

기획리포트

<http://www.eic.re.kr>

E-Paper

KETI

I. 개요

- 21세기 멀티미디어를 기반으로 하는 고도 정보화 사회에서 요구되는 제품의 기본적인 성능은 인간과 환경중심, 고도화, 고기능화로서 인간과 기계간의 커뮤니케이션 수단인 디스플레이도 이러한 추세에 따라 변화해 왔음
- 지난 40여년 동안 디스플레이의 대표자로 자리잡아 왔던 브라운관은 평판디스플레이의 등장으로 그 위치를 위협받고 있으며, 특히 휴대용 기기의 대부분은 이미 평판디스플레이로 대체되고 있음
- 평판디스플레이 중에서 LCD(Liquid Crystal Display)는 기존의 브라운관과 거의 동등한 화질성능을 보유하면서도 휴대가 편리한 경량, 박형, 저소비전력 등을 실현하여 급속히 성장하고 있으며, 그 뒤를 이어 PDP(Plasma Display Panel) 및 OLED (Organic Light Emitting Diode)가 시장진입이 이루어진 상태임
- 이상의 전자 디바이스들은 과거 PC(Personal Computer), Mobile Phone, Digital Consumer Electronics 등의 분야에 적용되고 있으며, 향후 2010년경에는 Ubiquitous Electronics, Humanoid robot 및 Bio 관련 분야에의 응용을 위한 새로운 전자 디바이스의 등장이 기대됨(그림 1)
- 2004년 2월 Nikkei Electronics Asia에 게재된 기사(Next- Generation Innovative Devices)를 살펴보면 유비쿼터스(ubiquitous) 환경을 위하여 디스플레이가 추구해야 할 3가지 연구방향을 제시하고 있으며, 그 중의 하나가 종이를 대체하는 디바이스의 개발 필요성을 제시함
- 전자종이(electronic paper; e-Paper)는 일종의 반사형 디스플레이(reflective display)로서 기존의 종이와 잉크처럼 높은 해상도, 넓은 시야각, 밝은 흰색 배경으로 우수한 시각특성을 가지며, 플라스틱, 금속, 종이 등 어떠한 기판 상에서도 구현이 가능하고, 전원을 차단한 후에도 화상이 유지되고 백라이트(back light) 전원이 없어 이동 통신기기의 배터리 수명이 오래 유지되므로 원가 절감 및 경량화를 쉽게 적용시킬 수 있음

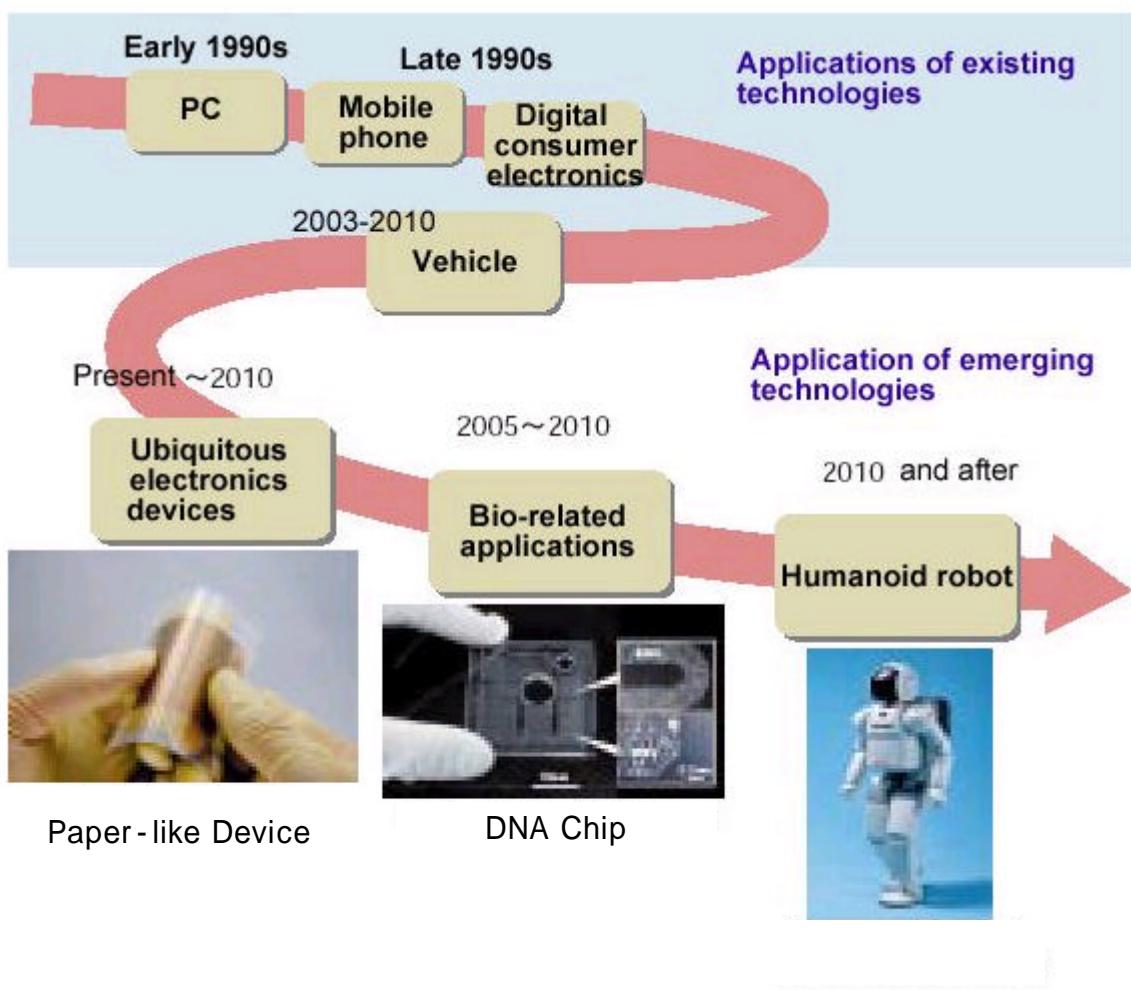


그림 1. Electronic Device의 적용분야.

[출처: Next-Generation Innovative Devices, Nikkei Electronics Asia, Feb. 2, 2004(Tokyo)]

- 또한 전자종이는 종이 인쇄물과 기존의 디스플레이 매체를 대신하는 새로운 표시소자로서 신문, 잡지, 도서 등을 대체하는 전자신문(e-Newspaper), 전자 잡지(e-Magazine), 전자책(e-Book)의 개념으로 응용이 기대되고 옥내·옥외용 실시간 광고판 등 게시판용 디스플레이뿐만 아니라 핸드폰, PDA(personal digital assistant), web pad 등과 같은 이동통신 기기의 정보표시 매체로서의 응용도 기대됨(그림 2)

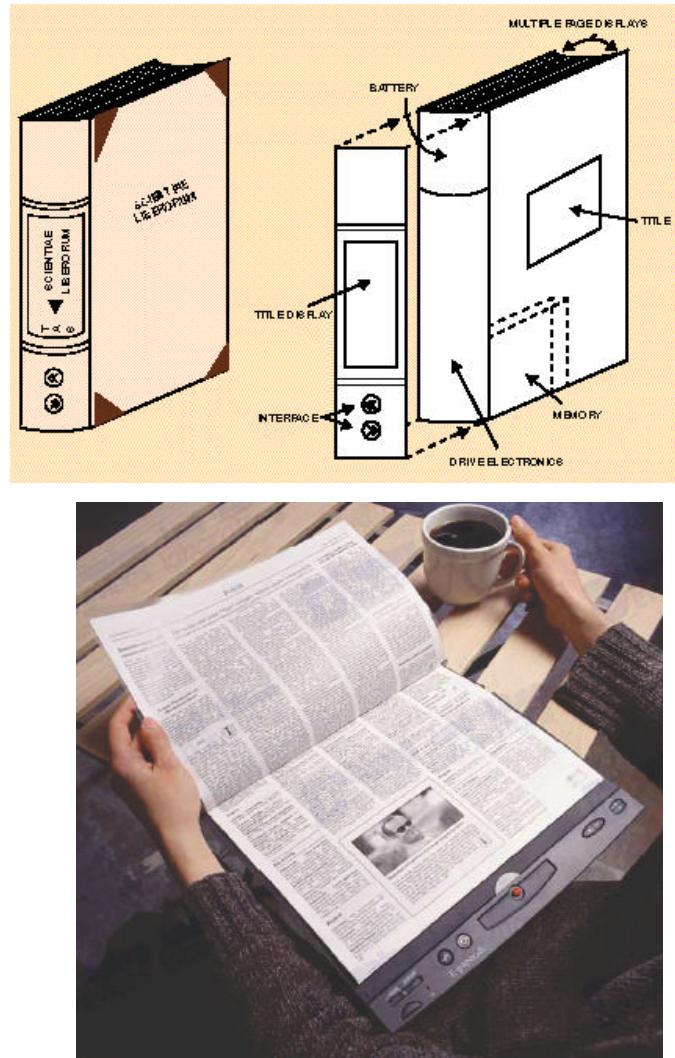


그림 2. 전자종이의 대표적 적용 분야(e-Book and e-Newspaper)

II. 기술동향

- 전자종이를 구현하는 접근 방법은 디스플레이방식과 종이방식 등으로 구분되며, 전자는 기존 평판디스플레이의 유연성을 강조, '플렉시블 디스플레이'라 불리며 후자는 기존 인쇄물의 원리와 같이 직경 0.1mm 이하의 잉크볼이나 캡슐을 이용함
- 현재 제품화 단계에까지 진입한 전자종이로는 정전하가 충전된 반구형 트위스트 볼(회전하는 볼이라는 그리스 어원을 가진 "gyricon" 볼이라고 불림)을

이용한 Gyricon Media사의 Gyricon display(twist ball type) 및 전기영동법과 마이크로 캡슐을 응용한 E-Ink 사의 전기영동 디스플레이가 있음

- 이하에서는 현재 제품화 단계까지 개발된 gyricon display와 electrophoretic display의 원리에서 제품화 현황까지 소개함

□ Gyricon Display

- 트위스트 볼 형태의 디스플레이(Gyricon 디스플레이)는 1975년 미국의 Xerox Palo Alto Research Center(PARC)의 Sheridan 박사에 의해 개발되었으며, 2000년 제록스 사는 Gyricon Media라는 회사를 설립하여 연구를 활발하게 진행하고 있는 중이며, 최근 제록스는 3M 사와 업무제휴를 맺어 디스플레이 재료의 양산을 목적으로 연구개발을 추진 중에 있음
- (구성) ITO(indium-tin oxide) 전극이 형성된 투명 플라스틱 sheet 사이에 수백만개의 작은 볼이 오일이 채워진 엘라스토머 매트릭스 공동(cavity)에 분산되어 있고, 여기서 볼은 양쪽이 강하게 대조되는 반구형태로 한쪽은 빛을 흡수하는 검은색이고 다른 한쪽은 빛을 반사시키는 흰색으로서 볼의 백색과 흑색 영역은 반대의 전하를 가짐(그림 3)
- 회전 볼은 대량 생산이 가능한 단순 공정인 스프레이 몰튼법으로 제조한 wax-like plastic^{o]} 사용되어 저가격 실현에 이점이 있으며, 또한 3백만 사이클 이상의 동작에서도 특성의 저하가 없는 아주 안정적인 것으로 보고됨

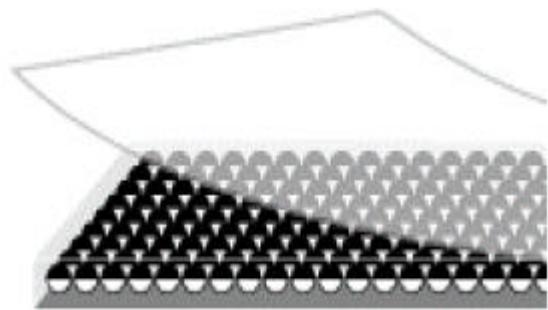


그림 3. Gyricon ball

- (원리) 두 영역의 극성이 반대이므로 외부에서 인가하는 전기장의 극성에 의해 볼이 회전하여 흑/백의 이미지가 표시되는 원리임(그림 4)

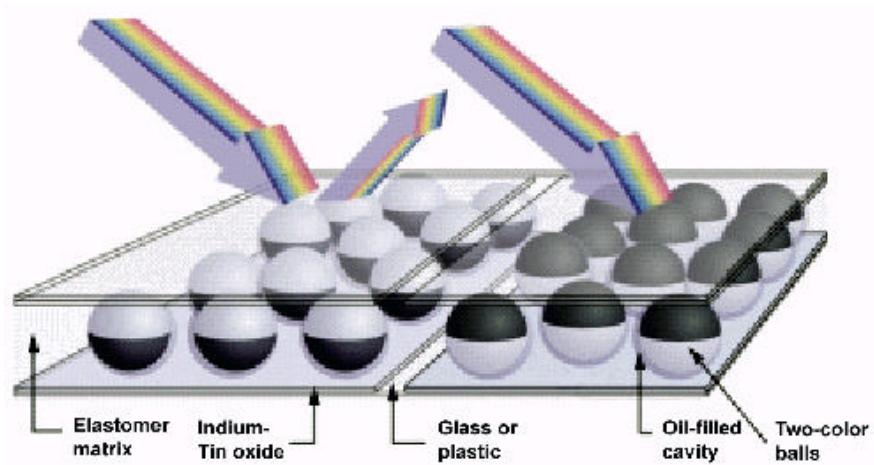


그림 4. Gyricon display의 이미지 표시 원리

- 불과 오일의 비중은 거의 비슷하게 일치하므로 전장에 의해서 볼의 위치가 정해지면 볼은 쉽게 움직이지 않으며, 따라서 전장을 제거하더라도 Gyricon 이미지는 몇 시간 혹은 며칠동안 지속될 수 있는 쌍안정성(bi-stability)을 나타냄
- (특징) Gyricon 디스플레이에는 일반적으로 약 $100\mu\text{m}$ 직경의 볼을 사용하여 만들어지고 6:1 이상의 대조비를 나타내며, 구동전압과 스위칭 시간은 사용되는 재료의 전기적 특성, 볼의 크기, 오일에 의해 생성된 댐핑 크기 등에 의존하는데, 대략 50 - 150V와 80 - 100 ms의 영역에 각각 존재하여 비교적 높은 전압과 긴 스위칭 시간이 요구됨
- 백색광에 대한 광반사 효율은 약 20%로 신문의 약 절반 정도에 해당하며, 회색의 이미지는 중간 레벨의 구동전압에서 볼의 부분적인 회전에 의하여 관찰될 수 있으며, 얇은 Gyricon 디스플레이 충은 안정하여 큰 감소없이 3백 만회 이상 구동이 가능
- (단점) 그러나 Gyricon 디스플레이의 가장 큰 문제점은 볼의 위상 변화에 있어서 전압의 threshold가 없음. 다시 말해서 어떤 전압에서도 볼의 위상을

어느 정도 바꿀 수 있다는 의미로서 실제로 해상도의 한계를 가져오고, 픽셀의 수가 증가할수록 디스플레이의 전계 조절은 매우 복잡하게 됨

- (제품화 현황) 2001년 7월 Gyricon display를 이용한 첫 번째 제품(상품명: SmartPaperTM; 11 × 14 inch²)이 출시되었으며, Marcy's Department(New Jersey)의 store sign에 적용됨(그림 5)

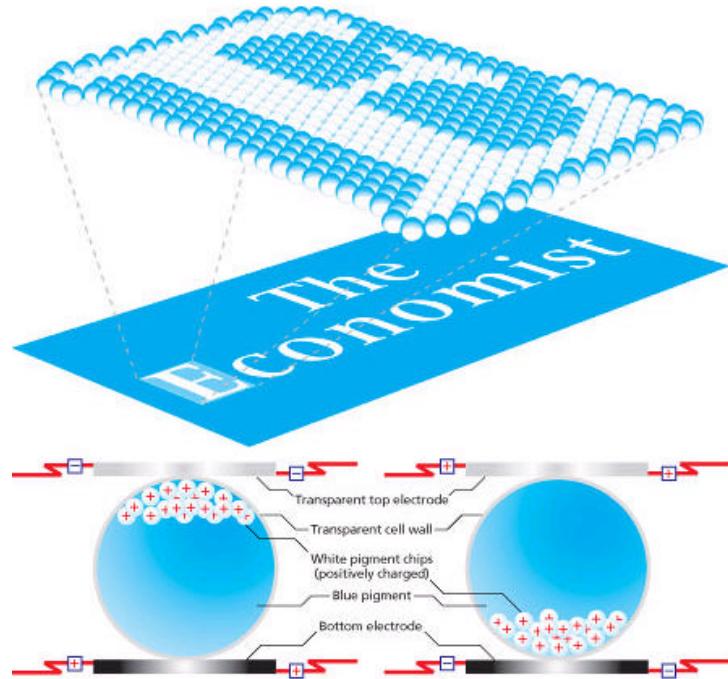


그림 5. Gyricon display의 첫 번째 상업화 제품(SmartPaperTM)

- Gyricon Media사는 SmartPaperTM을 출시하면서 software에 해당하는 MaestroWareTM도 함께 공급하였으며, 중앙컴퓨터에서 internet으로 제어
- 2002년 4월에는 Dow Jones & Co.와 함께 광고용 news stand 공급을 위한 pilot program을 시작하였으며, 2003년에 백만개의 제품공급을 목적으로 함
- (개발방향) 기술적 측면에서 Gyricon Media사의 개발 방향으로는 단순한 수동 구동으로도 고해상도 구현이 가능하게 문턱전압을 가지며 컬러화가 용이한 디스플레이의 연구가 진행되고 있으며, 제품의 측면에서는 무선(wireless) 및 휴대용(portable) 제품에의 응용을 위한 개발이 진행되고 있음

□ Electrophoretic display

- 전기영동법은 입자형과 캡슐형으로 구분할 수 있으며, 입자형은 색을 띤 유체(dyed colloidal suspension) 속에 하전을 갖는 미립자를 분산시켜, 이들의 전기영동을 기본 동작원리로 하고 있으나, 이 경우 미립자들의 클러스터화 및 응집 형성이 상용화에 큰 걸림돌이 됨
- 1997년 미국 MIT Media Lab.에서 분리되어 Jacobson의 주도하에 설립된 E-Ink사에서는 마이크로캡슐형 electronic ink를 개발하였으며, 입자형에서 나타나는 미립자들의 클러스터화 및 응집 형성 문제점을 해결
- **(구성 및 원리)** 캡슐형은 잉크미립자와 색을 띤 유전유체를 함유한 지름 200 - 300 μm 의 투명한 마이크로캡슐을 제조후, 바인더와 혼합하여 상, 하부 투명 전극 사이에 위치시키고 양의 전압을 인가하면 음으로 대전된 잉크 미립자들이 표면으로 이동하여 미립자의 색을 표시할 수 있다. 또한 음의 전압을 인가하면 잉크 미립자들이 아래쪽으로 이동하여 유체의 색을 볼 수 있게 된다. 이러한 방식에 의해서 문자나 이미지를 표시하게 되는 원리임(그림 6)
- 마이크로 캡슐의 제조는 마이크로입자와 그 분산매인 유전유체의 비중을 거의 비슷하게 맞춤으로써 입자들이 균일하게 분산되어 혼합물을 만들고, 이를 투명하게 코팅함으로써 안정한 캡슐을 얻음
- E-Ink사의 초기 디스플레이에는 백색 반사율이 우수한 TiO_2 미립자에 청색 유체를 사용하여 청색 배경에 흰색 이미지를 구현하였으며, 현재에는 투명 유체에 양 전하를 띤 백색 미립자와 음 전하를 가진 흑색 미립자를 분산시킨 마이크로캡슐을 제조하여 흑/백 표시를 구현하고 있음



Cross-Section of Electronic-Ink Microcapsules

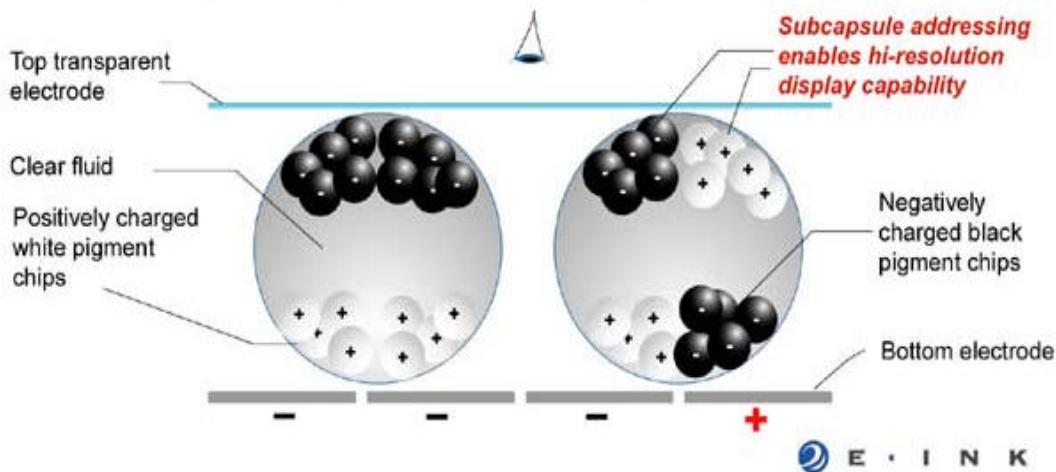


그림 6. E-Ink사의 캡슐형 전기영동 디스플레이의 모식도 및 동작원리

- **(특징)** 마이크로캡슐 전기영동 디스플레이에는 우선 종이 질감에 가장 가까운 특성과 10:1의 대비비, 광반사 효율이 40%로서 신문과 비슷하거나 오히려 약간 높은 수치를 나타낸다. 구동전압은 약 90V이며, 구동전압의 조절에 의해서 입자의 이동을 조절함으로써 회색 스케일의 구현이 또한 가능하다. 또한 약 천만번의 사이클에도 안정적인 동작을 보이는 것으로 보고 됨

- 또한 E-Ink 캡슐은 직경이 최소 $30\mu\text{m}$ 까지 작게 만들 수 있고 매우 가까이 밀착시켜 패킹할 수 있으므로 볼의 크기와 공동의 공간에 의해 해상도가 제한받는 Gyricon 디스플레이보다 훨씬 더 높은 해상도를 나타낼 수 있음
- 특히, 제조에 있어서 상판(마이크로캡슐)과 하판(트랜지스터) 모두 대량 생산이 용이한 프린팅 기술을 이용함으로써 저가의 디스플레이 제조에 크게 기여할 수 있음
- (단점) 그러나 응답속도가 약 100ms으로 동영상 구현에는 많은 개선이 필요하며, Gyricon 디스플레이와 마찬가지로 E-Ink도 수동형 구동 원리에 기초하면 threshold가 없어서 그 해상도에 한계를 나타내고 있다. 그러므로 직접 구동은 낮은 정보 콘텐트용 응용장치에는 효율적이지만 고해상도 이미지를 위해서는 능동형 매트릭스가 사용되어야 함
- (제품화 현황) 1999년 E-Ink사는 ImmediaTM라는 상품명의 제품을 출시하여, Dallas, Chicago 등지의 소매점 광고용 stand에 적용하였으며, 최근에는 보다 발전된 Ink-in-MotionTM이라는 제품을 출시하였다
- 2000년에는 E-Ink사의 마이크로캡슐 전기영동 디스플레이와 Lucent Technology사의 Soft-lithography 방법으로 제작한 유기 트랜지스터를 결합하여 능동구동형의 전자 종이(prototype)가 발표되어 가볍고, 얇고, 구부림이 가능한 전자 종이 제조의 획기적인 전환점을 마련(그림 7)

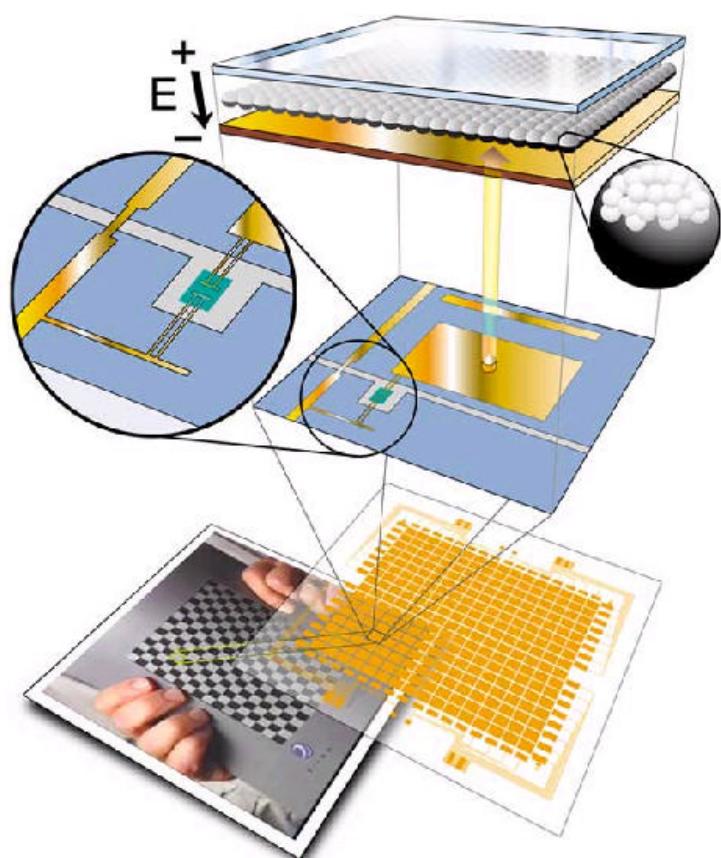


그림 7. Lucent사의 유기 transistor가 채택된 전기영동 디스플레이.

- E-Ink 사는 Toppan사의 color filter를 채용한 prototype의 능동(active matrix)구동 칼라 디스플레이(2002)를 발표
- (개발방향) E-Ink 사는 토판(color filter), 필립스(electronic ink sheet and intergration) 등과 협력, 휴대형 정보기기에 연결할 수 있는 모델과 능동 구동형으로 flexible 기판 위에 제작된 모델을 꾸준히 발표하고 있으며, 아직은 해상도가 낮지만 고해상도, 능동 구동, 컬러화, 유연성 등의 기능 구현에 박차를 가하고 있음
- E-Ink사의 최종 목표는 RadioPaper™의 제품화로서, 이 제품은 종이의 가독성과 함께, 종래 전자 디바이스와 같이 다운로드 기능 등의 digital 기술 및 기능이 부가된 제품을 의미

□ 신 모드의 전자종이

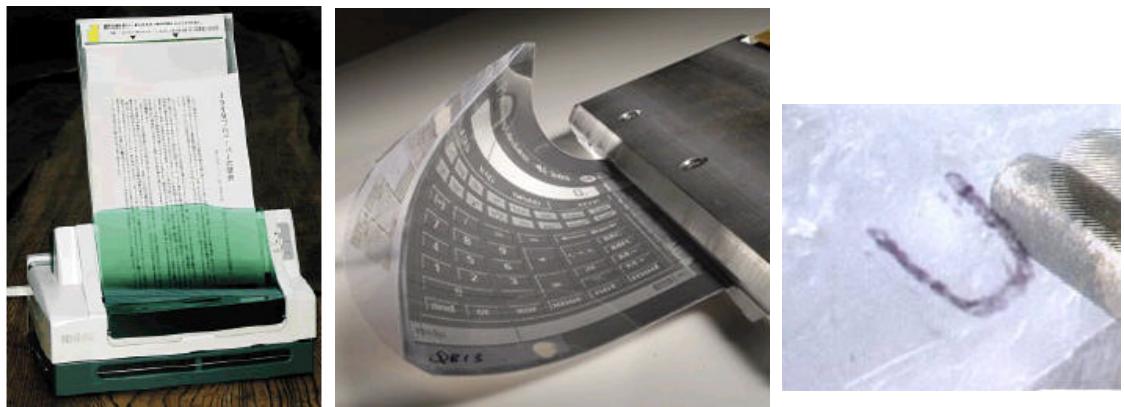
- Gyricon 혹은 전기영동 디스플레이와는 다른 새로운 모드의 전자종이가 많은 업체에서 개발(prototype), 발표되고 있음(그림 8)
- 콜레스테롤 액정을 이용한 Kent Display 사의 콜레스테롤 액정 디스플레이, 전기습윤 기법을 이용한 Philips사의 electrowetting display, Dainippon Ink and Chemicals사의 PNLC(polymer network liquid crystal)에 기초한 e-Paper, Silver ion을 이용한 Sony의 LIBRIe EBR-1000EP display, Ricoh Co., Ltd의 rewritable paper, Polymer Vision(Philips)의 plastic circuit^o] 도입된 e-paper, Texas 대학(R. M. Brown Jr)의 셀룰로오스에 전자염료를 함입 시킨 e-paper 등 많은 업체에서 다양한 기법을 이용하여 전자종이를 구현하고 있음



Cholesteric LC display
(Kent Display)

PNLC
(Dainippon Ink and Chemicals)

LIBRIe EBR-1000EP
(Sony)



Rewritabel paper
(Richo Co., Ltd)

E-Paper with plastic circuit
(Polymer Vision/Philips)

dye on cellulose
(Univ. of Texas; R.M.Brown Jr)

그림 8. 다양한 mode의 전자종이

□ 전자종이의 TRM(technology road map)

- 60년대초 전자종이 관련 초기연구가 시작된 이후, 1975년 Xerox에서 초보적인 prototype의 전자종이를 구현하여 영문자 “X”를 디스플레이하였으며, 1999년 E-Ink사에서 ImmediaTM이라는 최초로 전자종이 제품을 출시하였음
- 현재 많은 업체에서 다양한 모드의 전자종이를 구현하여 발표하고 있으며, 지속적인 기술 및 제품개발을 통하여 2010년에는 충분한 flexibility와 디스플

레이저로서의 기능을 완전히 갖춘 전자종이가 대량생산 체제에 접어들 것으로 예측하고 있음(그림 9)

| | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|-----------------------|-----------------------|--------------------|--|---------------------|---------|------------|------|
| Technology & | Ink & Color | | ink Monochrome | | | | |
| | Multicolor ink | | | Multicolor | | | |
| | Full color color ink | | Quick Response & nano size color ink | | F/C | | |
| | Substrate | Glass Substrate | | Plastic Substrate | | | |
| | TFT array (backplane) | | | a-Si TFT | | | OTFT |
| | resolution | | 100 ~ 200 dpi | | 300 dpi | | |
| | Response time | < 150 ms | | < 30 ms | | < 0.2 ms | |
| Product (Application) | Contrast Ratio | >10:1 | | >15:1 | | >20:1 | |
| | Life Time | 10,000 ~ 20,000 hr | | 30,000 hr | | >50,000 hr | |
| | | | Sign Board, News Stand / Price Tag / Map | | | | |
| | | Prototype E-Book & | | E-Book, E-Newspaper | | | |
| | | | | | | F/C Mobile | |
| | | | | | | Display | |

그림 9. 전자종이의 TRM

- 전자종이의 ink는 color화, 적정 response time의 확보 및 고해상도 구현에 관건이 되는 핵심재료이며, color화 기술은 조기달성이 가능할 것으로 보여지며, 적정 response time을 확보하기 위해서는 ink의 질량을 줄이면서 하전량을 키워야 하며, 고해상도 구현을 위해서는 nano 크기의 잉크 개발이 요구됨

- 종래의 종이를 대체한다는 개념에서 전자종이는 plastic 기판을 사용해야 하며, plastic 기판에의 투명전극 형성 및 기판의 가스차단성 문제 해결이 요구되며, 2006년부터 plastic 기판을 이용한 전자종이가 구체화 될 것으로 보임
- News stand와 같은 낮은 grade의 전자종이 제품에는 단순 매트릭스 타입의 backplane이 적용되고, e-book, e-paper 등에는 a-Si TFT가 채용 될 것으로 전망됨. TFT array가 모두 유기물로 구성된 Organic TFT(OTFT)는 2010년경 제품에의 적용이 예상됨
- 전자종이 제품의 성능과 관련된 resolution, response time, contrast ratio, life time은 2007년을 기점으로 그 성능이 한단계 향상되고, 2010년에는 full color 제품에의 적용이 가능할 수준으로 향상될 것으로 기대됨
- 초기 전자종이의 적용분야로는 sign board, news stand, price tag 등에 응용되고, e-book, e-newspaper 제품의 경우는 2005년부터 소규모 시장이 형성되어 2008년부터 본격화가 이루어질 것으로 예상되며, 2010년에는 초대면적 display(전자종이) 제품 출시가 예상됨
- E-Ink사의 TRM(그림 10)에 의하면 2003년에는 고해상도의 능동구동형 전자종이를 개발하고, 2004년에는 flexible 기판상에 TFT array가 형성된 전자종이 구현을 목표로 하고 있음. 이는 prototype 구현에 초점이 맞추어져 있는 것으로 보여지며, 신뢰성이 확보되어 시장에 출시되기 까지에는 상당한 기간이 요구될 것으로 예상됨

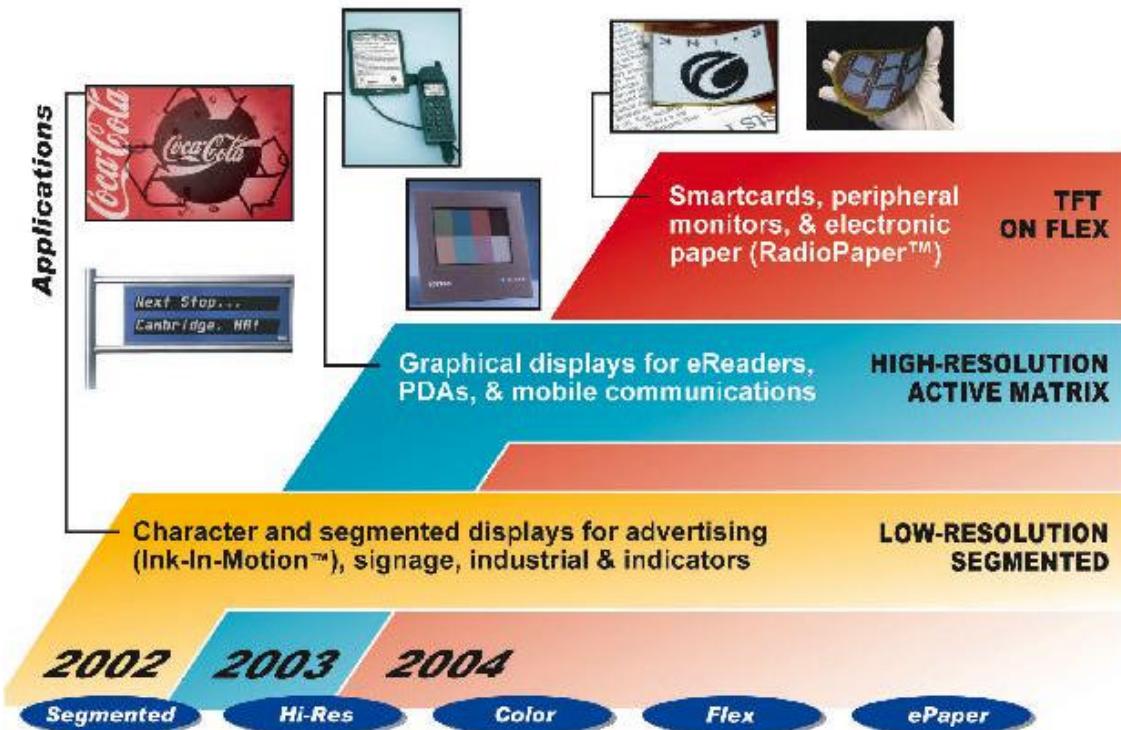


그림 10. E-Ink사의 TRM

III. 산업동향

□ 전자종이 산업의 성장 전망

- Nikkei Electronics Asia(2001년 9월)에 게재된 기사(Market Growth Hooped for Organic EL, E-Paper Displays)에 의하면 2003년과 2004년에 각각 단색 및 칼라 전자종이의 시장진입이 이루어 진 후 2005년에 본격적인 전자종이 시장이 형성될 것으로 예측하였으며, 2010년에 대규모 시장이 형성될 것으로 전망.
- Display search(2003년 1월)에 의하면 2004년 1Q에 e-Book 시장이 형성되어 2005년 2Q에는 백만불을 넘어설 것으로 예측하고 있으며, 년 성장률이 300%에 달할 것으로 보고함(그림 11)

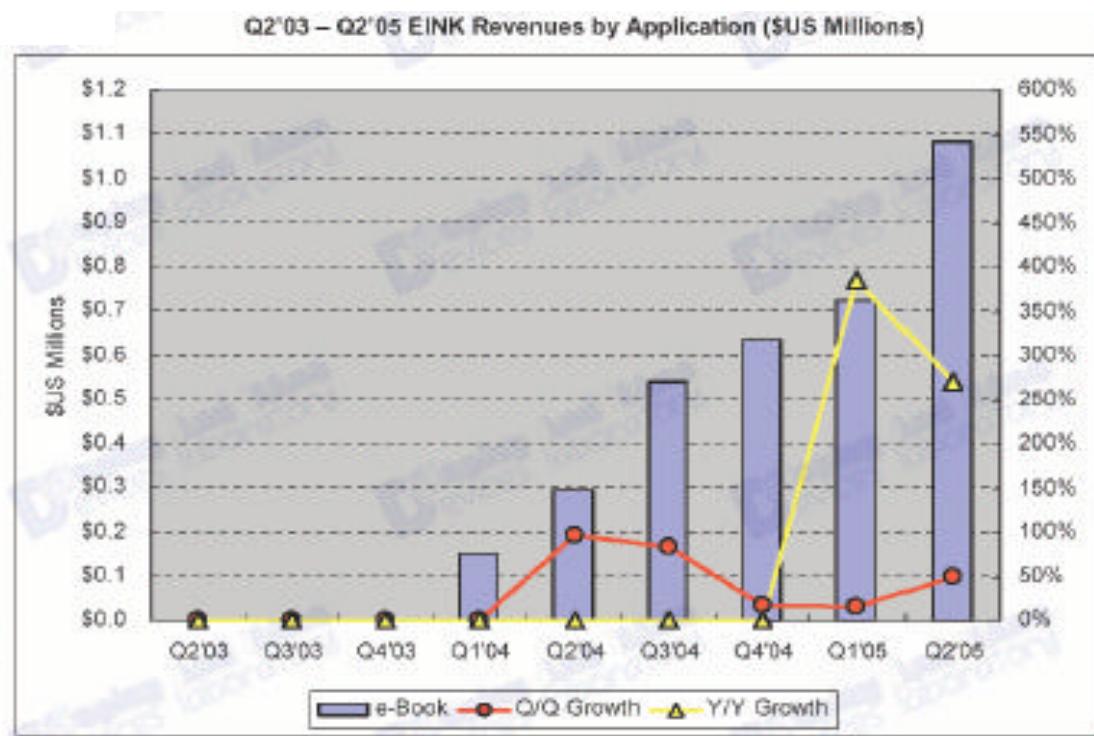


Table 4.28 Q2'03 – Q2'05 EINK Revenues by Application (\$US Millions)

| Application | Q2'03 | Q3'03 | Q4'03 | Q1'04 | Q2'04 | Q3'04 | Q4'04 | Q1'05 | Q2'05 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| e-Book | | | | \$0.2 | \$0.3 | \$0.5 | \$0.6 | \$0.7 | \$1.1 |
| Total | | | | \$0.2 | \$0.3 | \$0.5 | \$0.6 | \$0.7 | \$1.1 |
| Q/Q Growth | | | | 96% | 84% | 18% | 14% | 14% | 49% |
| Y/Y Growth | | | | | | | | 364% | 269% |

그림 11. e-Book의 시장형성 및 판매액 추이

□ 전자종이 산업의 장점 및 위험성

- 전자종이의 시장형성에 유리한 점
 - High quality: 기존 반사형 LCD에 비해 시야각, resolution이 우수하고 백라이트(back light)가 필요하지 않으며, 종이와 유사한 콘트라스트(contrast)를 나타냄
 - Low cost: 재료 및 공정이 간단하고, roll process에 의한 대량 생산이 용이하여 저가로 제조할 수 있음
 - Low power consumption: 쌍안정성의 특성으로 인해 고정된 문자나

pattern을 구현할 때 초기에만 전력이 필요하며, 새로운 화면으로 전환하기 전까지는 추가적인 전력소모가 없음

- Lightweight product: 저전력 소모로 인해 bulky한 power supply가 필요 없으며, 또한 back light와 같은 부품이 필요 없으므로 경량화가 용이함
- Flexibility: 이미지 구현에 핵심요소가 되는 잉크가 구부림에 대한 영향이 거의 없으므로 flexibility 구현에 용이하며, 반면 기존의 LCD, OLED는 구부림에 의해 화상의 일그러짐 등의 문제가 있음. 오히려 flexibility 구현에 문제가 것은 안정성 있는 plastic circuit의 제조가 관건임
- Bistability: 쌍안정성은 종래 LCD, PDP, OLED 등에서는 구현할 수 없는 전자종이만의 독특한 특성으로서 저 소비전력 구현에 용이함
 - 전자종이 산업의 위협요소
 - Module maker의 부재: Philips Component가 E-Ink사와의 협력이 이루어지고 있는 상황이나, 기타 다른 모듈업체는 전자종이의 기술성과 시장성에 대해 방관하는 자세를 취하고 있음
 - Lifetime: 전자종이의 수명이 현재 10,000 ~ 20,000 시간으로 추정하고 있으며, 이는 PC(personal computer) 모니터의 100,000 시간에 비해 부족한 상황임
 - Battery: 전자종이가 종래 디스플레이보다 가볍고 소모전력이 낮은 상황이지만 power supply가 완전히 불필요한 상황은 아님. 이러한 battery의 장착은 전자종이가 추구하는 flexibility를 구현하는데 제약요소임
 - 소비자의 반응: 2000여년 동안 지배해온 종래의 종이보다 전자종이를 선호할 것인가에 대한 확실성이 없으며, 전자종이 산업이 발전하기 위해서는 핵심 응용분야의 탐색이 필요함

□ 전자종이 산업의 국내 현황

- KIST와 ETRI는 캡슐형 전기영동 디스플레이 개발연구를 수행하여 다수의 신규 특허를 출원하였고 단색 시제품 제작에 성공하였으며, 유기박막 트랜지스터에 의한 구동을 위해 연구개발 중임
- 삼성전자는 E-Ink사의 electrophoretic film을 공급받아 amorphous silicon TFT상에 lamination 시켜 5", 7" 단색 전자종이를 유리기판상에 제조함
- 경북대학교, 한양대학교 등 학계에서도 전자종이와 관련된 연구개발이 진행되고 있음
- 완전한 flexibility 구현에 필요한 유기반도체 관련 연구는 삼성전자, ETRI, KIST 등지에서 연구되고 있음

< 참고자료 및 문헌 >

1. Ruth Wilson, "Displaying Digital Information on Paper-like Devices", Jan. 2003.
2. Tsuneyuki Miyake, Naoki Tanaka, and Hiroshi Asakura, "Next-Generation Innovative Devices", Nikkei Electronics Asia, Feb. 2, 2004(Tokyo).
3. 박이순, 한윤수, KETI 기술기획실, "E-Paper 산업동향", KETI 전자정보센터 기획리포트, 2004.
4. 서경도, "Digital Paper 디스플레이 기술"(한양대학교).
5. 서경수, 이용의, "전자종이(Electronic Paper) 기술개발 동향"(한국전자통신연구원).
6. <http://www.gyriconmedia.com/>
7. <http://www.eink.com/index.html>
8. <http://www.lucent.com/pressroom/epaper.html>
9. <http://polymervision.nl/>
10. N. Tanaka. "Market growth hoped for organic EL, e-paper displays". *AsiaBizTech*, 2001.
(http://www.asiabiztech.com/nea/200109/peri_139989.html)
11. Kahori Horiuchi, "Development of E-Paper Underway", Nikkei Electronics Asia, Feb. 24, 2003(Tokyo).
12. 차세대 디스플레이 시장·기술 예측보고서, 전략기술경영 연구원.
13. 주병권, "Flat Panel Display 기술분석; LCD, PDP, OLED, FED, e-Paper". (<http://idml.kist.re.kr/Teams/diana/>)