

운전중인 전력설비의 접지저항 측정방법

(A measuring Method of Ground Resistance for Energized Power Systems)

이복희·김성원*·염주홍·이승철

(Bok-Hee Lee · Seong-Weon Kim · Ju-Hong Eom · Seung-Chil Lee)

Abstract

The purpose of this paper is to describe a new measuring method of ground resistance for the grounding system in energized power equipment and substations. It is very difficult to measure the accurate ground resistance in energized power equipment and substations because of the noise conducted from all external connections to the grounding system and harmonics components caused by unbalanced loads and overloads. The ground resistance that is measured with existing methods includes not only the effect of desired signals but also noise components for the measurement period in grounding system. The measured value of ground resistance can entirely be different from actual value. In this paper, to eliminate 60[Hz] power system interference and harmonic components the low-pass filter method was used in the measurement of ground resistance.

1. 서론

접지저항은 대지의 구조, 온도, 수분포함의 정도, 접지전극의 형상, 매설조건 등에 의해서 복잡한 특성을 나타내기 때문에 그 값을 정량적으로 표현하는 것은 곤란한 경우가 많다.^[1]

지금까지는 신설하는 설비의 접지전극에 대한 연구·조사는 많이 진행되어 왔으나 전력설비의 서비스 시작한 이후의 접지극에 대한 접지저항 측정과 평가에 대해서는 현재까지 간과하고 있는 것이 사실이다. 접지전극은 부식이나 산화작용에 의한 경년변화로 인해서 전력시스템의 안전을 비롯하여 고장에 의해 발생한 이상전압에 대해서 장비의 보호와 인체의 안전의 안전, 대지전위상승, 보호전압, 접촉전압 등을 제한하는 접지전극의 자체의 성능저하를 초래할 수 있다. 이런 영향으로 인하여 성능이 저하된 접지전극의 접지저항은 크게 나타나서 고장 조건하에서 전력설비를 이용하는 사람에게 피해를 입히게 될 것이며, 전력시스템의 안전한 동작을 유지하고 여러 설비의 보호하는데 있어서 심각한 문제를 야기 시킬 수도 있다.^{[2]-[4]}

운전중인 전력설비나 변전소의 접지저항 측정에 있어서는 전력선의 불평형시 발생하여 중성선에 흐르는 전류나 접지극 주변에 부유하고 있는 노이즈 성분 등 많은 요소들이 접지저항의 측정에 영향을 미치게 된다. 그러므로 이미 설치된 접지극의 접지저항 값을 확인하고 접지시스템의 안전성을 평가하기 위해서 정확한 접지저항의 측정은 요구되어진다.^[5]

본 논문에서는 실제 전력소나 변전소의 접지시스템의 주접지극으로 하여 설치한 후 주접지극과 연결되어진 보조접지극을 매설하여 주접지극과 보조접지극 사이에 60[Hz]성분과 고조파 성분이 포함된 노이즈 성분을 인가한 후 두 접지극의 병렬합성 저항을 측정하는 방법에 대해서 기술하였다.

2. 실험

2.1. 측정접지극

실제 변전소의 접지극의 접지저항은 1[Ω]이하로 하는 것이 대부분이며, 이와 비슷한 가정을 위하여 접지극을 임의로 [그림 1]와 같이 매설하였다.

주접지극으로는 메쉬 형태로 설치하였고 주접지극에 연결되어서 고장조건이나 이상전압 발생시 주접지극과 함께 연계하여 동작되는 보조접지극으로는 메쉬와 1[m]의 봉전극을 함께 병용하여서 매설하였다.

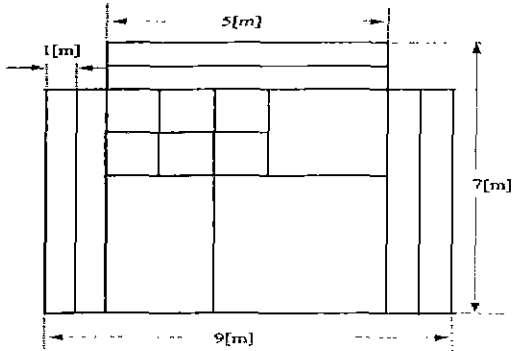


그림 1. 주접지극의 형태
Fig. 1. The shape of main grid

2.2. 측정방법

변전소나 전력설비의 접지시스템을 주접지극으로 모의하였고, 주접지극에 연결된 접지극을 보조접지극으로 모의하여 두 개의 접지전극의 합성 병렬 접지저항을 측정하기 위해서 측정전류로는 60 [Hz]의 상용 전원을 사용하였고, 주접지극과 보조접지극 사이에는 접지저항측정에 영향을 미치는 노이즈 성분을 구현하여서 인가하였다. 측정의 개략도는 [그림 2]에 나타내었다

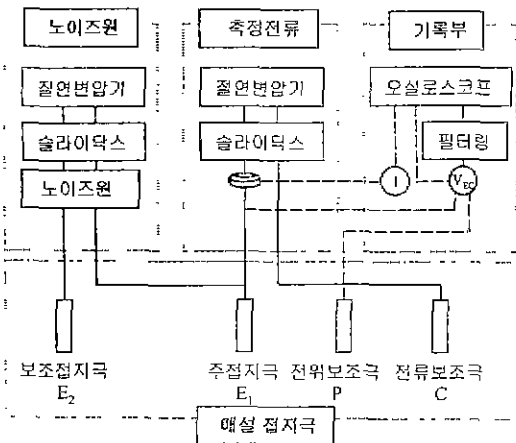


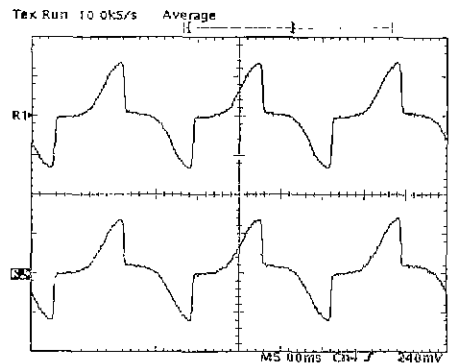
그림 2. 접지저항 측정회로 개략도
Fig. 2. Schematic diagram of the ground resistance measurement circuits

측정 신호전류로 사용된 전원은 AC 220[V]로서 인가된 노이즈성분의 크기를 일정하게 하고, 인가전류의 크기를 변화시키면서 측정 신호전류와 노이즈성분의 비를 달리 하면서 두 접지극의 합성저항을 측정하였다.

노이즈가 인가되지 않을 경우를 주접지극과 보조접지극의 합성병렬 접지저항을 측정하여 기준값

으로 하였고, 노이즈가 인가된 상태의 합성 병렬 접지저항을 측정하여 비교하였다. 그리고 노이즈가 인가된 상태에서 노이즈 성분을 제거하기 위한 방법으로는 저역통과필터(Low-pass Filter)를 사용하였다.

변전소나 전력설비의 접지시스템에 노이즈 성분과 비슷한 노이즈 성분을 모의하기 위해서 3고조파를 비롯한 기수고조파성분이 발생하는 원리를 이용하여 노이즈 성분으로 사용하였으며 노이즈 성분의 전류와 전압 파형은 [그림 3]에 나타내었다.



위 (노이즈전류) : 2 [A/div]
아래 (노이즈전압) : 10 [V/div]
그림 3. 노이즈의 전류와 전압 파형
Fig. 3. The current and voltage of noise

접지저항을 측정에 사용하기 위하여 6차 배터우스 전압제어전압원(Voltage Control Voltage Source : VCVS)형 액티브 저역통과필터를 제작하여서 이용하였다. 이 저역통과필터는 차단주파수 100[Hz]를 갖도록 제작되었다. 필터의 회로도는 [그림 4]에 나타내었다.

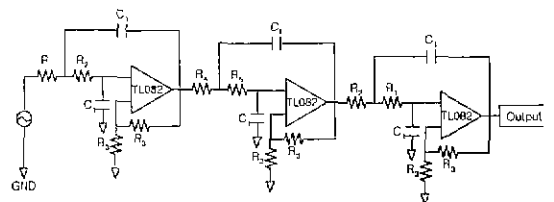
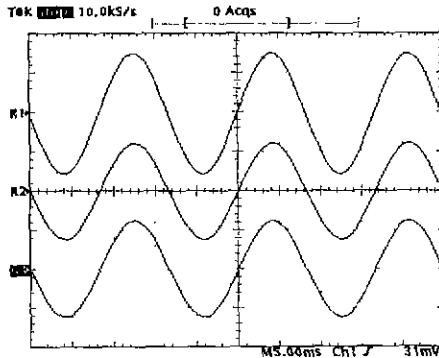


그림 4. 다단저역통과필터의 회로도
Fig. 4. The circuit diagram of multage-stage low-pass filter

3. 결과 및 고찰

3.1 노이즈가 없을 경우

주접지극 E₁과 전류보조극 C사이 에 측정전류를 인가하고 보조접지극 E₂와 주접지극 E₁사이 에 노이즈를 인가하여 전위강하법으로 주접지극 E₁과 전류보조극 P극 사이의 전위상승을 측정하여 접지 저항을 산출하였다. 노이즈가 없을 경우 접지저항을 측정하였을 경우에 나타나는 전류, 전압 파형을 [그림 5]에 나타내었다.



위 (인가전류) : 10 [A/div]
 중간 (인가전압) : 100 [V/div]
 아래 (대지전위) : 20 [V/div]

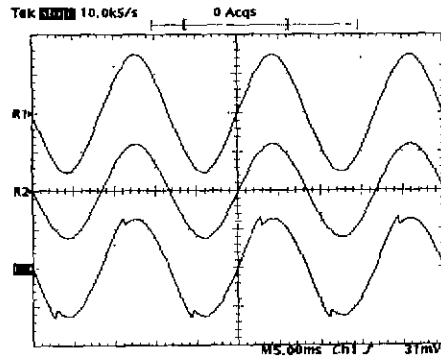
그림 5. 노이즈가 없을 때 인가전류와 전압 및 대지 전위상승 전압파형

Fig. 5. The waveforms of test current, voltage and ground potential rise without noise

측정한 결과 노이즈가 없을 때 주접지극과 보조 접지극의 합성병렬 저항은 1.61[Ω]으로 나타났다. 이렇게 측정된 접지저항 값을 기준으로 하여서 노이즈가 있을 경우와 노이즈를 제거한 경우를 비교하여 나타내었다.

3.2 노이즈가 포함된 경우

노이즈가 있는 경우는 [그림 2]의 측정회로 개략 도에서 나타낸 노이즈원을 인가한 상태에서 실로 치에 의한 신호 대 노이즈 성분의 비를 달리 하여 주접지극과 보조접지극의 합성병렬 저항을 측정하였다. [그림 6]은 신호 대 노이즈 비가 10:1일때의 인가전류, 전압 및 대지전위상승 파형을 나타낸 것이다. [그림 6]의 대지전위상승 파형에 나타난 바와 같이 노이즈 성분이 포함된 것을 볼 수 있다. 신호 대 노이즈 성분 비에 따라서 측정된 접지저항 값의 변화를 [그림 7]에 나타내었다. 노이즈 성분이 포함되어 있을 경우 [그림 7]의 그래프에 나타낸 바와 같이 신호 대 노이즈 비에 따라서 접지저항에 많은 변화가 있다는 것을 알 수 있다.



위 (인가전류) : 10 [A/div]
 중간 (인가전압) : 100 [V/div]
 아래 (대지전위) : 20 [V/div]

그림 6. 신호 대 노이즈 비가 10:1일 때 인가전류, 전압 및 대지전위상승 파형

Fig. 6. The waveforms of the incident current, voltage and ground potential rise when the ratio of signal to noise ratio is 10

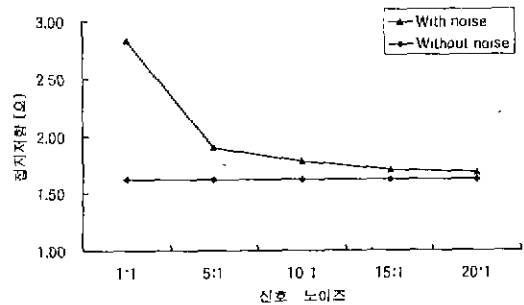


그림 7. 신호 대 노이즈 비에 따른 접지저항

Fig. 7. Ground resistance as a function of signal/noise ratio

[표 1]은 신호 대 노이즈 전류비에 따른 접지저항 값을 나타낸 것이다. 신호대 노이즈 비가 15 : 1 이상이 되면 접지저항 값은 실제 노이즈원이 없는 접지저항 값과 5[%] 정도의 오차를 갖는 것으로 나타났다.

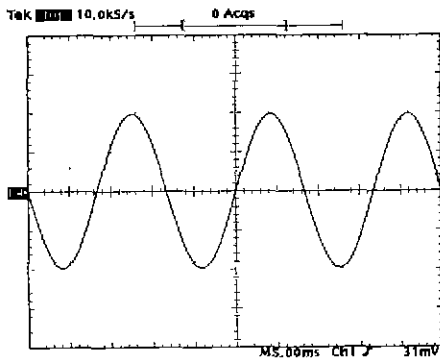
표 1. 노이즈가 포함된 경우 접지저항과 오차
 Table 1. Ground resistance and relative errors with noise

신호:노이즈	구분	접지저항의 측정값 [Ω]	오차 [%]
1 : 1		2.83	74.73
5 : 1		1.90	17.41
10 : 1		1.78	9.88
15 : 1		1.70	5.04
20 : 1		1.68	3.67

그러나 실제 운전중인 전력설비나 변전소의 접지시스템에 노이즈 성분에 비해 상당히 큰 신호전류를 인가하기에는 주변설비의 동작에 많은 문제점이 발생하게 될 것이다. 따라서 적은 전류비로 정확한 접지저항 값을 측정하기 위한 방법으로 저역통과필터를 사용하는 방법에 대해서는 3.3에 나타내었다.

3.3 필터를 사용한 경우

[그림 4]의 회로에 의해서 제작된 저역통과필터를 사용하여 노이즈성분에 포함된 고조파 성분을 제거하고 접지저항을 측정하였다. 필터를 이용하였을 경우 측정된 대지전위 상승 파형에 대해서 [그림 8]에 나타내었다.



대지전위상승 : 13.7 [V/div]

그림 8. 신호 대 노이즈 비가 10:1일 경우 대지전위 상승 필터링 파형
Fig. 8. The waveform of filtered ground potential rise when signal/noise is 10/1

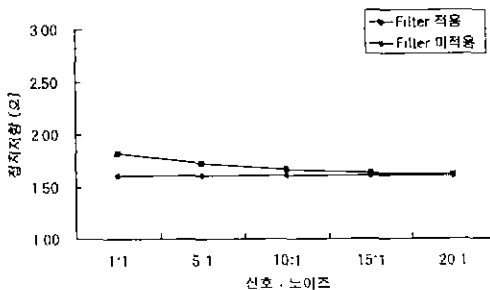


그림 9. 필터를 사용하여 측정된 접지저항
Fig. 9. The ground resistance measured by using low-pass filter

[그림 8]은 [그림 6]의 세 번째 파형을 제작된 필터를 통해서 측정된 파형이다. 필터의 차단주파수가 100[Hz]이므로 이 파형에는 노이즈성분에 포

함된 60[Hz]성분은 함께 포함되어 있다. 따라서 [그림 8]의 파형에서 이미 측정된 노이즈의 60[Hz] 성분을 제거하고 대지전위상승 값으로 적용한 결과 측정된 접지저항을 노이즈가 없을 경우와 비교한 결과를 [그림 9]에 나타내었다.

[그림 9]에 나타난 바와 같이 저역통과필터를 이용하여 접지저항을 측정했을 경우 측정된 접지저항은 실제 노이즈원이 없을 경우와 거의 비슷한 접지저항 값을 갖는 것을 볼 수 있다. [표 2]에 나타난 바와 같이 신호 대 노이즈 비가 작은 경우는 12.7[%]의 오차를 갖고 신호 대 노이즈 비가 20:1 이상이 되면 필터를 사용한 경우는 노이즈가 없는 경우와 일치하는 것을 볼 수 있다.

표 2. 필터를 사용하여 측정된 접지저항과 오차
Table 2. The measured ground resistance by filter and the errors

신호:노이즈	구분	접지저항의 측정값 [Ω]	오차 [%]
1 : 1		1.81	12.17
5 : 1		1.73	6.51
10 : 1		1.66	2.50
15 : 1		1.63	0.69
20 : 1		1.61	0

4. 결론

본 논문에서는 운전중인 접지극과 연계된 다른 접지극의 합성 병렬 접지저항을 전위강하법을 이용하여 접지저항 값을 측정할 경우 노이즈가 포함된 경우의 접지저항을 측정·비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

전력설비나 변전소의 접지극의 노이즈에 의한 영향을 제거하고 접지저항을 측정할 경우 적은 오차를 갖는다는 것을 실험을 통하여 알 수 있었다. 또한 신호 대 노이즈 비가 증가할수록 실제의 접지저항 값에 근접함을 알 수 있다.

필터링을 이용한 방법은 노이즈에 60[Hz]성분이 포함되어 있지 않고 고조파 성분만 포함되어 있을 경우에는 시간에 따른 노이즈의 변동에 관계없이 접지저항 측정오차의 폭을 줄일 수 있다는 장점이 있으나 저역통과필터를 구현해야 한다는 것과 60 [Hz] 성분이 포함된 노이즈가 측정하는 순간마다 시간에 따라 일정하지 않고 크게 변동을 하면 측정 오차의 크기가 다소 증가하게 되는 단점을 가지고 있으므로 이에 대한 연구가 요망된다.

참 고 문 헌

- [1] 이복희, 이승철, "접지의 핵심 기초 기술", 도서출판 義僑, p.40, pp.64~69, 1999.
- [2] Li Maotang, Li Jing, "A New Type of Grounding Resistance Measurement Method", IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, Vol. 48, No. 5, pp.899~902, Oct. 1999
- [3] P. R. Pillai and E. P. Dick, "A Review on Testing and Evaluating Substation Grounding Systems", Trans. Power Delivery, Vol. 7, No. 1, pp.53~61, Jan. 1992
- [4] Hnas R. Seedher, J. K. Arora, S. K. Soni, "A Practical Approach for Computation of Grid Current", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 14, No. 3, pp.897~902, July 1999
- [5] W. C. Boaventura, P. S. A. Rocha, F. C. Dart, "Testing and Evaluating Grounding Systems of High Voltage Energized Substations : Alternative Approaches", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 14, No. 3, pp.923~927, July 1999