

국내산 죽종의 화학 성분 및 섬유소 이용에 관한 연구 (제2보) - 대나무 섬유의 제조 및 특성 -

강규영 · 윤승락^{1†} · 전권석²

접수일(2012년 8월 1일), 수정일(2012년 8월 10일), 채택일(2012년 8월 14일)

A Study on the Utilization of Ingredients and Fibers from Korean Bamboo Species in Value-added Industry: Part 2. Preparation and Characterization of Bamboo Fibers

Kyu-Young Kang, Seung-Lak Yoon^{1†} and Kwon-Seok Jeon²

Received August 1, 2012; Received in revised form August 10, 2012; Accepted August 14, 2012

ABSTRACT

The bamboo fibers from three Korean bamboo species, Moso, Henon and Timber bamboo, were prepared by disintegration after thermal treatment. The samples were prepared according to the age of growth; bamboo shoots, 20 days and 50 days of growth. The fiber quality was also investigated by morphological and chemical analyses.

There was no big difference in the dry mass of fibers among the three bamboo species. However, the dry mass of fibers from 50 days of growth was increased by 34%, whereas it was ranged in 9-20% in the case of fibers from bamboo shoots and 20 days of growth. In the results of morphological analysis, the fibers could be classified as the fibers from metaxylem, the fibers from parenchyma and the fines produced during disintegration. The fibers from 50 days of growth were separated from metaxylem, whereas the fibers from bamboo shoots and 20 days of growth were mainly consisted of fibers from metaxylem and parenchyma. The chemical analysis of fibers showed that the contents of carbohydrates, lignin and ex-

• 동국대학교-서울캠퍼스 바이오시스템대학 바이오환경과학과 (Department of Biological and Environmental Science, Dongguk University-Seoul, Seoul 100-715, Korea)

1. 경남과학기술대학교 인테리어재료공학과 (Department of Interior Materials Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea)

2. 국립산림과학원 남부산림연구소 (Southern Forest Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju 660-300, Korea)

† 교신저자 (Corresponding author): e-mail: slyoon@gntech.ac.kr

tractives were not much affected by thermal treatment.

Keywords: *Moso bamboo, Henon bamboo, Timber bamboo, bamboo shoots tissue, bamboo fibers, carbohydrates, lignin, extractives*

1. 서론

1997년 교토의정서에서 지구의 기후변화에 대한 국제연합 기본협약(UNFCCC)으로 산림이 중요한 탄소 흡수원이라는 인식이 증가하면서 목질 자원을 보호하기 위한 벌목의 제한으로 목제품, 공업원료 등의 용도적 측면에서 목질 자원의 부족 현상이 현실로 나타나고 있다. 이러한 견지에서 목재 자원을 대나무로 대체하고자 대나무의 구성성분^{1,2)}에 대한 관심이 고조되고 있는 한편, 대나무가 풍부한 국가에서는 자국의 대나무 자원을 조사하여 적극적으로 관리하고 있다. 대나무 바이오매스의 축적량은 죽종, 지역 등에 따라 큰 차이를 나타내며,³⁾ 주요 대나무 생산국의 축적량은 중국 167 ton/ha, 인도 22 ton/ha, 파키스탄 6.5 ton/ha 등으로 보고되고 있다. 국내 전남지역의 대나무 바이오매스 축적량을 보고한 박 등⁴⁾은 지하부를 포함한 임분 전체의 바이오매스는 맹종죽이 103.6 ton/ha, 솜대는 86.5 ton/ha, 왕대는 36.8 ton/ha이며, 지상부는 맹종죽이 71.8 ton/ha, 솜대는 56.3 ton/ha, 왕대는 24.7 ton/ha이라고 하였다.

대나무에 존재하는 화학 조성분은 탄수화물, 리그닌, 추출성분, 무기성분 등이다. 이 성분 중 탄수화물을 이용하기 위하여 본 연구의 전보⁵⁾에서는 국내에 자생하는 대나무 중 경제적 가치가 높은 맹종죽, 왕대, 솜대의 화학 조성분을 죽령별로 분석하였다. 맹종죽, 솜대, 왕대에 존재하는 구성 당 성분은 fucose, arabinose, rhamnose, galactose, glucose, xylose, mannose로 glucose의 함량이 가장 높고 다음은 xylose로 나타났으며, 그 외의 당 함량은 약 3% 이하로 소량 함유되어 있는 것으로 확인되었다. 탄수화물 이외에 리그닌과 추출물의 함량도 분석되었으며, 이를 통해 죽순으로부터 생장하는 과정 중의 대나무의 화학 조성분 변화과정에 대하여 검토하였다. 국내산 유용 대나무 종들은 화학 조성분에 있어 종간 차이가 크지 않은 것으로 나타났으나, 생장 초기 단계인 죽순과 발순 후 50일생 간에는 그 함

량 차이가 큰 것으로 확인되었다. 발순 후 50일 이후로는 그 차이가 일정한 것으로 확인되었으며, 따라서 발순 후 50일 이전의 유효성분 이용이 가능하다는 결과를 얻었다.

본 연구에서는 대나무의 유효 성분 및 섬유소 이용 연구의 일환으로 대나무 식이섬유를 이용한 식용 대나무 종이 제조에 대한 기초 연구를 실시하였으며, 이를 위하여 죽순 및 어린 대나무의 섬유소 이용을 위한 국내산 맹종죽, 솜대 및 왕대의 섬유소 물성 및 화학 조성분 분석을 실시하였다. 죽순 및 발순 후 20일생과 50일생의 대나무를 증자처리한 후 해리하여 제조한 섬유소의 형태학적 특성 및 크기, 그리고 화학 조성분의 함량 차이를 비교 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

국립산림과학원 남부산림연구소 시험림 내 죽림에 생육하는 맹종죽(*Phyllostachys pubescens* Mazel: Moso bamboo), 솜대(*P. nigra* var. *henonis* Stapf ex. Rendle: Henon bamboo), 왕대(*P. bambusoides* Sieb. et Zucc.: Timber bamboo)의 죽순(길이 30cm 이내), 발순 후 각 20일, 50일생의 대나무를 채취하여 공시재료로 사용하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 건물량의 측정

각 죽종의 죽순, 발순 후 20일생과 50일생의 시료의 함수율을 측정하여 전건기준 건물량을 계산하였다. 20일생과 50일생 시료는 대나무로 형성되어 있어 그대로 건물량을 조사하였지만 죽순의 경우는 죽순과 껍질로 형성(Fig. 1)되어 있기 때문에 껍질을 제거한 순수한 죽순의 건물량으로 측정하였다.

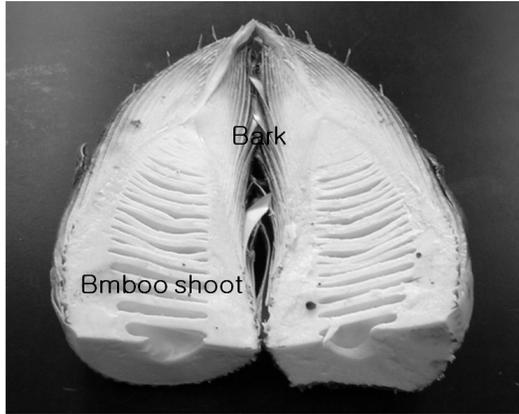


Fig. 1. Cross section of bamboo shoot with bark (Moso bamboo).

2.2.2 증자처리

각 시료를 일정 크기로 절단한 후 100℃ 끓는 물에서 20분간 증자처리 하였다. 본 처리방법은 죽순을 식용으로 하기 위한 일반적인 처리방법으로 향후 식이섬유를 이용한 식용 대나무 종이의 제조 연구를 위하여 증자처리 시 화학약품의 첨가를 배제하였다.

2.2.3 섬유소의 해리 및 현미경적 관찰

증자처리를 마친 시료는 표준 해리기(Disintegrator, PTI, Austria)를 이용하여 죽순은 2분, 20일생은 4분, 50일생은 8분 동안 해리하였다. 각 시료로부터 분리된 섬유소는 디지털 실체현미경(P-400R, Nikon, Japan)을 이용하여 $\times 2.0$ 및 $\times 5.0$ 배율로 관찰하여 섬유상과 섬유폭을 측정하였다.

2.2.4 화학 조성분 분석

화학 조성분 분석을 위하여 각 시료의 추출물, 리그

닌 및 탄수화물의 함량을 정량분석 하였다. 탄수화물 분석은 단당의 조성 및 함량의 차이를 비교 분석하였으며, 이를 위하여 각 시료를 대상으로 72%(w/w) 황산(H_2SO_4)으로 산 가수분해를 실시하였다.

화학 조성분 분석을 위한 모든 실험방법은 전보⁵⁾와 동일하며, 각 실험은 3반복으로 실시하고 그 평균값을 함량으로 표시하였다.

2.2.5 대나무 조직의 형태학적 관찰

분리된 섬유소의 유래를 확인하기 위하여 대나무 조직을 횡단면과 접선단면에서 15~30 μm 의 절편으로 제작하여 광학현미경(E200, Nikon, Japan)으로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 죽종 및 생육기간별 건물량

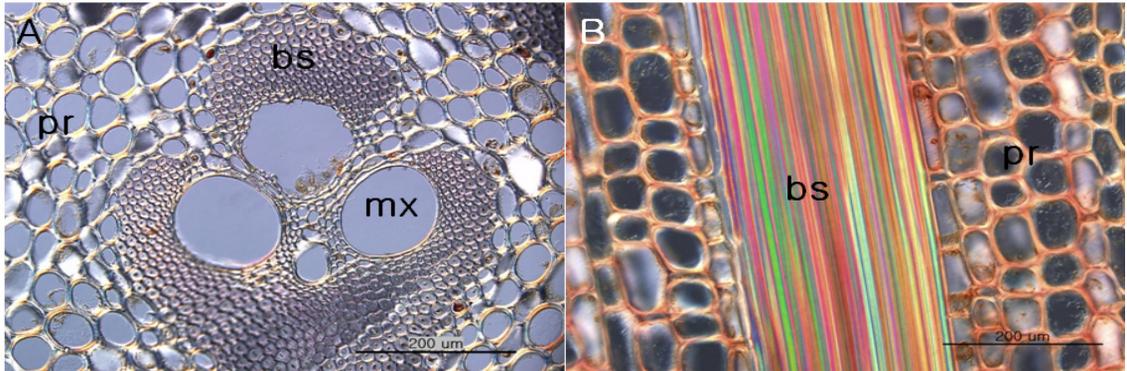
죽종 및 생육기간별 시료의 건물량은 성분 이용에 있어 생산량과 직접적인 상관관계를 가지고 있으므로 산업적으로 대단히 중요한 자료가 된다. 채취된 죽순은 Fig. 1과 같이 껍질로 싸여있으며, 또한 많은 수분을 함유하고 있다. 전건중량을 기준으로 한 각 시료의 건물

Table 1. Changes in dry matter contents according to the growth of bamboo

Bamboo samples	Dry matter (%)		
	Bamboo shoot	20 days-old	50 days-old
Moso bamboo	9.0	9.1	33.7
Henon bamboo	10.5	10.5	33.9
Timber bamboo	10.7	11.7	33.0

Table 2. Changes in fiber length and width according to the growth of bamboo

Bamboo samples	Fiber size and its distribution (μm)			
	Bamboo shoot & 20 days-old		50 days-old	
	Length	Width	Length	Width
Moso bamboo	3044	244	8449	240
	(533 ~ 10472)	(92 ~ 522)	(1856 ~ 21837)	(122 ~ 402)
Henon bamboo	3459	315	6201	246
	(708 ~ 10703)	(65 ~ 550)	(2409 ~ 15232)	(570 ~ 1286)
Timber bamboo	3515	250	2722	213
	(1114 ~ 8628)	(90 ~ 426)	(916 ~ 4706)	(57 ~ 409)



A: Cross section of tissue, B: Tangential section of tissue, bs: Bundle sheath, pr: Parenchyma, mx: Metaxylem
Fig. 2. Fibrous tissues observed in Moso bamboo.

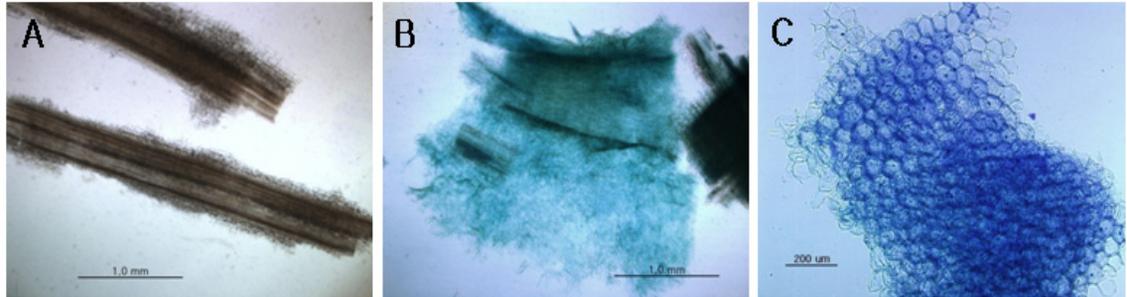


Fig. 3. Moso bamboo fibers from bamboo shoot and 20 days-old bamboo.

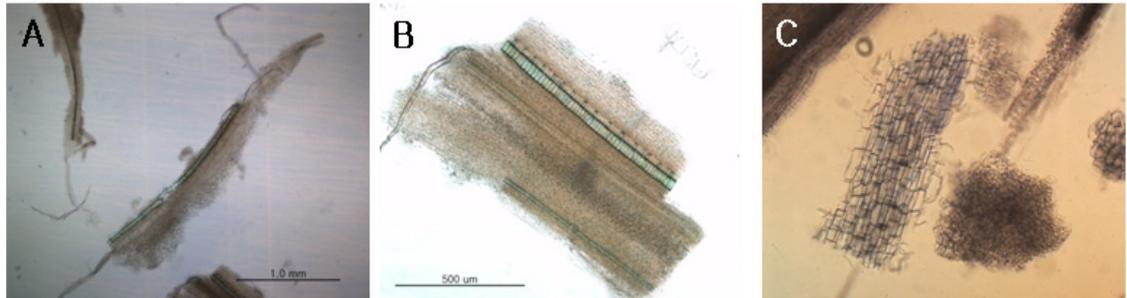


Fig. 4. Henon bamboo fibers from bamboo shoot and 20 days-old bamboo.

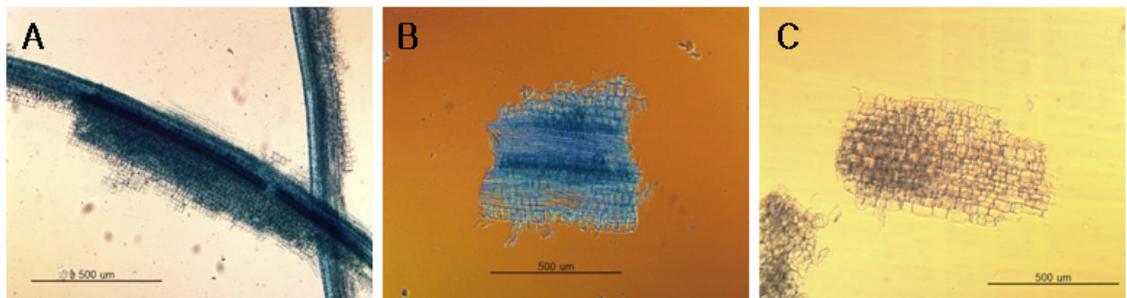


Fig. 5. Timber bamboo fibers from bamboo shoot and 20 days-old bamboo.

량 측정 결과는 Table 1과 같다.

죽순을 싸고 있는 껍질의 양은 시험대상 죽종 중에서 맹종죽이 가장 많았으며, 솜대와 왕대는 껍질의 양이 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 따라서, 순수한 죽순의 건물량은 솜대와 왕대가 맹종죽보다 각각 1.5%와 1.7% 높게 측정되었다.

20일생 대나무의 경우, 죽순의 건물량과 비교해 거의 차이가 없었으며, 다만 왕대의 건물량이 1% 정도 증가하였다. 그러나, 생장을 계속하여 50일생이 되면 건물량이 크게 증가하여 약 34%가 되며, 증가 폭은 맹종죽이 가장 큰 것으로 나타났다.

3.2 대나무 조직의 형태학적 관찰

죽순 및 20일생, 50일생 대나무의 조직에서 섬유가 분리되는 과정을 쉽게 이해하기 위하여 대나무 조직을 광학현미경으로 관찰하였다. 그 결과를 Fig. 2에 나타냈으며, 섬유세포를 내놓을 수 있는 조직으로 유관속초(bs), 후생목부(mx)와 유세포 조직(b)이 관찰되었다. Fig. 2의 사진에서 A, B의 색상이 다른 것은 잘 보이도록 빛의 파장을 달리했기 했기 때문이다.

Yoon의 보고⁶⁾에 의하면 대나무는 발죽되면서 중심주가 형성되는데 죽순에서 완전한 중심주는 관찰되지 않고, 20일생이 되면 중심주가 형성되어 유세포와 유관속초가 관찰되었고, 60일생 이후에 완전한 중심주가 형성되어, 1년생 이후는 각 세포벽이 성숙된다고 하였다.

3.3 대나무 섬유의 크기

맹종죽, 솜대, 왕대의 죽순과 20일생, 50일생 대나무에서 분리된 섬유의 크기를 평가하기 위하여 섬유장과 섬유 폭을 측정하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다.

죽순과 20일생으로부터 분리된 섬유는 생장기간에 따른 섬유의 형태 및 크기에 변화가 없어 동일시하였으며, 50일생으로부터 분리된 섬유는 섬유 형태 및 크기가 변화함에 따라 별도 표기하였다.

죽순 및 20일생으로부터 분리된 섬유의 길이는 약 3000~3500 μm , 폭은 약 250~310 μm 의 분포를 보였으며, 50일생은 섬유장이 약 2700~8000 μm , 섬유 폭이 약 210~250 μm 의 분포를 나타냈다. 왕대의 섬유장은 맹종죽과 솜대에 비해 상대적으로 매우 짧은 것으로 확인되었다.

조직으로부터 분리되는 섬유의 전체적인 크기는 죽종에 따라서는 큰 차이가 없었으나, 생육기간에 따라서는 크게 상이한 것으로 확인되었다. 이는 대나무가 발죽되면서 후생목부와 유세포가 먼저 형성되고, 유세포의 발달과 더불어 후생목부 주위에 유관속초와 그 외의 세포가 발달되어 50일생이면 조직이 완전하게 완성되기 때문에 생육시기별 조직이 상이한 것에 기인⁵⁾하는 것으로 사료된다.

3.4 대나무 섬유의 형태학적 관찰

3.4.1 죽순 및 20일생 대나무 섬유의 형태

각 죽종별, 생육기간별 시료를 대상으로 증자처리 후 해리기에서 분리된 섬유의 형태를 관찰한 결과는 Figs. 3~5와 같다.

Fig. 3(맹종죽)에서 A는 후생목부를 중심으로 길게 해리된 섬유이고, B는 A와 같이 후생목부를 중심으로 분리되었지만 길이가 짧은 단섬유에 해당한다. C는 A, B와 달리 유세포 부분이 해리된 것이다. 이와 같은 섬유의 해리 형태가 솜대(Fig. 4), 왕대(Fig. 5)에서도 같은 경향을 보였다. 죽순과 20일생 대나무에서 분리되는 섬유의 형태는 후생목부를 중심으로 해리된 섬유(A, B)와 유세포가 분리된 섬유(C)로 대별되지만, Table 2의 결과와 같이 섬유의 크기는 다양하였다.

3.4.2 50일생 대나무 섬유의 형태

각 죽종별 50일생에서 분리된 섬유의 형태학적 관찰 결과는 Figs. 6~8과 같다. 그림에서 A와 B는 각각 $\times 2$ 및 $\times 5$ 배율에서의 관찰 결과이다.

50일생의 경우에는 조직이 완전히 형성되어 후생목부 주위에 분포되어 있는 섬유가 유관속초와 함께 분리되어 큰 섬유 상태로 분리되었고, 후생목부를 중심으로 원형의 형태임이 관찰되었다. 죽종 별로 섬유의 형태를 비교하면 맹종죽과 왕대의 섬유는 표면에 매끄러운 상태인데 반하여 솜대의 경우는 표면에 유세포(\leftarrow 표시)가 붙어 있는 것이 관찰되었다.

3.5 대나무 섬유의 화학 조성분

3.5.1 탄수화물 조성 및 함량

죽순 및 20일생과 50일생 대나무로부터 분리한 섬유의 죽종 및 생육기간별 단당의 조성 및 함량 분석 결과

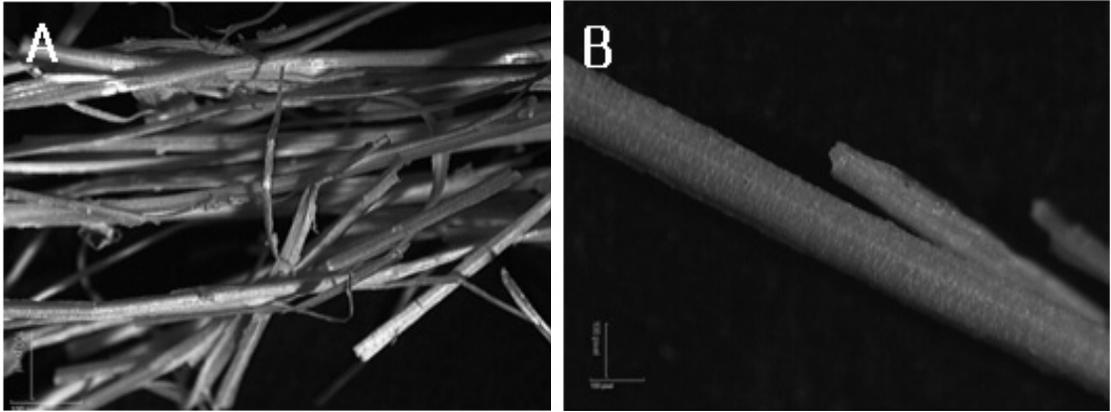


Fig. 6. Moso bamboo fibers from 50 days-old bamboo.

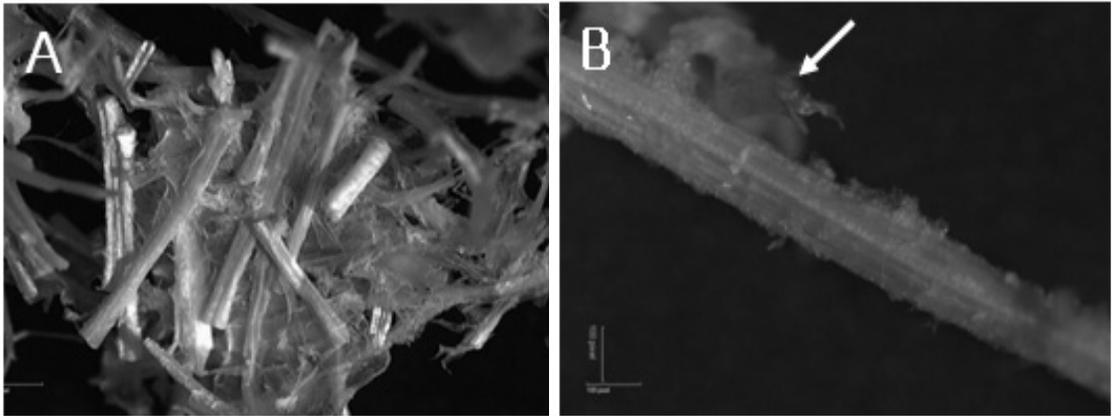


Fig. 7. Henon bamboo fibers from 50 days-old bamboo.

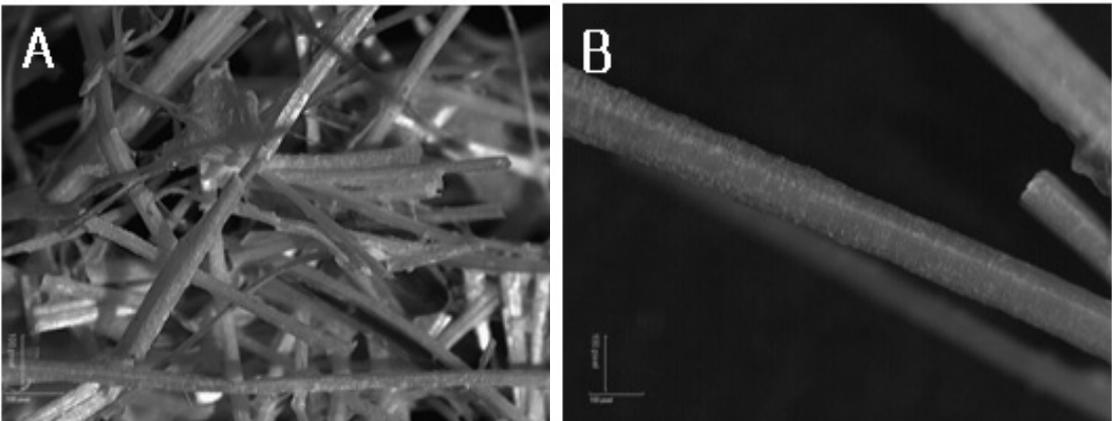


Fig. 8. Timber bamboo fibers from 50 days-old bamboo.

는 Table 3과 같다.

전보⁵⁾에 의하면 증자 미처리 맹종죽 죽순의 탄수화

물 함량은 42.00%였으며, 본 실험의 증자처리 후 분리된 섬유유의 탄수화물 함량 역시 42.01%로 동일한 결과

Table 3. Carbohydrates composition of bamboo fibers prepared by thermal treatment

Bamboo samples		Monomeric sugar* (%)							Total sugars (%)
		Fuc	Ara	Rham	Gal	Glu	Xyl	Man	
Moso bamboo	Bamboo shoot	0.06	2.17	0.15	1.62	34.43	3.06	0.52	42.01
	20 days-old	0.06	1.73	0.09	1.08	43.35	13.74	0.54	60.59
	50 days-old	0.05	1.17	0.05	0.35	46.55	20.81	0.55	69.53
Henon bamboo	Bamboo shoot	0.06	2.75	0.15	1.72	23.26	4.60	0.61	33.15
	20 days-old	0.06	1.67	0.11	1.59	38.38	11.88	0.69	54.38
	50 days-old	0.06	1.13	0.06	0.35	45.06	19.38	0.76	66.80
Timber bamboo	Bamboo shoot	0.06	2.86	0.18	1.88	27.01	3.48	0.54	36.01
	20 days-old	0.06	1.73	0.09	1.08	43.35	13.74	0.54	60.59
	50 days-old	0.05	1.17	0.05	0.35	56.55	20.81	0.55	69.53

*Fuc: fucose, Ara: arabinose, Rham: rhamnase, Gal: galactose, Glu: glucose, Xyl: xylose, Man: mannose

Table 4. Extractives and lignin contents in bamboo fibers prepared by thermal treatment

Bamboo samples		Extractives (%)	Lignin (%)		
			Acid-insoluble	Acid-soluble	Total lignin
Moso bamboo	Bamboo shoot	9.36	2.27	14.02	16.29
	20 days-old	4.73	18.53	4.69	23.22
	50 days-old	1.40	25.87	1.42	27.29
Henon bamboo	Bamboo shoot	10.72	2.44	15.03	17.47
	20 days-old	4.12	16.08	4.11	20.19
	50 days-old	1.15	24.59	1.33	25.92
Timber bamboo	Bamboo shoot	8.14	2.95	13.33	16.28
	20 days-old	5.49	15.11	3.98	19.09
	50 days-old	2.10	22.52	1.67	24.19

를 얻었다. 미처리 20일생은 61.84%인데 증자처리 후 분리된 섬유는 60.59%, 미처리 50일생은 66.49%인데 증자처리 후 분리된 섬유는 69.53%로 측정되었다. 본 결과는 증자처리에 의해 탄수화물 분해는 거의 일어나지 않는다는 것을 의미하며, 증자처리에 의한 맹종죽의 죽령별 시료의 단당 조성 및 함량 분석결과 역시 전보⁵⁾의 미처리 시료의 결과와 비교해 크게 변화된 것이 없었다.

솨대 및 왕대의 경우도 맹종죽과 같은 경향을 나타냈으며, 이로써 대나무 섬유의 이용에 있어 증자처리는 탄수화물의 분해에 영향하지 않는 것으로 사료되었다.

3.5.2 추출물 및 리그닌 함량

죽종 및 죽령별 증자처리에 의해 분리된 섬유의 추출물 및 리그닌의 함량 변화 측정 결과는 Table 4와 같다. 전보⁵⁾의 결과와 비교해서 시험대상 죽종 모두에서 증

자처리 후 분리된 섬유의 추출물 및 리그닌의 함량 변화는 실험오차 범위 내에서 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 다만, 솨대 및 왕대의 죽순의 추출물 함량이 증자처리에 의해 약 2% 정도 감소된 것으로 나타났다.

시험대상 죽종의 죽순 및 20일생과 50일생 대나무로부터 분리된 섬유의 추출물 및 리그닌의 함량 변화는 거의 일어나지 않았으며, 증자처리에 의한 함량 변화는 일어나지 않는 것으로 사료된다.

4. 결론

대나무의 유효 성분 이용 연구의 일환으로 국내산 주요 죽종인 맹종죽, 솨대, 왕대를 대상으로 죽순, 발순 후 20일생, 50일생의 대나무를 증자처리하여 대나무 섬유를 제조하고, 제조된 섬유의 형태학적 관찰 및 화학 조성분 변화에 대하여 비교 분석하여 다음과 같은 결과를

얻었다.

1. 죽종별 건물량은 큰 차이 없이 비슷한 양을 나타냈지만, 죽령별 건물량은 죽순과 20일생에서 약 9~12%에 불과하던 것이 50일생이 되면 약 34%로 크게 증가되었다.
2. 죽순과 20일생 대나무로부터 제조된 섬유는 후생목부를 중심으로 해리된 섬유와 유세포가 분리된 섬유이며, 섬유의 폭은 약 250~310 μm , 길이는 약 3000~3500 μm 로 분석되었다.
3. 50일생 대나무로부터 제조된 섬유의 형태는 후생목부를 중심으로 원형상태이며, 섬유의 폭은 약 210~250 μm , 길이는 약 2700~8000 μm 로 분석되었다.
4. 각 죽종 및 죽령별로 제조된 섬유의 형태는 후생목부를 중심으로 분리된 섬유와 유세포만으로 형성된 섬유, 섬유 해리 시 발생하는 미세섬유로 크게 분류할 수 있었다.
5. 맹종죽, 솜대, 왕대의 죽순 및 20일생과 50일생 대나무에서 섬유를 분리하기 위한 증자처리는 탄수화물, 추출성분 및 리그닌의 분해에 큰 영향을 미치지 않았다.

사 사

본 연구는 국립산림과학원 일반연구과제 ‘남부지방 단기 임산자원의 소득화에 관한 연구’의 일환으로 수행

되었음.

인용문헌

1. Scurlock, J.M.O., Dayton, D.C. and Hames, B., Bamboo: An overlooked biomass resource?, *Biomass and Bioenergy* 19: 229-244 (2000).
2. Fengel D. and Shao, X., A chemical and ultrastructural study of the bamboo species *Phyllostachys makinoi* Hay., *Wood Sci. Technol.* 18:103-112 (1984).
3. 국립산림과학원 남부산림연구소, 대나무 자원 보존과 미래자원으로서 가치 창조를 위한 심포지움 자료집: 참고자료 2 (2011).
4. 박인협, 유석본, 왕대속 대나무림의 물질생산 및 무기영양물 배분에 관한 연구, *한국임학회지* 85(3): 453-461 (1996).
5. 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. Changes in chemical composition of Moso, Henon and Timber bamboo according to the bamboo ages, *Journal of Korea TAPPI* 43(3): 43-51 (2011).
6. Yoon, S.-L., Microscopic observation of Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens* Mazel) with various ages, *Journal of Korea TAPPI* 42(2): 27-34 (2010).