

### 매쉬접지전극의 축척모형에 관한 추정

고희석<sup>\*</sup>, 김주찬<sup>\*</sup>, 이충식<sup>\*\*</sup>, 최종규<sup>\*\*\*</sup>  
경남대학교<sup>\*</sup>, 대원과학대학<sup>\*\*</sup>, 마산대학<sup>\*\*\*</sup>

### Presumption for Reduced Scale Model of Mesh Electrode

Hee-Seog Koh<sup>\*</sup>, Ju-Chan Kim<sup>\*</sup>, Chung-Sik Lee<sup>\*\*</sup>, Jong-Kyu Choi<sup>\*\*\*</sup>  
Kyungnam Univ., Deawon Science College<sup>\*\*</sup>, Masan College<sup>\*\*\*</sup>

**Abstract** - There are a lot of errors and little accuracy when calculating the grounding resistance with the transposition methods in the equivalent surface of hemisphere electrode. Therefore we should calculate the grounding resistance by using the mesh factor. In this paper, we would estimate the grounding value of mesh electrode with water tank model & estimation method using the reduced scale ratio of mesh electrode based on the theory of model electrode & proportional factor according to the reduced scale ratio. And also we have confirmed the accuracy of the empirical formula of model electrode by using the regression analysis.

### 2. 본 론

#### 1. 서 론

접지는 주로 전기 및 전력 분야에서 송·배전 설비 및 낙뢰에 의한 인명과 설비의 손상을 방지하기 위한 차원에서 다루어져 왔다<sup>[1]</sup>. 하지만 오늘날의 전기, 전자, 통신 그리고 반도체 기술의 눈부신 발전은 거의 모든 설비의 소형화, 고집적화를 가능하게 하였다<sup>[1,2]</sup>.

이러한 소자 및 장비 기술의 비약적인 발전은 전자회로의 고기능화와 고밀집화를 이룩하였으며 이로 인한 전자파의 간섭과 장애는 매우 심각한 수준에 이르고 있다. 따라서, 고도화된 정보 통신 시스템의 효율적이고 안정된 운용 및 우수한 통화 품질의 확보와 오동작을 방지하기 위해서는 고신뢰성의 우수한 접지가 요구된다<sup>[3,4]</sup>.

감전방지에 직접적으로 관계되는 것으로는 접촉전압, 보폭전압, 전위분포, 전위경도 등인데, 이들은 접지전극의 종류, 매설깊이, 포설형상등을 분석함으로써 효과적인 설계가 가능하다<sup>[5-7]</sup>.

본 논문에서는 축척률에 따른 모델전극과 비례계수의 이론적바탕을 근거로 망상전극의 축척률을 이용하여 수조모델실험 및 내삽법으로 망상전극의 접지저항을 구함으로써 실제적인 망상전극의 접지저항치를 추정하고, 망상전극의 매쉬수에 따른 최적의 매쉬계수를 연구하고자 한다. 또한 모델전극의 실험식은 회귀분석<sup>[8]</sup>을 통하여 그 유용성과 타당성 및 정확도를 분석 확인하고자 한다.

#### 2-1 실험장치

전극 축척모델에서의 접지저항 추정을 위해서는 수조, 매질, 모델 접지전극, 전원이 필요하며 실험 장치의 개요는 그림 2-1과 같다.

매질은 전해질 용액도 생각할 수 있으나 실재는 편리한 수도물이 이용된다. 수도물은 단순히 저항체로 생각할 수도 있으나 전극표면의 분극작용에 의한 정전용량도 포함되므로 이것도 고려하여야 하지만, 상용주파수 범위이면 무시해도 좋다.

전극재료는 도전률이 높은 재료가 바람직하며, 일반적으로 가공이 쉬운 동, 황동이 이용되며, 알루미늄은 가급적 사용하지 않는 것이 좋다. 이들 전극은 수조에서 물에 젖어 있는 상태이므로 모델이 작은 경우 물의 표면장력 때문에 표면과 물이 잘 융합되지 않는 수가 있고, 이것이 측정에 영향을 미칠 수가 있으므로 사용하기 전에 전극 표면을 탈지하였다. 본 실험에서는 직경 0.8mm, 1mm, 2mm 동선을 이용하여 모델전극을 제작하였다.

전원은 배전계통 접지와 절연을 위해 반드시 절연변압기를 사용하였다. 인가전압을 크게 하면 전극 표면상태가 변화(발열에 의한 온도 상승)하므로 높은 전압을 인가하여 실험을 할 수가 없었다. 본 실험에서는 슬라이더스를 이용하여 모델전극에 전압을 5V, 10V, 20V, 30V, 40V, 50V를 인가하였다.

#### 2-2 실험방법

원형의 크기가 그림 2-3에 표시되어 있다. 이 크기와 비슷한 축척을 0.8mm, 1mm 2mm로 한 3개의 모델전극을 제작하고 가로, 세로 한변을 대표적인 크기인 10cm으로 하였다. 제작한 모델전극은 수중으로 잠기게 하였으며, 전류의 크기는 디지털 멀티미터로, 모형 접지전극의 전위 상승은 전압계로 측정하였다. 전압계의 한쪽단자는 모형 접지전극에 연결하고, 다른쪽 단자는 금속수조 그 자체에 연결하여 리턴전극으로 사용하였다

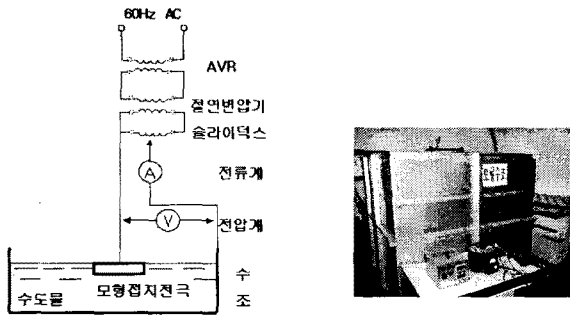


그림 2-1 수조모델 장치 그림 2-2 수조모델 실험장치  
 Fig 2-1 Water model Fig.2-2 View of experimental apparatus of watertank model

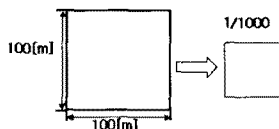


그림 2-3 메시접지면적의 모델  
 Fig 2-3 Model of mesh ground area.

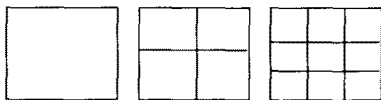


그림 2-4 0.8mm 메쉬-전극 모델의 외형도  
 Fig 2-4 Electrode shape of 0.8mm mesh-electrode

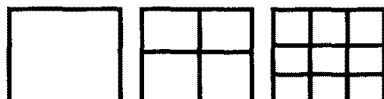


그림 2-5 1mm 메쉬-전극 모델의 외형도  
 Fig 2-5 Electrode shape of 1.0mm mesh-electrode

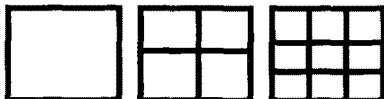


그림 2-6 2mm 메쉬-전극 모델의 외형도  
 Fig 2-6 Electrode shape of 2.0mm mesh-electrode

따라서 메시접지저항의 측정값  $R_m$ 은 인가전압  $V$ 와 주입전류  $I$ 의 비, 즉  $R_m = V/I$  [ $\Omega$ ]의 식에서 구하였고 수조의 물저항률( $\rho$ )은 액체저항 측정법과 봉상전극에서 구한 물저항률과 비교하여 얻은 데이터로 신뢰도를 높였다.

### 3. 실험결과 및 검토

#### 3-1 실험결과

이 실험 데이터(표3-1~3-4)와 물저항률  $\rho = 49.085$  [ $\Omega \cdot m$ ]를 이용하여 해석하고, 실험데이터를 분석하면 그림 3-1과 같다.

표 3-1 판상전극 모델의 실험 데이터  
 table 3-1 An experiment of a board model

측정전압[V]	측정전류[mA]	역산저항[ $\Omega$ ]
5.4	29.6800	181.9407
10.9	60.5000	180.1653
20.25	112.0000	180.8036
30.45	171.6000	177.4476
40.2	233.8000	171.9418
50.8	300.8000	168.8830
평균저항		176.8637

표 3-2 0.8mm 메쉬전극 모델의 실험 데이터  
 table 3-2 An experiment data of mesh electrode(0.8mm)

1-메쉬

측정전압[V]	측정전류[mA]	역산저항[ $\Omega$ ]
5.44	24.5600	221.4984
10.35	51.1000	202.5440
20.25	102.0000	198.5294
30.1	153.0000	196.7320
40.7	207.1000	196.5234
51.3	259.1000	197.9931
평균저항		202.3034

#### 4-메쉬

측정전압[V]	측정전류[mA]	역산저항[ $\Omega$ ]
5.5	28.1100	195.6599
10.5	53.3210	196.9205
20.5	109.3700	187.4371
30.25	153.2500	197.3899
40.2	202.5600	198.4597
50.3	257.0600	195.6742
평균저항		195.2569

#### 9-메쉬

측정전압[V]	측정전류[mA]	역산저항[ $\Omega$ ]
5.5	26.7900	205.3005
10.6	56.3000	188.2771
20.1	107.7000	186.6295
30.25	171.2000	176.6939
40.15	226.8000	177.0282
50.3	287.2000	175.1393
평균저항		184.8448

표 3-3 1mm 메쉬전극 모델의 실험 데이터  
 table 3-3 An experiment data of mesh electrode(1.0mm)

#### 1-메쉬

측정전압[V]	측정전류[mA]	역산저항[ $\Omega$ ]
5.5	25.9800	211.7031
10.5	51.7000	203.0948
20.5	110.9000	184.8512
30.8	158.1000	194.8134
40.3	212.4000	189.7363
50.5	261.9000	192.8217
평균저항		196.1698

4-메쉬

측정전압[V]	측정전류[mA]	역산저항[Ω]
5.6	23.9700	233.6254
10.55	51.3000	205.6530
20.2	101.6000	198.8189
30.6	180.6000	169.4352
40.45	235.5000	171.7622
50.7	301.4000	168.2150
평균저항		191.2516

9-메쉬

측정전압[V]	측정전류[mA]	역산저항[Ω]
5.3	27.1700	195.0681
10.6	56.9000	186.2917
20.6	108.7000	189.5124
30.75	178.0000	172.7528
40.3	235.6000	171.0526
50.2	290.7000	172.6866
평균저항		181.2274

표 3-4 2mm 메쉬전극 모델의 실험 데이터  
table 3-4 An experiment data of mesh electrode(2.0mm)

1-메쉬

측정전압[V]	측정전류[mA]	역산저항[Ω]
5.23	27.21921	195.4502
10.6	54.00148	196.2909
20.4	109.1474	186.9032
30.89	163.3605	189.091
40.12	208.0655	192.8239
50.5	287.2236	175.8212
평균저항		189.3967

4-메쉬

측정전압[V]	측정전류[mA]	역산저항[Ω]
5.56	30.3400	183.2564
10.81	58.5000	184.7863
20.25	110.7000	182.9268
30.75	173.5000	177.2334
40.45	216.4000	186.9224
50.7	285.5000	177.5832
평균저항		182.1181

9-메쉬

측정전압[V]	측정전류[mA]	역산저항[Ω]
5.58	32.1300	173.6695
10.6	62.1000	170.6924
20.55	112.8000	182.1809
30.6	169.2000	180.8511
40.5	225.1000	179.92
50.7	290.2000	174.7071
평균저항		177.0035

표(3.1)~표(3.4)까지의 데이터의 저항값을 평균을 낸 것은 아래의 표(3.5)에 나타내었다.

표 3-5 모델 전극의 굵기에 따른 메쉬저항값  
Table 3-5 Mesh resistance value for a diameter of model electrode 단위 [Ω]

전선굵기(직경)	메쉬수		
	1메쉬	4메쉬	9메쉬
0.8[mm]	202.3	195.3	184.8
1[mm]	196.2	191.3	181.2
2[mm]	189.4	182.1	177.0

표(3.1)과 표(3.5)에서 표(3.6)의 모델 전극의 메쉬수에 따른 메쉬계수의 값을 알 수 있었다. 메쉬계수의 값은 판상전극의 접지저항값을 이용하여 최적일 때의 접지저항값으로 상정하고 그 때의 메쉬계수는 1의 값을 가지기 때문에 메쉬계수  $M \geq 1$ 의 값을 가지는 특성값임을 알 수 있었다.

표 3-6 모델 전극의 굵기에 따른 메쉬계수  
Table 3-6 Mesh factors for diameter of model electrode

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

여기서, 데이터를 해석한 결과 지름 2mm 일 때 9메쉬 일 때의 메쉬계수의 값  $M = 1.0007$  이었다, 그리고 판상일 때의 접지저항의 실험 접지저항값은 176.8637이므로 지름 2mm 일 때 9메쉬에서 최적의 메쉬수가 됨을 알 수 있었다. 따라서 전선의 굵기에 따른 망상전극의 접지저항값의 변화를 그림 3-1과 같이 나타낼 수 있고, 메쉬수와 메쉬계수의 관계를 그림3-1에서 그림3-2와 같이 나타내었다.

3-2 검토

수조모델에 의한 접지전극의 축척모델에 대한 추정을 위해서는 다음과 같은 점을 고려해야 한다.

(1) 중단오차(경계의 영향)

이론적으로 접지저항은 무한 원방의 대지까지 포함되고 있으나, 수조실험의 경우 수조의 크기가 유한하므로 모형전극에서 수조까지의 거리가 유한하다. 따라서, 중단저항은 구체적인 실험조건(수조의 크기와 형상)에 의해서 결정되어, 모형형상의 영향은 그다지 받지 않는다. 왜냐하면 축척모델에 따른 접지저항의 변화는 전극부근에서만 발생하고 원격으로 될수록 작아지기 때문이다.

(2) 모형의 가공 정도

접지저항은 전극표면적에 따라 영향을 받으므로 모델전극 제작시 전극표면의 납땀 등을 깨끗하게 처리해야 한다.

### (3) 물의 저항률 변화와 분포

수도물에는 공기가 많이 포함되어 있으므로 실험 며칠 전에 받아두고, 온도에 따른 저항률 변화에 대비해야 한다.

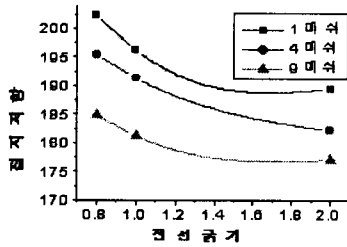


그림 3-1 수조 모델 실험결과

Fig. 3-1 Experimental results of water tank model

## 4. 회귀분석

### 4-1 회귀분석의 회귀식추정

$$0 < \frac{t}{r} < 0.2 \text{의 경우 } R = \frac{M\rho}{4r} \left(1 - \frac{4t}{\pi r}\right) \text{ 로}$$

나타낼 수 있다.

메쉬 접지전극에서의 저항값을  $R$ 이라고 하고, 판상 전극접지의 저항값을  $R'$ 라고 하면 다음과 같은 실험식이 성립된다.

$$R = M \times R' \quad (4-1)$$

그리고 이것을 표 3-1과 각 모델전극의 동선의 굵기에서 표3-2~3-4, 액체저항 측정법에서 구한 물의 저항률  $\rho$ 에서 각 모델전극의 측정저항  $R$ 를 이용하여 표3-5를 구할 수 있었다.

위 식에서  $Y = a + bX$ 라고 가정하면 두 변수값  $X, Y$ 를 이용 직선회귀 하면 표3-7과 같다.

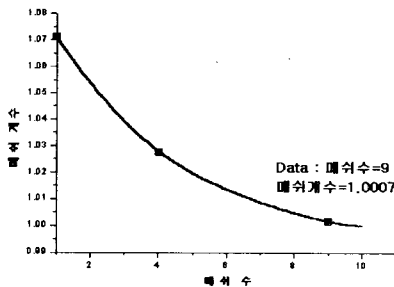


그림 3-2 메쉬수와 메쉬계수의 관계

Fig 3-2 Relation of mesh factor and mesh number

표 3-7 수조모델 실험식의 변수값

Table 3-7 Variable value in water tank model experiment formula

변수 매설지선[mm]	X	Y
0.8	184.300	197.64332
1.0	181.200	194.31888
2.0	177.000	189.92204

$$b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$$

$$\left( \text{단, } S_{xx} : \sum_i (X_i - \bar{X})^2, \right.$$

$$\left. S_{xy} : \sum_i (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \right)$$

위 식과 표 3-7를 이용하여  $b = -1.0007$ 와 같이 되고,  $a = \bar{Y} - b\bar{X}$ 에서  $b$ 를 대입하면  $a = 387.026$ 와 같이 된다. 따라서 회귀식  $\bar{Y} = a - b\bar{X}$ 에 대입하면 다음과 같다.  $Y = 387.026 - 1.0007X$ 가 되어 회귀분석을 위한 추정식이 직선형태의 회귀식이 된다.

### 4-2 회귀분석의 적정성 평가

통계에서 두 개의 변수의 관계를 독립과 종속으로 표현하는데, 여기서는  $X$ (독립변수),  $Y$ (종속변수)로 볼 때 종속변수의 변화 중 독립변수가 설명해 내는 부분의 비율을 나타내는 수치를 결정계수라고 하고 이 결정계수 ( $R^2$ )의 크기는 독립변수의 적정성을 나타낸다.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{a \sum Y_i + b \sum X_i Y_i - \frac{1}{n} \sum Y_i^2}{\sum Y_i^2 - \frac{1}{n} \sum Y_i^2}$$

(단,  $R^2$  회귀선의 결정계수)

위의 식에 의하면 결정계수의 값이 0과 1 사이의 값을 가지면서, 실제로 이 값을 계산한

결과  $R^2 = 0.9988035$  이었고, 또 이 값이 1에 가까운 값에 매우 근접한다는 것은 독립변수의 신뢰성이 매우 높다는 것을 말해주고 있다.

또  $R^2 = 0.9988035$ 의 값은 SST값의 99%는 회귀분석으로 설명되고 있음을 알 수 있다.

회귀분석에 의한  $R^2$ 의 값은 결과 그래프를 그리는 것에 대하여 신뢰성 확보에 충분함을 알 수 있다.

## 제 5 장 결 론

접지는 목적에 따라 많은 종류가 있지만 그 접지 저항치가 낮을수록 바람직하다. 그러나 접지공사의 시공장소에 따라서는 요구되는 낮은 접지저항이 얻어지지 못하여

접지시공에 매우 곤란을 초래할 수 있다. 낮은 접지저항을 얻기 위한 수단으로는 접지전극의 물리적 형상, 상태를 고려해서 행하여지고 있지만 그것에도 한계가 있다.

본 실험의 결과에서 전극의 메쉬계수를 도입하는 것에 의해 축척모델 전극의 접지저항이 정밀도 높게 추정할 수 있고, 또한 직선회귀의 상관계수가 -1에 가깝게 되도록 전극의 크기를 어떤 범위로 선택하는 것에 의해서 충분히 시뮬레이션이 가능하다. 메쉬계수를 얻기 위한 가장 간단한 방법인 수조모델 실험으로 접지저항을 충분히 추정할 수 있고, 접지전극 설계에도 기여할 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- 1) 川瀬監修, 高橋 : 「接地技術入文」, オーム社(昭和61 年), p.93~99
- 2) 高橋 : 「接地設計入文」, オーム社(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 : 「接地電極の形狀係數の推定法」, 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) 이복희, 이승철 共著 : 「The Major Foundational Technics for Grounding Systems」, 義僑, 1999年 9月, p.1~2, 65~69, 81~86, 179~190
- 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) 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, 김세현저 「통계학 개론」 p.293~349, 金鎮天·朴英培·金相牛·申成煥 共著「最新統計學」 p.31~52, 143~198.