

NaOH 활성화법으로 제조한 폐감귤박 활성화탄의 흡착특성

강 경 호^{*} · 감 상 규^{*} · 이 송 우 · 이 민 규
제주대학교 토목환경공학전공, ^{*}부경대학교 응용화학공학부
(2007년 8월 27일 접수; 2007년 9월 7일 채택)

Adsorption Characteristics of Activated Carbon Prepared From Waste Citrus Peels by NaOH Activation

Kyung-Ho Kang^{*}, Sang-Kyu Kam^{*}, Song-Woo Lee and Min-Gyu Lee

Division of Applied Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

^{*}Division of Civil & Environmental Engineering, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

(Manuscript received 27 August, 2007; accepted 7 September, 2007)

The activated carbon was prepared from waste citrus peels using NaOH. With the increase of NaOH ratio, iodine adsorptivity and specific surface area of the activated carbon prepared were increased, but activation yield was decreased. The optimal condition of activation was at 300% NaOH and 700 °C for 1.5 hr. For the activated carbon produced under optimal condition, iodine adsorptivity was 1,006 mg/g, specific surface area was 1,356 m²/g, and average pore diameter was 20~25 Å. From the adsorption experiment for benzene vapor in fixed bed reactor, it was found that the adsorption capacity of activated carbon prepared from waste citrus peel was higher than that of activated carbon purchased from Calgon company. This result implied that the activated carbon prepared from waste citrus peel could be used for gas phase adsorption.

Key Words : Adsorption, Activated carbon, NaOH activation, Waste citrus peel

1. 서 론

활성탄은 다공성의 탄소질 집합체로서 넓은 내부표면적을 갖고 있고 비극성이며 물리적, 화학적으로 안정성이 뛰어난 흡착제이다. 이러한 활성탄은 원료 선정에 의해 흡착성능과 흡착특성이 좌우되며¹⁾, Teng과 Yeh²⁾도 활성탄의 원료와 제조조건에 의해 세공구조가 결정된다고 하였다. 현재 상용화되고 있는 활성탄은 주로 니탄, 초탄, 역청탄, 무연탄 등과 같은 석탄계열과 아자계열, 그리고 목재, 톱밥, 목탄 등의 목탄계열 등의 원료로 제조된 것이 대부분이다.

그러나 활성탄의 원료인 석탄계열 등은 화석자원의 고갈로 원료의 공급에 한계성을 보이고 있다. 이에 기존의 활성탄 원료를 대신하여 biomass 자원을 이용하는 방안중의 하나로써 농산물 폐기물을 원료

로 이용한 활성탄 제조에 관심이 크게 높아지고 있다. Biomass 자원은 주로 식물계 자원을 말하며, 화석자원과는 달리 재생 및 회수가 가능하다는 것과 지역적 편차가 없다는 장점이 있다. Biomass를 이용한 활성탄 제조에 대한 연구로 Gergova 등³⁾은 살구씨, 포도씨 및 체리씨 등을 이용하여 여러 가지의 활성탄을 제조하였다. Avom 등⁴⁾은 왕겨를 활성탄으로 제조한 바 있으며, Reinoso와 Molina-Sabio⁵⁾는 복숭아씨를 이용하여 활성탄을 제조하였다. 대추씨와 호도피를 이용한 활성탄 제조가 Kim과 Bae⁶⁾에 의해 연구되었고, Lee 등⁷⁾은 배추를 이용하여 활성탄을 제조하였다. Yoon 등⁸⁾은 수박씨를 이용하여 활성탄을 제조하여 유해중금속인 Cr⁺의 흡착 제거 실험을 하였고, Ko와 Ahn⁹⁾은 왕겨로부터 활성탄을 제조하여 액상 phenol의 흡착 특성을 연구하였다.

최근 Choi¹⁰⁾는 또 다른 biomass 자원인 폐감귤박을 이용하여 활성탄을 제조하는 연구를 수행한 바 있으며, 본 연구자들도 선행연구¹¹⁾에서 폐감귤박을 원료로 하고 활성화제로 ZnCl₂를 사용하여 활성탄

Corresponding Author : Min-Gyu Lee, Division of Applied Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea
Phone: +82-51-620-1468
E-mail: mglee@pknu.ac.kr

을 제조하였다. 그러나 폐감굴박을 이용한 이들 연구에서는 활성화제로 $ZnCl_2$ 를 사용하여 활성탄을 제조하였다. 한편, Kim 등¹²⁾은 자당을 이용하여 활성탄을 제조한 경우에 $ZnCl_2$ 를 활성화제로 사용한 경우보다는 NaOH를 활성화제로 사용하는 경우에 제조된 활성탄의 비표면적과 세공부피 등이 높게 나타났다고 하였으며, Lee¹³⁾는 고추씨로부터 활성탄을 제조하는 경우에 $ZnCl_2$ 를 활성화제로 사용한 경우보다는 NaOH를 활성화제로 사용하는 경우에 제조된 활성탄의 비표면적과 세공부피 등이 높게 나타났다고 하였다. 이들 결과를 보면 $ZnCl_2$ 를 활성화제로 사용하기 보다는 NaOH와 같이 OH기를 갖는 활성화제를 사용하면 높은 비표면적과 미세기공이 더욱 발달한 활성탄을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 선행연구와는 달리 NaOH를 활성화제로 사용하여 폐감굴박으로부터 활성탄을 제조하고, 제조된 활성탄의 요오드 흡착능, 비표면적, 세공분포 등을 조사하고, SEM 분석을 통하여 표면 특성을 관찰하였다. 또한, 제조된 활성탄을 사용하여 대표적인 VOCs 물질중의 하나인 벤젠가스에 대한 기상흡착실험을 수행하여 제조된 활성탄이 기상물질의 제거에 활용이 가능한지를 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

본 연구에 사용된 폐감굴박 원료는 감굴 복합처리 가공공장에서 부산물로 발생하는 것을 사용하였다. 먼저 폐감굴박을 $-20^{\circ}C$ 의 냉동고에서 24 hr 동안 냉동시킨 다음, 진공 동결건조기(PVTFD200A, 일신랩)에서 72 hr 처리하여 수분을 완전히 제거한

다음에 일정 크기로 분쇄하여 시료로 사용하였다.

2.2. 활성탄 제조

폐감굴박 활성탄은 전처리한 폐감굴박 시료의 일정량을 뚜껑이 있는 stainless 용기에 담은 다음 N_2 가스를 주입하여 환원분위기하에서 탄화시킨 다음 NaOH로 활성화를 시켜 폐감굴박 활성탄을 제조하였다. NaOH의 침적비율은 100~300%로 변화시키고 활성화 온도를 $400\sim 900^{\circ}C$ 로 달리하여 수행하였다.

2.3. 특성분석

폐감굴박 및 제조된 활성탄의 C, H 및 N 함량과 무기물 조성은 각각 CHN 분석기(Leuco CHN-900)와 X-선 형광분석기(X-ray fluorescence spectrometer, Shimadzu XRF-2100)를 이용하여 측정하였다. 요오드 흡착능은 KS 활성탄 시험방법에 따라 측정하였고, 시료의 표면 특성과 형태를 파악하기 위해 주사 현미경(SEM; scanning electron microscope, Hitache S-2460N)을 이용하여 20 KV, 1000 배의 배율에서 관찰하였다. 비표면적 및 세공특성은 BET 비표면측정기(Micromeritics, ASAP-2010) 및 Mercury porosimeter(Micromeritics, poresizer 9320)를 이용하여 측정하였다.

2.4. 기상 흡착실험

제조된 폐감굴박 활성탄을 사용하여 기상 벤젠에 대한 흡착실험을 수행하고, 일반적으로 기상 오염물질 제거에 우수한 제거능을 보이는 것으로 알려져 널리 사용되고 있는 Calgon사 제품의 활성탄과 기상 벤젠에 대한 흡착능을 비교하였다. 각 활성탄은 40~60 mesh의 일정한 크기로 선별한 후 $105^{\circ}C$ 건조기에서 24 hr 건조한 다음 사용하였다. 흡착 장치는 Fig. 1에서 보여 지는 것처럼 air pump, 실린지

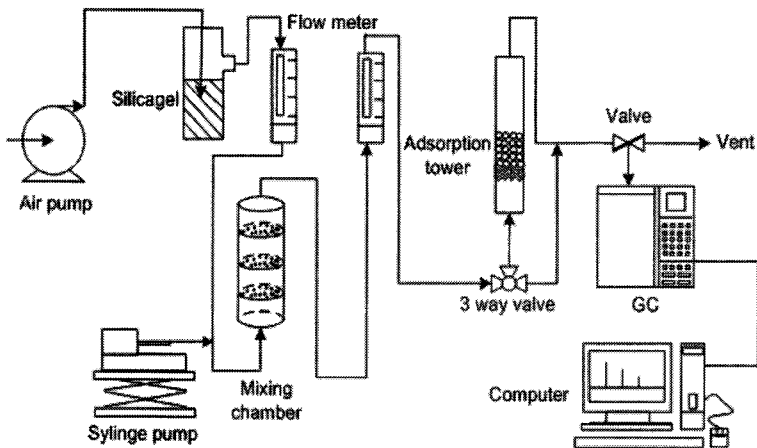


Fig. 1. Schematic diagram of experiment apparatus.

펌프, 혼합기 및 흡착 반응기 등으로 구성되어 있다. 흡착 반응기는 내경 16 mm, 외경 20 mm, 그리고 높이 250 mm인 pyrex 유리관을 사용하였으며, 실험온도는 20°C로 일정하게 유지하여 운전하였다. Air pump에서 공급되는 대기중의 공기는 먼저 실리카겔층을 통과시켜 수분을 제거한 다음에, 실린지 펌프(Cole Parmer International, U.S.A p-74901-10)로 유입하는 액상의 벤젠을 이 공기에 의해 기화되도록 하였다. 기화된 벤젠 가스는 혼합기에서 공기와 충분히 혼합되게 한 후 흡착 반응기의 하부로 유입시켜 상부로 배출되게 하였다. 벤젠 가스의 농도는 DB-624 capillary column (30 m × 0.32 mm ID × 1.8 μm film thickness)과 불꽃이온화검출기(FID)가 장착된 gas chromatography (Donam, DS-6200)로 분석하였으며, oven 온도는 50°C, injector 온도는 250°C, 그리고 detector 온도는 200°C로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 폐감귤박 및 제조된 활성탄의 성분 비교

폐감귤박 원시료와 폐감귤박으로 제조된 활성탄의 주요 성분을 비교하여 그 결과를 Table 1과 2에 나타내었다. Table 1에서 보듯이 폐감귤박 원시료와 폐감귤박으로 제조된 활성탄에서의 탄소, 수소 및 질소의 함량이 크게 다른 것으로 나타났다. NaOH로 활성화시킨 후의 탄소 함량은 폐감귤박의 탄소 함량에 비해 약 1.5배 증가하였으나, 수소와 질소 함량은 크게 감소하였다. 이는 고온에서 탈수성이 강한 NaOH로 인해 탈수 및 산화가 이루어져 활성탄의 표면에 산소 및 수소를 포함하는 기능이 상대적으로 감소하였기 때문으로 사료된다.

Table 2는 무기물의 조성을 비교하여 나타낸 것이다. 폐감귤박은 CaO와 K₂O가 각각 36.2% 및 29.3%로 주를 이루고 있었으나, NaOH를 활성화제로 하여 제조된 활성탄은 CaO와 K₂O는 각각 12.4% 및 3.6%로 낮아진 반면에, Na₂O는 4.1%에서 62.8%로 증가하여 Na₂O가 전체 무기물 조성에 60% 이상을 차지하였다. 이는 활성화제로 사용된 NaOH가 탈수 및 산화작용으로 탄소질을 침식하는 과정에서 다량의 Na가 침적되었기 때문으로 사료된다.

Table 1. The composition of C, H, N on waste citrus peel and activated carbon

Sample	Waste citrus peel	Activated carbon prepared
C (%)	48.3	75.6
H (%)	6.4	0.5
N (%)	4.1	0.3

3.2. NaOH 활성화법으로 제조한 활성탄의 특성

Fig. 2는 NaOH의 중량비율을 100~300%로 달리 하여 침적시키고, 활성화온도를 각각 400~900°C로 달리한 경우에 요오드 흡착능 값의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 활성화 온도 400~700°C에서는 온도가 증가함에 따라 요오드 흡착능은 증가하였고, 800~900°C에서는 요오드 흡착능이 감소함으로써 활성화 온도 700°C에서 300%의 NaOH로 제조한 활성탄이 가장 높은 요오드 흡착능을 보였다. 이는 활성화 온도가 700°C까지는 제조되는 활성탄의 비표면적을 증대시켜 흡착능이 증가하지만, 800°C 이상의 온도에서는 과활성화로 인해 미세공이 파괴되어 macropore가 많이 형성되고 비표면적이 줄어들어 흡착능이 떨어지는 것으로 사료된다¹⁴⁾. 이러한

Table 2. The composition of ash of waste citrus peel and activated carbon

Compound	Waste citrus peel	Activated carbon prepared
CaO	36.2	12.4
K ₂ O	29.3	3.6
CuO	11.2	-
SO ₃	9.3	2.3
Na ₂ O	4.1	62.8
P ₂ O ₅	4.8	3.6
SiO ₂	3.9	2.8
Al ₂ O ₃	1.2	1.1
MgO	-	8.4
Fe ₂ O ₃	-	3.0
ZnO	-	-
Cl	-	-
Total (%)	100	100

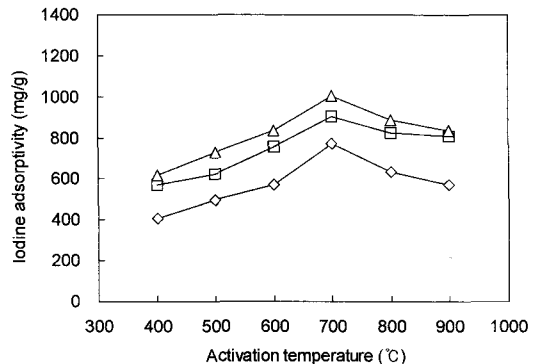


Fig. 2. Iodine adsorptivity of activated carbon as a function of activation temperature and NaOH ratio (◇: 100%, □: 200%, △: 300%) for activation time of 1.5 hr.

결과는 일정 온도 이상의 활성화에서는 비표면적이 줄어드는 과활성화로 인해 흡착능이 떨어진다고 한 Lee 등⁷⁾의 결과와 동일한 결과를 보였다.

Fig. 3은 활성화 온도는 700°C, 활성화 시간은 1.5 hr로 고정시킨 후, 활성화제인 NaOH의 침적비율을 각각 100, 200 및 300%로 변화시켜 제조한 활성탄의 요오드 흡착능, 비표면적 및 수율의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 활성화제의 침적비율이 증가할수록 요오드 흡착능과 비표면적이 증가하였으나, 활성화 수율은 침적비율이 증가할수록 각각 53, 50 및 47%로 낮아지는 경향을 보였다. ZnCl₂ 활성화제를 사용한 선행 연구¹¹⁾에서도 ZnCl₂의 침적비율이 증가할수록 비표면적과 요오드 흡착능은 증가하고, 수율은 감소하는 결과를 나타냈다. 활성화제인 NaOH의 침적비율이 300%, 활성화 온도 700°C, 활성화 시간 1.5 hr인 경우에 제조된 활성탄의 요오드 흡착능은 1,006 mg/g, 비표면적은 1,356 m²/g로써, ZnCl₂를 활성화제로 한 선행연구¹¹⁾에서의 요오드 흡착능 856 mg/g와 비표면적 756 m²/g과 비교하면 NaOH를 활성화제로 사용한 경우에 요오드 흡착능 및 비표면적이 더 높은 것으로 나타났다. 따라서 활성탄 원료인 폐감귤박의 경우에 활성화제로는 ZnCl₂보다 NaOH를 사용하는 것이 요오드 흡착능이나 비표면적의 증가에 보다 유리한 것으로 사료된다.

Fig. 4는 제조된 활성탄의 세공분포 결과를 나타낸 것으로, 세공부피의 대부분이 30Å 이하인 기공이 차지하여 미세기공이 발달했음을 보여주고 있다. IUPAC(International Union of Pure and Applied Chemistry)에서는 세공직경이 500Å 이상인 것은 대기공으로, 20~500Å은 중기공으로, 20Å 이하는

미세기공으로 분류하고 있다¹⁵⁾. 이를 근거로 하여 살펴보면 NaOH의 침적비가 200%인 경우에는 3~5Å과 8~20Å의 미세기공들 뿐만 아니라 40~80Å의 중대공 및 500Å 이상의 대기공이 다소 존재하지만 NaOH의 침적비가 300%인 경우에는 침적비가 200%인 경우에 비하여 40Å 이상의 중대공들은 감소하면서 3~5Å 및 8~20Å의 미세기공들이 상대적으로 많이 발달하였다. 그러나 선행연구¹¹⁾에서 ZnCl₂를 활성화제로 사용하여 활성탄을 제조한 경우에는 보다 폭이 넓으면서 크기가 일정한 세공들이 발달하였다. 이와 같이 사용된 활성화제에 따라 활성탄의 표면 기공의 크기나 모양이 다르게 나타난 것은 활성화제인 NaOH와 ZnCl₂의 활성화 mechanism의 차이에 기인하는 것으로 보인다.

Table 3은 평균세공크기, 세공부피, 그리고 비표면적을 나타낸 것이다. NaOH의 침적비율이 증가할수록 비표면적과 세공부피는 증가하였으나, 세공크기는 침적비율이 증가할수록 감소하였다. 제조된 활성탄의 평균세공크기는 20~25Å였다. 본 연구에서 NaOH의 침적비율이 증가할수록 비표면적이 증가하는 이유는 NaOH 침적비율이 증가하면서 활성화

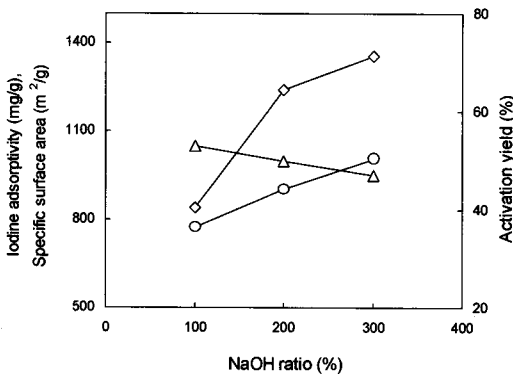


Fig. 3. Comparison of Iodine adsorptivity, specific surface area and activation yield as a function of NaOH ratio (○: iodine adsorptivity, ◇: specific surface area, △: yield, activation temperature: 700°C, activation time: 1.5 hr).

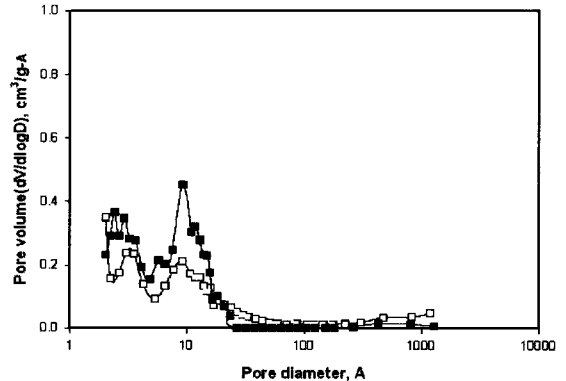


Fig. 4. Pore size distribution measured by specific surface area analysis for activated carbon. (□: NaOH ratio-200%, ■: NaOH ratio-300%)

Table 3. Comparison of specific surface area, total pore volume and average pore diameter as NaOH ratio

Activated carbon	S _{BET} (m ² /g)	V _T (cm ³ /g)	D _p (Å)
NaOH-100%	839	0.417	24.4
NaOH-200%	1,241	0.464	23.9
NaOH-300%	1,356	0.542	20.2

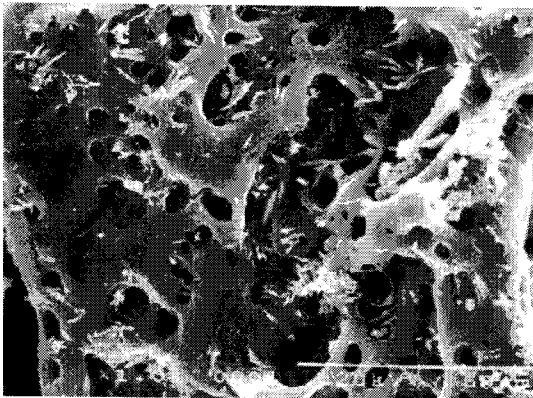
S_{BET} : BET (specific surface area)
 V_T : single point total pore volume
 D_p : average pore diameter

mechanism이 유리하게 작용하여 보다 많은 미세기공을 형성하기 때문에 사료된다.

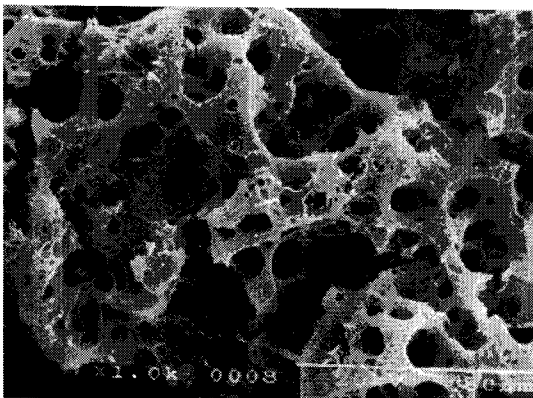
Fig. 5는 활성화제 NaOH를 침적시켜 얻어진 활성탄의 SEM 분석을 나타낸 것이다. Fig. 5(a)에서



(a) NaOH 100%



(b) NaOH 200%



(c) NaOH 300%

Fig. 5. SEM photographs of activated carbon (activation temperature: 700°C; activation time: 1.5 hr; magnification ×1,000).

보면 NaOH의 침적비율이 낮은 경우에는 NaOH가 탄소질을 충분히 침적하지 못함으로써 표면의 활성화나 세공형성이 덜 발달된 것을 볼 수 있다. 그러나 침적비율이 200와 300%로 높아질수록 표면이 거칠어지고 기공을 둘러싸고 있는 세공벽이 발달하면서 기공의 형태가 뚜렷하게 나타나고 있다. 특히 기공 깊이가 깊고 미세한 크기의 기공들이 많이 발달하는 것을 관찰 할 수 있었다.

3.3. 기상 벤젠 흡착특성

Fig. 6은 NaOH 침적비율을 달리하여 제조한 활성탄에 대한 벤젠 가스의 파과곡선(breakthrough curve)을 나타낸 것이다. 흡착실험은 벤젠 가스 유입농도 300 ppmv, 유량 100 ml/min, 활성탄 0.1 g으로 운전하였다. 파과곡선은 흡착시간(t)에 따른 유입농도(C_0)에 대한 유출농도(C)의 비(C/C_0)로 나타낸 것으로, 파과곡선에서 유출농도가 유입농도의 10% 되는 점을 파과시간(t_b)으로 정의하였다. 그림에서 보듯이 100, 200 및 300%로 제조된 활성탄의 파과시간은 각각 90, 110 및 160 min으로 나타나 침적비율이 낮을수록 곡선의 기울기가 크고 파과시간이 짧게 나타났다. 또한 흡착량은 침적비율이 높을수록 증가하여 300%의 NaOH로 침적시켜 제조한 활성탄이 200.5 mg/g으로 가장 높은 값을 보였다. 이는 Fig. 4와 Fig. 5에서도 나타났듯이 NaOH 침적비율이 높아질수록 활성탄의 표면이 활성화되고 미세기공이 발달하여 벤젠을 흡착할 수 있는 비표면적이 증가했기 때문으로 설명할 수 있다.

Fig. 7은 NaOH의 침적비율 300%로 제조한 폐감귤박-활성탄과 기상 오염물질 제거에 우수한 제거능을 보이는 것으로 알려진 Calgon사의 활성탄을 사용하여 기상 벤젠에 대한 흡착실험을 수행하여

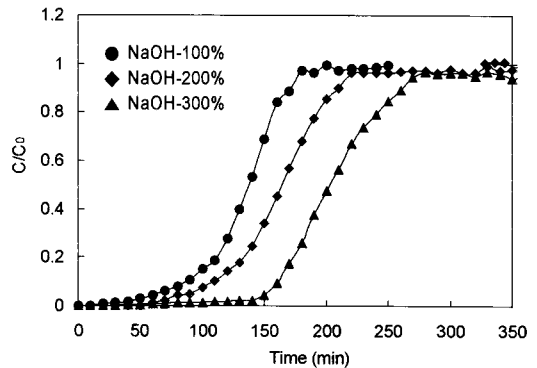


Fig. 6. Comparison of breakthrough curve of benzene vapor as a function of NaOH ratio (benzene concentration: 300 ppmv, flow rate: 100 ml/min, temperature: 20°C).

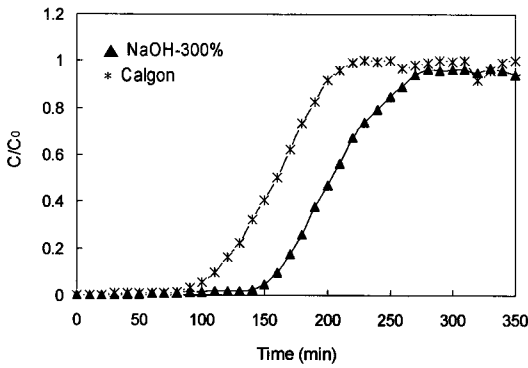


Fig. 7. Comparison of breakthrough curve of benzene vapor as a function of various activated carbon (benzene concentration: 300 ppmv, flow rate: 100 ml/min, temperature: 20°C).

열은 파과곡선을 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 파과시간은 폐감굴박-활성탄 경우 160 min, Calgon사 활성탄의 경우는 110 min이었다. 또한, 흡착량은 폐감굴박-활성탄은 200.5 mg/g, Calgon사 활성탄의 경우는 152.5 mg/g으로써, 본 연구에서 제조한 폐감굴박-활성탄이 시판되고 있는 Calgon사 활성탄보다 우수한 성능을 보였다. 이는 Calgon사 활성탄의 비표면적은 1,242 m²/g인 반면에 본 연구에서 제조한 폐감굴박-활성탄의 경우 비표면적이 1,356 m²/g으로서 더 크기 때문에 사료된다.

4. 결 론

Biomass 자원인 폐감굴박을 사용하여 NaOH를 활성화제로 하여 제조된 활성탄은 NaOH의 침적비율이 100~300%로 증가함에 따라 요오드 흡착능과 비표면적은 증가하였으나, 활성화 수율은 감소하였다. 최적 활성화 조건은 활성화 온도가 700°C, 반응 시간은 1.5 h, NaOH 침적비율이 300%일 때 였으며, 최적 활성화 조건에서 제조된 활성탄의 요오드 흡착능 및 비표면적은 각각 1,006 mg/g 및 1,356 m²/g이었다. 또한 평균세공크기는 20~25Å였으며, NaOH의 침적비율이 증가할수록 세공부피와 비표면적이 증가하고, 미세기공도 더욱 발달하는 것으로 나타났다. 제조된 폐감굴박 활성탄의 기상 벤젠 흡착실험에서 벤젠 흡착량은 200.5 mg/g로 얻어졌으며, 이는 시판되고 있는 Calgon사 활성탄 경우의 벤젠 흡착량 152.5 mg/g에 비해 우수한 흡착능을 보였다. 따라서 제조된 폐감굴박 활성탄은 기상 오염물질 제거용 활성탄으로서의 활용이 가능할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- 1) Tsai W. T., Chang C. Y., Lee S. L., 1997, Preparation and characterization of activated carbons from corn cob, *Carbon*, 35(8), 1198-1200.
- 2) Teng H., Yeh T. S., 1998, Preparation of activated carbon from bituminous coal with zinc chloride activation, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 37(1), 58-65.
- 3) Gergova K., Petrov N., Minkova V., 1993, A comparison of adsorption characteristics of various activated carbons, *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 56(1), 77-82.
- 4) Avom J., Mbadcam J. K., Noubactep C., Germain P., 1997, Adsorption of methylene blue from an aqueous solution on to activated carbons from palm-tree corps, *Carbon*, 35(3), 365-369.
- 5) Reinoso F. R., Molina-Sabio M., 1992, Activated carbons from lignocellulosic materials by chemical and/or physical activation: an overview, *Carbon*, 30(7), 1111-1118.
- 6) Kim J. H., Bae W. K., 2003, Granular activated carbons from jujube seeds and walnut shells and their adsorption characteristics, *J. Korea Soc. Waste Manage.*, 20(5), 521-528.
- 7) Lee S. H., Lee B. H., Park H. J., 2001, Study on the production of activated carbon using Chinese cabbage, *J. Korean Environ. Sci. Soc.*, 10(5), 373-380.
- 8) Yoon K. S., Kim M. N., Han S. M., Kim H. H., 2003, Preparation of activated carbon from biomass and adsorption of Cr⁶⁺, *Appl. Chem.*, 7(2), 827-830.
- 9) Ko Y. S., Ahn W. S., 1993, Preparation and adsorption characteristics of activated carbon from korean rice hull., *J. Korean Ind. Chem. Eng.*, 31(6), 707-714.
- 10) Choi J. M., 2006, Characteristics of carbonation and activation for waste citrus peels, Master Thesis, Dept. of Fine Chemistry, Seoul National University of Technology, Seoul, p53.
- 11) Kang K. H., Kam S. K., Lee M. G., 2007, Preparation of activated carbon from waste citrus peels by ZnCl₂, *J. Korean Environ. Sci. Soc.*, in press.
- 12) Kim H. H., Lee J. M., Chung M. K., 2002,

- Preparation of activated carbon from sucrose by chemical activation, J. Korean Ind. Eng. Chem., 13(2), 156-161.
- 13) Lee J. M., 2002, A study on the preparation of activated carbon from pepper-seed, Master Thesis, Dept. of Applied Chemistry, Sunmoon University, Asan, p64.
- 14) Kim S. C., Hong I. K., 1998, Manufacturing and physical properties of coal based activated carbon, J. Korean Soc. Environ. Eng., 20(5), 745-754.
- 15) Sing K. S. W., Everett D. H., Hanl R. A. W., Moscou L., Pierotti R. A., Rouquerol J. Siemieniowska T., 1985, Reporting physisorption data for gas/solid system with special reference to the determination of surface area and porosity, Pure Appl. Chem., 57(4), 603-619.