

트랜스퍼 몰딩 방식을 이용한 고 색 균일성 특성을 가지는 백색 LED 램프

Development of White LED Lamp Having High Color Uniformity With Transfer Molding Technology

유순재^{1,a}, 김도형¹
(Soon Jae Yu^{1,a} and Do-Hyung Kim¹)

Abstracts

Compared to conventional molding technology, the color uniformity of light direction emitted from LED is improved with PCB type lead frame technology in which metal thin film is used and transfer molding technology which makes the density of phosphor uniform by manufacturing high density LED lamp. The light efficiency and the color uniformity of the LED are improved by molding the phosphor layer outside of chip and controlling the thickness of the phosphor layer. CIE x,y difference of LED in major axis is also improved uniformly from 0 to 90 degrees.

Key Words : LED, Transfer molding, Phosphor, White lamp, LCD backlight, Color uniformity

1. 서론

대형 LCD BLU (Back Light Unit) 광원으로 사용되는 CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp)은 수은 환경오염 문제와 시스템의 박형화에 큰 어려움이 있다. 최근의 화합물 반도체의 기술 발전으로 청색 LED와 형광체를 이용한 백색 LED램프는 이 분야의 새로운 광원으로 대체되고 있다. LED는 색 재현성이 우수하고 친환경적이며, 계속적으로 발광 효율의 증가가 기대되는 중요한 고체 광원으로 크게 주목 받고있다[1].

그러나 이러한 응용분야의 기대에도 불구하고 LED는 신뢰성 및 수명 등 미흡한 특성과, 고 밀도 광원으로서의 어려움, 특히 고비용의 문제는 실용화를 더디게 하는 가장 큰 요인이 되고 있다. LED 고비용의 문제는 발광효율 및 방열시스템과 긴밀한 관계를 가지게 되는데, 보통 전류 밀도를 낮추

어 발광효율을 높이거나[2,3] 방열 시스템을 설치하는 것은 비용 증가의 원인이 된다. 또 기판 웨이퍼의 공정을 대형화하거나 국산화, 또는 패키징 기술 개발을 통한 부자재의 비용을 절감하는 노력도 시도되고 있다. 아울러 원천기술 개발을 통하여 칩을 구성하는 에피택시 기판의 양자우물 적층구조, 박막의 광전자 특성을 개선하여 양자 효율을 증대시키는 기술 등도 개발되고 있으나, 아직도 획기적인 기술 개발과 시간이 필요한 것으로 보인다.

한편 LED 램프 생산 측면[4]에 있어서, 특히 색 균일성의 문제는 4.5% 정도의 불량률이 발생하는 것으로 알려지는데, 기타 다른 생산 공정상의 불량률 0.5% 정도인 것을 감안하면, 색 균일성은 가격 문제의 가장 큰 요인이 됨을 알 수 있다. 이러한 균일성의 문제는 LED 에피택시 기판의 발광 특성 분포 또는 칩 선별 공정의 오차 등에 의하여 발생하거나, 또는 형광체 몰딩 공정에서 몰딩 두께 또는 밀도 분포에 의하여 생기게 된다. 특히 형광체 몰딩 기술의 개선은 최근 디스펜싱 공법 등 장비의 개선 또는 공정 개발을 통하여 꾸준히 개선되어 최근에는 그 불량률이 크게 개선이 되었지만, 반면에 생산성의 측면이나 특성 개선 측면에서는 아직 많은 미흡한 점이 있다.

1. 선문대학교 전자공학과, (주)희성전자 자문
(충남 아산시 탕정면 갈산리 100))
a. Corresponding Author : sjyu@sunmoon.ac.kr
접수일자 : 2009. 12. 2
1차 심사 : 2009. 12. 16
심사완료 : 2009. 12. 23

본 연구에서는 균일성을 확보할 수 있는 금형을 이용하여, 양산성이 우수한 공법으로 알려진 트랜스퍼 몰딩기술을 이용하여, 회로기판형 리드프레임에 대량의 LED를 일괄 몰딩하여 색 균일성을 확보하였다. 아울러 회로기판형 리드프레임 기술을 이용하여 대면적화하고, 실리콘 및 형광체 몰딩 부자재의 손실을 최소화하기 위한 몰딩 금형의 설계를 최적화 하였다. 또 이중 몰딩기술 기술[5,6]을 이용하여, 형광체 도포층을 몰드부에서 외부에 분리 몰딩하고, 아울러 형광체 몰딩 두께를 조정하여 광 효율 개선 및 광 지향의 색 균일성을 향상시켰다. 특히 광 지향 특성의 색 균일성은 크게 개선되어, LED 램프 장축 상의 x, y 색 지수의 편차가 중앙에서 좌우 두 방향으로 90°까지 모두 균일하게 개선되었다.

2. 실험

금속판상에 회로기판 형 LED 리드프레임은 4.8 mm × 2.2 mm 크기, 두께 400 μm로 중앙을 식각하여 분리, 양극 리드 및 칩 실장부 (플랫폼)를 제작하였으며, 이 때 실장부 및 리드의 면적을 최대로 하여 열 저항을 최소화 할 수 있도록 하였다.

그림 1(a)는 종래의 리드프레임 형으로 디스펜싱 (포팅) 방법으로 제작한 LED 램프 및 그림 1(b)는 본 개발에서 제작한 회로기판 형 리드프레임에 트랜스퍼 몰딩 방법으로 제작한 LED 램프를 도식화하여 표시하였다. 그림 1에서 종래의 LED 램프에서는, LED 칩에서 발생한 열이 구리판 슬러그를 통하여 하부로 전달되거나, 또는 양 측면 방향으로 구리판을 통하여 전달된 후 측면의 리드프레임을 통하여 메인 보드의 기판과 슬더를 통하여 방사하거나, Ag 도금으로 구성된 쓰루홀 (Through Hole) 구조를 통한 전도, 또는 AlN 반도체 층을 통한 전도 및 방사하는 방법들이 이용되고 있다. 본 개발에서 제작된 구조에서는 칩이 실장되는 구리판 하층의 구리 판을 통한 직접적인 열 방출통로를 통하여 열 저항이 매우 작은 것을 알 수 있다.

그림 2(a)에 제작된 LED 램프와 종래의 5.6 mm × 3.0 mm LED 램프의 열저항 및 그림 2(b)에 칩 접합 온도 측정 결과를 나타내었다. 이 때 실장된 칩의 크기는 모두 1,000 μm × 1,000 μm의 크기이다. 열 저항은 32 K/W, 칩 접합온도가 46°C로 종래의 램프의 39 K/W, 47.2°C에 비하여 소폭 개선됨을 알 수 있다.

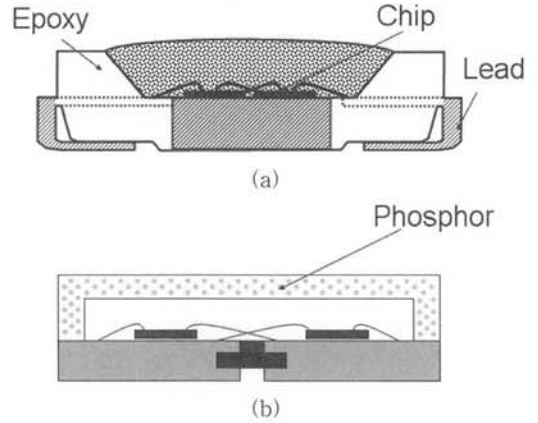


그림 1. 종래의 5.6 mm × 3.0 mm 크기의 LED 램프(a)와 새로 제작한 4.8 mm × 2.2 mm 크기의 LED 램프(b)를 도식화 한 그림.

Fig. 1. (a) shows conventional 5.6 mm × 3.0 mm LED, and (b) shows developed 4.8 mm × 2.2 mm LED.

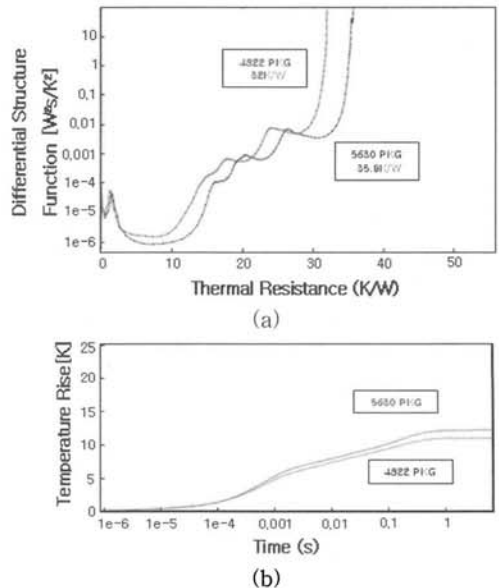


그림 2. 새로 제작한 LED 램프와 종래의 5.6 mm × 3.0 mm LED 램프의 열저항 (a) 및 칩 접합 온도 측정 결과 (b).

Fig. 2. (a) shows the thermal resistance and (b) shows the junction temperature of the chip of conventional 5.6 mm × 3.0 mm LED and developed 4.8 mm × 2.2 mm LED.

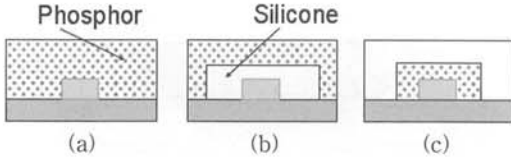


그림 3. 형광체 도포층을 분리 몰딩하기 위하여 간단한 광 추출 강도를 계산한 시뮬레이션 모형도, 종래의 분리하지 않고 몰딩하는 경우 (a), 형광체를 표면으로 분리하여 몰딩하는 경우 (b), 형광체를 내부에 분리하여 몰딩하는 경우 (c).

Fig. 3. Schematic diagram of LED package for light extraction simulation, (a) molding phosphor and silicone together without separation, (b) molding phosphor layer outside of LED chip, and (c) molding phosphor layer on the chip.

그림 3은 형광체를 몰딩하는 간단한 광 추출 강도를 계산한 시뮬레이션 모형도이다. 형광체의 입자 직경은 $8.5 \mu\text{m}$, 실리콘 중 형광체 입자밀도는 $10,000/\text{mm}^3$, 형광체 굴절률은 2.7, 실리콘의 굴절률은 1.54, 칩에서 방사하는 광속의 크기를 200 lm 으로 하여, 그림 3과 같이 세 가지 모형을 만들었다. 종래, 전체에 분리하지 않고 몰딩하는 경우 (그림 3(a))에서 59.4 lm , 형광체를 분리하여 몰딩하는 경우 (그림 3(b)), 83.9 lm 이 계산되었다. 그러나 형광체를 내부에 몰딩 (그림 3(c))에서는 56.8 lm 으로, 반대로 광 추출강도가 감소하는 것을 알 수 있었다.

이때 열저항의 특성은 Micred(사) T3ster 장치를 사용하였으며, 광속은 Labsphere(사) CDS 500을 이용하였으며, 적분구의 크기는 10인치를 이용하였다.

3. 결과 및 토론

그림 4에 제작한 $4.8 \text{ mm} \times 2.2 \text{ mm}$ 크기의 LED 램프와 종래의 $5.6 \text{ mm} \times 3.0 \text{ mm}$ 크기의 LED 램프의 전류에 따른 광속의 변화를 나타내었다. 50 mA 에서 350 mA 까지 전류를 변화시키기에 따라, 새로 제작한 LED 램프가 높은 전류밀도까지 직진성을 유지하는 것을 알 수 있다. 아울러 350 mA 에서 약 18%의 광속이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 광의 광 반사구조의 개선[7]과 방열 특성이 개선됨[8]에 기인하는 것으로 판단된다.

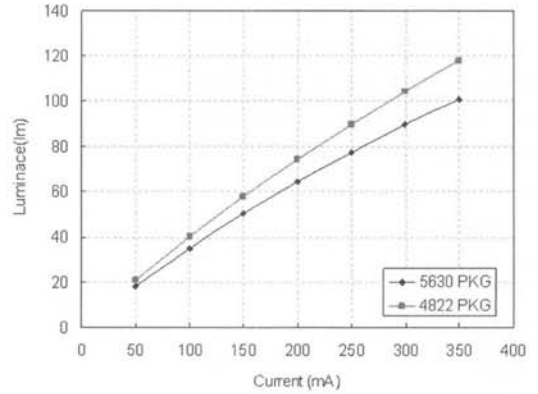


그림 4. 새로 제작한 $4.8 \text{ mm} \times 2.2 \text{ mm}$ 크기의 LED 램프와 종래의 $5.6 \text{ mm} \times 3.0 \text{ mm}$ 크기의 LED 램프의 전류 밀도에 따른 광속의 변화.

Fig. 4. Luminance is measured as a function of current for developed $4.8 \text{ mm} \times 2.2 \text{ mm}$ LED and conventional $5.6 \text{ mm} \times 3.0 \text{ mm}$ LED.

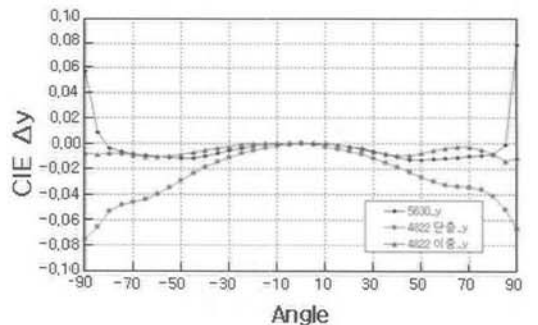
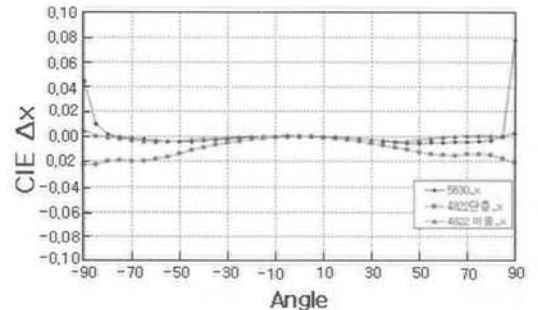


그림 5. 새로 제작한 LED 램프의 광 지향방향에 따른 CIE x, y 색 지수 편차 측정값.

Fig. 5. Measurement of CIE x, y difference for developed LED lamp.

그림 5는 새로 제작한 LED 램프의 광 지향방향에 따른 CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) x, y 색지수의 균일성을 측정하는 것이다. 그림 5(a)는 LED 램프의 장축 방향에 대해, 중심에서 좌우 양 방향으로 90° 까지 x색지수의 차이를, 그림 5(b)는 y 색지수의 차이를 나타내는데, x, y 색지수, 모두 90° 까지 색 편차가 매우 작음을 알 수 있다. 반면에 종래의 5.6 mm × 3.0 mm 크기의 LED 램프는 양 방향 90° 부근에서 색지수 차이가 크게 생기는 것을 알 수 있다. 아울러 형광체를 몰딩부 전체에 고르게 분산시킨 LED 램프에서도 중앙에서 각도가 커질수록 색지수의 변화가 심하게 발생하는 것을 알 수 있다. 이러한 특성은 소형 광원을 이용하는 시스템에서 특히 중요한데, 따라서 형광체를 분리 몰딩하고 아울러 형광체 도포층의 두께 및 형광체 분산 밀도를 조정하는 것은 이러한 분야의 응용에 매우 유용하다. 특히 본 보고에는 구체적으로 나타내지 못하였으나, 본 연구의 트랜스퍼 몰딩기술을 이용하여 회로기판형 리드프레임에 대량의 LED를 일괄 몰딩하는 방법을 시 양산 적용할 때, 색 균일성은 종래의 몰딩 공법을 이용하는 방법에서 3.5% 까지 개선 될 수 있음을 알 수 있었다.

최근의 대형 디스플레이 LCD BLU의 광원으로 이용하는 LED 램프가 각 개체의 색 균일성이 매우 중요하여 시스템의 품질 및 가격의 중요한 요소이나, 종래의 디스펜싱 공정을 이용하는 제조 공법에서는 색 불량률이 4.5% 정도 유발하는데, 이는 기타, 다른 제조 공정의 불량률을 모두 합한 0.5% 보다 커, 이러한 측면에서 색 균일성을 확보하는 것은 매우 중요하다 판단된다.

특히 본 연구의 몰딩 공법은 칩의 발광 에너지 스펙트럼 분포 및 강도를 정확히 분류하고, 이에 대응하는 형광체 양과 분산 밀도를 제어하기 위한 실리콘 타블릿 또는 앰플을 이용한 정량화와 디지털 제어 몰딩이 가능하여, 추가적인 균일성의 확보가 이루어 질 것으로 예측되며, 또 몰드부에 광추출효율을 향상시키기 위한 각종 패턴 및 마이크로 렌즈 형성의 제작도 용이할 것으로 기대된다.

4. 결 론

광 지향 방향에 따른 CIE x, y 색지수의 균일성을 확보하기 위해 이중 몰딩공법을 개발하여, 형광체 도포층을 몰딩부에서 외부에 분리 몰딩하고, 아울러 형광체 몰딩 두께를 조정하여 광 효율 및 광 지향성의 색 균일성을 개선하였다. 양산 색 불량 문

제를 해결하기 위하여 금형을 이용하여, 양산성이 우수한 공법으로 알려진 트랜스퍼 몰딩과, 회로기판형 리드프레임에 대량의 LED를 일괄 몰딩하는 기술로 LED 양산의 색 균일성을 확보하였다. LED 램프 장축 상의 x, y 색 지수의 편차가 중앙에서 좌우 두 축 방향으로 90° 까지 모두 균일하게 개선되었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 부품소재 기술 개발 사업인 "고효율 고신뢰성 조명용 R,G,Y 형광체 개발 사업"의 지원 및 회성금속(주)의 지원으로 수행되었다.

참고 문헌

- [1] S. Okubo, Nikkei Electronics, p. 79, 2005.
- [2] E. Fred Schubert, "Light Emitting Diodes", Cambridge University Press 2nd Edition, p. 13, 2003.
- [3] N. Yamada, "Primary technologies for high-efficiency visible LEDs", Oyo Buturi, Vol. 68, No. 2, p. 139, 1999.
- [4] H. T. Kim, S. J. Nho, Y.-S. Choi, and S. J. Yu, "Fabrication of a large LCD backlight unit with RED, green, and blue LED lamps", Journal of Information Display, Vol. 10, No. 3, p. 97, 2009.
- [5] H. Luo, J. K. Kim, E. Fred Schubert, J. H. Cho, C. S. Son, and Y. J. Park, "Analysis of high-power packages for phosphor-based white-light-emitting diodes", Applied Physics Letters, Vol. 86, p. 243505, 2005.
- [6] N. Narendan, Y. Gu, J. P. Freyssonier-Nova, and Y. Zhu, "Extracting phosphor-scattered photons to improve white LED efficiency", Phys. Stat. Sol. (a), Vol. 202, p. R60, 2005.
- [7] E. Fred Schubert, A. J. Fischer, M. H. Crawford, K. H. A. Bogart, and A. A. Allerman, "Junction and carrier temperature measurements in deep-ultraviolet light-emitting diodes using three different methods", Applied Physics Letters, Vol. 86, p. 031907, 2005.
- [8] S. J. Yu, D. H. Kim, Y. S. Choi, and H. T. Kim, "Development of a very small LED lamp with a low-thermal-resistance lead frame for an LCD backlight unit", Journal of Information Display, Vol. 10, No. 2, p. 49, 2009.