

# LED 조명 방열특성 향상을 위한 메탈 기판의 구조 설계 및 열해석 Structural Design of Metal PCB and Thermal Analysis Improving the Thermal Dissipation of LED Lighting

\*이문호<sup>1</sup>, #김영주<sup>1</sup>,  
\*M-H Lee<sup>1</sup>, # Y-J. Kim(yjkim40@yonsei.ac.kr)<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> 연세대학교 기계공학과

Key words : Metal PCB, LED, Thermal dissipation

## 1. 서론

발광다이오드(Light Emitting Diode, LED)는 친환경, 에너지 효율, 고수명 등의 장점을 바탕으로 기존광원을 대체하는 과정에 있다. 현재 대형 디스플레이에는 Back Light Unit으로 발광다이오드가 적용되고 있으며, 자동차 조명 및 실내의 조명으로 그 활용의 폭이 확대되고 있는 실정이다. 하지만 현재 수십~수백 W급의 일반조명을 LED로 대체하기 위해서는 개별 LED소자의 고출력화는 필수적이다. 높은 소비전력에 의해 발생하는 열은 칩의 온도상승을 일으킨다. 이는 단기적으로는 광효율의 저하와 직접적으로 관계되며, 장기적으로는 칩의 수명을 감소시키는 요인이 되어 LED 소자의 신뢰성을 저하시킨다. 따라서 LED 조명에서의 방열은 필수적이며, 열이 최종 Heat sink를 통해 주위로 방출되기까지의 과정에서 열 전달 효과를 높일 수 있는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>1,2)</sup>

최근 고출력 LED의 적용으로 인해, 인쇄회로기판(Printed Circuit Board, PCB)의 선정은 방열 효과에 큰 영향을 미치게 되었다. 저방열성 문제를 가지고 있는 기존의 에폭시수지(FR-4)기판의 사용은 줄고 있으며, 최근에는 메탈 베이스 기판(Metal PCB)과 같은 고풍열성 기판이 대부분 LED 모듈에 적용되고 있다. 즉, 메탈 PCB는 고회도의 LED 제품의 핵심부품이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 메탈 베이스 기판(Metal PCB)의 방열 성능 저하의 요인인 절연층 부분의 설계 개선을 통한 방열 특성 향상을 목적으로 한다. 구체적으로 LED에서 발생하는 열이 절연층을 경유하지 않고 직접 메탈 기판에 전도될 수 있는 구조를 설계 하였으며, 이에 따른 방열 효과 향상을 열 특성 시뮬레이션을 통해 정량적으로 보여 주고자 한다. 이와 같은 방법은 LED 조명의 신뢰성 확보에 상당한 효과를 가져올 것이라고 기대된다.

## 2. LED 광원 Metal PCB

일반적으로 Metal Base 기판의 구성을 보면 그림. 1(a)에서 보이는 바와 같이 알루미늄 기판 위에 전기적 절연을 띠는 물질을 얇은 필름 형태로 적층하고, 절연판면에 동박(Copper Foil)을 압착 시킨 후 회로패턴을 형성하는 것이 일반적이다. 알루미늄 절연체는 에폭시 수지의 PrePreg를 사

용하며, 절연층의 두께가 얇을수록 열 방산성이 좋아지지만 내전압성이 낮아지기 때문에 두께가 80~100um 제품이 사용되고 있다. 열전도도 특성 또한 일반 알루미늄(200W/mk), 구리(400W/mk) 등과 같은 금속재료에 비해 낮은 수준인 0.3~0.5W/mk정도이다.<sup>3)</sup>

본 연구는 그림. 1(b)에서 보이는 바와 같이 알루미늄 산화막을 절연층으로 이용하는 방식이며, 알루미늄 기판 표면에 회로 패턴이 형성되는 부분과 LED가 본딩 되는 부분의 구별을 두는 설계 방식이다. 이는 LED와 알루미늄 메탈 사이에 방열 성능 저하의 원인인 절연층이 삭제될 수 있으며, 회로 패턴이 형성되는 부분만 산화막이 생성되기 때문에 방열 관점에서 앞의 구조에 비해 큰 이점을 갖게 된다.

## 3. LED 모듈 구조 모델링

본 연구에서 제시한 LED 모듈 구조는 그림. 2에서 나타난 것처럼 알루미늄 기판과 그 위층에 적층된 절연층, 그리고 LED Package로 이루어져 있다. LED Package는 5개이며, LED 칩 3개와 Lead frame, 그리고 Mold로 이루어져 있다. 알루미늄 기판의 홀(hole)은 LED Package 내부의 리드 프레임간의 통전을 막아주기 위해 만들었으며, LED 칩이 실장된 리드 프레임 부분이 메탈과 직접 본딩이 될 것이다.

이 구조를 토대로 100um 두께로 생성된 에폭시 수지의 Prepreg 절연층, 50um 두께로 생성될 수 있는 산화막 절연층, 그리고 본 연구에서 제시한 부분 산화막 절연층을 가진 메탈 PCB의 3가지 Type에 따른 시뮬레이션을 진행하였다. 그리고 각각 2.6W, 3W, 3.3W, 3.7W, 4W의 Input Power에 따른 온도 분포를 알아봄으로써 부분 산화막 절연층을 가진 메탈 기판에서의 방열 효과를 정량적으로 보여주었다. 열해석 시뮬레이션은 상용 CFD 프로그램인 Fluent를 사용했다. LED 모듈의 표면은 27°C의 자연대류 경계조건을 부여하고, LED의 효율이 20~30%임을 고려하여 LED 패키지 내부의 단위 칩의 볼륨당 Input Power(80%)의 열이 발생하는 것으로 하였다.

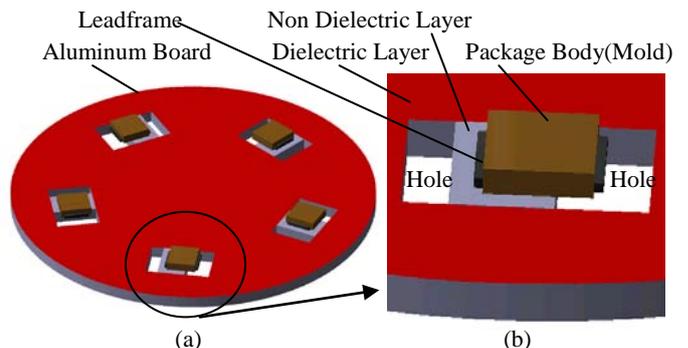


Fig. 2 (a) Structure of LED Module (b) Enlarged LED Module section

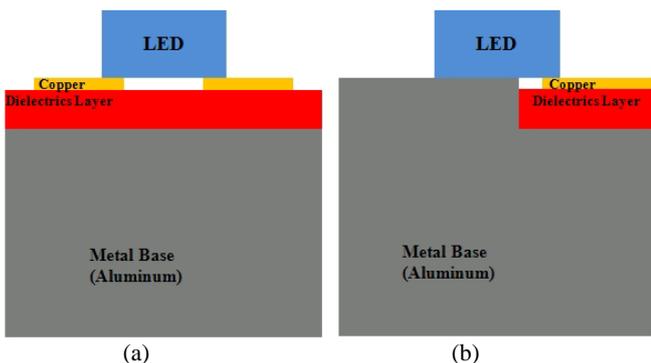


Fig. 1(a) Structure of conventional Metal PCB (b) Newly designed structure of Metal PCB

Table 1 Material of Components

Material	Component
GaN	LED Chip
Aluminum	Lead Frame, Base PCB
Aluminum Oxide	Dielectric Layer
Epoxy Prepreg	Dielectric Layer
Mold	LED Packaging Material

Table 2 Material Properties

	Density $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Specific heat Cp(J/kg·K)	Thermal Conductivity k(W/m·K)
GaN	6170	490	130
Aluminum	2719	871	202.4
Aluminum Oxide	3165	409	5
Epoxy Prepreg	1960	1210	0.4
Mold	1820	882	0.23

해석에 사용되는 부품들의 재질과 물성치는 각각 Table 1 과 Table 2 와 같다.

#### 4. 해석 결과

그림. 3 에서는 4W Input Power 에 따른 에폭시 수지의 Prepreg 절연층(그림. 3(a)), 산화막 절연층(그림. 3(b)), 그리고 부분 산화막 절연층(그림. 3(c))을 가진 LED 모듈의 온도분포를 나타내었다. LED Chip 의 온도는 각각 352.5K, 337.5K, 333.4K 으로 나타났다.

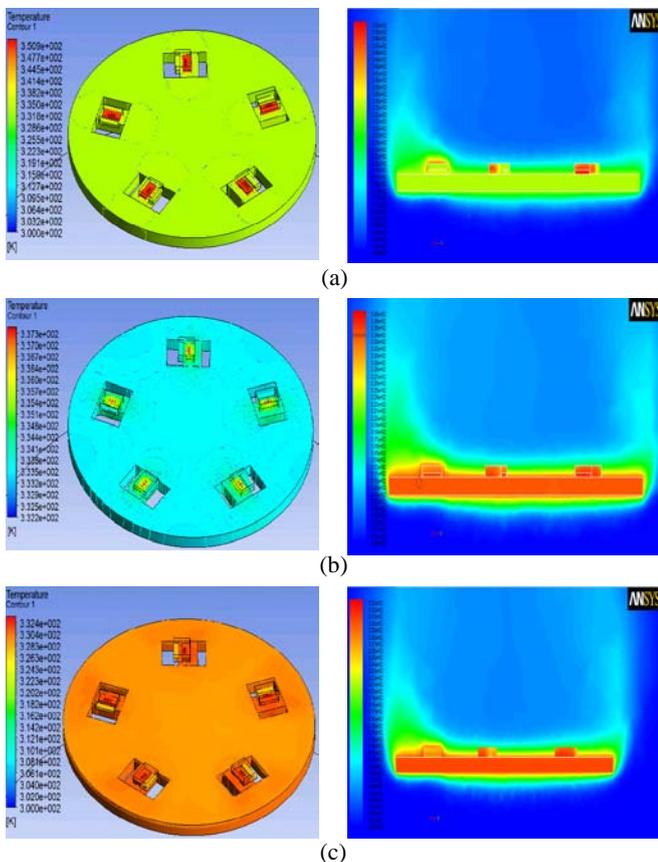


Fig. 3 Thermal profile and section view of LED Module on (a) (Epoxy Prepreg) layer (thickness=100um), (b) (aluminum oxide) layer (thickness=50um), and (c) (Patterned Aluminum oxide) layer (thickness=50um) proposed in this paper

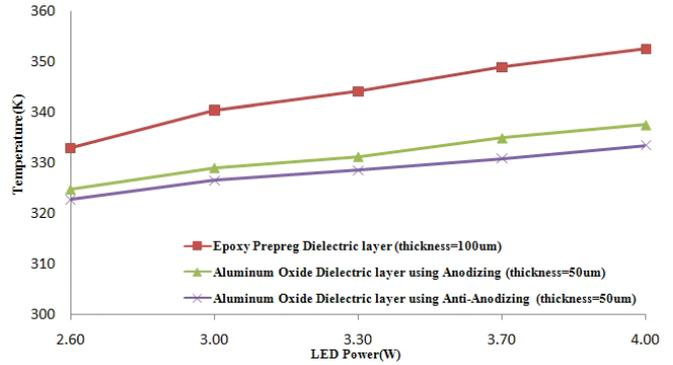


Fig. 4 Temperature of the simulation results for a various LED power

그림. 3(a)에서의 온도 분포를 보면 칩과 리드프레임에 열이 집적된 것을 볼 수가 있는데, 100um 두께를 가진 에폭시 수지 절연층이 그 원인을 알 수가 있다. 산화막 절연층을 이용한 경우(그림. 3(b))는 에폭시 수지 절연층에 비해 열전도도가 높고, 두께가 50um 정도로 열전도 특성이 기존에 비해 향상 되었음을 알 수가 있다. 칩의 온도 역시 에폭시 수지 절연층을 가진 모델과 비교해 15℃ 감소했다. 본 논문에서 제시한 부분 산화막 절연층 모델의 경우, 칩이 실장되어 있는 리드프레임 부분과 메탈 기판 부분의 직접적인 본딩으로 인해 방열 특성이 가장 우수함을 알 수가 있다(그림. 3(c)). 절연층의 두께와 열전도도의 차이, 그리고 LED 와 메탈 PCB 기판과의 직접 본딩에 의한 열의 이동경로 단축에 따른 열전도 효과가 LED 칩의 온도에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

그림. 4 에서는 열적 평형이 이루어 졌을 때를 기준으로 2.6W, 3W, 3.3W, 3.7W, 4W 급 LED 칩의 온도를 나타내고 있다. 본 논문에서 제시한 부분 산화막 절연층 모델의 경우, 일반 알루미늄 산화막을 전체 절연층으로 이용하는 방식에 비해서 LED 칩의 온도가 2~4℃ 감소했다. 기존의 에폭시 절연층과 비교한다면 칩의 온도가 10~19℃ 감소했음을 알 수 있다.

#### 5. 결론

Metal PCB 기판에서 낮은 열전도도 특성을 보이는 절연층 부분에 의해 발생하는 방열 성능 저하의 문제를 보완, 향상시키기 위해 부분적인 알루미늄 산화막을 적용했다. 부분 산화막 형성은 LED 칩에서 발생하는 열이 LED 패키지 내부의 리드프레임을 통해 메탈 PCB 의 절연층을 삭제한 메탈에 직접 전달이 될 수 있게 한다. 방열 관점에서 LED 모듈의 전체적인 열저항이 감소하며, 설계에 따른 방열 효과 향상을 열 특성 시뮬레이션을 통해 증명했다.

#### 참고문헌

1. 김중배, “The Issues and the Technology Trends of LED”, 전자통신동향 분석 제 24 권 제 6 호 2009년 12월
2. Dimitar Georgiev Todorov, Lazar Georgiev Kapisazov, “LED Thermal Management” ELECTRONICS’2008, 24-26 September, Sozopol, BULGARIA
3. Dae-Woon Hong, Sung jae Lee, “Implementation of LED Module Using MCPCB with Hard Barrier Anodizing Oxide Layer”, Korean Journal of Optics and Photonics, Volume 20, Number 4, August 2009