

## 가로등 화재사고의 원인규명과 검증 Cause Investigation and Verification of Fire Accidents for Road and Street Lighting

송길목, 한운기, 김종민, 김영석, 김명수\*, 김혁수\*

Kil-Mok Shong, Woon-Ki Han, Jong-Min Kim, Young-Seok Kim,  
Myoung-Soo Kim, Hyeok-Soo Kim

전기안전연구원, \*한국전기안전공사 안전관리팀  
(2008. 3. 27. 접수 / 2008. 6. 3. 채택)

### 요 약

본 연구는 현장에서 발생한 가로등 화재에 대한 원인을 규명하기 위한 것으로 검증실험과 다양한 분석을 수행하였다. 이물질이 부착된 250W 메탈할라이드등은 410.4℃로 급격하게 온도가 상승하였다. 따라서 환기 및 방진에 대한 개선이 요구된다. MH 램프에 의한 열은 발광관에서 유리구, 등기구로 이어지며 확산되었다. 메탈할라이드등의 사고원인은 등기구 내부의 이물질이 침적되어 축열 및 화재로 이어진 것으로 추정되며, 등기구의 설계에 있어서 외부 이물질 또는 분진이 침적되지 않으면서 축열이 되지 않는 구조 개선이 요구된다.

### ABSTRACT

This paper carried out a variety of analysis for a finding out the causes of fire on the street lamp. The glass bulb of 250W metal-halide(MH) lamps attached with the impurities rose the temperature by at 410.4° in normal condition. Therefore, a lamp apparatus is needed the improvement for ventilation and the protection against dust. The heat of MH lamps is diffused through out the luminous tube, a glass bulb, and apparatus by degrees. The accident cause of the lamp is presumed that the accumulated heat by deposits of the inner part. It will be recommended the improvement of the structure that aren't the external impurity and accumulated heat in the MH lamps set.

**Keywords :** 250W metal-halide(MH) lamps, Glass bulb, Luminous tube, Street lamp, The causes of fire

### 1. 서 론

가로등의 역할은 야간 또는 안개 등에 의해 어두워진 도로를 조명을 통해 밝혀주는 것이다. 이에 좀더 많은 빛을 발산하면서도 열손실이 최소가 되도록 개발하는 것이 가로등의 궁극적 개발이라 할 수 있다. 방전등은 기체 중 방전에 의한 발광을 이용하는 전등으로서 전기에너지가 빛에너지로 전환되어 사용된다.<sup>(1)</sup> 빛에너지 이외에도 열이 발생되는데 대부분 개방된 공기 중에서 확산되어 없어진다. 도로에 설치된 가로등의 경우 이러한 원리를 이용하여 고위치에 설치하여 야간에 주

변을 밝히고 있다. 가로등으로 이용되는 방전등은 메탈 할라이드등, 나트륨등, 수은등 등이 있으며, 설치환경과 목적에 따라 달리 적용되고 있다. 다양한 등기구를 이용하여 어두운 도로를 밝게 하는 방전등의 중요한 역할에도 불구하고 전기안전 측면에서 보면 설치 후 집근성이 떨어져 관리가 용이하지 못하다는 단점을 가지고 있다. 국내 화재사고 중 다수를 차지하지는 않으나 조명기구의 커버가 열에 의해 소략하면서 2차 사고를 일으키는 위험성을 내포하고 있다.

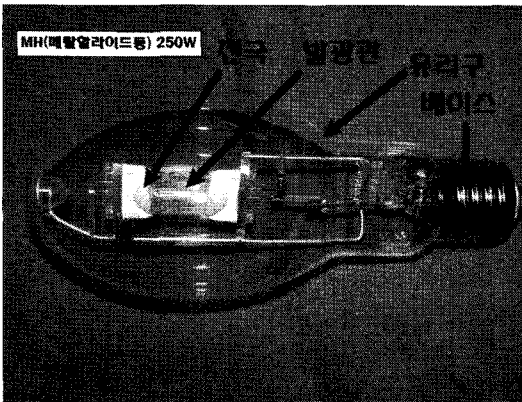
본 연구는 현장에서 발생한 가로등 화재에 대한 것으로 그 원인을 규명하고 검증하기 위한 실험으로 구성하였다. 메탈할라이드등의 형태와 구조 등을 분석하

† E-mail : kms5867@empal.com

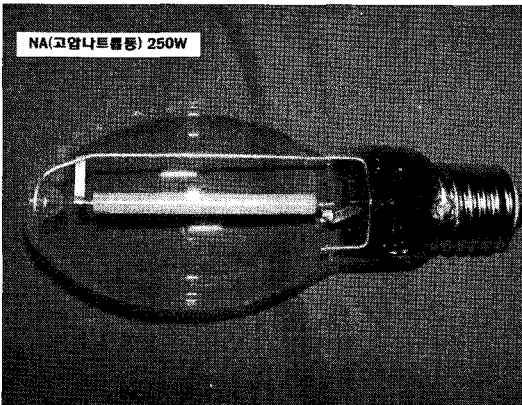
였으며, 등기구의 열적 특성을 검토하였으며, 사고현장에서 수거한 대상물의 외형 소손패턴, 엑스레이를 이용한 내부구조, 적외선분광기를 이용한 탄화패턴 등을 종합적으로 고찰하여 사고원인을 규명하는 데 활용하였다. 향후 유사사고에 있어서 신속한 분석접근과 원인규명에 중요한 역할을 담당할 것으로 기대된다.

### 2. 가로등에 이용되는 방전등 구조 및 특성

그림 1은 사고지점에서 수거한 메탈할라이드등과 같은 종류로서 이에 비교할 수 있는 고압나트륨등을 나타낸 것이다. 일반적으로 메탈할라이드등은 고압수은램프에 금속할로겐 화합물을 첨가함으로써 용도에 적합한 분광에너지로 변화시켜 사용되고 있다. 등의 특성상 전기에너지의 방전을 통해 열과 빛에너지로 전환되는 구조<sup>(2,4)</sup>로 되어 있고, 국내에서는 일반적으로 70W에서 1,000W까지의 용량이 생산판매되고 있다.



(a) 메탈할라이드등



(b) 나트륨등

Fig. 1. 250W 가로등의 외형.

구조는 유리구 내부에 크게 전극과 발광관이 있으며, 전원과 연결되는 베이스를 포함한다. 최근 시동기를 유리구 내부에 장착한 램프가 시판되고 있다. 열적 특성에 있어서 유리구가 연화되는 온도는 소다석회유리일 때 약 550℃, 일반유리의 경우 가공하기 쉬운 온도가 약 700℃에서 1,000℃로 알려져 있다. 이에 반해 내부 발광관은 약 3,500℃에서 4,000℃의 열이 발생하는 것으로 나타나 있다. 발광관의 열은 외부로 확산되면서 급격하게 낮아지나 유리표면에 영향을 주어 일부 표면 온도를 높이는 역할을 한다. 그림 1(b)에서와 같이 고압나트륨등인 경우에는 전극과 발광관에서 외형상의 차이가 있다.

### 3. 사고현장에서 수거된 가로등기구의 소손패턴 분석

그림 2는 현장에서 수거한 분석대상물의 등기구를 촬영한 것이다.

가로등기구의 내부에 그을린 흔적이 있으며, 그을음(soots) 흔적으로 보아 주변의 가연물이 일정시간동안 탄화된 것으로 추정된다. 화염 확산은 등기구의 중심부인 메탈할라이드등을 중심으로 하여 발생된 것으로 확인할 수 있다. 전선 접속부에는 전기적 이상 징후에 의해 탄화 또는 산화되었을 것으로 보이는 흔적이 확인되지 않았다. 그림 3은 현장에서 수거한 램프와 케이블의 외형을 촬영한 것이다.

메탈할라이드등은 방전이 발생하는 부분인 아크튜브(arc-tub)가 파손된 것을 확인할 수 있다. 일반적인 경우 공장 출시되는 메탈할라이드등의 극히 일부에서 균열이나 재료의 결합적 요인에 의해 방전을 발생시킬 때 나타나는 3,000℃ 이상의 열이 균열된 부분에서 외부로 분출되며 화재로 진전되는 경우가 있다. 본 의뢰

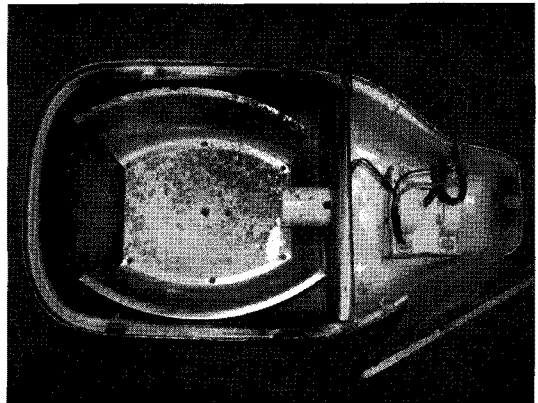
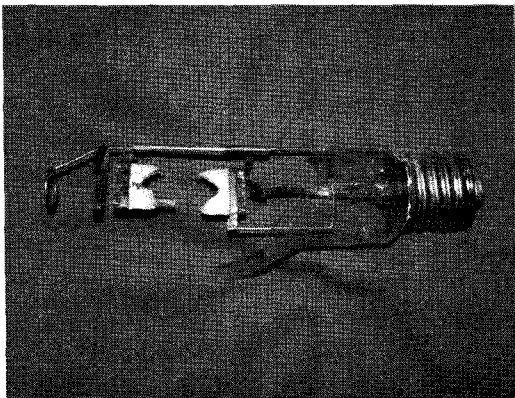


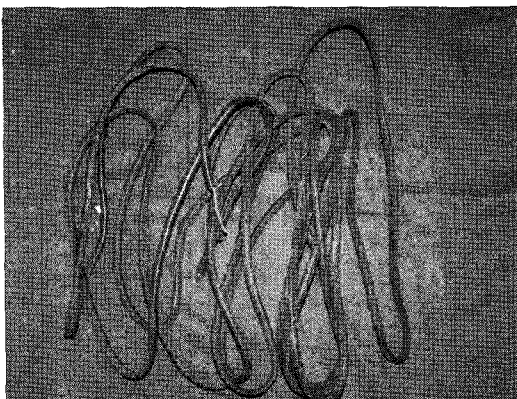
Fig. 2. 사고 등기구의 탄화된 내부 사진.

품의 경우 그러한 형상으로 파손되어 있으나 초기 사고처리과정과 운반과정에서 파손될 가능성을 배제할 수 없다. 사고케이블의 경우 기계적 손상이나 열적인 요인에 의해 소손된 흔적은 발견되지 않았다. 그림 3은 사고케이블을 확대한 상태와 내부구조를 촬영한 이미지를 보여준다.

전선의 종류는 EV 2.0mm<sup>2</sup>×2C로서 내부에 있는 전선은 까만색과 반투명의 절연피복이 되어 있는 것을 볼 수 있다. 과전류에 의해 용융된 흔적을 확인하기 위해 엑스레이에 의한 내부구조를 분석한 결과는 그림 3(b)에서 보이는 바와 같이 높은 열에 의해 나타나는 용융 흔적은 발견되지 않았다. 따라서 전원이상에 의한 영향은 없었던 것으로 추정된다. 절연피복에 영향이 있는지를 여부를 확인하기 위해 적외선분광분석(FT-IR)을 실시하였다. 적외선 분광기에 의해 그림 4에서와 같이 절연피복의 외부와 내부에 대한 탄화구조를 대한 적외선 흡광스펙트럼을 비교할 수 있다.



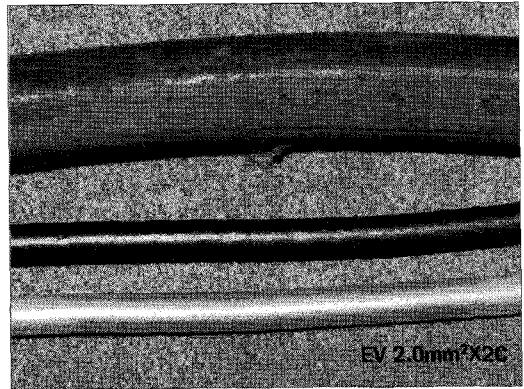
(a) 메탈할라이드등



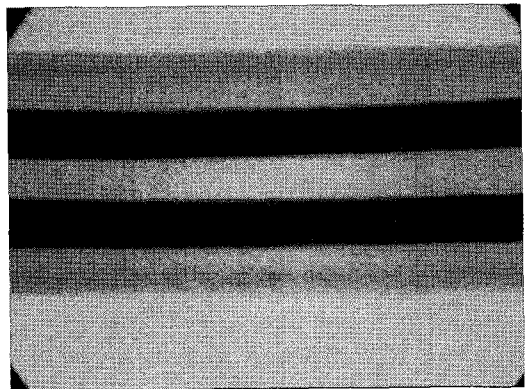
(b) 케이블

Fig. 3. 사고 등기구의 소손된 외형 사진.

그림에서 알 수 있듯이 절연피복의 외부는 공기 중의 산소 또는 수분과 결합한 구조의 약 3278cm<sup>-1</sup>에서 부드러운 흡광스펙트럼이 확인되었다. 약 1638cm<sup>-1</sup>에서 절연피복의 외부에서 열에 의해 분해되었다가 재결합한 형태의 산소와 탄소의 이중결합구조가 나타나는 것을 확인하였다. 외부에서 열화되었을 것으로 추정되는 적외선 흡광피크가 나타나는 것은 장시간 주변 환경에 노출되었음으로 인해 열화가 진행된 것을 확인할 수



(a) 확대촬영



(b) 내부구조

Fig. 4. 사고케이블의 확대 및 내부구조 이미지.

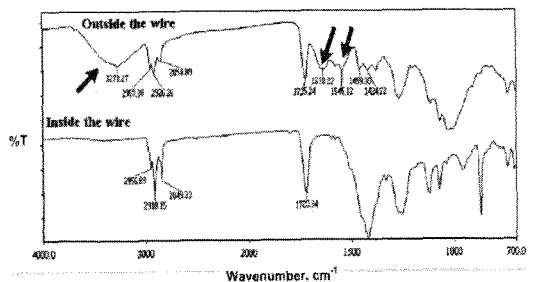


Fig. 5. 절연피복의 적외선 흡광스펙트럼 비교.

있다. 또한 내부의 절연피복에서는 열화에 의한 징후가 없었던 것으로 판단된다. 이에 도전재료가 열적인 영향이 없었던 것으로 보아 과전류 또는 단락에 의한 전기적 이상은 확인되지 않았다.

#### 4. 가로등 표면의 온도특성 실험

##### 4.1 실험방법

실험은 사고분석 대상물과 동일한 메탈할라이드등과 설치현장에서 많이 사용되고 있는 고압나트륨등을 선택하였다. 소비전력은 250W이며, 시동기가 없는 것을 이용하였다. 등갓에 설치하여 내부의 온도상승 상태와 유리구의 온도 등을 측정하였다. 실험조건에 있어서 현장에서 초기 분석대상물의 외형 특성상 제조 및 설치 불량은 없는 것으로 판단되어 이 조건들은 고려하지 않았다. 그림 6은 실험실 조건에 설치된 등갓과 내부에 열전대 부착 위치를 보여준다.

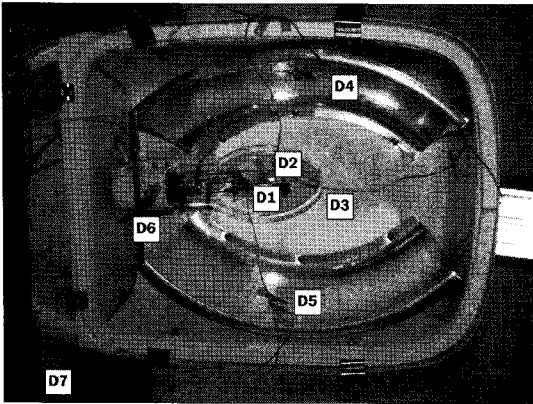


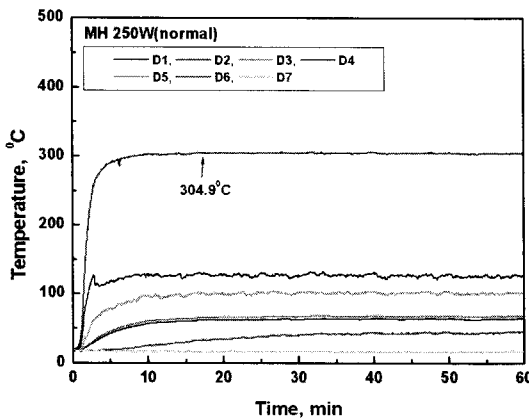
Fig. 6. 가로등기구의 발열 온도 측정 실험.

각각의 온도측정은 실험실에서 설치된 가로등기구의 위치에서 약 3초마다 자료취득장치에 의해 샘플링되었다. 열전대는 K형으로 하였으며, 데이터취득장치(DAQ)에 의해 실시간 모니터링하였다. 주변온도는 실험실 조건(15°C±3°C)으로 하였으며, 습도는 상대습도 50%±10%에서 실험하였다. 실험의 구성은 현장에 설치된 가로등과 유사하게 하였으며, 온도를 샘플링한 지점은 총 7곳으로 선정하였다. 재현실험[5-6]은 등기구의 커버를 벗긴 상태에서 수행하였다. 실험조건은 정상 상태에서의 온도분포와 외부 이물질이 램프에 부착되었을 때의 온도 등을 측정하였다. 본 검증실험의 목적은 분진의 부착에 의한 화재위험성을 확인하는 것이다. 실험에서 분석된 패턴을 근거로 하여 현장에서 수거한 등갓, 인출선, 메탈할라이드등에 대해 각각 외형 소손패턴, 엑스레이에 의한 내부구조, 적외선분광기에 의한 탄화특성에 대한 자료를 종합적으로 판단하여 결론을 도출하였다.

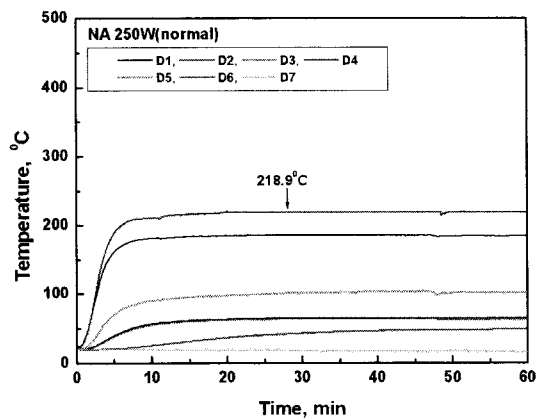
##### 4.2 온도특성

그림 7은 실험대상물의 각 위치에서 취득된 온도데이터를 나타낸 곡선이다. D1과 D2는 유리구의 하부와 상부에 각각 열전대의 위치를 표시한 것이다. D3는 등기구 부분으로 중앙부분에 위치되어 있으며, D4와 D5는 등기구의 측부에 부착하였다. D6은 소켓부분에 위치하였고, D7은 주변온도를 측정하기 위해 등기구와는 별도로 외부에 위치하여 측정하였다.

그림 7(a)는 250W 메탈할라이드등의 온도변화를 측정한 비교 그래프이다. 일반적인 경우 250W 메탈할라이드등을 설치하면 온도상승이 가장 높은 위치는 D2 지점으로서 램프의 상부에 위치한 열전대에서 측정된 온도가 가장 높은 것으로 나타났다. 열평형을 이루는



(a) 메탈할라이드등



(b) 나트륨등

Fig. 7. 250W의 정상상태에서 온도분포곡선.

온도는 304.9°C로 측정되었다. 다음으로 높은 열이 나타나는 위치는 램프의 상부 쪽에 위치한 것으로 나타났다. 일반적으로 많이 이용되는 고압나트륨등과 비교하여 온도의 차이가 있는 것을 알 수 있다. 그림 7(b)는 고압나트륨등에 대한 온도를 측정된 것으로 그래프에서 알 수 있듯이 가장 온도가 높게 나타난 지점은 전구의 상부로서 약 218.9°C가 검출되었다. 이는 메탈 할라이드등과 비교하여 약 86°C가 낮은 것을 확인할 수 있으며 열적인 영향이 메탈할라이드등이 고압나트륨등에 비해 높은 것으로 나타났다.

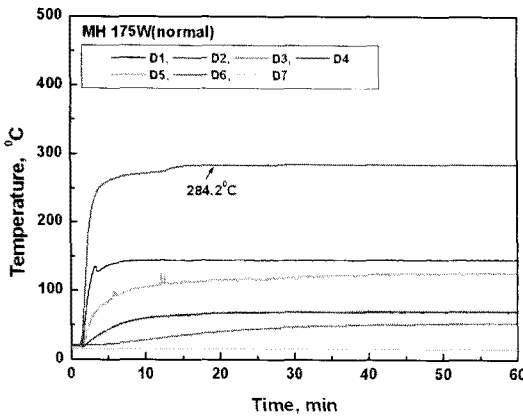
용량의 차이에 따라 온도상승정도가 달라질 수 있는지를 확인하기 위하여 기준보다 낮은 용량을 선정하여 정상상태에서의 온도상승을 측정하였다. 그림 8은 용량의 차이가 있을 때 온도변화를 측정비교한 그래프이다. 그림에서 알 수 있듯이 용량이 작아지면 유리구의 표면

온도는 각각 284.2°C와 212.6°C인 것으로 확인되었다.

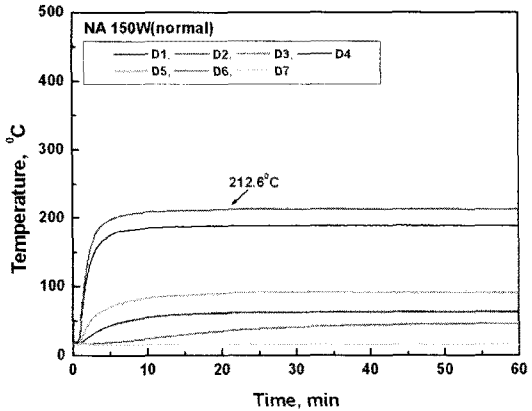
그림 9는 분진, 해충이나 벌레 등의 부착된 상태를 모의하고자 방전등 주변에 이물질(순면)을 붙인 후 약 5mm의 두께로 부착한 후 전원을 인가하여 축열되는 상태를 측정된 것이다.

그림 9(a)는 메탈할라이드등으로 유리구 상부의 표면 온도가 약 410.4°C까지 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 그림 9(b)는 고압나트륨등으로 최고온도는 약 288.2°C로 측정되었다. 초기 실험조건에서 알 수 있듯이 등 기구의 커버가 벗겨진 상태에서 실험한 것으로 축열된 상황에서는 주변온도가 대부분 400°C에서 500°C의 상태가 될 것으로 추정된다.

그림 10은 250W 메탈할라이드등의 정상상태와 이물질이 부착된 상태, 250W 고압나트륨등의 정상상태와 이물질이 부착된 상태를 비교한 그래프이다. 그림에서

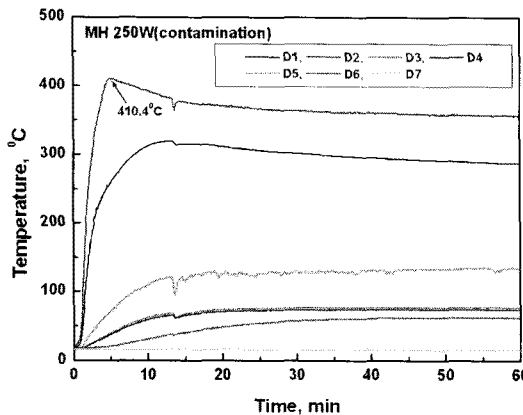


(a) 175W 메탈할라이드등

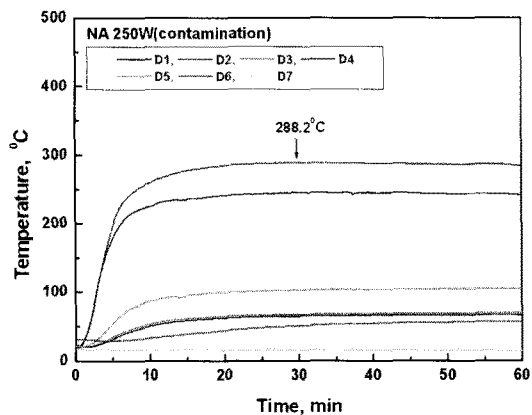


(b) 150W 나트륨등

Fig. 8. 가로등 소비전력에 따른 온도 특성곡선.



(a) 250W 메탈할라이드등



(b) 250W 나트륨등

Fig. 9. 이물질 부착에 의한 온도 특성.

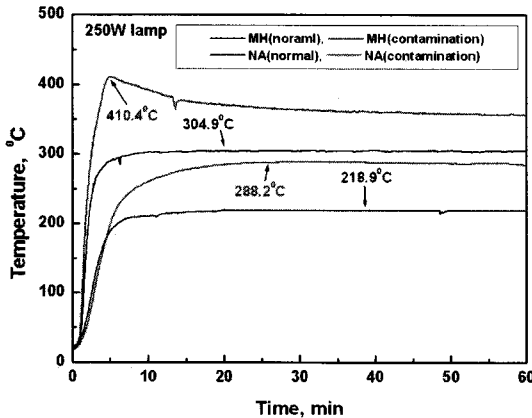


Fig. 10. 250W 가로등 유리구 표면의 온도특성곡선.

알 수 있듯이 온도가 가장 많이 상승되는 상태는 이물질이 부착된 250W 메탈할라이드등인 것으로 확인되었다.

## 5. 결 론

가로등의 사고원인을 규명하기 위하여 다양한 분석 기법과 실험을 통한 검증을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 메탈할라이드등과 고압나트륨등의 유리구에서 검출된 온도검출을 통해 메탈할라이드등이 온도가 높게 상승된 것을 확인할 수 있었으며, 같은 용량에서 약 86°C의 온도 차이가 나타났다.

(2) 이물질이 부착된 상태에서 250W 메탈할라이드등은 410.4°C로 급격하게 온도가 상승되는 것을 알 수 있으며, 이는 일반적인 유기물이나 분진이 부착되었을 경우 발화온도인 450°C에서 500°C에 접근하는 것으로 과다한 이물질이 부착되어 축열이 되면, 화재로 이어질 수 있는 것으로 나타났다.

(3) 가로등 등기구의 열 확산 패턴은 메탈할라이드등을 중심으로 하여 열 확산이 시작되었을 것으로 판단되는 그늘음이 확인되었으며, 등기구의 외부와 내부에서 나타난 것으로 내부의 열원이 외부로 확산된 것으로 판단된다.

(4) 사고케이블을 분석한 결과로서 외형은 탄화 흔적이 발견되지 않았으며, 내부구조는 정상상태와 동일한 형태로 되어 있고, 절연피복의 경우 내부보다 외부에 의한 영향으로 화학적 구조가 변한 것으로 과부하 또는 단락에 의해 과전류가 흐른 흔적은 발견되지 않았다.

(5) 일반적인 경우 방전등의 극히 일부에서 나타나는 아크튜브의 균열에 의해 화재가 발생하는 경우 파손이 발생할 수 있으나 이러한 결과를 입증하기 위해서는 현장에서 초기 조사과정이 매우 중요한 것으로 나타났다.

따라서 메탈할라이드등의 사고원인은 현장에서 수거할 때의 조건 등을 배제하고 단지 의뢰품에 대한 정밀 분석에 의한 결과에 의하면, 등기구 내부의 이물질이 과다하게 침적되면서 축열에 의해 화재로 진전된 것으로 추정되며, 등기구의 설계에 있어서 외부 이물질 또는 분진이 침투할 수 있는 구조를 개선하고 축열이 되지 않는 구조 개선이 요구된다.

## 참고문헌

1. 정만영, 지철근, "최신 전기용어사전", 전기용어사전편찬위원회, 겸지사, 1984
2. 한국표준심의회, "등기구-제1부 : 일반요구사항 및 시험", KS C IEC 60598-1, 한국표준협회, 2002
3. 한국표준심의회, "등기구-제2-1부 : 고정형 등기구 개별요구사항", KS C IEC 60598-2-1, 한국표준협회, 2002
4. 한국표준심의회, "등기구-제2-3부 : 가로등기구-개별 요구 사항", KS C IEC 60598-2-3, 한국표준협회, 2003
5. 송길목, 김영석, 김선구, "저압용 절연재료의 염수분무 및 분진에 따른 특성비교", KIEE2007 summer conference, pp.1359~1360, 2007.07
6. 김영석, 송길목, 정진수, 정종욱, 김선구, "염수 및 분진에 의한 고분자 절연물의 표면전류 특성과 사고 위험성", Journal of the KIEE, Vol.21, No.8, pp.129~135 September 2007