

접지선 누설전류를 이용한 접지저항 측정에 관한 연구

강문호  
한전 전력연구원

A Study on the Measuring the Grounding Resistance Using the Leakage Current in the Ground Conductor

Moon-Ho Kang  
KEPRI

**Abstract** - 현재 배전선로는 4가지 접지종별을 준용하여 피뢰기, 가공지선, 변압기, 기기류, 중성선 등을 접지 시공하고 있다. 또한 규정된 접지저항값에 따라 접지전극을 시공하고 2년에 1회 주기적으로 접지저항값을 측정하고 관리하고 있다. 현재 접지저항값의 측정에는 휴대가 간편하고 측정이 용이한 HOOK-ON 접지저항계가 주로 이용되고 있다. 그러나 HOOK-ON 접지저항계는 ±5%정도의 측정오차 뿐만 아니라 측정선 전류가 1[A]를 초과하는 경우 변류용 철심이 포화되어 측정이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 HOOK-ON 측정기법의 단점을 보완하여 다중접지 배전계통에서 부하 불평형 및 고조파 등에 의해 발생하는 접지선 누설전류를 전류원으로 이용하는 접지전극의 접지저항을 측정하는 새로운 측정기법을 제안하였다. 또한 이를 실제 배전계통에 적용하여 전위강하법을 이용하여 측정된 접지저항값과 비교하였다.

2. 본 론

2.1 정상 접지저항의 정의

일반적으로 접지전극은 도전성이 우수한 금속도체를 사용한다. 그러나 접지전극이 매설되는 토양은 미소한 입자, 자갈, 모래, 공기, 수분 등을 포함하는 복합 혼합물로 볼 수 있다. 따라서 접지전극의 표면과 미소한 토양 입자는 상호 미소한 점접촉의 연속상태로 볼 수 있다. 접지전극이 토양속에 매설되면 토양과의 사이에 접촉저항이 생기게 되며, 토양의 비유전율에 의해 정전용량도 작용하게 된다. 접지선과 접지전극을 지나 대지로 흐르는 전류를 접지전류라고 하며, 임의의 접지저항값을 갖는 접지전극에 접지전류가 흐르면 대지표면에 전위상승이 발생한다. 즉 그림 1과 같이 임의의 접지전극에 전류  $I[A]$ 가 유입되어 접지전극의 전위가 무한원점의 기준전위에 대해서  $V[V]$ 만큼 상승할 경우, 접지저항  $R[\Omega]$ 은 음의 법칙에 의해  $(R = \frac{V}{I})$  접지전극의 전위상승값과 접지전류의 비로 정의할 수 있다. 또한 이때의 접지저항  $R$ 은 직류접지저항 또는 정상 접지저항이라고 한다.[2]

1. 서 론

정보화기술과 디지털기술의 발전으로 제어기기, 자동화기기 등 각종설비가 첨단 디지털기기로 대체되고 있다. 이는 절연측면에서 설비의 절연파괴피압을 낮추어 설비의 효과적인 운영과 신뢰도에 큰 문제점이 되고 있다. 따라서 이들 설비에 대한 안전성과 신뢰성에 직접적으로 관련되는 접지설비에 대한 중요성이 커지고 있다. 특히 전력계통의 접지설비는 무언의 침범으로써 보이지 않는 곳에서 전력계통에서 발생한 사고전류, 절연불량 및 자연뢰 등으로 인해 발생하는 이상전류를 대지로 안전하게 방전하는 경로를 형성하기 때문에 전력계통의 신뢰성 확보와 사람의 안전측면에서 중요한 역할을 수행하고 있다.

또한 배전계통은 다중으로 접지가 시설되어 있어 접지개소가 많기 때문에 2년에 1회 접지개소의 접지저항을 측정하여 관리하고 있다. 또한 접지저항 측정은 휴대가 용이하고 측정이 간편한 HOOK-ON식 접지저항계를 주로 이용하여 전류의 접지선과 중성선의 연결부분에서 접지저항을 측정하고 있다. 그러나 국내에서 제작된 HOOK-ON식 접지저항계는 허용오차가 5%정도이며, 접지선 전류의 크기가 1[A]이상인 경우 측정용 변류기의 자기포화로 인해 측정이 불가능하다는 단점을 가지고 있다. 서울지역 배전선로의 누설전류를 측정할 자료에 의하면 전체 300개소의 약 4%정도인 12개소의 누설전류값이 1[A]이상으로 측정되었다[1]. 따라서 본 논문에서는 접지선의 누설전류의 크기에 무관하게 접지선의 누설전류를 이용하여 접지전극의 접지저항을 측정하는 새로운 측정기법을 제안하였으며, 또한 이 기법을 적용한 측정장치를 제작하였으며 이를 실제 배전계통에 적용하여 전위강하법에 의한 접지저항 측정결과와 비교하였다.

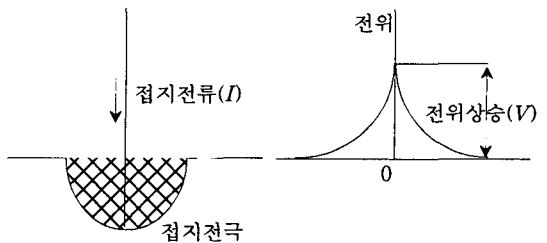


그림 1. 정상 접지저항

2.2 접지저항 측정 기법

앞에서 설명한 것과 같이 접지저항은 입력전류에 의해 발생한 대지전위의 상승값으로 정의할 수 있다. 따라서 접지저항 측정은 이 정의에 따라 무한원점과 접지전극을 연결하는 폐회로상에서 측정대상 접지전극에 인가전류를 주입하고 이로 인해 발생한 대지전위 상승값을 측정함으로써 구할 수 있다. 측정기법은 편리성과 정확성의 측면에서 여러 가지가 사용되나 본 연구에서 일반적으로 사용되고 있는 2가지 기법에 대해 설명하였다.

2.2.1 HOOK-ON 접지저항계

국내의 배전계통과 같이 중성선이 다중 접지된 계통은 그림 2와 같이 중성선을 통하여 대지와 폐회로가 형성된다. 따라서 측정대상 접지전극과 중성선 사이에 전원을 인가하면 일정한 크기의 전류가 흐르게 된다. 그림 2에서 측정대상 접지전극의 접지저항은  $R$ , 다중 접지된

계통의 다른 접지저항은  $\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_n}}$ 로 나타낼 수 있다. 따

라서 측정대상 접지선에 전류를 45KHz의 발전기에서 증폭 후 특수변압기를 통해 주입하고, 전압을 측정하면 다음의 식 1과 같은 관계식을 유도할 수 있다.

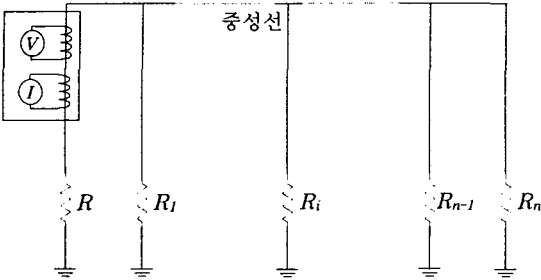


그림 2. 다중접지 배전계통의 근사회로

$$\frac{V}{I} = R + \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_n}} \text{ -----(식. 1)}$$

또한 다중 접지된 배전계통에서는 접지개소는 대단히 많기 때문에 식 1의 두 번째 항의 병렬 합성 접지저항값은 영에 가깝게 된다. 따라서 식 1은 측정대상 접지전극의 접지저항값을 나타내는 근사식이 된다.

### 2.2.2 전위강하법

61.8%의 방법으로 불리는 전위강하법은 측정대상 접지전극을 그림 3과 같이 반경  $r$ 의 반구상 접지전극으로 가정하고, 주변의 대지교유저항( $\rho$ )은 동일하다고 가정한다. 이때 G전극으로부터 전류  $I$ 가 유출되어 E전극으로 유입되면 P전극에 전위상승이 발생하며, 전류의 유입과 유출에 의해 GP간 전위차를 포함한 2차 방정식을 해로부터 접지저항값을 구하는 방법이다.

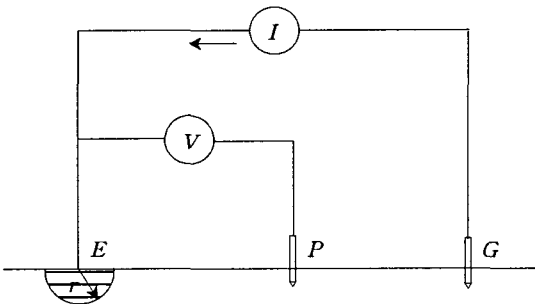


그림 3. 전위강하법에 의한 측정회로

즉 E전극에 유입하는 전류  $I$ 에 의한 EP사이의 전위차는 아래의 식 2와 같이 구할 수 있다.

$$V_1 = \frac{\rho I}{2\pi r} - \frac{\rho I}{2\pi P} \text{ -----(식. 2)}$$

또한 G전극으로 유출되는 전류  $I$ 에 의해 발생하는 EP간의 전위차는 아래의 식 3과 같이 구할 수 있다.

$$V_2 = -\frac{\rho I}{2\pi C} - \left( -\frac{\rho I}{2\pi(C-P)} \right) \text{ -----(식. 3)}$$

따라서 폐회로상에 흐르는 전류  $I$ 에 의해 EP간에는 전위차  $V_1$ 과  $V_2$ 의 2개의 전위차가 발생하며, 이를 합성하여 접지저항  $R$ 을 구하면 EG간의 거리의 61.8%의 거리에 P전극을 설치하면 측정대상 접지전극의 접지저항을 구할 수 있다.

### 2.3 누설전류 이용 기법

이와 같이 HOOK-ON 접지저항계와 전위강하법은 모두 접지저항을 측정하기 위해 전류주입회로가 필요하다. 본 논문에서 제안한 측정기법은 정상상태의 다중접지 배전계통에서 발생하는 부하 불평형 전류와 고조파전류 등 접지전극으로 유입하는 접지선 누설전류를 전류원으로 이용하여 대상 접지전극의 접지저항을 측정하는 것이 장점이다. 그림 4에 누설전류를 이용한 접지저항 측정회로의 구성도를 나타내었다.

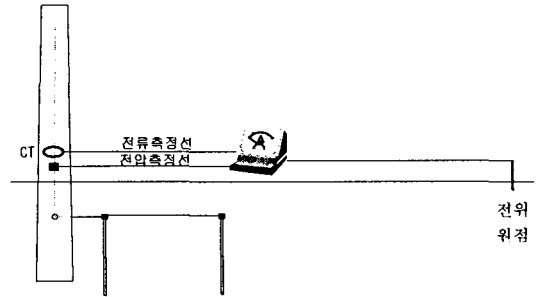


그림 4. 누설전류를 이용한 접지저항 측정회로도

측정방법은 운전중인 배전선로의 접지전극에 유입되는 누설전류와 접지선의 전위상승값을 오실로스코프를 통해 측정하고 이를 음의 법칙에 따라 나눴으로써 접지전극의 정상 접지저항을 측정하는 방법이다.

### 2.3.1 실계통 실증시험

제안된 측정기법에 따라 실시간으로 접지선 전류와 전위상승값을 측정하기 위해 측정시스템을 구성하고 이를 실제 배전계통에 적용하여 실증적인 분석시험을 시행하였다. 아래의 그림 5에 현장에서 측정된 전류 및 전압파형을 나타내었다.

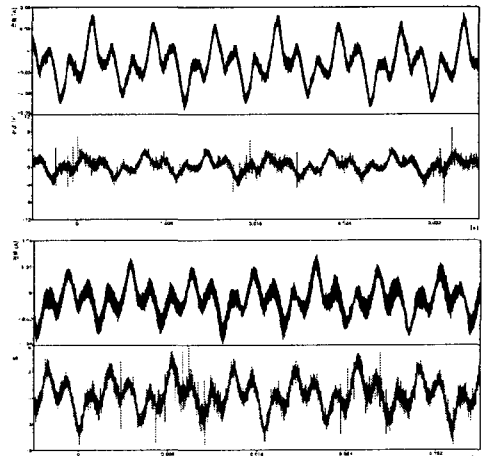


그림 5. 현장 측정 파형

접지선으로 흐르는 전압 및 전류파형을 측정된 결과 컴퓨터 등 가전제품에서 발생하는 고조파 전류와 접지극 주변에서 발생하는 노이즈 등에 의해 상당히 왜곡된 파형이 나타났다. 따라서 접지선의 전압 및 전류파형에 음의 법칙을 적용하여 단순히 나누는 것으로 접지저항을 구하는 것은 효과적인 방법이 되지 않았으며, 정확한 값을 얻을 수 없었다. 따라서 본 논문에서는 측정파형을 푸리에 변환을 통해 주파수 대역으로 분할하고 노이즈의 영향을 줄이고 핵심적인 파형부분에 가중치를 주기 위해 주파수별 값을 RMS(Root Mean Square)하여 전압 및 전류값을 구하여 대상접지전극의 접지저항을 구하였다. 아래의 그림 6을 현장 측정파형을 푸리에 변환을 통해 주파수 대역으로 표시한 것이다.

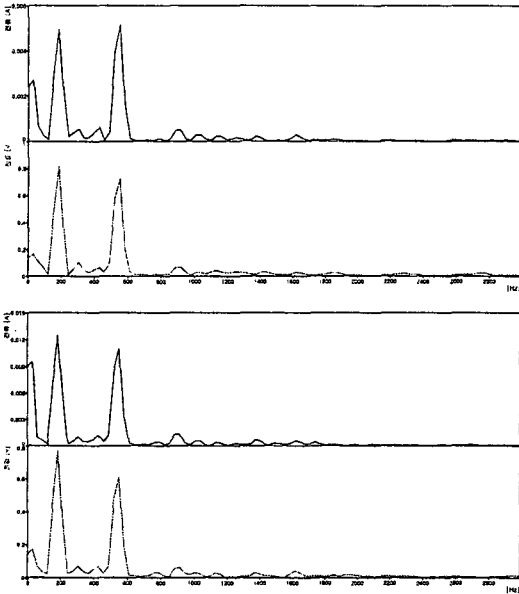


그림 6. 측정파형의 주파수 영역 표시

새로운 기법(FFT-RMS기법)으로 구한 접지저항값과 전위강하법으로 측정된 값을 비교하기 위하여 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1. 접지저항값 비교

	FFT-RMS 기법	전위강하법
1	54 Ω	55 Ω
2	165 Ω	143 Ω

### 3. 결 론

전력계통의 접지설비는 무언의 침병으로써 보이지 않는 곳에서 전력계통에서 발생한 사고전류, 절연불량 및 자연뢰 등으로 인해 발생하는 이상전류를 대지로 안전하게 방전하는 경로를 형성하여 전력계통의 신뢰성 확보와 사람의 안전측면에서 중요한 역할을 수행하고 있다. 배전계통은 다중으로 접지가 시설되어 있어 접지개소가 많기 때문에 2년에 1회 접지개소의 접지저항을 측정하여 관리하고 있다. 접지저항 측정은 휴대가 용이하고 측정이 간편한 HOOK-ON식 접지저항계를 주로 이용하여 전주의 접지선과 중성선의 연결부분에서 접지저항을 측정하고 있다. 배전선로의 접지선 누설전류를 측정하는 자료에 의하면 전체 300개소의 약 4%정도인 12개소의 누

설전류값이 1[A]이상으로 나타났다. 그러나 국내에서 제작된 HOOK-ON식 접지저항계는 허용오차가 5%정도이며, 접지선 전류의 크기가 1[A]이상인 경우 측정용 변류기의 자기포화로 인해 측정이 불가능하다는 단점이 있어 본 논문에서는 접지선의 누설전류의 크기에 무관하게 접지선의 누설전류를 이용하여 접지전극의 접지저항을 측정하는 새로운 측정기법인 FFT-RMS방법을 제안하였다. 또한 이 기법을 몇몇 개소에 적용하여 측정된 결과 전위강하법에 의한 접지저항 측정값과 거의 유사한 결과를 도출할 수 있었다. 그러나 접지선으로 흐르는 누설전류가 주위의 잡음과 가전제품 등에서 발생한 고조파에 의해 상당히 왜곡되어 있기 때문에 보다 진보한 측정기법의 적용을 통해 효과적인 측정이 가능할 것으로 판단된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 이현구, 하태현 외 3, "배전선로 접지저항 및 누설전류 실태조사", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, 379-381, 2003
- [2] 이복희, 이승철, "접지의 핵심 기초 기술", 도서출판 의제, 65-66, 1999
- [3] 조승기, 정성채, "배전선로의 접지저항 관리에 관한 연구", 한전 전력연구원 최종보고서, 55-64, 1988