

0.3 W 급 Single-chip LED 패키지의 열해석

Thermal Analysis of 0.3 W Single-chip LED Packages

*#이광석¹, 김준우², 윤동현¹, 권용남¹, 배병규³, 장석필³
 **K. S. Lee(ksl1784@kims.re.kr)¹, J. W. Kim², D. H. Yoon¹, Y. N. Kwon¹, S. P. Jang¹
¹ 재료연구소 융합공정연구본부, ² 나라엠엔디, ³쥘쥘웨이브

Key words : Light emitting diode (LED), Thermal resistance, Heat sink, Thermal analysis

1. 서론

새로운 광원으로 주목 받고 있는 고체 광원 기반 발광 다이오드 (light emitting diode, 이하 LED)는 초기 개발단계의 소형 핸드폰 및 모바일 기기의 BLU 용 광원 적용을 벗어나 자동차, 대형 디스플레이, 공공 조명 등 그 응용 범위가 매우 확장되고 있는데, 이는 기존 광원 대비 에너지 대비 에너지 절감효과가 뛰어나고 반영구적으로 사용 가능한 친환경 광원임과 동시에, 최근 LED의 한계였던 휘도 문제가 최근 들어 크게 개선된 데 힘입은 바 크다. 반면에 온도 상승시 허용 전류와 광출력이 감소하고, 주위 온도 및 동작온도 변화에 대해 매우 민감하게 작용하며, 아직까지는 기체 광원(형광등) 대비 높은 가격으로 경제성이 확보되지 못하고 있는 단점이 있다.

현재 상용화된 백색 LED single chip 하나로부터 얻을 수 있는 광속은 약 2 lumen 정도로, 이는 일반 조명시장에서 LED 조명이 사용되기 위한 100 lumen 급 조명 기기 제작시에 적어도 50 개 이상의 multi-chip LED 패키지를 조합해야 한다는 의미이다 [1]. 이는 결국 경제성 확보를 위해서는 광출력을 현재보다 훨씬 높여야 하는데, 이를 구현하기 위해서는 high flux 급 (0.2 W 이상) 고풍력 LED의 높은 소비 전력 때문에 발생하는 열을 해결하기 위한 방열 기술이 필수적으로 수반되어야 함을 의미한다.

본 연구에서는 Philips LUMILEDS 등 기존 선진 업체에서 채택하고 있는 snap-type LED에서 현재까지 구현하지 못하고 있는 직접 열방출형 알루미늄 히트싱크를 PCB 기판과 LED 열원 사이에 기계적 클린칭 방법으로 삽입한 0.3 W 급 single-chip LED 패키지를 설계하고, 시간에 따른 패키지 온도 분포를 유한요소해석을 통해 도시하였다. LED 방열 기술의 중요한 성능 평가 인자인 열저항(thermal resistance)을 정의한 뒤 직접 열방출형 히트싱크가 부착된 패키지의 방열 특성 개선 정도를 분석하였다.

2. 해석 조건

본 해석에서 사용된 high flux 급 LED 조명의 실물 형상은 Fig. 1 과 같으며, single-chip 패키지 부분만을 따로 3 차원 모델링하여 Fig. 2 와 같이 도시하였다. 주목할 사항은 알루미늄 히트싱크가 LED 열원과 PCB 기판 사이에 접합재 없이 단지 기계적 클린칭 방법으로 삽입되어 있는 구조로, 이와 같은 직접 열방출형 히트싱크 개념은 쥘쥘웨이브의 특허(제 10-2008-0009835)로 등록된 바 있다.



Fig. 1 Main components of the multi-chip LED package.

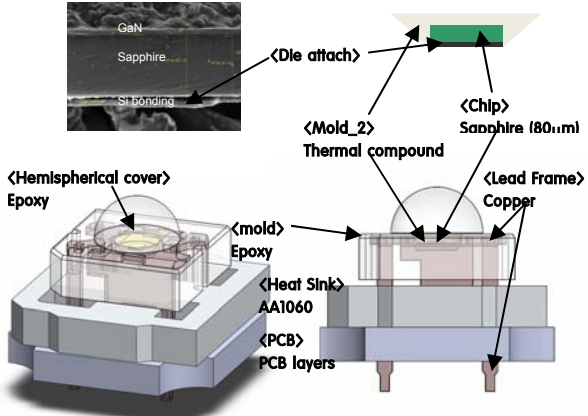


Fig. 2 FE-SEM image of the LED chip part and 3-D modeling of single-chip LED package.

LED 열 분포에 대한 유한요소해석은 통상의 EFD (Engineering Fluid Dynamics) 소프트웨어를 적용했다. 자연 대류 조건에서 외기 온도(ambient temperature)는 293 K로 두었으며, LED 열원 근방의 경우 높은 열경감률(thermal gradient)을 보일 것으로 예측되어 여타 영역에 비해 보다 조밀한 mesh를 생성한 뒤 열해석을 수행하였다. 직접 열방출형 방열판의 존재 유무가 single-chip LED 패키지의 열분포에 미치는 영향을 우선적으로 확인하였으며, 기타 방열 효율에 미치는 인자 중 하나인 Fig. 2의 에폭시 커버 유무에 따른 온도 분포 변화 또한 분석하고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 0.2 W의 파워를 인가한 뒤 30분 뒤 온도 분포에 대한 유한요소 해석 결과이고, Fig. 4는 LED 패키지 주요 part에서의 시간에 따른 온도 변화 곡선이다. 직접 열방출형 히트싱크 부착 여부와 무관하게 파워 인가 후 약 20분이 지나면 각 부분의 온도가 수렴하는 현상을 확인할 수 있다. 직접 열방출형 히트싱크가 부착되지 않은 경우 30분 뒤 온도가 355 K로 외기 온도 대비 약 62 K 상승하였으나, 히트싱크가 부착된 경우 최대 온도는 337 K로, 약 18 K의 온도 하강 효과를 나타냈으며, 결국 29%의 방열 효율 향상 효과가 있음을 의미한다.

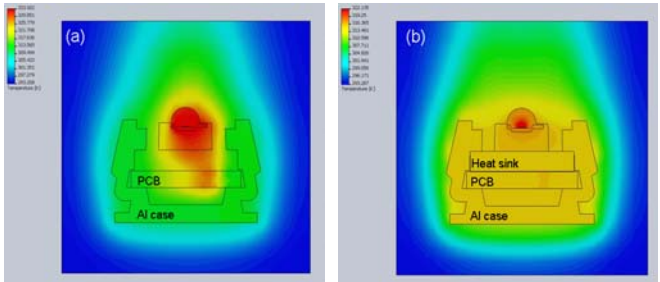


Fig. 3 Temperature distribution of the single-chip LED package with 0.2 W of input power (a) without and (b) with heat sink.

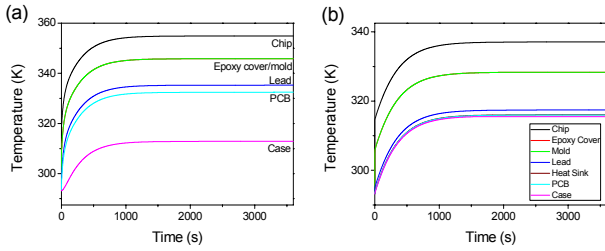


Fig. 4 Variations of temperature for various parts of single-chip LED package (a) without and (b) with heat sink.

Fig. 5는 직접 열방출형 방열판을 삽입한 채로 0.3 W의 input power 하에서 30분 뒤 반구 에폭시 커버 유무에 따른 온도 분포 해석 결과이다. 에폭시 커버가 존재하지 않은 Fig. 5(b)의 경우 에폭시 커버가 존재하는 Fig. 5(a) 대비 chip 상부로의 heat flow가 다소 더 발생하고 있는 현상을 확인할 수 있으나, 두 경우 모두 30분 뒤의 정상 상태에서의 chip의 온도는 370 K로 거의 차이가 없음을 확인할 수 있다. 단, chip과 반구 에폭시 사이에서 chip을 보호하는 역할을 하는 mold₂ (Fig. 2 참조)의 경우, 최대 온도가 반구 에폭시 커버를 제거함으로써 348 K에서 349 K로 약간 상승하였는데, 이는 반구 에폭시 커버가 광학적 효과와 더불어 방열 효과에도 다소간 기여함을 암시한다. 반면에 적외선 열화상 카메라로부터 실측한 온도 분포는 Fig. 6과 같은데, 에폭시 커버의 존재가 정상 상태에서 약 3 K 가량의 junction 온도 하락을 야기하였음을 확인할 수 있다.

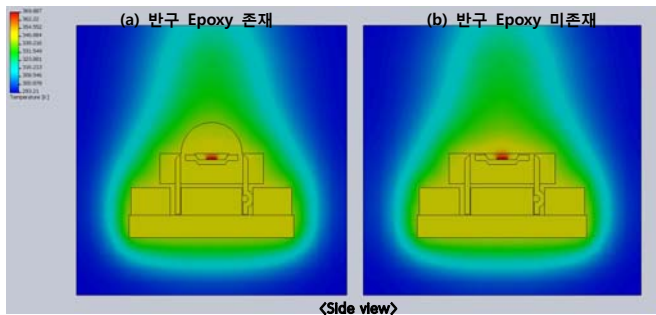


Fig. 5 Temperature distribution of the single-chip LED package with 0.3 W of input power (a) with and (b) without h/c.

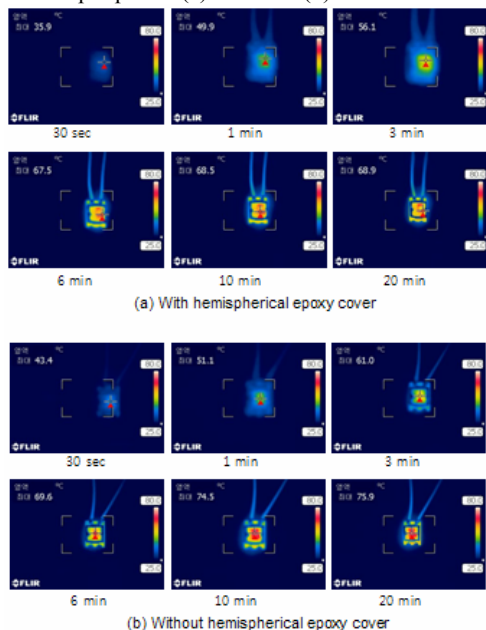


Fig. 6 Actual temperature distribution images for the single-chip LED package obtained by IR thermal camera.

위와 같은 에폭시 커버의 역할은 열저항 모델로도 설명이 가능하다. 일반적으로 에폭시 커버의 역할은 등가 열저항 회로에서 고려되지 않은 채 heat flow를 아래 방향, 즉 방열판이 부착된 방향으로만 고려하는 경향이 많으나, 최근에 제안된 모델을 참고하여[2] 새로운 열회로를 Fig. 7과 같이 도안하게 되면, 부분적으로 chip에서 발생하는 열이 상부로도 방출, 결국 양방향 열 분산 효과가 나타날 수 있고, 결과적으로 열저항 계산시 새로운 고려 대상이 된다.

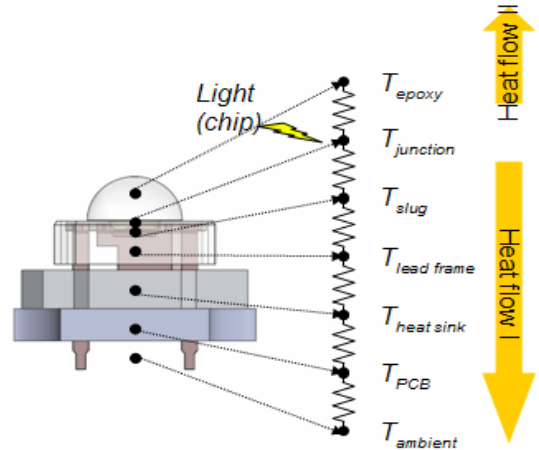


Fig. 7 Schematics of equivalent thermal resistance circuit.

LED 방열 효율 특성 평가를 위한 주인자인, junction으로부터 특정 환경까지의 열저항 R_{JX} [W/K]은 다음과 같은 식으로 정의할 수 있다.

$$R_{JX} = \frac{T_J - T_X}{P_d} \quad \dots (1)$$

T_J 는 정상상태에서의 junction 온도, T_X 는 특정 환경에서의 기준 온도, P_d 는 해당전력 소산을 의미한다. Fig. 7과 같은 단일 칩 LED 패키지 디자인에서는 광출력을 저하시키는 임계 열저항값인 75 K/W보다 작은 값을 가져야 하는데, 0.3 W - 직접 열방출형 방열판 부착 - 반구 에폭시 커버가 존재하는 조건 하에서 junction과 board 사이의 R_{JB} 는 EFD 해석상으로는 73 K/W, T3Ster 측정 결과는 이보다 낮은 ~50 K/W 정도의 열저항 값을 보여 주어진 조건을 만족하였다.

4. 결론

본 연구에서는 기존에 본딩재를 적용해서 PCB 아래의 칩에서 먼 쪽에 방열판을 붙임으로써 열저항값이 높았던 THT type 단일칩 LED 패키지의 열방출 특성을 개선하기 위해 직접 열 방출형 방열판을 부착한 LED 패키지를 디자인 및 제조하였다. 방열 특성 해석 결과 0.2 W 인가시 직접 열 방출형 방열판의 부착으로 junction 온도를 18 K 낮추고 열저항 값을 75 K/W 미만으로 떨어뜨려 방열 효율을 개선하였고, 이는 향후 멀티칩 LED 모듈 설계에도 적용 가능하다.

후기

본 연구는 지식경제부 산업핵심기술개발사업(과제번호 10032857)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 장정완, 김종수, 하수정, “진동형 히트파이프를 이용한 고효율 LED 조명 방열 설계”, 대한설비공학회 하계 학술 발표대회 논문집, 1379~1384 (2009).
2. 신무환, 김재필, “LED 패키징 기술 입문”, 북스힐, pp. 230 (2008).