

## 뽕나무 한지의 지합특성

이일로\*<sup>1</sup> · 조남석<sup>†</sup>

(2006년 6월 22일 접수: 2006년 8월 18일 채택)

## Sheet Formation Properties of *Morus* Hanji

Il-Roh Yi\*<sup>1</sup> and Nam-Seok Cho<sup>†</sup>

(Received on June 22, 2006: Accepted on August 18, 2006)

### ABSTRACT

This study was carried out to investigate the sheet formation properties of *Morus* Hanjis, made of bast and whole stalk pulps by different pulping methods, such as alkali, alkali-peroxide and sulfomethylated pulping. Two species of *Morus*, *M. alba* and *M. lhou*, were used. Effect of morphological properties of pulp stocks on the sheet formation and its gray levels based on optical property were evaluated using an Image analyzer. In addition, the effect of fiber distribution index(FDI) which was calculated from the data of Confocal laser scanning microscopy(CLSM) on the sheet formation and optical properties of *Morus* Hanji were also discussed.

On the sheet formation, Hanji from whole stalk pulp was superior than that of bast pulp. The more the sheet formation improved, the more paper opacity decreased. In the aspect of Hanji's surface characteristics analyzed by an Image analyzer, the average gray level and its standard deviation of Hanji from the whole stalk pulp were rather lower than those of bast pulp because of better sheet formation of the former.

However, high brightness Hanji showed high value of gray level. The sheet formation and paper opacity were increased with the decrease of standard deviation of gray level. From these results, gray level measurement could be used to predict the paper opacity as well as sheet formation. Sheet formation of whole stalk Hanji and its FDI measured by CLSM were higher than those of bast fibers.

---

• 이 논문은 충북대학교 2006학년도 학술지원사업의 연구비지원에 의하여 수행되었음 (This work was carried out by the financial support of Chungbuk National University Grant in 2006).  
• 충북대학교 목재종이과학과 (Wood and Paper Science, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea)  
\*1 대상주식회사 중앙연구소 (R & D Center, Daesang Co. Ltd., Pyokyo-ri, Majang-myon, Ichon, Kyonggi-do 467-813, Korea)  
† 주저자 (Corresponding Author): E-mail: nscho@chungbuk.ac.kr

In conclusion, the sheet formation and opacity of Hanji could be evaluated by standard deviation value of Hanji's gray level using an Image analyzer and by fiber distribution index using CLSM.

**Keywords:** *Morus hanji, alkali pulping, alkali-peroxide pulping, sulfomethylated pulping, sheet formation, opacity, gray level, image analyzer, fiber distribution index(FDI), Confocal laser scanning microscopy(CLSM)*

## 1. 서론

뽕나무 줄기의 약 20~30%를 차지하는 상피(桑皮)는 중국에서 상당량이 선지(宣紙)의 원료로 사용되고 있으나 우리나라에서는 거의 사용되지 않았다. 뽕나무의 인피섬유는 닥나무 인피섬유에 버금가는 해부학적 성질과 삼지닥나무나 산닥나무보다 높은 펄프수율<sup>1)</sup>을 나타내고 있으며, 강인하고 광택이 풍부한 우수한 섬유자원이다. 양잠의 부산물인 뽕나무의 인피섬유와 줄기 전체를 그간의 발달된 펄프제조기술을 이용하여 새로운 한지 제조용 원료로서 개발함으로써 부족한 펄프 원자재의 수입대체는 물론, 국내 부존자원 및 잠업부산물 이용에 기여할 것으로 기대된다.

미이용 자원의 합리적 이용 및 고품질의 한지 제조라는 측면에서 현재 많이 재배되고 있는 뽕나무의 인피부 및 전간부를 원료로 하여 한지를 제조하였으며, 뽕나무의 품종별 해부학적, 화학적 특성 및 한지물성의 연구결과를 전보<sup>2,3)</sup>에서 보고한 바 있다. 특히 우리나라에서 상대적으로 많이 재배되는 품종인 백상계 개량뽕 및 노상계 대륙뽕의 한지 제조특성<sup>4)</sup>에 대해서도 보고하였다. 한편 오늘날까지 사용되는 한지의 물성표준화가 이루어지지 못하여, 어떠한 산지의 원료를 사용하면 어떠한 품질의 한지가 제조되며, 어떠한 물성의 한지가 어떠한 용도에 적합한지에 관한 확실한 근거가 없이, 사용자의 자의적인 감이나 작가의 취향에 따라 이용되고 있으며, 그러한 의미에서 한지품질의 표준화를 위한 기본적인 자료가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 전보<sup>4)</sup>에서 보고한 한지의 지합특성을 Image analyzer 및 미세영상 분석장치인 공

초점 레이저 주사현미경(Confocal Laser Scanning Microscope, CLSM) 기법<sup>5,11)</sup>을 이용하여 평가하고자 하였다. 특히 CLSM을 이용하여 종이 내의 섬유의 분포상태를 비파괴적으로 측정하였으며, 종이를 두께 방향으로 스캐닝한 후, 얻어진 화상을 화상분석 프로그램을 이용하여 섬유의 분포를 수치화 함으로써 종이의 지합특성을 예측하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

뽕나무원료는 국내재배종인 품종 중에서 백상계(*Morus alba* Linne)는 개량뽕, 노상계(*Morus lhou* Koidz)는 대륙뽕을 5월 초순에 채취하여 전간부, 인피부로 분리한 다음, 펄프화<sup>1,2)</sup>하여 한지제조용 시료로 공시하였다. 한지제조 시 사용한 분산제는 시판되는 polyacrylamide(PAM: 분자량 수백만, 중립상사)를 사용하였다. CLSM 관찰을 위한 형광염료로서 acridine orange (tetramethyl-3,6- diaminoacrydinium chloride)를 사용하였다.

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 펄프제조

두 품종의 뽕나무 인피부와 전간부를 각각의 펄프화법으로 펄프를 제조<sup>4)</sup>하였으며, 펄프화 조건은 Table 1과 같다.

**Table 1. Pulping conditions**

Hanji name	Pulping method	Cooking solution	Liquid ratio	Temp. (°C)	Time (min)
BF-Ma1	AKP	NaOH, AA <sup>#</sup> 18%	1 : 7	150	60
WS-Ma2		NaOH, AA 20%	1 : 6	170	60
BF-Ma3	APP	NaOH, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (3%), AA 18%	1 : 7	150	60
WS-Ma4		NaOH, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (3%), AA 20%	1 : 6	170	60
BF-Ma5	SMP	1 M Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	1 : 6	170	60
WS-Ma6		0.3 M carbonyl compound	1 : 6	180	240
BF-MI1	AKP	NaOH, AA 18%	1 : 7	150	60
WS-MI2		NaOH, AA 20%	1 : 6	170	60
BF-MI3	APP	NaOH, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (3%), AA 18%	1 : 7	150	60
WS-MI4		NaOH, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (3%), AA 20%	1 : 6	170	60
BF-MI5	SMP	1 M Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	1 : 6	170	60
WS-MI6		0.3 M carbonyl compound	1 : 6	180	240

<sup>#</sup> Active alkali

2.2.2 한지의 제조

제조한 인피부 및 전간부 펄프를 1매당 18.75 g에 해당되는 지료 및 0.03%의 polyacrylamide (PAM)가 잘 분산되도록 교반하여 특수 제작한 한지 초지기로 초지(Table 2 참조)하였으며, 초지용 발은 화선지 제조용(발 규격 97×66.7 cm)을 사용하였다.<sup>4)</sup> 초지된 습지는 스테인레스 스틸 판에 종

이면이 안쪽, 면포가 바깥쪽을 향하도록 붙이고 실온에서 약 6시간 자연 탈수 및 건조를 행한 다음, 최종적으로 60°C로 조절된 열풍 항온 건조기에서 2시간 건조하고, TAPPI T402 om-88에 의거, 관계습도 50.0±2.0%, 온도 23.0±1.0°C에서 24시간 조습처리한 후 공시하였다.

**Table 2. Hanji samples**

Species	Pulping method	Part	Hanji name
<i>M. alba</i> Linne	AKP <sup>*</sup>	bast fiber	BF <sup>#</sup> -Ma1
		whole stalk	WS <sup>##</sup> -Ma2
	APP <sup>**</sup>	bast fiber	BF-Ma3
		whole stalk	WS-Ma4
	SMP <sup>***</sup>	bast fiber	BF-Ma5
		whole stalk	WS-Ma6
<i>M. lhou</i> Koidz	AKP	bast fiber	BF-MI1
		whole stalk	WS-MI2
	APP	bast fiber	BF-MI3
		whole stalk	WS-MI4
	SMP	bast fiber	BF-MI5
		whole stalk	WS-MI6

<sup>\*</sup> Alkali pulping, <sup>\*\*</sup> Alkali-peroxide pulping, <sup>\*\*\*</sup> Sulfomethylated pulping,

<sup>#</sup> bast fiber, <sup>##</sup> whole stalk

### 2.2.3 한지의 광학적 특성

백색도, 불투명도를 TAPPI Test Methods T519 om-96, T525 om-92에 의거하여 측정하였다.

### 2.2.4 한지의 불균일지수

Noram사의 Reed N.U.I. Meter(Model MK II)를 사용하여 뽕나무 한지의 불균일지수(None uniformity index, NUI)를 측정하였다.<sup>5)</sup>

### 2.2.5 Image analyzer를 이용한 분석<sup>6,7)</sup>

본 연구에서 뽕나무 인피부 및 전간부 펄프로 초지한 두 종류 한지를 4×3 cm 크기로 재단하여, 8 bit 그레이레벨로 입력하여 640×480 화소(pixel) 크기의 TIF 형식의 이미지 파일로 저장하였다. ImagePro 프로그램으로 모든 화소의 그레이레벨을 구하여 전체화상의 그레이레벨 평균과 그레이레벨 표준편차를 구하였다. Image analyzer로 입력한 화상에서 측정하는 그레이레벨은 0은 어두운 값을 255는 밝은 값을 나타내는 0~255의 값으로 표시하여 표면특성을 분석하였다. 분석 히스토그램에서는 X-축은 그레이레벨 값을 Y-축은 화상의 화소(pixel) 수를 나타낸다.

### 2.2.6 공초점 레이저 주사현미경<sup>7-13)</sup>을 이용한 분석

1 ℓ의 증류수에 0.01 g acridine orange를 용해한 형광염료 용액에 1×1 cm 크기의 한지를 15 분간 침지시킨 후, CLSM 관찰을 위한 슬라이드를 제작하고, 공초점 레이저 주사현미경(Model Bio-Rad MRC-1024)으로 관찰하였다.

### 2.2.7 한지의 섬유분포지수(Fiber Distribution Index, FDI)<sup>10)</sup>

CLSM을 이용하여 Z-방향으로 스캐닝한 화상을 gray scale 화상으로 변환하여 ImagePro 프로그램으로 각 화상에 존재하는 섬유의 면적을 측정하여, 픽셀(pixel) 단위로 계산하였으며, 다음 식에 의하여 섬유분포지수를 구하였다.

$$\text{Fiber Distribution Index (FDI)} = \text{AFD}/\text{NML}$$

$$\text{AFD} = \text{fiber distributed area}$$

NML = number of measured layer by scanning

$$\text{AFD} = [\text{AS}/\text{AT}] \times 100$$

AS = sum of measured area of fiber from all layers

AT = total area in calculation.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 한지의 광학적 특성

종이의 백색도에 가장 중요한 영향인자는 펄프의 백색도이며, 펄프의 백색도는 초지시 사용하는 용수에 함유된 철, 구리, 망간 등의 금속성분 및 펄프 중의 리그닌 함량들과 깊은 관계를 가지며, 나아가서 종이의 열화에 민감하게 반응한다.<sup>14)</sup>

백상계의 백색도는 인피부펄프로 초지한 한지가 28.2~41.0%, 전간부펄프로 초지한 한지가 36.2~63.1%로 나타났다. 노상계의 백색도는 인피부펄프로 초지한 한지가 29.1~44.4%, 전간부펄프로 초지한 한지가 42.2~62.3%로 나타났다. 두 품종 모두 전간부펄프로 초지한 한지의 백색도가 인피부펄프로 초지한 한지보다 다소 높은 값을 나타냈고, 펄프 화법별로는 설포메틸화법이 알칼리법, 알칼리-과산화수소법보다 높은 값을 나타냈다. 알칼리법과 알칼리-과산화수소법의 경우, 원료 중의 리그닌이 알칼리와 반응하여 quinone methide 구조가 많이 형성되어 섬유가 착색됨으로써 펄프의 백색도가 낮아졌는데 대하여, 설포메틸화법은 펄프화 과정에서 서서히 알칼리가 생성, 소비되므로 리그닌과의 반응에 의한 착색구조의 발생이 적고, sulfite 이온의 표백작용 등으로 펄프의 백색도가 높았다. 그러므로 설포메틸화법으로 제조한 전간부펄프의 한지는 표백을 하지 않아도 이용이 가능할 정도로 60% 이상의 높은 백색도를 나타냈다.

불투명도는 종이에 있어서 매우 중요한 성질로 종이의 평량, 염색, 고해 및 습압의 정도, 충전제, 펄프섬유 등 여러가지 인자에 의해서 영향을 받는다. 일반적으로 불투명도는 평량 및 충전제의 양이 증가할수록 증가하며, 고해, 습압, 밀도가 증가하면 감소한다. 또한 불투명도는 섬유장의 영향은 거의

받지 않으나 미세섬유 및 섬유 의 직경에 영향을 받으며, 섬유의 크기가 감소할수록 불투명도는 증가하고 표백펄프보다는 미표백펄프의 불투명도가 높다.<sup>14)</sup>

백상계의 불투명도는 인피부펄프로 초지한 한지가 51.0~52.7%, 전간부펄프로 초지한 한지가 79.3~82.6%로 나타났다. 노상계의 불투명도는 인피부펄프로 초지한 한지가 53.6~57.6%, 전간부펄프로 초지한 한지가 80.0~87.7%로 나타났다. 전간부펄프로 초지한 한지가 인피부펄프로 초지한 한지보다 월등히 높은 불투명도를 나타내고 있는 것은 전간부펄프에 함유되어 있는 단섬유부분이 시트전체의 표면적을 증가<sup>17)</sup>시켜 불투명도에 영향을 준 것으로 생각되며, 펄프화법별로는 설포메틸화법이 알칼리법 및 알칼리-과산화수소법보다 다소 낮은 불투명도를 보이는데, 이는 설포메틸화법 펄프의 섬유간 결합의 증가 및 높은 백색도와 관련이 있는 것으로 사료된다.<sup>2,3,16-17)</sup>

### 3.2 불균일지수 특성

종이의 지합은 지료, 초지기 및 완성지료의 조성 등 많은 인자들의 영향을 받으며, 종이의 인쇄 및 필기 적성에 대단히 중요한 영향을 미친다.<sup>11)</sup> 백상계 및 노상계 한지의 불균일지수와 불투명도의 관계를 Fig. 1 및 Fig. 2에 나타내었다. 백상계의 불균일지수(Fig. 1)는 인피부펄프로 초지한 한지가 34.9~41.3 NUI, 전간부펄프로 초지한 한지가 8.

7~16.7 NUI로 나타났다. 노상계의 불균일지수(Fig. 2)는 인피부펄프로 초지한 한지가 34.6~41.4 NUI, 전간부펄프로 초지한 한지가 8.9~10.9 NUI로 나타났다. 두 품종 모두 전간부펄프로 초지한 한지는 인피부펄프로 초지한 한지보다 양호한 지합과 높은 불투명도를 나타냈는데, 이것은 섬유벽이 얇고, 길이가 짧은 목질부 섬유와 섬유벽이 두껍고, 강직한 인피섬유가 함께 섬유간 결합을 이루고 있기 때문에 인피섬유만으로 이루어진 한지보다 섬유간 공극이 적은 균일한 지층을 형성하였기 때문으로 사료되며, 이는 비목질계섬유를 사용하는 한지의 특징<sup>17)</sup>으로서 저자 등<sup>2-4,15-17)</sup>의 실험 결과와 일치하는 것으로 나타났다.

### 3.3 한지의 Image analyzer 특성

화상의 그레이레벨 평균은 종이의 평량, 지합과 표백정도에 영향을 받는다. 평량이 증가할수록 그레이 레벨 평균은 감소하고, 동일 평량일 때 지합이 우수할수록 그레이레벨 평균은 낮게 나타난다.<sup>18)</sup> 미표백 펄프로 초지한 종이 표백펄프로 초지한 종이보다 그레이레벨 평균이 낮게 나타난다. 종이는 섬유간 결합을 이루고 있고 섬유간에 공극이 존재하는데 섬유가 많은 부분은 그레이레벨 값이 낮고, 공극이 많은 부분은 그레이레벨 값이 높게 나타난다. 그레이레벨 표준편차는 각 화소(pixel)가 나타내는 그레이레벨 값과 그레이레벨 평균의 편차를 나타내는 것으로서 종이 내의 섬유가 플럭(floc)

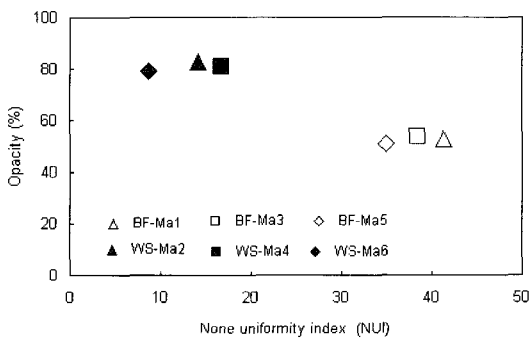


Fig. 1. Relationship between opacity and none uniformity index of *M. alba* Hanji.

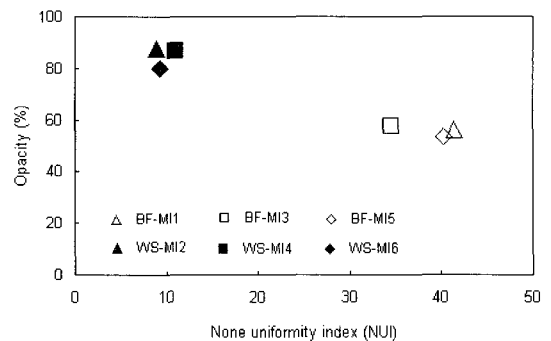


Fig. 2. Relationship between opacity and none uniformity index of *M. thou* Hanji.

을 형성하지 않고 잘 분산되어 있다면 그레이레벨 표준편차의 값이 낮게 나타난다.<sup>19)</sup>

Fig. 3~Fig. 14는 Image analyzer를 이용하여 입력한 한지의 화상과 그 화상을 분석한 히스토그램을 나타낸 것이다. 인피부펄프로 초지한 백상계 한지의 Image analyzer 화상과 분석 히스토그램을 Fig. 3, Fig. 5, Fig. 7에, 노상계 한지의 그것을 Fig. 9, Fig. 11, Fig. 13에 나타냈으며, 전간부펄프로

로 초지한 백상계 한지의 Image analyzer 화상과 분석 히스토그램을 Fig. 4, Fig. 6, Fig. 8에, 노상계 한지의 그것을 Fig. 10, Fig. 12, Fig. 14에 나타냈다. 인피부펄프로 초지한 한지의 화상은 전간부펄프로 초지한 화상보다 밝은 화상을 보이고 있고 일부 미해리 섬유상의 반점이 보이나, 이는 미해리섬유가 아니고 외수피부의 피목이 펄프화하더라도 남아 있는 것이다.

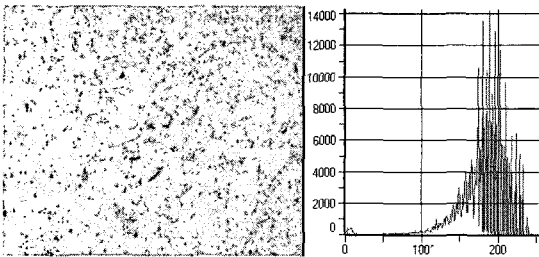


Fig. 3. Image analyzer's image and analysis histogram of BF-Ma1 Hanji. (X axis: gray level value, Y axis: number of pixel)

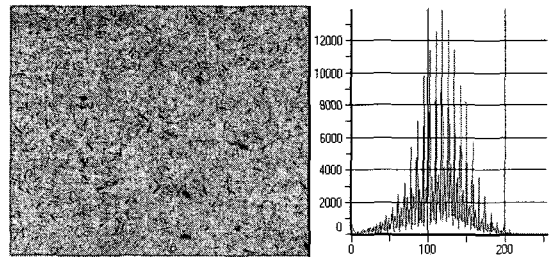


Fig. 6. Image analyzer's image and analysis histogram of WS-Ma4 Hanji. (X axis: gray level value, Y axis: number of pixel)

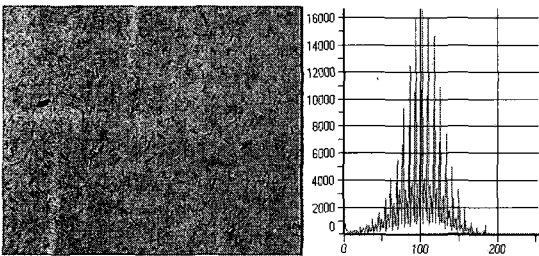


Fig. 4. Image analyzer's image and analysis histogram of WS-Ma2 Hanji. (X axis: gray level value, Y axis: number of pixel)

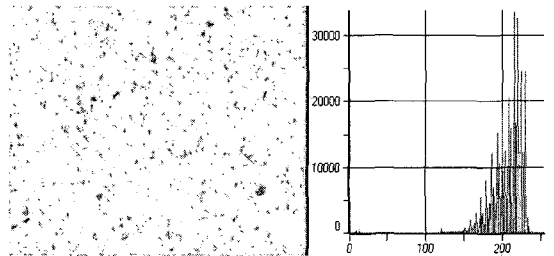


Fig. 7. Image analyzer's image and analysis histogram of BF-Ma5 Hanji. (X axis: gray level value, Y axis: number of pixel)

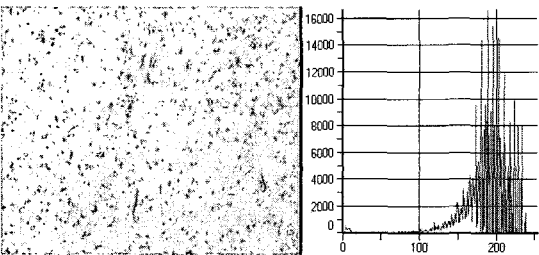


Fig. 5. Image analyzer's image and analysis histogram of BF-Ma3 Hanji. (X axis: gray level value, Y axis: number of pixel)

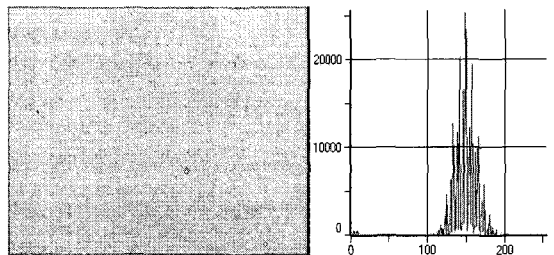


Fig. 8. Image analyzer's image and analysis histogram of WS-Ma6 Hanji. (X axis: gray level value, Y axis: number of pixel)

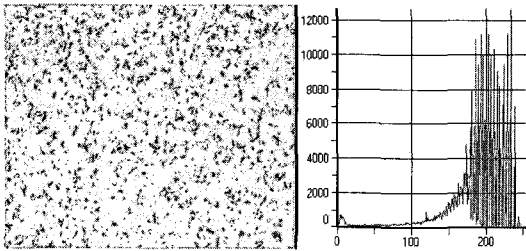


Fig. 9. Image analyzer's image and analysis histogram of BF-M11 Hanji. (X axis : gray level value, Y axis : number of pixel)

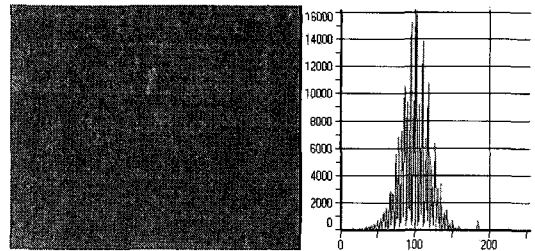


Fig. 12. Image analyzer's image and analysis histogram of WS-M14 Hanji. (X axis: gray level value, Y axis: number of pixel)

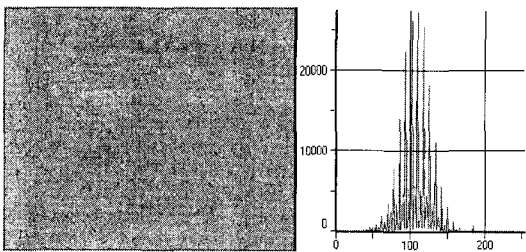


Fig. 10. Image analyzer's image and analysis histogram of WS-M12 Hanji. (X axis: gray level value, Y axis: number of pixel)

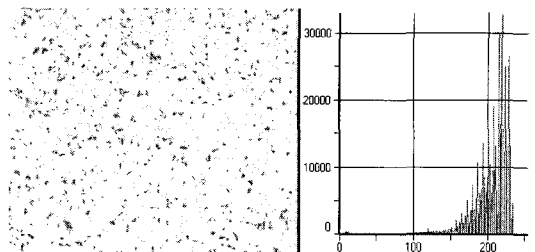


Fig. 13. Image analyzer's image and analysis histogram of BF-M15 Hanji. (X axis: gray level value, Y axis: number of pixel)

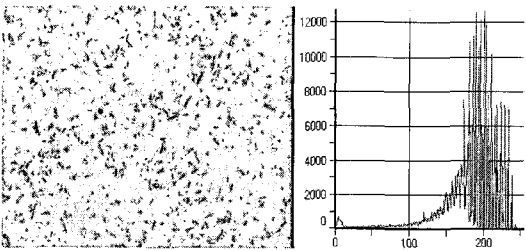


Fig. 11. Image analyzer's image and analysis histogram of BF-M13 Hanji. (X axis: gray level value, Y axis: number of pixel)

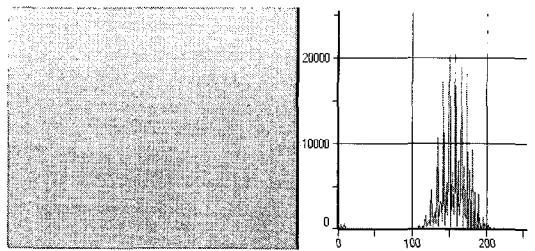


Fig. 14. Image analyzer's image and analysis histogram of WS-M16 Hanji. (X axis: gray level value, Y axis: number of pixel)

### 3.4 그레이레벨과 물성

#### 3.4.1 지료조성에 따른 그레이레벨 특성

화상에서 하나의 pixel이 하나의 그레이레벨 값을 나타내는데 종이는 섬유들이 결합하여 이루어

져 있고, 섬유 내에 공극이 존재하는 불균일한 물질이기 때문에 각 화소에서 측정된 그레이레벨 값이 차이를 보이고 있다. 이 차이의 정도가 심할수록 그레이레벨 표준편차의 값이 커지게 된다.

Image analyzer를 이용하여 그레이레벨로 입력

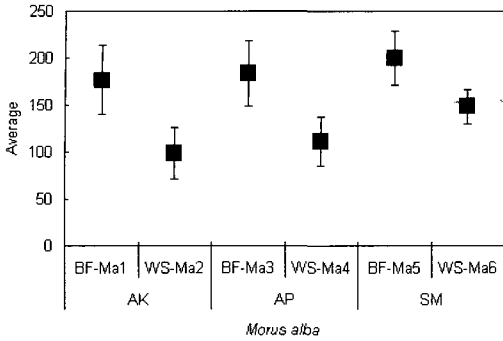


Fig. 15. Comparison of average and standard deviation of gray level of *M. alba* Hanji.

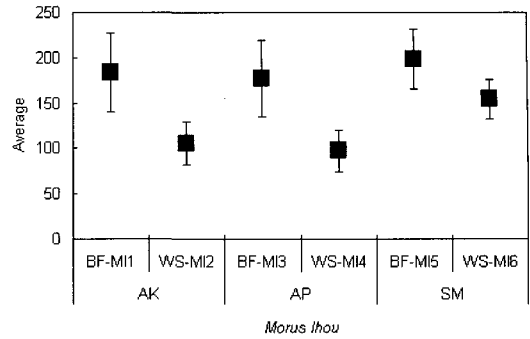


Fig. 16. Comparison of average and standard deviation of gray level of *M. lhou* Hanji.

된 백상계 및 노상계 한지의 그레이레벨 평균과 그레이레벨 표준편차를 측정하였다. 그레이레벨 표준편차는 평균값에 오차 범위로 나타냈다. 백상계 및 노상계 한지의 그레이레벨 평균과 그레이레벨 표준편차를 Fig. 15 및 Fig. 16에 각각 나타냈다. 백상계의 그레이레벨 평균은 인피부펄프로 초지한 한지가 176.8~200.2, 전간부펄프로 초지한 한지가 98.4~148.2였으며, 그레이레벨 표준편차는 인피부펄프로 초지한 한지가 28.9~36.9, 전간부펄프로 초지한 한지가 18.7~27.8로 나타났다. 노상계의 그레이레벨 평균은 인피부펄프로 초지한 한지가 177.5~198.1, 전간부펄프로 초지한 한지가 97.3~154.3였고, 그레이레벨 표준편차는 인피부펄프로 초지한 한지가 33.0~43.8, 전간부펄프로 초지한 한지가 21.6~23.8로 나타났다.

백상계 및 노상계, 두 품종 모두 전간부펄프로 초지한 한지의 그레이레벨 평균과 그레이레벨 표준편차가 인피부펄프로 초지한 한지보다 낮게 나타났는데 이는 전간부펄프로 초지한 한지는 인피섬유와 목질부 단섬유가 함께 존재하면서 섬유간 공극이 적은 치밀한 구조를 형성하기 때문인 것으로 사료된다. 펄프화법별로는 설포메틸화법으로 제조한 한지가 다른 펄프화법의 한지보다 그레이레벨 평균은 높고, 그레이레벨 표준편차는 조금 낮게 나타났는데, 이는 설포메틸화법 한지의 양호한 지합과 높은 백색도가 그레이레벨 평균에 영향하였기 때문인 것으로 사료된다.

### 3.4.2 그레이레벨 평균과 백색도

그레이레벨 평균을 측정할 때 종이의 평량, 지합,

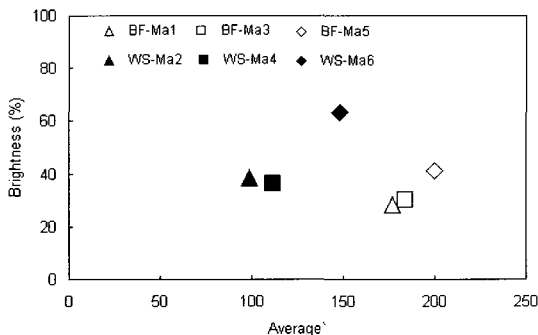


Fig. 17. Relationship between brightness and average of gray level of *M. alba* Hanji.

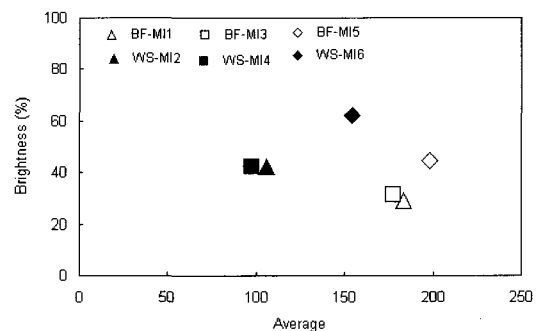


Fig. 18. Relationship between brightness and average of gray level of *M. lhou* Hanji.



백색도 등이 영향하며, 평량이 높을수록, 지합이 우수할수록, 백색도가 낮을수록 그레이레벨 평균은 낮게 나타난다. 백상계 및 노상계 한지의 그레이레벨 평균과 백색도의 관계를 Fig. 17 및 Fig. 18에 나타냈다. 두 품종 모두 전간부펄프로 초지한 한지가 인피부펄프로 초지한 한지에 비해 낮은 그레이레벨 평균과 높은 백색도를 나타내고 있다. 특히 설포메틸화법으로 제조한 인피부 및 전간부펄프로 초지한 한지의 경우, 다른 펄프화법에 비해 높은 그레이레벨 평균값과 높은 백색도를 나타내고 있다. 이는 한지의 백색도가 그레이레벨 측정에 영향을 주는 것으로 사료된다. 동일한 평량, 동일한 지합일 때 백색도가 증가하면 그레이레벨 평균도 증가하는 것으로 나타났다.

### 3.4.3 그레이레벨 표준편차와 불투명도

백상계 및 노상계 한지의 그레이레벨 표준편차와 불투명도의 관계를 Fig. 19 및 Fig. 20에 나타내었다. 전간부펄프로 초지한 한지가 인피부펄프로 초지한 한지보다 높은 불투명도를 나타냈으며, Image analyzer로 측정한 그레이레벨 표준편차는 낮게 나타났다. 이는 인피섬유에 비해 상대적으로 목질부 단섬유들이 많고, 섬유간 공극이 적은 전간부펄프로 초지한 한지는 빛의 투과량이 적어 높은 불투명도를 나타내며 Image analyzer 화상에서는 각 pixel간의 그레이레벨 차이가 적어 낮은 표준편차를 나타냈다. 펄프화법별로는 설포메틸화법으로 제조한 한지가 다른 펄프화법보다 지합이 양호하

여 그레이레벨 표준편차의 값이 다소 낮게 나타났다.

### 3.4.4 그레이레벨 표준편차와 불균일지수(None uniformity index, NUI)

불균일지수는 한지의 균일성을 측정하여 지합의 좋고 나쁨을 평가할 수 있는 지표이다. Image analyzer를 이용하여 전간부 및 인피부펄프로 초지한 한지의 지합을 측정, 비교하였다. 지합이 우수한 종이는 Image analyzer 화상의 그레이레벨 분석에서 각 pixel간의 편차가 적기 때문에 그레이레벨 표준편차의 값이 낮게 나타났다.<sup>18,19)</sup> 백상계 및 노상계의 불균일지수와 그레이레벨 표준편차의 관계를 Fig. 21 및 Fig. 22에 나타냈는데, 두 품종 모두 전간부펄프로 초지한 한지의 불균일지수가 인피부펄프로 초지한 한지보다 낮은 값을 나타내고 있었으며, 그레이레벨 표준편차 역시 낮은 값을 나타냈다. 펄프화법별로는 설포메틸화법 한지의 그레이레벨 표준편차가 다른 펄프화법보다 다소 낮은 값을 보였는데 이는 펄프의 리그닌이 친수성을 가져 섬유간의 결합이 다른 펄프화법에 비해 우수하였기 때문으로 사료된다. 그러나 노상계의 전간부펄프로 초지한 한지의 경우 펄프화법 간에는 큰 차이가 없었다.

## 3.5 한지의 CLSM 특성

### 3.5.1 화상분석

CLSM을 이용하여 한지의 두께방향으로 섬유

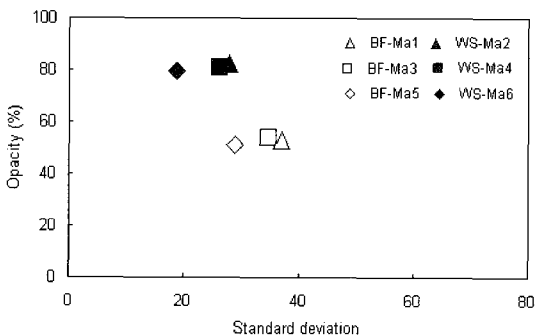


Fig. 19. Relationship between opacity and standard deviation of gray level of *M. alba* Hanji.

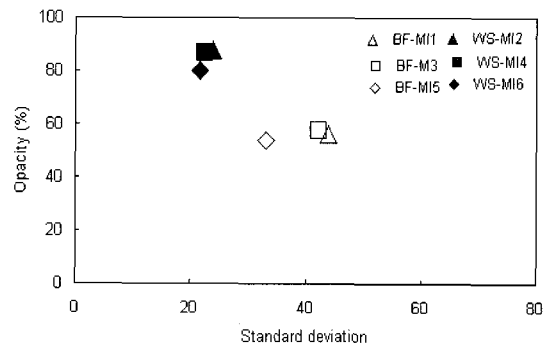


Fig. 20. Relationship between opacity and standard deviation of gray level of *M. thou* Hanji.

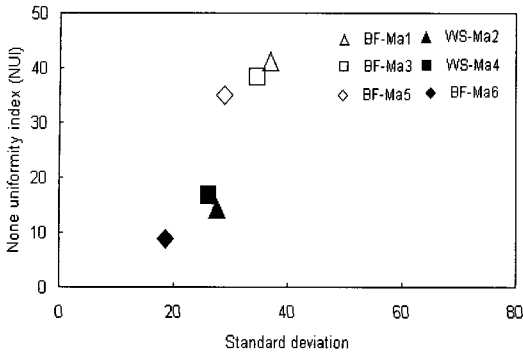


Fig. 21. Relationship between none uniformity index and standard deviation of gray level of *M. alba* Hanji.

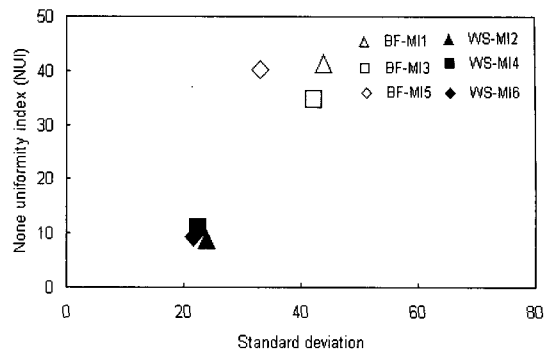


Fig. 22. Relationship between none uniformity index and standard deviation of gray level of *M. lhou* Hanji.

의 분포를 알아보기 위하여 ×200 배율로 관찰한 화상을 두께방향으로 2 μm 간격으로 스캐닝하여 모든 화상을 하나의 파일에 저장하였다. 이 파일에 있는 여러 장의 화상들을 축적하여 주사전자현미경(Scanning electron micrograph, SEM) 사진과 같은 고화질의 화상을 만들 수 있었다. 또한 한지를 횡방향으로 스캐닝하여 섬유 단면들을 관찰하여 한지의 두께방향 섬유들의 지층형성 특성을 관찰할 수 있었다.

CLSM을 이용하여 백상계 및 노상계 한지를 두께방향으로 스캐닝한 층(layer)의 수를 Table 3 및 Table 4에 나타냈다. 백상계의 층(layer)수는 인피부펄프로 초지한 한지가 28~33 층, 전간부펄프로 초지한 한지가 17~19 층으로 나타났다. 노상계의 층(layer)수는 인피부펄프로 초지한 한지가 28~36 층, 전간부펄프로 초지한 한지는 18~19 층으로 나타났다. 두 품종 모두 인피부펄프로 초지한 한지의 층(layer)수가 전간부펄프의 한지의 층(layer)

수보다 많았고, 인피부펄프는 강직하고 두꺼운 세포벽을 가지고 있으며 전간부의 목질부 펄프는 섬유장이 짧고 얇은 세포벽을 가지고 있는 것으로 나타났다.

Fig. 23~28은 백상계 및 노상계 한지의 CLSM 화상을 각각 보여주는 것으로서, 모든 화상은 한지를 두께방향으로 스캐닝하여 얻은 화상을 하나로 축적한 화상(위)과 횡방향으로 스캐닝하여 얻은 화상(아래)을 함께 나타내고 있다. 백상계 및 노상계 인피부펄프로 초지한 한지의 CLSM 화상(BF-Ma1, BF-Ma3, BF-Ma5, BF-MI1, BF-MI3, BF-MI5)은 인피부 섬유만으로 초지되었기 때문에 섬유간 공극이 크고 두께방향에 존재하는 섬유들간의 결합이 엉성한 모습을 보여주고 있다. 백상계 및 노상계 전간부펄프로 초지한 한지의 CLSM 화상(WS-Ma2, WS-Ma4, WS-Ma6, WS-MI2, WS-MI4, WS-MI6)은 인피부 섬유와 목질부 섬유가 공존하므로 섬유간 공극이 적고 두

Table 3. Number of scanned layer of *M. alba* Hanji by CLSM

Sheet name	BF-Ma1	WS-Ma2	BF-Ma3	WS-Ma4	BF-Ma5	WS-Ma6
Number of scanned layer	33	18	28	19	33	17

Table 4. Number of scanned layer of *M. lhou* Hanji by CLSM

Sheet name	BF-MI1	WS-MI2	BF-MI3	WS-MI4	BF-MI5	WS-MI6
Number of scanned layer	31	18	28	19	36	18

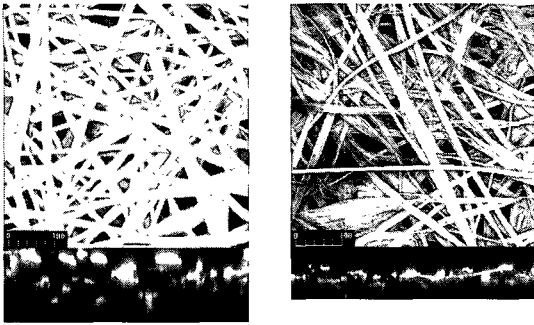


Fig. 23. CLSM images of BF-Ma1 (left) and WS-Ma2 (right) Hanji. X-Y plan image (upper) and Z-directional image (lower). Scale =  $\mu\text{m}$

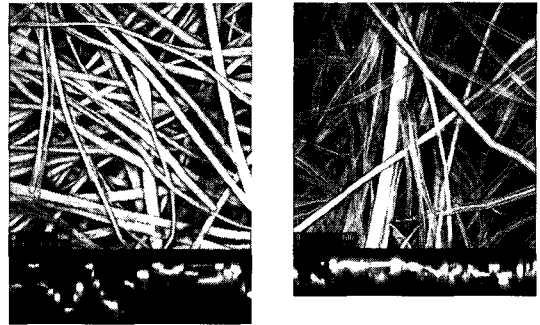


Fig. 24. CLSM images of BF-Ma3 (left) and WS-Ma4 (right) Hanji. X-Y plan image (upper) and Z-directional image (lower). Scale =  $\mu\text{m}$

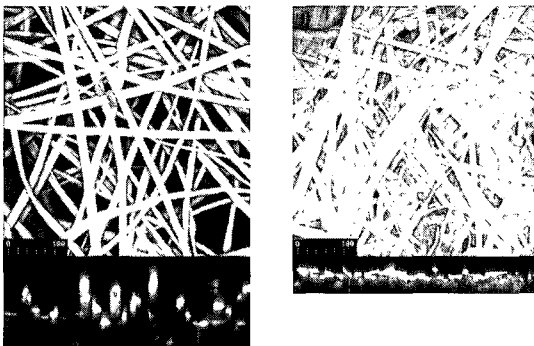


Fig. 25. CLSM images of BF-Ma5 (left) and WS-Ma6 (right) Hanji. X-Y plan image (upper) and Z-directional image (lower). Scale =  $\mu\text{m}$

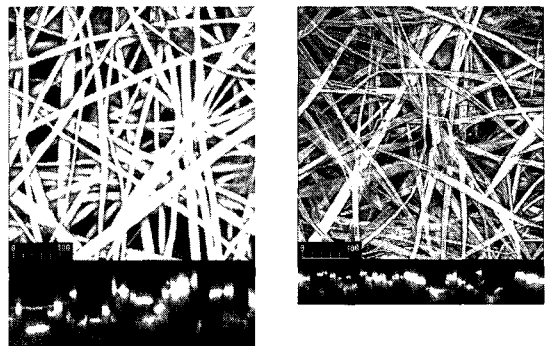


Fig. 26. CLSM images of BF-MI1 (left) and WS-MI2 (right) Hanji. X-Y plan image (upper) and Z-directional image (lower). Scale =  $\mu\text{m}$

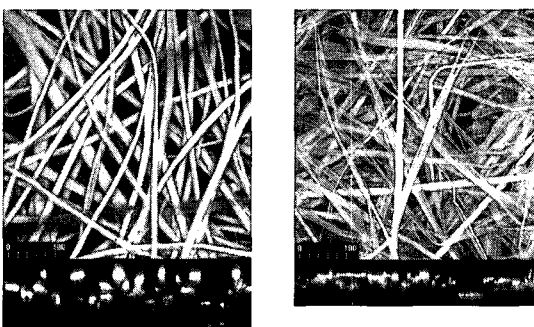


Fig. 27. CLSM images of BF-MI3 (left) and WS-MI4 (right) Hanji. X-Y plan image (upper) and Z-directional image (lower). Scale =  $\mu\text{m}$

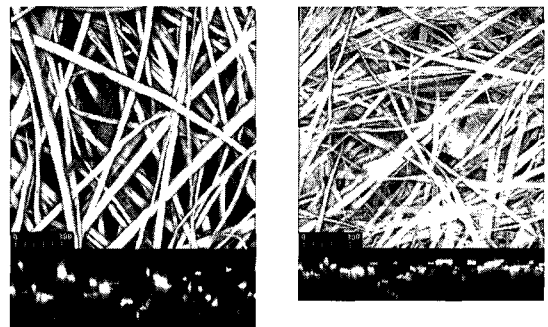


Fig. 28. CLSM image of BF-MI5 (left) and WS-MI6 (right) Hanji. X-Y plan image (upper) and Z-directional image (lower). Scale =  $\mu\text{m}$

깨방향으로 섬유들간의 결합이 더 치밀한 것을 알 수 있었다.

### 3.5.2 섬유 분포 지수

섬유분포지수는 CLSM 화상에서 한지의 두께 방향으로 섬유의 분포를 측정할 수 있는 유효한 지표이다.<sup>23)</sup> 여기에서 얻은 섬유의 전체면적과 스캐닝 한 층(layer)의 수를 이용하여 섬유분포지수를 구하였다. 백상계 및 노상계 한지의 섬유분포지수(Fiber distribution index, FDI)를 Table 5 및 Table 6에 나타내었다.

백상계의 인피부펄프로 초지한 한지의 섬유분포

지수가 1.01~1.34, 전간부펄프 한지의 섬유분포지수가 1.98~2.58로 나타났다. 노상계의 인피부펄프로 초지한 한지의 섬유분포지수는 1.12~1.20, 전간부펄프 한지의 섬유분포지수는 1.65~1.84로 나타났다. 이것은 CLSM 화상에서 보여지는 섬유들의 분포정도를 수치화한 것으로서, 두 품종 모두 전간부펄프로 초지한 한지의 섬유분포지수가 인피부펄프 한지의 섬유분포지수보다 높게 나타났다. 위와 같은 실험결과는 Pang 등<sup>23)</sup>의 실험결과와 같은 경향을 보이고 있다. 한지의 불균일지수와 Image analyzer로 측정한 그레이레벨 평균 그리고 CLSM에서 얻어진 섬유분포지수는 두 품종 모

**Table 5. Fiber distribution index derived from CLSM images of *M. alba* Hanji**

Hanji name	BF-Ma1	WS-Ma2	BF-Ma3	WS-Ma4	BF-Ma5	WS-Ma6
Number of measured layer, NML	33	18	28	19	33	17
Sum of measured area from all layers, AS(pixel)	1183267	404640	290755	145562	617017	726256
Maximum area from all measured layers (pixel)	81208	51457	36552	20397	44889	97457
Total area in calculation, AT (pixel)	2679864	926226	1023456	387543	1481337	1656769
Fiber distribution area, AFD (%)	44.2	43.7	28.4	37.6	41.7	44.8
Fiber distribution index (FDI)	1.34	2.43	1.01	1.98	1.26	2.58

**Table 6. Fiber distribution index derived from CLSM images of *M. lhou* Hanji**

Hanji name	BF-MI1	WS-MI2	BF-MI3	WS-MI4	BF-MI5	WS-MI6
Number of measured layer, NML	31	18	28	19	36	18
Sum of measured area from all layers, AS(pixel)	615549	240502	255290	237087	3897910	293921
Maximum area from all measured layers (pixel)	57241	41064	27042	39798	25364	49343
Total area in calculation, AT (pixel)	1774471	739152	757176	756162	913104	888174
Fiber distribution area, AFD (%)	34.7	32.5	33.7	36.4	42.5	33.1
Fiber distribution index (FDI)	1.12	1.81	1.20	1.65	1.18	1.84

두 전간부펄프로 초지한 한지의 섬유 분포정도가 인피부펄프로 초지한 한지보다 우수하였다.

#### 4. 결론

본 연구는 뽕나무의 인피부 및 전간부를 상이한 방법으로 펄프화하고 초지한 한지의 지합특성을 Image analyzer 및 미세영상 분석장치인 CLSM 기법을 이용하여 평가하고자 실시하였다. 특히 CLSM을 이용하여 종이 내의 섬유의 분포상태를 비파괴적으로 측정하여 종이의 지합특성을 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 전간부펄프로 초지한 한지가 인피부펄프로 초지한 한지보다 백색도와 불투명도가 높게 나타났다. 설포메틸화법으로 제조한 전간부펄프 한지의 백색도는 62~63%로, 다른 펄프화법에 비해 상당히 높게 나타났다. 펄프화법간의 불투명도의 차이는 크지 않았다.

2. 불균일지수(Non uniformity index, NUI)는 두 품종 모두 전간부펄프로 초지한 한지가 인피부펄프 한지보다 낮게 나타났으며, 전간부펄프 한지의 지합이 인피부펄프 한지의 지합보다 양호하였기 때문인 것으로 나타났다.

3. Image analyzer를 이용하여 측정한 한지의 그레이레벨 평균 및 그레이레벨 표준편차는 두 품종 모두 전간부펄프로 초지한 한지가 인피부펄프 한지보다 더 낮게 나타났다. 펄프화법별로는 설포메틸화법으로 제조한 인피부 및 전간부펄프 한지가 다른 펄프화법보다 그레이레벨 평균이 높았고 그레이레벨 표준편차는 낮게 나타났다. 두 품종 모두 설포메틸화법으로 제조한 한지는 우수한 지합 및 백색도의 영향으로 그레이레벨 평균이 다른 펄프화법으로 제조된 한지보다 높게 나타났다.

4. 두 품종 모두 높은 불투명도와 낮은 불균일지수를 가지는 전간부펄프 한지의 그레이레벨 표준편차가 인피부펄프로 초지한 한지보다 낮게 나타났다.

5. CLSM을 이용하여 측정한 섬유분포지수(Fiber distribution index, FDI)는 두 품종 모두 전간부 펄프로 초지한 한지가 인피부펄프 한지보다 높게 나타났다.

결론적으로 Image analyzer로 측정한 한지의 그레이레벨 표준편차 및 CLSM로 측정한 섬유분포 지수로부터 한지의 지합 및 불투명도를 평가할 수 있음을 알 수 있었다.

#### 인용문헌

1. 홍병화, 문창국, 신동소. 목본식물의 인피섬유에 관한 연구(제1보) -사리, 뽕나무류 및 삼지닥나무의 인피섬유의 특성에 관하여-, 경상대논문집 11:61~66 (1972).
2. 최태호. 뽕나무를 이용한 새로운 한지의 제조(제1보). -해부학적, 화학적 성질 및 펄프화 특성-. 펄프·종이기술 31(1):96~104(1999).
3. 최태호, 조남석. 뽕나무를 이용한 새로운 한지의 제조(제2보). -인피부 및 전간부 섬유한지의 특성-. 펄프·종이기술 31(4):84~92(1999).
4. 이일로, 최태호, 조남석. 뽕나무자원의 새로운 한지 제조특성. 펄프·종이기술 38: (2006).
5. Bernie, J.P. and Douglas, W.J.M.. Local grammage distribution and formation of paper by light transmission image analysis, Tappi J. 79(1):193~202 (1996).
6. Moss, C.S.. Image analysis standardization, Tappi J. 76(10):117~122 (1993).
7. Jang, H.F., Robertson, A.G. and Seth, R.S.. Optical sectioning of pulp fibers using confocal scanning laser microscopy, Tappi J. 74(10):217~219 (1991).
8. Jang, H.F., Howard, R.C, and Seth, R.S.. Fiber characterization using confocal microscopy: The effects of recycling, Tappi J. 78(12):131~137(1995).
9. Jang, H.F.. Measurement of fibril angle in wood fibres with polarization confocal microscopy, J. Pulp Paper Sci. 24(7):224~230 (1998).
10. Pang, M.H., Park, J.M. and Cho, N.S.. Application of confocal laser scanning microscopy and fiber distribution index to study kenaf handsheet properties, J. Korea Tappi 31(3):54~59 (1999).
11. 김서환. CLSM을 이용한 섬유와 종이물성에 미치는 섬유벽 두께의 영향, 충북대학교 대학원 석사학위논문 (1999).
12. Nanko, H. and Ohsawa, J.. Scanning laser microscopy of the drying process of wet, J. Pulp Paper Sci. 16(1):J6~J12 (1990).
13. Batchelor, W.J., Conn, A.B. and Parker, I.H..

- Measuring the fibril angle of fibres using confocal microscopy, *Appita J.* 50(5):377~380 (1997).
14. Scott, W.E., Abbott, J.C. and Trosset, S.. Eds.. *Properties of Paper: An Introduction* 2nd ed., TAPPI PRESS, Atlanta, Georgia (1995).
  15. 최태호, 조남석. 닥나무류를 이용한 새로운 한지개발에 관한 연구 (제1보) -해부학적, 화학적 성질 및 펄프화 특성- *펄프·종이기술* 4(1):32~40(1992).
  16. 조남석, 최태호, 민두식. 닥나무류를 이용한 새로운 한지개발에 관한 연구 (제2보)-목질부 및 인피부의 혼합 제지특성- *펄프·종이기술* 4(3):19~26(1992).
  17. 최태호. 닥나무를 이용한 새로운 전통한지의 제조, 충북대학교 대학원 박사학위 논문 (1994).
  18. Nam, W.S. and Park, J.M.. The study of the effect of basis weight and formation on tensile and tear strengths using light transmittance method, *J. Korea Tappi* 30(3):57~62 (1998).
  19. Makoto, S., Yo, T. and Seiichi, M.. An evaluation method for paper formation based on light transmission distribution and its spatial frequency analysis, *Japan Tappi* 55(8):383~392 (1999).