

전위강하법을 이용한 접지저항 측정법 개선에 관한 연구

박덕열, 위원석, 류보혁, 김정훈  
 홍익대학교 전기제어공학과

A Study on the Measurement of Grounding Resistance Using the Fall-of-Potential Method

Park, Duk-Yul Wee, Won-Seok Ryu, Bo-Hyuk Kim, Jung-Hoon  
 Dept. of Electrical Engineering, Hong-Ik University Seoul, Korea

**Abstract** - This paper shows the accuracy of 61.8% rule which is based on the fall-of-potential method in field measurement of earth resistances, and proposes the measurement method which is applicable to the industries. This paper also finds the minimum distance to obtain the horizontal position in the earth resistance curves, and proposes the standard form for measurement of earth resistance using the fall-of-potential method.

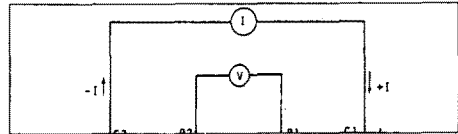
1. 서 론

접지 시공에 있어서 접지저항의 측정은 안전하고 적절한 접지공사를 위해서 반드시 필요하다. 접지저항의 측정법중 우리 나라의 접지시공현장에서 가장 많이 사용하고 있는 접지저항 측정방법은 전위강하법이며, 이중 전위강하방식을 이용한 측정장비가 가장 많이 보급되어 있다. 전위강하법으로 접지저항을 측정하기 위해서는 대지 전위가 0전위가 되는 일정부분이 나타나야 하며, 이를 위해서는 전극간에 충분한 간격이 필요하다. 하지만 현장에서는 최소 간격에 대한 기준이 없는 실정이며, 장소의 제한적 요인 등으로 측정자의 임의판단에 의해서 오차가 발생할 수 있다.

본 연구에서는 전위강하법 접지 측정방법에 이론이 되는 61.8%법칙이 실제 측정에서 잘 맞는지의 여부를 확인하고 실제 적용이 가능한 측정기법을 제시하였다. 또한 0전위 수평부분이 발생하기 위한 최소 간격을 확인하여, 접지저항 측정시에 장소의 제한을 극복하는 방안을 제시하였고, 실험을 통해 E-P-C 전극간의 최적의 거리를 제시하였으며, 이를 통해 현장의 접지저항 측정에 대한 기준을 마련하였다. 또한 Wenner의 4전극법에 의해 구한 대지저항률로 계산된 접지저항과, 전위강하법을 이용하여 측정된 접지저항과의 오차를 확인하였다. 전위강하법의 측정방식 중 전위강하식과 전위차계식의 측정결과를 서로 비교하였다. 또한 전극배열이 잘못된 경우 문제점을 발견하였으며, 토양이 객토일 경우에 토양의 비균질성에 의하여 전위강하법으로 접지 측정시에 문제점이 있음을 지적하였다.

2. 대지저항률과 접지저항의 측정

**2.1 Wenner의 4전극법을 이용한 접지저항 산출**  
 대개의 대지고유저항 측정기술은 Wenner의 4전극법을 변형시킨 기술이다. Wenner 전극법은 전극간격이 그다지 크지 않아도 되므로 대부분의 경우에 적용되어 왔다. 일반적으로 이 측정에 사용되는 기기가 다양하고 측정결과와 해석 방법이 간단하므로 적당한 대지고유저항 측정방법으로 추천되고 있다.



<그림 1> Wenner의 4전극법

Wenner 4전극법 배열은 <그림 1>에 보인 바와 같다. 외부 전류전극(C1, C2)에 전류 I를 주입시키고 내부의 전위전극(P1, P2)간의 전위차 V를 측정하여 대지저항  $R = V/I [\Omega]$ 을 구한다. 이 대지저항 R은 전극간격 a일 때의 겘보기 대지고유저항  $\rho_a$ 와 비례하는데 이를 식으로 쓰면 다음과 같다.

$$\rho_a = a \cdot \frac{V}{I} = a \cdot R \tag{1}$$

$\alpha$ 는 전극 배열 기하학적 계수로서 Wenner 전극법인 경우  $\alpha = 2\pi a$ 이므로 식(1)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\rho_a = a \cdot R = 2\pi a \cdot R [\Omega \cdot m] \tag{2}$$

이와 같이 구한 전극 간격에 따른 겘보기 대지고유저항들이 있으면 분석적방법, 실험적방법, 그래픽방법등을 통하여, 대지의 층구조와 등가대지고유저항  $\rho$ 를 구할 수 있다. 다층구조 토양모델을 단일 균질 토양모델로 변환하는 방법이 알려져 있지 않으므로, 봉상전극이 있는 지층의 대지고유저항을 환산할 때 사용하는 다음의 방법을 사용해서 토양의 평균대지고유저항을 결정한다.

$$\rho_a = \frac{l}{\frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} + \frac{h_3}{\rho_3} + \dots + \frac{h_n}{\rho_n}} [\Omega \cdot m] \tag{3}$$

- $\rho_n$ : n층의대지고유저항 [ $\Omega \cdot m$ ]
- $h_n$ : n지층의두께 [m]
- l: 전극의길이 ( $l = h_1 + h_2 + \dots + h_n$ ) [m]

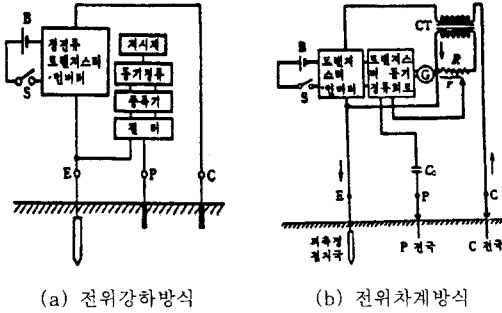
2.2 전위강하법에 의한 접지저항 측정

전위강하법은 산업현장에서 대중적으로 사용하고 있으며 전위강하식과 전위차계식이 있다.

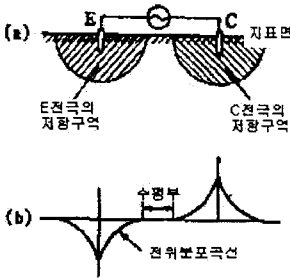
첫째, 전위차계식은 시험전류에 비례하는 전류를 기준 저항  $R_0$ , 측정회로  $R_x$ 와 직렬 연결된 회로에 흐르게 한 후 기준전압과 접지도체의 전위상승을 검류계를 통하여 검출, 비교하는 방식의 접지저항 측정방식이며 검류계가 영전위를 지시하도록 기준저항 다이얼을 조정하였을 때 그 다이얼에서 직접 접지저항값을 읽을 수 있다. 접지 측에  $V_0$ 전압을 가하면 직렬 연결된  $R_x$ 값 즉 접지저항 값을 구할 수 있다.

둘째, 전위강하식은 정전류원을 사용하여 일정한 시험

전류를 흘리고 접지도체의 전위상승을 고임력 저항의 전압계를 측정하는 방식이며 전압계의 지시는 접지저항에 비례하여 그 값을 직접 읽을 수 있다. 전위강하법에 의한 접지저항 측정은 보조적인 전류귀환전극과 측정대상 접지계통으로부터 거리를 증가시키면서 수행하는 일련의 대지표면전위 측정에 의한다.



〈그림 2〉 접지저항 측정회로



〈그림 3〉 전위강하식의 원리

전위강하법에서 전극의 일반적인 배치는 〈그림 3〉과 같다. 〈그림 3〉-(a)와 같이 결선하고 접지극 E-전류보조극 C 사이에 교류전압을 인가하여 전류를 흘리면 접지전극 주위의 전위는 〈그림 3〉-(b)와 같은 형태로 상승하게 된다. 여기서 전압보조극 P가 〈그림 3〉-(b)의 수평 부분에 위치하여야 대지전위 상승값을 정확히 인식하여 음의 법칙에 의한 정확한 접지저항 값을 얻을 수 있지만 E-C전극사이의 간격이 충분하지 않으면 〈그림 3〉-(a)에서와 같이 E극에 의한 전위와 C극에 의한 전위가 중첩하여 〈그림 3〉-(b)와 같이 수평부분이 발생하지 못하므로 원하는 접지저항값을 측정할 수 없게 된다. 따라서 접지극 E와 전류보조극 C는 충분히 거리를 두어 수평부분이 발생해야 하며 P점이 위치하여야 할 범위가 E-C 사이 수평부분 내에 위치해야 정확한 접지저항값을 측정할 수 있게 된다. 위의 그림에서 반구모양의 접지저항은  $\rho/2\pi r_1(\Omega)$ 이고, E전극에 I(A)가 흘러 들어가므로 반구모양 전극의 중심으로부터  $r_1(m)$ 인 점의 전위는

$$E = \frac{\rho I}{2\pi r_1} [V]$$

이고, E-P간의 전위차는 다음과 같다.

$$V = V_1 + V_2 = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{P} - \frac{1}{C} + \frac{1}{C-P} \right) [V]$$

여기서  $R = \frac{\rho}{2\pi r_1}$  이므로  $E = V$ 를 이용하면

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{C} - \frac{1}{C-P} = 0$$

이다. 따라서 0전위가 되는 거리 P는

$$P = \frac{-C \pm \sqrt{5C^2}}{2} = C \left[ \frac{\sqrt{5}-1}{2} \right] = 0.618C$$

이다. 그러므로 이론적인 P보조극의 위치는 E-C간 거리의 61.8[%]의 위치에 존재해야 정확한 접지저항값을 얻을 수 있다.

### 3. 사례연구

#### 3.1 자료수집

본 연구에서 제시하고자 하는 우리나라 시공현장에서 사용하기에 가장 적합한 접지저항 측정방법을 알아보기 위해 다음의 방법으로 자료를 수집하였다.

우선 길이 1.5m, 지름 14mm의 접지동봉 2개를 현장에서 시공하여 결선한 후 Wenner의 4전극법을 이용하여 결보기 대지저항을 측정하였다. 여기서 얻어진 값으로 개발된 프로그램을 이용하여 등가대지저항을 얻었고 제시된 관계식을 이용하여 병렬합성저항값을 구했다. 여기서 전위강하법을 이용하여 접지저항값을 실측한 후 두 값을 상호 비교하였으며 산업현장에서는 대부분 한전배전선로 다중접지선과 시공된 접지가 병렬연결된 상태에서 측정되고 있는 실정이므로 이미 시공된 접지설비에서도 접지저항을 측정하여 E-C극 사이에서 대지전위의 수평부분이 발생하는 지점을 알아보았다.

여기서 E, P, C극의 잘못된 배치에서 발생하는 현상을 관찰하기 위해 전위보조극 P를 E-C범위에서 벗어난 상태에서 측정된 결과를 수집하였다. 각 측정에서는 차이점을 확인하기 위해서 전위차계식과 전위강하식을 동일한 조건에서 병행 측정하였다. 측정방법에 있어 전위차계식의 시험전압이 500V이고 전위강하식의 시험전류가 5mA이기 때문에 대지전위상승이 미소하였다. 따라서 대지전위가 "0"볼트가 되는 지점이 나타나기 위해서는 전극간의 간격이 20m정도면 만족하겠지만 측정기법의 신뢰도를 높이기 위해 50m간격으로도 측정 후 상호 비교하여 오차가 발생하는지의 여부를 확인하였다.

#### 3.2 사례연구 결과 및 분석

##### 3.2.1 우리나라의 대지구조

현장에서 실측을 하기에 앞서 조사된 데이터를 활용하여 먼저 우리나라의 대지의 일반적인 구조를 알아보았고 〈표 1〉에 표시하였다. 여기서 얻은 결과는 4전극법을 이용한 접지저항값을 계산할 때 활용하였다.

〈표 1〉 수집한 대지저항률과 지층깊이의 산술평균값

구분	$\rho_1$	$\rho_2$	$\rho_3$	$\rho_{30}$	$h_1$	$h_2$
	663	543	426	460	0.23	2.4

- $\rho_1$  : 지하 1층의 평균결보기 저항률( $\Omega \cdot m$ )
- $\rho_2$  : 지하 2층의 평균결보기 저항률( $\Omega \cdot m$ )
- $\rho_3$  : 지하 3층의 평균결보기 저항률( $\Omega \cdot m$ )
- $\rho_{30}$  : 지하 30m까지의 평균결보기 저항률( $\Omega \cdot m$ )
- $h_1$  : 지하 1층의 평균깊이 [m]
- $h_2$  : 지하 2층의 평균깊이 [m]

##### 3.2.2 병렬합성저항값의 산출

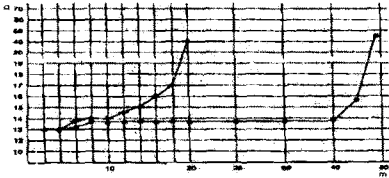
전위강하법을 이용하여 실측된 데이터 중 평균치에 가까운 데이터를 샘플링하고 저저항, 중저항, 고저항으로 분류하여 각 항목별 계산 후 그 값을 〈표 2〉에 보였다.

〈표 2〉 샘플링한 대지의 병렬합성저항

구분	고유저항 ( $\Omega \cdot m$ )	결합 계수	등가 반지름 (m)	집합 계수	수치적 접지저항 ( $\Omega$ )	병렬 합성저항 ( $\Omega$ )
저저항	97.9	0.248	0.248	1.248	27	16.8
중저항	542.2	0.248	0.248	1.248	151	94.2
고저항	1410.5	0.248	0.248	1.248	394	245.8

### 3.2.3 실측된 접지저항

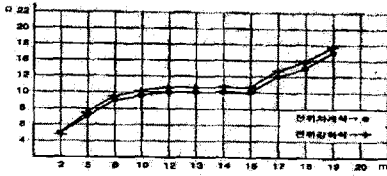
전위강하법을 이용하여 여러 방법으로 접지저항을 측정해 보았다. <그림 4>는 저항의 크기별 및 E-P간의 간격에 따른 저항값의 변화를 보인다.



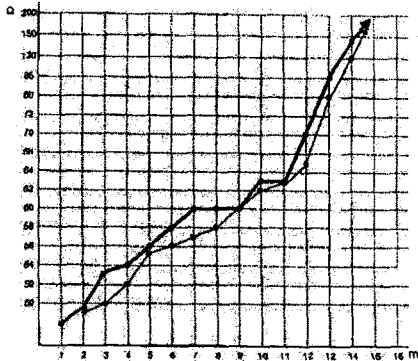
<그림 4> E-C가 20m, 50m일 때의 저항곡선

여기서 E-C간격이 50m일 때에는 수평부분이 넓게 분포되고 20m에서는 수평부분이 약 2m~3m정도로 약 50%위치에서 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 산업 현장에서는 E-C간격을 보통 20m이내의 간격을 두고 측정하므로 E-C구간을 20m와 50m의 간격으로 측정해 본 결과 <그림 4>에서와 같이 50m간격의 측정값이 20m간격 측정값보다 다소 낮은 값을 나타내나 오차가 적으므로(중저항의 경우 약 4%정도) 20m 정도만 거리를 두어도 측정에 무리가 없음을 알 수 있다.

또한 측정방법 중 전위차계식과 전위강하식의 차이를 알아보기 위해 E-C전극의 간격이 20m와 10m일 때로 구분하여 조사한 결과 전위강하식이 다소 낮은 값을 나타내었으나 오차값이 적어(약 0.6%정도) 두 가지 방법 모두가 적합하다고 볼 수 있었으며 <그림 5>는 전극 간격이 20m일 때이다.



<그림 5> 전위차계식과 전위강하식 비교

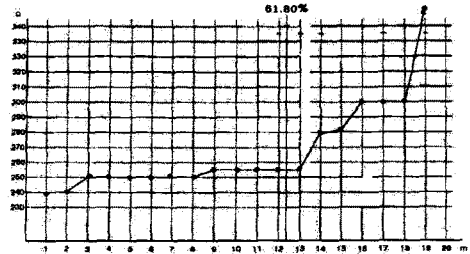


<그림 6> 수평부분을 보이기 위한 E-C최소간격

대지구조가 매우 불균질할 때의 접지저항 측정은 그 결과가 매우 난이하여 전위강하법을 사용하는데 무리가 있을 것으로 예상된다.

또한 전위수평부분이 나타나기 위한 최소한의 E-C전극간의 간격을 알아보기 위해 <그림 6>을 보였으며 여기서 15m 간격에서는 수평부분이 보이지 않으나 16m에서는 7m-9m사이에서 수평부분이 발생하며 그 접지저항값은 60Ω인 것을 알 수 있었다. 이것은 E-C간 간격이 16m 미만이면 정확한 접지저항을 측정하기 곤란함을 나타낸다. 이번에는 61.8%의 법칙을 알아보기 위

해 <그림 7>을 보이는데 여기서는 61.8%의 위치인 12.4m 부근은 수평부분이 끝나서 대지저항값이 상승하기 시작하는 부분임을 알 수가 있다. 그러므로 접지저항 측정시에는 P극의 위치가 발생된 수평부분 중 안정된 범위인 약 50%의 위치하여야 함을 알 수 있었다.



<그림 7> E-C전극의 61.8%의 위치

마지막으로 E-P-C전극의 위치가 잘못된 경우를 알아 보기 위해 P-E-C 전극순으로 배열한 후 전위차계식과 전위강하식 2가지 방법으로 측정하였다. 전위차계식은 측정값이 지속적으로 상승하고 전위강하식은 지속적으로 감소하여 수평부분은 전혀 발생하지 않았다. 따라서 이러한 전극의 배치방법으로는 접지저항을 측정할 수 없음을 확인하였다.

## 4. 결론 및 검토

전위강하법을 이용한 접지저항의 측정은 접지저항값이 무한 원점 기준값이므로 E-C전극을 50m, 20m 이격시에 50m이격했을 때 4%정도 낮은 값을 나타내어 서로 다른 값이나 20m에서도 수평부분이 나타나 측정이 가능하였다. 전위의 수평부분이 나타나기 위한 E-C전극간의 최소 간격은 16m였다. 또한 이론적으로 제시된 E-C사이의 61.8%부분은 수평부분에서 대지전위가 상승되는 점이어서 정확한 접지저항 측정이 곤란하고 수평부분 중 안정된 50%지점이 적합함을 알 수 있었다.

전위차계식과 전위강하식의 2가지 방식 중 전위강하식이 약 0.6%정도 낮은 값을 가리켜 상호의 오차가 적음을 확인하였다.

대지의 구성이 매우 불균질한 재토의 경우는 대지 접지저항값이 매우 불규칙한 성질을 나타내므로 접지저항의 측정에 문제가 있어 향후연구가 필요하다.

### [참 고 문 헌]

- [1] G.F.Tagg, Earth Resistances, London, George Newnes Limited, 1964. pp.179-pp.205.
- [2] 전력연구원 전력계통연구소, 축소형 변전소 접지효과 중대방안 연구, 1998. 1. pp.305-pp.321
- [3] 高橋健彦, 접지설계입문, 이봉용 감수, 이형수 역, 오름사/東逸出版社, 1993.
- [4] 高橋健彦, 접지기술입문, 이봉용 감수, 이형수 역, 오름사/東逸出版社, 1993.