

수조모델에 의한 접지전극의 형상계수추정

고희석 최종규 지봉호 이현무 김주찬 이충식 박규홍  
 경남대학교 대원과학대학 대림대학

Shapes Factor Estimation of Grounding Electrode by Water Tank Model

Hee-Seog Koh Jong-Kyu Choi Bong-Ho Ji Hyun-Moo Lee Ju-Chan Kim Chung-Sik Lee Kyu-Ho Park  
 Kyungnam Univ Deawon Science College Daelim college

**Abstract** - We are explaining shapes factor of ground electrode in a rectangular parallelepiped which is based on analysis of a hemisphere electrode. Actually, a hemisphere electrode is hardly used in a plan and construction, because it is difficult for somebody to use one. This thesis describes the method of grounding resistance estimation which is used the water tank model and electrode shapes factor.

1. 서 론

빌딩은 여러 가지 목적으로 사용되는 다목적빌딩이 많이 건설되고 있으며, 빌딩 설비도 다양화하고 있다. 따라서 접지설계를 할 때에는 약전용기기의 안정한 동작 확보를 위하여 전위 기준점을 설치하여야 하고 인간 및 전기 관련 설비 기기의 안전을 위하여 낮은 접지저항이 요구된다.<sup>[5]</sup>

건축구조체와 같이 대규모 접지구조체의 접지저항을 정확하게 측정한다는 것은 상당히 어렵다. 간편한 휴대용 접지저항 측정기는 정밀도가 높은 값을 얻을 수 없고 대규모적인 전위 강하법이 언제나 가능한 것도 아니다.<sup>[7]</sup>

그래서 기존의 건축구조체 접지저항은 건축물이 세워지고 있는 지점의 대지저항률과 대지에 매설되어 있는 건축물의 등가표면적에서 접지저항을 이론적으로 추정할 수 있었다. 그러나 구조체의 접지저항은 이론적으로 추정한 값과 측정값 사이에 상당한 차이를 나타내며 건축물의 규모가 클수록 이들 값 사이의 차이는 보다 크게 나타난다.<sup>[8]</sup>

이와 같이 정밀하지 못한 기존의 방법에서 다음과 같은 새로운 방법이 모색되고 있다. 전극의 형상이 일정하고 크기가 닳은 꼴로 변하는 경우의 접지저항은 매질의 저항률에 비례하고 대표적인 크기에 반비례한다는 법칙에 따른다. 또한 형상이 일정하므로 전극에서 유출되는 전류분포는 동일하게 된다. 이 법칙은 접지전극의 설계상의 중요한 지침으로써 모형전극에 의한 접지저항을 추정할 때에도 지배적인 원리로 작용한다.<sup>[2, 7]</sup>

본 논문에서는 축적률에 따른 전극모델과 형상계수추정의 이론적 바탕을 근거로 직육면체 모델전극을 이용한 수조모델실험 및 최소제곱법으로 직육면체 전극의 형상계수를 구함으로써 실제적인 건축구조체의 접지저항을 추정하고자 한다.

제 2 장 본 론

2-1 건축구조체의 대응접지 공법

접지전극에는 봉상, 선상, 환상전극 등의 접지극을 대지에 시공하는 인공접지극과 수도관 등의 자연접지극이 있다.

자연접지는 접지하는 것을 목적으로 시공된 것이 아니고 대지와 접촉하고 있는 물체를 접지극으로 대응하는

것으로 수도관이 대표적인 예이나 요즘은 합성수지재가 쓰이게 되어 접지극으로서 대응할 수 없는 경우가 많다.

그래서 생각된 것이 건축구조체의 땅 밑부분인데 이 구조체를 접지극으로서 이용하려는 생각은 미국의 H.G. Ufer가 제창한 것으로 "Ufer"전극으로 알려져 있다.

(1) 구조체 접지의 아이디어

특히, 건축전기설비의 기기나 배관은 직접 또는 다른 물체를 통해 무수한 점에서 철골, 철근 등에 접촉하여 전기적으로 접속되어 있는 것이다. 특히 접속할 의도는 없으나 자연적으로 접속되어지는 것이다. 그 개념도가 그림 2-1에 표시되어 있다.

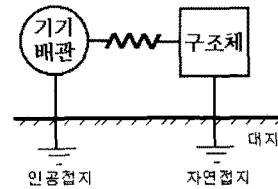


그림 2-1 건축물에서 접지의 상황  
 Fig. 2-1 Situation of grounding in a structure

[2] 건축구조체의 전기적 특성

철골, 철근 콘크리트의 건축물은 구조적으로 단단히 일체화되어 있으며 이러한 구조적인 일체화는 구조체의 전기적 특성에도 영향을 미친다.

즉, 건축구조체의 각 부분은 서로 낮은 전기저항으로 결합된 결과가 되는데 바꾸어 말하면 자연적으로 건축구조체는 도체로 구성된 전기적인 새장(cage)처럼 되어 있다.

콘크리트는 보통의 암석보다 흡수성이 크고 습한 상태에서는 그 저항률이 낮으며 철근 콘크리트의 경우도 구조체의 각 부분은 낮은 저항으로 이어져 있으며 이것을 전기적 케이지로 보아도 된다.

[3] 건축구조체의 접지저항

(1) 접지극으로서의 개념

건축구조체의 지하부분은 대지와 접촉하고 있는데 이것의 전표면적과 등가인 반구모양 전극으로 바꾸어 놓으면 그림 2-2와 같이 반구모양 전극의 반지름과 접지저항을 구할 수 있다.

구조체와 대지의 접촉면적을 A라 하면 반구모양 전극(반지름 r)의 표면적은  $2\pi r^2$ 이므로  $A = 2\pi r^2$ 에서 등가반지름은  $r = \sqrt{A/2\pi}$ 이 되고 반지름 r인 반구모양

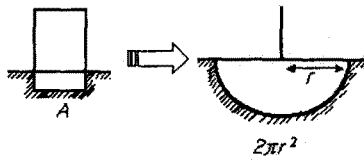


그림 2-2 반구모양 전극으로의 치환  
Fig. 2-2 Transposition for a semispherical electrode

전극의 접지저항은  $R = \rho/2\pi r$  이므로  $r$ 에 등가반지름을 대입함으로써 접지저항을 계산할 수 있다.

## 2-2 전극 형상계수에에서의 접지저항 추정법

접지저항은 전극주위의 대지에 포함되어 있고, 엄밀히 말하면 무한 원방까지 고려해야 한다. 그러나, 접지 시물레이션에서는 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

그림 2-3과 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

$$R_m = R - \Delta R \quad (2.1)$$

여기서, 수조를 무한히 크게 한 경우와 전극을 무한히 작게 한 경우의 등가성에 대해 생각해 보자.

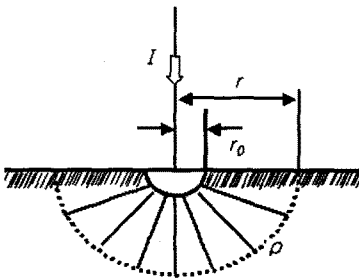


그림 2-3 반구상 전극과 수조  
Fig. 2-3 A semispherical electrode and a water tank

그림 2-3에서 수조의 크기가  $r$ 인 때에는  $\Delta R = \rho/2\pi r$ 이며 수조를  $r_1, r_2, \dots, r_m$ 으로 크게 하면  $\Delta R \rightarrow 0$ 이 되고, 측정되는 접지저항은 실제값에 가깝다. 한편, 수조의 크기가  $r$ 로 고정되어 있으므로  $\Delta R$ 은 변하지 않는다.

그러나, 전극의 크기를  $r_{01}, r_{02}, \dots, r_{0m}$ 으로 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  $l$ 에 반비례하며, 다음 식을 얻는다.

$$\frac{l}{\rho} R_m = K - \frac{l}{\rho} \Delta R \quad (2.2)$$

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.

## 2-3 전극형상계수를 이용한 건축구조체 대응전극의 접지저항 추정

현 단계에서는 추정하는 방법으로 KSC9609(건축물 등 피뢰설비)의 반구모양 전극의 등가표면적 치환법에 의해 계산되고 있다.

구조체의 대부분은 직육면체 모양이 많고, 이를 반구모양으로 치환하는 것은 정밀한 방법은 아니다.

### [1] 직육면체 전극의 접지저항

직육면체는 그림 2-4과 같이 입방체나 직방체 등 평행면으로 구성되는 형상이다. 일반적으로 그림 2-17과 같이 건축구조체의 지하부분이 대지와 접촉하고 있는 접촉면을 3차원으로 나타내고, 그때의 형상을 직육면체 전극으로 상정하고 있다.

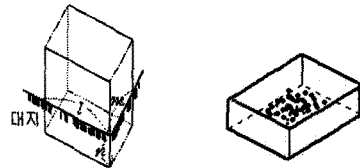


그림 2-4 건축구조체의 지하부분  
Fig. 2-4 Underground of a building electrode structure

## 제 3 장 실험장치 및 실험방법

전극 형상계수에서의 접지저항 추정법을 위해서는 수조, 매질, 모델 접지전극, 전원이 필요하다.

### 3-1 실험장치

본 논문에서 제시된 전극 형상계수에서의 접지저항 추정법을 위하여 사용된 실험 장치의 개요는 그림 3-1과 같다.

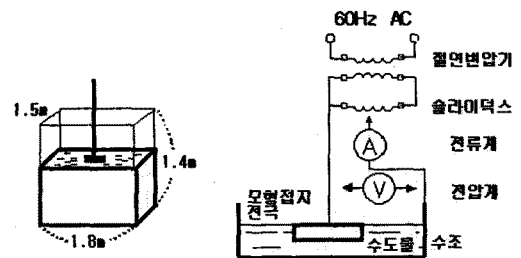


그림 3-1 수조 모델 실험장치  
Fig. 3-1 Experimental apparatus in a water tank model

이 크기와 비슷한 축적률 1/600, 1/500, 1/400, 1/300로 한 4개의 모델전극을 제작하고 가로 1변을 대표적인 크기로 하였다.

### 3-2 실험방법

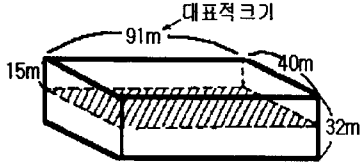


그림 3-2 건축구조체의 모델  
Fig. 3-2 Model of a building structure

직육면체 모델전극의 상부면을 제외한 나머지 5면을 수중으로 잠그게 하였다.

주입한 전류의 크기는 전류계로 측정하고, 모형 접지전극의 전위상승은 전압계로 측정하였다. 전압계의 한쪽 단자는 모형접지전극에 연결하고, 다른쪽 단자는 금속수조 그 자체에 연결하여 리턴전극으로 사용하였다.

표 3-1 모델 전극의 크기  
Table 3-1 Dimension of a model electrode  
단위[m]

실제크기 축적	1/600	1/500	1/400	1/300
91( l )	0.152	0.182	0.228	0.303
40( m )	0.067	0.080	0.100	0.133
17( n )	0.028	0.034	0.043	0.057

따라서 접지저항의 측정값  $R_m$ 은 인가전압  $V$ 와 주입전류  $I$ 의 비, 즉  $R_m = V/I$  [Ω]의 식에서 구하였고 수조의 물저항률( $\rho$ )은 봉상전극을 이용하여 접지저항 역산법으로 계산하였다. 모델전극의 대표치수( $l$ )와 수조의 물저항률( $\rho$ )를 이용하여 최소제곱법으로 데이터를 처리하고 식  $\frac{l}{\rho} \cdot R_m = K - \frac{l}{\rho} \cdot \Delta R$ 에 나타낸 실험식을 구하여 형상계수를 추정하였다.

### 제 4 장 실험결과 및 검토

#### 4-1 실험결과

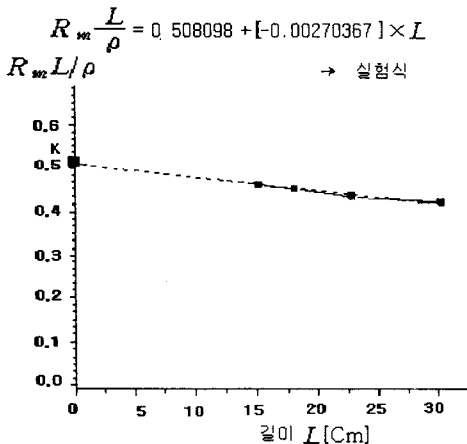


그림 4-1 수조 모델 실험결과  
Fig. 4-1 Experimental results of water tank model

이 실험 데이터이용하여 최소제곱법으로 해석하고, 실험

식을 구하면 그림 4-1과 같다. 여기서, 데이터를 해석한 결과 형상계수  $K = 0.508098$  이다.

#### 4-2 검토

수조모델에 의한 접지전극의 형상계수 추정하기 위해서는 다음과 같은 점을 고려해야 한다.

##### (1) 수조

이상적인 형상은 입방체가 반구모양이면 바람직하다. 본 실험에서는 그림 3-1과 같이 제작하였다.

##### (2) 매질

상용주파수 범위이면 무시해도 좋다. 본 실험에서는 수도물을 이용하였다.

##### (3) 모델 접지전극

전극재료는 도전율이 높은 재료가 바람직하며, 일반적으로 가공이 쉬운 동, 황동이 이용하였다.

##### (4) 전원

본 실험에서는 슬라이더스를 이용하여 모델전극에 전압을 10V, 20V, 30V, 40V, 50V를 인가하였다.

### 3. 결 론

일반적으로 구조체 접지저항값은 낮은 것으로 알려져 있다. 건축 구조체의 지하부분이 대지와 접촉하고 있는 접촉면을 3차원으로 나타내고 그때의 형상을 직육면체 전극으로 상정하고 있다. 접지전극을 설계할 때 직육면체 전극형상의 계산식은 아직 없으므로 접지저항을 추정하는 편리한 방법으로 접지시뮬레이션이 이용된다. 그 방법중의 하나가 수조모델에 의한 접지전극의 형상계수 추정법이다.

본 실험의 결과에서 전극의 형상계수를 도입하는 것에 의해 계산식이 없는 직육면체 전극의 접지저항이 식(2.2)에 의해 정밀도 높게 추정할 수 있고, 또한 직선회귀의 상관계수가 -1에 가깝게 되도록 전극의 크기를 어떤 범위로 선택하는 것에 의해서 충분히 시뮬레이션이 가능하다. 형상계수를 얻기 위한 가장 간단한 방법인 수조모델 실험으로 접지저항을 충분히 추정할 수 있고, 접지전극 설계에 기여할 수 있을 것이다.

#### (참 고 문 헌)

- 1) 川瀬監修, 高橋 : 「接地技術入門」, 오ーム社(昭和61年), p.93~99
- 2) 高橋 : 「接地設計入門」, 오ーム社(平成2年), p.114, 124~129, 133~155
- 3) 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)
- 4) 高橋, 川瀬 : 「接地電極의 形狀係數의 推定法」, 電氣學會論文誌B, Vol. 103, No. 12(昭58-12)
- 5) 電氣設備 Vol. 13, No. 8, 1996年 9月, p.62~71
- 6) 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
- 7) 川瀬著, 이종선譯 : 「接地技術과接地시스템」, 省安堂, 1998년 2月, p.11~15, 47~48, 126~129
- 8) 이복희, 이승칠 共著 : 「The Major Foundational Technics for Grounding Systems」, 義僑, 1999年 9月, p.1~2, 65~69, 81~86, 179~190