Heat pipe를 이용한 고출력 LED 조명기기 개발을 위한 실험적 연구

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

A study on Experiments for High Power LED Lights with Heat Pipes

Soon Ho Hwang*, Young Lim Lee*
*Division of Mechanical and Automative Engineering, Kongju National University

요 약

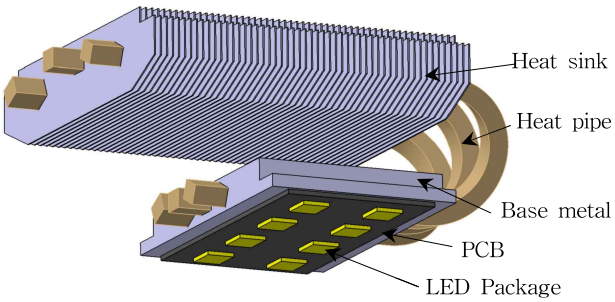
근래 LED 조명기기 연구는 출력이 낮은 조명기기에서 고출력 전원을 이용한 고휘도 제품 개발로 바뀌는 추세이다. 고출력을 이용할 경우 단순히 히트싱크 형상, PCB 배치 및 물성 변경을 통한 방열문제 해결 방법으로는 LED 조명기기의 수명감소 문제를 해결하는데 한계가 있다. 따라서 방열능력을 더욱 향상시킬 수 있는 히트파이프(heat pipe)의 필요성이 대두되었다. 본 연구에서는 히트파이프를 이용해 고출력 LED 조명기기 개발을 위한 연구를 수행하였다.

1. 서론

LED 조명기기는 저전력, 고효율 제품으로 수명이 길며 에너지 효율이 높다. 이와 같이 환경 친화적인 이유로 국내외에서 많은 투자와 연구가 이루어지고 있다. LED 조명기기의 가장 큰 문제점은 발생된 열에 의해 수명이 감소하는 것이며 이러한 방열문제를 해결하는 것이 고효율 LED 조명기기를 만드는데 필수적이다.[1]

방열문제를 해결하기 위한 기초적인 방법은 히트싱크 형상 변경이지만 획기적으로 정션온도를 감소시키기기 위해서는 거대한 방열면적이 필요하므로 무게증가, 가격상승의 추가 문제점이 발생한다. 그러므로 히트싱크 형상 변경만으로는 자동차 헤드램프, 항만 조명등과 같이 출력이 높은 LED 조명기기를 만드는 것이 부적합하다.

고출력 LED 조명기기를 만들기 위한 방법중 하나는 PCB 물성 변경, 다수의 저출력 칩을 사용하는 방법이 있는데 본



[그림 1] 히트파이프 LED 조명기기 구성도

저자가 수행한 10W LED 조명등 방열 설계 최적화에 관한 연구[2]에서 이를 이용해 30%의 정션온도 저감능력을 볼 수 있었다. Weng[3]은 LED 조명등 제품 개발을 위한 열 설계 법칙과 상호작용을 파악하기 위하여 수치해석을 이용해, 0.1~1W의 출력에 따른 히트슬러그(heat slug) 크기, PCB 물성, 냉각조건, 칩(Chip)크기 등의 다양한 조건에서 저항과 정션온도 관계를 연구하였다.

또한, Liu 등[4]은 방열문제를 해결하기 위해 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.

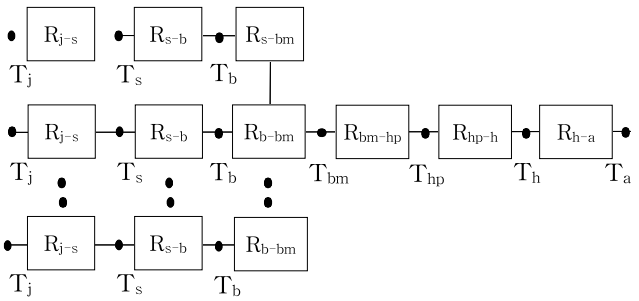
히트파이프를 이용할 경우 열전달 능력을 증가시키므로 LED 조명기기의 수명 향상에 도움이 된다. 지금까지 히트파이프의 연구는 많이 수행되어 왔지만 LED 조명기기에 적용한 예는 극히 드물기 때문에 이를 위한 연구의 필요성이 대두되었다.

따라서, 본 연구에서는 히트파이프를 적용한 고출력 LED 조명기기 개발을 위해 그림 1과 같이 8개의 LED 패키지를 장착한 히트파이프용 조명기기를 구성하였다. 이를 통해 LED 정션온도를 낮춰 효율이 높은 조명기기를 제작하고자 한다. 조명등에 사용된 LED는 Cree사[5]의 XLamp® XR-E LED이며 COB 타입의 패키지이다.

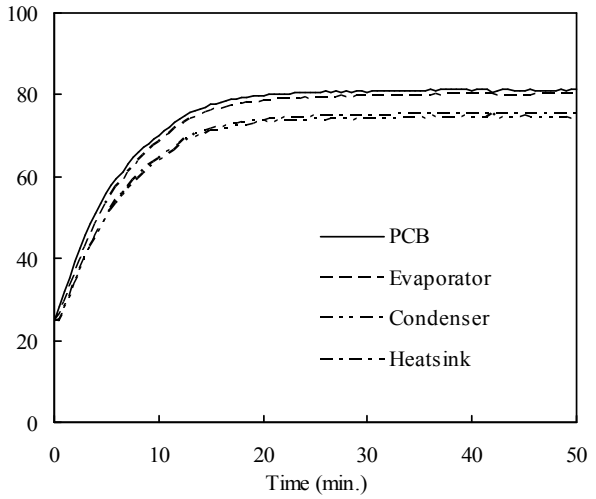
2. 1차원 열저항 해석

실험을 통해 LED 조명기기의 정션온도를 측정하는 것은 불가능 하므로 1차원 열저항 모델(Thermal resistance model)을 이용하며 그림 2와 같이 모델링 할 수 있다.

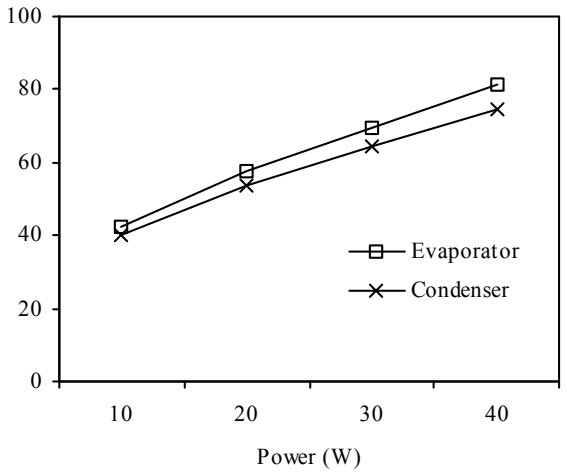
여기서, j는 junction, s는 soldering point, b는 PCB board, bm은 base metal, hp는 heat pipe, h는 heat sink, a는 ambient를 나타낸다.



[그림 2] 히트파이프를 적용한 LED 조명기기 열저항 모델



[그림 3] 40W 전력일 때 PCB, 증발부, 응축부, 히트싱크 온도



[그림 4] 전력에 따른 히트파이프 증발부와 응축부 온도

$$R = \frac{\triangle T}{P} \quad (1)$$

정션온도를 정확히 예측하기 위해서는 각각의 온도, 저항, 전력을 알아야하는데 식 (1)을 이용해 정션온도 예측에 필요한 값을 구할 수 있다. 이 때, R은 저항, $\triangle T$는 온도차, P는 전력을 나타낸다.

실험에 사용된 COB 타입의 LED 패키지 저항은 9℃/W이며 150℃ 한계정션온도를 갖는다. 본 연구에서는 혹서지 대기온도 40℃를 기준으로 목표정션온도를 110℃로 정하고 실험을 실시하였다.

3. 실험방법

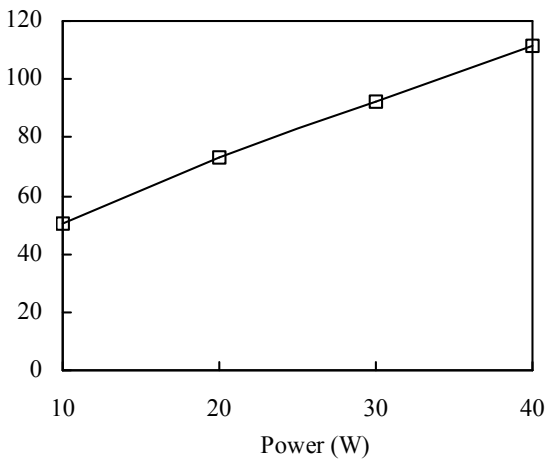
LED에 10~40W의 전력을 주었으며 PCB, 베이스메탈(증발부), 방열판, 히트파이프 응축부, 주변온도를 측정하기 위해 K 타입 열전대를 설치하였다. 전력이 가해진 시간부터 열평형 상태에 도달할 때까지 시간에 따라 각각의 온도를 얻었다. 이와 함께 열화상 카메라를 이용하여 표면의 온도분포를 살펴보았는데 측정의 정확성을 위해 흑연(graphite)을 표면에 도포하였다.

4. 실험 및 열저항 해석 결과

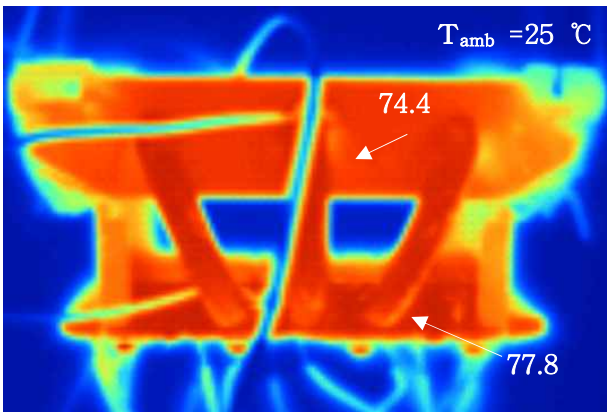
그림 3은 주변온도 25℃에서 40W의 전력을 가했을 때 온도 변화인데 25분이 지나자 모든 지점에서 열평형상태를 유지하는 것을 볼 수 있다. PCB의 온도는 81.1℃이며, 히트파이프 증발부의 온도는 80.0℃로서 응축부와 약 1.1℃의 차이를 나타냈다. 또한 히트싱크의 평균 온도는 75.3℃로서 PCB에서 히트싱크까지의 온도차는 약 5.9℃ 발생했다.

그림 4는 10, 20, 30, 40W 전력에 따른 히트파이프 증발부와 응축부의 온도를 나타낸다. 전력과는 무관하게 열평형은 전력 인가후 25분 이내에 발생하는 것을 볼 수 있다. 하지만 전력이 증가함에 따라서 히트파이프 증발부와 응축부의 온도차가 커지는 것을 볼 수 있다. 10, 20, 30, 40W 일 때 증발부와 응축부 사이의 저항은 각각 0.257, 0.221, 0.185, 0.179 ℃/W로 전력이 높을수록 증발부와 응축부의 저항은 감소한다.

40W의 경우 대기온도 25℃ 기준으로 111.7℃의 정션온도가 발생하며, 혹서지의 대기온도 40℃를 기준으로하면 정션온도가 127.7℃가 되므로 목표정션온도를 초과하였다. 하지만 30W의 경우 혹서지 대비 107.6℃의 정션온도가 발생하므로 혹서지 사양으로는 30W가 최대 허용가능 출력이다. 허용출력을 더욱더 증가시키기 위해 약 1000rpm의 팬을 사용하여 강제대류를 형성하면 40W에서 PCB온도가 36.5 ℃로 떨어지게 되어 정션온도가 67.1℃로 된다. 이로 인해 팬을 사용할 경우 40W 이상의 출력을 사용하는 것이 가능해진다.



[그림 5] 전력에 따른 정션온도



[그림 6] 40W 전력의 정상상태 온도분포

그림 5는 전력에 따른 정션온도 변화인데 전력이 증가함에 따라 정션온도가 선형적으로 증가함을 보인다. 그림 6은 40W의 전력이 인가되었을 때 열화상카메라를 이용해 측정한 온도분포이다. 열원부의 베이스 금속은 약 77.8 ℃인데 반하여 방열핀의 온도는 약 74.4℃를 나타내고 있다. 이는 히트 파이프가 열을 열원으로부터 방열핀까지 효율적으로 수송하고 있음을 보여준다. 증발부와 히트싱크에서 열전대와 열화상카메라의 온도차는 각각 2.2, 0.9℃로 열화상카메라의 오차인 ±2℃를 감안할 때 실험의 결과가 상당히 신뢰할만하다고 할 수 있다.

5. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1) 전력이 증가할수록 히트파이프의 증발부와 응축부 저항은 감소하며 본 연구에서 인가한 10, 20, 30, 40W 전력에서는 각각 0.257, 0.221, 0.185, 0.179 ℃/W로 측정되었다.

2) 대기온도 40℃의 혹서지 환경을 고려할 경우 30W의 전력에서 목표 정션온도를 초과했으며 이 때의 정션온도는 111.7℃로 나타났다.

3) 냉각 팬을 이용하여 강제대류를 형성하면 더욱 높은 출력의 LED 조명기기도 사용가능한데 40W 출력일 때 냉각팬을 사용한 결과 정션온도가 약 67 ℃까지 떨어짐을 확인하였다.

참고문헌

[1] J. Hu, L. Yang and M. W. Shin, "Electrical, Optical, and Thermal Degradation of High Power GaN/InGaN Light-Emitting Diodes", Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 41, no.3, 035107, 2008.

[2] 황순호, 박상준, 이영림, "10W LED 조명등 방열설계 최적화에 관한 연구", 한국산학기술학회논문지. 제 11권, 제 7호, pp. 2317-2322, 2010.

[3] Chun-Jen Weng, "Advanced thermal enhancement and management of LED packages", International Communications in Heat and Mass Transfer, Volume 36, Issue 3, March 2009, pp. 245-248

[4] 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.

[5] Cree, Inc, http://www.cree.com