

친환경과 플라즈마 디스플레이 (PDP) 제조 산업

글 _ 황성진, 김형순 || 인하대학교, 신소재공학부
kimhs@inha.ac.kr

1. 서론

PDP는 대형화, 평면화, 경량화, 다기능화가 가능한 표시장치로 40" 이상 대형 벽걸이 TV용으로 실용성이 검증된 고휘질 디지털 방송에 가장 적합한 표시장치로 인식되고 있다. 특히, 디지털 TV에 있어 PDP가 고휘질을 구현하는 최적의 방법 중 하나로 그 시장성이 무한히 크기 때문에 국내 산업발전에 크게 기여할 뿐만 아니라 연관 산업과의 파급 효과가 매우 클 것으로 예상되고 있다. 또한 많은 장점을 지닌 PDP가 널리 보급되기 위해서는 고품질·저가격화·저소비 전력화를 위해 부품 및 소재에 대한 로드맵을 나타내었다(Table 1).

PDP의 본격적인 보급과 고부가가치를 위해서는 원가 비중이 높은 PDP 구성소재를 획기적으로 저가격화 하고 또한 환경규제에 대비해 친환경 소재로 대체할 수 있는 기술개발이 요구되는 시점이다. 현재 PDP 산업은 세계 1위지만 PDP 구성소재는 대부분 기술선진국으로부터 수입하고 있는 형편이다. 따라서 친환경·저가 소재를 국산화함은 물론 새로운 소재를 개발하여 대체함이 요구된다. 대형화, 경량화, 박형화, 고휘질화가 가능한 PDP가 타 디스플레이와 경쟁에서 우위를 차지하기 위해서는 가격 경쟁력이 있어야 하고, 또한 해외에 수출하기 위해서는 친환경적이어야 한다.

PDP의 본격적인 보급과 고부가가치를 위해서는 원가

Table 1. PDP 부품 및 소재 로드맵

부 품		년 도	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
전극	형상		Ag 입자 1~3 μm			0.1~2 μm			0.1~1 μm			
	성능		선폭 80 μm, 40 Ωcm			선폭 50 μm, 50 Ωcm			선폭 30 μm, 20 Ωcm 이하			
유전체	형상		투명 백색			Laminator			Laminator			
	성능		광투과율 60%			Green sheet 형성 반사율 80%, 무연화			광투과율 90%이상 반사율80%			
격벽	형상		Glass paste			Glass paste			Glass paste			
	성능		저온소성, 저가, 무연			단일막 형성			금형에 의한 성형			
	부가성능		열팽창계수 제어			높은 종횡비			넓은 표면적			
형광체	형상		인쇄성형광체			감광성 형광체			고효율 형광체			
	성능		장수명			고정세 패터닝			높은 양자 변환 효율			
	부가성능		잔광 특성 개선			특성 향상			최적화			
보호막	형상		단결정 MgO			수율 향상			나노 분말 공정개발			
	성능		5%, 투과율 95%			9%, 투과율 98%			15%, 투과율 95%이상			
	부가성능					MgO 다결정 소재			성능 향상			
유리 기판			회수 안정성 향상			상용화 기술 개발			성능 향상			
투명전극			소결 밀도 : 95% 투과율 80% 이상 비저항 10 ⁴ Ωcm			소결 밀도 : 98% 투과율 85% 이상 비저항 10 ³ Ωcm			소결 밀도 : 99% 투과율 90% 이상 비저항 10 ⁴ Ωcm			

자료: 2005년 "국산화 및 기술경쟁력 분석 보고서" 전자부품연구원

비중이 높은 PDP 구성소재를 획기적으로 저가격화 하고 또한 환경규제에 대비해 친환경 소재로 대체할 수 있는 기술개발이 요구되는 시점이다. 현재 우리나라의 PDP 산업은 세계 1위지만 PDP 구성 소재는 대부분 기술선진 국으로부터 수입하고 있는 형편이다(Table 2). 따라서 친환경·저가 소재를 국산화하여 새로운 소재로 대체 하여야 한다.

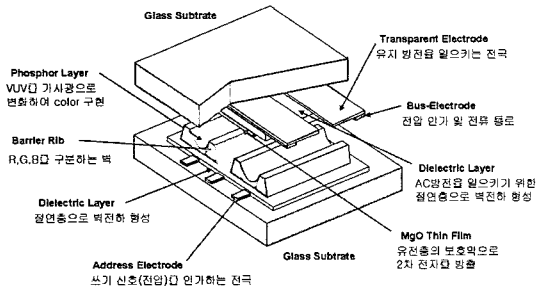


Fig. 1. PDP의 기본 구조(자료: 삼성 SDI).

PDP는 두 전극 사이의 가스방전을 이용한 것으로 대기압에 가까운 고압의 정상 글로우 플라즈마 영역에서 안정적으로 작동 된다. 구조적으로 전면유리와 배면유리 및 그 사이의 칸막이에 의해 밀폐된 유리사이에 Ne, Ar, Xe 등의 가스를 넣어 양극과 음극의 전극에 의해 전압을 인가하여 발생하는 플라즈마 가스방전에 의해 발생된 진공자의선으로 격벽에 도포된 형광체를 여기 시켜 가시광선을 방출함으로써 이미지를 구현하는 전자표시 장치이다. 아래의 Fig. 1은 기본적인 구조와 각 부품에 관한 명칭을 모식화 하였다.

2 부품소재 친환경소재로 전환

PDP를 구성하는 부품의 핵심 재료는 Table 3와 같이 PbO를 함유하고 있는 다성분계의 유리로 프리트의 형태로 구성된다. 그러나 전자 제품의 부품 내에 함유하는 Pb는

Table 2. PDP 부품 및 소재의 국내외 업체

재 료	핵심재료	재료비 비중(%)	국내 업체	수입국 및 주요 업체
유리기판	고왜점 유리(하판용)	8.8	삼성 코닝(ITO target)	일본 (AGC)
	ITO coated 고왜점 glass(상판용)			
전극	Ag 분말	7.2	연구개발 중 (제일모직, 동진세미켄 등)	일본 (Dupont, Noritake, Taiyo)
	Frit glass & 기능성 안료 감광성 비이클 및 formulation			
Black stripe	Frit glass	1.0	연구개발 중 (대주전자재료, LG DRM 등)	일본 (Taiyo ink)
	Black 안료 감광성 비이클 및 formulation			
투명유전체	Frit glass	2.56	연구개발 중 (대주전자재료, 휘닉스 PDE 등)	일본 (AGC, Noritake)
	유기 비이클 및 formulation			
백색유전체	Frit glass	0.8	대주전자재료 일동화학 피닉스 PDE 파티클로지 제일모직 LG DRM 등	일본 (AGC, Yamamura, Noritake)
	Filler & pigment			
	유기 비이클 및 formulation			
격벽	Frit glass	4.0	대주전자재료 일동화학 피닉스 PDE 제일모직	일본 (OKUNO)
	Filler & pigment			
	유기 비이클 및 formulation			
형광체	형광체 분말	3.0	LG 화학 삼성 SDI	일본 (KASEI)
	유기 비이클 및 formulation			
Seal 재	Frit glass	0.4	연구개발 중 (세라, 일동화학, 대주전자재료 등)	일본 (AGC, NEG)
	Filler & pigment			
	유기 비이클 및 formulation			
Preformed glass	Frit glass	0.08	연구개발 중 (센블)	일본 (ATG)
	기능성 filler			
배기관	Frit glass	0.08	세라, 정관 산업	일본
	유리 tube			

자료: 2005년 "국산화 및 기술경쟁력 분석 보고서" 전자부품연구원

2006년과 2007년부터 각 각 RoHS (Restricting the use of hazardous substance: 유해물질 사용제한 지침)과 WEEE (Waste electrical and electronic equipment: 폐전기전자 제품 처리지침)에 따라 환경유해물질 사용에 대한 규제를 받게 된다. 이러한 이유로 유연계 유리 조성은 무연계 유리조성으로 시급히 전환 되어야 하며 현재 많은 연구가 이루어지고 있다.

Table 3. PDP 부품의 구성소재

부 품	소 재	현재물질	개발물질
상판	기관	평판유리	Borosilicate
	투명전도막	IIO 막	ITO
	전극	진극재	Ag
	상판유전체 보호막	유전체막 MgO 막	Pb계 프리트 MgO
하판	실링재	실링재paste	Pb계 프리트
	형광체	형광체paste	Pb free 프리트
	격벽	격벽재paste	Pb free 프리트
	하판유전체	유전체paste	Pb free 프리트
	전극	전극재paste	Pb free 프리트
기관	평판유리	Ag, Cr/Cu 알칼라알칼라인유리	

PDP에 사용되는 Pb 양은 제품모델에 따라 다르나 대체적으로 42" 한 대당 일본 제품의 경우 약 90-390g, 한국 제품의 경우 약 200g이다. 따라서 1년에 100만대를 생산하는 경우에 한국과 일본에서는 각각 약 193 ton 과 170 ton 사용으로 보고 되고 있다 (JCBE 2004, KEA 2005). 현재 일반적으로 국내에서 보급 되고 있는 PDP (42")의 무게는 40.1 kg이며 여기에 사용되는 Pb의 부품 별 양은 Table 4과 같다.

Table 5와 같이 유연계 유리와 무연계 유리의 유전체에 적용 될 때의 예를 제시한 것으로 유연계 유리의 경우 연화점의 350-600도 구간에 존재하며 고 투과율, 기관과 같은 열팽창 계수, 전극과의 화학적 안정성을 가지며, 투명 유전체로서 아주 적합한 여러 가지 특성을 가지나 무연의 경우 아직까지 여러 가지 조성계의 여러 특성에 관해 미흡한 점들이 많이 있다. 최근 무연조성으로 개발되고 있는 각 조성계의 장, 단점은 Table 6과 같다.

Table 4. 국내의 42" PDP에 사용되는 부품별 PbO 함량비교

PDP 부품	구성비 (%)	양 (g)
투명유전체	39.0-45.7	53.0-75
백색유전체	30.0-37.7	19.0-20
bus 전극	0-10.3	4.1
블랙 스트라이프	0-14.8	0.7
address 전극	2-3.4	1-1.2
격벽	28.7-35	90-95.2
봉착재	60.6-66	13.5-18.2
배기관	8.4-13.0	0.8-1.7
계		193.1-200.3

자료: KEA 2005

3. PDP 부품별 특징과 무연재료

3.1 기관 유리 (디스플레이 유리)

PDP용 상·하판 유리로 PDP의 모든 부품들은 기관 유리위에 형성이 된다. PDP용 유리 기관의 경우 내열성, 강도, 열팽창 특성이 우수한 고변곡점 유리 및 소다라임 유리가 이용되고 있다. 현재 일본 업체에서 주로 만들어지고 있으며, 그 중에서도 ASAHI Glass의 PD200 유리가 가장 높은 시장 점유율을 차지하고 있다. 그 외에 Central, NEG, 일본판유리 (NSG) 등이 PDP용 유리 기관을 만들고 있다. 국내에서는 최근 저가 및 경량화를 목표로 소다라임 유리로의 연구가 진행되고 있다. 기관유리가 가져야할 가장 큰 특징은 높은 왜곡점(>600°C), 적절한 열팽창율 ($75 \pm 5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$)과 고투과율이다. 이러한

Table 5. PDP에 사용되는 유전체 유리 조성계에 따른 특성

요구특성	Lead glasses	무연 유리		
		Bi ₂ O ₃ 계	B ₂ O ₃ -ZnO계	P ₂ O ₅ 계
연화점 (350-600°C)	A	D	D	B
고 투과율	A	C	C	D
기관유리와 열매칭성	B	D	C	C
전극과 화학적 안정성	B	C	C	?

* A: 매우 우수, B: 우수, C: 보통, D: 불량, ? 정보없음

자료: JCBE(Japan Business Council in Europe) 2005

Table 6. 프리트 조성의 무연화 개발동향

구 분	PbO계	Pb-free계			
		Bi ₂ O ₃ 계	BaO-ZnO계	P ₂ O ₅ 계	
조 성	PbO-SiO ₂ -B ₂ O ₃ -Al ₂ O ₃	Bi ₂ O ₃ -SiO ₂ -B ₂ O ₃ -Al ₂ O ₃	BaO-ZnO-SiO ₂ -B ₂ O ₃	P ₂ O ₅ -SnO-B ₂ O ₃	
특 징	장 점	물성우수	Pb계와 유사한 물성 · 용융시 백금 반응	산 예칭 양호 · 소성온도 저하문제 · Pb계와 다른소성거동	저온 소성 가능 · 흡습성 · 내수성 문제 · 용융제조기술필요
	단 점	환경문제	· 고가의 Bi ₂ O ₃ · 특정온도 결정화발생		

기관유리의 열적특성에 따라 PDP의 다른 대부분의 구성하는 부품들의 열적특성이 결정되기 때문에 변하지 않은 일정한 특성을 가져야 한다.

3.2 격벽 재료

상판과 하판의 방전공간을 확보하고, R, G, B 형광체가 서로 섞이지 않도록 하고, 상판을 지지하는 기능으로 현재 상용중인 격벽재료는 PbO-B₂O₃-ZnO-Al₂O₃계 유리 분말을 주성분으로 한다. 형성되는 격벽의 기계적 강도, 반사도, 표면 평활도 및 구경비 등은 유리재료와 특성, 세라믹 필터, 안료의 혼합비에 영향을 받는다. 프린트의 함량이 높으면 격벽의 기계적 강도가 저하되고 구경비나 떨어지지만 표면 평활도는 증가한다. 따라서 적절한 혼합비율의 선정과 적합한 물성의 필터, 안료의 선택이 중요하다. 42인치 패널을 기준으로 한 대의 PDP에 450~500g 정도의 격벽재료가 사용된다.

기존의 격벽에 사용되던 PbO계 유리를 무연계 유리로 대체하기 위해 연구개발 되고 있다. 초기의 PDP 격벽재료들은 주로 PbO-B₂O₃-SiO₂의 납붕산염 조성의 유리로 PbO의 60-80 wt%의 과량 사용으로 환경관련 규제에 적용이 된다. 무연 격벽 재료로 PbO계 조성과 유사한 물성을 띄고 있는 Bi₂O₃계 조성의 연구가 활발히 진행되어 이에 대한 결과물이 보고되고 있다. 그러나 아직까지 국내·외에서 소다리임 유리 기관을 사용할 수 있는 500°C 정도에서 소성 가능한 유리조성에 대한 연구는 전무한 실정이다.

국내에서는 현재 샌드블러스팅법(sand blasting)과 산에칭법(chemical etching)에 의해 격벽을 형성하며 일본에서 감광성법을 주로 사용하고 있다. 샌드블러스팅 공정은 미립의 분말을 고속으로 분사하여 셀을 형성하는 방식이다. 격벽 소성 전에 행하며, 이와 달리 소성 후에 격벽 셀을 형성하는 산에칭법은 국내에서 새롭게 개발하여 유용하게 활용되고 있으나 에칭 시 산의 이용에 따른 환경문제점이 단점으로 지적되고 있다. 격벽의 친환경 저가소재 개발과 간결한 형성공정 개발은 PDP의 높은 저가격화를 이루는데 필수 요소이다. 주요 공정을 장단점 측면에서 비교하면, 샌드블러스팅 공법은 공정 및 재료

가 단순하며 적용업체가 많으나 고정세가 불리하다. 한편 산에칭법은 높은 중황비와 고정세 측면에서 유리하나 열팽창률제어가 필요하다. 일본 마츠시다에서 사용하고 있는 감광성법은 공정이 단순하고 고정세 측면에서 장점이 있으나 재료개발이 어렵다는 단점이 있다.

3.3 유전체(백색유전체, 투명유전체) 재료

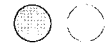
PDP에서 유전체 재료는 전면기관의 유지전극(bus전극)을 보호하는 투명유전체, 배면기관의 address 전극을 보호하는 백색유전체가 있다. 전면기관의 유전체는 방전광을 투과시키기 위해 투명하게 형성하며, 배면기관의 유전체는 방전광이 배면기관 쪽으로 투과되는 것을 막기 위해 백색으로 형성한다. 백색유전체 재료는 PbO계 유리가 주로 사용되고 있으며 높은 백색도를 구현하기 위해 TiO₂ 등을 첨가하여 방전광이 배면기관 쪽으로 투과되는 것을 방지한다.

투명유전체는 주로 상판의 유지전극을 보호하는 역할을 하고, 형광체에서 생기는 방전광이 통과해야 하기 때문에 높은 광투과율을 요구한다. 또한 소성온도에 적합한 열적특성과 기관유리와의 열팽창계수의 일치 등의 조건으로 많은 연구가 이루어지고 있는 재료이다. 투명유전체에 쓰이는 유리는 높은 광투과율과 열적특성조절이 용이한 PbO계가 사용되어 오고 있다. 투명유전체에서 필요로 하는 특성은 높은 투광성 함께 전극과의 무반응성으로, 전극위에 유전체를 페이스트 혹은 green sheet 형태로 막을 형성 후 소성 시 버스전극에서 Ag이온이 빠져나와 유전체 쪽으로 확산을 통해 변색을 띠게 된다.

이러한 유전체재료는 현재 거의 대부분이 PbO 계통의 유리를 사용하고 있다. 그러나 Pb를 포함한 유리재료는 환경오염에 심각한 영향을 끼치게 때문에 무연을 지향하는 연구가 많이 이루어지고 있다. 특히 B₂O₃-ZnO, P₂O₅, Bi₂O₃ 유리계 등에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다.

3.4 봉착재

배면 유리판과 투명 표시전극이 형성된 전면 유리판을 봉착하여 조립하는 역할을 하는 것으로 저온소결 가능한 PbO 계열의 프린트를 사용한다. 결정화유리에 적절한 필



리를 첨가하여 좋은 특성을 갖을 수 있게 연구 개발 중이다. 요구되어지는 특성은 다음과 같다. 기판유리와의 열팽창 매칭- 재료 간 열팽창을 차에 의한 잔류응력의 발생을 억제해야 하며 기밀성, 유전특성, 절연특성, 화학적 내구성, 저온소결 등의 필요하다. 또한 소성된 봉착재 높이 편차에 의한 패널응력 및 화질 불균일이 발생하지 않도록 조성간의 배합이 잘 이뤄지도록 해야 한다.

기술적 과제는 납성분을 함유하지 않아 환경오염의 염려가 없으면서도, 경제성이 우수하며 저온봉착이 가능하도록 연화점 및 유리전이온도가 낮으면서도 유동성이 우수하고, 저온소성에서도 결정석출 등의 문제가 없는 조성이다. 또한 저온소성으로 봉착층의 형성이 가능하여 상하판 유리를 밀봉하는 봉착공정의 온도조건과 시간을 저감시켜 생산성을 향상하고, 제조원가를 감소시킬 수 있는 PDP 봉착용 프릿 조성물. 또한 최근에는 진공상태에서 봉착하는 공정이 개발되어 새로운 봉착재 조성을 요구하고 있다.

4. 맺음말

이러한 PDP 디스플레이에 사용되는 여러 프릿과 기판을 수입을 하였으나 점차 국산화단계에 접어 들었다. 저온소성화, 저가격화, 친환경화의 목표를 위해서는 제품의 국산화 입장에서 유리기판 및 프릿 제조 관련하여 고품위의 친환경 유리(프릿) 제조에 더욱 관심을 가져야할 시기이다.

◎◎ 황성진



- ◎ 2005. 순천대학교 신소재공학부 학사
- ◎ 현재. 인하대학교 금속공학과 석사과정 재학