

모델실험에 의한 접지전극의 상정

고희석\* · 김맹현\*\* · 박승재\*\* · 송원표\*\*\* · 김주찬\*  
 경남대학교\* · 전기연구원\*\* · (주)효성\*\*\*

Assumption of Grounding Electrode by Model Experiment

Hee-Seog, Koh · Maeng-Hyun, Kim\*\* · Seung-Jae, Park · Won-Pyo, Song · Ju-Chan, Kim  
 Kyungnam Univ · KERI · Hyosung Corporation

**Abstract** - This paper is based on model electrode by reduced scale and theoretical background of proportion factor. use building structure and mesh electrode, we get grounding electrode of building grounding structure and grounding electrode of mesh electrode by modeling experimentation and estimation coordinate geometry, we are doing practical grounding electrode assumption.

1. 서 론

일반적으로 건축구조체의 접지저항은 낮은 것으로 알려져 있다. 그러나 건축구조체와 같이 대규모 접지구조체의 접지저항을 정확하게 측정한다는 것은 상당히 어렵다. 전극의 형상이 일정하고 크기가 많은 꼴로 변하는 경우의 접지저항은 매질의 저항률에 비례하고 대표적인 크기에 반비례한다는 법칙에 따른다. 형상에 관계한 접지저항을 전극의 형상계수를 이용하여 구하는 것이 모형전극에 의한 접지저항을 추정할 때에도 지배적인 원리로 작용한다. 그리고, 대규모 면적의 접지에 경우 감전방지에 직접적으로 관계되는 것은 접촉전압, 보폭전압, 전위분포, 전위경도 등인데, 이들은 접지전극의 종류, 매질값이, 포설형상등을 분석함으로써 효과적인 설계가 가능하기 때문에 망상접지의 방식이 널리 사용되고 있어 망상접지의 매쉬계수를 이용하여 모형전극에 의한 접지저항을 추정한다. 본 논문에서는 축적률에 따른 모델전극과 비례계수의 이론적 바탕을 근거로 건축구조체, 망상전극의 축적률을 이용하여 모델실험 및 내삽법으로 접지구조체과 망상전극의 접지저항을 구함으로써 실제적인 전극의 접지저항치를 추정하고자 하였다.

I. 형상계수에 의한 접지저항 추정법

접지저항은 전극주위의 대지에 포함되어 있고, 엄밀히 말하면 무한 원방까지 고려해야 한다. 그러나, 접지 시뮬레이션에서는 수조의 크기가 유한하므로 접지저항이 대지의 상황과는 다르기 때문에 무한히 작은 전극이 아니면 참값의 저항을 얻을 수 없다. 여기서는 전극 형상계수의 개념을 도입한 접지저항 추정법에 대해 서술한다.

[1] 형상계수

그림1.1와 같은 반구모양 전극(반지름  $r_0$ )을 보자. 전류  $I$ 가 전극을 통해 대지(저항률  $\rho$ )에 흐른다고 하면 접지저항  $R$ 은  $R = \rho/2\pi r_0$ 가 된다.

이때 반구모양 전극의 중심에서 거리  $r$  만큼 떨어진 곳에 반지름  $r$ 인 반구면을 가상하면 이것은 등전위면의 하나가 된다. 이를 금속수조로 바꾸면 수조 바깥쪽에 분포하는 저항분  $\Delta R = \rho/2\pi r$ 은 측정되지 않는데, 이것을 중단저항  $\Delta R$ 이라 한다. 따라서, 수조모델 실험에 의한 측정저항  $R_m$ 은

$$R_m = R - \Delta R \tag{1}$$

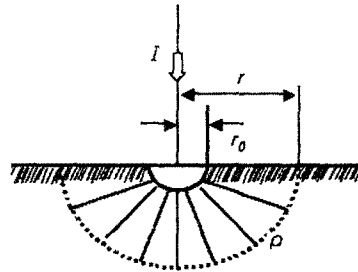


그림 1.1 수조 모델에서 반구상 전극  
 Fig. 1.1 Semispherical electrode in a water tank model  
 단,  $r$ =수조의크기,  $r_0$ =접지전극의 크기

여기서, 그림 1.1에서와 같이 수조를 무한히 크게 한 경우와 전극을 무한히 작게 한 경우의 동가성에 대해 생각해 보자. 그림 1.1에서 수조의 크기가  $r$ 인 때에는  $\Delta R = \rho/2\pi r$ 이며 수조의 크기( $r$ )를 무한히 크게 하면  $\Delta R \rightarrow 0$  이 되고, 측정되는 접지저항은 실제값에 가깝다. 한편, 그림 1.1에서는 수조의 크기가  $r_0$ 로 고정되어 있으므로  $\Delta R$ 은 변하지 않는다. 그러나, 전극의 크기( $r_0$ )를 무한히 작게 하면 측정값  $R_m$ 은 무한대에 가깝고  $\Delta R$ 은 무시해도 되며,  $R_m$ 은 실제값에 가깝다. 형상이 비슷하고 축적률이 다른 복수의 접지전극이 있을 때 이들 접지저항은 매질의 저항률  $\rho$ 에 비례하고  $I$ 에 반비례하며, 식(1)에서 다음 식을 얻는다.

$$\frac{l}{\rho} R_m = K - \frac{l}{\rho} \Delta R \quad (2)$$

수조의 크기에 대해 그림 1.2와 같이 적당한 크기의 비슷한 모형전극 치수가  $l_1, l_2, \dots, l_m$ 일 때 측정값  $R_m$ 과  $l/\rho$ 의 곱을 구하여 이 데이터를 그림 2와 같이  $x$ 축에  $l$ ,  $y$ 축에  $R_m \cdot l/\rho$ 를 나타내면 최소제곱법에 의해 직선회귀 한다. 이렇게 하여 실험식  $y = K - (\Delta R/\rho \cdot l)$ 을 구하고  $l = 0$ 에 대한  $y$  절편이 구해지면 형상계수( $K$ )가 결정된다.

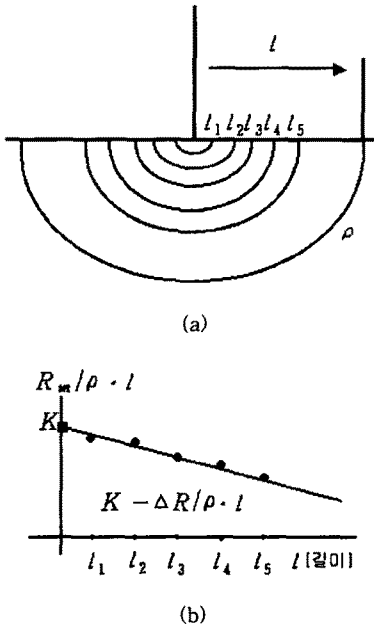


그림 1.2 접지 시뮬레이션  
Fig. 1.2 Grounding Simulation

수조가 무한대이면  $\Delta R \rightarrow 0$  이고, 수조가 유한한 경우  $\Delta R$ 은  $l$ 의 함수로 생각되지만  $\Delta R$ 이  $l$ 에 크게 의존하지 않은 범위의 모형실험 크기를 선택할 필요가 있다.

## [2] 형상계수의 추정

계산식이 있는 반구상 전극(반지름  $r_0$ )을 예를 들어, 접지 시뮬레이션에 의한 형상계수 추정법을 서술한다. 수조의 형상이 반구모양(반지름  $r_c$ )인 경우의 접지저항  $R_m$ 은 다음과 같다.

$$R_m = \int_{r_0}^{r_c} \frac{\rho}{2\pi r^2} dr = \frac{\rho}{2\pi r_0} - \frac{\rho}{2\pi r_c} \quad (3)$$

또 이 식을 다음과 같이 식(2)에 대입 가능하게

$$\text{변형하면 다음과 같다. } R = \frac{\rho}{2\pi r_0},$$

$$\Delta R = \frac{\rho}{2\pi r_c} \text{가 된다.}$$

또, 반구모양 전극의 이론식을  $R = K \frac{\rho}{l}$ 에 대입시키면, 다음과 같은 식이 된다.

$$R = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{r_0} \cdot \rho \quad (4)$$

여기서,  $1/2\pi$ 은 전극의 형상을 지정하는 이른바 형상계수이며  $1/r_0$ 은 전극의 크기를 지정하고 있다.

그리고 구조체 접지의 계산 흐름도를 그림 1.3에 나타내었다.

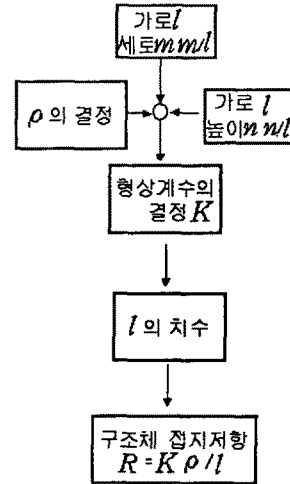


그림 3 구조체 접지저항 계산 흐름도  
Fig. 3 Flow chart

## II. 메쉬계수에 의한 접지저항 추정

지금까지는 메쉬상 접지전극에 대한 상세한 구조를 무시하고 구조가 차지하는 최대면적에만 주목해 왔다. 메쉬상 접지전극에 관해서는 그 최대면적이 동일하더라도 형상 등이 달라지는 경우는 접지저항이 어느 정도 변하는가 등을 검토해야 할 과제가 많이 남아있다.

그리고 메쉬 접지전극에 특징적이고 실용상 중요한 것이 메쉬수와 메쉬계수의 파악이다.

표 2-1과 그림 2.1에 의해서 메쉬수와 메쉬계수의 개념을 설명한다. 메쉬전극이 차지하는 면적을 정방형으로 한다.

이 정방형의 외주에 따라서만 도체를 매설하여 접지 전극으로 했을 경우를 메쉬수1, 즉 그물코의 수를 1로 한다. 이렇게 해서 차례로 각 메쉬 속에 선상전극을 네 등분해가면 최종적으로 전극은 정방판이 된다.

메쉬 전극의 접지저항  $R$ 은 메쉬계수  $M$ 을 이용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R = M \times [\text{메쉬수가 } \infty \text{ 일 때의 판상전극의 접지저항}] \quad (5)$$

외주의 도체에 의해서 형성되는 정방형의 크기가 변하지 않는 한 정방판 전극(즉, 메쉬수가  $\infty$ )의 접지저항이

가장 낮다. 그리고 매쉬수가 적을수록 접지 저항은 커져 매쉬수 1에서 접지 저항이 가장 크다. 그러므로 매쉬계수 M는 다음과 같이 표현된다.

$$M = \frac{\text{매쉬수가유한할때의접지저항}}{\text{매쉬수가무한할때의접지저항}} \quad (6)$$

그림 4 에는 매쉬계수(M)와 매쉬수(N)의 관계를 보여주고 있다.

표 2-1 모델 전극의 굵기에 따른 매쉬계수  
Table 2-1 Mesh factors for diameter of model electrode

전선 \ 매쉬계수	1 매쉬계수	4 매쉬계수	9 매쉬계수
0.8mm	1.1438	1.1642	1.0448
1mm	1.1098	1.0816	1.0245
2mm	1.0708	1.0296	1.0007

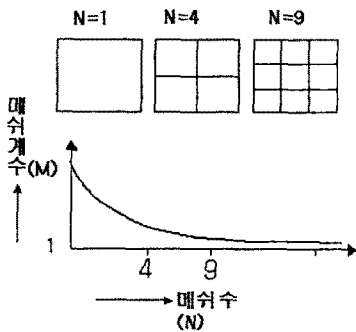


그림 2.1 매쉬수와 매쉬계수  
Fig. 2.1 Mesh number and mesh factor

단, 도체의 굵기는 일정하다. 매쉬수(N)가 무한대일 때는 판상 전극의 접지저항이 가장 낮기 때문에 항상  $M > 1$ 이다.

매쉬 전극의 설계에 있어서  $N \rightarrow \infty$ 의 판상 전극으로서 접지저항을 예측하면, N이 유한한 실제의 매쉬 전극에서는 거기까지 접지저항이 내려가지 않을 가능성이 있다.

N이 커지면 재료비 및 시공비가 급격히 증가하게 되므로 N을 극단적으로 크게 할 수 없기 때문이다.

(1) 접지저항 계산식

매설깊이가 얇다. 깊다라는 것은 추상적인 표현이므로, 매설깊이를 도입한 일반식에서 도출된 계산식의 구체적인 적용범위를 보면, 전극반지름 ( $r$ )으로 환산된 매설깊이  $\beta (= t/r)$ 에서 바꾸어 보면, 다음과 같이 된다.

①  $t < r$ 의 경우

$$R = \frac{\rho}{8r} \left(1 + \frac{r}{\pi t}\right) = \frac{\rho}{8r} \left(1 + \frac{1}{\pi \beta}\right) \quad (7)$$

②  $t > r$ 의 경우

$$R = \frac{\rho}{4r} \left(1 + \frac{4t}{\pi r}\right) = \frac{\rho}{4r} \left(1 + \frac{4\beta}{\pi}\right) \quad (8)$$

단,  $\beta = \frac{t}{r}$

또, 임의의 매설깊이의 경우 접지저항을 다음과 같이 표

시된다.

$$R = \frac{\rho}{4r} f(\beta) \quad (9)$$

수조 모델 실험에 의해,  $\beta$ 와 접지저항의 관계를 검토한 결과, 그림 2.2과 같은 흐름도를 얻었는데  $\beta$ 가 어떤 특정한 범위에 따라 표2.2에 나타난 3가지 경우가 되는 것이 판명되었다.

접지저항을 계산하기 위해서는 대지저항을 및 여러 가지 설계요소의 정보를 필요로 한다. 그래서 이들 정보를 모아 계산 과정을 정리하면 그림 2.2과 같은 흐름이 된다.

표 2-2 매설깊이와 범위 및 접지저항  
table 2-2 Laying depth, Limits, and Grounding

매설깊이의 범위	접지저항
$0 < \frac{t}{r} \leq 0.2$	$R = \frac{M\rho}{4r} \left(1 - \frac{4t}{\pi r}\right)$
$0.2 < \frac{t}{r} < 2$	$R = \frac{M\rho}{4r} f\left(\frac{r}{t}\right)$
$2 \leq \frac{t}{r} < \infty$	$R = \frac{M\rho}{8r} \left(1 + \frac{r}{\pi t}\right)$

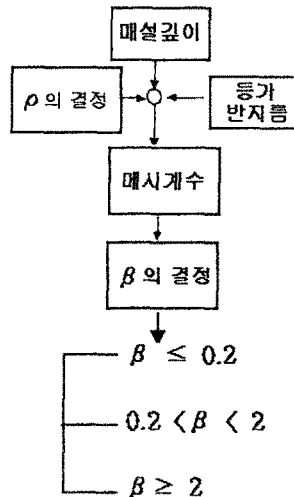


그림 2.2 접지저항 계산 흐름도  
Fig. 2.2 Flow chart for calculation

[참 고 문 헌]

- 川瀬監修, 高橋 : 「接地技術入門」, オーム社(昭和61年) p.93~99
- 高橋 : 「接地設計入門」, オーム社(平成2年), p.114, 124~129, 133~155
- 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)
- 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)
- 電氣設備 Vol. 13, No. 8, 1996年 9月, p.62~71
- 李孝求, 朴勝安 共著 : 「統計學入門」, 喜重堂, 1985年 3月 p.34~54, 252~286
- 川瀬著, 이종선譯 : 「接地技術과接地시스템」, 省安堂, 1998년 2월, p.11~15, 47~48, 126~129