

# 가로등설비 누전시 건조상태와 침수상태에 대한 전위분포 분석

홍성호<sup>†</sup> · 박상태 · 김상철<sup>\*</sup>

방재시험연구원 · \*세명대학교 보건안전공학과

(2008. 7. 15. 접수 / 2008. 12. 15. 채택)

## The Analysis on the Electric Potential Distribution of Dry and Submerged Condition by Electric Leakage in Street Lamp

Sung-Ho Hon<sup>†</sup> · Sang-Tea Park · Sang-Chul Kim<sup>\*</sup>

Fire Insurers Laboratories of Korea

<sup>\*</sup>Department of Occupational Health and Safety Engineering, Semyung University

(Received July 15, 2008 / Accepted December 15, 2008)

**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 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.

**Key Words** : electric potential, electric shock, street lamp

### 1. 서론

오늘날 전기에너지는 인류의 문화와 문명의 유지를 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 에너지원이다<sup>1,2)</sup>. 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 가로등설비의 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<sup>3-7)</sup>.

본 연구에서는 가로등설비가 누전되었을 때, 건조상태와 침수상태로 구분하여 주위의 전위분포를 분석함으로써 가로등설비에서의 감전 사고를 예방하는데 도움을 줄 수 있는 실측 데이터를 제공하고자 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 실제 사용되고 있는 가로등설비를 그대로 재현하여 실험장을 구축하였다. 이 실험에서는 위의 2가지 방법을 이용하여 가로등주가 접지되어 있는 경우와 접지되어 있지 않는 경우에 대하여 전위측정 실험을 수행하였다. 이와 같은 실험을 통하여 얻어진 데이터를 기반으로 건조상태와 침수상태의 가로등설비에 대한 감전위험성 분석 및 예방대책을 수립하고자 하였다.

### 2. 실험장치 및 방법

전위측정을 위한 실험장의 크기는 가로 20m×세로 10m×높이 1m이고, 벽은 1cm의 철근을 20cm 간격으로 삽입한 콘크리트구조이다. 또한 실제 설비에서 발생될 수 있는 사고환경과 유사한 환경조건을 구현하기 위하여 실험장 기본 깊이에서 50cm를

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
hsho@kfpa.or.kr

파낸 후 정제된 흙으로 매립하는 등 토양의 균질도를 확보하는 작업을 수행하였다. 또한 직경 5cm의 PVC파이프로 배수구 2곳을 설치하고 5cm의 밸브를 설치하여 침수상태 실험시 수위조절을 가능하게 하였으며, 분전함과 가로등주 사이에 ELP 37mm 전선관을 매입하여 전원을 연결하였다.

전위측정은 실험장에 측정용 전극을 각 설비의 조건에 따라 다양한 간격으로 정렬하여 발생하는 전위를 측정하였다. Fig. 1은 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 20m 떨어진 곳에 접지를 하였다. 이 접지점에 전압계의 한쪽 단자를 접속하였고 다른 쪽 단자는 그림에서 표시한 바와 같이 일전하게 정렬된 전극에다 접속하였다. 전위측정에 사용된 전압계는 스코프메타(Scope-meter, Fluke, USA)이다. Fig. 2는 이러한 전위측정을 위한 실증실험장 전경을 나타낸다.

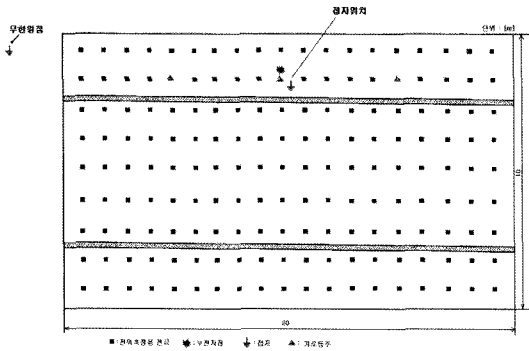


Fig. 1. The schematic of electrode arrangement for electric potential measurement.



Fig. 2. The testing ground.

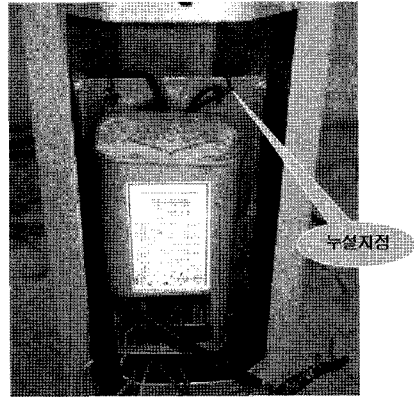


Fig. 3. The state of electric leakage in street lamp.

### 2.1. 건조상태 실험방법

실험장에 가로등설비를 설치하고 가로등용 분전함의 분기회로 중 누전차단기를 제거하여 전원공급을 한 다음 가로등주의 내부에 설치되어 있는 전선을 강제로 열화시켜 가로등주로 누설전류를 흐르게 하였다.

250W의 가로등을 단상 AC 220V, 60Hz의 상용 전원을 가로등설비에 인가하고 그 중 1선을 Fig. 3과 같이 절연을 파괴하여 외함에 접속시켰다. 이와 같이 누전회로를 구성한 다음 가로등주가 접지되지 않은 경우와 접지된 경우로 구분하여 각각의 경우에 대한 주위 전위를 가로등주에서 20cm 간격으로 측정하였다.

Fig. 4와 5는 건조상태의 접지되지 않은 가로등설비와, 접지된 가로등설비에서 누전회로 및 전위측정에 대한 개략도를 나타낸다.

### 2.2. 침수상태 실험방법

건조상태의 경우와 같은 방법으로 누전회로를 구성한 다음 가로등주가 지표면으로부터 30cm 높

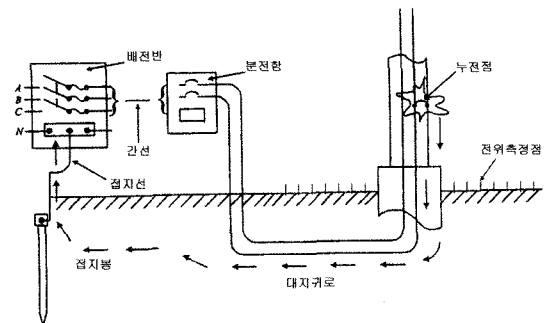


Fig. 4. Schematic of leakage and electric potential measurement in dry condition.

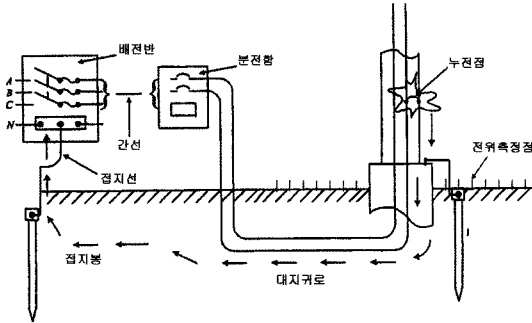


Fig. 5. Schematic of leakage and electric potential measurement in dry condition for grounded state.

이로 침수되도록 하였다. 침수상태에서는 물로 인하여 전위분포가 건조상태보다 다소 균등하다는 것을 고려하여 대지전위측정전극 간격을 누전지점으로 부터 건조상태보다 넓게 누전된 가로등주에서 50cm 간격으로 하였다.

또한 수중의 전극은 일반 성인의 발이 완전히 침수될 수 있는 높이인 지표면에서 20cm 높이가 되는 지점에 설치하여 주위의 전위를 측정하였다.

Fig. 6은 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. 7과 8은 이와 같은 침수상태의 접지되지 않은 가로등설비와 접지된 가로등설비에서 누전회로 및 전위측정에 대한 개략도를 나타낸다.

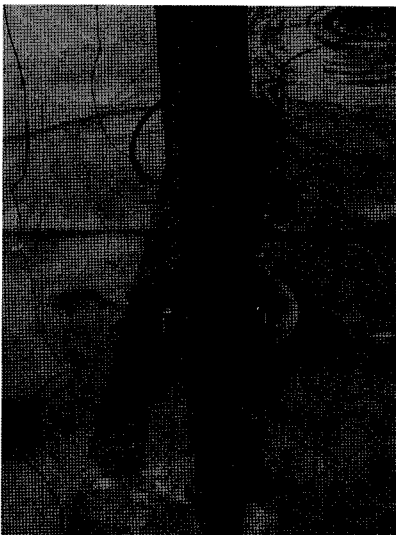


Fig. 6. Submerged street lamp.

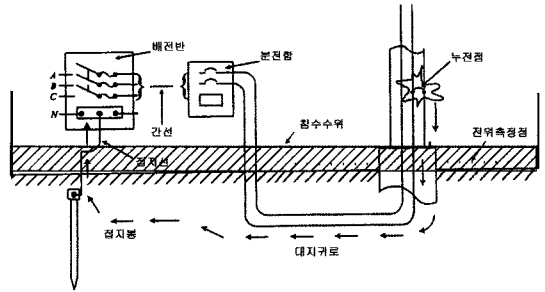


Fig. 7. Schematic of leakage and electric potential measurement in submerged condition.

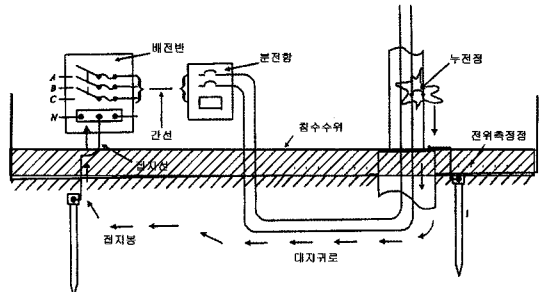


Fig. 8. Schematic of leakage and electric potential measurement in submerged condition for grounded state.

### 3. 결과 및 분석

#### 3.1. 건조상태

Fig. 9는 누전에 의하여 발생하는 접지되지 않은 가로등 주위의 대지전위분포를 나타낸 그림이고 Fig. 10은 입체그림에서 한부분을 선택하여 나타낸 평면도이다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 누전이 발생한 지점으로부터 일정한 지역의 전위가 다른 지역보다 상대적으로 높아서 입체적으로 보면 불룩하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한 Fig. 9에서 보듯이 가로등주 자체의 전위는 인가전압인 220V가 그대로 나타났다. 누전이 발생한 지점으로부터 1m 떨어진 곳에서의 전위는 약 37V로 전위차만 고려해 볼 때 1m 떨어진 지점에서 가로등주를 접촉하게 되면 179V의 높은 접촉전압이 인가되는 것을 알 수 있다. 접촉전압은 거리가 멀어질수록 높게 인가될 수 있기 때문에 건조상태일지라도 누전되는 가로등을 직접 접촉하게 되면 감전위험성이 높은 것을 알 수 있다. 대지 전위는 Fig. 8에서 보듯이 약 3m 떨어진 부분에서는 전위분포가 완만해지는 것을 알 수 있다. 따라서 3m 이상 이격된 거리에서 인체의 보폭을 1m라고 가정할 때 보폭전압은 약 3V 이하로 낮아지게 되므로 건조상태에서는 누전되는 가로등에서 3m 이상 이격된다면 가로등주

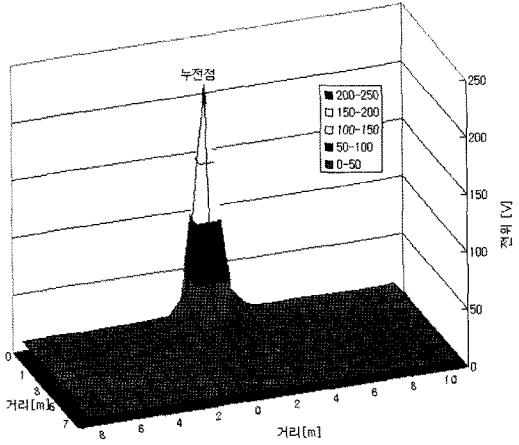


Fig. 9. Electric potential distribution in street lamp.

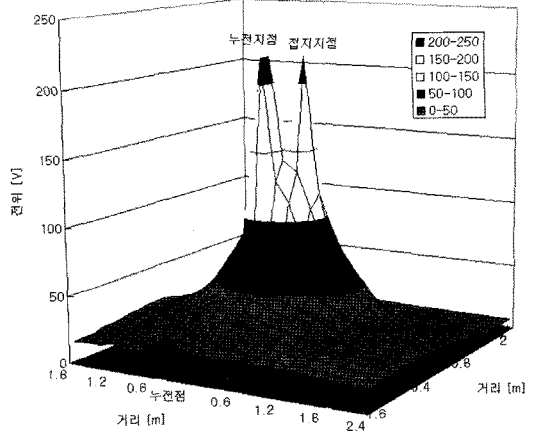


Fig. 11. Solid figure electric potential distribution in grounded state.

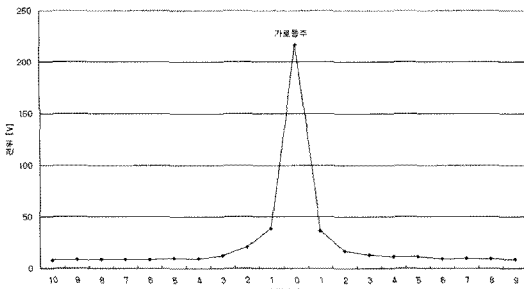


Fig. 10. Plane figure of electric potential distribution in non-grounded state.

에 직접 접촉하지 않을 경우 감전위험성은 비교적 낮다고 할 수 있다.

Fig. 11과 12는 접지된 가로등에서 누전시 발생하는 대지전위분포를 나타낸 그림이다. Fig. 11에서 보듯이 접지되지 않은 가로등 누전보다 전체적으로 상당히 높은 전위분포를 나타내며, 특히 접지측의 전위는 누전되고 있는 가로등의 전위와 비슷한 값으로 측정되었다. 즉, Fig. 11에서 보여지는 누전지점의 오른쪽은 접지지점이고 Fig. 11에서 보여지는 누전지점의 왼쪽은 비접지된 경우와 유사한 전위분포를 나타내었다.

Fig. 12는 입체그림에서 한 부분을 선택하여 나타낸 평면도이다. Fig. 12에서 보듯이 접지된 가로등의 경우에는 접지하지 않은 지점은 비접지된 가로등과 동일한 감전위험성을 갖고 있는 것을 알 수 있다. 또한 접지된 가로등의 경우 접지하지 않은 부분은 비접지된 가로등의 경우와 동일한 안전이격 거리를 갖지만 접지지점에서는 접지지점의 높은 전위 때문에 안전이격거리는 누전지점으로 더 멀어 져야 하는 것으로 나타났다.

접지된 가로등설비의 비접지된 가로등설비 누전과 다른 점은 접지측의 전위가 가로등주의 전위와 거의 비슷한 값이기 때문에 접지측에서 서서 가로등에 접촉을 한다하더라도 접촉전압이 낮아서 감전 위험이 없는 것으로 나타났다.

그러나 접지된 지점의 반대측, 즉, Fig. 12에서 보여지는 누전지점의 왼쪽인 접지되지 않은 지점은 비접지된 가로등 누전과 유사한 감전위험성을 갖게 된다.

따라서 건조한 상태인 경우에는 누전에 의한 감전 사고를 예방하기 위하여 가로등 주위로 여러 개의 봉상이나 방사상 또는 망상 등과 같은 접지전극을 사용해야 할 것으로 사료된다. 또한, 가로등주를 절연 처리하는 방법으로도 감전위험성을 방지할 수 있다.

Fig. 13은 건조상태 접지된 비접지된 가로등과 접지된 가로등 전위분포를 비교한 것으로 접지된 경우에는 접지측에서 가로등주와 유사한 크기의 전위가 나타나는 것을 비교할 수 있다.

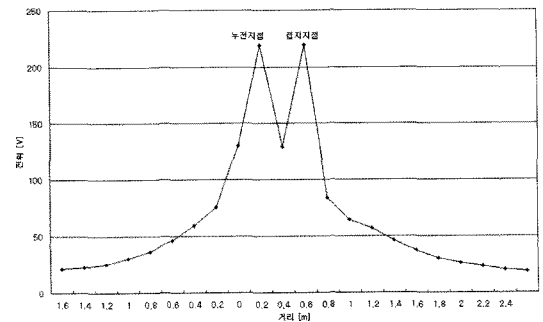


Fig. 12. Plane figure of electric potential distribution in grounded state.

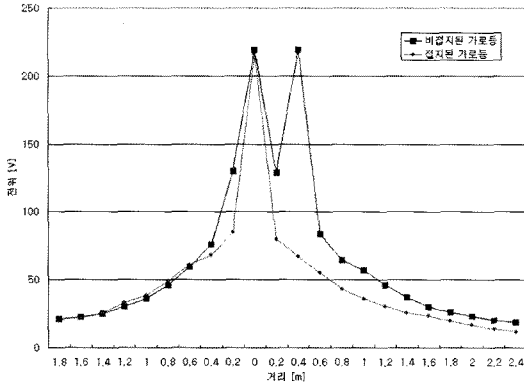


Fig. 13. Comparison of electric potential distribution between non-grounded and grounded street lamp for dry condition.

### 3.2. 침수상태

Fig. 14는 침수상태에서 접지되지 않은 가로등설비의 전위분포를 나타낸 것으로 그림에서 보듯이 건조상태보다 가로등 주위로 전위분포가 높게 형성되는 것을 알 수 있다. Fig. 15는 입체도의 한 부분을 선택하여 나타낸 평면도로써 가로등에서 1m 떨어진 곳에서는 접촉전압이 153V이고, 2m 떨어진 곳에서는 180V로 나타났다. 국제기준인 IEEE Std. 80에서 정하는 허용접촉전압<sup>8)</sup>은 50kg인 사람의 경우 통전시간이 1초이고 대지저항률이 100Ω·m인 경우에는 약 134V로 계산된다. 이와 같은 허용접촉전압을 고려할 때 침수된 상태의 접지되지 않은 가로등설비 누전 시 감전위험성이 매우 높은 것을 알 수 있다. IEEE Std 80에서는 인체저항을 1,000Ω으로 간주하였지만 인체가 침수되면 이 저항값보다 더 낮

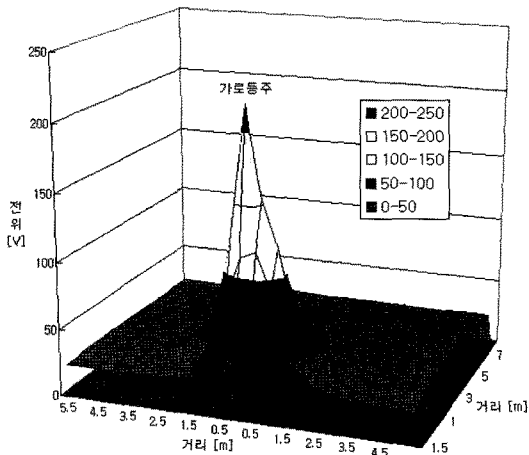


Fig. 14. Solid figure of electric potential distribution in non-grounded state.

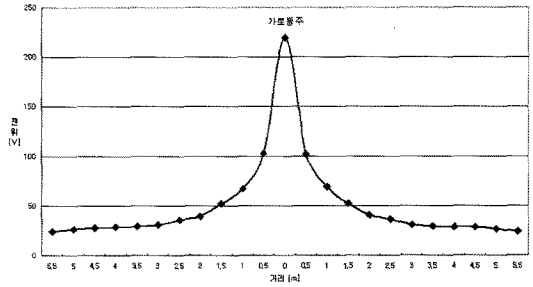


Fig. 15. Plane figure of electric potential distribution in non-grounded state.

아질 수 있기 때문에 침수상태에서는 허용될 수 있는 접촉전압은 더 낮아진다는 것을 고려하면 침수 상태에서 누전되는 설비를 직접 접촉하게 되면 상당히 높은 감전위험성이 있다는 것을 확인할 수 있다.

또한 인체의 보폭을 1m라고 가정할 때 4m 이상 떨어진 지점에서의 보폭전압은 약 3.6V 이하로 낮아지게 되므로 침수상태에서는 누전되는 가로등에서 약 4m 이상 이격된다면 가로등주에 직접 접촉하지 않을 경우 감전위험성은 비교적 낮다고 할 수 있다.

또한 인체의 접촉상태에 따른 허용접촉전압은 제 1종 접촉상태의 경우에는 2.5V 이하, 제 2종의 경우에는 25V 이하, 제 3종의 경우에는 50V 이하로 규정하고 있다<sup>9)</sup>. 따라서 사람의 팔길이가 약 1m라고 가정한다면 이러한 기준에서 정하는 허용접촉전압과 비교할 때 측정결과값에서 알 수 있듯이 상당히 높은 전압이 인가될 수 있는 것을 알 수 있다. 이는 침수상태로 비접지된 가로등에서 누전이 발생했을

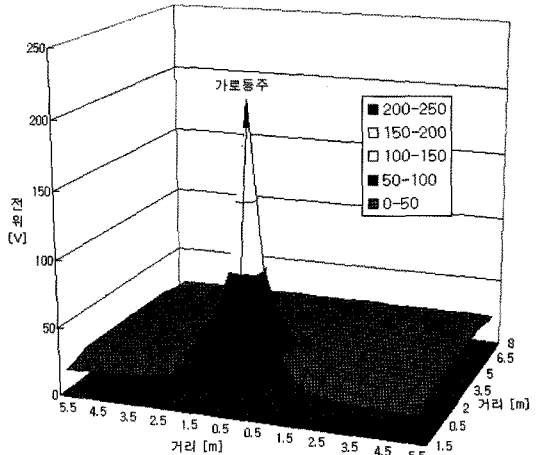


Fig. 16. Solid figure of electric potential distribution in grounded state.

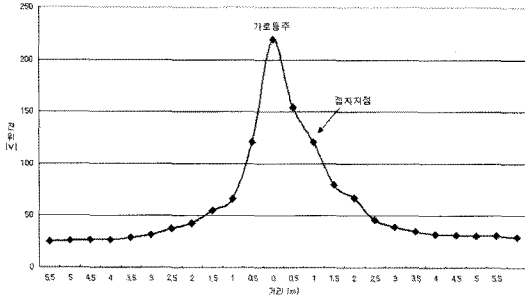


Fig. 17. Plane figure of electric potential distribution in grounded state.

경우 가로등을 직접 접촉한다면 높은 접촉전압으로 인하여 감전위험성이 매우 높은 것을 나타낸다.

Fig. 16과 17은 침수상태에서 접지된 가로등 누전시 발생하는 주위 전위분포를 나타낸 것이다. Fig. 16에서 보듯이 접지된 지점의 전위가 약간 높지만 전체적으로 전위값이 가로등주에서부터 일정하게 감소되는 경향을 나타내었다. Fig. 17은 입체도의 한 부분을 나타내는 평면도로써 접지된 지점의 경우에는 1m 떨어진 곳에서의 전위는 120V로 100V의 접촉전압이 인가될 수 있고, 접지된 지점의 반대측은 67V로 153V의 접촉전압이 인가될 수 있는 것으로 나타나 접지된 지점과 접지되지 않은 지점의 접촉전압이 비교적 유사하게 나타났지만 접지된 지점에서 전위가 다소 높게 나타나 접지된 경우의 접촉전압이 더 낮은 것을 알 수 있다.

Fig. 18은 침수상태인 경우 비접지된 가로등과 접지된 가로등과의 전위분포를 비교한 것으로 비접지된 가로등에 비하여 접지된 가로등의 경우는 접지 지점에서 전위가 다소 높게 나타나는 것을 볼 수 있다.

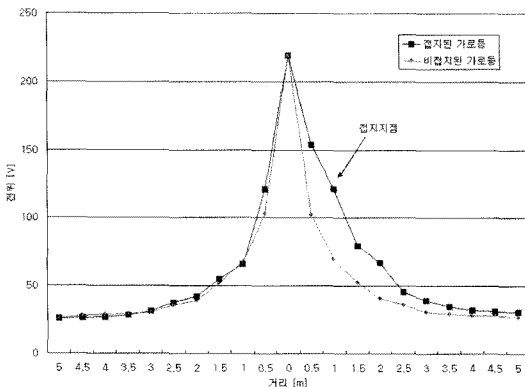


Fig. 18. Comparison of electric potential distribution between non-grounded and grounded street lamp for submerged condition.

#### 4. 결론

본 연구는 건조상태와 침수상태의 가로등 설비에서 전위를 측정하여 감전위험성을 분석한 것으로 실제 크기와 동일한 규모로 가로등 설비를 설치하고 누전회로를 구성하여 실험을 수행하였다. 그 결과 본 연구의 실험조건 하에서는 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 건조상태의 가로등설비에서 누전발생시 접지되지 않은 경우 접촉전압은 1m 이격된 거리에서 179V, 2m 이격된 거리에서 199V로 나타났고, 보폭전압은 3m 이상 이격되면 3V 이하로 나타나 건조상태에서는 설비가 누전이 되어도 3m 이상 이격되면 감전위험성이 비교적 낮은 것으로 나타났다.
- 2) 건조상태 가로등설비에서 누전발생시 접지된 경우 접지지점 위치에서의 전위는 누전되고 있는 설비의 전위와 유사한 크기로 나타나 접촉전압이 낮은 것으로 측정되었지만 접지하지 않은 위치는 비접지된 가로등설비와 동일한 감전위험성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 가로등설비 누전에 따른 감전위험성을 예방하기 위하여 가로등주 주위로 원형으로 접지전극을 설치해야 할 것으로 사료된다.
- 3) 침수상태 가로등설비에서 누전발생시 접지되지 않은 경우 접촉전압은 1m 이격된 거리에서 153V, 2m 이격된 거리에서 180V로 나타나 허용접촉전압보다 높은 전압이 인가되어 감전위험성이 높은 것으로 나타났다. 또한 누전되고 있는 설비에서 4m 이상 이격된 거리에서는 보폭전압이 비교적 낮은 것으로 나타났다.
- 4) 침수상태 가로등설비에서 누전발생시 접지된 경우 접지지점 위치의 전위는 약 120V로 접촉전압은 100V이고, 비접지된 경우의 같은 위치 전위는 약 67V로 접촉전압은 153V로 나타나 침수상태에서도 접지된 경우의 접촉전압이 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

- 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) IEEE Std 80, “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding”, 2000.
  - 9) 低電壓地絡保護指針, 日本電氣協會.