

## 가로등설비 누전시 전위분포에 대한 실험연구

(The Experimental Study on the Electric Potential Distribution by Electric Leakage in Street Lamp)

박상태\* · 이복영 · 홍성호 · 최충석 · 길형준 · 한운기

(Sang-Tae Park · Bok-Young Lee · Sung-Ho Hong · Chung-Suk Choi · Hyung-Jun Gil · Woon-Ki Han)

(한국화재보험협회 부설 방재시험연구원 · 한국전기안전공사 부설 전기안전연구원)

### Abstract

This paper presents study on the electric potential distribution when have a short in street lamp. In order to measure electric potential testing ground is built in. A experiment is conducted to simulate dry and submerged situation of street lamp. The street lamp is leaked by artificial means. And electric potential is measured in grounded street lamp and street lamp alone. The results show that touch voltage of grounded street lamp is possible to more high than street lamp alone. And the electric shock hazard is high because high electric potential is distributed near submerged street lamp. Also if street lamp is submerged ground is not useful to decrease electric shock hazard.

### 1. 서론

오늘날 전기에너지는 인류의 문화와 문명유지를 위한 청정에너지원으로 점차 그 수요가 증가하고 있다. 최근 국내는 물론 국외 각국에서 환경에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이러한 관심에 따라 화석연료에 비해 상대적으로 오염물질을 적게 유발하는 전기에너지는 인류에게는 필수적인 에너지원이라 할 수 있다[1][2]. 이와 같은 많은 장점들을 가지고 있음에도 불구하고 전기에너지는 취급시 작업자의 작은 실수만 있어도 그 피해는 전기에너지를 사용하는 설비의 손상은 물론 작업자 혹은 에너지원에 접촉한 피해자를 사망에 이르게도 한다. 특히, 최근에는 하절기 우천으로 인한 가로등 설비의 침수에 의한 감전사고의 빈도가 높아지고 있으며 사망률 또한 높게 나타나고 있다 이러한 감전사고를 방지하기 위하여 세계 각국에서는 감전과 관련한 안전기준을 마련하여 감전위험성 분석 및 평가를 시행하고 있다[3]-[7].

본 연구에서는 가로등설비의 누전시 주위의 전위분포를 분석하여 감전사고를 예방하기 위한 실험데이터를 제공하고자 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 실제 사용되고 있는 가로등설비를 그대로 재현할 수 있는 실험장을 구축하였다. 구축한 실험장에 가로등설비를 설치하고 건조상태와 침수상태인 경우로 구분하여 전위측정 실험을 수행하였다. 이와 같은 실험을 통하여 얻어진 데이터를 기반으로 건조상태와 침수상태의 가로등설비에 대한 감

전위험성 분석 및 예방대책을 수립하기 위한 연구를 수행하였다.

### 2. 실험장치 및 방법

전위측정을 위한 실험장의 크기는 가로 20,00 [mm] × 세로 10,000 [mm] × 높이 1,000 [mm]이고, 벽은 10 [mm]의 철근을 200 [mm] 간격으로 삽입한 콘크리트구조이다. 또한 실제 설비에서 발생할 수 있는 사고환경과 유사한 환경조건을 구현하기 위하여 실험장 기본 깊이에서 500 [mm]를 파낸 후 정제된 흙으로 매립하는 등 토양의 균질도를 확보하는 작업을 수행하였다. 또한 직경 50 [mm]의 PVC파이프로 배수구 2곳을 설치하고 50 [mm]의 밸브를 설치하여 침수상태 실험시 수위조절을 가능하게 하였다.

전위측정은 실험장에 측정용 전극을 각 설비의 조건에 따라 다양한 간격으로 정렬하여 발생하는 전위를 측정하였다. Fig. 1은 이와 같은 실험장에 전위측정용 전극을 정렬한 것에 대한 개략도를 나타낸다. 그림에서 보듯이 측정용 전극을 일정하게 정렬하고 누전이 발생하였을 때 발생하는 전위를 측정하였다. 한 점의 전위를 측정하기 위하여 실험장에서 20,000 [mm] 떨어진 곳에 접지를 하였다. 이 접지점에 전압계의 한쪽 단자를 접속하였고 다른 쪽 단자는 Fig. 1의 일정하게 정렬된 전극이다. 전위측정에 사용된 전압계는 스코프메타 (Scopemeter, Fluke, USA)이다.

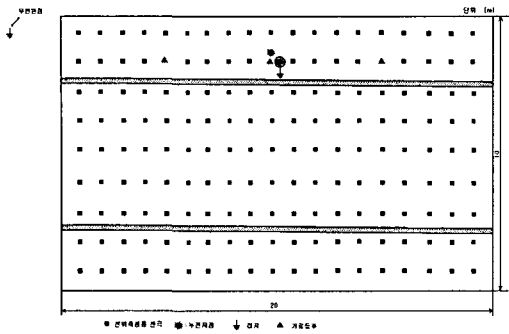


그림 1. 전위측정용 전극 배치도  
 Fig. 1. The schematic of electrode arrangement for electric potential measurement

### 2.1 건조상태 실험방법

실험장에 가로등설비를 설치하고 가로등용 분전함의 분기회로 중 누전차단기를 제거하여 전원공급을 한 다음 가로등주의 내부에 설치되어 있는 전선을 강제적으로 열화시켜 가로등주로 누설전류를 흐르게 하였다. 250[W]의 가로등을 단상 AC 220[V], 60[Hz]의 상용전원을 가로등설비에 인가하고 그 중 1선을 Fig. 2와 같이 강제적으로 절연을 파괴하여 외함에 접속시켰다. 이와 같이 누전회로를 구성한 다음 가로등주가 접지되지 않은 경우와 접지된 경우로 구분하여 각각의 경우에 대한 주위 전위를 가로등주에서 200[mm] 간격으로 측정하였다. Fig. 3과 4는 이와 같은 건조상태의 가로등설비에서 누전회로 및 전위측정에 대한 개략도를 나타낸다.

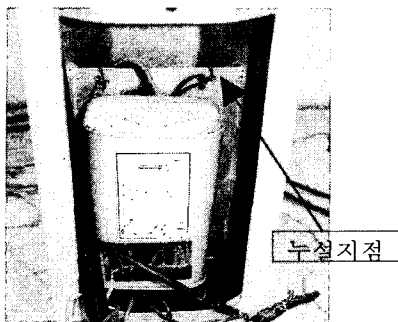


Fig. 2. 가로등 외함에 누전시킨 상태  
 Fig. 2. The state of electric leakage in street lamp

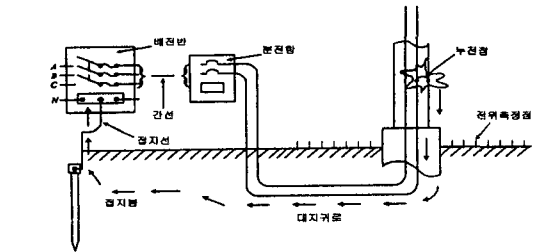


그림3. 건조상태 가로등설비의 누전 및 전위 측정회로도  
 Fig. 3. Schematic of leakage and electric potential measurement in dry street lamp

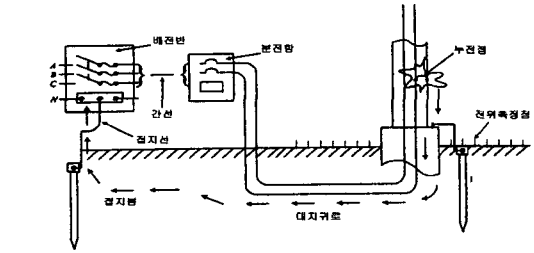


그림 4. 건조상태 접지된 가로등설비의 누전 및 전위 측정 회로도  
 Fig. 4. Schematic of leakage and electric potential measurement in dry street lamp for grounded state

### 2.2 침수상태 실험방법

건조상태의 경우와 같은 방법으로 실제 사용되고 있는 가로등설비를 설치하고 누전회로를 구성하고 가로등주가 지표면으로부터 300[mm] 높이로 침수되도록 하였다. 침수상태에서는 물로 인하여 전위분포가 건조상태보다 다소 균등하다는 것을 고려하여 대지전위측정전극 간격은 누설된 지점으로부터 건조상태보다 넓은 간격인 누전된 가로등주에서 500[mm] 간격으로 하였다.

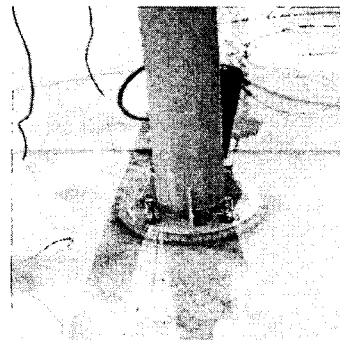


그림 5. 가로등 침수상태  
 Fig. 5. Submerged street lamp

또한 수중의 전극은 일반 성인의 발이 완전히 침수될 수 있는 높이인 지표면에서 200[mm] 높이가 되는 지점에 설치하여 주위의 전위를 측정하였다

Fig. 5는 누전회로를 구성한 다음 실험장에 물을 채워 가로등이 침수된 장면을 나타낸다. 또한 이와 같이 누전회로를 구성한 다음 가로등주가 접지되지 않은 경우와 접지된 경우로 구분하여 각각의 경우에 대한 주위 전위를 측정하였다.

Fig. 6과 7은 이와 같은 침수상태의 가로등설비에서 누전회로 및 전위측정에 대한 개략도를 나타낸다.

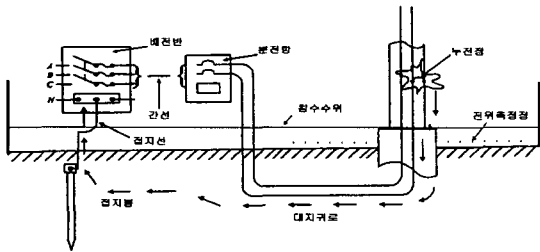


그림 6. 침수상태 가로등 설비에서의 누전 및 전위측정 회로도

Fig. 6. Schematic of leakage and electric potential measurement in submerged street lamp

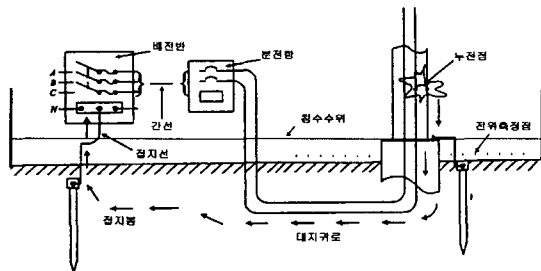


그림 7. 침수상태 접지된 가로등 설비에서의 누전 및 전위측정회로도

Fig. 7. Schematic of leakage and electric potential measurement in submerged street lamp for grounded state

### 3. 결과 및 분석

#### 3.1 건조상태

Fig. 8과 9는 누전에 의하여 발생하는 가로등주 주위의 대지전위분포를 나타낸 그림이다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 누전이 발생한 지점으로부터 일

정한 지역의 전위가 다른 지역보다 상대적으로 높아서 입체적으로 보면 블록하게 나타나는 것을 볼 수 있다. Fig. 9는 입체그림에서 한 부분을 선택하여 나타낸 평면도이다. 그림에서 보듯이 좌우가 대칭적이지 않는데, 이것은 누설전류에 의한 전위가 대지저항률 등에 따라 달라지는 것을 의미한다.

인체의 접촉상태에 따른 허용접촉전압은 제 1종 접촉상태의 경우에는 2.5[V]이하, 제 2종의 경우에는 25[V]이하, 제 3종의 경우에는 50[V]이하로 규정하고 있다[8]. 건조한 상태의 가로등에서는 이러한 접촉상태를 고려한다면 제 3종 접촉상태라고 볼 수 있으므로 이 허용접촉전압인 50[V]를 고려한다면 가로등주자체의 220[V]의 전압은 아주 높은 전압이라는 것을 알 수 있다. 따라서 누전되고 있는 가로등주는 감전위험성이 높은 것을 알 수 있다.

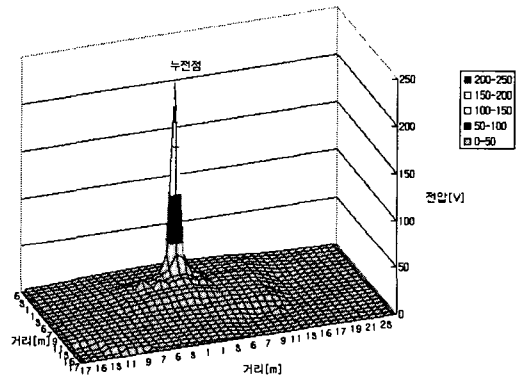


그림 8. 가로등설비 입체 전위분포도

Fig. 8. Solid figure of electric potential distribution in street lamp

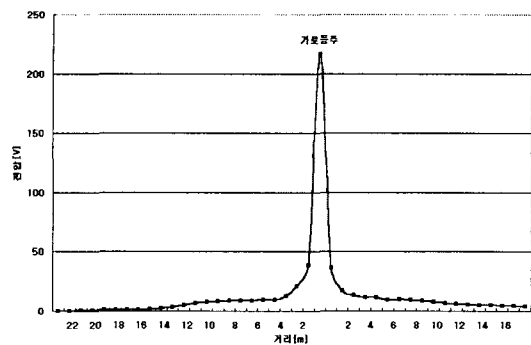


그림 9. 가로등설비 전위분포도

Fig. 9. Plane figure of electric potential distribution in street lamp

Fig. 10과 11은 이러한 누설전류에 의하여 발생 되는 대지전위분포를 나타낸 그림이다. Fig. 10에서 보듯이 비접지된 가로등 누전보다 전체적으로 상당히 높은 전위분포를 나타내며, 특히 접지측의 전위는 누전되고 있는 가로등의 전위와 비슷한 값을 나타냈다. 그러므로 인체가 접촉했을 때 인체의 접촉전압은 상대적으로 낮게 된다. 또한 가로등과 접지점 사이에 다소 낮은 전위가 나타났는데, 이는 가로등 자체와 접지측사이의 지면에 대하여 측정하였기 때문에 상대적으로 누설되고 있는 가로등과 접지점보다 낮은 수치를 나타냈다.

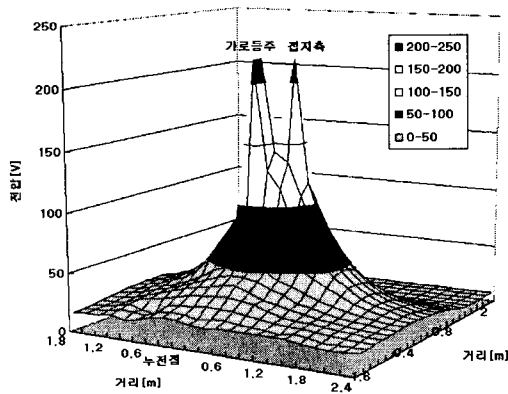


그림 10. 접지된 가로등설비 입체 전위분포도  
Fig. 10. Solid figure of electric potential distribution in grounded street lamp

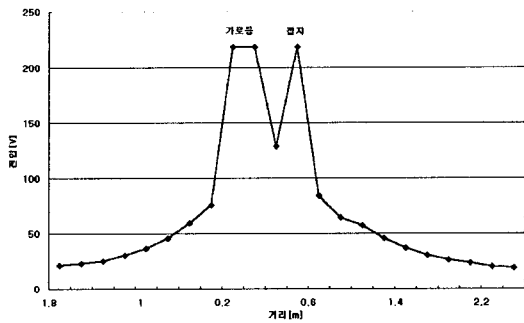


그림 11. 접지된 가로등설비 전위분포도  
Fig. 11. Plane figure of electric potential distribution in grounded street lamp

Fig. 11은 입체그림에서 한 부분을 선택하여 나타낸 평면도이다. 마찬가지로 좌우가 대칭적이지 않는 것은 대지저항률 등의 영향이다. 그림에서 보듯이 가로등 자체누전의 경우와 마찬가지로 안전

한 이격거리는 2,500[mm]이상이라는 것을 알 수 있다. 가로등 자체 누전과 다른 점은 접지측의 전위가 가로등주의 전위와 거의 비슷한 값이기 때문에 접지측에 서서 가로등에 접촉을 한다하더라도 접촉전압이 낮아서 감전위험이 없을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구의 실험결과에 의하면 접지측 반대측은 비접지된 가로등과 유사한 감전위험성을 갖게 된다. 그러므로 건조한 상태인 경우에는 누전에 의한 감전 사고를 예방하기 위해서는 가로등 주위로 여러 개의 봉상이나 방사상 또는 망상 등과 같은 접지전극을 사용해야 할 것으로 사료되며, 가로등주를 절연 처리하는 방법도 하나의 대책이라 할 수 있다.

### 3.2 침수상태

Fig. 12와 13은 이러한 누설전류에 의하여 발생 되는 대지전위분포를 나타낸 그림이다. Fig. 12에서 알 수 있듯이 누전이 발생한 지점으로부터 일정한 지역의 전위가 높게 나타나고 그 범위도 건조한 상태인 경우보다 더 넓은 것을 알 수 있다.

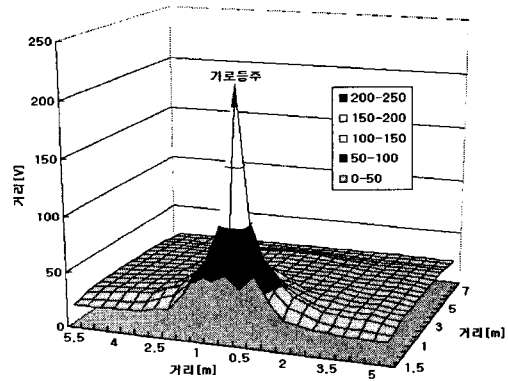


그림 12. 가로등설비 입체 전위분포도  
Fig. 12. Solid figure of electric potential distribution in street lamp

Fig. 13은 입체그림에서 한 부분을 선택하여 나타낸 평면도이다. 건조한 상태와는 다르게 그래프의 좌우가 비교적 대칭적으로 나타났는데, 이것은 물의 전기 저항률은 비교적 일정하기 때문인 것으로 사료된다. 또한 높은 전위를 갖는 범위가 건조한 상태보다 더 넓어서 곡선이 좌우로 더 넓게 분포되는 것을 알 수 있다. 따라서 침수상태인 경우

에는 높은 전위분포를 갖는 부분이 넓게 나타나 건조상태보다 더 감전위험성이 클 것으로 판단된다.

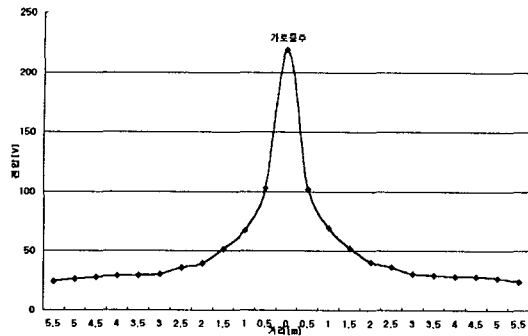


그림 13. 가로등설비 전위분포도  
Fig. 13. Plane figure of electric potential distribution in street lamp

또한 침수된 상태인 경우에는 1종 접촉상태라고 볼 수 있으므로 허용접촉전압 2.5[V]를 고려한다면 위험성이 높은 것을 확인할 수 있다.

Fig. 14와 15는 이러한 누설전류에 의하여 발생되는 대지전위분포를 나타낸 그림이다. Fig. 14에서 알 수 있듯이 누전이 발생한 지점으로부터 일정한 지역의 전위가 높게 나타나고 그 범위도 건조한 상태인 경우보다 더 넓은 것을 알 수 있다.

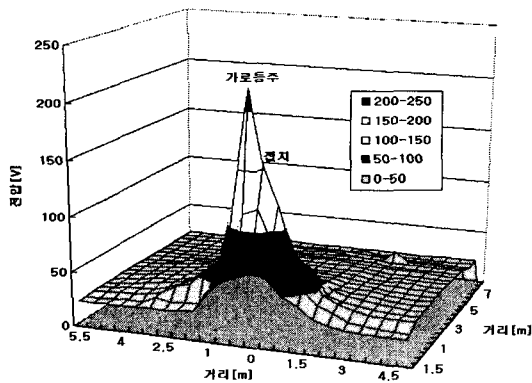


그림 14. 접지된 가로등설비 입체 전위분포도  
Fig. 14. Solid figure of electric potential distribution in grounded street lamp

또한 Fig. 15에서 보듯이 접지된 부분에서 전위가 다소 높게 나타났지만 침수상태에서의 허용접촉전압을 고려해 볼 때 감전위험을 감소시키는데

기여할 수 없다는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 가로등설비가 침수되면 접지는 감전사고를 예방하는 측면에서는 도움이 되지 않을 것으로 판단된다.

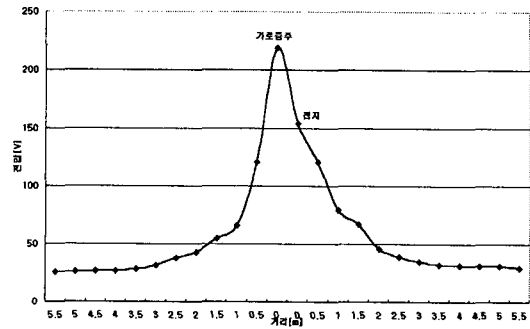


그림 15. 접지된 가로등설비 전위분포도  
Fig. 15. Plane figure of electric potential distribution in grounded street lamp

#### 4. 결론

건조상태와 침수시 가로등 설비의 전위를 측정하여 감전위험성을 분석하기 위하여 실제 크기와 동일한 규모로 가로등 설비를 설치하고 강제적으로 열화시켜 누전회로를 구성하여 실험을 수행하였다. 본 연구의 실험조건에서는 다음과 같은 연구 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 건조상태에서 접지된 가로등에의 누전보다 비접지된 가로등 누전인 경우가 접촉전압이 더 높게 나타났다.
- 2) 건조상태의 가로등 설비에서 허용접촉전압을 고려한 결과 가로등 설비에는 고장 등의 원인으로 누전이 발생할 가능성이 존재하므로 건조상태일지라도 사람과 가로등설비를 2,500[mm]이상 이격시켜야 할 것으로 판단된다.
- 3) 침수상태에서 가로등 설비가 누전이 되면 가로등 주위로 안전전압이상의 높은 전위분포가 형성되므로 이러한 경우에는 사람과 가로등설비를 4,000[mm]이상 이격시켜야 할 것으로 판단된다. 또한 가로등설비 주위 전위분포를 분석한 결과 가로등 설비가 침수되면 접지는 감전사고 방지하는데 효과가 작을 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 권용준, 손병창, 이명희, 신승현, “전격재해의 유형 및 대책에 관한 연구”, 한국산업안전학회지, Vol. 15, No. 4, 2000
- [2] 전기안전연구원, “배선기구류의 감전위험성 연구”, 전기안전연구원, 1999
- [3] G. Parise, U. Grasselli, and R. Iaconelli, “Measurement of Touch and Step Voltages Adopting Multi Current Auxiliary Electrodes”, IEEE Industry Applications Conference, Vol. 5, pp.3187~3193, 2000
- [4] F. P. Dawalibi, R. D. Southey, and R. S. Baishiki, “Validity of Conventional Approaches for Calculating Body Currents Resulting from Electric Shocks”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 2, pp.613~626, 1990
- [5] T. Bernstein, “Electrical Shock Hazards and Safety Standards”, IEEE Transactions on Education, Vol. 34, No.3, pp. 216~222, 1991
- [6] Y. Rajotte, R. Bergeron, and A. Chalifoux, “Measurement of touch Voltages on 25-kV Underground Distribution Systems”, 10th International Conference on Electricity Distribution, Vol. 3, pp.238~242, 1989
- [7] C. H. Lee, A. P. S. Meliopoulos, “Comparison of Touch and Step Voltage between IEEE Std 80 and IEC 479-1”, IEE Proceedings of Generation, Transmission and Distribution, Vol. 146. No. 5, pp.593~601, 1999
- [8] 低電壓地絡保護指針, 日本電氣協會