

Flexible Display 기술동향

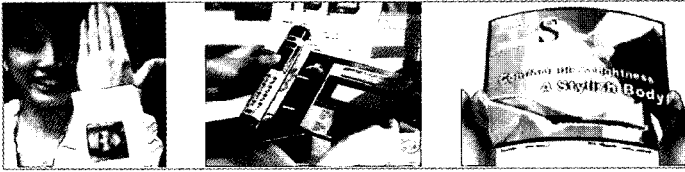
□ 김재훈 / 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수

들어가는 글

많은 사람들이 현재 사회를 정보화 사회라고 한다. 실로 우리 주변을 둘러싼 수많은 매체들로부터 쏟아지고 있는 정보량은 과거에 비해 폭발적으로 증가하였고, 이러한 정보의 홍수 속에서 양질의 정보를 얼마나 효율적이며 손쉽게 접근할 수 있느냐가 정보화 시대의 성공 여부를 결정짓는 척도임을 부인할 사람은 아무도 없을 것이다. 정보 습득에 있어서 인간은 오감(五感) 중 시각에 가장 많이 의존하므로 다양한 정보 전달 기기 중에서 디스플레이야말로 정보화 사회의 중심적 역할을 담당하는 핵심 디바이스라고 할 수 있겠다. 초기 디스플레이 기술의 발전은 시각 정보의 질을 높이기 위한 과정이었다고 본다면 앞으로의 발전 방향은 이러한 양질의 정보를 언제, 어디서나, 얼마나 접근성 있게 정보 수용자에게 전달해 줄 수 있느냐가 해결해 나가야 할 추가적인 과제라고 할 수 있다. 이러한 기술적 조류는 점차 현실화되어 가는 **유비쿼터스 (Ubiquitous) 정보 사회**와도 일맥하는 것으로서 디스플레이 또한 휴대폰, PDA, 또는 노트북 등과 같이 통신과 결합된 휴대 단말기의 핵심 요소로서 **유비쿼터스 디스플레이 (ubiquitous display)** 형태로 발전해 나가고 있는 추세이다. 현재 FPD 시장의 선두를 달리고 있는 LCD의 경우, 과거의 CRT로써는 구현이 불가능했던 각종 모바일 단말기에 적용되어 유비쿼터스 환경 구축에 있어서 일

익을 담당하고 있으며 모바일 디스플레이 시장에서의 입지는 독보적이라고 할 수 있다. 하지만, 기존의 평판 디스플레이는 유리 기판을 이용하여 제작되고 있기 때문에 무겁고, 깨지기 쉬우며, 변형이 불가능하여 휴대용 디스플레이의 크기가 한정될 수밖에 없고, 따라서 진정한 의미의 유비쿼터스 디스플레이를 구현하는 것이 불가능하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 유리 기판 대신에 플라스틱과 같은 유연한 기판을 이용하여 디스플레이를 제작함으로써 더 얇고, 더 가볍고, 깨지지 않으며 변형이 가능한 **플렉서블 디스플레이 (flexible display)**를 개발하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 플렉서블 디스플레이는 단기적으로는 기존의 디스플레이에 내구성을 부여하고 휴대성을 증대시킬 수 있는 방향으로 개발될 것이나 장기적으로는 전자종이(e-paper), 입는 디스플레이(wearable display), 그리고 말 수 있는 디스플레이(rollable display) 등 응용 범위에 있어서 기존의 개념을 넘어서 무한한 가능성을 가지고 있는 것으로 기대를 모으고 있다. 플렉서블 디스플레이라는 신개념 정보 디바이스의 등장은 새로운 응용 시장을 개척할 것이고 이에 따라 대폭적으로 변화된 모바일 환경을 곧 실생활 현장에서 관찰할 수 있으리라 기대하고 있다.

플라스틱 기판 기반의 플렉서블 디스플레이의 경우, 아직 시장을 주도할 만한 대표 기술이 정립되지 않은 상황이며 현재로서는 구현 가능한 다양한 기술적 접근



(a) Wearable Display (b) Rollable Display (c) Bended Picture

그림 1 차세대 플렉서블 디스플레이의 예.

들이 시도되고 있는 상황이다. 다만, 장시간 사용에 대한 신뢰성 및 안정성, 넓은 응용 온도 범위, 상용성의 확보 가능성 및 생산 능력 등의 측면에서 LCD를 이용한 플렉서블 디스플레이 기술이 현재로서는 상대적으로 상용화에 가장 근접해 있다고 볼 수 있다. 이 글에서는 액정을 이용한 플렉서블 디스플레이를 중심으로 하여 경쟁 개발 기술들을 비교 분석하고, 현재 발표된 플렉서블 디스플레이 제품들의 개발 동향에 대하여 소개하고자 한다.

플렉서블 디스플레이 모드

플렉서블 디스플레이의 성공적인 시장 진입을 위해서는 기관 표면이 휘 수 있다는 기본적인 차별성 이외에도 기존 디스플레이 대비 저전력 소모로써 초경량/초박막화가 가능해야 한다는 점이 필수적으로 요구된다. 또한, roll-to-roll 생산 공정이 적용 가능한 기술의 경우 기존의 증착이나 코팅 공정에 비해 경제적으로 제작할 수 있으므로 'printing'이 가능한 기술적 접근에 대한 연구가 특히 활발히 이루어지고 있다. 다양한 플렉서블 디스플레이 기술들을 물질적인 측면에서 보았을 경우 네마틱, 콜레스테릭, 그리고 강유적성 액정에

고분자를 혼합하여 모드를 안정화하는 방법, 자체 발광 특성을 가지는 유기 전기발광 (EL) 물질을 이용한 방식, 그리고 전하를 띤 마이크로 입자안료를 이용한 전기영동 (electrophoretic) 방식 등이 있다. 각각의 기술들은 자체적인 물질적인 특성으로 인하여 추후 상용화 시 목표로 삼는 응용 영역을 달리하는

데, 액정 및 유기 EL 물질을 이용한 경우가 '기존의 디스플레이의 확장'에 가깝다면 전기 영동 방식의 경우는 '종이의 디스플레이로의 확장'으로 볼 수 있겠다. 이러한 영역 구분은 memory형 디스플레이의 가능 여부, 전력 소모 정도, 제조 가능성, 응답 속도 등의 측면에서 고찰해 보았을 때 자연스럽게 구분될 수 있는데, 물론 개별 기술들의 연구가 활발히 진척됨에 따라 이러한 구분들은 자연스럽게 허물어지고 시장의 주도권을 잡고자 하는 영역 싸움이 치열해 질 것으로 보인다. 본 장에서는 각각의 디스플레이 모드에 대해 상기 관점에서 각각의 고유한 특징 및 상호 기술 간의 차이에 대해 간략히 살펴보았으며, 아래 표에 기본적인 표시특성에 대하여 정리하였다.

유기 EL을 이용한 플렉서블 디스플레이

외부 발광 부품이 반드시 요구되는 LCD와는 달리 자체 발광 특성을 가지는 유기 EL 디스플레이는 상용화의 걸림돌로 지적받아 왔던 신뢰도 문제, 발광 효율 문제 등을 해결하였을 경우 초박막화/초경량화를 구현함에 있어서 기본적으로 상대적 우위에서 있다. 기술적 한계로 상용화가 지연됐던 유기 EL 디스플레이는 올해 들어 연구개발 단계를 벗어나며 빠르게 상용화

표 1 디스플레이 모드별 성능비교.

	콜레스테릭 LCD	전기영동 디스플레이	유기 EL
반사도	40 %	40 %	NA
Full color	○	△	○
응답속도	30 ~ 100ms	100ms	< 1ms
대비비	20~30:1	10~30:1	20~30:1
구동방식	수동	능동	능동
주요개발사	Kent Display	E-ink	Kodak

단계로 진입하고 있으며 이미 휴대형 초소형 정보단말기에 유기 EL 디스플레이가 적용되면서 세계적으로 개발 및 상용화 붐이 일고 있다.

유기 발광 물성에 따라 플라스틱 기판 위에 유기 EL 디스플레이를 제작하는 방법은 크게 유기 저분자를 진공에서 가열해서 웨도우 마스크를 통해 적?청?녹색(RGB) 화소를 패터닝하여 증착하는 방법, 고분자 용액을 잉크젯 프린팅(ink-jet printing) 혹은 스크린 프린팅(screen printing)하는 방법으로 인쇄하는 방법, 그리고 레이저를 이용하여 기판 위에 R?G?B 유기화합물을 열전사하는 방법(Laser induced thermal image, LITI) 등으로 구분할 수 있다. 이 방법들 중에서 플렉서블한 플라스틱 기판의 특성을 최대한 활용하여 기존의 여타 디스플레이 제작 공정에 비해 획기적으로 공정 단가를 줄일 수 있을 것으로 기대되는 것은 증착 방법 보다는 프린팅이나 전사 방법을 이용하여 제작하는 것이다. 하지만, 현재로서는 유기 발광 효율이 그다지 좋지 않아 Pioneer, UDC, 삼성 SDI, LG 전자 등 상용화 제품을 출시한 기업체들은 상대적으로 우수한 발광 효율 특성을 나타내는 저분자를 이용한 진공 증착법에 의한 제작법을 채택하고 있다. Dupont, Philips 등의 기업체들이 고분자 용액을 이용한 잉크젯 프린팅 방법을 이용한 시제품을 출시한 바 있으나, 상용화에 있어서는 잉크의 분산, 위치 제어, 박막의 두께조절 등 화학적, 물리적, 기계적 특성제어 등의 추가적인 기술 개발이 반드시 필요한 상황이다. 최근, 삼성 SDI와 3M이 공동으로 연구/개발하여 기존의 제작법에 비해 R·G·B 패터닝이 용이한 LITI 방법을 제안하여 발표하였다. LITI 방법이란, 레이저 빔을 조사하여 발생하는 열에 의해 Donor 필름으로부터 패터닝하고자 하는 유기물을 기판 또는 유기 박막 위로 전사하여 소자를 제작하는 기술로서 전사시키는 Donor 필름의 형성 제어(흡착 및 탈착), 코팅 필름 박막의 두께 균일도 제어, 다층박막 제작 시의 적층 제어 등이 핵심기술이다. 실온에서 패터닝의 고정세화가 가능해진다면 전체 제작 공정을 단순화할 수 있는 획기적인 기술로서 기대를 모으고 있다.

이와 같이 자체 발광형 유기 EL 디스플레이의 성공

여부는 유기 발광 물성에 의해 크게 의존하는 경향이 있으며 전류 구동 방식이라는 측면에서 현재로서는 다소 어려움이 존재하지만, 현재 출판물과 같은 방식의 제작 공정이 성공적으로 이루어진다면 우리 실생활에 있어서 CRT를 LCD가 대체한 것 이상의 큰 문화적 파급 효과를 끼칠 수 있을 것으로 기대된다.

안료를 이용한 플렉시블 디스플레이

안료를 이용한 플렉시블 디스플레이의 개발은 '종이의 디스플레이로의 확장'의 대표적인 예로서 프린트에 의해 인쇄된 일반 인쇄물을 살펴보면 흰색 바탕의 종이에 여러 색상의 잉크가 점착되어 이루어지는 것을 생각해 보면 쉽게 이해할 수 있다. 안료를 이용한 플렉시블 디스플레이의 경우 특수한 안료를 이용하여 점착된 안료의 위치나 빛흡수 특성을 전기적으로 조절하여 마음대로 쓰고 지울 수 있는 디스플레이를 구현하고자 하는 것이다. 이를 구현하는 방법으로는 안료의 특성에 따라 Twist Ball, 전기영동 디스플레이(Electro-phoretic Display) 및 REED(Reverse Emulsion Electro-Phoretic Display) 등의 기술이 있는데, 본 장에서는 현재 상업화에 가장 근접해있는 캡슐형 전기영동 디스플레이에 대해서 알아보겠다.

캡슐형 전기영동법은 1996년 미국 MIT Media Lab.에서 분리되어 설립된 E-Ink사가 개발한 방법으로 그림 3과 같이 특정한 전하를 가진 특정색의 잉크 미립자와 반대 전하를 띤 다른 색의 잉크 미립자(혹은 색을 띤 유전유체) 및 투명 유전 유체를 담은 지름 100~200 μ m의 투명한 마이크로캡슐을 이용한 것이다. 이들 마이크로캡슐을 바인더와 혼합하여 상, 하부 투명전극 사이에 위치시키고 전압을 인가하여 동작시키는 데, 전기장에 따라 전하를 띤 입자의 이동 방향을 조절하는 전기영동을 기본 동작원리로 한다. 즉, 양의 전압을 인가하면 음으로 대전된 미립자들이 표면으로 움직여 미립자의 색을 표시할 수 있으며, 음의 전압을 인가하면 미립자들이 반대로 움직여 유체의 색을 표시하는 원리이다. E-Ink사의 초기 디스플레이는 백색 반사율이 우수한 TiO₂ 미립자에 청색 유체를 사용하여 청색 배경에 흰색 이미지를 구현하였으며, 현재에는 투명 유체

에 양전하를 띤 백색 미립자와 음전하를 가진 흑색 미립자를 분산시킨 마이크로캡슐을 제조하여 흑/백 표시가 가능하다. 2000년에는 E-Ink사의 마이크로캡슐 전기영동 디스플레이 기술과 Lucent Technology사의 soft-lithography 방법을 결합한 유기트랜지스터 구동 전자 종이 발표되어 전자 종이 제조의 획기적인 전환점이 마련되었다 이는 가볍고, 얇고, 플렉서블한 디스플레이를 제조하기 위해 필수적인 사항으로, 제조에 있어서 상판(마이크로캡슐)과 하판(트랜지스터) 모두 대량 생산이 용이한 프린팅 기술을 이용함으로써 저가의 디스플레이 제조에 크게 기여할 수 있다. 마이크로캡슐 전기영동 디스플레이는 우선 종이 질감에 가장 가까운 특성과 우수한 시인성을 가지고 있으며 발광원이 필요치 않다는 측면에서 장점을 가지고 있다. 또한, 구동전압의 조절에 의해서 그레이스케일의 표현이 가능하며, 약 천만번의 사이클에도 안정적인 동작을 보이는 것으로 보고되어 있다. 그러나 응답속도가 약 100 ms으로 동영상 구현에는 많은 개선이 필요하며 정지 화상이 주된 e-book의 개념으로 개발되어 최근 Sony사 등과 시제품을 SID '05에서 발표한 바 있다. 최근에는 화질을 더욱 개선하고 동영상 구현이 가능하도록 하기 위하여 마이크로 캡슐을 소형화하고 컬러 구현이 가능하도록 하는 방법에 대한 연구가 진행되고 있다.

이외에도 종이로부터의 접근방법은 산화/환원반응에 따른 화학물질의 색 변화를 이용하는 Electrochromic 방식, Sony 에서 개발한 전기화학반응을 통한 Ag의 용해와 석출을 이용하는 Electro-deposition 방식과 마찰대전형 Toner 방식의 표시소자 등이 있다.

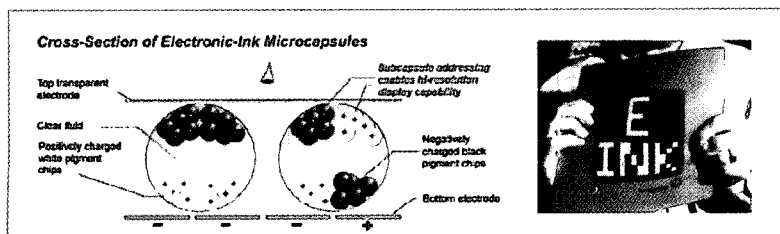


그림 3 E-ink 사의 전기영동 디스플레이 동작원리 및 이를 이용하여 구현한 전자종이.

액정을 이용한 플렉시블 디스플레이

액정 디스플레이 모드의 경우 지난 30 여년간 LCD의 상업화를 위한 연구를 통해 축적된 기술력 및 확보된 생산 인프라를 활용할 수 있다는 측면에서 플렉서블 디스플레이를 구현하여 상용화함에 있어서 여타 기술들에 비해 훨씬 유리한 입장에 있다고 할 수 있다. 하지만, 플라스틱 LCD를 구현하기 위해서는 플라스틱 기판은 glass 기판과는 달리 액정의 유체적 특성을 안정되게 유지해 줄 수 없으므로 플라스틱 기판 상에서의 모드 안정성 확보가 선행되어야 한다.

또한, 고품질 동영상 구현이 가능한 기존의 dynamic 모드와 함께 전원이 차단된 상태에서도 화면 표시가 가능한 memory 모드가 동시에 구현 가능한 형태로 개발이 진행되고 있다. 주로 투과형 모드로 구현되는 dynamic 모드의 경우 '기존의 디스플레이의 영역 확장'의 개념에서 바라볼 수 있다면, 주로 반사형 모드로 구현되는 memory 모드의 경우는 '종이의 디스플레이로의 확장'의 개념에서 이해할 수 있으며, 즉 플렉서블 LCD는 두 가지의 접근법에서 모두 성취 가능한 기술로서 각광 받고 있다.

모드 안정화를 위해 현재까지 가장 널리 이용되는 기술은 기존의 유리 기판의 경우와 마찬가지로 ball spacer의 산포 및 rigid spacer의 형성이다. 이 방법을 이용하여 일본의 Sharp사와 국내의 Softpixel사는 휴대전화용 STN-LCD를 개발하였고, 독일의 한 대학에서는 그림 4와 같이 강유전성 액정과 rigid spacer를 이용한 플라스틱 디스플레이를 개발한 바 있다.

그러나 이러한 방법을 통해서서는 고정세화 대면적의 LCD를 제작하는 것이 불가능하므로 새로운 안정화 구조에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다. 현재는 고분자와 액정의 복합계를 이용한 안정화 구조가 널리 연구되고 있는데, 그중에서 액정과 고분자의 복합체인 PDLC(Polymer dispersed liquid crystal)의 경우 그림 5와 같이 수-수십 um의 액정방울들이 고분자에 분산된 필름 형

대로, 1980년 중반 미국의 Kent State University에서 처음 제안된 이후 많은 관심과 연구가 행해져 오고 있다. PDLC 디스플레이는 액정과 고분자의 굴절률차를 이용한 산란형 디스플레이로 편광자가 필요 없이 광투과를 조절할 수 있으며, 구형, 타원형 등 액정방울의 형태, 방울 내 액정분자의 구조, 강유전성 액정 (FLC) 등 다양한 액정상, 고분자 중합반응방법을 달리한 여러 가지 상분리방법 등 여러 가지 조합에 의해 다양한 동작특성을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 특히 PDLC에서 고분자 matrix는 단단한 substrate 역할을 하고 있어 내충격성이 크며, 대면적, 플렉시블 디스플레이에 응용 가능성이 있다. 그러나 높은 구동전압, 느린 응답속도 및 낮은 대비비 등은 차세대 디스플레이에의 적용에 큰 걸림돌이 되고 있다. 최근에는 FLC와 고분자를 이용하여 FLC의 장점인 빠른 응답속도, 광 시야각 등 동영상디스플레이모드로서의 장점을 유지하면서, FLC 모드의 단점인 층구조에 의한 배향 불안정성, zig-zag 결함문제등을 해결하고자 하는 시도가 있었으나, 이 역시 높은 구동 전압 그리고 계조표시 미흡 등의 문제점을 가지고 있다. 또한 기존의 PDLC의 경우, 액정과 고분자를 섞은 후 적당한 상분리 조건에 의해 형성되므로 액정방울의 크기나 구조, 위치 등을 조절할 수 없어, 기관 전체에 고른 광학적 특성과 조절이 불가능하다. 그래서 현재 switchable window 등에는 이용가능하나, 고정세 디스플레이에의 응용에는 문제점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 21세기 프론티어

사업의 하나인 차세대 디스플레이 개발사업의 지원을 받아 본인의 연구실에서는 화소고립화 액정(pixel-isolated LC : PILC) 모드를 개발 중에 있다. 본 방법은 그림 6과 같이 UV 및 표면조건을 이용한 완전 비등방상분리 방법을 개발하여 각 화소의 주변을 고분자층으로 둘러싸으로써 화소 내부에 액정이 위치하게 한 것이다. 본 구조에서는 고분자층이 두 개의 plastic 기관을 지지함으로써 외부 충격이 가해지거나 기관이 휘더라도 화소안의 액정에는 영향을 미치지 않아 플라스틱 기관을 이용한 LCD의 제작에는 최적의 구조로 평가받고 있다. 본 방법을 이용하면 한쪽면의 기관을 제거하는 것이 가능하기 때문에 제작 공정을 획기적으로 개선한 paintable 디스플레이를 제작하는 것도 가능하며

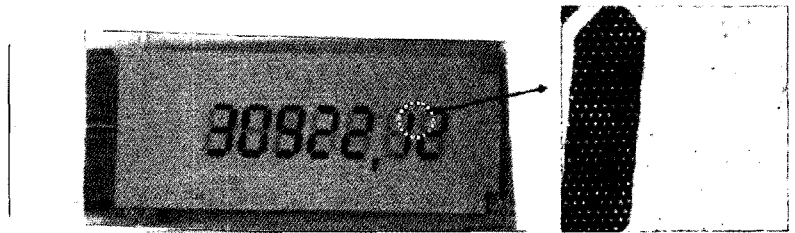


그림 4 Rigid spacer와 표면 안정화 강유전성 액정을 이용해 구현한 플라스틱 LCD.

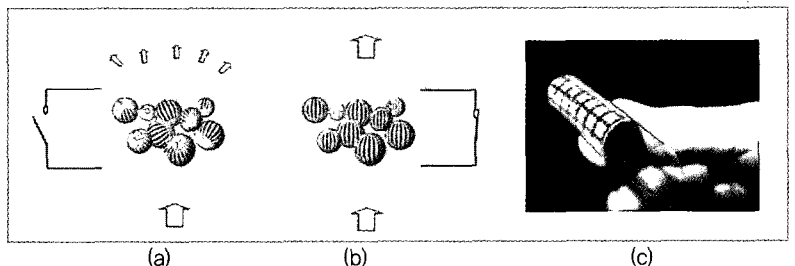


그림 5 PDLC의 구동원리 (a) 전기장을 인가하지 않았을 때의 산란모드, (b) 전기장을 인가했을 때의 투과모드, (c) PDLC를 이용해 구현한 플렉시블 디스플레이

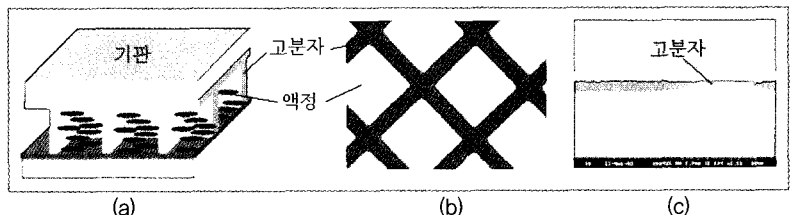


그림 6 (a) PILC의 개념도, (b) 제작시편을 편광현미경에서 관찰한 결과, (c) 시편단면 SEM 사진

이를 최근 제작/발표하여 보고한 바 있다.

쌍안정 특성을 이용한 memory 모드는 콜레스테릭 액정을 이용한 고분자 안정화 콜레스테릭 액정 (Polymer Stabilized Cholesteric Texture: PSCT) 모드가 가장 널리 연구되고 있다. PSCT 모드는 반사형 플렉시블 LCD에 적용할 목적으로 개발되었는데 기본 동작원리는 그림 7과 같다. 즉 planar texture에서의 선택반사를 bright 상태로, focal conic texture의 산란을 dark 상태로 사용하는 것으로, 그 광학특성은 물론 양산성도 우수하여 전자책용에 가장 유망한 모드로 알려져 있다. 아직까지는 고해상도의 실현이 불가능하고 full-color의 구현이 힘들며 구동전압이 높을 뿐만 아니라, planar texture와 focal conic texture간의 전이를 위해서는 reset pulse를 인가해 수직배향 상태를 거쳐야 하기 때문에 복잡한 구동회로가 요구된다는 단점이 있어 간단한 디스플레이에만 적용되고 있다. 그러나 이론적으로 영구 메모리가 가능하여 이미지의 변화 시에만 전압을 인가하면 되기 때문에 전력소모가 매우 적고,

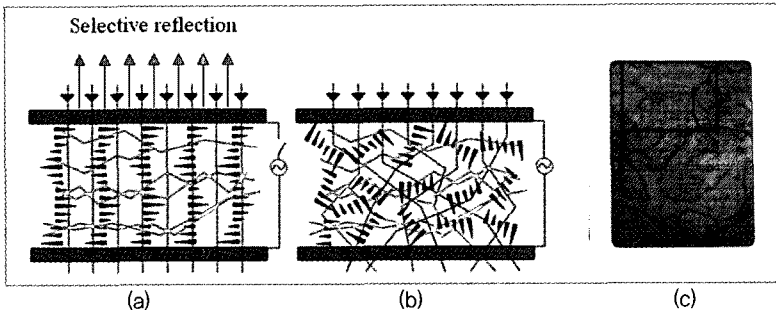


그림 7 PSCT의 동작원리 (a) 전기장을 인가하지 않았을 때의 선택반사 모드, (b) 전기장을 인가하였을 때의 산란모드, (c) PSCT를 이용해 제작한 전자책.

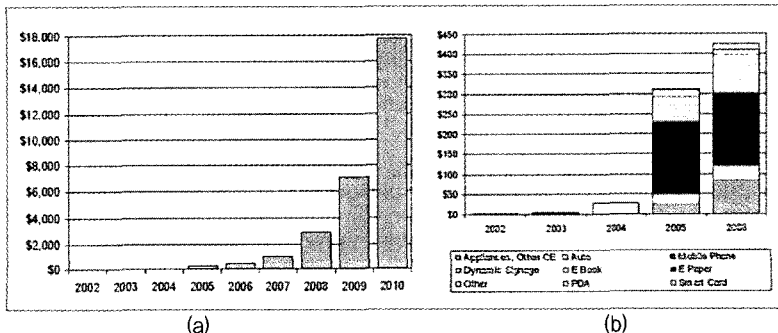


그림 8 (a) 플렉서블 디스플레이 시장예측, (b) 용도별 분류 (단위 백만불, 출처 iSuppli).

별도의 편광판이 필요 없으며 컬러 필터 없이도 색구현이 가능하다는 점에서 휴대용 플렉시블 디스플레이로의 응용이 크게 기대되고 있다.

플렉서블 디스플레이 시장 및 업체 동향

플렉서블 디스플레이의 전체 시장 예측도 및 응용 분야 별 시장 전망을 그림 8에 도시하였다. 플렉서블 디스플레이는 이제 점차 상용화된 제품이 출시되면서 그 응용 분야 및 시장이 점차 확대되어 가는 단계이며 2010년 경에는 180억불에 달할 것으로 예상되지만 새로운 형태의 디스플레이가 시장에 몰고 올 파급 효과는 사실 예상하기 어렵다. 2006년 경까지는 초경량화/초박막화된 장점을 살려 휴대폰에 주로 이용될 것으로 보이지만, 점차 곡면 형태의 디스플레이 혹은 외형이 변형 가능한 일명 두루마리형 디스플레이가 구현될 경우 응용 범위는 가전 기기는 물론 자동차, 동적인 전광판, e-book, 전자 종이, 스마트 카드, 그리고 각종 모바일 디스플레이 등 현재까지의 상상을 초월하는 광범위한 부분에 걸쳐 이루어 질 것으로 보이며 꿈의 디스플레이로서의 자리를 확고히 할 것으로 보인다.

그러나 아직까지 풀 컬러, 능동 매트릭스 구동 및 고해상도 디스플레이를 구현하기에는 어려움이 있어 언제 그 시장이 본격적으로 열릴 지를 예측하기는 매우 어려운 상황이나 많은 업체들이 성능 향상을 위해 노력하고 있기 때문에 좋은 결과가 있을 것으로 기대된다. 다음은 대표적인 플렉서블 디스플레이 생산 업체의 동향에 대해 알아본

것이다.

Philips는 플라스틱 디스플레이 분야에서 가장 오랫동안 연구 개발을 해온 기업으로 CDT와의 기술 라이선싱을 통한 폴리머 유기 EL을 비롯해 E-ink에의 투자와 제작 참여로 습득한 전기영동 디스플레이와 관련해 최근 사업을 확장하고 있다. Philips는 플라스틱 기판을 이용한 각종 디스플레이 모드의 개발에 필요한 관련 기술을 보유하고 있다. 1996년에 이미 플라스틱 LCD용 박막 다이오드, 플라스틱 기판 위에 poly-Si TFT를 제작하는 기술 등을 발표하였으며, 2001년에는 반사형 PDLC용 TFT 제작기술을 발표한 데 이어 64x64 픽셀의 유기 TFT 구동 LCD 및 E-Ink와 협력하여 플렉서블 전기영동 디스플레이 시제품을 내놓는 등 활발한 연구를 수행하고 있다. 이와 같이 Philips는 기판, 구동소자, 공정 및 디스플레이 기술 분야에서 플렉서블 디스플레이 사용 방안에 대해 다양한 접근을 하고 있다.

Dupont 디스플레이는 2000년에 플렉서블 디스플레이 기술 개발을 위한 형태를 갖추기 시작했다. CDT의 폴리머 유기 EL에 대한 라이선스를 보유한 Dupont 디스플레이의 모회사인 Dupont은 플라스틱 사업에서의 긴 역사를 바탕으로 플렉서블 디스플레이에 관한 다양한 기술을 제공하고 있다. 여기에는 기판 재료, 장비, 유기전자와 유기 EL 디스플레이 등이 포함된다. Dupont 디스플레이는 플라스틱 기판을 이용하여 1.5인치급의 80x48과 96x64 픽셀의 수동구동형 폴리머 유기 EL 디스플레이를 선보였고 최근에는 2인치급의 64x64 능동구동형 유기 EL 디스플레이도 내놓았다. Dupont은 재료에서부터 기판, 모듈에 이르기까지 플라스틱 디스플레이에 관한 전반적인 연구를 하고 있으며, 이를 바탕으로 2007년경 플렉서블 유기 EL 디스플레이 제품을 출시할 예정이다.

플라스틱 LCD 분야에 가장 오랜 역사를 가지고 있는 Sharp는 휴대전화용 플라스틱 LCD 패널을 생산판매하고 있다. 동급 유리기판을 이용한 제품에 비해 2배 이상의 가격인 이 플라스틱 LCD는 아직 인기가 높은 편은 아니지만, 가볍고 내구성이 강하기 때문에 시장에서

많은 관심을 불러일으키고 있다. 국내에서도 SoftPixel이라는 벤처회사에서 플라스틱 LCD를 생산하고 있다. 그러나 현재 휴대전화 시장의 대부분을 컬러형 능동 디스플레이가 차지하고 있기 때문에 단색 TN-LCD는 별로 인기를 끌고 있지 않다. 따라서 Sharp 등은 좀 더 정교하고 full color가 가능한 플라스틱 LCD의 생산을 준비하고 있다.

Toshiba와 Matsushida는 2002년에 합작회사를 설립하여 플렉서블 LCD를 개발하기 위한 연구를 하고 있다. 그 결과 휼이 가능한 8.4 인치의 SVGA급 저온 p-Si TFT-LCD를 2002년에 발표하였다. 이 제품은 플라스틱 대신 얇은 연성 유리 기판(두께 100 μ m)을 채택하고 있는데 반경 20cm 내에서 뒤틀림이 가능하다. Toshiba-Matsushida의 시제품은 뒤틀림만 가능하였지만 궁극적인 목표는 접을 수 있는 제품을 생산하는 것이다. 현재 플라스틱 기반 디스플레이에 대한 연구가 진행 중이지만 아직 정확한 상품화 계획은 발표된 바 없다.

프린팅 분야에서 기술을 보유하고 있는 DNP (Dai Nippon Printing)도 평판 디스플레이 산업에 뛰어들어, roll-to-roll 기술을 이용한 대각선 기준 1m에 달하는 플라스틱 기판을 이용한 폴리머 유기 EL 디스플레이를 개발하고 있다.

Kent Displays는 반사형 콜레스테릭 LCD를 상용화하기 위해 1993년에 설립됐다. 이 회사는 Kent State University에서 개발한 콜레스테릭 LCD 관련 특허를 이용하여 플라스틱 기판을 이용한 반사형 LCD를 생산

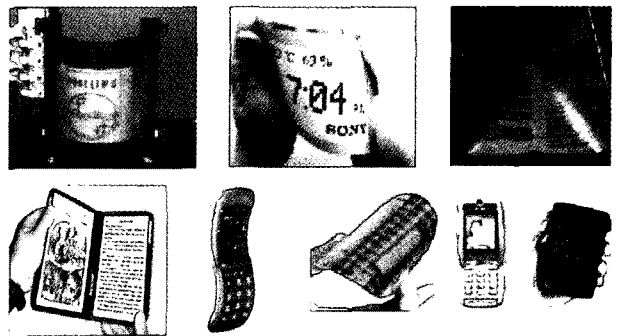


그림 9 다양한 플렉서블 디스플레이 시제품

하고 있다. 현재 동작전압은 40 V에 이르지만 빠른 시일 내에 20-25 V 까지 내려갈 것으로 확신하고 있다. Kent는 Matsushita에서 제조하고 있는 전자책을 통해 자사의 반사형 콜레스테릭 LCD 기술을 상용화하고 있다.

맺 음 말

모양의 자유로운 변형이 가능한 플렉서블 디스플레이는 기존의 디스플레이 대비 분명한 차별성과 그에 따른 본질적인 메리트가 존재한다. 하지만, 고품위 디스플레이에 익숙한 유저들에게 있어서 단지 유리 기판이 플라스틱 기판으로 대체된 형태의 디스플레이로서는 새로운 시장 창출 및 개척에 어려움이 있을 것으로 보이며, 다음과 같은 기술적/경제적 요구 사항을 맞추어 줄 수 있어야 할 것으로 보인다.

- **기술적 측면 (dual 모드의 수용)**: 플렉서블 디스플레이는 모바일 환경이 극대화된 “고품위 디스플레이”로서의 응용 영역과 디스플레이 기능을 갖춘 “고기능성 종이”로서의 응용 영역을 모두 아우를 수 있어야 하며, 이는 고화질 동영상 기능이 충분히 구현 가능한 “dynamic” 모드와 초절전형 정지화상용 “memory” 모드의 동시 구현이 가능한 경우 달성될 수 있다. 이런 측면에서 액정을 이용한 플렉서블 디스플레이의 경우 액정의 종류 및 배향 방법에 따라서 충분히 구현 가능하므로 여타 기술에 비해서 우위에 서 있다. 다만, 상기 요인을 미리 고려하지 않고서 기술 개발이 개별적으로 이루어 질 경우 플렉서블 디스플레이의 성공적인 제품화는 더욱 뒤쳐질 수 밖에 없을 것으로 보이며 이는 수백억 달러에 이르는 미래 시장을 놓치는 결과를 초래할 것이다. 즉, 미래의 플렉서블 디스플레이의 개발에 있어서 초창기부터 dynamic과 memory 모드를 모두 수용할 수 있는 즉, dual 모드를 구현할 수 있는 신모드 기술의 개발이 반드시 필요하다.

- **경제·사회적 측면 (전력소비의 최소화)**: 디스플레이의 전력 소비를 줄이는 문제는 현재의 평판 디스플레이에서도 해결해야 할 중요 과제이지만, 미래의 정보 생활 패턴을 고려해 볼 때 플렉서블 디스플레이의

성공 여부를 가늠할 정도로 중요한 요소이다. 이는 플렉서블 디스플레이의 응용 분야가 고착형 보다는 모바일형 디스플레이로의 활용성이 더욱 클 것으로 여겨지기 때문이다. 이를 위하여서는 기존의 디스플레이에서는 불가능했던 투과형/반사형이 모두 구현 가능한 디스플레이의 개발이 필수적이며 이는 앞서 언급한 dynamic/memory 모드 동시 구현 가능한 모드 개발과 그 케를 같이 한다. 이러한 초절전형 디스플레이 개발을 위해서는 고분자 배터리 등을 디스플레이 내부에 결합한 hybrid display system의 개발 등 기술 개발상의 획기적인 전환이 필요하며, 이는 신물질 개발 및 이의 시의적절한 시스템화, 상품화가 뒷받침되어야 한다.

누구나가 예측하고는 있지만, 아직까지는 어느 누구도 시장을 선도하고 있지는 못하는 플렉서블 디스플레이 분야는 미래의 IT 강국을 노리는 한국이 반드시 집중적인 투자를 행해야 하는 기술 분야이며, 신개념 디스플레이가 우리 IT 생활/문화 전반에 끼칠 영향력을 고려해 볼 때 국내 산·학·연 다방면의 연구진들의 조직적이고 적극적인 연구 참여가 요청되는 분야이다.

[참고문헌]

- [1] 김보성 등, “Flexible display 개발 현황과 향후 전망”, 인포메이션 디스플레이, 제 3권, 제5호 (2002).
- [2] “Coverstory-Flexible Display”, Display Asia (2003).
- [3] S. Wu and D. Yang, “Reflective Liquid Crystal Displays”, Wiley-SID Series in Display Technology (2001).
- [4] P. Drzaic, “Liquid Crystal Dispersions”, World Scientific (1995).
- [5] 이창희 등, “차세대 디스플레이 기술: 종이와 같은 디스플레이”, 물리학과 첨단기술, 제 12권 (2003).
- [6] www.e-ink.com.
- [7] www.philips.com.
- [5] www.dupont.com/displays.
- [6] www.sharp-world.com.
- [7] www.tmdisplay.com.
- [8] www.kentdisplays.com.