

## 감나무 부산물로부터 제조된 셀룰로오스 나노피브릴의 물성 평가

조해민<sup>1</sup>, 이지영<sup>2†</sup>, 김수호<sup>1</sup>, 이연희<sup>1</sup>, 김철환<sup>2</sup>

접수일(2020년 10월 8일), 수정일(2020년 10월 15일), 채택일(2020년 10월 19일)

### Evaluation of the Characteristics of Cellulose Nanofibril Made from Persimmon Tree Byproducts

Hae Min Jo<sup>1</sup>, Ji Young Lee<sup>2†</sup>, Su Ho Kim<sup>1</sup>, Yeon Hui Lee<sup>1</sup>, Chul Hwan Kim<sup>2</sup>

Received October 8, 2020; Received in revised form October 15, 2020; Accepted October 19, 2020

#### ABSTRACT

In this study, we evaluated the applicability of fruit by-products as raw materials for the production of cellulose nanofibril (CNF). The persimmon byproducts generated by pruning persimmon trees were collected and used for the manufacture of bleached kraft pulp and CNFs. The persimmon byproduct bleached kraft pulp (PB-BKP) was made at the optimum pulping and bleaching conditions reported in the previous study and the CNFs were made from PB-BKP and commercial hardwood bleached kraft pulp (Hw-BKP) by refining and micro-grinding processes. After micro-grinding, the particle size, viscosity, zeta potential, and fiber width were evaluated according to the pass number of fibrillation. The appearance of the CNF slurries showed no significant difference between PB-BKP and Hw-BKP. It was found that nanoization of PB-BKP and Hw-BKP proceeded sufficiently when the pass number was five or more. In addition, as the pass number increased, the low shear viscosity of CNF increased, the particle size decreased, and no significant change was observed in the zeta potential. Looking at each pulp, CNF made of PB-BKP had higher fiber width and particle size than Hw-BKP in the initial pass number, but the difference decreased when the pass number was nine. Therefore, CNF made with PB-BKP and CNF made with Hw-BKP showed similar characteristics after the

1 경상대학교 임산공학과(Department of Forest Products, Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Republic of Korea), 대학원생

2 경상대학교 환경재료과학과/농업생명과학연구원(Department of Environmental Materials Science/IALS, Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Republic of Korea), 교수

† 교신저자(Corresponding Author): E-mail: paperyjy@gnu.ac.kr

sufficient pass number of micro-grinding. Based on the results, we concluded that persimmon tree by-products can be used as raw materials for the production of CNF.

**Keywords:** Fold crack, coated paper, GCC-MFC composite filler, paper strength

## 1. 서론

최근 환경 문제가 커지고 플라스틱, 비닐과 같은 합성 고분자로 이루어진 제품을 자연에서 유래하는 천연 물질로 대체하고자 하는 움직임이 활발하게 일어나고 있다. 실제로 기존의 비닐 포장이나 플라스틱 일회용품을 국가적으로 일부 규제하고 있으며<sup>1)</sup> 종이 빨대, 펄프 몰드, 보드지로 제조한 충격 완화제 등 다양한 분야에 종이 제품이 적용되면서<sup>2)</sup> 셀룰로오스의 활용범위가 점차 넓어지고 있다. 이렇게 천연 소재를 활용하여 환경 위기에 대응하고자 하는 현상은 국내뿐만 아니라 세계적으로 적극 추진되고 있기 때문에 셀룰로오스 소재에 대한 수요는 꾸준히 증가할 것으로 예상되고, 이러한 추세에 따라 다양한 섬유계 바이오매스의 활용 가능성을 평가할 필요가 있다. 선행연구에서 과수부산물의 활용을 위한 펄프화에 관한 연구를 진행한 바 있으며<sup>3)</sup> 목질계 부산물뿐만 아니라 다양한 바이오매스로부터 셀룰로오스 섬유를 추출하고자 하는 노력들도 이루어지고 있다.<sup>4,5)</sup>

셀룰로오스는 자연에서 유래하는 천연 고분자로, 섬유 폭을 100 nm 이하로 제조한 것을 나노셀룰로오스라고 일컫는다.<sup>6)</sup> 나노셀룰로오스는 종이를 구성하는 일반적인 셀룰로오스 섬유와는 다른 물성을 지니는데, 높은 종횡비와 표면에 존재하는 수산기로 인해 종이와 복합재의 강도 향상에 이용되거나<sup>7,8)</sup> 표면개질을 통해 기존의 섬유와는 다른 특성을 부여하기도 한다.<sup>9)</sup> 나노셀룰로오스 또한 친환경 신소재로 주목을 받으면서 합성 고분자의 대체재로서 다양한 산업에 응용하기 위해 전처리 및 나노화 기술이 활발히 연구되고 있다.<sup>10)</sup> 나노셀룰로오스는 제조방법에 따라서 그 종류와 특성이 달라지는데 크게 기계적 처리로 제조하는 셀룰로오스 나노피브릴(CNF), 화학적 처리로 제조하는 셀룰로오스 나노크리스탈(CNC), 생물학적 처리로 제조하는 박테리아셀룰로오스(BC)로 나눌 수 있으며, 이 중에서 CNF는 길고 얇은 섬유 형태

로 유연하면서 가장 높은 종횡비를 가진다는 특징이 있다.<sup>11)</sup>

본 연구에서는 국내에서 발생하는 미이용 바이오매스인 과수부산물을 이용하여 고부가가치 소재인 CNF의 원료로 활용 가능성을 평가하였다. 과수부산물은 국내 바이오매스 발생량의 18%를 차지하는 양으로, 상업용 활엽수 펄프와 유사한 수준으로 섬유화가 가능하였기 때문에<sup>3)</sup> 상업용 CNF를 제조하기 위한 대체 수종으로 적용 가능성이 높다. CNF 또한 천연 고분자로, 합성 고분자를 대체하여 복합재나 친환경 소재개발 등 다양한 분야에 적용 잠재성이 높기 때문에 목질계 펄프 자원이 부족한 국내에서 새로운 자원화 가능성을 평가한다면 농업부산물의 고부가가치화의 기초자료로 활용 가능할 것으로 생각된다. 따라서 감나무 가지치기 부산물을 수집한 뒤 마이크로그라인더를 이용하여 CNF를 제조하였고, 상업용 활엽수 표백 크라프트 펄프로 제조한 CNF와 그 물성을 비교하여 활용 가능성을 평가하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

본 연구에서는 감나무 부산물 표백 화학펄프(PB-BKP)를 제조하기 위해 경남 진주시에 위치한 단감 농장에서 가지치기 과정에서 발생한 감나무 부산물을 수집하여 사용하였다. 감나무 부산물 표백 화학펄프의 제조군으로는 M사에서 제공받은 활엽수 표백 화학펄프(Hw-BKP)를 사용하였다. 감나무 부산물을 이용하여 크라프트 펄핑(kraft pulping)과 표백(bleaching)을 순차적으로 실시하였는데 화학펄프화 공정에서는 수산나트륨과 황화나트륨을 사용하였고 표백 시약으로는 아염소산나트륨을 사용하였으며 pH 조절을 위하여 아세트산을 이용하였다. 감나무 부산물 CNF의 섬유폭 측정용

위해 시료 제조 시 섬유유의 응집 현상을 최소화하기 위해 용매치환(solvent exchange)을 실시하였고 이때 에틸알콜과 n-헥산을 사용하였다. 본 연구에서 사용한 화학약품에 대한 정보를 Table 1에 도시하였다.

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 감나무 부산물을 이용한 화학 펄프 제조와 표백 방법

Fig. 1과 같이 수집한 감나무 부산물을 펄핑에 적합한 시료를 제조하기 위해 길이 방향 약 10-15 mm 두께로 칩핑(chipping)하였으며 이때 발생한 분진을 60 mesh 스크린으로 제거한 뒤 사용하였다. 본 연구에서 진행한 크라프트 펄핑 조건은 선행연구<sup>3)</sup>을 통해 도출된 고수율 펄핑 조건을 적용하였고 Table 2에 나타냈다. 펄프화가 완료된 감나무 부산물 미표백 화학 펄프(PB-UKP)는 섬유분급기(Somerville screen, Daeill Machinery, Korea)를 이용하여 세로 45 mm, 가로 0.15 mm 이내의

섬유를 분급하였다.

실험실적으로 제조된 감나무 부산물 화학 펄프를 표백하기 위해 Table 2와 같은 3단 표백을 실시하였다. 표백 조건도 선행연구<sup>3)</sup>에서 섬유유의 손상을 최소화하면서 최대한 높은 백색도를 얻을 수 있는 조건을 도출하였고 상세 내용은 Table 3에 도시하였다. D단계 조건에 해당하는 만큼의 이산화염소가 생성될 수 있도록 아염소산나트륨에 아세트산을 첨가하여 pH를 3으로 조절하였고 E 단계는 pH를 11로 조절하였다. 펄프를 넣은 polyethylene bag에 표백 단계별 약품과 증류수를 투입하여 최종 농도가 10%가 되도록 하였고, 80℃ 온도로 미리 준비된 항온수조에서 단계별 1시간씩 반응시켰다. 반응 중 약액이 골고루 섞일 수 있도록 15분마다 비닐 백을 충분히 주물러 주었고 반응이 끝난 뒤에는 펄프에 남아있는 약액이 다음 표백 단계에 영향을 미치지 않도록 청수로 충분히 세척하였다.

실험실적으로 제조된 PB-BKP와 상업용 펄프인

Table 1. Chemicals used for pulp preparation and characterization

Process	Chemical	Molecular formular	Concentration	Manufacturer
Pulping	Sodium sulfide	Na <sub>2</sub> S	98.0%	DAEJUNG Chemical
Pulping & bleaching	Sodium hydroxide	NaOH	97.0%	DAEJUNG Chemical
Bleaching	Sodium chlorite	NaClO <sub>2</sub>	79.0%	KANTO Chemical
	Acetic acid	CH <sub>3</sub> COOH	99.7%	DAEJUNG Chemical
Solvent exchange	Ethyl alcohol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	95.0%	DAEJUNG Chemical
	n-Hexane	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH <sub>3</sub>	99.9%	Thermo Fisher Scientific



Fig. 1. Persimmon byproducts (left) and the preparation of persimmon byproduct chips for kraft pulping (right).

Hw-BKP를 비교하기 위해 섬유장 측정기(FQA-360, OpTest Equipment Inc., Canada)를 이용하여 섬유장 (length weighted average fiber length) 및 섬유폭 (average fiber width)을 측정하였고 TAPPI Standard Method T205에 의거하여  $60 \pm 3 \text{ g/m}^2$ 의 수초지를 제조한 후 TAPPI Standard Method T452에 의거하여 분광 광도계(Elrepho spectrophotometer, L&W, Sweden)로 백색도(ISO brightness)를 측정하였다.

**2.2.2 감나무 부산물 표백화학펄프를 이용한 셀룰로오스 나노피브릴 제조 방법**

본 연구에서는 고해 처리와 마이크로 그라인딩을 연속적으로 진행하여 CNF를 제조하였다. 고해처리 없이 표백 화학펄프를 마이크로 그라인더에 투입하게 되면 초기 섬유장이 길어 피브릴화 혹은 나노화되지 않고 섬유 간 엉김현상이 발생하기 때문에 적절한 수준으로 처리가 요구된다. PB-BKP와 Hw-BKP를 각각 1.5% 농도로 물에 분산시킨 후 실험실용 벨리비터(Valley beater)를 이용하여 해리와 고해를 연속적으로 실시하여 450 mL CSF 수준으로 고해하였다.

고해처리된 HwBKP 펄프 슬러리를 1% 농도로 희석한 후 마이크로 그라인더(Super Masscolloider, Masuko Sangyo Co., Ltd, Japan)를 이용하여 운전속도 1,500 rpm, 스톤간격-150  $\mu\text{m}$ 로 기계적 처리를 하였는데 최종적으로 지료를 그라인더에 총 9회까지 패스시켜 CNF를 제조하였다.

**2.2.3 감나무 부산물 셀룰로오스 나노피브릴의 주요 물성 측정 방법**

그라인딩 패스 횟수별 PB-BKP와 Hw-BKP의 주요 물성을 평가하기 위해 마이크로 그라인더를 1, 3, 5, 7, 9회 패스한 CNF를 채취하였다. 섬유 형태 관찰 및 섬유폭 측정을 위해 전계방사 주사현미경(FE-SEM, Field Emission Scanning Electron Microscope, JSM-7910F, JEOL, Japan) 이미지를 촬영하였고 SEM 이미지를 이

용하여 3D 이미지 분석프로그램(MP-45030TDI, JEOL, Japan)을 통해 패스 횟수별로 100개의 섬유폭을 개별 측정하여 평균값을 사용하였다. 이때 측정할 섬유 선정에 있어 측정자의 주관적인 판단이 최대한 개입되지 않도록 Fig. 2와 같이 측정에 사용된 SEM 이미지에 일정한 간격으로 모눈을 그려 교차점에 있는 섬유폭을 측정하였고 교차점에 나노섬유가 없을 때는 가장 가까운 곳에 있는 나노섬유를 선정하였다.

저전단 점도(low-shear viscosity)는 저전단 점도계(DV-IP, Brookfield Engineering Laboratories, USA)를 이용하여 측정하였는데 그라인더 패스 횟수가 증가함에 따라 수분의 증발로 고형분 농도가 상이하므로, 점도 측정 시 1% 수준으로 농도를 조절하여 사용하였고 온도의 영향을 크게 받기 때문에 측정 전에 23°C에서 24시간 대기한 후 64번 spindle, 60 rpm 조건에서 측정하였다. 입도(particle size)는 CNF의 크기를 직접적으로 나타내는 측정항목은 아니나 상대적으로 크기를 비교할 수 있는 간접적 측정항목이기 때문에 본 연구에서는 입도분석기(1090LD, CILAS, France)를 이용하여 평균 입도를 측정하였다. CNF의 정전기적 특성을 분석하기 위해 제타전위 측정기(Nano ZS, Malvern, UK)를 이용하여 23°C에서 제타전위를 측정하였다.

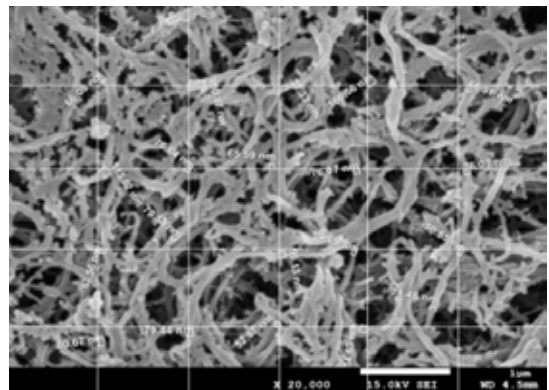


Fig. 2. Fiber selection method in the process of measuring the fiber width of CNF.

Table 2. Kraft pulping condition for the manufacture of PB-UKP

Active alkali (% as Na <sub>2</sub> O)	Sulfidity (%)	Liquor to wood ratio	Temperature (°C)	Cooking time (h)
25	30	5:1	170	3

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 PB-BKP와 Hw-BKP의 물성 비교

선행연구에서는 감나무 부산물 표백 화학펄프의 주요 물성을 측정하여 상업용 펄프들과 비교하였다. 본 연구에서는 선행연구에서 도출된 최적 크라프트 펄핑 및 표백 조건들을 적용하여 동일한 방법으로 PB-BKP를 제조하여 주요 물성을 측정하였고 Table 4에 나타냈다. 평균 섬유장은 PB-BKP는 0.62 mm, Hw-BKP는 0.65 mm를 나타냈고 평균 섬유폭은 PB-BKP는 20.5  $\mu$ m, Hw-BKP는 19.0  $\mu$ m를 나타냈다. 백색도는 PB-BKP와 Hw-BKP는 각각 73.0%, 85.5%로 Hw-BKP가 더 높게 나타났다. Fig. 3에서는 감나무 부산물 미표백 화학펄프에서 표백단계별로 수초지를 제조한 후 육안으로 색상을 비교해 본 결과 표백과정이 지남에 따라 백색도는 상승하는 것을 볼 수 있었지만 상업용 펄프인 Hw-BKP보다는 백색도가 낮게 나타났다. 이러한 결과는 선행연구와<sup>3)</sup> 유사한 경향을 나타냈고 두 표백 화학펄프는 섬유 길이와 폭이 유사한 결과를 보여 주었기 때문에 CNF 제조를 위한 마이크로 그라인더 조건은 동일하게 적용할 수 있는 것으로 판단된다. 그러나 펄프 자체의 백색도가 차이가 있기 때문에 제조되는 CNF의 색상에 대한 관찰이 요구된다고 판단된다.

#### 3.2 감나무 부산물 CNF의 주요 물성 측정

PB-BKP와 Hw-BKP로부터 마이크로 그라인더를

Table 3. Bleaching condition for the manufacture of PB-BKP

D0	E	D1	Total ClO <sub>2</sub>
ClO <sub>2</sub> (%)	NaOH (%)	ClO <sub>2</sub> (%)	(%)
3.0	1.5	3.5	6.5

Table 4. Fiber characteristics of PB-BKP and Hw-BKP

Measurement	PB-BKP	Hw-BKP
Average fiber length (mm)	0.62	0.65
Average fiber width ( $\mu$ m)	20.5	19.0
ISO brightness (%)	73.0	85.5

이용하여 CNF를 제조하였고 이미지를 Figs. 4-5에 도시하였다. 전반적으로 두 종류의 표백화학 펄프와 같이 흰색을 나타냈으나 패스 횟수가 증가함에 따른 CNF 슬러리의 색상 차이는 관찰되지 않았다. PB-BKP와 Hw-BKP 간에 백색도는 약 10% 수준으로 차이가 있었으나 CNF 슬러리의 색상은 육안으로 큰 차이를 확인할 수 없었다. 따라서 CNF로 제조될 경우 상대적으로 낮은 PB-BKP의 백색도는 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

전계방사 주사현미경을 이용하여 PB-BKP와 Hw-BKP로 제조한 CNF의 전자현미경 이미지를 Figs. 6-7에 도시하였는데 전반적으로 패스 횟수가 증가함에 따라 섬유폭이 감소하면서 전체적으로 섬유 크기가 균일해지는 것을 확인할 수 있다. 그라인더를 1회 패스한 경우 미분화되지 않은 큰 섬유가 발견되었으며 섬유가 뭉치는 현상이 발생하여 패드의 형성이 불균일하여 이미지를 획득하기 어려웠다. 패스 횟수가 3회일 때 전체적으로는 큰 섬유가 일부 포함되어 있고 균일성이 다소 떨어



Fig. 3. Color comparison of handsheets made from PB-UKP, PB-BKP by bleaching steps and commercial Hw-BKP.

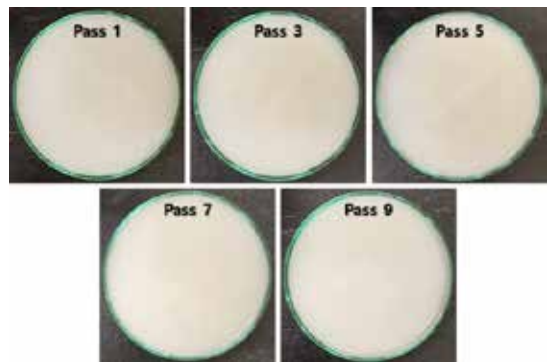


Fig. 4. Images of CNF slurries made from PB-BKP depending on the pass number of micro-grinding.

지나, 개별 미세피브릴의 형태를 잘 드러냈다. 패스 횟수가 5회 이상으로 증가할 경우 나노피브릴이 잘 드러나는 것을 볼 수 있었고 대부분 섬유폭이 100 nm 이하를 나타냈다. 이미지 상으로는 PB-BKP와 Hw-BKP로 제조된 CNF의 차이는 확인되지 않았다.

SEM 이미지를 이용한 섬유폭 측정결과를 Fig. 8에 도시하였다. 펄프의 종류에 관계없이 패스 횟수가 3회에서는 평균 섬유폭은 100 nm 이하를 나타냈으나 100 nm

이상을 나타내는 마이크로 섬유도 포함되어 있는 것을 볼 수 있었다. 패스 횟수가 5회 이상일 때에는 평균 섬유폭도 100 nm 이하를 나타냈고 최대 섬유폭 또한 100 nm 이하를 나타냈다. 따라서 두 BKP를 이용하여 CNF를 제조하기 위해서는 본 연구에서 사용한 마이크로 그라인더로 동일하게 5회 이상 처리를 해야 하는 것으로 판단된다. 펄프 종류별로 살펴보면 동일한 패스 횟수에서 PB-BKP로 제조된 CNF의 평균 섬유폭이 다소 높은 것을 볼 수 있었다. 그러나 두 펄프 간에 평균 섬유폭에서 최대, 최소 섬유폭 결과가 유의한 차이를 나타내지 않는 것으로 나타났다.

CNF의 저전단점도는 CNF 슬러리에서 나노피브릴의 농도를 나타내는 인자이기 때문에 나노화 여부를 파악할 수 있는 측정항목이고 입도는 중형비가 큰 CNF의 크기를 직접적으로 나타낼 수 있는 항목은 아니나 그라인더 패스 횟수에 따른 CNF의 크기 변화를 간접적으로 파악할 수 있는 측정항목이다. 따라서 PB-BKP와 Hw-BKP로 제조된 CNF의 저전단점도와 입도를 그라인더 패스 횟수별로 측정하였고 그 결과를 Figs. 9-10에 각각 도시하였다. 저전단점도는 펄프의 종류에 관계없이 그라인더 패스 횟수가 증가함에 따라 직선적으로 증가하였으나 동

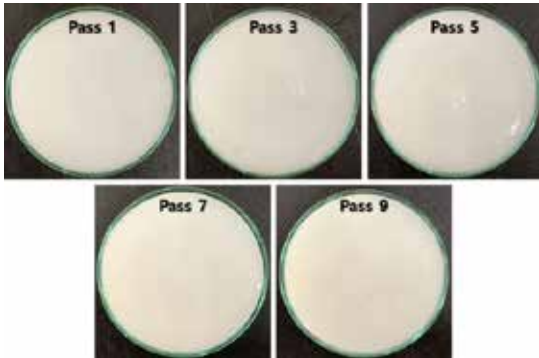


Fig. 5. Images of CNF slurries made from Hw-BKP depending on the pass number of micro-grinding.

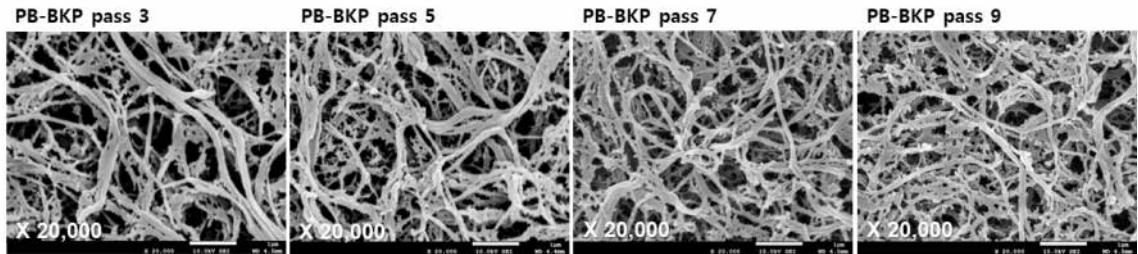


Fig. 6. FE-SEM images of CNF made from PB-BKP depending on the pass number of micro-grinding.

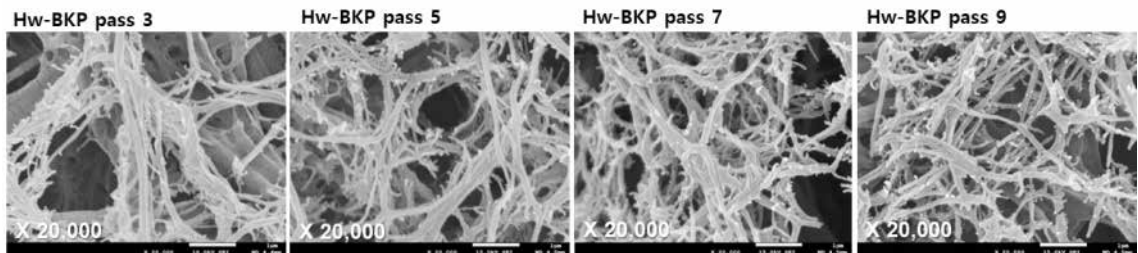


Fig. 7. FE-SEM images of CNF made from Hw-BKP depending on the pass number of micro-grinding.

일한 패스 횟수에서 펄프 종류에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 입도는 그라인더 패스 횟수가 증가함에 따라 지속적으로 감소함을 확인할 수 있었다. PB-BKP로 제조된 CNF의 경우 패스 횟수가 1회일 때는 섬유들이 충분히 미분화되지 않고 균일하지 않아 입도와 표준편차가 높은 것으로 판단된다. 패스 횟수가 증가할수록 입도는 지속적으로 감소하다가 패스 횟수가 5회 이상에서는 입도가 20 μm 이하를 나타냈다. 앞선 섬유폭 결과를 연계해서 해석해보면 그라인더 패스 횟수가 5회일 때 섬유들이 전체적으로 나노화됨을 확인할 수 있었기 때문에 입도가 20 μm 이하일 때 대부분의 섬유는 나노화된 것으로 판단된다. 펄프별로 살펴보면 PB-BKP로 제조된 CNF의 입도가 상대적으로 큰 것으로 나타났고 이는 섬유폭 결과와 동일한 경향을 보여준다. 그러나 그라인더 패스 횟수가 증가하여 최종적으로 9회에서는 차이가 크지 않은 것을 볼 수 있었다.

CNF의 정전기적 특성을 파악하기 위해 제타전위를 측정하였고 Fig. 11에 도시하였다. 전체적으로 두 종류의 CNF는 음이온성을 나타냈고 그라인더 패스 횟수가 증가하여도 -25 mV에서 -20 mV 수준을 유지하였다. 펄프별로 살펴보면 펄프의 종류에 따른 차이는 거의 없는 것으로 판단된다. 일반적으로 펄프 섬유는 헤미셀룰로오스의 glucuronoxyylan이 가지는 카르복실기, 크라프트 펄핑 과정에서 리그닌의 카르복실화 반응,<sup>12)</sup> 표백과정의 산화공정<sup>13)</sup> 등의 과정을 거치면서 음전하를 띠게 된다. 따라서 본 연구에서 제조된 CNF는 목질계 섬유에서 유래한 PB-BKP로 제조되었기 때문에 정전기적으로 음이온성을 가지는 것으로 판단되고 PB-BKP로 제조된 CNF는 Hw-BKP로 제조된 CNF와 동일한 정전기적 특성을 가지는 것으로 판단된다.

따라서 PB-BKP로 제조된 CNF는 상업용 Hw-BKP로 제조된 CNF와 유사한 저전단점도와 제타전위를 가지는 것으로 판단된다. 또한 섬유폭과 입도의 경우에는 동일한 패스 횟수에서 PB-BKP로 제조된 CNF가 상대적으로 높게 나타났으나 그라인더 패스 횟수가 9회 수준으로 충분한 그라인더 처리가 가해질 경우 그 차이는 크지 않은 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 단순 폐기되고 있는 감나무 부산물의

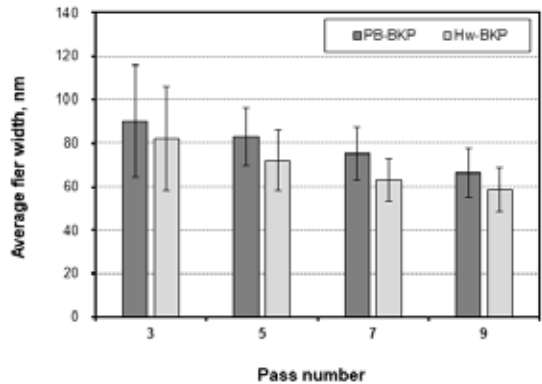


Fig. 8. Fiber width of CNFs made from PB-BKP and Hw-BKP depending on the pass number of micro-grinding.

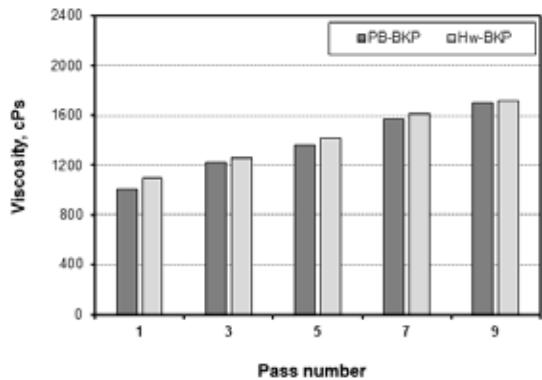


Fig. 9. Low-shear viscosity of CNFs made from PB-BKP and Hw-BKP depending on the pass number of micro-grinding.

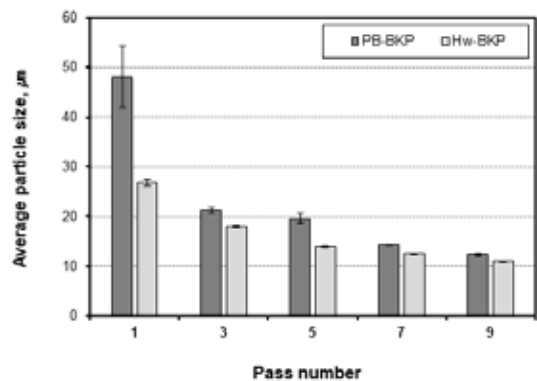


Fig. 10. Particle size of CNFs made from PB-BKP and Hw-BKP depending on the pass number of micro-grinding.

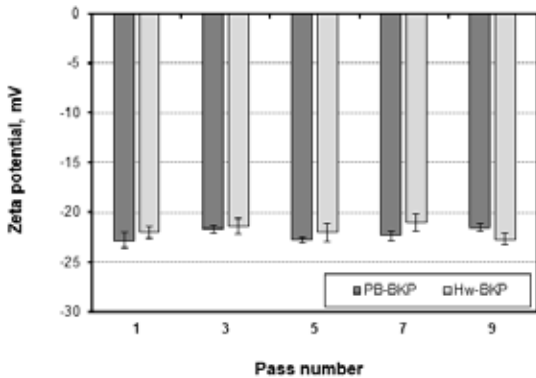


Fig. 11. Zeta-potential of CNFs made from PB-BKP and Hw-BKP depending on the pass number of micro-grinding.

고부가가치화 방안으로 이를 이용한 CNF의 제조 가능성을 탐색하기 위해 감나무 부산물을 이용하여 우선 표백 화학펄프를 제조하고 마이크로 그라인더 처리를 통해 CNF를 완성한 후 주요 물성을 평가하였다. 감나무 가지치기를 통해 발생한 감나무 부산물로부터 표백 화학펄프를 제조하기 위해 선행연구를 통해 도출된 최적 펄프화 조건과 섬유 손상 최소화 및 고백색 조건을 적용하여 백색도 73% 수준의 표백 화학펄프를 제조하였다. 이후 대조군인 표백 활엽수 화학펄프와 동일하게 마이크로 그라인더를 이용하여 CNF를 제조하고 그라인더 패스 횟수별로 CNF 슬러리를 채취한 후 주요 물성을 측정하였다.

마이크로 그라인더를 통해 제조된 PB-BKP와 Hw-BKP CNF 슬러리 외관은 큰 차이를 보이지 않았다. 그라인더 패스 횟수가 증가함에 따라 섬유폭을 측정한 결과 두 펄프로 제조된 CNF 모두 패스 횟수가 5회 이상일 때 나노화가 충분히 진행된 것으로 나타났다. 또한 패스 횟수가 증가함에 따라 CNF의 저전단점도는 상승하였고 입도는 감소하였으며 제타전위는 큰 변화가 관찰되지 않았다. 펄프별로 살펴보면 초기 패스 횟수에서 PB-BKP로 제조된 CNF가 Hw-BKP로 제조된 CNF에 비해 섬유폭과 입도가 높았지만 패스 횟수가 9회 수준일 때는 그 차이가 감소하는 것으로 나타났다.

따라서 상업용 Hw-BKP로 제조된 CNF와 비교했을 때 감나무 부산물로부터 제조된 CNF의 주요 물성은 큰 차이를 나타내지 않는 것으로 보아 감나무 부산물은 CNF의 원료로 활용 가능한 것으로 판단된다.

## 사사

이 논문은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농생명산업기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(118040-3).

## Literature Cited

- Adriana, A. O., Dolores, S., Paul, V. and Andres, M. M., A Regional Response to a Global Problem: Single Use Plastics Regulation in the Countries of the Pacific Alliance, *Sustainability* 12(19):1-21 (2020).
- Coelho, P. M., Corona, B., Klooster, R. and Worrell, E., Sustainability of reusable packaging-Current situation and trends, *Resources, Conservation & Recycling: X* 6:100037 (2020).
- Jo, H. M., Lee, J. Y., Kim, S. H. and Kim, K. M., The manufacture of bleached kraft pulp from persimmon byproducts, *Bioresources* 15(1):492-504 (2020).
- Kaur, D., Bhardwaj, N. K. and Lohchab, Prospects of rice straw as a raw material for paper making, *Waste Management* 60:127-139 (2017).
- Pires, J. R. A., Souza, V. G. L. and Fernando, A. L., Valorization of energy crops as a source for nanocellulose production - Current knowledge and future prospects, *Industrial Crops and Products* 140:111642 (2019).
- Klemm, D., Kramer, F., Moritz, S., Lindstrom, T., Ankerfors, M., Gray, D. and Dorris, A., Nanocelluloses: A new family of nature-based materials, *Angewandte Chemie* 50(24):5403-5585 (2011).
- Gonzales, I., Vilaseca, F., Alcalá, M., Pelach, M. A., Boufi, S. and Mutje, P., Effect of the combination of biobeating and NFC on the physico-mechanical properties of paper, *Cel-lulose* 20:1425-1435 (2013).



8. Lee, J. Y., Kim, C. H., Park, T. U., Jo, H. M., and Kim, K. M., Evaluation of the drainage and the strength of specialty paper made with cellulose nanofibrils originated from cotton fibers, *Journal of Korea TAPPI* 50(2):68–76 (2018).
9. Islam, M. T., Alam, M. M. and Zoccola, M., Review on modification of nanocellulose for application in composites, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 2(10):5444–5451 (2013).
10. Mishra, R. K., Sabu, A. and Tiwark, S. K., Materials chemistry and the futurist eco-friendly applications of nanocellulose: Status and prosect, *Journal of Saudi Chemical Society* 22(8):949–978 (2018).
11. Phanthong, P., Reubroycharoen, P., Han, X., Xu, G., Abudula, A. and Guan, G., Nanocellulose: Extraction and application, *Carbon Resources Conversion* 1(1):32–43 (2018).
12. Lee, H. L., Lee, B. J., Shin, D. S., Seo, Y. B., Lim, K. P., Won, J. M., and Sohn, C. M., Wood fiber and pulp properties in Papermaking Science, Ch. 2, pp. 20–25, Gwangil Press (1996).
13. Mathews, J., Gustafson, R. and Hodgson, K., A method to determine the charge demand of single pulp fibers, *Nordic Pulp & Paper Research Journal* 19(4):453–459 (2004).