

전자종이시대가 다가온다

종이처럼 접을 수 있는 랩탑 컴퓨터용 디스플레이를 비롯하여 한번 설치하면 내용을 마음대로 바꿀 수 있는 간판과 단 한권으로 미국 국회도서관의 책의 내용을 전부 수용할 수 있는 전자책에 이르기까지 새로운 전자기술혁명을 가져올 전자종이시대가 코 앞으로 다가오고 있다. 2001년 9월 17일 미국 매서추세츠주 워번시에 완공된 미국 E 잉크사의 전자종이용 트랜지스터공장은 내년부터 제품을 양산하기 시작한다.

玄 源 福 <과학저널리스트/본지 편집위원>

치열한 경쟁

‘종이 없는 사무실’을 표방하는 정보기술혁명시대로 들어간 뒤 10여년의 세월이 흘렀으나 사람들은 아직도 종이에 묶여있다. 그것은 종이가 엄청나게 많은 장점을 지니고 있기 때문이다. 종이는 싸고 융통성이 많고 가볍고 접을 수 있을 뿐 아니라 쉽게 들고 다닐 수 있다. 특히 높고 고른 반사율을 갖고 있어 넓은 범위의 각도에서 글을 읽을 수 있다. 책이나 잡지를 선반에 꽂아 두면 몇해 동안이라도 보존할 수 있고 배터리가 필요없다. 그래서 세계 종이 사용량은 연간 2억8천만톤에 이른다.

이에 비하면 데스크탑 컴퓨터의 모니터는 스스로 새로운 정보로 갱신하고 비디오까지 보여 줄 수 있으나 브라운관은 많은 전력을 요구하고 부서지기 쉬울 뿐 아니라 들고 다니기가 쉽지 않다. 또 창문 가리개를 열면 스크린이 흐려져서 햇빛을 막 바로 받으면 글을 읽을 수 없다. 최신형 랩탑 컴퓨터의 액정 스크린은 가볍기는 하지만 어려운 점이 있다. 액정 디스플레이는 브라운관보다 값이 훨씬 비싸기 때문이다. 계산기, 이동전화 그리고 정보단말기(PDA)에 사용되는 값이 싼 흑백 액정 디스플레이도 햇빛 아래서 읽기는 쉽지만 똑같은 흠이 있다.

지난 20년간 컴퓨터 디스플레이의 단점을 보완하는 연구를 해오던 과학자들은 종이와 경쟁할 수 있는 일종의 ‘전자종이’ 개발을 착상하게 되었다. 이 전자종이는 종이의 반사적인 성질을 갖추되 전자적으로 정보를 갱신할 수 있는 기능을 갖는다는 것이다. 이런 과학의 환상은 마침내 현실로 다가서고 있다. 현재 적어도 4개의 기업들이

전자종이 기술을 개척하고 있고 이미 여러 발전단계에서 원형개발을 마쳤다.

구텐베르크가 활판인쇄술을 발명한 이래 5백년의 책 기술에 최초의 혁명적인 변화를 가져올 것으로 기대되는 전자종이 개발에는 제록스사의 팔로알토연구센터를 비롯하여 MIT 미디어연구소, 루슨트 테크놀로지, IBM 리서치, 네덜란드의 필립스사 그리고 일본의 동판인쇄 등 세계 정상을 달리고 있는 연구소와 기업들이 참여하고 있다. 특히 제록스사의 팔로알토연구센터와 MIT 미디어연구소의 자회사들은 치열한 개발경쟁을 벌이면서 2005년에는 전자종이를 상업 생산할 것을 목표로 하고 있다. 2001년 9월 17일 미국 매서추세츠주 워번시에서 3천여평 규모의 유통성 마이크로전자제품 생산공장의 문을 연 E-잉크회사(MIT 미디어연구소에서 파생한 기업)는 2002년 종이 같은 디스플레이의 원형을 생산할 예정이다.

방대한 새 시장

이들이 전자종이에 뜨거운 관심을 보이는 이유는 이 새로운 기술이 광범위한 분야에 인류문화에 심대한 영향을 미칠 잠재력을 갖고 있을 뿐 아니라 경제적인 측면에서도 방대한 새로운 시장을 창출할 수 있다는 점이다. 오늘날의 랩탑 컴퓨터의 값이면 수천 또는 수만권의 책을 수용한 전자 책을 손에 넣을 수 있어 이런 책 한권을 가지면 도서관을 손에 넣은 것이나 다름없게 된다. 또 자주 내용을 바꿔야 할 간판이나 표시판에 전자종이 기술을 응용하면 방대한 새 시장을 창출할 수 있다. 예컨대 미국에서는

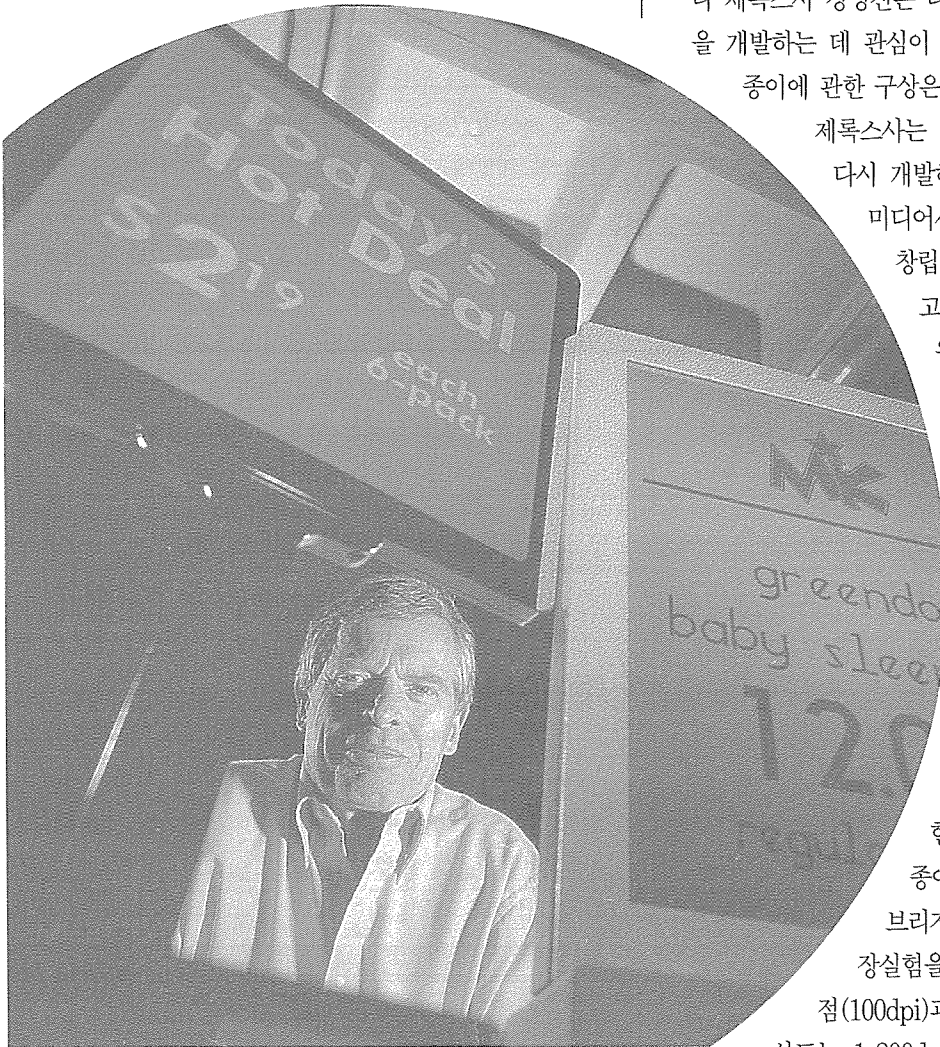
슈퍼마켓이나 백화점의 진열대에 상품의 최신가격을 표시해야 하는데 숫자가 잘못 표시되었을 경우 법에 따라 고액의 벌금을 물어야 한다. 미국의 대표적인 백화점의 하나인 메이시백화점 체인들은 이런 상점 내부표시를 바꾸는데만도 매주 25만달러의 비용이 든다. 그러나 전자종이 기술을 사용하면 한번 표시판을 설치하면 표시되는 내용은 필요할 때마다 간단히 바꿀 수 있다. 전문가들은 미국의 전자종이 표시판 시장의 규모를 1백40억달러로 어렵하고 있다.

전자종이의 역사는 1970년대 초로 거슬러 올라간다. 미국 캘리포니아주 제록스사의 팔로알토연구센터의 니콜라스 세리돈은 컴퓨터 디스플레이의 희미한 화면의 밝기를

종이의 특성만큼 끌어올릴 수 있는 디스플레이 재료를 찾기 시작했다. 그는 마침내 융통성이 있는 투명한 필름에 사람의 머리털 폭의 작은 플라스틱 구슬들을 묻는 디스플레이 매체를 기본구상으로 내놓았다. 구슬마다 반쪽은 흰 빛 그리고 다른 반쪽은 까만 색깔 등 2가지 색을 갖고 반쪽은 서로 반대되는 전하(電荷)를 지닌다. 그리고 투명한 표면에 적절한 전기장을 걸어주면 구슬은 회전하여 하얀 또는 까만 반점을 고정시킬 수 있다. 이 전자종이는 각각 지름이 50~100미크론 정도의 수백만개의 구슬로 구성된 투명 샌드위치로 되어 있고 보통 종이 다섯장 정도의 두께를 갖는다. 세리돈은 자기의 발명을 '회전하는 영상'이라는 뜻을 가진 그리스어의 '지리콘'이라고 불렀다. 그러나 제록스사 경영진은 디스플레이보다는 새로운 인쇄기술을 개발하는 데 관심이 더 많았기 때문에 세리돈의 전자종이에 관한 구상은 15년간 접어 두어야 했다.

제록스사는 2000년 12월 마침내 전자종이를 다시 개발하기로 결정하고 팔로알토 지리콘 미디어사라는 이름의 독립된 벤처기업을 창립했다. 2001년 3월 이 기업은 시카고에서 열린 소매상용 디스플레이를 위한 글로벌샵 무역전람회에서 처음으로 전자종이의 생산을 발표했다. 지리콘 미디어사의 연구 부장이 된 세리돈은 전람회가 열린 맥코맥 플레이스에서 11x14인치 크기의 전자종이 패널(값은 89.99달러)을 전시했다. 세리돈이 전자종이를 착상한 뒤 거의 30년만에 마침내 빛을 보게 된 것이다.

'스마트 페이퍼'라는 이름으로 현재 시판되고 있는 이 원형 전자종이는 2001년 상반기 중 뉴저지주 브리지워터 소재 메이시백화점에서 현장실험을 거쳤는데 해상도는 인치당 100점(100dpi)과 맞먹는 것이었다(보통잡지의 해상도는 1,200dpi). 그러나 융통성이 없는 전극을 사용하기 때문에 이 원형 전자종이는 널빤지처럼 뻗뻗



니콜라스 세리돈이 착상한 뒤 30년 만에 실현한 전자디스플레이 '스마트 페이퍼'의 가능성을 시범하고 있다.



하다. 세리돈은 2002년에는 무선망을 통해 표시된 내용을 쉽게 갱신할 수 있는 같은 크기의 표시판을 시판할 계획이다.

전기이동식 종이

한편 디지털종이시장에서 다른 하나의 강력한 경쟁자는 시발점부터 스스로 인쇄할 수 있는 진품종이 개발을 겨냥했다. 1995년 스탠포드대학에서 물리학 박사학위 취득 후 연구원으로 있던 조셉 제이콥슨은 매우 흥미있는 문제를 다루고 있었다. 그는 책 등의 실리콘 메모리 속에 저장한 '리어왕'이나 '일반상대성원리'나 또는 수백권의 다른 저작물의 텍스트(본문)를 보여주되 전자적으로 내용물을 언제든지 바꿀 수 있는 완전한 지면들을 가진 책을 구상하고 있었던 것이다. 그는 영상기술로서 전자이동방법에 눈을 돌렸다. 그는 색소를 지닌 구슬 대신 푸른 액체염료와 흰 입자를 내포한 투명한 폴리머 마이크로캡슐을 사용했다. 플러스(-)전하의 백색 이산화티타늄 입자가 마이크로캡슐의 보이는 쪽에 있을 때는 흰 페이지를 만들지만 캡슐 아래쪽 전극의 마이너스(-)전하가 이 입자들을 다른 쪽으로 끌고 가서 잉크 같은 영상을 만든다. 이 과정을 역행하면 까만 바탕에 흰 글자를 만들어 낸다. 마이크로캡슐은 잉크처럼 종이나 또는 전극을 가진 재료 위에 프린트할 수 있다. 제이콥슨은 이것을 '전자이동 잉크' 또는 'E-잉크'라고 불렀다.

전자잉크는 보통잉크가 인쇄할 수 있는 것과 같은 재료에 적용할 수 있고 전자책 페이지는 일종의 초박(超薄) 플라스틱으로 만든다. 전자잉크는 페이지 전체에 걸쳐 있는데 페이지마다 마치 그래픽 종이를 구성하는 작은 네모꼴 칸들과 닮은 여러 개의 칸으로 구성된다. 이 칸들은 컴퓨터 스크린의 화소(畫素)처럼 칸마다 플라스틱 판 속에 묻어둔 마이크로전자장치와 연결되어 있어 마이크로캡슐에 플러스(+)와 마이너스(-)의 전하를 걸어주면 소망하는 글이나 영상을 만들 수 있다.

1995년 매사추세츠(MIT) 미디어연구소 조교수로 임명된 제이콥슨은 J.D. 엘버트, 바렛 코미스키 등 두사람의 대학생과 함께 연구를 계속했다. 1997년에 이 세사람은 하버드 경영대학원 졸업생인 러셀 J. 윌카스와 함께 E-잉크회사를 창업했다. 미국 매사추세츠공대(MIT) 미디어랩

에서 파생한 기업인 'E-잉크회사'는 얼마 뒤 모터콜라와 허스트사를 포함한 기업투자와 벤처자본과 미 국방부 첨단연구사업국(DARPA)의 연구개발지원금을 끌어 들였다. 알갱이마다 100미크론(사람의 머리털의 두께이며 1미크론은 1백만분의 1m) 크기의 캡슐은 위에서 볼 때는 까맣다. 그러나 이 캡슐은 흰 색소의 플러스(+)전하의 입자를 내포하고 있기 때문에 이것이 캡슐의 위쪽으로 이동하면 흰색으로 변한다. 그 결과 종이와 맞먹는 콘트라스트(대조도)를 가진 얇고 융통성 있는 디스플레이가 된다.

1999년 E-잉크사는 이 기술을 사용한 최초의 상점간판을 선보였다. '이미디어'라는 상표로 내놓은 이 고정간판은 6×4피트 크기로서 까만 바탕에 대형 백색 이텔릭체를 보여주었는데 해상도는 2dpi(인치당 점의 수)이었다. 보호용 스폰지 등받이를 가진 이 간판은 두께가 5mm에 불과하다. 최근 이 기업은 200dpi의 해상도를 가진 디스플레이를 만들었다고 주장하고 있다. 그런데 컴퓨터 모니터의 해상도는 70dpi이며 오늘날 대부분의 레이저프린터는 600dpi의 해상도를 제공한다. 44×15인치 크기의 이미지 디스플레이는 진짜 종이처럼 햇빛 아래서 높은 콘트라스트와 넓은 시각을 제공한다. 이 디스플레이는 또 전력 소비가 매우 적어 1천개의 디스플레이가 사용하는 에너지는 1개의 표준 전등이 사용하는 양 보다 적다. E-잉크사는 충전연색도 가능하다고 말하고 있다.

E-잉크사의 디스플레이는 그동안 J.C. 페니 백화점, 애커드약국에서 샌드위치 광고판(샌드위치 맨이 등과 가슴에 늘어뜨려 다는 광고판) 그리고 애리조나 리퍼블릭 신문 등 미국에서 실험을 했다. 인터넷기업인 야후도 전자잉크를 사용하는 샌드위치 광고판을 만들어 뉴욕 맨해튼 보도에서 전시했다. 특히 신문의 실험은 인터넷을 통해 제어된 쌍방향 내장 페이지(PDA: 무선호출 수신기)를 사용하여 애리조나주 피닉스 주변의 여러 장소에 설치된 전자글자판에 뉴스를 실을 수 있다는 것을 실증했다. 한편 이 기업은 적외선 연결장치를 개발함으로써 이 디스플레이는 PDA를 사용하여 정보를 최신의 것으로 갱신할 수 있다.

소매혁명을 부추겨

E-잉크사는 이런 실험을 바탕으로 소매혁명이 일어날

것을 기대하고 있다. 이미디어 전자종이보드는 소매상들이 고객들과 통신하는 방법을 바꿈으로써 상점은 더 많은 상품을 팔거나 더 많은 거래를 할 수 있게 된다. E-잉크사는 미국의 구매시점(PoP: 어떤 상품을 판매촉진하기 위해 소매점의 가게 앞이나 가게 안에 게시되는 디스플레이)광고시장의 규모가 연간 1백30억달러에 이르나 그 중에서 4분의 1은 상점포시장치가 차지하고 있다. 이미디어 디스플레이는 새로운 내용이 필요할 때마다 새로 설계, 인쇄, 우송 및 전시할 필요가 없으며 필요할 때마다 내용을 재(再) 프로그램을 하면 된다. 편의점들은 이미디어 전자종이보드를 이용하여 고객들이 아침 일찍이 우유, 시리얼, 오렌지 주스를, 그리고 저녁에는 꽃과 초콜릿을 가져갈 것을 일깨워 줄 수 있다.

현재 이미디어 보드는 매월 60~80달러로 임대하거나 1천달러로 구입할 수 있다. E-잉크사는 2002년 상점 창문용으로 사용할 바래지 않는 이미디어 디스플레이를 생산하여 야외간판과 게시판을 만들 계획이다. 이 기업은 또 책장을 한장씩 넘기듯 쉽게 많은 정보를 보여 줄 수 있는 전자책을 구상하고 있다. 이어서 무선방송을 통해 날마다 스스로 내용을 갱신하는 '영구적'인 신문을 개발할 계획이다.

2000년 6월 루슨트 테크놀로지사는 E-잉크사의 소(小)주주가 되는 대신 산하기업인 벨 연구센터에서 개발된 플라스틱 트랜지스터기술 사용권을 E-잉크사에 제공했다. 같은 해 11월 이 두 회사는 최초의 구부릴 수 있는 256 픽셀(畫素)의 전자잉크 디스플레이를 만들어 시범했다. 컴퓨터 마우스 두께를 가진 5×5인치 크기의 이 디스플레이는 전기이동잉크의 플라스틱 트랜지스터 그리드가 글과 영상을 형성하는 데 필요한 전기장을 만들 수 있다는 것을 실증했다. 이 플라스틱 트랜지스터는 거대 유기분자로 구성된 'F-15'로 알려진 물질로 구성되어 있다. F-15의 긴 유기분자는 종래의 실리콘 반도체처럼 전자의 뛰어난 운반체지만 융통성이 좋고 투명해서 직물이나 종이를 포함한 여러 종류의 물질로 된 표면에 인쇄할 수 있다.

한편 네덜란드 필립스전자회사의 자회사인 필립스 부품회사는 2001년 2월 E-잉크사에 7백50만달러를 투자하는 대신 휴대정보단말(PDA)과 전자책용으로 E-잉크 기술을 사용한 디스플레이 모듈 제작 및 판매에 관한 세계독점권

을 상당기간 확보하게 되었다. 이 전자종이는 액정(LCD)스크린의 전력수요의 1백분의 1밖에 사용하지 않아 필립스사는 앞으로 2년 내에 출하될 휴대용 전자장치의 배터리 수명에서 유리한 고지를 점하게 되었다.

2001년 4월에는 E-잉크와 유대회사인 IBM 리서치는 최초의 고해상도를 가진 액티브 매트릭스 전자잉크디스플레이를 발표했다. 이것은 전형적인 랩탑 컴퓨터 스크린과 같은 83dpi와 비슷한 해상도를 가진 12.1인치 대각선 스크린이다. IBM 전자제품회사의 요청에 따라 E-잉크사 연구자들은 마이크로캡슐이 종래 보다 10배나 빨리 색깔을 바꿀 수 있게 만들었다. 2001년 5월 E-잉크사와 일본의 홋판 인쇄회사는 원형 컬러 전자잉크 디스플레이를 내놓았다. 현재 표준 액정디스플레이에 널리 쓰이고 있는 홋판회사의 컬러 필터 판을 사용하여 이 시범용 스크린은 8가지 색깔을 보여 주었다. E-잉크사는 이 기술을 사용하여 휴대용 컴퓨터와 게임 스크린과 맞먹는 여러 색을 보여줄 수 있는 디스플레이를 만들 수 있을 것으로 기대하고 있다.

E-잉크사의 최종목표인 '무선종이'는 무선 데이터망을 통해 모습을 바꿀 수 있는 고(高) 해상 컬러능력을 가진 융통성 디지털종이가 될 것이며 무선종이는 2005년에 상업생산에 들어갈 것으로 보인다. E-잉크는 또 유기기의 광발산 다이오드와 경쟁하게 될 것이다. E-잉크와 루슨트사가 융통성 디스플레이에 사용하고 있는 플라스틱과 비슷한 카본 화합물은 융통성이 있고 비교적 에너지효과가 있는 광 발산 반도체를 만들 수 있다. 이스트만 코닥, IBM 그리고 이밖의 풍부한 자금을 보유한 기업들도 머지 않아 쓸모있는 이 전자종이 제품을 내놓을 것으로 보인다.

전자잉크의 이런저런 장점을 이용하면 장차 보통 종이에다 잉크로 무선호출 수신기의 회로를 인쇄할 수 있을 것이다. 이런 종이의 쪽들을 책으로 묶고 책의 등 속에 마이크로프로세서, 메모리칩 그리고 배터리를 수용할 수 있다. 그래서 실상 감각적으로도 진짜 책처럼 보이고 느껴지는 한편의 전자책에는 수백 또는 수천권의 책을 저장할 수 있다.

최후의 책

제이콥슨의 E-잉크에 대한 장기 전망에는 처음부터 이

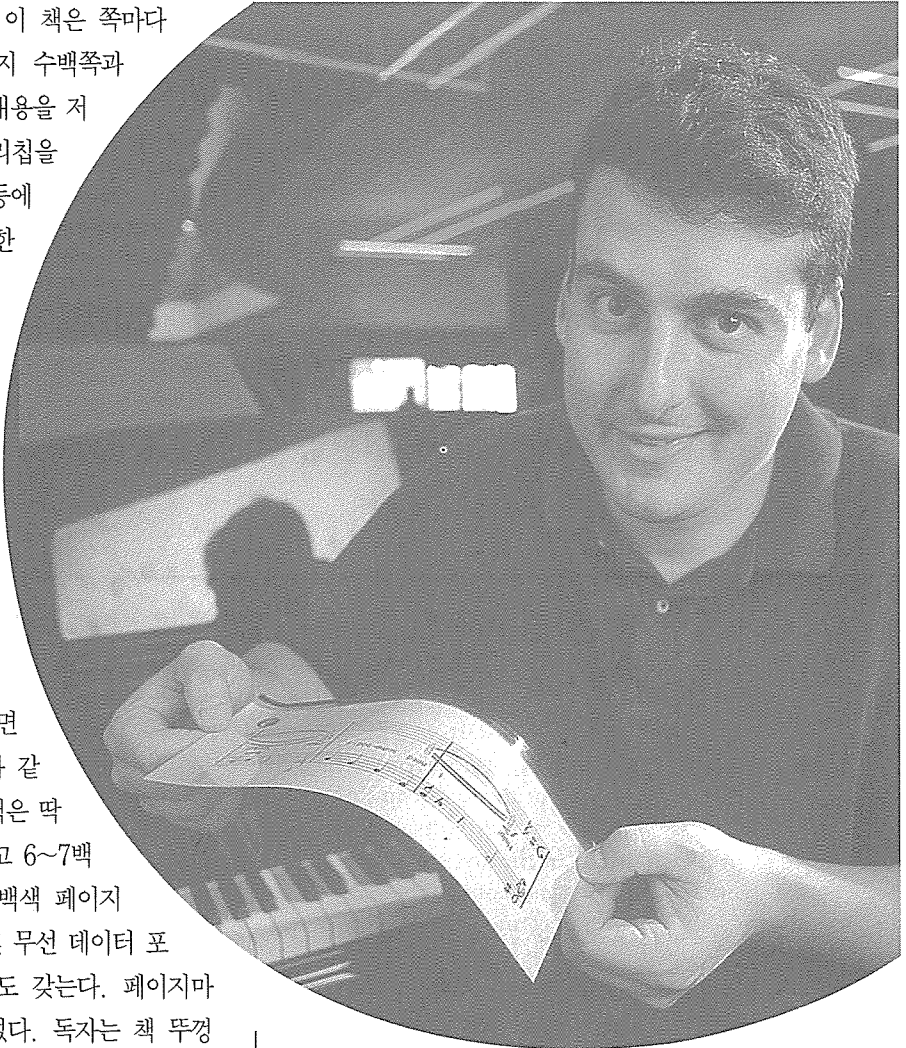


큰바 '최후의 책'이 포함되어 있다. 이 책은 쪽마다 인쇄된 독립 프로세서를 가진 인쇄지 수백쪽과 미 국회도서관이 소장한 책의 전체 내용을 저장하는 데 충분한 용량을 가진 메모리칩을 딱딱한 표지로 장정한 하드카버 책 등에 수용하게 된다. 그런데 전자종이의 한 쪽만 가지고도 기사, 그래픽 또는 심지어 비디오를 저장한 페이지를 복제할 수 있는데 그 많은 쪽을 함께 책으로 묶으려고 애쓰는 이유는 무엇일까? 제이콥슨에 따르면 한가지 이유는 독자의 공간적인 기억과 관계가 있기 때문이다. 독자들은 책장을 한장 한장 넘기면서 특정한 구절이나 삽화를 보다 쉽게 찾을 수 있다.

전자종이 연구자들의 예측에 따르면 미래의 책이 외견상으로는 보통 책과 같아질 것으로 보고있다. 미래의 전자책은 딱딱한 표지로 장정되고 책의 등 그리고 6~7백 쪽의 융통성 있는(구부릴 수 있는) 백색 페이지로 구성된다. 이 책의 등에는 전자 및 무선 데이터 포트가 채워지고 스타일러스(전자 펜)도 갖는다. 페이지마다 일종의 전자 디스플레이나 다름없다. 독자는 책 뚜껑을 열면 제목과 저자 또는 부제의 순서로 정리된 수용작품 리스트와 만나게 된다. 이 책이 실현되는 것은 앞으로 10년 이상 장래의 일이므로 그동안 전자공학의 발전을 통해 데이터저장장치는 더욱 축소되어 단 한편의 책 등에 수백권 심지어는 1천권의 소설을 수용할 수 있고 데이터 포트를 통해 내리받을 수 있다.

독자는 '찰스 다윈'이라는 이름을 가볍게 두드리면 '비글호의 여행'에서 '종의 기원'에 이르기까지 다윈의 온갖 작품 리스트를 보여준다. 독자가 스타일러스로 '종의 기원'을 선택하면 텍스트가 소리없이 책의 빈 페이지로 미끄러지듯 흘러 들어간다. 스타일러스로 각주(脚注)를 가볍게 두드리면 지시한 대로 적절한 글이 페이지 바닥 쪽 원도우에 나타난다.

물론 이 중의 일부는 재래식 전자책으로도 가능하다. 그



MIT의 조셉 제이콥슨이 스스로 인쇄하는 전자종이를 보여주고 있다.

러나 반사식 전자종이는 배광식 컴퓨터 디스플레이보다 훨씬 읽기 쉽다. 가장 조잡한 원형모델도 대부분의 컴퓨터 모니터보다 더 큰 각도와 더 밝은 햇빛에서도 읽기 쉽게 만들었다. 더욱이 전자종이는 비교적 값이 비싸지 않기 때문에 2백~3백장의 부피를 가진 책은 대부분의 랩탑 스크린의 값보다 헐해질 수 있다.

신문의 경우도 전자종이의 등장으로 외견상 별로 달라질 것은 없으나 기능은 크게 바뀐다. IBM 디자이너인 로버트 스타인버글러는 '내일의 신문' 모형으로 미국 산업디자인협회로부터 1999년 산업디자인 우수상을 수상했다. 이 모형은 전자페이지 보다 약간 크지만 딱딱한 패드와

알루미늄 책 등을 가진 페이지를 제외하면 얇은 두께의 뉴욕타임스 신문처럼 보였다. 스타인버글러의 설계에 따르면 전자신문은 책 등과 패드는 배터리, 데이터포트 그리고 수백부의 신문을 저장할 충분한 메모리를 갖고 있다. 미래의 독자들은 뒤죽박죽이 된 진짜 신문의 기사를 수록한 페이지를 뒤져 볼 수도 있겠으나 전자종이 신문을 사용하면 버튼을 눌러 정치난(欄)에서 문화난으로 또는 경제난에서 과학난으로 마음대로 옮겨서 읽을 수 있고 엄지손가락을 눌러 뉴스를 페이지에서 사라지게 하고 스포츠기사로 바꿔칠 수 있다.

전자잉크는 벽, 게시판, 제품 라벨 그리고 T-셔츠를 포

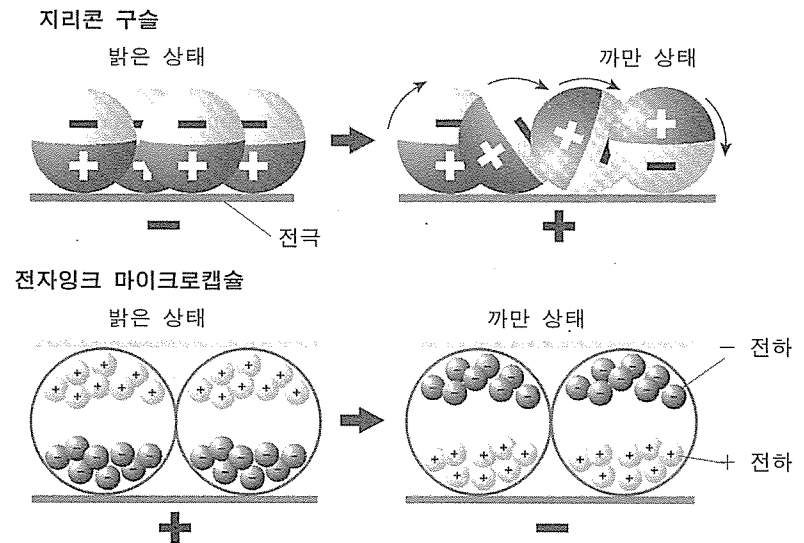
함하여 어떤 표면에도 인쇄할 수 있다. 집주인은 벽에 인쇄된 전자잉크에 신호를 보내 디지털 벽지를 금방 바꿀 수 있는 날도 멀지 않았다. 전자잉크는 융통성이 있기 때문에 전자장치용의 두루마리 디스플레이도 개발할 수 있다.

그러나 전자잉크 개발자들은 전자종이 제품이 시장에 출하되는 순간 모든 종이를 버리거나 컴퓨터 모니터를 포기할 것으로는 보지 않는다. 대신 전자잉크는 처음에는 종래의 종이와 디스플레이 기술과 공존할 것으로 생각하고 있다. 장기적으로 전망할 때 전자잉크는 미래의 출판계에 엄청난 영향을 미칠 것으로 보인다. ⑤7

전자종이는 어떻게 작동할까?

지리곤은 하나 하나가 사람의 머리털 지름보다 작은 플라스틱 구슬 수천개를 심은 투명한 실리콘-고무판으로 되어있다(위의 그림). 구슬은 각각 매우 작은 정전기 전하를 가진 까만 반쪽과 전기적으로는 중립인 하얀 반쪽을 갖고 있다. 만약에 전기마당이 공 근처로 오면 까만 반쪽을 끌어들이거나 물리쳐서 공을 회전시킨다. 이때 하얀 반쪽이 고무판 위쪽으로 움직여서 멈춘다면 보는 사람은 흰 반점을 보게되고 까만 반쪽이 보는 사람 쪽을 향하면 반점은 까맣게 된다.

한편 전자잉크의 주요한 구성요소는 사람의 머리털 지름 정도의 작은 마이크로캡슐 수백만개로 되어있다(옆 그림). 마이크로캡슐마다 투명한 액체에 떠있는 플러스(+)전하의 하얀 입자들과 마이너스(-)전하의 까만 입



자들을 내포하고 있다. 마이너스 전기마당을 걸어주면 하얀 입자들은 마이크로캡슐의 꼭대기로 이동하여 사용자가 볼 수 있다. 이때 표면은 흰색이 된다. 동시에 이와 반대되는 전

기마당은 흑색입자들을 마이크로캡슐의 바닥으로 끌어내려 감춰 버린다. 이와 반대과정을 겪으면 까만 입들은 캡슐의 꼭대기에 나타나서 표면이 까맣게 보인다. ⑤7