한지 원재료인 닥나무와 인피섬유의 해부학적 · 화학적 특성 연구

고인희 | 정선화¹

국립문화재연구소 복원기술연구실

Anatomical, Morphological, and Chemical Characteristics of Paper-mulberry Wood and Bast Fiber for Raw Material of Korean Paper(Hanji)

In Hee Go | Seon Hwa Jeong¹

Restoration Technology Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 34122, Korea

¹Corresponding Author: Jeongsh0707@korea.kr, +82-42-860-9344

초록 본 연구는 닥나무의 삼단면 관찰을 통하여 공통된 해부학적 특성을 가지는지 확인하고 닥나무 인피섬유의 섬유장·폭, 내강폭과 같은 형태학적 특징과 화학적 특징을 통해 펄프, 제지공정에 영향을 미칠 수 있는 인자들을 분석하였다. 닥나무는 환공재, 반환공재이며 대도관이 고립관공으로 방사상배열이다. 접선단면 방사조직은 1~3열이고 나선비후가 관찰되어져 공통적으로 동일한 해부학적 특성이 나타났다. 인피섬유의 형태학적 특징으로는 섬유장 6.58~9.01 mm, 섬유폭 15.85~27.80 μm , 내강폭 4.50~12.54 μm 로 나타났다. 펄프, 제지공정에 중요한 특성으로 여겨지는 runkel ratio, slenderness ratio 등을 고려했을 때 강원도 D시료가 가장 적합하였다. 인피섬유의 화학적 특성으로 경상도 C시료가 낮은 추출물 함량과 높은 셀룰로오스 함량을 가지는 것을 확인하였다. 섬유의 형태학, 화학적 특성은 한지 제조 후 품질을 결정하는 주요 인자의 기초자료로 활용될 것이다.

중심어: 한지, 닥나무, 해부학적 특성, 화학적 특성, 형태학적 특성

ABSTRACT This study using a method different from those employed previously, the anatomical characteristics of paper-mulberry wood were confirmed by observing three different sections. In addition, the factors affecting the pulp and papermaking processes were analyzed in terms of morphological properties such as the fiber length and width, lumen width, and chemical composition of the paper-mulberry bast fiber. The anatomical characteristics of the paper-mulberry wood were a ring porous or semi-ring porous structure with the vessels showing solitary pore and radial array. The medullary ray of the tangential section showed 1-3 rows and common helical thickening. Consequently, the paper-mulberry wood has the same anatomical characteristics throughout. The morphological characteristics of the paper-mulberry bast fiber are a fiber length of 6.58 to 9.01 mm, fiber width of 15.85 to 27.80 μm , lumen width of 4.50 to 12.54 μm . The D sample of Gangwon was the most suitable for the pulp and papermaking processes, in terms of its derived morphological ratios. Comparing the chemical compositions, the C sample of Gyeongsang had a high holocellulose content (90%). Thus, the findings herein will aid in determining the quality of Korean paper post production.

Key Words: Hanji, Paper-mulberry, Anatomical characteristic, Chemical characteristic, Morphology characteristic

1. 서론

국내에서 제조되는 한지는 비목재 섬유인 닥나무 인피 섬유가 주원료로 사용된다. 닥나무(*Broussonetia kazinoki*)는 쐬기풀목(Urticales) 뽕나무과(Moraceae)에 속하는 낙엽 활엽 관목이며(Lee, 2017), 목재는 나무(수종)에 따라 해부, 물리 및 역학적 성질이 다르다(Kim and Kim, 2017). 또한 동일한 수종의 닥나무라도 기후, 토질에 따라 섬유폭, 길이 등이 달라져 품질에 영향을 주기도 하며(Choi *et al.*, 2007) 펄프 섬유의 크기와 모양은 완성된 종이의 성질이나 제조 방식에 큰 차이를 준다. 더욱이 비목재 섬유는 그 크기와 모양, 미량 성분의 화학적 성질이 목재 펄프섬유와 현저히 달라서 특수한 성질의 종이 제품을 만드는데 꼭 필요한 것이다(Lee, 1996). 예를 들어 같은 인피섬유라 할지라도 *Gampi*(*Wikstroemia canescens*)는 섬유장과 섬유폭이 2~4 mm, 4~20 μm 이지만 *Paper-mulberry*(*Broussonetia papyrifera*)의 경우 6~20 mm, 25~35 μm (Ilvessalo-Pfäffli, 1995)로 섬유장과 섬유폭의 값이 다르다. 특히 섬유장은 종이의 지합, 인장 및 인열강도, 내절도 등에 큰 영향을 미친다(Seth, 1990; Lee, 1996; Zhu *et al.*, 2007). 그리고 종이의 강도적 특성은 공정 변수에 의존하지만(예를 들면 섬유와 섬유 사이의 배향 및 결합형성) 수종(species)에 따른 섬유의 특성에 따라 가장 많이 영향을 받는다(Horn, 1978).

또한 닥나무는 잎의 성상에 따라 진저(眞楮), 적저(赤楮), 요저(要楮), 흑저(黑楮) 등으로 구분하지만 국내 한지 업계에서는 통상 참닥과 부닥으로 구분하고 있다고(Kim, 2007) 보고되고 있으며, 현장에서는 이보다 더 다양한 명칭들로 불리어지고 있다. 또한 Hutchinson(1967)에 의하면 닥나무속은 열대, 아열대, 난대지방에서 자라는 낙엽성 관목으로 세계적으로 약 6종이 있다고 보고했다. 또한 1905년 편찬된 김일제의 농정신편 3권에 의하면 8가지 명칭을 들고 있다(Oh and Park, 2009). Kim *et al.*(1992)에 따르면 한국에는 닥나무속 식물이 닥나무(*B. kazinoki*), 꾸지나무(*B. papyrifera*)로 2종 분포하는 것으로 알려져 있지만 꾸지닥나무는 우리나라 식물도감에도 누락되어 왔고 재배자는 물론 여러 식물표본관의 표본이나 심지어는 본 식물의 연구자도 닥나무로 오동정 해왔다. 꾸지닥나무는 소지, 잎, 타엽, 웅화수 형태에서 꾸지나무, 닥나무와 수목학적 특징이 유사하며 꾸지닥나무가 닥나무와 꾸지나무의 중간잡종이라는 견해를 확인한 연구도 있다(Yun and Kim, 2009).

이러한 선행연구에도 불구하고 여전히 닥나무를 구분하

는 방법이 표준화되어 있지 않아 본 연구에서는 전국 권역별 5개체 닥나무의 삼단면 관찰을 통해 공통적인 해부학적 특징을 가지는지 확인하였다. 상기 닥나무를 이용해 제조된 인피섬유(백피)의 섬유장, 섬유폭, 내강폭과 같은 해부학적 특징과 리그닌, 셀룰로오스 등과 같은 화학적 구성성분 함량을 분석하여 닥나무와 그 인피섬유의 원재료에 관한 해부학, 화학적 기초자료를 구축하였다. 본 연구 결과를 기반으로 제조된 한지의 물리적인 특성 평가가 이루어진다면 문화재의 복원·보수 처리에 사용되는 한지의 품질을 결정하는 주요한 인자로 활용될 것으로 기대된다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구재료

닥나무와 닥나무 인피섬유는 전국 한지를 제조하는 공방을 중심으로, 직접 닥나무를 재배하는 공방에서 구입하였다. 대표적으로 충청도 A공방(CC-A), 경기도 B공방(GG-B), 경상도 C공방(GS-C), 강원도 D공방(GW-D), 전라도 E공방(JL-E) 권역별 5개 도지역에서 닥나무와 인피섬유 5점씩을 각각 수집하였다.

2.2. 연구 방법

2.2.1. 닥나무의 해부학적 특성

5개체의 닥나무를 약 1~2 cm 정도로 잘라 글리세린과 증류수를 1:4 (v:v)로 혼합한 용액에 5일간 100℃ 이상의 온도에서 환류냉각기를 이용하여 연화처리 하였다. 각각의 시편은 Figure 1에서와 같이 횡단면(적색선), 접선단면(녹색선), 방사단면(청색선)으로 구분하였으며 마이크로 톰(sliding microtome)을 이용하여 시료를 20~30 μm 두께로 절삭하였다. 세포관찰을 위하여 절삭된 박편을 1% safranin 수용액에 염색한 후 30%, 50%, 70%, 100% 에탄

Figure 1. Sampling diagram for microscopic observation (Black point: pith, Deviant crease line: bark).

을 이용하여 차례로 탈수시켜 영구 프레파라트를 제작하고 광학현미경(ECLIPSE Ni, Nikon, Japan) 100배로 관찰하였다.

2.2.2. 인피섬유의 형태학적 특성

섬유장, 섬유폭을 측정하기 위하여 닥나무 인피섬유를 하부, 중앙부, 상부로 나누어 약 8 cm로 시료를 절단하였다. 시료를 해리(defibration)하기 위하여 30% nitric acid[60%, Kanto(Japan)] 100 ml와 Potassium chlorate[99%, Sigma aldrich(USA)] 5 g을 혼합하여 Schulze 용액을 제조하였다. 시료를 Schulze 용액에 넣고 5시간 동안 상온에서 방치한 후 증류수로 충분히 수세하고 증류수와 함께 시료를 흔들어 해리시킨다. 해리된 섬유를 1% safranin 용액으로 염색한 후 프레파라트를 제작하여 광학현미경(ECLIPSE Ni, Nikon, Japan)으로 관찰하였다.

섬유내강(lumen)의 폭을 측정하기 위해서 인피섬유를 증류수에 24시간 침지시켰다. Polyethylene glycol[PEG, #2000, Samchun(Korea)]을 증류수와 1:3 (wt.%)으로 제조하여 24시간 포매(embedding)시켰다. PVC disposable base mold와 embedding ring을 사용하여 시료를 PEG로 고정시키고 마이크로 톱을 이용하여 10~20 μ m의 절편을 만든 후 double stain 용액(1% safranin+1% astra blue)으로 염색하여 프레파라트로 제작하고 광학현미경(Nikon E clipse 80i, Nikon, Japan)으로 관찰하였다.

섬유장, 섬유폭은 구입한 백피를 상부 중앙부, 하부로 나누어 각각 100회씩 측정하였다. 비교분석을 위해서 오차 범위를 줄이고 평균값을 산출하는 Trimmean 함수를 사용하였다. Array는 100, 최대·최소값 percent는 0.1%로 설정하여 평균값을 산출하였다. 섬유의 내강은 정확한 구형이 아니므로 가로×세로를 1회로 상부, 중앙부, 하부 각각 100회 측정하고 Trimmean을 적용하여 평균값을 산출하였다. 섬유장, 섬유폭, 내강폭을 가지고 섬유의 특징을 나타내는 Runkel ratio(RR), slenderness ratio(SR), flexibility coefficient(FC), rigidity coefficient(RC) 값을 구하였으며(Sadiku *et al.*, 2016), 수식(1)-(4)은 다음과 같다.

$$Runkel\ ratio(RR) = \frac{2 \times Cell\ wall\ thickness}{Lumen\ diameter} \quad (1)$$

$$Slenderness\ ratio(SR) = \frac{Fiber\ length}{Fiber\ diameter} \quad (2)$$

$$Flexibility\ coefficient(FC) = \frac{Lumen\ diameter}{Fiber\ diameter} \quad (3)$$

$$Rigidity\ coefficient(RC) = \frac{2 \times Cell\ wall\ thickness}{Fiber\ diameter} \quad (4)$$

2.2.3. 인피섬유의 화학적 특성

인피섬유의 화학적 특성을 확인하고자 추출성분 함량은 1% NaOH 추출, 유기용매 추출로 확인하였으며, 그 외에 holocellulose, α -cellulose, 리그닌, 회분(ash) 함량을 2회 분석하여 평균값을 사용하였다. 알칼리 추출은 TAPPI T212-om-02에 의거하여 1% NaOH로 추출하였다. 유기용매 추출은 TAPPI T204 cm-97에 따라 Ethanol(95%)-benzene mixture를 1:2 (v/v)으로 사용하였다. Holocellulose는 TAPPI T9 wd-75에 의거하여 Wise 법에 따라 유기용매 추출 전건 시료 2.5 g을 0.2 ml acetic acid, 1.0 g sodium chlorite를 이용하여 glass filter(1G3)로 시료를 세척한 후 오븐드라이로 전건 하여 무게를 측정하였다. Alpha cellulose 정량은 TAPPI T203 om-88에 의거하여 17.5% NaOH를 사용하여 비섬유소물질(noncellulosic material)을 제거하고 무게를 측정하였다. 리그닌 함량 분석은 TAPPI T222 om-02에 의거하여 72% sulfuric acid를 사용하고 시료와 함께 교반시켜 20℃에서 4시간 방치한 후 증류수로 세정하고 건조한 후 무게를 측정하였다. 회분 정량은 TAPPI T211 om-02에 의거하여 600 $\pm$ 25℃에서 완전 연소하여 정량하였다.

3. 연구 결과

3.1. 닥나무의 해부학적 특성

5개체 닥나무류는 환공재, 반환공재이다. 대도관은 대부분 고립관공이고 2~3개씩 복합관공도 관찰되며 방사상 배열이다. 소도관은 대부분 집단관공이고 측방향 유조직은 수반유조직으로 주위상으로 관찰된다. 접선단면의 방사조직은 1~3열이며, 측방향유조직을 도관 주위에서 확인할 수 있다. 또한 소도관에서 흔하게 나선비후를 관찰할 수 있으며 도관 상호간 벽공은 교호상벽공이다.

방사조직의 다열부는 평복세포이고 상하 가장자리에 직립 또는 방형세포가 1열씩 배열되어 있거나, 직립 또는 방형세포가 상하 가장자리에 2~3열씩 배열되어 있는 것도 관찰된다. 또한 프리즘형 결정이 평복 또는 방형세포에서 흔하게 관찰되며 도관요소의 천공은 단일천공판이다. 도관방사조직 간의 벽공은 타원형과 각형으로 관찰된다(Table 1).

Table 1. Optical microscopy images of three different section of paper-mulberry woods

	Cross section	Radial section	Tangential section
CC-A
GG-B
GS-C
GW-D
JL-E

V=Vessels, CR=Crystals, RA=Ray, SP=Simple perforation plates, AP=Axial parenchyma cell

Table 2. Analysis of variance for fiber morphology in the bast fibers of paper-mulberry (U: upper, M: middle, L: lower)

Sample	Length (mm)	Diameter (μm)	Lumen width (μm)	Cell wall thickness (μm)
	Mean $\pm$ SE	Mean $\pm$ SE	Mean $\pm$ SE	
CC-A-U	6.58 $\pm$ 0.16	15.85 $\pm$ 0.24	4.50 $\pm$ 0.19	5.68
CC-A-M	8.39 $\pm$ 0.17	18.08 $\pm$ 0.27	6.32 $\pm$ 0.30	5.88
CC-A-L	8.49 $\pm$ 0.19	18.11 $\pm$ 0.23	7.07 $\pm$ 0.38	5.52
GG-B-U	8.52 $\pm$ 0.23	23.46 $\pm$ 0.30	10.85 $\pm$ 0.56	6.31
GG-B-M	8.90 $\pm$ 0.22	28.27 $\pm$ 0.25	12.21 $\pm$ 0.63	8.03
GG-B-L	8.98 $\pm$ 0.22	27.80 $\pm$ 0.35	12.54 $\pm$ 0.59	7.63
GS-C-U	7.30 $\pm$ 0.28	16.51 $\pm$ 0.33	6.24 $\pm$ 0.32	5.14
GS-C-M	7.60 $\pm$ 0.27	18.03 $\pm$ 0.31	6.37 $\pm$ 0.28	5.83
GS-C-L	7.84 $\pm$ 0.27	20.45 $\pm$ 0.37	7.10 $\pm$ 0.32	6.68
GW-D-U	7.94 $\pm$ 0.18	17.32 $\pm$ 0.21	8.95 $\pm$ 0.44	4.19
GW-D-M	8.25 $\pm$ 0.21	17.45 $\pm$ 0.29	9.39 $\pm$ 0.48	4.03
GW-D-L	9.01 $\pm$ 0.20	17.69 $\pm$ 0.28	9.21 $\pm$ 0.49	4.24
JL-E-U	7.03 $\pm$ 0.23	15.85 $\pm$ 0.26	6.43 $\pm$ 0.32	4.71
JL-E-M	7.59 $\pm$ 0.15	16.42 $\pm$ 0.23	7.24 $\pm$ 0.32	4.59
JL-E-L	8.45 $\pm$ 0.26	17.73 $\pm$ 0.33	7.37 $\pm$ 0.37	5.18

Mean values of Length, diameter(n=100); lumen width(n=200); SE=Standard error

3.2. 인피섬유의 해부학적 특성

닥나무 인피섬유의 상부, 중앙부, 하부에 대한 섬유장, 섬유폭, 내강폭, 세포벽 두께를 이용해 runkel ratio, slenderness ratio, flexibility coefficient, rigidity coefficient를 분석하였다(Table 2).

Paper-mulberry(*Broussonetia papyrifera*)의 섬유장은 평균 10 mm, 범위는 6 mm에서 최대 20 mm라고 알려져 있으며 섬유폭은 평균 30 μm 이고 범위는 25~35 μm 를 가진다고 보고되었다(Ilvessalo-Pfäffli, 1995). Lee(1996)에 따르면 섬유장은 종이의 지합, 인장 및 인열강도, 내절도 등에 큰 영향을 미치며 특히 인열강도와 내절도는 섬유장이 증가함에 따라 급격히 증가한다고 보고하였다. 5개체 닥나무 인피섬유의 섬유장은 모든 시료에서 상부가 하부 보다 짧은 길이를 나타내는 경향을 보인다.

섬유장은 6.58~9.01 mm의 범위를 가지며 가장 짧은 섬유장은 충청도 A공방 상부 시료이며 가장 긴 섬유장은 강원도 D공방 하부 시료였다.

섬유폭은 세포벽의 두께가 얇으면 부피가 감소되고 투명하며 강도가 커지는 반면, 벽 두께가 두꺼우면 강도가 낮고 부피가 있으며 흡수도가 커진다(Choi *et al.*, 2007). 섬유

폭은 15.85~28.27 μm 의 범위를 가지며 충청도 A공방 중앙부 시료와 전라도 E공방 상부 시료가 가장 짧았으며 경기도 B공방의 중앙부 시료가 가장 큰 값으로 확인되었다.

내강폭은 4.50~12.54 μm 의 범위를 가지며 최솟값은 충청도 A공방 상부 시료가 4.50 μm , 경기도 B공방 하부 시료가 12.54 μm 로 최댓값을 나타냈다.

Runkel ratio는 펄프 및 제지공정에서 중요한 특성 중 하나로 여겨진다(Ekhuemelo and Udo, 2016). 섬유의 RR값이 1 미만인 경우는 얇은 벽으로 간주되며 일반적으로 1 미만의 RR값을 가지면 좋은 기계적 강도를 얻을 수 있다고 보고되었다(Sadiku *et al.*, 2016). 1 보다 큰 RR 값을 가지면 덜 유연하며 접착면적이 낮으며(lower bonded area) 부피가 큰(bulkier) 종이를 형성한다(Dutt and Tyagi, 2011). 1 미만의 RR값을 가지는 섬유는 강원도 원주의 상, 중앙, 하부의 섬유들이다. 가장 큰 값을 가지는 섬유는 충청도 A공방의 상부 시료로 2.52의 RR값으로 나타났다(Table 3).

Slenderness ratio라고 불리는 SR은 강도 특성 중에서 내절도와 상관관계가 있다고 알려져 있다. SR값이 0.7 보다 낮으면 품질이 우수한 펄프와 종이제조에 적합하지 않으며 제지용 섬유는 33 이상이 되어야 허용된다(Sadiku *et al.*, 2016). 닥나무의 경우 장섬유에 속하며, SR값이 최소

Table 3. Variation in the derived morphological ratios of the bast fibers of paper-mulberry (U: upper, M: middle, L: lower)

Sample	RR	SR	FC	RC
CC-A-U	2.52	415.14	0.28	0.72
CC-A-M	1.86	464.05	0.35	0.65
CC-A-L	1.56	468.80	0.39	0.61
GG-B-U	1.16	363.17	0.46	0.54
GG-B-M	1.32	314.82	0.43	0.57
GG-B-L	1.22	323.02	0.45	0.55
GS-C-U	1.65	442.16	0.38	0.62
GS-C-M	1.83	421.52	0.35	0.65
GS-C-L	1.88	383.37	0.35	0.65
GW-D-U	0.94	458.43	0.52	0.48
GW-D-M	0.86	472.78	0.54	0.46
GW-D-L	0.92	509.33	0.52	0.48
JL-E-U	1.47	443.53	0.41	0.59
JL-E-M	1.27	462.24	0.44	0.56
JL-E-L	1.41	476.59	0.42	0.58

RR=Runkel ration, SR=Slenderness ratio, FC=Flexibility coefficient, and RC=Rigidity coefficient

314.82에서 최대 509.33의 범위를 가지는 것을 확인하였다.

FC는 최소 0.28에서 최대 0.54의 범위를 가지며 FC는 섬유폭과 내강폭을 사용하여 종이의 강도 특성을 결정하는 중요한 지표 중의 하나이다. FC는 종이의 섬유결합(fiber bonding)의 정도를 결정하며 일반적으로 활엽수와 침엽수는 0.55~0.75의 값을 갖는다고 보고되었다(Sadiku *et al.*, 2016). 또한 수피와 나무가 성숙될수록 FC값은 감소한다고 알려져 있다(Ogbonnaya *et al.*, 1997). 충청도 A공방 상부시료가 0.28로 최소값을 나타내며 강원도 D공방 중앙부시료가 0.54를 나타냈다. 높은 FC값을 가지면 섬유가 손쉽게 접하며 표면 접촉 및 섬유와 섬유 간 결합이 우수하여 FC값이 낮은 섬유에 비하여 인장강도와 파열강도, 내절도가 우수한 종이를 생산한다고 알려져 있다(Ogbonnaya *et al.*, 1997).

RC값이 증가하면 섬유결합이 감소한다고 보고되며(Dutt and Tyagi, 2011) 가장 낮은 RC값을 갖는 섬유는 강원도 D공방의 중앙부 시료로 0.46을 나타내며 가장 높은 RC값은 0.72로 충청도 A공방 상부시료이다.

3.3. 인피섬유의 화학적 특성

Table 4에서와 같이, 닥나무 인피섬유의 추출성분 함량

은 경상도 C공방의 시료가 34.2%로 가장 낮았고 경기도 B공방의 시료는 57.21%로 가장 높았다. 유기용매 추출물은 경기도 B공방 시료가 $6.77\% \pm 0.68$ 로 가장 높았으며 가장 낮은 값은 충청도 A공방 시료가 $4.49\% \pm 0.11$ 로 확인되었다. 열알칼리처리에 의하여 냉수 및 온수에 가용성분이 다량으로 용출되는 것 이외에도 수지, 정유, lignin, polyphenol류 및 hemicellulose 등의 일부가 함께 추출되며 유기용매 처리에 의해선 유지, 색소, 수지, 정유 등이 용출된다고 알려져 있다(Yoon, 1998). 잣물을 이용하여 백피를 만드는 한지의 제조공정은 셀룰로오스 이외의 성분을 제거하기 위한 방법으로 화학적 구성성분 중알칼리, 알코올-벤젠 추출성분의 함량이 적고 셀룰로오스 함량이 높을수록 좋은 품질의 원재료를 갖는다고 할 수 있다. Choi(1999)에 의하면 추출성분의 함량이 높을 경우 펄프의 수율을 감소시키고 증해약품의 소비량이 증가하는 것으로 알려져 있다.

활엽수의 경우 holocellulose는 75~82%, 침엽수의 경우에는 69~73% 범위의 함량을 나타내며(Kang and Kim, 2004), 짚류는 37.5~68.1%, 대나무류는 41.8~49.7%에, 닥나무는 74.2%로 보고되었다(Choi, 1999). 이와 비교하여 본 연구의 닥나무 인피섬유는 67~90%의 범위를 나타냈다. 경상도 C공방 시료가 $89.61\% \pm 0.15$ 로 최대값이며 경기도 B공방 시료가 $66.54\% \pm 0.83$ 로 최소값을 나타내었다. α

Table 4. Chemical composition along the paper-mulberry wood

Chemical composition	Species	CC-A (Mean±SE)	GG-B (Mean±SE)	GS-C (Mean±SE)	GW-D (Mean±SE)	JL-E (Mean±SE)
	1% NaOH	35.93±0.20	50.44±0.17	31.55±0.23	38.54±0.64	40.53±0.33
Extractives	EtOH-C ₆ H ₆	4.49±0.11	6.77±0.68	2.65±0.05	5.64±0.36	5.21±0.38
Holocellulose		86.75±0.30	66.54±0.83	89.61±0.15	83.96±0.06	77.82±2.64
α-cellulose		55.64±0.19	52.93±0.86	75.70±0.27	65.54±0.03	62.54±2.03
Lignin		7.76±0.56	3.27±0.11	4.85±0.93	3.40±0.33	5.20±0.05
Ash		2.44 ±0.01	3.55±0.01	2.05±0.01	3.98±0.00	2.59±0.01

(unit=%)

-cellulose 함량은 강원도 D공방 시료가 65.54%±0.03, 경기도 B공방 시료가 52.93%±0.86로 확인되었다. α-cellulose 함량은 holocellulose 함량과 유사한 경향을 나타내었다. Holocellulose 중에서도 분자량이 상대적으로 커서 활용 가치가 높은 것은 α-cellulose로 Kang and Kim(2004)에 따르면 활엽수의 경우 53~56%, 침엽수의 경우 61~63% 사이의 범위를 갖는 비하여 본 연구에서는 닥나무의 α-cellulose 함량이 52.93~75.72%의 범위를 나타냈다.

한지를 제조함에 있어서 주성분은 닥나무 인피섬유의 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스이고, 종이 제조 시 리그닌이 많이 포함되면 종이의 강도저하, 황변화의 원인이 되기도 한다. 리그닌 함량은 충청도 A공방 시료가 7.76%±0.56로 가장 높았고 경기도 B공방 시료가 3.27%±0.11로 가장 낮았다.

일반적인 제지공정에서 무기물은 공정의 부하를 높이고 종이의 회분함량 상승에 따른 수율과 강도가 저하되기도 한다. 회분 함량은 강원도 D공방 시료가 3.98%±0.00, 경상도 C공방 시료는 2.05%±0.01로 나타났다.

5개의 시료를 상대적으로 비교하였을 때 알칼리 추출물과 알코올-벤젠 추출물 함량이 높으면 홀로셀룰로오스의 함량이 낮은 경향을 나타낸다. 이는 추출물들에 유지, 색소, 수지, 정유 등과 저분자량의 carbohydrate가 함유되어있기 때문으로 판단되지만 이에 대한 추가적인 정량분석이 요구된다.

4. 결 론

한지를 제조하는 공방을 중심으로, 닥나무를 직접 재배하는 공방을 선정하여 전국 권역별 5개체 닥나무의 해부학

적 특징을 관찰하고 상기 닥나무의 인피섬유 5종에 대해 형태학적, 화학적 특징을 도출하면 다음과 같다.

1. 지역별 5개체 닥나무는 환공재 또는 반환공재로 방사상배열로 2~3개씩 복합관공을 이루고 있다. 또한 프리즘형 결정이 흔하게 관찰되며, 5개체 닥나무의 횡단면, 방사단면, 접선단면의 해부학적 특징은 차이가 없다.

2. 닥나무 인피섬유의 형태학적, 특성으로 섬유장은 6.58~9.01 mm, 섬유폭은 15.85~27.80 μm, 내강폭은 4.50~12.54 μm 범위를 가진다. 섬유장이 길면서 세포의 두께가 얇은 섬유는 강원도 D공방 시료이며, RR값이 1미만인 반면 SR값이 33 이상이고, RC값이 낮은 값을 갖는, 펄프 및 제지공정의 특성을 고려했을 때 가장 적합한 인피섬유는 강원도 D공방의 시료로 판단된다.

3. 닥나무 인피섬유의 화학적 분석으로, 낮은 추출물함량과 비교적 높은 Holocellulose, α-cellulose 함량을 가지며 회분함량이 적은 것은 경상도 C공방 시료로 나타났다.

본 연구에서는 전국 권역별 닥나무의 해부학적 특징이 일치함을 확인하였고, 해부학적 특징이 동일한 닥나무 인피섬유들의 dimension과 derived dimension을 가지고 펄프, 제지공정의 특성을 고려하였다. 또한 화학적 구성성분을 통해 닥나무 인피섬유가 우수한 섬유자원임을 확인하였다. 하지만 주로 닥나무 인피섬유는 일반적인 펄프, 제지공정보다는 전통방식으로 종이를 만들어 지는 경우가 대부분이다.

따라서 향후 상기와 같은 닥나무와 인피섬유의 원재료에 관한 해부학, 형태학, 화학적 특성과 함께 전통방식으로 제조된 한지를 가지고 물리적 특성을 확인한다면, 원재료인 닥나무에서부터 인피섬유, 제조된 전통 한지에 대한 규격이 제시될 수 있다. 또한 품질을 결정하는데 주요한 인자

로 평가될 수 있을 것으로 판단된다. 아울러 추가적인 닥나무 시료 확보 및 분석을 통해 신뢰성을 더욱 높이고 한지 제조에 적합한 원재료 특성 연구가 필요하다.

사 사

본 연구는 문화재청 국립문화재연구소 문화유산조사연구(R&D)사업의 일환으로 이루어졌다.

REFERENCES

- Choi, T.H., 1999, New Korean traditional papermaking from *Morus* spp.(I)-Anatomical and chemical properties and pulping characteristics. *Journal of Korea TAPPI*, 31(3), 96-104. (in Korean with English abstract)
- Choi, T.H., Jo, N.S., Lee, S.H. and Oh, S.G., 2007, Anatomical characteristics of mulberry bast fiber by location. *Journal of Korea TAPPI*, Apr, 298-303. (in Korean)
- Dutt, D. and Tydgi, C.H., 2011, Comparison of various eucalyptus species for their morphological, chemical, pulp and paper making characteristics. *Indian Journal of Chemical Technology*, 18(2), 145-151.
- Ekhuemelo, D.O. and Udo, A.M., 2016, Investigation of variations in the fibre characteristics of *Moringa Oleifera* (Lam) stem for pulp and paper production. *International Journal of Science and Technology*, 5(1).
- Horn, R.A., 1978, Morphology of pulp fiber from hardwoods and influence on paper strength. 1-12.
- Hutchinson, J., 1967, The genera of flowering plants. Oxford at the Clarendon Press, Lincoln, 1-516.
- Kang, S.H. and Kim, D.Y., 2004, Characteristics of charcoal from major Korean wood species. 2004 Proceedings of the Korean Society of Wood Science and Technology, Cheongju, October 22-23, 63-66. (in Korean)
- Kim, H.C., 2007, Studies on the mechanical and functional properties of Hanji(Korean paper) yarn. Ph. D. dissertation, Chonbuk National University, Jeonju, 1-124. (in Korean with English abstract)
- Kim, M.J. and Kim, B.R., 2017, Anatomical Characteristics of Amur cork tree. *Journal of Korea TAPPI*, 49(2), 63-68. (in Korean with English abstract)
- Kim, M.Y., Kim, T.J. and Lee, S.T., 1992, A taxonomic study of the Korean *Broussonetia*(Moraceae) by multivariate analyses. *Korean Journal of Plant Taxonomy*, 22(4), 241-254. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.R., 1996, Paper Science. Gwangilmunhawsa, Seoul, 387-389. (in Korean)
- Lee, Y.S., 2017, A study on the characteristics and suitability of *broussonetia kazinoki* for erosion control species. Master's thesis, Sangji University, Wonju, 1-43. (in Korean with English abstract)
- Ogbonnaya, C.I., Roy-Macauley, H., Nwalozie, M.C. and Annerose, D.J.M., 1997, Physical and histochemical properties of kenaf(*Hibiscus cannabinus* L.) grown under water deficit on a sandy soil. *An International Journal of Industrial Crops and Products*, 7(1), 9-18.
- Oh, S.W. and Park, S.C., 2009, Properties of boards prepared from woody of *Broussonetia Kazinoki* Sieb. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 37(3), 216-221. (in Korean with English abstract)
- Ilvessalo-Pfäffli, M-S., 1995, Fiber Atlas: Identification of papermaking fibers. Springer, Berlin, 299.
- Sadiku, N.A., Oluyeye, A.O. and Ajayi, B., 2016, Fibre dimension and chemical characterisation of naturally grown *Bambusa vulgaris* for pulp and paper production. *Journal of Bamboo and Rattan*, 15(1-4), 33-43.
- Seth, R.S., 1990, Fibre quality factors in papermaking - II The importance of fibre coarseness, materials interactions felevant to the pulp. *Paper and Wood Industries*, 197, 1-143.
- Yoon, B.H., 1998, Forest chemistry experiment book. Hyangmunsa, Seoul, 80-81.
- Yun, K.W. and Kim, M.Y., 2009, Taxonomic study of *Broussonetia* (Moraceae) in Korea. *Korean Journal of Plant Taxonomy*, 39(2), 80-85. (in Korean with English abstract)
- Zhu, J.Y., Tim Scott, C., Scallon, K.L and Myers, G.C., 2007, Effects of plantation density on wood density and anatomical properties of red pine (*Pinus resinosa* Ait.). *Wood and fiber science*, 39(3), 502-512.