Journal of Korea TAPPI
Vol. 33. No. 4, 2001
Printed in Korea

대나무화학펄프의 다단표백에 관한 연구

강 진 하† · 박 성 종

(2001년 9월 10일 접수; 2001년 12월 10일 채택)

Studies on the Multistage Bleaching of Bamboo Chemical Pulps

Chin-Ha Kang† and Sung-Jong Park

(Received on September 10, 2001; Accepted on December 10, 2001)

ABSTRACT

This study was carried out to acquire basic data for the bleaching of bamboo chemical pulp. Bamboo chemical pulps (alkaline sulfite (AS)-anthraquinone (AQ) pulp, Kraft pulp) were bleached with two kinds of multistage bleaching methods (CEDED, PDED) using the various kinds of bleaching agents. And, physical properties of bleached pulps were investigated. The conclusions obtained from the results were as follows;

The yield of AS-AQ pulp bleached with four-stages bleaching method using the hydrogen peroxide and chlorine dioxide as a bleaching agents was higher than the other bleached pulps. The brightness of kraft pulp bleached with five-stages bleaching method using the chlorine and chlorine dioxide as a bleaching agents was higher than the other bleached pulps. The physical properties of kraft pulp bleached with four-stages bleaching method using the hydrogen peroxide and chlorine dioxide as a bleaching agents was higher than the other bleached pulps.

Keywords: bamboo, chemical pulp, multistage bleaching, chlorine, chlorine dioxide, hydrogen peroxide

1. 서 론

우리 나라는 지속적인 경제성장과 더불어 종이 및 판지 생산면에서 높은 성장률을 보여 왔다. 우리 나라는 지류생산량의 대부분이 내수용인데, 지류의 소비는 증가하나 그 주요 원료인 목재의 공급은 산림자원 보호와 환경보존 문제에 부딪혀 그 어려움은 더욱 커지고 있다.[1]

이와 같은 현상은 우리 나라에만 국한된 것이 아니라 범세계적인 문제이므로, 이를 극복하기 위하여 목재보다 단기간에 섬유자원을 대량 생산할 수 있는 비목질계 식물을 이용하는 방법들이 제시되어 왔다.[2-5]

• 본 연구는 산업자원부의 산업기반기술개발사업 중 전통고유기술개발사업에 의해 수행된 결과의 일부임.
• 전북대학교 농과대학 산림과학부(Division of Forest Science, College of Agriculture, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea)
† 주저자(Corresponding author): e-mail: kjh@moak.chonbuk.ac.kr

Table 1. Conditions of multistage bleaching sequences

Stages	Chemicals (%, on dry pulp)	Temperature (℃)	Time (hr.)	Pulp consistency (%)
C	Cl_2(3.5)	25	1	3
E_1	NaOH(1.5)	50	1	10
D_1	ClO_2(1.5)	70	3	10
E_2	NaOH(1.0)	70	1	10
D_2	ClO_2(0.5)	70	3	10
P	H_2O_2(1.5)	80	2	10

* P : H_2O_2(1.5%) + NaOH(2.0%) + Na_2SiO_3(5.0%) + $MgSO_4$(0.5%)

이는 비목질계 섬유자원은 단기간에 재생산이 가능하며, 생산성이 높고 대부분 농업 부산물이므로 가격이 저렴하다는 장점에 기인한다.[6,7] 한편 비목질계 섬유자원 식물 중 대나무는 펄프제조에 아시아 지역에서 다량 활용되고 있으며, 대나무를 이용하여 화학펄프를 제조하는 연구를 수행한 바 있다.[8] 그러나 제조된 대나무화학펄프는 백색도가 낮아 이들을 필기용지 또는 인쇄용지로 이용하기 위해서는 표백을 하여야 하는데, 대나무화학펄프는 표백특성이 목재화학펄프와는 다를 수도 있을 것이다. 또한 화학펄프표백시 효과가 우수하고 가격이 저렴하다는 장점으로 인하여 염소가 이용되어 오고 있는데, 염소표백시 dioxin과 같은 발암성 물질이 생성된다는 사실이 알려지면서 이의 대체표백제로서 과산화수소를 이용하는 연구가 수행되어 오고 있다.

이에 따라 본 연구는 대나무화학펄프를 염소 및 이산화염소를 이용한 5단표백과 과산화수소 및 이산화염소를 이용한 4단표백시 표백특성을 비교코저 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 대나무화학펄프

저자 등[8]이 기발표한 논문에서 제조된 펄프들 중 상대적으로 고수율 및 저카파가인 2종의 대나무화학펄프(AS-AQ pulp, Kraft pulp)를 선택하여 공시재료로 사용하였는데, 이들의 제조조건은 다음과 같다.

Alkaline Sulfite(AS)-Anthraquinone(AQ) pulp

-. 알칼리 농도 : 20% (Na_2O 기준)
-. 약품혼합비율(Na_2SO_3 : NaOH) = 10 : 90
-. AQ 첨가량 : 0.3%
-. 증해온도 : 170℃
-. 증해시간 : 120분
-. 액비(bamboo/liquor) : 1/5

Kraft pulp

-. 알칼리 농도 : 20%(Na_2O 기준)
-. 황화도 : 25%
-. 증해온도 : 170℃
-. 증해시간 : 90분
-. 액비(bamboo/liquor) : 1/5

2.2 실험방법

2.2.1 펄프표백

2종의 대나무화학펄프를 각각 5단표백($CE_1D_1E_2D_2$)과 4단표백($PD_1E_2D_2$)을 하였는데, 표백조건은 Table 1과 같다.

2.2.2 표백펄프의 특성 비교

표백 방법별로 각 표백단에서 표백된 펄프들의 특성들을 비교하고저 표백펄프의 수율, Kappa No. 및 백색도를 측정하였다. 또한 각 표백단에서 표백약품용액의 pH 변화(표백 전, 후)와 표백약품의 소비율을 측정하였다.

2.2.3 표백펄프의 물리적 성질 조사

초지

화학펄프 종류별, 다단표백방법별로 표백된 4종의

Table 2. Bleached pulp yield, Kappa No. and brightness of bamboo chemical pulps

Pulps	Bleaching sequences	C			P			E_1			D_1			E_2			D_2		
		Y.	K.	B.	Y.	K.	B.	Y.	K.	B.	Y.	K.	B.	Y.	K.	B.	Y.	K.	B.
AS-AQ pulp	$CE_1D_1E_2D_2$	97.4	8.1	35.1	-	-	-	99.5	4.1	33.2	98.3	-	76.0	99.4	-	71.0	97.9	-	85.3
	PD_1ED_2	-	-	-	99.2	9.3	43.5	-	-	-	97.6	-	67.0	99.4	-	64.2	97.7	-	83.1
Kraft pulp	$CE_1D_1E_2D_2$	97.3	6.0	38.8	-	-	-	98.5	3.1	37.8	99.8	-	79.3	97.6	-	74.2	98.0	-	86.5
	PD_1ED_2	-	-	-	97.7	8.4	47.8	-	-	-	98.2	-	69.3	98.7	-	64.5	98.9	-	84.8

* Y.: bleached pulp yield, K.: Kappa No., B.: brightness
Kappa No. of unbleached pulps: ASAQ(17.2), KP(16.4)
Brightness of unbleached pulps: ASAQ(25.0), KP(26.6)

Table 3. pH of bleaching liquor and consumption rate of bleaching agents

Pulps	Bleaching sequences	C			P			E_1			D_1			E_2			D_2		
		pH_i	pH_f	Cons.	pH_i	pH_f	Cons.	pH_i	pH_f	Cons.	pH_i	pH_f	Cons.	pH_i	pH_f	Cons.	pH_i	pH_f	Cons.
AS-AQ pulp	$CE_1D_1E_2D_2$	1.9	1.9	100	-	-	-	12.5	11.8	71.2	2.4	2.2	98.4	12.2	11.5	41.0	3.1	3.6	90.3
	PD_1ED_2	-	-	-	11.8	11.3	59.2	-	-	-	2.6	2.4	99.7	12.2	11.6	42.4	3.2	3.3	92.7
Kraft pulp	$CE_1D_1E_2D_2$	1.9	1.9	100	-	-	-	12.5	11.8	77.7	2.5	2.3	96.0	12.2	11.7	35.2	3.2	3.7	92.7
	PD_1ED_2	-	-	-	11.8	11.4	59.2	-	-	-	2.5	2.3	99.7	12.2	11.6	35.2	3.2	3.4	92.7

* pH_i: initial pH, pH_f: final pH, Cons.: Consumption rate of bleaching agent (%)

펄프들을 PFI mill을 이용하여 400 mlCSF로 고해한 후, 수초지기를 사용하여 평량 60 g/m²으로 초지하였다.

물리적 성질 조사

초지한 수초지를 항온항습실(온도 : 20±1℃, RH : 65±5%)에서 24시간 이상 조습한 후, TAPPI Test Methods에 의거 밀도, 열단장, 비파열도, 비인열도 및 내절도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 펄프의 표백

AS-AQ 펄프와 Kraft 펄프를 각각 5단표백 및 4단표백하고, 이들의 특성을 측정한 결과는 Table 2와 같다. 또한 표백약품용액의 pH 변화(표백 전, 후) 및 표백약품의 소비율은 Table 3과 같다.

3.1.1 5단표백

AS-AQ 펄프를 5단표백($CE_1D_1E_2D_2$)했을 때의 수율, 백색도, Kappa No., 약품소비율 및 표백 전 · 후의 pH 변화는 다음과 같다.

C단표백의 염소첨가량, 온도, 시간, 펄프농도를 각각 3.5%, 25℃, 1시간, 3%로하고 표백한 결과, 수율은 약 2.5%정도 감소하였고, Kappa No.와 백색도는 8.1 및 35.1을 나타냈다. 그리고 약품소비율은 100%였고 표백 후 pH 변화는 거의 없었다. E_1에서는 가성소다 첨가량, 온도, 시간, 펄프농도를 1.5%, 50℃, 1시간, 10%로 하고 추출한 결과 수율과 Kappa No.는 0.5% 및 4 정도 감소하였다. 백색도는 2 정도 감소하였는데, 이는 알칼리에 의한 변색에 기인한 것으로 사료된다. 그리고 약품소비율은 71.2%였고, 표백 후 pH는 0.7 정도 감소하였다.

D_1단계는 이산화염소량, 온도, 시간, 펄프농도를 1.5%, 70℃, 3시간, 10%로 하여 표백한 결과 수율은 1.7% 감소하였고, Kappa No.는 측정할 수 없을 정도로 감소하였다. 백색도는 76.0으로 상당히 증가하였다. 그리고 약품소비율은 98.4%로서 거의 소모되었고, 표백 후 pH는 0.2 정도 감소하였다. E_2단 처리시에는 가성소다 첨가량, 온도, 시간, 펄프농도를 1.0%, 70℃, 1시간, 10%로 하여 추출한 결과 수율 및 백색도가 0.6% 및 5 정도 감소하였다. 이것도 E_1에서와 마찬가지로 알칼리에 의한 변색에 기인한다고 사료된다. 그리고 약품소비율은 41.0%에 불과하였고, 표백 후 pH는 0.7 정도 감소하였다. D_2단계의 표백에서는 이

산화염소 첨가량, 온도, 시간, 펄프농도를 0.5%, 70℃, 3시간, 10%로 하여 반응시킨 결과 수율은 2% 정도 감소하였고, 백색도는 크게 상승하여 85.3을 나타냈다. 또한 약품소비율은 90.3%에 달하였고, pH는 0.5정도 증가한 3.6이었다.

한편 Kraft 펄프를 5단표백($CE_1D_1E_2D_2$) 했을 때의 수율, 백색도, Kappa No., 약품소비율 및 표백 전 · 후의 pH 변화는 다음과 같다.

C단표백의 염소첨가량, 온도, 시간, 펄프농도를 각각 3.5%, 25℃, 1시간, 3%로 하고 표백한 결과, 수율은 약 3% 정도 감소하였고, Kappa No.와 백색도는 6.0 및 38.8을 나타냈다. 이를 AS-AQ 펄프와 비교했을 때 수율은 비슷하였으나 Kappa No.는 Kraft 펄프가 2 정도 낮았고 백색도도 Kraft 펄프가 3.7 높은 결과였다. 한편 약품소비율은 100%였고 표백 후 pH 변화는 거의 없었다. E_1에서는 가성소다 첨가량, 온도, 시간, 펄프농도를 1.5%, 50℃, 1시간, 10%로하고 추출한 결과 수율과 Kappa No.는 1.5% 및 3 정도 감소하였다. 백색도는 1 정도 감소하였는데, 이는 알칼리에 의한 변색에 기인한 것으로 사료된다. AS-AQ 펄프와 비교하였을 때, AS-AQ 펄프가 수율은 1% 정도, Kappa No.는 1 정도 높았고, 백색도는 Kraft 펄프가 4.6 높았다. 한편 약품소비율은 77.7%였고, 표백 후 pH는 0.7 정도 감소하였다.

D_1단계는 이산화염소량, 온도, 시간, 펄프농도를 1.5%, 70℃, 3시간, 10%로 하여 표백한 결과 수율은 약간 감소하였고, Kappa No.는 측정할 수 없을 정도로 감소하였다. 백색도는 79.3으로 상당히 증가하였다. AS-AQ 펄프와 비교하였을 때, 수율과 백색도는 Kraft 펄프가 1.5% 및 3.3 높았다. 한편 약품소비율은 96.0%로서 거의 소모되었고, 표백 후 pH는 0.2 정도 감소하였다. E_2단 처리시에는 가성소다 첨가량, 온도, 시간, 펄프농도를 1.0%, 70℃, 1시간, 10%로 하여 추출한 결과 수율이 2.4% 정도 감소하였고, 백색도는 5 정도 감소하였다. 이것도 E_1에서와 마찬가지로 알칼리에 의한 변색에 기인한다고 사료된다. AS-AQ 펄프와 비교시 수율은 AS-AQ 펄프가 1.8% 정도 높았고, 백색도는 Kraft 펄프가 3.2 정도 높았다. 한편 약품소비율은 35.2%에 불과하였고, pH는 0.5 정도 감소하였다. D_2단계의 표백에서는 이산화염소 첨가량, 온도, 시간, 펄프농도를 0.5%, 70℃, 3시간, 10%로 하여 반응시킨 결과 수율은 2%정도 감소하였고, 백색도는 크게 상승하여 86.5를 나타냈다. AS-AQ 펄프와 비교하였을 때 수율은 비슷하였고 백색도는 Kraft 펄프가 1.2 정도 높았다. 한편 약품소비율은 92.7%를 나타냈고, pH는 0.5 정도 증가하였다.

AS-AQ 펄프와 Kraft 펄프의 다단표백 결과를 전반적으로 비교했을 때, Kraft 펄프가 백색도 면에서 우수하였는데 이는 미표백 펄프의 Kappa No.가 낮고 초기 백색도가 더 우수했기 때문이라고 사료된다.

3.1.2 4단표백

AS-AQ 펄프를 4단표백(PD_1ED_2) 했을 때의 수율, 백색도, Kappa No., 약품소비율 및 표백 전 · 후의 pH 변화는 다음과 같다.

P단에서는 과산화수소 첨가량, 온도, 시간, 펄프농도를 1.5%, 80℃, 2시간, 10%로 하고 첨가제로서 가성소다 2%, 규산나트륨 5% 및 황산마그네슘 0.5%를 첨가한 후 반응시킨 결과 수율과 Kappa No.는 99.2% 및 9.3이었고, 백색도는 43.5를 나타내었다. 그리고 약품소비율은 59.2%였고, 표백 후 pH는 0.5 정도 감소한 11.3을 나타냈다. D_1단계는 이산화염소량, 온도, 시간, 펄프농도를 1.5%, 70℃, 3시간, 10%로 하여 표백한 결과 수율은 2.4% 감소하였고, Kappa No.는 측정할 수 없을 정도로 감소하였다. 백색도는 67.0으로 상당히 증가하였다. 또한 약품소비율은 99.7%로서 거의 소모 되었고, 표백 후 pH는 0.2 정도 감소하였다.

E단 처리시에는 가성소다 첨가량, 온도, 시간, 펄프농도를 1.0%, 70℃, 1시간, 10%로 하여 추출한 결과 수율 및 백색도가 0.6% 및 3 정도 감소하였다. 한편, 약품소비율은 42.4%에 불과 하였고, pH는 0.6 정도 감소한 11.6이었다. D_2단계의 표백에서는 이산화염소 첨가량, 온도, 시간, 펄프농도를 0.5%, 70℃, 3시간, 10%로 하여 반응시킨 결과 수율은 2.3% 감소하였고, 백색도는 83.1을 나타냈다. 또한 약품소비율은 92.7%를 나타냈고, pH는 0.1 정도 증가하였다.

한편 Kraft 펄프를 4단표백(PD_1ED_2)했을 때의 수율, 백색도, Kappa No., 약품소비율 및 표백 전 · 후의 pH 변화는 다음과 같다.

P단에서는 과산화수소 첨가량, 온도, 시간, 펄프농도를 1.5%, 80℃, 2시간, 10%로 하고 첨가제로서 가성소다 2%, 규산나트륨 5% 및 황산마그네슘 0.5%를 첨가한 후 반응 시킨 결과 수율과 Kappa No.는 2.3% 및 8 정도 감소하였고, 백색도는 47.8을 나타내었다. AS-AQ 펄프와 비교했을 때, AS-AQ 펄프가 수율과 Kappa No.에 있어서 각각 1.5%, 0.9가 높은 결과였고, 백색도는 Kraft 펄프가 4.3 높았다. 한편 약품소비율은 59.2%였고, 표백 후 pH는 0.4 정도 감소한

11.4를 나타냈다.

D_1단계는 이산화염소량, 온도, 시간, 펄프농도를 1.5%, 70℃, 3시간, 10%로 하여 표백한 결과 수율은 1.8% 감소하였고, Kappa No.는 측정할 수 없을 정도로 감소하였다. 백색도는 69.3으로 상당히 증가하였다. AS-AQ 펄프와 비교했을 때, 수율과 백색도는 Kraft 펄프가 0.6% 및 2.3 높았다. 한편 약품소비율은 99.7%로서 거의 소모 되었고, 표백 후 pH는 0.2 정도 감소하였다. E단 처리시에는 가성소다 첨가량, 온도, 시간, 펄프농도를 1.0%, 70℃, 1시간, 10%로 하여 추출한 결과 수율이 1.3% 정도 감소하였고 백색도는 5 정도 감소하였다. AS-AQ 펄프와 비교시 수율은 AS-AQ 펄프가 0.7% 정도 높았고, 백색도는 Kraft 펄프가 0.3 높았다. 한편 약품소비율은 35.2%에 불과하였고, pH는 0.6 정도 감소한 11.6이었다.

D_2단계의 표백에서는 이산화염소 첨가량, 온도, 시간, 펄프농도를 0.5%, 70℃, 3시간, 10%로 하여 반응시킨 결과 수율은 1.1% 감소하였고, 백색도는 크게 상승하여 84.8을 나타냈다. AS-AQ 펄프와 비교했을 때 수율과 백색도는 Kraft 펄프가 1.2% 및 1.7 높았다. 한편 약품소비율은 92.7%를 나타냈고, pH는 0.2 정도 증가하였다. AS-AQ 펄프와 Kraft 펄프의 4단 표백 결과를 비교하여 보면, 5단표백의 경우와 마찬가지로 Kraft 펄프가 백색도 면에서 더 우수하였는데, 이는 미표백 펄프의 Kappa No.가 낮고 초기 백색도가 더 우수했기 때문이라고 사료된다.

이에 따라 AS-AQ 펄프와 Kraft 펄프의 다단표백 결과를 표백 수율과 백색도 면에서 비교하여 보면, 표백 수율은 AS-AQ 펄프가 1% 정도 높았으나, 백색도는 Kraft 펄프가 1~2 정도 높았다. 또한 5단표백과 4단표백 결과를 표백 수율과 백색도 면에서 비교해 보면, 표백 수율은 4단표백이 2% 정도 높았으나, 백색도는 5단표백이 2 정도 높았다. 결과적으로 염소를 사용한 5단표백시에 비하여 과산화수소를 사용한 4단표백시 백색도가 2 정도만 낮고, 폐수의 수질환경적인 면에서 크게 유익하므로 최종 백색도가 사용상에 문제가 없다면 대나무 표백화학펄프는 AS-AQ 펄프를 과산화수소를 이용한 4단표백 방법으로 제조하는 것이 가장 바람직하다고 사료된다.

3.2 표백펄프의 물리적 성질

펄프종류별 및 표백방법별로 다단표백한 4종 펄프들의 물리적 성질을 측정한 결과는 Table 4와 같다.

다단표백한 펄프의 밀도는 0.50~0.51 g/cm^3 정도이었으며, 표백 첫단에서 C 대신 P를 사용한 경우 열단장이 높았고, AS-AQ 펄프보다는 Kraft 펄프의 경우가 높았다. 한편 열단장이 가장 높은 표백 펄프는 Kraft 펄프를 PD_1ED_2 표백한 것으로서 6.30 km이었으며, 가장 낮은 경우는 AS-AQ 펄프를 $CE_1D_1E_2D_2$ 표백한 것으로서 5.63 km 이었다.

파열지수는 열단장의 경우와 마찬가지로 표백 첫단에서 C 대신 P를 사용하였을 때가 우수하였다. 그리고 AS-AQ 펄프를 표백한 것보다는 Kraft 펄프를 표백한 경우가 더욱 좋은 결과를 얻었다. 파열지수가 가장 높은 경우는 Kraft 펄프를 PD_1ED_2 표백한 것으로서 4.96 kPa · m^2/g 이었고, 가장 낮은 경우는 AS-AQ 펄프를 $CE_1D_1E_2D_2$ 표백한 것으로 4.20 kPa · m^2/g 이었다.

인열지수는 열단장과 파열지수의 경우와는 반대로 표백 첫단에서 P 대신 C를 사용하였을 때가 우수하였다. 그리고 AS-AQ 펄프를 표백한 것보다는 Kraft 펄프를 표백한 경우가 더욱 좋은 결과를 얻었는데, 이는 미표백 Kraft 펄프가 AS-AQ 펄프보다 강도가 우수하였던 데 기인한 것으로 사료된다. 한편 인열지수가 가장 높은 경우는 Kraft 펄프를 $CE_1D_1E_2D_2$ 표백한 것으로서 78.64 mN · m^2/g 이었고, 가장 낮은 경우는 AS-AQ 펄프를 PD_1ED_2 표백한 것으로서 73.91 mN · m^2/g이었으나, 다른 강도들에 비하여 차이가

Table 4. Physical properties of bamboo bleached chemical pulps

Pulps	Bleaching sequences	Density (g/cm^3)	Breaking length (km)	Burst index (kPa · m^2/g)	Tear index (mN · m^2/g)	Folding endurance (times)
AS-AQ pulp	$CE_1D_1E_2D_2$	0.51	5.63	4.20	77.76	64
	PD_1ED_2	0.50	5.76	4.47	73.91	75
Kraft pulp	$CE_1D_1E_2D_2$	0.51	5.75	4.60	78.64	82
	PD_1ED_2	0.51	6.30	4.96	76.38	151

* Freeness of beaten pulp: 400 ml CSF

적었다. 내절도는 Kraft 펄프를 PD_1ED_2 표백한 경우가 151회로서 가장 높았는데, 그 밖의 경우는 64~82회로서 거의 비슷하였다.

4. 결 론

본 연구는 대나무화학펄프(alkaline sulfite(AS)-anthraquinone(AQ) pulp, Kraft pulp)를 각종 표백약품으로 다단표백(CEDED, PDED)하고, 다단표백 펄프들의 물리적 성질을 측정하여 대나무화학펄프의 표백분야에 필요한 기초자료를 얻고저 수행한 결과 얻은 결론은 다음과 같다.

표백펄프 수율은 AS-AQ 펄프를 4단표백(PDED)한 경우가 높았다. 백색도는 Kraft 펄프를 5단표백(CEDED)한 경우가 높았으나, 염소를 사용한 5단표백(CEDED)시에 비하여 과산화수소를 사용한 4단표백(PDED)시 백색도가 2 정도만 낮고, 폐수의 수질환경적인 면에서 크게 유익하므로 최종 백색도가 사용상에 문제가 없다면 대나무 표백화학펄프는 AS-AQ 펄프를 과산화수소를 이용한 4단표백 방법으로 제조하는 것이 가장 바람직하다고 사료된다. 한편 각종 강도들은 Kraft 펄프를 4단표백(PDED)한 경우가 높았다.

인 용 문 헌

1. 조남석, 최태호, 속성 섬유자원인 양마로부터 전통 한지제조 특성. 펄프 · 종이기술 28(4):7 (1996).
2. Aravamuthan, R., and I. Yayin, Optimizing alkaline pulping of wheat straw to produce stronger corrugating medium. Tappi J. 76(1):145 (1992).
3. Fujii, Y., J.-I. Azuma, R. H. Marchessault, F. G. Morin, S. Aibara, and K. Okamura,Chemical composition change of bamboo accompanying its growth. Holzforschung 47(2):109 (1993).
4. Giovanni, G.-S., A. D. Annibale, G. Perani, A. Porri, F. Pastina, V. Minelli, N. Vitale, and A. Gelsomino, Characteristic of paper handsheets after combined biological pretreatments and conventional pulping of wheat straw. Tappi J. 77(6):151 (1994).
5. Granfeldt, T., O. Danielson, S. Norden, and K. Gunner Ryrberg, Toward effluent-free production of bagasse and eucalyptus pulp for newsprint. Tappi J. 71(11):54 (1988).
6. Perdue, Jr. R. E., and H. J. Niechlag, Fiber dimensions of nonwood plant materials. Tappi J. 44(11):776 (1961).
7. Sharma, Y. K., R. Dhawan, and B. G. Karira, High yield pulps from kenaf. Indian Forester 110(4):401 (1984).
8. 강진하, 박성종, 대나무를 이용한 각종 화학펄프 제조에 관한 연구. 펄프 · 종이기술 32(3):57 (2000).