

조릿대의 종합적 활용을 위한 조릿대 섬유 특성 평가

성용주 · 김동성 · 이지영^{1†}

접수일(2012년 8월 27일), 수정일(2012년 9월 20일), 채택일(2012년 9월 25일)

Evaluation of Characteristics of *Sasa quelpaertensis* Nakai Stem for the Comprehensive Utilization

Yong Joo Sung, Dong Sung Kim and Ji-Young Lee^{1†}

Received August 27, 2012; Received in revised form September 20, 2012; Accepted September 25, 2012

ABSTRACT

Chemical composition, morphological properties and papermaking properties of *Sasa quelpaertensis* Nakai were investigated in order to use it comprehensively. The lignin contents of stalks and leaves were 18.8% and 15.3% and the holocellulose contents were 63.3% and 48.6% respectively. The contents of ash and the amount of water extract showed the higher value than those of wood or other bamboo species. The average fibers length and width of *Sasa quelpaertensis* Nakai were 780 μm and 14.8 μm . The fibers of *Sasa quelpaertensis* Nakai stalk had thinner width and more slender structure than those of softwood. The handsheet made of *Sasa quelpaertensis* Nakai alkaline pulp showed higher in tensile strength and bulkier structure than those of handsheet made of soft wood unbleached kraft pulp.

Keywords: *Sasa quelpaertensis* Nakai, chemical composition, morphological properties, papermaking properties, crystallinity

1. 서론

조릿대는 계통상 대나무아과에 속하는데 전국의 산 중턱에 무리지어 식생하는 상록식물로서 토종약초 식물로 분류되어 있고 실제 잎과 줄기 및 뿌리 모두 소갈,

소담, 열 내림, 강점, 함염 등 여러 가지 효험¹⁾을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 조릿대는 근경번식이 왕성하기 때문에 잔지가 된 산지나 경사가 완만한 화산지형 등에 주로 큰 군락을 형성하여 분포하며, 분포지역이 매우 넓은 특징을 가지고 있다.²⁾ 특히 제주도 한라산 중

• 충남대학교 농업생명과학대학 환경소재공학과 (Dept. of Biobased Materials, College of Agriculture and Life Science, Chungnam Natl. Univ., Daejeon, Republic of Korea)

1. 경상대학교 임산공학과/농업생명과학연구원(Dept. of Forest Products/IALS, Gyeongsang National Univ., Jinju, 660-701, Korea)

† Corresponding author : paperyjy@gnu.ac.kr

턱에 많이 분포하고 있는데 제주도 한라산에서 자생하는 조릿대의 경우 제주도산약죽, 탐라산죽 등으로 불리워지며 학명은 *Sasa quelpaertensis Nakai* 이다. 1980년 중반이후 한라산국립공원을 중심으로 말의 방목이 금지되고 지구의 온난화 등으로 인한 기후변화 등으로 인해 자생지역이 급격히 확산되어 현재 한라산 해발 400~1,900m까지 광범위하게 분포하고 있는 것으로 보고되고 있다. 더욱이 제주 조릿대는 한라산 대부분의 지역에서 다른 초본이나 관목 등의 기존 자생식물의 성장을 방해하고 식생을 저해하는 우점도가 높은 하층식생으로 알려져 있어서 한라산 식생의 다양성에 위협적인 존재로 생각되고 있다.²⁾

이러한 제주 조릿대의 활용성을 높여 조릿대의 번식을 조절하고 관련된 지역산업의 발전을 도모하고자 다양한 연구와 산업화가 진행되고 있다. 특히, 조릿대의 잎 추출물에 대해서 당 내성, 건강 기능성의 이용, 향산화성의 연구 등^{3,4,5)} 이 집중적으로 수행되었으며 이를 통해 조릿대 잎의 향균 및 향산화 효과를 확인하고 이를 바탕으로 한 화장품, 의약품, 식품 등이 개발 등이 이루어지고 있으나 조릿대 잎과 함께 발생하는 조릿대 줄기의 활용에 대해서는 깊이 있는 조사와 연구개발이 이루어지지 않은 실정이다.^{6,7)}

본 연구에서는 제주조릿대의 통합적 활용을 위한 기반을 마련하고자 조릿대의 줄기와 잎의 구성성분을 분석하고, 특히, 조릿대 줄기의 형태적 특성을 광학현미경과 전자주사현미경을 이용하여 분석하였고, 조릿대 줄기내의 섬유소의 활용가능성을 평가하고자 알칼리 증해를 통해 조릿대 섬유소를 추출하여 그 특성을 분석하였다. 실제 기능성소재의 원료 등으로 활용성이 커지고 있는 제주조릿대에서 기능성물질의 추출과정 중에 발생하는 조릿대 섬유 등의 추가적인 이용방향 등을 모색해보고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 공시재료

본 실험에서 사용한 조릿대 시료는 제주도 한라산에서 균락을 이루고 자생하고 있는 제주조릿대(*Sasa quelpaertensis Nakai*)를 채취하여 흙 등의 불순물을 세척하여 건조하여 준비되었다.

2.2 조릿대의 구성성분 분석

2.2.1 화학적 조성분석

화학적 조성을 분석하기 위하여 조릿대를 줄기와 잎으로 분류하여 성분분석을 실시하였다. 조릿대를 줄기와 잎으로 각각 분리 한 후 분쇄하여 40 mesh와 100 mesh를 이용하여 분급하여 사용하였다. 성분분석은 TAPPI 표준분석법에 의거하여 회분(T211 om-02), 냉·온수 추출(T207 cm-99), Al-ben 추출(T204 cm-97)을 실시하였는데 Al-ben 추출의 경우 온수추출 후 잔사를 적용하여 실험을 실시하였다. 또한 Klason Lignin (T222 om-98)과 홀로셀룰로스 및 α, β, γ -Cellulose (T204 cm-99)를 분석하였다.

2.2.2 조릿대 회분내 무기성분 분석

조릿대의 줄기와 잎을 525°C에서 4 시간 동안 연소시킨 후 연소 후 회분을 ICP-MS(유도결합 플라즈마 질량분석기, Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer)를 적용하여 무기성분분석을 실시하였다.

2.3 알칼리 펄핑

조릿대에서 섬유의 특성을 파악하기 위하여 조릿대 섬유 추출을 위해 알칼리 증해를 실시하였다. 조릿대를 줄기와 잎 부분을 분리 한 후 줄기 부분을 이용하였으며 줄기는 4 cm 이내가 되도록 절단하여 사용하였다. 실험은 NaOH 20%, 액비 5:1의 조건에서 170°C, 120 분 동안 증해를 실시하였으며 최종 증해 온도에 도달하는 시간을 30 분이 되도록 조절하였다. 증해 처리 후 섬유를 충분히 세척 후 40 mesh와 200 mesh를 이용하여 섬유의 분급을 실시하였으며 각각 flake와 fiber로 분류하여 평가를 실시하였다.^{8,9,10)}

2.4 조릿대 섬유의 형태적 특성 평가

2.4.1 광학현미경을 이용한 관찰

조릿대의 줄기를 마이크로톱을 이용하여 두께 20~25 μm 로 1×1×1cm의 시편을 제작 한 후 사프라인 용액을 이용하여 관측용 프레파라트 제작하였다. 고배율 광학현미경을 이용하여 관찰하였으며 조릿대 줄기의 경우 횡단면과 접선단면으로 절삭하여 조릿대의 줄기조직의 특성을 관찰하였다.

2.4.2 전자주사현미경을 이용한 관찰

조릿대 줄기의 형태적 특성을 파악하기 위하여 전자주사현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope, JEOL/JSM-7000F)을 사용하였다. 조릿대 줄기의 알칼리 펄핑 후 얻어진 섬유분을 osmium plasma coater를 이용하여 OsO₄코팅을 실시하여 분석하였고, 이때 관찰조건은 관찰 비율이 x100~x500,000 배, 가속전압은 0.5~30 kV, 분해능은 1.2 nm (30 kV) 이었다.

2.5 XRD 분석

조릿대의 주요 구성성분인 셀룰로오스의 결정화도 록 알아보기 위하여 조릿대 잎과 줄기를 각각 분쇄하여 40 mesh와 100 mesh 사이에서 분급한 시료를 사용하여 X선 회절 분석기(X-ray Diffractometer, Bruker AXS(Germany)/D8 ADVANCE)를 이용하여 분석을 실시하였다. 셀룰로오스의 결정화도 측정은 peak의 최대, 최소값을 이용하여 실시하였다.¹¹⁻¹⁵⁾

$$CR = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max}}$$

I_{max} : Maximum intensity

I_{min} : Minimum intensity

2.6 조릿대 줄기의 섬유장 분석

조릿대의 줄기의 형태적 특성을 파악하기 위하여 알칼리 펄핑으로 얻어진 조릿대 줄기 섬유의 섬유장 분석을 섬유장 분석기(Morfi Analyzer, Techpop, France)를 적용하여 실시하였다.

2.7 섬유의 특성분석

조릿대 줄기의 알칼리 펄핑 후 얻어진 섬유의 제지특성을 평가하고자 수초지를 제조하였고 이때 섬유특성의 비교를 위하여 포장용지 제조에 활용되는 침엽수 미표백 크라프트 펄프(Sw-UKP)를 수입하여 비교 평가하였다. 수초지는 조릿대의 줄기섬유 100%, Sw-UKP 100%, 조릿대의 줄기와 Sw-UKP를 각각 50%씩 배합하여 사용하였으며 섬유의 특성을 비교하고자 고해는

실시하지 않았다.

제조된 수초지 시료들은 온도 23±1℃, 상대습도 50±2%로 조습처리(T402 om-83)한 후 강도 측정용 시편을 제작, 인장강도(T403 om-85)를 측정하여 강도적 특성을 비교평가 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 조릿대 잎과 줄기의 구성성분

조릿대 잎과 줄기의 구성성분을 분석하여 그 결과를 Table 1에 나타내었다. 조릿대 잎과 줄기에서 일반적인 목재에 비해 높은 수준의 냉수, 열수추출물이 존재하는 것을 알 수 있는데 이러한 것은 잎과 줄기에 수용성 성분이 상당량 존재하고 있는 것을 보여주고 있는 것으로 판단된다. 식물세포의 주요 구성성분인 리그닌 함량은 각각 줄기가 18.8%, 잎이 15.3%로 줄기가 조금 높게 나타났다. 홀로셀룰로오스의 함량은 줄기가 63.3%, 잎이 48.2%로 줄기가 잎보다 다소 높게 나타났다. 유사한 식물체인 맹종죽, 솜대, 왕대 1년생의 경우 리그닌 함량이 각각 29.71%, 29.64%, 28.96%로 보고되었는데¹⁶⁾ 이에 비해 상대적으로 낮은 리그닌 함량을 가지고 있는 것으로 분석되었다.

조릿대 잎과 줄기의 회분 함량은 각각 6.1%과 7.3%로서 일반적인 목재보다 높은 양의 회분함량을 가지고 있는 것을 알 수 있었는데 이러한 조릿대의 무기성분은 ICP-MS로 분석하여 Table 2에 나타내었다. 줄기 부분에서는 칼륨, 인, 칼슘 등이 많이 존재하는 것으로 알 수

Table 1. Chemical composition of *Sasa quelpaertensis* Nakai.

	Stalks		Leaves	
Ash	7.3	6.1		
Cold water extract	6	9.8		
Hot water extract	9.6	13.8		
Alcohol-benzen extract	2.1	2.9		
Klason Lignin	18.8	15.3		
Holocellulose	63.3	48.6		
α -cellulose	58.7	62.1		
β -cellulose	9.5	6.1		
γ -cellulose	31.8	31.8		

Table 2. Mineral composition of *Sasa quelpaertensis* Nakai measured with ICP-MS.

	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na	Ti	S	P	Si
Stalks	79	207	4514	3299	152071	2473	< 1	4209	4528	467
leaves	260	769	21223	12837	205131	2230	11	5102	12363	603

(unit : ppm)

있고, 잎 부분에서는 칼륨, 칼슘, 마그네슘의 함량이 높은 것을 확인하였다.

3.2 조릿대 줄기 섬유화

조릿대 줄기로부터 섬유를 추출하고자 알칼리 펄핑을 실시하였고 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 알칼리 펄핑 결과 섬유수율이 약 34.8% 정도로 다소 낮게 나타나는 것을 알 수 있었는데 조릿대내의 수용성물질이 많고 조릿대 줄기의 마디부분이 구조적인 이유로 미충해되었기 때문인 것으로 판단되었다.

3.3 조릿대 줄기의 해부학적 특징

조릿대 줄기의 해부학적 특성을 평가하고자 횡단면 및 접선단면으로 잘라 각각의 면을 광학현미경으로 관찰하였다. Fig. 1은 조릿대의 횡단면을 보여주고 있는데 조릿대 줄기가 병립유관속이 산재되어 있는 부제중심주로 이루어져 있는 것을 확인할 수 있다. 겉은 표피(epi)층으로 되어 있으며, 병립유관속은 원생목부(px),

사관, 유세포로 이루어져 있다. 유관속을 둘러싸고 있는 후벽세포가 둘러싸고 있는데 유관속초(bs)의 형태도 관찰되었다. 후벽세포(scl)로 인하여 조릿대 줄기가 강인성 및 활렬성을 가질 것으로 판단되었다.^{17,18)}

Fig. 2는 조릿대 줄기의 접선단면을 관찰한 사진을 보여주고 있다. 최외각에 표피층, 그 안에 유관속층, 그리고 유세포가 뚜렷히 관찰되었다. 유세포를 확대하였을 때 다수의 벽공이 존재하는 것을 볼 수 있다.

Table 3. The pulping yield of *Sasa quelpaertensis* Nakai stalks.

	Screen yield (%)	Reject (%)	Total (%)
Yield after Alkaline pulping	34.8	3.2	38.0

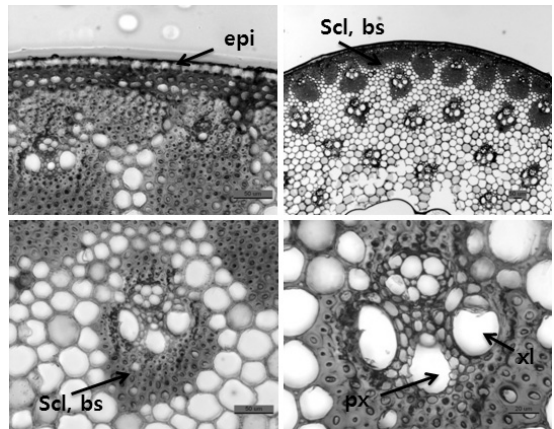


Fig. 1. Cross section tissue of *Sasa quelpaertensis* Nakai Stalk.
(epi : epidermis, scl : sclerenchyma, bs : Bundle sheath, px : protoxylem, xl : xylem)

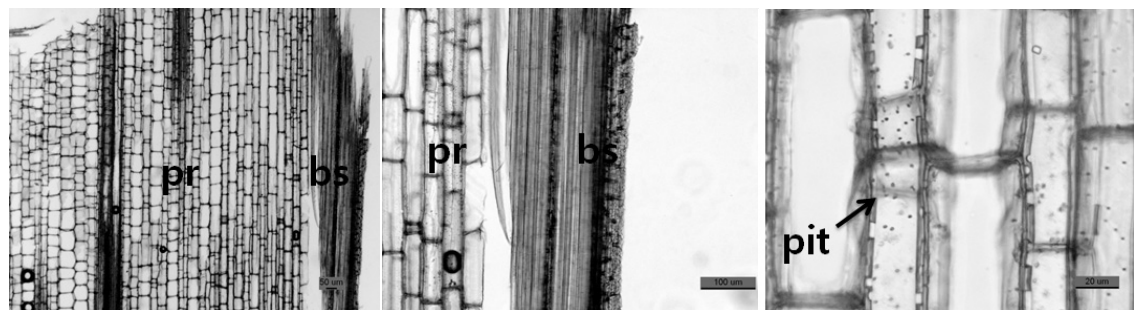


Fig. 2. Tangential section tissue of *Sasa quelpaertensis* Nakai Stalk.
(bs : Bundle sheath, pr : Parenchyma)

3.4 조릿대 줄기섬유의 형태적 특징

조릿대 줄기섬유의 형태적 특성을 파악하기 위하여 알칼리 증해를 실시하여 섬유를 분리하고 섬유장분석기(Morfi, France)를 이용하여 섬유장 및 형태를 분석하였다. Table 4에서 볼 수 있듯이 평균 섬유장은 약 780 μm , 섬유폭은 14.8 μm 정도로 기존 활엽수 섬유 등에 비해 평균 섬유장 및 섬유폭이 작은 것을 확인할 수 있었다.¹⁹⁾

Table 4. Morphological properties of *Sasa quelpaertensis* Nakai Stalk Fiber.

	<i>Sasa quelpaertensis</i> Nakai Fiber
Average length (weighted in length)	780 μm
Width	14.8 μm

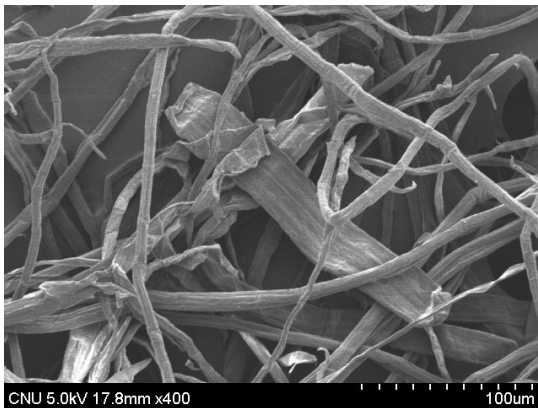
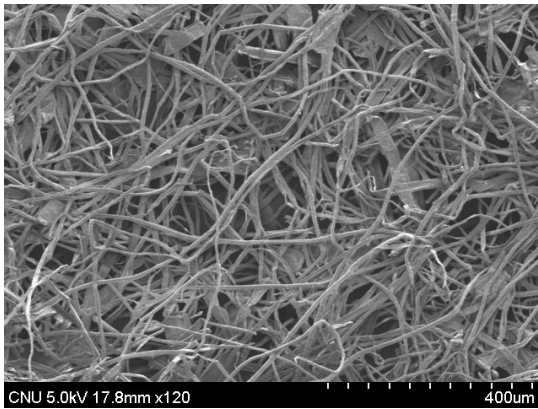


Fig. 3. Scanning electron micrographs of *Sasa quelpaertensis* Nakai Stalk fiber.

Table 5. Cellulose crystallinity of *Sasa quelpaertensis* Nakai.

	I _{Min}	I _{Max}	crystallinity (%)
Stalks	620	2103	70.5
Leaves	545	1460	62.7

실제 섬유화한 조릿대 줄기섬유를 전자주사현미경을 사용하여 분석하여 보았을 때 대부분의 섬유들이 가늘고 긴 형태로 존재하지만 섬유폭이 넓고 짧은 섬유세포도 다수 존재하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

3.5 조릿대 셀룰로오스의 결정화도 분석

조릿대의 주요 구성성분인 조릿대 셀룰로오스의 결정화도를 알아보기 위하여 조릿대의 줄기와 잎을 분쇄한 후 각각 40~100 mesh 사이로 분급하여 XRD 분석을 실시하였다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 줄기와 잎의 XRD 스펙트럼은 유사한 모양을 나타내는 것을 알 수 있었고 이를 바탕으로 각각의 셀룰로오스의 결정화도를 계산한 결과는 Table 5과 같다. 조릿대 줄기의 결정화도가 70.5% 정도로 잎에 비해 높은 셀룰로오스 결정화도를 가지고 있는 것을 확인할 수 있었다.

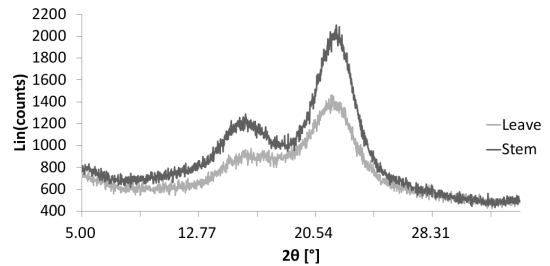


Fig. 4. X-ray diffraction spectra of *Sasa quelpaertensis* Nakai.

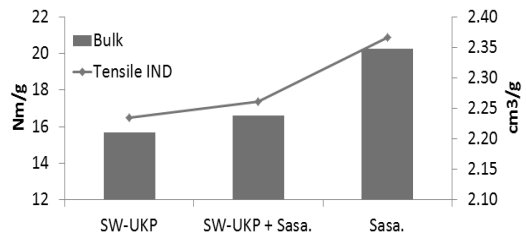


Fig. 5. The physical properties of handsheet papers made of *Sasa quelpaertensis* Nakai Stalke fiber and SW-UKP.

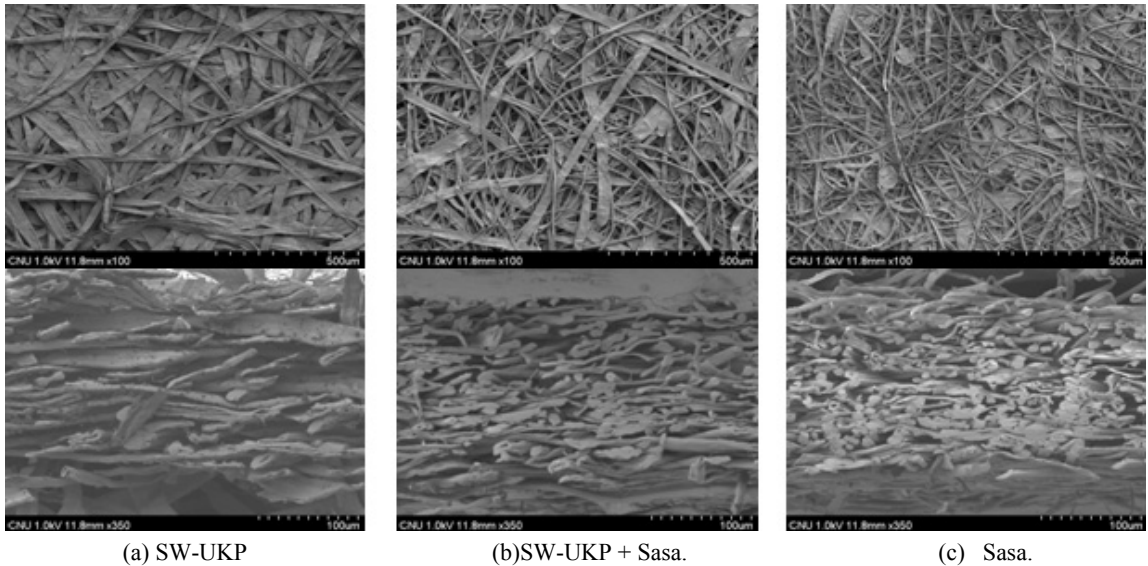


Fig. 6. Scanning electron micrographs of handsheet papers made of *Sasa quelpaertensis* Nakai Stalke fiber and SW-UKP

3.6 조릿대 줄기섬유의 제지적성 평가

조릿대 줄기섬유의 제지특성을 비교평가하기 위하여 알칼리 펄핑 처리하여 얻어진 줄기섬유와 침엽수 미표백펄프를 각각의 해리하여 수초지를 제조하고 강도적 특성과 구조적 특성을 평가한 결과는 Fig. 5와 같다.

수초지의 벌크 및 강도적 특성 모두에서 조릿대 줄기섬유 100%로 제조한 수초지의 경우가 침엽수 미표백펄프를 첨가한 경우보다 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이는 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 조릿대 줄기펄프의 경우 상대적으로 얇고 가는 섬유가 많이 존재하기 때문에 강도적 특성의 향상이 나타나는 것으로 판단되었다. 특히, 조릿대 섬유의 경우 강도의 향상과 벌크의 향상 효과를 동시에 가져오는 결과를 보이고 있는데 이러한 특성의 활용에 대한 추가적인 기술개발을 통하여 제지용 섬유로서의 조릿대 섬유의 활용성은 더욱 높아질 것으로 판단되었다.

4. 결론

본 연구에서는 제주도에 특히 널리 자생하며 다양한 기능성 물질의 제조를 위한 활용기술 개발이 집중되고 있는 제주조릿대의 통합적인 활용을 위하여 제주조

릿대의 다양한 특성들을 비교분석하였다. 본 연구에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 화학적 조성의 분석 결과 제주 조릿대는 기존의 대나무의 화학적 조성과 유사하였으나 수용성물질과 무기성분이 많이 존재하지만 리그닌 함량은 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 조릿대의 줄기와 잎의 XRD분석 결과 줄기와 잎 셀룰로오스의 결정화도는 줄기가 잎보다 높은 것을 알 수 있었다.
2. 조릿대 줄기의 해부학적 특성을 평가하기 위하여 줄기단면을 광학현미경을 이용하여 관찰한 결과 기존 대나무와 유사하게 병립유관속이 산재되어 있는 부제중심주로 이루어져 있는 것을 확인할 수 있었다. 알칼리 펄핑으로 조릿대 줄기에서 섬유를 분리하여 그 형태적 특성을 조사한 결과 조릿대 섬유는 목재섬유에 비해 얇고 가는 섬유 형태를 가지고 있었고 폭이 넓고 짧은 섬유도 다수 존재하는 것을 확인할 수 있었다.
3. 조릿대 줄기 섬유의 제지적성을 알아보기 위하여 수초지를 제조하여 평가해본 결과 기존의 침엽수 미표백 펄프에 비해 강도적 특성과 벌크 특성이 우수하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 연구결과들을 바탕으로 조릿대 줄기섬유의 기능성을 강화하여 활용하기 위한 추가적인 연구개발

이 진행된다면 현재 기능성물질의 추출 등의 과정을 통해 버려지는 조릿대의 통합적 활용이 가능할 것으로 판단되었다.

인용문헌

1. Park, Y.O., Lim, H.S., Antioxidant activities of bamboo(*Sasa Borealis*) leaf extract according to extraction solvent, J. Korean Soc. Food Sci. Nur., 38(12): 1640-1648 (2009).
2. Oshima, Y., Ecological studies of *Sasa* community. I. Productive structure of some of the *Sasa* communities in Japan. Bot. Mag. Tokyo., 74: 208-209 (1960).
3. Yun, E.K., Heo, Y.R., Lim, H.S., Effects of *Sasa Borealis* Leaf Extract on the Glucose Tolerance of Major Foods for Carbohydrate, Korean J. Nutr. 43(3): 215~ 223 (2010).
4. Oh, H.K., Lim H.S., Quality Characteristics of the Hamburger Patties with Bamboo (*Sasa borealis*) Leaf Extract without Cooked Rice, Korean J. Food Sci. Ani. Resour. 30(5): 833-841 (2010).
5. Jang, M.-G., Park, S.-Y., Lee, S.-R., Choi, S.-Y., Hwang, J.-H., Ko, H.-C., Park, J.-G., Chung, W.-S., Kim, S.-J., *Sasa quelpaertensis* Leaf Extracts Induce Apoptosis in Human Leukemia HL-60 Cells, Food Sci. Biotechnol., 17(1): 188 - 190 (2008).
6. Ko, M.S., Chemical Components in Stalks and Leaves of *Sasa borealis* Makino and Antioxidative and Antimicrobial Activities of Extracts, Korean J. Food Preserv., 15(1): 125-132 (2008).
7. Lee, C.E., Kim, H.C., Whang, K.J., Park, N.G., Kim, N.Y., Oh, W.Y., The Evaluation of Feed Value and Growth Characteristics of *Sasa quelpaertensis* Nakai by Horse Grazing in the Woodland of Jeju, J. Kor. Grassl. Forage Sci, 30(2) : 151~158 (2010).
8. Yoon, S.L., Jo, H.J., Park, B.S., Kang, H.Y., Kang, K.Y., Alkali Pulping Charactics of Moso Bamboo (*Phyllostachys pubescens* Mazel) with Various Ages, Journal of Korea TAPPI. 38(3): 29-37 (2006).
9. Kang, C.H., Park, S.J., Studies on the Production of Various Chemical Pulp from Bamboo, Journal of Korea TAPPI, 32(3):57-64 (2000).
10. Xiaojuan Ma, Liulian Huang, Shilin Cao, Yanxi Chen, Xiaolin Luo, Lihui Chen, Preparation of dissolving pulp from bamboo for textile applications. Part 2. Optimization of pulping conditions of hydrolyzed bamboo and its kinetics, BioResources, 7(2): 1866-1875 (2012).
11. Kim, Y.J., Lee, Y.B., XRD and TEM Investigations of Structures and Phase Transformations in Albite, J. Miner. Soc. Korea, 16: 91-106(2003).
12. 윤혜정, 안정언, 류승현, 시료 조건 및 측정방법에 따른 면 셀룰로오스의 결정화도 평가, 한국펄프종이공학회 2011 춘계학술발표논문집, 펄프종이공학회, pp.111 - 117 (2011).
13. Thygesen, A., Oddershede, J., Lilholt, H., Thomsen, A., Stahl, K., On the determination of crystallinity and cellulose content in plant fibres, Cellulose, 12:563-576 (2005).
14. Segal L., Creely j. j., Martin A. E. and Conrad C. M., An empirical method for estimation the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. Textile Res. J.29 : 786-794 (1959).
15. Zhao, X., Heide, E., Zhang, T., Liu, D., Delignification of sugarcane bagasse with alkali and peracetic acid and characterization of the pulp, Bioresources 5(3), 1565-1580 (2010).
16. Kang, K.Y., Yoon S.L., Jeon K.S., Park M.S., Park N.C., A Study on the Utilization of Ingredients and Fibers from Korean Bamboo Species in Value-added Industry : Part 1. -changes in chemical composition of Moso, Henon, and Timber Bamboo According to the Bamboo Ages -, Journal of Korea TAPPI, 43(3):43-51 (2011).
17. Sultana, N., Lee N.H., New Phenylpropanoids from *Sasa quelpaertensis* Nakai with Tyrosinase Inhibition Activities, Bull. Korean Chem. Soc., 30(8) : 1729-1732 (2009).
18. Yoon, S.L., Microscopic Observation of Moso bamboo(*Phyllostachys pubescens* Mazel) with Various Ages, Journal of Korea TAPPI, 42(2): 27-34 (2010).
19. Park, S. J., Lee, W. Y., Lee, H. Y., 목재 조직과 식별, pp.170-174, 향문사 (2006).