

외부화염에 의해 소손된 LED의 탄화 패턴 해석에 관한 연구

최충석\*, 김향곤\*\*

\*전주대학교 소방안전공학과 \*\*한국전기안전공사 전기안전연구원

A Study on the Carbonization Pattern Analysis of Lighth Emitting Diode Damaged by Outside Flame

Chung-Seog Choi\*, Hyang-Kon Kim\*\*

**Abstract** - In this paper, we analyzed carbonization pattern of Lighth Emitting Diode(LED) lamp that become burnout by outside flame. Surface side can know that void is formed greatly than central part in section analysis of electric wire that is carbonized by outside flame. Chared globe displayed special quality that lump of abnormal carbonization falls was formed, and becomes melting among carbonization process. The LED resistance of forward direction is about 1.74 [MΩ], and backward resistance is about 140 [MΩ]. We can know progress direction of flame through measurement of the LED resistance.

1. 서 론

전기사용량(consumption per capita)의 증가는 생활의 편의성 증진에 많은 기여한 반면 그에 따른 재해의 발생으로 사람과 재산의 손실이 증가하고 있다. 2005년 국내 화재 통계 조사에 의하면 발생건수 32,340건에 사망 505명, 부상 1,837명으로 나타났다. 전체 화재 중에서 전기화재는 9,991건으로 약 30[%]를 점유하며, 사망 44명, 부상 324명으로 나타났다[1,2].

전기설비의 출화 형태는 전기배선 및 기기에 의한 출화, 누전에 의한 출화, 정전기 불꽃에 의한 출화 등이 있다. 또한, 전기화재의 발생경과로부터 분류하면 설계 및 구조불량, 취급불량, 공사불량, 경년열화 등이 있다. 전기에너지를 활용하는 설비 중에서 조명설비는 인간의 활동 영역 및 범위에 밀접한 관계를 갖고 있다. 조명설비의 증가와 더불어 총 소비전력의 20~35[%]를 점유함에 따라 전기화재도 점차 늘어나고 있다[3~5].

미래의 조명시장은 고효율 발광 다이오드(LED; Light Emitting Diode)의 출현에 따라 전기설비의 시장 변화에 큰 영향을 줄 것으로 예상된다. 2004년 세계 LED 시장의 규모는 약 37억 달러로 전년에 비해 37[%]가 확대되었으며, 2007년에는 약 50억 달러를 나타냈다. 특히 새로운 시장의 확산은 조명산업기술 선점이라는 점에서 국가별로 집중적인 R&D 투자가 진행되고 있다. 또한, 쾌적한 환경에서 안전을 확보하고자 하는 사용자의 요구가 증가함에 따라 조명설비 역시 환경 친화적이고 건물과 조화를 이루는 제품으로 바뀌고 있다[6]. LED는 종래의 광원(光源)에 비해 소형이고, 수명은 길며, 전기에너지가 빛에너지로 직접 변환하기 때문에 전력이 적게 소비되고 효율이 좋다. 즉 LED는 에너지 효율성이 기존 제품에 비해 우수하기 때문에 일반조명, 수송기기 조명, LED BLU, 디스플레이 등 다양한 산업에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다[7,8].

LED lamp의 조립은 나사접속 또는 용접 등에 의하여야 하며 납땜을 해서는 아니 된다. 알루미늄의 접합은 나사접속을 하여서는 아니 된다. 기구를 설치한 상태에서 전구, 안정기 등을 교체하기 위해서는 글로브(glove), 루버(louwer), 반사판 등이 특수한 공구를 사용하지 않더라도 쉽게 결합이 가능한 구조이어야 하며 이들을 고정하는 자재는 이들 중량의 3배 이상의 장력에 견딜 수 있어야 한다.

따라서 본 연구에서는 LED lamp가 적용된 보안등의 전원선, 글로브, LED 등이 외부 화염에 의해 소손되었을 때 나타나는 탄화 패턴을 해석하여 사고원인 분석 및 규명을 위한 과학적 근거를 제공하고자 한다.

2. 실험 방법

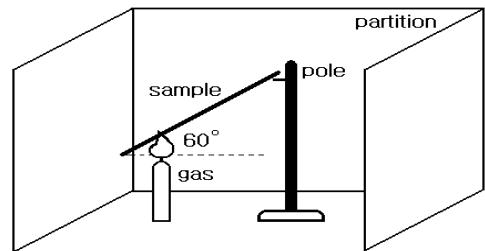
실험에 적용된 제품은 루미다스(lumidas)로 등록되어 있으며 구동부, 방열부, LED모듈부, 광유도부를 사용한 다운라이트로 실내(외)조명용으로 사용하고 있다. 점등시의 표면온도는 어느 부위에서도 60°C 이상

발생해서는 아니 된다. 표 1은 실험에 사용된 LED module(GALED, FoHS, Korea)의 사양을 나타낸 것이다. LED lamp 12개를 직렬로 연결하여 한 개의 module로 구성되어 있고, Diode-Schottky는 40V, 3A이다.

<표 1> 실험에 사용된 LED의 사양

Description	Part Name	Part Spec.	Package	Ref. No.	Q'ty ea
LED	LUWW5AM-KZ-4D8F	White (1W-6,000K)	SMD	LED 1*12	12
PCB	GLL-12 V1.1	54.6x199.6x1.6t, MPCB	MPCB	LED Module	1
Diode-Schottky	RE051L-40	40V,3A	1F	D1,D2	2
WAFER	20037WR-04	2.0mm	4P	CON1	1
HARNESS	H200M4P/4P-4C	200mm,4C	4P	LED Module	1
SOLDER	TLF-204-105S-1	PB Free			5g

그림 1은 LED lamp 보안등의 일반 화염 특성 실험을 위해 나타난 개략도이다. 재현 실험은 보안등에 사용된 재료에 대한 외부 화염 인가에 따른 난연성 및 열확산 패턴 해석을 위한 것이다. 화염의 공급은 한국산업규격(KS)에 근거한 난연성 실험 방법을 준수하여 실시하였다. 화염은 실험 장치의 개략도에서 알 수 있는 바와 같이 시료를 60°의 경사로 지지한 다음, 30초 동안 불꽃을 공급하였다가 일정시간 후 불꽃을 제거하여 시료의 연소 상황을 분석하였다. 실험실은 온도 24±2[°C], 습도 50~60[%]의 조건에서 실시하였다.



<그림 1> 재료의 연소 패턴 실험을 위한 개략도

3. 결과 및 고찰

그림 2는 LED 보안등에 공급되는 전원선의 특성 해석을 위해 나타난 것으로 220V용 비닐코드 전원선(VCTF, 1.5mm<sup>2</sup>×2C)의 외형이다. 플러그와 연장코드가 PVC 수지로 일체 성형되어 있고 시험방법, 구조, 절연특성 등에 대한 규정은 한국산업규격(KS C IEC 60227-5)에 규정되어 있다.

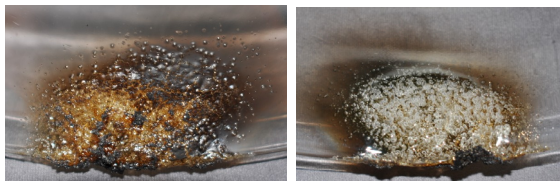


(a) 탄화된 전원선의 표면 (b) 탄화된 전원선의 단면

<그림 2> 외부화염에 탄화된 전원선의 실제사진

그림 2(a)는 탄화된 전선의 표면 사진으로 절연물이 부풀어 오르는 형태를 보이고 있고, 소선의 일부가 용융된 흔적이 확인된다. 그림 2(b)는 탄화된 전선의 내부를 분석하기 위해 칼로 절단하여 나타낸 것으로 소선(strand)과 절연물(insulator)이 견고하게 부착되어 있는 것을 알 수 있고, 표면 쪽이 중심부보다 보이드(void)가 크게 형성된 것을 알 수 있다. 즉 표면에서 산화반응이 왕성하게 진행되고, 내부에는 산소가 부족하거나 없어서 산화반응이 일어나기 어려움을 나타내고 있다. 또한, 소선의 일부에서 불규칙적인 용융이 발생했음을 확인할 수 있었다.

그림 3은 보안등용(LED lamp) 글로브가 외부 화염에 소손되었을 때의 특성을 분석하기 위해 나타낸 실체사진이다. 글로브의 재질은 반투명 폴리염화비닐수지(PVC; polyvinyl chloride resin)이며, 두께는 3.4[mm]이다. 또한, 연화점은 80[°C] 정도이며, 연소가 발생했을 때 유독성 가스가 다량 발생한다. 그림 3(a)는 외부 화염에 직접 노출되어 탄화된 패턴을 나타낸 것으로 불규칙적인 탄화의 덩어리가 형성되는 것을 알 수 있었고, 탄화 과정 중에 용융되어 흘러내리는 특성을 나타냈다. 그림 3(b)는 간접 화염에 의해 소손된 패턴으로 흰색의 기포상이 균일하게 형성되었으며 심하게 변형 되었다.



(a) 직사화염에 노출 (b) 간접화염에 노출  
**<그림 3> 외부 화염에 탄화된 글로브의 실체사진**

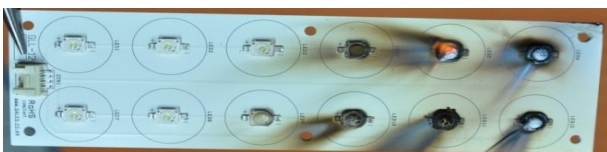
그림 4는 정상 제품 LED Module(GALED, FoHS, Korea)의 실체사진을 나타낸 것으로 한 개의 module에 12개의 광원이 직렬로 연결되어 있다. LED의 전기저항 특성을 분석하기 위해 디지털테스터(Digital Hitester, 3801-50, Hioki, Japan)를 이용하여 측정한 결과를 표 2에 나타냈다. 순방향 저항은 약 1.74[MΩ]으로 나타났고, 역방향 저항의 평균값은 140[MΩ]인 것을 알 수 있다.



**<그림 4> 정상 상태의 LED lamp의 실체사진**

**<표 2> LED lamp의 전기저항 측정 결과**

sample no.	순방향, MΩ	역방향, MΩ
1	1.70	126
2	1.76	112
3	1.75	131
4	1.72	149
5	1.75	133
6	1.74	129
7	1.76	177
8	1.76	134
9	1.75	149
10	1.72	144
11	1.73	111
12	1.74	180
average value	1.74	140



**<그림 5> 외부 화염에 의해 소손된 LED lamp의 연소 상태**

정상 상태의 LED lamp는 형광등, 백열전구 등에 비해 열의 발생이 적고 방열의 목적으로 알루미늄의 방열판을 후면에 부착하여 제작하

로 자체 발열에 의한 화재발생 가능성은 낮다. 그림 5는 LED lamp가 외부 화염으로 소손되었을 때의 실체사진을 나타낸 것이다. 초기에는 무연 연소가 진행되다가 일정 시간이 지나면 적은 불꽃을 약간 보이다가 자연 진화되는 것을 알 수 있었다.

그림 6은 강한 화염에 의해 소손된 LED lamp의 저항 특성을 분석한 것으로 순방향 및 역방향의 저항은 무한대를 나타내고 전구는 발광되지 않았다. 탄화된 LED lamp는 회백색이며 미세한 박리 형태를 나타냈다.



(a) 순방향 (b) 역방향  
**<그림 6> 강한 화염에 의해 소손된 경우**

그림 7은 약한 화염에 의해 소손된 LED lamp의 저항 특성을 나타낸 것이다. 순방향의 저항은 약 1.76[MΩ]을 나타냈고, 역방향의 저항은 약 236[MΩ]으로 광의 발광현상은 나타나지 않았다. 즉 저항 값의 변화를 정확히 측정하면 화원의 진행 방향을 판단 할 수 있는 과학적 근거로 활용할 수 있을 것이다.



(a) 순방향 (b) 역방향  
**<그림 7> 약한 화염에 의해 소손된 경우**

**4. 결 론**

LED lamp가 적용된 보안등의 전원선, 글로브, LED 등이 외부 화염에 의해 소손되었을 때 나타나는 탄화 패턴을 해석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 외부 화염에 의해 탄화된 전선을 칼로 절단하여 분석한 결과 소선(strand)과 절연물(insulator)이 견고하게 부착되어 있었고, 표면 쪽이 중심부보다 보이드(void)가 크게 형성된 것을 알 수 있다.
- (2) 외부 화염에 직접 노출되어 탄화된 글로브는 불규칙적인 탄화의 덩어리가 형성되었고, 탄화 과정 중에 용융되어 흘러내리는 특성을 나타냈다.
- (3) 정상 상태의 LED의 전기저항 특성 분석에서 순방향 저항은 약 1.74[MΩ]으로 측정되었고, 역방향 저항의 평균값은 140[MΩ]인 것을 알 수 있다. 또한, 소손된 LED 저항의 크기 측정을 통해서 화염의 진행 방향을 판단 할 수 있다.

**감사의 글**

본 연구는 지식경제부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

**[참 고 문 헌]**

[1] 한준호, “한국전력통계”, 한국전력공사, 2006  
 [2] 문원경, “화재통계연감”, 소방방재청, 2006  
 [3] 최충석 외 5, “전기화재공학”, 동화기술, pp.193-197, 2004  
 [4] C.S. Choi et al, "Flame Spread and Damaged Properties of RC D Cases by Tracking", IEEJ Trans. PE, Vol.127, No.1, pp.321-326, 2007  
 [5] 최충석 외1, “저압용 방수 콘센트의 개발 및 평가에 관한 연구”, 대한전기학회논문지, Vol.57P, No.2, pp.181-185, 2008. 6  
 [6] 차세대LED조명기술인력양성센터, “차세대 LED조명의 최근 동향 및 전망”, 한국조명기술연구소, 2008. 12.9  
 [7] 유용수, 송상빈, 여인선, “고휘도 LED의 광색가변 회로에 관한 연구”, 대한전기학회논문지, Vol.51C, No.8, pp.90-96, 2002. 8  
 [8] 송상빈, 여인선, “온도 특성을 고려한 LED 전구의 방열 및 회로 설계”, 대한전기학회논문지, Vol.56, No.7, pp.1261-1267, 2007. 7