

굴절률이 다른 실리콘 봉지재의 봉지 방법에 따른 UV-A LED의 광 특성에 관한 연구

(Optical Properties of UV LEDs depending on Encapsulate Method using Silicone Encapsulants with Different Refractive Indices)

김완호* · 구대형 · 노주현 · 이경원 · 전시욱 · 김재필 · 여인선**

(Wan-Ho Kim · Dai-Hyoung Koo · Ju-Hyun Noh · Kyung-Won Lee ·
Sie-Wook Jeon · Jae-Pil Kim · In-Seon Yeo)

Abstract

Optical characteristics including the radiant flux and viewing angle of UV LEDs were investigated according to both silicone encapsulants with different refractive indexes and lens shapes. Lead frame was fabricated using the enhanced heat dissipation characteristics with a heat slug structure and the reflector based on EMC(Epoxy Mold Compound) material. Four types of lens shapes were designed and their optical characteristics depending on the refractive index of silicone encapsulants were evaluated. The maximum radiant flux can be achieved when the height of lens are 1.32mm and 1.08mm for silicone encapsulants with low and high refractive indexes, respectively. Depending on the encapsulating method, the viewing angle changes from 148.9° to 130.2° for low refractive index and from 145.3° to 136.8° for high refractive index. As a result, it is found that the optical characteristics of UV LEDs can be controled through both encapsulating method and the refractive index of encapsulants.

Key Words : UV LED, Silicone, Refractive index, Radiant flux, Viewing Angle

1. 서 론

LED(Light Emitting Diode)는 높은 효율과 안정성, 긴 수명, 다양한 색상 구현과 낮은 소비전력 등의 장점을 가지고 있다. 일반적으로 LED BLU, 차량용 전조 등, LED 조명 등 다양한 응용 분야에 적용되고 있다 [1-2]. 최근 가시광 영역뿐만 아니라 UV 영역까지 LED의 적용범위가 확대되고 있다. 현재 상용되고 있는 UV 램프는 유리재질로 깨지기 쉬어 다루기가 불

* Main author : The Doctor's course, Department of Electrical Engineering, Chonnam National University

** Corresponding author : Professor, Department of Electrical Engineering, Chonnam National University

Tel : 062-530-1744, Fax : 062-530-1749

E-mail : isyeo@jun.ac.kr

Received : 2014. 12. 10

Accepted : 2015. 1. 8

편하고 수은 계열을 함유하고 있어 RoHS 제재와 환경 문제가 발생되고 있다[3]. 그래서 기존의 UV 램프를 점차 UV LED로 교체하기 위한 연구 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 특히 UV-A(320nm~400nm) 영역은 노광기 UV 램프를 대체하기 위한 경화기용 광원, 위폐감지기, 휴대용 네일 경화기 등 일반 산업분야에 사용이 증가되고 있다. 또한 UV-A 광원과 광촉매를 이용한 살균 및 공기정화용으로 사용범위가 증대되고 있다[4].

현재까지 가시광 영역 LED의 광 효율 향상에 관한 다양한 연구가 진행되고 있으나[5], UV LED의 광 특성에 대한 연구가 미진한 상태이다. 또한 UV LED는 기존 가시광에 사용되는 블루칩에 비해 광 추출 효율이 낮으며, 패키징 소재가 가시광 영역에 최적화되어 있어 UV LED에 적용하기 위해서는 패키징 소재와 방열을 고려한 패키지 개발이 필요하다. UV LED 패키지의 고 효율화를 위해 칩의 광출력 향상과 패키징 소재에 적합한 공정 기술에 관한 연구가 필요하다.

특히 UV LED 패키지에 요구되는 특성은 고효율, 고방열, 고신뢰성 뿐만 아니라 적용 제품에 따른 지향각 제어를 통해 배광 제어와 지향각에 따른 광출력 균일성이 확보된 렌즈 일체화 패키지의 필요성이 증대되고 있다[6].

본 논문에서는 UV LED 패키지의 최적화된 광학 설계와 UV LED에 적합한 소재를 적용하기 위하여 실리콘 봉지재의 굴절률에 따른 봉지 방법에 따른 광출력과 지향각 변화에 대해 연구하였다. 또한 다양한 렌즈 형상과 봉지 방법에 따른 광 특성을 분석하고 이를 이용하여 광 효율을 향상할 수 있는 패키징 기술에 대한 연구를 수행하였다.

2. 본 론

2.1 패키지 제작 및 특성 평가 개요

UV-A LED 패키지를 제작하기 위해 그림 1과 같이 리드프레임 구조의 기판에 방열 효과를 높이기 위한 Heat slug 구조와 UV 내열성 및 내광성이

우수한 EMC(Epoxy Mold Compound)소재를 적용하여 패키지를 설계하였다. 패키지는 4242(가로 4.2mm, 세로 4.2mm) 크기이며, 칩은 Nitride Semiconductor사의 600×600μm 크기의 수평형 칩(발광대역 395nm)을 사용하였다. 렌즈에 사용된 실리콘 봉지재는 굴절률 1.41(다우코닝 : OE-6370)과 봉지용 실리콘 봉지재는 저굴절률 1.41(시네츠 : KER-2500)과 고굴절률 1.53(다우코닝 : OE-6636)을 적용하였다.

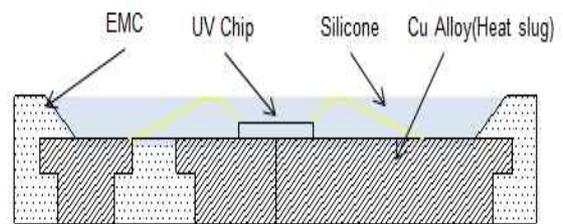


그림 1. 리드프레임 구조의 UV-A LED 패키지
Fig. 1. UV-A LED package of lead frame structure

실리콘 봉지재는 10^{-1} torr에서 5분 동안 탈포시킨 후, 디스펜서(MUSASHI, FAD@320s)를 이용하여 토출하였다. 렌즈 형상에 맞게 금형을 제작하고, 가압 성형 장비(TOWA, FFT-1005M)를 이용하여 성형하였다. 렌즈 경화는 Convection oven을 이용하여 70℃에서 1시간, 150℃에서 2시간 동안 가열하여 진행하였다.

렌즈 형상에 따른 LED 패키지의 광학적 특성 변화를 분석하기 위해 LightTools 광학 설계 프로그램을 이용하여 렌즈 곡면 반지름과 실리콘 봉지재의 굴절률에 따른 광출력 변화를 시뮬레이션 결과와 제작된 패키지와 비교 분석하였다. 실리콘 봉지재는 리드 프레임 반사컵에 고굴절률 봉지재와 저굴절률 봉지재를 봉지하여 경화하고, 가압 성형 장비를 이용하여 저굴절률 실리콘 봉지재를 적용하여 렌즈를 성형하였다. 제작된 LED의 광학 특성은 Instrument systems社의 CAS-140CT와 LED Goniophotometer - 100을 이용하여 측정하였으며, 측정 환경은 상온 25℃, 상대습도50%에서 인가 전류는 100mA로 하였다.

2.2 광학 시뮬레이션

실리콘 봉지재의 굴절률과 도포 방법에 따른 광출력 및 지향각 변화를 예측하기 위해 LightTools 광학 설계 프로그램을 이용하여 시뮬레이션 하였다. UV LED 칩은 피크 파장 395nm, 칩 크기 600x600um의 수평형 구조의 Chip을 사용하였다. 칩의 발광 패턴을 측정하기 위해 근접영역(Near-Field) 영역에서의 상면 발광과 측면 발광을 측정하여 시뮬레이션에 적용하였다. 그림 2는 근접 영역에서 측정한 칩의 지향각과 LightTools를 이용한 칩의 지향각을 비교한 결과 지향각이 일치함을 알 수 있다.

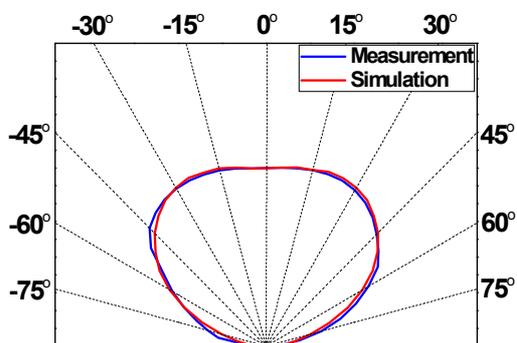


그림 2. UV A 칩의 지향각 비교
Fig. 2. Compare of the view angle of UV-A Chip

실험에 사용된 패키지의 크기는 4.2x4.2x1.0mm 크기를 가지며, 리드 프레임의 리플렉터는 EMC(Epoxy Mold Compound) 소재를 적용하였다. 패키지에 사용되는 리드프레임 구조는 칩이 분당되는 Ag 도금면의 반사율과 반사각 EMC 소재의 반사율을 측정하기 위해 UV - VIS Spectrophotometer를 이용하여 측정하였다. UV 파장의 반사율을 측정한 결과 Ag 도금면은 85.4%, EMC 리플렉터 소재는 58.8%의 반사율을 확인하였다.

실리콘 봉지재는 저굴절률 1.41 메탈계 실리콘과 고굴절률 1.53 페닐계 실리콘 봉지재를 적용하여 굴절률에 따른 광출력과 지향각 특성을 시뮬레이션하였다. 그림 3은 실리콘 봉지재의 굴절률에 따른 봉지재의 봉지 방법으로 (a)는 패키지에 저굴절률 실리콘을 봉지

하고, (b)는 고굴절률의 봉지재를 적용하여 렌즈를 구성하였다. 렌즈에 사용된 봉지재는 저굴절률 실리콘 봉지재를 적용하였다.

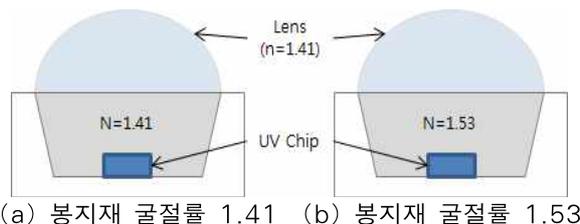


그림 3. 실리콘 봉지재의 봉지 방법
Fig. 3. Methods of silicone encapsulation

그림 4는 렌즈 형상은 광학 시뮬레이션 결과와 실제 제작된 LED 패키지와 광출력 변화에 대한 정확성을 높이기 위해 광출력이 감소되는 렌즈 D를 설계하였다. 렌즈 형상은 반구 높이 렌즈 A 1.08mm, 렌즈 B 1.20mm, 렌즈 C 1.32mm, 렌즈 D 1.44mm로 설계하여 광효율과 지향각 특성 변화를 시뮬레이션하였다.

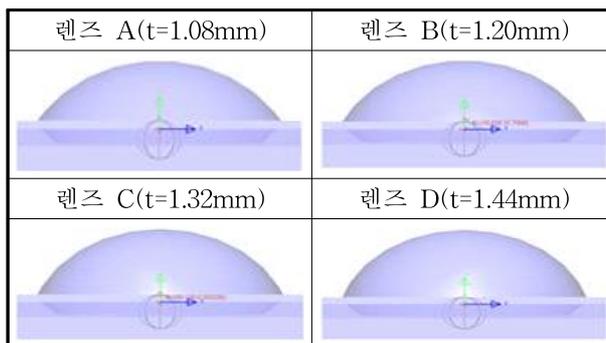


그림 4. 광학 시뮬레이션을 위한 렌즈 형상
Fig. 4. Lens shape for optical simulation

그림 5는 렌즈 형상과 실리콘 봉지재의 굴절률에 따른 광출력 시뮬레이션 결과이다. 고굴절률 실리콘은 렌즈와 굴절률 차이로 인해 내부 전반사양의 증가로 인해 렌즈 형상에 따른 최소 3%에서 최대 6% 광출력이 감소하였다.

그림 6은 봉지재 도포 조건에 따른 지향각 시뮬레이션한 결과이며 저굴절률 봉지재 지향각은 렌즈 A 145°, 렌즈 B 140°, 렌즈 C 135°, 렌즈 D 130°로 집광

배광으로 15° 좁아졌으며, 고굴절률 봉지재도 렌즈 A 136°, 렌즈 B 131°, 렌즈 C 126°, 렌즈 D 121°로 집광 배광으로 변화하였다.

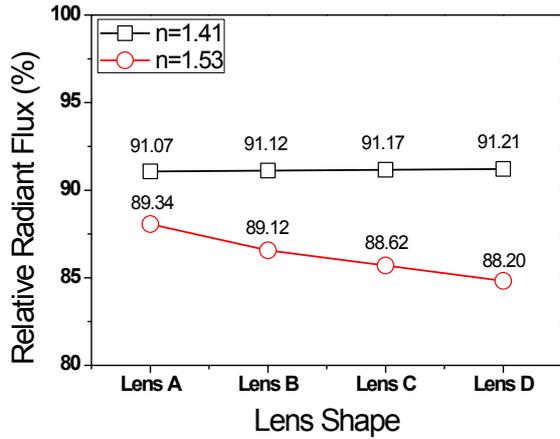


그림 5. 봉지재 도포 조건 및 렌즈 형상에 따른 광출력 시뮬레이션

Fig. 5. Radiant flux simulation according to encapsulation condition and various lens shape

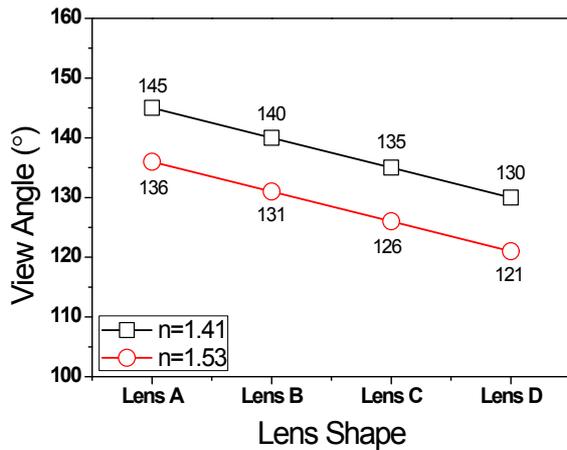


그림 6. 봉지재 도포 조건 및 렌즈 형상에 따른 지향각 시뮬레이션

Fig. 6. View angle simulation according to encapsulation condition and various lens shape

2.3 굴절률에 따른 광 특성 평가

시뮬레이션 결과를 기준으로 렌즈를 설계하여 4 타

입의 렌즈 금형을 제작하고, 가압 성형 장비를 이용하여 렌즈를 성형하였다. 제작된 UV LED의 광 출력은 Instrument systems社의 CAS-140CT를 사용하고, 지향각은 LED Goniophotometer - 100 으로 을 측정하였으며, 측정온도는 상온에서 인가 전류는 100mA로 하였다.

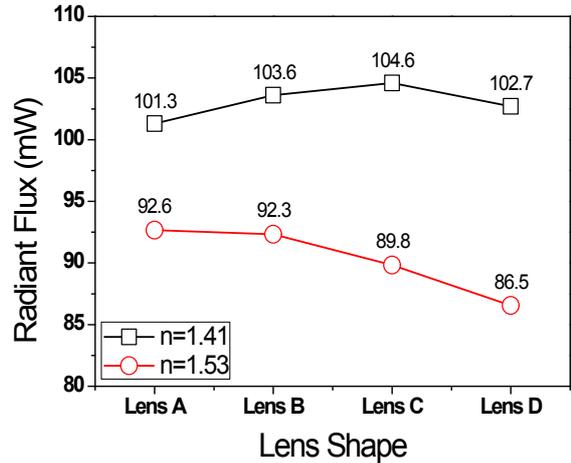


그림 7. 봉지재 도포 조건 및 렌즈 형상에 따른 광출력 시뮬레이션

Fig. 7. Radiant flux simulation according to encapsulation condition and various lens shape

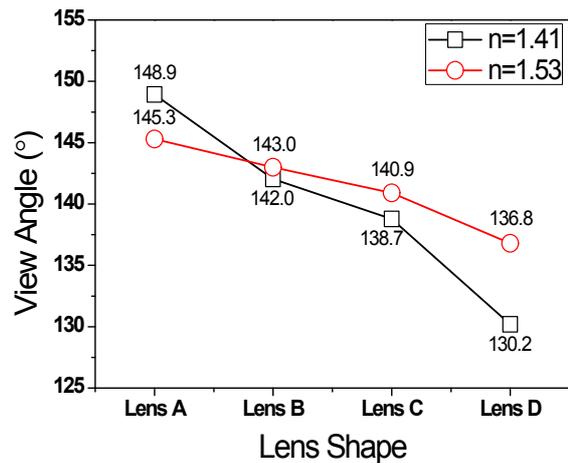


그림 8. 봉지재 도포 조건 및 렌즈 형상에 따른 지향각 시뮬레이션

Fig. 8. View angle simulation according to encapsulation condition and various lens shape

그림 7은 실리콘 봉지재의 봉지 조건과 렌즈 형상에 따른 광출력 변화를 나타낸 그래프이다. 광학 시뮬레이션 결과와 같이 저굴절률 실리콘 봉지재는 렌즈 C에서 임계점이 나타났으며, 고굴절률의 실리콘의 봉지재는 광출력이 감소하는 결과가 나타났다.

그림 8은 실리콘 봉지재의 굴절률에 따른 지향각 변화를 확인 결과이다. 굴절률에 따른 봉지재 봉지 방법에 따른 지향각 평가 결과 저굴절률 봉지재의 지향각은 148.9°에서 130.2°로 집광 배광으로 18.7°, 고굴절률 봉지재의 지향각은 145.3°에서 136.8°로 집광 배광으로 8.5° 변화하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 UV LED 실리콘 봉지재의 굴절률에 따른 봉지 방법과 렌즈 형상에 따른 광 출력과 지향각 변화에 관한 연구를 통해 굴절률 조합만으로 미세한 지향각 및 광출력 제어가 가능하며, 렌즈 적용시 렌즈의 곡률 제어가 가능하여 패키지의 설계 자유도가 증가하는 효과가 있다. 이와 같이 실리콘 봉지재의 봉지 방법에 따른 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- [1] 유무기 복합 소재인 EMC를 적용하여 UV 내열성 및 내광성을 향상하고, 방열 특성을 고려한 Heat slug 구조의 리드 프레임을 설계하여 UV A LED에 적합한 패키지를 제작하였다.
- [2] 수평형 구조의 UV Chip의 근접 영역에서 배광 특성을 측정하여 UV Chip을 모델링하였으며, 이를 적용하여 실리콘 봉지재의 봉지 조건과 렌즈 형상에 따른 별 광 출력과 지향각 특성 변화 시뮬레이션 하였다.
- [3] 실리콘 굴절률에 따른 봉지재 도포 방법에 따른 광 출력 평가 결과 저굴절률 봉지재 높이 1.32mm, 고굴절률 봉지재는 1.08mm의 높이를 가진 렌즈에서 광출력이 가장 높았으며, 이는 시뮬레이션 결과와 일치하였다.
- [4] 실리콘 굴절률에 따른 봉지재 도포 방법에 따른 지향각 평가 결과 저굴절률 봉지재의 지향각은 148.9°에서 130.2°로 집광 배광으로 18.7°, 고굴절률 봉지재의 지향각은 145.3°에서 136.8°로 집광

배광으로 8.5° 변화하였다.

- [5] 봉지재의 굴절률에 따른 지향각 시뮬레이션 결과와 달리 고굴절률의 지향각 변화가 작은 원인은 굴절률이 서로 다른 봉지재와 렌즈의 접합 계면에서 전반사로 인한 지향각 변화가 발생함을 확인하였다.
- [6] 굴절률이 다른 실리콘 봉지재를 적용한 LED 패키지를 개발하기 위해 봉지재의 봉지 방법과 렌즈 형상에 따른 광 출력, 지향각 변화에 대해 연구 결과를 바탕으로 렌즈 일체형 패키지의 실리콘 굴절률 조합을 통해 광학적 특성 제어가 가능함을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부, 한국산업기술진흥원, 호남지역사업평가원의 광역경제권 선도산업 육성사업(A002200016, 유무기 복합소재를 이용한 UV 경화기용 고효율 SMD 구조의 UV A 패키지 및 광원 모듈 개발) 연구 사업의 일환으로 수행하였음.

References

- [1] Z. Liu, S. Liu, Kai Wang, and X. Luo, "Status and prospects for phosphor-based white LED packaging," *Front. Optoelectron. China*, Vol. 2, No. 2, pp. 119-140, 2009.
- [2] D. A. Steigerwald, J. C. Bhat, D. Collins, R. M. Fletcher, M. O. Holcomb, M. J. Ludowise, P. S. Martin, and S. L. Rudaz, "Illumination With Solid State Lighting Technology," *IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron.*, Vol. 8, No. 2, pp. 310-320, March/April 2002.
- [3] Jae-Bum Kim, Seong-Ran Jeon, Jae-Gwang Han, Sung-Ku Knag, Chang-Sub Chung, "Design and Evaluation of an Optical Curing System using UV Light-emitting Diodes" *The Korean Physical Society*, Vol. 60, No. 3, pp. 300-308, 2010, 3.
- [4] Seong-Mo Ku, Jong-min Im, Chin-woo Yi, "Measurement of UV radiation of LED lighting", *JIEE*, vol. 25, pp. 7-14, 2011.
- [5] E. F. Schubert, *Light Emitting Diode*, 2nd ed. (Cambridge University Press, Cambridge) pp. 195. 2006.
- [6] Heyong-Jin Kim · Jin-Yeol Yoo · Young-Rae Kang · Jae-Pil Kim · Joon-Seop Kwak, "A study of light output characteristics with various refractive indices and geometrical structures of the GaN based light-emitting device encapsulants", *JIEE*, Vol. 26, No. 7, p.1-8, 2012, 6.

◇ 저자소개 ◇



김완호 (金完鎬)

1975년 4월 18일생. 2002년 2월 전남대학교 일반대학원 전기공학과 졸업(석사). 2015년 전남대학교 일반대학원 전기공학과 박사과정. 현재 한국광기술원 신조명 연구본부 선임연구원.



구대형 (具大亨)

1979년 5월 23일생. 2006년 2월 조선대학교 전기공학과 졸업. 2015년 전남대학교 일반대학원 전기공학과 석사 과정.



노주현 (盧宙鉉)

1989년 9월 13일생. 2014년 2월 조선대학교 메카트로닉스공학과 졸업. 2015년 전남대학교 일반대학원 전기공학과 석사 과정.



이경원 (李慶源)

1989년 6월 1일생. 2014년 2월 조선대학교 메카트로닉스공학과 학사 졸업. 2015년 전남대학교 일반대학원 전기공학과 석사 과정.



전시욱 (全是旭)

1981년 5월 31일생. 2012년 8월 광주과학기술원 정보통신학과 졸업(박사). 2012년 ~현재 한국광기술원 신조명연구본부 선임연구원.



김재필 (金宰必)

1970년 2월 26일생. 2002년 광주과학기술원 신소재 공학과 졸업(박사). 2003년 ~현재 한국광기술원 신조명연구본부 광원소재연구센터 센터장.



여인선 (呂寅善)

1957년 6월 11일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 전남대 공대 전기공학과 교수