

탄화온도에 따른 목탄 특성 및 표면의 FT-IR 변화*1

이 오 규*2 · 조 태 수*2† · 최 준 원*2

Changes in Properties and Surface FT-IR Spectra of Wood Charcoal at Different Carbonization Temperatures*1

Oh-Kyu Lee*2 · Tae-Su Jo*2† · Joon-Weon Choi*2

요 약

탄화온도에 따른 목탄의 pH, 원소함량비와 목탄 표면의 FT-IR 변화를 분석하기 위하여 잣나무 목탄이 사용되었다. 300, 400°C의 탄화온도에서 제조된 잣나무 목탄의 pH는 각각 5.27, 6.80로 측정된 반면, 500~900°C에서 제조된 시료의 pH는 크게 높아져 9.25~10.35로 나타났다. 탄화 온도의 차이에 따른 목탄의 원소 조성비 변화에 있어서는, 고온 탄화 목탄일수록 C 함유율이 높아지고 상대적으로 O, H의 함유율은 낮아졌다. 가장 큰 원소 조성비 변화 폭은 400와 500°C의 탄화 온도에서 측정되었다. 300, 400°C에서 제조된 목탄의 C, O, H 원소함량비는 각각 67.7, 28.9, 3.0%와 72.2, 24.9, 2.5%로 측정된 반면, 500~900°C 사이에서 제조된 목탄의 C, O, H 함량비는 각각 83.3~90.5%, 13.6~9.0%, 2.7~0.3% 사이로 나타났다. FT-IR에 의한 목탄 표면 관능기 분석은 탄화 전 목분과 각각 300~900°C 사이의 온도에서 제조된 목탄의 IR-스펙트럼 비교로 이루어졌다. 300와 400°C에서 탄화된 목탄의 표면에는 Lactone, Lactol, Carboxylic acid, Carboxylic anhydride 등의 산성 관능기들을 많이 포함하는 것으로 유추되는 반면, 500°C 이상의 온도에서 탄화된 목탄의 경우에는 Pyrone 계통의 관능기를 많이 포함하는 것으로 판단된다.

ABSTRACT

To analyze the changes in pH and elemental content ratio of wood charcoal and in FT-IR spectra of their surfaces, wood charcoals carbonized from *Pinus koraiensis* were used. pHs of wood charcoals carbonized from *Pinus koraiensis* at 300 and 400°C were 5.27 and 6.80, respectively,

* 1 접수 2007년 6월 1일, 채택 2007년 6월 18일

* 2 국립산림과학원 화학미생물과, Div. of Wood Chemistry & Microbiology, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

† 주저자(corresponding author) : 조태수(e-mail: tscho@foa.go.kr)

whereas they were between 9.25~10.35 for the wood charcoals manufactured between 500~900°C. From the changes in the elemental ratios of *Pinus koraiensis* wood charcoal by increasing carbonization temperature, carbon (C) contents increased by elevating the carbonization temperature with the decreasing in content ratios of O and H. The largest changes in the ratio was found between the carbonization temperature 400 and 500°C. Ratios of C, O, H of the wood charcoal manufactured at 300 and 400°C were 67.7, 28.9, 3.0% and 72.2, 24.9, 2.5%, respectively, while those at 500~900°C were between 83.3~90.5, 13.6~9.0, 2.7~0.3%. The surface functional groups of *Pinus koraiensis* wood charcoals were determined by comparison of FT-IR spectra of the wood powder and the wood charcoal carbonized with the wood powder. The functional groups on the surface of wood charcoals carbonized at 300 and 400°C were considered to be acidic groups like Lactone, Lactol, Carboxylic acid, Carboxylic anhydride, whereas Pyrone types could be the major functional groups for the wood charcoals carbonized between 500 and 900°C.

Keywords: wood charcoal, pH, elemental content ratio, surface properties, FT-IR, *Pinus koraiensis*

1. 서 론

최초로 알려진 목탄의 역사는, B.C 3750년경 이집트인과 수메르인에 의해서 청동의 생산 과정 중 금속을 환원시키기 위해 사용되었다는 것으로 시작되며, 이후 18세기부터는 목탄이 흡착제로 사용되기 시작하였고, 19세기 이후부터 목탄의 다양한 흡착 효과와 표면 기공에 대한 연구가 끊임없이 진행되어 오고 있다(Derbyshire *et al.*, 1995).

목탄 표면의 물리적 성질은 탄화과정 중에 형성된다고 알려진 미세 공극에 의한 다공성에 기인한다고 (Sjostrom, 1993) 알려져 있고, 목탄 표면의 화학적 성질은 표면에 존재하는 관능기에 의해 좌우된다고 알려져 있다. Boehm (2002)은 카본블랙(Carbon black)과 기타 탄화 물질의 표면은 에스터(Ester)기나 에놀(Enol)기 등을 포함하는 산성 관능기와, 벤젠 고리 연결형 방향족 화합물에 산소원자나 케톤(Ketone)기가 포함된 파이론(Pyron) 형태의 염기성 관능기가 존재한다고 하였다. 목재와 같은 리그노셀룰로스가 탄화된 물질은 이중원소들로 구성된 표면을 갖고 있는데, 이들의 화학흡착성은 표면에 결합된 산소원자들의 결합 형태에 의해 큰 영향을 받는다(Boehm, 2002). 산소 원자들의 결합형태는, 목재 탄화 과정 중 일어나는 탈수화(Dehydration) 과정, C-O, C=O, C-C 결합의 분리 과정, 재 고분자

결합(Re-polymerization) 과정을 통해 변화하며 이 진행 과정은 탄화온도에 큰 영향을 받는다(Christner & Walker, 1993). 탄화 온도 상승에 따른 목탄 표면의 관능기 변화는 목탄의 pH 변화 등으로 나타나는데, 조 등(2005; 2006)은 탄화 온도가 높을수록 목탄의 pH가 상승한다고 보고하였다. 이러한 목탄 표면 관능기 변화에 대한 더 정확한 정보를 확보하면 다양한 기능을 가진 목탄을 목적하고자 하는 용도로의 사용이 용이할 것이다.

탄화 물질 표면의 관능기를 분석에 관한 연구는 주로 활성화 처리 탄이나 카본블랙 등을 대상으로 이루어져 왔고, 목탄을 대상으로 한 연구는 그리 많지 않을 뿐 아니라 국내 수종으로 제조한 목탄 표면 관능기에 대한 상세한 연구는 이루어지지 않았다. 본 연구에서는, 탄화 온도 변화에 따른 국내 자생 잣나무 목탄의 pH, 원소함량비 및 표면 특성을 FT-IR 등을 이용하여 분석하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

잣나무(*Pinus koraiensis*)목부를 분쇄한 후 60~100 mesh로 정선하여 기건한 목분을 실험용 탄화로

(제일과학 제작, 최고 허용 온도 1000°C)를 이용하여 각각 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900°C에서 탄화하였다. 목분의 탄화스케줄 구성은, 탄 시료를 각 목표온도보다 20°C 낮은 온도까지 3°C/분의 비율로 승온시키는 1단계, 나머지 20°C는 2°C/분의 비율로 승온시키는 2단계, 목표온도에 도달시킨 후 1시간 동안 최종온도에서 유지시키는 3단계 과정으로 하였다. 3단계 과정을 거친 시료들은 탄화로 문을 닫아놓은 채로 약 18시간 동안 자연적으로 냉각시킨 후 꺼내, 고온의 시료가 공기 중 산소에 의해 추가적으로 산화되는 것을 방지하였다. 전 탄화과정 중 인위적인 불활성가스 공급은 없었다. 탄화 전 목분은 FT-IR분석 시료로도 사용되었다.

2.2. pH 측정

탄화시료 2 g을 증류수 50 ml와 함께 100 ml 삼각 플라스크에 넣고 20°C에서 100회/분의 진동속도로 조정된 수조 진탕기 내에서 1시간 진탕 후, 3000 rpm의 속도로 20분간 원심분리하여 그 상등액의 pH를 Orion 710A pH Meter (Thermo Electron, USA)로 측정하였다. 측정 pH 값은 3반복 측정치의 평균으로 하였다.

2.3. 원소분석

목탄의 원소조성비는, 목탄시료 2.0 mg을 원소분석기 모델 Flash EA 1112 (CE Instruments, UK)를 이용하여 분석하였다. 원소분석을 위한 표준물질은 Acetanilide (C: 71.09%, H: 6.71%, O: 11.84%, N: 10.36%, Thermo Electron, USA)였다. 측정 원소조성비 값은 3반복 측정치의 평균으로 하였다.

2.4. FT-IR 분석

공시 잣나무 목분과 목탄을 KBr을 이용해 펠렛을 만들어, NEXUS (Thermo Nicolet, Madison, USA) FT-IR 기기로 측정하였다.

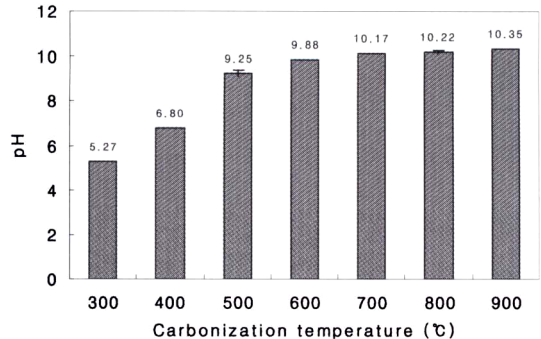


Fig. 1. pHs of the wood charcoal carbonized at different temperature.

3. 결과 및 고찰

3.1. 탄화온도별 잣나무 목탄의 pH

탄화온도별 잣나무 목탄의 pH값은 Fig. 1에 나타나 있다. 300°C나 400°C와 같이 낮은 탄화온도에서 조제된 목탄은 약산성을 나타내었고, 500°C의 탄화온도에서 pH가 급격히 증가하여 9.25를 나타내었으며 600~900°C의 제조온도 상승에 따라 목탄의 pH는 미세하지만 지속적으로 증가되어 900°C 목탄의 pH는 10.35로 강염기에 가까웠다.

이러한 pH 변화는, 목재가 탄화되면서 탄의 표면에 산성을 띠는 카르복실산(carboxylic acid), 무수 카르복실(carboxylic anhydride), 락톤(lactone), 락톨(lactol)기 등과 염기성을 띠는 파이론(pyron)기 등의 관능기 종류 및 양의 차이에 따른 것으로 판단된다(Fig. 2)(Boehm, 1994; 2002). 이에 따라, 저온에서 제조된 잣나무 목탄에는 산성 관능기를, 고온에서의 것에는 염기성의 관능기를 더 많이 포함하고 있는 것으로 유추된다.

3.2. 잣나무 목탄의 원소분석

탄화온도별 잣나무 목탄의 원소분석 결과는 Table 1과 같다.

탄화 전 잣나무 목분의 탄소(C), 산소(O), 및 수소

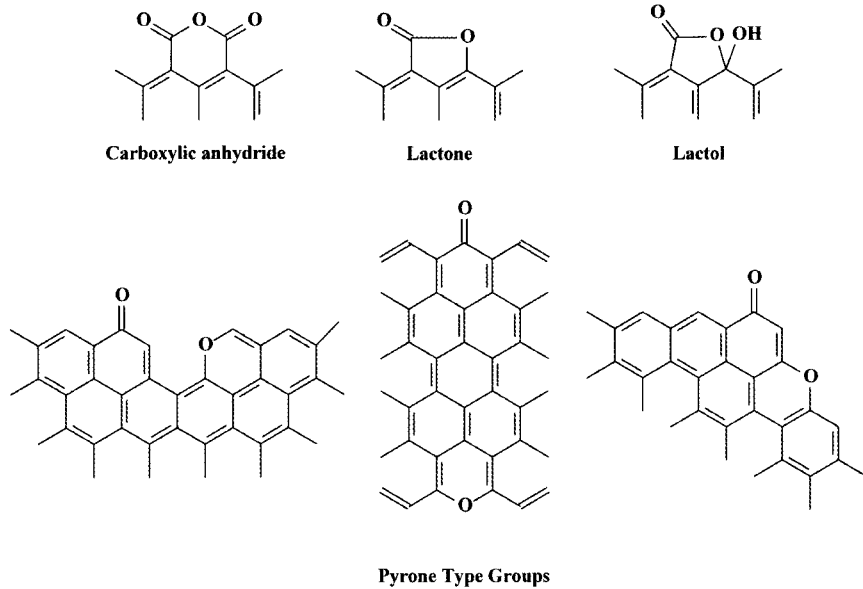


Fig. 2. Functional groups on the surface of carbonized materials (Boehm, 1994; 2002).

Table 1. Elemental content ratio of the wood charcoal manufactured from *P. koraiensis*.

Carbonization Temperature (°C)	Elemental content ratio (%)		
	C	O*	H
300	67.73 ± 0.65	28.88 ± 0.71	2.99 ± 0.59E-1
400	72.21 ± 0.14	24.85 ± 0.15	2.49 ± 0.50E-1
500	83.30 ± 0.92	13.56 ± 0.94	2.71 ± 0.32E-1
600	88.64 ± 0.37	9.263 ± 0.42	1.76 ± 0.56E-1
700	87.79 ± 0.27	11.06 ± 0.30	0.81 ± 0.38E-1
800	91.37 ± 0.72	7.82 ± 0.70	0.55 ± 0.26E-1
900	90.50 ± 0.50	8.96 ± 0.49	0.34 ± 0.21E-1

*O (%) = [100 - (H + C + N)] (%)

(H) 함량비는 각각 50.70, 42.45, 6.79%로 알려져 있는데(황 등, 2005), 이에 비해 300~900°C에서 탄화된 목탄의 C 함유 비율은 온도가 올라감에 따라 증가하고 O와 H의 함유 비율은 감소하는 것을 볼 수 있다. 300°C에서 제조된 목탄의 C 함량비는 67.73%로 목분에서의 수치보다 크게 증가하였고 O 및 H의 함유율은 각각 28.88%와 2.99%로 대폭 감소하였다. 탄화온도가 300°C 이상으로 올라가면서 C 함유량 증가폭이나 O의 H 함유량 감소폭이 줄어들기는 하지만 이러한 현상은 계속되며, 탄화온도가

800~900°C에 다다르면 C 함량비가 90%에 이르고 O 및 H의 함유율은 각각 8~9%와 0.3~0.5%까지 감소된다. 이는 목재의 주요 성분인 탄수화물과 리그닌이 고온에서 열분해되며 일어나는 현상으로(Sjostrom, 1993), 상대적으로 저온인 300~400°C의 탄화온도에서는 탄수화물인 셀룰로스 및 헤미셀룰로스에 다량 존재하는 수산기(OH)들이 집중적으로 산화되고 고온으로 갈수록 고분자 탄수화물(헤미셀룰로스 및 셀룰로스)의 골격구조들과 다양한 에테르(ether) 결합으로 이루어진 리그닌이 열분해되는

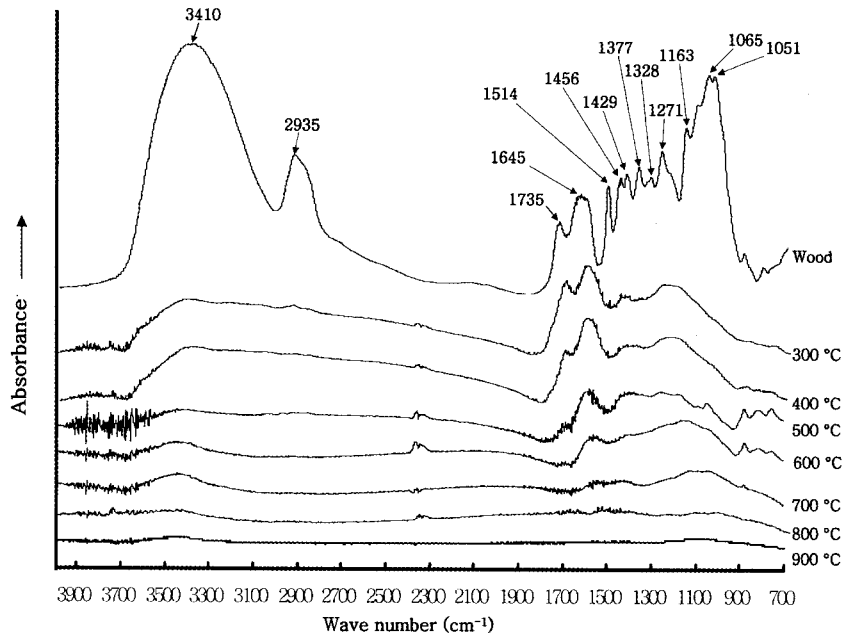


Fig. 3. FT-IR spectra of wood and charcoal of *P. koraiensis*.

결과로 판단된다. Marsh (1987)의 보고에 따르면, 목재탄화 시 헤미셀룰로스는 160~200°C, 셀룰로스는 240~350°C, 리그닌은 280~500°C에서 열분해가 시작되어 분해산물로는 CO, CO₂, H₂O 등이 방출되고 나머지 부분은 원자간 재결합 및 재배열이 일어나 탄소를 주요 원소로 하는 방향성 고리화합물 고분자 면체와 유사한 그래핀층(graphene layer)들이 겹겹이 쌓여 있는 형태의 물질로 변하게 되는데, 남아 있는 대부분의 O나 H는 그래핀층의 표면이나 가장자리에 존재하게 된다고 알려져 있다. 본 연구의 결과에서 볼 때, 600~900°C 사이의 온도에서 탄화된 목탄들의 원소 함유량 비는 C 88~91, O 8~11, H 0.3~1.8%로 다소 변화가 있지만 비슷하였다. Pastor-Villegas 등(1998)과 Nishimiya 등(1998)의 연구에서도, 목재 탄화 시 탄화온도가 500~600°C에 다다를 때까지 목재의 H/C와 O/C 비율은 급격히 감소하다가 그 이상의 온도에서는 이들 비율의 감소 폭이 줄어드는 것으로 보고되었다. 이렇게 일정온도 이상의 탄화물 간 원소 함유량비 차이가 많지 않은 것은, 500~600°C의 온도에서 상당 부분의 산화 가능한 관능기들이 산화 및 제거되고 그 이상의 탄화

온도에서는 남아 있는 미량의 잔존 관능기만이 산화, 제거되기 때문인 것으로 판단된다.

3.3. FT-IR 분석 결과

잣나무 목분 및 제조 온도별 목탄의 FT-IR 분석 결과는 Fig. 3에 나타나 있다. 잣나무 목분에서 목재의 탄수화물이나 리그닌에 많이 존재하는 OH기를 나타내는 FT-IR밴드가 3410 cm⁻¹ 크게 나타났고, 2935 cm⁻¹에는 알켄그룹의 C-H밴드가 측정되었다. 이 스펙트럼에 리그닌의 구성 요소인 방향족 고리 구조에 나타날 수 있는 C-H밴드 또한 3000 cm⁻¹ 이상에 있을 것으로 예상되나, OH밴드와 알켄그룹 내의 C-H밴드가 매우 크게 나타나는 관계로 이들 밴드 밑에 묻혀 있다고 판단된다. 1735 cm⁻¹에 나타난 밴드는 C=O를 나타내며 이들은 목분 내의 락톤 또는 유로닉형 탄수화물 유도체나 리그닌의 방향족 고리에 연결되어 있을 수 있는 카르복실기, 에스테르기, 또는 알데히드기 나타내는 것으로 판단된다 (Moreno-Castilla, 2000; Morrison & Boyd, 1992; Silverstein & Webster, 1998; Yeu *et al.*, 1999).

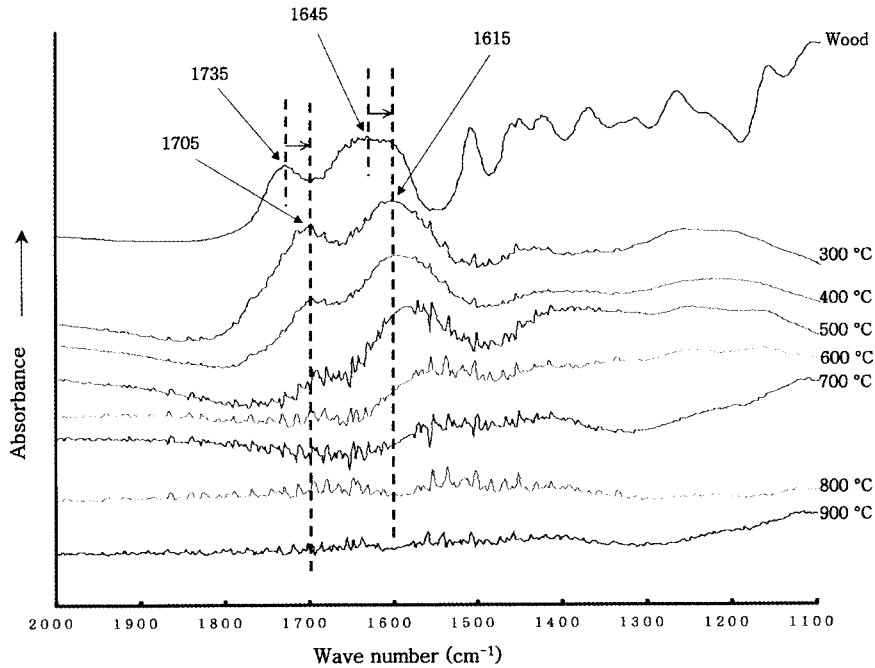


Fig. 4. Enlarged partial (1100~2000 cm^{-1}) FT-IR spectra of the samples.

1645, 1514, 1456 cm^{-1} 에 나타난 밴드는 C=C를 나타내며, 리그닌 구조의 방향족 고리와 그 결사슬에 존재할 수 있는 이중결합으로 생각된다(Silverstein & Webster, 1998; Yeu *et al.*, 1999). 1429~1328 cm^{-1} 사이의 밴드들은 알킬그룹, 알데히드, 또는 카르복실산의 C-H를 나타내며, 1271~1051 cm^{-1} 에 보이는 밴드들은 C-O의 존재를 나타낸다(Morrison & Boyd, 1992; Silverstein & Webster, 1998). 일반적으로 페놀형 구조나 카르복실산의 C-O밴드는 1271과 1163 cm^{-1} 에 나타나며(Gomez-Serrano *et al.*, 1996), 1065와 1051 cm^{-1} 의 밴드들은 탄수화물 분자 고리나 쇠상 알킬기와 이들에 연결된 알콜기(OH) 간의 C-O를 나타낸다(Morrison & Boyd, 1992; Silverstein & Webster, 1998).

300~900°C에서 제조된 잣나무 목탄의 FT-IR 스펙트럼은 목분의 스펙트럼과 네 가지의 뚜렷한 변화가 관찰되었다.

첫째, 300~900°C에서 제조된 잣나무 목탄은 목분에 비해 단순한 스펙트럼을 보였다. 이는 목탄의 탄화과정 중 일어나는 목재 구성 화합물의 화학구조

변화에 기인하는 것으로 판단된다. 목재 구성분인 헤미셀룰로스는 160~200°C, 셀룰로스는 240~350°C, 리그닌은 280~500°C에서 열분해되는 것으로 알려져 있다(Sjostrom, 1993). FT-IR 분석 결과, 목분과 목탄의 스펙트럼 간의 가장 두드러진 변화는 OH기를 나타내는 3410 cm^{-1} 과 1429~1328 cm^{-1} 사이의 밴드와 C-H와 C-O를 나타내는 1456~1051 cm^{-1} 사이의 밴드들이 급격히 줄어든 것이다. 이는 목분이 300°C 이상에서 탄화되면서, 목재조직 성분인 탄수화물과 리그닌에 존재하는 상당량의 OH그룹들이 분해 및 제거되었고, 알킬그룹, 알데히드, 또는 카르복실산 등의 C-H 또한 상당량 제거된 결과로 판단된다.

둘째, 목분의 FT-IR 스펙트럼에서는 C=O밴드가 1735 cm^{-1} , C=C밴드가 1645 cm^{-1} 에 나타나는 데 반해, 300°C 이상에서 제조된 잣나무 목탄의 스펙트럼에서는 C=O밴드가 1705 cm^{-1} 이하, C=C밴드가 1615 cm^{-1} 이하에 나타난 것이다. Fig. 3의 스펙트라에서 진동수 1100~2000 cm^{-1} 에 나타난 부분만을 확대한 Fig. 4를 보면 밴드의 위치가 옮겨간 것을 명확

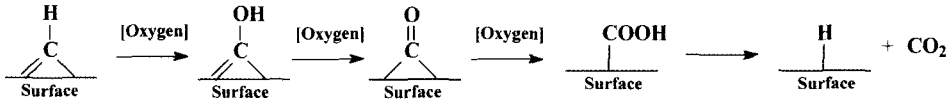


Fig. 5. Surface chemical changes with increasing of carbonization temperature (Yue *et al.*, 1999).

히 알 수 있다. 이러한 변화는, 목재의 구성 성분이 일련의 탈수화 과정(Dehydration), C-O, C=O, C-C 결합의 분리과정, 분자의 새로운 결합의 형성 과정을 거쳐 방향성 고리구조들의 연결 고분자인 그래핀(Graphene)층이 형성되는 방향성물질화(Aromatization)(McGinnes *et al.*, 1971)의 결과로 생각된다. 이 현상은, 탄화온도가 높아감에 따라 Aromatic carbon 대 Aliphatic carbon의 비율이 커지는 것으로도 확인할 수 있다(Nishimiya *et al.*, 1998). 이렇게 형성된 그래핀층 구조는 방향성 고리들이 전후좌우로 배열되어 있는 판구조의 면들이 위·아래로 겹겹이 쌓여 있는 형태로 원자간은 대부분이 sp^2 혼성 결합으로 이루어져 있다(Boehm, 2002; McGinnes *et al.*, 1971). 이로 인해, 목탄의 FT-IR 밴드들은 sp^3 혼성결합(대부분의 탄수화물과 리그닌구조 중 페놀고리 단위들 사이의 가지 부분에 존재할 수 있는 단일 결합)을 많이 포함하고 있는 목분 구성분의 화학 결합 상태에의 밴드들보다 공액계이선(Conjugation)이 증가하여 C=O 및 C=C 밴드가 더 낮은 Wave number에 나타나는 것으로 알려져 있다(Pastor-Villegas *et al.*, 1993).

셋째, FT-IR 스펙트럼에서의 C=O/C=C 비율이 목분에서보다 300~900°C에서 제조된 목탄에서 작게 나타났으며, 탄화온도가 높을수록 이 비율을 더 작아지는 것이 관찰되었다. 목탄 내 그래핀층은 대부분이 방향성 고리형 물질로 이루어져 있으나 표면이나 가장자리에는 lactone, lactol, carboxylic anhydride와 같은 관능기들이 존재한다고 알려져 있고(Boehm, 1994; 2002), Fig. 5에서와 같이, 목탄 표면의 관능기들은 탄화 온도가 높을수록 산화가 진행되어 발생되었거나 이미 존재하는 OH, C=O, COOH기 등은 CO₂ 등의 형태로 제거되므로 고온에서 제조된 목탄일수록 C=O밴드의 비율은 줄어드는 반면, C=C밴드의 비율은 커지는 것으로 판단된다.

넷째, 제조 온도가 높아감에 따라 목탄의 FT-IR

스펙트럼이 잘 보이지 않는 것이 관찰되었다. 이 또한 제조온도가 높아감에 따라 방향성물질화가 더 활발히 진행되는 것과 관계가 있다고 판단된다. 방향성물질화에 의해 형성된 그래핀층은 대부분이 방향성 고리형 화합물들이 균일하게 배치되어 있다. 이는 다수의 벤젠고리가 내 방향으로 연결되어 있는 벌집 형태의 결정 형상과 비슷한 구조라고 할 수 있다. 이렇게 균일한 원자가 대칭적으로 배열된 화합물에는 Infra-red선이 조사되어 원자들이 진동(vibration)하게 되더라도, 원자들 간의 쌍극자 모멘트(dipole moment) 차이가 없기 때문에, IR 밴드가 잘 나타나지 않게 된다고 알려져 있다(Gomez-Serrano *et al.*, 1996).

위의 결과로 볼 때, 300~400°C의 온도에서 탄화된 목탄의 표면에는 Lactone, Lactol, Carboxylic acid, Carboxylic anhydride, 등의 산성 관능기들을 많이 포함하는 것으로 유추되는 데 반해, 500°C 이상의 온도에서 탄화된 목탄의 경우 Pyrone 계통의 관능기를 많이 포함하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

상대적으로 낮은 300, 400°C의 탄화온도에서 제조된 목탄의 pH는 약 산성인 반면, 500°C 이상에서 제조된 목탄의 pH는 크게 높아져 알칼리성을 나타내었다. 목탄의 원소 조성비 변화에 있어서는, 고온 탄화 목탄일수록 C함유율이 높아지고 상대적으로 O, H의 함유율은 낮아졌다. 가장 큰 원소 조성비 변화 폭은 400°C와 500°C의 탄화 온도 사이에서 측정되었다. 목탄 표면 관능기에 대한 본 연구의 분석 결과와 타 연구자들의 이전 연구 자료 분석 결과, 300~400°C의 온도에서 탄화된 목탄의 표면은 lactone, lactol, carboxylic acid, carboxylic anhydride, 등의 산성 관능기들을, 500°C 이상의 온도에서 탄화된 목

탄의 경우에는 pyrone 계통의 관능기를 많이 포함하는 것으로 유추된다.

목탄은 다양한 용도로 사용되고 있는데, 본 연구에서 얻어진 자료는 목탄의 pH를 고려해서 사용해야 하는 상황이나 목탄을 특정 화학물질과의 작용에 의한 화학적 흡착 등의 목적으로 사용하고자 할 때 최적의 조건을 지닌 목탄제조에 유용할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 조태수, 안병준, 최돈하. 2005. 탄화온도 차이에 의한 목질탄화물의 흡착성 변화. *목재공학* 33(3): 45~52.
2. 조태수, 이오규, 안병준, 최준원. 2006. 국산수종으로 탄화한 목탄의 물성 및 흡착성. *임산에너지* 25(1): 9~17.
3. 황병호, 윤병호, 조남석, 이종윤. 최신 목재화학. 2005. 선진문화사. p. 12.
4. Beck, N. V., S. E. Meech, P. R. Narman, and L. A. Pears. 2002. Characterization of surface oxides on carbon and their influence on dynamic adsorption. *Carbon* 40: 531~540.
5. Boehm, H. P. 1994. Some aspects of the surface chemistry of carbon blacks and other carbons. *Carbon* 32: 759~769.
6. Boehm, H. P. 2002. Surface oxides on carbon and their analysis: a critical assessment. *Carbon* 40: 145~149.
7. Christner, L. G. and P. L. Walker, Jr. 1993. Molecular sieve character of carbons derived from cellulosic precursors. *Carbon* 31: 1149~1158.
8. Derbyshire, Frank, M. Jagtoyen, and M. Thwaites. 1995. "Activated Carbons-Production and Application", Chapter 8. In "Porosity in Carbons: Characterization and Applications", Patrick J. W. (ed.) Edward Arnold, London.
9. Gomez-Serrano V., J. Pastor-Villegas, A. Prez-Florindo, C. Duran-Valle, and C. Valenzuela-Calahorro. 1996. FT-IR study of rockrose and of char and activated carbon. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 36: 71~80.
10. McGinnes, E. A. Jr., S. A. Kandeel, and P. S. Szopa. 1971. Some structural changes observed in the transformation of wood into charcoal. *Wood Fiber* 3: 77~83.
11. Moreno-Castilla, C., M. V. Lopez-Ramon, and F. Carrasco-Marin. 2000. Changes in surface chemistry of activated caebons by wet oxidation. *Carbon* 38: 1995~2001.
12. Morrison, R. T. and R. N. Boyd. 1992. *Organic Chemistry*. 6th ed., Prentice Hall, Inc., New Jersey.
13. Pastor-Villegas, J., C. J. Duran-Valle, C. Valenzuela-Calahorro, and V. Gomez-Serrano. 1998. Organic chemical structure and structural shrinkage of chars prepared from rockrose. *Carbon* 36: 1251~1256.
14. Pastor-Villegas, J., C. Valenzuela-Calahorro, A. Bernalte-Garcia, and V. Gomez-Serrano. 1993. Characterization study of char and activated carbon prepared from raw and extracted rockrose. *Carbon* 31: 1061~1069.
15. Silverstein R. T. and F. X. Webster. 1998. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. 6th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
16. Sjostrom, E. 1993. *Wood Chemistry: Fundamentals and Applications*, 2nd ed. Academic Press, San Diego. p. 234.
17. Yue, Z. R., W. Jiang, L. Wang, S. D. Gardner, and C. U. Pittman Jr. 1999. Surface characterization of electrochemically oxidized carbon fibers. *Carbon* 37: 1785~1796.