

## Composition and Properties of Substrate Glasses for Plasma Display Panel

Ki-Dong Kim,<sup>†</sup> Woo-Man Jung, Sung-Ku Kwon, and Se-Young Choi\*

Department of Materials Science and Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

\*Department of Ceramic Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

(Received March 16, 2006; Accepted April 18, 2006)

### Plasma Display Panel용 기판 유리의 조성과 성질

김기동<sup>†</sup> · 정우만 · 권성구 · 최세영\*

군산대학교 신소재공학과

\*연세대학교 신소재공학부

(2006년 3월 16일 접수; 2006년 4월 18일 승인)

#### ABSTRACT

For substrate glass applied to PDP (Plasma Display Panel), it has been developed many glass compositions that have to not only meet the specifications of PDP but also satisfy the float process as production technology. In the present work, several compositions with no deformation at PDP processing temperature and thermal expansion coefficient of  $83\sim 90 \times 10^{-7}/K$  were designed. Based on viscosity at high temperature and liquidus temperature for those compositions, three candidate compositions named T-2, T-4, T-6 were selected finally. It was examined additionally that thermal shrinkage at PDP processing temperature and visible transmittance. The properties of T-series were compared with those of commercial glasses and discussed from the view point of PDP device and glass production

**Key words :** Substrate glass, PDP, Glass composition, Strain point, Thermal expansion, Thermal shrinkage

#### 1. 서 론

PDP는 기체 방전에 의해 생성된 plasma를 이용하여 영상을 제공하는 표시소자로서 대형화에 용이하며 고휘도(brightness) 및 색재현력이 우수하여 차세대 display 기술로 크게 주목받고 있다. PDP panel의 구조는 Fig. 1에 나타난 것처럼 전면기판에는 ITO(Indium Tin Oxide)와 bus 전극, 투명 유전체 그리고 MgO 보호막이 차례로 도포되어 있고 후면 기판에는 address전극, 유전층(dielectric layer) 그리고 격벽(barrier rib)이 형성되어 있으며 격벽사이에 RGB(Red, Green, Blue)광을 방출하는 형광체가 수백만 화소(Pixel)를 이루며 인쇄되어 있다.<sup>1-3)</sup> PDP panel에서 기판 유리의 역할은 내부 핵심부품을 보호하고 구현되는 이미지를 전달하는 기능을 한다.

기판유리는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 550~580°C 사이의 PDP 공정온도에서 반복적인 소성을 받기 때문에 공정에서 발생하는 치수의 변형과 패턴의 어긋남으로 조래될 수 있는 장애를 최소화하기 위해 높은 변형점(strain point)과 낮은 열수축(thermal shrinkage)이 요구된다. 또한 PDP

panel 제조시 전극과 seal재인 유리 paste와의 열팽창계수의 차이에 의한 비매칭(mismatch)으로 박리(desquamation)나 균열이 발생할 수 있기 때문에  $80\sim 90 \times 10^{-7}/K$  범위의 열팽창계수를 필히 가져야 한다.<sup>4-8)</sup> 이러한 문제는 패널이 대화면화, 고정세화 될수록 중요성이 증가함으로, 열처리에 따른 치수 안정성 확보가 가장 중요하다. 우수한 영상전달을 위해 기판유리로서 요구되는 또 다른 특성은 가시광선 영역에서의 높은 투과율과 영상왜곡이 없는 높은 표면품질이며, 따라서 상용 PDP 기판유리는 용융주석(molten tin)위에서 판상으로 성형되는 것을 특징으로 하는 float공법에 의해 제조되고 있다.<sup>9,10)</sup>

본 연구에서는 PDP에서 요구하는 조건을 고려하여 새로운 기판유리 조성개발이 시도되었으며, 개발된 유리와 상용 기판유리인 PD-200, CS-77의 여러 물리적 성질을 상대적으로 비교 평가하였다.

#### 2. 실험 방법

##### 2.1. 유리제조 및 후보조성 결정

유리의 제조를 위해서 총 batch(원료혼합물)가 300 g 되도록 각 성분에 해당하는 원료를 평량·혼합하였다. 300 cc 백금도가니를 사용하여 1550~1650°C에서 batch를 용융시키고 백금 교반기를 사용하여 균질화 시킨 후, 흑연판에

<sup>†</sup>Corresponding author : Ki-Dong Kim

E-mail : kdkim@kunsan.ac.kr

Tel : +82-63-469-4737 Fax : +82-63-469-4731

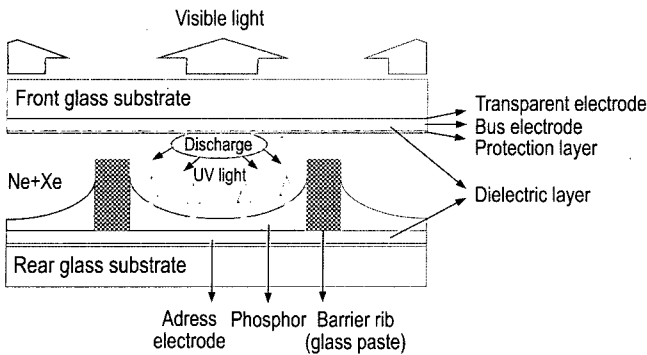


Fig. 1. Structure of PDP device.

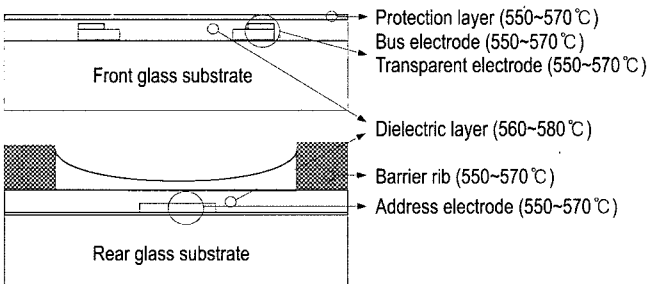


Fig. 2. Heat treatment range of various components in PDP processing.

관상으로 성형하였다. 성형된 유리는 650~700°C의 온도에서 2시간 유지 및 상온으로 분당 5°C씩 하강시키는 서냉공정을 거쳤다.

조성개발 과정은, 우선 기판유리로서 요구되는 성질인 변형점과 열팽창계수를 고려하여 조성을 디자인 한 후 570°C 이상의 변형점과  $80\sim 90 \times 10^{-7}/K$  범위의 열팽창 계수를 소유한 유리를 대상으로 고온점도와 액상온도(liquidus temperature)를 측정하여 점성거동과 결정화 경향을 추적하였다. 이러한 개발과정을 거쳐 최종적으로 alkali-alkaline earth-silicate계 조성인 T-2, T-4, T-6 유리를 후보 조성(일명 T-계열)으로 선정하였으며, T-계열을 대상으로 PDP의 소성온도에서의 열변형율과 380~780 nm 범위에서 가시광선 투과율을 조사하였다. Table 1에 상용유리인 건축용 Soda Lime Silicate(SLS), PDP용 PD-200, CS-77과 T계열 유리조성을 나타내었다. 후보조성으로 선정된 T계열의 특징은 유리형성에 관여하는 필수적인 산화물로서 유리의 망목구조를 안정시켜주는 성분인  $SiO_2$ 가 62~64 wt%로서 PD-200 보다는 높은 함량을 나타내며, 제조 공정 중에 실투(devitrification)를 억제하고 열팽창계수를 낮추며 변형점을 높이기 위해 첨가된  $Al_2O_3$ 는  $\approx 0.7$  wt%로서 PD-200 보다 현저하게 적은 함량을 소유하고 있다. 원료혼합물의 용융을 촉진시키며 유리의 열팽창계수와 고온 및 저온에서의 점도를 조절하는데 매우 효과적인 성분인  $R_2O(Na_2O, K_2O)$ 의 함량은  $\approx 10.7$  wt%이며, 원료혼합물의 용융을 촉

진시키면서 고온에서는 유리의 점도를 낮추고 저온에서는 유리의 점도를 높이는 효과가 있기 때문에 작업성 향상 및 변형점 온도의 상승을 목적으로 첨가한  $RO(MgO, CaO, SrO, BaO)$ 의 함량은 20.5~22.5 wt%로서 상용유리와 비슷한 값을 나타내지만, CaO의 함량에 있어서 CS-77 보다 월등히 낮다.  $Al_2O_3$ 와 유사한 역할을 하는  $ZrO_2$ 는  $\approx 4$  wt%로서 PD-200 보다는 높은 함유량을 소유하고 있으며, CS-77과는 비슷한 값을 가지고 있다. T계열 조성의 특징을 요약해보면,  $Al_2O_3$ 의 성분 함량이 상용유리 조성에 비해 전반적으로 낮으며 MgO 함량은 높고, 특히 CS-77에 비해서는 CaO 함량이 낮고 BaO 함량은 높다. 또한 T계열간에는 SrO와 BaO의 함량을 변화시켰다.

## 2.2. 물성평가

PDP 기판유리의 가장 중요한 특성인 변형점은 ASTM C598-93에 의거하여 beam bending법(Rheotronic IV, Theta, USA)으로 결정하였으며, 열팽창계수는 dilatometer(402ED, Netzsch, Germany)를 사용하여 측정하였다.

유리의 생산측면에서 용융, 청징 그리고 성형조건을 파악하기 위해 고온점도를 측정하였다. 유리의 고온 점도는 회전형 실린더 점도계(Haake RV2, Thermo-Haake, Germany)를 사용하였으며 DIN 42312의 방법으로 점도를 측정하였다. 용융유리의 국부적인 결정화, 즉 실투와 밀접한 관련이 있어 생산성에 매우 중요한 지표로 작용하는 액상온도를 측정하기 위해 ASTM C829-81방법으로 Pt boat를 이용하여 온도 구배가 200°C인 구배로(gradient furnace, Siliconit, Japan)에서 8시간 유지한 후 편광 현미경으로 석출물이 생성되기 시작한 경계부분을 관찰하여 액상온도를 결정하였으며, Vogel-Fulcher-Tammann(VFT)식을 이용하여 액상온도에서 점도를 계산함으로써 해당 조성의 유리형성능력을 평가하였다.

PDP의 공정온도에서 응력이완에 의한 열수축율(thermal shrinkage)을 알아보기 위해서 동일한 서냉공정을 거친 유리에 대하여 TMA(Thermo Mechanical Analyzer: TMA-2940, TA Instrument, USA)를 이용하여 측정하였으며, 380~780 nm 범위에서 가시광선 투과율은 양면이 경면 연마된 두께 2.8 mm의 판유리에 대해 분광분석기(UV-Vis spectrophotometer: UV-2041, Shimadzu, Japan)를 이용하여 결정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 변형점 및 열팽창계수

Table 1의 하단부분은 PD-200, CS-77 및 T계열의 변형점과 열팽창계수를 나타낸 것으로, T계열의 변형점은 568~572°C로서 PDP 기판유리로서 적절한 수치를 나타내고 있다. CS-77의 경우  $SiO_2$ 의 높은 함량이, PD-200의 경

**Table 1.** Compositions of SLS, Commercial PDP Substrate Glasses and T-Series

	SLS	PD-200*	CS-77**	T-2	T-4	T-6	Raw materials for T-series	
Compositions (wt%)	SiO <sub>2</sub>	71.1	57.4	65.3	62.1	63.9	64.0	Australian sand
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.47	6.79	0.96	0.71	0.7	0.7	Feldspar
	Li <sub>2</sub> O			0.01				
	Na <sub>2</sub> O	13.1	4.2	4.61	4.3	4.3	4.3	Soda ash
	K <sub>2</sub> O	0.83	6.59	5.54	6.4	6.4	6.4	Potash
	ΣR <sub>2</sub> O	13.93	10.79	10.16	10.68	10.7	10.7	
	MgO	4.04	1.98	0.29	4.08	4.03	4.04	Dolomite
	CaO	8.91	4.96	10.78	5.68	5.61	5.62	Calcite
	SrO		6.88	7.07	5.11	8.44	5.89	Strontium carbonate
	BaO		8.03	0.13	7.56	2.57	4.95	Barium carbonate
	ΣRO	12.94	21.85	18.27	22.43	20.65	20.5	
	ZrO <sub>2</sub>		3.06	3.96	4.06	4.01	4.02	Zircon
Strain point (°C)	511	578	589	568	572	572		
α(25/500°C) (×10 <sup>-7</sup> /K)	90	86	79	85	83	82		

\*Asahi glass company

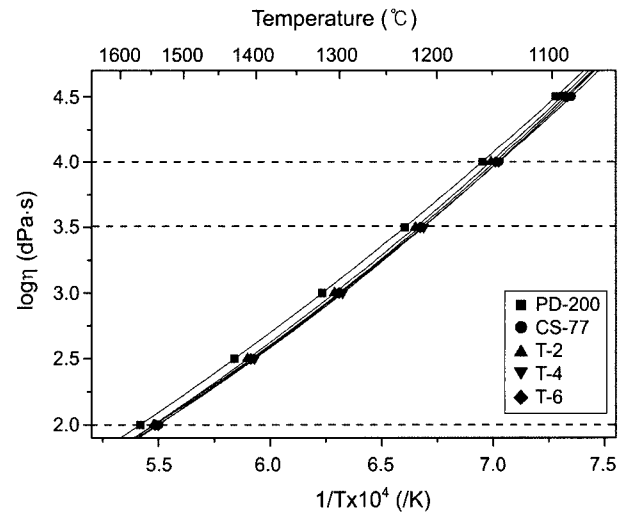
\*\*Saint-gobain group

우는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량이 변형점 값에 영향을 미친 것으로 보인다. 열팽창계수 α는 T-series 경우 85, 83 및 82 × 10<sup>-7</sup>/K로서 80 × 10<sup>-7</sup>/K 이상의 팽창계수를 요구하는 기판유리의 특성에 충족되는 값으로 86 × 10<sup>-7</sup>/K과 79 × 10<sup>-7</sup>/K의 값을 가진 PD-200과 CS-77의 중간에 있다. 팽창계수에 큰 영향을 미치는 유리구조 내 비가교 산소를 형성하는 알카리의 함량과 알카리토 함량이 서로 비슷한 상태에서, 결국 유리의 팽창계수는 망목형성산화물인 SiO<sub>2</sub>의 함량에 의존하여 PD-200, T계열, CS-77 순서로 감소하고 있다.

T계열 내에서 열팽창계수의 변화는 BaO와 SrO의 함량과 어느정도 관계가 있다. 일반적으로 유리구조내에서 알카리토이온은 수식이온으로 작용하는 것으로 알려져 있다. 주변 산소에 대한 Ba<sup>2+</sup> 이온의 이온장세기(ion field strength)는 0.24이며 Sr<sup>2+</sup> 이온의 이온장세기 0.27에 비해 작은 편이다. Sr<sup>2+</sup> 대신에 반경이 큰 Ba<sup>2+</sup>를 치환시킴으로써 수식이온의 이온장세기는 낮아지면서 유리의 전반적인 구조는 느슨해지고 그 결과로 점도의 저하 및 팽창계수의 증가가 발생한 것이다.<sup>11)</sup> T계열에 대한 Table 1의 변형점, Fig. 3의 고온점도 변화 등이 Sr<sup>2+</sup> 대신에 치환된 Ba<sup>2+</sup>의 이온장세기 감소로 설명될 수 있다.

### 3.2. 고온점도

Fig. 3은 각 유리의 점도에 대한 온도의존성이며, PD-200의 경우 용융온도에 해당하는 T<sub>m</sub>(logη = 2 in dPa·s)의 수치가 1570°C 이상으로 가장 큰 값을 보이고 있으며, CS-77은 1544°C, T계열은 1544~1552°C로 PD-200 보다는 낮은 값을 소유하고 있으며 CS-77과는 유사한 온도를 나타



**Fig. 3.** Temperature dependence of viscosity for PD-200, CS-77, and T-series.

내었다. 용융유리가 tin bath로 유입될 때의 점도에 상응하는 온도인 T<sub>p</sub>(logη = 3.5)와 성형온도인 T<sub>w</sub>(logη = 4)는 PD-200의 경우 1241°C, 1165°C였으며, CS-77은 1223°C, 1150°C였다. T계열의 경우 T<sub>p</sub>는 1222~1230°C, T<sub>w</sub>는 1150~1157°C 사이의 값을 나타내었다. 비가교 산소를 생성함으로써 유리의 점도에 상당한 영향을 미치는 알카리의 함량은 PD-200, CS-77과 T계열 모두 유사한 값을 소유하고 있기 때문에 고온 점도에 미치는 영향은 미소하지만, 유리 내에서 중간제(intermediate)로 존재하여 비가교 산소를 재 연결시켜 알카리의 역할을 감소시키는 기능을 하는

$Al_2O_3$ 의 함량이 월등히 높은 PD-200이 전반적으로 높은 점도를 나타내고 있다. 따라서 점도에 의존하는 유리의 제조공정을 고려해 볼 때, PD-200과 비교해 CS-77과 T계열이 상대적으로 낮은 온도에서 용해공정 및 성형작업이 이루어질 것으로 예상할 수 있으며, 내화물 침식과 tin bath에서 용융주석의 휘발에 의한 부정적인 영향이 적을 것으로 보인다.<sup>12)</sup>

### 3.3. 액상온도

액상온도( $T_{liq}$ )란 결정상과 유리상이 열적평형을 이루는 상태에서 실투(국부적인 결정화)가 일어나는 최고의 온도로서, 상평형도의 액상온도와 의미가 같다. 만약, 용융유리를 냉각시켜 액상온도범위에서 장시간 평형상태를 유지시키면 결정화가 발생할 것이다. 냉각과정의 임의의 온도( $T$ )에서 발생하는 결정화 속도( $V$ )는 아래 식과 같이 액상온도와의 차( $T_{liq} - T$ )에 비례하고 점도( $\eta$ )에는 반비례하며, 결국 유리의 조성에 크게 의존한다. 따라서 액상온도와 성형이 발생하는  $10^4$  dPa·s에 해당하는 성형온도간의 차이와 액상온도에서의 점도값은 공업적으로 매우 중요한 의미를 지닌다.<sup>13)</sup>

$$V \propto \frac{(T_{liq} - T)}{\eta}$$

Table 2에 여러 유리의 액상온도( $T_{liq}$ ) 결과를 나타내었다. T-series 경우 1074~1080°C 범위에서 처음으로 결정이 관찰되었으며, PD-200의 경우 1053°C, CS-77은 1160°C에서 상당한 양의 결정이 석출되었다. 유리형성의 척도인 액상온도에서의 점도( $\log \eta$  at  $T_{liq}$ )와 성형온도( $T_w$ )와 액상온도의 차이( $T_w - T_{liq}$ )를 비교해 볼 때, CS-77을 제외하고는 액상온도에서의 점도가  $10^{4.6} - 10^{4.9}$  dPa·s로 거의 유사한 값을 나타내고 있으며,  $T_w - T_{liq}$ 는 T계열이 74~83°C이며 PD-200은 112°C로 실투가 배제된 우수한 유리 형성 능력을 나타내고 있다. 그러나 CS-77경우 액상온도가 성형온도( $T_w$ )보다 높기 때문에  $T_w - T_{liq}$ 는 음의 값을 나타내고 있어 실투가 발생하지 않도록 안정적인 성형작업 조건을 확보하는데 상당한 어려움이 예상된다. CS-77시편에서 석출된 결정을 대상으로 수행한 FE-SEM(JSM 6700F, Jeol, Japan) 분석결과에 따르면, 주 구성 성분은  $Na_2O$ ,  $SiO_2$  및 CaO임이 확인되었으며, 높은 CaO 함량이 액상온도의 상

승에 기여하는 것으로 추정한다.<sup>13,14)</sup> 그러나 여러 다양한 성분으로 구성되어 있기 때문에 T계열 내에서 BaO 및 SrO 함량에 따른 액상온도의 변화를 이론적으로 설명하는 것은 매우 어렵다. 일반적으로 조성변화에 따른 점도의 저하가 물질이동을 증가시켜 결정화속도를 증진시키는 것으로 알려져 있으나,<sup>15)</sup> T계열에 대한 Table 1의 변형점과 Table 2의 액상온도 결과는 이러한 경우에 해당하지 않는다.

### 3.4. 열수축율

40인치급 HDTV용 PDP 제조공정에서, 기판유리에 20 ppm 이상의 수축이 발생하면 가장자리의 화소(pixel) 1개의 어긋남이 발생한다. 따라서 화소의 심각한 어긋남을 방지하기 위해서 유리기판의 수축율은 50 ppm 이하로 제한된다. 이미 서냉을 거친 유리를 대상으로 실시한 570°C에서 시간에 따른 수축율을 Fig. 4에 나타내었다. PDP 제조공정에서 유지시간은 보통 30분 정도이지만, 1시간 유지하면서 열수축율을 추적하였다. SLS계 유리는 약 400 ppm의 높은 수축율을 나타내고 있으며, PD-200과 T계열은 열처리 시간 30분이내에 각각 25 ppm과 50 ppm 이하를 보여 주었다. 열에 의한 유리의 수축 현상은 보통 변형점 이상의 온도로부터 서냉시킴으로써 발생하는 compaction과 변형점 근처의 온도에서 열처리에 의해 발생하는 shrinkage

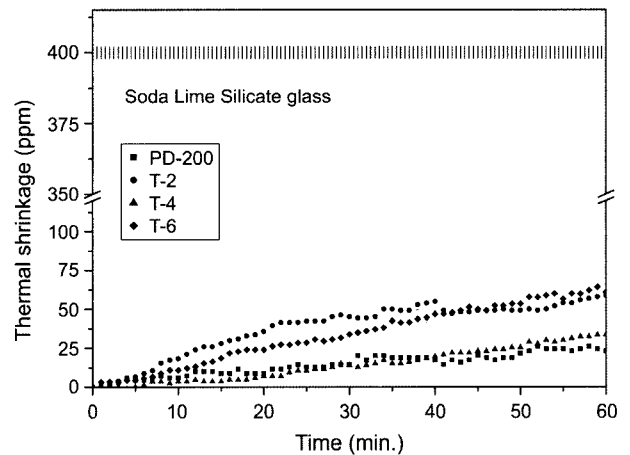


Fig. 4. Thermal shrinkage versus time for PD-200 and T-series glasses.

Table 2. Liquidus Temperature ( $T_{liq}$ ), Viscosity at Liquidus Temperature ( $\log \eta$  at  $T_{liq}$ ) and Glass Forming Ability ( $T_w - T_{liq}$ ) of PD-200, CS-77, and T-Series

	PD-200	CS-77	T-2	T-4	T-6
$T_{liq}$ (°C)	1053	1160	1074	1074	1080
$\log \eta$ at $T_{liq}$ (dPa·s)	4.9	Crystallization	4.7	4.6	4.7
$T_w - T_{liq}$ (°C)	112	-10	83	76	74

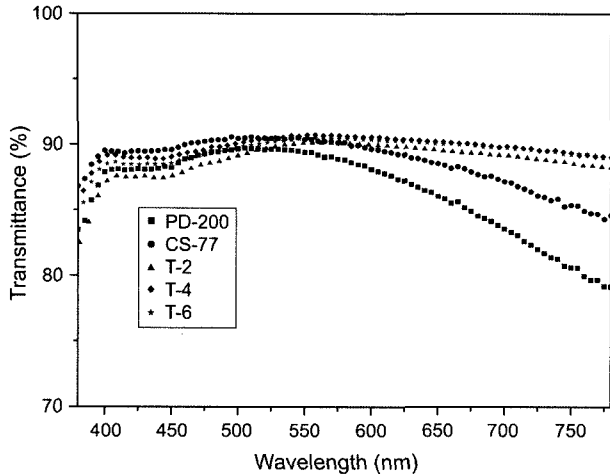


Fig. 5. Visible transmittance of commercial and T-series glasses.

로 구분하며, 두 경우 응력의 이완에 기인한 유리구조의 치밀화에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다.<sup>16)</sup> LCD기판 유리를 대상으로 실시한 Anma의 결과에 따르면, 수축율 (shrinkage)은 유리의 서냉정도와 변형점에 의존하며, 동일한 서냉을 받은 경우, 변형점이 높은 유리일수록 낮은 수축율을 나타낸다.<sup>17)</sup> 따라서 Fig. 4에 나타난 SLS계의 상당한 수축율은 570°C 보다 훨씬 낮은 변형점(511°C) 때문이다. Table 1에 제시된 유리의 변형점은 CS-77 > PD-200 > T계열 > SLS순서로 감소하며, 이러한 순서는 Fig. 4의 열수축율의 크기순서와 반대이며, 비록 CS-77에 대해서는 수축율 평가가 시도되지는 않았지만 변형점 수치에 근거해보면 PD-200 보다 작을 것으로 예상된다.

### 3.5. 가시광선 투과율

Fig. 5는 PDP 상용유리의 두께인 2.8 mm를 기준으로 380 ~780 nm 범위의 가시광선 영역에서 측정된 여러 유리의 광투과율 결과를 보여주고 있다. PD-200의 경우 670 nm까지는 85% 이상의 투과율을 보이고 있으나 그 이상의 장파장 영역에서는 투과율이 점차 낮아져 780 nm에서 80%의 투과율을 보이고 있다. CS-77의 경우는 전 영역에서 85% 이상의 투과율을 나타내고 있으며, T계열은 전체적으로 거의 90%에 가까운 높은 투과율을 나타내고 있다.

Lambert Beer 법칙에 따르면, 두께  $x$ 를 지나는 물질내부로  $I_0$ 의 강도를 지니는 전자기파가 입사하여  $I_t$ 의 강도로 투과한다면(흡수로 인하여 발생하는) 빛의 세기 변화율, 즉 투과율 ( $I_t/I_0$ )과 다음과 같은 관계식이 성립한다.<sup>18)</sup>

$$\frac{I_t}{I_0} = \exp(-\gamma x)$$

이때  $\gamma$ 는 물질의 성질인 흡수계수로서 빛의 파장에 따라 다르며,  $I_0$ 는  $x=0$ 에서의 빛의 세기로서 빛이 시편의

표면으로 입사하기 시작할 때의 세기이다. 유리에서  $\gamma$ 는 유리내의 착색 물질의 농도에 비례한다. 전이금속 산화물은 대부분 산화물 유리 내에 1% 이하의 농도로만 존재해도 강한 색을 나타낸다. 발색에 영향을 주는 또 다른 요소로서 전이금속들이 다원자가(Polyvalent)로 존재하는 성질이다. 예를 들어, 철은  $Fe^{2+}$ 와  $Fe^{3+}$ 의 화합물을 형성한다. 유리에 이러한 전이원소가 함유되면 두 개의 원자가를 나타내며, 이들이 파장별 투과율에 영향을 미친다.

상업적인 유리의 가시광선 영역에서 투과율은 유리제조에 사용한 천연원료, 주로 규사와 장석에 불순물로 함유된  $Fe_2O_3$ 의 영향을 받으며, 특히  $Fe^{2+}$ 에 의해 장파장에서 빛의 흡수가 일어나기 때문에  $Fe_2O_3$ 의 함량이 높으면 낮은 투과율이 나타난다. T계열의 경우 전반적으로 순도가 높은 원료를 사용하여 실험실에서 제조한 반면에, 상용 PDP 유리는 공업원료를 사용하였기 때문에 함유된 불순물 중의  $Fe^{2+}$ 에 의해 670 nm 이상의 장파장 영역에서 낮은 투과율을 나타내고 있다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 상용 PDP 기판유리와  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $BaO$ 의 함량에 있어 차별화된 새로운 조성의 T계열(T-2, T-4, T-6) 유리와 상용 기판유리 CS-77과 PD-200을 대상으로 변형점, 팽창계수, 열수축율 및 광투과율과 고온점도, 액상온도의 측정이 수행되었으며, 측정결과는 기판유리의 관점 및 유리의 생산 측면에서 고찰되었다. 결과에 따르면, T-series는 상용유리와 비교하여 우수하거나 동일한 특성을 보였다. 특히 T-4는 변형점이 572°C, 열팽창계수는  $83 \times 10^{-7}/K$ 로 기판유리로서 요구되는 가장 적합한 특성을 나타내었으며,  $10^2$  dPa·s에 해당하는 용융온도가 1552°C,  $10^4$  dPa·s에 해당하는 성형온도는 1150°C로서 두 상용유리의 조성에 비하여 경제적인 용융, 충전, 성형이 예상된다. 액상온도는 PD-200 보다 약 20°C 높지만 CS-77 보다는 무려 90°C 정도 낮으며 액상온도에서의 점도값이 PD-200과 비슷한  $10^{4.6}$  dPa·s를 보이고 있고 성형온도와 70°C 이상의 차이가 있기 때문에 성형과정에서 실투발생의 가능성은 전혀 없을 것으로 예상된다. PDP 공정온도, 570°C에서 실시한 응력이완에 의한 열수축율은 T계열의 낮은 변형점 때문에 PD-200의 열수축율보다는 크지만 30분 이내의 열처리 시간에서 50 ppm 이하의 값을 나타내었다. T계열은 PDP device에서 요구하는 특성을 대체적으로 만족시키고 있으나 유리의 생산측면에서 향후 좀 더 다각적인 접근이 필요하다.

## Acknowledgment

본 연구는 과학기술부 21세기 프론티어사업 정보디스

플레이 사업단의 연구비지원으로 2002년부터 2004년까지 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

1. K. S. Lee, "Over View of PDP Technology," *J. Kor. Inform. Disp.*, **3** [6] 3-7 (2002).
2. W. H. Dumbaugh, P. L. Bocko, and F. P. Fehlner, "Glasses for Flat-Panel Displays"; pp. 86-100 in *High-Performance Glasses* edited by M. Cable and J. M. Parker, Chapman and Hall, USA, 1992.
3. M. M. Dawne, "Glass Substrate for Flat Panel Displays," *MRS Bulletin*, **21** [3] 31-4 (1996).
4. J. Lapp, J. Pegouret, and B. Eid, "Design Criteria for Color PDP Substrates," *Proceedings of 2nd International Display Workshops*, Hamamatsu, Japan, Vol. 1, 37-40, 1995.
5. R. Gy, S. Koch, N. E. Khiati, G. Courtemanche, J. Lapp, P. Barlier, and T. Ono, "New Glass Substrate for Color Plasma Panel," *SID Digest*, **27** 853-56 (1996).
6. K. Maeda, M. Nishizawa, T. Nakashima, and Y. Nakao, "Thermal Compaction of PDP Glass Substrates," *SID Digest*, **28** 544-47 (1997).
7. K. D. Kim and J. H. Hwang, "Influence of BaO/(BaO+SrO) on Some Thermal Properties of R<sub>2</sub>O-RO-SiO Glasses for Plasma Display Panel Substrate," *Glass Science & Technology, Glastechn. Ber.*, **72** [12] 393-97 (1999).
8. K. D. Kim, "Influence of BaO/(SrO+BaO) on Melt Properties in R<sub>2</sub>O-RO-SiO Glasses for Plasma Display Panel Substrate," *Glass Technology*, **41** [5] 161-64 (2000).
9. M. S. Chang and K. B. Yoo, "Over View of PDP Components," *J. Kor. Inform. Disp.*, **2** [4] 19-29 (2001).
10. B. K. Kim, "Production Technology of Plasma Display Panel," *J. Kor. IEEEM*, **13** [8] 44-50 (2000).
11. H. Scholze, "Glas : Natur, Struktur, Eigenschaften"; pp. 126-128, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1988.
12. A. K. Varshneya, "Fundamental of Inorganic Glasses"; pp. 194-204, Academic Press, 1994.
13. J. Hlavac, "The Technology of Glass and Ceramics : An Introduction"; pp. 70-78, Elsevier Science Publishers, 1983.
14. H. Jebesen-Marwedel and R. Bruckner, "Glastechnische Fabrikationsfehler"; pp. 277-280, Springer-Verlag, 1980.
15. P. W. McMillan, "Glass-Ceramics"; pp. 48-57, Second edition, Academic Press, 1979.
16. H. Rawson, "Properties and Application of Glass"; pp. 67-89, Elsevier Scientific Publishing Company, 1980.
17. M. Anma, "A New Measurement Method of Thermal Dimensional Stability of Glass and Its Application to LCD Substrates," *Glass Technology*, **40** [4] 121-26 (1999).
18. C. R. Bamford, "Colour Generation and Control in Glass"; pp. 141-144, Elsevier Scientific Publishing Company, 1977.