

## 접지전극의 접촉전압 및 보폭전압 측정시 보조전극의 위치 결정 방법

**김동우, 길형준, 김동욱, 문현욱**  
한국전기안전공사 전기안전연구원

### Determination method of auxiliary probe locations for measuring touch and step voltage of ground electrode

Dong-Woo Kim, Hyung-Jun Gil, Dong-Ook Kim, Hyun-Wook Moon  
Electrical Safety Research Institute, a subsidiary of Korea Electrical Safety Corporation

**Abstract** - 본 논문에서는 접지전극의 접촉전압 및 보폭전압을 측정할 때 보조전극의 배치에 따른 특성을 분석하고, 이에 따른 시뮬레이션 분석을 수행하여 측정오차 감소를 위한 보조전극의 배치방법을 제시하고자 한다.

#### 1. 서 론

접지시스템을 안전하게 운용하기 위해 가장 중요한 요소 중의 하나는 접지저항을 허용 값 이하로 낮추는데 있다[1-2]. 또한 접지시스템에 지락전류가 흘렀을 때 접지전극 주변의 접촉전압 및 보폭전압을 허용 값 이내로 유지하는 것이 중요하다[1],[3-4]. 이러한 접지시스템의 허용 접촉전압 및 보폭전압을 수식에 의한 계산을 통한 검증 뿐만 아니라 실측에 의한 검증을 수행할 때, 이상적으로는 전류보조전극이 무한대의 위치에 위치하여야 하나, 실제 전류보조전극을 유한한 위치에 배치할 수 밖에 없다. 이 문제를 해소하기 위해 다양한 방법들이 제시되어 왔으며 [4-5], 본 논문에서는 접지전극의 접촉전압을 측정을 위한 기본 이론 분석 및 전류보조전극의 이격거리 및 접촉전압 측정용 보조전극의 각도 변화에 따른 시뮬레이션 분석을 통해 접촉전압의 측정오차 감소를 위한 방법을 제시하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 접촉전압 측정을 위한 시뮬레이션

###### 2.2.1 이론분석

만약, 측정대상 접지전극이 반경  $r$ 의 반구형 전극이고, 접지전극으로 흐르는 고장전류가  $I$ , 대지저항률이  $\rho$ 인 균일대지인 경우 접촉전압의 참값은 <그림 1>의 접지전극에서 전류보조전극까지의 거리  $D$ 가 무한대인 경우이며, 이때 접촉전압의 참값을  $V_t$ 로 두고, 반구형전극의 전위를  $V_E$ ,  $P$ 지점의 전위를  $V_P$ 로 두었을 때, 다음과 같이 유도할 수 있다[4].

$$V_t = V_E - V_P = \rho I \times \int_r^\infty \frac{dx}{2\pi x^2} - \rho I \times \int_{r+1}^\infty \frac{dx}{2\pi x^2}$$

$$= \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{r+1} \right) \quad (\text{식 1})$$

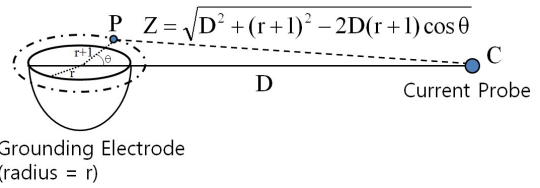
그러나, 실제 전류보조전극의 거리는 유한하기 때문에, 이 경우 접촉전압을  $V_t'$ 로 두고,  $P$ 지점에서  $C$ 지점까지의 거리를  $Z$ 로 두면, 다음 수식을 유도할 수 있다.

$$V_t' = V_E' - V_P' = \rho I \times \int_r^D \frac{dx}{2\pi x^2} - \rho I \times \int_{r+1}^Z \frac{dx}{2\pi x^2}$$

$$= \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{D} + \frac{1}{Z} - \frac{1}{r+1} \right) \quad (\text{식 2})$$

단, 여기서  $Z = \sqrt{D^2 + (r+1)^2} - 2D(r+1)\cos\theta$  이다. (식 1)과 (식 2)에서 접촉전압의 참값에 대한 측정값의 오차율은 다음과 같이 정의할 수 있으며, 그 수식은 다음과 같다.

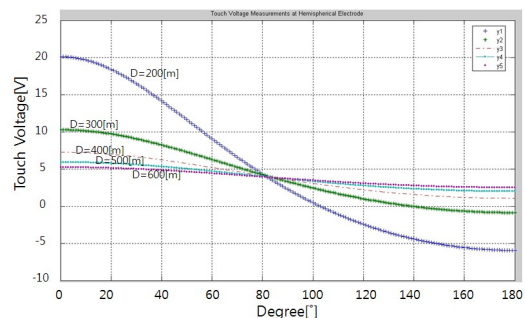
$$\epsilon = \frac{V_t' - V_t}{V_t} \times 100[\%] = r(r+1) \left( \frac{1}{Z} - \frac{1}{D} \right) \times 100[\%] \quad (\text{식 3})$$



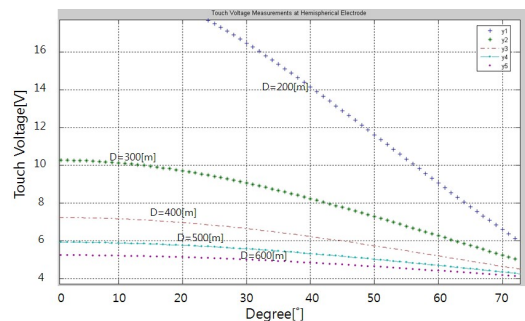
<그림 1> 반구형전극의 접촉전압 측정을 위한 전극 배치도

###### 2.2.2 시뮬레이션

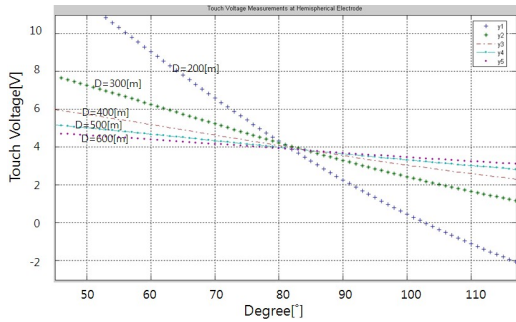
<그림 2>는 반구형 전극의 반경이 50[m]이고, 지락전류가 200[A], 대지저항률이 300[Ωm]인 경우, 반구형전극에서 전류보조전극까지의 거리  $D$ 를 각각 200[m], 300[m], 400[m], 500[m], 600[m] 이격하였을 때 접촉전압의 측정값을 (식 2)를 이용하여 계산한 그래프이다. 이 때 접촉전압의 참값은 (식 1)을 이용하여 구할 수 있으며, 이 조건에서는 3.74[V]이다. 그림에서 나타낸 바와 같이, 접촉전압은 전류보조전극과 접촉전압 측정용 보조전극 사이의 각도가 약 84[°]~88[°]를 기준으로 각도가 작을 때는 접촉전압이 참값에 비해 크게 측정되며, 각도가 클 때는 접촉전압이 참값에 비해 작게 측정된다. 따라서, 측정오차를 최소화하기 위해서는 측정용 보조전극 사이의 각도를 84[°]~88[°]사이로 유지시켜 측정하는 것이 바람직하다. 또한, 실용적으로 전류보조전극을 접지전극 기준으로 180[°]반대방향으로 배치하여 평균값을 구하는 방식을 적용하거나, 전위 보조전극의 위치를 84[°]~88[°]각도를 기준으로 대칭으로 두 개의 값을 채택하여 평균값을 구하는 방식을 적용하는 것도 어느정도 오차를 감소시킬 수 있는 방법이다[4].



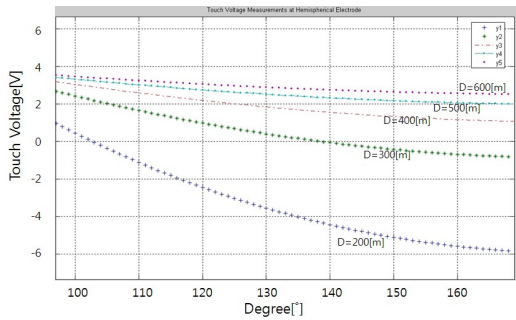
(a) 각도 범위(0~180도)



(b) 각도 범위(0~72도)



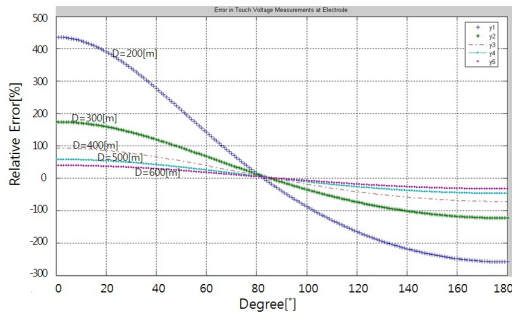
(c) 각도 범위(47~115도)



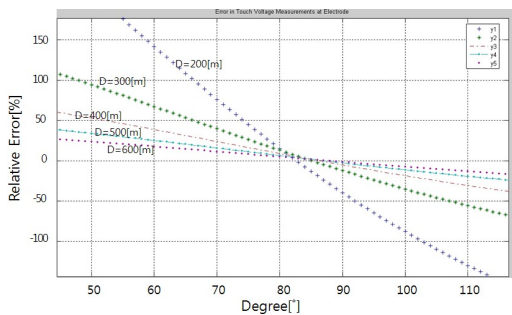
(d) 각도 범위(98~168도)

<그림 2> 각도 변화에 따른 반구형전극의 접촉전압

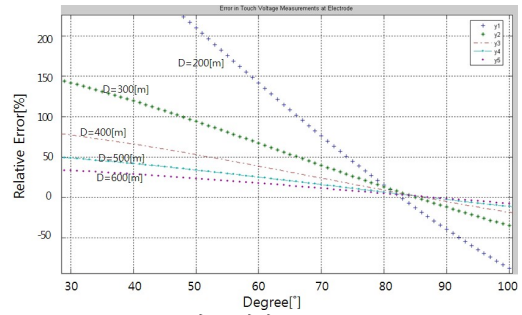
<그림 3>는 <그림 2>와 동일한 조건에서 접촉전압의 상대오차를 (식 3)과 같이 정의하였을 때, 계산된 그래프이다. 이 때 상대오차는 <그림 2>에 나타난 그래프와 같이 유사한 패턴을 나타냈으며, 접촉전압의 오차를 최소화하기 위해서는 전류보조전극까지의 이격거리를 멀리하는 것이 바람직하나, 접지전극의 규모( $2r=100[m]$ )에 비해 전류보조전극까지의 이격거리( $D=600[m]$ )가 6배 이격된 경우라 할지라도 접촉전압의 상대오차는 약 40[%] ~ -33[%]까지 발생할 수 있으므로, 오차를 최소화하기 위해서는 상기 제시한 방법을 적용하거나, 전류보조전극을 다전극을 사용하여 동일한 각도로 배치하여 측정하는 방법도 제시되어 있으므로[5], 이를 적용하여 현장 여건에 맞게 접촉전압의 오차를 최소화하는 것이 바람직하다. 보폭전압도 접촉전압과 마찬가지로 이와 유사한 원리에 의해서 적용이 가능하며, 현장여건에 맞게 상기 방법을 적용하는 것이 바람직하다.



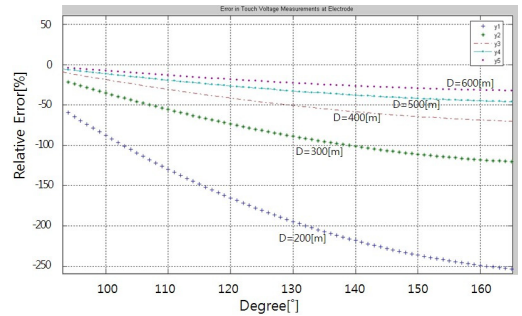
(a) 각도 범위(0~180도)



(b) 각도 범위(47~115도)



(c) 각도 범위(29~100도)



(d) 각도 범위(95~163도)

<그림 3> 각도 변화에 따른 반구형전극의 접촉전압의 상대오차

### 3. 결 론

본 논문은 접촉전압 및 보폭전압 측정시 전류보조전극 및 접촉전압 측정용 보조전극의 배치에 따른 오차특성을 관련이론과 함께 분석을 수행하였으며, 반구형 접지전극을 이용한 분석결과, 접지전극의 규모에 비해 전류보조전극까지의 이격거리가 6배 이격된 경우라 할지라도 접촉전압의 상대오차는 약 40[%] ~ -33[%]까지 발생할 수 있으므로, 오차를 최소화하기 위해서는 전류보조전극의 이격거리를 최대한 멀리하는 방법, 측정용 보조전극 사이의 각도를 84[°]~88[°]사이에 유지시키는 방법, 전류보조전극을 접지전극 기준으로 180[°]반대방향으로 배치하여 평균값을 구하는 방식을 적용하거나, 전류보조전극의 위치를 84[°]~88[°]각도를 기준으로 대칭으로 두 개의 값을 채택하여 평균값을 구하는 방식을 적용하는 것도 어느정도 오차를 감소시킬 수 있는 방법이라 판단되며, 전류보조전극을 다전극을 사용하여 동일한 각도로 배치하여 측정하는 방법 등도 접촉전압 및 보폭전압 오차감소에 효과적이므로 현장여건에 맞게 이러한 방법을 적용하는 것이 바람직하다.

### 감사의 글

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.  
(No. R-2007-1-014-02-01)

### [참 고 문 헌]

- [1] IEEE, "IEEE Std. 80-2000", pp.27-28, pp.64, 2000
- [2] 高橋健彦, "접지기술입문", 동일출판사, pp.34, 1995
- [3] IEEE, "IEEE Std. 81.2-1991", pp.59, 1991
- [4] H Zhao, et. al., "Error in Step and Touch Voltage Measurements at large Substations", Proceedings of the XIVth International Symposium on High Voltage Engineering, Beijing, China, pp.1-6, 2005
- [5] Giuseppe Parise, "Measurements of Touch and Step Voltages Adopting Current Auxiliary Electrodes at Reduced Distance", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.44, No.6, Nov./Dec. pp.1896-1901, 2008