

멀티-핀을 갖는 LED 패키지 방열장치의 동작특성

(Operating Characteristics of LED Package Heat-sink with Multi-Pin's)

최 훈* · 한상보 · 박재윤**

(Hoon Choi · Sang-Bo Han · Jae-Youn Park)

Abstract

This paper is proposed to design the new heat-sink apparatus for improving the heat transfer characteristics in the power LED chip, and results of the operation characteristics were discussed. The core design is that the soldering through-hole on the FR-4 PCB board is formed to the effective heat transfer. That is directly filled with Ag-nano materials, which shows the high thermal conductivity. The heat transfer medium consisting of Ag-nano materials is classified into two structures. Mediums are called as the heat slug and the multi-pin in this work. The heat of the high temperature generated from the LED chip was directly transferred to the heat slug of the one large size. And the accumulated heat from the heat slug was quickly dissipated by the medium of the multi-pin, which is the same body with the heat slug. This multi-pin was designed for the multi-dissipation of heat by increasing the surface areas with a little pins. Subsequently, the speed of the heat transfer with this new heat-sink apparatus is three times faster than the conventional heat-sink. Therefore, the efficiency of the illuminating light will be improved by adapting this new heat-sink apparatus in the large area's LED.

Key Words : Power LED, Heat-sink, Heat slug, Multi-Through Hole, Multi-Pin

1. 서 론

최근 조명분야의 기술 패러다임은 친환경, 저소비, 전기적 효율이 뛰어난 LED 조명이 각광을 받고 있다. 현재 고휘도 파워 LED 조명등은 대부분의 3W급으로 VF전압 3.3V IF전류 700mA을 생산하고 있어, 작은 LED 소자에 큰 전류를 흘려 발광하는 과정에서 발생되는 파워 LED의 후면 고열에 대한 방열처리 문제가 최대의 이슈로 떠오르고 있다[1].

LED PKG의 기본 구조는 크게 LED 칩, 패키지,

* 주저자 : 경남대학교 첨단공학과 박사과정
** 교신저자 : 경남대학교 전기공학과 교수
* Main author : PhD, Department of Advanced Engineering, Kyungnam University
** Corresponding author : Professor, Dept. of Electrical Engineering, Kyungnam University
Tel : 055-249-2635, Fax : 0505-999-2161
E-mail : youngsang35@hanmail.net
접수일자 : 2013년 8월 19일
1차심사 : 2014년 4월 16일, 2차심사 : 2014년 4월 22일
심사완료 : 2014년 6월 10일

멀티-핀을 갖는 LED 패키지 방열장치의 동작특성

PCB, 계면물질(TIM), 히트싱크(Heat-sink)로 구성된다. 칩이 내부에 포함된 LED PKG는 LED 시스템을 구성하기 위한 기본 단위 소자로 사용되어 PCB상에 실장되며, 실장된 PCB는 종래 기술에서는 열전달 테이프나 열전달 그리스와 같은 열전달 물질을 통해 대형 알루미늄 방열판에 부착된다. 이 방식은 고열에 의해 테이프나 열 그리스가 시간의 경과에 따라 경화되어 PCB 동 박막이 들뜸 현상으로 접합부분에서의 열저항 값이 크게 증가하여 결국 LED 패키지에서의 방열을 방해하여 LED의 수명을 단축시키는 원인이 되고 있다[1-2].

LED 패키지에 인가되는 파워는 다른 반도체 소자와 달리 광으로 소비되는 것은 10~30% 수준 밖에 되지 않기 때문에 열관리를 위한 히트 싱크의 설계 기술이 요구되고 있다[3].

따라서 본 논문에서는 LED 칩의 후면 방열점인 히트 슬러그와 FR-4 PCB 동판과 대형 알루미늄 방열기구 간의 멀티 핀을 갖는 히트 싱크를 통해 축적된 고열을 신속하게 다중 분산시켜 대기권에서 자연대류현상에 의해 효과적으로 방열처리 할 수 있는 전혀 새로운 방열장치를 제안하였다

2. 본 론

2.1 일반적인 LED 패키지

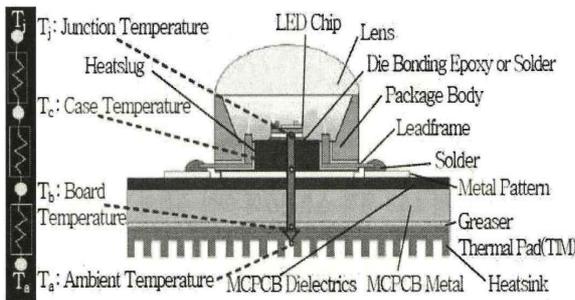


그림 2.1. 일반적인 LED 패키지
Fig. 2.1. General LED package

그림 2.1은 일반적인 LED PKG를 나타낸 것으로 LED 칩 후면부의 발열점인 히트 슬러그와 메탈 PCB

사이에 열전달 테이프나 열전달 그리스와 같은 열전달 물질을 통해 대형 알루미늄 방열판에 부착된다[4].

2.2 고안된 열전달 매체

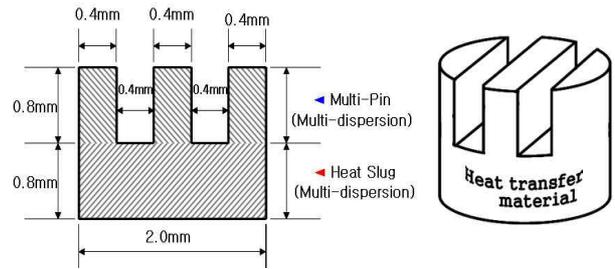


그림 2.2. LED 패키지용 열전달 매체 구조
Fig. 2.2. Structure of heat transfer medium for the LED package

그림 2.2에 나타낸 바와 같이, 본 논문에서는 히트 슬러그 및 멀티 핀을 정밀하게 설계·제작하여 고출력 파워 LED 패키지용 열전달 매체(Heat transfer material)로 사용하였다. 이러한 열전달 매체는 사전에 천공된 FR-4 PCB의 싱글 쓰루 홀(Single Through hole)과 연결된 멀티 쓰루 홀(Multi-Through hole) 내부에 일체화되어 정밀하게 솔더링된다[1].

2.3 FR-4 PCB 다중 쓰루 홀

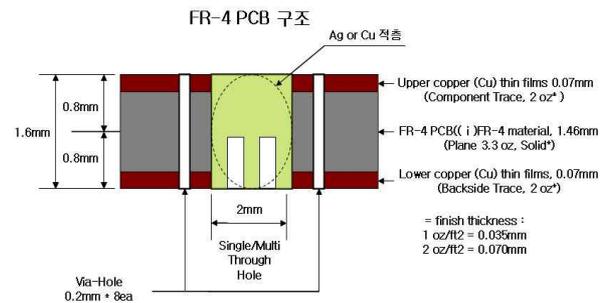


그림 2.3. FR-4 PCB와 멀티 쓰루 홀의 측면 구조
Fig. 2.3. Side view of FR4 PCB and multi-through hole

그림 2.3에서 보는 바와 같이, FR-4 PCB상에 천공된 멀티 쓰루 홀은, JEDEC(Joint Electron Device Engineering Council) 표준을 준수하였다.

열전달에서 LED PKG의 열저항을 낮추는 가장 효과적인 방법 중 하나는 열전도도(λ)가 높은 재료를 사용하는 것이므로 구리 또는 은나노 물질을 열전달 매체로 사용하였다. 또한 패키지에서 디바이스 칩으로부터 외부로 열이 빠져 나갈 때 가장 크게 작용하는 열전달 방법은 전도에 의한 R값(열저항)은 $R = L/(\lambda \times A)$ 이므로, R값을 결정하는 두께(L)는 가능한 더 얇게, 그리고 면적(A)은 가능한 더 크게 설계되도록 구리 또는 은나노 물질을 FR-4 PCB 층에 천공된 쓰루 홀 안에 적층할 수 있도록 하였다[1,5].

그림 2.3에서 보는 바와 같이, 양면에 동판을 갖는 FR-4 PCB 상에 그림 2.2에서 설명된 열전달 매체를 삽입할 수 있는 싱글/멀티 쓰루 홀을 천공하였으며, 천공된 싱글/멀티 쓰루 홀 내부에는 구리 또는 은나노 물질로 성형된 열전달 매체를 적층할 수 있도록 하였다. 또한, 싱글/멀티 쓰루 홀의 바깥 둘레에는 그림 2.6에서 설명되는 말발굽 형상의 8개의 통공(Via-hole)을 PCB상에 천공시켜 가로등과 같은 빛을 길이 방향으로 확산시키도록 하는 2차 광학 렌즈(Fresnel Lens) 내부의 열을 빼낼 수 있도록 하였다. 그리고 그림 2.3의 오른쪽에 표기된 영문은 JEDEC에서 규정한 FR-4 PCB에 대한 스펙을 나타낸다.

2.4 히트싱크 제작 방법

그림 2.4에 나타낸 바와 같이, LED PKG 히트싱크 제작 방법은 다음과 같은 제작 프로세스를 갖는다[1]. 먼저, 그림 2.3에서 설명한 바와 같이, FR-4 PCB 상에 2mm의 쓰루 홀 1개와 0.2~0.5mm의 비아 홀 8개를 천공한다. 다음은 천공된 쓰루 홀에 상기 그림 2.2에서 설명한 은나노 물질 또는 구리로 하는 열전달 매체를 실장(삽입)시킨다. 또한 실장된 열전달 매체의 히트 슬러그 상부에는 크림을 솔더링 한다. 그리고 솔더링된 크림 위에 파워 LED 칩을 SMT(Surface Mount Technology)한 후 용해시키는 공정으로 히트싱크를 제작하였다.

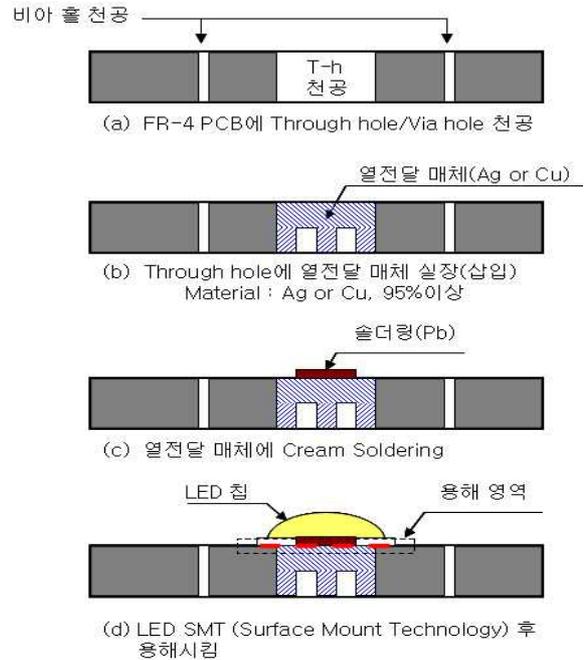


그림 2.4. LED 패키지 제작 방법
Fig. 2.4. Methods for manufacturing LED package

2.5 히트싱크 구조 비교

표 1에는 본 논문에 의한 파워 LED 칩 후면 방열체인 히트싱크 구조와 종래 기술들을 비교 정리하였다.

표 1. 종래 기술과 본 연구 사이의 히트싱크 구조 비교
Table 1. Comparison of a structure of heat-sink between the used technology and this work

구분	비아 홀(Via-hole) 방식	열전달 절연시트 방식	다중 핀 방식(본 연구)
방열장치 구조 및 원리	<p>외함 Radiator FR4 PCB 열전도 Via-hole 원상</p> <p>LED 칩에서 발생한 고열을 FR4 PCB에 형성된 비아-홀 내부의 공기를 열전달 매체로 하여 외함 라지레이터로 방열</p>	<p>외함 Radiator FR4 PCB 열전달 절연시트 부착</p> <p>LED 칩에서 발생한 고열을 메탈 PCB와 외함 라지레이터 사이에 부착된 열전달 절연시트를 통해 외함 라지레이터로 방열</p>	<p>외함 Radiator FR4 PCB Through-hole 내부에 실물 핀과 멀티 핀이 일체화된 열전달 매체(금속) 삽입</p> <p>LED 칩에서 발생한 고열을 FR4 PCB에 형성된 쓰루 홀 내부에 삽입된 실물 핀과 다중 핀이 일체화된 열전달 매체(열전달 단면적을 크게 함)를 통해 외함 라지레이터로 방열</p>
PCB 종류 및 열저항성	<p><FR4 PCB 사용> → 절연/내전압 우수 → 열저항 '대' (46K/W) → 350mA, 46°C</p>	<p><메탈 PCB 사용> → 열전도도 우수 → 절연/내전압 취약 → 열저항 '중' (39K/W) → 350mA, 36°C</p>	<p><FR4 PCB 사용> → 절연/내전압 우수 → 열저항 '중' (38K/W) → 350mA, 37°C</p>
열전달 경로	<p>→ 비아 홀(Via-hole) → 열전달 매체(공기) → 열전도도 낮음</p>	<p>→ 열전달 매체(절연시트) → 열전도도 보통</p>	<p>→ Through-hole 내부에 삽입된 Single Pin 및 Multi Pin 일체화 (열전달 단면적이 큰 금속 핀) → 열전도도 매우 높음</p>
열전달 효율	20~30%	45%	95%

표 1에서 보는 바와 같이, 종래 기술에서는 파워 LED 칩에서 발생된 고열을 대형 알루미늄 방열판(라지에이터)으로 방열시키기 위하여 FR-4 PCB상에 비아 홀(혹은 쓰루 홀)을 형성시키고 비아 홀 내부의 공기를 열전달 매체로 하여 외함 라지에이터로 방열시키는 비아 홀 방식과, 메탈 PCB와 외함 라지에이터 사이에 열전달용 절연시트를 부착시키는 열전달 절연시트 방식이 있다.

그러나 이들 종래 기술들은 LED 칩과 히트싱크 Junction 부분에서의 열저항은 본 연구 기술에 비해 매우 높아 열전달 효율이 크게 떨어짐을 알 수 있다. LED PKG를 갖는 방열장치에서 열저항이 높다는 것은 그만큼 방열특성이 좋지 않다는 것이므로, 결국은 방열장치 내부의 열온도가 높아져 광효율이 떨어져서 등기구로서의 기능을 상실하고 소비전력을 축진하게 되는 문제점이 발생하게 된다[3].

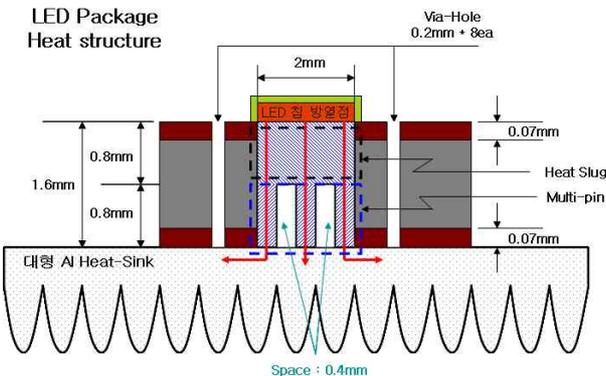


그림 2.5. 히트싱크 구조
Fig. 2.5. Structure of heat-sink

그림 2.5에서 보는 바와 같이 본 논문에서 따른 고효율 열전달 매체를 적용한 방열판 전체 구조는, 열전달 원리인 온도 차이와 열역학 제2 법칙을 충족시키도록 설계 하였다[5].

LED PKG의 열전달 매체인 멀티 핀을 'Fin' 효과를 갖도록 하고, 멀티 핀과 히트싱크와의 접촉되는 부분에는 열전도(Thermal conductivity) 특성을 높이기 위하여 LED PKG와 대형 알루미늄 방열판을 다수개의 볼트로 조임 시킴으로써, 파워 LED 칩에서 발생된 고열을 직접적으로 받는 히트 슬러그에서는 하나의 큰

체적을 갖는 단면적으로 하여 고온의 물체가 되게 하고, 히트 슬러그와 연결된 멀티 핀에서는 다수 개의 작은 체적을 갖는 단면적들이 모여 열전달 표면적을 크게 이루어 히트 슬러그에서 축적된 고열을 신속하게 다중 분산시켜 저온 물체로 작용하도록 하였다. 이러한 온도 차이로 인한 냉각부하를 생성시켜 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 열이 쉽게 전달되는 열전달 속도($Q=uA\Delta T$)를 높여 줌으로써, LED 칩의 후면 방열점에서 발생된 고열을 효율적으로 전도시켜 대형 알루미늄 방열기구로 방열되는 구조이다[1,5].

이와 같은 히트싱크 구조는 FR-4 PCB 상에 열을 축적시키는 0.8mm의 히트 슬러그가 솔더링 되는 싱글 쓰루 홀과 열을 다중 분산시키는 0.8mm의 멀티 핀이 솔더링 되는 멀티 쓰루 홀을 형성시켜 그 내부에 열전도도(λ)가 높은 재료인 구리나 은나노 물질이 열전달 매체로 일체화됨은 물론 FR-4 PCB 상에 방열 단면적이 보다 크게 되는 것이므로, JEDEC 스탠다드에서 규정한 PCB 히트싱크의 설계 기준을 충족시킬 수 있었다[3].

또한 FR-4 PCB상에 천공된 지름 2mm에 0.4mm 간격과 0.8mm 깊이로 아주 작게 정밀 가공된 멀티 핀 부재가 방열을 위한 라지에이터 기능을 갖는 'Fin'으로 작용하고, 멀티 핀과 대형 알루미늄 방열기구와 직접 접촉되는 Junction 부분에는 하나의 히트 슬러그에 축적된 고열을 방열 단면적을 크게 하고 열전도성을 높이는 멀티 핀에서 다중 분산시킴으로써, 고열이 축적된 히트 슬러그에 비해 멀티 핀에서의 상대적 냉각부하를 생성시켜 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 신속하게 전도되도록 하는 열전달 원리와 열역학 제2 법칙을 더욱 충족시켜 줄 수 있었다[5].

2.6 비아 홀이 천공된 FR-4 PCB 실물사진

그림 2.6에서 보는 바와 같이, 본 논문에서는 가로등과 같은 전후 방향으로의 균일한 배광특성과 등대와 같은 빛이 직진성을 갖고 먼 곳까지 나아가도록 하기 위하여 광효율을 극대화시키는 2차 광학렌즈가 LED 램프 상부에 장착될 수 있다[6-7]. 이때 LED 램프 표면에서 방열된 2차 광학렌즈 내부의 고열을 배출하기

위하여 LED 램프가 실장 되는 중심으로 말발굽 형상의 8개의 통공(Via-hole)이 FR-4 PCB상에 천공되어 형성된다.

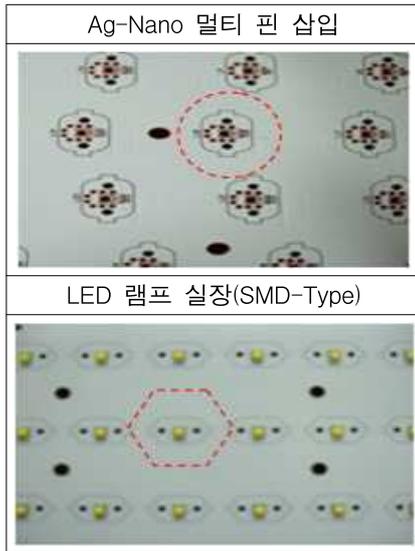


그림 2.6. 비아 홀이 천공된 FR-4 PCB 실물사진
Fig. 2.6. Photo of FR4 PCB via-hole is drilled

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

3.1 열저항 측정

본 논문에서는 정밀성과 객관성을 확보하기 위하여 일반 제품과 유사한 스펙을 적용하여 LED PKG에 대한 열저항 측정을 ‘부경대학교 LED-해양융합기술연구센터’와 ‘한국세라믹기술원(KICET)’에 각각 의뢰하였으며 그 결과 및 고찰은 다음과 같다.

3.1.1 측정조건 및 시험장비

본 연구에 따른 시험에서 LED PKG 열저항 특성을 측정하기 위한 시료는, 그림 3.1과 같이, 25×25×1.6mm FR-4 PCB 상에 LED칩 1개가 실장(Luxeon Rebel 1-chip mounted, thermal tape=0.9W/m·K)되었다. 시험에 따른 파라미터 적용은 Drive Current : 0.35A, Sensor Current : 0.001A, Power : 1.09W, Sensitivity(K-Factor) : -1.7mV/K, Measurement

Delay & Time Limit : 180s, Transient correction : 47us~304us, TIM Type : PAD (Taica α-GEL COH 4000) 및 Ambient Temp : 25℃이다.

열저항 측정부분은 그림 3.1에서 보는 바와 같이 파워 LED 칩이 실장된 시료 후면부(FR-4 PCB Lower Copper)의 열전달 매체(Multi-Pin)와 대형 알루미늄 방열판이 접촉되는 Junction이다. 이때 LED PKG의 열저항을 측정하기 위한 장비는 ‘T3ster(MicReD)’을 사용하였다. 그리고 열저항 측정의 정확성과 객관성 확보를 위해 2개의 시험기관에 의뢰하여 실시되었는데, 시료와 측정 장비는 모두 동일하고 온·습도는 시험계절이 달라 각각 (24.0±3.0)℃/(50±10)% R.H와 (20±2)℃/(40±2)% R.H의 차이가 있다. 파라미터 적용에 있어서도 시험기관에 따라 미소한 차이가 있음을 밝혀 둔다.

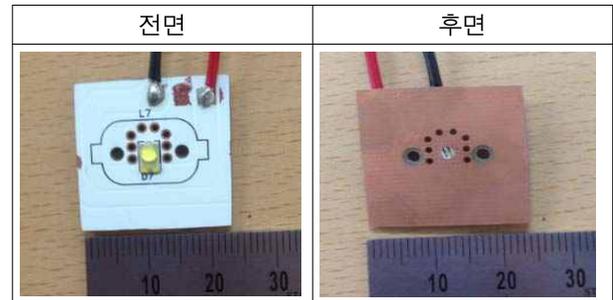


그림 3.1. 열저항 측정 시료
Fig. 3.1. Sample for thermal resistance measurement

3.1.2 시험결과

그림 3.2 및 그림 3.3은 부경대학교 LED-해양융합기술연구센터에 의뢰하여 열저항을 측정한 것으로, 본 연구에 따른 시험에서는 열저항 측정 장비의 감도(K-Factor)는 -1.70mV/K이고, 주변온도 25℃와 습도 (50±10) % R.H에서 LED PKG 온도상승은 10.73℃로 나타났으며, Junction의 온도는 주변온도와 LED 패키지 온도상승을 더하여 35.73℃로 응답되었다.

그림 3.4에서 보는 바와 같이 LED PKG 열저항은 주변온도 25℃에서 9.92K/W로 확인되었다. 특히 본 연구에 따른 시험에서는 시료(FR-4 PCB)의 규격(사이즈)과 주변 온·습도에 따라 열저항 값이 달라짐을

멀티-핀을 갖는 LED 패키지 방열장치의 동작특성

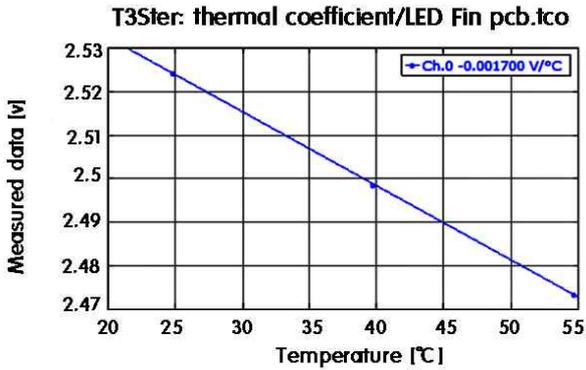
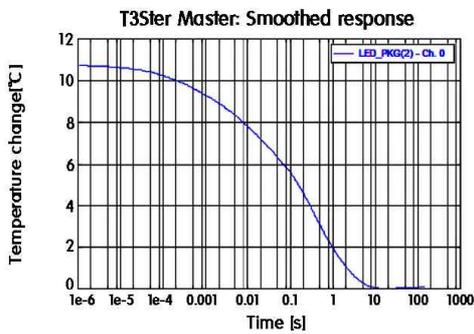


그림 3.2. 감도 (K-팩터) : -1.70 mV/K
 Fig. 3.2. Sensitivity(K-Factor) : -1.70 mV/K



Ambient Temperature (A)	Temperature Rise (ΔT)	Junction Temperature (A)+(ΔT)
25 °C	10.73 °C	35.73 °C

그림 3.3. LED 패키지의 정선 온도 측정결과
 Fig. 3.3. Measurement result of junction temperature on the LED package

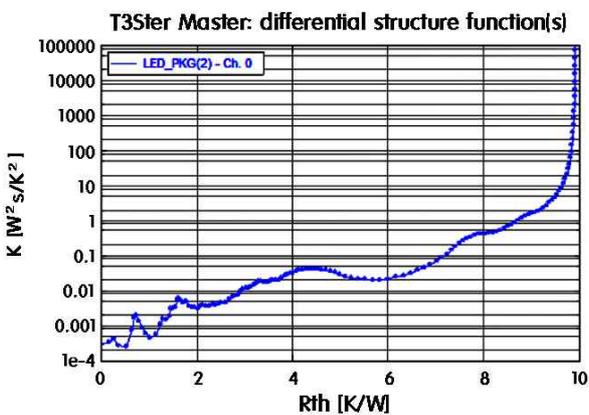


그림 3.4. 주변 온·습도에 따른 LED 패키지 열저항
 Fig. 3.4. Thermal resistance of the LED package according to the ambient temperature and humidity

확인할 수 있었다. 즉 시료인 FR-4 PCB의 규격이 클수록 주변 온도가 낮을수록 LED 칩에서 발열된 열을 더 많이 방열시키는 히트싱크 기능을 수행하여 열저항이 낮아짐을 확인하였다.

그림 3.5의 (a) 및 (b)는 한국세라믹기술원에서 열저항을 측정된 것으로, 그림 3.4와의 차이점은 주변 온도 (20±2)°C, 상대습도 (40±2) % R.H에서 측정되었다는 점이다. 그림 3.5의 (a)는 본 연구에 따른 단일 시험결과이고, 그림 3.5의 (b)는 본 연구에 의한 제품과 표 1에 제시된 종래기술(시중에서 판매되고 있는 일반 상용제품)들과 열저항을 비교 측정된 그래프를 나타낸다.

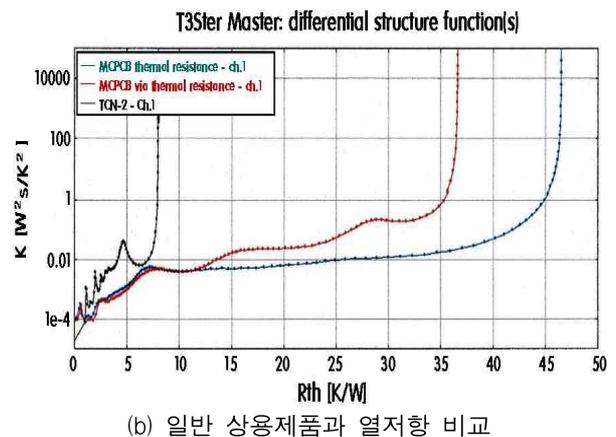


그림 3.5. 일반 상용제품과 열저항 비교 시험 결과
 Fig. 3.5. Comparative testing results for heat resistance between commercial products and this work

먼저 그림 3.4와 그림 3.5의 (a)를 비교하면, 그림 3.4의 열저항은 9.92K/W로 측정되고, 그림 3.5의 (a) 열저항은 8 K/W로 1.92K/W만큼 차이를 보였다. 이는 주변온도 25°C와 습도 (50±10)% R.H와 주변온도 (20±2)°C, 상대습도 (40±2)% R.H에서 측정한 시험환경이 다르고, 열저항 측정 장비의 감도(K-Factor) 및 측정기관의 디바이스 구축에 따른 파라미터 적용의 차이로 파악된다.

하지만 양기관에서 측정한 열저항 값은 단지 정량적인 수치에는 미소한 차이가 있지만 전체 그래프상의 그 형태가 매우 유사함을 확인할 수 있었다.

다음은 종래기술들과 비교하면 그림 3.5의 (b)에서 보는 바와 같이 본 연구에 의한 열저항 값은 8K/W로 측정되었고, 일반 상용제품인 MCPCB는 46.5K/W, 써멀비아 MCPCB는 36.7K/W로 각각 나타났다. 이는 본 연구에 의한 열저항 값이 일반 제품에 비해 1/5 이상으로 낮게 측정되었다. 일반적으로 LED PKG에서의 열저항(R)은 낮을수록 방열특성은 우수하다고 한다[3].

이와 같이 본 연구에 의한 FR 4-PCB 에폭시 층에 쓰루 홀(Through Hole)을 뚫고 천공된 홀에 구리나 은나노 물질로 된 열전달 표면적이 큰 멀티 핀을 채워 넣음으로써, 에폭시 층은 짧은 거리 때문에 열 흐름에 훨씬 작은 열저항을 보이게 된다. 이는 PCB의 에폭시 층을 통한 열전도는 길이 방향 대신에 두께 방향으로 발생한다는 인쇄회로기판의 열 구조물 해석 이론과 LED PKG의 히터싱크 열저항은 열전달 매체의 표면적(두께)에 반비례함을 충족시킬 수 있기 때문이다 [3,5].

3.2 열온도 측정

3.2.1 시험 방법 및 장비

본 연구에 의한 열온도 측정은 LED 모듈 및 등기구의 온도특성을 측정하기 위하여 LED 모듈은 1.5h 에이징(Ageing) 후, LED 등기구는 2.5h 에이징 후 열화상과 열전대를 이용하여 온도를 측정하였다. 시험장비는 적외선 열화상 카메라(VarioCAM hr, JENOPTIK), 온습도 기록계(GL-820, GRAPHTEC),

방풍함(W1,400×D1,800×H1,800mm)이 사용되었다.

3.2.2 측정시료

그림 3.6에서 보는 바와 같이, 측정시료는 LED PKG 히트싱크 제작 방법에 의해 생산된 LED 가로등/보안등을 사용하였다.



그림 3.6. LED 모듈 및 등기구 실물사진
Fig. 3.6. Photos of LED modules and fixtures

그림 3.6에서 보는 바와 같이, LED 모듈은 32개의 LED 칩과 멀티 핀을 갖는 열전달 매체가 FR-4 PCB 상에 실장되어 있고 LED 램프에는 2차 광학렌즈가 장착되어 있다. LED 등기구는 대형 알루미늄 방열판 외함에 다수개의 핀(Fin)이 달려 있는 라디에이터 구조이다.

3.2.3 시험결과

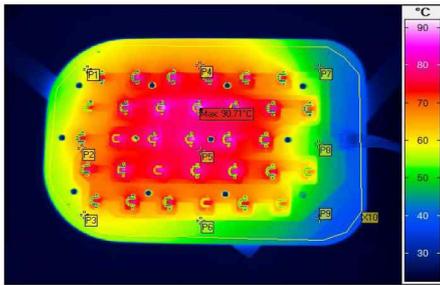
1) LED 모듈 전면부

그림 3.7과 그림 3.8은 파워 LED 칩이 실장된 LED 모듈 전면부에 대한 포인트별 열화상 및 온도변화 그래프를 나타낸다.

LED 모듈 전면부에 10개의 포인트를 지정하고 1.5h 에이징 후 적외선 열화상 카메라(VarioCAM hr, JENOPTIK)로 촬영하고 온습도 기록계(GL-820, GRAPHTEC)로 측정하였다.

그림 3.7, 3.8에서 LED 모듈 전면부에 대한 열화상 및 온도변화를 살펴보면, LED 모듈의 중심부에서는 칩의 발열이 집중화되고 가장자리 부분에서는 FR-4

PCB 자체가 히트싱크의 냉각부하를 형성시킴으로써 [3,5], LED 모듈 전면부의 열화상 및 온도변화 차이는 중심에서 현저하게 큰 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 즉 P1 58.87, P2 65.15, P3 59.61, P4 68.04, P5 77.16, P6 54.28, P7 46.56, P8 50.28, P9 42.43, X10 Max 90.71°C로 각각 나타났으며 500sec에서 온도는 비교적 일정하게 유지되었다.



포인트	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	X10_Max
온도 [°C]	58.87	65.15	59.61	68.04	77.16	54.28	46.56	50.28	42.43	90.71

그림 3.7. LED 모듈 전면부 포인트별 열화상 분포
Fig. 3.7. Thermal distribution of point-by-point at the front panel of LED module

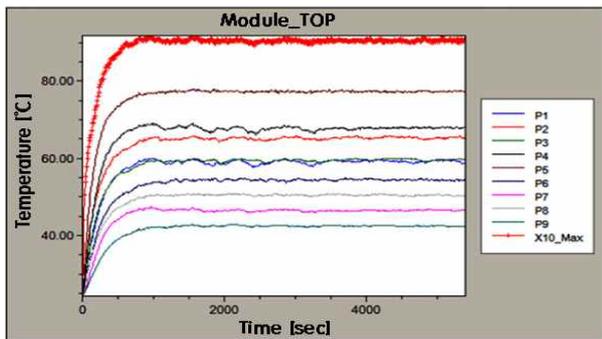


그림 3.8. LED 모듈 전면부 포인트별 온도변화 그래프
Fig. 3.8. Temperature change of point-by-point at the front panel of LED module

따라서 LED 모듈 전면부 중심에서의 높은 열온도를 분산시키거나 확산시킬 필요성이 있다. 이를 위해 FR 4-PCB상에 천공된 홀에 히터 슬러그와 멀티 핀을 갖는 히트싱크에 그리스가 혼합된 다이아몬드 파우더, 그래핀(Graphene), 탄소나노튜브 등의 열전도성이 우수한 열전달 매체를 실장시켜 대형 알루미늄 방열판으로 방열시키거나 열전달 매체의 구조 설계에 대한 정

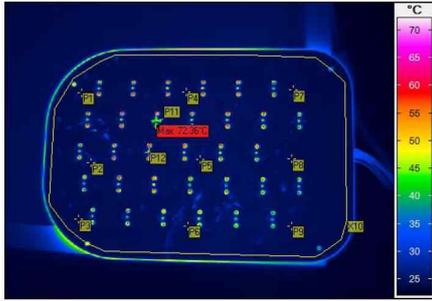
밀 해석 및 FR 4-PCB의 Upper copper와 Lower copper를 냉각부하로 활용해야 한다. 또한, 인쇄회로 기판 상에 실장되는 LED 칩 배열과 간격 조정을 통해 PCB 자체를 냉각부하로 활용해야 한다. 더하여 LED 모듈 전면부에 장착되는 반사판의 후면부에 냉각특성이 우수한 열전소자를 이용한 열온도 확산구조 설계 및 LED 램프에 2차광학렌즈를 장착시킨 경우 PCB상에 다수개의 비아 홀(Via-hole)을 성형할 필요성이 있다.

2) LED 모듈 후면부

그림 3.9와 그림 3.10은 LED 모듈 전면부에 실장된 파워 LED 칩에서 발열된 고열이 열전달 매체인 멀티 핀 히트 싱크를 통해 전도된 LED 모듈 후면부 Junction에 대한 포인트별 열화상 분포와 시간대별 온도변화 그래프를 각각 나타낸다.

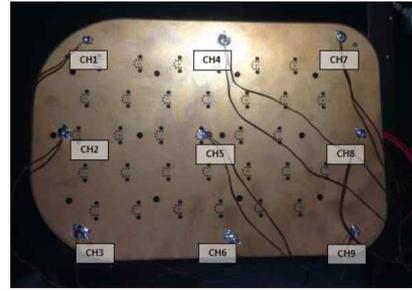
그림 3.9, 3.10에서 보는 바와 같이, LED 모듈 후면부에 12개의 포인트를 지정하고 1.5h 에이징 후 온도변화를 측정된 결과, P1 24.09, P2 24.48, P3 24.16, P4 24.54, P5 24.77, P6 24.64, P7 24.07, P8 24.24, P9 24.50, X10 Max 72.36, P11 46.36, P12 46.77°C로 각각 나타났으며 500sec에서 온도는 일정하게 유지되었다.

이와 같이 본 연구에 의한 LED 모듈의 전면부와 후면부 간에는 가장자리 부위에서는 후면부에 비해 전면부가 2배의 크기 차이가 있으며, 중심부에서는 전면부가 X10 Max 90.71°C인 반면, 후면부는 X10 Max 72.36°C로 각각 측정되었다. 이는 본 연구에 의한 멀티 핀을 갖는 히트싱크 구조에서 파워 LED 칩의 방열점인 전면부에서 발열되는 고열을 열전달 매체인 멀티 핀을 통해 충분히 방열되고 있다는 것을 알 수 있다. 다시 말해서 FR-4 PCB의 Upper copper와 Lower copper에서 냉각부하를 생성시켜 일부 방열이 이루어진다는 점과[3,5], FR 4-PCB상에 실장된 LED 칩의 배열 중 Chip 간의 간격에 따라 접합되는 Board에 전달되는 열 분포도의 성향이 다른 점을 감안하면[8], 전면부 X10 Max 90.71°C와 후면부 X10 Max 72.36°C간의 18.35°C 온도 차이 정도는 파워 LED 칩의 방열점에서 발열되는 고열이 본 연구에 의한 멀티 핀 열전달 매체를 갖는 히트 싱크를 통해 대부분 전도시킨다고 볼 수 있다.



포인트	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	X10_Max	P11	P12
온도 [°C]	24.09	24.48	24.16	24.54	24.77	24.64	24.07	24.24	24.50	72.36	46.36	46.77

그림 3.9. LED 모듈 후면부 포인트별 열화상 분포
Fig. 3.9. Thermal distribution of point-by-point at the rear panel of LED module



포인트	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9
온도 [°C]	57.5	61.1	61	64.6	91.3	66.3	43.4	44.2	45.7

그림 3.11. LED 모듈 후면부 열전대 온도측정 포인트
Fig. 3.11. Thermocouple temperature measurement points at the rear panel of LED modules

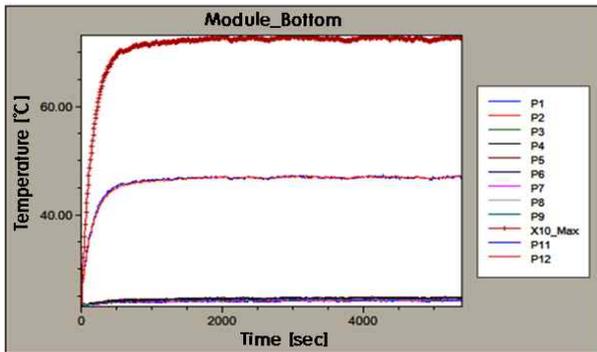


그림 3.10. LED 모듈 후면부 포인트별 온도변화 그래프
Fig. 3.10. Temperature change of point-by-point at the rear panel of LED module

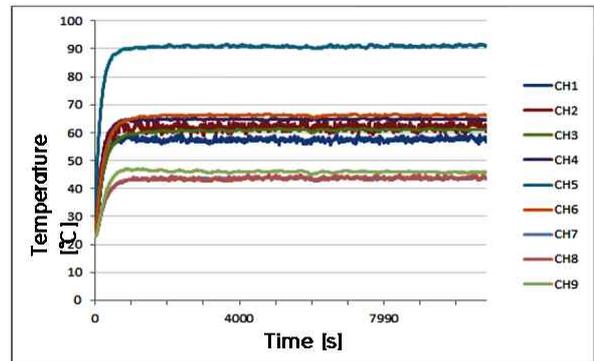


그림 3.12. LED 모듈 후면부 포인트별 온도변화 그래프
Fig. 3.12. Temperature change of point-by-point at the rear panel of LED module

한편 본 연구에 의하면 후면부에 비해 전면부의 온도가 상대적으로 높게 측정된 이유는, 그림 2.2의 LED 패키지용 열전달 매체 구조에 따른 것으로 파악된다. 즉 LED 칩에서 방열되는 열을 1차적으로 히트 슬러그에서 축적시켜 2차적으로 멀티 핀에서의 냉각부하를 생성하도록 하여 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 신속하게 전도되도록 하는 열전달 원리와 열역학 제2 법칙을 충족시키기 위한 열전달 매체의 구조적인 것으로 보여진다.

3) LED 모듈 후면부 열전대 시험

그림 3.11과 그림 3.12는 1.5h 에이징 후 열전대를 이용한 LED 모듈 후면부의 온도측정 포인트 및 시간대별 온도변화 그래프를 각각 나타낸다.

그림 3.11, 3.12에서 보는 바와 같이, 본 연구에 의한 시험은 크림 솔더링에 의해 접합된 파워 LED 칩의 방열점과 열전달 매체인 멀티 핀을 통해 전도되는 열전달 온도, 즉 파워 LED 칩에서 방열된 고열이 열전달 매체인 멀티 핀을 통해 전도된 멀티 핀의 하단부와 대형 알루미늄 방열판이 접촉될 Junction에 대한 열전달 온도를 열전대를 이용하여 측정하는 것이다. 즉 CH1 57.5, CH2 61.1, CH3 64.6, CH5 91.3, CH6 66.3, CH7 43.4, CH8 44.2, CH9 45.7°C로 각각 나타났으며 500sec에서 온도는 일정하게 유지되었다.

이와 같이 열전대를 이용한 CH1 내지 CH9 측정값을 전술한 그림 13, 14의 LED 모듈 전면부의 포인트별 열화상 분포 및 온도변화 그래프상에 나타난 P1 58.87, P2 65.15, P3 59.61, P4 68.04, P5 77.16, P6 54.28,

P7 46.56, P8 50.28, P9 42.43, X10 Max 90.71°C와 비교해 보면 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 즉 본 연구에 의한 열저항 값은 종래 기술에 비해 1/5 배 이상에 해당하는 10 K/W 이하 이므로 파워 LED 칩에서 발열되는 고온 그 자체를 실시간으로 전도시킬 수 있음을 확인하였다.

따라서 LED 모듈 후면부 Junction의 열저항 값을 줄이기 위해서는 파워 LED 칩에서 발열되는 고온을 빠른 속도로 전도시키기 위한 열전달 매체의 재료 선택과 FR 4-PCB상에 쓰루 홀(Through-hole) 혹은 비아 홀(Via-hole)을 천공하여 열전달 표면적을 크게 할 수 있는 히트싱크 구조 설계가 요구된다.

4) LED 등기구 전면부

그림 3.13과 그림 3.14는 LED 등기구 전면부의 온도 측정 포인트 및 시간대별 온도변화 그래프를 각각 나타낸다.

그림 3.13, 3.14에서 보는 바와 같이 본 시험에 의한 LED 등기구의 전면부의 열온도 측정은 주변온도 25°C에서 2.5h 에이징 후 포인트별로 측정된 값은 CH1 60.2, CH2 60.5, CH3 56.5, CH4 57.8°C로 각각 나타났으며 대형 방열판을 갖는 등기구이다 보니 1,500 ~ 2,000sec에서 온도는 일정하게 유지되었다. 등기구 전면부에서는 가장자리와 중심부간의 열온도 차이가 비교적 고르게 나타났다. 또한 LED 모듈 전면부의 P1 58.87, P2 65.15, P3 59.61, P4 68.04, P5 77.16, P6 54.28, P7 46.56, P8 50.28, P9 42.43, X10 Max 90.71°C와 비교하면 LED 등기구 전면부의 가장자리 부위가 LED 모듈의 전면부에 비해 다소 높게 측정되었다. 그리고 중심부에서 90.71°C와 60.5°C로 30.21°C의 다소 큰 차이가 나타났다. 이는 LED 등기구 전면부에 설치된 반사판과 파워 LED 램프에 땅콩형상의 2차 광학렌즈를 설치한 이유로 해석된다.

다시 말해서 LED 모듈의 전면 중심부에서 발생된 90.71°C의 높은 열온도가 LED 등기구 전면부에 설치된 반사판에 의해 가장자리 부위로 열전달이 고르게 분산 또는 확산되면서 60.5°C로 온도가 낮아진 것으로 파악된다. 또한 LED 램프에서 발열되는 열온도는 2차 광학렌즈 내부에 형성된 말발굽 형상의 8개 비아 홀

(Via-hole)을 통해 FR 4-PCB Lower copper와 접합된 대형 알루미늄 방열판으로 방열되었기 때문이라 사료된다.



포인트	CH1	CH2	CH3	CH4 (Ambient)
온도 [°C]	60.2	60.5	56.5	57.8

그림 3.13. LED 등기구 전면부 온도 측정 포인트
Fig. 3.13. Temperature measurement points at the front side of LED lights

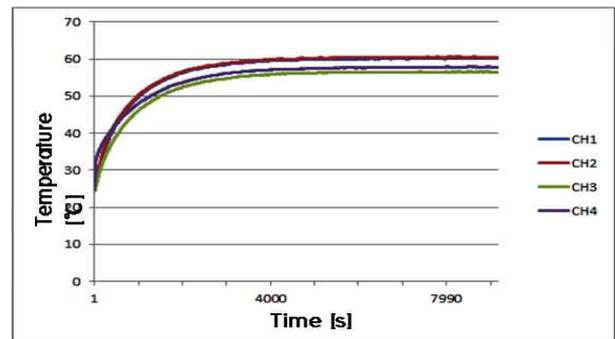


그림 3.14. LED 등기구 전면부 포인트별 온도변화 그래프
Fig. 3.14. Temperature change of point-by-point at the front side of LED lights

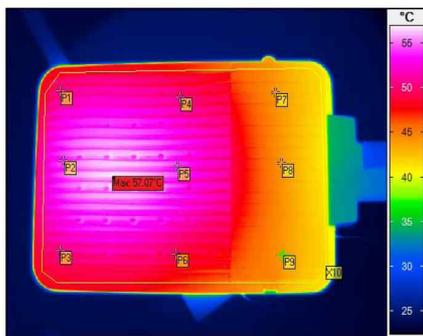
따라서 LED 등기구 전면 중심부의 높은 열온도를 냉각부하를 갖는 가장자리로 분산 또는 확산시키기 위하여 반사판 후면부의 재질이나 두께, 형상, 크기, 도포물질 등의 다각적인 구조 설계가 이루어져야 한다. 또한 LED 등기구 연결부 공간에 공기순환 터널을 갖는 냉각부하 구조 설계를 고려해볼만 하다. 그리고 도포물질로는 열전도성과 확산성이 높은 열화학기상 증착법(Thermal Chemical Vapor Deposition, TCVD)을 이용한 그래핀 나노월을 반사판 후면부에 성장시킬 수 있다.

5) LED 등기구 후면부

그림 3.15와 그림 3.16은 LED 등기구 후면부의 온도 측정 포인트 및 시간대별 온도변화 그래프를 각각 나타낸다.

일반적으로 방열장치에 Fin이 달린 표면에서의 자연대류열전달은 조밀하게 배열된 핀과 넓게 배열된 핀 사이를 통과하는 유체의 저항에 의한 열전달계수는 달라진다. 즉 히트싱크의 핀은 넓게 배열된 핀을 가질 때는 날개의 유동 저항을 심각하게 증가시키지 않으며 부력(온도 차)의 효과를 높여 자연대류에 의한 열전달을 향상시켜 전자부품 등의 실패율을 줄일 수 있다[3,5].

그림 3.15, 3.16에서 보는 바와 같이 본 연구에 의한 LED 등기구의 전면부의 열온도 측정은 주변온도 25°C에서 2.5h 에이징 후 포인트별로 측정된 값은 P1 50.89, P2 53.31, P3 51.36, P4 50.79, P6 48.89, P7 44.43, P8 44.19, P9 44.14, X10 Max 57.07°C로 각각 나타났으며 2000sec에서 열온도는 일정하게 유지되었다. LED 등기구 후면부에서도 전면부와 같이 가장자리에 비해 중심부에서 열온도가 가장 높았다. 또한 LED 등기구 전면부의 CH1 60.2, CH2 60.5, CH3 56.5, CH4 57.8°C와 비교하면, 가장자리 부위와 중심부에서 다소 낮게 측정되었다. 이는 본 연구에 의한 LED 등기구에 성형된 핀에 의해 충분한 방열이 이루어지고 있음을 보여주고 있다.



포인트	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	X10_Max
온도 [°C]	50.89	53.31	51.36	50.79	53.54	48.89	44.43	44.19	44.14	57.07

그림 3.15. LED 등기구 후면부 온도 측정 포인트
Fig. 3.15. Temperature measurement points at the rear side of LED light

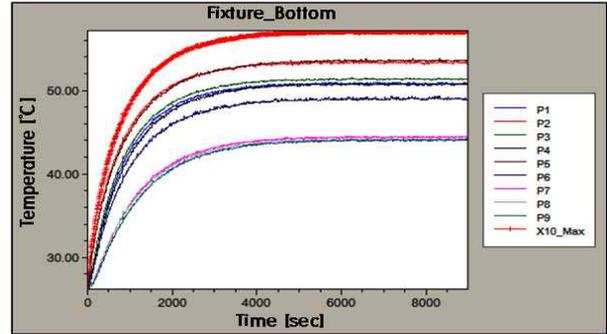


그림 3.16. LED 등기구 후면부 포인트별 온도변화 그래프
Fig. 3.16. Temperature change of point-by-point at the rear side of LED lights

따라서 히트싱크 핀(fin) 설계 시에는 LED 등기구 후면부의 중심에서 열온도가 매우 높기 때문에 LED 등기구 후면 중심부의 온도를 가장자리로 분산 또는 확산시키거나 방열속도를 증가시킬 필요성이 있다. 즉 방열 핀의 길이보다 수직축으로 크게 하고 핀 간격을 넓게 하여 유동에 의한 저항값(마찰력)을 줄여 부력(온도차)의 효과를 높여줘야 한다. 이때 자연대류열 전달 크기를 결정하는 부력과 마찰력이라는 서로 반대되는 두 힘의 동적인 평형 관계를 고려하여야 한다. 최근 각종 엔진의 냉각부하, 열전달 핀으로 적용되는 메탈 폼(Metal Foam)과 열전성과 확산성이 높은 그래핀을 이용한 새로운 방열장치를 고려해 볼만 하다.

이상과 같이 본 논문에서 다룬 멀티 핀을 갖는 LED PKG 방열장치는, 기존 방식에 비해 열저항이 매우 낮아 방열 특성이 우수함을 확인할 수 있었다. 그리고 본 논문에서 실시된 다양한 측정방법을 통해 새로운 방열장치를 응용·설계할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 파워 LED 칩 후면 발열부위의 방열점과 대형 알루미늄 방열기구와 직접 접촉시키는 FR 4 PCB상에 천공된 쓰루 홀에 하나의 히트 슬러그와 다수 개의 핀을 갖는 멀티 핀 구조의 히트싱크를 열전달 매체로 하여 파워 LED 칩에서 발열되는 고열을 대기온도에 신속하게 다중 분산시키는 자연대류방식의 방열장치를 구현함으로써, 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- (1) LED 칩에서 발열된 고열을 하나의 큰 체적을 갖고 고온의 물체로 작용하는 히트 슬러그와, 다수 개의 작은 체적이 큰 표면적을 이루어 고열을 다중 분산시켜 저온 물체로 작용하는 멀티 핀을 갖는 히트싱크를 구현함으로써, 히트 슬러그에 비해 멀티 핀에서 상대적인 냉각부하를 이루어 열 전달 속도가 빠르고, 방열처리가 원활하여 가로등과 같은 대형 LED 조명등 생산이 가능하다.
- (2) 종래 기술에 비해 열저항이 매우 낮기 때문에 인가된 파워로 방열효율을 극대화시킬 수 있어 적은 LED 수량에도 큰 광원을 방사하여 LED 광원 시스템의 발광효율을 높일 수 있다.
- (3) LED 모듈과 등기구에 대한 포인트별 열화상 분포와 온도변화량 그래프를 통해 히트싱크의 구조 개선을 유도할 수 있음은 물론, 대형 LED 조명등 생산에 따른 LED 소자의 후면 히트 슬러그(Heat slug) 방열처리에 대한 새로운 방열 응용기술을 제안할 수 있다. 즉 동일 규격에서 FR 4-PCB의 단면적(두께)을 크게 높이기 위한 다이아몬드 파우더(Diamond powder)와 열 그리스(Thermal grease)를 이용한 히트싱크 구조 설계와 그래핀 탄소나노튜브(Graphene carbon nanotubes)를 이용한 LED PKG 후면부 Junction에 대한 방열특성 해석, LED PKG 전면부에 장착되는 반사판 후면부에 대한 구조 설계, 메탈 폼(Metal Foam)을 이용한 LED 등기구 설계가 가능하다.

감사의 글

본 연구는 2014학년도 경남대학교 학술연구장려금 지원에 의한 것임

References

[1] Korean Patent Gazette(B1), Registration number 10-0975970(09/08/2010), "The large illuminations with power LED", Korean Patent Gazette(B1), Registration number 10-1023255(10/03/2011), Power LED Radiator Using Implant Type.

[2] TaeHo Ji, "LED heat dissipation technology analysis", GTNET Technology Trends Report No. 2011-3 19, Korea Institute of Science and Technology Information.

[3] MyeongGeun, Hwang, YoungBae Seo, YoungGil Kim, WonBae Seo, GyuHyeong Kim, Co-author, "LED thermal design and measurement techniques", pp87, pp132~pp138, 2011.

[4] MyeongGeun, Hwang, YeonMin, Joh, JaeYeop No Co-author, "LED package and heat dissipation", pp39, 2010.

[5] YUNUS A. CENGL, "Introduction to Thermodynamics and Heat Transfer", McGraw-Hill, Seven other airspace OhBung Gwon, Inter Vision Publishing, 2003.

[6] United States Patent, US 7,582,913 B2, "Lens and LED using lens to achieve homogeneous illumination", Sep. 1, 2009.

[7] China Patent Gazette(CO), Registration number CN 100495113G(03/06/2009), Design method of three-dimensional optical lens and lens.

[8] JinSung Park, ChangSu Huh, SaeByul Kang, YounSik Lee, "A study on thermal distribution characteristics of lighting fixtures depending on LED Chip Array", Korea Institute of Lighting Electrical Installation Engineers Proceedings 2011 (23/11/2011).

◆ 저자소개 ◆



최 훈(崔 薰)

1960년 5월 19일생. 1986년 경남대학교 전기공학과 졸업. 2000년 충남대학교 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 2012년 경남대학교 대학원 첨단공학과 박사수료.



한상보(韓尙甫)

1972년 9월 22일생. 1998년 경남대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동경대학교 전자공학과 졸업(박사). 2005~2008년 한국전기연구원 선임연구원. 현재 경남대학교 전기공학과 교수.



박재윤(朴在潤)

1960년 4월 15일생. 1986년 경남대학교 전기공학과 졸업. 1988년 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996~1997년 캐나다 McMaster University 교환교수. 2008~2009년 Princeton University 방문교수. 현재 경남대학교 전기공학과 교수.