

국내산 주요 죽종의 소다 및 소다-안트라퀴논 펄핑 특성 비교

이규성 · 송우용 · 신수정[†]

접수일(2016년 5월 24일), 수정일(2016년 6월 10일), 채택일(2016년 6월 16일)

Elucidating soda and soda-anthraquinone pulping characteristics of Korean bamboo species

Kyu-Seong Lee, Woo-Yong Song and Soo-Jeong Shin[†]

Received May 24, 2016; Received in revised form June 10, 2016; Accepted June 16, 2016

ABSTRACT

As a raw material for pulp and paper industry, Moso bamboo, Timber bamboo and Henon bamboo pulps were prepared by soda or soda-anthraquinone(Soda-AQ) pulping process. Soda-AQ pulp yields was higher in Henon bamboo (43.2%) than in Moso bamboo or Timber bamboo (32.7-39.2%), but quite lower than hardwood species. In Kappa number comparison, Henon bamboo pulp showed lower (16.6) with 50 min cooking to 170 °C than that of Moso bamboo (22.8) and Timber bamboo (18.9) with 90 min cooking to 170 °C. Fiber length of Timber bamboo soda pulp had higher (1.46 mm) than that of Moso bamboo or Henon bamboo (1.18-1.36 mm). All three bamboo pulps showed longer average fiber length than commercial hardwood pulp. With higher pulp yield and lower Kappa number, Henon bamboo is better raw material for pulp than Moso bamboo and Timber bamboo.

Keywords: *Moso bamboo(Phyllostachys pubescebs), timber bamboo(Phyllostachys bambu-soides), henon bamboo(Phyllostachys nigra var. henonis), soda pulp, soda-AQ pulp, yield, morphological properties*

• 충북대학교 임산공학과(Department of Forest Products and Engineering, Chungbuk National University, Cheonju Chungbuk 28644, Republic of Korea)

† 교신저자(Corresponding Author): E-mail: soojshin@cbnu.ac.kr

1. 서론

대나무는 우리나라 남부지역에 분포하고 있으며 수익성이 높아 널리 재배되어 왔고 인간생활과 밀접한 일상 생활용품의 공급원으로 이용 범위가 매우 넓다.¹⁾ 대나무는 벼목 (Graminales)에 속하는 화본과 (Gramineae), 대나무아과 (Bambusoideae)에 속하는 식물로 분류된다.

전 세계적으로 생육하고 있는 대나무는 60속에서 90속 정도로 분류되며 1,100에서 1,500여종으로 약 2천2백만 헥타르 이상 분포되어 있다. 열대 지방에는 Bambusa속, 아열대지역과 온대 남부지역에는 Arundinaria속에 속하는 종들이 가장 널리 분포되어 있다.²⁾

국내에는 5속 19종의 대나무가 자생하고 있으며 경제적으로 가치가 높은 대나무류는 왕대, 솜대 및 맹종죽이 추천된다. 왕대와 솜대는 주로 죽재 및 죽세 가공품의 생산 원료로 재배되고, 맹종죽은 죽순을 식용으로 재배되고 있다.³⁾

2000년 기준으로 중국에서는 2백2십만 톤의 펄프가 대나무류를 원료로 생산되고 이것은 전체 펄프 생산량의 2/3 이상을 차지하고 있다.⁴⁾ 섬유 평균 길이가 1.5-4.4 mm로 침엽수 펄프와 비견될 만한 섬유적 특성을 지니고 있고 제지용 펄프로 적합하다.⁵⁾ 이 섬유자원은 단기간에 재생산이 가능하며 이로 인해 생산성이 높고 대부분 가격이 저렴하다는 장점이 있다.^{6,7)} 대나무를 화학펄프로 만들 때 소다 펄핑 공정보다는 크라프트 펄핑 공정을 선호한다. 대나무에 존재하는 리그닌의 제거가 용이할 뿐만 아니라 수율과 펄프의 강도를 만족시키기 때문이다.⁸⁾ 하지만 크라프트 공정은 약액 회수 공정이 복잡하고 불쾌한 냄새를 발생시키기 때문에 소다-안트라퀴논 공정으로 대체하려는 시도들이 행해지고 있다.⁹⁾ 또한 대나무 종에 따라 크라프트 펄핑, 소다, 소다 안트라퀴논 펄핑, 용해용 펄핑 등 다양한 펄핑 공정을 적용하여 연구들이 행해지고 있고,¹⁰⁻¹⁴⁾ 제지특성을 확인하여 제지산업의 원료로서 사용하는 연구 또한 진행 되고 있다.¹⁵⁾

국내에서는 맹종죽의 죽령별 알칼리 펄프화 특성에 대한 연구에서 죽령이 커질수록 섬유길이 (1.3 mm)와 폭 (12-14 μ m)의 변이는 없었지만 리그닌 함량 증가에 의한 이 증가함을 보고하였다.¹⁶⁾ Maddem등은 대나무 섬유 길이를 2.7 mm로¹⁷⁾ Morimoto는 길이 1.5-2.5 mm로¹⁸⁾ 보고하였다.

본 연구에서는 대나무 자원의 펄프화 특성을 확인하고

자 맹종죽, 왕대, 솜대 3가지 종을 소다 및 소다-안트라퀴논 펄프를 제조하여 펄프의 화학적 특성과 섬유 특성을 분석하였다.

2. 재료 및 실험방법

2.1 재료

국립산림과학원 남부산림연구소 죽종림에서 채취한 맹종죽 (*Phyllostachys pubescens*), 왕대 (*Phyllostachys bambusoides*), 솜대 (*Phyllostachys nigra* var. *henonis*)를 공시재료로 사용하였다. 충분하게 건조시킨 후 펄핑에 적합한 크기(0.2 cm×0.2 cm×3 cm)의 칩을 제조하여 실험에 적용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 펄핑 및 펄프 분석

2.2.1.1 펄핑

증해 조건 중 총 알칼리 농도, 증해온도, 반응시간을 Table 1에 나타내었다. 액비는 1 : 4이다. 증해 후 칩을 충분히 세척하여 흑액을 제거하였으며 해섬, 정선과정을 거친 후 충분히 탈수하여 냉장보관 하였다.(Table 1)

Table 1. Soda, soda-anthraquinone pulping conditions of bamboo

| Anthraquinone (%) | Active alkali (% as Na ₂ O) | Temperature (°C) | Time to max temp. (min) | Time at max temp. (min) |
|-------------------|--|------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0 | 20 | 170 | 90 | 90 |
| 0.1 | | | | 50 |

2.2.1.2 원료 및 펄프 화학 분석

목재의 화학적 조성 분석을 위하여 아세톤 추출물 함량 측정(Tappi 204 om-88), 열수 추출물 함량 측정(Tappi 207 om-93), Klason 리그닌 분석(Tappi 222 om-88)을 실시하였다.

공시 재료의 탄수화물 조성을 확인하기 위하여 ¹H-NMR 분석을 실시하였다. 먼저 시료에 72% 황산을 이용하여 30°C에서 한 시간 동안 1차 가수분해를 하였다. 2차 가수분해는 중수(D₂O)를 넣어 희석한 후 온도를 100°C에서 한 시간 동안 2차 가수분해를 실시하여 단당

의 손실을 최소화 하도록 하였다. 2차 가수분해가 끝난 시료에 Rhamnose를 표준물질로 첨가 후 여과과정을 거쳐 얻은 여과액을 모아 Bruker AVANCE NMR spectrometer(500 MHz) 기기를 이용하여 분석하였다. 분석된 NMR 스펙트럼 상에서 아노머성 수소 피크를 적분하여 탄수화물 조성을 측정하였다.

2.2.1.3 펄프의 섬유 특성 분석

제조된 펄프의 특성은 섬유분석기(Kajaani Fiber Lab Fiber Analyze, Metso, Finland)를 사용하여 섬유의 길이, 폭을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 맹종죽과 왕대 원료의 화학적 특성 분석

본 연구에 사용한 맹종죽, 왕대, 솜대의 화학적 조성을 비교해 보면(Table 1), 3가지 종의 대나무 추출물 함량(11.2-13.1%)은 활엽수의 백합나무(16.5%)보다 낮고 리그닌 함량(21.6-27.0%)도 활엽수 수종인 백합나무와 비교하여 4.1-9.5% 높았다. 솜대의 추출물(13.1%)은 맹종죽의 추출물(11.2%)과 왕대의 추출물(13.1%)보다 높은 함량을 보였으며, 리그닌 함량은 맹종죽(27.0%)이 왕대(21.6%)와 솜대(21.6%)보다 많은 함량을 보였다. 열수 추출물과 리그닌 성분은 알칼리 증해 과정 과정에서 대부분 제거되기 때문에 함량이 높은 맹종죽(37.5%)이 왕대(32.7%)와 솜대(34.1%)보다 낮은 수율을 나타낼 것으로

예상하였다. 대나무의 화학조성을 분석한 다른 연구 보고에서 맹종죽은 27.10-28.91%, 왕대는 24.30-30.59%, 솜대는 25.28-30.24%의 리그닌 함량을 가지고 있었으며 종별, 년생별 리그닌 함량이 달랐다.^{19,20)} 본 연구에서는 같은 기관에서 채취한 중에서도 년도, 생육조건과 환경에 따라 다른 값을 갖는 것을 볼 수 있었다. 종명이 다른 대나무는 다른 화학적 조성 그리고 따른 다른 펄핑 특성을 가질 것으로 예상된다. 조릿대에 대한 화학적 조성 분석에서²¹⁾ 수간의 Klason 리그닌 함량이 18.8%로 대나무에서도 종에 따른 변이가 큰 것으로 생각된다.

왕대의 탄수화물 함량(66.0%)은 맹종죽(61.7%)과 솜대(65.3%)보다 많은 함량을 가지고 있고, 활엽수 중 백합나무(66.0%)와 유사한 함량을 보인다(Table 2). 왕대의 글루칸 함량(37.9%)은 맹종죽과 솜대(32.2-37.3%)보다 글루칸 함량이 높고, 맹종죽의 자일란(27.5%)은 왕대와 솜대(26.5%)보다 1.0% 높은 것을 볼 수 있다. 대나무의 탄수화물 조성은 셀룰로오스를 구성하는 글루칸이 많은 양을 차지하며, 헤미셀룰로오스 중 자일란이 그 다음으로 많은 것을 확인하였다. 맹종죽, 왕대, 솜대는 백합나무와 비교하여 상대적인 자일로스 함량이 높고 글루코오스 함량이 낮았다. 위 결과로 볼 때 펄핑과정에서 쉽게 제거되는 자일로스 함량이 높은 맹종죽과 왕대는 펄핑 후 백합나무보다 낮은 수율을 나타낼 것으로 예상된다.

3.2 왕대, 맹종죽, 솜대로 제조한 소다, 소다 안트라퀴논 펄프의 수율과 카파값 비교

안트라퀴논 첨가 펄핑 시 소다펄핑과 비교하여 왕대,

Table 2. Chemical composition of Moso bamboo, Timber bamboo and Henon bamboo

| | Acetone extractive (%) | Hot-water extractive (%) | Lignin (%) | Carbohydrate (%) |
|------------------------------|------------------------|--------------------------|------------|------------------|
| Moso bamboo | 0.7 | 10.5 | 27.0 | 61.7 |
| Timber bamboo | 1.3 | 10.5 | 22.2 | 66.0 |
| Henon bamboo | 0.6 | 12.5 | 21.6 | 65.3 |
| Yellow poplar ²²⁾ | 2.5 | 14.0 | 17.5 | 66.0 |

Table 3. Carbohydrate composition of Moso bamboo, Timber bamboo and Henon bamboo

| | Glucan (%) | Xylan (%) | Mannan (%) | Arabinan (%) | Galactan (%) |
|------------------------------|------------|-----------|------------|--------------|--------------|
| Moso bamboo | 32.2 | 27.5 | 0.2 | 0.6 | 1.2 |
| Timber bamboo | 37.9 | 26.5 | 0.1 | 0.5 | 1.0 |
| Henon bamboo | 37.3 | 26.5 | 0.0 | 0.5 | 1.0 |
| Yellow poplar ²²⁾ | 46.7 | 14.9 | 1.1 | 1.1 | 2.1 |

맹종죽, 솜대 모두 수율이 증가하였고, 카파값도 낮은 것을 확인할 수 있었다. 같은 H-factor 조건에서 솜대는 맹종죽, 왕대보다 12.9-14.9%의 낮은 카파값을 보였고, 16.6-20.1의 카파값까지 H-factor를 조절하여 펄핑 후 특성을 비교하였다. 왕대와 맹종죽의 펄프 수율은 29.3-39.2%로 솜대 펄프 수율(40.6-43.2%)보다 낮은 수율을 나타내는 것을 확인하였다. 본 실험조건보다 낮은 활성알칼리와 적은 시간에서 펄핑하였을 때 백합나무 수율은 51.3%, 카파값은 17.3으로 보고되었다.²²⁾ 솜대를 원료로 사용한 펄핑 펄프 수율(40.6-43.2%)과 카파값(16.6-20.1)은 왕대와 맹종죽보다 높은 수율과 낮은 카파값을 확인하였다. 솜대가 맹종죽과 왕대보다 펄프, 제지 산업의 원료로 더 적합한 것으로 생각된다.

대나무의 소다, 소다 안트라퀴논 펄프의 탄수화물 조성 분석 결과 소다, 소다 안트라퀴논 펄프의 자일로스 함량이 맹종죽, 왕대, 솜대 원료의 자일로스 함량보다 약 19.5-22.0% 감소한 것을 확인할 수 있다. 이는 백합나무의 자일로스 함량 감소(5.5%)보다 높은 값이며, 이를 보아 자일란 함량 감소에 의한 펄프 수율 저하가 나타난 것으로 판단된다.²²⁾ 맹종죽, 왕대, 솜대에서 다른 목

재 원료보다 높은 자일란 손실이 나타나는 것은 맹종죽, 왕대, 솜대의 자일란은 다른 목질계 자원과 비교하여 낮은 4-O-methylglucuronic acid 함량을 가지고 있어 (1.20%) 펄핑 과정 중 자일란의 펄링반응 억제가 어렵기 때문이다.²³⁾ 솜대는 최대 수율 43.2%로 맹종죽, 왕대(31.7-39.2%)보다 높은 수율을 보인다. 이는 펄핑 과정 중 맹종죽, 왕대보다 솜대가 글루칸, 자일란의 감소율이 낮은 것으로 확인된다.

3.3 맹종죽, 왕대 펄프의 섬유 특성 비교

맹종죽, 왕대, 솜대(1.18-1.46 mm)는 활엽수의 백합나무(0.68 mm)보다 섬유길이가 약 2배정도 긴 것을 확인할 수 있고, 섬유두께는 백합나무(16.5 μm)보다 맹종죽과 솜대가(14.3-15.5 μm) 얇고 왕대(16.9 μm)와 유사하다(Table 5). 소다펄프에서 솜대가 가장 짧으며 왕대가 가장 긴 것을 확인하였다.(Figure 1,2,3). 맹종죽, 솜대 소다 안트라퀴논 펄프 보다 왕대 소다안트라퀴논 펄프로 초지를 하였을 때 열단장, 인장강도, 내절도 등의 강도가 더 클 것으로 예상된다. 이를 보아 왕대는 활엽수 중 제지산업에서 많이 사용되는 유칼립투스과 비교하여 왕

Table 4. Pulp yield and kappa number from Moso bamboo, Timber bamboo and Henon bamboo

| | Time (min) | AQ (%) | Screened yield (%) | Reject yield (%) | Kappa number |
|------------------------------|------------|--------|--------------------|------------------|--------------|
| Moso bamboo | 90 | 0 | 29.3 | 1.7 | 33.0 |
| | | 0.1 | 31.7 | 1.0 | 22.8 |
| Timber bamboo | 90 | 0 | 37.7 | 0.3 | 29.8 |
| | | 0.1 | 39.2 | 0.3 | 18.9 |
| Henon bamboo | 90 | 0 | 35.7 | 0 | 14.9 |
| | | 0.1 | 36.9 | 0 | 12.9 |
| | 50 | 0 | 40.6 | 0.3 | 20.1 |
| | | 0.1 | 43.2 | 0.2 | 16.6 |
| Yellow poplar ²²⁾ | 90 | 0.1 | 51.3 | 0.1 | 17.3 |

Table 5. Carbohydrate composition of Moso bamboo Pulp, Timber bamboo pulp and Henon pulp

| | AQ (%) | Glucan (%) | Xylan (%) | Mannan (%) | Arabinan (%) | Galactan (%) |
|---------------|--------|------------|-----------|------------|--------------|--------------|
| Moso bamboo | 0 | 24.3 | 5.1 | N, D | N, D | N, D |
| | 0.1 | 26.0 | 5.1 | N, D | N, D | N, D |
| Timber bamboo | 0 | 31.5 | 4.8 | N, D | N, D | N, D |
| | 0.1 | 33.3 | 5.1 | N, D | N, D | N, D |
| Henon bamboo | 0 | 34.7 | 5.8 | N, D | 0.1 | N, D |
| | 0.1 | 35.9 | 7.0 | N, D | 0.1 | 0.2 |

-N,D- not detected

-Pulping time at target temperature: Henon bamboo- 50 min

Table 6. Morphological properties of bamboo pulp from Moso bamboo, Timber bamboo, and Henon bamboo

| | Moso bamboo | | Timber bamboo | | Henon bamboo | | Yellow poplar ²⁾ |
|-------------------|-------------|---------|---------------|---------|--------------|---------|-----------------------------|
| | Soda | Soda-AQ | Soda | Soda-AQ | Soda | Soda-AQ | |
| Fiber length (mm) | 1.39 | 1.32 | 1.46 | 1.28 | 1.18 | 1.20 | 0.68 |
| Fiber length (μm) | 15.3 | 15.8 | 16.5 | 16.5 | 14.3 | 14.6 | 16.5 |

-Pulping time at target temperature: Henon bamboo- 50 min

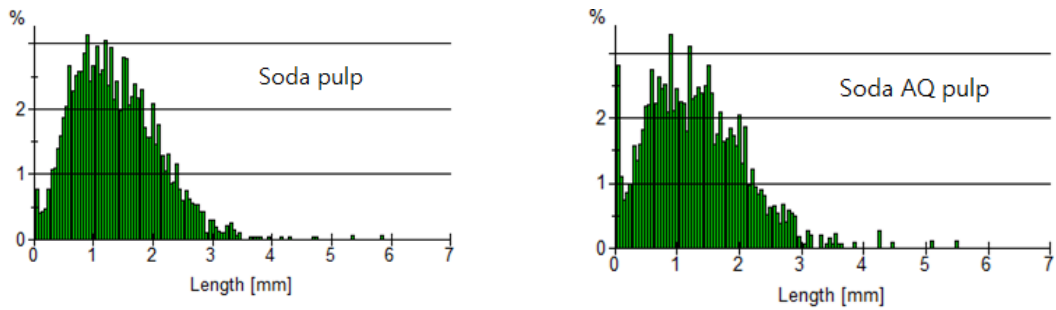


Fig. 1. Fiber length distribution of Moso bamboo pulp.

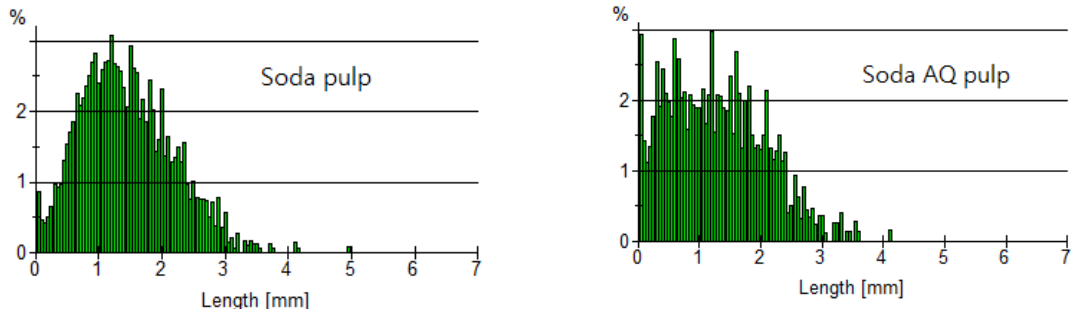


Fig. 2. Fiber distribution of Timber bamboo pulp.

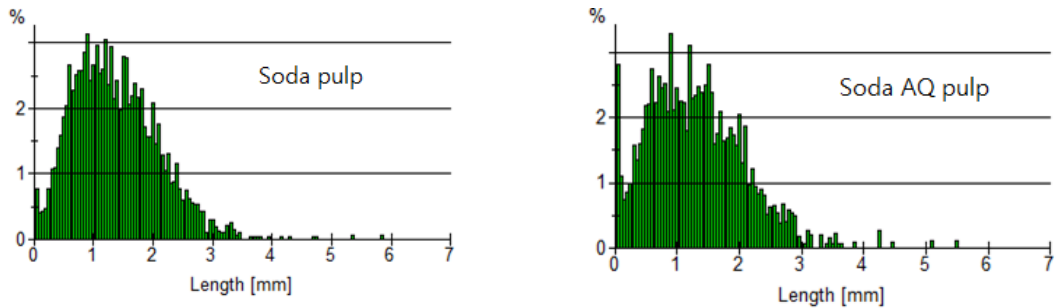


Fig. 3. Fiber distribution of Henon bamboo pulp.

-Pulping time at target temperature: 50 min

대(1.46 mm)의 섬유길이가 0.57 mm 길고, 섬유폭(16.9 μm)은 5 μm 얇다. 이를 보아 유칼립투스 펄프를 대체하여 특정 제지공정에 사용 할 수 있을 것이라 생각된다. 대나무 중 조릿대의 평균 섬유길이는 0.78 mm로²⁰⁾ 종에 따라 평균 섬유길이 변이가 큰 것으로 생각된다.

섬유 길이 분포에 대한 분석에서 맹종죽의 소다 펄프나 소다-안트라퀴논 펄프에서 가장 많이 존재하는 펄프 길이는 1.0 mm이지만 길이 1-3 mm 펄프가 소다 펄프에 더 많이 존재하여 (Fig. 1) 섬유길이 가중치 섬유 평균 길이가 0.07 mm 더 길었다 (Table 5). 이런 경향은 왕대에서 더욱 뚜렷하여 (Fig. 2) 소다 펄프 공정으로 만들어진 섬유 길이 가중치 섬유 평균 길이가 0.18 mm가 더 길었다. 솜대는 소다 펄프와 소다-안트라퀴논 펄프에서 가장 많이 존재하는 펄프의 길이는 1-2 mm이고, 맹종죽과 왕대와 다르게 소다 안트라퀴논 펄프의 섬유길이 가중치 섬유 평균 길이가 0.02 mm 길었다.

4. 결론

솜대의 소다-안트라퀴논 펄핑 시 최대 수율은 43.2%로 맹종죽(31.7%)과 왕대(39.2%)의 최대수율보다 높은 값을 보였다. 이는 솜대의 펄핑 후 탄수화물함량이 맹종죽과 왕대보다 높은 함량을 보이며 리그닌 함량의 차이로 해석 할 수 있다. 솜대는 왕대, 맹종죽과 같은 H-factor 조건에서 펄핑할 때 수율 및 카파값을 비교하면 솜대가 고수율, 저카파값을 나타내는 것을 볼 수 있다. 왕대의 소다 펄프의 섬유장 길이는 1.46 mm로 맹종죽과 솜대보다 0.07-0.27 mm 더 길고, 섬유폭은 16.5 μm 로 맹종죽, 솜대보다 1.2-2.2 μm 더 두꺼운 것을 확인하였다. 솜대는 고수율, 저 카파 값으로 맹종죽과 왕대보다 펄프산업에 이용하는 것이 유리하다.

Literature Cited

1. Park, N., Bamboo in our life, In All about Bamboo, Park, K., Park, N, and Hwang, J (eds), Uk-go Press, Seoul, p. 2(2005).
2. International Network for Bamboo and Rattan, Available from: <http://www.inbar.int>, April 2016.
3. Park, N., and Kwon, Y., Characteristics of bamboo, In All about Bamboo, Park, K., Park, N, and Hwang, J (eds), Uk-go Press, Seoul, p. 5(2005).
4. Scurlock, J. M. O., Dayton, D. C., and Hames, B., Bamboo: an overlooked biomass resources, Biomass and Bioenergy 19: 229-244(2000).
5. Ilverssaló-Pfaffli, M.-S., Fiber Atlas-Identification of Papermaking Fibers, Springer, Heidelberg, Germany, p. 316(1995).
6. Perdue Jr, R. E., and Niechlag, H. J., Fiber dimensions of nonwood plant materials, Tappi Journal, 44(11): 776(1961).
7. Sharma, Y. K., Dhawan, R., and Kar, B. G., High yield pulps from kenaf, Indian Forester, 110(4): 401-406(1984).
8. Misra, D. K., Pulping and bleaching of non-wood fiber, In Pulp and Paper, Chemistry and Chemical Technology, vol. 1, Casey, J. P., (ed), Wiley, New York, USA, p. 552(1980).
9. Ribas, L. A., Colodette, J. L., Gomide, J. L., Barbosa, L. C., Maltha, C. R. A., and Gomes, F. J. B., Dissolving pulp production from bamboo, Bioresources 7: 640-651(2012).
10. Vu, T. H. M., Pakkanen, H., and Alén, R., Delignification of bamboo (*Bambusa procera* Acher): Part 1. Kraft pulping and the subsequent oxygen delignification to pulp with a low kappa number. Industrial Crops and Products, 19(1): 49-57 (2004).
11. Vena, P. F., Brienzo, M., del Prado García-Aparicio, M., Görgens, J. F., and Rypstra, T. Hemicelluloses extraction from giant bamboo (*Bambusa balcooa* Roxburgh) prior to kraft or soda-AQ pulping and its effect on pulp physical properties, Holzforschung, 67(8): 863-870(2013).
12. Vena, P. F., Görgens, J. F., and Rypstra, T. Hemicelluloses extraction from giant bamboo prior to kraft and soda AQ pulping to produce paper pulps, value-added biopolymers and

- bioethanol, *Cellulose Chemistry & Technology*, 44(4): 153(2010).
13. Salmela, M., Alén, R., and Vu, M. T. H., Description of kraft cooking and oxygen-alkali delignification of bamboo by pulp and dissolving material analysis, *Industrial crops and products*, 28(1): 47-55(2008).
 14. Batalha, L. A. R., Colodette, J. L., Gomide, J. L., Barbosa, L. C., Maltha, C. R., and Gomes, F. J. B., Dissolving pulp production from bamboo, *BioResources*, 7(1): 0640-0651(2011).
 15. Zhao, G., Lai, R., Li, X., He, B., and Greschik, T., Replacement of softwood kraft pulp with ECF-bleached bamboo kraft pulp in fine paper, *BioResources*, 5(3): 1733-1744(2010).
 16. Ribas, L. A., Colodette, J. L., Gomide, J. L., Barbosa, L. C., Maltha, C. R. A., and Gomes, F. J. B., Dissolving pulp production from bamboo, *Bioresoures* 7: 640-651(2012).
 17. Maddern, Kenneth N., and French, J., Paper-making properties of some Australian non-wood fibres, *Appita* 42(6): 433-437(1989).
 18. Morimoto, M., Utilization of nonwood plant fibers for pulping -The status quo and future, *Japan Tappi* 51(6): 65-84(1997).
 19. Yoon, S.-L., Park, B.-S., Kang, H.-Y., and Kang, K.-Y., Alkali pulping characteristics of Moso Bamboo (*Phyllostachys pubescens* Ma- zel) with various ages, *Journal of Korea Tappi* 38(3): 29-37(2006).
 20. Kang, K.-Y., Yoon, S. L., Jeon, K. S., Park, M. S., and Park, N. C., A Study on the utilization of ingredients and fibers from Korean bamboo species in value-added industry: Part 1, *Journal of Korea Tappi* 43(3): 43-51(2011).
 21. Sung, Y. J., Kim, D. S., and Lee, J.-Y., Evaluation of characteristics of *Sasa quelpaertensis* Nakai stem for the comprehensive utilization, *Journal of Korea Tappi* 44(5): 1-7(2012).
 22. Sung, Y. J., Lee, J. W., Kim, S. B., and Shin, S. J., Comparison of the soda-anthraquinone pulping properties between imported Eucalyptus mixture chips and domestic yellow poplar (*Liriodendron tulipifera*) chips, *Journal of Korean TAPPI* 10(3): 22-27(2010).
 23. Sun, S. N., Yuan, T. Q., Li, M. F., Cao, X. F., Xu, F., and Liu, Q. Y., Structural characterization of hemicelluloses from bamboo culms (*Neos-inocalamus affinis*), *Cellulose Chemistry and Technology* 46(3): 165(2012).