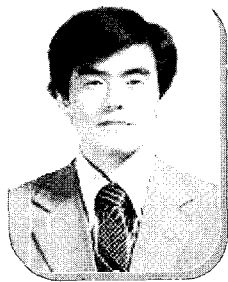


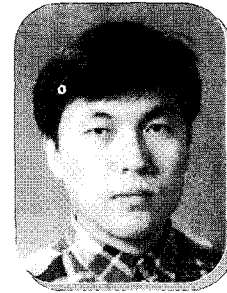
전자 종이(Electronic Paper) 최근 기술 동향 -현실로 다가올 꿈의 표시 매체-



◦ 서경수 ◦
한국전자통신연구원
반도체·원천기술연구소
책임연구원



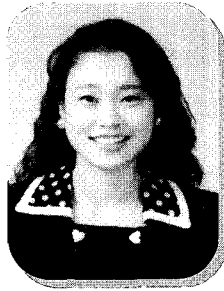
◦ 이용의 ◦
한국전자통신연구원
반도체·원천기술연구소
선임연구원



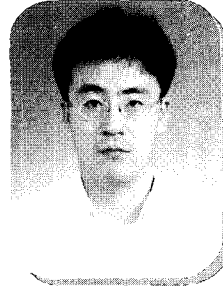
◦ 강승열 ◦
한국전자통신연구원
반도체·원천기술연구소
선임연구원



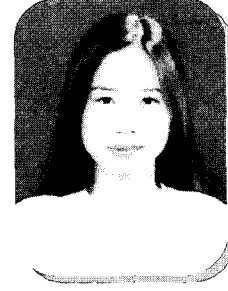
◦ 안성덕 ◦
한국전자통신연구원
반도체·원천기술연구소
선임연구원



◦ 정명주 ◦
한국전자통신연구원
반도체·원천기술연구소
선임연구원



◦ 김철암 ◦
한국전자통신연구원
반도체·원천기술연구소
선임연구원



◦ 김미경 ◦
한국전자통신연구원
반도체·원천기술연구소
선임연구원

1. 서론

인류 문명은 기록에 의해 진보되어 왔다. 기록을 통하여 지식을 습득하고 이를 바탕으로 미래를 앞당기며, 형성된 새로운 지식과 기술을 다시 기록하고 축적함으로써 의사 소통과 정보 전달을 꾀함으로써 인류의 문명 발전에 토대를 마련하였다. 종이는 AD 105년 중국 후한의 채륜이 나무껍질, 마, 님마, 현어망울 원료로 하여 발명하였고, 8세기경 아라비아를 거쳐 유럽에 제지술이 전파되면서 습득된 정보를 체계적으로 갈무리하고 전달하는 인

류 역사상 가장 중요한 정보 전달 매체 역할을 2000년 동안 훌륭히 수행해오고 있다. 특히, 1450년경 구텐베르크의 활자 인쇄기술의 발명으로 인하여 정보의 대량 제조 및 복사가 가능해 짐으로써 제한적이고 배타적으로 행해지던 기록의 공유는 지식과 정보의 대중화라는 획기적인 전환기를 마련하였다. 이후 현대적 제지기술과 필프 제조법의 개발로 인하여 “종이로 만든 책”은 대중들의 일상 생활에 자리매김하여, 정보의 공유 및 지식 활동을 이끄는 견인차 역할을 하고 있다. 2000년 이상 종이가 이러한 선도적인 역할을 주도할 수 있었던 것은 종이와 가지고 있는 특징 즉,

우수한 대비비, 오랫동안 보고 있어도 눈이 덜 피로하며, 시야각의 제약이 없으며, 누구나 구입할 수 있는 낮은 가격 등의 장점에 기인한다고 볼 수 있다. 더욱이 한번 인쇄된 문자나 이미지를 유지하는데 전력이 전혀 필요하지 않아 전력 공급 소자 및 전기 코드 등의 제한으로 인한 구속으로부터 이용자들이 자유로울 수 있다는 것은 휴대성을 극대화하는 장점이다.

최근 10여 년 동안 발달되어온 컴퓨터와 인터넷을 위시한 정보 과학 기술은 정보 지식 사회의 변화를 이끄는 선봉장 역할을 하며, 새로운 차원으로의 커뮤니케이션 매체의 변모를 요구하였다. 우선 인터넷의 바다에서 쏟아지는 엄청난 양의 정보를 제약없이 표시할 수 있어야 하며, 네트워크 상의 이들 정보들을 빠른 시간 내에 지우고 다시 표기가 가능해야 하며, 또한 동영상과 같은 고압화된 정보들을 왜곡없이 전달하여야 한다. 더욱이 기존의 일방적인 정보 전달의 방식을 탈피하여 정보 공급자와 수요자간의 상호 정보 교환 및 공유가 가능한 양방향성을 요구한다. 이제까지는 소위 디스플레이라고 불리는 전달 매체가 종이가지지 못한 이러한 요구 사항들을 만족시키면서 그 역할을 수행해오고 있다. 그러나, 기존의 디스플레이들은 우선 종이만큼 보기가 용이하지 않으며, 부피가 크고, 무거우며, 더욱이 항상 전원 공급을 필요로 하여, 수요자들에게 시간 및 공간적인 테두리를 벗어나지 못하게 하고 있다.

최근에 와서 급속도로 진행되는 대량의 고압화된 정보의 필요

성과 이동 통신 환경의 일상 생활화라는 지식 정보 사회의 질적 대전환은 정보의 제공자와 사용자간에 있어서 유기적 공동체 형성을 절실히 요구하고 있으며, 이에 따라 시간과 공간의 제약에서 자유로울 수 있는 새로운 개념의 정보 전달 매체를 필요로 하고 있다. 종이와 기존 디스플레이 각각의 장점을 극대화한, 즉, 우수한 대비비와 시인성, 동영상을 표시할 수 있는 빠른 응답속도, 천연색의 표시, 저가, 휴대 간편성, 소비전력을 최소화할 수 있는 종이 질감의 꿈의 디스플레이 (이후 전자종이)의 구현은 다가올 지식 정보 사회의 인프라구조를 혁명적으로 진화시키는 역할을 할 것이다. 본 고에서는 실용화에 가일층 다가선 전자종이의 최근 기술 개발 동향과 이러한 꿈의 실현화에 따른 정보 지식 사회의 변모에 대해서 기술하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 전자 종이 기술

전자 종이에 대한 필요성은 1973년 세계적인 석유파동을 기점으로 하여 진행되었던 에너지 절감 운동의 일환으로 대두되었다. 그러나 오늘날에는 단순히 과거의 연장선상이 아닌 새로운 패러다임이 요구되는 정보 사회에 상응하는 정보 전달 및 공유 방식로의 대변환의 필요성이 전자 종이의 기술 개발을 가속화시키고 있는 것이다. 표 1에는 최근 각 연구기관에서 발표한 전자종이에 관한 연구 동향을 요약하여 나타내었다.

표 1. 각 연구 기관별 전자종이 연구 동향.

시기	연구기관	발표 내용
2000년 5월	캐논	인-플레인형 전기 영동 디스플레이를 「SID'00」에 발표
	미국 Iridigm Display Corp.	미세한 미세나일 구조에 의한 반사형 디스플레이를 「SID'00」에 발표
	TDK	전기 영동방식을 사용한 「Electronic Paper」를 「TDK테크노포럼 2000」에 전시
2000년 7월	동해대학교와 대일본인쇄	이온 조사에 의하여 써닝기하는, 종이와 같이 얇은 액정 패널을 개발
	ASET	3층 게스트·호스트 액정 패널을 발표
	ASET	홀로그래픽 PDLC로 다색 표시를 실현
2000년 9월	ASET	지향성 반사막과 TN액정 셀을 조합하여 8색 표시를 실현
	미국 E Ink Corp.	마이크로캡슐형 전기영동 디스플레이를 「IDRC'00」에 발표
	캐나다 Univ. of British Columbia 등	미세한 프리즘·시트에 의한 반사형 디스플레이를 「IDRC'00」에 발표
2000년 10월	파이오니어	필름 기판상에 만든 유기 EL 디스플레이 개발
2000년 11월	캐논	인-플레인형 전기영동 디스플레이를 「CANON EXPO 2000」에 전시
	미국 E Ink Corp. 과 Lucent Tech.사	유기 TFT 구동의 마이크로캡슐형 전기영동 디스플레이를 개발
	미놀타	메모리성을 갖는 코레스테릭 액정의 폴-컬러 패널을 「IDW'00」에 발표
2000년 12월	미국 Gyricon Media Inc.	트위스트 볼 방식 디스플레이의 실용화를 목표로 회사를 설립
2001년 6월	E Ink Corp.	Foil 형태 a-Si TFT 구동의 마이크로캡슐형 전기영동 디스플레이를 「SID'01」에 발표
2001년 10월	E Ink Corp./Lucent Tech.사	유기 TFT 구동의 마이크로캡슐형 전기영동 디스플레이를 「SID'01」에 발표
	E Ink Corp./IBM사	a-Si TFT 구동의 12.1"급 마이크로캡슐형 전기영동 디스플레이를 「SID'01」에 발표
	DSM Desotech사	UV 조사에 의하여 유/무기 혼합 코팅으로 OLED, LCD등의 기판 특성 개선을 「SID'01」에 발표
	CopyTele Inc.	고 속도형 능동구동의 전기영동 디스플레이를 「SID'01」에 발표
	E Ink Corp.	능동구동형 마이크로캡슐형 전기영동 디스플레이를 「IDW'01」에 발표
	E Ink Corp./Toppan사	칼라필터와 전자잉크를 이용한 전기영동 디스플레이를 「IDW'01」에 발표
	E Ink Corp./Phillips사/VCD Science	모바일용 마이크로캡슐형 전기영동 디스플레이를 「IDW'01」에 발표
IBM사	다층적층 디스플레이를 「IDW'01」에 발표	

전자 종이의 구현에는 다음과 같은 특성들을 만족하여야 한다.

- (1) 읽기가 편할 것
- (2) 표시와 소거가 용이할 것.
- (3) 컬러 표시가 용이할 것
- (4) 동영상 정보를 표시할 수 있도록 응답속도가 충분히 빠를 것.
- (5) 얇고 가벼워서 휴대가 용이할 것.
- (6) 표시 유지를 위한 소비전력이 적을 것.

이러한 꿈의 전자 종이 구현을 위해서 연구 개발자들은 다양한 방법론을 모색하고 있다. 크게는 LC(Liquid Crystal) 방식과 같은 기존의 디스플레이 기술을 토대로 한 전자 디스플레이의 종이화 기술과 종이 질감을 가진 새로운 기술을 토대로 한 종이의 디스플레이화 기술로 분류할 수 있다. 표 2에 현재 진행되고 있는 전자 종이의 기술적 접근 방식들을 분류한 것이다.

기존의 LC 기술을 이용한 전자 종이의 개발에 있어서는 nematic 액정, cholesteric 액정, 3층 게스트·호스트 액정, 홀로그래픽 PDLC(Polymer Dispersion LC)등의 여러가지 액정 재료들을 사용하여 전자 종이의 응용 연구에 몰두하고 있다.[1] 그러나 기존 컴퓨터와 개인휴대정보단말기 (PDA:Personal Digital Assistants)등에 사용되는 TN(Twisted Nematic) LCD는 반사형 전자 종이의 응용에 적합하지 않다. 기존의 백라이트가 있는 TN LCD는 하나의

천연색 화소가 R(Red), G(Green), B(Blue)의 컬러 필터로 구성된 세 개의 서브 픽셀로 이루어져 있다. 또한 이들 서브픽셀은 광 필터링 방향이 서로 90°로 배향된 두개의 편광 필터 사이에 액정 재료를 함유하는 구조로 이루어져 있다. 즉, 편광 필터와 컬러 필터의 사용이 필수적이다. 그러나 불행하게도 이들 필터에 의해서 많은 빛이 흡수된다. (백색의 경우 편광필터에서 약 1/2, 컬러필터에서 약 2/3의 빛이 흡수됨) 더욱이 반사 모드로 응용할 경우에는 외부의 빛이 필터를 두번 거쳐야 하기 때문에 흡수율은 2배로 증가하므로 반사형 전자 종이의 응용을 더욱 어렵게 한다. 또한 TN LCD의 경우 표시의 유지를 위해 에너지를 요구하므로 쌍안정성(bistability)이 없다. 따라서, 우선적으로 반사형 LCD의 밝기 향상을 위해서는 액정의 편광 필터 및 컬러 필터를 사용하지 않은 방법을 모색해야 한다.

Cholesteric LC는 이들 필터를 제거하고 높은 휘도를 가지는 액정 전자 종이의 가장 유망한 후보이다.[2] 그림 1에 cholesteric LC의 간단한 작동 원리를 나타내었다. Cholesteric LCD는 빛이 서브 픽셀과 컬러 필터를 통과해야 하는 TN LCD와는 달리 빛을 반사한다. 또한 상이한 파장의 빛을 선택적으로 반사함으로써 컬러를 표현할 수 있다. Cholesteric LC를 함유하고 있는 두 전극 사이에 전

표 2. 전자종이 구현을 위한 기술적 접근 방식.
(Nikkei Microdevices, 2001년 2월 기사를 참조로 작성)

형태	명칭	연구기관
액정	니마틱 액정	샤프, 세이코엡슨, 마쓰시타 전기산업
	3층 게스트/호스트 액정	도시바, ASET
	홀로그래픽 PDLC	ASET
	지향성 반사형	ASET
	코레스테릭 액정	미 Kent State 대, 미놀타
	ZBD	영국 ZBD 사
	BTN	세이코엡슨 동해대학, 대일본인쇄
유기EL		파이오니아, 대일본인쇄, 미 Universal Display사
可動필름		도시바
반사 필름 반사형 표시		캐나다 British Columbia 대
전기영동	마이크로캡슐형	미 E-Ink 사, TDK
	인-플레인형	캐논, IBM
트위스트볼		미 Gyricon 사
마케니컬 반사형 표시		미 Iridigm Display 사
Thermal Rewritable		리코, 도시바, 오키정보 시스템, 미쓰비시 제지

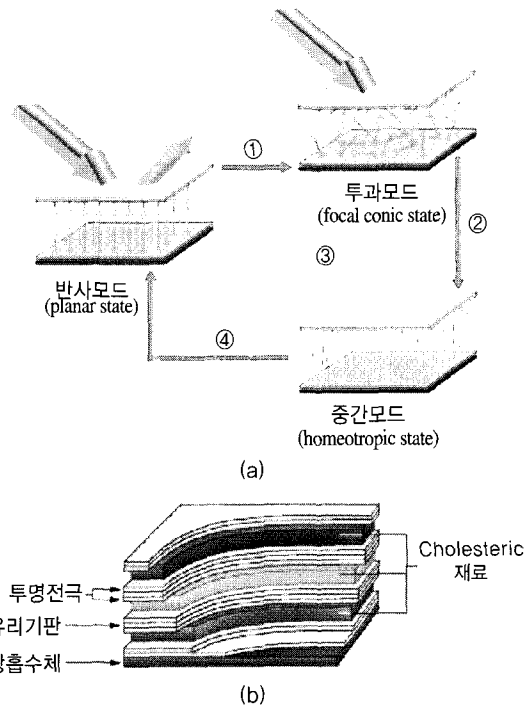


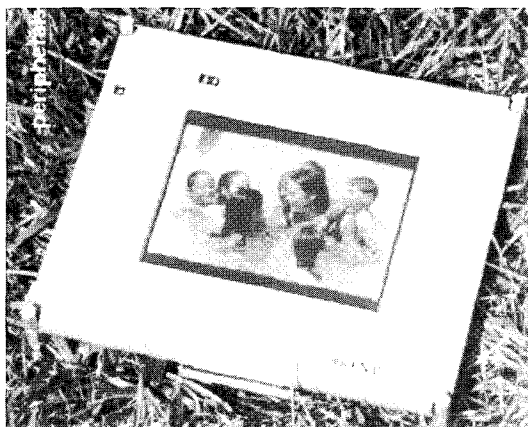
그림 1. Cholesteric LC의 작동 원리. 반사모드에서 20-30V의 전압을 인가하면 투과모드로 변환한다. 투과모드에서 30-40V의 전압인가로 중간모드로 변환을 하며, 이때 인가전압을 빠르게 제거하면 반사모드로, 천천히 제거하면 투과모드로 변화함.

압을 가하면, 액정의 pitch 축이 디스플레이 기판에 대해서 임의의 방향으로 배열되어 있어 빛을 반사하지 않고 투명 상태를 유지하는 focal conic 상태와 액정의 pitch 축이 기판에 대해서 평행하게 존재하여 빛을 반사하는 planar 상태라고 불리는 두개의 안정한 상태로 스위칭 할 수 있다. 따라서 R, G, B 액정을 적층 형태로 한 구조에 있어서 각각의 컬러를 선택적으로 반사시키거나, 투명하게 조합을 하는 것으로 컬러의 표현이 이루어진다. 따라서 cholesteric LCD는 TN LCD에 비해서 훨씬 밝은 이미지 표현이 가능하다. 미국의 Kent Display사에서는 대비비 20-30 : 1, 반사율 40%로 야외에서도 밝게 이미지를 표시할 수 있는 cholesteric LCD를 제조하였다(그림 2). 또한 컬러 이미지의 표현이 용이하며, 응답 속도가 동영상 표시가 가능한 20ms에 가까운 30-100ms의 값을 가져 비디오 이미지를 구현하는데 가장 가까우며, 표시 유지를 위한 에너지가 불필요한 전자 종이로의 응용이 가능하다. 미놀타사에서 cholesteric LC를 이용하여 26만 색 표시를 실현하였다. 그러나, 이 경우 구조가 비교적 복잡하여 제조 원가가 높으며, 여전히 종이 질감의 표시 소자로는 역부족인 단점이 있다.

또한 일본의 ASET(Association of Super-Advanced Electronics



(a)



(b)

그림 2. Kent사의 cholesteric LC를 이용한 다양한 시제품. (a) 전자광고판, (b)천연색 반사형 디스플레이

Technologies)에서는 편광 필터와 컬러 필터를 사용하지 않고 시안, 마젠타, 옐로우의 3층 게스트·호스트 방식을 이용하여 각 층의 광을 합하는 것으로 밝기를 향상시키는 방법과 폴리머 등의 액체 입자로 형성된 격자의 구조를 전압이나 주파수로 바꿈으로써 특정 색의 빛을 반사시키는 선택 반사형의 홀로그래피 PDLc(polymer dispersion LC)방식의 패널을 발표하였다.[1] 이 두 구조는 메모리성이 없어 표시를 유지하는데 에너지를 필요로 하여 소비전력의 최소화에 문제가 있다. 특히, 3층 게스트·호스트 방식의 경우는 다층을 제어하는 구동 전극 구조의 간략화와 PDLc 방식은 높은 구동 전압과 좁은 시야각의 과제가 여전히 남아 있어, 종이 질감의 표시소자로의 응용을 위해서 앞으로 많은 개선이 요구된다. 요약하면 LC 기술 기반 형태의 전자 종이 연구, 개발에 있어서는 위에서 열거한 요구 조건 중 표시/소거 용이성, 컬러 구현 및 빠른 응답속도의 장점을 가지고 있으나 보기 용이성, 소비전력 등의 해결해야 할 과제가 남아 있다.

종이 질감을 가지는 새로운 방식의 기술을 토대로 한 전자 종이 응용 연구에 있어서는 트위스트 볼(Twist Ball) 디스플레이, 마이크로 캡슐형 혹은 인플레인형 전기영동디스플레이(Electrophoretic Display), REED(Reverse Emulsion Electrophoretic Display)등과 같은 다양한 기술의 후보들이 있다. 이중 현재 가장 주목받고 있는 기술은 트위스트 볼 디스플레이와 마이크로 캡슐형 전기영동 디스플레이이다.

트위스트 볼 형태의 디스플레이는 1975년 미국의 Xerox Palo Alto Research Center(PARC)의 Sheridan 박사에 의해 개발되었다.[3] 이 디스플레이는 그림 3(a)에서 보여주듯이 투명한 두개의 플라스틱 시트 사이에 오일과 함께 반은 백색, 나머지 반은 흑색이 칠해져 있는 지름이 약 100 μ m를 가진 수백만 개의 작은 볼로 구성되어 있다. 작은 볼의 백색과 흑색으로 칠해져 있는 영역에 반대의 전하를 띠게 하여 외부에서 가하는 전기장의 극성에 의해서 볼이 회전하여 흑/백의 이미지가 표시된다. 또한 이들 볼들과 오일은 거의 비중이 비슷하여 인가 전압에 의해서 볼이 회전한 후 한번 위치가 정해지면 인가전압을 제거한 이후에도 수일 이상 이미지가 유지된다. 이 디스플레이는 회전하는 볼이라는 그리스 어원을 가진 "gyricon"이라고도 불린다. 또한 볼의 재료와 흑/백 영역의 극성 및 전하량을 조절함으로써 볼의 회전 속도 및 이동을 조절할 수 있다. 2000년 Xerox사에서 분리, 설립된 Gyricon Media Inc. 에서 트위스트 볼 형태의 디스플레이를 주도적으로 연구, 개발하고 있다. 6 : 1 이상의 대비비와 20% 이상의 백색광 대비비를 가진다. 또한 회전볼은 대량 생산이 가능한 단순 공정인 스프레이 몰트법으로 제조한 wax-like plastic이 사용되어 저가격 실현에 잇점이 있다. 이 디스플레이는 매우 안정적이며, 3백만 사이클 이상의 동작에서도 특성의 저하가 없는 것으로 보고되어 있다. 동작 전압과 응답 속도는 사용하는 재료의 전기적 특성, 볼의 크기,

오일 특성에 의해서 좌우되며, 각각 50-100V, 80-100ms의 영역에 있다. 동작 전압과 응답속도를 낮추기 위해서는 회전 볼의 크기를 줄여야 하는데 이는 대비비의 저하를 동반하는 문제점이 있다. 트위스트 볼 형태의 디스플레이의 가장 큰 문제점은 문턱전압(threshold voltage)이 없다는 것이다. 즉, 전압을 가하면 크기에 상관없이 볼이 일정 정도 회전을 하게 된다. 이는 실제 사용에 있어서 해상도의 한계를 가져올 뿐만 아니라, 픽셀을 직접적으로 구동하여야 하기 때문에 구동부분이 픽셀 수에 비례하여 복잡해지며, 고해상도 응용시에는 능동 구동 소자가 필요하므로 디스플레이의 가격을 현격히 상승시키는 요인이 된다. 단순 수동 구동으로 고해상도 구현이 가능하도록 문턱전압을 가지는 디스플레이의 연구가 진행되고 있다. 그림 3(b)에는 미국 Macy 백화점에서 테스트 중인 gyricon사의 옥내용 광고판을 나타내었다. 컬러화 또한 적지 않은 문제점으로 알려져 있는데, 투명한 볼의 평본선 부분에 아주 얇고 반투명한 디스크 형태의 컬러 필터(시안, 마젠타, 옐로)를 사용하여 이들 디스크의 배열을 조절함으로써 컬러화 표시가 가능한 디스플레이 연구가 진행 중이다.

전기영동법을 이용한 디스플레이는 오래 전부터 제안되어왔

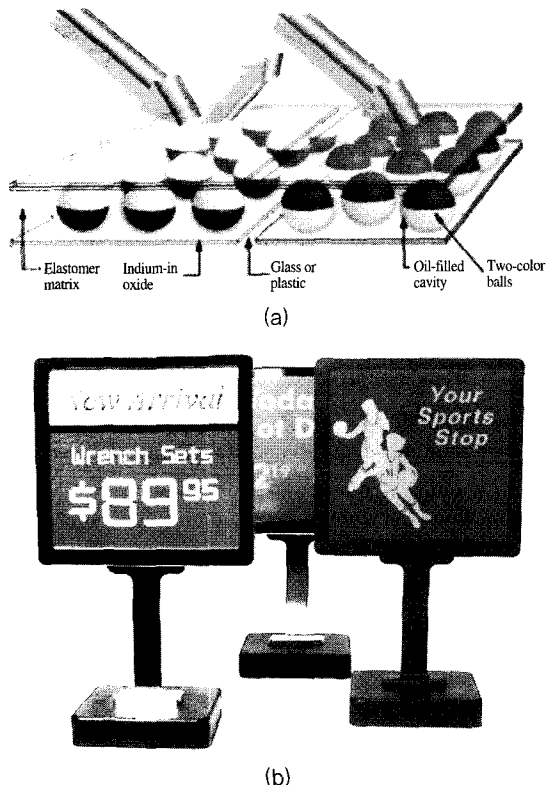


그림 3. Gyricon사의 twist ball을 이용한 전자종이.
(a) Twist ball을 이용한 전자종이 작동 원리,
(b) Twist ball을 이용한 gyricon사의 옥내용 광고판

다. 이는 색을 띤 유체(dyed colloidal suspension) 속에 빛을 산란하는 미소입자 즉, 잉크 미립자를 분산시켜, 이들의 electrostatic migration을 기본 동작 원리로 한다. 즉, 양의 전압을 인가하면 음으로 대전된 잉크 미립자들이 표면으로 움직여 미립자의 색을 표시할 수 있으며, 음의 전압을 인가하면 미립자들이 반대로 움직여 유체의 색을 표시할 수 있다. 또한 전압을 제거하는 경우에는 잉크 미립자들이 유체 속에 그대로 움직이지 않아 쌍안정(bistability)한 특성을 가지고 있다. 이 경우에는 시간에 따른 분산 불안정성에 기인한 잉크 미립자들의 크리스터화 및 응집등의 형성이 상용화에 큰 걸림돌이 되었다. 1996년 미국 MIT Media Lab.에서 분리되어 설립된 E-Ink사에서는 마이크로캡슐을 사용하여 이러한 문제점들을 해결하였다.[4-5] 그림 4와 같이 특정한 전하를 가진 특정색의 잉크 미립자와 반대 전하를 띤 다른 색의 잉크 미립자(혹은 색을 띤 유전유체) 및 투명 유전 유체를 함유한 지름 200-300 μ m의 투명한 마이크로캡슐을 제조하였다. 이들 마이크로캡슐을 바인더와 혼합하여 상, 하부 투명전극 사이에 위치시키고 전압을 인가하면 위에서 설명한 방식에 의해서 문자나 이미지를 표시하게 된다. E-Ink사의 초기 디스플레이는 백색 반사율이 우수한 TiO₂ 미립자에 청색 유체를 사용하여 청색 배경에 흰색 이미지를 구현하였으며, 현재에는 투명 유체에 양전하를 띤 백색 미립자와 음전하를 가진 흑색 미립자를 분산시킨 마이크로캡슐을 제조하여 흑/백 표시가 가능하다. 2000년에 E-Ink사의 마이크로캡슐 전기영동 디스플레이와 Lucent Technology사의 soft-lithography방법을 이용하여 제작한 유기트랜지스터가 결합된 능동 구동형 전자종이가 발표되어 전자 종이 제조의 획기적인 전환점을 마련하였다.(그림 5) 이는 가볍고, 얇고, flexible한 디스플레이를 제조하기

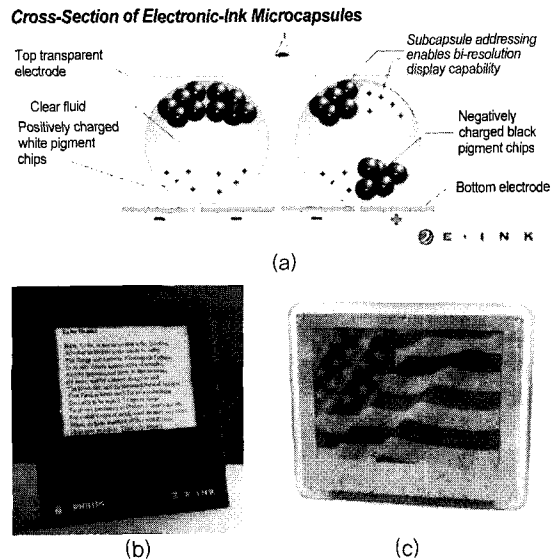


그림 4. 전기영동현상을 이용한 마이크로캡슐형 전자 종이.
(a)구동원리, (b) 흑/백 시제품,
(c)컬러 시제품(4096컬러, 80ppi)

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 10 : 1의 대비비를 가져 시인성이 우수하다. 또한 백색광의 반사율이 40%이며, 구동전압은 약 90V이다. 또한 구동전압의 조절에 의해서 그레이스케일의 표현이 가능하다. 또한 약 천만분의 사이클에도 안정적인 동작을 보이는 것으로 보고되어 있다. 그러나 응답속도가 약 100ms으로 동영상 구현에는 많은 개선이 필요하며 이는 주로 마이크로캡슐의 소형화에 의해서 개선하려는 연구가 진행 중이다. 또한 컬러 필터를 이용하여 컬러 표시가 가능한 소자의 제조가 연구 중이다.

캐논사에서는 별도의 전기영동 방식을 가진 전자 종이를 제안하였다. 그림 6(a)에서 보듯이 상, 하부 기판 사이에 투명유체를 채우고, 흑색의 영동입자를 분산시킨다. 이때 하부 기판은 전극과 백색 산란층이 적층된 구조를 가진다. 이때 하부 기판에 패턴닝 되어 형성된 전극 상에 전압을 인가하여 흑색 입자를 집중시키면, 백색 산란층이 노출되어 백색 표시가 된다. 캐논사에 의하면 이 디스플레이는 보기가 용이하며, 시안, 마젠타, 옐로를 적층함으로써 하나의 픽셀로 컬러 표시가 가능하기 때문에 고휘상도에 유리하다는 것이다. 그러나 표시의 안정성 향상에 대한 문제점

Exploded Layers of Rubber Stamped, Organic Active Matrix Backplane Circuit.

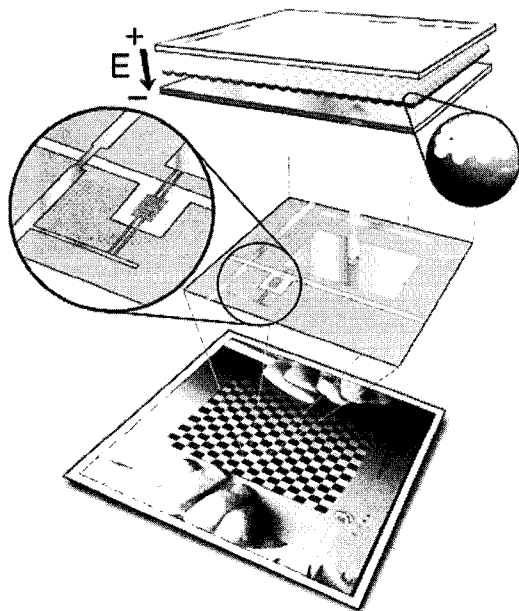


그림 5. 유기물 트랜지스터를 채운 전기영동 마이크로 캡슐형 전자 종이.

들을 해결해야 하는 것으로 알려져 있다. 그림 6(b)에 캐논사의 시제품을 나타내었다.

이외에도 Zikon사에서는 REED(Reverse Emulsion Electrophoretic Display)에 대한 기술을 발표하였다.[6] 이는 전극이 코팅된 상, 하부 기판 사이에 극성과 비극성 solvent, surfactants, 그리고 안료로 구성된 reverse emulsion을 주입하는 것을 핵심으로 하는 기술이다. 이들 구성 성분들을 혼합하면 두가지 형태의 용매는 서로 섞이지 않고, surfactants가 두 용매의 경계에 집중되어 표면 장력을 감소시킨다. 그림 7에서 보듯이 특정한 환경하에서 비극성 용매 내에서 극성 용매 들은 droplet이나 micelles를 형성하며, 안료는 이 droplet에 집중되게 되며, 픽셀과 같은 역할을 하게 되어 표시 소자로 작동하게 된다. Zikon사는 REED는 구동 전압 30-60V, 대비비 5 : 1, 응답 속도 50ms의 특성을 보고하였다.

요약하면 새로운 기술을 이용하여 전자 종이의 실현화에 있

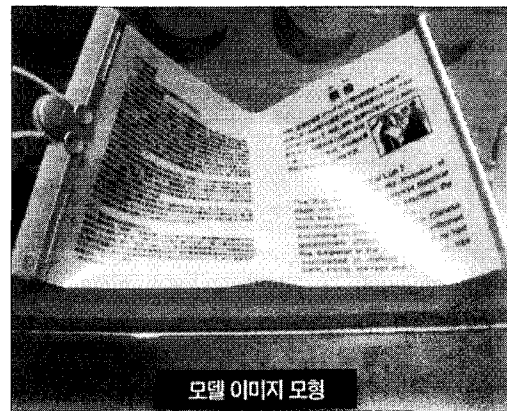
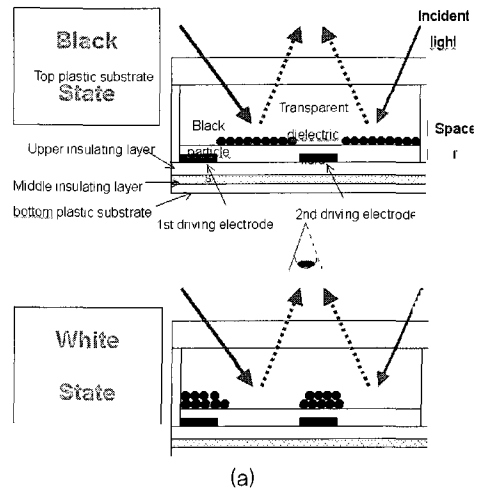
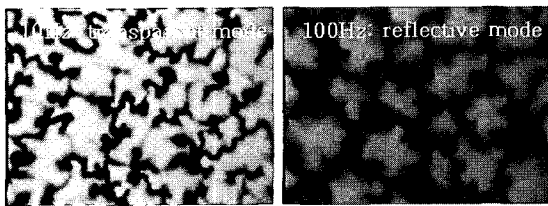


그림 6. (a)캐논사 전자종이 작동원리와 (b)시제품.

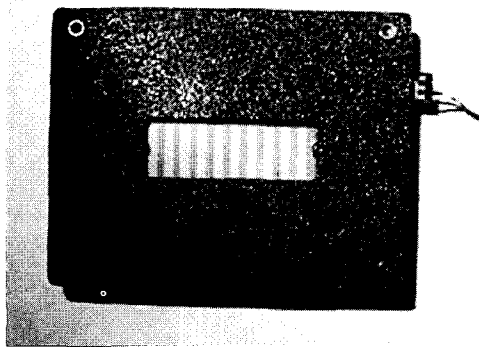
어서는 위에서 열거한 요구 조건 중 종이 질감의 보기 용이성, 휴대성, 생산정성에 의한 소비전력의 최소화에는 액정 기술을 이용한 전자 종이에 비교하여 우수한 특성을 가지나, 컬러 구현 및 응답속도에서는 여전히 개선의 과제를 남기고 있다. 표 3에 대표적인 이들 전자 종이의 특징을 간략하게 요약하였다.

2.2 기술 발전 및 시장 전망

전자종이는 현재 옥의 간판이나 대형 유통 마켓에서 POP(Point-of-Purchase)의 용도로 시범적으로 테스트되고 있다. 그러나, 종래의 디스플레이로부터의 접근 방식과 종이로부터의 접근 방식 모



(a) 작동원리



(b) 시제품

그림 7. Zikon사의 REED 전자종이. (a) 작동원리와 (b) 시제품

두가 종이와 같이 얇고 동영상 구현이 가능한 꿈의 디스플레이 개발에 적극적인 목표를 두고 있다. Economist지(2000년 12월호)의 분석을 보면 전자종이가 옥, 내외 광고판으로 사용되고 있지만, 다양한 형태의 인터넷 기기 및 전자책의 정보 표시 매체 등으로 이용될 것이 확실하다고 전망하고 있다. 또한 미국의 Gartner Group에서는 2003년 말 경 전자 종이의 상용화 제품이 PDA(Personal Digital Assistants)를 비롯한 이동 통신기기에 이용되고 2004년에는 e-book이 나올 수 있을 것으로 전망하고 있다. 그림 8에 전자종이의 기술 발전 전망을 나타내었다.

또한 전세계적으로 인터넷 사용자는 2000년 현재 3억 7천 490만명, 국내 인터넷 이용자는 약 1천 480만명으로 추정되며, 2005년에는 약 6억명 이상으로, 예상되며, 이동 통신기기인 mobile PC, mobile phone, PDA, webpad 등의 사용자도 급속한 증가 성장세를 보여 2005년에는 약 5억명 이상이 될 것으로 추정하고 있다. 전자종이의 개당 가격은 8.5 x 11 인치 크기를 기준으로 약 10불 정도로 예상하고 있으며, (IBM Journal Vol. 36), 인터넷과 이동 통신기기 사용자의 약 10%가 전자종이를 사용하게 된다고 가정하더라도, 상용화될 2005년에는 약 11억불 이상의 시장이 형성될 전망이다. 또한 Nikkei Electronics(2001년 9월)에 의하면

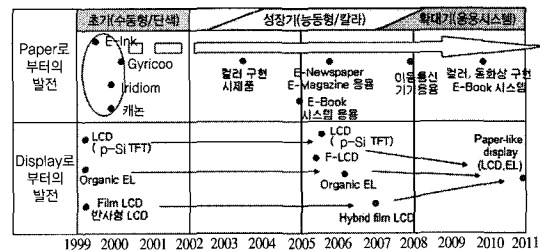


그림 8. 전자종이의 기술 발전 전망.

표 3. 다양한 전자종이의 장, 단점 비교.

특성 종류	종이	Cholesteric LCD	Gvricon	전기영동 표시소자	반사형 TN-LCD*
대조비	20 : 1 프린트물 7-10 : 1 신문	20-30 : 1	10 : 1	10-30 : 1	< 5 : 1
반사율	80% 프린트물 50% 신문	40%	20%	40%	< 5%
시야각	모든 각도	모든 각도	모든 각도	모든 각도	제한
유연성	상	중	상	상	하
천연색	상	상	하 ^a	하 ^b	하
반사 형태	Lambertian	Near Lambertian	Lambertian	Lambertian	Highly Specular
반응 시간	-	30-100ms	80ms	100ms	20ms
최대 전압	-	40V	90V	90V	5V
기판	-	플라스틱 or 유리	플라스틱 or 유리	플라스틱 or 유리	유리
구동방법	-	수동형	능동형	능동형	능동형

2005년에는 전자종이의 잠재시장이 약 300억불 이상이 될 것으로 추정하고 있다.

이러한 거대 잠재 시장을 가지고 있는 전자종이는 현재 초기 단계의 신기술로서, 미국, 일본을 중심으로 급속히 연구, 개발이 진행되고 있다. 따라서 종이와 기존 디스플레이의 장점을 극대화시킨 꿈의 신개념 정보 표시 매체인 전자종이의 핵심 원천 및 기반 기술의 조기 확보에 의한 차세대 디스플레이의 국가 경쟁력 제고가 시급히 요구된다.

3. 결론

종이가 발명되고 난 후 약 1700년 후에 비로소 근대식 기계에 의한 제지법이 로베르에 의해서 발명되었으며, 1444년 첫 활자물이 인쇄되었으며, 1744년에 첫 인쇄된 소설이 발간되었다. 즉, 종이를 이용하여 제작된 책이 가지고 있는 경제와 그것을 이용하여 무엇을 할 수 있는 가를 인간이 이해하고 실용화하는데 꼬박 300년이라는 세월이 걸렸음을 의미한다. 어떤 의미로는 꿈의 디스플레이인 전자종이가 미래의 현실 세계를 어떻게 변화시키고, 어떤 역할을 담당할 것인가를 상상하기가 쉽지 않을 수도 있다. 짐작해 볼 수 있는 것은 우리가 상상하는 것 이상의 역할을 수행해 낼 수 있을 것이라는 예측이다.

우리나라에 중국으로부터 제지술이 도입된 것은 약 600년 경으로 기록되어 있으며, 일본으로부터 기계 제지술은 1892년경에 도입되었다. 이제 막 연구, 개발이 진행되기 시작한 전자종이 분야의 기초 및 핵심 기술의 확보와 이를 기반으로 한 응용화 및 상품화에 체계적이고 과감한 투자는 먼 훗날 다른 나라의 역사책에 전자종이 기술이 한국으로부터 도입되었다고 기술될 지도 모를 일이다.

참고 문헌

- [1] G. P. Crawford, IEEE Spectrum, October, p. 40, 2000.
- [2] D. Davis, A. Khan, C. Jones, X. Y. Huang, and J. W. Doane, J. SID, Vol. 7, No.1, p. 43, 1999.
- [3] N. K. Sheridon, E. A. Richley, J. C. Mikkelsen, D. Tsuda, J. C. Crowley, K. A. Oraha, M. E. Howard, M. A. Rodkin, R. Swidler, and R. Sprague, J. SID, Vol. 7, No. 2, p. 141, 1999.
- [4] B. Comiskey, J. D. Albert, H. Yoshizawa, and J. Jacobson, Nature, Vol. 394, No. 16, p. 253, 1998.
- [5] J. Ritter, Proc. IDW01, p. 343, 2001.
- [6] M. Bryning and R. Cromer, Proc. SID98, 37.4, 1998.

저 자 약 령

성 명 : 서경수

❖ 학 령

- 1979년 서강대 화학과 이학사
- 1989년 보르도 1대학(불란서) 고체화학 이학석사
- 1991년 보르도 1대학(불란서) 재료과학 이학박사

❖ 경 령

- 1979년 1월 - 1988년 7월
한국과학기술연구원(KIST) 선임연구원
- 1991년 9월 - 1992년 2월
불란서 고체화학연구소(CNRS) 선임연구원
- 1992년 8월 - 현재
한국전자통신연구원 책임연구원

성 명 : 이용의

❖ 학 령

- 1990년 서울대 재료공학과 공학사
- 1992년 서울대 대학원 재료공학과 공학석사
- 1996년 서울대 대학원 재료공학과 공학박사

❖ 경 령

- 1997년 3월 - 1998년 3월
미국 National Institute of Standards and Technology 객원연구원
- 1998년 4월 - 2000년 4월
미국 Oak Ridge National Laboratory 박사 후 연수 연구원
- 2000년 5월 - 현재
한국전자통신연구원 선임연구원

성 명 : 강승열

❖ 학 령

- 1987년 서울대 자연과학대 물리학과 이학사
- 1990년 한국과학기술원(KAIST) 물리학과 이학석사
- 1994년 한국과학기술원(KAIST) 물리학과 이학박사

❖ 경 령

- 1994년 - 현재 한국전자통신연구원 선임연구원

성 명 : 안성덕

❖ 학 력

- 1991년 한양대 무기재료공학과 공학사
- 1994년 한국과학기술원 전자재료공학과 공학석사
- 2000년 한국과학기술원 재료공학과 공학박사

❖ 경 력

- 2000년 - 현재 한국전자통신연구원 선임연구원

성 명 : 정명주

❖ 학 력

- 1994년 서강대 화학과 이학사
- 1996년 서강대 대학원 화학과 이학석사
- 2000년 서강대 대학원 화학과 이학박사

❖ 경 력

- 1998년 8월 - 2000년 2월
UC Berkeley 화학과 Visiting Scholar
- 2001년 2월 - 2002년 3월
The Scripps Research Institute 화학과
Postdoctoral Associate
- 2002년 4월 - 현재
한국전자통신연구원 선임연구원

성 명 : 김철암

❖ 학 력

- 1991년 인하대 고분자공학과 공학사
- 1995년 인하대 대학원 고분자공학과 공학석사
- 2000년 인하대 대학원 고분자공학과 공학박사

❖ 경 력

- 2000년 4월 - 2002년 4월
미 카네기 멜론대 화학공학과 박사 후 연구원
- 2002년 5월 - 현재
한국전자통신연구원 선임연구원

성 명 : 김미경

❖ 학 력

- 1992년 부산대 화학과 이학사
- 1996년 한국과학기술원 (KAIST) 화학과 이학석사
- 1998년 한국과학기술원 (KAIST) 화학과 이학박사

❖ 경 력

- 2002년 - 현재 한국전자통신연구원 선임연구원

