

LCD 면광원용 저온 소성 Paste 특성 연구

이동욱[†], 이미영, 남수용

[†]부경대학교 대학원 인쇄공학과, 부경대학교 공과대학 인쇄공학과

(2008년 2월 1일 접수, 2008년 2월 18일 최종 수정본 접수)

A Study on the Characteristics of Low Temperature Calcined Paste for LCD Flat Light Source

Dong-Wook Lee[†], Mi-Young Lee, Su-Yong Nam

[†]Department of Graphic Arts Engineering, Graduate School, Pukyong National University, Division of Image & Information, College of Engineering, Pukyong National University

(Received 1 February 2008, in final from 18 February 2008)

Abstract

BLU is a important part of the most representative LCD at flat panel display. In order to supplement the optical special quality which LCD cannot light itself, BLU is an essential property to supply with same brightness on the screen. In this study we have manufactured and characterized the low temperature calcined paste that can be used as a flat light source for LCD BLU. For the phosphor paste and intermediate 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 0.2wt% at 400°C.

1. 서 론

LCD는 전자 디스플레이 소자로서 동화상을 구현하기 위해서는 별도로 뛰어난 특성을 가지는 광원이 필요하며, LCD의 광원 역할을 하는 것을 백라이트(backlight)라고 한다. 그리고 액정 모듈의 후면에서 빛을 조사시키기 위한 광원 자체를 포함하여 광원 구동을 위한 전원 회로 및 균일한 평면광이 되도록 해주는 일체의 부속물로 이루어진 복합체를

Backlight Unit(BLU)라고 한다.¹⁾ BLU는 빛의 조사 방식에 따라 에지형(edge type) BLU와 직하형(direct type) BLU, 그리고 면광원형(plat light source type) BLU로 분류되고 있다. 하지만, 근래에는 휙도 향상과 박형화 그리고 친환경적인 요구조건이 높아짐에 따라 면광원에 대한 연구가 진행되고 있다.^{2~3)}

면광원형 BLU를 얻기 위한 방법으로는 납작한 형광등을 만드는 방법, FED(Field Emission Display)와 같이 CNT에서 방출되는 전자를 형광체에 충돌시켜 빛을 내는 방법, PDP와 같이 전기방전에 의하여 UV를 발생시킨 후 형광체에서 가시광선을 발생하는 방법, 무기 EL(Electroluminescence), 유기 EL 방법 등이 있다.⁴⁾ 이와 같은 방법 가운데 본 연구에서 제작한 면광원은 기본적으로 FED와 같은 구조로 설계하였다. Fig. 1과 같이 유리 기판상에 캐소드(cathode)와 전이 금속(transition metal)으로 전극을 형성한 후 그 위에 전자를 방출할 수 있는 소스(source)를 정렬시킨다. 상판 유리에는 투명전극(transparent electrode)과 형광막(phosphor layer), 중간막(intermediate layer), 광반사막(metal back layer)을 형성한다.

중간막은 형광막과 광반사 효율을 높이기 위해 증착된 알루미늄(Al) 광반사막 사이에 존재하는 막으로써 형광막이 다양한 입경으로 존재하는 형광체로 이루어져 있기 때문에 불균일한 표면으로 존재하여 형광막의 거친 표면을 평탄화하고 알루미늄 광반사막과 형광막 사이의 일정한 갭을 유지시켜 주는 목적을 가지고 있다. 또한 형광막의 바인더 수지가 소성에 의해 열분해될 때 수지가 타는 공간을 마련해 주는 역할도 중간막이 하고 있다. 중간막의 형성방법은 슬러리(slurry)와 인쇄방식 모두 가능하며, 광반사막을 중간막 위에 형성한 후 소성을 거치게 되면 유기물로 이루어진 중간막은 제거되고 광반사막만 남게 된다.

광반사막은 광반사를 목적으로 하여 사용되는 불투명한 금속막으로서, 소스에서 가속 전자가 발생되면 형광층이 여기되어 가시광선이 나오게 되는데 이 광은 패널 앞쪽만 아니라 뒤쪽으로도 가게 되어 발광효율 저하의 원인이 된다. 이를 후방 산란(back scattering)이라고 하는데, 이러한 현상에 의한 휙도 손실을 최소화하기 위하여 광반사율이 높은 금속막을 형성하여 뒤쪽으로 가는 가시광선을 패널의 앞쪽으로 반사시켜 휙도 상승의 역할을 한다. 주로 알루미늄 재료를 사용하게 되는데, 알루미늄은 빛의 약 90%정도를 반사시킬 수 있으며, 비중이 작기 때문에 에너지의 손실 없이 전자가 통과할 수 있다는 장점이 있다. 다만, 중간막을 이루는 유기물에 의해 전자의 에너지가 상쇄되지 않도록 유기물을 제거하는 소성을 거치게 되는데, 이때 발생되는 유기물 분해가스로 인해 금속막이 부풀어 올라 패널 구동성의 저하를 발생시키므로 부풀음의 방지가 중요하다.⁵⁾ 이와 같이 형광막과 중간막을 형성하기 위해서는 소성을 통해 paste 내부에 존재하는 바인더 성분을 태워서 제거해야 한다. 만약 소성 후에도 내부에 바인더 성분이 잔존하게 되면, 형광체의 휙도 및 수명이 감소하는 결과를 초래하여 신뢰성에 문제가 발생하게 된다. 현재 형광체 paste에 사용하고 있는

레진은 ethyl cellulose type로서 이를 완전히 열분해 하기 위해서는 470°C정도의 고온이 필요하다. 하지만 이와 함께 혼합되는 형광체는 420°C이상의 온도가 가해지면 열화가 발생하고, 470°C에서 그 휘도가 약 30% 정도로 저하하게 된다.

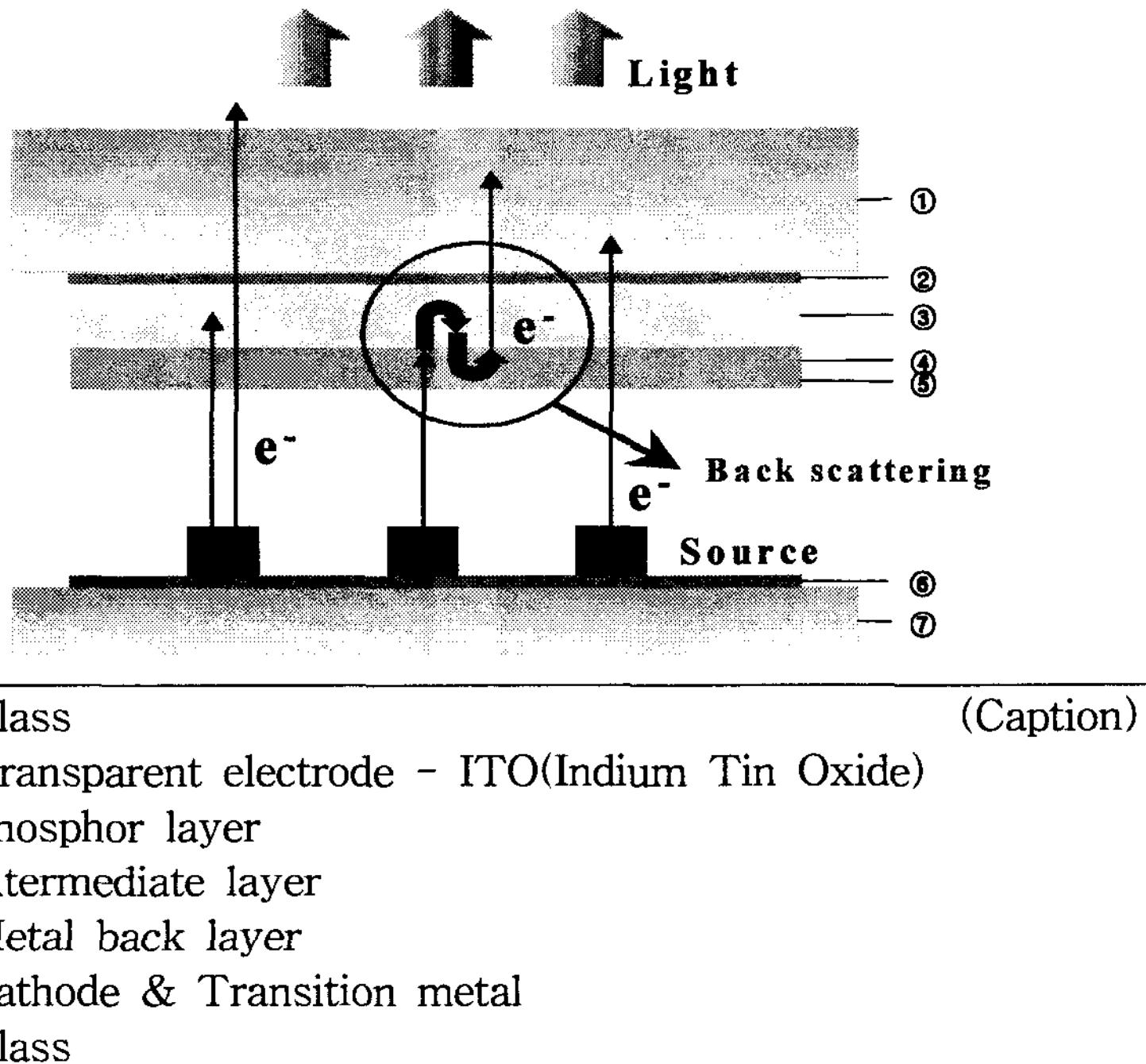


Fig. 1. Basic structure of flat light source.

따라서 형광체의 열화 방지와 휘도 저하를 방지하기 위해서는 저온에서 완전히 소성되는 paste를 제조하여 적용하는 것이 중요하다. 즉, 저온에서 형광막과 중간막 내부의 바인더를 완전히 소성시키게 되면, 형광체 고유의 광을 100% 발현시킬 수 있으므로 별도의 장치 없이 휘도를 상승시킬 수 있게 된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 면광원용으로 저온 소성 형광체 paste 및 중간막 paste를 제조하였고, 스크린 인쇄를 통해 형광막과 중간막을 형성하였으며, Al막을 증착하여 소성후 휘도 및 형상을 관찰하였다.

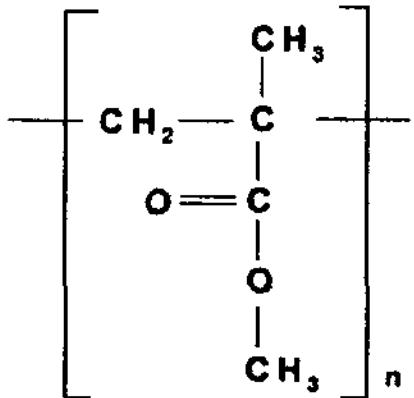
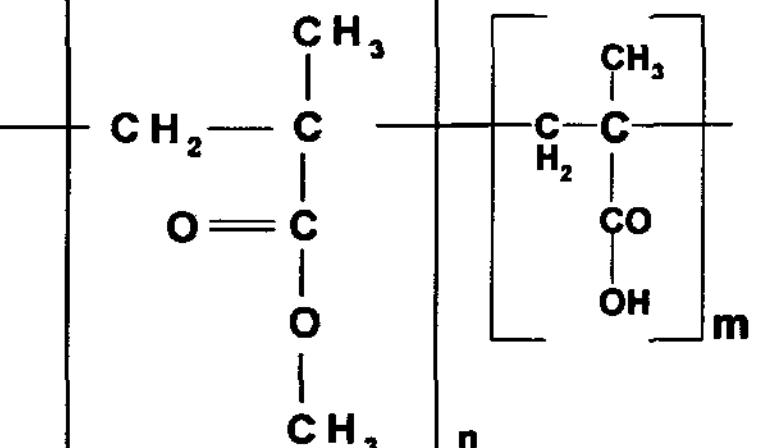
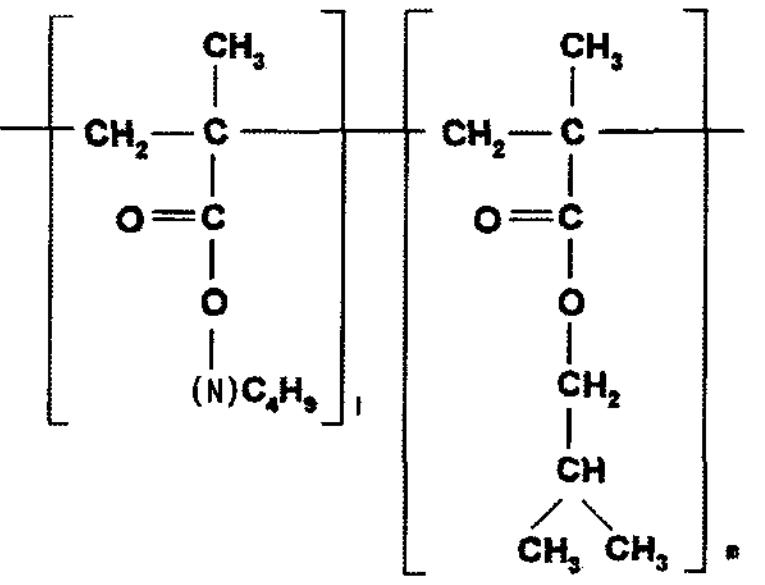
2. 실험

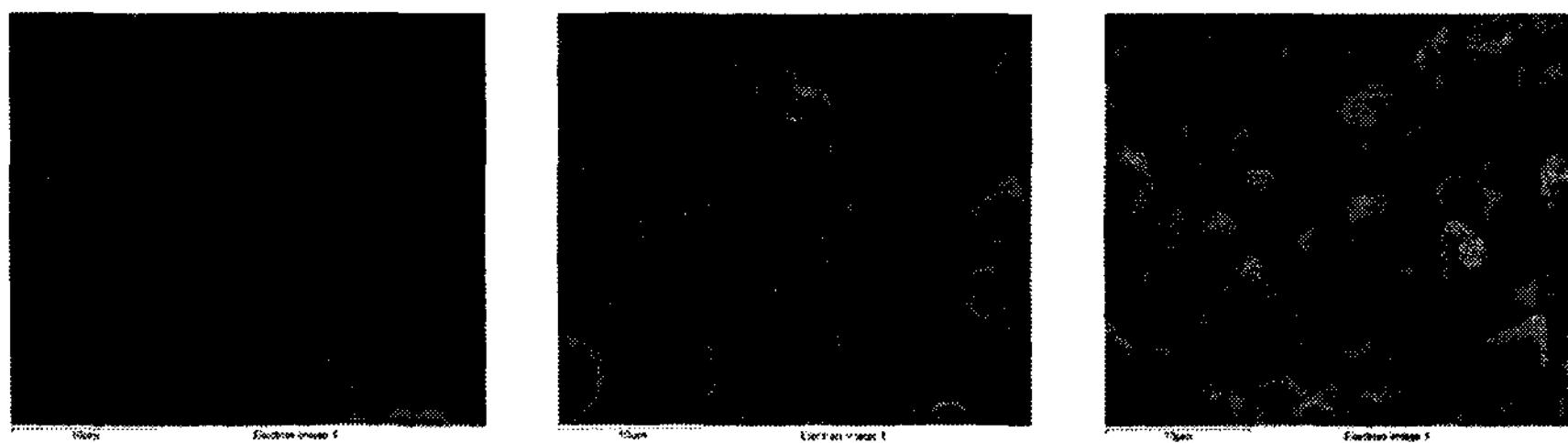
2-1. 실험 재료

형광체 paste의 피막 물성 및 인쇄 적성을 좌우하는 바인더 레진은 저온 소성형 아크

릴수지(FPL-01, SK-CYTEC(주))를 이용하였고, 중간막 paste용 바인더 레진은 형광체 paste용 바인더 레진과는 다르지만, 저온에서 소성 가능한 아크릴수지(B-350, FPL-02, 한석소재(주))를 사용하였으며, 그 물성은 Table 1에 나타내었다. 면광원의 휘도를 발현하는 형광체는 Fig. 2와 같은 형상을 갖는 전자선 여기 형광체를 대상으로 하였으며, 표면에 SiO_2 가 처리된 red(R), green(G), blue(B) 형광체를 사용하였다.^{6~7)} 첨가제는 형광체와 바인더의 습윤 향상과 paste의 침전방지 및 저장 안정성을 높일 수 있는 습윤 분산제(Dispers 651, Tego)와 페이스트 제조시 발생하는 기포를 방지하는 소포제(BYK 066N, BYK)를 첨가하였다.

Table 1. Synthetic Conditions of Binder Resin for Phosphor Paste and Intermediate Paste

Item	Molecular Formula	Properties of Binder Resin	
FPL-01		Molecular Weight	50,000~70,000
		T_g (°C)	57.0
		Viscosity (cps)	35,000~30,000
		Solid (N.V.%)	35
B-350	MMA	Base Solvent	Terpineol
		Molecular Weight	15,000~20,000
		T_g (°C)	70.0
		Viscosity(cps)	35,000~30,000
FPL-02	MMA-MAA	Base Solvent	NMP
		Molecular Weight	150,000~250,000
		T_g (°C)	54.5
		Viscosity(cps)	500
n-BMA-i-BMA	Solid(N.V.%)	15	
	Base Solvent	ECA	



Red

Green

Blue

Fig. 2. The SEM image of R, G, B phosphors.

2-2. 형광막 paste 제조

백색으로 발광하기 위해 Table 2의 조합비로 R, G, B 형광체를 적절하게 혼합하였고, 상기의 재료를 분산성, 젖음성, 인쇄시의 유동성을 고려하여 Table 3과 같은 조합비로 혼합하여 제조하였다.⁸⁾

Table 2. Recipe of Phosphor

	Red	Green	Blue	Total
Phosphor	20	36.9	43.1	100

Table 3. Recipe of Phosphor Paste

	Phosphor	Resin	Solvent	Dispersing Agent	Defamer
Paste FPL-01	65	24.5	10.5	1phr	1phr

paste의 제조 순서는 바인더 레진과 용제, 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 제조 공정을 Fig. 3에 나타내었다.

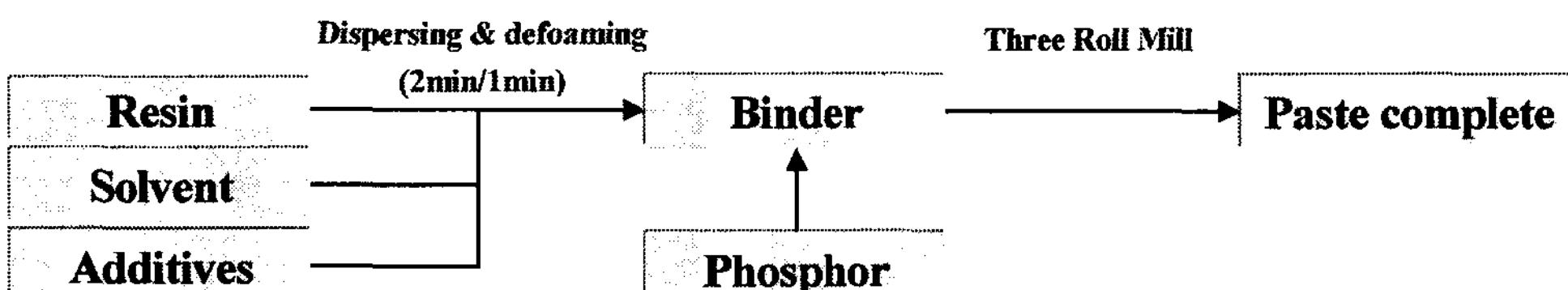


Fig. 3. Manufacturing process of phosphor paste.

2-3. 중간막 paste의 제조

중간막은 소성에 의해 열분해 되는 과정에서 형광막과 광반사막에 영향을 주지 않아야 한다. 따라서 열분해에 중요한 인자로 작용하는 고형분을 중심으로 하여 B-350의 경우, Table 4와 같이 고형분 함량을 달리하여 4종류의 paste를 제조하였고, FPL-02의 경우에는 낮은 고형분 함량으로 합성되었기에, Table 5와 같이 고형분 함량을 높여서 그 특성을 검토하였다.

Table 4. Recipe of Intermediate Layer Paste(B-350)

	Paste A	Paste B	Paste C	Paste D
Resin	90	80	70	60
Solvent	10	20	30	40
Solid(N.V,%)	40.5	36	31.5	27

Table 5. Recipe of Intermediate Layer Paste(FPL-02)

	Paste A	Paste B
Resin	15	25
Solvent	85	75
Solid(N.V,%)	15	25

중간막 paste의 제조 방법은 형광체 paste의 제조 공정과 동일하게 교반탈포를 행함으로써 paste를 완성하였으며, 그 공정을 Fig. 4에 나타내었다.

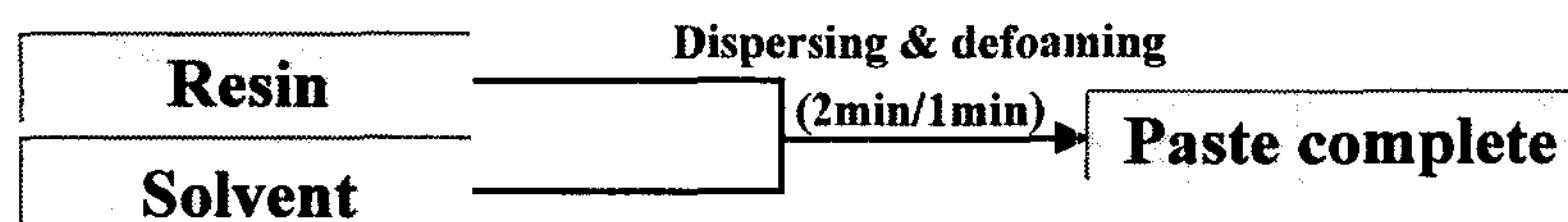


Fig. 4. Manufacturing process of intermediate layer paste.

2-4. 형광막과 중간막 형성

2-4-1. 스크린 인쇄

제조된 형광체 paste를 SUS #325mesh로 제판된 스크린 판을 이용하여 인쇄하였다. 사용한 인쇄기는 LSP-560L(Line System, Korea) 반자동 스크린 인쇄기이며, 이때의 인쇄 조건으로는 스크린 인쇄판과 피인쇄체 사이의 간격은 2.5mm가 되도록 하였고, 스퀴지 압력은 스퀴지가 망사에 접촉하였을 때를 0으로 한 뒤, 0.5mm정도로 압이 더 가해지도록 하였으며, 스퀴지 각도는 80°, 인쇄 속도는 0.125m/s, 도포 속도는 0.2m/s로 하였

다. 인쇄된 형광막은 열풍 건조기(Jisico)를 이용하여 120°C에서 15min간 건조시켜 형성하였고, 이후 동일한 조건으로 인쇄하여 중간막을 형성하고 건조하였다.

2-4-2. 소성

소성은 형광체 paste와 중간막 paste의 바인더 레진을 열에 의해 제거하는 공정이다. 소성을 통해 발생되는 유기물 분해가스는 형광막과 중간막 상부에 있는 알루미늄 광반사막에 영향을 끼치게 되어, 금속막이 부풀어 올라 패널 구동성의 저하를 일으키므로 부풀음의 방지가 매우 중요하다. 따라서 소성은 형광막 바인더와 중간막 바인더의 열분해 특성을 각각 기초로 하여 광반사막의 부풀음이 발생하지 않도록, 분당 5°C씩 승온하였고, 400°C에서 유지함으로써 형광막과 중간막 내부에 존재하는 바인더 성분을 태워서 제거하였다.

또한 소성 후에도 형광막 내부에 바인더 성분이 잔존하게 되면 형광체의 휘도 및 수명에 악영향을 끼치게 되므로 본 연구에서는 형광체의 열화가 일어나지 않는 온도인 400°C에서 소성시에 잔탄이 1wt%이하가 되도록 하는 것을 목표로 하였다. 이러한 제조 공정을 Fig. 5에 나타내었다.

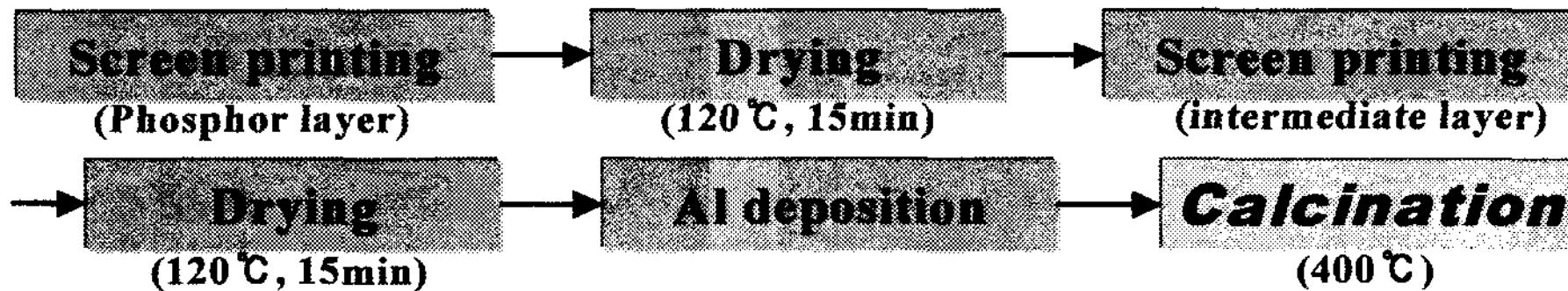


Fig. 5. Manufacturing process of phosphor layer and intermediate layer.

2-5. 측정

혼합된 형광체의 발광색상은 254nm 자외선을 여기원으로 하여 SpectraScan spectroradiometer (PR-650, USA)를 사용해 측정하였다. 형광체 paste와 중간막 paste에서 바인더 레진의 열분해 특성은 TGA(Perkin-elmer, USA)와 석영 glass를 사용해 검토하였다. 석영 glass를 사용한 측정 방법은 석영 glass에 바인더 레진을 2g 넣고, 이를 150°C에서 15시간 건조한 후의 중량과 400°C(5°C/min 승온)에서 소성한 후에 잔류하는 바인더 레진의 중량을 서로 비교하여 wt%(weight percent)로 나타내었다. 형광막의 소성 특성은 paste를 인쇄, 건조, 소성후 SEM(Hitachi S-2400, Japan) 형상을 통해 검토하였으며, 형광체의 휘도는 Cathodoluminescence (CL)을 사용해서 소성전을 기준으로 하여 400°C(5°C/min 승온)에서 소성 공정을 진행한 후의 형광체에 대한 상대휘도(JEOL JSM- 6490LV, Japan-Gatan MonoCL3+, USA)를 가속전압 10kV, 전류밀도 4μA/cm²에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 백색광의 구현과 색재현 영역

본 연구에서는 R, G, B 형광체를 적절하게 혼합하는 방법으로 백색광을 구현하였고, Table 2와 같은 조합비로 혼합하여 조합해 본 결과 CIE 색좌표에서 Bluish-white ($x=0.2957$, $y=0.3481$)로 발광하는 최적의 조합비를 찾아낼 수 있었으며, 이를 Fig. 6에 나타내었다.

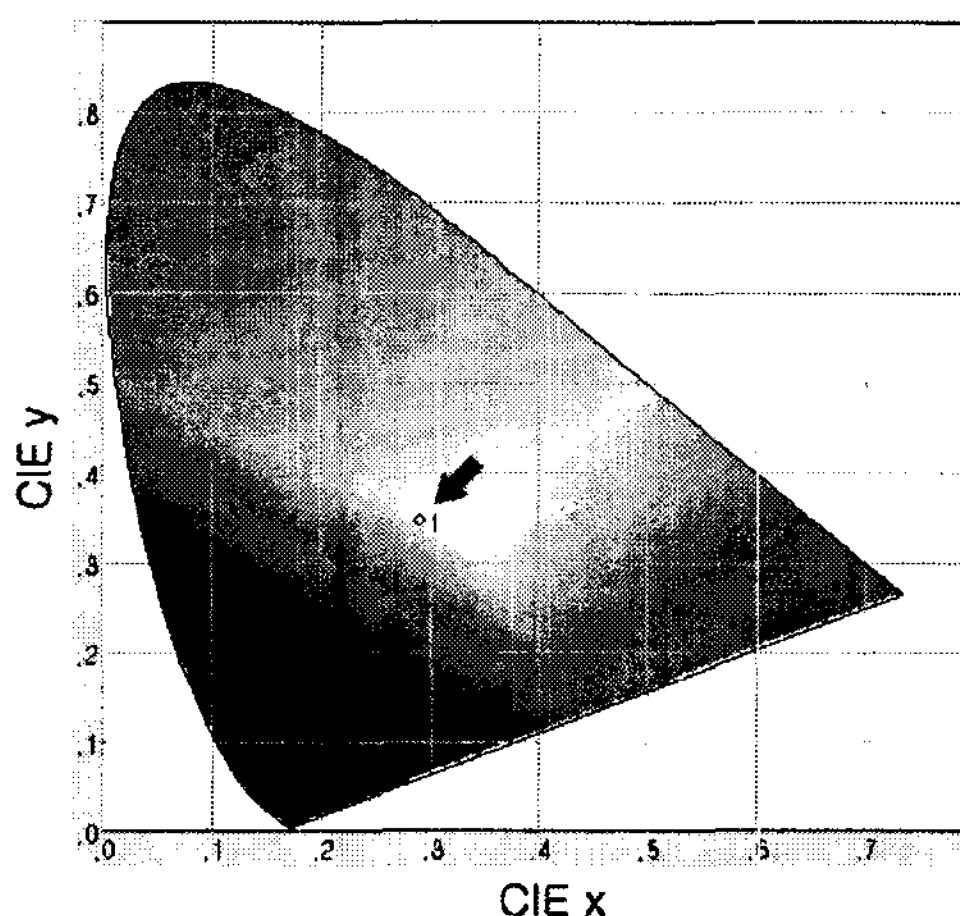


Fig. 6. The location of the blended phosphor in the CIE color coordinates ($x=0.2957$, $y=0.3481$).

3-2. 형광체 paste용 바인더 레진

3-2-1. 형광체 paste용 바인더 레진의 열분해 특성

바인더 레진은 여러 가지 탄소성분으로 이루어진 고분자이므로 바인더 레진의 내부에 있는 분자 사슬들은 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 결과를 갖게 된다.⁹⁾

이와 같이, 형광체 paste의 바인더 성분 중 많은 양을 차지하고 있는 바인더 레진의 열분해 특성은 매우 중요하다고 할 수 있다. 사용된 형광체 paste용 바인더 레진의 열분해 특성을 TGA와 석영 glass로 측정한 결과, 본 연구에서 목표로 하고 있는 400°C 에서 잔탄이 1wt% 이하로 남는 우수한 열분해 특성을 갖는 것을 알 수 있었고, 실험 결과를 Fig. 7, 8에 각각 나타내었다.

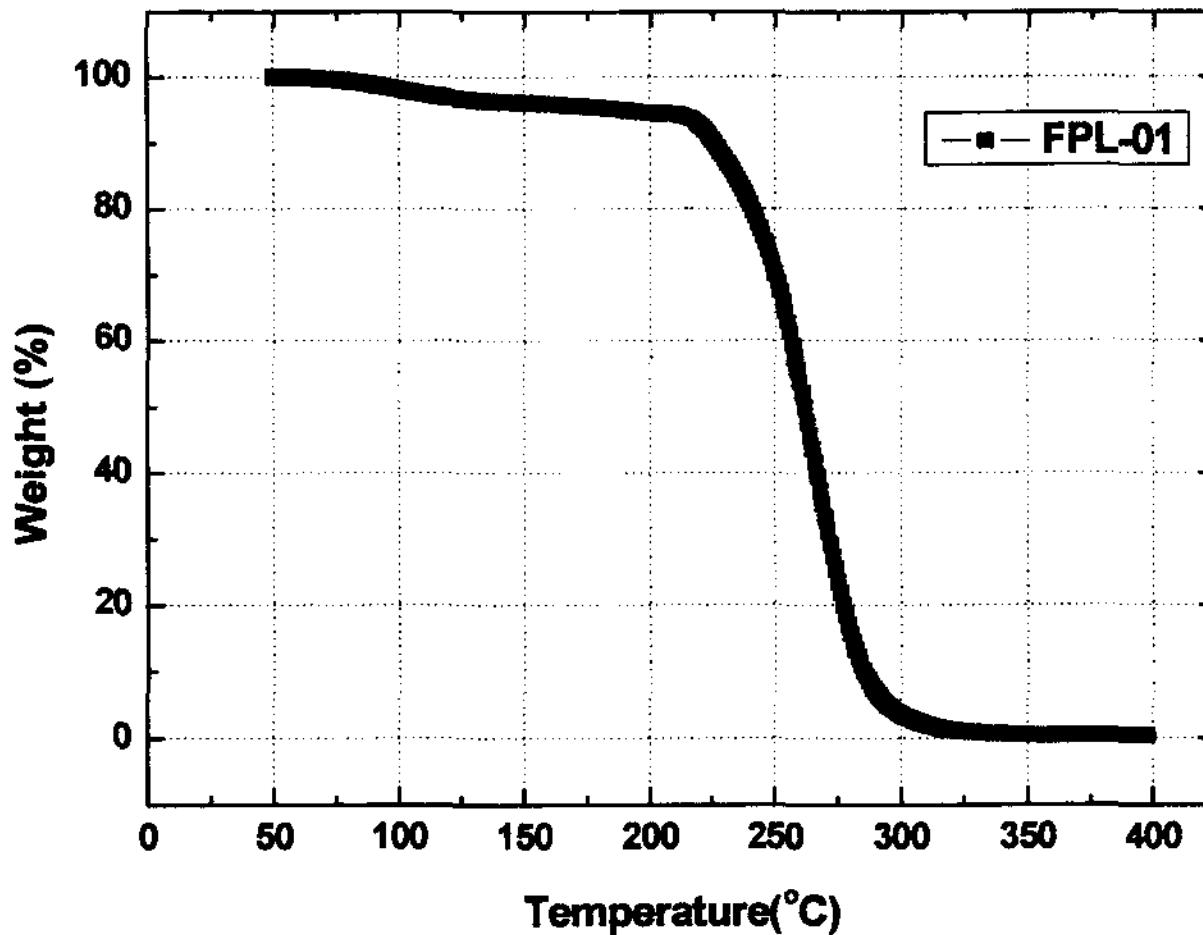


Fig. 7. Thermal decomposition behavior of binder resin for phosphor paste.

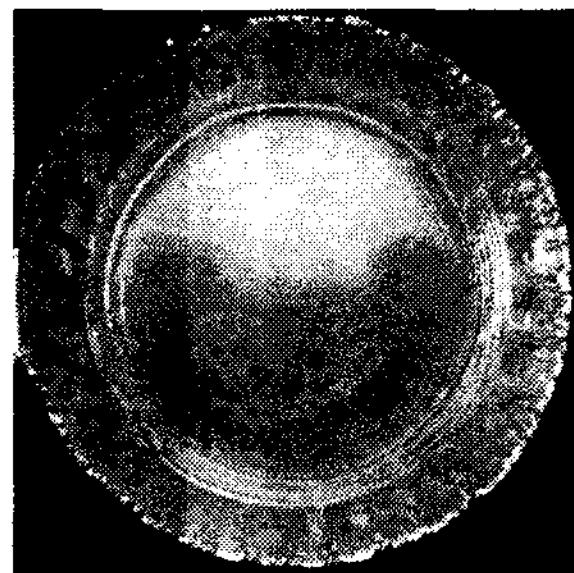


Fig. 8. Residual carbonaceous materials of binder resin for phosphor paste after calcination at 400°C(residual carbonaceous materials : 0.034).

3-3. 중간막 paste용 바인더 레진

3-3-1. 중간막 paste용 바인더 레진의 열분해 특성

중간막은 형광막 위에 광반사막을 형성하는데 필요한 막이기에 형광막의 거친 표면을 평탄화해야 하고, 광반사막과 형광막 사이의 일정한 간격을 유지하여 형광체 paste용 바인더 레진의 소성시, 유기 가스에 의한 광반사막의 손상이 일어나지 않도록 해야 한다.

이와 같은 중간막의 요구 특성과 형광체 paste용 바인더 레진의 실험을 기초로 하여 400°C 이하에서 소성되는 여러 가지 바인더 레진을 검토해본 결과, 형광체 paste용 바인더 레진보다 중간막의 열분해 온도가 높은 경우가 우수한 특성을 나타내었다. 이는 형광

체 paste용 레진이 열분해될 때에 중간막이 그 형상을 유지하여 형광막에서 발생되는 유기 가스에 의한 광반사막의 부풀음을 방지함으로써 나타난 결과라고 판단된다.

중간막용 레진의 열분해 특성을 TGA와 석영 glass를 통해 측정한 결과, Fig. 9, 10과 같이 두 종류의 바인더 레진은 열분해 특성이 모두 우수한 것을 알 수 있었다. 따라서 중간막의 요구특성인 평활도와 휘도로써 중간막용 바인더 레진을 검토하였다.

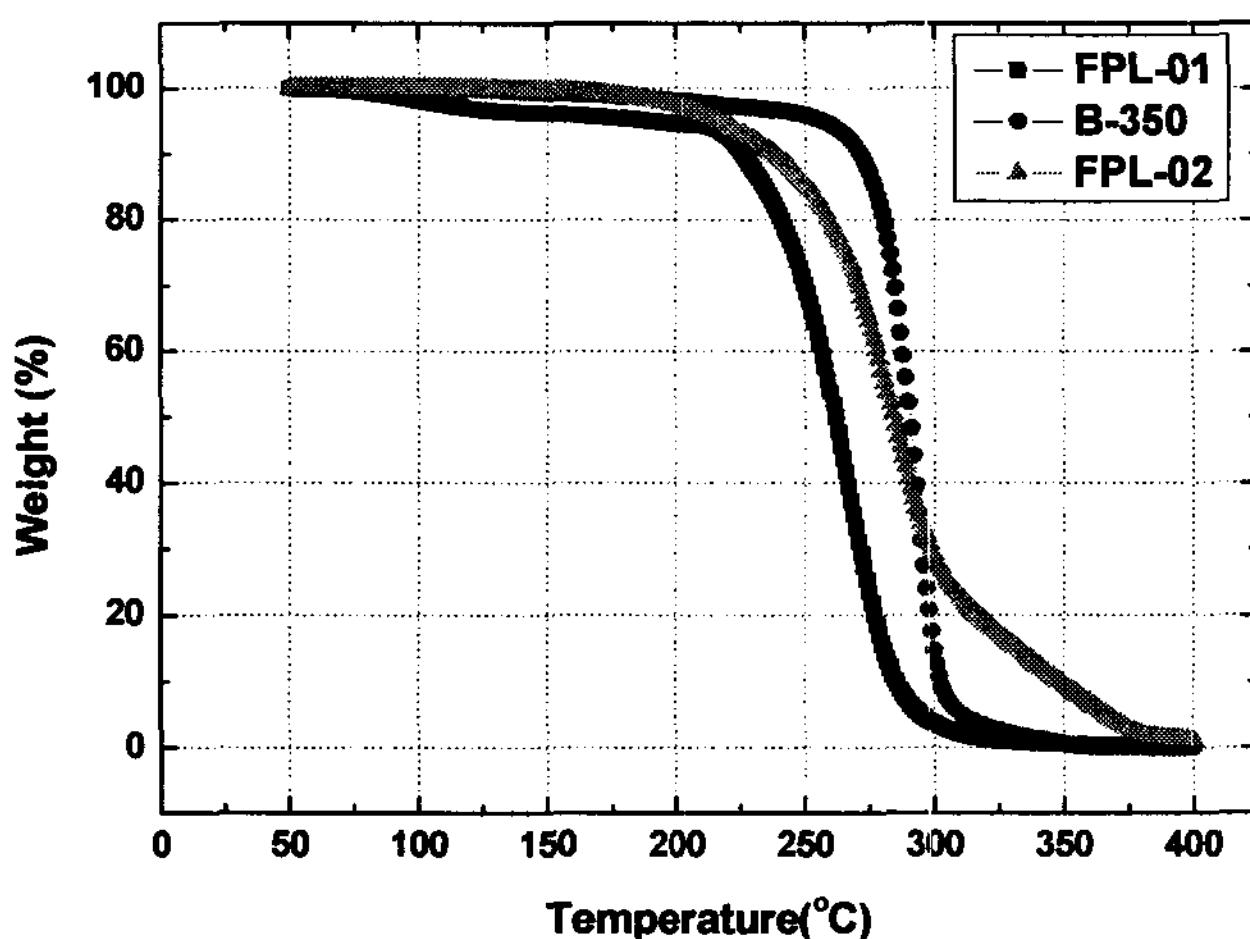
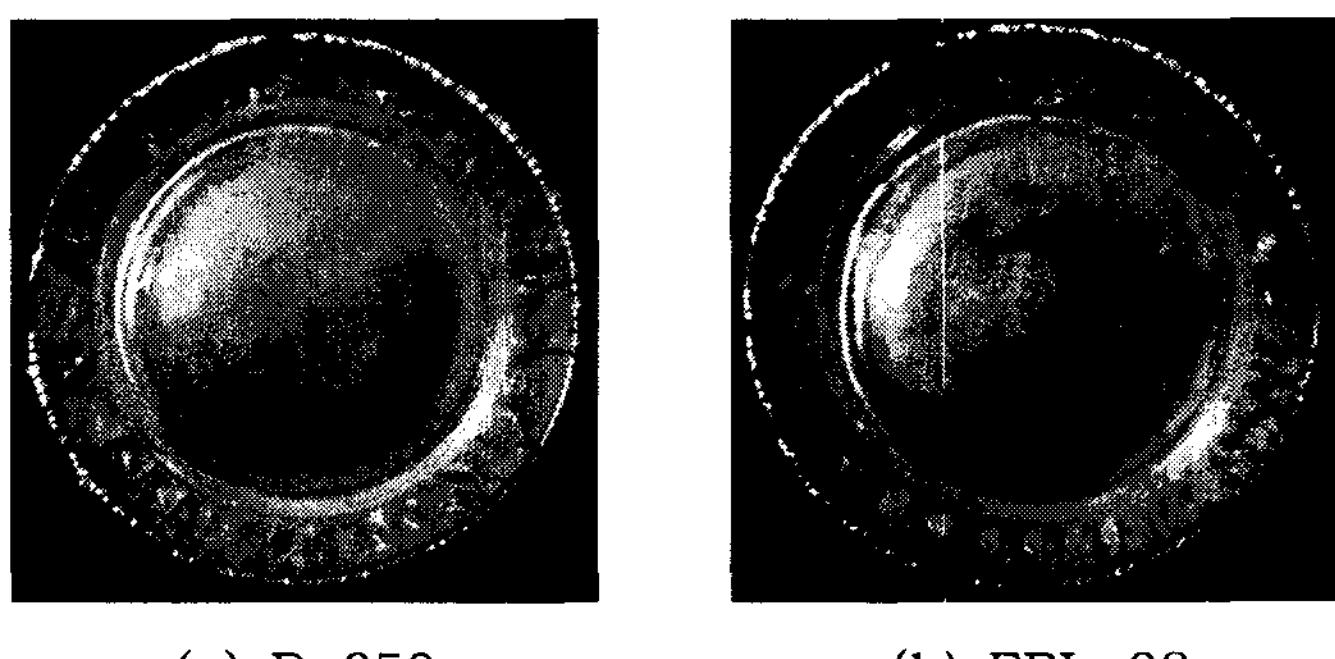


Fig. 9. Thermal decomposition behavior of binder resin for intermediate layer paste.



(a) B-350

(b) FPL-02

Fig. 10. Residual carbonaceous materials of binder resin for phosphor paste after calcination at 400°C(residual carbonaceous materials (a) : 0.028, (b) : 0.188).

3-3-2. 중간막의 단면과 Al 증착 후 표면 및 휘도

형광체 paste를 사용하여 형광막을 형성하였고, 예비 실험 결과 1~1.5 μ m정도로 동일한 두께가 형성되었던 Paste C(B-350)와 Paste B(FPL-02)를 중간막용 paste로 정하여 인

쇄한 후, Al을 증착하였고, 400°C에서 소성하여서 그 특성을 검토하였다. 이러한 결과를 Fig. 11에 나타내었다.

2종류의 중간막 페이스트용 바인더 레진은 모두 400°C 이전에서 열분해가 완료되는 특성을 나타내었지만, 그 중 열분해 특성이 더욱 우수하고, 높은 휘도값을 나타낸 B-350을 중간막 paste용 바인더 레진으로 선정하였다.

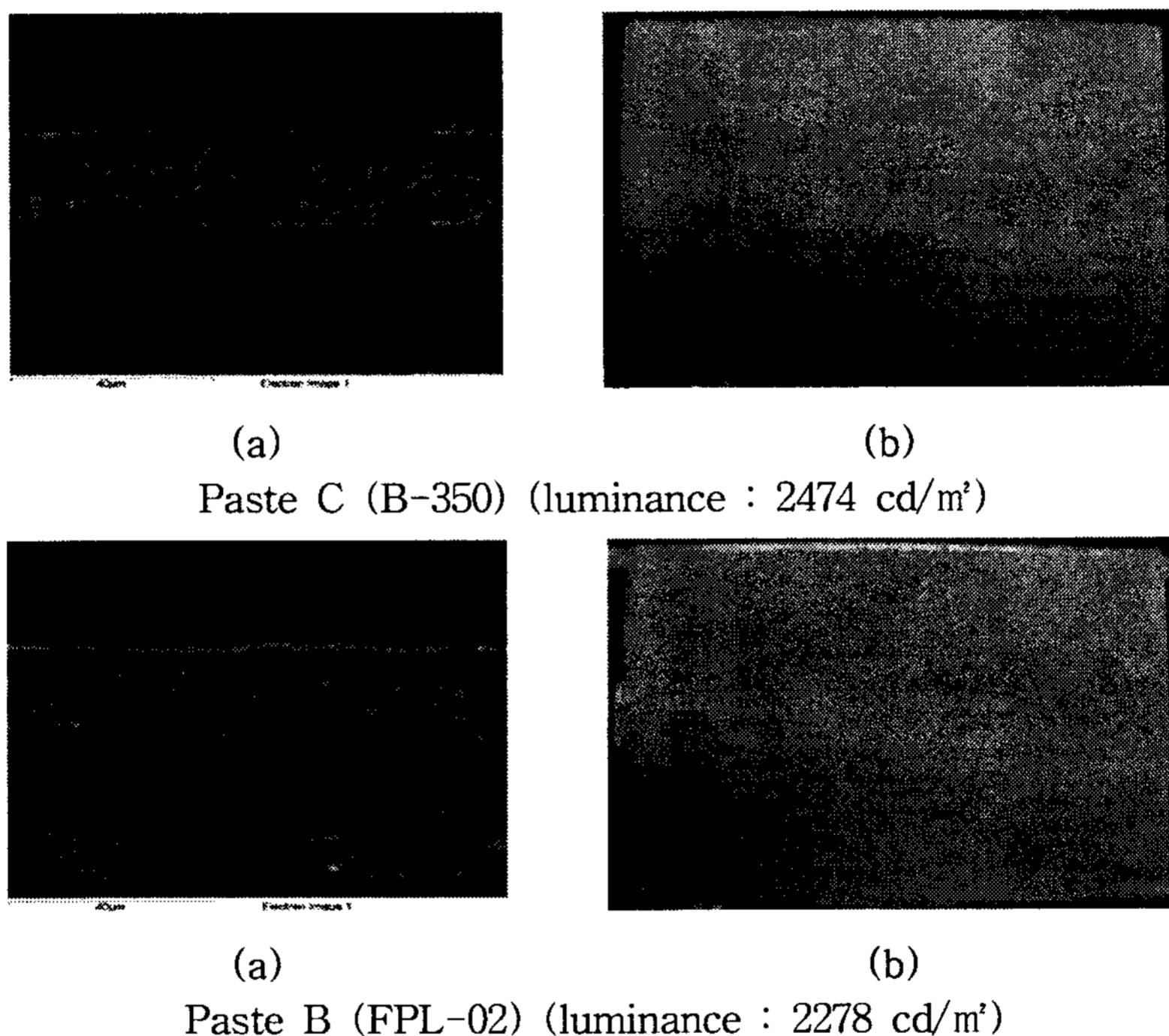


Fig. 11. Cross section(a) of intermediate layer and surface(b) after calcination at 400°C

3-4. 형광막과 중간막 소성특성

형광체 paste에 사용된 바인더 레진의 열분해 특징을 살펴보았지만, 좀 더 정확히 형광막과 중간막 속에 있는 바인더 레진의 잔류여부를 관찰하기 위해 형광막을 소성한 뒤 SEM으로 관찰해 보았다. Fig. 12의 결과와 같이 형광막내에 바인더 레진이 남아 있지 않은 깨끗한 형상을 확인할 수 있었고, 또한 이 형광막 위에 B-350으로 제조한 중간막을 소성한 결과도 동일한 형상을 나타내었다.

3-5. 광반사막 형성

광반사막의 효율은 중간막이 형광막 표면을 얼마나 평활하게 덮고 있는가에 따라 달라진다. 중간막의 두께가 너무 얇을 경우 표면 불균일로 인해 휘도가 낮아지게 될 것이

며, 또한 두께가 너무 두꺼울 경우에는 중간막용 바인더 레진의 열분해로 인해 광반사막의 손상이 일어나게 될 것이다. 따라서 중간막의 두께를 고형분 함량으로 조정하여 4종류의 paste를 제조하였고, 이때의 점도를 Fig. 13에 나타내었다. 이 paste들을 사용하여 중간막까지 형성한 후, 단면과 두께를 측정하였고, Al 증착 후, 400°C에서 소성하여 표면 형상을 관찰하였으며, 마지막으로 휨도를 측정하여 그 특성을 검토하였다. 이와 같은 결과를 Fig. 14에 나타내었다.

고형분 함량이 작아질수록 점도가 낮아져서 중간막의 두께가 얇아지는 것을 알 수 있었고, 또한 막의 평활도도 불균일해져서 휨도값도 낮아지는 것을 알 수 있었다. Paste A의 경우에는 가장 후막으로 인쇄되어 평활한 막이 얻어졌지만, 중간막의 고형분으로 인해 Al막의 부풀음이 발생하여 휨도를 측정할 수 없었다. 따라서 평활한 막이 얻어지고, Al막의 부풀음이 없으며, 높은 휨도 값을 나타낸 Paste B의 경우가 최상이라고 판단된다.

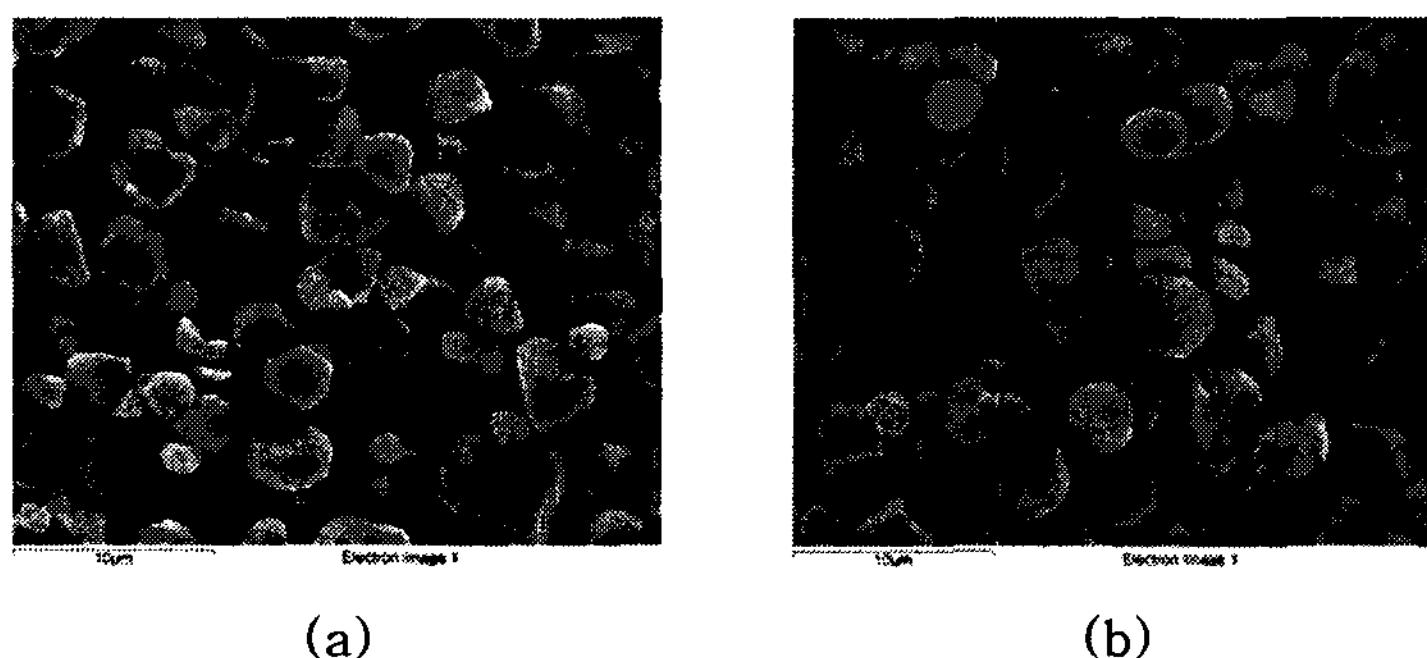


Fig. 12. SEM of phosphor layer(a) and intermediate layer(b) after calcination (magnification : $\times 3000$).

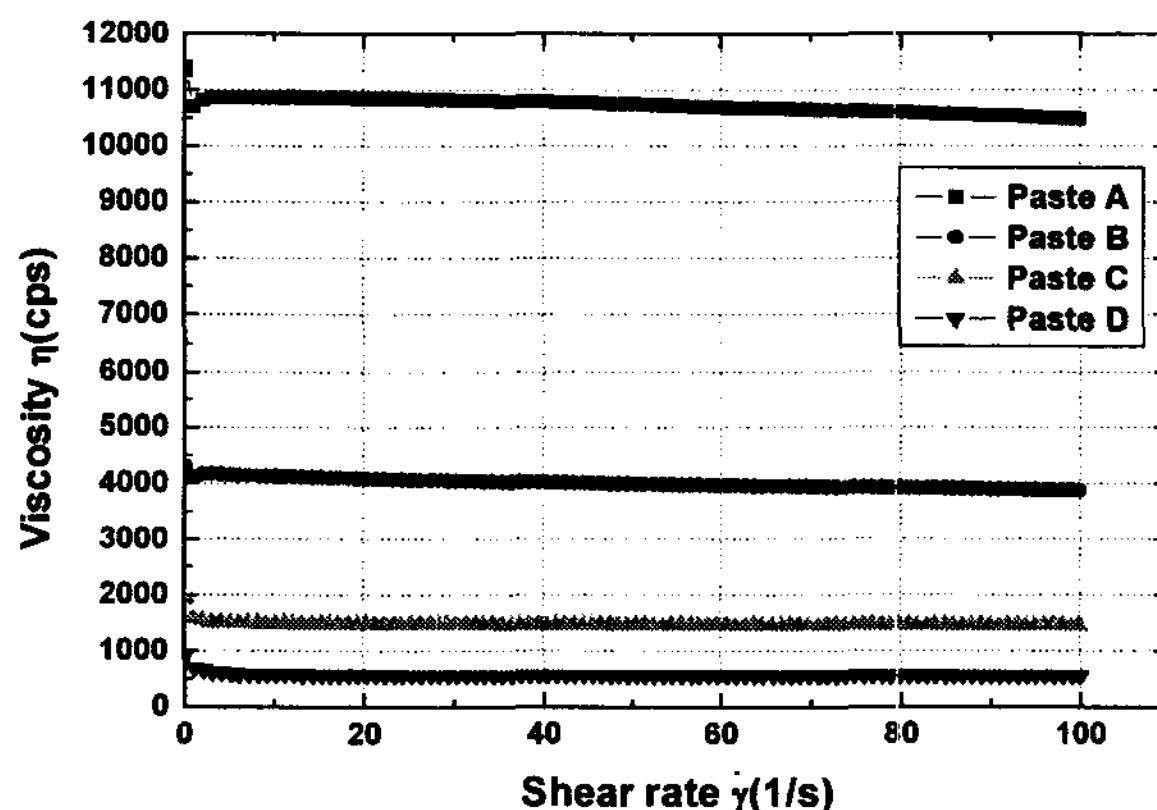
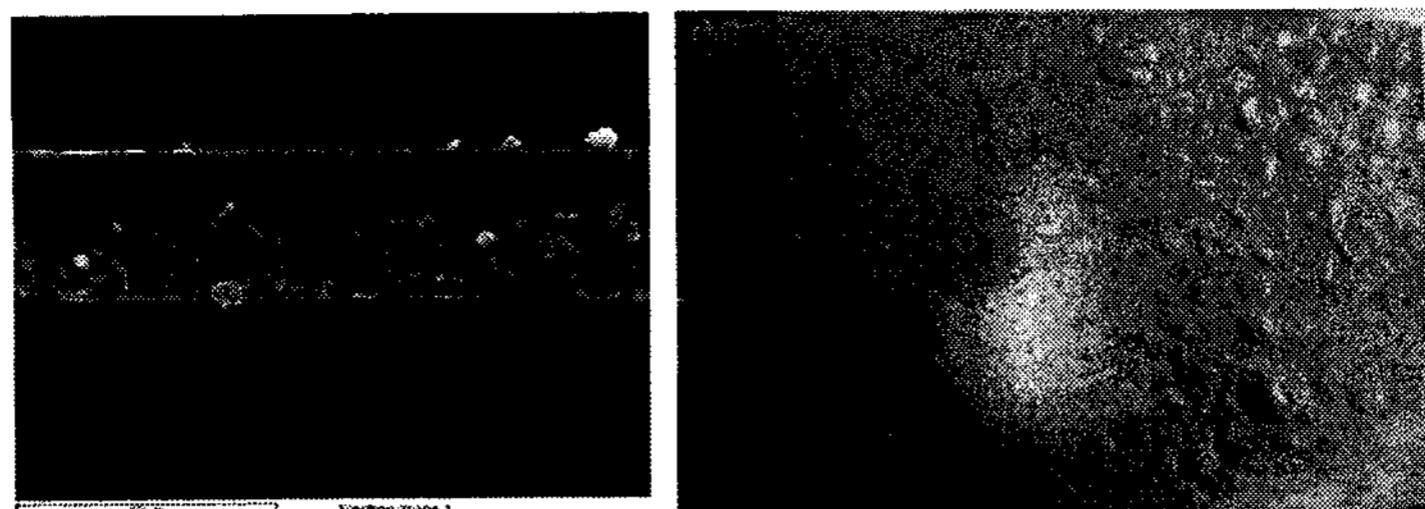


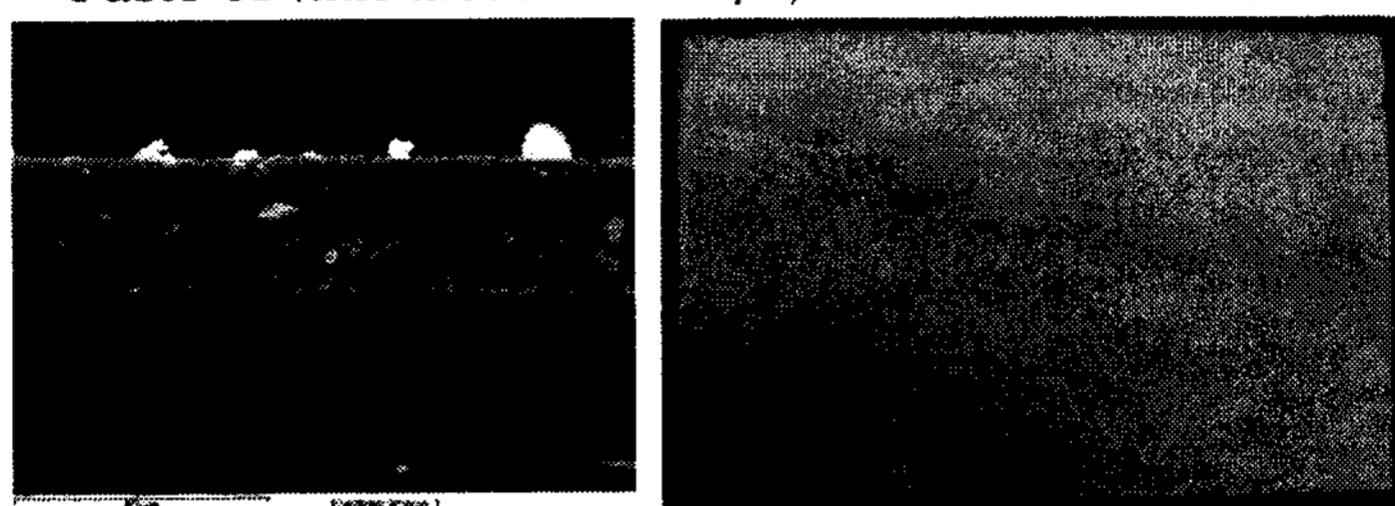
Fig. 13. Viscosity of intermediate layer pastes.



(a)

(b)

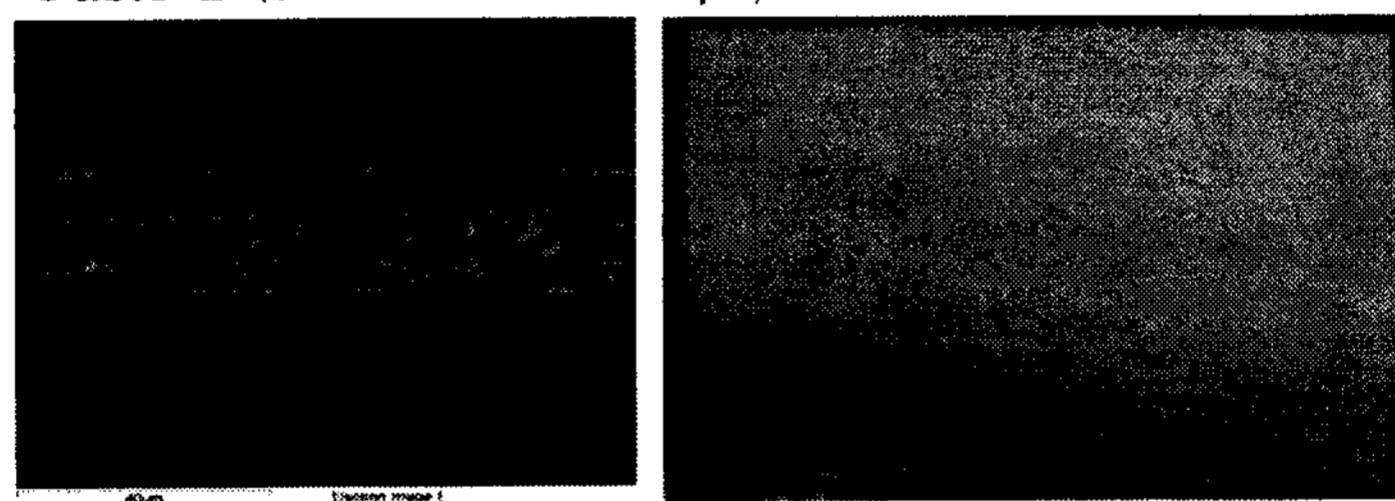
Paste A (thickness : 3~5 μm , luminance : $\times \text{ cd/m}^2$)



(a)

(b)

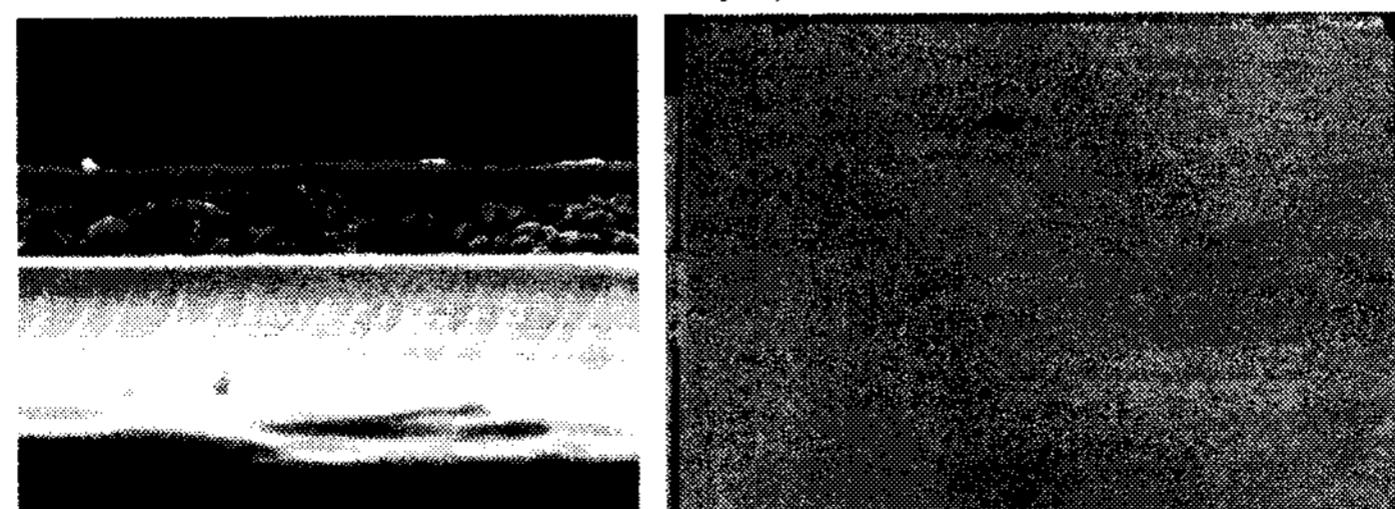
Paste B (thickness : 2~3 μm , luminance : 2527 cd/m^2)



(a)

(b)

Paste C (thickness : 1~1.5 μm , luminance : 2474 cd/m^2)



(a)

(b)

Paste D (thickness : 0.1~1 μm , luminance : 2343 cd/m^2)

Fig. 14. Cross section(a) of intermediate layer and surface(b) after calcination at 400°C.

4. 결 론

본 연구에서는 LCD 면광원용 저온 소성 paste 특성 연구를 스크린 인쇄 방식으로 실험을 진행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 형광막 paste와 중간막 paste의 열분해 특성은 TGA와 석영 glass로 검토하였고, 400°C에서 잔탄이 0.2wt% 이하로 남는 것을 알 수 있었다. 또한 SEM을 통해 관찰한 결과, 형광막내에 바인더 레진이 남아 있지 않음을 알 수 있었다.
- (2) 중간막 paste의 바인더 레진으로써는 400°C 이하에서 열분해 되는 특성을 가지면서, 형광체 paste의 바인더 레진보다 열분해 온도가 높아야 함을 알 수 있었다. 중간막용 바인더 레진은 형광막용 바인더 레진이 열분해 되는 동안 그 형상을 유지해 주고, 그 이후 열분해 됨으로써 Al막에 손상을 주지 않아야 한다.
- (3) 면광원으로서 고효율의 광반사막을 얻기 위해서는 평활한 중간막을 형성해야 한다. 중간막용 바인더 레진의 고형분을 중심으로 열분해 특성, Al의 광택성, 인쇄적 성, 휙도를 고려하였을 때, Al의 부풀음이 없는 광반사막을 형성하려면 중간막의 두께는 2~3 μ m가 되어야함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) 홍병희, “LCD용 Backlight 기술 동향”, 전기전자재료, 17, 9, pp. 3~9 (2004).
- 2) GeunHyung Kim, “A PMMA composite as an optical diffuser in a liquid crystal display backlighting unit (BLU)”, European Polymer Journal, 41, pp. 1729~1737 (2005).
- 3) 임성규, “Backlight for liquid crystal displays(LCD)” 단국대학교출판부, pp. 68~84 (2005).
- 4) 임시종, “중/대형 LCD-TV용 LED BLU”, 電子部品, 68 (2004).
- 5) A. Čampa, J. Krč, J. Malmström, M. Edoff, F. Smole, M. Topič, “The potential of textured front ZnO and flat TCO/metal back contact to improve optical absorption in thin Cu(In,Ga)Se₂ solar cells”, Thin Solid Films, 515, pp. 5968~5972 (2007).
- 6) Geun Hyung Kim, Woo Jun Kim, Seung Mo Kim, Joon Gon Son, “Analysis of thermo-physical and optical properties of a diffuser using PET/PC/PBT copolymer in LCD backlight units”, Displays, 26, pp. 37~43 (2005).
- 7) Yutaka Ito, Akira Komeno, Kazuyoshi Uematsu, Kenji Toda, Mineo Sato, “Luminescence properties of long-persistence silicate phosphors” *Journal of Alloys and Compounds*, pp. 408~412, 907~910 (2006).

- 8) Chao Liu, Jong Heo, "Generation of white light from oxy-fluoride nano-glass doped with Ho^{3+} , Tm^{3+} and Yb^{3+} " , Materials Letters, 61, pp. 3751~3754 (2007).
- 9) Liliana B. Manfredi, Exequiel S. Rodríguez, Analía Vázquez Maria Wladyka -Przybylak, "Thermal degradation and fire resistance of unsaturated polyester, modified acrylic resins and their composites with natural fibres" , Polymer Degradation and Stability, 91, pp. 255~261 (2006).