

폴리카보네이트 필름 표면 처리가 증착 SiO_x 베리어층 접착에 미치는 영향

김관훈 · 황희남* · 김양국* · 강호종†

광에너지소재연구센터, 단국대학교 고분자 시스템공학과, *㈜아이컴포넌트
(2012년 12월 8일 접수, 2013년 1월 21일 수정, 2013년 2월 4일 채택)

Effect of Surface Treatment of Polycarbonate Film on the Adhesion Characteristic of Deposited SiO_x Barrier Layer

Gwan Hoon Kim, Hee Nam Hwang*, Yang Kook Kim*, and Ho-Jong Kang†

Center for Photofunctional Energy Materials, Department of Polymer Sci. & Eng., Dankook University,
#126 Jukjeon-dong, Sugi-Gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 448-701, Korea

*i-components Corp., 903 kins tower, 25-1 Jeongja-dong, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do 463-847, Korea

(Received December 8, 2012; Revised January 21, 2013; Accepted February 4, 2013)

초록: 폴리카보네이트(PC) 필름을 유연기판으로 사용하기 위해서는 SiO_x 증착에 의한 베리어 특성 개선이 필요하며 이때 베리어 층과 PC 계면 접착력이 매우 중요하다. 본 연구에서는 언더 코팅, UV/O_3 및 저온 플라즈마와 같은 다양한 표면 처리 방법에 의하여 PC 필름 표면을 개질하여 표면의 물리적 화학적 변화가 증착된 베리어 층 계면 접착력에 미치는 영향을 살펴보았다. 표면 처리 전의 PC 필름은 표면 거칠기 및 표면 에너지가 매우 낮아 SiO_x 베리어 층과의 접착력이 현저히 떨어짐을 알 수 있었다. PC 필름을 저온 플라즈마로 표면 처리한 결과, 표면의 거칠기 증가와 극성 관능기 생성에 의하여 극성 표면 에너지가 향상되는 반면 UV/O_3 처리의 경우, 표면 거칠기 변화 없이 표면에 생성된 극성 관능기에 의해 극성 표면 에너지가 증가됨을 알 수 있었다. 이러한 표면의 변화는 베리어 층과 PC 기판의 계면 접착력 증가에 기여함을 알 수 있었다. 표면 처리 방법으로 언더 코팅을 사용하는 경우 표면에 에너지를 가하지 않아도 코팅제의 아크릴산과 SiO_x 의 접착력 향상에 의하여 PC 필름과의 계면 접착력이 증가되며 유무기 하이브리드 다층 구조에 의한 베리어 특성 개선이 함께 일어남을 알 수 있었다.

Abstract: The interfacial adhesion strength is very important in SiO_x deposited PC film for the barrier enhanced polycarbonate (PC) flexible substrate. In this study, PC films were treated by undercoating, UV/O_3 and low temperature plasma and then the effect of physical and chemical surface modifications on the interfacial adhesion strength between PC film and SiO_x barrier layer were studied. It was found that untreated PC film shows significantly low interfacial adhesion strength due to the smooth surface and low surface free energy of PC. Low temperature plasma treatments resulted in the increase of both surface roughness and surface free energy due to etching and the appearance of polar molecules on the PC surface. However, UV/O_3 treatment only shows the increase of surface free energy by developed polar molecules on the surface. These surface modifications caused the enhancement of surface interfacial strength between PC film and SiO_x barrier. In the case of undercoating, it was found that the increase of surface interfacial strength was achieved by adhesion between various acrylic acid on acrylate coated surface and SiO_x without increase of polar surface energy. In addition, the barrier property is also improved by organic-inorganic hybrid multilayer structure.

Keywords: polycarbonate, flexible substrate, surface treatment, adhesion strength, SiO_x barrier.

서 론

유연 디스플레이 기판으로 사용 가능한 가장 유망한 소재로는 고분자 필름을 들 수 있다.¹ 고분자 필름은 깨지기 쉬운 딱딱 유리 및 불투명한 금속 호일에 비하여 유연성이 우수하

여 연속 코팅 공정(roll to roll)을 이용한 높은 생산성에 따른 저가격화를 이룰 수 있기 때문이다.² 하지만, 고분자 필름은 이러한 유연성과 함께 유리 기판이 가지고 있는 투명성, 열안정성, 내화학성, 기체 차단성, 평탄화, 낮은 팽창계수 등의 특성을 동시에 만족시켜야 한다.³

비결정성인 폴리카보네이트(PC)는 우수한 투명성과 내충격성 그리고 높은 유리전이온도를 가지고 있어 유리를 대체할 수 있는 유연기판 소재로 고려되고 있다.^{4,5} 하지만, 유기

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: hjkang@dankook.ac.kr

물질이 갖는 근본적인 문제점인 낮은 내화학성 및 기체 차단성 그리고 높은 팽창 계수로 인하여 유연기판으로 사용하기 위해서는 PC 필름 위에 다양한 유무기 층이 코팅된 복합 다층구조를 형성하여 이를 개선할 필요가 있다.

한편, 플라스틱 기판의 높은 산소 투과도와 투습도를 차단하기 위해 SiO_x ,^{6,7} SiO_xN_y ,⁸ AlO_x 와^{9,10} 같은 투명한 무기산화물을 기판 위에 증착하여 기체 투과를 차단하는 베리어층에 관한 연구가 진행되어 왔다. 이 중 투명한 무기물인 SiO_x 는 내스크래치성, 높은 열 안정성 및 우수한 기체 차단성을 가진다.^{11,12} 그러나 증착된 산화물은 플라스틱 기판과의 계면 접착력이 낮아¹³ 기판 표면 처리를 통하여 표면을 물리적, 화학적으로 변화시켜 계면 접착력을 개선할 필요성이 있다.

일반적인 플라스틱의 표면 처리 방법으로는 플라스틱의 표면 에너지를 높이고 반응성을 증가시키기 위하여 코팅 용액을 이용한 언더 코팅법 그리고 높은 에너지인 플라즈마, UV 혹은 오존을 이용한 개질 방법 등과 같은 다양한 방법이 있다.¹⁴ 언더 코팅법은 상대적으로 접착력이 높은 아크릴계통의 코팅제를 사용하여 SiO_x 와 접착력을 높이는 반면 플라즈마 혹은 UV 오존 방법은 강한 에너지를 필름 표면에 가하여 표면에 -OH, -COOH와 같은 친수성기를 형성하는 방법이다.^{15,16} 관능기의 생성과 함께 표면에 가해진 강한 에너지에 의하여 표면 식각 현상이 발생하여 표면 거칠기가 함께 변화하게 된다.¹⁷ 이러한 표면 특성 변화는 두 계면의 기계적 맞물림¹⁸ 및 화학결합을 유발시켜 PC 필름과 SiO_x 와의 계면 결합력을 향상시킬 수 있을 것으로 예상되나 이에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 베리어 특성 향상을 위하여 증착된 SiO_x 층과 PC 필름과의 계면 접착력 향상을 목적으로 PC 표면에 언더 코팅, UV/ O_3 및 저온 플라즈마 처리하여 PC 필름 표면의 물리적 화학적 특성 변화를 살펴보았으며 이에 따른 계면 접착력 향상을 함께 고찰하여 보았다.

실 험

재료. 본 실험에서 사용한 PC 필름은 i-components사에서 제조된 두께 $120\ \mu\text{m}$ 광학용 PC 필름을 $10\times 10\ \text{cm}^2$ 로 잘라 시편으로 사용하였다. 표면 처리용 언더 코팅액은 i-components사에서 제공 받은 acrylate계 UV-경화용 하드 코팅액을 사용하였다.

표면 처리. PC 필름 위에 언더 코팅층을 형성하기 위해 준비된 하드 코팅액을 mayer bar(#7)를 사용하여 wet coating한 후 온도 $100\ ^\circ\text{C}$ convention oven에 2분 가경화시킨 후 UV curing system(진용엔지니어링 사)를 사용하여 조도 $600\ \text{mW}/\text{cm}^2$, 광량 $600\ \text{mJ}/\text{cm}^2$ 조건 하에 UV를 조사하여 경화시킴으로써 언더 코팅층을 제조하였다. UV/ O_3 처리는 SMT사의 CR904M UV-오존 개질 장치를 사용하여 0, 30, 60분간 처리

Table 1. SiO_x Deposition Parameters for RF Magnetron Sputtering System

Parameters	
Base pressure (Torr)	1.5×10^{-5}
Working pressure (Torr)	1×10^{-3}
Power (W)	2000
Frequency (MHz)	13.56
Ar gas flow (sccm)	25
Deposited speed (nm/min)	5.14

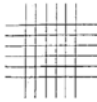
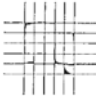
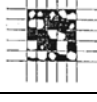
하였다. 저온 플라즈마 처리는 고주파 마그네트론 스퍼터 장비(RF Magnetron Sputter)의 plasma gun을 사용하여 200 W 전원과 $1\times 10^{-5}\ \text{torr}$ 고진공 하에 Ar 기체를 25 sccm 속도로 흘려주며 공정압력 $5\times 10^{-3}\ \text{torr}$ 에서 0, 5, 10분 표면 처리를 하였다.

SiO_x 증착. 표면 처리되지 않은 PC 필름과 언더 코팅, UV/ O_3 및 저온 플라즈마 처리된 PC 필름을 고주파 마그네트론 스퍼터를 사용하여 Table 1과 같은 조건하에 두께 $170\ \text{nm}$ SiO_x 베리어층을 증착하였다. 이때 사용한 SiO_x 타겟의 순도는 99.99%였다.

표면 특성 분석. Digital Instrument사의 Nanoscope IIIa AFM(atomic force microscopy)을 사용하여 필름의 표면 이미지와 거칠기를 분석하였다. 스캐너 모드는 tapping mode로 $110\sim 140\ \mu\text{m}$ 길이와 $3.25\sim 4.75\ \mu\text{m}$ 의 tip 반경을 갖는 cantilever를 사용하였으며 스프링 상수는 $20\sim 80\ \text{N/m}$ 였다. 1 Hz의 속도로 $3\times 3\ \mu\text{m}$ scan 범위의 표면 이미지를 스캔하였다. 필름 표면 화학적 분석을 위하여 EDX(energy dispersive X-ray spectrometer)가 장착된 SEM(Hitachi S-4300)을 이용하여 표면 처리된 PC 기판과 표면 처리가 되지 않은 PC 기판 표면의 원소 성분을 정성 및 정량 분석하였다. 이와 함께 PC 필름들의 표면 에너지를 구하기 위해 Seo사의 Phoenix-300 contact angle analyzer를 사용하였다. 표준 액체는 극성 용매(polar solvent)로 DI water와 비극성 용매(dispersive solvent)인 diiodomethane(CH_2I_2 , 99%, Sigma Aldrich)을 사용하여 Sessile drop 방법으로 한 시편당 7회 반복 실험하여 최대 및 최소 값을 제외한 5개의 값의 평균값으로 접촉각을 측정하였다. 측정된 접촉각을 이용하여 Owens-Wendt-geometric mean을¹⁹ 이용하여 표면 에너지를 계산하였다.

접착력 측정. PC 기판 표면과 SiO_x 의 접착력을 측정하기 위하여 ASTM D3359-02 방법을 사용하였다. 베리어층이 증착된 필름 표면을 얇은 면도칼을 사용하여 1 mm 간격으로 가로, 세로 방향으로 각각 6줄의 평행한 선을 그어 총 25개의 격자가 생기도록 cross-cut하였다. 3M사 Scotch magic tape(Cat. 122A)를 사용하여 cross-cut한 표면을 모두 테이프 로 접착한 후 최대한 일정한 힘으로 테이프를 뜯는 테스트를

Table 2. Classification of Adhesion Test Results

Classification	Percent area removed	Surface of cross-cut area
5B	0% None	
4B	Less than 5%	
3B	5-15%	
2B	15-35%	
1B	35-65%	
OB	Greater than 65%	

시행하였다. 같은 표면에 총 3번의 테스트를 시행하였고 접착 정도는 Table 2의 기준에 따라 0B-5B로 등급을 결정하였다.

투습도 측정. PC 필름과 각각 언더 코팅 및 플라즈마 처리, UV/O₃ 처리를 한 PC 필름 표면에 베리어층 SiO_x를 증착한 총 4개의 증착필름을 크기 5×5 mm² 시편으로 제작하여 Mocon사의 PERMATRAN-W 3/33을 사용하여 37.8 °C, 상대 습도 100% 조건에서 투습도를 측정하였다.

결과 및 토론

Figure 1에 표면 처리 전의 PC 필름과 표면에 언더 코팅, 저온 플라즈마 처리 및 UV/O₃ 처리한 후 필름 표면의 AFM 이미지를 나타내었다. Figure 1(a)에서 보는 바와 같이 표면 처리 전의 PC 필름의 표면은 상대적으로 큰 굴곡이 없는 미세한 연속적인 산과 골을 갖는 평탄한 표면 이미지를 갖는다. Figure 1(b)는 PC 필름 위에 두께 2 μm를 갖는 언더 코팅층을 형성한 후의 PC 필름 표면 이미지를 나타내었다. 언더코팅된 PC 필름 표면은 기존의 미세한 산과 골의 공간이 코팅액의 젖음성에 의해 채워진 후 경화되어 표면 처리전의 PC 필름 표면보다 굴곡이 적은 매끄러운 표면을 보임을 알 수 있다. 이와는 달리 Figure 1(c)에서 보는 바와 같이 PC 필름을 상대적으로 강한 에너지의 플라즈마로 처리한 경우 표

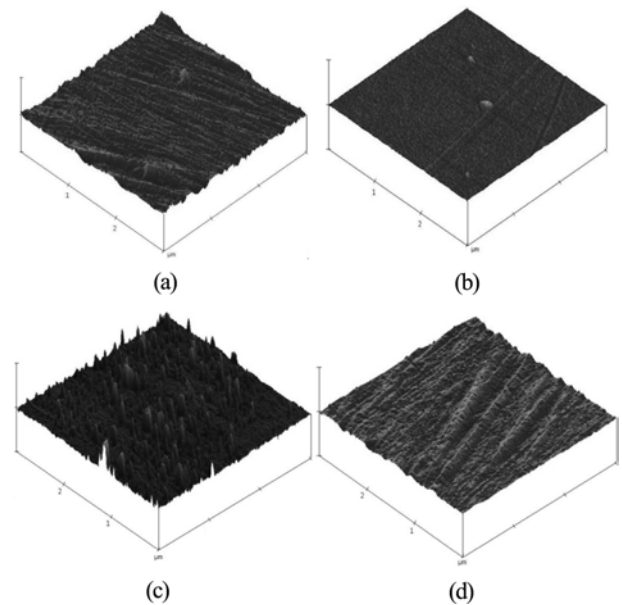


Figure 1. AFM images of (a) untreated PC film; (b) undercoated PC film; (c) plasma treated PC film; (d) UV/O₃ treated PC film.

면 처리 전에 비하여 표면에 비연속적인 높은 산과 골이 형성된 것을 관찰할 수 있다. 이러한 표면 변화는 10분 동안 저온 플라즈마 처리시 Ar 기체가 PC 필름 표면에 상당한 손상을 주어 표면 식각을 유발시켜 산과 골 형성이 심화된 것을 알 수 있다. 주사슬에 -O-를 포함한 고분자는 비교적 쉽게 식각(etching)이 일어나는 것으로 알려져 있다.²⁰ 따라서 이온화된 Ar 기체에 의해 PC 필름 표면의 주사슬 연결고리 및 말단기가 절단되어 불안정한 고리 및 가지가 형성되고²¹ 이와 함께 표면 요철 구조가 형성된 것이라고 설명할 수 있다. Figure 1(d)에 60분 동안 UV/O₃ 처리한 PC 필름의 표면을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 표면 처리 전의 PC 필름과 비교하여 커다란 차이를 보이지 않음을 알 수 있다. 이는 플라즈마 처리에 비하여 상대적으로 낮은 UV 에너지가 필름에 가해져 필름의 물리적인 표면 형태에는 커다란 영향을 미치지 않음을 반증한다.

Figure 2에 AFM 표면 이미지로부터 얻어진 표면의 RMS(root mean square) 거칠기를 나타내었다. 광학용 PC 필름은 일반 PC 필름과 비교하여 매우 낮은 2.53 nm의 표면 거칠기를 가진다. 이러한 낮은 표면 거칠기는 베리어 특성 향상을 위한 증착 SiO_x 층과의 접착력 감소라는 문제점을 야기할 수 있다. 아크릴계 용액으로 표면을 언더 코팅하는 경우, 코팅액이 표면을 평탄화시켜 표면 거칠기가 더 낮아짐을 알 수 있으며 UV/O₃로 표면 처리하는 경우, 표면 거칠기에는 변화가 없음을 확인할 수 있다. 반면, 상대적으로 높은 에너지를 갖는 플라즈마로 표면 처리하는 경우 PC 필름의 표면 거칠기가 4.32 nm로 증가하여 표면에 물리적 변화가 일어

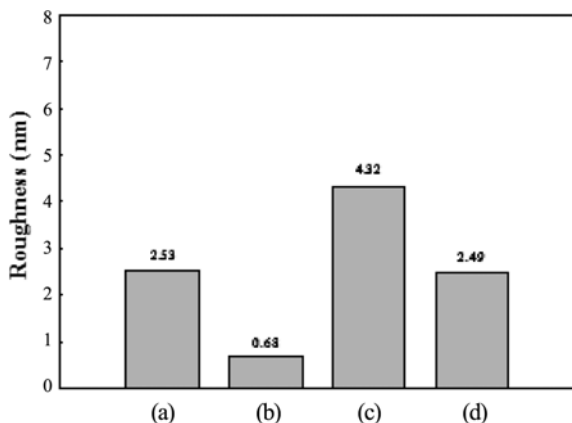


Figure 2. Surface roughness of (a) untreated PC film; (b) undercoated PC film; (c) plasma treated PC film; (d) UV/O₃ treated PC film.

낮음을 알 수 있으며 이는 SiO_x 층과의 접촉면적의 증가에 의한 접착력 증가요인이 될 것으로 예측된다.

언급된 코팅액에 의한 필름 표면의 평탄화 및 고에너지에 의한 식각과 같은 물리적인 표면 변화와 함께 표면 처리에 의하여 표면 화학적 변화가 함께 일어날 수 있다. Figures 3~5는 EDX를 이용하여 표면 처리 전의 PC 필름과 언더 코팅, 플라스마 처리 그리고 UV/O₃ 처리된 PC 필름 표면 원소변화를 나타내었다. Figure 3에서 보는 바와 같이 아크릴계로 언더 코팅된 PC 필름은 아크릴계가 가지고 있는 COOH 혹은 COOCH₃와 같은 아크릴 산에 의하여 표면의 원소 구성 중 친수성을 갖는 산소 원소의 비중이 언더 코팅 전의 PC 필름과 비교하여 현저하게 증가됨을 알 수 있으며, 소량의 Si 성분은 아크릴 코팅제의 코팅특성 향상을 위한 SiO₂ 첨가제로부터 기인된 성분으로 예측된다.²² 이는 아크릴산과 함께 산소 원소의 증가에 기인할 것으로 생각된다. Figures 4와 5에서 보는 바와 같이 플라스마 및 UV/O₃ 처리된 PC 필름 모두 언더코팅에 의한 변화보다는 작지만 산소원소 비율이 증가하는 반면 상대적으로 탄소원소 비율은 감소하였음을 알 수 있다. 이는 PC 필름 표면이 표면 처리에 의하여 친수성을 갖는 표면으로 개질되었음을 의미한다. 저온 플라스마 처리의 경우 산소원소가 증가한 이유는 이온화된 Ar 기체가 필름을 식각시킴과 동시에 표면의 화학적 파괴가 일어나는 활성화된 표면이 대기 중으로 노출되면서 산화반응을 일으켜 표면의 산소원자가 증가된 것으로 예측된다. UV/O₃ 처리 PC 표면의 경우, 대기 중 산소는 에너지가 높은 184.9 nm의 자외선을 흡수하여 불안정한 오존을 생성하며, 반응성이 높은 OH 라디칼을 같이 생성한다. 생성된 오존과 수산화 라디칼은 PC필름 표면의 탄소, 산소, 수소와 반응하여 극성이 높은 관능기를 형성하여 표면이 친수성으로 개질되었음을 알 수 있다.²³

Figure 6에 PC필름을 시간 별로 표면 처리하였을 경우 표

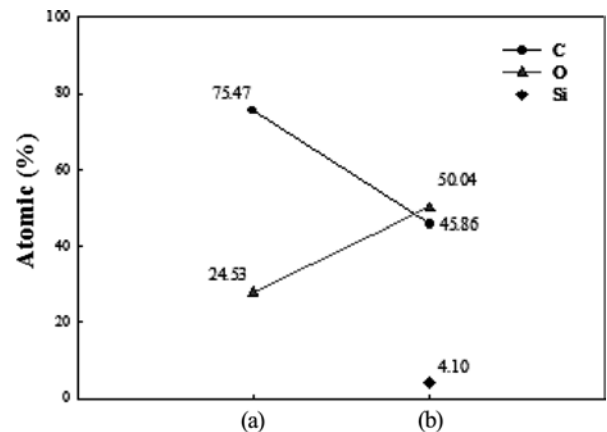


Figure 3. Atomic percentage of (a) untreated PC film; (b) undercoated PC film by EDX.

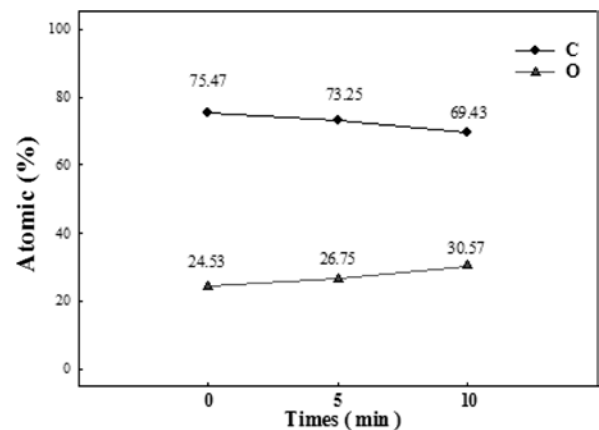


Figure 4. Atomic percentage of plasma treated PC film as a function of treatment time by EDX.

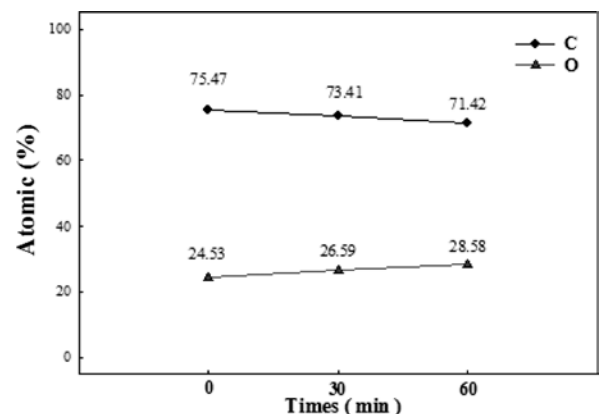


Figure 5. Atomic percentage of UV/O₃ treated PC film as a function of treatment time by EDX.

면 에너지 변화를 나타내었다. 표면 처리되지 않은 PC 필름은 상대적으로 낮은 46.09 mJ/m² 표면 에너지를 가지고 있으며 이중 극성 부분의 표면 에너지 값이 매우 낮은 것을 알 수

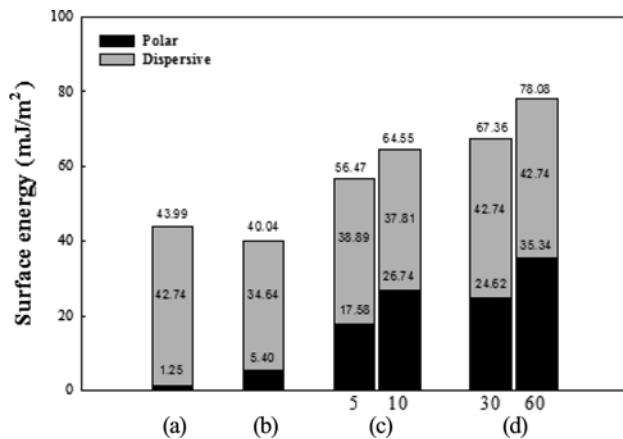


Figure 6. Calculated surface energy of (a) untreated PC; (b) undercoated PC; (c) plasma treated PC; (d) UV/O₃ treated PC.

있다. 플라즈마 처리와 UV/O₃ 처리 모두 표면 처리 시간이 증가할수록 표면 에너지가 증가하였다. 특히, 극성성분의 표면 에너지가 눈에 띄는 정도로 증가한 것을 확인할 수 있었다. 이러한 극성성분의 표면 에너지 증가는 표면 처리에 의한 기판 표면이 산화반응 혹은 관능기의 형성에 의하여 친수성 표면으로 개질되었음을 뜻한다. 언더 코팅을 한 후의 표면 에너지는 표면 처리 전의 PC 필름보다 낮아졌지만 극성성분의 표면 에너지는 4배 이상 증가하였음을 확인하였다. 이 또한 경화된 언더 코팅층의 표면의 아크릴 산이 형성되어 기존 PC 기판보다 친수성을 갖는 극성기들이 형성되어 있음을 간접적으로 확인할 수 있다. 하지만, 다른 표면 처리에 비하여 그 변화가 크지 않음을 알 수 있다.

Figure 7에 표면 처리하지 않은 PC 필름과 표면 처리한 PC 필름 위에 SiO_x를 증착한 후 접착 테스트를 하여 접착력의 변화를 나타내었다. 표면 처리 전의 PC 필름의 SiO_x 층의 접착력은 0B로 거의 접착이 되지 않음을 확인할 수 있다. 이는 앞에서 언급된 바와 같이 낮은 표면 거칠기와 PC 필름 표면이 갖는 소수성에 의하여 표면 에너지 특히, 극성 표면 에너지가 낮아 SiO_x와의 접착력이 현저히 떨어지기 때문이라고 보여진다. PC 표면에 UV/O₃ 처리를 30분, 60분 처리시간이 증가할수록 SiO_x 층의 접착력이 3B로 증가하였다. 이는 앞에서 확인한 바와 같이 UV/O₃ 처리에 의하여 물리적인 표면 특성 변화는 일어나지 않으나 UV/O₃에 의한 표면의 극성기 생성으로 수소결합, 쌍극자 모멘트, Van der Waals 결합과 같은 화학적 결합의 증가로 계면간 접착력이 증가한 것으로 판단된다. 플라즈마 처리도 마찬가지로 접착 테스트 시 처리시간이 5분, 10분 증가할수록 4B로 접착력이 증가함을 알 수 있다. 플라즈마 처리의 경우는 UV/O₃ 처리와 달리 표면 물리적인 변화인 PC필름 표면의 요철구조를 통해 베리어층과 기판과의 유효접촉 면적(effective contact area) 증가와¹⁸ 함께 표면의 탄소-탄소 결합에 절단 의해 생성된 라디칼의 산화에

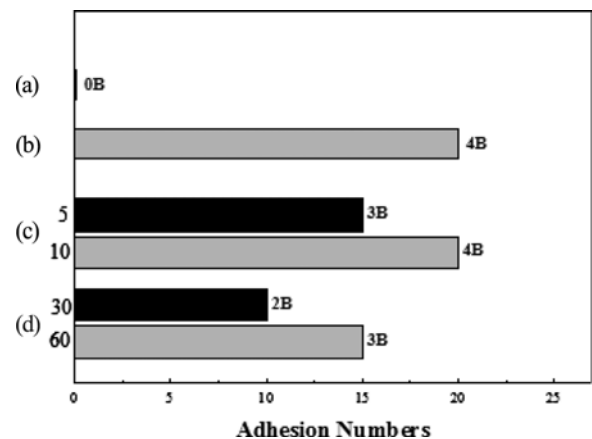


Figure 7. Effect of surface treatments on the adhesion classification of SiO_x layer on (a) untreated PC film; (b) undercoated PC; (c) plasma treated PC(5, 10 min); (d) UV/O₃ treated PC(30, 60 min).

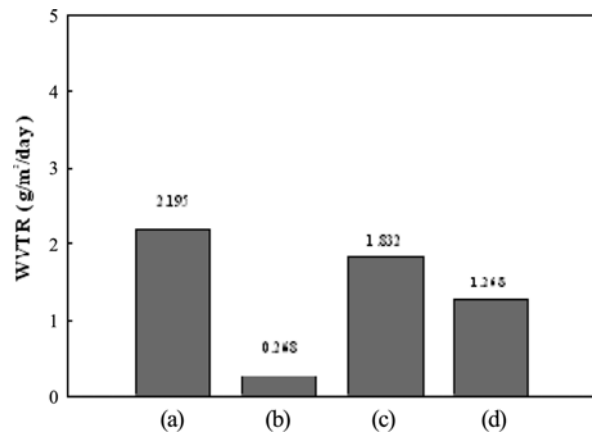


Figure 8. Barrier property of PC substrate deposited by SiO_x on (a) untreated PC film; (b) undercoated PC; (c) plasma treated PC; (d) UV/O₃ treated PC.

의한 화학적 결합이²⁴ 동시에 일어남을 알 수 있다.

Figure 6에서 보는 바와 같이 플라즈마 처리된 PC 필름은 UV/O₃ 처리된 필름보다 극성 표면 에너지는 작으나 접착력이 더 우수한 이유는 요철 형성에 의한 물리적인 결합에 의한 결과임을 알 수 있다. PC 기판 위에 언더 코팅을 할 경우 PC 필름과 언더 코팅층의 접착력은 5B로 측정되어 PC 필름과 언더 코팅층의 접착력은 매우 우수함을 알 수 있었다. 언더 코팅층 위에 다시 SiO_x를 증착한 후 접착테스트를 한 결과, 접착력이 4B로 언더 코팅층에 의해 SiO_x 층의 접착이 개선되었음을 확인할 수 있다. PC 필름보다 표면 거칠기가 낮고 코팅층의 소수성에 의하여 PC 필름보다 낮은 표면 에너지를 가짐에도 불구하고 접착력이 플라즈마 처리한 필름과 유사하게 나오는 이유는 언더 코팅층에 존재하는 아크릴 산기와 SiO_x 층의 화학적 접착력 향상에 의한 결과로 예측된다. 따라서 이러한 결과로부터 PC 필름을 아크릴계통의 다른

소재로 언더 코팅하면 플라즈마 혹은 UV/O₃와 같이 표면에 에너지를 가하여 표면을 개질하여 접착력을 증가시키는 방법과 유사한 표면 접착력 향상 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 아울러 이러한 언더 코팅층을 SiO_x 층과 같이 사용한 유무기 복합층은 필름의 베리어 특성 향상에 보다 효과적일 것으로 판단된다. Figure 8의 투습도 측정 결과를 통해 유무기 하이브리드 복합층의 투습도가 표면 처리하지 않은 베리어 필름과 플라즈마 및 UV/O₃ 처리 후 SiO_x 증착한 베리어 필름보다 현저히 낮음을 확인할 수 있었다. 이는 무기막에 형성된 pinhole, crack과 같은 미세 결함들로 인해 발생되는 투습을 유기물인 언더 코팅층이 막아주는 보호막 역할을 하는 것으로 판단된다.²⁵⁻²⁷

결 론

본 연구에서는 PC 필름에 언더 코팅, UV/O₃ 및 저온 플라즈마에 의하여 표면을 처리하여 표면의 물리적 화학적 구조 변화를 살펴보고 이러한 변화가 베리어 층으로 사용되는 SiO_x 층과의 접착력에 미치는 영향을 확인하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) PC 필름 표면을 저온 플라즈마로 처리하는 경우 플라즈마 이온 에너지에 의한 표면 식각에 의하여 표면 거칠기가 증가되며 이와 함께 표면 산화가 일어나 극성 표면 에너지가 증가하여 SiO_x 층과의 계면 접착 특성이 우수해짐을 알 수 있었다.

2) PC 필름 표면을 UV/O₃ 처리한 경우 플라즈마보다 상대적으로 낮은 에너지에 의하여 물리적인 변화인 표면 거칠기의 변화는 없는 반면 표면의 화학적 변화에 의한 극성기의 생성을 촉진하여 극성 표면 에너지가 높아져 SiO_x 층과의 접착 특성이 우수해짐을 알 수 있었다.

3) PC 필름 표면을 언더 코팅하면 하드 코팅액의 충분한 젖음성으로 인해 필름 표면의 평탄화가 이루어져 거칠기는 낮아지나 표면에 코팅된 아크릴 산과 SiO_x 층과의 접착력 향상에 의하여 극성 표면 에너지의 커다란 변화 없이도 SiO_x 층과의 접착 특성이 우수해짐을 알 수 있으며 이와 함께 투습도 또한 낮아짐을 확인하였다.

감사의 글: 본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터 (GRRC)사업의 일환으로 수행하였음[GRRC단국 2012-B04, 광소자 기능성 코팅액 제조 및 코팅공정 개발].

참 고 문 헌

1. S. Logothetidis, *Mat. Sci. Eng. B*, **152**, 96 (2008).
2. G. H. Kim and Y. H. Song, *Electronics and Telecommunications*

- Trends*, **23**, 111 (2008).
3. M. C. Choi, Y. K. Kim, and C. S. Ha, *Prog. Polym. Sci.*, **33**, 581 (2008).
4. S. J. Gwak, H. J. Sim, H. G. Yoon, and G. H. Lee, *Polym. Sci. Eng.*, **14**, 181 (2003).
5. J. Jang, *J. Korea Information Display Society*, **7**, 4 (2006).
6. Y. G. Tropsha and N. G. Harvey, *J. Phys. Chem. B*, **101**, 2259 (1997).
7. M. Benmalek and H. M. Dunlop, *Surf. Coat. Technol.*, **76**, 821 (1995).
8. J. H. Lee, C. H. Jeong, H. B. Kim, J. T. Lim, S. J. Kyung, and G. Y. Yeom, *Thin Solid Films*, **515**, 917 (2006).
9. B. M. Henry, A. G. Erlat, A. McGuigan, C. R. M. Grovenor, G. A. D. Briggs, Y. Tsukahara, T. Miyamoto, N. Noguchi, and T. Nijima, *Thin Solid Films*, **382**, 194 (2001).
10. G. Garcia-Ayuso, L. Vazquez, and J. M. Martinez-Duart, *Surf. Coat. Technol.*, **80**, 203 (1996).
11. S. Morooka and K. Kusakabe, *MRS Bull.*, **24**, 25 (1999).
12. J. T. Koberstein and C. L. Mirley, U.S. Patent 5,661,092 (1997).
13. M. J. Kim, H. G. Kim, and S. S. Kim, *Macromol. Res.*, **20**, 739 (2012).
14. M. J. Jung, J. W. Lim, I. J. Park, and Y. S. Lee, *Appl. Chem. Eng.*, **21**, 317 (2010).
15. L. H. Thompson and L. K. Doraiswamy, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **38**, 1215 (1999).
16. Y. G. Adewuyi, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **40**, 4681 (2001).
17. D. Feng and C. Aldrich, *Adv. Environ. Res.*, **4**, 103 (2000).
18. J. W. McBain and D. G. Hopkins, *J. Phys. Chem.*, **29**, 88 (1925).
19. W. Kim, Y. Y. Kim, J. S. Son, D. S. Yun, C. Han, J. K. Choi, and B. W. Jo, *Elastomer*, **37**, 244 (2002).
20. K. Koo and Y. M. Park, *Journal of the Korean Society of Dyers and Finishers*, **16**, 28 (2004).
21. H. Y. Lee and S. R. Kim, *Journal of Adhesion and Interface*, **3**, 37 (2002).
22. A. M. Soutar, Q. Chen, and R. E. Raja, *SIMTech Technical Reports*, **9**, 161 (2008).
23. J. H. Jang and D. S. Park, *Journal of the Korean Society of Dyers and Finishers*, **17**, 7 (2005).
24. E. M. Listona, *J. Adhesion*, **30**, 199 (1989).
25. B. Singh, J. Bouchet, G. Rochat, Y. Leterrier, J.-A. E. Manson, and P. Fayet, *Journal of Surface & Coatings Technology*, **201**, 7107 (2007).
26. J. Jang, *Journal of Korea Information Display Society*, **7**, 10 (2006).
27. Z. Jia, M. B. Tucker, and T. Li, *J. Composites Science and Technology*, **71**, 365 (2011).