

전통식 탄화로에서 제탄된 목탄의 해부학적 특성¹

황원중², 권구중², 이성재³, 박형수⁴, 김남훈²

Anatomical Characteristics of Charcoals Carbonized in a Korean Traditional Kiln¹

Won-Joong Hwang², Goo-Joong Kwon², Sung-Jae Lee³,
Hyung-Su Park⁴ and Nam-Hun Kim²

요 약

본 연구에서는 굴참나무(*Quercus variabilis* BLUME), 신갈나무(*Quercus mongolica* FISCH.), 물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla* HANCE), 벚나무(*Prunus sargentii* REHDER)재의 목재와 전통식 탄화로에서 생산된 백탄 및 흑탄의 조직구조를 주사전자현미경으로 관찰하여 상호 비교하였다. 목탄의 구성 요소는 목재에 비해 치수가 크게 감소되었고, 도관은 접선방향 직경이 감소되어 타원형을 나타냈다. 따라서 목탄의 제조과정 중 탄재량에 비해 목탄의 수율이 크게 감소하는 것은 목재성분의 일부 손실뿐만 아니라 구성세포 치수가 감소하기 때문으로 생각되었다.

ABSTRACT

A comparative study on the structure of wood and charcoals was examined by scanning electron microscopy. Four species as *Quercus variabilis* BLUME, *Quercus mongolica* FISCH., *Fraxinus rhynchophylla* HANCE and *Prunus sargentii* REHDER were used for this experiment. Cell dimensions of charcoals showed more higher shrinkage than those of wood. Shape of vessels was slightly changed due to become smaller in tangential diameter. Therefore, it was considered that the decrease of charcoal yield was caused by decrease of cell dimensions as well as loss of wood components.

Keywords : white charcoal, black charcoal, cell dimension, shrinkage, charcoal yield

1. 접수 2002년 5월 28일 Received on May 28, 2002

본 연구는 2001년도 산림청 지원 임업특정연구과제로 수행되었음

2. 강원대학교 산림과학대학 College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

3. 강원도 산림개발연구원 Forest Research Institute, Chunchon 200-939, Korea

4. 강원목탄 Kangwon Charcoal Co., Hongchon 250-815, Kangwon-Do, Korea

서 론

우리나라에서는 약 1500년 전부터 본격적으로 목탄(숯, Charcoal)을 이용한 것으로 추정된다¹⁾. 추운 겨울에는 숯을 화로에 담아 방안에 온기를 주는 난방의 형태로, 의복의 주름을 펼 때 숯의 뜨거운 열을 이용하여 숯다리미로 이용하였다. 또한 예로부터 숯은 나쁜 악취와 귀신을 쫓는 힘이 있다고 믿어 금줄에 숯을 꽂았고, 우물물 정화, 간장, 된장은 물론 동치미를 담글때에도 숯을 넣어서 맛있는 발효를 유도하고 산패를 방지해왔다. 현재, 목탄은 농업용, 공업용 및 일상생활 등에 널리 이용되고 있는 임산연료이고, 국민의 생활수준이 향상되면서 환경문제와 건강에 관한 관심이 높아짐에 따라 목탄의 수요는 앞으로 더 증가할 것으로 기대된다.

국내의 목탄은 탄화과정과 소화방식에 따라 크게 흑탄(黑炭)과 백탄(白炭)으로 구분할 수 있으며, 전자는 주로 토양개량제로, 후자는 산업용과 공예용 등 광범위하게 이용되고 있다. 흑탄은 600~800℃ 정도에서 제조되며 착화되기 쉬운 반면, 백탄은 약 1000℃에서 제탄되며 착화되기는 어려우나 착화되면 화력이 높고 오랫동안 유지되는 특성이 있다. 흑탄은 우리나라 전체 생산량의 약 75%가 충북지역에서 생산되고 있으며, 백탄은 전체 생산량의 90%정도가 강원도 지역에서 생산되고 있다⁴⁾. 그러나 현재 목탄공장에서는 구전으로 전해지는 제탄기술과 경험에 의한 기술로 제탄과정을 수행하고 있어 제탄시 마다, 제탄가마 마다 제조되는 목탄의 품질과 수율의 변화폭이 크다.

따라서 본 연구에서는 목탄 제조공정에 미치는 공정변수의 영향을 조사·검토하여 저비용으로 고수율, 고품질의 목탄을 균일하게 생산할 수 있는 공정을 체계화 및 자동화하기 위하여, 우선 전통식 탄화로에서 제탄된 목탄의 구조를 주사전자현미경으로 관찰하여 목재와 비교하였다.

재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에서는 강원목탄에서 분양받은 굴참나무(*Quercus variabilis* BLUME), 신갈나무(*Quercus mongolica* FISCH.), 물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla* HANCE), 뽕나무(*Prunus sargentii* REHDER)재의 목재, 백탄 및 흑탄을 재료로 사용하였다. 백탄은 제탄온도가 약 1000℃, 총제탄시간이 120 ~ 150시간이었고, 흑탄은 제탄온도가 600 ~ 700℃, 총제탄시간이 330 ~ 360시간이었다.

2.2 탄재와 전통식 탄화로에서 제조된

목탄의 해부학적 특성 해석

목재, 백탄 및 흑탄의 구성세포 관찰 및 사진촬영은 강원대학교 공동실험실습관에 설치되어 있는 주사전자현미경(JEOL, JMS-5410)으로 20kV의 가속 전압하에서 실시하였다. 목재, 백탄 및 흑탄의 조·만재부 도관, 직경과 목섬유의 직경은 주사전자현미경으로 촬영한 횡단면 사진에서, 방사유세포의 길이와 높이는 방사단면 사진에서 측정하였다. 방향별 치수는 각각 10개씩 측정하여 평균치를 사용하였다.

결과 및 고찰

3.1 목재, 백탄 및 흑탄의 횡단면 구조

굴참나무, 신갈나무, 물푸레나무와 뽕나무 목재, 백탄 및 흑탄의 횡단면을 주사전자현미경으로 관찰한 사진은 Fig. 1 ~ 4에 보여주었다. 목재를 목탄으로 제조시, 환공재의 도관 형태는 접선방향으로 수축하여 방사방향으로 긴 타원형을 나타냈으나 다른 구성세포들의 형태와 구조의 변형은 보여지지 않았다. 산공

재인 벚나무에서도 도관의 구성세포에서 형태와 구조의 변형은 나타나지 않았으며, 치수의 감소가 나타났다.

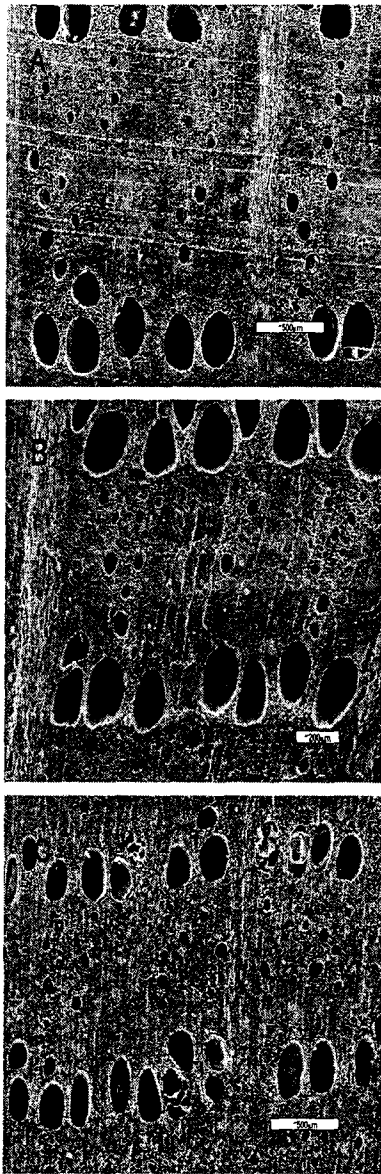


Fig. 1 Cross sections of wood(A), black(B) and white(C) charcoals in *Q. variabilis*.

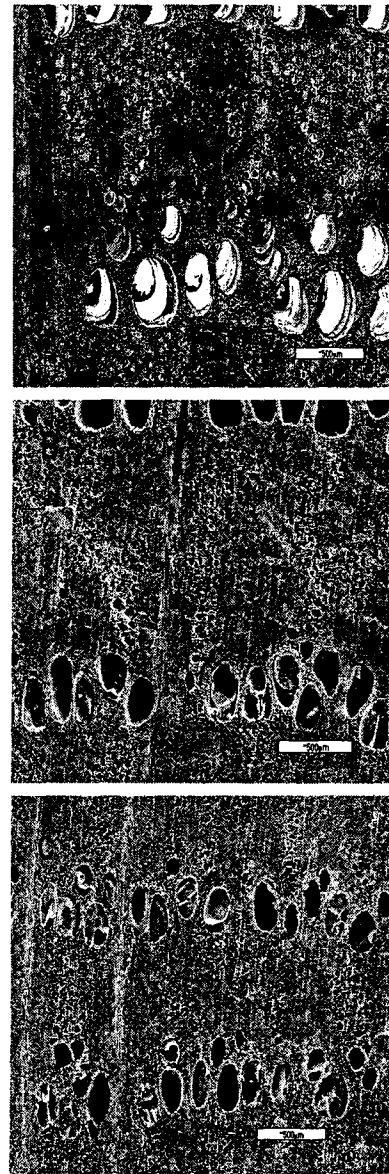


Fig. 2 Cross sections of wood(A), black(B) and white(C) charcoals in *Q. mongolica*.

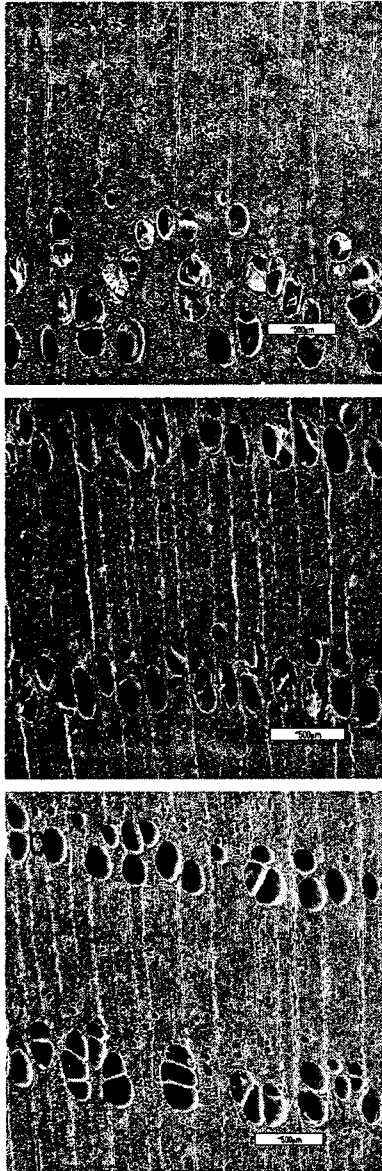


Fig. 3 Cross sections of wood(A), black(B) and white(C) charcoals in *F. rhynchophylla*.

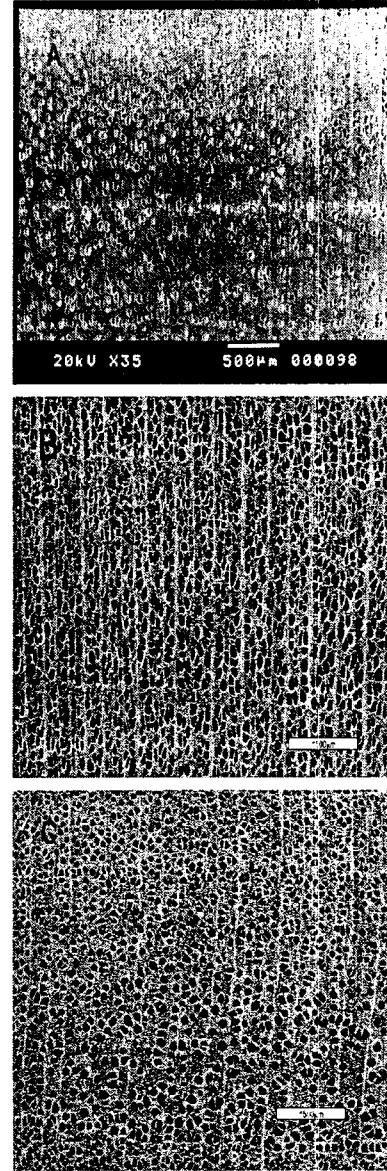


Fig. 4 Cross sections of wood(A), black(B) and white(C) charcoals in *P. sargentii*.

3.2 목재, 백탄 및 흑탄의 해부학적 특성 비교

Table 1과 2는 목재와 목탄의 구성세포 치수를 측정된 결과를 나타낸 것이다.

3.2.1 굴참나무

목재의 조재부 도관 직경은 방사방향 $297 \pm 45 \mu\text{m}$, 접선방향 $235 \pm 16 \mu\text{m}$, 백탄은 각각 $247 \pm 17 \mu\text{m}$, $143 \pm 16 \mu\text{m}$, 흑탄은 각각 $225 \pm 16 \mu\text{m}$, $159 \pm 20 \mu\text{m}$ 로서 목탄 제조시 양방향 모두 크게 수축되었다. 만재부 도관 직경은 목재가 방사방향 $78 \pm 11 \mu\text{m}$, 접선방향 $64 \pm 13 \mu\text{m}$, 백탄이 각각 $45 \pm 10 \mu\text{m}$, $40 \pm 9 \mu\text{m}$, 흑탄이 각각 $54 \pm 11 \mu\text{m}$, $40 \pm 7 \mu\text{m}$ 로서 백탄이 더 많이 감소되었다. 목섬유의 직경은 목재가 방사방향 $15 \pm 1 \mu\text{m}$, 접선방향 $13 \pm 1 \mu\text{m}$, 백탄이 각각 $11 \pm 1 \mu\text{m}$, $9 \pm 1 \mu\text{m}$, 흑탄이 각각 $12 \pm 1 \mu\text{m}$, $10 \pm 1 \mu\text{m}$ 로서 목재에 비해 백탄 제조시 약 27%, 흑탄 22%정도가 수축되었다. 목재의 방사유세포 높이는 $25 \pm 2 \mu\text{m}$, 길이 $74 \pm 13 \mu\text{m}$ 였으며, 백탄은 각각 $18 \pm 1 \mu\text{m}$, $46 \pm 5 \mu\text{m}$ 였고, 흑탄은 각각 $19 \pm 1 \mu\text{m}$, $46 \pm 8 \mu\text{m}$ 로서 목탄의 방사유세포 높이는 목재에 비해 21-28%정도, 길이는 38%정도 수축하였다.

3.2.2 신갈나무

목재의 조재부 도관 직경은 방사방향 $333 \pm 35 \mu\text{m}$, 접선방향 $251 \pm 38 \mu\text{m}$ 였으며, 백탄은 각각 $248 \pm 18 \mu\text{m}$, $175 \pm 31 \mu\text{m}$ 였고, 흑탄은 각각 $259 \pm 35 \mu\text{m}$, $178 \pm 22 \mu\text{m}$ 였다. 목재의 만재부 도관 직경은 방사방향 $38 \pm 6 \mu\text{m}$, 접선방향 $34 \pm 5 \mu\text{m}$ 이고, 백탄은 각각 $28 \pm 3 \mu\text{m}$, $27 \pm 3 \mu\text{m}$ 였으며, 흑탄은 각각 $30 \pm 5 \mu\text{m}$, $32 \pm 3 \mu\text{m}$ 로 나타났다. 신갈나무의 조·만재부 도관직경은 백탄 제조시 큰 수축률을 보여주었다. 목섬유의 직경은 목재가 방사방향 $19 \pm 2 \mu\text{m}$, 접선방향 $17 \pm 1 \mu\text{m}$, 백탄이 각각 $8 \pm 1 \mu\text{m}$, $9 \pm 1 \mu\text{m}$, 흑탄이 각각 $13 \pm 2 \mu\text{m}$, $10 \pm 1 \mu\text{m}$ 로서 백탄 제조시 목재에 비해 약 50%, 흑탄 제조시 35%정도 감소되었다. 목재의 방사유세포의 높이는 $21 \pm 1 \mu\text{m}$, 길이 $86 \pm 22 \mu\text{m}$ 였으며, 백탄은 각각 $15 \pm 1 \mu\text{m}$, $64 \pm 11 \mu\text{m}$, 흑탄

은 각각 $20 \pm 2 \mu\text{m}$, $41 \pm 7 \mu\text{m}$ 로 방사유세포의 높이는 백탄 제조시 약 30%, 길이는 흑탄 제조시 52%정도 수축되었다.

3.2.3 물푸레나무

물푸레나무의 조재부 도관 직경은 방사방향 $227 \pm 25 \mu\text{m}$, 접선방향 $195 \pm 14 \mu\text{m}$ 였으며, 백탄은 각각 $158 \pm 19 \mu\text{m}$, $132 \pm 16 \mu\text{m}$, 흑탄은 각각 $228 \pm 27 \mu\text{m}$, $145 \pm 18 \mu\text{m}$ 였다. 백탄은 양방향으로 30%정도, 흑탄은 접선방향으로 약 26%가 감소되었다. 목재의 만재부 도관 직경은 방사방향 $33 \pm 6 \mu\text{m}$, 접선방향 $33 \pm 5 \mu\text{m}$ 였고, 백탄은 각각 $28 \pm 3 \mu\text{m}$, $35 \pm 5 \mu\text{m}$, 흑탄은 각각 $32 \pm 6 \mu\text{m}$, $36 \pm 4 \mu\text{m}$ 로서 목재와 목탄의 차이가 거의 없었다. 목재의 목섬유 직경은 방사방향 $15 \pm 3 \mu\text{m}$, 접선방향 $15 \pm 2 \mu\text{m}$, 백탄이 각각 $12 \pm 1 \mu\text{m}$, $12 \pm 1 \mu\text{m}$, 흑탄이 각각 $13 \pm 2 \mu\text{m}$, $15 \pm 2 \mu\text{m}$ 로서 백탄은 목재에 비해 약 21% 수축되어 흑탄보다 다소 높은 수축률을 보여주었다. 목재의 방사유세포는 높이가 $22 \pm 4 \mu\text{m}$, 길이가 $107 \pm 23 \mu\text{m}$ 였다. 백탄은 각각 $19 \pm 2 \mu\text{m}$, $60 \pm 14 \mu\text{m}$ 였고, 흑탄은 각각 $21 \pm 1 \mu\text{m}$, $76 \pm 21 \mu\text{m}$ 로서 백탄의 수축이 크게 나타났다.

3.2.4 뽕나무

뽕나무의 조재부 도관 직경은 방사방향 $75 \pm 9 \mu\text{m}$, 접선방향 $62 \pm 7 \mu\text{m}$ 였으며, 백탄은 각각 $45 \pm 7 \mu\text{m}$, $51 \pm 5 \mu\text{m}$ 였고, 흑탄은 각각 $72 \pm 8 \mu\text{m}$, $49 \pm 6 \mu\text{m}$ 로 나타났다. 백탄은 양방향으로 크게 수축되었고, 흑탄은 접선방향으로 많이 수축되었다. 만재부 도관 직경은 방사방향 $52 \pm 6 \mu\text{m}$, 접선방향 $48 \pm 4 \mu\text{m}$ 였으나, 백탄은 각각 $45 \pm 5 \mu\text{m}$, $50 \pm 2 \mu\text{m}$ 였고, 흑탄은 각각 $49 \pm 7 \mu\text{m}$, $36 \pm 5 \mu\text{m}$ 로서 백탄이 방사방향으로 약 15%, 흑탄이 접선방향으로 25%정도의 치수감소를 보여주었다. 목재의 목섬유 직경은 방사방향 $13 \pm 1 \mu\text{m}$, 접선방향 $15 \pm 2 \mu\text{m}$, 백탄이 각각 $13 \pm 2 \mu\text{m}$, $14 \pm 1 \mu\text{m}$, 흑탄이 각각 $14 \pm 3 \mu\text{m}$, $9 \pm 1 \mu\text{m}$ 로서 목탄 제조시 다소 차이가 있었다. 목재의 방사유세포는 높이가 $17 \pm 3 \mu\text{m}$, 길이 $61 \pm 8 \mu\text{m}$ 였으며, 백탄은 각각

19±2 μ m, 26±4 μ m, 흑탄은 각각 22±2 μ m, 48±8 μ m로 나타났다. 방사유세포의 높이는 백탄과 흑탄 모두 목재보다 다소 증가되었지만, 길이는 백탄이 약 56%, 흑탄이 21%정도로 크게 감소되었다.

본 실험 결과, 굴참나무와 신갈나무 목탄의 조·만재부 도관 및 목섬유 직경은 큰 수축률을 보여주었고 백탄이 흑탄보다 그 경향이 컸다. 그러나 물푸레나무와 벗나무 부탄의 구성요소 치수는 방향과 목탄의 종류에 따라 다소

Table 1. Cell dimensions of wood and charcoals.

		<i>Q. variabilis</i>		<i>Q. mongolica</i>		<i>F. rhynchophylla</i>		<i>P. sargentii</i>	
		R	T	R	T	R	T	R	T
		Vessel diameter in earlywood (μ m)	Wood	297.20 ±44.6	234.48 ±16.7	333.04 ±34.5	251.31 ±37.7	227.27 ±25.2	194.49 ±13.8
	White charcoal	246.90 ±17.3	143.10 ±15.9	248.25 ±17.8	174.61 ±30.7	158.23 ±18.9	132.31 ±16.1	45.15 ±7.1	51.31 ±5.3
	Black charcoal	224.68 ±16.3	159.24 ±20.4	259.09 ±34.9	177.84 ±21.6	227.46 ±26.6	144.89 ±17.9	71.67 ±8.4	49.13 ±6.2
Vessel diameter in latewood (μ m)	Wood	77.81 ±10.7	63.77 ±12.6	37.45 ±6.1	34.38 ±4.8	33.33 ±5.8	32.87 ±5.4	52.40 ±5.5	48.03 ±4.0
	White charcoal	45.23 ±10.2	39.88 ±8.7	27.69 ±2.7	26.54 ±3.3	27.59 ±3.1	35.19 ±5.2	44.52 ±4.5	49.51 ±2.0
	Black charcoal	53.80 ±11.3	40.00 ±7.3	29.69 ±4.6	31.79 ±2.7	31.66 ±5.7	35.59 ±3.6	48.47 ±6.9	35.95 ±4.5
Fiber diameter (μ m)	Wood	15.03 ±1.0	12.74 ±0.8	18.46 ±2.2	16.64 ±1.3	15.17 ±2.6	15.37 ±1.8	13.29 ±1.1	14.78 ±1.9
	White charcoal	11.08 ±1.1	9.17 ±1.4	8.38 ±1.0	8.83 ±1.4	12.20 ±1.0	11.80 ±1.2	13.19 ±1.9	14.09 ±1.2
	Black charcoal	12.06 ±1.5	9.66 ±1.5	12.51 ±1.5	10.12 ±1.2	12.96 ±1.5	14.45 ±1.7	13.67 ±2.5	9.19 ±1.2

Note R : radial direction, T : tangential direction

Table 2. Dimension of ray parenchyma cell on radial section of wood and charcoals.

ray parenchyma cell (μ m)	<i>Q. variabilis</i>		<i>Q. mongolica</i>		<i>F. rhynchophylla</i>		<i>P. sargentii</i>	
	length	height	length	height	length	height	length	height
	Wood	73.75 ±13.0	24.51 ±1.7	85.94 ±21.8	21.29 ±1.1	106.69 ±22.8	22.43 ±3.5	60.52 ±7.6
White charcoal	45.95 ±5.2	17.65 ±0.9	64.13 ±11.0	14.84 ±1.3	60.20 ±13.9	19.28 ±1.8	26.40 ±4.4	19.18 ±1.7
Black charcoal	45.48 ±8.1	19.38 ±1.4	40.92 ±7.0	20.15 ±1.5	76.43 ±20.6	20.51 ±1.3	47.97 ±8.3	22.08 ±1.8

수축의 차이가 있었다. 즉, 만재부 도관 및 목 섬유 직경은 목재의 그것과 거의 변화가 없는 값을 보여주었다. 이러한 결과는 기보⁵⁾에서 보고한바 있다. 따라서 목탄의 수탄율과 관련한 수종별 목탄 구성요소의 치수변화는 앞으로 더욱 상세한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

현재까지 목탄제조과정에서 목재에 대한 목탄의 수축율에 관한 보고는 많지 않다. 岸本⁶⁾은 700℃에서 제조된 목탄이 접선방향으로 36.5%, 방사방향으로 29.8%, 섬유방향 19.0% 정도, 1000℃에서 제탄된 목탄이 접선방향으로 41.3%, 방사방향으로 32.1%, 섬유방향 22.3%정도 수축한다고 보고하였다. Slocum⁷⁾은 300℃에서 제조된 목탄의 수축률을 접선방향 58%, 방사방향 44%, 섬유방향 24%정도라고 보고하였다. 또한, 수축율의 개념과 비슷한 수탄율도 측정되고 있으며, 임업연구원³⁾은 흑탄의 수탄율을 15 ~ 20%정도, 백탄의 수탄율을 10 ~ 14%정도로 보고하였고, 김 등²⁾은 전통식 탄화로에서 제조된 백탄의 수탄율을 10 ~ 12% 정도로 보고하였다. 따라서 본 연구에서 얻어진 결과와 같이 목탄 제조시 구성요소 치수의 감소는 목탄의 수탄율이 낮아지는 직접적인 원인의 하나로 생각되었다.

결 론

전통식 탄화로에서 생산된 목탄의 구조를 주사전자현미경으로 관찰하여 목재와 비교하였다. 목재는 백탄과 흑탄으로 제조시 굴참나무와 신갈나무의 구성세포 치수가 크게 감소되었고, 물푸레나무와 뽕나무의 구성세포는 방향에 따라 다소 차이가 있지만 전체적으로 수축되었다. 목탄 구성요소의 치수는 목재에 비해 크게 감소되었고, 도관 형태는 다소 타원형으로 변화되었다. 따라서 목탄의 제조과정 중 목재성분의 일부 손실뿐만 아니라 구성세포의 치수가 감소하여 탄재량에 비해 목탄

의 수율이 크게 떨어지는 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 구자운. 2000. 숲의 역사. 산림조합중앙회. 산림 6: 44-47.
2. 김남훈, 권구중, 황원중, 이성재, 박형수. 2001. 전통식 탄화로의 공정변수 조절에 의한 고효율 제조공정 개발(I)-탄화로 내부의 온도 변화-. 한국목재공학회 2001학술발표논문집. 491-495.
3. 임업연구원. 1998. 목질탄화물(숯과 목초액)의 농업 및 환경적 이용. 임업연구원 연구자료 제 144호. 11-39.
4. 임업연구원. 2000. 임업경제동향연차보고서. 임업연구원 연구자료 제 167호. 155-158.
5. 황원중, 은동진, 박지혜, 박형수, 이성재, 김남훈. 2001. 전통식 탄화로에서 제탄된 목탄의 특성II. 한국목재공학회 2001추계학술발표논문집. 272-276.
6. 岸本定吉. 1990. 木炭と木酢液の新用途開發研究成果集. -炭化技術-. 木材炭化成分多用途利用技術研究組合. 9-26.
7. Slocum, D. H., E. A. McGinnes and Jr., F. C. Beall. 1978. Charcoal Yield, Shrinkage, and Density Changes During Carbonization of Oak and Hickory Woods. Wood Science 11(1): 42-47.