

Measurement of Resistance of Multi-Grounded System by Ground Current Measurement

崔鍾基* · 安勇豪* · 鄭吉朝** · 韓秉誠*** · 金慶哲§
(Jong-kee Choi · Yong-ho Ahn · Gil-jo Jung · Byung-sung Han · Kyung-chul Kim)

Abstract - Measuring ground resistance has been a popular method of evaluation of the grounding electrode performance. If some portions of grounding electrodes are lost by corrosion, aging or other reasons, consequent deterioration of the grounding performance would be resulted. It is one of the reasons why it is required to evaluate the performance of grounding systems regularly. However, in case of the electric facilities with multi-grounded system such as power substations with multi-grounded overhead ground wires and/or distribution line neutrals, it is practically difficult to disconnect neutrals or skywires from the substation grounding mesh for the ground resistance measurement. In this paper, a method for the grounding performance measurement of multi-grounded systems, which is based on the measuring ground current distributions, has been proposed. A field test results has shown the validity of the proposed test method.

Key Words : 접지전류, 접지저항, 다중접지, 분류계수

1. 서 론

접지저항은 접지체의 성능을 나타내는 가장 대표적인 지수이다. 경년변화나 기타 요인에 의해 접지체가 손상되거나 유실되면 이로 인해 접지체의 성능이 변동하게 될 것이며 따라서 접지성능이 유지되고 있는지를 확인하기 위하여 정기적으로 접지저항을 측정할 필요가 있다. 접지저항의 측정은 측정대상 접지체와 원거리 전류전극 사이에 기지의 전류를 흘려 측정대상 접지체와 원거리에 위치한 전위 기준전극 사이의 전위차를 측정하고 이를 주입전류로 나눔으로써 수행된다. 그러나 측정대상 접지체가 외부 접지계통과 연결되어 있는 다중접지계통이면 측정대상 접지체로 주입되는 전류가 외부 접지계통으로도 분류됨으로써 측정대상 접지체 단독의 접지저항 측정은 곤란해진다. 이 경우 측정대상 접지체와 외부 접지계통과의 연결을 끊고 측정을 하여야 하는데 이는 매우 번거로운 작업이 될 수 있다. 예를 들어 변전소 접지계통의 경우 변전소 접지망은 배전선로의 중성선, 송전선로의 가공지선과 연결되어 있다. 배전선로의 중성선은 배전전주의 다중접지계통에 송전선로의 가공지선은 철탑의 탐각 접지계통에 병렬 연결되어 있기 때문에 변전소의 접지망 단독의 접지저항을 측정하기 위해서는 접지망과 연결된 모든 외부 접지계통을 분리하여야 하지만, 단지 접지저항을 측정하기 위하여 정기적으로 변전소의 운전을 정지시키고 이같은 작업을 수행한다는 것은 특별한 경우를 제외하고는 현실적으로 불가

능한 일이다.

본 논문은 여러 접지계통이 병렬로 연결되어 있는 다중접지계통의 경우, 다중 접지계통에 주입한 총 전류 중 개별 접지계통으로 분류되는 전류와 접지체의 전압을 각각 측정함으로써 전체 및 개별 접지계통의 상대적인 성능진단이 가능함을 보여주고자 한다. 이를 위하여 30x10 [m²]의 시험용 접지망과 송배전 접지계통을 모의하는 다중 접지계통을 구성하여 실증시험을 수행하였다. 시험결과, 접지망 단독, 송전 및 배전 접지계통으로 구성된 시험 접지계통으로 주입한 시험전류와 각각의 접지계통들로 분류되는 전류를 측정함으로써 개별 접지계통의 접지저항 산정이 가능함을 보였다.

2. 본 론

2.1 다중접지계통의 전압과 전류분포

그림 1은 다중접지계통에서의 전압과 개별 접지계통의 전류 분포를 나타낸다. R_s 는 측정대상 접지체(변전소 접지망), R_t 는 송전 접지계통(가공지선 다중접지) 및 R_D 는 배전 접지계통(중성선 다중접지)의 저항을 대표하며, 접지계통으로 주입하는 전류(I)와 이로 인한 전위상승(V)를 검출한다고 가정한다. 개별 접지저항들의 분류계수(S_i)는 각각 I_s/I , I_T/I 그리고 I_D/I 로 정의되며 개별 접지극으로 분류되는 전류와 접지저항 사이에는 식 1의 관계가 성립되므로 접지저항이 작을수록(즉, 접지성능이 우수할수록) 분류계수는 커진다고 볼 수 있다. 따라서 개별 접지계통의 분류계수를 측정함으로써 상대적인 접지성능을 평가할 수 있다. 또한 접지극의 전위상승(V)이나 어느 한 개의 저항값, 예를 들어 R_s 의 값을 알 수 있다면, 식 1이나 2에 의해 다른 저항값들(R_T , R_D)도 구할 수 있다.

* 正 會 員 : 電力研究院 電力系統研究室 先任研究員

** 正 會 員 : 電力研究院 電力系統研究室 責任研究員

*** 正 會 員 : 全北大學校 電子情報工學部 教授

§ 正 會 員 : 弘益大學校 電氣工學科 教授

接受日字 : 2003年 4月 18日

最終完了 : 2004年 2月 12日

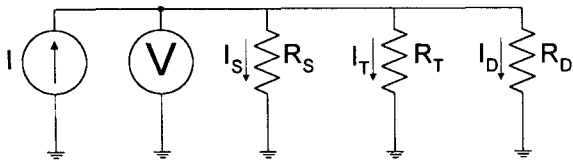


그림 1 다중접지계통에서의 전압과 전류분포
 Fig. 1 Voltage and current distribution in a multi-grounded system

$$I_S : I_T : I_D = 1/R_S : 1/R_T : 1/R_D \quad (1)$$

$$V = I \times (1/R_S + 1/R_T + 1/R_D)^{-1} \\ = I_S \times R_S = I_T \times R_T = I_D \times R_D \quad (2)$$

따라서, 변전소 접지계통과 같은 다중접지계통에서 분류계수를 측정할 수 있다면 변전소 접지망으로부터 송전선로의 가공지선과 배전선로의 중성선과 같은 외부 접지계통을 분리하지 않고 개별접지계통의 상대적인 접지저항을 측정할 수 있으며 개별 접지계통의 성능을 알 수 있을 것이다.

2.2 접지저항 측정회로 및 실증시험장

그림 2와 같은 다중 접지계통에서 접지망 단독의 접지저항 측정을 위해서, 이 접지망을 통해 대지로 누설되는 접지전류(I_S)를 직접 측정한다는 것은 불가능한 일이지만, 전체 접지계통에 주입되는 전류(I)와 측정대상 접지망 외의 외부 접지계통으로 누설되는 전류(I_T, I_D)의 대수합을 통해 접지망의 접지전류(I_S=I-I_T-I_D)를 산정할 수 있다.

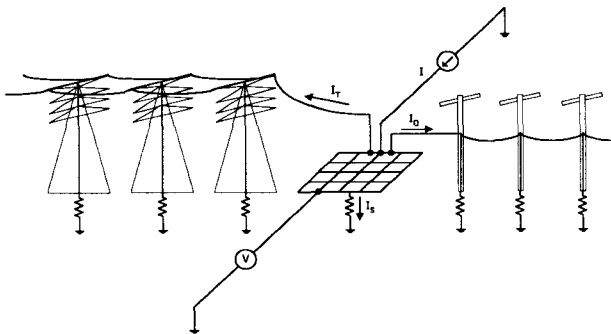


그림 2 접지전류 분류계수 측정회로
 Fig. 2 Ground current division factors measuring circuit

이 논문에서는 상기 기술한 방법으로 접지전류(I_S)를 측정할 수 있는 시스템을 구축하였으며, 시스템의 각 구성요소와 기능을 간략히 기술하면 다음과 같다.

- (1) 전류 주입용 전원장치 (측정대상 접지극과 원거리 전극간 시험전류 순환)
 - ① 휴대용 발전기 ; 1.6 KVA, AC 100V(주파수:50 Hz)
 - ② 시험전류(전압) 조절용 슬라이더 ; input 100V / output 0~130 V
 - ③ 승압용 절연변압기 (2 KVA, 100/440 V)
- (2) 데이터 취득 및 분석장비
 - ④ 휴대용 데이터 취득장비 (8 채널, ADC해상도 : 16 bit, Sampling rate : Max. 1 M/s)

- ⑤ Clamp방식 전류프로브 7개 , 차동 전압프로브 1개
- ⑥ 휴대용 컴퓨터
- (3) 기타 장비
 - ⑦ 전압/전류전극용 접지봉, 전선릴, 전원릴 등

전류 주입장치의 전원 주파수를 50 Hz로 선택하고 이 주파수 대역의 신호만을 취득함으로써, 접지계통에 존재할 수 있는 60 Hz 및 고조파잡음이 측정결과에 미치는 영향을 제거하였으며 휴대용 컴퓨터에 탑재된 데이터 취득 및 분석프로그램을 통하여 데이터 분석결과를 현장에서 바로 확인할 수 있도록 하였다.

그림 3은 접지전류의 분류계수를 측정하기 위하여 변전소의 접지망 및 송배전 접지계통을 모의한 실증시험장의 접지계통과 측정회로의 구성을 나타낸다. 전체 접지계통은 30x10 [m²]의 시험접지망과 765 kV 송전철탑 4기(철탑의 탑각접지는 가공지선을 통해 연결됨) 및 상용 22.9 kV 배전선로 중성선의 다중접지로 구성되어 있으며, sw1과 sw2의 on/off를 통해 ① 시험접지망 단독, ② 시험접지망+배전중성선 접지, ③ 시험접지망+송전철탑 접지 및 ④ 시험접지망+송전철탑+배전 중성선 접지의 네가지 조합의 접지계통을 모의하였다.

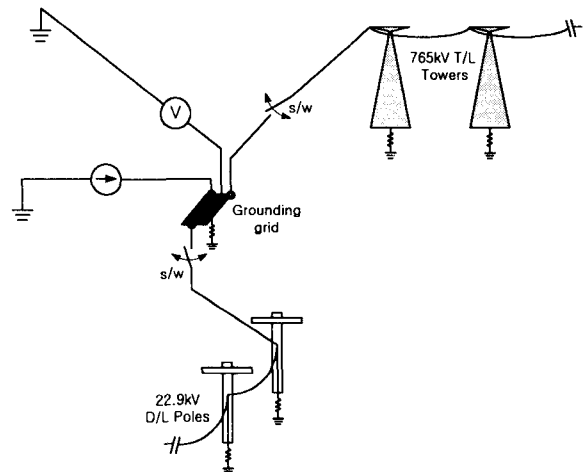


그림 3 실증시험장 배치도
 Fig. 3 Configuration of overall test-setup

2.3 접지저항 및 전류분포의 측정

그림 3과 같이 구성된 다중접지계통에 대하여 전체 접지계통에 주입된 전류 (I) 와 송전 접지계통으로 분류되는 전류(I_T), 배전 접지계통으로 분류되는 전류(I_D) 및 접지망의 전위상승 값(V)을 각각 측정하였으며 그 결과를 요약하면 표 1과 같다.

표 1에서 보는 바와 같이 개별 접지계통의 전류의 크기와 위상을 각각 측정함으로써 개별 접지계통의 임피던스를 구할 수 있으며 전류의 크기와 위상을 알 수 있어서 벡터적으로 해석한 결과와 측정치를 비교할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어 접지망, 송전철탑 및 배전 중성선이 모두 병렬로 연결된 접지계통에서 접지망으로 분류되는 전류는 0.15∠6.4° (= 2.03 - 1.24∠-1.4° - 0.64∠1.2°) 이므로, 접지망의 접지임피던스는 6.25∠-5.° (=0.938∠1.0° / 0.15∠6.4°) 가 된다. 따라서 송전철탑 가공지선의 임피던스는 1.24∠-1.4° (=6.97∠6.8° /

61.4∠-1.4° x 6.63∠-5.8°)이며 배전 중성선의 임피던스는 1.46∠-0.2° (=6.97∠6.8° / 31.7∠1.2° x 6.63∠-5.8°) 로 구해 질 수 있다. 표 2는 표 1의 전류 분류계수와 접지전위 측정치를 토대로 산정된 개별 접지계통의 임피던스이다.

표 1 전압 및 전류분포 측정결과

Table 1 Voltage/Current Measurement Summary

	주입전류 [A] (I)	송전철탑 [A] (I _T)	배전중성선 [A] (I _b)	접지망 [A] (I-I _T -I _b)	접지전위 [V] (V)
접지망 단독	1.87∠0° (100∠0°)	0	0	1.87∠0° (100∠0°)	11.27∠-7.2° (603.3∠-7.2°)
접지망+배전중성선	1.92∠0° (100∠0°)	0	1.59∠-2.8° (82.4∠-2.8°)	0.34∠13° (17.7∠13°)	2.15∠1.4° (111.8∠1.4°)
접지망+송전철탑	1.94∠0° (100∠0°)	1.75∠-2.1° (90.2∠-2.1°)	0	0.20∠18.5° (10.4∠18.5°)	1.28∠1.5° (65.8∠1.5°)
접지망+철탑+중성선	2.03∠0° (100∠0°)	1.24∠-1.4° (61.4∠-1.4°)	0.64∠1.2° (31.7∠1.2°)	0.15∠6.4° (7.46∠6.4°)	0.938∠1.0° (46.3∠1.0°)

(※괄호안의 수치는 주입전류를 100∠0°[A]로 정규화한 값)

표 2 개별 접지계통의 접지저항 계산결과

Table 2 Ground resistance of test systems

	접지망 단독	송전철탑 4기	배전 중성선
접지망 단독	5.98 Ω	-	-
접지망+배전 중성선	6.03 Ω	-	1.34 Ω
접지망+송전철탑	6.04 Ω	0.73 Ω	-
접지망+철탑+중성선	6.59 Ω	0.75 Ω	1.46 Ω

2.4 접지저항 측정의 검증

표 2의 측정결과를 확인하기 위하여 sw1과 2를 open한 상태에서 접지망 단독의 접지저항을 측정하였다. 그림 4와 5는 전위강하법 측정회로와 측정결과를 각각 보인 것이다. 이론적으로 접지망과 전류귀환전극 사이에서 x를 변경했을 때의 겉보기저항(R_{apparent})값의 기울기가 0인 구역은 양 전극의 전위간섭이 없는 기준전위, 즉 영전위(zero potential)가 된다. 따라서 이 지점에서 겉보기저항은 접지망의 접지저항과 같아지게 되며, 그림 5로부터 접지망 단독의 접지저항 참값은 약 6.2 Ω임을 알 수 있다.

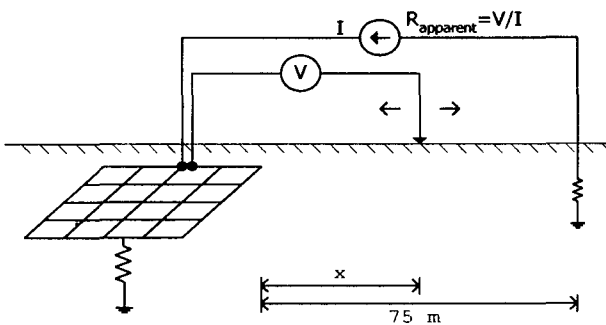


그림 4 전위강하법 측정회로

Fig. 4 FOP(Fall-Of-Potential) Test Circuit

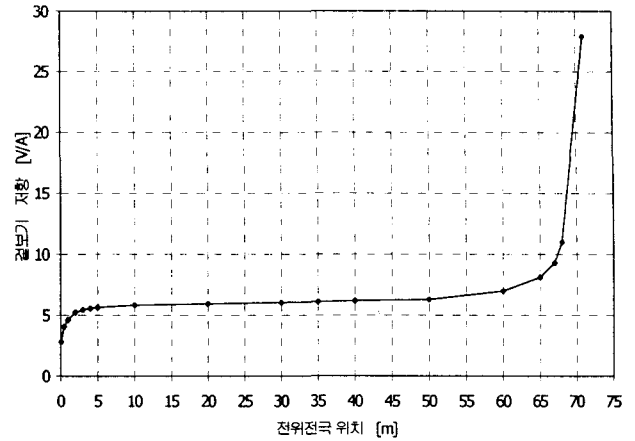


그림 5 전위강하법 측정결과

Fig. 5 FOP Test Result

전위강하법 측정으로부터 구한 접지망 단독의 접지저항값과 2.3절의 측정결과로부터 산정된 접지망 단독의 접지저항을 비교한 결과, 측정대상 접지망과 외부 접지계통을 분리하지 않은 상태에서 측정된 접지망 단독의 접지저항은, 최대 7% 미만의 오차범위 내에서 접지저항의 참값과 잘 일치하였다.

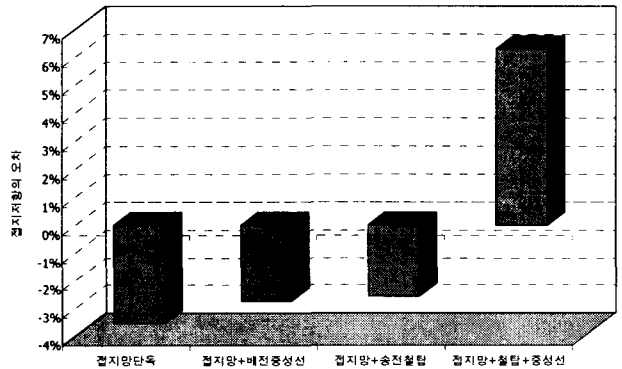


그림 6 접위강하법 측정결과와의 오차

Fig. 6 Percent error of the measured ground resistance

3. 결 론

이 논문에서는 변전소 접지계통과 같은 다중 접지계통에서 측정대상 접지극과 외부 접지계통을 분리하지 않고도 개별 접지계통의 임피던스를 측정할 수 있는 시스템을 구축하고 시험용 접지망과 송전철탑 및 배전 중성선 접지계통이 조합된 접지계통을 대상으로 한 실증시험을 수행하였다. 전위강하법 시험에 의해 측정된 접지망 단독의 접지저항과 접지전류의 측정시험에서 얻어진 결과와 비교함으로써 측정결과에 신뢰성을 확인하였다. 시험전류의 주파수는 50 Hz로 선택함으로써 운전 중인 전력설비에 존재할 수 있는 60 Hz 및 고조파 잡음의 영향을 받지 않도록 하였으며, 향후 운전 중인 다중 접지계통 전력설비의 정기적으로 접지저항을 측정하여 DB화함으로써 접지성능을 진단하는데 유용하게 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] H.G.Sarmiento, J.Fortin, D.Mukhedkar, "Substation ground impedance: comparative field measurement with high and low current injection methods", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-103, no.7, July 1984, pp. 1677-1683
- [2] J.Fortin, H.G.Sarmiento, D.Mukhedkar, "Field measurement of ground fault current distribution and substation ground impedance at LG-2, Quebec", IEEE Trans. on PD, vol.PWRD-1, no.3, July 1986, pp. 48-60
- [3] Shashi G. Patel, "A complete field analysis of substation ground grid by applying continuous low voltage fault", IEEE Trans. on PAS, vol. PAS-104, no.8, Aug. 1985, pp. 2238-2243
- [4] IEEE guide for measurement of impedance and safety characteristics of large, extended or interconnected grounding systems, IEEE Std 81.2-1991
- [5] 한국전력공사, "운전 중인 변전소의 접지계통 진단기술 개발연구 (중간보고서)", 2001.10

저 자 소 개



최 종 기 (崔 鍾 基)

1969년 2월 1일생. 1992년 동국대 전기공학과 졸업. 1995년 홍익대 전기제어공학과 졸업(석사). 1995년 ~ 현재 한국전력공사 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원

Tel : 042-865-5876
Fax : 042-865-5844
E-mail : jkchoi@kepri.re.kr



안 용 호 (安 勇 豪)

1961년 7월 10일 생. 1984년 인천대 전기공학과 졸업. 2000년 전북대 전기공학과 졸업(석사). 1987년 한국전력공사 입사. 1995년 ~ 현재 한국전력공사 전력연구원 선임연구원

Tel : 042-865-5883
Fax : 042-865-5844
E-mail : yhan@kepri.re.kr



정 길 조 (鄭 吉 朝)

1949년 8월 16일 생. 1983년 중앙대 전기공학과 졸업. 1995년 연세대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 1974년 한국전력공사 입사. 1996년 ~ 현재 한국전력공사 전력연구원 송변전기술그룹 그룹장

Tel : 042-865-5870
Fax : 042-865-5844
E-mail : jungkjo@kepri.re.kr



한 병 성 (韓 秉 誠)

1951년 12월 22일생. 1988년 프랑스 루이 파스퇴르대학 박사학위취득. 1988년 프랑스 CNRS(프랑스국립과학연구소)연구원. 현재 전북대학교 전자정보공학부 교수

Tel : 063-270-2396
Fax : 063-270-2394
E-mail : hbs@moak.chonbuk.ac.kr



김 경 철 (金 慶 哲)

1954년 1월 20일생. 1977년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 1984년 New Mexico State University 전기공학과 졸업(석사). 1988년 University of Texas at Arlington 전기공학과 졸업(박사)

현재 홍익대학교 전기공학과 교수
Tel : 041-860-2568
Fax : 041-863-7605
E-mail : yangjier@wow.hongik.ac.kr