

옥외 전기시설물의 감전예방을 위한 접지시스템

이 형 수

한국산업안전공단 책임연구원 / 공학박사

1. 머리말

저압전로(600V 이하)의 감전사고를 크게 나누면, 직접 접촉사고와 간접 접촉사고의 두 종류가 있다. 직접 접촉사고는 충전부에 직접 닿아서 발생하는 사고를 말하며, 기기의 절연이 불량하거나 열화되어 기기 내부의 충전부에서 외부의 비충전부로 누전이 발생하여 감전되는 사고를 간접 접촉사고라 한다.

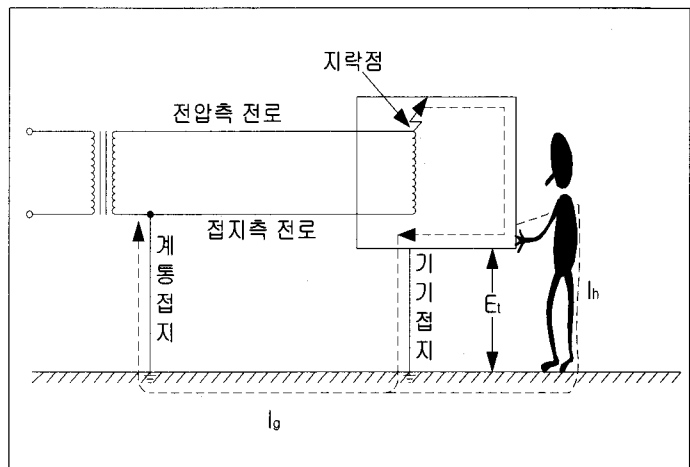
감전을 방지하는 방법에는 이중절연, 보호접지방식, 누전차단방식, 전용접지선방식 등이 있는데, 보호접지방식과 누전차단방식이 일반적이다.

감전방지를 위한 접지의 역할을 그림 1에 지락사고의 가상도를 통해 고찰해 보자. 기기의 절연이 열화되거나 누전되어 지락이 발생하면 그 전류는 기기접지에 의해 대지로 흐르고, 접지극의 전위를 상승시킨다. 이 상황에 있어서 사람이 기기에 접촉하는 경우에 ① 인체에 접촉전압이 인가되거나 ② 인체에 감전전류가 흐른다. 결국은 접촉전압의 함수로서 인체의 임피던스, 전류의 크기, 인체에 작용하는 시간 등이 복잡하게 관계된다. 어느 것을 해도 심실세동을 발생하지 않고, 결국 감전사를 일으키지

않는 전압이나 전류를 억제하기 위해서 접지가 필요하게 된다.

지금까지 접지에서 접지극의 임피던스가 문제인 것을 알게 되었고, 판상이나 단일 봉상전극보다도 전극 자체가 넓이를 가진 병렬접지나 루프형(링전극)이 유용한 것으로 알려져 있다.

여기서는 가로등에서 감전방지를 위한 제3종접지를 시공함에 있어 접지전극의 형상에 따른 접지효과에 대하여 간단한 시뮬레이션을 통하여 살펴보고자 한다.



〈그림 1〉 보호접지의 예

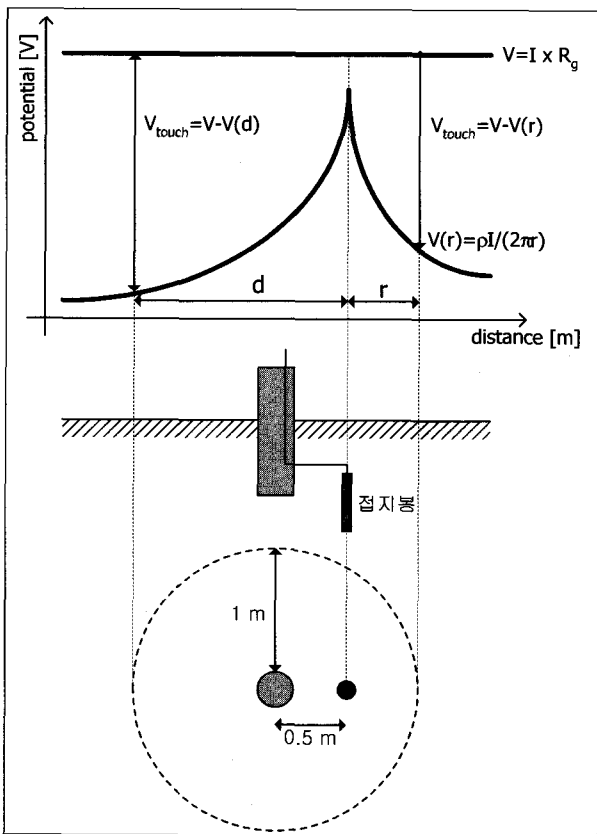
2. 전극별 접지효과 모의

그림 2는 가로등주로부터 0.5m 거리에 접지봉을 매설했을 때, 가로등 주변의 지표면전위와 접촉전압 분포 예를 보인 것이다. 접지봉을 반구형전극이라고 가정하면, 접지극으로부터 거리 r 만큼 떨어진 곳의 지표면전위 $V(r)$ 은 $\rho I / (2\pi r)$ 에 의해서 구해진다. 접지봉의 접지저항이 R_g , 접지극을 통해 대지로 누설되는 전류를 I 라고 하면, 접지극으로부터 r 만큼 떨어진 곳은 접촉전압 $V_{touch}(r) = I \times R_g - V(r)$ 이 된다. 이 경우 어느 위치에서 가로등주를 짚고 서 있는가에 따라서 접촉전압은 달

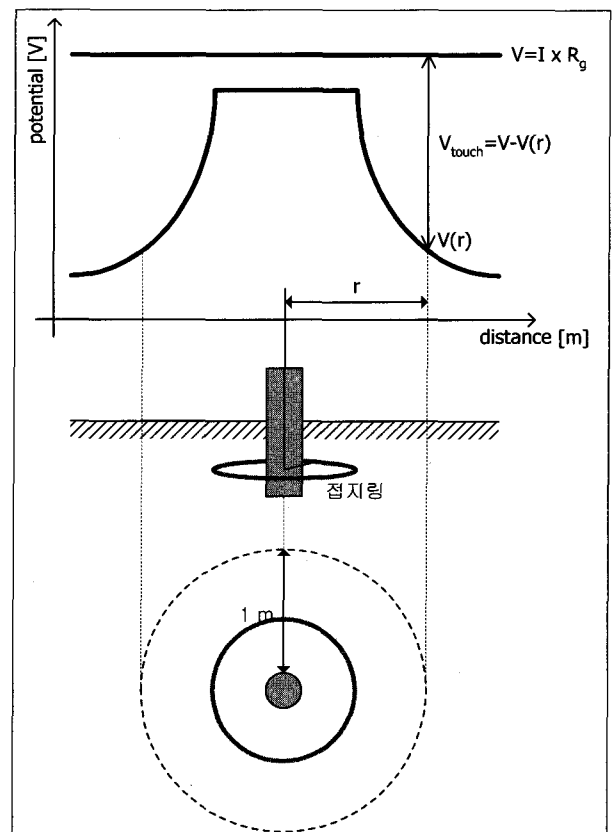
라지며, 가장 가혹한 조건은 접지봉 반대편에서 가로등 금속제 외함에 접촉했을 경우이며, 이 위치에서 접촉전압이 가장 커진다.

그림 3은 링전극을 시공했을 때의 지표면전위와 접촉전압 분포이다. 접지저항(R_g)이 동일하다면, 가로등 주변의 지표면전위가 고르게 분포됨에 따라 가장 가혹한 조건의 접촉전압은 감소하게 된다.

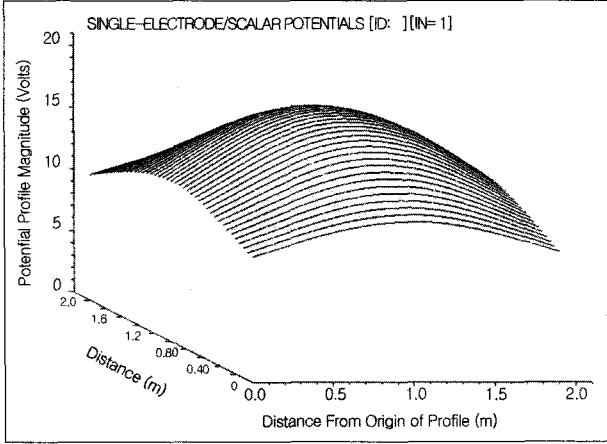
그림 4~9는 대지저항률을 $100 \Omega m$ 로 가정했을 때, 접지봉과 링전극의 접지성능을 비교하기 위하여 단위전류(1A)의 접지전류를 흘렸을 때 접지극 주변의 지표면전위, 접촉 및 보폭전압을 계산한 결과를 보인 것이다. 링전



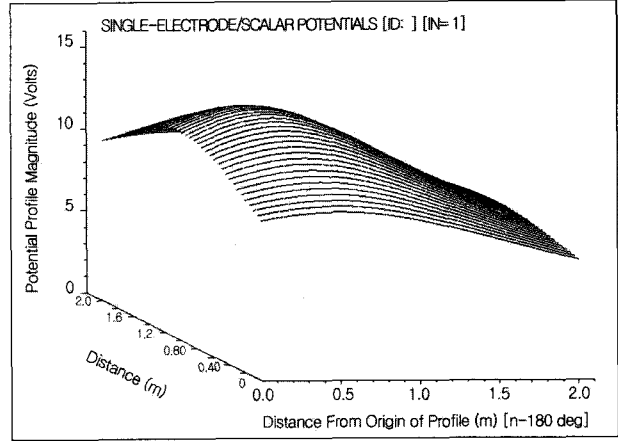
〈그림 2〉 가로등 주변의 접촉전압(접지봉 매설)



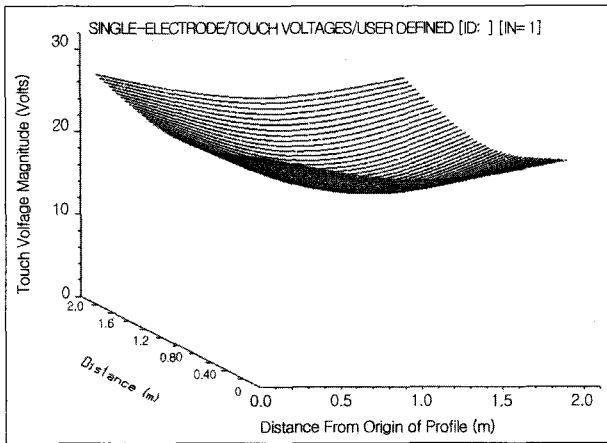
〈그림 3〉 가로등 주변의 접촉전압(링전극 시공)



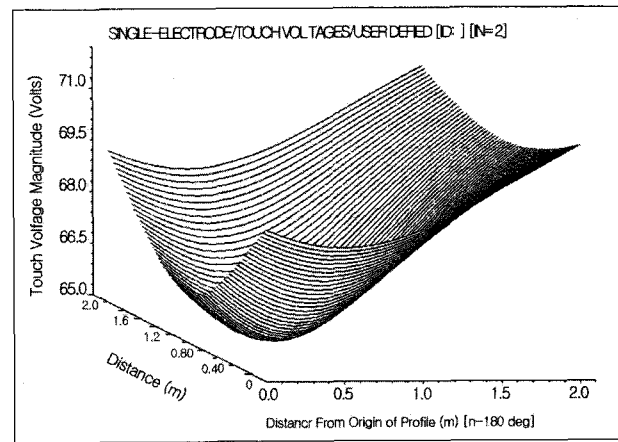
〈그림 4〉 링전극 주변의 지표면전위



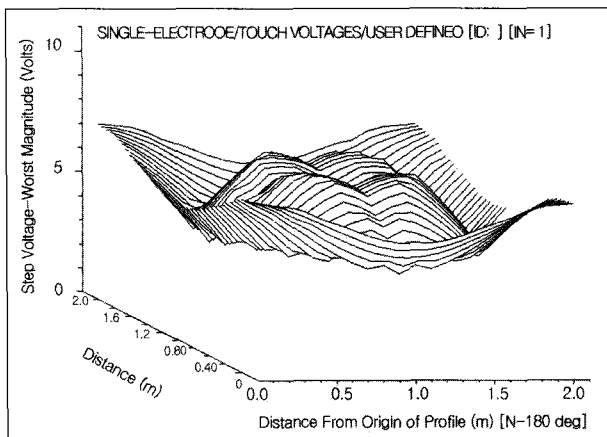
〈그림 7〉 접지봉 주변의 지표면전위(접지저항 79Ω)



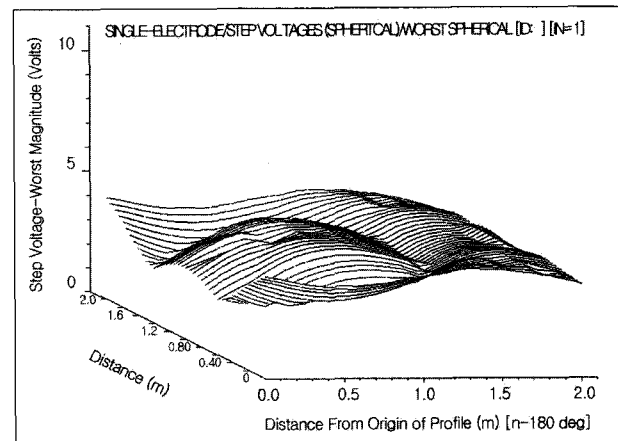
〈그림 5〉 링전극 주변의 보폭전압(접지저항 38Ω)



〈그림 8〉 접지봉 주변의 접촉전압



〈그림 6〉 링전극 주변의 보폭전압



〈그림 9〉 접지봉 주변의 보폭전압

극의 경우에는 가로등을 중심으로 지표면전위가 고르게 분포하나 접지봉의 경우에는 접지봉을 중심으로 지표면 전위가 분포되므로 접지봉에서 먼 쪽에서 가로등 외함에 접촉하는 경우에 큰 접촉전압이 나타남을 볼 수 있다. 보폭전압은 접촉전압에 비해 치명적이지도 않을 뿐만 아니라 안전허용치도 상대적으로 크며, 접촉전압이 허용치를 초과하면서 보폭전압이 허용치 이내로 유지되는 경우는 거의 없으므로 별로 중요하지 않는 성능지수라고 할 수 있다.

접지저항의 측면에서도 링전극의 접지저항은 약 36Ω으로 계산되었으나, 접지봉의 경우에는 약 79Ω으로 2배 이상 차이가 난다. 따라서 시공상의 문제점만 개선한다면 링전극이 접지봉에 비해 접지성능이 우수함을 알 수 있다. 그림 4~6은 링전극 주변 또는 가로등을 중심으로 2×2 m² 내의 지표면, 접촉 및 보폭전압을 계산한 결과이다.

그림 7~9는 접지봉이 가로등주로부터 0.5m 떨어진 곳에 매설되었을 때, 가로등을 중심으로 2×2m²의 전위분포를 보인 것이다. 접지봉으로부터 멀리 떨어질수록 지표면전위가 급격히 저감되고, 따라서 접촉전압이 커지는 것

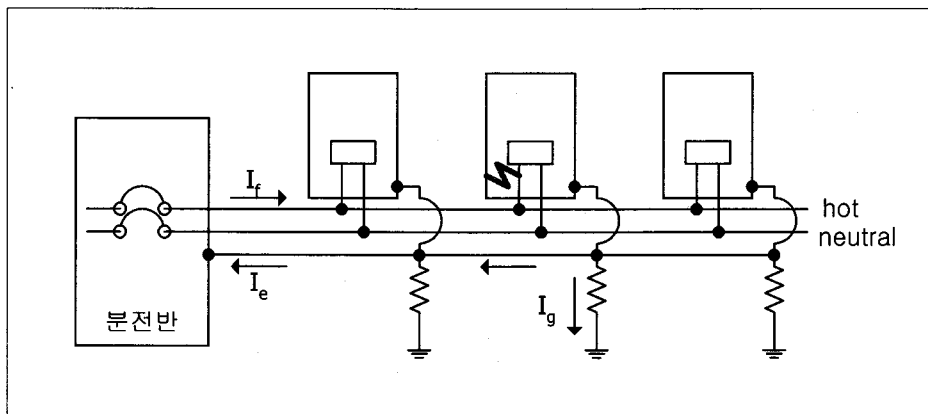
을 볼 수 있다. 계산결과와 요약을 표 1에 보였다.

〈표 1〉 계산결과 요약(ρ=100Ωm 가정)

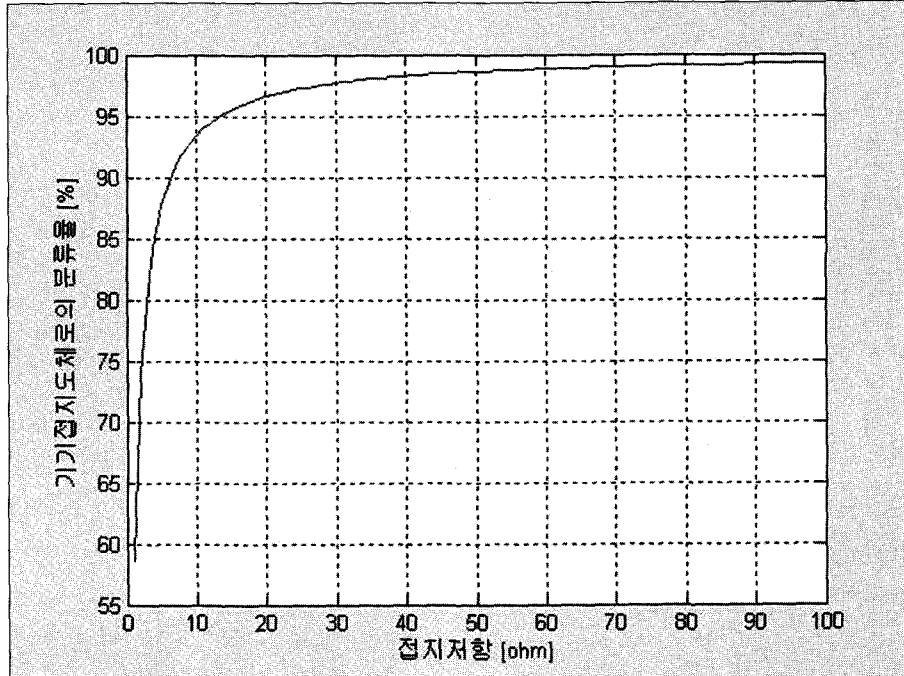
구 분	접지저항	지표면전위 (V/A)	접촉전압 (V/A)	보폭전압 (V/A)
접지봉	79Ω	18.7	27.9	7.3
링전극	38Ω	14.1	71.8	4.5

3. 가로등 누전시 고장전류 분류율

그림 10은 가로등 사고시 고장전류 분포의 예를 보인 것이다. 기기접지도체의 임피던스 크기가 3.356mΩ/m라고 했을 때, 총 지락전류 중 기기접지도체로 분류되는 비율(S_f)은 아래 수식에 의해서 간단히 구해진다. 가로등 사이의 평균간격이 30m라고 하고 최대 7개의 가로등이 연접접지선에 의해서 연결되어 있다고 가정했을 때, 접지저항에 따른 기기접지선으로의 분류율을 계산한 결과는 그림 11과 같다. 이 그림으로부터 기기접지선이 있는 경우, 지락전류의 대부분은 접지로 빠져나가지 않음을 알 수 있다.



〈그림 10〉 가로등 사고시 고장전류 분포



〈그림 11〉 접지저항에 따른 고장전류 분류율 ($S_f = \frac{I_c}{I_f}$)

$$S_f = \frac{R_g}{R_g + Z \times L} \times 100 (\%)$$

단, Z : 기기접지도체의 단위 길이당 임피던스 Ω/m

Rg : 접지저항 Ω

L : 기기접지도체의 길이 m

4. 맺음말

지금까지 가로등의 안전 확보를 위한 접지설계와 시공에서 접지극 형상에 따른 접지효과를 살펴보았다. 또, 가로등 누전시 누전차단기 작동을 위한 귀로 저임피던스 유지를 위한 본딩선을 설치했을 때 본딩선과 기기접지 전극으로 흐르는 전류의 분류율을 검토하였다.

검토 결과는 다음과 같다.

- ① 가로등의 금속부분에 누전이 발생했을 때 접지전극의 형상별 접지성능을 검토한 결과, 지금까지 시공에서 널리 이용되고 있는 링전극이 접지봉보다 우수한 것으로 나타났다. 그러나 시공측면에서 시공의 용이성, 경제성 등을 종합적으로 검토할 필요가 있다.
- ② 누전차단기의 확실하고 신속한 작동을 위해서는 전원측 분전반과 가로등 간에 저임피던스 유지를 가능케 하는 본딩선을 설치하는 것이 필수적이다. 이 때, 개별 가로등의 기기접지는 반드시 필요한 것은 아니나, 누전차단기가 고장 등의 원인으로 작동하지 않는 경우를 고려하여 접지를 하는 것이 바람직하다.
- ③ ②항에 의해 누전차단기가 확실하게 작동하여 감전이 방지된다고 할 때, 접지전극의 형상은 시공상 용이한 전극을 선택하는 것이 바람직하다.