

전위강하법에 의한 접지저항 측정에 미치는 전류보조전극의 위치의 영향

이복희, 엄주홍\*, 김성원  
인하대학교 전기공학과

Effect of the Current Probe Position on Ground Resistance Measurement Using Fall-of-Potential Method

B.H. Lee, J.H. Eom\*, S.W. Kim  
Inha Univ. Dept. of Electrical Engineering.

**Abstract** - In this paper, the effects of the positions of the current probe on the measurements of the ground resistance and potential gradients with fall-of-potential method are described, and the testing techniques to minimize the measuring errors are proposed. The fall-of-potential method is theoretically based on the potential and current measuring principle and the measuring error is primarily caused by the position of the measuring auxiliary probes. The ground resistance is calculated by applying the 61.8% rule using fall-of-potential method.

1. 서 론

접지시스템의 성능을 평가하는 방법으로는 접지전극 자체의 접지저항을 측정하여 성능평가의 기준으로 하는 경우와 접지저항 이외의 접촉전압(touch voltage)이나 보폭전압(step voltage) 등 위험전압을 감소시키는 정도로 성능을 평가하는 방법이 있다. 접지설비(grounding installation)에 있어서 접지를 하고자 하는 전기·전자 기기 또는 설비와 대지사이의 접촉이 양호한가 또는 양호하지 않은가를 나타내는 지표를 접지저항(ground resistance)으로 나타내는 방법이 우리 나라에서는 사용되고 있다.

접지저항이 낮을수록 대지와 접속이 양호한 경우로서 접지가 잘 이루어진 것으로 보며, 접지시스템의 성능이 우수한 것으로 평가한다. 이러한 접지저항의 측정과 평가에는 많은 인자들이 복잡적으로 작용하므로 정확한 결과를 얻기가 쉽지 않다. 또한 접지저항은 토양의 불확정한 인자들의 영향을 받기 때문에 일반적으로 사용하는 회로용 저항기의 특성에 비해 매우 복잡한 비선형의 특성을 갖고 있다. 이와 같이 접지저항은 대지의 구조, 온도, 수분의 함유도, 접지전극의 형상, 매설조건 등에 의해서 복잡한 특성을 나타내기 때문에 그 값을 정량적으로 표현하는 것은 곤란한 경우가 많다.<sup>[1]</sup>

이러한 복잡한 특성을 나타내는 접지저항을 정확하게 측정하고 평가하는데 있어서 가장 보편적으로 사용되는 방법이 전위강하법(fall-of-potential)이다. 전위강하법은 측정원리상 전류보조전극의 접지저항이 측정에 거의 영향을 미치지 않으므로 소규모의 접지체로부터 대규모의 접지시스템에까지 널리 적용되고 있다. 전위강하법에서 가장 중요한 측정요소중 하나는 전류보조전극을 설치하는 위치이다. 즉, 전류보조전극을 피측정 접지전극으로부터 이격시키는 거리가 측정의 정확도에 많은 영향을 미치게 된다.<sup>[2]</sup> 전위강하법은 이론적으로 피측정 접지전극과 전위 및 전류보조전극이 일직선상에 놓인 경우 61.8%법을 적용하여 접지저항을 산출한다. 그러나 실제의 현장 측정에 있어서 다른 건물이나 도로, 하천, 주변의 지형 또는 시설물 등으로 인하여 피측정 접지전극과 측정용 전류보조전극을

충분히 이격하여 배치할 수 없는 경우가 흔히 있게 된다. 피측정 접지전극과 측정용 전류보조전극이 일직선상에 충분한 거리를 두고 배치되지 못하는 경우에는 측정값에 상당한 오차가 나타나게 된다. 그러므로 전위강하법에 있어서 측정용 전류보조전극을 설치할 때 이들 상호간의 이격 거리에 따른 접지저항 측정의 정확도를 평가·분석할 필요가 있으며 본 논문에서는 실험적인 결과를 토대로 적절한 이격거리를 제안하였다.

2. 본 론

2.1 측정장치 및 방법

본 실험에서 접지저항 및 대지저항률의 측정에는 Chauvin Arnoux사의 TERCA II 측정기를 사용하였다. 측정전류는 128 [Hz]의 주파수를 가지는 교류 구형파이며, 측정전류의 크기는 피측정 접지전극 및 보조전극의 접지저항에 의해 제한되고, 2~50 [mA]의 전류범위를 선택하여 사용할 수 있다. 측정할 때 인가되는 최대 측정전압은 50 [V]이므로 기본적으로 소규모 접지저항의 측정에 사용하도록 설계·제작된 계측기기이다. 측정전류가 작아 외부노이즈의 영향을 많이 받는 접지전극의 접지저항의 측정에는 정확한 측정결과를 확보하기 어려운 단점이 있다.

본 연구에서는 TERCA II를 기본적인 측정기기로 하고, 측정의 정확성을 기하기 위하여 큰 전류를 발생하는 AC 구형파 전압발생기를 부가적으로 사용하였다. 측정전류의 파형은 교류 구형파이며, 최대 발생전류는 50 [A], 주파수 범위는 13~160 [Hz]이다.

피측정 접지전극으로부터 전류보조전극의 이격거리에 따라서 측정된 접지저항 값의 변동특성을 알아보기 위하여 그림 1과 같이 피측정 접지전극과 전류보조전극을 설치하였다. 피측정 접지전극으로는 길이 2.4 [m]의 봉형 접지전극을 사용하여 지표면에 접하여 매설된 경우에 대하여 측정하였다. 전류보조전극으로는 피측정 접지전극과 동일한 2.4 [m] 길이의 봉형 접지전극을 사용하였으며, 봉형 접지전극의 상단 부분이 지표면에 접하도록 하여 설치하였다. 피측정 접지전극으로부터의 이격거리는 5, 10, 20 [m]로 하여 각각 측정하였다. 측정하는 날짜에 따라 기온변동이나 강우에 의하여 토양의 함습 정도 등이 변동하므로 매회 측정시 대지저항률을 함께 측정하여 비교·검토하였다.

전류보조전극을 피측정 접지전극으로부터 전류보조전극 방향으로 거리를 0.2 [m] 간격으로 이동시키면서 접지저항 값을 측정하여 측정된 접지저항의 곡선을 작성하였다. 전류보조전극은 대지의 기준전위를 확보하여 피측정 접지전극의 접지저항을 측정하기 위해 설치하기 때문에 접지저항은 비교적 큰 값을 가지는 것이 바람직하다. 즉, 측정용 리드선의 인덕턴스에 의한 전위가 영향을 미치지 않도록 하기 위하여 전위측정용 전압계나 전압표로

브의 내부임피던스가 큰 것을 사용하는 이유와 동일하며, 전류보조전극의 설치 깊이는 0.2 [m]로 하였다.

피측정 접지전극과 전류보조전극(E-P) 사이의 거리를 변수로 하여 측정된 접지저항의 곡선은 전위분포곡선과 동일한 형태를 가지며, 종축의 값은 접지저항으로 나타내는 특성으로 된다. 이와 같이 E-P사이의 거리를 변수로 하여 측정된 접지저항의 곡선을 이용하면 측정할 때 인가하는 전압의 변동에 따라서 발생하는 전위변동의 오차를 없앨 수 있는 장점이 있다. 즉, 측정할 때 인가한 전압이 변동하면 피측정 접지전극과 전류보조전극을 통하여 흐르는 전류의 값이 비례적으로 변동하게 되므로 측정되는 접지저항의 값은 일정하게 유지되어 안정적인 분석에 효과적이다.

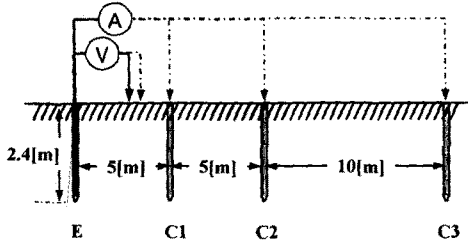


그림 1 측정회로의 개략도  
Fig. 1 Schematic diagram of the measuring circuits

## 2.2 측정결과

### 2.2.1 접지저항 곡선

지표면에 접하여 설치된 피측정 접지전극에 대하여 전류보조전극을 피측정 접지전극으로부터 각각 5, 10, 20 [m] 이격시킨 경우 E-C전극사이의 거리를 파라미터로 하여 측정된 접지저항의 곡선을 그림 2에 나타내었다.

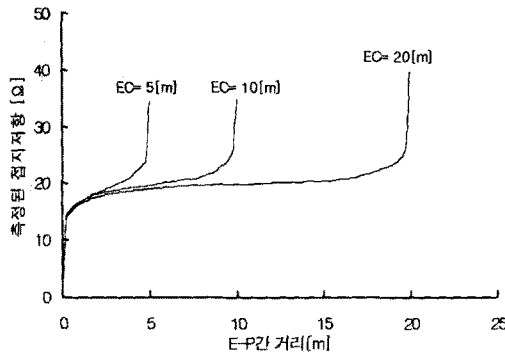


그림 2 E-C전극사이의 거리를 파라미터로 하여 측정된 접지저항의 곡선  
Fig. 2 Curves of the ground resistance measured as a parameter of the separation between E and C electrodes

피측정 접지전극은 동일하며, 전류보조전극은 각각 다른 접지저항 값을 가지므로 피측정 접지전극과 전류보조전극의 접지저항을 합한 값(그림 2에서 각각의 그래프의 최대값)은 세 가지 경우가 모두 다르지만 피측정 접지전극의 측정된 접지저항 값에는 거의 영향을 주지 않았다. 전류보조전극의 접지저항 값이 피측정 접지전극의 접지

저항 값과 아주 큰 차이를 보이는 경우에는 측정할 때 오차를 유발시키는 원인이 될 수 있다. 하지만 전류보조전극의 접지저항이 피측정 접지전극의 접지저항에 대하여 수십 배 이내인 경우에는 전류보조전극의 영향에 의한 오차유발은 거의 발생하지 않았다. 이에 대한 실험적인 근거를 2.2.2절에 제시하였다.

전류보조전극이 피측정 접지전극으로부터 5 [m] 이격된 경우에는 측정된 접지저항의 곡선이 비교적 급상승하며, 수평부가 거의 존재하지 않는다. 즉, 피측정 접지전극과 전류보조전극의 저항구역이 대부분 중첩되어 있으며, 서로 전위간섭을 주고 있는 형상을 나타내었다. 측정된 접지저항의 곡선의 가운데 수평부가 거의 존재하지 않으므로 접지저항을 측정하기 위하여 전류보조전극의 시설하는 경우에 영전위점에 정확히 일치시키기 위해서는 많은 주의가 필요하며 오차발생의 가능성이 커진다.

실제로 전위강하법을 이용하여 접지저항을 측정할 때 하천, 계방, 비탈이나 언덕 등의 지형적 조건 또는 도로, 건물이나 기타 구조물 때문에 전류보조전극의 위치를 피측정 접지전극과 전류보조전극(E-C) 사이의 61.8% 지점에 정확하게 설치하기가 어려우므로 61.8%로부터 ±10% 벗어난 지점과 ±1 m 떨어진 점에서 측정한 값에 대한 오차를 평가하였다. 61.8 [%] 지점에서 측정된 접지저항 값은 19.82 [Ω]이며, 51.8 [%] 및 71.8 [%] 지점에서 측정된 접지저항 값은 각각 19.16 [Ω] 과 20.60 [Ω]이었다. 오차율로 나타내면 각각 -3.3, 3.9 [%]로 비교적 큰 오차를 나타내었으며, 61.8 [%]지점에서 ±1 [m] 떨어진 점에서 측정된 결과의 오차율은 -6.7, 9.2 [%]로 비교적 크게 나타났다. 따라서 정확한 61.8 [%] 지점에 전류보조전극을 위치시키지 않을 경우에 상대적으로 큰 오차가 발생할 수 있다.

전류보조전극을 피측정 접지전극으로부터 10 [m] 이격시킨 경우에는 측정된 접지저항의 곡선에 비교적 완만한 수평부분이 나타났다. 피측정 접지전극과 전류보조전극 사이에는 저항구역이 거의 중첩되지 않는 것으로 보이며, 5 [m] 이격시킨 경우보다는 영전위점에 전류보조전극을 설치하기가 용이하므로 전류보조전극의 설치위치에 따른 오차를 감소시키는 데는 훨씬 유리하다. 61.8 [%] 지점에서 측정된 접지저항 값은 20.30 [Ω]이며, 51.8 [%] 및 71.8 [%] 지점에서 측정된 접지저항 값은 각각 19.76 [Ω] 과 20.70 [Ω]이었다. 오차율로 나타내면 각각 -2.7, 2.0 [%]로 비교적 낮은 값을 나타내었으며, 61.8 [%]지점에서 ±1 [m] 떨어진 점에서 측정된 결과에 대한 오차율은 -2.7, 2.0 [%]로 전류보조전극을 5 [m] 이격시킨 경우보다 작은 오차를 나타내었다.

표 1 E-C전극간 이격거리에 따른 접지저항의 측정오차  
Table 1 Measuring errors of the ground resistance as a function of the separation between E and C electrodes

E-C사이의 이격거리	5 [m]	10 [m]	20 [m]
61.8±10%점의 측정 오차[%]	-3.3 . 3.9	-2.7 . 2.0	-1.3 . 1.0
61.8%거리±1m 점의 측정 오차[%]	-6.7 . 9.2	-2.7 . 2.0	-1.0 . 0.5
61.8%점에서 측정된 접지저항[Ω]	19.82	20.30	20.20

전류보조전극을 피측정 접지전극으로부터 20 [m] 이격시킨 경우에 측정된 접지저항의 곡선에는 충분히 완만한 수평부분이 나타났다. 피측정 접지전극과 전류보조전극 사이에는 저항구역은 중첩이 없는 상태를 나타내고 있으며 5, 10 [m] 이격시킨 경우에 비하여 영전위점에 전위

보조전극을 설치하기가 매우 용이하므로 전류보조전극의 설치위치에 따른 오차를 감소시키는 데 유리하다.

61.8 [%] 지점에서 측정된 접지저항 값은 20.20 [ $\Omega$ ]이며, 51.8 [%] 및 71.8 [%] 지점의 접지저항 값은 19.94 [ $\Omega$ ] 과 20.40 [ $\Omega$ ]이었다. 오차율로 나타내면 각각 -1.3, 1.0 [%]로 상당히 낮은 값을 가지며, 61.8 [%]지점에서 거리  $\pm 1$  [m]에 대하여 나타내면 -1.0, 0.5 [%]로 전류보조전극을 5, 10 [m] 이격시킨 경우보다 훨씬 작은 오차를 나타내었다. 각각의 이격거리에서 측정된 접지저항값의 오차를 종합하여 표 1에 나타내었다.

### 2.2.2 전류보조전극의 접지저항의 영향

접지저항의 측정에 있어서 전위강하법의 적용은 전류 및 전류보조전극의 영향이 측정에 거의 영향을 주지 않는다는 장점이 있다. 이는 곧 고정도의 측정결과를 얻어 낼 수 있으므로 효과적이다. 하지만 전류보조전극의 경우 측정을 위하여 임시적으로 설치하므로 피측정 접지전극에 비하여 규모가 작고 접지저항이 큰 경우가 보통이다. 이러한 전류보조전극은 측정할 때 인가되는 전류를 제한하게 되어 여러 가지 외란이 들어오기 쉬운 측정장소에서는 오차를 유발시킬 가능성이 있다. 하지만 일반적인 경우의 접지저항을 측정함에 있어서 전류보조전극의 접지저항이 어느 정도까지는 증가하여도 측정결과에 오차로 작용하지 않는다. 본 연구에서는 임의로 설치한 전류보조전극의 접지저항 값이 서로 달라서 측정할 때 오차를 유발시키는 정도를 검증하기 위하여 다음과 같이 전류보조전극의 접지저항을 변동시켜 가면서 실험을 하였다.

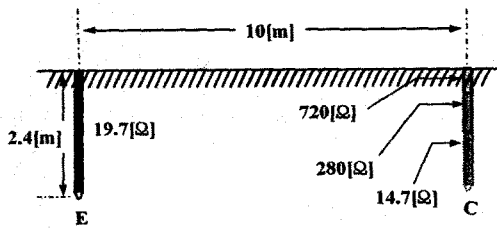


그림 3 전류보조전극의 접지저항이 다른 경우  
Fig. 3 Cases of the current auxiliary probe with different ground resistance

측정회로의 개략도는 그림 3과 같으며, 피측정 접지전극은 길이 2.4 [m]인 봉형 접지전극을 사용하고 접지저항은 19.7 [ $\Omega$ ] 이었으며, 전류보조전극은 규모를 달리하여 접지저항이 각각 720, 280, 14.7 [ $\Omega$ ]이 되도록 설치하였다. 전류보조전극의 접지저항이 각각 피측정 접지전극의 접지저항의 37배, 14배, 0.75배로 변동할 때 E-P사이의 거리를 변화시켜 측정된 피측정 접지전극의 접지저항 곡선을 그림 4에 나타내었다.

측정된 접지저항의 곡선은 전류보조전극의 접지저항이 변동하여도 E-P사이 거리의 중반이후까지의 형태가 거의 동일하며, 전류보조전극에 가까이 접근함에 따라 차이가 발생하게 된다. 접지저항을 결정하는 E-C사이의 61.8 [%] 지점의 특성변동이 없다. 전류보조전극의 접지저항이 측정 조건 내에서 변동한다 하더라도 피측정 접지전극의 접지저항 측정에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 즉, 전류보조전극의 접지저항이 피측정 접지전극의 접지저항에 약 37배 정도로 큰 경우에도 피측정 접지전극의 접지저항의 측정에는 거의 오차가 포함되지 않고 있다. 그러므로 2.2.1절의 측정에 있어서 전류보조전

극의 접지저항이 미소하게 변동하더라도 측정상의 오차가 유발되지 않음을 알 수 있다.

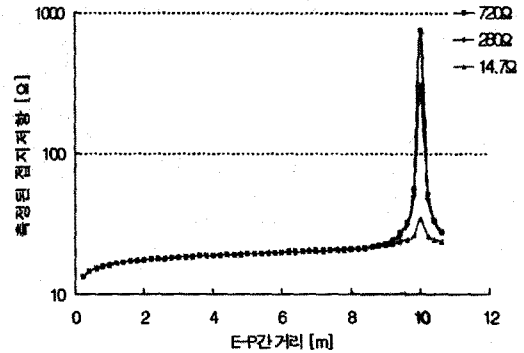


그림 4 전류보조전극의 접지저항이 다른 경우 E-P사이의 거리를 변화시켜 측정된 접지저항의 곡선

Fig. 4 Measured ground resistances as a function of the separation between E and P electrodes in case of the current probe with different ground resistances

### 3. 결 론

본 연구에서는 전위강하법을 이용하여 접지저항을 측정할 때 전류보조전극의 위치 및 접지저항 값이 측정의 정확도에 미치는 영향을 중점적으로 분석하였다. 피측정 접지전극으로 길이 2.4 [m]인 봉형 접지전극에 대해서 전류보조전극의 위치를 피측정 접지전극과 전류보조전극 간 거리의 61.8 [%]점에서  $\pm 10$  [%] 벗어난 위치에서 측정된 결과, 측정오차를  $\pm 3$  [%]이내로 유지하기 위해서는 전류보조전극을 피측정 접지전극으로부터 10 [m] 이상,  $\pm 1$  [%] 이내로 유지하기 위해서는 20 [m]이상의 이격시켜 설치하여야 한다. 피측정 접지전극의 크기와 비교할 때 전류보조전극의 위치는 피측정 접지전극길이와 약 5배 이상 이격시켜 설치하면 고정도의 접지저항을 측정할 수 있다. 전류보조전극의 접지저항은 피측정 접지전극의 접지저항보다 수배 이상 큰 것이 보통이며, 전류보조전극의 접지저항이 큰 경우 측정전류를 제한하므로 측정장소의 노이즈 외란에 의한 영향으로 오차를 유발할 가능성이 있다. 외란의 영향이 비교적 작은 경우 전류보조전극의 접지저항이 피측정 접지전극의 접지저항의 수십 배 이내에서는 측정의 정확도에 거의 영향을 미치지 않았다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 이복희, 이승철, "접지의 핵심 기초 기술", 도서출판 義衡, p.40, pp.64~69, 1999.
- [2] IEEE Std 81-1983, "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System", IEEE Inc, pp.20~40, 1983.
- [3] C. G. Wang, T. Takasima, "Grounding Resistance Measurement Using Fall-of-Potential Method with Potential Probe Located in Opposite Direction to the Current Probe", IEEE Trans. on PD, Vol.13, No.4, pp.112 8~1135.
- [4] 蒔田謙夫, "電流補助電極の存在を考慮した接地抵抗の測定法", 電氣學會論文誌, Vol.119-B, No.3, pp.369~374, 1999.
- [5] IEEE Std 81.2-1991, "IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding System", IEEE inc, pp.17~20, 1983.