

저온소성 형광체 페이스트의 특성 연구

이동욱, 이미영, 안석출, 남수용*

부경대학교 인쇄공학과
608-739 부산시 남구 용당동 산 100

(2007년 12월 26일 접수, 2008년 2월 26일 채택)

A Study on the Characteristics of Low Temperature Calcined Phosphor Paste

Dong-Wook Lee, Mi-Young Lee, Suk-Chul Ahn, and Su-Yong Nam*

Department of Graphic Arts Engineering, Pukyong National University
100 Yongdang-dong, Nam-gu, Busan 608-739, Korea

(Received for review December 26, 2007; Revision accepted February 26, 2008)

요 약

본 연구에서는 LCD BLU에 적용 가능한 면광원용 저온소성 형광체 페이스트(paste)를 제조하여 그 특성을 검토하였다. 형광체 paste에는 저온 소성용 아크릴 레진을 바인더로 사용하였으며, 그 열분해특성을 검토한 결과 400°C에서 잔탄이 0.1 wt% 이하인 것을 확인 할 수 있었다. 본 연구에서 제조한 paste로 스크린 인쇄를 통해 면광원용 device를 제작한 결과, 형광체 휘도에 대해 100%에 가까운 발광특성을 나타내었다.

주제어 : LCD BLU, 면광원, 저온소성, 형광체 페이스트, 스크린인쇄

Abstract : In this study we have manufactured and characterized the low temperature calcined phosphor paste that can be used as a flat light source for LCD BLU. For the phosphor paste, the low temperature calcined acryl resin was used as the binder. From the result of thermal decomposition measurement, residual carbonaceous materials was found to be less than 0.1 wt% at 400°C. A flat light source device that was made by screen printing using the manufactured paste showed a near 100% luminous efficiency compared to the luminance of the phosphor.

Key Words : LCD BLU, Flat light source, Low temperature calcination, Phosphor paste, Screen printing

1. 서 론

LCD는 비발광형 전자 디스플레이 소자로서 동화상을 구현하기 위해서는 별도의 뛰어난 특성을 갖는 광원을 필요로 하며, LCD의 광원 역할을 하는 것을 백라이트(backlight)라고 한다. 그리고 액정 모듈의 후면에서 빛을 조사시키기 위하여 광원 자체를 포함하여 광원의 구동을 위한 전원 회로 및 균일한 평면광을 이루도록 해주는 일체의 부속물을 이루는 복합체를 backlight unit (BLU)라고 한다.

BLU는 Figure 1 과 같이 빛의 조사 방식에 따라 엣지형(edge type) BLU와 직하형(direct type) BLU, 그리고 면광원용(flat light source type) BLU로 분류된다[1]. BLU의 종류 중에서 먼저 엣지형(edge type) BLU는 광원의 위치가 LCD 모듈의 측면에 위치하고 있어 광원으로부터 나오는 빛을 도광판을 통해 평면광의 형태로 형성하기 때문에 이러한 형식의 백라이트는 20인치 이상인 경우, 전반적인 휘도의 저하를 피하기 어려운 문제가 있다. 그리고 직하형(direct type) BLU는 액정패널의 후면에서 직접 빛을 조사하기 때문에 빛

* To whom correspondence should be addressed.
E-mail: suynam@pknu.ac.kr

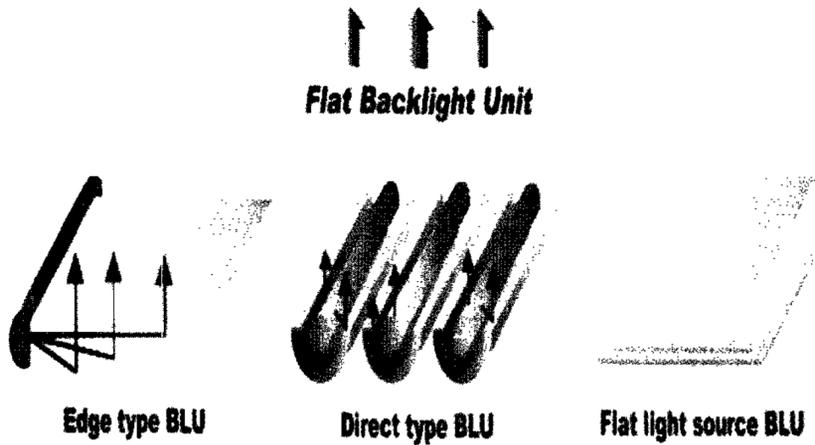


Figure 1. Three types of BLU [2].

의 손실이 크지 않으므로 높은 휘도를 유지할 수 있지만, 구조상 형광 램프가 후면에 위치한다는 점과 램프와 확산판의 거리가 일정해야만 고른 휘도 분포를 얻을 수 있다는 점에서 불가피하게 어느 정도의 부피를 요구하므로 박형화에 어려움이 있다.

그리고 무엇보다 중요한 것은 엣지형 BLU와 직하형 BLU의 광원으로 존재하는 램프의 사용이다. 현재 냉음극 형광램프(CCFL: cold cathode fluorescent lamp)가 상용되고 있으나 LCD의 BLU로 고휘도를 얻기 위해서는 여러 개의 CCFL을 사용해야 한다. 하지만, BLU의 램프는 내부에 인체에 유해한 수은(Hg)을 함유하고 있는 점에서 국내외적으로 환경오염에 대한 규제가 강해짐에 따라 앞으로는 더 이상 사용하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 따라서 수은의 대체 물질에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 실정이지만, 수은에 비해 휘도 및 발광 효율이 떨어지는 단점이 있어 이에 대한 개선이 요구되고 있다. 이에 함께 친환경적 광원에 대한 기대가 높아지고 있어 현재의 선발광형 CCFL을 대신하여 면광원형 FFL, LED BLU, CNT BLU의 연구가 진행되고 있다[3].

Table 1 과 같이 여러 광원을 비교하여 보았을 때, CNT BLU는 발광효율, 색상 대비, 수명, 가격 면에서 비교적 우수하고, 특히 수은(Hg)이 함유된 램프를 사용하지 않는 점으로 미루어 보아 환경적인 측면은 더욱 우수하므로 차세대 광원으로서 매우 적합하다. 이런 배경으로 본 연구에서는 탄소나노튜브(carbon nanotubes, CNT)를 발광소자로 사용하고 전계 방출원리를 이용한 CNT 면광원에 적용할 수 있는 형광체 paste의 특성을 연구하였다.

면광원용 BLU에 사용되는 형광체 paste는 스크린 인쇄를 하여 형광막을 형성하게 되고 소성공정을 통해 paste 내부에 존재하는 바인더 성분을 태워서 제거하게 된다. 만약 소성 후에도 내부에 바인더 성분이 잔존하게 되면, 형광체의 휘도 및 수명이 감소하는 결과를 초래하여 신뢰성에 문제가 발생하게 된다. 현재 형광체 paste에 사용하고 있는 바인더 레진은 ethyl cellulose type 으로서 이를 완전히 열분해 하기 위해서는 470°C 이상의 고온이 필요하다. 하지만 이와 함께 혼합되는 형광체는 420°C 이상의 열이 가해지게 되면 형광체의 열화가 발생하게 되고, 그 이상인 470°C 까지 온도가 올라가면 휘도가 30%정도 저하되는 결과를 초래한다[5,6].

Table 1. Comparison of the performance of various light sources [4]

Lamp Type	Efficiency	Ra	Lifetime	Environmental safety	Price
Incandescent Bulb	×	○	×	○	○
Fluorescent Lamp	△	△	△	×	○
Metal Halide Lamp	△	△	△	×	△
Sodium Vapour Lamp	○	×	△	×	△
OLED Lamp	×	△	×	○	×
LED	×	△	○	○	×
CNT Lamp	△	△	△	○	△

* Ra : average roughness [○ : Excellent, △ : fair, × : poor]

따라서 형광체의 열화 방지를 이룰 수 있는 방법은 저온에서 완전히 소성되는 형광체 paste를 제조하여 적용하는 것이다. 즉, 형광막 내부에 있는 바인더를 저온에서 완전히 소성시키게 되면, 종래의 형광막에 비해 휘도 상승효과를 자연스럽게 얻을 수 있으며, 또한 형광체 고유의 광을 100% 발현시킬 수 있다는 점에서 장점을 가진다.

따라서 본 연구에서는 형광체의 열화가 일어나지 않는 온도인 400°C에서 소성을 진행하였고, 이때의 잔탄이 1 wt%이하가 되도록 하는 것을 연구의 목표로 하였다. LCD BLU에 적용 가능한 면광원용 저온 소성 형광체 paste를 제조하였고, 그 특성을 검토하였다.

2. 실험

2.1. 재료

저온소성용 형광체 paste의 피막 물성 및 인쇄 적성을 좌우하는 바인더 레진은 열가소성 타입의 아크릴수지(SK-CYTEC(주))를 이용하였고, 물성을 Table 2 에 나타내었다. 그리고 면광원의 휘도를 발현하는 형광체는 전자선 여기 형광체를 대상으로 하였으며, 형광체의 수명 연장과 분산성 향상 및 발광효율을 높이기 위한 목적으로 SiO₂ 표면처리가 되어진 Red (Y₂O₃:Eu, Tb₄O₇, 580~640nm), Green (ZnS, 450~620nm), Blue (ZnS:Ag, Al, 350~510nm) 형광체를 사용하였다[7,8]. 용제는 terpeneol을 사용하였고, 첨가제는 형광체와 바인더 레진과의 습윤성 향상과 paste의 침전방지 및 저장안정성을 높일 수 있는 분산제 (Dispers 651, Tego)와 paste 제조시 발생하는 기포를 방지하는 소포제 (BYK 066N, BYK-Chemie)를 첨가하였으며 그 특성을 Table 3 에 나타내었다.

2.2. Paste의 제조

백색으로 발광하기 위해 Table 4 의 조합비로 R, G, B형광체를 적절하게 혼합하였고, 상기의 재료를 분산성, 젖음성, 인쇄시의 유동성을 고려하여 Table 5와 같은 조합비로 혼합하여 제조하였다[9]. Paste의 제조 순서는 바인더 레진과 용제,

Table 2. Synthesis conditions of resin for phosphor paste

Resin number	Molecular formula	Properties of binder resin	
FPL-01	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2 - \text{C} \\ \\ \text{O} = \text{C} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$ <p>MMA</p>	Molecular weight	50,000~70,000
		T _g (°C)	57.0
		Viscosity (cps)	35,000~30,000
		Solid (N.V.,%)	35
FPL-13	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2 - \text{C} \\ \\ \text{O} = \text{C} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n \left[\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C} - \text{C} \\ \quad \\ \text{H}_2 \quad \text{CO} \\ \\ \text{OH} \end{array} \right]_m$ <p>MMA-AA</p>	Molecular weight	20,000
		T _g (°C)	80.0
		Viscosity (cps)	120,000~100,000
		Solid (N.V.,%)	40
FPL-10	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2 - \text{C} \\ \\ \text{O} = \text{C} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n \left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C} - \text{C} \\ \quad \\ \text{H}_2 \quad \text{COO} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{OH} \end{array} \right]_m$ <p>MMA-2-HEMA</p>	Molecular weight	60,000~80,000
		T _g (°C)	65.0
		Viscosity (cps)	19,000~9,000
		Solid (N.V.,%)	10
FPL-03	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2 - \text{C} \\ \\ \text{O} = \text{C} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{C}_2\text{H}_5 \end{array} \right]_n$ <p>EMA</p>	Molecular weight	30,000~40,000
		T _g (°C)	75.4
		Viscosity (cps)	21,000~20,000
		Solid (N.V.,%)	40

Table 3. The specifications of additives

Types of additives	Major component	% Solid	Solvent
Tego 651	Modified polyether	29~31%	Water
BYK 066N	Polysiloxane solution	0.3%	Diisobutylketone

Table 4. Recipe of phosphor (wt%)

Red	Green	Blue	Total
20	36.9	43.1	100

Table 5. Recipe of phosphor pastes

Composition Paste	Composition				
	Phosphor	Resin	Solvent	Dispersing agent*	Defoamer*
Paste(1) FPL-01	65	24.5	10.5	1 phr	1 phr
Paste(2) FPL-13	65	23	12	1 phr	1 phr
Paste(3) FPL-10	65	27	8	1 phr	1 phr
Paste(4) FPL-03	65	25	10	1 phr	1 phr

* phr : per hundred ratio

분산제를 혼합한 후, Thinky Mill (Japan)을 이용하여 바인더를 제조하였고, 여기에 형광체를 첨가하여 혼합한 후, 3-Roll Mill (EXAKT 80S, Germany)을 이용하여 분산시킴으로서

paste를 완성하였다. 이러한 paste의 제조공정을 Figure 2에 나타내었다.

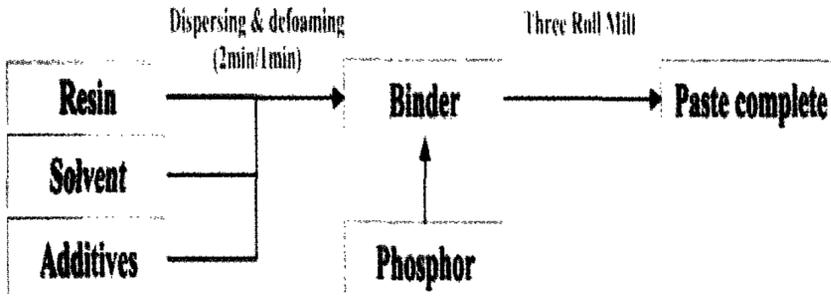


Figure 2. Manufacturing process of phosphor paste.

2.3. 형광막 형성

2.3.1. 인쇄

제조된 형광체 paste를 SUS #200 mesh 로 제판된 스크린 판을 이용하여 인쇄하였다. 사용한 인쇄기는 LSP-560L (Line system, Korea) 반자동 스크린 인쇄기이며, 이 때의 인쇄 조건은 스크린 인쇄판과 피인쇄체 사이의 간격은 2.5 mm이고, 스퀴지(squeegee) 압력은 7 kg/cm² 로 하였으며, 스퀴지 각도는 80°, 인쇄속도는 0.125 m/s, 도포속도는 0.2 m/s로 하였다. 인쇄된 형광막은 열풍 건조기(Jisico)를 이용하여 120°C에서 15 min간 건조시켜 형성하였다.

2.3.2. 소성

소성은 형광막 바인더의 열분해 특성을 기초로 하여 맞추어 400°C까지 분당 5°C씩 승온한 후 400°C를 유지함으로써 형광막 내부에 존재하는 바인더 성분을 태워서 제거하였다. 만약 소성 후에도 형광막 내부에 바인더 성분이 잔존하게 되면 형광체의 휘도 및 수명에 악영향을 끼치므로 본 연구에서는 형광체의 열화가 일어나지 않는 온도인 400°C에서의 소성시에 잔탄이 1%이하가 되도록 하는 것을 목표로 하였다. 이러한 제조공정을 Figure 3에 나타내었다.

2.4. 측정

혼합된 형광체의 발광색상은 254 nm 자외선을 여기원으로 하여, SpectraScan Spectroradiometer (PR-650, USA)를 사용해 측정하였다. 형광체 paste의 저장 안정성은 Rheometer HAAKE RheoScope 1 (HAAKE, Germany)을 이용하여 plate-plate type 으로 gap 0.8 mm, 센서지름 35 mm, 측정 온도 23°C에서 검토하였다. 형광체 paste용 바인더 레진의 열분해 특성은 TGA (Perkin-Elmer, USA)와 석영 glass를 사용해 검토하였다. 석영 glass를 사용한 측정 방법은 석영 glass에 바인더 레진을 2 g 넣고 이를 150°C에서 15시간 건조한 후의 중량과, 400°C

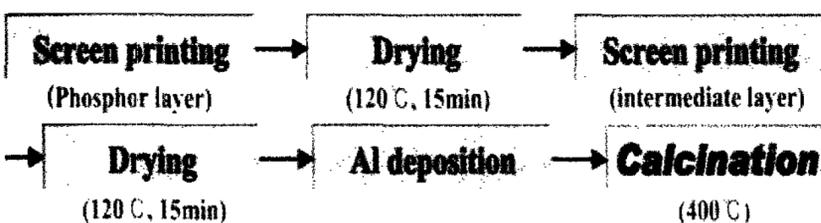


Figure 3. Manufacturing process of phosphor layer and intermediate layer.

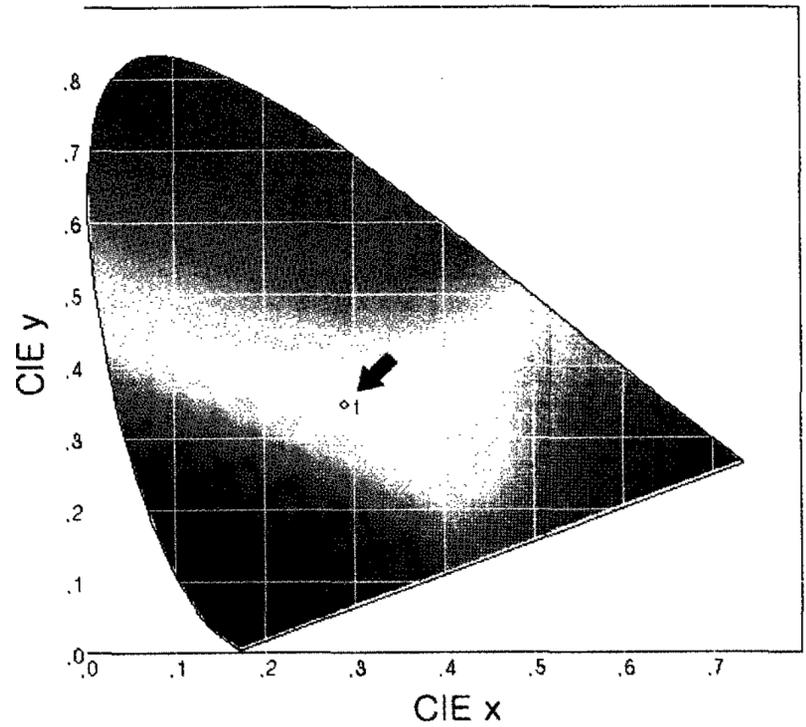


Figure 4. The location of the blended phosphor in the CIE color coordinates (x=0.2957, y=0.3481).

(5°C/min 승온)에서 소성한 후에 잔류하는 바인더 레진의 중량을 서로 비교하여 wt%로 나타내었다. 형광막의 소성 특성은 paste를 인쇄, 건조, 소성 후 SEM (Hitachi S-2400, Japan) Image를 통해 검토하였으며, 400°C (5°C/min 승온)에서 소성을 진행한 후의 형광체에 대한 상대휘도는 소성전을 기준으로 하여 Cathodoluminescence (CL) Spectrophotometer (JEOL JSM-6490LV, Japan-Gatan MonoCL3+, USA)를 사용하여 가속전압 10 kV, 전류밀도 4 μA/cm²에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 백색광의 구현

본 연구에서는 red, green, blue 형광체를 적절하게 혼합하는 방법으로 백색광을 구현하였다. Red는 특성상 장파장영역에 있어서 광에너지가 약하기 때문에 많은 양을 사용해야 하

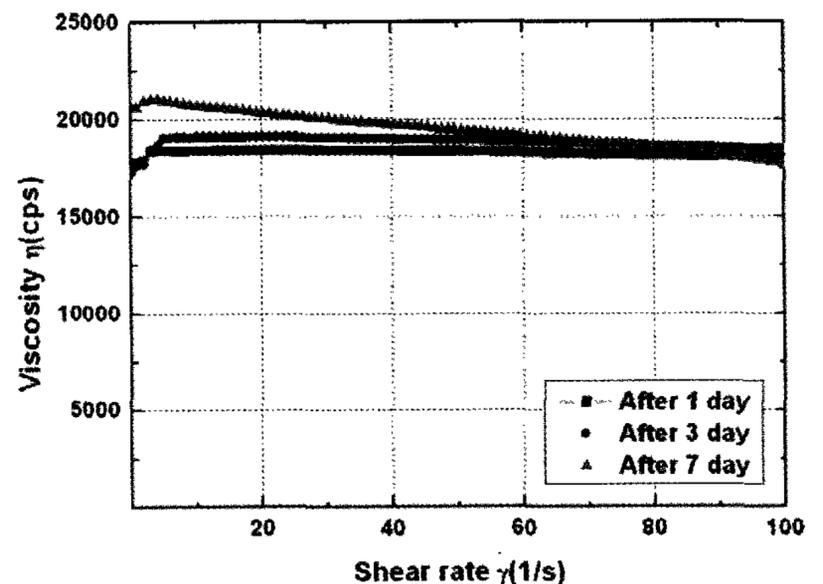


Figure 5. Storage stability of phosphor paste.

고, green은 우리 눈이 보기에 시인성이 가장 좋으므로 적은 양으로도 쉽게 분별할 수 있다. Blue는 단파장 영역이라 광에너지가 크기 때문에 적은 양으로도 강한 에너지를 발현할 수 있으므로, Table 4와 같은 조합비로 혼합하여 조합해 본 결과 CIE 색좌표에서 Bluish-white ($x=0.2957, y=0.3481$)로 발광하는 최적의 조합비를 찾아낼 수 있었다[10]. 이를 Figure 4에 나타내었다.

3.2. 형광체 paste의 저장 안정성

형광체 paste의 저장 안정성은 점도의 경시변화를 통해 검토하였다. 그 결과 Figure 5와 같이 일주일간은 점도 변화가 거의 일어나지 않았으나, 일주일 이후부터 점도 상승이 일어났으며, 그 이후에는 gel화가 일어나 점도를 측정할 수 없었다.

3.3. 형광체 paste용 바인더 레진의 열분해 특성

바인더 레진은 여러 가지 탄소성분으로 이루어진 고분자이다. 그러므로 바인더 레진의 내부에 있는 분자사슬들은 열에너지를 받게 되면 결합이 끊어지게 되고, 소성이 진행되면서 여러 가지 형상으로 남게 된다. 이와 같이 바인더 레진 성분은 소성을 통해 대부분 제거되어지지만, 만약 재(ashes)와 같이 되거나 혹은 검게 그을린 형상으로 남아 있게 된다면, 결국 형광체가 발광할 때에 발광효율이 낮아지게 되는 원인이 되므로 BLU로는 불리한 점이 있다[11]. 이와 같이 형광체 paste의 바인더 성분 중 많은 양을 차지하고 있는 바인더 레진의 열분해 특성은 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서 사용된 형광체 paste용 바인더 레진들의 열분해 특성을 TGA로 측정하였고, 그 결과는 Figure 6과 같다.

형광체에 대한 습윤성과 인쇄적성 향상을 목적으로 도입한 FPL-13과 FPL-10(극성기를 갖는 바인더 레진)은 바인더 레진 내부에 있는 -COOH 와 -OH 로 인해 결합 구조가 강해져서 높은 온도에서도 열분해가 되지 않은 것을 확인 할 수 있고, 극성기가 없는 FPL-01과 FPL-03의 경우에는 본 연구에서 목표로 하고 있는 400℃에서 잔탄이 1wt% 이하(FPL-01 : 0.034, FPL-03 :

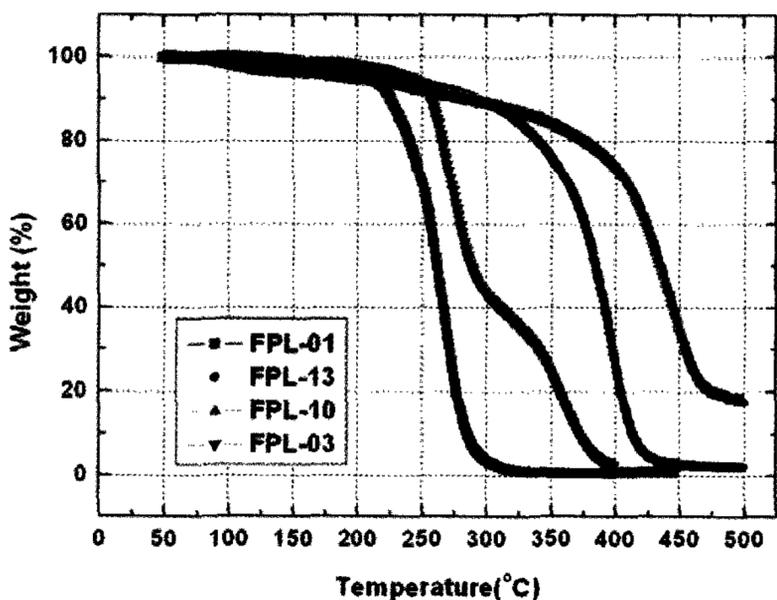


Figure 6. Thermal decomposition behavior of binder resin for phosphor paste.

Table 6. Residual carbonaceous materials wt% of binder resin for phosphor paste after calcination at 400℃

Binder resins	Figure Numbers in Figure 7	Residual carbonaceous materials
FPL-01	(a)	0.034
FPL-13	(b)	5.539
FPL-10	(c)	19.396
FPL-03	(d)	0.813

0.813)로 남는 우수한 열분해 특성을 나타내는 것을 알 수 있다. 또한 석영 shell을 사용해 400℃에서 소성한 뒤 그 형상을 관찰하여 Table 6과 Figure 7에 나타내었는데, FPL-01과 03은 레진 성분이 완전히 제거되어 깨끗한 형상을 보인 반면, FPL-13과 10은 레진 성분이 완전히 제거되지 않은 불완전한 열분해 특성을 관찰할 수 있었다.

3.4. 소성 후 형광막의 표면과 휘도

바인더 레진의 열분해 특성이 우수하더라도 형광체 사이에 레진이 들어가면 형광체와의 상호작용으로 인해 소성특성이 달라질 수 있다. 바인더 레진들로 4가지의 paste를 제조하여 형광막을 형성한 후 400℃에서 소성하여 그 표면 형상 및 휘도를 측정 한 결과를 Table 7에 나타내었다.

Paste(2) 와 paste(3) 은 바인더 레진의 열분해 특성 결과에서 알 수 있듯이 잔류하는 바인더 레진의 성분이 많으므로 현미경 사진 상에서도 검은 형상이 보이는 것을 확인할 수 있었지만,

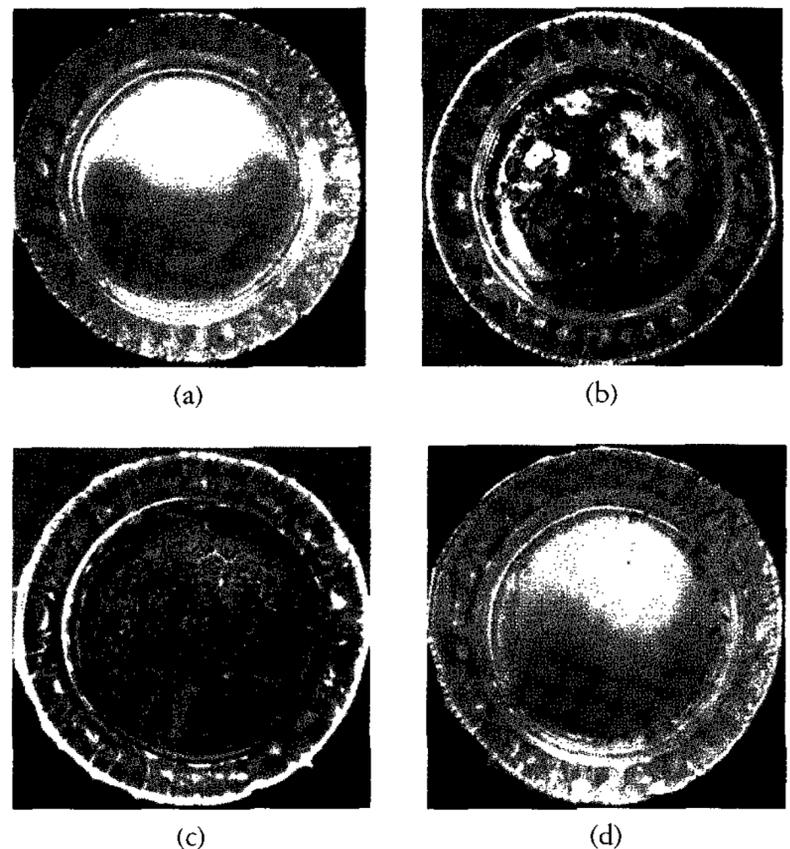
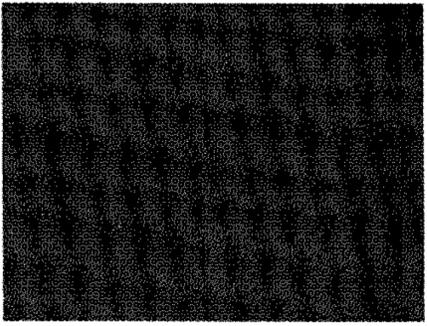
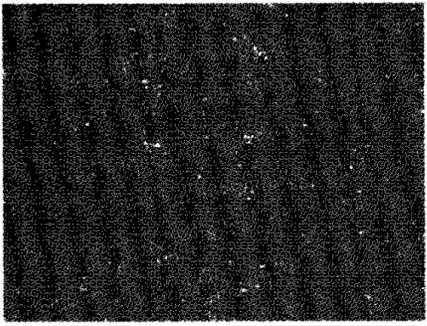
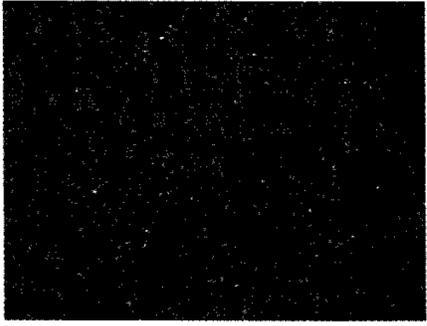
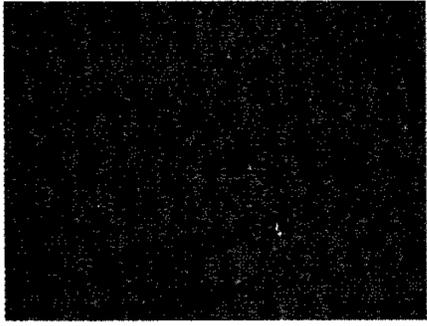
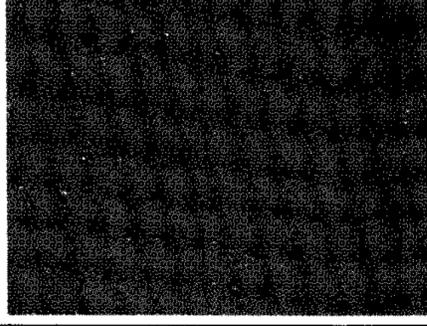
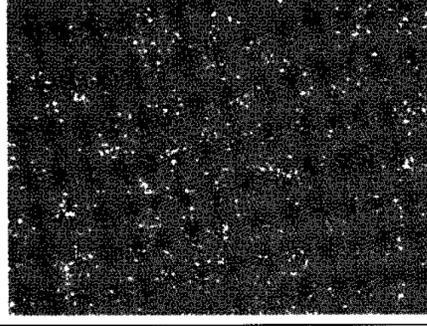


Figure 7. Residual carbonaceous materials of binder resin for phosphor paste after calcination at 400℃.

Table 7. Surface & luminance of phosphor layer after calcination at 400°C
 (acceleration voltage : 10 kV, current density : 4 μ A/cm², magnification : $\times \sim 20$)

Property Paste	Reflection	Transmission	Luminance (cd/m ²)
Paste(1) FPL-01			1351
Paste(2) FPL-13			1315
Paste(3) FPL-10			1308
Paste(4) FPL-03			1335

paste(1) 과 paste(4) 의 경우에는 바인더 레진의 열분해 특성이 우수하여 검은 형상이 없는 깨끗한 형광막이 얻어지는 것을 알 수 있었다. 여기서 주목할 것은 paste(4) 의 경우로서, 현미경 사

진상 불규칙한 표면으로 형성된 것을 확인할 수 있고, 휘도도 paste(1) 에 비해 낮은 값으로 측정된 것을 알 수 있다. 이를 바인더 레진의 열분해 특성과 함께 고려해 보면, 형광체 paste의 바인더 레진은 모두 열분해 되었지만, 소성되는 과정에서 바인더 레진과 형광체간의 상호작용이 발생하여 형광체 표면에 손상을 주어서 형광체간의 응집을 일으킨 것으로 사료된다. 이와 같은 현상이 발생하게 되면 백라이트로서의 백색 균일성(white uniformity) 면에서 문제가 된다. 따라서 열분해 특성과 현미경 표면 측정, 그리고 휘도 측정 결과에 따라, 극성기가 없고 methylmethacrylate(MMA) 모노머 구조로 합성된 FPL-01가 형광체 paste용 바인더 레진으로 가장 적합한 것을 알 수 있었다. 그리고 좀 더 정확히 형광막 속에 있는 바인더 레진의 잔류 여부를 관찰하기 위해 paste(1) 로 형성된 형광막을 소성한 후 SEM으로 관찰하여 Figure 8 에 나타내었다. 그 결과 형광막 내에 바인더 레진이 남아 있지 않은 깨끗한 형상을 확인할 수 있었다.

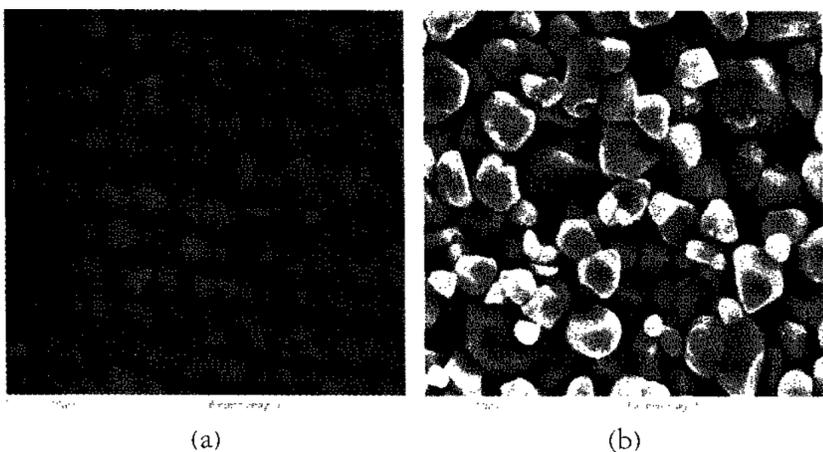


Figure 8. SEM of phosphor layer (a) before and (b) after calcination (magnification : $\times 3000$).

Table 8. Luminance of flat light source measured for phosphor before and after calcination

Phosphor pastes	Luminance (cd/m ²)		Contrast ratio of luminance
	Before calcination	After calcination	
EC	2706	2645	97.7
Paste(1)	2706	2638	97.4

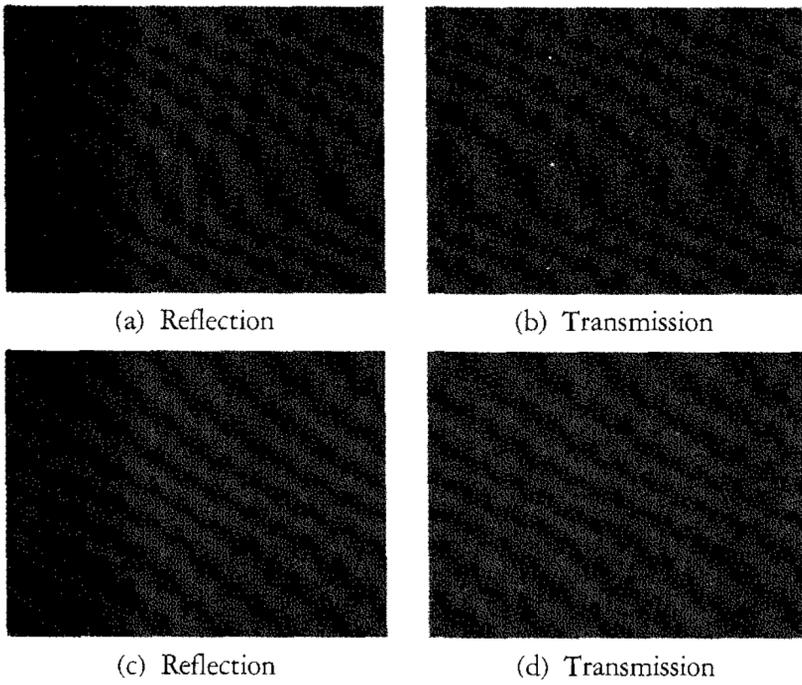


Figure 9. Shapes and colors of surfaces of phosphor layers after calcination ((a) and (b) are for EC calcined at 470°C, and (c), (d) are for paste(1) calcined at 400°C.).

3.5. 휘도 측정

종래의 EC(ethyl cellulose) 바인더 레진으로 제조한 형광막과 본 연구에서 제조한 paste(1)의 형광막을 각각의 열분해 특성에 맞추어 소성을 행하여서 그 표면 형상을 관찰하였고, Al 증착후 소성하여 형광체에 대한 상대휘도를 측정하였다. 그 결과로서 종래의 EC 바인더 레진으로 제조한 형광막과 동일한 막이 얻어졌으며, 소성하기 전의 형광체 휘도(2706 cd/m²)에 대해 100%에 가까운 상대휘도 값을 나타내었다. 이와 같은 결과를 Figure 9와 Table 8에 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 면광원용 저온소성 형광체 paste 특성을 측정하기 위해 스크린 인쇄 방식으로 실험을 진행하였고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 저온소성 형광체 paste의 바인더 레진에는 열분해시 결합구조를 강하게 하는 극성기가 없어야 하며, methylmethacrylate(MMA) 모노머 구조로 합성된 바인더 레진의 경우가 400°C에서 잔탄이 0.1wt% 이하로 남는 우수한 열분해특성을 나타내었다.

2) 형광체 paste의 바인더 레진은 스스로의 열분해 특성도 우수해야 하지만, 소성시 형광체와 바인더 레진 간의 상호작용을 일으키지 않아야한다. 상호작용으로 인해 형광체 표면에 활성을 주게 되면 형광체 간의 응집력이 강화되게 되고 결과 불균일한 막이 얻어지므로 BLU로서 가져야하는 요소 중의 하나인 백색 균일성(white uniformity)의 문제가 발생한다.

3) 본 연구에서 제조한 아크릴 type의 paste와 EC type의 paste로 각 바인더 레진의 열분해 특성에 맞추어 소성을 진행하여 면광원을 제작해 본 결과 형광체 휘도에 대해서 100%에 가까운 상대휘도 값을 나타내었다.

참고문헌

- Kim, G. H., "A PMMA Composite as an Optical Diffuser in a Liquid Crystal Display Backlight Unit (BLU)," *Eur. Polym. J.*, **41**, 1729 (2005).
- Park, H. I., Byun, J. S., and Lee, S. Y., "Flat Fluorescent Lamp Backlight Technology of Liquid Crystal Display TV," *Proceedings of the KIIEE*, **19**(1), 8 (2005).
- Lee, S. J., Kim, N. G., Lee, J. C., Park, N. J., and Park, D. H., "Electric Properties of Mercury-free Xe EEFL," *J. Korean Inst. Elect. Electron. Mater. Eng.*, Vol 20, No 7, 650 (2007)
- http://nanopacific.com/project/light_5.asp?on_f=1
- Bizzari, G., and Moine, B., "On BaMgAl₁₀O₁₇ : Eu²⁺ Phosphor Degradation Mechanism : Thermal Treatment Effects," *J. Lumin.*, **113**, 199-213 (2005).
- Kim, K. B., Koo, K. W., Cho, T. Y., and Chun, H. G., "Effect of Heat Treatment on Photoluminescence Behavior of BaMgAl₁₀O₁₇ : Eu Phosphors," *Mater. Chem. Phys.*, **80**, 682-689 (2003).
- Kim, G. H., Kim, W. J., Kim, S. M., and Son, J. G., "Analysis of Thermo-physical and Optical Properties of a Diffuser Using PET/PC/PBT Copolymer in LCD Backlight Units," *Displays*, **26**, 37-43 (2005).
- Ito, Y., Komeno, A., Uematsu, K. Toda, K., and Sato, M., "Luminescence Properties of Long-persistence Silicate Phosphors," *J. Alloy. Compd.*, **408-412**, 907-910 (2006).
- Liu, C., and Heo, J., "Generation of White Light from Oxy-fluoride Nano-glass Doped with Ho³⁺, Tm³⁺ and Yb³⁺," *Mater. Lett.*, **61**, 3751-3754 (2007).
- Jung, M. K., Park, W. J., and Yoon, D. H., "Photoluminescence Characteristics of Red Phosphor Eu³⁺, Sm³⁺ Co-doped Y₂O₃ for White Light Emitting Diodes," *Sensor. Actuat. B*, **126**, 328-331 (2007).
- Manfredi, L. B., Rodri'guez, E. S., and Wladyka-Przybylak, M., and Vazquez, A., "Thermal Degradation and Fire Resistance of Unsaturated Polyester, Modified Acrylic Resins and Their Composites with Natural Fibres," *Polym. Degrad. Stabil.*, **91**, 255-261 (2006).