

# LED 패키지에서 에폭시 몰드가 방열특성에 미치는 영향

(Effect of the Epoxy Mold on the Thermal Dissipation Behavior of LED Package)

방영태 · 문철희\*

(Young-Tae Bang · Cheol-Hee Moon)

## Abstract

LED package with 4[mm]-height mold was manufactured and the surface temperature was measured directly using both thermocouple and thermal infrared (IR) camera. FVM simulation was conducted to estimate the surface temperature of the same LED package under the same condition, by which the accuracy of the simulation was secured. Then, the effects of the height and thermal conductivity of the mold on the junction temperature of the LED package were investigated by FVM simulation. The results showed that the junction temperature decreased by 10[°C] when the mold height was 3~5[mm], but the thermal conductivity of the mold didn't affect the junction temperature significantly.

Key Words : LED Package, Epoxy Mold, Heat Dissipation, Junction Temperature, FVM Simulation

## 1. 서 론

LED 패키지에서 칩 내부의 p-n정선 부위의 온도가 상승하면 LED의 수명이 단축되므로 고출력 LED 패키지의 방열특성에서 정선온도를 낮추는 것은 매우 중요한 항목이다. 그 이유로서는 정선온도가 높으면 전자와 정공의 재결합 과정이 빛을 내지 않고 이루어지는 비발광형 재결합(non-radiative recombination)이 일어나므로 발광효율이 낮아지고 수명이 단축되며 색상의 변화(color shift) 문제까지 발생하는 것으로

알려져 있다[1]. 이와 같은 LED 패키지에서 정선온도의 상승문제는 최근에 면광원으로 급격히 보급되고 있는 멀티 칩, 고출력 LED 패키지의 경우에는 칩 사이의 간격이 좁아서 발생하는 열의 배출 경로가 겹치며 전류 주입량이 커서 발열량이 크므로 매우 심각한 이슈사항이 되고 있다. 그럼에도 불구하고 멀티 칩, 고출력 LED 패키지의 방열 특성에 대해서는 충분한 연구가 이루어지지 않은 상태이다. 현재까지 보고된 연구결과로는 방열 모델링[2], 시뮬레이션에 의한 칩 배열 최적화[3], FVM 시뮬레이션[4], 표면실장 패키지의 열응력 분석[5] 등에 대하여 보고되어 있다. 본 연구에서는 멀티 칩 패키지의 방열 특성 중에서 특히 에폭시 몰드를 장착한 경우에 있어서의 방열 특성에 대하여 살펴보고자 한다.

그림 1은 멀티 칩 LED 패키지로서 (b)와 같이 회로

\* 주저자 : 호서대학교 디지털디스플레이공학과 부교수  
Tel : 041-540-5923, Fax : 041-540-5929  
E-mail : chmoon@hoseo.edu  
접수일자 : 2011년 11월 11일  
1차심사 : 2011년 11월 22일, 2차심사 : 2012년 1월 4일  
심사완료 : 2012년 1월 19일

LED 패키지에서 에폭시 몰드가 방열특성에 미치는 영향

가 배선된 기판 상에 MPCB가 여러 개 배치되어 있으며, MPCB 위에 LED 칩이 실장되고 이 LED 칩은 (a)와 같은 돔 형태의 에폭시 몰드로 보호되는 형태로 구성되어 있다. 에폭시 몰드의 기능으로서는 LED 칩과 배선을 보호하고 빛의 지향각을 퍼뜨려주는 역할을 수행한다. 그림 1의 패키지에서 LED 칩 내부의 p-n 정선에서 발생한 열은 에폭시 몰드와 히트싱크, 두 가지 방향으로 방출된다. 히트싱크는 열전도도가 좋은 알루미늄 등을 사용하므로 효과적인 방열소재이며 여기에 대해서는 많은 연구결과가 알려져 있다. 여기에 비하여 에폭시 몰드는 열전도도가 좋지 않은 재료로서 방열에 어떠한 영향을 주는지 명확하지 않으며 여기에 대해서는 연구결과도 거의 보고되어 있지 않다. 본 연구에서 다루고자 하는 고휘력, 멀티 칩 LED 패키지는 발열량이 크므로 에폭시 몰드가 방열기능을 제대로 수행하지 못하는 경우에는 이로 인하여 LED 칩의 정선온도가 상승할 가능성이 높다. 이와 같은 이유로, 본 연구에서는 고휘력, 멀티 칩 LED 패키지에서 에폭시 몰드가 방열특성에 어떤 영향을 주는지 밝히기 위하여 몰드 표면온도를 실제로 측정된 값과 시뮬레이션한 값을 비교하였고, 시뮬레이션을 통하여 정선온도를 예측하였다.



그림 1. 멀티 칩 LED 패키지의 구성  
(a) 에폭시 몰드 (b) MPCB와 LED 칩 (c) 히트싱크

Fig. 1. Photography of multi-chip LED package which consists of (a) epoxy mold (b) LED chip on MPCB (c) heat sink

## 2. 실험방법

### 2.1 LED 패키지의 제작

실험을 위하여 그림 2와 같은 4칩 LED 패키지를 직접 제작하였다. 그림 3은 LED 패키지의 상세 단면구조를 설명한 것으로서, LED 칩을 TIM을 이용하여 하부 전극과 기판에 연결하였으며 기판은 써멀패드를 이용하여 MPCB에 접합하였다. LED 칩의 또 하나의 전극은 와이어 본딩으로 MPCB 외곽의 전극 단자에 연결하였다. 표 1은 LED 패키지를 구성하는 요소들에 대한 일반적인 사양과 치수를 나타내었다. 수직형의 GaN 청색 LED 칩을 사용하였으며, 기판은 알루미늄을 사용하였고, TIM은 Ag계 에폭시를 사용하였다. MPCB는 알루미늄 재료로 된 것을 사용하였다.

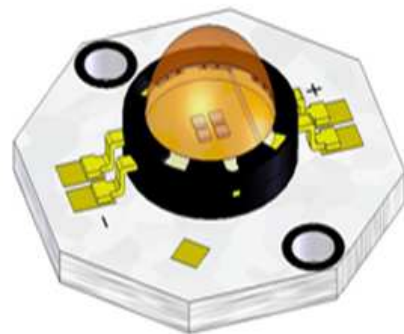


그림 2. 제작한 LED 패키지의 외관을 3D 캐드로 나타낸 그림

Fig. 2. Schematic drawing of LED package in this study

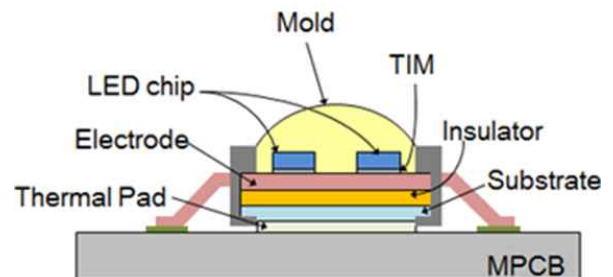


그림 3. LED 패키지의 상세 단면 구조

Fig. 3. Detailed structure of the LED package in this study

표 1. LED 패키지 구성 요소들의 일반적인 사양과 치수

Table 1. General specification of each component of the LED package

	Material	Type	Dimension
Mold	Epoxy	Lens	Φ9[mm]
LED chip	GaN	Vertical	880[μm]×880[μm]×170(t)[μm]
TIM	Ag	Epoxy	10(t)[μm]
Substrate	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	HTCC	Φ11.4[mm]×870(t)[μm]
			Φ12[mm]×2.4(t)[mm]
MPCB	Al	Metal	25[mm]×25[mm]×1.7(t)[mm]

## 2.2 LED 패키지의 온도 측정

LED 패키지의 온도를 측정함에 있어서 몰드표면의 온도는 시뮬레이션뿐만 아니라 여러 가지 방법으로 실험에 의한 직접 측정이 가능하다. 그러나 LED 패키지의 신뢰성을 좌우하는 가장 중요한 온도인 정선온도는 패키지 내부에 위치하므로 직접 측정이 불가능하며 시뮬레이션으로 예측할 수밖에 없다. 따라서 표면부위 온도에 대하여 직접 측정과 시뮬레이션을 이용한 간접 측정 결과를 비교하여 시뮬레이션의 정확도를 확보하고, 궁극적으로는 시뮬레이션을 이용하여 정선 온도를 예측하는 것이 본 연구의 기본방향이다. 직접 측정을 위한 방법으로는 써모커플과 IR 열화상카메라를 이용하여 에폭시 몰드 표면부위에 대하여 온도를 직접 측정하였으며, LED 패키지에 인가전압을 1, 2, 4 와트로 변경하면서 측정하였다. IR 열화상카메라를 이용한 표면온도 측정에서 써모커플 측정치와의 비교를 통하여 표면의 적정 방사율을 구할 수 있었는데, 이를 시뮬레이션 입력변수로 활용하여 몰드 표면온도를 시뮬레이션을 통하여 간접적으로 측정하였다. 이와 같은 직접 측정치와 간접 측정치를 비교함으로써 시뮬레이션의 정확도를 높이는 작업을 수행하였다.

이와 같은 과정을 통하여 시뮬레이션의 정확도를 확보한 이후에는 이제 본 연구의 궁극적인 목적인 에폭시 몰드 높이와 열전도도에 따른 정선온도의 변화를 시뮬레이션을 통하여 파악하였다. 시뮬레이션으로 확

인하기 위한 입력변수로서는 몰드의 높이를 몰드의 수평 반경이 9[mm]인 점을 감안하여 0에서 10[mm]까지 변경하였고, 몰드의 열전도도는 현재 사용 중인 에폭시 몰드의 열전도도가 0.17[W/m.K]인데 이를 알루미늄 기판의 열전도도인 17[W/m.K]까지 개선하였을 때 방열특성이 얼마나 개선될 수 있는지를 예측하기 위하여 0.17에서 17[W/m.K]까지 변경하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 시뮬레이션 방법

본 연구에서는 LED 패키지의 온도 분포를 알아보기 위한 시뮬레이션 방법으로서 유한체적법(FVM : Finite Volume Method)을 사용하였으며, 사용한 프로그램은 ICEPAK V13.0을 사용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 그림 4는 시뮬레이션을 위하여 모델링한 LED 패키지의 모습이다. 본 연구에서는 시뮬레이션에서 대류의 계산이 원활하게 이루어지도록 캐비닛의 크기를 여러 가지로 조절하였으며 그 결과 패키지 상부로는 패키지 길이의 8배, 하부로는 2배, 측면으로는 1배의 크기로 캐비닛의 크기를 설정하였다.

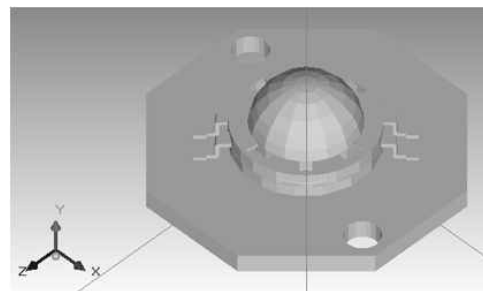


그림 4. 시뮬레이션을 위하여 모델링한 LED 패키지의 모습  
Fig. 4. LED package modelling for the simulation

외부온도는 상온 25[°C]로 가정하였고, 압력은 대기압으로 가정하였다. 대류조건은 자연대류를 가정하여 중력을 -Y방향으로 -9.8[m/s<sup>2</sup>]만큼 적용하였다. 자연대류의 경우 Rayleigh 값을 구해서 그 값이 10<sup>9</sup> 이상일 경우 난류를 적용해 주어야 하고 10<sup>9</sup> 이하일 경우

LED 패키지에서 에폭시 몰드가 방열특성에 미치는 영향

층류를 적용해 주어야 하므로 식 (1)을 이용하여 Rayleigh 값을 구하였다.

$$Ra = g\beta\Delta TL^3\rho/\alpha\mu \quad (1)$$

여기서  $g$ 는 중력가속도,  $\beta$ 는 유체 중의 온도 기울기,  $\Delta T$ 는  $T_s - T_\infty$ 로서  $T_s$ 는 표면온도  $T_\infty$ 는 주변부의 온도를 나타낸다.  $L$ 은 특성 길이,  $\rho$ 는 밀도,  $\alpha$ 는 유체의 열팽창률,  $\mu$ 는 동점성 계수를 뜻한다. 우리의 경우 Rayleigh Number 값이  $1.94444 \times 10^6$ 이 나왔으므로 층류계산식을 가정하였다. 유한체적법은 대류에 의한 열 유동을 해석하기 위해 질량 · 모멘텀 · 에너지 보존 법칙에 의해 수치적으로 풀 수 있는 형태를 취하고, 열원에 대해서 다음과 같은 Navier-Stokes 수식을 취한다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + (\rho\vec{V}\phi - \Gamma_\phi \text{grad}\phi) = S_\phi \quad (2)$$

여기서  $\phi$ 는 의존변수,  $\Gamma_\phi$ 와  $S_\phi$ 는 확산과 열원에 관한 함수이고,  $\rho$ 는 물질의 밀도,  $\vec{v}$ 는 속도 성분이다. 자연대류에서는 유체의 밀도 차와 중력에 의해서만 대류현상이 일어나고, 이는 강제대류나 바람이 불어오는 상황과 같은 특별한 유체의 흐름이 없기 때문에 상대적으로 복사의 영향이 클 수밖에 없고 때문에 복사 에너지의 영향을 무시할 수 없다. 본 연구에서는 다음의 식 (3)과 같은 DO (discrete ordinates) 복사 모델을 적용하였다. 식 (3)에서 ①, ②, ③은 각각 흡수, 방사율, 산란에 관련된 항이다.

$$\frac{\partial I_{s_i}}{\partial x_i} + \text{①} \left[ (\alpha + \sigma_s) I(r, s) \right] = \text{②} \left[ \frac{\alpha n^2 \sigma T^4}{\pi} \right] + \text{③} \left[ \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(r, s') \Phi(s \cdot s') d\Omega' \right] \quad (3)$$

LED 칩에 가해지는 인가전력은 4칩 패키지이므로 전체 인가전력의 1/4 이 각각의 칩에 가해진다고 계산하였고, LED 칩의 발광효율을 20[%]로 가정하여, 인가전력의 80[%]가 열로 바뀐다고 가정하였다. 시뮬레

이션을 위한 메쉬설정은 ICEPAK의 메쉬 타입 중 Mesh-HD를 사용하여 최대한 헥사헤드론 메쉬를 만들 수 있도록 하였다. 또한 빠른 계산속도를 위하여 어셈블리를 둘로 나누어서 발열이 일어나는 LED 칩 부분은 메쉬의 크기를 작게 나누고 나머지 패키지 부분은 그보다 메쉬를 크게 나누는 non-conformal 메쉬를 생성하여 계산속도를 단축하였다. 표 2는 시뮬레이션의 입력변수로 적용하기 위하여 각 요소의 물성치를 정리한 것이다.

표 2. 시뮬레이션 입력변수로 적용하기 위한 각 요소의 물성치

Table 2. Material properties of the components

	Material	Thermal conductivity ([W/m·K])	Specific heat ([J/Kg·°C])	Density ([g/cm <sup>3</sup> ])
LED chip	GaN	130	490	6.17
TIM	Ag epoxy	2.5	300	2.4
Substrate	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17	795	3.6
Electrode	Ag	418	230	10.5
MPCB	Al	235	900	2.7
Mold	Si epoxy	0.17	1173	0.98

### 3.2 표면부위 온도의 직접 측정

그림 5는 실험에 사용한 써모커플을 나타낸 것으로, 표면온도 측정 시에 접촉면적을 넓혀서 측정의 정확도를 확보할 수 있도록 접촉부위가 넓은 형태로 되어 있으며 사용 재질은 K 타입의 것을 사용하였다.

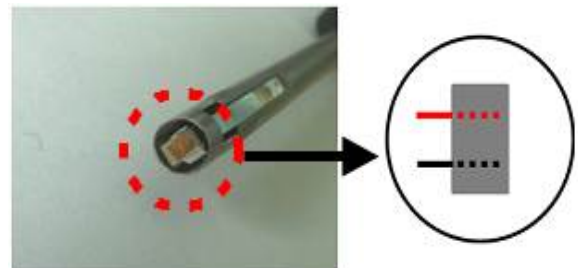


그림 5. 실험에 사용한 써모커플의 모습  
Fig. 5. Photograph of a thermocouple used in this study



그림 6. LED패키지 몰드표면부위에 대한 IR 열화상카메라 측정  
 Fig. 6. IR camera image for the mold surface of LED package

그림 6은 IR 열화상카메라를 이용하여 몰드 표면의 온도를 측정된 것으로, 화면에 나타난 온도 분포는 몰드뿐만 아니라 MPCB, 기판 등에 걸쳐서 온도 분포를 보여주고 있다. 열화상카메라에서 온도를 측정하는 원리는 재질 표면의 방사율과 밀접한 관계가 있다. MPCB 재질인 알루미늄은 방사율이 0.1이며, 기판 재질인 알루미늄은 방사율이 0.95, 몰드 재질인 실리콘은 방사율이 0.7로 알려져 있는데 본 연구에서는 FLIR reporter™ 8.3 프로그램을 이용하여 각 부위에 대하여 이와 같이 방사율 값을 다르게 적용함으로써 측정의 정확도를 높이고자 하였다. 그림 7은 이와 같이 에폭시 몰드 표면온도를 써모커플과 IR 열화상카메라를 이용하여 직접 측정된 값과 시뮬레이션으로 간접 측정된 값을 비교한 것이다.

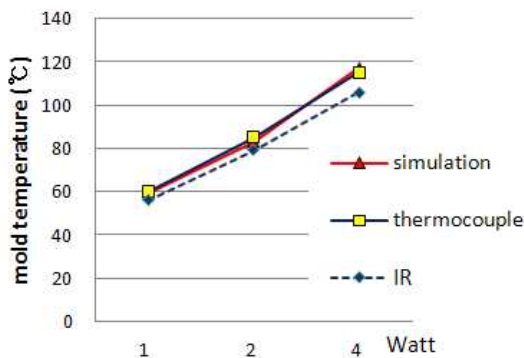


그림 7. 몰드표면온도를 3가지 방법으로 측정하여 비교한 그림  
 Fig. 7. Comparison of the mold surface temperatures which were obtained by 3 different ways

실험에 사용한 LED 패키지는 에폭시 몰드의 높이를 4[mm]로 고정하여 제작하였으며 그림에서 와트 수는 4개 칩에 인가되는 와트 수를 합산한 값이다. 그림에서 보듯이 써모커플과 IR 열화상카메라로 직접 구한 온도와 시뮬레이션으로 간접적으로 예측한 온도는 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

그림 8은 에폭시 몰드의 높이에 따른 패키지 온도의 변화를 시뮬레이션으로 구한 결과로서 인가 전력이 2 와트인 경우의 결과이다. 그림에서 보듯이 몰드의 높이가 3~5[mm]인 경우에는 몰드가 없는 경우이거나 몰드의 높이가 5[mm] 이상인 경우에 비하여 정선 온도가 10[°C]정도 낮아짐을 알 수 있었다. 이와 같은 경향은 와트 수가 다른 경우에도 동일하게 반복되었는데 이는 몰드의 비표면적과 관련된 것으로 해석할 수 있다. 즉 몰드의 수평 직경이 9[mm] 이므로 몰드의 높이가 3~5[mm]인 경우에는 몰드의 형상이 반구형에 가까운 형태를 가지게 되며, 이 경우에 비표면적(체적에 대한 표면적의 비율)이 최대가 되어, 표면을 통한 열의 방출이 가장 효과적인 것으로 설명할 수 있다.

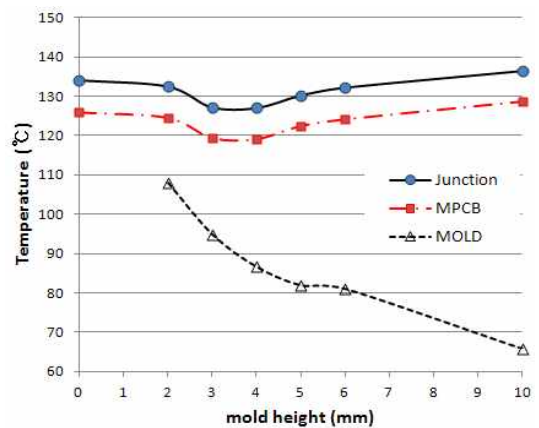


그림 8. 에폭시 몰드의 높이에 따른 패키지 온도의 변화를 시뮬레이션으로 구한 결과  
 Fig. 8. The simulated results of the temperature variations with the change of the height of the epoxy mold

표 2에서 에폭시 몰드의 재질인 실리콘에 대해서 다시 한 번 살펴보면, 기판재질인 알루미늄과 MPCB 재질인 알루미늄에 비하여 열전도도가 1/100~1/1,000

LED 패키지에서 에폭시 몰드가 방열특성에 미치는 영향

정도로 매우 낮고 비열은 30~50[%] 정도 높으며 비중은 1/3~1/4 정도로 작음을 알 수 있다. 비열과 비중은 LED 정선 부위에서 열이 발생하여 패키지 전체로 열이 퍼져나가는 초기의 방열 특성과 관계가 있는데 본 연구의 경우에는 LED에 전압이 계속 가해지고 있는 정상상태에 대한 것이므로 비열과 비중의 차이는 그림 9의 결과와 관계가 없다고 볼 수 있다. 그렇다면 그림 9의 결과는 열전도도의 측면에서 해석할 수밖에 없는데, 에폭시 몰드의 열전도도가 0.17[W/m.K]로서 낮기는 해도 공기의 열전도도가 0.02[W/m.K]에 비하면 높다는 점을 감안하면 다음과 같이 설명할 수 있다. 몰드가 없는 경우에는 열전도도가 나쁜 공기가 LED 칩을 둘러싸고 있으며 이로 인하여 정선 온도가 상승한다. 이에 비하여 높이가 3~5[mm]인 에폭시 몰드를 LED 칩 외부에 채용하면 정선에서 발생한 열이 에폭시 몰드 재질을 통한 열의 전도에 의하여 에폭시 몰드 표면으로 축적되며, 이를 효과적으로 대기 중으로 발산시켜주기만 하면 몰드가 방열에 도움이 된다고 이야기할 수 있다. 하지만 몰드의 높이가 너무 높은 경우에는 몰드 표면에 축적된 열이 효과적으로 대기 중으로 발산되지 못하여 다시 정선 온도가 상승한다고 해석할 수 있다. 그림 8에는 MPCB 표면온도와 몰드 표면온도에 대한 시뮬레이션 결과도 나타나 있다. MPCB 표면온도의 경우에는 정선 온도와 같은 경향을 보여주고 있는데 MPCB 쪽으로는 열전도도가 높은 요소들로 구성되어 있으므로 정선 온도와 6~7[°C] 정도의 온도 차를 유지함을 알 수 있다. 몰드 표면온도의 경우에는 몰드의 높이가 증가함에 따라서 급격히 온도가 감소함을 알 수 있는데 이는 몰드 재질의 열전도도가 낮으므로 발생하는 현상으로 이해할 수 있다.

그림 9는 에폭시 몰드의 열전도도를 현재의 0.17[W/m.K] 에서 그 100배에 해당하는 17[W/m.K] 까지 개선하였을 때 정선 온도에 미치는 영향을 시뮬레이션으로 예측한 것이다. 그림에서 보듯이 열전도도를 현재의 5배인 0.85[W/m.K]까지 개선하여도 정선 온도의 감소는 2~3[°C]에 불과하며 현재의 100배인 17[W/m.K]까지 개선하더라도 5[°C] 정도의 감소효과만 있음을 알 수 있었다. 실질적으로 에폭시 몰드의 열전도도를 지금보다 100배 정도로 개선한다는 것

은 매우 어려운 일이므로, 따라서 에폭시 몰드의 열전도도를 개선함으로써 얻을 수 있는 방열특성의 개선은 미미하다고 결론지을 수 있다.

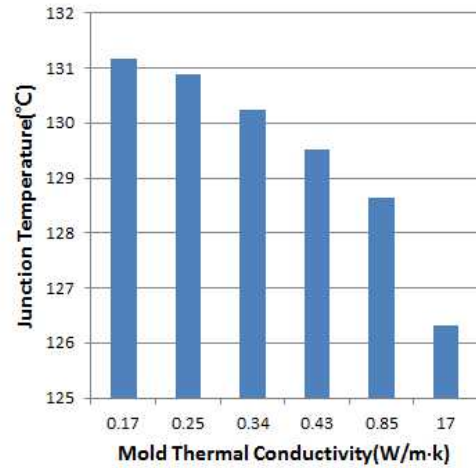


그림 9. 에폭시 몰드의 열전도도에 따른 정선온도의 변화를 시뮬레이션으로 구한 결과

Fig. 9. The simulated results of the junction temperature with the change of the thermal conductivity of epoxy mold

#### 4. 결 론

고출력, 멀티 칩 LED 패키지에서 정선온도를 측정하는 것은 매우 중요하지만 직접 측정이 불가능하여 시뮬레이션으로 예측할 수밖에 없다. 본 연구에서는 에폭시 몰드가 정선온도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 먼저 패키지 표면온도를 써모커플과 IR 열화상카메라를 이용하여 직접 측정하였으며, 이를 시뮬레이션으로 간접 측정된 값과 비교함으로써 시뮬레이션의 정확도를 확보하였고 이후에 시뮬레이션으로 정선온도를 예측한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 몰드의 높이가 3~5[mm] 인 경우에 몰드가 없는 경우보다 정선온도가 10[°C] 정도 감소하였으며 몰드의 높이가 너무 높으면 그 효과가 상쇄되었다.
2. 몰드 재질의 열전도도를 현재의 0.17[W/m.K]에서 그 100배인 17[W/m.K]까지 개선하더라도 정선온도의 감소효과는 5[°C]에 불과하므로 몰드 재질의 개선은 실질적으로 큰 의미가 없다.

**감사의 글**

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신  
인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

**References**

- [1] G.W. t Hooft, and C. van Opdorp, "Temperature dependence of interface recombination and radiative recombination in (Al, Ga)As heterostructures", Applied Physics Letters, Vol. 42, Iss. 9, pp.813-815, 1983.
- [2] Chen, Y. Lu, Y. Gao, H. Zhang and Z. Chen, "The performance of compact thermal models for LED package", Thermochimica Acta, 488, pp.33-38, 2009.
- [3] J. C. Hsieh, D. T. W. Lin and C. H. Cheng, "Optimization of Thermal Management by Integration of an SCGM, a Finite-Element Method, and an Experiment on a High-Power LED Array", IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 58, Iss. 4, pp.1141-1148, 2011.
- [4] T. Cheng, X. Luo, S. Huang and S. Liu, "Thermal analysis and optimization of multiple LED packaging based on a general analytical solution", International Journal of Thermal Sciences, Vol. 49, pp.196-201, 2010.
- [5] Bor Zen Hong and T. D. Yuan, "Heat Transfer and Nonlinear Thermal Stress Analysis of a Convective Surface Mount Package", IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology, Part A, Vol. 20, No. 2, pp.213-219, 1997.

◇ **저자소개** ◇



**방영태**(方英泰)

1985년 12월 18일생. 2011년 호서대학교 디지털디스플레이공학과 졸업. 2011년~현재 동 대학원 석사과정.



**문철희**(文喆熙)

1963년 12월 1일생. 1986년 서울대학교 금속공학과 졸업. 1988년 동 대학원 졸업(석사). 1992년 동 대학원 졸업(박사). 1995~1996년 미국 위스콘신 대학교 초청 연구원. 1996~2005년 삼성 SDI 근무. 2005년~현재 호서대학교 디지털디스플레이공학과 부교수.