

## 중국산 죽순대(母竹)로부터 제조한 대나무 숯의 이화학적 특성<sup>1</sup>

문성필<sup>2\*</sup> · 구창섭<sup>3</sup> · 박상범<sup>4</sup> · 권수덕<sup>4</sup>

### Physicochemical Properties of Bamboo Charcoal Prepared from China-grown Bamboo (*Phyllostachys pubescens*)<sup>1</sup>

Sung-Phil Mun<sup>2\*</sup>, Chang-Sub Ku<sup>3</sup>, Sang-Bum Park<sup>4</sup> and Su-Duk Kwon<sup>5</sup>

#### 요 약

3, 5, 7년생의 중국산 죽순대(*Phyllostachys pubescens*)를 탄화온도가 서로 다른 3 종류의 탄화로(전용, 개량 및 간이 탄화로)에서 製炭하고 얻어진 대나무 숯의 理化學的 특성을 검토하였다. 전용 탄화로(800 - 1,000 °C)에서 제조한 대나무 숯의 고정탄소는 竹齡이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으나 비표면적의 경우 죽령에 따라 증가하였다. 요오드 흡착량은 5년생이 가장 높았다. 개량 탄화로(600 - 700 °C)로 제탄한 경우 비표면적과 요오드 흡착량은 전반적으로 생육기간이 길어짐에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 간이 탄화로(400 - 500 °C)에서 제조한 죽탄의 경우 휘발분이 개량 및 전용 탄화로보다 약 2배나 높음에도 불구하고 고정탄소는 80%이상의 높은 값을 나타내었다. 본 탄화로에서 5년생의 죽순대를 제탄하여 얻어진 대나무 숯의 경우 타 죽령에 비하여 가장 높은 비표면적과 요오드 흡착량을 나타내었다. 한편 3, 5년생의 중국산 죽순대로 제조한 대나무 숯은 동일 죽령의 국산 죽순대로부터 제조한 대나무 숯보다 물리적 성질이 비교적 좋지 않았다. 이것은 중국산 3, 5년생의 죽순대의 조직구조가 동일죽령의 국산보다 치밀하지 못한 것에 기인하는 것으로 생각되었다.

#### ABSTRACT

Three different aged Chinese bamboo (*Phyllostachys pubescens*; 3, 5, and 7 years) was carbonized using three different types of kilns (special, improved and simple kiln) and their physicochemical charcoal properties were investigated. The fixed carbon of the bamboo charcoal prepared from the special kiln (800 - 1,000 °C) tended to be decreased, while the specific surface area tended to be increased, according to

1. 접수 2003년 4월 20일 Received on April 20, 2003.
  2. 전북대학교 농과대학 산림과학부, Division of Forest Science, College of Agriculture, Chonbuk National University, Jeonju, Jeonbuk, 561-756, Korea.
  3. 전북대학교 유기신물질공학과, Department of Advanced Organic Materials Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, Jeonbuk, 561-756, Korea.
  4. 임업연구원 남부임업시험장, Nambu Forest Experiment Station, Jinju, 660-300, Korea.
- \* 주저자 (corresponding author): 문성필 (e-mail: msp@moak.chonbuk.ac.kr)

the increase of bamboo ages. The bamboo charcoal prepared from the 5-year-aged showed the highest value in iodine value. In the improved kiln (600 - 700 °C), the specific surface area and the iodine value increased with the growth period. In the simple kiln (400 - 500 °C), the amount of volatile matter of the bamboo charcoal was approximately two times higher than that obtained from the special and improved kilns. Despite of the high amount of volatile matter in the simple kiln, the fixed carbon was more than 80%. The 5-year-aged bamboo charcoal showed the highest levels in specific surface area and iodine value. The physical properties of the bamboo charcoals prepared from the 3- and 5-year-aged Chinese bamboo were relatively worse those of Korean bamboo of the same ages. It was probably thought caused by less dense structure of the Chinese bamboo of 3- and 5-year-aged than the domestic in morphological aspects.

**Keywords :** bamboo charcoal, *Phyllostachys pubescense*, special kiln, improved kiln, simple kiln, specific surface area, fixed carbon, iodine value.

## 서 론

대나무는 전 세계적으로 약 1,250종이 분포하고 있는 것으로 추정되며, 적도를 중심으로 북위 40도에서 남위 40도의 광범위한 지역에 생육하고 있지만 약 80%가 아시아에 집중되어 있다. 우리나라의 경우 오래 전부터 대나무를 竹細工品, 건축용재, 농수산용재 및 펄프용재 등으로 이용하여 왔으며, 농·산촌에서는 이들이 소득을 증진시키는 역할을 해왔다. 그러나 산업화의 진전과 함께 플라스틱 대용품의 등장에 따른 대나무의 급격한 수요 감소와 무역자유화 물결로 인한 중국 및 동남아산의 값싼 죽세공품의 대량 유입 등으로 국산 대나무의 용도가 점점 줄어들고 있는 실정이다<sup>(1)</sup>.

근래 박 등<sup>(2,7)</sup>은 1996년부터 5개년 계획으로 국내 죽 산업의 활성화를 도모코자 21세기 환경과 건강소재로서 무한한 가능성을 지닌 대나무 숯의 제조 및 이용에 대한 연구에 착수하였다. 그 동안의 연구 결과, 대나무 숯 전용탄화로 개발, 탄화스케줄 구멍, 대나무 숯의 특성구멍, 고급연료용, 입욕용, 취사용, 탈취용, 베개 등의 신상품

개발, 산업화 기술지원 등을 통해 국내 대나무 산업의 활성화에 크게 기여하여 왔다. 한편, 대나무는 매년 伐採가 가능하며 재생산이 매우 빠른 환경 친화형 소재이다. 즉, 경제적인 이용을 위해 수십 년을 소비해야하는 목재에 비해 대나무는 숯 제조를 위한 무한한 가능성을 가지고 있다. 또한 대나무 숯은 전기전도성이 우수하며, 유해전자파 차단, 음이온을 발생시켜 공기정화, 원격외선을 발산하여 신진대사 촉진, 미세공극의 발달에 따른 유해물질 흡착 및 제거, 수분의 흡수 효과 등의 특성을 지니므로<sup>(8)</sup> 다양한 기능성 재료로서 이용되고 있다. 국내에서 이루어진 많은 연구들로부터 이들 대나무 숯의 효과와 신상품 개발을 통한 산업화에 대한 기여 및 환경 친화적인 측면에서 국민 건강과 위생을 위해 국가 차원의 투자가 이루어져 현재 대나무의 용도는 과거의 죽세공품, 건축용재, 농수산용재 및 펄프용재로부터 대나무 숯의 다양한 특성을 이용한 기능성 상품으로서 크게 발전하였다.

이와 같이 국내 대나무 숯 관련 산업의 활성화와 함께 중국산 대나무 숯이 일부

수입되어 거래되기 시작하였으며, 앞으로 중국으로부터 유입되는 대나무의 수입량은 크게 증가할 것으로 예상된다. 따라서 저·고품질의 다양한 중국산 대나무 숲이 수입될 것을 대비하여 죽령이 다른 중국산 죽순대를 탄화시킨 후 얻어진 대나무 숲에 대하여 이화학적 특성을 검토하였다. 또한 이들 대나무 숲의 이화학적 특성을 국내산 죽순대로 제조한 대나무 숲과 비교 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 2.1 공시재료 및 제탄

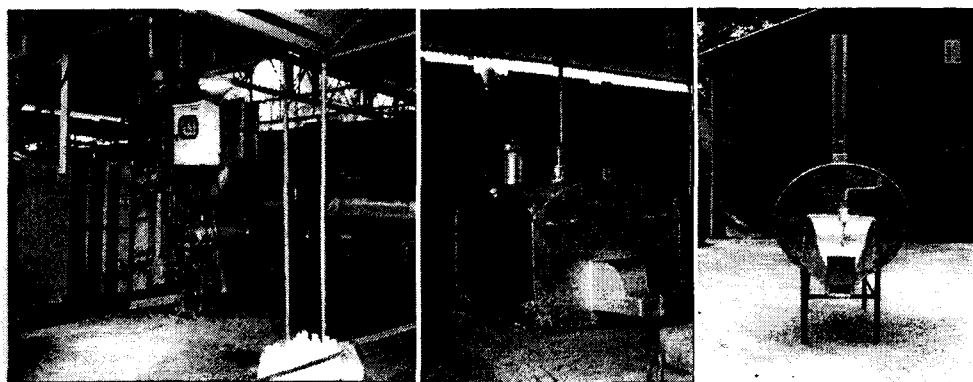
중국산은 中國 浙江省 杭州市 소재 亞熱帶林業研究所내 죽림에서 3, 5, 7년생의 죽순대 (*Phyllostachys pubescens* Mazel. et Z)를 벌채하여 사용하였으며, 국내산 죽순대는 경남 진주시 소재 남부임업시험장 가좌시험림에서 3, 5년생 죽순대를 벌채하여 사용하였다. 제탄은 시료를 적당한 길이로 割竹한 다음, 5개월 기건 후 박 등이 개발한 간이 탄화로 (탄화온도 400 - 500℃), 개량 탄화로 (탄화온도 600 - 700℃), 전용 탄화로 (탄화온도 800 - 1,000℃)에서 실시하였으며, 이들의 사진은 아래 Figure 1에 나타내었다<sup>3)</sup>.

### 2.2 탄화율, 경도, 정련도

공시 죽순대를 길이 15 cm, 폭 3 cm 크기로 20개씩 조제하여 알루미늄 호일로 싸 다음 탄화로 중앙에 적재하여 탄화 전후의 증량차로부터 炭化率을 조사하였다. 대나무 숲의 단단함을 나타내는 硬度는 미우라식 新木炭硬度計로, 숲 표면의 전기저항으로 숲의 품질을 평가하는 精練度는 木炭精練計로 측정하였다.

### 2.3 pH, 건조감량, 휘발분, 회분 및 고정탄소

60 mesh 통과 시료 약 0.5 g을 50 ml 삼각플라스크에 넣고 16.7 ml의 증류이온 교환수를 첨가하였다. 이후 열판상에서 5분 동안 가열한 후 실온으로 하여 pH를 측정하였다. 건조감량은 시료 약 1 g을 취하여 도가니에 넣고 105±2℃ 송풍건조기에서 16시간 건조한 후 증량을 달아 계산하였다. 揮發分은 건조감량 측정 시 사용한 시료를 925±5℃ 회화로에 넣고 7분간 방치한 후 실온으로 냉각하여 그 증량으로부터 계산하였다. 회분은 휘발분 측정 후 시료를 800±10℃에서 1시간 동안 強熱하여 灰化하였으며 이 후 증량을 측정하여 회분을 계산하였다. 고정탄소는 수분, 휘발분, 회분함량을 제외한 값을 백분율로 하였다.



Special kiln (800-1,000℃) Improved kiln (600-800℃) Simple kiln (400-500℃)

Figure 1. Three kinds of carbonization kilns used for the preparation of bamboo charcoal.

## 2.4 비표면적 및 요오드 흡착

BET (Brunauer-Emmett-Teller) 비표면적은 자체 제작한 비표면적 측정장치<sup>(9)</sup>를 이용하여 질소흡착법으로 측정하였다. 비표면적은 흡착가스 질소 한 분자의 단면적을 0.162 nm<sup>2</sup>로 하여 BET식으로 계산하였다<sup>(10,11)</sup>. 요오드 흡착량은 건조시료 약 0.5 g을 100 ml 삼각플라스크에 넣고 0.1N 요오드용액 50 ml를 첨가하였다. 이후 25℃, 330 rpm 조건에서 15분간 진탕시킨 후 원심분리하여 0.1N Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 용액으로 적정하여 구하였다.

## 결과 및 고찰

### 3.1 죽탄의 탄화율, 경도 및 정련도

중국산 죽순대를 기계식 전용탄화로, 개량탄화로, 간이탄화로를 이용하여 제탄한 후 얻어진 이들 대나무 숯에 대해 다양한 이화학적 특성을 검토하였다. 이중 탄화율, 경도, 정련도 결과를 Table 1에 나타내었다. 탄화율은 産地와 죽령에 따라 다양한 경향을 나타내었으나, 탄화시의 온도가 증가함에 따라 탄화율이 다소 감소하는 경향을 나타내었다.

숯의 硬度는 목탄경도계에 의하여 1, 3, 5, 7, 12, 20의 6단계로 나누어진다. 각 탄화로에서 제탄한 국내산 대나무 숯은 전반적으로 중국산에 비하여 경도가 다소 높았으며, 특히 간이 및 개량 탄화로에서 제조

한 숯의 경도가 높게 나타났다. 이로부터 탄화온도가 상승함에 따라 숯이 단단해짐을 알 수 있다. 탄화율과 경도 측정 결과로부터 국내산 대나무 숯이 중국산 대나무 숯보다 치밀한 조직으로 이루어져 있는 것으로 생각되었다. 이러한 차이는 대나무 분포 지역에 따른 기후, 降水量 등의 환경적인 요인에 의한 차이로 생각되었다. 즉, 中國 杭州市는 경도 30도 부근에 위치하여 국내 대나무가 주로 분포한 남부지방 보다 5도 가량 적도에 근접해 있어 1월과 7월의 평균 기온이 각각 4.3℃, 27.6℃이며 국내 남부 지방 (제주도 제외)의 1월과 7월의 평균 기온 0.6℃, 25.0℃보다 기후적으로 온화한 조건 갖추고 있다. 또한 연평균 강수량이 1,482 mm로 남부지방의 1,233 mm보다 250 mm 정도가 높다. 따라서 中國 杭州市에서 入手한 대나무의 경우 온화한 기후 조건, 높은 강수량으로 인해 국내 남부 지방 대나무 보다 성장속도가 빨라 조직이 다소 치밀하지 못하여 대나무 숯의 경도가 낮게 나타난 것으로 생각되었다.

숯의 전기저항지수를 精練度라 하며 좋은 숯일수록 정련도가 낮고 전기를 잘 통하며 전기저항이 0에 가깝다. 정련계에 의하면 白炭은 정련도 0, 黑炭은 정련도 1-8, 未炭化 숯은 정련도 9 이상으로 구분된다<sup>(12)</sup>.

Table 1에 나타낸 것처럼 산지와 죽령에 따른 차이는 인정되지 않았으며 탄화온도가 높을수록 정련도가 낮아져 양질의 숯이 얻어짐을 알 수 있었다.

**Table 1. Physical properties of Chinese and Korean bamboo charcoal obtained from three kinds of carbonization kilns**

Habitat	Age (years)	Simple kiln (400 - 500℃)			Improved kiln (600 - 700℃)			Special kiln (800 - 1,000℃)		
		YBC (%)	H	RD	YBC (%)	H	RD	YBC (%)	H	RD
China	3	29.2	3	5	27.1	7	3	25.6	12	0
	5	30.1	3	5	26.5	7	3	23.5	12	0
	7	29.3	3	7	25.9	12	2	23.4	12	0
Korea	3	28.3	5	7	25.7	12	2	23.8	12	0
	5	29.0	5	7	25.3	12	2	25.0	12	0

Note: YBC: Yield of bamboo charcoal, H: Hardness, RD: Refining degree.

### 3.2 탄화로에 따른 대나무 숯의 특성

3종류의 탄화로에서 제조한 대나무 숯의 특성을 Table 2 - 4에 나타내었다. 일반적으로 숯의 pH는 이들 중에 함유되어 있는 알칼리 금속으로 인하여 알칼리성을 나타낸다<sup>(13)</sup>. 그러나 Table 2 - 4에 나타낸 것처럼 회분량과 pH간의 상관 관계는 비교적 낮게 나타났다. 이러한 결과는 1) 회분 중에 존재하는 무기 원소의 차이, 2) 대나무 숯 중의 휘발 성분에 의한 영향, 3) 아미노산과 같이 질소를 포함하는 성분이 탄화과정 동안에 고리화 반응을 통하여 도입되어 염기로서 작용한 경우 등에 기인하는 것으로 생각되었다. 또한, 대나무 숯 중에 포함된 대부분의 무기 원소는 규소와 칼륨으로 이 두 원소 중 규소는 물에 대한 용해도가 낮으며, 알칼리 용액 중에서도 서서히 용출되어 일부만이  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 을 형성한다. 따라서 무기 성분에 있어 pH의 영향은 주로 물과 격렬히 반응하여 쉽게 용해되는 칼륨의 함량에 따른 것으로 생각되었다.

고정탄소의 경우 전용 및 개량탄화로로부터 제조된 대나무 숯이 간이탄화로를 이용한 것 보다 높게 나타났다. 간이탄화로의 경우 전용 및 개량탄화로 보다 낮은 탄화온도임에도 불구하고 일반적인 대나무 숯의 고정탄소량인 79 - 82%보다<sup>(12)</sup> 높게 나타났다. 한편, 개량탄화로에서 제탄한 대나무 숯의 고정탄소는 국내산이 중국산보다 0.5 - 4.0%정도 높게 나타났다. 비표면적의 경우 전용탄화로에서는 213 - 417  $\text{m}^2/\text{g}$ 을 나타내었으며 국내산은 3, 5년생이 각각 417  $\text{m}^2/\text{g}$ , 213  $\text{m}^2/\text{g}$ 으로 3년생이 5년생보다 2배정도 높게 나타났다. 중국산의 경우 3, 5, 7년생이 각각 233  $\text{m}^2/\text{g}$ , 369  $\text{m}^2/\text{g}$ , 385  $\text{m}^2/\text{g}$ 으로 생육기간이 길어질수록 높은 표면적을 나타내었다. 이로부터 전용탄화로로 제조한 대나무 숯의 비표

면적은 생육지역과 그들의 생육기간에 의하여 큰 영향을 받는 것으로 생각되었다. 개량탄화로로 제조한 국내산 대나무 숯의 경우 320 - 397  $\text{m}^2/\text{g}$ , 중국산은 112 - 414  $\text{m}^2/\text{g}$ 을 나타내었다. 국내산 3년생과 중국산 7년생의 비표면적은 각각 397  $\text{m}^2/\text{g}$ 과 414  $\text{m}^2/\text{g}$ 으로 유사하였다. 한편, 개량탄화로에서 제조한 국내산 대나무 숯의 경우 3년생이 5년생보다 높은 비표면적을 나타내어 생육기간이 길어지면 오히려 비표면적이 낮아지는 경향을 나타내었다. 반면 중국산의 경우 3년, 5년, 7년생이 각각 112  $\text{m}^2/\text{g}$ , 224  $\text{m}^2/\text{g}$ , 414  $\text{m}^2/\text{g}$ 으로 생육기간이 길어짐에 따라 비표면적이 약 2배씩 증가하는 경향을 나타내었다. 간이 탄화로에서의 비표면적은 248 - 369  $\text{m}^2/\text{g}$ 의 범위를 나타내었으며 국내산의 경우 3, 5년생이 각각 327  $\text{m}^2/\text{g}$ 과 321  $\text{m}^2/\text{g}$ 으로 유사하였다. 이로부터 국내산의 경우 비표면적은 생육기간에 큰 영향을 받지 않는 것으로 생각되었다. 중국산의 경우 3, 5, 7년생이 각각 248  $\text{m}^2/\text{g}$ , 369  $\text{m}^2/\text{g}$ , 361  $\text{m}^2/\text{g}$ 을 나타내어 5년생 이상의 죽순대를 사용하면 360  $\text{m}^2/\text{g}$  정도의 높은 비표면적을 얻을 수 있을 것으로 생각되었다.

한편 고온의 전용탄화로에서 제조한 숯의 요오드 흡착량은 중국산 5년생을 제외하고 비표면적이 높음에도 불구하고 상당히 낮게 나타났다. 이러한 현상은 개량탄화로에서도 유사하였다. 그러나 간이탄화로에서는 모두 210이상의 높은 요오드 흡착량을 나타내었다. 일반적으로 목탄제조시 탄화온도가 600 - 700℃일 때 가장 높은 요오드 흡착량을 나타낸다고 보고<sup>(14)</sup>되었지만 본 연구에 사용한 대나무 숯의 경우 그 보다 낮은 온도에서도 높은 값을 나타내었다. 이러한 이유는 앞으로 세공분포 등의 검토를 통하여 보다 확실해질 것으로 생각되었다. 다만, BET 비표면적 측정법은

**Table 2. Properties of Chinese and Korean bamboo charcoal prepared from the special kiln (800 - 1,000 °C)**

Habitat	Age (years)	Moisture content (%)	Volatile matter (%)	Ash (%)	Fixed carbon (%)	pH	BET specific surface area (m <sup>2</sup> /g)	Iodine value (mg/g)
China	3	4.61	5.0	3.9	86.5	10.51	233	153
	5	5.75	4.8	3.7	85.8	10.33	369	269
	7	6.44	4.8	3.4	85.3	10.23	385	156
Korea	3	5.19	5.1	2.7	87.0	10.21	417	145
	5	6.95	5.6	3.4	84.1	10.35	213	112

**Table 3. Properties of Chinese and Korean bamboo charcoal prepared from the improved kiln (600 - 700 °C)**

Habitat	Age (years)	Moisture content (%)	Volatile matter (%)	Ash (%)	Fixed carbon (%)	pH	BET specific surface area (m <sup>2</sup> /g)	Iodine value (mg/g)
China	3	5.35	6.0	4.4	84.2	10.37	112	168
	5	6.17	5.9	5.2	82.7	10.14	224	149
	7	3.92	6.9	2.8	86.4	10.39	414	252
Korea	3	6.19	4.8	2.6	86.4	10.09	397	159
	5	4.78	5.6	2.9	86.8	10.40	320	181

**Table 4. Properties of Chinese and Korean bamboo charcoal prepared from the simple kiln (400 - 500 °C)**

Habitat	Age (years)	Moisture content (%)	Volatile matter (%)	Ash (%)	Fixed carbon (%)	pH	BET specific surface area (m <sup>2</sup> /g)	Iodine value (mg/g)
China	3	4.02	10.3	5.7	80.0	10.47	248	223
	5	2.55	10.5	2.7	84.2	10.41	369	289
	7	2.74	10.9	2.9	83.5	10.43	361	255
Korea	3	3.05	10.3	2.7	84.0	10.39	327	211
	5	2.62	10.3	2.6	84.5	10.32	321	231

질소 기체를 이용하는 반면 요오드 흡착법의 경우 요오드를 물에 용해하여 사용하므로 이들 분자 크기에 따른 흡착량의 차이가 예상되었다. 즉, 국내산 대나무 숯의 비표면적이 중국산에 비해 높다 하더라도 요오드 흡착량이 중국산 보다 낮게 나타난 것은 이 두 측정 방법에 사용된 분자의 크기(질소의 원자 반경이 0.70 Å 인 반면 요오드의 원자 반경은 1.33 Å 으로 질소 보다 약 2배정도 큼)에 의한 차이로 국내산 대나무 숯이 중국산 것에 비해 질소 분자들이 흡착될 수 있는 영역의 微細 공극이 많

이 분포하고 있기 때문인 것으로 생각되었다. 이러한 결과는 상기의 硬度에서 언급한 바와 같이 국내산 대나무 숯이 중국산 보다 조직적으로 치밀하기 때문에 탄화 시 微細孔이 더 발달한 것으로 생각되었다.

간이탄화로에서 제조한 숯의 경우 Table 4에 나타난 것처럼 揮發分이 10.3 - 10.9%로 전용탄화로 및 개량탄화로로 제조한 것보다 2배나 높게 나타났다. 이러한 이유는 간이탄화로의 경우 탄화온도가 낮으므로 탄화중 이들 휘발분의 제거가 충분하지 못했기 때문으로 생각되었다.

## 결 론

탄화온도조건이 다른 탄화로에서 중국산 죽순대를 제탄하여 얻은 대나무 숯의 이화학적 특성을 국내산과 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 중국산 죽순대 대나무 숯의 경도는 국내산보다 다소 낮았다.
  - 2) 전용탄화로에서 제조한 중국산 대나무 숯의 고정탄소는 죽령이 증가함에 따라 감소하는 경향이었으나, 비표면적은 죽령에 따라 증가하였다. 요오드 흡착량은 5년생이 가장 높게 나타났다.
  - 3) 개량탄화로에서 제조한 중국산 대나무 숯의 경우 고정탄소, 비표면적 및 요오드 흡착량에 있어 7년생이 가장 높게 나타났다.
  - 4) 간이탄화로에서 제조한 중국산 대나무 숯의 경우 휘발분이 10.3 - 10.9%로 개량 및 전용탄화로 보다 약 2배 높음에도 불구하고 80%이상의 높은 고정탄소 값을 나타내었다. 비표면적의 경우 5년생과 7년생이 약 360 m<sup>2</sup>/g이상의 높은 비표면적을 나타내었으며 요오드 흡착량은 5년생이 가장 높게 나타났다.
  - 5) 탄화로에 관계없이 3, 5년생의 중국산 죽순대로 제조한 대나무 숯은 동일 죽령의 국산 죽순대로 부터 제조한 대나무 숯 보다 물리적 성질이 비교적 좋지 않았다. 이것은 중국산 죽순대의 생육환경 조건이 국내산보다 양호하여 동일죽령의 국내산보다 조직구조가 덜 치밀하기 때문으로 생각되었다.
2. 박상범 외 5인. 1997. 대나무 신용도 개발 (I) -대나무 숯 제조기술 개발-. 산림과학논문집 56: 70-81.
  3. 박상범, 권수덕. 1998. 대나무 신용도 개발 (II) -대나무 숯 제조용 탄화로 개발 및 제탄 스케줄 구명-. 산림과학논문집 59: 17-24.
  4. 박상범, 권수덕, 안경모. 1998. 대나무 신용도 개발 (III) -대나무 숯의 일반적 성질에 관한 연구-. 산림과학논문집 59: 25-35.
  5. 박상범, 권수덕. 2001. 대나무 신용도 개발 (IV) -대나무 숯의 흡착성능-. 산림과학논문집 64: 101-107.
  6. 박상범, 권수덕. 2001. 대나무 신용도 개발 (V) -대나무 숯의 특수성능-. 산림과학논문집 64: 108-114.
  7. 박상범, 권수덕, 김영, 구자운. 2002. 대나무 신용도 개발 (VI) -죽초액 회수장치 개발 및 그 성능-. 산림과학논문집 65: 87-96.
  8. 강제윤. 1999. 숯이 사람을 살린다. 지성문화사 p. 57-95.
  9. 문성필, 황의도. 2002. 소나무 수피로부터 수증기 활성화에 의한 활성탄 제조. 임산에너지 21(2): 7-24.
  10. 김규성. 1988. 질소흡착법에 의한 활성탄의 세공구조 측정. 전남대학교 석사학위논문.
  11. 전학제. 1992. 촉매개론, 도서출판한림원 p. 14-56.
  12. 이계시마 요우겐. 박상범 역. 1999. 대나무 숯 · 죽초액의 제조법과 이용법. 한림저널사(1쇄) p. 32-34, 82.
  13. 김광은, 박상범, 안경모. 1998. 숯과 목초액 -기능과 제조이용법-. 한림저널사 p. 114.
  14. 안학수. 1999. 숯, 활성탄 · 열초액의 불가사의. 도서출판 p. 27.

## 참 고 문 헌

1. 구창섭, 문성필, 박상범, 권수덕. 2002. 3종류의 탄화로에서 얻어진 죽초액의 특성. 목재공학 30(4): 87-95.