

# LED 모듈 표준 표시사항의 경제적인 평가를 위한 단일 핀 방열 블록의 냉각성능 예측

## Predicted Cooling Performance of Single Finned Heat Dissipating Block for Economic Assessment of LED Module Markings in Standards

허영준\* · 송명호\*\*†  
Huh Young-Joon\*, Song Myung-Ho\*\*†

(Received 18 June 2015; accepted 29 June 2015)

**Abstract :** LED has received intensive research attention due to its long life, high efficacy, fast response and wide colour availability, and has secured extensive application areas. However, LED chips within the modules convert only fraction of electric energy into light, and majority of supplied energy needs to be dissipated as heat, which challenges in the performance and life of the LED modules. IEC 62717 specifies the performance requirements for LED modules together with the test methods and conditions. The present study examined the influence of different design parameters on performance temperature through series of experiments and numerical simulations. The economic means to change the module performance temperature during the measurement of mandatory markings were suggested based on predicted cooling performances.

**Key Words :** 발광 다이오드(LED), 복합 냉각(Combined cooling), 방열 블록(Heat dissipating block), 표기 수명 (Marked life), 적합성 검사(Conformity test)

\*\*† 송명호(교신저자) : 동국대학교 기계로봇에너지공학과 \*\*\* Song Myung-Ho(corresponding author) : Department of Mechanical, Robotics and Energy Engineering, Dongguk University.  
E-mail : songm@dgu.edu, Tel : 02-2260-3827

\*허영준 : 동국대학교 신재생에너지공학과

E-mail : songm@dgu.edu, Tel : 02-2260-3827

\*Huh Young-Joon : Department of New & Renewable Energy Engineering, Dongguk University.

### 기 호 설 명

- $h$  : 대류 열전달 계수 [ $W/m^2K$ ]
- $h_i$  : 동관 내면에서 대류 열전달 계수 [ $W/m^2K$ ]
- $L$  : 방열 핀의 길이 [ $mm$ ]
- $R_C$  : 접촉 저항 [ $m^2K/W$ ]
- $R_{Hf}$  : 히트 파이프 열저항 [ $K/W$ ]
- $t$  : 시간 [ $s$ ]
- $T$  : 온도 [ $K$ ]
- $\epsilon$  : 방사율

### 하 첨 자

- 1 : 방열 핀 상단
- 2 : 방열 핀 베이스
- 3 : 방열 블록 상부면
- 4 : LED 패키지
- $p$  : LED 모듈 표시점

## 1. 서 론

최근 증가하는 연구관심을 받고 있는 발광 다이오드(LED)는, 기존의 상용화된 광원에 비해 상대적으로 우수한 광전환 효율, 긴 수명과 빠른 응답속도를 가지며 다양한 색상의 구현이 가능하여, 일반 및 의료용 조명, 교통신호등, 전광판 및 차량용 헤드라이트 등 다양한 조명 관련 용도 외에도 식물 재배용 광원, 광촉매 및 자외선 여기용 광원, 액정 디스플레이 백라이트 등으로 활용 분야가 점차 확대되고 있다.

하지만 LED로 입력되는 전기 에너지의 대부분이 열로 변환되어, 빛으로의 변환은 20%

이하이고, 일반적으로 LED 패키지의 온도가 10 °C 증가하면, 수명은 50% 정도 감소한다고 볼 수 있다.[1, 2] 이 과정에서 발생하는 열은 LED 조명장치의 수명 단축과 색구성 변화의 주요 원인이 되기 때문에[3, 4] 이를 해결하기 위해 방열 성능을 증진하는 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.[5, 6] 공랭식 방열은 강제대류 방식과 자연대류 방식으로 대별된다. 유동팬을 부착하는 강제대류 방식은 고용량 및 고집적 모듈의 경우 냉각성능 측면에서 월등히 유리하지만, 팬의 소비전력과 LED 모듈에 비해 상대적으로 짧은 수명을 감안해야 한다.[7] 일반적으로 채택되는 자연대류 방식은 핀과 히트 파이프(heat pipe)를 활용한 다양한 설계를 대상으로 소재, 형상 및 조립 방식 등 설계인자의 영향을 분석하여 보고하고 있다.[8, 9]

한편, 전기 분야 국제 표준기구인 IEC (International Electrotechnical Commission)는 IEC 62031과 IEC 62717을 통해 일반 조명용 LED 모듈의 안전 요구조건과 성능 요구조건을 규정하고 있다. IEC 기술위원회 TC34 "Lamps and related equipment" 산하 소위원회 SC34A "Lamps"에 의해 작성된 IEC 62717에 의하면 LED 모듈의 제조사 (또는 책임 판매사)는 전원공급부와 제어장치의 배치에 의해 결정되는 내장형, 반내장형 및 외장형의 형식에 관계없이 정격 조도(rated luminous flux), 광도 등급(photometric code) 및 효율(efficacy [ $lm/W$ ])을 포함한 14 개 표시사항을 제품, 제품 포장 및 사양서로 구분되는 의무 위치에 표기하여야 한다. 이들 표시사항에는 LED 모듈의 대표 온도인 표시점 온도( $t_p$ ; performance

temperature)의 명확한 측정 위치와 최고 표시점 온도( $t_{p,max}$ )도 포함되며, 대부분의 성능관련 지표들은 최고 표시점 온도 부근( $t_{p,max} - 5 < t_p < t_{p,max}$ )에서 측정하도록 규정하고 있다. 이 때, 측정의 신뢰성을 확보하기 위해 조도, 효율 및 내구성에 관련된 표시사항은 제품 표본 20 개 이상을 대상으로 측정을 수행하도록 요구하고 있다.

또, 자체 방열기가 없는 내장 및 반내장형 모듈의 경우는 최고 표시점 온도( $t_{p,max}$ )를 포함하는 최소 3 개의 서로 다른 표시점 온도( $t_p$ )에서, 외장형 모듈의 경우는 최소 3 개의 서로 다른 주변 온도에서, 수명을 결정하여 추가로 표시하도록 요구하고 있다. 예를 들어, LED 모듈을 다양하게 결합하여 출력 조도가 큰 조명기기를 제작할 수 있도록 자체 방열기가 없는 반내장형 LED 모듈을 생산하여 판매하려면, 표시사항인 수명을 결정하기 위해 동시에 60 개 이상의 모듈 표본에 설정된 정격 전원을 공급하되 20 개 이상으로 구성되는 표본군별로 주어진 표시점 온도가 부여되도록 성능을 조절할 수 있는 방열기를 부착하여 최고 6,000 시간에 이르는 조도 유지(lumen maintenance) 평가 실험을 수행할 필요가 있다.

본 연구는 일련의 실험과 수치해석을 통해 단일 핀을 갖는 방열 블록의 소재, 핀의 종류 및 길이, 대류 열전달 계수, 방사율, 블록과 핀 사이의 접촉 저항이 LED 모듈 표시점 온도에 미치는 영향을 분석하였다. 예측된 냉각 성능 결과로부터 LED 모듈의 제작사가 표준으로 요구되는 효율 및 내구성 관련 표시사항 값을 결정하기 위해, 다수의 표본을 대상으로 장

시간 측정실험을 수행하는 경우 표시점 온도를 다양하게 부여하는 경제적인 방법을 결론으로 제시하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 연구는 LED 조명관련 국제표준이 요구하는 표시사항을 결정하는 과정에서 샘플의 대표온도를 제어하는 경제적인 방법을 개발함으로써 LED 조명의 제품 경쟁력 확보에 주안점을 두고 있다. 이를 위해 LED 모듈의 대표온도를 제어할 수 있는 여러 가지 방법을 모색하였다.

우선, 모듈의 표시점 온도에 영향을 미치는 인자들의 적절한 기준값을 결정하기 위해 실험을 수행하였다. 먼저 핀이 부착되지 않은 방열 블록에 LED 모듈을 나사로 체결하고 일정한 전력을 인가하며 시간에 따른 온도의 변화를 측정하였다. 방열 블록의 재질은 스테인레스 스틸, 알루미늄 및 구리의 세 경우를 검사하였다. 이후 한 개의 핀을 방열 블록 중심 상부에 설치하고 냉각 실험을 수행하였다.

Fig. 1에 열전달 분석의 대상인 LED 모듈과 방열기의 개략적인 형상과 온도 측정 위치를 나타내었다. 실험에 사용된 LED 모듈은 서울반도체(주)사의 제품(모델명 SZ5-M1-W0-00)으로 발광칩, 접착제, 봉지재, 형광체 및 방열 부속품으로 구성된 LED 패키지 10 개가 PCB 기판에 장착되어 있다. LED 패키지의 소비전력은 개당 최대 3 W이다. PCB 기판은 직경 42 mm, 두께 1.5 mm인 카발(Carbal) 소재 원형판에 LED 패키지에 전력을 공급하기 위해 두께 약 0.2 mm의 구리 회로가 식각되어

있다. 방열기는 방열 블록과 방열 핀(fin)으로 구성된다. 방열 블록은 직경 55 mm, 두께 5 mm의 하부 원판 위에 직경 78 mm, 두께 5 mm의 상부 원판이 얹히고 다시 그 위에 내경 10 mm, 외경 18 mm, 높이 20 mm 원통 형태의 방열 핀 베이스가 일체로 가공되었다. 하부 원판의 밑면에는 LED 모듈이 나사로 체결된다.

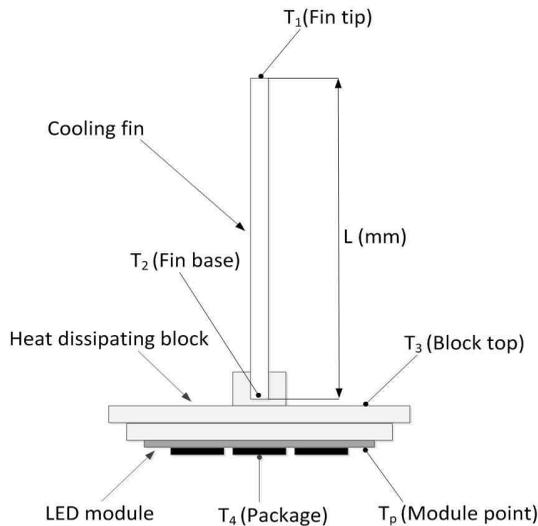


Fig. 1 Locations of temperature measuring points

방열 핀의 종류는 히트 파이프와 중공(hollow)축 및 중실(solid)축을 사용하였다. 세 경우 모두 방열 핀의 외경은 10 mm이고 길이는 230 mm이다. 중공축의 경우 구리관의 두께는 1.5 mm이었다. Fig. 2의 왼쪽 사진은 알루미늄 방열블록 바닥면에 체결되어 있는 LED 모듈이고, 오른쪽 사진은 알루미늄 방열블록의 하부에 LED 모듈이 체결되고 상부에 히트 파이프가 삽입된 실험장치의 사진을 보여준다.



Fig. 2 Photographs of LED module, heat dissipating block and cooling fin

실험이 진행되는 동안 Fig. 1에 나타난 온도 측정점 중 LED 모듈의 표시점( $T_p$ ), 방열 핀 상단의 온도( $T_1$ ) 및 주변 공기의 온도를 K-type 열전대, National Instrument사의 자료수집장치(모델 cDAQ-9178) 및 LabView 자료 처리 프로그램을 사용하여 측정하였다. 모든 실험에서 LED 모듈에 공급되는 전력은 17 W이며 주변 온도는  $290 \pm 1 K$ 이었다.

### 3. 수치해석

수치해석은 상용 설계/구조해석/열유동해석 프로그램 SolidWorks를 사용하여 수행하였다. SolidWorks는 설계 프로그램으로 인식되어 왔으나, 최근에는 형상 모델링 후 편리하게 구조 및 열유동 해석을 수행하는 장점이 부각되고 있다. Flow Simulation 패키지는 불투명 및 반투명 매질의 복사 열전달 분석 기능과 HVAC 모듈에 포함된 기능들이 냉각 성능 해석에 유용하게 사용될 수 있다. 특히 부품을 히트 파이프로 정의하고 유효 열저항 값과 고온부 위치를 지정하면 편리하

게 히트 파이프의 거동을 모사할 수 있다. 이 밖에 중공축 및 중실축 방열핀과 방열 블록은 실제 형상을 그대로 수치 모델의 형상으로 구현하였다.

수치 모델에서 LED 모듈은 카발 소재의 PCB 원형판과 이에 식각된 구리회로 및 10개의 LED 패키지로 구성하였다. 구리회로는 실제와 같이 두께 0.2 mm, 폭 2 mm를 가지며 방열부인 LED 패키지와 PCB 원판을 열저항 없이 연결한다. 마찬가지로 PCB와 방열블록 사이의 열저항도 무시하였다. 다만 방열블록의 핀 베이스 내부 표면과 핀의 외부 표면 사이의 접촉 저항은 영향인자로 취급하여 값을 변화 시켰다.

LED 칩에서 발생하는 열은 사용 시간 경과에 따라 발광 효율과 광량의 스펙트럼 분포를 변화시키는 요인이다. LED 패키지 내부의 칩 온도를 직접 측정하는 것은 매우 어렵기 때문에 광과장 변위 및 광출력 변위를 측정하는 간접적인 광학 방법을 사용하거나 다이오드의 순방향 전압 변화를 측정하는 간접적인 방법을 사용하여 칩 온도를 추정하는 방법이 연구되었다.[10, 11] 실제 칩의 크기는 수치 모델의 형상에 비해 상대적으로 작으므로 높은 정상상태 온도를 가질 것이나 정확한 측정값을 얻는 것은 현실적으로 어려우므로 예측 온도와 비교가 불가능하다. 수치해석에 사용되는 격자의 크기와 분포를 고려하여 다소 크도록 가로, 세로 및 높이가 각각 2 mm, 2 mm 및 0.5 mm인 직육면체로 가정하였다. 칩의 밑면은 구리판에 밀착되고 나머지 면은 가로, 세로 및 높이가 각각 3.5 mm, 3.5 mm 및 1 mm인 직육면체 형상의 에폭시 몰딩 내부에 밀착된 것

으로 가정하였다.

Table 1에 수치해석에 사용된 기준 조건을 나타내었다. 각 LED 모듈에 공급되는 전력은 각각 1.7 W이므로 제조사의 사양서를 근거로 LED 칩의 효율을 15.3 %로 설정하여 방열량을 각각 1.44 W로 부여하였다. 또, 조용한 실내에서 대류 열전달 계수가 5~10  $W/m^2K$ 이므로 자연대류를 감안하여 기본값을 10  $W/m^2K$ 로 가정하였다. 중공축의 안쪽 표면은 대류의 영향을 상대적으로 작게 받으므로 이를 감안하여 기본값의 20 %를 부여하였다. 기준 조건에서 접촉 저항은 고려하지 않았기 때문에 0  $m^2K/W$ 로 가정하고, 알루미늄 및 구리 표면에서 복사 열전달의 방사율은 0.1로 하였다. 수치 시뮬레이션은 열전달이 충분히 정상상태에 이르도록 모델링 시간 5,400 s를 부여하였다.

Table 1 Basic conditions for numerical simulation

Power input	17 W
Convective heat transfer coefficient ( $h$ )	10 $W/m^2K$
Convective heat transfer coefficient for inner surface of copper tube ( $h_i$ )	20 % of $h$
Contact resistance between fin and block ( $R_c$ )	0 $m^2K/W$
Effective thermal resistance of heat pipe ( $R_H$ )	0.125 $K/W$
Emissivity( $\epsilon$ )	0.1
Simulated physical time	5,400 s

수치해석에 사용된 지배방정식은 모든 고체

에 대하여 전도 열전달 방정식이며 고체의 표면에서는 대류와 복사의 복합 열전달 조건을 사용하였다. 즉, 모든 표면에 대해;

$$-k\nabla T \cdot \vec{n} = h(T - T_\infty) + \epsilon\sigma(T^4 - T_\infty^4) \quad (1)$$

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 실험 및 수치해석 결과비교

Table 1에 나타난 수치해석의 기준 조건 중 대류 열전달 계수, 방사율과 히트 파이프의 유효 열저항의 크기가 적절한 지 검토하기 위해 세 가지 경우에 대하여 실험을 통해 측정된 온도와 수치해석으로 예측한 온도를 비교하였다. 이미 설명한 바와 같이 칩이나 패키지의 온도를 정확히 측정하는 것이 불가능하여 대표 온도로 모듈의 표시점 온도와 방열 핀의 상단 온도를 비교하였다.

우선, LED 모듈에 방열 블록만이 부착된 경우를 Fig. 3에서 비교하였다. 측정된 표시점 온도는 정상 상태에 도달하며 약 383 K에 이르고, 예측된 표시점 온도는 약 384 K이었다. 실험 시작 후 20분 정도 경과하면 측정 표시점 온도와 예측 표시점 온도의 차이가 12 K 정도까지 증가하고 이후로 서서히 감소함을 알 수 있다. 실험 도중 시편 주변의 유동조건이 교란되는 경우 발생하는 현상으로 추정되며 대류 열전달이 미치는 영향이 심각함을 알 수 있다.

Fig. 4와 Fig. 5에 각각 중공축과 히트 파이프를 방열 핀으로 사용한 경우 측정 표시점 온도와 예측 표시점 온도를 비교 하였다.

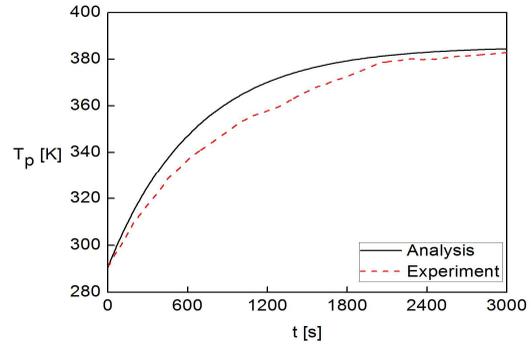


Fig. 3 Transient change of module point temperature with Aluminum block but without cooling fin

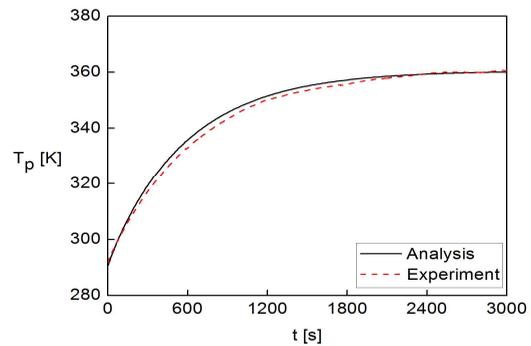


Fig. 4 Transient change of module point temperature with Aluminum block and Copper tube

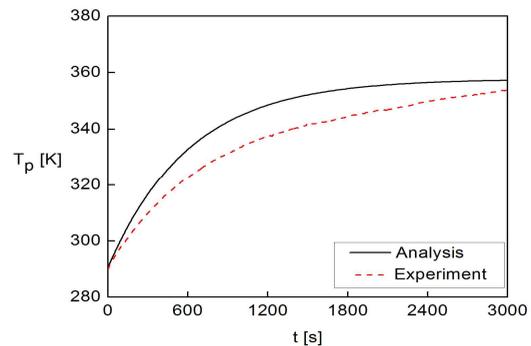


Fig. 5 Transient change of module point temperature with Aluminum block and heat pipe

중공축의 경우 측정 온도와 예측 온도의 차이가 3 K보다 작은 정도로 수치해석 결과가 실험을 잘 모사 하였다. 히트 파이프의 경우 정상상태에서 예측 표시점 온도가 측정 표시점 온도보다 3.5 K정도 높게 계산 되었다. 수치해석에 사용한 히트 파이프의 유효 열저항이 다소 작게 설정되었기 때문이다.

Fig. 3~5에서 보듯이 수치해석의 기준조건으로 사용한 대류 열전달 계수, 방사율, 접촉 저항 및 히트 파이프 유효 열저항 값들은 실제 LED 모듈의 냉각 특성을 모사하는데 적절한 것으로 판단된다.

#### 4.2 방열 블록 소재의 영향 예측

IEC 62717에 의하면 LED 모듈의 조도 유지 평가 실험을 수행하는 표시점 온도 범위의 상한은 최고 표시점 온도( $T_{P,max}$ )이다. 수치해석을 통해 방열 블록만을 사용하여 모듈을 냉각하며 블록의 소재가 SUS302, 알루미늄 및 구리인 경우에 대해 방열 블록 표면의 4 군데에서 예측된 온도를 Fig. 6에 비교하였다. 열전

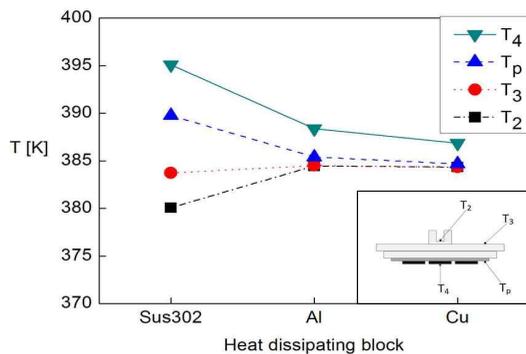


Fig. 6 Predicted steady state temperatures for different block materials without cooling fin

도도가 구리의 수 십분의 일인 스테인레스 스틸의 경우 방열 블록 내의 온도 편차가 15 K 이상이며, 열전도도가 가장 큰 구리의 경우 블록의 온도분포가 2.5 K이하로 상대적으로 균일하다. 가공성과 경제성 등을 고려하여 알루미늄을 방열 블록의 소재로 선택하는 경우, 방열 블록만을 사용하면 표시점온도가 385 K 정도로 유지된다.

#### 4.3 방열 핀 종류의 영향 예측

성능 평가 실험 도중 LED 모듈의 표시점 온도를 충분히 낮게 유지할 수 있는 지 판단하기 위해 기준 조건에서 방열 핀을 히트 파이프, 중공축 및 중실축을 사용하는 각 경우에 대해 수치 해석을 수행하였다. Fig. 7에서 보듯이 기준 조건 하에서 정상상태 표시점 온도는 방열 핀의 종류에 상대적으로 덜 민감하여 360 K 부근의 값을 갖는 것으로 예측되었다. 방열 핀을 사용하지 않은 경우에 비해 표시점 온도를 20 K이상 낮출 수 있는 것으로 예측된다.

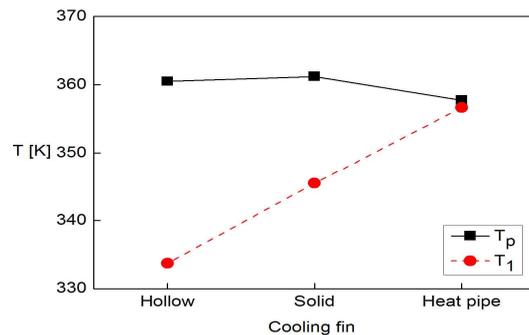


Fig. 7 Predicted steady state temperatures for different types of dissipating fin

방열 핀과 베이스 사이의 접촉 저항이 무시

할 정도로 작은 기준 조건의 경우 히트 파이프는 표시점 온도와 방열 핀 상단의 온도차가  $1.1 K$  이하이다. 중실축과 중공축의 경우  $T_p$ 와  $T_1$ 의 차이는 각각  $15.7 K$ 와  $26.8 K$ 이다. 히트 파이프는 특성상 내부의 상변화와 대류 열전달로 매우 큰 열전도도를 가지며 전체의 온도가 상대적으로 균일하다.

중공축 상단의 온도가 주변온도에 상대적으로 근접한 이유는 기준조건으로 사용한 방열 핀의 길이  $230 mm$ 가 냉각에 충분한 수준임을 보여준다. 표시점 온도가 방열 핀의 종류에 민감하지 않음으로 가격이 비싼 히트 파이프를 굳이 사용할 필요가 없고 방열 블록과 나사로 체결 가능하여 접촉 저항을 작게 유지할 수 있는 중실축 방열 핀을 선택하는 것이 합리적이라 판단된다.

#### 4.4 접촉 저항의 영향

방열 블록과 방열 핀 사이의 접촉 저항이 모듈의 냉각에 미치는 영향을 분석하기 위해  $R_c$ 를  $0, 3 \times 10^{-4}, 3 \times 10^{-3}, 3 \times 10^{-2}, 3 \times 10^{-1}, 3 m^2K/W$  등 6 가지로 설정하고, 중공축 및 중실축의 표시점 온도와 방열 핀 상단 온도를 Fig. 8에 예측하였다.

접촉 저항이 증가할수록 방열 핀이 없는 경우로 수렴하여 표시점 온도는  $385 K$ 에 이른다. 접촉 저항이 감소할수록 기준 조건의 경우로 수렴하여 표시점 온도는  $360 K$  부근의 값을 갖는다. 접촉 저항은 현실적으로 특정값을 부여하기 어렵기 때문에 방열 블록과 방열 핀을 나사 형태로 체결하여 교체가 용이하도록 하되,  $3 \times 10^{-4}$  이하로 유지함이 바람직하다.

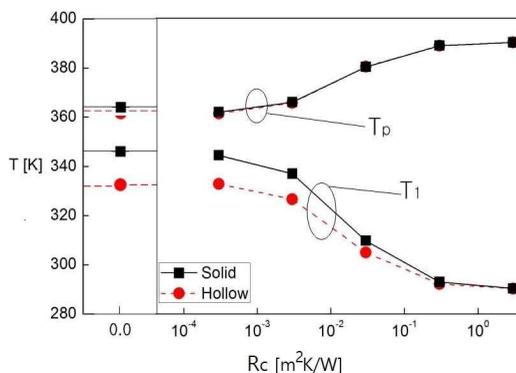


Fig. 8 Influence of contact resistance on predicted steady state temperatures

#### 4.5 대류 열전달 계수의 영향

수치해석 기준 조건 하에서 방열기 표면에서 대류 열전달 계수를  $2 W/m^2K, 5 W/m^2K, 10 W/m^2K, 15 W/m^2K, 20 W/m^2K$ 로 설정하고 중공축과 중실축의 표시점 온도와 방열 핀 상단의 온도를 예측하였다(Fig. 9). 중공축의 경우 방열 핀 내부표면의 대류 열전달 계수는 외부 표면의 대류 열전달 계수의 20%가 되도록 적용하였다.

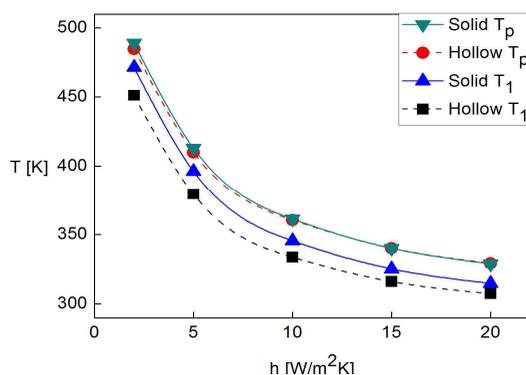


Fig. 9 Influence of convection on predicted temperatures

대류 열전달이 감소할수록 모듈의 냉각은 복사 열전달에 주로 의지하여 표시점 온도와 방열 핀 상단 온도는 심각하게 증가한다. 현실적으로 대류 열전달 계수를  $10 W/m^2K$  이하로 유지하는 것은 불가능하다.

유동 팬 등을 사용하여 대류 열전달 계수를  $10 W/m^2K$ 로부터  $20 W/m^2K$ 까지 증가시키면 표시점 온도를  $30 K$  이상 낮출 수 있다. 고출력 모듈의 경우 유동 팬과 제어기를 사용하여 표시점 온도를 설정값으로 유지하는 것이 바람직하다고 판단된다.

#### 4.6 표면 방사율의 영향

방열블록과 핀 표면의 복사 열전달 특성이 LED 모듈의 냉각에 미치는 영향을 예측하기 위해 방열기 표면의 방사도를 변화시키며 ( $\epsilon = 0, 0.1, 0.4, 0.9$ ) 수치 모사를 수행하였다. 중공축 및 중실축의 경우 정상상태 조건에서 예측된 모듈 표시점 온도와 방열 핀 상단 온도를 Fig. 10에 나타내었다. 방사율이 0인 경우는 복사열전달이 없는 경우에 해당한다.

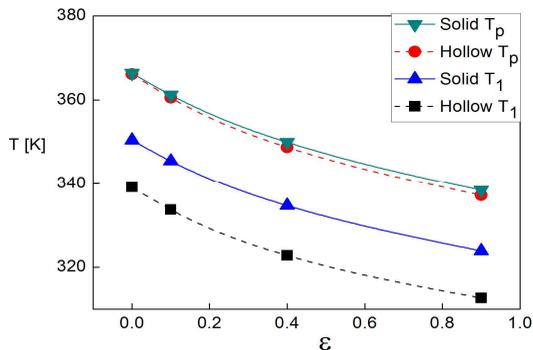


Fig. 10 Influence of emissivity on predicted temperatures

방사율이 증가할수록 복사에 의한 방열 효과가 증가하여 표시점 온도와 방열 핀 상단의 온도가 감소한다. 주어진 조건의 조합 하에서 방사율이 0.1로부터 0.9로 증가하면 모듈 표시점의 온도가  $23 K$  정도 감소하는 것으로 예측된다. 방열 블록과 방열 핀 표면의 복사 특성만 변화시켜도 모듈 표시점의 온도를 현저하게 변화시킬 수 있다.

#### 4.7 방열 핀 길이의 영향

마지막으로 방열 핀의 길이가 표시점 온도와 방열 핀 상단 온도에 미치는 영향을 알아보기 위해 방열 핀의 길이를 20, 115, 230, 460, 690 및 920 mm로 변화시키며 중공축 및 중실축의 경우에 대하여 수치해석을 수행하였다.

Fig. 11에서 알 수 있듯이 방열 핀의 길이가 230 mm보다 짧은 경우 길이가 감소할수록 표시점 온도는 비교적 급격히 상승하여 방열 블록만 있는 경우로 수렴한다.

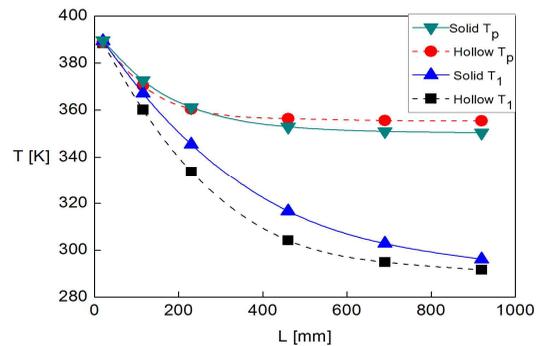


Fig. 11 Influence of cooling fin length on predicted temperatures.

230 mm보다 긴 경우 길이가 증가할수록 표시점 온도는 감소하는 경향을 보이지만 감

소 폭은 크지 않다. 따라서 방열 핀의 길이는 200 mm 이하로 하되 유동 팬이나 높은 방사율을 갖는 표면특성을 조합하면 표시점 온도를 효과적으로 제어할 수 있을 것이다.

## 5. 결 론

다수의 표본을 대상으로 효율 및 내구성 관련 성능들을 측정하는 실험을 수행하는 경제적인 기술을 개발하기 위해 단일 핀을 갖는 방열 블록에 나사로 체결된 LED 모듈의 냉각 열전달을 실험과 수치해석을 통해 분석하여 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 수치해석의 기준조건으로 사용한 대류 열전달 계수, 방사율, 접촉 저항 및 히트 파이프 유효 열저항 값들은(Table 1) 실제 LED 모듈의 냉각 특성을 모사하는데 적절한 것으로 판단된다.
- (2) 가공성과 경제성 등을 고려하여 알루미늄을 방열블록의 소재로 선택하는 것이 권장된다. 주어진 형상의 방열 블록만을 사용하면 표시점 온도가 385 K 정도로 유지된다.
- (3) 방열 블록과 방열 핀을 나사 형태로 체결하여 교체가 용이하도록 하되, 접촉 저항은  $3 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$  이하로 유지함이 바람직하다.
- (4) 유동팬 등을 사용하여 대류 열전달 계수를  $20 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ 까지 증가시키면  $10 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ 인 경우에 비해 표시점 온도를 30 K 이상 낮출 수 있다. 고효율 모듈의 경우 유동 팬과 제어기를 사용하여 표시점 온도를 설정값으

- 로 유지하는 것이 바람직하다고 판단된다.
- (5) 수치해석에 사용된 조건의 범위에서 방사율이 0.1로부터 0.9로 증가하면 예측된 모듈 표시점의 온도는 23 K 정도 감소하였다.
  - (6) 표시점 온도가 방열 핀의 종류에 민감하지 않음으로 증실축 방열 핀을 선택하는 것이 합리적이라 판단된다. 방열 핀의 길이는 200 mm 이하로 하되 유동 팬이나 높은 방사율을 갖는 표면특성을 조합하면 표시점 온도를 효과적으로 제어할 수 있을 것이다.

## Reference

1. Park. J. W, Rapid thermal diffusion devices development of the high power LED lighting system, Proceedings of Korea society of precision engineering autumn conference, pp. 593-594, 2010.
2. N. Narendran, Y. Gu, Life of LED-based white light sources, IEEE/OSA Journal of Display Technology, September, pp. 167-171, 2005.
3. Shin. M. H, The present status of high power LED packaging technology, Physics & high technology, November, pp. 16-21, 2008.
4. S. Keeping, Understanding the cause of fading in high-brightness LEDs, <http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2012/feb/understanding-the-cause-of-fading-in-high-brightness-leds>, 2012.
5. Y. Tang, X. Ding, B. Yu, Z. Li, B. Liu, A high power LED device with chips directly mounted on heat pipes, Applied Thermal Engineering 66, pp. 632-639, 2014.

6. Kim. L, Choi. J. H, Jang. S. H and Shin. M. W, Thermal analysis of LED array system with heat pipe, *Thermochimica Acta* 455, pp. 21 - 25, 2007.
7. Hwang. S. H, Park. S. J, Lee. Y. L, A study of optimal design for a 10W LED lamp, *KAIS*, Vol. 11, No. 7, pp. 2317-2322, 2010.
8. Kim. C. M, Jung. C. W, Kang. Y. T, Study on the heat dissipation performance of LED by thermal conductivity enhancement of carbon nanogrease, *Proceeding of the SAREK summer conference*, pp. 105-108, 2013.
9. H. Ye, M. Mihailovic, C. K. Y. Wong, H.W. van Zeijl, A. W. J. Gielen, G. Q. Zhang, P. M. Sarro, Two-phase cooling of light emitting diode for higher light output and increased efficiency, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 52, pp. 353 - 359, 2013.
10. B. Siegal, Practical considerations in high power LED junction temperature measurements, *Proceedings of International Electronic Manufacturing Technology*, Putrajaya, Malaysia, pp. 62-66, 2006.
11. Youk. J. H, Hong. D. W, Lee. S. J, Basic Design Guidelines for LED Lamp Packages, *Korean Journal of Optics and Photonics*, Vol. 22, No. 3, June, 2011.