

메쉬접지전극과 차폐패널을 이용한 접지저항 및 접지전극간의 영향에 관한 연구

Study on the Between the Grounding Resistance and Grounding Electrode using Mesh Grounding Electrodes and a Shielding Panel

이 충식¹ · 조문택^{1*} · 나승권²

¹대원대학교 전기전자과

²한국폴리텍대학 강릉캠퍼스 전자통신학과

Chung-sik Leeg¹ · Moon-taek Cho^{1*} · Seung-kwon Na²

¹Department of Electrical & Electronic Engineering, Daewon University College, Chungcheongbuk-do 390-702, Korea

²Department of Electronics and Communication, Korea Polytechnic College Gangneung Campus, Gangwon-do 210-932, Korea

[요 약]

본 논문에서는 접지전극이 상호 간섭의 문제가 발생했을 때 과급효과가 큰 차폐시스템의 패널과 접지전극으로 널리 사용되고 있는 봉상전극, 메쉬전극, 판상전극을 2차원에 점 전류원의 집합체로 가정하여 이에 대한 전극표면전위를 이용하였다. 실험에 사용한 수조모델의 유한성과 축척에 의해 제작된 모델전극의 축척한계를 수조모델의 크기에 대해 실험오차에 따른 중단오차를 최대한 줄이는 수법으로 실험모델전극을 선정하였다. 복수의 접지도체가 동일 접지저항구역 내에 존재할 경우 도체의 형상 및 매설 조건에 따른 간섭효과의 척도로 사용되는 전위간섭계수의 도출 방법을 제시하였다. 또한 실험에 사용한 접지전극의 수치시뮬레이션을 통해 이론의 타당성을 검증하고, 검증된 이론과 모의실험을 통해 본 연구를 구체화 하였다.

[Abstract]

In this paper, the electric potential of electrode surface is investigated by assuming them as two dimensional sets of point current sources. And, the simulated water tank is manufactured as a reduced scale of the earth. Henceforth, the adequate model electrode for test is decided to decrease experimental errors relevant to the limitation of the size of the water tank. The one of important things of this work, the deduction method of the potential interference factor is proposed, which used as the criterion of the potential interference according to the shape of conductors and the laying conditions, when multiple grounding conductors are situated at the same resistance grounding area. Also, the validity of this theory is verified from a numerical simulation of the grounding electrode to be used in experiments, and this study is realized by the verified theory and the simulated experiments.

Key word : Conductor, Electric potential, Electrode surface, Water tank, Simulation.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2015.19.3.230>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 18 May 2015; Revised 1 June 2015

Accepted (Publication) 24 June 2015 (30 June 2015)

*Corresponding Author; Moon-taek Cho

Tel: +82-43-649-3213

E-mail: mtcho@mail.daewon.ac.kr

1. 서론

접지는 전력기술·통신기술의 분야에서 중요한 역할을 담당하고 있다. 최근에 전력이용의 급진전에 따라 대용량변전소, 개폐소에서는 접지시스템의 설계나 인텔리전트 빌딩에서의 접지시스템의 설계를 행하는 경우 여러 종류의 새로운 과제가 나타나고 있다[1],[2].

또한, 접지설비를 필요로 하는 여러 장비나 전력 사용 설비는 공통접지방식과 독립접지방식으로 시공을 하지만 어느 쪽을 선택하는가의 해답은 완벽하게 해결되지 않았지만 접지의 세계적인 추세는 공통접지 방식이며, 국내에서도 공통 접지를 시공하는 추세이다[3].

공통접지의 문제점으로는 전위상승의 과급이다. 접지를 공용하고 있는 설비의 하나에서부터 접지전류가 발생하면 그것은 대지로 방출해 간다. 이 경우 각 접지극에서는 반드시 접지저항이 있으므로 접지점의 전위가 상승한다. 이상적인 독립접지라면 접지전류에 의한 전위상승은 자기극에서 다른 극에는 과급하지 않는다. 이상적인 독립접지는 2개의 접지극이 있는 경우에 한쪽의 접지극에 접지 전류가 어떻게 흘러도 다른쪽 접지극에 전혀 전위상승을 일으키지 않는 경우이다.

가장 일반적인 접지극의 형상은 봉상접지극이며, 대단위 면적의 접지극의 형상은 메쉬 접지극이 널리 이용되고 있다. 접지극을 시공하는 방법에 따라서 대지표면에 노출하는 경우와 머리부분이 대지중에 묻히는 매설의 경우로 구별된다[4].

본 논문에서는 전위간섭의 원천이 되는 접지전극 및 전위간섭을 받는 접지전극 양쪽의 전극표면전위를 토대로 전위간섭 정도를 확인하기 위한 기본식을 도출했고 차폐설비의 필요성 및 차폐접지시스템의 보안용·기능용 접지분야에 대해서 기술하였다. 그리고 모델접지전극 검토, 수조모의실험이론 및 접지시뮬레이션을 통하여 한정된 부지 내에 여러 종류의 접지전극이 존재할 경우 동일 접지저항구역에서 전위간섭계수를 구하는 방법을 제시하였으며, 수조모형 실험을 통해 기본식 및 계산방법의 검토, 실험데이터에 대한 분석을 하였다. 또한, 전극모델의 선정 및 모의실험을 통해 얻은 데이터를 토대로 차폐시스템의 차폐패널과 봉상전극의 수치 시뮬레이션을 기존의 접지전극과 비교·연구하였다.

II. 전위간섭과 차폐접지 시스템

2-1 전위간섭

독립접지는 접지극 상호간에 간섭이 일어나지 않고 독립하고 있는 경우를 상정하자. 그림 1과 같이 접지극 A, B가 개별로 접지되어 있는 경우, 접지극(계) A에 지락이 생겨 접지전류가 흐를 경우 A의 전위가 상승하게 되고 이러한 접지극(계) B에는 ΔV 의 전위의 간섭이 나타난다.

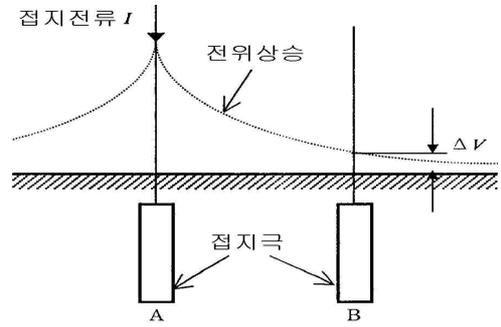


그림 1. 접지극의 전위간섭
Fig. 1. Electric potential interference of grounding electrodes.

이상적으로는 접지극(계)A와 접지극(계)B가 무한대의 거리로 떨어지면 전위의 간섭이 없게 되지만 그러나 한정된 부지 내에서는 접지극 B에 어느 정도의 전위가 발생하는 것은 필연적이다.

그림 1에 나타낸 바와 같은 2개의 접지극이 있는 경우에 접지극 A에 접지전류가 흐를 때 접지극 A의 전위상승이 접지극 B의 전위도 상승시키게 된다. 이 때 접지극 B에 나타나는 전위를 전위간섭의 척도로 전위간섭계수 K를 도입할 수 있고 계수 K는 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$K = \frac{B \text{ 전위}}{A \text{ 전위}} \quad (1)$$

2-2 전위계산

1) 봉상전극의 전위계산

봉상전극은 직선상(깊이 방향)의 점 전류원의 집합체로 가정한다. 이 때의 봉상전극에 의한 지중의 임의의 점(x,z)에 있어서 $V_{RO}(x,z)$ 는 점 전류원에 의한 전위를 깊은 방향으로 전극 길이 l 로써 적분함으로써 구해지고 식 (2)와 같다. 그림 2와 같이 전극 A를 봉상전극으로 할 때 전극 A 자신의 전위와 전극 B를 봉상전극 및 각관상 전극으로 할 때의 식 (2)는 전극 B 전위의 계산방법을 나타냈다.

$$V_{RO}(x,z) = \frac{I\rho}{4\pi l} \left[\ln \frac{l+t-z + \sqrt{x^2 + (l+t-z)^2}}{t-z + \sqrt{x^2 + (t-z)^2}} + \ln \frac{l+t+z + \sqrt{x^2 + (l+t+z)^2}}{t+z + \sqrt{x^2 + (t+z)^2}} \right] \quad (2)$$

단, ρ : 대지저항률, I: 접지전류, l: 전극길이, t: 매설깊이

그림 2와 같이 접지전류 I가 전극 A로 흐를 경우의 전극 A 표면에 생기는 전위 V_{RRA} 는 식 (2)에서 x를 봉상전극 A의 반경 a로서, z축 방향으로 봉상전극 A의 길이 l 만큼 적분함으로써 구해지며, 식 (3)과 같이 표현된다.

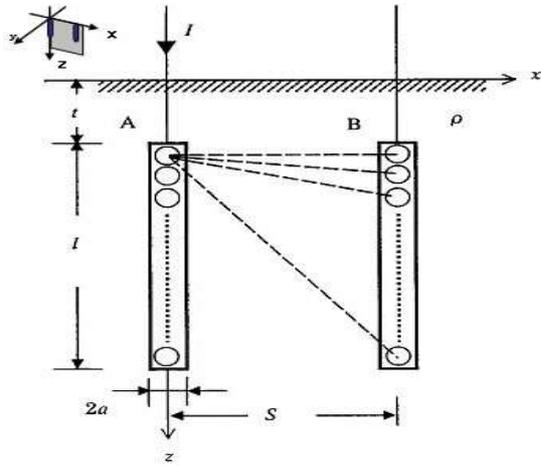


그림 2. 전위계산모델
Fig. 2. Calculation model of electric potential.

$$V_{RAA} = \frac{1}{l} \int_t^{l+t} V_{R0}(a, z) dz \quad (3)$$

이 때, 봉상전극 B에 생기는 전위 V_{RRB} 는 식 (2)에서 x 를 전극간의 거리 S 로서 z 축 방향에 봉상전극 B의 길이 l 만큼 적분하면, 식 (4)와 같다.

$$V_{RRB} = \frac{1}{l} \int_t^{l+t} V_{R0}(S, z) dz \quad (4)$$

2) 각판상 전극의 전위계산

Dwight식에 의해 균질대지에 매설된 각판상 전극의 접지특성을 구한다. 계산식의 도출 과정을 이용하여 그 결과를 기초로 하여 접지극 형상이나 매설 깊이 차이에 의한 전위분포 및 접지 저항의 현상을 파악하고 수식에 대한 이론값 및 수조모의실험에 의해 검증하고자 한다[5].

각판상전극의 형상을 그림 3에 나타냈다. 세로의 길이가 $2a$ 가로의 폭 $2b$, 두께 $2n$ 의 각판이 지표면에 대해 수직으로 매설 깊이가 t 로서 설치되어 있으며, 이 접지극에 전류 I 가 유입하는 경우를 상정한다.

계산공간이 3차원으로 되므로 해석을 위한 직교좌표로 그림 4와 같이, xy 평면이 지표면에서 있고, 각판중심점의 직상을 원점으로해 판폭 방향을 y 축으로 또한 깊이 방향을 정으로 해 z 축을 취한다.

각판상 전극의 계산 모델로서 면상의 전류원, 결국 이차원으로 확대한 점전류원의 집합체를 상정한다. 그렇게 하면 이 각판상 전극에 의하여 발생하는 지중의 임의의 점 (x, y, z) 에서의 전위에 전극을 구성하고 있는 점 전류원에 의한 전위를 전극 전체에 걸쳐 중첩하고 있는 것으로 구해진다. 따라서 점 전류원에 기인하는 전위계산식을 기본식으로 한다.

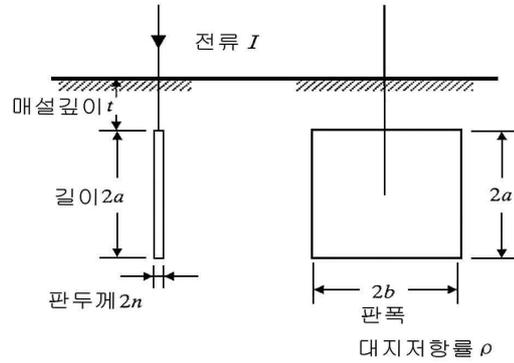


그림 3. 각판상전극의 수직매설
Fig. 3. Vertical laying of the rectangular grounding plate electrodes.

대지가 장소에 관계없이 저항물의 균질대지인 것으로 할 때 점 전류원에 기인하는 전위의 크기를 그 계측점까지의 거리 r 에 반비례 한다. 미소한 점전류원 I 가 점 (x', y', z') 으로 존재할 때 임의의 계측점 (x, y, z) 에서의 전위를 구하는 전위 계산 기본식 $V(x, y, z)$ 는 지표면의 존재에 의한 영향을 고려하면 식 (5)와 같다.

$$V_0(x, y, z) = \frac{\rho i_0}{4\pi} v_0 \quad (5)$$

$$= \frac{\rho i_0}{4\pi} \left[\frac{1}{\sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2 + (z' + z)^2}} + \frac{1}{\sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2 + (z' - z)^2}} \right]$$

산정식을 도출하기 위하여 계산 모델에 대해 또 하나의 설정 조건으로서 전극에서 대지 중에 유출하는 전류의 전류밀도분포를 상정한다. 균질한 대지에 전극이 매설되어 있을 때는 전류 유출밀도를 전극전체에 균등한 것으로 가정할 수 있으므로 각 판전극인 면상 전류원의 단위면적당의 전류밀도는 y', z' 장소에 관계없이 $i_0 = I/4ab$ 가 된다.

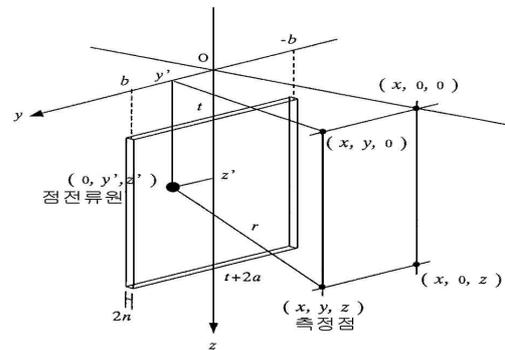


그림 4. 각판상전극의 수직매설 계산모델
Fig. 4. Calculation model of vertical laying of the rectangular grounding plate electrodes.

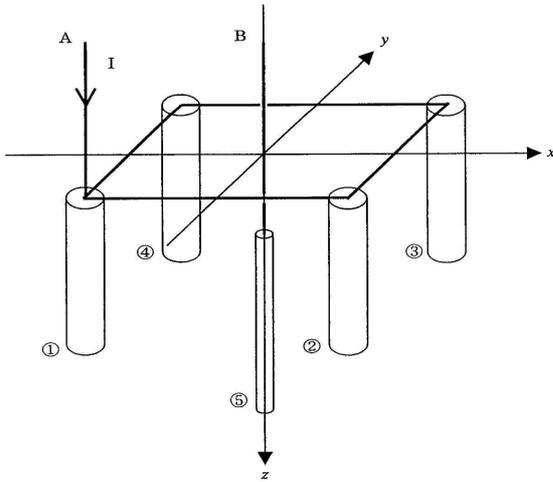


그림 5. 접지극의 단순모델
Fig. 5. Simple model of grounding system.

따라서 수직으로 매설된 각판상 접지극에 의한 임의의 계층 점의 전위 $V(x, y, z)$ 은 $x=0$ 의 곳에서 점 전류원에 의한 전위의 기본식인 식 (2)를 판 전체에 걸쳐 적분함으로써 구할 수 있으며, 식 (6)과 같다.

$$V(x, y, z) = \int_{-b}^b \int_t^{t+2a} V_0(x, y, z) dz' dy' \quad (6)$$

$$= \frac{I\rho}{16\pi ab} \int \int v_0 dz' dy'$$

3) 복수 전극인 경우 전위계산

부지 내에 복수전극이 존재하는 경우에 접지극 A에 I A의 전류가 유입할 때의 전위간섭계수는 식 (7)과 같았다. 그림 5에서 접지극 A를 전극 ①~④의 4개로 구성하여 연결하였고, 접지극 B는 접지극 ⑤라고 가정해서 나타냈다. 접지극의 전위는 접지극의 표면전위로 한다[6].

j ($j=1, 2, 3, 4, 5$)번째의 전극에 유입한 전류를 I_j , i ($i=1, 2, 3, 4, 5$)번째의 전극의 전위를 V_i 라고 하면 식 (7)이 된다.

$$I = [Z_{ij}]^{-1} V \quad (7)$$

단, $V = [V_1, V_2, V_3, V_4, V_5]$, $I = [I_1, I_2, I_3, I_4, I_5]$

2-3 차폐접지 시스템

빌딩의 전자적 장애를 방지하기 위해 EMC (electro-magnetic compatibility), 피접지기기의 면역(내성)과 너서지와와의 관계, 노이즈 대책 등을 시스템적으로 구축해야 한다. 따라서 외부 전계, 자계의 영향으로부터 그 내부를 보호하는 구조와 내부 전계 또는 자계의 영향으로부터 주변 환경을 보호하는 구조이어야 한다[7]. 일반적인 구조는 전계, 자계 양쪽 영향의 감쇠가 가능

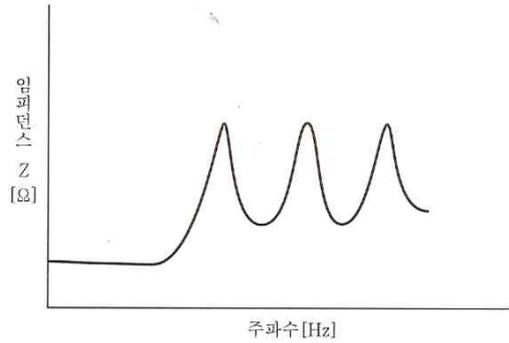


그림 6. 접지선의 주파수 특성
Fig. 6. Frequency characteristic of a ground wire.

해야 하며 차폐를 위한 시스템은 도어가 포함된 인접 차폐패널 간의 전기적으로 연속된 접촉 금속구조이므로 전기적으로 내·외부의 과전류, 과전압 및 장해 노이즈로부터 차단되어야 한다. 그러므로 기기를 설계할 때에 EMS나 EMI에 대한 내량을 크게 해서 방해노이즈와 타 기기의 내량에 따른 전자장해발생의 곡선의 분포가 겹치지 않도록 기기를 설계, 제작하면 전혀 장애를 일으키지 않지만, 실제 전자 환경에서는 다수의 방해 노이즈의 중첩에 의한 영향도 생각해야 하므로 이와 같은 설계방식은 비현실적이다. 이 때문에, 기기가 사용되는 전자 환경의 전자양립성 수준 (electro magnetic compatibility level)을 미리 정하고, 이와 정합되도록 기기의 immunity level을 설계함과 동시에, 방해의 발생수준을 관리해서 확률적으로 어떤 미소한 비율에서 장애 발생은 허용하는 합리적인 기기를 설계, 제작하는 것이 바람직하다.

노이즈 방지를 목적으로 EMC를 고려한 신호용 접지방식은 접지전류의 주파수에 의존한다는 것에 유의해야 한다. 주파수가 10 kHz 이하이면 일점 접지, 10 kHz 이상의 고주파 영역에서는 다중 접지가 유용하다.

또한, 접지선 등의 도체는 직류 및 저주파 영역에서는 저항 (R)으로 간주할 수 있지만, 고주파영역이 되면 인덕턴스(L)가 생기고 임피던스로 취급할 필요가 있다. 더욱이 공진현상이 일어나고, 그림 6과 같은 주파수 특성을 나타낸다.

컴퓨터 등의 기기접지에 접지선(소위 클린선)을 사용하면, 그림 6과 같은 특성이 발생하기 쉽다. 따라서 메쉬나 평면상 도체가 필요하다.

III. 시뮬레이션 및 실험결과

3-1 시뮬레이션

접지시스템을 설계하기 하기에 앞서 설계에 필요한 데이터를 확인하고, 설계시 반영되는 요인들을 분석할 필요가 있다. 이러한 설계에 필요한 요인들을 반영할 때 공사현장에 가장 적합한 접지를 설계할 수 있다.

이러한 컴퓨터 프로그램을 이용한 봉상 접지전극 해석에는 해석 알고리즘의 정확성은 접지전극을 얼마나 많은 개개의 전극의 조각으로 나누었는가, 얼마나 정확한 토양모델을 사용했는가 등에 따라 좌우된다. 본 연구에서는 전계해석 프로그램을 이용하여 실험용 접지전극에 대한 전위분포, 전계, 전위양상을 전개하였다. 컴퓨터 프로그램에 의한 분석을 통해 접지시스템에서 요구하는 다양한 조건들을 적용하여 시뮬레이션을 할 수 있으며, 또한 성능 면에서 경제적인 면에서 우수한 접지전극을 설계할 수 있다.

접지설계 프로그램으로서의 기능은 수조모델 실험 시 모델 전극이 수조 내에 존재할 때 특정 좌표(위치)에서의 전기적 현상을 해석하며, 입력 모드는 윈도우 형태로 처리하였으며, 설계에 대한 전극의 해석 데이터의 예를 그림 7, 그림 8, 그림 9에 각각 나타냈다.

그 결과 접지를 시공하기전 설계단계에서 이러한 해석을 통해 접지전극의 형상과 치수, 간격, 도체 수의 영향들을 다양하게 분석하여 접지전극을 매설하고자 하는 현장에 적합한 접지의 설계해석이 가능하므로 현장에서의 시공오류와 같은 비용의 낭비를 최소화할 수 있다. 또한 접지전극 주위의 전위분포의 계산을 근거로 하여 접지설계가 이루어지므로 접지설계를 위한 시뮬레이션은 접지저항 및 위험전압 계산시에 실제토양과 유사한 모델을 사용함으로써 보다 정확한 접지 성능을 예측할 수 있다.

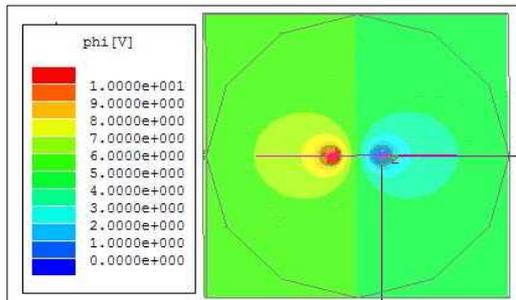


그림 7. 접지극 A와 접지극 B의 전위
Fig. 7. Electric potential of A and B grounding system.

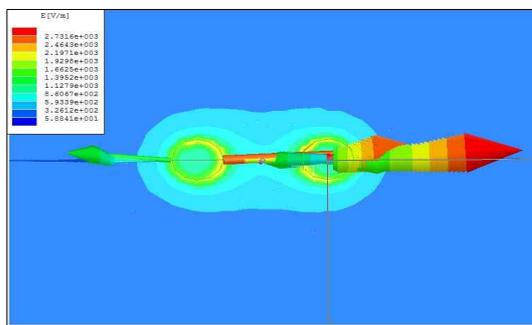


그림 8. 접지극 A(간섭발생전극)에 의한 전계방향
Fig. 8. Electric field system direction by grounding system.

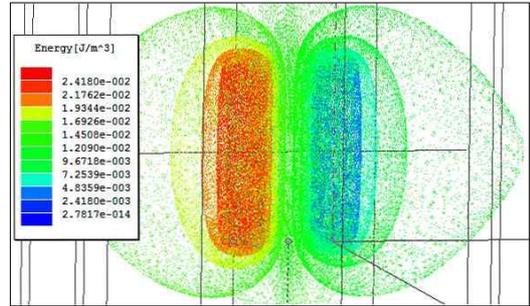


그림 9. 접지극 A에 의한 에너지 분포
Fig. 9. Energy distribution by grounding system A.

3-2 실험결과

봉상전극과의 전위간섭은 물 저항률 $\rho = 45.7 \Omega\text{m}$, 주 접지극 (A전극)의 인가전압은 20 V이며, 실험결과 그래프는 그림 10, 그림 11, 그림 12와 같은 식 (2)의 이론값과 실험결과에 의한 비교 그래프를 나타냈다.

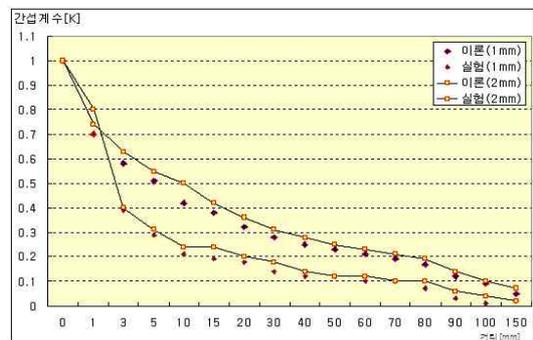


그림 10. 봉상전극의 전위간섭 (A전극, 1 mm, 2mm)
Fig. 10. Potential interference of grounding rod electrode. (A electrodes, 1 mm, 2mm).

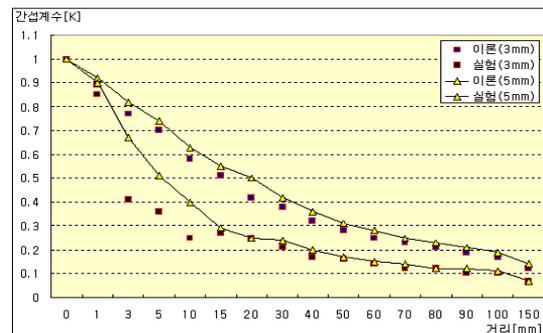


그림 11. 봉상전극의 전위간섭 (A전극, 3 mm, 5 mm)
Fig. 11. Potential interference of grounding rod electrode. (A electrodes, 3 mm, 5 mm).

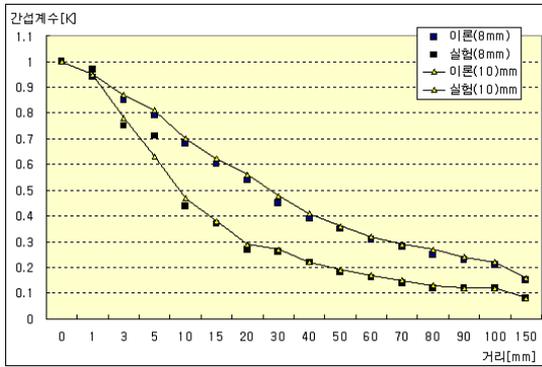


그림 12. 봉상전극의 전위간섭 (A전극, 8 mm, 10 mm)
 Fig. 12. Potential interference of grounding rod electrode.
 (A electrode, 8 mm, 10 mm).

IV. 결 론

본 연구는 메쉬접지전극과 차폐시스템에 적용되는 패널을 이용하여 접지저항 및 접지전극 상호간의 간섭에 대한 연구를 위하여 접지도체의 형상 및 매설조건에 따른 전극 표면전위계산식을 이용하여 전위간섭계수 계산식을 도출하고, 이에 따른 수조모의실험을 위한 실험오차를 줄이기 위해 단순 축소모델의 크기를 선정하였으며, 이를 통해 이론적 계산모델을 이용하여 수조모의실험과 접지설계 및 시공에 널리 적용되고 있는 Dwight 식(수평매설)경우의 이론식을 기초로 비교 분석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 수조의 유한성으로 실험의 오차를 최대한 줄이기 위해 봉상전극, 매쉬전극, 판상전극, 차폐판넬의 길이와 한변을 70 mm이하로 했을 때 이론식에 접근하는 경향을 확인할 수 있었으며, 이것은 실제현장에서 적용되고 있는 접지극에 대하여 접지공사전에 사후에 발생할 수 있는 간섭문제의 대책수립에 적용할 수 있는 전위간섭의 효과를 확인할 수 있었다.

(2) 접지 전극의 형상에 따른 접지저항 및 복수의 접지전극이 동일 접지저항구역 내에 존재하는 경우 이격거리가 접지도체의 표면 단면적보다는 커지는 경우에는 간섭효과가 현저하게 떨어진다는 것을 알 수 있었다. 따라서 접지도체의 간섭효과

에 대처하기 위해서는 이격거리와 도체의 표면 단면적의 접지설계요소를 이용한다면 효과적인 대처가 될 것으로 사료된다.

(3) 따라서 독립접지를 규정하고 있는 차폐설비에 적용되는 패널은 실제동판 혹은 동봉과 거의 유사한 전기저항 특성을 나타냈고, 봉상전극과 간섭의 정도를 간섭계수를 이용해 분석한 결과 일반 메쉬, 판상접지전극과 간섭의 정도가 거의 일치함을 알 수 있었다. 이것은 전자차폐설비가 밀집지역, 동일 구조물내에 복수의 접지극이 매설될 경우 동일 저항 구역에 각각이 상호 존재한다면 전위차에 의한 전위간섭에 매우 취약하므로 저항 구역을 벗어나 독립접지방식으로 매설해야 하는 것을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] T. Takahashi and Taro Kawase, "Analysis of combined earth resistance for parallel driven rods in multilayered earth," *Electrical Engineering in Japan*, Vol. 109, Issue 1, pp.40-47, 1989.
- [2] T. Takahashi and K. Kawase, "Calculation of earth resistance for a deep-driven rod in a multi-layer earth structure," *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 6, No. 2, pp.608-614, 1991.
- [3] A. J. McCrocklin and C. W. Wendlandt "Determination of resistance to ground of grounding grids", *IEEE Transaction*, Vol. 71, part III, p. 1062, 1991.
- [4] IEEE Std 81.2, "IEEE guide measurement of impedance and safety characteristics of large extended or interconnected grounding systems," pp.14. 1991.
- [5] L. H. Hemming, *Architectural Electromagnetic Shielding Handbook: a Design and Specification Guide*, New York, NY: Wiley-IEEE Press, 2000.
- [6] IEEE Std-299-1991, "IEEE Standard for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures," 1991.
- [7] E. D. Suide, *Earth Conduction Effects in Transmission Systems*, New York, NY: Dover Publications, 1968.



이 충 식 (Chung-Sik Lee)

1991년 2월 : 경남대학교 전기공학과 (공학사)
 1993년 2월 : 경남대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
 2000년 2월 : 경남대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
 1996년 3월 ~ 현재 : 대원대학교 전기전자계열 교수
 ※ 관심분야 : 전기설비설계, 신재생에너지 및 대체에너지분야, 자동제어설계

