

차세대 디스플레이용 봉지 및 접착 기술 동향

손인태 · 이준협[†]

명지대학교 화학공학과
(2015년 8월 22일 접수)

1. 서 론

현대 사회가 정보화 시대로 급격하게 발전함에 따라 다양한 정보의 교류가 전반적인 사회와 산업의 근간으로 자리잡고 있다. 전자기기와 사람 간에 방대한 양의 정보가 교류되고 있으며, 다양한 전자 장치로부터의 전기신호를 화상 정보로 나타내 사람이 인식할 수 있게 해주는 정보 디스플레이의 중요성은 점점 증대되고 있다. 부피가 크고 무거운 단점을 지닌 CRT (cathode-ray tube)가 1990년도 이전까지의 디스플레이 시장을 이끌어 왔지만 평판화, 슬림화를 추구함에 따라서 그 이후부터는 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. 그중 LCD의 슬림화 대형화 고성능화 방향으로의 급격한 발전으로 인해 평판디스플레이는 모바일, 태블릿 등의 소형 전자기기부터, 노트북, TV, 모니터, 대형디스플레이에 이르기까지 오늘날 전자정보 디스플레이 분야의 대부분을 차지하고 있다.

최근 대형 디스플레이의 경우 곡면(curved) TV 등의 프리미엄 시장을 중심으로 한 LCD가 주류를 이루는 가운데 OLED가 플래그쉽 형태로 진출하고 있고, 중소형의 경우 Apple사 “iPhone”으로 대표되는 LCD와 Samsung사 “Galaxy”로 대변되는 OLED를 중심으로 양분화된 시장 구조를 갖고 있는 상황이다. OLED의 대형화 기술의 개발이 더더짐에 반해 초고해상도 UD (ultra-definition) 기술, 무안경식 3D 기술, 초대형 타일드(tiled) 디스플레이 기술, QD (quantum dot) 디스플레이 기술 등의 차세대 LCD 기술들은 점차 개발 발전 및 일부 상용화되고 있다.

LCD를 중심으로 한 평판디스플레이의 등장이 디스플레이 시장 규모의 팽창을 가져옴에 따라 급격하게 성장해왔지만, 최근 과잉공급과 새로운 시장의 고갈로 인해 성장률이 점차 감소하고 있는 상황이다. 이에 대표적으로 투명 디스플레이와 플렉서블 디스플레이 같

은 차세대 디스플레이 시장을 개척하려는 다양한 시도가 수행되고 있다. 투명 디스플레이는 화면의 뒷배경이 비춰 보이는 디스플레이로 자동차 윈도우, 양방향 정보기기, 증강현실 시스템 등으로 응용될 수 있고, 플렉서블 디스플레이는 유연한 플라스틱 기판을 사용한 가볍고 깨지지 않으면서 형태 변형이 가능한 디스플레이로 구부리거나, 휘거나, 말 수 있는 다양한 형태의 전자기기로 응용 가능하다. LCD에 비해 초고속 응답속도, 넓은 시야각, 백라이트를 필요로 하지 않는 자체 발광특성, 얇고 가벼운 장점을 가진 OLED 기술이 투명 디스플레이나 플렉서블 디스플레이를 구현하는데 용이하기 때문에 차세대 디스플레이 기술로 인식되고 있다. 이러한 기술 및 시장 배경에서 본 기술동향에서는 다양한 정보 디스플레이에 적용되는 봉지 및 접착 기술들의 기반이 되는 특성과 구현 방법 등을 살펴보고, 특히 최근 연구되고 있는 대형 LCD 및 OLED 봉지 기술, 터치스크린 패널(TSP: touch screen panel) 접착 기술들을 중심으로 차세대 디스플레이 분야에서의 발전 방향에 대해 논의하고자 한다.

2. 본 론

2.1. OLED 봉지 기술

OLED는 전류에 의해 구동되는 자체 발광 유기소자를 이용한 디스플레이로 장시간 구동할 경우 시간에 따라서 발광 특성이 변하게 된다. Figure 1에서 보는 것과 같이 시간이 지남에 따라 발광하지 않는 흑점(dark spot) 영역이 발생하는데, 이러한 현상은 주로 대기 중의 수분과 산소에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 패널 내로 유입된 수분은 OLED 내의 유기물과 금속 전극을 들뜨게 하여 전류가 흐르지 않게 만들고 산소는 전극을 미세하게 산화시켜 전류가 흐르지 못하게 한다. 따라서 고수명의 OLED 소자를 제작하기 위해서는 외부의 수분 및 산소를 차단하는 봉지기술이 매우 중요하며 특히 LCD 소자보다 약 10,000배 이상의 내투습력이 요구된다. Figure 1에 나타나 있는

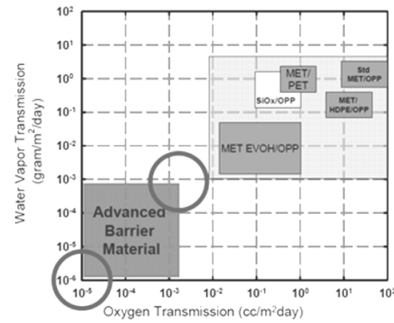
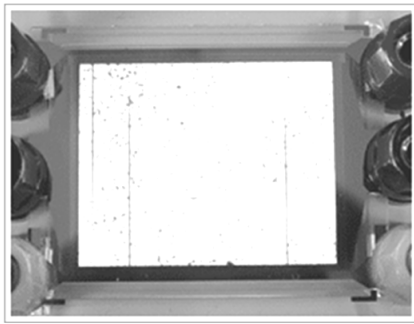
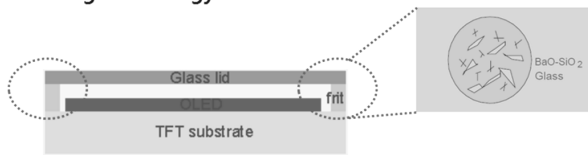


Figure 1. OLED 소자의 흑점 현상과 수분 및 산소의 요구투과율.

Frit sealing technology



Frit sealing process

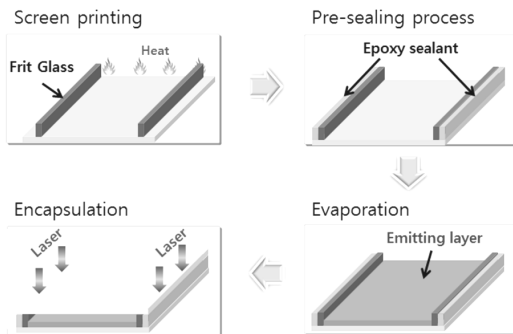


Figure 2. OLED Frit 봉지 기술 및 공정.

것과 같이 일반적인 OLED 소자에서 요구되는 수분(WVTR)과 산소투과율(OTR)은 각각 약 10^{-6} g/m²/day와 10^{-5} cc/m²/day이다.

초기에는 외부로부터의 수분과 산소의 차단을 위해서 barrier로 금속 또는 유리 캔을 사용하고 소자를 질소 혹은 아르곤 분위기에서 봉지(encapsulation)시켰으며, 캔의 내부에 흡습제(desiccant)로서 Al₂O₃, BaO, CaO와 같은 재료를 이용하여 내부의 수분을 제거하였다. 하지만 유기 실린트를 통한 수분의 침투, 흡습제 사용에 따른 공정의 복잡성 등의 문제로 인한 기술의 한계성이 나타나 이를 극복하기 위해 무기 유리분말(frit)을 이용한 봉지 기술이 개발되었다. 유기재질이 아닌 무기재질인 유리 frit을 봉지제로 사용하여 기존 유기 epoxy 대비 수분과 산소의 차단성을 향상시키고, 추가적으로 요구되는 흡습제의 미사용으로 인해 전면발광방식(top emission)도 가능하게 되는 장점이 있다. Frit 봉지 기술은 보통 400~450°C에서 결정화되는 B₂O₃, V₂O₅ 등의

재료를 사용하고 이러한 재료들은 상온 냉각 시 frit 결정을 형성함으로써 OLED 봉지층을 형성하게 된다. 일반적인 frit 봉지 공정은 Figure 2와 같이 진행되는데, 먼저 스크린 프린팅 공정을 통해 고체의 frit 재료를 기판에 전사시키고 열을 가해 한쪽 기판에 사전 접합(pre-sealing)을 하게 된다. 이후 발광층과 전극을 증착시킨 후 최종적으로 유리 덮개(lid)를 올린 상태에서 frit이 프린팅된 영역에 레이저 열처리(laser annealing) 공정을 통해 결정화시킴으로써 봉지를 완성하게 된다.

최근 플렉서블 디스플레이 분야에서 초박형 패널의 장점을 갖는 OLED 기술이 기존 LCD를 대체할 차세대 디스플레이 기술로 주목을 받고 있다. 접거나, 구부리거나, 말 수 있는 형태의 플렉서블 디스플레이의 구현을 위해서 기존의 단단한 유리가 아닌 얇고 변형이 자유로운 박막봉지(thin film encapsulation) 기술이 요구된다. 하지만 폴리이미드와 같은 유기 박막의 경우 외부의 수분과 산소가 투과되기 쉽기 때문에 OLED 소자 내로 침투되는 산소와 수분을 완전히 차단하기 어렵다. 또한, 유기물이 아닌 무기물을 이용할 경우 수 마이크로미터의 두께로 균일한 박막을 형성하기가 쉽지 않고 무기물의 코팅 시 미세한 결함(defect)이 생겨 대기 중 수분과 산소를 완벽하게 차단하기 힘들다. 이러한 문제는 유기물과 무기물을 반복적으로 코팅함으로써 유기물질과 무기물질의 장점을 지니면서 서로의 단점을 보완하는 형태인 유/무기 다층 박막 구조 개발을 통해 해결 가능할 것으로 기대되며 많은 연구들이 진행되고 있다. 유기물질인 고분자는 변형이 자유롭고 가공이 용이하며 가볍고 결함 및 불순물을 평탄화시킬 수 있는 장점이 있으며, 무기물질은 상대적으로 변형이 자유롭지는 못하나, 낮은 용해도 및 확산율로 인해 수분과 산소 침투에 대한 보호 특성이 우수한 장점을 있다. 유기 고분자와 무기층으로 구성된 다층 박막을 형성하게 되면 표면이 평탄화되고 침투 경로가 길어짐으로써 수분 및 산소의 침투율이 낮게 되어 뛰어난 보호 성능을 가지기 때문

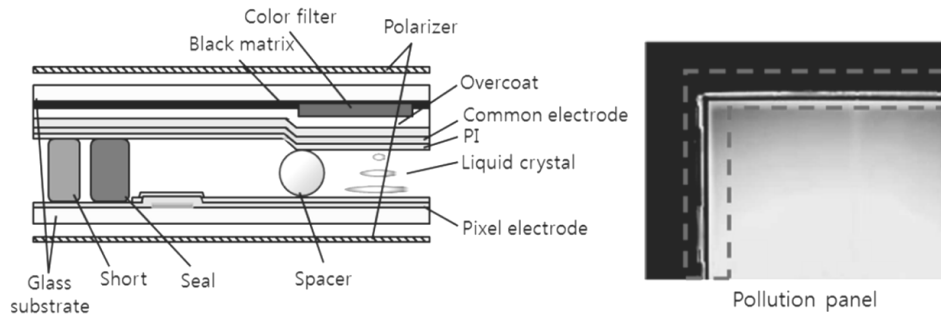


Figure 3. LCD 패널 단면도 및 봉지불량 현상.

에 유/무기 다층 박막 구조가 지속적으로 연구 개발되고 있다.

2.2. LCD 봉지 기술

일반적으로 실런트(sealant) 재료는 Figure 3과 같이 LCD 패널의 상부 CF (color filter) 기판과 하부 TFT (thin film transistor) 기판을 접합하는 봉지 기능을 하며, 전도성 재료와 혼합될 경우 CF 기판의 공통 전극과 TFT 기판의 공통 전압 단자를 연결하는 쇼트(short) 역할도 수행하게 된다. 패널 내 봉지불량이 발생하여 실런트 재료가 미경화될 경우, 패널 내로 미경화된 실런트 성분 및 대기 중 수분들이 침투하게 되어 액정의 전압 보전율(voltage holding ratio)이 저하되고 결국 패널 내 국부적으로 휘도차를 유발하여 화질 얼룩이 발생하는 문제를 야기하게 된다.

현재 대부분의 LCD 제조 라인에서 사용하는 액정적하 방식(ODF : one drop filling)용 실런트 재료의 주 성분은 acrylate-epoxy 수지, 광개시제, 열경화제, 유/무기 filler, silane coupling제 등으로 구성되며, UV 광경화 및 열경화 공정을 통해 높은 접착력을 형성하게 된다. 일반적으로 실런트 봉지 공정은 먼저 실런트 및 쇼트 재료를 기판에 도포한 후 UV 조사 및 열처리를 통해 진행되게 된다. 패널 화면 영역의 외곽부에 실런트 패턴이 형성되며 유기 spacer 또는 glass fiber를 혼합하여 적용하는데 이는 패널 테두리 영역의 cell gap 유지를 위함이다. 대면적 유리 기판의 경우 상하 기판의 정렬불량(mis-alignment)을 최소화하기 위해 화면 영역 이외의 유리 dummy 영역에 추가로 실런트 패턴을 형성하기도 한다. 실런트 도포 시 실런트 폭 및 균일도가 dispenser nozzle size, drawing 속도 및 기판과의 높이 등에 의해 좌우되므로 단선이 발생하지 않도록 주의를 기울여야 한다. 쇼트 재료는 도전성을 띠는 silver pate 또는 gold spacer 등을 실런트 재료와 혼합하여 사용하고, 패턴은 실런트가 도포된 기판에서 형성된 실런트 패턴 외부에 위치되도록 한다. 실런트 경화 공정은 UV 광경화와 열경화를 통해 이루어지며

UV 경화 장치 내에 합착된 LCD 기판을 stage 위에 위치시킨 후 화면 영역의 액정을 보호하기 위해 UV shield mask를 UV 램프와 기판 사이에 배치하여 경화를 진행한다. 액정 분자가 UV에 노출될 경우 약한 화학 결합이 깨져 액정의 전압 보전율 특성이 크게 감소하기 때문에 경화 공정 중 UV shield mask는 반드시 필요하다. 광경화 공정 진행 시 실런트 성분 내의 acrylate 성분들이 반응하고 acrylate 성분 이외에 epoxy 성분까지 완전히 반응시키기 위해서는 열경화 공정이 요구된다. 열경화 공정 온도가 높고, 시간이 길어질수록 실런트 열경화 측면에서는 유리하나, 배향막 하부 불순물(impurity)이 액정 내부로 확산될 수 있기 때문에 적정 조건하에서 열경화 공정이 진행되어야 한다.

최근 3D 디스플레이에서의 임장감 개선 및 초대 화면 tiled 디스플레이에서의 seamless 디자인 구현을 위해서 초슬림(super narrow) 베젤(bezel) 디자인이 필수적으로 요구되고 있다. 이를 구현하기 위해서 기존 LCD 대비 50% 이상으로 실런트 폭을 줄여야 하는데, 이로 인해 상하 기판 접착력의 감소 및 대기 중 수분 침투에 의한 신뢰성 저하 문제가 발생된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Figure 4와 같이 패널 접착력과 미세 패턴 능력을 향상한 새로운 초슬림 봉지 기술이 요구된다. 높은 접착력을 갖는 신규 실런트 성분을 도입하여 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 형성하는 측면 봉지(side sealing) 기술을 이용하면 패널 측면의 접착력 및 내투습력이 강화되어 초슬림 베젤 LCD 패널의 내구성 및 신뢰성을 향상시킬 수도 있다.

차세대 플렉서블 LCD 구현을 위해서는 기존 유리 기판과 달리 구부리거나, 휘 수 있는 플라스틱 소재의 기판이 요구되며, 실런트 또한 구부리거나 휘어짐을 견딜 수 있는 탄성을 가진 소재가 요구된다. 이러한 플라스틱 소재로는 대표적으로 PEN, PET계열의 고분자가 있으며, 최근 이러한 플라스틱 기판을 이용하여

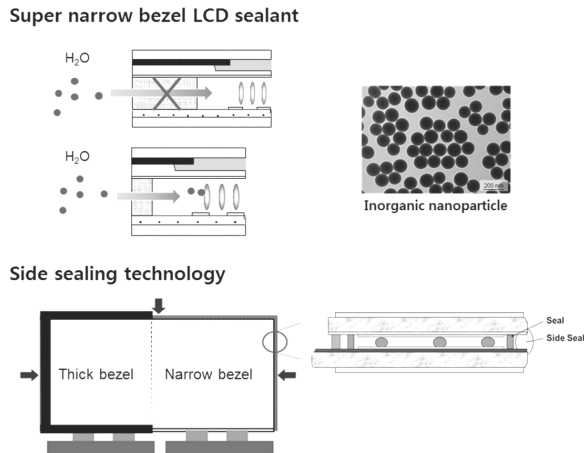


Figure 4. Super narrow bezel LCD 봉지 기술.

플렉서블 LCD 제조에 대해 보고된 바가 있다[1,2]. Figure 5와 같이 플렉서블 LCD 소자 구현을 위해 플라스틱 기판을 사용할 경우 고분자의 열팽창계수(CTE)가 유리에 비해 5~15배 이상 높기 때문에 기존의 고온 공정 적용이 어렵다는 문제가 있어 내열성, 열팽창 특성 및 광학특성이 우수한 고분자 기판 개발에 관련된 연구들이 활발히 진행되고 있다. 또한, 플렉서블 LCD를 위한 실런트 재료는 구부리거나 휘어짐에도 견딜 수 있는 탄성, 고접착력, 낮은 투습률, 높은 내박리성 등의 소재특성이 요구되며 이에 대한 여러 기초 연구들이 진행되고 있다.

2.3. 터치스크린 패널 접착 기술

스마트폰의 대중화에 따라서 전자기기와 사람의 접촉을 통해 정보가 입력될 수 있게 하는 터치 스크린 패널(TSP) 기술의 중요성이 점진적으로 대두되고 있다. TSP 기기는 화면 스크린에 사람의 손가락이나 펜 등으로 누르게 되면 접촉된 위치를 인식하여 디스플레이 시스템에 정보를 전달하는 입력장치이다. TSP는 터치를 감지하는 방식에 따라 10여 개의 기술들이 있는 것으로 알려져 있으며 현재는 대표적으로 저항막(resistive), 정전용량(capacitive), 적외선(IR) 등의 방식이 있다. 2007년 아이폰 출시 전까지는 저항막 방식이 주로 이용되었지만, 최근 정전용량 방식의 우수한 터치 감도, 멀티 터치 지원, 높은 내구성 등의 장점으로 인해 스마트폰 및 태블릿 PC 등에 널리 사용되고 있다.

TSP의 저항막 방식은 전극이 코팅된 두 면이 서로 닿지 않도록 일정 간격을 유지하고 있다가 물리적인 터치가 이루어졌을 때 두 전극이 접촉되면서 전류가 흐르게 되어 위치를 감지하게 된다. 이러한 방식은 물리적 압력이 요구되기 때문에 터치 감도가 낮고 강화유리를 적용할 수 없는 단점들로 인해 그 수요가 계

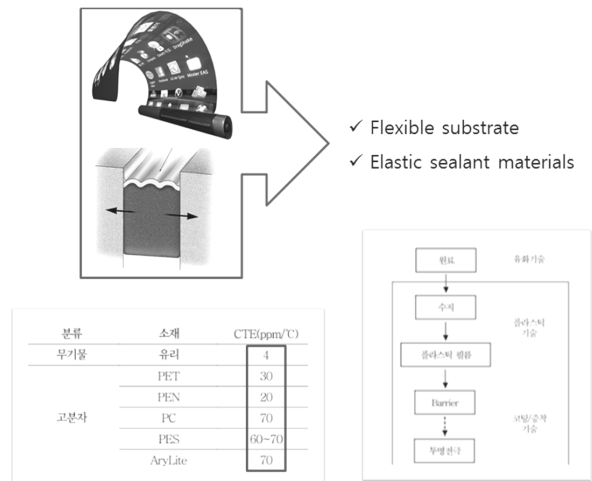


Figure 5. Flexible LCD 기판 및 봉지 재료특성.

속해서 줄어들고 있다. 이에 반해 정전용량 방식은 한쪽 유리에 투명 ITO 전극을 X와 Y축으로 패터닝하여 일정량의 전류를 흐르게 하고 손가락이 화면을 터치할 때 생기는 미세한 정전용량의 변화량을 감지하여 위치를 인식하게 된다. 물리적 접촉이 요구되는 저항막 방식과는 달리 일정 거리에서도 정전용량의 변화를 감지할 수 있기 때문에 강화유리 사용이 가능하고 터치 감도 또한 우수하다는 장점이 있다.

TSP 기기는 일반적으로 디스플레이와 터치 패널 사이의 결합되는 관계에 따라서 커버윈도우 일체형(on-cell type), 부착형(out-cell type), 디스플레이 일체형(in-cell type)으로 구분된다. 부착형의 경우 디스플레이 패널과 강화 유리 사이에 별도의 터치 센서 패널을 배치한 형태이고, 일체형의 경우 터치 센서를 디스플레이 상부 또는 하부 기판에 설치한 형태로 얇은 두께 구현이 가능하고 원가절감의 장점도 갖고 있어 다양한 일체형 기술들이 연구 개발되고 있다.

강화유리 혹은 터치 센서 패널을 디스플레이 패널에 접합할 경우 외부광이나 백라이트의 반사를 최소화하는 광학적 관점에서의 고려가 필요하다. 일반적으로 높은 굴절률을 갖는 광학 점·접착제가 사용되는데, 이는 두 패널 사이에 공기층이 존재할 경우 다른 굴절률을 갖는 두 개의 표면의 다중 반사로 인해 옥외 시인성(sunlight readability)과 명암비가 감소하는 문제가 발생하기 때문이다. Figure 6에 나타난 것과 같이 광학 점·접착제로서 필름 형태의 광학 점착제(OCA : optically clear adhesive)와 레진(resin) 형태의 광학 점착제(OCR : optically clear resin)가 많이 적용되고 있다[3]. OCA 필름을 이용한 접합 공정의 경우 기존 광학 필름 부착 공정과 유사하게 진행되는데, 양면에 보호필름이 부착된 상태에서 공정에 투입되고 약박리 이형필름 쪽을

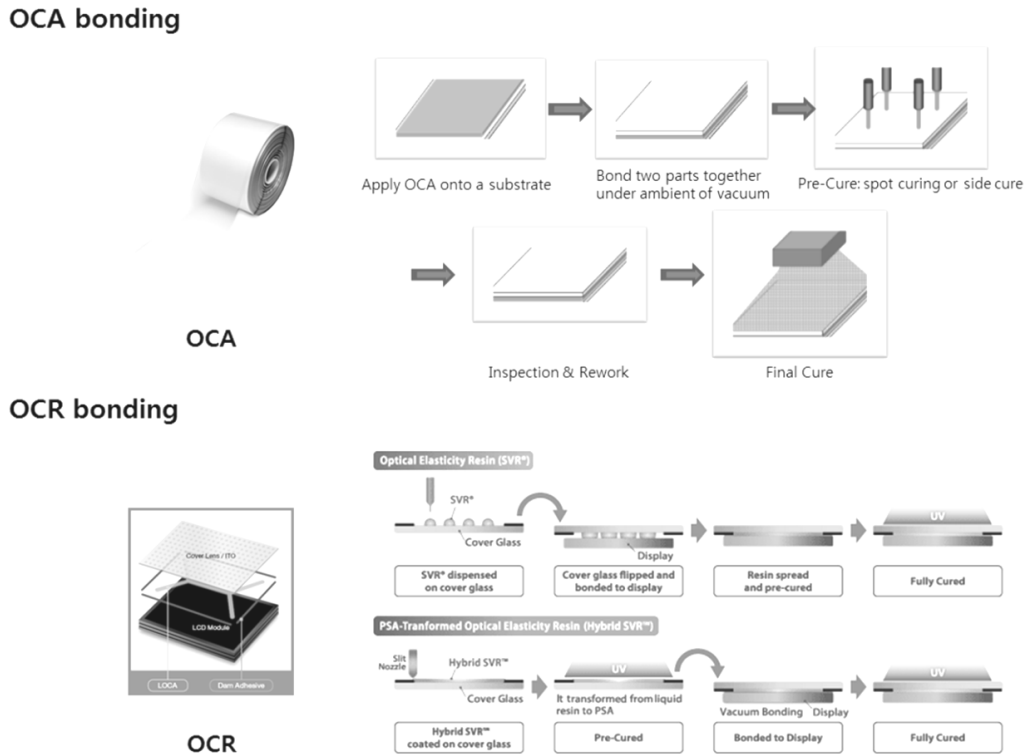


Figure 6. TSP용 OCA 및 OCR 광학 점·접착 기술.

부착 롤러를 이용해 먼저 패널에 부착하고 그 후 강화 유리 또는 터치 패널을 접합시키게 된다. 보통 20~50 μm 정도의 두께로 얇게 접착시키며 합착 후 압력과 온도를 가해 기포를 제거하게 된다. OCR 공정은 광경화 acrylate 수지를 이용해 접착을 하게 되는데, 먼저 수지가 외부로 빠져나가는 것을 막고 외각의 gap 유지를 위해 광경화 수지 충전 시에 접합 패널의 외각에 댐(dam)을 형성하게 되며 안쪽 영역은 유동성이 있는 광경화 수지를 dispenser를 이용하여 도포하게 된다. 강화 유리 또는 터치 패널을 어셈블리(assembly)한 후 UV를 한쪽 면에 조사하여 OCR 수지를 경화시켜 패널 사이의 접착을 형성하게 된다. 고분자 박막을 이용하는 플렉서블 디스플레이와 같이 요철이 많은 패널 기판에 광학 접착이 필요할 경우 요철 틈새를 모두 채울 수 있는 OCR 재료로 접착을 시키는 것이 유리하다.

3. 결 론

본 기술동향에서는 LCD, OLED, TSP 등 다양한 정보 디스플레이 기기들에서 사용되는 봉지 및 접착 기술들에 대한 현황과 차세대 디스플레이 분야로의 적용 가능성에 대해 간단하게 요약하였다. LCD의 실런

트 봉지 기술부터 OLED의 봉지 기술까지 정보 디스플레이에 이용 가능한 봉지 기술을 살펴보고, 그들의 재료 요구조건 및 공정조건에 대해 살펴보았다. 또한 TSP에 사용되는 광학 점·접착 기술인 OCA와 OCR의 재료 및 공정에 대해서도 알아보았다.

투명 및 플렉서블 디스플레이 등의 차세대 디스플레이 기술들은 기존 디스플레이와 다르게 고기능성 점·접착 특성을 요구하기 때문에 점·접착 소재의 설계 및 개발할 때에 패널 내부 구조뿐만 아니라 외부 요인들을 고려하여야 하며, 소재의 점·접착 특성과 신뢰성을 극대화할 수 있는 공정 개발이 절실할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. J. W. Jung, C. J. Yu, S. D. Lee, and J. H. Kim, *SID Digest*, 92 (2004).
2. D. Kim, H. Choi, P. Kang, M. Hong, K. Rhie, K. Kim, J. Kim, W. Jang, and S. Shin, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **47**, 2195 (2008).
3. Y. Zhang, X. Yang, X. Zhao, and W. Huang, *Polym. Int.*, **61**, 294 (2012).