[보 문]

Journal of the Korean Society
of Clothing and Textiles
Vol. 30, No. 7 (2006) p.1025~1033

화학처리에 의한 케나프 섬유의 물리적 특성의 변화

유혜자 · 이혜자*† · 김정희 · 안춘순 · 송경헌*** · 한영숙******

서원대학교 의류학과, *한국교원대학교 가정교육과, **인천대학교 패션산업학과
***배재대학교 의류학과, ****제주 신성여자고등학교

The Change of Physical Characteristics of Kenaf Fiber by the Chemical Processes

Hye Ja Yoo · Hyeja Lee*† · Jung Hee Kim · Chunsoon Ahn
Kyung Hun Song*** · Young Sook Han******

Dept. Colthong & Textiles, Seowon University
*Dept. Education of Home Economics, Korea National University of Education
**Dept. Fashion Industry, Incheon University
***Dept. Colthong & Textiles, Paichai University
****Shinsung Girls High School, Cheju

(2005. 12. 8. 접수)

Abstract

Kenaf bast can be obtained by decortication of Kenaf stem. Kenaf fibers are much more rough than cotton fiber because they include impurities as pectin, lignin and hemicellulose besides cellulose. The purpose of this research is to investigate the distribution of kenaf fiber length and diameter during the processes of removing impurities. To remove pectin, kenaf bast was retted chemically. A half of the retted kenaf fiber bundle were scoured and bleached. The other half one were treated with $NaClO_2$ solution to remove lignin, and were treated with sodium hydroxide solution to remove hemicellulose. Four kinds of specimens that were obtained for investigating physical characteristics. Length and diameter of 100 fibers on each specimen was measured. The tensile strength of 100 fiber bundles were measured. And also the color values of them were measured with spectrocolorimeter. The length of retted kenaf fiber was 16.97cm. Then it decreased to 11.43cm after bleaching. Kenaf fiber bundles could be finer by chemical processes that remove non-cellulosic materials. The thickness of retted fiber was 132μm. And after undergoing the chemical processes to remove non-cellulosic materials, the thickness of kenaf fiber became finer as 73μm. Tensile strength of the retted kenaf fiber bundles was 11.37Mpa. The retted kenaf fiber lost their strength as 22.6% by bleaching and as 18.3% by treatment for removing lignin. The retted kenaf fiber showed low whiteness as 56.48 of L*value. After bleaching, the kenaf fibers have creamy white color and their whiteness got 90.02 of L* value. After the treatment for removing hemicellulose, the kenaf fibers also have creamy white color and their whiteness got L* value of 79.02.

Keywords: Kenaf, Retting, Bleaching, Lignin, Hemicellulose; 케나프, 레팅, 표백, 리그닌, 헤미셀룰로오스

†Corresponding author
E-mail: hjlee@knue.ac.kr

I. 서 론

케나프는 성장속도가 매우 빠른 일년생 아열대식물이다. 아프리카가 원산지인 케나프 식물은 1940년대부터 속성으로 자라는 탄소고정성이 높은 환경친화성 작물로 인식되면서, 케나프 품종에 대한 연구(박종문, 김인환, 1965; Abbott, 2000)가 시작되었으며 관상용이나 황마나 목재펄프의 대체원료로 이용되기 시작했다(Clerk et al., 1962; Kugler, 1990).

케나프는 줄기로부터 벗겨내면 코어와 인피의 두 부분으로 분리되는데, 이 분리 공정을 'Decortication'이라 한다. 코어부분은 주로 산업용 흡수제나 매트로 이용되고 있으며 인피부분에서는 섬유를 분리해낼 수가 있어 새로운 천연섬유로 개발하기 위한 연구가 활발하며 그 기대도 크다. 그러나 줄기로부터 분리해낸 인피는 셀룰로오스 섬유번들이 다량의 펙틴으로 결합되어 있고 리그닌, 헤미셀룰로오스 등의 비섬유소 성분을 함유하고 있다. 따라서 인피로부터 섬유를 분리하기 위해서는 일반적으로 레팅, 정련, 표백 등의 공정을 거쳐야 한다. 레팅 방법에는 물을 사용하는 방법, 수산화나트륨 등의 화학약품을 이용하는 방법, 효소를 이용하는 방법과 이들을 혼합 이용하는 방법 등이 있으며 이들에 의한 레팅 효과에 대해 많은 연구(이혜자 외 2003; 한영숙 외, 2003; Bel-Berger et al., 1999; Morrison et al., 1996; Parikh et al., 2002; Ramaswamy et al., 1994)가 수행되고 있다. 최근에는 면, 레이온, 폴리프로필렌 등과 혼방해서 제직하는 등 의류소재로서 개발하기 위한 다양한 연구(이혜자 외, 2004b; Ramaswamy & Easter, 1997; Ramaswamy & Stephanie, 1995; Tao & Calamari, 1999)도 진행되고 있다.

케나프 인피로부터 섬유다발을 분리해내고 의류소재로 활용하기 위해서 기본적으로는 레팅, 정련과 표백 등을 거쳐야 한다. 뿐만 아니라 섬유번들에서 비섬유소 성분을 제거하여 셀룰로오스의 함량을 높이고 세섬화하기 위해서는 염소처리를 통해 리그닌을 제거하거나 염소처리 후 알칼리처리를 해서 헤미셀룰로오스를 제거하는 과정 등을 거쳐야 한다(Wang & Ramaswamy, 2003). 이와 같이 케나프 인피는 펙틴, 리그닌, 헤미셀룰로오스 등의 비섬유소 성분들이 용해되어 제거되면서 세섬화된 섬유다발들을 얻게 된다(이혜자 외, 2004a).

본 연구에서는 케나프 섬유번들이 레팅, 정련, 표백, 리그닌 제거, 헤미세룰로오스 제거 등을 위한 화학공정들을 거치면서 섬유의 길이, 굵기, 강도 등의 물리적 특성이 어떻게 변하는지, 그 변화를 살펴보고자 하였다. 물리적 특성의 변화는 반복 측정에 의해 검토하게 되는데, 통계적 고찰 뿐 아니라 좀더 세밀한 검토를 위해 각 과정에서의 길이, 굵기, 강도 등에 대해 각각 100개씩의 측청치를 얻은 후 전체적인 분포를 고찰하였다. 본 연구를 통해 케나프 줄기의 껍질이 섬유로 사용되기 위해 거치는 화학공정에서 여러 단계별로 얻어지는 케나프 섬유의 물리적 특성을 보다 철저히 파악함으로써 향후 균제도, 강도, 색상 등에서 보다 균일한 섬유를 얻어 품질을 향상시키기 위한 기초 자료로 삼고자 한다.

II. 시료 및 실험

1. 케나프의 재배 및 수확

제주도 제주시 삼양동 소재의 밭에서 2004년 6월 10일부터 9월23일까지 재배한 110DAP(Days after Plantation)인 케나프를 실험에 사용하였다. 수확한 케나프 줄기로부터 껍질을 벗겨서 속대를 분리해낸 후 인피(껍질)부분을 사용하였다.

2. 레팅

줄기로부터 벗겨낸 케나프 인피를 팽윤시키기 위해 실온에서 0.7% Triton-X 100 수용액에 액비 1:50으로 30분간 침지한 후, 2% NaOH 수용액에서 액비 1:50으로 100°C에서 1시간 동안 레팅 처리하였다. 1% 초산으로 중화한 후 물로 세척하여 자연 건조하였다(이후는 시료 'A'로 지칭함).

3. 정련 및 표백

레팅이 완료된 케나프를 5%(owf) NaOH, 1%(owf) Na_2SiO_3와 1%(owf) KS 표준비누의 수용액에서 3시간 동안 끓여서 정련하였다. 정련 처리한 케나프 섬유를 5%(owf) H_2O_2, 14%(owf) Na_2SiO_3, 1% (owf) Triton X-100 의 혼합 수용액에서 액비 1:50으로 85°C를 유지하면서 1시간 동안 처리하여 표백한 후 물로 세척하고 자연 건조하였다(이후는 시료 'B'로 지칭함).

4. 리그닌을 제거하기 위한 처리(Abou-Zeid et al., 1984)

레팅을 완료한 시료 A를 pH 4로 조절한 0.7% $NaClO_2$ 수용액에 넣고 액비 1:50으로 하고 100°C에서 2시간 동안 처리하였다. 깨끗한 물로 여러 번 세척한 후 자연 건조하였다(이후는 시료 'C'로 지칭함).

5. 헤미셀룰로오스를 제거하기 위한 처리(Abou-Zeid et al., 1984)

리그닌이 제거된 Specimen C를 15% NaOH 수용액에 액비 1:50으로 준비하여 25°C로 30분간 처리한 후 깨끗한 물로 여러 번 세척하고 자연 건조하였다(이후는 시료 'D'로 지칭함).

6. 케나프 섬유의 물리적 특성의 측정

섬유다발에서 분리된 섬유가닥을 수작업으로 시료군마다 각각 100개씩 취하여 60cm×40cm의 검은 색 종이판 위에 놓고 양 끝을 투명테이프로 고정시켰다. 자를 이용해 길이(cm)를 측정하고 소수점 이하 두 자리로 나타냈다.

눈금이 부착된 현미경을 이용해서 역시 시료군 마다 각각 100개씩 취하여 굵기를 측정하여 μm로 나타냈다. 또한 강도는 각 시료군 마다 100개씩의 섬유를 취하여 Instron®4464(Instron Company, 미국)를 이용해서 시료길이 250mm, cross head speed 10mm/min의 조건으로 측정하고 단위는 Mpa로 나타냈다.

길이, 굵기, 강도의 측정치들은 통계적으로 처리하여 평균, 표준편차, 변동계수 등을 고찰하였으며 각 측정치들의 분포를 그래프로 그려 고찰하였다.

7. 화학적 처리에 따른 케나프 섬유의 색채 측정

각 화학적 처리를 한 케나프 섬유들의 색채를 분광측색계를 이용하여 표면색을 측정하고 CIE 표색치인 L*, a*, b*와 Munsell Values 인 색상, 명도와 채도로 나타냈다.

III. 결과 및 고찰

1. 화학공정에 따른 케나프 섬유의 길이의 변화

레팅, 표백 등 화학적 처리를 거쳐 얻어진 4종류의 시료 A, B, C, D 각각에 대해 100개의 길이를 측정하고 그 결과를 <Table 1>에 나타냈다.

화학적 공정은 두 가지로 분류되는데, 한 종류는 레팅과 표백으로 이어지는 A, B공정이고 다른 종류는 레팅, 탈리그닌, 탈헤미셀룰로오스로 이어지는 A, C, D공정이다. 케나프 섬유의 길이는 화학적 공정을 거치면서 점점 줄어들었다. 레팅 후 16.97cm였던 케나프 섬유번들의 길이가 표백 후 11.43cm로 33% 정도 줄어들었다. 한편 레팅 후 $NaClO_2$로 탈리그닌 처리를 하면 13.31cm가 되어 21.6%가 줄어들었으며 다시 헤미셀룰로오스를 제거하기 위해 강알칼리로 처리하면 약 40%가 감소해 8.03cm로 짧아졌다. 이는 레팅된 시료 길이의 47%에 해당되는 길이로 화학처리로 인해 길이가 지속적으로 감소했다.

4종류의 시료 A, B, C, D 각각에 대해 100개씩 측정한 섬유의 길이를 3cm에서 30cm까지의 범위에서 0.5cm 간격으로 설정한 범위에 해당되는 돗수를 산출해서 분포도를 그려 <Fig. 1>에 나타냈다.

레팅 시료인 Specimen A의 길이는 짧은 섬유 속에서 긴 것 까지 넓은 범위에 걸쳐서 분포되어 있으며 정련, 표백을 거친 Specimen B는 분포가 다소 균일해지고 범위도 줄어들었다. 특히 헤미셀룰로오스 제거공정을 거친 Specimen D는 그래프의 왼쪽으로 이동해서 많이 짧아지면서 분포범위가 좁아진 걸 볼 수 있다.

길이의 최소값과 최대값 사이를 공정별로 각각 5단계로 분류할 경우, 각각 간격이 레팅에서는 5cm, 리그닌을 제거하는 공정에서는 3cm, 헤미셀룰로오스를 제

Table 1. The statistical data on the length of kenaf fiber bundles

	Average(cm)	Standard Deviation(cm)	Coefficient Varience(%)
Specimen A	16.97	4.40	25.30
Specimen B	11.43	3.06	26.77
Specimen C	13.31	3.12	23.44
Specimen D	8.03	1.77	22.04

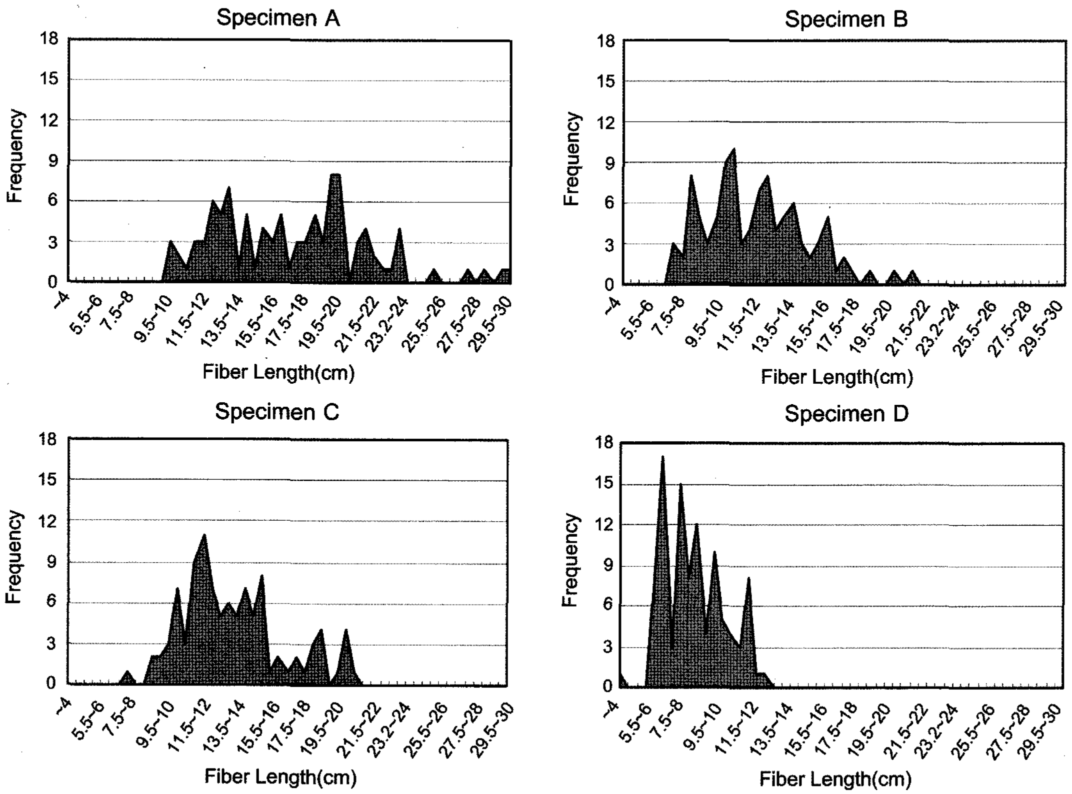

Fig. 1. The length distribution of kenaf fiber bundles

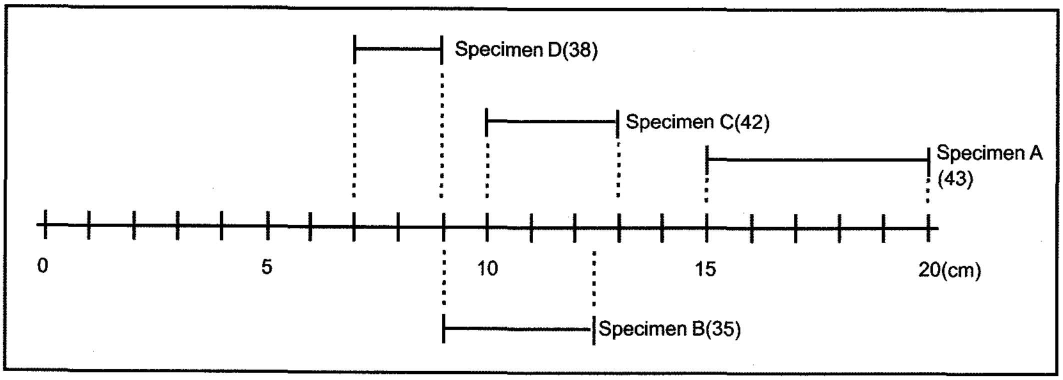

Fig. 2. The location of maximum frequency of length of kenaf fiber bundles

거하는 공정에서는 2cm, 정련 및 표백의 공정에서는 3cm로 나타났다. <Fig. 2>는 이 중에서 공정별로 섬유의 분포가 가장 많은 범위를 그림으로 나타낸 것이다.

레팅 공정을 거친 Specimen A의 경우는 15.1cm~20.0cm의 범위에서 43개의 섬유가 해당되어 가장 분포가 큰 부분으로 나타났으며, 정련 및 표백의 공정을 거친 Specimen B섬유의 9.1cm~12.0cm의 범위에 가장 많은 35개의 섬유가 포함되어 있었다. 리그닌을 제거하는 공정을 거친 Specimen C섬유는 10.1cm~13.0cm의 범위에 42개의 섬유가 포함되어 있었으며 헤미셀룰로오스를 제거한 케나프 섬유인 Specimen D는 7.1cm~9.0cm의 범위에서 가장 많은 38개의 섬유를 포

함하고 있다.

화학공정을 거치면서 섬유들이 점차 짧아지는 것을 볼 수 있다. 레팅 후 정련, 표백이나 리그닌 제거 공정을 거친 Specimen B와 C의 경우 레팅만을 거친 Specimen A에 비해 많이 짧아졌으며 헤미셀룰로오스 제거공정을 거친 Specimen D는 7.1cm~9.0cm 정도로 많이 짧아져 Specimen A의 반 정도로 되었다.

2. 화학공정에 따른 케나프 섬유의 굵기의 변화

레팅, 정련 표백, 리그닌 제거, 헤미셀룰로오스 제거의 화학적 처리를 거쳐 얻어진 4종류의 시료 A, B, C, D 각각에 대해 100개의 섬유의 굵기를 측정하고 그 결과를 <Table 2>에 나타냈다.

레팅 후 시료의 굵기의 평균은 132μm이며 변동계수는 41.67%로 길이의 변동계수보다 매우 크게 나타났다. 이는 섬유번들 사이의 펙틴의 제거가 불균일하기 때문으로 판단되며 이 후의 반응이 진행되면서 변동계수는 줄어드는 것으로 나타났다. 레팅 시료를 정련 표백 처리 후의 섬유번들의 길이는 16.97cm에서 11.43cm로 33% 저하되었으며 굵기는 21% 정도 가늘어졌다. 레팅 후 $NaClO_2$로 탈리그닌 처리를 한 경우도

Table 2. The statistical data on the thickness of kenaf fiber bundles

	Average(μm)	Standard Deviation(μm)	Coefficient Varience(%)
Specimen A	132	55	41.67
Specimen B	104	19	18.27
Specimen C	101	29	28.71
Specimen D	73	23	31.51

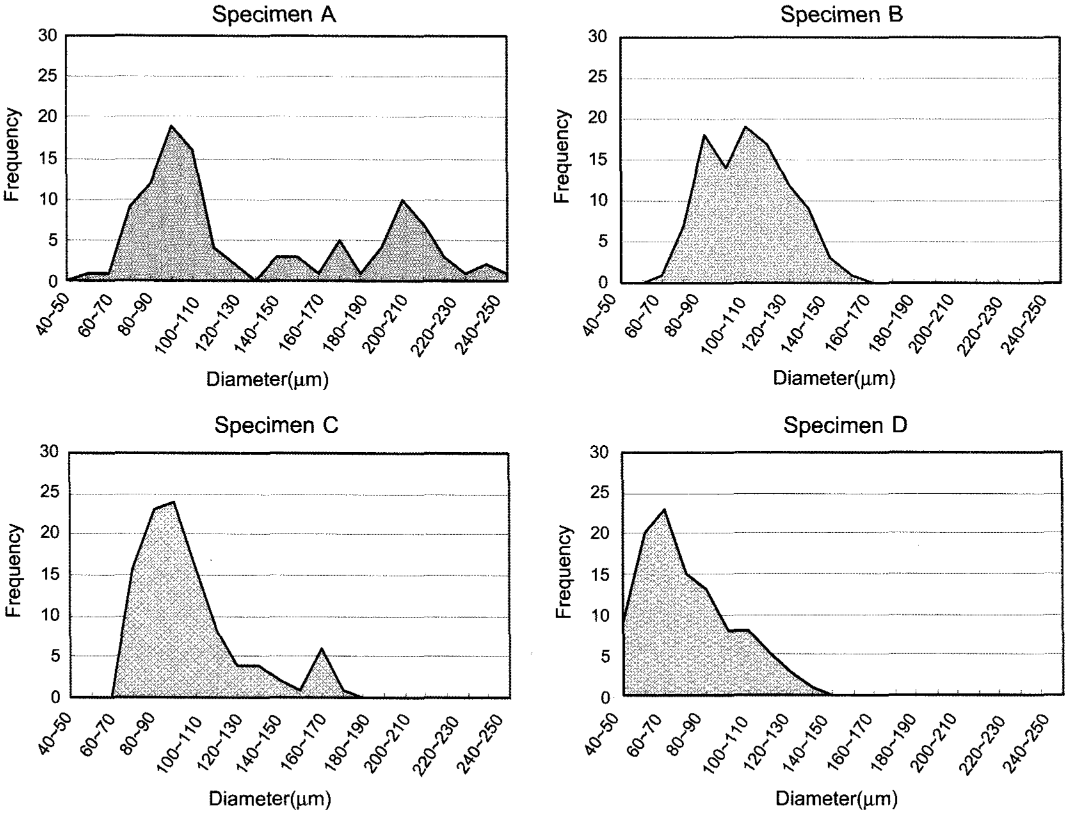

Fig. 3. The diameter distribution of kenaf fiber bundles

132μm였던 굵기가 101μm로 약 23% 정도 가늘어져 정련 표백을 한 경우와 비슷하게 나타났다. 탈헤미셀룰로오스 처리 후에는 73μm로 가늘어져 레팅 시료의 55%에 해당되는 굵기이다. 이는 면섬유의 굵기를 평균 25~30μm로 보았을 때 면섬유의 약 3배에 해당되는 굵기이다.

4종류의 시료 A, B, C, D 각각에 대해 100개씩 측정한 섬유의 굵기를 40μm에서 260μm까지의 범위에서 10μm 간격에 해당되는 돗수를 산출해서 분포도를 그려 <Fig. 3>에 나타냈다.

공정별로 케나프 섬유의 굵기의 최소값과 최대값 사이를 각각 5단계씩으로 분류하면 간격이 Specimen A에서는 40μm 간격으로, Specimen B는 20μm 간격으로, Specimen C에서는 30μm 간격으로, Specimen D에서는 20μm 간격으로 정해지며 각각의 분류에 해당하는 횟수를 산출였다. <Fig. 4>는 길이에서의 경우와 마찬가지로 이 중에서 섬유 개수가 가장 많이 분포한 범위를 공정별로 비교한 그림이다.

레팅 공정을 거친 Specimen A는 80.1μm~120.0μm의 범위에서 가장 많은 46개의 섬유가 포함되고 있었으며, 표백공정을 거친 Specimen B는 95.1μm~115.0μm의 범위에 가장 많은 36개의 섬유가 포함되어 있었다. 리그닌을 제거하는 공정을 거친 Specimen C는 70.1μm~100.0μm의 범위에서 가장 많은 59개가 포함되어 있었다.

헤미셀룰로오스를 제거한 Specimen D의 경우는 50.1μm~70.0μm의 범위에서 가장 많은 30개의 섬유가 포함되어 있었다.

레팅과 리그닌 제거공정을 거친 Specimen C는 세섬화가 많이 일어나지 않아 굵기 저하가 크게 나타나지 않으나, 헤미셀룰로오스를 제거한 후에는 50μm~70μm정도로 많이 가늘어져 세섬화가 일어나는 것을 알 수 있다. 정련 및 표백에 의해서도 균일한 굵기를 나타내었으나 역시 세섬화는 크게 나타나지 않았다.

3. 화학공정에 따른 케나프 섬유의 강도의 변화

각기 다른 화학공정을 거친 4종류 시료의 인장강도를 측정한 결과를 <Table 3>에 나타냈다.

4종류의 시료에 대해 역시 섬유번들 100개씩의 강도를 측정해서 0~30MPa의 범위에서 2Mpa의 간격으로 빈도를 산출해서 강도의 분포도를 <Fig. 3>에 나타냈다.

케나프 섬유에 화학적 처리가 진행될수록 강도는

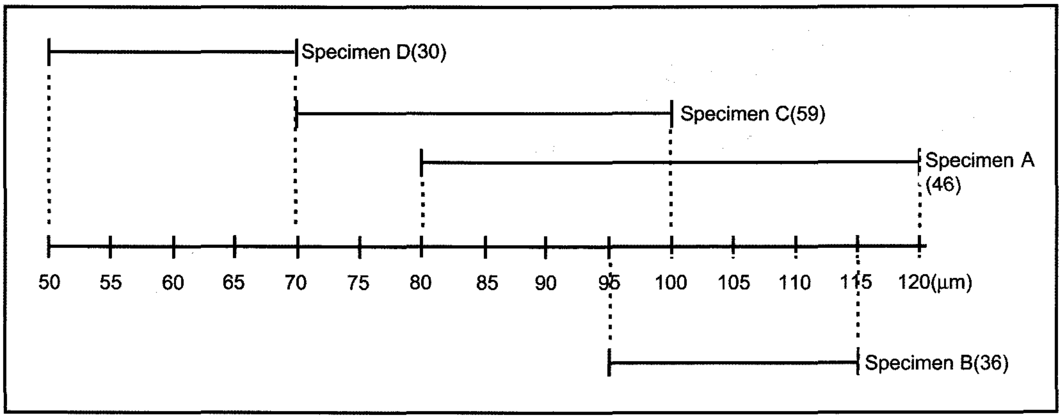

Fig. 4 The location of maximum frequency of thickness of kenaf fiber bundles

Table 3. The statistical data on the tensile strength of kenaf fiber bundles

	Average(Mpa)	Standard Deviation(Mpa)	Coefficient Varience(%)
Specimen A	11.37	4.80	42.19
Specimen B	8.80	4.11	46.70
Specimen C	9.29	5.04	54.20
Specimen D	6.87	3.55	51.70

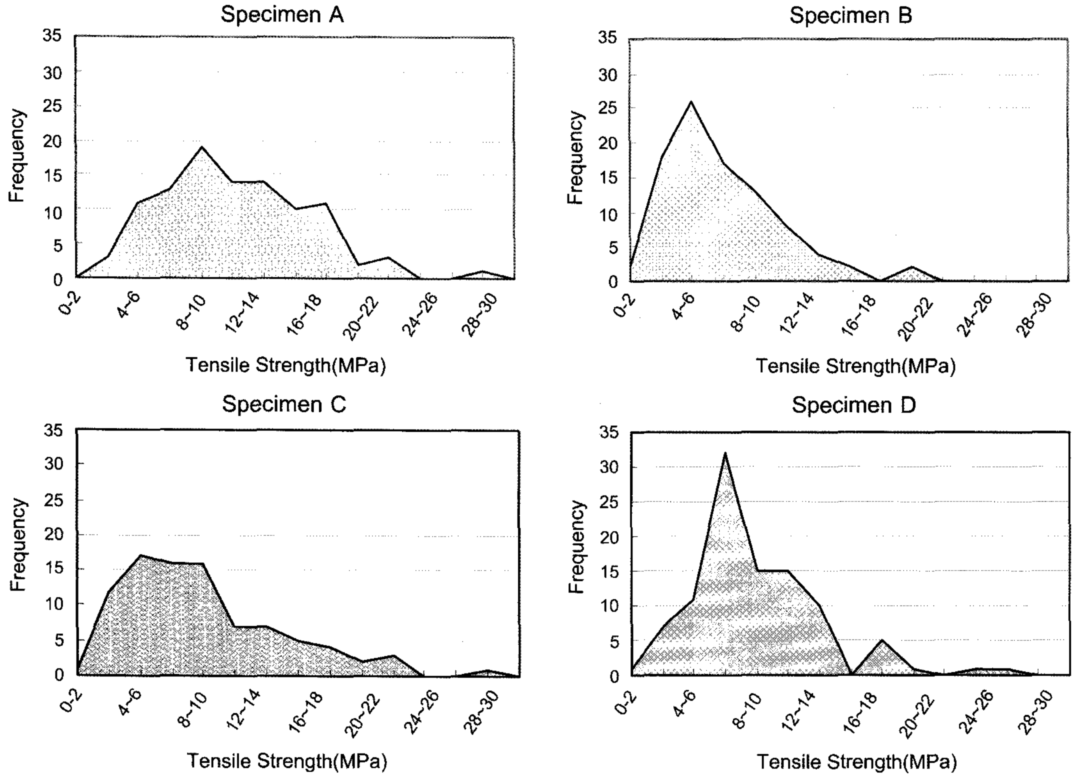

Fig. 5. The Tensile strength of distribution of kenaf fiber bundles

점차 저하되었다. 레팅 처리한 케나프의 강도는 11.37 Mpa이었으며 정련 표백 후 22.6%나 낮아져 8.8Mpa이 되었다. 탈리그닌 처리와 탈 헤미셀룰로오스 처리를 거친 후에는 6.87Mpa이었는데, 이는 레팅 케나프 섬유의 강도의 60%에 해당하는 수치이다.

4. 화학공정에 따른 케나프 섬유의 색상의 변화

<Table 4>는 네 종류 시료의 색을 분광색차계로 표면색을 측정하여 Hunter L*, a*, b*로 나타낸 것이다. 레팅 시료인 Specimen A는 백도와 채도가 매우 낮았으며 면셀 색상도 YR로 갈색을 띤다. 정련과 표백을 거치고 나면 56.48이었던 L값이 85.42와 90.02로 각각 향상되었으며 채도도 향상되고 색상은 노란 크림색으로 변화된다. 리그닌 제거공정은 색상변화는 거의 나타나지 않아 Specimen A와 C의 색상은 색상의 모든 값들도 비슷하게 나타났으나 헤미셀룰로오스 제거 공정을 거친 후에는 백도 향상 효과가 있어 L값

Table 4. Color values of chemically treated kenaf fiber bundles

		L*	a*	b*	Munsell Values	
					H	V/C
Specimen A		56.48	8.33	10.05	7.76YR	5.48/2.32
Specimen B	scouring	85.42	1.62	18.95	4.65Y	8.45/3.18
	bleaching	90.02	4.42	19.35	2.65Y	9.03/3.14
Specimen C		61.13	8.41	13.44	8.71YR	5.94/2.78
Specimen D		79.02	3.93	16.22	2.84Y	7.76/2.80

이 79.02로 나타났다.

IV. 결 론

화학적 공정은 두 종류로 분류해서 처리하였으며, 한 종류는 레팅과 표백으로 이어지는 공정이고 다른 종류는 레팅, 리그닌 제거, 헤미셀룰로오스 제거로 이어지는 공정이었다.

케나프 섬유의 길이는 화학적 공정을 거치면서 점점 줄어들었다. 레팅 후 16.97cm였던 케나프 섬유번들의 길이가 정련, 표백 후 11.43cm로 33% 정도 줄어들었다. 한편 레팅 후 리그닌 제거공정을 거치면 13.31cm가 되어 다시 21.6%가 줄어들었으며 다시 헤미셀룰로오스 제거공정을 거치면서 다시 약 40%가 감소해 8.03cm로 짧아졌다. 이는 레팅된 시료길이의 47%에 해당되는 길이이다.

케나프 섬유속의 길이의 분포는 레팅 시료는 짧은 섬유에서 긴 섬유까지 넓은 범위에 걸쳐서 분포되어 있으며 정련, 표백을 거친 시료는 분포가 다소 균일해지고 범위도 줄어들었다. 특히 헤미셀룰로오스 제거 공정을 거친 시료는 많이 짧아지면서 분포범위가 좁아졌다.

레팅 후 시료의 굵기의 평균은 132μm이며 레팅 시료를 정련 표백 처리 후에는 굵기는 21% 정도 가늘어져 104μm가 되었다. 레팅 후 리그닌 제거처리를 한 경우에도 정련 표백을 한 경우와 비슷해서 101μm로 가늘어졌다. 헤미셀룰로오스 제거공정을 거친 후에는 세섬화가 많이 일어나 73μm로 매우 가늘어지는데, 이는 레팅 시료의 55%에 해당되는 굵기이다.

케나프 섬유에 화학적 처리가 진행될수록 강도는 점차 저하되었다. 레팅 처리한 케나프의 강도는 11.37 Mpa이었으며 정련 표백 후 22.6%나 낮아져 8.8Mpa이 되었다. 리그닌 제거처리와 헤미셀룰로오스 제거처리를 거친 후에는 6.87Mpa이었는데, 이는 레팅 케나프 섬유의 강도의 60%에 해당하는 수치이다.

레팅 시료는 백도와 채도도 매우 낮고 먼셀 색상도 YR로 갈색을 띤다. 정련과 표백을 거치고 나면 L값이 85.42와 90.02로 각각 향상되고 채도도 향상되며 색상은 노란 크림색으로 변화된다. 리그닌 제거공정은 색상에는 거의 영향을 미치지 않았으며 헤미셀룰로오스 제거공정을 거친 후에는 백도 향상 효과가 있어 L값이 79.02로 나타났으나 정련, 표백 시료에는 미치지 못했다.

케나프 줄기의 껍질이 섬유로 사용되기 위해 여러 단계로 화학공정을 거치게 되는데, 각 공정에서 얻어지는 케나프 섬유들의 균제도, 강도, 색상 등의 물성이 균일해야만 상업화를 이룰 수 있다. 따라서 케나프 섬유의 여러 물성의 분포를 보다 세밀하게 검토한 기초 자료로서 품질 향상을 위한 기여가 될 것으로 판단된다.

참고문헌

박종문, 김인환. (1965). Genus Hibiscuc의 품종에 관한 연구. *농사시험연구보고*, 8(1), 49–55.

이혜자, 한영숙, 유혜자, 김정희, 송경헌, 안춘순. (2003). 케나프 섬유 분리에 대한 화학적 레팅 효과. *한국의류학회지*, 27(9/10), 1144–1152.

이혜자, 안춘순, 김정희, 유혜자, 한영숙, 송경헌. (2004a). 효소레팅에 의한 케나프 섬유의 분리. *한국의류학회지*, 28(7), 873–881.

이혜자, 안춘순, 김정희, 유혜자, 한영숙, 송경헌. (2004b). 케나프/레이온 혼방직물의 특성에 관한 연구. *한국의류학회지*, 28(9/10), 1282–1291.

한영숙, 유혜자, 이혜자, 이전숙, 김정희, 송경헌, 안춘순. (2003). 국내 재배 케나프를 이용한 의류소재개발연구. *한국의류학회지*, 27(7), 862–871.

Abbott, T. P. (2000). New uses for kenaf. *Agricultural Research Magazine, August*, 14–15.

Abou-Zeid, N. Y., Higazy, A., & Hebeish, A. (1984). Gragt copolymreization of styrene, methylmethacrylate and acrylonitril onto jute fibers. *Die Angewandte Makromolekuare Chemie*, *121*, 69–87.

Bel-Beiger, P., Hoven, T. V., Ramaswamy, G. N., Kimmel, L., & Boylston, E. (1999). Textile technlolgy-cotton/kenaf fabrics: A viable natural fabrics. *The Journal of Cotton Science*, *3*, 60–70.

Clerk T. F., Nelson G. H., Nieschlag H. J., & Wolff, I. A. (1962). A search for new fiber crops. *Tappi*, *45*(10), 780–786.

Kugler, D. E. (1990). *Non-wood fiber crops: Commercialization of kenaf for newsprint, advances in new crops.* Timber Press, Portland, OR, USA, 289-292.

Morrison, W. H., Akin, D. E., Ramaswamy, G. N., & Baldwin, B. (1996). Evaluating chemically retted kenaf using chemical, histochemical and microspectrophotometric analysis. *Textiles Res. J.*, *66*(10), 651–656.

Parikh, D. V., Calamari, T. A., Sawheney, E. J., Blenchard, & F. J. Screen. (2002). Improved chemical retting of kenaf fibers. *Textiles Res. J.*, *72*(7), 618–624.

Ramaswamy, G. N. & Boyd Catherine, R. (1995). Kenaf/cot-

ton blend for textiles. *Family and Consumer Sciences Research Journal*, *424*(2), 180–190.

Ramaswamy, G. N. & Easter, E. P. (1997). Durability and aesthetic properties of kenaf/cotton blend fabrics, *Textiles Res. J.*, *67*(11), 803–808.

Ramaswamy, G. N., Ruff, C. G., & Boyd, C. R. (1994). Effect of bacterial and chemical retting on kenaf fiber quality. *Textiles Res. J.*, *64*(5), 305–308.

Ramaswamy, G. N. & Stephanie, C. (1995). Uniformity and softness of kenaf fibers for textile products. *Textiles Res. J.*, *65*(12), 765–770.

Tao, W. & Calamari, T. A. (1999). Preparing and charaterizing kenaf/cotton blended fabrics. *Textiles Res. J.*, *69*(10), 720–724.

Wang, J. & Ramaswamy, G. N. (2003). One-step processing and bleaching of mechanically seperated kenaf fibers: Effects on physical and chemical propertieds. *Textiles Res. J.*, *73*(4), 339–344.