

수치해석을 이용한 LED 조명등 방열 설계

황순호, 이영림*

*공주대학교 기계자동차공학부
e-mail:ylee@kongju.ac.kr

Thermal Design for a LED Light using Numerical Analysis

Soon Ho Hwang, Young Lim Lee*

*Division of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University

요 약

3~5W의 출력을 내는 MR16 LED 조명기구는 저 전력, 긴 수명으로 인해 에너지 문제를 해결하기 위한 중요한 요소로 작용한다. 반면에 정선 온도 상승으로 인해 수명이 급격히 단축하는 문제점이 발생하므로 방열 문제를 해결하는 것이 무엇보다 중요하다. 본 연구에서는 단일 고출력 LED 패키지를 이용한 MR16 조명등의 개발을 위해 1차원 열저항 해석 및 3차원 CFD 해석을 수행하였다.

1. 서론

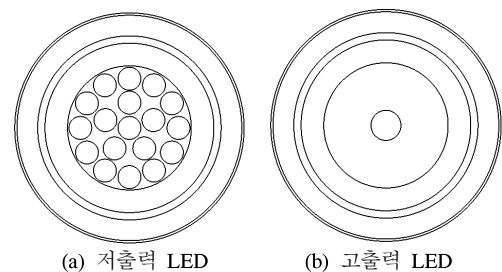
저 전력, 긴 수명, 적외선 방출이 없는 LED 조명 제품의 개발은 환경 및 에너지 문제를 해결하기 위한 중요한 요소인 반면에 방열 문제에 취약한 단점을 가지고 있다. 특히 고출력 LED의 경우 저출력 LED 보다 심각한 방열 문제가 발생하며 정선 온도의 상승으로 색온도 변이 및 심각한 LED 수명 감소의 문제점들이 발생하므로 방열 문제 해결이 무엇보다 중요하다.[1]

방열 문제의 근본적인 해결 방법으로는 자연 대류를 이용한 방법이 있으며, 강제대류, 히트 파이프, 액체 냉각 기술 분야에서 많은 연구가 이루어져 왔다. Christensen과 Graham[2]은 멀티칩(multi-chip) LED에 히트싱크를 장착하고, LED간의 간격 및 대류열전달계수를 변화시키면서 정선온도를 살펴보았다. Liu 등[3]은 마이크로 제트(micro jet)를 이용한 제트 최적화를 통하여 LED 기판(substrate)온도를 추가적으로 23°C감소시킬 수 있음을 보였다. Lee 등[4]은 대용량 알루미늄 히트싱크를 브레이징을 통해 제작하고 이를 실리콘 접합 히트싱크와의 열성능을 비교하였다.

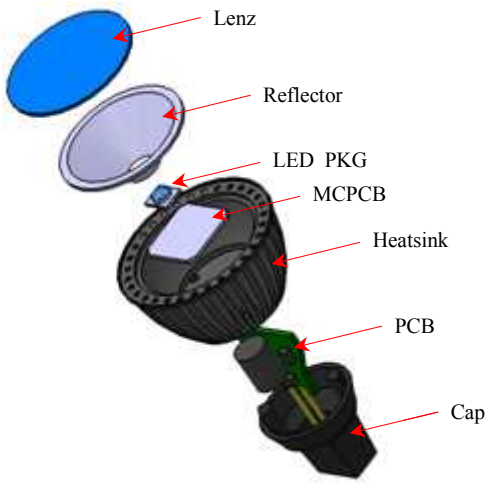
MR16의 출력은 보통 3W이상으로 사용되나 출력이 높아질수록 방열문제가 발생하여 신뢰도가 떨어

진다. LED 칩에서 발생한 열은 MCPCB(metal-core printed circuit board)를 거쳐 히트싱크로 전달된 후 대기로 방출된다. 현재까지 MR16 조명등에 장착되는 LED 패키지는 방열 및 무게 면에서 우수한 멀티 칩 패키지가 주종을 이룬다. 하지만 공간상의 제약으로 인하여 조도를 높이는데 한계가 있으므로 고출력 칩의 개발이 필요하다. 그림 1은 여러 개의 저출력 패키지를 사용한 조명등과 하나의 고출력 패키지를 사용한 조명등의 개략도이다.

본 연구에서는 멀티 칩 LED 대신 단일 고출력 LED를 이용한 3W급 MR16 조명등을 개발하고자 하였다. 주로 MR16의 방열 구조 및 방열 성능 설계에 대한 연구가 이루어졌는데 1차원 열저항 해석, 3차원 CFD 해석, LED 패키지 단품 방열 성능 실험등을 수행하였다. 그림 2에 본 연구에서 개발할 고



[그림 1] MR16 LED 조명등 개략도



[그림 2] MR16 구성도

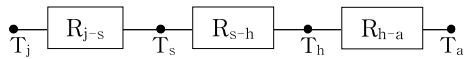
출력 단일 LED MR16 조명등의 구성도를 나타내었다.

2. MR16 조명등 수치해석 방법

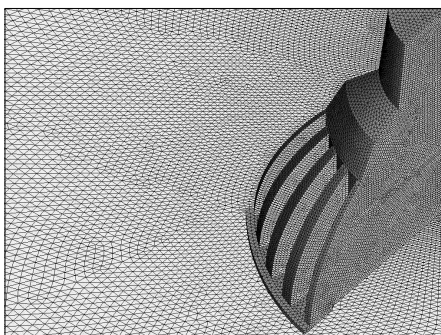
정선온도 예측 및 히트싱크 용량을 결정하기 위해서는 1차원 열저항(thermal resistance) 모델의 사용이 필요하다. 그림 3에 이와 같은 1차원 열저항 모델의 구성도를 나타내었다.

여기서 T는 온도, R은 열저항, j는 junction, s는 soldering point, h는 heatsink이며 a는 ambient를 각각 나타낸다. LED 칩이 히트 싱크에 장착된 경우 히트싱크 열저항에 따른 정선 온도 변화가 예측 가능할 뿐만 아니라 정선온도 한계내에서 사용가능한 대기온도 범위 등을 알 수 있다.

MR 16 조명등을 개발하기 위해 CFD 해석을 이용한 온도 예측이 필요하며 3차원, 압축성 및 정상



[그림 3] 1차원 열저항 모델



[그림 4] 격자 시스템

상태로 가정하여 해석을 실시하였다. 자연대류에서 층류 및 난류를 결정하는 무차원수는 Rayleigh number로서 다음과 같이 정의되는데 본 연구의 경우 약 10^7 이므로 층류유동으로 가정하였다.

$$Ra = \frac{g\beta}{\nu\alpha}(T_s - T_\infty)L^3 \quad (1)$$

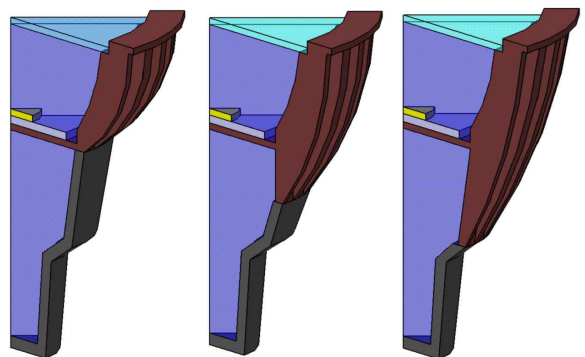
여기서, T_s 벽온도, T_∞ 대기온도, ν 동점성 계수, α 열확산 계수, β 열팽창 계수이다. 자연 대류에서는 물체의 온도가 높지 않아도 복사(radiation) 효과가 상대적으로 매우 크므로 복사를 고려하기 위해서 DO(discrete ordinate)모델을 사용하였다.

해석 결과의 정확도를 높이고 해석 시간을 줄이기 위해 기하학적 대칭을 이용하여 1/8모델을 고려하였다. 사면체(tetrahedral) 격자를 이용하였으며 격자수에 무관한 해(grid independent solution)를 얻기 위하여 약 70만개의 셀을 사용하였으며 그림 4에 사용된 격자시스템을 나타내었다.

표 1에 3W MR16 조명등 개발을 위한 방열 해석 모델을 나타내었다. 방열 핀 역할을 하는 알루미늄 케이스는 그림 5와 같이 세 가지 형상을 고려하였으며, 추가적으로 핀 개수, 환기 구멍 및 PCB가 장착되는 트레이 두께 등을 이용해 방열 성능을 비교하였다.

[표 1] 3W 조명등 설계를 위한 방열 해석 모델

Model no.	Shape	Fin no.	Additional modifications
1	shape 1	32	-
2	shape 2	32	-
3	shape 3	32	-



(a) shape 1 (b) shape 2 (c) shape 3

[그림5] 3W 조명등 방열핀 형상

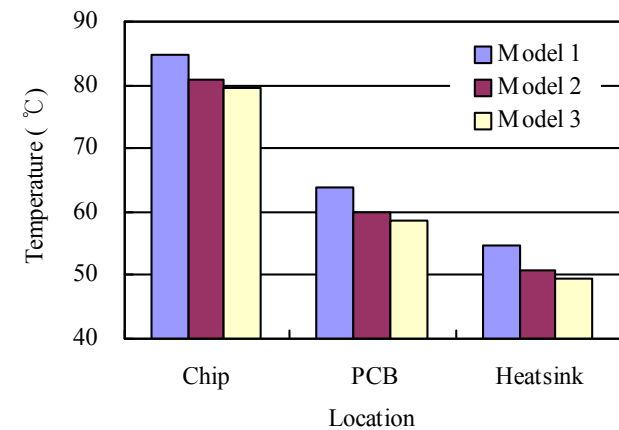
Catia[6]를 이용해 3차원 MR16 조명등을 모델링하였고 유동 및 열전달 해석을 위해서 상업용 소프트웨어인 Fluent[7]를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 고려한 LED의 경우 광속(luminous flux)은 정선온도가 110℃로 상승하면 정선온도 25℃ 대비 약 21 % 감소한다. 따라서, 목표 정선온도는 주변 온도 40℃를 기준으로 할 때 110℃ 이하로 설정하였다.

주변 온도 25℃기준으로 방열 해석 결과를 그림 6에 나타내었는데 평균적으로 칩 온도는 81℃, MCPCB 온도 60℃ 그리고 히트싱크는 51℃내외로 예측되었다.

방열 성능은 shape 3, shape 2, shape 1 순으로 효율적이었고 shape 1은 shape 3에 비해 5℃ 정도 정선온도가 높은 것으로 판명되었다. 추가적으로 고려한 형상 변경은 방열 성능 개선 효과가 거의 없음을 알 수 있다. 따라서, 방열 성능이 다소 떨어지는 shape 1을 제외하고 히트 싱크에 사용되는 알루미늄 소재 절약이 가능한 shape 2가 MR16 조명등 제작에 가장 적합하다. 최종 모델은 주변온도 45℃까지 정선온도를 약 100℃로 유지할 수 있다.



[그림 6] 모델 변경에 따른 MR16 온도 변화

4. 결론

본 연구에서는 1차원 열저항 해석 및 3차원 방열 해석을 이용한 MR16 조명등 연구를 수행하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 3W LED 패키지를 MCPCB에 장착할 경우 주변 온도 25℃ 기준 정선온도는 153.8℃ 이므로 한계 정선온도를 초과하므로 방열 핀을 이용해 정선온도를 낮추는 것이 필요하다.
- 2) 3차원 방열해석을 통하여 얻어진 최적의 3W용 히트싱크는 shape 2로 판명되었고 히트싱크의 형상 변화로 인한 정선온도변화는 약 5℃ 이내이다.

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] A. Christensen and S. Graham, "Thermal Effects in Packaging High Power Light Emitting Diode Arrays," Applied Thermal Engineering, Vol. 29, pp. 364-371, 2009.
- [3] 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.
- [4] 이영림, 황순호, 전의식, "대용량 알루미늄 브레이징 히트싱크 개발에 관한 연구," 산학기술학회논문지, 제10권, 제7호, pp. 1459-1464, 7월, 2009.
- [5] Cree, Inc, <http://www.cree.com>.
- [6] Catia, V5R17, Dassault Systems, 2006.
- [7] Fluent, Version 6.1, Fluent, Inc., Lebanon, NH 2005.