

수조모델 실험에 의한 각판상 접지극의 해석

고희석* · 이충식** · 최종규*** · 이현무* · 김주찬*
 경남대학교* · 대원과학대학** · 마산대학***

Analysis of The Grounding Plate Electrodes by Water tank model Experiment

Hee-Seog Koh* · Chung-Sik Lee** · Jong-Kyu Choi*** · Hyun-Moo Lee* · Ju-Chan Kim*
 Kyungnam Univ* · Deawon Science College** · Masan College***

Abstract - In this paper, we examine theory of literature announced recently. At the same time, analysis a special quality of the Grounding Plate Electrodes that is laid under the ground to homogeneity earth by Dwight way that is announced in existing, and then examined through analysis of theory Value and resistance Value of water tank model experiment Value.

1. 서 론

건축물의 완성 후에 각 용도에 적합한 접지저항 규정값이 미달되는 경우 재시공은 매우 곤란하다. 그러므로 접지시설 시공전에 접지저항에 대한 충분한 검토가 절대로 필요로 한다. 본 논문에서는 제작된 스텐레스제 반구상 수조를 이용하여 접지극의 접지저항을 추정하고자 한다. 특히, 일반건축물에서 보편화 널리 시공되고 있는 각판상접지극을 해석 하고자 한다.

각판상 접지극의 전위분포 및 접지저항의 이론적인 해석을 고찰하고자 한다.

각판상 전극의 접지저항계산식의 Dwight 나 Tagg의 식 McCrocklin의 산정표에 의한 산출 등 공식적으로 쓰여지고 있는 것이 있지만 이들 계산에서는 각판상을 원형상 전극으로 면적 치환하거나 형상에 대해서 구한 수치 계수를 사용해 계산을 하는 등의 조사 추정값이다. 또한 형상을 치환하고 있으므로 전극주변에서 발생하는 전위분포에 대해서는 해석은 되지 못한다.

본 논문에서 최근에 발표된 문헌의 이론식을 검토함과 동시에 기존에 발표된 Dwight식에 의해 균질대지에 매설된 각판상 전극의 접지특성을 구한다. 계산식의 도출 과정을 이용하여 그 결과를 기초로 하여 접지극 형상이나 매설 깊이가 차이에 의한 전위 분포 및 접지저항의 현상을 파악하고 이론값 및 수조 모의 실험에 의해 검증하고자 한다.

2. 본 론

2.1 수직각판상 접지극의 해석

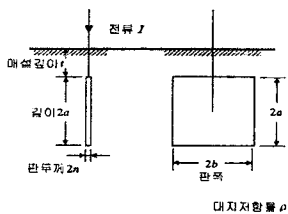


그림 2.1 각판상전극의 수직 매설

각판상 전극의 형상을 그림 2.1에 나타내고 있다. 세

로의 길이가 $2a$ 가로의 폭 $2b$, 두께 $2n$ 의 각판이 지표면에 대해 수직으로 매설깊이 t 로서 설치되어 있고, 이 접지극에 전류 I 가 유입하는 경우를 상정한다.

계산공간이 3차원으로 되므로 해석을 위한 직교좌표로 그림 2.2에 나타난 바와 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.

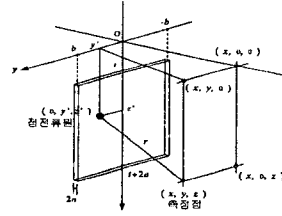


그림 2.2 각판상전극의 수직매설 계산 모델

대지가 장소에 관계없이 저항률의 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 계산기본식 $V(x, y, z)$ 는 지표면의 존재에 의한 영향을 고려하면 이하와 같이 나타내어 진다.

$$V_0(x, y, z) = \frac{\rho i_0}{4\pi} \cdot v_0 = \frac{\rho i_0}{4\pi} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z+z')^2}} + \frac{1}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}} \right] \quad (2-1)$$

해석적으로 산정식을 도출하기 위하여 계산 모델에 대해 또 하나의 설정조건으로서 전극에서 대기중에 유출하는 전류의 전류밀도분포에 관한 상정을 행한다. 균질한 대지에 전극이 매설되어 있을 때는 전류유출밀도를 전극 전체에 균등한 것으로 가정할 수 있고 그러면 각판전극인 면상 전류원의 단위면적당의 전류밀도는 y, z 는 장소에 관계없이 $i_0 = I/4ab$ 로 된다.

따라서 수직으로 매설된 각판상 접지극에 의한 임의의 계측점의 전위 $V(x, y, z)$ 은, $X = 0$ 의 곳에서 점

전류원에 의한 전위의 기본식인 (2-2)을 판 전체에 걸쳐 적분함으로써 구할 수 있고, 다음식으로 표현된다.

$$V(x, y, z) = \int_{-b}^b \int_{-t}^{t+2a} V_0(x, y, z) dz dy = \frac{I_0}{16\pi ab} \iint v_0 dz dy \quad (2-2)$$

이중적분을 받아들이는 방법에서 지면에 평행한 길이 2b의 타선은 깊이 방향에 중첩한 것, 혹은 수직으로 매설된 길이 2a의 봉상전극을 y 폭 방향으로 -b에서 b까지 중첩한 것이라고 생각할 수 있다. 여기서는 후자를 받아들이는 방법에서 세워 (2-2)식 깊이 방향의 적분을 실행해 정리하면 이하와 같이 표시되어진다.

$$V(x, y, z) = \frac{I_0}{16\pi ab} \int_{-b}^b \ln \frac{t+2a+z+\sqrt{x^2+(y-y')^2+(t+2a+z)^2}}{t+z+\sqrt{x^2+(y-y')^2+(t+z)^2}} + \ln \frac{t+2a-z+\sqrt{x^2+(y-y')^2+(t+2a-z)^2}}{t-z+\sqrt{x^2+(y-y')^2+(t-z)^2}} dy' = I \frac{\rho}{16\pi ab} \int_{-b}^b \sum_{z=t+2a, t+z}^{\pm} \ln[(z+\sqrt{x^2+(y-y')^2+z^2})] dy' \quad (2-3)$$

단, 식(3-3)의 제2식은 은 전체합 Σ 를 사용해 정리를 행해 간결한 표기로서 한 것에서 내용은 제1식과 같이 한다. 전체합일 때에 4개의 항을 갖는 z의 값에 의해서 대응한 정부의 부호를 취하기로 한다. 이 Σ 의 표현은 사용해 위식의 y'의 적분을 실행해 정리하면 이하와 같이 된다.

$$V(x, y, z) = \frac{I_0}{16\pi ab} \cdot \sum_{z=t+2a, t+z}^{\pm} [b \cdot \ln[(z+\sqrt{x^2+(y-b)^2+z^2}) \cdot (z+\sqrt{x^2+(y+b)^2+z^2})] - y \cdot \ln \frac{z+\sqrt{x^2+(y-b)^2+z^2}}{z+\sqrt{x^2+(y+b)^2+z^2}} - b + 2x \tan^{-1} \left\{ \frac{\sqrt{x^2+z^2}+\sqrt{x^2+(y-b)^2+z^2} \cdot x}{(\sqrt{x^2+z^2}-z) \cdot (y-b)} \right\} - 2x \tan^{-1} \left\{ \frac{\sqrt{x^2+z^2}+\sqrt{x^2+(y+b)^2+z^2} \cdot x}{(\sqrt{x^2+z^2}-z) \cdot (y+b)} \right\} - z \cdot \ln \frac{y-b+\sqrt{x^2+(y-b)^2+z^2}}{y+b+\sqrt{x^2+(y+b)^2+z^2}} + (1 - \frac{|y-b|}{|y-b|}) \cdot \pi x] \quad (2-4)$$

$$R = \frac{\rho}{8r} + \frac{\rho}{4\pi s} [1 + \frac{7}{24} \frac{r^2}{s^2} + \frac{99}{320} \frac{r^4}{s^4}] \quad (2-5)$$

(2-4)식에서 임의의 위치의 전위를 해석적으로 구할 수 있다.

2.2 모델 전극에 의한 수조모델 실험 방법

수조모델 실험에 대한 이론적인 내용을 살펴보면 다음과 같다. 접지 전극을 설계할 때 모양이 복잡한 전극인 경우에는 계산공식을 유도하는 것이 곤란하다. 이러한 경우 접지저항을 추정하는 편리한 방법으로서 모형 실험법이 있다. 접지의 모형 실험법은 그림 2.3과 같이 수조 속에 접지 전극의 축척모형(스케일모델)을 배치하여 측정하는 방법이다.

수조모델 실험에 필요한 것으로는 수조, 그속에 넣는 매질, 모형 접지전극, 전원, 측정장비가 있다. 접지의 모형 실험을 하는 데에는 먼저 균질 대지와 유사한 환경을 만들어야 한다. 수조 모델 실험에서는 그림과 같이 물을 가득 채운 수조를 균질 대지에 가깝게 만든다. 수조는 측정 정밀도라는 관점에서 보면 클수록 바람직하다.

리턴 전극으로서 수조 그 자체를 이용할 수 있는 금속제 수조를 이용하는 편이 수조의 넓이를 효과적으로 사용할 수 있어 편리하다.

수조 속에 넣는 매질로는 전해질 용액도 고려할 수 있지만 실제로는 사용하기 편리한 수돗물을 이용한다. 수돗물의 저항률은 온도에 따라 변하기 때문에, 실험 때마다 전도율계를 이용하여 측정한다.

전극재료로서는 도전성이 높은 것이 바람직하며, 일반적으로 가공이 용이한 동, 황동이 사용된다.

이들 전극은 수조 속에서 물에 잠기게 되므로, 크기가 작은 모델인 경우는 물의 표면 장력 때문에 전극 표면과 물이 잘 융합되지 않을 수가 있다. 이렇게 되면 측정 결과에 영향을 미치게 되므로, 사용하기 전에 전극 표면을 탈지할 필요가 있다. 전원으로서서는 상용 전원을 사용하고, 배전 계통의 접지와 단절시키기 위해 반드시 절연 변압기를 사용한다.

접지저항이란 접지 전극에 전류를 흘렸을 때에, 무한 원점에 대한 접지전극의 상승값을 주입 전류로 나눈 몫이다. 수조 모형 실험인 경우는 그림에서 나타내는 바와 같이 주입한 전류의 크기는 전류계로 측정하고 모형 접지 전극의 전위 상승은 전압계로 측정한다.

전압계의 한쪽 단자는 모형 접지 전극에 연결하고, 다른쪽 단자는 금속 수조의 경우 수조 그 자체에 연결한다. 접지 저항은 이론적으로 엄밀하게 말하면 무한 거리의 대지까지 포함된다. 그러나 수조 실험의 경우 수조의 크기는 유한하다는 한계가 있다.

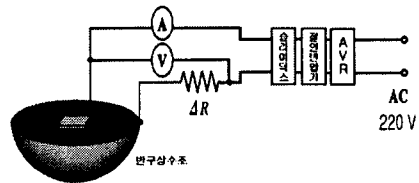


그림 2.3 수조 실험 장치도

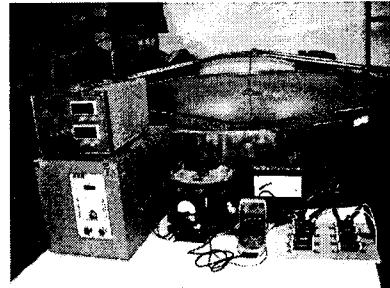


사진 1. 측정 장비

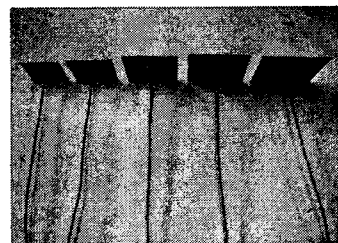
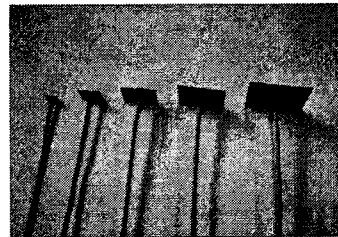


사진 5. 실험 모델 전극

2.3 수조 모델 실험에 의한 단극각판상 전극의 접지저항

모형 전극을 수직으로 매설하는 경우는 그림 2.4와 사진 2 에서와 같이 수조의 수면 중심에 모형전극을 설치하고 매설 깊이를 변화시켜 그때의 접지저항을 측정하였다.

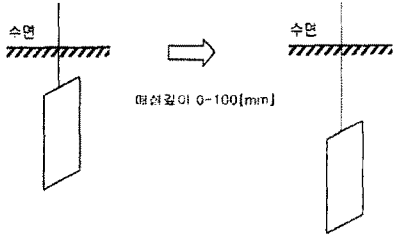


그림 2.4 모형 전극의 수직 매설

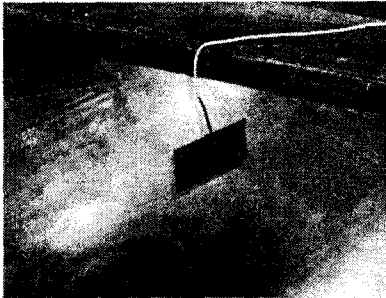
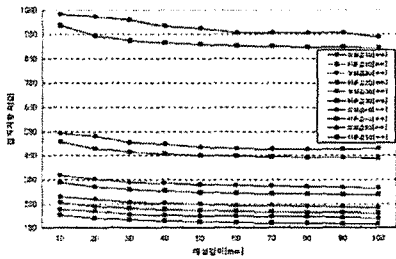


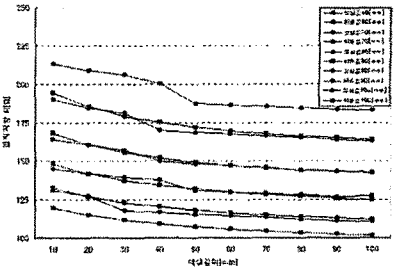
사진 2. 모형 전극의 수직 매설

2.4 수직 각판상 전극의 접지저항의 실험결과 고찰

측적 모형전극(판형상 세로,가로 $2a=2b=10$ [mm], 두께 $2n=0.5$ [mm])에서 측정할 때의 결과를 그림 2.5에 나타내고 있다. 기존의 계산식 Dwight 의 (2.5)식에서 수치계산으로 구한 이론값을 계산하여 수조 실험값과 비교를 했다. 매설깊이 t 는 10~100[mm]로 하였다.



(a)



(b)

그림 2.5 실험값과 이론값에 대한 매설깊이의 저항관계

전극의 크기를 변화해 접지저항값을 측정한 결과를 그림 2.5의 (a)와 (b)에서 이론값과의 비교로서 각판상 전극의 수직매설시의 접지저항계산식

$$R = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{4ab} \cdot \int_a^b \int_0^{t-z} V(n, y, z) dz dy$$
에서 이론값을 산출하였다. 측정결과 실험값이 이론값과 거의 같은 값을 취하는 것이 확인되었다. 단지 전극이 작을 경우(판형상 가로,세로 $2a=2b=10$ [mm], 두께 $n=0.5$ [mm])는 측정값과 이론값에서 벗어나는 것을 알았다. 이것은 접지저항 산정식의 도출에 있어서 전극의 한 변에 대해 두께가 작은 것이 영향을 주고 있다고 생각되어 진다. 검토

3. 결 론

본 연구는 각판상 전극에 대한 접지 저항을 해석하기 위하여 수조모델 실험을 하였다. 수조 모델 실험에서는 접지설계 및 시공에 널리 적용되고 있는 Dwight이론식을 기초로 하였다. 수조 모델 실험에서 오차를 최대한 감소 시키기위해 실험 모델을 최소한 크기로 선정하였다. 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 수조의 유한성으로 실험의 오차를 최대한 줄이기 위해 각판상 모델을 한변의 길이10[mm]에서 100[mm]준비하여 중단오차를 확인한 결과 최소0.75에서 최대 7.5%이었다.
- (2) 각판상이론식을 적용한 수직매설시 접지저항값과 수조 실험을 통해 얻어진 실험값을 비교하여 분석한 결과 최저3%~13%까지 오차율이 발생하였다. 그렇지만 각 실험전극의 접지저항값은 균일하였다.
- (3) 실험 결과를 분석하면 오차가 감소되도록 실험 정밀도를 높일 경우 수조실험에서 각판상전극에 대한 해석이 가능하리라 사료된다.
- (4) 추후에는 수조 실험을 통한 다양한 형태의 접지극도 측척률 및 형상계수법을 이용한 모의 실험이 가능하기 때문에 접지시설 시공 전 사전에 추정하는데 많은 도움이 될것으로 기대된다. 특히 분상 및 메쉬접지도 수조에서 실험이 가능하다고 판단된다.

(참 고 문 헌)

- (1) 김세동著 : 「最新電氣設備技術基準」, 東逸, 2002年
- (2) 안민욱著 : 「電氣設備技術基準」, 太水, 2002年
- (3) 대한전기협회 : 「內線規程」, 1997年
- (4) 高橋他 : 「建築電氣設備の接地に関する諸問題」, 電氣學會産業電力應用研究會, IA-82-3
- (5) 川瀬監修, 高橋 : 「接地技術入文」, オーム社(昭和61年), p.93~99
- (6) 高橋 : 「接地設計入文」, オーム社(平成2年), p.114,124~129, 133~155
- (7) 高橋, 川瀬 : 「接地技術の最近の動向」, 電氣學會論文誌B, Vol. 110, No. 6(平成2-6)
- (8) 高橋, 川瀬 : 「接地電極の形狀係數の推定法」, 電氣學會論文誌B, Vol.103, No.12(昭58-12)