열분해 조건에 따른 펠렛형 다공성 흡착재의 제조 및 톨루엔 가스 흡착 특성

김도영 · 김예솔 · 조세호 · 정진영 · 김민일* · 이영석[†]

충남대학교 바이오응용화학과, *지티사이언
(2013년 5월 6일 접수, 2013년 8월 12일 심사, 2013년 8월 21일 채택)

Preparation of Pelletized Porous Adsorbent with Pyrolysis Temperature and Its Toluene Gas Adsorption Characteristics

Do Young Kim, Yesol Kim, Seho Cho, Jin-Young Jung, Min Il Kim*, and Young-Seak Lee[†]

Department of Applied Chemistry and Biological Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

*GTsien, Daejeon, 305-509, Korea

(Received May 6, 2013; Revised August 12, 2013; Accepted August 21, 2013)

본 연구에서는 대표적 휘발성유기화합물(volatile organic compounds, VOCs)인 톨루엔(toluene)을 제거하고자 활성탄소와 폴리비닐알코올(polyvinyl alcohol, PVA)을 바인더로 이용하여 여러 가지 열분해 온도에 따른 펠렛형 다공성 탄소 흡착재를 제조하였다. 제조된 펠렛형 다공성 탄소 흡착재의 물리적 특성은 주사전자현미경(FE-SEM), 비표면적측정장치(BET), 열중량분석기(TGA)를 통하여 분석하였으며, 톨루엔 가스 흡착능은 가스크로마토그래피(GC)를 이용하여 분석하였다. 활성탄소, PVA 및 용매가 각각 1 : 0.1 : 0.8의 질량 비율로 배합될 경우 펠렛의 성형성이 가장 뛰어났다. 톨루엔 흡착 성능은 펠렛에 99% 이상의 톨루엔이 흡착되는 최대 시간을 측정하여 평가하였다. 300 °C에서 열처리된 흡착재 비표면적은 열처리 전에 비하여 약 4.7배 증가된 약 941.9 m²/g로 측정되었다. 펠렛형 다공성 탄소 흡착재의 미세 기공의 부피는 0.30 cc/g으로 약 5배, 톨루엔 흡착 능력은 26 h으로 약 13배로 각각 증가하였다. 이는 바인더의 함량 및 열분해 온도 변화에 따른 활성탄소의 기공 크기 및 비표면적 변화에 의한 것으로 판단된다.

In this study, we prepared pelletized porous carbon adsorbent (PCA) according to the different pyrolysis temperature using activated carbon and polyvinyl alcohol (PVA) as a binder for the removal of toluene, which is one of the representative volatile organic compounds (VOCs). We investigated physical characteristics of PCA using FE-SEM, BET, TGA and evaluated their adsorption capacity for toluene using GC. It was confirmed that the formability of pellets composed of the activated carbon, PVA and solvent of mass mixing ratio was 1 : 0.2 : 0.8 was the most outstanding. Toluene adsorption capacity was evaluated by measuring the maximum time when more than 99% of toluene adsorbed on the pellet. The specific surface area of the adsorbent pyrolyzed at 300 °C was measured as 4.7 times in 941.91 m²/g compared to that of the unpyrolyzed pellet. Micropore volume and toluene adsorption capacity of PCA increased fivefold to be 0.30 cc/g and thirteenfold to be 26 hours compared to that of the unpyrolyzed pellet, respectively. These results were attributed to the change of pore size and specific surface area due to the PVA content and the different pyrolysis temperature.

Keywords: volatile organic compounds, adsorbent, activated carbon, pyrolysis, toluene

1. 서 론

산업 발전에 따른 막대한 화석 연료의 소모로 이미 대기 오염은 심각한 수준에 이르러 있다. 특히, 자동차의 운행량, 각종 유류 및 유기 용제의 사용량이 증가함으로써 휘발성 유기화합물(volatile organic compounds, VOCs)의 발생량이 증가하였다[1,2]. VOCs는 높은 증기

압으로 인하여 대기 중으로 쉽게 증발되며, 증발된 VOCs의 2차적인 화학 반응으로 광학스모그, 오존, 알데히드 등과 같은 환경오염물질이 생성된다. 또한 호흡기 질환 및 신경계 장애 등의 인체 유독성까지 지니고 있어 사회적 비용을 증가시키는 주범으로 지목되고 있다[2,3]. 때문에 선진국에서는 VOCs 감소를 대기 질 개선의 주요 목표로 여기고 있으며, VOCs를 제거하기 위한 많은 방법들을 연구하고 있다. VOCs를 제거하는 방법은 대표적으로 연소공정, 광산화공정, 흡착공정 등이 있다[4,5].

연소공정은 고온에서 VOCs를 산화 분해하는 방법으로써, 다양한 종류의 가스 및 농도에 대하여 적용이 가능하고 에너지를 회수할 수 있다는 장점이 있는 반면, 650~900 °C의 가동온도가 필요하고 100~2000 ppm의 농도 VOCs만을 제거할 수 있어 범용적으로 이용하는

[†] Corresponding Author: Chungnam National University
Department of Applied Chemistry and Biological Engineering,
99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea
Tel: +82-42-821-7007 e-mail: youngslee@cnu.ac.kr

것에 어려움이 있다[6]. 광산화공정은 빛 에너지를 받아 강력한 표면 산화를 일으키는 광촉매를 이용한 공정으로써, 저온에서 저 농도의 VOCs를 제거할 수 있으나 분해과정에서 발생하는 반응 중간체와 오존 등이 2차 오염을 일으킬 가능성이 있다[5]. 흡착공정은 VOCs를 다공성 재료의 기공에 흡착시켜 제거하는 공정으로써, 앞의 두 방법과는 다르게 상온에서 농도에 관계없이 VOCs를 제거할 수 있고, 2차 오염물질을 발생시키지 않는 장점이 있다[7,8].

흡착공정에서 이용되는 물질로는 대표적으로 제올라이트와 활성탄소가 있다. 제올라이트는 종류에 따라 일정한 크기의 관통형 기공을 가진 흡착제로써, 보유한 기공 크기에 맞는 물질을 선택적으로 흡착하는 특성을 지니고 있으며 미립자를 분류하는 분자체로 널리 이용된다[7]. 때문에 제올라이트의 선택적 흡착 특성은 다양한 종류의 VOCs를 동시 다발적으로 흡착하여 제거하는 것에 어려움이 있다. 반면, 활성탄소는 비 관통형 미세기공을 가지고 있으며 활성화 방법에 따라 기공의 크기를 조절할 수 있기 때문에 다양한 종류의 VOCs를 제거하는데 유리하며, 유해물질 흡착제로써 널리 이용되고 있다[8,9].

활성탄소는 물리적 형상에 따라 분말활성탄소와 입상활성탄소로 분류된다. 분말활성탄소의 경우 최소한의 설비를 추가하는 것만으로도 비교적 용이하게 이용할 수 있으나 흡착이 완료된 후 수거하는데 어려움이 있다. 또한 기상 오염물질을 제거하는 용도로 이용할 경우 흡착 후 발생하는 분진의 조절이 어려워 이에 의한 2차 오염이 발생할 우려가 있다[10]. 반면, 입상활성탄소는 파쇄상, 구형 조립상, 원주형 조립상 등의 여러 형태를 지니고 있으며, 분말활성탄소와는 달리 수거가 용이하고, 분진으로 인한 2차 오염이 발생되지 않는 장점이 있어 주로 이용된다[11,12]. 또한, 입상활성탄소는 일반적으로 피치 바인더와 활성화제를 이용하여 제조한다. 피치 바인더의 경우 유기용매를 사용하기 때문에, 제조 과정에서 유해물질을 배출하며 700 °C 이상의 온도에서 열처리가 필요하다. 따라서 보다 친환경적이고 저온에서 입상활성탄소를 용이하게 제조하는 방법이 요구되고 있다[12].

본 연구에서는 열분해 온도 조건을 달리한 활성탄소를 이용하여 펠렛형 다공성 탄소 흡착제를 제조하였으며, 제조된 흡착제를 사용하여 톨루엔 흡착능에 대하여 고찰하였다. 또한 열분해 반응에 의한 펠렛의 물리적 특성과 톨루엔 가스의 흡착능이 미치는 영향에 대하여 고찰하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 실험 재료 및 펠렛형 활성탄소의 제조

VOCs 제거용 펠렛형 활성탄소를 제조하고 그 특성을 평가하기 위하여 다음과 같이 실험을 3단계로 나누어 진행하였다. 첫 번째로, 활성탄소(activated carbon, Dongyang-carbon, Korea)에 포함되어 있는 불순물을 제거하고자 활성탄소를 증류수(primary distilled water)가 담긴 비커에 넣은 뒤 초음파 세척기(power sonic, Hwashin instrument, Korea)를 이용하여 40 kHz, 상온에서 15 min 동안 3회 반복 세척하였으며, 세척이 완료된 활성탄소를 100 °C로 설정된 오븐에서 24 h 동안 건조하였다. 두 번째로, 건조가 완료된 활성탄소와 바인더(polyvinylalcohol : PVA, Junsei, Mw-20000), 용매(primary distilled water)를 교반하여 혼합하고, 몰탈(GTscien, Korea)을 이용하여 60 rpm에서 1 h 동안 반죽하여 활성탄소, 바인더, 용매를 균일하게 혼합하였다. 세 번째로, 혼합이 완료된 활성탄소 복합체를 압출 성형기를 이용하여 직경 5 mm, 길이 10 mm의 원통형 활성탄소 펠렛으로 성형하였으며, 완성된 활성탄소 펠렛의 용매를 제거하기 위하여 100 °C에서 1 h 동안 오

Table 1. Specific Experimental Conditions for Each Sample

Sample name	Mixing ratio (AC : PVA : H ₂ O)	Pyrolysis temperature (°C)
AC	-	-
ACP5	1 : 0.05 : 0.8	100
ACP10	1 : 0.1 : 0.8	100
ACP20	1 : 0.2 : 0.8	100
ACP20-200	1 : 0.2 : 0.8	200
ACP20-300	1 : 0.2 : 0.8	300

Figure 1. Thermal gravimetric analysis (TGA) of the AC, PVA and the AC pellet.

븐에서 건조하였다. 또한, 위 실험에 사용된 활성탄소, 바인더, 용매의 혼합비율에 따른 시료 명칭을 Table 1에 정리하여 나타내었다.

2.2. 펠렛의 열분해

상기 2.1절의 실험 단계에 따라 제조된 펠렛의 비표면적을 증가시키기 위하여 열분해 공정을 수행하였다. 열분해 공정은 200 °C, 300 °C에서 각각 1 h 동안 수행하였으며, 열분해 조건에 따른 시료명을 Table 1에 나타내었다. 열분해 공정의 온도 조건은 펠렛 제조에 이용된 AC, PVA, ACP20의 TGA (thermogravimetric analysis, Mettler toledo, TGA/DSC 1) 결과를 바탕으로 선택하였으며, 측정된 결과를 Figure 1에 나타내었다.

2.3. 제조된 펠렛 및 열분해 펠렛의 물성 평가

상기 2.1절로부터 제조된 펠렛 및 2.2절에서 열분해 처리된 펠렛의 표면 형상, 비표면적 및 경도를 분석하기 위하여 FE-SEM (field emission scanning electron microscope, Hitachi, S-5500, Japan, KBSi 전주센터), BET (brunauer-emmett-teller, Micromeritics, ASAP2020, Japan), 쇼어경도(shore hardness tester, Asker, CI-150, Japan)분석을 실시하였다.

2.4. 제조된 펠렛 및 열분해 펠렛의 VOCs 흡착능

상기 2.1절, 2.2절에서 제조된 펠렛 및 열분해 펠렛의 VOCs 흡착능 분석을 실시하였다. VOCs로는 톨루엔을 사용하였으며 흡착능을 확인하기 위한 장치의 모식도를 Figure 2에 나타내었다. 톨루엔 흡착능

Figure 2. Schematic diagram of gas phase toluene adsorption experiment.

분석 장치는 톨루엔이 미량 포함된 공기를 일정한 유속으로 주입하기 위한 주입장치, 활성탄소 펠렛을 충전시킨 반응장치, 일정한 간격으로 톨루엔의 양을 측정하는 측정장치로 구성되었다. 톨루엔 흡착 반응이 일어나는 반응기는 내경 12 mm, 외경 13 mm, 높이 200 mm의 석영관으로써 0.1 g의 펠렛을 충전하여 실험을 진행하였으며, 내·외부 온도를 27 ± 1 °C로 유지하여 저온에서 발생하는 톨루엔 응축현상을 방지하였다. 반응장치에 사용된 가스는 공기를 운반체로 하는 100 ppm 톨루엔 가스를 사용하였고, 질량유속 조절기(mass flow controller, Worldensys, Korea)를 이용하여 일정한 유속(300 sccm)으로 톨루엔 가스를 주입하였다. 반응장치를 통과한 가스에 잔류한 톨루엔 가스의 잔량을 GC 분석장치(gas chromatography, Aglient, HP 6890, FID)를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 바인더 혼합 비율에 따른 펠렛 제조 및 특성

바인더의 함량에 따른 펠렛의 표면 특성을 확인하기 위하여 FE-SEM 분석을 실시하였으며, 측정된 결과를 Figure 3에 나타내었다. FE-SEM

분석 결과로부터, PVA를 바인더로 이용하여 제조된 ACP5, ACP10, ACP20은 AC와는 다르게 분말 형태의 활성탄소가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 ACP5와 ACP10, ACP20의 결과로부터 바인더인 PVA의 양이 증가할수록 보다 치밀한 구조의 활성탄소 펠렛이 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 특히 ACP20의 경우 과량의 PVA로 인한 높은 표면 밀집도가 관찰되었다. 뿐만 아니라 ACP5의 경도는 10D였고, ACP10의 경우에는 18D, ACP20은 37D로 바인더의 함량에 따라 크게 증가하였다. 특히, ACP20의 경우 상용 CMS (CMS-FB, Cabotech, Germany)의 경도(28D)에 비하여 우수한 경도 특성을 나타내었다. 펠렛의 비표면적 및 기공 특성을 확인하기 위하여 BET 분석을 실시하였으며, 측정된 질소 흡착등온선을 Figure 4에 나타내었고, 조건에 따른 펠렛의 비표면적을 측정하여 Table 2에 나타내었다. ACP5, ACP10, ACP20의 비표면적을 측정한 결과 각각 $893.06 \text{ m}^2/\text{g}$, $567.87 \text{ m}^2/\text{g}$ 그리고 $198.53 \text{ m}^2/\text{g}$ 의 비표면적을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 이는 펠렛을 성형하는 과정에서 사용된 PVA가 활성탄소의 open pore를 감소시킨 것으로 생각된다. PVA로 인하여 감소되는 기공의 크기 및 분포를 더욱 상세히 알아보기 위하여 밀도범함수이론(density functional theory, DFT)으로 공극 분포도를 계산하였으며[13,14], 그 결과를 Figure 5에 나타내었다. 계산 결과 AC는 6.7~27.3 nm, ACP5와 ACP10은 8.0~27.3 nm, ACP20은 10.9~29.5 nm의 기공 분포를 가지고 있음을 확인할 수 있었다. AC의 경우 직경 6.7~10.0 nm의 기공이 전체 기공 분포의 66.7%를 차지하였으며, 그중 7.3 nm와 9.2 nm의 직경을 가지는 기공이 대부분을 차지하였다. 반면 ACP5의 경우 8.0~10.0 nm의 기공이 50%를 차지하였으며 주로 8.6 nm의 직경이 분포하였다. 또한 AC에서는 관찰되지 않은 11.7~12.6 nm의 기공이 발견되었다. 이러한 현상은 활성탄소 펠렛 성형과정에서 첨가되는 PVA가 AC의 기공에 침착되면서 작은 기공은 막아버리고, 큰 기공은 내부 직경을 감소시킴으로써 AC와 다른 새로운 기공 특성이 나타난 것으로 판단된다 [15,16]. 또한 ACP5뿐만 아니라 ACP10에서도 비슷한 현상이 관찰되었다. ACP10의 경우 AC에서 확인되지 않았던 10.0~12.6 nm의 기공이 새롭게 관찰되었고, 10 nm 미만의 기공이 ACP5보다 더욱 감소하는

Figure 3. Surface morphology of the AC and AC pellets; (a) AC, (b) ACP5, (c) ACP10, (d) ACP20, (e) ACP20-200, and (f) ACP20-300.

Table 2. Textural Properties of the Pelletized Activated Carbon

Sample name	SSA ^a (m ² /g)	V_T^b (cc/g)	V_M^c (cc/g)	F_M^d (%)	Times (h)
AC	1126.26	0.45	0.37	82.23	28
ACP5	893.06	0.36	0.29	80.56	24
ACP10	567.87	0.23	0.17	73.91	14
ACP20	198.53	0.08	0.06	75	2
ACP20-200	272.79	0.11	0.08	72.73	6
ACP20-300	941.91	0.37	0.30	81.08	26

^a SSA : specific surface area, ^b V_T : total pore volume, ^c V_M : micropore volume, ^d F_M : fraction of micropore volume

(a)

(a)

(b)

(b)

Figure 4. Nitrogen adsorption isotherms of the AC and AC pellet before (a) and after (b) pyrolysis.

Figure 5. DFT pore size distribution of the AC and AC pellet before (a) and after (b) pyrolysis.

것을 확인할 수 있었다. ACP20의 경우 10 nm 이하의 기공이 관찰되지 않은 반면, 10.9 nm 이상의 기공만이 관찰되었다. PVA의 첨가량이 증가할수록 10.0 nm 이하의 크기를 가지는 기공의 부피가 감소되는 현상으로 보아 PVA의 양이 증가할수록 기공의 크기가 감소하여 그에 따라 비표면적이 감소하는 것으로 판단된다.

3.2. 열분해 온도에 따른 펠렛형 다공성 탄소 흡착제 제조 및 특성

AC와 ACP20의 열적 특성을 확인하기 위하여 TGA를 이용하여 이를

분석하고 그 결과를 나타내었다(Figure 1). TGA 분석결과 100 °C 부근에서 활성탄소(AC) 및 활성탄소 펠렛(ACP20)의 무게가 각각 5%, 10% 감소하였다. 일반적으로 다공성 탄소계 흡착제는 대기 중의 수분을 흡착하는 경향이 있으며, 이 수분은 100 °C 부근에서 대부분 증발되어 제거된다[17,18]. 따라서 AC의 중량감소는 흡착된 대기 중의 수분이 제거되어 나타난 현상으로 생각된다. ACP20의 중량감소는 펠렛에 포함된 PVA의 일부가 분해되어 중량이 감소한 것으로 판단되며, 이는 PVA의 낮은 열 안정성에 의한 것으로 사료된다[19-21]. ACP20의 경

우 200 °C와 300 °C에서 변곡점이 생성되었다. PVA는 100 °C부터 서서히 분해가 시작되며, 200~300 °C의 온도에서 측쇄에 결합된 관능기가 제거되는 열분해 반응이 시작된다. 또한 300~500 °C의 온도에서 PVA의 주쇄가 완전하게 분해된다[20,21]. 때문에 첫 변곡점은 200 °C, 두 번째 변곡점은 300 °C에서 생성된 것으로 판단된다. 또한 AC는 300 °C, ACP20은 200 °C 부근에서 열분해가 일어나기 시작하여 500 °C 부근에서 열분해가 완료되었다. AC, PVA, ACP20의 TGA 결과를 바탕으로 펠렛에 포함된 PVA를 제거하여 비표면적을 증가시키고자 상기 2.3절에 나타난 열분해 공정을 진행하였다. 열분해 조건은 200 °C와 300 °C로 설정하였다.

ACP20을 열분해 처리한 펠렛 ACP20-200, ACP20-300의 표면 형상을 관찰하고자 FE-SEM 분석을 실시하였으며, 분석 결과를 Figure 3(e)와 (f)에 나타내었다. ACP20-200의 표면 치밀도는 ACP20에 비하여 보다 낮은 것으로 관찰되었으며, ACP20-300의 표면 형상은 ACP5와 비슷한 형상을 이루는 것을 확인할 수 있었다. 이는 ACP20에 가해진 열에 의하여 PVA가 제거됨으로써 표면 치밀도가 감소한 것으로 판단되며, 주어진 온도에 따라 PVA 제거량이 달라짐으로써 온도에 따른 표면 형상 차이를 나타내는 것으로 판단된다. 또한, 열처리 온도 200 °C, 300 °C의 온도에서 수행하였을 경우 ACP20의 경도(37D)에 비하여 각각 15%, 55% 정도의 경도 감소를 나타내었다. 그러나 상압에서 수행된 톨루엔 파과 실험의 흡·탈착 과정에서 열분해 된 펠렛이 충분한 경도를 유지함으로써, 경도 감소가 파과 실험에 큰 영향을 주지는 않는 것으로 나타났다. ACP20-200, ACP20-300의 비표면적을 측정하고자 BET 분석을 실시하였으며, 측정 결과를 Figure 4와 Table 2에 나타내었다. 200 °C에서 열분해 처리가 이루어진 ACP20-200의 비표면적은 272.79 m²/g으로 측정되었으며, ACP20의 비표면적 198.53 m²/g에 비하여 약 1.4배 증가하였고, ACP20-300의 비표면적은 941.91 m²/g로 약 4.7배 증가하는 것을 확인할 수 있었다. ACP20-200, ACP20-300의 기공구조를 보다 상세하게 알아보기 위하여 DFT로 공극 분포도를 계산하였으며, 그 결과 값을 Figure 5에 나타내었다. ACP20-200은 10.9~12.7 nm의 직경을 갖는 기공이 양이 ACP20에 비하여 약 2배 정도 증가하였다. 또한 ACP20-300은 10.9~12.7 nm의 기공이 ACP20-200보다 감소한 반면 7.3~9.3 nm의 기공이 새롭게 생성되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 ACP20 표면에 위치한 PVA가 열에 의하여 제거되면서 막혀있던 기공이 재생됨으로써 나타난 현상으로 판단된다.

3.3. 펠렛 및 펠렛형 다공성 흡착재의 톨루엔 흡착 특성

AC와 ACP5, ACP10, ACP20, ACP20-200, ACP20-300의 VOCs 흡착능을 측정하기 위하여 톨루엔을 선택하였으며, 톨루엔의 흡착이 정지될 때까지 300 sccm의 속도로 100 ppm의 톨루엔을 지속적으로 주입하여 활성탄소 및 활성탄소 펠렛의 흡착한계를 측정하고 그 결과를 Figure 6에 나타내었다. 99% 이상의 톨루엔을 흡착하여 제거할 수 있는 한계 시간은 AC의 경우 28 h, ACP5 24 h, ACP10 14 h, ACP20 2 h, ACP20-200 6 h, ACP2-300은 26 h으로 측정되었다. 일반적으로, 흡착을 이용하여 어떤 물질을 제거할 경우 흡착재의 비표면적 및 발달된 기공의 크기에 따라 제거되는 물질의 종류와 양이 달라진다. 또한, 흡착재를 이루는 기공 중 미세 기공의 부피가 클수록, 흡착재의 비표면적이 넓을수록 더 많은 물질을 흡착할 수 있다[22,23]. 따라서 활성탄소 펠렛 중 비표면적 및 미세 기공의 부피가 가장 큰 ACP20-300이 AC 다음으로 오랜 시간 동안 톨루엔을 흡착할 수 있었으며, 반대로 비표면적 및 미세 기공의 부피가 가장 작은 ACP20이 흡착 한계에 보다 빨리 도달한 것으로 여겨진다. 활성탄소와 바인더가 혼합된 ACP5,

(a)

(b)

Figure 6. Toluene adsorption breakthrough curves of the AC and AC pellet before (a) and after (b) pyrolysis.

ACP10, ACP20의 경우 바인더의 함량이 증가할수록 비표면적이 좁아지고, 미세기공의 부피가 감소하였으며, 톨루엔 가스의 흡착 한계에 도달하는 시간은 점점 빨라졌다. 이는 앞의 3.2절에서 논의한 바와 같이 바인더에 의한 기공의 막힘 현상으로 인하여 나타나는 것으로 판단된다. 열분해 처리가 진행된 ACP20-200, ACP20-300의 ACP20에 비하여 흡착 한계 도달 시간이 각각 2배, 13배 증가하였으며, 이는 바인더의 열분해에 의한 비표면적 및 미세 기공의 부피 증가에 의한 현상으로 판단된다.

4. 결 론

본 실험에서는 활성탄소, 바인더 및 용매의 배합이 1 : 0.2 : 0.8인 ACP20이 가장 안정적인 형태의 펠렛으로 제조되었으며, ACP5, ACP10, ACP20의 순서로 바인더의 함량이 증가할수록 비표면적 및 미세 기공의 부피가 감소하고 펠렛의 경도가 크게 증가하였다. ACP20을 300 °C에서 열분해 처리된 ACP20-300의 비표면적과 미세 기공의 부피는 ACP20에 비하여 큰 폭으로 증가하였으며, ACP20-300의 경도는 ACP20 대비 약 55% 감소하였다. AC, ACP5, ACP10, ACP20, ACP20-200, ACP20-300의 비표면적 및 미세 기공의 부피에 따른 톨루엔 흡착능력을 측정하였으며, 각각 28, 24, 14, 2, 6, 26 h으로 측정되었다. 특히 300 °C에서

열분해시킨 ACP20-300의 경우 분말 활성탄소인 AC와 유사한 톨루엔 흡착 능력을 나타내었다. 이러한 결과는 본 실험에서 제조된 열분해 펠렛형 흡착재가 기존 펠렛형 흡착재 제조 공정의 단점을 극복하고 톨루엔의 흡착성능을 유사하게 유지함으로써, 관련 분야에 유용하게 적용시킬 수 있을 것으로 기대된다.

감 사

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학협력 기업부설연구소 지원사업(No. 1425077200)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

1. T. J. Lee, J. D. Lee, and W. C. Chang, A Study on Oxidative Decomposition of Toluene for Control of VOCs Emissions, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **14**, 519-525 (2003).
2. S. K. Park and H. C. Kim, Reduction of Volatile Organic Compounds Emitted from Automobile Felt by Activated Carbon and Hollow Core/Mesoporous Shell Carbon Ball, *Appl. Chem. Eng.*, **21**, 680-683 (2010).
3. K. W. Chung, J. M. Kim, S. B. Lee, I. K. Hong, and J. D. Lee, Reaction Media (SCF) Effect in VOCs Mixture Decomposition Process, *Appl. Chem.*, **5**, 327-330 (2001).
4. S. W. Kang, H. T. Song, B. H. Min, and S. S. Suh, A study on measurement of mass transfer coefficient with breakthrough curve for benzene, *Appl. Chem.*, **7**, 321-324 (2003).
5. J. S. Hyun, S. H. Lee, Y. J. Rhim, and B. M. Min, A Study on Cyclone Combustion System for Efficient Thermal Oxidation of VOC, *KSEE*, **13**, 112-117 (2004).
6. H. J. Lim and T. Y. Kim, Technology of VOCs Removal by using Oxidation Complex Compounds, *Prospectives of Industrial Chemistry*, **5**, 33-38 (2002).
7. S. S. Kim, C. H. Lee, and S. W. Park, Adsorption Analysis of VOCs of Zeolite Synthesized by Coal Fly Ash in a Fixed-bed Adsorber, *Korean Chem. Eng. Res.*, **48**, 784-790 (2010).
8. H. S. Kim and Y. S. Park, Adsorption Characteristics of Volatile Organic Compounds-BTX on Activated Carbon Fiber, *J. KOSAE*, **15**, 805-812 (1999).
9. M. W. Jung, K. H. Ahn, Y. H. Lee, K. P. Kim, J. S. Rhee, J. T. Park, and K. J. Paeng, *Microchem. J.*, **70**, 123-131 (2001).
10. X. S. Zhao, Q. Ma, and G. Q. (Max) Lu, VOC Removal: Comparison of MCM-41 with Hydrophobic Zeolites and Activated Carbon, *Energy Fuels*, **12**, 1051-1054 (1998).
11. K. J. Woo, S. D. Kim, and S. H. Lee, Adsorption Characteristics of Multi-component VOCs Including Poorly Adsorbable Chemicals on Activated Carbonaceous Adsorbents, *Korean Chem. Eng. Res.*, **45**, 277-285 (2007).
12. J. H. Kim, Material Approach for Environment, *Ceramist*, **10**, 259-278 (1995).
13. C. F. Guerra, J. G. Snijders, G. te Velde, and E. J. Baerends, Towards an order-N DFT method, *Theor. Chem. Acc.*, **99**, 391-403 (1998).
14. N. A. Seaton, J. P. R. B. Walton, and N. Quirke, A new analysis method for the determination of the pore size distribution of porous carbons from nitrogen adsorption measurement, *Carbon*, **27**, 853-861 (1989).
15. S. J. Park and Y. S. Jang, Effect of micropore filling by silver and anti-bacterial activity of activated carbon fiber surface treated with AgNO₃, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **13**, 166-172 (2002).
16. S. K. Park and H. C. Kim, Cabin Air Filter Media Produced by Needle Punching Process, *J. Korean Ind. Eng. Res.*, **20**, 561-564 (2009).
17. H. H. An, A Study on VOCs Adsorption Properties Using Fine-fiber, *KIGAS*, **14**, 35-40 (2010).
18. W. C. Oh, The Properties of Carbonaceous Desiccant Derived from Phenolic Resin, *Anal. Sci. Technol.*, **13**, 332-337 (2000).
19. T. W. Kim and H. Moon, Characterization of Industrial Wastewater for Removal of TOC by GAC Adsorption, *J. of Adv. Eng. and Tech.*, **1**, 375-381 (2008).
20. B. J. Holland, and J. N. Hay, The thermal degradation of poly(vinyl alcohol), *Polymer*, **42**, 6775-6783 (2001).
21. J. W. Gilman, D. L. VanderHart, and T. Bismaleimides, Thermal Decomposition Chemistry of Poly(vinyl alcohol), Fire and Polymers II: Materials and Test for Hazard, G. L. Nelson, 599, 161-185, American Chemical Society, Washington DC (1995).
22. S. H. Jung and J. S. Chang, Adsorption and Storage of Natural Gas by Nanoporous Adsorbents, *J. Korean Ind. Eng. Res.*, **20**, 117-125 (2009).
23. Y. H. Cho, J. G. Na, S. S. Kim, J. G. Kim, and S. H. Chung, Development of a Catalyst/Sorbent for Methane-Steam Reforming, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **44**, 307-313 (2006).