전위상승에 대한 독립접지방식과 공통접지방식의 비교

길형준, 김동욱, 김동우, 이기연, 최충석
한국전기안전공사 전기안전연구원

Comparison of Individual and Common Grounding Method for Potential Rise

Hyoung-Jun Gil, Dong-Ook Kim, Dong-Woo Kim, Ki-Yeon Lee, Chung-Seog Choi
Electrical Safety Research Institute, subsidiary of KESCO

Abstract - This paper deals with a comparison of individual and common grounding method 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. The grounding electrodes were designed and fabricated with ground rods on a scale of one-eightieth. Potential rises of individual grounding method were higher than those of common grounding method. The distributions of surface potential are dependent on the distance from grounding electrode.

1. 서 론

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

접지를 필요로 하는 여러 장비나 설비의 접지를 공통으로 하느냐 독립으로 하느냐 하는 문제는 완전히 해결되지 않고 있으며, 외국에서도 이 문제에 대한 많은 문헌이 발표되고 있고 계속해서 연구되고 있다. 그 동안 국내에서는 대부분 독립접지를 시공하여 왔지만, 접지의 세계적인 추세는 공통접지 방식이며 국내에서도 공통접지를 시공하는 추세이다. 통신시스템이나 전산시스템, 제어기기나 의료설비 그리고 전기나 전력설비들은 각각의 장비가 갖는 운용사양이나 사용전압이 다르기 때문에 공통접지나 독립접지가 모두 장단점을 지니게 된다[1-3]. 따라서, 본 연구에서는 정부의 국제 표준화 정책에 부합하여 독립접지방식과 공통접지방식에 고장전류가 흘러 대지로 방류되는 상황을 모의하고 이에 따른 전위상승의 분석을 위해 반구형 수조실험장치를 이용하였으며 향후 분석된 자료는 대지전위상승에 따른 감전사고의 감소뿐만 아니라 설비의 안정적 가동 측면에서도 활용될 수 있을 것이다.

2. 실험장치 및 방법

반구형 수조실험장치는 지락전류을 일정하게 발생하기 위한 교류전원공급장치, 측정점의 궤적과 대지전위상승을 측정하는 이송형 전위계측장치, 반구형 수조탱크 및 시험접지극으로 구성하였다. 반구형 수조실험장치의 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 2(a)에서 가변저항은 교류전원발생장치에서 지락전류 발생시 전류를 제한하기 위해 설치한 것으로 6.04 [Ω]로 설정하였다.

인가전압을 지시하는 전압계(Vs)는 시험접지극과 무한점간의 전압이 얼마인지를 모의하기 위한 것이며 전압계(V)는 프로브와 무한점간의 대지전위를 나타낸다. 또한 전류계(A)는 시험접지극과 무한점 사이에 흐르는 전류를 나타내며, V/I의 비로서 준무한 대지에 매설된 접지전극의 접지저항이 구해진다[6-8]. 대지전위를 측정하기 위한 프로브는 이송형 전위계측장치에 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. 측정시의 물의 저항률은 42 [Ω · m]이며 수저항률계(CM-21P, TOA · DKK, Japan)로 측정하였다[3-6].

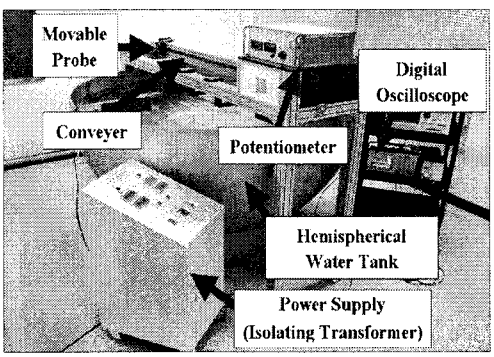


그림 1. 반구형 수조실험장치
Fig. 1. Hemispherical water tank experimental apparatus

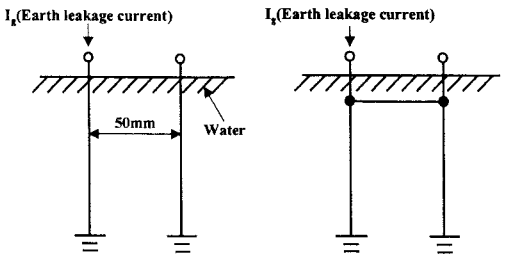
실험용 접지전극을 구성하기 위해 실제 건설현장에서 시설중인 접지계를 모의하였다. 실제 접지계를 80:1로 축소한 봉형 접지전극을 모델로 하였으며 실제 모델과 축소 모델을 표 1에 나타내었다. 토양의 특성을 모의하기 위해 측정이 용이한 지하수를 수조내에 채웠으며 실험용 접지전극은 해석 대상 접지계를 80:1로 축소한 크기로서 제작상 어려움과 9.5 [mm] 깊이의 수조 내부에 고정시 편의를 위해 두께 1 [mm]의 스테인리스 도체를 이용하였다. 그 이유는 접지도체의 두께는 저항값과 대지전위상승에 미치는 영향이 적으므로 80:1의 축적에 적용하지 않았다. 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.

표 1. 실제 모델과 80:1의 축소모델

Table 1. A full scale model and a reduced scale model of one-eightieth

항목 \ 모델	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

독립접지방식과 공통접지방식을 비교 및 분석하기 위해 수조의 중심부인 1 [m] 지점에 1개의 접지전극을 장착한 후 1.05 [m] 지점에 동일한 접지전극을 장착하였다. 독립접지의 경우는 각각 독립되어 시설되었으며 공통접지의 경우는 2개의 접지전극을 도체로 연결하였다. 지락전류는 독립접지 및 공통접지 모두 탱크 중심부에 위치한 접지전극에 인가하였으며 접지전극의 설치 및 지락전류의 인가를 그림 2에 나타내었다.



(a) 독립접지방식 (b) 공통접지방식

그림 2. 봉형 접지전극의 설치

Fig. 2. Installations of the ground rods

3. 결과 및 고찰

3.1 독립접지방식의 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 장해를 가져오게 된다[7, 8]. 개별적으로 접지공사를 하는 방식을 독립접지라 하며, 이상적인 독립접지는 예를 들어 그림 3과 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.

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].

$$K = \frac{\text{접지전극 } B\text{의 전위}}{\text{접지전극 } A\text{의 전위}} \quad (1)$$

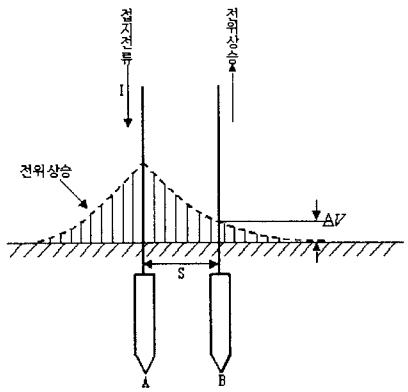


그림 3. 접지전극간의 전위간섭

Fig. 3. Potential interference between grounding electrodes

우선 독립접지에 대한 전위상승을 살펴보면, 그림 4에 나타낸 바와 같이 대지전위분포는 1 [m] 지점을 중심으로 좌우 대칭 양상을 나타내었으며 인가전압은 307 [V]이고 인가전류는 1 [A]이다. 최대값은 중심부인 1 [m] 지점에서 1 [A]당 143 [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 0.595로 나타났다.

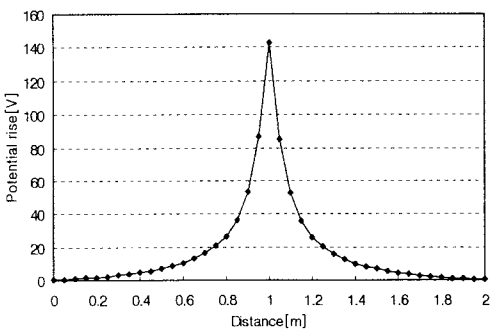


그림 4. 독립접지방식의 전위상승

Fig. 4. Potential rise of individual grounding method

3.2 공통접지방식의 전위상승

1개소 혹은 여러 개소에 시설한 공통의 접지전극에 개개의 설비 또는 기기를 1곳에 모아서 접속하여 접지를 공용하는 것을 공통접지라고 한다. 공통접지의 장점은

보수와 점검의 용이, 합성 접지저항 저감, 접지의 신뢰도 향상, 시설비의 저렴 등이 있다. 공통접지에는 상기한 여러 가지 장점이 있으나 문제점도 있으며, 공통접지의 가장 두드러진 문제점은 전위상승파급의 위험이다. 공통접지의 경우 접지를 공용하고 있는 설비 중 어느 하나의 설비에 접지전류가 흐르게 되면 그것은 대지로 유출되나 이 때 각 접지전극에는 반드시 접지저항이 있으므로 접지점의 전위가 상승하게 된다. 따라서 공통접지의 경우는 접지전류에 의한 전위상승이 접지를 공용하고 있는 모든 설비에 파급된다. 전위상승파급의 위험에 대해서는 접지시스템의 접지저항이 매우 작은 경우는 거의 문제가 되지 않는다. 따라서 접지를 공용하는 경우에는 공통접지에 의해 서로 연결되는 설비는 접지전류의 특성, 전위상승이 기기에 미치는 영향 등을 고려하여 점검할 필요가 있다.

그림 5는 접지전극 사이를 피복이 없는 연접선으로 공통접지를 시설하였을 때 전위상승분포이다. 인가전압은 185 [V]이고 인가전류는 1 [A]이다. 또한 최대값은 지락전류가 유입되는 1 [m] 지점의 접지전극에서 1 [A]당 117 [V] 발생하였다. 그림 5에 나타낸 바와 같이, 1 [m] 1.1 [m] 사이에서 전위경도가 접지전극이 시설되지 않은 부분보다 더 완만한 형상을 나타냄을 알 수 있다. 그림 6은 독립접지와 공통접지를 비교한 것이다. 접지전극이 독립접지로 시설되었을 때 전위상승은 매우 가파른 양상을 나타내었으며 공통접지로 시설되었을 때는 접지전극들이 공통으로 접속되어 있는 지점에서 전위경도가 완만하게 나타남을 알 수 있었다. 따라서 독립접지보다는 공통접지가 접촉전압, 보폭전압 등의 감전위험요소의 감소 측면에서 더 유리하다고 판단되며 설비의 안정화 측면에서도 바람직할 것으로 사료된다.

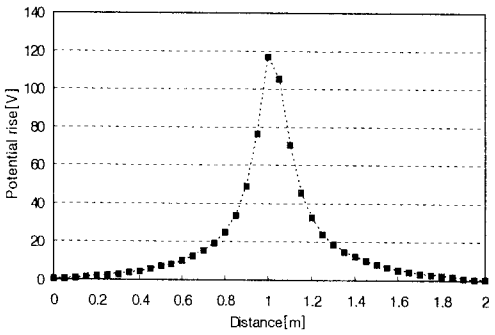


그림 5. 공통접지방식의 전위상승
Fig. 5. Potential rise of common grounding method

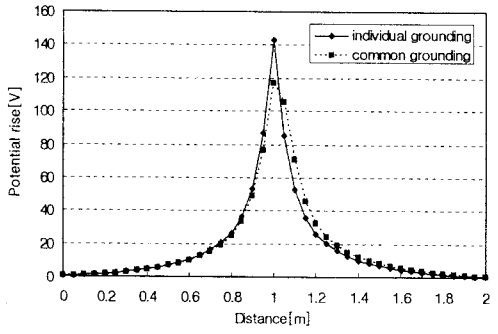


그림 6. 독립접지방식과 공통접지방식의 비교
Fig. 6. A comparison of individual grounding method and common grounding method

4. 결 론

본 논문에서는 반구형 수조실험장치를 이용하고 봉형 접지전극을 실험용 접지전극으로 사용하여 독립접지방식과 공통접지방식의 전위상승에 대한 비교 및 분석이 이루어졌으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 독립접지방식의 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 공통접지방식에 있어서, 전위경도가 접지전극이 시설되지 않은 부분보다 더 완만한 형상을 나타냄을 알 수 있었고 독립접지방식에 비해 접지저항의 저감, 전위상승의 감소 등이 나타남을 알 수 있었다. 따라서, GPR, 보폭전압 등 감전위험요소 측면에서 독립접지방식보다 공통접지방식이 적합할 수 있고 접지저항의 저감으로 시설물의 안전한 가동이 이루어 질 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.

[참 고 문 헌]

[1] 이복희 외, "접지시스템에 있어서 개별·독립접지방식의 전위간섭 문제해결을 위한 연구", 한국전기공사협회, pp.5~25, 2005.

[2] 이복희 외, "정보통신설비의 뇌보호", 인하대학교 출판부, pp.197~221, 2004.

[3] 길형준, 최충석, 이복희, "반구형 접지모의시스템을 이용한 접지전극의 형상에 따른 대지전위상승의 분석", 대한전기학회, Vol. 54C, No. 7, pp.319~325, 2005.

[4] Chung-Seog Choi, Hyoung-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, Hyoung-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. PE, 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] 이복희, 이태형, 이수봉, 정현욱, 길형준, "격자형 접지전극의 전위간섭", 한국조명·전기설비학회 추계학술대회 논문집, pp.261~263, 2005.