

열전도성 플라스틱을 이용한 21 W급 LED Light Engine의 방열설계

최원호¹, 최두호¹, 이진열², 박대희^{1,a}

¹ 원광대학교 정보통신공학과

² 굿아이텍(주)

Thermal Design of 21 W LED Light Engine Using Thermal Conductive Plastic

Won-Ho Choi¹, Doo-Ho Choi¹, Jin-Yeol Lee², and Dae-Hee Park^{1,a}

¹ Department of Information & Communication Engineering, WonKwang University, Iksan 570-749, Korea

² Gooditech Co., Ltd., Iksan 570-390, Korea

(Received December 8, 2014; Revised December 24, 2014; Accepted January 16, 2015)

Abstract: This study will design the structural optimization of 21 W LED heat sink using the thermal conductive plastic materials. The thermal conductive plastic heat sink is inferior to aluminum heat sinks in thermal properties. This study will solve this problem using formability of thermal conductive plastic heat sink. A heat sink was optimized in terms of the number, and the thickness of fins and the base thickness of the heat sink, using the Heatsinkdesigner software. Also by using SolidWorks Flow simulation and thermal analysis software, the thermal characteristics of the heat sink were analyzed. As the result, the optimized heat sink has 17 fins, which are 1.5 mm thick and a 3.7 mm-thick base. The highest and the lowest temperature were 51.65°C and 46.24°C respectively. Based on these results, The thermal conductive plastic heat sink is considered possible to overcome heating problem when designing in complex structure.

Keywords: LED light engine, Thermal design, Thermal conductive plastic, Heat sink, Flow simulation

1. 서 론

우리나라는 2011년 9. 15 정전사태 이후 계속해서 전력불안을 겪고 있다. 전력소비가 최근 10년간 60% 넘게 확대되고, 세계 8위의 전력 소비국이 되면서 수급 안정에 문제가 생겼다. 전기설비 중에서 조명설비는 전체 전력 수요의 25%를 점유하고 있어 조명광원에 대한 연구개발이 활발히 움직이고 있다.

세계 각국의 정부들은 2030년이면 60%까지 늘어날 것

으로 보이는 인공조명에 대한 수요를 맞추기 위해 SSL (solid state lighting) 도입에 나서고 있다. 조명 사용으로 인한 에너지 사용량이 세계 에너지 총 사용량의 15%를 차지하고 전체 온실 가스 배출량의 5%를 차지하고 있는 지금, 에너지 소비량을 줄이고 온실가스 발생을 최소화시켜야 한다는 목소리가 높아짐에 따라, LED 조명 시장이 주목받고 있다 [1].

고출력 LED의 경우 소비전력이 높아 발생하는 열이 많은데 생성된 열을 내부에서 지속적으로 지니게 되면 소자의 접합온도가 상승하게 된다. 접합온도의 증가는 P-N 접합 부분에서 생성된 열이 외부로 원활하게 방출되는 것을 저하시키고, 칩 내부에 남은 열이 전자와 정공의 비발광 재결합을 증가시켜 광 효율 하락 및 LED의 수명 및 신뢰성과 내구성에 큰 영향을 미친다.

a. Corresponding author; parkdh@wku.ac.kr

미래 조명원으로 주목받고 있는 고출력 LED 분야의 양산 보급화 확대를 위해서는 고출력으로 인한 방열문제를 해결할 수 있는 고방열부품의 개발이 필수적이며, 경량화가 요구된다 [2].

현재 방열판 재료로 알루미늄, 구리 등의 열전도 효율이 우수한 금속재료들이 많이 사용되고 있지만, 금속재료 사용 시의 문제점인 중량문제, 부식문제, 난해한 성형문제, 열원과의 접합성 등의 문제들을 가지고 있다 [3]. 방열설계에 대한 선행 연구로는 멀티-핀을 갖는 LED 패키지 방열장치의 동작 특성에 관한 연구 [4], 히트 싱크의 자연대류 열유동 특성 분석에 관한 연구 [5], LED 냉각용 히트파이프의 작동유체가 방열 성능에 미치는 영향에 관한 연구가 진행되고 있다 [6].

기존 금속재료 방열판에 대한 연구는 활발하나 열전도성 플라스틱 소재가 적용된 방열판에 관한 연구는 없는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 열전도성 플라스틱을 사용하여 21 W급 LLE (LED light engine)에 적합한 방열판을 설계하고자 한다. 방열판 최적화 프로그램인 히트 싱크 디자이너를 사용하여 핀의 길이, 개수, 두께, 베이스 두께를 고려한 방열판 구조의 최적화를 이루고자 하였다. 열 유동 특성은 SolidWorks flow simulation을 활용하여 분석하였다. 분석된 열 유동 특성을 바탕으로 21 W급 LLE의 구조를 개선하여 방열 성능을 향상시킬 것이다. 마지막으로 설계한 21 W급 LLE 6개를 배열하여 126 W급 multi LLE을 설계하고 air gap의 유무에 따른 방열 성능을 평가할 것이다.

2. 실험 방법

2.1 실험 장치 및 분석

2.1.1 열전도 플라스틱 소재

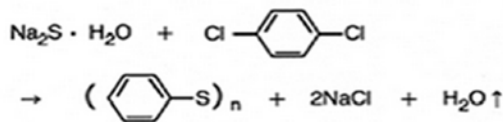


Fig. 1. Polyphenylene sulfide.

본 논문에서는 Cool Polymer사의 Base Polymer가 PPS (polyphenylene sulfide)인 열전도 플라스틱을 사용하였다. 열전도도는 10 W/mk이고, 전기절연 특성을 가지고 있다.

Table 1. Thermal conductivity of the materials.

Material	Thermal Conductivity (W/m · k)	Material	Thermal Conductivity (W/m · k)
Graphene	4,800	Aluminum	237
Copper	400	Plastic	0.35

그림 1은 PPS의 생성 과정으로 상승된 온도 및 압력 조건 하에서 파라-디클로로 벤젠(p-DCB)과 황화나트륨 (Na₂S) 또는 나트륨 하이드로 설파이드 (NaSH)의 중축합 반응에 의해 중합되어 탈수 반응, 염화나트륨 제거 반응, 발열 반응 및 고온 가압 반응을 포함하는 다양한 요소를 조합함으로써 생성된다. PPS의 특성으로는 뛰어난 인장강도, 내화학성, 전기절연, 자체 난연성, 우수한 사출 가공성, 가격 경쟁력 등이 있다 [7].

표 1은 일반적인 소재의 열전도도인데 열전도성 플라스틱은 금속 소재에 비해 열전도도가 낮기 때문에 방열 성능이 떨어져 열에 대한 문제점이 예상된다. 하지만 기존 플라스틱의 열전도도보다 약 28배 높은 열전도도를 가지고 있고 금속재료 사용 시의 문제점인 중량 문제, 부식 문제, 난해한 성형 문제를 해결할 수 있다.

2.2 방열판 설계

방열판 최적화 프로그램인 히트 싱크 디자이너를 활용하여 최적 수치를 설계하였다.

표 2는 방열판 설계 조건으로 자연 대류 조건에서 대기 온도 25°C, 공기 밀도 1.1806 kg/m³로 설정하였다.

Table 2. Design condition of heat sink.

Item	Design condition	
Heat Source	Power (W)	21
	Width (mm)	20
	Length (mm)	20
	High (mm)	1.5
	Width (mm)	150
Size of Heat sink	Length (mm)	65
	High (mm)	60
	Fin thickness (mm)	1.5~2.0
	The ratio between the pin thickness and the pin	4~10
Natural convection conditions	Ambient temperature (°C)	25
	Air density (kg/m ³)	1.18

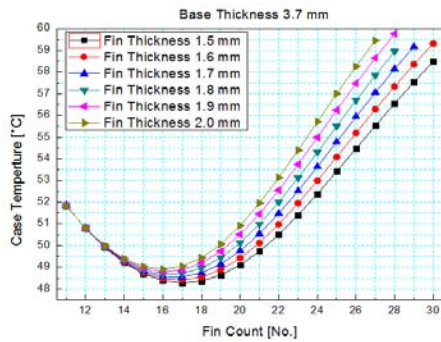


Fig. 2. Temperature properties by fin count and thickness of heat sink.

규격은 한국도로공사 표준안인 가로 150 mm, 세로 65 mm, 높이 60 mm로 설정하였다. 한국도로공사 표준안 규격을 설정한 이유는 제조사별 부품 호환이 가능하여 유지 보수의 효율성이 우수하기 때문이다.

그림 2는 방열판의 Fin 수와 두께에 따른 온도 특성 그래프이다. 방열판 최적의 수치로 base 두께 3.7 mm, Fin 두께 1.5 mm, Fin 수 17개일 때 48.2°C로 가장 낮은 온도 특성을 보여준다 [8].

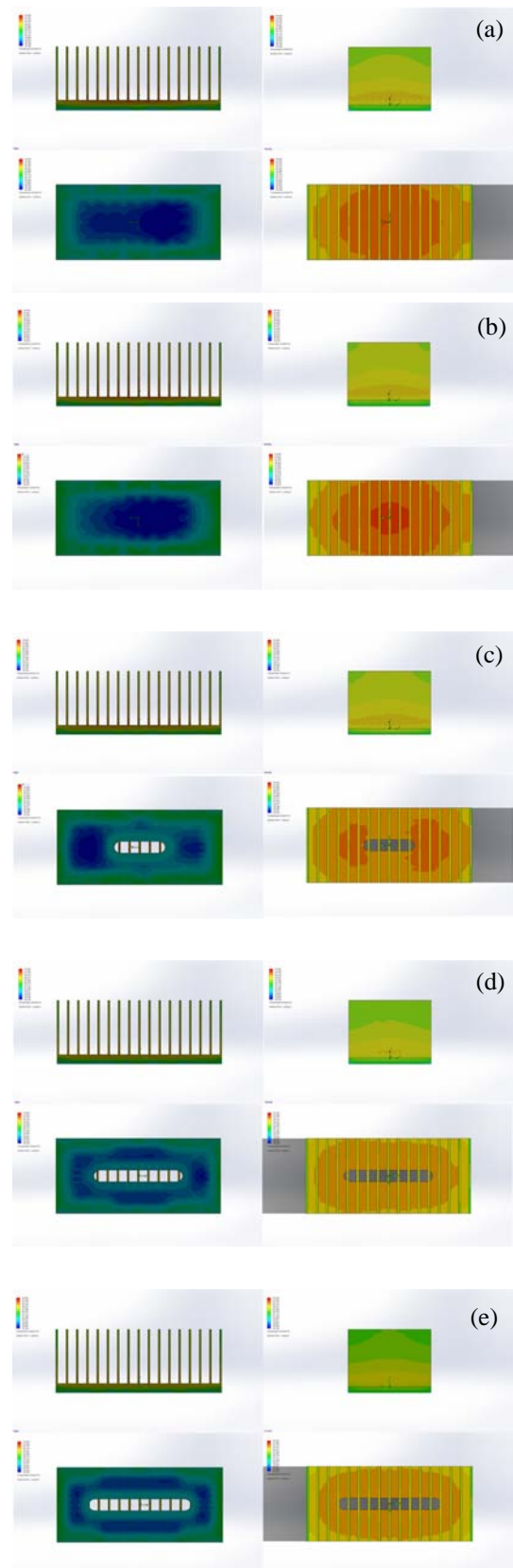
2.3 시뮬레이션 조건

설계된 방열판의 열 유동 해석은 SolidWorks의 Flow Simulation을 활용하였다. 1 m³의 임의의 공간을 설정하여 기압 1 atm, 내부 온도 25°C 조건에 자연 대류 시 공기의 최저 열 전달계수인 5 W/m²°C를 설정하였다. 또한 열전도성 플라스틱 소재의 방사율인 0.5의 조건을 설정하였으며 수렴성 향상을 위해 70만 개 이상의 메쉬를 지정하였다 [9].

3. 결과 및 고찰

3.1 방열판 시뮬레이션 온도 분포도

열전도성 플라스틱 방열판의 낮은 열전도도로 인한 방열 성능이 저하되는 문제를 해결하기 위하여 열전도성 플라스틱의 장점인 우수한 성형성을 활용하여 방열판 설계를 복합적으로 하였다. 설계한 방열판은 Solidworks flow simulation을 활용하여 방열 특성을 분석하였다.



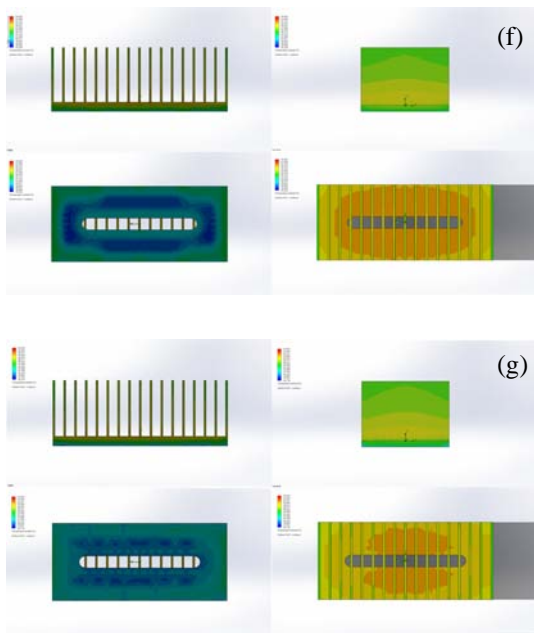


Fig. 3. Temperature distribution of heat sink. (a) model 1 heat sink (height 50 mm, base 3.7 mm), (b) model 2 heat sink (height 50 mm, base 3 mm), (c) model 3 heat sink (hole 10~30 mm), (d) model 4 heat sink (hole 10~60 mm), (e) model 5 heat sink (hole 10~70 mm), (f) model 6 heat sink (hole 10~75 mm), and (g) model 7 heat sink (hole 10~80 mm).

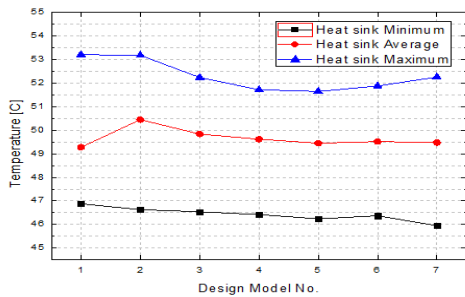


Fig. 4. Temperature characteristics of 21 W heat sink.

그림 3은 방열판 형상에 따른 방열 특성이다. 방열판 중심부에 홀의 유무와 크기별로 설계하였다. 모델 1은 높이 50 mm 베이스 두께가 3.7 mm이고, 모델 2는 같은 높이에 베이스 두께가 3 mm이다. 모델 3부터 모델 7까지는 높이 50 mm, 베이스 두께가 3 mm이고, 홀이 존재하며 홀의 크기를 점점 키워서 설계한 것이다.

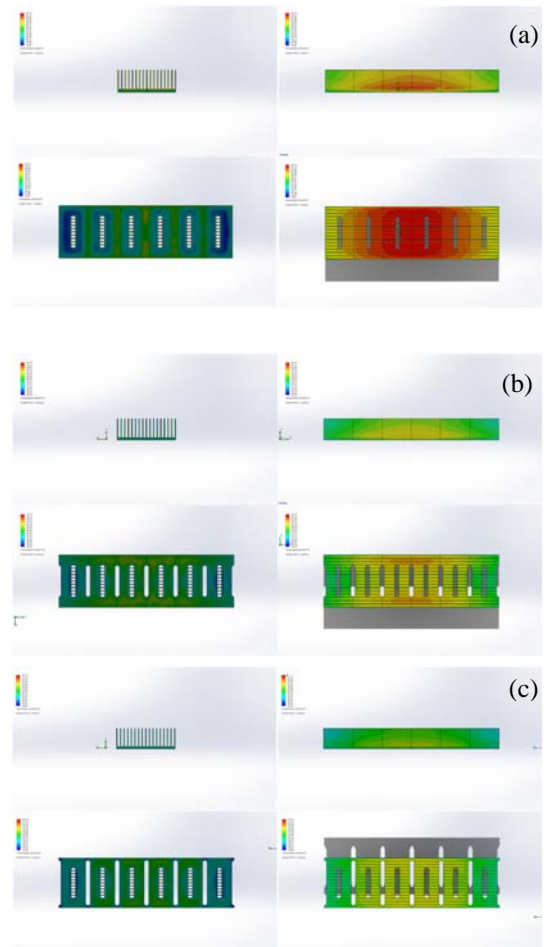
그림 4는 모델별 방열판의 온도 특성 그래프이고, 표 3은 시뮬레이션 결과를 수치로 표현한 것이다.

Table 3. Simulation temperatures of heat sink.

Model No	Maximum Temp[°C]	Average Temp[°C]	Minimum Temp[°C]
1	53.21	49.28	46.88
2	53.18	50.45	46.63
3	52.24	49.84	46.54
4	51.72	49.62	46.42
5	51.65	49.45	46.24
6	51.88	49.52	46.37
7	52.26	49.48	45.95

그 결과 높이 50 mm, 베이스 두께 3 mm, 가로 70 mm 세로 10 mm의 홀이 있는 모델 5의 방열 특성이 최고온도 51.65°C, 최저온도 46.24°C로 가장 우수하였다. 홀의 크기가 커질수록 자연대류 유동은 활발하지만 공기에 노출되는 방열판 표면적이 좁아지기 때문에 홀의 크기가 가장 큰 모델 7이 아니라 모델 5의 방열 특성이 가장 우수한 것으로 사료된다.

3.2 126 W급 multi LLE 방열 성능 시뮬레이션



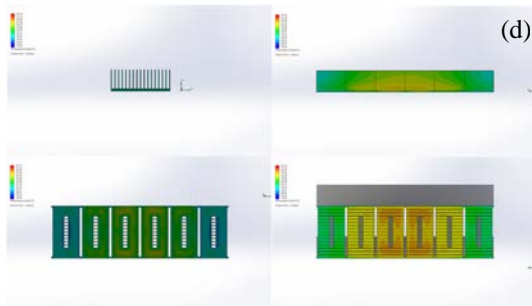


Fig. 5. Temperature distribution of 126 W heat sink. (a) model 1 126 W heat sink, (b) model 2 126 W heat sink, (c) model 3 126 W heat sink, and (d) model 4 126 W heat sink.

그림 5는 설계된 21 W급 LLE 6개를 배열하여 설계한 126 W급 multi LLE이다. 21 W급 LLE 모델 중 성능이 가장 우수했던 모델 5를 배열한 것으로 방열 성능을 개선하기 위해 air gap을 적용하여 구조를 개선하였다. 그 결과 126 W급 모델 3 방열판이 방열 성능이 가장 우수하였다. 최고온도 57.12°C, 최저온도 50.85°C로 최고온도와 최저온도의 차이가 6.12°C의 낮은 결과를 얻었다. 일반적인 100 W급 LED의 접합온도가 60°C이기 때문에 설계한 126 W급 모델 3도 사용 가능할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 논문에서는 열전도성 플라스틱을 사용하여 21 W급 LLE에 적합한 방열판을 설계하고 시뮬레이션을 통해 방열 성능을 평가하였다. Heat sink designer를 사용하여 방열판 최적화 결과 가로 150 mm, 세로 65 mm, 높이 60 mm, Base 두께 3.7 mm, fin 두께 1.5 mm, fin 수 17개였다. 이 수치를 열전도성 플라스틱 방열판에 적용하여 SolidWorks flow simulation으로 방열 성능을 분석하였다.

분석된 열 유동 특성을 바탕으로 21 W급 LLE의 구조를 개선하여 방열 성능을 향상시켰다. 그 결과, 높이 50 mm, 베이스 두께 3 mm, 가로 70 mm 세로 10 mm의 홀이 있는 모델 5번이 최고온도 51.65°C, 최저온도 46.24°C로 방열 특성이 가장 우수하였다. 그래서 모델 5번의 21 W급 LLE 6개를 배열하고, LLE 사이에 air gap을 적용하여 구조를 개선하였다. 그 결과, 216 W급 모델 3 방열판이 방열 성능이 가장 우수하였다. 최고온도 57.12°C, 최저온도 50.85°C로 최고온도와 최저온도의 차이가 6.12°C의 낮은 결과를 얻었다. 이를 통하여 고출력에서 방열판의 구조를 복합 설계하여 열전도성 플라스틱 소재의 낮은 열전도성으로 인한 발열 문제를 해결하였다.

이러한 연구는 열전도성 플라스틱을 사용한 열 설계 시 참고 자료가 될 것으로 사료된다. 향후 열전도성 플라스틱의 낮은 열전도도를 해결할 수 있는 금속재료와 열전도성 플라스틱 소재의 이중구조 시스템을 연구할 계획이다.

REFERENCES

- [1] Frost & Sullivan's, *World LED Lighting Markets*, <http://www.buildingtechnologies.frost.com> (2013).
- [2] I. S. Son, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **26**, 915 (2013).
- [3] J. K. Yeo, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **27**, 535 (2014).
- [4] H. Choi, *KIIEE*, **28**, 1 (2014).
- [5] T. S. Jung, *KSME*, **37**, 27 (2013).
- [6] J. W. Jang, *KSME*, **2014**, 400 (2014).
- [7] Y. J. Lee, *Polymer Scienc and Technology*, **18**, 20 (2007).
- [8] I. S. Her, *KIIEE*, **28**, 19 (2014).
- [9] B. S. Seo, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **26**, 158 (2013).