

# 현장실증시험에 의한 대지저항률별 접지저항 보정계수의 결정

(The Determination of Corrective Coefficient for Ground Resistance about Variation of Soil Resistivity by Field Test)

심건보\* · 김경철\* · 이형수\*\* · 박재덕\*\*\* · 박상만\*\*\*\*

\*홍익대학교 · \*\*산업안전공단 · \*\*\* 전력연구원 · \*\*\*\* 한국전력공사

(Keon-Bo Shim · Kung-Chul Kim · Hyung-Su Lee · Jae-Duck Park · Sang-Man Park)

## Abstract

Usually, equations that calculate ground resistance of earth electrode was already informed well by form of earth electrode.

But, when apply on the spot because general expressions are very insufficient at point that calculate exact ground resistance value by variation of earth electrode, and constant value that corrective coefficient for ground resistance calculation is fixed regardless of change of the earth resistivity specially is presented, it is actuality that difficulty is.

Therefore, in this study, about these problem, proposed corrective coefficient for calculation of ground resistance according to change of the earth resistivity.

## 1. 서 론

전력설비에서 고장은 필연적이며, 특히 지락고장이 발생하면 고장전류가 대지로 흘러가게 되어 전기설비의 구내 및 주변에 전위차가 나타나게 되어 인체의 안전이나 설비의 절연에 위협을 초래하게 된다. 더욱 최근에 전력사용의 수요가 급속하게 성장함에 따라 전력설비도 증대되어 전력설비의 고장용량도 증가하고 있으므로 상대적으로 고장전류에 의한 대지전위의 상승이 커져서 인체의 안전이나 설비의 절연 등에 미치는 위험도 증대되고 있는 실정이다. 이러한 위험에 대비하기 위한 것이 전기설비의 접지시스템으로 접지저항의 크기만으로도 충분히 감전 보호용 접지의 기능을 달성한 것으로 평가할 수 있다.

일반적으로 접지전극의 접지저항을 계산하는 식은 이미 접지전극의 형태별로 잘 알려져 있다. 그러나 일반식들은 접지전극의 변형에 따른 정확한 접지저항 값을 계산하는 점에서는 매우 미흡한 것이 현실이며, 특히 접지전극의 재료를 판매하는 회사 등에서 제공하는 접지저항 계산식들은 대지저항률의 변화에 따라 다른 보정계수를 적용해야 함에도 불구하고 대지저항률의 변화와 상관없이 일정한 값을 적용하도록 제시되고 있어서 현장에서 적용할 때의 어려움이 있는 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 조금이나마 해결해 보고자 대지저항률의 변동에 따라 접지저항의 계산을 위한 보정계수를 다르게 적용할 수 있도록 대지저항률이 변수인 보정계수의 계산식을 개발하였다.

## 2. 대지저항률의 측정 및 분석

### 2.1. 대지저항률의 측정

접지전극의 접지저항 크기에 가장 큰 영향을 미치는 파라미터는 대지저항률이다. 따라서 접지저항의 변화를 분석하기 위해서는 대지저항률의 변화도 함께 측정하고 분석하여야 하는 중요한 요소이다. 따라서 본 연구에서는 그림 1과 같은 대지저항률의 측정 방법인 Wenner의 4 전극법으로 측정하였다.

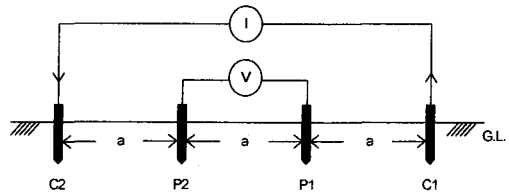


그림 1. Wenner 4 전극법

### 2.2. 대지저항률의 분석

측정된 대지저항률의 데이터를 분석하기 위하여 접지시스템 전문 해석 프로그램인 CDEGS의 RESAP모듈을 사용하여 다층 구조의 대지 파라미터로 분석하였다. 또한, 정확한 접지 시뮬레이션을 위해서는 다층 구조의 대지 파라미터를 사용하여야 하지만 현실적으로 현장에서의 인식은 다층 구조로 표현되는 것보다는 단일 지층의 대지저항률로 표현하는 것이 일반적이다. 따라서 본 연구에서는 실질적으로 오차가 크게 나타날 수 있지만

다층 구조의 대지 파라미터로 분석된 자료를 본 연구에서 개발한 등가 대지저항을 산정 프로그램을 이용하여 단일 지층의 대지저항으로 등가화 하였다.

### 3. 접지저항의 측정

접지저항의 측정방법에는 2전극법, 3전극법 및 전위강하법 등의 여러 가지 방법이 있으며, 이 중에서 전위강하법이 실용적으로 가장 일반적인 방법으로서 본 연구에서는 그림 2와 같은 전위강하법으로 시험 시공한 접지전극의 접지저항을 측정하였다.

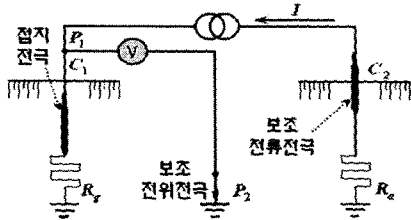


그림 2. 접지저항 측정의 원리

### 4. 접지저항의 계산과 측정계수

#### 4.1. 접지저항의 계산

봉상 접지전극에 대한 접지저항의 계산은 접지전극을 병렬로 시공하는 경우에 접지전극간의 결합계수를 고려하여야 하므로 전위분포 계산에 의한 접지저항 계산식인 식 (1)을 이용하였다.

$$R_0 = \frac{V}{I} = \frac{\rho}{[1, 1, 1, \dots, 1] F^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}} \quad (1)$$

여기서,

$$F = \begin{bmatrix} R_f & f(S_{12}) & \dots & f(S_{1n}) \\ f(S_{21}) & R_f & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \\ f(S_{n1}) & \dots & \dots & R_f \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$f(x) = \ln \frac{1+e}{1-e}$$

$$e = \sqrt{1 - \frac{r^2 + \lambda}{l^2 + \lambda}}$$

$$\lambda = d^2 - r^2$$

$d$ : 전극간 거리

### 4.2. 측정계수의 환산

각각의 접지전극에 대하여 단일층의 대지구조로 표현된 대지저항율에 대한 계산된 접지저항과 측정된 접지저항의 크기에 대한 비례상수(측정계수)를 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{측정계수} = \frac{\text{측정한 접지저항}}{\text{계산식으로 계산한 접지저항}} \quad (3)$$

그러면 대지저항율의 변화에 대한 각각의 접지전극에 대한 측정계수들을 구할 수 있다.

본 연구에서는 대지저항율에 대한 보정계수의 관계식을 식 (4)와 같이 모델링을 하고, 측정계수들에 대하여 최소자승법(Least Square method)에 의하여 대지저항률 변화에 대한 보정계수 모델의 파라미터를 구할 수 있다.

$$\text{보정계수} = A1 * \text{EXP} \left( -\frac{x}{d} \right) + y0 \quad (4)$$

여기서,  $x$ : 대지저항률

### 5. 접지전극별 보정계수의 결정

#### 5.1. 접지전극의 선정

접지전극의 보정계수를 결정하기 위하여 접지전극의 종류는 접지동봉, 콘크리트 접지봉, 저감제+동봉 전극 및 심타용 용융아연도 접지봉(심타용 강봉) 등의 봉상 접지전극을 선정하였다. 선정된 접지전극을 대지저항율이 서로 다른 5개 지역에서 시험 시공하여 매월 정기적으로 약 1년에 걸쳐서 접지저항 및 대지저항율을 측정하였다. 그림 3은 선정된 접지전극의 시공 모양이다.

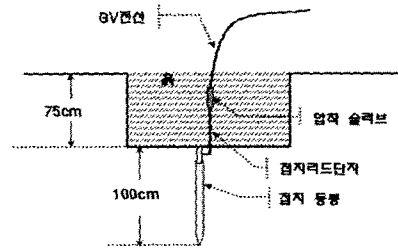


그림 3(a) 접지동봉

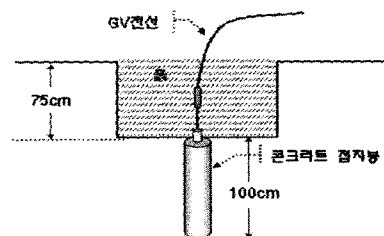


그림 3(b) 콘크리트 접지봉

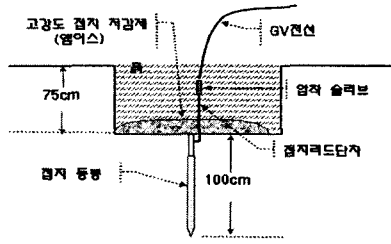


그림 3(c) 저감제+동봉

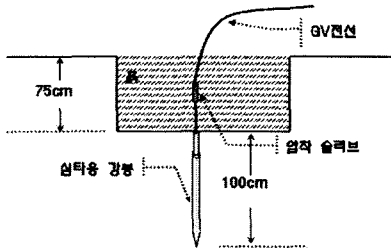


그림 3(d) 침타용 강봉

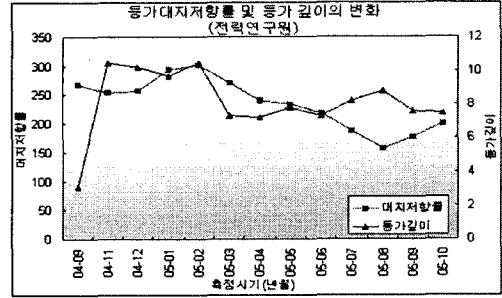


그림 4 등가 대지저항률 및 깊이의 변화

## 5.2. 대지저항률의 분석 결과

시험 시공한 지역에서 측정한 대지저항률에 대하여 다층구조로 분석하였으며, 일반적으로 대지저항률을 표현하는 단일 지층의 대지저항률로 등가화 하였다. 표 1 과 그림 4는 그 결과를 보인 것이다.

표 1 대지저항률 해석 결과

측정시기 [년-월]	대지저항률 [Ω-m]	지층깊이 [m]	등가대지저항률 [Ω-m]	등가깊이 [m]
04-09	274.66	2.88	267.7	3.1
	200.72	-		
04-11	249.35	10.22	253.3	10.5
	545.97	-		
04-12	252.95	9.89	256.9	10.2
	535.73	-		
05-01	290.69	9.44	293.6	9.7
	464.65	-		
05-02	297.54	10.24	300.7	10.5
	512.63	-		
05-03	265.50	7.02	269.9	7.3
	464.52	-		
05-04	234.87	6.91	239.8	7.2
	462.41	-		
05-05	228.38	7.48	233.4	7.8
	495.89	-		
05-06	212.71	6.97	218.2	7.3
	492.71	-		
05-07	181.73	7.87	187.1	8.2
	519.68	-		
05-08	153.35	8.43	157.2	8.8
	403.09	-		
05-09	172.82	7.28	177.1	7.6
	401.39	-		
05-10	195.03	7.20	200.3	7.5
	478.72	-		

## 5.3. 접지저항의 보정계수 계산

시험 시공한 지역에서 접지전극에 대하여 측정한 접지저항 값과 단일 지층으로 표현된 대지저항률을 이용하여 계산한 접지저항 값으로부터 보정계수를 구하였다. 이 보정계수는 대지저항률의 변화에 따라 분포하며, 분포된 보정계수로부터 각각의 접지전극별 보정계수를 최소자승법으로 보정계수 모델의 파라미터를 결정할 수 있는 것이다.

### 가. 접지동봉

가장 일반적으로 많이 사용되고 있는 접지동봉 전극에 대하여 접지저항을 계산하기 위한 보정계수를 산출한 결과를 그림 5에 보였다.

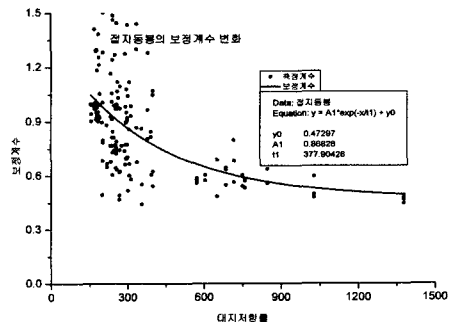


그림 5. 접지동봉의 보정계수

그림에서 보는 바와 같이 대지저항률의 크기가 증가함에 따라 접지저항 보정계수의 크기도 감소하며, 대지저항률의 크기가 커질수록 보정계수의 변화가 지수 함수적으로 감소하다가 변화가 거의 없어지는 것을 알 수 있다.

### 나. 콘크리트 접지봉

콘크리트 접지봉 전극에 대하여도 접지저항을 계산하기 위한 보정계수를 산출하였으며, 그림 6은 대지저항률별 보정계수의 결과를 보인 것이다.

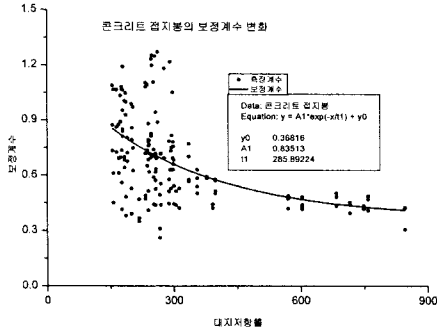


그림 6. 콘크리트 접지봉의 보정계수

#### 다. 저감제+동봉 접지극

접지동봉을 타입하고 그 위에 도전성 저감제(엠어스)를 시공한 저감제+동봉 전극에 대하여도 접지저항을 계산하기 위한 보정계수를 산출하였으며, 그림 7은 대지저항을 별 측정계수의 분포와 산출한 보정계수를 보인 것이다. 이 전극의 보정계수는 대지저항이 낮은 지역에서 급격한 감소 현상을 보이는 것으로 나타났다.

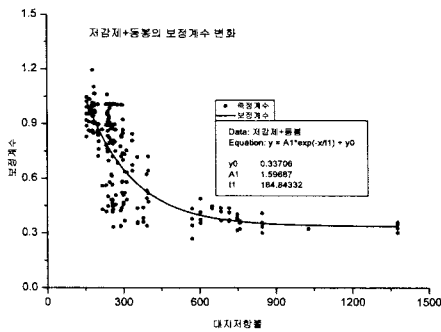


그림 7. 저감제+동봉 전극의 보정계수

#### 라. 심타용 용융아연도금 접지봉

심타용 용융아연도금 접지봉 전극에 대하여도 접지저항을 계산하기 위한 보정계수를 산출하였으며, 그림 8은 심타용 접지봉의 대지저항을 별 측정계수의 분포와 산출한 보정계수를 보인 것이다.

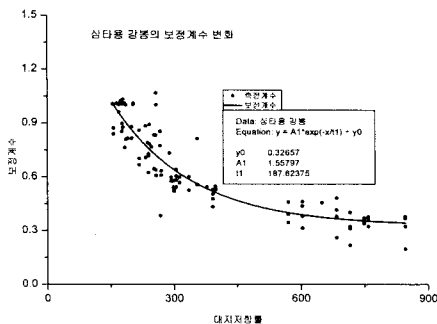


그림 8. 심타용 강봉의 보정계수

## 6. 보정계수에 의한 접지저항 계산

일반적으로 알려진 접지전극의 형태별 접지저항 계산식은 접지재료의 특성을 반영하지 않은 식으로서 현장에서 직접적으로 적용하기에는 여러 가지의 어려움이 있다. 특히 접지전극 재료를 제작하여 판매하는 회사 등에서 제공하는 일정한 값인 보정계수를 이용한 접지저항을 그대로 적용하여 설계 등에 반영하게 되면 커다란 오류가 발생할 수 있게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 접지재료별의 보정계수도 필요하지만 대지저항의 변화와 접지전극의 길이 등에 대한 종합적인 보정계수가 필요한 것이다.

따라서 본 연구에서는 현장에서 시험 시공한 접지전극에 대한 접지저항의 측정을 통하여 접지전극 재료별로 대지저항을 변수로 하는 새로운 보정계수를 산출하였으며, 산출된 보정계수를 이용하여 접지전극의 재료별로 대지저항에 따라 접지전극의 수를 변화시키면서 병렬 접지전극사이의 거리를 2 [m]로 하여 접지저항을 계산하였다.

대지저항은 50, 100, 200, 300, 500, 800, 1000, 1500, 2000 및 3000 [ $\Omega$ -m)으로 변화시키고, 접지전극의 수를 한 개부터 100개까지 변화시키면서 접지저항의 크기를 계산하였다.

### 6.1. 접지동봉

접지공사에서 가장 일반적으로 사용되는 접지동봉 1[m]에 대하여 대지저항에 따라 변화하는 보정계수를 이용하여 접지저항을 계산하고, 그 결과를 그림 9에 보였다.

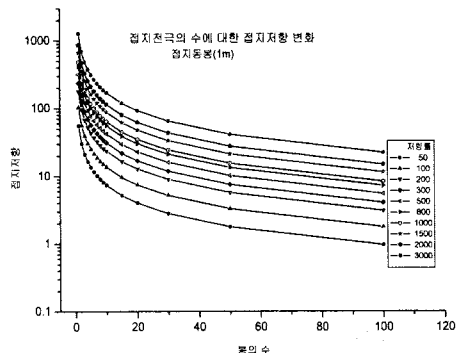


그림 9. 접지동봉의 접지저항 변화

### 6.2. 콘크리트 접지봉

콘크리트 접지봉 1[m]에 대하여도 대지저항에 따라 변화하는 보정계수를 이용하여 접지저항을 계산하고, 그 결과를 그림 10에 보였다.

## 7. 결론

접지시스템을 설계하거나 시공을 위하여 접지저항의 크기를 알고자 하는 경우에 접지전극에 대한 접지저항의 크기를 계산하는 식은 일반적으로 접지동봉이나 나동선을 그대로 매설하는 경우에 대한 식들이 제시되어 있다. 그러나 최근에는 접지동봉이나 나동선만을 매설하는 것이 아니라 접지저항의 저감을 위하여 여러 종류의 저감제를 사용하거나 특수한 형태의 접지전극들이 많이 사용되고 있다. 이러한 경우에 접지저항의 크기를 계산하기 위해서는 접지전극을 제조하여 판매하는 회사 등에서 제시하는 보정계수를 적용하게 되는데, 이 보정계수는 대지의 조건인 대지저항율이나 사용하는 접지전극의 수에 따라 다른 값이 적용되어야 하지만 조건이 다르더라도 항상 일정한 값을 사용하게 된다.

본 연구에서는 대지저항율의 변화에 따라 크기가 바뀌는 접지저항 계산의 보정계수를 접지전극의 재료별로 제안하였으며, 산출된 접지저항의 보정계수를 이용하여 각각의 접지전극 재료별로 대지저항율의 변화에 대한 병렬접지전극의 수에 따른 접지저항을 계산하였다.

본 연구에서 제안하는 대지저항을 변화에 따른 접지저항의 보정계수는 새롭게 제안되는 내용으로서, 특히 시험시공을 통하여 얻어진 결과로서 현장에서 직접 적용이 가능할 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

- (1) Tagg, G. F., Earth Resistance, George Newnes Limited, 1964.
- (2) 高橋健彦, 이형수역, 接地設計 入門, 동일출판사, 옌사, 1993.
- (3) 高橋健彦, 이형수역, 接地技術 入門, 동일출판사, 옌사, 1995.
- (4) C. J. Blattner, "Prediction of Soil Resistivity and Ground Rod Resistance for Deep Ground Electrodes", IEEE PAS, Vol. 99, No. 5, Sep./Oct. 1980, pp 1758~1761
- (5) IEEE Std. 81, IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance and Earth Surface Potentials of a Ground System, 1983.

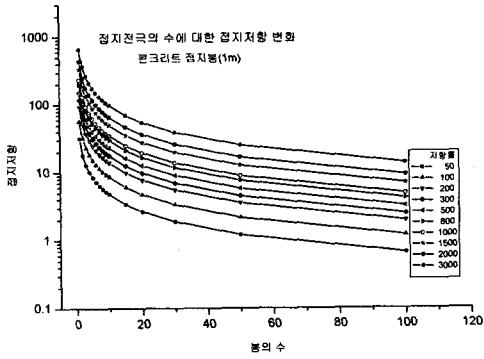


그림 10. 콘크리트 접지봉의 접지저항 변화

### 6.3. 저감제+동봉 접지극

저감제와 1[m] 동봉을 사용한 전극에 대하여도 대지저항율에 따라 변화하는 보정계수를 이용하여 접지저항을 계산하고, 그 결과를 그림 11에 보였다.

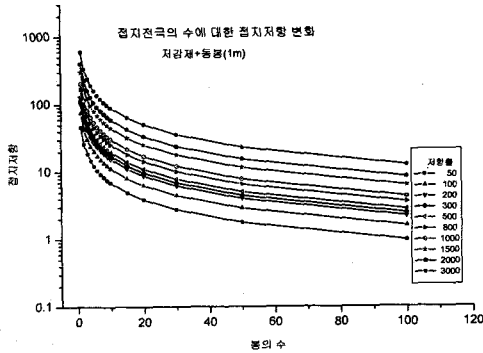


그림 11. 저감제+동봉의 접지저항 변화

### 6.4. 심타용 용융아연도금 접지봉

심타용 용융아연도금 접지봉(강봉) 1[m] 전극에 대하여도 보정계수를 이용하여 접지저항을 계산하고, 그 결과를 그림 12에 보였다.

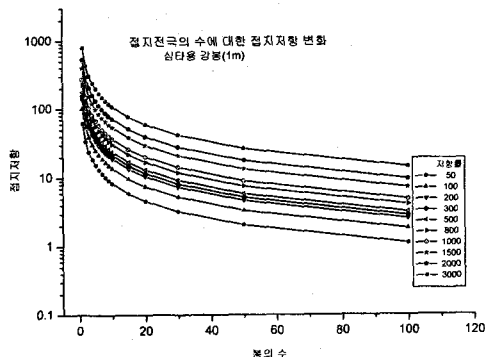


그림 12. 심타용 강봉의 접지저항 변화