

텐셀소재의 fibrillation에 관한 연구(제1보) -셀룰라제로 처리한 텐셀의 물성변화를 중심으로-

정영희 · 송경현 · 양진숙*

배재대학교 의류학부 의류학과, *한양대학교 디자인대학 섬유디자인전공

A Study on Fibrillation of Tencel Material(Part I)

-Based on Change of Properties of Tencel by Cellulase-

Kim, hyun Mee · Song, Kyung Hun · Yang, Jin Sook*

Dept. of Clothing School, Paichai University

Dept. of Design School, Hanyang University

(2000. 7. 27 접수)

Abstract

Tencel is a high quality cellulosic fiber, which is controlled and processed by an environmentally sound route. But, the point about tencel and the reason why it achieves its unique touch in its finished state is that it is a fibrillating fiber. That means it can take a great deal of punishment during the finishing process, which raise the fiber to produce the characteristics handle, without destroying the cloth. The aim of cellulase treatment is to improve appearance of tencel, plus the fiber ends protruding from the fabric surface. But enzymatic hydrolysis can weakens the fiber ends and changes the properties of fabrics. This study examined about the changes of properties according to several conditions and effect of cellulase to fibril of tencel. The results are as follows.

The weight loss was occurred, tensile strength was decreased, softness was increased. And cellulase treatment reduced amount of fibril.

Key words: Tencel, fibrillation, Cellulase treatment, Changes of the Properties;

텐셀, 피브릴레이션, 셀룰라제처리, 물성변화

I. 서 론

텐셀은 강도가 크고 부드러워 최근 21세기를 선도할 신소재로 각광받고 있다. 텐셀은 셀룰로우스 펄프를 진한 NMMO(N-methylmorpholine-N-oxid) 수용액에 섞어서 강력한 교반가열에 의해 용해시켜 물을 증발시킨 후 방출하여 얻게 되는데

NMMO 용제는 섬유로부터 세척, 정제, 회수되므로(방운혁, 이기환, 1998) 제조과정 중 인체에 유해한 물질이 배출되지 않아 환경을 오염시키거나 직업병을 유발하는 염려가 없다. 이렇게 텐셀은 환경에 친한 에콜로지 섬유이기 때문에 매우 기대되는 미래 섬유이다(阪上未治, 1997).

또한 전체의 공정사이클이 재생섬유의 약 1/6정도의 시간만 소요되므로 섬유소와 용제간 화학반응이

없어 분자쇄의 높은 중합도 유지를 가능하게 하여 섬유강도를 강하게 하고, 따라서 결정화도(50~52)가 높고, 배향성도 우수하다고 보고되고 있다(H. Koo & M. Ueda, 1994). 특히 건조상태에서의 인장강도는 인조 셀룰로오스보다 강하고 폴리에스테르에 근접하며, 습윤 때에는 더욱 뛰어나 건조강도의 85%를 유지하며 면보다도 더 강해진다(阪上末治, 1997). 이와 같은 강도특성으로 뛰어난 치수안정 및 타 섬유와의 혼방을 가능케 하며 섬유단면의 형태는 원형의 평활구조이며 포함성이 양호하다.

그러나 이러한 모든 장점에도 불구하고 습윤된 상태에서 서로 마찰될 경우 다량의 필링을 발생시키고 이러한 필링이 의류의 상품성을 저하시켜 큰 문제점으로 지적되고 있다(섬유기술진흥, 1995). 이때 발생하는 피브릴(fibril)은 강하게 결정화된 섬유를 길이 방향으로 분열시켜 작은 미세한 솜털을 만드는데 이 미세섬유화를 과도하게 하면 미세섬유가 길어져서 보푸라기형태의 1차 미세섬유화가 일어난다(Philippa Watkins, 1995 ; Rudi, Breier, Petry GmbH, 1994). 이것을 제대로 방지하지 못하면 나중에 텐셀섬유가 재 분열되어 표면에 보푸라기가 발생된다(전화선, 1996).

최근 셀룰라제에 의한 섬유의 가공은 소비자의 높은 취향과 보다 soft한 기호와 서로 어울려 지금은 효소를 이용한 바이오 처리 기술이 섬유가공의 한 부분을 형성하는데 까지 성장해 왔다(섬유와 공업, 1994). 또한 가공제에 의한 환경오염 문제도 다른 가공법에 비하여 매우 적어 환경친화적인 가공으로 알려져 그 사용이 점차 확대되고 있다(정의상, 1994; 강지원·유효선, 1994).

셀룰라제는 여러 가공공정에 사용되지만 진의류의 착용감 향상 공정은 Biowashing이라고 부르고, 원단의 잔털을 제거함으로써 표면을 매끄럽게 하는 감량가공은 Biopolishing이라고 부른다(섬유정보, 1992). 그러나 이러한 셀룰라제에 의한 가공은 자연스런 색상과 촉감의 향상, 유연성의 증가와 같은 물성 향상뿐 아니라 강도저하와 같은 물성 저하 현상이 함께 나타나는 문제점도 있다(유혜경·오경화, 1997). 또한 셀룰라제 효소를 사용할 때는 효소의 활성이 대단히 중요한 변수이므로 효소를 활성화시키

기 위한 보조제를 사용하는 것이 좋다(차옥선·양진숙, 1996).

그런데 이상과 같은 연구에서는 면직물을 셀룰라제로 처리할 때의 조건에 관한 것이 대부분이고 텐셀에 셀룰라제를 이용할 때의 조건에 관해서는 그 연구범위가 극히 적고 텐셀의 가장 중요한 변인인 피브릴과 관련된 연구는 별로 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 셀룰라제를 이용하여 텐셀의 고유특성을 살린 고부가가치상품을 얻고자 하는 목적으로 셀룰라제를 텐셀에 처리할 때의 최적조건을 알아보기 위한 기초적인 연구와 더불어 셀룰라제 처리조건에 따른 피브릴 제거성을 알아보았다.

이를 위한 기초적인 연구로서 효소의 활성도에 영향을 미치는 주 요인인 처리액의 온도, 효소농도 및 처리시간을 달리하여 각각의 감량율, 인장강도, 유연도를 조사하여 텐셀에 대한 셀룰라제 작용의 최적조건을 제시하였고, 또한 가공시 발생하는 피브릴을 가장 잘 제거하기 위한 최적의 처리조건도 효소농도, 처리온도, 시간 별로 연구, 제시하였다.

II. 실험재료 및 실험방법

1. 실험재료

1) 시료

시료는 (주)대농에서 제공받은 2종류의 100% 텐셀을 사용하였으며 그 특성은 Table 1과 같다.

2) 시약

호발, 정련을 위해서 아밀라제(α -amylase)와 비이온계면활성제((주)LG 화학)를 사용하였고 셀룰라제는 산성용 셀룰라제 primafast (Genencor, 미국)를 사용하였다. 완충액을 만들기위해 아세트산(acetic acid)과 sodium acetate($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)를 사용하였으며, 효소처리시 물은 증류수를 사용하였다.

Table 1. Characteristics of materials

Material	Density (ends×picks/inch)	Weight(g/m^2)	Thickness(mm)
a	104×61	24.6	5.0mm
b	76×61	16.2	3.2mm

2. 실험방법

1) 정련 및 발효

모든 시료를 각각 30×30 cm의 크기로 잘라 100% 폴리에스테르사로 가장자리를 오버룩(overlook)처리한 후, 증류수에 넣고 액비 1:30에서 α -amylase (3g/l)와 비이온계면활성제(3g/l)와 함께 85°C에서 40분간 처리한 후 수세, 탈수하여 자연건조 시켰다.

2) 효소처리

호발, 정련된 시료를 세탁시험기(Sampling drum washer)에 넣고, 액비를 30:1로 하여, pH 4.8의 조건에서 효소의 농도, 처리시간, 온도를 달리하여 처리하였다. 처리후 효소가 계속해서 활성화하는 것을 막기 위하여 85°C에서 15분간 침지시킨 후 수세, 탈수하여 자연건조 시켰다.

3) 유연제처리

효소처리된 각 시료를 세탁시험기에 넣고 액비 30:1에서 유연제(3g/l)를 첨가하여 60°C에서 40분간 처리 하였다.

4) 감량률측정

처리 전, 후의 각 시료의 감량률은 다음식에 의해 계산하였으며 각각의 시료를 3번씩 측정하여 평균값으로 감량률을 구하였다.

$$\text{감량률(\%)} = (W_0 - W_t) / W_t \times 100$$

W_0 : 처리전 무게

W_t : 처리후 무게

5) 인장강도

처리 전, 후의 각 시료의 인장강도는 인장강도 시험기(Testmetric 220D형, KARL SCHRODER KG 제)를 사용하여 KS K 0520에 의거하여 측정하였으며 시험편의 크기는 래블스트립법(Ravelled Strip Method)에 따라 3.8cm×15cm의 직사각형으로부터 가로 2.5cm가 되도록 양끝에서 거의 동수의 실을 풀어 내어 경사방향으로 10회 측정하여 평균치로서 표기하였다.

6) 유연도

처리 전, 후의 각 시료의 유연도를 KS K 0538 하아트루우프법(Heart Loop Method)에 준하여 시료를 표준상태(21°C, 65% RH)에서 24시간 컨디셔닝 후 경사방향으로 3회 측정하였다.

7) 화상처리에 의한 피브릴 분석방법

처리 전, 후의 각 시료를 300 dpi sharp black & white photo 100% 신축으로 스캔을 받아 pixel 간의 과도한 분리를 보완하기 위하여 1차 필터링을 하고, 각 이미지와 배경색을 구분하기 위한 2차 필터링 작업 후 피브릴에 해당되는 부분의 그레이레벨(graylevel) 값을 분석한 후 전체 이미지중 피브릴에 해당하는 값을 백분율로 표시하였다. 또한 면적 분포율은 피브릴에 해당되는 부분을 흰색으로, 그외의 부분을 검정색으로 표시하여 검정색과 흰색의 면적 대비로 표시하였다.

III. 결과 및 고찰

효소 활성의 최적 조건을 조사하기 위하여 두께가 좀 더 두꺼운 a시료와 두께가 얇은 b시료의 두 종류를 이용하여 감량률, 인장강도, 유연도, 피브릴 제거율을 평가하였다.

1. 셀룰라제 처리가 텐셀의 감량률에 미치는 영향

먼저 효소농도에 따른 효과를 보기위하여 a, b시료를 각각 3장씩 준비하여 세탁시험기에 넣고 효소농도(1, 2, 4, 8g/l)를 달리하여 60°C에서 50분간 처리한 결과 처리 농도에 따른 감량률의 변화는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1에서 보면 두섬유 모두 효소 농도가 증가함에 따라 감량률이 커지는 현상을 보였다. 전반적으로 b시료가 a시료보다 감량률이 더 높게 나타난 것은 두께가 얇고 밀도가 작아 효소의 공격을 더 많이 받았기 때문으로 생각된다. 그런데 a시료는 낮은 농도에서 거의 감량이 없으나 농도가 증가함에 따라 감량효과가 크게 나타나는데 반하여 b시료는 저농도에서부터 큰 감량률을 보이고 있다. 이러한 결과로부터,

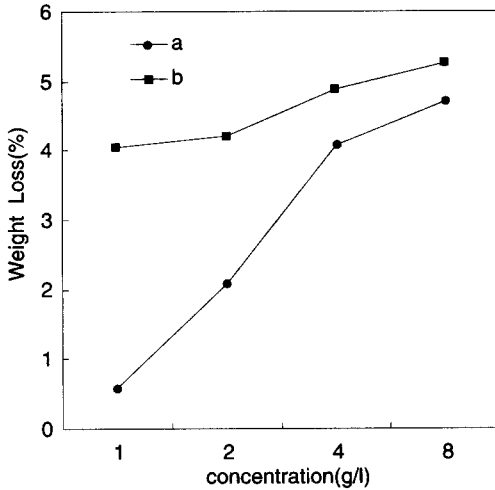


Fig. 1. Weight loss according to enzyme concentration.

두꺼운 시료는 낮은 농도에서 효소의 영향을 별로 받지 않으나 적절한 농도에 이르면 효소의 공격으로 감량을 나타내는 반면, 얇은 시료는 낮은 농도에서도 효소의 공격을 많이 받는다는 것을 알 수 있다. 또한 효소 농도 8g/l에서 감량률에 별 변화가 없어 일정농도 이상에서는 영향이 없는 것으로 나타났다.

한편, 처리시간에 따른 감량률 변화를 알아보기 위하여 a, b시료를 각각 효소농도 3g/l, 처리온도 60°C에서 처리시간(20, 40, 60, 80분)을 달리하여 가공한 결과는 Fig. 2와 같다.

a, b시료 모두 시간이 증가함에 따라 감량률도 높아짐을 알 수 있었다. 여기서도 얇은 시료가 전반적으로 감량률이 높은것으로 보아 두께가 얇아서 효소의 공격을 더 많이 받았다는 것이 입증되었다. 60분까지는 시간경과에 따라 감량률이 커지지만 60분 이후에는 그 영향이 감소하였다.

또한 처리온도가 텐셀의 감량률에 미치는 영향을 알아보기 위하여 온도(20, 40, 60, 80°C)를 달리하여 효소농도를 3g/l로 하여 50분간 처리하였는데 그 결과는 Fig. 3과 같다.

처리 온도에 따른 감량률의 변화는 여기서도 마찬가지로 두께가 얇은 시료가 두꺼운 시료에 비해 온도에 따른 감량효과가 더 큰 것으로 나타났다. 20~60°C까지는 온도가 증가함에 따라 감량률 역시 커

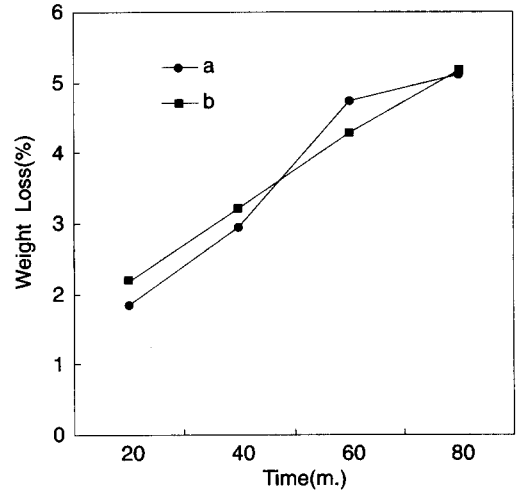


Fig. 2. Weight loss according to treatment time.

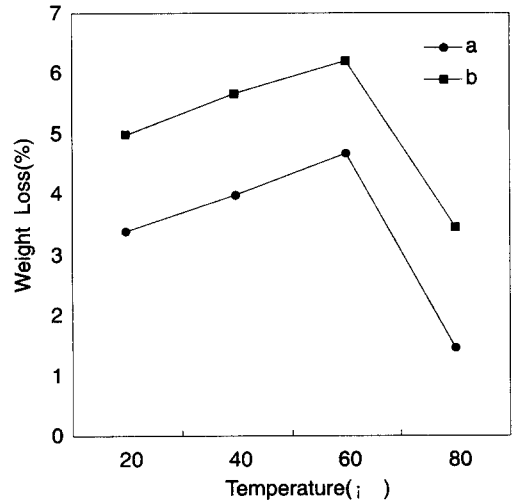


Fig. 3. Weight loss according to treatment temperature.

지만 80°C에서는 감량률이 크게 감소해 효소가 높은 온도에서 활성이 저하했음을 알 수 있다. 이것은 80°C 이상이 되면 셀룰라제의 활성이 사멸된다는 이전연구(전화선, 1996)와 일치함을 보였다.

2. 셀룰라제 처리가 텐셀의 인장강도에 미치는 영향

셀룰라제 농도가 텐셀의 인장강도에 미치는 영향

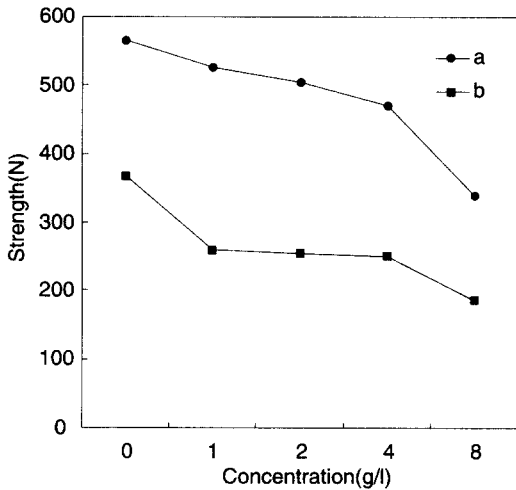


Fig. 4. Tensile strength according to enzyme concentration.

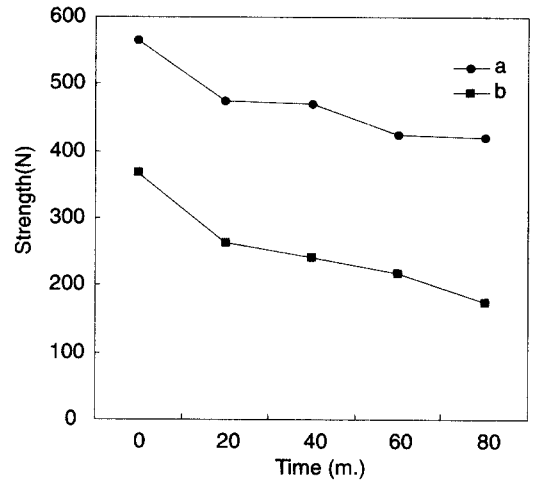


Fig. 5. Tensile strength according to treatment time.

을 알아보기 위하여 농도를 다르게 처리해 실험한 결과는 Fig. 4와 같다.

여기서 얇은 시료나 두꺼운 시료 모두 효소 농도가 증가함에 따라 강도가 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 셀룰라제가 텐셀의 주성분인 셀룰로오스를 분해하는데 처리농도가 증가함에 따라 분해효과가 크게 나타났기 때문으로 생각된다.

효소가 없는 0g/l 에서도 이미 두 시료간 강도차이는 있지만 1g/l 농도에서의 강도를 보면, b시료가 a시료에 비해 좀 더 큰 감소치를 보이고 있는데 이것도 시료의 두께의 영향 때문으로 사료된다.

또한 두 시료 모두 다른 농도들에 비해 0~1g/l에서 강도가 가장 많이 작아졌는데 이것은 텐셀이 낮은 농도에서도 효소의 영향을 많이 받는다는 것을 나타내는 것으로서 효소처리에 의한 텐셀의 강도 저하가 문제시 됨을 알 수 있다. 그리고 8g/l의 농도에서는 모두 현저한 강도 저하를 가져오는 것으로 보아 필요이상의 농도는 불필요한 강도 저하를 가져올 수 있고, 텐셀에 대한 셀룰라제의 최적 농도는 2~4g/l인 것을 알 수 있었다.

또한 셀룰라제 처리시간이 텐셀의 인장강도에 미치는 영향을 알아본 결과는 Fig. 5와 같다.

a시료와 b시료 모두 시간이 지남에 따라 인장강도가 낮아졌는데 이는 처리시간이 증가함에 따라

섬유의 조직이 점차 느슨해져 효소가 섬유를 침해하기 쉬운데다 오랜 시간 효소의 작용을 받게 됨으로써 시간에 비례해 인장강도가 감소하는 것으로 분석된다. 특히 20분까지의 시간에 두 시료 모두 강도의 저하율이 가장 큰데 이것은 초기 20분간 셀룰라제의 영향을 집중적으로 많이 받았기 때문으로 사료된다.

Fig. 6은 처리온도에 따른 인장강도의 변화를 나타낸 결과로서 a와 b, 두시료 모두 0~60°C까지는 인장강도가 감소하는 경향을 보이거나 60°C이상이 되면 강도가 다시 증가하는데 이는 효소의 온도에 따른 활성도 때문인 것으로 생각된다. 본 실험결과에서 효소의 최적 활성온도는 20~ 60°C이며 80°C 이상에서는 활성이 거의 없는 것을 알 수 있었다.

3. 셀룰라제 처리가 텐셀의 유연도에 미치는 영향

셀룰라제는 셀룰로스 섬유의 유연가공에 많이 사용되기 때문에 셀룰라제 처리가 텐셀의 유연도에는 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다. 유연도 평가를 위한 실험에서는 셀룰라제가 텐셀의 유연도에 미치는 영향을 정확히 보기 위하여 유연제 처리를 하지 않았다. Fig. 7, 8, 9는 효소처리의 여러 조건에 따른 유연도를 알아본 결과이다.

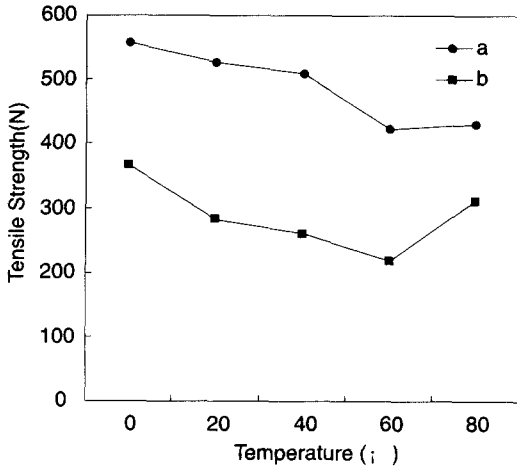


Fig. 6. Tensile strength according to treatment temperature.

각 그림의 y축의 수치는 일정시간(1분) 후에 텐셀의 처짐 정도를 나타낸 값이다. 수치가 작을수록 뻣뻣함에 가깝고 수치가 클수록 유연하다고 해석할 수 있다.

Fig. 7은 a, b시료의 유연성을 효소농도에 따라 실험한 결과이다.

두시료 모두 농도가 증가함에 따라 y축의 수치가 증가하는 것으로 보아 텐셀에 있어서의 효소처리가

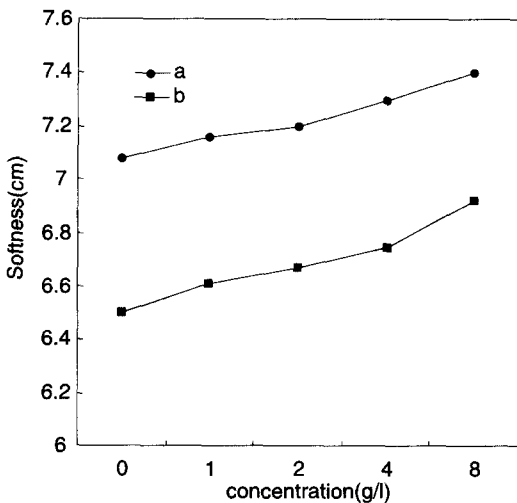


Fig. 7. Softness according to enzyme concentration.

유연도를 증가시킴을 알 수 있다. b시료는 a시료보다 유연성의 증가율이 더 큰데 이것은 b시료가 두께가 얇고 밀도가 작아 효소의 영향을 더 많이 받았기 때문으로 생각된다.

또한 Fig. 8은 처리시간에 따른 유연도의 변화를 보여준 것으로 모두 효소처리 시간이 증가함에 따라 유연도가 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 a시료에 비해 b시료가 더 많이 증가한 것으로 보아 유연도 역시 섬유 두께의 영향을 받는다는 것을 알

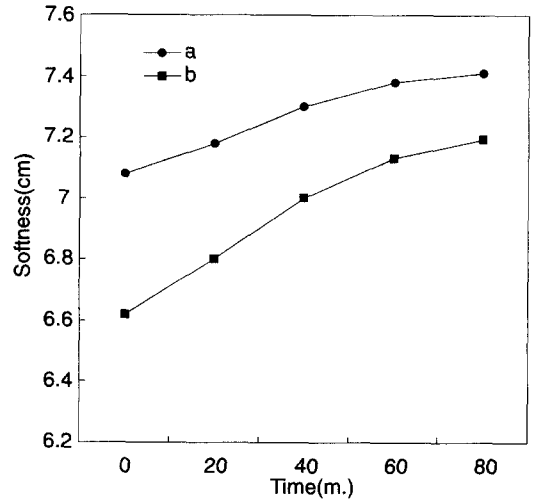


Fig. 8. Softness according to treatment time.

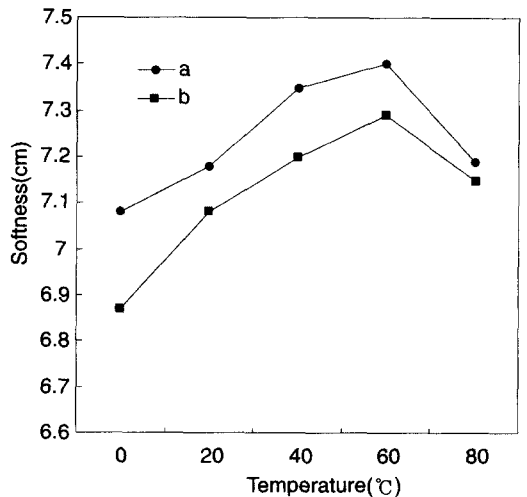


Fig. 9. Softness according to treatment temperature.

수 있었다.

Fig. 9는 효소처리 온도에 따른 유연도의 정도를 나타낸 결과이다. 온도가 증가함에 따라 y축의 수치가 증가하는 것으로 보아, 유연도가 증가했음을 알 수 있다. 그러나 60°C과 80°C 사이에서 a시료는 7.4에서 7.19로 b시료는 7.29에서 7.15로 감소한 것을 볼 수 있는데 이것은 효소의 활성도가 감소했음을 보여주는 것이다.

4. 셀룰라제 처리조건이 텐셀의 피브릴 제거에 미치는 영향

텐셀을 가공하면 피브릴(fibril)이 발생되는데 이들을 셀룰라제로 처리하면 피브릴이 얼마나 제거되는지 알아보기 위하여 셀룰라제 처리조건을 다르게 처리한 후 그 결과를 화상처리를 응용하여 관찰하였다. 그 결과는 Fig. 10, 11, 12와 같다.

여기서 percentile이라는 것은 a, b시료를 스캐너로 스캔받아 그레이레벨(gray lever)값으로 변환한 다음, 다시 히스토그램으로 나타내어 그중에서 피브릴이 전체시료중 차지하는 비율을 백분율로 나타낸 값이다. 따라서 percentile이 크면 피브릴의 발생정도가 많은 것이고 percentile 값이 작으면 피브릴의 발생정도가 낮은 것을 의미한다(이양범외 2인, 1996).

Fig. 10에서 보는데와 같이, 효소의 농도가 증가함

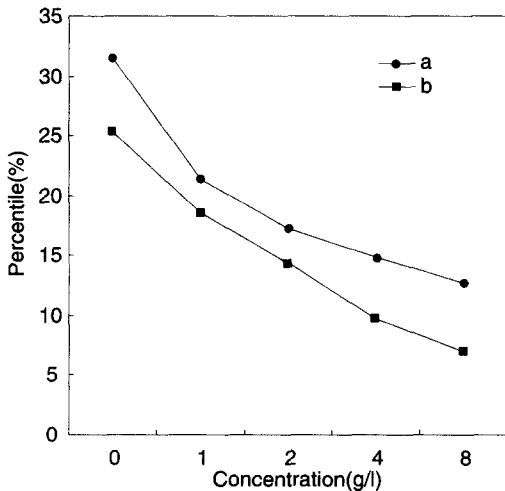


Fig. 10. Fibril level according to enzyme concentration.

에 따라 percentile값은 감소했다. 효소처리를 하지 않은 경우(0g/l)에 피브릴이 차지하는 값이 31.46%로 비교적 큰 수치를 보였는데, 이는 호발정련하는 과정에서 이미 피브릴이 많이 생성되었기 때문으로 이것이 1차 피브릴화(fibrillation)인 것으로 추측된다. 또한 효소농도가 증가함에 따라 percentile값은 감소하는 것으로 보아 셀룰라제가 직물 표면에 생성된 피브릴을 상당히 제거한 것으로 생각되는데 이것이 효소에 의한 디피브릴화(defibrillation)이다.

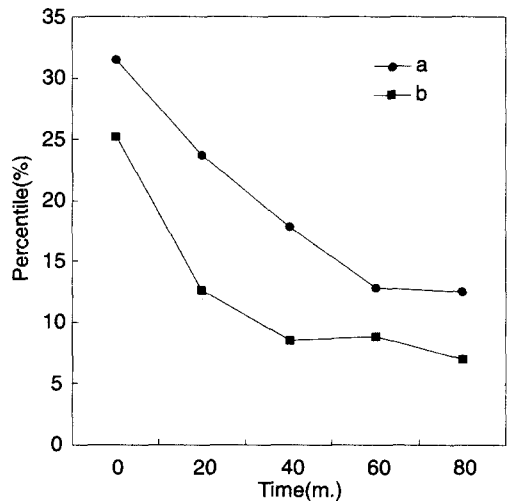


Fig. 11. Fibril level according to treatment time.

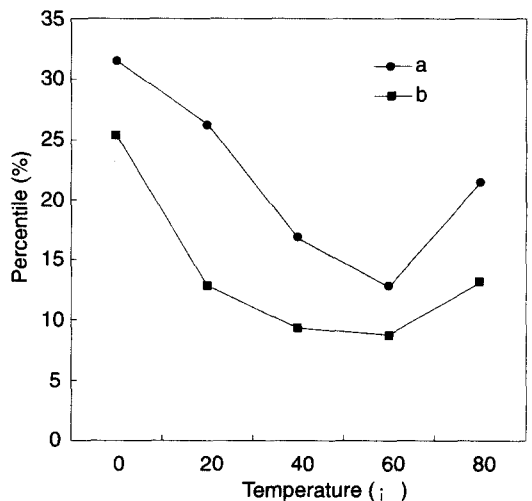


Fig. 12. Fibril level according to treatment temperature.

b시료에 비하여 a시료의 percentile값이 비교적 낮은 경향을 나타내는데 이는 a시료가 더 많은 피브릴을 일으킨 것으로 평가된다. 이것은 a시료가 b시료와 비교하여 두께가 두껍고 조직면에서 밀도가 크기 때문에 더 많은 피브릴을 일으킨 것으로 생각할 수 있다.

Fig. 11은 효소의 처리시간과 피브릴과의 관계를 나타낸 결과이다. 처리시간이 길어질수록 percentile값이 점점 줄어들음을 보인다. 효소의 처리시간이 0~20분일 때 가장 많은 감소율을 보였는데 이는 효소가 처리시간 초기에 바로 섬유를 공격하여 분해시킴으로서 처리시간이 20분 이상 경과한 경우에 비하여 상대적으로 많은 양의 피브릴이 제거되는 것으로 보였기 때문이다. 또한 60~80분 사이에서는 percentile수치가 그다지 변화가 없는 것으로 보아 60분 이상의 효소처리는 피브릴(fibril)제거에 별 도움을 주지 못하는 것으로 나타났다.

Fig. 12는 효소처리온도에 따른 피브릴(fibril)의 발생정도를 나타낸 그림이다. 0°C에서는 비교적 높은 percentile값을 보였으나 온도가 증가함에 따라 percentile값이 급격히 감소하는 것으로 보아 온도가 상승하면서 효소의 활성이 커져 피브릴을 많이 제거함을 알 수 있다. 두 시료 모두 60°C가 되었을 때 각각 12.79%, 8.87%로 가장 낮은 값을 보이다가 처리온도가 80°C에 이르렀을 때는 다시 percentile수치가 크게 증가함을 보였다. 이것은 효소가 처리온도 80°C가 되었을 때 활성화할 수 있는 능력이 감소했기 때문에 셀룰라제 처리가 피브릴제거에 큰 영향을 미치고 있음이 증명된다. 따라서 셀룰라제 처리로 피브릴을 제거할 때의 최적 온도는 60°C임을 알 수 있었다.

IV. 결 론

셀룰라제로 텐셀을 처리할 때의 여러 조건에 따른 텐셀의 물성변화를 알아보기 위하여 먼저 효소활성도에 영향을 미치는 주 요인인 처리액의 온도, 효소농도 및 처리시간을 달리하여 각각에 대한 텐셀의 감량률, 인장강도, 유연도를 조사하여 셀룰라제 작용의 최적조건을 조사하였고, 다음으로 텐셀의 피

브릴을 제거하기 위한 셀룰라제 처리조건을 연구하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 효소농도가 증가함에 따라 텐셀의 감량률이 증가하였고 인장강도는 감소하였으며 유연도는 증가하였다. 특히 두께가 얇은 시료가 두꺼운 시료에 비해 효소농도의 영향을 많이 받음을 알 수 있었다. 효소농도에 따른 텐셀의 피브릴 제거율은 효소의 농도가 증가할수록 감소하는 경향을 보여 셀룰라제 처리가 텐셀의 피브릴제거에 큰 영향을 미침을 알 수 있었고 효소농도 2~4g/l에서 가장 좋은 효과를 보였다.

2. 처리시간에 의한 영향은 시간이 증가할수록 감량률은 증가하였고 인장 강도는 감소하였으며 유연도는 증가하였다. 두께가 얇은 시료가 두꺼운 시료에 비해 처리시간의 영향을 더 많이 받았으며 처리시간이 길어짐에 따라 피브릴이 감소함을 보였는데 특히 처리시간 60분에서 가장 좋은 효과를 나타내었다.

3. 처리온도에 따라서는 60°C까지는 감량률은 증가하였고 인장강도는 감소 하였으며 유연도는 증가하였다. 그러나 처리온도 60°C이상에서는 효과가 줄어들었다. 피브릴은 온도가 증가함에 따라 점점 줄어들다가 80°C에서 는 다시 증가하였고 60°C에서 가장 좋은 효과를 보였다. 직물 두께에서는 얇은 시료가 더 많은 영향을 받았다.

참 고 문 헌

- 강지연·유효선, "셀룰라제에 의한 면직물의 유연가공에 관한 연구", 한국의류학회지, **14**, 262-273, 1990.
- 방운혁·이기한·왕영수·박종범·조현후, "셀룰로오스/N-methylmorpholine-N-oxide(NMMO)/H₂O계에서 제조된 재생 셀룰로오스 필립의 미세구조", 한국섬유공학회지, **35**(6), 329-337, 1998.
- 섬유개발연구회, "텐셀의 전개(5)", 섬유개발연구, **11**(10), p. 70, 1997.
- 섬유개발연구회, "텐셀의 제조공정기술", 섬유개발연구, **11**(11), p. 44, 1997.
- 유혜경·오경화, "소비자의 세탁습관에 따른 세탁효율평가", 한국의류학회지, **21**(2), 251-261, 1997.

- 이양범·강경일, 이용중 공편, 「화상처리기술」, 도서출판 지문사, 1996.
- 이미석·김정희, “시판데님직물의 처리조건에 따른 셀룰라제 효소가공 효과에 관한 연구”, 한국섬유공학회지, 35(4), 213-221, 1998.
- 정의상, “효소에 의한 면직물의 감량가공”, 한국외류학회지, 31(9), 1994.
- 차옥선·양진숙, “셀룰라제 처리조건이 인디고 데님의 재오염에 미치는 영향”, 한국외류학회지, 20(5), 841-851, 1996.
- 한국원사직물검사소, “신셀룰로오스 섬유 Tencel의 전개”, 섬유정보, 136-141, 1993.
- 阪上末治, 「ニューレーヨンの實際知識」, 纖維社, 282-288, 1997.
- H. Koo, M. Ueda, and T. Wakida, “Cellulase Treatment of cotton Fabric”, *Textile. Res. J.* 64(2), 70-77, 1994.
- Philippa Watkins, “Tencel: The Mistery Explained”, *Apparel International*, 21-24, (1)1995.
- Rudi, Breier, Petry GmbH, “The Finishing of Lyocell Fibers—A Report Based on Experience”, *Lenzinger Berichte*, 98-100, (9)1994.