Regular Paper
J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.
Vol. 31, No. 6, pp. 433-436 September 2018
DOI: https://doi.org/10.4313/JKEM.2018.31.6.433
ISSN 1226-7945(Print), 2288-3258(Online)

실리콘 수지 TIR 선형 렌즈 제작 및 365 nm 파장대역 UV LED 조사기 광원 개발

성준호[1,a], 유순재[1], Kawan Anil[1,2]

[1] 선문대학교 전자공학과 광전자반도체연구실
[2] 주식회사 라이트전자연구소

Fabrication of Silicone Resin TIR Linear Lens and Development of 365 nm Wavelength UV LED Light Source

Jun Ho Sung[1,a], Soon Jae Yu[1], and Kawan Anil[1,2]

[1] Department of Electronic Engineering, Sunmoon University, Asan 31460, Korea
[2] Institute of Research and Development, Lite Co., Ltd., Seoul 08511, Korea

(Received May 4, 2018; Revised June 26, 2018; Accepted June 28, 2018)

Abstract: A total internal reflection (TIR) linear lens of size 190 (W) × 5 (D) × 2.1 (H) mm^3 has a directivity of 25° and was made of a polydimethysiloxane (PDMS) silicone resin with a refractive index of 1.4 and a transmittance of 93% at 365 nm UV wavelength. A light source with a size of 190×25.5 mm^2 was fabricated by installing a TIR linear lens on a chip on board (COB) type LED module mounted with a 1.1×1.1 mm^2 size UV LED. The optical characteristics of the light source showed a maximum irradiation density of 3,840 mW/cm^2 at a working distance of 5 mm and a high uniformity of 91.6% over a 150×25 mm^2 irradiation area. The thermal characteristics of the light source were measured at a supply current of 500 mA. The saturation temperature was reached after 30 min of operation, and measured to be 95℃.

Keywords: Linear lens, TIR lens, UV LED, Light source, Exposure system

1. 서 론

자외선(UV) LED (light emitting diode)는 디스플레이, IT 제조 및 보건・의료, 건축 등의 청정 생산 분야에서 경화, 몰딩, 접착, 살균, 표면 처리 등의 특성을 가지므로 유용하게 이용할 수 있을 것으로 기대된다 [1-3]. 그러나 UV LED의 낮은 출력 [4] 및 일반적으로 렌즈 시스템에 사용하는 석영 재료의 높은 성형비용과 가공기술의 어려움으로 한계점이 있다.

a. Corresponding author; sjh9291@sunmoon.ac.kr

Copyright ©2018 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

경화하는 재료의 종류나 상태에 따라 차이가 있지만 대체적으로 UV 경화에는 2,000~50,000 mJ/cm^2의 에너지를 필요로 한다 [5]. 그러므로 생산성을 높이기 위해서는 3,000 mW/cm^2 이상의 높은 UV 에너지에서 짧은 시간 동안 경화가 이루어져야 한다.

이러한 높은 에너지의 광원은 일반적으로 석영을 이용하는 실린더 형태의 렌즈를 다중으로 사용하여 LED 방사광을 집속시켜야 한다. 그러나 석영을 재료로 사용하는 렌즈 제작기술은 넓은 면적의 조사기에서 높은 조사밀도를 가지는 광원을 제작하기에 어려운 점이 많다. 또 실린더 형태의 렌즈는 세로 방향으로 충분한 면적의 균일한 조사밀도를 얻기가 어려워 여러 공정에 사용하는 경우 양산성을 확보하는 것이 어렵다. 특히 고출력 및 고균일성의 특성을 얻기 위해서는 고지향성

의 렌즈 시스템 제작기술과 고정밀의 조립기술을 필요로 한다. 비용적인 측면에서도 석영재료를 이용하는 비구면 형태의 렌즈 제작기술은 일반적으로 산업현장에서 사용하는 기기에 적용하기에 어려운 점이 많다.

LED는 점광원의 특성을 가지므로 고지향성, 고균일성 및 고집속기술 렌즈시스템을 이용하기에 수월하며, 특히 최근에 개발되고 있는 고투과율의 실리콘 수지재료기술 개발 [6]과 고지향성을 가지는 TIR (total internal reflection) 렌즈 [7] 제작기술 및 이를 이용하는 광원의 개발 [8]은 종래의 조사기 제작에서 렌즈 시스템의 규모나 고비용 문제를 획기적으로 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

여기에서는 365 nm 파장대역의 UV 영역에서 93%의 투과율과 1.4의 굴절률을 가지는 PDMS (polydimethylsiloxane) 실리콘 수지를 이용하여 TIR 선형 렌즈를 제작하였다. 그리고 높은 조사밀도를 얻기 위해 많은 수의 칩을 집적할 수 있는 COB (chip on board) 형태의 모듈을 제작하고, 다수의 칩을 낮은 전류에서 구동하여 고효율의 광원 특성 [9]을 가지도록 하였다.

TIR 선형 렌즈는 'LightTools'를 이용하여 설계하였으며, Al 금형을 이용하여 제작하였다. 또 조사 분포 시뮬레이션을 통하여 TIR 선형 렌즈가 장착되는 LED 최적 위치와 조사 분포를 설계하였다.

2. 실험 방법

렌즈 재료는 PDMS 실리콘을 재료로 하였다. TIR 선형 렌즈 및 광원 시스템은 'Light Tools' 광학 시뮬레이션을 이용하여 설계하였다. 그림 1에 설계된 렌즈 도면, 그림 2에 지향 특성을 나타내었다.

설계한 렌즈의 크기는 190 (W) × 5 (D) × 2.1 (H) mm^3이며, 세로 방향으로 24.3°의 지향각을 가진다. 설계된 렌즈를 이용하여, 작동거리 5 mm, 조사영역 150×25 mm^2에서 90% 이상의 균일성과 3,000 mW/cm^2 이상의 조사밀도를 가지는 광원 시스템을 설계하였다.

그림 3에 TIR 선형 렌즈를 이용하는 UV LED 선형 광원과 이를 4줄로 배치하여 설계한 조사기 광원 시스템 구성도를 나타내었다. 90개의 LED 칩을 1개의 렌즈에 각각 1 mm 간격으로 직렬 배치하여 선형 광원으로 제작하고, 이 선형 광원 4개를 세로 1.83 mm 간격으로 병렬 배치하여 190×25.5 mm^2 크기의 광원을 설계하였다. 이때 LED는 1.1×1.1 mm^2 크기로, 500 mA의 전류에서 760 mW의 광속 특성을 가지는 수직

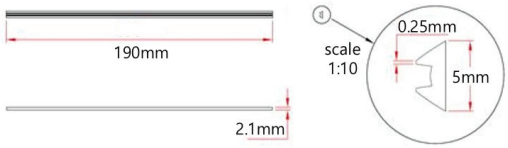

Fig. 1. Drawing of the designed the TIR linear lens.

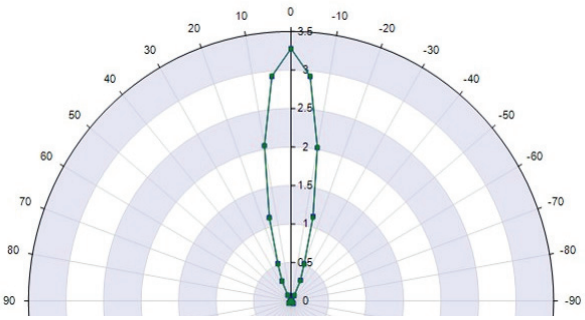

Fig. 2. Direction angle of the designed lens.

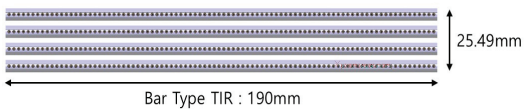

Fig. 3. Light source system using the TIR linear lens.

전극구조 칩을 이용하였다.

조사기 광원은 크기 210×38 mm^2의 회로기판에 1.1×1.1 mm^2 크기의 UV LED 칩 360개를 설계한 자료와 동일한 간격으로 90×4 배열로 직병렬 회로를 구성하였다. 기판은 양호한 열전도 특성을 얻기 위해 알루미늄(Al) 소재의 금속 PCB (printed circuit board)를 사용하였다.

렌즈 시스템 조립은 제작된 PCB에 렌즈를 고정시키기 위해 Al 지그를 설치하였으며, Al 지그를 상하로 분리하여 TIR 렌즈를 PCB에 고정시켰다. Al 지그는 다시 방열판과 PCB와 Al 케이스에 고정하여 방열 특성이 개선될 수 있도록 하였다.

방열 시스템은 37.1 CFM (cubic feet per minute)의 공기를 배출하는 60×60 mm^2 크기의 FAN과 방열판을 케이스에 고정하여 강제 공냉 방식의 방열 시스템을 설치하였다.

3. 결과 및 고찰

설계한 TIR 선형 렌즈를 이용하는 UV LED 광원의

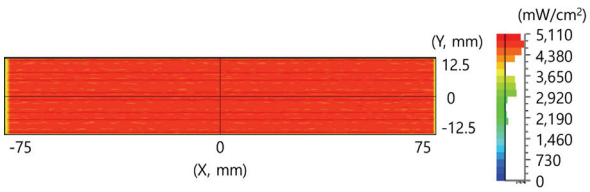

Fig. 4. Result of the light source simulation.

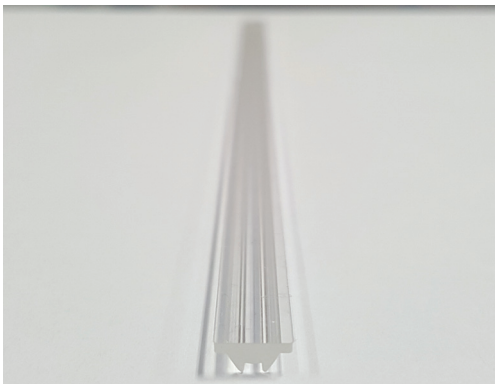

Fig. 5. Image of the fabricated the TIR linear lens.

조사밀도 시뮬레이션 설계 결과를 그림 4에 나타내었다. 조사면적에서 최대 5,109 mW/cm^{2}의 조사밀도와 93%의 균일성이 얻어졌다.

TIR 선형 렌즈의 제작은 PDMS 실리콘 수지를 사용하였다. 렌즈 제작 금형은 실리콘과의 캐스팅 이형성 및 반복 사용에 대한 내구성을 고려하여, 경면 가공이 용이한 Al을 소재로 하였다 [8].

제작한 TIR 선형 렌즈 사진을 그림 5에 나타내었다. 실리콘 수지로 렌즈를 제작하여 렌즈 표면이 매우 깨끗하게 성형되었으며, 매질 내에서의 전반사 원리를 이용하여 제작하였기 때문에 표면에서 손실되는 빛이 최소화되어 광 투과율이 높다 [10]. 제작한 렌즈에서도 이러한 특성이 유지되었다.

제작한 TIR 선형 렌즈를 이용한 UV LED 조사기 광원의 조사밀도 특성을 평가하여 그림 6에 나타내었다. UV 조사밀도 측정은 'UVI CURE PLUS II'를 사용하였다. 조사밀도는 최대 3,840 mW/cm^{2}으로 측정되었으며, 150×25 mm^2 영역에서 균일성은 91.6%로 나타났다. 이때, UV LED는 500 mA에서 구동하였다.

최대 조사밀도가 설계값과 1,200 mW/cm^{2}의 차이를 나타내는데, 이는 칩과 렌즈의 초점거리 및 위치 오차와 LED에서 발생하는 발열로 인한 온도 상승에

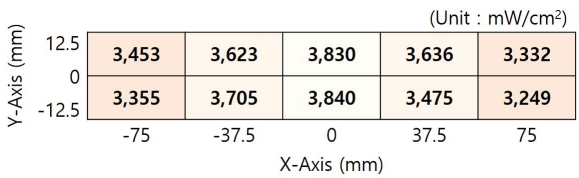

Fig. 6. Distribution properties of the irradiation density of the light source.

따른 광속 특성의 저하가 원인인 것으로 생각된다. 초점 및 위치에 의하여 발생하는 오차는 TIR 렌즈를 이용하는 SMD 형태의 램프에서도 확인되었다 [8]. 칩이 렌즈의 원점에서 1 mm 정도 벗어나 있을 때 광속은 최대 14%의 조도 감소가 확인되었다. 또 사용하는 LED의 온도가 90℃일 때, 광속이 15% 감소하는 것을 확인하였다.

이러한 특성은 종래의 석영재료를 이용하는 UV LED 선형 조사기에서, 실린더형 렌즈를 다중으로 설치하여 방사광을 집속하는 방식으로 400×1.5 mm^{2}의 조사영역을 가지는 선형 조사기가 10 mm 조사거리에서 최대 4,500 mW/cm^{2}의 조사밀도를 가지는 것과 비교하여 유효 조사면적이 6배 정도 넓은 것을 감안할 때, 조사면적에서의 광속 특성이 열등하지 않음을 알 수 있다.

제작 측면에서도 높은 조사밀도를 가지기 위해 석영재료의 실린더형 렌즈를 다중으로 사용하는 조사기에서는 렌즈 가공 제작의 어려움 및 Al 등의 금속재료 지그를 이용하여 정밀하게 설치해야 하는 시스템의 번거로움 등을 고려하면, 다수의 LED를 칩 상태로 실장하고 간단한 구조의 렌즈를 설치하는 것으로 유사한 조사밀도를 얻을 수 있는 것은 내구성 및 제작비 측면에서 큰 이점을 보여준다.

또 조사기 광원을 제작할 때, 일정한 수의 칩을 설치하는 선형광원을 마스터 배치(batch)하여 광선 추적 프로파일 자료를 제작하고, 조사 분포 시뮬레이션을 이용하여 높은 균일성을 요구하는 여러 형태의 대면적 광원 제작기술로서 매우 유용한 것으로 생각된다. 또 제작한 조사기 광원은 케이스와 PCB 및 렌즈 고정용 지그의 가로 길이 규격을 개선하여 연속적으로 균일한 조사 분포를 가지는 모듈러 방식의 조사기 제작에도 유용하게 응용할 수 있을 것으로 생각된다.

많은 수의 LED를 구동하는 광원에서 발열 문제를 확인하기 위해 제작된 조사기 광원을 30분 동안 연속 구동한 후, 열 특성을 평가하여 그림 7에 나타내었다. 온도 측정은 'FLIR E5' 열화상 카메라를 사용하였다.

UV LED를 500 mA로 구동하였을 때, 최고 95.9℃,

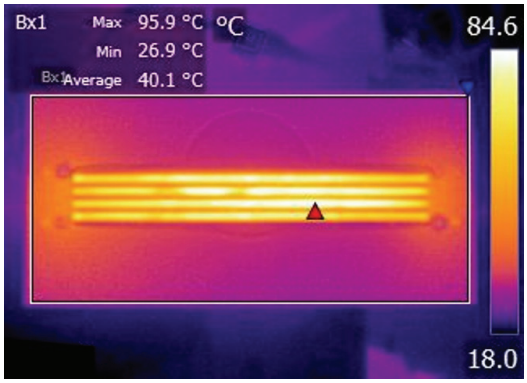

Fig. 7. Thermal image of the light source.

평균 40.1℃의 온도가 측정되었다. 90℃ 이상의 높은 온도에서 포화되기 때문에 높은 전류에서 구동하기 위해서는 더 큰 규모의 방열 시스템 설치가 필요한 것으로 생각된다.

4. 결 론

365 nm 파장대역에서 투과율 93%와 굴절률 1.4의 PDMS 실리콘 수지를 이용하여 24.3°의 지향 특성을 가지는 190 (W) × 5 (D) × 2.1 (H) mm^3 규격의 TIR 선형 렌즈를 제작하고, 이 TIR 선형 렌즈를 이용하는 UV LED 선형 광원과 이를 4중으로 배치하여 190×25.49 mm^2 크기의 조사기 광원을 제작하였다.

선형 광원은 1.1×1.1 mm^2 크기의 UV LED Chip을 90개 직렬로 실장하고, 그 위에 TIR 선형 렌즈를 설치하여 제작하였다.

제작한 조사기 광원의 조사밀도는 작동거리 5 mm, 조사영역 150×25 mm^2에서 최대 3,840 mW/cm^2의 조사밀도와 91.6%의 높은 균일성을 나타내었다. 이때, 각 LED는 500 mA로 구동하였다.

PDMS 실리콘 수지재료 TIR 선형 렌즈 광원기술은 석영재료의 실린더형 렌즈를 다중으로 사용하는 종래의 광원에 비하여 다수의 칩을 실장하고 TIR 선형 렌즈를 간단한 방법으로 장착하여 낮은 전류에서 구동하여 높은 조사밀도 특성을 얻을 수 있다는 점과 특히 제작 측면에서의 편리함, 저비용, 내구성의 특성을 가질 수 있음을 알 수 있었다.

REFERENCES

[1] M. Mori, A. Hamamoto, A. Takahashi, M. Nakano, N. Wakikawa, S. Tachibana, T. Ikehara, Y. Nakaya, M. Akutagawa, and Y. Kinouchi, *Med. Biol. Eng. Comput.*, **45**, 1237 (2007). [DOI: https://doi.org/10.1007/s11517-007-0263-1]

[2] I. S. Jang and J. Y. Kim, *Light. Electr. Equip.*, **19**, 14 (2005).

[3] S. Y. Yu, E. H. Bong, S. K. Kim, and S. Kim, *Proc. KSPE 2011 Spring Conference* (KSPE, Jeju, 2011) p. 1059.

[4] D. Morita, M. Yamamoto, K. Akaishi, K. Matoba, K. Yasutomo, Y. Kasai, M. Sano, S. I. Nagahama, and T. Mukai, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **43**, 5945 (2004). [DOI: https://doi.org/10.1143/jjap.43.5945]

[5] UV SMT, *About Technology UV LED Curing*, http://www.uvled.kr/smt/tech_led_06.htm (2018).

[6] S. Nagai, K. Yamada, A. Hirano, M. Ippommatsu, M. Ito, N. Morishima, K. Aosaki, Y. Honda, H. Amano, and I. Akasaki, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **55**, 082101 (2016). [DOI: https://doi.org/10.7567/JJAP.55.082101]

[7] J. H. Seo, J. S. Lee, S. Y. Kim, Y. J. Jeong, H. J. Park, D. Y. Nam, and M. S. Jung, *J. Opt. Soc. Korea*, **28**, 295 (2017). [DOI: https://doi.org/10.3807/KJOP.2017.28.6.295]

[8] J. H. Sung, S. J. Yu, K. Anil, and M. S. Jung, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **31**, 267 (2018). [DOI: https://doi.org/10.4313/JKEM.2018.31.4.267]

[9] S. J. Yu, D. H. Kim, Y. S. Choi, and H. Kim, *J. Inf. Disp.*, **10**, 49 (2009). [DOI: https://doi.org/10.1080/15980316.2009.9652080]

[10] W. D. Joo, *J. Korean Inst. IIlum. Electr. Install. Eng.*, **26**, 13 (2012). [DOI: https://doi.org/10.5207/JIEIE.2012.26.5.013]