

# LCD의 현황과 전망

□ 강대승 / 송실대 전기제어시스템공학부 교수

## 서론

“삼성전자와 LG전자가 40인치대 LCD TV 가격을 100만원 가량 대폭 인하, 400만원대로 떨어뜨리면서 대형 LCD TV 부문의 가격 경쟁이 불붙었다. LCD TV의 최대 단점이던 가격 장벽이 허물어지면서 40인치대가 LCD TV의 주력으로 급부상할 전망이며 같은 크기의 PDP TV와의 가격 차가 크게 좁혀져 40인치대 시장을 둘러싼 LCD와 PDP간 경쟁도 격화될 것으로 예상된다. (2005.9. 연합뉴스)”

현재 디스플레이산업이 한국의 주요수출품으로 국내경제를 선도하고 있는 바, 특히 평판디스플레이분야(LCD, PDP, OLED)의 관심이 집중되고 있다. 또한, 디스플레이 산업내에서도 시장경쟁력을 확보하기 위하여 사활을 건 전투가 치열하다. 두껍고 무거우며 소비전력이 많은 브라운관(CRT)의 단점을 보완한 평판디스플레이가 80년대 중반 이후 TV, 컴퓨터모니터 등에 채택되었고, 평판디스플레이 중에서 LCD가, LCD 중에서는 TFT-LCD가 기술 및 시장 측면에서 가장 유망하다.

본 글에서는 제2절에서는 LCD의 제조공정과 동작원리를 중심으로 액정과 LCD에 대해 설명하고, 제3절에서는 LCD의 현황을 기술한다. 응용분야의 확대, 향후의 시장전망 등 LCD의 전망을 제4절에서 다루고자 한다.

## LCD 동작원리

### LC 이란

액정(LC, liquid crystal)은 등방성 액체(liquid)와 결정성 고체(crystal)의 중간상을 지닌 물질을 의미한다. 1888년 오스트리아 생물학자인 F. Reinitzer와 독일의 물리학자인 O. Lehmann에 의해 최초로 발견되었다. 식물에서 추출한 콜레스테롤과 관련된 유기 물질이 145℃가 되었을 때 탁한 액체 상태로 변화하고, 178℃가 되었을 때 맑은 액체 상태로 변화하는 것을 관찰하였고, 많은 실험과 연구 끝에 이 혼탁한 액체가 다른 액체와는 달리 고체와 같이 다소 규칙적인 분자 배열(결정)을 갖는다는 것을 알게 되었다. Lehmann은 액체처럼 흐르는 성질을 가지면서 고체와 같은 결정 구조를 갖는다는 의미로 이 물질을 ‘액정(Liquid Crystal)’이라 이름을 짓게 되었다(그림1). 즉, 액정은 액체처럼 유동성을 지니고 있으며 동시에 고체처럼 탄성체의 기능을 하는 점탄성물질이다. 이러한 액정의 특성을 이용하여 온도계, 광소자등 다양한 응용소자(device)를 만들 수 있는데, 일반적으로 액정디스플레이(LCD, liquid crystal display)는 그 중 액정을 이용한 표시소자를 의미한다.

액정상에는 여러가지 부상(subphase)이 있는데, 상용화된 LCD에 주로 쓰이는 네마틱(nematic) 액정의외에도, 층구조를 지닌 smectic, 나선구조를 갖는

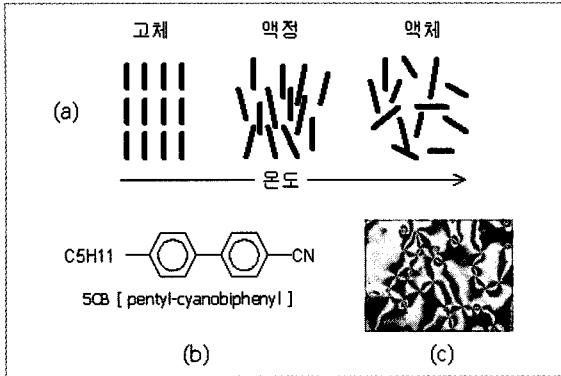


그림 1 액정의 (a) 상변화, (b) 분자구조, (c) 편광현미경사진

cholesteric 액정등이 있다.

### LCD 동작원리

대개 막대모양 분자구조를 지닌 액정물질은 분자구조의 특성으로 인해 장축방향과 단축방향으로 유전율, 투자율, 전도도, 굴절률등 물리적 성질이 다르다. 특히, 유전체인 액정이 지닌 유전율이방성을 이용하여 외부에서 전기장(전계)을 인가하여 액정분자들의 움직임(재배열)을 유도하고, 굴절률이방성을 이용해 두 장의 편광판(polarizer)를 사이에 존재하는 액정층을 통과하는 빛의 양 즉, 광학적인 투과율을 조절할 수 있다.

초기 LCD에 쓰인 TN(twisted nematic) 모드의 동작원리를 설명하면 그림2와 같다. ITO(Indium Tin Oxide)투명전극이 있는 두 장의 유리기판사이에 액정이 들어있는데, 상하 유리기판에 액정분자의 방향을 제어하기 위한 폴리이미드고분자 배향막(alignment layer)이 있다. 배향방향이 서로 90도를 이루도록 한 배향시키는데 (예, 벨벳천 같은 배향포로 문지름), 이 경우, 액정분자들이 비틀린 구조로 배열하게 된다. 두 장의 편광자를 평행하게 두면 백라이트(backlight)에서 나온 입사광이 첫 번째 편광자를 통과하여 선편광되고, 편광방향이 회전하는 선광효과에 의해 액정층을 통과할 때는 90도 어긋나게 선편광되고, 이때 두 번째 편광자의 투과방향과 직교하므로 입사광이 투과되지 않는다. 한편, 외부에서 높은 전압을 인가하면, 액정분

자들의 비틀림이 풀리고, 액정분자들이 기판에 수직한 방향으로 배열하게된다. 이 경우, 첫 번째 편광자를 통과하여 선편광된 입사광은 액정층이 비틀려있지 않아, 액정층을 통과한 후에도 편광방향의 변화가 없어 입사광이 100% 투과하게 된다. 이처럼 외부전압이 없을 때 어두운(dark)상태를 나타내어 NB(normally black) TN 모드라 한다. 그림2는 TN-LCD 동작원리의 개략도와 전압과 투과율 곡선을 보여주고 있다.

참고로 STN(super-twisted nematic)은 비틀림각을 240도로 한 것을 의미하고, TN만으로는 고해상도, 대용량, 대화면에의 응용이 불가능하기 때문에 비틀림각을 크게 하여 전기광학적 특성의 경사도를 향상시킨 것이다. 위상차판을 이용하여 바탕색을 보상함으로써 B/W(흑백)가 가능하며, 컬러필터를 사용하여 컬러화도 가능하다. 현재 TV 등 대형사이즈에는 시야각(viewing angle)의 문제를 해결하기위해 IPS(in plane switching), VA(vertical alignment), OCB(Optically compensated birefringence) 모드등이 개발되어 이용되고 있다 (그림3).

### TFT-LCD 원리

또한 각화소의 신호전압을 조절하기위해 스위칭소자로 트랜지스터를 이용하는데, LCD 유리기판에 부착된 것을 박막트랜지스터(thin film transistor, TFT)라 한

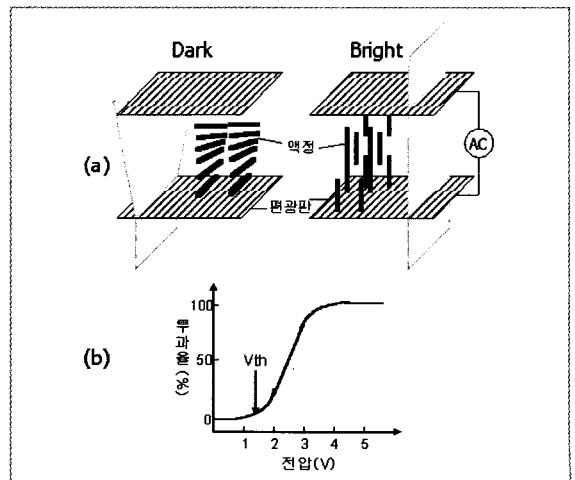


그림 2 TN-LCD의 (a) 동작원리와 (b)전압대투과율.

다. FET(전계효과트랜지스터)와 유사한 구조를 지닌 TFT(Thin Film Transistor)소자의 반도체재료의 종류에 따라 크게 a-Si(비정질 실리콘, amorphous silicon) TFT와 폴리Si(polycrystalline Si) TFT로 나뉜다. a-Si TFT의 중요한 장점은 비록 전자의 이동도가 떨어지지만 제조공정에서 기관 처리 온도가 상대적으로 낮은 300-350℃ 이하에서 진행되기 때문에 폴리Si TFT와 달리 유리기관을 사용할 수 있으며, 대형화가 가능하다는 것이다. 폴리Si에도 고온폴리 Si-TFT과 저온공정을 위해 a-Si를 레이저등의 방법을 이용해 폴리Si로 유도하는 저온폴리 Si(LTPS, low-temperature polycrystalline Si) TFT로 나눌 수 있다. 이들 중에서 a-Si를 사용한 TFT-LCD가 가장 널리 사용된다. 표 1은 현재 연구개발중인 다양한 LCD를 분류하고 있다.

### LCD 제조공정

LCD 구동방법은 TN-LCD, STN-LCD등에 적용되는 수동 매트릭스(PM, passive matrix)과 TFT-LCD에 적용되는 능동 매트릭스(AM, active matrix) 방식이 있고, 이 방식에 따라 제조공정에 차이가 있는데, 여기서는 주로 접하는 TFT-LCD의 제조공정을 간략히 소개하고자 한다. 크게, TFT Array 공정, 컬러필터 공정, 액정 공

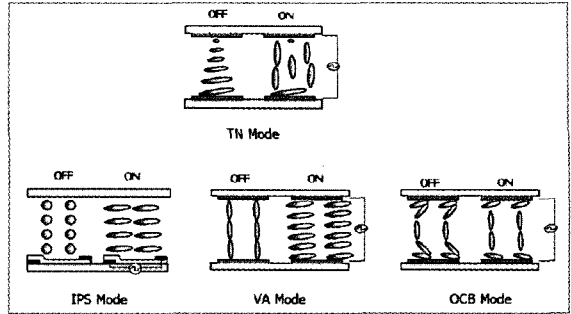


그림 3 TN모드와 여러 가지 광시야각 LCD모드

정, 모듈 공정으로 나눌 수 있는데, TFT array 공정에서는 유리기관위에 게이트전극, 절연막 및 반도체막, 데이터전극, 보호막, 화소전극을 증착·패턴하는 과정입니다. 각 과정에는 증착, 감광제도포, 노광, 현상, 식각, 박리등의 photolithography 공정을 반복한다. 컬러필터공정은 컬러 자료를 표현할 수 있는 컬러 화소를 배열한 상부기관을 제조하는 과정이다. 컬러 필터는 블랙 매트릭스(Black Matrix)로 분할된 3가지 기본 컬러(빛의 3원 색-적색, 녹색, 청색)의 염료나 안료이다. 액정 공정은 서로 다른 제조 공정을 거쳐 완성된 TFT Array 기관과 컬러 필터 기관 사이에 액정 셀을 형성하는 공정이다. 양 기관에 고분자 배향막을 도포하고, 특

표 1 LCD 분류. AM: active matrix, PM:passive matrix, FFS:fringe field switching, ZBD:zenithal bistable display, BTN:bistable twisted nematic, SSFLC:surface stabilized ferroelectric LC, AFLC: antiferroelectric LC

분류기준	LCD 모드	특징	주요장점
구동방법	AMLCD	a-Si-, LTPS-, HTPS- TFT, TFD, MIM, Plasma addressed	높은 해상도 가능
	PMLCD	--	저렴한 비용, 단순한 공정
동작원리	TN	90도 비틀림 배향, 보상필름필요	단순한 공정
	STN	240도 비틀림, 급한 전압대투과율 특성	PM방법 응용가능
	IPS	비틀림 없는 수평배향,	넓은 시야각
	VA	수직배향, 음의 유전율이방성	높은 투과율, 빠른 응답속도
	FFS	수평배향	넓은 시야각, 높은 투과율
	OCB	pretilt 있는 수평배향,	빠른 응답속도, 넓은 시야각
	ZBD	메모리효과, grating 표면배향	낮은 전력소모
	BTN	180도 비틀림 배향, 쌍안정성	빠른 응답속도, 넓은 시야각
	SSFLC	강유전성액정, 고속응답	고속응답, 메모리
AFLC	반강유전성액정, 계조표시가능	계조표시가능	

정방향으로 문질러주고, 스페이서를 산포하고, sealant를 도포하고 합착한다. 이 액정셀에 액정을 주입하고 편광판을 부착한다. 모듈 공정은 각 공정에서 제작한 LCD 패널, 구동회로, 백라이트 등을 하나의 LCD 모듈로 조립하는 공정이다

## LCD 개발 현황

최초 1970년대 일본의 Sharp 등에서 개인용 계산기

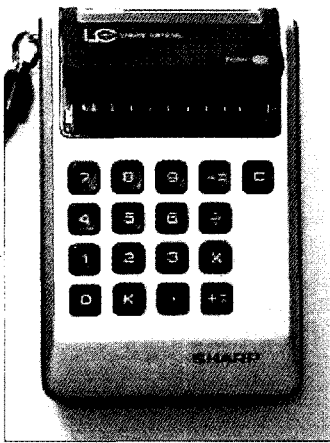


그림 4 최초의 LCD, Sharp 의 EL-805

의 화면으로 시작하여 현재, PC, TV, 핸드폰, 프로젝터에 다양한 형태로 실생활에 액정디스플레이(LCD)가 이용되고 있다. 1973년 전자 계산기와 전자 시계의 주요 표시 장

치(그림4)로 각광을 받기 시작하면서 꾸준히 발전을 거듭해 1986년에는 STN-LCD와 소형 TFT-LCD가 실용화되는 단계에 이르게 되었습니다.

10인치 TFT-LCD의 양산화가 실현된 1990년대에 이르러서는 노트북 PC의 대표적인 표시 장치로 자리를 잡았고, 현재는 CRT를 대체할 차세대 표시 장치로 자리 매김하며, 컴퓨터 모니터, 디지털 TV, 핸드폰 등에 폭넓게 활용되고 있습니다. 표2는 LCD, 그중 특히 TFT-LCD의 역사를 보여주고있다. 국내에서는 1990년 이후 삼성과 LG가 95년 양산을 개시한 이후 불과 4년 만에 세계 1, 2위로 도약하였다. 그림5는 유리기판사이즈의 변화, 응용분야의 확대, 해상도 변화등 초기개발이후 현재에 이르기까지 TFT-LCD 크기 발전을 보여주고 있다.

### 국내기업

비록 출발은 일본이나 유럽에 비해 늦었지만, 1998년 한국 삼성이 LCD 패널제조에서 세계 1위 기업이 되었고, 현재, 한국의 삼성전자와 LG(LG-Philips LCD)가 1,2위를 다투며 최고기업을 고수하고 있다. 또한, 국가별 현황에서는 2001년 이후 한국의 생산능력이 일본을 추월하였다.

표 2 LCD 개발 역사

년도	연구개발	제안자 및 회사
1888	액정발견, Cholesterol Benzoate	Reinitzer(오스트리아), Lehmann(독일)
1962	DMS-LCD	Williams (미국 RCA)
1971	TN-LCD	Schadt, Helfrich(스위스)
1972	Active matrix 제안 CdSe-TFT	Brody (미국 Westinghouse)
1973	최초의 상용화, 전자계산기 계기판용 LCD	일본 Sharp
1979	a-Si TFT 적용제안	LeComber (영국 Dundee 대학)
1980	SSFLC 제안	Clark, Lagerwall (미국 Colorado 대학)
1982	Pocket TV 최초개발	일본 Seiko-Epson
1984	STN-LCD	Scheffer, Nehring(스위스)
1988	4" TV 상품화	일본 Hitachi, Sharp
1989	14.3" TFT-LCD	일본 Toshiba
1992	10" Notebook	일본 Toshiba, Matsushita, NEC, 한국 Samsung
1996	40" (28" 2개 연결)	일본 Sharp
2000	29" TFT-LCD TV	한국 LG-Philips
2005	82" TFT-LCD TV 개발	한국 Samsung

삼성은 1986년 삼성전관(현 삼성SDI)에서 LCD사업을 시작하였고 1990년 STN-LCD 생산, 1992년 10.4인치 칼라 TFT-LCD를 제조하였다. 1993년 최초 양산판매 2세대라인을 갖추었고, 1997년 30인치 TFT-LCD 개발, 2002년 디지털 TV용 세계 최대 54인치 TFT-LCD 개발, 2004년 46인치LCD TV 세계최초 시판, 2005년 82인치 TFT-LCD를 개발하였다. 또한, 2004년 4월 삼성전자와 소

니와 합작으로 S-LCD를 세우고, 2005년 상반기내 세계 최대 7세대 라인의 양산준비를 진행해 오고 있다. 2005.6 대형 LCD 생산 누적 1억대 돌파하였다고 발표하였다. LG는 1987년 당시 금성사 중앙연구소에서 TFT-LCD개발을 시작하여 1995년 구미1공장 준공과 더불어 양산을 시작하였다. 1999년 Philips 와 합작하여 LG Philips LCD사가 출범하여 2002년 42인치 TFT-LCD, 2003년 55인치 HDTV용 TFT-LCD 개발, 2004년 6세대라인을 구미에 준공하여 패널을 양산하고 있으며, 현재 7세대라인을 경기도 파주에 건설중이다. 2005년 2·4분기 대형 TFT LCD 시장 점유율 22.2%을 이룩하였다. 1989년 현대전자 LCD사업본부에서 TN/STN LCD 사업을 시작하여 1996년 TFT-LCD 제1라인에서 양산을 시작하였다. 2003년 비오이하이디스로 재편되었고, 현재 국내에 3개의 생산라인을 가지고 있으며, 중국 비오이오티에서 5세대 TFT-LCD를 양산하기 시작하였다.

이렇듯 국내는 대기업을 중심으로 반도체에서의 축적된 기술을 바탕으로 TFT-LCD에서도 특히 10인치이상의 대형사이즈 LCD에서 우위를 점하고 있다.

### 국외기업

일본은 우리보다 10여년 앞서 LCD 부문에 기술과

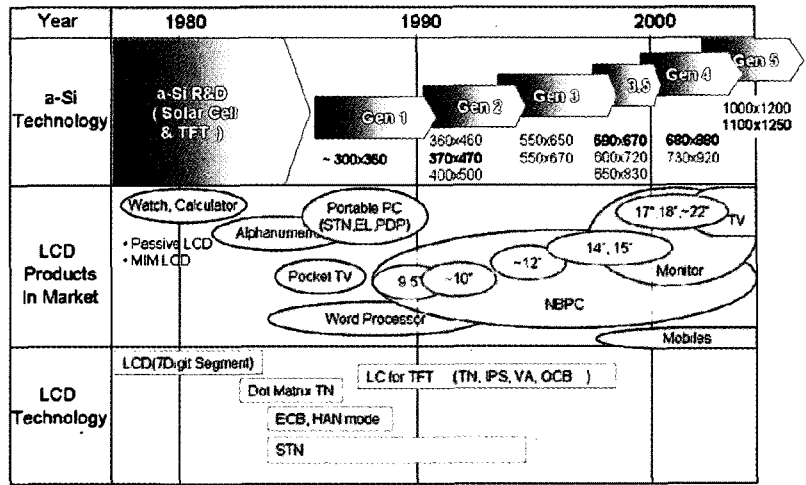


그림 5 LCD 발전방향. 출처: 한국액정어름학교(2002)

투자를 들었다. Sharp, Hitachi, Matsushita, Fujitsu, Mitsubishi, NEC 등 많은 일본기업들이 앞다투어 LCD를 연구개발에 참여하며 2001년까지 우위를 차지하였으나 그 이후 한국에 그 위치를 내어주게 되었다. 현재는 Sharp, Sanyo-Epson, TMD(도시바와 마쓰시다 합작) 등에서 중 소형 LCD에 전념하고 있다. 일본 Sharp의 경우 1973년 세계 최초로 액정표시계산기(EL-805, 그림4 참조)를 제품화하여 20년 이상 세계 LCD업계의 선두주자로 군림하였으나, 90년대초 TFT LCD 시장이 본격 형성되자 선발자의 이익을 지키기 위해 대규모 투자를 단행했으나, 공급과잉 및 저가격 STN LCD의 수요증가로 고전 하였고 또한 11.3인치를 주력으로 생산하는 2.5세대 라인(400x500mm)에 투자했으나 시장이 10.4인치에서 12.1인치로 바로 넘어가면서 큰 타격을 받았으며 이후 일본내 경쟁업체들과 한국업체의 맹렬한 공급능력 확대로 TFT LCD의 주도권을 점차 상실하고 있다.

대만은 한국에 비해 LCD 산업에서 후발주자이나, AU Optronics(AUO), Chi Mei Optoelectronics (CMO), Chinghwa Picture Tube(CPT), HannStar Display(HSD), Quanta 등 많은 기업이 활발하게 성장하고 있어 세계 2위의 생산국으로 한국을 위협하고 있다. 2001년 Acer 와 Unipac 의 합병으로 탄생한 AUO

는 삼성전자, LG Philips-LCD, Sharp 와 더불어 LCD 4 강으로 부상하였다. 수출면에서도 국내기업과 동등한 수준에 이른듯하다. 그림6은 2004년도 TFT-LCD의 출하량을 기업별로 보여주고 있다.

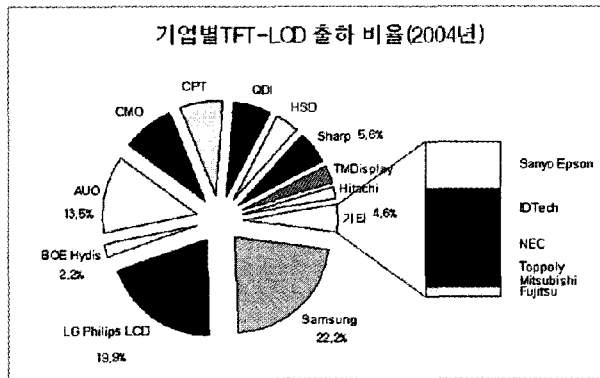


그림 6 TFT-LCD 출하량비율, 2004년 DisplaySearch 자료 참조

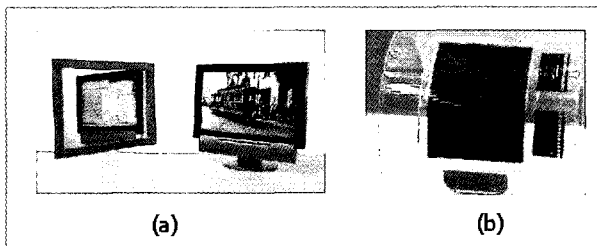


그림 7 (a) Sharp 2방향 시야각 LCD와 (b) Fujitsu 의 flexible E-paper

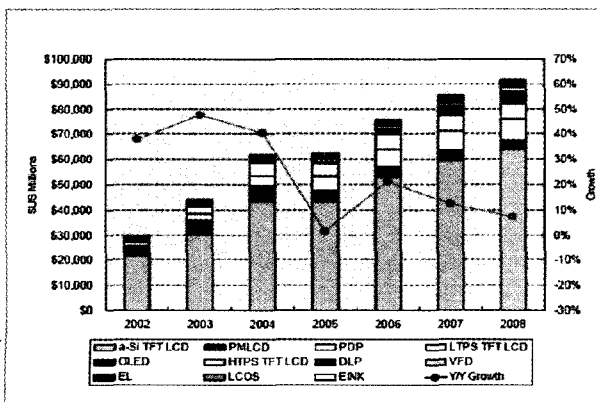


그림 8 평판디스플레이의 시장전망. 출처: DisplaySearch 2004

## LCD 전망 및 결론

디지털방송의 영향으로 향후 TV시장이 큰 폭으로 성장할 것이 예상되어 LCD 제조사들이 서둘러 더욱 큰 기관사이즈인 6,7세대 TFT-LCD 라인의 투자를 확대하고 있다. 이로 인해 칼라필터, 편광판, 백라이트, 액정, 드라이버 IC 등 LCD 핵심부품들 제조산업도 더불어 성장할 것으로 기대되고, HDTV 등에 적합하도록 광시야각, 고색재현율, 고속응답등의 기술적 문제를 해결하도록 발전해갈 것이다. LCD는 그 응용분야의 확대가 기대되는데, 핸드폰, 모니터, TV등의 전통적 영역 외에도 '굽힐 수 있는(flexible) 디스플레이'를 이용한 유비쿼터스환경으로의 분야 및 3D 디스플레이에도 기여할 것이다. 연구개발측면에서도 overdriving 방법을 이용해 응답속도를 4ms 이하로 줄인 제품이 출하되고 있으며 보는 시야에 따라 두가지 화면을 제공하는 LCD가 (그림7 참조) 연구되기도 한다.

최근 한 시장조사기관의 국내콘퍼런스에서의 발표에 의하면 2005년 올해 5.2%의 공급과잉에서 2006년에 17.6%, 2007년에 28.2%의 공급과잉이 예상된다며 갈수록 LCD 공급과잉 현상이 확대될 것으로 전망하였다. 또한, 2005년 전경련의 '주요부품의 국제경쟁력 비교분석 보고서'에 의하면, LCD산업의 경쟁력이 경제국에 비해 90.9% 정도로 뒤떨어져 있다고 보고하였다. 특히, 연구개발 투자와 인력은 31.4%, 54.9%로 뒤쳐져 있다고 해서, LCD 분야의 연구개발과 인력양성이 시급함을 밝히고 있다.

그러나, 그림8의 DisplaySearch 사 시장전망처럼, 복잡한 시장전개와 국제경쟁속에서도 LCD 분야의 질적·양적인 성장은 계속해 나갈 것이다. 그 성장을 주도하기위해 기업과 학계에서의 꾸준한 연구가 계속되어야 할 것이다.