LED 가로등의 발열 패턴 및 전류 특성에 관한 연구

논 문
58P-3-20

Study on Thermal Pattern and Current Characteristics of an LED Street Lamp

김 향 곤* · 최 충 석†
(Hyang-Kon Kim · Chung-Seog Choi)

Abstract - This study performed analysis on the thermal pattern and current characteristics of an LED ((Light Emitting Diode) street lamp. It did this using a TVS (Thermal Video System) to analyze the LED street lamp's thermal pattern, and measured its characteristics using an oscilloscope. The ambient temperature and humidity during the experiment were maintained at 24±2[℃] and 50~60[%]. The capacity of the LED street lamp was 120[W] and nine sets of modules were arranged at uniform intervals. On one module, 24 LED lamps were arranged in a radial pattern. The analysis of the thermal diffusion pattern at the front of the LED lamp showed that the maximum surface temperature was approximately 34[℃]. In addition, there was almost no change in the temperature of the upper cover, and the temperature at the side showed a uniform thermal diffusion pattern. The surface temperature of the converter converting AC to DC increased to approximately 46[℃]. The analysis results of the thermal characteristics of one LED indicated uniform thermal characteristics for an initial eight minutes. However, the temperature at the center of the LED increased to approximately 82[℃] after 12 minutes had elapsed. It can be seen from this that the temperature at the center of the LED was higher than the allowable temperature, 70[℃ of the insulating material for general electrical devices. Therefore, it is necessary to design a lamp in such a way that the plastic insulating material does not come into contact with or get close to the LED lamp. The voltage of the LED lamp converted by the AC/DC converter was measured at DC 27[V] and the current was DC 13[A]. Consequently, it can be seen that in order to secure an adequate light source, it is important to supply a stable current that was greater than the current of other light sources. Therefore, appropriate radiation of heat is required to secure the stability and reliability of the system.

Key Words : Thermal Pattern, LED (Light Emitting Diode), Street Lamp, TVS (Thermal Video System)

1. 서 론

전기사용량(consumption per capita)의 증가는 생활의 편의성 증진에 많은 기여한 반면 그에 따른 재해의 발생으로 사람과 재산의 손실이 증가하고 있다. 2006년도에 발생한 화재는 31,778건으로 기타전기화재(선박, 차량 포함)를 제외한 전기화재는 8,059건이 발생하여 25.4[%]의 점유율을 보이고 있다. 전체 전기화재는 9,392건으로 29.6[%]를 점유하였다. 일반전기화재로 분석하면 전년도와 비교하여 건수는 495건(5.8%)이 감소하였고, 인명피해는 14명(3.9%), 재산피해 또한 2,624백만원이 감소하였다. 일반전기화재는 일일 평균 22.1건이 발생하여 0.9명의 피해자와 109.4백만원의 재산피해가 발생하는 것으로 나타났으며, 전기화재로 분석하면 그 피해규모는 더욱 커짐을 볼 수 있다[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 전기재해도 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 변환되기

† 교신저자, 시니어회원 : 전주대학교 소방안전공학과 교수 · 공박
E-mail : enetek@naver.com/choi365@jj.ac.kr
* 시니어회원 : 전기안전연구원 재해예방연구그룹 책임연구원
접수일자 : 2009년 7월 29일
최종완료 : 2009년 7월 31일

때문에 전력이 적게 소비되고 효율이 좋다. 즉 LED는 에너지 효율성이 기존 제품에 비해 우수하기 때문에 일반조명, 수송기기조명, LED BLU, 디스플레이 등 다양한 산업에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다[7,8].

따라서 본 연구에서는 LED를 이용한 가로등의 열확산 패턴을 열화상카메라를 이용하여 분석하고, 그 때의 전류 특성을 해석하여 LED 광원의 안정성 평가를 위한 기본 자료를 확보하는데 있다.

2. 이 론

2.1 발광 원리

발광 다이오드(LED; Light Emitting Diode)는 반도체를 이용한 p-n 접합이라고 불리는 구조로 만들어져 있다. 발광은 p-n 접합에서 전자가 가지는 에너지를 직접 빛 에너지로 변환되어, 거시적으로는 열이나 운동에너지를 필요로 하지 않는다. 전극으로부터 반도체에 주입된 전자와 정공은 다른 에너지 밴드(energy band)를 흘러 p-n 접합부 부근에서 밴드 간격을 넘어 재결합한다. 재결합할 때 밴드 간격에 상당하는 에너지가 광자(빛)를 방출하는 것이며, 그림 1은 LED의 빛 방출 원리의 개략도를 나타낸 것이다.

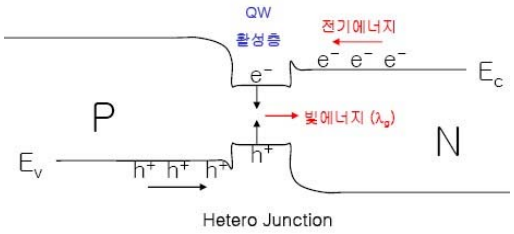


그림 1 LED의 빛 방출 원리의 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of light radiation principle of LED

LED는 일반적인 다이오드와 동일하게 극성을 가지고 있으며, cathode(음극)에서 anode(양극)로 정전압을 가해서 사용한다. 전압이 낮은 동안은 전압을 올려도 거의 전류가 흐르지 않고, 발광도 하지 않는다. 그러나 어느 전압 이상이 되면 전압 상승에 대하여 전류가 빠르게 흘러서 전류량에 비례해서 빛이 발생된다. 이 전압을 순방향 강하전압이라고 하고, 일반적인 다이오드와 비교해서 발광 다이오드는 순방향 강하전압이 높다. 발광 색에 따라 다르지만 빨간색, 오렌지색, 노란색, 초록색에서는 2.1[V] 정도이다. 빨간빛을 내지 않는 것은 1.4[V] 정도이다. 백색과 파란색은 3.5[V] 정도이고, 고출력 제품은 5[V] 정도인 것도 있다. 발광할 때 소비 전류는 표시등용은 수 mA ~ 50mA 정도이지만, 조명용은 소비 전력이 수 와트 정도의 대출력 LED도 생산되고 있다. 역방향으로 전압을 가하는 경우의 내전압은 일반적인 실리콘 다이오드 보다 더 낮고 보통은 -5[V] 정도이며, 정류의 목적으로 사용할 수 없다.

형광등이나 백열등 같은 다른 대다수 광원과 다르게 불필요한 자외선이나 적외선을 포함하지 않는 빛을 간단하게 얻을 수 있다. 그렇기 때문에 자외선에 민감한 문화재나 예술 작품이나 열광원에 약한 특성을 나타내는 물건의 조명에 사용된다. 입력 전압에 대한 응답이 빨라서 통신에도 사용되고, 조명으로 사용할 경우는 점등하자마자 최대 빛의 세기를 얻을 수 있다. 구조가 간단하기 때문에 대량생산이 가능하고, 전구처럼 필라멘트를 사용하지 않기 때문에 소형이다. 진동에 강하고 긴 수명을 가지고 있어서 고장이 발생할 확률이 낮다. 제품에 따라서 광원을 직접 바라보면 눈에 나쁜 영향을 줄 수 있다[9].

2.2 발광 재료

LED는 전류의 양에 따라 빛의 세기가 결정되며 최대 정격전류를 넘으면 수명이 짧아져서 소자가 파손되어 사용할 수 없게 된다. 정전압으로 구동하면 소자의 격차나 소자 온도에 의한 순방향 강하 전압의 변동으로 전류도 변하므로 기본적으로 전류량을 제어하는 사용법이 추천된다. 발광 다이오드의 순방향 강하 전압보다 높은 전압을 발생하는 직류 전원을 사용해서 직렬로 저항기나 정전류 다이오드를 연결하여 직류를 제한하는 방법이 적용된다. GaN 계열 발광 다이오드는 정전기나 서지 전류에 약하기 때문에 취급에 주의가 필요하다. 높은 출력이 요구되는 LED는 방열판 또는 방열선과 같은 방열 대책이 필요하다. 적절한 방열이 없는 경우에 제품의 수명이나 성능이 현저하게 떨어지거나 연기나 불꽃으로 인한 화재가 발생될 수 있다. 표 1은 물질에 따른 LED의 발광 색을 나타낸 것이다[10,11].

표 1 물질에 따른 LED의 발광 색

Table 1 Emission of light of LED by material

Raw material	Color
알루미늄 갈륨 비소(AlGaAs)	적외선, 빨간색
갈륨 비소 인(GaAsP)	빨간색, 오렌지색, 노란색
인듐 질화 갈륨(InGaN) 질화 갈륨(GaN) 알루미늄 질화 갈륨(AlGaN)	(오렌지색, 노란색) 녹색, 파란색, 보라색, 자외선
인화 갈륨(GaP)	빨간색, 노란색, 녹색
셀렌화 아연(ZnSe)	녹색, 파란색
알루미늄 인듐 갈륨 인 (AlGaInP)	오렌지색, 노란색, 녹색
다이아몬드(C)	자외선
산화 아연(ZnO)	근자외선
탄화 규소(SiC) 기판	파랑
사파이어(Al2O3) 기판	파랑
규소(Si) 기판	파랑

3. 실험 방법

실험에 적용된 제품은 구동부, 방열부, LED모듈부, 광유도부를 사용한 것으로 가로 조명용으로 사용하고 있다. LED 가로등의 용량은 120[W]이고, 전압은 24[V], 전류는 6.7[A]이다. 점등시의 표면온도는 어느 부위에서도 60℃ 이상 발생해서는 아니 된다. 그림 2는 LED 가로등의 발열 패턴 및 전압-전류 특성 해석을 위해 구성한 실체사진이다. 전원은 220[V], 60 [Hz]가 인가되었고 AC/DC 컨버터(SMPS)를 이용하여 DC 전원을 LED에 공급하였다. LED 램프의 열확산 분포는 열화상카메라(TVS-8502, Nippon Avionics Co., Japan)를 이용했으며, 전압과 전류 특성은 오실로스코프 (Oscilloscope, TDS-3052, Tektronics, USA)를 이용하여 실시간 측정하였다. 실험은 온도 24±2[℃], 습도 50~60[%]의 조건에서 실시하였다.

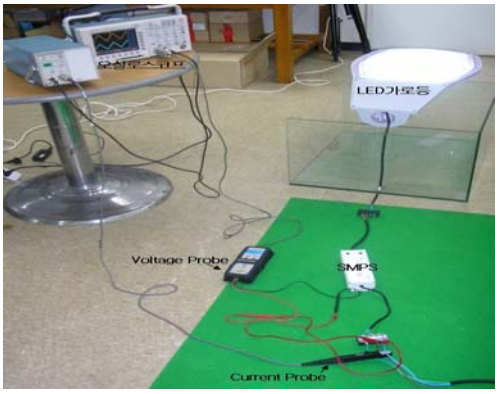


그림 2 LED 가로등의 특성 해석을 위한 실체사진
Fig. 2 Stereoscopic photograph for properties analysis of LED street lamp

4. 결과 및 고찰

LED 램프는 기존 램프에 비해 효율이 우수하고 광원의 직진성이 뛰어나 교통신호, 가로조명, 경관조명 등에 활용의 폭이 넓어지고 있다. 그러나 배광이 고르지 못하여 눈의 피로도가 높고 발열에 따른 조명효율이 저하된다. 또한, 교류(AC)를 직류(DC)로 변환하는 컨버터(SMPS)가 추가되므로 접촉(속) 불량 또는 감전사고의 위험성이 높을 것으로 예상된다. 표 1은 LED 램프와 기존의 램프의 조명 효율을 나타낸 것이다[12].

그림 3은 실험에 적용된 가로등의 실체사진을 나타낸 것이다. 사진에서 알 수 있듯이 9개의 모듈을 한 개의 조명기구에 일정한 간격으로 배치하였고 플라스틱 글로브를 씌워 습기, 먼지 등의 이물질의 유입이 없도록 설계되어 있다. 일반적 으로 가로등의 용량은 도로의 크기 또는 상황 등에 따라 결정되며 대략 250~300[W]이다. LED 광원은 일반 광원에 비해 성능이 우수하므로 동일한 도로 여건이라면 120~150[W]를 설치하고 있다.

그림 4는 그림 3에 내장된 모듈 한 개를 나타낸 실체이다. 기존의 일반 가로등과 달리 LED 소자 여러 개를 조합하여 한 개의 모듈로 제작하여 사용한다. 즉 한 개의 모듈에 24개의 LED를 방사형으로 배치하여 균일한 배광이 이루어지도록 되어 있다. LED 가로등의 용량은 120[W]이고, 전압은 24[V], 전류는 6.7[A]이다. 점등시의 표면온도는 어느 부위에서도 60℃ 이상 발생해서는 아니 된다. 또한, 광원의 균일한 배광이 이루어지도록 각각의 LED 소자의 표면을 원형 플라스틱으로 씌웠으며, 색은 발광 손실이 적도록 밝은 노란색으로 되어 있다.

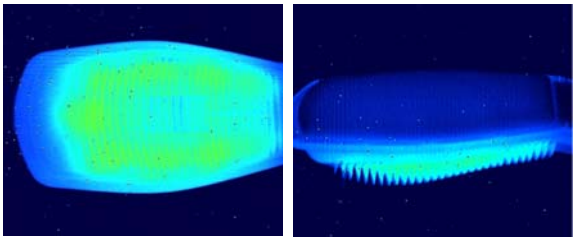
그림 5는 전원을 투입된 LED 램프의 열확산 분포를 해석하기 위해서 열화상카메라(TVS-8502, Nippon Avionics Co., Japan)를 이용하여 촬영한 사진을 나타낸 것이다. 촬영은 글로부가 씌워진 상태에서 진행되었고, 주위 온도는 24±2[℃], 습도는 50~60[%]를 유지시켰다. 그림 5(a)는 램프 전면의 열분포는 나타낸 것으로 비교적 균일한 열 확산 패턴을 보이며, 최고 표면온도는 약 34[℃]를 나타냈다. 그림 5(b)는 램프 측면의 열확산 패턴을 나타낸 것이다. 상부 덮개의 온도 변화는 거의 없음을 알 수 있고, 측면의 온도는 균일한 열확산 패턴을 나타내고 있다. 터널조명용으로 사용되는 형광등, 가로조명에 사용되는 할로겐등, 나트륨등, 수은등에 비해 효율이 높은 것으로 확인되었다.

그림 3 실험에 사용된 LED 가로등의 실체사진
Fig. 3 Stereoscopic photograph of LED street lamp used in an experiment

표 2 램프의 조명 효율 비교
Table 2 Efficiency of lightening comparison of lamp

구 분	LED 램프	백열 램프	형광 램프	할로겐 램프
광 원 [lm/W]	59	10	75	20
드라이버 효율 [%]	80~89	100	80~90	100
조명기구 효율 [%]	80~90	30~50	50~70	30~50
총 효율 [lm/W]	42	4	38	8
수 명 [hr]	10,000~ 50,000	1,000	10,000	15,000

그림 4 모듈 한 개의 실체사진
Fig. 4 Module stereoscopic photographs

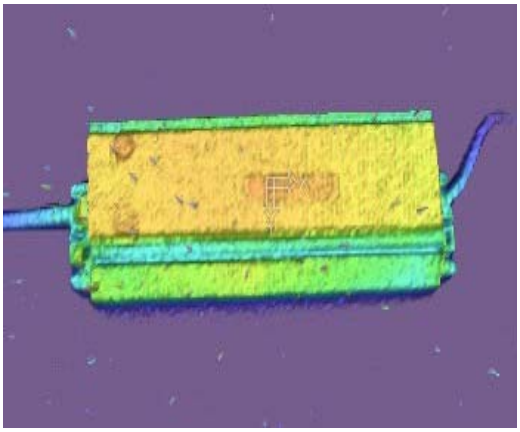


(a) 램프의 전면 (b) 램프의 측면

그림 5 LED 가로등의 열확산 패턴 분석
Fig. 5 Thermal diffusion pattern analysis of LED street lamp

그림 6은 AC 전원을 DC 전원으로 변화시키는 컨버터(SMPS)의 열확산 패턴 해석을 위해 나타낸 것이다. 그림 6(a)는 컨버터의 실체사진으로 전선은 일반적으로 사용되는 가로등과 동등한 성능의 절연전선이 사용되었다. 외부는 컨버터 내부의 시스템을 보호하기 위해 알루미늄을 사용하였다. 그림 6(b)는 LED 램프가 정상적으로 작동하고 있을 때의 열확산 패턴을 나타낸 것으로 약 46[℃]까지 상승하였으며 안정된 특성을 나타냈다.

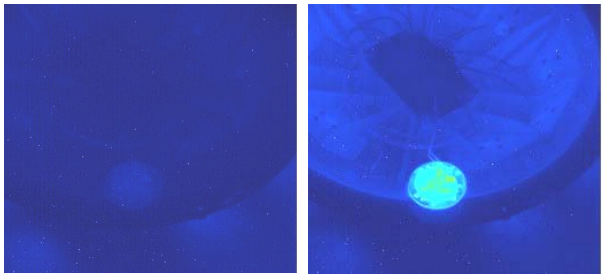
(a) AC/DC 컨버터 실체사진



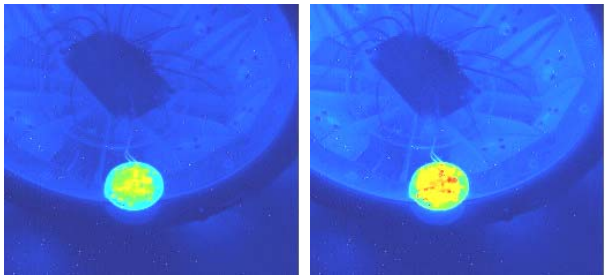
(b) AC/DC 컨버터의 열화상 패턴

그림 6 AC/DC 컨버터의 열확산 패턴 분석
Fig. 6 Thermal diffusion pattern analysis of AC/DC convertor

그림 7은 LED 한 개의 발열 특성 해석을 위해 나타낸 사진이다. 그림 7(a)는 전원을 인가한 즉시 촬영한 열화상 패턴으로 열확산이 거의 없으며, 방열판은 알루미늄이다. 그림 7(b)는 전원이 공급되고 4분이 경과된 후의 발열 패턴이다. 그림 7(c)는 8분 경과했을 때의 발열 패턴으로 균일한 발열을 나타냈다. 그림 6(d)는 12분 경과했을 때의 발열 패턴으로 발생된 열을 충분히 방사시키지 못할 때 나타나는 형상을 보이며 약 82[℃]까지 상승하였다. 일반 전기기기에 사용되는



(a) 전원 인가 (b) 4분 경과

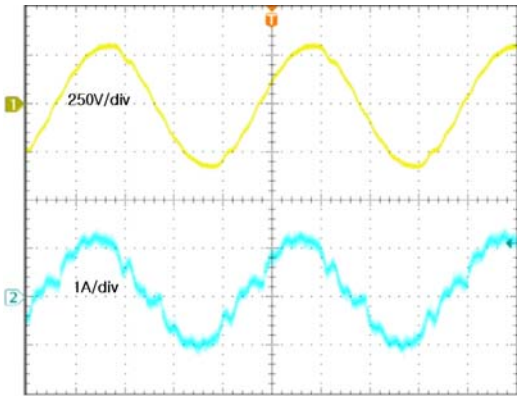


(c) 8분 경과 (d) 12분 경과

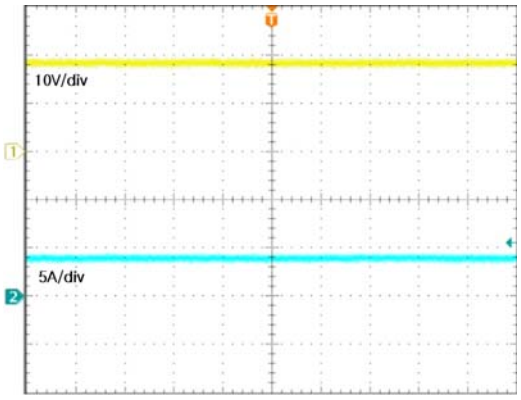
그림 7 시간에 따른 LED lamp의 발열패턴 변화
Fig. 7 Thermal pattern variation of LED lamp by time

플라스틱(PVC) 절연재료의 허용온도 70[℃]보다 높은 것을 알 수 있다. 따라서 주위에 플라스틱 절연재료의 접촉 및 접근이 없도록 설계가 요구된다.

그림 8은 LED 가로등의 전압-전류 특성 분석을 위해 나타낸 것이다. 가로등에 220[V], 60 [Hz] 상용 전원을 인가하고 시스템이 안정화 될 때의 조건을 나타낸 실체 사진이다. LED 램프의 전압과 전류 측정은 오실로스코프를 이용하여 실시간 측정하였다. 그림 8(a)는 교류가 공급되는 전원측 파형으로 안정된 상태의 파형을 나타냈다. 그림 8(b)는 AC/DC 컨버터를 통과한 전원이 LED 램프에 공급되는 파형이다. 전압은 DC 27[V]로 측정되었고, 전류는 DC 13[A]가



(a) AC/DC 컨버터의 전원측 파형 특성



(b) AC/DC 컨버터의 부하측 파형 특성

그림 8 LED 가로등의 전압-전류 특성
Fig. 8 Voltage-electric current properties of LED street lamp

흘렀다. 즉 충분한 광원을 얻기 위해서는 안정적인 전류의 공급이 중요함을 알 수 있고, 다른 광원에 비해 전류량도 큼을 알 수 있다. 따라서 시스템의 안전성 및 신뢰도 확보를 위해서는 적절한 방열이 요구된다.

5. 결 론

LED 가로등의 열확산 패턴을 열화상카메라로 분석하고, 전류 특성을 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 실험에 사용된 LED 가로등은 9개의 모듈을 한 개의 조명기구에 일정한 간격으로 배치하였고 플라스틱 글로브를 씌어 습기, 먼지 등의 이물질의 유입이 없도록 설계되어 있다.

(2) 한 개의 모듈에 24개의 LED를 방사형으로 배치하여 균일한 배광이 이루어지도록 하였으며, 글로브의 색은 발광 손실이 적도록 밝은 노란색으로 되어 있다.

(3) 열화상카메라를 이용한 분석 결과 LED 램프 전면의 열 분포는 균일하였으며, 표면 온도는 약 34[℃]를 나타냈다 LED 램프 측면의 온도는 균일한 확산 패턴을 나타냈다. LED 램프가 정상적으로 작동하고 있을 때 컨버터(SMPS)의 온도는 약 46[℃]까지 상승하였다.

(4) LED 램프에 전원을 공급하고 8분까지는 발열 패턴이 균일하나 12분 경과되었을 때 약 82[℃]를 나타냈다. 일반 전기기기에 사용되는 플라스틱(PVC) 절연재료의 허용온도 70[℃]보다 높은 것을 알 수 있다.

(5) AC/DC 컨버터(SMPS)를 통과한 전압은 DC 27[V]로 측정되었고, 전류는 DC 13[A]가 흘렀다. 즉 충분한 광원을 얻기 위해서는 안정적인 전류의 공급이 중요함을 알 수 있고, 다른 광원에 비해 전류량도 큼을 알 수 있다. 따라서 시스템의 안전성 및 신뢰도 확보를 위해서는 적절한 방열이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 전력산업연구개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] 양재열, “전기화재통계분석”, 한국전기안전공사, 2007
[2] 문원경, “화재통계연감”, 소방방재청, 2007
[3] 최충석 외 5, “전기화재공학”, 동화기술, pp.193-197, 2004
[4] C.S. Choi et al, "Flame Spread and Damaged Properties of RCD 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
[9] LED照明推進協議會, "LED照明ハンドブック", オーム社, pp.16-20, 2009.3
[10] CMC, "白色LED照明システム技術と應用", シ-エムシ-出版, pp.35-172, 2008. 6
[11] 田口 常正, “白色LED照明技術のすべて”, pp.101-123, 2009
[12] NIKKEI Electronics Asia, "Vossloh-Schwabe Optoelectronic Gmbh", 2008. 4

저 자 소 개

김 향 곤 (金 珦 坤)

1970년 12월 14일생. 1996년 조선대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 동 대학원 전기공학과 박사과정. 1996년~현재 전기안전연구원 재해예방연구그룹 책임연구원. 2006년 9월~현재 조선대학교 공과대학 전기공학과 박사과정
Tel : 031-580-3031
Fax : 031-580-3045
E-mail : kon0704@kesco.or.kr

최 충 석 (崔 忠 錫)

1991년 2월 인하대학교 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원전기공학과 졸업(박사). 1993년 나고야대학 초청연구원. 1994~1995년 구마모토대학 객원연구원. 2006년 3월~2006년 12월 서울대학교 산업안전최고전략과정 수료. 1997년 3월~2008년 2월 전기안전연구원 과장/그룹장/수석연구원/부원장. 2008년 3월~현재 전주대학교 소방안전공학과 교수.
Tel : 063-220-3119
Fax : 063-220-3119
E-mail : enetek@naver.com/choi365@jj.ac.kr