

열전소자를 이용한 10W급 멀티칩 LED조명의 방열

조영태*

(논문접수일 2011. 12. 28, 수정일 2012. 01. 30, 심사완료일 2012. 01. 31)

Heat Radiation of Multichip 10W LED Light Using Thermoelectric Module(TEM)

Young-Tae Cho*

Abstract

This paper aims at improving the heat radiation performance of thermoelectric module (TEM) for a commercialization of high-powered LED light with using a multichip LED module. In addition, a 10W multichip LED light was prepared for the heat performance on radiating of which LED light was made for a use of testing by the driving of the thermoelectric module. So, it was found that about 30% in the effect of temperature reduction was confirmed if compared with the radiation heat by heat sink only.

Key Words : Heat radiation(방열), Multichip LED(멀티칩 엘이디), Heat sink(방열판), Thermoelectric module(TEM, 열전소자), LED light(엘이디 조명)

1. 서론

본 연구는 에너지 절약효과가 큰 LED(Light-Emitting Diode)를 이용한 고성능의 조명 제품 개발을 위한 고출력 LED모듈의 성능 향상과 조명 제품의 소형·경량화를 위한 기초기술을 확보하는데 있다.

LED는 조명을 비롯해 여러 분야에 응용되고 있으며, 이미 공공 기관을 중심으로 실내 백열등 및 형광등 조명, 주차장 조명등의 교체가 이루어지고 있으며, 일반조명 뿐만 아니라 각종 특수목적용 조명 및 농·수·산업용 등으로 응용되어 다양한 분야로 확대되고 있다^(1,2). 이처럼 조명관련 제품들을 LED로 대체하기 위한 연구개발 및 상용화가 활발하게 이루어지고 있다. LED조명은 고효율, 친환경 조명이라는 장점 때문에 세계적으로 핵심기술 확보와 거대시장 선점을 위하여 각국의 기술개발 경쟁이 치열하다⁽³⁻⁵⁾.

최근 정부는 전력부족에 대한 우려 등으로 전력부족을 구조적으로 해결하려는 일환으로 전국에 설치된 가로등을 고효율 LED조명으로 전면 교체하려는 계획을 발표하는 등의 에너지 절약에 대한 관심이 집중되고 있다⁽⁶⁾.

국가차원의 정책에 발맞춰 고출력의 고효율 LED조명의 개발 및 보급은 매우 중요하다. 그러나 고효율의 제품개발은 멀티칩 LED모듈을 이용하여 개발하는 것이 필요한데, 이는 소형 및 경량화가 수반되어 개발되어야 한다. 이 과정에서 고출력 LED모듈은 구동 시 고열을 발생하게 되는데, 이는 LED의 수명 및 효율과 직결되는 중요한 요인으로 LED모듈의 발열을 해결하기 위해서는 신뢰성이 높은 고효율의 방열시스템의 개발이 필수적이며 매우 중요하다^(7,8). 특히, 고출력 멀티칩 LED모듈을 사용하여 조명등을 제작 할 경우 고온 발열에 따른 방열문제가 상용화에 걸림돌이 되고 있다. 기존 상용화된 LED 가로등과 같은 조명등을 보면, 가격경쟁력 등을 이유로 3W 이하의

* 전주대학교 생산디자인공학과 (choyt@jj.ac.kr)
주소: 560-759 전주시 완산구 천잠로 303

수십 개의 LED모듈을 조합하여, 고출력 LED조명등을 제작하는 경우가 대부분으로 조명장치가 대형 및 중량물이 된다. 또한 이들 하우징 및 구조물 제작이 대형화됨으로서 제품 원가 상승의 원인이 되고 있으며, 소형 및 경량화가 힘들고 사용에도 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 고출력 멀티칩 LED의 상용화를 위한 기초연구로서, 10W 멀티칩 LED모듈을 사용하여 LED조명등을 제작하고, LED모듈의 방열에 대해 열전소자(TEM)를 이용하여 효율적으로 방열할 수 있는 기술을 제시하고, 고출력의 멀티칩 LED모듈을 이용한 조명등을 상용화할 수 있는 방안을 제시하기 위한 방열성능에 대해 고찰하였다.

2. 10W 멀티칩 LED모듈 조명등 제작

2.1 열전소자

열전모듈은 Fig. 1과 같이 n, p 형 열전반도체를 전기적으로는 직렬로, 열적으로는 병렬로 되도록 π 형으로 연결한 모듈의 형태로 사용하고, 여기에 DC 전류를 흘릴 때 열전효과에 의해서 모듈의 양면에 온도차가 발생하고 또한 동시에 발전현상이 일어난다. 일반적으로 열전모듈이란 펠티어(peltier) 현상에 의해 나타나는 냉각효과를 이용하는 고체식 히트 펌프(solid state heat pump)를 말한다. 열전소자는 반도체 표면을 통해 냉각시키는 방식으로 반영구적으로 사용이 가능한 무소음, 무공해, 저전력 소모를 구현하는 친환경, 그린에너지 부품으로서 열전발전과 열전냉각에 사용되고 있는 반도체 제품이다. 기존의 컴프레서 냉각방식을 대체할 차세대 냉각방식으로 간단한 극 전환을 통해 간편하게 냉각과 방열이 동시에 가능한 부품으로 상온에서 대상물을 $-70^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ 까지 냉각과 가열에 의해 일정한 온도 유지가 가능하다.

2.2 멀티칩 LED모듈과 열전소자의 패키지

멀티칩 LED모듈의 방열에 대한 연구의 초기 방향은 열전소자의 본래의 기능인 냉각(cooling) 기능을 이용하는 것으로 Fig. 2와 같이 단순한 구조의 모듈화를 계획하고 연구를 진행하였다. 그러나 이는 많은 전력을 필요로 하고 원가절감 및 고

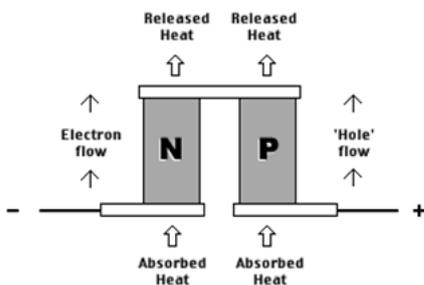


Fig. 1 Principle of thermoelectric cooling

효율화 등의 목적에 있어서 전력소모, 소자의 발열 등의 여러 가지 문제점을 드러내게 되었다. 따라서 열전소자에 대한 다양한 실험 및 검토과정에서 또 다른 기능을 활용하게 되었으며, 이 기능을 효율적으로 활용할 수 있는 방안에 대한 검토를 실시하였으며, Fig. 3과 같은 개념을 개선하여 연구를 진행을 위하여 열전소자와 LED모듈을 패키지화하고, 열전소자의 미소 전력제어를 통해 방열실험을 실시하였다.

Fig. 4(a)는 시제작을 위한 10W멀티칩 LED모듈과 열전소자(TEM) 사진이며 Fig. 2의 TEM과 LED를 모듈화하기 위한 유닛을 이용하여 Fig. 4(b)와 같은 모듈을 제작하였다. 방열판(Heat sink)은 시판되는 12W LED전등 제품을 구입하여 LED 모듈부분을 교체하여 Fig. 4(c)와 같은 실험용 10W LED전등을 시제작하고, Fig. 5의 테스트에 활용하였다.

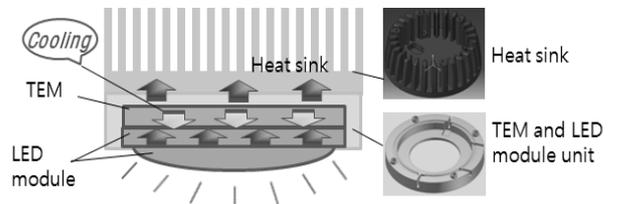


Fig. 2 Cooling module schematic of a multichip LED module

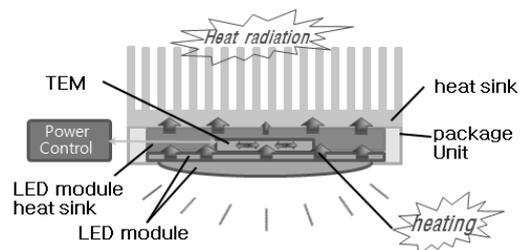


Fig. 3 Package diagram of thermoelectric module and multichip LED module

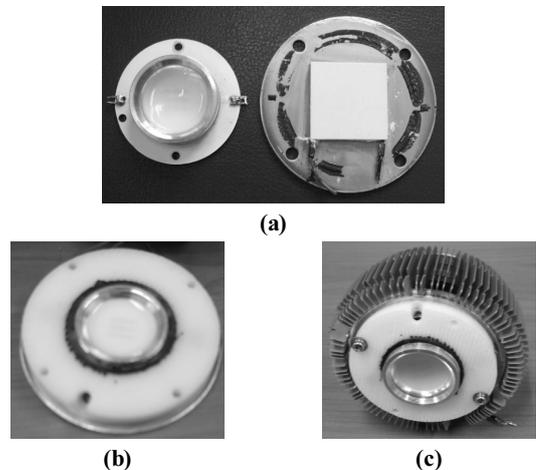


Fig. 4 10W multichip LED module and TEM (a) and LED and TEM package (b) and prototype of multichip LED light (c)

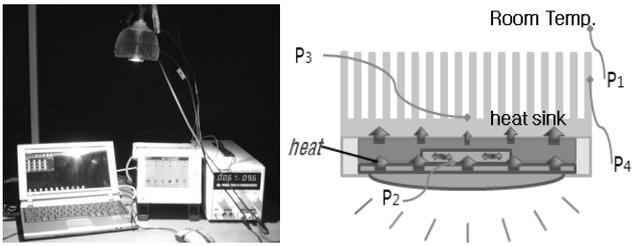


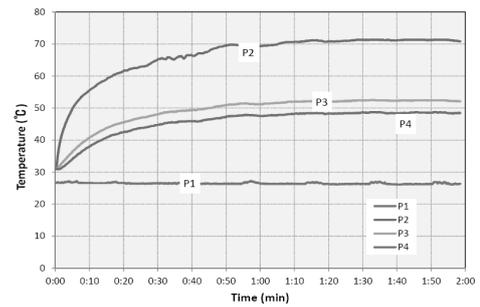
Fig. 5 Radiation heat test and point of temperature measurement in 10W multichip LED light

3. 10W 멀티칩 LED조명의 방열 테스트 및 고찰

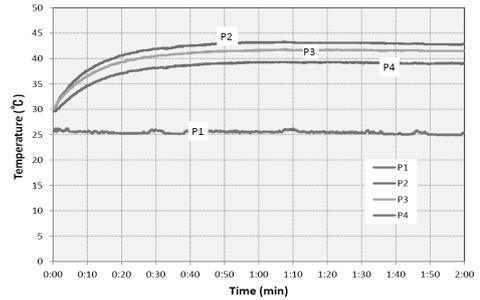
열전소자는 냉각 및 가열 용도로 사용되므로 동일한 개념으로 LED광원에 적용하게 되면 열전소자에서 에너지소비비가 늘어나고 방열부의 온도가 상승하게 되어 기대하는 효과를 기대할 수가 없다. 따라서 앞 절에서 언급한 것처럼 열전소자의 본래 기능인 냉각 기능을 사용하지 않고, 열전소자에 미소전력을 가하여 LED 모듈로부터 발생하는 열의 일부를 흡수하여 전체 방열량을 줄여주는 방열기능을 발휘 할 수 있도록 열전소자의 미소전력제어를 적용하여 테스트를 실시하였다.

Fig. 5에 10W LED전등의 방열 실험 장치구성과 온도검출 포인트를 나타내었다. 실험은 10W 멀티칩 LED 전구, DC 전원공급 장치, T Type 써모커플 온도센서와 Yokawa MV1000인 온도측정 멀티레코더 등으로 구성하였다. MV1000은 PC와 연결되어 P₁~P₄에 부착된 써모커플에 의해 검출된 온도 데이터를 저장한다. P₁은 실내온도를 P₂는 LED모듈 후면, P₃는 방열판 밑면, P₄는 방열판의 밑면으로부터 2/3위치의 방열판 핀쪽의 온도를 측정한다. 테스트 조건은 10W LED전구에 대하여 9.6W(9.6V, 1.0A)로 일정하게 전원을 공급하였으며, 열전소자의 경우 전류 제어는 하지 않고 0.0~2.5V에 걸쳐 일정하게 전압을 가하였다. 이 조건은 실제 LED조명 제품개발에 있어서 원하는 출력 10W의 조명제품 개발 시 실제로는 10W출력 보다 약간 낮은 출력으로 개발하므로 0.4W 정도 이하의 미소전력을 활용할 경우로 설정하였다. 즉 열전소자의 전압 제어만을 실시하여 실험을 진행하여 본 연구 목적인 열전소자를 적용한 방열시스템의 유효성을 확인하고 비교 검토하였다.

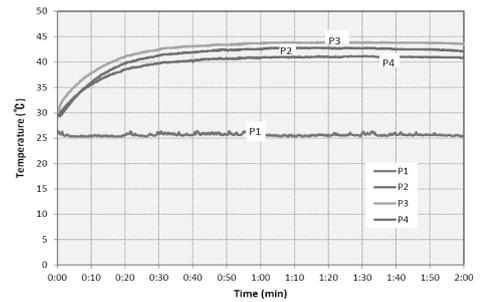
실험은 본 연구의 목적이 방열에 주안점을 두고 있으므로 LED전구의 휘도 변화는 고려하지 않았다. LED전구는 10W LED모듈을 방열판에 직접 부착한 Type-A 및 LED전구와 열전소자를 패키징화하여 방열판에 부착한 Type-B 2가지 경우에 대하여 실험하였다. LED와 열전소자를 모듈 유닛을 이용해 패키징화한 Fig. 4(c)의 경우 열전소자의 전압을 조정하면서 2시간동안 실험을 진행하였다. 이때 열전소자는 전압 조절에 따라 자체적으로 전류가 변하도록 하였으며 Fig. 5와 같이 방열 테스트를 실시하였다.



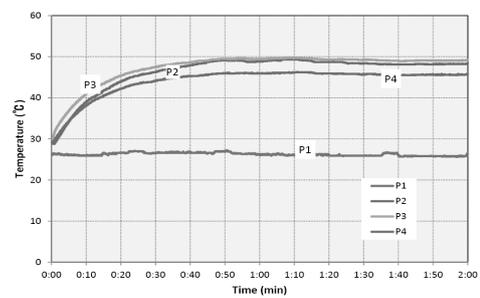
(a) 0.0V, 0.0A



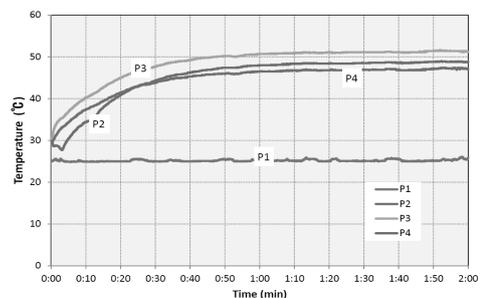
(b) 1.0V, 0.23A



(c) 1.5V, 0.32A



(d) 2.0V, 0.42A



(e) 2.5V, 0.5A

Fig. 6 Results of heat radiation tests for packaged 10W LED light

패키지화한 시제품의 방열 테스트 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 실내온도(P1) 25~27°C내에서 2시간 이상 LED조명을 켜 놓고 각 검출 포인트에서 온도분포를 측정한 결과 그래프에서 알 수 있듯이 LED조명의 전원을 넣으면 초기 20여분이내에 P2, P3, P4의 온도가 급격하게 상승하여 40여분이 지나면 안정화 되는 것을 알 수 있었다. 열전소자를 구동하는 Fig. 6(b)~(e)의 경우 P2, P3, P4의 온도분포는 4°C이내의 온도차를 보이며 거의 같은 온도 범위에서 안정된 온도 분포를 나타내는 것을 알 수 있다.

그러나 열전소자를 구동하지 않는 (a)의 경우는 P2의 온도는 초기부터 20여분 정도 급격하게 상승하며 P3지점과 약 20°C 정도의 온도차가 발생하고 이 온도차가 지속되는 것을 알 수 있다. 이는 열전소자가 열저항 역할을 함으로서 LED모듈로부터 발생하는 열이 방열판으로 원활하게 전달되지 않음으로서 LED모듈 후면 온도를 상승시켜 LED의 효율을 떨어뜨리는 결과를 초래하게 된다. 여기서 P2지점인 LED모듈 후면의 온도는 LED의 성능 및 수명에 중요한 영향은 미치는 요소이다.

Table 1에는 LED 방열테스트 초기 및 진행 2시간 경과후의 각 온도측정 포인트의 온도분포와 열전소자의 구동 전원의 결과를 표로 나타내었다. 여기에는 LED와 열전소자를 패키지화한 Type-B 경우와 LED 모듈만 방열판에 부착한 Type-A 경우의 결과를 포함시켰다. 이는 기존 방열판만 사용할 경우와 열전소자를 이용한 경우와의 비교하기 위한 실험 결과를 정리한 것으로서, 테스트 시작과 120분경과 후의 각 포인트에서의 온도 측정 결과이다.

Table 1에서 알 수 있듯이 방열판에 LED모듈만 부착된 경우 P2의 온도는 61°C로 P3와 5°C정도 온도차를 보이고 있다. 이를 적절한 방열판이 부착되었다고 가정하여 열전소자를 구동하는 경우의 P2 온도와 비교하면 42.2~48.9°C로 12.1~18.8°C정도의 온도차를 보이는 것을 알 수 있다. 이는 방열판에 직접 부착한 경우보다 20~31%정도 온도 저감효과를 보이고 있음을 알 수 있다. 즉 열전소자를 이용함으로써 멀티칩 LED의 방열 효과를 높일 수 있음을 확신할 수 있으며, 이를 바탕으로 기존 방열판의 크기를 줄일 수 있다.

Type-B의 경우 열전소자의 전압을 1.0, 1.5, 2.0, 2.5V로 조정하며 테스트한 결과 LED 개발 시의 열전소자 소비전력 요구사항과 P2 포인트의 온도분포를 고려하여 검토한 결과 열전소자를 1.0V로 구동할 때 전력 소모량도 0.23W로서 가장 적절한 효과를 내고 있다 할 수 있으며, Type-A의 P2온도 보다 30%정도 온도 저감효과가 있었다. 이는 다양한 조건 등을 고려해서 얻어낸 결과로 향후 미세 전류제어까지 실시하여 테스트를 실시한다면 보다 정확한 데이터가 확보될 것이다.

일반적으로 LED광원의 접합면 온도(junction temp.)와 수명(life cycle)과의 관계 곡선은 Fig. 7과 같이 알려져 있다.

Table 1 Heat radiation test results and point of temperature measurement in 10W LED

Type-	Time (min)	LED			Temperature (°C)				
		W	A	V	P1	P2	P3	P4	
A	Heat sink + LED module	0	-	-	25.0	25.2	25.0	25.2	
	120	-	-	-	25.8	61.0	56.1	51.9	
B	Heat sink + Package (TEM and LED module)	0	9.6V 1.0A	0.0	0.0	27.0	32.0	32.0	31.6
		120		0.0		26.3	70.8	52.1	48.4
		0		0.2	1.0	25.6	30.1	30.0	29.7
		120		0.23		25.1	42.8	41.5	39.1
		0		0.33	1.5	25.6	29.4	29.4	29.2
		120		0.32		25.6	42.2	43.7	40.6
		0		0.45	2.0	26.1	29.5	29.6	29.4
		120		0.42		25.9	48.2	49.1	45.6
		0		0.55	2.5	25.6	30.5	30.4	30.1
		120		0.5		25.9	48.9	51.2	47.3

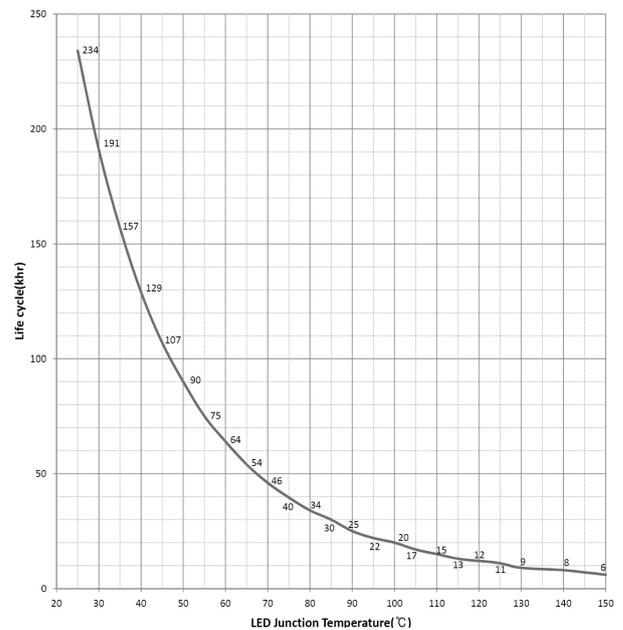


Fig. 7 LED junction temperature and a curve in life cycle relation

가로축은 접합면 온도, 세로축은 수명시간으로 접합면의 온도가 25°C이면 234,000시간 사용가능하고, 150°C가되면 수명이 급격히 떨어져 6,000시간 정도 사용이 가능하게 된다. 이처럼 접합면 온도가 상승하면 할수록 LED의 수명이 급격히 떨어지게 됨을 알 수 있는데, 이를 바탕으로 LED의 수명 개선효과를 예측해 볼 수 있다. 단 P2의 온도는 LED광원의 접합면온도를 측정하는 것은 아니지만 P2의 온도가 상승하면 접합면 온도

또한 상승하게 되므로 P₂온도를 접합면온도라 가정하여 어느 정도의 개선효과가 있는지에 대한 예측은 가능하리라 본다. Type-A의 P₂온도가 61.0°C에서 Type-B의 P₂온도가 42.8°C로 18.2°C 낮아져 30%정도 온도 저감효과에 대해 Fig. 7을 바탕으로 분석하면 61.0°C일 때 약 62,000시간, 42.8°C일 때 약 115,000시간 사용가능 수명이 예측되어 약 85%정도 수명 개선효과가 있음을 유추할 수 있다. 단 휘도 변화에 대해서는 본 실험에서 고려하지 않았다.

이상의 결과로 열전소자의 전류제어는 하지 않았지만 충분히 방열 효율을 향상시키고, LED전등의 수명 및 효율을 향상시킨다고 말할 수 있으며, 기존의 고출력 LED조명의 방열시스템의 한계로 소형 및 경량화에 어려움이 많았으나, 고출력 멀티칩 단일 LED모듈을 이용한 조명기구를 개발한다면 고효율의 소형·경량의 조명등 개발 및 상용화에 본 연구 결과를 응용한다면 유용할 것으로 사료되며, 향후 본 연구결과를 바탕으로 멀티칩 고출력 단일 LED모듈(30W이상)에서 휘도, 전류 등을 고려한 방열연구를 계속 진행할 예정이다.

4. 결론

고출력 멀티칩 단일 LED모듈의 경우 모듈의 발열 문제로 상용화 및 소형화에 많은 어려움을 겪고 있다. 기존 LED조명은 AI 방열판에 의지하거나, 새로운 방열 소재 개발이 활발하게 이루어지고 있으나 고출력의 경우 한계가 있고, 히트펌프를 이용하는 경우도 소형화 및 방열의 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 열전반도체소자를 이용한 방열방법을 제안하였다. 멀티칩 단일 LED 모듈과 AI 방열판사이에 열전소자를 삽입하고 열전소자를 미소전력제어를 통한 구동으로 열전소자의 흡열기능을 활용할 수 있도록 하여 AI 방열판으로 전달되는 열을 저감시키는 방식으로 LED방열 효율을 향상시키는 방법이다.

LED모듈과 열전소자를 패키징화하고, 열전소자를 미소전력으로 구동하여 소자의 흡열기능을 활용한 방열로 10W 멀티칩 LED모듈의 방열성능을 검증하였고, 고출력 멀티칩 단일 LED모듈을 이용한 고출력 LED조명개발 시 방열시스템으로서 적

용 가능성을 확인할 수 있었다.

Type-A와 Type-B 두 종류의 테스트를 진행하여 안정화 후 2시간 이상의 방열 테스트를 한 결과 LED모듈 후면 P₂의 온도가 열전소자와 LED모듈을 패키징화한 Type-B가 Type-A보다 30%정도 온도저감 효과를 확인하였으며, 또한 수명개선 효과도 확인할 수 있었다.

이는 고출력 멀티칩 단일 LED모듈을 이용한 고출력 LED조명등의 상용화에 유용한 방열기술로 활용될 수 있으며, 동시에 개발제품의 소형·경량화에도 중요한 역할을 할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- (1) Cho, Y. T., and Ma, S. D., 2011, "Heat dissipation of high-power multichip LED lighting," *2011 KSMTE Autumn Conference*, pp. 120.
- (2) Jeong, B. M., and Jeong, H. G., 2006, "LED Lighting Technology Status and Prospects," *The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 20, No. 1, pp. 31~37.
- (3) Bruce, S., October 2003, *Technologies that Deserve to Die*, MIT's Technology Review.
- (4) Light Emitting Diodes(LEDs) for General Illumination, OIDA Technology Roadmap 2002.
- (5) LED Lighting Technology Lessons from the USA, Report of a global watch mission March 2006.
- (6) The Energytimes, viewed 5 December 2011, <<http://www.energytimes.kr/news/articleView.html>>.
- (7) Hu, J., Yang, L., and Shin, M. W., 2008, "Electrical, Optical, and Thermal Degradation of High Power GaN/InGaN Light-Emitting Diodes," *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 41, No. 3, pp. 035107~035111.
- (8) Narendran, N., and Gu, Y., 2005, "Life of LED-based White Light Sources," *Journal of Display Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 167~170.