

유한요소법을 이용한 방열판 설계를 위한 열해석

장현석¹, 이준성^{2*}, 박동근¹

¹경기대학교 대학원 기계공학과, ²경기대학교 기계시스템공학과

Heat Analysis for Heat Sink Design Using Finite Element Method

Hyun-Suk Jang¹, Joon-Seong Lee^{2*} and Dong-Keun Park¹

¹Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, Kyonggi University

²Dept. of Mechanical System Engineering, Kyonggi University

요 약 LED는 저탄소 그린에너지 시대의 등기구로서 각광을 받고 있다. 다른 조명용 광원에 비해 친환경적이고 높은 에너지 효율을 가지고 있고 수명이 길다는 장점을 가지고 있지만, 공급전력 중 80% 이상이 열에너지로 전환되며, 이에 따른 온도상승이 불가피 하여 높은 온도가 단점으로 꼽히고 있다. 온도상승은 LED소자의 수명에 영향을 미치기 때문에 방열시스템이 중요하게 자리 잡고 있다. 따라서 본 논문에서는 방열성능 향상을 위하여 LED 전구의 heat sink의 형상에 대한 열해석을 통하여 방열 시스템의 효율성을 분석하였다.

Abstract LED is standing in the limelight as a light part of the low-carbon green energy. While LEDs are eco-friendly, efficient and durable, extreme heat rises can cause their durability to decrease, with 80% of the power supply being turned into heat energy. Heat radiation systems are important because rising temperatures affect the lifetime of LED elements. Therefore, in this paper, thermal analysis was performed for the shape of heat sink to the LED bulb. Also, it is applied the temperature control systems to our products for optimal performance.

Key Words : Die Casting, Heat Sink, LED, Thermal Analysis, Optimal Performance

1. 서론

백열전구 개발이후 많은 종류의 램프가 개발되어 왔으며 용량과 용도에 따라 실생활과 산업현장에서 유용하게 사용되고 있다. 그러나 백열등이 지구 온난화의 주범 중 하나로 지목되어 2012년부터 순차적으로 세계 각국에서 백열전구를 순차적으로 사용을 금지하고 있으며, 이 백열등을 대체할 차세대 광원으로 LED(Lighting Emission Diode, 발광 다이오드)가 주목받고 있다.

LED는 순방향으로 전압이 걸릴 때 단파장 빛(monochromatic light)이 방출되는 현상인 전기발광효과를 이용한 반도체 소자이며, 단가가 비싼 반면 기존광원에 비해 반영구적인 수명을 가지고 있으며, 광효율이 높

고 저전력에서 고출력이 가능하기 때문에 에너지를 절약할 수 있다[1,2].

LED는 효율이 높고 수명이 길어서 조명 장치에 매우 장점을 가진 소자이지만, 발생된 에너지중 약 80%가 열로 손실되는 것으로 알려져 있다. 이렇게 발생된 열은 LED 조명기기의 접합온도(junction temperature)가 상승되는 결과를 초래하며, 효과적인 열 방출이 되지 않을 경우 열적 과부하로 인한 와이어 끊김, 층간 분리, solder past 접속 분리, 에폭시 레진의 황변 등과 같은 현상으로 인하여 LED의 고장이 발생할 수 있다.

필립스의 Luxeon K2 백색 LED에 1.5A의 전류가 가해진 경우, 접합온도가 가장 높은 경우 10,000시간 이전부터 효율이 감소하며 단시간 안에 수명이 다하는 것을 볼

*Corresponding Author : Joon-Seong Lee(Kyonggi Univ.)

Tel: +82-31-249-9813 email: jslee1@kyonggi.ac.kr

Received January 3, 2013

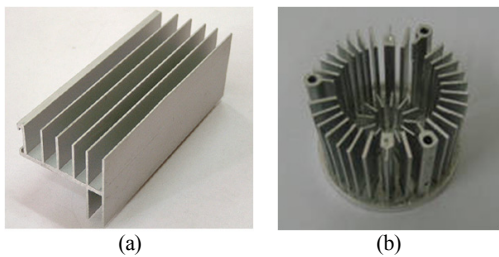
Revised February 5, 2013

Accepted March 7, 2013

수 있다[1]. 이러한 문제점으로 인해 접합온도를 낮추어 효율을 높이기 위한 방열에 대한 연구가 대두되고 있다.

LED전구에서 가장 널리 사용되는 방열기술로는 수동적 방열기술의 하나인 냉각 fin을 사용한 heat sink를 통한 방열방법이 가장 널리 사용되고 있다. 또한, heat sink의 제작 방법 중 가장 많이 쓰이는 방법은 직접압출법에 의한 제작과 die casting에 의한 제작이 가장 널리 쓰인다. 직접압출법은 빌렛을 컨테이너에 넣고 램에 의해서 다이홀 사이드로 밀어내는 방식으로 우수한 단면 감소율로 복잡한 단면형상을 가진 제품 생산이 가능하다. Die casting공법은 요구된 주조형상을 완벽하게 구현하도록 제작된 초정밀 금형에 상대적으로 용융점이 낮은 알루미늄, 아연, 주석, 마그네슘 및 구리 합금 등 용융금속을 고속, 고압으로 주입한 후 냉각 응고시켜 치수 정밀도와 복잡한 형상 정밀도를 갖는 제품을 대량생산 할 수 있는 특수 주조법이다[3].

Fig. 1은 직접압출법 및 die casting으로 제작되는 heat sink이며 (a)는 도성정밀사의 DMT 제품으로 직접압출법을 사용한 제품이며, (b)는 Freecom사의 die casting 공법을 사용한 제품이다. 이와 같이 압출공정으로 제작되어진 heat sink는 동일한 단면적의 fin이 형성되며, die casting으로 제작되는 heat sink는 단면적의 변화 및 형상의 변화가 자유로운 것을 알 수 있다. Heat sink를 제작 시에는 이와 같은 제작 방법을 염두에 두어야 하며, 본 논문에서는 heat sink 제작 방법 중 die casting 제작 방법을 기초로 하여 die casting에서 허용하는 최소두께를 적용 후 형상을 변경하여 형상별 온도분포를 확인하고자 한다.

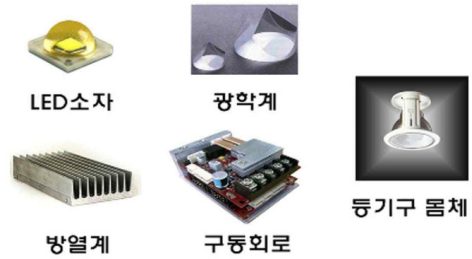


[Fig. 1] Heat sink by direct extrusion & die casting

2. LED 구조 및 해석 방법

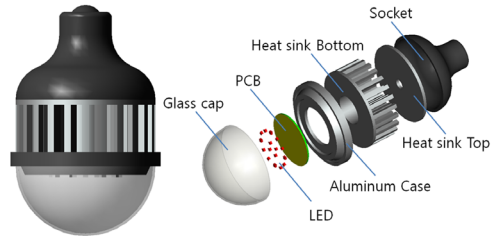
2.1 LED 전구의 구조

LED 전구란 광원으로 LED를 사용한 것을 말하며, 기본적인 구성요소는 Fig. 2와 같이 LED소자, 광학계, 방열계, 구동회로, 등기구 몸체 등으로 구성되어 있다.



[Fig. 2] Default configuration of LED light bulbs[4]

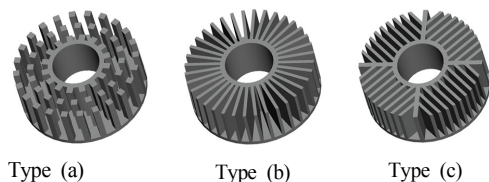
본 연구의 해석대상으로 하는 LED 전구의 구조는 Fig. 3에 나타난 것과 같이 Glass cap, LED 16개 요소, PCB, Aluminum case, Heat sink bottom & top, Socket으로 이루어져 있다.



[Fig. 3] Structure of LED light bulbs

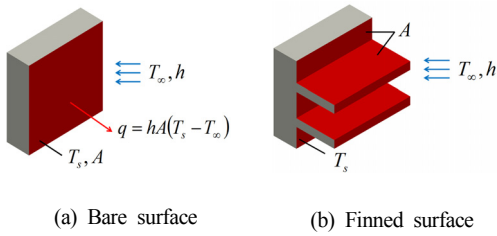
2.2 LED 전구의 해석 방법

본 해석에 사용된 LED 전구는 실내에서 사용되는 전구를 기본으로 하였다. 실내에서 사용되는 전구의 신뢰성 테스트를 진행할 경우, 일반적으로 바람이 없는 무풍지대를 설치하거나 항온 챔버 내부에서 실험을 하는 등 자연 대류만을 적용하게 된다[5]. 본 해석에서 사용된 LED 전구의 외부에 자연대류만 발생한다는 조건으로 하여 해석을 진행하였다. Fig. 4와 같이 heat sink bottom을 3가지 형상으로 모델링하여 해석을 진행하였으며, 각각의 모델링은 3D modeling program인 Pro-engineer를 사용하였다.



[Fig. 4] Type of heat sink bottom

Heat sink는 확장표면에서의 열전달을 기본 이론으로 사용하며, 확장표면이란 일반적으로 고체 내에서 전도에 의한 열전달과 고체의 경계로부터 대류 및 복사에 의한 열전달을 포함하는 특별한 경우를 표현하는데 사용된다. 가장 흔한 응용은 고체와 이에 인접한 유체 사이에서 열전달을 증가시키기 위하여 확장표면을 사용하는 것이며, Fig. 5는 열전달을 증가시키기 위한 fin의 활용을 나타낸 것이다[6].



[Fig. 5] Use of fins to enhance heat transfer of plane wall[6]

Fig. 5(a)와 같이 대류열전달 계수 h 를 증가시킬 경우 부수적인 비용의 상승이 있을 수 있으며, 유체온도 T_{∞} 를 낮추는 방법에는 비현실적인 경우가 많으므로 (b)와 같이 대류가 일어나는 표면적을 증가시키면 열전달을 증가시킬 수 있다.

Heat sink는 알루미늄을 원재료로 하여 die casting 제작을 기초로 하며, 알루미늄 die casting 의 경우 기공이 제품의 내부에서 쉽게 발견되며, 과도한 두께는 생산 시에 불량 발생의 원인이 될 수도 있다. 알루미늄 die casting 제품 설계 시 재료 두께는 2~4mm 정도가 보통이며, 5mm이상은 아주 드물게 사용된다. 이러한 재료의 최소두께는 G.Lieby가 보고한 제품의 최소 두께를 통하여 알 수 있다. Table 1은 알루미늄 제품의 최소두께를 나타낸 것이다[7].

Table 2는 Aluminum 최소 두께를 적용한 heat sink의 형상분석을 통한 표면적을 계산한 것이다.

[Table 1] Minimum thickness of the die casting products[7]

Surface area of the die cast products (cm^2)	High molten light alloy (Aluminum) (mm)
25 or less	0.8~1.2
25~100	1.2~1.8
100~500	1.8~2.5
500 or more	2.5~3.0

[Table 2] Type of surface area

Heat sink bottom	Surface area (mm^2)
Type (a)	29,385
Type (b)	49,028
Type (c)	49,265

본 연구에서는 일정시간이 지난후의 LED전구의 열적 평형상태를 heat sink의 온도 분포를 통하여 알아보고, heat sink의 각 형상별 transient thermal 해석을 진행한다. LED 전구의 표면에는 27℃의 자연대류 경계조건을 설정하고 LED의 효율이 20~30% 임을 고려하여 LED 16개 요소에서 단위볼륨 당 455,000 W/m^3 의 열이 발생하는 것으로 하였으며, 7,200초 동안 지속적으로 LED전구가 동작한다고 할 경우에 대하여 해석을 진행한다. Table 3은 각 부품별 재질을 나타낸 것이며, Table 4는 재질별 물성치를 나타낸 것이다.

[Table 3] Component of Material

Material	Component
Aluminum	Aluminum case, Heat sink bottom & top, PCB
Copper	PCB
Poly Carbonate	Socket
Glass	Glass Cap
GaN	LED

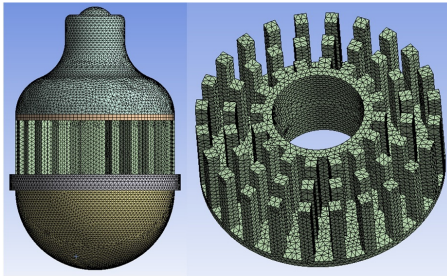
[Table 4] Material properties

Material	Density (kg/m^3)	Specific heat ($J/kg \cdot ^\circ C$)	Thermal conductivity ($W/m \cdot ^\circ C$)
Aluminum	2770	875	190
Copper	8300	385	401
Poly Carbonate	1330	1510	0.227
Glass	2180	750	1.38
GaN	5910	371	40.6

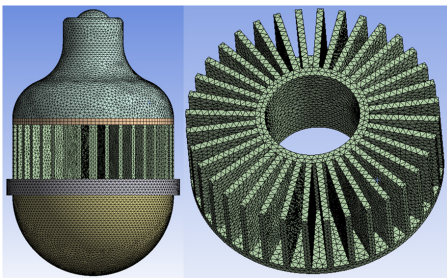
Heat sink의 형상별 요소생성은 Fig. 6과 같이 LED 전구의 전체 조립상태에서 요소를 생성하였으며, 이때의 LED전구와 heat sink의 절점수와 요소수는 Table 5와 같다.

[Table 5] Number of nodes and elements of LED bulbs

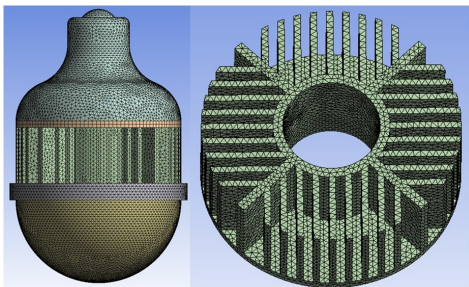
Type	LED Bulbs		Heat sink	
	Nodes	Elements	Nodes	Elements
(a)	234,814	106,248	71,937	34,703
(b)	288,172	133,129	125,949	62,102
(c)	286,406	132,295	124,131	61,226



Type (a)



Type (b)



Type (c)

[Fig. 6] Each elements of heat sink

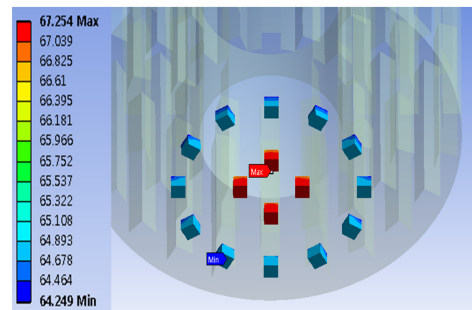
3. 해석결과

LED 전구가 7,200초 동안 동작할 경우 transient thermal 해석 후 LED 16개 소자의 최소, 최대 온도를 Table 6에 나타내었다. Fig. 7은 Type (a)의 온도분포를 나타낸 것으로 LED소자는 LED 전구의 중심으로 갈수록

온도가 높게 나타나는 것을 알 수 있으며, 다른 Type의 LED 소자 역시 온도만 다르고 동일한 양상을 보였다. 이때의 온도는 LED 소자의 안정적인 동작 온도 내에 존재하여 LED 전구가 안정적으로 작동할 것으로 보인다.

[Table 6] Min & max temperature of LED

LED	Temperature min.(°C)	Temperature max.(°C)
Type (a)	64.249	67.254
Type (b)	54.164	57.21
Type (c)	54.003	57.049

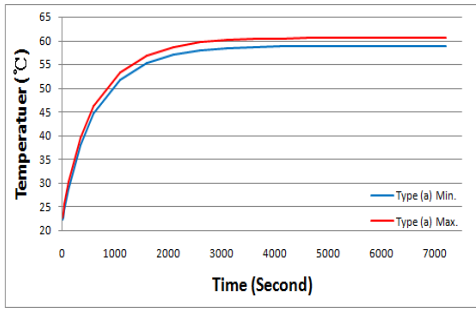


[Fig. 7] Temperature distribution of LED

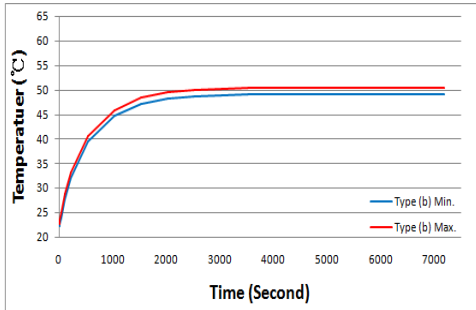
Table 7은 7,200초 후의 heat sink bottom의 최소 및 최대 온도를 나타낸 것이며, Fig. 10은 heat sink bottom의 시간에 따른 온도변화를 나타낸 것이다. Fig. 8에서와 같이 LED전구의 동작시간이 약 3,000초를 지난 시점부터 온도변화가 미소하게 나타나 열적 평형이 이루어 졌음을 알 수 있다. 7,200초 이후의 heat sink bottom의 온도분포는 Fig. 9와 같으며, Aluminum case와 접한 부분의 온도가 가장 높았으며, heat sink top과 접한 부분의 온도가 가장 낮은 것으로 나타났고 3가지 형상 모두 LED 소자가 안정적으로 작동할 수 있는 온도를 유지하는 것으로 나타났다. 그 중 Type (a)의 온도가 가장 높았으며, Type (c)의 온도가 가장 낮은 것으로 나타났다.

[Table 7] Min & max temperature of heat sink bottom

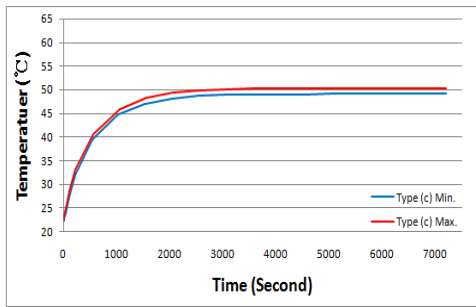
Heat sink bottom	Temperature min.(°C)	Temperature max.(°C)
Type (a)	58.942	60.574
Type (b)	49.144	50.418
Type (c)	49.081	50.278



Type (a)

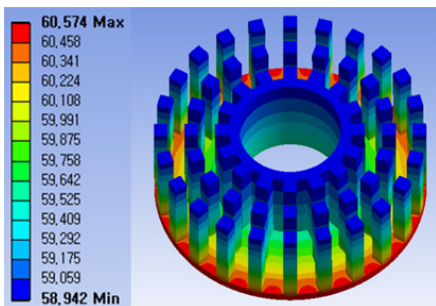


Type (b)

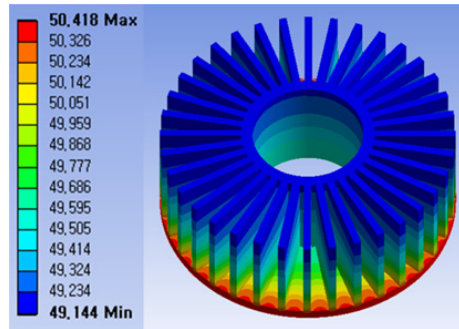


Type (c)

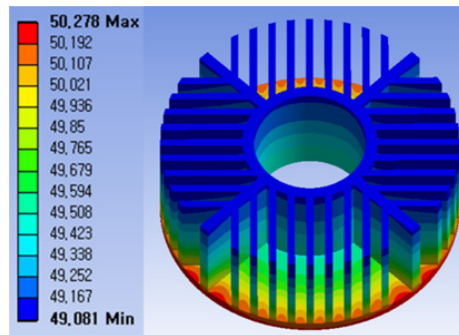
[Fig. 8] Temperature distribution of heat sink



Type (a)



Type (b)



Type (c)

[Fig. 9] Temperature distribution of heat sink

4. 결론

본 연구는 die casting 제작을 기준으로 하는 LED전구에서 heat sink의 3가지 형상에 대한 transient thermal 해석을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) Die casting 제작을 기본으로 하는 최소벽 두께를 갖는 각기 다른 3가지 형상의 heat sink의 열해석을 통하여 각 Type의 온도분포를 알아본 결과 3가지 Type 모두 LED 소자가 안정적으로 작동할 수 있는 온도를 유지하였다.
- (2) 3가지 Type의 heat sink 중 Type (c)가 가장 방열 성능이 좋은 것으로 나타났다.
- (3) Die casting으로 제품을 양산 시 금형의 수명, 고장의 발생 및 제품추출 시 제품의 변형 등을 고려한다면, 금형 core의 형상이 좁아지는 형상이 아닌 동일한 간격으로 형성할 수 있는 Type (c)가 가장 적합할 것으로 보인다.

References

- [1] S. H. Hwang., "Study on thermal design of LED lights", Master's thesis, pp. 1-5,13-24, 2010.
- [2] S. H. Hwang, S. J. Park and Y. L. Lee, "A Study of Optimal Thermal Design for a 10W LED Lamp", J. of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 11, No. 7, pp. 2317-2322, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.7.2317>
- [3] J. M. Lee, B. M. Kim, et al., "FE Analysis of Extrusion Process for Heat sink", Proceedings of annual meeting of KSTP, pp. 313-317, 2003.
- [3] J. I. Park, Y. C. Yoon, et al., "Shape Optimization of Die Casting Mold for Improvement Fatigue Life Based on Fatigue Analysis", Proceedings of annual meeting of Korean Society of Machine Tool Engineers, pp. 291-296, 2009.
- [4] D. I. Shin, and K. J. Park, "The Design Study for LED lightning lamp heat Sink Structure," Proceedings of Korean Society of Design Science, pp. 90 - 91, 2010.
- [5] B. H. Cho, "Finite Element Heat transfer analysis of Heat sink for LED Socket", Master's thesis, pp. 39-53, 2011.
- [6] B. C. Park, H. K. Park, et al., "INTRODUCTION TO HEAT TRANSFER, FIFTH EDITION," TEXT BOOKS, pp. 280 - 283, 2007
- [7] S. B. Park, and Y. H. Seo., "Die Casting Product Design", PRESS TECHNOLOGY, No. 11, pp. 76-87, 2000
- [8] W. John, P. Shawn, et al., "100,000 Hour Lifetimes And Other LED Fairytales," 2008 LED Transformation, LLC, pp. 46 - 58, 2008.

장 현 석(Hyun-Suk Jang)

[정회원]



- 2009년 2월 : 경기대학교 기계시스템공학과 (공학사)
- 2009년 6월 ~ 2010년 12월 : 선린전자 연구원
- 2013년 2월 : 경기대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2013년 1월 ~ 현재 : (주)인택 기술연구소

<관심분야>

기구설계, 구조해석, CAD, 솔리드모델링

이 준 성(Joon-Seong Lee)

[정회원]



- 1988년 2월 : 성균관대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1995년 9월 : 동경대학교 (공학박사)
- 1988년 7월 ~ 1991년 7월 : 육군사관학교 교수부 기계공학과 교수
- 1996년 3월 ~ 현재 : 경기대학교 기계시스템공학과 교수

<관심분야>

최적설계, Neural Network, 자동요소생성기법

박 동 근(Dong-Keun Park)

[정회원]



- 2005년 2월 : 경기대학교 기계시스템공학과 (공학사)
- 2009년 2월 : 경기대학교 건설·산업대학원 (공학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 경기대학교 대학원 기계공학과 박사과정

<관심분야>

CNC터닝센터, 공작기계, 생산자동화, CAD