

## FR4 PCB면적과 Via hole에 따른 LED PKG 열 저항 특성 분석

김성현, 정영기, 박대희  
원광대

### The LED PKG Analysis of Thermal Resistance Characteristics by Following Via hole and FR4 PCB Area

Sung-Hyun Kim, Young-Gi Joung, Dae-Hee Park  
Wonkwang University

**Abstract** - 본 논문에서는 LED 패키지의 방열문제를 해결하기 위해 FR4 PCB에 Via-hole을 형성함으로써 열전달 능력을 향상시키고자 하였다. 또한 FR4 PCB의 면적과 Via-hole 크기 및 수량을 변화를 주어 그에 따른 K-factor를 측정 하였으며 열 저항 특성을 분석하였다.

결과로서, Via-hole을 형성한 FR4 PCB의 경우 초기 면적이 증가함에 따라 열 저항 및 접합온도가 급격히 감소하는 특성을 보였으며 200 [mm<sup>2</sup>]에서 안정화 되는 특성을 보였다. 또한 PCB 면적 및 Via-hole을 형성함에 따라 광 출력이 최대 17% 향상 되었다. 따라서 접합온도 및 열 저항에 있어서 PCB면적의 증가 및 Via-hole을 구성함에 있어 열전달 능력을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

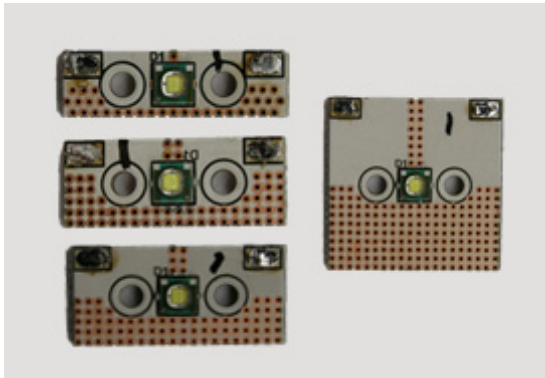
#### 1. 서 론

발광다이오드 (light emitting diode, LED)는 친환경, 에너지 효율, 고수명 등의 장점을 바탕으로 기존광원을 대체하는 과정에 있다. 고효율 LED의 경우, 소비전력이 높아 발생하는 열이 많은데 생성된 열을 내부에서 지속적으로 지니게 되면 소자의 온도가 상승하여 효율적인 광 방출을 저해하게 되고, 열적 스트레스가 발생하며 이는 단기적으로는 광 효율의 저하와 직접적으로 관계되며, 장기적으로는 칩의 수명을 감소시키는 요인이 되어 LED 소자의 신뢰성을 저하시킨다[1,2]. 위와 같은 문제를 해결하기 위해 LED칩에서 생성된 열을 반드시 주변으로 효과적으로 전달시켜야만 접합온도를 낮추어 효율 및 신뢰성을 향상시킬 수 있다. LED 조명설계 시 인가전류를 낮추고 패키지 개수를 증가시켜 발열을 줄이거나 열전도도가 높은 고가의 MPCB를 사용하고 원활한 열 방출을 위해 Heatsink를 부착하고 있지만 이로 인한 가격 상승 및 조명기구의 부피가 커짐에 따라 LED 광원의 장점이 퇴색되고 있다[3].

본 연구에서는 기존에 사용하던 MPCB대신 예폭시 재질인 FR4 PCB에 via-hole을 형성하여 PCB크기, Via-hole 사이즈 및 개수에 변화를 주어 그에 따른 접합온도 및 열 저항 특성을 분석하였다.

#### 2. 실험 방법

##### 2.1 PCB 구조



〈그림 1〉 PCB 구조

실험하기에 앞서 via-hole을 형성한 FR4 PCB를 모델링 하기위하여 PCB를 그림 1과 같다. 또한 서로 다른 면적을 갖는 FR4 PCB에 via-hole의 사이즈 및 개수에 변화를 주어 각각의 특성에 대해 알아보았다. FR4 PCB의 면적에 대한 구성을 나타낸다. 가로, 세로의 길이는 고정이며 세로의 길이만 6, 8, 10, 20 [mm]의 변화를 주어 서로 다른 PCB면적을 갖도록 하였다. 또한 면적이 커짐으로 인해 via-hole의 개수를 늘렸으나 LED의 heat-slug 부분은 동일한 0.4 [mm] via-hole을 구성 하였다.

##### 2.2 열 저항

LED를 포함한 전자 소자에서 정확하게 열 저항(thermal resistance)을 측정하는 것은 패키지 소자의 열 특성 평가에 있어 가장 중요한 요소이다. 이러한 열 저항은 패키지 내부의 반도체 접합부에서 발생하는 열을 외부로 방출시키는 열전달 능력을 나타낸다. 접합 온도가 올라가게 되면 패키지용 수지가 변질되고 칩 자체의 내구성 역시 악화되기 때문에 칩의 접합 온도를 낮추고 전체 패키지의 열 저항을 줄이는 것이 관건이다. 열 저항은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$R_{\theta,JX} = \frac{T_J - T_X}{P_H} \quad (2-1)$$

여기서,

$R_{\theta,JX}$  = 접합온도와 외부에서의 온도차 및 열 저항  
[°C/W]

$T_J$  = 안정 상태의 접합온도 [°C]

$T_X$  = 외부온도 [°C]

$P_H$  = 소모되는 전력(W) = 전류(I) x 전압(V)

이상적인 P-N 접합 다이오드에서 소자에 영향을 미치지 않을 정도의 작은 감지전류 (sensor current)를 가했을 때 순방향 전압과 소자의 온도에 따른 일정한 비례 관계를 구할 수 있다. 이때 나타나는 기울기를 비례상수 (K-factor)라고 하고 이를 온도감응계수라 한다. 소자의 접합 온도는 테스트 조건에 따라 다음과 같이 식 (2-2)로 정의 된다.

$$T_J = T_{J0} + \Delta T_J \quad (2-2)$$

여기서  $T_{J0}$ 는 소자에 전력을 인가하기 전의 초기 온도[°C],  $\Delta T_J$ 는 전력을 인가하였을 때 변화된 접합 온도[°C]이다. 열전이 방법에서는 온도감응계수 (temperature sensitive parameter, TSP)를 사용하여 LED에 전기적 에너지가 인가되는 동안 접합온도의 변화를 다음과 같은 식에 의해 측정할 수 있다.

$$\Delta T_J = K \times \Delta V_F \quad (2-3)$$

$$K = \frac{T_{high} - T_{low}}{V_{low} - V_{high}} \quad (2-4)$$

$$\Delta V_F = V_{max} - V \quad (2-5)$$

정확한 온도감응계수  $V_F$ 의 측정을 위하여 감지전류는 다이오드의 전압 변화를 감지할 만큼 충분한 값이어야 하나 이로 인하여 소자의 자체 가열이 이루어지지 않을 정도로 해야 한다. 따라서 접합온도의 측정은 열 저항을 구함에 있어서 가장 중요한 요소이며 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$T_J = T_{J0} + \Delta V_F \times K \quad (2-6)$$

실험하기에 앞서 서로 다른 면적을 갖는 FR4 PCB에 via-hole의 사이즈 및 개수에 변화를 주어 각각의 특성에 대해 알아보았다. FR4 PCB의 면적에 대한 구성을 나타낸다. 가로, 세로의 길이는 고정이며 세로의 길이만 6, 8, 10, 20 [mm]의 변화를 주어 서로 다른 PCB면적을 갖도록 하였다.

또한 면적이 커짐으로 인해 via-hole의 개수를 늘렸으나 LED의 heat-slug 부분은 동일한 0.4 [mm] via-hole을 구성 하였다.

K-factor 측정은 JEDEC (EIA/JESD51-1)의 규격을 바탕으로 LED패키지의 접합온도 및 열 저항을 측정 하였다. 또한 순전압 ( $V_F$ ) 측정에 의한 방법으로 순전류를 1 [mA]일 때 LED 주위 온도를 변화시키면서  $V_F$ 를 측정 하였다. 순전압과 접합온도의 관계는 반비례하는 선형 그래프임을 알 수 있다. 또한 순전압과 접합온도의 관계에서 구동전류는 10 [s] 동안 350 [mA]를 인가하였으며 감지전류는 4 [ms] 동안 1 [mA]를 인가하여 감지전류를 바탕으로 접합온도의 변화를 확인할 수 있었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 접합온도 및 열저항 측정

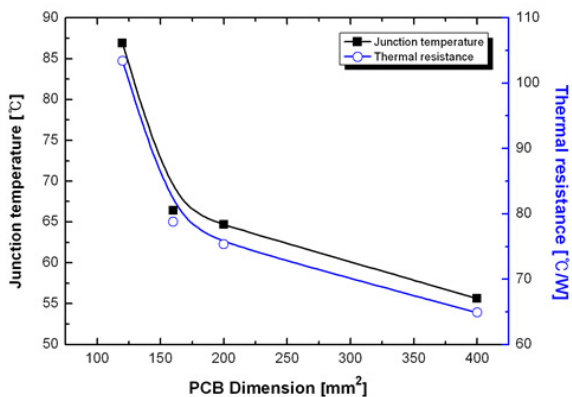
표 3에서 보는바와 같이 외부 온도 변화에 따른  $\Delta V_f$  값의 경우 PCB면적이 가장 작은 sample 1의 값이 0.1488 [V]로 가장 컸으며 PCB 면적이 가장 큰 sample 4의 값이 0.0975 [V]로 가장 작음을 확인할 수 있었다. 이는 PCB 면적이 작은 영역에서 온도에 대한 내부 열 저항의 영향이 크음을 알 수 있다.

<표 1> LED 패키지에 따른  $\Delta V_f$  특성

PCB Type	1	2	3	4
$\Delta V_f$ [V]	0.1488	0.1281	0.1038	0.0975

JEDEC (EIA/JESD51-1)의 규격을 바탕으로 접합온도를 측정한 결과 그림 2에서와 같이 PCB면적이 160 [mm<sup>2</sup>]까지 증가함에 따라 접합온도가 급격히 떨어졌으며 PCB 면적이 커지고 via-hole의 개수가 증가 할수록 그래프 기울기가 완만해 지며 안정화를 이루는 경향을 확인할 수 있다. 따라서 PCB 면적에 따라 최대 30 [°C] 이상의 접합온도 변화 특성을 보였으며 이는 FR4 PCB에서 via-hole 형성에 의해 PCB 특성이 개선되었음을 직접적으로 확인할 수 있다.

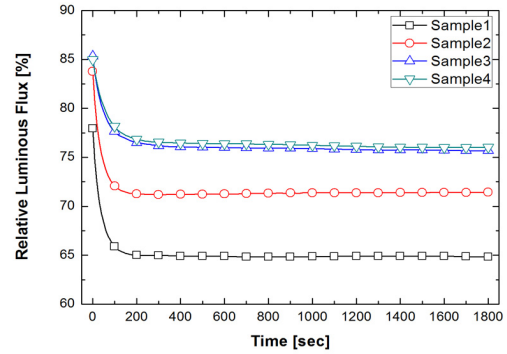
LED 패키지에 구동 전력을 바탕으로 외부온도 25 [°C]를 기준으로 시간에 따른 열 저항 특성 식 (2-1)을 통해 구할 수 있다. 열 저항 역시 그림 2에서 보는 바와 같이 접합온도와 마찬가지로 초기 높은 열 저항 특성을 보이는 것을 알 수 있으며 약 200 [mm<sup>2</sup>] 이후부터 열 저항이 급격히 안정화되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 표 2에서와 같이 접합온도 특성이 높아짐에 따라 열에 의한 스트레스가 증가되어 열 저항도 높아지는 것을 알 수 있었으며 전체적인 Via-hole 및 PCB 면적의 확대를 통해 PCB 자체에서 방열 성능을 개선할 수 있었으며 나머지에 대한 열 개선은 Heat sink 및 Heatpipe등의 방열 기구를 통해 개선할 수 있을 것으로 사료된다.



<그림 2> PCB 면적에 따른 접합온도 및 열저항

<표 2> PCB면적에 따른 접합온도 및 열저항

Type	Thermal temperature (°C)	Tremal resistance {°C/W}
Sample 1	85.945	103.413
Sample 2	66.1144	78.7936
Sample 3	64.2516	75.3441
Sample 4	55.8658	64.8929



<그림 3> 시간에 따른 안정화 특성

FR4 PCB의 via-hole 형성 및 면적을 바탕으로 실제적인 광 출력에 대한 내용을 확인한 결과 sample 3과 4에서 광 출력의 변화가 둔화된 것을 확인할 수 있다. 초기 광속의 경우 200 [s] 후 안정화된 특성을 보였으며 PCB 면적을 증가함에 따라 최대 17%까지 광 출력의 향상을 가져왔다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 고가의 MPCB에 의한 가격상승 및 LED 조명에 대한 성능 향상을 위해 기존에 사용하던 MPCB 대신 FR4 PCB에 via-hole을 형성하였다. PCB크기, via-hole 사이즈 및 개수에 변화를 주어 그에 따른 접합온도 및 열 저항 특성을 확인 하였다. 초기 PCB 면적과 via-hole의 개수가 증가함에 따라 접합온도 및 열 저항이 급격히 변화하였으나 PCB 면적이 약 200 [mm<sup>2</sup>] 이상에서는 안정화 되는 분포를 보였다.

결과적으로 접합온도 및 열 저항에 있어서 PCB 면적이 크거나 via-hole을 구성함에 있어 열전달 능력을 향상시킬 수 있었으며 PCB 면적 및 via-hole 형성을 고려한 방열 특성 개선에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

### [감사의 글]

본 연구는 호남 광역경제권 선도 산업 기술개발 사업에서 지원하는 “실감형 조명 연출을 위한 유니버스 LED 조명 장치 개발”의 연구비 지원에 의한 것입니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] J. Park, M. W. Shin, C. C. Lee, OPTICS LETTERS, 29, 2656, 2004.
- [2] S. L. Chuang, IEEE J. Quant. Electron, 33, 970-979, 1997.
- [3] X. Luo, W. Xiong, T. Cheng, S. Liu, Electronic Components and Technology Conference, 59th, 2009.