

진동형 히트파이프를 이용한 고출력 LED 조명 방열 설계

장 정 완*, 김 종 수, 하 수 정
부경대학교 냉동공조공학과, 부경대학교 기계공학부

High-Power LED Thermal Spreaders Design Using Pulsating Heat Pipe

Jeong-Wan Jang*, Jong-Soo Kim, Soo-Jung Ha

*Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea

ABSTRACT: High power light emitting diode(LEDs), a strong candidate for the next generation general illumination applications are of interest. With major advantages of power saving, increased life expectancy and faster response time over traditional incandescent bulb, the LEDs are rapidly taking over many applications such as LCD backlighting, traffic light, automotive lighting, signage, etc. The increased electrical currents used to drive the LEDs have focused more attention on the thermal management because the efficiency and reliability of the solid-state lighting devices strongly depend on successful thermal management. There exist some problems that are caused by heat generation in the LED package, such as wire breakage, yellowing of epoxy resin, lifted chip caused by reflow of thermal paste chip attach and interfacial separation between LED package and silicon resin. The goal of this study is to analyze high power LED thermal properties of using pulsating heat pipe.

Key words: High power LED(고출력 LED), Pulsating heat pipe(진동형 히트파이프)

기 호 설 명

하첨자

R : Resistance of thermal [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]	d : Dissipated
P : Power [W]	j : Junction
T : Temperature [$^{\circ}\text{C}$]	a : Ambient

1. 서 론

전기에너지 수용의 급증, 화석에너지 고갈 및 환경 문제로 인해 에너지를 효율적으로 사용하는 것이 중요한 문제가 되고 있다. 전기에너지 중에서 조명에 사용되는 에너지의 양이 총 전기에너지 사용량의 약 20%에 육박함에 따라 재래식 조명을 대체할 수 있는 ‘전기발광’(solide-state lighting)에 대한 연구가 전 세계적으로 진행되고 있다. 전기발광의 잠재적 경제효과는 매우 크다고

† Corresponding author
Tel.: 051-629-6176; fax: 051-611-6368
E-mail address: honeybee611@nate.com

평가되어, 발광효율을 극대화하기 위한 연구가 중점적으로 진행되고 있으며, 광 관련 산업은 21세기에 중요한 산업분야의 하나로 자리를 잡을 것으로 예측된다. 따라서 기존 광원에 비해 에너지 절감 효과가 뛰어나고 거의 반영구적으로 사용할 수 있는 차세대 광원 ‘발광다이오드(LED)’에 관심이 집중되고 있다. LED의 한계였던 휘도(밝기)문제가 최근 크게 개선되면서 응용시장이 산업 전반으로 확산, 본격적인 LED시대를 예고하고 있다.

현재 상용화된 백색 LED 칩 하나에서 나오는 광속(luminous flux)은 20mA에서 약 1.5 ~ 2 lumen 정도 수준이다. 일반 조명시장에서 LED 조명이 사용되기 위해서는 100 lumen 이상이 되어야 하는데 이를 위해서는 약 60개 정도 LED 칩의 조합이 필요하다. LED의 광속을 높여야만, 즉 칩의 lumen을 높여야만 경제성이 있는 LED 반도체 조명을 이룰 수 있다. 따라서 칩에서 많은 광속을 높이기 위해서는 고효율 LED 구현이 필수이다. LED는 입력 전력 대비 85%가 열로 변환되는 것으로 알려져 있으며, 이는 LED에서 발생한 열을 효과적으로 외부로 방출시키는 문제는 고효율 LED의 신뢰성을 높이기 위해 선행되어야 하는 과제로 직결된다. 따라서 본 연구는 진동형 히트파이프를 사용하여 LED패키지의 목적에 구현되는 최상의 방열 구조를 설계하여 고효율 LED 조명의 신뢰성 향상을 도모하고자 한다.

2. 고효율 백색 16W LED

2.1 고효율 백색 16W LED의 기본사양

본 실험에서 사용된 고효율 백색 16W LED 조명은 16W 소비전력에 높은 광속 1,050 lm과 넓은 발산각(Beam Angle) 120°, 낮은 열저항의 고효율 백색 LED를 선택하였으며, Table 1과 Fig.1에 고효율 백색 16W LED의 특성과 그 형상을 나타내었다.

Table 1 Characteristics of high power 16W white LED using the paper

V_f [V]	Color Temperature[K]	View Angle[°]	Luminous Flux[lm]	Illuminan ce[lx]
Free voltage	2,700 ~ 6,500	120	1,050	310

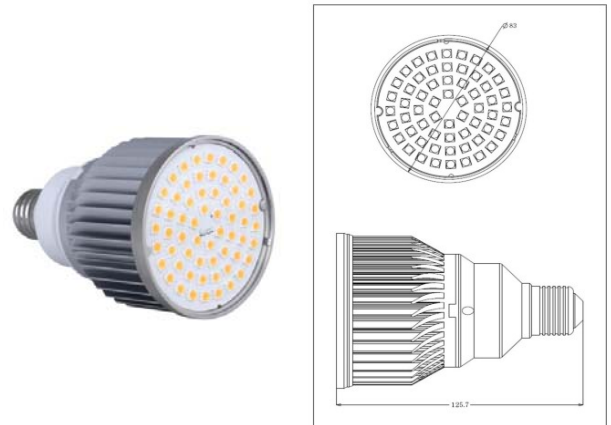


Fig. 1 Schematic of high power 16W white LED using the paper

2.2 고효율 백색 16W LED의 방열 설계

2.2.1 진동형 히트파이프의 작동원리

진동형 히트파이프(이하 PHP)는 벽에 의한 증발부로 작동액의 환원 없이 유체의 진동에 의해 열을 빠르게 수송하는 열전달 기구로 구조는 Fig. 2와 같다. 세관을 사형(Serpentine)시킨 밀폐 구조로, 진공 상태로 만든 후 임의의 비율로 작동액 및 증기포를 불규칙적인 루프 내 순환 또는 축방향 진동에 의해 가열부에 합쳐진 후 기액 슬러그류의 형태로 된다.

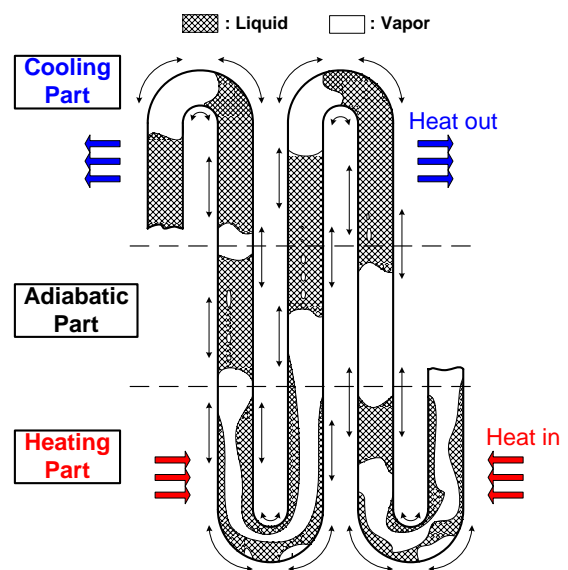


Fig. 2 Basic concept of pulsating heat pipe

슬러그류는 압력파를 발생시킴과 동시에 축방향 진동을 동반하는 유동으로 되어 순환하고, 증기의 기포가 대류 열전달과 잠열수송을 행한다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험 장치

주위온도와 소자의 자체 열발생은 광출력의 저하를 가져오기 때문에 이에 대한 방열 설계가 매우 중요하다. 따라서 이러한 소자의 집합온도의 상승을 억제하기 위해서 최적의 방열 설계가 필요하며, 이를 위하여 선정된 고출력 16W 백색 LED의 열분포 및 열저항을 정확히 측정해야 한다.

본 연구에서는 진동형 히트파이프의 방열 설계를 위해 우선적으로 고출력 백색 LED 전구의 온도분포 실험을 통해 16W LED 패키지의 열저항을 알아본 후, 이 실험을 토대로 하여 LED방열 설계를 위한 PHP의 형상 및 제원을 구상하여 Fig. 3과 Table 2에 나타내었다.

Fig. 4는 PHP를 이용한 LED방열 성능을 알아보기 위해 구성한 실험 장치이다. 시험부인 PHP, 가열 전원 입력부, 온도를 측정하기 위한 계측부로 구성된다. 계측부는 T-type 열전대에서 측정된 온도를 표시하는 Hybrid Recorder (yokogawa, DR-230)와 온도를 저장하기 위한 PC로 구성되어 있다.

3.2 실험 방법

PHP는 작동유체를 충전하기 앞서, 내부를 로터리 펌프와 디퓨저 펌프로 이루어진 고진공 시스템으로 5.0×10^{-6} torr까지 진공하여 2시간 유지하였다. 작동액의 충전은 냉매 충전 실린더(HGC-96, Taiatsu)를 사용하여 R-141b를 내부 체적비에 대한 30 vol.%를 채택하여 봉입하였다.*)

PHP의 열적 특성을 평가하기 위하여 LED의 알루미늄 방열판에 PCB기판에서 발생하는 열을 대신하여 PCB와 동일한 사이즈의 히터를 장착하여 PHP의 증발부와 응축부의 시간에 따른 온도차를 통해 방열 성능을 알아보았다. 가열 히터의 온도는 PCB기판에서 발생하는 최대 발생열을 기준으로 하여 가열히터의 온도를 120°C로 설정하였다.

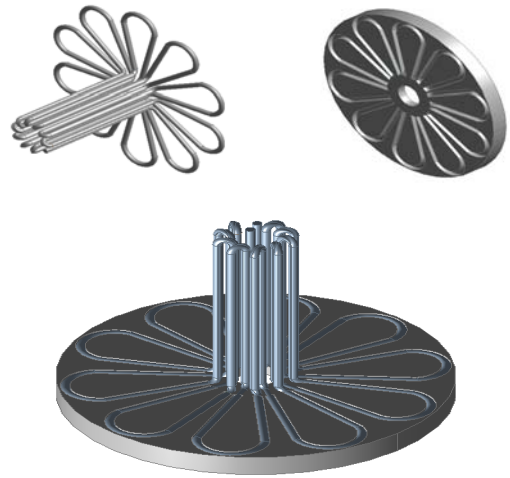


Fig. 3 Schematic of Pulsating heat pipe

Table 2 Specification of Pulsating heat pipe.

Specification	PHP
Type	Open Looped
Working fluid	R-141B
Charging ratio	30(vol.%)
Length (mm)	2,500
Turn Num.	10
O.D (mm)	1.85
I.D (mm)	1.35

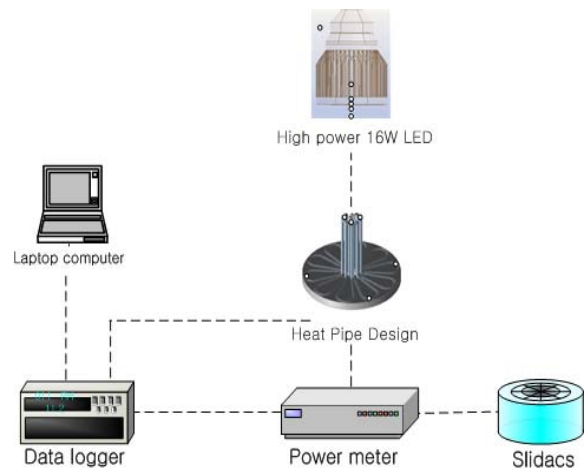


Fig. 4 Apparatus of High-Power LED Thermal Spreaders Design Using Pulsating Heat Pipe (led/php)

입력열량은 전력전산기(Protronix co.)로 측정하였다. 열전대로부터 얻어진 히트파이프의 가열부 및 방열부의 온도 데이터는 컴퓨터를 이용하여 2초 간격으로 저장하였다. 실험외기는 기술표준원 KS 규격에 따른 외기온도 25±2℃ 및 자연 대류 상태에서의 TEST 기준에 따라 측정했다.

3.3 고출력 백색 16W LED 열저항 계산

열관리 설계에서 사용되는 기본적인 수학 도구 중 하나는 열저항이며, 열저항은 해당 전력 소산에 대한 온도차의 비율로 정의 된다. 전체 열저항 (RJ-A)은 식(1)과 같이 접합에서부터 주변에 이르는 열 경로의 개별 열저항의 합으로 나타낼 수 있다.

$$R_{Junction - Ambient} = \frac{\Delta T_{Junction - Ambient}}{P_d}$$

$$\Delta T_{Junct. - amb.} = T_{Junction} - T_{Ambient} (°C)$$

$$R_{Junction - Ambient} \quad (1)$$

4. 실험 결과

4.1 고출력 백색 16W LED 열특성

4.1.1 고출력 백색 16W LED 온도분포

Fig. 5은 본 논문에서 사용된 고출력 백색 16W LED에 공급되는 소비전력에 따른 소자 온도, PCB온도, 알루미늄 방열판 온도, 히트싱크 온도와 주위온도를 나타낸다. Table 3은 고출력 16W 백색 LED의 접합온도, PCB온도 그리고 알루미늄 방열판, 히트싱크의 온도를 나타내고 있으며, Fig. 6은 화상 카메라(TH9100ML-NEC)를 이용하여 고출력 16W 백색 LED의 온도분포를 측정하였다.

4.1.2 고출력 백색 16W LED 열저항

여러 표면과 소재 간의 전도와 관련된 시스템의 경우, 열 경로의 간소화된 모델은 Fig. 7과 같은

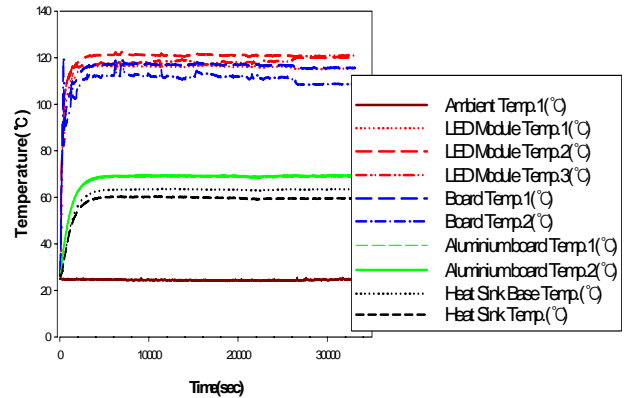


Fig. 5 Variation of high power 16W white LED temperature

Table 3 Maximum temperature of each heating point.

Unit(°C)	Max. Temp.
LED module Temp.	122.6
Board Temp.	118.7
Aluminium Board Temp.	69.4
Heat Sink Base Temp.	64.9
Heat Sink Temp.	60.3

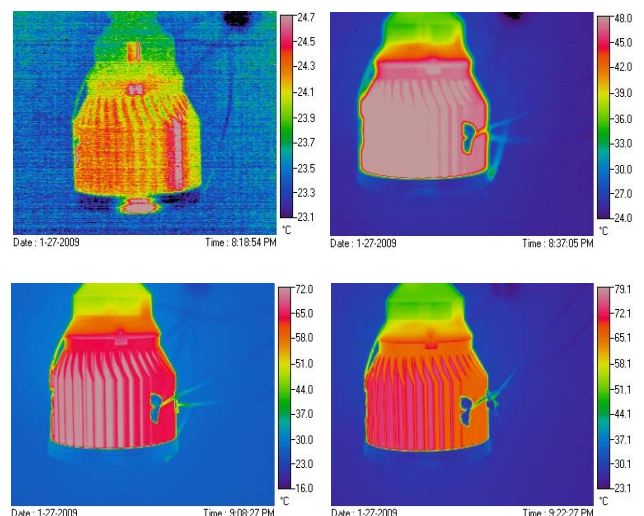


Fig. 6 Infrared thermal image of the high power 16W white LED

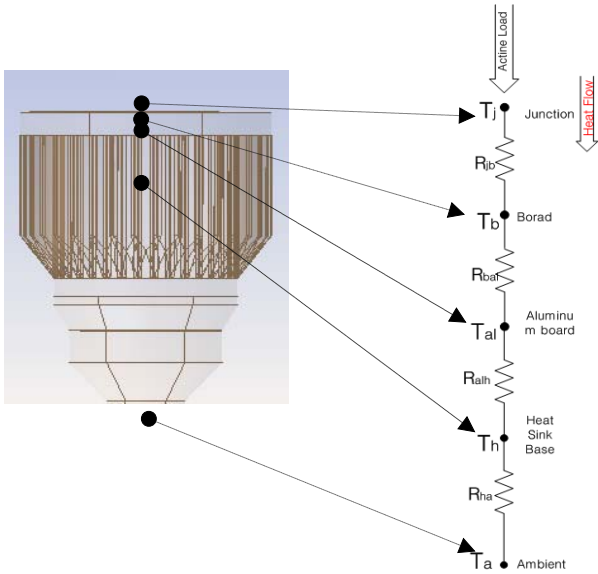


Fig. 7 Thermal circuit junction to ambient.

Table 4 Temperature resistance with electrical input power.

Junction to Ambient	Unit(°C/W)
R_{jb} -Thermal Resistance of LED	0.24
R_{bal} -Contact Resistance	3.08
R_{alh} -Spreading Resistance	0.28
R_{ha} -Thermal Resistance of heat sink	0.29
R_{ja} -Thermal Resistance of junction to ambient	3.89

직렬 열저항 회로로 구성되어지며 각 소재의 열저항은 온도편차를 이용하여 소비전력에 따른 열저항을 식 (1)을 통해 계산하여 Table 4로 정리하였다.

4.2 PHP이용한 고출력 백색 LED방열

PHP를 이용한 LED 방열 성능을 알아보기 위해 Fig. 4의 실험 장치를 통해 16W고출력 백색 LED와 동일한 실험조건에서 증발부와 응축부의 온도차를 Fig. 6에 나타내었다.

실험 조건인 외기 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 증발부와 응축부의 온도차가 16°C 범위이내에서 안정적으로 작동함을 알 수 있다.

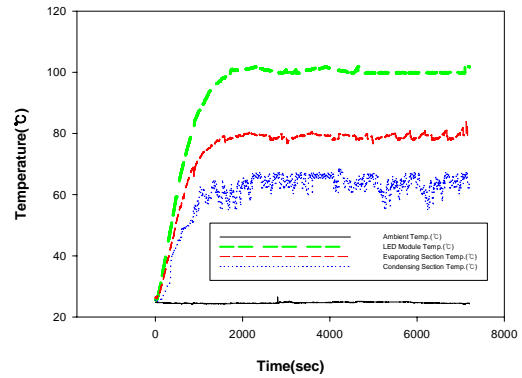


Fig. 6 Temperature profile of PHP

5. 결론

본 연구에서는 고출력 LED 조명에서 발생하는 열을 방열하기 위하여 PHP를 제작하여 LED 조명의 냉각 성능 특성을 파악하였으며 다음과 같은 결론을 내렸다.

- (1) 진동형 히트파이프를 이용한 고출력 LED 조명 방열 성능은 R-141b, 30 vol. %일 때 가열부와 냉각부 사이의 온도차가 16°C 로 안정적으로 작동함을 알 수 있다.
- (2) PHP의 방열 특성을 분석하기위해 증발부에 120°C 의 열원을 가하여 이 부분의 온도를 측정하였을 때 측정된 증발부의 온도는 $76 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 범위로 고출력 LED조명의 방열설계에 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.
- (3) PHP를 실제 LED 패키지에 장착하였을 때의 열적특성과 동일한 성능을 유지하는 것으로 나타났다. 이는 LED 패키지 조명의 신뢰성 및 조도를 높일 수 있을 것이다.
- (4) 핀을 통한 방열 면적의 확대 시에는 기존의 히트싱크를 이용한 방열 성능보다 우수한 방열 성능을 가져올 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

1. J. S. Kim, "Heat Pipe Science and Engineering", Vol. 3, No. 1, 2003, pp. 1-8.
2. H. Akachi, "Looped Capillary Tube Heat

Pipe", Proceedings of 71th General meeting
Conference of JSME, Vol. 3, No. 940-10,
1994, pp. 606-611.

3. C. W. Ok, " A Study on Optimization of the
Heat Sink for Reliability Improvement of
High Power Light Emitting Diode " ,pp. 1-3
4. S. J. Ha, " Development of Micro Cooling
System for Telecommunication system
using Oscillating Heat Pipe " , pp. 10-15