

# 병렬 접속에 의한 접지저항에 관한 연구

(A Study on Grounding Resistance by Parallel Connection)

고희석\* · 최종규\*\* · 류희석\*\*\* · 김주찬\*\*\*\*

(Hee-Seog, Koh\* Jong-Kyu, Choi\*\* Hee-Suk, Ryoo\*\*\* Ju-Chan, Kim\*\*\*\*)

## Abstract

For accuracy of an experiment, measure changing of grounding resistance by short period after construction and investigated the efficiency of grounding's different methode of parallel connection. We could confirm on measurement's accuracy ,error through comparing the theoretical value and measured value.

Therefore, reduction ratio can be expected from execution measurement to receive a target resistance value. By the result, we could evaluate the method of rod grounding electrode's proper execution

### 1. 서론

접지의 목적, 종류에 따라 설계하고자 하는 목표 접지저항값이 다르다. 기준,규격에 대한 접지저항이나 상정 지락전류와 전위상승 허용값으로 결정되는 접지저항값에는 여러 가지가 있다. 소요접지저항을 얻기 위해서는 어떠한 접지전극을 사용하고, 어떤 접지공법으로 할 것인가를 선정해야 한다. 접지전극의 기본형상인 반구상 전극의 해석을 바탕으로 알기 쉽게 설명하고 있지만, 현실적으로 반구상 전극을 설계, 시공에 이용하는 것은 거의 없고, 실제적인 접지설계를 할 때 이 전극으로 하는 것은 무리가 있다. 본 논문에서는 봉상전극에 의한 병렬 접지저항을 계산하는 방법을 새로운 각도로 접근하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1. 병렬접지의 아이디어

접지전극으로 가장 널리 보급되어 있는 것이 막대모양전극인데 단일 막대에서부터 여러개 연결되어 있는 연결식 막대까지 이들 전극을 깊이 매설하는 접지의 형태가 있다. 이것은 대지의 저항률과 접지전극의 타설깊이의 상관관계 때문에 깊이 매설하더라도 아래층의 대지의 저항률이 클 경우이 원하는 접지저항을 얻어내는 데는 어려움이 따르는 이유 때문이기에 병렬접속에 의한 접지저항을 얻는 것이 훨씬 유리하다 접지전극의 병렬접속은 전극배열에 의

한 접지저항과 접합계수로 깊이 박는 접지에 비해서 병렬접지의 전극들을 낮게 매설할 수 있다는 것이다.

#### 2.2. 병렬접지

그림 2-1과 같이 접지봉 1개로 소기의 접지저항을 얻을 수 없는 경우 이 부근에 접지봉을 여러개 박아, 이를 병렬로 접속하여 접지전극을 형성하는 방법으로 병렬접지의 전극배열도 직선모양, 삼각형모양, 사각형 모양, 고리모양 등 각종 배열이 있다. 접지전극을 지중에 포설하여 단자부분을 절연전선으로 연결하면 전극을 형성할 수 있어 아주 간편하나 병렬접지의 합성저항을 계산할 경우 저항 소자의 병렬접속과는 다른 특성이 있기 때문에 이 특성을 충분히 이해하지 않으면 병렬접지의 장점을 살릴 수 없게 된다.

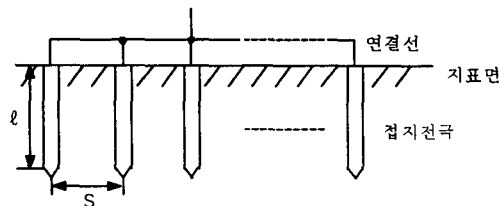


그림 2-1 병렬접지 전극

Fig. 2-1 Electrode of Parallel Grounding

### 2.3. 집합계수

접지전극의 접지저항이 전극 주위의 토양저항을 포함하고 있으므로 전극이 복수인 경우 각 전극 주위의 토양을 단독이라 간주할 수 있을 정도로 전극간격이 떨어져 있으면 문제는 없으나 전극이 근접하고 있을 때는 같은 토양을 공유하는 관계가 된다. 또 접지전류의 유출정도의 관점에서 말하면 전극이 근접해 있을 때는 각 전극에서 유출하는 전류는 흐름에 저항을 받게 되는데 이와 같은 것이 접지전극 병렬접지의 특징이다. 즉, 저항소자의 병렬접속에 비해 접지전극의 병렬접지는 합성저항의 계산방법이 달라지며 그림 2-2 경우의 합성저항  $R_{0r}$  은 다음 식으로 구한다.

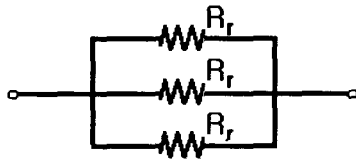


그림 2-2 저항소자의 병렬접속  
Fig. 2-2 Parallel Connection of Resistor

$$R_{0r} = \frac{Rr}{n} \quad (2.1)$$

여기서,  $Rr$  : 저항소자 1개의 저항  
 $n$  : 개수

그런데 접지전극의 경우 합성접지저항  $R_0$  는 다음 식으로 나타낸다.

$$R_0 = \eta \frac{R}{n} \quad (2.2)$$

여기서,  $R$ 은 단독저항,  $n$ 은 개수이고,  $\eta$ 는 집합계수라 하며, 병렬접지의 특성값이다. 그림 2-3과 같은 전극 2개의 병렬접지를 생각해 보면 각 전극에 전하  $Q$ 가 있다고 했을 때 전극의 전위  $V$ 는 다음과 같다.

$$V = \frac{Q}{r} + \frac{Q}{d} = \frac{Q}{r} \left(1 + \frac{r}{d}\right) \quad (2.3)$$

여기서  $r/d = \alpha$ 라 놓고 전전하(全電荷)를  $2Q$ 라 하면, 정전용량  $C$ 는

$$\frac{1}{C} = \frac{V}{2Q} = \frac{1}{2r} (1 + \alpha) \quad (2.4)$$

이다.

따라서 정전용량과 접지저항의 관계식으로부터 2개의 전극의 합성저항  $R_0$ 는

$$R_0 = \frac{\rho}{2\pi C} = \frac{\rho}{4\pi r} (1 + \alpha) \quad (2.5)$$

이며, 또 전극 단독의 접지저항  $R$ 은

$$R = \frac{\rho}{2\pi r} \quad (2.6)$$

이다.

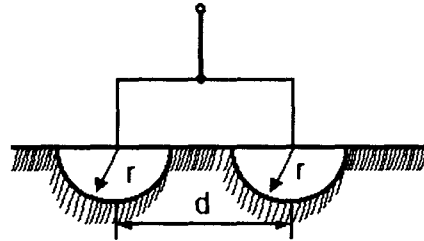


그림 2-3 반구모양 전극의 병렬접지  
Fig. 2-3 Parallel Grounding of Hemisphere Electrode

식 (2.5)과 식 (2.6)을 각각 식 (2.2)에 대입하면 집합계수  $\eta$ 는 다음식과 같이 된다.

$$\eta = (1 + \alpha) \quad (2.7)$$

즉  $\eta$ 는  $\alpha(r/d)$ 의 함수이며, 식 (2.7)에서  $\eta$ 의 성질은

- ① 전극간격( $d$ )이 좁을수록 커진다.
- ② 항상 1보다 큰 값을 갖는다.
- ③ 전극간격이 넓을수록 1에 가까워진다.

여기서  $d$ 가 작다는 것은 앞서 말한 바와 같이 접지전류의 지중에서의 통로가 좁아진다는 것을 뜻하므로 당연히 접지저항이 커지는데 이것은  $\eta$ 가 커진다는 것으로 설명이 되고 식 (2.5)에서도  $R_0$ 가 커진다는 것을 알수 있다. 한편  $d$ 가 크다는 것은 전극 주위의 토양이 각각 단독으로 간주할 수 있어  $\eta$ 도 1에 가까워지는데 이것은 식 (2.2)에 의하면  $R_0 \approx R/n$ 이 되어 식 (2.1)와 같은 관계가 된다. 즉 2개의 전극이면 합성접지저항은 이론적으로 단독접지저항의 1/2이 된다.

그러나 실제로는 이와 같은 일은 있을 수 없는데 그 이유는 부지면적에도 제한이 있어서  $d$ 를 크게 잡는 것이 불가능하기 때문이다.

집합계수  $\eta$ 는 전극의 배열(전극의 치수, 이격거리)에 따라 최적의 합성접지저항을 얻기 위한 하나의 표준이 된다.

### 3. 실험 방법

- 1) 직선배열 실험
- 2) 삼각형 배열 실험
- 3) 사각형 배열 실험

3종류를 하였으며, 실험 방법은 직선배열 실험은 전극수와 이격거리에 따른 접지저항의 저감 비율과 효과를 측정하기 위해 직선 2극, 3극, 4극으로 극수를 높여 가며 배열하여 절연전선으로 접속후 측정하였다.

이격거리는 0.6m부터 최대 5m로 하였는데, 실험장소의 부지 면적의 제한과 함께 현장 접지공사시 직선 4극의 이격거리가 5m인 경우 병렬접속 거리가 20m를 넘게 되므로 시공장소의 효율성을 고려하여 이격거리를 0.6m부터 최대 5m로 하여 측정하였다.

또, 전극수와 이격거리가 동일한 조건일 때 매설 방식에 의한 접지저항 저감 효과를 측정하기 위해 3, 4극 직선배열과 삼각형, 사각형 배열의 매설 방식에 의한 접지저항 변화와 저감율을 실험하였다. 접지전극의 시설 상태를 그림 3-1~5 에 나타내었다.

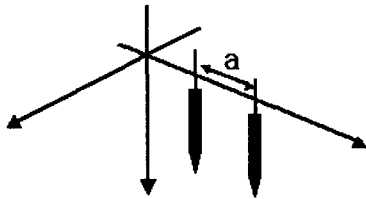


그림 3-1 2극 접지전극의 직선 배열  
Fig 3-1 Straight Arrangement of Grounding Electrode, Two Electrode

그림 3-1처럼 전극의 배열간격(a)를 전극의 간격을 0.6~5[m]로 하였다.

그림 3-2처럼 전극의 배열간격(a, b)를  $a = b$ 를 동일하게 하였으며 전극의 간격을 0.6~5[m]로 하였다.

그림 3-3처럼 전극의 배열간격(a, b, c)를  $a = b = c$ 를 동일하게 하였으며 전극의 간격을 0.6~5[m]로 하였다.

그림 3-4처럼 전극의 배열간격(a, b, c)를  $a = b = c$ 를 동일하게 하였으며 전극의 간격을 0.6~5[m]로 하였다.

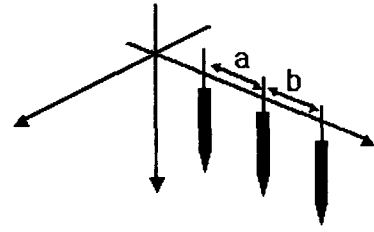


그림 3-2 3극 접지전극의 직선 배열  
Fig 3-2 Straight Arrangement of Grounding Electrode, Three Electrode

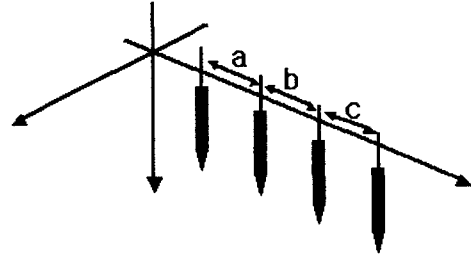


그림 3-3 접지전극의 직선 배열  
Fig. 3-3 Straight Arrangement of Grounding Electrode, Four Electrode

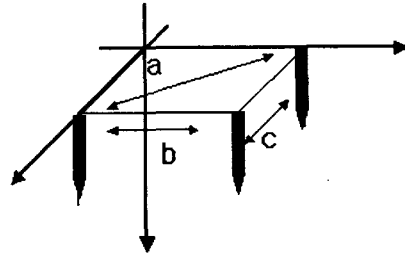


그림 3-4 삼각형 배열에서 접지전극의 시설  
Fig. 3-4 Grounding Electrode Facility of Triangle Arrangement

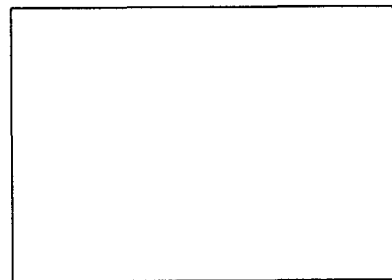


그림 3-5 사각형 배열에서 접지전극의 시설  
Fig. 3-5 Grounding Electrode Facility of Tetragon Arrangement

그림 3-5처럼 전극의 배열간격(a, b, c, d)를 a = b = c = d를 동일하게 하였으며 전극의 간격을 0.6~5[m]로 하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 실험결과

단독의 접지저항 측정값이 50[Ω]일 때 봉상 접지 전극 병렬접속에서 전극수, 이격거리, 매설방식의 변화에 의해 측정된 각각의 접지저항값의 결과를 표4-1과 그림 4-1에 나타내었다.

표 4-1 측정결과

Table 4-1 Measurement Result

이격거리 \ 극수	0.6[m]	1[m]	3[m]	5[m]
2극	29.9[Ω]	29[Ω]	27.8[Ω]	25[Ω]
3극(직선)	29.9[Ω]	21.1[Ω]	20[Ω]	18[Ω]
3극(삼각형)	23.1[Ω]	21[Ω]	19[Ω]	17.9[Ω]
4극(직선)	18.9[Ω]	17.3[Ω]	16[Ω]	14.8[Ω]
4극(사각형)	19[Ω]	17[Ω]	14.1[Ω]	13[Ω]

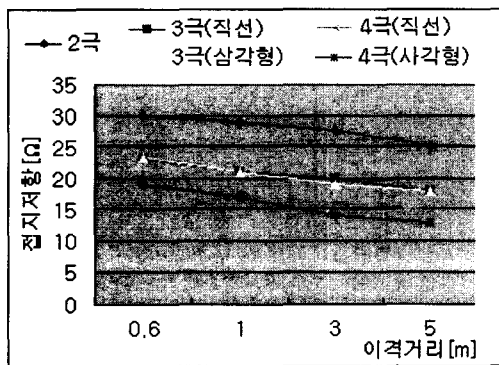


그림 4-1 병렬 접지 실험결과

Fig. 4-1 Experimental Results of Parallel Grounding

##### 1) 전극수, 이격거리에 의한 접지저항

전극수 2개~4개의 증가에 의한 이격거리를 0.6, 1, 3, 5m로 각각 변화시켰을 때 접지저항은 단독의 접지저항값 50[Ω]과 비교해 이격거리에 따라 2극에서 40%~50%, 3극 직선에서 54%~64%, 4극 직선에서 62%~70%의 저감율을 나타냈다.

##### 2) 매설방식에 의한 접지저항

전극수, 이격거리가 동일한 조건일 때 3극 직선은 54%~64%, 삼각형은 53%~64%, 4극 직선은 62%~70%, 사각형은 62%~74%의 차이를 나타냈다.

병렬접지의 저감 효과는 이격거리보다 전극수에 의한 저감율이 현저하게 낮게 측정되었으며, 매설 방식에 의한 저감효과는 비슷한 값을 나타냈다.

단독 접지저항과의 저감 비율은 표4-2와 같으며, 전극수와 매설방식에 의해 이론적으로 산출한 값과 측정값을 비교하여 표 4-3과 그림 4-2에 나타내었다. 삼각형 배열의 집합계수값은 이론식이 정립되지 않아 비교표에는 나타내지 못했지만, 직선 배열의 이론값과 측정값을 비교한 결과 오차가 적은 비슷한 값을 보였다.

표 4-2 저감 비율

Table 4-2 Reduction Ratio

이격거리 \ 극수	0.6[m]	1[m]	3[m]	5[m]
2극	40.2%	42%	44.4%	50%
3극(직선)	54.2%	57.8%	60%	64%
3극(삼각형)	53.8%	58%	62%	64.2%
4극(직선)	62.2%	65.4%	68%	70.4%
4극(사각형)	62%	66%	71.8%	74%

표 4-3 측정값과 이론값 비교

Table 4-3 Comparison Measurement Value and Theory Value

이격거리	0.6[m]	1[m]	3[m]	5[m]
이론값	32.32	29.4	26.45	25.87
측정값	29.9	29	27.8	25

이격거리	0.6[m]	1[m]	3[m]	5[m]
이론값	24.66	21.51	18.26	17.63
측정값	22.9	21.1	20	18

이격거리	0.6[m]	1[m]	3[m]	5[m]
이론값	22.42	18.45	14.46	13.67
측정값	19	17	14.1	13

이격거리	0.6[m]	1[m]	3[m]	5[m]
이론값	22.43	18.45	14.46	13.67
측정값	19	17	14.1	13

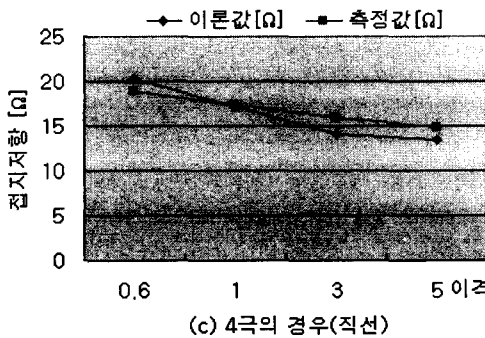
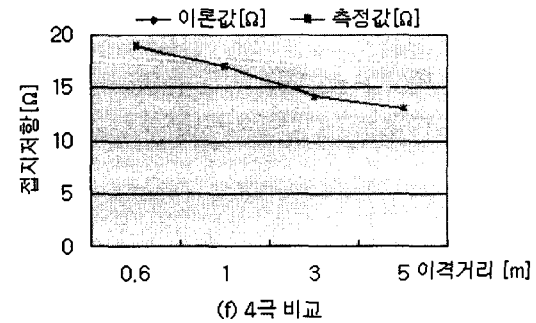
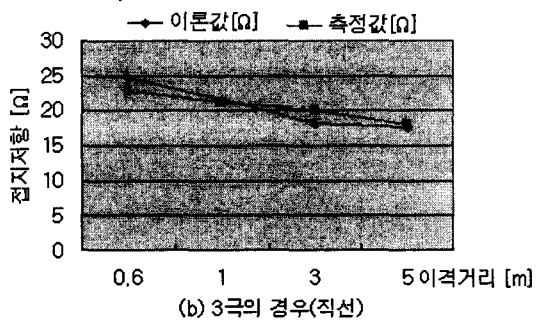
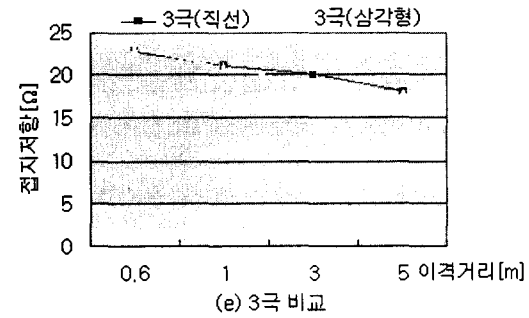
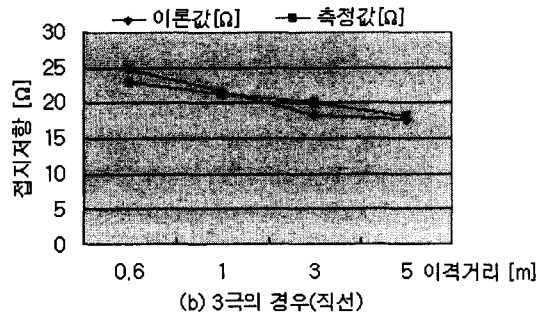
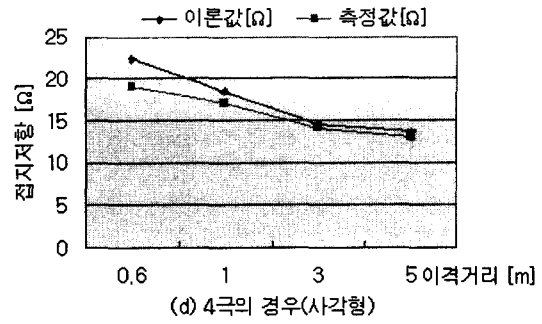
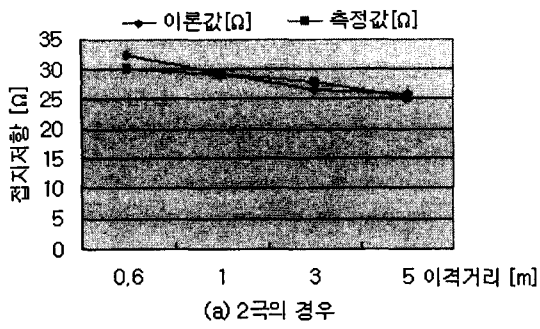


그림 4-2 접지저항의 곡선

Fig. 4-2 Curves of Ground Resistance

## 4.2 고찰

### [1] 접지저항의 이론적 산출

봉상 접지전극의 접지저항 값을 이론적으로 산출하여 측정한 접지저항 값과 비교. 검토함으로써 측정상의 타당성을 확보하면 측정상의 오류를 배제할 수 있다. 하지만 이론적으로 계산한 접지저항값이 실제의 측정결과와 정확히 일치하는 경우보다는 어느 정도의 오차범위를 가지게 된다.

길이 1 [m], 직경  $r_0 = 0.014$ [m]의 봉상 전극을 식 (4.1)을 이용하여 반구모양 전극으로 바꾸어 등가 반지름을 계산하면  $r = 0.176$ [m]가 된다.

$$r = \frac{\ell}{\ln \frac{2\ell}{r_0}} \quad (4.1)$$

단독의 접지저항은 측정값이 50[Ω]이었으며, 등가 반지름값과 봉상 접지극의 접지저항 산출공식인 식 (4.2)에 의해 대지저항율은 산출하였다.

$$R = \frac{\rho}{2\pi\ell} \ln \frac{2\ell}{r} \quad (4.2)$$

대지저항률  $\rho = 130 [\Omega \cdot m]$ 이 된다.

포설모양에 의한 집합계수  $\eta$ 는 식 (4.3)~(4.6)에 의해서 계산 후 n개 전극의 병렬접지 합성저항

$R_0$ 는 식 (4.7)에 의해서 계산할 수 있었다.

여기서  $\alpha = r/d$ 로 한다. (r : 등가반지름, d : 이격거리)

① 2극의 경우

$$\eta = (1 + \alpha) \quad (4.3)$$

② 3극의 경우(직선)

$$\eta = \frac{3(4\alpha^2 - \alpha - 2)}{7\alpha - 6} \quad (4.4)$$

③ 4극의 경우(직선)

$$\eta = \frac{12 + 16\alpha - 23\alpha^2}{12 - 10\alpha} \quad (4.5)$$

④ 4극의 경우(사각형)

$$\eta = 1 + 2.71 \cdot \alpha \quad (4.6)$$

병렬접지 합성저항  $R_0$ 는

$$R_0 = \eta \frac{R}{n} \quad (4.7)$$

## 5. 결론

본 논문에서는 봉상 접지전극의 병렬접속에서 전극수, 이격거리, 매설방식에 의한 접지저항의 변화와 저감효과에 대해서 연구하였다. 전극수는 1개~4개 까지, 이격거리는 0.6, 1, 3, 5m의 조건을, 매설방식은 전극수와 이격거리가 동일한 조건일 때 직선배열과 삼각형, 사각형 배열의 접지저항 변화를 관측하였다.

실험의 정확성을 위해 시공직 후 단기간에 따른 접지저항 변화를 실측하고 병렬접속의 접지방식별 성능을 고찰하였다. 그리고 접지저항 값을 이론적으로 산출하여 측정된 접지저항 값과 비교. 검토함으로써 측정상의 정확도 및 오차를 확인할 수 있었다.

실험의 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 전극수, 이격거리에 의한 접지저항

전극수 2개~4개의 증가에 의한 이격거리를 0.6, 1, 3, 5m로 각각 변화시켰을 때 접지저항은 단독의 접지저항값 50[Ω]과 비교해 이격거리에 따라 2극에서 40%~50%, 3극 직선에서 54%~64%, 4극 직선에서 62%~70%의 저감율을 나타냈다. 따라서 목표 저항값을 얻기 위해서 접지공사 현장을 시험 측정후 시공법에 따라 저감율을 예측할 수 있으므로 봉상 전극 접지공사 시행 여부를 판단할 수 있다.

2) 매설방식에 의한 접지저항

전극수, 이격거리가 동일한 조건일 때 3극 직선은 54%~64%, 삼각형은 53%~64%, 4극 직선은 62%~70%, 사각형은 62%~74%의 차이를 나타냈다. 따라서 병렬접지의 저감 효과는 이격거리보다 전극수에 의한 저감율이 현저하게 낮게 측정되었으며, 매설방식에 의한 저감효과는 비슷한 값을 나타냈다.

실험 결과에서 접지공사 현장의 부지 면적과 장소 여건을 고려하여 직선이나 삼각, 사각형 배열중 경제적인 요구에 부합되는 적절한 시공법을 선정하여 접지전극을 시설하는 방안은 전기공사의 실무에 널리 활용될 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

- [1] 류보혁, 위원석, 김정훈 : 「역전파 알고리즘을 이용한 대지저항률 추정 방법에 관한 연구」, 전기학회논문지, Vol. 51, No. 2, pp. 76~82, 2002.
- [2] 이복희, 이승철, 박종순, 전덕규, 양정재, 박원경, 백승권 : 「여러 가지 접지극 형상에 따른 접지저항의 계절적 변동특성」, 전기학회논문지, Vol. 47, No.10, pp. 1749~1754, 1998.
- [3] 이우선, 정용호, 박진성 : 「알루미늄 스크랩을 이용하여 제작한 접지전극의 전압-전류 특성」, 전기전자 재료학회지 Vol. 9, No. 8, pp. 806~812, 1996.
- [4] 高橋健彦 著 / 金聖模·李炯秀 共訳 : 「接地技術入文」, オーム社/東逸出版社, p. 66~70, 73, 113~122, 2001.
- [5] 高橋健彦 著 / 李鳳容 監修 / 李炯秀 訳 : 「接地設計入文」, オーム社/東逸出版社, p. 99~100, 2001.
- [6] 이복희, 이승철 共著 : 「접지의 핵심 기초 기술」, 義濟, p.1~21, 65~69, 81~86, 125, 1999
- [7] 川瀬 太郎 著, 이증선訳 : 「현장의 接地技術과接地시스템」, 省安堂, p.11~15, 1998