

# 실링 유닛 장착효과를 고려한 MR16 LED 조명등 방열설계

황순호<sup>1</sup>, 이영림<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>공주대학교 기계자동차공학부

## Thermal Design of a MR16 LED Light with the Effects of Ceiling Unit Mount

Soon Ho Hwang<sup>1</sup> and Young Lim Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University

**요약** LED 조명등의 효율 및 수명을 단축시키는 가장 중요한 원인은 정선온도 상승이며, 이를 해결하기 위해 고 효율 방열 패키징, 고전도율 소재 개발, 접촉저항 개선 및 히트싱크 최적화 등과 같이 다양한 방열성능 향상 연구가 이루어지고 있다. 하지만 지금까지의 대부분의 연구는 LED 조명등이 단지 대기 중에 노출되었다고 가정하였기 때문에 실제 실링 유닛과 함께 천장에 장착되었을 때의 방열성능은 아직 보고되지 않고 있다. 따라서, 본 연구에서는 MR16 LED 조명등을 이용하여 실제 설치조건에 따른 정선온도 변화를 규명하고 이를 통한 더욱 정확한 LED 조명등 수명 및 효율 예측을 이루고자 하였다.

**Abstract** The most important cause for shortening LED lighting efficiency and life is the junction temperature rises and, to solve this problem, various studies such as thermally efficient packaging, highly conductive material development, contact resistance improvement or heat sink optimization have been studied. However, most studies so far assumed that the LED lights are in the atmosphere, and thermal performance has not been therefore reported when the LED lights are mounted on the ceiling with ceiling unit. Thus, this study investigates the variation of junction temperature of the MR16 LED light under actual installation conditions and more accurate thermal design for the efficiency and life of LED lights is therefore achieved.

**Key Words** : LED Light, Ceiling unit, MR16, Thermal design, CFD

### 1. 서론

LED 조명등은 저전력, 고효율 제품으로 기존 백열등, 형광등보다 에너지 효율이 우수할 뿐만 아니라 높은 조도와 긴 수명 및 강한 내구성을 가지고 있는 장점 때문에 기존 조명등에서 점차 LED 조명등으로 대체되고 있는 추세이다. 하지만 기존 제품에 비해 고가이며, 정선온도 상승에 따라 색온도 변이, 광효율 저하 및 수명 단축이 심화되는 문제점이 발생한다[1].

LED 조명등의 경우 패키징 및 회로 기술에 관한 연구가 대부분이었으나, 정선온도 상승에 따른 문제를 해결하기 위해 방열문제 해결 분야로 연구가 점차 확대되고 있다. 공급전력의 80~85%가 열로 변환되는 LED 조명등의 방열문제를 해결하기 위한 가장 기초적인 방안으로는 핀

(Fin) 형상 최적설계가 있다. 최근에는 고출력 LED 조명등을 제작하기 위하여 팬(fan)을 사용해 열전달계수 값을 증가시키거나, heat pipe와 airjet 등을 이용해 정선온도를 감소시키는 방법을 사용하고 있다.

이와 같은 연구로 Weng[2]은 LED 조명등 제품 개발을 위한 열 설계법칙과 상호작용을 파악하기 위하여 수치해석을 이용해, 0.1~1W의 출력에 따른 히트슬러그(heat slug) 크기, PCB 물성, 냉각조건, 칩(Chip)크기 등의 다양한 조건에서 저항과 정선온도 관계를 연구하였다.

또한, Lee 등[3]은 75W급 LED 가로등 제작을 위해 방열 핀의 두께 및 수량을 변경하였으며 온도 및 열 저항 특성에 관한 연구를 하였다. 이를 통해 기존방열판에 비해 광속 저하율이 약 0.68% 향상된 결과를 보였다. Lu 등 [4]은 루프 히트파이프(loop heat pipe)를 이용하여 열부

\*교신저자 : 이영림(ylee@kongju.ac.kr)

접수일 10년 06월 22일

수정일 (1차 10년 07월 29일, 2차 10년 08월 16일)

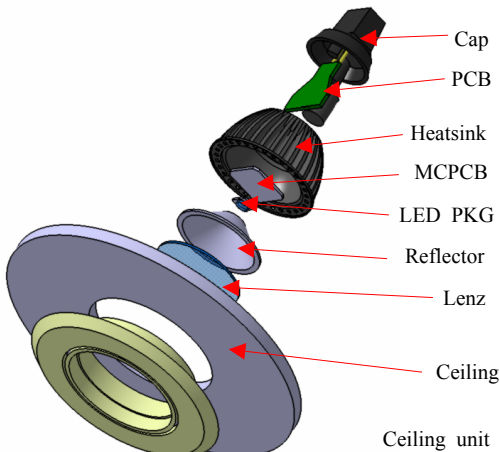
게재확정일 10년 09월 08일

하나 히트 파이프 경사 각도에 따른 초기 냉각 성능, 온도 균일도 및 열저항과 같은 방열성능을 실험적으로 고찰하였다.

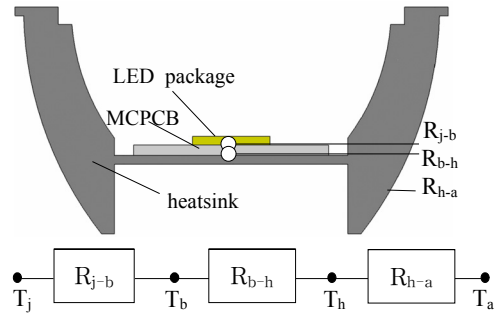
이 밖에도, Liu 등[5]은 마이크로 제트(micro jet)를 이용한 강제 냉각 기술 최적화 연구 및 개발을 통해 LED 기판(substrate)온도를 추가적으로 약 23℃감소시킬 수 있음을 보였다. Song[6]은 정전압과 정전류 구동방식을 이용해 온도 특성을 고려한 고효율 LED 조명등의 소형화 및 고효율화 하였으며 동작시간에 따른 적합한 구동회로를 선별하였다. 또한, Lee 등[7]은 단일 고효율 LED를 사용하여 MR16 LED 조명등 설계시 방열핀 최적화에 대한 연구를 수행하였다.

MR16 조명등을 천장에 설치할 경우 보통 경사각 조절이 가능한 실링 유닛(Ceiling unit)이나 고정형 실링 유닛에 장착되어 천장에 설치된다. 천장에 설치될 경우 MR16 조명등의 방열핀 주위의 유동이 이분화 되고 실링 유닛이 방열판 하단부 부위를 둘러싸서 덮는 효과에 의해 조명등의 정선온도가 변화할 수 있다. 하지만 지금까지의 대부분의 연구는 LED 조명등이 단지 공기 중에 노출되었다고 가정하여 실제 실링 유닛과 함께 천장에 장착되었을 때의 방열성능은 아직 검토되지 않았다.

따라서, 본 연구에서는 3W MR16 LED 조명등을 실링 유닛과 함께 천장에 설치할 때 여러 설치 조건에 따른 정선온도 변화를 규명하여 더욱 정확한 LED 조명등 수명 및 효율 예측을 하고자 한다. 보통 다양한 MR16 조명등 실링 유닛이 존재하나 본 연구에서는 가장 일반적이고 방열면에서 유리한 개방형 실링 유닛을 사용하였다. 그림 1에 MR16과 실링 유닛 분해도를 나타냈다. MR16 조명등에 사용된 LED는 Cree사의 XLamp® XR-E LED이다.



[그림 1] MR16 LED 조명등 및 실링 유닛 구성도



[그림 2] 1차원 열저항 모델

## 2. 수치해석 및 실험 방법

### 2.1 수치해석

LED 칩은 패키징되어 있어 LED 칩온도, 즉 정선온도를 실험으로 직접 측정하는 것은 불가능하므로 보통 제조사에서 제공한 열저항이나 실험으로 측정된 열저항을 이용하여 예측한다. 정선온도를 예측하기 위해서 사용된 1차원 열저항(Thermal resistance) 모델을 그림 2에 나타내었다. 1차원 열저항 모델을 이용할 경우 정선온도 예측이 가능할 뿐만 아니라, 각각의 저항을 사용하여 수치해석할 경우 정확한 결과 값을 구할 수 있다. 여기서 T는 온도, R은 열저항, j는 junction, b는 board, h는 heatsink 그리고 a는 ambient를 각각 나타낸다.

3차원 CFD(Computational Fluid Dynamics) 해석은 압축성 유체유동 및 정상상태로 가정하였으며 사용된 지배방정식은 다음과 같다.

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{U}) = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{U} \otimes \mathbf{U}) = -\nabla p + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + S_M \quad (2)$$

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{U} e) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) - p \nabla \cdot \mathbf{U} + \boldsymbol{\tau} : \nabla \mathbf{U} + S_E \quad (3)$$

여기서,  $\boldsymbol{\tau} = \mu(\nabla \mathbf{U} + (\nabla \mathbf{U})^T - \frac{2}{3} \delta \nabla \cdot \mathbf{U})$ 이고 (1)

은 연속 방정식, (2)는 운동량 방정식, (3)은 에너지 방정식을 나타낸다. 기호에 대한 자세한 설명은 다른 곳에 설명되어 있다[8].

본 연구에서는 층류 및 난류를 구분하기 위해 Rayleigh number를 이용하였으며 본 논문의 경우 약  $10^7$ 이므로 층류유동으로 가정하였다.

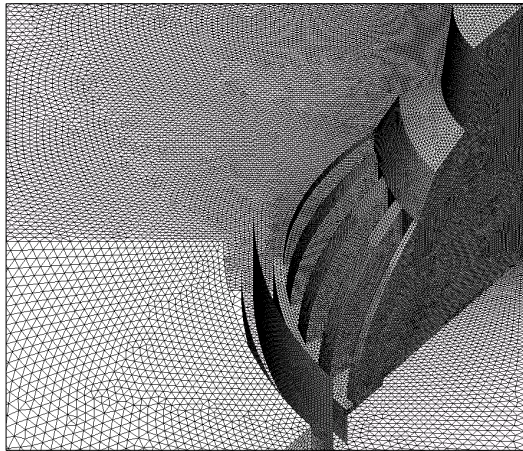
$$Ra = \frac{g\beta}{\nu\alpha} (T_s - T_\infty) L^3 \quad (4)$$

여기서,  $T_s$  벽온도,  $T_\infty$  대기온도,  $\nu$  동점성 계수,  $\alpha$  열확산 계수,  $\beta$  열팽창 계수,  $g$ 는 중력가속도,  $L$ 은 특성길이다. 또한, 조명등의 열원으로부터 발생된 에너지에 의해 생기는 복사(radiation) 에너지를 고려하기 위해 DO(discrete ordinate)모델[8]을 사용하였다.

해석시간 단축을 위해 1/8 모델을 사용하였으며, 0.5mm 두께인 실링 유닛으로 인해 격자가 과도하게 조밀해지는 것을 방지하기 위해 두께가 없는 면으로 가정하였다. 격자수에 무관한 해를 얻기 위해 약 70만개의 격자를 사용하였고 격자 형태는 사면체(tetrahedral)이다. 사용된 격자 시스템을 그림 3에 나타내었다.

표 1은 실링 유닛 장착 및 천장 설치 여부에 따른 각각의 경우를 보여준다. 여기서 case 1은 기본 경우로써 실링 유닛이나 천장에 설치되지 않고 공기 중에 자유롭게 위치해 있는 경우이다. Case 5는 실링 유닛없이 천장에 일정한 갭(gap)을 두고 장착되어 있다고 가정한 case2에서 그 갭마저 완전히 막아버린 경우를 나타낸다.

3차원 모델링에는 Catia[9]를 사용하였고 유동 및 열전달 해석을 위해서는 상업용 소프트웨어인 Ansys CFX[8]를 이용하였다.



[그림 3] 격자 시스템

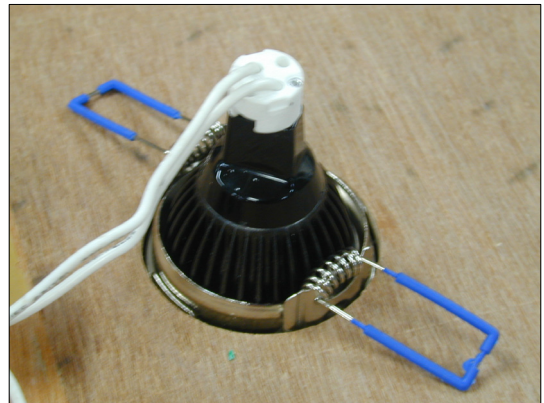
[표 1] 실링효과를 고려하기 위한 모델

case	ceiling	ceiling unit	remarks
1	No	No	infinite air
2	Yes	No	
3	No	Yes	
4	Yes	Yes	
5	Yes	No	gap closed

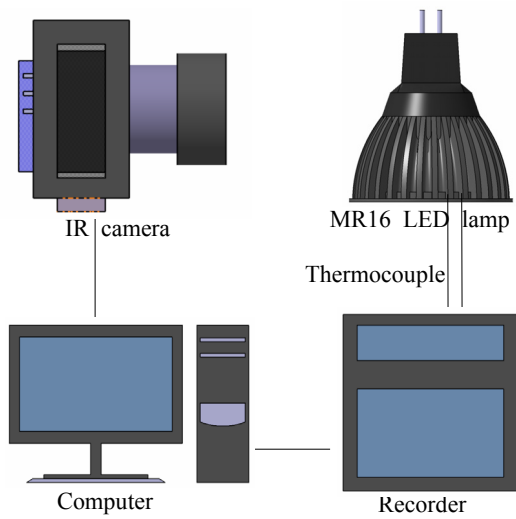
## 2.2 실험방법

표 1에서와 같이 수치해석시 고려했던 동일한 경우에 대하여 실험을 수행하였다. 그림 4는 천장을 모사하기 위한 합판과 실링 유닛에 설치된 MR16 조명등의 모습이다. 본 연구에서는 실내 공기와 천장 내부 공기 온도의 차이는 없다고 가정하였고 따라서 실제 천장에 설치하여 실험하기 보다는 넓은 합판을 이용해 천장을 구성하였다. 이것은 본 연구를 통해 천장으로 인한 유동 단절 효과 및 실링 유닛 장착 효과만을 알아보려고 하였기 때문이며 그 외의 변수, 가령 실내와 천장 공간간의 온도차나 천장 내부의 열 정체 가능성 등은 고려하지 않았다.

그림 5의 실험 개략도와 같이 열전대를 이용해 PCB, Fin 및 주변온도를 측정하였고 IR 카메라를 이용해 MR16 방열핀과 실링 유닛의 온도분포를 측정하였다.



[그림 4] 실링 유닛과 함께 천장에 장착된 MR 16 조명등



[그림 5] MR16 방열 성능 실험 개략도

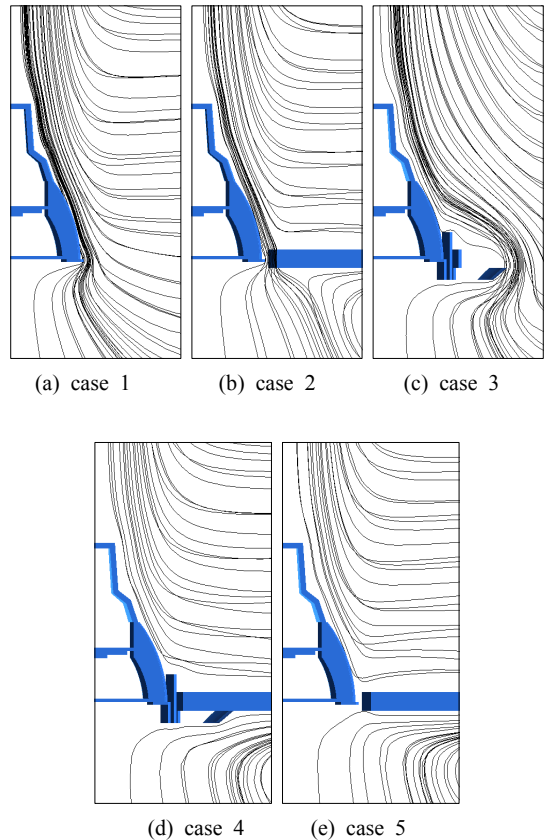
### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 실링 유닛 및 천장 설치에 따른 방열 성능 수치 해석

먼저 실링 유닛 및 천장 설치 여부에 따른 자연대류에 의한 공기 유동의 형태를 살펴보기 위하여 그림 6에 각 case마다 유선을 나타냈다. 공기 중에 자유롭게 놓여 있는 case1의 경우 하부로부터 밀도 차에 의해 상승하는 전형적인 유동이 생성되고 있다. Case2는 천장과 조명등 사이의 좁은 틈으로 기류가 형성되고 나머지 부분은 상단부와 하단부의 유동이 단절되어 있음을 보여준다.

실링 유닛에 장착되어 공기 중에 놓여 있는 case3은 실링 유닛으로 인해 실링 유닛 근처의 방열핀에서 유동 생성이 저해된다. 이러한 기류 생성이 저해되는 것은 case4도 마찬가지여서 실링유닛의 장착이 자연대류에 의한 열전달을 일정 부분 감소시킨다는 것을 의미한다. 천장에 의해 상하부가 완전히 분리된 case4와 5의 경우 전형적인 정체성 유동(stagnation flow)의 형태와 유사한 유동 형태를 보여 주고 있다.

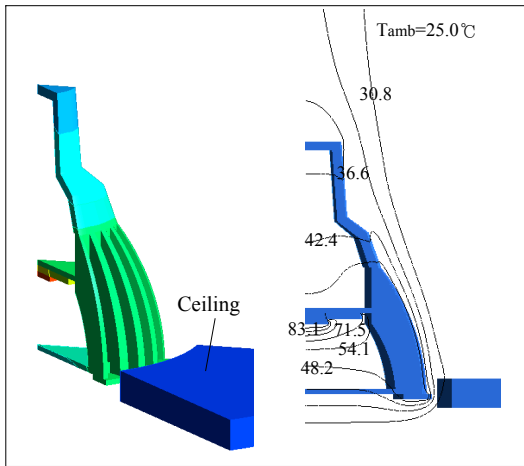
따라서, 방열핀 근처 유동을 저해하는 실링유닛의 형상을 최적화하거나 하부로부터 공기 유입이 원활하도록 하는 것도 방열 성능 향상에 다소 도움이 될 것으로 사료된다.



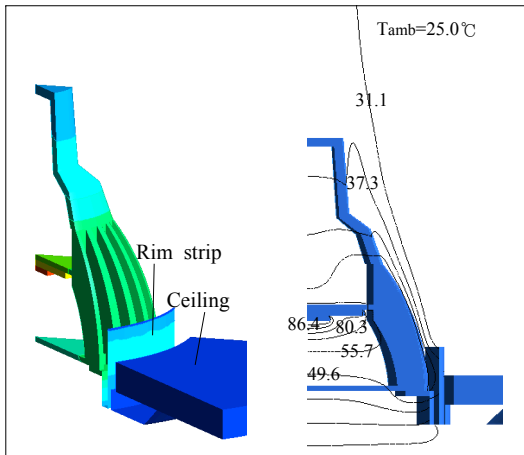
[그림 6] 각 경우별 streamline 분포

실링 유닛 장착 여부에 따른 온도 변화를 알아보기 위하여 각각 case 2와 case 4의 온도 분포를 그림 7에 나타냈다. 두 경우 모두 자연대류 및 복사에 의해 열이 방출되는 전형적인 온도 분포를 보여주고 있으나 온도 등고선에 의하면 실링 유닛을 미장착한 경우가 상대적으로 효율적인 방열을 하고 있음을 나타낸다. 실링 유닛이 장착된 경우 실링 유닛에 의한 유동방해로 인해 실링 유닛 근처의 열이 정체되어 방열핀 주위 온도가 상승한 것으로 볼 수 있다. 하지만 이러한 온도 상승은 유동 방해뿐만 아니라 복사에 의해 열이 방출되는 것을 실링 유닛이 차단하는 효과에도 기인한다. 따라서 실링 유닛의 부품 중에서 림 스트립(rim strip)의 높이가 이러한 열 정체나 복사열 차단에 가장 직접적인 영향을 끼치므로 최적화가 필요하다고 하겠다.





(a) 실링 유닛 미장착 (case2)



(b) 실링 유닛 장착(case 4)

[그림 7] 실링 유닛 장착 여부에 따른 온도 변화

[표 2] 각 주요 부위별 수치해석 온도

case	$T_{chip}(^{\circ}C)$	$T_{pcb}(^{\circ}C)$	$T_{heatsink}(^{\circ}C)$
1	82.6	62.0	51.9
2	83.1	62.5	52.4
3	86.3	65.6	55.6
4	86.4	65.7	55.7
5	84.0	63.4	53.3

표 2는 정상상태에 도달했을 때 각 경우에 따른 주요 부위별 온도를 보여준다. 실링 유닛 없이 대기 중에 위치해 있는 case 1의 정선온도는 대기온도 25°C기준으로 82.6°C이다. case 2는 실링 유닛 없이 천장에 설치한 경우인데 이 경우 case 1과 약 0.5°C차이가 발생하여 천장으로 인한 효과는 상대적으로 미미함을 보였다. 실링 유닛

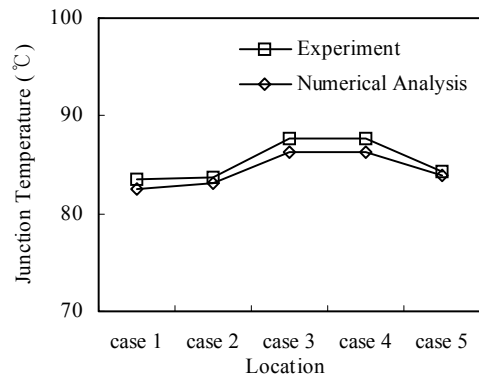
이 있고 천장이 없는 case 3의 경우 약 86.3 °C의 정선온도가 예측되었고 case 1 대비하여 약 3.7 °C 증가를 보였다. case2에서 존재하던 천장과 조명등 사이의 작은 갭이 밀폐되어 하부로부터의 유동이 완전히 제거된 case 5의 경우 case 2에 비해 약 0.9°C의 정선온도가 증가함을 보였다. 한편, 실링 유닛에 장착되어 천장에 설치된 case4의 경우 정선온도가 3.8 °C의 상승하였는데 이는 고려된 경우 중에서 최고 온도 상승을 나타내었다. 이는 실링 유닛의 유동 방해 현상과 복사열 차단 효과에 기인한다고 볼 수 있다.

### 3.2 실링 유닛 및 천장 설치에 따른 방열 성능 실험

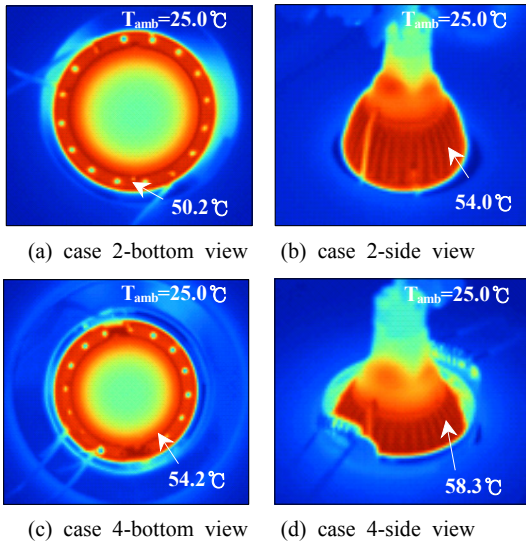
표 3은 열전대를 이용해 LED 조명등의 방열핀과 PCB에서 측정된 온도를 보여주며 이 때 정선온도는 측정된 PCB 온도에서 제조사에서 제공한 열저항 8°C/W를 이용해 예측하였다. 실험에서 얻은 각 부위별 온도분포는 수치해석과 매우 유사한 결과를 보여준다. 그림8에 수치해석과 실험으로 예측한 각 케이스별 정선온도를 나타냈는데 오차는 최대 약 1.4°C 정도로서 수치해석결과가 상당히 정확하다는 것을 알 수 있다. 이는 수치해석으로 유추한 온도 상승 원인 분석이 매우 적절했음을 나타낸다. 수치해석에서와 마찬가지로 최대 정선온도는 87.7 °C로써 실링 유닛을 장착하고 천장에 설치한 case 4로 판별되었다.

[표 3] 각 부위별 열전대 측정 온도

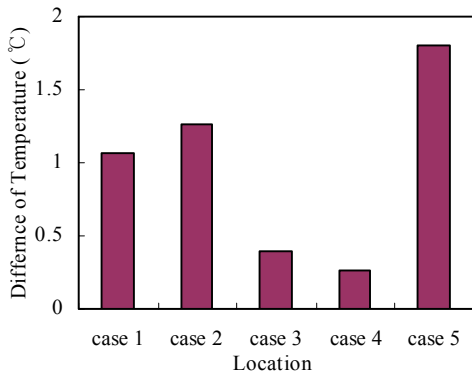
case	$T_{chip}(^{\circ}C)$	$T_{pcb}(^{\circ}C)$	$T_{heatsink}(^{\circ}C)$
1	83.5	62.8	52.4
2	83.6	63.0	51.9
3	87.7	67.0	55.4
4	87.7	67.0	55.5
5	84.2	63.6	53.4



[그림 8] 실험과 수치해석 정선온도 비교



[그림 9] IR 카메라로 측정된 case 2 및 4의 온도분포



[그림 10] 열전대와 IR 카메라의 핀 온도차

그림 8은 수치해석과 열전대를 이용해 얻은 각 케이스별 정선온도이다. 모든 경우에서 실링 유닛 장착할 시 높은 정선온도를 나타냈다.

그림 9는 IR 카메라로 측정된 case 2와 case 4의 온도 분포를 나타낸다. 실링 유닛이 있는 경우 열이 실링 유닛의 림 스트립에 의해 갇혀 있는 것이 확인하고 실링 유닛으로의 전도 열전달은 높은 접촉열저항으로 인해 미미함을 알 수 있는데 이는 수치해석에서 예측했던 결과와 매우 유사하다. 따라서 실링 유닛의 림 스트립 높이나 형상을 최적화 하는 것이 필요하다. 기존 할로겐 MR16의 경우 다자산을 고려하여 림 스트립이 매우 높은 것도 다수인데 LED MR16의 경우 광속 저감이나 수명 감소에 문제가 없는지 확인하여야 할 것이다.

IR 카메라로 측정된 온도의 정확성을 확인하기 위하

여 열전대와 IR 카메라를 이용해 측정된 방열핀의 온도차를 그림 10에 나타냈다. 열전대와 IR 카메라의 온도차는 최대 1.8°C로써 ±2°C의 적외선 카메라 측정 오차를 고려해 볼 때 신뢰할만한 수준이라 할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 대부분의 LED 조명등 방열설계시 고려하지 않는 실링 유닛 및 천장 효과를 확인하기 위하여 MR16 LED 조명등을 천장에 설치하고 여러 장착조건에 따른 정선온도 변화를 확인하였다. 이 때 실내 공기와 천장 내부 공기 온도의 차이는 없다고 가정하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) LED 조명등을 실링 유닛에 장착하면 실링 유닛이 조명등 케이스의 하단부에 생성되는 자연대류 발생을 억제시켜 열을 정체시키고 복사열을 차단하는 효과를 유발하여 실링 유닛이 없을 경우와 비교하였을 때 약 4.1°C의 온도증가를 보였다. 이는 제조사의 데이터 시트에 의하면 약 1.3%의 광속 감소에 해당된다. 또한, 실링 유닛을 통한 전도 열전달은 높은 접촉열저항으로 인해 효과적이지 않았다.
- 2) 천장 설치로 인한 조명등의 위아래 유동의 단절 효과가 정선온도에 미치는 영향은 상대적으로 크지 않았고 본 연구에서 고려된 LED 조명등의 경우 약 0.5-1.4°C 정도로 판명되었다. 이는 천장이 있어도 조명등 케이스 주위로 정체점 유동과 같은 기류가 비교적 잘 형성되고 있음을 의미한다.

따라서, 더욱 정확한 방열 설계를 위해서는 실제 LED 조명등을 실링 유닛에 장착하여 천장에 설치할 때 광속이 저감되는 것을 고려해야만 한다. 향후 이러한 방열 성능이 고려된 다양한 형상의 멀티 실링 유닛(multi-ceiling unit) 등의 개발도 이루어져야 할 것이다.

#### 참고문헌

- [1] N. Narendran and Y. Gu, "Life of LED-based White Light Sources, Journal of Display Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 167-70, 2005.
- [2] Chun-Jen Weng, "Advanced thermal enhancement and management of LED packages", International Communications in Heat and Mass Transfer, Volume 36, Issue 3, pp. 245-248, March 2009.
- [3] 이승민, 이세일, 양종경, 이종찬, 박대희, "75W급

- LED 가로등 모듈의 방열판 최적화와 열특성 분석”, 대한전기학회논문지 제59권 제3호, pp. 609-613, 3월 2010.
- [4] X. Lu, T. Hua, M. Liu, and Y. Cheng, "Thermal Analysis of Loop Heat Pipe Used for High-power LED," *Thermochemica Acta*, Vol. 493, pp. 25-29, 2009.
- [5] S. Liu, J. Yang, Z. Gan and X. Luo, "Structural Optimization of a Microjet Based Cooling System for High Power LEDs," *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 47, pp. 1086-095, 2008.
- [6] 송상빈, 여인선, “온도 특성을 고려한 LED 전구의 방열 및 회로 설계”, 대한전기학회논문지, 제56권 제7호, pp. 1261-1267, 2007.
- [7] 이영림, 황순호, “단일 고출력 LED를 사용한 3W MR16 LED 조명등 방열 설계에 관한 연구”, 한국산학기술학회논문지, 제11권 제4호 pp. 1203-1209, 2010.
- [8] Ansys CFX, Ansys Inc., 2008.
- [9] Catia, V5R17, Dassault Systems, 2006.

**황 순 호**(Soon Ho Hwang)

[준회원]



- 2009년 2월 : 공주대학교 기계설계공학전공 (공학학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 대학원 석사과정

<관심분야>  
열유체공학, 에너지공학

**이 영 림**(Young Lim Lee)

[정회원]



- 1995년 5월 : U of Texas at Austin 기계공학과 (공학박사)
- 1996년 8월 ~ 2000년 2월 : 삼성전자-삼성전자 책임연구원
- 2000년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>  
열유체공학, 에너지공학, 자동차공학