

저온 플라즈마와 키토산 처리에 의한 양모직물의 태와 방축성에 관한 연구

진순영 · 홍경화 · 강태진[†]

서울대학교 재료공학부
(2005. 6. 28. 접수/2005. 8. 5. 채택)

Effects of Low Temperature Plasma and Chitosan Treatment on the Shrink Resistant Property and Hand of Wool Fabrics

Soon Young Jin, Kyung Hwa Hong and Tae Jin Kang[†]

School of Materials Science & Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea
(Received June 28, 2005/Accepted August 5, 2005)

Abstract: The effects of the low temperature plasma and chitosan treatments on the shrink resistant properties and hand of wool fabrics have been studied. When the plasma treatment was carried out on the wool fabrics, the cuticle of the wool fabrics seemed to be damaged; especially at 150 W power, it was observed that the scales were broken. Therefore the structural changes of the wool fabrics decreased the felting shrinkage of the wool fabrics. However, the plasma treated wool fabrics showed harsher handle compared to untreated wool fabrics. When the plasma pretreatment was applied on the wool fabrics, then water soluble chitosan was coated on the surface of wool fibers uniformly, the shrink resistance of the wool fabrics was enhanced. The plasma-chitosan treatment also affected the mechanical properties and hand values of the wool fabrics.

Keywords: wool fabrics, low temperature plasma, chitosan, dimensional stability, Kawabata evaluation system (KES)

1. 서 론

양모는 보온성과 낮은 구김성 등 그 고유한 특성들로 인해 오랫동안 의류소재로써 널리 사용되어온 섬유이다. 하지만 축융수축이나 필링 그리고 염색성의 제한 등 양모의 구조적 특성들로부터 기인하는 문제점들이 양모제품의 질과 성능에 한계점으로 지적되어 왔다. 특히 양모제품은 세탁과정에서 여러가지 원인들로 인해 수축이 발생한다. 이렇게 양모 집합체가 수축하는 현상은 펠트와 같이 두껍고 치밀한 직물을 만드는데 이용되기도 하나 대부분 양모로 된 의류제품이 사용중 수축이 발생하는 것은 바람직하지 않은 경우가 많다. 따라서 이를 방지하기 위한 다양한 방축가공이 연구되고 있는 실정이다.

이러한 양모직물의 수축은 이완수축, 팽윤수축 및 축융수축이 복합되어 일어나는 것인데 특히 축융수축은 양모 표면의 스케일 구조에서 기인하고 비가역적인 수축이다[1,2]. 그러므로 산업적인 방축가공은 주로 양모 표면층의 개질에 한정되어 있는 실정이다. 한편 양모의 방축가공법에는 염소화, 플라즈마, 코로나, 효소, 산화가공 등이 이용되고 있

는데 오늘날 산업적으로 가장 많이 쓰이는 방축가공법은 염소화 수지처리 (chlorine/hercosett process)이다. 하지만 이 방법은 방축가공의 공정중 흡착되기 쉬운 유기할로겐 화합물의 생성으로 인해 점차 환경적인 규제를 받고 있다. 따라서 최근 이의 대체방법으로 저온 플라즈마 처리, 효소처리 등이 새롭게 주목받고 있는데 통상 이러한 방법들은 단독으로 사용해서는 완전한 방축성을 부여하기가 어려우므로 이러한 방법들의 적절한 조합이 요구되고 있다[3].

저온 플라즈마는 기체를 상온에서부터 수백도의 비교적 저온에서 감압하에 전하를 걸어 주게 되면 기체분자에 운동에너지가 부여되고 이러한 운동에너지가 분자를 구성하고 있는 원자간의 결합에너지보다 커지게 되면 이온 입자로 전리 또는 이온화되는데 이 과정에서 발생하는 라디칼의 생성을 포함해서 기체분자는 더욱 세분화되고 화학적으로 활성화되어 계 전체가 전기적으로 중성 상태로 되는 것을 말한다. 이러한 저온 플라즈마 처리에 의해 양모직물의 표면에 라디칼을 생성시킴으로써 친수성, 염색성, 섬유 접착성 그리고 방축성이 향상된다[4-7]. 특히 산소 플라즈마 처리를 하게 되면 표면에 산소가 취입되어 친수화 되는데 이러한 특성은 친수성 고분자에 대한 반응성을 높여 준다. 한편 해양 갑각류의 키틴질에서 얻고 있는 키토산은 분자 내에 반응성이 큰 유리 아미노기 (-NH₂)를 가지고 있어 가

[†] Correspondence to Tae Jin Kang (taekang@snu.ac.kr)
© 2005 The Korean Fiber Society 1225-1089/2005-4/241-07

공이 용이하고 면역력 증강, 항균 작용, 체내 중금속 흡착과 배출등의 효과와 무독성, 생분해성의 특성들로 인해 다양한 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 특히 최근 섬유가공 분야에서는 키토산을 이용한 항균 소취, 염색성 향상, 방축가공 등에 관한 연구가 실시되고 있다[8].

따라서 본 연구에서는 모직물의 방축성을 획득하기 위해 저온 플라즈마와 키토산 가공을 적용하였다. 우선 모직물에 키토산의 흡착을 증대시키고 흡착분포를 고르게 하기 위해 저온 플라즈마를 처리하고 그 후에 키토산 용액에 침지하여 가공하였다. 특히 아세트산에 녹인 키토산 용액으로 섬유제품을 처리하게 되면 방축효과가 증가하는 장점은 있지만 촉감이 다소 나빠지게 되므로 이를 보완하기 위해 수용성 키토산을 물에 녹여 처리하였으며 평가를 위해 수축성과 KES(Kawabata evaluation system)을 이용하여 태에 대해 분석하였다.

2. 실험

2.1. 시료 및 시약

본 실험에 사용된 시료는 100% 양모 (tropical)로 된 소모직물 (24×25/cm, 1×1 plain weave)을 사용하였으며, 일반 키토산은 Aldrich에서 구입하였고, 수용성으로 개질된 키토산은 (주)자광에서 제공받아 사용하였다. 본 수용성 키토산은 라이조자임 (lysozyme)과 키토사나제(chitosanase) 효소 용액하에서 25~40 °C에서 30~70 kHz 범위의 변속 초음파 공정의 탈리반응을 거쳐 역방향의 분리막 공정으로 분자량이 작은 부분을 분획 제거하고 상대적으로 분자량이 큰 수용성 키토산을 수집하여 여과 및 냉동건조를 반복하여 얻는다[9]. 이들 두 키토산의 분자량은 대략 75,000이고, 탈아세틸화도는 약 80% 내외로 비슷한 조건의 키토산을 선택하였으며 정제하지 않고 직접 사용하였다. 이밖에 아세트산을 Ducksan Pure Chemicals Co., Ltd.에서 구입하여 사용하였다.

2.2. 가공조건

플라즈마 처리: 플라즈마 장치는 Korea Vacuum Technology에서 제작한 Magnetized Inductively Coupled Plasma etcher를 사용하였다. 챔버의 너비는 340×342 mm, 방전형식은 라디오파 방전으로 13.56 MHz를 사용하였으며 최대 전력은 2500 W이다. 본 실험에서 플라즈마 처리는 Figure 1과 같이 미리 컨디셔닝 해둔 양모직물을 기관위에 올려놓고 0.1 torr 이하로 압력을 낮춘 후 50 cc/min으로 산소가스를 공급하였다. 그 다음에 양모직물을 각각 50, 100, 150 W에서 60초간 처리해 주었다.

키토산 처리: 물에 녹지 않는 일반 키토산은 0.3 wt%의 아세트산 수용액에, 수용성 키토산은 증류수에 각각 녹여

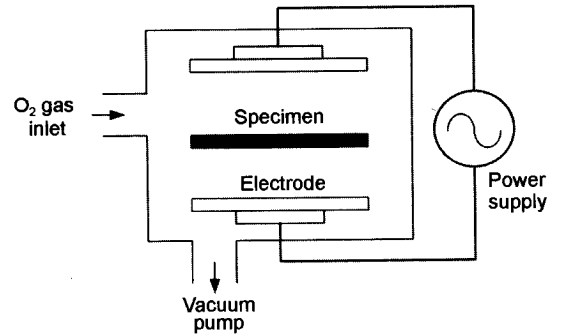


Figure 1. Parallel electrode type plasma treatment device.

0.1%의 키토산 용액을 만든다. 양모직물을 상온에서 60분간 침지시킨 후 패딩하여 상온 24시간 건조한 후 수세하고 다시 건조하여 황산 35.9%가 든 데시케이터에서 RH 65%로 컨디셔닝하였다. 이때 액량비는 20:1이고 wet pick-up이 약 100%가 되게 하였다. 준비된 키토산 용액은 분자량의 저하를 방지하기 위하여 용해 후 24시간 이내에 사용하였다.

2.3. 분석방법

플라즈마와 키토산으로 처리한 양모직물의 치수변화는 AATCC Test Method 99-2000에 따라 측정하였고 치수안정성 테스트는 이완→팽윤→펠팅의 순으로 행하였다. 수축률은 이완 후 가장 작고, 펠팅 후에 가장 크다. 모든 샘플들은 측정전에 컨디셔닝하였다. 치수변화는 다음의 식으로 계산하였다[10].

$$\text{Dimensional change (in length, \%)} = \frac{A - O}{O} \times 100$$

이때 A는 처리후 최종 길이(cm)이고 O는 처리전 원래의 길이(cm)이다.

한편 처리직물의 색 변화는 Macbeth spectrometer ColorEye 3000을 이용하여 백도 (whiteness, CIE Ganz)와 황도 (yellowness, ASTM D1925)를 측정하였고 표면상태는 진공상태에서 샘플을 금으로 코팅한 후 2,000배로 Scanning Electron Microscopy (JEOL Ltd., JSM-T200, Japan)를 통해 관찰하였다. 처리직물의 물성으로부터 태를 평가하기 위해 KES-FB 시스템 (Kato. Tech. Co., Ltd., Japan)을 이용하여 양모직물의 인장, 굽힘, 전단, 압축, 표면, 무게와 두께의 역학적 성질들을 16가지 역학적 특성치들을 통해 측정하였다. 이러한 역학적 성질의 측정치로부터 신사 하복지 (KN-101 summer) 변환식에 의해 각각 샘플의 감각 평가치를 계산하였다. KN-101-신사 하복지 식의 경우 강경도 (stiffness), 깔깔이 (crispness), 풍유도 (softness/fullness), 반발탄력성 (anti-drape stiffness)로 구성되어 있고 이로 부터 종합태값 (total hand value, THV)를 얻기 위하여 KN-301-summer 식을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 양모의 표면 변화

플라즈마 처리 후 변화: 저온 플라즈마 처리 이후 양모 직물에 도입된 친수성의 정도를 알아보기 위해 직물표면에 물방울을 떨어뜨려 보았다. 미처리 양모직물의 경우 수적

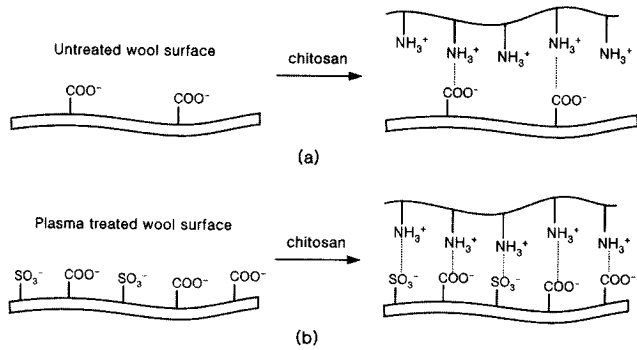


Figure 2. A simplified scheme of chitosan on (a) untreated wool surface and (b) plasma treated wool surface.

의 모양이 구의 형태로 상당시간 유지되었으나 플라즈마를 처리한 양모직물의 경우 물방울이 즉시 스며드는 것을 확인할 수 있었다. 이는 Figure 2와 같이 플라즈마 처리에 의해 양모의 표면에 카르복실, 술폰산 음이온과 같은 친수성 그룹이 생성될 것이기 때문이다[11]. 한편 Figure 3은 각각 처리하지 않은 양모직물과 150 W에서 저온 플라즈마 처리한 양모직물의 표면을 관찰한 SEM 사진인데 150 W 이상의 저온 플라즈마 처리에서 양모의 스케일이 크게 떨어져 나간 것을 확인할 수 있었다. 또한 플라즈마 처리 후 색의 변화를 측정해 보았는데 육안으로 구별될 정도의 큰 차이는 보이지 않았으나 Figure 4(■)에서 알 수 있듯이 처리 전압의 크기가 증가할수록 백도값은 다소 감소함을 확인할 수 있었고 이로써 산소 플라즈마의 처리에 의해 양모섬유의 표면이 황변됨을 알 수 있었다.

플라즈마-키토산 처리 후 변화: 한편 양모직물에 수용성 키토산으로 처리를 하게 되면 Figure 5와 같이 플라즈마 미처리 양모직물에 비해 150 W로 플라즈마 전처리 한 양모직물의 경우 키토산이 섬유 표면에서 고르게 코팅되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 플라즈마 전처리가 양모 직물의 표면을 이온화함으로써 키토산 코팅을 고르고 균일하게 형성할 수 있도록 하는 것을 알 수 있었다. 또한 Figure 4는 플라즈마와 플라즈마 전처리 후 키토산 수용액으로 가공한 양모직물들의 백도를 측정된 결과이다. 키토산으로 처리한 양모직물들의 백도는 모두 감소하였는데, 특히 플라즈마 전처리 이후 키토산 용액으로 가공한 양모 직물들의 백도는 크게 감소하였다. 이는 산소 플라즈마에 의한 산화로 양모직물에 1차적인 황변이 발생한 이후에 황색을 띠는 키토산이 양모직물에 코팅됨에 따라 키토산

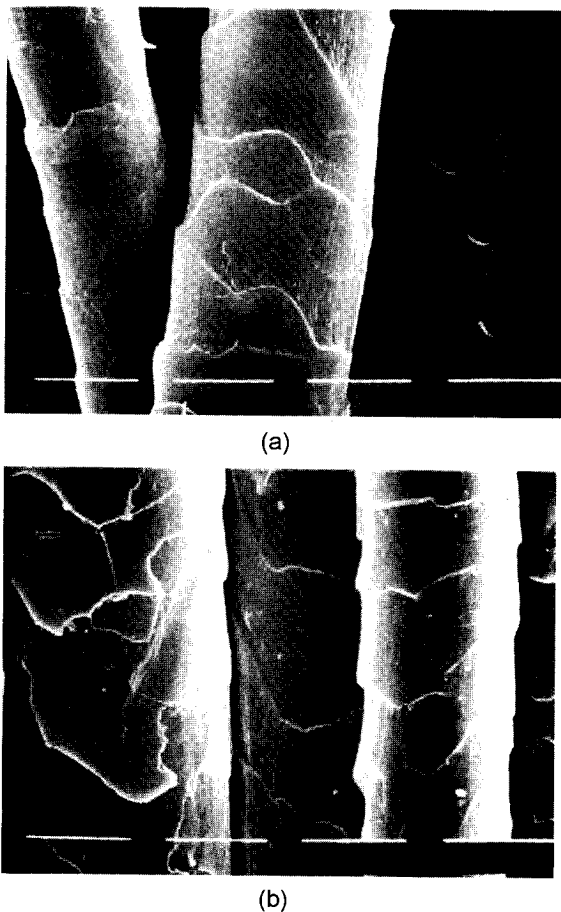


Figure 3. SEM photographs of wool fabrics (magnification: $\times 2000$); (a) untreated, (b) 150 W plasma treated.

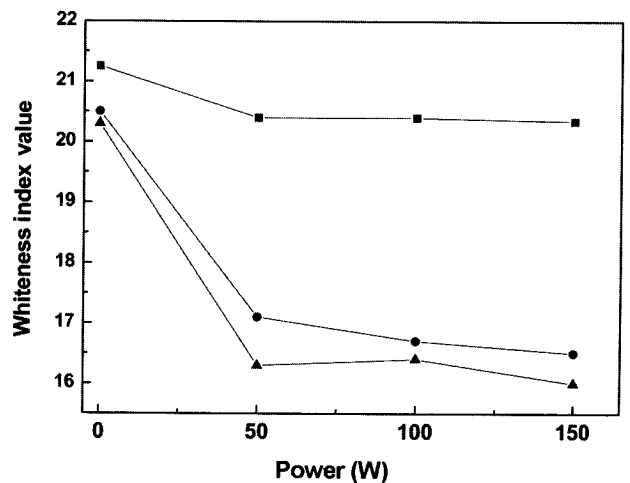
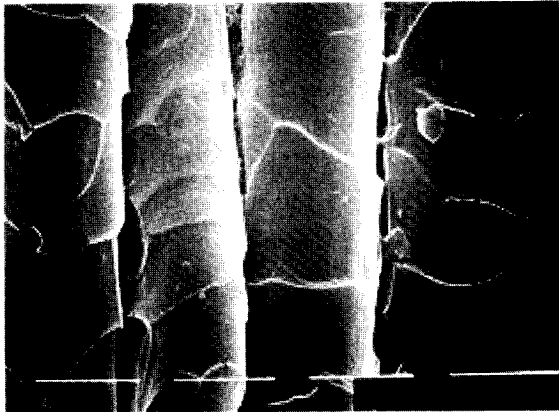
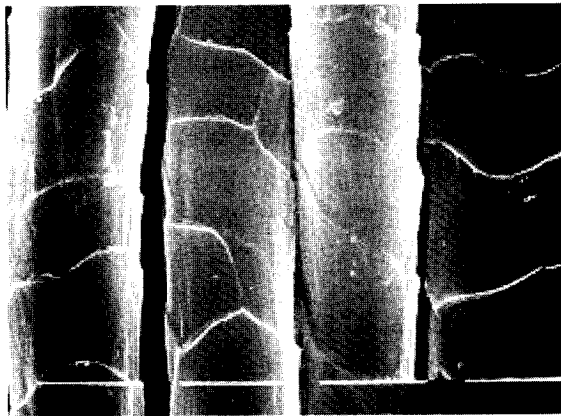


Figure 4. Whiteness index values of wool fabrics, plasma treated at different power and plasma-chitosan treated; (■) plasma treated wool fabrics, (●) plasma-water soluble chitosan/aqueous solution treated wool fabrics, (▲) plasma-chitosan/acetic acid aqueous solution treated wool fabrics.



(a)



(b)

Figure 5. SEM photographs of wool fibers treated with water soluble chitosan; (a) no plasma-water soluble chitosan treated, (b) 150 W plasma-water soluble chitosan treated.

과 이온화된 양모섬유간의 화학적 결합반응이 발생하면서 양모직물의 황변을 크게 유발하여 백도를 감소시킨 것으로 보인다.

3.2. 양모의 치수 변화

플라즈마 처리 후 변화: AATCC 99-2000의 방법을 이용하여 플라즈마 처리한 양모직물의 이완, 팽윤, 펠팅 수축의 변화를 측정하였다. 이완수축은 이완에 의해 생기는 치수의 변화이고, 팽윤수축은 섬유가 물을 흡수, 탈수함에 따라 팽윤과 수축되어 생기는 것으로 그 크기는 섬유간의 상호작용에 의해 결정된다. 그리고 축융수축은 양모 표면에 있는 스케일에 의한 축융현상과 세탁시 구성섬유의 이동에 의한 수축을 말하며 방축가공의 주요 대상이 된다[11].

Figure 6은 양모직물을 50, 100, 150 W로 각각 처리한 후 이완, 팽윤, 펠팅수축의 변화를 직물의 경사 방향에 대해 측정된 결과이다. 플라즈마를 처리한 양모직물 모두에서 방축효과가 나타났으며, 특히 이완수축과 팽윤수축의

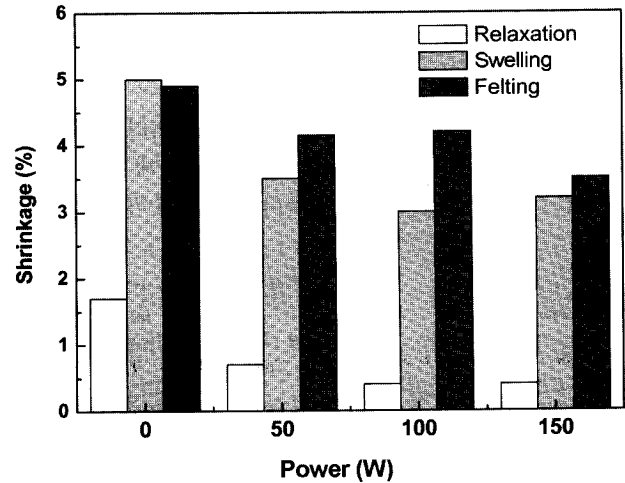


Figure 6. Shrinkage in the warp direction of wool fabrics plasma treated at different power.

경우에는 50 W의 플라즈마 처리로도 충분한 방축효과가 발생되었으나 펠팅수축에 있어서는 150 W 이상에서 두드러진 효과가 나타났다. 따라서 Figure 3에서 보듯이 150 W 이상의 플라즈마 처리에서 양모 스케일의 큰 탈리가 발생한 것이 양모직물의 펠팅수축의 감소에 영향을 주었음을 확인할 수 있었다. 이는 펠팅수축이 섬유의 모근과 모단 사이에 존재하는 부분적인 마찰계수의 차이에 의해 발생하고 섬유가 서로 이동할 때 섬유의 모근에서 모단쪽으로보다는 스케일의 반대 방향으로 이동할 때 마찰이 더 커지게 되는데 이러한 특성이 있는 양모직물에 플라즈마를 처리해 주게 되면 에칭효과 때문에 이 두 방향에서의 마찰계수는 각각 증가하게 되지만 두 값의 차이 (differential frictional coefficient)는 줄어들게 되므로 방축성이 향상되는 것이다.

플라즈마-키토산 처리 후 변화: Figure 7은 플라즈마-키토산 처리에 따른 펠팅수축률의 변화를 직물의 경사 방향에 대해 나타낸 그림이다. 키토산 용액으로 가공한 양모직물들은 전반적으로 플라즈마를 단독으로 처리한 양모직물에 비해서 방축성이 향상되었고 특히 플라즈마 전처리 후 키토산으로 가공한 양모직물의 방축성은 크게 향상된 것을 확인할 수 있었다. 한편 수용성 키토산으로 처리한 양모직물의 경우 아세트산 수용액에 녹인 키토산으로 처리한 양모직물에 비해 방축효과가 더 우수하였는데, 이러한 방축효과 차이는 이들 키토산의 친수성 정도가 다르기 때문으로 보인다. 즉 일반적인 키토산은 물속에서 수소결합이 끊기지 않기 때문에 물에 녹지 않으므로 그것을 녹이기 위해서는 산성 수용액하에서 키토산 고분자들을 양이온으로 하전시킴으로써 고분자 사슬간의 정전기적 반발력에 의해 물분자가 침투하기 용이한 상태로 만들어 주는 것에 불과하지만[12] 수용성 키토산은 고분자 자체내의 수소결합의 파괴가 크게 발생하여 결정성이 감소함으로써 물에 쉽게

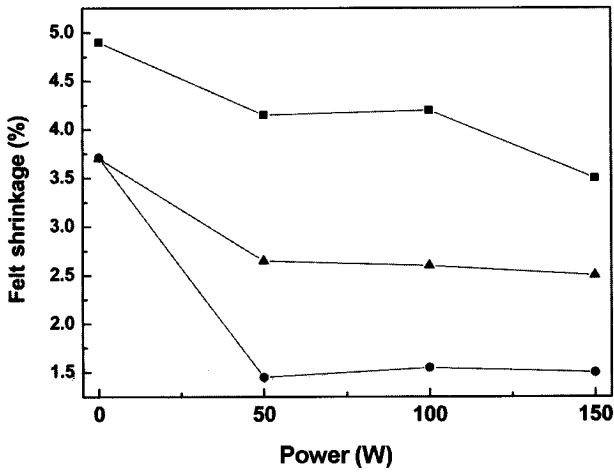


Figure 7. Felt shrinkage of wool fabrics, plasma treated at different power and plasma-chitosan treated; (■) plasma treated wool fabrics, (●) plasma-water soluble chitosan/ aqueous solution treated wool fabrics, (▲) plasma-chitosan/ acetic acid aqueous solution treated wool fabrics.

녹게 되는 것이다. 이러한 두 키토산의 용해성의 차이는 실험 중 키토산 용액을 만드는 과정에서 용해시간의 차이를 통해서도 알 수 있는데 일반 키토산을 산성 수용액에 녹이는 것은 수용성 키토산을 물에 녹이는 것보다 훨씬 어려웠다. 따라서 플라즈마 처리에 의해 친수성이 도입된 양모 직물의 표면에는 역시 친수성이 큰 수용성 키토산이 보다 고르고 결합력 있게 코팅되기 때문에 방축성이 향상되는 것으로 생각되는 것이다. Zuchariah 연구[5]에서도 유사한 결과를 볼 수 있는데 산소 플라즈마를 처리한 양모직물에 여러 종류의 양이온성 고분자로 방축가공을 했을 때 처리하는 고분자의 친수화도가 클수록 방축효과가 우수하다고 하였다.

3.3. 양모의 역학적 특성의 변화

플라즈마 처리 후 변화: 플라즈마 처리에 의한 에칭효과는 양모섬유의 스케일을 깎아내어 섬유가 마찰물질과의 접촉면적이 증가함에 따라 마찰계수가 상승함을 예측할 수 있는데 이는 Figure 8에서 나타나듯 플라즈마를 처리한 양모직물의 마찰계수가 급격히 증가하는 것으로 확인할 수 있었다[13]. 마찰계수의 증가는 실 사이의 상호작용을 증가시킴으로 Figure 9와 같이 굽힘이력(2HB)과 $\phi=5^\circ$ 에서의 이력(2HG5)도 또한 증가시켰음을 알 수 있었다. 2HG5 값은 섬유 표면 마찰계수와 밀접한 관계를 가지고 있으며 직물의 부드러움을 평가하는데 좋은 지표가 된다.

플라즈마-키토산 처리 후 변화: Figure 10은 키토산을 처리한 양모직물의 마찰계수값을 측정한 결과이다. 플라즈마 미처리 직물에 키토산을 처리한 경우에는 마찰계수값의 변화가 크지 않았으나 플라즈마 전처리 후 키토산을 처

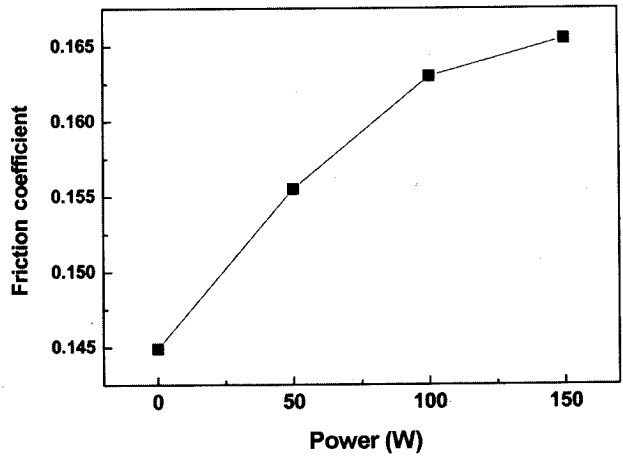


Figure 8. Friction coefficients of wool fabrics plasma treated at different power.

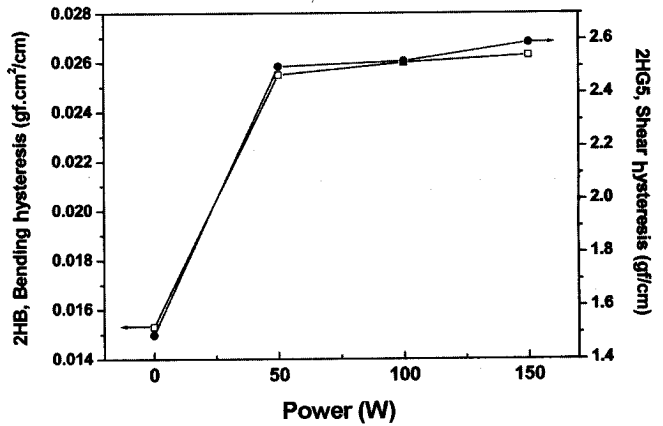


Figure 9. Bending hysteresis (□) and shear hysteresis (●) of wool fabrics plasma treated at different power.

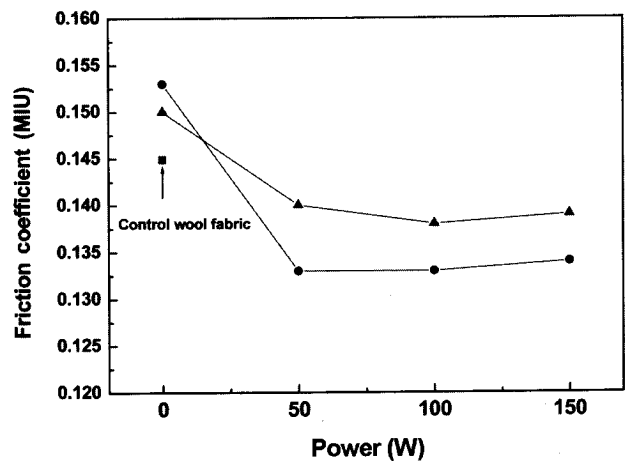


Figure 10. Friction coefficients of plasma-chitosan treated wool fabrics; (■) untreated wool fabrics, (▲) plasma-water soluble chitosan/ aqueous solution treated wool fabrics, (●) plasma-chitosan/ acetic acid aqueous solution treated wool fabrics.

Table 1. Primary hand values and total hand values (THV) of wool fabrics

Wool fabric	Stiffness	Crispness	Softness/fullness	Anti-drape stiffness	THV
Untreated	1.9	4	4.3	2.9	3
Plasma treated (150 W)	1.7	3.5	3.9	2.8	2.66
Plasma (150 W)-chitosan/acetic acid aqueous solution treated	7.6	5.6	3.1	9.3	2.28
Plasma (150 W)-water soluble chitosan/ aqueous solution treated	5.3	5.6	3.1	6.3	3.2

리한 양모직물의 경우에는 마찰계수 값이 현저히 감소하였다. 이는 키토산 고분자가 양모섬유의 표면에 강하게 부착됨에 따라 직물 표면의 요철도 (roughness)가 다소 증가하여 마찰물질과의 접촉면적이 감소하기 때문으로 생각된다[13]. 특히 수용성 키토산으로 가공한 경우 마찰계수값의 하락이 일반 키토산으로 가공한 경우보다 크지 않은 것은 수용성 키토산으로 가공한 경우에는 표면에 부착된 키토산 고분자가 비교적 고르고 균일하여 요철도가 일반 키토산으로 처리한 경우보다 크게 증가하지 않았기 때문으로 보인다. 한편 Table 1에서 보듯 KES-FB 시스템으로 측정된 16가지의 인자들에 의해 각 시료의 감각 평가치를 측정된 결과 플라즈마 처리에 의해서는 유의할만한 차이가 관찰되지 않았으나 키토산 가공에 의해서는 강경도, 깔깔이, 반발탄력성은 증가하고 풍유도는 감소함이 관찰되었다. 이렇게 얻어진 감각 평가치를 종합하여 종합태값 (THV)을 얻을 수 있었는데 플라즈마 처리 후 감소하였던 태 평가치가 일반 키토산 처리 후에는 더 감소하였으나 수용성 키토산으로 처리 후에는 다소 증가하였다. 따라서 플라즈마 처리 후 수용성 키토산으로 처리한 양모직물의 태는 플라즈마로만 처리하거나 플라즈마 전처리 후 일반 키토산으로 처리한 양모직물들 보다 남성용 여름 하복지로 우수함을 알 수 있었다.

4. 결 론

산소 저온 플라즈마 처리에 의해 양모섬유의 표면이 물리적 그리고 화학적으로 개질되었다. 전력이 증가함에 따라 양모섬유의 스케일이 부분적으로 떨어져 나가는 것을 확인할 수 있었고, 그 후 키토산으로 처리하게 되면 플라즈마 전처리에 의해 키토산이 양모섬유 표면에 골고루 흡착됨을 관찰할 수 있었다. 저온 플라즈마 전처리만으로도 양모직물의 치수 안정성이 향상되었지만 실용적으로 충분한 수준은 아니었고 키토산으로 후처리 해주었을 때 방축성이 현저히 향상되었다. 특히 수용성 키토산으로 가공한 경우 방축 효과가 더 우수하였는데 이는 친수성을 띠는 수용성 키토산이 플라즈마 전처리 후 음이온을 띠는 양모 표면에 고르고 강하게 결합하기 때문으로 보인다. 역학적 특

성의 측정 및 KES-FB 시스템을 이용하여 태값 (HV)과 종합태값 (THV)을 분석해본 결과 키토산 가공에 의해서 강경도, 깔깔이, 반발탄력성은 증가하지만, 풍유도는 감소하는 것을 알 수 있었다. 저온 플라즈마 처리에 의한 에칭 효과로 인해 양모직물의 표면 마찰계수가 증가하였고 미처리한 양모에 키토산을 처리한 경우에는 마찰계수값이 증가하나 플라즈마 전처리 후 키토산을 가공하면 감소하게 되는데, 이로 부터 플라즈마 전처리에 의해 키토산이 양모섬유의 표면에 골고루 도포됨을 확인할 수 있었다. 따라서 플라즈마 전처리 후 수용성 키토산으로 가공한 양모직물은 방축성과 남성용 하복지로서 태의 측면에서 우수한 가공효과를 나타내는 것을 알 수 있었다. 한편 키토산 처리에 의한 양모직물의 방축효과는 세탁에 의해 키토산 코팅이 얼마나 오랫동안 내구성 있게 유지되느냐도 중요한 관건이므로 이후 일반 키토산과 수용성 키토산을 처리한 양모직물의 세탁견뢰도에 대해 연구하는 것도 중요한 연구 과제라고 제언하는 바이다.

감사의 글: 본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수 연구센터 육성사업의 지원으로 수행되었음(R11-2005-065).

참고문헌

1. J. M. Lee, J. W. Kim, K. J. Kim, and K. Kang, "Textile Finishing", Hyungseul Publish, Seoul, 1998, pp.471-482.
2. E. A. Kim, M. J. Park, H. W. Shin, and K. W. Oh, "Textile Testing", Kyomunsa, Seoul, 1997, pp.127-131.
3. P. Jovancic, D. Jovic, R. Molina, M. R. Julia, and P. Erra, "An Enzyme-assisted Wool Shrink-resist Process", Proceeding of the 10th International Wool Textile Research Conference, EN-5, pp.1-11, 2001.
4. J. Ryu, T. Wakida, and T. Takagishi, "Effect of Corona Discharge on the Surface of Wool and Its Application to Printing", Textile Res J, 1991, 61(10), 596-601.
5. I. M. Zuchairah, M. T. Pailthore, and S. K. David, "Effect of Glow Discharge-polymer Treatments on the Shrinkage Behavior and Physical Properties of Wool Fabric", Textile Res J, 1997, 67(1), 69-74.

6. A. Hesse, H. Thomas, and H. Hocker, "Zero-AOX Shrinkproofing Treatment for Wool Top and Fabric Part I: Glow Discharge Treatment", *Textile Res J*, 1995, 65(6), 355-361.
7. S. Tokino, T. Wakida, H. Uchiyama, and M. Lee, "Laundering Shrinkage of Wool Fabric Treated with Low-temperature Plasmas Under Atmospheric Pressure", *J Soc Dyers Colourists*, 1993, 109, 334-335.
8. T. H. Mo, H. J. Lee, and H. J. Yoo, "Transaction: Effects of Chitosan Treatment on Properties of Wool Fabrics", *J Korean Soc Clothing & Textiles*, 2000, 24(1), 87-95.
9. H. J. You, K. H. Park, Y. H. Kim, Y. J. Kim, J. H. Choi, S. J. Kim, and S. H. Lee, "Separation and Purification of Low Molecular Weight Chitosan Using Multi-step Membrane Separation Process", *US Patent*, 5,730,876(1998).
10. C. W. Kan, K. Chan, C. W. M. Yuen, and M. H. Miao, "Low Temperature Plasma on Wool Substrates: The Effect of the Nature of the Gas", *Textile Res J*, 1999, 69(6), 407-416.
11. M. S. Kim, "Effects of Low Temperature Plasma and Silicone Treatments on the Dimensional Stability of Wool Fabric", *Doctoral Thesis*, Seoul National University, Seoul, Korea, 2000.
12. A. F. Kotze, H. L. Lueßen, A. G. deBoer, J. C. Verhoef, and H. E. Junginger, "Chitosan for Enhanced Intestinal Permeability: Prospects for Derivatives Soluble in Neutral and Basic Environments", *Eur J Pharm Sci*, 1998, 7, 145-151.
13. S. Y. Kim, D. H. Jang, and Y. Y. Choi, "Textile Physics", Bando Publish, Seoul, 1998, pp.169-188.