



# Connected and Secured Smart Life를 위한 협업기반 웨어러블 디바이스 개발

## I. 플렉서블 디스플레이 현황

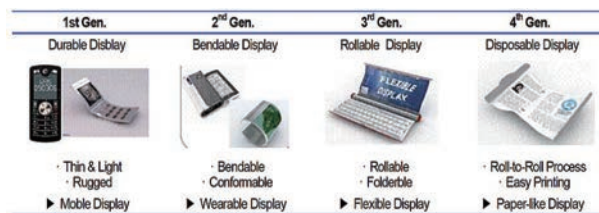
플렉서블 디스플레이는 플라스틱 등의 유연기판 위에 디스플레이를 제작함으로써, 굽히거나, 감고 접을 수 있을 뿐만 아니라 얇고, 가벼우며, 깨지지 않는 특성을 갖고 있다. 또한 LCD와는 달리 액상이 아닌 고상 소자 구조로 인해 형태변형과 경량화가 가능하고, 색재현율 및 시야각이 우수한 장점들로 인해 평판디스플레이(Flat Panel Display, FPD) 기술을 플렉서블 디스플레이에 적용하기가 쉽다.

글라스 기판인 평판 디스플레이 대비 플렉서블 디스플레이의 장점은 더 얇고 가벼우며, 깨지지 않고, 좁은 공간에 넓은 면적의 디스플레이를 보관하였다가 필요시 확장할 수 있는 등의 특징을 갖고 있어 기능적인 면 이외 디자인 자유도가 높은 장점을 지니고 있다. 이러한 디자인 자유도를 활용할 경우 기존의 평판 디스플레이에서 불가능한 새로운 디자인 제품들을 개발할 수 있다.

플렉서블 디스플레이의 발전 단계는 아래 <그림 1>과 같이 1세대에서 4세대까지 기술의 발전 단계에 따라 형태 변형 정도가 다양하다. 현재 durable과 bendable 디스플레이의 경우 기술개발과 제품화를, rollable과 foldable디스플레이는 기술개발 중으로 <그림 2>와 같이 시제품 형태로 출시되고 있어 조만간 상품화가 가능할 것이다. 휘



박영호  
한국산업기술평가관리원



<그림 1> 디스플레이의 발전 단계<sup>[1]</sup>

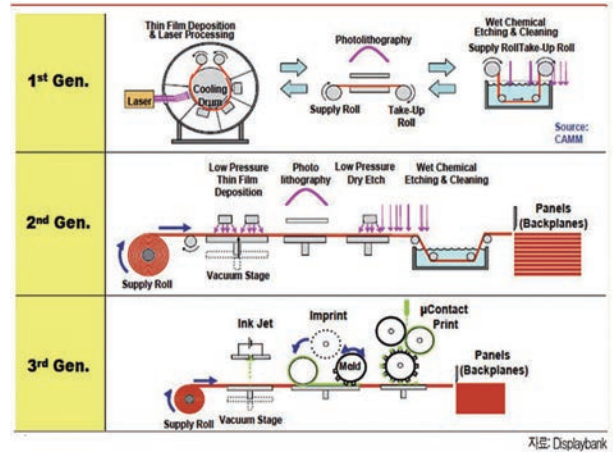


어진 형태로 고정되어 있는 Bended(또는 Rugged) 형태와 접어서 사용할 수 있는 Foldable, 두루마리 식으로 말아서 보관할 수 있는 Rollable 등에 대한 시제품은 <그림 2>에 보여주고 있다.

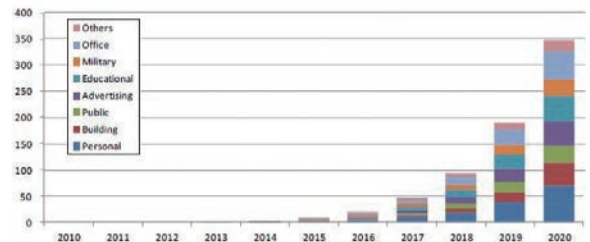
플렉서블 디스플레이는 단순히 디스플레이가 휘어지는 유연성뿐만 아니라 글라스 기판의 대형화, 깨짐 등으로 인해 이송과 설치에 대한 제약이 많이 사라진다. 제조 단가의 경우에도 기존의 대형 글라스이송과 이에 따른 대형공정 장비가 필요하지만 디스플레이 산업의 한계를 뛰어넘는 새로운 소재, 부품, 공정, 장비기술이 실현된다면 종이와 비견될 수 있는 수준의 저가격화를 실현할 수 있을 것이다.

앞서 서술한 플렉서블 디스플레이의 장점에도 불구하고 현재 소재, 공정과 장비 등 기술의 한계로 현재는 <그림 3>과 같이 배치(batch)형태로 제작하고 있으며, 향후에는 <그림 4>와 같은 롤투롤(Roll to Roll)공정을 할 수 있도록 많은 연구를 진행하고 있다.

시장 조사기관인 디스플레이뱅크에 따르면 <그림 5>와 같이 플렉시블 디스플레이 패널 시장이 2015년을 시작으로 급격하게 성장할 것으로 예측하고 있다. 최근 플렉시블 OLED 패널을 탑재한 스마트폰, 스마트워치 등 신제품이



<그림 4> 롤투롤 형태의 플렉서블 디스플레이 제조 공정<sup>[3]</sup>



<그림 5> 연도별 플렉서블 디스플레이 시장변화<sup>[1]</sup>

품이 계속 출시되고 있으며 또한 새로운 응용분야도 생각하고 있다. 그러나 플렉서블 디스플레이의 제조공정이 개선되지 않으면 생산단가가 높아 성장이 예상보다 더딜 수도 있다.

플렉시블 OLED 패널을 탑재한 제품이 첫 등장한 시기는 2013년 하반기로 삼성전자가 갤럭시 라운드를, LG전자가 G플렉스를 출시하였다. 그 후 삼성전자가 갤럭시노트 엡지, 기어S, LG전자 G워치R이 플렉시블 디스플레이를 적용하였다. 최근 애플도 스마트폰에 플렉서블 디스플레이를 탑재할 것이란 보도를 하고 있다.

다양한 장점을 갖는 플렉서블 디스플레이를 제조하기 위해서는 (1) 유연기판기술, (2) 구동소자기술, (3) 표시소자(화소)기술, (4) 봉지기술, (5) 모듈기술 등 다양한 분야에서 기술 개발이 이루어져야 하며 이를 위해 새로운 개념의 소재, 공정 및 장비 기술개발이 필요하다.



<그림 2> 발전 단계에 따른 디스플레이 제품들<sup>[2]</sup>

Handling	Laminated Plastic	Coating Plastic	Transfer to Plastic
Process Flow	Adhesives Plastic substrate Carrier Plate Plastic substrate Carrier Plate Plastic substrate lamination TFT Array Carrier Plate TFT Process Plastic substrate TFT Array Plastic in. Off Carrier Plate	Sacrifice layer Spacers/Pixels Carrier Plate Coating of Plastic Solution TFT Array Carrier Plate EPD Plastic substrate Carrier Plate Plastic in. Off Carrier Plate	TFT array Original Substrate Plastic substrate Water soluble adhesive TFT array Original Substrate Laser In transfer Substrate Water soluble adhesive TFT array Adhesive Plastic Substrate TFT array Adhesive Plastic Substrate
Process	Low Temp.	Middle Temp.	High Temp. (on glass)
Cost	Low	Middle	High

자료: Displaybank

<그림 3> 배치 형태의 플렉서블 디스플레이 제조 공정<sup>[3]</sup>

## II. 기술 개발 현황

### (1) 기관 기술

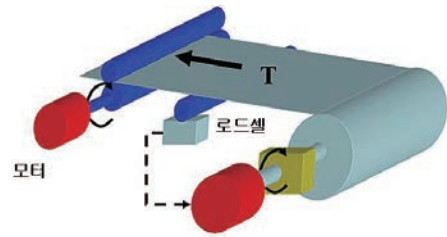
플렉서블 디스플레이는 유리 대신 유연 기판을 사용하기 때문에 유연기판의 특성이 플렉서블 디스플레이 특성을 많이 좌우하며 제조공정 역시 달라야 하기 때문에 기관의 선택이 중요하다<sup>[4]</sup>. 기관이 갖추어야 할 특징으로는 (1) 무색의 높은 투과성, (2) 찢어지거나 부서지지 않고 단단해야 하는 기계적 성질, (3) 낮은 가격과 높은 가공성, (4) 열 및 유기용매에 늘어나거나 수축되지 않는 Film 안정성, (5) OLED 소자 보호를 위한 낮은 산소 및 수분 투습성 등이다.

플렉서블 기판은 크게 플라스틱 필름, 금속판과 박막유리 3종류로 이에 따른 특징은 <표 1>과 같다. 현재 기관의 대부분은 플라스틱 필름으로 이에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. LCD초기부터 사용하는 유리는 두께를 수십  $\mu\text{m}$ 으로 제조하면 말거나 구부릴 수 있어서 플렉서블 디스플레이로 사용이 가능하다. 그러나 플라스틱 필름에 비해 유연성이 낮고 깨짐에 대해서 완전 자유롭지 않기 때문에 사용에 있어 제한적이며, 금속박판의 경우에도 유연성과 투과도 등의 문제로 잘 사용하지 않고 있다. 따라서 많은 단점에도 불구하고 플렉서블 디스플레이는 플라스틱 기판이 가장 많이 사용하고 있으며, 많은 연구자들이 플라스틱 기판의 단점을 극복하기 위한 노력을 하고 있다.

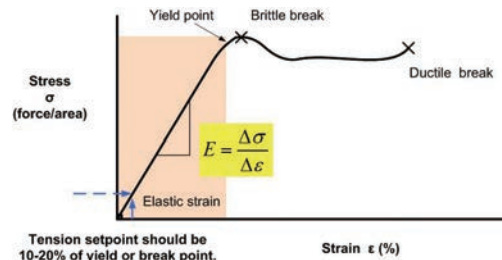
플라스틱 기판을 제조할 때나 이송시 가장 손쉬운 방법

<표 1> 플렉서블 기판 종류에 따른 특징

종류	장점	단점
플라스틱 필름	- 높은 유연성 - 가벼움 - 충격 저항성이 좋음 - 형태 자유도가 높음	- 낮은 열 특성 - 기계적 특성이 낮음 - 화학적으로 안정성이 낮음 - 수분과 산소 등에 배리어박 코팅 필요
금속판 (Metal Foil)	- 롤투롤 공정 가능 - 높은 열저항 특성 - 형태의 안정성이 높음 - 수분과 산소에 대한 배리어특성이 양호	- 표면 거칠기가 나쁨 - 내식성이 낮음 - 불투명함 - 무게가 무거움
박막유리	- 높은 투과도 - 좋은 배리어 특성 - 재료비가 높음	- 깨지기가 쉬움 - 유연성이 낮음



<그림 6> 플렉서블 기판을 이용한 롤공정 개념도



<그림 7> 일반적인 재료의 응력과 변형률 곡선

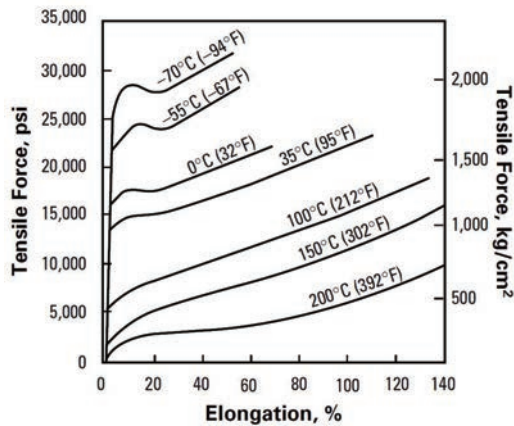
은 롤(roll) 자체 또는 감거나 풀어서 사용하는 것이다. 롤을 <그림 6>와 같이 감을 때 일반적으로 필름에 응력을 주어 사용한다. 이러한 기판이송은 모터에 회전력을 롤에 가했을 때 기판과 롤의 마찰력에 의해 응력이 전달되며 이때 롤의 균일도와 필름의 상태에 따라 응력의 균일도가 정해진다. 따라서 기판에 균일한 응력을 전달하려면 롤의 가동도가 아주 높고 롤간 거리와 균형이 완벽하거나 비접촉식으로 응력을 가하는 방법을 사용하여야 한다.

탄성(Elastic) 거동에서도 완전 탄성과 점탄성 (Visco-elastic) 거동에 따라 다르며, 완전 탄성의 경우 응력이 제거되면 변형이 없어지지만 점탄성의 경우 일정 시간이 지나야 변형이 없이 원상태로 돌아온다.

일반적인 재료의 응력-변형률 곡선은 <그림 7>과 같이 변하지만 플라스틱 기판은 온도에 따라 <그림 8>과 같이 그 변화가 일반 글라스에 비해 심하며  $-70^{\circ}\text{C}$ 에서  $200^{\circ}\text{C}$ 로 올렸을 경우 항복 강도가 1/10이하로 변하며,  $200^{\circ}\text{C}$ 에서는 항복강도가 거의 나타나지 않는다. 따라서 TFT 형성시 열처리하는 박막 증착시 이러한 탄성영역에서 공정을 진행하여야만 기판의 변형을 최소화 할 수 있다.

플라스틱 기판을 탄성영역에서 응력을 가하였을 경우 균일한 팽창, 수축을 하지 않으며, 롤을 감는 방향으로 응력을 가했을 경우에도 폭 방향으로 변형이 일어나며 이 경우에 변형률은 응력과 Poisson's비의 함수로 나타난다.





〈그림 8〉 Mylar 필름의 온도에 따른 응력과 변형을 곡선<sup>[4]</sup>

필름에 박막을 증착한 다음 권취 롤에 감았을 경우에도 응력이 존재하며 이때의 응력은 권취 롤의 반경과 코팅막의 특성에 따라 달라진다.

유연 필름에서 변형은 응력의 크기도 중요하지만 분포가 더욱 중요하다. 필름 이송시 롤을 통해 가해지는 응력이 일정하지 않으며, 필름의 조성, 두께, 탄성계수와 Poisson's 비 등이 균일하지 않기 때문에 필름의 변형은 불균일하여 정밀 패터닝(patterning)을 어렵게 한다.

TFT는 다층 구조이기에 포토(photo)에 의한 패터닝은 1차 패턴과 2차 패턴과의 중첩(overlay) 마진을 확보하여야 한다. 기판이 일정한 형태로 변형이 일어날 경우 이에 따른 보정이 가능하지만 불균일 변형에 대해서는 디지털 노광과 같이 실시간 보정뿐만 아니라 국부적인 변형에 의한 대응이 가능하여야 한다.

디스플레이 형성 공정은 온도변화를 수반하기 때문에 필름의 온도 이력 특성, 탈수분(out-gassing) 등 다양한 특성을 고려하여야 한다. 이러한 온도변화를 최소화하기 위해서는 저온 공정이 가능한 재료와 신공정 개발이 필요하다.

## (2) 유연 기판에서의 구동소자 기술

플렉서블 디스플레이용 구동소자 기술은 (1) 유연한 기판의 특성을 반영한 저온(또는 상온), 저원가 기술 개발 (2) 유기물을 기반으로 하는 유기 TFT 기술 개발 (3) 용액 공정이 가능한 실리콘 TFT 및 산화물계 TFT 기술 개발 등의 방향으로 진행되고 있다. 최근 산화물계 TFT기

술의 발전을 통해 유연기판용 공정 온도에서 성능을 확보하는 노력을 하고 있다.

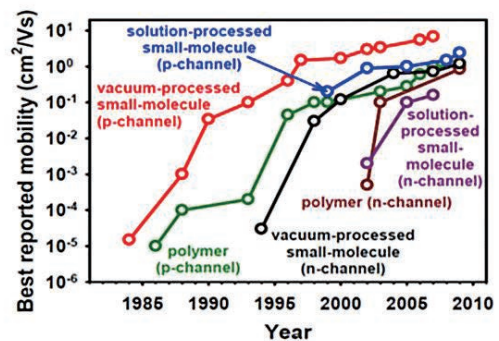
용액공정은 기존의 포토/에칭 공정으로는 공정을 단순화하고, 상온에 근접하는 저온화를 확보하여 원가경쟁력 확보하는 것이 관건이며, 롤투롤 공정이 도입되기 위해선 저온화와 동시에 대기압에 근접하는 비진공 기술의 확보가 필요하다.

### • Low Temperature Poly-crystalline Silicon (LTPS)

LTPS는 고해상도와 높은 전자 이동도 및 구동 전류 특성을 보이기 때문에 고해상도, 고품질 디스플레이 구현에 적합하나, 대면적화, 높은 공정 온도 및 공정비용에 대한 문제로 인해 플렉서블 기판용 TFT로는 적절하지 않다.

### • 유기(Organic) TFT

유기(organic) TFT는 디스플레이에서 요구하는  $5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  이상의 이동도 특성 구현에 제약이 있고, 안정성에 취약하다. 하지만, 유연성과 낮은 공정 온도라는 장점으로 인해 rollable, foldable 디스플레이에 가장 적합할 것으로 인식되고 있으며, 최근 성능이 크게 개선되어 〈그림 9〉와 같이 많은 연구기관에서 플렉서블 디스플레이에 적용하는 연구가 이루어지고 있다.



	a-Si	organic TFT	LTPS	oxide TFT
mobility (cm <sup>2</sup> /Vs)	< 1	~ 5	< 150	10 ~ 50
stability	fair	fair	excellent	good
uniformity	good	good	fair	good
flexibility	fair	good	fair	fair
productivity	good	good	fair	good
process temp. (°C)	< 350	< 180	> ~ 400	~ 300

〈그림 9〉 Organic TFT의 성능 개선과 타 기술과의 특성 비교<sup>[5]</sup>

• 산화물(Oxide) TFT

일본 Tokyo Institute of Technology의 H. Hosono<sup>[6]</sup> 교수가 제안하였던 IGZO (In-Gallium-Zn-Oxide) 조성의 반도체 물질을 주로 이용한다. Sharp사에서 2012년 LCD 패널에 최초로 상품화 적용을 하였으며, 비정질 Si와 유사한 방식으로 제작이 가능하다는 장점과 함께 이동도 특성이 우수하고, 대면적 적용에도 유리하다. 산화물은 유연 특성이 불리하지만, 봉지(encapsulation) 및 배리어층 도입을 통해 플렉서블 OLED 디스플레이에 적용하는 연구를 진행하고 있다.

산화물 반도체는 용액 공정을 이용하여 코팅이 가능하지만 후속 열처리가 300 °C 이상의 높은 공정 온도로 인해 플라스틱 기판에 적용이 쉽지 않다. 하지만 최근 University of Cambridge의 Siringhouse 연구팀, Ployera 사 등에서 공정 온도를 300 °C 이하로 낮추어, PI(polyimide) 와 같은 기판에 적용 가능할 정도로 저온 열처리 기술을 개발하고 있다.

Semiconductor Energy Lab(SEL)은 Nokia사와 함께 산화물 TFT를 이용하여 foldable OLED 디스플레이 프로토타입을 제작하여 발표하였다. (2014 SID 전시회) SEL사는 최근 IGZO의 낮은 전자 이동도를 개선한 CAAC-OS(C-Axis aligned Crystalline Oxide Semiconductor) 기술을 발표하였다.<sup>[7]</sup> CAAC-OS기술은 IGZO와 같은 산화물 반도체를 결정화하여 비정질 구조보다는 상대적으로 전자 이동도가 크고 광조사에 의한 안정성도 높다. 따라서 현재의 IGZO에 비해, 보다 더 박막 트랜지스터의 소형화(높은 해상도 가능), 저전력 및

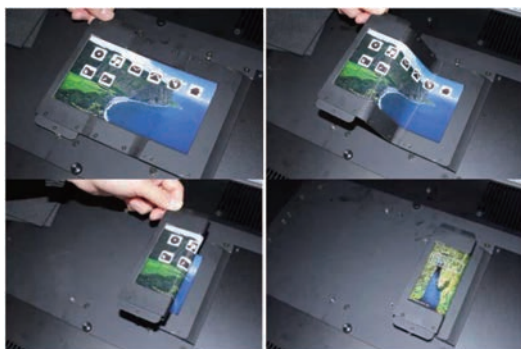
고성능화를 실현할 수 있어 고정밀화가 진행되는 스마트폰 등 모바일 기기용에 더욱 적합하지만 플렉서블 기판에 사용하기에는 온도의 문제가 있다. <그림 10>은 산화물 TFT를 이용한 OLED 디스플레이의 시제품을 나타낸 것이다.

(3) 용액공정에 의한 TFT 형성 기술

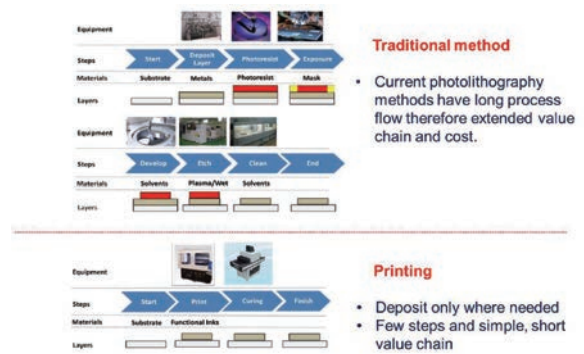
<그림 11>에서와 같이 제조 공정의 단순화를 통한 제조비용을 크게 감소시킬 수 있는 프린팅 공정 기법 개발을 위해 많은 용액형 소재 및 공정 연구가 활발히 진행되고 있다. 용액공정법으로 TFT를 제조하기 위해서는 우선 재료 개발이 중요하며, 현재 다양한 종류의 재료를 개발하고 있다.

Printed TFT 분야 연구는 주로 일본에서 많이 연구를 하고 있다. 2011년 27개의 printing 관련 회사, 장비, 재료 업체와 함께 National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)가 Japan Advanced Printed Electronics Technology Research Association (JAPER)을 설립하여 전 공정을 프린팅으로 제조하는 플렉서블 TFT 기판 공정 개발을 진행하고 있다. 2014년 SID에서 Yamagata university 그룹이 <그림 12>와 같이 전공정을 프린팅법으로 진행하여 2cm<sup>2</sup>/Vs 고이동도를 갖는 OTFT 소자를 제작하여 발표하였다.

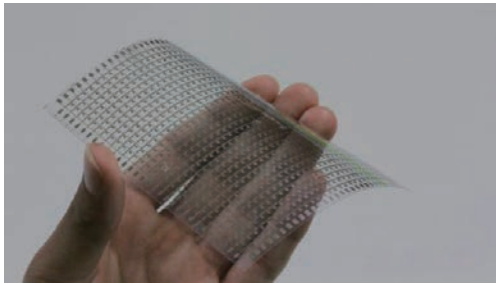
National Institute for Materials Science (NIMS)에서는 2014년에 printing 공정을 이용하여, 플렉서블 기판위에서 7.9cm<sup>2</sup>/Vs의 고이동도를 갖는 OTFT를 구현하



<그림 10> 산화물 TFT 기반 플렉서블 OLED 디스플레이 시제품<sup>[5]</sup>



<그림 11> 기존 공정과 프린팅 공정 비교<sup>[5]</sup>



〈그림 12〉 프린팅 법으로 제작한 OTFT 기판<sup>[2]</sup>

였다. 전도성 금속 입자에 전도성 리간드를 적용함으로써 상온 공정으로 낮은 전도도를 나타낼 수 있도록 하고, 그 외 공정 또한 상온에서 진행함으로써 열에 취약한 기판 재료의 제약이 없도록 하였다.

Toppan printing은 오프셋 프린팅 방식을 이용한 고해상도 전극 형성 기술과 플렉소그래픽 프린팅 (flexographic printing) 방식을 사용한 반도체 층 형성 기술을 이용하여 OTFT를 제작하여 전기영동 (electrophoretic) 디스플레이를 구현하였다. 이 외에도 Ricoh사, Dai Nippon, Sony 등은 잉크젯 프린팅, 오프셋 프린팅을 이용하여 다양한 프로토타입의 프린팅 TFT 구현 기술을 개발하고 있다.

• 롤투롤 공정에 의한 TFT 형성 기술

새로운 공정의 도입 없이 기존 글라스 기반의 프로세스를 유연기판을 이용한 롤투롤 공정에 적용하는 연구들을 진행하고 있다. 대표적인 기관으로 미국의 CAMM (Center for Advanced Microelectronics Manufacturing)에서는 롤투롤 공정으로 TFT를 제조할 수 있는 진공성막→노광→에칭 장비로 구성된 라인을 보유하고 있으며, 특히 핵심 설비인 롤투롤 노광장비는 Azores사의 장비를 롤투롤 형태로 개조한 것으로 최소패턴 4 μm의 해상도를 가지는 장비를 보유하고 있다.

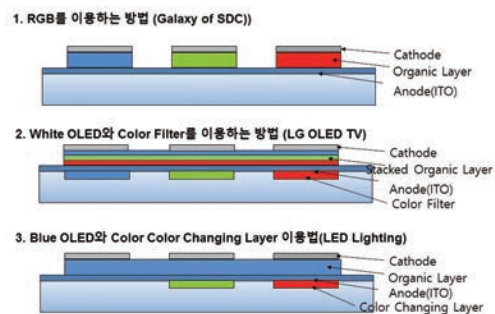
CAMM은 회원제로 운영되며, 국내기업 뿐 아니라, GE, Texas Instrument, Xerox, Dow 등 많은 기업들에서 롤투롤 유연 전자소자 제작을 위한 연구를 수행하고 있으며 IGZO 방식 TFT로 14cm<sup>2</sup>/Vs 에 이르는 고이동도 결과를 보이고 있다.<sup>[8]</sup>

(4) 표시소자(화소) 형성 기술

OLED의 RGB(Red, Green, Blue) 화소 형성에는 다양한 방법이 있지만 대표적인 3가지 방법을 〈그림 13〉에 나타내었다. 가장 일반적인 방법은 〈그림 13〉에 (a)와 같이 하부전극과 상부전극 사이에 유기물을 증착할 때 패터닝을 하는 방법으로 삼성디스플레이에서 소형 패널을 제작할 때 사용하고 있다. 또 다른 방법은 〈그림 13〉에 (b)와 같이 유기박막은 패터닝을 하지 않고 RGB를 적층으로 증착하여 white 색을 내면서 형광물질이 색변환을 하는 방법이다. 이때 화소 단위로 점등을 하기 위해서는 상부 또는 하부의 전극을 패터닝을 하여야 한다. 이러한 white OLED방법은 흰색을 내기 위해서 많은 유기물을 적층하여야 하는데, 청색 유기소자의 효율과 수명이 개선된다면, 〈그림 13〉에 (c)와 같이 청색만으로 발광한 다음 R과 G를 형광물질로 색변환을 할 수 있어 제조단가를 획기적으로 낮출 수 있다.

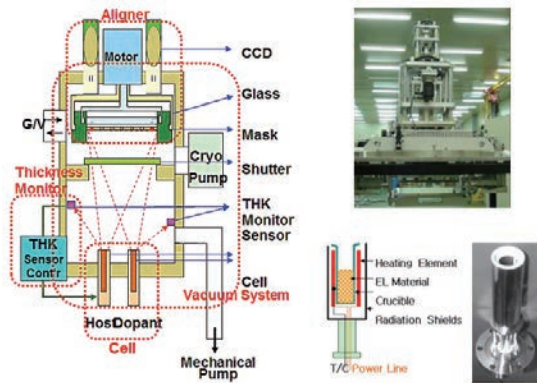
OLED 박막 증착은 〈그림 14〉와 같이 evaporation(진공증발증착)방법을 사용하고 있으며, 이 중 핵심 모듈은 마스크와 기판을 정렬하는 정밀 얼라이너(aligner)와 증발원(evaporation source)이다. 이러한 정밀 얼라이너와 증발원을 이용한 증착장비는 6세대급까지 개발이 되어 있고, 정밀 얼라이너가 없는 경우에는 8세대까지 개발을 진행하고 있다.

메탈 마스크에 의한 OLED 화소 형성방법은 〈그림 15〉와 같이 증착과 동시에 RGB를 형성하기 때문에 별도의 패터닝이 필요하지 않다. 그러나 패터닝을 메탈 마스크에 의해 일어나기 때문에 새도우 효과를 억제할 수 없다. 새도우 효과는 메탈 마스크의 두께와 증착 방향성 때문

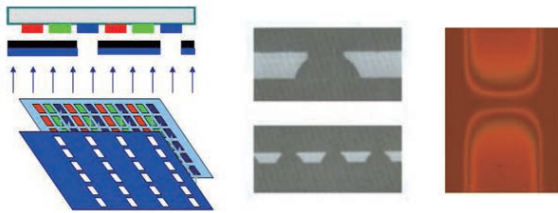


〈그림 13〉 OLED 화소 형성 방법





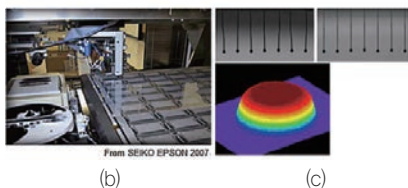
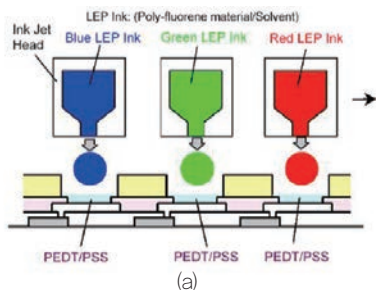
〈그림 14〉 메탈 마스크 법에 의한 증착 과정 (a)과 메탈 마스크(b), 마스크에 의한 새도우 효과(c)



〈그림 15〉 메탈 마스크 법에 의한 증착 과정 (a)과 메탈 마스크(b), 마스크에 의한 새도우 효과(c)

에 일어나는 현상으로 마스크의 두께에 크게 의존하지만, 마스크가 너무 얇으면 기계적 강도가 약해 제작이 어렵고 공정시 다루기가 힘들다. 그러나 최근 삼성디스플레이사는 이러한 어려움을 극복하고 500ppi(pixels per inch)이상의 디스플레이를 제작하고 있다.

RGB형성 방법의 또 다른 방법은 잉크젯 프린터를 사



〈그림 16〉 잉크젯 장비의 개념도(a)와 장비, 젯팅후 유기박막의 모양(c)

용하는 법이다. 〈그림 16〉와 같이 일반적인 잉크젯 프린터와 같이 RGB 유기물 소재를 액상화하여 프린팅하는 방법이다. 잉크젯 프린팅 법은 새로운 재료개발과 함께 잉크젯 헤드 기술, 패터닝 기술, 연속공정시 헤드와 용액의 재현성, 젯팅후 열처리 등 많은 기술 개발을 필요로 하지만 상압과 용액공정이 가능하기에 향후 기술로 주목을 받고 있다.

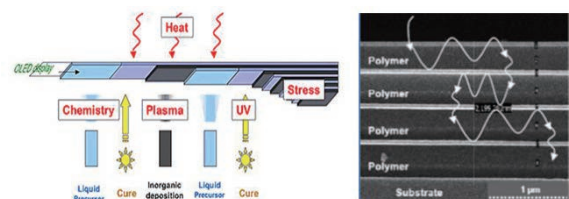
### (5) 봉지 공정 기술

OLED 재료는 수분과 산소에 취약하기 때문에 패널을 제작한 후 〈그림 17〉과 같이 다양한 방법으로 봉지(encapsulation)공정을 진행하여 내부의 유기물을 보호하여야 한다. OLED 개발 초기에는 봉자재료를 유리 기판을 사용하였지만, 플렉서블 디스플레이에서는 사용이 불가능하기 때문에 최근에는 배리어 필름을 사용하거나 유기기 박막을 연속으로 증착하여 사용한다.

플렉서블 디스플레이에서 가장 많이 사용하는 공정은 미국 Vitex사가 개발한 유기물과 무기물을 연속으로 증착하는 방법으로 〈그림 18〉과 같다. 유기물은 수분과 산소에 대한 투습성이 나쁘지만 소자의 굴곡과 파티클에 영향을 최소화하기 위한 평탄화, 무기물은 투습성에 대한

구 분	봉지 방법 및 적용 소자	봉지 구조
Rigid Substrate (Glass)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Glass에 소자 영역만큼 Can 형태로 파내서 합착함.</li> <li>- 소형 디스플레이 패널에 주로 사용</li> <li>- 대형용으로 사용하기에는 봉지용 Glass가 약함.</li> <li>- 가장 간단한 형태임.</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Glass를 가공하지 않고 소자를 기판에 집합</li> <li>- 대형 디스플레이나 조명용으로 사용</li> <li>- 패널 측면에서 수분 및 산소 침투에 대한 방지법이 필요함</li> </ul>	
Flexible Substrate (Polymer Film, Metal Foil, etc)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 소자 제작후 증진제를 채운 뒤에 봉지용 필름을 집합(lamination)하여 사용함</li> <li>- 증진제, 봉지용 필름 개발이 필요함.</li> <li>- 패널 측면에서 수분 및 산소 침투에 대한 방지법이 필요함</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 소자 제작후 유기물/무기물 박막 중적으로 봉지공정 진행</li> <li>- 봉지막의 두께가 얇아 플렉서블 디스플레이용으로 가장 적합함.</li> <li>- 스크래치 등 기계적 강도가 약해서 보호막 필요</li> <li>- 박막봉지 공정이 복잡하고 투자비가 높음</li> </ul>	

〈그림 17〉 OLED 봉지 공정 특징과 개념도



〈그림 18〉 Vitex사의 박막봉지 개념(a)과 박막봉지에서 빠른 투습경로(b)<sup>9)</sup>

저항이 높은 장점을 이용한 다층 구조를 사용하는 것이 일반적이다. 유무기 복합구조는 층수가 많을수록 좋은 봉지 특성을 나타내지만, 제조단가가 높아져 최적의 공정조건을 찾아야 한다.

### III. 맺음말

OLED는 1980년대 Easten Kodak에서 발견한 후 많은 기술개발을 통해 새로운 디스플레이로 각광을 받고 있다. 특히 LCD와 달리 액정을 사용하지 않기 때문에 플렉서블 디스플레이로 사용하기에 최적의 특성을 갖고 있어서 두루마리 디스플레이, 폴더블 뿐만 아니라 향후 웨어러블 소자로 널리 사용될 것으로 예측된다.

플렉서블 디스플레이 기판이 기존 유리에서 유연필름으로 바뀌면서 이에 따른 새로운 소재·부품과 공정기술 개발이 필요하다. 현재 유연 기판 기술개발은 기술개발 초기 단계이며, 이와 더불어 고효율 OLED 소재와 유기물 패턴, 증착 장비, 유연 TFT등 다양한 기술 개발도 동시에 이루어져야 한다. 해외에서는 미국의 Flexible Display Center, 일본의 NEDO, 유럽의 'FlexiDis' Project를 통해 다양한 플렉서블 소자에 대한 기술 개발이 진행되고 있다.

플렉서블 디스플레이는 기존의 유리와는 달리 유연 기판을 사용하고 있기 때문에 형태 자유도가 높아 LCD보다는 더욱 다양하게 적용되고 있으며 이러한 폭 넓은 사용은 정체된 디스플레이 시장의 성장을 예고하고 있다. OLED와 플렉서블 디스플레이의 기술은 현재 우리나라가 다른 나라에 비해 앞서가고 있지만 지속적인 디스플레이 강국을 유지하기 위해서는 기판기술, 구동기술, 화소기술 등의 패널 기술뿐만 아니라 제품화 기술개발이 동시에 이루어져야 한다.

### 참고 문헌

[1] “플렉서블 디스플레이 시장 및 기술” Displaybank(2007)  
 [2] 이정노, 한철중, “ 플렉서블 디스플레이 기술 현황 및 전망”, PD ISSUE REPORT 13(2013) vol 10. 47-56.  
 [3] 김현진 외, “플렉서블 디스플레이 발전 로드맵 수립 연구회

보고서”, 한국디스플레이산업협회(2010) 27~28p.

[4] 박영호 외, “플렉서블 디스플레이용 기판 기술개발 동향”, PD ISSUE REPORT 15(2015) vol 12. 129-144.  
 [5] Production Information of Mylar Film, DuPont Teijin Films  
 [6] OLED Display Forecast 2015-2025: the Rise of Plastic and Flexible Displays, 2015, IDTechEx.  
 [7] Jpn. Pat. No. 1639398  
 [8] Jpn. Pat. No. 5211261  
 [9] Robert Jan Visser, “Barix Multilayers: a Water and Oxygen Barrier for Flexible Organic Electronics” Vitex Co.



박영호

- 1992월 8월 한국과학기술원 재료공학과 (공학박사)
- 1993월 12월 삼성전자 반도체 연구소 선임연구원
- 1998월 4월 아펙스 기술개발 부장
- 2000월 5월 선익시스템 연구소장, CEO
- 2009월 12월 DMS 연구소장
- 2012월 11월 공주대학교 산학중점교수
- 2015월 7월~현재 한국산업기술평가관리원 디스플레이 PD

<관심분야>  
차세대 디스플레이