

개별 접지전극과 연결된 접지전극의 전위상승 분포 비교 연구

(Research on Comparison of Individual and Connecting Grounding Electrode for Potential Rise Distribution)

길형준* · 최충석 · 이복희

(Hyoung-Jun Gil · Chung-Seog Choi · Bok-Hee Lee)

요 약

본 논문에서는 전위상승에 대한 개별 접지전극과 연결된 접지전극의 비교를 다루었으며, 시험전류가 접지전극에 흐를 때 실시간으로 접지방식에 대한 전위상승이 측정 및 분석되었다. 접지시스템의 전위상승을 분석하기 위해 반구형 수조실험장치가 사용되었고, 이를 이용하여 접지방식 및 거리에 따라 전위상승이 측정되었다. 실험장치는 반구형 수조, 전원공급장치, 이송형 전위계측장치, 시험 접지전극으로 구성되었고 전위계측장치의 프로브가 수평방향으로 이송함에 따라 전위상승이 측정되었고, 접지전극으로는 80 : 1 축척의 봉형 접지전극을 사용하였다. 개별 접지전극의 전위상승이 연결된 접지전극보다 높게 나타났으며 전위분포는 접지전극으로부터의 거리에 의존하는 특성을 나타내었다.

Abstract

This paper deals with a comparison of individual and connecting grounding electrode for potential rise. When a test current flowed through grounding electrode, potential rise was measured and analyzed for grounding method using a electrolytic tank in real time. In order to analyze the potential rise of grounding systems, a hemispherical water tank experimental apparatus was studied. Potential rise was measured and analyzed regarding the grounding method and distance by using this apparatus. The apparatus was composed of a hemispherical water tank, AC power supply, a movable potentiometer, and test grounding electrodes. The potential rise was measured by the horizontal moving probe of the potentiometer. The grounding electrodes were designed and fabricated with ground rods on a scale of one-eightieth. Potential rises of individual grounding electrode were higher than those of connecting grounding electrode. The distributions of surface potential are dependent on the distance from grounding electrode.

Key Words : Grounding electrode, Potential rise, Hemispherical water tank experimental apparatus, Distance

* 주저자 : 전기안전연구원 선임연구원
Tel : 031-580-3034, Fax : 031-580-3045
E-mail : fa523@paran.com

접수일자 : 2007년 9월 13일
1차심사 : 2007년 9월 18일, 2차심사 : 2007년 10월 26일
심사완료 : 2007년 11월 21일

1. 서 론

접지시스템을 구축하는 데는 크게 두 가지 목적이 있다. 첫째, 전력계통의 고장전류가 대지로 방류될

개별 접지전극과 연결된 접지전극의 전위상승 분포 비교 연구

수 있도록 전기적 경로를 마련하여 전기설비에 발생하는 접촉 및 보폭전압을 안전범위내로 유지될 수 있도록 하는데 있다. 두 번째 목적은 전기계통과 민감한 전자계통이 상호 접속되어 있을 때 이들 계통 사이에 등전위를 유지하여 장애를 최소화하는데 있다. 전자를 보안용 접지라고 부르며, 인체의 감전보호에 중점을 두는 접지이고, 후자를 설비 안정화를 위한 기능용 접지라고 부른다.

이와 관련한 접지방식에 대해 외국의 국제규격 등을 보면 종전에 비해 키워드가 상당히 변하고 있음을 알 수 있다. 즉 접지라고 하면 종전의 경우 접지 저항이라는 용어를 연상하였으나 최근에는 기준접지, 등전위 접지, GPR, EMI, EMC 등의 용어가 많이 등장하고 있다. 접지에 관한 설계기준은 나라마다 약간의 차이를 보이고 있으나, 근본적으로는 인체에 대한 감전위험을 피하고 설비간의 안정적인 가동이라는 측면에서 차이는 없다. 접지시스템의 안전성 평가와 관련하여 종래의 접지저항의 개념에서 접촉 전압, 보폭전압 등 위험전압 측면에서 평가 연구가 진행중에 있으며, 접지전극의 형상별, 구조체 접지 등의 전위상승, 접촉전압, 보폭전압 등의 분석이 이루어지고 있다. 또한 컴퓨터 프로그램 및 반구형 수조를 이용한 독립접지방식의 전위간섭 특성에 대한 평가가 수행되고 있다[1-3]. 따라서 본 연구에서는 개별 접지전극과 연결된 접지전극에 고장전류가 흘러 대지로 방류되는 상황을 모의하고 이에 따른 인체 및 설비의 위험성 평가에 기반이 될 수 있는 전위상승의 분석을 위해 반구형 수조실험장치를 이용하였으며 향후 분석된 자료는 대기전위상승에 따른 감전사고의 감소뿐만 아니라 설비의 안정적 가동 측면에서도 활용될 수 있을 것이다.

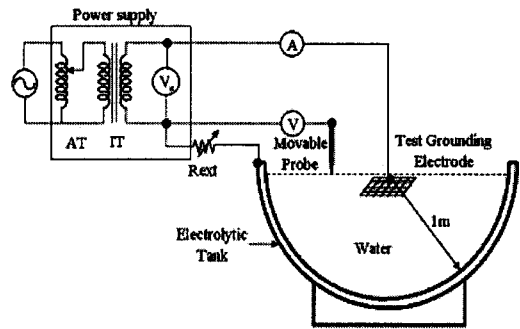
2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 구성

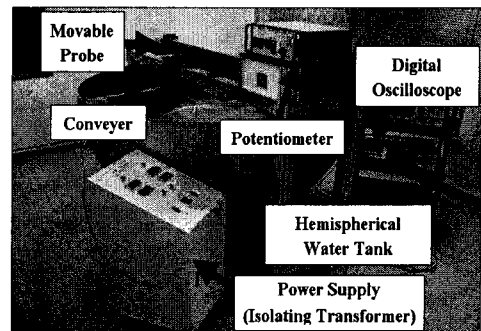
반구형 수조실험장치는 지락전류를 일정하게 발생하기 위한 교류전원공급장치, 측정점의 제적과 대기전위상승을 측정하는 이송형 전위계측장치, 반구형 수조탱크 및 시험접지극으로 구성하였다. 반구형

수조실험장치의 측정회로 및 사진을 그림 1에 나타내었다.

반구형 수조탱크의 재질은 스테인리스이며, 직경은 2[m]이다. 수조탱크 외함은 인체감전보호 및 설비 안정화, 노이즈 제거를 위해 접지를 시설하였다. 220[V]의 전원계로 고장전류의 분리 및 측정시 안전을 고려하여 절연변압기를 사용하였고, 고장전류의 가변을 위한 전압조정기(AT: Auto-Transformer)가 포함되어 있다. 그림 1(a)에서 가변저항은 교류전원 발생장치에서 지락전류 발생시 전류를 제한하기 위해 설치한 것으로 6.04[Ω]로 설정하였다.



(a) 측정회로



(b) 사진

그림 1. 반구형 수조실험장치

Fig. 1. Hemispherical water tank experimental apparatus

인가전압을 지시하는 전압계(Vs)는 시험접지극과 무한점간의 전압이 얼마인지를 모의하기 위한 것이며 전압계(V)는 프로브와 무한점간의 대기전위를 나타낸다. 또한 전류계(A)는 시험접지극과 무한점

사이에 흐르는 전류를 나타내며, V/I의 비로서 준무한 대지에 매설된 접지전극의 접지저항이 구해진다. 대지전위를 측정하기 위한 프로브는 이송형 전위계 측정장치에 장착되어 있으며, 물의 표면 혹은 내부의 전위를 측정하기 위한 것이고, 콘베이어를 통해 이송되며, 전위계측장치에서 프로브의 이동궤적이 표시된다. 전위계측장치 모터의 가변속도범위는 0~0.01[m/s]이며 프로브의 재질은 직경 5.1[mm]의 동봉을 사용하였으며 프로브를 지지물로 완전히 고정시켜 이송시 흔들림이나 기울어짐이 발생하지 않도록 하였다. 그림 2는 상하, 전후, 좌우 이송이 가능하도록 제작된 3차원 전위계측장치의 개략도를 나타내며, 현재 프로그램과 연계하여 위치 추적 기능을 갖도록 개발중이다. 측정시의 물의 저항률은 39[Ω · m]이며 수저항률계(CM-21P, TOA · DKK, Japan)로 측정하였다[4-6].

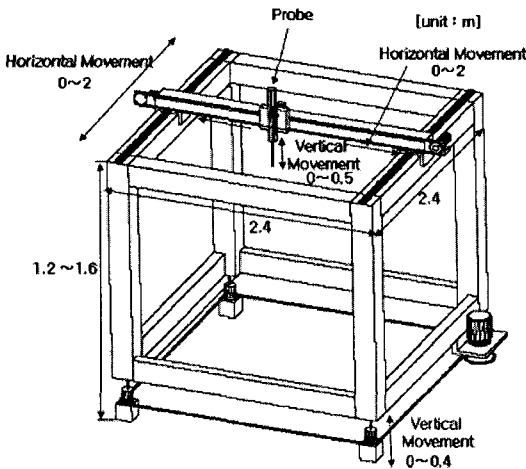


그림 2. 3차원 전위계측장치
Fig. 2. 3-dimensional potentiometer

2.2 실험방법

실험용 접지전극을 구성하기 위해 실제 건설현장에서 시설중인 접지계를 모의하였다. 실제 접지계를 80 : 1로 축소한 봉형 접지전극을 모델로 하였으며, 실제 모델과 축소 모델을 표 1에 나타내었다.

도양의 특성을 모의하기 위해 측정이 용이한 지하수를 수조내에 채웠으며, 실험용 접지전극은 해석

대상 접지계를 80 : 1로 축소한 크기로서 제작상 어려움과 9.5[mm] 깊이의 수조 내부에 고정시 편의를 위해 두께 1[mm]의 스테인리스 도체를 이용하였다. 그 이유는 접지도체의 두께는 저항값과 대지전위상에 미치는 영향이 적으므로 80 : 1의 축적에 적용하지 않았다.

표 1. 실제모델과 80 : 1의 축소모델
Table 1. A full scale model and a reduced scale model of one-eightieth

항 목	실제 모델	축소 모델
접지전극의 매설깊이	0.76[m]	9.5[mm]
봉형 접지전극의 길이	8[m]	0.1[m]
봉형 접지전극의 직경	0.0127[m]	1[mm]

또한 실험용 접지전극을 수면 아래 9.5[mm]에 장착한 이유는 전기설비기술기준에서 접지전극은 지표면에서 0.75[m] 이하에 시설하도록 규정하고 있으며, 이를 80 : 1로 축소한 값이기 때문이다.

개별 접지전극과 연결된 접지전극을 비교 및 분석하기 위해 수조의 중심부인 1[m] 지점에 1개의 접지전극을 장착한 후 1.05[m] 지점에 동일한 접지전극을 장착하였다. 개별접지의 경우는 각각 독립되어 시설되었으며, 연결된 접지의 경우는 2개의 접지전극을 도체로 연결하였다. 지락전류는 개별접지 및 연결된 접지 모두 탱크 중심부에 위치한 접지전극에 인가하였으며, 접지전극의 설치 및 지락전류의 인가를 그림 3에 나타내었다.

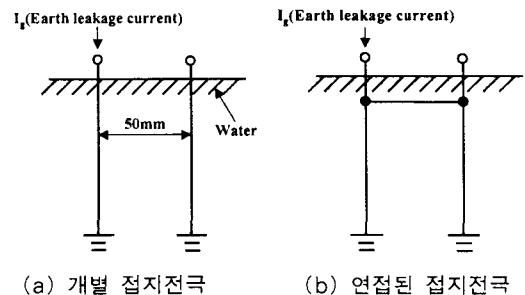


그림 3. 봉형 접지전극의 설치
Fig. 3. Installations of the ground rods

3. 결과 및 고찰

3.1 개별 접지전극의 전위상승

접지전극에 지락전류가 유입하게 되면 접지전극은 물론이고 접지전극 주변의 대지표면의 전위가 상승한다. 따라서 공통으로 접지를 한 설비에 영향을 미치게 되며, 경우에 따라서는 절연파괴, 기기의 오동작이나 파손을 가져오게 되는 장애를 가져오게 된다[7-8].

개별적으로 접지공사를 하는 방식을 독립접지라 하며, 이상적인 독립접지는 예를 들어 그림 4와 같이 2개의 접지전극이 있는 경우에, 한쪽 접지전극에 접지전류가 아무리 흘러도 다른 쪽 접지전극에 전혀 전위상승을 일으키지 않는 경우이나, 2개의 접지전극이 무한대의 거리만큼 떨어지도록 하지 않으면 독립이라 할 수 없다. 물론 현실적으로는 전위상승이 어떤 일정한 범위에 들어가면 서로 완전히 독립되었다고 볼 수 있는데, 이 이격거리는 접지전류의 최대치, 대지전위상승의 허용치, 대지저항률 등 세 가지 요인에 의존한다.

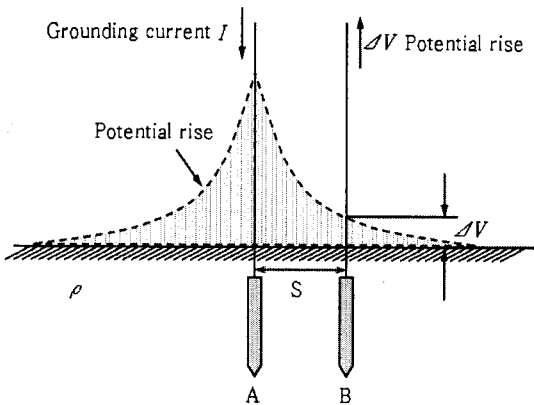


그림 4. 접지전극 사이의 전위간섭
Fig. 4. Potential interference between grounding electrodes

접지전극 A의 전위상승에 의해 접지전극 B가 간섭을 받는 것을 전위간섭이라 하고, 접지전극 B에 미치는 전위간섭의 정도를 평가하는 척도로서 전위간섭계수 K를 다음 식 (1)로서 정의한다[9].

$$K = \frac{\text{접지전극 B의 전위}}{\text{접지전극 A의 전위}} \quad (1)$$

그림 3의 봉형 접지전극의 설치방식 중 (a)와 같은 개별접지에 대한 전위상승을 살펴보면, 그림 5에 나타난 바와 같이 대지전위분포는 1[m] 지점을 중심으로 좌우 대칭 양상을 나타내었으며, 인가전압은 305[V]이고 인가전류는 1[A]이다. 최대값은 중심부인 1[m] 지점에서 1[A]당 142[V]가 발생하였다. 거시적 관점에서 살펴보면, 중심점 접지전극에서 좌측으로 0.05[m] 이격된 접지전극이 없는 지점과 우측으로 0.05[m] 이격된 접지전극이 시설된 지점 사이에서는 거의 차이가 없는 것으로 나타났으며, 미시적 관점에서는 접지전극이 없는 지점보다 접지전극이 있는 지점에서 약 1.8[V] 정도 전위상승이 더 낮게 발생하였다. 따라서 지락전류가 흐르는 접지전극 주변에 다른 접지전극이 있을 경우 전위간섭이 발생하는 것을 확인하였으며, 두 개의 봉형 접지전극 사이의 전위간섭계수는 0.592로 나타났다.

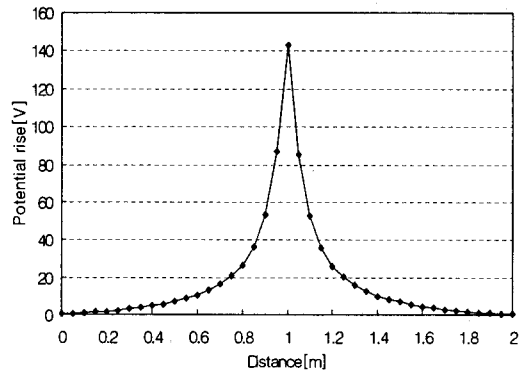


그림 5. 개별 접지전극의 전위상승
Fig. 5. Potential rise of individual grounding electrode

3.2 연결된 접지전극의 전위상승

그림 3 (b)의 연결된 접지전극에 대한 전위상승분포를 살펴보면 그림 6과 같다. 인가전압은 184[V]이고 인가전류는 1[A]이다.

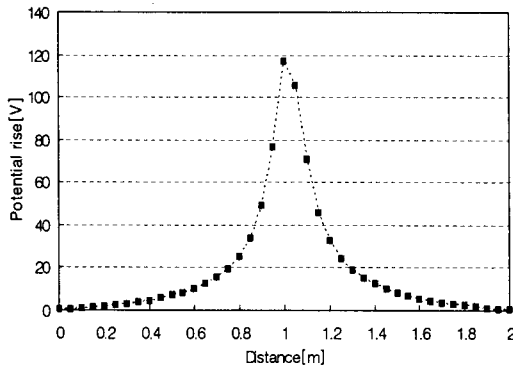


그림 6. 연결된 접지전극의 전위상승
Fig. 6. Potential rise of connecting grounding electrode

최대값은 지락전류가 유입되는 1[m] 지점의 접지전극에서 1[A]당 116[V] 발생하였다. 그림 6에 나타난 바와 같이 1[m], 1.1[m] 사이에서 전위경도가 접지전극이 시설되지 않은 부분보다 더 완만한 형상을 나타냄을 알 수 있다.

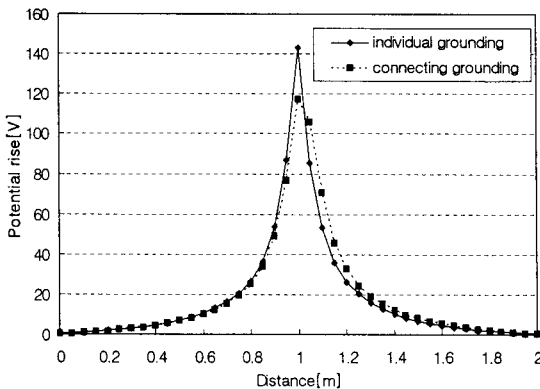


그림 7. 개별 접지전극과 연결된 접지전극의 비교
Fig. 7. A comparison of individual grounding electrode and connecting grounding electrode

그림 7은 개별 접지전극과 연결된 접지전극을 비교한 것이다. 접지전극이 개별접지로 시설되었을 때 전위상승은 매우 가파른 양상을 나타내었으며, 연결된 접지로 시설되었을 때는 접지전극들이 공용으로 접속되어 있는 지점에서 전위경도가 완만하게 나타남을 알 수 있었다. 또한 연결된 접지전극의 전위분

포곡선이 1[m] 중심부에서 우측으로 약간 이동한 형상을 나타내었다.

따라서 개별접지보다는 연결된 접지가 접촉전압, 보폭전압 등의 감전위험요소의 감소 측면에서 더 유리하다고 판단되며, 설비의 안정화 측면에서도 바람직할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 논문에서는 반구형 수조실험장치를 이용하고 봉형 접지전극을 실험용 접지전극으로 사용하여 개별 접지전극과 연결된 접지전극의 전위상승에 대한 비교 및 분석이 이루어졌으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 개별 접지전극의 경우 반구형 수조의 1[m] 지점을 중심으로 좌우 대칭 양상을 나타내었으며, 최대값은 중심부인 1[m] 지점에서 발생하였으며, 거리의 증가에 따라 가파르게 감소하는 양상을 나타내었다. 수조의 중심점에 설치되고 지락전류가 인가된 접지전극에서 다른 접지전극이 없는 지점보다 접지전극이 있는 지점에서 전위상승이 더 낮게 발생하였으며, 이를 통해 지락전류가 흐르는 접지전극 주변에 다른 접지전극이 있을 경우 전위간섭이 발생하는 것을 확인하였다.
- (2) 두 개의 봉형 접지전극을 도체로 연결한 연결된 접지전극에 있어서, 전위경도가 접지전극이 시설되지 않은 부분보다 더 완만한 형상을 나타냄을 알 수 있었고, 개별 접지전극에 비해 접지저항의 저감, 전위상승의 감소 등이 나타남을 알 수 있었다. 따라서 GPR, 보폭전압 등 감전위험요소 측면에서 개별 접지전극보다 연결된 접지전극이 적합할 수 있고 접지저항의 저감으로 시설물의 안전한 가동이 이루어질 수 있다.

상술한 내용은 단일 토양에서의 유효한 접지시스템을 설정하는데 이용될 수 있고, 봉형 접지전극을 설치하는 시설물의 접지시스템 설계에 설비진단, 시공, 안전기술자료로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

References

- (1) Bok-Hee Lee, "Research for Solving the Potential Interference of the Individual Isolation Grounding Method in Grounding System", Korea Electrical Contractors Association, pp.5~25, 2005.
- (2) Bok-Hee Lee, "Protection of Information and Communication Facilities against Lightning", Inha University Publishing Department, pp.197~221, 2004.
- (3) Hyung-Jun Gil, Chung-Seog Choi, Bok-Hee Lee, "The Analysis of Ground Potential Rise for Shapes of Grounding Electrode Using Hemispherical Grounding Simulation System", The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 54C, No. 7, pp.319~325, 2005.
- (4) Chung-Seog Choi, Hyung-Jun Gil, Hyang-Kon Kim, Woon-Ki Han, Bok-Hee Lee, "Profiles of Ground Potential for Shapes of Grounding Electrode by Using Scale Model Grounding Simulation System", Progress in Safety Science and Technology, pp.104~112, October 25~28, 2004.
- (5) Chung-Seog Choi, Hyang-Kon Kim, Hyung-Jun Gil, Woon-Ki Han, Ki-Yeon Lee, "The Potential Gradient of Ground Surface according to Shapes of Mesh Grid Grounding Electrode Using Reduced Scale Model", IEEJ Trans. FE, Vol. 125, No. 12, pp.1170~1176, 2005.
- (6) R. Cadecott, D.G. Kasten, "Scale Model Studies of Station Grounding Grids", IEEE Trans. PAS., Vol.PAS-102, No.3, pp.558~566, 1975.
- (7) B. Thapar, K. K. Puri, "Mesh Potentials in High-Voltage Grounding Grids", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-86, No.2, pp.249~254, 1967.
- (8) Ronald P. O'Riley, "Electrical grounding", Delmar Thomson Learning, pp.1~29, 2002.
- (9) Bok-Hee Lee et al, "The Potential Interference of the Grounding Grids", Proceeding of 2005 KIEE Annual Conference, pp.261~263, 2005.

◆ 저자소개 ◆

길명준 (吉亨准)

1969년 8월 27일생. 1997년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2000년~현재 한국 전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원.

Tel : (031)580-3034

Fax : (031)580-3045

E-mail : fa523@paran.com

최충석 (崔忠錫)

1961년 9월 19일생. 1991년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1993년 나고야대학 초청연구원. 1994~1995년 구마모토대학 객원연구원. 1997년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 수석연구원.

Tel : (031)580-3030

Fax : (031)580-3045

E-mail : enetek@naver.com

이복희 (李福熙)

1954년 6월 29일생. 1980년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수. 1999년 Cincinnati대학 방문교수. 현재 인하대 공대 전자전기컴퓨터공학부 교수.

Tel : (032)860-7398

Fax : (032)863-5822

E-mail : bhlee@inha.ac.kr