

## 차세대 마이크로 디스플레이 기술



주병권

KIST 정보재료 소자연구센터 선임연구원



오명환

KIST 정보재료 소자연구센터 책임연구원

### 1. 마이크로 디스플레이 개요

#### 1.1 정의

마이크로 디스플레이는 말 그대로 광학계를 통하여 보는 매우 작은 디스플레이이다. 일정한 규격이 정해져 있는 것은 아니지만 일반적으로 대각선 길이가

1인치 이하인 디스플레이를 일컫는다(그림 1a 참조). 아울러 픽셀 수가 10만 개에서 100만 개 이상에 이르므로 영상이 인간의 눈에 도달하기 위해서는 광학 시스템과 결합되어야 한다(그림 1b 참조). 마이크로 디스플레이의 접근 방식에는 두 종류가 있다. 개인용 표시기의 경우 소형 시스템 내에서 광학계를 이용하여 실제 화면보다 매우 큰 영상(가상 영상)을 제공하며 HMD(head-mounted display)나 휴대

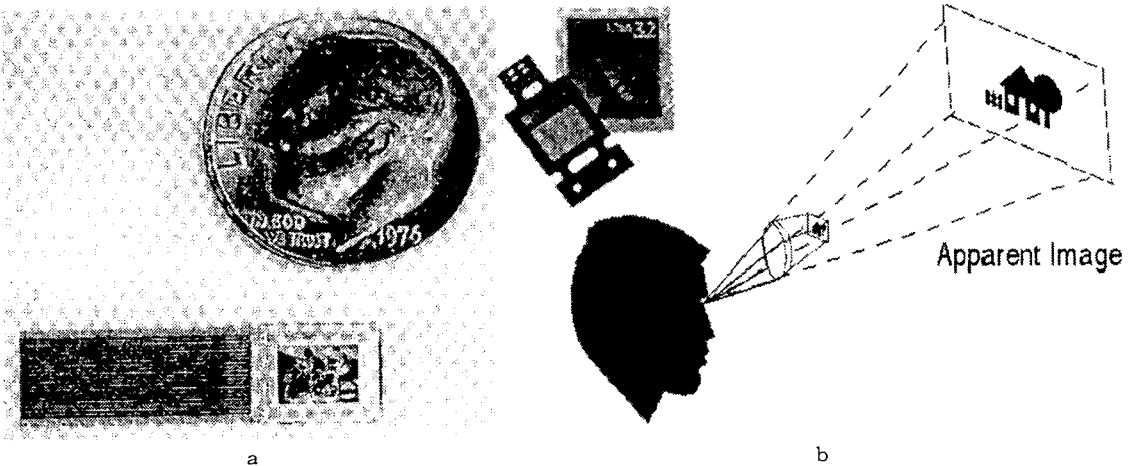


그림 1. 마이크로 디스플레이 모양 (a) 및 관찰 방식의 일례 (b) (Kopin Corp.)

용 표시기에 적용된다. 투사형 표시기의 경우, 다수의 사용자를 위해 작은 영상을 대형 스크린 상에 확대하도록 설계되어 있다.

마이크로 디스플레이의 또 다른 특징은 일반 직시형 평판 표시기들처럼 유리 기판 위에 제작되기 보다는 실리콘(혹은 석영) 기판 위에 제작된다는 데에 있다. 이러한 특징으로 인해 유리 기판의 크기가 커짐에 따라 생산 시설이 보완, 증설되어야 하는 부담이 없으며, 디스플레이 개발자와 반도체 시설 사용자간의 유연성 있는 기술 교류를 통해 기존의 반도체 라인을 이용하여 생산될 수 있다.

### 1.2 개발 동기

마이크로 디스플레이를 개발하고자 하는 시도는 기존의 직시형 평판 표시기의 크기, 픽셀 수 등이 증가하면서 발생하는 문제점들(가격, 부피 등)을 해결하고자 하는 노력에서 비롯되었다. 마이크로 디스플레이가 지니고 있는 두 가지 핵심적인 특징은 픽셀 수를 증가시켜 높은 분해능을 얻을 수 있으며 소형경량이 가능하다는 점이다. 픽셀 수를 증가시킬 경우 작은 영역 내에서 고정세 영상을 얻을 수 있어 HDTV 프로젝터나 고품질 휴대용 기기에 적합하고, 크기를 줄일 경우 광학계의 크기 등도 줄일 수 있을 뿐만 아니라 구동 전력도 감소하여 여러 응용 면에서 유리한 점이 있다. 이와 함께 시스템 집적화를 이룰 경우, 개구율을 증가시킬 수 있고, 속도가 빠르고 신뢰성이 있고 소비 전력이 적으며 가격이 낮은 시스템을 얻을 수 있다. 이러한 특징들을 바탕으로 휴대용이면서도 정보 제공력이 높은 새로운 디스플레이 기술(인체 부착형 및 착용 가능 시스템, 휴대용 정보 통신 매체 등)과 응용성을 구축할 수 있으며, 기존 제품들의 일부 대체도 가능할 것으로 판단된다.

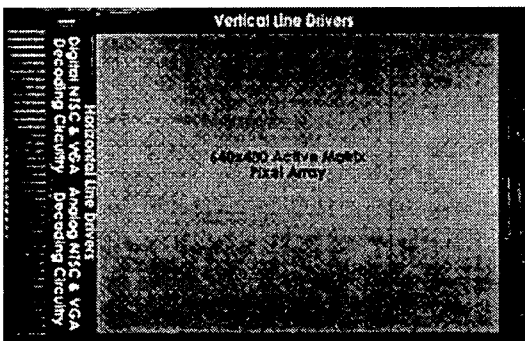


그림 2. 마이크로 디스플레이의 집적화 (MicroDisplay Corp.)

마이크로 디스플레이 시스템이 제공할 수 있는 장점들을 열거하여 보면, 먼저 전송한 바와 같이 적은 부피 내에 매우 많은 수의 픽셀을 집적화시켜 새로운 응용성을 도출할 수 있다는 점, 기존 표시기에서 이용하고 있는 회로들(중형형 구동기, 디지털 및 비디오 인터페이스, 제어회로 등)을 디스플레이 상에 집적화시켜 성능은 높이고 가격은 낮출 수 있다는 점들을 들 수 있다(그림 2 참조).

## 2. 마이크로 디스플레이 기술

직시형 평판 표시기와 마찬가지로 마이크로 디스플레이도 동작 방식에 따라 세 종류로 나눌 수 있다(그림 3 참조). 첫 번째로 반사형(reflective-type)의 경우 반사면의 특성을 변화시켜 가면서 외부로부터 입사된 광을 변조시키며, 투과형(transmissive-type)의 경우에는 입사광이 패널을 통과하면서 변조되는 방식을 채택하고 있다. 이와 함께 스스로 광을 생성하는 자체발광형(emissive-type)도 있다.

### 2.1 반사형 디스플레이

반사형 마이크로 디스플레이에는 초소형 정밀 기계(MEMS : microelectro-mechanical systems)를 이용한 것과 실리콘 상의 액정(LCOS : liquid crystal on silicon)을 이용한 것이 있다.

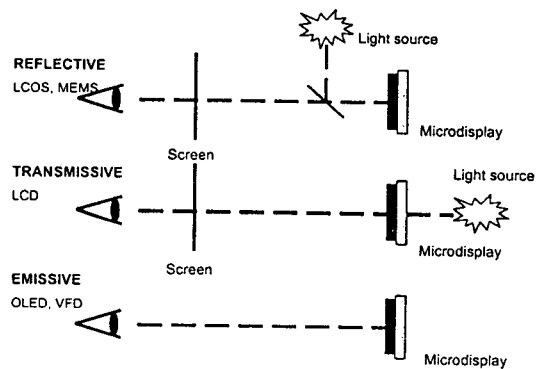


그림 3. 마이크로 디스플레이 기술의 분류

#### 2.1.1 MEMS형 디스플레이

MEMS 소자란 기계 및 전기적인 성분들로 구성된

소형 시스템을 말하며 반도체 기술로 제작된다. 이를 이용한 디스플레이는 각 요소들(픽셀이나 라인)을 기계적으로 움직여서 외부로부터 입사된 광의 크기와 위상을 변조하게 된다. 현재까지는 세 종류의 시스템들이 시연된 바 있으며 이들 중 하나가 생산되고 있다.

Texas Instruments(TI)에서는 digital micromirror device(DMDTM)을 개발, 생산하고 있으며, 여기에는 각 픽셀 내에 미러부와 CMOS(complimentary metal oxide semiconductor)부 등이 개별적으로 집적화 되어 있다. 각 미러의 크기는  $17 \mu\text{m} \times 17 \mu\text{m}$ 로 SRAM(static random access memory)과 힌지(경첩) 위에 설치되어 있으며, on-off의 2진 방식으로 구동한다. 1998년에  $800 \times 600$ , 그리고  $1,024 \times 768$  픽셀을 갖는 소자가 상용화되었으며, 1999년에는  $1,280 \times 1,024$  픽셀의 시제품이 발표되어 시장 진입을 눈앞에 두고 있다. DMD™ 칩에 구동부를 설치한 서브시스템이 digital light processing(DLP™) 엔진으로 이를 이용하여 다양한 종류의 프로젝션 시스템을 제작하려는 업체들에게 공급되고 있다.

Actuated mirror array(AMA)의 경우, 1990년대 초에 Aura Systems에 의해 개발되었으며 현재 대우 전자가 라이선스를 받아 thin-film micromirror array(AMA)로 발전시켰다. 이 소자는 개념이나 시스템 설계 등에서는 DMD™와 유사하지만 미러에 움직임을 주는 메커니즘으로 정전력 대신에 압전성을 이용하였다는 특징이 있다. 압전 재료는 인가 전압에 의해 수축하거나 팽창하며 각각의 미러들은 압전 재료로 이루어진 지지대 위에 올려져 있어 한 쪽이 수축하게 되면 다른 쪽은 팽창하는 원리로 미러를 기울이게 된다.

Grating light valve(GLV™)의 경우, Stanford Univ.에서 발명되어 Silicon Light Machines에 의해 개발되었는데, MEMS형 반사체 격자와 회로가 실리콘 기판 위에 집적되어 있다. 구조물은 일련의 실리콘 질화막 빔(리본)으로 구성되어 있으며 이 위에 반사도가 좋은 알루미늄 층이 코팅되어 있다. 리본의 기하학적 치수는 폭이  $3 \mu\text{m}$ , 길이가  $100 \mu\text{m}$ , 그리고 두께가  $100 \text{nm}$ 로, 양쪽 끝 부분이 지탱된 상태로  $650 \text{nm}$ 의 에어 갭을 두고 병렬 배치되어 있다. 알루미늄이 코팅된 리본과 하부의 전도층 간에 에어 갭을 사이에 두고 전위차가 생기면 리본이 아래로 당겨지는데, 움직임은 매우 빨라  $20 \text{ns}$  정도의 스위치 시간을 갖는다. GLV™ 프로젝션 시스템의 특징을 살펴보면 2차원적인 픽셀 어레이가

아닌 선형 어레이 구조로 영상을 주사하는데, 이러한 동작은 GLV™ 만의 빠른 스위칭 속도로 인해 가능하다. Silicon Light Machines은 R(red), G(green), 그리고 B(blue) 레이저 광원을 이용한 프로젝션 시스템을 시연한 바 있다. 3원색들이 각각  $1,080$  픽셀을 갖는 3개의 GLV™ 어레이들에 조사된 다음 미러로 주사되어  $1,920 \times 1,080$  픽셀들로 이루어진 영상을 구현하고 있다.

### 2.1.2 LCOS형 디스플레이

LCOS 마이크로 디스플레이는 액정의 광변조 특성을 이용한다는 점에서는 직시형 AMLCD(liquid crystal display)와 유사하다. AMLCD에서는 패널이 액정을 함유한 두 장의 유리판으로 이루어지며, 각각의 픽셀 내에 형성되어 있는 박막 트랜지스터(TFT : thin film transistor)로 제어된다. LCOS는 그들 중 TFT가 형성되어 있는 한 개의 유리 기판을 실리콘 기판으로 대체한 것으로 픽셀 제어를 위해 단결정 소자를 사용한다. 이와 같이 실리콘을 이용한 CMOS 칩은 능동 매트릭스로서 뿐만이 아니라 반사층으로도 작동하며, 이 위에 액정막, 유리판, 그리고 편광판 등이 위치한다. 비정질 혹은 다결정 TFT를 이용하는 경우에 비하여 고속 동작이 가능하며, 보다 간단하고 부피, 무게가 작은 구조를 갖는다(그림 4 참조).

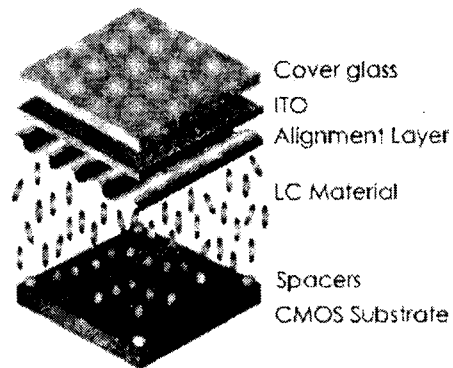


그림 4. LCOS 마이크로 디스플레이의 구조

칼라 구현 방식을 살펴보면, 3개의 LCOS 칩과 미러들을 이용하여 R, G, B를 생성하는 방식이 일반화되어 있으며, 1개의 칩과 칼라 필터 휠을 이용하여 연

속적으로 색상을 제공하는 방법도 있다. 개인용 표시기를 위해서는 R, G, B 광원(일반적으로 LED : light emitting diode) 연속적으로 조사되어 일반 video rate에 비해 3배가 빠른 속도로 동작될 수도 있다. LCOS 디스플레이의 경우 많은 회사들이 추구하고 있으며, IBM, JVC, Pioneer 등이 회의용 프로젝터로서 제품화를 시키고 있다. 이외에도 관련 회사 들 로 는 Colorado Microdisplay, Displaytech, Digital Reflection, Hitachi, Microdisplay, Micropix, Micropix, Mitsubishi, National Semiconductor, Raychem, Siliscap, Spatialight, S-Vision, Thomson/Sarnoff, Three-Five Systems, Varitronix 등이 있다.

## 2.2 투과형 디스플레이

투과형 디스플레이로는 LCD가 유일하다. 픽셀의 수, 색상, 동작 속도로 규정되는 디스플레이의 고성능 요구 조건을 만족시키기 위해서는 TFT를 이용한 능동형 LCD가 가장 앞서 나가고 있으며, 이러한 TFT는 다결정 실리콘이나 유리 기판위로 이동된 단결정 실리콘 위에 만들어진다.

### 2.2.1 다결정 실리콘 TFT-LCD

다결정 실리콘 TFT-LCD는 고온에서 재결정화를 할 수 있도록 석영 기판을 쓰는 점을 제외하고는 비정질 실리콘 TFT-LCD 공정과 매우 유사하게 만들어진다. 다결정 실리콘 TFT의 이동도가 증가하고 소자 크기가 줄어들수록 비정질 실리콘 TFT에 비해 상대적으로 높은 픽셀 밀도를 얻을 수 있다. 대부분은 다결정 실리콘 TFT-LCD가 대각선 1인치보다 큰 반면에 마이크로 디스플레이의 경우에는 프로젝션 시스템이나 비디오 카메라용 뷰 파인더에 사용될 수 있도록 보다 정교하게 만들어진다. 개구율(aperture ratio)을 증가시키기 위해 마이크로 렌즈 어레이를 부착한 0.9인치급 다결정 실리콘 TFT-LCD의 경우 마이크로 디스플레이의 시발점이 되고 있으며, 현재 Seiko-Epson과 Sony 등이 이를 선도하고 있다.

### 2.2.2 단결정 실리콘 TFT-LCD

Kopin Corp.에서는 실리콘 기판 위에 TFT 어레이를 제작하고 이를 분리하여 유리 기판에 접합시킨

다음 AMLCD를 구성하는 공정을 개발하였다. 이를 이용한 디지털 카메라용 뷰 파인더 등이 시도되고 있다.

## 2.3 자체발광형 마이크로 디스플레이

자체발광형 디스플레이의 경우 외부로부터의 광원이 불필요하므로 원리적으로 가장 간단한 마이크로 디스플레이를 구성할 수 있다. 현재에 이르기까지 다양한 자체발광형 소자들이 마이크로 디스플레이용으로 시도되어 왔으나 제품화로는 활발히 연결되지 못하고 있다.

### 2.3.1 전계 발광 표시기(ELD : electroluminescent display)

전계발광표시기는 전기 에너지의 직접적인 변환을 통하여 광이 생성되며, 금속 전극, 절연체, 그리고 형광체(주로 도핑된 황화 아연) 등이 박막 공정을 통하여 증착된다. Planar Systems에서는  $640 \times 480$  개의 픽셀 수와 1,000 라인/인치의 분해능을 가지며, 0.7인치급 AMEL(active matrix electroluminescent) 마이크로 디스플레이를 생산하고 있으며,  $1,280 \times 1,024$  개의 픽셀과 2,000라인/인치의 분해능을 갖는 소자도 시연한 바 있다. EL 소자는 동작하기 위해서는 고전압(AC 80V)을 필요로 하고, 따라서 비구동 픽셀과 회로 등에 고전압 신호가 인가되지 않도록 하기 위해서는 SOI(silicon-on-insulator) 기판을 사용할 필요가 있다. 청색 발광 형광체와 관련한 어려움도 ELD가 해결하여야 할 난관 중의 하나이다.

### 2.3.2. 전계 방출 표시기(FED : field emission display)

FED는 전자 방출원으로부터 발생된 전자들이 형광체 쪽으로 가속되어 광을 생성하는 진공 소자이다. Micron Display Technology(최근에 PixTech에 합병)가 이를 이용하여  $545 \times 222$  픽셀을 갖는 0.6인치급 단색 FED를 군수용으로 개발하였다.

### 2.3.3 진공 형광 표시기(VFD : vacuum fluorescent display)

일반적인 VFD는 평판-진공 실장된 유리 패키지를 이용하며, 일련의 필라멘트로부터 방출된 전자들이 형광체를 여기시키는 과정에서 광을 발생한다. Display Research Laboratories는 현재 실리콘

기판 위에 형광체 미세 분말을 증착하여 VFD 형 마이크로 디스플레이를 개발 중에 있으며, 172 × 108 픽셀의 0.4 인치 소자가 시연된 바 있다.

### 2.3.4 전계 발광 다이오드(LED : light emitting diode)

LED는 GaAs 재료를 모체로 하여 개별 반도체 소자 형태로 제조되는데, P-N 접합을 가로질러 정공과 전자가 재결합하는 과정을 통해 광자를 생성하게 된다. R, G, B를 주사하여 영상을 표시하는 디스플레이와 이와 비슷한 원리로 반도체 레이저를 이용하는 마이크로 디스플레이가 개발 중에 있다. 관련 회사들로는 Microvision, Reflection Technology 등이 있다.

### 2.3.5 유기 전계 발광 다이오드(OLED : organic light emitting diode)

OLED는 유기 재료로 만들어지는 LED이다. 최근 FED Corp.에서 Kodak으로부터 라이선스를 얻어 실리콘 기판 위에 OLED 마이크로 디스플레이를 만들고 있다. Kodak의 경우, Sanyo와 제휴하여 다결정 실리콘 TFT를 이용한 능동 구동형 OLED를 개발하고 있다.

## 3. 마이크로 디스플레이 응용

마이크로 디스플레이 시장은 전술한 두 종류의 기술 그룹, 즉 투사형 표시기와 개인용 표시기를 통하여 분석할 수 있다(그림 5 참조). 마이크로 디스플레이에 있어서 가장 큰 시장은 현재에는 캠코더용 뷰 파인더와 프로젝션 디스플레이에 있는 것으로 보인다. 새로운 시장은 마이크로 디스플레이만의 고유한 영역들, 예를 들어 셀룰라 폰, 페이지, 디지털 카메라, 데스크 탑 모니터, 휴대용 게임기, 의료 및 계측용 표시기, 그리고 HMD 등이 개척할 것으로 예상된다(그림 6 참조).

### 3.1 프로젝션 시스템

프로젝션 시스템의 경우, CRT, 투과형 LCD, 그리고 광-밸브 기술을 이용하여 왔으며, 지난 수 년 동안에는 반사형 마이크로 디스플레이들을 적용하기 시작하고 있는데, 가장 먼저 TI의 DMD가, 1998년에는 LCOS 소자가 적용되었다. 이러한 프로젝터 시장은 전면 투사형과 후면 투사형으로 구분된다.

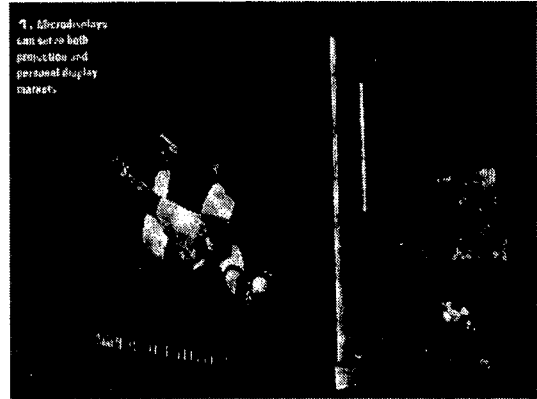


그림 5. 마이크로 디스플레이를 이용한 투사형 표시기와 개인용 표시기의 일례



그림 6. 마이크로 디스플레이가 적용되는 개인용 표시기들의 일례

#### 3.1.1 전면 투사형 디스플레이

전면 투사형 시스템의 경우 1999년도 시장 규모는 약 20만대로 시스템의 평균 가격은 5,000\$이며, 주로 회의 발표용 프로젝터 시장이 차지하고 있다. 현재 이 시장은 투과형 LCD가 주도하고 있는데, 많은 픽셀 수, 가벼운 무게, 그리고 높은 밝기가 요구되면서 LCD, 플라즈마 디스플레이(PDP : plasma display panel), 그리고 마이크로 디스플레이 시스템의 경쟁이 이루어질 것으로 보인다.

#### 3.1.2 후면 투사형 디스플레이

후면 투사형 시스템의 시장은 후면 CRT(cathode ray tube) 프로젝터를 이용한 대형 스크린 TV에 의해 주도되고 있다. CRT를 이용한 프로젝션 TV가 경쟁력 있는 가격대에서 고화질 영상을 제공할 수 있다고는 하나, 마이크로 디스플레이가 특히 화면의 고정세화에 기여할 수 있을 것으로 보인다. 1,920 × 1,080 픽셀의 마이크로 디스플레이가 개발된다면 CRT 프로젝터의 성능을 추월할 것으로 여겨지며, 여

기에 PDP가 가세하면서 HDTV(high definition TV) 시장을 놓고 투사형 CRT, PDP, 그리고 투사형 마이크로 디스플레이 시스템 간의 3각 경쟁이 본격화될 것으로 예상된다. 참고로, 초대형 TV의 1999년도의 시장 규모는 100만대 이상이며, 단위 시스템의 가격은 2,000\$ 이상으로 공급되고 있다.

이외에 상당수의 마이크로 디스플레이 개발 업체들이 데스크 탑 모니터 시장을 겨냥하고 있으며, 반사형 마이크로 디스플레이를 이용한 후면 투사형 모니터의 경우 19인치급 이하에서는 CRT와, 17인치급 이하에서는 LCD와의 경쟁이 가능하다. 이와 함께 18~20 인치 이상의 CRT와 18 인치 이상의 LCD 모니터 시장의 수요도 1999년도 기준 300만대로부터 점차로 증가할 것으로 예측된다.

### 3.2 개인용 표시기

#### 3.2.1 HMD

HMD의 경우, 컴퓨터나 TV 등의 모니터를 포함하여 매우 다양한 응용도를 가지고 있으며, 특히 기술진이나 의료진을 위한 데이터 제공 역할을 담당하고 있다. 이 소자는 1999년도의 시장 규모가 5만대 정도로 소자 가격이 100\$(가전용일 경우에는 25\$ 내외) 정도에 형성되는데, 마이크로 디스플레이 이외에는 경쟁 기술이 없는 상태이다.

#### 3.2.2 카메라용 뷰 파인더

비디오 캠코더의 경우 수 년동안 다결정 실리콘 LCD를 사용하여 왔으며 컴퓨터와 같은 여타 디스플레이 들에 비해 성능 요건이 엄격하지 않은 것도 사실이다. 그러나, 현재 디지털 스틸 카메라 등이 SXGA 급 영상을 요구하면서부터 뷰 파인더의 픽셀 수가 증가하여야 할 필요성이 있다. 이러한 성능은 2~4 인치 크기의 직시형 TFT LCD를 통해서도 충족시킬 수 있으며, 1999년도를 기준으로 하여 40\$ 대의 단위 소자 가격으로 1,300만대의 시장 수요를 고려할 때 결국 가격 경쟁력이 성패를 좌우할 것으로 보인다.

#### 3.2.3 이동 통신용 단말기

전 세계적으로 이동 통신용 부품의 수요가 급증함에 따라 디스플레이의 높은 분해능과 휘도의 개선이

강하게 요구되고 있다. 고주파 대역의 무선 통신 시스템의 발전 방향을 예측할 때, 통신 기기 제조 업체들은 전자 우편과 인터넷 연결 등이 가능한 기기를 설계하고 있으며, 따라서 SVGA 급 이상의 디스플레이가 필요한 것도 사실이다. 그래픽 차원의 표시기를 기준으로 할 때, 1999년도에 셀룰러 폰 용으로 5,000만대, 페이지 용으로 400만개의 시장이 형성되고 있으며, 단위 소자의 가격은 15\$ 정도이다. 이는 STN-LCD, LED 등과 경쟁 체제를 이룰 것으로 보인다.

#### 3.2.4 휴대형 컴퓨터

역시 급격하게 증가하고 있는 시장으로 휴대형 컴퓨터, 혹은 개인용 디지털 정보 제공기를 들 수 있다(그림 7 참조). 이를 위한 칼라 디스플레이의 시장 규모는 1999년 기준 150만 개(단위 소자 가격은 100\$)로 현재에는 STN 및 TFT-LCD로 충족되고 있다. 현재에는 저전력-반사형-칼라 TFT-LCD와 저온 다결정 실리콘 TFT-LCD의 개발에 매진하고 있다.



그림 7. 착용 가능한 컴퓨터의 일례

## 4. 결 론

마이크로 디스플레이는 기존의 평판 디스플레이의 일부 분야 대체는 물론 새로운 개념의 응용도 창출이

확실한 기술이라고 볼 수 있으며, 현재까지의 연구 성과도 기술 및 경제성 면에서 충분한 경쟁력을 지니고 있음을 암시하고 있다. 또한, 확립되어 있는 반도체 공정의 활용이라는 장점은 연구 개발에 의욕을 더욱 활성화시키고 있다. 반면에 현재 확보된 응용도의 경우(주로 투사형), 기존의 견고한 기술들과 정면 승부를 피할 수 없으며 이때 성능/가격비의 향상이 필수 불가결하다. 새로운 응용도의 경우(주로 개인용 표시기), 마이크로 디스플레이만의 고유한 장점들을 가지고 제품으로 연결시킬 수 있어 경쟁 체제는 거의 없을 것으로 판단되며 오히려 수요 창출이 더욱 중요한 요소가 될 것이다. 결국, 연관된 인프라의 구

축, 예를 들어 이동 통신용 무선 대역폭의 확장, HDTV 용 정보 용량 확대 및 전달 시스템의 창출 등이 매우 중요하다.

#### 참 고 문 헌

- [1] P. D. Semenza, Microdisplays, Proc. SID 99 Applications Seminar, San Jose, USA, pp. A-5/2~A-5/29(1999. 5. 18~20).
- [2] H. L. Ong et al., Small displays have a big future, Information Display, pp. 18-22(1998. 12).