

닥나무 흑피제거 자동화 공정 기초연구

권오훈 · 김현철[†]

(2011년 11월 24일 접수, 2011년 12월 20일 채택)

Preliminary Study on Automation of Bark Peeling Process for Paper Mulberry

Oh-Hun Kwon and Hyun-Chel Kim[†]

(Received November 24, 2011; Accepted December 20, 2011)

ABSTRACT

This study was carried out to develop the automation bark peeling process of paper mulberry for making Hanji. Nowadays, almost raw material has been imported from south-east asia for making Hanji. Raw material dependence is very high for Hanji-making by low productivity in korea. This study is focused on the resolution for problem of bark peeling automation.

Water and sand jet of compressed air was possible bark peeling for black bast fiber. The effect of removing black bast fiber increased the longer the steaming time. Also using drum of bark peeling showed that results under temperature 80 °C and Rpm 50/min were best bark peeling and separating bast fiber from stem. The contents of holocellulose, lignin, ethanol-benzene extractives, and ash were 91.63~95.55%, 1.4~2.0%, 1.12~1.65%, and 1.4~4.3%, respectively. Chemical characteristics are similar between imported raw-material with drum bark.

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

1. 서 론

종이와 문자는 인류 문명의 발달과 함께 문화를 계승 해주는 매개체로서 문명의 발달에 큰 기여를 해왔다. 고대 문명국이었던 중국으로부터 문자, 문화, 정치, 사회제도 등이 도입되었고 종이제조 기술도 문명의 한 부

분을 차지하던 중요한 산업으로 인식되어왔다¹⁾. 이러한 종이제조 기술은 국내외적으로 품질을 인정받는 한 지제조에 관한 시초가 되었으며 종이기능 이외에 서화 용 등 일상생활에서 다양한 용도로 이용되어 왔다²⁾. 최근 들어 한지제조 원료로 사용되어온 닥섬유의 우수한 항균소취 기능 및 환경오염에 따른 신체의 부작용을 최

• 한국니트산업연구원 기업지원실(Korea Institute for Knit Industry, Iksan 560-330, Korea)

† 교신저자 (Corresponding Author) : E-mail ; adhckim@hanmail.net

소화시킬 수 있는 인체친화성에 대해 알려지면서 벽지, 장판지, 한지사 등 다양한 용도로 이용하고자 많은 연구가 이루어지고 있으며, 특히 한지제조의 기계화에 대한 관심이 급증하고 있다³⁾.

우리나라 전통한지의 원료로 사용되어져 온 국내산 닥나무로 제조된 닥나무 인피섬유는 사계절이 뚜렷하고 높은 일교차를 가지는 우리나라 기후에 기인하여 강인하고 광택성이 뛰어나다¹⁾. 그러나 현재 대부분의 한지는 태국 등에서 수입된 닥나무 인피섬유로 생산되는 기계한지이며, 우리나라에서 생산된 닥나무를 사용한 한지보다 광택이나 탄력이 현저히 떨어지고 윤목성의 불량 등 여러 가지 문제점을 가지고 있다⁴⁾. 한지의 제조 공정은 양지의 제조공정보다 수작업의 비중이 크고 자동화 공정의 어려움으로 인해 소수의 공장만이 명맥을 이어오고 있다¹⁾. 수작업을 탈피하기 위해 닥나무에서 펄프화 공정별로 자동화 연구가 수행되었으나 전체적인 자동화 시스템이 개발되지는 못한 실정이다.

이러한 문제점을 해결하고자 본 연구는 국내산 닥나무를 이용해 수작업의 비중이 높은 박피공정을 자동화 시스템으로 개발하여 수입에 의존하고 있는 닥나무 인피섬유 펄프를 대체할 수 있는 자동화 박피 기초연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에서 사용된 닥나무는 전북 임실 닥나무 재배

단지에서 수확된 1~3년생 닥나무를 벌채하여 가지의 중아부분을 모래 분사를 이용한 흑피제거 실험용으로 1 m, 드럼타입 박피 및 속대 분리기 재료로써 닥나무를 10 cm로 잘라서 사용하였다.

2.2 재료 및 방법

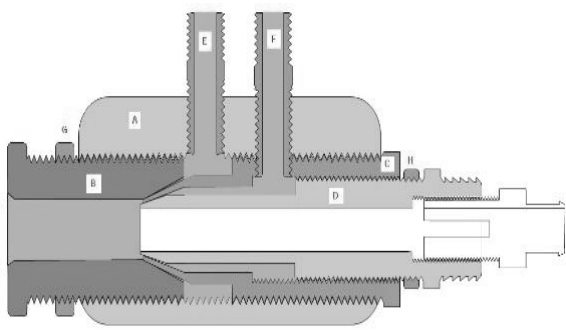
2.2.1 모래 분사를 이용한 흑피제거

본 연구에서는 닥나무 인피부의 물리적 결합강도의 차이에 의한 흑피부분을 제거하기 위하여 Fig. 1과 같이 모래, 물, 압축공기를 동시에 분사할 수 있는 노즐(특허출원: 10-2011-0029531)을 제작하였다.

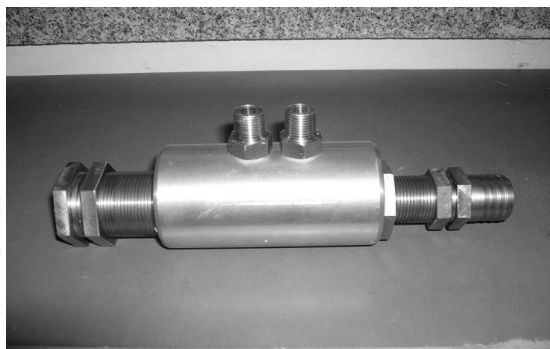
1 m 단위로 준비된 닥나무를 고온 스티머(Vision tec, high temp steamer)를 사용하여 1, 2, 4시간으로 증자 처리하였으며, 바닷모래를 직경 1, 2, 3 mm 단위로 체에 쳐서 분리한 후 물에 세척하여 잡티를 제거한 후 건조하여 사용하였다. 압축공기압은 5 kg, 물의 소비량은 1 l 소비량을 기준으로 증자시간과 모래의 직경을 변화시키며 흑피가 제거된 면적을 측정하였다.

2.2.2 드럼타입 박피기를 이용한 흑피제거

증자된 닥나무 인피섬유의 흑피부분은 충격에 약한 특성을 가지고 있어서 물리적인 충격에 의해 인피부에서 흑피가 제거되는 성질을 가지고 있다. 이에 따라 Fig. 2와 같은 드럼타입 닥나무 박피 및 속대분리기(특허출원:10-2011-0066642)를 제작하였다. 드럼내부에 각각의 길이 10, 20, 30 mm 내부돌기를 드럼당 100개를 부착하였고 제거된 흑피가 배출될 수 있도록 슬릿을 내주었다.



(a) blueprint



(b) nozzle

Fig. 1. Image of injecting nozzle.

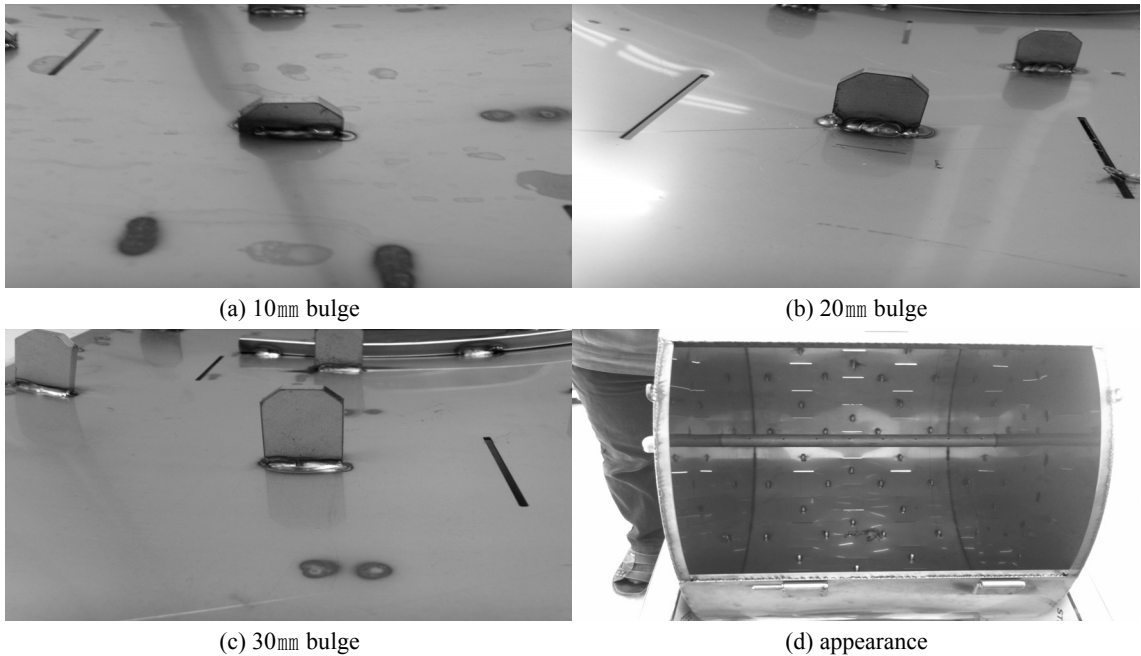


Fig. 2. Image of drum barker.

3가지 타입으로 제작된 드럼박피기에 10 cm 길이로 자른 닥나무를 4 kg 투입하여 드럼내부온도 80℃, 회전 RPM 50, 60, 70, 80, 90, 100/min으로 변화시켜 60분간 실험진행 후 박피효율 분석하고 30분 동안 추가적인 박피공정을 실시한 후 각각의 조건에 따른 박피효율을 측정하였다. 실험의 결과 드럼별 회전 RPM 50/min의 결과가 제일 좋은 것으로 판단되어 드럼별 닥나무 4 kg, 온도 80℃, 처리시간 90분의 동일조건에서 회전 RPM을 달리하여 박피된 섬유시료의 lignin 함량은 Tappi Standard T222 om-83(Klason lignin법)⁵⁾에 의거하여 측정하였다. 또한 유기용매에 의한 추출물 함량은 KS M 7039에 의거하여 알콜-벤젠 가용분을 분석하였고 Holocellulose함량은 Wise법⁵⁾에 의해 분석하였으며 회분 함량 분석은 ISO 1762에 의거하여 525℃에서 완전 연소된 회분의 중량을 측정하였다.

또한 박피된 각 섬유시료들은 활성알칼리 농도 20%의 가성소다로 액비 1:10으로 100℃에서 90분간 증해하고 Sympatec사의 Qicpic image analyzer를 사용하여 이미지를 분석하였다(30초간 입자들을 측정한 평균 값을 나타냄). 또한 국내산 닥섬유와 비교하기 위해 대조군으로 태국산 수입닥(Control)을 비교 분석하였으

며, 적외선 분광기(Thermo-Nicolet, FT-IR Avatar 370) 분석을 통하여 lignin의 잔류여부를 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 분사노즐 장치의 박피 특성

모래, 물, 압축공기를 동시에 분사노즐 장치에 의해 통해 증자된 닥나무뿐만 아니라 증자하지 않은 생재도 흑피가 고르게 제거되는 것을 관찰할 수 있었다. 생재의 경우 흑피의 강도가 높아 제거범위는 증자된 닥나무 인피섬유보다 좁았지만 분사된 모래 알갱이가 섬유 표면에 달라붙지 않아 깨끗한 상태의 인피섬유를 확인할 수 있었으며 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

증자된 닥나무는 증자 시간의 증가에 따라 제거 면적이 증가하는 것으로 나타났다. 닥나무 증자시간이 1시간에서 2시간의 제거면적의 차이는 2시간에서 4시간의 제거면적의 차이보다 컸다. 하지만 섬유의 결합능력이 낮아지기 때문에 분사된 모래가 섬유사이에 잔류되어 있는 양도 증자시간이 길어짐에 따라서 증가되었다. 또한 모래 입자 크기는 흑피제거에 큰 영향이 없었고 그

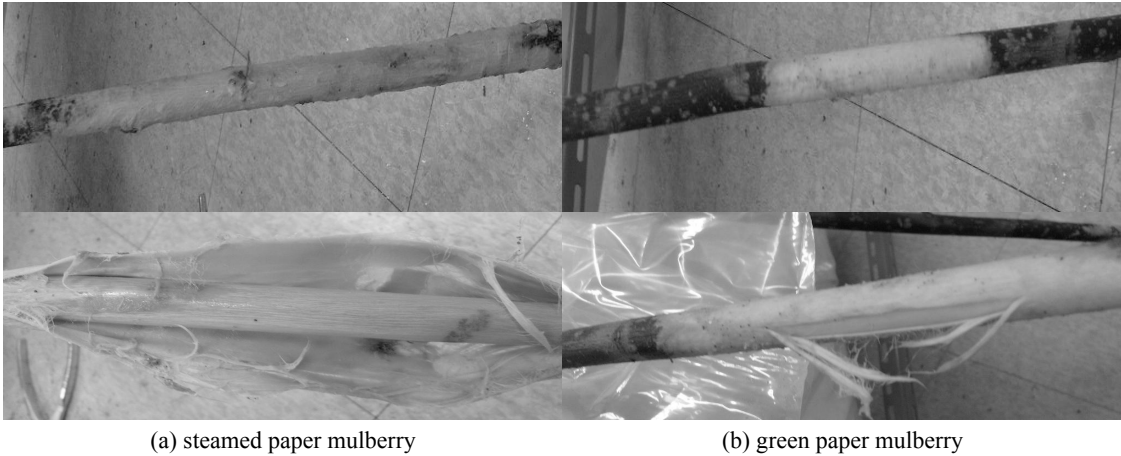


Fig. 3. Image of the paper mulberry after spraying.

Table 1. The results of the removal area(cm^2) by debarking condition

		Steaming time(hour)		
		1	2	4
Sand size(mm)	1	48.15	64.37	69.02
	2	46.86	66.58	68.74
	3	48.42	65.49	67.61

결과를 Table 1에 나타냈다⁶⁾.

3.2 드럼타입 박피기에 의한 흑피제거 후 잔존 시료내 화학적 조성

드럼타입과 RPM에 따른 선행 실험의 결과는 Fig. 4에 나타내었다. 다펀의 직경의 크기별로 인피섬유의 중량이 다르다. 따라서 다펀의 흑피부의 중량 통계수치(흑피중량: 다펀의 8%)¹⁾를 기준으로 박피실험 진행 처리 후 제거되어진 흑피의 중량을 측정하여 박피효율을 비교분석한 결과 각각의 드럼별 50 RPM/min에서 높은 박피효율을 나타내었다. 가장 높은 박피효율을 나타낸 드럼별 50 RPM/min 조건으로 박피된 다펀의 Holocellulose 함량분석을 Fig. 5에 나타내었다. 목재 펄프의 Holocellulose의 함량이 70% 정도인 것에 비해 91% 이상의 높은 수치를 나타내었다^{2,7)}. 30 mm의 돌기가 가장 높은 Holocellulose 함량이 분석되었으며 10 mm, 20 mm의 경우 비슷한 경향을 보였다. 돌기의 길이가 길수록 드럼이 회전함에 따라 다펀을 드럼벽면에 붙

잡고 올라가는 높이를 높여주어 낙하 시 마찰되는 강도 증가로 박피수준을 높이는 것으로 사료된다. 또한 lignin의 경우 자동화 박피공정에서 중요한 인자로 흑피부분의 경우 총 lignin의 함량이 40% 정도로 매우 높은 함량을 보유하는 부분이다³⁾.

자동화 흑피제거 후 lignin 측정결과는 Fig. 6에 나타냈다. lignin은 화학적, 물리적으로 불안정하기 때문에 완제품에서 변색, 변질 등 섬유 열화의 원인이 되어 종이 보존성을 해치는 것으로 알려져 있다¹⁾. Holocellulose와 마찬가지로 lignin도 10, 20 mm는 큰 차이를 보이지 않았으며 30 mm의 경우 가장 낮은 수치를 보여 대조군보다 조금 높은 수치를 나타내었다.

Fig. 7은 박피된 펄프의 알코올-벤젠 유기용매를 이용해 추출물의 함량을 나타내었고, 회분함량 분석을 위해 525°C의 회화로에서 연소시킨 후 회분 함량 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 일반적으로 펄프 원료의 추출물 함량이 높을 경우 펄프의 수율을 감소시키고, 증해 약품의 소비량이 증가하는 것으로 알려져 있다. 대조군에 비해 10, 20 mm 경우 조금 높은 수치를 나타내었으며 30 mm의 경우 더 낮은 수치를 나타내었다. 드럼 내에서 증해 되면서 추출물이 제거되었고 30 mm에서의 흑피제거율이 더 높은 수치를 나타내어 낮은 추출물의 함량으로 초지기의 오염을 방지하고 건조 과정에서 수지장애를 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 서 등³⁾의 연구에 의하면 XRF에 의한 무기분석 특성 분석의 결과 흑피부 회분의 원소조성은 칼슘이 약 56%, 납이 약 37%로써 전체회

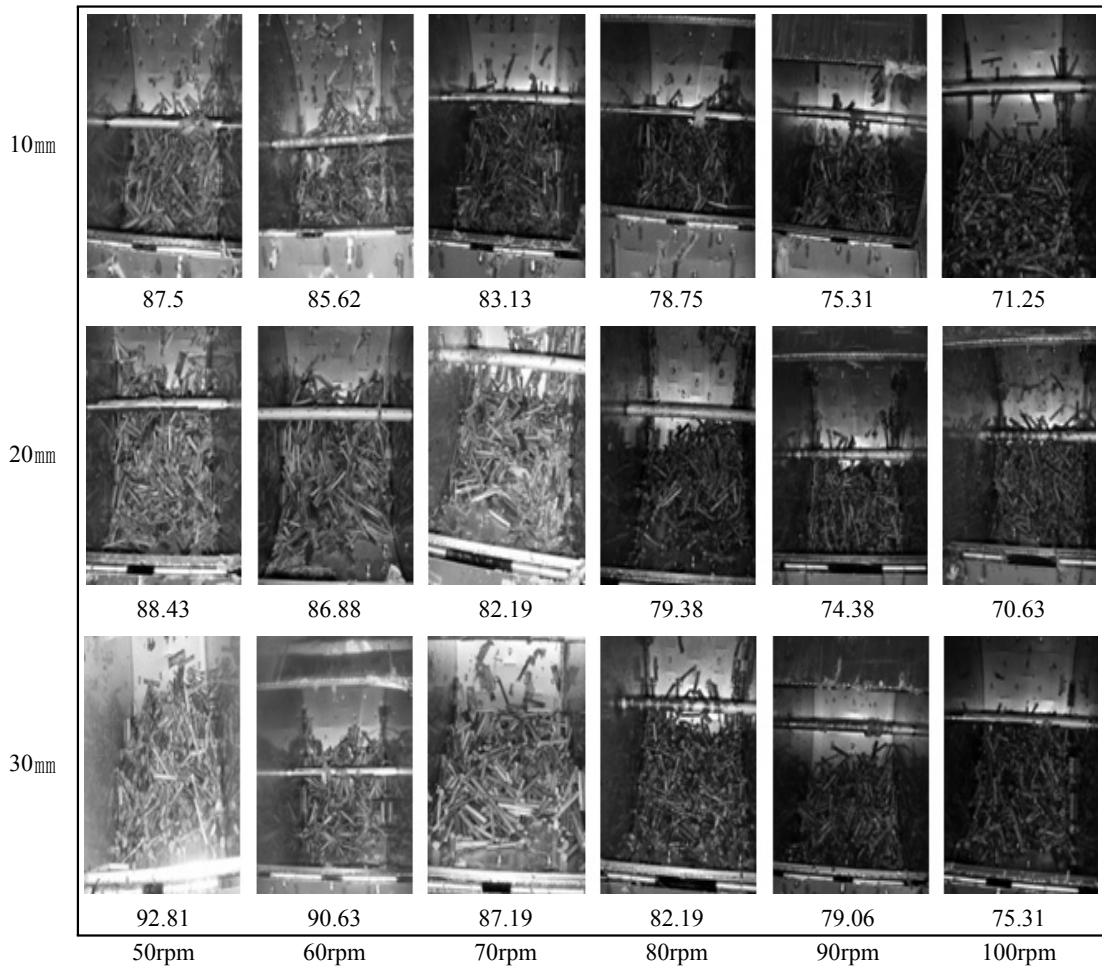


Fig. 4. Images of basic drum barking test.

* Value : Debarked rate(%)

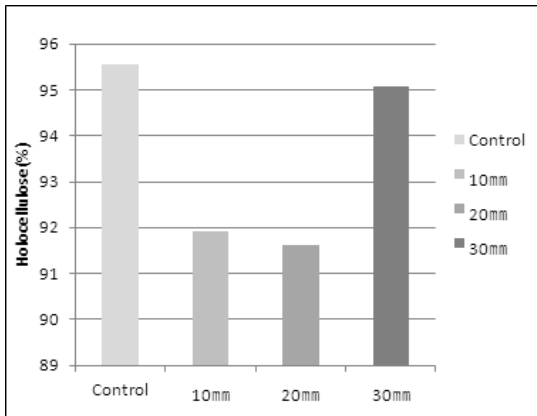


Fig. 5. Holocellulose contents in debarked pulps.

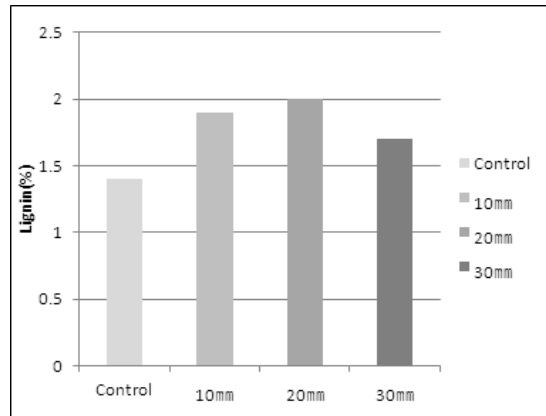


Fig. 6. Lignin contents in debarked pulps.

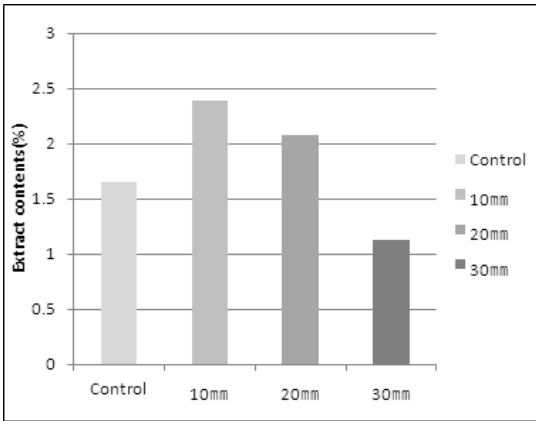


Fig. 7. Organic solvent extractives in debarked pulps.

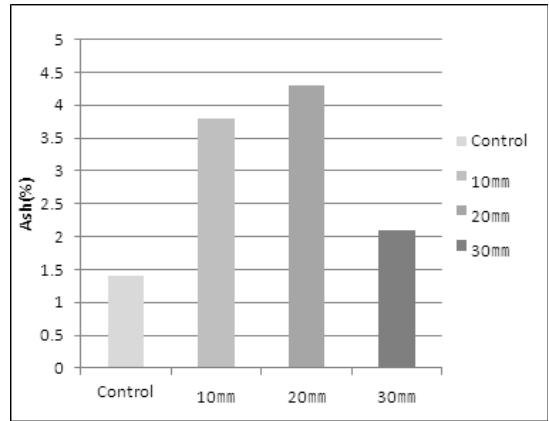


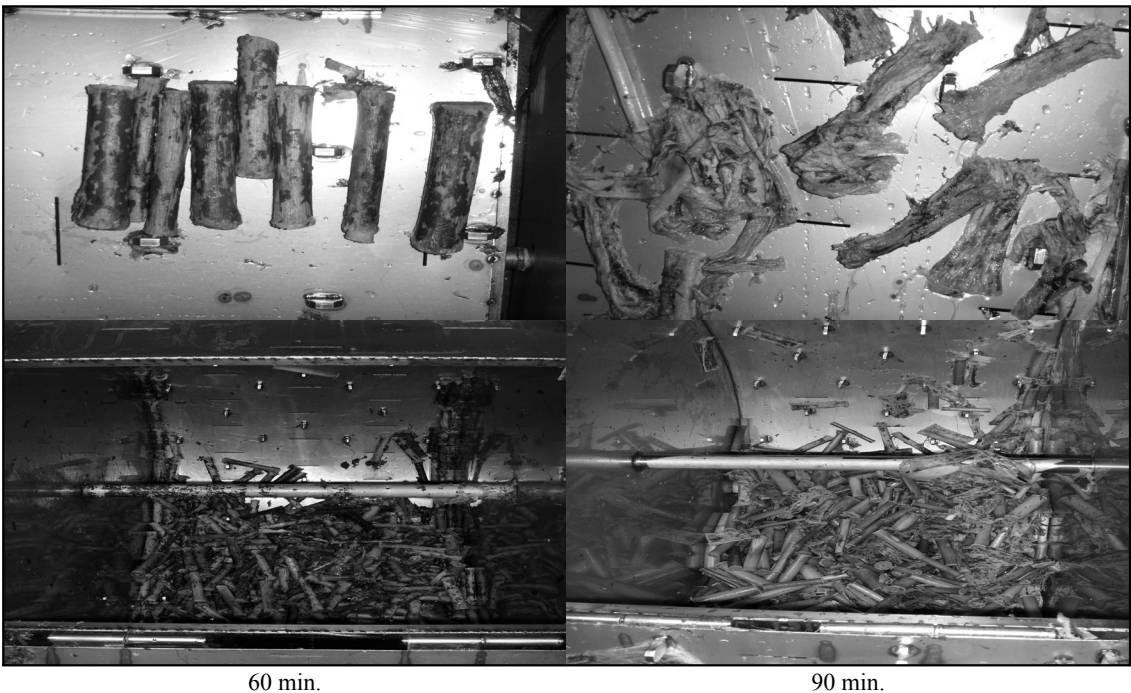
Fig. 8. Ash contents in debarked pulps.

분의 90% 이상을 차지하고 있다. 닥나무 인피섬유를 이용하여 한지사, 자동차필터, 벽지 등 다양한 산업용도의 제품 활용을 위해서는 lignin 및 중금속 제거는 필수적이며 친환경적인 산업용 확산을 위한 지속적 공정 연구가 필수적이라 사료된다⁸⁾.

화학적 조성분석의 결과를 Table 2에 종합적으로 나

Table 2. Results of chemical properties

	Control	10 mm	20 mm	30 mm
Holocellulose, %	95.55	91.91	91.63	95.08
lignin, %	1.4	1.9	2.0	1.7
Extract, %	1.65	2.39	2.07	1.12
Ash, %	1.4	3.8	4.3	2.1



60 min.

90 min.

Fig. 9. Images of drum barking result.

타내었다. 드럼박피기를 60분 처리 후 인피부 표면의 흑피 제거율이 50% 이상이고 90분 처리 후 흑피 제거율은 90% 이상이었으며 인피부와 속대의 분리율은 100%로 그 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 잔존시료 내 화학적 조성분은 흑피제거 효율이 높은 30 mm에서 10, 20 mm 보다 상대적으로 낮은 lignin 값과 높은 Holocellulose값을 나타내었다.

3.3 드럼타입 박피기에 의한 흑피제거 후 닥섬유의 물리적 특성

초고속 섬유입자 측정기 결과를 Table 3에 나타내었으며, 섬유장은 태국산이 가장 낮은 수치를 보였고 드럼박피기로 처리한 국산닥의 섬유장이 태국산보다 조금 높은 수치를 보였다. 직경은 모두 0.04 mm로 같은 값을 나타내어 직진성은 섬유장의 길이가 짧은 태국산닥이 가장 높았으며 국산닥은 직진성이 낮은 수치를 보였다. 평균섬유장이 3 mm 이상인 장섬유들은 조롱이 생기거나 결절이 일어나서 제지적성을 불량하게 만드는 원인이 된다²⁾. 셀룰로오스의 길이가 길수록 셀룰로오스의 중합도가 높기 때문에 물리적 및 화학적 안정성은 높으나 너무 길면 초지성능을 저하시키기²⁾ 때문에 국산닥의 섬유장 제거기술 연구가 필수적이라 판단된다. Elongation을 통해 나타나는 fiber입자의 길이와 직경의 비율은 태국산 닥섬유와 10mm 처리 시 유사하였으며 20, 30 mm 처리한 닥섬유는 높은 수치를 보였다.

Fig. 10에 나타낸 펄프 시료의 SEM 관찰 결과 태국산 닥펄프에서는 잔털과 작은 돌기들이 관찰되었으며, 드럼박피기로 처리한 국산닥은 비교적 매끄러운 표면과 적은수의 주름을 관찰되었다. SEM 이미지로는 섬유 손상은 없는 것으로 사료된다.

Table 3. Results of physical properties

Sample	Control	10mm	20mm	30mm
LEFI(mm)	8.12	8.61	8.37	8.47
DIFI(mm)	0.04	0.04	0.04	0.04
Straightness	0.9238	0.9155	0.9154	0.9179
Elongation	0.0098	0.0094	0.0123	0.0141

LEFI : Length of Fiber, DIFI : Diameter of Fiber
 Straightness : Feret_Max90/LEFI, Elongation : DIFI/LEFI

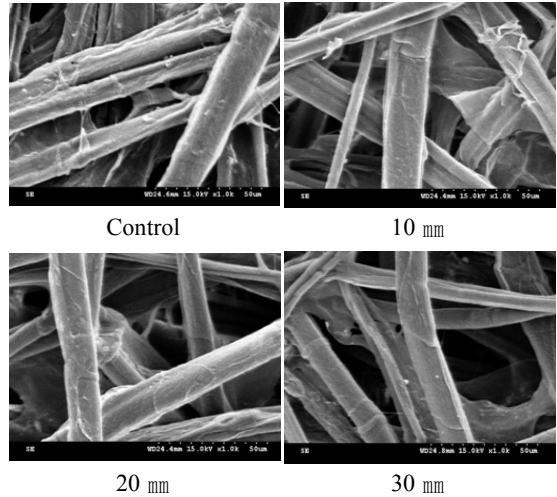


Fig. 10. SEM images of debarked pulps.

3.4 드럼타입 박피기에 의한 흑피제거 후 닥섬유의 FT-IR 분석

적외선 분광기(FT-IR) 분석 결과는 Fig. 11에 결과를 나타내었다. 1460 cm⁻¹ 및 1473 cm⁻¹ 범위의 peak는 잔류 lignin의 methoxyl group에 의한 peak로 보이며, 1510 cm⁻¹에서 보이는 peak 역시 lignin의 방향족에 의한 peak로 판단 된다⁹⁾. 특히 각 조건에 따른 1510 cm⁻¹ 부근의 peak를 비교분석해 보면 10 mm와 20 mm 처리된 닥섬유가 유사하였고 태국산과 30 mm로 처리된 닥섬유가 유사한 수치를 나타내었다.

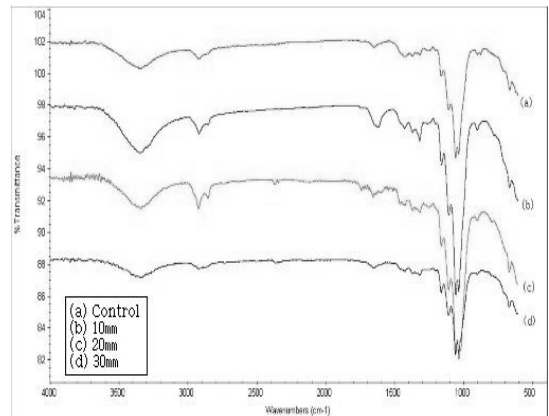


Fig. 11. FT-IR Spectrum of paper mulberry.

4. 결론

수입산 닥나무 펄프를 대체하기 위한 국내산 닥나무 인피섬유의 펄프 자동화 공정의 일환으로 흑피 제거 자동화 공정의 기초연구로서 개발 장치에 따른 박피된 인피섬유의 화학적 특성 및 닥나무 펄프 자동화공정의 가능성을 평가하였다.

1. 분사노즐장치에 의한 박피공정은 닥나무 증자시간이 길어질수록 모래분사에 의한 흑피부분의 제거면적은 늘어나며 모래입자의 크기는 박피제거에 큰 영향을 미치지 않았다.

2. 증자된 닥나무 및 생재상태의 닥나무의 흑피도 압축공기, 물, 모래에 의한 분사로 제거가 가능함을 관찰할 수 있었다.

3. 드럼 박피기에서는 30 mm 드럼 박피기로 흑피를 제거한 펄프의 Holocellulose의 함량이 95.08%로 태국산 닥펄프의 95.55%와 가까운 수치를 나타내었다.

4. 태국산 닥펄프의 lignin의 함량은 1.4%이며, 30 mm 드럼 박피기로 흑피를 제거한 펄프의 lignin의 함량은 1.7%로써 가장 유사한 값을 나타내었다.

5. 드럼박피기 처리에 의해 60분 경과 후 닥인피부의 흑피는 50% 이상이 제거되었고, 90분 처리 시 90% 이상의 흑피가 제거되었으며 인피부와 목질부의 100% 분리로 향후 자동화 공정이 단축 될 것으로 예상된다.

6. 해부학적 성질로서 섬유장은 태국산 닥펄프의 섬유장이 가장 짧았고, 펄프액내에서도 국산닥보다 조금 높은 Straightness를 나타내었다.

7. 적외선 분광기(FT-IR)분석을 통한 잔류 lignin 확인 결과 10, 20 mm 드럼박피기로 흑피를 제거한 펄프의 lignin peak는 유사하였고 30 mm 드럼박피기로 흑피를 제거한 펄프가태국산 펄프와 lignin peak가 유사하였다.

사 사

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

인용문헌

1. 전철, 한지 - 역사와 제조-, 원광대학교 출판국, p. 32-42 (2003).
2. Choi, T. H., and Cho, N. S., New Korean Traditional Papermaking from Paper Mulberry(I) - Pulping Characteristics of Broussonetia kazinoki Siebold -, J. Korea TAPPI 28(1):49-59 (1996).
3. Seo, J. H., and Kim, H. J., Component Analysis of Paper Mulberry Bark for the Automation of Bark Peeling Process, J. Korea TAPPI 43(1):74-82 (2011).
4. Hyun, K. S., Kim, M. J., and Lee, M., K., Printability Improvement of Hanji, J. Korea TAPPI 37(4):52-59 (2005).
5. 임산화학실험서, 향문사, p. 83-84 (1998).
6. 권오훈, 이방원, 남선미, 김현철, 닥나무 인피섬유의 흑피제거에 관한 연구, 춘계학술논문집, pp. 121-124 (2011).
7. 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).
8. Ko, S.T., Kim, H.J., Lee, T.J., Kang, K.H. 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).
9. Shwanningera, M., Rodriguess, J.C., Pereirac, H. and Hinterstoisser, B., Effects of short-time vibratory ball milling on the shape of FT-IR spectra of wood and cellulose, Vibrational Spectroscopy, Vol.36: p. 23-40 (2004).