

양마의 인피섬유를 이용한 한지제조^{*1}

조남석[†]

(2008년 11월 11일 접수:2008년 12월 5일 채택)

Hanji Manufacturing from Bast Fibers of Kenaf, *Hibiscus cannabinus*^{*1}

Nam-Seok Cho[†]

(Received November 11, 2008: Accepted December 5, 2008)

ABSTRACT

The utilization of non-woody fibers with the fast growing annual plants has occurred in the paper industry to replace wood and preserve environment of the earth. The non-woody fibers generally used for paper-making are paper mulberry, gampi, manila hemp, rice straw, bamboo, and cotton linter etc.. Recently Kenaf has been spot-lighted for the same application. Kenaf is an annual plant of *Hibiscus* species of Malvaceae family. Kenaf, a rapid growing and high harvesting non-woody fiber plant, was identified as one of the promising fiber sources for the production of paper pulp.

This study was carried out to investigate the pulping characteristics of Kenaf bast fiber for Hanji (traditional Korean paper) manufacturing by different pulping methods, such as alkali, alkali-peroxide and sulfomethylated pulpings. It was possible to make superior grade of Hanji. Especially sulfomethylated pulping was resulted in superior pulp in terms of higher yields and qualities in comparison to those of the other pulping methods.

Hanji from sulfomethylated pulp was shown the highest brightness of over 60% and higher sheet strength. In addition, the morphological features of pulp fibers (pulp compositions) affect to the sheet properties. Therefore the effect of fiber distribution index(FDI) which was calculated from the data of Confocal laser scanning microscopy(CLSM) on the sheet properties of Kenaf Hanji was also discussed.

Keywords : *Kenaf, Hanji, alkali-peroxide pulping, sulfomethylated pulping, fiber distribution index(FDI), Confocal laser scanning microscopy(CLSM)*

• 충북대학교 목재종이과학과 (Wood and Paper Science, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea)

*1 이 논문은 충북대학교 2008학년도 학술지원사업의 연구비지원에 의하여 수행되었음 (This work was carried out by the financial support of Chungbuk National University Grant in 2008).

† 교신저자 (Corresponding Author): E-mail: nscho@chungbuk.ac.kr

1. 서론

세계적인 자원의 부족 상황에서 고품질의 목재자원만을 고집할 수 없는 상황에서 비목질계 자원을 이용한 새로운 제지용 원료로서 개발할 필요성이 대두되고 있다. 부족한 목질계 펄프 원자재의 대체는 국내 부존자원의 이용극대화를 기하고, 농업부산 폐기물의 처리 효과를 기대할 수 있어 그 개발 의의가 자못 크다고 하겠다. 우리나라는 비목질계 자원으로서 대마, 아마, 황마 등의 마류, 산닥나무, 삼지닥나무 등의 인피섬유자원류, 대나무, 갈대, 조릿대, 싸리류, 뽕나무 등의 목본계 섬유자원류 및 벚짚, 보리짚, 밀짚 등의 짚류 자원 등이 있으며, 이들에 대한 자원량, 분포, 재배방법 및 펄프자원으로서의 이용과 관련된 연구는 부분적으로 수종의 섬유특성^{1-5, 26-28)}, 펄프화 특성⁶⁻³¹⁾에 관한 연구들이 있다. 제지용 원료로서의 비목질계 자원의 이용과 관련된 연구^{8-11, 29-31)}가 수행되었는데, 목질계 펄프에 비하여 그 성질이 열등하며, 원료공급의 제한성, 저장의 문제, 초치 시 미세분의 과다로 인한 탈수의 어려움, 실리카 함량이 높아 wire의 심한 마모 등의 문제 등으로 인하여 연중 공급이 가능한 몇 나라를 제외하고는 널리 보급되지 못하고 있다. 특히 한지제조에 사용되는 비목질계 자원인 닥 인피섬유¹⁸⁻²⁵⁾가 주로 사용되어 왔으나 닥의 재배면적이 줄어들고, 인건비 상승으로 원료의 구득이 어려워지면서 이에 대신할 대체원료가 시급히 요구되고 있다. 최근 우리나라에서의 양마 (Kenaf, *Hibiscus cannabinus*)의 재배 관련 연구²⁶⁻²⁸⁾가 있었으며, 재배 결과 및 생산성은 매우 우수한 것으로 확인되었으나, 일조시간 및 기후관계로 종자의 결실이 되지 않아 국내 재배에 연구할 여지가 매우 많은 것으로 생각된다. 양마의 펄프화특성 연구는 전간부를 이용한 한지제조,²⁷⁾ 양마 TMP 및 KP관련 연구²⁹⁻³¹⁾가 있으나 인피부를 이용한 한지제조 관련 연구는 없다.

한편 근년 펄프 및 종이연구에 공초점 전자주사현미경 (Confocal laser scanning microscope, CLSM)이 널리 응용³²⁻³³⁾되면서 펄프섬유에 대한 고분해능의 영상을 얻어서, 3차원으로 재구성하는 등의 비파괴적 기법으로 종이의 z-방향에서의 특성 등을 관찰함으로써 장단섬유의 배합이 종이의 물성에 어떻게 영향하는지에 대한 새로운 정보를 얻고 있다. 따라서 CLSM 영상을 통하여 산출된 FDI값이 시트의 물성과의 관계를 예측

하는데 사용될 수 있음을 시사하고 있다. 종이의 z-방향에서 측정된 섬유분산면적은 시트의 모든 층에서 얻은 총면적으로 나누어 섬유분산지수(Fiber distribution index, FDI)를 산출, 백분율로 계산함으로써 시트의 FDI가 종이의 강도와와의 관계를 설명하는데 매우 적절한 것으로 평가되고 있다.

본 연구에서는 생장이 빠른 양마의 인피부를 이용한 한지제조특성을 구명하고, 기존의 닥나무 인피섬유로 제조한 한지의 물성과 비교하였으며, 공초점 전자주사현미경 (Confocal laser scanning microscope, CLSM) 기술을 응용하여 한지의 물성과의 관계를 측정하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

도입종으로서 양마 (Kenaf, *Hibiscus cannabinus*)를 중국 후난성 마류연구소로부터 도입하여 충북대학교 농장에서 재배하여 그 인피부를 공시재료로 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 원료의 해부학적 및 화학적 성질

20 본의 Kenaf로부터 3 cm 길이로 인피부를 절단, 실온에서 Schurz 용액(염소산칼륨: 질산:물=1:2:1)에 침지시켜, 2주간 방치 후, 증류수로 세척하고, methylene blue로 염색하여 섬유장, 섬유폭 및 루멘폭 등을 각각 100 개씩 측정하였다. 화학성분분석용 시료는 음건후 40~60 메쉬로 분쇄한 다음, 알콜-벤젠 혼액(1:2)으로 8시간 탈지처리하여 건조 후, 공시하였으며, 펄프제조용은 4~5 cm 크기로 잘라 공시하였다. 화학적 성분으로서 셀룰로오스, 리그닌, 헤미셀룰로오스, 회분, 냉수 및 온수추출물, 유기용제 추출물, 1% 가성소오다 추출물 등을 K.S.에 의해 정량분석하였다.³⁷⁾

2.2.2 펄프제조

인피부를 원료로 하여 알칼리펄프화법(Alkali법, AK법)^{5-11, 22-25)} 알칼리-과산화수소 펄프화법 (Alkali-Peroxide법, AP법)²⁰⁻²³⁾ 및 설포메틸 펄프화법 (Sulfomethylated 법, SM법)^{24-25, 35-36)}으로 60분간 증해하여 펄프를 제조하였으며, 펄프화 조건은 Table 1과 같다. 펄프수율은 증해 후 충분히 수세한 다음 건조하

Table 1. Pulping conditions

Pulping method	Cooking liquor	Liquor to wood ratio	Temp.(°C)	Time(min)
Alkali (AK)	NaOH, Active alkali 20%	6 : 1	150	60
Alkali-Peroxide (AP)	NaOH, Active alkali 20% H ₂ O ₂ 3%, EDTA 1%	6 : 1	150	60
Sulfomethylated (SM)	1 M Na ₂ SO ₃ , 0.3 M carbonyl compound	6 : 1	170	60

여 측정하였으며, 펄프의 리그닌 함량은 TAPPI T 236 cm-85에 의거하여 Kappa No.로 구하였다.³⁷⁾

2.2.3 한지제조 및 물성

제조된 인피부펄프를 장섬유용 칼비터로 해리한 다음, 지료 각 3.91 g (발 규격 3.2척×2.2척 기준, 장당 5 뭉메지에 해당되는 지료량)이 되도록 0.03% polyacrylamide (PAM, 분자량 수백만, 중립상사 제품) 용액 5,000 ml에 넣어 고르게 분산시킨 다음, 조성된 지료를 특수 제작한 한지 초지기를 사용하여 초지하였으며, 초지받은 화선지 제조용 발을 사용하였다. 초지된 습지를 건조용 스테인레스 스틸판에 종이면이 안쪽으로, 습취면포가 바깥쪽으로 향하도록 붙이고, 실온에서 약 6시간 자연탈수 및 건조를 행한 다음, 60°C로 조절된 열풍 항온건조기에서 2시간 건조시켰다. 이렇게 초지한 종이는 TAPPI T402 om-88에 의거 관계습도 50.0%±2.0%, 온도 23.0±1.0°C에서 24시간 조습하였다.

2.2.4 한지의 물리적, 광학적 및 기계적특성

평량, 두께 및 밀도는 TAPPI T220 om-88, T410 om-88 및 T411 om-89에 의거하여 측정하였고, 시이트의 formation은 Noram사의 REED N.U.I. METER (Model MK II)를 사용하여 측정하였다. 광학적 성질로서 백색도는 TAPPI T452 om-92에 의거하여 측정하였다. 강도적 성질로서 파열강도는 TAPPI T403 om-91, 인열강도는 T414 om-88, 인장강도는 TAPPI T494 om-88, 내절도는 TAPPI T220 om-88 및 T511 om-88에 의거 측정하였다. 물성비교를 위하여 닥나무 인피부의 연구결과^{24,25)}와 비교하였으며, 시판 한지류로서 화선지인 고려지, 유선지 및 죽지는 전주에서 제조한 것을 사용하였다.

2.2.5 CLSM 관찰 및 영상분석

공초점현미경(Bio-Rad MRC-1024 CLSM system, Zeiss Axiophot microscope operated in epifluorescence mode)을 사용하여 물 및 오일에 침윤시킨 섬유의 단면 이미지를 관찰하였다.^{32,33)} CLSM으로부터 얻은 영상을 image processing 프로그램인 ImagePro™를 사용, 정량화하여 흑백으로 이루어지는 gray 영상으로 전환시켰으며, 한지 시트에서 축적된 영상을 주사한 각 층의 섬유분포면적(fiber distribution area, FDA)³⁴⁻⁴¹⁾은 pixel 단위로 측정하였다. 시트로부터 주사한 층의 수에 의해 계산된 섬유분포지수(Fiber distribution index, FDI)를 종이의 물성과 시트를 구성하는 요소들의 형태적 특성과의 관계를 정립할 목적으로 사용코자 하였으며, 그 계산식은 다음과 같다.

$$FDI = A_{FD} / N_{ML}$$

A_{FD} = fiber distributed area.

$$A_{FD} = [A_S / A_T] \times 100$$

A_S = sum of fiber measured area from all layers.

A_T = total area in calculation.

N_{ML} = the number of measured layer by scanning.

3. 결과 및 고찰

3.1 원료의 해부학적 성질

공시재료인 양마의 섬유장, 섬유폭 및 lumen 폭 측정 결과는 Table 2와 같다. 양마 인피부의 섬유장은 1.15 - 4.03 mm (평균 2.21 mm)로서 소나무재의 섬유장⁴²⁾과 유사하거나 다소 큰것으로 나타났으며, 닥나무²⁴⁾의 8.7 mm, 뽕나무¹²⁾의 6.14 mm에 비해서는 비교적 짧았다. 섬유의 폭 또한 17.4 μm로서 닥나무 및 뽕나무의 인피섬유에 비해 작았다. 인피부의 섬유장에 대한 섬유폭의 비(L/W ratio)는 침엽수재의 비보다 매우 컸으며, 일반적으로 장폭비가 높으면 섬유의 강도가 높은 것으로

Table 2. Anatomical properties of Kenaf

Fiber length (mm)	Range	1.15 ~ 4.03
	Average	2.21
Fiber width (μm)	Range	13.8 ~ 19.5
	Average	17.4
Lumen width (μm)	Range	4.3 ~ 10.1
	Average	7.0

평가되는데, 닥나무의 3.3배로서 한지제조에 적합할 것으로 생각된다.

3.2 원료의 화학적 성질

원료의 화학적 성분을 분석한 결과, Table 3에서 보는 바와 같이 인피부의 리그닌 함량이 목재에 비해 매우 작았으며, 추출성분의 함량이 높고, 활엽수재에 비해서도 펜토산 함량이 적고, 리그닌함량이 적으며, 홀로셀룰로오스함량이 낮았다.

3.3 펄프화 특성

펄프화 결과는 Table 4와 같은데, AK법의 펄프수율이 48.6%로서 가장 낮았으며, AP법이 49.7%, SM법은 AK 및 AP법보다 증해시간을 30 분이상 연장시킨 90분 처리에서도 57.1%의 가장 높은 펄프수율을 보였다. 증해온도를 170°C까지 올리고 60분 증해 시 펄프수율은 56.2%로서 150°C 처리보다 그다지 펄프수율 감소가

Table 3. Chemical properties of Kenaf bast fiber

Extractives, %	
Cold Water	11.1
Hot Water	14.5
1 % NaOH	28.2
Organic Solvent	2.30
Ash, %	3.53
Lignin, %	10.55
Pentosan	15.8
Holocellulose, %	78.3

Table 4. Pulping characteristics of bast part of Kenaf

Pulping method	Temp.(°C)	Time(min)	Yield(%)	Kappa No.	Delignification(%)
AK	150	60	48.6	11.6	95.8
AP	150	60	49.7	10.5	96.7
SM	150	90	57.1	11.8	94.3
	170	60	56.2	12.7	93.3

일어나지 않았었다. 펄프화 시 AK법 및 AP법에서는 펄프의 색이 펄프화과정에서 알칼리에 의해 착색되기 때문에 흑피에서 기인되는 반점이 확인되지 않았는데, SM법 펄프의 경우 미표백펄프의 백색도가 높기 때문에 흑피로 인한 검프른색 반점이 확인되었다. 증해시간을 240분으로 연장하면 흑피로 인한 반점제거가 가능하였으나 이때의 펄프수율이 35.8%로서 큰 수율감소를 결과하였다. 닥나무 인피부의 펄프수율^{24,25)} 39.1-45.2%과 비교시 닥나무보다 높았고, 펄프화방법에 따른 수율변화가 닥나무 인피부보다는 크지 않았다.

3.4 한지제조특성

3.4.1 여수도의 변화

펄프제조 방법에 따른 펄프의 여수도는 Table 5에서 보는 바와같이 AK법은 29°SR, AP법은 26°SR로서 거의 동일하였는데 대하여, SM법 펄프는 24°SR로서 매우 양호한 여수성을 나타냈다. 이와 같이 SM법의 여수성이 다른 펄프화법보다 높은 것은 펄프화과정에서 NaOH가 계내로 서서히 공급되며, 리그닌의 설포화 및 설포메틸화에 의한 용이하고 신속한 선택적인 탈리그닌이 일어나므로서 셀룰로오스의 붕괴가 적은 펄프가

Table 5. Physical and mechanical properties of fiber pulps of Kenaf

	AK	AP	SM
Freeness, °SR	29	26	24
Grammage, g/m ²	35.8	36.4	35.7
Density, g/cm ³	0.22	0.21	0.21
Formation, NUI	115.3	108.8	101.4
Brightness, %	29.0	37.0	64.1
Burst Index, kPa·m ² /g	2.18	2.44	2.59
Tear Index, mN·m ² /g	7.81	8.01	8.21
Breaking Length, km	2.74	3.96	6.03
MIT Folding	64	69	94
Endurance(time)			

제조되었기 때문으로 생각된다.

3.4.2 한지의 물리적 성질

펄프제조 방법이 달라지면 일반적으로 평량의 변화가 일어났는바, 이는 펄프화 방법이 밀도에 다소간 영향하여 한지의 평량에 영향을 주는 것으로 생각된다. 종이의 밀도는 섬유간 결합량의 영향이 가장 크며, 섬유간 결합은 고해의 정도, 섬유의 미세성 및 유연성, 헤미셀룰로오스의 함량, wet pressing의 정도 등과 밀접한 관련이 있다. 인피부 펄프를 사용하여 동일한 평량의 한지를 목표로 초지하였으며, AK법, AP법 및 SM법으로 제조된 인피펄프의 밀도는 Table 4에서 보는 바와 같이 0.21~0.22 g/cm³로서 펄프제조 방법과는 관계없이 큰 차이가 없었다. 한편 시판 한지류의 물성 (Table 6 참조)과 비교한 결과, AK법, AP법 및 SM펄프의 밀도가 수록 한지의 밀도 0.28 g/cm³보다는 낮았는데, 이러한 낮은 밀도는 시트제조시 wet pressing을 하지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 인피펄프의 formation은 101.4~115.3 NUI로 나타냈으며, 펄프화법별로는 큰 차이는 아니지만 AK법이 가장 formation이 불량하였고, SM법 펄프가 가장 양호한 formation을 나타냈다. 양마한지의 formation을 다편펄프와 비교하면 다편무와 거의 같았고, 시판 한지류 (Table 6참조)와 비교했을 때 시판 한류가 60.5~79.1 NUI로서 양마한지보다 다소 양호한 formation을 보였다.

펄프의 백색도는 SM법이 64.1%로 가장 높았고, AK법 및 AP법은 각각 29.0%, 37.0%로서 AP법 펄프가 다소 높았다. 통상 인피부의 높은 추출물 함량이 증해과정에서 착색구조를 형성케 하여 펄프의 백색도가 낮아지는 바, SM법으로 제조된 전간부펄프의 백색도²⁷⁾가

인피부 펄프의 백색도보다 낮은 원인이 원료나 펄프화법으로부터 기인되었기보다는 펄프세척 시 전간부 및 속대 펄프의 착색에 수질이 영향하였을 것으로 사료된다.

인피부펄프로 초지한 한지류의 백색도를 다편무한지와 비교한 결과, 양 수종간에 큰 차이가 없었으며, Table 5의 시판 한지류의 백색도와 비교시, AK법 및 AP법은 시판 한지류보다 백색도가 낮았고, SM법은 미표백임에도 불구하고 죽지보다는 높았으며, 수록 창조지와 동일한 수준의 상당히 높은 백색도를 나타냈다. 따라서 SM법은 속대 펄프의 혼입에서와 마찬가지로 높은 백색도를 요구하는 제품을 제외한 거의 모든 제품에 미표백 상태로 이용 가능할 것으로 사료된다.

3.4.3 한지의 기계적 성질

인피부 펄프로 제조된 한지의 기계적 성질은 Table 5에서 보는 바와 같이, 파열지수는 SM법이 2.59 kPa·m²/g으로 AK법의 2.18 kPa·m²/g 및 AP법의 2.44 kPa·m²/g에 비해 18.8% 및 6.2%의 높은 강도 증가율을 나타냈으며, 전체적으로 파열강도는 SM법이 가장 우수하였다. 펄프화법별 인열강도에 있어서도 AP법이 8.01 mN·m²/g, AK법이 7.81 mN·m²/g, SM법이 8.21 mN·m²/g로서 후자가 가장 높았다. 펄프화법으로는 SM법의 열단장이 6.03 km으로 AK법의 2.74 km 및 AP법의 3.96 km에 비해 다소 높은 강도를 보여주었다.

시판 한지류의 물성과 본 실험에서 제조한 양마 한지의 물성을 비교해 보면, 파열강도의 경우 시판의 수록 한지의 0.60~1.29 kPa·m²/g보다 양마 한지가 높았으며, 인열강도는 AK법, AP법 및 SM법의 양마펄프가 7.81~8.21 mN·m²/g 범위였는데 대하여 시판 수록한지의 0.75~2.21 N·m²/g보다 훨씬 우수하였다. 열단장에 있어서도 AK법, AP법 및 SM법이 2.74~6.03 km 범위로서 시판 수록지 열단장 1.55~2.89 km로서 매우 우수한 강도값을 나타냈다. 본 실험에서는 종이의 제조시 wet pressing을 실시하지 못하였는데, wet pressing을 통한 섬유간 formation을 향상시킨다면 더욱 큰 강도를 나타낼 것으로 생각된다. 내절도에 있어서는 파열강도 및 인장강도가 높았던 SM법이 94회로 AK법의 64회 및 AP법의 69회보다는 높았으며, 다편무 한지의 내절도 51회, 시판 화선지류의 6~19회 보다 상당히 우수한 것으로 나타났다. Kaldor(1989)의 연구결과⁴³⁾에 따르면 인피부의 시트는 밀도가 낮았고 불투명도는 높았으

Table 6. Physical and mechanical properties of various commercial Hanjis

Hanji Name	Goryeoji	Youseonji	Jookji
Grammage, g/m ²	22.8	28.7	25.8
Density, g/cm ³	0.28	0.28	0.28
Formation, NUI	60.5	79.1	63.8
Brightness, %	79.3	78.8	48.1
Burst Index, kPa·m ² /g	0.60	0.90	1.29
Tear Index, mN·m ² /g	0.75	1.82	2.21
Breaking Length, km	1.55	2.23	2.89
MIT Folding endurance, time	0	6	19

며, 특히 투기도가 낮았다. 양마펄프 한지의 물성은 다 나무 인피펄프의 기계적 성질과 매우 대등내지는 우수한 강도를 보여주었으며, 품질면에서 양마는 한지제조용 원료로서 다펀의 대체수종으로 충분히 사용가능한 것으로 판단된다.

3.4.4 펄프섬유의 형태적 특성이 종이의 물성에 미치는 영향

종이를 구성하는 지료들은 시트의 형성과정에서 종이의 폭 및 두께방향으로 배향하게 되는데, 지층이 형성되는 과정에서 불균일한 분포가 이루어진다. z-방향에서 볼 수 있는 이러한 불균일성은 curl, 치수안정성 및 인쇄적성에 까지 영향하게 된다. 그러므로 종이를 이루는 z-방향의 여러 가지 층에서 지료의 분포상태를 정량적으로 측정하는 일이 매우 중요하다.³³⁾ CLSM을 이용하여 한지의 두께방향으로 섬유의 분포를 알아보기 위하여 $\times 200$ 배율로 관찰한 화상을 두께방향으로 2 μm 간격으로 스캐닝하여 모든 화상을 하나의 파일에 저장하였으며, 이 파일에 들어있는 화상들을 축적하여 주사전자현미경 (Scanning electron micrograph, SEM) 사진과 같은 고화질의 화상을 만들 수 있다.

본 실험에서 한지를 횡방향으로 스캐닝 간격은 2 μm 로 하여, 인피부 한지는 36장, 전간부 한지는 17장의 스캐닝 화상을 얻어 두께방향 섬유들의 지층형성 특성을 관찰하였다. 시트의 z-방향에서의 섬유들의 분포상태를 파악하기 위하여 각 시트의 횡단면상의 영상을 CLSM 촬영하였으며, 전간부 한지는 인피부 한지보다 섬유의 분포가 더 집중적인 것을 알 수 있었다. Fig. 1은 인피부와 목질부펄프의 각기 다른 시트들로부터 얻어진 x, y 및 z 면에서의 누적된 영상을 나타낸 것이다. 작은 그림중의 검고 낮은 영상은 시트의 z-방향을 따른 영상들이다. CLSM 이미지³²⁻³⁴⁾로서 x-y면에서 비교적 백색으로 나타나는 부분들은 위치상 종이의 높은(두꺼운) 부분을 나타내며, 어둡고 검은 부분들은 종이의 미세구조로서 보았을 때 계곡이나 공극을 나타내고 있다. z-방향에서 검은 부분 가운데 흰색점들은 섬유가 분포하고 있는 부분의 면적에 해당된다. 인피섬유만으로 제작된 시트(left image)는 대부분의 펄프섬유들이 섬유간 인접한 상태이며, 폭이 좁고 섬유장이 긴 섬유로 이루어져 있다. 그리고 상당수의 섬유들이 통직하게 관찰되고 있다. 이에 대하여 전간부(right image)시트는 목

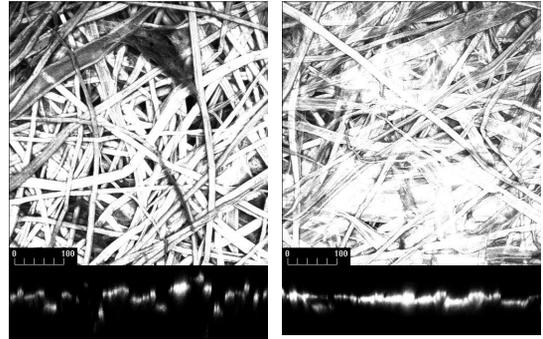


Fig. 1. CLSM image of test sheets. X-Y plane image (upper) and z-directional image (lower).

Scale bar is 100 μm . left: Bast fiber, right: whole stalk

질부섬유를 약 30%나 함유하고 있으므로 z-방향에서의 섬유들이 차지하는 면적은 인피부 100% 시트의 영상보다도 다소 분명한 분포를 보여주고 있다. 다시 말하면 단섬유의 양이 많아질수록 z-방향에서의 섬유분포 면적은 다소간 직선상으로 배열되면서 치밀한 층을 이루어 연속적인 선의 형상으로 나타난다 (lower left image). 이들 섬유 면적으로 정의된 각 영상의 두께는 기계적으로 실측된 시트의 두께와 좋은 상관을 보여주고 있다.

섬유분산면적은 z-방향을 따라 x-y면에 걸쳐 측정된 섬유들의 분산면적을 시트의 모든 층에서 얻은 총면적으로 나누어 산출, 백분율로 계산하였다 (Table 7 참조). 그러나 이들 값들이 상호 뚜렷한 관계를 나타내고 있지 아니하여 종이의 강도와 섬유분산과의 관계를 설명해 줄 다른 지수가 필요하게 되는데, 이에 시트의 FDI는 단순히 시트간의 분산으로부터 계산되는 섬유분포지수 (Fiber distribution index, FDI)가 시트의 물성과의 관계를 설명하는데 매우 적절한 것으로 생각된다. 인피부 펄프로 초지한 한지로부터 계산된 섬유분포지수는 0.62, 전간부펄프 한지의 그것은 0.848로 나타났다. 이 값은 CLSM 화상에서 보여지는 섬유들의 분포정도를 수치화한 것으로서, 전간부펄프로 초지한 한지의 섬유분포지수가 인피부펄프 한지의 섬유분포지수보다 높게 나타났다. 이러한 결과는 Pang 등,^{38,39)} 김,⁴⁰⁾ 정 등⁴¹⁾의 실험결과와 동일한 경향을 보이고 있다. 이러한 결과는 CLSM 영상을 통하여 산출된 FDI값이 시트의 물

Table 7. Fiber distribution index (FDI) derived from CLSM images and image processing

Item	Sheet name	Bast fiber only	Whole stalk
Number of measured layer, N_{ML}		60	51
Sum of measured area from all layers, A_S (pixel)		1,221,928	1,402,036
Maximum area from all measured layers (pixel)		54,872	63,983
Total area in calculation, A_T (pixel)		3,292,320	3,263,133
Fiber distribution area, A_{FD} (%)		37	43
FDI		0.62	0.848

성과의 관계^{33,41)}를 예측하는데 사용될 수 있음을 시사하고 있다.

4. 결론

본 연구는 생장이 빠른 양마의 인피부를 이용한 한지 제조특성을 구명하고, 기존의 닥나무 인피섬유로 제조한 한지의 물성과 비교하였으며, 공초점 전자주사현미경 (Confocal laser scanning microscope, CLSM) 기술을 응용하여 한지의 물성과의 관계를 측정하였다.

공시한 양마의 인피섬유는 150℃에서 충분히 펄프화가 가능하였으며, 펄프수율도 펄프화법에 관계없이 47.7%~57.1%의 범위로서 매우 높았고, SM법이 가장 높은 수율을 나타냈다. 펄프화시 AK법 및 AP법에서는 반점이 확인되지 않았으나, SM법 펄프의 경우 백색도가 높아 흑피에서 기인되는 반점이 확인되었다. 제조한 한지의 여수성은 AK법 및 AP법보다 SM법이 양호하였으며, 펄프의 백색도는 SM법이 63.9%~64.1%로 가장 높았고, AK법 및 AP법은 28.0%~37.0%로서 매우 낮았다. 기계적 성질은 모두 SM법이 가장 높았으며 AK법 및 AP법은 비교적 낮았다. 양마인피로 제조한 한지의 물성을 시판 한지류의 물성과 비교한 결과, 백색도는 AK법 및 AP법이 시판 한지류보다 낮았으나, SM법은 미표백임에도 불구하고 상당히 높은 백색도를 나타냈다. 파열강도의 경우 시판 한지보다 양마 한지가 높았으며, 인열강도는 AK법, AP법 및 SM법 공히 시판 한지의 0.75~2.21 N·m²/g보다 훨씬 우수하였다. 열단장도 AK법, AP법 및 SM법이 2.74~6.03 km 범위로서 시판 한지류보다 우수하였다. 내절도는 SM법이 94회로 AK법의 64회 및 AP법의 69회보다 높았고, 닥나무 한지의 내절도 51회, 시판 한지류의 6~19회보다

우수하였다. 결론적으로 양마 인피부로 제조한 한지의 물성은 닥나무 인피펄프의 기계적 성질과 대등하거나 우수한 강도를 보여주었으며, 한지의 품질면에서 양마는 닥나무의 대체수종으로 충분히 사용가능한 것으로 판단되었다.

CLSM을 이용한 섬유분포그래프 및 FDI분석 결과, 인피부펄프로 초지한 한지의 섬유분포 지수가 0.62, 전간부펄프 한지의 섬유분포지수가 0.848로 나타났으며, 전간부펄프 한지의 섬유분포지수가 인피부펄프 한지보다 높게 나타났다. 이러한 결과는 CLSM 영상을 통하여 산출된 FDI값이 시트의 물성과의 관계를 예측하는데 사용될 수 있음을 시사하고 있다.

인용문헌

1. 신동소, 정태명. 한국산 대나무류의 화학적 성분조사에 관한 연구, 진주농대 논문집, 1:31~34 (1963).
2. 홍병화, 문창국, 신동소. 목본식물의 인피섬유에 관한 연구, 경상대 논문집, 11:61~68 (1972).
3. 박병익. 닥나무섬유의 변이에 관하여, 한국임학회지 20:1~4 (1975).
4. 이종윤. 한국산 삼지닥나무의 화학적 조성, 경북대 논문집, 28:309~313 (1979).
5. 신동소. 한국산 갈대펄프 자원의 활용에 관한 연구, 서울대 농학연구 4(1):1~12 (1979).
6. 이범순, 김봉태, 갈대펄프에 관한 연구(1), 국립공업 연구소보 13:113~116 (1964).
7. 이범순, 김봉태, 갈대펄프에 관한 연구(2), 국립공업 연구소보 14:118~127 (1964).
8. 육완수. 쪽재비싸리의 펄프화에 관한 연구, 펄프·종이기술 6(1):25~31 (1974).
9. 이문철, 임기표. 쪽재비싸리의 크라프트 펄프화에 관

- 한 연구, 펄프·종이기술 6(1):32~35 (1974).
10. 김봉태, 조육기. 연초줄기의 펄프화에 관한 연구, 펄프·종이기술 4(1):17~21 (1972).
 11. 원중명, 신동소. 갈대의 KP에 관한 연구, 펄프·종이기술 13(1):4~19 (1981).
 12. 최태호. 뽕나무를 이용한 새로운 한지의 제조(제1보). -해부학적, 화학적 성질 및 펄프화 특성-. 펄프·종이기술 31(1):96~104 (1999).
 13. 최태호. 조남석. 뽕나무를 위한 새로운 한지의 제조(제2보). -인피부 및 전간부섬유 한지의 특성-. 펄프·종이기술 31(4):84~92 (1999).
 14. 정선화. 조남석. 최태호. 대용섬유자원으로서 어저귀를 이용한 한지제조(제1보). -어저귀의 건물 생산량 및 펄프화 특성 목재공학 30(2):144~150 (2002).
 15. 정선화. 조남석. CLSM을 이용한 어저귀섬유의 형태학적 특성과 물성연구(제1보). 펄프·종이기술 34(2):61~66 (2002).
 16. 정선화. 조남석. 최태호. 대용섬유자원으로서 어저귀를 이용한 한지제조(제2보). -인피 및 목질부 섬유를 이용한 한지제조-. 목재공학 32(1):1~8 (2004).
 17. 정선화. 조남석. 최태호. 대용섬유자원으로서 어저귀를 이용한 한지제조(제3보). -어저귀한지의 발목 특성-. 목재공학 33(4): 60~65 (2005).
 18. 우지형, 발효에 의한 인피섬유 정련에 관한 연구(1), 펄프·종이기술 4(2):12~17 (1972).
 19. 우지형, 발효에 의한 인피섬유 정련에 관한 연구(2), 펄프·종이기술 4(2):12~17 (1972).
 20. Mita, A. and Kashiwabara, S., Hydrogen peroxide - alkaline pulping (1). J. Japan TAPPI 37:262~268 (1982).
 21. Mita, A. and Kashiwabara, S., Hydrogen peroxide - alkaline pulping (2). J. Japan TAPPI 37:537~542 (1982).
 22. Mita, A. and Kashiwabara, S., Hydrogen peroxide - alkaline pulping (3). J. Japan TAPPI 39:251~257 (1984).
 23. Mita, A. and Kashiwabara, S., Hydrogen peroxide - alkaline pulping (4). J. Japan TAPPI 39:585~590 (1984).
 24. 최태호, 조남석. 닥나무류를 이용한 새로운 한지개발에 관한 연구(제1보) -해부학적, 화학적 성질 및 펄프화 특성- 펄프·종이기술 24(1):32~40 (1992).
 25. 조남석, 최태호, 민두식. 닥나무류를 이용한 새로운 한지개발에 관한 연구(제2보) -목질부 및 인피부의 혼합 제지특성- 펄프·종이기술 24(3):19~26 (1992).
 26. 조남석. 목재펄프 대체자원으로서 양마자원의 개발, 충북대 지역개발연구 6:81~114 (1995).
 27. 조남석, 최태호. 속성섬유자원인 양마로부터 전통한지의 제조특성. 펄프·종이기술 28(4):7~16 (1996).
 28. 이명구. 윤승락. 국내산 Kenaf 이용에 관한 연구(제1보). -국내에서 재배한 Kenaf의 생장 및 해부학적 특성-. 펄프·종이기술 35(4):68~74 (2003).
 29. 이명구. 윤승락. 국내산 Kenaf 이용에 관한 연구(제2보). -Kenaf TMP와 KP의 물리적 성질-. 펄프·종이기술 39(4):45~52 (2007).
 30. 이명구. 김민중. 윤승락. 국내산 Kenaf 이용에 관한 연구(제3보). -Kenaf KP와 SwKP의 물리적 성질-. 한국펄프종이공학회 추계학술발표대회 논문집, pp. 283~287 (2007).
 31. 김민중. 윤승락. 이명구. 고해에 따른 Kenaf KP의 물리적 성질. 한국펄프종이공학회 춘계학술발표대회 논문집, pp. 247~255 (2008).
 32. Jang, H.F., Amiri, R., Seth, R.S. and Karnis, A., Fiber characterization using confocal microscopy: Collapse behavior of mechanical pulp fibers, Tappi J. 79(4):203~210 (1996).
 33. Xu, L., Parker, L. and Osborne, C., Technique for determining the fibre distribution in the z-direction using confocal microscopy and image analysis, Appita J. 50(4):325~331 (1997).
 34. Jang, H.F. and Seth, R.S., Using confocal microscopy to characterize the collapse behavior of fibers, Tappi J., 81(5):167~173 (1998).
 35. Ri, S. and Nakano, J., High yield pulp production by modified sulfite process, Japan Tappi 28(7):38~44 (1974).
 36. Ohi, H., Nakano, J. and Ishizu, A., Sodium sulfite-formaldehyde-quinone cooking of softwood, J. Japan TAPPI 41(8):66~74 (1987).
 37. 신동소의 4 인, 입산화학, pp.143~170, 향문사 (1983).
 38. Pang, M.-H., Park, J.M. and Cho, N.S., Analysis of handsheet properties of kenaf bast and core. J. Korea TAPPI 31(2):70~76 (1999).
 39. Pang, M.H., Park, J.M. and Cho, N.S., Application of Confocal laser scanning microscopy and fiber dis-

- tribution index to study Kenaf handsheet properties. J. Korea TAPPI 31(3):54~59 (1999).
40. 김서환. CLSM을 이용한 섬유와 종이물성에 미치는 섬유벽 두께의 영향, 충북대학교 대학원 석사학위 논문 (1999).
 41. 정선화, 조남석. 화상분석기를 이용한 어저귀섬유의 형태학적 특성과 물성연구. 펄프·종이기술 35(4): 17~22 (2003).
 42. Patel, R.J., Angadiyavar, C.S. and Rao, Y.S., Nonwood Plant Fiber Pulping, Progress Report No.15, pp. 77~90 (1984).
 43. Kaldor, A., Preparation of kenaf and core fibers for pulping by Ankal method. Tappi J. 72(9):137~140 (1989).