

DCCA 처리와 산소 저온플라즈마 처리가 양모직물의 형태안정성과 태에 미치는 영향

정영진

부산대학교 생명자원과학대학, 바이오소재전공

Effect of Low Temperature Plasma and DCCA treatment on the Dimensional Stability and Hand of Wool Fabric

Young Jin Jung

Dept. of Biomaterials Engineering, college of Natural Resource & Life science, Pusan National University, Miryang, 627-706
Republic of Korea

(Received: July 11, 2008/Revised: August 18, 2008/Accepted: August 20, 2008)

Abstract— Wool fabric was treated with oxygen low-temperature plasma (LTP) and dichloroisocyanuric acid. The effect of dimensional stability (relaxation shrinkage, hygral expansion, felting shrinkage), tensile strength and elongation, crease recovery, and hand of wool fabric between LTP, DCCA treated wool fabrics and control wool fabric were investigated. SEM photograph showed that a little micro crack was formed on the fiber surface by plasma treatment with hard condition and epicuticle scale was damaged by DCCA treatment. Felting shrinkage, tensile strength and total hand value were much different in each samples.

Keywords: wool fabric, low-temperature plasma, DCCA, hygral expansion, hand

1. 서 론

염색가공에서 섬유의 내부(bulk) 성질은 유지하면서 표면특성을 변화시켜 발수성, 대전방지성, 접착성, 광택, 및 촉감 등의 기능성을 부여하기 위한 직물의 표면개질에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 일반적으로 사용하는 약품처리법¹⁻³⁾, 그래프트 공중합법^{4,5)} 등의 후가공에 의한 습식처리법은 필요한 약품을 섬유에 침지(padding), 건조(dry), 고착(curing)의 방법으로 코팅처리 하는 것으로 건조를 위한 에너지 비용과 함께 많은 양의 공업용수, 화학약품 및 용제를 사용하므로 환경문제를 발생시킨다. 습식처리법의 문제를 해결하기 위하여 사용되고 있는 건조에 의한 표면 개질법으로 자외선처리법, 방사선처리법 및 방전처리법 등이 연구되고 있다. 그 중에서 섬유 및 유기재료의 표면개질에 주로 사용되는 방전처리법^{6,8)}은 저압에서 글로우(glow)방전으로 얻을 수 있는 저온플라즈마로서 가스와 전

자온도가 열적인 평형에 도달하지 않기 때문에 비평형 플라즈마라고도 불려진다.

저온플라즈마처리^{9,12)}는 방전에 의하여 전리된 기체중에 고속으로 운동하는 전자, 전리된 이온, 자외선, 라디칼, 여기분자 등이 혼재된 전기적인 중성상태로서 이들을 이용해서 섬유 및 고분자를 공격하면 라디칼에 의하여 작용기의 도입과 전자와 이온의 공격(bombardment)에 의해 표면이 깎이는 에칭(etching)이나 표면가교가 일어나며 사용하는 가스의 종류에 따라서 플라즈마 중합 등이 일어나므로 시료표면의 물리적 화학적 성질이 변하게 된다. 한편 코로나(corona)방전¹³⁾도 이온화된 분자와 라디칼 및 활성가스분자를 발생시켜 재료에 대한 표면침투를 최외층에 한정시킨다는 공통점이 있으나 대기압 공기중에서 이온화시킨 상태로 처리하며, 저온플라즈마는 처리실 내부에 어떤 종류의 가스가 존재하며 최소한의 진공이 필요한 점이 서로 다르다.

†Corresponding author. Tel.: +82-55-350-5387; Fax.: +82-55-350-5389; e-mail: hlb@pusan.ac.kr

저온플라즈마를 폴리에스테르 및 각종의 섬유에 이용하면 섬유표면의 에칭으로 염색물의 침색효과가 얻어지며, 특히 흑색에서 뚜렷한 경향을 나타낸다. 산소가스를 사용하는 경우 표면이 산소에 의하여 산화되어 한층 더 극성이 강해지기 때문에 날염시 습윤특성이 증가하며 코팅시 접착강도가 향상되고 표면장력의 증가로 인하여 친수성이 부여되는 등의 기능성 가공에 활용되고 있다. 양모섬유에 산소가스로 저온플라즈마를 처리하면 습윤성이 증가하고 방축성이 개선된다. 양모직물의 수축은 이완수축, 팽윤수축 및 펠딩수축이 복합되어 일어나는데 펠딩수축은 양모 특유의 비가역적인 수축으로 습윤상태에서 스케일(scale)에 의한 마찰계수의 방향이방성차이(DFE)가 수축의 원인으로 알려져 있다. 양모에 방축성을 부여하기 위하여 DFE를 감소시키는 방법^{14,15)}에는 스케일을 개질하는 방법, 스케일을 피복하는 방법, 그리고 이들의 두 가지를 병행하는 방법이 있다. 처리약제로는 디클로로이소시아누르산(DCCA: dichloroisocyanuric acid), 과망간산칼륨, 모노과황산 등의 산화제가 있고, 폴리아미드, 폴리요소, 폴리우레탄 등의 수지를 계면중합법으로 섬유표면에 처리하는 방법이 있으나 양모특유의 촉감과 광택 및 강도의 손상을 일으킨다. 저온플라즈마 처리된 양모는 섬유의 손상도 거의 없으므로 기계적 성질의 변화를 일으키지 않으며 염료의 흡착율을 증가시키고 염색욕의 흡진율도 향상시킨다고 알려져 있다.

본 연구에서는 모직물의 봉제, 착용, 세탁 등 실용상에서 나타나는 취약점인 형태안정성을 개선하기 위하여 건식의 산소가스를 사용한 저온플라즈마처리와 습식법으로 DCCA를 양모직물에 처리하였다. 방축처리한 시료의 섬유표면을 전자현미경으로 관찰하고 치수변화를 확인하기 위하여 각종의 수축율, 인장강신도, 구김회복성, 직물의 역학적 특성치 등의 변화를 미처리 직물과 비교 검토하였다.

2. 실험

2.1 시료 및 시약

양모직물은 2/36번수의 경사밀도 124본/5cm와 위사밀도 108본/5cm이며 직물의 중량은 294g/m², 2/2능직의 백포 생지직물을 암모니아수와 음이온 계면활성제로서 세용하고, 연속탕신기에서 예비 셋팅한 후 건조한 백포직물을 시료로 사용하였다. 플라즈마처리에는 산소 가스를 사용하였고 방축가공용으

로 처리한 시약은 디클로로이소시아누르산 소다(DCCA: sodium dichloroisocyanuric acid)로서 Aldrich사의 특급시약을, 초산, 무수황산나트륨, 아황산수소나트륨 등은 시약급을 사용하였다.

2.2 플라즈마처리

저온플라즈마처리장치는 원통형의 내부지름이 225mm인 Horizontal Type의 LP system, KR/WAP-000TS (Wool Tec, Korea)의 평행평판 전극형으로 방전형식은 라디오파 방전의 13.56MHz를 사용하였고 최대출력은 1600W이다. 방전 가스는 고순도의 산소를 사용하고 시료와 전극간 거리를 75mm로 일정하게 유지하고, 출력, 진공도, 시간 등의 조건을 변화시키면서 처리하였다. 시료의 크기는 22cm X 25cm로 하고 플라즈마 처리 후 일반적인 건식공정을 완료한 직물을 시료로 사용하였다.

2.3 방축처리

DCCA 처리는 습식 완료한 백포상태의 양모직물을 적외선 가열식 로타리염색기(Mathis LABOMAT TYPE BFA-12, Switzerland)에서 액비 1:50으로 조정된 용액에 비이온 계면활성제 0.2%, 무수황산나트륨 10%를 용해시킨 후 희석한 초산수용액으로 pH 4.5로 조정하고 20℃에서 10분간 처리한 후 DCCA를 시료 무게의 5%(owf) 투입하고 초산용액으로 pH를 4.5로 재조정하여 45℃로 승온하면서 60분간 처리하였다. 탈염소처리는 동욕에서 아황산수소나트륨 2g/l을 첨가하고 50℃에서 10분간 처리한 후 온수 및 냉수로 수세하였다. 처리한 시료는 일반적인 건식공정을 완료한 직물을 시료로 사용하였다.

2.4 표면관찰

미처리 시료의 양모섬유, 산소가스에 의한 저온플라즈마 처리한 양모섬유 및 5%(owf) DCCA로서 방축 처리한 양모섬유들의 표면 변화를 관찰하기 위하여 주사전자현미경(SEM, HITACH S3500N, Japan)을 20KV의 가속전압을 이용하여 측정하였다.

2.5 수축율, 강신도 및 구김회복성

이완수축을 시험은 시료크기에 맞추어 시험편의 크기를 20cm X 20cm로 하고 표기는 한변이 15cm인 정사각형의 경위방향으로 표시하고 모직물의 수축율 시험방법중 이완법(KSK 0602)을 준용하여 27℃의 증류수에 2시간 동안 담그어 탈수기로 5분간 탈수하고 54±1℃의 건조기에서 30분간 건조시킨 후

120-150°C의 온도에서 프레스하고 길이를 측정하여 평균값을 구하고 다음 식으로 계산하였다.

$$\text{이완수축율(\%)} = (L - L^*) / L \times 100$$

L: 시험전 경위사 표시 길이(15cm),

L*: 시험후 경위사 표시 길이의 평균

Hygral expansion 시험은 시료크기에 맞추어 시험편의 크기를 20cm X 20cm로 하고 시험편상의 거리 표시는 한 변이 15cm인 정사각형의 경위방향으로 표시하고 5g/l의 침투제를 첨가한 45°C의 수용액에 60분 침지한 후 원심탈수하여 습윤상태의 치수(H)를 측정하고 진공건조기에서 수분율이 0가 되도록 105°C에서 4시간 건조하여 곧바로 건조치수(H*)를 측정하고 평균값을 구하여 다음식으로 계산한다.

$$\text{Hygral expansion(\%)} = (H - H^*) / H^* \times 100$$

펠팅수축율 시험은 세탁건뢰도 시험방법을 준용하여 적외선 가열식 로타리형 염색기에서 금속구 3개(24g)를 첨가하고 옥비 1:100, 가루세탁비누 5g/l, 회전속도 40rpm, 온도 60°C에서 60분 처리를 3회 반복한 후 수세하고 자연 건조하여 미리 표시한 시험편의 길이 표시 즉, 시험편의 크기는 20cm X 20cm로 하고 시험편상의 길이 표시는 한 변이 15cm인 정사각형으로 표시하여 시험후의 경위방향의 평균 길이를 곱하여 면적으로 환산하고 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{펠팅수축율(\%)} = (A - B) / A \times 100$$

A: 세탁전 측정치의 면적,

B: 세탁후 측정치의 면적

인장강신도는 KS K 0520 그래브법으로 하여 Instron (Series IV Automated Materials Testing System)에서 Crosshead Speed 300mm/min, Load Range 5KN으로 측정하였고 상대습도 55%, 온도 22°C 조건에서 경사방향의 강도와 신도를 측정하였다.

구김회복성은 AATCC Test Method 66-1978에 의한 Wrinkle Recovery Tester를 사용하여 Recovery angle을 측정하였다.

2.6 직물의 역학적인 특성 및 태 평가

직물의 역학적 특성은 KES-F system을 이용하여 측정하였으며, 측정된 16가지의 특성치들에 의하여 KN-101-winter와 KN-301-winter를 가정하여 primary hand value와 total hand value를 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

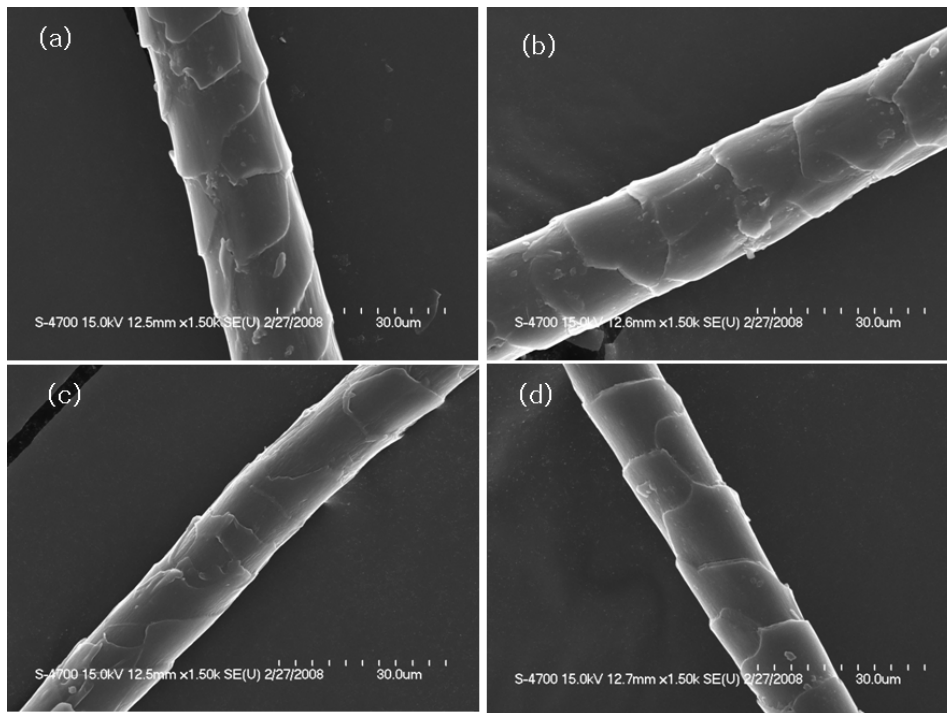
3.1 양모섬유의 표면관찰

양모섬유는 단백질로서 α -아미노산이 축합하여 이루어진 폴리펩티드 형태로서 시스틴 가교결합에 해당하는 황의 함량이 3% 이상이 포함된 경질의 케라틴(keratin)으로 분류된다. 양모는 10~30 μm 의 직경과 3cm 정도의 길이를 가지며 단면 구조는 겹겹질을 이루는 큐티클(cuticle) 부분과 내부를 구성하는 코텍스(cortex)부분으로 구성된다. 양모무게의 10% 정도를 차지하고 있는 표면층의 큐티클은 비늘모양의 큐티클 셀로 이루어져 있으며 각 셀의 끝부분은 섬유 끝 방향으로 향하고 있어서 방향에 따라 마찰계수가 다른 특성인 마찰계수의 이방성을 나타낸다. 즉, 섬유표면의 마찰계수가 모근에서 섬유 끝 방향으로 향하는 값(μ_1)과 그 반대 방향의 값(μ_2)에 차이가 생겨 방향마찰차 [DFE=($\mu_2 - \mu_1$) / ($\mu_2 + \mu_1$)]를 나타내며 펠팅을 발생시키는 원인으로 되고, 값이 클수록 펠팅이 많이 일어난다. 따라서 모직물의 방축가공은 DFE를 낮추기 위하여 각종의 산화제로서 스케일을 제거하거나 저온플라즈마로 양모섬유의 표면을 처리하면 방축효과를 기대할 수 있다.

Fig. 1에는 산소가스를 사용하여 저온플라즈마의 처리조건을 0.5torr, 100w에서 1분간 처리한 시료(a)와 0.5torr, 300w에서 10분간 처리한 시료(b), 유기염소계 화합물인 DCCA의 나트륨염을 5%(owf) 처리한 시료(c) 및 미처리 시료(d)의 섬유 표면을 주사전자현미경으로 촬영한 사진을 나타내었다.

DCCA 처리한 시료(c)는 뚜렷한 스케일의 탈락을 나타내고 있으며 산소가스로 저온플라즈마 처리한 시료(a)에서는 스케일의 뚜렷한 손상은 확인할 수 없지만 처리조건이 강한 시료(b)는 미처리 시료에 비하여 부분적인 손상과 스케일층의 두께가 약간 얇아져 있음을 관찰할 수 있었다. 한편, 100w, 1분간 처리한 시료(a)의 경우 미처리 시료와 비교하여 외관의 색상이나 촉감에는 변화가 없었으나, 300w, 10분간 처리한 시료(b)의 경우 표면의 색상이 황색으로 변하고, 촉감도 딱딱하게 변화되는 경향을 나타내었다. 두 시료를 수용액에 넣었을 때 미처리 시료와는 대조적으로 즉시 물속에 잠기는 것으로 보아 섬유의 표면이 발수성을 잃고 쉽게 수분을 흡수하는 친수성의 처리효과를 확인할 수 있었다.

모직물의 방축효과에 대하여 주로 스케일의 손상



(a) 100w/1min plasma treated wool (b) 300w/10min plasma treated wool
(c) 5%(owf) DCCA treated wool (d) control wool

Fig. 1. SEM image from the surface of O₂ plasma treated wool, DCCA treated wool, and control wool.

이나 탈락에 의한 마찰계수의 방향이방성의 차이 (DFE)의 감소를 기초로 설명하고 있다. Wakida 등의¹⁶⁾ 표면개질화한 양모섬유의 마찰계수의 방향이방성의 차이를 연구한 자료에 의하면 DCCA 처리한 양모섬유의 DFE는 0.213이고, 산소 및 CF₄가스의 저온플라즈마 처리한 양모섬유는 각각 0.234 및 0.219이며 미처리 양모섬유의 경우 0.441을 나타낸다고 보고하였다. 한편으로 양모섬유의 모근에서 섬유끝 방향으로 향하는 마찰계수의 값과 반대방향의 마찰계수의 값은 미처리 양모의 경우 $\mu_1 = 0.173$, $\mu_2 = 0.445$ 이고, 산소저온플라즈마를 처리한 경우 $\mu_1 = 0.358$, $\mu_2 = 0.577$ 로 증가 하였으나 DCCA 처리한 경우에는 $\mu_1 = 0.196$, $\mu_2 = 0.301$ 로 변화된 것은 스케일의 탈락에 의하여 μ_2 가 감소하기 때문이라고 설명하였다.

3.2 양모직물의 형태안정성

3.2.1 수축율

섬유의 기능성을 부여하는 섬유가공은 활용면에서 형태안정성, 착용안정성 및 특수기능발현 등에 중점을 두고 기술이 개발되고 있다. 특히 양모섬유의

경우 소수성인 표면 스케일과 친수성인 아미노산 잔기를 많이 함유하고 있으므로 발수성과 흡습성을 동시에 갖는 섬유소재이다. 양모섬유의 구불구불한 크림프(crimp)구조와 분자간 시스틴(cystin)가교는 방적성과 탄성을 부여하는 의류용소재로서 우수한 기능을 나타내지만 양모의 스케일 구조와 탄성은 형태안정성을 해치는 요인이 된다. 일반적으로 모직물의 치수변화는 이완수축(relaxation shrinkage), 하이그랄익스펜션(HE: hygral expansion) 및 펠팅수축(felting shrinkage)의 세 가지 중요한 기작(mechanism)이 알려져 있다. 이완수축은 직물이 만들어지기까지 방적 및 제직 등의 공정중에 받은 인장응력으로 늘어진 상태에서 세팅(setting)이 되어진 경우 물에 의하여 직물의 응력이 완화되어 인장을 받기전의 치수로 수축하는 현상을 말하며, HE는 양모섬유의 함유수분율이 변하는 것에 의하여 생겨나는 직물의 신축거동으로 가공중 건조작업 등에 의해 함유수분이 감소하면 줄어들고 대기중에 방치하면 수분을 흡수하여 늘어나는 현상으로 완화수축과는 달리 가역적인 현상을 보인다. 한편, 펠팅수축은 양모섬유의 표면스케일에서 발생하는 마찰계수의 방향이방

성의 차이로 인하여 습윤상태에서 기계적 마찰을 받으면 섬유들이 엉키면서 수축하는 현상이다. 완화수축은 방적 및 제직공정에서 인장된 실이 가공공정의 세움(scouring), 탕신(crabbing) 등 습윤공정에서 완화되고 건조 후 증용(blowing) 또는 압용(decatizing)공정에서 일시적인 세트가 일어나서 안정된 직물로 유지되지만 봉제공정에서 직물에 물이나 스팀을 공급하고 다림질이나 프레스 작업을 할 때 실(yarn) 내에 존재하는 인장력이 소실되고 인장되기 전의 치수로 되돌아가게 되므로 생겨나는 것으로 섬유제조공정에 큰 영향을 받는다. 모직물은 완전히 완화된 후에도 상대습도의 상승에 따라 그 치수가 변화하여 세트처리 여부에 따라 매우 다른 거동을 나타낸다. 일반적으로 세트처리 되지 않은 직물은 수분율이 20~25%까지는 HE가 최대로 되어 직물이 늘어났다 그 이후에는 수축하는 경향을 보이는 반면에 세트처리 된 직물에서는 수분율이 상승함에 따라 HE에 의하여 직물이 6~8% 정도의 범위에서 연속적으로 늘어난다. 모직물의 완화수축에 대해서는 공정중 직물에 부여되는 장력을 최소화 하고 건조공정에서는 과급포장치(over feeding system)를 통하여 경사방향에 미리 과수축을 유도하여 최종직물에서 수축의 발생을 방지하도록 관리한다. 모직물의 방축가공은 펠팅수축을 방지하기 위한 것으로 스케일을 연화 또는 파괴하거나 피복하는 방법이 주로 사용되고 있다. 스케일을 제거하기 위하여 건조상태의 염소기체를 사용할 경우 반응속도가 빠르고 불균일 반응으로 섬유의 취화가 심하기 때문에 수용액상의 반응으로 유기염소계 화합물을 사용하거나 효소처리 등과 같은 방법이 시도되고 있다. 유기염소를 사용하는 방법중 DCCA 처리법은 pH 3~6의 산성용액에서 분해반응으로 차아염소산을 발생시키므로 반응속도를 온도와 pH를 조절하여 균일한 처리를 통하여 스케일의 적절한 정도의 구조파괴와 강도저하를 방지하도록 활성염소의 발생속도를 조절할 수 있어야 한다.

한편, 건식처리에 의한 방축가공으로 저온플라즈마를 양모직물에 처리하면 기질표면과 플라즈마중의 활성종이 반응하여 에칭(etching), 표면가공, 화학수식 등의 복합적인 반응에 의하여 표면특성이 변화하지만 스케일의 파괴가 거의 확인되지 않으므로 강도의 손상을 크게 일으키지 않으면서 방축성을 얻을 수 있는 방법이다. Table 1에는 미처리 양모직물, DCCA 처리한 양모직물 및 산소가스를 사용한 저온플라즈마 처리한 양모직물의 수축율 및 직물의 인장강신도를 측정하여 형태안정성의 차이를 나타내었다.

이와 수축율 및 펠팅 수축율은 DCCA 처리한 시료가 가장 우수하였고 산소플라즈마 처리한 시료의 경우 동일한 가스량과 진공도에서는 전력과 처리시간에 비례하여 치수의 안정성을 나타내었다. 한편, 경사방향으로 측정된 직물의 인장강신도의 경우 DCCA 처리한 시료는 스케일의 손상으로 미처리 시료에 비하여 약 20%의 강도저하가 발생하였으나 플라즈마 처리한 시료에서는 오히려 20% 정도의 강도의 증가가 나타났다. 이것은 플라즈마 처리에 의하여 표면에 에칭으로 섬유와 섬유사이 및 실과 실사이의 마찰이 증가하여 상호간의 응집이 크게 되었기 때문이라 생각된다. Lindberg 등¹⁷⁾은 HE현상은 직물의 전단강성과의 사이에 어떤 관계가 있으며, 직물에서 구성사의 크립프도 HE와 함께 직물의 신장탄성 증가에 관련되어 진다고 서술하였다. Olofsson 등¹⁸⁾은 HE현상은 구성사 내의 구성섬유가 직경방향으로 팽윤하고 구성사와 섬유의 크립프 반경이 증가하여 사의 크립프가 감소하므로 신장한다고 발표하였다. Wemyss¹⁹⁾는 shear-crimp 모델에 의하면 HE값과 상관관계를 식으로 정의하였다.

$$HE(\text{dry} - \text{wet}) = 0.38\text{crimp} - 1.30 \text{ shear hysteresis} + 1.6$$

HE가 직물의 크립프와 전단이력의 값에 관계된다는 것은 직물에 전단응력이 가해졌을 때 실간의 상호작용은 마찰저항의 형태로 나타나며 이것은 직

Table 1. The results of dimensional change of O₂ plasma treated, DCCA treated wool fabrics, and control wool fabric

Dimensional Stability	Control	DCCA	Plasma		
			300w/10mm	200w/5min	100w/1min
Relaxation-Shrinkage wp/wf(%)	4.4 / 2.3	1.5 0.2	2.4 / 0.2	2.8 / 0.4	3.8 / 1.4
Hygral-Expansion(%)	2.8	2.0	0.4	0.6	1.5
Felting Shrinkage(area%)	16.7	4.5	5.2	5.6	8.5
Strength(N)/Elongation(%) warp only	549/46.1	445/48.1	663/49.5	-	-

물의 전단변형에서는 전단이력의 값으로 나타나는 것을 의미한다. 따라서 직물을 이루고 있는 구성사의 크립프가 클수록, 강하게 세팅된 직물일수록 높은 HE값을 나타낸다. Fig. 2는 HE와 관계가 있는 시료직물들의 전단이력을 나타낸 것으로 미처리 시료와 DCCA 처리한 시료는 약간의 차이를 보이지만 산소플라즈마 처리한 시료는 4.5배의 매우 큰 값을 나타내었다.

3.2.2 방추성

구김(wrinkle)의 발생은 섬유의 점탄성적인 특성에 영향을 받으며 직물에 굽힘 변형이 일어나는 동안 섬유와 섬유간의 마찰효과와 점탄성 관계의 연구가 필요하다. 직물의 구김회복성은 섬유 자신의 점탄성적 거동, 섬유원료의 구조, 섬유 간, 실 사이의 마찰, 구속 등의 많은 요인이 있는 것으로 알려져 있다. 구성섬유의 히스테리시스는 굽힘 변형 동안 섬유 내 응력의 점탄성적인 거동을 상실하기 때문에 나타나는 현상이다. 생지상태의 굽힘 변형에서 나타나는 히스테리시스가 가공 후의 직물상태의 경우 보다 훨씬 큰 값을 보이는 것은 생지상태에서는 섬유들 사이의 마찰이 훨씬 크며 구김변형이 일어날 때 섬유 내에 잔류하고 있던 힘이 섬유들 사이의 마찰력 보다 클 때에만 구김회복이 가능하므로 생지의 구김회복이 가공직물의 구김회복 보다 훨씬 나쁘게 된다. Table 2는 미처리 시료, DCCA 처리한 시료 및 산소플라즈마 처리한 시료들의 구김 회복율을 Wrinkle Recovery 시험기에 의해 측정된 결과를 나타내었다.

Chapman²⁰⁾은 직물의 구김회복에 있어서 마찰요소(F)와 탄성요소(V)의 관계를 다음 식으로 표현하였다.

$R = (1 - F/V)$, 여기서 F/V의 값은 직물의 회복도를 예측할 수 있는 정도를 나타내는 값이다. 구김이 주어질 때의 변형을 버커링(buckling) 변형으로 간주하고 실과 직물의 마찰-미끄러짐 요소의 커플을 코얼시브(coercive)로 대체하여 구김거동에서 변형을 설명하고 있다. 직물의 굽힘 변형에서의 코얼시브 커플은 직물내에 존재하는 섬유들 사이의 마찰력에 의해 설명되어진다. 구김이 주어져서 회복될 때 까지 직물을 구성하는 섬유와 섬유들 사이 그리고 실과 실사이의 마찰요소인 코얼시브 커플은 직물에 가해지는 최대 곡률의 크기에 의존한다. 즉, 최대 곡률이 증가할수록 코얼시브 커플은 증가하며 가공공정을 거친 직물의 경우가 가공되지 않은 것보다 훨씬 작은 값을 나타낸다는 것은 가공된 직물의 경우가 구성섬유들 사이의 상호작용이 훨씬 적다는 것을 의미한다.

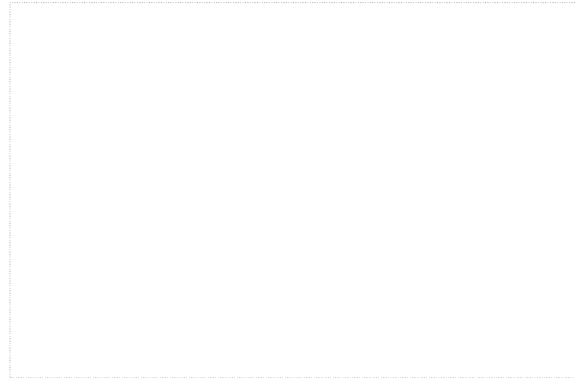


Fig. 2. Shear hysteresis of control wool fabric, DCCA treated wool fabric, and plasma treated wool fabric.

Table 2. The results of crease recovery value of control wool fabric, DCCA treated wool fabric, and O₂ plasma treated wool fabric

Crease Recovery (degree)			
Specimen	Warp direction	Weft direction	Total
Control	140	150	290
DCCA	140	130	270
Plasma	120	110	230

드레이프와 같은 저곡률 굽힘에서는 마찰요소가 코얼시브 커플에의 기여가 크며, 직물구김과 같은 대곡률 굽힘에서는 섬유 간, 실 간의 마찰요소가 섬유자체의 점탄성적 요소의 기여와 거의 같은 값을 가진다는 사실이 chapman의 분석결과로서 설명되고 있다. Fig. 3은 직물의 구김회복과 관계가 있는 역학적 특성중 굽힘 변형에서의 히스테리시스(2HB), Fig. 4는 굽힘 강성(bending rigidity), Fig. 5는 표면마찰계수(MIU)의 값을 그래프로 나타내었다. 굽힘 강성에서는 약간의 차이가 있으나 굽힘 이력에서는 산소플라즈마 처리한 시료가 미처리한 시료에 비하여 경사방향으로 2.5배, 위사방향으로 3배 정도의 증가를 나타내므로 구김의 회복율이 미처리 시료 보다 감소할 것으로 예상되며 실측치와도 일치하였다.

3.3 양모직물의 역학적 특성과 태 변화

단섬유의 특성과 배향성, 실의 기하학적 구조, 이들 집합체가 모여서 형성된 직물의 밀도와 조직과 같은 구조인자가 직물의 특성을 결정짓는 중요한 요소가 된다. 직물의 태는 물리적 역학적 특성치만으로 결정할 수 없으며 직물에 사용되고 있는 섬유의 종류, 실의 굵기, 꼬임, 밀도, 조직 등의 특성치에 크게 좌우된다. 역학적 특성과 직물의 태와의 관계를 정량적으로 평가하기 위한 연구에서 직물의 특

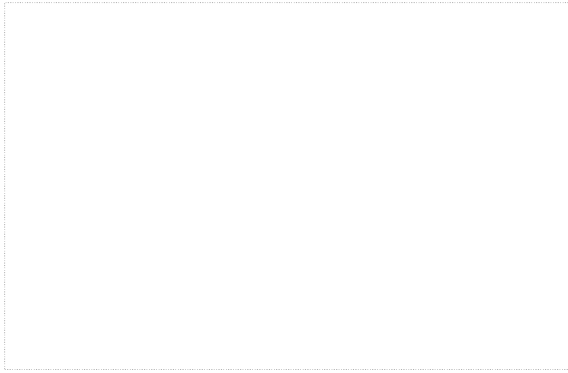


Fig. 3. Bending hysteresis of control wool fabric, DCCA treated wool fabric, and plasma treated wool fabric.

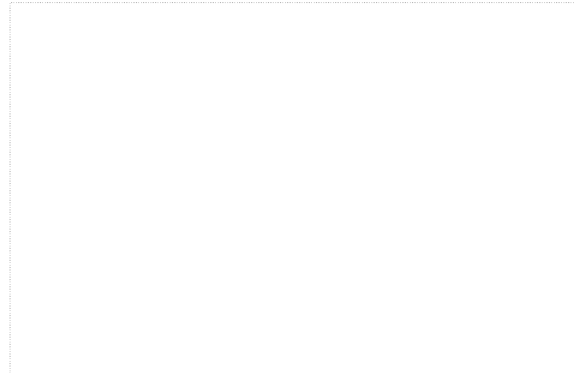


Fig. 4. Bending rigidity of control wool fabric, DCCA treated wool fabric, and plasma treated wool fabric.

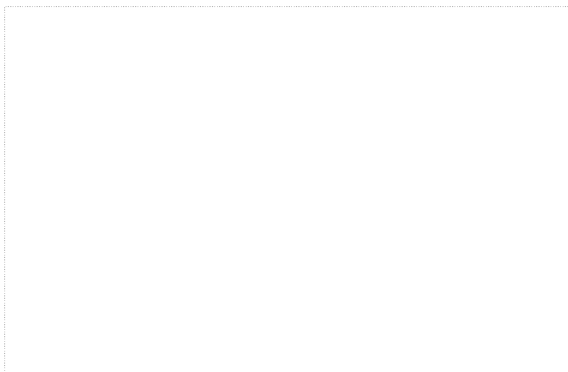


Fig. 5. Friction coefficient of control wool fabric, DCCA treated wool fabric, and plasma treated wool fabric.

Table 4. Primary hand values and total hand value of control wool fabric, DCCA treated wool fabric, and oxygen plasma treated wool fabric

Hand Value	Control	DCCA	Plasma
Stiffness	4.63	3.91	5.78
Smoothness	4.75	5.04	2.76
Fullness/Softness	5.30	8.65	4.36
T. H. V	3.08	2.79	2.56

Table 3. The mechanical properties of control wool fabric, DCCA treated wool fabric, and oxygen plasma treated wool fabric

KES-F properties	Symbol(unit)	Control	DCCA	Plasma
Tensile	WT(gf.cm/cm ²)	13.75	14.88	11.70
	RT (%)	62.87	59.32	49.81
	EM (%)	10.06	12.86	7.39
	LT (-)	0.548	0.464	0.633
Shearing	G (gf/cm.deg)	0.47	0.43	0.86
	2HG(gf/cm)	0.79	1.10	3.10
	2HG5(gf/cm)	1.20	1.43	5.32
Bending	B(gf.cm ² /cm)	0.146	0.183	0.204
	2HB(gf.cm/cm)	0.0511	0.0869	0.1372
Compression	T(mm)	1.003	2.065	1.055
	WC(gf.cm/cm ²)	0.229	0.958	0.217
	RC (%)	59.39	50.00	49.31
	LC (-)	0.365	0.409	0.342
Surface	MIU (-)	0.229	0.326	0.236
	MMD (-)	0.0184	0.0219	0.0230
	SMD (micron)	5.79	7.26	5.70

성치를 관능량인 태의 값으로 변환하기 위하여 KES-FB 시스템이 이용되고 있다. Table 3에는 시료 직물의 역학적 특성치를 나타내었고, Table 4에는 역학적 특성치를 태의 값으로 변환시킨 것을 나타내고 있다.

3.3.1 인장특성

플라즈마 처리한 시료는 예칭에 의하여 표면의 조도(roughness)를 증가 시키므로 섬유 내 또는 실내부의 마찰을 크게 하여 응집력을 향상시키고 인장 에너지(WT)도 증가하게 되므로 신장 동안 외부 스트레스를 버틸 수 있는 능력이 크게 된다. 반면에 인장응력을 가한 후 회복능력을 나타내는 인장 리자일런스(RT:tensile resilience)는 크게 감소하는 경향을 나타낸다. 인장응력을 가한 후 신장된 길이의 백분율로 나타내는 EMT(extensibility)는 섬유내부 또는 실내부의 마찰에 의한 응집력의 증가로 이동이 제한되므로 크게 감소하였다. 한편, DCCA 처리한 시료의 경우 탈스케일에 의한 마찰계수의 방향이방성 차이의 감소로 이동이 원활하게 되어 미처리에 비하여 증가 하였다.

3.3.2 전단특성

직물은 평면에서 서로 직교하며 크기가 같고 방향이 반대인 두 가지의 힘에 의해 경사와 위사의 교차각이 변화할 때 전단변형이 발생한다. 직물의 전단변형은 경사와 위사의 교차 각이 직각에서 변위하는 현상이라고 정의할 수 있다. 직물의 드레이프성, 유연성, 직물의 태 등에 큰 영향을 미치며 굽힘과 함께 구김에 중요한 역할을 한다. 전단응력에 대항하는 전단강성의 값(G)과 0.5° 및 5°의 전단 각에서 값으로 나타난 2HG와 2HG5의 모든 값에서 미처리 시료에 비하여 DCCA 처리한 시료는 약간 증가하였으나 플라즈마 처리한 시료는 2-4배의 증가를 나타내었다. 이것은 전단응력을 제거한 후 회복에 대한 능력이 매우 감소한 것으로 직물의 태와 드레이프성에 부정적인 역할을 초래한다. 직물의 전단변형에 대한 저항은 직물의 단위면적당 존재하는 실의 수에 비례하는 것으로 생각할 수 있고 단층직물의 경우는 두꺼운 직물이 얇은 직물보다 전단에 대한 저항이 더 적은 것으로 생각할 수 있다. DCCA 처리한 시료가 미처리 시료에 비하여 두께가 2배 정도로 증가하였고 따라서 전단강성의 값은 가장 적게 나타난 것으로 생각된다.

3.3.3 굽힘특성

직물을 구성하고 있는 섬유자체가 비선형 점탄성을 가지면서 크립프를 형성하고 실 상태에서 각

단섬유들은 꼬임작용에 의해 이중의 나선구조를 하며 이들 실들이 직물이 되면서 다시 직물 크립프를 형성한다. 따라서 직물의 굽힘 거동은 여러 가지 인자들이 중첩되므로 복합변형이 일어난다고 생각할 수 있다. 직물의 굽힘 거동은 그 직물을 구성하고 있는 실의 굽힘 강성에 관계되고 실의 굽힘 강성은 그 실을 구성하는 단섬유들의 성질과 그 실의 구조적인 인자에 영향을 받게 되는 것을 드레이프성, 구김저항, 왜곡(skew), 커일(curl) 등의 예에서 볼 수 있다. 직물의 굽힘 변형거동은 굽힘 변형이 일어나는 방향으로 존재하는 굽힘저항, 실과 실 사이의 상호작용, 섬유와 섬유 및 실과 실사이의 마찰저항 등의 인자에 의하여 결정 된다. 한편, 직물의 굽힘 변형거동의 히스테리시스는 섬유 자체의 점탄성적인 성질과 섬유와 섬유간의 마찰, 실과 실간의 마찰에 기인한다. 플라즈마 처리한 시료는 섬유표면이 예칭으로 인하여 섬유사이에 마찰이 증가하므로 굽힘강성(B)와 굽힘모멘트(2HB)가 미처리 시료에 비하여 높게 나타난다고 생각된다. 따라서 플라즈마 처리한 시료는 촉감이 딱딱하고 구김회복성이 부족하므로 실용적인 측면에서는 유연처리 등으로 태의 결핍성을 보완해야 할 것으로 생각된다.

3.3.4 압축특성

직물의 압축특성은 직물의 태와 관계를 가지고 있으며 직물의 두께를 측정할 때 가해진 압축력과 직물의 구조와 구성사의 성질과 관련하여 직물의 압축성에 큰 영향을 미치는 구성사의 압축성은 실의 굽기와 압축력간의 관계는 자연 지수함수 관계가 있는 것으로 알려져 있다. DCCA 처리한 시료에서 미처리 시료에 비하여 두께가 2배 정도의 차이를 나타내며 압축에너지(WC)가 4.5배의 증가를 나타내었다.

3.3.5 태의 변화

직물의 태는 물리적인 값으로만 평가할 수 없는 관능적인 요소가 포함되어 있다. 역학적인 성질과 기능적으로 일치하는 강도, 신도, 유연성, 보온성, 흡습성 등의 물리적인 부분은 그 직물을 구성하고 있는 섬유의 종류, 실의 형태, 직물의 조직 등에 따라 매우 달라진다. 직물을 구성하고 있는 요소들의 특성치와 직물의 태를 나타내는 관능량과의 상호변환으로 Hand Value와 용도에 적합한 종합적인 직물의 태를 평가한다. Table 4에 나타난 산소 플라즈마 처리한 시료는 섬유표면에 예칭으로

섬유와 실 간의 마찰을 크게 하여 인장에너지가 증가하여 인장응력을 가한 후 회복능력이 크게 감소하는 경향을 나타내는 stiffness한 촉감을 강하게 나타내므로 상대적으로 유연함이 매우 부족한 결과를 보인다. 한편, DCCA 처리한 시료는 섬유표면의 스케일의 손상으로 플라즈마 처리한 시료와는 반대로 stiffness는 매우 낮고, smoothness와 fullness는 크게 증가하는 대조적인 변화를 보인다.

4. 결 론

모직물의 봉제, 착용, 세탁 등의 과정에서 발생하는 치수의 변화화 관련하여 대표적인 방축가공 방법인 DCCA 처리법과 저온플라즈마 처리법으로 비교 실험하고 다음과같은 결론을 얻었다.

1. 전자현미경에 의한 양모섬유의 표면관찰에 의하면 산소가스를 사용하여 저온플라즈마를 처리할 경우에 일반적인 약한 처리조건에서는 섬유표면의 물리적 또는 색상의 변화는 없으나, 0.5torr, 300W, 10분간의 강한 처리조건에서는 스케일층의 두께가 약간 얇게 되고 백포직물의 표면 색상이 황색으로 변화하였다. 반면에 DCCA 처리한 시료는 스케일의 손상이 뚜렷하게 나타났다.
2. 치수의 안정성을 평가하기 위한 수축율 시험에서 플라즈마 처리한 시료는 대기수분에 의한 팽윤수축(hygral expansion)과 펠팅 수축율에 매우 안정한 결과를 나타내며 그 효과는 출력과 처리 시간에 비례하는 경향을 나타내었다. DCCA 처리한 시료는 이완수축과 펠팅 수축에 안정성이 높게 나타났다.
3. 직물의 역학적 특성치의 분석결과와 구김 회복성을 비교 했을 때 플라즈마 처리한 시료는 에칭에 의한 섬유간, 실 사이의 마찰이 증가하여 전단강성, 굽힘 이력, 굽힘 강성의 값이 미처리 시료에 비하여 매우 증가하여 구김 회복성이 부족하고, 직물의 촉감도 매우 딱딱하며 종합적인 태의 값도 부족하므로 추가적인 가공공정의 보완이 요구된다.

참고문헌

1. R. H. Wade and T. L. Vigo, Structural Changes in Cotton, Effect of Premercerization Condition on Subsequent Cross-Linking, *Textile Res. J.*, **39**(2), 148-154(1969).
2. S. N. Pandey and R. L. N. Iyengar, Studies on Chemically Modified Cotton, Part III: Chemical Treatments at Different Temperatures and Their Effect on n Crystallinity and Various Other Properties, *Textile Res. J.*, **39**(11), 987-993(1969).
3. S. N. Pandey and R. L. N. Iyengar, Studies on Chemically Modified Cotton, Part IV: Studies on the Relationship Between the Properties of Untreated and Chemically Modified Cotton Fiber, *Textile Res. J.*, **39**(11), 993-1002(1969).
4. V. N. Sharma and E. H. Daruwalla, Crosslinking of Cotton Through Graft Copolymerization, *Textile Res. J.*, **46**(6), 398-405(1976).
5. Y. Kamiishi and K. Arai, Graft Copolymerization onto Wool Treated with Silane Coupling Agent, "Proceedings of the 9th International Wool Textile Research Conference", Vol. III, 272-279, 1995.
6. I. M. Zuchairah, M. T. Pailthore, and S. K. David, Effect of Glow Discharge-polymer Treatments on the Shrinkage Behaviour and Physical Properties of Wool Fabric, *Textile Res. J.*, **67**(1), 69-74(1997).
7. A. Hesse, H. Thomas, and H. Hocker, Zero-AOX Shrinkproofing Treatment for Wool Top and Fabric Part I: Glow Discharge Treatment, *Textile Res. J.*, **65**(6), 355-361(1995).
8. A. E. Pavlath and K. S. Lee, Effect of the After glow on the Felting Shrinkage of Wool, *Textile Res. J.*, **45**, 742-745(1975).
9. 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.*, **69**(6), 407-416(1999).
10. S. Tokino, T. Wakida, H. Uchiyama, and M. C. Lee, Laundering Shrinkage of Wool Fabric Treated with Low-temperature Plasma Under Atmospheric Pressure, *J. Soc. Dyers Colourists*, **109**, 334-335 (1993).
11. T. Wakida, S. Tokino, S. Niu, H. Kawamura, Y. Sato, M. Lee, H. Uchiyama, and H. Inagaki, Surface Characteristics of Wool and Poly(ethylene Terephthalate) Fabrics and Film Treated with Low-Temperature Plasma Under Atmospheric Pressure, *Textile Res. J.*, **63**, 433-438(1993).
12. A. M. Sarmadi, T.H. Ying, and F. Denes, Surface Modification of Polypropylene Fabrics by Acryl-

- onitrile Cold Plasma, *Textile Res. J.*, **63**, 697-705 (1993).
13. J. Ryu, T. Wakida, and T. Takagishi, Effect of Corona Discharge on the Surface of Wool and Its Application to printing, *Textile Res. J.*, **61**(10), 596-601(1991).
 14. T. Shaw and M. A. White, "Handbook of Fiber Science and Technology", Vol, II, Chemical Processing of Fibers and Fabrics, Functional Finishes (M. Lewin and S. B. Sello eds) New York: Part B, Marcel Dekker, Chapter 5, 346-367, 1984.
 15. K. R. Makinson, The Role of Chlorine in Oxidative Antifelting Treatments of Wool, *Textile Res. J.*, **44**(11), 856-858(1974).
 16. T. Wakida, 羊毛纖維の低温プラズマ処理, *工業染色*, **35**(7), 306-312(1987).
 17. J. Lindberg, "The setting of Fibres and Fabrics", Chapter. 8, Merrow, Watford, Hert, 1971.
 18. B. Olofsson and K. Baird, Setting and Hygral Expansion of Wool Fabrics, *Textile Res. J.*, **32**, 1037-1038(1962).
 19. Wemyss and De Boos, Effects of Structure and Finishing on the Mechanical and Dimensional Properties, *Textile Res. J.*, **61**, 247-252(1991).
 20. B. M. Chapman, The Importance of Interfiber Friction in Wrinkling, *Textile Res. J.*, **45**, 825-829(1975).