

# 대마 줄기의 유기용매 펄프화 적용 가능성 검토

류지애<sup>1</sup> · 이중명<sup>2†</sup>

접수일(2022년 3월 18일), 수정일(2022년 3월 25일), 채택일(2022년 4월 6일)

## Organosolv Pulping of Hemp Stem for a Potential Papermaking Pulp

Jiae Ryu<sup>1</sup>, Jung Myoung Lee<sup>2†</sup>

Received March 18, 2022; Received in revised form March 25, 2022; Accepted April 6, 2022

### ABSTRACT

Glycol ether-based organosolv pulping process was applied to hemp stem to identify a possible sustainable source for papermaking. The hemp organosolv pulps were produced by controlling the content of glycol ether with water, ranging from 30% to 90% at a fixed cooking temperature, time, and acid catalyst. Hardwood bleached kraft pulp (HwBKP) was used as a reference. In this study, the hemp stem including the bast and core consisted of 33.9% of  $\alpha$ -cellulose and 36.7% of hemicellulose. The length-weighted length of the organosolv hemp pulp was 0.5–0.8 mm, which was similar to HwBKP. Morphology of organosolv hemp pulps was fibrillated higher than the HwBKP, resulting in a high tensile index in handsheets. In addition, the air permeability of handsheets of the organosolv hemp pulps increased with the increase of the glycol ether contents in pulping conditions.

**Keywords:** *Hemp, glycol ether, organosolv pulping, freeness, handsheet*

## 1. 서론

펄프화 공정으로부터 발생하는 부산물인 펄프는 기존

거대 장치 산업인 제지 분야를 기반으로 성장해왔으며 최근에는 생분해되지 않는 석유 기반 플라스틱을 대체하기 위해 펄프 기반의 포장 소재 혹은 기능성을 가지는 신소

<sup>1</sup> 경북대학교 임산공학과(Department of Wood and Paper Science, Kyungpook National University, Republic of Korea), 학생

<sup>2</sup> 경북대학교 산림과학, 조경학부 임산공학전공 및 농업과학기술연구소(Major in Wood Science and Technology, School of Forestry, Science and Landscape Architecture & Agricultural Science and Technology Research Institute, Kyungpook National University, Republic of Korea), 교수

† 교신저자(Corresponding Author): E-mail: jmylee@knu.ac.kr (Address: Major in Wood Science and Technology, School of Forestry, Science and Landscape Architecture, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Republic of Korea)

재 물질로 전환하고자 하는 노력이 지속적으로 이루어지고 있다.<sup>1-4)</sup> 비목질계 바이오매스는 전 세계적으로 자생하는 다년생 식물로서 약용으로 사용되는 일부를 제외하고는 농업 부산물로 발생하고 있어 신소재 또는 펄프로서 잠재력이 있는 원료이다.<sup>5-7)</sup> 또한 비목질계 바이오매스 자원은 목질계 바이오매스와 더불어 지속적으로 공급이 가능한 펄프화 원료 물질로 사용이 가능하고 펄프화 결과에 따라 새로운 기능성을 부여할 수 있는 원료로 주목받고 있다.

50-77%의 셀룰로오스로 구성되어 있는 대마는 주로 일년생에서 다년생으로 성장하며 기후조건에 따라 약간의 차이는 있지만 2016년에 0.3 t/ha의 성장범위가 2030년에는 2.4 t/ha 수준으로 증가할 것이라 추산되고 있다.<sup>8)</sup> 대표적으로 마약성 대마의 경우, 잎 또는 열매로부터 tetrahydrocannabinols(THC) 혹은 cannabidiol(CBD)와 같은 유효한 추출 성분을 얻을 수 있다.<sup>9-11)</sup> 또한 전통적인 대마의 섬유화는 대마 줄기를 물에 침지해 섬유를 불린 후 표피를 구분해내는 방식(retting)으로서 섬유장이 길고 고강도의 섬유인 표피(bast)는 전체 줄기의 20-30%를 차지하고 속(hurd)은 물관부(xylem)를 주로 함유하며 밀도는 낮지만 70-80%를 차지한다고 알려져 있다.<sup>12-14)</sup> 이처럼 대마는 구성하고 있는 부위 및 용도에 따라 식품, 제약, 화장품, 의류, 제지 및 농업용 자재 등의 원료로서 다방면에 이용 가능성이 높다.<sup>15-18)</sup> 특히, 약용 성분 등의 유효 성분을 제거하고 난 후 발생하는 대마 줄기의 질기고 긴 섬유장을 활용해 복합 소재에 적용하거나 펄프화 반응을 통해 나노 셀룰로오스를 제조하는 등 신소재로서 활용 가능성이 높다.<sup>19-22)</sup> 대마 줄기의 섬유화는 크라프트(Kraft), 아황산(sulfite), 유기용매(organosolv), 소다(soda) 펄프화와 같은 다양한 종류의 펄핑 방법이 사용될 수 있으나 대마에 최적화된 펄프 생산 방법은 구체적으로 정해진 바가 없다.<sup>23-26)</sup>

유기용매 펄프화는 별도의 반응 장치를 대규모로 요구하지 않아 소규모로 경작되는 비목질 바이오매스에 적용하기 적합하다.<sup>27,28)</sup> 지류 생산을 목적으로 Zomers 등<sup>29)</sup>에 의해 에탄올 용매와 산 또는 알칼리를 촉매로 하는 유기용매 펄프화의 조건을 설정하고 모델링하여 수율 및 리그닌 함량을 최적화하기 위한 연구가 선행된 바 있다.

또한, 이전의 연구<sup>30,31)</sup>에서 고비점 용매인 글리콜 에테르와 황산 또는 염산 촉매를 사용해 목질 바이오매스의 유기용매 펄프화에 대한 연구를 선행한 바 있다. 따라서,

본 연구에서는 비목질 바이오매스인 대마 줄기를 응용 소재로 전환하기 위한 기초 연구로서 고비점 유기용매인 글리콜 에테르 및 황산 촉매를 기반으로 대마 줄기를 펄프화하여 섬유 특성을 검토하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

표피를 함유한 대마 줄기의 직경은 50-100 mm로 수동 절삭기를 사용해 길이 약 500 mm로 절단한 후 펄프용 원료로 사용하였으며 함수율은 약 7.4%이었다. 반응시약을 제조하기 위해 글리콜 에테르(Daejung Chemical & Materials Co., Ltd., Korea) 및 반응 촉매로 95% 황산(Daejung Chemical & Materials Co., Ltd., Korea)을 사용하였으며 펄프화에 따른 수초 특성을 분석하기 위해 활엽수 표백 펄프(HwBKP)를 M사에서 제공받았다.

### 2.2 대마 줄기의 화학 조성분 분석

대마 줄기는 화학 조성분 분석을 위해 전건 상태로 표피를 별도로 구분하지 않고 분쇄한 뒤 30-60 mesh로 분급했다. Table 1에 따라 홀로셀룰로오스, 알파셀룰로오스, 잔존 리그닌, 유기용매 추출, 열수 추출 및 회분 함량이 측정되었으며 3회 이상 측정하여 평균값을 사용하였다.

### 2.3 대마 줄기의 유기용매 펄프화 적용

고비점 용매인 글리콜 에테르 및 황산을 사용하여 온도, 시간, 글리콜 에테르 함량, 및 황산 촉매를 조절해 대마 줄기를 반응하였다(Table 2). 글리콜 에테르 함량 차

Table 1. Analysis methods of chemical compositions of hemp

Component	Standard
Holocellulose	ASTM D 1104-56
$\alpha$ -cellulose	ASTM D 1104-56
Hemicellulose	-
Residual lignin	TAPPI T 222
Alcohol-benzene extractives	TAPPI T 204 cm-97
Hot-water extractives	TAPPI T 207
Ash contents	TAPPI T 211

Table 2. Organosolv pulping conditions

	Temperature (°C)	Time (min.)	Glycol ether (%)	Catalyst (M)
Hemp_GE30	110	60	30	0.3
Hemp_GE50	110	60	50	0.3
Hemp_GE90	110	60	90	0.3

이에 따라 세 가지 종류의 펄프화 조건을 설정했으며 원료의 함수율을 고려하여 Hemp\_GE30의 반응 시약은 글리콜 에테르 443 mL와 증류수 1029 mL를 혼합한 뒤 촉매로써 전체 반응 시약의 0.3 M이 되도록 황산 24.5 mL를 자력교반하며 서서히 첨가해 제조되었다. Hemp\_GE50의 반응 시약은 글리콜 에테르 738 mL와 증류수 734 mL, 및 24.5 mL의 95% 황산 촉매로부터 제조되었고 Hemp\_GE90은 글리콜 에테르 1328 mL와 증류수 144 mL 및 24.5 mL 황산 촉매로부터 제조되었다. 약액의 액비는 1:30 (w/w)으로 전건 대마 줄기 50 g에 모든 반응 시약이 원료에 침지되도록 2L 삼각 플라스크에 하루간 방치한 뒤 상부에 고무마개로 입구를 차단하고 진공 펌프를 사용하여 감압해 약품을 균일하게 침투시켰다. 고압멸균기를 사용하여 110°C에서 1시간 동안 펄프화한 후 반응물과 여액을 200 mesh 그물망으로 분리했다. 대마 펄프는 해리 후 섬유 분급기(Somerville screen, Daeil Co., Ltd., Korea)를 이용해 미반응 잔사로부터 분리해 200 mesh의 거름망을 통해 탈수하였다.

### 2.4 펄프화 특성

펄프의 수율은 섬유 분급기를 이용하여 미반응 잔사를 제거한 펄프의 전건 중량 및 원료의 무게 비율로 TAPPI T 275에 의해 측정되었다. 섬유의 형태는 광학 현미경 (BX 50, Olympus Co., Ltd., Japan) 및 섬유 분석기 (L&W fiber tester plus, Lorentzen & Wettre Products, Sweden)로 확인되었고 잔존 리그닌 함량은 TAPPI T 222로 분석하였다. 여수도(TAPPI T 227)는 캐나다 표준형 여수도 시험기를 통해 측정하였다. 활엽수 표백 크라프트 펄프(HwBKP)를 대조구로 사용하였으며 별도의 고해 과정을 거치지 않고 분석하였다. 대마 펄프로부터 제조된 수초지의 평량은  $30 \pm 3 \text{ g/m}^2$ 로, TAPPI 표준 원형 수초지기 (DM-830, Daeil Co., Ltd., Korea)를 이용하여 제조되었다. TAPPI T 494에 따라 만능인장강도시험기(OTT-005, Oriental TM, Korea) 수초지의 인장 지수 및 연신율을 측정하였다. 수초지의

투기도(Gurley)는 TAPPI T 460에 의거하여 시험기 (SSM-081, Sun-woo Co. Ltd., Korea) 100cc를 통과하는 시간으로 분석하였다. 한 장당 투기도를 측정하는데에 소요되는 시간이 3초 내일 경우 여러 겹의 수초지를 측정하고 겹쳐진 수만큼 나누어 산출하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 대마 줄기의 주요 구성성분

펄프화 원료로 사용된 대마 줄기의 구성 성분을 Table 3에 나타냈다. 아염소산으로 리그닌이 제거된 후 홀로셀룰로오스의 함량은 약 76.6%이며 잔존 리그닌 함량은 약 28.5%이었다. 홀로셀룰로오스로부터 알칼리 수용액에 의해 추출된  $\alpha$ -셀룰로오스 함량을 제외하고 헤미셀룰로오스에 해당하는 함량이 약 36.7%로 계산되었다. 목질 바이오매스의 헤미셀룰로오스 함량은 활엽수의 경우 glucuronoxylan 및 침엽수는 galactoglucomannan을 포함해 15-30%로 구성되어 대마의 헤미셀룰로오스 함량인 약 36.7% 보다 낮았다.<sup>32)</sup> 산에 의해 쉽게 가수분해되는 헤미셀룰로오스의 특성 때문에 알칼리 기반의 크라프트 펄프화를 통해 제조되는 펄프는 설파이트 펄프에 비해 높은 헤미셀룰로오스 함량을 가진다.<sup>33)</sup> 지류 생산에 있어서 펄프의 헤미셀룰로오스 함량은 종이 강도에 긍정적인 영향을 미칠 수 있는데 헤미셀룰로오스가 다량 함

Table 3. Chemical composition of hemp stem

Component	Content (%)
Holocellulose	76.6±1.3
$\alpha$ -cellulose	39.9±3.4
Hemicellulose	36.7±4.7
Residual lignin	28.5±1.1
Alcohol-benzene extractives	3.8±0.1
Hot-water extractives	8.7±0.2
Ash contents	3.27±0.07

유된 대마의 경우 펄프화 과정을 거치면서 목질 바이오매스 기반 펄프와는 다른 성질을 발현할 수 있을 것으로 추측된다. 대마 줄기의 추출 성분은 열수 추출이 에탄올-벤젠 추출보다 약 5%가량 높게 나타났으며 대마 줄기에 함유된 무기물 함량은 3.27%로 나타났다.

### 3.2 대마 줄기의 유기용매 펄프화 특성

글리콜 에테르를 기반으로 하는 유기용매 펄프화 적용에 따른 반응 수율과 잔존 리그닌 함량을 측정하였다 (Table 4). 펄프의 스크린된 수율은 약 20-30%로 침·활엽수 크라프트 공정에서 발생하는 수율보다 낮았으며 글리콜에테르 반응 시약의 함량에 따라 증가하였다. 이는 대마 줄기의 표피와 속을 구분하지 않은 채로 반응되었을 때 표피가 충분히 반응되지 않아 낮은 수율을 나타낸 것으로, 표피에 존재하는 pectic-lignin matrix가 형성하는 강한 결합이 약품 침투 저해 요인으로 판단된다.<sup>34)</sup> 잔존 리그닌 함량은 Hemp\_GE30에서 Hemp\_GE90으로 갈수록 감소하는 경향을 보였으나 1-2% 내외로 감소하였다. 이는 반응 시약 중 글리콜 에테르 함량이 증가함에 따라 리그닌의 용출이 쉬워져 펄프의 잔존 리그닌 함량을 감소시키는 데에 도움을 줄 수 있다고 판단하였다.

Fig. 1은 유기용매 펄프화에 따른 섬유 성상을 관찰한 결과이다. 대조구로 사용된 활엽수 표백 크라프트 펄프는 도관과 단섬유로 구성되어 있었다(Fig. 1(a)). 글리콜 에테르가 30% 첨가되어 있는 Hemp\_GE30은 활엽수 표백 크라프트 펄프와 비교해 일부 피브릴화되거나 장섬유

로 구성되어 있으며 Fig. 1(c)와 같이 장섬유 다발이 꼬인 형태로 관찰되었다. 이는 장섬유가 밀집되어있는 대마 표피가 유기용매 펄프화 과정에서 일부 섬유화된 것으로 판단된다.<sup>13)</sup> Fig. 1(b)에서 Fig. 1(f)로 글리콜 에테르 함량이 증가함에 따라 대마 유기용매 섬유 길이는 짧아지는 경향을 나타내는데 글리콜 에테르에 의해 리그닌이 용출되어 섬유 다발 사이의 결합이 약해지면서 산 촉매에 의한 셀룰로오스 분해가 섬유 길이에 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 대마의 펄프화 과정에서 관찰된 조직은 활엽수 도관과 유사한 형태로 대마 줄기의 속에서도 주로 관찰되는 도관으로 추측된다.<sup>14)</sup>

펄프화에 따른 섬유 형태는 제지 적용 시 중요한 특성으로 작용한다. 섬유 분석 결과(Table 5), 섬유장은 글리콜 에테르가 30% 함유된 경우 0.79 mm이며 글리콜 에테르가 90% 함유된 경우 0.49 mm로 감소했고 섬유폭 또한 마이크로미터 단위로 소폭 감소하였다. 활엽수 크라프트의 경우 섬유장은 약 0.6-0.8mm로 알려져 있으며 대마 유기용매 펄프와 유사하게 나타났다.<sup>35)</sup> Barbera 등<sup>36)</sup>에 따르면 대마 속을 이용해 ethanolamine을 주 반응 용매로 시간, 온도 및 ethanolamine 함량을 3가지 영향 인자로 두고 반응표면분석(response surface methodology)한 결과 결속섬유를 제거하고 약 30~60%의 수율을 나타냈으며 0.45-0.73 mm의 length-weighted length로 단섬유에 해당하는 섬유장을 나타내는 것을 확인하였다. 글리콜 에테르를 기반으로 하는 대마 유기용매 펄프는 0.3 M 황산 촉매와 글리콜 에테르 함량에 따라 약 20-30%의 수율과 0.49-0.78 mm의 섬유장을 나타내 ethanolamine 유기용매 펄프화와 유사했다.

Table 4. Screened yield and residual lignin contents of organosolv hemp pulp

Sample	Screened Yield (%)	Residual lignin contents (%)
Hemp_GE30	21.0	10.1±0.3
Hemp_GE50	30.2	8.6±0.1
Hemp_GE90	31.9	8.5±0.6

### 3.3 글리콜 에테르 함량에 따른 대마 유기용매 펄프의 수초 특성

대마 유기용매 펄프의 수초 특성을 평가하기에 앞서 제지 공정에서 중요한 요인으로 작용하는 탈수 특성을 평가하기 위해 활엽수 크라프트 펄프(HwBKP)와 여수도

Table 5. Dimensional properties of organosolv pulping hemp pulp

Sample	Length-weighted fiber length (mm)	Fiber width (μm)	Fines (< 0.2 mm) (%)	Coarseness (μg/m)
Hemp_GE30	0.79	28	25.2	53.9
Hemp_GE50	0.68	28	20.0	55.0
Hemp_GE90	0.49	24	23.3	18.9



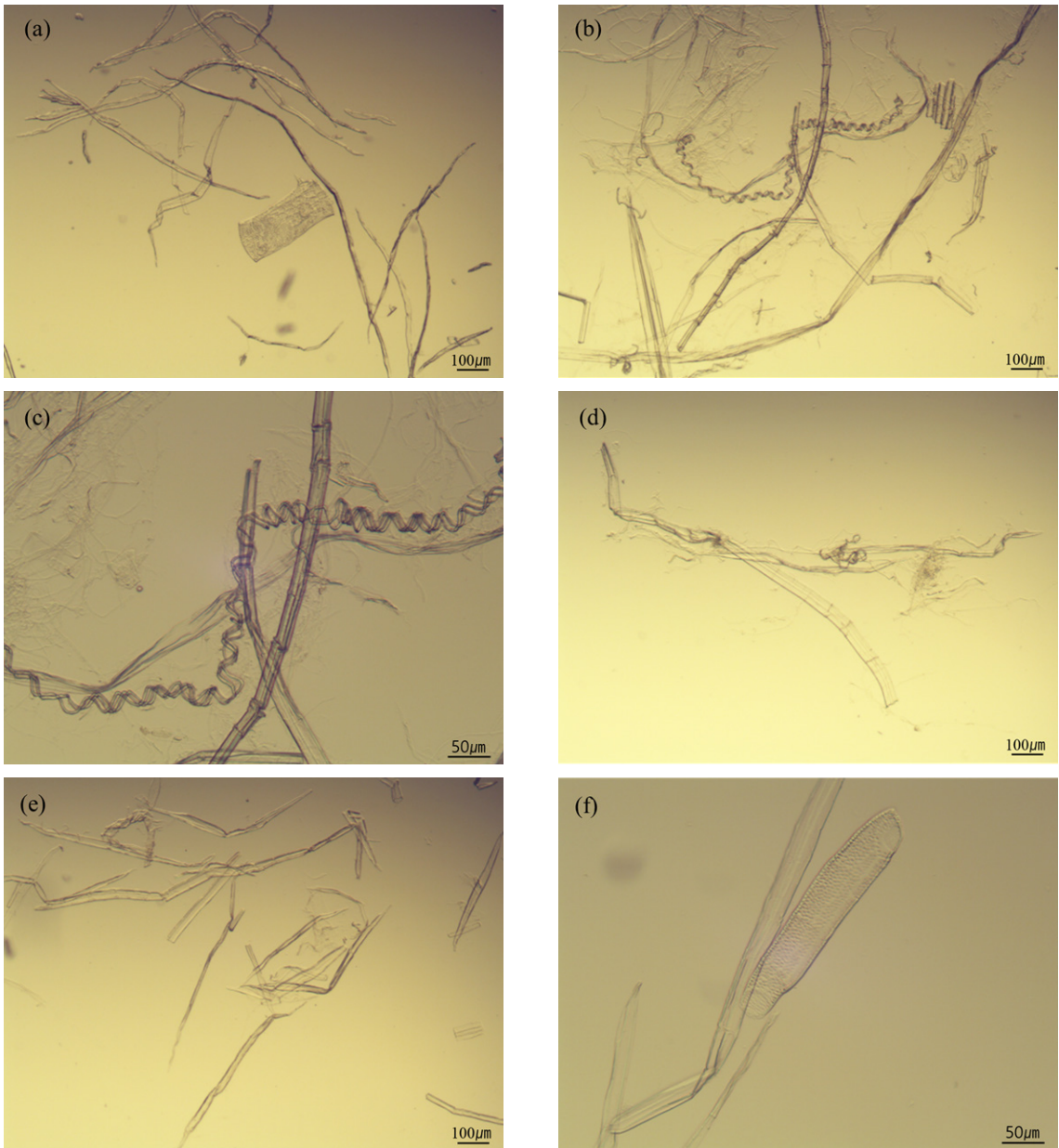


Fig. 1. Micrographs of HwBKP and organosolv hemp pulp.  
(a: HwBKP, b,c: Hemp\_GE30, d: Hemp\_GE60, e,f: Hemp\_GE90)

를 비교하였다(Fig. 2). 대조군으로 사용된 HwBKP의 여수도는 609 mL로 나타났으며 대마 유기용매 펄프는 전반적으로 200 mL 초반대로 측정되었다. 대마 유기용매 펄프는 HwBKP의 섬유 형태와 달리 피브릴화된 형태인 것으로 보았을 때 낮은 여수도를 나타낼 수 있다고 추

측된다(Fig. 1). 또한 알칼리 상태에서 반응하는 소다-안트라퀴논 펄프화를 대마에 적용할 경우 펄프의 여수도가 37 °SR로 측정되어 약 390 mL의 여수도를 나타내었다고 보고된 바 있다.<sup>37)</sup> 산을 촉매로 하는 글리콜 에테르 기반의 유기용매 펄프화에도 200 mL 초반으로 비교적 낮

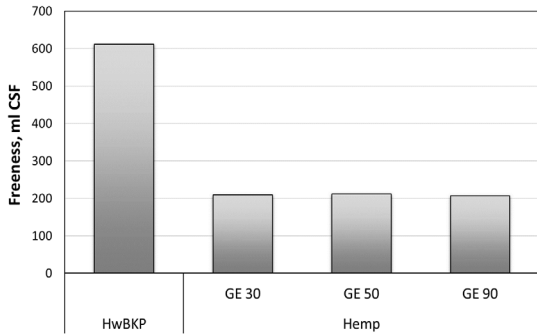


Fig. 2. Freeness of organosolv hemp pulp.

은 여수도가 측정된 결과는 산 또는 알칼리 펄프화 조건과 별도로 대마 원료의 근본적인 특성에 기인한 것으로 특히 대마 내 다량 함유된 헤미셀룰로오스에 의한 영향일 수 있다.

Fig. 3은 평량 약 30 g/m<sup>2</sup>으로 제조된 수초지의 인장 지수를 나타낸 결과이다. 고해되지 않은 HwBKP 수초지에 비해 대마로부터 제조된 유기용매 펄프의 인장 지수가 모든 조건에서 높게 나타났으며 글리콜 에테르가 60% 함유된 Hemp\_GE 60에서 23.1 N·m/g로 가장 높았다. 반응 용매 30%가 함유된 Hemp\_GE 30은 완전히 반응되지 않은 표피가 시트에 일부 잔존해 인장 지수가 감소한 것으로 판단하였다. 수초지의 연신율은 인장 지수와 마찬가지로 대마 유기용매 펄프로 제조된 수초지가 HwBKP보다 높은 연신율을 나타냈으며 Hemp\_GE 60이 가장 높게 나타났다(Fig. 4). 이와 같이 고해되지 않은 수초지에서 높은 인장 지수 및 연신율을 가질 수 있는 것은 펄프화 과정에서 Fig. 1과 같이 피브릴화된 대마

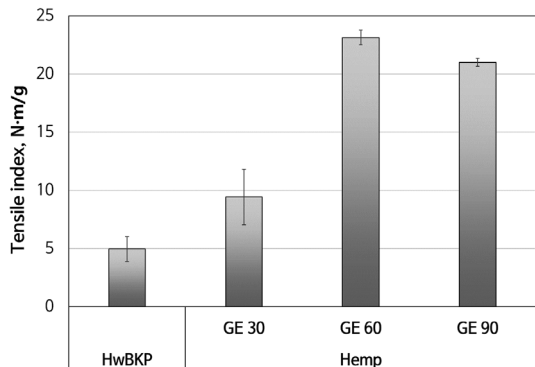


Fig. 3. Tensile index of organosolv hemp handsheet from organosolv pulping.

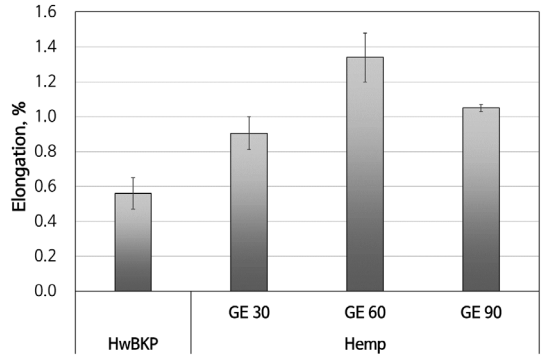


Fig. 4. Elongation of organosolv hemp handsheet from organosolv pulping.

유기용매 펄프가 형성되어 수초지 형성 시 섬유 간 결합을 증가시킨 것으로 추측된다.

Table 6은 대마 수초지의 투기 저항성을 측정된 결과로, 대마 유기용매 펄프의 투기 저항성은 HwBKP보다 월등히 높았으며 글리콜 에테르의 함량이 증가함에 따라 수초지의 투기 저항성이 높아지는 것을 확인하였다. Fig. 1에서 확인할 수 있듯이 글리콜 에테르 기반의 대마 유기용매 펄프의 섬유가 피브릴화되어 있는 것을 확인할 수 있었는데, Hii 등<sup>38)</sup>은 섬유의 피브릴화에 따라 종이의 공극이 감소하여 투기도가 증가할 수 있다고 보고된 바 있다. Table 5의 결과에서 Hemp\_GE 30에서 53.9 µg/m, Hemp\_GE 60에서 55.0 µg/m, 그리고 Hemp\_GE 90의 조도는 18.9 µg/m로 소폭 증가하다가 급격하게 감소한 것을 확인하였다. 이와 같은 조도의 감소는 세포벽에 존재하는 리그닌이 용출됨에 따라 감소할 수 있으며 섬유 간 결합에 영향을 끼쳐 대마 유기용매 펄프로부터 제조된 수초지의 투기 저항성을 증가시킬 수 있으며 글리콜 에테르 함량이 증가함에 따라 감소된 대마 유기용매 펄프의 섬유장 또한 수초지 내부의 공극을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

Table 6. Air resistance of hemp handsheet from organosolv pulping

Sample	Air resistance (sec/300 cc)
HwBKP	0.3
Hemp_GE30	23.2
Hemp_GE60	54.1
Hemp_GE90	>500

## 4. 결론

본 연구에서는 대마 줄기를 글리콜 에테르를 기반으로 하는 유기용매 펄프화에 적용해 펄프화 가능성을 평가하였다. 대마 줄기의 화학 성분을 분석한 결과 홀로셀룰로오스 내 알파셀룰로오스 함량은 약 40%이고 헤미셀룰로오스 함량은 약 37%이었다. 대마 유기용매 펄프의 잔존 리그닌 함량은 약 10%였으며 섬유장은 약 0.5-0.8 mm 이었고 HwBKP와 달리 피브릴화된 형태의 섬유가 존재했다. 제지 공정에 있어 생산성과 직결되는 여수도 측정 결과 대마 유기용매 펄프는 전반적으로 200 mL CSF 초반으로 609 mL CSF의 고해되지 않은 HwBKP와 비교했을 때 낮은 탈수 특성을 나타내는 것으로 확인하였다. 수초지의 인장지수 측정 결과 글리콜 에테르 함량 60%인 Hemp\_GE 60 및 글리콜 에테르 함량 90%인 Hemp\_GE 90에서 각각 23.1 N·m/g 및 20.1 N·m/g로 높은 인장지수를 나타냈다. 또한 글리콜 에테르 함량이 증가하면서 섬유장이 0.79 mm에서 0.49 mm로 감소하였고 수초지의 투기 저항성이 증가했다. 이와 같은 대마 유기용매 펄프는 지료의 탈수 속도를 제어하기 위한 첨가제, 고강도 특수지 및 나노셀룰로오스와 같은 신소재 분야에 적용 가능할 것으로 기대된다.

## 사사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 야생생물 유래 친환경 신소재 및 공정 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2021003270003).

## Literature Cited

1. Michelin, M., Gomes, D. G., Romani, A., Polizeli, M. D. L., and Teixeira, J. A., Nanocellulose production: exploring the enzymatic route and residues of pulp and paper industry, *Molecules* 25(15):3411 (2020).
2. Liu, K., Wang, H., Liu, H., Nie, S., Du, H., and Si, C., COVID-19: Challenges and perspectives for the pulp and paper industry worldwide, *BioResources* 15(3):4638-4641 (2020).
3. Gupta, P. K., Joshi, G., Rana, V., Rawat, J. S., and Sharma, A., Utilization of pine needles for preparation of sheets for application as internal packaging material, *Indian Forester* 146(6):538-543 (2020).
4. Deshwal, G. K., Panjagari, N. R., and Alam, T., An overview of paper and paper based food packaging materials: health safety and environmental concerns, *Journal of Food Science and Technology* 56(10):4391-4403 (2019).
5. Marques, G., Rencoret, J., Gutiérrez, A., Alfonso, J. E., and del Río, J. C., Evaluation of the chemical composition of different non-woody plant fibers used for pulp and paper manufacturing, *The Open Agriculture Journal* 4(1):93-101 (2010).
6. Fillat, U., Pepió, M., Vidal, T., and Roncero, M. B., Flax fibers as a raw material: How to bleach efficiently a non-woody plant to obtain high-quality pulp, *Biomass and Bioenergy* 34(12):1896-1905 (2010).
7. Abd El-Sayed, E. S., El-Sakhawy, M., and El-Sakhawy, M. A. M., Non-wood fibers as raw material for pulp and paper industry, *Nordic Pulp & Paper Research Journal* 35(2): 215-230 (2020).
8. Wimalasiri, E. M., Jahanshahi, E., Chimonyo, V. G., Kurupparachchi, N., Suhairi, T. A. S. T. M., Azam-Ali, S. N., and Gregory, P. J., A framework for the development of hemp (*Cannabis sativa* L.) as a crop for the future in tropical environments, *Industrial Crops and Products* 172:113999 (2021).
9. Leizer, C., Ribnicky, D., Poulev, A., Dushenkov, S., and Raskin, I., The composition of hemp seed oil and its potential as an important source of nutrition, *Journal of Nutraceuticals, Functional & Medical Foods* 2(4):35-53 (2000).
10. Elmes, M. W., Kaczocha, M., Berger, W. T.,

- Leung, K., Ralph, B. P., Wang, L., and Deutsch, D. G., Fatty acid-binding proteins (FABPs) are intracellular carriers for  $\Delta^9$ -tetrahydrocannabinol (THC) and cannabidiol (CBD), *Journal of Biological Chemistry* 290(14):8711-8721 (2015).
11. McCoy, B., Wang, L., Zak, M., Al-Mehmadi, S., Kabir, N., Alhadid, K., and Snead III, O. C., A prospective open-label trial of a CBD/THC cannabis oil in dravet syndrome, *Annals of Clinical and Translational Neurology* 5(9):1077-1088 (2018).
  12. Liu, M., Fernando, D., Daniel, G., Madsen, B., Meyer, A. S., Ale, M. T., and Thygesen, A., Effect of harvest time and field retting duration on the chemical composition, morphology and mechanical properties of hemp fibers, *Industrial Crops and Products* 69:29-39 (2015).
  13. Mazian, B., Bergeret, A., Benezet, J. C., and Malhautier, L., Influence of field retting duration on the biochemical, microstructural, thermal and mechanical properties of hemp fibres harvested at the beginning of flowering, *Industrial Crops and Products* 116:170-181 (2018).
  14. Bismarck, A., Aranberri-Askargorta, I., Springer, J., Lampke, T., Wielage, B., Stamboulis, A., and Limbach, H. H., Surface characterization of flax, hemp and cellulose fibers: surface properties and the water uptake behavior, *Polymer Composites* 23(5):872-894 (2002).
  15. Dai, D., Fan, M., and Collins, P., Fabrication of nanocelluloses from hemp fibers and their application for the reinforcement of hemp fibers, *Industrial Crops and Products* 44:192-199 (2013).
  16. Flachowsky, H., Schumann, E., Weber, W. E., and Peil, A., Application of AFLP for the detection of sex-specific markers in hemp, *Plant Breeding* 120(4):305-309 (2001).
  17. Seng, B., Lorente, S., and Magniont, C., Scale analysis of heat and moisture transfer through bio-based materials-Application to hemp concrete, *Energy and Buildings* 155:546-558 (2017).
  18. Graupner, N., Herrmann, A. S., and Müssig, J., Natural and man-made cellulose fibre-reinforced poly (lactic acid)(PLA) composites: An overview about mechanical characteristics and application areas, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 40(6-7):810-821 (2009).
  19. Shahzad, A., Hemp fiber and its composites - a review, *Journal of Composite Materials*, 46(8):973-986 (2012).
  20. Sullins, T., Pillay, S., Komus, A., and Ning, H., Hemp fiber reinforced polypropylene composites: The effects of material treatments, *Composites Part B: Engineering* 114:15-22 (2017).
  21. Rouison, D., Sain, M., and Couturier, M., Resin transfer molding of hemp fiber composites: optimization of the process and mechanical properties of the materials, *Composites Science and Technology* 66(7-8):895-906 (2006).
  22. Babu, G. D., Babu, K. S., and Gowd, B., Optimization of machining parameters in drilling hemp fiber reinforced composites to maximize the tensile strength using design experiments, *Indian Journal of Engineering & Materials Science* 20:385-390 (2013).
  23. Dang, V. and Nguyen, K. L., Characterisation of the heterogeneous alkaline pulping kinetics of hemp woody core, *Bioresource Technology* 97(12):1353-1359 (2006).
  24. Liu, Z., Wang, H., and Hui, L., Pulping and papermaking of non-wood fibers, *Pulp Pap Process* 15:44 (2018).
  25. Buza ła, K. P., Kalinowska, H., Przybysz, P., and Ma łaachowska, E., Conversion of various types of lignocellulosic biomass to fermentable



- sugars using kraft pulping and enzymatic hydrolysis, *Wood Science and Technology* 51(4):873-885 (2017).
26. Gümüşkaya, E. and Usta, M., Dependence of chemical and crystalline structure of alkali sulfite pulp on cooking temperature and time, *Carbohydrate Polymers* 65(4):461-468 (2006).
  27. González, M., Canton, L., Rodriguez, A., and Labidi, J., Effect of organosolv and soda pulping processes on the metals content of non-woody pulps, *Bioresource Technology* 99(14):6621-6625 (2008).
  28. Alriols, M. G., García, A., Llano-Ponte, R., and Labidi, J., Combined organosolv and ultrafiltration lignocellulosic biorefinery process, *Chemical Engineering Journal* 157(1):113-120 (2010).
  29. Zomers, F. H., Gosselink, R. J., Van Dam, J. E., and Tjeerdma, B. F., Organosolv pulping and test paper characterization of fiber hemp, *Tappi Journal* 78(5):149-155 (1995).
  30. Lee, J. M., Ahn, E. B., Choi, H. S., Ryu, J. A., and Eom, T. J., Study on improvement of preparation efficiency of lignin rich micro-cellulosic fines, *Journal of Korea TAPPI* 50(5):114-122 (2018).
  31. Kim, K. J., Ryu, J. A., Choi, S. R., Jung, B. G., Lee, J. M., and Eom, T. J., Glycol ether-organosolv pulping process of Radiata pine and comparison of characteristics with UKP, *Journal of Korea TAPPI* 52(1):94-102 (2020).
  32. Mikkonen, K. S., Kirjoranta, S., Xu, C., Hemming, J., Pranovich, A., Bhattarai, M., and Willför, S., Environmentally-compatible alkyd paints stabilized by wood hemicelluloses, *Industrial Crops and Products* 133:212-220 (2019).
  33. Li, J., Zhang, H., Duan, C., Liu, Y., and Ni, Y., Enhancing hemicelluloses removal from a softwood sulfite pulp, *Bioresource Technology* 192:11-16 (2015).
  34. Fan, M., Characterization and performance of elementary hemp fibres: factors influencing tensile strength, *Bioresources* 5(4):2307-2322 (2010).
  35. Chang, C. H., Yu, S. T., and Perng, Y. S., Effects of furnish and refining on properties of household paper, *Cellulose Chemistry and Technology* 52(5-6):433-440 (2018).
  36. Barbera, L., Pelach, M. A., Pérez, I., Puig, J., and Mutje, P., Upgrading of hemp core for papermaking purposes by means of organosolv process, *Industrial Crops and Products* 34(1):865-872 (2011).
  37. Ateş, S., Deniz, I., Kirci, H., Atik, C., and Okan, O. T., Comparison of pulping and bleaching behaviors of some agricultural residues, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 39(1):144-153 (2015).
  38. Hii, C., Gregersen, Ø. W., Chinga-Carrasco, G., and Eriksen, Ø., The effect of MFC on the pressability and paper properties of TMP and GCC based sheets, *Nordic Pulp & Paper Research Journal* 27(2):388-396 (2012).