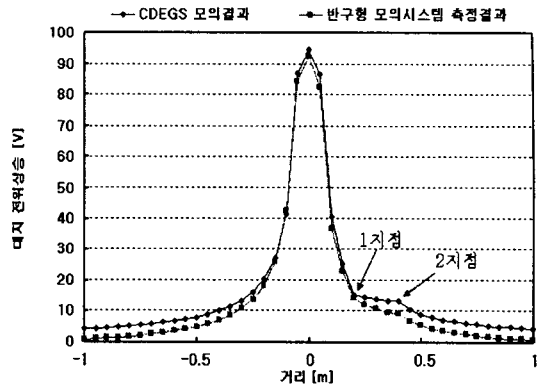
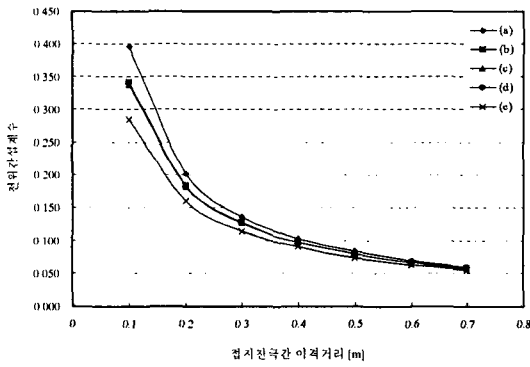


그림 11. 격자형 접지전극 A 주변의 전위상승 분포(접지전극 B : 0.2×0.2[m] 격자형 접지전극)
Fig. 11. Distribution of potential rise around the grounding grid A (ground electrode B : grounding grid of 0.2×0.2[m])

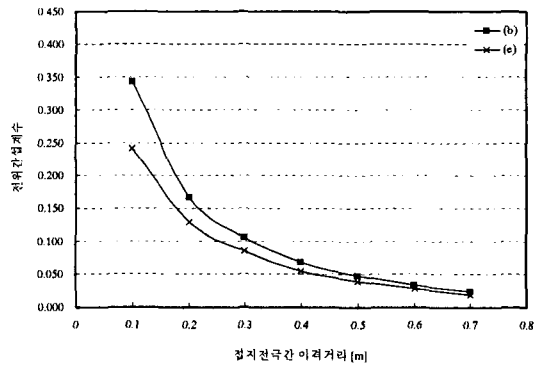
Fig. 11. Distribution of potential rise around the grounding grid A (ground electrode B : grounding grid of 0.2×0.2[m])

1[A]의 접지전류를 0.1×0.1[m] 격자형 접지전극에 인가하였을 때 CDEGS 프로그램을 이용한 계산결과 접지전극 A가 설치된 0[m] 지점의 전위상승은 94.32[V], 반구형 수조모의접지시스템의 측정결과는 92.3[V]로 나타났다. 이격거리가 0.2[m]인 지점에 0.2×0.2[m] 격자형 접지전극 B가 설치되었을 때 1지점의 전위상승은 CDEGS의 계산결과는 15.14[V], 반구형 수조모의접지시스템의 측정결과는 14.27[V]로 나타났고, 2지점에서의 전위상승은 CDEGS의 계산결과는 13.44[V], 반구형 수조모의접지시스템의 측정결과는 9.07[V]로 나타났다.

접지전극간 이격거리가 가까울수록 여러 가지 형상 및 크기에 따른 격자형 접지전극 B의 전위간섭계수는 약간 차이를 보였다. 특히 0.05×0.05[m] (a) 격자형 접지전극에 비해 0.2×0.2[m] (e) 격자형 접지전극에서 전위상승과 전위간섭계수가 가장 낮은 값으로 나타났고, 1지점에서 보다 격자형 접지전극에서 더 멀리 떨어진 2지점에서의 전위간섭계수가 더 낮게 나타났다. 또한 크기가 동일한 0.1×0.1[m]인 격자형 접지전극에서 접지전극의 형상이 (c) 또는 (d)인 격자형 접지전극처럼 변하더라도 전위간섭계수는 큰 차이가 나지는 않았다. 이에 반해 접지전극간 이격거리가 0.4[m] 이상이 되면 격자형 접지전극의 형상이나 크기에 따른 전위간섭에 미치는 영향은 크게



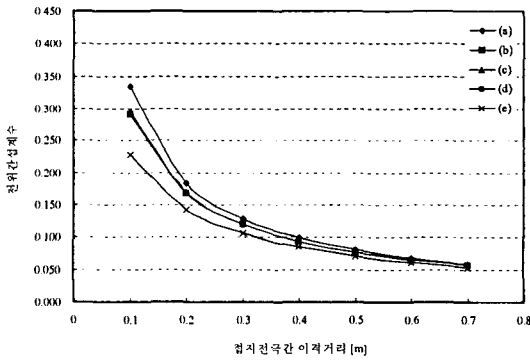
(A) CDEGS 접지설계 프로그램의 계산결과



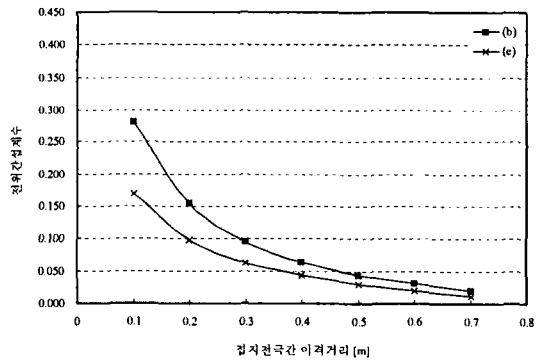
(B) 반구형 수조모의접지시스템의 측정결과

그림 12. 격자형 접지전극 A에 의한 격자형 접지전극 B 1지점에서의 전위간섭계수

Fig. 12. Potential interference coefficients at the point 1 of grounding grid B caused by grounding grid A



(A) CDEGS 접지설계 프로그램의 계산결과



(B) 반구형 수조모의접지시스템의 측정결과

그림 13. 격자형 접지전극 A에 의한 격자형 접지전극 B 2지점에서의 전위간섭계수

Fig. 13. Potential interference coefficients at the point 2 of grounding grid B caused by grounding grid A

나타나지 않았다. 따라서 주접지전극으로 격자형 접지전극을 시설하고 인근에 격자형 접지전극을 설치할 경우 격자형 접지전극의 형상보다는 격자형 접지전극의 크기가 전위간섭에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 또한 격자형 접지전극에서 인하도선이나 접지도선의 접속점을 가능한 주접지전극에서 멀리 떨어진 지점에서 인출하여 설비에 연결하는 것이 안전 측면에서 유리한 것으로 볼 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 접지전극간 전위간섭 문제 해결을

위하여 실제로 많이 사용되는 격자형 및 봉상 접지전극을 모의하여 다양한 형상과 배치, 거리상에서 실험적 연구의 수행을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

격자형 접지전극 대 봉상 또는 격자형 접지전극의 경우 이격거리가 가까울수록 봉상 접지전극의 길이 나 격자형 접지전극의 형상에 비해 격자형 접지전극의 크기가 전위간섭에 미치는 영향이 크며, 이격거리가 멀어질수록 접지전극의 형상, 크기 및 길이가 전위간섭에 미치는 영향은 거의 없다. 격자형 접지전극의 크기와 접지전극간 이격거리가 전위간섭계수를 줄이는 중요한 요소가 될 것으로 판단된다.

수조실험장치를 이용한 접지전극 상호간의 전위간섭 평가

격자형 접지전극 대 봉상 접지전극에 비해 격자형 접지전극 대 격자형 접지전극의 경우가 전위간섭의 감소에 있어서 더 효과적이다.

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성·지원 사업에 의해 작성되었습니다.

References

- (1) 高橋健彦, “接地技術入門”, 동일출판사, 2002.
- (2) 이형수, “접지기술의 국제동향과 과제”, 조명전기설비학회지, 제17권, 14호, 2003.
- (3) 高橋健彦, “接地·等電位ボンディング設計の實務知識”, オーム社, pp.93~101, 2003.
- (4) 이복희, 이동문, 강성만, 엄주홍, 이승철, “정보통신용 뇌서지 보호장치의 효과적인 설치기법”, KIEE, Vol. 16, No.5, pp.90~96 September 2002.
- (5) SES (Safe Engineering Services & technology ltd.), CDECS(Current and Soil structure analysis) 사용자지침서, Version 2004 for Windows.
- (6) 이복희, 이태형, 이수봉, 정현욱 “CDECS 프로그램을 이용한 다양한 형상의 접지전극 설계” 대한전기학회 고전압 및 방전응용기술 연구회 춘계학술대회 논문지, pp. 8~11, 2005.
- (7) 이복희, 이수봉 외 “독립접지방식의 전위간섭 문제 해결을 위한 연구”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 전기설비, pp.45~47, 2005.
- (8) 이복희, 이승철, “접지의 핵심 기초기술”, 도서출판 의제, pp.65~104.

◇ 저자소개 ◇

이복희 (李福熙)

1954년 6월 29일생. 1980년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수. 1999년 Cincinnati대학 방문교수. 현재 인하대 공대 전자전기 컴퓨터공학부 교수.

Tel : (032) 860-7398

Fax : (032) 863-5822

E-mail : bhlee@inha.ac.kr

이수봉 (李守儔)

1979년 4월 13일생. 2002년 2월 경남대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 2월 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

Tel : (032) 860-8847

Fax : (032) 863-5822

E-mail : lsbong1@naver.com

이태형 (李泰炯)

1978년 6월 21일생. 2004년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 현 동 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : (032) 860-8847

Fax : (032) 863-5822

E-mail : tanghi@empal.com

길형준 (吉亨准)

1969년 8월 27일생. 1997년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

Tel : (031) 580-3048

Fax : (031) 580-3111

E-mail : fa523@paran.com