



정보 디스플레이용 봉지 및 접착 기술

Sealing and Bonding Technologies for Information Display

이 준 협 / 명지대학교 화학공학과 조교수

1. 서론

현대 산업사회가 고도의 정보화 시대로 발전함에 따라 정보의 교류가 산업 및 사회의 근간으로 자리잡고 있다. 인간과 전자기기 간에 방대한 양의 정보가 전달되고 있으며, 각종 장치로부터 다양한 정보를 시각화하여 인간에게 전달해 사람과 기기간의 인터페이스 역할을 수행하는 정보 디스플레이는 그 중요성이 날이 증대되고 있다.

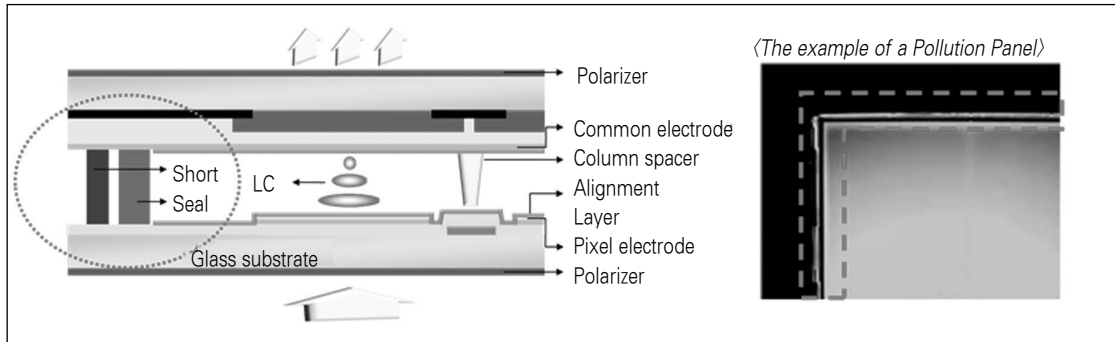
1990년도 이전에는 무겁고 부피가 큰 CRT(cathode-ray tube)가 오랫동안 디스플레이 시장을 이끌어 왔지만, 90년도 이후부터는 이를 대신해 가볍고 얇은 PDP(plasma display panel), LCD(liquid crystal display), OLED(organic light emitting diodes) 등의 평판디스플레이(FPD: flat panel display)가 디스플레이 시장을 주도하기 시작했다. LCD의 급속한 기술적 발전에 힘입어 평판디스플레이는 소형 모바일 기기로부터, 노트북, 모니터, TV, 대형디스플레이에 이르기까지 전자정보 디

스플레이 분야의 거의 대부분을 차지하고 있다.

최근 디스플레이 시장은 중소형의 경우 Apple사 “iPhone”으로 대표되는 LCD와 Samsung사 “Galaxy”로 대변되는 OLED를 중심으로 양분화된 시장 구조를 갖고 있으며, 대형의 경우 LCD가 주류를 이루고 있는 가운데 곡면(curved) TV 등의 프리미엄 시장을 중심으로 OLED가 플래그쉽 형태로 진출하고 있는 상황이다. OLED 대형화 기술이 아직 미흡한 가운데 차세대 LCD 기술들은 점진적으로 개발 발전되고 있는데, 초고해상도 UD(ultra-definition) 기술, 초대형 타일드(tiled) 디스플레이 기술, 무안경식 3D 기술 등이 현재 개발 및 일부 상용화되고 있다.

LCD를 중심으로 한 FPD의 등장이 디스플레이 시장의 팽창을 가져오면서 급격한 성장을 이루었지만, 최근 공급과잉과 더불어 신시장의 고갈로 성장률이 감소하고 있는 상황이다. 이에 따라 새로운 미래 디스플레이 시장을 개척하고자 하는 시도가 이루어지고 있으며, 대표적인 분야는 플렉서블 디스플레이와 투명 디스플레

[그림 1] LCD패널 단면도 및 봉지 불량 현상



이 분야이다. 플렉서블 디스플레이는 플라스틱 기판을 기반으로 하는 가볍고 깨지지 않고 형태 변형이 가능한 디스플레이로 휘거나, 구부리거나, 말 수 있는 모든 형태의 정보기기로 응용 가능하며, 투명 디스플레이는 화면의 뒷배경이 비춰 보이는 디스플레이로 양방향 정보기기, 자동차 윈도우, 증강현실 시스템 등으로 응용될 수 있다. LCD 기술에 비해 넓은 시야각, 초고속의 응답속도, 백라이트가 필요하지 않는 자체 발광 성질, 가볍고 얇은 구조 등의 장점을 가진 OLED 기술이 이러한 미래 디스플레이 구현에 용이하기 때문에 차세대 디스플레이 기술로 인식되고 있다.

이러한 기술 및 시장 배경에서 본 논문에서는 다양한 정보 디스플레이에 사용되는 봉지 및 접착 기술들의 기본적인 요구 특성과 구현 방법 등을 살펴보고, 향후 기술 개발 방향에 대하여 기술하고자 한다. 특히 최근 활발히 연구되고 있는 대형 LCD 및 OLED 봉지 기술, 터치스크린 패널(TSP: touch screen panel) 접착 기술들을 중심으로 차세대 디스플레이 분야로의 발전 방향에 대해 논의하고자 한다.

II. 본론

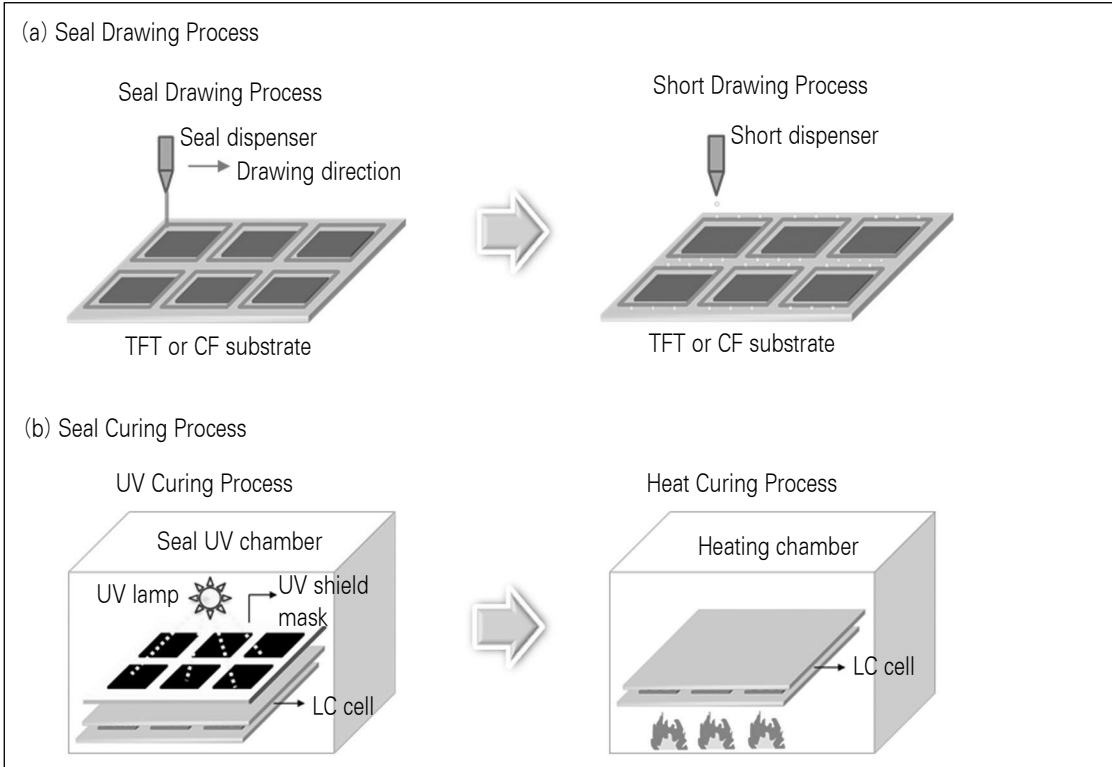
1. LCD 봉지 기술

일반적으로 LCD 패널을 구성하는 여러 유무기 성분 중 실런트(sealant) 재료는 [그림 1]과 같이 상부 CF(color filter) 기판과 하부 TFT(thin film transistor) 기판을 접합하는 패널 봉지 기능을 하는 동시에, 전도성 금속 입자와 혼합될 경우 CF 기판의 공통 전극과 TFT 기판의 공통 전압 단자를 전기적으로 연결하는 쇼트(short) 역할도 수행한다. 실런트 재료의 미경화로 인해 패널 내 봉지불량이 발생할 경우 실런트 미경화 성분 및 대기 중 수분들의 패널 내로의 침투가 증가해 액정의 전압 보전율(voltage holding ratio)이 저하되고 결국 국부적인 휘도차를 유발하여 화질 얼룩이 발생하는 문제를 야기하게 된다.

현재 대부분의 LCD 제조 라인에서 사용하는 액정 적하 방식(ODF: one drop filling)용 실런트 재료의 주성분은 acrylate-epoxy 수지, 광개



[그림 2] LCD 봉지 공정

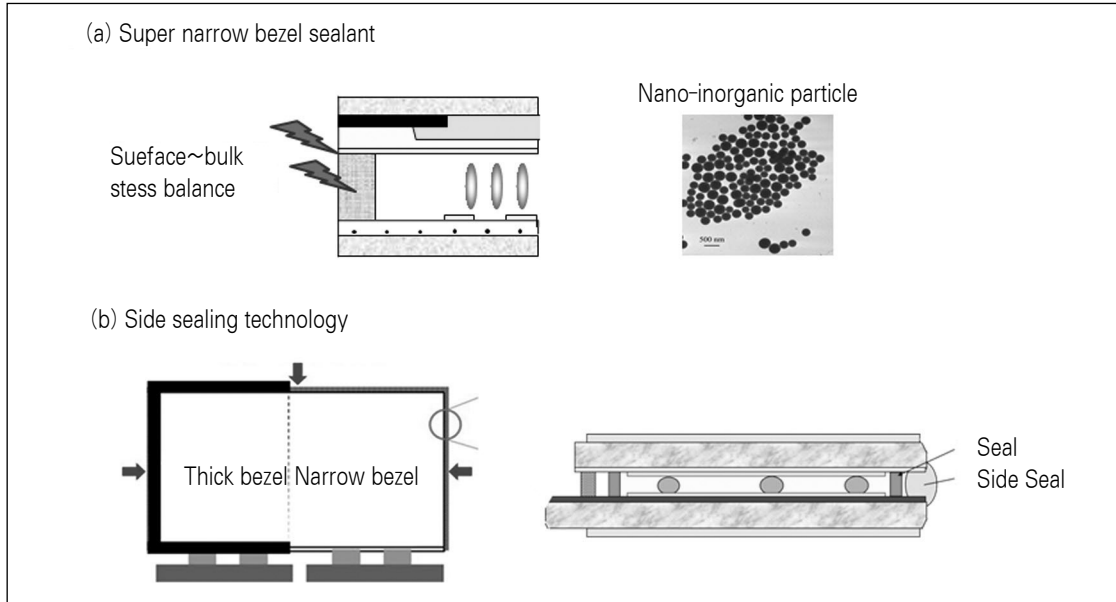


시제, 열경화제, 유/무기 filler, silane coupling 제 등으로 구성되며, UV 광경화 및 열경화 혼합 공정을 통해 높은 접착력을 형성하게 된다. 실런트 봉지 공정은 일반적으로 [그림 2]와 같이 먼저 실런트 및 쇼트 재료를 기판에 도포하고 이를 UV 조사 및 고온 열처리를 통해 경화시켜 진행되게 된다. 실런트 패턴은 패널 화면 영역의 외곽부에 형성되며 패널 테두리의 cell gap 유지를 위해 glass fiber 또는 유기 spacer 를 실런트와 혼합하여 적용하게 된다. 대면적 원판 유리기판의 경우 액정 공정 진행 중 상하 기판의 정렬불량(mis-alignment)을 최소화하

기 위해 화면 영역 이외의 원판 유리 dummy 영역에 실런트 패턴을 추가로 형성하기도 한다. 실런트 도포 시 drawing 속도, dispenser nozzle 크기 및 기판과의 높이 등의 공정 변수에 의해 실런트 폭 및 균일도가 좌우되므로 단선이 발생하지 않도록 주의해야 한다. 쇼트 재료는 도전성을 띤 gold spacer 또는 silver paste 등을 실런트와 혼합하여 사용하며 쇼트 패턴은 실런트가 도포된 기판에서 실런트 패턴 외부에 설치한다.

실런트 경화는 UV 광경화와 열경화 공정으로 구성되며 [그림 2]와 같이 UV 노광 장치 내에

[그림 3] Super narrow bezel LCD 봉지 기술



합착된 LCD 기판을 stage 위에 이동하고 화면 영역의 액정을 보호하는 UV shield mask를 UV 램프와 기판 사이에 배치하여 노광을 진행한다. 일반적으로 액정 분자가 UV에 노출되면 약한 화학 결합이 깨져 액정의 전압 보전을 특성이 크게 감소하는 문제가 발생하기 때문에 UV 노광시 shield mask는 반드시 필요하다. 광경화 진행 시 실런트 성분 내의 acrylate 성분들이 반응하며 epoxy 성분까지 완전히 반응시키기 위해서는 열경화 공정이 필요하다. 열경화 온도가 높을수록, 시간이 길어질수록 실런트 열경화 측면에서는 유리하나 배향막 하부 불순물(impurity)의 액정 내로의 확산이 일어날 수 있기 때문에 적정 조건을 확보할 필요가 있다.

최근 3D 디스플레이에서의 입장감 개선 및 초대화면 tiled 디스플레이에서의 seamless 디자

인 구현을 위해서 패널의 초슬림(super narrow) 베젤(bezel) 디자인이 필수적으로 요구되고 있다. 이를 구현하기 위해서는 기존 대비 50% 이상 실런트 폭을 줄여야 하는데, 이로 인해 상하 기판 접착력 감소 및 외부 수분 침투에 의한 신뢰성 저하 문제가 야기되게 된다. 이를 극복하기 위해서는 [그림 3]과 같이 패널 접착력과 미세 패턴 능력을 향상한 새로운 초슬림 봉지 기술이 요구된다. 고접착력 신규 실런트 성분을 도입하여 접착 계면간 스트레스를 최적화하여 접착력을 극대화할 수 있고, 나노미터 크기의 무기입자를 도입하여 초슬림 실런트 폭을 구현할 수 있게 된다. 또한 패널의 실런트 패턴 외곽에 UV 실런트층을 추가적으로 설치하는 측면 봉지(side sealing) 기술을 도입하면 패널 측면 부분의 접착력 및 내투습력이 강화되어



초슬림 베젤 LCD 패널의 내구성 및 신뢰성을 향상시킬 수도 있다.

2. OLED 봉지 기술

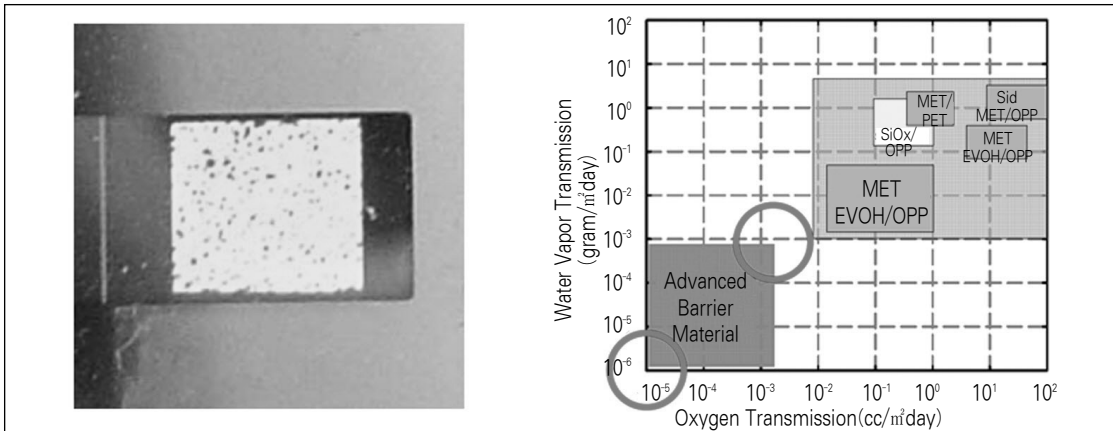
OLED는 전류에 의해 구동되는 자체 발광 소자로 장시간 구동 시에 시간에 따라 발광 특성이 변하게 된다. 이러한 시간이 지남에 따라 [그림 4]에서 보는 것과 같이 빛이 방출되지 않은 흑점(dark spot) 영역이 발생하는데, 이 현상은 주로 대기 중의 수분과 산소와 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 보통 수분은 유기물과 금속 전극을 들뜨게 하여 전류가 통하지 않게 하며 산소는 전극을 미세하게 산화시켜 전류를 통하지 못하게 한다. 따라서 고수명의 OLED 소자를 제작하기 위해서 외부의 수분과 산소를 차단하는 봉지기술이 매우 중요하며 특히 LCD 소자 보다 약 10,000배 이상의 내투습력이 요구된다. 일반적인 OLED 소자에서 요구되는 수분(WVTR)과 산소투과율(OTR)은 각각 약 10^{-6}

$\text{g/m}^2/\text{day}$ 와 $10^{-5}\text{cc/m}^2/\text{day}$ 이다([그림 4] 참조).

초기에는 외부의 수분과 산소를 차단하기 위해 금속 혹은 유리 캔을 barrier로 사용하고 질소 혹은 아르곤 분위기에서 소자를 epoxy 수지를 이용해 봉지(encapsulation)시켰으며, 캔의 내부에 CaO, Al_2O_3 , BaO와 같은 흡습제(desiccant)를 바르거나 붙여 내부의 수분을 제거하였다. 하지만 유기 실린트를 통한 수분의 침투, 흡습제 사용에 따른 공정의 복잡성 등으로 인해 기술의 한계성이 나타나 이를 극복하기 위해 frit을 이용한 봉지 기술이 개발되었다.

[그림 5]에 나타난 것과 같이 무기재질인 유리 frit을 봉지제로 사용함으로써 기존 유기 epoxy 수지 대비 수분과 산소의 침투를 획기적으로 차단할 수 있고 흡습제도 불필요하게 되어 top emission도 가능하게 되는 장점이 있다. Frit 봉지 기술에 사용되는 재료는 V_2O_5 , B_2O_3 등으로 보통 $400\sim 450^\circ\text{C}$ 에서 결정화되며 상온 냉각 시 frit 결정들이 유리와 함께 결합을 형성함으로써 봉지층을 형성하게 된다. 일반적인

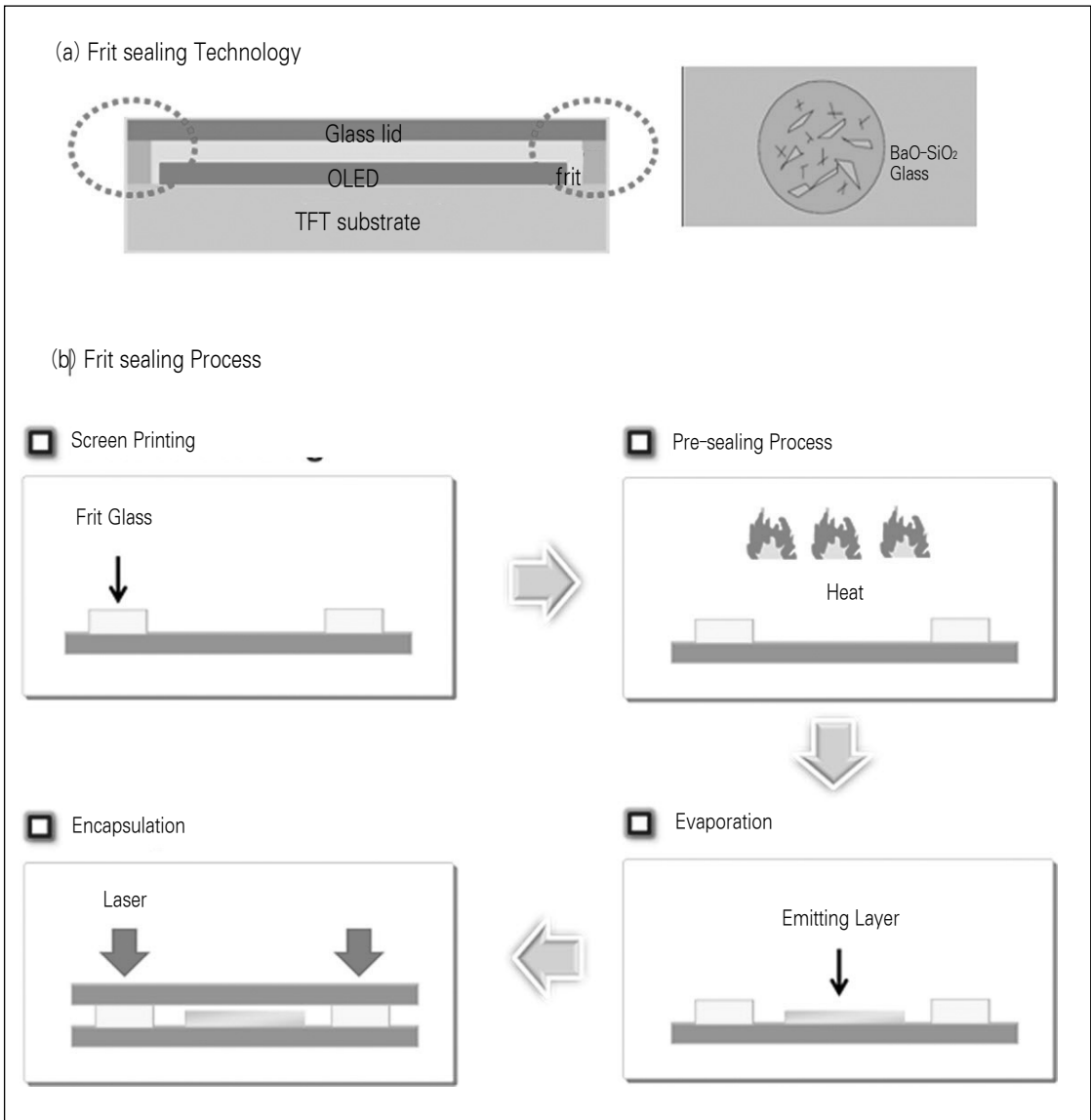
[그림 4] OLED 소자의 흑점 현상과 수분 및 산소의 요구투과율



frit 봉지 공정은 [그림 5]와 같이 진행되게 되는데, 먼저 고체의 frit 재료를 screen printing 공정을 통해 기판에 전사하고 열을 가해 한쪽 기판에 사전 접합(pre-sealing)을 하게 된다.

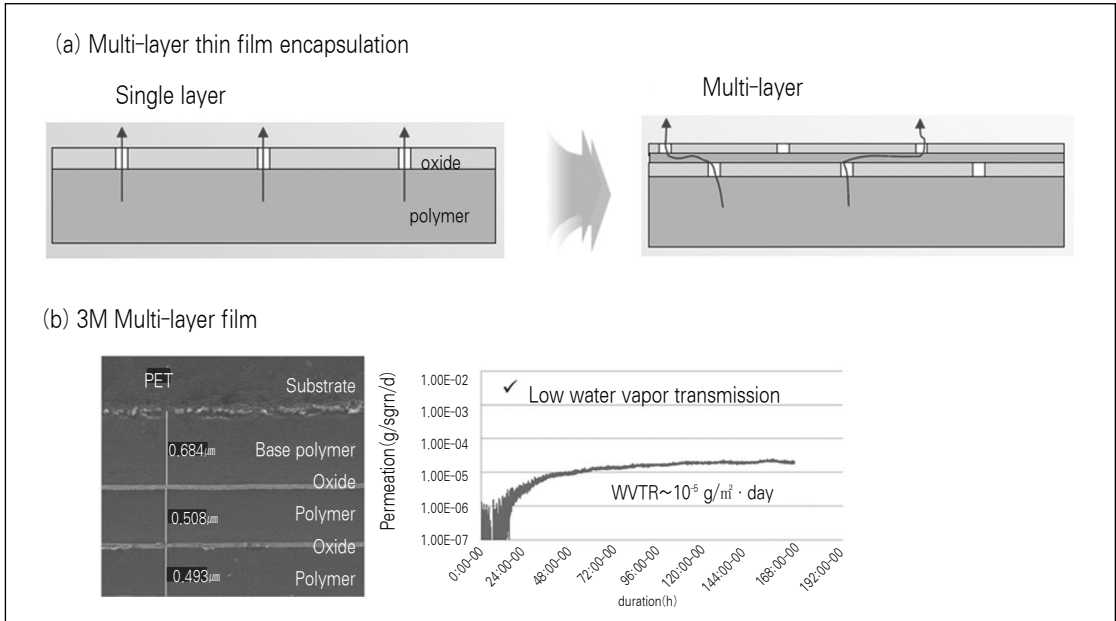
이후 발광층 및 전극을 증착시킨 후 최종적으로 유리 덮개(lid)를 올린 상태에서 frit 프린팅 영역에 레이저 열처리(laser annealing)을 가해 결정화시킴으로써 봉지를 완성하게 된다.

[그림 5] OLED Frit 봉지 기술 및 공정





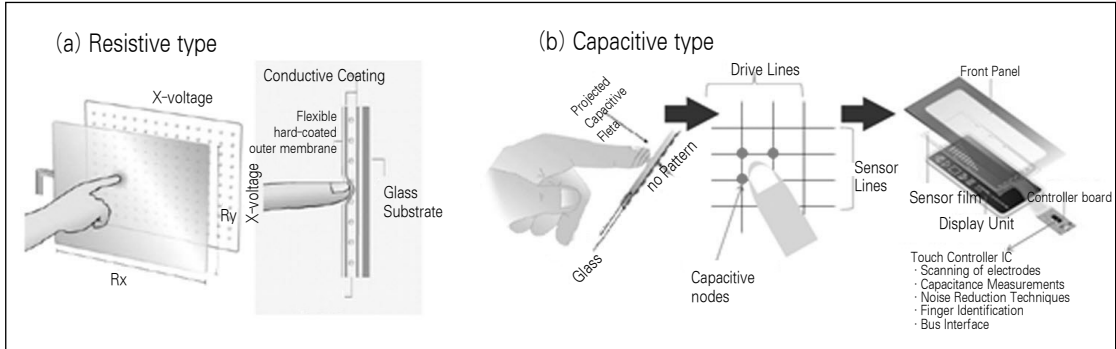
[그림 6] OLED 유/무기 다층 박막 봉지 기술



최근 플렉서블 디스플레이 분야에서 백라이트가 필요하지 않은 초박형 패널의 장점을 가진 OLED 기술이 LCD를 대체할 차세대 디스플레이 기술로 주목을 받고 있다. 구부리거나, 접거나, 말 수 있는 형태의 플렉서블 디스플레이를 구현하기 위해서는 기존의 단단한 유리가 아닌 얇은 박막 형태로 변형이 자유로운 박막봉지 (thin film encapsulation) 기술이 필요하다. 하지만 폴리이미드와 같은 유기 고분자 박막의 경우 수분과 산소가 투과되기 쉬워 OLED 소자 내로 산소와 수분이 침투되는 것을 완전히 차단하기 힘들다. 또한, 무기물을 박막의 형태로 코팅하는 경우는 수 마이크로 미터의 두께로 얇고 균일한 박막을 형성시키기가 쉽지 않고 무기물의 코팅 시 미세한 결함(defect)이 생겨 수분과 산소를 완벽하게 차단하기가 어렵다.

이러한 문제점을 극복하기 위해 [그림 6]에서와 같이 유기물과 무기물을 반복적으로 코팅함으로써 유기물질과 무기물질의 장점을 지니면서 서로의 단점을 보완하는 형태인 유/무기 다층 박막 구조가 가장 많이 개발되고 있다. 유기물질인 고분자는 변형이 자유롭고 가공이 용이하며 가볍고 결합 및 불순물을 평탄화시킬 수 있는 장점이 있다. 이에 반해 무기물질은 상대적으로 변형이 자유롭지는 못하나, 낮은 용해도 및 확산율로 인해 수분과 산소 침투에 대한 보호 특성이 우수한 장점을 있다. 앞서 얘기했듯이 단일 무기 박막층은 증착 기술의 한계로 표면이 거칠어져 표면적이 넓어지게 되고 그에 따른 수분 및 산소의 침투 가능성이 증가해 오히려 보호 성능이 떨어지게 되는 문제가 발생된다. 하지만 유기 고분자와 다층 박막을 형성하

[그림 7] 저항막 방식과 정전용량 방식 TSP 기술



게 되면 표면이 평탄화되고 침투 경로가 길어짐으로써 수분 및 산소의 침투율이 낮게 되어 뛰어난 보호 성능을 가지기 때문에 유/무기 다층 박막 구조가 지속적으로 연구 개발되고 있다.

3. 터치스크린 패널 접착 기술

스마트폰이 대중화되면서 정보의 입력이 전자 기기와 인간의 접촉에 의해 이루어지는 터치 스크린 패널(TSP) 기술의 중요성이 점차 대두되고 있다.

TSP 기기는 화면 스크린에 사람의 손가락이나 펜 등으로 화면을 누르면 접촉된 위치를 인식하여 디스플레이 시스템에 전달하는 입력장치이다. TSP 기술은 터치를 감지하는 방식에 따라 10여개의 기술들이 있는 것으로 알려져 있으며 현재 저항막(resistive), 정전용량(capacitive), 적외선(IR) 등의 방식들이 대표적이다. 2007년 아이폰이 출시되기 전까지는 저항막 방식이 주로 사용되었지만, 최근 우수한 터치감도, 멀티 터치 지원, 높은 내구성 등으로 인해 정전용량 방식이 스마트폰 및 태블릿 PC

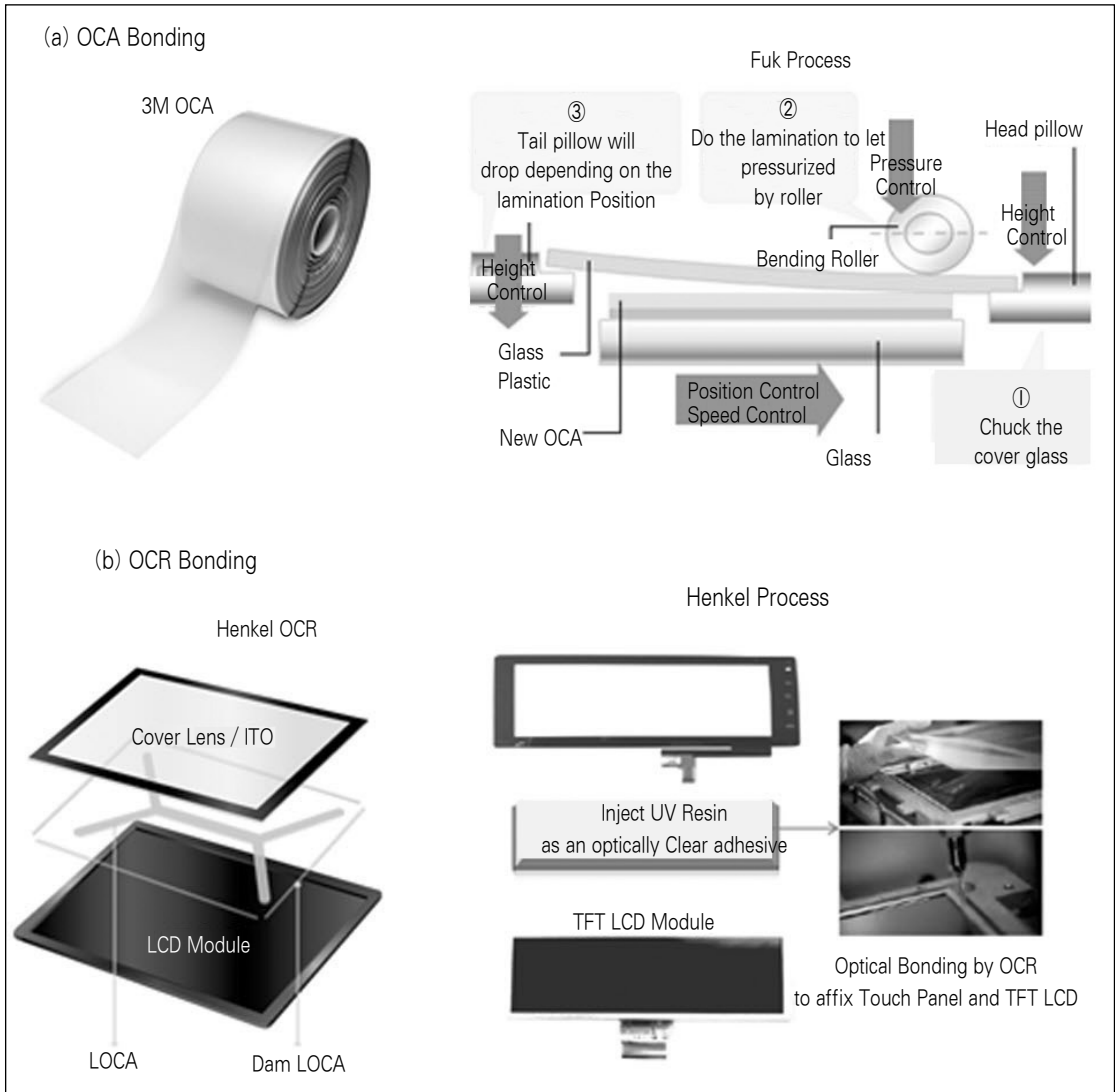
등에 널리 사용되고 있다.

[그림 7]에 나타난 것과 같이 저항막 방식은 전극이 코팅된 두 개의 면이 서로 닿지 않도록 일정 간격으로 떨어져 있다가 물리적으로 터치를 했을 때 두 개의 전극이 접촉되면서 전류가 흐르게 되어 위치를 감지하게 된다. 하지만 물리적 압력이 요구되어 터치 감도가 낮고 강화유리를 사용할 수 없다는 단점들로 인해 그 수요가 줄고 있는 상황이다. 이에 반해 정전용량 방식은 한쪽 유리에 투명 ITO 전극을 X와 Y 축으로 패터닝하여 일정량의 전류를 흐르게 하고 손가락이 표면을 터치할 때 생기는 미세한 정전용량의 변화량을 감지하여 위치를 인식하는 방식이다.

물리적인 접촉이 필요한 저항막 방식과 달리 일정 거리에서도 정전용량 변화를 감지할 수 있기 때문에 강화유리 사용이 가능하며 터치 감도 또한 매우 우수한 장점이 있다.

일반적으로 TSP 기기는 터치 패널과 디스플레이 패널의 결합 관계에 따라 부착형(out-cell type), 커버윈도우 일체형(on-cell type), 디스플레이 일체형(in-cell type)으로 구분된다. 부

[그림 8] TSP용 OCA 및 OCR 광학 점·접착 기술



착형의 경우 강화유리와 디스플레이 패널 사이에 별도의 터치 센서 패널을 배치한 형태이며, 일체형의 경우 터치 센서를 디스플레이의 상부 기판 또는 하부 TFT 기판에 설치한 형태로 원가절감과 얇은 두께 구현이 가능해 다양한 일체

형 기술들이 연구 개발되고 있다.

터치 센서 패널 또는 강화유리를 디스플레이 패널에 접합 시 외부광 또는 백라이트의 반사를 최소화하는 광학적인 고려가 필요하다. 두 패널 사이에 air gap이 존재할 경우 굴절률이 다른

두 개의 표면의 다중 반사로 인해 옥외 시인성 (sunlight readability)과 명암비가 감소하는 문제가 발생되는데, 이를 극복하기 위해서는 고 굴절률의 광학 점·접착제를 사용하는 것이 필수적이다.

일반적으로 필름 형태의 광학 점착제(OCA: optically clear adhesive)와 레진(resin) 형태의 광학 점착제(OCR: optically clear resin)가 많이 적용되고 있다(그림 8 참조).

OCA 필름 이용한 접합 공정은 기존의 광학 필름 부착 공정과 유사하게 진행되는데, 양면에 보호필름이 부착된 상태에서 공정에 투입되면 약바리 이형필름 쪽을 부착 롤러를 이용해 먼저 패널에 부착하고 나중에 강화유리 또는 터치 패널을 접합시키게 된다. 보통 25~50 um 정도의 두께로 얇게 접착시키며 합착 후 압력과 온도를 가해 기포를 제거하게 된다.

OCR 공정의 경우 광경화 acrylate 수지를 이용해 접착을 하게 되는데, 우선 광경화 수지 충전 시 외각의 gap 유지 및 수지가 외부로 빠져나가는 것을 방지하기 위해 접합 패널의 외각에 댐(dam)을 설치하게 되며 안쪽 영역은 유동성이 있는 광경화 수지를 dispenser를 이용해서 도포하여 채우게 된다.

강화유리 또는 터치 패널을 어셈블리(assembly)한 후 UV를 전면에서 조사하여 OCR 수지를 경화시킴으로써 접착을 형성하게 된다.

고분자 박막을 이용하는 플렉서블 디스플레이와 같이 요철이 많은 패널 기판에 광학 점착이 필요할 경우 요철 틈새를 모두 채울 수 있는 OCR 재료로 접착을 시키는 것이 유리하다.

III. 결론

지금까지 LCD, OLED, TSP 등 다양한 정보 디스플레이 기기들에서 사용되는 봉지 및 접착 기술들에 대한 현황과 차세대 디스플레이 분야로의 적용 가능성에 대해 살펴보았다. 정보 디스플레이에 이용 가능한 봉지 기술은 현재 보편적으로 사용되고 있는 LCD의 실런트 봉지 기술부터 플렉서블 OLED의 유/무기 다층 박막 봉지기술까지 살펴보았고, 그들의 재료 요구조건 및 제조공정에 대해 알아보았다. 또한 TSP에 사용되는 광학 점·접착 기술들도 살펴보았다.

플렉서블 및 투명 디스플레이 등의 차세대 디스플레이 기술들은 기존의 일반적인 디스플레이와 다른 형태의 고기능성 점·접착 특성을 요구하기 때문에 패널의 내부 구조뿐만 아니라 외부 작동 환경을 고려한 점·접착 소재의 설계 및 개발이 필요하며, 소재의 점·접착 특성과 신뢰성을 극대화할 수 있는 공정 개발이 절실할 것으로 생각된다. [K]

월간 포장계는 포장업계에 유익한
최신 기술 및 정보를 제공하고 있습니다.

정기구독 및 광고 문의는
(사)한국포장협회 편집실로 해주십시오.

TEL. (02)2026-8655~9
E-mail : kopac@chollian.net