

과산화수소에 의한 산화가 핏치계 활성탄소의 기공성질에 미치는 영향

김영하 · 박수진[†]

인하대학교 화학과

(2009년 11월 25일 접수, 2010년 2월 1일 채택)

Effect of Pre-oxidation of Pitch by H₂O₂ on Porosity of Activated Carbons

Young-Ha Kim and Soo-Jin Park[†]

Department of Chemistry, Inha University, Incheon 402-751, Korea

(Received November 25, 2009; Accepted February 1, 2010)

본 연구에서 H₂O₂에 의한 pitch의 산화처리가 KOH 활성화에 미치는 영향에 관하여 고찰하였다. 산화 처리의 영향을 고려하기 위하여 KOH/pitch 중량비를 3으로 고정하였으며, 1073 K에서 2 h 동안 활성화하였고, H₂O₂의 농도를 각각 5, 15, 25 wt%로 달리하여 시편을 제조하였다. 산화처리된 pitch와 이를 전구체로 하여 제조한 활성탄소의 물리화학적 특성은 XRD, FT-IR, XPS, N₂ 흡착 및 SEM을 이용하여 분석하였다. XRD 결과로부터 H₂O₂ 처리가 (002) 면의 층간거리를 증가시켰으며, FT-IR과 XPS로부터 표면의 carboxyl group 및 hydroxyl group 등의 산소 작용기가 도입되었음을 확인하였다. Pitch로 제조된 활성탄소의 비표면적은 H₂O₂ 산화처리에 의해 급격히 상승하였고, H₂O₂의 농도를 증가시킬수록 상승폭이 더욱 증가하여 25 wt% H₂O₂ 처리시 최대 2111 m²/g의 비표면적을 갖는 활성탄소를 제조할 수 있었다.

Activated carbons (ACs) have been prepared from pitch by the combination of a chemical oxidation with different H₂O₂ concentrations i.e., 5, 15, and 25 wt% and a chemical activation with KOH at a constant KOH/pitch ratio of 3/1. The influence of H₂O₂ solution on the microporous properties of the pitch and the final activated carbons were investigated using XRD, FT-IR, XPS, N₂-adsorption, and SEM. XRD indicated that the value of interplanar distance *d*₀₀₂ increased by chemical oxidation. FT-IR and XPS results showed that the chemical oxidation promoted the formation of surface oxygen functionalities. Also, the specific surface area of the resulting ACs was increased with increasing the concentration of H₂O₂ chemical oxidation and showed a maximum value of 2111 m²/g at 25 wt% H₂O₂ concentration.

Keywords: activated carbons, pitch, H₂O₂, chemical oxidation

1. 서 론

활성탄소는 높은 비표면적과 고온에서의 안정성 때문에 분리/정제 공정, 폐수처리 및 대기정화와 같은 기상이나 액상에서 유해한 물질을 효과적으로 제거하는 흡착제로 사용될 뿐만 아니라, 수소저장장치 전기이중층 캐패시터와 같은 에너지 저장물질로서 널리 사용되고 있다[1-6]. 활성탄소의 가장 중요한 특성인 흡착용량은 기공의 크기와 비표면적의 정도에 따라 직접적으로 결정되며, 표면관능기의 종류에 영향을 받는다[7,8].

이러한 활성탄소의 특성들은 원료나 활성화 조건에 크게 의존하는데, 원료의 종류 및 제조방법에 따라 활성탄소의 흡착특성이 다르고, 그 다양성에 따라 용도가 결정된다. 그 중에서 현재 상업화된 원료 물질로서는 아자각(coconut shell), 톱밥, 목탄, 석탄(char coal), 이탄(peat) 등이 있고 이러한 물질들은 탄소함량이나 활성탄소 골격을 이루는 탄소성분 및 회분, 기공구조에 영향을 미치는 휘발분의 함량이 달라 각각의 사용 용도에 맞게 활성화 공정이 결정된다[9-12]. 이러한

활성탄소를 제조하기 위한 활성화 방법은 물리적인 활성화법과 화학적인 활성화법이 있다. 그 중에서도 화학적 활성화법이 물리적 활성화법에 비해 제조공정이 간편하고, 더 높은 비표면적을 갖기 때문에 주목 받고 있으며, 화학적 활성화에 사용되는 대표적인 물질로는 KOH, ZnCl₂ 및 H₃PO₄ 등이 있다. 특히 KOH를 활성화제로 이용한 활성화법이 높은 세공특성을 얻을 수 있기 때문에 많은 연구가 진행되어왔다[13].

Pitch는 석유화학에서 나오는 부산물로서 값이 싸고 쉽게 구할 수 있으며, 탄소 함유량이 높고 휘발성이 적어 활성탄소의 원료 물질로 사용되어지고 있지만, pitch는 그 자체의 비표면적이 낮고 안정적인 미세구조적 특성에 기인하여 활성화하는데 어려움이 있어 높은 비표면적을 갖는 활성탄소로 제조할 경우 많은 양의 KOH가 필요하게 된다[14,15]. 화학적 활성화제인 KOH를 많이 사용할 경우 폭발의 위험성이 있으며 활성화 후, 이를 중화시키기 위하여 과량의 산을 사용하게 되어 수질오염 및 높은 생산비용의 문제점이 있어, KOH/pitch의 비율을 낮추어 활성탄소를 제조하는 여러 기술적인 조건들을 최적화시키는 방법에 대하여 연구가 필요한 실정이다[15,16].

지금까지 수행된 여러 연구들은 활성탄소의 기공구조와 흡착특성

[†] 교신저자(e-mail: sjpark@inha.ac.kr)

을 제어하기 위하여 원료 재료와 탄화온도만 집중적으로 연구되어 왔으며, 활성화전 원료 재료의 화학적 변형이 미치는 영향에 대한 고찰은 거의 이루어진 바가 없다. XING과 YAN[16]은 cokes를 공기 중에서 437 K로 24 h 동안 열처리하여 산화시킴으로써 활성탄소의 기공 구조와 표면적인 특성에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. 그 결과, 사전 열처리가 활성화하는 동안 방향족 구조의 붕괴를 가속화하여 높은 비표면적을 갖는 활성탄소를 제조할 수 있음을 보고한 바 있다. 탄소재료의 내부는 많은 벤젠고리들이 강한 공유결합으로 연결되어 쌓여 있는 적층구조의 결정형태를 이루기 때문에 활성화되기 어렵지만, 가장자리의 탄소는 산화되어 있어 활성화가 더 쉽게 이루어질 수 있기 때문에 사전 열처리에 의하여 구조의 변형을 야기한 것으로 판단되어진다[17]. 이는 물리적인 방법에 의한 것으로 화학적인 방법에 대한 연구는 이루어진 바가 없다.

따라서 본 연구에서는, 산화제에 의한 pitch의 화학적 변형이 활성탄소의 기공특성에 미치는 영향을 조사하고자 비교적 저렴하고 안전한 산화제인 H₂O₂를 이용하여 pitch를 전처리함으로써 변형된 미세구조적 특성과 KOH 활성화법으로 제조된 활성탄소의 기공특성에 미치는 영향에 대하여 고찰하고자 하였다.

2. 실험

2.1. Pitch의 산화 전처리

먼저 pitch를 다른 농도의 H₂O₂ 용액에 첨가한 후 이를 완벽하게 혼합하기 위하여 과량의 용액(pitch 1 g당 10 mL의 H₂O₂)을 사용하여 373 K에서 6 h 동안 교반하였다. H₂O₂의 농도는 각각 5, 10, 15 및 25 wt%로 달리 하여 pitch를 산화시켰다. 산화처리된 pitch는 증류수로 pH가 7이 될 때까지 세척한 후 383 K에서 12 h 동안 건조하였다. 제조된 시편은 각각 5H₂O₂-pitch, 15H₂O₂-pitch 및 25H₂O₂-pitch로 명명하였다.

2.2. KOH 활성화

활성탄소를 제조하기 위하여, H₂O₂ 처리된 pitch를 KOH 용액에 넣고 373 K에서 12 h 동안 교반하여 KOH가 pitch의 표면에 충분히 침착되도록 하였고, 다른 농도의 H₂O₂ 처리에 따른 변화를 고찰하기 위하여 H₂O₂ 처리된 pitch는 KOH와의 중량비를 1:3로 고정하였으며, H₂O₂ 처리되지 않은 pitch는 KOH와의 중량비를 3과 4로 하여 연구를 진행하였다. 위 혼합물을 383 K에서 12 h 건조하여 용매가 모두 증발하도록 한 후, 건조된 시편을 튜브형 furnace를 사용하여 질소 가스를 100 mL/min의 양으로 공급하면서 승온 속도 5 K/min로 1073 K에서 2 h 동안 활성화 하였다. 활성화 처리 후 남아있는 칼륨 이온과 불순물을 제거하기 위하여 0.5 N HCl 용액으로 353 K에서 3 h 동안 처리한 다음 pH가 중성이 될 때까지 증류수로 세척하여 활성탄소를 제조하였다. 최종적으로 얻어진 활성탄소는 AC와 H₂O₂-AC로 명명하였다.

2.3. 측정 및 분석

원료 물질로 사용된 pitch와 H₂O₂ 처리된 pitch의 미세구조적 변화를 관찰하기 위하여 X-선 회절분석법(XRD, X-ray diffraction spectroscopy, Rigaku Model D/MAX)을 이용하였으며, 표면관능기의 변화는 X-선 광전자 분광법(XPS, X-ray photoelectron spectroscopy, ESCALAB MK-II)과 적외선 분광법(FT-IR, Bruker VERTEX 80V)를 통하여 고찰하였다.

제조된 활성탄소의 비표면적과 세공구조 및 등온흡착곡선은 비표

Table 1. Main Properties of the Pitch Used

Samples	Elemental analysis (%)					Softening point (°C)	Ash %
	C	H	N	O	S		
Pitch	92.87	3.64	0.67	0.80	0.66	330	< 0.1
5H ₂ O ₂ -pitch	85.87	4.64	0.23	6.36	0.30	—	—
15H ₂ O ₂ -pitch	81.92	3.64	0.13	11.0	80.34	—	—
25H ₂ O ₂ -pitch	73.55	2.74	0.14	20.38	0.27	—	—

Table 2. Microcrystalline Structural Parameters of the Pitch and Pre-oxidized Pitch

Samples	d ₀₀₂ ^a	L _c ^b
Pitch	0.348	1.283
5 H ₂ O ₂ -pitch	0.355	1.245
15 H ₂ O ₂ -pitch	0.358	1.234
25 H ₂ O ₂ -pitch	0.366	1.201

^aInterplanar distance (nm), ^bCrystallite thickness (nm)

면적장치(Surface area and Pore size analyzer, BERSORP, JAPAN, INC)를 이용하여 77 K에서 측정하였다. 활성탄소의 비표면적(S_{BET}, Specific surface area)은 BET식을 이용하였으며, 총 기공부피(V_t, Total pore volume)는 P/P₀ = 0.995에서 흡착된 질소의 양으로 구하였다. 미세기공부피(V_m, Micropore volume)는 Horvath-Kawazoe (HK)식을 이용하여 구하였고, 평균기공직경은 다음 식 (1)을 사용하여 구하였다.

$$D(nm) = \frac{4V_t \times 1000}{S_{BET}} \quad (1)$$

활성탄소의 표면 및 형태를 관찰하기 위하여 주사전자현미경(SEM, Scanning Electron Microscope, JEOL, JMS-6335F)을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. Pitch의 미세구조적 특성과 변형

Table 1에 나타난 pitch의 원소분석 결과로부터 탄소와 수소의 함량은 각각 92.87, 3.64%로서 C/H 원소비를 계산하면 2.13으로 큰 값을 갖으며, 330 °C의 높은 연화점을 나타내었다. 이는 본 실험에서 사용된 pitch가 결정성 및 흑연화 정도가 매우 높다는 것을 알 수 있었다 [18].

Table 2와 Figure 1에 0, 5, 15, 그리고 25 wt%의 H₂O₂ 용액으로 산화시킨 pitch의 X선 회절분석 결과를 나타내었다. Figure 1의 pitch와 H₂O₂ 처리된 pitch의 spectra는 전형적인 무정형 탄소로서 2θ 23°와 43°에서 폭이 넓고 비대칭적인 피크를 보여주고 있다. 하지만 pitch의 (002) 피크 세기가 크게 나타난 것으로 보아 결정화도가 높음을 알 수 있었다. Wang 등은[14] 결정화도가 높은 비등방성(anisotropic) pitch와 결정화도가 낮은 등방성(isotropic) pitch의 KOH 활성화를 시도하였는데, 결정화도가 낮을 경우 활성화제의 침착이 더 잘 일어나 활성화 정도가 크다고 보고한 바 있다. 이는 결정화도가 낮을수록 (002) 면의 결합력이 약하여 층간 거리가 증가하게 되고 K가 탄소 내부로 쉽게 침투할 수 있기 때문이다. 반면에, H₂O₂로 처리한 pitch의 경우 (002) 피크의 위치가 왼쪽으로 이동하고 피크의 세기는 약해지면서 폭은 증가하는 것을 확인할 수가 있었다. 특히, H₂O₂의 농도가

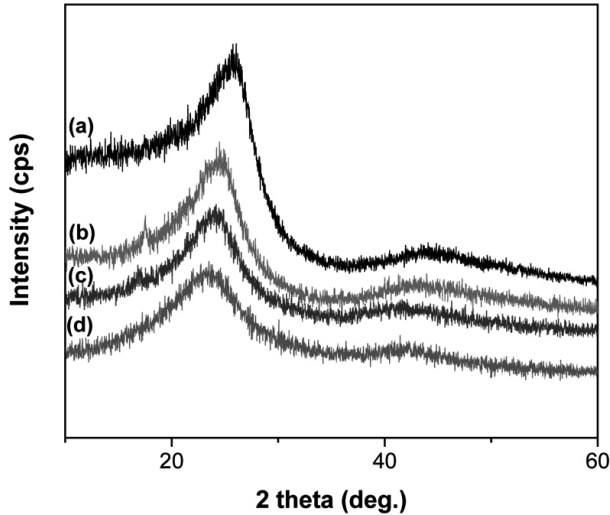


Figure 1. XRD curves of the pitch and pre-oxidized pitch: (a) pitch, (b) 5H₂O₂-pitch, (c) 15H₂O₂-pitch, and (d) 25H₂O₂-pitch.

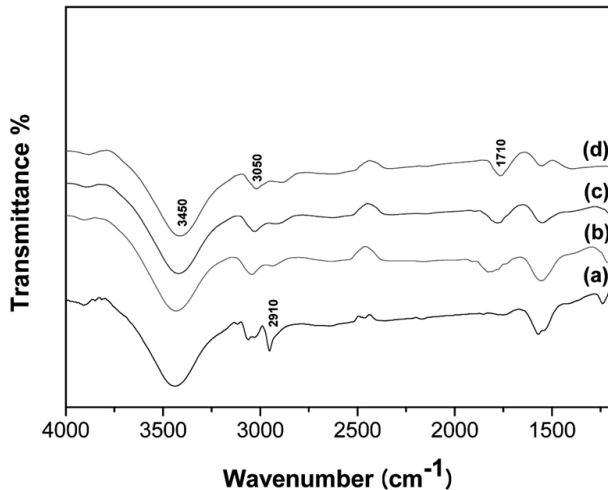


Figure 2. FT-IR spectra of the pitch and pre-oxidized pitch: (a) pitch, (b) 5H₂O₂-pitch, (c) 15H₂O₂-pitch, and (d) 25H₂O₂-pitch.

증가할수록 (002) 피크의 반가폭이 증가하는 것으로부터, 처리하지 않은 pitch에 비교해서 H₂O₂에 의한 산화과정에서 많은 층간구조 결합이 유기되는 것으로 판단된다[19].

Bragg equation과 Scherrer equation[20]을 통하여 계산된 interplanar distance (d_{002}) 및 crystallite thickness (L_c)를 Table 2에 나타내었다. 1.283 nm의 L_c 와 0.348 nm의 d_{002} 를 갖는 pitch를 5 wt% H₂O₂로 처리할 경우 L_c 는 1.245 nm로 감소하며, d_{002} 는 0.355 nm로 증가하였고, H₂O₂의 농도가 커질수록 변화량이 증가함을 알 수 있었다. L_c 의 감소와 d_{002} 의 증가는 결정화도의 감소를 의미하며, H₂O₂에 의한 산화를 통해 pitch에 미세구조적 흡이 발생하였다고 판단되어진다.

3.2. H₂O₂ 산화에 의한 표면특성 변화

Figure 2는 H₂O₂ 산화처리 후, pitch 표면 관능기 변화를 나타낸 FT-IR spectra이다. Figure 2에서 보는 바와 같이 모든 시편의 3500~3300 cm⁻¹ band 영역에서 hydroxyl groups의 O-H stretching vibration을 확인할 수 있었으며, 이는 활성 탄소에 흡수된 물분자로 인한 hydroxyl

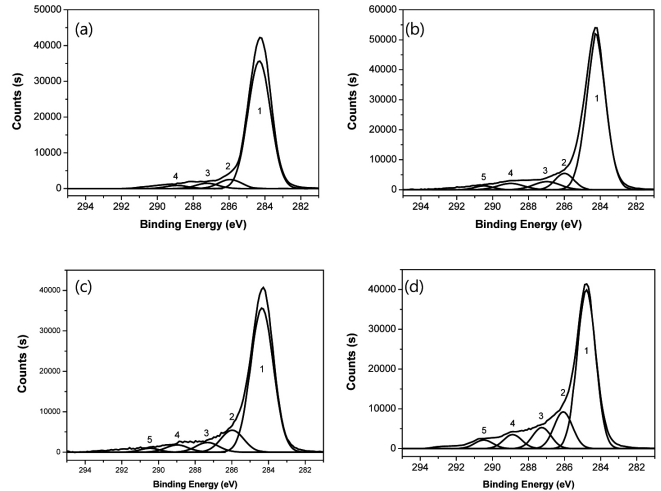


Figure 3. C_{1s} XPS spectra of the pitch and pre-oxidized pitch: (a) pitch, (b) 5H₂O₂-pitch, (c) 15H₂O₂-pitch, and (d) 25H₂O₂-pitch.

group 사이에 강한 수소결합이 존재하기 때문으로 판단된다. 또한, 1600 cm⁻¹ band 영역에서는 탄소물질의 경우 관찰되는 aromatic ring의 C=C vibration을 확인할 수 있었다[21]. 그러나, H₂O₂ 미처리된 pitch의 경우, 2910 cm⁻¹ band 영역의 지방족 탄화수소에서 잘 나타나는 C-H stretching vibration이 H₂O₂로 처리한 후에는 H₂O₂ 농도가 증가할수록 그 세기가 점점 감소하다가 사라지는 것을 볼 수 있었다. 이는 H₂O₂로 처리함에 따라 alkyl group이 산화되어 표면에 많은 산소 작용기가 도입되었기 때문으로 판단된다. 또 다른 차이점은 H₂O₂에 의해 산화된 pitch는 1700 cm⁻¹ band 영역에서 피크가 크게 증가하였는데, 이는 산화에 의하여 생겨난 C=O (carboxyl) group에 의한 것으로 판단된다.

Figure 3은 H₂O₂ 처리에 따른 pitch의 XPS C_{1s} core level spectra를 나타낸 것이며, 각 스펙트럼에 대한 피형분리 결과를 Table 3에 정리하였다. Figure 3에 나타낸 바와 같이 pitch의 C_{1s} 스펙트럼은 모두 4개의 특징적인 피크로 구분할 수 있으며, 미처리 시편의 경우 1; C-C 결합에 의한 피크가 284.5 eV에서 주로 나타났고, pitch 자체가 함유하고 있는 산소관능기는 2; C-O (286 eV), 3; C=O (287.2 eV), 4; O=C-O-H (288.9 eV)의 형태로 탄소에 포함되어 있음을 알 수 있었다. H₂O₂ 처리에 따라 C-O 및 C=O, O=C-OH 등의 산소관능기가 크게 증가하였으며, 5; CO₃²⁻ (290.4 eV)의 음이온 형태의 산소관능기가 새롭게 나타남을 확인할 수 있었다. 또한, H₂O₂의 농도가 증가함에 따라 산소관능기의 비율이 증가되었는데, 이는 산화에 의하여 pitch 표면에 C-O-H와 C-O-O-H group이 생성된 것으로 판단된다[16].

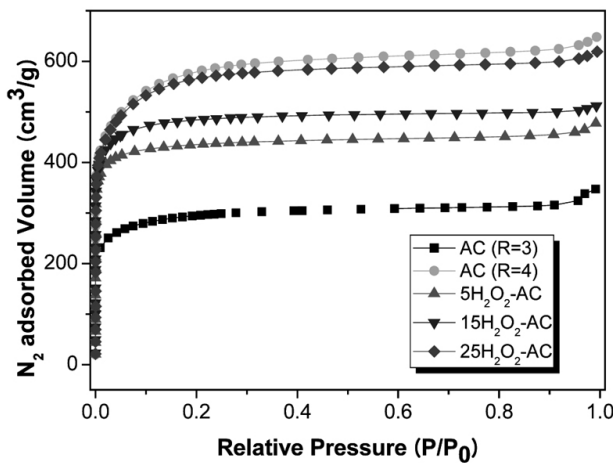
3.3. 질소흡착 실험

본 연구에서 제조된 활성탄소의 기공구조 변화를 살펴보기 위하여 10⁻⁶~10⁻¹ Torr의 상대압력에서 질소 흡착량을 측정하여 등온곡선을 구하였으며, Figure 4에 그 결과를 나타내었다. 그래프를 통해 알 수 있듯이, 제조된 모든 활성탄소의 N₂ 흡착등온곡선은 BET 분류 중 미세기공의 발달을 볼 수 있는 Langmuir 등온선의 형태인 type-I 임을 확인할 수 있었으며[22], 대부분 낮은 상대압력에서 많은 흡착량을 보이고 있으며, 그 이상에서는 상대압력을 높여도 흡착량이 더 이상 증가하지 않았고, 흡착평형을 이루어 거의 수평에 가까운 거동을 보였다. 특히 낮은 상대압력에서 많은 흡착량을 보이는 것은 미세기공 사

Table 3. Relative Amounts of C1s Component in Each Spectrum of Pitch as a Function of H₂O₂ Concentrations

Samples	Relative amount (%)				
	1 ^a	2 ^b	3 ^c	4 ^d	5 ^e
Pitch	85.7	7.7	4.6	1.9	—
5 H ₂ O ₂ -pitch	74.9	11.3	6.5	5.1	2.1
15 H ₂ O ₂ -pitch	65.8	15.1	9.1	7.4	2.5
25 H ₂ O ₂ -pitch	54.7	17.2	13.4	8.1	6.5

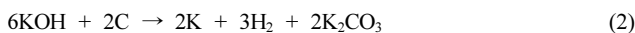
^aGraphitic carbon (284.5 eV), ^bHydroxyl (286 eV), ^cCarbonyl (287.2 eV), ^dCarboxylic acid (288.9 eV), ^eCarbonate (290.4 eV).

**Figure 4. N₂ adsorption isotherms of pitch and pre-oxidized pitch based activated carbons.**

이의 potential fields가 증첩되어 미세기공과 질소분자 사이의 상호작용 에너지가 증가되었기 때문이라 판단된다[23]. 또한, H₂O₂ 처리된 pitch로 제조한 활성탄소의 질소 흡착량은 낮은 상대압력에서 매우 급격히 상승하여 미처리된 pitch로 제조한 활성탄소에 비해 2배 가까이 증가한 것을 볼 수 있는데, 이는 H₂O₂ 처리가 KOH 활성화를 촉진시켰기 때문이라 판단되어진다.

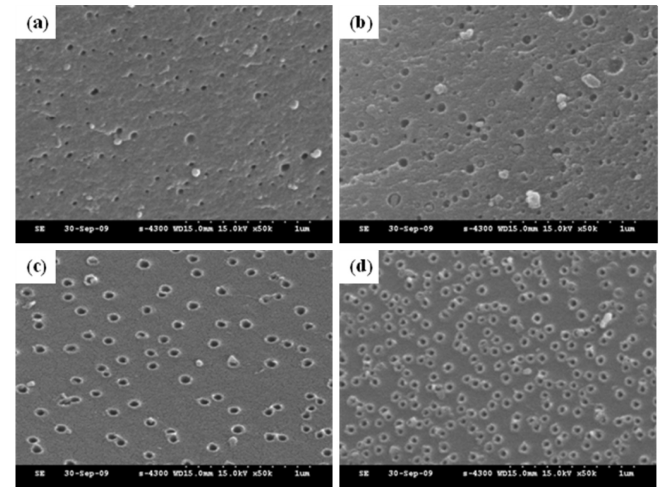
Table 4에 Figure 4의 흡착 등온선으로부터 구한 활성탄소의 비표면적, 미세기공과 전체기공의 부피, 그리고 기공의 반경을 나타내었다. 결과에서 알 수 있듯이, 활성화 전의 화학적 처리가 활성탄소의 BET 표면적과 총 세공용적을 매우 크게 증가시켰으며, 처리하지 않은 pitch로 제조된 활성탄소, AC (R=3)의 경우 비표면적이 946 m²/g 이고 H₂O₂의 농도를 5, 15, 25 wt%로 증가시킬수록 각각 1709, 1891, 2111 m²/g으로 매우 높게 나타났다. 그리고, H₂O₂ 처리를 통해서 총 세공용적이 0.40 cm³/g에서 0.95 cm³/g로 크게 증가하였으며, 기공 반경은 1.69 nm에서 1.81 nm로 증가하였다.

KOH에 의한 활성화는 탄소표면과 내부에 침투된 KOH가 다음 식 (2)~(4)와 같은 반응을 거쳐 K가 탄소내부로 온도 상승과 함께 깊이 침투, 고온에서 금속 칼륨 증기로 변화하여 탄소 층간의 간격을 넓혀 줌으로써 미세기공이 형성된다[24].

**Table 4. Porous Structure Parameters of the Pitch-based ACs**

Samples	S _{BET} ^a	V _t ^b	V _m ^c	D ^d
AC (R=3)	946	0.54	0.45	1.69
AC (R=4)	2138	0.99	0.81	1.85
5 H ₂ O ₂ -AC	1709	0.73	0.65	1.71
15 H ₂ O ₂ -AC	1891	0.79	0.72	1.67
25 H ₂ O ₂ -AC	2111	0.95	0.81	1.80

^aspecific surface area (m²/g), ^btotal pore volume (cm³/g), ^cmicropore volume (cm³/g), ^daverage pore diameter (nm).

**Figure 5. SEM images of (a) AC (R=3), (b) 5H₂O₂-AC, (c) 15H₂O₂-AC, and (d) 25H₂O₂-AC.**

Pitch를 H₂O₂로 처리하게 되면 (002)면의 층간거리가 증가하는 것을 Figure 1의 XRD로부터 확인하였으며, 따라서 H₂O₂로 처리된 pitch는 미처리된 pitch보다 K 이온들이 탄소 층 사이로 빠르게 침투되어 기공발생을 증가시켰으며, H₂O₂ 처리로 인한 탄소표면의 산소 관능기는 극성을 가진 흡착질과 정전기적인 상호작용을 하기 때문에 K 이온들과 더욱 쉽게 반응하여 높은 비표면적을 나타낸 것으로 판단된다. 즉, 표면의 산소 작용기들이 ‘active site’로 작용하게 되므로 ‘active site’가 많을수록 더 높은 비표면적을 갖는 활성탄소가 만들어진다고 판단된다[24]. 특히, 25H₂O₂-AC의 경우 비표면적이 KOH를 4배 사용하여 제조된 AC (R=4)의 비표면적 2138 m²/g과 거의 비슷한 결과를 나타냄을 알 수 있었다. 즉, 2000 m²/g의 높은 비표면적을 갖는 활성탄소를 제조하기 위해서는 많은 양의 KOH가 필요하지만, 활성화 전에 산화처리를 하면 더 적은 양의 KOH 활성화제로 세공특성이 뛰어난 활성탄소를 제조할 수 있다고 판단된다.

3.4. SEM 분석

H₂O₂의 농도를 다르게 하여 처리한 pitch로 제조된 활성탄소의 표면 형태는 SEM을 통해 관찰하였으며, Figure 5에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 처리된 H₂O₂의 농도가 높아질수록 기공의 수가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 앞서서도 언급하였듯이 H₂O₂에 의한 산화로 활성화제인 KOH가 pitch에 효과적으로 침착되어 표면에서 화학 반응을 통해 더 많은 양의 가스가 발생한 것으로 판단되어진다. 주목할 부분은 다른 활성탄소와는 다르게 표면이 매끄러웠으며 기공들의 크기도 매우 균일한 특성을 갖는다는 것이다. 이는 원료 재료로 사용

한 pitch의 결정성이 높다는 것을 의미하며, H₂O₂에 의한 산화가 pitch 표면의 형태를 변화시키지는 않는 것으로 판단되어진다.

4. 결 론

본 연구에서는 KOH 활성화 전 화학적 산화처리가 pitch의 구조와 표면특성의 변화 및 이를 이용하여 제조된 활성탄소의 기공특성에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다. 산화제로는 H₂O₂를 이용하였으며, 농도를 달리하여 처리한 결과, 높은 비표면적을 갖는 활성탄소를 제조할 수 있었다. Pitch의 H₂O₂ 산화처리는 활성탄소 (002)면의 층간거리를 증가시켰으며, 또한 표면에 과량의 산소를 도입하여 carbonyl group과 hydroxyl group을 형성하였다. 이는 pitch의 결정화도를 낮추는 효과를 가져와 표면의 산소 작용기가 KOH를 침착시키는 'active site'로 작용하게 되어 표면에 더 많은 기공이 형성된 활성탄소를 제조할 수 있었다. 그리고, H₂O₂의 농도를 증가시킬수록 활성화 정도가 증가하였으며, 제조된 활성탄소는 KOH/pitch 중량 비를 3으로 했음에도 불구하고, 처리하지 않았을 때는 비표면적이 946 m²/g인 반면, 처리한 후에는 2111 m²/g으로 2배 정도 증가하였다. 이러한 결과로부터, 더 낮은 KOH/pitch 중량비로 더 높은 비표면적을 가지는 활성탄소를 제조할 수 있음을 확인하였으며, 활성탄소 제조 시 전구체의 구조가 미치는 영향이 매우 크고 활성화하기 전에 구조적 흠(defect)을 도입하는 것이 비용결감 및 환경친화적인 활성탄소를 제조하는 유용한 방법 중 하나임을 확인할 수 있었다.

감 사

본 연구는 21C 프론티어사업인 이산화탄소 저감 및 처리기술개발 사업단의 지원 하에 이루어졌습니다.

참 고 문 헌

1. A. Feaver and G. Z. Cao, *Carbon*, **44**, 570 (2006).
2. S. Bashkova, F. S. Baker, X. X. Wu, T. R. Armstrong, and V. Schwartz, *Carbon*, **45**, 1354 (2007).
3. S. J. Park and Y. S. Jang, *J. Colloid Interface Sci.*, **249**, 458 (2002).
4. E. H. Um and C. T. Lee, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **20**, 396 (2009).
5. K. J. Kim and H. G. Ahn, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **19**, 445 (2008).
6. C. Liu, X. Liang, X. Liu, Q. Wang, N. Teng, and L. Zhan, *Appl. Surf. Sci.*, **254**, 2659 (2008).
7. S. J. Park and W. Y. Jung, *J. Colloid Interface Sci.*, **250**, 93 (2002).
8. P. Chingombe, B. Saha, and R. J. Wakeman, *Carbon*, **43**, 3132 (2005).
9. S. J. Park and K. D. Kim, *Carbon*, **39**, 1741 (2001).
10. S. B. Lee and I. K. Hong, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **19**, 439 (2008).
11. T. Yang and A. C. Lua, *Micropor. Mesopor. Mater.*, **63**, 113 (2003).
12. V. Ferro, V. Torné-Fernández, and A. Celzard, *Micropor. Mesopor. Mater.*, **101**, 419 (2007).
13. H. R. Hwang, W. J. Choi, T. J. Kim, J. S. Kim, and K. J. Oh, *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **83**, 220 (2008).
14. E. Vilaplana-Ortego, M. A. Lillo-Ródenas, J. Alcañiz-Monge, D. Carzorla-Amorós, and A. Linares-Solano, *Carbon*, **47**, 2112 (2009).
15. X. Cheng, Q. Zha, X. Li, and X. Yang, *Fuel Process. Technol.*, **89**, 1436 (2008).
16. W. Xing and Z. F. Yan, *New Carbon Mater.*, **17**, 25 (2002).
17. C. Y. Guo and C. Y. Wang, *Micropor. Mesopor. Mater.*, **102**, 337 (2007).
18. J. Gañán-Gómez, A. Macías-García, M. A. Díaz-Díez, C. González-García, and E. Sabio-Rey, *Appl. Surface Sci.*, **252**, 5976 (2006).
19. I. J. Kim, S. H. Yang, M. J. Jeon, S. I. Moon, and H. S. Kim, *J. Korea Ind. Eng. Chem.*, **19**, 407 (2008).
20. M. A. Short and P. L. Walker, *Carbon*, **1**, 3 (1963).
21. J. Starck, P. Burg, S. Muller, J. Bimer, G. Furdin, and P. Fioux, *Carbon*, **44**, 2457 (2006).
22. S. Brunauer, P. H. Emmett, and E. Teller, *J. Am. Chem. Soc.*, **60**, 309 (1938).
23. S. J. Park, S. Y. Jin, and J. Kawasaki, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **14**, 1111 (2003).
24. B. K. Chan, K. M. Thomas, and H. Marsh, *Carbon*, **31**, 1071 (1993).