

케냐프의 물과 효소를 이용한 이중 레팅과 면섬유화에 관한 연구

이미경 · 이해자[†] · 유혜자* · 한영숙**

한국교원대학교 가정교육과, *서원대학교 의류직물학과, **신성여자고등학교

The Double Retting Using Water and Enzyme & Cottonizing of Kenaf

Mikyung Lee · Hyeja Lee[†] · Hyeja Yoo* · Youngsook Han**

Dept. of Home Economics Edu., Korea National University of Education

*Dept. of Clothing & Textiles, Seowon University

**Shinsung Girls High School, Cheju

(2004. 12. 28. 접수)

Abstract

Kenaf basts were double retted by using water and enzyme. The best conditions were enzyme concentration 0.125% and 1 day treatment at 50°C, 4 days treatment at 20°C. It was showed that the double retting could be more economical and eco-friendly than just water retting or enzyme retting. Kenaf fibers have been cottonized by removing lignin and hemicellulose partially. In order to cottonize kenaf fiber, lignin of kenaf fibers were removed by sodium chlorite and then hemicellulose of kenaf fibers were removed by sodium hydroxide. The cottonizing phenomenon of kenaf fibers were was confirmed in transversal and longitudinal photograph of SEM. The tensile strength and crystallinity of cottonized fiber were investigated. The tensile strength and crystallinity were lower as the lignin and hemicellulose of kenaf fibers were less.

Key words: Double retting, Cottonizing, Lignin, Hemicellulose, Crystallinity; 이중 레팅, 면섬유화, 리그닌, 헤미셀룰로오스, 결정성

I. 서 론

20세기 중반 캐로더스에 의해 나일론이 개발된 이래 현대인들은 편리하고 풍요로운 의류생활을 해왔다. 그러나 채 반세기가 지나지 않아 합성 섬유제품의 폐기물로 인하여 환경오염이 심각해지게 된다는 점을 인식하기에 이르러 환경친화적인 섬유소재로 다시 눈을 돌리게 되었다. 섬유제품의 환경친화성을

높이기 위해서는 1990년대 초의 리오셀과 같은 환경친화적인 소재의 개발과 같이 대체 천연 섬유소재를 개발해야 한다.

케냐프는 농업 분야에서는 1960년대 초부터 환경친화적 대체 작물로 개발되어 사료로 사용하기 시작하였으나(박종문, 1964) 섬유분야에서는 최근 개발되기 시작하였다. 생분해성이 있는 경제적이고 친환경 작물로서 섬유작물로서도 이용할 가치가 있다고 보고 되었다(한영숙 외, 2002).

현재까지 케냐프의 재배, 케냐프 인피부의 레팅, 케냐프 섬유의 방적(이혜자, 2004) 등 케냐프 섬유에 대한 이론적인 연구는 많이 진행되었으나 생산된 케

[†]Corresponding author

E-mail: hjlee@knue.ac.kr

본 논문은 교육인적자원부의 재원으로 학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R04-2002-20082-0).

냐프 섬유는 아직까지는 거칠어 고급 의류 제품화에는 미흡하다. 외국의 케냐프에 대한 연구에서도 혼방, 부직포 등 이론적인 연구에 머물러 있는 실정에 있으며 아직 고급 의류 제품화에 대한 시도는 일고 있지 않다. 고급 섬유로 가기 위해서는 레팅부터 좋은 섬유를 얻어야 한다.

케냐프 섬유는 케냐프 인피부를 물 레팅(한영숙 외, 2002), 화학적 레팅(이혜자 외, 2003; Morrison, et al., 1996; Ramaswamy, et al., 1995), 효소 레팅(이혜자 외, 2003) 등에 의해 얻을 수 있다. 물 레팅은 우수한 광택과 베이지 색상의 질 좋은 섬유를 얻을 수 있으나 여름철 기온으로 10일 이상 침지하여야 하므로 수질 오염을 일으키고 넓은 면적을 필요로 한다. 화학적 레팅은 섬유가 갈색 색상과 광택이 저하되고 다소 거친 반면 신속하고 간편하여 대량생산하기에 유리한 방법이다. 효소 레팅은 친환경적이면서도 품질이 좋은 섬유를 얻을 수 있고 분해 속도와 정도를 조절하기 쉽지만 효소의 값이 비싼 것이 단점이다. 따라서 물 레팅과 효소 레팅을 겸하여 품질이 좋은 섬유를 얻으면서 효소 레팅에 비해 시간을 단축시키고 생산비도 줄일 수 있는 이중 레팅을 시도해 보고자 하였다.

케냐프를 고급 섬유로 개발하기 위해서는 두 번째로 케냐프 섬유의 유연하게 하는 면섬유화가 필요하며 이 면섬유화가 이루어지면 모든 섬유와 혼방이 가능하다. 편성물, 직물 등 다양한 분야의 의류 제품을 제조할 수 있을 뿐만 아니라 펄프, 부직포 등의 비의류 제품의 영역까지도 광범위하게 제품화 할 수 있다. 이러한 연구 단계를 거치면 그동안 밧줄, 푸대, 끈, 동물 깔개 등에 부분적으로 쓰였던 영역을 케냐프 섬유의 의류 제품, 부직포, 리오셀 등의 고부가가치 제품으로 제조하여 그 활용 범위를 확대할 수 있을 것이다. 그러면 천연 섬유의 원료를 수입에 의존하고 있는 우리나라는 경제적인 효과도 있을 것으로 여겨져 섬유제품의 고급화가 요구되고 있다. 따라서 케냐프 섬유의 면섬유화는 이러한 목적에 필요한 연구이다.

레팅을 거친 케냐프 섬유는 인피 섬유의 특성상 리그닌 등의 비셀룰로오스 성분이 많아 거칠기 때문에 케냐프 섬유 변들을 부드럽고 유연하고 면섬유화 하여야 면방직기로 방직할 수 있어야 한다. 우리나라에서는 소량의 모시나 삼베가 수작업으로 일부 지방에서 방직되고 있는 실정이기에 마섬유의 기계적 방직에 관한 자료나 연구가 부족하다. 외국에서도 아마 섬유를 효소 레팅한 후 자르고 바람을 이용해 세섬화

하여 면섬유화하거나(Epps et al., 2001), 대마섬유를 이용해 증기로 압력을 가해 분출시킴으로써 면섬유화하는 것(Nebel, 1995)과 같이 마섬유를 면섬유 기준으로 방직할 수 있는 조건과 방법에 관련된 연구를 하고 있다. 우리나라에서 케냐프 섬유를 수작업으로 면섬유화하여 방직해 본 연구(이혜자 외, 2004)에 의하면 제조된 섬유가 거칠고 넵(nep)이 많은 것으로 보고되었다. 따라서 보다 유연하고 면섬유화가 잘 되게 하기 위해서는 면섬유화를 할 필요가 있다. 유연성과 면섬유화는 케냐프 섬유의 비셀룰로오스 성분인 리그닌과 헤미셀룰로오스를 조절함으로써 가능한데 리그닌과 헤미셀룰로오스를 완전히 제거할 경우 섬유상태가 아닌 펄프화되어 솜처럼 뭉쳐지고 섬유장이 지나치게 짧아지는 양상을 보이므로 면과 유사한 섬유장과 유연성을 갖게 되는 조건을 찾아보아야 한다.

본 연구는 케냐프 섬유 방직에 요구되는 유연성을 얻기 위해 물 레팅과 효소 레팅을 병행하는 이중 레팅을 실시하여 가장 질 좋은 섬유를 얻고자 하였다. 그리고 케냐프 섬유는 비셀룰로오스 성분이 많아 방직에 많은 어려움이 있으므로 리그닌과 헤미셀룰로오스를 제거하는 방법을 이용하여 면섬유화 조건을 찾는 것을 목적으로 하였다. 면섬유화는 인장 강도, 섬유장, 단섬유의 개수, SEM 관찰, 섬유의 결정 화도 와 염색성에 의하여 평가하였다.

II. 실 험

1. 시료준비

케냐프는 제주도와 진주에서 재배하였고 100-120 일 후에 수확하여 줄기의 인피부(bark)와 목질부(core)를 분리한 뒤 인피부를 수거하고 건조시켜 보관한 후 시료로 사용하였다.

2. 레팅

케냐프 인피부를 0.85% Triton X-100 수용액에 10분간 침지한 후 여과한다. 케냐프 줄기로부터 섬유를 분리하기 위해 물 레팅과 효소 레팅을 병행하여 실시하는데, 이때 사용하는 효소는 pectinase이다. 또한, 효소의 활동을 돕기 위해 칼슘 2가 이온을 제거하는 킬레이터로서 1%의 EDTA(Ethylenediaminetetraacetic acid)를

Table 1. 3x3 Latin square design experiment plan

	A1	A2	A3	A1 : Enzyme 0.063% A2 : Enzyme 0.125% A3 : Enzyme 0.25% B1 : Temperature 50-50°C B2 : Temperature 50-30°C B3 : Temperature 50-20°C C1 : Date 1 day C2 : Date 3 days C3 : Date 5 days
B1	C1	C2	C3	
B2	C2	C3	C1	
B3	C3	C1	C2	

사용하였다. 레팅이 끝난 후에는 찬물과 뜨거운 물로 여러 번 수세하여 효소의 작용을 억제하였으며 수세한 시료는 24시간 자연 건조시켰다.

경제적이면서도 환경친화적인 레팅 효과를 얻어내기 위해 각각 효소의 농도와 온도, 침지 날짜의 3원 배치 실험을 하였다. 적은 실험 횟수로 주 효과에 대한 정보를 얻고자 라틴방격법(박성현, 1994)으로 다음과 같이 실험 설계를 하였다.

케냐프의 효소 레팅에 있어서 효소의 농도는 0.125%만으로도 높은 레팅 효과를 나타냈다는 선행연구(이혜자 외, 2003)의 결과에 따라 본 실험에서의 효소 농도는 0.125%를 기준으로 그 위·아래의 농도를 실험 인자로 정하였다. 또한, 레팅 과정이 이루어지는 동안 수용액의 처리 온도가 높아지면 다소 레팅 효과가 증가하는 경향이 있으나 대체로 20°C~60°C의 처리 온도 사이에서는 레팅 효과에 큰 차이가 없는 것으로 나타났기에 시료를 담근 후 24시간 동안 50°C를 유지시키고, 그 후에는 각각 20°C, 30°C, 50°C로 온도를 조절하였다. 본래 물 레팅이 이루어지려면 수용액에 10여일 이상 침지시키면서 미생물의 작용을 이용하는 것이나, 본 실험은 물 레팅과 효소 레팅을 병행하여 실시하는 것이므로 효소를 첨가하면서 침지 날짜는 1일, 3일, 5일로 정하여 효소의 작용과 함께 침지 시간에 따른 물 레팅의 효과를 같이 살펴보았다.

위의 <Table 1>에서 살펴보면 어느 열 또는 어느 행으로도 균형있게 1, 2, 3이 한번씩 나타나므로 9회의 실험조건은 효소 농도와 온도, 침지 날짜의 각 인

자 수준에서 동일한 횟수의 실험이 이루어지도록 구성되는 것이다. 이를 정리해 보면 다음과 같다.

효소 농도, 온도, 침지 날짜의 세 가지 요인에서 최적의 조건을 찾기 위해 위의 <Table 2>에 나타난 9가지 경우의 실험을 실시한 후 가정교육과 대학원생과 교사 18명이 촉감에 따라 5등급(매우 좋음), 4등급(좋음), 3등급(보통), 2등급(나쁨), 1등급(아주 나쁨)의 5단계로 주관적으로 평가하였다. 평가한 결과를 SPSS WIN 10.0 Program을 이용하여 일변량 분산분석을 실시하였다.

3. 면섬유화

면섬유화는 인피섬유의 방적 과정을 이루는 중요한 부분으로 면섬유와 유사하게(cotton-like) 섬유길이와 직경, 강도 등을 조절하는 과정이다. 면섬유와 유사한 형태를 갖게 하는 이유는 면방적기를 이용해 방적, 제직, 혼방 등을 하기 때문이다. 일반적으로 인피섬유의 면섬유화는 비터(beaters), 타마기 등으로 불리우는 도구로 두드리거나, 공기를 이용해 불어주는 방법(Epps et al., 2001), 고온의 증기를 압력을 이용해 분출시키면서 세섬화하는 방법(Nebel, 1995), 케냐프를 레팅한 후 섬유길이를 면섬유와 비슷한 길이의 3-4cm 내외로 자르고 수작업으로 세섬화한 방법(이혜자 외, 2004) 등이 있었다. 주로 기계적 면섬유화라고 할 수 있으나 본 연구에서는 리그닌과 헤미셀룰로오스를 제거하는 화학적 방법으로 면섬유화를 하였다.

1) 리그닌 제거

가장 좋은 조건의 물 레팅과 효소 레팅을 병행하여 얻은 케냐프의 리그닌을 제거하기 위하여 0.7%의 아염소산나트륨(NaClO₂)용액으로 pH 4, 액비 30 : 1, 100°C에서 각각 60분, 90분, 120분 동안 각각 처리한 후 수세하였다. 다시 2%의 아황산수소나트륨(NaHSO₃)용액에서 액비 20 : 1, 25°C로 10분 간 침지한 후 반복하여

Table 2. Experiment plan of water retting & Enzyme retting

A1B1C1	A1B2C2	A1B3C3	① A1B1C1 : E 0.063% T 50-50°C D 1 ② A1B2C2 : E 0.063% T 50-30°C D 3 ③ A1B3C3 : E 0.063% T 50-20°C D 5 ④ A2B1C2 : E 0.125% T 50-50°C D 3 ⑤ A2B2C3 : E 0.125% T 50-30°C D 5 ⑥ A2B3C1 : E 0.125% T 50-20°C D 1 ⑦ A3B1C3 : E 0.25% T 50-50°C D 5 ⑧ A3B2C1 : E 0.25% T 50-30°C D 1 ⑨ A3B3C2 : E 0.25% T 50-20°C D 3
A2B1C2	A2B2C3	A2B3C1	
A3B1C3	A3B2C1	A3B3C2	

수세하였다. 아염소산나트륨용액의 처리 시간에 따른 케냐프의 무게 감소를 살펴보기 위하여 처리 전과 후에 각각 95°C 오븐에서 60분 동안 건조시켰으며 다음과 같은 식으로 무게 감소율을 계산하여 비교하였다.

$$\text{Weight loss (\%)} = \frac{A-B}{A} \times 100$$

여기서 A : weight of kenaf before NaClO₂ treatment

B : weight of kenaf after NaClO₂ treatment

아염소산나트륨용액의 처리 시간에 따른 케냐프의 색차를 보기 위하여 색도는 분광측색계(JS555 Co., Japan)을 이용하여 흰색표준판 기준으로 ΔE 값을 측정하였다.

인피 섬유의 리그닌을 제거하기 위해서는 일반적으로 0.7%의 아염소산나트륨용액 버퍼(pH 4)에서 100°C에서 120분 이상 처리하나(권해용 외, 1997; 이해자 외, 2003; Abou-Zeid et al., 1984) 아염소산나트륨용액의 처리 시간에 따른 케냐프의 무게 감소율, 인장 강도의 저하 정도, 색도의 차이 등을 살펴보고 최적의 면섬유화 조건을 찾기 위하여 본 연구에서는 0.7%의 아염소산나트륨용액 버퍼(pH 4)에서, 처리 시간을 60분, 90분, 120분의 조건으로 실험을 실시하였다.

2) 헤미셀룰로오스 제거

리그닌을 제거한 케냐프섬유에 대해 헤미셀룰로오스를 부분적으로 제거하기 위해 수산화나트륨 용액의 농도와 침지 시간으로 <Table 3>과 같이 실험을 실시하였다.

4. 면섬유화한 케냐프 섬유의 특성 분석

케냐프 섬유의 인장 강도는 리그닌을 제거한 후와 헤미셀룰로오스를 제거한 후 각각 Fiber Bundle Tenacity로 측정하였으며 같은 중량(0.03g), 같은 길이(140mm)의 번들 상태에서 굽기가 불균일함을 고려하여 단위섬도(d)를 대신하여 단위무게(g)를 사용하였다. 각각 5회씩 측정하여 시료 무게의 평균값을 구하고 절단 시 하중의 평균값을 구한 뒤 다음의 식(A)과 같이 단위무게(g)당 절단하중(gf)의 평균값으로 환산하여 케냐프 섬유의 번들 강도를 비교하였다. 인장시험기(Instron 4302 CRE Type, USA)를 이용하여 Load cell: 10 Newton, Speed:

Table 3. The conditions of NaOH concentrations and soaking times for removing hemicellulose.

Soaking Time(min.)	NaOH Concentration(%)
5	5
	10
	15
	20
10	5
	10
	15
	20
15	5
	10
	15
	20

20mm/min, Gauger Length: 100mm의 조건에서 KS K 0520 Test Method를 참고로 측정하였다.

$$\text{절단 강도(gf/g)} = \frac{\text{절단 시 평균하중(gf)}}{\text{시료의 평균무게(g)}} \text{ 식 (A)}$$

케냐프의 섬유장은 면섬유화 정도를 평가하기 위하여 일정 시료중량(0.01g)의 단섬유를 분리해낸 후 단섬유의 갯수와 길이를 모두 측정하여 평균값을 구하였다.

케냐프의 섬유의 형태학적 특성과 면섬유화 상태는 Scanning Electron Microscope(HITACHI S-2500C)를 사용하여 100, 150배율로 단면과 측면을 비교 관찰하였다.

케냐프 섬유의 결정 화도는 X-Ray 회절 분석(XDS-2000, Scintag)을 사용하여 리그닌만 제거한 시료와 헤미셀룰로오스 제거 정도에 따른 시료의 X-Ray 회절 곡선을 얻어 이들로부터 결정 화도를 계산하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 레팅

각 레팅을 상호보완하고 그 효과를 증진시키기 위하여 케냐프의 인피부에 물 레팅과 효소 레팅을 병행한 실험결과에 대해 일변량 분산분석을 하여 개체 간 효과를 검정하였을 때 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. 그러나, 추정된 주변 평균으로 효소 농도, 온

도, 침지 날짜 각각의 주효과를 알아보았다.

그 결과 <Table 4>에서 보이는 바와 같이 효소 농도는 0.125%일 때 가장 레팅 효과가 좋은 것으로 나타났다. 효소 농도는 0.25%가 아닌 0.125%만 사용하여도 높은 등급의 평가를 받을 수 있었으며 이는 적은 양의 효소로도 레팅 효과가 나타났었다는 선행연구결과(이혜자 외, 2003)와도 일치한다. 침지 용액의 온도는 미미한 차이이기는 하지만 50°C로 계속 높여 두지 않고 50°C에서 하루 반응시킨 후 온도를 낮추어 20°C에서 4일 반응시켜 총 5일을 두는 것이 온도에서의 주효과로 나타났다. 하루 경과 후 실온으로 낮추어도 레팅 효과가 우수하게 나타났던 결과는 혼합 방식에 의해 대량으로 케냐프를 레팅할 경우 온도의 변화를 이용하는 것도 경제적인 이점으로 작용될 수 있다는 점을 시사하는 것이다. 즉 효소 레팅 효과는 50°C가 적절하나 온도 유지에 드는 에너지를 감안한다면 물 레팅에 비해 비경제적이라는 단점이 있는 반면 물 레팅은 상온에서도 효과가 우수하여 경제적이지만 여러 날 침지해야하는 비효율성을 지니는데 이러한 레팅 온도의 배합은 경제성과 효율성을 상호보완하는 효과를 지니기 때문이다. 침지 날짜에 따른 레팅 효과의 결과를 보면 5일간 침지할 때 레팅 효과가 가장 좋은 주 효과임을 확인할 수 있었다. 이는 효

소의 작용이 유지되면서 동시에 자연적으로 물 레팅이 이루어질 수 있도록 하는 조건이라고 할 수 있다.

이와 같이 물 레팅과 효소 레팅을 병행하여 실시하였을 때 가장 주효과를 나타낸 조건은 효소 농도 0.125%, 침지 온도 50-20°C, 침지 날짜 5일(A2B3C3)임을 알 수 있다. 이 조건은 적은 양의 효소로 단시간 높은 온도를 유지한 후 장시간 침지시키는 경제적이면서 친환경적인 레팅 방법임을 의미하는 것이다. 또한 효소를 적은 양 사용함으로써 효소 구입에 대한 경제적인 부담을 줄일 수 있고, 물 레팅의 경우 10일 이상 침지하여야 하나 그로 인한 다량의 물 소비와 냄새, 수질오염의 발생 가능성도 줄일 수 있게 만드는 효소 레팅과 물 레팅의 장점이 잘 조화된 방법임을 알 수 있다.

2. 면섬유화

케냐프는 리그닌과 헤미셀룰로오스가 각각 약 13%와 24%정도 함유되어 있어 매우 뻣뻣하며, 방적하였을 때 표면이 다소 거칠고, 균일하지 않으며, nep(몽침)과 loss(손실)가 많이 발생한 것으로 나타나(이혜자 외, 2004) 방적에 어려움이 있음을 알 수 있다. 케냐프를 이용한 고부가가치의 제품을 만들기 위해서는 더 부드럽고 유연해져야 하므로 본 연구에서는 섬유인장 강도, 섬유장, SEM 관찰, 섬유의 결정화도 분석 등을 통해 리그닌과 헤미셀룰로오스 제거 정도가 케냐프 섬유의 면섬유화에 미치는 영향을 살펴 보았다.

1) 인장 강도

(1) 리그닌 제거에 따른 인장 강도
아염소산나트륨용액의 처리 시간에 따른 무게 감소율은 <Table 5>에서 보는 바와 같이 60분 처리에 7.6%였으나 120분 처리에 13.0%로 급증하여 무게 감소가 점차 많이 이루어짐을 확인할 수 있다. 이는 케냐프의 리그닌 함유량을 살펴 보았던 선행연구(이

Table 4. Retting effects of the kenaf fiber according to various enzyme concentrations (%), soaking temperatures (°C), and soaking times (days)

<enzyme concentration>		
종속변수:softness		
농도	평균	표준오차
A1	3.110	.607
A2	3.427	.607
A3	2.870	.607
<soaking temperature>		
종속변수:softness		
온도	평균	표준오차
B1	2.927	.607
B2	3.203	.607
B3	3.277	.607
<soaking times>		
종속변수:softness		
시간	평균	표준오차
C1	2.740	.607
C2	3.020	.607
C3	3.647	.607

Table 5. The weight loss and kenaf

treatment time(min.)	NaClO ₂	Weight loss(%)	Fiber bundle tenacity(gf)
Untreated		-	1177.3
60		7.6	1049.9
90		9.8	1006.5
120		13.0	939.0

혜자 외, 2003)의 결과와도 일치하는 것이며 아염소 수산화나트륨용액에서 120분 처리함으로써 대부분의 리그닌이 제거되었음을 알 수 있다.

아염소수산화나트륨용액의 처리 시간에 따른 인장 강도는 단섬유가 아닌 번들 상태에서 이루어졌지만 처리하기 전의 원섬유가 1177.3gf 인 것에 비해 60분 처리한 것이 1049.9gf, 120분 처리한 것이 939.0gf로 시간이 길수록 인장 강도가 낮아져서 케냐프 섬유질 길이가 많이 약화되었음을 알 수 있다.

(2) 헤미셀룰로오스 제거에 따른 인장 강도

아염소수산화나트륨용액으로 리그닌을 일부 제거하고 이 시료를 다시 수산화나트륨용액으로 처리하면 케냐프 섬유 세포 사이의 헤미셀룰로오스가 제거된다. 수산화나트륨용액에서 헤미셀룰로오스를 완전히 제거하면 펄프화 되어 솜처럼 뭉쳐지거나 섬유장이 지나치게 짧아져 방적하기 어렵게 된다(이혜자 외, 2004). 따라서 완전 펄프화가 되지 않는 상태를 만들기 위해서는 케냐프 섬유의 강도를 저하시키고 부드럽고 유연하게 할 수 있는 조건을 찾아야 한다.

아염소수산화나트륨용액에서의 처리 시간이 120분인 원섬유를 수산화나트륨용액의 농도와 침지 시간을 달리 하여 헤미셀룰로오스를 부분적으로 제거하여 강도를 측정된 결과를 <Table 6>에 나타냈다. 수산화나트륨용액의 농도가 5%로 저 농도인 때에는 5분 침지한 시료의 인장 강도가 754.3gf, 20분 침지한 시료가 763.0gf로 침지 시간의 길이에 상관없이 인장 강도에서 유의한 차이를 보이지 않고 있다. 그러나 수산화나트륨용액의 농도를 10%로 높였을 때 5% 농도와 비교하면 전반적으로 인장 강도가 이미 많이 약화된 상태로 5분 침지한 시료가 502.5gf이고 20분 침지한 시료가 281.0gf로 상대적으로 시간 효과가 크게 나타나고 있었다. 침지 시간이 5분씩 길어질수록 점차로 약해지면서 인장

강도의 변화에 유의한 차이($p<.05$)가 있음을 알 수 있다. 수산화나트륨용액의 농도 15%로 더욱 증가시키면 5분 침지한 시료 483.3gf, 10분 침지한 시료 240.5gf, 15분 침지한 시료 197.7gf, 20분 침지한 시료 181.1gf로 침지 시간에 따라 큰 폭으로 줄어들면서 인장 강도의 변화에 매우 유의한 차이($p<.001$)가 있음을 알 수 있다. 또한 수산화나트륨용액의 농도 10%에서 10분 침지한 시료와 수산화나트륨용액 15%에서 5분 침지한 시료의 인장 강도 결과가 유사하고, 10%에서 20분 침지한 시료와 15%에서 10분 침지한 시료의 인장 강도 결과가 유사하였다. 이는 농도와 침지 시간은 상호보완적인 관계에 있음을 나타내는 결과로서 농도와 침지 시간의 적절한 배합을 통해 여러 가지 케냐프 면섬유화 조건을 찾을 수 있음을 보여주는 결과라 할 수 있다.

인피섬유를 방적할 때 면섬유 기준으로 작업하는 과정이 있었으나(Epps et al., 2001; Nebel, 1995) 국내에서는 대부분의 마섬유 제조가 수작업으로 이루어지고 있고 그 외에는 대부분 수입해오고 있어 마섬유를 방적할 수 있는 기기와 설비가 미비한 상태이다. 따라서 인피섬유인 케냐프를 방적시키기 위해 면섬유와 유사한 상태로 면방적기를 통과할 수 있는 조건을 찾는 것은 국내 재배 케냐프의 방적 가능성을 높일 수 있을 뿐 아니라 대부분 수입에 의존하는 마섬유를 보완할 수 있는 새로운 천연 소재 활용의 기초를 닦는 의미 있는 일이 될 것이다.

2) 섬유장

케냐프/레이온의 혼방직물 제조 연구(이혜자 외, 2004)에서는 케냐프를 방적하기 위하여 면섬유의 섬유장(2~3cm)과 유사하도록 수작업으로 풀어 세섬화하였으나 소면 공정에서 많은 손실과 nep이 발생하였고 균일하지 않은 것으로 밝혀졌다. 이에 본 연구

Table. 6 Fiber bundle tenacity after NaOH treatment for removing hemicellulose [gf : mean(SD)]

Soaking time (min.) \ NaOH concentration(%)	5	10	15	20	F value
5	754.3 (192.8)	810.5 (190.4)	760.3 (184.4)	763.0 (136.1)	0.1
10	502.5 (76.9)	441.7 (66.2)	293.0 (109.0)	281.0 (141.8)	5.7**
15	483.3 (104.6)	240.5 (106.2)	197.7 (59.9)	181.1 (83.7)	12.1***

** $p<.05$, *** $p<.001$

에서는 화학적 면섬유화로서 수작업 시의 문제점을 개선하여 보다 나은 케냐프의 세섬화 조건을 찾고자 하였다. 섬유장은 케냐프의 방적 과정 중 면방직기를 통과할 수 있는 중요한 조건이 되므로 면과 유사한 길이와 상태가 되는 조건을 알아보았다. 수산화나트륨용액의 농도와 침지 시간에 따른 케냐프의 단섬유 개수와 섬유장을 살펴보았을 때 결과는 <Fig. 1, 2>와 같다.

섬유장은 수산화나트륨용액 농도 5%에서 5분 침지한 시료의 섬유장이 6.76cm였으며 침지 시간이 길어질수록 섬유장이 점점 짧아져서 20분 침지한 시료가 약 3.65cm로 3cm-4cm 범위에 있음을 확인할 수 있었다. 수산화나트륨용액의 농도 10%에서는 처리 시간에 따라 4.10cm-2.82cm로 나타나 면섬유의 섬유장과 흡사했다, 또한 수산화나트륨용액 15%의 농도에서는 3.72cm-2.67cm로 침지 시간이 길어짐에 따라 점차적으로 섬유장이 짧아 면섬유장의 범위인 2-3cm와 유사하였다.

결과적으로 면섬유와 유사한 길이인 3cm 이내의 섬유장을 나타낸 조건을 살펴볼 때 수산화나트륨용액의 농도 10%에서 15분, 20분이 각각 2.90cm와 2.81 cm로 나타났고, 15% 농도에서 15분, 20분이 각각 2.79cm와 2.68cm로 나타나 이들이 케냐프 면섬유화에 적합한 농도와 시간 조건이라고 할 수 있다.

한편, 수산화나트륨용액의 농도를 20% 정도로 더욱 높이거나 침지 시간을 30분 이상 두었을 때 섬유장이 2cm 이하로 짧아지거나 일부분이 솜 형태로 뭉쳐져서 펄프화가 이루어짐을 확인하였다. 또한 아염소산나트륨용액 처리 시간을 4시간으로 수산화나트륨용액 17.5%에서 45분 침지하였을 때에는 모두 섬유가 짧아져 솜처럼 뭉쳐져 있었다. 이 때의 섬유장은 1cm 이하로 헤미셀룰로오스가 제거되면서 세섬화가 이루어진다고 볼 수 있다.

단섬유의 개수는 수산화나트륨용액 5% 농도에서 5분 침지한 시료에서 24개, 20분 침지한 시료에서 65개가 분리되면서 침지 시간이 길어질수록 단섬유의 개수가 큰 폭으로 많아지는 것을 알 수 있다. 수산화나트륨용액 10% 농도에서는 5분 침지한 시료에서 38개, 20분 침지한 시료에서 77개가 분리되었다. 15%의 농도에서는 5분, 10분, 15분, 20분 침지한 시료에서 각각 58개, 74개, 81개, 84개의 단섬유가 분리되면서 전체적으로 단섬유가 많이 분리되는 것을 확인하였다(Fig 2). 이러한 결과는 수산화나트륨용액의

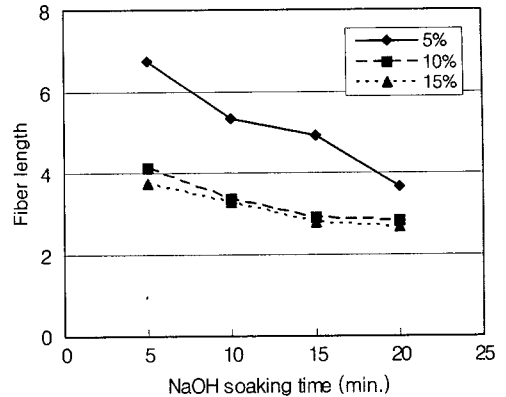


Fig. 1. The fiber length of kenaf staple fibers after NaOH treatment

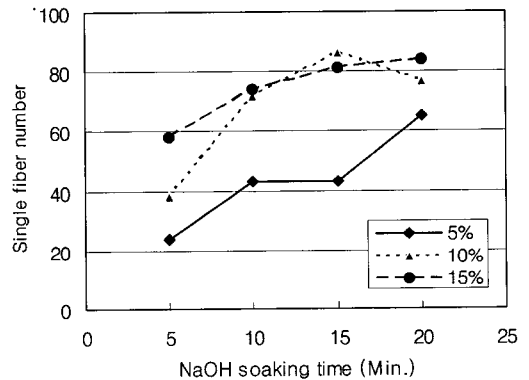


Fig. 2. The numbers of kenaf staple fibers after NaOH treatment

농도가 증가하고 침지 시간이 길어지면서 케냐프의 세섬화가 향상되고 있음을 나타내는 것이라 할 수 있다. 그리고 수산화나트륨용액의 농도 10%, 15분 침지한 시료에서 무려 96개의 가장 많은 단섬유가 분리된 것은 예상 밖의 일이었다. 이는 케냐프 인피부를 밀등의 거칠고 두꺼운 부분과 상부의 연한 부분을 구분하지 않고 섞어 실험함으로써 일관적이지 않은 결과를 나타냈을 것으로 생각되며 앞으로 연구해야 할 과제 중의 하나로서 케냐프 줄기의 부위별로 레팅이나 면섬유화 효과를 비교하는 것도 연구해야 할 과제 중의 하나이다.

3) SEM 관찰

케냐프의 면섬유화에 의해 섬유의 형태학적 특성 상 어떤 변화가 있었는지 알아보고자 아염소산나트

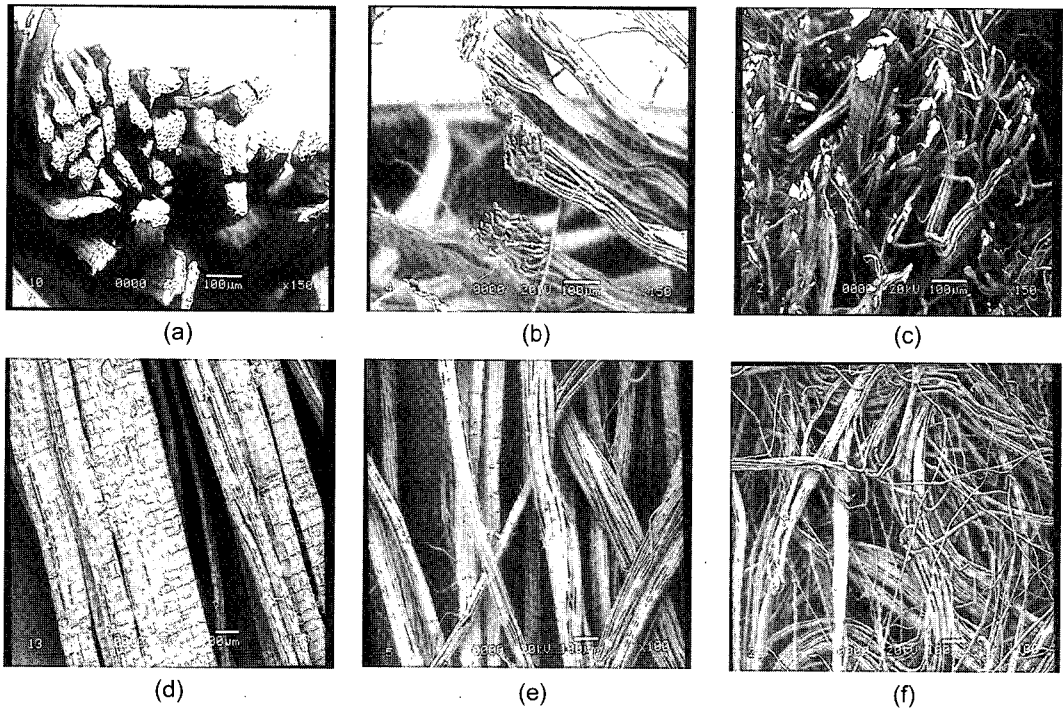


Fig 3. SEM Photographs of kenaf fibers treated with NaOH(Top: $\times 150$, Bottom: $\times 100$ Transversal-(a) Untreated (b) NaOH 15%, 5min. (c)NaOH 15%, 20min. Longitudinal-(d) Untreated (e) NaOH 15%, 5min. (f) NaOH 15%, 20min.

용액에서 120분 처리한 원섬유를 가지고 수산화나트륨용액의 농도와 침지 시간을 달리한 시료를 SEM으로 관찰하였다. 수산화나트륨용액의 농도 15%에서 각각 5분, 20분 침지한 시료의 단면과 측면을 원섬유와 비교하면서 시간에 따른 면섬유화의 정도와 효과 등을 살펴본 결과는 다음 <Fig. 3>와 같다.

SEM 관찰 결과 (a)와 (d)에 보이는 원포의 단면과 측면에서 모든 섬유가 다발로 뭉쳐 있는 모습을 확인할 수 있다. 아염소나트륨용액의 처리 과정을 통해 뻗뻗한 리그닌은 일부 제거되었으나 섬유 세포 사이에 있는 헤미셀룰로오스는 남아서 섬유들을 결합시키고 있는 모습을 알 수 있다. 그러나 수산화나트륨용액 15% 농도에서 각각 5분, 20분 침지한 섬유의 단면 (b)와 (c), 측면 (e)와 (f)를 살펴보면 단단히 결합되어 있던 섬유조직이 서서히 풀어지는 과정을 알 수 있으며, 20분 침지한 섬유의 단면 (c)와 측면 (f)는 섬유가 가닥가닥 많이 풀어지고 세섬유화가 많이 진행되었음을 나타내고 있다. 수산화나트륨용액의 농도 15%에서 침지한 시간이 길어질수록 헤미셀룰로오스가 점점 제거되면서 케냐프가 면섬유화 되

는 과정을 확인 할 수 있었다.

4) 결정화도

수산화나트륨용액의 농도와 침지 시간별로 면섬유화한 케냐프 시료의 결정 화도를 나타낸 <Table 7>을 보면 수산화나트륨용액의 처리 농도에 따라 결정성이 저하됨을 알 수 있다. 침지 시간 10분인 같은 시간대에 수산화나트륨용액 5%에서 95.17%이던 결정 화도가 수산화나트륨용액의 농도 10%에서는 89.21%, 15% 농도에서는 78.37%로 저하되었다. 수산화나트륨용액 15% 농도에서는 침지 시간에 따라 5분, 10분, 15분은 각각 77.02%, 78.37%, 79.24%로 비슷하다가 20분 침지했을 때에는 55.37%로 결정 화도가 저하되는 모습을 보였다.

이는 수산화나트륨용액의 농도와 침지 시간에 따라 결정 구조는 바뀌지 않으나 결정 영역의 파괴가 일어난다고 생각된다. 5% 수산화나트륨 농도에서는 10분 침지하여도 결정 화도에 큰 변화가 없으나 15% 농도에서 10분 침지하면 약간 저하되며 15% 농도에서는 5분에서 77.02%로, 20분 침지에서는 55.37%까

Table 7. Crystallinity of kenaf fiber after NaOH treatment

NaOH Con.(%)	Soaking Time (min.)	Crystallinity (%)	No. of single fiber (fineness :denier)	Length of single fiber (cm)
Untreated		95.01	-	-
5	10	95.17	43(39)	5.35
10	10	89.21	72(37)	3.36
15	5	77.02	58(42)	3.72
	10	78.37	74(37)	3.26
	15	79.24	81(49)	2.28
	20	55.37	84(40)	2.67

지 저하됨을 알 수 있다. 결정 화도가 저하되는 만큼 단섬유의 개수가 43~84로 점점 늘어났으며 섬유장은 5.35cm에서 2.67cm로 짧아졌다.

IV. 결 론

본 연구에서는 대부분 수입에 의존하고 있는 마직 물을 대체할 수 있는 천연 소재 직물 및 부직포, 종이로서의 사용 가능성을 알아보기 위하여 케냐프를 레팅하고 섬유화하여 방적하기 위하여 면섬유화 하기 위한 조건을 찾아가 하였다. 이를 위해 물 레팅과 효소 레팅을 병행함으로써 친환경적이면서도 경제적인 레팅 조건을 찾았고, 다시 아염소산나트륨용액과 수산화나트륨용액의 처리 시간, 농도, 침지 시간에 따라 가장 면과 유사한 상태를 나타내는 조건, 즉 방적할 수 있는 조건을 찾아가 하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 케냐프의 물 레팅과 효소 레팅의 이중 레팅 조건은 효소 농도 0.125%, 침지 온도 50°C에서 하루, 20°C에서 나흘동안 담금으로써 총 침지 날짜가 5일이 되는 조건이 적절하였다. 효소 농도를 높이거나 침지 온도를 높이는 등의 다른 요인보다 물 레팅과 병행함으로써 비교적 저 농도의 효소와 저온의 조건에서도 레팅 효과를 높일 수 있음을 확인하였다.

2. 케냐프의 강도를 완화시켜 부드럽게 하여 효과적으로 면섬유화하는 조건을 찾기 위해 아염소산나트륨용액으로 120분 처리한 원섬유를 가지고 수산화나트륨용액의 농도와 침지 시간을 각각 5%, 10%, 15%와 5분, 10분, 15분, 20분으로 하여 처리하였을 때 인장 강도는 5%의 농도에서는 처리 시간에 따른 유의한 차이가 없었으나, 10%와 15%의 농도에서는 침지 시간이 길수록 인장 강도가 점차적으로 약해지

면서 인장 강도의 변화에 유의한 차이가 있었다.

3. 수산화나트륨용액의 농도와 침지 시간에 따른 섬유장을 비교하였을 때 면섬유와 유사한 3cm 이내의 길이를 나타낸 조건은 수산화나트륨용액 5%에서 20분 침지, 10% 농도에서 10분, 15분, 20분 침지, 15% 농도에서 10분, 15분, 20분 침지하는 것으로 나타났다.

4. 수산화나트륨용액의 농도와 침지 시간에 따른 SEM 관찰을 하였을 때 아염소산나트륨용액에서 120분 처리한 원섬유와 수산화나트륨용액 15%에서 각각 5분, 20분 침지한 시료는 단면과 측면 모습이 뭉쳐있던 상태에서 점점 세척화되고 풀어지는 모습을 확인하였으며 결정 화도도 많이 저하되는 것으로 나타났다. 케냐프 섬유에서 리그닌과 헤미셀룰로오스가 제거되는 만큼 결정 화도가 낮아졌으며 단섬유의 개수는 증가하고 섬유장은 짧아졌다.

이와 같은 결과로 케냐프 섬유는 뻣뻣하고 거친 특성을 섬유의 길이와 세척화 정도에 따라 면과 같이 유연하고 부드러운 형태로 가공될 수 있으므로 앞으로 케냐프 이용의 범위를 확대할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- 권해용, 박영환, 공영선. (1997). NaOH 처리 아마섬유의 구조 및 물리적 성질. *한국섬유공학회지*, 34(2), 97-103.
- 강시용, 김문철, 강영길. (2001). 원예작물의 생산기술 개발-II. 대체 사료자원 개발을 위한 케냐프 생산연구. *제주대학교 아열대 원예산업 연구센터 연구보고서 제5집*.
- 박성현. (1994). *현대실험계획법*. 서울: 민영사.
- 박종문. (1964). Genus Hibiscus의 품종에 관한 연구-I. 한국 재래종 및 남방형 양마의 개화와 수정. *한국작물학회지*, 50-56.
- 방명혁. (1999). 공꽃점현미경(CLSM)과 섬유분포지수(FDI)에 의한 케냐프 인피와 복부 혼합 필프의 초저 특성 분

- 석. 충북대학교 농학 석사학위 논문.
- 이혜자, 안춘순, 김정희, 유혜자, 한영숙, 송경현. (2003). 케나프 섬유 분리에 대한 효소 레팅 효과. *한국의류학회지*, 28(7), 873-881
- 이혜자, 안춘순, 김정희, 유혜자, 한영숙, 송경현. (2003). 케나프 섬유 분리에 대한 화학적 레팅 효과. *한국의류학회지*, 27(9/10), 1144-1152.
- 이혜자, 안춘순, 김정희, 유혜자, 한영숙, 송경현. (2004). 케나프/레이온 혼방직물의 특성에 관한 연구. *한국의류학회지*, 28(9/10), 1282-1291.
- 한영숙, 유혜자, 이혜자, 이진숙, 김정희, 송경현, 안춘순. (2002). 국내 재배 케나프를 이용한 의류 소재 개발 연구. *한국의류학회지*, 27(7), 862-871.
- Abou-Zeid, N. Y., Higazy, A., & Hebeish, A. (1984). Graft copolymerization of styrene, methylmethacrylate, and acrylonitrile onto jute fibers. *Die Angevante Makromolekulare Chemie*, 121, 69-87.
- Epps, H. H., Akin, D. E., Foulk, J. A., and Dodd, R. B. (2001). Color of enzyme-retted flax fibers affected by processing, cleaning, and cottonizing. *Textile Research Journal*, 71(10), 916-921.
- Morrison, III, W. H., Akin D. E., Ramaswamy G. N., & Baldwin, B. (1996). Evaluating chemically retted kenaf using chemical, histochemical, an microspectrophotometric analysis. *Textile Research Journal*, 66(10), 651-656.
- Nebel, K. M. (1995). New processing strategies for hemp. *Journal of the International Hemp Association*, 2(1), 6-9.
- Ramaswamy, G. N., Stephanie, C., & Linda, W. (1995). Uniformity and softness of kenaf fibers for textile products. *Textile Research Journal*, 65(12), 765-770.