공간 디스플레이의 기술 동향

□ 황치선 / 한국전자통신연구원

요 약

CRT에서 LCD, OLED를 거치면서 디스플레이 기술은 엄청난 발전을 이루어 냈다. 최근 메타버스의 등장은 디스플레이 기술에 새로운 요구사항을 제시하고 있다. 본 기사에서는 지금까지의 디스플레이 기술 개발 과정을 살펴보고, 새롭게 전개되는 디스플레이 기술 트렌드인 '공간 디스플레이'의 특징과 향후 발전 전망을 제시하고자 한다.

I. 서 론

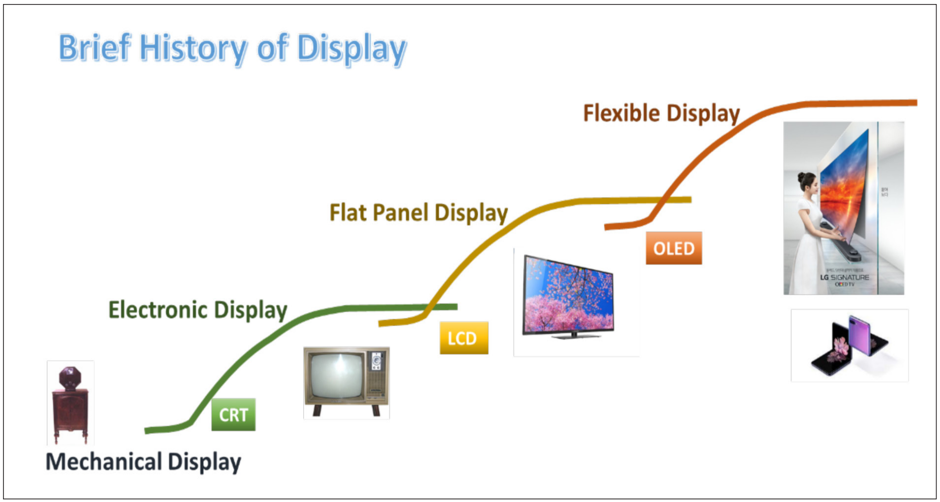
시각은 인간이 세상에서 정보를 얻는 가장 중요한 감각이다. 실제로 외부에서 얻는 정보의 70% 이상은 시각을 통한다고 알려져 있다. 또한, 디스플레이 기술의 발전에 따라, 우리가 접하는 정보의 대부분은 디스플레이 기기를 통하고 있다. 과거 신문이나 책들의 매체들도 인터넷 뉴스, 전자책 등으로 디스플레이 기기를 통한 정보전달로 전환되었다. 아침에 눈뜨고 저녁에 잠들기까지 거의 대부분의 시간동안 디스플레이 기기를 사용한다고 해도 지나친 말이 아닐 정도로 디스플레이는 우리 생활 깊숙이 자리잡고 있다.

그리고 우리나라 산업에서 디스플레이가 차지하는 비중 또한 막대하다. 한국의 디스플레이 산업은 대형 LCD, 휴대폰용 OLED 디스플레이를 거치면서 세계 1위의 기술력과 시장 점유율을 보이고 있다. 최근 중국의 거센 도전을 받고 있지만, OLED 등 첨단 디스플레이 기술 분야에서는 당분간 세계 1위의 기술력을 유지할 수 있을 것으로 예상된다.

본 기술동향에서는 그동안 디스플레이 기술이 어떻게 발전해 왔으며, 앞으로 어떤 모습으로 발전해 나갈 것으로 전망되는지 알아보고자 한다.

II. 디스플레이 기술의 과거

디스플레이 기술은 최초에는 기계적 방식으로 시도



<그림 1> 디스플레이 기술의 역사

되었으며, CRT의 등장으로 전자 디스플레이 시대가 시작되었다. 그 이후에 LCD의 등장으로 얇고 가벼운 평면 디스플레이 시대가 열리게 되었다. 그 이후 LCD 보다 더 얇고 심지어는 휘어지는 형태도 가능한 자발광형태의 OLED가 등장하게 되었다. 이러한 디스플레이의 발전이 어떻게 가능했었는지, 각 디스플레이 모드에서의 핵심 기술이 무엇이었는지 알아보고자 한다.

1. 디스플레이 기술이란?

디스플레이 기술의 역사를 알아보기에 앞서, 디스플레이 기술이 어떻게 정의되고 분류할 수 있는지 알아보기로 한다. 디스플레이 기술은 사용자에게 시각 정보를 제공하는 기기에 사용되는 기술로, 외부 입력을 받아 이를 (주로 전자적인 형태로) 화면 제공 등 시각 정보를 제공하는 기기를 구성하는 기술이다. 이때 어떠한 기술적인 방법을 이용하여 화면을 제공할 수 있는가에 따라 디스플레이 기술을 구분할 수 있다. 이러한 기술적인 방법의 카테고리를 디스플레이 모드라고 부르기도 한다. 예를 들어 CRT, LCD, OLED, LED는 서로 다른 모드를 사용하는 디스플레이 기술이다. 이밖에도 디스플레이의 사이즈나 형태를 이용하여 구분하는 것도 가능하다. 소형(주로 휴대폰 크기), 중형(노트북, 패드 등), 대형(TV 등)으로 나누기도 하고, 화면을 직접 보는 형태인 직시형, 머리에 착용하는 형태인 HMD(head-mount display), 투사된 화면을 보는 형태인 HUD(head-up display) 등으로 나눌 수도 있다. 또한 제공되는 영상이 일반적인 2D 영상인지, 3D 영상인지에 따라 구분할 수도 있다. 기술의 발전에 따라 다양한 모드의 디스플레이들이 각기 다른 크기와 형태를 가지고 개발되고 있으며, 향후에는 필요에 따라 더욱 다양한 형태의 디스플레이가 존재하여 사용자의 요구사항을 충족시킬 수 있을 것으로 기대된다.

2. 전자 디스플레이의 시작

최초의 디스플레이는 전자기기가 아니라 기계적인 방법으로 영상을 재현하는 Televisor라는 제품으로 1920년대에 처음으로 등장했다고 알려져 있다. 이 기기는 scanning disk를 내장하고 있어, 사용자가 핀홀과 렌즈를 통하여 영상을 보게 되는 수준이었다고 한다.

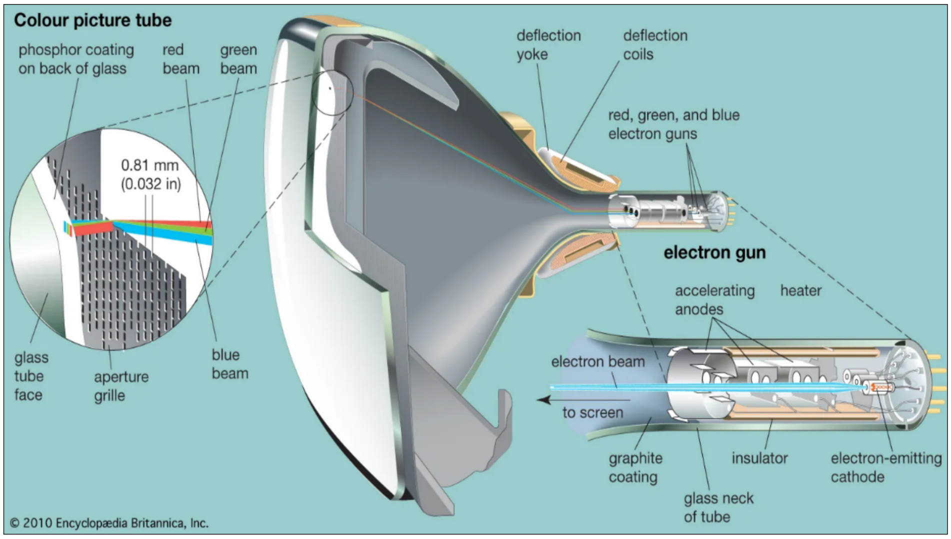
그 후로 CRT(Cathode Ray Tube)가 등장하면서 전자 디스플레이 기술이 시작되었다고 할 수 있다. 1930년대에 개발된 CRT는 전자의 흐름인 음극선을 전기장을 이용하여 제어하여 형광체가 도포되어 있는 면을 주사함으로써 발생하는 형광을 통하여 화면을 구성하는 소자이다. 1950년대에는 CRT를 이용한 컬러 TV와 진공관을 트랜지스터로 대체한 TV가 출시되기도 하였다.

CRT를 구성하는 핵심 기술로는 전자총, 형광체, shadow mask, 진공 밀봉 기술 등을 꼽을 수 있다. 전자총은 필라멘트를 가열하여 발생하는 열전자를 가속하고, 집속하여 외부신호에 따라 원하는 영상면에 보내주는 역할을 하게 된다. 형광체는 영상면에 도포되어 가속된 전자가 입사되면 형광을 발생하는 역할을 하는데, 장기간의 사용에도 열화되지 않으며, 삼원색에 가까운 색을 낼 수 있는 소재 개발이 필수적인다. 다행히도 CRT에 적용되는 가속 전압에 열화가 적으며, 원색에 가까운 색을 내는 형광체가 존재하여 컬러 CRT가 한동안 색의 표준으로 여겨질만큼 발전할 수 있었다. 전자총에서 시작된 전자빔이 원하는 형광체에만 도달하기 위해서는 미세한 조정이 필요하며, 이 역할은 shadow mask가 맡게 된다. 이러한 shadow mask는 전자빔의 경로에 맞추어 정밀하게 가공이 되어야 하며, 해상도의 증대에 따라 미세한 홀을 가지고 있어야 한다. 또한, 전자빔은 진공중에서만 진행이 가능하므로 CRT 내부를 고진공으로 유지하기 위한 기술이 필요하다. 이를 위해서는 CRT 제조시 고진공을 형성한 후 Frit 소재를 이용한 밀봉 기술과 Getter 소재를 이용하여 내부에서 발생하는 기체를 제거하는 기술이 사용되었다.

3. 평면 디스플레이의 등장

평면 디스플레이는 1980년대에 들어서서 상용화되었다. 최초의 평면 디스플레이는 1988년 일본의 샤프사에서 개발한 14인치급 디스플레이였다.

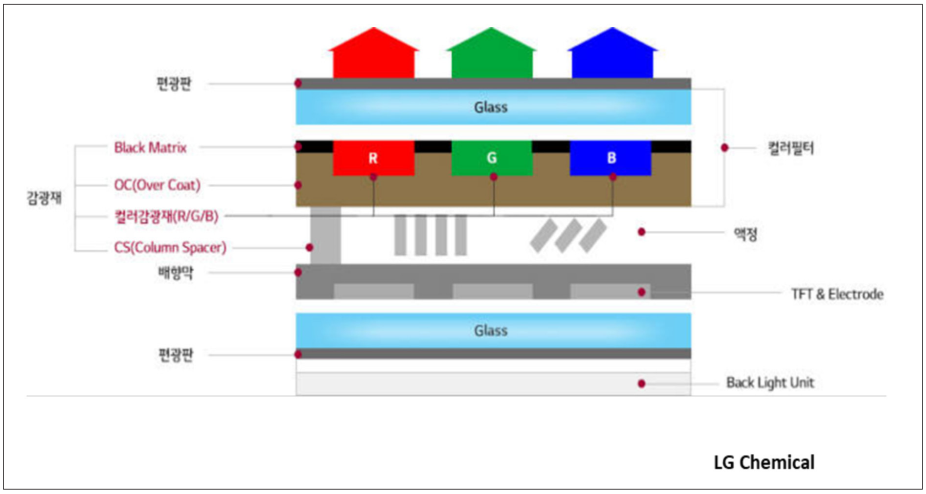
CRT는 앞서 언급한 것처럼 색순도도 높을 뿐 아니라, 한번에 하나의 화소가 발광하며 이를 스캔하는 방식으로 고속 이미지 표현에서도 높은 성능을 보이는 디스플레이이다. 그러나, 진공을 유지해야 하는 브라운관 구조



<그림 2> CRT의 기본 구조

이기 때문에 두께가 두껍고 무거운 유리관을 사용해야 한다. 또한 전자빔을 휘어서 화면을 표시하다 보니 굴곡이 있는 화면이 요구되었다. 이에 따라 대면적 화면과 평면 화면의 제공에는 한계가 있었다.

액정 디스플레이의 경우, 액정 분자간의 상호 작용에 의하여 어느 정도 질서도를 가지고 있으며, 두개의 전극판 사이에 액정을 주입하고 전기장을 인가하면 전기장에 따라 액정 분자가 회전하면서 빛의 편광을 바꾸어 주는 원리를 이용한다. 보통 가장 많이 사용되는 액정 디스플레이의 경우에는 액정 전극 상하면에 편광판을 서로 편광 방향이 직각이 되도록 배치한 후, 전압이 인가되지 않았을 때는 편광된 빛이 거의 대부분 투과되고, 전압이 인가되어 빛의 편광 방향이 액정에 의해 변하게 되면 투과도가 낮아지도록 구성한다. 이때 인가되는 전압은 수 V에 불과하여 쉽게 구동이 가능하다. 다만, 액정은 앞서 설명한 바와 같이 투과되는 빛의 양을 조절할 뿐, 자체적으로 빛을 만들어 내는 소재는 아니기 때문에 별도의 광원이 필요하다. 이러한 광원을 백라이트라고 한다. 또한 화면을 구성하는 각각의 화소마다 액정에 전압을 인가해야 하기 때문에, 전기적으로 스위치 역할을 하는 부분이 필요하다. 이러한 부분을 담당하는 것이 박막트랜지스터(TFT : Thin-film Transistor)이다. 트랜지스터는 통상 실리콘과 같은 반도체를 기반으로 만들어지기 때문에 Si wafer 위에 만드는 것이 일반적이었다. 그런데, 실리콘을 화학기상증착방법(CVD : Chemical Vapor Deposition)으로 증착하면 임의의 표면 위에 박막 형태로 형성이 가능하다. 이렇게 형성된 Si 박막은 Si wafer의 Si과는 달리 결정성을 갖지 못하기 때문에 반도체로서의 성능은 떨어지나, 증착되는 기판을 glass를 사용할 수 있으며, 대면적하는 데 용이하기 때문에, 디스플레이의 구동소자로 사용하기에 적합하며 박막으로 구성된 트랜지스터이므로 박막트랜지스터라고 부른다. 이렇게 glass 위에 비정질 실리콘을 이용한 TFT가 제공될 수 있음에 따라 LCD가 구동이 가능하여, 이러한 LCD를 TFT-LCD라고 부른다. 디스플레이에서 glass를 기판으로 사용하는 이유는 빛의 투과가 용이하기 때문이다. 통상 1mm 이내의 얇은 두께를 가지는 유리기판이 사용되며, 8세대, 10세대 등과 같이 디스플레이 제조 공장의 세대를 지칭하는 용어는 제조공정에 사용되는 유리기판의 크기를 의미한다.



<그림 3> TFT-LCD의 기본 구조

앞서 설명한 바와 같이 액정 디스플레이를 구현하기 위해서는 기본적으로 백라이트, TFT-LCD, 액정, 액정 전극, 편광판이 필요하며, 이외에도 색을 구현하기 위한 컬러 필터, 백라이트의 균일성을 향상시키기 위한 도광판 및 확산판, 반사판, 그리고 이러한 부품 등을 광학적으로 연결시켜 주기 위한 광학점착재료 등 대단히 많은 부품을 필요로 한다.

이렇게 많은 부품이 사용되는 것이 LCD의 단점이기도 하지만, 한편으로는 다양한 부품의 최적화를 통해서 상당히 오랜 기간 화질 향상과 생산 단가 절감을 이어올 수 있었다. 또한 액정 소재 자체가 안정성이 뛰어나며, 웬만한 결함 등은 시간이 지나면 스스로 치유되는 등의 장점을 가지고 있었다.

CRT와 비교하면, 초기의 LCD는 휘도, 반응속도, 색순도 등 대부분의 화질에서 부족하였지만, 당시에 등장한 노트북에 사용될 수 있는 유일한 디스플레이였기 때문에, 양산에 성공하였으며 다양한 기술 개발과 40인치 이상의 대형화에 성공함으로써 LCD-TV 시대를 열고 디스플레이의 주류로 자리잡게 되었다. 당시 경쟁 기술이었던 PDP는 낮은 생산 단가와 대면적 형성의 우위는 있었으나, 낮은 형광체의 발광효율과 고전압을 필요로 하는 구동의 어려움으로 40인치 영역에서의 TV 시장 형성에서 LCD에 밀려나면서 생산이 급격히 감소되게 되었다.

LCD는 초기에 적용되었던 노트북을 시작으로, 휴대폰, TV, 모니터 등 거의 모든 영역에서 CRT를 대체하였을 뿐만 아니라 새로운 시장 영역을 개척하였다. 이것은 LCD가 가지고 있는 가볍고 대면적이 가능하다는 특징이 만들어 낸 결과라 할 수 있을 것이다.

4. 유연 디스플레이 기술 개발

LCD는 초기의 화질에서의 열세를 부품에서의 혁신으로 극복하였다. 예를 들어 휘도, 색순도의 경우 3원색의 LED 광원을 적용하면서 크게 개선되었으며, 반응속도 또한, 구동기술과 백플레인 기술을 혁신하여 120Hz 이상을 달성하였다. 시야각의 경우도 IPS, VA, FFS 등 다양한 액정 모드를 개발하여 거의 180도에 가까운 시야각을 구현할 수 있었다. 다만, 기본적으로 2개 이상의 glass 기판과 편광판을 사용해야 한다는 점으로 인해 더 가볍게, 더 얇게 만드는 데에는 한계가 존재하였다. 또한 백라이트를 액정으로 가려서 검은색을 표현하는 방식이므로 완전히 어두운 검은색을 표현하는 것은 한계가 있었다.

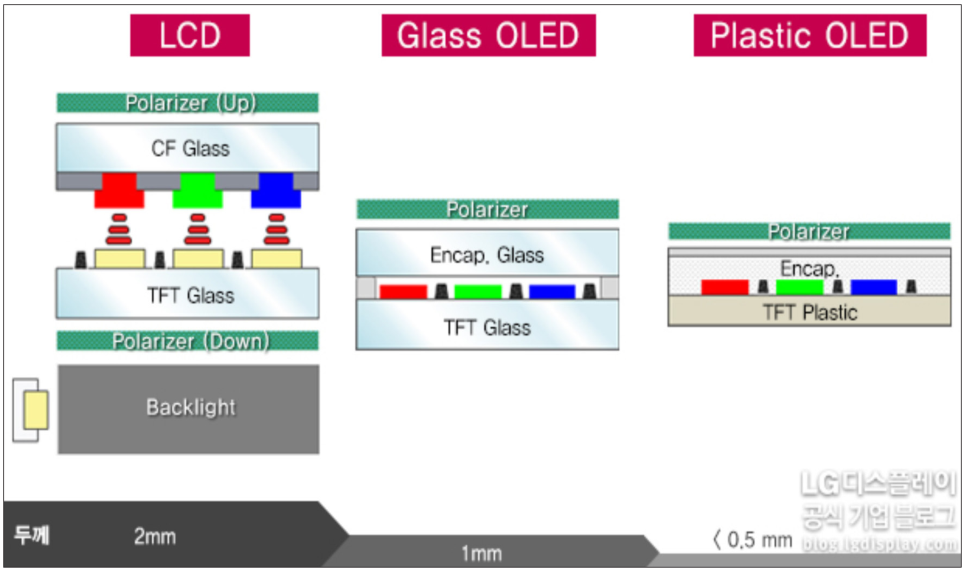
OLED는 유기발광 다이오드 소자를 이용한 디스플레이다. 유기발광 다이오드는 유기물로 구성되어 있어 플라스틱과 같이 유연한 기판에 사용되면 유연한 디스플레이를 형성할 수 있을 것으로 기대되었었다. 또한 자체적으로 빛을 내는 특성이 있기 때문에 LCD 대비하여 훨씬 간소화된 부품으로 구성이 가능하다. 그러나 유기물이 가지는 단점도 존재하여, 수분이나 산소를 만나면 특성이 열화되므로 이를 차단하기 위한 봉지 기술이 필수이며, 안정성도 좋지 않아 장기간 사용시 열화되는 등 소재의 사용수명에도 한계가 있었다. 또한 대면적화를 위해서는 대면적 증착 공정이 필요한데, 통상 유기소재의 증착에는 진공 장치내에서의 열증착(Thermal Evaporation) 방법이 적용되는데, 이 장치를 대면적에 적용하는 것은 한계가 있었다.

이러한 단점에도 불구하고, 국내 삼성디스플레이에서 삼성전자의 고사양 휴대폰에 OLED를 적용하면서 양산에 성공하게 되었다. LCD에 비하여 더 얇고 가볍게 만들 수 있었을 뿐만 아니라, 자체발광이 가지는 장점, 즉 검은색 표현에서의 장점, 시야각에서의 장점 등이 부각되었다. 또한, 인가된 전압에 의하여 구동되는 LCD에 비하여 OLED는 전류를 공급하고 이 전류에 따른 발광으로 디스플레이가 구현되므로 LCD에 비하여 높은 전류 구동 능력과 안정성이 뛰어난 구동소자, 즉 박막트

랜지스터가 필요하였다. 앞서 설명한 glass 기판에 증착된 비정질 실리콘을 레이저를 이용하여 녹는점 이상의 온도로 가열하면 비정질 실리콘이 부분적으로 결정상을 갖는 다결정 실리콘으로 바뀌게 된다. 이러한 다결정 실리콘으로 제작된 박막트랜지스터를 저온 다결정 실리콘 박막트랜지스터(LTPS TFT : Low Temperature Poly-Silicon Thin-film Transistor)라고 부르는데, LCD에 사용된 비정질 실리콘 박막트랜지스터에 비하여 훨씬 높은 전류 구동 능력과 안정성을 가지게 된다. 이러한 백플레인 스위치 소자의 적용과 OLED용 발광 소재의 개선(수명, 휘도, 색순도, 효율)으로 OLED의 성능이 LCD를 능가하게 되었다.

특히 우리나라의 경우 앞서 설명한 LCD에서 대형화 기술에서 일본을 능가하기 시작하였으며, OLED의 경우에는 휴대폰의 적용도 세계 최초, TV로의 적용도 세계 최초를 달성하였고, 지금도 세계 OLED 시장의 거의 대부분을 우리나라 기업이 차지하면서 디스플레이 기술에서 세계 1위를 달성하게 되었다.

최초의 OLED 디스플레이는 glass를 기반으로 제작되었으나, 곧 플라스틱 기판도 적용되기 시작하였다. 다양한 플라스틱 기판이 연구되었으나, OLED를 구동하는 스위치 소자인 LTPS-TFT의 제조과정에서 400도 이상의 고온 열처리를 필요로 하기 때문에, 열적 내구성이 우수하고, glass 기판과 열적 특성이 가장 유사한 폴리이미드 소재가 기판으로 사용되었다. 실제 제작에 있어서는 폴리이미드 소재를 glass 기판 위에 형성하고(코팅 및 열처리 필요) 그 후에 디스플레이를 제작한 후 다 제작된 기판을 glass에서 레이저를 이용하여 떼어내는 과정을 사용한다. 이렇게 만들어진 OLED를 플라스틱 기판상의 OLED여서 Plastic OLED 혹은 유연한 OLED 이므로 flexible OLED라고 부른다. 이렇게 플라스틱을 기판으로 사용하게 되면 기판의 두께가 수십 μm에 불과하므로 종이처럼 얇고, 가볍게 구현이 가능하고, 패널의 옆 부분에 형성되는 구동 칩과의 연결부위(Bezel이라고 부름)를 크게 줄일 수 있어, 휴대폰, 스마트 워치, 자동차용 디스플레이 등 다양한 영역에 적용되고 있다.



<그림 4> LCD, glass기반 OLED, 플렉서블 OLED 구조 비교

최근에는 기계적으로 접을 수 있는 힌지(경첩) 구조와 결합하여 접이식 디스플레이가 상용화되었다. 접이식 디스플레이를 구현하기 위해서는 접히는 부분의 곡률 반경을 수 mm 정도로 제어할 수 있어야 하므로, 기판뿐만 아니라 밀봉구조, 광학 필름 구조 등의 혁신이 필요하였으며, 내구성에 대해 큰 개선이 요구되었다. 현재 접이식 디스플레이는 휴대폰에 적용되고 있으나, 올해 등장한 접이식 노트북으로의 적용도 확대될 것으로 예상되며, 두루마리 형태로 만들어져서 화면 자체가 확대되는 형태로 앞으로의 유연 OLED가 적용될 수 있는 제품군으로 예측되고 있다.

III. 공간 디스플레이

앞서 소개한 바와 같이 디스플레이 기술은 초기의 무겁고 두꺼운 CRT에서 LCD와 같은 평면형 디스플레이로, 그리고 더 얇고 가벼울 뿐만 아니라 접는 것도 가능한 OLED로 발전해 왔다.

이제 미래 디스플레이 기술에서 요구받고 있는 기술적 이슈들은 무엇인지, 이러한 이슈를 해결하면서 앞으로 전개될 디스플레이 기술은 어떤 형태가 될 것인지, 알아보기로 하자.

1. 새로운 디스플레이 기술의 요구 사항

우선 생각할 수 있는 하나의 경향은 평면 디스플레이에서의 탈피이다. 지금까지의 평면 디스플레이는 정해진 틀내에서 2차원면에 화면을 형성하는 형태를 가지고 있었다. 새롭게 등장하는 디스플레이들은 접히거나 말리는 등 2차원을 넘어선 형태를 요구받고 있다. 또한 2차원 영상을 넘어서 3차원 영상에 대한 요구, 즉 마치 공간상에 영상이 존재하는 것과 같은 효과가 요구된다. 또한, 2차원 영상이라 하더라도, 정해진 틀내에 갇혀있는 것이 아닌, 벽면을 가득 채운다거나, 테이블의 윗면을 모두 영상으로 만들어지는 것처럼 새로운 공간상에 존재하는 영상 형태가 요구되고 있다.

그다음 생각할 수 있는 것은 다수가 공유하는 형태의

<그림 5> 공간 디스플레이의 종류

디스플레이가 아니라, 사용자 각자가 개인적으로만 시청할 수 있는 영상형태가 요구되고 있다. 그러면서도 영상의 크기나 화질은 기존의 공유되는 영상과 동일한 수준이 요구된다. 즉, 마치 개인적인 영화관을 가지고 있는 것과 같은 형태를 상상할 수 있을 것이다. 개인적인 공간을 창출할 수 있는 디스플레이가 요구되고 있다.

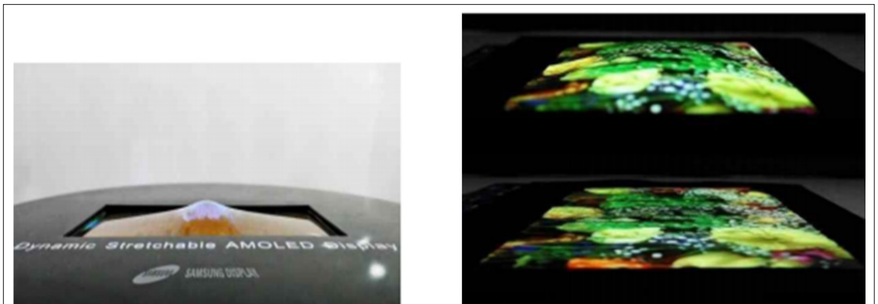
마지막으로 생각할 수 있는 것은 실감영상이다. 애플이 아이폰에서 '레티나 디스플레이'를 제공한다고 선언한 이후로 화소를 눈으로 식별할 수 없는 고해상도 디스플레이가 점점 늘고 있다. 화소를 식별할 수 없는 디스플레이의 컨텐츠는 점차 발전하여 실제 사물이 주는 시각적 효과와 구분할 수 없는 수준으로 향상되는 것을 요구받고 있다. 이러한 초실감의 구현은 가상의 공간과 실제 공간을 구분할 수 없는 초현실 공간 구현으로 이루어질 것으로 예상된다.

이렇게 새롭게 '공간'을 형성하거나, 개인적인 '공간'을 창출하거나, 가상의 '공간'을 만들어 내는 디스플레이의 트렌드를 필자는 '공간 디스플레이'로 명명하고 한다.

다음에는 이러한 요구사항에 따라 앞으로 제공될 것으로 예상되는 '공간 디스플레이'의 형태와 특징, 그리고 현재까지의 개발 현황 및 이슈에 대하여 프리폼 디스플레이, 디지털 현실 디스플레이, 입체 디스플레이로 나누어서 알아보고자 한다.

2. 프리폼 디스플레이

프리폼 디스플레이는 지금까지의 디스플레이 기판으로 사용되었던 딱딱한 기판이 아닌, 유연하거나 신축가능한 기판을 이용하여 제작될 수 있을 것이다. 또한 처음에 만들어졌을 때 가진 형태가 그대로 유지되는 것이 아니라, 사용자가 필요에 따라 형태를 바꿀 수 있는 기능이 부가될 수 있을 것이다. 이러한 기능으로 인하여 사용자가 원하는 임의의 물체 위에 덧대어 디스플레이로 기능을 수행할 수 있다. 또한 접거나 말아 놓는 형태가 가능하므로 좁은 공간상에 보관되어 있다가 디스플레이로 사용이 필요할 때 필요한 만큼 면적을 늘여서 사용이 가능할 것이다. 또한, 사용자가 생활하는 공간에서 벽면 전체, 혹은 사용하는 가구의 전면이 디스플레이로 사용되어 공간을 디스플레이로 구성하는 것이 가능할 것이다.



<그림 6> 삼성디스플레이가 2017년 발표한 세계 최초의 스트레처블 디스플레이

이러한 프리폼 디스플레이가 구현되기 위해서는 여러가지 기술적 한계가 극복되어야 하는데, 가장 먼저 해결해야 할 문제는 어떻게 신축형 디스플레이를 구현할 수 있겠는가이다. 통상 전자 디스플레이에 사용되는 소재는 전도체, 부도체, 반도체 등으로 나눌 수 있는데, 이중 부도체의 경우에는 고무와 같이 늘어나는 소재가 존재하지만, 전도체와 반도체의 경우에는 아직까지 늘어나는 형태의 소재가 존재하지 않는다. 따라서 단기간에 이러한 신축형 디스플레이를 구현하기 위해서는 늘어나지 않는 전도체와 반도체에 신축성을 부여하는 방법을 찾아야 한다. 현재까지 알려진 방법은 주름 구조를 사용하거나 굴곡을 가진 형태를 이용하는 방법, 혹은 적절한 영역에 틈을 만드는 '기리가미' 구조를 이용하는 방법 등이 알려져 있다.

또한 이러한 신축형 디스플레이 기판에 적용가능한 발광소자를 찾는 것도 중요한 과제가 되는데, 현재는 LED나 OLED가 많이 연구되고 있다. 이중 특히 OLED의 경우에는 늘어나는 형태의 봉지막이 필요하여 이 또한 해결해야 할 기술적 문제라 할 수 있다.

다수의 기업에서 이러한 스트레처블 디스플레이 기술을 개발하고 있으며, 삼성디스플레이가 2017년 세계 최초로 스트레처블 AMOLED를 선보이는 등, 다양한 시연품 개발이 이루어지고 있는 상황이다. 그러나 아직까지 해상도나 신축 성능에서 한계를 보이고 있어 향후 계속적인 기술 개발이 요구되고 있다.

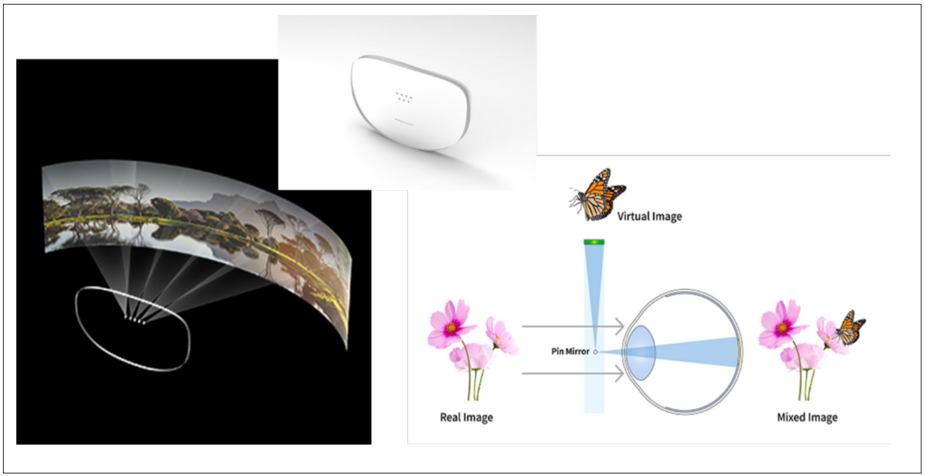
벽을 모두 채우는 형태의 공간 디스플레이는 최근 활발히 연구되고 있는 LED가 사용될 가능성이 높다. LED는 OLED에 비하여 휘도가 높으며, 단위소자가 패키징형태로 제공되기 때문에 모듈형태로 만들어서, 모듈을 반복하는 구조로 대면적화가 비교적 쉽게 구현이 가능하다. 최근 거리에서 볼 수 있는 대부분의 전광판은 LED로 교체가 되었으며, 전시홀에서 사용되는 대형 디스플레이 또한 LED 디스플레이이다. 일부 극장에서는 스크린에 화면을 투사하는 방식 대신 스크린 크기의 LED 디스플레이를 이용하여 영화를 상영하기도 한다. 다만, 아직까지는 LED가 작은 크기의 웨이퍼(4-6인치)에서 만들어지기 때문에 가격이 비싸고, 균일한 품질의 LED를 사용하기 위해서는 제작된 LED를 선별하는 공정이 필요하며 이렇게 선별된 LED를 전사하는 표준 공정이 확립되지 않은 점 등 개선해야 할 부분이 많다.

또 하나의 공간 디스플레이 형태는 투명 디스플레이이다. 투명 디스플레이는 투명성과 디스플레이로써의 기능성을 동시에 제공할 수 있는 디스플레이로 가정이나 사무실의 창호, 자동차와 같이 운송 수단의 창문, 그리고 전시 공간, 보관 공간의 도어 등에 사용되어 새로운 공간 연출이 가능하다. 현재까지는 투명 OLED가 양산되어 최근 다양한 쓰임새를 보여주고 있으며, 향후에는 LED를 이용한 투명 디스플레이도 사용이 가능할 것으로 생각된다.

3. 디지털 현실 디스플레이

디지털 현실 디스플레이는 디스플레이 기기의 표면, 즉 화면에 영상이 있는 것이 아니라, 공간상에 존재하는 형태를 가진다. 또한 제공되는 객체들이 디지털 기술로 생성되고 재현되는 특성을 가진다. 그리고 일반적으로 근안 디스플레이 기술을 바탕으로 제공될 것이다.

근안 디스플레이로 영상을 제공하는 경우에는 사용자가 감지할 수 있는 시야 영역 전체에 영상을 제공해야 하므로 매우 높은 해상도를 가져야 한다. 또한 사용자가 머리에 걸치는 형태이기 때문에 매우 작은 폼팩터를 가지는 디스플레이 패널이 요구된다. 이렇게 높은 해상도와 작은 폼팩터를 동시에 만족시키기 위해서는 기존의 glass 기반 디스플레이가 아닌 더 고집적 디스플레이가 요구되며, 이에 따라 실리콘 반도체를 기판으로 사용하는 형태가 될 수밖에 없다. 이렇게 Si CMOS 기술



<그림 7> LetinAR에서 개발한 핀미러 방식의 AR 디스플레이

로 만들어진 기판을 사용하는 경우에는 구동에 필요한 회로들도 동시에 형성하는 것이 가능하므로 매우 작은 패널과 구동보드를 구현하는 것이 가능하다. 또한 반도체 기술의 발전에 따라 기판의 성능 또한 개선될 것으로 기대할 수 있다.

근안 디스플레이를 구현하기 위한 또 다른 주요 기술은 광학 부품 기술이다. 매우 작은 면적을 가지는 마이크로 디스플레이 패널에서 제공되는 영상을 사용자가 볼 수 있으려면, 영상을 동공 안에 투사하는 형태가 되어야 하며, 이를 위하여 회절광학소자, 홀로그램광학소자, 웨이브가이드, 자유 표면 렌즈 등 다양한 기술이 도입되고 있다. 우리나라의 LetinAR에서는 핀미러 방식의 광학소자를 이용한 AR 디스플레이를 선보인 바 있다.

이상적인 근안 디스플레이를 구현하기 위해서는 8K 이상의 해상도, 120 이상의 시야각, 통상 사용되는 안경 수준의 경량화, 깊이감의 구현, 초저 지연시간, 고휘도(특히 AR 응용) 등을 이룰 수 있어야 하는데, 아직까지는 기술적 난관이 많다고 볼 수 있다.

이러한 근안 디스플레이에 주로 이용되는 디스플레이 패널에는 LCoS와 OLEDoS가 있다. LCoS는 LC on Silicon의 약자이며, 액정 디스플레이를 Si 웨이퍼 위에 구현한 것이다. 통상의 LCD와 다른 점은 Si 기판이 불투명하기 때문에 반사형 디스플레이로 작용한다는 점이다. 액정 디스플레이의 특징을 가지고 있기 때문에 별도의 광원을 필요로 하며, 이 때문에 고휘도는 쉽게 구현할 수 있으며, 느린 액정 구동 속도 때문에 초저 지연시간 구현 등에는 약점이 있다. OLEDoS는 OLED on Silicon의 약자로, OLED를 Si 웨이퍼상에 구현한 것이다. 자발광 디스플레이기 때문에 별도의 광원을 필요로 하지 않고, 고속 동작에서는 유리한 점이 있으나 휘도 측면에서는 약점이 존재한다. 최근에는 LED를 이용한 LEDoS도 연구되고 있다.

최근 학회에 보고된 연구결과에 따르면 콘택트렌즈 형태의 근안 디스플레이도 시도되고 있다. 이러한 시도들은 반도체 웨이퍼 상에 직접 LED소자를 형성할 수 있는 방법을 이용하여 매우 작은 면적이지만 14,000ppi에 이르는 초고해상도 디스플레이를 구현할 수 있기에 가능하다.

이러한 초소형 근안 디스플레이가 구현된다면, SF 영화에 자주 등장했던 것과 같이 별도의 디스플레이 장치 없이 정보를 접할 수 있는 진정한 의미에서는 디지털 현

실이 제공될 수 있을 것이다.

4. 3D 디스플레이

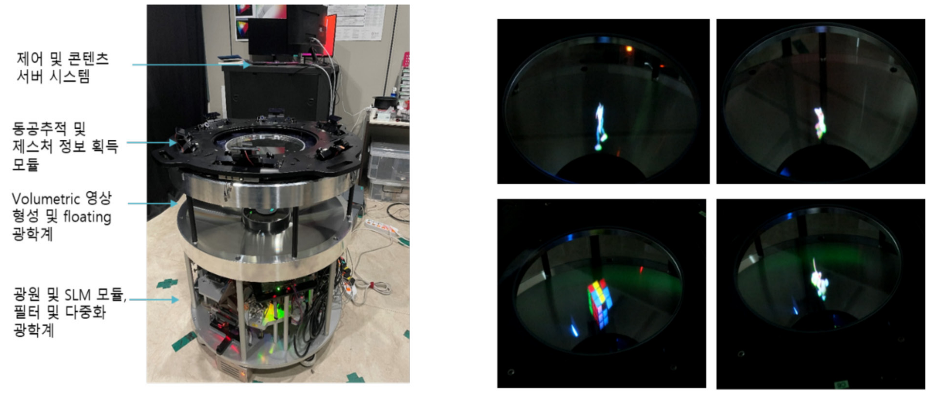
실제 사물과 똑같은 영상을 재현하고자 하는 입체 디스플레이는 오랜 기간 인류의 꿈이었다. 그런데, 공간상에 영상을 만드는 것은 물리적으로 쉽지 않기 때문에, 2차원 디스플레이를 이용하여 입체 디스플레이를 구현하고자 하는 시도가 있었다. 그동안 다양한 방법으로 시도되었으며, 근본적인 구현 원리에 대해서는 밝혀져 있음에도 그동안의 전자 디스플레이의 기술적 진보가 충분하지 않아 실현되지 못했었다. 일반적으로 이상적인 입체 디스플레이를 구현하기 위해서는 빛의 파장 수준에서 빛을 조절하는 정도의 디스플레이 기기가 필요하다. 최근 개발된 마이크로 디스플레이의 경우 수 um 정도의 픽셀 크기를 가지고 있으므로 어느 정도 근접한 집적도를 제공할 수 있다고 할 수 있다.

사용자가 입체감을 느끼게 하려면, 다양한 인자를 만족시켜야 한다. 그중 대표적인 것이 수렴과 초점거리의 일치이다. 사람은 양눈을 이용하여 물체를 보기 때문에 물체와의 거리에 따라 눈에 있는 수정체의 초점거리도 바뀌지만, 양안이 물체를 향하는 각도 또한 달라지게 된다. 그런데, 양안에 서로 다른 시각 데이터를 입력하여 입체처럼 보이게 하는 경우에는 영상까지의 초점거리와 물체를 향하는 양안의 수렴거리가 일치하지 않는 문제가 발생한다. 이 경우 이러한 입체 영상을 보는 사용자는 두 정보의 불일치에 의하여 어지러움이나 불쾌감을 느끼게 된다. 따라서 이상적인 입체 디스플레이는 수렴거리와 초점거리가 일치되도록 정보를 제공하여야 한다. 이러한 이상적인 입체 영상에 가까운 것이 홀로그램이나 라이트필드 기술이다.

이중 라이트필드 기술은 비교적 쉽게 평면 디스플레이로 구현하는 것이 가능하여, 최근 전시회나 학회에서 작은 화면 형태로 시연이 되고 있으며, 양산품을 제공하는 업체도 등장하고 있다.

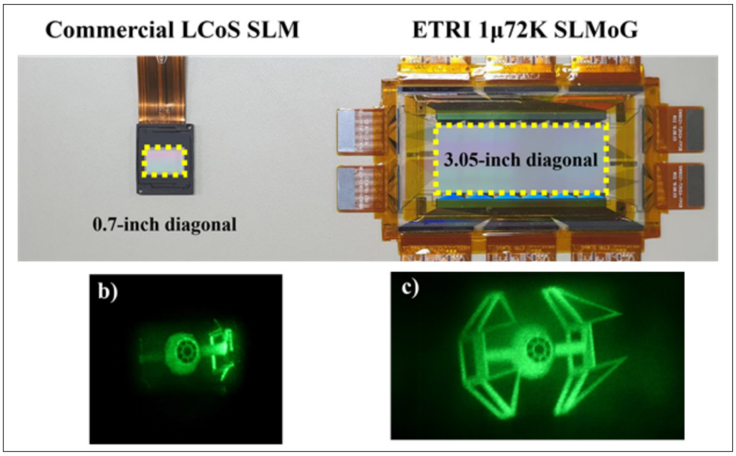
홀로그램 기술은 아직까지 더 높은 집적도를 가지는 픽셀과 광학 부품을 요구하고 있지만, 제한된 성능을 가지는 시제품 형태로는 시연되고 있다. 특히 ETRI에서는 360도 테이블탑 홀로그램 디스플레이 및 1um급 픽셀 피치를 가지는 공간광변조기를 이용한 홀로그램 디스플레이를 시연한 바 있다.

입체 디스플레이를 구현하기 위해서는 집적도가 높



<동시 사용자 지원 테이블탑 홀로그래픽 디스플레이> <홀로그램 재현 영상 예시>

<그림 8> ETRI에서 개발한 360도 테이블탑 홀로그램 디스플레이



<그림 9> ETRI에서 개발한 1um 픽셀피치 SLM과 재현된 홀로그램 영상

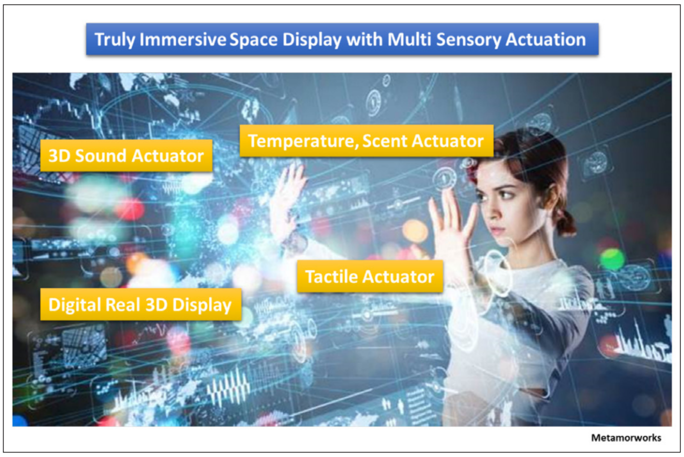
은 패널뿐만 아니라 이렇게 집적도가 높은 패널을 구동하기 위한 구동기술과 데이터 전송기술 및 인프라, 데이터 생성 기술 및 계산 성능 등 다양한 주변 기술이 동시에 필요하다.

입체 디스플레이는 우선은 제한된 시야에서 구현이 가능한 근안 디스플레이에 적용될 것으로 예상된다. 즉, 디지털 현실 디스플레이내에서 우선 실현이 되고, 이후 패널 기술이나 주변 기술의 발전에 따라 적용 영역이 넓어질 것으로 예상된다.

5. 공간 디스플레이의 진화

지금까지의 디스플레이는 시각 정보를 전달하는 기능에 머물러 있었다면, 향후에 공간 디스플레이로 발전함에 따라 주변 환경을 감지할 수 있는 센서와의 결합이 예상된다. 또한 시각 이외에 촉각, 청각 등 오감을 제공하는 디바이스와의 결합 또한 생각할 수 있다.

이러한 다양한 센서와 액추에이터와의 결합은 진정한 의미에서 몰입 공간의 제공으로 이루어지게 되어 또



<그림 10> 센서 및 액추에이터와 결합된 공간디스플레이의 미래상

다른 현실을 구현하는 메타버스 미디어가 완성될 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 결 론

지금까지 디스플레이 기술의 과거 발전 모습과 더불어 향후 공간 디스플레이 형태로 발전해 나갈 디스플레이 기술의 발전 모습을 살펴보았다. 디스플레이 기술은 사회의 디지털화가 고도화될수록 점점 비중이 커질 수 밖에 없으며, 가장 민감하게 변화해 나가는 기술이 될 것으로 예측된다. 우리나라의 디스플레이 기술이 현재의 기술적 우위를 바탕으로 향후에도 기술적으로 선도해 나가기를 기대해 본다.

참 고 문 헌

[1] 황치선, 공간디스플레이의 미래, 2022년 춘계 방송과 미디어 기술 워크숍, 2022.05

[2] 이정익 등, 디스플레이 미래기술 2035, 인포메이션 디스플레이, 2021.12

[3] J.-H. Hong et al., 9.1-inch stretchable AMOLED display based on LTPS technology, JSID, 2017

[4] Ji Hun Choi et al., World-first 1um-pixelated 72K large area active matrix spatial light modulator on glass for digital holographic display, IEDM 2021

필 자 소 개

황 치 선

- 1991년 : 서울대학교 물리학과 학사
- 1993년 : KAIST 물리학과 석사
- 1996년 : KAIST 물리학과 박사
- 1996년 ~ 2000년 : 현대전자 메모리 연구소
- 2000년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 ICT창의연구소
- 주관심분야 : 산화물 TFT 및 백플레인, 홀로그램용 SLM, 홀로그램용 메타소재