

열적 안정성을 고려한 LED 전구의 열해석 및 평가

Thermal Analysis and Evaluation of LED Bulb Considering Thermal Stability

*신민호¹, #김영주^{1,2}, 이재은³, 이수권³
 *M. H. Shin¹, #Y. J. Kim(yjkim40@yonsei.ac.kr)², J. E. Lee³, S. K. Lee³
¹연세대학교 정보저장공학과, ²연세대학교 기계공학부, ³㈜IM

Key words : LED Bulb, Thermal Analysis, CFD, Fluent

1. 서론

발광 다이오드 (LED) 기술은 1960 년대에 처음으로 상업적 용도로 사용된 이래 오늘날에 이르기까지 끊임없는 발전으로 그 효율성이 초기에 비해 비약적으로 높아졌다. 이러한 발광 다이오드 기술의 지속적인 발전은 현재에 이르러 자동차 조명 및 실외 조명은 물론 장식용 조명에까지도 사용되고 있다. 하지만 10W 이상의 고출력 실내용 조명에 쓰이는 LED 의 경우 LED 에서 발생하는 열과 유리 용기와 같은 밀폐된 공간에 의한 온도 상승으로 인한 원활한 냉각 방해로 인해 LED 의 내부온도가 상승하여 광출력 감소 및 LED 의 수명 감소를 가져온다. 이로 인해 10W 이상의 LED 조명 제품의 경우 냉각팬이나 히트싱크 등과 같은 냉각장치의 필요성이 불가피하게 되었고 경쟁력 있는 가격으로 광출력 향상 및 LED 의 수명을 높이는 방법에 대한 연구가 진행되고 있다.¹⁾

본 논문에서는 10W 이상의 고출력 실내용 조명용 LED 전구의 열특성 시뮬레이션과 시작품의 제작 및 측정을 통한 열적 안정성을 평가하고 시뮬레이션 결과와 실험 값의 비교를 통해 시뮬레이션의 신뢰성을 확보하고자 한다.

2. LED 전구 모델링

본 연구에서 해석대상으로 하는 LED 전구의 구조는 Fig.1 에서 나타낸 것처럼 Glass bulb, LED, PCB, Base PCB, Heatpipe, Base Heatsink 1&2, Heatsink, Socket 으로 이루어져 있다. 이 구조의 경우 180 도 이하의 배광을 가지는 다른 제품과 달리 12 면체 구조의 Base PCB 를 사용하여 180 도 이상의 배광이 가능하도록 설계 되었다. 또한 CPU 쿨러의 Heatsink 구조를 응용한 발열체 구조를 사용함으로써 열적 안정성을 도모하였고 열전도성이 좋은 구리를 이용하여 Heatpipe 를 구성함으로써 LED 에서 발생한 열을 Heatsink 까지 효과적으로 전달할 수 있도록 하였다. LED 전구의 모델링은 전처리 프로그램인 Gambit 을 사용하였고, 열해석은 상용 CFD 프로그램인 Fluent 를 사용했다. 1 차 테스트 해석을 통해 LED 에서 발생한 열은 Heatpipe 를 따라 Heatsink 통해 공기 중으로 대부분 빠져나감을 알 수 있었다. 이에 실질적인 온도분포에 영향이 미비한 Base Heatsink2 와 socket 은 해석 결과의 수렴성과 해석시간의 단축을 위해 모델에서 제외하고 해석을 수행하였다. Fig.2 는 간략화한 모델과 격자계를 나타낸 그림이고 LED 전구를 구성하는 격자의 개수는 약 228,000 개이다.

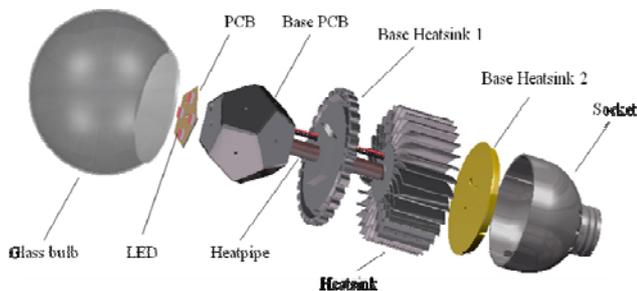


Fig.1 Structure of LED Bulb

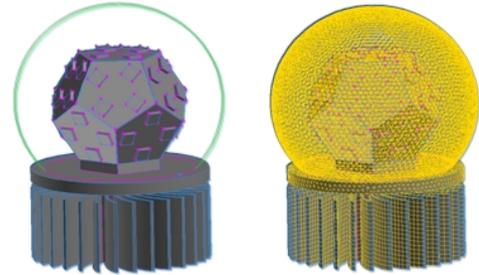


Fig.2 Simplified Model & Grid generation of LED Bulb

Table 1 Material of Components

Material	Component
FR-4	PCB, Base Heatsink 2, Socket
Aluminum	Base PCB, Base Heatsink 1, Heatsink
Copper	Heatpipe
Glass	Glass Bulb
GaN	LED

Table 2 Material Propertise

	Density $\rho(\text{kg/m}^3)$	Specific heat $C_p(\text{J/kg}\cdot\text{K})$	Thermal Conductivity $k(\text{W/m}\cdot\text{K})$
FR-4	1230	1260	0.35
Aluminum	2719	871	202.4
Copper	8978	381	387.6
Glass	2203	600	1.05
GaN	5910	371	40.6

LED 전구의 표면에서의 경계조건은 긴 해석 시간과 결과의 수렴성을 고려하여 표면에 27℃의 자연대류 경계조건을 부여하고 LED 에서 발행하는 열은 LED 의 효율이 20% ~ 30% 임을 고려하여 단위 볼륨당 455,000 W/m³의 열이 발생하는 것으로 하였다. 그리고 Base PCB 와 Heatpipe, Heatpipe 와 Heatsink 가 접촉되는 면의 넓이가 충분히 넓으므로 열저항은 없다고 가정하고 해석을 진행하였다.²⁾ 해석에 사용되는 부품들의 재질과 물성치는 각각 Table 1 과 Table 2 와 같다.

3. 해석결과

Fig.3 에서는 LED 전구의 온도 분포를 LED 전구 구동 후 40 분까지 10 분 간격으로 나타내었다. 또한 Fig.4 는 70 분이 지난 후에 LED 전구의 온도 분포이다. 가장 높은 온도를 나타내는 곳은 LED 이며 Glass bulb 내의 공기를 제외하고는 Heatsink 의 온도가 가장 낮은 것으로 나타났다. LED 에서 높은 온도를 보이는 주요 요인은 LED 효율에 따른 내부 열 발생과 PCB 의 낮은 열전도도 때문이다. 더불어 Glass Bulb 에 의해 생성된 밀폐된 공간의 높은 온도의 공기가 LED 표면에서의 대류에 의한 냉각을 방해하는 것 또한 주요 요인 중 하나인 것으로 보여진다.

Table 3 에서는 LED 전구의 구동시간에 따른 온도를 나타내고 있다. 구동 후 70 분의 시간이 흐른 뒤의 LED 는

66℃로 최고온도를 나타냈으며 Heatsink 의 온도는 51℃로 나타났다. LED 전구가 구동을 한지 40 여분이 지나면 온도의 변화가 미소한 것으로 나타나 열적 평형이 이루어졌음을 알 수 있다.

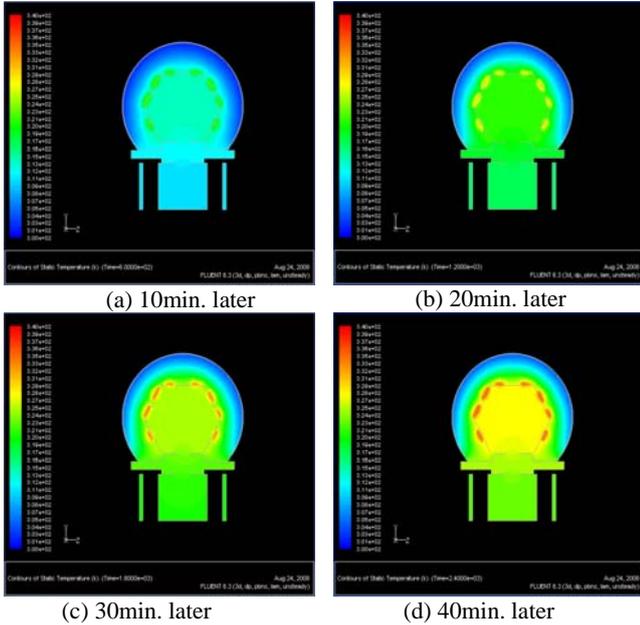


Fig.3 Section Thermal Profile of LED Bulb (a) 10min. later (b) 20min. later (c) 30min. later (d) 40min. later

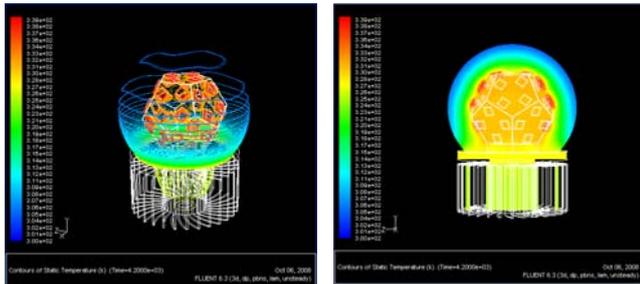


Fig.4 Thermal profile (after 70min.)

Table 3 Temperature of LED & Heatsink(℃)

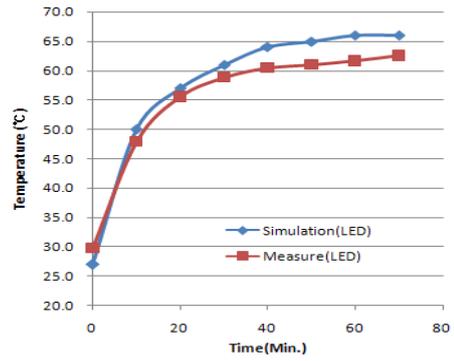
Field \ Min.	10	20	30	40	50	60	70
LED	50	57	61	64	65	66	66
Heatsink	37	43	47	49	51	51	51

4. 시작품 제작 및 평가

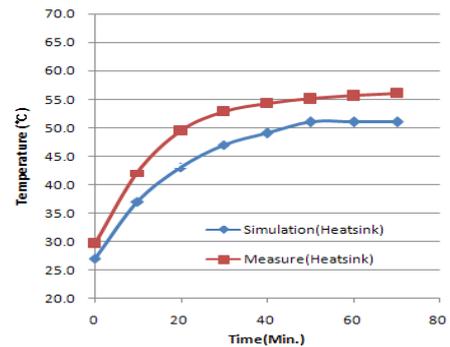
아래의 사진(Fig.5)은 시뮬레이션을 바탕으로 제작한 시작품 모델이다.



Fig.5 Prototype of proposed LED bulb



(a) Temperature distribution of LED



(b) Temperature distribution of Heatsink

Fig.6 Temperature distribution along time (a) LED (b) Heatsink

Fig.6 의 그래프는 타점 온도계를 이용하여 LED 전구의 시간에 따른 온도를 측정 한 결과와 시뮬레이션 결과를 비교한 그래프이다. 측정조건은 LED 전구의 유리구를 씌운 상태에서 유리구가 아래쪽을 행하도록 설치한 후 온도 측정 부위에 온도계를 납땜하여 측정하였다. Fig.6 에서 알 수 있듯이 시뮬레이션을 통한 해석결과와 실험으로 얻어진 측정값은 최대 4℃ 이내로 근소한 차이를 보였다.

5. 결론

본 연구에 사용된 LED 의 경우 온도가 85℃ 이상이 되면 수명이 현저히 떨어지게 되는데, 열전도성이 좋은 구리 Heatpipe 와 CPU 쿨러의 히트싱크 구조를 응용한 발열체를 적용하여 LED 전구를 효과적으로 냉각함으로써 전구의 측정 최대 온도가 62.5℃ 로 양호한 온도분포를 보여 LED 전구의 수명 측면에서 열적으로 안정함을 실험과 시뮬레이션을 통해 입증하였다. 하지만 40℃ 이후로는 LED 의 광효율이 감소하게 되므로 Glass Bulb 내부 공간의 공기순환이 원활한 구조가 되도록 구조를 최적화하고, 부품들의 접촉면에서 발생하는 열접촉저항으로 인한 열의 전도가 낮아질 수 있음을 고려하여 Base PCB 에서 Heatsink 까지의 부품을 일체형의 구조로 제작한다면 더욱 효과적인 냉각으로 인한 안정된 LED 의 수명과 높은 광효율의 효과를 기대할 수 있을 것이다. 또한 시뮬레이션의 결과와 실험의 측정값의 비교를 통해 시뮬레이션의 신뢰성이 입증됨으로써 새로운 구조에 대한 시작품 제작에 필요한 시간적, 경제적 손실을 CFD 상용프로그램을 이용한 열해석을 통해 최소화 할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Sang-Bin Song, In-Seon Yeo, "The Thermal and Circuits Design of an LED Bulb Considering Temperature Property", Trans. KIEE, **56/7**, 2007
2. N.Aizar Abdul Karim, P.A. Aswatha Narayana and K.N. Seetharamu, "Thermal analysis of LED package", Microelectronics International, **23/1**, 19-25, 2006