

## ETM 기법을 이용한 접지전극의 전위간섭 평가

(Assessment of Potential Interference between Grounding Electrodes Using ETM Method)

길형준\* · 김동욱\* · 김동우\* · 이기연\* · 최충석\*

(Hyoung-Jun Gil · Dong-Ook Kim · Dong-Woo Kim · Ki-Yeon Lee · Chung-Seog Choi)

(\*전기안전연구원)

### Abstract

This paper deals with assessment of potential interference between grounding electrodes using ETM(Electrolytic Tank Modeling) method. When a test current flowed through grounding electrode, potential rise was measured and analyzed using an electrolytic tank in real time. In order to analyze the potential interference between grounding electrodes, ETM method was studied. Potential interference between isolated grounding electrodes was evaluated as functions of the separation distance between grounding electrodes and the configuration of grounding electrode to be induced. It was found that the separation distance between grounding electrodes in reducing the potential interference was a major factor.

### 1. 서론

접지는 우리의 귀중한 인명에 대한 안전을 보장하고 기기의 오동작이나 간섭 등이 없는 설비에 대한 안정적 가동에 절대적인 역할을 수행하는데, 이와 같이 중요한 접지에 대해 지금까지 그 중요성을 자각하지 못하고 소홀히 취급해 온 것이 사실이다. 인체 감전보호를 위한 접지를 보안용 접지라고 부르며, 설비의 안정화를 위한 접지를 기능용 접지라고 부른다.

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, 제어기나 의료설비 그리고 전기나 전력설비들은 각각의 장비가 갖는 운용사양이나 사용전압이 다르기 때문에 공통접지나 독립접지가 모두 장단점을 지니게 된다[1-5]. 따라서, 본 연구에서는 독립접지방식에 고장전류가 흘러 대지로 방류되는 상황을 모의하고 이에 따른 전위상승의 분석을 위해 ETM(Electrolytic Tank Modeling) 기법을 이용하였으며 봉형 접지전극들 사이, 봉형 접지전극과 주변 금속체 사이의 전위간섭을 분석하였다. 향후 분석된 자료는 대지전위상승에 따른 감전사고의 감소뿐만 아니라 설비의 안정적 가동 측면에서도 활용될 수 있을 것이다.

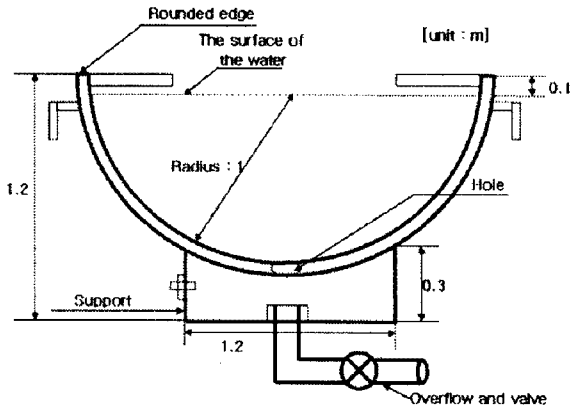
### 2. 실험장치 및 방법

ETM 기법에 사용되는 구성요소는 지락전류를 일정하게 발생하기 위한 교류전원공급장치, 측정점의 궤적과 대지전위상승을 측정하는 이송형 전위계측장치, 반구형 수조 및 시험접지극으로 구성하였다. ETM 기법에 사용되는 반구형 수조 및 측정회로를 그림 1에 나타내었다.

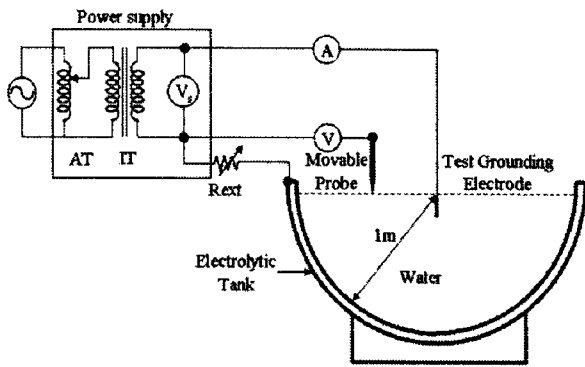
ETM 기법의 중요요소인 반구형 수조의 재질은 스테인리스이며 직경은 2[m]이다. 수조 외함은 인체감전보호 및 설비 안정화, 노이즈 제거를 위해 접지를 시설하였다. 220[V]의 전원계로 고장전류의 분리 및 측정시 안전을 고려하여 절연변압기를 사용하였고, 고장전류의 가변을 위한 전압조정기(AT : Auto-Transformer)가 포함되어 있다. 그림 1(b)에서 가변저항은 교류전원발생장치에서 지락전류 발생시 전류를 제한하기 위해 설치한 것으로 6.04[Ω]로 설정하였다.

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  $37[\Omega \cdot m]$ 이며 수저항률계(CM-21P, Japan)로 측정하였다.



(a) Electrolytic tank



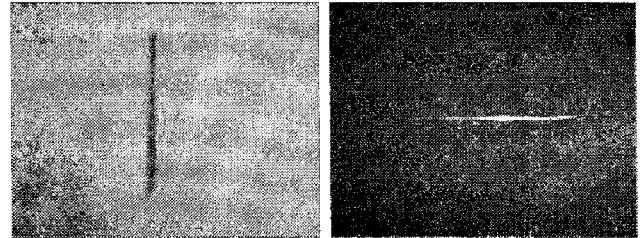
(b) Measuring circuit

그림 1. ETM 기법  
Fig. 1. ETM method

실제 접지계와 실제 접지계를 50:1로 축소한 실험 모델을 표 1에 나타낸다. 토양의 특성을 모의하기 위해 측정이 용이한 지하수를 수조내에 채웠으며 시험접지극은 해석 대상 접지계를 50:1로 축소한 크기로서 시험접지극을 제작하는데 어려움과 부식 방지를 위해 두께 1[mm]의 스테인리스 도체를 이용하였다. 또한, 시험접지극을 수면 아래 15[mm]에 장착한 이유는 전기설비기술기준에서 접지전극은 지표면에서 0.75[m] 이하에 시설하도록 규정하고 있으며 이를 50:1로 축소한 값이다. 이러한 시험접지극을 수조탱크의 중앙수면 아래 15[mm]에 장착하고 지락전류를 시험접지극 중심부에 흘린 후 프로브가 수조 직경방향으로 이송하며 전위상승을 실시간으로 측정하게 된다. 그림 2는 실험 재료로 사용된 봉형 접지전극, 지중매설 금속체를 나타내며 접지전극 주변에 다른 동일한 접지전극, 금속체 등을 그림 3과 같이 60[mm] 이격거리를 두고 설치한 후 접지전극에 지락전류를 흘려주어 주변 금속체와의 영향을 분석하였다.

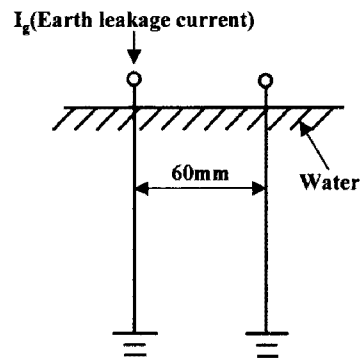
표 1. 실제 모델과 50:1의 실험모델  
Table 1. A full scale model and a reduced scale model of one-fiftieth

항목	모델	실제 모델	실험 모델
접지전극의 매설깊이		0.75m	15mm
봉형 접지전극의 길이		1m	20mm
봉형 접지전극의 직경		0.0127m	1mm

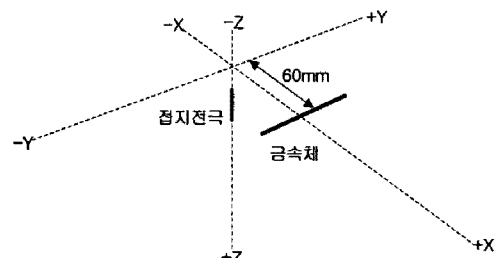


(a) 봉형 접지전극 (b) 지중매설 금속체

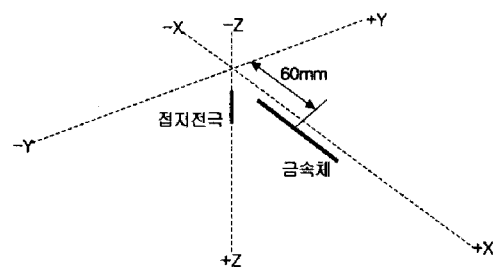
그림 2. 시험 접지전극 및 금속체  
Fig. 2. Test grounding electrode and metallic conductor



(a) 접지전극 사이의 전위간섭



(b) 수직방향인 금속체와의 전위간섭



(c) 수평방향인 금속체와의 전위간섭

그림 3. 접지전극 및 금속체의 배치도  
Fig. 3. Arrangement of ground rod and metallic conductor

접지전극 주변의 금속체로는 길이 100[mm], 직경 2[mm]의 동봉을 사용하였으며 접지전극으로부터 금속체 중심부가 60[mm] 이격거리를 두고 프로브의 이송방향과 수직, 수평이 되도록 설치한 후 전위간섭의 영향을 평가하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 봉형 접지전극 사이의 전위간섭

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 [9].

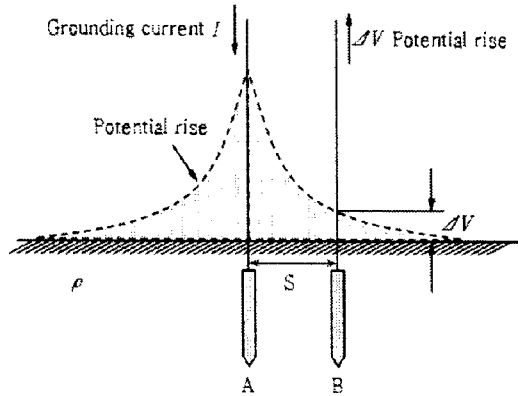


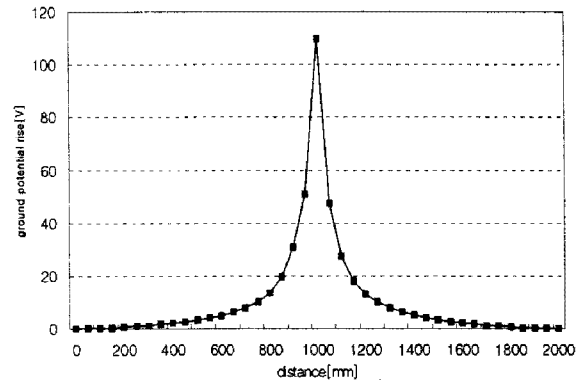
그림 4. 접지전극들 사이의 전위간섭  
Fig. 4. Potential interference between grounding electrodes

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)로 정의한다[10].

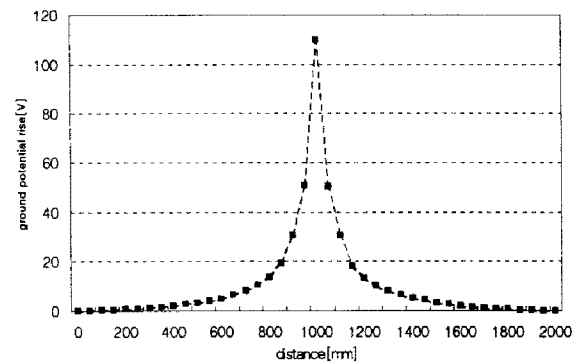
$$K = \frac{\text{접지전극 B의 전위}}{\text{접지전극 A의 전위}} \quad (1)$$

봉형 접지전극이 독립접지로 시설되고 상호 이격거리가 60[mm] 및 100[mm]일 때, 그림 5(a)에 나타낸 바와 같이 대지전위분포는 1000[mm] 지점을 중심으로 좌우 대칭 양상을 나타내었다. 이 때 인가전압은 246[V]이고 인가전류는 0.5[A]이다. 최대값은 지락전류가 흐른 접지전극의 위치, 즉 1000[mm] 지점에서 0.5[A]당 110[V]가

발생하였다.



(a) 이격거리 60mm인 경우



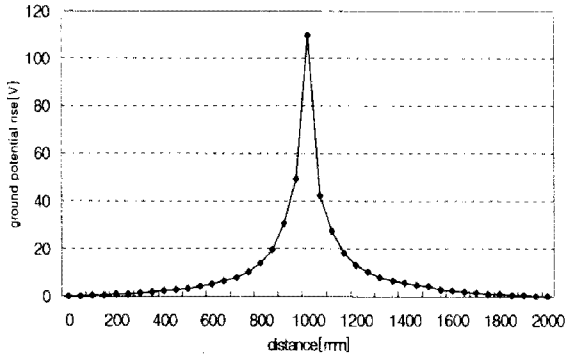
(b) 이격거리 100mm인 경우

그림 5. 봉형 접지전극 사이의 전위간섭  
Fig. 5. Potential interference between ground rods

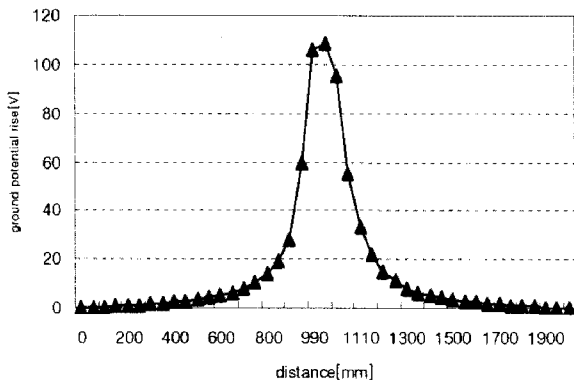
다른 동일한 접지전극이 시설된 지점인 1060[mm] 지점과 서로 대칭인 다른 접지전극이 없는 940[mm] 지점을 비교하였을 때 접지전극이 시설된 지점에서 약 3[V] 정도 대지전위상승이 낮게 발생함을 알 수 있었다. 이 때 식 (1)에 의한 접지전극 상호간의 전위간섭계수는 0.432로 계산되었다. 그리고 그림 5(b)에 나타낸 바와 같이, 이격거리가 100[mm]인 경우 접지전극 상호간의 전위간섭은 거의 나타나지 않고 900[mm] 지점과 1100[mm] 지점과의 비교에서 0.2[V]의 전위차가 발생하였다. 또한 이격거리 100[mm]일 때의 전위간섭계수는 0.277로 나타났다. 따라서 접지전극이 시설된 주변에 다른 접지전극이 존재할 경우 이격거리가 증가함에 따라 전위간섭의 영향은 감소됨을 알 수 있었다.

#### 3.2 접지전극과 지중매설 금속체 사이의 전위간섭

봉형 접지전극에서 60[mm] 이격된 지중매설 금속체가 존재할 경우의 대지전위 분포를 살펴보면, 우선 그림 6(a) 나타낸 바와 같이 수직방향으로 매설된 금속체의 경우 금속체가 없는 경우보다 약 6.8[V] 정도 낮게 나타났다.



(a) 수직방향 금속체와의 전위간섭



(b) 수평방향 금속체와의 전위간섭

그림 6. 접지전극과 지중매설 금속체와의 전위간섭  
Fig. 6. Potential interference between ground rod and metallic conductor

이 때 인가전압과 인가전류는 접지전극 상호간의 전위간섭의 경우와 동일하며 전위간섭계수는 0.386으로 계산되었다. 또한 그림 6(b)는 수평방향 금속체가 매설된 경우이며 금속체가 시설되지 않은 890[mm]와 990[mm] 사이 및 금속체가 시설된 1010[mm]와 1110[mm] 사이를 비교하였을 때 금속체가 시설된 부분에서 대지전위 분포가 낮고 완만한 형상을 나타냈다. 60[mm] 이격된 지점에서의 전위간섭계수는 0.5로 나타나 수직방향 금속체보다 전위간섭 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다.

그림 6을 통해 접지전극 주변에 금속체가 있을 경우 대지전위가 감소하는 특성을 나타내었다. 접지전극이 간섭의 영향을 받지 않기 위해서는 한쪽 접지전극에 지락전류가 흘러도 다른 쪽 접지전극에 전혀 전위상승을 일으키지 않도록 이격거리가 길어야 하나 현실적으로 매우 어려운 문제이므로 접지를 시설할 때 주변 환경, 시설물 등을 고려하여 시설하는 것이 바람직하다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 ETM 기법을 이용하여 봉형 접지전극

들 사이, 봉형 접지전극과 금속체 사이의 전위간섭 분석 및 평가가 이루어졌으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 봉형 접지전극들 사이의 전위간섭에 있어서, 접지전극들 사이의 이격거리가 증가할수록 전위간섭의 영향이 감소하는 것을 알 수 있으며, 접지전극 주변에 타 접지전극이 시설된 지점이 시설되지 않은 지점보다 전위상승이 더 낮게 나타났다.

(2) 봉형 접지전극과 주변 금속체 사이의 전위간섭에 있어서, 수직방향 금속체보다 수평방향 금속체의 전위간섭 영향이 더 큰 것으로 나타났으며, 금속체가 시설되지 않은 지점에 비해 금속체가 시설된 지점에서 대지전위분포가 낮고 완만한 형상을 나타내었다.

접지시스템의 안전성에 대해 위험전압을 기반으로 하는 평가기법의 개발이 요구되며 향후 접지시스템의 전기안전에 대한 지속적인 연구를 추진할 예정이다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

- [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, 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", IEEE Trans. PE, Vol. 125, No. 12, pp.1170~1176, 2005.
- [6] 길형준, 최충석, 김향곤, "Distribution of Potential Rise as a Function of Shape of Grounding Electrodes", 한국조명·전기설비학회, Vol.21, No.4, pp.73~79, 2007.
- [7] R. Cadecott, D.G. Kasten, "Scale Model Studies of Station Grounding Grids", IEEE Trans. PAS., Vol.PAS-102, No.3, pp.558~566, 1975.
- [8] 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.
- [9] Ronald P. O'Riley, "Electrical grounding", Delmar Thomson Learning, pp.1~29, 2002.
- [10] 이복희, 이태형, 이수봉, 정현욱, 길형준, "격자형 접지전극의 전위간섭", 한국조명·전기설비학회 추계학술대회 논문집, pp.261~263, 2005.