Polymer(Korea), Vol. 42, No. 4, pp. 643-648 (2018)
https://doi.org/10.7317/pk.2018.42.4.643

ISSN 0379-153X(Print)
ISSN 2234-8077(Online)

폴리우레탄 나노섬유 웹의 특성에 미치는 폴리도파민 코팅의 영향

김미해 · 천자영* · 강동훈* · 박원호*,†

충남대학교 산업대학원 바이오응용화학공학과, *충남대학교 유기재료공학과

(2018년 1월 3일 접수, 2018년 1월 25일 수정, 2018년 1월 29일 채택)

Effect of Polydopamine Coating on Various Properties of Polyurethane Nanofibrous Web

Mi Hae Kim, Ja Young Cheon*, Dong Hoon Kang*, and Won Ho Park*,†

Department of Applied Chemistry and Biological Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

**Department of Organic Materials Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea*

(Received January 3, 2018; Revised January 25, 2018; Accepted January 29, 2018)

초록: 전기방사에 의해 제조된 폴리우레탄(PU) 나노섬유 웹의 기능성을 향상시키기 위하여 폴리도파민 수용액으로 코팅하였다. 전자주사현미경을 통하여 PU 웹에 폴리도파민이 균일하게 코팅되었음을 확인하였으며, 추가적으로 표면 분석을 수행하였다. 코팅 전후의 수분 및 공기 투과능, 인장강도 등의 물리적 특성변화는 나타나지 않았고 항균성과 자외선 차단능을 향상시키는 결과를 보였다. 따라서 폴리도파민으로 코팅된 PU 나노섬유 웹이 고기능성 고어텍스 필름의 대체품으로 적용가능성이 있을 것으로 기대된다.

Abstract: The polyurethane (PU) nanofibrous web prepared by electrospinning was coated with aqueous polydopamine solution to improve its functional properties. Through the scanning electron microscope, it was confirmed that polydopamine was uniformly coated on the PU web, and further surface analysis was performed. The physical properties such as moisture permeability, tensile strength, and the like before and after the coating were not changed, but the antimicrobial activity and the UV blocking performance were improved. Therefore, the PU nanofibrous web coated with polydopamine is expected to be used as a substitute for high functional Gore-Tex membrane.

Keywords: polyurethane, nanofibers, polydopamine, coating, UV blocking.

서 론

해양 무척추동물 중 바다에서 쉽게 볼 수 있는 홍합은 흡착기관을 이용해 수중 기저에 단단하게 붙어서 자라는 생물이다. 홍합이 수중에서 단단하게 붙어서 자랄 수 있는 이유는 접착성을 가지는 단백질로 만들어진 섬유실(byssal therad)로 구성된 족사(thread)를 사용하기 때문인데, 일반 접착제가 물에 접촉했을 때 접착성을 잃어버리는 것과 달리 수중 환경에서 강한 접착력을 갖는다. 이러한 홍합접착의 메커니즘을 밝히기 위해 족사를 구성하는 단백질의 종류 및 아미노산 서열에 대한 연구가 오랫동안 수행되었고, 12종 이상의 단백질로 구성되어 있음을 밝혔다.[1] 특히 여러 표면에의 실질적인 접착을 담당하는 부분인 패드에는 3,4-dihydroxyphenyl-L-alanine(DOPA) 라는 변형된 아미노산이 매우 풍부한 Mfp-3 (mytilus foot protein-3)과 Mfp-5라는 단백질이 족사의 구성 물질로 존재하고 있으며, DOPA가 홍합접착에 중요한 역할을 한다고 밝혀졌으며, 더불어 아민기를 포함하는 아미노산의 한 종류인 라이신 또한 Mfp-5에 높은 비율로 존재하며 이 역시 홍합의 수중 접착에서 중요한 역할을 한다고 여겨진다.[1]

하지만, 현재 상용화된 홍합 접착단백질은 홍합에서 자연추출하여 1 g의 접착단백질을 얻기 위해서는 1만 마리의 홍합이 필요하며, 현재 1 g에 7만5천 달러의 너무 높은 가격으로 판매되고 있기 때문에 상용화되는데 큰 어려움이 있다.[2,3] 앞서 언급한대로 홍합 접착능에 DOPA와 라이신기가 중요한 역할을 한다는 것을 토대로 DOPA의 중요 작용기인 카테콜기와 라이신의 아민기를 동시에 갖는 카테콜아민류를 이용하여 홍합모사 접착제에 대한 연구를 진행해 왔다. 특히 도파민에 대한 연구가 많이 진행되었으며, 이 도파민은 바다 속 환경과 동일한 pH 8.5의 수용액 상에서 산화반응을 통하여 폴리도파민으로 중합된다.[4] 염기성 pH 수용액 조건에서 폴리

†To whom correspondence should be addressed.
parkwh@cnu.ac.kr, ORCID 0000-0003-1768-830X
©2018 The Polymer Society of Korea. All rights reserved.

도파민은 표면의 성질과 무관하게 거의 모든 표면에 우수한 접착력을 나타내기 때문에 홍합의 이러한 특이적인 접착력을 모방한 표면개질 기술은 다양한 분야에서 응용이 모색되고 있으며,[5] 이러한 강한 접착은 도파민에 존재하는 카테콜이 표면의 종류에 따라 공유결합, 배위결합 등의 다양한 상호작용에 또는 다양한 상호작용들의 조합에 의해 발현된다.[6]

나노섬유 웹은 3차원 네트워크처럼 나노섬유들이 집적되어 구성되어 있으며, 서로 연결되어 있는 수많은 작은 기공이 부피 대비 높은 표면적을 가지고 그물망 구조의 형태를 하고 있다. 이런 형태는 고어텍스가 갖는 기능과 마찬가지로, 매우 얇고 가벼우며 높은 투과성과 통기성뿐만 아니라 액체 및 바람 등을 막아 주는 특성을 가지게 된다. 나노섬유 웹은 미세공극의 치밀한 형성이 가능하여 고효율, 고성능의 소재로의 적용이 가능하고 다양한 분야의 응용도 가능하다.[7]

본 연구에서는 전기방사를 통해서 생산한 폴리우레탄 나노섬유 웹을 홍합의 접착력에 관여하는 화학적 작용기를 모방한 폴리도파민 코팅처리를 하여 친수성을 높여주고, 항균성 부여 및 자외선 차단 기능의 향상을 통해 기존의 고기능성 고어텍스 필름의 대체 가능성에 대해 연구하였다.

실 험

재료. PU 나노섬유 웹은 ㈜에프티이앤이에서 제공받아 사용하였으며, 표면개질을 위한 코팅제로는 폴리도파민을 제조하여 사용하였다. Dopamine hydrochloride(SIGMA사)의 자가중합을 위한 완충용액의 제조에 화학물질로는 tris(hydroxymethyl)amino-methane(이하 Tris) (SIGMA-ALDRICH사), 0.1 N HCl 표준용액(대정화학), 메탄올(대정화학)을 사용하였다.

폴리도파민의 코팅. 바다 환경과 같은 pH 8.5의 염기성 수용액 환경을 조성하기 위해 Tris를 이용하여 완충용액을 제조하였다. Tris-완충용액의 제조방법으로 총 용액의 양을 20 L 내외로 만들기 위해 MeOH:H_2O=3:7 비율로 섞은 14 L 용액에 Tris-완충용액 169.9 g을 투입한 다음 HCL 4116 mL를 투입(기준용액 100 mL당 29.4 mL 기준)하여 pH를 8.5로 조절하여 제조하였다. Figure 1은 폴리도파민 표면개질의 방법에 대한 실험 개요도이다.

주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM) 관찰. SEM(ZEISS, GEMINI)을 이용하여 폴리도파민 코팅처리 전후의 PU 나노섬유 웹의 형태 및 구조 등을 확인하였다. 또한 나노섬유 웹의 평균직경 및 분포를 전자현미경을 이용하여 측정할 때 단면이 원형인 것으로 간주하여 나노섬유의 직경을 결정하였으며, 준비된 시험편을 전자현미경에 장착한 후 나노섬유의 측면을 관찰할 수 있는 적당한 배율로 조절 후 전자현미경의 스테이지를 옮기면서 각 시험편에 대하여 5곳에서 표면사진을 얻었으며 5개의 시험편에 동일하게 반복 실시하였다.

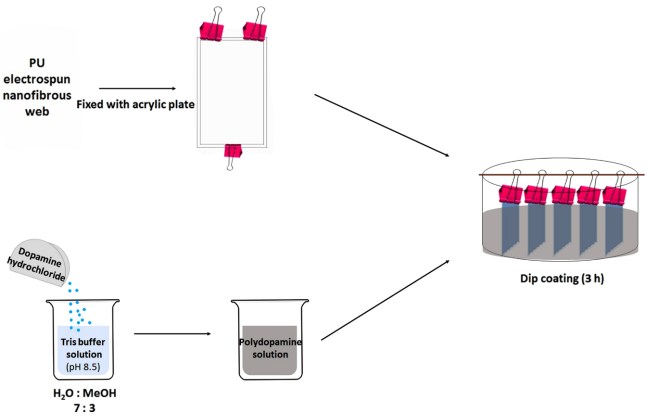

Figure 1. Experimental procedure for polydopamine coating process.

적외선 분광분석(Infrared Spectroscopy, IR). 적외선 분광장치(BRUKER, PLATIMUM-ATR)로 폴리도파민 코팅처리 전후의 PU 나노섬유 웹의 구조를 분석하였다. 코팅 전후의 PU 나노섬유 웹을 IR로 분석하여 분자의 결합상태에 따라 달라지는 진동모드의 흡수차이를 측정하여 표면에 어떤 결합이 생성되었는지 확인하였다.[8]

광전자 분광분석(X-ray Photoelectron Spectrometer, XPS). 광전자 분광장치(Thermo Scientific, MultiLab 2000)는 IR에서 폴리도파민으로 코팅이 확실하게 처리되었는지 확인이 곤란하여, XPS 분석을 통하여 표면분석을 더 세밀하게 진행하였다. 이를 통해 폴리도파민의 코팅 전후의 PU 나노섬유 웹의 표면조성의 변화를 관찰하고자 하였다.[9]

접촉각 측정. 접촉각 측정은 contact angle meter(KRUSS, DSA 100)로 측정하였다. PU 나노섬유와 폴리도파민으로 3시간 코팅 처리한 PU 나노섬유에 물방울(5 μL)을 떨어뜨린 후 좌우 각도를 계산하였다. 접촉각은 폴리도파민 용액이 코팅될 때 PU 나노섬유의 표면에 잘 고정되었는지를 간접적으로 확인하기 위해 실시하였다.

인장강도 및 신도 측정. 만능물성시험기(SHIMADZU, EZ-SX))로 폴리도파민의 코팅 전후의 PU 나노섬유 웹의 물성변화를 측정하였다. 시험편을 클램프에 파지할 때 슬립현상을 방지하기 위해 KS M 7212에 규정된 일반 복사용지를 사용하였다. 시료크기는 폭 100 mm, 길이 100 mm의 것을 사용하였고, 인장속도 1 mm/s로 측정하였다.

공기투과도 측정. 공기투과도는 KS K ISO 139에 따라(20±2)℃, (65±4)% RH의 조건에서, 4시간 동안 컨디셔닝시킨 다음, 시험면적은 20 cm^2, 압력차(의류용 천) 100 Pa로 시험 횟수 10회로 측정하였다. 공기투과도를 계산하는 방법은 식 (1)을 사용하여 mm/s로 R을 계산하였다.

$$R = \frac{\overline{q_v}}{A} \times 167 \quad (1)$$

$\overline{q_v}$: 유량의 산술 평균(dm^3/min, L/min)
A: 시험편의 시험 면적(cm^2)
167: dm^3/min 또는 L/min/cm^2를 mm/s로 환산되는 상수

투습도 측정. KS K 0594(텍스타일의 투습도 시험방법) 염화칼슘법을 선택하여 시험하였다.[10] 약 40 ℃로 미리 전처리한 투습컵에 흡습제인 염화칼슘 33 g을 넣은 다음, 시험편의 표면을 흡습제 쪽으로 하여 흡습제로부터 3 mm가 되도록 놓는다. 투습컵에 동심원이 되도록하여 패킹과 링을 순차적으로 올려놓고 고정시킨 후, 이 시험편을 온도 40±2 ℃, 90±5% RH의 공기가 순환하는 항온항습장치에 넣고 1시간 후에 시험편을 꺼내어 곧바로 무게 a1(mg)을 1 mg까지 측정하였다. 이 시험편을 다시 항온항습장치에 넣어서 1시간 후에 시험편을 꺼내어 바로 무게 a2(mg)을 1 mg까지 측정하였다. 그리고, 투습컵의 면적은 0.00283 m^2이며, 투습컵의 높이는 25 mm이다.

투습도(P)의 계산방법은 3회 시험의 평균값을 정수 자리로 표시하였다.

$$P = \frac{a2 - a1}{S} \quad (2)$$

P: 투습도 [g/m^2·h]
$a2$–$a1$: 1시간 경과 후 시험편의 질량변화 (g/h)
S: 투습면적 (m^2)

항균성 평가. 폴리도파민 코팅 전후의 PU 나노섬유 웹의 항균성을 평가하기 위해 JIS Z 2801(필름밀착법) 시험방법을 사용하여 실시하였다. 항균활성치란 항균가공제품과 대조편(또는 무가공제품)에 공시균을 접종하여 배양 후 생균수를 측정하여, 항균가공제품과 대조편의 균수를 비교하여 분석하였다. 공시균주로는 황색포도상구균을 선정하여 시험하였다.

시험편의 준비는 50×50 mm의 정사각형 시험편 및 대조편(표준필름) (각 12개)를 준비하여 황색포도상구균에 3번 반복하여 접종하였다. 표준필름으로는 Stomacher400 POLY-BAG을 이용해서 시험균액을 35±1 ℃, 90% RH에서 24시간 정치배양 후 균수를 측정하였다.

자외선 차단능 측정. 폴리도파민 코팅 전후의 PU 나노섬유 웹의 자외선 차단능을 평가하기 위한 시험방법으로는 한국산업표준 중에서 KS K 0850(텍스타일의 자외선 차단율 및 차단지수)을 사용하여 분석하였다.[9]

자외선 차단성능은 분광광도계를 사용하여 평가하는데, 시험절차는(50×50) mm 크기의 시험편을 표준상태에서 최소한 4시간 이상 방치한 후, 길이방향으로 2개, 폭방향으로 2개, 최소한 4개의 시험편을 준비하였다. 분광광도계의 입사구를 준비한 시험시료로 차단하여 측정하고자 하는 자외선 파장을 5 nm 간격으로 측정하였다. 투과율의 경우에는 투입한 자외선의 세기와 시료를 투과한 자외선의 세기를 비교하여 측정하였다. 자외선 차단지수로 표현하는 경우에는 시료 없이 투과된 평균 자외선에 대한 시료를 투과한 평균 자외선의 비율로 결과를 표시하였다. 또한 자외선 차단율은 시료에 자외선을 투과시켰을 때 투과하지 않은 자외선 백분율로 나타내었다.

결과 및 토론

PU 나노섬유 웹의 표면특성 변화. Figure 2는 PU 나노섬유 웹과 폴리도파민을 3시간 코팅처리한 PU 나노섬유 웹의 표면을 10000 배율로 촬영한 것으로, 3차원 웹구조의 기공이 막히지 않게 코팅처리가 잘 되었음을 확인하였다. PU 나노섬유 웹의 평균 섬유직경은 420 nm이었으며, 코팅 후의 PU 나노섬유의 섬유직경은 490 nm로 약간 증가하였지만 큰 차이는 보이지 않았으며, 폴리도파민이 나노섬유를 감싸고 있는 형상을 보였다.

Figure 3의 IR 스펙트럼에서 폴리도파민의 코팅 전후의 PU 나노섬유 웹의 흡수피크가 거의 유사하게 나타난 것은 폴리

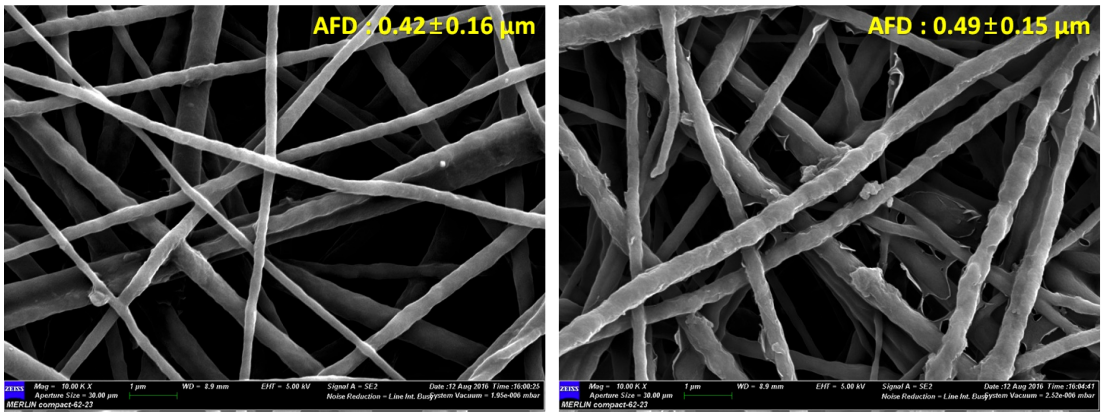

Figure 2. SEM images (×10000) of PU nanofibrous web (left) and PU nanofibrous web coated with polydopamine for 3 h (right).

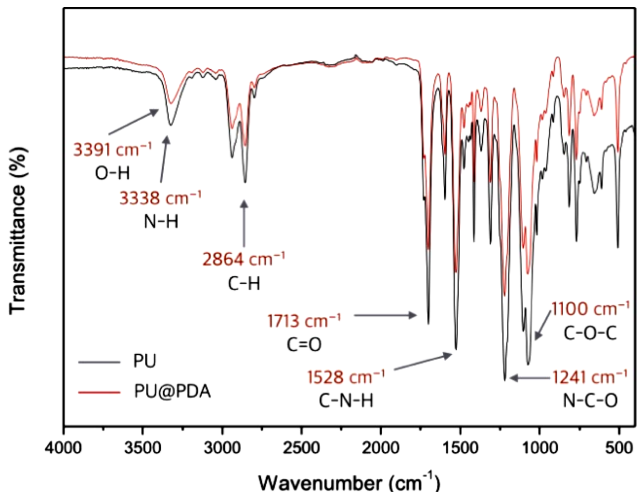

Figure 3. IR spectra of PU nanofibrous web before and after polydopamine coating for 3 h.

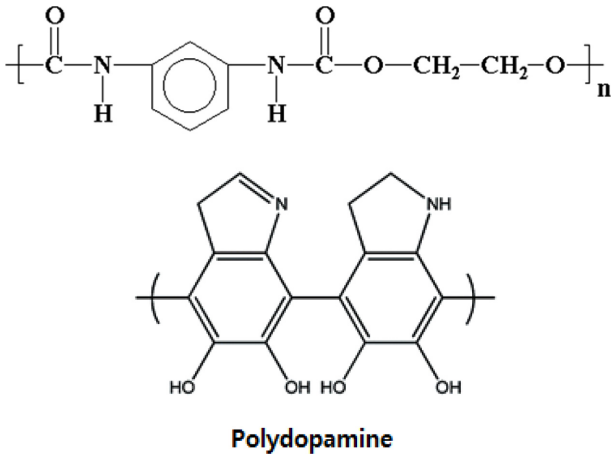

Figure 4. Chemical structure of polyurethane and polydopamine.

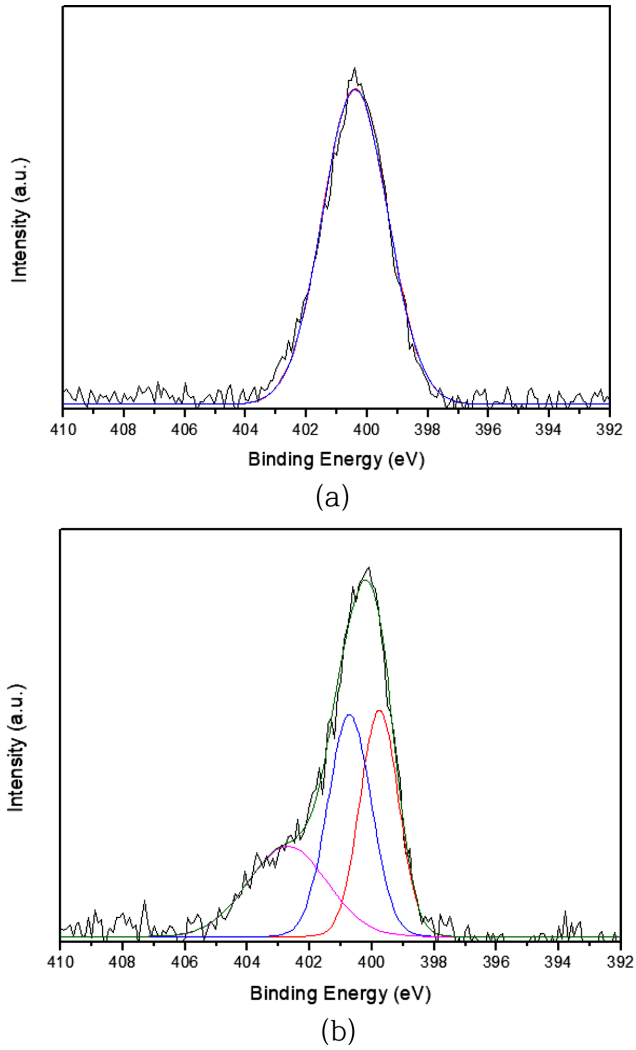

Figure 5. Expanded N1s peaks of PU nanofibrous web (a); polydopamine-coated PU nanofibrous web (b).

우레탄과 폴리도파민이 같은 작용기들을 가지기 때문이다. 따라서 IR 스펙트럼으로는 확실히 코팅처리가 되었는지 뚜렷하게 확인할 수 없었기 때문에 추가적으로 XPS 측정을 통해 폴리도파민 코팅 상태를 확인하였다.

Figure 4는 PU의 반복단위의 구조를 나타낸 것으로, N의 경우 화학적 환경이 동일하기 때문에 XPS 스펙트럼에서 단일성분을 가지는 N1s 피크를 보이는 구조를 가지고 있다. 따라서 PU 나노섬유 웹의 표면은 N1s의 경우 단일피크로 관찰되었고, 반면, 폴리도파민은 PU의 구조와는 달리 N1s 피크는 5각환에서 =N-, -NH- 그리고 결합하지 않은 $-NH_2$의 3가지 성분이 중첩되는 구조를 가지고 있다.

Figure 5(a)는 PU 나노섬유 웹의 XPS 스펙트럼의 N1s 피크는 400.4 eV에서 명백한 단일피크가 나타난 반면, Figure 5(b)는 폴리도파민으로 코팅처리한 후의 PU 나노섬유 웹으로 써 오른쪽에 shoulder 형태의 피크가 새로 형성된 것을 확인할 수 있었는데, 이 N1s의 피크를 3가지 성분으로 deconvolution 하여 보면 N1s의 피크가 각각 도파민과 도파민이 폴리도파민으로 중합되며 형성되는 루코도파민크롬의 -NH 기와 인돌 구조 상의 -N=기의 3가지 성분의 피크(399.9 eV에서 -N=, 400.7 eV에서 -NH-, 402.6 eV에서 $-NH_2$)가 관찰되었다. 이로써 폴리도파민 코팅이 확실하게 이루어졌음을 확인할 수 있었다.

접촉각(θ)은 고체표면의 젖음성(wettability)을 나타내는 척도로, 대부분 물방울을 사용하여 측정이 가능하다. 폴리도파민의 코팅 시 약염기성의 도파민 용액에 담가두게 되면 150° 이상의 접촉각을 갖는 초소수성 표면을 40°의 친수성 표면으로 개질하는 것이 가능하다고 보고되었는데, 폴리도파민에 의한 초소수성 표면개질은 화학적으로 안정하고 표면과의 결합

Table 1. Characterization of PU Nanofibrous Web before and after Dopamine Coating for 3 h

Sample \ Property	Contact angle (°)	Air permeability (mm/s)	Water vapor permeability (g/m²/24 h)
PU nanofibrous web	146.7±3.2	8.6	12000
PU nanofibrous web coated with polydopamine	105.5±2.8	8.1	9400

이 강하게 이루어지는 코팅방식이기 때문에 영구적으로 친수성으로 코팅할 수 있다.[11] 본 실험에서 접촉각을 측정한 결과(Table 1), PU 나노섬유 웹은 146.7±3.2°의 높은 접촉각을 보였으나 폴리도파민으로 3시간 동안 코팅 처리한 PU 나노섬유 웹은 105.5±2,8°의 접촉각을 보여 코팅 전보다 접촉각이 40도 이상 낮아졌으며, PU 나노섬유 웹이 물에 대한 친화력이 증가하였음을 알 수 있다.

PU 나노섬유 웹의 인장특성 변화. Figure 6은 PU 나노섬유 웹과 코팅 처리한 PU 나노섬유 웹의 S-S 곡선을 나타낸 것으로, PU 나노섬유 웹은 23.6 N/mm²의 인장강도와 105%의 신도를 보였고, 코팅 처리한 PU 나노섬유 웹은 21.2 N/mm²의 인장강도와107.0%의 신도를 나타내었다. 따라서 폴리도파민 코팅처리에 의해 PU 나노섬유 웹의 인장특성은 크게 변화되지 않았음을 알 수 있었다.

PU 나노섬유 웹의 투습방수성 변화. 공기투과도는 직물의 쾌적성과 관련이 있는 성능이기 때문에 공기투과도가 너무 작아지지 않도록 하는 것이 상당히 중요하다.

폴리도파민 코팅 전후의 PU 나노섬유 웹의 공기투과도를 측정한 결과(Table 1), 코팅 전의 PU 나노섬유 웹은 8.6 mm/s의 값을 보였고, 코팅 후에는 8.1 mm/s의 값으로 나타나 폴리도파민의 코팅에 의해 공기투과도가 약간 감소하였으나 큰 차이는 보이지 않았다. 따라서 투습방수 섬유제품에 적용 시 쾌적성 측면에서 코팅에 관계없이 우수한 장점이 유지될 것으로 판단되었다.

PU 나노섬유 웹의 코팅 전후의 투습도를 KS K 0594 염화칼슘법으로 측정하였다. 이 방법은 의복 내의 습도가 높은 상태로 건조한 환경 하에서 투습도를 측정하는 경우에 적합하다. PU 나노섬유 웹의 투습도는 503 g/m²/h이었고, 폴리도파민 코팅 후의 PU 나노섬유 웹은 395 g/m²/h의 결과를 보였다. Table 1에 나타낸 바와 같이 24시간 기준으로 환산한 경우에는 PU 나노섬유 웹은 투습도 12000 g/m²/24 h, 폴리도파민으로 3시간 코팅 처리한 PU 나노섬유 웹은 투습도 9400 g/m²/24 h으로 환산되었다. 코팅 처리한 시료가 수치상 약간 낮아지기는 하였지만, 두 시험편 모두 고투습형의 값을 나타내었다. 이런 결과는 폴리도파민으로 3시간 동안 코팅 처리하게 되면 PU 나노섬유 웹은 기존 섬유의 투습기능을 방해하지 않을 것으로 예상되었다.

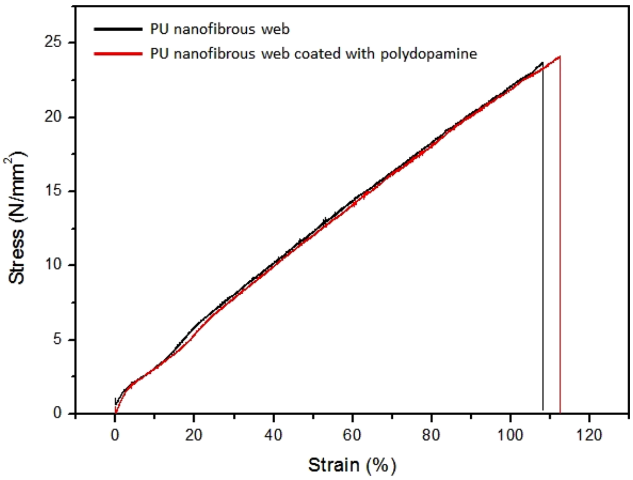

Figure 6. Stress-Strain curves of PU nanofibrous web before and after polydopamine coating for 3 h.

PU 나노섬유 웹의 항균특성 변화. Table 2는 폴리도파민의 코팅시간에 따른 항균성을 측정한 결과이다. 코팅 전 PU 나노섬유 웹은 시험균주인 황색포도상구균에 항균기능이 거의 없는 것으로 나타났고, 코팅시간이 3시간에서 24시간으로 증가함에 따라 PU 나노섬유 웹은 97.8%에서 99.7%로 항균성이 점차 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

Table 2. Antibacterial Activity of PU Nanofibrous Web before and after Polydopamine Coating

Sample \ Antimicrobial property	Initial microbial content	Microbial content after 24 h	Antimicrobial activity (log)	Reduction (%)
Blank	1.3×10^4	1.9×10^4		
PU nanofibrous web	1.3×10^4	5.1×10^3	0.6	60.8
Blank	1.3×10^4	2.5×10^4		
PU nanofibrous web coated with polydopamine for 3 h	1.3×10^4	2.9×10^2	1.9	97.8
Blank	1.3×10^4	1.9×10^4		
PU nanofibrous web coated with polydopamine for 24 h	1.3×10^4	4.2×10	2.7	99.7

Table 3. Ultraviolet Protection of PU Nanofibrous Web before and after Polydopamine Coating

UV type \ Sample	UV protection (%)		
	PU nanofibrous web	PU nanofibrous web coated with polydopamine for 3 h	PU nanofibrous web coated with polydopamine for 24 h
UV-A	78.6	84.5	94.4
UV-B	92.1	95.0	98.3

PU 나노섬유 웹의 자외선 차단능 변화. 자외선은 햇빛에 노출되는 시간과 강도에 따라 섬유의 성능을 저하시키며 점진적으로 인체의 피부에 나쁜 영향을 미치게 된다. 자외선은 상대적으로 표면적이 큰 나노섬유의 경우, 더 심각한 손상을 입힐 수 있는데 자외선 종류 중 UV-A나 UV-B는 높은 광자 에너지를 가지기 때문에 섬유에 더 큰 손상을 줄 수 있어 소재 자체의 자외선 차단능력이 절실히 요구되고 있다.[12]

Table 3은 코팅 전후의 PU 나노섬유 웹에 대하여 자외선 차단율과 자외선 차단지수를 분석한 결과이다. 코팅시간별로 자외선 차단율의 값이 95.3%까지 높아지는 것으로 보아, PU 나노섬유 웹이 폴리도파민으로 코팅되었을 때 자외선 차단기능이 확실하게 향상된다는 것을 알 수 있었다. 이는 폴리도파민이 멜라닌과 유사한 구조를 가지기 때문이라고 판단된다. 멜라닌은 인체에 존재하는 흑갈색 색소로서 일정량 이상의 자외선을 흡수하는 방식으로 자외선의 침투를 차단한다. 또한 이러한 멜라닌의 중요한 특성으로 활성산소종을 제거하는 자유 라디칼 포착제 및 과산화물 제거효소로서의 기능인데, 폴리도파민 역시 이러한 역할을 수행한다고 알려져 있기 때문이다.[13-15]

결 론

PU 나노섬유 웹에 폴리도파민 코팅처리를 함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, SEM 결과는 폴리도파민 코팅처리 전후 PU 나노섬유 웹의 섬유직경은 420 nm에서 490 nm로 약간 증가하였으나, 기공 형태에는 거의 영향이 없음을 확인할 수 있었다.

둘째, XPS 결과로 폴리도파민으로 표면코팅이 잘 되었는지 확인한 결과, N1s 피크로부터 PU 나노섬유 웹의 경우 400.4 eV에서 단일 피크로, 폴리도파민으로 코팅처리를 한 PU 나노섬유 웹의 경우 399.9 eV에서 -N=, 400.7 eV에서 -NH-, 402.6 eV에서 $-NH_2$의 피크가 나타나는 것으로 보아 표면코팅이 잘 처리되었음을 알 수 있었다.

그 외에 폴리도파민으로 코팅처리 전후의 PU 나노섬유 웹의 특성을 비교한 결과, 인장특성, 공기투과도 및 투습도 등에서 큰 차이를 보이지 않았다.

마지막으로 폴리도파민이 코팅처리된 PU 나노섬유 웹의 항균성과 자외선 차단성능을 측정한 결과, 폴리도파민 코팅처리시간에 따라 황색포도상구균에 대해 항균력이 99.7%까지 상당히 증가하는 것을 알 수 있었고, 특히, PU 나노섬유 웹의 자외선 차단성능이 폴리도파민의 코팅처리에 의해 크게 증가하였다. 이는 폴리도파민이 멜라닌과 유사한 구조 및 작용을 가지기 때문으로 판단된다. 따라서 폴리도파민은 환경친화적 단순공정으로 적용 가능한 섬유용 코팅제로서 나노섬유 웹의 기본특성은 변화시키지 않으면서 항균성과 자외선 차단성능을 상당히 향상시킬 수 있는 유망한 가공제로 기대된다.

감사의 글: 본 논문은 2017년도 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. B. P. Lee, P. B. Messersmith, J. N. Israelachvili, and J. H. Waite, *Ann. Rev. Mater. Res.*, **41**, 99 (2011).
2. D. Morgan, *TheScientist*, **4**, 1 (1990).
3. R. L. Strausberg and R. P. Link, *Trends Biotechnol.*, **8**, 53 (1990).
4. H. Lee, S. M. Dellatore, W. M. Mille, and P. B. Messersmith, *Science*, **318**, 426 (2007).
5. S. K. Hong, I. S. You, I. T. Song, and H. Lee, *Polym. Sci. Technol.*, **23**, 396 (2012).
6. H. Lee, N. F. Scherer, and P. B. Messersmith, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **103**, 12999 (2006).
7. S. Agarwal, A. Greiner, and J. H. Wendorff, *Adv. Funct. Mater.*, **19**, 2863 (2009).
8. B. Chae, *Polym. Sci. Technol.*, **24**, 612 (2013).
9. S. W. Cho, *Vacuum Magazine*, **1**, 17 (2014).
10. http://www.ks.or.kr/main.asp.
11. S. M. Kang, I. You, W. K. Cho, H. K. Shon, T. G. Lee, I. S. Choi, J. M. Karp, and H. Lee, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **49**, 9401 (2010).
12. G. Reinert and F. Fuso, *Color Technol.*, **27**, 32 (1997).
13. M. Brenner and V. J. Hearing, *Photochem. Photobiol.*, **84**, 539 (2008).
14. W. Dong, Y. Wang, C. Huang, S. Xiang, P. Ma, Z. Ni, and M. Chen, *J. Therm. Anal. Calorim.*, **115**, 1661 (2014).
15. K. Ju, Y. Lee, S. Lee, S. B. Park, and J. Lee, *Biomacromolecules*, **12**, 625 (2011).