

| 융합카페 |

스마트폰 액정 파손의 진실과 진공기술을 이용한 수리

주장헌

용어들

- TSP(Touch Screen Panel)
- PSA(Pressure Sensitive Adhesive)
- OCA(Optically Clear Adhesive), Dry lamination
- TAF(Transparent Adhesive Film)
- OTT(Optical Transfer Tape)
- OCR(Optically Clear Resin), Wet lamination
- LOCA(Liquid OCA)
- OR, OPR(Optical Resin)
- Optical appraisal(air inclusions)
- HEA(High Efficiency Anti-reflecting)
- AG(Anti-glare)

서론

스마트폰 서비스 센터 옆에 입간판을 세워두고 “깨진 액정 구매합니다”라고 하는 사람들은 어떤 사람들일까? 그리고 그 사람들이 왜 깨진 액정을 산다고 할까?

스마트 폰은 사람의 손(또는 손가락)이 닿아 여러 가지 기능을 하는 터치 스크린 패널(스마트 폰의 가장 바깥 부위, 사람이 들여다 보는 부위) 모듈과 접착제를 통해 그 아래 붙여 지는 이미지 형성 부위(LCD, OLED) 모듈로 구성된다. 스마트 폰 사용 중 여러 가지 이유로 전면 유리가 파손되면 통상 액정이 깨졌다고 말하지만 실제로는 이미지를 만들어 주는 아래 부위의 액정은 깨지지 않



[Fig. 1] 액정이 깨진 스마트폰들

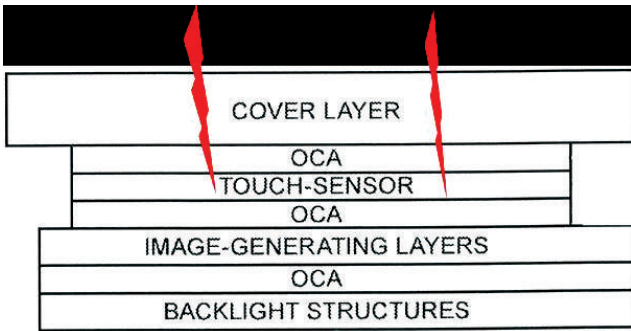
고 윗부분의 ITO 등이 증착된 감지 센서가 장착되어 있는 cover glass가 깨지는 것이다(그림 2 붉은 색 표시 부분). 따라서 깨진 액정 수리 작업은 실상은 전면 cover glass를 교체하는 것이지 실제 액정을 교체/수리하는 것은 아니다. 이처럼 파손된 액정 수리를 하는 business가 성업 중이고 이 깨진 전면 유리 교체 및 접합 과정에서 진공을 이용하여 접합부에 공기를 남기지 않는 탈포 공정이 사용되고 있다.

스마트 폰을 포함한 이동기기들은 터치 패널 모듈에 있는 각 부품들의 기능이 유지될 수 있도록 매우 안정적이고 광학적 특성이 좋은 접착제를 이용하는 정교한 접합 기술(bonding technology)이 필요하다. 이런 기능 소자들을 조립하는데 있어 핵심은 터치 패널 모듈과 LCD 패널이 있는 glass cover를 접합하는 것이다.

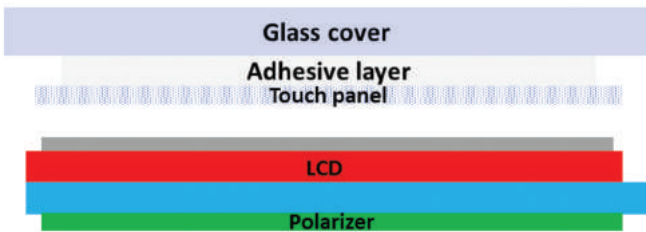


<저자 약력>

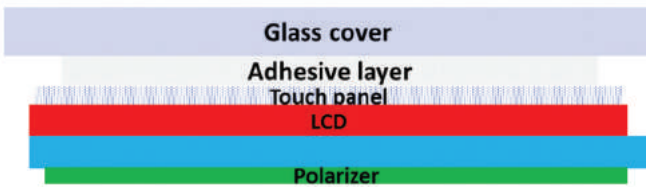
주장헌 박사는 1996년 연세대학교 물리학과 박사학위를 받고 에드워드 코리아주식회사에 입사하여 현재까지 근무하고 있으며, 2005년 제 1회 반도체 기술 대상 산업자원부 장관상을 수상하였으며 저서로 <진공기술 실무>와 <진공 이해하기>가 있다.
(jh.joo@edwardsvacuum.com)



[Fig. 2] 스마트폰 수직 단면 구조 예



[Fig. 3] 접착제 위치 첫 번째 예



[Fig. 4] 접착제 위치 두 번째 예

이것과 매우 유사한 구조는 전통적인 저항식 터치 패널에서 볼 수 있지만, 주류를 이루는 구조는 주위가 양면 접착 테이프를 이용하여 접합하기 때문에 터치 패널과 LCD 패널 사이의 공기 층이 포함된다. 공기 층은 터치 패널의 광학적 특성을 저해하지만 광학적 특성 저해를 최소화하여 최신 디스플레이 기술에 기여한 것이다. 공기층을 채우는데 사용되는 공정은 전면 접합(face-bonding)으로 이 접합 기술은 내구성 향상과 광학적 특성 저하를 막아준다.

한편 On-cell 터치 패널 모듈은 이동 기기 표면에 glass cover가 있다. 몇몇 경우에 ITO 나 전극의 투명 전도층이 glass cover와 접착층 사이에 놓이게 된다. 터치 패널 기능을 하는 glass cover가 LCD 패널 위에 직접 붙게 된다.

[Table.1] 접착제 종류 및 특성들

	UV Acrylics	Epoxies	Silicones	Anaerobic	Cyanoacrylates
Refractive index	1.51	1.56	N/A*	N/A*	N/A*
Tg(°C)	50 ~ 100+	50 ~ 150+	< - 40	100 ~ 130	100 ~ 130
CTE(ppm, below Tg)	90 ~ 120	250 ~ 400	250 ~ 400	90 ~ 120	90 ~ 120
Outgassing(% TML/%CVM)	1 ~ 4/ 0.06 ~ 0.25	2~5/ 0.1~0.7	1.5~2.0/ 0.7~1.5	Strength dependent	5 ~ 6/0 ~ 0.001
Shrinkage(%)	2.25 or less	1.5 or less	0 ~ 3	5 ~ 13	5 ~ 15

N/A* : Not typically used in the bond line

광학적 투명 접착제(OCA)와 광학적 투명 레진(OCR)

접착제는 서로 다른 물질을 빠르고, 신속하게 그리고 효과적인 비용으로 접합시킬 수 있기 때문에 기계적 조임 방식으로 접합시킬 수 없는 많은 광학 부품들 생산이 가능하게 해 준다. 이렇게 섬유 광학 조립체에 가장 많이 사용되는 접착제들은 표 1처럼 다섯 가지 종류가 있다.

두 개의 강체 기판을 접합시키는데 통상 사용되는 접착 시스템은 다음과 같다.

- 액체 접착제
- 양면 접착 테이프(접착식 전이 테이프 포함)
- 고온 용해 접착 필름

접착에 사용되는 접착제들은 자외선 처리 레진(UV-curable resin)과 광학적 투명 접착제(OCA)이다. 자외선 처리 레진은 액체 상태이고 풀(glue)처럼 점성이 낮다. 자외선 처리 레진은 자외선 빛에 노출되면 단단해진다. 광학적 투명 테이프는 매우 뛰어난 광학적 특성을 갖는 매우 얇은 양면 테이프이다. 접착제가 갖추어야 할 조건들이 있는데 가장 먼저 광학적 특성 측면에서 가시성(visibility)이 높아야 한다. 즉, 유리나 레진 구조에서 빛의 반사와 굴절로 인해 가시성이 떨어지지 않도록 해야 한다. 다음으로 기계적 측면에서 터치 패널 모듈의 내구성(durability)이 LCD 패널에 터치 패널을 접합하였을 때 증가되어야 한다.

과거에는, 광학적 투명 접착제(OCA, Optical Clear Adhesive)가 터치패널(TSP, Touch Screen Panel)을 스마트폰 디스플레이에 붙이는데 이용되었다. 광학적 투명 레진(OCR, Optical Clear Resin)이 광학적 투명 접

[Table.2] 기존 접착제들의 단점들

접착 시스템	단점들	비고
액체 접착제 (Liquid adhesives)	접성이 낮은 액체 접착제가 새어 나와 부품의 접합 주변을 오염시킨다.	OCR (A사)
	작업 환경 안전 측면에서 냄새 문제 발생	
	공정의 청결 문제	
양면 접착 테이프 (Double-sided self-adhesive tapes)	얇은 접착제 층은 25 um까지 가능하지만 품질 접합 결과를 얻기 위해서는 두꺼운 층(최소한 100 um필요)	OCA (S사)
고온 용해 접착 필름 (Hotmelt adhesive films)	140°C 이상의 고온과 감압 상태에서 접합 높은 접착 온도는 온도에 민감한 기판에는 허용되지 않음.	Autocalve

착제(OCA)를 능가하는 많은 장점이 있음에도 불구하고, 만족할 만한 생산 수율을 얻기가 어렵고 가격 또한 비싸다.

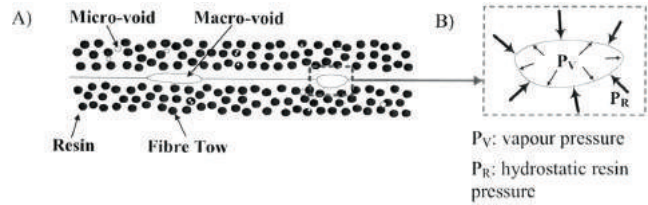
OCA 테이프는 매우 얇은데 그 이유는 종종 중간층없이 접착층만으로 구성되기 때문이며, 이 테이프는 많은 장점들을 가지고 있다. 유리, 금속 그리고 엔지니어링 플라스틱에 사용될 수 있고 날씨에 대한 내성이 강하다. 제조 공정에서 취급하기가 매우 용이한데 그 이유는 이미 테이프 형태로 만들어져 있기 때문이다. 또한 처리 공정(curing process)이 필요없으며 액체 접착제처럼 접착 부위에서 흐르는 문제가 생기지 않는다.

반면에 OCA의 단점들은 (1) 서로 보완되기 어려운 인쇄 기술과 상충된다는 점, (2) 판형태로 공급되어야 하는 공정으로 인하여 자외선 처리 레진에 비해 비용이 많이 들고, (3) 서로 겹치는 부위에 OCA 테이프를 붙이는 경우, 겹쳐지는 부위를 따라 유연성이 없으면 테이프와 겹치는 부위 사이의 간극(gap)에서 공기 방울(air bubble)이 생기거나 이 간극이 기체 방출 원인이 된다.

기포(Void) 형성과 성장 메커니즘

기포(void)는 작은 cavity들로 구성된 결함(defect)의 한 형태이다. 기포는 부품의 기계적 성능에 있어 좋지 않은데 그 이유는 기포들이 응력(stress)이 집중되는 영역이고 수분 침투(infiltration)와 누적으로 인해 재료의 오염을 유발하기 때문이다.

- 기포 형성과 성장의 네 가지 메커니즘은 다음과 같다.
- 국부적인 공기 방울 압력보다 더 큰 압력이 가해지



[Fig. 5] 기포와 압력 관계

면 작업 중 포획된 공기 방울들이나 휘발성 기체들이 붕괴되거나 용해된다. 공기 방울 압력은 수증기 압력에 의해 정해지고 온도가 증가되면 커진다. 따라서, 국부적인 공기 방울의 압력을 최소화하기 위해서는 낮은 공정 온도가 바람직하다. 또한 높은 압력은 공정 중에 방울 형성을 최소화하는데 그 이유는 레진(접착제)에서 공기 방울이 붕괴될 수 있고 용해된 기체들이 기포를 형성하는 것을 막아주기 때문이다.

- 공정 중 휘발성분들이 방출되어 형성된다.
- 레진(테이프) 속으로 기체들이나 수분이 용해되어 형성된다.
- 레진 처리로 인한 축소(shrinkage)가 내부 응력을 누적시켜 형성된다.

진공 탈가스(Vacuum degassing)

진공탈가스는 경화(cure)된 제품 내에 결함(defect)을 유발하는 용해되어 있거나 갇혀 있는 기체(예를 들어 공기)를 제거한다. 진공 탈가스(섞지 않은 상태에서) 과정에서 압력이 낮아질 때, 갇혀 있고 용해된 기체들이 팽창하고 표면으로 모이게 된다. 갇혀 있거나 용해된 기체들은 제품을 눈에 띄게 팽창시킨다. 탈가스 용기는 충분히 커서 이 팽창을 수용할 수 있어야 한다. 여러 단계의 배기(vent) 공정들을 통해 제품이 더 이상 팽창하지 않을 때까지 진행된다. 이런 팽창은 진공 상태에서 혼합할 때 최소화된다. 과도하게 진공 배기하여 제품이 파손되지 않도록 주의해야 한다. 재료에 따라 달라지지만, 섞지 않은 상태에서의 탈가스는 통상 Type I(점성이 5,000 cP 까지)에 적용될 수 있다.(표4 참조)

과도한 진공 배기로 인하여 물리적으로 제품이 변하거나 손상받을 수 있다. 탈가스 시스템에 사용되는 진공 펌프의 최대 진공도(최저 압력)는 종종 탈가스에 필요한 공

[Table.3] 필요한 탈가스 압력 예

Bulk materials	Degassing pressure(Torr)
Water, water-based product	202
Urethanes	74
Viscous silicones	49 ~ 23
Polyurethane elastomer silicon rubber	23

정 압력을 초과하기도 한다. 결과적으로 제품은 진공 배기를 통한 탈가스 과정에서 끓는점에 도달하게 된다. 사용자가 자신들이 생산하는 제품이 끓게 되는 것을 우려해야 하고 자신의 생산 제품에 최적화된 진공도가 얼마인가 결정해야 한다. 그러나 반대로 사용자는 탈가스 대상인 레진과 에폭시 물질 속에서 성형되는 거품을 붕괴시킬 수 있을 정도로 압력이 충분한지 결정해야 한다. 자신들의 특정한 제품 생산에 필요한 탈가스 압력이 무엇인지 얼마나 그 압력(진공도)을 유지해야 하는지는 공급 업체에게 물어 보아야 한다.

탈가스에 필요한 압력 이하로 배기하면 재료가 끓기 시작하는 압력 영역내에 들어가게 만든다. 탈가스와 끓는 공정을 때때로 서로 동일한 공정인 것처럼 생각되지만 이 두 과정은 서로 별개의 공정들이며 일반적으로 끓지 않도록 해야 한다.

이렇듯 접착을 위해 사용되는 레진과 에폭시 물질들은 접착력과 원하는 광학적 특성을 얻기 위해 혼합-주입-탈가스-열처리 공정을 거치는 동안 진공 탈포를 실시하게 되는데 이때 진공 탈가스 공정 적용 시점과 절차가 적합하지 않으면 진공 탈포로 인하여 생산품의 품질을 보증할 수 없다. 진공 탈가스로 인하여 (1) 포집 또는 용해되어 있던 기체들이 팽창하여 넘치기도 하고, (2) 제어되지 않은 진공 배기로 인하여 레진과 에폭시가 끓어 넘치기도 하며, (3) 이로 인하여 탈가스 후 부분적으로 레진과 에폭시가 없는 곳이 생기기도 하며, 마지막으로 (4)진공 혼합 과정이 없는 경우에는 두꺼운 액체 성분에서 충분히 탈가스가 이루어지지 않아 내부에 공동(cavity)이나 잔류 용해 가스를 유발한다.

진공 탈가스 과정에서 원재료 물질에서 기체들이 빠져나가는데 있어 액체의 두께가 영향을 주는데 그 이유는 두께가 두꺼우면 기체가 빠져 나가는데 저항으로 작용하기 때문이다.

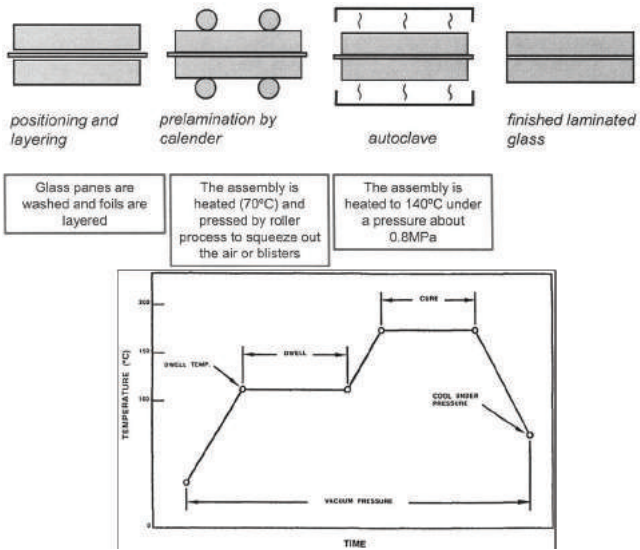
[Table.4] Four types of bulk materials

Type	Viscosity	Sample material	Sample application
I	Low Up to 5,000 cP	West system 105 Resin 1,000 cP@22°C	Vacuum degassing/ vacuum mixing Dispersing fine particles in low viscosity liquid
II	Medium 5,000 ~ 30,000 cP	Resin Designs Epoxy 041207 Resin 12,000 cP @25°C Hardener 1200 cPs @25°C	Vacuum mixing for thicker materials Like pastes and gels
III	High 30,000 ~ 100,000 cP		
IV	Very high Over 100,000 cP		Loaded polymer blending/loading viscous polymers with solids) - starting viscosity 2,100 cP, final 350,00 cP

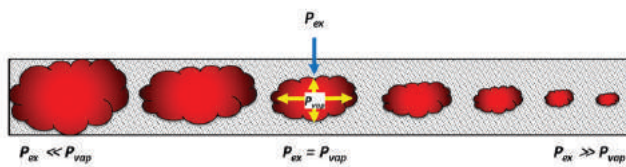
진공을 이용하면 공기 방울(air bubble) 형성을 막아 준다. 그러나 실제로는 진공이라고 하더라도 공기 방울을 완벽하게 제거해 주는 것은 쉬운 일이 아니다. Glass cover를 접착할 때, flipping 방법처럼 전면 접합이 이용된다. 그러나, 진공이 완벽하지 않은 경우 공기 방울이 포함될 위험성은 여전히 있다. 진공 방식은 공정 중에 chamber를 진공 상태로 만들어야 하는데 이것은 진공 상태를 만드는데 시간이 걸린다는 것을 의미한다. 동시에, 진공을 파괴하는(대기압 상태로 만드는) 시간이 전체 공정 시간에 크게 영향을 준다. 공정 생산성을 증가시키는 것이 매우 어려운데 그 이유는 진공 형성을 촉진하고 대기 상태를 만드는 것만을 통해 생산성을 높여야 하기 때문이다.

오토클레이브 접합(Autoclave lamination)

일반적으로 autoclave는 장착되는 양이나 용량에 따라 약 15 ~ 20 분 동안 121°C의 온도와 고압으로 포화된 증기를 공급하여 장착물을 살균하는데 사용되는 압력 chamber이다. 다른 형태의 autoclave가 코팅, 고무의 가황 처리 그리고 열수합성(hydrothermal synthesis), 고온/고압 상태에서의 결정 성장 같은 화학 산업에 이용되고 있다. 전자 산업에 사용되는 합성 쿼츠 결정이 autoclave 분야에서 커지고 있다. Autoclave는 앞에서 설명한 스마트 폰 액정 수리 과정과 같은 합착



[Fig. 6] Autoclave Process Sequence and Temperature Change



[Fig. 7] 압력에 따른 기포 성장

(lamination) 공정에 사용되면 높은 온도와 높은 압력에서 압착하여 붙이는 작업에 이용된다.

Autoclave 합착 공정에서 압축을 위해 외부 압력이 가해지는 것이 바람직하다. Autocalve 합착이 널리 이용되는 이유는 높은 내부 압력으로 인해 제품 접합 품질이 향상되고 기포 함량도 현저하게 감소되기 때문이다. 그러나, autoclave 공정은 규모가 큰 autocalve를 이용하는 경우 초기 투자 비용이 높고 고압으로 인한 위험성이 크다는 것이다.

결론

이처럼 우리가 일상 생활에서 이제 없어서는 안 되는, 심지어 신체의 일부분이 되었다고 할 수 있는 스마트폰을 사용 중에 전면 유리가 깨지는 경우가 발생하는데 이런 경우를 우리는 일반적으로 액정이 깨졌다고 한다. 깨진 액정을 수리하기 위해 스마트폰 서비스 센터로 가면



[Fig. 8] 스마트폰 액정 수리 센터



[Fig. 9] S전자 서비스 센터와 깨진 액정 구입 광고판

액정을 교체하여야 한다고 하고 고가의 부품 비용을 청구받게 된다. 그러나 앞에서 설명한 것처럼 스마트폰 액정이 깨진 것이 아니라 전면 유리가 깨진 것이기 때문에 깨진 전면 유리를 떼어 내고 새로운 전면 유리를 붙이던 되지만 서비스 센터에서는 그렇게 하지 않는다.

서비스 센터를 나오면 그 앞에는 입간판이나 붙어 있다, “액정 구입합니다”라고. 모르면 호갱이고 알면 현명한 소비자가 될 뿐이다. 다만, 전면 유리만 교체하는 수리 방법을 선택하는 경우 수리 보증은 본인이 생각하고 현명한 소비자가 될지를 결정하여야 한다.