

맹종죽(*Phyllostachys pubescens*)의 소다 안트라퀴논 펄핑 특성 및 이산화염소 표백 특성

이규성 · 송우용¹ · 신수정^{1†}

접수일(2016년 3월 19일), 수정일(2016년 3월 31일), 채택일(2016년 4월 4일)

Soda-Anthraquinone Pulping and Chlorine Dioxide Bleaching Properties from Moso Bamboo (*Phyllostachys pubescens*)

Kyu-seong Lee, Woo-Yong Song¹ and Soo-Jeong Shin^{1†}

Received March 19, 2016; Received in revised form March 31, 2016; Accepted April 4, 2016

ABSTRACT

Moso Bamboo was investigated as the a raw material for pulp and paper industry. Soda-Anthraquinone (Soda-AQ) pulping, elemental chlorine free bleaching was applied. Yield of soda or soda-AQ pulp was 29.3–31.7% with Kappa number 33.0–22.8 with different cooking time or anthraquinone addition at 20% active alkali.

In soda or soda-AQ pulping, 81–86% of xylan was removed, which was the main reason for lower pulp yield than hardwood species. Average fiber length of Moso Bamboo soda-AQ pulp was 1.36 mm with 15.5 μ m fiber width.

Soda-AQ pulp from Moso Bamboo (P-3, lowest Kappa pulp) was bleached with 5.5–6.5% of chlorine dioxide charge as D₀ED₁ bleaching sequence. In 3-stages ECF bleaching, final brightness of 85.3% ISO was achieved with total chlorine dioxide 6.5%.

Keywords: Moso bamboo, soda-AQ pulp, morphological properties, ECF bleaching, brightness

• 아시아나노셀룰로오스(주) (S21-5 Building, Rm 424B, Chungdaero 1, Seowon-gu, Cheongju, Chungbuk 28644, Korea)

¹ 충북대학교 임산공학과(Department of Forest Products and Engineering, Chungbuk National University, Chungbuk 28644, Korea)

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

1. 서론

펄프 제지 산업에서 주로 사용하는 목재는 다른 원료에 비해 풍부한 편이고 대규모 산업화에 적합하다. 따라서 목재펄프의 안정적 확보는 펄프 제지산업에서 매우 중요한 업무 중 하나라고 할 수 있다. 현재 아시아의 개발도상국들, 특히 중국의 급속한 경제발전 및 산업화와 더불어 지류의 생산과 소비가 급격히 증가됨에 따라 목재펄프의 수요를 미처 따라 가지 못하는 현상도 겪고 있다. 또한 녹지 부족, 지구 온난화와 생태계 보존을 위한 무분별한 벌목 제한과 다른 산업과의 경쟁으로 펄프 제지 산업 원료로 목재 공급에 제한을 받고 있다. 이를 해결하기 위해 계획적인 조림에 의한 목재 원료 공급 또는 비 목질계 바이오매스를 활용하는 방안들이 연구되고 있다.¹⁻³⁾ 비목질계 섬유자원은 단기간에 재생산이 가능하며 이로 인해 생산성이 높고 대부분 농업 부산물이므로 가격이 저렴하다는 장점에 기인한다.^{4,5)}

대표적인 비목재 섬유자원으로 벚짚, 밀짚, 옥수수대, 사탕수수대와 같은 농업 부산물, 대나무 등 다양한 비목질계 자원이 있다. 국내에는 5속 19종의 대나무가 자생하고 있으며 경제적으로 가치가 높은 대나무류는 왕대, 솜대, 맹종죽이 추천된다. 왕대와 솜대는 주로 죽재 및 죽세 가공품의 생산원료로 재배되고, 맹종죽은 주로 죽순을 식용으로 재배하고 있다.⁶⁾ 2000년 기준으로 중국에서는 2백2십만 톤의 펄프가 대나무류를 원료로 생산되고 있고 이는 전체 펄프 생산량의 2/3 수준이다.⁷⁾ 대나무를 화학펄프로 만들 때 소다펄핑 공정보다는 크라프트 공정을 선호하는데 이는 대나무에 존재하는 리그닌의 제거가 용이할 뿐만 아니라 수율과 펄프의 강도를 만족시킨다.⁸⁾ 하지만 크라프트 공정은 약액 회수 공정이 복잡하고 불쾌한 냄새를 발생시키기 때문에 소다 안트라퀴논 공정으로 대체하려는 시도들이 행해지고 있다.⁹⁾ 이들 비목질계 원료에서 만들어진 펄프는 목재펄프와 매우 다른 섬유유의 구성 및 형태를 지니고 있으며, 대부분의 비목재 섬유들은 목재섬유에 비하여 가늘기 때문에 낮은 벌크 특성을 지니는 종이로 얻어진다.¹⁰⁾

또한 비목재섬유에 포함되어 있는 리그닌의 형태가 목재 섬유와 달라 제지산업에 적용하기 위한 표백의 방법과 정도가 달라져야 한다. 최근 표백공정은 어떠한 형태의 염소도 사용하지 않는 Total Chlorine Free(TCF)¹¹⁾ 공정과 인체에 특히 유해한 하이포염소산과 염소를 사용하지 않

는 Element Chlorine Free(ECF)¹²⁾ 공정으로 구분될 수 있다. ECF 공정 중 이산화염소 표백(D)은 이산화염소에 의해 리그닌 폴리머에서 분해된 리그닌들을 효과적으로 제거하고 분해된 리그닌에 산화제가 소모되는 것을 방지하기 위해 알칼리 추출 단계(E)를 추가한다. TCF와 비교하여 저비용의 산화제 및 단순한 공정을 통해 효과적인 표백이 가능하며 다른 염소계 표백제에 비해 염소계 유기화합물의 발생이 적다.¹³⁾ 하이포염소산염이나 염소표백 공정에서 인체에 유해한 리그닌 부산물이 발생하고 이런 부산물들은 폐수처리에서 일부 처리 되지 않고 방류되어 환경을 오염시켜 배출이 제한되었으며¹⁴⁾, 이를 대체하기 위해 염소계 리그닌 부산물의 발생량이 적은 이산화염소를 사용하게 되었다.¹⁵⁾ 이산화염소표백은 염소표백과 비교하여 매우 적은양의 할로젠화 유기화합물을 배출하지만¹⁶⁾ 환경규제가 더욱 강해짐에 따라 이산화염소의 사용량도 점진적으로 감소시켜 최종적으로 공정 후의 유해물질, 특히 할로젠화 유기화합물이 배출되지 않는 표백 공정의 필요성이 대두되고 있다.¹⁷⁾

맹종죽을 원료로 소다 안트라퀴논 펄핑을 실시하여 펄핑 조건 별 화학조성분석, 수율, 카파값, 섬유특성 확인하여 맹종죽 소다 안트라퀴논 펄프의 펄프 특성을 확인하고 하였다. 또한 맹종죽 소다 안트라퀴논 펄프에 표백 단계별 산화제 양을 조절하여 ECF 표백을 실시 후 백색도와 점도를 확인함으로써 맹종죽을 이용한 표백 펄프의 목재 기반 표백 펄프 대체 가능성을 확인하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

국립산림과학원 남부산림연구소 죽종림에서 채취한 맹종죽을 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, 반응시간, 액비를 Table 1에 나타내었다. 증해처리 후 칩을 충분히 세척

Table 1. Soda-anthraquinone pulping conditions of Moso Bamboo

Pulping species	Anthraquinone (%)	Active alkali (%. as Na2O)	Temperature (°C)	Time to max temp. (min)	Time at max temp. (min)
P 1	0			90	90
P 2	0			90	105
P 3	0.1	20	170	90	75
P 4	0.1			90	90

하여 흑액을 제거하였으며 해섬, 정선과정을 거친 후 충분히 탈수하여 냉장보관 하였다.(Table 1)

Fiber Analyzer, Metso, Finland)를 사용하여 섬유 길이, 폭을 측정하였다.

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℃에서 한 시간 동안 1차 가수분해를 하였다. 2차 가수분해는 중수(D20)를 넣어 희석한 후 온도를 100℃에서 한 시간 동안 2차 가수분해를 실시하여 단당의 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

2.2.2 표백

2.2.2.1 표백 실험

P4 펄프를 표백을 통해 백색도를 높이고 섬유 손상을 줄이는 표백 조건을 탐색하기 위해 각 D 단계별 산화제 양과 E 단계 수산화나트륨 첨가량을 조절하였다(Table 2). 각 표백 단계 실시 전 펄프를 10% 농도로 준비하여, 정해진 조건 별 표백 단계의 화학약품을 비닐 백에 넣어 충분히 교반 된 상태에서 밀봉하여 미리 75.0℃로 준비된 항온수조에서 1시간 동안 반응하였다. 반응 후 증류수를 이용하여 펄프를 세척하여 잔류 화학약품이 다음 표백 단계에 영향을 미치는 것을 방지하였다.

2.2.2.2 표백 후 펄프 특성 분석

2.2.2.2.1 백색도 측정

샘플별 표백 효과를 측정하기 위해 TAPPI 205에 의거하여 펄프 수초지를 제작, TAPPI 525에 의거하여 백색도를 측정하였다. D 단계, D₀ED₁ 단계의 백색도를 측정하여 표백단계별 백색도 변화를 측정하였다.

Table 2. Bleaching conditions in the different stages

	D ₀	E	D ₁
Consistency (% on o.d.p ^a)		10	
Temperature (°C)		10	
Reaction time (min)		10	
Agent charge (% on o.d.p)	4.0 ^b /4.5 ^b /5.0 ^b	2.0 ^c /2.25 ^c /2.5 ^c	0.5 ^b /1.0 ^b /1.5 ^b /2.0 ^b /2.5 ^b

^aOven-dry pulp

^bAs active chlorine dioxide

^cAs sodium hydroxide

2.2.2.2.2 점도 측정

표백공정별 표백약품에 의한 섬유 손상 정도를 알아보고자 TAPPI 230에 의거하여 캐논-펜스케 점도계(Cannon-Fenske routine, Cannon instrument company, USA)를 이용하여 점도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 맹종죽 원료 특성

외떡잎 식물인 대나무류는 활엽수와 유사한 화학적 조성을 보인다. 헤미셀룰로오스내 주성분이 자일란이며 리그닌의 함량은 20-25% 범위이다^{18,19}. 맹종죽의 추출물은 11.2%로 백합나무(16.5%)와 유칼립투스(14.3%)보다 낮은 추출물 함량을 보였다. 맹종죽은 유칼립투스나 백합나무보다는 2.8-9.5% 리그닌 함량이 높았다(Table 3). 대나무의 화학조성을 분석한 다른 연구 보고에서 맹종죽은 27.10-28.91%, 왕대 24.30-30.59%, 솜대 25.28-30.24%의 리그닌 함량을 가지고 있었으며 종중별, 죽령별 리그닌 함량이 다른 것을 확인할 수 있었다.^{20,21}

맹종죽의 탄수화물의 함량은 백합나무 보다는 낮지만 다른 활엽수인 열대산 유칼립투스과 유사한 함량을 나타내었다. 맹종죽의 탄수화물 조성은 셀룰로오스를 구성하는 글루칸이 많은 양을 차지하며, 헤미셀룰로오스 중 자일란이 다음으로 많은 것을 확인 하였다(Table 4). 백합

나무나 유칼립투스과 비교하여 상대적인 자일로스 함량이 높고 글루코오스의 함량이 낮았다.

3.2 맹종죽으로 제조한 소다, 소다 안트라퀴논 펄프의 수율과 카파값 비교

맹종죽의 펄프 수율은 35% 이하로 목재펄프에 비해 낮은 수율을 나타내는 것을 확인할 수 있다.(Table 5) 맹종죽은 조건별 29.3-32.6%의 수율을 보였으며, 22.8-33의 카파값을 나타내었다. 본 실험 조건 보다 낮은 활성알칼리와 적은 시간에서 펄핑하였을 때 백합나무는 수율이 51.3%, 카파값은 17.3, 유칼립투스 수율은 50.9%, 카파값은 21.4로 맹종죽보다 고수율, 저카파값을 나타내는 것으로 보고되었다.²⁴

맹종죽의 알칼리펄프화를 보고한 다른 연구에서 맹종죽의 수율은 32.9-45.7%로 본 실험 연구(29.3-31.7%)보다 높은 수율을 얻었다.

Table 5. Pulp yield and kappa number from Moso Bamboo

	Screened yield (%)	Reject yield (%)	Kappa number
P 1	29.3	1.7	33.0
P 2	29.0	1.3	28.8
P 3	32.6	2.4	25.0
P 4	31.7	1.0	22.8
Yellow poplar ²²⁾	51.3	0.1	17.3
Eucalyptus ²²⁾	50.9	0.6	21.4

Table 3. Chemical composition of Moso Bamboo

	Acetone extractive (%)	Hot-water extractive (%)	Lignin (%)	Carbohydrate (%)
Moso bamboo	0.7	10.5	27.0	61.7
Yellow poplar ²²⁾	2.5	14.0	17.5	66.0
Eucalyptus ²²⁾	2.2	12.1	24.2	61.5

Table 4. Carbohydrate composition of Moso Bamboo

	Glucan (%)	Xylan (%)	Mannan (%)	Arabinan (%)	Galactan (%)
Moso bamboo	32.2	27.5	0.2	0.6	1.2
Yellow poplar ²³⁾	46.7	14.9	1.1	1.1	2.1
Eucalyptus ²⁴⁾	46.5	14.2	0.9	1.5	1.4

맹종죽 펄프의 탄수화물 조성을 분석하였을 때 자일로스 함유율이 맹종죽의 자일로스 함유율보다 약 22% 포인트 감소한 것을 확인할 수 있다. 이는 유칼립투스(10.2% 포인트)와 백합나무(5.5% 포인트)의 자일로스 함유율 감소보다 높은 값이며, 이를 보아 자일란 함량 감소에 의한 펄프 수율 저하가 나타난 것으로 판단된다.²²⁾

맹종죽에서 다른 목재 원료보다 높은 자일란 손실이 나타나는 것은 맹종죽의 자일란은 다른 목질계 자원과 비교하여 낮은 4-O-메틸-글루쿠론산 함량을 가지고 있어(1.20%) 펄핑과정 중 자일란의 펄링반응 역제가 어렵기 때문이다.²⁵⁾

Table 6. Carbohydrate composition of Moso Bamboo pulp

	Glucan (%)	Xylan (%)	Mannan (%)	Arabinan (%)	Galactan (%)
P1	24.3	5.1	0	0	0
P2	25.2	3.8	0	0	0
P3	25.5	4.6	0	0	0
P4	26.0	5.1	0	0	0

3.3 맹종죽 펄프의 섬유 특성 비교

맹종죽 펄프의 섬유길이는 1.36 mm로 백합나무 0.68 mm, 유칼립투스 0.86 mm 보다 2배정도 더 긴 것을 확인할 수 있었다. 맹종죽의 폭은 15.5 μm로 백합나무 16.5μm, 유칼립투스 22.1 μm 로 목재펄프보다 얇은 것을 볼 수 있다(Table 7). 이러한 섬유특성을 가진 맹종죽 소다 안트라퀴논 펄프로 초지를 한다면 열단장, 인장강도, 내절도 등의 강도가 더 클 것으로 보인다.

Table 7. Morphological properties of Moso Bamboo pulp

	Moso bamboo	yellow poplar ²²⁾	eucalyptus ²²⁾
Fiber length (mm)	1.36	0.68	0.86
Fiber width (μm)	15.5	16.5	22.1

3.4 맹종죽 표백 펄프의 백색도, 점도 측정

D₀ED₁ 표백 시 총 활성이산화염소 6.5%(5.0+1.5)에서 최대 백색도 85.3% ISO, 점도 11.2 cPs 값을 나타내었다(Fig 1). 총 활성이산화염소양이 같은 조건에서 D₀ 단계의 활성이산화염소양이 많은 것이 더 높은 백색도 값을 나타내었다. 이는 맹종죽 D₀ED₁ 표백시 6.5%의 총 활성이산화염소 최대백색도가 유칼립투스를 원료로 D₀ED₁ 표백 시 백색도 85% ISO의 값으로 유사한 결과 값을 보인다²⁶⁾. D₀ED₁ 표백 시 목질재료 중 유칼립투스와 백색도가 유사하며 점도는 34.0 cPs와 비교했을 때 많은 차이를 보였다.

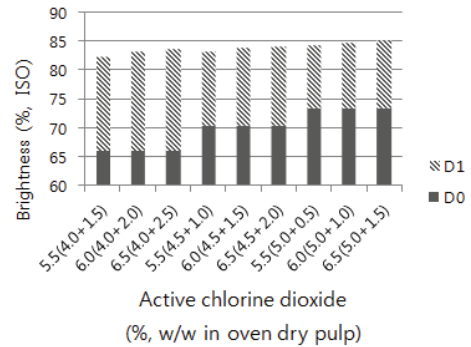


Fig. 1. Brightness of Moso Bamboo pulp in Bleaching stage.

표백 과정에서 사용한 총 활성 이산화염소 양이 펄프의 분해에 미치는 영향을 파악하고자 점도 측정을 하였다. 총 활성 이산화염소양이 증가함에 따라 점도는 감소하였고 D₀ 단계의 활성 이산화염소를 많이 사용할수록 최종 점도에 더 많은 영향을 미쳤다. 하지만 최종 표백 후 점도가 11.2 cPs로 제지공정에서 적합한 섬유로 생각된다.

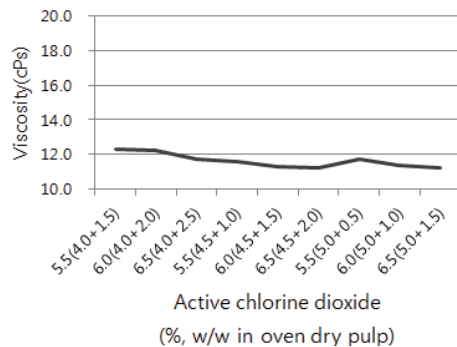


Fig. 2. Viscosity of Moso Bamboo pulp in bleaching stage.

4. 결론

맹종죽의 화학적 조성 분석결과 리그닌의 함량이 높으며 (27.0%), 당 조성 분석 결과 셀룰로오스 함량이 낮고 자일란 함량이 높았다. 펄핑과정에서 대부분의 리그닌이 제거 되었으며 자일란의 81-86%가 제거되어 펄프 수율이 다른 침엽수나 활엽수보다 낮았다. 소다 안트라퀴논 펄핑 시 최대 수율은 32.7%이었고 안트라퀴논을 첨가하지 않거나 증해 시간이 증가하면 수율이 감소하였다. 맹종죽은 평균 섬유장 길이 1.3 mm이고, 굵기는 15.6 μm 였다. 소다-안트라퀴논 펄프를 D₀ED₁ 표백할 때 6.5%의 이산화염소를 사용하여 백색도 85.3% ISO에 도달하였고 이때 펄프의 점도는 11.2 cPs를 유지하였다.

Literature Cited

- Hubbe, M. A., Venditti, R. A., and Rojas, O. J., What happens to cellulosic fibers during papermaking and recycling A review, *Bioresources*, 2(4):39-788 (2007).
- Zaho, 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).
- Junfeng, L., Runqing, H., Yanqin, S., Jingli, S., Bhattacharya, S.C., and Salam P.A., Assessment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in China, *Biomass & Bioenergy*, 29(3):167-177 (2006).
- Perdue Jr. R. E., and Niechlag, H. J., Fiber dimensions of nonwood plant materials. *Tappi Journal*, 44(11):776 (1961).
- Sharma, Y. K., Dhawan, R., and Kar, B. G., High yield pulps from kenaf. *Indian Forester*, 110(4):401-406 (1984).
- 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).
- Scurlock, J. M. O., Dayton, D. C., and Hames, B., Bamboo: an overlooked biomass resources, *Biomass and Bioenergy*, 19:229-244 (2000).
- 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).
- 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).
- Won, J. M., and Ahmed, A., Characteristics of pulp and paper produced from corn stalk, *Journal of Korea TAPPI*, 36(5):21-28 (2004).
- Abrantes, S., Amaral, E., Costa, P., Shatalov, A., and Duarte, P., Hydrogen peroxide bleaching of *Arundo donax* L. kraft-anthraquinone pulp - Effect of a chelating stage, *Industrial Crops Products*, 25:288-293 (2007).
- Seco, C. L., Neto, P., and Silvestre, D., Strategies to reduce the brightness reversion of industrial ECF bleached *Eucalyptus globulus* kraft pulp, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 3:218-226 (2008).
- Axegard, P., and Renberg, L., The influence of bleaching chemicals and lignin content on the formation of polychlorinated dioxins and dibenzofurans, *Chemosphere*, 19:661-668 (1989).
- Gustavson, C., Sjostrom, K., and Wafa Al-Dajani, W., The influence of cooking conditions on the bleachability and chemical structures of kraft pulps, *Nord. Pulp. Pap. Res.*, 14:7 (1999).
- Liss-Albin, C. I., Oskar, D. S., and Erik, N. S., Bleaching and delignification of partially delignified pulp with a mixture of chlorine and chlorine dioxide, US patent, US3652388, A (1972).
- Axegard, P., and Renberg, L., The influence of bleaching chemicals and lignin content on the formation of polychlorinated dioxins and dibenzofurans, *Chemosphere*, 19:661-668 (1989).

17. Savant, D. V., Abdul-Rahman, R., and Ranade, D. R., Anaerobic degradation of adsorbable organic halides (AOX) from pulp and paper industry wastewater, *Bioresource Technology*, 97(9):1092–1104 (2006).
18. Fengel, D., and Shao, X., A chemical and ultrastructural study of the bamboo species *Phyllostachys makinoi* Hay, *Wood Science & Technology*, 18:103–112 (1984).
19. Littlewood, J., Potential for bamboo as a feedstock for lignocellulosic biofuel production, Ph. D thesis, Imperial College London (2014).
20. Yoon, S. L., Park, B. S., Kang, H. Y., and Kang, K. Y., Alkali pulping characteristics of Moso Bamboo (*Phyllostachys pubescens* Mazel) with various ages, *Journal of Korea TAPPI*, 38(3):29–37 (2006).
21. 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).
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. Jung, Y. J., Choi, M. S., Kim, S. J., Jeong, M. J., Kim, Y. W., Woon, B. T., Yeo, J. K., Shin, H. N., Goo, Y. B., Ryu, K. O., Karigar, C. S., and Yang, J. K., Enzymatic hydrolysate from non-pretreated biomass of yellow poplar (*Liriodendron tulipifera*) is an alternative resource for bioethanol production, *Journal of Korean Forest Society*, 99(5):744–749 (2010).
24. Alves, E. F., Bose, S. K., Francis, R. C., Collette, J. L., Lakovlev, M., and Heiningen, A. V., Carbohydrate composition of eucalyptus, bagasse and bamboo by a combination of methods, *Carbohydrate Polymers*, 82:1097–1101 (2010).
25. 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 (*Neosinocalamus affinis*), *Cellulose Chemistry and Technology*, 46(3):165 (2012).
26. Loureiro, P. E., Evtuguin, D. V., and Carvalho, M. G. V. S., The final bleaching of eucalypt kraft pulps with hydrogen peroxide: relationship with industrial ECF bleaching history and cellulose degradation, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 86(3):381–390 (2011).