

# 증기 전처리 및 2단 증해 시스템에 의한 닥 인피부의 펄프화 특성

황지현 · 서진호 · 김형진<sup>†</sup>

접수일(2012년 12월 6일), 수정일(2013년 2월 17일), 채택일(2013년 2월 19일)

## Pulping Properties of Bast Fibers of Paper Mulberry by Pre-steaming and 2-stage Cooking System

Ji Hyun Hwang, Jin Ho Seo and Hyoung Jin Kim<sup>†</sup>

Received December 6, 2012; Received in revised form February 17, 2013; Accepted February 19, 2013

### ABSTRACT

The traditional Hanji-making was confronted with lots of industrial disadvantages and economic problems, due to the original hand-made process. Recently, the studies on the automation of overall Hanji manufacturing process is carried out by applying the commercial chemical pulping method in order to expand industrial application or efficiency of non-wood fibrous materials. However, the application of commercial pulping methods to the bast tissues of paper mulberry leads to the chemical and mechanical deterioration of cellulosic fibers.

In this study, the optimal cooking method using the bast parts of paper mulberry produced by an auto-scraping device was applied to minimize the damage of fiber strength for the paper yarn manufacture. The pre-steaming treatment and alkaline pulping systems were evaluated in removal efficiency of lignin and pectin materials within the bast tissue of paper mulberry. With the application of pre-steaming treatment and 2 stage pulping system using potassium carbonate and then sodium hydroxide, kappa values were decreased two times more in lignin removal than the single stage of pulping method. It was also identified from SEM images and ATR-FTIR spectra that the pectin components within cellular structure of bast tissue were easily removed and the debarked bast parts by a auto-scraping device were easily defiberized by 2-stage pulping sequence using potassium carbonate/sodium hydroxide pulping system.

**Keywords;** *bast part, Paper mulberry, 2 stage pulping system, lignin removal, pectin, auto-scraping device.*

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

† 교신저자 (Corresponding Author) : E-mail : [hjistikim@kookmin.ac.kr](mailto:hjikim@kookmin.ac.kr)

## 1. 서론

우리나라의 전통 수목지인 한지의 섬유 원료로 주로 사용되고 있는 닥나무 인피섬유는 목재 섬유에 비해 셀룰로오스 함량이 높고 리그닌 함량은 낮다. 또한 섬유장은 보통 20~30 mm 이상으로 길며, 단섬유인 목재펄프에 비해 셀룰로오스 섬유 자체의 분자량이 높아 물리적 강도가 뛰어나며, 섬유 간 엉킴 특성도 치밀하여 닥 섬유로 초지된 한지는 양지에 비해 유연성, 물리·화학적 특성 및 보존성 등에 있어 우수한 장점을 지닌다. 특히 국내산 닥섬유로 초지된 한지는 리그닌이 목재 펄프에 비해 1/2 이하로 현저히 낮으며, 화학 조성분의 성상에 의한 강도적 성질 및 보존 특성 등에 관한 우수성은 선행 연구자들에 의해 이미 증명된 바 있다.<sup>1-2)</sup> 최근에는 한지의 탁월한 소취성, 항균성 등이 알려지면서 각종 특수용지 뿐 아니라 의류, 더 나아가 의료용으로도 응용되고 있다.<sup>3)</sup>

목재 섬유에 비해 섬유장/ 폭의 비가 매우 크기 때문에 닥 인피섬유를 이용한 한지 제조는 고속 기계화, 공정화 된 현대식 초지기에 의한 시트화가 불가능 하며 주로 수작업에 의한 수목지로 제조하여 왔다. 따라서 대량생산이 어렵고 경제성이 낮으며 품질의 균일화가 쉽지 않다는 단점이 존재한다.<sup>3)</sup> 이에 최근 전통한지의 우수한 특성을 유지하며 대량생산 시스템의 문제점을 해결하고자 목재펄프화 제조기법을 응용한 닥 펄프 제조 자동화를 위한 연속식 공정개발에 대한 연구가 진행되고 있다.<sup>3-5)</sup>

전통적인 닥 인피부의 증해 약액은 잣물을 이용해 왔으며, 잣물은 콩대, 메밀대, 고춧대, 벚꽃 등 주로 농산 폐기물을 태운 재를 이용하여 물을 내려 사용하였다. 잣물의 특성에 대해 기 연구된 결과를 살펴보면 알칼리성을 띠고 있으며, 주성분은 탄산칼륨(Potassium carbonate,  $K_2CO_3$ )으로써 칼륨(potassium) 기반의 증성 염류로 보고된 바 있다.<sup>6,7)</sup> 근래에는 한지 제조공정에 있어 닥섬유 증해 시 제조 시간 및 원가 절감을 위해 알칼리성 약품 중 증해 효율이 뛰어난 수산화나트륨(Sodium hydroxide, NaOH)을 사용하고 있다. 그러나 강알칼리성인 수산화나트륨으로 닥 인피섬유를 증해할 경우 셀룰로오스의 가수분해를 유발하여 섬유의 손상을 발생시킬 수 있으며 헤미셀룰로오스와 같은 탄수

화물의 과다한 용출이 일어나 닥 펄프의 수율을 감소시킬 수 있으며, 또한 강알칼리성 폐수의 배출이 수반되어 환경오염의 문제점을 동반할 수 있다.<sup>8)</sup> 실제로 목재 펄프화 공정에 적용된 바 있는 알칼리 펄프화법,<sup>9)</sup> 설포 메틸 펄프화법<sup>10)</sup> 등에 의한 닥 인피섬유의 증해 시 전통 수목한지 제조공정의 잣물에 의한 증해와 비교했을 때 시트의 물리적 특성이 현저히 저하된 결과가 보고된 바 있다. 따라서 닥 인피섬유를 효율적으로 증해하기 위해서는 섬유의 손상을 최소화하며 증해 효율을 높일 수 있는 증해 약품의 사용이 요구된다. 섬유 세포벽 내의 리그닌 제거가 주요 목적인 목재펄프와 달리 닥 인피섬유의 펄프화는 닥섬유 자체의 물리, 화학적 특성을 유지하기 위해 섬유의 결속을 주도하는 펙틴의 제거도 고려하여야 한다. 문<sup>11)</sup> 등은 약알칼리 조건으로 닥나무 인피섬유를 증해할 경우 펙틴이 충분히 제거될 뿐 아니라 강알칼리 조건에서 발생하는 섬유 손상, 헤미셀룰로오스의 과다한 용출 및 강알칼리성 폐수의 방류를 제어할 수 있다고 보고하였다.

본 연구에서는 잣물을 사용한 전통 방법에 의한 수목한지 초지용 닥 섬유화 공정이 아니라 닥 인피섬유를 섬유사로 가공하기 위해 대량 펄프화가 요구되어 닥섬유 펄프 자동화 공정연구에 최적화하기 위한 증해 시스템을 접목하고자 시도되었다. 또한 닥 인피섬유의 증해 자동화 과정 중 섬유의 손상을 최소화하기 위하여 증해 전 전처리 방법을 응용한 2단 증해법을 시도하였으며, 증해 조건에 따른 최적 펄프화 조건 및 닥 섬유사 제조용 닥섬유 펄프 자동화를 위한 펄프화 방법을 모색하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

본 연구에서 닥 인피부는 전북 익산에서 재배된 닥나무를 닥펄프 자동화 공정을 위해 개발된 drum-type rotary debarker로 박피한 후 사용하였다. 닥펄프 자동화 공정 라인에서 생산된 닥 인피부는 전통 수목한지 제조과정에서의 닥무지 및 흑피 벗기기 공정이 생략되어 흑피와 청피부가 완벽하게 제거되지 않은 상태로 존재한다. 닥 펄프 자동화 공정의 실험실용 drum type rotary debarker와 1차 박피된 닥 인피부의 상태를 Fig. 1에 나



Fig. 1. Drum-type rotary debarker (left) and primarily debarked mulberry bast part (right).

타냈다.

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 증해 전처리

증해에 사용된 닥 인피부는 전통 수록한지 제조공정의 닥무지 공정이 생략되었기 때문에 증해 시 섬유화 효율을 개선하기 위해 전처리 공정으로서 pre-steaming을 이용한 가온처리, 온수 침지 추출 및 화학약품 전처리를 실시하였다. 각각의 전처리 조건을 Table 1에 나타낸다.

### 2.2.2 증해

1000 mL 삼각플라스크에 전건 중량 20 g의 공시 재료와 증해 약품을 첨가하고 둥근플라스크에 환류냉각기를 설치하여 증해 약품의 증발이 야기되지 않도록 지속적으로 가열 증해를 실시하였으며, 이 때 증해 약액의 끓는점에 맞추어 증해 온도를 조절하였다.  $K_2CO_3$ 의 끓는점은 약 105-116 °C 였으며, NaOH의 경우는 본 실험의약품 최대 사용 조건인 200 mmol에서 105 °C를 나타냈다. 증해는 1단 증해와 2단 증해 시스템의 두 방법을 비교하였으며, 2단 증해 시스템의 경우 1단 증해 후 닥섬유의 세척과정 및 200 mesh wire로 여과시킨 후 2단 증해를 실시하였다. 각 증해 시스템의 조건을 Table 1에 나타냈다.

2.2.3 증해 효과 분석

전처리 공정을 도입함에 따른 닥 인피부의 증해 효과를 비교하기 위하여 증해가 완료된 전건시료 3 g과 500 mL 증류수를 해리기에 첨가한 후 섬유를 충분히 해리시켜 KS M ISO 302에 의거하여 카파가를 분석하였다. 또한 형태학적 특성 분석을 위하여 주사전자현미경 (Scanning Electron Microscope, Jeol)을 이용하여 닥 나무 인피섬유의 표면구조 특성을 관찰하였으며, 펙틴 성분의 변화를 간접적으로 확인하기 위하여 ATR-FTIR (Bruker)을 사용하여 spectrum 분석을 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 탄산칼륨을 이용한 증해 시 전처리에 따른 증해효율

탄산칼륨을 이용한 증해 시 약알칼리성으로 인해 가성소다를 이용하여 증해한 섬유보다 낮은 수준의 리그닌 제거효율을 나타내는 것으로 보고된 바 있다.<sup>6)</sup> 따라서 약알칼리성에 의한 탄산칼륨의 단점을 보완하고자

Table 1. Pretreatment and cooking conditions of the bast parts of paper mulberry

Pretreatment condition	Cooking condition			Time (min)	
	Chemicals (dosage, mmol)		Temp. (°C)		
Non-treatment				60	
				120	
0.2% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 30 min	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (100)			60	
				120	
Pre-steaming, 120 min				60	
				120	
Non-treatment	NaOH (50)		< 105	60	
	NaOH (100)			120	
Pre-steaming, 120 min	NaOH (50)			120	
Non-treatment	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (100)	NaOH (100)	105-116	20	30
Hot water, 30 min	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (100~200)	NaOH (100)	105-116	20	30
Pre-steaming, 120 min	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (100~200)	NaOH (100)	105-116	20	30

pre-steaming 처리, 0.2 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 처리 등의 전처리를 하였으며, 이에 따른 카파가 변화를 Fig. 2에 나타냈다. 115 °C에서 pre-steaming 전처리를 실시한 경우 약 1.0 point 정도의 추가적인 카파가 감소 효과를 나타냈으며, 0.2 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 이용하여 30분간 전처리를 하였을 경우 잔존 황산으로 인해 알칼리 증해 효율이 저하되는 결과를 나타냈다. 황산 전처리 시 황산의 농도를 증가시킬 경우 증해 효율의 상승을 유도할 수 있을 것으로 판단되나 잔존 황산의 양이 증가함에 따라 증해폐수의 오염부하 증가 및 폐수처리 시의 효율성 저하를 유발할 것으로 보인다.

탄산칼륨 증해 조건에 따른 섬유형의 변화를 관찰하고자 주사전자현미경에 의한 이미지를 비교분석 하였으며, 그 결과를 Fig. 3에 나타냈다. 탄산칼륨을 사용하여 증해한 경우 미증해 닥 인피부에 비해 인피부의 기계적 해섬을 행하지 않았음에도 섬유다발 외측의 단섬유

가 분리되어 있었으며, 이로써 닥 인피부의 증해에 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 또한 탄산칼륨 증해 전처리로써 pre-steaming 처리를 행한 경우에는 인피 조직의 해섬 효과에 현저한 변화를 나타내지는 않았으나 섬유 조직이 미세하게 이완된 형태를 관찰할 수 있었다. 따라서 탄산칼륨 단독 증해 만으로는 닥 인피부의 섬유화에 큰 효과를 나타내지 못하는 것으로 사료된다.

### 3.2 수산화나트륨을 이용한 증해 시 전처리에 따른 증해 효율

전통 수목한지 제조 공정 중 잣물의 제조는 노동력을 필요로 하는 복잡한 과정의 수작업이 요구되며, 또한 지사제조 용도에 사용되는 한지를 제조하기 위해서는 대량의 닥 인피섬유를 증해해야 하며 많은 양의 잣물을 제조해야 한다. 최근에는 수목한지 공방에서 조차 문화재보수용지와 같은 특수용도의 한지 외에는 제조원가 절감, 제조시간 단축 등을 위해 잣물 외에 가성소다(NaOH)와 같은 화공약품을 사용하고 있다. 가성소다는 강알칼리로써 닥 인피부의 증해에 사용할 경우 섬유의 손상 및 증해 폐액, 닥섬유 세척폐수 등과 같은 부가적인 문제점이 야기된다. 따라서 본 실험에서는 가성소다를 이용한 증해 시 전처리를 통해 온화한 증해 효과 유도 및 가성소다의 사용량 최소화를 목표로하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 나타냈다.

가성소다 50 및 100 mmol을 사용하여 증해하였을 경우 닥 섬유의 카파가는 각각 11.2 및 7.6으로써 가성소다 사용량을 증가함에 따라 카파가는 감소하는 경향을 나타냈다. 그러나 전처리로써 115 °C에서 pre-steaming을 실

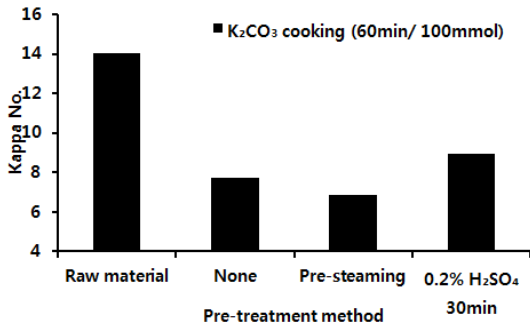


Fig. 2. Effect of pre-treatment on kappa number by K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> cooking of bast parts of paper mulberry.

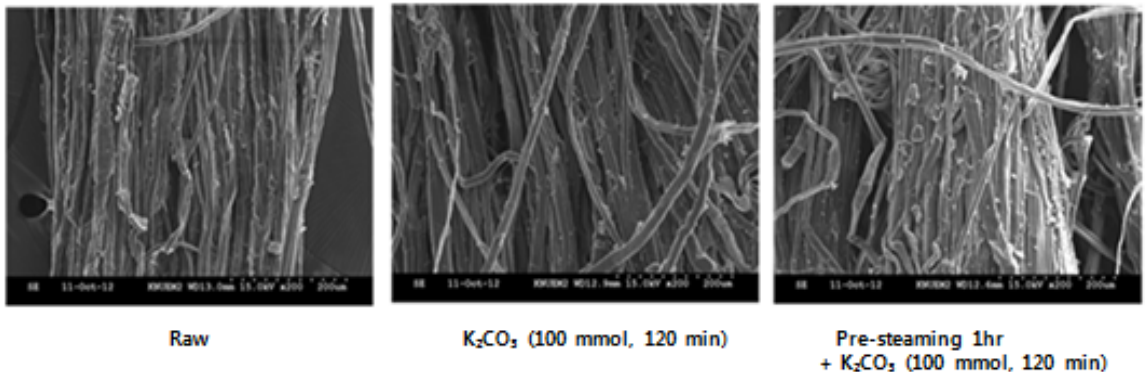


Fig. 3. Comparisons of bast fiber bundles by different cooking systems with K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> and pre-steaming/K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

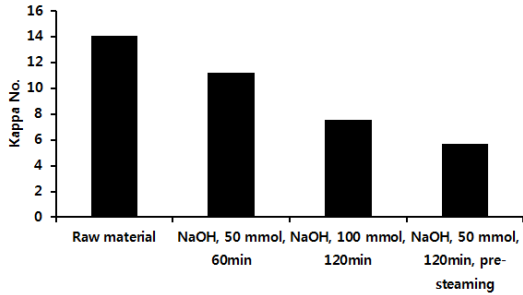


Fig. 4. Effect of pre-treatment on kappa number by NaOH cooking of bast parts of paper mulberry.

시 한 후 가성소다 50 mmol을 이용하여 증해하였을 경우 카파가는 5.7이었으며 가성소다 100 mmol을 이용하여 증해한 조건과도 비교했을 때 더욱 효과적인 리그닌 제거가 유도됨을 확인할 수 있었다.

Fig. 5는 닥펄프 자동화 공정에 의해 제조된 닥 인피부를 가성소다로 증해할 때 pre-steaming에 의한 전처리 효과를 검증하기 위해 증해 전 및 증해 후의 닥 인피부 섬유다발의 SEM 이미지를 비교 분석한 결과이다. 닥 인피부를 가성소다 100 mmol을 사용하여 증해하였을 경우 섬유다발의 외측 섬유는 증해 전 섬유에 비해 과도하게 팽윤되어 섬유간 결합이 이루어져 있는 상태를 확인할 수 있으며, pre-steaming 전처리 후 가성소다 50 mmol을 사용하여 증해하였을 경우 가성소다의 사용량을 1/2 수준으로 줄였음에도 섬유의 과도한 팽윤 없이 섬유다발의 해성이 야기된 것을 확인할 수 있었다. 이는 pre-steaming 전처리에 의해 인피부 조직 구조의 팽윤 및 추출물의 부가적인 제거에 따른 인피부 내부로의 약품 침투 효과에 의한 것으로 판단된다.

### 3.3 탄산칼륨 및 가성소다를 이용한 2단 증해 시 전처리에 따른 증해 효율

닥펄프 자동화 공정에 의해 제조된 닥 인피부의 펄프화 효율을 분석하기 위해 증해 약품 종류에 따른 증해 거동을 평가하였다. 탄산칼륨 및 가성소다를 각각 이용한 1단 증해 및 탄산칼륨/가성소다를 이용한 2단 증해를 실시하였으며, 증해 후 카파가 결과를 Fig. 6에 나타냈다. 탄산칼륨 및 가성소다를 사용하여 각각 1단 증해만을 행했을 경우 카파가는 7.5~7.7 정도로서 증해 약품의 종류에 따라서 큰 차이를 나타내지는 않았으나 두 종류의 증해액 모두 미증해 닥 펄프 카파가의 1/2 정도로 낮은 특징을 나타냈으며, 증해 약품의 농도가 100 mmol 정도인 것을 감안할 때 닥 인피부의 리그닌은 온화한 조건으로도 제거가 가능함을 확인할 수 있었다. 또한 탄산칼륨과 가성소다를 순차적으로 사용하여 2단 증해를 하였을 경우 카파가는 5.7이었으며, 증해 약품을 1단으로 각각 증해한 경우보다 카파가 약 2 point 정도의 리그닌 제거 효율이 높게 나타난다. 증해 시간에 따른 영향을 검토한 경우 탄산칼륨 및 가성소다의 1단 증해 조건보다 2단 증해 조건에서 1/2 정도의 증해 시간에도 불구하고 리그닌 제거 효율이 훨씬 더 우수함을 확인할 수 있었다.

일반적으로 식물계 세포벽에 널리 분포되어 있는 펙틴질은 목재섬유에 비해 대마, 아마 및 닥나무와 같은 인피섬유 조직 내에 다량이 존재한다. 주로 펙틴은 미성숙된 세포벽의 1차벽이나 세포간층에 존재하여 섬유와 섬유를 결속시키는 역할을 하며 약알칼리 증해 조건에서 단시간의 처리만으로도 제거 가능하다고 보고

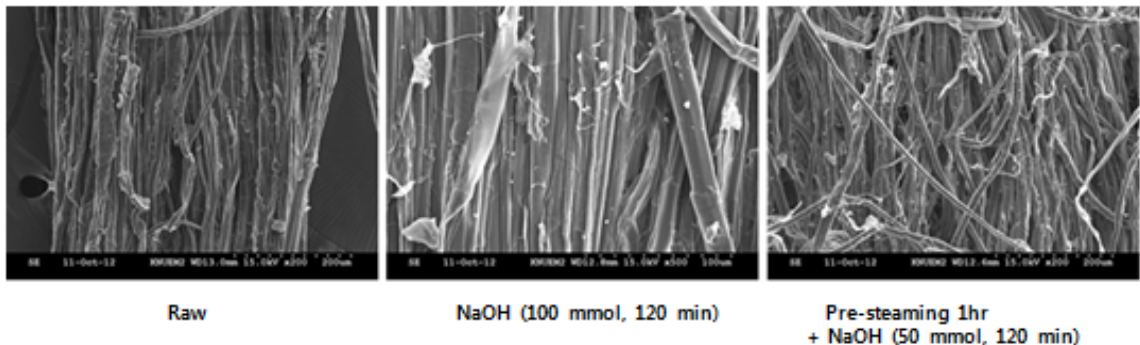


Fig. 5. Comparisons of bast fiber bundles by different cooking systems with NaOH and pre-steaming/NaOH.



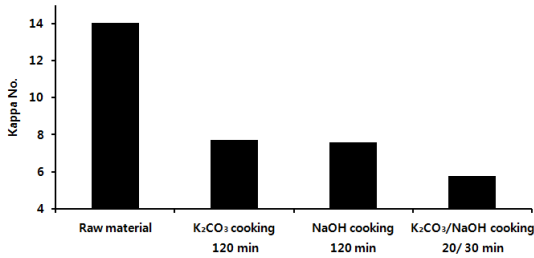


Fig. 6. Effect of cooking system on kappa number of bast tissue of paper mulberry.

된 바 있다.<sup>6)</sup> 본 연구에서의 2단 증해 시스템의 결과를 통해 탄산칼륨으로 1단 증해함으로써 닥 인피부의 증해 전처리에 의해 기 연구된 결과에서와 마찬가지로 일부의 펙틴이 제거되고 약알칼리 조건에 의한 섬유팽윤으로 2단 증해의 가성소다에 의해 추가적인 리그닌 제거가 이루어진 것으로 판단된다. 또한 2단 증해 시 1단 증해 후 분해된 리그닌이 세척 공정에 의해 제거됨에 따라 2단 증해 시 리그닌의 재흡착을 막아 탈리그닌 효율이 증가한 것으로 사료된다.

탄산칼륨 및 가성소다를 1단으로만 사용하여 증해한 조건보다 탄산칼륨 증해 후 가성소다로 2단 증해를 실시한 경우 리그닌 제거효율이 향상됨에 따라 탄산칼륨/가성소다를 이용한 2단 증해 시 전처리로서 온수 침적과 pre-steaming 처리를 실시하였을 때의 영향을 살펴보기 위해 증해 조건에서 탄산칼륨의 농도만을 조절하여 카파가 변화를 비교하였으며, 그 결과를 Fig. 7에 나타냈다.

전처리로서 온수 침적에 의한 세척과정을 30 분간 처리하고 탄산칼륨/가성소다에 의한 2단 증해를 순차

적으로 실시하였을 경우 탄산칼륨 농도 조건에 따른 리그닌 제거 효율은 높지 않은 반면 전처리로서 pre-steaming을 행했을 경우 탄산칼륨 농도 변화에 따라 리그닌 제거 효율은 크게 증가하는 경향을 나타냈다. 즉, 본 연구에 사용한 닥 인피부는 전통 수목지 제조공정에서와 같은 닥무지 공정이 생략된 닥 펄프 자동화 공정에 따라 제조된 원료를 사용하였기 때문에 증해 전 닥 인피부의 냉·온수 침적 처리만으로는 인피 조직 내에 존재하는 추출성분의 용출은 어려운 것으로 된다. 반면 pre-steaming 처리에 의한 가압·고온 조건의 증기 처리를 행함에 따라 닥 인피조직의 팽윤 및 추출물 제거 효과가 발생하고 이에 따라 증해 약품의 침투가 양호하여 리그닌 제거효율을 향상시킬 수 있는 것으로 사료된다.

Fig. 8은 pre-steaming 전처리 후 탄산칼륨/가성소다에 의한 2단 증해 조건에 따른 닥 인피부의 섬유형태 변

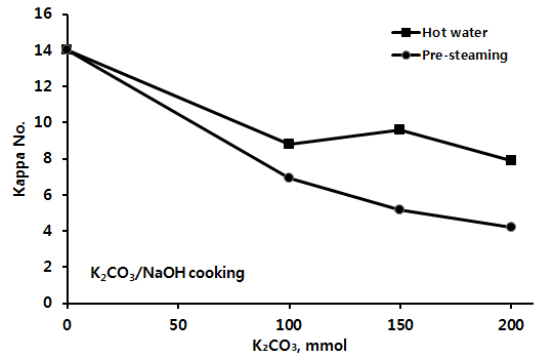


Fig. 7. Effect of pre-treatment conditions on kappa number in K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/NaOH pulping of bast parts of paper mulberry.

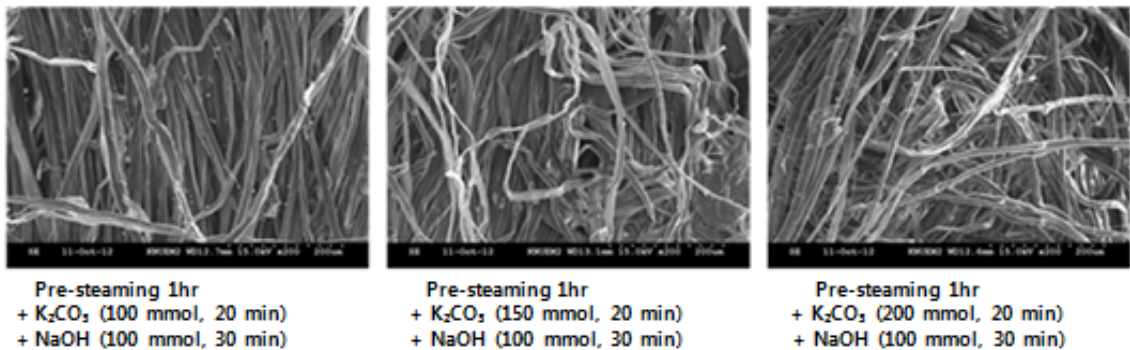


Fig. 8. Effect of K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/NaOH cooking conditions under pre-steaming treatment on defiberization of bast fiber bundles of paper mulberry.

화를 관찰하고자 주사전자현미경에 의한 이미지를 비교한 결과이다. 탄산칼륨/가성소다 2단 증해 시 탄산칼륨 농도 변화에 따른 SEM 이미지 분석 결과 pre-steaming 전처리와 증해 약품의 농도가 높을수록 섬유 간 결속이 약화됨을 확인할 수 있었고, 세포벽 내의 셀룰로오스 층간 사이에 존재하던 펙틴 성분 및 리그닌 용출 효과가 증대됨에 따라 펄프화 후 섬유유해 정도가 보다 개선되는 경향을 나타냈다.

### 3.4. 증해 조건에 따른 닥 펄프의 ATR-FTIR 분석

닥 펄프 자동화 공정에 의해 제조된 닥 인피부의 증해 조건에 따라 섬유 세포벽 내의 펙틴 성분 및 리그닌 잔존 특성을 간접적으로 확인하기 위해 ATR-FTIR에 의한 작용기 변화를 관찰하였으며, 그 결과를 Fig. 9에 나타냈다.

ATR-FTIR 분석 결과 닥 인피부의 증해에 따라  $1700\text{ cm}^{-1}$  영역에서 나타나는 C=O band는 약화 또는 사라짐을 확인할 수 있었다. 펙틴의 기본 구성단위는 D-galacturonic acid이며  $\alpha$ -1,4 결합으로 직쇄상 구조를 이루고 있다. 또한 펙틴은 galacturonic acid의 측쇄

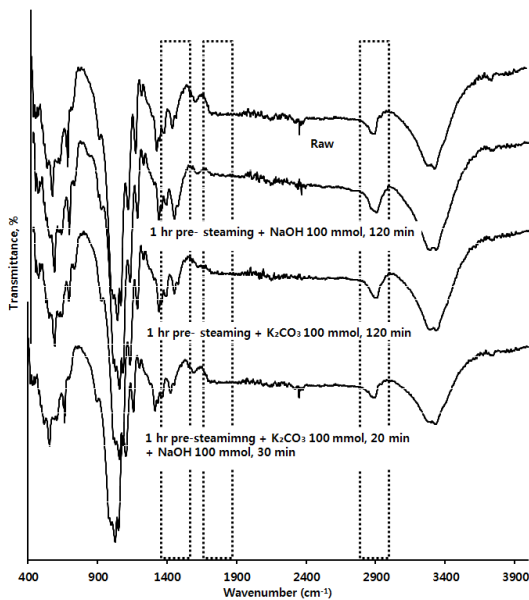


Fig. 9. ATR-FTIR spectra of bast fiber of paper mulberry by  $\text{K}_2\text{CO}_3$  or NaOH cooking conditions.

carboxyl기의 일부가 임의로 methylester화 되어 methoxyl기를 함유하게 된다.<sup>12)</sup>  $2850\text{ cm}^{-1}$  영역에서 확인되는 methoxyl의 경우 가성소다를 이용한 1단 증해만으로 단독 처리한 경우보다 탄산칼륨에 의한 1단 증해 또는 탄산칼륨/가성소다에 의한 2단 증해 시 peak height의 감소폭이 큰 것으로 나타났으며, 이는 펙틴 내에 존재하는 methoxyl이 탄산칼륨에 의해 제거됨에 따라 발생한 결과로 사료된다.<sup>12)</sup> 또한  $1415\text{ cm}^{-1}$ 에서 나타나는 펙틴 및 셀룰로오스 기반의 C-O-H in plane bending은<sup>12)</sup> 가성소다를 사용한 조건보다 탄산칼륨을 증해 약품으로 사용한 조건에서 더 크게 감소하였으며 탄산칼륨이 펙틴 성분의 제거에 효율적임을 확인할 수 있었다.

## 4. 결론

본 연구에서는 닥 펄프 자동화 공정라인의 개발과 관련하여 닥 인피부의 전처리 조건에 따른 닥 펄프화를 위한 증해 최적 조건을 탐색하기 위하여 전처리 공정의 설계에 따른 닥 인피부섬유의 증해 효율을 검증하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 탄산칼륨을 이용한 증해 시 pre-steaming에 의한 전처리가 카파가 저하 효율을 개선시켰으며, 약 환산 용액에 의한 전처리의 경우 잔류 산에 따라 알칼리 증해 효율이 저하되었다.
2. 가성소다를 이용한 증해 시 증해액의 농도는 리그닌 제거효율에 직접적으로 영향을 미쳤으며, pre-steaming 전처리를 도입한 경우 온화한 증해 농도조건에서도 리그닌 제거 효율이 상승되었다.
3. 탄산칼륨, 가성소다로 각각 1단 증해만을 하였을 경우 증해액 종류에 따라서 카파가의 차이는 크지 않았으나, 탄산칼륨/가성소다를 이용한 2단 증해 시 카파가는 5.7로 리그닌 제거 효율이 크게 증가하였으며 동일 리그닌 제거 효율에서 증해 시간도 1/2 정도로 단축되었다. 또한 pre-steaming 전처리 후 탄산칼륨/가성소다에 의한 2단 증해는 리그닌 제거 효율을 보다 개선하였다.
4. ATR-FTIR 분석을 통해 탄산칼륨 및 가성소다 증해에 의해 리그닌 및 펙틴 성분을 나타내는 peak가 약

화 또는 제거되는 것을 확인하였으며, 탄산칼륨을 적용했을 경우 펙틴의 제거가 훨씬 용이하였다.

이상의 결론에서와 같이 단독 증해 조건에서 보다는 2단 증해 시 닥 펄프 자동화 공정라인에서 생산된 닥 인피부의 해섬이 더욱 개선됨을 확인하였으며, pre-steaming 전처리를 병행할 경우 증해 약액의 농도 및 증해 시간을 효율적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 “지식경제부 산업원천기술개발사업의 친환경 닥섬유 펄프 자동화 및 닥섬유사 제조기술 개발 (과제번호:2011-0241) 사업의 지원에 의하여 수행되었습니다.

## 인용문헌

1. Usuda, M., Alkaline paper and Functional paper, Proc. 1<sup>st</sup> international seminar on pulping and papermaking technology, pp. 59-71 (1990).
2. Jeong, M.J., Analysis of chemical changes in deteriorated Korean traditional handmade paper, MSc. Dissertation, Dongguk University, pp. 27-54 (2008).
3. Seo, J.H. and Kim, H.J., Component analysis of paper mulberry bark for the automation of bark peeling process, Journal of Korea TAPPI, 43(1): 74-82 (2011).
4. Kwon, O.H. and Kim, H.C., Preliminary study on automation of bark peeling process for paper mulberry, Journal of Korea TAPPI, 43(4): 59-66 (2011).
5. Kwon, O.H., Nam, S.M., Kim, H.C., Lee, B.W. and Kim, H.A., Study on optimization process removing the black bast fiber of the paper mulberry, Proc. of the fall conference of the Korea Technical Association of the Pulp and Paper Industry, pp. 213- 216 (2011).
6. Mun, S.P., Manufacturing of Korean Traditional Handmade Paper with Reduced Fiber Damage ( I ), Journal of Korea TAPPI, 31(1): 89-94 (1999).
7. Kim, H.J., Oh, D.G. and Jo, B.M., Application of traditional ash lye manufacture for the improvement of bast fiber of Paper mulberry, Proc. of the fall conference of the Korea Technical Association of the Pulp and Paper Industry, pp 215-221 (2007).
8. 전철, 한지제조 이론과 실제, p 86, 원광대학교 출판부, 익산 (1996).
9. Choi, T.H. and Cho, N.S., Studies on the new traditional paper manufacturing from paper mulberries -anatomical and chemical properties and pulping characteristics-, Journal of Korea TAPPI, 24(1): 32-40 (1992).
10. De Groote, R. A. M. C., M. G. Neumann, J. R. Lechat, A. A. S. Curvelo, and J. Alaburda, The sulfomethylation of lignin, Journal of Korea TAPPI, 70(3): 139-140 (1987).
11. Mun, S.P. and Lim K.T., Manufacturing of Korean Traditional Handmade Paper with Reduced Fiber Damage ( II ), Journal of Korea TAPPI, 31(3): 83-89 (1999).
12. Kwon, K.K., Degradation of lignin and pectin in hemp by microorganism, MSc Dissertation, Konkuk University Graduate School (2009).