

Glass Remote Phosphor 구조를 갖는 백색 LED 패키지의 형광체 함량과 열처리 온도 최적화

(Optimization of Phosphor Contents and Heat-treatment Temperature
in White LED Package with Glass Remote Phosphor Structure)

정희석* · 홍석기 · 염정덕**

(Hee-Suk Jeong · Seok-Gi Hong · Jeongduk Ryeom)

Abstract

In this research, a 6W white LED package with a Glass Remote Phosphor was developed to improve the life of an LED package. The Glass Remote Phosphor was fabricated by the Phosphor in Glass (PiG) method, wherein phosphor YAG:Ce was mixed with glass frit and then heat treated. A paste with 75wt.% of a phosphor substance and 25wt.% glass frit was coated on a glass substrate two times using the screen-printing technique and heat-treated at 800°C ; this structure gave a luminous efficacy of 136.1lm/W, color rendering index of 74Ra, and color temperature of 5,342K, thus satisfying the requirements as a light source for lighting. Moreover, an IES LM-80 accelerated life test was conducted on the same LED package for 6,000h in order to estimate the L70 lifetime based on IES TM-21. The results showed guaranteed lifetimes of 213,000h at 55°C, 245,000h at 85°C, and 209,000h at 95°C.

Key Words : Phosphor Contents, Heat treatment Temperature, Glass Remote Phosphor, LED Package, LED Lighting

1. 서 론

LED를 통해 백색을 구현하는 방법은 빛의 3원색인 적색, 녹색, 청색의 3가지 LED를 조합하여 만드는 방

법, 청색 LED에 적색과 녹색 형광체를 도포하여 만드는 방법, UV LED에 적색, 녹색, 청색 형광체를 조합하는 방법, 청색 LED에 황색 형광체를 도포하는 방법이 있다. 청색 LED에 황색 형광체를 도포하는 방법은 고연색성을 구현하는데 제약이 있지만, 단일형광체를 사용하기 때문에 제조가 용이하다. 또한 황색 형광체의 광변환 효율이 매우 높기 때문에 광손실이 적다는 장점이 있으므로 현재 상용화되어 가장 보편적으로 이용되는 방법이다[1].

백색 LED 패키지는 조명용으로 사용하기 위해

* Main author : Doctor's course, Department of Electrical Engineering, Soongsil University
** Corresponding author : Professor, Department of Electrical Engineering, Soongsil University
Tel : 02-828-7267, Fax : 02-826-5125
E-mail : cosmos01@ssu.ac.kr
Received : 2016. 1. 18.
Accepted : 2016. 2. 21.

PCB(Printed Circuit Board)에 부착하기 쉬운 구조가 요구된다. 가장 보편화 되어 있는 구조가 표면실장부품(SMD ; Surface Mount Device)형 LED로 PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier) 타입의 구조이다. 이 구조는 대부분 황색 형광체와 에폭시 수지나 실리콘 수지와 같은 봉지재(Encapsulating Material)를 혼합하여 몰딩하는 형태로 제작된다. 이때 칩으로부터 방출되는 에너지가 열로 소모되고 광변환 효율을 감소시키는 단점이 있다. 형광체를 너무 많이 혼합하는 경우에는 광출력이 오히려 감소하며 형광체의 양이 적은 경우에는 청색계열의 상관색온도가 높은 백색광을 얻게 되어 조명용 광원으로 적합하지 않다. 또한 봉지재는 온도와 습기에 의해 열화가 발생한다. 이러한 현상은 고효율 LED 패키지의 목표수명을 만족하지 못하는 주요 장애 요인으로서 작용한다[2].

최근에 형광체를 LED칩 위에 직접 도포하지 않고 일정한 거리를 두고 막 형태로 제작하였을 때 광효율이 향상되고 빛을 고르게 분산시킬 수 있다는 연구결과가 발표되었다[3]. 봉지재가 아닌 유리소재를 사용하여 LED 칩 위에 리모트 형태로 패키징 되는 Glass Remote Phosphor 구조는 무기물의 열적·화학적 내구성이 우수하여 장수명화에 유리하다. 이러한 Glass Remote Phosphor 구조의 연구는 크게 세 가지 방식으로 진행되고 있다. 첫째로 형광체를 형성하는 원료분말을 용융하여 유리를 제조한 뒤, 열처리를 통해 형광체상을 유리 내에 형성시키는 PGC (Phosphor Glass Ceramic) 방식, 두 번째는 기존의 YAG:Ce 형광체를 유리 프릿과 혼합한 후 열처리를 통해 제조하는 PiG (Phosphor in Glass) 방식, 마지막으로 형광체와 같이 광변환이 가능한 활성 이온 또는 나노 결정 등을 유리 소재 내에 함유시킨 BGC (Bulk Glass Phosphor) 방식이 있다[4].

PiG 방식은 타 방식에 비해 간단한 공정으로 제조가 가능하여 양산성 및 경제성을 확보할 수 있고, 고효율 형광체를 자유롭게 사용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 PiG 방식의 Glass Remote Phosphor 구조는 형광체가 후막 상태이기 때문에 발광한 빛이 전반사(total internal reflection)로 인해 외부로 다 빠져 나오지 못하고 후막 안에 갇히게 되어 낮은 광추출효율

(extraction efficiency)을 나타내게 된다[5-6]. 이는 고효율, 고풍력 백색 LED로의 응용에 있어서 가장 큰 문제가 되는 점이며, PiG 방식의 Glass Remote phosphor에서는 형광체의 함량과 열처리 조건이 광특성을 결정하는 중요한 요소이다[7].

본 연구에서는 LED 패키지의 수명을 개선하기 위해 Glass Remote Phosphor 구조를 갖는 6W급 백색 LED 패키지를 개발하였다. Glass Remote Phosphor 구조는 YAG : Ce 형광체를 유리 프릿과 혼합한 후 열처리 과정을 거치는 Phosphor in Glass(PiG) 기술을 이용하여 제작하였다. 그리고 조명용 광원으로 사용하기 위한 요구조건인 광효율 130lm/W이상, 연색성 70Ra이상, 상관색온도 5,700K(5,665±355K)[8]를 만족하는 형광체 함량과 열처리 온도의 최적조건을 찾고, IES LM-80 가속수명 시험방법을 적용하여 제작된 LED 패키지의 수명을 산정하였다.

2. Glass Remote Phosphor LED 패키지

2.1 LED 패키지 구조

연구에 사용된 LED패키지는 그림 1과 같이 14×14mm 크기의 알루미늄 기판에 지름이 11.68mm, 높이가 0.4mm인 원형 홀을 가공한 후 청색 LED칩 40개를 실장하였다. 황색형광체와 유리 프릿을 혼합하여 유리 기판위에 코팅하여 제작한 Glass Remote Phosphor를 패키지 프레임과 결합하는 간단한 구조로 설계하였다.

2.2 형광체 코팅방법

형광체 코팅방법은 실리카계 유리 프릿과 황색 형광체를 일정 비율로 혼합한 페이스트를 제작하고 Borosilicate계 유리 기판 위에 스크린 프린팅 방법으로 코팅하였다. 스크린 프린팅 방법은 비교적 제조공정이 쉽고 균일도가 높으며, 제조장비가 간단하고 형광체 사용량이 적은 장점이 있다. 또한 스크린 프린팅

방법을 이용하면 10~100 μ m 범위 내에서 원하는 두께를 갖는 후막을 제조하기가 매우 용이하다[9].

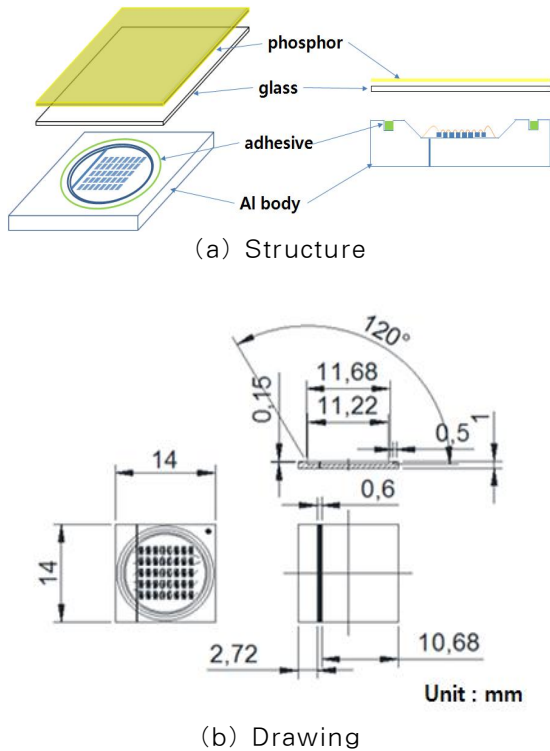


Fig. 1. Structure of Glass Remote Phosphor LED Package

유리 프린트는 열팽창계수가 $8.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 전이점이 $450 \text{ } ^\circ\text{C}$, 연화점이 $485 \text{ } ^\circ\text{C}$ 인 $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-ZnO-K}_2\text{O}$ 계를 사용하여 $1,450 \text{ } ^\circ\text{C}$ 에서 30분간 용융 후 분쇄하여 제조하였다. Borosilicate계 유리기판의 두께는 $500 \mu\text{m}$, 가로와 세로를 14mm인 정사각형으로 패키지 크기와 동일한 크기로 제작하였다. 또한 황색 형광체는 cerium이 도핑된 yttrium aluminum oxide($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$) YAG 형광체를 사용하였다.

2.3 특성 평가 방법

LED 패키지의 평가방법은 비교표준이 되도록 동일한 청색 LED 칩을 사용하여 점등하였고, 전류는 0.28A, 전압은 22.7V, 전력은 6.3W로 전기적 특성은 모두 동일 조건으로 측정하였다. Glass Remote

Phosphor가 적용된 LED 패키지의 광속, 광효율, 평균연색성지수(CRI), 상관색온도(CCT)는 IES LM-79-08(Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products)에 의한 방법으로 측정을 실시하였다[10]. 청색 LED칩이 실장된 패키지에 형광체 함량과 코팅횟수에 따라 구분된 Glass Remote Phosphor를 바꿔가면서 장착한 후 각각의 특성을 측정하였다. 직류 전원장치로 정격전류를 공급하여 전기적 특성 및 광학적 특성의 편차가 0.5% 이하로 안정화 되었을 때 측정하였다. 광속 및 광효율은 Goniophotometer(C-type, PSI社)와 Power analyzer (WT210, Yokogawa社)를 사용하였으며 CRI 및 CCT는 Integrating Sphere (0.5m, PSI社)를 이용하여 측정하였다.

2.4 유리 프린트의 열처리 온도 선정

유리 프린트의 열처리 온도를 선정하기 위한 실험을 진행하였다. 먼저 형광체와 유리 프린트는 무게비로 80 : 20wt.%로 칭량 후 에탄올을 이용하여 습식 혼합하였다. 혼합물은 $80 \text{ } ^\circ\text{C}$ 에서 건조 후 스크린 프린팅을 적용하기 위해 전체 무게비의 40wt.% 비이클과 함께 섞어 페이스트를 제조하였다. Borosilicate 유리 기판 위에 유제막 두께는 $30 \mu\text{m}$ 의 스크린 프레임을 얹고 페이스트를 적당량 떨어뜨린 후 스퀴즈를 이용하여 스크린 프린팅 방법으로 2회에서 3회까지 코팅하였다. 코팅된 시료는 $600 \text{ } ^\circ\text{C}$, $700 \text{ } ^\circ\text{C}$, $800 \text{ } ^\circ\text{C}$ 의 열처리 조건에서 2시간 동안 열처리를 실시하여 유리 프린트가 충분히 melting되어 유리 기판 위에 정착되도록 하였다.

열처리 온도 및 코팅횟수에 따른 Glass Remote Phosphor 표면의 미세구조는 그림 2와 같이 코팅횟수 변화에 따라서는 큰 변화를 나타내지 않고 있는 것을 볼 수 있다. 이에 반해 열처리 온도 변화에서는 온도가 증가함에 따라 $600 \text{ } ^\circ\text{C}$ 에서는 입자의 형태들이 뚜렷하게 보였지만 $700 \text{ } ^\circ\text{C}$ 부터 유리 프린트의 용융으로 형광체의 입자사이에 연결되고, 표면 위를 덮고 있는 것을 확인 할 수 있다. $800 \text{ } ^\circ\text{C}$ 에서 열처리 한 경우는 유리 프린트가 완전히 용융되어 $700 \text{ } ^\circ\text{C}$ 에서보다 형광체 입자 공간사이에 채워진 것을 알 수 있다.

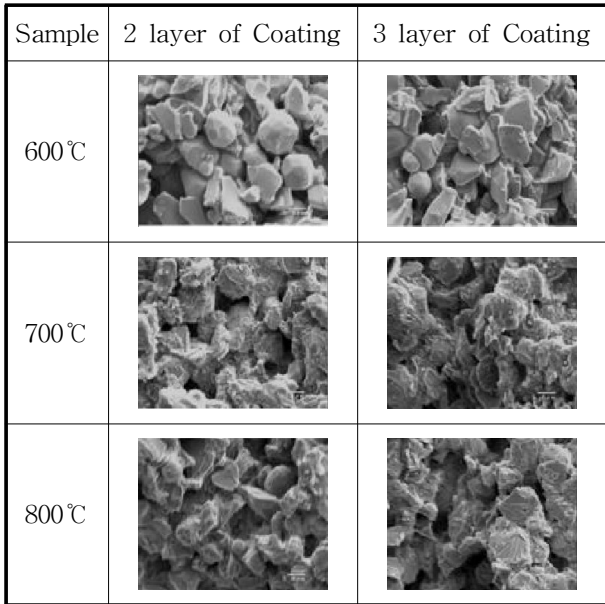


Fig. 2. Microstructure of paste according to heat-treatment temperature

열처리 온도 및 코팅횟수에 따른 광특성을 표 1에 나타내었다. 코팅횟수가 3회인 경우 열처리 온도와 상관없이 많은 양의 형광체로 CCT 값이 너무 낮아 측정이 되지 않았고, CRI도 35Ra 정도의 낮은 값을 나타내어 조명용 광원으로 적합하지 않음을 알 수 있다.

코팅횟수가 2회인 경우 열처리 온도가 600°C, 700°C, 800°C에서 모두 4,426~4,468K의 상관색온도와 67~68Ra의 연색성을 나타내었다. 광효율은 700°C에서 128.0lm/W로 낮은 값으로 측정되었고, 600°C와 800°C에서는 각각 142.7lm/W와 142.2lm/W의 광효율이 측정되었다. 조명용 광원으로 사용하기 위한 요구 조건은 광효율 130lm/W이상, 연색성 70Ra이상, 상관색온도 5,700K(5 665±355K)로 알려져 있다[8]. 그러므로 이 조건을 만족하기 위해서 광효율, 연색성, 상관색온도와 함께 안정적인 표면미세구조를 고려한 최적 조건으로 2회 코팅 후 800°C에서 열처리하는 조건을 선정하였다.

2.5 형광체 함량 조건 선정

첫 번째 실험에서 페이스트의 코팅횟수는 2회, 열처

리 온도는 800°C가 가장 최적의 조건임을 확인하였으나 조명용 광원으로 사용하기에는 CCT와 CRI의 값이 낮은 것을 알 수 있다. 따라서 최적의 형광체 함량을 찾기 위해서 형광체 함량을 75wt.%, 80wt.%, 85wt.%로 조절하여 Glass Remote Phosphor를 제작하여 광특성을 평가하였다.

Table 1. Characteristics of LED package according to heat-treatment temperature and number of coating

Sample	Chromaticity Coordinates		Total Flux (lm)	CCT (K)	CRI (Ra)	Efficacy (lm/W)
	x	y				
600°C 2 layer of Coating	0.381	0.451	899.1	4,433	67	142.7
600°C 3 layer of Coating	0.427	0.513	878.0	-	35	139.4
700°C 2 layer of Coating	0.378	0.446	806.2	4,426	68	128.0
700°C 3 layer of Coating	0.418	0.501	883.7	-	35	140.3
800°C 2 layer of Coating	0.389	0.463	896.0	4,468	68	142.2
800°C 3 layer of Coating	0.405	0.480	869.3	-	36	138.0

앞서 실험한 방법과 동일한 방법으로 형광체 함량을 조절하여 페이스트를 제조한 후 75wt.%와 80wt.%일 때는 2회 코팅하고, 85wt.% 1회 코팅하여 800°C에서 열처리를 하여 Glass Remote Phosphor를 제작하였다. 여기서 형광체 함량이 85wt.% 조건에서는 형광체 함

량이 많아지면 광출력과 연색성이 낮아지므로 1회 코팅을 실시하였다.

형광체 함량에 따른 Glass Remote Phosphor 표면의 미세구조를 그림 3에 나타내었다. 상대적으로 형광체 함량이 적은 75wt.%의 Glass Remote Phosphor는 85wt.%에 비해 유리 프리티 형광체 입자 공간사이에 채워진 것을 확인할 수 있었다.

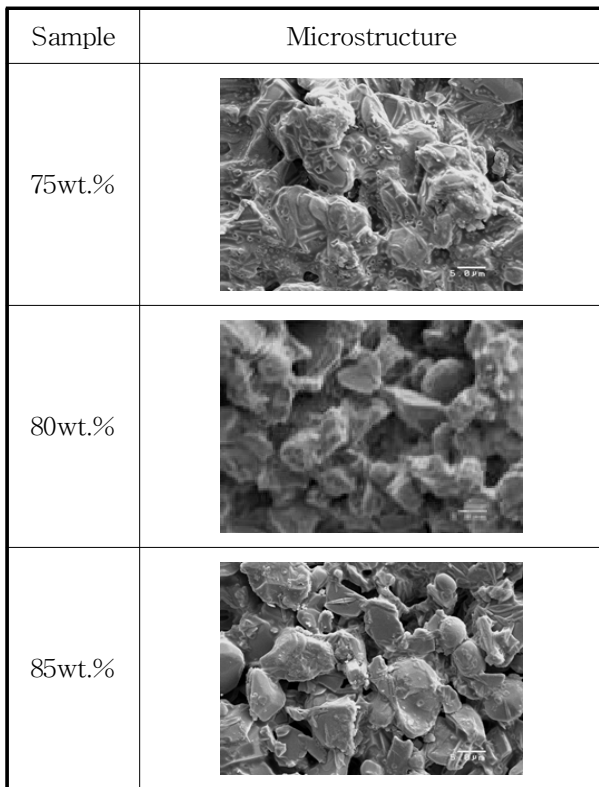


Fig. 3. Microstructure of paste according to phosphor content

형광체 함량 및 코팅횟수에 따른 광특성을 표 2에 나타내었다. 형광체 함량이 80wt.%, 코팅횟수가 2회인 경우 광효율은 우수하지만 상관색온도와 연색성이 적합하지 않다. 형광체 함량이 85wt.%, 코팅횟수가 1회인 경우 연색성은 우수하지만 상관색온도가 높아 적합하지 않다. 형광체 함량이 75wt.%이고 코팅횟수가 2회인 경우 상관색온도 5,342K, 연색성 74Ra, 광효율 136.1lm/W로 조명용 광원으로 가장 적합함을 알 수 있다. 따라서 Glass Remote

Phosphor 제작 시 형광체 함량은 75wt.%, 유리 프리티는 25wt.%의 무게비로 페이스트를 제조하여 스크린 프린팅 방법으로 2회 코팅한 후 800°C로 열처리 하였을 때 조명용 광원으로 사용하기 위한 최적의 조건이 된다.

Table 2. Characteristics of LED Package according to Phosphor contents

Sample	Chromaticity Coordinates		Total Flux (lm)	CCT (K)	CRI (Ra)	Efficacy (lm/W)
	x	y				
75wt.% 2 layer of Coating	0.337	0.380	857.6	5,342	74	136.1
80wt.% 2 layer of Coating	0.389	0.463	896.0	4,468	68	142.2
85wt.% 1 layer of Coating	0.315	0.343	827.6	6,280	78	131.4

그림 4는 위에서 도출한 최적의 조건으로 제작한 6W급 백색 LED 패키지를 나타낸다. 사용된 청색 LED 칩은 440~470nm의 주파장을 가지며, 8직렬 5병렬로 40개를 실장하였다. 가로와 세로가 14mm인 정사각형의 패키지 프레임 위에 동일한 크기의 Glass Remote Phosphor를 결합한 구조이다.

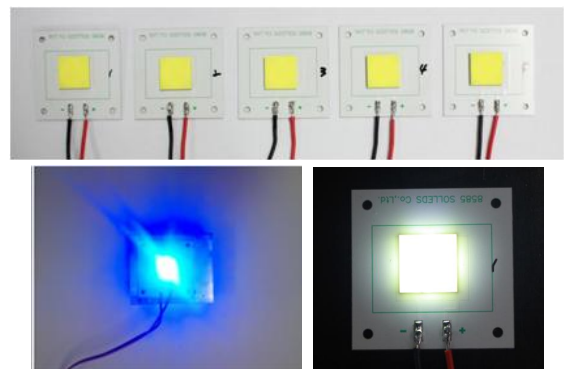


Fig. 4. 6W Glass Remote Phosphor LED package

3. LM-80 테스트를 통한 수명 평가

3.1 광속유지율 시험 방법

IES LM-80(Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources)이란 LED 광원의 광속유지율 시험을 위해 북미조명학회(IESNA)에 의해 제정한 승인된 규격이다[11]. LED Package, Array, Module의 광속 저하에 의한 광속유지율을 측정하여 수명에 대한 예측을 제공하며, 일정한 측정 방법과 다양한 시험기 관들의 측정 결과가 신뢰성을 가지도록 작성된 측정 방법 중의 하나이다. 관련 규격으로는 표준 조건하에서 조명용 SSL 제품의 전광속, 배광 및 색도에 대한 측정방법이 기술된 IES LM-79(Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products)가 있으며, IES TM-21(Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources)은 IES LM-80시험으로 획득한 데이터를 기반으로 수명을 예측하는 방법을 기술한다[12].

정격 광속유지수명(L_p)은 초기 광 출력량 대비 광 출력량 백분율(P)을 나타내는 가동 경과 시간을 의미하는데 조명용 광원에서는 L_{70} (초기 광출력의 70% 광속유지율까지의 시간)으로 평가한다.

IES LM-80 시험방법은 지정된 주위온도에서, 최소한 6,000시간 동안 구동하여 최소 1,000시간마다 데이터를 수집하며, 테스트 시료수는 3개의 케이스 온도에서 각각 최소 20개 이상으로 해야 한다. 케이스 온도(T_s)는 LED 광원 패키지에서 열전대 부착점의 온도로서, 패키지 제조업체에 의해서 제시된다. 수명시험시 LED 광원의 작동은 같은 구동 전류를 사용할 때 최소 3가지 케이스 온도이어야 하며, 온도는 55°C, 85°C, 그리고 세 번째 온도는 제조사가 결정하는 온도이다. 제조사가 결정하는 케이스 온도와 구동 전류는 고객의 애플리케이션에 대한 제조업체의 예측을 나타내고 권장되는 작동온도 범위 이내이어야 한다. 케이스 온도는 수명시험 동안 설정 온도의 -2°C 이하로 유지되어야 하며, 주위 온도도 설정 온도의 -5°C 이내로 유지해야 한다. 시험실 내부의 주위 공기 온도를 모니터링해야 하며 습도는 수명시험 내내 65% RH 이하로

유지해야 한다. 수명시험 동안 LED 광원 전체에 대한 중앙값, 표준편차, 최소 및 최대 광속유지율 값, 개별 LED 광원 각각의 광속유지 데이터, 색도 변이를 측정하여 수명을 예측한다.

3.2 IES LM-80 테스트를 통한 수명평가

Glass Remote Phosphor 구조의 LED 패키지로 IES LM-80 수명시험을 실시하였다. 케이스 온도의 측정 지점을 그림 5에 나타내었다. 케이스 온도(T_s)는 55°C, 85°C, 95°C이며, 각각의 온도조건에서 25개의 시료를 시험하였다. 구동전류는 0.28A에서 6,000시간 실시하였으며, 1,000시간 단위로 광속, 상관색온도, 색좌표를 측정하여 변화율을 측정하였다.

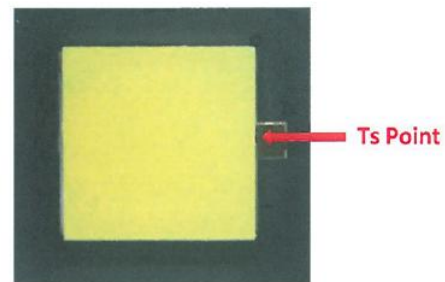
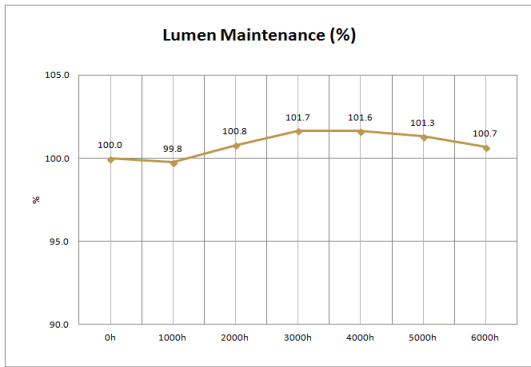


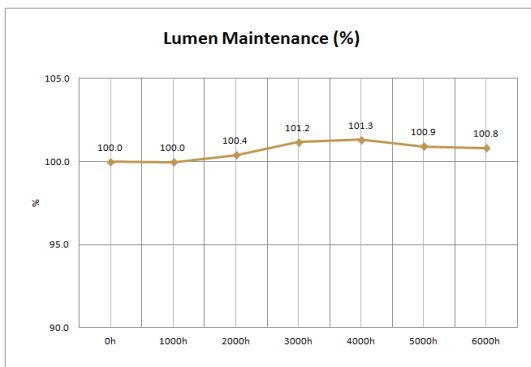
Fig. 5. Point of measurement of case Temperature(T_s)

Glass Remote Phosphor 구조의 LED 패키지의 온도조건별 광속, 상관색온도, 색좌표를 초기 측정 값 대비 6,000시간까지의 변화율을 그림 6에서부터 그림 8에 나타내었다. 1,000시간마다 측정된 온도조건별 데이터는 25개의 시료의 평균값이다.

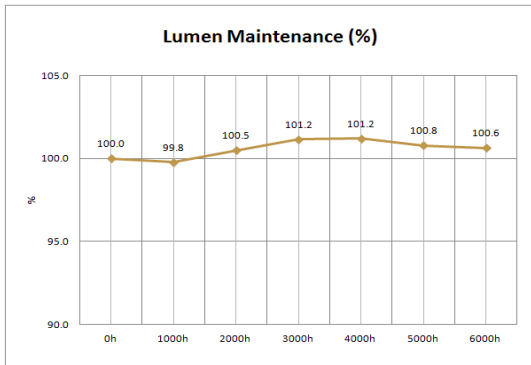
광속유지율의 경우 6,000시간 동안 55°C에서는 100.8%, 85°C에서는 100.6%, 95°C에서는 100.6%로 저하율이 없다. 6,000시간까지 광속의 변화는 측정 불확도 범위 2% 이내이다. 색좌표의 변화율은 초기 측정된 색좌표에서 변화량을 계산하여 $Du'v'$ 로 표시하였다. 6,000시간에서 색좌표의 변화량은 55°C에서는 0.0008, 85°C에서는 0.0008, 95°C에서는 0.0008이다. 또한 상관색온도(CCT)의 변화량을 보면 55°C에서는 26K, 85°C에서는 29K, 95°C에서는 34K로 변



(a) Ts 55°C



(b) Ts 85°C



(c) Ts 95°C

Fig. 6. IES LM-80 Lumen Maintenance

화량이 1% 이하로 형광체의 열화가 없음을 알 수 있다.

IES LM-80 가속수명시험을 통해 수집된 데이터를 이용하여 IES TM-21의 식 (1), (2)를 기반으로 초기 광출력의 70% 광속유지율까지의 시간수명(L₇₀)을 예측한 결과[12], 본 연구에서 개발한 LED 패키지는 시

험온도 55°C에서 213,000시간, 85°C에서 245,000시간, 95°C에서 209,000시간의 수명을 보증한다.

$$\Phi(t) = B \exp(-\alpha t) \quad (1)$$

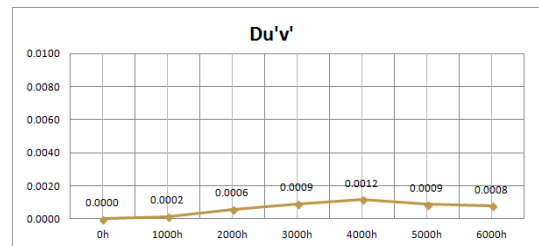
$$L_{70} = \frac{\ln\left(\frac{B}{0.7}\right)}{\alpha} \quad (2)$$

t = operating time in hours

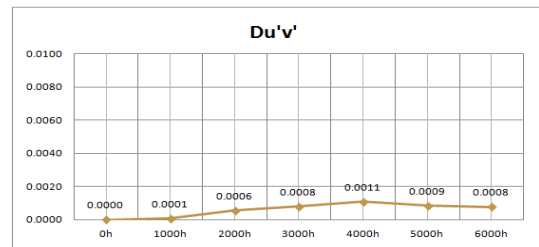
$\Phi(t)$ = averaged normalized luminous flux output at time

B = projected initial constant derived by the least squares curve-fit

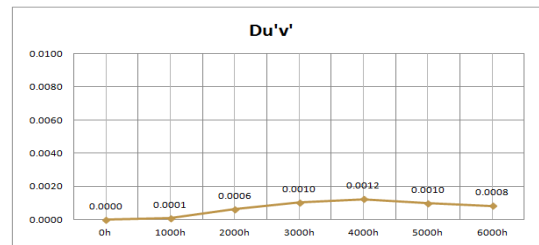
α = decay rate constant derived by the least squares curve-fit



(a) Ts 55°C

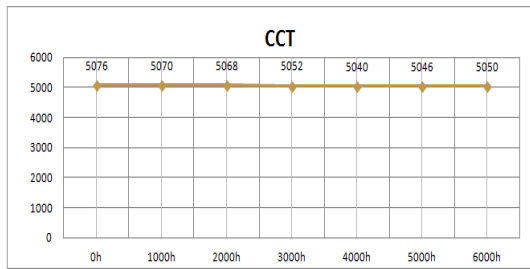


(b) Ts 85°C

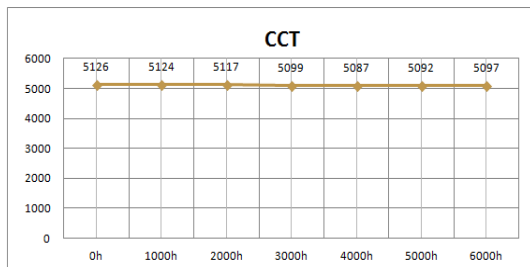


(c) Ts 95°C

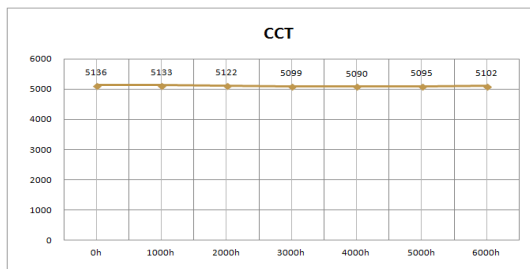
Fig. 7. IES LM-80 Chromaticity Shift



(a) Ts 55°C



(b) Ts 85°C



(c) Ts 95°C

Fig. 8. IES LM-80 CCT Shift

4. 결 론

본 연구에서는 LED 패키지의 수명을 개선하기 위해 Glass Remote Phosphor 구조를 갖는 6W급 백색 LED 패키지를 개발하였다. Glass Remote Phosphor 구조는 YAG:Ce 형광체를 유리 프린트와 혼합한 후 열처리 과정을 거치는 PiG (Phosphor in Glass) 기술을 이용하여 제조하였다. PiG 방식의 Glass Remote phosphor는 후막 상태이기 때문에 형광체의 함량과 열처리 조건이 광효율, 연색성, 상관색온도를 결정하는 중요한 요소이다. 그리고 조명용 광원으로 사용하기 위해 광효율 130lm/W이상, 연색성 70Ra이상, 상관색온도 5,700K(5,665±355K)를 요구한다. 실험결과

Glass Remote Phosphor 제작 시 형광체 함량은 75wt.%, 유리 프린트는 25wt.%의 무게비로 페이스트를 제조하여 스크린 프린팅 방법으로 2회 코팅한 후 800°C로 열처리 하였을 때 LED 패키지의 광특성은 광효율 136.1lm/W, 연색성 74Ra, 상관색온도 5,342K로 조명용 광원으로 사용하기 위한 조건에 적합함을 확인하였다.

또한 제작된 Glass Remote Phosphor 구조의 LED 패키지로 6,000시간의 IES LM-80 가속수명시험을 실시한 결과 온도조건별 광속유지율, 상관색온도, 색좌표의 변화율이 1% 이내로 형광체의 열화가 없음을 확인하였다. 또한, IES LM-80 가속수명시험을 통해 수집된 데이터를 이용하여 IES TM-21 기반으로 초기 광출력의 70% 광속유지율까지의 시간수명(L_{70})을 예측한 결과, 시험온도 55°C에서 213,000시간, 85°C에서 245,000시간, 95°C에서 209,000시간의 수명을 보증하는 것으로 나타났다.

현재 LED 패키지의 광효율은 빠르게 향상되고 있으며 더불어 연색성과 상관색온도와 같은 색품질에 대한 기준도 점차 높아지고 있다. 이러한 추세에 발빠르게 대응하기 위해서 추후 유리소재를 적용한 LED 패키지의 광효율과 연색성을 더욱 높이는 연구와 함께, 형광특성 스크리닝을 통한 Color binning 및 색공간 균일성(Color uniformity) 향상에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

References

- [1] H. W. Jang, "The development trend of high-power LED light source", KIEEME, Vol.25, No.5, pp.3-10, 2012.
- [2] S. I. Chan, J. S. Jang, "Accelerated Degradation Stress of High Power Phosphor Converted LED Package", Journal of the Microelectronics & Packaging Society, Vol.17, No.4, pp.19-26, 2010.
- [3] J. K. Kim, H. Luo, E. F. Schubert, J. H. Cho, C. S. Sone, Y. J. Park, "Strongly Enhanced Phosphor Efficiency in GaInN White Light-Emitting Diodes Using Remote Phosphor Configuration and Diffuse Reflector Cup", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.44, No.21, pp.L649-651, 2005.
- [4] W. J. Jeong, "Glass materials for high-power white LED color conversion", Information display, Vol.15, no.1, pp.12-19, 2014.
- [5] S. L. Jones, D. Kumar, R. K. Singh, and P. H. Holloway, "Luminescence of Pulsed Laser Deposited Eu Doped

Yttrium Oxide Films”, Appl.Phys. Lett., Vol.71, No.3, pp.404-06, 1997.

[6] J. Y. Cho, Y. R. Do, and Y.-D. Huh, “Analysis of the Factors Governing the Enhanced Photoluminescence Brightness of Li-Doped Y2O3:Eu Thin-Film Phosphors”, Appl. Phys. Lett., Vol.89, No.13, pp.131915, 2006.

[7] Y. J. Chae, M. J. Lee, J. H. Hwang, T. Y. Lim, J. H. Kim, H. S. Jeong, Y. S. Lee, and D. J. Kim, “Optical Properties as Process Condition of Color Conversion Lens Using Low-softening Point Glass for White LED”, KCS., Vol.50, No. 6, pp.454-459, 2013.

[8] KS C 7658, LED Luminaires for Road and Street Lighting, 2014.

[9] M. R. Somalu, V. Yufit, N. P. Brandon, “The effect of solids loading on the screen-printing and properties of nickel/ scandia-stabilized-zirconia anodes for solid oxide fuel cells” Int. J. Hydrogen Energy, Vol.38, pp.9500-9510, 2013.

[10] IES LM-79-08, Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products, 2008.

[11] IES LM-80-08, Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources, 2008.

[12] IES TM-21-11, Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources, 2011.

◇ 저자소개 ◇



정희석 (鄭熹錫)

2002년 광운대학교 전기공학과 졸업. 2009년 광운대학교 대학원 전자물리학과 졸업(석사). 현재 숭실대학교 전기공학부 박사과정. 2002~2015년 한국조명연구원 디자인표준연구본부 융합표준팀 팀장. 2015년~현재 (주)레젠 기술연구소장.



홍석기 (洪錫基)

2005년 서울과학기술대학교 전기공학과 졸업. 2008년 한양대학교 대학원 졸업(석사). 현재 숭실대학교 전기공학부 박사과정. 1982~2012년 한국토지주택공사 본부장. 2012년~현재 (주)레젠 대표이사.



염정덕 (廉正德)

1987년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1989년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대학교 전기공학부 교수.