



Adsorption Property of Silicone Rubber Sticking Chuck for OLED Glass Substrate

Jin-Hee Kim and Kyung-Ho Chung[†]

Department of Polymer Engineering, University of Suwon, Wauan-Gil 17, Bongdam-eup, Hwaseong-Si, Gyeonggi-Do 445-743, Korea

(Received February 12, 2015, Revised February 24, 2015, Accepted March 2, 2015)

Abstract: Manufacturing process of OLED contains adsorption-desorption process of glass substrate. There are several adsorption methods of glass substrate such as atmospheric pressure, vacuum and electrostatic adsorption. However, these methods are very complex to connect system. Therefore, the adsorption method using silicone rubber based sticking chuck was proposed in this study. Three types of silicone rubbers having 0, 19.3 and 32.2 wt% of fluorine were used and their mechanical properties, surface energies and adsorption properties were examined. According to the results σ_{300} and hardness increased with increasing fluorine contents, but elongation was decreased. Also, fluorosilicone rubber containing 32.2 wt% of fluorine showed the lowest surface tension, among three types of rubber and resulted in the highest initial tack with glass substrate. After the adsorption-desorption test of 300,000 cycles was performed, the adsorption force of S-1 (silicone rubber) decreased largely from 2.34 to 0.73 MPa. However, the S-3 (fluorosilicone rubber having 32.2 wt% of fluorine) decreased only from 3.15 to 2.24 MPa. From this study, we obtained the valuable equations related to long term durability of silicone based sticking chuck. Finally the transfer of silicone rubber to glass substrate with the adsorption-desorption process was not occurred and this phenomenon was examined by UV-Visible spectroscopy.

Keywords: silicone rubber, fluorosilicone, sticking chuck, OLED, adsorption

Introduction

2000년대의 액정화면 (liquid crystal display, LCD) TV는 과거의 평면 TV보다 고급스러운 디자인과 TV의 크기를 키워 보편화 되었지만 TV의 응답속도가 1~2 ms로 잔상을 제거하기 힘들었다. 그러나 최근에 들어 보급화 되고 있는 유기발광다이오드 (organic light emitting diode, OLED) TV는 LCD TV에 비해 응답속도가 0.02 ms로 잔상을 말끔하게 제거할 수 있고, LCD TV에 있는 백라이트를 제거 할 수 있어서 TV의 두께를 얇게 구현시킬 수 있었으며 무게도 절감되어졌다.^{1,2}

일반적인 OLED 공정은 backplane 공정, OLED 공정, 봉지 및 scribing 공정 순으로 이루어진다. 먼저, backplane 공정은 구동소자인 thin film transistor (TFT)와 각종 배선을 형성하는 공정이다. 두 번째 공정은 OLED 공정으로 빛을 내는 화소를 형성시키는 공정이다. 봉지 및 scribing 공정은 OLED panel을 감싸는 공정이며, 소자보호를 하기위해 진공인 상태에서 진행된다. OLED는 LCD와 비슷한 공정을 지니고 있지만 많은 차이를 나타낸다. 먼저, OLED와 LCD 모두 유리 기판에 TFT를 구동소자로 사용하는 backplane을 가지고 있는

점은 동일하나 OLED의 경우 최소 2개 이상의 poly-Si TFT를 사용하여야 하므로 좀 더 복잡한 제조공정을 가지고 있다. 반면 backplane 이후의 공정에서는 OLED 공정이 LCD 공정에 비하여 더 짧고 간단하게 구성된다. 또한, OLED의 주요 발광 소자는 유기물과 금속으로 이루어져 있어 물과 산소에 취약하기 때문에 주의를 필요로 한다. 일반적인 공정에서는 이러한 차단된 환경을 조성하기 위해서 진공상태로 만든 후 열을 가해 anode (보통의 경우 indium tin oxide (ITO)) 위에 유기물과 금속을 증착시키는 방법을 사용한다.³

OLED 공정의 경우 유리기판을 흡착한 후에 모든 공정이 이루어지기 때문에 흡착 공정이 필수적으로 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 흡착 공정에 관한 연구를 진행하였다. OLED TV의 경우 유리기판 아래에 고가제품인 ITO를 포함하고 있어 흡착 공정 시 내부에 충격이 가해지면 결함으로 이어지기 때문에 흡착 공정 시 주의를 필요로 한다. 이러한 이유로 터치스크린 패널 흡착공정 및 증착공정이 중요하게 되었다. 흡착방법으로는 대기압, 진공 및 정전 흡착방법이 있으며, 두 개의 기판 사이에 삽입되는 액정 및 대전 물질의 기포 제거와 오염 방지를 위해 대기압 흡착공정에서 진공 흡착공정으로 변경됨에 따라 진공 포트를 이용한 흡착 방식은 더 이상 사용할 수 없게 되었다. 이와 달리 정전기력을 이용한 정

[†]Corresponding author E-mail: khchung@suwon.ac.kr

전 흡착방식은 TV의 대면적화로 인하여 경비의 상승 및 정 전력을 발생시키는 전원 장치, 고주파 제거 장치 및 잔류전하 제거 장치 등의 부속 시스템의 연동이 매우 복잡하고 결정적으로 전기장의 발생으로 인한 디스플레이의 전기적 파손이 우려된다.^{4,5} 이에 따라 본 연구에서는 실리콘계 고무의 점착력을 이용한 점착 흡착방식을 개발하는 방법을 고안하였다. 일반적인 흡착방법에 비해 점착제를 이용한 흡착공정은 고무 소재의 점착력만을 이용하여 흡착과 탈착을 진행하기 때문에 시스템 구성이 간단해져서 성능측면 뿐만 아니라 경제성 측면에서도 장점을 가지고 있다고 할 수 있다. 또한 점착제 소재로 실리콘계 고무를 선택한 이유는 다른 유기고무와 비교했을 때 동적안정성이나 내구성 및 탈기체도 측면에서 우수한 특성을 가지고 있어 장기적으로 사용하기에 적합한 물성을 나타낼 수 있기 때문이다.

실리콘은 골격 구조가 Si-O에 측쇄에 유기기가 결합된 구조를 이루고 있어 유기적, 무기적 특성을 나타내는 것이 특징이다. 이러한 독특한 구조로 인해 유동성 (가공성), 내열성, 내후성, 내화화성, 오존저항성 및 생체적합성 등의 장점을 가지고 있다.^{6,7} 하지만 실리콘 고무의 단점으로는 매우 낮은 인장강도를 들 수 있다. 이를 보완하기 위해 다양한 방법이 존재하며 대표적으로는 실리카 첨가이며, 이 외에도 가교 시스템 변경방법과 다른 유기고무와의 블렌드 방법이 존재한다.⁸⁻¹⁰ 본 연구에서는 실리콘 고무의 측쇄에 서로 다른 관능기 (-CH₃, -CH₂CH₂CF₃, -F)를 가진 실리콘계 고무를 선정하여 점착제를 제조한 후 이들의 물성을 평가하였다.

Experimental

1. 재료

본 실험에서 점착제 제조를 위해 사용한 고무는 polydimethylsiloxane (KE-931U, 신에츠실리콘사)와 불소 함량이 각각 19.3 wt%와 32.2 wt%인 불화실리콘 고무 2종인 polyfluorosiloxane (FE241-U, 신에츠실리콘사), polymethyltrifluoropropylsiloxane (X-36-328-U, 신에츠실리콘사)였다. 가공 보조제로는 silicone oil (KE-76S, 신에츠실리콘사)를 사용하였다. 가교제로는 2,5-dimethyl-2,5-bis(tert-butylperoxy)-hexane (DBPMH, 신에츠실리콘사)를 사용하였다. 점착제 측정시 사용된 diiodomethane은 Acros사에서 구입하였으며, 증류수의 경우 실험실에서 제작하여 사용하였다.

2. 경화특성

본 연구에서 사용된 실리콘계 점착제의 대표적 조성을 Table 1에 나타내었다. 실리콘계 고무를 internal mixer에 넣고 상온에서 38 rpm으로 3분간 배합을 진행하다가 가교제를 넣

고 7분간 배합하였다. 각 고무들의 경화 거동을 파악하기 위해 oscillating disk rheometer (DRM-100, 대경엔지니어링)를 이용하였으며 디스크의 온도 180°C, 진폭각 (oscillating angle) 1°를 유지하며 토크변화, 최소 토크 및 최대 토크를 측정하였다. 배합물을 140 × 140 × 2 mm³의 몰드를 사용하여 경화 온도 180°C에서 경화시간에 따라 압축성형을 하여 시트를 제작하였다. 실리콘계 점착제의 후경화 특성을 조사하기 위하여 1차 가교된 시트를 열풍형 오븐에 200°C에서 0, 2, 4, 6, 8시간을 선택하여 시간에 따른 후경화의 영향을 파악하였다. 모든 시험편의 경우 안정화를 위해 24시간 동안 숙성시킨 후 시험하였다.

3. 점착제의 물성평가

3.1 기계적 물성

인장 시험과 경도 시험은 KS M 6518에 따라 진행하였다. 인장 시험은 universal testing machine (DUT-500CM, 대경엔지니어링)을 사용하여 500 mm/min의 crosshead 속도로 진행하였다. OLED 공정시 다양한 온도에 노출된다는 점을 고려해 온도에 따른 인장 응력의 변화를 측정하였다. 이 때의 시험 온도는 25, 50 및 80°C로 지정하였다. 실리콘계 고무의 신장률이 상당히 높지만 시험이 진행되는 챔버 안의 길이가 제한적이므로 인장시험은 300% 인장응력 (σ_{300})으로 평가하였다. 이 시험으로 300% 응력, 300% secant modulus 및 강인성을 측정하였다. 경도 시험은 shore A type 경도계를 사용하였고, 총 5번을 측정하여 평균 값을 얻었다.

3.2 표면에너지

표면에너지 측정을 위해서 drop shape analysis (DSA100, KRUSS)를 사용하여 평가하였다. 샘플의 크기는 140 × 140 × 2 mm³로 제작되었고, 실리콘계 고무의 이물질 제거하기 위해 증류수를 이용하여 표면을 세척하였다. 시트를 점착제 측정기 선반에 올린 후 증류수와 diiodomethane을 sessile drop 방법을 이용하여 점착제를 측정하였고 Owens-Wendt 모델을 이용하여 실리콘계 고무의 표면에너지를 구하였다.

3.3 흡착력 시험

Table 1. Compositions of Silicone Sticking Chuck

Unit : phr	S-1	S-2	S-3
KE-931U (Polydimethylsiloxane)	100	-	-
FE-241U (Polyfluorosiloxane)	-	100	-
X-36-328-U (Polymethyltrifluoropropylsiloxane)	-	-	100
KE-76S (Silicone Oil)	2.1	-	-
2,5-Dimethyl-2,5-Bis(tert-butylperoxy) hexane (DBPMH)	2	0.8	0.8

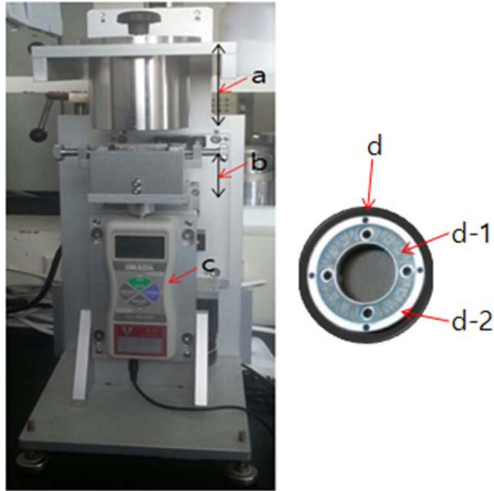


Figure 1. Device for measuring adsorption force of sticking chuck; (a) loading part, (b) lifting part, (c) measuring part, (d) sticking chuck, (d-1) silicone rubber and (d-2) aluminum mold.

실리콘계 점착적의 흡착력은 본 연구에서 디자인된 장치를 사용하였으며 사용된 점착적의 모양과 장치를 Figure 1에 나타내었다. 시험 방식은 제작된 점착적을 고정시킨 후 OLED에 사용되는 유리기판을 점착적 위에 올려놓는다. 그 후, 5 kg의 추를 가압한 후 아래에 위치한 지그를 올려 유리를 탈착시키는 방법으로 진행하였다. 이 때의 탈착속도는 3 mm/s였다.

제작된 점착적 샘플을 반복적으로 사용하였을 때, 흡착력이 감소하게 되는데 이는 점착적의 내구성과 연관되어 진다. 따라서, 본 연구에서는 점착적의 흡착력을 1~10,000번 반복 측정하여 결과를 얻었고, 실리콘계 고무의 점착적을 장기적으로 사용하였을 때의 흡착력 변화를 예측할 수 있는 관계식을 도출하였다.

3.4 전사특성

실리콘계 점착적과 OLED 기판의 흡착과 탈착을 반복 진행할 때의 전사현상은 제품의 얼룩짐을 야기시킬 수 있기 때문에 반복 흡탈착을 진행할 시 매우 중요한 요인이다. 본 연구에서는 실리콘계 점착적의 전사특성을 파악하기 위하여 UV-Visible spectroscopy (OPTIZEN POP, MECAYS)를 이용하였다. 실리콘계 점착적을 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 의 정사각형 유리판에 5 kg의 추를 가압한 후 탈착한 유리 기판을 시험편에 장착하고 흡광도를 측정하였다. 이에 따른 결과를 통해 전사 여부를 간접적으로 평가하였다.

Results and Discussion

1. 기계적 물성

180°C에서 경화된 실리콘계 고무의 경화거동을 Figure 2에

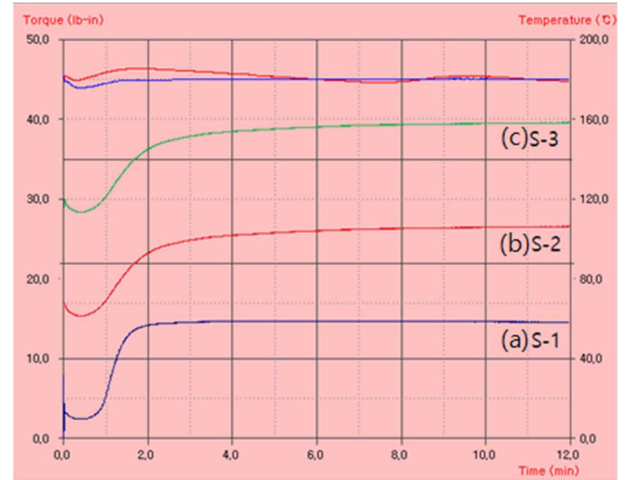


Figure 2. Curing behavior of silicone sticking chuck at 180 °C; (a) S-1, (b) S-2, and (c) S-3.

나타내었다. Figure 2에서 최소 토크에 90%에 해당하는 토크 값의 시간을 T_{90} 이라고 한다. Figure 2에서 나타난 바와 같이 S-1, S-2 및 S-3의 경화거동 곡선은 optimal cure 거동을 나타내어 T_{90} 에 1.5배를 하여 완전 경화가 이루어질 때의 시간을 경화 시간으로 사용하였고, 이 때의 시간은 각각 2분 32초, 5분 45초, 5분 40초 이었다.

본 연구에서는 OLED공정 과정이 진행되는 동안 다양한 온도에 노출된다는 점을 고려하여 인장시험온도를 25, 50 및 80°C로 지정하여 실험을 진행하였다. 실험부분에서 언급한 바와 같이 챔버길이의 제한으로 인장강도 대신의 300% 인장응력(σ_{300})으로 평가되었다. Figure 3에 시험온도에 따른 실리콘계 고무의 σ_{300} 을 나타내었다. Figure 3에 나타난 바와 같이 불소함량이 증가할수록 σ_{300} 은 증가하였다. 이는 C-F 결합에너지가 상대적으로 안정하기 때문에 불소기를 포함할수록 또한

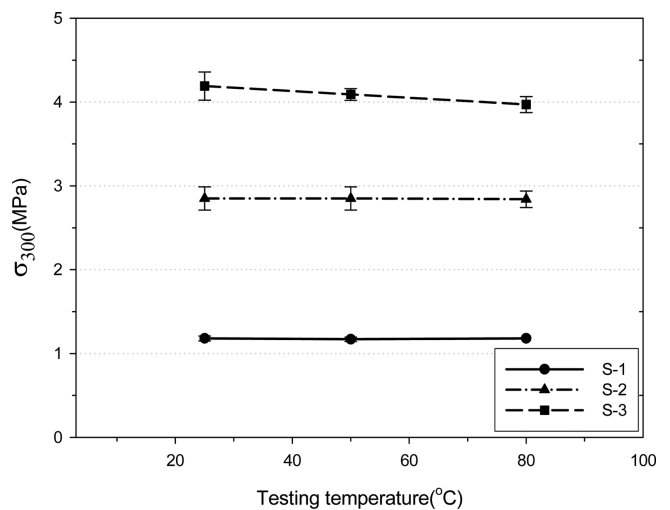


Figure 3. Change of 300% tensile stress of silicone rubber with various testing temperatures.

Table 2. Change of Secant Modulus of Silicone Rubbers with Testing Temperature

	Secant modulus (MPa)			Toughness (kJ)		
	25°C	50°C	80°C	25°C	50°C	80°C
S-1	0.34 (±0.01)	0.33 (±0.01)	0.33 (±0.01)	3.55 (±5.01)	3.41 (±2.06)	3.40 (±2.44)
S-2	0.86 (±0.02)	0.86 (±0.03)	0.86 (±0.03)	7.35 (±4.12)	6.59 (±4.61)	6.26 (±4.01)
S-3	1.27 (±0.01)	1.20 (±0.06)	1.11 (±0.02)	11.16 (±9.14)	10.27 (±5.31)	10.02 (±2.19)

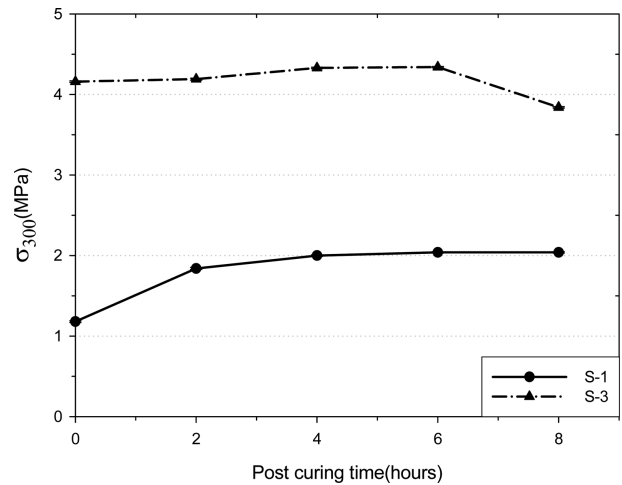
불소의 함량이 높아질수록 σ_{300} 이 증가하는 것으로 사료된다. 또한 온도가 증가하여도 σ_{300} 이 크게 감소하지 않는 이유는 실리콘계 고무의 경우 helical 구조를 가지고 있어 온도가 증가함에 따라 helical 구조가 다소 변하면서 매트릭스가 연화되지만 인접한 사슬과의 dipole moment (예; Si-O)로 인해 다시 매트릭스의 점도가 증가하는 즉, 상반된 영향으로 인해 온도에 따른 σ_{300} 변화가 크지 않는 것으로 사료된다. 따라서 OLED 흡착공정에서 겪게될 온도변화에 실리콘계 점착층은 우수한 점착특성을 유지할 것으로 기대되었다. Table 2에는 시험온도에 따른 secant modulus와 강인성을 나타내었다. Secant modulus를 측정하는 이유는 본 연구에서 실험한 인장물성이 챔버 안의 길이로 인해 파괴시 인장강도 평가가 이루어지지 않았고 300% 인장응력 이후의 변화를 예측할 수 없었기 때문이었다. σ_{300} 결과와 마찬가지로 온도가 증가하여도 secant modulus는 일정한 값을 유지하는 것을 볼 수 있다. 또한, 상대적으로 S-3의 경우 상온에서 1.27 MPa로 가장 큰 값을 나타내었으며, 이는 이후의 인장응력의 변화가 급격히 증가하는 것을 의미하고 300% 보다 더 많이 신장을 진행할 경우 다른 실리콘계 고무보다 더 높은 인장물성이 나타날 것으로 사료되었다. 강인성은 재료의 내충격성과 연관이 있다. 파괴의 형태는 보통 연성파괴와 취성파괴로 나눌 수 있으며, 일반적인 유기고무의 경우 연성파괴를 보인다. Table 2에 나타난 바와 같이 시험온도에 따라 강인성은 거의 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있으며, 이러한 경향은 앞서 언급한 300% 인장응력과 secant modulus의 결과와 일치하는 것을 알 수 있었다.

Table 3. Effect of Post Cure of Silicone Rubbers

Sample No.	300% tensile stress (MPa)						Elongation (%)		Hardness	
	25°C		50°C		80°C		Pre	Post	Pre	Post
	Pre. ^a	Post. ^b	Pre	Post	Pre	Post				
S-1	1.18	2.04	1.16	1.89	1.15	1.78	952	596	10	13
S-2	3.44	3.90	2.85	3.86	2.84	3.81	885	632	25	30
S-3	4.20	4.65	4.188	4.58	3.97	4.49	507	479	38	42

^aPrecure conditions: 180°C, pressure: 15 MPa

^bPostcure conditions: 200°C, 4 h

**Figure 4.** Change of 300% tensile stress of silicone rubber with the post curing time at 200°C.

2. 후경화 영향

실리콘계 고무의 후경화는 경화 시 제거되지 않은 미 반응된 단량체 제거를 통해 기계적 물성을 증가시킬 뿐만 아니라 노화특성을 향상시킨다. Figure 4에는 실리콘계 고무의 후경화 시간에 따른 300% 인장응력을 나타내었다. Figure 4에 나타난 바와 같이 후경화가 진행됨에 따라 σ_{300} 이 증가하였으며, 4시간 이상에서 거의 일정하였다. 8시간 동안 후경화를 진행하였을 때 S-1에서는 안정적인 물성을 유지하였지만 S-3에서는 오히려 물성이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 본 실험에서는 짧은 시간의 후경화를 통해 기계적 물성이 가장 높게 나타났던 4시간을 적정 후경화 시간으로 결정하였다. Table 3에는 후 경화를 진행한 실리콘계 고무의 시험온도에 따른 300% 인장응력과 상온에서 시험된 파단신장률과 경도를 나타내었다. Table 3에 나타난 바와 같이 후 경화에 따라 인장응력과 경도는 증가하였으며 신장률은 감소하였다. 또한 시험온도가 증가함에 따라 σ_{300} 이 다소 감소하지만 1차 경화만 진행하였을 때보다 감소율이 더욱 적었으며 따라서 실리콘 점착층 제조시 후 경화 공정은 수반되어야 할 것으로 사료되었다.

3. 표면에너지

고분자 재료의 경우 점성과 탄성이 존재하기 때문에 직접적으로 표면에너지를 구하는 것이 어렵다. 표면에너지를 구하는 방법은 측정되는 액체의 표면장력 성분에 입각한 해석과 각 계면의 장력을 이용하는 방법이 존재하는데 본 연구에서는 전자에 언급된 방식을 이용하여 표면에너지를 측정하였다. 관련된 모델로는 한 가지 용액을 사용하는 Girifalco-Good-Fowkes-Young 모델과 두 가지 용액을 사용하는 Owens-Wendt 모델 그리고 세 가지 용액을 사용하는 Lewis acid/base 모델이 있으며, 본 연구에서는 Owens-Wendt 모델을 이용하였다. 이 모델은 소수성이 심한 재료를 제외하고는 대부분 고분자에 적용이 가능하다. 이 모델에서 사용한 액체로는 diiodomethane과 증류수를 사용하였다. Owens-Wendt model의 식 (1)과 같다.^{11,12}

$$\gamma_{SL} = \gamma_S + \gamma_L - 2(\gamma_S^d \gamma_L^d)^{1/2} - (\gamma_S^p \gamma_L^p)^{1/2} \quad (1)$$

여기서 γ_S 는 고체의 표면장력, γ_L 는 액체의 표면장력, 및 첨자로 표시된 d는 고체와 액체 사이의 쌍극자-쌍극자, 쌍극자-유도쌍극자, 수소 결합 등 확장된 모든 상호작용을 포함한 분산성분과 관계가 있으며, p는 극성성분과 관계가 있다.

식 (2)는 Young의 식이다.

$$\gamma_S = \gamma_L \cos \theta + \gamma_{SL} \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)를 정리하면 식 (3)과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\gamma_L(1 + \cos \theta) = 2(\gamma_S^d \gamma_L^d)^{1/2} + 2(\gamma_S^p \gamma_L^p)^{1/2} \quad (3)$$

본 연구에서 사용된 증류수의 분산 및 극성 성분들은 각각 $\gamma_L^d = 22.85$ dynes/cm, $\gamma_L^p = 50.30$ dynes/cm이고 diiodomethane의 경우 $\gamma_L^d = 48.50$ dynes/cm, $\gamma_L^p = 2.30$ dynes/cm이다. 식 (3)에서 $(\gamma_S^d)^{1/2}$ 를 x, $(\gamma_S^p)^{1/2}$ 를 y라고 정의한 뒤, 식을 정리하면 두 개의 식 (4), (5)와 같이 정리된다.

$$[\gamma_{LV}(1 + \cos \theta)_{H_2O}]/2 = 4.785x + 7.902y \quad (4)$$

$$[\gamma_{LV}(1 + \cos \theta)_{CH_2I_2}]/2 = 6.964x + 1.517y \quad (5)$$

각 고무의 표면 에너지는 γ_S 을 구하면 알 수 있으며, 이 γ_S 는 식 (6)을 통해 구할 수 있다.

$$\gamma_S = \gamma_S^d + \gamma_S^p \quad (6)$$

본 연구에서는 유리와 점착척간의 점착력을 파악하고자 표면에너지를 측정하였다. 접촉각이 작을수록 젖음성 (친수성)이 우수함을 의미하며 반대로 높은 접촉각은 낮은 젖음성 (소수성)을 나타낸다. Figure 5에 접촉각 측정 사진을 나타내었으며 그 결과를 Table 4에 정리하였다. 또한 식 (6)을 사용하여

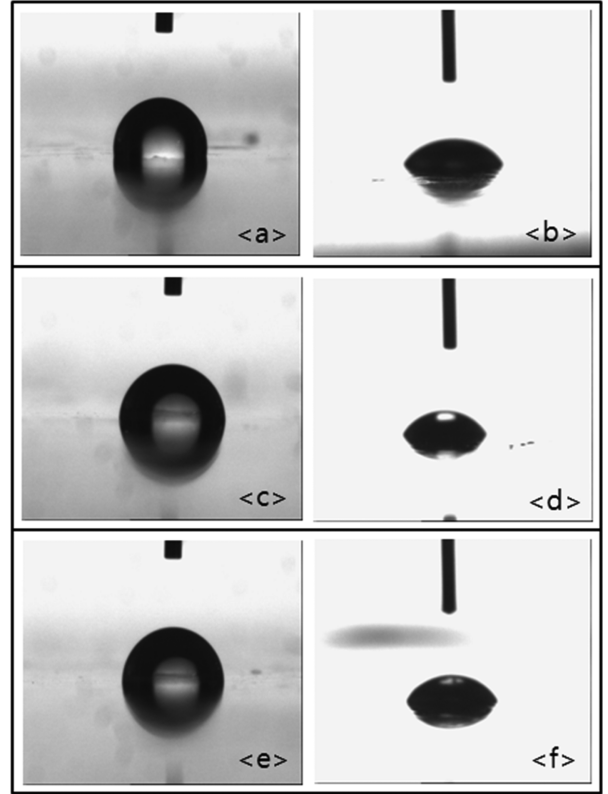


Figure 5. Contact angles of (a) S-1 H₂O, (b) S-1 DI, (c) S-2 H₂O, (d) S-2 DI, (e) S-3 H₂O and (f) S-3 DI.

얻은 표면에너지를 나타내었다. 비극성 구조를 가지고 있는 S-1의 경우 비극성 용매인 diiodomethane의 drop을 형성했을 때 시트와 용매간의 분자 간 인력으로 인해 접촉각이 가장 낮게 나타났다. 상대적으로 극성 구조를 가지는 S-3의 경우 극성 용매인 증류수의 drop이 형성되면서 동일한 이유로 가장 낮은 접촉각을 나타냈다. 표면에너지는 점착특성과 관련이 되며 높은 표면장력을 가진 유리의 경우 상대적으로 낮은 표면에너지를 가진 S-3의 샘플과 초기 점착력이 가장 높을 것으로 사료되었다.

Figure 1에 나타난 본 연구에서 고안한 흡착력 기기를 사용하여 반복흡탈착에 따른 점착척의 흡착력 결과를 Figure 6에 나타내었다. Figure 6에 나타난 바와 같이 S-1의 흡착력의 경우 2.34 MPa이며, S-3의 경우 3.15 MPa로 나타났다. 이러한

Table 4. Contact Angles and Surface Energies of the Silicone Rubbers

Sample No.	Contact angle (°)		Surface energy (mN/m)
	Diiodomethane (γ_L^d)	H ₂ O (γ_L^d)	
S-1	47.3	99	43.56
S-2	52.2	84	36.92
S-3	65.0	80	32.36

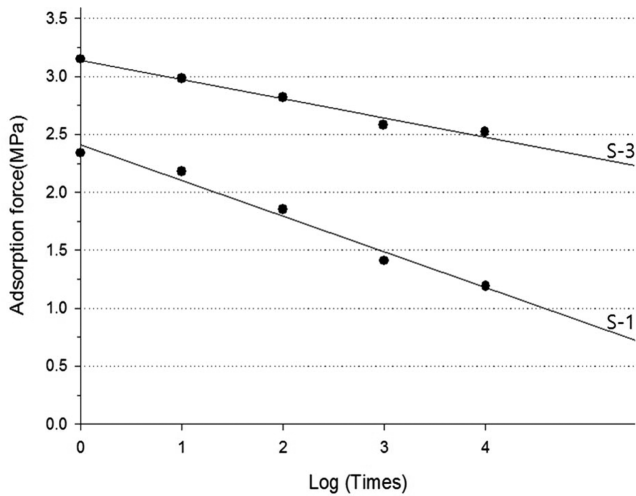


Figure 6. Adhesion force of silicone sticking chuck according to repeat measurement.

결과는 앞선 접촉각과 표면에너지 결과에서 S-3가 표면에너지가 낮아 초기점착성이 우수하다는 결과와 일치한다. 또한 S-3의 경우 초기 젖음성이 상대적으로 우수하여 점착척과 유리기판 사이에 강한 점착이 이루어졌고, 그에 따라 탈착 시 가해진 힘이 더 높게 나타난 것으로 사료된다. Figure 6을 통해 장기 흡착력의 결과를 예측할 수 있는 S-1의 경우 $y = -0.33x + 2.34$ 와 S-3의 경우 $y = -0.16x + 3.15$ 의 식을 도출하였다. 여기서 x 는 반복횟수를 의미한다. S-1과 S-3의 300000번 반복 측정할 경우 그 값은 각각 0.73, 2.24 MPa이다. S-1의 경우 장기흡착이 진행될 경우 흡착력이 거의 없어지는 것을 확인할 수 있었지만, S-3의 경우 S-1의 초기 흡착력의 값과 비슷한 것을 알 수 있었다. 또한, 기울기는 점착척의 내구성과 관련이 있으며, 이 값이 작을수록 내구성 측면에서 우수하다고 할 수 있다. 불화실리콘계 고무인 S-3는 S-1의 비해 기울기 감소가 약 2배 정도 차이가 나는 것을 알 수 있었고, 이에 따라 내구성 측면에서는 불화실리콘계 고무인 S-3가 가장 우수하다는 것을 알 수 있었다.

4. 점착척의 전사특성

실리콘 점착척의 유리기판 표면 전사특성 여부는 기판의 빛 투과도를 측정하여 평가하였다. Figure 7은 가시광선 파장 영역에서 유리기판의 흡수도를 나타낸 그래프이다. Lambert-Beer의 법칙 ($T = 10^{-A} \times 100$)을 이용하여 흡수도를 투과도로 변경하였다. 이 때의 T 는 투과도이며, A 는 흡수도를 나타낸다. Figure 7에서 나타난 바와 같이 흡수도가 0.036으로 거의 일정하게 나타났으며 이를 투과도로 계산하면 $T = 92\%$ 정도로 나타난다. 일반 유리, S-1 및 S-3를 흡착하였던 유리에서 모두 동일한 투과도를 보였으며, 이는 전사현상이 나타나지 않는 것을 간접적으로 의미한다고 할 수 있다.

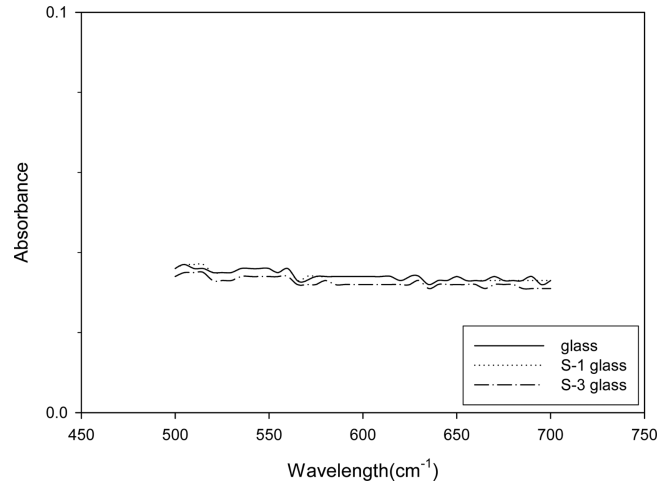


Figure 7. Absorbance of sticking chuck with the wavelength.

Conclusion

25, 50 및 80°C에서 평가된 300% 인장응력 시험은 불소함량이 32.2 wt%인 S-3가 시험온도가 증가함에도 불구하고 S-1, S-2보다 각각 3.6, 1.5배 높았다. S-3의 경우 C-F결합을 가지고 있어 상대적으로 안정적인 구조를 가지고 있기 때문이다. 시험온도가 증가함에 따라 실리콘계의 helical 구조로 매트릭스는 연화되지만 분자간 인력의 상반된 영향으로 물성이 일정하게 나타났다. 후경화가 진행됨에 따라 미 반응된 단량체의 제거 및 높은 온도에 노출로 인해 노화성질이 안정화되면서 300% 인장응력과 경도는 증가하고 신장률은 감소하는 경향이 나타났다.

점착력의 특성을 알아보기 위해 진행된 표면에너지 결과는 불소함량이 32.2 wt%인 S-3의 점착척이 32.36 mN/m로 가장 낮은 표면에너지 값을 나타냈으며, 이에 따라 높은 표면장력을 가진 유리와 초기 점착성이 우수했다.

전사특성은 S-1, S-3 모두 일반유리에 흡착과 탈착하였을 때 투과도가 92% 일정하게 나타나면서 유리표면에 실리콘 물질이 남아있지 않다는 것을 간접적으로 증명하였다. 1회 흡탈착시 흡착력의 값은 S-1과 S-3의 경우 각각 2.34, 3.15 MPa이었으며 이는 앞선 표면에너지 실험에서 S-3가 가장 낮은 표면에너지의 결과로 초기 점착성이 우수한 결과와 일치했다. 또한 장기흡착력 평가는 300000회 반복흡탈착을 예측한 결과 S-1은 0.73 MPa, S-3는 2.24 MPa로 S-3가 3배 높게 나타났다. 이에 따라 장기적으로 사용할 경우 오래 지속되고 흡탈착이 가능한 S-3가 가장 적합하다고 판단하였다.

References

1. D. N. Liu, J. H. Lee, and S. T. Wu, "Introduction to Flat Panel Display", ed. by D. N. Liu, J. H. Lee and S. T. Wu, p. 57, 137,

- John Wiley and Sons, Ltd, Chichester, 2009.
2. K. Lamba, A. Lin, K. Ryu, V. Bulovic, I. Kymissis, and C. G. Sodini, "Optical-Feedback OLED Display Using Intergrated Organic Technology", *Circuits and System*, **48**, 26 (2006).
 3. E. Lee, "Simulation of the thin-film thickness distribution for an OLED thermal evaporation process", *Vacuum*, **83**, 848 (2009).
 4. B. Geffroy, P. I. Roy, and C. Prat, "Organic light emitting diode (OLED) technology: materials, devices and display technologies", *Polym. Int.*, **55**, 573 (2006).
 5. Y. H. Tak, K. B. Kim, H. G. Park, K. H. Lee, and J. R. Lee, "Criteria for ITO (Indium-Tin-Oxide) Thin Film as the Bottom Electrode of an Organic Light Emitting Diode", *Thin Solid Films*, **12**, 411 (2002).
 6. T. K. Kim, J. K. Kim, and O. C. Jeong, "Measurement of Nonlinear Mechanical Properties of PDMS Elastomer", *Microelectron. Eng.*, **88**, 1982 (2011).
 7. T. Rey, G. Chagnon, J. B. Le Cam, and D. Favier, "Influence of the Temperature on the Mechanical Behavior of Filled and Unfilled Silicone Rubbers", *Polym. Test.*, **32**, 492 (2013).
 8. Y. Wang, L. Fang, C. Xu, Z. Chen, and Y. Chen, "Preparation and Properties of Dynamically Cured Poly(vinylidene fluoride)/Silicone Rubber", *Polym. Test.*, **32**, 1073 (2013).
 9. Q. Xu, M. Pang, L. Zhu, Y. Zhang, and S. Feng, "Mechanical Properties of Silicone Rubber Composed of Diverse Vinyl Content Silicone Gums Blending", *Mater. Design*, **31**, 4083 (2010).
 10. D. R. Paul and J. E. Mark, "Fillers for Polysiloxane ('Silicone') Elastomers", *Prog. Polym. Sci.*, **35**, 894 (2010).
 11. X. Zhang, B. Sun, N. Zhao, Q. Li, J. Hou, and W. Feng, "Experimental study on the surface characteristics of Pd-based bulk metallic glass", *Appl. Surface Sci.*, **321**, 421 (2014).
 12. A. Rudawska and E. Jacnicacka, "Analysis for determining surface free energy uncertainty by the Owen-Wendt method", *Int. J. of Adhes. Ades.*, **29**, 451 (2009).