

액정디스플레이 연구개발 및 기술 현황

강대승 (충실대학교 전기공학부 부교수)

1 도 입

액정디스플레이(LCD)는 PDP, OLED와 더불어 평판디스플레이의 주요한 부분중 하나이다. 현재 디스플레이산업이 반도체와 더불어 한국의 주요수출품으로 국내경제를 선도하고 있는 바, 특히 평판디스플레이분야의 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.

LCD의 경우 국내기업의 시장장악력과 기술력은 현재 세계선두를 유지하고 있다.

“시장조사업체 디스플레이서치에 따르면 지난해(2008년) 10인치 이상 대형 LCD패널 시장에서 삼성전자와 LG디스플레이가 매출액 기준으로 각각 26.4(%)와 20.6(%)의 시장점유율을 기록, 두 회사의 점유율이 47(%)에 달한다. 특히 LCD 시장이 최악으로 치달던 지난해 연말 삼성전자와 LG디스플레이가 매출액 기준으로 각각 29.9(%)와 23.4(%)의 시장점유율을 기록, 처음으로 시장점유율 50(%)를 넘어선 53.3(%)를 기록했다.”(디지털타임스 2009.1.27)

본 글에서는 제2절에서는 기초적인 동작원리를 중심으로 액정과 LCD에 대해 설명하고, 제3절에서는 LCD의 성능개선기술, 4절에서는 차세대 LCD 개발 현황을 소개한다.

2. 액정과 액정디스플레이

액정(LC, liquid crystal)이란 액정상(liquid crystal phase) 즉, 등방성 액체(liquid)와 결정성 고체(crystal)의 중간상을 지닌 물질을 일컫는다. 1888년 유럽과학자인 F. Reinitzer와 O. Lehmann에 의해 최초로 발견되었다. 식물에서 추출한 콜레스테롤과 관련된 유기 물질이 145(°C)가 되었을 때 탁한 액체 상태로 변화하고, 178(°C)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. 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 다양한 부상(subphase)이 있는데, 상용 LCD에 주로 쓰이는 네마틱(nematic) 액정 외에도, 층구조를 지닌 smectic, 나선구조를 갖는 cholesteric 액정등이 있다.

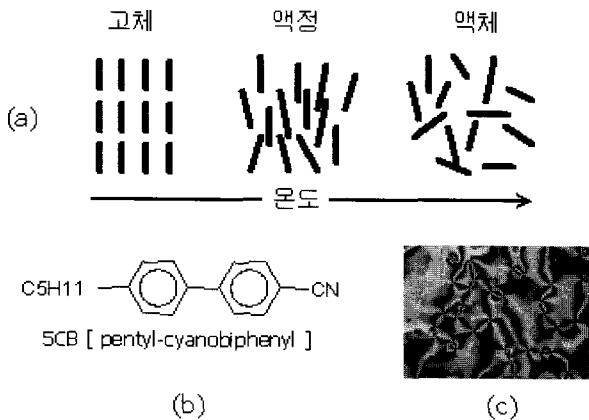


그림 1. 액정의 (a) 상변화, (b) 분자구조, (c) 편광현미경사진

최초 1970년대 일본의 Sharp 등에서 개인용 계산기의 화면으로 시작하여 현재, PC, TV, 핸드폰, 프로젝터에 다양한 형태로 실생활에 LCD가 이용되고 있다. 1973년 전자계산기와 전자시계의 주요 표시장치로 각광을 받기 시작하면서 꾸준히 발전을 거듭해 1986년에는 STN-LCD와 소형 TFT-LCD가 실용화되는 단계에 이르게 되었다. 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 있다.

초기 LCD에 쓰인 TN(twisted nematic) 모드의 동작원리를 설명하면 그림 2와 같다. 액정모드(mode)는 LCD 동작원리에 해당하는 용어로 디스플레이

레이에 적합하게 설계된 액정의 배열상태와 구동방법을 아울러 일컫는다. ITO(Indium Tin Oxide)투명 전극이 있는 두 장의 유리기관사이에 액정이 들어 있는데, 상하 유리기관에 액정분자의 방향을 제어하기 위한 폴리이미드고분자 배향막(alignment layer)이 있다. 배향방향이 서로 90도를 이루도록 한 배향시키는 데(예, 벨벳천 같은 배향포로 문지름), 이 경우 액정분자들이 비틀린 구조로 배열하게 된다. 두장의 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, 액정분자들의 비틀림이 풀리고, 액정분자들이 기관에 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. 그림 2는 TN-LCD 동작원리의 개략도와 전압과 투과율 곡선을 보여주고 있다.

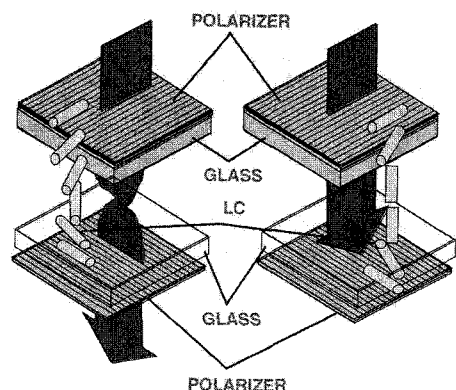


그림 2. TN 액정셀의 동작원리

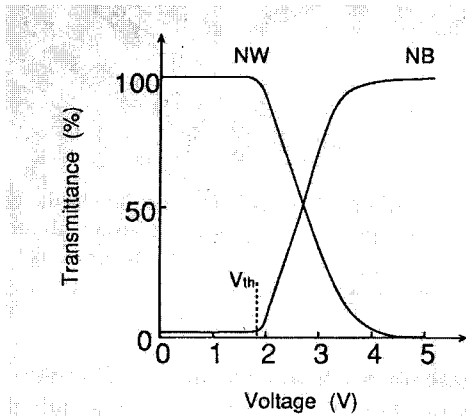


그림 3. TN LCD의 전압과 투과율 곡선

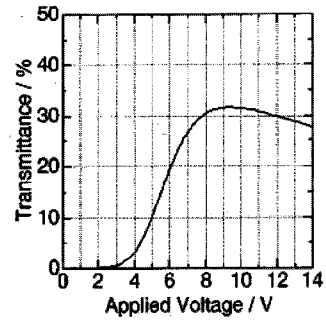
3. 성능 개선 기술

3.1 광시야각 기술

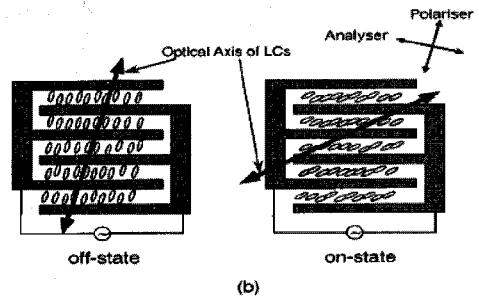
TN 모드의 가장 큰 단점은 시야각이 좁고 계조반전이 쉽게 발생한다는 점이다. 이는 액정 디렉터의 기울임에 의한 것인데, 이로 인해 수직 방향의 시야각이 작고 비대칭적이다. 이를 극복하기 위해 TAC (Tri-acetyl cellulose) 필름에 discotic 재료를 코팅한 광시야각 보상필름을 TN 액정셀에 부착한다. 현재 이러한 광시야각필름으로 인해 TN-LCD가 20인치까지 시장에 선보이고 있다. 그러나 계조반전이 여전히 존재하여 대형 LCD-TV에서는 IPS(In Plane Switching), VA(Vertical Alignment) 모드 등을 채용한 패널이 이용되고 있다.

3.1.1 IPS 모드

90년대초 제안된 모드로 1995년 일본 Hitachi사에서 이를 적용한 LCD를 발표하였다. 이 모드에서는 TN과 달리 초기에 액정분자를 꼬임없이 정렬해 두고, 수평방향의 전계를 인가하여 양의 유전율이방성을 지닌 액정분자들이 기판에 평행하게 회전한다. (그림 참조)



(a)



(b)

그림 4. IPS 구조와 전압투과도 특성

위 방식은 보는 각도에 따라 유효위상지연값의 차이가 적어 화질의 시야각의존성이 감소된다. 최근에는 S-IPS(Super IPS), AS-IPS(Advanced Super IPS), A-TW-IPS(Advanced True-White IPS) 등 다양한 유형의 IPS 모드들이 적용되고있다.

3.1.2 VA 모드

수직배향 모드라고도 불리는 것으로 VA 모드는 현재 많이 이용되고 있는 LCD모드중의 하나이다. VA 모드는 수직배향막과 음의 유전율 이방성을 지닌 액정을 이용하고, 전기장을 인가하여 액정분자 배열을 수직에서 수평으로 전환시킨다. 수직배향방법은 TN과 IPS와 달리 액정분자를 초기에 기판에 수직하게 정렬시킨다. 이 경우 수직입사광의 경우 위상지연값이 없으므로 직교편광자에서 완벽한 dark 상태를 나타낸다.

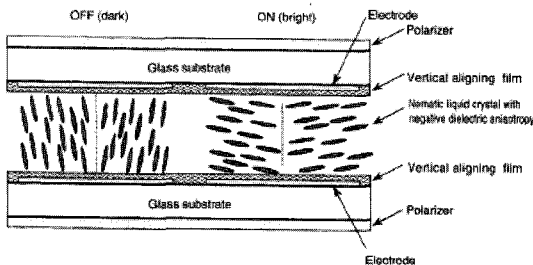


그림 5. VA 액정셀의 구조

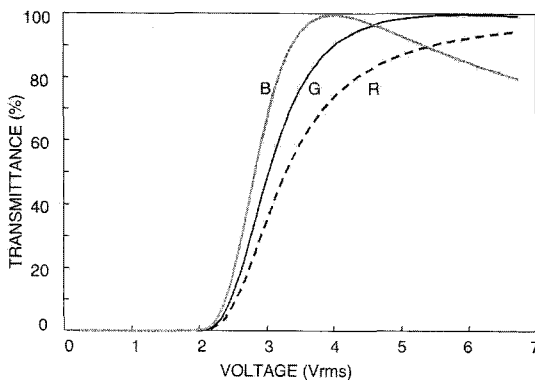


그림 6. VA 액정셀의 전압대 투과도 특성곡선

그림 5에서 보듯이 전압이 낮은 OFF상태에서는 액정분자들이 수직하게 정렬되어 있어 입사광은 복굴절을 느끼지 못하므로, RGB 모든 파장에서 완벽한 dark 상태를 갖는다. 이로 인해 VA 모드는 다른 모드에 비해 가장 높은 대비비 특성을 갖는다. 더구나 대비비가 입사광의 파장, 액정층 두께, 동작온도에 무관하다는 특징을 지니고 있다. 또한 TN 모드에 비해 빠른 응답속도를 지닌다. VA 모드는 대비비의 시야각 의존도가 TN 모드보다 작아 시야각 특성이 우수하다. 또한 여기에 보상판을 추가하여 시야각 의존성을 더욱 감소시킬 수 있다. VA 모드에는 현재 MVA(Multidomain VA), AMVA(Advanced Multidomain VA), PVA(Patterned-ITO VA), S-PVA(Super Patterned VA) 등 다양한 구조가 제안되어 있다.

3.2 고속 frame rate 120(Hz)/240(Hz)

동영상화질에서 액정은 인가되는 전계에 반응하는데 시간이 걸리고, 전압이 한 frame 시간동안 지속적으로 인가되는 hold 방식이기 LCD 화소는 전체 frame 시간동안 항상 켜져 있으므로, 움직이는 물체는 눈에 마치 한 위치에서 다음 위치로 jump하듯이 영상이 번져 보인다. 이를 motion blur라 하고 화질 개선에 중요한 이슈가 되고 있다. CRT나 PDP 같은 자발광 디스플레이는 한 위치에서 형광체가 빠르게 점멸하므로 눈은 운동이 smooth하다고 느낀다.

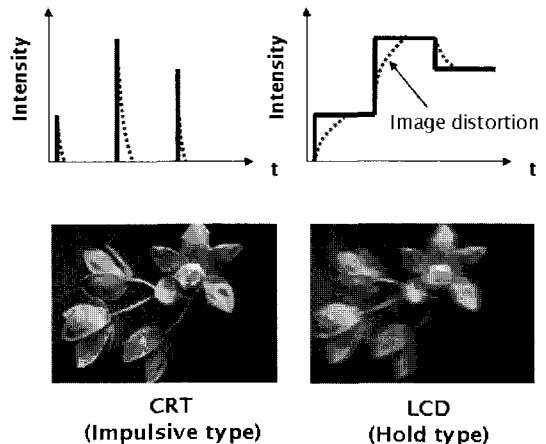


그림 7. motion blur 원리

motion blur 극복을 위해 frame rate를 증가하거나 impulsive driving 등의 몇 가지 방법이 제안되었다. impulsive driving법은 쉬어나 flicker와 luminance loss의 부작용 때문에 사용되지 않는다. flicker는 원리상 움직이는 물체에는 문제가 없으나, 정지영상 특히 mid gray 수준의 영역에서 문제가 된다. frame rate를 120 혹은 240(Hz)로 증가시키는 방법은 최근 LCD TV에 채용되는 방법으로 한 가지는 MV(motion vector)에 근거하여 interpolated image를 삽입하는 방식으로 hold time을 반으로 줄여서 MPRT 역시 반으로 감소시킬 수 있다. 기존의

LCD 구조와 부품들이 120(Hz) 구동방식으로 변경되어야 한다. 1G2D처럼 TFT 구조변화, 고속용 I/F 개발, 저저항 전극(Al, Cu), MEMC 칩의 개발 등이 이루어져야 한다.

2012년에는 75(%) 이상의 대화면 LCD TV에 120(Hz) 방식이 적용될 것으로 예상된다.

4. 차세대 LCD 개발

4.1 Blue Phase LCD

상용화된 액정모드에 이용되는 nematic 액정은 광학적 이방성을 지니고 있다. chirality가 큰 액정의 경우 광학적 등방성을 갖는 blue phase가 존재한다. 이 상은 전계가 인가되지 않았을 때는 등방상을 지니나, 전계가 인가되면 전계의 방향에 따라 이방성이 유도된다. 이러한 전계응답특성을 활용하여 매우 빠른 응답속도와 배향공정이 필요없는 LCD를 구현할 수 있다.

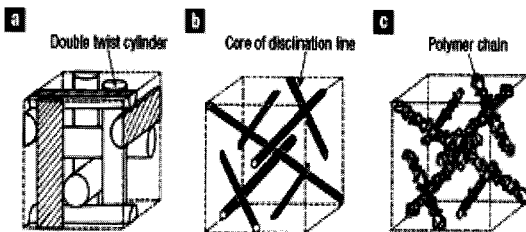


그림 8. Blue phase 구조. a,b: 이중비틀림구조와 대응하는 전경선, c: 고분자안정화구조

이러한 blue phase 상은 상전이 근처의 수 도의 매우 좁은 온도범위에서 나타나기 때문에 실용적인 가치가 없다고 판단되어 왔다. 2000년 이후 온도범위를 넓히려는 여러 가지 기술들이 시도되었는데, 광중합체와 액정을 섞어 고분자 network를 형성하는

기술은 액정의 결합구조를 안정화하여 blue상의 온도범위를 100(K)까지 확장하였다.

2008년 삼성전자는 이 기술을 이용하여 15인치 VGA급 LCD를 출시하였다.



그림 9. Blue Phase 이용한 15인치 패널 (삼성전자 2008 SID 전시)

4.2 2D/3D LCD

기존의 CRT와 평판디스플레이는 화면에 2차원 영상만 표시하므로 물체의 전후 또는 측면의 영상정보를 보는데 어려움이 있지만 3차원 디스플레이 기술은 여러 방향의 영상정보를 동시에 표시함으로써 물체의 깊이 정보와 실제감을 제공한다. 현재 3차원입체영상 표시에 LCD가 주로 채용되고 있으며 이미 핸드폰, 개인용 모니터나 의료산업분야에서 이용이 증가하고 있다. 2003년 일본 DoMoCo는 Sharp LCD를 채용한 3차원 mobile phone을 선보여 약 3백만대를 판매하였다. 특히 LCD는 2D/3D 영상 호환이 가능한 기술에 대한 연구가 진행중이다.

입체감은 두 눈에 투영되는 물체의 좌 우측 영상의 차이로 인해 나타나며, 두뇌의 합성과정을 통해 3차원으로 인식하게 된다. 이는 두눈이 약 6.5[cm] 떨어져 위치하고 있어 서로 다른 두 방향의 영상을 보게 되는데 이를 양안시차라 한다. 3차원 디스플레이는 위의 양안시차를 이용한 2안방식(stereoscopic)과 3

차원 공간내에 구현하는 입체방식(volumetric)방식으로 나눌수 있고, 2안방식에도 안경식과 무안경식 방식이 있다. 별도의 편광안경등을 착용하는 안경식은 넓은 시야각과 편의성을 지니고 있지만, 안경을 착용해야하는 단점이 있다. 무안경식은 parallax barrier 방식과 lenticular 방식이 있다.

이 중 모니터형태의 3차원 입체영상단말기로 거론되고 있는 제품은 무안경방식에서는 parallax barrier 방식이 편광안경방식은 위상판방식이 대표적으로 알려져 있다.

기존 2차원 디스플레이에 2D/3D 전환이 가능한 기술을 접목하게 되면 3차원디스플레이의 응용분야도 급속히 넓어질 것이다. 초기 3차원 디스플레이는 의료, 군사, 항공등 초정밀산업에 집중되었는데 2D/3D 전환이 가능한 기술을 접목되면 디지털 TV를 대체하며 가정용으로도 급격히 퍼져나가리라 예상된다. 2008년 Displaybank사의 예측에 의하면 2015년에는 전체 디스플레이시장의 9.2(%)를 차지할 정도로 성장할 것이다.

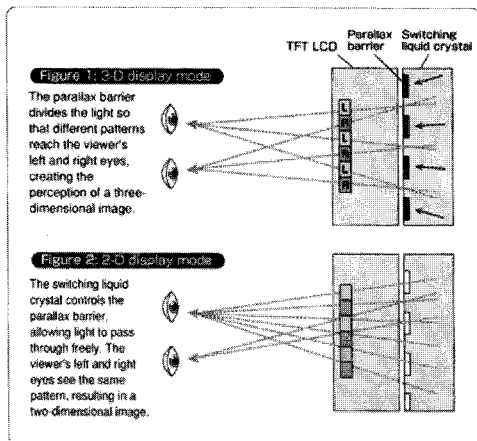


그림 10. 2차원/3차원 전환방식 LCD

위 그림은 2차원 3차원 전환방식의 예이다.

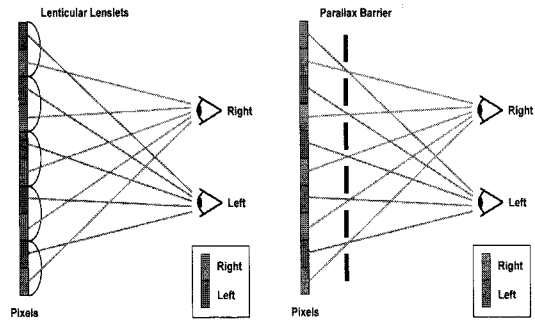


그림 11. Lenticular 방식과 Parallax barrier 방식

4.3 Flexible LCD

소자의 경량성, 휴대성, 물리적 내충격성등의 특성을 지닌 flexible 디스플레이는 우수한 화질을 유지하면서 구부리거나 휠 수 있기에 차세대 디스플레이로 인식되어 세계적으로 활발하게 연구되고 있다. 현재 상용화된 flexible 디스플레이로는 signage에 쓰이는 전기영동방식(electrophoretic) 디스플레이와 스포츠시계등에 쓰이는 휘어진 단색 액정소자뿐이다.

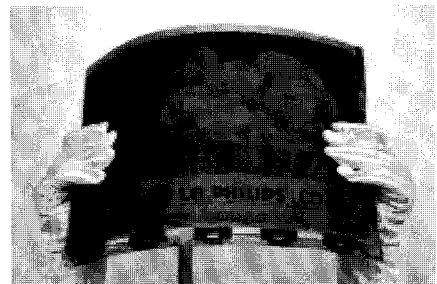


그림 12. Sony(좌)와 LGD(우)의 flexible display prototype

연구개발중인 기술은 전자종이(E-paper), OLED, LCD가 대표적인 표시방식이다. 전자종이는 주로 전기영동방식을 채용한 것으로 E-ink사의 encapsulated electrophoretic 기술, Gyricon사의 twist ball을 사용한 기술, Bridgestone사의 QR-LPD 기술 등이 대표적이다. 액정을 이용한 경우는 Kent Display의 Cholesteric LCD, Nemotics의 BiNem, ZBD display의 ZBD 기술 등이 대표적인 비 능동형 flexible LCD들이다.

일반화된 능동형 LCD(AMLCD)를 대체하는 flexible LCD의 경우, 기판, 능동소자, 광원등 각 부분의 유연성이 확보되어야 한다.

기판의 경우 metal foil, thin glass나 플라스틱이 주로 이용되고 있다. metal foil이나 thin glass는 불투명하거나 유연성이 결여되는 문제점이 있다. 향후 glass에 비해 투과도는 떨어지나 내화특성과 내열성이 우수한 PES, PEN, PC등의 플라스틱기판을 중심으로 개발중이다.



그림 13. Roll-to-roll 공정이용한 OLED조명
(2008, GE)

AM(Active Matrix) 구동방식의 경우 플라스틱 기판위에 TFT 소자를 형성하여야하는 난제가 있다. 일반적으로 a-Si TFT는 350[C] 이상의 고온공정이 필요하다. 고온공정에 따른 플라스틱 기판의 shrinkage 변화로 인해 각 층간의 misalign 문제가 발생

하여 결과적으로 개구율감소등 화질저하가 야기된다. 현재는 저온공정이 가능한 Oxide TFT와 유기 TFT의 개발 연구가 진행중이다.

LCD는 자발광이 아니므로 광원이 필요하며 주로 사용되는 백라이트는 CCFL, HCFL과 같은 형광램프가 사용되므로 flexible 구현이 어렵다. LED 나 OLED를 이용한 flexible 백라이트 기술개발이 진행중인데 roll-to-roll 제조공정을 이용한 OLED 조명이 GE사에 의해 선보이기도 하였다.

5. 결 론

2009년 현재 세계경제의 침체와 더불어 디스플레이 시장의 감소가 예측된다. 그림 14는 Display-Search사의 2007년 4분기와 2008년 4분기에서의 시장예측전망이다.

그러나 디지털방송의 영향으로 향후 TV시장이 큰 폭으로 성장할 것이 예상되어 LCD 제조사들도 차세대 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 LED를 백라이트로 채용한 이른바 LED-LCD TV가 고속 frame rate, 저전력과 경량화등 친환경 특성을 만족하므로 지속적으로 확대될 것이다.

몇 년전 전경련의 '주요부품의 국제경쟁력 비교분석 보고서'에 의하면, LCD산업의 경쟁력이 경제국에 비해 뒤떨어져 있다고 보고하였다. 특히 연구개발 투자와 인력은 31(%), 55(%)로 뒤쳐져 있다고 해서,

LCD 분야의 연구개발과 인력양성이 시급함을 밝히고 있다. 그러나 복잡한 시장전개와 국제경쟁속에서도 LCD 분야의 질적·양적인 성장은 계속해 나갈 것이다. 그 성장을 주도하기위해 기업과 학계에서의 꾸준한 연구가 계속되어야 할 것이다.

DisplaySearch FPD sales forecast (US\$ billion)

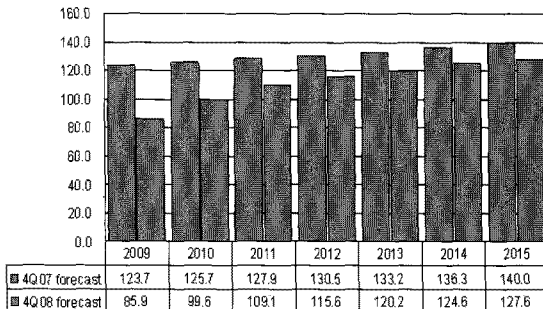


그림 14. 디스플레이 시장전망 비교
(www.digitimes.com에서)

참고문헌

- [1] Kikuchi H, Yokota M, Hisakado Y, Yang H, Kajiyama T., Polymer-stabilized liquid crystal blue phases, Nature Materials, Volume 1, Issue 1, pp. 64-68 (2002).
- [2] Willem den Boer, "Active matrix liquid crystal displays", Elsevier, 2005.
- [3] Ernst Lueder, "Liquid crystal displays : addressing schemes and electro-optical effects", John Wiley, 2001.
- [4] Kohki Takato et al., "Alignment technologies and applications of liquid crystal devices", Taylor & Francis, 2005.

◇ 저 자 소 개 ◇



강대승(姜大昇)

1966년 9월 16일생. 1988년 서울대 물리학과 졸업. 1990년 서울대 대학원 물리학과 졸업(석사). 1991~1994년 금성사 안양연구소 연구원. 1999년 미국

Case Western Reserve 대학 물리학과 졸업(박사). 1999~2001년 미국 University of Colorado Postdoc, 2001년~현재 숭실대학교 전기공학부 부교수.

Tel : (02)820-0642

Fax : (02)817-7961

E-mail : dkang@ssu.ac.kr