

## High Power LED 열압착 공정 특성 연구

한준모<sup>a</sup>, 서인재<sup>a</sup>, 안유민<sup>a\*</sup>, 고윤성<sup>b</sup>, 김태현<sup>b</sup>

## Thermo-ompression Process for High Power LEDs

Jun-Mo Han<sup>a</sup>, In-Jae Seo<sup>a</sup>, Yoomin Ahn<sup>a\*</sup>, Youn-Sung Ko<sup>b</sup>, Tae-Heon Kim<sup>b</sup><sup>a</sup> Dept. of Mechanical Engineering, Hanyang Univ., Sa 3-dong, Sangrok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do, 426-791, Republic of Korea<sup>b</sup> Dept. of Mechanical Engineering Team, PROTEC CO., LTD, 16, Omokcheon-ro 152beon-gil, Gwonseon-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do 441-813, Republic of Korea

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received	18	February	2014
Revised	25	March	2014
Accepted	11	July	2014

## Keywords:

LED Package  
Eutectic Bonding  
Flip-chip Bonding  
High power LED

## ABSTRACT

Recently, the use of LED is increasing. This paper presents the new package process of thermal compression bonding using metal layered LED chip for the high power LED device. Effective thermal dissipation, which is required in the high power LED device, is achieved by eutectic/flip chip bonding method using metal bond layer on a LED chip. In this study, the process condition for the LED eutectic die bonder system is proposed by using the analysis program, and some experimental results are compared with those obtained using a DST (Die Shear Tester) to illustrate the reliability of the proposed process condition. The cause of bonding failures in the proposed process is also investigated experimentally.

## 1. 서론

LED (Light Emitting Diode)제품의 수요는 최근 폭발적으로 증가되는 추세를 보이고 있다. 또한 에너지 절약을 위한 기술 개발이 활발히 진행 중이다<sup>[1]</sup>. 이에 따른 LED 제품의 효율적인 생산성 증대를 위해 여러 가지 공정들이 새롭게 제안되고 있다. LED 패키징은 LED 디바이스가 일정 기간 동안 안정적으로 작동하도록 적합한 환경을 제공하는 기술을 총칭하며, 기능 구현 및 성능 향상, 제품화 과정에 필수적인 공정이다. 최근 LED의 용도 확대와 함께 실장 기술에서도 광추출 효율의 향상을 위한 방열대책이 개발과제로 크게 부각되고 있다<sup>[2]</sup>. 기존 에폭시를 이용하여 소자를 기판에 부착하는 방식은 열손실에 의해 방열 효율이 낮다. 방열 효율은 광 효율에 큰 영향을 미친다. 그러므로 광효율을 높이기 위해선 새로

운 접착방식이 요구 되고 있다.

LED 소자 바닥면에 금속 레이어를 이용한 Eutectic bonding 공정의 경우, LED 소자의 방열 효율이 증대될 뿐 아니라 제품 기판의 신소재 적용 시 방열 효율이 극히 증대되어 High power LED 구현이 가능할 것으로 예상된다. 이런 배경을 바탕으로 LED 패키징 기술 적용 시도가 활발히 이루어지고 있다. 개발 필요성으로는 LED 패키징이 LED 소자의 성능, 부피, 가격을 결정하여 제품의 경쟁력에 지대한 영향을 미치며, 생산성 높은 양산용 패키징 장비가 필수적으로 여겨진다. 이에 본 연구에서는 High power LED 구현을 위한 패키징 장치에 대한 최적화된 설계안을 제시하고자 한다. Index rail의 구조적 처짐 해석과 기체 유동 해석 그리고 열 유동해석을 하기 위해 시뮬레이션 프로그램을 사용하였다. 그 결과를 바탕으로 핵심 모듈 설계의 최적화 방안을 제시하였다.

\* Corresponding author. Tel.: +82-31-400-4741

Fax: +82-31-406-5550

E-mail address: ahnym@hanyang.ac.kr (Yoomin Ahn).

설계의 최적화 방안의 결과를 기반으로 제작한 장비의 공정 성능 평가를 통하여 최적의 공정 조건을 도출 및 신뢰성을 검증하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 실험 장치 및 재료

실험에 사용된 시뮬레이션 프로그램은 ANSYS Workbench와 CFD ACE+ 이다. 시편부착에 사용된 장비는 주관기업과 공동으로 개발중인 High power LED die bonder 시스템 모듈을 이용하여 진행하였다. 상세 성능은 주관기업의 요청에 의해 본 논문에서는 언급하지 않았다. 실험에 사용된 LED는 CREE사의 Kit Part Number C460EZ1000-S30000을 사용하였다. 재질은 사파이어이며, 같이 사용된 기판의 재질은 세라믹 기판(Ceramic base material)이다. 접합제 역할을 하는 급속레이어는 AuSn(Gold tin)을 사용하였고 비율은 8:2 비율이다. 접합강도를 알아보기 위해 사용된 DST(Die Shear Tester)는 Dage series 4000장비를 사용하였다. 접합단면은 OLYMPUS STM6-LM measuring microscope를 사용하였다.

### 2.2 시뮬레이션을 이용한 Index rail 소재 선택

Eutectic bonding은 일정 조성의 합금 물질은 저온에서 용융접합이 일어나는 특성을 활용한 접합 방법으로써, Eutectic 공정 수행을 위해서는 가열 조건이 필수적이다. 일반적으로 사용되는 금속으로 Index rail을 제작하게 되면, Eutectic bonding을 위해 열을 가할 경우, 재료의 물성에 기인하여 Index rail에 열응력이 발생하여 Index rail의 처짐 변형이 발생한다. 이 같은 경우 Index rail에 열팽창 및 응력을 발생시켜 고정밀 작업이 불가능한 상황을 야기할 가능성이 높다. 이로 인한 공정 에러의 잠재요인으로 작용할 수 있음에 따라 열변형의 최소화 소재 및 적합 구조를 선정하기 위한 열 구조 해석을 수행했다. 먼저 기구 구조물로 가장 많이 사용하는 Al alloy 소재를 기반으로 해석을 진행하였다. Rail 중앙부에 임의의 300°C의 열원을 인가하였고 상부 기구물의 중량 하중은 50 N을 인가하였다. 열응력을 고려한 연동 처짐량에 대한 해석을 통해 Rail 중심부에 처짐량을 알아보려고 하였다. 또한 같은 해석조건을 가지고 소재를 STS로 해석을 진행하였다. Fig. 1과 같이 ANSYS Workbench를 이용하여 위에서 언급한 조건으로 해석을 진행하였다.

### 2.3 불활성기체 유입 Chamber의 기체 유동해석

공정 시 기판에 산화가 발생하면 접합 효율이 떨어지게 된다. 때문에 산소의 차폐가 요구된다. Shroud gas(N<sub>2</sub>)를 주입했을 경우 Eutectic bonding이 이루어지는 Chamber 내부의 O<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub>의 각 농도를 유동해석을 통하여 도출함으로써 공정 시 기판에 어떤 영향

을 미치는지를 알아보려고 한다. Chamber 내부에서의 Shroud gas의 분포 및 최적의 유동 흐름을 예측하기 위해 유동 해석을 하였다. 또한, 해석 결과를 바탕으로 Gas 주입구 및 통로들의 위치와 크기 등 장비 구조에 대한 조건을 알아보려고 하였다. 이를 바탕으로 기판이 산소와의 접촉을 최소화할 수 있는 최적의 조건을 도출한다. 이를 위해 CFD ACE+를 이용하여 해석을 진행하였다. 해석에 사용된 지배방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (1)$$

식 (1)은 연속방정식(질량보존방정식)이다.

연속방정식의 경우 질량보존의 법칙을 적용하여 얻어진 식인데, 유입되는 유량과 유출되는 유량이 같은 조건을 만족시키는 방정식이다.

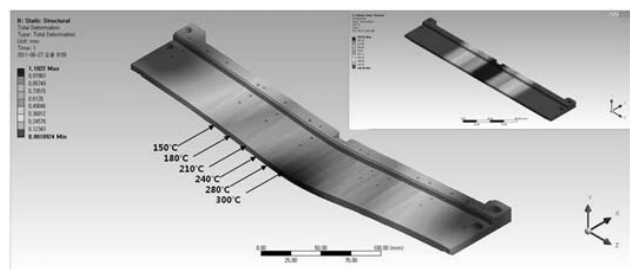
$$\nabla \cdot (\rho \vec{u} k) = \nabla \cdot \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right) + \rho P - \rho \epsilon \quad (2)$$

식 (2)는 난류 운동에너지 방정식이다.

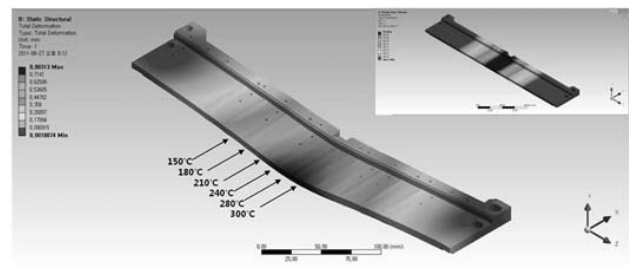
$$\nabla \cdot (\rho u \epsilon) = \nabla \cdot \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \nabla \epsilon \right) + C_{\epsilon 1} \frac{\rho P \epsilon}{k} - C_{\epsilon 2} \frac{\rho \epsilon^2}{k} \quad (3)$$

식 (3)은 난류 운동에너지 소산을 방정식이다.

난류 에너지 소산 방정식은 난류 운동에너지가 단위 시간에 분자 점성의 응력과 부력에 기인한 열플럭스에 의해 가장 작은 규모로 변하면서 열에너지로 전환되는 양에 적용된다.



(a) Al alloy



(b) STS

Fig. 1 Analysis of Al alloy & STS

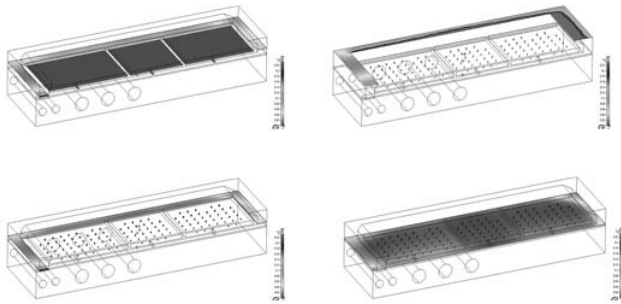


Fig. 2 Analysis of shroud gas (N<sub>2</sub>)

Fig. 2는 위의 조건들을 이용하여 Chamber 내부의 해석을 보여 준다.

**2.4 히터를 인가함에 따른 열유동 전산모사해석**

압착 방식의 Eutectic bonding을 진행하기 위해서는 LED가 실장 되는 세라믹 기판에 히터를 통한 열인가가 필수적이다. 세라믹 기판이 이송되는 Index rail에서 불활성 기체 등에 의한 온도 변화를 알아보기 위해 Index rail내의 열 분포 전산모사 해석의 진행이 필요하다. 열 분포 해석을 통해 Shroud gas 공급 시 LED 접합 공정이 이루어지는 Index rail 내부 바닥면에 대한 온도 분포와 히터로부터 LED 접합지점까지 열전달에 의한 온도 분포를 확인하고, 효과적인 산소 차폐와 온도유지 조건이 지속되는지 확인하고자 하였다. Fig. 3처럼 시뮬레이션 프로그램 CFD ACE +를 이용하여 Chamber 내에서 Shroud gas가 인가되는 상황을 가정하였다. 히터에서 인가된 온도가 접합 부위(Bonding zone)에 전달되는 온도 분포를 확인하고, 그 결과를 통해 정확한 온도 제어가 가능한지를 알아보려고 하였다.

**2.5 Eutectic bonding 조건 도출 및 실험 조건 수립**

AuSn(Gold-Tin)의 상태를 참고하여 공정점을 기점으로 온도

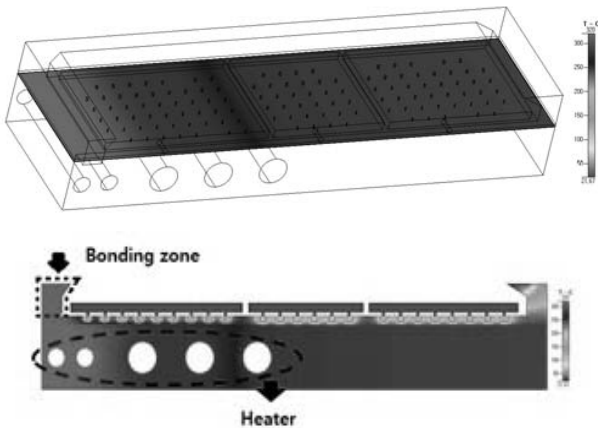


Fig. 3 Analysis of temperature distribution by heat transfer from heater during shroud gas supplying

범위를 설정한다<sup>[3,4]</sup>. Eutectic bonding에 사용한 LED는 사파이어 재질로 150 gf 초과 힘을 가하게 되면 자재 자체에 균열 및 파손이 발생하는 위험에 노출되는 것을 확인하였다. 자재 파손 방지 범위인 150 gf 이하에서 접합이 가능한 압착력 범위를 설정하였다. 압착 시간 범위 설정은 양산성을 고려하여 200 ms 이하에서 접합이 가능한 범위를 설정한다. Table 1은 최적화 공정 조건 및 실험 조건을 나타낸다. 온도조건 4가지와 압착력 조건 3가지 그리고 압착시간 4가지를 조합하여 48가지 조건으로 LED를 세라믹 기판에 접합하였다. 공정 조건에 의한 간섭을 제거하기 위해 하나의 세라믹 기판에 하나의 공정 조건만 적용하여 열 압착 접합공정을 수행하였고 가장 나쁜 접합 환경을 조성하기 위하여 세라믹 기판의 우측 끝부분에 접합을 진행하였다. 공정 조건별 부착된 LED의 접합 강도를 측정하기 위해 DST(Die Shear Tester)를 이용하여 각 LED 시편의 접합력을 측정하였다. Fig. 4는 접합 강도를 측정하는 DST를 보여준다. 최적화 설정 목표를 크게 세 가지로 세우고 그에 따른 실험을 진행한다. 첫 번째로 열 분포 해석을 바탕으로 Eutectic bonding 시 시편에 무리를 최소화하면서 최적의 접합 강도를 가지는 최소의 히터 온도 조건 도출한다. 두 번째로 시편에 주는 무리를 최소화하면서 최적의 접합 강도를 지닐 수 있는 접합력 조건을 도출한다. 마지막으로 공정시간을 최소화 하면서 최적의 접합 강도를 가지는 접합시간 조건을 도출한다.

**2.6 Flip chip 공정 조건 도출 및 실험 조건 수립**

Eutectic bonding 공정 조건 도출과 마찬가지로 AuSn

Table 1 Eutectic bonding process condition

condition	1	2	3	4
temperature (°C)	280	300	320	350
force (gf)	50	100	150	
time (ms)	50	100	150	200



Fig. 4 Die Shear Tester



부위(Bonding zone)에 정확히 전달되어 정확한 온도 제어가 가능함을 확인하였다. 이는 추후 실험적 방법을 통해 최적의 공정 조건을 도출할 때 히터와 접합부위에 온도 편차에 의한 오차 요인을 제거하고 정확한 실험 진행을 가능하도록 하였다.

### 3.2 최적화 공정 조건

최적화 공정 조건은 접근 방식에 따라 여러 가지 최적화 공정 조건이 나올 수 있다. 그 중 기계적 강도를 최우선으로 고려한 최대 평균 전단강도(Maximum Average Shear Force)가 도출되는 공정 조건을 최적화 값으로 도출하였다. 그 결과는 공정 온도 300°C, 압착력 50 gf, 압착 시간 50 ms이다. 그러나 최대 평균 전단강도(Maximum Average Shear Force)가 높다 해도 접합력(kg)값이 넓게 분포되어 있어 Min-Max shear force 값의 차이가 큰 경우 공정상의 예러 요인이 될 수 있다. 그리하여 Min-Max shear force 차이가 작고 LED 생산기업 평균 접합 강도 기준(10 kgf)보다 상위한 값만 측정되는 공정 조건이 좀 더 안정적인 공정 조건이라는 판단 하에 최적 공정 조건을 도출하였다. 그 결과 이러한 예러 요인을 최소화 하는 공정조건은 공정 온도 300°C, 압착력 100 gf, 압착 시간 50 ms과 공정온도 300°C, 압착력 50 gf, 압착 시간 100 ms 두 조건을 제안하였다. 두 조건중, Fig. 7에서 확인 할 수 있듯이 공정 온도 300°C, 압착력 50 gf, 압착 시간 100 ms 조건이 안정적인 접합이 가능하고 LED 생산기업 평균 접합강도 기준(10 kg)에서 비교 조건보다 상위한 접합력으로 분포되어 있어 안정성을 기반으로 하는 최적의 조건이라 제안하였다.

### 3.3 공정 실험 분석

첫 번째로 접합 성능 확인을 위한 비파괴 X-ray 분석 접합 공정 진행시 Tilt나 Miss align 등에 의하여 접합 면적에 Void와 같은 문제 발생 이러한 문제는 접합 면적을 감소시키고 그로 인하여 접합 강도 저하 및 열 방출 저항으로 작용하여 효율 감소의 요인이 된다. 그리하여 공정 조건 도출시 접합 강도를 높이고 열 방출 저항

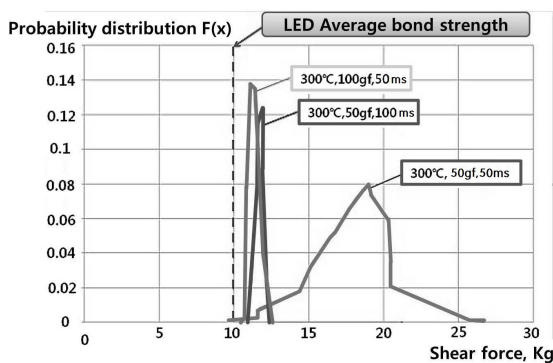


Fig. 7 Probability distribution curve of optimal process condition

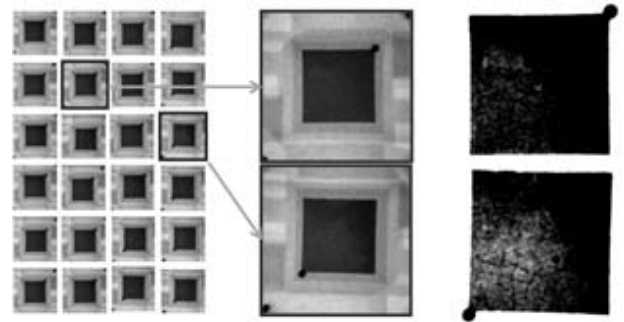


Fig. 8 Bonding layer by using X-ray

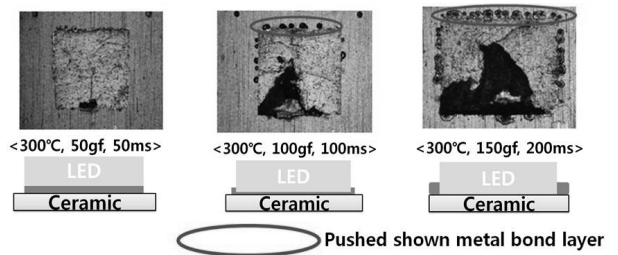


Fig. 9 Bonding surface shape analysis after the destruction

을 줄여 효율을 높이기 위하여 Void의 방지를 반영하여 공정 조건 필요하다. Fig. 8은 접합층의 X-ray 단층 촬영을 보여준다.

두 번째로 접합 성능 확인을 위한 DST(Die Shear Tester)를 이용한 파괴 분석을 나타낸다. 기판의 접합면에 산화층이 형성되어 있거나 이물질이 증착되어 있는 경우 잔여물이 비 접합 형상을 보이는 것을 확인하였다. 그리고 정확한 접합 성능을 측정하기 위해서는 접합층(Bonding layer)에서 파괴가 일어나야 정확한 접합력(Shear force)를 측정 한 것이다.

그러나 열 압착에 의한 접합력이 LED 파괴강도보다 강하게 되면 Fig. 9에서 볼 수 있듯이 LED 소자가 먼저 파괴된다. 이와 같은 경우는 접합층(Bonding layer)에서의 정확한 접합력(Shear force)을 측정할 것이라 할 수 없다. 그리고 압착 시간과 압착력의 상관관계에 의해 금속 접합층(Metal bonding layer)이 접합면을 벗어나 밀려나오는 것을 확인했다. 이로 인하여 접합층(Bonding layer) 면적이 감소하게 되고, 또한 접합력(Shear force)이 감소하는 것을 분석을 통하여 확인할 수 있다.

## 4. 결론

기술 개발 결과물의 핵심 모듈에 구조/유동/열 해석을 진행하여 최적 성능을 낼 수 있는 설계 방안을 제시하였다. 이에 대한 근거를 크게 3가지로 제시하면 다음과 같다.

(1) 핵심 모듈인 Index rail에 반영하여 설계를 진행하였다. 또한

LED가 실장 되는 세라믹 기판이 이송되는 Index rail의 열 구조 처짐 해석을 통하여 최적의 재질을 STS로 선정하였다.

- (2) 세라믹 기판 위에 산소를 차폐하여 산화막 생성을 방지하기 위하여 Shroud gas chamber가 요구된다. Gas가 주입되는 노즐과 Index rail로 분출되는 배출구의 설계를 통하여 Index rail 내의 산소 차폐를 확인하였다.
- (3) 히터와 접합부위(Bonding zone) 사이의 온도 분포 해석을 통하여 장비 내의 Chamber가 Index rail의 온도 저하 요인에 기인하는 영향을 확인하였다. 그 결과 접합부위에서는 히터와 동일한 온도가 인가되는 것을 열전대를 이용하여 확인하였다.

앞서 언급한 최적 설계 조건을 기반으로 제작된 장비의 최적 공정 조건을 도출하기 위한 실험을 진행 하였고 결과적으로 공정 온도 300°C 압착력 50 gf 압착 시간 100 ms을 최적의 조건으로 제안 하였다.

결론적으로 Gold tin(AuSn) 금속 접합층 기반 LED 소자의 양산 환경, 소자 특성(크기, 접합 소재 물성 등)을 고려한 최대 평균 접합력 조건 및 최적 공정 조건의 근거를 마련하였고, 앞서 측정하고 분석한 모든 자료는 Gold tin(AuSn) 접합 소재의 LED 소자의 최적 공정 조건으로 제시할 수 있다. 또한 소재 변경에 따라 최적 공정 조건 도출 및 접합 강도 평가 방안으로 활용 가능하다.

## 후 기

이 논문은 2011년도 정부(중소기업청)의 지원을 받아 수행된 중소기업 기술혁신 개발 사업임(과제번호 No. SA112533).

## References

- [1] Song, Y. J., Hong, M. S., 2011, A Study on the Optimal Design for Optical Efficiency of LED, Journal of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers 20:3 361-367.
- [2] Hwang, M. K., Huh, C. S., Seo, Y. J., 2004, The Luminous Intensity and Luminaire Efficiency Analysis of White LED as Luminaire types for General Lighting, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers 18:3 20-26.
- [3] Matijasevic, G. S., Lee, C. C., Wang, C. Y., 1993, Au-Sn alloy phase diagram and properties related to its use as a bonding medium, Journal of Thin Solid Films 223:2 276-287.
- [4] Ciulik, J., Notis, M. R., 1993, The Au-Sn phase diagram, Journal of alloys and compounds 191:1 71-78.