

인간 친화형 디스플레이 연구 동향

– 반사형 디스플레이를 중심으로

Research trend of the Human friendly display – A reflective display

김철암 (C.A. Kim) 반사형표시소자연구실 책임연구원

류호준 (H.J. Ryu) 반사형표시소자연구실 실장

미래 부품소재기술 특집

- I. 머리말
- II. 전자종이 디스플레이 응용
- III. 전자종이 디스플레이 기술 및 업체동향
- IV. 맺음말

전자종이(e-Paper)는 일반 종이와 같이 자체 광원이 필요 없는 반사형(reflective, not emissive) 표시소자이면서, 기존 LCD에 비해 시야각 및 해상도가 우수하며, 백라이트가 필요 없고, 어떤 기판 위에서도 구현이 가능하며, 공정이 간단하여 Roll-to-Roll 공정을 통하여 적은 비용으로 대량생산을 할 수 있다. 본 보고서에서는 상기의 여러 가지 특징들을 가지고 있는 개념을 수용하여 기술개발 단계를 설명하고자 한다. 이를 바탕으로 현재 실용화 정도가 가장 진척된 전기영동방식의 전자종이의 컬러화 진행 현황에 대하여 국내외적인 연구현황을 상술하고자 한다.

1. 머리말

서기 105년경에 중국에서 발명되어 전세계로 전파된 종이는 이래 지금까지 인류문명발전의 동반자로 우리에게 가장 친숙한 기록매체이다. 최근 들어 펄프나무의 감소와 같은 환경문제로 사회 이슈가 되고 있지만 아직까지 많은 양의 정보를 종이로부터 얻고 있다. 종이가 정보보급의 선도적인 역할을 할 수 있었던 것은 종이가 가지고 있는 특징, 우수한 명암비, 오랜 시간 동안 보고 있어도 눈이 덜 피로하며, 시야각의 제한이 없으며 누구나 쉽게 저렴한 가격으로 구입할 수 있는 낮은 가격등에 기인한다고 할 수 있다. 더욱이 한번 기록한 정보를 유지하는데 추가적인 전력이 필요하지 않다는 점은 기존의 디스플레이와 다른 차별화된 특징으로 미래의 정보표시매체가 가져야 할 우수한 특징으로 볼 수 있다. 이러한 종이의 장점을 첨단 디지털 기술에 접목하여 새로운 진화단계로 접어들어 전자종이화 되고 있다. 일종의 백라이트가 필요 없는 반사형 디스플레이로서 전자종이는 기존의 잉크처럼 높은 해상도, 넓은 시야각, 전원이 꺼져도 정보가 유지되는 쌍안정성(Bistability), 일반종이와 같은 유연성(Flexibility), 외광이 강한 야외에서 읽기



(그림 1) 3세대 아마존 킨들은 E 잉크(E Ink)의 펄(Pearl) 전자종이 디스플레이를 사용함.

가 편리한 가독성(readability)등의 장점을 지닌다[1].

이러한 전자종이는 그 응용분야는 책, 신문, 스마트 카드, 휴대전화기, 슈퍼마켓의 가격표, 광고 간판등으로 다양하게 제시되고 있으며, 이들 응용분야의 시장 진입 시도를 하고 있다.

2008년 출시된 아마존의 킨들 (Kindle), 누크(Nook)와 같은 e북리더(e-book readers)의 상업적 성공과 지역적인 e-book reader 제품군들의 연속적인 출시로 전자종이 디스플레이 기술에 관한 관심이 전자책 제작들을 넘어서 일반인으로 급격히 전이되고 있다(그림 1) 참조).

그 외에도 전자종이에 통신기능을 부가하는 움직임이 확장되고 있으며, e-book에 한하지 않고 다양한 응용 분야에 영향을 미치고 있다. 예를 들어 광고간판을 들 수 있다. 종래의 종이 포스터 광고나 스탭 광고에서는 콘텐츠를 교체하는 수고가 걸리기 때문에 수일~수주간에 걸쳐서 같은 광고를 걸어놓곤 했었다. 그러나 전자종이를 사용한 광고간판에 인터넷 광고 콘텐츠를 배달 전송할 수 있도록 하면 한 개 광고간판에 시간을 나누어 여러 고객의 광고를 표시할 수 있다. 광고 고객의 수를 늘려 수입증대를 시도하는 일도 가능하게 된다. 이는 일본의 Hitachi 제작소나 Fujitsu Frontech, Toppan Printing 등의 실증실험을 통하여 증명이 된 바가 있다.

또한 슈퍼마켓의 상품진열대에 설치하여 가격 등을 표시하는 가격표에도 혁신이 일어날 수 있다. 기존에는 가격 등을 인쇄한 가격표를 사람이 수작업으로 진열대에 붙여왔다. 그러나 사람이 작업하는 한 인쇄와 붙이기를 잘못하는 점을 완전히 없게 하기는 어렵다. 특히 가격표시를 잘못하는 일은 성가신 문제가 되기 쉽고 클레임 대책이 슈퍼마켓의 부담을 늘려왔다. 이에 반해 전자종이를 사용한 전자가격표에 가격정보를 서버로부터 송신하는 시스템을 도입하면 잘못을 없앨 수 있다. 게다가 산지나 재고 등의 상품정보를 표시할 수 있도록 함으로써 상품관리가 용이해진다. 이미 가격표시만 하는 전자

종이가 사용된 전자 가격표에 관해서는 일본의 계량기 메이커인 Ishida가 2005년에 제품화하였다.

이러한 제품들은 기존의 제품들을 대체하거나 완전히 새로운 신규 제품들로 전자종이 디스플레이의 고유한 특성들 때문에 각광을 받을 것으로 판단된다.

전자종이 디스플레이에 적용할 수 있는 기술들 중에서 현재 전자종이 시장에서 선두를 달리고 있는 기술은 입자기반의 전기영동 디스플레이 기술로서, 비록 현재 까지 천연색 색상 구현에 제약을 받지만, 전자책 단말기에 탑재되어 킨들로 출시되어 출시 첫해인 2007년 한달 동안 50만대의 매출을 올리며 성공적으로 진출하여 다양한 제품군으로 발전하고 있다[2].

현재는 이러한 시장의 초기 진입시기로 제품화에 성공하면 우선적으로 시장 점유율을 확보하고 그 응용 범위를 확장할 수 있을 것으로 판단되며, 이에 대한 체계적이고 전략적인 비즈니스 모델의 수립이 절실히 요구된다.

II. 전자종이 디스플레이 응용

전자종이 디스플레이의 응용 분야를 확대하기 위해서는 다음과 같은 두가지 요소를 해결해야 한다고 많은 전문가들이 언급하고 있다(Flexibility와 Full color 패널의 구현)[3].

1. Flexibility

디스플레이의 플렉서블화는 생산 공정과 소비자 만족도에서 많은 장점들을 내포하고 있다. 플렉서블 디스플레이를 이해 할 때 기능적인 특성을 바탕으로 다양한 개념으로 받아들여지고 있다. 플렉서블 디스플레이를 정의할 때, 어떤 이는 두루마리 형태로 말 수 있는 (rollable) 디스플레이로, 또 어떤 이는 종이처럼 접거나 구부릴 수 있는 (curved, bendable) 외곽 디자인이 자유

로운 디스플레이로, 또는 기판이 유연성 (flexibility)을 갖고 있어서 깨지지 않는 튼튼한 디스플레이로, 또 어떤 이는 플라스틱처럼 얇고 가벼운 기판을 사용하여 가볍고 얇은 (thin & light) 디스플레이로 이해 하기도 한다.

휘어진 (bendable) 형태를 지속적으로 유지하고, 디스플레이 외곽 디자인을 자유롭게 하여 fashion 개념이 가미된 2세대 플렉서블 디스플레이는 기판만 유리에서 유연한 소재로 바뀌어서 기존 제품의 견고한 외곽은 그대로 사용하지만 제품의 두께, 무게, 신뢰성을 향상시켜 얇고 가볍고 (thin & light) 깨지지 않고 길긴 초기 형태의 휘어지는 디스플레이에 비교해 최소한 백배 이상의 시장 규모를 확대시킬 것으로 예상하고 있다. 또한 Roll-to-Roll 공정을 기반으로 한 대면적, 저원가 기술이 실현되면 실내외 광고용 간판 및 각종 장식용 용도로 새로운 수요를 창출할 수 있을 것이다.

2. 풀컬러, 응답 속도(Switching speed)

풀컬러 전자종이 디스플레이 제품의 개발 역시 플렉서블 디스플레이 제품 개발과 같이 폭넓은 낮 시간대에 서도 충분한 가독성을 가질수 있도록 밝은 컬러를 구현하여 소비자의 만족도를 한층 충족시켜서 현재의 전자책 단말기 뿐만아니라 모바일 폰과 laptop 이나 palmtop과 같은 다양한 제품을 구현할 수 있도록 해줄 것이라고 예상되고 있다. 현재 초기 형태의 컬러 단말기 기들은 컬러필터를 장착하여 구현되고 있는데 이로 인해 매우 낮은 반사도를 나타내고 있는 실정으로 본격적인 시장 확장에 제약이 되고 있다. 컬러화 구현속도가 지체되고 있는 전기영동 방식의 전자종이 기술과 비교하여 liquavista는 전기습윤 방식으로 선명도가 개선된 컬러 전자종이 단말기를 발표하여 곧 상품 가치가 있는 컬러 전자종이 제품을 출시할 것이라고 발표는 하였는데 현재까지 상용 제품을 출시하지 못하고 있다.

2007년 출시된 아마존의 오리지널 킨들은 즉시 히트를 쳤고 관련 기술 발전에도 큰 기여를 했다. 경쟁사들

은 재빨리 자사만의 기기들을 개발했고, 그 뒤 2년 동안 시장의 규모는 놀랍도록 커져, 가트너에 따르면, 2009년에는 약 360만 대의 e북리더가 판매되었다. 아이패드나 다른 미디어 태블릿들의 견제 상황에서도 e북리더가 장악하고 있는 시장은 여전히 견재하여 2010년에 1,400만 개가 팔렸던 것에 비해 2011년에는 2,000만 개가 넘는 e북리더가 판매된 것으로 조사되었다. e북리더의 급격한 보급으로 미국 유럽을 중심으로 한 선진국에서는 전자책 시장이 전통적인 인쇄본 시장을 압도하기 시작하였다는 조사도 발표되었다. 이를 바탕으로 차츰 영역을 신문과 잡지로 넓혀가고 있는 상황이다. 신문이나 잡지 영역으로 e북리더가 확장되기 위해서는 새로운 e-reader platform이 요구되고 있다. 모든 패널 제조업체들이 E-ink사의 전기영동 디스플레이 필름을 표시부로 채용한 상황이고, 전자종이 응용분야가 매우 다양하지만 현재 e북리더 제품이 전체 전자종이 표시부 필름의 85%를 소비하고 있다고 시장조사 기관인 IDTechEx가 발표하였다. 전자종이 시장을 확대하기 위해서는 전자종이 표시부 필름의 공급 확대가 필수적인 것으로 판명되고 있다.

IDTechEx의 예측에 의하면 조만간 전자종이 디스플레이 시장에서 현재의 e북리더를 제치고 전자종이 시장에서 제일 큰 영역을 차지할 것으로는 대형 정보 디스플레이 기기 (넓은 공간에서의 정보 제공 - 가격 정보를 제공하는 대형 마트에서의 포스터에서부터 공공 교통 시설의 bill board 포스터)라고 한다. 전세계적으로 약 33억불의 매출액을 지닌 세계 최대의 옥외 매체 업체인 Clear Channel사는 고정형의 광고 매체를 디지털 디스플레이 매체로 전환하고 있는데 그 매체는 현재 대부분이 LED 형태이다. 그러나 Clear Channel을 포함한 LED 매체 업체들은 LED 기술이 궁극적인 옥외 매체의 정답이 될 수 없다고 단언하고 있다. LED 매체는 매우 높은 설치 비용과 과량의 소비전력이 요구된다. 이와 같은 단점들 극복하기 위해서 옥외 매체의 디스플레이가

갖춰야 할 조건은 다음과 같다:

- 비 발광형(Nonemissive)
- 저 소비전력(Low power)
- 저 중량 Light weight)
- 선명한 천연색 색상 구현(Print like image, "coke red)
- 적절한 응답시간 (Full motion not needed)

상기의 요구조건을 부분적으로 충족시킬 수 있는 기술을 보유하여 옥외 매체 사업을 개시한 기업은 Magink라는 회사로 (그림 2)는 이 회사가 설치한 billboard 예이다. Magink사가 채용한 반사형 디스플레이 모드는 콜레스테릭 액정 디스플레이 기기로서 컬러 구현이 용이한 타입이다. 너무 화려한 LED 대형 광고 디스플레이 billboard는 주거자의 시선을 산만하게 하거나 운전자의 시선을 너무 집중시킬 수 있기 때문에 환경적 제약이 해결해야 할 숙제로 인식되고 있는데, 이와 같은 환경 문제는 전자종이 디스플레이가 훨씬 유리한 면이 있기 때문에 LED 디스플레이에 비해 약점인 느린 재생 속도를 개선하고 컬러 구현을 진행한다면 전자종이 디스플레이가 이 시장에서 가장 큰 잠재력을 발휘할 것으로 예측되고 있다.

전기영동 전자종이를 매체로 활용한 최초의 옥외광고가 2009년 일본에 등장했다[4]. 일본의 마이니치 신문



(그림 2) 런던에 설치된 반사형 billboard 디스플레이 예.



(그림 3) Bridgestone의 QR-LPD 전자종이 디스플레이를 이용한 옥외 광고판

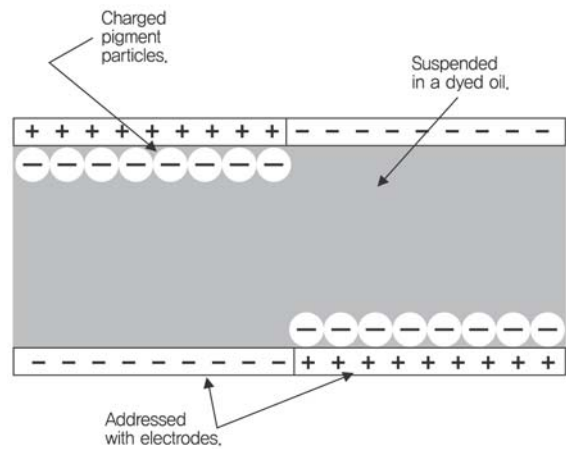
사는 브릿지스톤(Bridgestone)사와 공동으로 도쿄 신주쿠 역과 신바치 역에 각각 1기씩의 전자종이 광고물을 2009년 8월에 설치했다(그림 3) 참조).

Smart packaging 기기는 전면 인쇄전자 공정 또는 부분적 인쇄전자 적용 공정과 결합하여 새로운 사업 분야인 “e-packaging”으로 발전하고 있다. 이 분야에 대한 수요는 전세계적으로 2010년 9천만불에서 2020년 77억불로 급격하게 증가할 것이라고 예측하고 있다. e-packaging의 대부분은 소비제품의 포장인 consumer packaged goods (CPG) 분야에 집중될 것이다. CPG의 예를 들면 말하는 피자 상자, 점멸하는 로고(winking logos)가 붙여진 과자나 고급 양주 포장, 복용 시점 및 복용량을 알려주는 복용량 용기 등 매우 다양하다.

III. 전자종이 디스플레이 기술 및 업체동향

전기영동방식은 1960년대 일본의 마쓰시타 전기 사업이 처음 연구를 시작하여 1970년대에 이르러 디스플레이로의 응용연구가 활발히 진행되었으나 실용화에는 이르지 못하였다(그림 4) 참조). 이를 MIT Media Lab.에서 분사한 E-Ink사가 1997년 마크로캡슐 기술을 이용하여 e-paper 디스플레이로 응용하여 개발하였다[1].

전기영동 디스플레이의 기본 원리는 전기영동 현상을 이용하는 것으로 전기영동(electrophoresis)은 전기장의



(그림 4) 마쓰시타가 개발한 1970년대의 전기영동 디스플레이 모식도

영향을 받아 하전 된 물질들이 유동성 매체 내에서 이동하는 것을 말한다. 색상을 띠는 디스플레이로 응용하기 위해서는 하전 된 성분이 미세 입자로 초기에는 유색 유전 유체에 지름 1 ~ 5 um 크기의 백색 TiO₂ 입자를 분산시켜 투명전극 사이에 주입한 후 양으로 전압을 인가할 경우, 음의 미립자가 표면으로 다가와 미립자 색을 표시할 수 있으며, 반대 전압을 인가하는 경우, 미립자가 반대 전극으로 영동하여 유체의 색이 표시될 수 있도록 하였다.

입도가 작은 미립자에 전기장을 인가하여 입자들 사이의 상호 인력 및 반발력을 변화시킴에 따라 초기 아무리 입자들 사이의 반발력을 최대화 시키기 위해 안정제를 첨가해도 사용 빈도를 늘림에 따라 입자들이 뭉치는 현상이 발생하여 디스플레이의 대조비를 급격히 저하시켰다.

1997년에 설립된 E-Ink사는 현재 유일하게 상업적 규모로 전자종이 디스플레이 표시 필름을 판매하는 회사로서, 2009년 1억5천만 불이상의 매출을 달성하였다. 2009년 6월 대만의 전기영동 디스플레이 패널 업체인 PVI사는 E-Ink의 지적재산권을 포함한 자산을 2억1천5백만 불에 획득하였고, 2010년에 PVI사는 E-Ink 홀딩스가 되었다. 2010년 현재 E-Ink는 전세계적으로 60

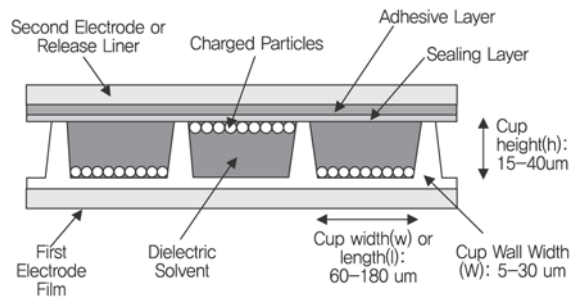
여개의 전자책 단말기 제작사에 전기영동 디스플레이 이미지 필름을 판매하여 1억 불 이상의 매출을 달성하였다. E-Ink의 전기영동 디스플레이 기술은 당시까지 알려진 전기영동 디스플레이의 고질적인 문제인 미립자의 분산안정성을 획기적으로 향상시킨 것으로, 특정한 저하를 가진 백색의 잉크 미립자와 반대전하를 띤 다른 색의 잉크 미립자를 유체 형태의 투명 유전 유체(hydrocarbon oil)에 분산시킨 후 지름 50 ~ 100 um의 크기의 마이크로캡슐로 감싸는 구조를 만들고 이 마이크로캡슐을 바인더와 혼합하여 전극 사이에 위치시켜 마이크로캡슐 내부의 잉크 미립자를 동작시키는 캡슐형 전기영동 기술이다.

E-Ink의 마이크로캡슐 전기영동 디스플레이는 종이질감에 가까운 특성과 시인성이 우수하며, 메모리 기능이 있어 소비전력이 극히 작다는 장점을 지닌다. 또한 10:1의 흑백 대조비와 광반사 효율이 40%로 신문보다 시인성이 좋다. 구동전압은 약 +/- 15V이며, 회색 스케일 또한 구현 가능하다. 또한 마이크로캡슐은 직경을 30 um 까지 만들 수 있고, 밀착하여 packing이 가능하여 해상도가 높은 디스플레이 모듈을 구현할 수 있다.

초기의 약 300 ms 정도의 느린 응답속도는 현재 많이 개선되어 150 ms까지 개선된 것으로 발표되고 있다. E-Ink사는 2007년 말부터 아마존 킨들에 캡슐 필름이 장착되면서 상용 제품을 출시하고 있다.

전기영동 디스플레이의 컬러 구현은 컬러 필터를 이용하여 구현하고 있다. E-Ink는 2009년대 대조비가 20:1 이 넘는 최고급 이미지 필름 시제품을 발표하였다. 이 이미지 필름을 적용하여 컬러 제품을 개발하였지만, LCD와는 달리 백라이트가 없기 때문에 색재현율이 낮고 반사율이 15% 이하로 저하되는 문제를 해결하기 위해서 노력하고 있다.

한편, 1999년에 설립된 사이픽스 이미징(Sipix Imaging)은 '마이크로컵(Microcup)'이라는 독자 기술을 바탕으로 전자종이 시장에 진입하였는데, 이 기술은 마



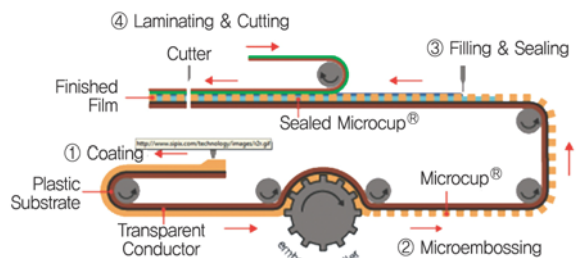
(그림 5) Sipix의 Microcup 구조.

이크로컵(작은 구멍)에 흰색 입자와 착색한 액체가 충전되는 구조이다. 입자를 상하로 움직여 흰색 입자와 액체의 색이 변화하면서 보이게 되는 원리다((그림 5) 참조).

검정색 액체를 이용하면 일반적인 흑백 표시도 가능하다. 어떤 색깔의 액체를 충전하느냐에 따라 여러 구성의 2색 표현도 가능하다. 입자 이동은 마이크로컵에 부착되어 있는 구동 전극에 의해 제어된다[2].

사이픽스 전자종이 필름의 가장 큰 특징은 마이크로컵의 제작과 입자 및 액체의 밀봉 등 일련의 작업들이 롤투롤 공정으로 처리될 수 있다는 점이다(그림 6 참조). 이것이 가격 경쟁력을 갖게 하는 원동력이다.

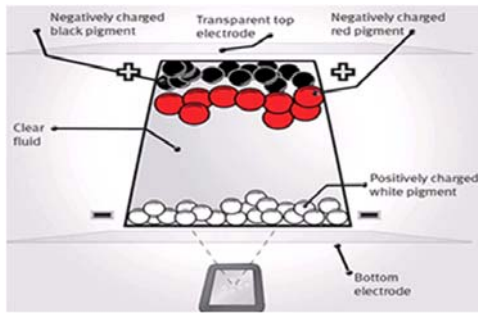
이와 함께, 2012년 9월 SiPix는 E-Ink 홀딩스에 인수 되어 전자종이 디스플레이 시장 구조에 변혁을 예고하고 있다. 외신은 E-Ink가 사실 2012년 생산이 수요량 대비 많아 Sipix의 생산능력이 필요한 것으로 보이지는 않으나 추후 발생할 수 있는 전자종이 이미지 필름의 가격 인하 전쟁을 막기 위해서였다고 한다. 한편 E-Ink는 올해 컬러필터 없이 세가지 색상을 구현할 수 있는



(그림 6) Sipix Roll-to-Roll micro embossing process.



(그림 7) 세 종류의 입자를 이용한 E-Ink사의 Spectra 컬러 이미지 필름



(그림 8) E-Ink사의 Spectra 이미지 필름의 내부 구조

새로운 전자종이 이미지 필름을 발표하였다. (그림 7)의 사진에서 알 수 있듯이 매우 선명한 컬러를 구현하고 있다.

(그림 8)은 E-Ink사의 Spectra 이미지 필름의 단면도로 흑/백 입자와 빨간색 입자를 투명한 유전유체에 분산시킨 구조이다[5].

양전하로 하전시킨 백색 입자와 각각 전하량을 달리 하여 음전하로 하전시킨 흑색 입자와 빨간색 입자들을 함께 투명한 유전유체에 분산시킨 후 투명전극에 음전압을 인가하면 양전하로 인가된 백색 입자가 유동하여 백색이 보이고, 투명전극에 양전압을 인가시키면 흑색 입자와 빨간색 입자를 유동시킬 수 있는데, 전압 인가 펄스를 조절하여 흑색입자와 빨간색 입자의 유동속도를 조절하여 선별적으로 흑색과 빨간색이 선별적으로 표시되도록 하였다. 이렇게 안료에 의한 컬러 구현은 인쇄수준의 컬러를 구축하였다.

한편, 2003년 9월 25일자 Nature의 표지에 Philips



(a)



(b)

(그림 9) (a) Philips사에서 발표된 아이디어가 실린 Nature 표지 (b) SID2006에 소개된 동영상

Research Laboratory의 Hayes and Feenstra 가 제안한 전기습윤(electrowetting)을 이용한 전자종이가 (그림 9(a))에 소개되었다[6]. 특이할 만한 사항은 기존의 전자종이는 동영상, 즉 빠른 응답속도에 중점을 두기보다 쌍안정성(bistability)과 흑백의 명암 비를 높이는 방향으로 연구개발이 이루어지고 있었는데, Philips사의 모델은 동영상의 구현에 초점을 두었다는 것이다. 고전적인 전기습윤의 원리를 디스플레이의 On/Off switch로서 제안한 Fancy한 아이디어였다. SID2006에서 Philips사에서 분사한 Liquavista는 Nature에 제안한 아이디어를 기반으로 만화를 동영상으로 선보였다(그림 9(b) 참조).

전기습윤을 이용한 방식과 다른 방식과의 구동전력에 대한 비교가 표2에 도시되어 있다. 전자종이의 구동방

〈표 1〉 다른 방식과의 특성비교

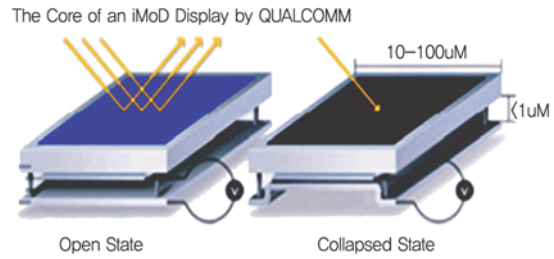
Technology	B/W Reflectivity	Color Conversion	Contrast	Viewing angle	Switching Speed (ms)
Reflective LC	50	33	15	Limited	15
CTLC	30	100	10	Limited	50
Electrophoretic	55	33	12	Good	150
MEMS	50	33	12	Limited	<10
Electrowetting*	60	100	15	Good	<10
Paper	70	100	15	Good	-

*optical properties: in-pixel×0.90(accounting for losses at walls)

식인 iMoD와 전기습윤을 이용한 방식은 상대적으로 OLED와 기존 LCD에 비해서 훨씬 작은 소모전력을 나타내고 있다. 또한, 전기습윤방식은 구동 전력면에서 큰 장점이 있음을 알 수 있다. <표 1>에서도 보듯이 반사율과 대조비 또한 전기습윤방식이 다른 방식에 비해 상대적으로 뛰어남을 알 수 있다. 무엇보다 color conversion이 종이와 같은 수준까지 되어 색의 구현에 있어도 큰 장점이 있다.

2011년 1월 삼성은 Liquavista를 인수한다고 발표하였다. 상부에 하나의 고분자층만을 사용하는 전기영동 전자종이 디스플레이와는 달리 전기습윤기술에서는 상하부 두 개의 유리층을 사용하고 그 사이에 디스플레이 표현체를 배치시킨다. 따라서 전기습윤 기술 기반의 전자종이 디스플레이는 더 두꺼워질 수밖에 없다. 그러나 경제적 측면에서는, 전기습윤 기술의 전자종이 생산은 기존 LCD 제조공정을 약간의 수정만으로 사용이 가능하기에, 경쟁력이 있다.

휴대폰칩을 만드는 퀄컴(Qualcomm)의 transfective color display 미라솔(Mirasol)은 색간섭 변조 원리에 기본을 둔 MEMS 기술에 바탕을 둔 디스플레이 기술이다. 이 기술은 Iridigm Display사에서 개발하던 기술을 개량 발전시킨 형태로, Iridigm Display사는 MEMS (Micro Electro Mechanical System)라는 기술을 활용한 iMoD라는 반사형 스크린 기술을 개발하고 있었다. Interferometric Modulator (IMOD), 즉 파동의 보상과 간섭을 조절하는 기술이 미라솔 디스플레이의 핵심이다. 소자의 구조를 보면 유리기판, 박막필름층, 공기층, 반사막층으로 구성되어 있다(그림 10) 참조). 소자는 Open State와 Collapsed State라고 불리는 두 가지 상태에 따라 화면 표시가 수행되는데 전압이 흐르지 않을 때에는 박막층이 분리되어 있으며 선택적인 반사를 통해 색을 나타낸다. 낮은 전압이 인가되면 정전기력이 발생하여 반사막층이 움직이면서 빛을 모두 흡수하게 된다. 픽셀 내에 들어온 빛이 반사되지 않음으로서 검은



(그림 10) 퀄컴사의 미라솔 디스플레이의 기본 구조

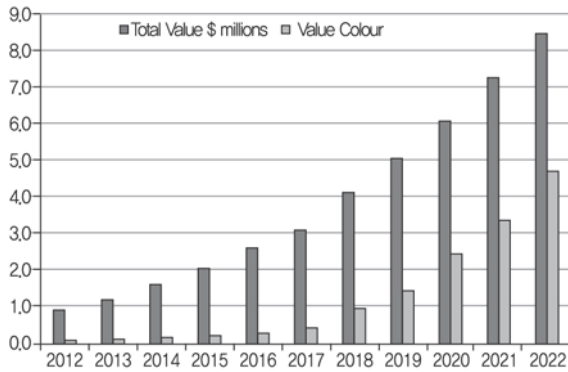
색을 표현하는 방식이 되는 것이다.

미라솔 디스플레이의 장단점을 살펴보면, 기존의 E-Ink의 전자종이 디스플레이와 비교할 때의 장점은 빠른 응답속도와 컬러구현일 것이고 LCD나 OLED와 비교했을 때의 장점은 가독성과 전력소모가 크게 작용할 것이다. 단점은 MEMS 공정을 채용해야하기 때문에 낮은 수득율과 높은 원가 일 것이다. 상업적 평가를 위하여 퀄컴은 2011년 11월 교보문고와 협력하여 미라솔 전자책 단말기를 세계 최초로 출시하면서 전자책 시장에 진출한다고 발표하였다(그림 11) 참조).

Tablet PC와 같은 스마트 기기의 도래로 인해 전자종이 시장에서도 컬러화를 요구하는 수요가 폭발적으로 늘어날 것이 자명해진다. 이를 바탕으로 IDTechEx는 2019년까지 컬러 전자종이 디스플레이 시장은 전체 전자종이 시장의 90%까지 높아질 것이라고 전망했다(그림 12) 참조). E-Ink, Sipix와 Liquavista와 같은 전자



(그림 11) 교보문고에서 판매하는 미라솔 e북리더 단말기

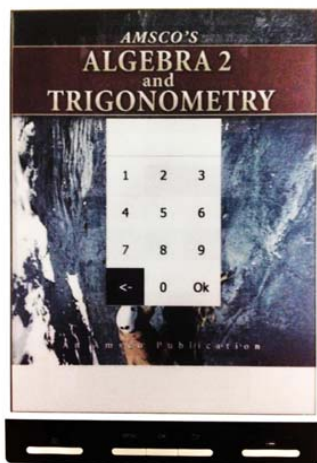


〈자료〉: IDTechEX[4]

(그림 12) Full color 전자종이 디스플레이의 시장 점유율 예측

종이 front panel 제조 업체 및 대만의 ITRI, 한국의 ETRI와 같은 국책연구소들은 컬러 전자종이를 개발하고자 하는 노력을 기울이고 있으며, Fujitsu의 FLEPIa와 같은 제품이 이미 출시되고 있는 상황이다. 현재 다수의 기관들의 노력을 바탕으로 2014년부터는 full color 전자종이 디스플레이 제품들이 전자종이 시장에서 의미 있는 신장세를 나타낼 것이다.

현재까지 컬러 전자종이 제품은 (그림 13)과 같은 전자책 단말기 형태의 제품이 유일한데, 이 제품은 흑백 전자종이 이미지 필름 위에 컬러필터를 장착시킨 제품으로 컬러필터로 인해 입사광이 두 개의 필름을 투과하

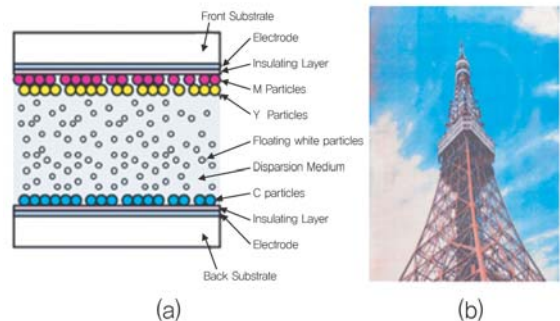


(그림 13) 컬러 필터를 장착한 E-Ink사 이미지필름을 채용한 전자책 단말기

여 반사되기 때문에 반산율이 흑백 전자종이에 비해 30% 이하로 저하되어 15% 이내의 낮은 반사율을 나타내고, 하나의 픽셀을 세 개 내지 네 개로 분할하여 색을 구현하고, 나머지 서브 픽셀은 검은 색이 되거나 흑색으로 처리해야하기 때문에 매우 낮은 색재현율(최대 8%)을 나타내기 때문에 본격적인 풀컬러 전자종이 디스플레이는 좀 더 기다려야만 할 것으로 예상되고 있다.

자체 광원이 없는 전자종이의 특성상 선명한 풀컬러 디스플레이를 구현하기 위해서는 하나의 픽셀에서 공간 분할 없이 한가지 색상이 구현되어야 한다. 이를 위해서 전기영동 디스플레이 분야에서는 (그림 7)과 (그림 14)과 같이 하나의 격벽내에 다수의 컬러 하전입자들을 분산시킨 후, 하전량에 따라 선택적인 전기장을 인가하여 각 컬러 입자들이 영동하여 고유 색상을 구현될 수 있도록 하는 기술이 제안되었다.

(그림 14)는 2012년 SID 2012에서 Fuji Xerox에서 발표한 다수의 독립 하전 입자 분산 시스템으로 이루어진 컬러 전자종이 무식도와 시제품이다. (그림 14(a))에 나타난 바와 같이 마젠타, 노란색, 시안 및 백색 하전 입자들은 백색 입자의 경우 양전하를 띄게 하고 나머지 세가지 색상의 하전입자들은 각각 하전량을 달리 응전하를 부여하여 인가되는 양전압에 따라 고유의 문턱전압을 보유하도록 하였다. 그래서 고유 문턱전압에 따라 이에 대응되는 컬러 하전입자의 영동 속도에 의해 고유의 색



〈자료〉: SID, 2012[7].

(그림 14) (a) 독립 컬러 입자 분산 전자종이 단면도 및 (b)시제품

상을 표시할 수 있도록 하였다. 이렇게 구현된 시제품이 (그림 14(b))와 같다. 이 제품은 30% 이상의 반사율과 10:1의 대조비를 나타낸 것으로 보고되었다. 이와 같이 단일 픽셀에서 고유 색상을 구현하기 위해서 각각의 상이한 전하량을 보유한 컬러 하전입자들로 이루어진 전기영동 분산계나 광결정 기술들이 본격적으로 개발되어 전자종이에 적용된다면 컬러 인쇄본과 같은 상업적 가치가 있는 컬러 전자종이가 개발될 것으로 예상된다.

VI. 맺음말

앞에서 다양한 기술에 바탕을 둔 전자종이 기술과 개발 주도 기관들의 동향에 대하여 살펴보았다. 또한 이들 기술이 앞으로 전자책뿐만 아니라 인테리어, 소비가 가전 및 광고 분야 등 다양한 응용 제품으로 확대될 것이 확실시 된다.

또한 현재 전자책 분야에 머물러 있는 전자종이 디스플레이 적용 상품을 확대하기 위해서나 빠른 성능 개선을 이루고 있는 다른 디스플레이 분야와의 경쟁에서 지위를 유지하기 위해서, 인쇄 수준의 컬러가 구현되는 컬러 전자종이의 개발이 필수적이다. 그러나 현재까지 컬러필터 장착된 컬러 전자종이가 소규모로 개발 판매되고 있는데 소비자의 시선을 끌지 못하고 있는 실정이다. 반사율도 높고 색재현율도 높은 컬러 구현을 위하여 문턱전압을 가지는 컬러 하전입자들을 분산시킨 신모드 전기영동 전자잉크 또는 광결정 기술들 새로운 기술 방식의 전자종이를 개발하고자 하는 노력이 국내외적으로 시도되고 있는 실정이다. 디스플레이 강국인 우리나라에서 상대적으로 지원이 낮은 전자종이 분야에서 기존의 흑백 전자종이 디스플레이인 1세대 전자종이는 미

국, 대만 등 경쟁국에는 뒤졌지만 2세대인 플렉서블 컬러 전자종이 디스플레이에서는 경쟁국을 따돌리고 디스플레이 강국의 위치에 걸맞는 반사형 디스플레이 강국이 되기 위해서는 발광형 디스플레이에 상응하는 연구 개발 지원이 이루어져야 할 것이다.

약어 정리

CAMUS	Context-Aware Middleware for URC Systems
ECA	Event Condition-Action
GIS	Geographical Information System
GPS	Global Positioning System

참고문헌

- [1] B. Comiskey, J. D. Albert, H. yoshizawa, and J. Jacobson, "An electrophoretic ink for all-printed reflective electronic displays," *Nature*, vol. 394, 1998, pp. 253-255.
- [2] 문희성, "전자종이가 열어갈 새로운 디스플레이의 길," *LG Business Insight*, vol. 4, 2011, pp. 26-32.
- [3] 김철암, 강승열, 서경수, "전자종이 기술 상용화의 걸림돌과 극복방안," *SK TR.*, vol. 499, 2008, pp. 282-289.
- [4] H. Zervos and R. Das, "E-Paper Displays: Markets, Forecasts, Technologies 2012-2022 Bistable, non-emissive and flexible displays for e-books and beyond," *IDTechEx Report*, 2012.
- [5] www.eink.com
- [6] R. A. Hayes and B. J. Feenstra, "Video-speed electronic paper based on electrowetting," *Nature*, vol. 425, 2003, pp. 383-385.
- [7] N. Hiji, Y. Machida, Y. Yamamoto, and Y. Satoh, "Novel Color Electrophoretic E-Paper Using Independently Movable Colored Particles," *SID 2012 Digest*, 2012, pp.85-87.