

전자종이(Electronic Paper)의 현황과 전망

종이처럼 얇고, 필요할 때 펼쳐볼 수 있는 유연한 디스플레이는 영화 속의 상상만이 아니라 가까운 미래에 실현 가능한 것이며, 전자종이가 그 꿈을 실현시켜 줄 것이다. 이 글에서는 정보화 사회에서 빠르게 변화하는 정보를 언제 어디서나 편리하게 사용할 수 있는 꿈의 디스플레이인 전자종이에 대해 기술했다.

글 : 황교선, 김영민, 나대석, 박영욱 학생/ 박정호, James Jung ho Pak, 주병권 교수 / 고려대학교

정보화 사회는 통신기술과 컴퓨터 기술이 융합된 디지털 기술을 기반으로 발전하고 있다. 이는 다양화되는 정보화 사회의 요구를 수반하여 IT 관련 제품의 다양화와 수요의 증가를 불러왔다. 최근 컴퓨터와 인터넷을 중심으로 한 정보사회의 발전은 새로운 지식 사회의 창출을 선도하며 인간의 새로운 정보전달 매체의 개발을 요구하고 있다. 현재 연구되고 있는 차세대 디스플레이는 정보화 사회를 선도하고 있는 인터넷, IMT-2000, PDA 등 정보이용 환경의 고도화 및 휴대화에 따라 경량, 박형, 고효율, 및 천연색의 동영상 구현이 가능한 디스플레이로 발전하고 있다. 나이가 얇고 휘어지는 유연한 디스플레이(Flexible Display)로 발전해 가고 있다.

이와 같은 요구에 따라 고품위의 유연한 디스플레이의 구현을 목표로 연구되고 있는 전자종이(Electronic Paper)는 종이의 질감으로 휴대할 수 있고 표시와 소거가 용이한 차세대 디스플레이이다. AD 105년 후한의 채륜이 나무껍질, 마, 님마 및 현어망을 원료로 발명한 종이는 2,000여년 동안 정보 저장 및 전달 매체의 역할을 훌륭하게 수행하고 있다. 8세기 경 아라비아를 거쳐 유럽에 전파된 제지술과 1450년 경 구텐베르크의 활자 인쇄술의 융합으로 정보의 대량 복사가 가능해졌다. 이는 종이로 만든 책을 탄생시켜 일반인들의 정보전달 및 커뮤니케이션의 매개체로 중심적인 위치를 점하고 있다. 그러나 최근 컴퓨터와 인터넷을 중심으로 한 정보 과학의 급속한 발전은 새로운 차원의 정보전달 매체의 변모를 요구하고 있다.

기존의 디스플레이들은 시인성이 종이에 비해 떨어지고, 부피가 크고, 전원 공급을 필요로 하는 단점을 가지고 있다. 급속

도로 진행되는 이동통신 환경의 일상 생활화는 일반 대중들이 언제 어디서나, 쉽게 대용량의 고급정보를 빠르게 사용할 수 있는 표시 매체를 필요로 하고 있다. 종이와 기존 디스플레이 각각의 장점을 극대화, 즉 우수한 대조비와 시인성, 동영상을 표시할 수 있는 빠른 응답속도, 천연색의 표시, 저가, 휴대 가능한 종이질감을 가진 꿈의 디스플레이, 전자종이의 구현은 다가올 지식정보사회의 인프라 구조를 혁명적으로 진화시키는 역할을 할 것이다.

현재까지 전자종이의 본격적인 상용화는 이루어지지 않고 있지만 다양한 접근방식(표 1)으로 서로의 장점을 내세우며 경쟁하고 있는 상황이다.

전자종이의 대표적인 3가지 형태는 정전하가 충전된 반구형 트위스트 볼(회전하는 볼이라는 그리스 어원을 가진 'gyricon' 볼이라고 불리고 있음)을 이용한 제록스사의 트위스트 볼 타입, 전기영동법과 마이크로캡슐을 응용한 E-ink사의 전기영동 디스플레이 및 콜레스테롤 액정을 이용한 Kent Display사의 콜레스테롤 액정 디스플레이가 있다. 이중 가장 상용화에 가까운 접근방식으로 많은 시제품을 내놓고 있는 전기영동(Electrophoresis) 현상에 기초를 둔 전자종이 기술 개발 동향과 전자종이 실용화를 위한 시도에 대해서 기술하고자 한다.

전기영동 디스플레이

구동원리

전기영동이란 전하를 띠고 있는 입자가 유체 내에 분산된 상

태에서 인가된 전기장에 의해 이동하는 현상으로 전기영동 디스플레이란 전기영동 현상을 이용하여 형상이나 글자를 반복적으로 기입하고 지울 수 있는 반사형 디스플레이이다. 1956년 Metcalfe와 Wright가 전기영동 현상을 이용한 이미지 구현을 최초로 보고했다.

대표적인 전기영동 디스플레이 패널은 염료 유체에 전하 입자들이 분산된 입자 분산액이 투명한 전극판(front electrode)과 픽셀 전극들로 이루어진 후면 전극판(back-plan) 사이에 채워진 형태로 수십 볼트 내지 수백 볼트의 DC 볼트를 인가함으로써 구동된다(그림 1).

광학적 대조비는 전하를 띤 안료 입자들이 전극판 사이를 상하 움직임으로써 얻을 수 있다. 입자들이 전면 전극에 쌓이거나 층을 이루면 백색 상태는 램버시안(Lambertian) 산란 상태가 되기 때문에 모든 시야각(view angle)에서 밝은 백색 상태를 볼 수 있다.

전기영동 디스플레이 패널의 스위칭 속도는 기본적인 전기영동 현상학 가정으로부터 계산된다. 전기장이 인가된 상태에서 유체내의 전하를 띤 안료입자는 인가된 전기장(E)에 비례하며 속도(v)로 움직인다. 그 비례상수를 μ 로 가정하고 이를 전기영동 이동도(electrophoretic mobility)라 하면,

$$v = \mu E \quad (1)$$

Smoluchowski는 다음과 같이 전기영동 이동도를 나타내었다.

$$\mu = \zeta \epsilon / \eta \quad (2)$$

여기서 ϵ 는 전기영동 유체의 절연 상수, η 는 전기영동 유체의 점도, ζ 는 전기영동 유체의 제타 전위(zeta potential)다. 제타 전위는 전하 입자를 둘러싼 전단층(shear plane)에서의 정전하 준위(electrostatic potential)다. 제타 전위는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\zeta = g \lambda_D / \epsilon \quad (3)$$

표 1. 전자종이 구현을 위한 기술적 접근 방식

형태	명칭	연구기관
액정	니마틱 액정	샤프, 세이코엡스, 마쓰시타 전기산업
	3층 게스트/호스트 액정	도시바, ASET
	홀로그래픽 PDLC	ASET
	지향성 반사형	ASET
	콜레스테릭 액정	미 켄트스테이트대학, 미놀타
	ZBD	영국 ZBD
유기 EL	BTN	세이코엡스, 토카이 대학, 대일본인쇄
		파이오니아, 대일본인쇄, 미 UDC
가동필름		도시바
반사필름 반사형 표시		캐나다 브리티시 콜롬비아 대학
전기영동	마이크로캡슐형	미 E-INK, TDK
	인-플레인형	SiPix, 캐논, IBM
트위스트볼		미 Gyricon
전기습윤 디스플레이		필립스
미케니컬 반사형 표시		미 Iridigm Display
Thermal Rewritable		RICOH, 도시바, 오키정보 시스템, 미쓰비시 제지

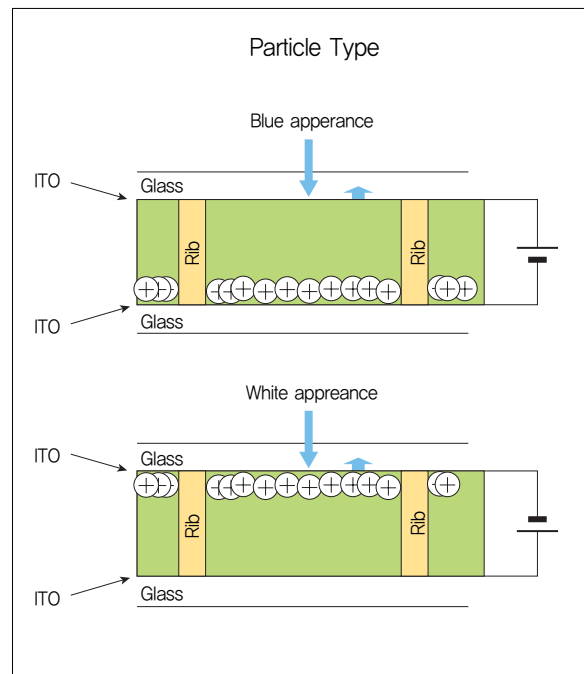


그림 1. 전기영동 구동 모식도

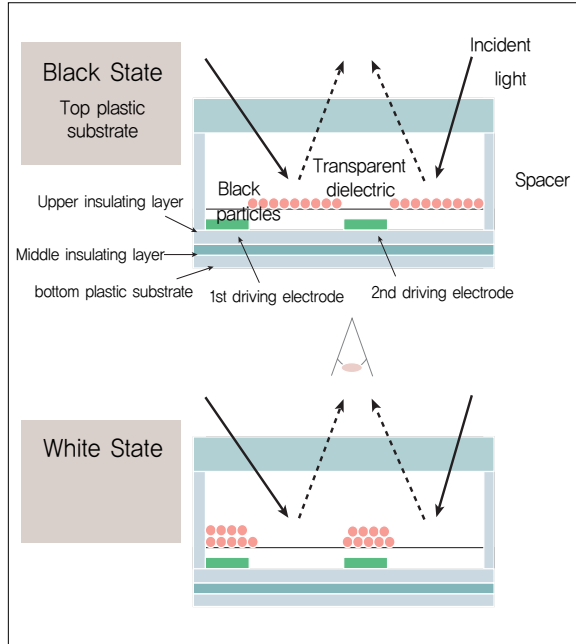


그림 2. 캐논의 입자형 전기영동 디스플레이 동작원리

여기서 g 는 입자의 전하량, λ_b 는 입자가 전기영동 유체 내에서 차지하는 디바이(Debye) 길이이다. 따라서 셀 간격이 h 에서 v 속도로 움직이는 전기영동 입자의 스위칭 시간은 다음과 같이 정량화 된다.

$$t_{\text{total}} \cong h/\mu E = h^2/\mu V \quad (4)$$

여기서 V 는 인가된 전압(voltage)이다. 이 식들은 스위칭 시간을 줄이기 위해서 입자와 유체의 물리적 특성을 어떻게 조정해야 하는지 알려준다.

전기영동 디스플레이의 개발 현황

전기영동법은 다시 입자형과 캡슐형으로 구분할 수 있다. 입자형은 색을 띤 유체(dyed colloidal suspension)속에 하전을 갖는 미립자를 분사시켜 이들의 전기영동을 기본 동작원리로 한다. 캐논에서는 별도의 인플레이션 방식을 채용한 전기영동 전자종을 제안했다. 이는 상·하부 기판 사이에 투명유체를 채우고 흑색의 영동입자를 분산시키는데 이때 하부 기판은 전극과 백색 산란 절연층이 적층된 구조를 가지며 하부 기판에 패터

닝 되어 형성된 전극 상에 전압을 인가하여 흑색 입자를 집중시키면 백색 산란층이 노출되어 백색 표시가 된다.[그림 2]

캐논에 의하면 이 디스플레이는 보기가 용이하며 시안, 마젠타, 옐로를 적층함으로써 하나의 픽셀로 컬러 표시가 가능하기 때문에 고해상도에 유리하지만, 입자형의 경우에서 발생하는 표시의 안정성 향상에 대한 문제점들을 해결해야 하는 것으로 알려져 있다. 이는 미립자들의 클러스터화 및 응집 현상이 상용화에 큰 걸림돌이 되었다. 1997년 미국 MIT Media Lab.에서 분리되어 자콥슨(jacobson)의 주도하에 설립된 E-Ink에서 마이크로캡슐을 사용하여 이러한 문제점을 해결했다.

마이크로캡슐 형태의 전기영동 디스플레이

마이크로캡슐형 전기영동 디스플레이는 미국의 E-Ink에서 최초로 개발되었다. 이와 별도로 NOK의 나카무라에 의해서도 개발되었다. 마이크로캡슐형은 입자형에서 발생된 문제점을 해결하기 위해 잉크 미립자와 색을 띤 유전유체를 함유한 지름 200~300 μm 의 투명한 마이크로캡슐을 제고하여 바인더와 혼합하여 상, 하부 투명전극 사이에 위치시키고 양의 전압을 인가하면 음으로 대전된 잉크 미립자들이 표면으로 이동하여 미립자의 색을 표시할 수 있는 원리이다. (그림 3)는 E-ink의 마이크로캡슐형 전기영동 디스플레이 필름의 단면도를 보여준다.

E-Ink의 캡슐은 직경이 최소 30 μm 까지 작게 만들 수 있고 매우 가까이 밀착시켜 패키징할 수 있으므로 볼의 크기와 공동의 공간에 의해 해상도가 제한을 받는 제록스의 디스플레이보다 훨씬 높은 해상도 구현이 가능하다.

이를 바탕으로 2000년 E-Ink의 마이크로캡슐 전기영동 디스플레이와 루센트 테크놀로지(Lucent Technology)의 소프트 리소그래피(Soft-lithography) 방법으로 제작한 유기 트랜지스터를 결합하여 능동구동형의 전자종이가 발표되어 가볍고, 얇고, 구부림이 가능한 전자종이 제조의 전환점을 마련했다. 특히 제조에 있어서 상판(마이크로캡슐)과 하판(트랜지스터) 모두 대량 생산이 용이한 프린팅 기술을 이용함으로써 저가의 디스플레이 제조에 크게 기여할 수 있게 되었다.

2004년 SID(Society information display conference, Seattle, WA, USA) 전시회에 이 방식을 채택하여 LIBRI라는

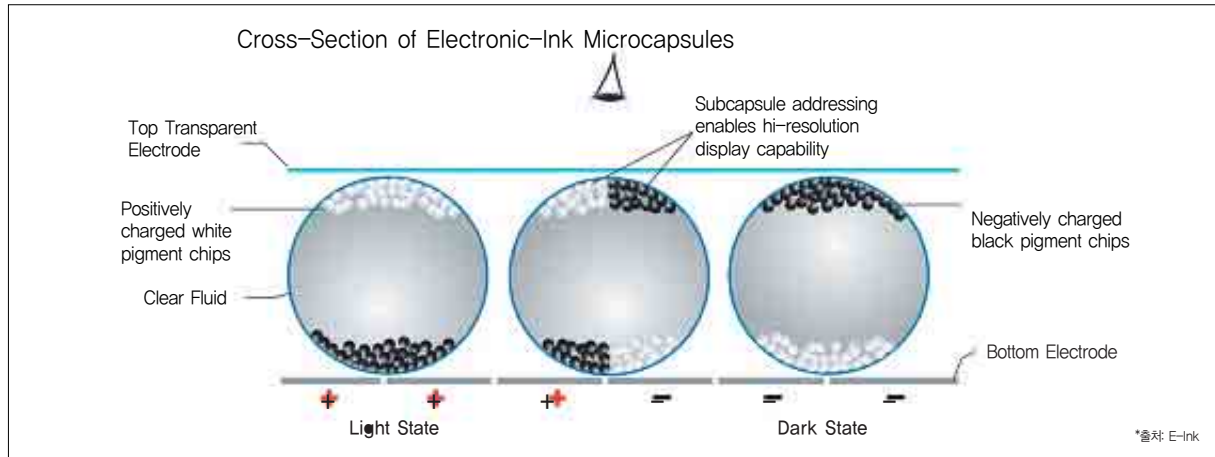


그림 3. E-Ink의 마이크로 캡슐형 전기영동 디스플레이 필름의 단면도

상품명으로 소니에서 발표했다(그림 4). LIBRIe는 E-Ink의 마이크로캡슐을 적용하여 6인치 크기에 800×600(170ppi) 해상도를 나타내며, 마이크로캡슐을 ITO(인듐-틴-옥사이드) 전도성 폴리에스터 필름 위에 조밀하게 코팅했다. 또한 구동부는 필립스의 a-Si active matrix를 유리위에 형성하여 구현한 것이다. 이 제품은 2비트 그레이-스케일로써 4단계 그레이를 표현할 수 있다.

이후 다양한 제품들이 소개되어 E-ink의 마이크로캡슐을 채용한 손목시계를 지난해 5월 세이코 엡손과 세이코 왓치 공동으로 세계 최초로 데모했다. 같은해 12월 시타즌사와 공동으로 세계 최대 크기인 1.5m의 구부릴 수 있는(Bandabel)시계를 발표했다. 또한 10월 세계 최대 크기인 10.1인치 SVGA(600×800)급, 100:1의 명암비를 갖는 전자종이의 프로토타입을 공개했다. 이는 E-ink의 마이크로캡슐을 이용했으며, 일본제강(NIPPON Steel, co., Ltd.)에서 개발한 플렉시블 호일(Flexible foil, 휘어지는 얇은 금속 박)을 기판으로 LG Philips LCD에서 조립되었다. 한편 마이크로캡슐형 전기영동 디스플레이의 컬러화는 컬러 안료 입자쌍을 도입하거나 다양한 색을 가지는 염료 유체에 컬러 안료입자를 분산시키므로 디자인 할 수 있다고 발표했으나, 지난해 6월, 컬러필터 제조회사인 토판 프린팅(Toppan Printing)의 컬러필터를 적용하여 12비트, 400×300 픽셀의 풀 컬러 전자종이 프로토타입을 발표했다(그림 5).

최근에는 플라스틱 로직에서 듀폰 태진 필름에서 유연성을

향상시킨 PET 필름을 사용하여 E-ink의 마이크로캡슐을 적용한 두께 400μm의 4레벨 그레이스케일 구현 가능한 전자종이를 일본에서 개최된 IDW 05(International Display Workshops, Takamatsu, Japan)에서 데모했다(그림 6). 이는 10인치 크기로 SVGA급(600×800)의 100ppi의 해상도를 가지며 350mm×350mm 프로토타입 라인에서 제작되었다. 또한 프린팅 공정을 사용하여 낮은 단가로서 제작되어 향후 대량생산을 목표로 하고 있다.

In-Plane형 전기영동 디스플레이

In-Plane형 전기영동 디스플레이(그림 7)는 격벽으로 방을



그림 4. E-Ink의 마이크로캡슐형 전기영동 디스플레이 필름을 이용하여 필립스 전기의 a-Si 구동기판을 조합시킨 소니의 LIBRIe 전자 reader



그림 5. 여러 형태의 전자 종지와 활용예

만들고 각 방에 전기영동 분산액을 분사시키고 상분리 고분자 물질로 투명한 프론트 전극을 밀봉시키는 공정을 연속적으로 할 수 있는 롤 투 롤(Roll-to-roll) 방식이 가능한 장점을 갖는 흑/백 전자종이의 유력한 후보 중의 하나이다. 롤 투 롤 방식(그림 8)으로 제조된 전기영동 디스플레이 필름은 구동 판넬을 붙이는 공정도 연속적으로 함께 적용함으로써 제품의 양산성이 뛰어나다.



그림 6. 플라스틱 로직의 10인치 전자종지(IDW 05)

특히 In-Plane(평면 정렬)형 전기영동 디스플레이의 선두주자로서 미국의 SiPix는 격벽의 방으로서 자체 개발한 microcup®을 바탕으로 시제품을 선보이고 있다. 특히 microcup®은 양각의 형태를 지닌 몰드를 감광성 고분자층에 압축하면서 동시에 UV를 조사하여 경화된 미세 패턴을 형성하는 방식으로, 격벽의 형상을 자유자재로 변화시킬 수 있는 장점을 갖고 있으며 그 두께는 모듈 형태로 150 μ m이다.

이를 적용한 다양한 제품들이 2004년 SID 전시회에 선보였다(그림 9). SiPix에서 개발된 다이렉트 드라이버(Direct Driver) 전자종지와 액티브 매트릭스(Active Matrix) 전자종지는 전자 레벨, 전자표시장치, 시계 및 스마트카드 등 다양한 용도로 사용된다.

그러나 영상을 액티브 매트릭스 전자종지의 경우 영상을 어드레싱(addressing)할 때 로-어드레싱(row-addressing)이기 때문에 전체 업데이트 시간은 영상을 어드레싱하는 시간과 로(row)라인의 수의 곱으로 나타내어지기 때문에 전자잉크의 반응시간이 느리면 화면을 업데이트하는 시간이 매우 길어지는 단점이 있다.

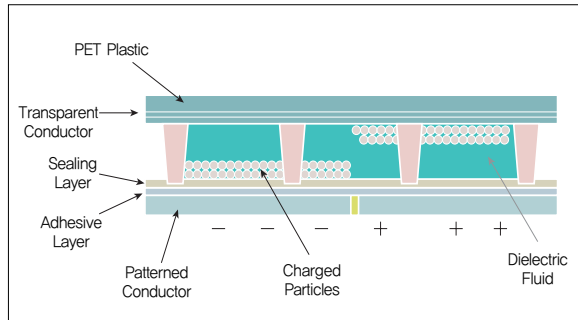


그림 7. SiPix의 In-Plane 형태의 전기영동 디스플레이 모식도

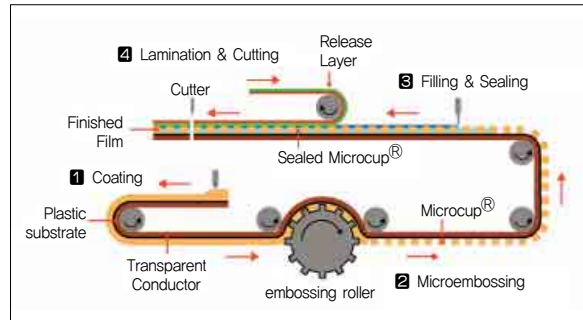


그림 8. SiPix의 roll-to-roll 공정도



그림 9. 2004년 SID에 전시된 SiPix의 전기영동 디스플레이

그외의 전자종이 기술

전기영동 디스플레이 전자종이 기술 이외의 전자종이 기술로는 켄트 디스플레이(Kent Display)의 콜레스테롤 액정 디스플레이(Cholesteric Liquid Crystal)이다(그림 10). 기존의 액정

디스플레이의 최대 난점은 태양광에서도 볼 수 있는 만큼 밝기가 충분하지 않다는 것이다. 켄트 디스플레이에서는 상이한 파장의 빛을 선택적으로 반사하여 컬러를 표현할 수 있는 콜레스테롤 액정을 적용하여 야외에서도 볼 수 있는 액정 디스플레이



그림 10. 켄트 디스플레이의 콜레스테를 액정 전자종이

를 선보였다. 켄트의 응용분야로는 전자책, 학교교재, 전자사전, 전자 메뉴얼 등으로 잡고 있다.

미놀타 사에서도 콜레스테를 액정을 이용하여 26만 색 표시를 실현했으나 그 구조가 비교적 복잡하여 제조 원가가 높으며 종이 질감의 표시 소자로는 역부족인 단점이 있다. 따라서 액정을 이용한 전자종이 개발에 있어서는 표시/소거의 용이성, 컬러 구현 및 빠른 응답속도의 장점이 있는 반면 종이 질감의 보기

용이성, 소지 전력 최소화 등의 해결해야할 과제가 남아 있다.

아직 국내에서는 전자종이의 개발이 활발하게 이루어지지 않고 있으나 차세대 성장동력 10대 산업 중 하나인 디스플레이 분야의 차세대 기술로 선정되어 기술개발 로드맵에 기반, 기초 연구가 진행되고 있다.

시장 동향 및 전망

한국과학기술연구원과 전자통신연구원 같은 국책 연구소에서 마이크로캡슐형 e-ink 시스템 개발 연구가 진행되고 있으며, 경북대학교에서는 마이크로캡슐 제조기술 및 e-ink 필름 라미네이팅(laminating) 기술 및 유기 TFT 기판을 이용한 전자종이 개발을 진행 중이다. 인하대학교에서는 컬러 필터 없이 컬러를 구현할 수 있는 컬러 e-ink 입자를 개발 중이기도 하다. 또한 삼성 SDI, 삼성종합기술원, LG전자 및 LG Philips LCD 등의 기업체들도 차세대 산업의 일환으로 활발한 연구를 하고 있다. 삼성전자에서는 a-Si TFT 기판에 E-Ink의 e-ink 필름을 이용한 5.7인치 단색 e-book 시제품을 개발한 바 있다.

구분		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
기술 & 적용제품	INK & Color	기 개발된 흑백 잉크의 Monochrome 제품에 적용							
		Multicolor Ink 개발		Multicolor 제품에 적용					
		Full Color용 Color Ink 개발		Quick Response & Nano Size의 Color Ink 개발			F/C 제품 적용		
	Substrate	Glass Substrate 적용제품			Plastic Substrate 적용제품				
	TFT array (backplane)	단순 매트릭스 적용제품							
		a-Si TFT 적용제품						OTFT 적용제품	
	Resolution	100~200dpi							
							300dpi		600dpi
								600dpi	
	Response time	<150ms				<30ms		<0.2ms	
Contrast Ratio	>10:1				>15:1		>20:1		
Life Time	10,000~20,000 hr					30,000hr		>50,000hr	
제품(애플리케이션)	백화점, 증권거래소 등의 Sign Board, News Stand/ Price Tag/ Map								
	Prototype E-book & 소규모 시장					E-book, E-Newspaper 제품 등			
							F/C Mobile 제품		
							초대면적 Display		

그림 11. 전자종이의 TRM(Technology Road Map)

전자종이가 향후 폭넓게 상용화되기 위해서 진행되어야 할 연구과제가 많이 있다. 시장 개척과 프로세스 단순화 등이 그 예이다. 또한 차세대 디스플레이로서의 가능성은 플렉시블한 기판을 사용하여 휘거나 구부리거나 접을 수 있는 디스플레이 구현이 가능하다는데 그 의미가 있다. 그러나 현재의 무기물을 이용한 TFT 구조로는 불가능하기 때문에 유기물질을 이용한 OTFT(organic TFT) 개발이 선행되어야 하며, 이에 대한 많은 연구가 전 세계적으로 진행되고 있다.

화면 유지에 추가 전력이 필요 없어 매우 낮은 소비전력을 갖고 있는 전자종이의 경우 한번 화면을 표시하면 새로운 화면으로 바뀌어 주기 전까지는 그 화면을 반영구적으로 표시하는 특성을 갖고 있기 때문에 한 화면을 오래 표시해 줘야만 하는 e-book, 전자사전, 전자신문, 전자광고 및 식당의 메뉴판까지 넓은 분야를 잠재 시장으로 갖고 있다.

닛케이 일렉트로닉스 아시아(2001년 9월)에 게재된 기사(Market Growth Hooped for organic EL, E-paper displays)와 디스플레이 서치(2003년 1월)에 의하면 2005년 본격적인 시장 형성, 2010년 대규모 시장형성과 함께 연평균 300%의 성장을 기록할 것이라고 예측했으나, 현재 그 성장은 정체되고 있다.


LCD에 비해 백라이트가 필요하지 않으며 종이와 유사한 콘트라스트를 나타내고, 롤 프로세서에 의한 양산성과 잉크재료의 쌍안정성(bistability)로 저전력 소모와 그로 인한 경량화의 용이성, 잉크 재료 특성으로 인한 유연성(flexibility) 등의 장점을 갖는다. 단점으로 낮은 수명과 배터리 장착 필요성, 소비자의 종이 사이의 선호도에 대한 불확실성, 핵심 응용분야의 부재와 그로 인한 모듈 메이커의 부재로 이어지는 등 발전이 더딘 상황이다.

DigitalPublishingNews.net(2005년 7월)의 보고서에 따르면 전자종이는 2008년에나 시장에 진입이 가능할 것으로 전망했으며 2010년경에는 A4 크기의 전자종이가 대략 100달러의 가격에 팔릴 것이라고 한다.

맺음말

우리는 이미 2003년 개봉된 영화 '마이너리티 리포트'에서 미래 디스플레이의 모습을 볼 수 있었다. 여기서 우리는 미래

신문의 형태에 주목해야 한다. 홀로그램을 이용한 3D 디스플레이와 움직이는 광고와 특종 기사들이 순간순간 변하는 신문이 그 대표적인 예라 하겠다. 실제로 이러한 디스플레이의 한 형태는 이 글에서 서술한 전자종이라 할 수 있다. 또한 세계적으로 수많은 그룹들이 연구를 진행하고 있어 빠른 시일 내에 실현 가능할 것으로 생각된다.

이 글에서는 정보화 사회에서 빠르게 변화하는 정보를 언제 어디서나 편리하게 사용할 수 있는 꿈의 디스플레이인 전자종이에 대해 기술했다. 종이처럼 얇고, 필요할 때 펼쳐볼 수 있는 유연한 디스플레이는 영화 속의 상상이 아니라 가까운 미래에 실현 가능한 것이며 전자종이가 그 꿈을 실현시켜 줄 것이다. 

참고문헌

- [1] E-ink website, <http://www.eink.com>
- [2] SiPix website, <http://www.sipix.com>
- [3] kent Display website, <http://www.kentdisplays.com>
- [4] Digital PublishingNews.net website, <http://DigitalPublishingNews.net>
- [5] 고려대학교 전기공학과 디스플레이 및 나노 시스템 연구실, <http://diana.korea.ac.kr>
- [6] 주병권, "Flat Panel Display 산업동향", 지역혁신특성화 포럼
- [7] 서경수, 김철암, 강승열, "전자종이(E-Paper)의 기술 개발 동향", 한국정보디스플레이학회지 제6권, 제5호, 24-35, 2005
- [8] 이창희, 강승열, 도이미, "차세대 디스플레이 기술: 종이와 같은 디스플레이", 물리학과 첨단기술 July, August, 30-36, 2003
- [9] "E-Paper 산업동향", 전자통신연구원
- [10] "IT신기술 현황 및 향후 적용방안", 한국전산원
- [11] "E-paper 기술 로드맵", 전자부품 연구원
- [12] G. P. Crawford, IEEE Spectrum, October, p. 40, 2002
- [13] B. Comiskey, J. D. Albert, H. Yoshizawa, and J. Jacobson, "An electrophoretic ink for all-printed reflective electronic display", Nature 394, 253-255, 1998
- [14] E. Nakamura, H. Kawa, N. Kanae, and H. Yamamoto, "Development of Electrophoretic Display Using Microcapsulated Suspension", SID98 Digest, 1014-1017, 1998