

<연구논문(학술)>

진공 저온 플라즈마와 대기압 코로나 방전가공 PET 직물의 물리화학적 특성

마재혁¹ · 양진영² · 구 강³ · 양현아 · 박영미[†]

¹교토공예섬유대학, ²영남대학교 융합섬유공학과, ³(주)에스윈, 영남대학교 의류패션학과

The Physicochemical Characteristics of PET Fabrics Treated with Low Temperature Glow Plasma and Atmospheric Corona Discharge

Jaehyuk Ma¹, Jinyoung Yang², Kang Koo³, Hyun a Yang and Youngmi Park[†]

¹Department of Advanced Fibro Science, Kyoto Institute of Technology, Kyoto, Japan

²Department of Textile Engineering and Technology, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

³S-WIN Co., Ltd, Pohang, Korea

Department of Clothing and Fashion, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

(Received: July 28, 2014 / Revised: August 4, 2014 / Accepted: September 15, 2014)

Abstract: The high value-added functionality for synthetic fiber can be considered through a plasma enhanced treatment. In this study, PET(Polyethyleneterephthalate) was treated with a glow plasma and corona treatment. Surface characteristics of treated fabric were investigated using electron scanning microscopy(SEM), contact angle, X-ray photoelectron spectroscopy(XPS), tensile and adhesion strength. It was found that the contact angle showed 85.5° for untreated fabric, 0° for plasma and corona treatment at the condition of 200W for 7min. By XPS analysis, atomic ratio of O 1s/C 1s was increased from 0.27 to 0.43 by glow plasma and 0.27 to 0.41 by corona treatment at 200W for 7min, respectively. Glow plasma and corona treatment did not significantly change the tensile strength of PET fabric. Adhesion strength showed a substantial enhancement for the surface treated with the glow plasma, while corona treatment was adversely affected.

Keywords: glow plasma, corona, physicochemical property, contact angle, XPS

1. 서 론

1990년대 후반부터 레저, 스포츠산업의 발전과 더불어 쾌적하고 건강성을 부여한 차별화된 고기능성 의류에 대한 소비자들의 요구가 높아지고 있다.

일반적으로 표면 개질의 근본적인 목적은 섬유에 기능성을 부여하고 부가가치를 창출하기 위함이다. 습식공정의 표면 개질은 pH를 조절하거나 화학산화제를 이용하기 때문에 공정 시에 사용되는 물과 화학약품으로 인한 환경문제가 따르고, 물로 인한 용수량과 건조 시에 불필요한 에너지를 사용하게 되는 단점이 있지만, 건식공정에 의해 이러한 문제를 보완할 수 있다¹⁾. 건식공정의 표면 개질로

방전처리를 이용한 plasma와 corona는 plasma 존을 형성하여 표면처리를 한다는 공통점이 있지만, plasma의 경우 비활성가스를 공급해야 하는 반면 corona는 그렇지 않은 차이점이 있다. 유기재료의 가공을 위한 plasma로는 glow 방전이 주로 이용되며, glow 방전에 의해 얻어지는 plasma는 가스온도와 전자온도가 열적인 평형에 도달해 있지 않기 때문에 비평형 plasma라고도 불려진다. 가스온도가 상온 정도로 낮아지는 것으로부터 저온 plasma라고 불려지며 저압에서 안정하게 처리할 수 있어 섬유 가공에도 용이하다. 이와 같은 저온 plasma 처리를 통하여 표면의 조면화, 심색화, 접착성향상 및 표면 중합 등의 효과를 기대할 수 있고 섬유 극 표면층의 반응으로 강도나 bulk특성을 변화시키지 않고 표면 처리를 할 수 있는 장점이 있다^{2,3)}.

한편, 이러한 저압에서 glow 방전을 이용하는 저

[†]Corresponding author: Youngmi Park (ymp9397@yu.ac.kr)

Tel.: +82-53-810-2791 Fax.: +82-53-810-4687

©2014 KSDF 1229-0033/2014-9/201-208

Table 1. Properties of PET fabric

Fabric (cm)	Fineness		Density		Weight
	Warp	Weft	Warp	Weft	
PET (15×20)	7.5tex/2	20tex	23.5/cm	20.5/cm	130±5g/m ²

온 plasma 처리의 경우 저압제이기 때문에 공업적으로 응용하는데 있어서 생산성이나 비용으로 인한 연속화된 처리가 문제 되고 있다.

최근 연속생산설비 구축 및 유지에 관한 기술의 발전으로 대기압 하에서의 plasma 처리 성능이 향상되면서 섬유가공에 적용이 주목되고 있다^{4,6)}.

따라서 본 연구에서는 현재, 보편적으로 가장 많이 사용되고 있는 의류용 섬유인 PET 원단에 진공 plasma와 corona를 처리하여 출력과 처리시간에 따른 화학적·물리적 변화를 검토하였다.

화학적 특성변화를 위해 접촉각과 X-ray Photoelectron Spectroscopy(XPS) 분석을 하였고, 물리적 특성변화와 비교를 위해 인장강도 및 박리강도를 측정하여 그 결과를 분석하였다.

2. 실험

2.1 재료

저온 plasma와 대기압 plasma를 위해 Table 1에 나타낸 PET 염색견뢰도 시험용 백포(KS K 0905)를 사용하였다.

Plasma에 의한 표면처리 효과를 확인하기 위해 전처리는 하지 않았으며, 시료표면의 불순물을 제거하기 위하여 에탄올(Duksan Pure Chemical Co. Ltd.)을 사용하여 수회 세척 후 실온에서 24시간 건조하

여 사용하였다.

2.2 진공 Plasma 및 대기압 Corona

진공 plasma 장치는 Figure 1(a)에서와 같이 13.56MHz의 RF-generator(Mac Power: 650W)가 장착된 glow discharge system으로, 진공도는 1Torr로 처리하였으며, 시료를 plasma 내의 전극 위에 놓고 상부전극과 하부전극간 거리는 5cm로 하여 처리하였다.

질소가스를 사용하여 100W 및 200W의 출력과 1분, 3분, 5분, 7분으로 처리시간을 달리하였다.

또한 Figure 1(b)는 대기압 하에서 최대 6KW까지 전압을 가할 수 있는 연속식 corona 방전 가공 처리기기를 나타낸 것이다.

최대 처리속도 20m/min 및 저온 plasma와 동일한 조건인 15cm×20cm의 시료를 각각 100W와 200W의 출력과 1분, 3분, 5분 및 7분간 처리하여 사용하였다.

2.3 SEM

저온 plasma와 corona나 처리된 PET시료 표면의 변화를 관찰하기 위하여 FE-SEM(S-4100 Hitachi Co. Ltd., Japan)을 사용하였다.

2.4 접촉각

미처리 PET와 plasma, corona 처리한 PET의 표면 변화를 알아보기 위하여 나사형 주사기와 광조사기

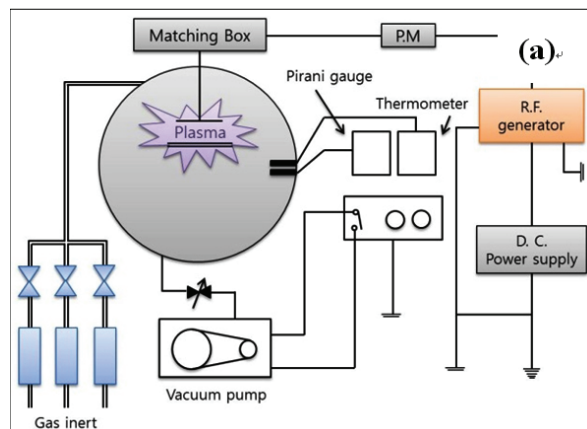


Figure 1. Schematic diagram of a low temperature plasma apparatus (a) and atmospheric corona machine (b).

가 부착된 Goniometer(OCA 20, Data Physics Instruments Ltd., Germany)를 이용하여 정착유적법(sessile drop method)에 의해 표면의 접촉각을 측정하였다.

실내 온도 22~19℃, RH 40%의 조건에서 마이크로 피펫을 이용하여 증류수 2 μ l를 채취한 후 시료 표면에 떨어뜨려 오차범위 ± 2 내에서 10회 측정하여 그 평균값을 구하였다.

2.5 XPS 분석

저온 plasma와 corona 처리된 시료표면의 화학조성과 결합구조 분석을 위해 X-ray photoelectron spectroscopy(XPS, THERMO VG SCIENTIFIC, MultiLab 2000, UK)을 사용하여 시료 표면의 탄소(C 1s), 산소(O 1s) 스펙트럼을 얻었다. 분석을 위한 X-ray source는 Twin anode의 line width가 좁은 Mg anode를 사용하였으며, binding energy 측정은 280eV에서 292eV 범위로 하였다.

2.6 인장강도

JIS L 1096의 규격에 따라 미처리 직물과 plasma, corona 처리에 의한 직물의 강도변화를 알아보기 위하여 Instron 3345(Instron Co., USA)을 사용하여

인장강도를 측정하였다. 5cm \times 26cm의 시험편을 직물의 길이방향으로 채취하고 5회 평균값을 얻었다.

2.7 박리강도

박리강도는 KS K 0533(T-peel test) 접착포의 박리강도 시험 방법에 따라 실온에서 측정하였다. 시료 넓이 5.1cm \times 길이 15.2cm의 시험편을 두 유리판 사이에 놓고, 시료를 시아노 아크릴레이트 접착제로 부착시켜 4.5kg의 무게를 가하여 24시간 방치한 후, Instron 3345(Instron Co., USA)을 사용하여 측정하였다. 결과값은 최대값의 큰 것로부터 5개의 평균값으로 하였으며, 3번의 시험을 통해 얻은 결과값을 평균값으로 표시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 표면관찰

Figure 2는 미처리 PET 직물과 plasma 처리 후 직물의 출력 및 처리시간에 따른 표면변화를 관찰한 결과이다. Figure에서와 같이 plasma 처리에 의한 표면 etching을 확인할 수 있다. 이러한 표면변화는 plasma가 시료의 표면을 식각시켜 표면의 물

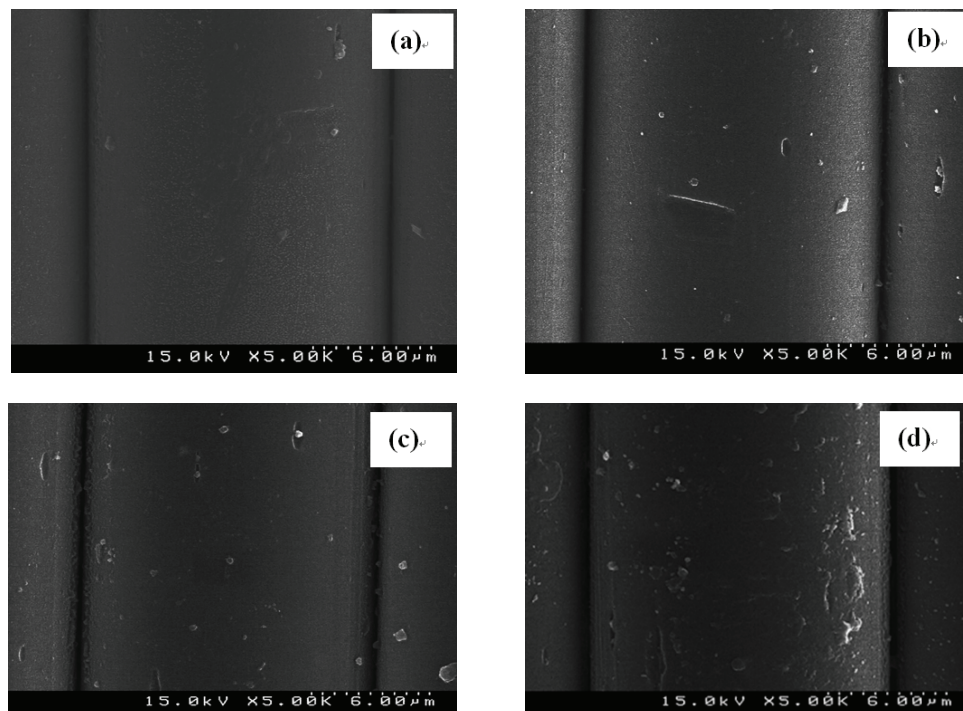


Figure 2. SEM photographs of PET fabrics by glow plasma treatment; (a) 100 W for 3min, (b) 100 W for 7min, (c) 200 W for 3min, (d) 200 W for 7min.

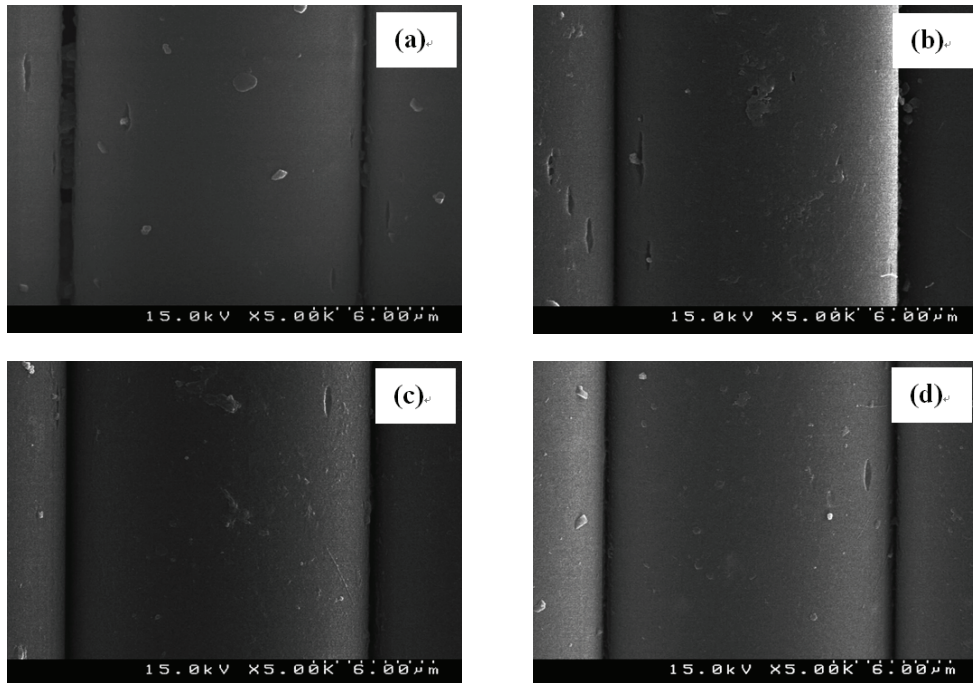


Figure 3. SEM photographs of PET fabrics by atmospheric corona treatment; (a) 100 W for 3min, (b) 100 W for 7min, (c) 200 W for 3min, (d) 200 W for 7min.

리적 변화를 일으키고 그 결과 표면적이 증가되는 것으로 예상된다⁷⁾.

Figure 3은 corona 처리 후 출력 및 처리 시간에 따른 표면 사진으로 이 결과로부터 etching 효과는 없는 것을 알 수 있다. 즉, 진공 plasma 처리에 의해서는 etching에 의한 표면의 조면화로 젖음성 향상⁸⁾ 효과가 있다고 볼 수 있으나, corona 처리에 의한 표면 조면화는 확인할 수 없으므로 젖음성이 진공 plasma에 비해 낮을 것으로 추측된다.

3.2 접촉각 측정

진공 plasma와 corona 처리를 통한 표면개질 및 친수화 효과를 알아보기 위하여 섬유의 표면상태 변화를 간접적으로 확인할 수 있는 접촉각을 측정하였다. 일반적으로 고분자 또는 섬유의 표면의 젖음성이 증가할수록 접촉각은 낮아지고 이는 곧 표면에너지의 증가를 의미하는 것으로 알려져 있다⁹⁾.

Figure 4는 저온 plasma와 corona처리 한 시료의 접촉각 변화를 나타낸 것으로 미처리 시 PET시료의 접촉각은 88.5°를 나타내고 있는데, 저온 plasma 처리한 결과, 100W 출력으로 1분 처리시 47.8°로 작아졌고, 3분처리 시부터 측정이 불가능할 만큼 빠른 속도로 흡수되는 것을 확인할 수 있었다.

200W로 처리할 경우에는 1분 처리부터 접촉각을 측정할 수 없을 정도로 빠른 흡수가 일어났다. 진공 plasma와 달리 corona처리는 100W 1분 처리 후 86.6°로 미처리 시료와 비슷한 결과를 보였다. 하지만 처리시간이 길어질수록 접촉각이 서서히 감소하여 7분 처리 시 63.2°를 나타냈다. 전압을 올려 200W를 가했을 때에도 동일한 경향을 나타냈다. 하지만 100W의 출력보다 접촉각이 더욱 작아졌고, 7분 처리한 시료는 42.2°를 나타냈다. 이러한 접촉각 감소의 현상은 방전처리에 의한 plasma 존의 형성으로 시료표면의 라디칼이 공기 중의 산소, 질소 등과 반응하여 카보닐기, 에테르기, 수산기, 아민기와 같은 친수기를 형성하면서 표면이 친수화되는 것으로 알려져 있다⁵⁾. 이와 같이 진공 plasma와 corona의 출력과 처리시간이 증가할수록 직물표면에 접촉각이 감소한 것으로 보아 출력과 처리시간이 증가할수록 직물표면에 친수성기가 형성되어 젖음성이 증가하고 표면에서 친수화가 진행된 것으로 추측된다⁶⁾. 또한 진공 plasma와 corona를 동일한 출력에서 시간을 변화시켰을 때, 진공 plasma 처리한 시료의 접촉각 감소율이 corona 처리 시료에 비해 더 큰 이유는 진공상태에서 plasma를 형성하여 높은 에너지를 가진 이온과 중성입자들이 대기압에서 plasma

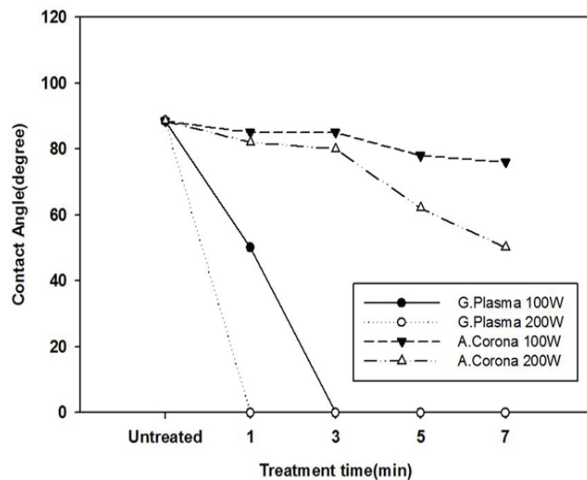


Figure 4. Change of contact angle of PET fabrics by glow plasma and atmospheric corona treatment.

를 형성한 corona에 비해 보다 많은 물리적 충격을 하게 되어 친수성을 많이 형성하므로 조면화가 나타난다고 사료된다^{10,11)}. 저온 plasma와 corona 처리 후 시료표면의 화학적 변화를 확인하기 위해 XPS(X-ray photoelectron spectra)를 사용하여 분석하였다.

Table 2는 200W에서 시간을 변화시켜 처리한 시료 표면의 원소조성비를 나타낸 것이다. 저온 plasma 처리 시료는 C 1s의 조성비가 78.57%에서 7분 후 69.8%로 감소하였고, O 1s의 조성비는 27.98%에서 30.2%로 증가하였다. Corona처리 시료의 경우에도 C 1s의 조성비가 77.4%에서 70.76%로 감소하였고, O 1s의 경우 22.6%에서 29.24%로 증가하였다. C 1s/O 1s 비는 저온 plasma의 경우 0.38에서 0.43으로 증가하였고, corona 처리 시료도 0.29에서 0.41로 증가한 것을 알 수 있다. 저온 plasma와 corona처리를 통해 각각 처리시간이 길어질수록 C 1s의 양은 감

소하고 O 1s의 양은 상대적으로 증가한 것을 확인할 수 있는데, 이는 방전처리에 의해 PET 표면의 화학적 조성이 친수성으로 변한다는 선행 연구와도 일치하는 것을 알 수 있다. 저온 plasma와 corona의 차이는 작지만 두 가지 방법 모두 시료 극 표면층의 산소를 포함하는 다양한 친수기가 증가되었음을 확인할 수 있다.

Figure 5는 280eV에서 292eV범위까지 측정된 narrow scan mode의 C 1s 스펙트럼을 나타낸 것이다. Figure 5(a), (b)에서 저온 plasma 처리 후의 그래프에서 C-H 결합 피크가 감소한 경향을 알 수 있고, Figure 5(c), (d)의 corona 처리 후의 그래프를 통해 C-O 피크가 감소하고 O-C=O의 피크가 다소 증가한 것을 확인할 수 있다. 저온 plasma 처리에 의해 C-H 결합은 끊어지고 극성을 가진 관능기를 시료 표면에 도입시킴으로써 친수화로 개질되는 것을 알 수 있고, corona 처리의 경우 저온 plasma에 비하여 다소 낮은 피크의 변화를 확인할 수 있었다.

3.3 인장강도

일반적으로 건식방법으로 섬유표면 개질을 하였을 경우, 섬유표면에는 etching이 발생하게 되고 이로 인해 섬유의 표면형태가 달라지는데, 섬유표면의 변화로 인한 PET 직물의 물성 변화¹²⁾를 확인하기 위하여 진공 plasma와 corona를 처리하여 출력과 처리시간을 변화시켜 인장강도를 측정할 결과를 Figure 6에 나타내었다. Figure 6에서와 같이 미처리 PET 직물의 인장강도는 145.24MPa이나, 전압을 100W와 200W에서 진공 plasma 처리에 의해 시간의 변화에 따른 인장강도의 변화는 거의 없는 것을 알 수 있다. 또한 corona 처리에서도 진공 plasma와 유사한 경향을 나타나고 있어서 plasma와 corona

Table 2. Atomic contents of each element of PET fabrics by glow plasma and atmospheric corona treatment

Treatment Time	Glow Plasma			Atmospheric Corona		
	C 1s(%)	O 1s(%)	O 1s/C 1s	C 1s(%)	O 1s(%)	O 1s/C 1s
0	78.57	21.43	0.27	78.57	21.43	0.27
1 min	72.02	27.98	0.38	77.40	22.60	0.29
3 min	71.82	28.17	0.32	74.45	25.55	0.34
5 min	69.80	30.20	0.43	73.02	26.98	0.37
7 min	69.80	30.20	0.43	70.76	29.24	0.41

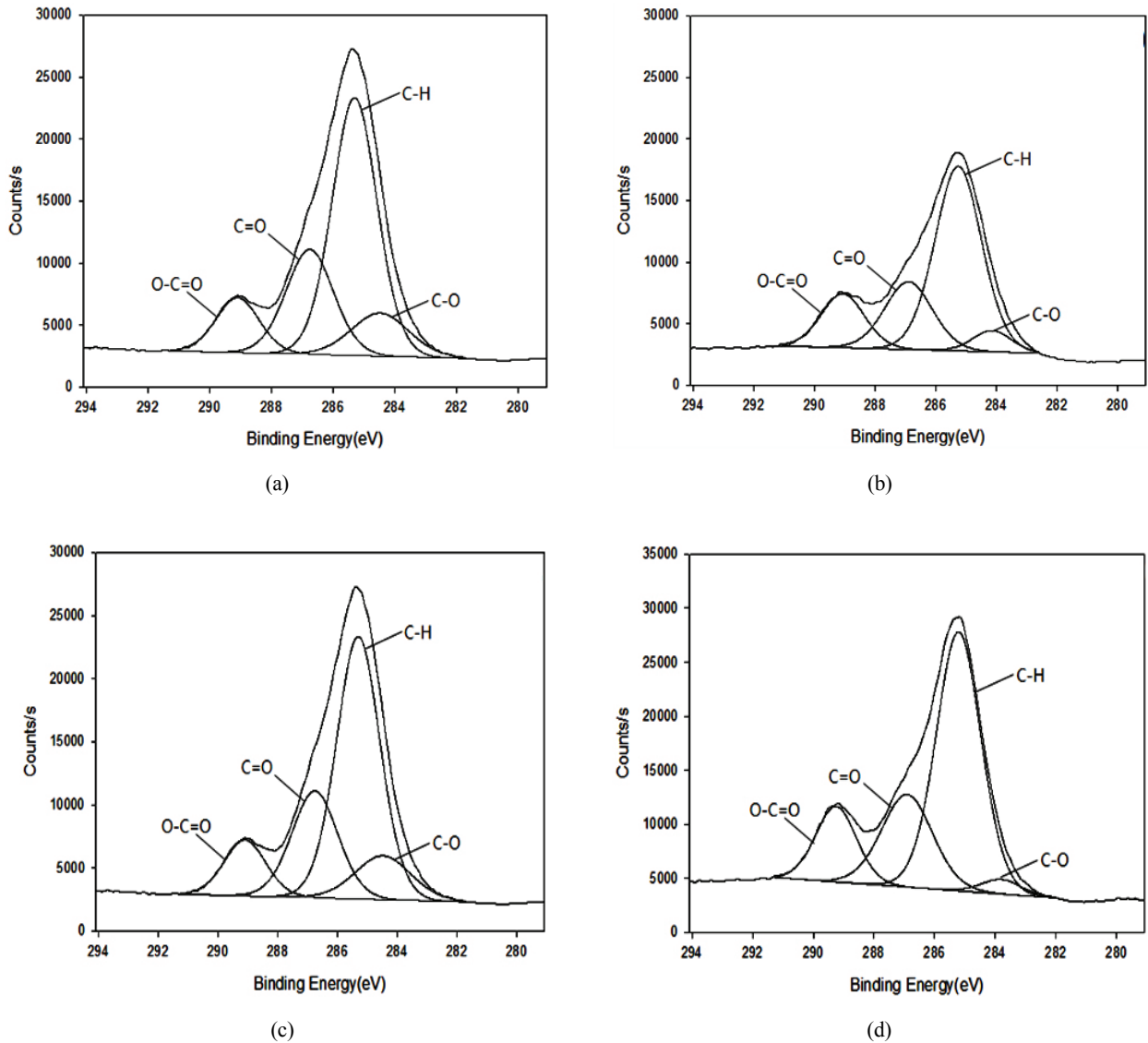


Figure 5. C 1s XPS spectra of PET fabrics by glow plasma treatment; (a) untreated, (b) 200 W for 7min, and atmospheric corona treatment, (c) untreated, (d) 200 W for 7min.

처리에 의한 직물의 기계적 성질 저하는 우려 하지 않아도 될 것으로 판단된다. 이는 표면처리에 의해 etching이 일어나고 그 etching에 의한 표면의 분해 반응이 극 표면에서 일어나기 때문에¹³⁾, 진공 plasma와 corona 처리로 인한 기계적 물성 저하는 우려하지 않아도 될 것으로 사료되며, 따라서 PET 직물의 고유 물성에는 큰 변화는 없다고 판단된다.

3.4 박리강도

일반적으로 건식가공을 통해 표면 개질을 할 경우 표면적의 증가로 인한 접착성 향상을 기대할 수 있다. Peel test는 유연한 물질이 단단한 물질에 접

착되어 있을 경우 접착력을 측정하는데 적당한 방법으로 Figure 7은 진공 plasma와 corona에 의한 출력과 처리시간에 따른 PET 직물의 박리강도 변화는 나타낸 것이다. 미처리 시료의 박리강도는 22.75MPa인 반면, 진공 plasma의 출력과 처리시간이 증가할수록 100W에서는 23.84MPa에서 25.03MPa로 약간 증가하였고, 200W에서는 24.88MPa에서 31.27MPa로 증가하였다. 반면 corona 처리에 의해서는 출력 100W에서는 처리시간이 증가하여도 박리강도는 큰 변화가 없지만, 7분 처리 시에 미세하게 증가하는 것을 볼 수 있으며, 200W에서는 23.52MPa에서 25.84MPa로 처리시간이 증가할수록 박리강도

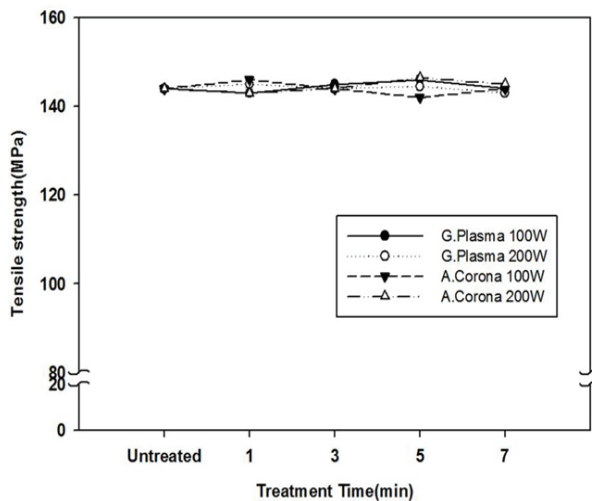


Figure 6. Changes of tensile strength of PET fabrics by glow plasma and atmospheric corona treatment.

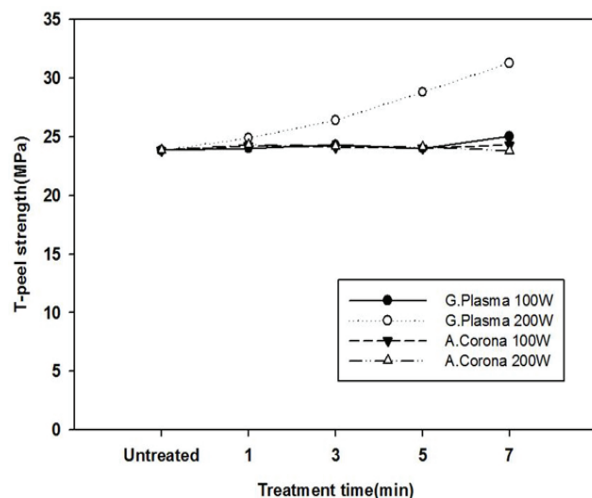


Figure 7. T-peel strength of PET fabrics by glow plasma and atmospheric corona treatment.

가 약간 증가하는 것을 확인할 수 있다.

접착강도는 측정속도, 온도, 응력의 유형의 영향을 받으며, 또한 시료의 모양의 영향을 받기 때문에 접착표면의 성질을 측정하는데 유용하다고 볼 수는 없으나¹⁴⁾, 분석 결과 PET 표면에 진공 plasma와 corona 처리를 통해 출력전압과 처리 시간이 증가할수록 표면의 etching으로 인한 조면화가 일어나 표면적이 넓어져서 박리강도가 증가한 것으로 생각된다. 또한 XPS의 결과를 유추해 볼 때, PET 시료 표면에 산소와 같은 친수성기가 증가함에 따라 접착제와 섬유와의 결합에 기여하여 접착력이 증가되었다고 사료된다¹⁵⁾. 하지만 출력전압이 낮고 처리시간이

짧은 경우는 박리강도의 큰 차이를 보이지 않아 접착력에 큰 기여를 하지 못하는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 진공 저온 plasma와 대기압 plasma인 corona 처리를 이용하여 동일 조건하에서 실험하였을 때, 그 효과를 비교함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 표면관찰에서 plasma 출력과 처리시간이 증가할수록, 저온 plasma 처리시 corona 처리에 비해 표면에서의 물리·화학적인 변화로 인해 시료표면의 조면화가 더 많이 일어난 것을 확인할 수 있었다.
2. 진공 저온 plasma와 대기압 plasma 처리 후 PET 시료의 접촉각을 측정한 결과, 처리시간이 증가할수록 점차 접촉각이 감소하는 경향을 나타냈다. 저온 plasma와 corona를 동일한 조건하에서 처리한 결과, corona처리에 비해 저온 plasma 처리의 경우 접촉각 감소율이 더욱 높게 나타났다. 이는 대기압에서 plasma를 형성한 corona에 비해 진공상태에서 plasma를 형성한 저온 plasma 처리시에 표면에서 중성입자간의 물리적 충돌이 더 많이 일어난 것에 기인함을 알 수 있었다.
3. 표면의 화학조성을 분석한 결과, 처리시간이 가장 길었던 7분의 경우 O 1s의 조성이 48.4% 증가한 것으로 보아 표면 조면화로 인해 산소를 포함한 다양한 친수성기가 도입된 것 확인할 수 있었다. 또한 O 1s/C 1s의 결과 저온 플라즈마와 대기압 플라즈마 처리에 의해 각각 미처리 시료의 경우 0.27에서 7분 후 0.43과 0.41로 증가한 것을 확인할 수 있었다.
4. 인장강도의 변화에서는 아주 약간 감소하는 것을 알 수 있었다. plasma 처리에 의한 직물의 변화는 극 표면에서만 일어나는 반응이기 때문에 PET 직물의 고유한 인장성질에는 크게 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다.
5. 박리강도의 측정 결과는 plasma 처리에 의해 점차 증가하는 경향을 보였다. 표면 etching으로 인해 표면적이 증가하면서 표면의 접착성이 향상되었음을 알 수 있었다. 이는 plasma 처리로 인해 표면에 발수성을 저하시키는 극성 관능기를 도입하고 고분자의 자유표면에너지를 높여

접착특성을 향상시키기에 용이할 것으로 기대된다.

이상의 결과로 진공 저온 plasma나 대기압 plasma에 의한 두 방전가공을 비교하여 분석해 본 결과, 대기압 하에서 이루어지는 corona 처리보다는 진공 상태에서 이루어지는 진공 저온 plasma 처리가 동일한 조건하에서 다소 우수한 섬유표면 개질효과를 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

하지만 연속생산설비 구축 및 유지에 관한 기술의 발전으로 대기압에서 처리하는 corona의 경우도 진공 저온 plasma 보다는 덜 효과적이지만, 동등한 개질 효과를 얻을 수 있는 것을 알 수 있었다. 생산설비의 유지에 대한 어려움으로 섬유산업에 직접적인 적용이 쉽지 않았던 진공 저온 plasma 대신 동일한 효과를 얻을 수 있는 대기압 plasma 처리로 에너지 절감 및 친환경적인 섬유가공이 기대된다.

References

1. Y. W. Park and H. Cho, The Situation of Continuous Low-temperature Plasma Treatment Technology, *Textile Coloration and Finishing(J. of Korea Soc. Dyers and Finishers)*, **10**(2), 55(1998).
2. H. Cho and K. Koo, Effects of Color Depth on Wool and Silk Fabrics Treated Sputter Etching, *Textile Coloration and Finishing(J. of Korea Soc. Dyers and Finishers)*, **6**(3), 44(1994).
3. J. Friedrich, I. Loeschche, H. Frommelt, H. Reiner, H. Zimmermann, and P. Lutgen, Ageing and Degradation of Poly(ethylene terephthalate) in an Oxygen Plasma, *Polymer Degrad. Stability*, **31**(1), 97(1991).
4. S. Yumitori, Correlation of C 1s Chemical State Intensified with the O 2s Intensity in the XPS Analysis of Anodically Oxidized Glass-like Carbon Samples, *J. of materials science*, **35**(1), 139(2000).
5. P. H. Bae and J. Jo, Preliminary Study on Desizing and Dyeing Using Low Temperature Plasma, *J. KSEE*, **27**(9), 946(2005).
6. K. Koo, T. Wakida, C. I. Sul, and C. Hwan, Surface Characteristics of Sputter Etched Poly(ethylene terephthalate) and Nylon 6 Films, *Textile Coloration and Finishing(J. of Korea Soc. Dyers and Finishers)*, **3**(2), 25(1991).
7. Y. A. Kwon, Wettability and Water Repellency of Polyester Fabrics treated by Low Temperature Plasma, *J. Korean Society Clothing and Textiles*, **19**(2), 320(1995).
8. B. Park and K. Koo, Properties of Silicone-coated Fabric for Membrane treated by Oxygen Low Temperature Plasma, *Textile Coloration and Finishing(J. of Korea Soc. Dyers and Finishers)*, **23**(3), 195(2011).
9. K. M. Cho and J. H. Lee, Improvement of Printing Properties of PET Micro Filament Fabrics Using Low Temperature Plasma Technology, *Textile Coloration and Finishing(J. of Korea Soc. Dyers and Finishers)*, **7**(1), 1(1995).
10. L. H. Zhao, J. Lee, and P. N. Sen, Long-term Retention of Hydrophilic behavior of Plasma treated Polydimethylsiloxane(PDMS) Surfaces Stored under Water and Luria-Bertani Broth, *Sensors and Actuators A: Physical*, **181**, 33(2012).
11. T. J. Horr, J. Ralston, and R. S. C. Smart, The Use of Contact Angle Measurements to Quantify the Adsorption Density and Thickness of Organic Molecules on Hydrophilic Surfaces, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **97**(3), 183(1995).
12. Y. Y. Ji and S. S. Kim, Plasma Surface Treatment of Nylon 6 Fiber for the Improvement of Water Repellency by Low Pressure RF Plasma Discharge Processing, *Polymer(Korea)*, **31**(1), 31(2007).
13. J. D. Choe, Study of Pre-treatment Technology on DTP by In-line Atmospheric Plasma, M.S. Thesis, Yeungnam University, 2008.
14. S. Wu, "Polymer Interface and Adhesion", Marcel Dekker INC., New York, pp.1-160, 1982.
15. C. Tendero, C. Tixier, P. Tristant, J. Desmaison, and P. Leprince, Atmospheric Pressure Plasmas: A Review, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, **61**(1), 2(2006).