

# 닥나무 박피 자동화를 위한 닥 인피의 구성성분 분석

서진호 · 김형진<sup>†</sup>

(2011년 2월 28일 접수: 2011년 3월 18일 채택)

## Component Analysis of Paper Mulberry Bark for the Automation of Bark Peeling Process

Jin-Ho Seo and Hyoung-Jin Kim<sup>†</sup>

(Received February 28, 2011: Accepted March 18, 2011)

### ABSTRACT

The bast fiber of Paper mulberry has been generally used as a fibrous raw material in traditional Hanji-making. Nowadays, its uses is expanded to different special purposes such as paper mulberry yarn, laminated paper, antimicrobial paper depending on its application. Despite the wide array of the use of mulberry fibers, it is still limited due to some difficulties in the automation process of manufacturing works.

This study is focused on the analysis of chemical components and morphological properties of paper mulberry bark for the automation of bark peeling process. The bast tissue of paper mulberry was separated in three plies; black outer layer, green inner layer, and white inner layer. The total lignin content, holocelluloses, extractives and ashes, and the anatomical structure of the three layers in mulberry bark tissue were investigated. The analysis showed that the black outer layer is composed of about 50% of total lignin content, whereas the white inner layer is composed of about 90% of holocellulose content.

**Keywords** : Paper mulberry, bast fiber, bark peeling process, automation, hanji yarn

## 1. 서 론

전통적으로 닥나무는 주로 한지 제조에 이용되어 왔다. 닥나무 인피섬유를 이용한 전통수룩한지는 중성지로서 보존 특성이 양호하여 무구정광대다라니경, 조선

왕조실록 등 기록유산 뿐 아니라 기록물 보존수복 등에 다양하게 사용되어 왔다.<sup>1)</sup> 한지와 비교하여 19세기 후반 및 20세기 초반에 초지된 목재섬유 기반의 양지에서 는 사이징 처리 등과 같은 공정 약품에 의해 종이의 pH 는 6.5 이하가 되며, 대기 중에 방치할 경우 100년도 되

• 국민대학교 임산생명공학과 (Dept. of Forest Product & Biotechnology, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea)

<sup>†</sup> 교신저자 (Corresponding Author) : E-mail ; hyjikim@kookmin.ac.kr

기 전에 가수분해 및 산화에 의해 저분자화 되어 분해가 야기될 수 있다.<sup>2)</sup>

정<sup>3)</sup> 등의 연구결과에 의하면 조선왕조실록에 사용된 한지는 현재까지도 높은 분자량을 유지하고 있어 종이의 내구성과 보존성 측면에서 우수성이 입증되고 있다.<sup>2,4)</sup> 오늘날에는 한지의 탁월한 항균, 소취 기능 등이 널리 알려짐에 따라 기계한지, 장판지, 한지사 등 기록용도 외의 다양한 응용분야로 관심이 주목되고 있다.

한지의 주요 제조공정은 박피, 증해, 세척, 표백, 고해, 염색, 초지, 탈수, 건조 순으로 이루어진다.<sup>5)</sup> 이 중 닥나무 인피섬유를 얻기 위한 박피 공정은 닥나무 채취, 닥무지, 피닥 제조, 흑피 및 청피 제거, 백피 제조공정으로 세분해 볼 수 있으며 한지 제조공정 중 비교적 많은 노동력을 필요로 하는 공정이다. 한지 제조에는 채취한 닥나무를 닥무지 한 다음 인피부와 속대로 분리시켜 닥칼을 이용해 인피부의 흑피와 청피를 제거한 다음 닥백피만을 선택적으로 이용한다. 전통 수륙지 제조에 있어 이와 같은 제반공정은 전적으로 수작업에 의존하고 있으며, 따라서 목재펄프 제조와 같이 자동화되어 있는 공정에 비해 경제성이 떨어질 뿐 아니라 대량생산이 어렵다는 단점이 있다. 이러한 공정 특성은 닥나무 인피섬유의 활용 측면에서 한계성으로 대두되며 닥섬유 소재 전통 수륙한지의 우수성을 극대화할 수 없는 주원인으로 대두되었다.

이러한 한계성을 극복하기 위해 다양한 연구가 이루어졌다. 최 등<sup>6)</sup>은 목재펄프화 공정에 적용되어 온 알칼리 펄프화법<sup>7)</sup>, 설포메틸 펄프화법<sup>8)</sup> 등을 닥나무 인피섬유 증해에 적용하였으나 인피섬유의 품질이 불량해져 전통 수륙한지에 비해 물리적 특성이 현저히 저하됨을 확인<sup>9)</sup>할 수 있었다. 또한 닥나무 인피섬유에 대한 연구로서 충북대 특수임산물 연구소<sup>10)</sup>에서 수행한 닥나무류 인피섬유의 재배 및 이화학적 성질에 관한 연구, 홍 등<sup>11)</sup>에 의한 인피섬유의 특성연구, 우 등<sup>12)</sup>의 발효에 의한 인피섬유 정련에 관한 연구, Nakatsuka 등<sup>13)</sup>에 의한 인피섬유의 형태적 특성과 화지제조 특성 등 다양한

연구가 수행되었으나 닥나무 인피섬유의 특성을 그대로 유지하면서 목재 펄프에 대한 단점을 보완할 수 있는 공정은 개발된 바 없다.

따라서 닥나무 인피섬유의 효율적인 이용을 위해 기존 닥무지에 의한 펄프화 공정 외의 새로운 공정개발에 대한 필요성이 증대되고 있다. 박피공정에 있어서는 물리적 방법뿐 아니라 화학적 방법, 생물공학적 방법 등 다양한 방법을 시도해 볼 필요가 있으며, 이를 위해 닥인피부를 구성하고 있는 흑피부, 청피부, 백피부에 대한 화학적, 구조적 특성에 대한 이해가 선결 되어야 한다. 일반적으로 닥나무 백피는 60~90%의 cellulose를 포함하고 있으며, 10% 이하의 lignin을 함유하고 있다.<sup>1, 14, 15)</sup> 기 연구 결과에 따르면 닥나무 백피부에 관한 cellulose, lignin, ash 함량 등에 관한 연구는 이루어졌지만 닥 인피부 중 흑피부, 청피부에 대한 추가적인 연구는 필요하다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 닥나무 인피부의 펄프 자동화 공정 연구의 일환으로서 박피공정 개발에 선행적으로 요구되는 닥나무 흑피부, 청피부, 백피부의 화학적, 해부학적 특성에 관해 분석하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

본 연구에서는 닥나무 인피부를 현미경 분석용 미세 나이프를 사용하여 닥나무 겉껍질에 붙어 있는 진갈색의 외피부인 흑피, 겉껍질을 벗기고 난 후 내피부인 흰 속껍질의 백피, 흑피와 백피 사이에 존재하는 청피부로 분리하여 사용하였다. 본 실험에 사용한 닥나무의 세부정보는 Table 1과 같다.

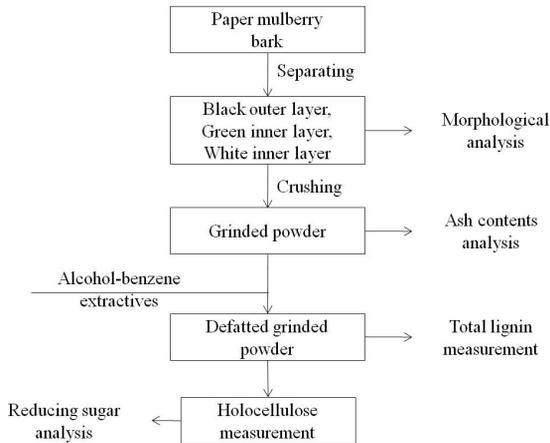
### 2.2 재료 및 방법

#### 2.2.1 닥나무 인피부의 분석 절차

본 연구에서는 닥나무 인피부의 물리적, 화학적 성

**Table 1. Bast tissue of Paper mulberry**

	Descriptions
Bast tissue	Black outer layer, Green inner layer, White inner layer
Growing region	Yechon, Gyeongsangbuk-do
Sampling part	Middle part of 1 year old-stalk



**Fig. 1. Diagram for morphological and chemical component analysis of mulberry bark.**

상을 분석하기 위하여 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 인피를 흑피부와 백피부, 청피부로 분리한 다음 전자현미경에 의한 각각의 형태학적인 분석을 실시하였으며, 건조 후 미분쇄하여 회분, 추출물 함량, 총리그닌 함량, 홀로셀룰로오스 함량 및 환원당을 분석하였다.

**2.2.2 추출물 함량**

닥나무 인피부의 유기용매에 의한 추출물 함량은 KS M 7039에 의거하여 알코올-벤젠 가용분을 분석하였으며 추출물 함량은 다음과 같이 산출하였다.

$$E = \frac{W}{S} \times 100$$

여기에서

E : 알코올-벤젠에 의한 추출물 함량(%)

S : 시료의 전건 무게(g)

W : 추출물의 무게(g)

**2.2.3 총 Lignin 함량**

닥나무 인피를 흑피부, 청피부, 백피부로 분리한 다음 Klason 리그닌 정량법<sup>16)</sup>에 의해 총 리그닌 함량을 분석하였으며, 리그닌 함량은 다음과 같이 산출하였다.

$$L = \frac{W}{S} \times 100$$

여기에서

L : 총 리그닌 함량(%)

S : 시료의 전건 무게(g)

W : 잔류물 무게(g)

**2.2.4 Holocellulose 함량**

닥나무 인피를 흑피부, 청피부, 백피부로 분리한 다음 Wise법<sup>16)</sup>에 의해 Holocellulose 함량을 분석하였다. 각각의 인피부 시료를 이용하여 유기용매 추출을 거친 후 탈지목분을 제조하여 분석에 사용하였으며, Holocellulose 함량은 다음과 같이 산출하였다.

$$H = \frac{W}{S} \times 100$$

여기에서

H : Holocellulose 함량(%)

W : Holocellulose의 무게(g)

S : 탈지 전건 시료의 무게(g)

**2.2.5 회분**

닥나무 인피부에서의 회분 함량 분석은 KS M ISO 1762에 의거하여 525℃에서 연소 후 잔류물을 측정하였다.

**2.2.6 XRF에 의한 무기원소의 분석**

닥나무 인피부 내에 존재하는 무기원소의 특성을 평가하기 위해 XRF에 의한 분석을 실시하였으며, XRF의 운전 조건은 Table 2와 같다.

**2.2.7 환원당 분석**

HPLC에 의한 닥나무 인피부의 환원당을 분석하기 위하여 탈지목분 300 mg을 test tube에 투입한 후 72% 황산 3 mL를 가하여 water bath 상에서 30℃ 조건하에

**Table 2. Operation conditions of XRF**

Measurement conditions		
Meas. Time sec		100
Live Time sec		97
Collimator		2 mm
Tube Voltage(V)		50
Tube Current(μA)		200
Filter		No filter
Mylar		Off
Env.		Air
Analysis conditions		
Application Mode		Bulk Analysis(FP)

**Table 3. Operation conditions of HPLC**

Conditions	Refractive index detection
Mobile phase	Distilled H <sub>2</sub> O(degassed)
Flow rate, mL/min	0.6
Column	Biorad HPX-87P
Detection	Refractive index
Column oven temperature, °C	85
Injection volume, µL	10

60분 동안 5분 간격으로 교반하며 1차 가수분해를 실시하였다. 제조된 시료를 4% 황산 용액이 되도록 증류수로 희석하고 autoclave 상에서 121°C로 1시간 동안 처리하였다. 이후 상온에서 천천히 냉각시키고 glass filter로 여과한 후 0.20 µm syringe filter로 재여과시켜 HPLC 분석에 이용하였다. HPLC의 운전 조건은 Table 3과 같다.

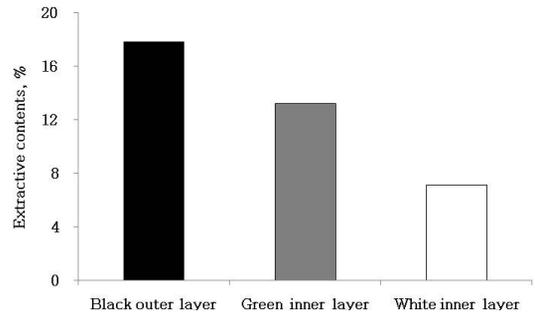
**2.2.8 닥나무 인피부의 형태학적 특성 분석**

닥나무 인피의 흑피부, 청피부 및 백피부의 형태학적 특성을 분석하기 위하여 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, Jeol, JSM-5910LV, Japan)을 이용하여 닥나무의 인피조직의 표면구조 특성을 관찰하였다.

**3. 결과 및 고찰**

**3.1 닥나무 인피부의 화학 조성분 특성**

닥나무 인피부의 화학적 성상을 분석하기 위해 알코올-벤젠 유기용매를 이용하여 흑피부, 청피부, 백피부의 추출을 실시하였으며 그 결과를 Fig. 2에 나타냈다. 일반적으로 알코올-벤젠 유기용매 추출에 의해 주로 닥나무 인피 내에 함유되어 있는 유지, 색소물질, 수지, 정유 등이 용출된다. 흑피부의 추출물 함량의 경우 약 18% 정도이었으며 청피부 및 백피부에서의 추출물 함량은 13.2% 및 7.12%로서 현저한 차이를 보였다. 닥나무 인피를 이용한 한지 제조공정의 경우 이와 같은 추출물들은 일차적으로 닥무지 공정에서 용출되어 제거되며 미용출되어 잔류하고 있는 추출물의 경우 증해(닥삶기)공정 및 세척공정에서 최종적으로 제거된다. 또한 백피부의 경우 청피부 보다 추출물 함량이 낮았으며,



**Fig. 2. Extractive contents in black outer layer, green inner layer and white inner layer of Paper mulberry by alcohol-benzene extraction.**

따라서 흑피 제거공정에서 청피부의 제거 정도에 따라 인피부 내에 함유되어 있던 왁스 및 유지 물질의 제거가 양호해 한지의 초지과정 중에 야기 될 수 있는 발의 오염 방지 및 건조과정에서의 수지장해를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.<sup>1)</sup>

또한 닥나무 인피의 흑피부, 청피부 및 백피부에서의 주요 화학적 조성분 구성을 비교하기 위해 총 lignin 및 holocellulose 함량을 분석하였으며 그 결과를 Fig. 3 및 4에 나타냈다. 닥나무 인피를 구성하고 있는 외층의 진갈색 흑피부의 경우 총 lignin 함량은 약 40% 정도로서 매우 높은 특징을 보였으며 이는 외피로 분화된 흑피 세포들이 사멸되어 세포벽상에 퇴적된 suberin과 탄닌계 화합물이 잔존함으로써 총 lignin 함량에 영향을 미친 것으로 사료된다. 청피부 및 백피부의 총 lignin 함량은 각각 2.1% 및 0.7%로서 매우 낮게 나타났다. 반면 인피부에서의 holocellulose 함량을 비교한 결과 흑피부에서 33%, 청피부 82%, 백피부에서는 90%로 나타났다. 이는 목재펄프에서의 holocellulose 함량이 70% 정도임에 비해 닥나무 백피부에서의 holocellulose 함량이 월등히 높음을 확인할 수 있는 결과이다. 또한 기 연구<sup>1,8)</sup>된 닥나무 백피부의 holocellulose 함량에 비해서도 높게 나타난 것은 재배 지역 및 채취시기의 차이에 의한 것으로 판단된다. 닥나무 인피에서의 lignin 함량이 10% 미만일 경우 상압 증해에 의한 섬유화가 가능하다고 보고된 바 있어<sup>17)</sup> 흑피 제거가 완벽하게 이루어지지 않을 경우 고해 시간의 증가 및 미해리 닥섬유로 인한 통물제조 공정에서 섬유가 균일하게 풀리지 않아 분산 특성을 저해 할 것으로 사료된다. 청피부에서의 h

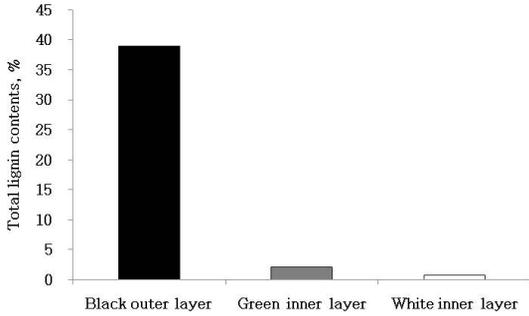


Fig. 3. Total lignin contents in black outer layer, green inner layer and white inner layer of Paper mulberry.

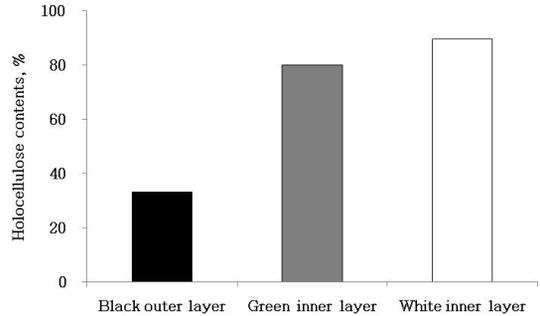


Fig. 4. Holocellulose contents in black outer layer, green inner layer and white inner layer of Paper mulberry.

olocellulose 함량이 높게 나타난 것은 인피로부터 청피의 분리과정 중 백피부가 일부 포함되어 나타난 결과로 사료된다.

### 3.2 닥나무 인피부의 회분 및 무기원소 조성 특성

닥섬유의 펄프화 공정에 영향을 미칠 수 있는 회분 및 무기계 원소에 관한 조성 특성을 분석하기 위해 닥나무 인피부를 각각 흑피부, 청피부, 백피부로 분리하여 525℃의 회화로에서 연소시킨 후 회분 함량을 측정하였으며 그 결과를 Fig. 5에 나타냈다. 닥나무 인피부에서의 회분 함량은 흑피부에서 10% 정도로서 높은 결과를 나타냈으며 청피부에서 4.6%, 백피부에서 가장 낮은 2.4%를 나타냈다. 특히 닥나무 인피에서의 회분 함량은 cellulose의 붕괴에 의한 것이 아닌 펙틴 등 hexosan과 결합하고 있는 회분으로 보고된 바 있다.<sup>1)</sup>

따라서 닥나무 인피섬유의 증해 시 전통수룩 초지법에서 주로 사용하고 있는 육재의 경우에서나 개량 초지법에서 주로 사용하고 있는 NaOH 또는 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 등의 화학약품을 사용한다 하더라도 인피섬유 세포 내의 탈리그닌을 효과적으로 제어하여 증해 효율을 높이기 위해서는 박피과정에서의 흑피제거 상태는 매우 중요하다. 즉, 닥나무 인피에서 흑피에 기인한 높은 회분 함량은 잿물 또는 증해약품에 의한 탈리그닌화 및 소섬유화에 영향을 미칠 것으로 사료되어 박피 및 티고르기 공정과 같은 별도의 흑피 분리공정을 통해 흑피를 완전히 제거한 후 백피만을 사용해야 할 것으로 사료된다.

회분 함량이 높게 나타난 흑피부와 그 외 청피부, 백피부에서의 회분 중 원소조성을 확인하기 위해 XRF에 의한 무기원소 분포 특성을 분석하였으며 그 결과를 Fig. 6~8에 나타냈다. 흑피부 회분의 원소 조성(Fig. 6)으로서 칼슘이 약 56%, 납이 약 37%로서 전체 90% 이

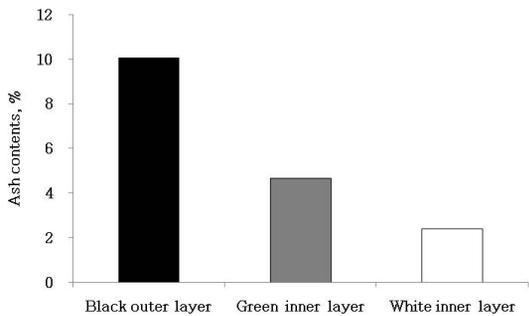


Fig. 5. Ash contents in black outer layer, green inner layer and white inner layer of Paper mulberry.

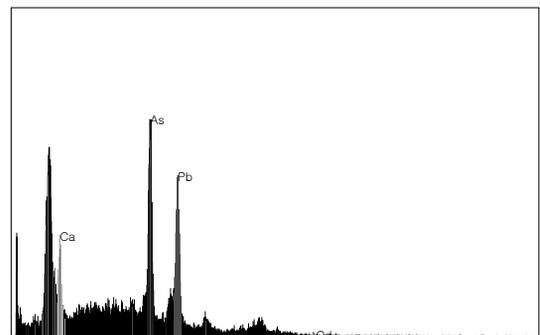


Fig. 6. Elemental analysis in black outer layer of Paper mulberry by XRF.

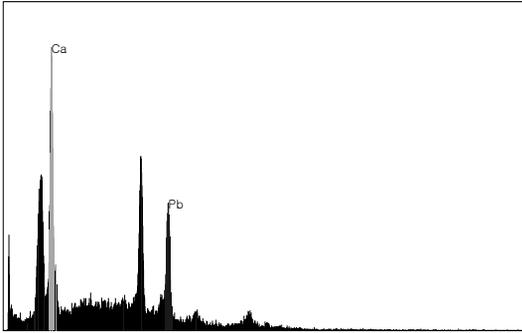


Fig. 7. Elemental analysis in green inner layer of Paper mulberry by XRF.

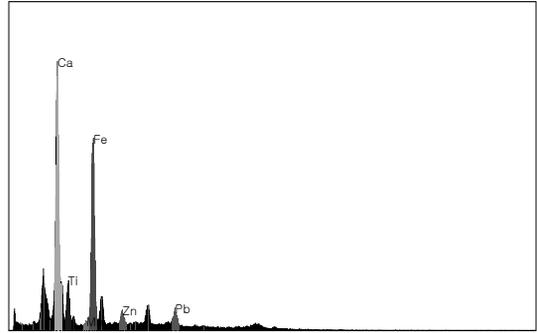


Fig. 8. Elemental analysis in white inner layer of Paper mulberry by XRF.

Table 4. Distributions in chemical composition of bast fiber of Paper mulberry

	Black outer layer	Green inner layer	White inner layer
Holocellulose, %	33.15	80.02	89.80
Lignin, %	38.91	2.10	0.68
Extract, %	17.88	13.21	7.12
Ash, %	10.06	4.67	2.40

상을 차지하였으며, 청피부 회분의 원소조성(Fig. 7)은 칼슘 85%, 납 15%로서 주로 칼슘이 주요 원소임을 확인할 수 있었다. 또한 백피부 회분의 원소조성(Fig. 8)을 분석한 결과 칼슘이 62%로서 가장 높게 나타났고 철 23%, 티타늄 11% 등으로 분석되었다. 흑피부 및 청피부와는 달리 납 함량은 비교적 낮았으며 망간, 아연 등의 원소도 소량 포함하는 것으로 분석되었다. 따라서 최근 들어 닥 섬유사를 비롯한 닥나무 인피섬유를 활용한 응용분야가 넓어지고 있어 납 등 중금속 성분의 제거는 필수적<sup>18)</sup>이며 흑피 및 청피 제거를 통한 친환경 섬유사 제조 공정의 개발이 선행되어야 할 것으로 사료된다.

### 3.3 닥나무 인피부의 환원당 조성 특성

닥나무 박피 자동화 공정개발에 있어 인피부의 환원당 조성 특성을 분석함으로써 화학약품에 의한 전처리 또는 효소기작에 의한 흑피부 및 청피부의 부분적 제거 가능성을 파악하기 위해 인피부를 각각 흑피부, 청피부, 백피부로 분리하여 환원당 조성을 분석하였으며 그 결과를 Fig. 9~11에 나타냈다. 흑피부의 경우 glucose가 약 10% 정도로서 가장 높았으며 galactose 3.5%, arabinose 3.2% 순으로 분석되었다. 청피부에서는 glucose가 30%로 가장 높았으며 galactose 10%,

mannose 3%으로 나타났고, 백피부에서는 glucose가 86%로서 대부분 glucose로 구성되어 있음을 확인할 수 있었으며 galactose 5.7%, xylose 2.3%, mannose 1.6% 순으로 나타났다.

또한 총 당량 기준으로는 흑피부에서 18%, 청피부에서 47%, 백피부에서 98%를 나타냈다. 특히 백피부의 경우 환원당 함량이 98%로서 탈지 처리한 powder 대부분이 당으로 구성되어 있음을 확인할 수 있었으며, 흑피부와 청피부의 경우 당 이외의 물질도 다량 존재함을 확인할 수 있었다. 이러한 이물질들은 섬유사 제조

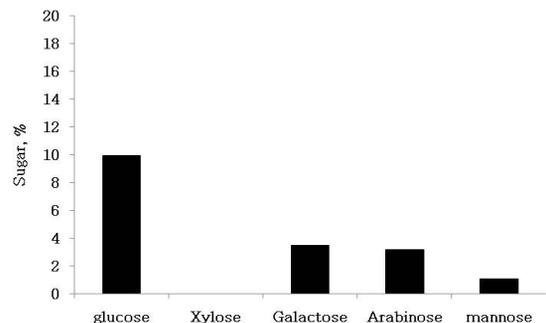


Fig. 9. Sugar compositions in black outer layer of Paper mulberry.

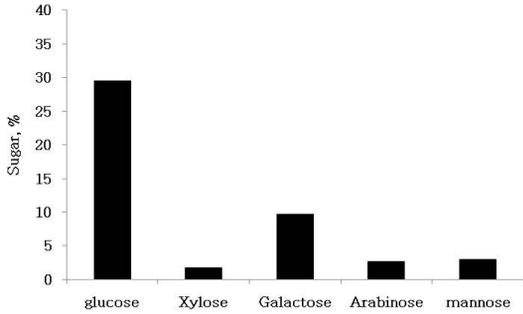


Fig. 10. Sugar compositions in green inner layer of paper mulberry.

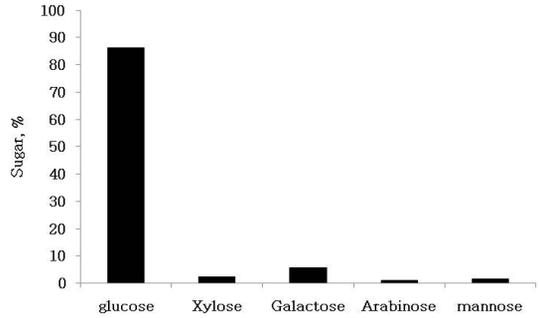


Fig. 11. Sugar compositions in white inner layer of Paper mulberry.

시 염색성 등 품질 특성이 불균일해 질 수 있는 요소로서 펄프화 공정 전에 흑피부와 청피부의 완전한 제거가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 백피부의 경우 glucose를 제외한 당 함유량이 청피부에 비해 매우 낮게 나타났으며 흑피부와 비교했을 경우 arabinose 함량이 낮음을 확인할 수 있었다. Arabinose는 식물의 고무질, 점질물, 헤미셀룰로오스나 세균 등 다당의 구성성분으로 백피부의 경우 holocellulose 중 hemicellulose의 함량이 낮은 것으로 판단된다. 전반적으로 청피부와 백피부의 경우 holocellulose 함량이 높게 나타났으며, 흑피부의 경우 lignin, 추출물, 회분 함량이 높은 것을 확인할 수 있었다.

### 3.4 닥나무 인피부의 형태학적 특성

Fig. 12~14는 닥나무 인피부의 형태학적 특성을 관찰하기 위하여 현미경 분석용 미세 나이프를 이용하여 인피 조직에서 흑피부, 청피부, 백피부를 분리한 다음

전자현미경으로 분석한 이미지이다. 흑피부 및 청피부의 외층과 내층 조직에서는 미세한 세포벽층 구조를 이루고 있었으며, 백피부에서는 장섬유의 인피섬유 다발의 형태를 관찰할 수 있었다. 현미경 이미지에 나타난 바와 같이 흑피부와 청피부는 유사한 외피구조를 지니고 있지만 백피부는 장섬유 구조로서 전혀 다른 형태학적 특성을 나타냈다.

## 4. 결론

닥나무 인피섬유의 섬유사 응용을 위한 닥 인피부 펄프 자동화 연구의 기초과정으로서 흑피부, 청피부, 백피부에 대한 화학조성분 분포 및 회분 함량, 원소조성, 당 구성 및 형태학적 이미지를 분석하였으며, 각각의 인피부의 차이를 확인하였다.

1. 흑피부에서는 유기용매 추출성분이 20% 정도로

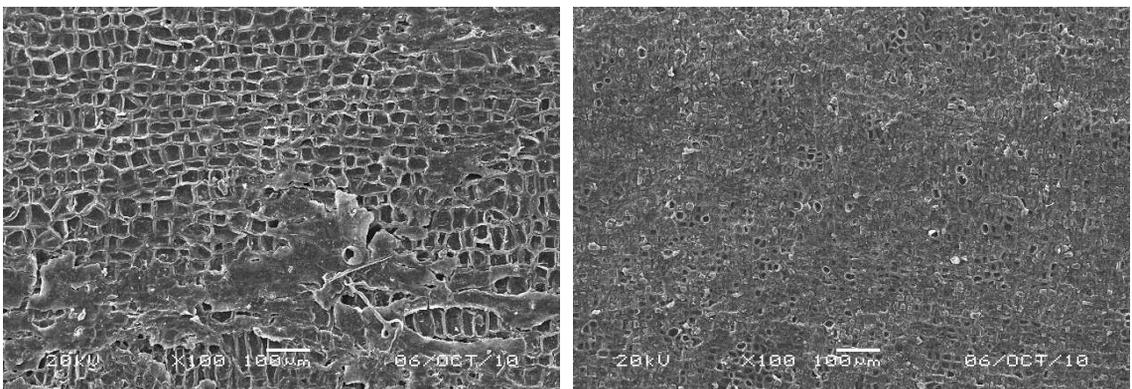


Fig. 12. SEM images of black outer layer(left: outside of black layer, right: inside of black layer).

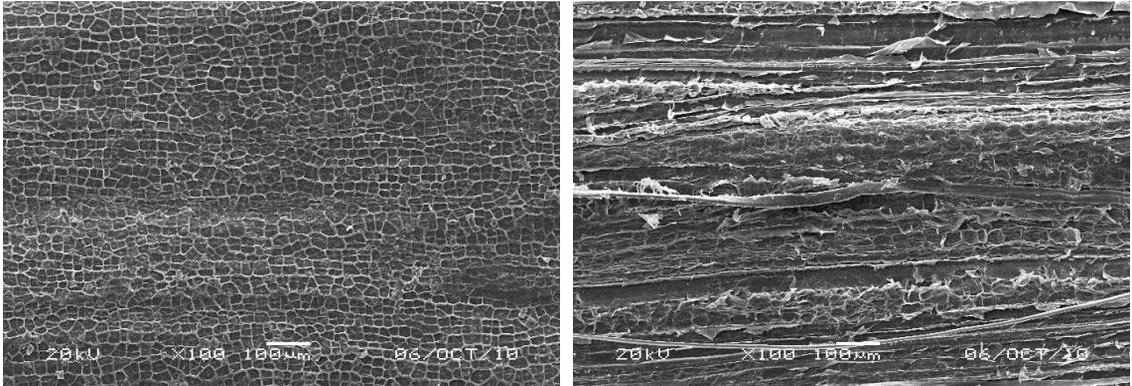


Fig. 13. SEM images of green inner layer(left: outside of green layer, right: inside of green layer).

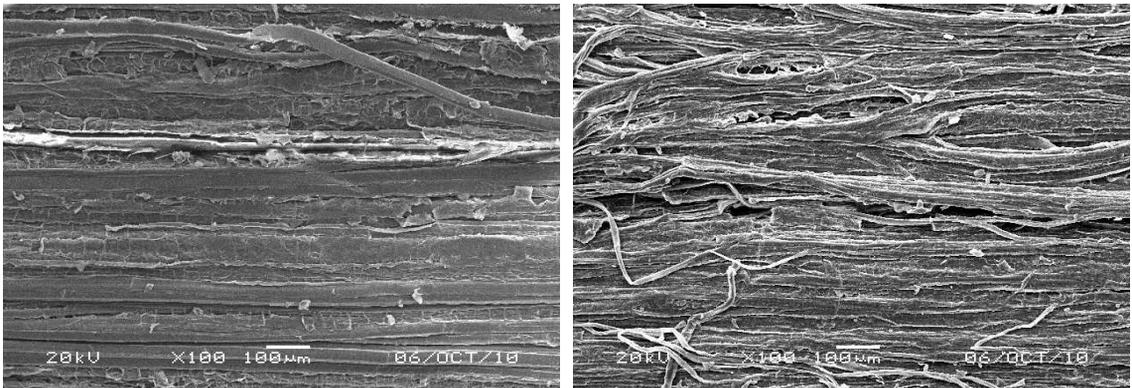


Fig. 14. SEM images of white inner layer(left: outside of white layer, right: inside of white layer).

서 가장 높았으며 백피부에서는 7% 정도로서 낮았다.

2. 흑피부의 총 리그닌 함량은 40% 정도로서 가장 높았으며, 청피부는 2%, 백피부는 1% 이하로 낮았다.

3. 백피부에서의 holocellulose 함량은 90% 였으며 청피부에서는 82%, 흑피부에서는 33%였다

4. 흑피부는 10%에 이르는 높은 회분 함량을 나타냈으며, 백피부는 2.4%로 낮았다. 흑피부와 청피부 회분에서의 무기원소 조성은 주로 칼슘, 납 등으로 구성되어 있으며 백피부의 경우 칼슘, 철, 티타늄 등의 성분으로 구성되어 있었다.

5. 흑피부는 glucose가 10% 정도로 낮았으며, 청피부는 glucose가 30% 정도로 상대적으로 높았다. 그러나 백피부에서는 glucose가 86% 정도로서 대부분 glucose로 구성되어 있었다.

6. 흑피부 및 청피부는 미세한 세포벽층 구조를 이루

는 조직구조를 이루고 있었으며, 백피부는 인피섬유 다발의 형태를 나타내고 있었다.

## 사 사

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업에서 지원한 친환경 닥섬유 펄프 자동화 및 닥섬유사 제조기술 개발(과제번호: A2010-0240)과제의 지원으로 수행되었습니다.

## 인용문헌

1. Choi, T.H. and Cho, N.S., New Korean traditional papermaking from paper mulberry ( I ), J. Korea TAPPI 28(1): 49-59 (1996).

2. Usuda, M., Alkaline paper and Functional paper, Proc. 13th internal seminar on pulping and papermaking technology, 59-71 (1990).
3. Jeong, M.J., Analysis of chemical changes in deteriorated Korean traditional handmade paper, Dongguk University, 27-54 (2008).
4. 신동소, 증성지-기초와 기술-, 삼공장학재단(1989).
5. 문방사우 조사보고서, 국립민속박물관 학술총서 11:27-32 (1992).
6. Yaguchi, T., Mechanism of rapid delignification during alkaline cooking with addition of THAQ, JPPS 25(3): 239-242 (1979).
7. De Groote, R. A. M. C., M. G. Neumann, J. R. Lechat, A. A. S. Curvelo, and J. Alaburda, The sulfomethylation of lignin, Tappi J. 70(3): 139-140 (1987).
8. Choi, T.H. and Cho, N.S., Studies on the new traditional paper manufacturing from paper mulberries -Anatomical and chemical properties and pulping characteristics-, J. Korea TAPPI 24(1): 32-40 (1992).
9. Cho, N.S., Manufacturing of the Korean traditional paper(Hanji) from fast-growing paper mulberry by sulfomethylation pulping, J. Korea TAPPI 28(2): 22-29 (1996).
10. 충북대 특수임산물 연구소, 특수임산섬유 이용개발에 관한 연구, 교육부 연구보고서 No.10 (1968).
11. 홍병화, 문창국, 신동소, 목본식물의 인피섬유에 관한 연구, 경상대논문집 11: 61-68 (1972).
12. 우지형, 발효에 의한 인피섬유 정련에 관한 연구(1), J. Korea TAPPI 4(2): 12-17 (1972).
13. Nakatsuka, Y., Forest products, 산업도서, 114-174 (1956).
14. Mun, S.P., Jeon, E.S., Wi, H. and Kang, S.K., Investigation of pitch troubles in making Korean traditional paper( I ), J. Korea TAPPI 24(2): 15-21 (1992).
15. Cho, N.S., Studies on the manufacturing of pollution-Free Korean traditional paper without bleaching ( I )-, Mokchae Konghak 21(2): 2049-2056 (1993).
16. 임산화학실험서, 향문사, 83-84 (1998).
17. Tsuyoshi Hori, Paper making practical affairs - organization of paper industry and minor mechanical production structure, J. Korea TAPPI 16(2): 50-75 (1984).
18. Kim, H.J., Ko, S.T., Kang, K.H., Lee, T.J. and Park, J.H., Quantitative analysis of lead and cadmium in paper materials using extraction and separation method, Applied Chemistry 14(1): 53-56 (2010).