

## 실크 스크린 인쇄 및 점착력에 나노 입자가 포함된 UV 경화형 아크릴계 감압 점착제의 유변학적 특성

조민정 · 강호종 · 김동복<sup>†</sup>

광에너지소재연구센터, 단국대학교 고분자공학과  
(2017년 2월 17일 접수, 2017년 3월 8일 수정, 2017년 3월 8일 채택)

### Effects of the Rheological Properties of UV Cured Acrylic Pressure Sensitive Adhesive with Nano-particles on the Silk Screen Printing and Adhesion

Min-Jeong Cho, Ho-Jong Kang, and Dong-Bok Kim<sup>†</sup>

Center for Photofunctional Energy Materials, Dept. of Polymer Science and Engineering,  
Dankook University, Yongin, Gyeonggi 16890, Korea

(Received February 17, 2017; Revised March 8, 2017; Accepted March 8, 2017)

**요약:** 본 연구는 디스플레이 모듈 접합 공정에 적용하기 위해 자외선 경화형 아크릴계 점착제(PSA)에 실리카 나노 입자를 함량별로 첨가하여 실크 스크린 인쇄성 평가를 실시하였고, 유변학적 성질이 인쇄성 및 점착력에 미치는 영향을 고찰하고자 하였다. 점착제(PSA) 중합을 위한 기본 처방으로 2-ethylhexyl acrylate(2-EHA)와 acrylic acid(AA)를 93:7 비율로 고정하고 butyl acrylate(BA), 2-hydroxyethyl acrylate(2-HEA)를 첨가하였다. 추가로 나노 입자는 친수성 및 소수성을 가지는 AEROSIL R974 및 AEROSIL 200을 각각 사용하였다. 나노 입자 함량이 4 또는 7 phr 이상 사용함에 따라  $G'$ ,  $\eta^*$  값이 급격히 증가하였으며, 친수성 나노 입자 AEROSIL 200을 7 phr 이상 첨가했을 때에는 스크린 인쇄 시 투과성이 저하되었다. 점착력은 나노 입자 함량이 증가할수록 감소되는 경향을 보였으며, 친수성인 AEROSIL 200의 경우 점착력이 더욱 저하됨을 알 수 있었다.

**Abstract:** For application to display module junction process, the silk screen printing based on UV curable acrylic pressure sensitive adhesive(PSA) with silica nano-particles and the rheological properties were studied to investigate the effect on printability and adhesion. The monomers for PSA were based on 2-ethylhexyl acrylate(2-EHA) and acrylic acid(AA) 93:7, butyl acrylate(BA), 2-hydroxyethyl acrylate(2-HEA) and tetrahydrofurfuryl acrylate(THFA) were added. Additionally, hydrophobic and hydrophilic nano-particles AEROSIL R974 and AEROSIL 200 were added, respectively. When the ratio of nano-particle was used above 4 or 7 phr,  $G'$  and  $\eta^*$  were increased significantly. When the ratio of AEROSIL 200 was used above 7 phr, the penetration property was decreased during the silk screen printing. We found that the adhesion was decreased with increasing the nano-particle content, and it was decreased in the case of the hydrophilic nano-particle AEROSIL 200.

**Keywords:** Acrylic adhesive, UV curing, silk screen, nano-particle, rheological property

### 1. 서 론

다양한 산업 분야에서 사용되고 있는 감압형 점착제(Pressure sensitive adhesive, PSA) 중에서도 광경화형 아크릴계 PSA는 용매를 사용하지 않고 합성할 수 있다[1]. 광경화형 PSA는 짧은 시간 내에 경화할 수 있어 경제적이며 친환경적이라는 장점이 있다[2,3]. 또한 투

과성, 내후성, 접착 및 코팅성이 우수하기 때문에 디스플레이를 포함한 전기전자, 자동차 등 산업 전반의 소재 분야에서 다양하게 사용되고 있고 소재의 경량화, 제조 공정의 간소화를 위해 많은 연구가 이뤄지고 있다[4]. 디스플레이 분야에 적용되고 있는 대표적인 PSA는 optically clear adhesive(OCA)가 있으며 이와 유사한 페이스트 형태의 점착제인 optically clear resin(OCR)이 있다. 이들 광경화형 PSA를 포함한 점착제는

<sup>†</sup> Corresponding author: Dong-Bok Kim (koreakdb@dankook.ac.kr)

최근에 터치패널 접합 등의 용도에 많이 사용되고 있다[5,6]. 광경화형 중에서도 특히 자외선(Ultraviolet, UV) 경화 형태는 PSA테이프 제조가 용이하고, 초기 공정설치비가 비교적 저렴하여 친환경 요구에 부응할 수 있는 제조방법으로 대두되고 있다. UV 경화형 PSA는 일반적으로 코팅이 용이한 점도가 되도록 단량체를 중합한 후 필름에 코팅하여 테이프 형태로 제조된다 [7,8].

실크 스크린(Silk screen)은 여러 개의 실크 섬유를 종축과 횡축으로 교차하여 직조한 것으로 최근에는 표면마찰에 따른 내구성 향상을 위해 금속 섬유 등 다양한 재질을 사용하고 있다. 실크 스크린은 메쉬(mesh)에 통과하는 고분자 용액이 저점도이거나 분자량이 낮아 박막코팅에 많이 적용되므로 인쇄 산업에서 사용되고 있다. 또한 소량의 재료로 원하는 면적에 코팅 및 인쇄할 수 있어 경제적이며 공정 시간이 짧고 연속 공정이 가능하다는 장점이 있다[9]. 본 연구는 전기전자 재료 및 디스플레이 부품을 접합시키는 공정에 이러한 실크 스크린을 이용하여 고분자량의 PSA를 코팅하고자 시도하였으며 코팅 후 UV에 의해 짧은 시간동안 경화시킨 후 또 다른 부품을 접합시키거나 투명소재의 경우 코팅과 동시에 UV 조사를 시켜 접합시킴으로 공정 간 소화를 이룰 수 있는 장점이 있다. PSA는 사용하는 고분자의 종류 및 설계에 따라 적용 후 피착재로부터 쉽게 제거할 수 있는 특성을 부여할 수 있다. 특히 전기전자 및 디스플레이에 사용되는 소재는 PSA보다 고가이므로 재활용을 필요로 한다. 따라서 PSA가 쉽게 제거될 수 있는 특성을 가지려면 PSA 사슬이 고분자량이던가 경화에 의한 망상구조가 잘 발현되어야만 가능하다. UV 중합 및 경화형은 이러한 특성을 잘 구현시킬 수 있다.

따라서 본 연구는 PSA 제거에 용이한 고분자량 아크릴계 PSA를 중합하고[2,5], 실크 스크린 코팅 시 코팅두께를 증가시키기 위해 실리카 나노 입자를 첨가한 후 점탄성 측정에 의한 유변학적 특성과 인쇄성과의 연관성을 고찰하고자 하였다. PSA에 나노 입자를 넣었을 때 입자의 소수성 및 친수성에 따라 사용된 금속 메쉬와의 반발력과 친화력 차이가 실크 스크린 인쇄 시 투과성에 영향을 줄 것으로 판단되어 실리카 계열의 나노 입자를 사용하였다. 또한 유변학적인 특성을 고찰하므로 전단속도에 따른 점탄성의 변화로부터 입자를 섞었을 때 나타나는 차이점을 확인하고자 하였다 [10,11]. 또한, PSA에 실리카와 같은 무기물 입자를 첨가하면 PSA 사슬간의 작용력을 저하시켜 점착력이 감소하는데 나노 입자의 함량에 따라 점착력에 미치는 영향을 고찰하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 시약 및 재료

주 단량체로 2-ethylhexyl acrylate(2-EHA, Samchun Chemical Co., Ltd., S. Korea)를 사용하였으며 공 단량체로 acrylic acid(AA, Samchun Chemical Co., Ltd., S. Korea), butyl acrylate(BA, Samchun Chemical Co., Ltd., S. Korea) 및 2-hydroxyethyl acrylate (2-HEA, Samchun Chemical Co., Ltd., S. Korea)를 사용하였으며, 기능성 올리고머로는 tetrahydro furfuryl acrylate (THFA, Miwon specialty chemical Co., Ltd., S. Korea)를 사용하였다. 나노 입자는 EVONIK Korea의 AEROSIL R974, AEROSIL R972 및 AEROSIL 200을 사용하였다. PSA 중합에 사용한 광개시제는 1-hydroxycyclohexyl phenyl methanone (Igcure 184, BASF)이었으며, 경화제로는 1-dodecanethiol(Sigma-Aldrich Korea)을 사용하였다.

### 2.2. 실험방법

#### 2.2.1 중합 및 나노 입자 비율

2-EHA, AA를 중량비로 각각 93:7 wt%로 고정하고 BA, 2-HEA는 2-EHA:AA의 100g에 대한 phr수로 첨가하여 4원 공중합하여 시럽을 제조하였다. BA는 스크린 탈착성을 향상시키기 위한 처방이며, 점착력에 관여하는 wetting성을 부여하기 위해 2-HEA를 3 또는 7 phr 첨가하였다. 중합 시 모노머와 광개시제 Igcure 184를 0.05 phr 첨가하고 10분 동안 질소분위기에서 교반한 후, 40 W/m<sup>2</sup>의 UV 램프를 조사하여 중합하였다. 시럽에 THFA를 각 7, 14, 17 phr로 혼합하여 실험에 사용하였다.

각 시럽에 12 nm 크기의 나노 입자 R974를 1, 4, 7, 10 phr, 같은 크기의 200을 1, 4, 7 phr 첨가한 후 교반기를 이용하여 390-450 rpm 속도로 30분간 교반하였다 [12]. Table 1은 본 연구에서 사용한 시럽 및 나노 입자 함량을 나타낸 것이다.

#### 2.2.2 유변학적 특성 측정 및 점착력 평가

실크 스크린 인쇄에 유변학적 특성이 어떤 영향을 미치는지 고찰하기 위해 TA사의 Rotational Rheometer AR200EX를 사용하여 25°C에서 frequency sweep test mode로 0.01~100 Hz에 따른 점탄성을 측정하였다. 박리 점착력을 평가하기 위해 중합된 시럽에 광개시제, 경화제를 각각 0.4 phr 및 0.3 phr를 첨가하여 10분 동안 교반 후, 바코터를 이용하여 38 μm PET 필름에 20 μm 두께로 코팅하고 12분 동안 UV를 조사하여 경화시켰다. 경화된 PSA를 25 mm, 150 mm 크기로 샘플링한 후

**Table 1.** The monomer components for acrylic syrup

Monomer ratio	THFA (phr)	Nano-particle	phr
2-EHA:AA:BA:2-HEA =93:7:7:3 (Syrup-1)	7, 17	AEROSIL R974	0, 1, 4, 7, 10
		AEROSIL 200	0, 1, 4, 5.5, 7
2-EHA:AA:BA:2-HEA =93:7:7:7 (Syrup-2)	14	AEROSIL R974	0, 1, 4, 7, 10
		AEROSIL 200	0, 1, 4, 5.5, 7

피착재 polycarbonate(PC)와 Glass에 핸드롤러를 이용하여 압착시킨 후, 초기 20분에서 Universal testing machine(UTM, LLOYD, LR30K)을 사용하여 박리력을 측정하였다. 로드셀은 100N ±0.05%, propagation speed 300 mm/min에서 180°로 당겨 peel test를 진행하였다.

**2.2.3 실크스크린 프린팅 및 인쇄성 평가**

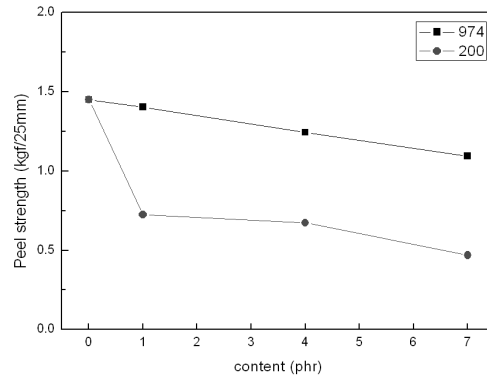
실크 스크린 메쉬는 ST200을 사용하였으며, 패턴 폭은 3 mm, X: 0.82, Y: 0.80의 장력으로 스크린을 통과한 PSA가 20 μm가 되도록 하였다. 인쇄 시 메쉬로부터 PSA가 묻어 나오지 않는지 확인하였으며, 인쇄된 PSA의 두께는 PSA를 2분간 UV 경화한 후 PET 필름을 덮어 micrometer로 측정하였다. 인쇄폐집도 경화 후 측정하였으며 패턴 직진성은 육안 관찰 및 사진 촬영을 통해 비교 및 판단하였다.

**3. 결과 및 고찰**

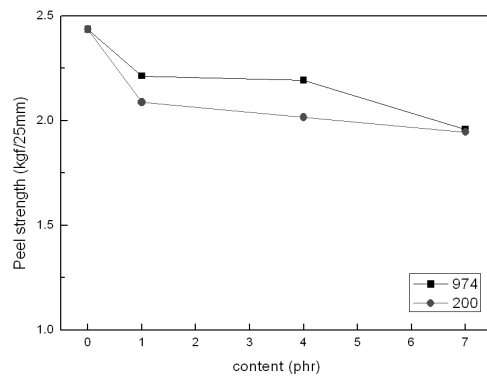
**3.1. 점착력 변화**

2-EHA:AA의 비율이 93:7 wt%로 고정된 상태에서 BA 7 phr, 2-HEA 3 및 7 phr를 각각 첨가하여 중합한 시럽에 THFA 7, 14 phr 및 소수성의 AEROSIL R974와 친수성의 AEROSIL 200을 각각 1, 4, 7 phr 첨가하여 코팅 및 경화 후 PSA의 점착력 변화를 보고자 하였다 [12-14]. 초기 20분 박리 점착력을 측정하였으며, 디스플레이 모듈 접합에 요구되는 1~2kgf/25mm의 점착력이 구현되는지 확인하였다[3]. Figure 1은 기본 처방 2-EHA:AA=93:7 wt%에 BA 7 phr, 2-HEA 3 phr 첨가된 Syrup-1에 THFA 7 phr, AEROSIL R974 및 AEROSIL 200을 각각 0, 1, 4, 7 phr 첨가하여 물성 변화를 나타낸 것이다. AEROSIL 200을 첨가한 경우보다 AEROSIL R974를 첨가한 경우, 피착재 Glass, PC 둘 다 점착력이 높고 입자 phr 수가 증가할수록 점착력은 감소함을 확인하였다. 특히 PC판에서 첨가된 200의 phr 수가 증가할수록 감소폭이 더 큰 것을 알 수 있었다. 또한, 피착재 PC보다 표면에너지가 더 큰 Glass에서 점착력이 높게 측정되었다[15].

(a)



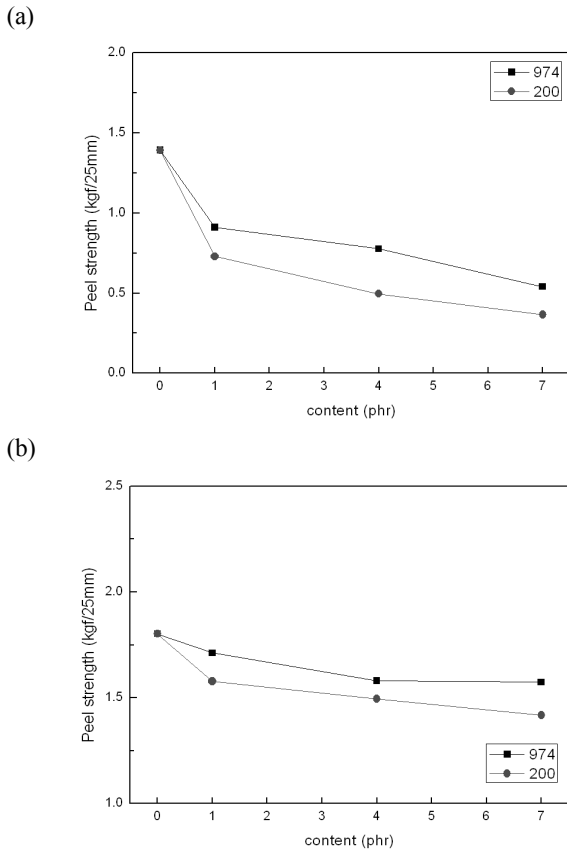
(b)



**Figure 1.** Effects of R974 and 200 contents based on 2-EHA:AA:BA:2-HEA=93:7:7:3 and THFA 7 phr with 20 min: a) PC; b) Glass.

Figure 2는 기본 처방 2-EHA:AA=93:7 wt%에 BA 7 phr, 2-HEA 7 phr 첨가된 Syrup-2에 THFA 14 phr, AEROSIL R974 및 AEROSIL 200을 각각 0, 1, 4, 7 phr 첨가하여 물성 변화를 나타낸 것이다. 마찬가지로 AEROSIL 200을 첨가한 경우보다 AEROSIL R974를 첨가한 경우 피착재 Glass 및 PC에서 공통적으로 점착력이 높고 나노 입자 함량이 증가할수록 점착력은 감소하는 결과를 보여주었다.

Figure 3은 Syrup-2의 처방에 기능성 올리고머인 THFA의 양을 증가시킨 점착력 결과를 나타낸 것이다. THFA 14 phr를 첨가한 경우 AEROSIL R974의 함량 1 phr부터 점착력은 급격하게 감소하여 약 0.75 kgf/25mm 정도의 점착력 거동을 보여준다. 피착재 Glass에서는 AEROSIL R974가 1 phr일 때 점착력이 약 1.75 kgf/25mm로 비교적 높은 이유는 피착재의 표면에너지가 높기 때문이며 또한 피착재의 표면이 PC보다 매끄러워 PSA의 wetting성이 증가한 것으로 보인다. 이러한 PSA의 표면특성은 고분자의 분자량이 낮거나 경



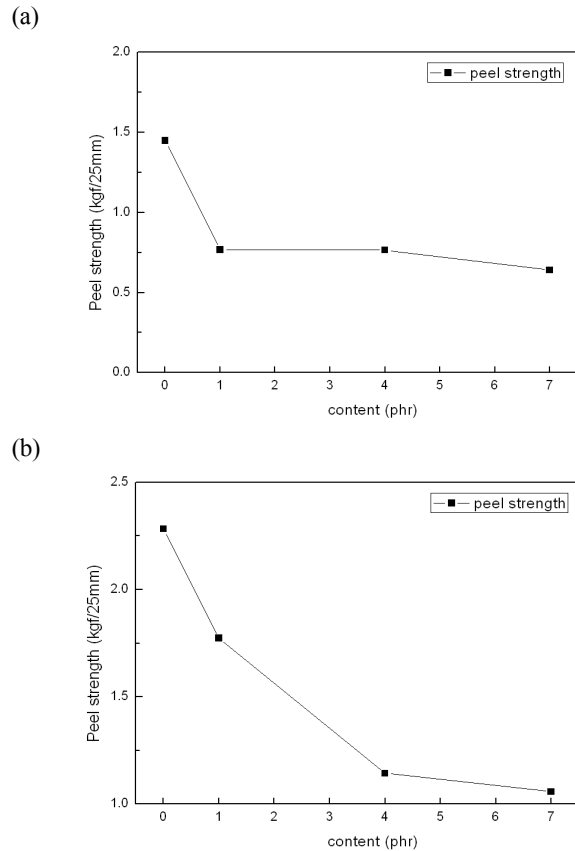
**Figure 2.** Effects of R974 and 200 contents based on 2-EHA:AA:BA:2-HEA=93:7:7:7 and THFA 14 phr with 20 min: a) PC; b) Glass.

화밀도의 차이, 점착제 내에 입자 등이 포함되었을 경우 사슬간 거리가 짧아져 나타나는 특성으로 상대적으로 넓은 초기 점착 면적을 발현시켜 점착력이 높아지는 원인이 된다[16,17].

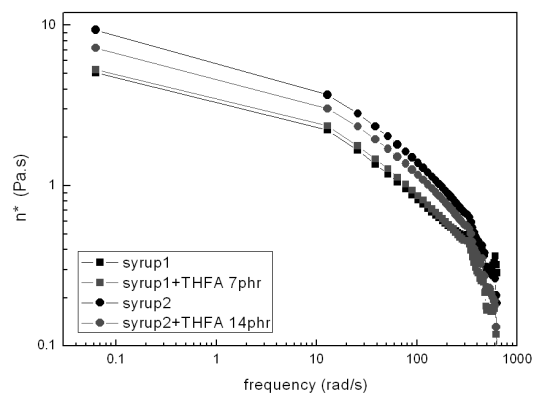
### 3.2. 유변학적 특성

#### 3.2.1 나노 입자 종류 및 함량에 따른 점도 변화

Figure 4는 실크 스크린 인쇄 시 투과성에 미치는 요인을 고찰하기 위해 PSA의 유변학적 특성을 측정하여 나타낸 것이다. 기본 처방 2-EHA:AA 93:7 wt%에 BA 7 phr, 2-HEA 3 phr 첨가하여 중합한 Syrup-1 및 BA 7 phr, 2-HEA 7 phr를 첨가하여 중합한 Syrup-2의 용액을 rheometer를 이용하여 Complex viscosity( $\eta^*$ )를 측정하였다. 기능성 올리고머인 THFA는 경화 시 고분자 사슬의 강직도 및 내부 응집력을 증가시키기 위해 사용한 것으로 피착재에서 PSA 제거 시 내부 응력이 있어야만 원활한 removable 특성이 생겨 잔여물이 피착재에 붙지 않고 탈착시킬 수 있게 된다[6,17,18]. 유변

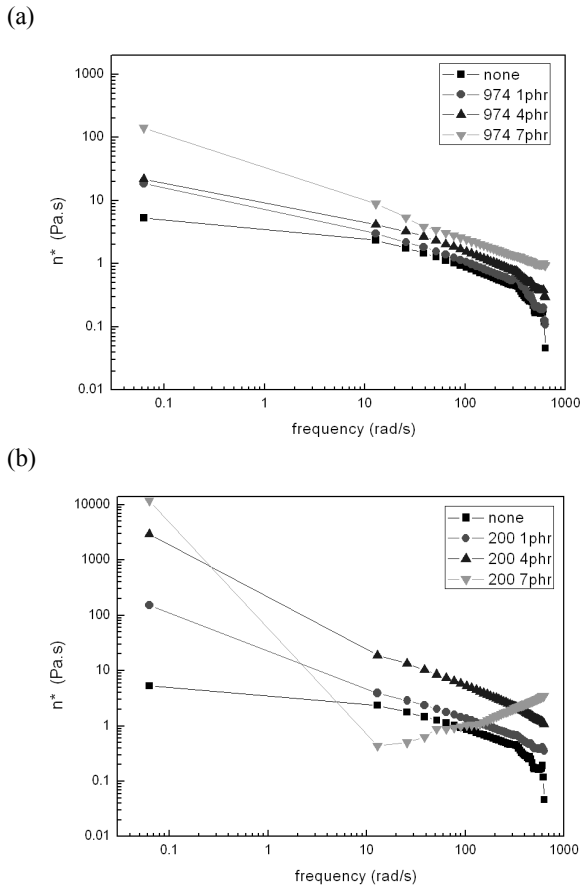


**Figure 3.** Effects of R974 and 200 contents based on 2-EHA:AA:BA:2-HEA=93:7:7:7 and THFA 14 phr with 20 min: a) PC; b) Glass.



**Figure 4.** Complex viscosity of 2-EHA:AA:BA:2-HEA = 93:7:7:3 (Syrup-1) and 2-EHA:AA:BA:2-HEA = 93:7:7:7 (Syrup-2) with THFA 0, 7 or 14 phr.

학적 특성 측정 결과 진동수 100 Hz에서 Syrup-1과 Syrup-2의  $\eta^*$ 는 0.18 Pa.s 및 0.29 Pa.s로 측정되었으며 Syrup-2가 더 높은 점도를 보이는 것을 알 수 있으며

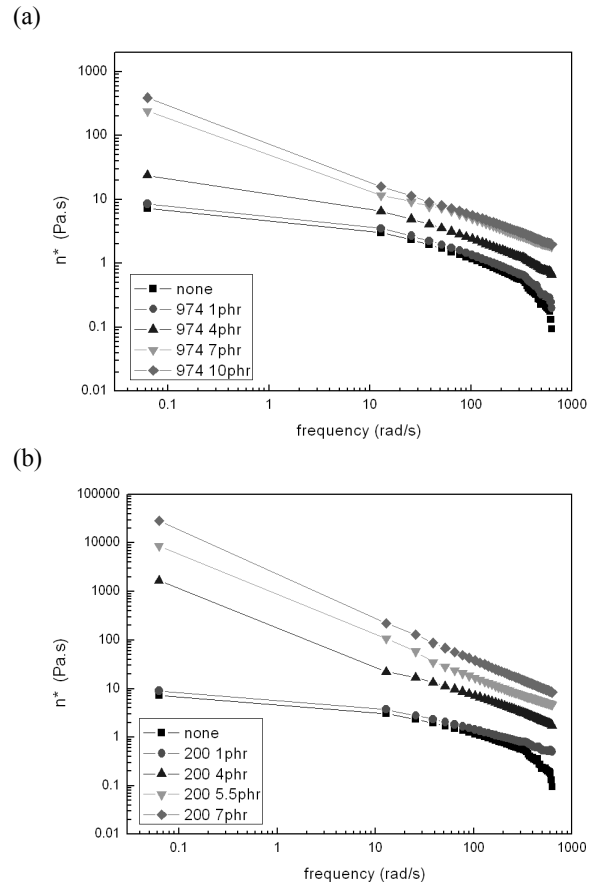


**Figure 5.** Complex viscosity of Syrup-1 with THFA 7 phr: a) R974; b) 200.

이것은 고분자 사슬이 더 길게 중합된 것으로서 즉, 모노머 사슬이 짧은 2-HEA 함량이 많으므로 고분자로의 전환이 빠르게 진행됨으로써 점도에 영향을 준 것으로 보인다[19].

또한 Syrup-2에 THFA를 혼합하여 측정한 결과를 보면, 낮은 진동수 영역에서 THFA의 tetrahydrofuran 고리내 극성인 산소가 응집력에 영향을 주어  $\eta^*$  값이 THFA를 넣지 않은 것보다 약간 감소한 것으로 보인다. 따라서 기능성 올리고머를 혼합하면 점도가 감소하여 실크 스크린 인쇄 투과성이 양호할 것으로 예측된다.

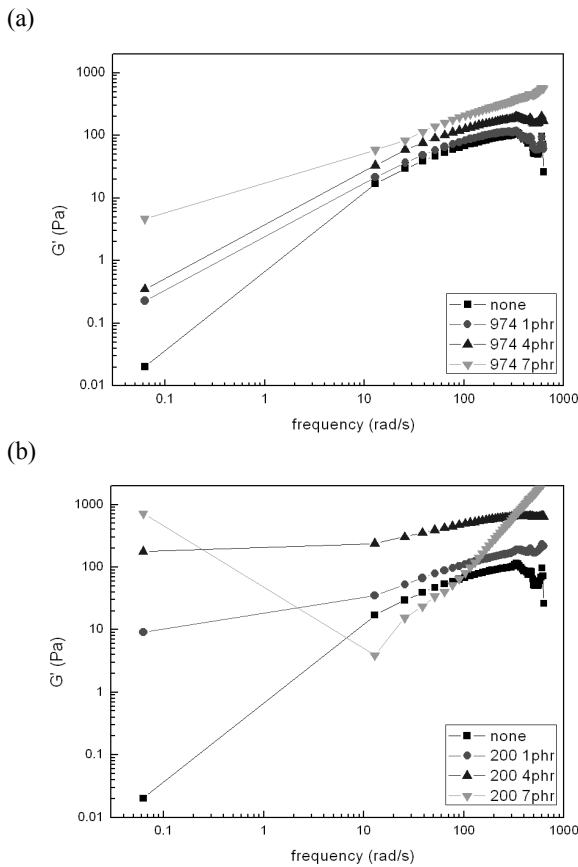
Figure 5는 Syrup-1에 THFA 7 phr를 혼합하고 나노 입자 AEROSIL R974 및 AEROSIL 200을 각각 혼합하여 진동수에 따른  $\eta^*$ 를 나타낸 그래프이다. Figure 5a)는 AEROSIL R974를 0, 1, 4, 7, 10 phr를 각각 첨가한 것으로 AEROSIL R974 함량이 증가할수록 Complex viscosity가 증가하는 것을 볼 수 있다. 실크 스크린 인쇄 시 전단속도는 다음 식을 이용하여 구할 수 있다.



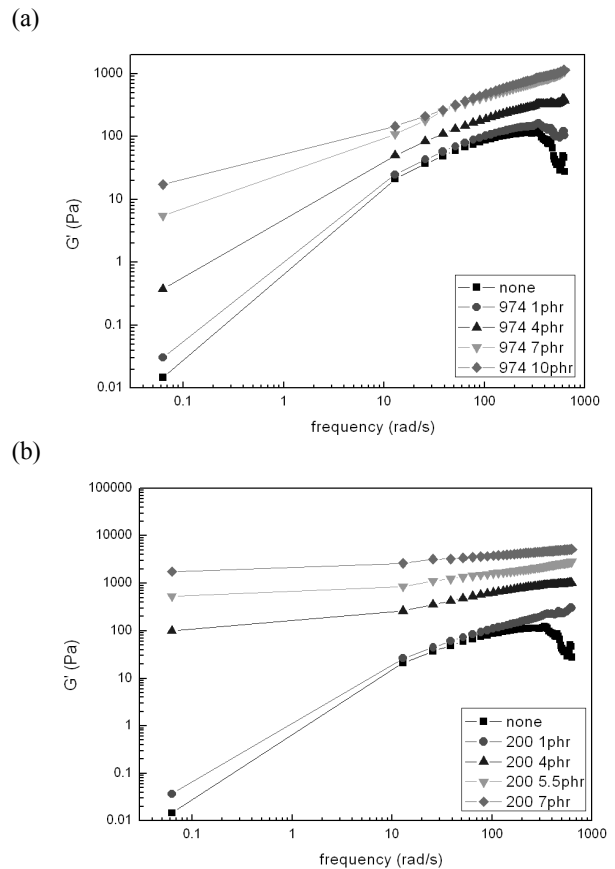
**Figure 6.** Complex viscosity of Syrup-2 with THFA 14 phr: a) R974; b) 200.

$$\dot{\gamma} = \frac{v}{H}$$

실크 스크린 프린팅 속도( $v$ )가 약 20 mm/s이고 스크린과 PET 필름 사이의 높이( $H$ )가 20  $\mu\text{m}$ 이므로 전단속도는 103/cm이다. 즉, 전단속도와 진동수를 같이 중첩시켜 보았을 때 진동수 1000 rad/s에서 PSA 용액의 점도가 초기 진동수에서의 값보다 적게는 10배, 많게는 1000배 이상 낮아지며 이 지점에서 PSA 용액의 스크린 프린팅 공정에 적합한 점도는 3 Pa.s 이하임을 예측할 수 있게 된다. AEROSIL R974의 경우 7 phr 이상에서 점도가 급격하게 증가하였으며, AEROSIL 200의 경우 7 phr 이상 첨가했을 때 다른 경향성을 보이는 것으로 나타났다. 즉, 진동수의 변화가 일어나는 두 번째 포인트에서 적용되는 힘의 크기가 급격하게 감소했다가 증가하는 것을 알 수 있는데 이는 PSA 코팅액을 실크 스크린 메쉬에 통과시킬 때 더욱 느린 속도로 인쇄해야 함을 뜻한다.



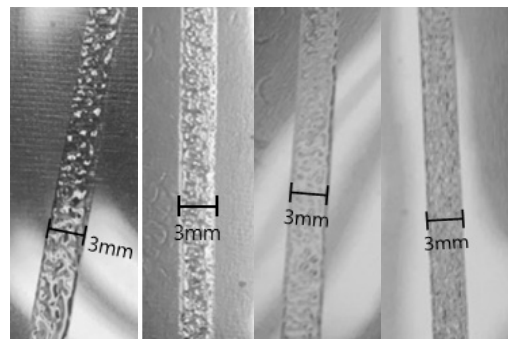
**Figure 7.** Storage modulus of Syrup-1 with THFA 7 phr: a) R974; b) 200.



**Figure 8.** Storage modulus of Syrup-2 with THFA 14 phr: a) R974; b) 200.

**3.2.2 나노 입자 종류 및 함량에 따른 저장탄성계수 변화**

Figure 7 및 Figure 8은 직진성 및 패턴안정성에 영향을 미칠 것으로 예상되는 저장탄성계수(Storage modulus,  $G'$ )를 측정하여 도시한 것이다. 탄성계수는 응력과 변형도의 비로서 압력에 저항하는 정도를 나타낸다.  $G'$ 는 응력과 변형도 간에 위상차가 없어 에너지 손실이 없는 탄성계수이며 PSA의 탄성을 나타낸다. Figure 5 및 6에서 보인 바와 같이 나노 입자 혼합에 따라 점도가 높아졌다. 점도가 증가하면 탄성계수도 함께 증가하며, 탄성계수가 0.1 Pa 이상일 때 본 연구에서 검토한 PSA 시럽의 경우, 실크 스크린 인쇄를 하면 Figure 9와 같이 인쇄 패턴 외곽이 뚜렷한 선형을 나타내게 된다. 하지만 AEROSIL 200과 같은 친수성 나노 입자가 과량 이상 포함되면 점도가 1000 Pa.s을 초과하게 되어  $G'$  또한 특이한 경향성을 보이는데 약 10 rad/s 지점을 기준으로 볼 때  $G'$ 이 1000 Pa을 초과하게 되면 PSA 내에 나노 입자의 불균일도가 높아져 인쇄 시 패턴 균일성 및 투과성을 확보하는 데 어려움을 주는 것으로 생각된다.



**Figure 9.** Photograph of various acrylic adhesives after silk screen printing based on 2-EHA:AA:BA=93:7:7 and THFA 7 phr : a) none nano-particle; b) R974, 4 phr c) 200, 4 phr d) 200, 7 phr.

**3.3 실크 스크린 인쇄성**

실크 스크린을 사용한 PSA의 인쇄 공정은 짧은 시간 내에 이뤄지며 메쉬를 통과한 PSA가 메쉬에 붙지 않고 안정적으로 반복 공정이 가능해야 한다. UV 경화

**Table 2.** Results of silk screen printing

Sample	Nano-particle	phr	Thickness ( $\mu\text{m}$ )
Syrup-1	-	0	7
		1	9
		4	8
	AEROSIL R974	7	7
		1	9
		4	4
		7	0~3
Syrup-2	-	0	5
		1	6
		4	8
	AEROSIL R974	7	6
		1	6
		4	4~5
		7	0~2

형 아크릴계 PSA를 실크 스크린 인쇄 공정 적용하기 위해 본 연구에서는 다음의 4가지 항목을 선정하여 평가하였다. 4가지 항목은 인쇄 폭(Printing width), 스크린 투과성(Thickness), 직진성(Linearity), 스크린 탈착성(Detachability)으로 분류하였다. 각 시럽에 THFA 및 나노 입자를 혼합하여 교반한 후 5~50 mm/s의 속도로 실크 스크린 인쇄하였다. 직진성은 인쇄된 PSA의 외곽 부분이 곧게 인쇄되었는지 육안관찰 및 Nikon S3000을 이용한 사진촬영을 통해 평가하였으며 탈착성은 실크 스크린 인쇄 후 메쉬에 PSA가 묻어 나오는지 여부로 평가하였다. 폭과 두께는 정확한 측정을 위해 인쇄된 PSA를 경화시킨 후 측정하였다. 인쇄 폭은 실크 스크린의 패턴 규격 3 mm에 맞게 인쇄되는지 ruler를 사용하여 측정하였으며 두께는 micrometer로 측정하였다. Table 2는 Syrup-1 및 Syrup-2에 나노 입자 AEROSIL R974 및 AEROSIL 200을 각각 1, 4, 7 phr 첨가한 후 투과성을 평가하여 정리한 것이다. 인쇄 폭과 직진성, 스크린 탈착성 모두 양호한 결과를 얻었다. 각 시럽에 AEROSIL R974를 첨가한 경우, 실크 스크린 인쇄 시 메쉬와의 반발력에 의해 투과성에 영향을 주는 것으로 나타났으며 결과적으로 두께가 다소 증가하였다. Syrup-1에 AEROSIL R974 또는 AEROSIL 200을 1 phr 첨가했을 때 9  $\mu\text{m}$ 로 투과성이 가장 높았다. 두 가지 시럽 모두 소수성의 AEROSIL R974를 첨가한 PSA 용액을 인쇄하였을 때 투과성이 증가하였으며 친수성인 AEROSIL 200을 첨가한 경우에는 투과성이 저하되는 결과를 보였다. 따라서 나노 입자 함량 및 종류에 따라

투과성이 변화하는 것을 확인할 수 있었다. Syrup-2의 경우 AEROSIL R974를 4 phr를 첨가하였을 때 두께 8  $\mu\text{m}$ 로 나노 입자를 넣지 않았을 때보다 3  $\mu\text{m}$ 가 더 증가하였다. Syrup-1의 경우에는 AEROSIL R974를 1 phr 첨가하여 인쇄하였을 때 9  $\mu\text{m}$ 로 가장 높았다. 공통적으로 나노 입자를 7 phr 이상 첨가하면 점도가 높아져 투과성이 저하되는 것으로 보이며 특히, AEROSIL 200을 7 phr 이상 첨가한 경우에는 G'가 높아 선형성은 우수하지만 점도도 함께 증가하므로 투과성이 나빠져 Figure 9의 결과와 같이 인쇄 패턴에 부분적으로 빈 공간이 생겨 패턴 안정성이 저하되는 것을 볼 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구를 통해 UV 경화형 아크릴계 PSA를 제조하고 점착력 및 유연학적 특성을 측정하여 디스플레이 모듈 접합 공정에 적용 가능한지 고찰한 결과, 다음과 같은 결론 얻었다.

1. PC보다 표면에너지가 높은 Glass에서의 박리 점착력이 높게 나타났으며 나노입자 함량이 증가할수록 점착력이 낮아졌다. 소수성인 AEROSIL R974보다 친수성인 AEROSIL 200을 첨가한 경우 점착력은 1.0 kgf/25mm 이하로 더욱 저하됨을 보였다. 2-HEA 3 phr, THFA 7 phr(Syrup-1)의 점착력이 2-HEA와 THFA가 각각 7 phr, 14 phr로 증가된 경우(Syrup-2)보다 높았으며, 이를 통해 2-HEA의 함량이 증가하면 PSA 고분자 사슬의 유연성이 감소하여 점착력이 감소됨을 확인하였다.
2. 나노입자 함량이 증가할수록 점도가 증가하는 것을 확인하였으며, 소수성의 AEROSIL R974보다 친수성의 AEROSIL 200을 첨가한 경우 점도 증가 폭이 큰 것으로 나타났으며, 7 phr 이상 첨가 시 진동수 628.3 rad/s에서 약 3,500 Pa.s로 실크 스크린 인쇄 공정 적용에 어려움이 있을 것이라고 판단하였다.
3. 저장탄성계수를 측정한 결과, PSA 용액의 점도가 높을수록 높았으며 탄성계수가 0.1 Pa 이상일 때 인쇄 외곽이 뚜렷한 선형을 나타내었으며 저장탄성계수가 인쇄 선형성 및 패턴 안정성에 영향을 주는 것을 알 수 있었다.
4. 나노입자를 첨가한 PSA의 직진성, 스크린 탈착성은 모두 양호했으며 인쇄 너비 또한 3 mm로 동일한 결과를 얻었다.

결론적으로 본 연구 결과로부터 투과성은 Syrup-1에

나노입자 AEROSIL R974 또는 AEROSIL 200을 1 phr 첨가했을 때가 가장 양호했으며, 7 phr 이상 포함할 경우 점도가 높아져 투과성은 오히려 둔화되거나 감소하는 경향을 보였다. 따라서 투과성을 증가시키기 위해 서 점도는 628.3 rad/s(진동수 100 Hz)에서 3 Pa.s 이하이고, 저장탄성계수는 1000 Pa 이하의 조건을 충족하는 PSA 용액이 실크 스크린 인쇄 공정에 적합함을 알 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 2016년도 경기도지역협력연구사업 (GRRRC단국 2014-B03, 광전소자 기능성 코팅액 제조 및 코팅 공정 개발)에 의하여 수행된 연구로 이에 감사드립니다.

## References

1. Sung, I. K., Park, G. H., Gong, W. S., and Park, S. H., *Journal of Adhesion and Interface(Korea)*, **15**, 176, (2014).
2. Park, E. S., Park, J. W., and Kim, H. J., *Polymer Science and Technology(Korea)*, **23**, 48, (2012).
3. Kim, D. B., *Polymer(Korea)*, **40**, 1, (2016).
4. Park, C. H. and Kim, H. J., *Polymer Science and Technology(Korea)*, **26**, 314, (2015).
5. Baek, S. S., Jang, S. J., Lee, J. H., Kho, D. H., Lee, S. H., Hwang, and S. H., *Polymer(Korea)*, **38**, 199, (2014).
6. Baek, S. S., Jang, S. J., Lee, S. W., and Hwang, S. H., *Polymer(Korea)*, **38**, 682, (2014).
7. Piglowski, J. and Kozlowski, M., "Rheological properties of pressure-sensitive adhesives: polyisobutylene/sodium carboxymethylcellulose", in *Rheol. Acta*, **24**, 519, (1985).
8. Keizai, F., "Special Adhesives and Passivation Materials · Market Outlook and Application 2012", Fuji Keizai, Tokyo. (2011)
9. Kim, S. J., "Research on Flexible Thermoelectric Power Generator using Screen Printing Technique", KAIST, Korea. (2012)
10. Conn, R. and Gosselin, A., "Fumed silica use in pressure sensitive adhesives", *Pressure Sensitive Tape Council*, 253, (2009).
11. EVONIK Industries, Technical Information 1324, "AEROSIL® Fumed Silica in Water-based Adhesives & Sealants", 1.
12. Lepek, Daniel and Loo, Christopher, "Agitated Fluidization of Nano-powders Using Mechanical Stirring", *The Cooper Union, USA*, 1, (2013).
13. Wang, X. S., Rahman, F., Rhodes, Martin J., "Mechanistic study of nano-particle fluidization", *Monash University, Australia*, 353, (2007).
14. EVONIK Industries, Technical Bulletin Fine Particles 11, "Basic characteristics of AEROSIL® fumed silica", 10.
15. Subedi, D. P., "Contact Angle Measurement for The Surface Characterization of Solids", in *The Himalayan Physics*, vol II, 3, (2011).
16. Choi, H. S., Hwang, H. Y., Jeoung, S. K., Lee, S. G., Lee, and K. Y., *Polymer(Korea)*, **36**, 33, (2011).
17. Kim, D. B., *Polymer(Korea)*, **37**, 192, (2012).
18. Chang, M.-C., Mao, C.-L., Vargas, and R. R., U.S. Patent 4,564,664, (1986).
19. Kim, T. Y. and Kang, H. J., "The coating characteristics of high performance optically clear resin", *Korea*, 23, (2015).