

친환경 효소가공에서 플라즈마 전처리가 염색성과 태에 미치는 영향

김지현

한양여자대학 니트 패션 디자인과 강사

The Study on the Effect of Plasma Pre-treatment on the Dyeing Properties and the Handle in the Environment Friendly Enzyme Finishing

Ji-Hyun Kim

Lecturer, Dept. of Knit Fashion Design, Hanyang Women's College
(2008. 11. 17. 접수; 2008. 12. 4. 수정; 2008. 12. 5. 채택)

Abstract

Cotton, wool, cotton/wool blended (80:20) and tencel fabrics were treated with low temperature oxygen plasma, enzymes (cellulase or protease), or oxygen plasma-enzyme and they were examined for dyeing and handling properties for environment friendly finishing. The appropriate conditions for cellulase treatment were enzyme concentration of 3g/l, pH of 5, and 60°C for one hour, and for protease treatment were enzyme concentration of 4g/l, pH of 8, and 60°C for one hour. The equilibrium uptake of a direct dye on cotton changed with plasma treatment and plasma-cellulase treatment, and the rate of dyeing slightly decreased. When wool was dyed with acid dye, the equilibrium dye uptake did not change with plasma, protease treatment nor plasma-protease treatment, however, the rate of dyeing had increased with plasma-protease treatment. From these results, it is assumed that plasma attacks the surface of the fiber, and enzyme mainly affects the inner part of the fiber.

Plasma treatment did not affect mechanical properties related to the handling of fabrics. The handling test showed increased extension at maximum load(EM), tensile energy(WT) with decreased tensile resilience(RT), and the fabrics became softer but resilience decreased slightly with enzyme treatment. The bending recidity(B), hysteresis of bending moment(2HB), and hysteresis of shear force at five degrees(2HG5) decreased, however, shear stiffness(G) increased. I knew the plasma pre-treatment made fabrics softer with lower koshi(stiffness). The handling of plasma pre-treated fabrics was better than that of enzyme-treated fabrics. When we pre-treated fabrics, the handling test showed decreased coefficient of friction(MIU), geometrical roughness(SMD), while the surface of fabrics became smoother and numeri increased. Even though compression resilience(RC) increased, fukurami(bulky property) and compressive elasticity, decreased due to the linearity of compression-thickness curve(LC) and compression energy(WC).

Key Words: Environment friendly finishing(친환경 가공), Enzyme finishing(효소가공), Plasma treatment (플라즈마처리), Cellulase(셀룰라아제), Protease(프로테아제)

Corresponding author ; Ji-Hyun Kim

Tel. +82-11-1727-2155, Fax. +82-2-782-4375

E-Mail : maiaa@hanmail.net

I. 서론

현대 문명의 발달이 가속화됨에 따라 이에 따라 환경공해문제가 날로 심각해지고 있다. 따라서 환경 문제에 대한 관심이 고조되고 환경을 보존하며 후대에 물려줄 소비 기반의 지속 가능성을 중시하는 친환경 가치관이 대두되고 있다. 그 일환으로 친환경 디자인(Design for Environment)¹⁾이 개발되고, ‘사회적 웰빙(well-being)’이라고 할 수 있는 로하스(LOHAS, Lifestyles of Health And Sustainability)라는 개념도 생겨났으며²⁾ Polylactic acid(PLA)섬유, Tencel, Chitosan 섬유, 카제인 섬유, 콩섬유, 대나무 섬유와 같은 생분해성 섬유에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.³⁾ 이와 같은 관점에서 효소를 이용한 섬유 소재의 가공은 자연친화적인 기술로 특히 섬유공정과 후처리에 있어 효소의 이용은 친환경 바이오기술 적용의 성공적인 사례이다. 효소는 천연 고분자 콜로이드 단백질 촉매이기 때문에 빨리 생분해되므로 많은 화학 가공제들을 대체하는 데 좋으며, 환경친화적인 생성물이라는 관점에서 그 중요성이 새로이 인식되고 있다. 효소를 이용하면 면처리 시 화학적으로나 환경적으로 문제가 되고 있는 알칼리 오염을 억제하고 양모를 처리할 때의 염소처리 공정 없이 화학가공을 대신할 수 있다. 효소를 이용하여 공정 후의 화학성 잔존물을 남기지 않고 염색물의 색상변화도 최소화할 수 있다. 또한 효소는 특유의 기질선택성과 함께 상온, 상압, 중성부근의 온화한 조건에서 최대의 촉매활성을 나타내므로 여러 산업분야에서의 응용도 적극적으로 검토되고 있다.^{4),5)} 한편 효소는 면직물 공정뿐만 아니라 양모공정에서도 널리 이용되고 있다. International Wool Secretariat(IWS)는 효소제조 전문회사인 Novo Nordisk사와 공동으로 표면 외관과 내필링성을 향상시킬 뿐만 아니라 따끔거리는 감촉을 감소시키고 유연성을 증가시킴으로써 착용 시 편안함의 향상을 목적으로 하여 양모공정 전반에 걸친 프로테아제 효소의 사용법을 개발해 온 결과 Biosoft PW라는 물질을 섬유시장에 내놓았다. 프로테아제는 염색에 있어서도 유용한데 날염 페이스트를 다량 사용하게 되는 원인이 되는 proteinaceous gum의 제거에도 이용할 수 있다.

이 방면에서 앞으로 더 요구되는 것은 양모 큐티클의 일부를 선택적으로 제거함으로써 양모 화이버의 분해나 절단, 광택, 촉감과 펠팅성을 개선하고자 하는 것이다. 또한 프로테아제는 양모 공정의 경우와 마찬가지로 이미 견의 degumming과 견 편성물의 sandwashed 효과에 이용되어 왔으며, 특히 견-셀룰로오스 혼방에 대한 처리는 그 독특한 효과 때문에 기대되는 분야이다. 그 밖에도 효소를 원료로 하여 완전히 새로운 화이버를 생산해 낼 수 있다. Biopolymer zeneca는 이미 천연적으로 합성된 폴리에스테르, PHB를 생산하고 Biopol이라는 상품명으로 상업화하였다.

저온 저압 플라즈마는 특히 천연고분자의 거칠기에 유용하다고 알려져 있다.^{6),7),8),9),10)} 저온 플라즈마로써 직물이나 화이버의 표면을 개질시키는데 관한 여러 가지 보고가 있는데, 예를 들면 방사성¹¹⁾, 친수성¹²⁾, 심색성¹³⁾, 친수화, 대전방지, 방오¹⁴⁾, 난연가공, 풀빼기가공, 면직물의 정련(dewaxing) 등에 이용한다. 또한 합성섬유인 aramid 섬유의 염색성 향상 등 섬유의 염색성을 향상시키기 위한 플라즈마가공에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다.

효소가공은 유연성, 염착속도의 향상을 비롯한 광범위한 가공 효과를 가져 오지만 수반되는 강도저하 등의 문제를 선결하는 것이 필요하며 동시에 효소가공의 효과를 증가시킬 수 있는 가공법으로서 상기한 바와 같이 염색성의 향상에 도 영향을 미친다고 알려져 있는 플라즈마 가공법으로 전처리한 후 효소처리 하여 플라즈마처리, 효소처리 시의 염색성이나 직물의 태와 비교하여 플라즈마 전처리가 이들 특성에 어떤 영향을 미치는지에 관하여 연구하였다.

II. 연구 방법

1. 시포

<표 1> 참고

2. 플라즈마처리

RF glow discharge plasma 기기를 사용하여

<표 1> 실험에 사용한 시포들

	weave	count		density	
		warp	weft	warp	weft
cotton fabric	plain	40Ne	40Ne	133	72
wool fabric	plain	35Ne	35Ne	116	70
c/w blended fabric (80/20)	plain	20Ne	20Ne	120	67
tencel fabric*	plain	14d	14d	97	93

* dyed fabric

(radio frequency 13.56MHz) 방전출력 40W, 기체 압력 10⁻¹Torr에서 산소로 30분간 처리하였다.

3. 효소처리

효소는 셀룰로오스 직물에는 셀룰라아제인 활성도 1500 EGU/g의 Denimax Acid XCL을, 단백질 직물에는 프로테아제인 활성도 2.5 AU/g의 Alcalase 2.5 L DX를 사용하였고 시약은 citric acid, calcium acetate, aluminium sulfate, cupriethylenediamine(cuene) 등의 일급시약을 정제 없이 사용하였다. 효소처리는 Launder-O-Meter(Yasuda Seiki Seisakusho)를 이용하여 셀룰로오스계 직물은 셀룰라아제 농도 3g/l, pH 5, 60°C에서, 단백질계 직물은 프로테아제 농도 4g/l, pH 8, 60°C의 조건에서 1시간 동안 처리한 후 효소의 잔여 활성을 없애기 위해서 약 80°C의 온도에서 10분간 후처리하였다.

4. 플라즈마-효소처리

2, 3과 같은 조건으로 30분간 플라즈마처리 후 1시간 동안 효소처리 하였다.

5. 염색

면직물은 C. I. Direct Red 88을, 모직물은 C. I. Acid Orange 7을 사용하여 욕비 50:1에서 염색하였고, soaping은 계면활성제의 농도 2g/l로 60°C의 온도에서 20분간 행한 후 수세하였다. 면/모 혼방직물은 각 섬유에 적합한 염료로 2단계

에 걸친 염색이 필요하고 이 경우 염색성의 비교가 곤란했고 텐셀직물은 선염 직물을 사용하였기 때문에 염색성에 대한 고찰을 하지 않았다.

6. 염색성 측정

UV-Visible spectrometer(UNI CAM 8700 Series)를 사용하여 pyridine(25% v/v in water)으로써 염색물로부터 추출한 용액의 흡광도를 측정하여 미리 구해놓은 검량선으로부터 얻은 값을 이용하여 염착량을 계산하였다. 측색은 Visible Spectrophotometer (Color-Eye 3000, ICS-Texicon Ltd., UK)로 D₆₅ 광원 10°시야에서 측색하였고, Kubelka-Munk equation을 이용하여 K/S값을 얻었다. CIELAB Color Space (Cartesian Coordinates)에 근거하여 L*, a*, b*의 값을 측정 후 색차 ΔE*를 계산했다. 위와 같은 값들을 이용하여 염색속도와 흡착등온선을 얻었다.

7. 직물 태의 평가

KES-FB System으로 6가지 역학특성 18항목을 측정하였고 koshi(stiffness), shari(crispness), fukurami(anti-drape-stiffness) 및 hari(fullness)의 감각평가치(Handle Value)를 고찰하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 플라즈마공, 효소가공 및 복합가공에 의한 염색성의 변화

1) 면직물의 염색성

<그림 1>은 면직물 직접염료인 C. I. Direct Red 28을 사용하여 각각의 방법에 따라 염색하였을 경우 시간에 따른 염착량 변화를 관찰하여 본 것이다(○:미처리, □:30분 산소플라즈마처리, ▽:1시간 효소처리, △:30분 산소플라즈마처리 후 1시간 효소처리 시료이며 이후 <그림 1>-<그림 4>에서 기호의 의미는 동일). 처리된 직물들의 감량률은 플라즈마 처리 시에 3.45%, 효소처리 시에는 3.29%, 그리고 플라즈마-효소처리 시에는 3.7%이었다. 그림에서 볼 수 있듯이 플라즈마처리로는 염색 속도가 감소하였으나 효소처리에 의해서는 염색 속도가 증가하고 있다. 일반적으로 플라즈마처리는 직물의 표면을 에칭하여 화학적으로 표면의 반응성을 증가시키는 것으로 알려져 있으나, 면직물의 경우 산소 플라즈마처리에 의한 가교의 형성에 의하여 염색 속도가 감소하는 것으로 생각된다. 효소처리나 플라즈마-효소처리에 의해 셀룰로오스 섬유와 직접염료간의 염착기구에는 큰 변화가 없었음을 알 수 있으며 효소 처리 시 염색 속도의 증가는 셀룰라아제가 면섬유의 비결정 영역을 침해하여 직

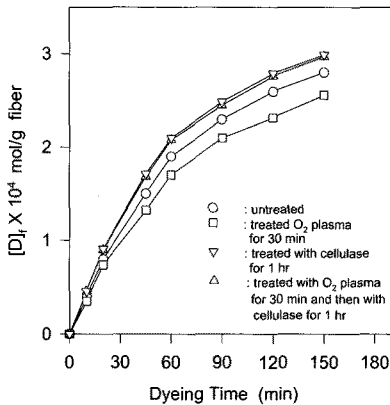
물이 더 다공화 되었기 때문으로 사료된다.

또한 같은 이유에 의하여 <그림 2>에서 보듯이 평형염착량은 감소하고 있음을 알 수 있다. 산소 플라즈마 처리 된 면직물은 다소 낮은 평형염착량을 보이고 있는데, 이는 면섬유 표면의 가교에 의한 효과라고 생각된다.

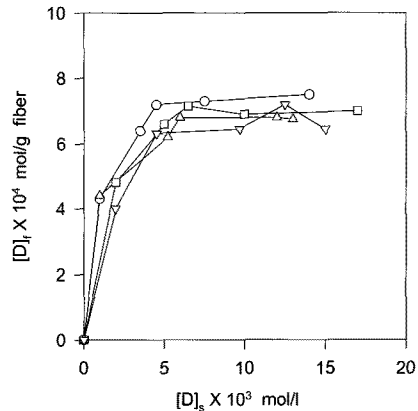
2)모직물의 염색성

<그림 3>은 각각의 처리 조건에 따라 처리한 모직물의 시간-염착량 곡선이다. 미처리 시에 비해 효소처리만으로는 염색속도의 증가가 거의 일어나지 않았으나 플라즈마처리에 의해서는 상당히 증가하였다. 특히 플라즈마-효소처리한 경우도 플라즈마처리만 한 시료의 경우와 거의 같은 속도를 나타내는 것으로 보아 플라즈마 처리에 의해 양모 표면의 스케일이 제거되어 염색속도가 증가한 것으로 생각된다.

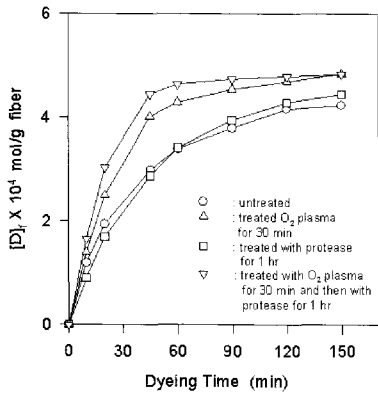
<그림 4>는 C. I. Acid Orange 7에 의한 모직물의 염착등온선을 나타낸 것으로 처리 시료 모두 미처리 시료와 같은 염착량을 나타내고 있다. 플라즈마 전처리가 염색속도를 크게 증가시키면서도 불구하고 평형염착량이 변하지 않는 것은 C. I. Acid Orange 7가 매우 작은 입자의 염료이기 때문에 양모 표면의 스케일의 변화에 의하여 염색속도는 영향을 받지만 염착좌석수에는 거의 변화가 없고 충분한 시간 동안 염색을 할 경우 스케일층을 통해서 모섬유와 염료간의 친화력에 의해서 평형이 이루어지기 때문이라고 생각된다.



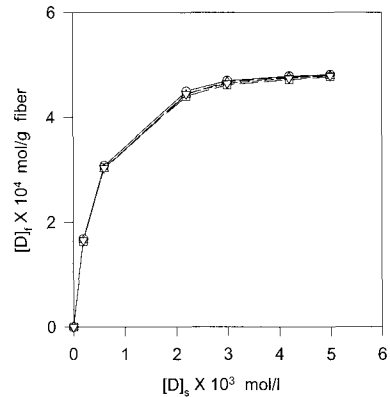
<그림 1> 면직물에 대한 C. I. Direct Red 28의 염색속도(60°C, pH 8)



<그림 2> 면직물에 대한 C. I. Direct Red 28의 흡착등온선(60°C, pH 8)



<그림 3> 모직물에 대한 C. I. Acid Orange 7의 염색속도(60°C, pH 4.5)



<그림 4> 모직물에 대한 C. I. Acid Orange 7의 흡착등온선(60°C, pH 4.5)

2. 가공법에 따른 태에 관련된 역학특성의 변화

섬유에 대한 효소처리의 가장 큰 장점 중 하나는 표면의 평활화 및 모우 제거에 의한 광택 증가 또는 촉감개선, 유연화 등의 종합적인 촉감의 향상을 들 수 있다. <표 2, 3, 4, 5>에는 각각의 처리 방법에 따라 처리한 직물들의 기본적

인 역학특성치를 나타냈다. 인장특성에 있어서는 신장률의 척도로 사용될 수 있는 EM과 WT의 경우 처리정도에 따라 그 값이 계속적으로 증가하였으며 회복성을 나타내는 RT는 감소하는 경향을 나타냄으로써 효소처리에 의해 섬유가 유연해지기는 하나 섬유 구성분자의 분해로 인하여 다소 회복성이 떨어지는 것으로 나타났다. 굽힘특성에 있어서는 굽힘강성을 나타내는

<표 2> 플라즈마, 효소, 플라즈마-효소처리 면직물의 기본 역학특성치

		처리방법			
		미처리	플라즈마	효소	플라즈마-효소
인장특성 (Tensile properties)	최대하중에서의 신장치(EM)	5.145	5.502	6.738	6.913
	인장선형성(LT)	0.758	0.791	0.824	0.822
	인장에너지(WT)	10.094	11.231	13.892	14.081
	인장레질리언스(RT)	50.988	48.706	41.995	41.003
굽힘특성 (Bending properties)	굽힘강성(B)	0.129	0.116	0.083	0.071
	굽힘이력(2HB)	0.106	0.097	0.090	0.073
전단특성 (Shear properties)	전단강성(G)	5.481	5.490	5.520	5.498
	$\theta=0.5^\circ$ 에서의 전단이력(2HG)	8.893	8.820	7.339	6.189
	$\theta=5^\circ$ 에서의 전단이력(2HG5)	17.011	16.688	15.910	15.660
표면특성 (Surface properties)	마찰계수(MIU)	0.155	0.151	0.148	0.123
	마찰계수의 평균편차(MMD)	0.022	0.026	0.024	0.017
	표면거칠기(SMD)	3.102	3.327	3.381	3.390
압축특성 (Compression properties)	압축선형성(LC)	0.323	0.314	0.301	0.259
	압축특성(WC)	0.268	0.227	0.192	0.157
	압축레질리언스(RC)	34.066	38.219	44.898	48.593

〈표 3〉 플라즈마, 효소, 플라즈마-효소처리 모직물의 기본 역학특성치

		처리방법			
		미처리	플라즈마	효소	플라즈마-효소
Tensile properties	EM	8.514	8.019	9.003	9.056
	LT	0.887	0.898	0.861	0.799
	WT	14.918	14.064	12.873	12.975
	RT	39.026	37.810	31.007	30.887
Bending properties	B	0.062	0.461	0.023	0.019
	2HB	0.071	0.065	0.051	0.047
Shear properties	G	5.994	5.910	5.811	5.923
	2HG	10.812	11.076	13.108	13.217
	2HG5	18.219	17.876	16.115	15.917
Surface properties	MIU	0.168	0.159	0.143	0.108
	MMD	0.021	0.019	0.027	0.022
	SMD	3.419	3.025	2.991	3.316
Compression properties	LC	0.203	0.198	0.182	0.171
	WC	0.126	0.117	0.056	0.043
	RC	48.807	49.515	50.134	50.919

〈표 4〉 플라즈마, 효소, 플라즈마-효소처리 면/모 혼방직물의 기본 역학특성치

		처리방법			
		미처리	플라즈마	효소	플라즈마-효소
Tensile properties	EM	6.916	7.213	8.115	8.321
	LT	0.821	0.899	0.792	0.91
	WT	12.001	12.075	14.521	14.785
	RT	40.876	40.661	31.115	30.017
Bending properties	B	0.071	0.060	0.050	0.051
	2HB	0.087	0.085	0.071	0.067
Shear properties	G	5.511	5.500	5.531	5.450
	2HG	9.234	9.861	11.391	11.201
	2HG5	18.005	17.017	16.023	15.911
Surface properties	MIU	0.124	0.117	0.111	0.080
	MMD	0.017	0.018	0.020	0.029
	SMD	3.428	3.401	3.228	3.050
Compression properties	LC	0.276	0.251	0.242	0.201
	WC	0.186	0.175	0.105	0.098
	RC	46.013	45.910	57.001	59.221

<표 5> 플라즈마, 효소, 플라즈마-효소처리 텐셀직물의 기본 역학특성치

		처리방법			
		미처리	플라즈마	효소	플라즈마-효소
Tensile properties	EM	5.671	5.236	6.616	6.326
	LT	0.741	0.718	0.695	0.721
	WT	10.114	10.925	13.516	14.521
	RT	59.907	51.023	50.878	48.228
Bending properties	B	0.203	0.199	0.165	0.151
	2HB	0.112	0.109	0.100	0.092
Shear properties	G	5.213	5.012	4.988	6.010
	2HG	6.164	6.998	8.271	8.995
	2HG5	16.212	15.773	15.275	14.662
Surface properties	MIU	0.175	0.131	0.169	0.143
	MMD	0.026	0.029	0.031	0.020
	SMD	3.810	3.881	3.790	3.770
Compression properties	LC	0.367	0.352	0.338	0.300
	WC	0.29	0.258	0.225	0.189
	RC	34.007	35.997	36.816	38.366

B가 효소처리에 의해 감소하는 경향을 나타내고 있는데, 이것은 stiffness를 나타내는 koshi의 감소와 관련이 있을 것으로 생각된다. 또한 2HB의 감소로 보아 굽힘에 있어서의 회복성도 향상됨을 알 수 있다. 초기 전단변형에 의한 회복성을 나타내는 2HG와 전체적인 회복성을 나타내는 2HG5는 값이 적을수록 회복성이 좋음을 나타내는데 초기 전단변형에 의한 회복성은 다소 감소하는 경향이나 전체적인 회복성은 향상되었다. 또한 표면의 마찰계수를 표시하는 MIU는 감소하는 경향을 나타냄으로써 섬유 표면이 매끄러워졌음을 확인하였고, 이는 numeri의 증가로 나타날 것으로 생각된다. 효소처리에 의해 섬유가 분해되어 나감으로써 두께 T는 감소하며, 압축강도의 척도인 LC 또한 감소하므로 압축에너지 WC도 당연히 감소된다. 이들 양 요소의 감소로 인하여 압축회복성 RC의 증가 경향에도 불구하고 별키성과 압축탄력성을 의미하는 fukurami는 감소될 것이라고 생각한다. 미처리 시에 비해 효소처리 했을 때의 촉감의 변화는 상기한 바와 같았으며, 플라즈마처리시의 변화는 효소처리 시와 비교했을 때, 그렇게 크지 않

았다. 플라즈마로 전처리 했을 때의 태의 특성은 효소처리 시보다 전반적으로 우수하게 나타나고 있으며, 특히 표면특성을 나타내는 MIU값이나 압축특성의 척도가 되는 LC, WC, RC 등의 값들은 효소처리시료에 비해서 더 큰 향상이 있었다.

IV. 결론

효소가공 시 강도저하 등의 문제를 선결하면서 효소가공의 효과를 증가시키기 위하여 면, 모, 면/모 혼방직물을 플라즈마 가공법으로 전처리한 후 효소처리 하고 플라즈마처리, 효소처리시의 염색성이나 직물의 태와 비교하였다. 면직물의 경우 산소 플라즈마처리는 오히려 염색속도를 감소시키는 결과를 가져왔는데 이것은 산소 플라즈마에 의해 형성되는 표면 가교효과 때문이며 평형염착량은 차이가 없었다. 모직물은 산소 플라즈마 전처리에 의해 염색속도가 크게 향상되었으나 역시 평형염착량에는 큰 차이가 없었으며, 그 이유는 사용된 염료 C. I. Acid

Orange 7의 입자가 매우 작기 때문에 양모 표면의 스케일의 변화에 의하여 염색속도는 영향을 받지만, 충분한 시간동안 염색을 하였을 경우 스케일층을 통해 모섬유와 염료간의 친화력에 의한 평형이 이루어지기 때문으로 생각된다.

직물의 촉감과 관계있는 역학적 인자는 플라즈마처리만으로는 의해 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 효소처리 시 인장특성에 있어서 신장률의 척도로 사용될 수 있는 신도(EM)와 인장에너지(WT)는 처리정도에 따라 그 값이 계속적으로 증가하였으며, 회복성을 나타내는 인장회복도(RT)는 감소하는 경향을 나타냄으로써 효소처리에 의해 섬유가 유연해지는는 하나 섬유의 손상으로 인해 다소 회복성이 떨어지는 것으로 나타났으며, 전체 굽힘회복성 또한 향상되었음을 알 수 있었다. 굽힘강성(B)은 감소하고 전단강성(G)값은 높아지며 굽힘이력(2HB) 및 전단이력(2HG5) 또한 낮아졌고, 플라즈마 전처리 후 효소처리 했을 경우 그 경향이 더욱 효과적으로 나타나 유연성의 개선효과가 커짐을 알 수 있었다. 플라즈마로 전 처리 했을 때의 촉감의 특성은 효소처리 시보다 전반적으로 우수하게 나타나고 있으며, 특히 표면마찰계수 특성을 나타내는 MIU값은 크게 감소하였고 표면 거칠기의 평균편차(SMD)는 미처리 시료보다 일반적으로 감소하는 경향을 나타냈는데 이는 플라즈마 전처리가 효소의 분해작용에 크게 영향을 미치고 있음을 뒷받침하는 현상이라 평가된다.

참 고 문 헌

- 1) Fiksel, J (1993). Design for Environment: The new quality imperative. *Corporate Environmental Strategy* 1(3), pp.16-25.
- 2) 이재정 외 (2004). *라이프 스타일과 트렌드* 서울: 예경, p.128.
- 3) 최재홍 (2005). 인체 및 환경 친화형 천연신소재의 개발 동향. *한국의류산업학회지* 7(6), pp.573-576.
- 4) G. Bushle-Diller, S. H. Zeronian (1994). Surface modification of polyester by alkaline treatments. *Textile Res. J.* 64(5), p.270.
- 5) M. Ueda, H. Koo and T. Wakida (1994). Cellulase Treatment of Cotton Fabrics Part II: Inhibitory Effect of Surfactants on Cellulase Catalytic Reaction. *Textile Res. J.* 64(10), pp.615-618.
- 6) N.Y. Bhat and G. S. Nadiger (1978). Effect of Nitrogen Plasma on the Morphology and Allied Textile Properties of Tasar Silk Fibers and Fabrics. *Textile Res. J.* 48, p.685.
- 7) A. A. Byrene and K. C. Brown(1972). Modification of Textiles by Glow Discharge Reactions. *J. Soc. Dyes Colour.* 88, p.113.
- 8) J. Friedrich et al. (1980). Untersuchgen zur Plasmaatzung con Polymeren, IV: Selktives Plasmaatzen von Polyethylenen unterschiedlicher Kristallinitat. *Acta Polym.* 31, p.310.
- 9) M. R. Padye, N. V. Bhat and P. K. Mittal (1976). Electron Microscopical Study of Plasma-Etched Polymers. *Textile Res. J.* 46, p.502.
- 10) A. E. Pavlath and R. F. Slater (1971). Low Temperature Plasma Chemistry 1. Shrink Proofing of Wool. *Appl. Polym. Symp.* 18, p.1317.
- 11) K. S. Lee and A. E. Pavlath (1974). Low temperature plasma treatment of wool. II. Effects of variables. *J. Polym. Sci.* 12, p.2087.
- 12) T. Wakida et al (1986). On the Ablation of Poly(Ethylene Terephthalate) Fiber by Air. Plasma. *Sen-I Gakkaishi.* 43, p.384.
- 13) R. Jangmi et al. (1992). Mechanical and Dyeing Properties of Wool and Cotton Fabrics. *J. Soc. Dyers Color.* 108, p.278.
- 14) M. M. Millard, K. S. Lee (1972). Low temperature plasma treatment of wool. II. Effects of variables. *Textile Res. J.* 42, p.307.