

닥나무 자동 흑피 및 목질부 제거 장치의 공정 조건 연구

최시혁 · 권오훈 · 김현철^{1†}

접수일(2013년 5월 11일), 수정일(2013년 5월 31일), 채택일(2013년 6월 7일)

Study on Process Conditions for Automatic Debarking and Xylem Separator for *Paper Mulberry*

Si-Hyuk Choi, Oh-Hun Kwon and Hyun-Chel Kim^{1†}

Received May 11, 2013; Received in revised form May 31, 2013; Accepted June 7, 2013

ABSTRACT

This study is focused on the debarking and xylem separation yield of *Paper Mulberry*. We investigated the most efficient manual on the automatic debarking and xylem separator machine. The bast tissues of *Paper Mulberry* were separated in three layers including black outer layer, green inner layer, and white inner layer. A target is to save the white inner layer of these three layers as much as possible. The experimental machine most characterize xylem separation and debarking by frictional force between the bulges and *Paper Mulberry* by the drum rotation. It is possible automatically to operate the machine by controlling the temperature sensor and the time. Debarking process can be know that removed black outer layer has been accumulate and measured the weight. The content of the extract, holocellulose, lignin and ashes of the white inner layer was analyzed. It is result that conditions of optimum process of the experimental machine is 45 RPM, temperature at 60 °C (60 min.) and 80 °C (60 min.), mixing bulge of 10 mm(120ea) and 30 mm(120ea) and capacity of *Paper Mulberry* 10 kg.

Keywords : *Paper mulberry, debarking, xylem separator, automation, hanji*

1. 서론

전 세계적으로 산림자원이 풍부한 조림국들은 벌채하는 나무의 양보다 조림되는 양이 많아 목재는 지속적

으로 획득 가능한 천연자원이라 할 수 있다. 그리고 지구 온난화를 점점 가속시키는 철, 석탄, 석유화학 제품 등에 대한 대체재로 목재의 필요성은 점차 증가하고 있는 추세이다.¹⁾

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

1 청운대학교 패션디자인섬유공학과(Dept. of Fashion Design & Textile Engineering, Chungwoon University, Hongseong, Chungnam, 350-701, Korea)

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

닥나무는 천연의 다년생 식물로서 친환경적이며 지속적인 생산과 재활용이 가능하고 미생물에 의해 완전히 분해될 수 있는 재료이다. 예로부터 닥나무는 주로 종이의 용도로 한지제조에 이용되었고 닥나무 인피섬유를 이용해 제조되는 전통 수묵한지는 중성지로서 보존 특성이 매우 뛰어나 무구정광대다라니경, 조선왕조실록 등 기록유산 뿐 아니라 기록물 보존수복 등으로 다양하게 사용되어 왔다.^{2) 정 등³⁾의 연구결과에 의하면 조선왕조실록에 사용된 한지는 현재까지도 높은 분자량을 유지하고 있어 종이의 내구성과 보존성이 입증되고 있다.^{4,5)}}

최근에는 한지의 항균성, 소취성, 속건성 및 원적외선 방사 등 우수한 기능이 알려지면서 전통한지 이외에도 기계한지로 제조되어 벽지, 장판지, 포장지, 한지원사 등 다양한 분야에 응용되어 생활용 및 섬유용 등 그 용도가 점차 확대되고 있다.⁶⁾

우리 조상의 지혜와 겨레의 열이 담긴 전통한지를 만드는 과정은 매우 복잡하고 노동 집약적이며 시간이 많이 소요되는 공정이다.⁷⁾ 한지의 제조공정은 원료, 목질부 분리, 박피, 증해, 세척, 표백, 고해, 초지, 탈수, 건조 공정⁷⁻⁸⁾으로 이루어지며, 닥나무 박피공정은 한지 제조에서 가장 많은 노동력을 필요로 하는 공정으로 닥나무 채취, 증자, 피닥 제조, 흑피 및 청피 제거, 백피공

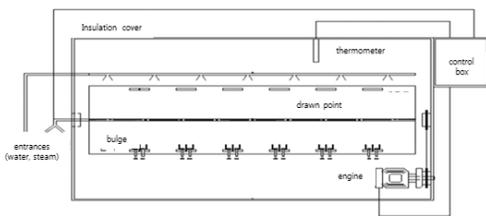
정 등으로 세분화 할 수 있다.⁹⁾

전통적인 한지 제조공정은 채취한 닥나무를 증자시켜 인피부와 목질부로 분리하여 닥칼을 이용해 인피부의 흑피와 청피 제거 후 백피 부분만을 선택적으로 이용한다. 이중 목질부 분리 및 흑피제거 공정은 닥나무 박피공정 중에서도 가장 많은 시간과 노동력을 필요로 하는 공정으로 대부분 수작업에 의존¹⁰⁾하고 있어 목재 펄프 제조와 같이 자동화 공정에 비해 경제성이 떨어지고 대량생산이 어렵다는 단점이 있다. 이러한 공정특성은 닥나무 인피섬유 사용의 한계성으로 대두되어 닥섬유를 소재로 한 제품의 가격 경쟁력을 확보하기 어려운 주요 원인으로 작용하고 있다.¹¹⁾

이와 같은 문제점을 극복하고자 본 연구에서는 현재 수작업으로 이루어지는 목질부 분리와 흑피제거 공정을 1회 닥나무 투입이 10kg 이상이 가능한 드럼타입의 자동 흑피 및 목질부 제거 장치(특허출원 : 10-2012-0027971)를 제작하여 장치의 공정 조건에 따른 인피섬유 특성에 대하여 고찰하였다.

2. 재료 및 방법

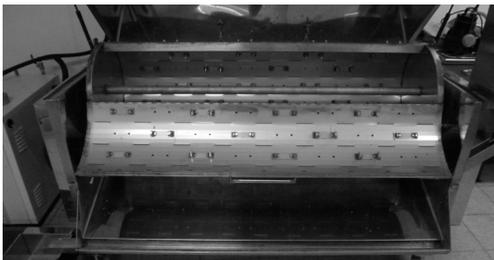
2.1 공시재료



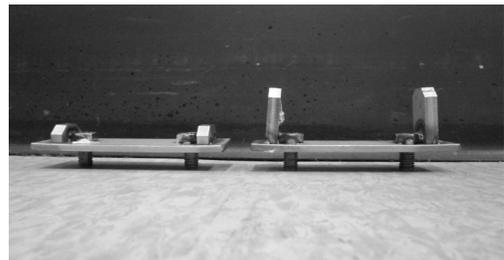
<concept>



<appearance>



<inside>



<bulge 10 mm, 30 mm>

Fig. 1. Images of the automatic debarking and xylem separator.

본 실험에 사용한 닥나무는 전북 임실 닥나무 재배 단지에서 수확된 1~3년생 닥나무로, 별채 후 잔가지를 제거한 뒤 10 cm로 절단하여 실험하였다.

2.2 실험 및 방법

2.2.1 드럼타입 흑피 및 목질부 제거

본 연구에서는 10 cm로 절단된 닥나무의 1회 투입량이 10~13 kg인 드럼타입의 자동 흑피 및 목질부 제거 장치로 닥나무의 흑피제거와 목질부 분리가 동시에 가능하다. 드럼 내부의 돌기 크기는 10, 30 mm 두 종류로 구성되어 있고 너트 방식으로 0~240개까지 부착이 가능하고, 드럼내부에는 슬릿을 내어 닥나무에서 제거된 흑피의 배출이 용이 하도록 제작하였다. 온도센서에 의해 스팀 양이 조절되고, 타이머에 의해 설정시간에만 드럼이 회전하는 방식으로 자동으로 가동이 가능하다. Fig. 1에 드럼타입의 자동 흑피 및 목질부 제거 장

치를 나타내었다.

2.2.2 장치 실험조건

Fig. 1의 장치를 활용하여 10 cm로 절단된 닥나무 10 kg을 투입하고 가동시간을 120분으로 고정하고 드럼의 RPM, 내부온도, 돌기 크기 및 돌기 수를 변화시키며 투입된 닥나무의 흑피 제거 및 목질부 분리 상태를 고찰하였다. Table 1에 자동 흑피 및 목질부 제거 장치의 가동조건을 나타내었다.

2.2.3 분석방법

자동 흑피 및 목질부 제거 장치로 닥나무에서 제거된 흑피는 Fig. 2와 같이 장치의 배출수에서 제거된 흑피를 회수하여 중량을 측정하였다. 흑피 제거율 BPP는 투입한 닥나무 무게의 8%(닥나무 흑피부 중량 통계 수치)¹²⁾를 기준으로 아래와 식 (1)과 같이 나타내었다.

Table 1. The experimental conditions of the automatic debarking and xylem separator

	Capacity (kg)	Time (min)	RPM	Temperature (°C)	Bulge size and piece mm/ea (bulge size/bulge piece)		
Change of RPM	10	120	15	80	30/120		
			30				
			45				
Change of temperature			45	120	45	50	30/120
						60	
						70	
						80	
Change of bulge			45	120	45	60(60 min)	10/120
						80(60 min)	30/120
		10/60, 30/60					
		10/120, 30/120					

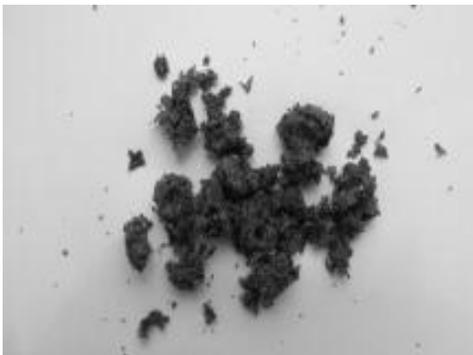


Fig. 2. Images of the black outer layer sample and the sample measurement method.

$$\frac{DPW(g)}{10000g \times 0.08} \times 100 = DP(\%) \quad (\text{식 1})$$

여기서,

DP = debarking percent

DPW = weight of peeled outer bark debarking

또한 닥 인피부와 목질부 분리율(%)은 각 실험 조건 별로 처리된 100개의 시료를 무작위로 채취하여 드럼 내부 온도(50, 60, 70, 80℃)와 가동시간(60, 90, 120분)의 변화에 따른 분리여부를 육안으로 확인하였다.

Fig. 2에서는 자동 흑피 및 목질부 제거 장치에서 제거된 흑피부를 수집하는 장면과 수집된 흑피부를 보여 주고 있다.

자동 흑피 및 목질부 제거 장치로 처리된 닥 인피섬유의 화학적 조성분을 분석하기 위하여 분리된 인피부를 건조한 후 미분쇄(40~60mesh)하여 추출물(TAPPI T 204),¹³⁾ 리그닌(클라손 리그닌 정량법),¹⁴⁾ 홀로셀룰로오스(Wise법)¹⁴⁾ 및 회분(ISO 1762)¹³⁾ 함량 등을 분석하였다.

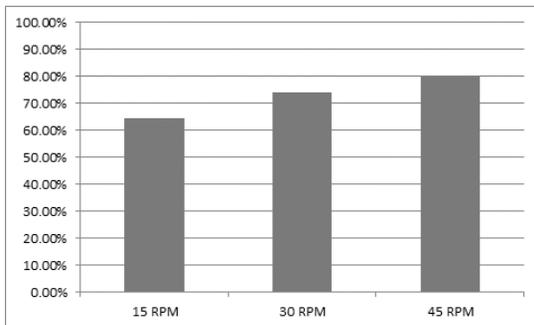


Fig. 3. The DP according to the RPM change.

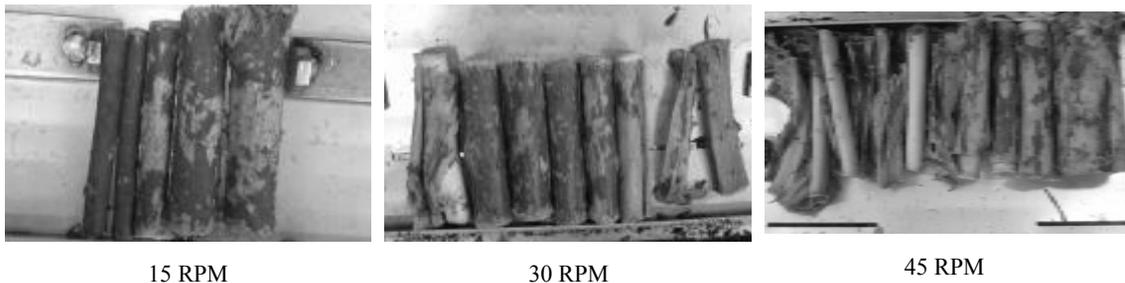


Fig. 4. Images of the debarked mulberry depending on drum rotating speed.

3. 결과 및 고찰

3.1 회전수 변화에 따른 닥섬유 특성

자동 흑피 및 목질부 제거 장치에서 닥나무 투입량 10 kg, 가동시간 120분, 온도 80℃ 그리고 돌기 사이즈 30 mm 및 돌기수 120개로 고정하고, RPM을 15, 30 그리고 45로 변화시키며 흑피 제거율 및 인피부 특성을 고찰하였다. Fig. 3은 자동 흑피 및 목질부 제거 장치의 회전수 변화에 따른 흑피 제거율을 나타내었고, 회전수가 증가할수록 투입된 닥나무의 흑피 제거율이 증가하였다.

서⁷⁾ 등의 연구결과에 의하면 닥나무의 백피부에 비해 흑피부는 추출물 3배, 리그닌 58배, 회분은 4배정도 이고, 그리고 홀로셀룰로오스 함량은 1/3로 분석되었다. 이 연구결과로 닥나무에서 흑피 제거가 높은 인피부의 조성분에서 추출물, 리그닌 그리고 회분 함량이 감소하고 홀로셀룰로오스 함량은 증가하는 것을 볼 수 있다.

자동 흑피 및 목질부 제거 장치의 회전수 변화에 따른 시료의 흑피 제거 상태를 Fig. 4에 나타내었고, 45 RPM에서 가장 많은 흑피가 제거되어 드럼이 저속보다는 고속으로 회전 시 흑피 제거가 증가함을 확인하였다.

Table 2는 자동 흑피 및 목질부 제거 장치의 회전수 변화에 따른 인피부의 조성분 함량을 나타내었다. 회전수가 증가 할수록 추출물, 리그닌 그리고 회분 함량이 감소하며, 홀로셀룰로오스 함량이 증가하는 것을 확인하였다.

Table 2. The chemical analysis of debarked white inner layer according to the RPM change

drum rotating speed analysis item	15 RPM (standard deviation)	30 RPM (standard deviation)	45RPM (standard deviation)
extractive(%)	5.56 (0.1687)	5.15 (0.1402)	4.85 (0.1247)
lignin(%)	5.59 (0.1127)	4.86 (0.0979)	4.44 (0.1153)
holocellulose(%)	86.16 (0.1265)	86.84 (0.1306)	87.27 (0.1163)
ash(%)	3.70 (0.0527)	3.65 (0.0629)	3.62 (0.0425)
total(%)	101.01	100.50	100.18

3.2 온도 변화에 따른 닥섬유 특성

Fig. 5는 자동 흑피 및 목질부 제거 장치에서 닥나무 투입량 10 kg, 가동시간 120분, 회전수를 45, 그리고 돌기 사이즈 30 mm 및 돌기수 120개로 고정하고 온도를 50~80℃로 변화시키며 흑피 제거율을 나타내었다. 드럼내부의 온도가 60℃에서 90% 수준의 흑피 제거율 보이다 그 이상의 온도에서는 흑피 제거율이 80% 수준

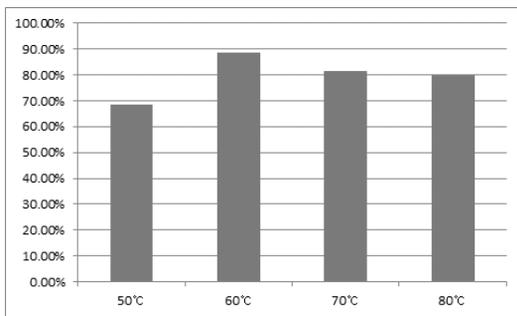


Fig. 5. The DP according to the temperature change.

임을 알 수 있었다.

Fig. 6은 자동 흑피 및 목질부 제거 장치의 온도 변화에 따른 흑피가 제거된 상태를 나타낸 것으로 60℃에서 가장 우수한 흑피 제거 상태를 보였다.

Table 3은 자동 흑피 및 목질부 제거 장치의 온도 변화에 따른 인피부의 조성분 함량을 나타내었다. 드럼 내부의 온도 60℃에서 추출물, 리그닌 그리고 회분 함

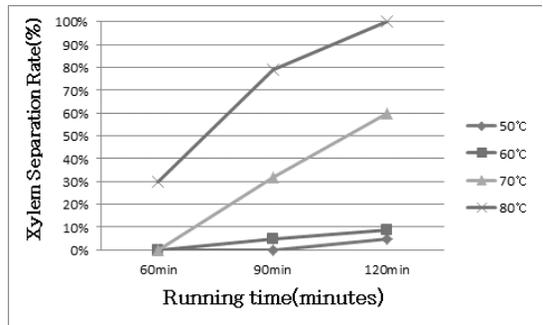


Fig. 7. The Xylem Separation rate efficiency according to variable temperature and time.

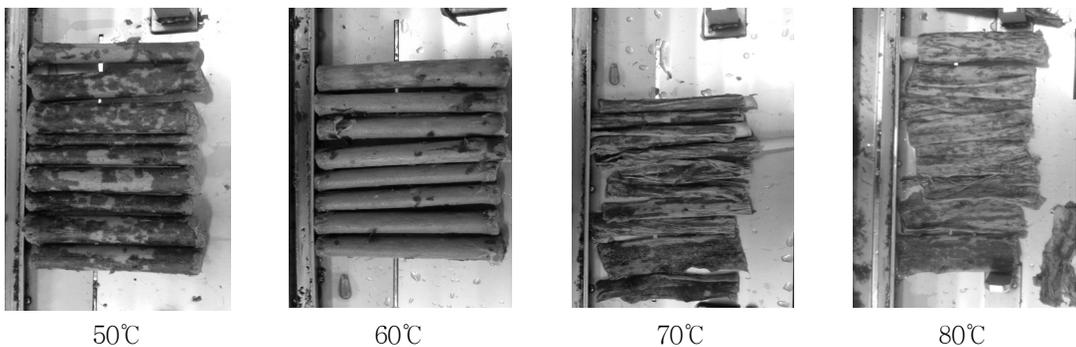


Fig. 6. Images of the debarked mulberry depending on internal temperature of the drum.

Table 3. The chemical analysis of debarked white inner layer layer according to the temperature change

item \ temperature analysis	50℃ (standard deviation)	60℃ (standard deviation)	70℃ (standard deviation)	80℃ (standard deviation)
extractive(%)	5.19 (0.1501)	4.61 (0.1052)	4.75 (0.1047)	4.87 (0.1095)
lignin(%)	4.96 (0.0959)	3.99 (0.0918)	4.34 (0.1053)	4.43 (0.1124)
holocellulose(%)	86.71 (0.1317)	80.06	87.36 (0.0963)	87.24 (0.1051)
ash(%)	3.65 (0.0598)	3.52 (0.0429)	3.60 (0.0425)	3.62 (0.0492)
total(%)	100.51	99.94	100.05	100.16

량이 가장 감소하고 반면에 홀로셀룰로오스 함량이 가장 증가함을 확인하였다.

닥 인피부와 목질부 분리율은 각 실험 조건별로 처리된 100개의 시료를 무작위로 채취하여 분리여부를 육안으로 확인하였다. Fig. 7은 드럼내부 온도(50, 60, 70, 80℃)와 가동시간(60, 90, 120분)의 변화에 따른 시료의 인피부와 목질부 분리율을 나타내었고, 드럼내부

온도 80℃, 가동시간 120분에서 인피부와 목질부가 100% 분리되었다.

Fig. 8은 드럼내부 온도와 장치의 가동시간의 변화에 따른 시료의 인피부와 목질부 분리상태를 관찰한 사진으로, 드럼내부 온도 80℃, 가동시간 60분에서 인피부에서 흑피가 제거되기 전에 목질부와 인피부가 먼저 분리되는 현상을 관찰하였다. 투입된 닥나무에서 흑피

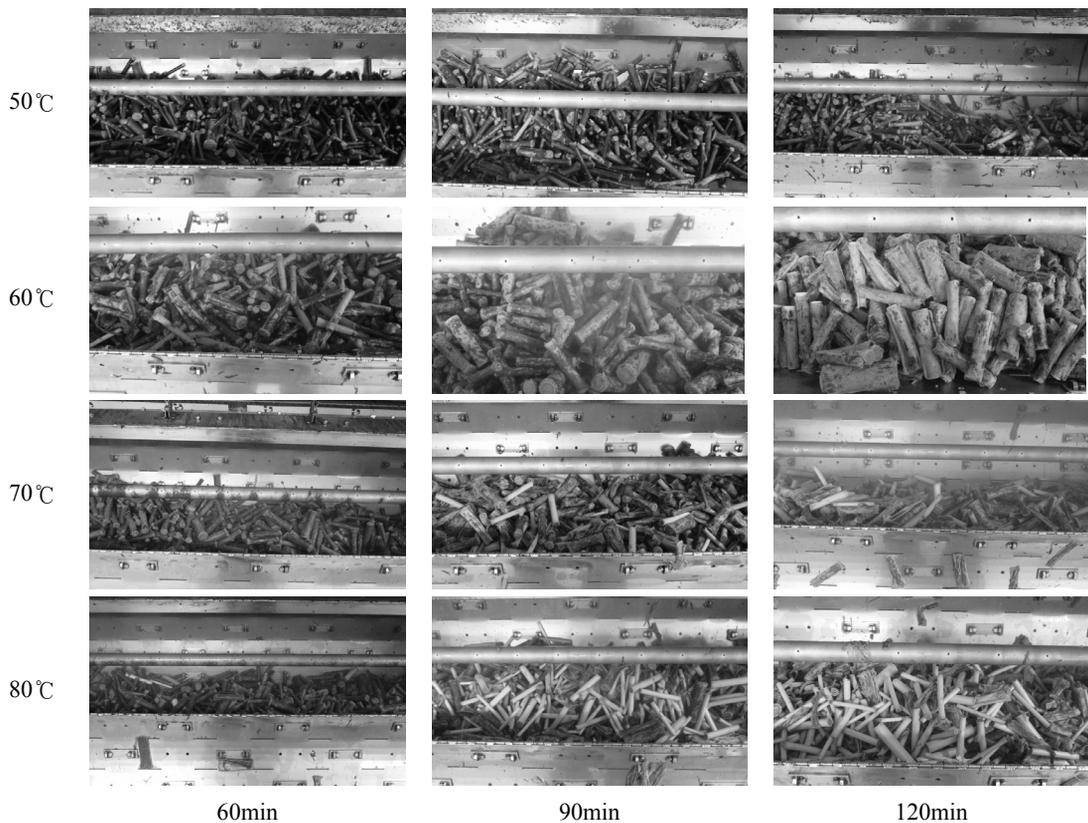


Fig. 8. Images of the xylem separation rate according to variable temperature and time.

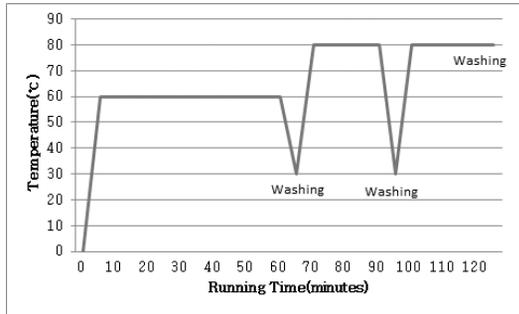


Fig. 9. Optimum temperature conditions according to the scheduled time.

가 제거되기 이전에 목질부가 먼저 분리되면 흑피 제거율이 저하되는 것을 Fig. 9에서 확인 할 수 있었고 따라서 드럼내부 온도 60℃는 흑피 제거에 유리하고, 80℃의 경우는 목질부 분리에 적합하므로 자동 흑피 및 목질부 제거 장치의 내부 온도조건을 일차적으로 60℃에서 흑피 제거 후 80℃에서 인피부와 목질부를 분리하는 2단계 공정으로 가동이 가장 효과적인 공정조건이라고 사료된다.

Fig. 9는 자동 흑피 및 목질부 제거 장치의 120분간 가동시간에 따른 최적의 온도 변환 조건을 나타낸 것으로 닥나무 투입량 10 kg, RPM 45 그리고 돌기 사이즈 30 mm 및 돌기수 120개로 고정하였을 때 닥나무 흑피 제거율이 87.88% 그리고 인피부와 목질부가 100% 분리되는 성능을 보였다. 따라서 드럼내부 온도 60℃에서 80℃로의 2단계 공정을 통하여 하나의 자동화 설비

로 흑피 및 목질부 제거가 가능하다.

3.3 돌기 사이즈 및 돌기 수 변화에 따른 닥섬유 특성

Fig. 10은 자동 흑피 및 목질부 제거 장치에서 닥나무 투입량 10 kg, 가동시간 120분, RPM 45, 온도 60℃에서 80℃로의 2단계 공정을 고정시키고, 돌기 사이즈 및 돌기수를 변화시켜 닥나무의 흑피 제거율을 나타내었다. 120개의 돌기 개수의 실험 결과에서는 돌기 사이즈가 10 mm와 30 mm 혼합, 30 mm 그리고 10 mm 순으로 흑피 제거율이 우수한 것을 확인 할 수 있었다. 또한 돌기 사이즈 10 mm와 30 mm 혼합에서는 돌기수 120개 보다는 240개의 돌기에서 흑피 제거율이 우수함을 확인하였다.

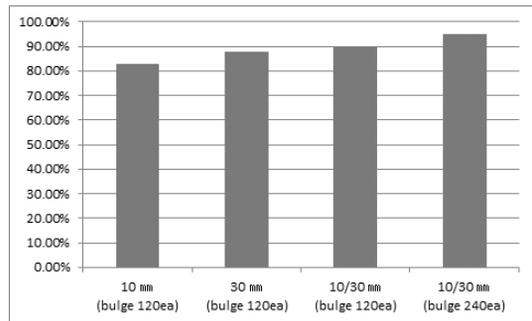


Fig. 10. The DP according to the bulge size and piece change.

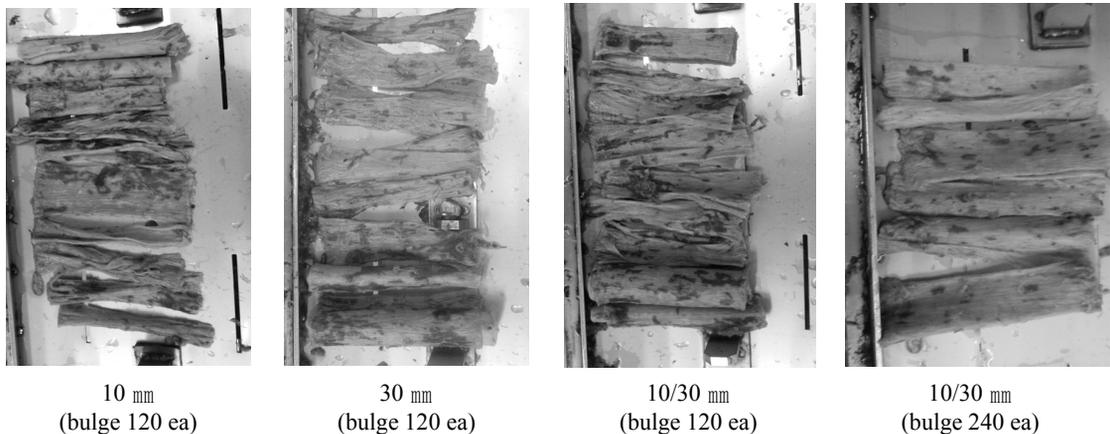


Fig. 11. Images of the debarked mulberry depending on bulge size and pieces.

Table 4. The chemical analysis of debarked white inner layer according to the bulge size and piece change

analysis item	size/piece (bulge)	10mm/120ea (standard deviation)	30mm/120ea (standard deviation)	10mm/60ea +30mm/60ea (standard deviation)	10mm/120ea +30mm/120ea (standard deviation)
	extractive(%)		4.87 (0.0841)	4.83 (0.0867)	4.53 (0.0911)
lignin(%)		4.42 (0.0963)	4.00 (0.0978)	3.77 (0.1042)	2.60(0.0984)
holocellulose(%)		87.11 (0.0974)	87.69 (0.1016)	88.28 (0.1075)	90.12(0.1075)
ash(%)		3.60 (0.0398)	3.58 (0.0401)	3.54 (0.0455)	3.33(0.0424)
total(%)		100	100.1	100.12	99.96

자동 흑피 및 목질부 제거 장치의 돌기 사이즈 및 돌기수 변화에 따른 시료의 흑피 제거 상태를 Fig. 11에 나타내었다. 다른 공정조건이 동일하면 돌기 사이즈가 크고 개수가 많을수록 흑피 제거율이 우수하며, 10 mm와 30 mm 두 가지 타입의 돌기를 조합하였을 때에도 흑피 제거율이 증가하였다. 따라서 드럼의 회전속도를 빠르게 하고 드럼내부에서 닥나무 시료의 이동 동선을 크게 유도하면 흑피 제거가 용이한 조건이 될 것으로 사료된다.

Table 4는 돌기 사이즈 및 돌기수 변화에 따른 인피부의 조성분 함량을 나타내었고 흑피 제거율이 증가할수록 추출물, 리그닌 그리고 회분 함량이 감소하며, 홀로셀룰로오스 함량은 증가함을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 현재 수작업으로 이루어지는 목질부 분리와 흑피제거 공정을 닥나무 투입 10 kg 이상이 가능한 자동 흑피 및 목질부 제거 장치를 이용하여 효율적인 자동화 공정 조건 설정을 목표로 하였다.

자동 흑피 및 목질부 제거 장치의 회전수(15, 30, 45 RPM) 변화에 따른 흑피 제거율에서는 회전수가 증가할수록 보다 우수한 흑피 제거율을 보였고, 45 RPM(최대 RPM)에서 흑피 제거율이 가장 높았다.

자동 흑피 및 목질부 제거 장치의 120분간 가동시간에 따른 최적의 온도 변환 조건은 드럼내부 온도 60℃에서 80℃로의 2단계 공정을 통하여 흑피 제거 및 인피부와 목질부 분리의 두 공정이 하나의 자동화 설비로 흑피 및 목질부 제거가 가능하였다.

자동 흑피 및 목질부 제거 장치에서 돌기 사이즈가

크고 개수가 많을수록 흑피 제거율이 우수하며, 10 mm와 30 mm 두 가지 타입의 돌기를 조합하였을 때에도 흑피 제거율이 증가하였다. 본 연구결과, 10 kg 이상의 닥나무 투입이 가능한 자동 흑피 및 목질부 제거 장치의 최적 공정조건은 드럼 회전속도 45 RPM, 가동시간 120분, 드럼내부 온도 60℃에서 80℃로의 2단계 공정, 그리고 돌기 사이즈 10 mm 및 30 mm 혼합과 돌기수 240개를 이용하는 공정이 최적의 흑피 제거와 목질부 분리가 가능하였다.

본 연구에서 사용한 장치는 최대 RPM이 45, 최대온도는 80℃이며 돌기의 종류는 10, 30mm 두 종류로 한정되어 있어 장치의 가동시간을 120분 이하로 줄이지 못하였으나, 추후 새로운 장치 제작 시 개선하여 RPM, 내부온도 그리고 돌기의 조건들과 흑피제거 및 목질부 분리와 상관을 확립시키고자 한다.

사 사

본 연구는 산업통상자원부 산업융합원천기술개발사업에서 지원한 친환경 닥섬유 펄프 자동화 및 닥섬유사 제조기술 개발(과제번호: A2010-0240)과제의 지원으로 수행 되었습니다.

Literature Cited

1. Lee, Y.L., Kim, C.H., Park, H.j., Kim, S.H., Kim, G.C., Sheikh, M.I., Cho, H.s., Shim, S.W., Lee, Y.M. and Ahn, B.I., Study for Optimum Use of Forest Biomass Generated from the National Forest Management Operation(Part 2), J. Korea TAPPI 44(6): 1-8 (2012).

2. Choi, T.H. and Cho, N.S., New korean traditional paper making from *paper mulberry*(I), J. Korea TAPPI 28(1): 49-59 (1996).
3. Jeong, M.J., Analysis of chemical changes in deteriorated Korean traditional handmade paper, Dongguk University, 27-54 (2008).
4. Usuda, M., Alkaline paper and Functional paper, Proc. 13th internal seminar on pulping and paper-making technology, 59-71 (1990).
5. Sin, D.S., Neutral Paper- based and technology-, Sam Gong scholarship foundation (1989).
6. Hwang, J.H., Seo, J.H. and Kim, H.J., Pulping Properties of Bast Fibers of *Paper Mulberry* by Pre-steaming and 2-stage Cooking System, J. Korea TAPPI 45(1):75-82 (2013).
7. Jeong, S.h., Substitute fiber Resources that the Production Characteristics of *Abutilon theophrasti Medicus*, Chungbuk National University doctoral dissertation (2001).
8. Survey Report for the four precious things of the study, National Folk Museum Academic Series (1992).
9. 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).
10. Kwon, O.H., and Kim, H.C., Preliminary Study on Automation of Bark Peeling Process For *Paper Mulberry*, J. Korea TAPPI 43(4): 59-66 (2011).
11. Kwon, O.H., Lee, B.W., Nam, S. M., and Kim, H.C., Study on removing the black bast fiber of the *paper mulberry*, Proceeding of Spring Conference of the Korea Technical Association of the Pulp and Paper Industry 121-124 (2011).
12. Jeon, C., Han Ji - the history and manufacturing-, Won Kwang University Publisher, 32 (2003).
13. Yun, B.H., Kim, B.Y., Yun, S.R., Lee, Y.G., and Sin, J.S., Pulp and Paper Experiment Method, Korea Technical Association of The Pulp and Paper Industry 25-37 (2006).
14. Forest Products Chemistry Experiment Method, Hyang Mun Sa, 83-84 (1998).