Regular Paper
J. KIEEME
Vol. 25, No. 10, pp. 844-848, October 2012
DOI: http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2012.25.10.844



# LED용 실리콘 봉지재의 경화방법이 신뢰성에 미치는 영향

김완호[1,2], 장민석[1], 강영래[1], 김기현[1], 송상빈[1], 여인선[2], 김재필[1,a]
[1] 한국광기술원 신광원조명사업단
[2] 전남대학교 전기공학과

# Effect of Curing Method on the Reliability of Silicone Encapsulant for Light Emitting Diode

Wan-Ho Kim[1,2], Min-Suk Jang[1], Young-Rae Kang[1], Ki-Hyun Kim[1], Sang-Bin Song[1], In-Seon Yeo[2], and Jae-Pil Kim[1]
[1] New Lighting Solution R&BD Sector, Korea Photonics Technology Institue, Gwangju 500-779, Korea
[2] Department of Electrical Engineering, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

(Received July 30, 2012; Revised September 17, 2012; Accepted September 22, 2012)

**Abstract:** Encapsulant curing in terms of convection oven leads to thermal induced stress due to nonuniform thermal conductivity in LED package. We have adopted infrared (IR) light for silicone curing in order to release the stress. The light uniformity irradiated on an encapsulant surface is confirmed to be uniform by optical simulation. Shear strength of die paste using IR compared to convection oven is increased 19.2% at the same curing time, which indicates curing time can be shortened. The indentation depth difference between center and edge of silicone encapsulant in terms of convection oven and IR are 14.8% and 3.4%, respectively. Curing by IR also shows 2.3% better radiant flux persistency rate of LED at 85℃ after 1,000 h reliability test compared to convection curing.

**Keywords:** LED, Silicone, Encapsulation, Reliability, Convection curing, Infrared curing

## 1. 서 론

LED (light emitting diode)는 높은 효율과 안정성, 긴 수명, 다양한 색상 구현과 낮은 소비전력 등의 장점을 가지고 있다 [1,2]. 최근 다양한 응용 분야에 적용되어 LED TV용 BLU (backlight unit) 광원에서부터 일반 조명까지 확대되면서 LED 패키지의 고효율 및 고신뢰성에 대한 요구가 증대되고 있다 [3,4]. 이에 따라 LED 패키지의 고효율화를 위해 칩의 광출력 향상과 패키징 공정기술의 향상을 위한 연구가 이루어지고 있다.

대표적인 LED 패키지의 고신뢰성 확보 방안은 고방열 소재 및 최적화된 방열 구조를 통하여 열 저항을 낮추고, 칩, 리드 프레임, 형광체, 실리콘 봉지재 등 원재료의 특성을 향상시키는 것이다 [5]. 특히, 동일한 원재료를 사용하는 조건에서 패키징 공정 조건에 따른 신뢰성 차이가 발생하고 있는데, 이에 따른 패키징 공정 최적화에 대한 연구가 부족한 상태이다.

LED 패키징 공정 중 신뢰성에 가장 많은 영향을 미치는 공정은 실리콘 봉지재의 경화 공정으로 실리콘 봉지재의 종류와 경화 방법에 따른 공정 개발이 필요하다. 실리콘 봉지재는 경화 과정의 개선을 통해

a. Corresponding author; jpkim@kopti.re.kr

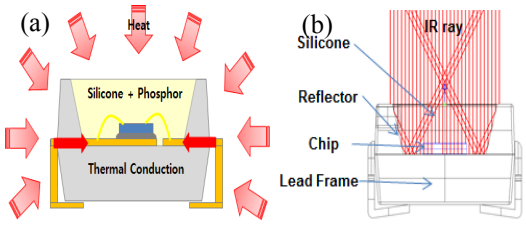


**Fig. 1.** Schematic diagram of curing method. (a) convection curing, (b) infrared curing.

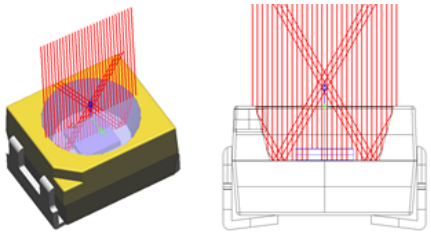

**Fig. 2.** Simulation of infrared curing.

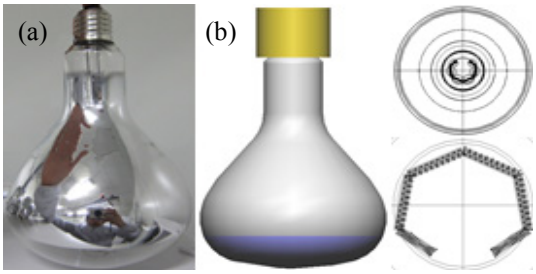


**Fig. 3.** Modeling of infrared lamp. (a) image of infrared lamp, (b) modeling use of light tools.

내안정성 및 접착력이 증대되며, 신뢰성 향상 또한 가능하다. 일반적으로 실리콘 봉지재의 경화 중 실리콘의 미세 void 발생을 억제하고, 리드 프레임과의 접착력을 향상하기 위해 경화 온도 및 경화 시간의 공정 조건을 최적화하고 있다 [6-8].

그림 1(a)는 일반 경화 방법을 도식화한 것으로 열전도에 의해 실리콘 봉지재의 표면에서 내부로 경화되는 것을 나타내고 있다.

본 논문에서는 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 그림 1(b)와 같이 실리콘 봉지재의 내부 및 외부에서 균일한 경화가 가능한 850 ㎚ 파장을 가지는 적외선 경화 (infrared cure) 방법을 적용하여 기존 일반 경화 방법과 경화 공정, 광출력, 신뢰성 특성을 비교하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 IR 경화기의 광학 시뮬레이션 및 제작

IR 경화 방식은 빛을 직접 LED 패키지에 조사하기 때문에 봉지재를 투과한 빛들이 리드 프레임의 PPA (polypthalamide) 반사판과 Ag 도금면에 의해 봉지재로 반사됨으로써 다중으로 빛을 조사하여 봉지재가 동시에 경화되는 효과를 얻을 수 있다. 본 시뮬레이션에서는 그림 2와 같이 패키지 반사판의 반사율, Ag 도금면의 반사율과 칩에서 발생하는 손실을 고려하였다.

그림 3은 IR경화 방식이 봉지재 경화에 미치는 영향을 분석하기 위하여 실험에 사용된 오븐 및 IR 전구를 모델링하여 실제 리드 프레임에 조사되는 빛의 양과 분포를 시뮬레이션을 통해 얻었다. 정밀한 모델링을 위하여 실제 사용된 IR 전구의 실측치를 측정하고, IR 대역에서의 반사도와 투과율을 설정하였다.

또한 실제 빛이 나오는 필라멘트 모양을 그대로 구현함으로써 시뮬레이션 과정에서 발생하는 오차를 최소화하였다.

### 2.2 경화 방법에 따른 LED 패키징

본 실험에서는 경화 방법에 따른 LED 광원을 제작하기 위하여 500 × 500 × 150 ㎛$^3$ 크기의 LED (중심파장 447.5 ㎚)를 사용하였으며, 패키지는 일반 조명용으로 사용되고 있는 5,050 (5.0 × 5.0 × 1.8 ㎜) 크기의 리드 프레임을 사용하였다. Die paste는 Shinetsu사의 KER-3000-M2 메틸계 실리콘 접착제를 사용하였으며, 봉지재는 다우코닝사의 OE-6630 (페닐계)을 사용하였다. 표 1은 실리콘 봉지재의 특성을 나타내었다.

**Table 1.** Characteristics of silicone

| maker | Dowcorning |
|---|---|
| model name | OE-6630 |
| viscosity (25℃) | 2,500 mPa • s |
| hardness | shore D 41 |
| refractive index | 1.53 |
| cure condition | 150℃/1hr |
| property | Phenyl |

### 2.3 봉지재 물성 평가 및 경화 조건 설정

실리콘 봉지재의 경화 온도 조건을 설정하기 위해 봉지재에 대한 경화 반응을 DSC (differential scanning calorimeter) 장비로 온도에 따른 반응열을 측정하였다 [9]. 그림 4는 실리콘의 반응열 측정 결과로 OE-6630 실리콘 봉지재는 경화 반응이 70℃에서 시작하여 피크 온도 95.36℃, 경화 발열 반응이 130℃에서 안정화되며, 좁은 온도 범위 내에서 경화 반응이 빠르게 일어남을 알 수 있다. DSC 평가 결과를 근거로 실리콘 봉지재가 완전 경화가 가능한 150℃로 경화 조건을 설정하였다.

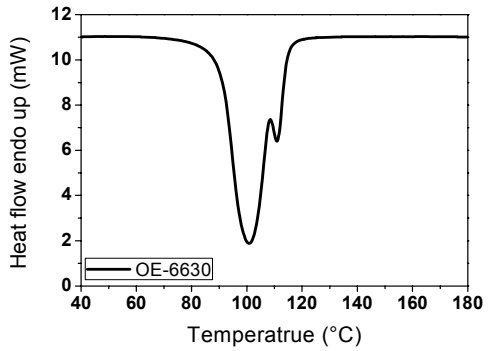


**Fig. 4.** Heat reaction of silicone encapsulant.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 IR Oven 경화 조건 시뮬레이션

패키지 내에 IR 빛의 양을 시뮬레이션한 결과 입사한 빛과 패키지에서 반사되어 나오는 빛의 합이 입사한 빛의 약 1.7배임을 알 수 있었다. IR 전구 1개를 오븐 안에 설치 한 경우 패키지에 조사 되는 IR 빛의 분포를 시뮬레이션 하였다. 그림 5의 결과에서 알 수 있듯이 전구의 IR 코팅면에 의해 빛이 사방으로 퍼지지 않고 전구의 아래 부분으로 집중되고 있으며, 패키지를 중앙 부분에 위치시킬 경우 그 면적 안으로 들어오는 빛의 양이 일정하여 균제도 (uniformity ratio of illumination) Min/Max가 0.79로 전체적으로 빛이 고르게 분포하였다.

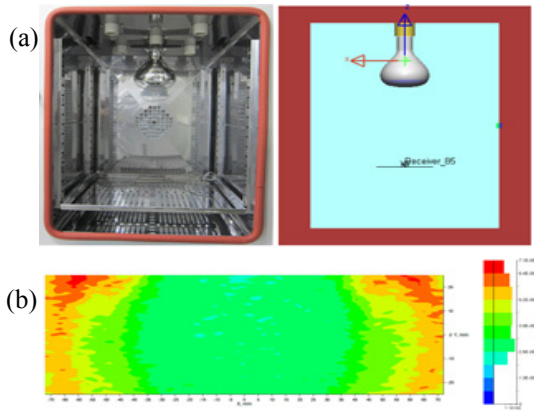


**Fig. 5.** Simulation result of Infrared Oven. (a) modeling of infrared lamp & chamber, (b) uniformity of infrared ray on the lead frame.

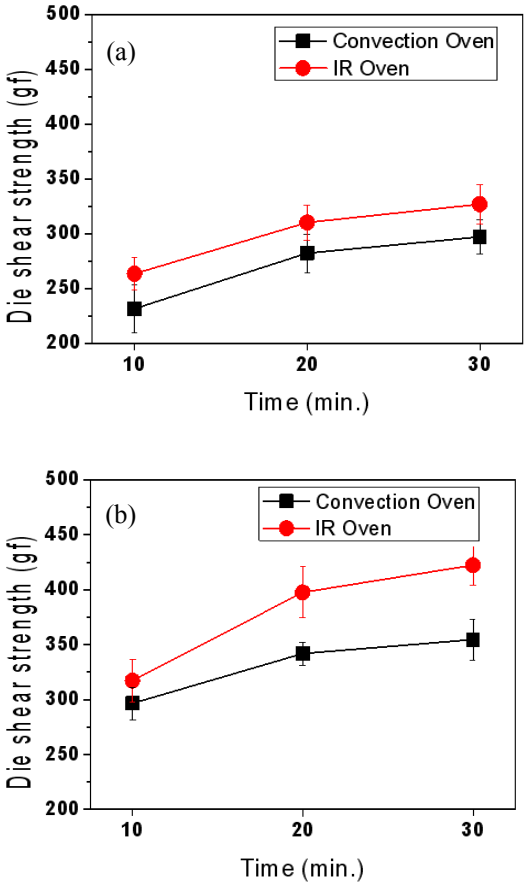


**Fig. 6.** Die shear strength change of the temperature and time. (a) curing temperature 150℃, (b) curing temperature 175℃.

### 3.2 Die paste의 접합 강도 평가

일반 경화와 IR 경화 방법에 따른 경화 정도를 평가하기 위해 경화 온도는 150℃, 175℃ 두 가지 조건에서 경화 시간을 10분, 20분, 30분으로 변화하면서 Bond tester (Dage series 4000, Aylesbury, UK) 장비를 이용하여 Chip의 접착강도를 측정하였다.

그림 6은 온도 및 시간에 따른 접착강도를 나타낸 그래프이다.

그림 6(a)는 경화 온도 150℃ 경화 시간 30분 조건에서 IR 경화는 327 gf 일반 경화는 297 gf로 10%의 접합 강도가 증가하였다. 그림 6의 (b)는 경화 온도 175℃, 경화 시간 30분 조건에서는 IR 경화는 422.3 gf, 일반 경화는 354.3 gf로 19.2%의 접합 강도가 증가하였다. 이는 높은 IR 에너지가 die paste에 조사되어 동일한 경화 시간에 접합 강도가 증가한다고 판단할 수 있으며, 동일 온도 조건에서 경화 시간 단축이 가능함을 알 수 있다.

### 3.3 실리콘 봉지재의 경도 평가

IR 경화 방법이 실리콘 봉지재의 표면을 균일하게 경화하는지 확인하기 위해 9080 (9.0 × 8.0 × 1.9 ㎜) 패키지에 실리콘을 봉지 후 150℃에서 각각 30분, 40분, 50분 경화 후 경화 정도를 측정하였다. 그림 7은 중심부와 가장자리부의 경도 측정 위치이며, 측정 장비는 경도계 (MicroWiahrd, Multitoyo, JP)를 사용하였다.

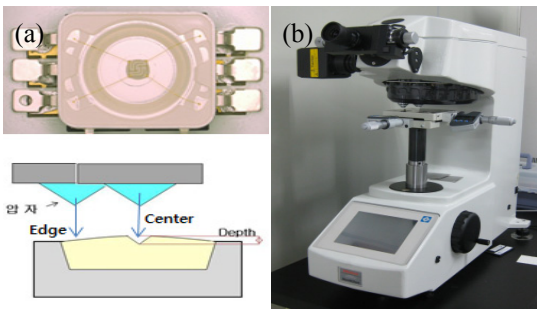


**Fig. 7.** Diagram of silicone hardness. (a) hardness test condition, (b) a hardness testing machine.

그림 8은 경화 방법 및 경화 시간에 따른 중심부와 가장자리부의 경도 변화를 측정한 그래프이다. 150℃ 50분 경화 후 IR 경화 방법의 압입 깊이는 64.2 ㎛, 일반 경화의 압입 깊이는 110.5 ㎛로 IR 경화 방법이 경화 속도가 빠름을 알 수 있다. 일반 경화 후 중심부의 압입 깊이는 110.5 ㎛, 가장자리부는 96.3 ㎛로 14.8% 차가 발생하며, 열전도에 의해 가장자리부가 중심부보다 먼저 경화가 진행됨을 알 수 있다. 반면, IR 경화 후 중심부의 압입 깊이는 64.3 ㎛, 가장자리부는 66.5 ㎛로 3.4%의 차가 발생하였다. 이는 IR 빛이 패키지내의 반사를 통하여 외부와 내부에 균일하게 조사되어 경화됨을 나타낸다.

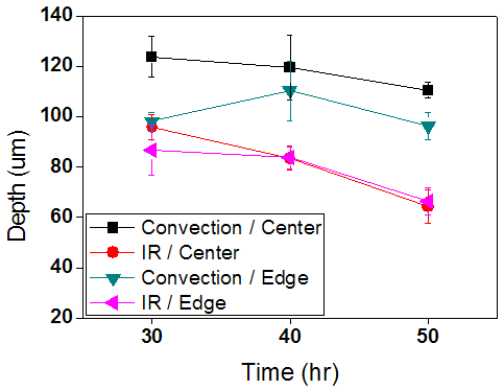


**Fig. 8.** A hardness test result of the curing method.

### 3.4 경화 방법에 광특성 및 신뢰성 평가

실리콘 봉지재의 경화 (150℃, 1 hr) 후 LED 광원의 광출력 (radiant flux)를 비교한 결과 그림 9와 같이 일반 경화 방법을 적용한 LED는 102.1 ㎽, IR 경화 방법을 적용한 LED는 102.2 ㎽로 경화 방법에 따른 광출력 차이는 나타나지 않았다.

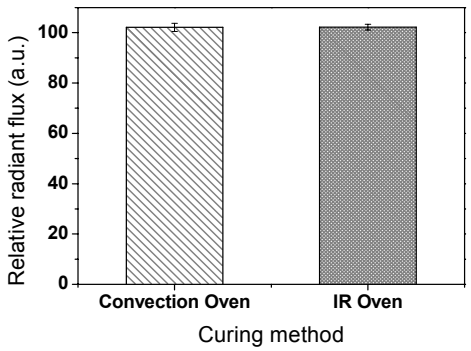


**Fig. 9.** Radiant flux of the curing method.

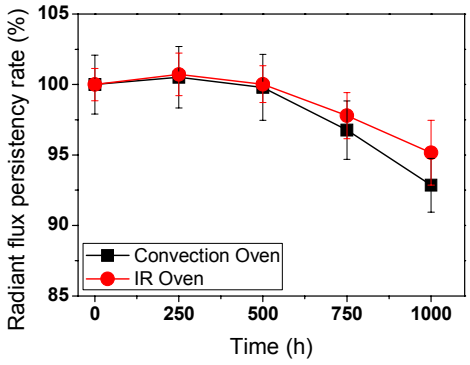


**Fig. 10.** Reliability test result at high temperature (Ta=85℃/IF=100 ㎃).

경화 방법에 따라 제작된 샘플은 신뢰성 실험을 위해 1 inch × 1 inch 크기의 metal PCB에 실장 후 고온 동작 시험을 하였다. 시험 조건은 60℃, 85℃ 고온 조건에서 입력 전류 100 ㎃를 인가하여 1,000 hr 진행하였다. 60℃ 조건에서 광출력 변화를 확인한 결과 일반 경화 오븐에서 경화한 LED는 2.6% 상승하였고, IR 오븐에서 경화한 LED는 2.5% 상승하여 광출력 변화가 동등 수준임을 확인하였다. 그림 10과 같이 고온 85℃ 조건에서 광출력 변화를 확인한 결과 일반 경화한 LED는 7.2% 광출력이 감소하였으며, IR oven에서 경화한 LED는 4.9%의 광출력이 감소하여 2.3%의 신뢰성이 개선됨을 확인하였다. 이는 IR 경화 방법이 일반 경화 보다 균일하게 경화되고 리드 프레임과 봉지재의 접착력이 증가시켜 외부로부터 습기나 가스의 침입을 차단함으로써 장기 신뢰성을 향상시키기 때문으로 사료된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 기존 일반 경화 방법과 IR 빛을 이용한 경화 방법을 비교하였다. 광학 시뮬레이션을 통해 IR 빛은 패키지의 실리콘 봉지면에 0.79의 균제도를 가지고 입사함을 확인하였다.

IR 경화 방법을 이용하여 die paste의 접합 강도를 평가한 결과 동일 경화 시간에서 19.2% 접합강도가 증가하였다. 또한, 실리콘 봉지재의 중심부와 가장자리부의 경도 평가 결과 일반 경화 방법은 14.8% 차이가 있었으며, IR 경화 방법은 3.4%의 차이만 나타내어 균일한 경화가 이루어짐을 알 수 있었다. 고온 85℃ 조건에서 구동하여 신뢰성을 평가한 결과 IR을 이용한 경화방법은 일반 경화 방법에 비해 광출력 유지율이 2.3% 향상되어 신뢰성 개선 효과가 있음을 알 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 지식경제부 산업원천 기술 개발 사업인 “고효율 고신뢰성 LED 패키징 소재 기술 개발” 사업의 지원으로 수행되었다.

## REFERENCES

[1] H. Lee, J. Park, M. Kim, and J. Kim, *J. KIEEME* **22**, 1033 (2009).
[2] S. Lee, S. Lee, J. Yang, J. Lee, and D. Park, *Trans. KIEE,* **59**, 609 (2010).
[3] Z. Liu. S. Liu, Kai Wang, and X. Luo, *Front. Optoelectron. China,* **2**, 119 (2009).
[4] D. A. Steigerwald, J. C. Bhat, D. Collins, R. M. Fletcher, M. O. Holcomb, M. J. Ludowise, P. S. Martin, and S. L. Rudaz, *IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron.,* **8**, 310 (2002).
[5] E. F. Schubert, *Light Emitting Diode*, 2nd ed. (Cambridge University Press, Cambridge, 2006) p. 195.
[6] L. Liu, B. M. Zhang, D. F. Wang, and Z. J. Wu, *Compos. Struct.,* **73**, 303 (2006).
[7] P. Olivier, J. P. Cottu, and B. Ferret. *Composites.,* **26**, 509 (1995).
[8] J. M. Tang, I. W. Lee, and G. S. Springer, J. *Compos. Mater.,* **21**, 421 (1987).
[9] A. C. Loss and S. George, *J. Compos. Mater.,* **17**, 135, (1983).