

형광체 코팅에 따른 Remote Phosphor 구조의 백색 LED 패키지 특성 평가

정희석^{1,a}, 이정근¹, 강한림¹, 황명근¹, 이미재², 김진호², 채유진², 이영식³

¹ 한국조명연구원

² 한국세라믹기술원 광디스플레이소재팀

³ (주)솔레즈

Evaluation of White LED Package Characteristics in Remote Phosphor Structure Depending on Phosphor Coatings

Hee-Suk Jeong^{1,a}, Jung-Geun Lee¹, Han-Lim Kang¹, Myung-Keun Hwang¹,
Mi-Jae Lee², Jin-Ho Kim², Yoo-Jin Chae², and Young-Sik Lee³

¹ Korea Institute of Lighting Technology, Bucheon 420-130, Korea

² Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology, Seoul 153-801, Korea

³ Solleds Co. Ltd., Hwaseong 445-170, Korea

(Received January 31, 2013; Revised March 20, 2013; Accepted March 24, 2013)

Abstract: We developed a package of remote phosphor structure having blue LED chips and phosphors physically separated, and the characteristics were evaluated according to different classifications of phosphor coatings. Remote phosphor was produced by screen printing coating on glass substrate with phosphor content rated paste and heat treatment. After mounting Remote phosphor, which has been classified according to number of coatings, on top of blue LED chips, luminous flux, luminous efficacy, CCT and CRI were measured. The measurement results showed the most suitable characteristics of white LED package as a general light source when the content rate of phosphor in Remote phosphor was 80 wt.% with 3 layers of coatings and thickness over 12 μm .

Keywords: Remote phosphor, White LED package, Phosphor coatings, Coating thickness

1. 서론

LED를 통해 백색을 구현하는 방법은 여러 가지가

있으나 현재 상용화되어 보편적으로 이용되는 방법이 청색 LED에 황색 형광체를 도포하는 방법이다. 단일 형광체를 사용하기 때문에 제조가 용이하고 황색 형광체의 광 변환 효율이 매우 높기 때문에 광 손실이 적다는 장점으로 널리 사용되고 있다 [1].

일반적으로 백색 LED 패키지는 청색 LED칩, 다이 프레임 (die frame), 형광체 (phosphor), 봉지재 (encapsulation materials), 골드 와이어 (gold wire), 접착제 (adhesive) 등으로 구성된다. 인가전류가 높지

a. Corresponding author; ng119@kilt.re.kr

얇은 저출력 패키지는 비교적 제작이 간단한 수평구조 (lateral structure)이며 고출력 패키지에서는 열방출이 원활하고 광 출력이 우수한 수직구조 (vertical structure)로 제작된다. 백색 LED 패키지는 대부분 형광체와 실리콘 수지를 혼합하여 몰딩하는 형태로 제작되는데 형광체를 너무 많이 혼합하는 경우에는 광출력이 감소하며 형광체의 양이 적은 경우에는 청색계열의 색온도가 높은 백색광을 얻게 되어 조명용 광원으로 적합하지 않다. 또한 수명을 고려한 측면에서 고온에 의한 LED칩의 성능 저하보다 패키지 제조에 사용된 봉지재와 형광체의 열화현상으로 신뢰성 저하의 주요인으로 작용하고 있다.

따라서 신뢰성에 문제가 되는 실리콘 또는 에폭시 소재 대신 유리소재를 적용하였으며 LED칩과 형광체를 일정한 간격을 띄우는 remote phosphor [2]를 적용한 패키지를 제작하였다. Remote phosphor는 비교적 제조공정이 쉽고 제조장비가 간단하고, 공정의 균일도가 높으며, 형광체의 사용량이 적은 스크린 프린팅 방법 [3]을 이용하여 제조하였다. 또한 스크린 프린팅 방법을 이용하면 10~100 μm 범위 내에서 원하는 두께를 갖는 후막을 제조하기가 매우 용이한 방법이다 [4-7]. 본 연구에서는 스크린 프린팅 방법을 이용하여 제조한 remote phosphor 구조의 패키지를 제작하여 형광체 코팅에 따른 특성을 평가하였다.

2. 실험 방법

2.1 LED 패키지 구조

본 연구에 사용된 LED패키지는 그림 1과 같이 3 W급의 remote phosphor 구조로 8.5 × 8.5 mm 크기의 알루미늄 메탈 기판에 지름이 6 mm, 높이가 4 mm인 원형 홀을 가공한 후 청색 LED칩 12개를 실장하여 실험을 진행하였다.

2.2 형광체 코팅

형광체 코팅은 Borosilicate계 유리 기판 위에 같은 조성의 유리 프리트와 황색 형광체를 일정 비율로 혼합한 페이스트를 스크린 프린팅 법으로 진행하였다. Borosilicate계 기판은 패키지 크기와 동일한 크기로 제작하였으며, 페이스트 제조용 유리는 1,450°C에서 30분 간 용융 후 분쇄하여 유리 프리트로 제조하여

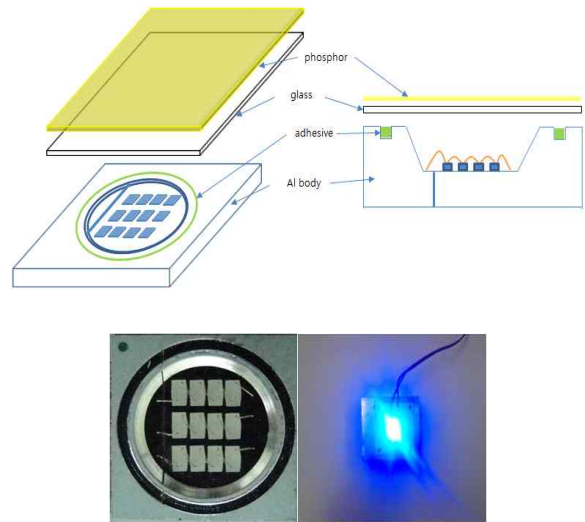


Fig. 1. LED package structure.

사용하였다.

또한 황색 형광체는 cerium이 도핑된 yttrium aluminum oxide ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$) YAG 형광체를 사용하였다. 형광체와 유리 프리트는 무게비로 80 : 20 wt.%, 60 : 40 wt.%, 40 : 60 wt.%로 칭량 후 에탄올을 이용하여 습식 혼합하였다. 혼합물은 80°C에서 건조 후 스크린 프린팅 법을 적용하기 위해 전체 무게비의 40 wt.% 비이클과 함께 섞어 페이스트를 제조하였다. 형광체 함량에 따라 제조된 페이스트는 유제막 두께가 15 μm 인 프레임을 사용하여 스크린 프린팅을 실시하였으며, 코팅은 1회에서 3회까지 실시하여 remote phosphor를 각각 제작하였다. 코팅된 시료는 800°C에서 2시간 동안 열처리를 실시하여 유리 프리트가 충분히 melting되어 접착되도록 하였다.

2.3 특성 평가 방법

제작된 remote phosphor는 형광체 함량과 코팅 횟수에 따른 두께를 Alpha-step 500을 사용하여 측정하였다. 또한 remote phosphor가 적용된 LED 패키지의 점등 조건은 비교 표준이 되는 청색 LED 칩을 사용하여 점등하였고, 전류는 0.25 A, 전압은 11.9 V, 전력은 2.98 W로 전기적특성은 모두 동일 조건으로 측정하였다. Remote phosphor가 적용된 LED 패키지의 광속, 광 효율, 평균 연색성지수 (CRI), 상관색 온도 (CCT)는 IES LM-79-08 (Electrical and Photometric

Measurements of Solid-State Lighting Products)에 의한 방법으로 측정을 실시하였다 [8]. 청색 LED칩이 실장된 패키지에 형광체의 함량과 코팅횟수에 따라 구분된 remote phosphor를 바꿔가면서 장착한 후 각각의 특성을 측정하였다. 직류 전원장치로 정격전류를 공급하여 전기적 특성 및 광학적 특성의 편차가 0.5% 이하로 안정화되었을 때 측정하였다. 광속 및 광 효율은 Goniophotometer(C-type, PSI사)와 Power analyzer를 사용하였으며 CRI 및 CCT는 Integrating Sphere (0.5 m, PSI사)를 이용하여 비교·분석하였다.

3. 결과 및 고찰

형광체 함량과 코팅 횟수에 따라 제작된 remote phosphor의 형상을 그림 2에 나타내었다. 그림에서 살펴보면 형광체의 함량이 많아짐에 따라 진한 노란색을 띄고 있으며, 코팅 횟수가 증가함에 따라서는 탁도도 증가하고 있는 것을 볼 수 있다.

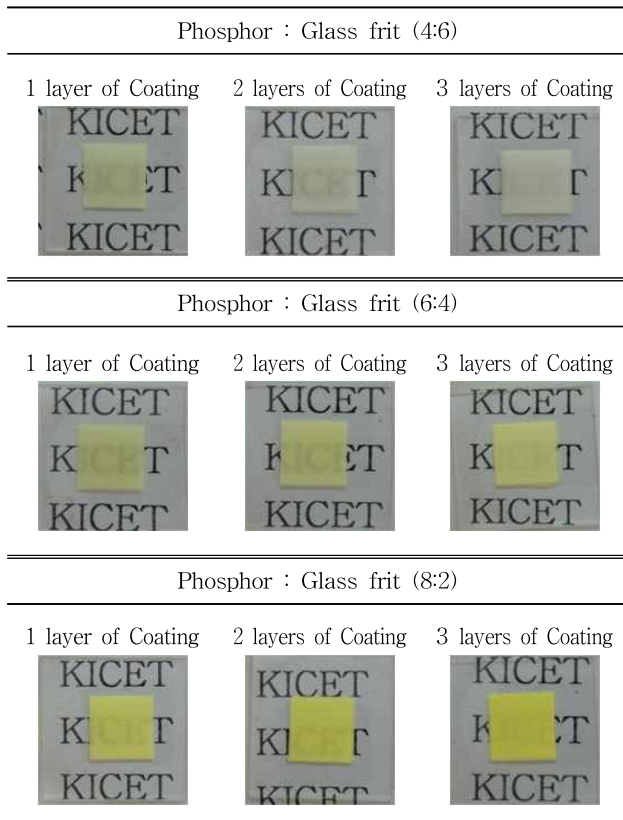


Fig. 2. Remote phosphor according to number of coatings.

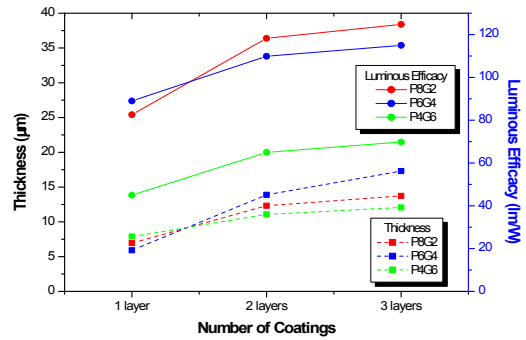


Fig. 3. Thickness and luminous efficacy according to number of coatings.

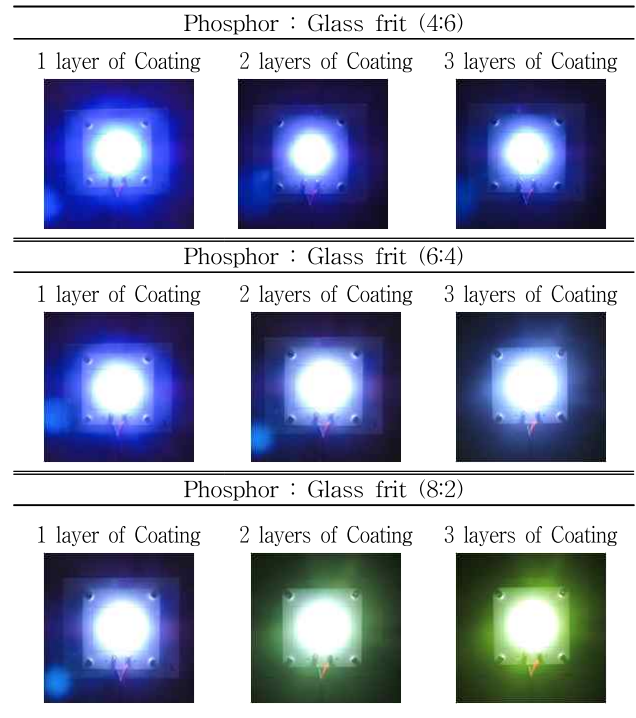


Fig. 4. Illuminated state of LED package according to remote phosphor.

형광체 함량과 코팅 횟수에 따라 제작된 remote phosphor의 두께 및 광효율을 측정한 결과를 그림 3에 나타내었다. 코팅횟수가 증가함에 따라 두께가 증가하고 있으며, 두께 증가에 따라 광효율도 증가하고 있는 것을 볼 수 있다. 특히 형광체의 함량이 60 wt.% 이상, 코팅 2회 이상으로 remote phosphor의 두께가 12 μm 이상이 되는 경우 조명용 광원으로 사용하기 위한 조건인 100 lm/W 이상의 값을 나타내는 것을 볼 수 있다.

Table 1. Measurement result of LED package.

Classification	Total flux [lm]	Luminous Efficacy [lm/W]	CCT [K]	CRI [Ra]
P4G6	1 layer	134.1	45.0	none
	2 layers	193.6	65.0	none
	3 layers	208.1	69.8	none
P6G4	1 layer	265.2	89.0	none
	2 layers	327.5	109.9	11,160
	3 layers	342.6	115.0	8,899
P8G2	1 layer	246.0	82.6	none
	2 layers	352.5	118.3	4,993
	3 layers	371.8	124.8	5,219

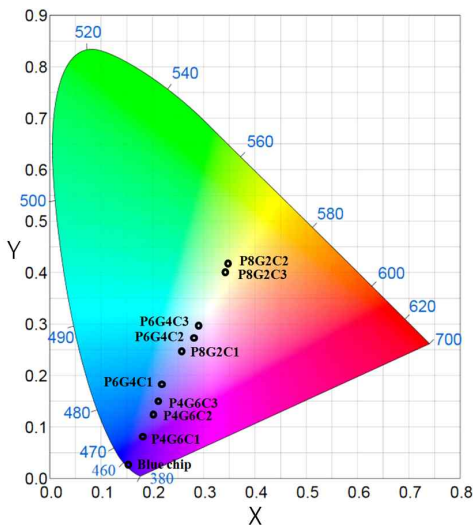


Fig. 5. Chromaticity diagram of LED package according to remote phosphor.

청색 LED칩에 형광체 함량에 따른 각각의 remote phosphor를 장착한 LED패키지의 점등상태가 그림 4에 나타내었다. 점등상태는 코팅횟수 및 형광체의 함유량이 적을수록 청색 LED칩의 특성이 그대로 나타나 청색으로 보이고 반대로 코팅횟수 및 형광체의 함유량이 많을수록 주광색에 가까워지는 것을 확인할 수 있었다.

표 1은 형광체의 함량과 코팅횟수에 따른 광속, 광효율, CCT, CRI를 나타내었고, 그림 5는 remote phosphor에 따른 CIE 색도도에 색 좌표를 표시한 것이다. CCT는 플랑키안 곡선 (Planckian locus)에 나타난 등색 온도선 (Isotemperature lines)에 따라 CCT가 12,000 K 이상일 때 none으로 분류하였다. CRI도 측정 범위를 벗어나는 경우 none으로 분류하였다 [9].

형광체의 함량이 40 wt.%일 때 광속은 134.1~208.1 lm을 나타내었으며, 코팅횟수가 많을수록 광속은 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나 광효율은 70 lm/W 미만을 나타내었고, CCT와 CRI는 none로 분류되었다. 형광체 함량이 60 wt.%일 때는 265.2~342.6 lm의 광속과 최대 115 lm/W의 광효율에 도달하고 있었다. 또한 코팅횟수가 많을수록 광속은 올라가지만 CCT가 8,000 K 이상으로 조명용 광원으로는 적합하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 형광체 함량이 80 wt.%일 때도 코팅 횟수가 많을수록 광속 및 광효율은 증가하고 있는 것을 볼 수 있었다. 코팅횟수가 3회일 때 CRI가 66으로 개선이 필요하지만 광속은 371.8 lm, 광효율은 124.8 lm/W, CCT가 5,219 K로 기존에 생산되는 형광체와 실리콘을 혼합한 봉지재 구조의 백색 LED패키지의 특성에 도달하고 있는 것을 확인할 수 있다. 따라서 remote phosphor의 형광체의 함량이 80 wt.%, 3회 코팅으로 두께가 12 μm 이상일 때 조명용 광원으로 적합한 백색 LED 패키지의 특성을 나타냄을 알 수 있다.

4. 결론

청색 LED칩과 형광체를 일정한 간격을 띄우는 remote phosphor 구조의 패키지를 제작하여 형광체 코팅에 따른 특성을 평가하였다. 형광체 함량별로 제조된 페이스트를 유리기판에 스크린 프린팅 후 열처리를 실시하여 remote phosphor를 제작하였다. 코팅 횟수에 따라 구분된 remote phosphor를 청색 LED칩 위에 장착한 후 각각의 광속, 광효율, CCT 및 CRI를 측정하였다. 측정 결과 remote phosphor의 형광체의 함량이 80 wt.%, 3회 코팅으로 두께가 12 μm 이상일 때 조명용 광원으로 적합한 백색 LED 패키지의 특성을 나타냄을 알 수 있다.

현재 백색 LED 패키지를 구현하는 방법 중 상용화되어 보편적으로 이용되는 방법이 청색 LED에 황색 형광체와 실리콘 수지를 혼합하여 봉지재를 도포하는

방법이다. 이 방식은 수명을 고려한 측면에서 고온에 의한 봉지재와 형광체의 열화현상으로 신뢰성 저하의 주요인으로 작용하고 있으며 실리콘 수지 대신 내구성이 우수한 유리재질로 대체함으로써 패키지의 신뢰성을 보장할 수 있다. 향후 광 특성에 대한 보완과 수명에 대한 실증시험이 고려되어야 할 것이다.

REFERENCES

- [1] H. W. Jang, *J. KIEEME*, **25**, 3 (2012).
- [2] J. K. Kim, H. Luo, E. F. Schubert, J. H. Cho, C. S. Sone, and Y. J. Park, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **44**, L649 (2005).
- [3] M. R. Somalu, V. Yufit, and N. P. Brandon, *Int. J. Hydrogen Energy*, **61**, 1 (2012).
- [4] J. Will, A. Mitterdorfer, C. Kleinlogel, D. Perednis, and L. J. Gauckler, *Solid State Ionics*, **131**, 79 (2000).
- [5] N. Hart, N. Brandon, and J. Shemilt, *Materials, and Manufacturing Processes*, **15**, 47 (2000).
- [6] P. V. Dollen and S. Barnett, *J. Am. Ceram. Soc.*, **88**, 3361 (2005).
- [7] M. Somalu and N. Brandon. *J. Am. Ceram. Soc.*, **95**, 1220 (2012).
- [8] IESNA, *Approved Method: Electrical and Photometric Measurement of Solid-State Lighting Products (IES LM-79-08)* (The Illuminating Engineering Society of North America, New York, 2008).
- [9] D. L. Dilaura, K. W. Houser, R. G. Mistrick, and G. R. Steffy, *The Lighting Handbook, 10th ed.* (The Illuminating Engineering Society of North America, New York, 2011).