

봉상 접지전극 상호간의 전위간섭에 대한 평가

(Evaluations on the Potential Interferences between Ground Rods)

이복희* · 이수봉 · 이태형 · 정현욱 · 길형준

(Bok-Hee Lee · Su-Bong Lee · Tae-Hyung Lee · Hyun-Uk Jung · Hyung-Jun Kil)

요 약

본 논문은 봉상접지전극 주변에서 접지전극간 전위간섭에 대해 다루었다. 접지전극 상호간의 전위간섭을 저감하는 기법을 제안하기 위해서 실규모 접지전극에서 발생할 수 있는 대지전위와 전위간섭을 이론적 해석과 축소모델 실험을 이용하여 실험적으로 분석하였다. 반구형 수조모의접지 실험장치로 접지전극 상호간 이격거리에 따른 전위 상승과 전위간섭계수를 측정하고, CDEGS 소프트웨어를 이용하여 이들 현상을 해석하였다. 그 결과 전위상승과 전위간섭계수는 접지전극의 이격거리에 강하게 의존하였으며, 실측결과는 이론적 계산결과와 잘 일치하는 결과를 얻었다.

Abstract

This paper deals with the potential interferences between ground rods. To propose a method for reducing the potential interference caused by grounding electrodes, the theoretical analysis and the reduced scale model tests, which are related to the measurement and computation of ground potential rise and potential interference caused by actual-sized grounding electrodes where current is injected, were carried out. The ground potential rise and potential interference coefficients were measured by using the hemispherical water tank grounding simulator and calculated by CDEGS software as a function of the distance between grounding electrodes. The ground potential rises and potential interference coefficients strongly depend on the distance between grounding electrodes, and the measured results were compared with the computer calculated data and were known in good agreement.

Key Words : Potential interferences coefficients, ground potential rise, Hemispherical water tank grounding simulation system, Ground rod

1. 서 론

접지라는 것은 전기, 전자, 통신설비기기를 대지와 전기적으로 접속하는 것이고, 이를 접속하기 위한 터미널이 접지전극이다. 이 접지전극이 대지와 사이에 전기적 저항을 갖기 때문에, 접지전류가 흐르

* 주저자 : 인하대학교 전자전기공학부 교수
Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822
E-mail : bhlee@inha.ac.kr
접수일자 : 2006년 3월 6일
1차심사 : 2006년 3월 13일
심사완료 : 2006년 3월 23일

게 되면 접지전극 주변의 대지표면의 전위는 상승하게 된다. 접지전극 주변의 대지표면의 전위상승은 저전압용 전기기기, 컴퓨터, 제어기기, 정보통신기기 및 설비 등의 접지측 단자 또는 선로의 전위가 변동하여 이상전압으로 작용하므로 기기의 오동작이나 절연파괴를 일으키게 된다.

독립접지방식에서는 접지전류에 의한 대지표면의 전위상승으로 인접된 접지전극에 전위간섭을 일으키는 단점을 가지고 있으며, 접지전극에 접지전류가 흐를 때 인접한 접지전극의 전위상승을 일으키지 않는다면 가장 바람직한 이상적인 접지방식이라고 볼 수 있다. 그러나 일반 건축물에서 접지 시설을 위한 공간의 제약 때문에 인접된 접지전극 사이의 전위간섭을 완전히 배제시키는 것은 불가능한 경우가 흔히 있다. 따라서 독립접지방식은 도심의 고밀도 건축시설물에 있어서 접지전극간의 이격거리 미확보로 인한 타 접지와와의 전위간섭 문제를 야기시킬 수 있기 때문에 접지 환경 및 다양한 접지대상물에 적용할 새로운 접지기술 및 방법에 대한 연구가 필요하다[1].

공통접지방식은 미국이나 유럽에서 주로 권고하는 방식으로 건물 접지를 포함한 빌딩 내에 설치된 모든 설비를 하나의 접지 전극에 연결할 것을 권고하고 있으며, 우리나라에서도 정보통신 빌딩 공사 등 일부 특수건물에서 공통접지의 등전위 접지방식이 적용되고 있으나, 공통접지의 경우 접지를 공통으로 하고 있는 설비 중 어떤 설비에 접지전류가 발생하면 그것이 대지로 유출하나 이때 각 접지전극에는 반드시 다소간 접지저항이 있으므로 접지점의 전위가 상승하고 접지전류에 의한 전위상승이 접지를 공통으로 하고 있는 모든 설비에 파급되는 문제가 발생할 수 있어, 일본의 경우처럼 공통접지를 한다고 해도 일반전원접지와 피뢰접지는 분리해서 시공하는 경우가 많다. 그러므로 분리되어 있는 두 접지전극간에 전위간섭 문제는 여전히 남게 된다[2].

최근까지 봉상접지전극에 의한 대지전위상승과 간섭에 대해서는 많은 연구가 이루어져 왔으나 단지 이론적 해석방법 또는 수조를 이용한 실험적 연구가 되어 왔으며, 동일한 해석 또는 실험 조건에 대한 결과를 비교하는 연구결과는 부족한 상태이다[3-5]. 이와 같은 관점에서, 본 연구에서는 동일한 조건에

대한 이론적 해석과 실험을 수행하고, 이들 연구결과를 비교분석하여 이론적 해석과 실험적 연구의 타당성을 확인하는 데에 중점을 두었다. 따라서 접지전극간 이격거리에 따른 전위상승과 전위간섭계수를 반구형 수조모의접지 실험장치를 이용하여 측정하고, 해석적인 방법과 CDEGS 프로그램을 이용하여 이론적으로 해석하고, 실측값과 이론적 해석결과를 서로 비교·검토하였다.

2. 접지전극 상호간의 유도전위간섭

접지시스템에 고장전류가 유입하게 되면 접지전극은 물론이고 접지전극 주변의 대지표면의 전위가 상승하게 되어 동일한 접지시스템으로 접속된 정보통신기구나 전력설비에 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 접지전극에서 전위상승을 전혀 일으키지 않는 것이 가장 바람직하며, 이와 같은 이상적인 독립접지를 얻기 위해서는 2개의 접지전극을 충분히 이격시켜야 한다. 그러나 접지전극의 설치에 있어서 충분히 이격시키는 것이 현실적으로 불가능하기 때문에 그림 1의 접지전극 B처럼 전위상승을 일으키는 범위 안에 접지전극이 매설되게 되어 식 (1)과 같이 ΔV 만큼의 전위상승이 일어나게 되므로 서로 완전히 독립되었다고 볼 수 없다. 따라서 접지시스템을 시설할 때 유도전위 간섭을 충분히 고려하여 설계하고 시공하여야 한다[6-7].

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi l} \ln \frac{l+h+\sqrt{(l+h)^2+x^2}}{h+\sqrt{h^2+x^2}} \quad [\text{V}] \quad (1)$$

접지전극 A의 전위상승에 의해 접지전극 B가 간섭을 받는 것을 전위간섭이라고 하고, 접지전극 B에 미치는 전위간섭의 정도를 평가하는 척도로서 전위

봉상 접지전극 상호간의 전위간섭에 대한 평가

간섭계수 K 를 다음 식 (2)으로서 정의한다.

$$\text{전위간섭계수 } K = \frac{\text{접지전극 } B \text{의 전위}}{\text{접지전극 } A \text{의 전위}} \quad (2)$$

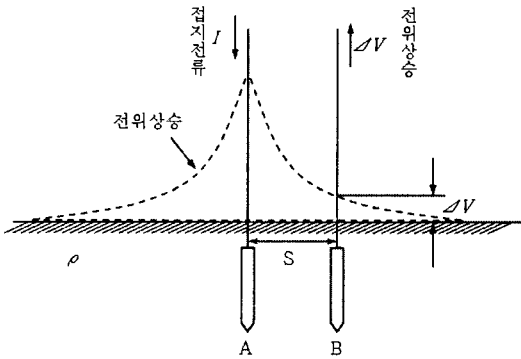


그림 1. 접지전극 상호간의 전위간섭
Fig. 1. Potential interference between grounding electrodes

3. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 반구형 수조모의접지 실험장치를 이용하여 봉상전극을 접지전극으로 가지고 있는 전력설비에서의 지락고장의 과전압에 의한 인체의 감전방지에 가장 중요한 요소인 표면전위상승에 대해 봉상형, 격자형 등의 다양한 접지전극을 대상으로 실험 및 분석을 수행하였다. 실제 규모의 접지계를 구성하여 최적배치 구조를 찾는 것은 현실적으로 매우 어려우므로 실규모 측정의 실질적이고 경제적인 대안으로써 축소모델 반구형 수조모의접지 실험장치를 이용하여 실규모의 접지계에 대해 분석하는데 사용하였다.

반구형 수조모의접지 실험장치의 구성은 지락전류를 일정하게 공급하기 위한 교류전원장치, 측정점의 궤적과 표면전위상승을 측정하는 이송형 전위계 측정장치(Potentiometer), 반구형 수조로 이루어지며, 실제 규모의 접지계를 임의의 축척으로 축소시킨 실험용 접지전극을 수면 아래에 장착하여 실험을 수행하였다. 그림 2는 반구형 수조모의접지 실험장치의 측정원리도이다.

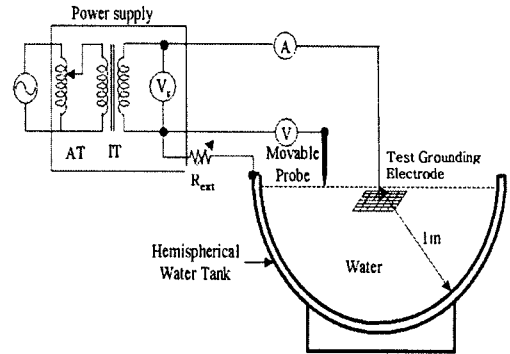


그림 2. 반구형 수조모의접지 실험장치의 개략도
Fig. 2. Measuring circuit of the experimental apparatus of hemispherical water tank grounding simulator

실험용 접지전극을 수조의 수면 아래 중심부에 장착하고 실험용 접지전극과 수조 외함 사이에 지락전류를 발생시켜 그에 따른 전위상승을 수조 직경을 따라 이송하는 탐침으로 측정하였다. 그림 2에서 가변저항은 지락전류의 제한 및 물의 저항률에 의존하는 값으로 $7.64[\Omega]$ 로 설정하였고, 단일 매질의 토양을 가정하여 측정이 용이한 저항률 $25.4[\Omega \cdot m]$ 의 수돗물을 사용하였다. 반구형 수조는 두께 6[mm], 직경 2000[mm], 높이 1200[mm]의 스테인리스 재질이며, 인가전압을 지시하는 전압계 [V]는 실험용 접지전극과 무한점간의 전압이 얼마인지를 측정하기 위한 것이다. 또한 A는 전류계로 실험용 접지전극과 수조 사이에 흐르는 전류를 측정하며, V/I 의 비로서 접지계의 접지저항이 구해진다. 전위를 측정하기 위한 탐침은 물의 표면 혹은 내부의 전위를 측정하기 위한 것으로 컨베이어를 통해 이송하며, 이것의 접지계 중심점에 대한 상대위치는 이송형 전위계측장치에 나타나며 표면전위상승은 오실로스코프를 통해 측정하였다.

또한 동일 대상의 전극에 대해 접지설계 프로그램 (CDEGS)을 이용해 고장전류가 축소접지모델에 유입될 때 접지의 전위분포 특성을 계산하고, 수조실험장치에서의 측정결과와 비교하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 봉상 접지전극에 의한 전위분포

CDEGS 접지설계 프로그램과 반구형 수조모의 접지 실험장치를 이용하여 봉상 접지전극을 주 접지전극으로 시설하고 인접한 지점에 다양한 형상과 길이, 배치를 가지는 접지전극을 설치하였을 때 표면에 나타나는 전위상승의 분포를 조사하고, 접지전극간의 전위간섭 정도를 전위간섭계수로 평가하였다. 실제 크기의 100분의 1로 축소한 직경 0.0002[m], 길이 0.024[m]인 봉상 접지전극을 표면으로부터 0.0075[m]의 깊이에 수직으로 설치하였다. 또한 반구형 수조모의 접지 실험장치에서 전위상승 측정상의 문제를 감안하여 접지전극이 매설된 지표면으로부터 약 0.025[m] 떨어진 지점에서 표면전위상승을 측정하였으며, 그림 3에 0.024[m] 봉상 접지전극의 배치도를 나타내었다.

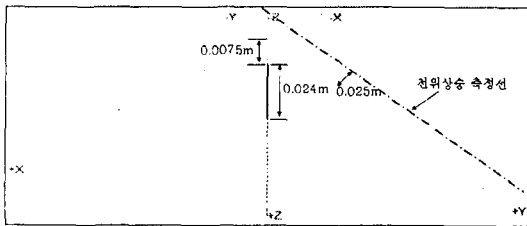


그림 3. 0.024[m] 봉상 접지전극의 배치
Fig. 3. Arrangement of the ground rod of 0.024[m]

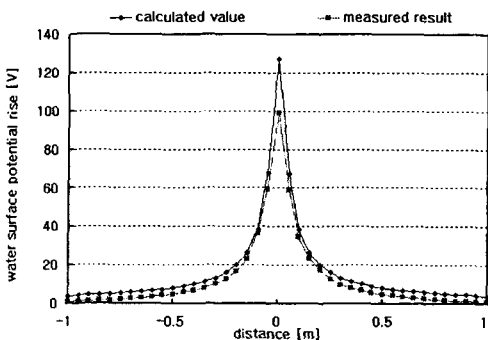


그림 4. 0.024[m] 봉상 접지전극 주변의 수표면 전위상승
Fig. 4. Distribution of water surface potential rise around the ground rod of 0.024[m]

0.024[m]의 봉상 접지전극 주변의 표면전위상승 분포 곡선을 그림 4에 나타내었다. 1[A]의 접지전류를 접지전극에 인가하였을 때 CDEGS 프로그램으로 계산한 경우 0.024[m] 봉상 접지전극의 표면전위상승의 최대값은 약 127.44[V]로 반구형 수조모의 접지 실험장치로 측정된 표면전위상승의 최대값 99.3[V]에 비해 대략 28.1[V]정도 높게 나타났다.

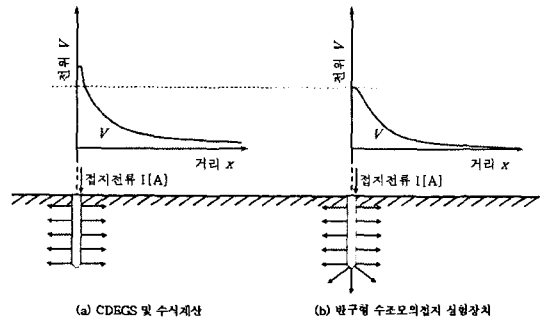


그림 5. 봉상 접지전극의 접지전류 분포
Fig. 5. Current distribution flowing into earth from ground rod

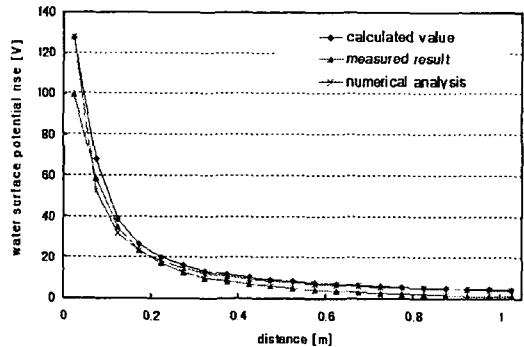


그림 6. 0.024[m] 봉상 접지전극 주변의 표면전위상승
Fig. 6. Potential rise around the ground rod of 0.024[m]

이러한 CDEGS 프로그램 계산결과와 반구형 수조모의 접지 실험장치 측정결과 사이의 오차의 원인을 파악하기 위하여 식 (1)과 같은 계산식을 이용하여 수치적인 계산을 수행하였다. 그 결과 그림 5에서와 같이 접지전극이 설치된 지점에 일정한 1[A]의 접지전류가 유입되었을 때 CDEGS 접지설계 프로그램과

봉상 접지전극 상호간의 전위간섭에 대한 평가

수치해석에서는 접지전류가 접지전극의 표면을 통해 일정한 방향으로 분포하게 되는데 반해 반구형 수조모의접지 실험장치 측정에서는 접지전류가 접지전극의 끝 부분을 통해서도 방사상으로 분포하기 때문에 전위상승의 차가 나타나는 것으로 판단된다.

또한 그래프의 하반부에서의 전위상승의 오차는 CDEGS 프로그램의 경우 기준전위를 무한대지로 가정하여 계산하는데 반해 반구형 수조모의접지 실험장치의 경우 반구형 수조의 중앙에서 1[m] 거리의 외함을 0 전위로 보고 측정하였기 때문에 다소 차이가 나는 것으로 생각된다[8]. 이러한 3가지 방법을 통해 비교·분석한 0.024[m] 봉상 접지전극 주변에서의 표면전위상승을 그림 6에 나타내었고, CDEGS 계산결과와 수치해석 결과가 거의 일치하는 것으로 나타났다.

4.2 봉상 접지전극 상호간의 전위간섭

접지전극 A에 봉상 접지전극을 시설하고 접지전극 B에 봉상 접지전극을 설치할 경우 나타나는 접지전극간 전위간섭 정도를 평가하기 위한 실험용 접지전극의 배치도를 그림 7에 나타내었다. 직경 0.0002[m], 길이 0.024[m]인 봉상 접지전극을 지표면으로부터 0.0075[m]의 깊이에 수직으로 설치하였고, 접지전극 B로는 길이 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 나타나는 표면전위상승을 측정하였고, 전위상승은 접지전극이 매설된 표면으로부터 약 0.025[m] 떨어진 지점에서 측정하였다.

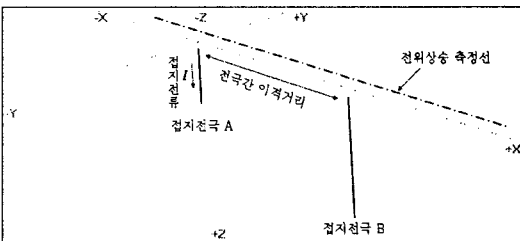


그림 7. 실험용 접지전극의 배치도
Fig. 7. Arrangement of test electrodes

0.48[m] 봉상 접지전극을 0.024[m] 봉상 접지전극으로부터 0.2[m] 이격시켜 설치한 경우의 봉상 접지전극 A 주변의 대표적인 표면전위상승 분포 곡선을 그림 8에 나타내었다. 1[A]의 접지전류를 접지전극에 인가하였을 때 CDEGS 접지설계 계산결과 접지전극 A가 매설된 0[m] 지점의 표면전위상승은 127.04[V], 반구형 수조모의접지 실험장치의 측정결과 98[V]로 나타났으며, 0.48[m] 봉상접지전극 B가 설치된 0.2[m] 지점의 표면전위상승은 CDEGS 계산결과 17.6[V], 반구형 수조모의접지 실험장치의 측정결과 14.67[V]로 나타났다. 여기서 접지전극 B가 설치된 경우가 접지전극이 설치되지 않은 경우에 비해 표면전위상승이 다소 낮게 나타나는 것을 알 수 있었다.

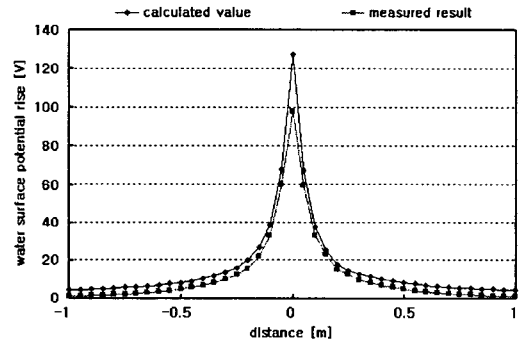


그림 8. 봉상 접지전극 주변의 전위상승(접지전극 B : 0.48[m] 봉상 접지전극)
Fig. 8. Distribution of water surface potential rise around the ground rod (grounding electrode B : ground rod of 0.48[m] long)

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 봉상 접지전극 B에 나타나는 전위상승 ΔV 를 그림 9에 나타내었다. 또한 접지전극 A의 전위상승에 의해 접지전극 B에 미치는 전위간섭의 정도를 정량적으로 평가하기 위한 척도로서 전위간섭계수를 측정하였다. 식 (2)에 의해 접지전극 B의 전위상승에서 접지전극 A의 전위상승을 나누어 계산한 봉상 접지전극 B의 길이별 전위간섭계수를 표 1에 나타내었다.

그림 9에서 표면전위상승은 CDEGS 계산결과가

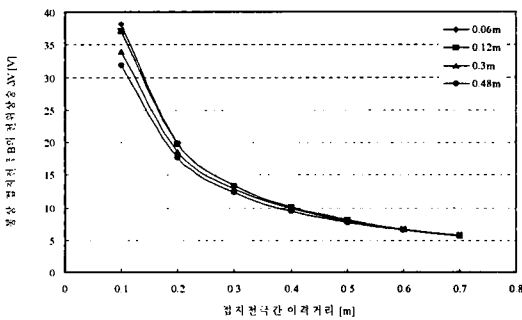
반구형 수조모의접지 실험장치 측정결과보다 높지만, 표 1에서 전위간섭계수는 CDEGS 계산결과가 반구형 수조모의접지 실험장치 측정결과보다 낮게 나타났다. 이는 CDEGS 계산결과에서 접지전극 A에 나타나는 표면전위상승이 반구형 수조모의접지 실험장치 측정결과에서 나타나는 표면전위상승에 비해 높기 때문에 접지전극 A에 의한 접지전극 B의 비로 표현한 전위간섭계수는 반구형 수조모의접지 실험장치 측정결과가 CDEGS 계산결과보다 다소 높게 나타나는 것으로 확인되었다.

전극의 깊이가 전위상승 및 전위간섭에 미치는 영향이 크게 나타나지는 않았다. 따라서 봉상 접지전극과 전위간섭의 영향이 큰 가까운 거리에 봉상 접지전극을 설치할 경우 접지전극의 설치 길이가 접지설계에 있어서 고려해야할 중요한 요소가 될 것으로 사료된다.

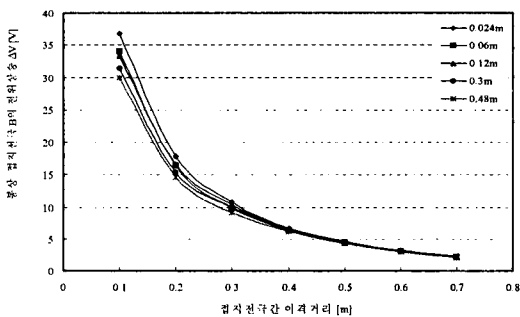
표 1. 봉상 접지전극 상호간의 이격거리와 길이에 따른 전위간섭계수

Table 1. Potential interference coefficients between ground rods as distance and length

전극간 거리[m]	봉상 접지전극 B의 길이별 전위간섭계수							
	0.06[m]		0.12[m]		0.3[m]		0.48[m]	
	CDEGS	반구형	CDEGS	반구형	CDEGS	반구형	CDEGS	반구형
0.1	0.299	0.347	0.292	0.340	0.269	0.320	0.255	0.306
0.2	0.156	0.167	0.154	0.169	0.146	0.156	0.138	0.150
0.3	0.105	0.101	0.104	0.105	0.101	0.101	0.096	0.094
0.4	0.079	0.065	0.079	0.066	0.077	0.065	0.074	0.063
0.5	0.063	0.046	0.063	0.046	0.062	0.045	0.060	0.044
0.6	0.053	0.033	0.053	0.032	0.052	0.031	0.051	0.031
0.7	0.045	0.023	0.045	0.022	0.045	0.022	0.044	0.022



(A) CDEGS 프로그램의 계산결과



(B) 반구형 수조모의접지 실험장치의 측정결과

그림 9. 봉상 접지전극 B의 전위상승 ΔV
Fig. 9. Potential rise ΔV around the ground rod B

접지전극간 이격거리가 가까울수록 봉상 접지전극 B의 전위상승과 전위간섭계수는 접지전극 깊이의 영향이 지배적인 것으로 나타났고, 특히 접지전극간 이격거리가 0.1[m]인 경우 접지전극의 길이별 전위상승과 전위간섭계수의 차가 가장 크게 나타났다. 그러나 이격거리가 0.4[m]이상 멀어질수록 접지

5. 결 론

본 연구에서는 상호 독립되어 있는 접지전극간의 전위간섭을 평가하기 위하여 실제 많이 사용되는 2.4[m] 봉상 접지전극에 대해 접지설계 프로그램과 반구형 수조모의접지 실험장치를 통하여 실험적 연구를 수행한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

봉상 접지전극 상호간의 전위간섭의 영향은 이격거리가 가까울수록 접지전극의 길이가 길수록 크게 나타났으며, 이격거리가 멀어지면 접지전극의 길이의 영향은 대단히 미약하였다. 또한 이론적 계산결과와는 측정결과와 잘 일치하였으며, 간단한 형상인 봉상 접지전극의 전위간섭은 간이계산에 의해서도 비교적 높은 정확도로 평가할 수 있으므로 접지설계에 반영할 수 있음을 알았다.

References

- (1) 김성수, 이형수 공역, "접지기술입문", 통일출판사, pp.57-61, 2002.
- (2) 이형수, "접지기술의 국제동향과 과제", 조명·전기설비 학회지, 제17권, 4호, pp.24-30, 2003.
- (3) B. Thapar, K. K. Puri, "Mesh Potentials in High-Voltage Grounding Grids", IEEE Trans., Vol. PAS-86, No.2, pp.249-254, 1967.
- (4) T. Takahashi and T. Kawase, "Calculation of Earth Resistance for a Deep-Driven 罫 in a Multi-Layer Earth Structure", IEEE Trans on PD, Vol.6, No.2, pp.608-614, 1991.
- (5) 장석훈, 이재복, 명성호, 조연구, 김정식, "축소모델 기법을 이용한 대규모 접지계의 특성분석", 전기학회 논문지 53C권, 3호, pp.162~167, 2004.
- (6) 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.
- (7) 이복희, 이승철, "접지의 핵심 기초기술", 도서출판 의제, pp.65~104, 1999.
- (8) SES (Safe Engineering Services & technology ltd.), CDECS(Current and Soil structure analysis) 사용자지침서, Version 2004 for Windows.

◇ 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 전자전기공학부 교수.
Tel : (032)860-7398
Fax : (032) 863-5822
E-mail : bhlee@inha.ac.kr

이수봉 (李守俁)

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

정현욱 (鄭鉉郁)

1978년 5월 26일생. 2004년 8월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 현 동 대학원 전기공학과 석사과정.
Tel : (032)860-8847
Fax : (032) 863-5822
E-mail : uka55577@hotmail.com

길형준 (吉亨准)

1969년 8월 27일생. 1997년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전기안전공사 부설 전기안전연구원 선임연구원.
Tel : (031)580-3048
Fax : (031) 580-3111
E-mail : fa523@paran.com