

E-paper 기술동향 및 전망

전자종이는 이제 단지 공상 과학 영화나 미래의 제품이 아니다. 이미 많은 연구 개발이 진행되었고, 일부 제품은 상용화에 이르러 시장을 형성하고 있다. 전자종이를 구현하는데 여러 가지 기술이 제안되어 실현되고 있으나, 아직까지 전자종이로서의 완전한 요구를 충족시키지는 못하고 있어 더 많은 연구가 필요하다. 현재 상용화 단계까지 진행되었거나 거의 상용화 단계에 이른 대표적인 입자기술 중심 전자종이는 전기영동식, 입자회전식, 건식이동식이 있고 E-ink, 자이리콘, 브리지스톤사가 기술 개발 및 제품화 중에 있다.

글 : 손민호, 나경필, 이정민, 권재홍 / 고려대학교 전자전기공학과
주병권 교수 / 고려대학교 전기전자전파공학부
www.korea.ac.kr

전자종이는 무엇인가

전자종이의 개념

전자종이(Electronic Paper, Digital Paper)는 E-paper라고도 한다. 종이책 · 종이신문 · 종이잡지처럼 편리하게 휴대하고 필요할 때마다 쉽게 꺼내 볼 수 있고 메모도 할 수 있는 전자장치, 즉 종이 역할을 할 수 있는 전자장치를 말한다. 휴대가 가능하고, 종이처럼 두께가 얇아 마음대로 구기거나 접을 수 있는 전자종이는 주머니에 넣고 다니다가 필요한 정보가 있을 경우, 꺼내 펼치기만 하면 원하는 정보를 마음대로 검색할 수 있다. 물론 전자장치의 종류나 성능에 따라서 검색 방법이나 속도, 정보의 양 등은 달라질 수 있다. 그래도 종이처럼 구기고 접고, 글자를 기록할 수 있는 전자장치 하나가 종이의 역할을 대신하며, 향후에 신문 · 서적 · 서류를 마음대로 볼 수 있게 되면 전자장치와 종이의 구분은 사실상 없어지게 된다. 전자종이의 실현 형태로는 크게 평판형, 두루마리형, 북형, 종이형이 있다. 한편 전자종이의 개발과 대중화는 인류 사회에 엄청난 변화를 가져오게 될 것으로 보인다. 우선 전자종이의 출현으로 종이신문과 종이 책 등의 매체의 비중이 크게 줄어들게 될 것이며, 스스로 쓴 문서를 저장하는 등의 기능을 갖추게 되어 기존 컴퓨터 시장 역시 크게 위협하게 될 것으로 보인다. 뿐만 아니라 기술의 추가발달로 전자종이에 통신 기능까지 포함될 경우 모바일 통신시장도 전자종이의 영향권 안에 들어가게 될 가능성도 있다.

각종 디스플레이와 비교한 전자종이의 특징과 장단점

디스플레이는 각종 전자기기로부터 출력되는 전기적 신호를 인간의 시각을 통해 인식할 수 있는 패턴화된 정보로 표시하는 장치로서, 전자기기와 사람과의 인터페이스를 담당하는 핵심장치의 하나이다. 대표적인 디스플레이로는 CRT(Cathode Ray Tube)가 있으나, 최근에는 LCD(Liquid Crystal Display), PDP(Plasma Display Panel), 유기 EL(Organic Electro Luminescent Display), FED(Field Emission Display) 등과 같은 경량, 박형, 저소비전력, 고해상도 특징을 가진 평판 디스플레이 제품들이 크게 주목을 받고 있으며, 차세대 디스플레이로서 종이와 디스플레이의

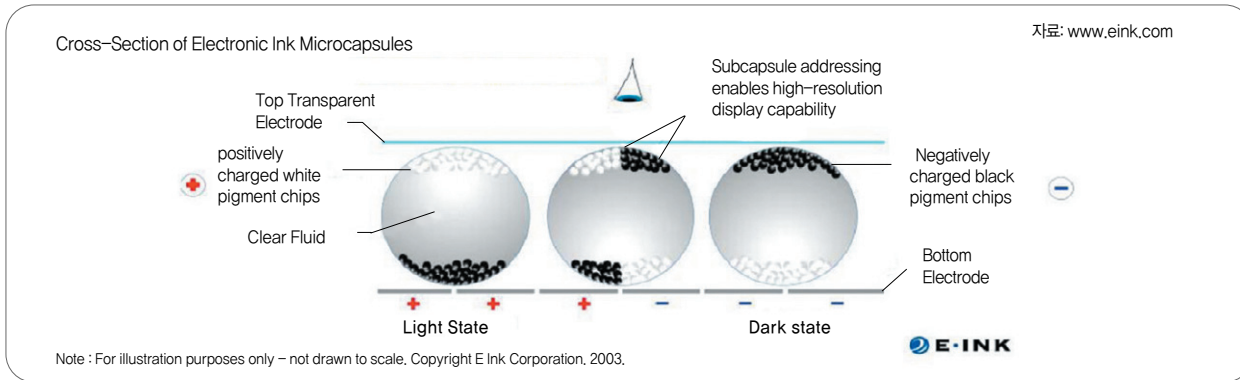


그림 1. 전기영동 방식을 이용한 E-ink의 마이크로캡슐

특성을 가진 전자종이에 대한 기술개발도 활발히 진행되고 있다. LCD는 2개의 얇은 유리판 사이에 액정을 주입하고, 상하 유리판의 전압차를 이용해 액정분자의 배열을 변화시키고, 이때 발광하는 액정셀의 광학적 성질의 변화를 이용한 수광형 디스플레이 장치로서, TFT-LCD 패널의 기본 구조는 액정셀 기판과 그 주위에 설치되는 구동회로, 광원이 되는 백라이트 유닛 등으로 구성된다. PDP는 전면유리와 배면유리 및 그 사이의 칸막이에 의해 밀폐된 유리 사이에 불활성 가스를 넣고, 양극과 음극의 전극에 의해 수백 볼트의 강한 전압을 걸어주면 크세논 가스가 여기 되면서 발생한 자외선이 형광체에 부딪히면서 발광하는 원리를 이용한 디스플레이 장치로서, 경량 및 박형화 뿐 아니라 대화면 영상이 가능하다. 유기 EL은 전류를 흘려주면 스스로 빛을 내는 유기발광 재료를 이용해 문자와 영상을 표시하는 디스플레이로서, OLED(Organic Light Emitting Diode)라는 명칭으로도 사용되고 있다. 유기 EL은 경량, 박형화는 물론 영상 응답속도가 LCD에 비해 1,000배 이상 빠르고, 소형 건전지를 전원으로 사용할 수 있어 이동통신기기의 디스플레이에 적합한 장점이 있으며, 현재 10인치 이하의 소형 디스플레이 등에 적용되고 있으나, 향후 기술적 결함이 보완되면 10인치 이상의 디스플레이로 확대될 전망이다. 또한, 최근에는 종이처럼 말아 휴대할 수 있는 전자종이와 플렉시블 디스플레이에 대한 기술개발 경쟁이 치열해지면서 차세대 디스플레이로서 관심이 고조되고 있으며, 이러한 디스플레이가 현실화되면 언제 어디서나 편리하게 필요한 정보를 볼 수 있는 시대가 도래할 것으로 전망하고 있다.

전자종이의 분류

전자종이는 이미 여러 방식에 대해 많은 연구개발이 진행되고 있어 그중 대표적인 4가지 방식은, 1. 서로 반대되는 전하와 서로 다른 색상을 갖는 상하 반구로 구성된 구형입자를 전계를 이용하여 회전시키는 트위스트 볼 방식(자이리콘 미디어) 2. 오일에 혼합된 유색 대전입자를 마이크로캡슐 또는 마이크로캡 안에 가두거나 대전입자 그대로를 전기장의 인가에 응답하게 하는 전기영동방식(E-Ink, Sipix) 3. 대전된 분자체(Liquid Powder)를 이용하는 QR-LPD(Quick Response-Liquid Powder Display) 방식(Bridgestone) 4. 콜레스테릭 액정 분자의 선택 반사 특성을 이용하는 콜레스테릭 액정 디스플레이(Kent Display) 등이다. 이외에도 전자종이 구현을 위한 기술로 강유전성 액정(ferroelectric liquid crystal), PDLC(Polymer dispersed liquid crystal) 등에 대한 연구도 꾸준히 계속되고 있다. 상용화면에서 소니는 리브리예(Librie)라는 상품명의 전자책을 시판하는 등 일부분은 상용화에 이르러 시장을 형성하기 시작했으나 아직까지 LCD나 OLED처럼 완벽한 색재현성 및 빠른 응답속도 등의 구현에 이르지 못한 상태이다. 전자종이 기술은 앞으로 기존의 종이처럼 읽기가 편하고 동영상 구현을 위한 빠른 응답 속도 및 낮은 소비 전력 등을 구현하고, 태양 아래에서 읽을 수 있을 정도의 특성을 확보해야 한다. 전자종이 기술은 다른 디스플레이 기술에 비해 저가격화, 초박형화, 안정성 등이 뛰어나기 때문에 향후 이 기술을 응용한 제품 개발이 가속화 될 것으로 기대되고 있다.

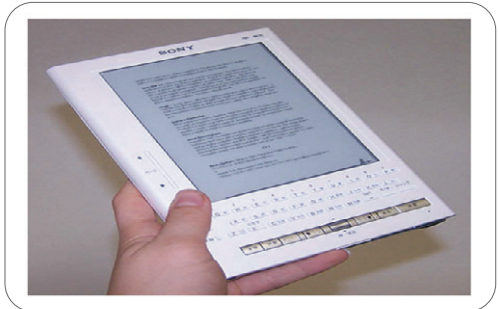


그림 2. 소니의 리브리에



그림 3. E-ink 손목시계



그림 4. 세이코엡손 E-ink 전자종이

전자종이의 상세한 특징(장·단점)

전자종이 구동에는 여러 방식이 있지만 이 중 가장 상용화에 가까운 접근방식으로 많은 시제품을 내놓고 있는 입자구동에 초점을 둔 전자종이를 기술하려고 한다. 입자를 이용한 전자종이는 구동원리에 따라 전기영동식(electrophoresis), 입자회전식(rotating motion), 건식이동식(translating motion), 자기영동식(magnetophoresis), 열감응식 등이 있다. 전기영동, 입자회전, 건식이동 등은 전기장을 이용한 방식이고, 자기영동과 열감응식은 각각 자기장과 열을 이용하여 화면을 표시한다. 전기영동(Electrophoresis)이란 콜로이드와 같은 유체 내부에서 전하를 띠고 있는 입자가 전기장에 따라 이동하는 것을 말하며, 이 방식을 이용한 전자종이로는 마이크로캡슐, 마이크로캡 그리고 캐논의 전기영동 디스플레이가 있다. 전기영동을 이용한 첫 번째 전자종이로 E-ink사가 마이크로캡슐(microcapsule)을 이용한 방식이 있다. 1997년 MIT 미디어 랩으로 부터 분리 설립된 E-ink는 기존 전기영동식이 가지고 있는 콜로이드 상에서 입자간의 뭉침이나 침전을 해결하기 위해, 비중을 맞춘 유체에 전하를 띤 미립자를 분산시켜 투명하게 코팅하여 100~200 μm 의 투명 인캡슐레이션(encapsulation)으로 제작하였다. 마이크로캡슐방식의 역사를 보자면 초기 E-ink사의 디스플레이는 백색반사율이 우수한 TiO_2 입자에 청색유체를 사용하여 청색배경에 흰색이미지를 구현하였으며, 현재에는 투명유체에 양전하를 띤 백색입자와 음전하를 띤 흑색입자를 분산시킨 마이크로캡슐을 제조하여 표시하고 있다. 그림 1을 이용하여 원리를 간단히 설명하면 전자잉크판 필름 위에 처리되어 전자 디스플레이에 이

용되는 특수한 소재이다. 전자잉크는 화학, 물리, 전자 기술의 결합으로 발명된 신소재로 전자잉크의 핵심 성분은 머리카락 지름 정도 크기의 수백만 개의 작은 마이크로캡슐이다. 각각의 마이크로캡슐 안에는 플러스(+)로 대전된 백색분말과 마이너스(-)로 대전된 흑색 분말들이 액체와 함께 채워져 있다. 이 방식에 마이너스 전기를 가하게 되면 플러스 대전된 백색 분말이 마이크로캡슐의 위쪽으로 올라와 사람의 눈에 보이게 되며 동시에 흑색 분말은 바닥으로 내려오게 된다.

마이크로캡슐은 30 μm 크기까지 제작하여 높은 해상도로 표시가 가능하고 약 40%의 반사율과 10:1 이상의 고 콘트라스트로 가독성이 뛰어나 상업적으로 이용이 가능하다. 현재 E-ink는 전자종이의 상업화를 주도하면서 시장을 형성 중이다. E-ink는 이러한 경영전략을 계속해서 확장하여 소니의 리브리에(전자책, 그림 2) 상용화에 성공하였다. 특히, E-ink사는 토판 프린팅과 컬러 잉크 개발을 2001년 공동 개발하여 2002년 7월, 5인치, 80dpi급 4,096 컬러 전자종이를 발표한 사례가 있으며, 상업화를 목표로 개발 중이다. 2007년도에는 E-ink 자회사에서 시제품을 출시하였다(그림 3). 이외에도 세이코 엡손에서도 2007년에 전자잉크를 이용하여 고해상도 전자종이를 발표하였다(그림 4). 국내에서는 LG 필립스 LCD가 개발을 하였으며, 전자잉크는 전자종이의 상업화를 주도하면서 시장을 형성하는 중이다.

단점으로는 입자이동시 유체의 저항을 받기 때문에 응답속도가 필연적으로 느릴 수밖에 없고 유체의 인캡슐레이션(encapsulation)이 어렵다. 또한 응답속도가 100ms 이상으로 빠른 동영상을 구현하기에는 무리가 있으며 문턱전압이 없어서 능동구동을 해야하므로 TFT(Thin Film Transistor)가 필수적

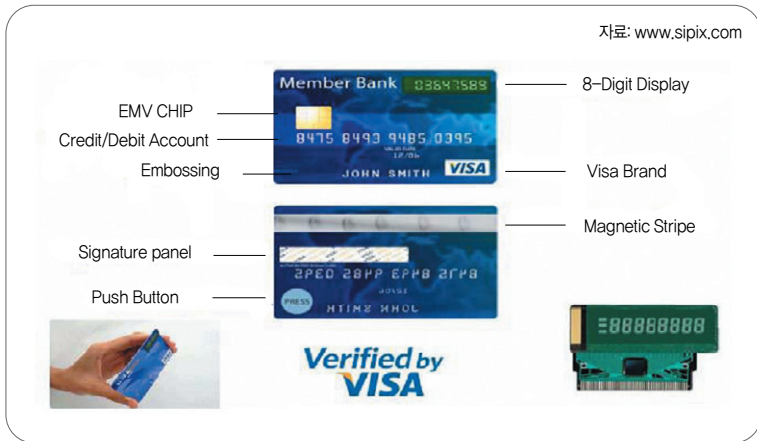


그림 5. 시픽스사의 스마트카드

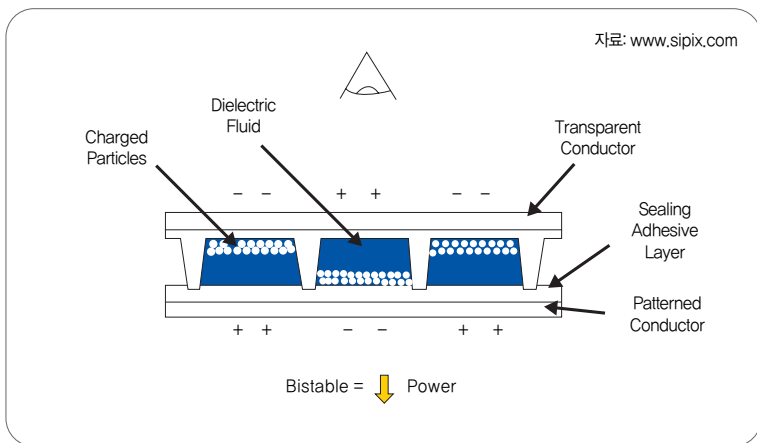


그림 6. 마이크로컵 전자종이

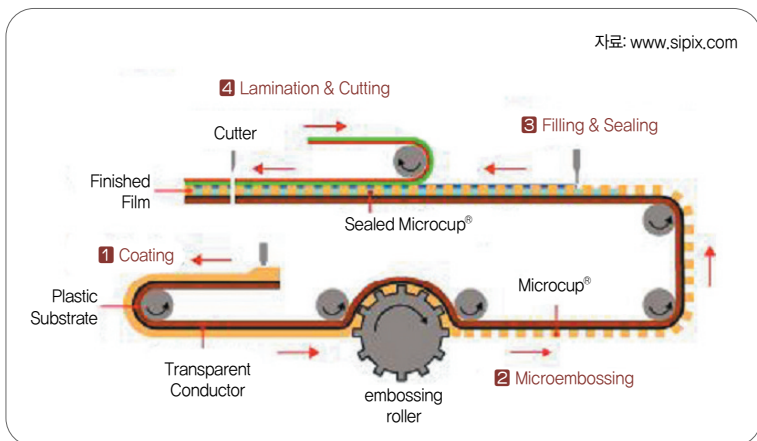
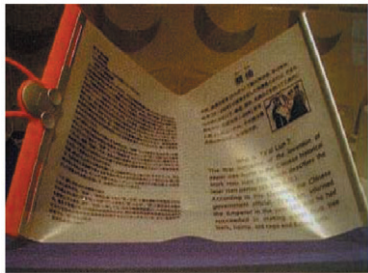


그림 7. 롤투롤 공정

으로 존재해야 하는 점이 있다. 전기영동을 이용한 두 번째 방식으로는 시픽스사의 마이크로 컵(Microcup)을 이용한 방식이 있다. 1999년 미국 캘리포니아의 실리콘밸리에서 설립한 시픽스 이미징은 전자종이의 원료 및 디스플레이 모듈의 주문 제작, 시장의 성공적인 진입을 위한 기술이전을 제공하고 있는 전자종이 전문업체이다. 캘리포니아의 프레몬트는 연구개발과 롤투롤 생산방식을, 타이완의 청 리는 모듈 생산 및 애플리케이션 개발을 담당하고 있다. 또한 토판 폼스와 합작하여 인쇄 기술로 전극 형성을 성공하여 일반적인 종이 두께보다 얇고 전극을 포함해서 200 μ m 보다 얇은 전자 종이를 제작할 수 있으며, XGA(1024X768) 해상도의 패턴을 인쇄하는 것이 가능해졌다. 이러한 기술을 바탕으로 시픽스사는 신용카드에 전자종이를 탑재해, 사용 시 비밀번호 변경을 가능케 하는 기술을 개발하였다. 이 카드는 유연성, 저전력 그리고 습기에 강한 특성을 지니고 있다(그림 5).

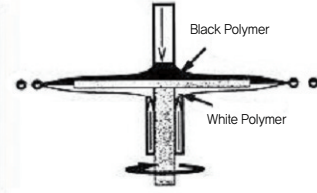
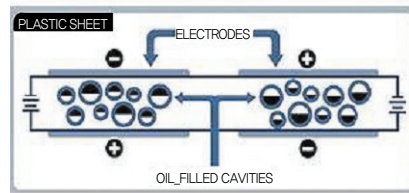
작동원리는 전기영동구동방식의 표시소자로서 입자를 사용하며, E-ink사와는 달리 격벽(Rib)을 제작하여 마이크로컵을 형성하여 그 속에 입자와 유체를 주입하고 상판을 덮어 제작한다. 그림 6에서 마이크로컵 안의 입자는 전압인가와 미인가 시에 흑과 백의 영상을 구현한 것이다. 이러한 방식은 기본적으로 대량생산이 가능하고 생산정성에 우수한 특성을 보인다. 무엇보다 이 방식의 가장 큰 장점은 롤투롤 공정을 사용하여 플렉시블 디스플레이를 만들 수 있다는 점이다(그림 7). 롤투롤 공정의 장점으로 대량생산에서의 빠른 속도와 안정성, 저비용 그리고 고효율을 달성할 수 있다는 점을 들 수 있다.

단점으로는 유체에서 입자들이 이동하기 때문에 전자잉크와 마찬가지로 응답속도에는 한계가 있다. 전기영동을 이용한 세 번째 방식으로는 캐논의 입자형 전기영동 디스플레이가 있



자료: R&D전략과제 사전타당성 분석-전자종이, 2005

그림 8. 캐논의 인플레인형 전자종이

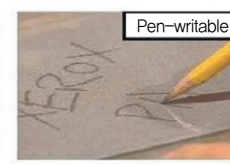
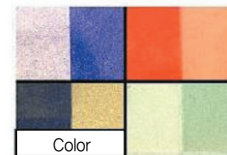
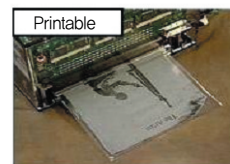


자료: www.computerworld.com

그림 9. 입사화전식의 동작 원리와 트위스트 볼의 제작방법

다. 캐논에서는 별도의 인플레인 방식을 채용한 전기영동 전자 종이를 제안했다. 이는 상하부 기판 사이에 투명유체를 채우고 흑색의 영동입자를 분산시키는데 이때 하부 기판은 전극과 백색 산란 절연층이 적층된 구조를 가지며 하부 기판에 패터닝 되어 형성된 전극 상에 전압을 인가하여 흑색 입자를 집중시키면 백색 산란층이 노출되어 백색 표시가 된다. 하나의 픽셀로 표시가 유리한 반면, 표시의 안정성 향상에 대한 문제점들을 해결해야 하는 것으로 알려져 있다(그림 8).

전기영동식에 이어 입사화전방식의 전자종이도 존재한다. 제록스사의 자회사인 자일리콘사가 개발한, 투명한 기판 사이에 수천만의 30~100 μ m크기의 볼은 오일로 채워진 구(bichromal bead)에 분산되어 있는 형태이다. 분산되어진 볼의 양쪽이 서로 반대의 전하를 가진 반구형태로 한쪽은 빛을 흡수하여 흑색으로, 다른 한 쪽은 빛을 반사하여 흰색으로 나타내도록 되어있다. 동작원리로는 흑색과 백색의 영역은 서로 반대의 전하를 가지고 있어 외부에서 인가해 주는 전기장의 방향에 따라서 볼은 회전하게 되는데, 이와 같은 특성을 이용하여 검게 표시할 부분에는 흑색으로 되어 있는 부분이 상부에 있도록 전기장을 형성해 주며, 반대로 하얗게 표시될 부분에는 백색으로 되어 있는 부분이 상부에 있도록 전기장을 반대로 형성하게 된다(그림 9). 이 방식의 특징으로 구동 전압 및 볼이 회전하는 스위칭 시간은 각각 50~150V, 80~100ms 정도로 구동 전압이 다른 디스플레이에 비해 상대적으로 높다는 점이다. 또한 전기영동방식과 마찬가지로 유체에서 입자들이 이동하기 때문에 응답속도가 300ms 정도로 느리며, 구동 시 전압이 너무 클 경우 구가 직진운동을 먼저 하게 되므로 완전한 백색 및 검은색이 구현되지 않아 콘트



자료: www2.parc.com/hsl/projects/gyricon/

그림 10. 자일리콘사 전자종이의 특징 및 장점

라스트를 떨어뜨린다. 또한 문턱전압이 존재하지 않아 능동 구동방식을 사용해야 한다.

세 번째 방식으로 건식이동방식인 QR-LPD와 토너(Toner) 방식이 있다. 건식이동방식이란 각각 다른 전하와 색깔을 띤 입자를 에어로졸 상태로 기판 사이에 주입하고 전기장에 따라 입자를 이동시켜 영상을 표시하는 방법이다. 타이어 제조회사로 알려진 브리지스톤은 플라스틱 제품, 컨베이어벨트 등을 공급하는 회사이다. 특히, 일본의 브리지스톤사는 PDP용 필름타입 필터를 처음으로 대량생산한 기업으로, 2002년 '액체가루(Liquid Powder)'라는 액체와 같은 분말형태의 유동성을 가진 고분자를 개발하여 2004년 QR-LPD를 이용한 전자종이 기술을 개발했다(그림 11).

QR-LPD의 최대강점은 유체를 사용하지 않고 분산성이 매우 좋은 액체가루를 사용하여 0.2ms 이하의 빠른 응답속도

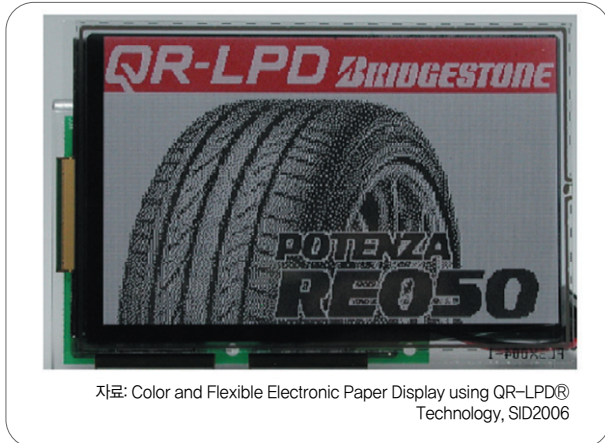


그림 11. 브리지스톤사의 QR-LPD 전자종이

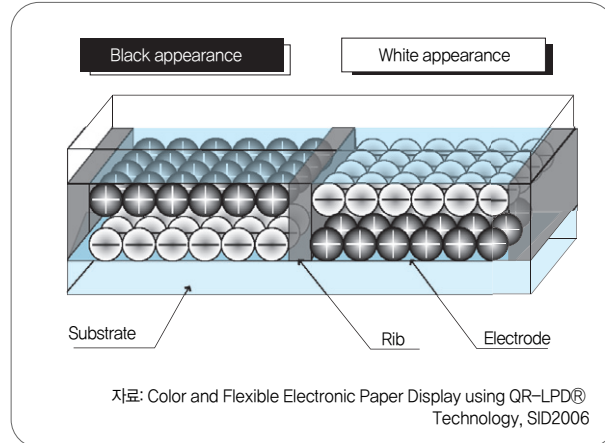


그림 12. 동작원리

(response time)를 구현한 것이다. 또한, 종이의 흰 면을 나타내 보이는 밝은 이미지, 42% 이상의 반사율, 넓은 시야각, 수동 구동과 4 그레이-레벨 이상의 명암 대비에 의한 대형 매트릭스 어드레싱 구동 능력을 제공한다. 특히, QR-LPD는 전원이 끊어진 경우에도 일종의 '메모리' 기능인 쌍안정성(bistability) 특성을 가지고 있으며, 시야각도가 거의 180°에 육박하며, 액정보다 제작공정이 간단하고 수지기판형태로 제조할 경우에는 약 0.25mm의 두께로 만들 수 있으므로 종이 얇기와 같은 초박형 디스플레이가 가능하다는 특성이 있다. 그러나 QR-LPD기술이 실용화 및 포터블화 되기 위해서는 200V 이상의 현재의 구동전압을 10V대로 현저히 낮춰야 한다.

한편, 이러한 장점으로 국내에서도 LG전자에서 320×240 해상도를 지닌 제품을 제작하여 발표했다. 이 제품은 격벽을 별 집모양으로 제작하여 입자이동의 효율을 높였다(그림 13). 건식 이동방식 디스플레이의 두 번째 방식으로 토너 디스플레이가 있다. 이 방식의 표시소자로는 후지 제록스사의 토너 디스플레이가 있으나 구동 전압이 300V 이상으로 대폭 증가하고 입자의 대전량을 조절하기 어려워 선명한 이미지를 안정적으로 얻기에 어려움이 있다.

구동원리로 흑색입자인 전도성 토너는 자기성 전도물질(Conductive Toner)을 사용하고 백색입자는 카본 플로라이드를 사용하며, 일정전압에서는 문턱전압이 존재하므로 수동구동이 가능하며, 응답속도가 0.8ms로 동영상 구현에 적절하다. 하

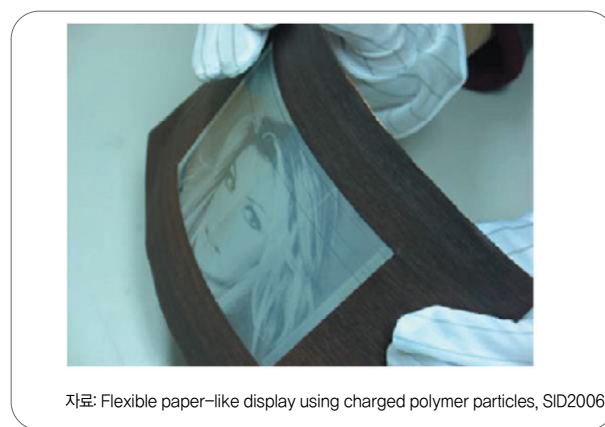


그림 13. LG전자 QR-LPD

지만 전도성 토너와 백색입자 사이의 크기 및 모양의 차이로 인해 흑백반사율이 달라 명도비가 떨어진다. 토너 디스플레이의 원리는 ITO 전극위에 차지 트랜스포트 레이어가 존재함으로써 양극에서 홀이 이동하고 이로 인해서 토너입자는 플러스로 대전된다. 백색입자는 토너와의 마찰로 인해 전자의 이동으로 마이너스로 대전되면서 전극에 가해진 전기에 따라 입자들이 이동한다(그림 14).

전자종이 시장분석

2000년대 초에 전자종이 제품이 최초로 시장에 출시되었지

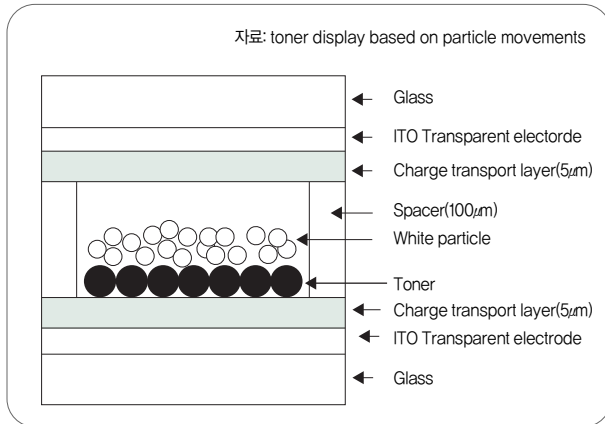


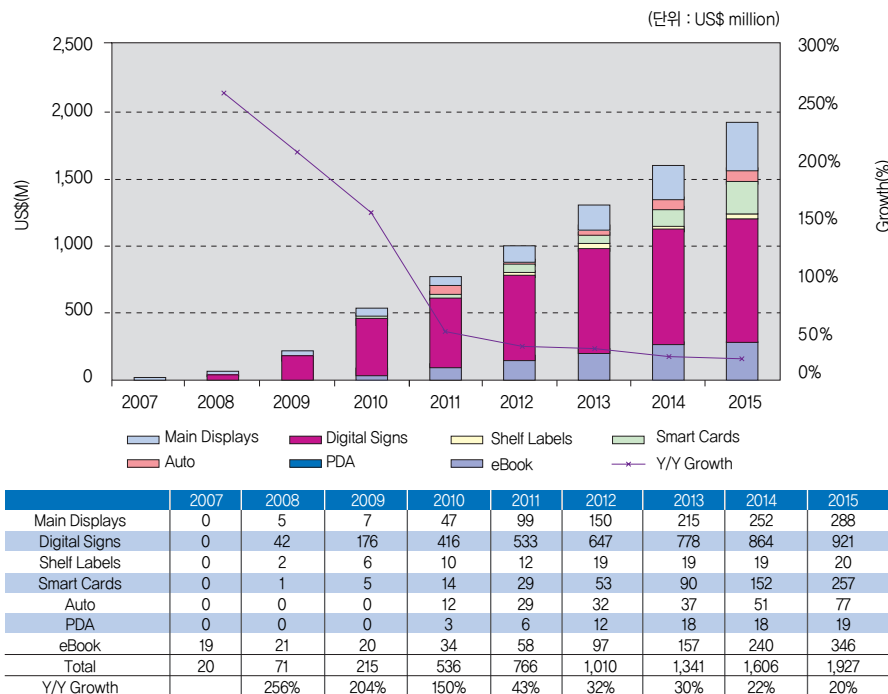
그림 14. 토너 디스플레이의 동작원리

만 활성화 되지 못했으며, 향후 PDA나 휴대폰 등과 같은 휴대 정보단말기에 주로 채용될 것으로 예상된다. 초기에는 흑백 정보 단말기에 채용될 것으로 보이며, 이후에는 대형 패널의 풀 컬러 표시가 가능한 제품의 사용화로 발전될 것으로 보인다.

2006년 '플렉서블 디스플레이 리포트'에 의하면 그림 15와 같이 2007년 전체 플렉서블 디스플레이 시장은 2,000만 달러의 시장을 형성할 것이며, 2010년부터 대규모 시장이 형성되어 5억3600만 달러, 2015년에는 19억 달러의 시장을 형성할 것으로 전망하고 있다. 용도별 비중으로는 디지털 사인이 전체 시장의 70% 이상을 차지하며, 전자책과 메인 디스플레이가 20% 정도를 차지할 것으로 예상된다. 또한 연 성장률은 2008년에 최고 255%에 달하며 그 후로는 점차 감소할 것으로 보고되었다.

일본 시장조사기관 후지키메라의 보고에 의하면 그림 16과 같이 글로벌 전자종이 시장 규모가 2005년 200억 엔에서 연평균 60% 이상 증가하여 2010년에 2,411억 엔에 달할 것으로 예상되며, 판매수량은 2005년 2,000매에서 연평균 98% 증가해 2010년에 6,100매에 달할 것으로 보인다.

전자종이의 가격전망은 그림 17과 같이 생산단가 하락에 의해 2005년을 기준으로 장당 10만원에 달하던 전자종이 가격은



자료 : Display Search 3Q, 2006

그림 15. 플렉서블 디스플레이 시장예측 및 성장률

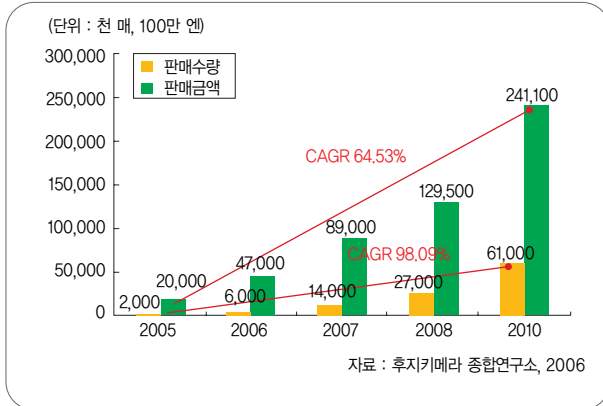


그림 16. 글로벌 전자종이 시장규모 (2005~2010)

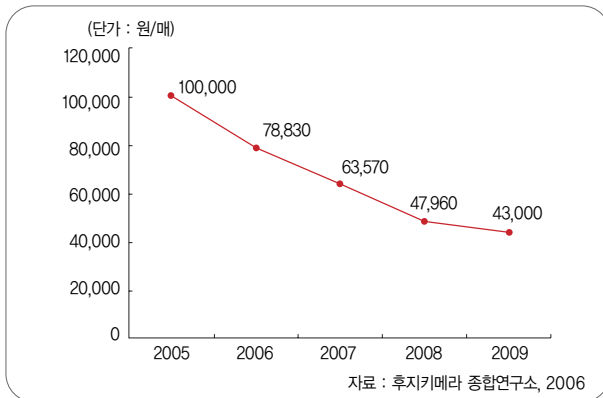


그림 17. 전자종이 가격전망 추이 (2005~2009)

2009년에는 60% 가까이 하락한 4만원 대에 이를 것으로 예측되는데 인쇄기술이 양산에 응용되면 저가격으로 공급이 가능해질 것으로 보인다. 시장조사업체인 아이서플라이는 2004년 9월 '플렉서블 디스플레이 시장보고서'에서 2004년 샘플 수준의 시장이 2005년에는 4만 5,000매(31만 달러, 매당 약 7달러), 2010년에는 2,550만 매(1,780만 달러, 매당 약 0.7달러)의 시장으로 확대될 것으로 전망하였다. 반면에 STEMI는 '유비쿼터스 시장 전망 보고서(2003년)'에서 세계 전자종이 시장을 2004년부터 시장이 형성되어 2010년까지 연평균 약 89.6%(수량기준)의 성장을 보일 것으로 예측하고 있다. 조사기관들의 전망을 종합해 보면 공통적으로 전자종이 분야 시장은 당분간 100% 이상의 고도성장을 기록하면서 저가격화 공급도 가능할 것으로 예측된다.

국내외 업계동향 (미국, 일본 동향)

전기영동을 이용한 전자종이의 대표적인 예가 기술적으로 가장 앞서있는 미국 E-ink사의 마이크로캡슐형 전자잉크이다. 필립스 역시 전자책 프로토타입을 발표했고, 세이코 엡손에서는 전자잉크를 응용한 손목시계를 개발해서 출시했다. 플라스틱 로직(필립스)에서는 플렉서블 전자잉크를 개발하기도 했다. 또한, 컬러를 구현할 수 있는 기술이 개발되어 광고용으로 제작되기도 했고 유럽에서는 기차 시간표로 설치되기도 했다. 전기영동을 이용한 전자종이 기술로는 마이크로캡 구조를 한 시픽스사의 전자종이가 있다. 시픽스사에서는 마이크로캡슐 대신 마

종류	명칭	연구기관
액정	Nematic 액정	SHARP, SEIKO, EPSON, MATSUSHITA
	3층 게스트/호스트 액정	TOSHIBA, ASET
	홀로그래픽 PDLC	ASET
	지향성 반사형	ASET
	Cholesteric 액정	미 Kent State대, MINOLTA
	ZBD	ZBD(영국)
	BTN	SEIKO, EPSON
유기 EL		PIONEER, 대일본인쇄 UNIVERSAL DISPLAY(미국)
가동 필름		TOSHIBA
반사필름 반사형 표시		British Columbia대(캐나다)
전기영동	Capsule형	E-ink, TDK
	입자형	CANON, COPYTELE, IBM
Twist Ball		GYRICON사(XEROX)
기계적 반사형 표시		RIDIGM DISPLAY(미국)
Thermal Rewritable		RIICOH, TOSHIBA, MITSUBISHI, 오기정보시스템

자료 : 전자부품연구원, E-paper 산업동향

표 1. 해외 전자종이 개발동향

이크로 컴파트먼트(일명 마이크로캡)를 이용한다. 이 기술 역시 상점의 가격판, 스마트카드, 전자책, 장난감, POP(point of purchase) 등으로 응용되었고 수증시계로 발표되기도 했다. 이 밖에도 표 1에서 여러 연구기관의 종류별 전자종이 개발동향을 나타낸다.

국내 동향

아직 국내에서는 전자종이 개발이 활발하게 이루어지지 않고 있으나 차세대 성장 동력 10대 산업중 하나인 디스플레이 분야가 차세대 기술로 선정되어 기술 개발 로드맵에 기반한 기초 연구가 진행되고 있다. 한국과학기술연구원과 한국전자통신연구원 같은 국책 연구소에서 마이크로캡슐형 전자잉크 시스템 개발 연구가 진행되고 있으며 경북대학교에서는 마이크로캡슐 제조 기술 및 전자잉크 필름 라미네이팅 기술과 유기 TFT 기판을 이용한 전자종이 개발을 진행 중이다. 인하대학교에서는 컬러 필터 없이 컬러를 구현할 수 있는 컬러 전자잉크 입자를 개발 중이기도 하다. 또한 삼성SDI, 삼성종합기술원, LG전자 및 LG 필립스 LCD 등의 기업체들도 차세대 산업의 일환으로 활발한 연구를 하고 있다.

전자종이 전망 및 종합


전자종이는 이제 단지 공상 과학 영화나 미래의 제품이 아니다. 이미 많은 연구 개발이 진행되었고, 일부 제품은 상용화에 이르러 시장을 형성하고 있다. 전자종이를 구현하는데 여러 가지 기술이 제안되어 실현되고 있으나, 아직까지 전자종이로서의 완전한 요구를 충족시키지는 못하고 있어 더 많은 연구가 필요하다. 현재 상용화 단계까지 진행되었거나 거의 상용화 단계에 이른 대표적인 입자기술 중심의 전자종이는 전기영동식, 입자회전식, 건식이동식이 있고 E-ink, 자이리콘, 브리지스톤사가 기술 개발 및 제품화 중에 있다. 그러나 이러한 제품들도 응답 속도, 해상도, 구동전압, 컬러 및 계조 표시 등의 문제들이 요구조건에 미치지 못하거나 근본적인 한계를 가지고 있다.

전기영동의 방식에도 입자의 수평방향으로 이동을 조절하는 캐논사의 인플레인 방식이 있고, 입자회전 방식에서 원기둥형 입자를 사용한 왕자제지사의 방식도 있다. 이 외에도 전기장이 아닌 자기장에 따른 입자의 이동이나 회전을 이용한 자기영동식, 자기회전식, 열을 가한 뒤 냉각속도를 달리해 투명, 불투명으로 입자상을 조절하는 열감응식 등의 방법도 제안되고 있다. 입자기술을 이용한 전자종이는 유연한 질감과 광시야각과 고반사도, 고콘트라스트 등의 시각적 특성을 가져 종이와 비슷한

E-paper	E-ink	Twist ball Gyricon	Microcup SiPix	QR-LPD Bridgestone
Driving voltage	90V	80V	30V	200V
Contrast ratio (newspaper ~10 Print ~20)	10	~8	~10	~9
Response time	100ms	300ms	200ms	0.2ms
Reflectivity (newspaper ~50 Print ~80)	40%	20%	40%	40%
Size	Ball 100~200μm Thickness 400μm	Ball 50~100μm	Thickness 500μm	Thickness 290μm

자료: 입자기술에 기반한 E-Paper 기술동향, 2006

표 2. 입자 기술 전자종이 성능 비교

표시소자를 구현할 수 있으면서도, 종이와 달리 수 만 번 이상의 재사용이 가능하다는 점에서 앞으로 상용화 단계에 들어서면 기록매체로서의 종이를 상당부분 대체할 것으로 전망된다. 또한 상점에서의 광고판, 가격표시판, 공공장소의 안내문 표지판 등에 유용하고 효율적으로 사용이 가능하여 빠른 속도로 시장을 형성하고, 100% 이상의 고도성장을 기록하면서 저가격화 공급도 가능할 것으로 기대된다. 

참고 문헌

- 고려대학교 디스플레이 및 나노시스템 연구실 (<http://diana.korea.ac.kr>)
- 디스플레이 서치 (<http://www.displaysearch.com>)
- 산업기획개발센터, "E-paper", EIC, 2007.9
- 이미정, 한정인, 문대규, "입자기술에 기반한 E-Paper 기술동향", KETI 디스플레이 연구센터, 2006
- "IT신기술 현황 및 향후 적용방안", 한국전산원, 2005.8
- <http://www.e-ink.com/>
- <http://www.research.philips.com/>
- <http://www.mobileread.com/>
- Reiji Hattori "Color and Flexible Electronic Paper Display using QR-LPD? Technology", SID2006
- Gug-Rae Jo, Katsuyoshi Hoshino, and Takashi Kitamura "toner display based on particle movements" 2001
- S.H. Kwon et al., "Flexible paper-like display using charged polymer particles", SID2006.
- <http://www.sipix.com>
- <http://www.e-ink.com/company/partners.html>
- <http://www2.parc.com/hsl/projects/gyricon/>
- <http://www.computerworld.com/.../0,10801,95986,00.html>
- 김재우, 김기일, 손종규, 박현우, "전자종이", R&D 과제 타당성 분석 사례(한국과학기술정보연구원), 2005
- 후지키메라 종합연구소, 2006
- Display Search 3Q, 2006