

유기EL의 산업동향

이한규 수석연구원 / 전자부품연구원

I. 개요

최신 휴대전화기 앞부분에는 작은 화면이 있는데, 이 화면은 유기발광소자(유기EL)로 만든 것이다. 일부 오디오 제품에도 적용되는 이 유기발광소자는 CRT, LCD(액정표시장치)의 뒤를 잇는 차세대 디스플레이이다. 반면에 액정표시장치는 현재 노트북PC, 휴대전화, PDA 등에 많이 쓰이며, 액정의 배열을 바꾼 뒤 빛을 쏘여 화면을 만든다.

유기발광소자는 특수한 유기 물질로 만들어지며 전기가 통하면 유기 물질 안에 마이너스(-) 전기를 띠는 자유전자와 플러스(+) 전기를 띠는 정공(전자가 빠져나간 구멍)이 생기며 이 둘은 유기 물질 안에서 자유롭게 돌아다니다가 서로 충돌하면서 빛을 낸다.

유기발광소자는 스스로 빛을 내고, 구조도 더 간단하기 때문에 액정표시장치보다 더욱 얇으며, 디스플레이의 두께를 2mm 이하로 줄일 수 있어 벽걸이 TV나 휴대전화를 만드는 데 유리하고, 빛을 켜고 끄는 반응속도가 액정표시장치보다 1만배 이상 빨라 영화 등 동영상 구현하는데 적합하다.

기존 유기발광소자는 물이나 산소, 햇빛과 만나 잘 분해되고 발광효율이 낮아 작은 화면밖에 만들지 못한다. 그러나 빠르면 올해내에는 유기발광소자가 내부에 장착된 휴대전화가 판매될 전망이며 곧 벽걸이 TV에도 이용될 것으로 보인다. 유기발광소자의 가장 큰 특징은 유기물질로 만들어져 둘둘 말거나 구길 수도 있다는 것이다.

II. 시장의 변화

기기 시장의 성장에 힘입어 디스플레이 시장이 급변하고 있으며 2000년까지 디스플레이 시장의 주력 제품이었던 CRT가 TFT-LCD로 대체되는 한편, 유기EL, PDP 등 새로운 디스플레이 제품들이 시장에 진입함으로써 디스플레이간 경쟁이 가속화되고 있다.

이러한 경쟁은 휴대정보기기용 디스플레이 시장에서 특히 심화되고 있으며, 시장 확대를 노리는 STN-LCD와 TFT-LCD간 주도권 경쟁에 유기EL이나 저온 폴리 실리콘 LCD(Low Temperature Poly-silicon LCD: LTPS) 등 신기술 제품들이 가세함으로써 경쟁 양상이 더욱 복잡해지고 있다.

지난 2000년까지 평판 디스플레이의 성장을 견인한 것은 노트북 PC를 중심으로 하는 PC용 디스플레이 시장이었으나, 최근 이러한 시장 구조가 변화하고 있다. 패널 가격의 급격한 하락으로 노트북 PC용 디스플레이시장의 성장률이 크게 둔화된 대신, 모니터와 휴대정보기기 분야가 평판디스플레이 시장을 견인하고 있는 것이다. 이중에서도 1997년 21억 달러로 전체 시장의 17% 수준에 불과하였던 휴대정보기기용 디스플레이 시장은 2001년에 약 68억 달러로 4배 이상 증가하여 전체 시장의 28%를 점유함으로써 노트북 PC용 디스플레이 시장의 침체를 완화하여 주는 역할을 담당하였다.

휴대정보기기용 디스플레이 시장의 높은 성장세는 향후 2~3년 내에 2.5G 및 3G 이동통신서비스가 본격

화될 것으로 예상되고 있고 무선 랜 등을 이용한 데이터 통신 역시 급속도로 확산되고 있어, 현재 14%와 30%대에 머무르고 있는 이동전화단말기와 PDA의 컬러화 비중이 2005년경에는 각각 45%와 85% 수준으로 급증할 것으로 예상되고 있다.

이러한 기기 시장의 성장과 고급 디스플레이의 비중 확대 등으로 휴대정보기기용 디스플레이 시장은 2004년을 기점으로 노트북 PC용 디스플레이 시장을 추월할 것으로 보이며, 2005년에는 2001년에 비해 2배 이상 증가한 154억 달러의 시장을 형성할 것으로 기대되고 있다.

그러나 현재의 휴대정보기기용 디스플레이 시장은 PC 시장과 특성 등에서 상당한 차이를 보이고 있어 하나의 제품의 시장을 주도하기보다는 당분간 여러 디스플레이 제품들이 시장에서 공존할 가능성이 높다. 왜냐하면 시장의 목표가 고효상도 대화면으로 명확했던 PC용 디스플레이 시장과는 달리 휴대정보기기용 디스플레이 시장에서는 가볍고 얇으며, 전력 소모량이 적고, Sun-light Readability가 우수한 디스플레이가 가장 우선적으로 선호되기는 하지만 소비자들의 요구가 매우 다양한 편이다.

한편, 노트북 PC가 매우 고가의 제품으로 인식되었던 것과는 달리, 이동통신단말기는 범용 제품이라는 인식이 강하게 소비자에게 각인되어 있다는 점이다. a-Si TFT-LCD와 STN-LCD가 경쟁했던 90년대 초, 노트북 PC는 고가의 제품으로 인식되었고, 수요층도 구매력을 지닌 계층으로 한정되어 있었다.

이에 따라 당시 노트북 PC 시장에서는 가격보다는 기능과 품질 위주로 경쟁이 이루어졌으며, 가격 상승에 대한 소비자들의 저항감이 적어 별 어려움 없이 STN-LCD보다 비싼 a-Si TFT-LCD를 채택할 수 있었다.

반면 이동통신단말기의 경우 범용 제품의 성격을 지니고 있어, 저가의 디스플레이에 대한 요구가 매우 강하다. 이에 따라 화질이나 응답 속도 등 주요 속성에

서 큰 차이가 존재하지 않을 경우 가격이 매우 중요한 선택의 요소가 될 것이다.

DisplaySearch나 Nomura의 자료에 따르면 화면 크기가 작은 이동통신단말기 시장에서는 다른 디스플레이에 비해 가격 측면에서 유리한 STN-LCD가 2005년까지 주도적인 위치를 점유할 것으로 전망하고 있으며, 화질과 동화상 구현 능력이 우수한 유기EL과 LTPS는 High-end 제품을 중심으로 각각 10%~20% 내외의 시장을 점유할 것으로 예상하고 있다.

III. 기업 동향

휴대형 정보기기의 디스플레이 시장이 급성장할 것으로 예상되면서 주도권을 확보하려는 기업들간 경쟁이 매우 치열해지고 있다. 이미 Sharp나 Toshiba, Matsushita 등 일본의 주요 디스플레이 메이커들은 PC용 디스플레이 시장에서 벗어나 TV와 휴대정보기기 시장에 집중하고 있다.

주요 기업들이 경쟁적으로 휴대정보기기 시장에 집중하려고 하는 이면에는 이 시장이 PC용 디스플레이 시장과는 달리 경쟁 강도가 크지 않고 상대적으로 안정적이기 때문이다. 휴대정보기기용 디스플레이 시장은 이동전화단말기, PDA, 카 네비게이션 시스템, 웹패드, 디지털 카메라와 같은 휴대형 AV 기기 등 다양한 세부 시장으로 구성되어 있어, PC용 디스플레이 시장에 비해 경쟁 강도가 약하다. 또한 하나의 세부 시장에서 수요가 격감하더라도 다른 시장에서 쉽게 수요처를 모색할 수 있어 사업을 매우 안정적으로 운영할 수 있다는 장점이 있다.

그중 유기 EL은 고선명, 고속 응답성, 고화질, 넓은 시야각 등의 장점으로 LCD를 대체할 차세대 디스플레이로 각광을 받고 있으며 이에 따라 세계적으로 100여개 업체가 기술 개발에 참여하고 있다. 또한, 개발 기간의 단축을 통한 시장선점을 위해 원천기술을 보유한 업체간 전략적 제휴 및 합작법인 설립이 활발히 진행되고 있다.

〈표1〉각국의유기EL개발업체

한국	LG전자, 삼성SDI, 오리온전기, 하이디스 등
일본	ELDis, SK Display, Seiko-Epsons, Snoy, TDK등
미국	eMagin, Dupont, UDC 등
대만	RIT Display, Windell, Delta Optotics 등
유럽	Philips, CDT, Covion, Siemens 등

※자료출처 : 산업자원부

Toshiba와 Matsushita의 합작 기업인 TM Display는 LTPS와 유기EL에 역량을 집중하기로 하였으며, Sanyo의 경우 이동전화단말기와 디지털 카메라 시장을 목표로 유기EL을 양산하고 있다.

NEC 역시 삼성SDI와 합작 기업을 설립하여 유기EL을 양산할 계획이다. Sony는 2004년경부터 PDA와 노트북용 유기EL을 양산할 것으로 계획하고 있는 Toshiba와 Matsushita의 합작 기업인 TM Display는 LTPS와 유기EL에 역량을 집중하기로 하였으며, Sanyo의 경우 이동전화단말기와 디지털 카메라 시장을 목표로 유기EL을 양산하고 있다.

NEC 역시 삼성SDI와 합작 기업을 설립하여 유기EL을 양산할 계획이다. Sony는 2004년경부터 PDA와 노트북용 유기EL을 양산할 것으로 계획하고 있는데, 특히 Sony는 13~17인치 급의 Full-color 유기EL을 개발해 앞선 기술력을 과시한 바 있다.

또한 이들 선진 기업들은 원천 기술 보유기업들과의 제휴도 활발히 전개하고 있는데, Sanyo는 저분자계 유기EL의 원천 기술을 보유한 Kodak과 합작 기업을 설립하였으며, Seiko-Epson 역시 고분자계 유기EL의 원천기술 보유기업인 CDT와 합작하고 있다. Toshiba나 Sony 등도 UDC 등 다양한 유기발광재료 기술 보유 기업들과 제휴 관계를 형성하고 있다.

〈표2〉다국적기업들의 합작 및 전략적 제휴 현황

합작업체	전략적 제휴업체
Sanyo-Kodak=SK Display Corp.	Sony-Universal Display Corp
Pioneer-Sharp = ELDis	Seiko Epson-CDT
Toshiba-National/Panasonic=Toshiba-Matsushita	Delta Optoelec.-Dow
Samsung SDI - NEC = SNMD(Samsung - NEC - Mobile - Display)	Philips-CDT
Three - Five Sys. Inc.- Dupont - Intel = Three - D OLED	

※자료출처 : 산업자원부

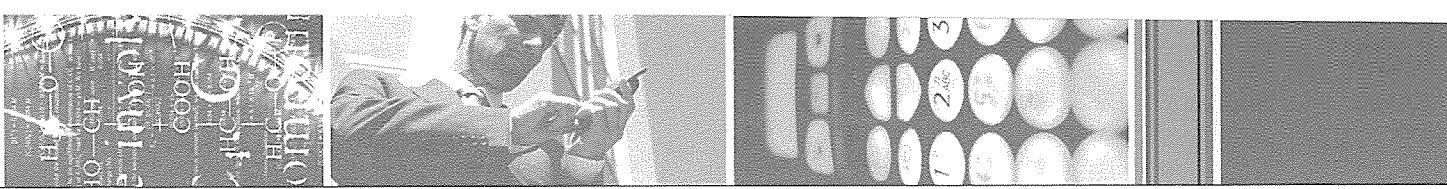
파이오니아, 소니, 산요, 세이코-업슨, eMagin 등이 시제품을 개발 하였으나, 상용화를 위해서는 재료의 고수명, 고신뢰성, 고효율·고화질, 양산기술 등의 개발이 필요하다. 기술개발 방향은 고분자/능동형, 고분자/수동형, 저분자/능동형, 저분자/수동형과 같이 재료와 구현방식이 주류를 이루고 있다.

〈표3〉유기EL의 재료별 / 구동방식별 장·단점비교

구분	장 점	단 점	원천기술보유업체
저분자	조기양산가능	대화면곤란	코닥(재료)
고분자	고색상구현	재료의 신뢰성 확보미흡	CDT(재료)
수동형	저가격, 단순제조공정	고소비전력, 제조공정복잡	Pioneer
능동형	대화면구현용이	고가격, 저소비전력	산요

※자료출처 : 산업자원부



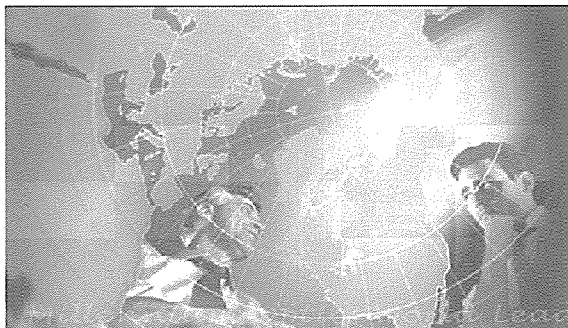


IV 기술 동향

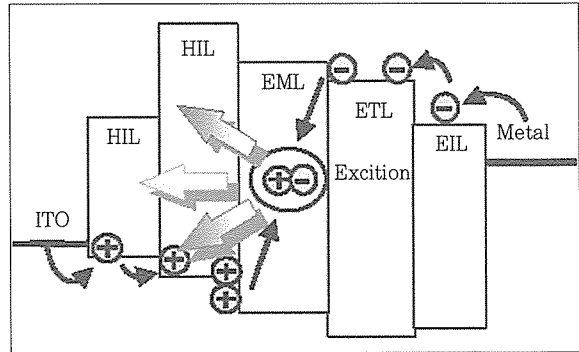
유기EL은 소자의 구동 방식에 따라 크게 수동형 (PM, Passive Matrix)과 능동형 (Active Matrix)으로 분류된다. PM 방식은 순간적으로 유기EL 소자를 높은 휘도로 발광하도록 하지만 AM은 유기EL 소자를 원하는 휘도에서 지속적으로 발광할 수 있다. 그러므로 PM 방식의 경우는 해상도가 높아지면 순간 발광 휘도가 더욱 높아져야 하며 짧은 시간 동안에만 소자를 동작시켜야 하므로 전력소모가 증가하여 대면적의 구현에는 부적합하다. 또한 순간적으로 매우 높은 휘도의 빛을 발광해야 하기 때문에 유기EL소자의 열화에 큰 영향을 미치게 된다. 이에 반해 AM형의 경우에는 유기EL 소자에서 지속적으로 발광하므로 낮은 전류로 구동이 가능하여 소비 전력에서 유리하다.

기술동향

일반적으로 유기EL 구조는 Anode(ITO), 유기박막, Cathode layer로 구성되며, 유기박막은 ETL (Electron Transport Layer), HTL (Hole Transport Layer)와 Emitting Layer로 구성되어 있으며 때로는 별도의 EIL (Electron Injecting Layer)와 HIL (Hole Injecting Layer)을 구성할 수 있다(그림 참조). 발광효율을 개선하고 원하는 Color를 얻기 위해 보통 emitting layer에 수 퍼센트의 유기물질을 doping 한다. 높은 전기전도도, 낮은 일함수와 부식에 잘 견디기 위해서 cathode는 금속합금으로 제조되며 보통 2가지 다른 금속을 co-evaporation시켜 증착한다.

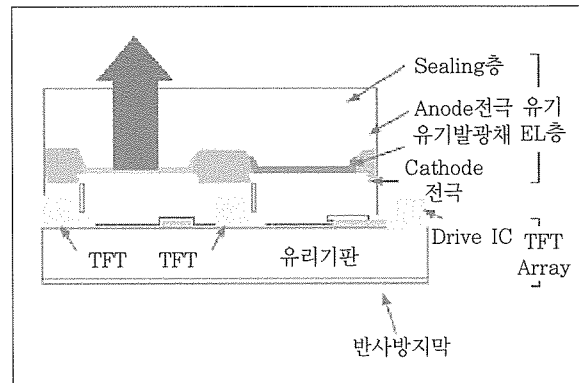


<그림 1>유기EL 소자의 Band Diagram



※자료출처:Advanced Neotech System

<그림 2>유기EL의 구조



※자료출처 : 삼성-NEC

일반적으로 유기 박막 층들과 electrode는 금속 shadow mask를 이용하여 증착하며, 이 shadow mask는 각각의 층에 따라 다른 종류를 사용할 수도 있다. 증착 공정은 10-7 torr 이하의 고진공 상태에서 진행되며 유기EL 구조는 투명전극 (ITO)이 기판 (glass)위에 증착되고 빛이 이 기판을 통해서 발광된다. 보통 glass 기판 위에 precoating 되거나 etching된 ITO가 사용된다. ITO가 유기물 증착 전에 산소 플라즈마를 이용한 pretreatment를 하면 유기EL 소자의 발광효율을 매우 개선할 수 있다. 따라서 Plasmapre-treatment chamber도 필요하다.

Kodak의 공정을 예로 들면, 유기EL 제조장비는 patterned ITO electrode 기판이 먼저 Plasma

pretreatment chamber에서 O₂ Plasma를 이용하여 ITO 표면을 pretreatment 시킨다.

그리고 150Å HIL(CuPc) 및 600Å HTL(NPB)이 진공 chamber에서 증착. 그리고 나서 Alq₃ 와 DMQA로 구성된 dopedemitting layer가 375Å 정도의 두께로 co-evaporation 된다. 이후에 dopant (DMQA) source를 끄고, Alq₃ source만으로 375Å 정도를 추가 증착한다. 이 doping 되지 않은 Alq₃ 막은 ETL로 활용된다. 유기물의 증착 속도는 ~4Å/sec. 마지막으로 top electrode는 Mg와 Ag 등으로 2000Å 정도의 두께로 co-evaporation 된다. Mg:Ag의 비율은 10:1 이고 Mg는 ~10Å/sec의 속도로 증착.

유기EL 소자는 수분과 공기에 매우 취약한 다층 박막 구조이므로 반드시 수분과 공기로부터 차단시켜야 한다. 따라서 진공에서 robot을 이용하여 기판을 이송하는 multi-chamber장비가 필요하며 높은 생산성을 보장한다.

성공함으로써 유기 EL은 놀라운 진보를 이룩했으며 고휘도 저소비전력, 소자의 장수명화가 실현되어 유기 EL은 액정을 대신하는 차세대 평판디스플레이로서 크게 기대 받고 있다.

현재 유기EL은 기판에 유리뿐만 아니라 폴리머 필름(플라스틱)을 사용하는 연구가 미국 DuPont社에서 진행되고 있다. 현재의 유리기판에서도 유기EL은 2mm 정도의 두께를 실현하고 있는데 플라스틱을 사용하면 필름상태의 초박형 디스플레이 구현이 가능하다. 고성능 표시장치의 실현을 위한 유기EL 소자 개발을 위해서는 다음의 몇 가지 문제가 해결되어야 한다.

- ① 낮은 작동전압에서 충분한 캐리어를 전극에 주입시켜야 함.
- ② 높은 형광 효율을 가지는 유기물의 적절한 선택이 필요함.
- ③ 전극과 접합이 쉬운 박막층의 제작이 용이해야 함.
- ④ 동작중 소자의 안정성과 견고성이 보장되어야 함.

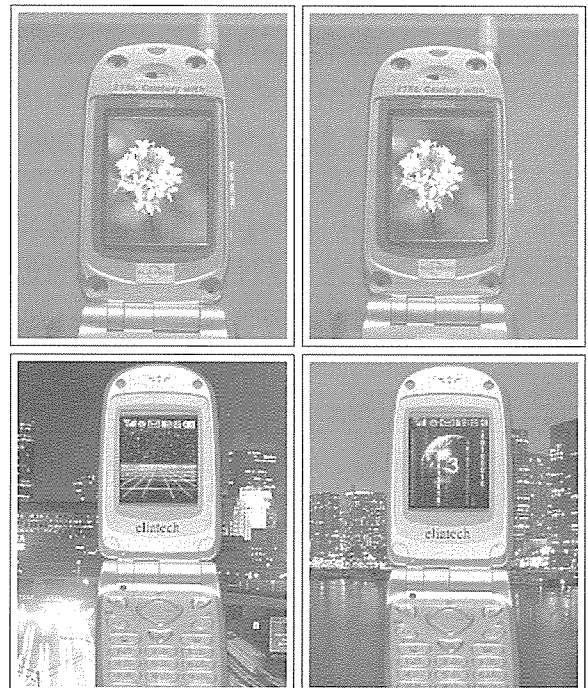
유기EL의 기술발전

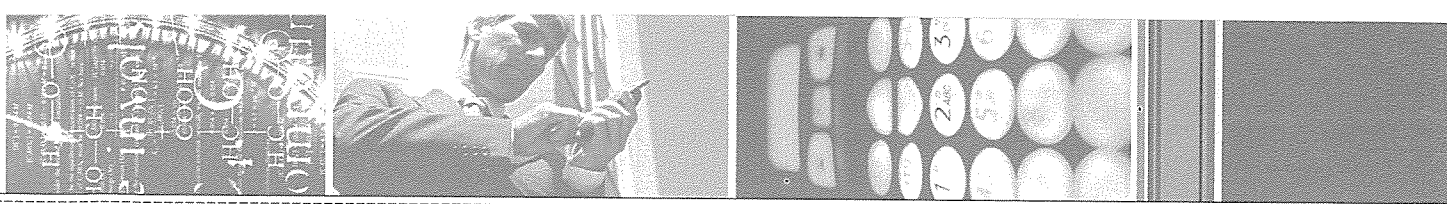
〈그림3〉연도별유기EL Roadmap

구분	1999	2000	2001	2002	2003	2004
재 료	총 천연색 재료개발					
	3층소자-50ml/W					
소 자	잉크젯 프린팅 기술					
Panel	다색 수동매트릭스		대량생산	총천연색 능동 매트릭스(AMOLED)		
	저온Poly-Si개발					
	automobile/mobile phone		오디오-영상장치	광 원		

※자료출처 : FPD Expo Korea 99 Conf., Tech. Seminar

유기EL은 1960년대에 연구가 시작되어 1987년 미국의 이스트맨 코닥社가 유기EL의 고휘도화에 관한 논문을 발표한 이후 디스플레이로서 본격적으로 검토되기 시작했다. 이어 1993년 일본에서 RGB 3색을 동시에 반사시켜 자연광에 가까운 백색광을 나타내는데





[유기EL의 요소기술]

다음은 대면적 유기 EL에서 확립되어야 할 요소 기술과 요구사항을 정리한 표이다.

〈표4〉요소기술 및 세부 적용기술

요소기술	요구사항	적용기술
고수율 고균일 대면적유기박막 증착기술	대면적 박막제조	대형 고진공기술 대면적 진공증착 기술
	고균일, 고수율박막증착	증착속도제어, 고수율 패널, 균일도 평가기술
폴칼라화 및 고정세화 기술	Device 고정세화	photo-lithography, laser-imaging, 고분자
	폴칼라화	유기물 전사방법, 고분자 full color화
유기EL / TFT 복합공정기술	박막적층 공정기술	유기 박막형성공정, 무기/금속박막형성공정
	유기EL / TFT 복합	TFT적용R/G/B화소형성, 유기/무기계면
	대면적 유기EL소자	양산화실장기술, 박막균일도확보
유기EL / TFT 구동회로기술	패널설계기술	TFT-E 소자의 모델링 EL소자의 계면, 열화
	구동기술	TFT 보상회로설계, 정전류Source용 회로기술
유기EL 장수명화를 위한 Encapsulation 기술개발	유기물 접착	수분, 산소 투과도 최소화, 접착강도 신뢰성확보
	무기물접착제	저온 접착성, 접착신뢰성
	무기물 접착공정	장비설계 및 제작, 양산성
	박막코팅	재료및 성막법, 성막장치제작
유기디 다층버진공 박막증착기 개발	SXGA급 폴칼라 유기EL 패널제작 양산 및 평가	고정세 마스크 제작장비, 고정세 RGB 미세패턴 독립증착장비기술
유기 단분자 발광 재료 및 평가기술	고휘도 발광 단분자재료	RGB발광 및 전하수송재료 합성 및 설계기술, 발광재료 scale-up 및 고순도화 및 소자평가
유기고분자발광재료	고휘도발광고분자 재료	RGB발광 재료합성 및 평가기술
단위소자 최적화 기술	발광화소 구조, 최적화 소자수명 및 내구성 향상	고휘도화를 위한 도핑기술, 다층구조 고효율화 소자수명 및 내구성 향상 기술

※자료출처 : 디스플레이기술 Road Map과 신기술동향, 성균관대학교

V. 발전 가능성

유기 EL은 STN-LCD나 TFT-LCD 등 현재 휴대 정보기기용 디스플레이의 주력 제품들에 비해 보다 우수한 기술적 특성을 가지고 있다. 향후 STN-LCD나 TFT-LCD도 성능 개선이 활발히 이루어질 것이나, 이들 제품이 지니고 있는 원천적인 한계로 인해 화질과 視認性, 동영상 구현 능력 등에서 유기 EL을 능가하기 어려울 것이며, 다양한 디스플레이 제품들이 공존하더라도 궁극적으로는 기술적으로 우수한 유기 EL이 시장을 주도할 것으로 보인다.

유기 EL은 이제 막 출시되고 있는 새로운 제품임에도 기술 발전에 필요한 기반이 비교적 탄탄하다. 유기 EL의 주력 기술로 부각이 예상되는 Active Matrix 방식의 경우 이미 상당히 발전되어 있는 LTPS 기술에 기반하고 있으며 소자 구조나 구동 방식 측면에서 TFT-LCD와 유사한 기술기반을 지니고 있다. 이에 따라 유기EL은 TFT-LCD나 PDP의 시장 진입 초기에서와 같은 기술적 어려움이 많지 않을 것으로 전망된다.

아직 수명이 짧고 발광 효율이 낮다는 점에서 유기 EL 상용화의 제약으로 작용하고 있으나 최근 유기 EL의 성장성을 높여 평가하고 있는 화학 및 재료 전문기업들의 참여가 급증하고 있고, 1~2년간 장수명, 고효율 유기발광재료의 개발이 다양하고 활발하게 이루어지고 있기 때문에 이러한 단점은 빠른 시간 내에 해결될 가능성이 매우 높아 유기 발광재료의 문제가 발전의 걸림돌로 작용하지는 않을 것으로 보인다.

아직 유기 EL이 수명 색상 등에서 기존 제품들에 비해 열세에 있어 당분간 이동전화 단말기 등의 소형 디스플레이 시장에 머무를 것이나, 수율 및 생산성 개선을 통한 가격 경쟁력의 확보, 수명 등 기술적 한계의 극복, 대화면화를 통한 중대형 시장으로의 진입 등의 과정을 거치면서 발전할 것으로 예상된다.

〈주간 전자정보 자료제공〉