

Polyamide66/Polyphenylene 블렌드의 플라즈마 표면처리를 통한 친수성 향상

지영연[†] · 김상식

고등기술연구원 플라즈마기술센터

(2006년 3월 29일 접수, 2006년 9월 11일 채택)

Hydrophilicity Improvement of Polyamide66/ Polyphenylene Blends by Plasma Surface Treatment

Young-Yeon Ji[†] and Sang-Sik Kim

Plasma team of plasma technology center, Institute for Advanced Engineering,
633-2, Goan-ri, Beagam-myeon, Cheoin-Gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 449-863, Korea

Author address. The affiliation should be the institution where the work was conducted.

(Received March 29, 2006; accepted September 11, 2006)

초록 : 플라즈마 표면처리는 접착력, 친수성, 소수성 등과 같은 고분자의 표면 특성을 개질시키기 위하여 사용되고 있다. 플라즈마를 이용하여 표면을 처리하게 되면 고분자의 전체적인 물성은 유지한 채 표면의 특성만을 변화시키는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 다양한 가스를 사용한 플라즈마를 이용하여 상업용 polyamide66 (PA66) /polyphenylene (PPE) 고분자의 표면의 접착력 향상을 위해 표면 유기물 제거와 친수성으로 개질을 시도하였다. 플라즈마 처리 공정 변수인 공정 파워, 처리 시간, 가스 중 들을 변화시키면서 표면을 개질하였으며 PA66/ PPE 고분자의 친수성 개질을 확인하기 위하여 접촉각 및 표면 자유에너지 변화를 측정하였다. 또한 유기물 제거를 FTIR 분석을 통하여 확인하였다. 플라즈마를 이용한 표면처리 결과, 공정 파워 100 W, 처리 시간 2분, 아르곤/산소 공정가스에서 가장 낮은 접촉각(73도에서 14도)과 가장 높은 표면 자유에너지(44.20 mJ/m²에서 50.03 mJ/m²)를 나타내었다.

Abstract : It has been reported that plasma treatments are used to modify surface properties of polymers such as adhesivity, hydrophobicity and hydrophilicity. Using plasma treatment, interfacial property can be introduced to a polymer surface without affecting the desired bulk properties of a material. In this study, commercial polyamide66 (PA66)/polyphenylene (PPE) polymer was modified by plasma treatment under a various gas species for elimination of organic compound and polymer surface property with hydrophilicity. PA66/PPE polymer with hydrophilicity was treated by RF plasma vacuum system under a various parameter such as gas species, processing time and partial pressure. Hydrophilicity of PA66/PPE was confirmed by calculation of the surface free energy from contact angle measurement. The highest surface free energy of 50.03 mJ/m² with the lowest contact angle of 14° was obtained at plasma process power of 100 W, treatment time of 2 min and Ar/O₂ gases of 100 and 200 sccm. Moreover the change of organic compounds on the polymer surface was analyzed by fourier transforms infrared spectrometry (FTIR).

Keywords : low pressure plasma, PA66/PPE blends, surface free energy, coating, hydrophilicity.

서 론

최근의 재료연구 분야에서는 점차 종래의 금속재료만을 다루던 것에서부터 공업용 플라스틱 등 다기능성 고분자 재료와 세라믹 등의 분야로 관심이 넓어지고 있으며, 표면처리기술 분야에서도 주로 이전의 금속재료들의 표면경화나 장식 기능 및 방식 처리 등을 다

루던 것에서부터 금속이외의 무기재료, 유기재료 등의 표면에 전도성, 자기적 특성, 윤활성, 밀착성 등 고기능성을 부여하기 위한 처리기술 개발과 함께 이들 재료의 미세가공기술과 표면계측 및 분석 등의 분야에서 급속한 발전을 계속해오고 있다. 특히 고분자 표면에 도금을 하는 목적은 금속과 동일한 외관을 갖도록 하고 기능적으로 뛰어난 성질을 갖게 하며, 경량이며 재료 면에서 원가가 적게 들기 때문에 최근에는 특히 금속에 가까운 성질을 갖는 고분자가 많이 개발되어 이에 대한 도금 기술 개발이 필요한 실정이다.¹⁻⁵ 고분자 표면에 금속 도금 방법으로는 습식법(전기도금, 무전해도금)

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: jyy@iae.re.kr

과 건식법(CVD, PVD 등)으로 나눌 수 있다. 그 중 습식법에는 금속 염 용액으로부터 금속이온을 피도금물 위에 환원석출시켜 금속 피막을 만드는 방법으로써 외부전력에 의해 전해 석출시키는 전기도금, 피도금물에 의해 치환 석출시키는 치환도금의 3종류가 있다.⁶⁻⁸ 현재 도금기술이 적용되는 분야는 자동차 내외장부품, 오토바이 및 전자부품, 휴대전화 및 가정용 전화, 컴퓨터 및 전자제품, 거울, 완구, 화장품 용기, 조리기기 등 광범위하며 일상생활에 밀접하게 적용되고 있다. 플라스틱, 목재 섬유, 종이 등의 유기질 재료와 유리, 도자기, 석고 등의 무기질 재료로 만들어진 부도체 제품에 대하여 직접 도금이 가능하다는 것은 무전해 도금 최대 특징이다. 무전해 도금 기술은 소재의 표면 정보에 따라 다양한 전처리 공정을 필요로 한다. 예를 들어, 폴리머 또는 플라스틱, 유리 등의 견고한 구조의 표면을 갖고 있는 소재의 경우 도금 막의 밀착성은 일반적으로 나빠서 실용화하기 힘들다. 이러한 이유에서 기계적 방법 또는 화학적 방법으로 비표면적의 증가 등이 필요하다. 고체 표면, 특히 고분자의 비표면적을 증가시키거나, 표면 활성화 또는 특성화 시키는 방법에는 주로 약품이나 용매를 써서 화학반응을 이용하는 weak boundary layer의 제거, 팽윤 층 형성, 에칭 또는 결합제의 결합 등이 있고 또한 진공에서 원자나 분자 또는 이온 등을 이용하여 표면 처리하는 표면 산화 방법 등이 있다. 이러한 여러 가지 방법 중에서 간편하면서도 효율성이 높은 플라즈마가 고분자의 표면에 균일하고 많은 활성 라디칼을 도입시켜 고분자의 비표면적을 효과적으로 증가시키는 것으로 알려져 있다. 그러나 이외에도 고분자 재료의 밀착력과 밀접한 관계가 있는 요인은 사출 성형 시 부착되는 왁스, 비누, 실리콘계 이형제와 유지류 등이 도장 및 도금 밀착력을 저하시키는 요인이다.

고분자 소재의 플라즈마 기술에 의한 접착력 향상은 다양한 문헌에서 보고되어 있다.¹¹⁻¹³ 고분자 소재에서의 계면 접착은 거친 표면으로 인해서 서로 기계적으로 맞물리거나 이온, 공유, 또는 이차 결합(수소결합, 반데르발스 결합, 상호작용, 산-염기 상호작용)이 있을 때가 유리하다. 아울러서 계면에서의 전기 이중층(electric double layer)의 형성에 의한 정전기적 인력과 분자량이나 극성에 의존하는 내부확산(interdiffusion) 또는 열역학적인 흡착 등이 있을 때가 유리하지만, 대부분의 고분자는 이러한 접착 환경이 잘 갖추어져 있지 않다. 그러므로 공유결합이나 이차결합이 가능하도록 히드록시기 또는 카보닐기가 카복실기 또는 아미노기와 같은 작용기를 도입하는 플라즈마 기술이 바람직하다.

본 연구에서는 저온 플라즈마를 이용하여 자동차 외장재에 사용되는 PA66/PPE 블렌드의 도장 및 도금 밀착력을 향상시키기 위하여 Ar, O₂, CF₄, N₂의 가스를 사용하였고 인가파워는 100~500 W, 공정시간은 1~60분으로 변수를 두어 실험을 진행하였다. 밀착력이 향상됨을 확인하기 위하여 접촉각 측정을 통한 표면 자유에너지를 계산하였다. 표면 자유에너지가 높을수록 표면이 친수성으로 개질되어 밀착력이 향상되는 결과를 가져오게 된다. 또한 자유에너지 향상에 따른 결과를 FTIR 분석결과와 비교 분석하였다.

실험

실험재료 및 방법. 원부재료로는 차량의 도어 락에 이용되는

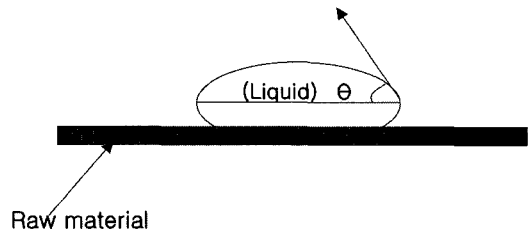


Figure 1. A sessile drop of liquid on PA66/PPE surface.

PA66/PPE 블렌드를 플라즈마 처리를 위한 기질로 사용되었다. 플라즈마 표면처리를 위하여 진공 플라즈마 표면처리 장치를 사용하였으며, power supply system은 공정 안전성 및 균일한 처리 효과를 얻기 위해 라디칼 밀도 항상 및 Arc를 방지할 수 있는 RF (radio-frequency) A. C 고전압 전원을 100, 200, 300, 400, 500 W, 처리시간을 1, 2, 5, 10, 20, 60분으로 변화시켰으며 또한 공정가스의 영향을 알아보기 위하여 Ar, O₂, CF₄, N₂ 등의 전처리 공정용 가스를 적용하여 플라즈마 표면처리 조건을 최적화하였다. 여러 가지 변수별 플라즈마 표면 처리를 통하여 사출 성형 시 생성되는 윤활제를 제거함과 동시에 표면 작용기에 친수성기를 도입하므로 원부재료의 표면을 친수성으로의 개질을 시도하였다.

접촉각 측정. 표면 자유에너지를 계산하기 위해서는 3가지 용액의 접촉각이 필요로 한다. 그러므로 표면에너지를 계산하기에 앞서 3가지 용액으로 접촉각을 측정하여야 한다. 접촉각을 측정하기 위하여 sessile drop 방법과¹⁴ SEO300A((주)SEO) 기기를 사용하여 증류수, diiodomethane 그리고 ethylene glycol의 세 가지 용액으로 접촉각을 측정한다. PA66/PPE의 플라즈마 처리 전과 후의 접촉각을 측정하기 위해서 상온에서 약 5 μL 젖음 액의 크기로 각각 5부분의 위치에서 접촉각을 측정한다.

표면 자유에너지 계산. 접촉각 측정에 의한 물질의 표면에너지 분석 방법 가운데 van Oss에 의한 Lifshitz-van der Waals/acid-base (LW/AB) 산출 방법이^{15,16} 많이 사용되고 있다. 본 연구에서도 이 방법을 표면에너지 분석에 사용하였다. 이 방법은 아래와 같이 요약할 수 있다.

물질의 전체 표면에너지(γ^{TOT})는 식 (1)과 같이 비극성 성분(γ^{LW})과 극성 성분(γ^{AB})으로 나눌 수 있다.

$$\gamma^{TOT} = \gamma^{LW} + \gamma^{AB} \tag{1}$$

이 가운데 γ^{AB}는 Lewis acid-base에 의해 나타나는 표면에너지를 의미하며, 이는 다시 electron-donor인 γ⁻와 electron-acceptor인 γ⁺의 상호작용으로 나타낼 수 있고, 식 (2)와 같이 표현된다.

$$\gamma^{AB} = 2\sqrt{\gamma^{-}\gamma^{+}} \tag{2}$$

또한 고체(S)와 액체(L)사이의 계면에너지 γ_{SL}은 식 (3)과 같이 주어진다.

$$\gamma_{SL} = (\sqrt{\gamma_s^{LW_s}} - \sqrt{\gamma_l^{LW_l}})^2 + 2(\sqrt{\gamma_s^{+}\gamma_s^{-}} + \sqrt{\gamma_l^{+}\gamma_l^{-}} - \sqrt{\gamma_s^{+}\gamma_l^{-}} - \sqrt{\gamma_l^{+}\gamma_s^{-}}) \tag{3}$$

Table 1. Surface Tension Components and Parameters of Liquids, Measured at 20 °C

Testing liquids	γ (mJ/m ²)	γ^d_L (mJ/m ²)	γ^{sp}_L (mJ/m ²)	γ^+_{L} (mJ/m ²)	γ^-_{L} (mJ/m ²)
Water	72.8	21.8	51.0	25.5	25.5
Diiodomethane	50.8	50.8	0.38	0.0	0.0
Ethylene glycol	48.0	29	19.0	1.92	47

Young과 Dupre의 공식을 조합하면 식 (4)를 얻을 수 있으며, 여기에 식 (1)을 대입하여 정리하면 식 (5)를 유도할 수 있다.

$$\gamma_L (1 + \cos \theta) = \gamma_s + \gamma_L - \gamma_{sL} \quad (4)$$

$$\gamma_L (1 + \cos \theta) = 2(\sqrt{\gamma^{dL}_s \gamma^{dL}_L} + \sqrt{\gamma^+_{L} \gamma^+_{s}} + \sqrt{\gamma^-_{L} \gamma^-_{s}}) \quad (5)$$

따라서 임의의 물질의 표면에너지를 구성하는 세 가지 성분은, 액체 가운데 비극성성분(γ^{dL}_L), 극성성분(γ^{AB}_L), 산 혹은 염기 성분($\gamma^+_{L}, \gamma^-_{L}$)을 알고 있는 두 종류의 극성 액체와 한 종류의 비극성액체를 이용하여 이들의 접촉각을 측정하고, 이로부터 얻어지는 세 연립방정식의 해를 구함으로써 산출할 수 있다.

표면에너지를 계산하기 위한 구성 요소인 London dispersive와 specific polar 값들과 측정용액인 산과 염기 변수 값을 Table 1에 명시하였다.

결과 및 토론

플라즈마 공정 조건에 따른 PA66/PPE의 친수성 개질. PA66/ PPE 블렌드의 표면을 친수성으로 개질시키기 위한 최적화 조건을 얻기 위하여 공정 파워, 처리 시간, 가스 종류를 Table 2와 같이 변화시켜 친수성 향상을 확인하였다.

공정 파워에 따른 플라즈마 표면처리. 인가된 파워를 변수로 하여 실험을 진행하였다. 따라서 GAS는 Ar, O₂로 100 SCCM : 200 SCCM, 시간은 1분으로 고정시켜 실험하였다. 초기 압력은 2.5×10⁻³ torr이며, 공정압력은 6.3×10⁻¹ torr로 하였으며 파워는 100, 200, 300, 400, 500 W로 변화시켜 실험하였다.

Figure 2는 증류수를 사용하여 sessile drop 방법으로 접촉각을 측정한 결과를 나타내었다. Table 2의 증류수 접촉각 결과와 산과 염기 두 용액의 접촉각을 더 측정하여 계산한 표면에너지를 Table 3에 나타내었다.

Figure 2와 Table 3에 나타난 바와 같이 초기 모재의 접촉각이 73도였으나 100 W에서 플라즈마 처리시 24도로 급격히 감소하였다. 파워를 500 W까지 증가시켜 실험을 진행한 결과 100 W 이상에서 접촉각이 미소하게 증가함을 볼 수 있다. 또한 Table 3에서는 접촉각 측정결과를 갖고 표면에너지 계산식을 이용하여 표면에너지를 나타내었다. Table 3에서 보는 바와 같이 모재인 경우에 44.20 mJ/m² 이었으나, 100 W로 플라즈마 처리한 경우 48.36 mJ/m²로 증가하였다. 그러나 100 W 이상에서는 표면에너지의 증가는 더 이상 나타나지 않았다. 이는 표면에 높은 인가파워

Table 2. Plasma Process according to Process Parameter

Process parameter	Treatment time (min)		Gas ratio (Ar : O ₂ SCCM)
	Processing power (W)	100	1
200		1	100 : 200
300		1	100 : 200
400		1	100 : 200
500		1	100 : 200
Treatment time (min)	Power (Watt)		Gas ratio (Ar : O ₂ SCCM)
	1	150	100 : 200
	2	150	100 : 200
	5	150	100 : 200
	10	150	100 : 200
20	150	100 : 200	
Gas specious	Power (Watt)		Gas ratio
	Ar, CF ₄	150	150 : 150
	O ₂ , CF ₄	150	150 : 150
	Ar, O ₂ , CF ₄	150	100 : 100 : 100
	Ar, N ₂	150	150 : 150
	O ₂ , N ₂	150	150 : 150
	CF ₄ , N ₂	150	150 : 150
	O ₂ , N ₂ , CF ₄	150	100 : 100 : 100

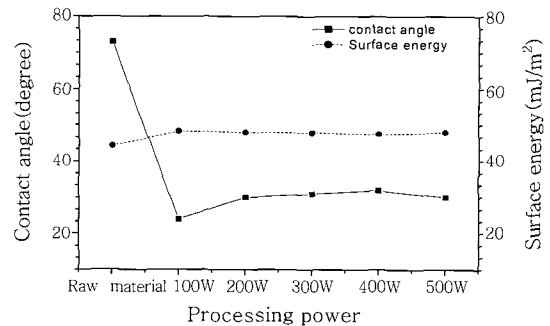


Figure 2. Change of contact angle and surface energy with plasma processing power.

Table 3. Change of the Surface Energy with Plasma Processing Power

Code	Power (W)	Contact angle (°)			Surface energy (mJ/m ²)
		Water	E.G	D.M	
PA66/PPE		73	42.85	36.91	44.20
a	100	24	11.65	24.52	48.36
b	200	30	12.25	40.05	48.05
c	300	31	16.21	31.23	47.93
d	400	32	18.57	29.45	47.55
e	500	30	16.71	25.90	48.04

에 의한 이온 폭격에 의해 산소 함유 화학종인 카복실기 등의 결합이 끊어지면서 소실되므로 표면의 친수화가 더 이상 진행되지 않는다.¹⁷

처리시간에 따른 플라즈마 처리. 공정시간을 변수로 하여 실험을 진행하였다. 따라서 GAS는 Ar, O₂로 100 SCCM : 200 SCCM,

파워는 150 W로 고정시켜 실험하였다. 초기 압력은 2.0×10^{-3} torr이며, 공정압력은 6.5×10^{-1} torr로 하였으며 시간은 1, 2, 5, 10, 20, 60분으로 변화시켜 실험하였다.

플라즈마 처리시간에 따른 접촉각과 표면 자유에너지의 변화를 Figure 3에 나타내었다. 처리시간은 1분~60분까지 변화시키면서 접촉각과 표면 자유에너지를 측정 한 결과 2분까지 접촉각이 감소하면서 표면 자유에너지는 증가하는 반면에 처리시간이 2분 이상 증가할수록 특히 10분에서는 모재를 제외하고 가장 높은 접촉각을 나타내고 이후부터는 차츰 감소함을 볼 수 있다. 이는 초기에 산소의 영향으로 접촉각이 감소하다가¹⁸ 10분 정도 플라즈마 처리 시 플라즈마 열에 의한 온도 상승과 표면 반응이 과도하게 일어남으로 접촉각이 증가하고 10분 이상 플라즈마 처리시 표면의 손상에 의해 접촉각이 감소됨을 알 수 있다.¹⁹

시간에 따른 플라즈마 처리 시 Figure 3과 Table 4에서 나타내듯이 2분에서 가장 낮은 접촉각을 나타냄과 동시에 가장 높은 표면에너지를 나타내었다. 모재의 접촉각 73도에 비해 약 60도 가량이 감소된 14도의 접촉각을 나타내었다. 그 다음으로 1분에서 30도의 접촉각을, 5분에서 25도의 접촉각을 나타내었으며 60분에서는 34도의 접촉각을 나타내었다. 또한 Table 4에서 접촉각 측정 결과를 갖고 표면에너지를 계산하였다. Table에서 보는 바와 같이 2분 동안 플라즈마 처리한 경우 모재에 비해 6 mJ/m^2 이상 증가함을 볼 수 있다. 이번 결과로 2분의 플라즈마 처리로 인해 표면의 유기물질을 효과적으로 제거할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 이러한 분석은 FTIR의 유기물 제거 결과와도 유사한 결과를 나타내었다(Figure 4).

플라즈마 처리시간에 따른 표면 변화를 관찰하기 위하여 FTIR의 $1130 \sim 12302 \text{ cm}^{-1}$ 부분을 세밀하게 분석하였다. 분석 결과 표면에너지가 증가할수록 FTIR 상의 1182 cm^{-1} 의 피크가 감소

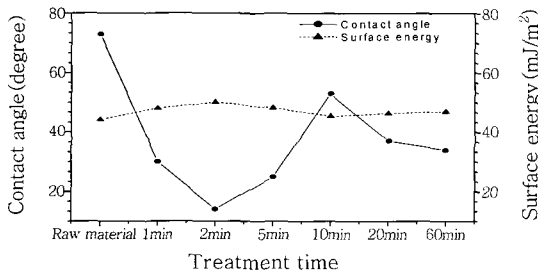


Figure 3. Change of contact angle and surface energy with plasma treatment time.

Table 4. Change of Surface Energy with Plasma Treatment Time

Code	Treatment time (min)	Contact angle (°)			Surface energy (mJ/m²)
		Water	E.G	D.M	
PA66/PPE		73	42.85	36	44.20
a	1	30	21.35	21.3	48.03
b	2	14	25.03	26.02	50.03
c	5	25	13.02	24.05	48.25
d	10	53	24.36	50.12	45.44
e	20	37	20.47	45.02	46.34
f	60	34	17.94	42.37	46.95

함을 확인할 수 있다. 따라서 모재 표면에 tertiary butyl이 과량 존재할수록 밀착력 및 접착력이 저하됨을 알 수 있다.

가스 종류에 따른 플라즈마 처리. 가스 종류를 변수로 하여 실험을 진행하였다. 인가되는 파워와 공정 시간은 이전 data를 바탕으로 표면에너지가 높은 조건; 파워 150 W, 공정 시간: 2분으로 실험하였다. 초기 압력은 2.0×10^{-3} torr이며, 공정압력은 8.0×10^{-1} torr로 하였으며 플라즈마 처리되는 GAS는 Ar, O₂, N₂, CF₄를 사용하였다

가스 종류에 따른 접촉각과 표면 자유에너지를 Figure 5에 나타내었다. 다양한 종류의 가스를 사용한 결과 산소를 포함한 경우 대체적으로 접촉각이 낮고 높은 표면에너지를 나타냄을 알 수 있다. 혼합가스를 사용할 경우 다른 종류의 가스가 표면을 활성화시킨 후 활성화된 표면이 산소와 결합함으로써 표면이 친수성으로 변하게 된다.

Table 5에서는 가스 종류별 플라즈마 표면처리에 따른 접촉각 측정값과 표면에너지 계산 결과를 나타내었다. 가스 종류별 플라즈마 처리 결과 O₂ 가스 첨가 시 48 mJ/m^2 이상의 표면에너지

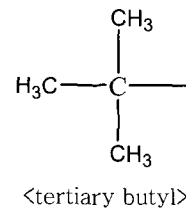
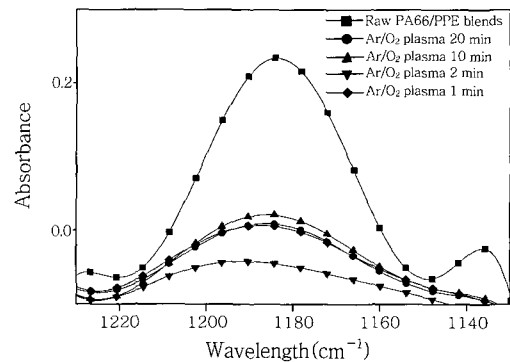


Figure 4. FTIR spectra of PA66/PPE surface with plasma treatment time.

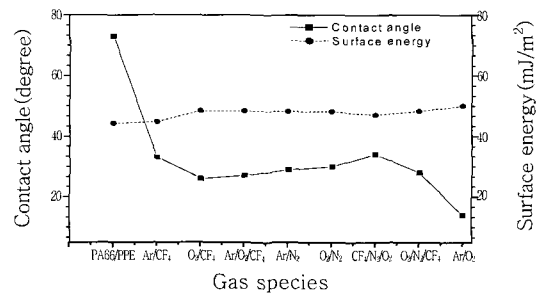


Figure 5. Change of contact angle and surface energy with plasma gas species.

Table 5. Change of Surface Energy with Plasma Gas Specious

Code	GAS	Contact angle(°)			Surface energy (mJ/m ²)
		Water	E.G	D.M	
PA66/PPE		73	42.05	36	44.20
a	Ar, CF ₄	33	16.20	43.02	47.20
b	O ₂ , CF ₄	26	11.29	31.10	48.29
c	Ar, O ₂ , CF ₄	27	20.15	21.31	48.24
d	Ar, N ₂	29	15.42	27.12	48.13
e	O ₂ , N ₂	30	11.06	43.24	48.10
f	CF ₄ , N ₂	34	25.03	24.10	47.01
g	O ₂ , N ₂ , CF ₄	28	16.18	20.36	48.20
h	Ar, O ₂	14	25.03	26.02	50.03

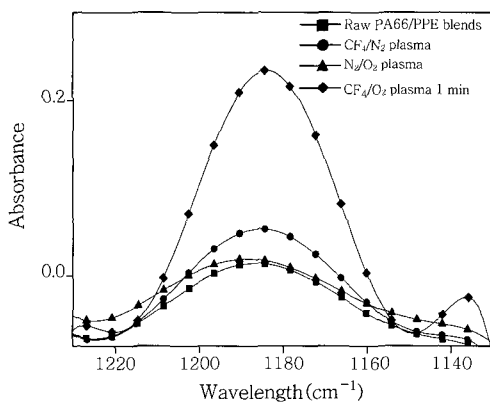


Figure 6. FTIR spectra of PA66/PPE surface with plasma gas specious.

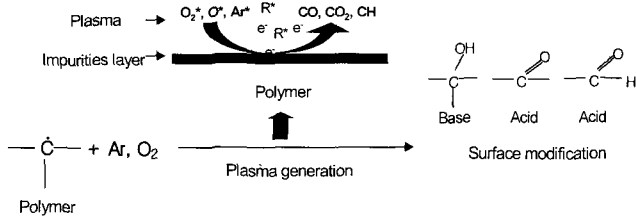


Figure 7. Mechanism for the formation of surface functional group by plasma treatment.

지 증가 효과가 나타나고 있으며 특히, O₂, Ar 혼합가스의 경우 50 mJ/m² 이상의 표면에너지 결과를 나타내고 있다. 그러나 Ar/CF₄, Ar/N₂, CF₄/N₂의 경우 산소가 첨가되지 않은 혼합가스 공정 조건에서는 47 mJ/m² 정도로 미소하나 표면에너지 증가 효과가 다소 감소하고 있음을 나타내는 결과이다. 이러한 결과로 미루어 보아 유기 물질과 친화성이 약한 CF₄와 N₂ 가스를 사용함으로 원 재료 표면의 유기물질과 활발하게 반응하지 못하고 있음을 나타낸다.

Figure 6에서 나타내는 바와 같이 CF₄/N₂ 가스에 비하여 O₂ 가스가 첨가된 N₂/O₂ 및 CF₄/O₂ 혼합가스에 의해 tertiary butyl기가 감소함을 나타내고 있다. 이는 O₂ 가스가 유기물 제거에 가장 효과적이며 CF₄, N₂ 가스는 유기물 제거에 효과적이지 못한 결과이다.

앞서 실험한 결과를 바탕으로 표면에너지 증가와 유기물 제거 원리를 Figure 7에 나타내었다. Ar/O₂ 플라즈마의 경우 Ar라디칼로의 영향으로 표면을 활성화시킨 후 표면의 활성화된 유기물질이 산소라디칼과 결합하여 가스 상태로 제거되는 것을 알 수 있다.

결론

PA66/PPE 블렌드 재료의 유기물질 제거와 친수화를 위하여 플라즈마 처리를 하였다. 실험변수로는 파워, 가스, 시간을 변화시키면서 실험을 진행하였다. 공정 변수에 따른 플라즈마 전처리 결과는 다음과 같이 나타내었다.

파워 증가에 따른 플라즈마 전처리 시 플라즈마 미처리된 초기 모재의 접촉각이 73도였으나 100 W에서 플라즈마 처리 시 24도로 급격히 감소하였다. 파워를 500 W까지 증가시켜 실험을 진행한 결과 100 W 이상에서는 접촉각 감소가 더 이상 관찰되지 않았다. 이는 100 W의 플라즈마 처리로 인해 유기물이 제거됨을 알 수 있다. 그리고 시간에 따른 플라즈마 전처리 시 2분에서 가장 좋은 결과를 볼 수 있었다. 모재의 접촉각 73도에 비해 약 60도 감소된 14도의 접촉각을 나타내었다. 그 다음으로 1분에서 30도의 접촉각을, 5분에서 25도의 접촉각을 나타내었으며 60분에서는 34도의 접촉각을 나타내었다. 이번 결과로 2분의 플라즈마로 표면의 유기물질을 효과적으로 제거할 수 있으며 또한 활성화된 표면과 산소가 반응하여 산소의 함량이 증가함을 알 수 있다. 가스 종류별 플라즈마를 처리한 결과 표면 자유에너지의 변화를 나타내지 않았다. 그러나 특징적으로 O₂를 사용하였을 경우 다른 가스를 사용하였을 때 보다 표면 자유에너지가 높음을 알 수 있었다. 이는 O₂ 가스를 사용하였을 경우 표면의 유기물질을 효과적으로 제거할 수 있으며 모재 표면을 친수성기로 변환시키는 작용을 하였다는 것을 알 수 있다.

참고 문헌

1. H. Jr. Leidheiser, C. Szeles, and A. Veřtes, *Nucl. Instr. Meth.*, **A255**, 606 (1987).
2. M. Mandani, R. R. Miron, and R. D. Granata, *J. Coat. Technol.*, **69**, 45 (1997).
3. Y. Q. Wang, S. S. Mohite, and L. B. Bridwell, *J. Master. Res.*, **8**, 388 (1993).
4. Y. Lee, E. H. Lee, and L. K. Mansur, *Surf. Coat. Technol.*, **51**, 262 (1992).
5. H. Tsuji, H. Satoh, S. Ikeda, N. Ikemoto, Y. Gotoh, and J. Ishikawa, *Surf. Coat. Technol.*, **103/104**, 124 (1998).
6. M. Abes, O. Ersen, D. Muller, M. Acosta, and C. Ulhaq-Bouillet, *Mater. Sci. Eng. C*, **23**, 229 (2003).
7. S. Wang and J. W. Harrell, *J. Magn. Magn. Mater.*, **242**, 437 (2002).
8. M. Albrecht, S. Anders, T. Thomson, C. T. Rettner, and M. E. Bestetti, *J. Appl. Phys.*, **91**, 6845 (2002).
9. T. M. Liakopoulos, W. Zhang, and C. H. Ahn, *IEEE Trans. Magn.*, **32**, 5154 (1996).
10. H. J. Cho and C. H. Ahn, *IEEE Trans. Magn.*, **36**, 686 (2000).

11. V. L. Vakula and L. M. Pritykin, *Polymer Adhesion : Physico-chemical Principles*, Ellis Horwood Ltd, New York, 1991.
12. D. L. Cho, *Polymer Science and Technology*, **6**, 499 (1995).
13. M. Tatoulian, F. Arefi-Khonsari, N. Shahid-zadeh-Ahmadi, and J. Amouroux, *Int. J. Adhes.*, **15**, 177 (1995).
14. A. W. Adamson, *Physical chemistry of surfaces*, 5th ed., Wiley, New York, Chapter 10 (1990).
15. C. J. Van Oss, *Interfacial Forces in Aqueous Media*, Dekker, New York, p. 7 (1994).
16. C. J. Van Oss, M. K. Chaudhury, and R. J. Good, *Adv. Colloid Interf. Sci.*, **28**, 35 (1987).
17. L. T. Nguyen and N. Hasirci, *J. Mater. Sci.: Polym. Lett. Ed.*, **18**, 541 (1980).
18. S. K. Oiseth, A. Korzer, B. Kasemo, and J. Lausmaa, *Appl. Sur. Sci.*, **202**, 92 (2009).
19. S. N. Hwang, B. J. Jeon, and I. H. Jung, *J. Korean Ind. & Eng. Chem.*, **9**, 383 (1998).