

# 대기압 플라즈마 처리에 의한 표면 특성 변화

(Surface Characteristics by Atmospheric Pressure Plasma Treatment)

이장호·이현철\*·송현직\*\*·전병준·이광식\*\*\*

(Chang-Ho Lee · Hyun-Chul Lee · Hyun-Jig Song · Byung-Joon Chun · Kwang-Sik Lee)

(주)프로닉스, (주)일진전기\*, 영남이공대학\*\*, 영남대학교\*\*\*

## Abstract

본 연구에서는 대기압 플라즈마의 처리 조건에 따른 Tri-acetyl-cellulose (TAC) 필름의 접착력 향상을 위한 접촉각 및 표면에너지의 변화를 관찰하였다. 대기압 플라즈마의 처리 변수로는 처리 속도, 방전 전력, 시료와 플라즈마 헤드 사이의 간격 및 N<sub>2</sub> 가스 유속이며, 각각의 처리 변수가 TAC 필름의 표면 특성 변화에 미치는 영향을 조사하였다. 실험결과 방전전력 및 N<sub>2</sub> 유량이 증가할수록 접촉각은 낮아지고 표면에너지는 증가하였다. 그리고 시료와 플라즈마 헤드 사이의 방전 간격은 2[mm]에서 접촉각이 낮고 표면에너지가 높게 나타나 TAC 필름의 접착력 향상을 위한 친수성 물질로 표면 개질됨을 확인할 수 있었다.

## 1. 서론

최근 들어 대기압 플라즈마에 대한 관심이 높아지고 있다. 기존의 플라즈마 공정은 대부분 대기압보다 낮은 압력에서 행해져 고가의 진공 시스템이 구비되어야 한다. 따라서 디스플레이 살업의 경우 대면적의 기판을 처리하기 위한 플라즈마 공정장비의 가격은 처리 면적이 증가함에 따라 기하급수적으로 증가한다. 반면 모든 공정이 대기압에서 진행되는 대기압 플라즈마의 경우 진공시스템이 필요 없어 전체 시스템의 구조를 단순화하고 시스템의 제작, 유지 및 보수비용을 대폭 절감시키는 효과가 있다. 또한 진공환경이 필요 없기 때문에 공정 적용에 제약을 받았던 물질의 프로세서나 다양한 형상의 대상물의 처리도 가능해져 플라즈마의 응용분야를 확대할 수 있다.

표면개질이란 재료 표면의 극성을 변화시킴으로써 친수성이나 소수성을 가지도록 하는 것이다. 친수성을 가진 표면은 표면에너지가 높아 다른 물질과 접합을 하거나 코팅을 할 때 접합성능이 우수하게 된다. 따라서 금속과 폴리머의 접합이나 폴리머의 표면에 페인팅을 하거나 라벨링을 할 때 폴리머의 표면이 친수성을 가지도록 표면개질을 하고 있다.

표면처리 공정에서 처리균일도와 생산성, 표면의 손상정도가 중요한 고려요소로 작용하여 이를 만족시킬 수 있는 대기압 플라즈마 공정으로 점차 대체되고 있는 추세이다.

따라서 본 연구에서는 대기압 플라즈마 처리에 의한 TAC 필름의 접착력 향상을 위하여 처리 속도, 방전 전력, 시료와 플라즈마 헤드 사이의 간격 및 N<sub>2</sub> 가스 유량에 따른

접촉각 및 표면에너지를 측정하여 대기압 플라즈마 처리에 의한 표면 특성 변화를 고찰하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

그림1은 TAC 필름의 표면 처리를 위해 대기압 플라즈마 헤드의 개략도이다.

플라즈마 헤드 내부에 N<sub>2</sub> 가스가 투입한 후 고전압 전극에 고전압을 인가하면 반응 가스가 세라믹을 통하여 플라즈마를 발생시키는 형태이다.

대기압 플라즈마 헤드는 3[kW] 및 0~50[kHz]를 사용하는 고주파 펄스 전원장치( 3[kW], 0~50[kHz] )를 사용하여 플라즈마를 발생시키는 (주)프로닉스에서 개발한 장비이다. N<sub>2</sub> 반응 가스를 사용하여 플라즈마를 발생시킬 수 있으며, conveyer의 속도 조절을 통하여 시료의 처리 속도 및 시료와 플라즈마 헤드 사이의 거리 조절을 컴퓨터로 변화시킬 수 있는 다기능성 대기압 플라즈마 장비이다.

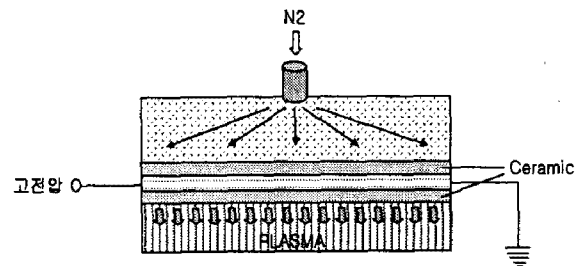


그림 1. 플라즈마 헤드 개략도

본 연구에 사용된 시료는 D사의 TAC 필름을 60×60 [mm]로 일정하게 절단한 후 플라즈마로 표면처리를 하였다. 대기압 플라즈마 장비에 장착된 플라즈마 헤드를 시

료와 간격을 조절한 후 대기압 플라즈마 장비에 설치된 conveyer 속도를 조절한 후 conveyer 위에 시료를 올려 놓은 후 플라즈마 영역으로 지나간 시료를 접촉각 측정기를 사용하여 접촉각을 측정하고 표면에너지를 계산하였다.

TAC 필름의 표면 특성 변화를 검토하기 위하여 반응 가스  $N_2$  (60, 80, 100, 120 및 140[LPM]), 플라즈마를 발생시키기 위해 소비한 전력( 0.9, 1.1, 1.3 및 1.5 [kW] ) 및 시료와 플라즈마 헤드 사이의 간격( 2.0 및 4.0[mm] )을 변화시켰고, 플라즈마 처리 속도는 100[mm/sec]로 고정하여 플라즈마 처리 조건을 최적화 하였다.

대기압 플라즈마 처리 전 후의 시료의 접촉각 측정을 위한 접촉각 측정기(Portable contact angle measurement)를 사용하였으며, 플라즈마 처리된 시료의 접촉각 측정을 위하여 2차 증류수를 사용하여 1.0[mm]의 probe liquid를 시료위에 떨어뜨린 후 접촉각을 측정하였다.

접촉각 측정을 통해 얻은 값을 이용해 TAC 필름의 표면에너지는 Good-Girifalco method를 사용하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 방전 전력에 따른 접촉각 및 표면에너지

그림2와 그림3은 시료와 플라즈마 헤드사이의 간격( 2 및 4[mm] )과  $N_2$  가스의 유량( 60, 80, 100, 120 및 140[LPM] )에 플라즈마 처리 방전 전력( 0.9, 1.1, 1.3 및 1.5[kW] ) 변화에 따른 접촉각 및 표면에너지의 변화를 나타내었다.

방전 전력 1.5[kW]에서 간격 2[mm],  $N_2$  가스 유량 140[LPM]일 때, 플라즈마 처리전 접촉각 63.43°에서 처리후 14.99°의 가장 낮은 접촉각을 보였으며, 처리전 표면에너지 37.63[mN/m]에서 처리후 51.12 [mN/m]의 가장 높은 표면에너지를 나타내었다.

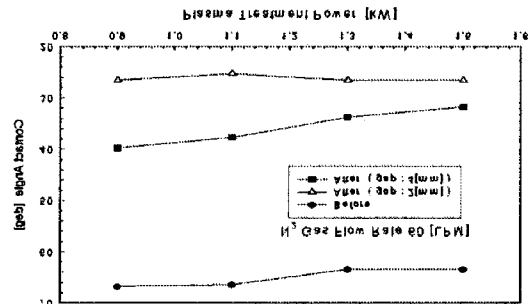
방전 전력의 증가는 표면 반응을 일으킬 수 있는 활성종의 운동에너지의 증가를 가져와 표면과 충돌하는 확률을 높이기 때문에 그에 따른 임계전력에 해당하는 충분한 방전 전력이 필요하다.

방전 전력에 대한 표면의친수성 효과는 인가전압이 증가함에 따라 접촉각이 낮아지는 경향을 나타내지만 ablation이 우세해지는 방전 전력에서는 표면에 생성된 산소 함유 화학종인 C=O나 COO가 소실되어 오히려 친수성이 소수성으로 변환될 수 있다.

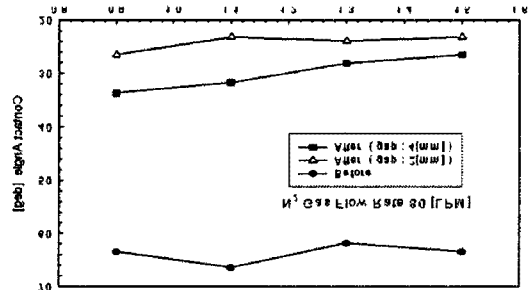
플라즈마 처리 방전 전력이 증가할수록 접촉각은 작은 값을 나타냈으며, 표면에너지는 높게 나타났다. 그리고 시료와 플라즈마 헤드사이의 간격이 2[mm]에서 접착

력 향상에 미치는 표면의 친수성이 증가하였다. 각각의 방전 전력에서 유량이 작고, 시료와 플라즈마 헤드의 간격이 클수록 접촉각 및 표면에너지의 변화가 작게 나타났다.

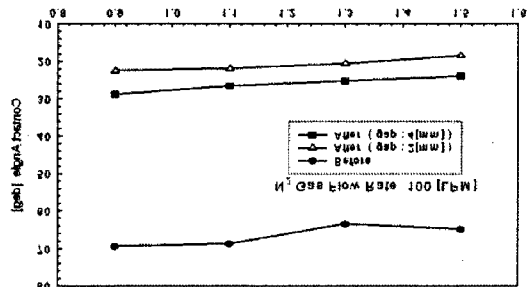
이온화된 플라즈마가 시료 표면 분자와 반응을 일으켜 활성화 되어 화학적인 Radical을 형성하여 공정 중에 결합이 약한 물질 등이 에칭 및 화학반응에 의해 증발되어 고친화성 및 극성 기여도에 의해 표면에너지의 상승에 의해서 접착력이 향상이 될 것으로 사료된다.



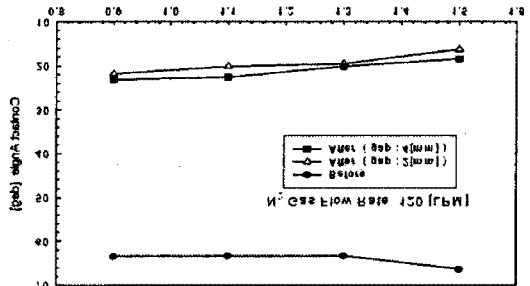
가. N<sub>2</sub> 60[LPM]



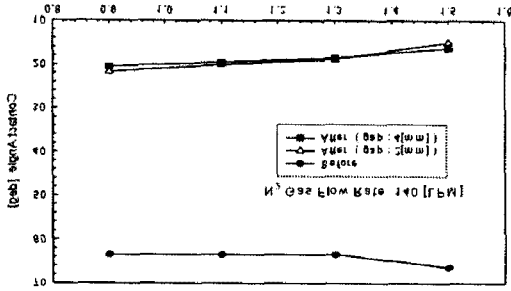
나. N<sub>2</sub> 80[LPM]



다. N<sub>2</sub> 100[LPM]

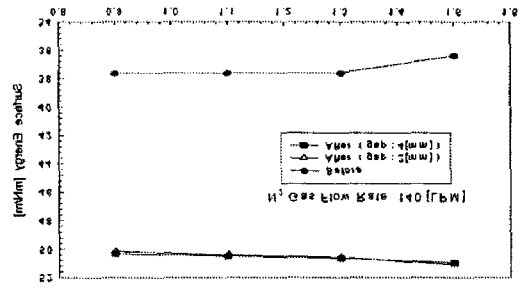


라. N<sub>2</sub> 120[LPM]



마. N<sub>2</sub> 140[LPM]

그림 2. 방전 전력에 따른 접촉각



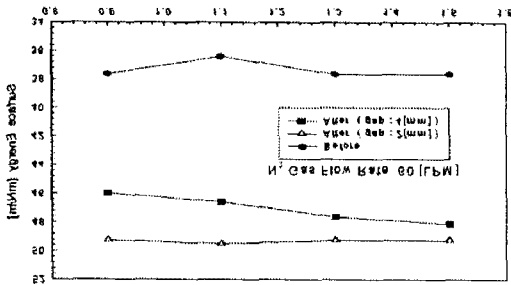
마. N<sub>2</sub> 140[LPM]

그림 3. 방전 전력에 따른 표면에너지

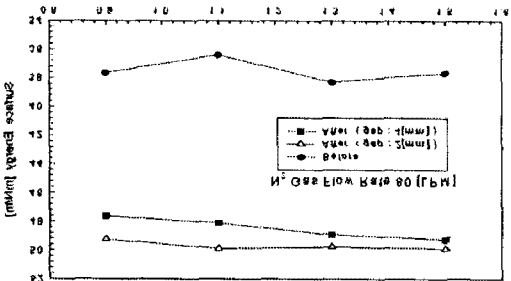
### 3.2 N<sub>2</sub> 가스의 유량에 따른 접촉각 및 표면에너지

그림4와 그림5는 시료와 플라즈마 헤드사이의 간격(2 및 4[mm])과 방전 전력(0.9, 1.1, 1.3 및 1.5[kW])에 N<sub>2</sub> 가스의 유량(60, 80, 100 및 120[LPM]) 변화에 따른 접촉각 및 표면에너지의 변화를 나타내었다.

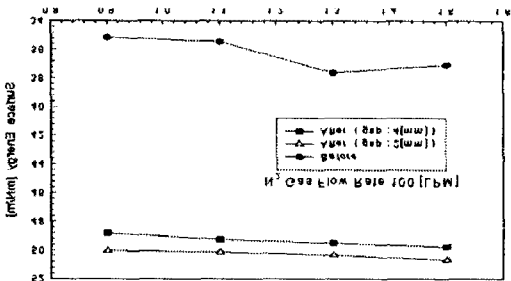
그림2와 그림3의 결과처럼 시료와 플라즈마 헤드사이의 간격이 2[mm], 플라즈마 처리 N<sub>2</sub> 가스의 유량이 증가할수록 접촉각은 작은 값을 나타냈으며, 표면에너지는 높게 나타났다.



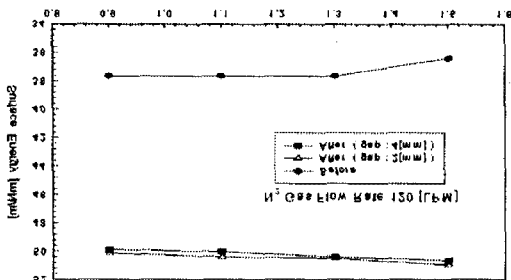
가. N<sub>2</sub> 60[LPM]



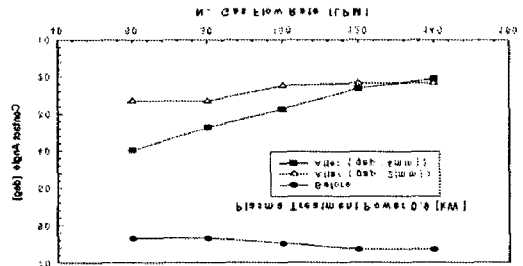
나. N<sub>2</sub> 80[LPM]



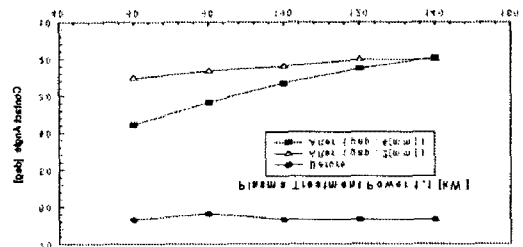
다. N<sub>2</sub> 100[LPM]



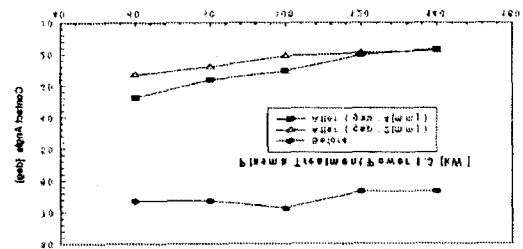
라. N<sub>2</sub> 120[LPM]



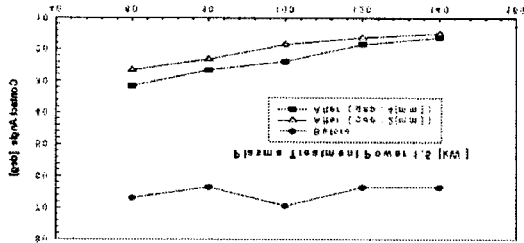
가. Plasma treatment power 0.9[kW]



나. Plasma treatment power 1.1[kW]

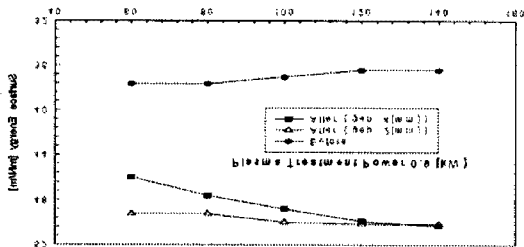


다. Plasma treatment power 1.3[kW]

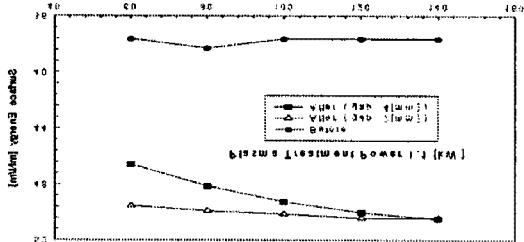


라. Plasma treatment power 1.5[kW]

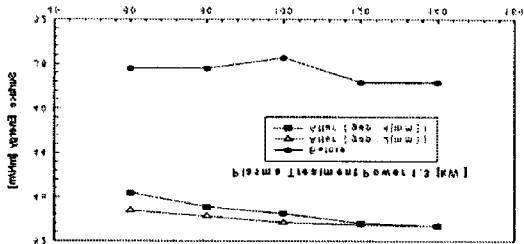
그림 4. N<sub>2</sub> 가스의 유량에 따른 접촉각



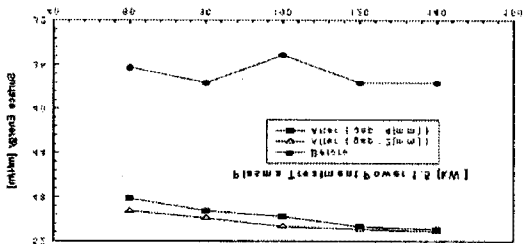
가. Plasma treatment power 0.9[kW]



나. Plasma treatment power 1.1[kW]



다. Plasma treatment power 1.3[kW]



라. Plasma treatment power 1.5[kW]

그림 5. N<sub>2</sub> 가스의 유량에 따른 표면에너지

그림4와 그림5에서 보는 바와 같이 120[LPM]까지는 접촉각 감소하는 폭과 표면에너지의 증가 폭의 변화가

크고 그 이상의 유량에서는 변화 폭이 감소한다.

플라즈마 표면 처리에서 유량의 차이는 표면과 접촉하는 ion flux의 차이를 의미하므로 적은 유량에서 보다는 많은 유량에서 충분한 방전 전력이 인가되었을 때 더 많은 활성입자들의 충돌에 의해 표면 반응을 일으킬 수 있는 확률이 늘어나므로 표면에 라디칼이 증가되어 친수성이 향상된다.

플라즈마에 의해 처리된 TAC 필름은 처리전에 비해 젖음성과 표면에너지가 증가함을 볼 수 있는데 이것은 시료 표면에 과산화물이나 산소 함유 극성 관능기 그룹이 도입되어 표면이 친수화되었기 때문에 나타나는 현상이다. 플라즈마가 표면의 분자들과 작용하면 표면이 활성화되거나 표면 분자의 깎아냄, 표면 분자 화학구조 재배치 등의 현상이 일어난다. 표면 분자 화학구조 재배치의 경우 표면에 극성 그룹이 도입되어 표면에너지를 높이고 표면 분자들을 깎아내는 경우 표면의 거칠기를 증가시켜 표면적을 넓게 하여 서로 상호작용을 할 수 있는 접촉 면적이 넓어지게 된다.

### 3. 결론

본 논문에서는 대기압 플라즈마 처리에 의한 TAC 필름의 접착력 향상을 위하여 처리 속도, 방전 전력, 시료와 플라즈마 헤드 사이의 간격 및 N<sub>2</sub> 가스 유량에 따른 접촉각 및 표면에너지를 측정하여 대기압 플라즈마 처리에 의한 표면 특성 변화를 검토하였다.

플라즈마 처리 유량이 많고, 방전 전력이 증가할수록 접촉각은 작은 값을 나타냈으며, 표면에너지는 높게 나타났다. 그리고 시료와 플라즈마 헤드사이의 간격이 2 [mm]에서 접착력 향상에 미치는 표면의 친수성이 증가하였다. 각각의 방전 전력에서 유량이 작고, 시료와 플라즈마 헤드의 간격이 클수록 접촉각 및 표면에너지의 변화가 작게 나타났다.

### 참고문헌

- [1] C. Liu, N. M. D. Brown, and B. J. Meenan, Surf. Sci., 575,273(2005)
- [2] H. S. Joo, D. H. Lim, Y. J. Park, and H. J. Kim, J. Adh. Inter., 6, 19 (2005)
- [3] M. Noeske, J. DEGENHARDT, S. Strudthoff, and U. Lommntzsch, Int. J. Adhes., 24, 171 (2004)
- [4] Y. M. Chung, M. J. Jung, J. G. Han, M. W. Lee, and Y. M. Kim, Thin Solid Films, 447-448, 354 (2004)
- [5] 양인여, 명성운, 최호석, 김인호, "대기압 플라즈마에 의한 폴리우레탄 필름의 표면 개질", polymer(korea), Vol.29, No.6, pp581-587, 2005