알칼리 처리에 따른 케나프 섬유 특성 변화 연구

유혜자 · 이해자^{*†}

서원대학교 의류학과, *한국교원대학교 가정교육과

Characteristics of Kenaf Fibers Treated by Alkali

Hye Ja Yoo · Hye-Ja Lee^{*†}

Dept. of Clothing & Textiles, Seowon University

^{*}Dept. of Home Economics Education, Korea National University of Education

접수일(2011년 4월 19일), 수정일(2011년 6월 10일), 게재확정일(2011년 6월 13일)

Abstract

Kenaf fiber can be obtained by decortications of the kenaf plant stem. The properties of the kenaf fiber treated by alkali (NaOH) were investigated by spectrophotometer, SEM, X-ray diffractometer, FT-IR and TGA. The kenaf fibers treated by alkali became darker and their Munsell color values changed from Y (yellow) to YR (yellowred) according to an increased NaOH concentration. SEM observation of the kenaf fibers showed that their crimps were developed and their surfaces were cleaned by the removal of protruding ends and impurities after alkali treatments. In the x-ray diffraction analysis, the structures of the fibers were found in the form of cellulose I when treated with a 0-16% alkali concentration and cellulose II when treated with over 20%. It was also confirmed that the crystallinity was lowered according to an increased NaOH concentration. The change of fiber compositions was investigated in FT-IR analysis. Strong band of $1,738\text{cm}^{-1}$ and asymmetrical stretching strong bands of $1,630\text{-}1,600\text{cm}^{-1}$ in spectrum (which represent pectin) were not found in the samples because the pectin was removed by the alkali treatment. Weak bands of $1,728\text{-}1,730\text{cm}^{-1}$ and peaks of $1,245\text{-}1,259\text{cm}^{-1}$ (which represent hemicellulose) and peaks of $1,592\text{cm}^{-1}$, $1,504\text{cm}^{-1}$, $1,462\text{cm}^{-1}$ and $1,429\text{cm}^{-1}$ (which are related to lignin) were not found or reduced in the samples treated with a concentration over 20%. TGA indicated that the kenaf fiber had the better hydrophilic properties by alkali treatment. The higher Tmax in TGA and the higher thermal stability when treated by alkali with the higher concentration. The fibers treated with an alkali concentration over 30% did not show any changes in Tmax.

Key words: Kenaf, Alkali, Crystallinity, FT-IR, TGA; 케나프, 알칼리, 결정화도 적외선분광분석, 열중량분석

I. 서 론

산업용 섬유는 비의류용 섬유로서 운송용, 건축용, 토목용, 농업용, 포장용 등이며 그 분야와 용도는 점점 확대되고 있다. 우리나라 전체 섬유산업에서 산업용 섬유생산이 차지하는 비중은 20% 정도에 머물고 있어 미국, 일본, 유럽 등 선진국의 산업용 섬유생산에

비해 매우 낮다. 산업용 섬유의 제품 형태는 부직포가 가장 많으며 소재로서는 폴리에스테르, 폴리프로필렌, 나일론, 비닐론 등의 합성섬유가 주류를 이루고 있으며 부분적으로 셀룰로오스계 섬유가 사용되고 있다(Lee et al., 2007; Park, 2008). 이와 같이 산업용 섬유에 사용되는 섬유의 대부분은 합성섬유인데, 합성섬유는 낮은 생분해성으로 인해 점점 폐기물이 증가하고 있어 환경문제로 이어지고 있다. 따라서 합성섬유를 대체할 새로운 섬유를 찾는다면 합성섬유

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

의 생분해성을 높이기 위한 방안으로 천연셀룰로오스계 섬유를 활용하고 있다. 산업용에 사용되는 셀룰로오스계 섬유는 그동안 거칠어 의류용으로는 사용되지 못했던 황마, 코이어, 케나프 등의 마섬유가 각광을 받고 있다. 이들 섬유가 그동안 연구되어 온 분야는 카펫트, 벽지, 자동차용 내장재, 토목자재, 보호재 등이며 점점 확대되고 있다. 케나프는 강도나 내마모성이 우수해 내구성이 좋고 화학적으로 안정하며, 세탁성도 좋고 기능성 신소재에 비해 상대적으로 값이 싸므로 복합소재로 개발해서 케블라(Kevlar) 등의 대체 소재로 활용할 수 있다(Franck, 2005). 이와 같이 케나프는 의류용 이외에도 산업용 복합재의 용도로 활용하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다(Cho & Choi, 1996; Lim et al., 2007; Yoo & Lee, 2005).

케나프는 줄기로부터 벗겨내면 코어와 인피의 두 부분으로 분리되는데, 코어부분은 주로 산업용 흡수제나 매트로 이용되고 있으며 인피부분에서는 섬유다발을 분리해낼 수가 있어 새로운 천연섬유로 개발하기 위한 연구가 활발하며 그 기대도 크다. 케나프 섬유는 셀룰로오스와 펙틴, 헤미셀룰로오스, 리그닌, 왁스, 지방 등의 비셀룰로오스 성분으로 구성되어 있다. 이들 성분 중 섬유의 성질에 직접적으로 영향을 미치는 성분은 셀룰로오스를 비롯하여 헤미셀룰로오스, 펙틴, 리그닌이며, 섬유를 분리하기 위해 레팅, 정련, 표백, 머서화 등을 거치면서 이들 성분의 함량이 달라지며 성분의 변화는 섬유의 물리적, 화학적 성질에 큰 영향을 미치게 된다(Parikh et al., 2002; Song & Obendorf, 2006; Yoo et al., 2006). 특히 이러한 가공공정 중 종이의 제조를 위해서는 강 알칼리에서 오랫동안 고온 처리를 하여야 한다.

케나프 식물의 줄기로부터 섬유가 되기까지의 많은 화학 처리 공정 중에서 가장 광범위하게 사용되고 있는 약품이 알칼리제인 수산화나트륨인 만큼 저농도에서 고농도에 이르기까지의 다양한 농도의 수산화나트륨 처리는 케나프 섬유의 성질 변화에 큰 영향을 미치고 있으며, 수산화나트륨 처리에 따른 케나프의 성분, 색상, 촉감 등의 변화의 원인이 된다. 일정 농도의 알칼리 처리에 따른 케나프 섬유에 대하여 길이나 굵기, 표면 형태 등에 대한 외관 변화를 살펴보거나, 화학적 분석방법으로 성분 변화를 살펴 본 선행연구들(Lee et al., 2004; Lee et al., 2003; Wang & Ramaswamy, 2003; Yoo et al., 2006)에서는 수산화나트륨을 사용한 레팅 농도가 2~4% 정도이거나 정련이나 표백시에는 다른

약품들과 혼합하여 사용하였기 때문에 수산화나트륨 처리에 따른 특성 변화가 세밀하게 검토되지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 선행연구를 기초로 하여 보다 폭넓은 농도의 수산화나트륨으로 케나프 섬유를 처리하고 기기적 분석을 통해 성분 특성, 결정 구조 특성, 열적 특성 등의 변화를 검토함으로써 케나프를 복합재 등의 산업 용도로 활용할 수 있는 데 보다 정밀한 자료를 확보하고자 한다.

II. 실험

1. 케나프 재배와 인피부 채취

청주시 청원군 소재의 밭에서 재배한지 120일된 케나프를 수확했다. 케나프의 줄기를 인피부(bark)와 목질부(core)를 분리한 후 인피부를 건조시켜 보관하여 사용하였다. 시료의 균일성을 위하여 밭등으로부터 50~60cm의 인피부를 사용하였다.

2. 알칼리 처리

케나프 인피부를 메탄올을 채운 속시렛 장치에 넣고 24시간 처리한 후 건조시켜 왁스와 지방 등의 불순물을 제거하였다. 케나프 섬유생산 시에 주로 사용되는 알칼리제인 수산화나트륨의 처리에 따른 케나프 섬유의 특성을 분석하기 위해 수산화나트륨 수용액의 농도를 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 30, 40%로 다양하게 변화시켜서 100°C로 60분 동안 케나프 인피부를 각각 처리하고 수세한 후 자연 건조하였다. 미반응물이나 불순물 제거를 위해 아세톤 속시렛 장치로 24시간 정제 처리한 후 자연 건조하였다.

3. 기기를 이용한 케나프 섬유시료들의 특성 측정

다양한 농도의 수산화나트륨 수용액으로 처리한 시료들의 색상을 분광색차계(JS-555, Technocolor System, Japan)로 측정하고 CIE L, a, b, ΔE와 Munsell 색상값으로 비교 평가하였다.

주사전자현미경(SEM, NOVA NanoSEM200, FEI Company, USA)을 이용하여 알칼리 처리 케나프 섬유의 외부 형태를 250배와 10,000배로 관찰하였다.

케나프 섬유들을 처리한 알칼리 수용액의 농도에 따른 결정화도의 변화를 평가하기 위하여 X-ray Diffrac-

tometer(DMAX-2500, Rigaku, Japan)를 이용하였으며 셀룰로오스 I 의 최고의 회절강도를 갖는 격자면 (002면)에서의 회절각(2θ값 22.5°)과 피크에서의 회절각(2θ값 18.5°)에서의 회절강도를 구하여 Segal식에 의해 결정화도를 구했다.

각각의 시료 3mg씩을 미세하게 분쇄한 후 KBr 200mg과 혼합하여 600kg/cm²의 압력으로 pellet을 만들고, FT-IR Spectrometer(Thermo Mattson 60AR, USA)로 측정하여 IR spectrum을 얻었다.

알칼리 처리한 케나프 섬유시료들을 8~10mg씩 준비한 후 Thermogravimetric Analyzer(TGA Universal V4.2E, TA Instruments, USA)를 사용하여 질소가스 하에서 실온으로부터 600°C까지 분당 10°C씩 올리면서 중량 감소율을 측정하여 열적 특성의 변화를 고찰하였다.

III. 결과 및 고찰

케나프 인피부를 NaOH수용액의 농도를 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 30, 40%로 다양하게 변화시켜 100°C로 1시간 동안 각각 처리한 후 색상 측정, 섬유 외부 관찰, IR 스펙트럼, X-ray 회절분석, TGA를 이용한 열중량 변화 등을 통하여 알칼리 처리 농도에 따른 케나프 섬유의 특성 변화를 비교하였다.

1. 색상의 변화

<Table 1>은 다양한 농도의 수산화나트륨 수용액으

로 처리한 케나프 섬유의 표면색을 측정한 값이다. 수산화나트륨 처리 농도가 높아짐에 따라 L값(whiteness)이 낮아져 명도는 감소하였고 색차는 35.74에서 53.10으로 점차 증가해서 표면색이 진해지는 것으로 나타났다. a*값과 b*값은 모두 +영역으로, 알칼리 농도가 높아짐에 따라 a*값은 증가되고 b*값은 감소됨으로써 redness의 증가와 yellowness 감소로 Y(yellow)영역이던 먼셀 색상값이 점차 색상의 YR(yellowred)방향으로 이동하였고 NaOH 30% 이상으로 처리한 시료들은 먼셀 색상의 YR(yellowred)영역으로 측정되었다.

2. SEM을 이용한 외부 형태 관찰

SEM을 이용하여 알칼리 처리 케나프 섬유들의 외부 형태를 250배와 10,000배로 관찰하여 <Fig. 1>에 나타냈다.

250배율로 촬영한 <Fig. 1>에서는 처리한 용액의 알칼리 농도가 높아질수록 섬유표면에 존재하는 불순물이 제거되어 깨끗해지고 섬유가 가늘게 분리되어 피브릴화되어 가는 것을 관찰할 수 있었다. 10,000배로 촬영한 결과인 <Fig. 2>에서는 알칼리 처리 농도가 높아질수록 케나프 섬유가 피브릴화가 일어날 뿐 아니라(Kwon et al., 1997) 4% 이상으로 농도가 증가에 따라 섬세한 나선형의 크립프가 생겨나는 것을 관찰할 수 있었다. 20% 농도로 처리한 섬유의 사진에서는 크립프가 매우 섬세하고 균일하게 잘 발달된 것을 확인할 수 있었다. Kim et al.(2009)은 폴리프로필

Table 1. Color values of kenaf fiber bundles treated with alkali

Temp. (°C)	Conc. of NaOH (v/v%)	Color Values				
		L*	a*	b*	ΔE	Munsell Hue
Reference (MgO White)		98.21	−0.04	−0.22	-	
100	2	66.75	2.84	18.90	35.74	3.81Y
	4	66.98	3.76	17.34	36.92	2.96Y
	6	65.98	4.16	17.41	36.98	2.84Y
	8	65.09	3.91	17.53	37.79	3.04Y
	10	64.74	4.11	17.31	38.01	2.76Y
	12	63.29	4.63	16.30	39.01	2.49Y
	16	62.50	4.46	15.21	39.08	2.50Y
	20	62.40	4.40	14.75	39.34	2.24Y
	30	46.16	5.91	6.84	52.87	8.99YR
	40	46.18	6.12	8.37	53.10	9.24YR

Fig. 1. SEM photographs of alkali treated kenaf fibers ($\times 250$).

Fig. 2. SEM photographs of alkali treated kenaf fibers ($\times 10,000$).

렌을 매트릭스로 하고 3%와 5%의 수산화나트륨으로 처리한 케나프 섬유를 30% 혼합하여 바이오 복합재를 제조한 후 파괴 단면을 확인한 결과 5%로 처리한 케나프 섬유를 이용한 복합재가 매트릭스와의 계면 결합이 더 잘 일어났다고 보고하였다. Mwaikambo and Ansell(2002)는 hemp, sisal, jute, kapok 등을 0.8~8%의 수산화나트륨으로 처리했을 경우 표면 형태 변화로 resin과의 결합성이 증가한다고 보고하였다. 고농도의 알칼리로 처리한 케나프 섬유는 표면이 깨끗해지면서도 크립프가 발달함으로 방적성이 향상되고 복합재 제조시 고농도의 알칼리로 처리된 케나프 섬유를 사용할 경우 매트릭스 성분과의 계면 결합이 좋아져 복합재의 성능이 향상될 수 있을 것으로 판단된다.

3. X선 회절분석

알칼리 처리를 하지 않은 시료와 수산화나트륨 2~10% 처리 시료들은 전형적인 셀룰로오스 I의 결정구조로 16.7°와 22.5° 부근의 2θ값에서 피크가 관찰되었다. 30%, 40% 처리 시료는 12.5°와 22.5° 부근의 2θ값에서 피크가 관찰되었으며 22.5° 부근의 피크가 두 개로 분리되는 현상이 나타났는데, 이는 셀룰로오스 II로의 결정구조 변화로 판단된다(Aguilar-Vega & Cruz-Ramos, 1995). 20% 처리 시료의 경우, 30%나 40% 처리 시료보다는 피크 분리가 분명치는 않으나 22.5° 피크의 흔들림이 관찰되었다. 수산화나트륨 2~16% 처리 시료들의 결정화도는 큰 차이 없이 57~60% 정도였으나 20% 처

리 시료는 49.5%, 30% 처리 시료는 47.8%, 40% 처리 시료는 42.8%로 결정화도가 점점 낮아짐으로서 20% 이상의 고농도로 처리할 경우 결정구조의 변화가 일어남을 확인할 수 있었다. 즉, 20% 미만으로 처리한 경우는 셀룰로오스 I의 결정구조가 유지되었고 결정화도도 변화를 보이지 않았으나 20%로 처리했을 경우 셀룰로오스 I의 결정구조가 변화되고 결정화도도 저하되었다. 30% 이상의 농도로 처리한 케나프 섬유의 결정구조는 셀룰로오스 II로 바뀌었고 결정화도는 미처리 섬유에 비해 20% 정도 감소되었다(Table 2).

4. IR spectrum을 이용한 분석

미처리 시료와 수산화나트륨 수용액으로 처리한 케나프 시료들의 FT-IR 스펙트럼을 <Fig. 1>에 나타냈다. 셀룰로오스의 OH 스트레칭 영역인 3,340~3,350cm⁻¹은 셀룰로오스 II와 I이 분명하게 구분되는데, 셀룰로오스 I은 3,350cm⁻¹에서 parallel polarized bands가 나타나며 셀룰로오스 II는 3,447cm⁻¹과 3,488cm⁻¹에서 분자내 수소 결합으로 인한 두 개의 strong bands가 나타나는 것으로 알려져 있다(Sao, 1987). 0~40%까지 다양한 농도의 수산화나트륨 수용액으로 처리한 케나프 섬유시료의 IR 스펙트럼에서 분자 내, 분자 간 수소 결합과 연관해서 OH stretching bands가 셀룰로오스 II의 형태로의 변화는 확인할 수 없었다. 다만, 20% 미만의 시료에서는 이 영역에서의 어떤 변화도 나타나지 않았고, 20% 이상의 알칼리 처리 시료에서는 3,450cm⁻¹ 부근의 shoulder가 나타나면서 broad 해졌는데, 이는 분자내 수소 결합망의 약화를 보여주는 것으로 판단되었다. Singthong et al.(2005)의 보고에 의하면 2,850cm⁻¹의 강한 band는 펙틴 성분에서 기인하며 본 연구의 결과에서는 2,850cm⁻¹ band가 미처리 시료의 spectrum에서만 나타났고 알칼리 처리 후 제거되어 나타나지 않았다.

1,250~1,500cm⁻¹ 사이에서 5개의 peak가 예리하게 나타나 X선 회절분석에서와 마찬가지로 셀룰로오스 I의 구조임을 확인할 수 있었다. 한편, 미처리 시료나 16%까지의 NaOH 농도에서는 1,030~1,025cm⁻¹에 날카롭고 강한 피크를 나타냈다. 20% 이상에서는 995cm⁻¹에서 약한 밴드가 나타나고 있고 895cm⁻¹ 부근의 피크가 조금씩 점점 날카로워져 cellulose II로의 변화가 엿보이고 있다(Kim & Yun, 1986).

미처리 케나프의 결과에서 보이는 1,738cm⁻¹의 strong

Table 2. Crystallinity (%) of kenaf treated with various concentration of NaOH aqueous solutions

Concentration of NaOH (%)	Diffraction Intensity		Crystallinity Index (%)
	18.5°	22.5°	
untreated	1976	4976	60.3
2%	1458	3708	60.7
4%	1565	3863	59.5
6%	1434	3442	58.3
8%	1508	3762	59.9
10%	1698	4042	58.0
12%	1534	3764	58.2
16%	1425	3349	57.4
20%	1474	2920	49.5
30%	2348	4498	47.8
40%	2190	3826	42.8

band와 $1,630\sim 1,600\text{cm}^{-1}$ 의 asymmetrical stretching strong band는 pectin으로 인한 것이며 $1,738\text{cm}^{-1}$ 의 band는 미처리 시료에서만 보이고 수산화나트륨 처리 시료들에서는 pectin의 제거로 나타나지 않는다. $1,630\sim 1,600\text{cm}^{-1}$ band는 저농도 처리 시료에서는 나타나나 20% 이상의 시료에서는 소멸되어 나타나지 않는다. Lee et al.(2003)은 케나프 섬유를 2~4% 농도의 수산화나트륨을 이용한 레팅 처리 후 펙틴이 2~3% 정도 남아있다고 보고하였는데, 고농도의 수산화나트륨 처리로 거의 제거됨을 알 수 있었다.

한편 $1,728\text{cm}^{-1}$ 에서 나타나는 weak band는 헤미셀룰로오스의 카르보닐기와 카르복실기에 해당하는 흡수대이며, $1,245\sim 1,259\text{cm}^{-1}$ 의 피크는 헤미셀룰로오스의 C-H bending에서 기인하는 것으로 수산화나트륨 처리로 인해 이 피크들이 소멸된 것은 아세틸기가 없어진 것으로 헤미셀룰로오스의 감소를 의미한다. 이는 Mwaikambo and Ansell(2002)의 사이살섬유와 황마섬유의 FT-IR 결과와도 일치한다.

$1,592\text{cm}^{-1}$, $1,504\text{cm}^{-1}$, $1,462\text{cm}^{-1}$, $1,429\text{cm}^{-1}$ 는 리그닌에 관련된 파수이다. 리그닌의 방향족으로 인한 $1,592\text{cm}^{-1}$ 와 $1,510\sim 1,500\text{cm}^{-1}$ 에서의 밴드는 전형적인 guaiacyl 형에 해당하는 흡수대이다. 16%까지의 처리 시료의 IR spectrum에서는 $1,592\sim 1,600\text{cm}^{-1}$ 와 $1,504\text{cm}^{-1}$ 에서의 guaiacyl형 리그닌의 흡수 밴드가 있으나 20%와 30% 처리 시료의 spectrum에서는 점차 감소되었고 40%의 시료의 결과에서는 guaiacyl형이 제거되어 이 영역에 밴드가 없어졌다. $1,232\text{cm}^{-1}$ 은 syringyl형 리그닌과 xylan 아세틸기(C-O-C)의 흡수대이다(Kim, 1988; Wang & Ramaswamy, 2003). 30~40% 고농도 알칼리 처리 시

료의 spectrum에서 리그닌 피크의 강도가 감소되기는 했으나 여전히 남아있다. Lee et al.(2006)의 보고에서도 케나프의 리그닌 성분은 알칼리만으로는 완전히 제거되지 않으며 0.7% 아염소산나트륨으로 화학적 처리를 함으로써 완전히 제거할 수 있다고 하였다. 본 연구에서도 알칼리 처리로 케나프 섬유가 함유하고 있는 리그닌의 일부분이 제거되어 리그닌의 양이 줄어들기는 하나 완전히 제거되지는 않음을 알 수 있었다(Fig. 3).

5. TGA를 이용한 열적 특성

케나프 섬유에 대한 알칼리 처리가 섬유의 열적 특성에 미치는 변화를 TGA 분석을 통해 살펴보았다. TGA 분석결과에서 실온에서부터 150°C 까지의 중량 감소는 수분 손실로 인한 중량 변화를 나타내는데, 친수성이 좋을수록 수분 손실로 인한 중량 감소가 크게 나타난다(Zini et al., 2003). <Fig. 4>는 다양한 알칼리 농도로 처리한 케나프 섬유를 TGA로 분석한 결과에서 실온에서부터 150°C 까지의 중량 변화를 나타낸 것이다. 150°C 이하에서의 TGA 분석 시료들의 중량 감소가 NaOH 수용액 처리 농도 20% 이하에서는 7.3~8.3%로 큰 차이가 나타나지 않았으나 처리 농도 30%일 때는 9.3%, 40%일 때는 10.05%로 나타나, 알칼리 수용액의 농도가 20% 이하일 때에 비해 30% 이상에서 점차 중량 감소율이 증가하였으며 이로써 케나프 섬유를 처리한 알칼리 수용액의 농도가 20% 이하일 때에 비해 30% 이상으로 높아질수록 친수성이 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

TGA에서 섬유의 주된 분해가 집중적으로 일어나

Fig. 3. Infrared spectrum of kenaf fiber bundles treated with NaOH aqueous solutions.

Fig. 4. Weight loss (%) from room temperature to 150°C in TGA thermogram of kenaf fiber treated with alkali of various concentrations.

는 단계의 온도인 Tmax가 셀룰로오스는 320°C 정도이며 이 때 약 70% 정도의 중량 감소를 보이는데 이는 탈수와 열분해로 급격한 중량 감소가 나타나는 것으로 알려져 있다(Aguilar-Vega & Cruz-Ramos, 1995; Salamone, 1996; Zini et al., 2003).

<Table 3>은 다양한 농도의 알칼리로 처리한 케나프 섬유들을 TGA로 분석하여 최 열분해 온도인 Tmax의 변화와 Tmax에서의 중량 감소를 나타낸 표이다. 알칼리 처리를 하지 않은 케나프 섬유의 Tmax는 347°C였으며 약 64%의 중량 감소를 나타냈다. 8% 이하의 알칼리 농도로 처리한 케나프 섬유의 Tmax는 372~375°C에서 나타났으며 급격한 분해가 일어났으며 Tmax에서의 중량 감소는 67~69%로 나타났다. 미처리 섬유에 비해 열분해 온도는 높아져 열안정성은 높아졌으나 Tmax에서의 중량 감소는 3~5% 정도 증가되었다. 10~20% 농도의 알칼리로 처리한 케나프 섬유들은 Tmax가 390~393°C로 10% 미만으로 처리한 시료들에 비해 약 20°C나 높아져 열안정성이 증가되었으며 중량 감소는 77~79%로 약 10% 정도 증가되어 고온에서의 내구성이 낮아질 것으로 판단된다. 이는 헤미셀룰로오스나 리그닌이 일부 제거됨으로 인해 비결정영역이 섬유축 방향으로 재배열되고, 비셀룰로오스 성분이 제거됨으로써 셀룰로오스 상대적 함량이 증가되므로 열안정성은 좋아지나 피브릴화로 섬유가 세섬화되므로 중량 감소가 나타났다. Kwon et al.(1997)이 보고한 NaOH 처리한 아마섬유의 X-ray 회절분석의 결과와도 같은데, 이는 피브릴들을 고정시켜주는 역할을 하는 헤미셀룰로오스의 제거로 결합사슬의

분해가 일어났기 때문으로 판단된다. 이보다 고농도인 30%와 40%의 수산화나트륨 수용액으로 처리한 시료의 경우 Tmax는 변화가 없으나 중량 감소가 각각 86%와 91%로 나타나 중량 감소가 크게 저하되었다. 이는 리그닌의 완전 제거로 인한 중량 감소와 이로 인한 섬유분해의 영향이며, 케나프 섬유를 포함하는 복합재를 제조할 경우 내구성을 고려한다면 30% 이상의 고농도 처리는 바람직하지 않을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

케나프 식물의 레팅, 세섬화, 정련, 표백 등의 처리 과정에서 다양한 농도로 널리 활용되고 있는 수산화나트륨이 케나프 섬유에 미치는 변화를 관찰하기 위하여 2~40%의 폭넓은 농도로 처리하여 색상, 외관, 결정구조, 성분, 열적 특성 등을 기기분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. NaOH 처리 농도가 높아짐에 따라 색상이 진해졌고 처리 시료의 대부분은 면셀 색상값이 Y(yellow)영역에서 나타났으며 수산화나트륨 30% 이상에서는 YR(yellowred)영역으로 변화되었다.

2. 알칼리로 처리한 케나프 섬유의 표면을 주사전 자현미경으로 촬영하였는데, 표면이 깨끗해지면서도 크림프가 발달함으로 복합재 제조시 매트릭스 성분과의 계면 결합이 좋아지고 복합재의 성능이 향상될 것으로 판단된다.

3. 20% 미만으로 처리한 경우는 셀룰로오스 I의 결정구조가 유지되었고 결정화도도 큰 변화를 보이지 않았으나 20%로 처리했을 경우 셀룰로오스 I의 결정구조가 변화되고 결정화도도 저하되었다. 30% 이상의 농도로 처리한 케나프 섬유의 결정구조는 셀룰로오스 II로 바뀌었고 결정화도는 미처리 섬유에 비해 20% 정도 감소되었다.

4. FT-IR 스펙트럼 결과에서는 미처리 케나프에서 보이는 1,738cm⁻¹의 strong band는 pectin으로 인한 것이며 수산화나트륨 처리 시료들에서는 pectin이 제거되어 나타나지 않았다. 1,728~1,730cm⁻¹의 weak band와 1,245~1,259cm⁻¹의 피크는 헤미셀룰로오스에서 기인하는 것으로 이의 소멸은 아세틸기가 없어진 것으로 헤미셀룰로오스의 감소를 의미한다.

1,592cm⁻¹, 1,504cm⁻¹, 1,462cm⁻¹, 1,429cm⁻¹는 리그닌에 관련된 파수이다. 20% 이상의 알칼리 처리 시료의 spectrum에서 리그닌 피크의 강도가 크게 감소

Table 3. Tmax (°C) and weight loss (%) at Tmax of kenaf fiber treated with alkali in TGA thermogram

Concentration of NaOH (%)	Tmax (°C)	Weight Loss (%)
0	347	64.4
2	375	69.2
4	373	68.7
6	372	67.2
8	375	69.8
10	390	76.6
12	392	77.6
16	393	78.1
20	391	79.3
30	396	85.9
40	390	90.5

되었으며 일부는 여전히 남아있어 농도가 높은 알칼리로 처리해도 리그닌이 완전히 제거되지는 않음을 확인하였다.

5. 실온에서부터 150°C까지의 TGA 분석 시료들의 중량 감소는 수분 손실로 인한 중량 변화를 나타내는 데, 알칼리 수용액의 농도가 20% 이하일 때에 비해 30% 이상에서 점차 중량 감소율이 증가하였으며 이로써 케나프 섬유를 처리한 알칼리 수용액의 농도가 20% 이하일 때에 비해 30% 이상으로 높아질수록 친수성이 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

6. 알칼리 처리를 하지 않은 케나프 섬유의 T_{max}는 347°C였으며 8% 이하의 알칼리 농도로 처리한 케나프 섬유의 T_{max}는 372~375°C에서, 10% 이상의 알칼리로 처리한 케나프 섬유들은 390~393°C로 나타나 알칼리 처리로 열안정성이 좋아지며 처리 농도가 높을수록 열안정성이 점차 증가되었으나 30% 이상에서는 변화가 없었다. 처리 알칼리 수용액의 농도가 높아짐에 따라 헤미셀룰로오스나 리그닌 등 비셀룰로오스 성분이 일부 제거되어 셀룰로오스의 비율이 높아져 T_{max}가 상승하고 열안정성이 증가되었고 T_{max}가 높아짐에 따라 중량 감소는 증가되었다.

References

- Aguilar-Vega, M., & Cruz-Ramos, C. A. (1995). Properties of henequen cellulosic fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 56, 1245–1252.
- Cho, N. S., & Choi, T. H. (1996). Manufacturing of Korean traditional paper (Hanji) from fast-growing new fiber plant kenaf (*Hibiscus Cannabinus*). *Journal of Korea Tappi*, 28(4), 7–16.
- Franck, R. R. (2005). *Bast and other plant fibres*. Cambridge, England: Woodhead publishing Limited.
- Han, Y. S., Yoo, H. J., Lee, H. J., Rhie, J. S., Kim, J. H., Song, K. H., & Ahn, C. S. (2003). Research for kenaf fiber production in Korea. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 27(7), 862–871.
- Kim, K. J., & Yun, B. S. (1986). Application of fourier transform infrared spectroscopy to qualitative and quantitative analysis of fiber blends (I). *Journal of the Korean Society of Textile Engineers and Chemicals*, 23(3), 177–188.
- Kim, S. S., Lee, B. H., Kim, H. J., Oh, S. C., & Ahn, S. H. (2009). Mechanical properties of alkali treated kenaf fiber filled PP bio-composites. *Mokchae Konghak*, 37(3), 222–230.
- Kim, Y. S. (1988). Application of infrared spectroscopical techniques for investigation archaeological woods. *Mokchae Konghak*, 16(4), 3–9.
- Kwon, H. Y., Park, Y. H., & Kong, Y. S. (1997). Effect of NaOH treatment on the structure and physical properties of flax fiber. *Journal of the Korean Fiber Society*, 34(2), 97–103.
- Lee, H. J., Ahn, C. S., Kim, J. H., Yoo, H. J., Han, Y. S., & Song, K. H. (2004). Characteristics of kenaf/ rayon fabrics. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 28(9/10), 1282–1291.
- Lee, H. J., Han, Y. S., & Yoo, H. J. (2006). The change of kenaf fiber characteristics by the contents of noncellulosic material. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 30(11), 1581–1588.
- Lee, H. J., Han, Y. S., Yoo, H. J., Kim, J. H., Song, K. H., & Ahn, C. S. (2003). Effect of chemical retting on the fiber separation of kenaf bast. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 27(9/10), 1144–1152.
- Lee, H. J., Yoo, H. J., & Han, Y. S. (2007). The properties of kenaf/polyester blended nonwovens. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 31(7), 1119–1127.
- Lim, O., Lee, H. J., Yoo, H. J., & Han, Y. S. (2007). The production of kenaf hand-made paper. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 31(8), 1286–1296.
- Mwaikambo, L. Y., & Ansell M. P. (2002). Chemical modification of hemp, sisal, jute and kapok fibers by alkalization. *Journal of Applied polymer Science*, 84(12), 2222–2234.
- Parikh, D. V., Calamari, T. A., Sawhney, A. P. S., Blanchard, E. J., Screen, F. J., Warnock, M., Muller, D. H., & Stryjewski, D. D. (2002). Improved chemical retting of kenaf fibers. *Textiles Research Journal*, 72(7), 618–624.
- Park, S. M. (2008). Trend of technical textiles. *Dyeing and Finishing*, 8, 1–27.
- Salamone, J. C. (Ed.). (1996). *Polymeric materials encyclopedia Vol. 4 (F-G)*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Sao, K. P., Mathew, M. D., & Ray, P. K. (1987). Infrared spectra of alkali treated degummed ramie. *Textiles Research Journal*, 57(7), 407–414.
- Singthong, J., Ningsanond, S., Cui, S. W., & Goff, H. D. (2005). Extraction and physicochemical characterization of Krueo Ma Noy pectin. *Food Hydrocolloids*, 19(5), 793–801.
- Song, K. H., & Obendorf, S. K. (2006). Chemical and biological retting of kenaf fibers. *Textile Research Journal*, 76(10), 751–756.
- Wang, J., & Ramaswamy, G. N. (2003). One-step Processing and bleaching of mechanically separated kenaf fibers: Effects on physical and chemical properties. *Textiles Research Journal*, 73(4), 339–344.

- Yoo, H. J., & Lee, H. J. (2005). Production and application of kenaf fiber. *Fiber Technology and Industry*, 9(2), 177–187.
- Yoo, H. J., Lee, H. J., Kim, J. H., Ahn, C. S., Song, K. H., & Han, Y. S. (2006). The change of physical characteristics of kenaf fiber by the chemical processes. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 30(7), 1025–1033.
- Zini, E., Scandola, M., & Gatenholm, P. (2003). Heterogeneous acylation of flax fibers reaction kinetics and surface properties. *Biomacromolecules*, 4, 821–827.