

접지선 전류를 시험 전류원으로 활용한 접지저항 측정기법에 관한 연구

(The Measurement of the Grounding Resistance Using the Ground Current of the Distribution System)

강문호*
(Moon-Ho Kang)

Abstract

Public utilities adopt the grounding rules ; class I, class II, class III and special class III, and install the grounding electrodes in distribution facilities. To keep the safety of the human and the facilities, Public utilities also manage the value of ground resistance in distribution system biennially. At present the Hook-On meter is normally used to measure the ground resistance although it has $\pm 5[\%]$ measuring error and it can not measure the exact value when the current is over 1[A]. In addition it is very difficult to use the fall-of-potential method in distribution system. In this paper we propose the new measurement method using ground current of distribution system as the current source.

1. 서론

정보화기술과 디지털기술의 발전으로 제어기기, 자동화기기 등 각종설비가 첨단 디지털기기로 대체되고 있다. 이는 절연측면에서 설비의 절연과괴전압을 낮추어 설비의 효과적인 운영과 신뢰도에 큰 문제점으로 대두하고 있다. 특히 전력계통의 접지설비는 전력계통에서 발생한 사고전류, 절연불량 및 자연뢰 등으로 인해 발생하는 이상전류를 대지로 안전하게 방전하는 경로역할을 수행하기 때문에 전력계통의 신뢰성 확보와 사람의 안전측면에서 중요한 역할을 수행하고 있다. 따라서 이들에 대한 안전성과 신뢰성에 직접적으로 관련되는 접지설비에 대한 중요성이 증가하고 있다.

국내 배전계통은 다중으로 접지되어 있으며, 2년에 1회 접지개소의 접지저항을 측정하여 관리하고 있다. 또한 현재 접지저항 측정은 휴대가 용이하고 측정이 간편한 HOOK-ON식 접지저항계를 주로 이용하고 있다. 그러나 HOOK-ON식 접지저항계는 $\pm 5\%$ 의 허용오차와 접지선 전류의 크기가 1[A]이상인 경우 측정용 변류기의 포화현상으로 인해 측정값을 신뢰할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 서울지역 배전선로의 누설전류를 측정 한 자료에 의하면 전체 300개소의 약 4%정도인 12개소의 접지선 전류가 1[A]이상으로 측정되었다[1]. 따라서 본 논문에서는 접지선 전류를 시험 전류원으로 이용하여 접지전극의 접지저항을 측정하는 새로운 측정기법을 제안하였으며, 또한 이 측정기법을 적용한 접지저항 측정 장치(Ground Meter)를 개발하였다.

2. 본론

2.1 정상 접지저항

접지전극이 매설되는 토양은 미소한 입자, 자갈, 모래, 공기, 수분 등을 포함하는 복합 혼합물로 볼 수 있다. 따라서 접지전극의 표면과 미소한 토양입자는 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 접지 저항값을 갖는 접지전극에 접지전류가 흐르면 대지표면에 전위상승이 발생한다.

그림 1과 같이 임의의 접지전극에 전류 I [A]가 유입되어 접지전극의 전위가 무한원점의 기준전위에 대해서 V [V]만큼 상승할 경우, 접지저항 R [Ω]은 옴의 법칙에 의해 접지전극의 전위상승값과 접지전류의 비로 정의할 수 있다. 또한 이때의 접지저항 R 은 직류접지저항 또는 정상 접지저항이라고 한다.[2]

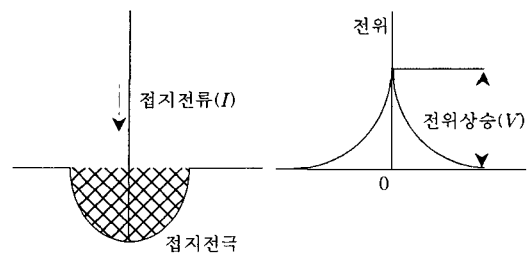


그림 1. 정상 접지저항
Fig 1. Steady state ground resistance

2.2 배전선로 접지저항 측정 기법

현재 접지저항 측정은 무한원점과 접지전극을 연결하는 폐회로상에서 측정대상 접지전극에 시험 전류원을 주입하고 이로 인해 발생한 대전위 상승값을 측정함으로써 구할 수 있다. 측정기법은 편리성과 정확성의 측면에서 여러 가지 기법이 사용되고 있으나, 본 연구에서 일반적으로 널리 사용되고 있는 두 가지 기법에 대해 설명하였다.

2.2.1 HOOK-ON 접지저항계

국내의 배전계통과 같이 중성선이 다중 접지된 계통은 그림 2와 같이 중성선을 통하여 대지와 폐회로가 형성된다.

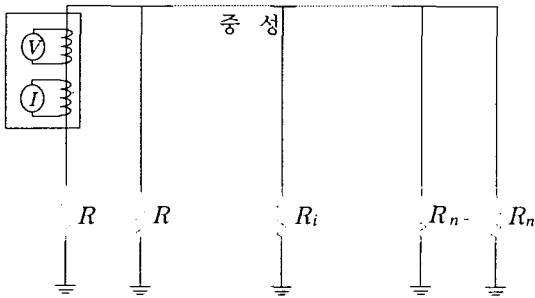


그림 2. HOOK-ON식 접지저항계 측정 원리
Fig 2. Measurement of the ground resistance using hook-on meter

따라서 측정대상 접지전극과 중성선 사이에 시험 전원을 인가하면 그림 2에서 측정대상 접지전극의 접지저항은 R , 다중 접지계통의 다른 접지저항은 $\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}}$ 로 나타낼 수 있다.

다중 접지 배전계통의 대단히 많은 접지개소를 가지고 있기 때문에 $\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}}$ 항의 병렬 합성 접지저항값은 거의 영이 되기 때문에 측정대상 접지전극의 접지 저항값을 구할 수 있다.

2.2.2 전위강하법

61.8%의 방법으로 불리는 전위강하법은 측정대상 접지전극을 그림 3과 같이 반경 r 의 반구형 접지전극으로 가정하고, 주변의 대지고유저항(ρ)은 동일하다고 가정한다. 이때 G전극으로부터 전류 I 가 유출되어 E전극으로 유입되면 P전극에 전위상승이 발생하며, 전류의 유입과 유출에 의해 GP간 전위차를 합한 2차 방정식 해로부터 접지 저항값을 구하는 방법이다.

즉 폐회로상에 흐르는 전류 I 에 의해 EP간에는 2개의 전위차가 발생하며, 이를 합성하여 접지저항 R 을 구하면 EG간의 거리의 61.8%의 거리에 P전극을 설치하면

측정대상 접지전극의 접지저항을 구할 수 있다.

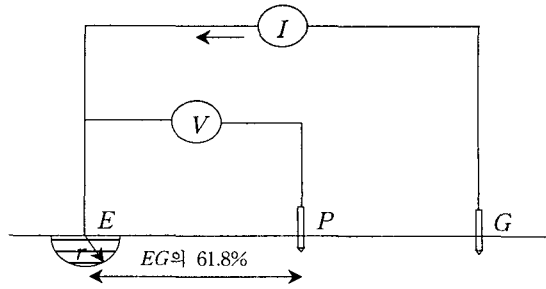


그림 3. 전위강하법에 의한 측정 원리
Fig 3. Measurement of the ground resistance using fall-of-potential method

2.3 접지선 전류 이용한 측정기법

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

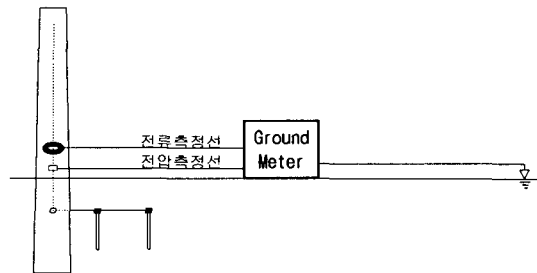


그림 4. 접지선 전류를 이용한 측정 시스템
Fig 4. Measurement system of the ground resistance using Ground Meter

측정방법은 운영중인 배전선로의 접지전극에 유입되는 접지선 전류와 접지선의 전위 상승값을 측정장치를 이용해 측정하고 이를 옴의 법칙에 적용함으로써 접지전극의 접지저항을 측정하는 방법이다.

2.3.1 측정 알고리즘

제안된 측정기법에 따라 실시간으로 접지선 전류와 전위 상승값을 측정하여 접지저항을 측정하기 위해 측정시스템을 구성하고 이를 실제 배전계통에 적용하여 실증적인 측정시험을 수행하였다. 접지선으로 흐르는 전압 및 전류파형을 측정한 결과 컴퓨터 등 가전제품에서 발생하는 고조파 전류와 접지극 주변에서 발생하는 노이즈 등에 의해 상당히 왜곡되어 나타났다. 따라서

접지선의 전압 및 전류파형에 음의 법칙을 적용하여 단순히 접지저항을 구하는 것은 효과적인 방법이 되지 않았으며, 정확한 값을 얻을 수 없었다. 따라서 일반적인 전력계통 고조파 해석에 사용되는 고조파의 차수가 40차인 것을 감안하여 2.5[kHz] 저역 패스 필터링을 통해 측정파형을 1차적인 신호처리를 수행하였다. 이를 푸리에 변환을 통해 주파수 대역으로 분할하였다. 또한 노이즈의 영향을 줄이고 핵심적인 파형부분에 가중치를 주기 위해 주파수별 값을 RMS (Root Mean Square) 하여 전압 및 전류값을 구하여 측정대상 접지전극의 접지 저항값을 구하였다. 아래의 그림 5에 측정 장치의 분석 알고리즘을 나타내었다.

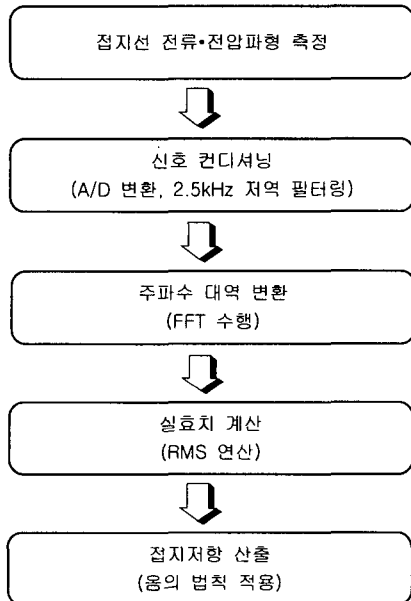


그림 5. 측정 알고리즘
Fig 5. Measurement algorithm of Ground Meter

2.3.2 실계통 측정결과

제안된 측정장치를 실제 배전계통에 적용하여 실증적인 분석시험을 수행하였다. 접지선으로 흐르는 전류 및 전압파형을 측정된 결과 그림 6과 같이 컴퓨터 등 전력 전자소자가 많은 기기에서 발생하는 고조파 전류와 접지전극 주변에 흐르는 표류 노이즈 성분에 의해 상당히 왜곡된 파형으로 나타났다. 따라서 본 논문에서 제안하는 측정 알고리즘을 적용하여 대상 접지전극의 접지 저항값을 구한 결과 접지선 전류를 이용한 접지저항 측정 기법에 의한 접지 저항값과 전위강하법으로 측정된 접지 저항값이 서로 유사하게 나타났다.

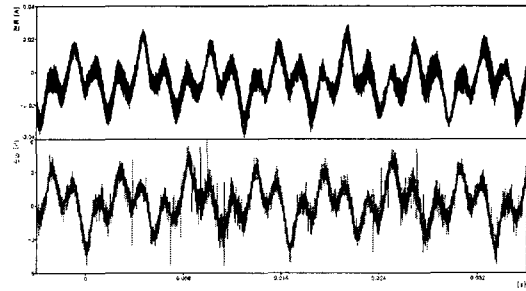


그림 6. 실 계통 전압 및 전류 파형
Fig 6. Current and voltage waveform in real distribution system.

3. 결론

전력계통의 접지설비는 전력계통에서 발생한 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 전류를 측정하는 자료에 의하면 전체 300개소의 약 4% 정도인 12개소의 접지선 전류값이 1[A] 이상으로 나타났다. 그러나 국내에서 제작된 HOOK-ON식 접지저항계는 허용오차가 $\pm 5\%$ 정도이며, 접지선 전류의 크기가 1[A] 이상인 경우 측정용 변류기의 자기포화로 인해 측정이 불가능하다는 단점이 있어 본 논문에서는 접지선의 전류를 이용하여 접지전극의 접지 저항값을 측정하는 새로운 측정기법을 제안하였다. 또한 이 기법을 몇몇 개소에 적용하여 측정된 결과 전위강하법에 의한 접지저항 측정값과 거의 유사한 결과를 도출할 수 있었다. 그러나 접지선으로 흐르는 전류가 주위의 잡음과 가전제품 등에서 발생한 고조파에 의해 상당히 왜곡되어 있기 때문에 보다 진보한 측정 알고리즘의 적용을 통해 효과적인 측정이 가능할 것으로 기대된다.

[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 의재, 65-66, 1999
- [3] 조승기, 정성채, “배전선로의 접지저항 관리에 관한 연구”, 한전 전력연구원 최종보고서, 55-64, 1988