

백색 LED 패키지용 형광체 광학 시뮬레이션 정확도에 관한 연구

(Accuracy-Enhancement of Optical Simulation for a White LED Based on Phosphors)

노주현* · 전시욱 · 김재필 · 송상빈 · 여인선**

(Ju-Hyun Noh · Sie-Wook Jeon · Jae Pil Kim · Sang Bin Song · In-Seon Yeo)

Abstract

There has been a critical issue in optical simulation of phosphors in LEDs due to their light-reabsorption properties. To improve the accuracy of optical modeling for a white LED package, we utilized the spectrum data of the phosphor-dispersed encapsulant film instead of the phosphor powder. By measuring white LED packages with green and red phosphors, the maximum difference between simulation and experimental results of a color temperature, a color rendition index number and a color coordinate corresponds to $\Delta T=95K$, $\Delta Ra=1.7$ and $\Delta xy=0.007$, respectively. Based on those results, the proposed method can well explain the change of emission spectra of white LEDs with more than two phosphors which introduce the complex optical phenomena such as absorption, reabsorption, light emission, reflection and scattering, etc.

Key Words : Optical Simulation, White LED Package, Phosphor

1. 서 론

최근 백색 LED를 이용한 TV, IT기기, 디스플레이 용 BLU(Back Light Unit)와 조명이 널리 사용되면서 고연색성 백색 LED 개발이 활발히 이루어지고 있다.

백색 LED를 제작하는 가장 대표적인 방법으로는 단파장 블루칩에 실리콘과 혼합된 황색 형광체를 칩

주위에 분산시키는 방법과 두 개 또는 세 개의 Blue, Green, Red LED를 조합하는 방법이 있다. 그 중 형광체를 이용한 방법은 구조가 단순하면서도 낮은 제조 단가, 높은 발광 효율, 온도에 따른 형광체 색 안정성으로 인해 백색 LED를 제작하는데 있어 가장 보편적인 방법으로 사용되고 있다. 그러나 Blue chip에 황색 형광체를 도포하여 백색을 구현할 경우 Green, Red 파장 대역의 스펙트럼 성분이 부족하여 낮은 연색성을 갖게 된다. 이 문제를 해결하기 위해 Yellow 형광체에 Red를 혼합하거나 Green과 Red 형광체를 혼합하는 등 2종 이상의 형광체를 함께 사용하는 방법이 개발되었다[1].

형광체의 특성은 발광영역, 입자 사이즈, 함량, 흡수 계수, 양자효율과 같은 중요 인자에 의해서 달라지기

* Main author : The Master 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 : 2015. 3. 11

Accepted : 2015. 4. 16

때문에 여러 종류의 형광체가 함께 혼합되거나 기존에 사용하던 형광체를 다른 형광체로 교체할 경우 LED 패키지의 스펙트럼, 색좌표, 색온도, 연색지수, 효율 등 대부분의 광특성이 변하게 된다. 따라서 형광체를 포함하는 백색 LED 패키지의 광특성 변화를 손쉽게 예측하기 위해 광학 시뮬레이션을 이용한 연구가 꾸준히 진행되어 왔으며 현재 Yellow 형광체를 사용한 백색 LED 패키지의 경우 정확성 높은 광특성 추적이 가능하다[2-3]. 하지만 Green과 Red의 조합과 같이 두 종류 이상의 형광체를 사용할 경우 흡수스펙트럼과 발광스펙트럼이 전혀 다르기 때문에 작은 함량 변화에도 광특성이 크게 변하게 되고, 이로 인해 시뮬레이션 정확도가 떨어지게 된다.

본 논문에서는 형광체의 재흡수 영향을 고려하여 실제 형광체 입자 자체가 가지는 고유의 광특성을 도출해 내고 이를 패키징 재료의 광특성 측정 결과와 함께 광학 설계에 반영함으로써 백색 LED 패키지의 시뮬레이션 정확성을 향상시키고자 한다. 이를 통해 흡수 및 발광대역이 다른 두 종류의 형광체를 혼합하였을 때 LED 패키지 안에서 발생하는 흡수와 재흡수, 발광, 산란 등 복잡한 광학현상으로 인해 예측이 어려웠던 스펙트럼 변화를 추적하는 것이 가능하다. 이를 검증하기 위해 실리콘계열의 Green, Red 형광체를 실리콘 바인더와 혼합하여 실제 백색 LED 패키지를 제작하였으며 형광체 함량에 따른 스펙트럼, 색온도, 색좌표, 연색지수와 같은 측정 결과를 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

2. 본 론

2.1 형광체의 산란 및 재흡수

2.1.1 형광체 이론

그림 1은 백색 LED 패키지 안에서 발생하는 여기광원의 진행경로와 형광체와 반응 후 나타나는 흡수, 발광, 산란을 나타낸 모식도이다.

분말상태의 형광체가 실리콘 봉지재에 고르게 분산되어 있다고 가정할 때 Blue LED 광원에서 여기된 빛은 형광체를 만나지 않고 실리콘 수지층을 통과하여

바로 출력되기도 하고 형광체를 만나서 색이 변환되거나 산란된다. 형광체 함량이 높을수록 여기 광원이 형광체와 만날 확률이 높아지며 Blue 광보다는 변환된 빛이 많아지게 된다.

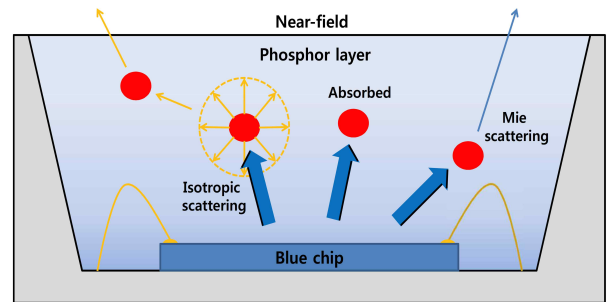


그림 1. 백색 LED 패키지에서의 형광체 발광 원리
Fig. 1. The emitting principle of phosphor in white LED package

형광체에 외부의 빛이 흡수되면 전자가 저준위 가전자대(Valence band)에서 고준위 전도대(Conduction band)로 이동하는데 이 때 밴드갭은 모체(Host)와 활성제(Activator)에 의해 결정되어 특정 파장대의 빛으로 변환되어 발광한다. 발광되는 빛은 흡수된 광자 에너지보다 방출되는 광자에너지의 양이 작기 때문에 흡수되는 파장보다 장파장의 빛을 방출하며 발광되는 빛의 분포는 무지향적인 특성을 갖고 있어 360° 전방위로 산란하게 된다. 산란된 빛은 바로 외부로 추출되거나 다시 주변에 존재하는 형광체 입자에 부딪쳐 산란 또는 재흡수된다.

형광체를 만났으나 형광체 물질안에 포함된 비활성, 비발광 입자에 빛이 부딪치면 형광체에 흡수되지 않고 산란되며 형광체에서 발광되어 나오는 빛이 다시 형광체를 만날 경우 형광체 분말과 실리콘의 굴절률이 다르기 때문에 두 물질의 경계면에서도 빛의 산란이 발생한다. 빛의 산란은 형광체를 여기시키는 빛과 형광체에서 발광되어 나오는 빛의 진행방향을 변화시켜 LED 패키지의 효율이나 배광에 영향을 준다. 일반적으로 형광체와 같이 구형태의 입자 크기가 파장과 같거나 더 클 경우, 빛의 산란 현상은 Mie 산란(Mie scattering)에 의해 설명된다. 기존에 수행된 형광체에 의한 빛의 산란에 대한 연구에 의하면 형광체 입자 크

기가 30 μm 이하인 경우, 입자의 크기가 작아질수록 산란이 급격하게 증가하지만 그 이상에서는 거의 산란이 발생하지 않는다[4-5]. 백색 광원을 형성하기 위해서 사용하는 형광체 분말의 입자 사이즈 분포는 대부분 1~30 μm 사이에 걸쳐있기 때문에 형광체에 의한 광학적인 현상을 분석하기 위해서는 Mie 산란을 바탕으로 빛의 산란현상이 반영되어야 한다.

마지막으로 형광체에 흡수된 빛이 발광하는 과정에서 발생하는 열과 형광체 물질안에 포함된 비활성, 비발광 입자에 의한 손실이 발생한다. LightTools 8.1 프로그램에서도 이를 반영해 Ray가 형광체 입자 대신 비활성, 비발광 물질에 부딪칠 확률을 자동으로 계산하며, 비활성 물질에 부딪칠 경우 Intensity function에 의해 산란과 흡수 정도를 결정한다.

2.1.2 형광체 재흡수

백색 LED 시뮬레이션을 진행하기 위해서는 형광체의 다양한 매개변수들을 정확하게 측정하여 반영하는 것이 중요하며 표 1은 대표적인 형광체 매개변수들과 이에 대한 데이터 측정 방법들을 보여준다.

표 1. 형광체 매개변수 및 측정 방법
Table 1. Phosphor parameters and measurement methods

매개변수	데이터 측정 방법
Absorption spectrum	양자효율 측정 장비 (Hamamatsu C9920)
Quantum yield	
Emission spectra	
Phosphor size	입도분석
Phosphor density	업체제공
Refractive index	업체제공

일반적으로 대부분의 데이터는 형광체 제조사에 의해 제공되지만 제작시기와 환경에 따라 조금씩 특성이 다르기 때문에 몇 가지 변수들은 직접 측정하여 반영할 필요가 있다. 특히 형광체의 색변환 특성에 직접적인 영향을 미치는 흡수, 효율, 발광 스펙트럼은 제작사에서 원자료를 제공하지 않기 때문에 시뮬레이션 진행을 위해서는 양자효율 측정 장비를 통해 직접 측

정할 필요가 있다.

그림 2는 양자효율 측정 장비의 형광체 특성 측정 방법을 나타낸 모식도이다. 양자효율측정 장비(HAMAMATSU 社, C9920)는 형광체에 입사되는 파장에 대한 분광 흡수율(Absorption)과 흡수된 빛이 다시 재방출 되는 양자효율(Quantum yield), 그리고 형광체에 의해 변환된 파장(Emission) 값을 측정할 수 있다. 측정 과정을 살펴보면 우선 상대적인 비교를 위해 비어있는 퀴츠 글래스를 적분구 안에 위치시키고 협대역의 여기광원을 입사시켜 초기 광출력값을 측정한다. 초기값이 설정되면 측정하고자 하는 형광체 분말을 퀴츠 글래스에 분산시켜 적분구 안에 위치시키고 여기광원을 형광체 시료에 입사시킨 후 변환된 빛과 변환되지 않은 빛을 모두 포집하여 분광기를 통해 측정한다. 수집된 데이터를 통해 여기광원의 흡수된 양과 변환된 양을 계산한 후 양자효율을 얻게 된다.

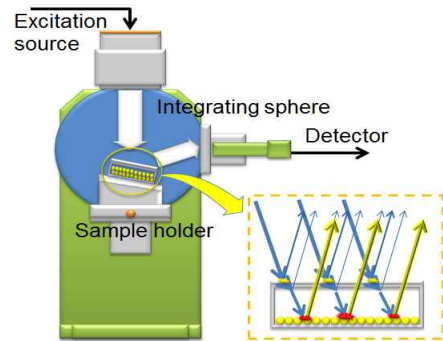
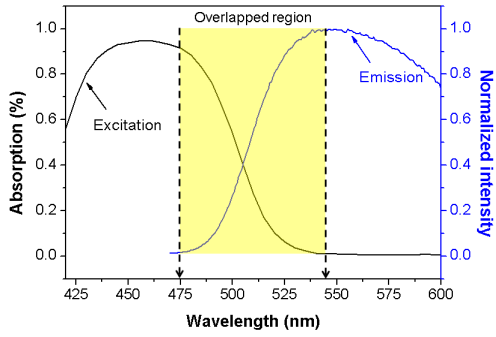
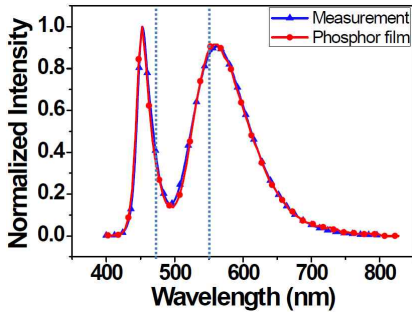
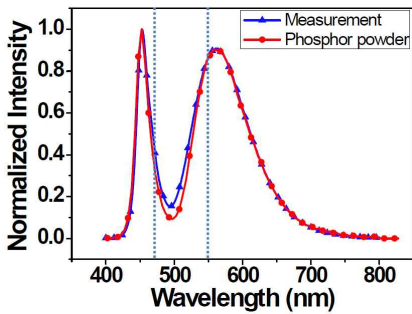


그림 2. 양자효율 측정 장비의 구동 원리
Fig. 2. Operating principle of quantum yield measuring equipment

하지만 형광체 분말상태로 특성을 측정할 경우 형광체 입자가 서로 맞닿아 있기 때문에 형광체에서 변환된 빛이 바로 주변의 형광체로 재흡수되어 왜곡된 발광 스펙트럼과 양자효율이 측정되는 문제가 있다. 그림 3은 YAG 형광체의 흡수 스펙트럼과 발광 스펙트럼 측정 결과와 재흡수 정도에 따른 시뮬레이션과 제작한 패키지의 발광 스펙트럼을 비교한 것이다. 473nm부터 530nm에 걸쳐서 두 스펙트럼이 겹쳐있는 것을 볼 수 있다. 이 영역에서 흡수율이 높고 발광되는 빛이 많을수록 측정오차는 더 커지게 된다.



(a)



(b)

그림 3. (a) 여기파장과 방출파장의 상호작용, (b) 재흡수 정도에 따른 시뮬레이션 오차
 Fig. 3. (a) Interaction of the wavelength between excitation and emission, (b) Simulation error by the degree of reabsorption

재흡수 정도에 따른 시뮬레이션 오차를 알아보기 위해 형광체 분말과 필름의 발광특성을 양자효율 측정 장비로 측정한 뒤 측정 데이터를 이용해 모델링 하였다. 형광체 필름은 분말에 비해 입자 간격이 넓어 재흡수 영향을 적게 받는다. 제작한 패키지와 시뮬레이션 비교 결과 여기파장과 방출파장이 겹치는 473~530nm에서 오차가 발생하였고 형광체 분말 데이터를 이용한 스펙트럼은 6%, 필름 데이터를 이용한 스펙트

럼은 1%의 최대오차를 보였다. 이는 형광체 입자 간격이 좁을수록 재흡수가 증가하여 오차가 심해짐을 알 수 있다.

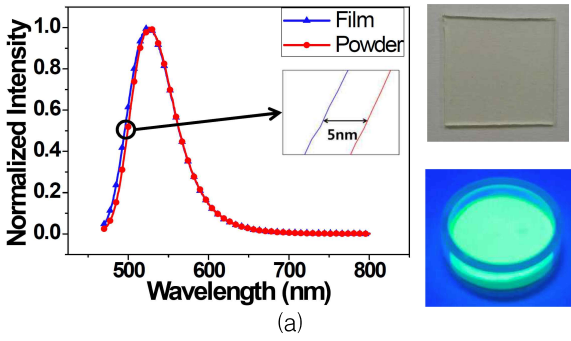
따라서 형광체 특성을 측정할 때는 형광체 입자가 서로 영향을 미치지 않도록 입자간 거리를 넓게 유지해야하며 이를 위해 실리콘 바인더에 소량의 형광체를 혼합하여 경화시킨 얇은 필름을 사용해야 한다[6].

2.2 형광체 특성 측정

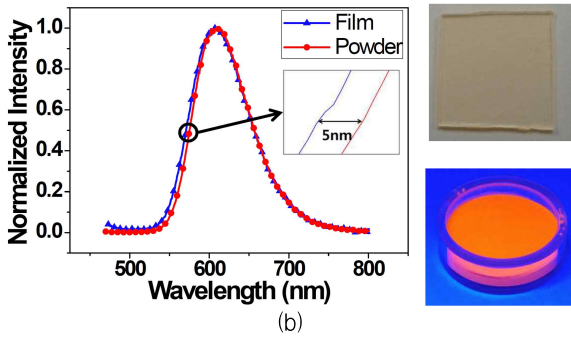
실험에 사용한 형광체는 InterMatrix 社 EG-2672 (Green, 중심파장 525±3nm), O 6040(Red, 중심파장 610±3nm)으로, 실험의 오차를 최소화하기 위해 다른 형광체에 비해 흡수 스펙트럼과 발광 스펙트럼의 겹치는 대역이 좁고 흡수율이 낮은 Silicate 계열 형광체를 사용하였다. 또한, 형광체 입자간의 간격을 넓혀 재흡수를 최소화하기 위해 Dowcorning 社사 OE-6370 (n=1.41) 실리콘 봉지재에 형광체를 믹싱한 뒤 가압성형장비를 이용해 두께가 300μm로 일정한 필름을 제작하였다.

그림 4의 (a)와 (b)는 각각 Green 형광체와 Red 형광체의 함량을 0.6wt%로 하여 제작한 필름과 분말 상태의 발광 스펙트럼을 비교한 결과와 샘플사진이다. 측정 결과 중심파장을 기준으로 왼쪽의 발광 스펙트럼에서 변화가 발생하였으며, Green형광체의 경우 광세기가 절반인 495nm부근에서 약 5nm의 오차가, Red 형광체는 575nm에서 약 5nm의 오차가 발생하였다. 이를 통해 형광체 입자간의 재흡수가 발광 스펙트럼을 왜곡시키고 있음을 알 수 있다.

그림 5는 0.6wt% 필름을 이용해 Green과 Red 형광체의 여기파장을 5nm 간격으로 증가시키면서 흡수율, 양자효율, 발광 스펙트럼을 측정한 결과이다. Green 형광체는 450nm 부근에서 흡수율 63%에 양자효율 76%를 보였으며 발광 스펙트럼의 중심파장은 525nm를 보였다. 중심파장이 609nm인 Red 형광체는 여기광원 뿐만 아니라 Green 형광체에 의해 발광된 빛들도 함께 흡수하는데 450nm 부근에



(a)



(b)

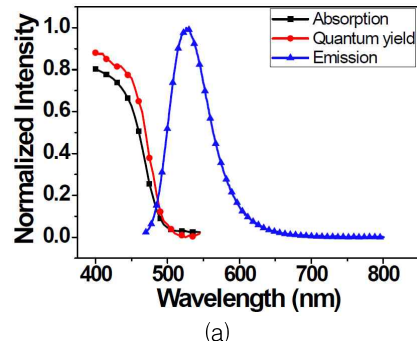
그림 4. 측정 샘플에 따른 형광체 발광 스펙트럼 및 이미지. (a) Green 형광체, (b) Red 형광체
Fig. 4. Phosphor emission spectrum and images by the measurement sample.
(a) Green phosphor, (b) Red phosphor

서 흡수율과 양자효율은 각각 66%와 83%였으며 525nm 부근에서 흡수율과 양자효율은 각각 49%와 78%였다.

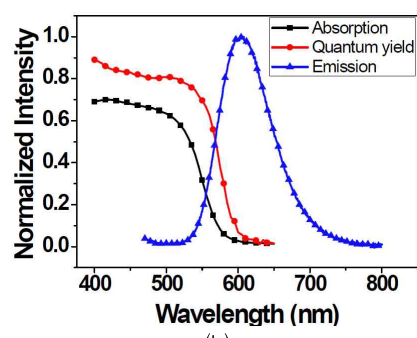
2.3 소재특성 측정 및 모델링

LED 칩에서 발광된 빛은 패키지 안에서 반사, 굴절, 산란, 흡수, 색변환 등의 복잡한 광학현상을 겪게 된다. 따라서 광학 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 사용되는 LED 칩과 패키지 그리고 형광체에 대한 특성 데이터가 정확히 입력되어야 하며 본 논문에서는 상용 광학 시뮬레이션 소프트웨어인 LightTools 8.1에 측정 결과를 반영하여 모델링을 진행하였다.

LED 칩은 Cree 社 EZ-1000 수직형 칩을 사용하였고, 사이즈는 1mm × 1mm × 0.1mm였다. 칩의 광특성



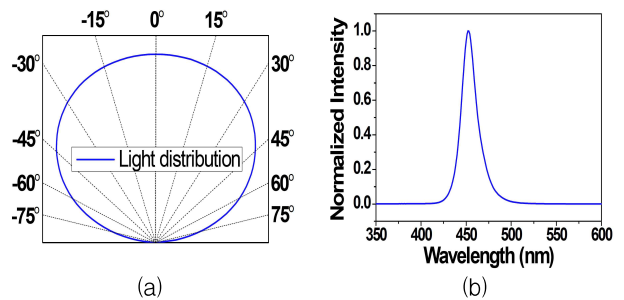
(a)



(b)

그림 5. 형광체 광특성 측정.
(a) Green 형광체, (b) Red 형광체
Fig. 5. Measuring the optical property of phosphors.
(a) Green phosphor, (b) Red phosphor

은 Goniophotometer-100 장비와 CAS-140CT 를 이용해 측정하였는데 배광분포는 지향각 116°의 램버시안 형태를 가지며 스펙트럼 측정결과 중심파장 452nm 에 반치폭 25nm를 보였다.



(a)

(b)

그림 6. LED 칩 광특성 측정. (a) 배광분포, (b) 스펙트럼
Fig. 6. Measurements of the optical property of LED. (a) Light distribution, (b) Spectrum

LED 패키용 리드프레임의 외곽 사이즈는 8.8mm × 7.6mm × 1.25mm였으며, 패키지 컵의 상면과 바닥면 지름은 6.6mm, 5.05mm였다. 리드프레임의 리드부와 프레임 소재의 반사특성을 반사율 측정 장비인 UV-VIS spectrometer로 측정하였다. Ag 코팅된 리드부는 반사율 90%의 정반사, 프레임은 PPA 재질로 구성되었으며 반사율 95%의 확산반사 특성을 가지고 있었다.

그림 7 (a)는 사용된 리드프레임 패키지에 EZ-1000 LED 칩을 다이본딩하고 와이어본딩한 제작 샘플과 LightTools 8.1을 이용해 이를 모델링한 결과를 보여 준다. 그림 4 (b)는 제작 샘플의 배광분포와 모델링을 통해 얻은 결과를 비교한 것으로 리드프레임 반사컵의 확산특성으로 인해 지향각이 116°에서 120°로 넓어졌고, 각도별 배광분포는 거의 일치하였다. 이를 통해 LED 칩과 리드프레임의 광학적인 특성이 정확하게 반영되었음을 알 수 있다.

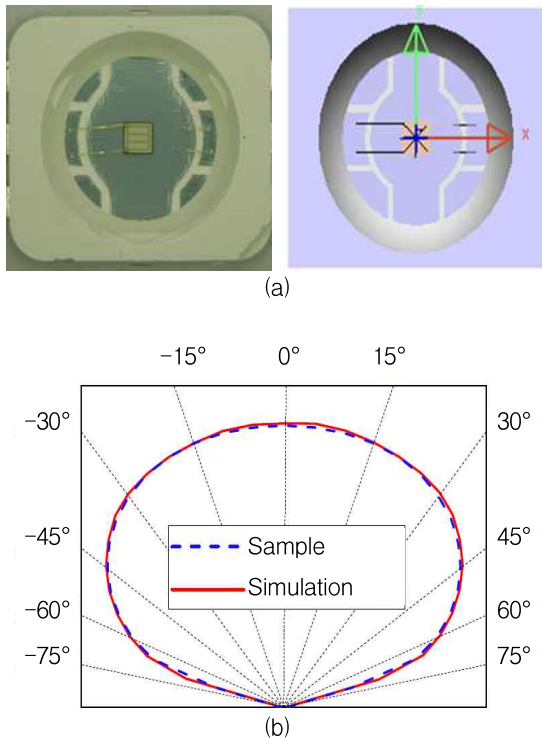


그림 7. (a) 패키지 및 모델링 이미지, (b) 배광분포 비교
Fig. 7. (a) Package sample and modeling image, (b) Comparison in light distribution

형광체 입자 사이즈별 분포를 알아보기 위해 입도분석장비인 Micro track S3500를 이용하여 측정된 결과 Green 형광체 4 μ m~44 μ m, 평균 입자 사이즈 13 μ m이고, Red 형광체 2 μ m~33 μ m, 평균 입자 사이즈 11 μ m로 측정되었다. 또한, Green과 Red 형광체 밀도는 각각 5.05mg/mm³와 3.1mg/mm³이다.

2.4 검 증

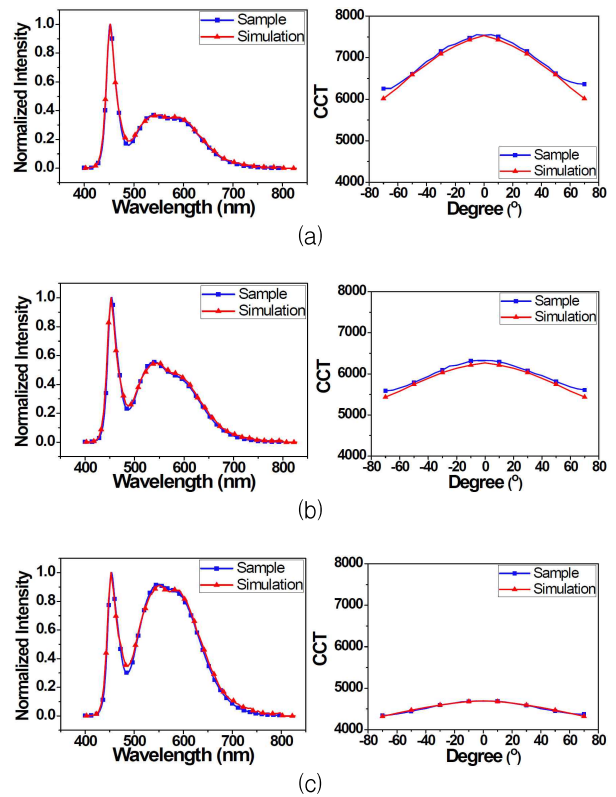


그림 8. 형광체 함량에 따른 시뮬레이션과 측정값 스펙트럼 및 각도별 CCT 비교. (a) Green 4.7wt%/Red 1wt%, (b) Green 7wt%/Red 1wt%, (c) Green 9wt%/Red 1.4wt%

Fig. 8. Comparison of spectrum and each degree of CCT according to phosphor weight percent between simulated and measured results. (a) Green 4.7wt%/Red 1wt%, (b) Green 7wt%/Red 1wt%, (c) Green 9wt%/Red 1.4wt%

각각의 재료 특성을 반영해 모델링한 백색 LED 패키지의 시뮬레이션 결과를 실제 제작한 LED 패

키지 결과와 비교함으로써 시뮬레이션의 정확성을 평가하였다. 제작한 백색 LED 패키지는 상온 25°C, 습도 40% 조건에서 정전류 350mA를 인가하여 측정하였다.

그림 8은 봉지재에 형광체 함량을 다르게 혼합하여 제작한 백색 LED 패키지와 형광체 시뮬레이션의 스펙트럼과 각도별 CCT를 비교한 결과이다. 형광체 함량은 (a) Green 4.7wt%와 Red 1wt%, (b) Green 7wt%와 Red 1wt%, 그리고 (c) Green 9wt%와 Red 1.4wt%였으며 전 파장영역에 걸쳐서 높은 일치율을 보이고 있다. 또한, 각 패키지의 각도별 색온도를 -70°~70° 범위로 측정한 결과를 보면 -60°~60° 범위에서는 최대 오차가 138K로 거의 일치하다가 이를 넘어가면서 오차가 커지는 것을 알 수 있다. 특히 색온도가 높을수록 그 오차 범위가 큰 경향이 있으며 Green 4.7wt%와 Red 1wt%의 경우 70°에서 346K의 오차를 보였다. 각도별 색온도 편차를 중심을 기준으로 각도가 증가할수록 색온도가 낮아지는데 이는 측면을 통과하여 출력된 빛이 수직방향으로 출력된 빛에 비해 형광체를 만날 확률이 높아지기 때문이다.

표 2는 형광체 함량에 따른 색좌표, 연색지수, 색온도를 비교한 결과이다. 시뮬레이션 결과와 측정값 편차는 각각 색좌표 0.007, 연색지수 1.7, 색온도 95K 이하로 대부분의 항목에서 일치율이 높았다.

표 2. 시뮬레이션과 측정값 광특성 비교
Table 2. Comparison of the chromatic characteristic between simulated and measured results

		Chromatic coordinate	Deviation	CRI	Deviation	CCT	Deviation
EG 2762 4.7wt% + O 6040 1wt%	시뮬레이션	X=0.305 Y=0.304	$\Delta X=0.000$ $\Delta Y=0.003$	88	$\Delta 0.7$	7260K	$\Delta 28K$
	측정값	X=0.305 Y=0.307		87.3		7232K	
EG 2762 7wt% + O 6040 1wt%	시뮬레이션	X=0.318 Y=0.347	$\Delta X=0.001$ $\Delta Y=0.006$	80.4	$\Delta 0.9$	6165K	$\Delta 22K$
	측정값	X=0.317 Y=0.353		79.5		6187K	
EG 2762 9wt% + O 6040 1.4wt%	시뮬레이션	X=0.361 Y=0.395	$\Delta X=0.001$ $\Delta Y=0.007$	77	$\Delta 1.7$	4563K	$\Delta 95K$
	측정값	X=0.362 Y=0.402		75.3		4658K	

3. 결 론

본 연구에서는 형광체 특성 측정 방법을 개선하여 기존에 정확성이 많이 떨어졌던 두 종류의 형광체를 포함한 백색 LED 패키지 시뮬레이션의 정확성을 향상시켰다. 이를 위해 형광체 입자간의 간격을 넓혀서 재흡수에 의해 발생하는 발광, 흡수, 양자효율 스펙트럼의 왜곡을 줄였으며 LED 칩과 리드프레임 패키지의 구조와 소재의 광특성을 측정하여 모델링에 반영하였다. 시뮬레이션 정확성 향상을 검증하기 위해 모델링 결과를 실제 제작된 LED 패키지의 광특성과 비교하였으며 그 결과 스펙트럼과 각도별 색온도 편차가 거의 일치하였다. 또한, 형광체의 함량을 달리하여 색좌표, 연색지수, 색온도를 비교하였을 때 각 항목의 최대 오차가 $\Delta xy=0.007$, $\Delta Ra=1.7$, $\Delta T=95K$ 로 정확성이 매우 높음을 보였다.

이 논문은 한국조명·전기설비학회 2014년도 추계학술대회에서 발표하고 우수추천논문으로 선정된 논문임.

References

- [1] MH Shin, J.P Kim "Advanced LED Packaging Technology", Bookshill, 2013.
- [2] Shu-Li Hsiao, Neng-Chung Hu, and Hugo Cornelissen, "Phosphor-converted LED modeling using near-field chromatic luminance data," OPTICS EXPRESS. Vol. 21, no. S2, pp. A250-A261, Mar. 11, 2013.
- [3] Liao Junyuan, Rao Haibo, Wang Wei, Wan Xianlong, Zhou Linsong, Zhou Da, Wang Xuemei, and Lei Qiaolin, "Optical simulation of phosphor layer of white LEDs," J.Semicond. Vol. 34, no. 5, pp. 053008-1-053008-5, May, 2013.
- [4] Hoo Keun Park, Ji Hye Oh, and Young Rag Do, "Toward scatter-free phosphors in white phosphor-converted light-emitting diodes," OPTICS EXPRESS. Vol. 20, no. 9, pp. 10218-10228, Apr, 23, 2012.
- [5] Shunsuke FUJITA, Yoshio Umayahara, and Setsuhisa Tanabe, "Influence of light scattering on luminous efficacy in Ce:YAG glass-ceramic phosphor," JCS-Japan. Vol. 118, no. 1374, pp. 128-131, 2010.
- [6] Sie-Wook Jeon, Ju Hyun Noh, Ki Hyun Kim, Wan Ho Kim, Changhun Yun, Sang Bin Song, and Jae Pil Kim, "Improvement of phosphor modeling based on the absorption of Stokes shifted light by a phosphor," OPTICS EXPRESS. Vol. 22, no. S2, pp. A1237-A1242, Aug, 25, 2014.

◇ 저자소개 ◇



노주현(盧宙鉉)

1989년 9월 13일생. 2014년 전남대학교 일반대학원 전기공학과 석사과정. 현재 한국광기술원 신조명연구본부 연구원.



전시욱(全是旭)

1981년 5월 31일생. 2012년 광주과학기술원 정보기전공학과 졸업(박사). 2012년 ~ 현재 한국광기술원 신조명연구본부 선임 연구원.



김재필(金宰必)

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



송상빈(宋相彬)

1969년 10월 1일생. 2006년 8월 전남대학교 공과대학 전기공학과 박사 졸업. 현재 한국광기술원 신조명연구본부 본부장. 본 학회 평의원.



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.