

고성능 플라스틱 기판 재료 개발동향

유연 디스플레이는 차세대 디스플레이로서 많은 관심의 대상이며 아직까지 양산되는 모델은 매우 적지만, 개발자들의 상상 속에서 다양한 용도로 제안되어 왔다. 하지만 아직까지 영화 속에서 보이는, 휴대가 간편하고 시간과 환경에 관계없이 이용할 수 있는 유비쿼터스(Ubiquitous)한 디스플레이가 실용화되기에는 몇 단계 진화과정이 필요할 것으로 예상된다. 유연 기판은 현재의 유리 기판 디스플레이에서 벗어나서 깨지지 않는 기판을 시작으로 종이형태의 디스플레이를 구현할 수 있는 기판까지 개발이 진행되고 있다.

글: 김용석 선임연구원 / 한국화학연구원 정보전자 폴리머연구센터
황희남 부장 / (주)아이컴포넌트



플라스틱 기판의 정의

정말로 영화 속에서나 가능했던 일들이 가능해 지고 있다. 1990년의 영화 <토털 리콜>에서 주인공 아놀드는 아침식사를 하며 벽면 TV를 통해 뉴스를 보는데, 현재 우리 눈앞의 대형 벽걸이 TV는 더 이상 그러한 장면이 단지 영화 속만의 이야기가 아니라는 것을 알려준다.

또한 2002년의 영화 <마이내리티 리포트>의 주인공 톰이 전철 안에서 두루마리 디스플레이 신문을 보며 자신이 수배 당했음을

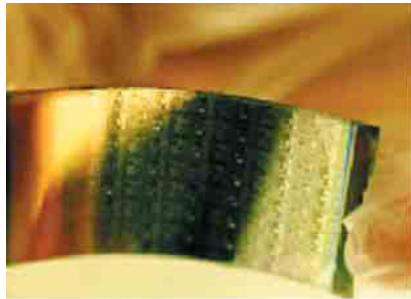
알게 되는 장면을 보면서도 우리들은 두루마리 디스플레이가 더 이상 우리의 상상에서만 존재하지 않는다는 것을 잘 알고 있다.

유연 디스플레이는 차세대 디스플레이로서 많은 관심의 대상이며 아직까지 양산되는 모델은 매우 적지만, 개발자들의 상상 속에서 다양한 용도로 제안되어 왔다. 하지만 아직까지 영화 속에서 보이는, 휴대가 간편하고 시간과 환경에 관계없이 이용할 수 있는 유비쿼터스(Ubiquitous)한 디스플레이가 실용화되기에는 몇 단계 진화과정이 필요할 것으로 예상된다.

2005년 2월에 개최된 플렉서블 디스플레이 엔드 마이크로일렉트로닉스 컨퍼런스에서 삼성전자는 유연한 기판을 이용한 디스플레이의 발전을 최종 단계로 정의하고 먼저 깨지지 않는(rugged) 디스플레이, 이후 굽혀지는(bendable) 디스플레이, 마지막으로 유연(flexible) 디스플레이의 구현을 예고했다. 이 경우 구현되는 디스플레이에 따른 응용 제품은 먼저 휴대용 기기 이후 착용가능 혹은 유행 제품 그리고 종이형태 디스플레이 등이 될 것이다. 유연 기판 역시 이에 상응할 수 있는 개발이 예상되고 현재의 유리 기판 디스플레이에서 벗어나서 깨지지 않는 기판을 시작으로 종이형태의 디스플레이를 구현할 수 있는 기판까지 개발이 진행되고 있다.



그림 1. 유연 디스플레이의 예(유리 기판상의 OLED)



(a) Princeton대학에서 구현한 Stainless steel 상의 TFT



(b)독일 Schott사에서 개발한 유연한 유리 기판



(c) 한국화학연구원에서 개발한 PES 기판을 이용한 TFT

그림 2. 다양한 종류의 유연 기판

		Substrate					
Property		PET	PEN	PC	PES	Polyarylate	Polyimide
CTE(−55 to 85°C) ppm/°C		V	V	V	V	V	VV
% Transmission(400–700nm)		VV	VV	VVV	VV	VV	X
Water absorption %		VV	VV	V	V	V	X
Young's modulus Gpa		V	V	V	V	V	VV
Tensile strengthMpa		V	V	V	V	V	VV
Solvent resistance		VV	VV	X	X	X	VVV
Upper Operating Temp		V	V	V	VV	VVV	VVV
VVV	Excellent	VV	Good	V	Moderate	X	poor

표 1. 플라스틱 기판소재로 사용가능한 고분자 필름의 대표적인 물성

고성능 플라스틱 기판 소재 및 연구동향

현재 유연 디스플레이를 위해 검토되고 있는 플라스틱 기판의 종류 및 내열 특성은 표 1과 같다. 플라스틱 기판소재는 엔지니어링 플라스틱에 강점을 가지고 있는 선진 화학업체를 중심으로 상업화 되고 있으며, 기판 소재 자체의 특성을 확보하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다. 플라스틱 기판 소재는 크게 모폴로지에 따라 무정형(amorphous) 및 반결정성(semi-crystalline) 고분자 수지로 나뉜다. 일반적으로 반결정성 고분자 수지에는 PET (polyethyleneterephthalate), PEN(polyethyleneterephthalate) 및 PEEK (polyetheretherketone) 수지 등이 있으며, 유리전이온도 기준으로 이들의 내열 온도는 80~150°C 수준이다. 이들 수지는 보통 용융-압출방식을 통하여 필름화한다. 용융-압출을 통한 필름화 공정은 낮은 공정비용으로 생산할 수 있다는 장점이 있으나, 가공 시 고분자 필름의 연신에 의해 광학적 특성이 감소하는 단점도 가지고 있다.

반면 반결정성 고분자 보다 일반적으로 내열성이 우수한 무정형 고분자 수지는 폴리카보네이트(PC), 폴리아릴레이트(PAR), 폴리에테르술폰(PES) 및 폴리이미드(PI) 등이 있으며 이들은 용융-압출 방식 외에도 용매 캐스팅 방법으로도 필름화가 가능한 것으

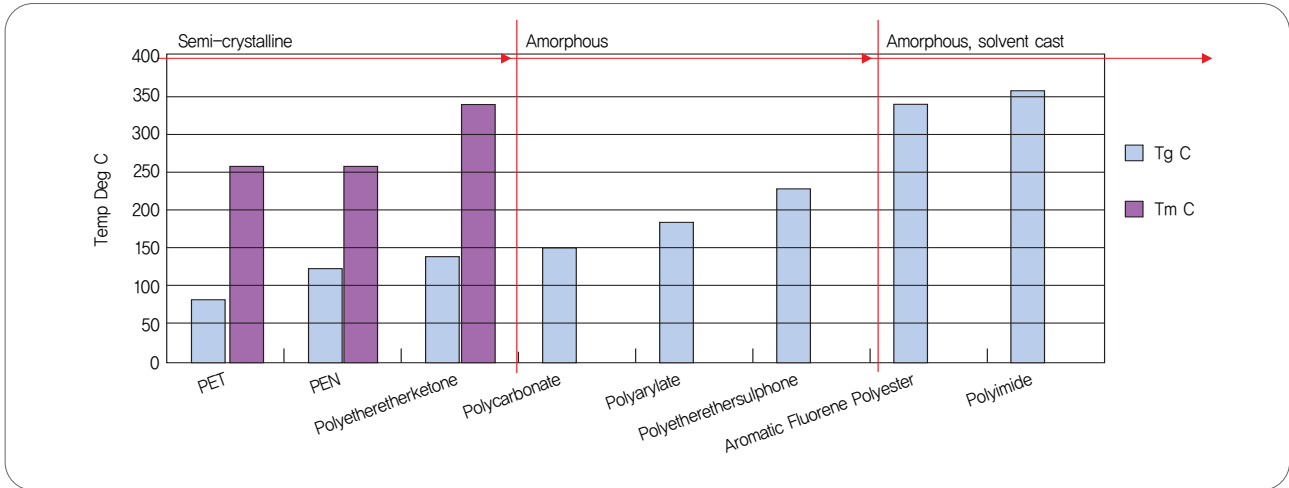


그림 3. 플라스틱 기판으로 사용가능한 고분자 필름의 모폴로지 및 내열 특성

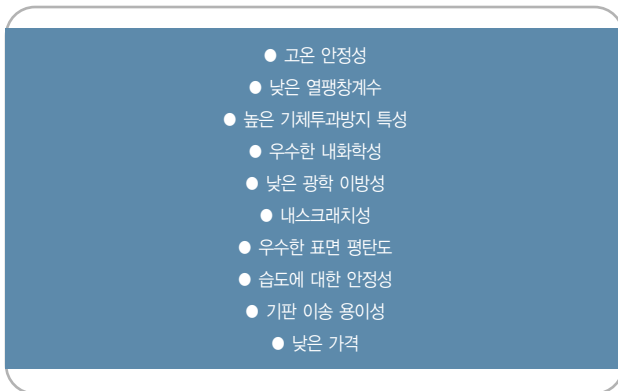


표 2. 플라스틱 기판의 요구특성

로 알려져 있다. 용매 캐스팅 방법은 우수한 광학적 특성을 유지할 수 있는 장점이 있으나, 생산성 및 용매의 회수 등 비교적 고비용의 생산방식으로 알려져 있다. 최근에는 플라스틱 기판 후보로서 내열성 및 치수안정성이 가장 우수한 폴리이미드 필름에 대한 관심이 증대되고 있다. 폴리이미드의 색상을 개선한 무색 폴리이미드는 색상 발현이 없는 분자구조의 설계가 가장 중요한 기술이다. 이를 경제성 있는 원료로 생산해야 하며 현재까지 디스플레이 용으로 상용화되어 시판되는 폴리이미드 필름은 없으나, 듀폰과 미쓰비시 가스 케미칼 및 한국화학연구원 등에서 최근 유연 디스플레이용으로 연구개발이 진행 중인 상태이다.

전유기 디스플레이를 포함한 유연 디스플레이의 제조 공정에서 필요한 플라스틱 기판에 대한 다양한 요구 사항을 표 2에 정리하였다.

고온 안정성은 디스플레이 공정에서 공정 온도가 높은 경우 필요한 기판의 안정성을 위해 필요한 특성으로 일반적으로 기판의 유리전이온도(glass transition temperature, Tg)로 평가한다. 고온 공정과 밀접한 특성 중 하나는 기판의 열팽창계수이다. 고온에서 미세한 공정을 필요로 하는 디스플레이 공정 특성상 온도 상승에 따라 열팽창이 큰 경우 공정의 정밀성을 위협할 가능성이 높다. 따라서 낮은 열팽창계수는 기판의 평가에 큰 영향을 끼칠 수 있다. 이러한 열적특성과 열팽창 계수는 소재 특성에 의해 결정되므로 새로운 구조의 고성능 필름 소재, 필름화 공정 및 대량 생산이 가능한 소재들이 개발되고 있다. 이와 더불어 내화학성 및 습도에 대한 안정성을 함께 고려된 소재도 기업중심으로 많은 관심을 가지는 분야이다.

광학 투과도, 표면 평탄도, 그리고 낮은 광학 이방성 등은 성형되는 광학 필름의 특성으로 필름에 나타나는 광학특성은 광학 필름으로 사용 가능 여부를 결정하는 중요한 척도이다. 이러한 광학 특성과 표면 평탄도는 필름의 가공에 의해 결정되는 특성으로 플라스틱 기판 상에 구현되는 다양한 코팅에 의해 변화가 되므로 코팅의 설계를 통하여 광학 필름의 광학특성을 악화시키지 않고

오히려 향상시키는 연구도 현재 진행되고 있다.

내스크래치성과 우수한 기판 이송 용이성은 기판 자체의 필요 특성이라기보다는 기판의 디스플레이 공정 용이성을 의미한다. 하지만 유리 기판과 차별화되는 플라스틱 기판이 디스플레이 공정에 적용된 경험이 없는 관계로 보다 실용적인 개발의 접근으로서 내스크래치 코팅 및 플라스틱 기판의 공정 이송 능력 확보는 플라스틱 기판의 적용을 보다 가속하는 개발이 될 것이다.

디스플레이 기판용 광학 필름 가공 업체로는 미국의 GE(현재 사우디의 SABIC으로 합병), 듀폰-테이진, 프로메러스 등의 업체가 있으며 일본의 스미토모 베이크라이트와 테이진사가 있다. 유럽에는 페라니아사가 있으며 국내에는 아이컴포넌트사가 PES 필름 개발을 성공했다. 또한 COC(cyclic olefin copolymer)를 이용하여 필름을 가공하고 있는 일본의 JSR사와 니폰 제온 등 역시 디스플레이 기판으로의 적용을 도모하는 것으로 예상된다. 국내에서는 LG 화학이 최근 유연 디스플레이 소재의 개발을 발표한 바 있다.

디스플레이 기판용 광학 필름의 경우 현재 사우디의 SABIC사로 합병된 GE사는 고내열성 폴리카보네이트(PC) 소재를 개발하여 필름 성형에 성공하였다. 일반적인 폴리카보네이트의 경우 유리전이온도는 150℃인데 신규 개발된 PC는 240℃의 유리전이온도를 보이는 것으로 발표되었다. 듀폰-테이진사는 160℃의 연속 사용온도를 가지는 PEN 필름의 개발을 발표하고 적절한 열처리를 통하여 필름 특성을 개선할 수 있음을 확인하였다. 프로메러스사는 미국에서 벤처로 시작하여 스미토모 베이크라이트사의 자회사로 편입된 업체로 폴리노보넨(Polynorbomene) 계열의 필름을 개발하였다. 프로메러스사에서 개발한 폴리노보넨 필름은 유리전이온도가 약 330℃로 알려졌다.

일본의 스미토모 베이크라이트사는 스미토모 화학에서 개발된 PES 수지를 이용하여 PES 광학 필름을 개발하였으며 최근에는 열수축율(CTE)이 크게 개선된 복합재를 이용한 필름 개발을 진행하고 있다. 일본의 테이진사는 미국의 GE사와 비슷한 개발을 진행하여 고내열성 폴리카보네이트를 개발한 것으로 알려졌다.

국내에서는 아이컴포넌트가 독일 BASF사의 광학용 PES 수지를 사용하여 디스플레이 기판용 광학 필름을 개발하였다. 개발된 PES 필름은 우수한 광학투과도, 낮은 광학이방성, 좋은 표면 평

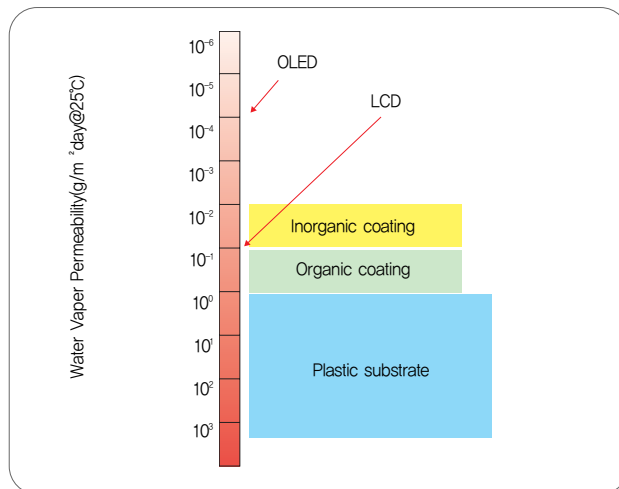


그림 4. 코팅에 대한 플라스틱 기판의 수분투과도의 영향

탄도 등의 특성을 보인다. 유럽의 경우 이탈리아의 페라니아사에서 개발한 아릴레이트 계열의 필름이 높은 Tg(약 320℃)를 보인다. 한국화학연구원에서는 폴리이미드 기반의 고내열 투명 필름 소재를 개발하였고, 나노복합화 기술 및 코팅 기술을 도입하여 BIF(Barrier Improvement Factor)를 3 이상 확보한 연구결과를 발표하였다. 또한 기존 기판 소재에 아크릴제를 도입하여 내화학성을 부여한 기판 소재에 대한 기반 연구를 이미 진행하여 일반 유기용매에 내화학성이 우수한 소재를 개발한 바 있다.

고기능 플라스틱 기판용 코팅 소재 및 연구동향

필름 코팅에 관련된 연구는 현재까지도 완벽한 해결책이 제시되지 않은 도전적인 연구 분야라 할 수 있다. 현재 개발되어지고 있는 유연 기판은 주로 투명한 플라스틱 필름에 다양한 코팅을 통하여 플라스틱 필름이 갖는 열악한 특성, 즉 내화학성, 기체투과 방지 특성을 극복하도록 하는 개발이 진행되고 있다. 이는 디스플레이 공정에서 사용되는 다양한 화합물에 대한 플라스틱 필름의 손상을 최소화하고 디스플레이의 수명을 장시간 유지하기 위해 기체투과방지 효과를 부여하는 것을 목적으로 한다. 특히 유기물 TFT와 유기발광 소재가 수분과 산소에 대해 치명적인 특성을 보이므로 기판은 이들을 수분과 산소로부터 격리시켜 수명을 유

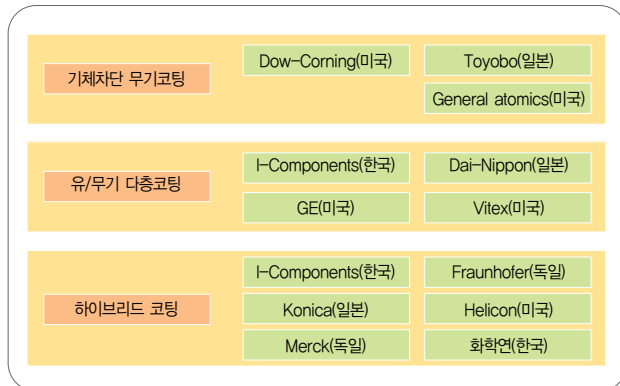


그림 5. 기체차단 코팅방법 및 관련 연구기관

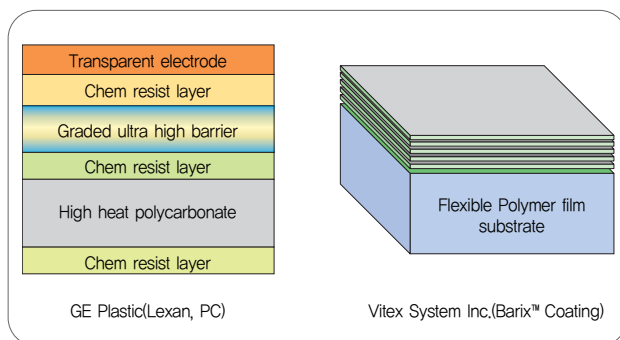


그림 6. 대표적인 다층 코팅 적용의 예

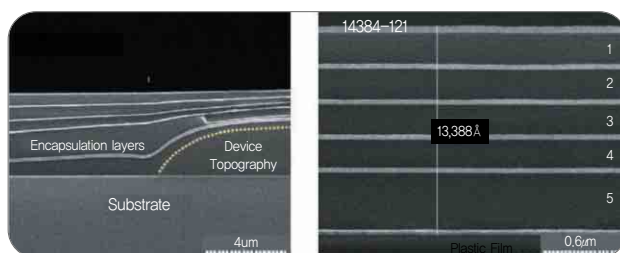


그림 7. 미국 바이텍스사의 Barix™ 코팅 단면

지시될 수 있는 보호막의 특징을 가져야한다. 일반적으로 플라스틱 필름의 수분 및 산소 투과 특성은 $10\sim100\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ 혹은 $\text{cc}/\text{m}^2/\text{day}$ 의 수준을 갖는다. 이에 비해 유기물 기반 디스플레이에 사용되는 유기물의 수명을 10,000시간 유지하는 데는 $10\sim6\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ 수준의 수분투과 방지 특성이 필요하다. 이러한 기체

차단 특성은 우선적으로 플라스틱 기판을 형성하는 플라스틱의 화학적인 구조, 결정질 혹은 비정질로 대변되는 모폴로지 등에 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 따라서 이러한 특성을 실현하기 위해서는 플라스틱 기판의 표면에 기체차단막 코팅하는 기술이 필수적이다.

기체투과 방지막 기술은 크게 그림 5에서와 같이 기체차단 무기코팅, 유/무기 다층코팅 및 하이브리드 코팅으로 크게 나눌 수 있다. 기체차단 무기코팅은 CVD 등의 방법을 이용하여 무기막을 형성하는 기술이며 미국의 General Atomics and Affiliated Company사는 최근 무정형의 단일층 사파이어 박막을 PET 위에 형성하여 $10\sim4\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ 의 수분차단성을 가지는 플라스틱 기판을 발표하였다. 한편 다우코닝은 축적된 PECVD 기술을 이용한 실리콘-탄소 복합박막을 플라스틱 필름상에 형성하는 방법으로 기체투과방지막을 개발하고 있다. 다우코닝사의 기술은 PECVD 공정 중에 투여되는 반응 기체의 조성을 변화하여 형성되는 단일막 내에서 응력완화의 역할을 위한 유연한 층과 기체투과방지막의 역할을 하는 밀도가 높은 투과 방지막 층을 동시에 형성하는 것으로 이 방법 역시 기판과 소자의 봉지기술에 동시에 적용 가능한 기술이다.

유/무기 다층 코팅의 경우, 미국의 바이텍스 시스템사가 선행 기술을 확보한 것으로 알려져 있다. 바이텍스 시스템사의 기술의 핵심은 유기물과 무기물 층의 반복적인 코팅을 통하여 기체투과 방지막 특성을 극대화하는 것으로 이는 유기물 층을 진공 중에서 코팅하고 경화시키는 flash evaporation 기술에 그 특화된 기술 실체가 있다고 할 수 있다.

바이텍스와는 다르게 미국의 Symmorphix사는 고품질의 무기물 층을 이용한 기체투과방지막 형성을 시도하고 있다. 고순도 고성능 스퍼터링 방법을 이용한 경우 Symmorphix사는 $10\sim3\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ 수준의 기체투과방지막을 PEN 필름 상에 달성했음을 보고했다.

미국의 GE사는 PC 필름상에 graded ultra high barrier를 코팅하여 기판 개발을 진행하였다. Graded ultra high barrier에 관한 발표 자료에 따르면, 다우코닝사의 개발품과 비슷한 구조를 갖지만 단일층을 갖는 다우코닝사의 구조와는 다르게 반복되는

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Flexible Display	5	10	15	25	40	80	130	210	340
Flexible LCD	2.5	5	7.5	12.5	20	40	65	105	170
Flexible Display의 50% 점유 가정									

표 3. 플렉서블 LCD의 시장

(단위 : US\$M) <디스플레이 산업기술 로드맵, 2007: i-SUPPLY, March 2006>

층 구조를 형성한 차이점이 있다. 이 경우 기체투과방지 특성은 10-5g/m²/day 수준으로서 매우 우수하다.

국내의 경우 현재 아이컴포넌트는 PES를 기반으로 한 유연 기판용 플라스틱 소재를 기반으로 무기 박막 코팅법을 통하여 MOCON 설비 측정 한계 이하인 10-4g/m²/day에 근접한 성능을 보이고 자동차 테스트에서도 이를 증명하는 실험실적 제조 기관의 실험결과를 확보하였다.

최근에는 기체 차단 특성이 기판 상에 존재하는 조그만 홀과 같은 결점에 크게 의존한다는 연구결과에 따라 이에 대한 검수 및 분석방법 개발이 매우 중요한 분야가 되고 있으며 이러한 결점을 사전에 차단하기 위해서 결점의 형태 및 종류에 따른 기판 특성 분석에 관한 연구가 진행되고 있다. 특히 미국의 다우코닝사는 Positronium Annihilation Lifetime Spectrum을 이용한 기체 투과방지막 특성 최적화를 도모하고 있으며, 국내에서도 아이컴포넌트를 중심으로 기판 특성 분석 기법에 대한 개발이 진행 중이다.

플라스틱 기판의 시장 동향

연 50%이상의 급격한 시장 성장률을 기대하는 유연 디스플레이 시장은 적합한 응용분야의 부재와 적절한 기판소재의 미개발로 인해 현재까지는 시장형성 초기 단계로 판단된다. 유연 디스플레이가 적용된 새로운 제품의 발굴과 LCD를 비롯한 FPD업체의 기술개발이 이루어져 유연 디스플레이의 주 성장기로 예측되는 2013 경에는 전 세계시장이 3억39백만 달러에 이를 것으로 예상된다. 또한 현재 디스플레이 제품시장의 과반이상을 차지하고 있는 LCD의 세계 시장은 2005년 약 540억 달러, 2008년에는 800

		2006	2007	2008	2009
LCD Market		55,360	61,520	66,230	66,310
Plastic	1.0% 대체	550	620	660	660
LCD	3.0% 대체	1,660	1,850	1,990	1,990

표 4. 플라스틱 LCD의 시장

(단위 : US\$M) <디스플레이 산업기술 로드맵, 2007: 산업자원부 '05,07>

억 달러를 초과할 전망이며, 여기에 포함된 플라스틱 LCD의 시장을 보면 2013년에 유연 디스플레이 시장의 50% 점유 시 1억 7천만 달러를 형성할 것으로 예측하고 있다.

보다 유연한 디스플레이를 위하여

커뮤니케이션의 증가라는 시대적 요구를 정보화 사회를 거쳐 좀 더 진화된 정보 네트워크 사회로 진화되기 위해서는 이동 가능한 인터페이스의 중요성이 자연적으로 증대하게 된다. 디지털화된 정보는 소리, 영상 등을 포함하는 미디어 정보 등을 포함한 방대한 양의 콘텐츠를 소화해 내야 하는 우수한 정보처리 능력을 요구하게 되고, 그것에 맞추어 경박·단소화되는 인터페이스가 필요하게 된다. 특히 정보화에 익숙한 세대들은 소프트웨어인 정보 콘텐츠를 확대 재생산하는 문화적 역할에 익숙하지만 하드웨어인 인터페이스 단말기는 경제·산업적인 면이 강하며, 우리나라의 경우 휴대전화, PDA 등의 단말기에 이미 강점을 가지고 있다. 그러한 점에서 유연성 디스플레이는 휴대성 및 디자인에 혁신적인 변화를 창출해 낼 것이며 이러한 유연한 디스플레이의 도래를 위해서는 플라스틱 기판의 개발 및 적용이 필수적이라 할 수 있다. 