

# 칩 섬유의 특성 및 제지용 원료로의 활용방안에 대한 연구

김철환 · 이지영<sup>†</sup> · 곽혜정 · 이희진 · 백경길 · 서정민 · 박현진  
(2010년 6월 2일 접수: 2010년 6월 20일 채택)

## Study on the Properties of Kudzu Fibers as a Papermaking Material

Chul-Hwan Kim, Ji-Young Lee<sup>†</sup>, Hye-Jeong Gwak, Hui-Jin Lee,  
Kyung-Kil Back, Jung-min Seo, Hyun-Jin Park

(Received June 2, 2010: Accepted June 20, 2010)

### ABSTRACT

Kudzu vine (*Pueraria lobata*) is a perennial plant and spreads all around in South Korea. Recently the use of leaves, stems and roots of kudzu vine has been investigated in many fields. However, the research on kudzu fibers has not been performed in Korean pulp and paper industry. As the stems and roots of kudzu were estimated to contain cellulosic fibers, the possibility of producing a raw material from kudzu fibers in pulp and paper mills was investigated in this study.

The stems and roots of kudzu were collected in woods, and then the chemical composition and ash contents was measured. To acquire kudzu pulp, kraft pulping and bleaching of kudzu roots were carried out sequentially. After making kudzu pulp, freeness and fiber length were measured, and handsheets were also prepared with kudzu pulp and the properties of handsheets were determined.

Consequently, kudzu fibers have lower holocellulose contents than wood fibers and other non-wood fibers. Average fiber length is shorter than that of Sw-BKP, but shows the same level as that of Hw-BKP. The handsheet made from kudzu pulp shows the bulkier structure than those made from Hw-BKP and Sw-BKP.

**Keywords** : Kudzu fiber, kraft pulp, bleaching, holocellulose, fiber length, bulky structure

## 1. 서론

제지용 원료로는 목재펄프, 충전재, 기타첨가제들

이 있는데 이중 목재펄프가 주원료로 사용된다. 펄프의 원료로는 목재, 대나무, 에스파르토, 린터, 인피 펄프 등이 있고 그러나 현재 공업으로 생산되는 펄프의 약 90%

• 경상대학교 임산공학과/농업생명과학연구원(Dept. of Forest Sciences/IALS, Gyeongsang National Univ., Jinju, 660-701, Korea)

† 주저자(Corresponding author): E-mail: paperyjy@gnu.ac.kr

이상이 목질계 재료를 원료로 한다. 이는 목질계 재료가 상대적으로 풍부하고 구입이 용이하다는 이유로 펄프의 원료로서 안정적인 공급이 가능하기 때문이며, 타 원료에 비하여 수율이 높을 뿐만 아니라 펄프로써 품질이 가장 적합하기 때문이다.<sup>1)</sup>

최근 온난화와 같은 환경적인 문제로 주요 산림국들은 환경보호를 위하여 산림 벌채를 규제하고 있는 실정이다. 따라서 이러한 환경 규제들은 펄프의 주원료인 목재의 공급을 어렵게 하였으며 결국 펄프의 생산이 수요를 따라가지 못해 펄프의 가격 상승을 초래하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 제지업계는 폐지를 재활용하는 방법과 비목질계 섬유자원을 이용하는 방안을 제시하였다. 그러나 재생 섬유의 활용은 천연펄프에 비하여 품질이 낮고 그 사용면에서 제한적인 단점이 있다. 반면에 비목질계 섬유자원은 다른 비목질계 섬유자원에 비하여 생육기간이 짧고 단기간에 비약적인 성장이 가능하기 때문에 생산성이 높은 장점이 있고 목재와는 다른 화학 구성을 가지고 있다.<sup>2)</sup> 비록 대부분의 비목질계 섬유자원들이 목재 섬유보다 수율과 품질면에서 다소 낮은 특성을 지니고 있지만 목재펄프를 대체할 신규 원료로서의 특성을 탐색하는 연구가 필요하다고 판단된다.

비목질계 섬유자원 중의 하나인 칩은 전국의 산야에서 강한 번식력과 성장력으로 왕성하게 자생한다. 이러한 칩은 강한 번식력과 성장력으로 순식간에 산림 전체를 뒤덮어 조림목이나 육림목적수종의 성장을 방해하고 산림의 경관을 훼손하는 등 피해가 커 칩을 제거하는 연구도 진행되고 있다.<sup>3)</sup> 일반적으로 칩뿌리는 약제로 사용하거나 즙을 짜서 건강음료로 응용하고 있다. 그러나 칩즙을 내고 버려지는 섬유의 잔사는 식물성 섬유로서 현재 대부분이 폐기되거나 일부 농가에서 퇴비로 사용되는 실정이다. 매년 1000톤 이상의 칩뿌리 생산량

중 잔사가 600톤 이상에 달한다.<sup>4)</sup> 그러므로 폐기되는 식물성 섬유인 칩뿌리 잔사를 이용해 제지산업에서 사용할 수 있는 방안에 대한 기초연구를 진행하였다.

본 연구에서는 칩 섬유의 펄프화 적성을 판단하기 위해 칩 섬유의 화학적 조성을 분석하고 펄핑 조건에 따른 수율을 탐색하였다. 또한, 칩 섬유의 특성을 연구하였으며 수초지를 제조하여 물리적 특성을 분석하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

본 연구에서는 칩 섬유의 펄프화 특성을 알아보기 위하여 칩 줄기와 칩즙을 짜고 남은 잔사를 건조하여 시료로 준비하였고 화학 조성 분석은 건조된 칩 줄기와 뿌리를 블렌더로 분쇄하여 세분화하고 60~80 mesh 크기의 분말을 사용하였다. 섬유장과 수초지의 물성 측정시 대조군 공시펄프로 활엽수 BKP (Bleached Kraft Pulp)와 침엽수 BKP를 사용하였다.

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 화학적 조성 분석

알파-셀룰로오스( $\alpha$ -cellulose)는 목재과학 실험서에 의거하여 칭량하였다.<sup>5)</sup> 유기용매로 에탄올(95%)을 사용하여 탈지하였다. 탈지 후 아염소산염법(Wise법)으로 홀로셀룰로오스(holocellulose)를 측정하고 17.5% 알칼리로 알파-셀룰로오스를 용해하여 정량하였다.

#### 2.2.2 펄프화

크라프트 펄프화(Kraft pulping)는 활성알칼리농도(AA; Active alkali), 황화도(sulfidity), 액비, 시간을 Table 1의 조건으로 170±10℃에서 전건중량 300 g을

**Table 1. Kraft pulping of various kudzu experiments**

AA(%)	Sulfidity(%)	liquor-to-kudzu ratio	Time(hour)
20	25	6 : 1	2
20	35	6 : 1	2
25	35	4 : 1	3
30	20	4 : 1	3
30	30	4 : 1	3

각각 증해하였다. 증해가 끝난 펄프는 충분한 세척 후 200 mesh 와이어에 여과하고 105°C의 항온 건조기에서 소정시간 건조하여 수율을 구하였다.<sup>6,7)</sup>

### 2.2.3 섬유 관찰

섬유의 길이를 알아보기 위해 표백된 칩 섬유, 활엽수 BKP와 침엽수 BKP를 실험실용 벨리미터를 이용하여 20분 해리 후 첫 번째 시료를 채취하고, 여수도 450±10 mL CSF의 수준으로 고해한 후 두 번째 시료를 채취하였다. 시료는 약 300배 희석하여 Metso사의 FiberLab을 이용하여 섬유장(fiber length)을 측정하였고 TAPPI Test Methods에 의거하여 회분함량을 측정하였다.

그리고 해리된 섬유는 메틸렌 블루용액(Methylene blue)으로 염색하여 광학 현미경으로 관찰하고 촬영하였다.

### 2.2.4 표백

펄프화 후 칩 섬유는 이산화염소(ClO<sub>2</sub>)와 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)를 이용한 2단 표백(bleaching)을 하였다.<sup>8-9)</sup>

### 2.2.5 수초지의 제작

시료 조성은 칩 섬유, 침엽수 BKP와 활엽수 BKP를 각각 450±10 mL CSF의 여수도 수준을 갖도록 실험실용 벨리미터를 이용하여 고해를 실시하였다. 고해된 펄프를 농도가 0.5%가 되도록 희석한 후 평량 100 ± 5 g/m<sup>2</sup>의 수초지를 제작하였다.

### 2.2.6 수초지의 물리적 특성

초지된 수초지의 물성을 평가하기 위해 조습처리한 후 TAPPI Test Methods에 의거하여 수초지의 두께, 벌크, 인장강도, 스티프니스를 측정하였다. 또한 수초지의 섬유 관찰을 위해 주사전자현미경 (Scanning Electron Microscope, JSM-6701F)을 사용하여 관찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 칩 섬유유의 화학적 조성

어떤 종류의 펄프화 적성을 판단하는데 있어서 원료의 화학적 조성은 매우 중요한 인자이다.<sup>10)</sup> 따라서 본 실험에서는 칩뿌리뿐만 아니라 칩 줄기도 함께 알파-셀룰로오스와 헤미셀룰로오스 함량을 분석하였으며, 다른 비목질계 섬유의 화학적 성분은 비교를 위해 문헌을 참고하였다.<sup>11)</sup> 화학적 성분 조성과 회분 결과는 Table 2와 같다. 활엽수와 침엽수의 알파-셀룰로오스는 약 40-50%이고 다른 비목질계 섬유의 알파-셀룰로오스는 약 30-40% 이하인 것에 비해 칩 섬유는 상대적으로 낮은 16.7%이었다. 칩 줄기의 경우는 1~2일 정도 물레팅(water retting) 과정을 거쳐 목질부를 제거하여 화학적 구성 함량을 분석해보았지만 목질부를 제거하지 않은 것 보다 더 낮은 함량을 나타내었다. 회분함량의 경우 활엽수 BKP와 침엽수 BKP는 1%미만의 낮은 회분함량을 나타내었는데 칩 섬유의 회분함량은 약 7% 수준으로 높은 것을 볼 수 있었다. 이는 비목재 섬유의 특징으로 다른 비목재 섬유의 경우에도 목재섬유에 대해 상대적으로 높은 회분함량을 나타내는 것을 볼 수 있다.

**Table 2. Chemical composition of lignocellulosic sources<sup>11)</sup>**

Fiber	Holo-cellulose (%)	α-cellulose (%)	Lignin (%)	Ash (%)
Hardwood	54 - 61	38 - 49	23 - 30	1
Softwood	53 - 62	40 - 45	26 - 34	1
Straw	83 - 90	40 - 43	-	14 - 20
Baggasse	59	32 - 33	17 - 26	2
Bamboo	40 - 53	30 - 40	23 - 24	1.1 - 1.5
Reed	52 - 58	33 - 43	18 - 22	3 - 6
Kudzu root <sup>a</sup>	46.9	16.7	-	7.5
Kudzu stem <sup>b</sup>	33.5	13.4	-	-

(<sup>a, b</sup>)는 실험을 통해 측정된 값임.)

문헌에 따르면 비목재 펄프의 회분은 대부분 실리카에 의해 나타나고 적절한 전처리를 통해 제거할 수 있다고 보고되었다.<sup>12)</sup>

### 3.2 칩 섬유유의 펄프화 및 표백 특성

칩 섬유유의 펄프화 특성을 알아보기 위하여 크라프트 펄핑(kraft pulping)을 조건을 달리하여 실시하였다. 그 결과 Table 3과 같은 수율을 알 수 있었다. 우선 기존의 다른 비목재 펄핑 조건과 유사한 조건인 AA 20%, Sulfidity 25%, 35%, 액비 6:1이고 2시간 증해하였을 때 세척 후 얻어진 칩 펄프에서 외부 수피로부터 기인되는 미증해물질 덩어리 및 흑색 오염물질과 같은 눈으로도 현저하게 확인되는 이물질이 다량 포함되어 있었다. 반면 매우 강한 펄핑 조건인 AA 30%, Sulfidity 30%, 액비 4:1이고 증해 시간이 3시간 일 때는 펄프의 과도한 증해로 인해 16%의 매우 낮은 수율을 나타내었으며 소량의 이물질을 볼 수 있었다. 각각의 펄프화 조건에서 펄프화 조건이 AA 30%, Sulfidity 20%, 액비 4:1이고 증해 시간이 3시간일 때 수율이 30~35%대 이었는데 이는 칩 섬유유의 비셀룰로오스를 제거하는 정도에 따른 가장 적합한 펄프화 조건으로 판단된다.

칩 펄프를 이산화염소(ClO<sub>2</sub>)와 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

로 2단 표백(bleaching)한 결과는 Fig. 1과 같다. 칩 펄프를 이산화염소로 1단 표백한 후에는 진한 갈색을 띠던 칩 펄프가 연한 갈색으로 표백 되었고 과산화수소로 2단 표백한 후에는 연한 살색을 띠었다. 칩 펄프에서 볼 수 있었던 미증해 이물질들이 2단 표백을 거치는 동안 일부 제거 되는 것을 알 수 있었고, 2단 표백 과정 동안 펄프 수율은 약 15%대 까지 낮아지는 것을 알 수 있었다. 표백된 펄프의 백색도(ISO brightness)는 58.6%이었다.

### 3.3 칩 섬유유의 특성

3종류의 펄프를 벨리비터(valley beater)로 20분간 해리만 실시 한 후 초기여수도(initial freeness)를 측정 하였을 때, Table 4에서 볼 수 있듯이 활엽수 BKP와 칩엽수 BKP는 각각 625 mL CSF, 745 mL CSF을 나타내

**Table 4. Initial freeness of pulp slurries**

Source	Initial freeness (mLCSF)
Hw-BKP	625
Sw-BKP	745
Kudzu (root)	510

**Table 3. Pulping characteristics of kudzu fiber**

AA 20%, liquor ratio 6, time 2, Sulfidity 25%, yield 54.70%	AA 20%, liquor ratio 6, time 2, Sulfidity 35%, yield 66.13%	AA 25%, liquor ratio 4, time 3, Sulfidity 35%, yield 46.20%
AA 30%, liquor ratio 4, time 3, Sulfidity 20%, yield 32.20%	AA 30%, liquor ratio 4, time 3, Sulfidity 30%, yield 16.80%	

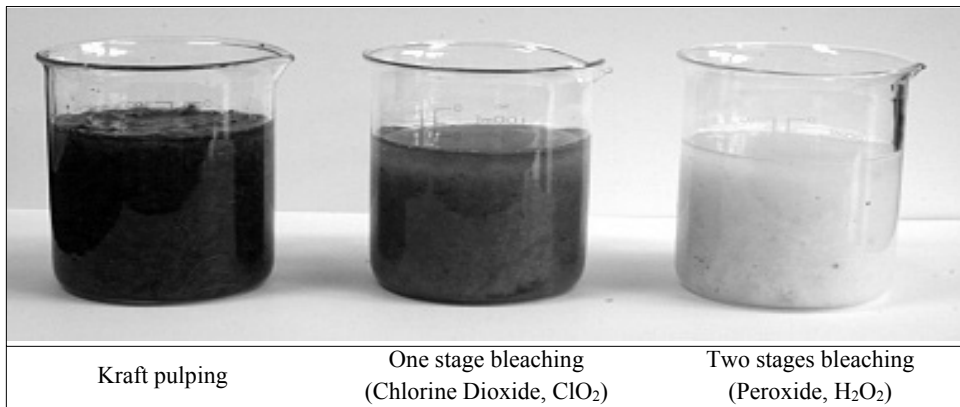


Fig. 1. Bleaching of kudzu fiber

었다. 반면 침 펄프의 초기 여수도는 510 mL CSF로 침엽수 BKP와 활엽수 BKP에 비해 다소 낮은 초기여수도를 나타내었다. 이는 침 펄프가 리파이닝과 같은 물리적 처리를 거치지 않고도 제지공정에 바로 사용할 수 있는 가능성을 보여주는 것이라고 판단된다.

펄프섬유의 평균섬유장을 Table 5에 나타내었다. 침 섬유의 섬유장은 침엽수 BKP에 비해 짧지만 활엽수 BKP의 섬유장과 큰 차이가 없다. 그러나 침 섬유를 약 3분정도만 고해물 했을 때 여수도가 510 mL CSF에서 200 mL CSF로 크게 떨어졌다. 침 섬유를 활엽수 BKP와 침엽수 BKP의 섬유와 비교했을 때 짧은 기계적 처리에도 더 높은 섬유장 감소와 여수도 감소가 나타났다. 이러한 결과는 침 섬유는 다른 목재섬유에 비해 기계적 처리에 의한 섬유절단이 더 용이하게 일어나는 것을 나타낸다고 생각된다.

목재섬유와 침섬유의 형태를 비교하기 위하여 활엽수 BKP, 침엽수 BKP, 미표백 침섬유와 표백된 침섬유를 광학 현미경으로 동일 4배율로 촬영하였고 Fig. 2에

도시하였다. 침섬유와 다른 목재섬유를 비교했을 때 섬유폭이 더 작은 것을 볼 수 있었다. 그리고 미세섬유나 섬유자체의 길이는 활엽수펄프 섬유에 비해 그리 작지 않은 것으로 생각된다.

이러한 결과들을 종합했을 때 섬유폭이 상대적으로 작은 침섬유는 다소 낮은 500 mL CSF 수준의 초기여수도를 나타내었고 섬유절단에 의한 여수도 감소폭이 상대적으로 크기 때문에 만약 제지공정에서 사용된다면 해리만 진행하여 공정에 바로 투입하는 방법으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.4 수초지의 물리적 특성 평가

침 펄프에 의해 제조된 종이의 물리적·강도적 특성을 파악하기 위하여 수초지를 제작하였고 대조군으로 활엽수 BKP와 침엽수 BKP를 이용하여 동일한 평량의 수초지를 제작하였다. Figs. 3~5는 각 펄프로 제조된 종이의 벌크, 인장강도, 스티프니스를 나타내었다. 침 펄프로 제조된 수초지의 벌크는 다른 펄프에 의해 제조

Table 5. Analysis of fiber length

Source	Fiber length after disintegration (mm)	Fiber length after refining (mm) (freeness)	Ash (%)
Hw-BKP	0.72	0.67 (450 mL CSF)	0.28
Sw-BKP	2.21	1.40 (450 m LCSF)	0.26
Kudzu (root)	0.96	0.73 (200 mL CSF)	7.48

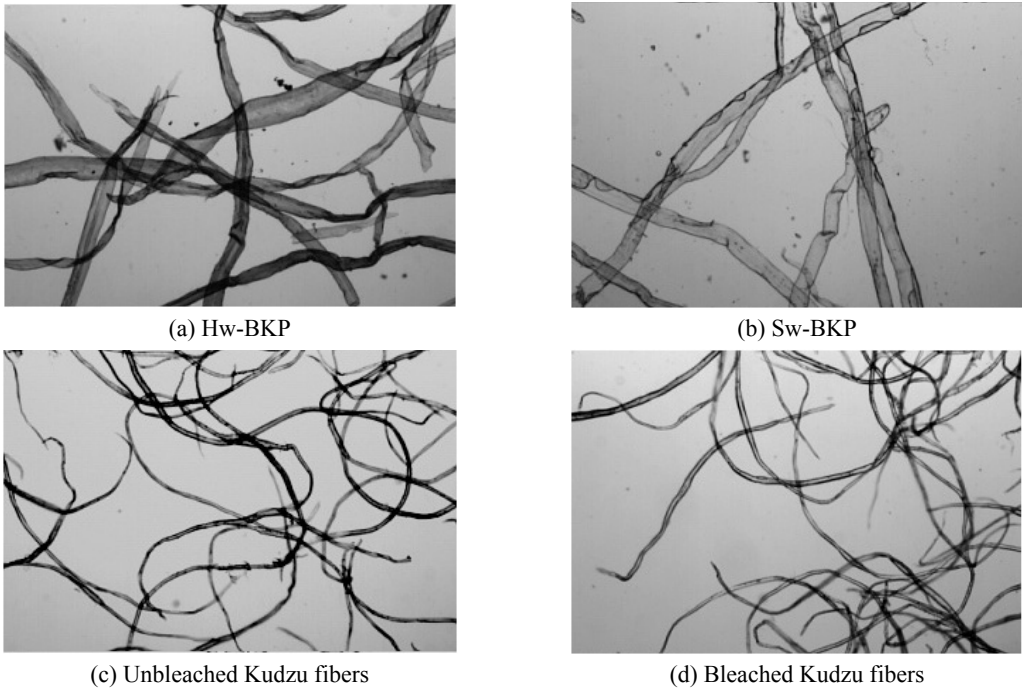


Fig. 2. Microphotographs of various fibers.

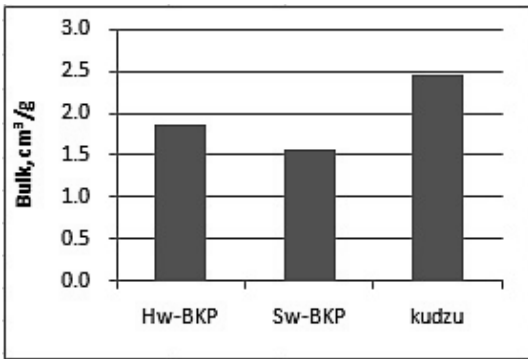


Fig. 3. Bulk of handsheets.

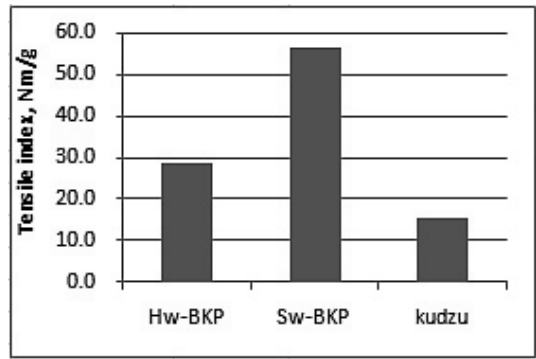


Fig. 4. Tensile index of handsheets.

된 수초지에 비해 더 높은 값을 나타내었다. 인장강도는 칩펄프의 경우가 가장 낮은 값을 나타내었는데 이는 벌크 상승과 칩 펄프내에 존재하는 회분함량이 높기 때문이라고 판단된다. 그러나 스티프니스의 경우에는 칩펄프가 활엽수 BKP와 침엽수 BKP의 중간수준을 나타내는 것으로 나타났다. 이러한 물성을 나타내는 이유를 판단하기 위해 제조된 수초지들의 SEM 이미지를 촬영하였고 Fig. 6에 나타내었다. 이미지에서 살펴보면 수

초지가 제조된 후 섬유 형태유지여부를 살펴보면 습부압착과 건조공정에서 활엽수 BKP와 침엽수 BKP의 섬유는 눌려진 형태로 변형된 것을 볼 수 있었으나 칩 섬유의 경우에는 그 형태를 유지하고 있는 것을 볼 수 있었다. 이러한 결과들을 통해 칩 섬유에 의해 발현되는 종이의 물성을 요약하면 강도는 다소 감소하는 경향을 나타내었으나 외부의 압력에 의해 나타나는 섬유의 형태변화가 칩 섬유의 경우 상대적으로 낮게 나타나기

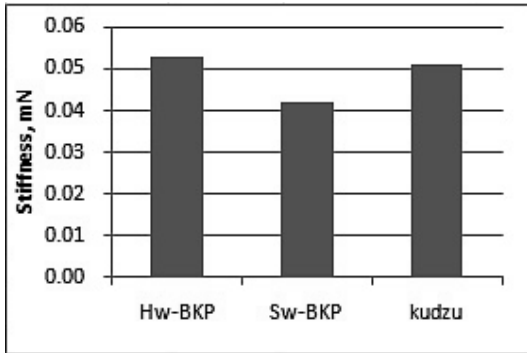


Fig. 5. Stiffness of handsheets.

때문에 종이의 벌크를 높이는 데 유리하고 강도가 다소 낮더라도 두께를 높이는 효과가 있기 때문에 스티프니스는 침엽수 BKP와 활엽수 BKP의 중간수준을 유지할 수 있다고 판단된다. 결국 침 펄프는 주원료보다는 종이의 두께를 향상시킬 수 있는 추가로 사용되는 펄프로 사용이 가능하다고 판단된다.

#### 4. 결론

비목질계 섬유자원 중 침 섬유의 신규원료로서의 가치를 분석하기 위하여 침 섬유의 화학적 구성과 펄핑 조

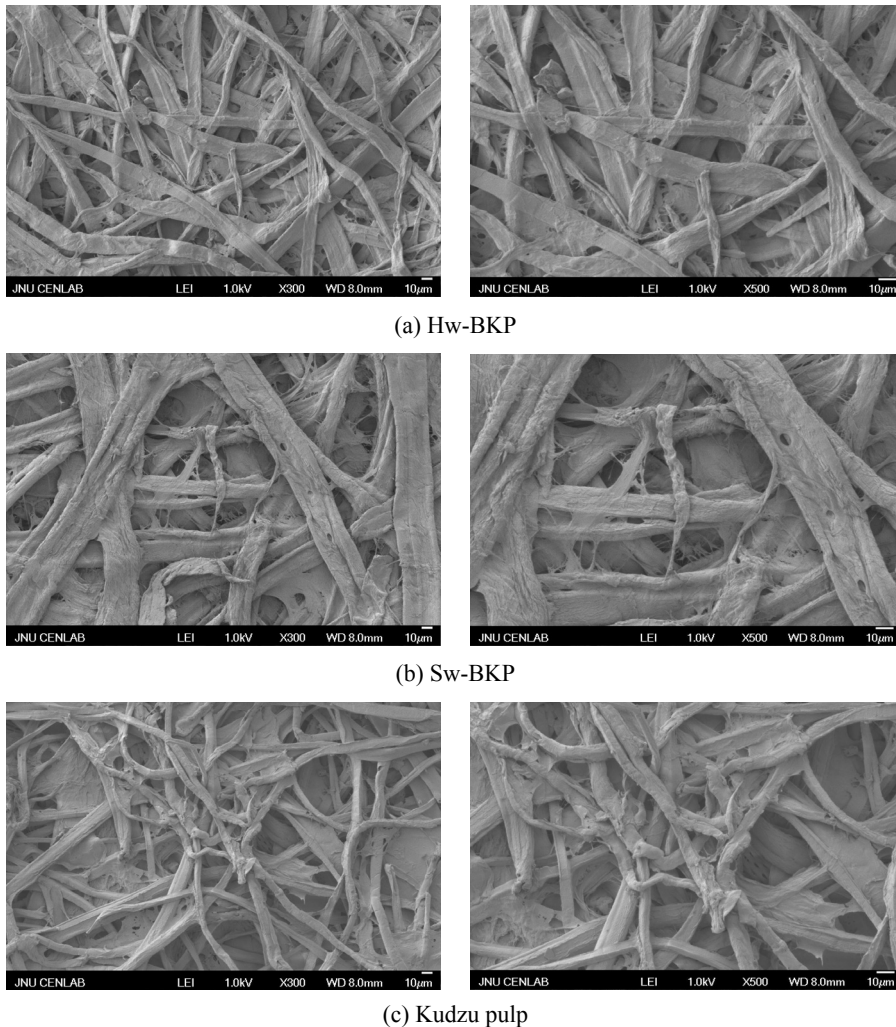


Fig. 6. Scanning electron micrograph of handsheets : (a) Sw-BKP (b) Hw-BKP (c) Kudzu pulp.

건에 따른 펄프의 수율을 탐색하였고, 표백 및 칩 섬유 특성을 연구, 최종적으로 수초지를 제조하여 물성을 비교·분석하였다.

칩 섬유는 낮은 홀로셀룰로오스를 가지고 있기 때문에 펄핑 수율 또한 목질계 섬유자원에 비해 낮은 수율을 나타내었다. 펄프화는 비셀룰로오스의 제거 정도에 따른 적당한 펄프화 수준이 펄프 수율이 30~35%일 때로 판단된다. 칩 펄프는 활엽수 BKP와 침엽수 BKP에 비해 다소 낮은 초기 여수도를 나타내었는데 이는 칩 펄프를 리파이닝과 같은 물리적 처리를 거치지 않고도 제지 공정에서 바로 사용할 수 있다고 사료된다. 칩 섬유장은 활엽수 BKP와 침엽수 BKP 중간 길이지만 활엽수 BKP 수준의 길이였다. 섬유의 고해시 칩 섬유는 목재 섬유에 비해 비교적 짧은 기계적 처리에 상대적으로 높은 여수도 감소와 섬유장 감소가 나타났다. 광학현미경을 통해 섬유의 형태를 비교했을 때 칩 섬유의 길이는 활엽수 BKP와 비슷하지만 섬유폭은 매우 가늘었다. 섬유폭이 작은 칩 섬유는 다소 낮은 수준의 초기여수와 섬유절단에 의한 여수도의 감소폭이 상대적으로 크기 때문에 제지공정에서 해리만 진행하여 바로 투입하여 사용해야 할 것으로 판단된다. 칩 펄프로 제조된 수초지의 벌크는 다른 목재 펄프의 수초지에 비해 더 높게 나타났고, 강도는 다소 감소하는 경향을 나타냈다. SEM 이미지의 결과에서 칩섬유의 형태 변화가 낮게 나타난 것으로 판단되어 종이의 벌크를 높이는 데 유리할 것으로 사료된다. 이러한 칩펄프는 높은 벌크를 요구하는 지중에 대체원료 및 첨가제로 유용하게 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구를 통해 비목질계 섬유자원 중 칩 섬유의 특성을 분석함으로써 칩펄프 수초지의 벌크향상에 대한 가능성을 확인하였다. 그러나 초기여수도 시작점 자체가 낮아 절단이 쉽게 일어나는 단점이 있지만 초기여수도가 500 mL CSF 수준이기 때문에 생산 후 물리적 처리할 필요 없이 바로 적용이 가능 할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구에 도움을 주신 (주)삼진아이엔티에 감사드립니다.

## 인용문헌

1. 원종명, 옥수수대 펄프의 제지용 원료로서의 잠재성, 한국펄프종이공학회 2004년 추계학술발표논문집, p. 77-84 (2004).
2. Won, J. M., and Kim, M. H., Pulping Characteristics of Baboo(*Bambusa procera acher*) Grown in Vietnam, *J. Korea TAPPI*, 41(4): 52-57 (2009).
3. 이수원, 칩 제거방법, 임업정보, p. 99-103 (2009).
4. 정현엽, 손태원, 이진민, 최원미, 이연진, 칩 뿌리를 이용한 필름의 제조, 한국염색가 공학회 학술발표회 논문집, 20(1) p. 147-149 (2008).
5. 박상진, 이종윤, 조남석, 조병목, 목재과학 시험서, 광일문화사, p. 473-488 (1993).
6. Peter W. Hart, Brian N. Brogdon, and Jeffery S. Hsieh, Anthraquinone pulping of kudzu (*Pueraria lobata*), *Tappi Journal*, 76(4): 162-166 (1993).
7. M. Sarwar Jahan, D.A. Nasima Chowdhury, M. Khalidul Islam and Sung Phil Mun, Kraft Pulping of Sapwood-A Sawmill Waste, *J. Korea TAPPI*, 37(5): 41-49 (2005).
8. 서정민, 김철환, 이지영, 이영록, 신태기, 정호경, 닥나무 대체섬유를 활용한 기능성 강화 한지에 대한 연구(I), 한국펄프종이공학회 2008년 추계학술발표논문집, p. 45-52 (2008).
9. Kang, C. H., Park, S. J., and Park, S. C., Studies on the Bleaching of Rice-Straw Chemical Pulp (II)-Two-Stages Bleaching, *J. Korea TAPPI*, 33(3): 85-99 (2001).
10. Choi, T. H., New Korean Traditional Papermaking from *Morus spp.*(I)-Anatomical and Chemical Properties and Pulping Characteristics, *J. Korea TAPPI*, 31(3): 96-104 (1999).
11. 조육기, 비목재 펄프에 관하여, *J. Korea TAPPI*, 3(1): 25-31 (1971).
12. 원종명, 제지용 원료로서의 비목재 자원, 한국펄프종이공학회 2005년 추계학술발표논문집, p. 56-67 (2005).