

정수장 슬러지로부터 제조한 입상흡착제의 염기성 가스 흡착 성능

배정현 · 박나영 · 이철호 · 박영권* · 전종기†

공주대학교 화학공학부
331-717 충남 천안시 서북구 부대동 275
*서울시립대학교 환경공학부
130-743 서울 동대문구 전농동 90
(2013년 4월 20일 접수, 2013년 5월 27일 채택)

Adsorption Performance of Basic Gas over Pellet-type Adsorbents Prepared from Water Treatment Sludge

Junghyun Bae, Nayoung Park, Choul Ho Lee, Young-Kwon Park* and Jong-Ki Jeon†

Department of Chemical Engineering, Kongju National University, 275 Buda-dong, Seobuk-gu, Cheonan, Chungnam 331-717, Korea

*School of Environmental Engineering, Graduate School of Energy and Environmental System Engineering, University of Seoul,

90 Jheonnong-dong, Dongdaemun-gu, Seoul 130-743, Korea

(Received 20 April 2013; accepted 27 May 2013)

요 약

본 연구에서는 정수장 슬러지를 사용하여 제조한 정수슬러지 가공 분말의 압출공정을 통해서 입상흡착제를 제조하였다. 바인더 첨가와 소성과정이 입상형 흡착제의 물리·화학적 특성에 미치는 영향을 질소흡착, 압축강도, 주사전자현미경, 엑스선회절, 피리딘흡착 적외선분광법 등으로 분석하였다. 바인더의 함량을 5 wt%까지 증가시키면 압축강도가 3배 이상으로 개선되었으나 트리메틸아민을 흡착할 수 있는 표면적이 30% 정도 감소하여 입상흡착제의 트리메틸아민 파과시간이 단축되었다. 성형된 입상흡착제의 소성과정을 통해서 표면에 브뢴스테드산점과 루이스산점으로 구성된 산점이 발현되어, 염기성 기체인 트리메틸아민의 파과 시간이 3배 이상으로 증가하였다.

Abstract – In this study, the pellet-type adsorbents were prepared by extrusion using water treatment sludge. Effects of binder and calcination on physical and chemical properties of pellet-type adsorbents were investigated. The porous structure and surface characteristics of the adsorbents were studied using nitrogen adsorption, compression strength, scanning electron microscope, X-ray diffraction, and infrared spectroscopy of adsorbed pyridine. With increasing of binder content to 5 wt%, the compressive strength of pellet-type adsorbent could be improved more than three times, but the surface area reduced by 30%, and thus the breakthrough time of trimethylamine was shortened. The breakthrough time of the trimethylamine, a basic gas, could be increased more than three times through calcination, which seems to be due to generation of acid sites composed of Lewis acid and Brönsted acid sites on the adsorbent surface.

Key words: Sludge, Adsorbent, Extrusion, Basic Gas, Binder

1. 서 론

인구의 증가와 산업의 발전으로 인하여 물의 사용이 증가하게 되었다. 그에 따라 정수 처리 시설이 늘어남에 따라서 정수 슬러지의 발생량도 증가하게 되었다. 정수장 슬러지는 고체상과 액체상 슬러지로서 주로 정수처리 과정의 침전 및 세척 과정에서 발생되고 있다. 일반적인 정수장 알룸(Alum) 슬러지는 35~50%의 실리카, 20~30%의 알루미늄을 함유하고 있으며, 15~30%의 유기물과 물이 포함되어 있다[1]. 2008년에 한국에서 연간 약 26만 톤의 정수장 슬러지가 발

생되었으며, 정수장 운영 비용 중에서 슬러지 처리 비용이 많은 부분을 차지하고 있다[1,2]. 정수장 슬러지는 매립, 해양투기, 재활용에 의해 처분되고 있다. 매립은 매립지 확보에 어려움으로 거의 중단된 상태이고, 해양투기는 처리비용이 상대적으로 저렴한 이점이 있으나 2013년부터 금지되어 있다[1]. 따라서, 재활용에 의한 처리기술이 절실하게 필요하다.

정수장 슬러지를 재활용하기 위하여 다양한 방법들이 모색되고 있으나, 정수슬러지에는 중금속과 유해화학물질이 함유되어 있기 때문에 퇴비화, 매립성토제, 경량골재, 토양개량제, 무기질 비료로 재활용하기가 어렵다[3,4]. 특히 슬러지를 건조시켜 소각한 후에 그 소각재를 용융하여 재활용하는 방법은 에너지의 과다사용이라는 문제점을 지니고 있다. 따라서 정수슬러지를 재활용하여 유효하게 이용하

†To whom correspondence should be addressed.

E-mail: jkjeon@kongju.ac.kr

‡이 논문은 경희대학교 정석진 교수님의 정년을 기념하여 투고되었습니다.

는 자원화 기술 개발이 시급히 요구되고 있는 실정이다[1].

정수슬러지의 주요 구성성분은 알루미늄과 실리카이며 다양한 점토광물을 함유하고 있다. 따라서 이를 열처리 하면 분해와 재결합, 용융 등을 통하여 새로운 결정질 형태로 상이 변화한다[3]. 슬러지로 제조한 물질들이 흡착 성능을 가지고 있다는 장점 때문에 활성탄이 사용되는 분야에 응용하려는 연구들이 이루어지고 있다[5-10]. 특히, 정수슬러지의 무기질성분 중 알루미늄이 다량 함유되고 있는 점에 착안하여 흡착제, 촉매, 이온교환제 등의 용도로 사용되는 제올라이트 유사물질로 전환하는 것이 가능하다[1,2]. 최근에 Kang 등은 정수장 슬러지로부터 AlPO_4 형태의 다공성 물질을 합성하여 휘발성유기화합물인 포름알데히드 제거용 흡착제로서의 사용 가능성을 보고한 바 있다[2].

트리메틸아민(trimethylamine)은 대기 중에서 악취를 유발하는 대표적인 휘발성유기화합물로서 폐수처리 공정, 폐기물 매립지, 그리고 축산시설 등에서 주로 배출된다. 또한 잠재적인 발암물질이기 때문에 주요 환경오염물질로 여겨지고 있다[11].

본 연구의 목적은 정수장 슬러지 가공분말을 원료로 사용하여 기상의 트리메틸아민을 흡착하여 제거하기 위한 입상흡착제를 개발하고자 하는 것이다. 트리메틸아민의 흡착 성능을 최대화하기 위하여 압출공정을 통해서 입상 흡착제를 제조하는데 있어서 바인더 첨가량이 흡착 성능에 미치는 영향을 고찰하였다. 입상흡착제의 원료인 정수장 슬러지 가공분말에 첨가된 바인더 함량이 성형된 입상흡착제의 물리적 특성과 화학적 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 입상흡착제의 기공 특성과 표면 특성을 X-ray 형광분석(XRF), 질소 흡착 등온선(N_2 -adsorption isotherm), 주사전자현미경(SEM), X-ray diffraction(XRD), 암모니아-승온 탈착실험(NH_3 -TPD) 및 피리딘흡착-FTIR(Py-FTIR) 등을 사용하여 조사했다. 또한 연속식 흡착베드를 사용하여 트리메틸아민의 파괴성능에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험

2-1. 흡착제 원료 및 성형 방법

정수 슬러지로부터 슬러지 가공분말을 제조하는 방법은 다음과 같다. 정수 슬러지 1 kg, 증류수 400 g, H_3PO_4 (85%, Junsei Chemical Co.) 100 g을 회분식 반응기에 투입하고, 373 K의 온도를 유지하며 2시간 동안 교반시켜 수화반응을 진행하였다. 생성된 고체를 여과하여 증류수로 세정한 후, 60 °C에서 24시간 동안 건조하였다. 케이크 형태의 슬러지를 분쇄기로 분쇄하여 분말 형태로 만들었다.

이렇게 만들어진 정수 슬러지 가공분말 400 g을 증류수 250 g과 혼합하고, 여기에 일정한 양의 바인더를 혼합하였다. 바인더로는 methyl cellulose (MC)를 사용하였다. 압출과정에서 dual screw를 가진 압출 성형기를 사용하였고, 37 cell을 가진 die (각 cell의 지름이 4.5 mm)를 사용하였다. 정수 슬러지 가공분말과 methyl cellulose 및 물의 혼합물을 hopper에 주입했다. 압출 속도는 대략적으로 40 rpm 범위에서 barrel rotation 속도를 유지하였다. 입상 흡착제를 약 1~2 cm 정도의 크기로 절단하고, 110 °C에서 24시간 동안 건조시켰다.

본 연구에서 제조한 입상흡착제의 명칭을 Table 1에 나타냈다. ‘SA’는 슬러지로부터 제조한 입상흡착제를 의미하며, ‘MC-숫자’는 바인더인 MC의 함량 (wt%)를 의미한다. 예를 들면 ‘SA-MC-3’는 MC가 3 wt% 함유된 슬러지를 사용하여 제조한 입상 흡착제를 의미한다. 또한 ‘SA-MC-0-C’는 SA-MC-0를 773 K에서 추가로 소성하였음을 나타낸다.

2-2. 입상흡착제 특성 분석

입상흡착제의 성분을 X-ray fluorescence (XRF, SEA2220A)를 이용하여 분석하였다. 관구목표원소는 Rh이고, 진공 상태에서 silicon 반도체 검출기를 사용하였고, 분해능은 약 165 eV 정도로 분석하였다.

N_2 adsorption-desorption isotherm은 BEL JAPAN의 BELSORP-miniII를 이용하여 77 K에서 분석되었다. 모든 시료들은 473 K에서 8시간 동안 전처리 후, 액체질소 온도에서 흡착 가스로 질소를 흘려주어 질소 흡착-탈착 등온선(N_2 adsorption-desorption isotherm)을 얻은 후에, 표면적과 기공크기분포를 각각 BET와 BJH 방법을 이용하여 계산하였다.

압축강도는 Universal Testing Machine (UTM) 기기를 이용하여 측정하였다. 시료에 힘을 공급하여 처음 파괴 되는 힘의 세기를 측정했다. 시험 속도는 1 mm/min의 속도이고, 흡착제당 5개씩 측정하여 평균값을 흡착제의 강도로 결정하였다.

입상흡착제의 결정성은 XRD에 의해 확인하였다. XRD는 Rigaku MiniFlex 600을 사용하였다. 40 kV, 15 mA의 generator를 이용하였고, 스캔 속도는 10°/min의 속도로 분석하였다. 튜브는 Cu 타겟을 이용하였고, 검출기는 D/tex Ultra를 이용하여 분석하였다. 분석 범위는 5~100° 까지 분석하였다.

입상흡착제의 결정 구조 모양을 측정 하는 방법은 주사 전자 현미경을 이용하여 측정하였다. Tescan에서 제작한 MIRA LMH의 분석장치를 사용하였고, 검출기는 SED를 사용하였다. 가속 전압은 15.00 kV이고, 분해능은 1 nm (at 30 kV)로 흡착제의 결정 모양을 측정하였다.

산점의 종류를 확인하는 가장 일반적인 방법은 피리딘을 흡착시켜 적외선 흡수 스펙트럼을 조사하는 것이다. 흡착제 시료 0.013 g을 직경 13 mm의 물드에 넣어 압력을 가하여 원형의 디스크로 만들었다. 흡착제 디스크가 장착된 셀을 진공상태에서 623 K까지 가열한 뒤 다시 상온으로 온도를 떨어뜨린 후에 백그라운드 스펙트럼을 얻는다. 상온에서 적외선 스펙트럼을 얻고 피리딘을 일정량(약 3 torr 미만) 흘려주어 40분간 흡착시킨 후 진공상태로 유지한 다음에 423 K에서 적외선 스펙트럼을 얻었다.

2-3. 흡착 실험

흡착실험은 질소에 희석된 트리메틸아민(1,000 ppm)을 사용하였다. 입상흡착제를 내경 2 cm, 길이 26.5 cm의 아크릴 재질 흡착탑에 약 6 g을 장착하였다. 상온, 1 atm 상태에서 기체의 유량은 질량유량 조절기를 이용하여 50 cc/min의 속도로 흘려주어 공간속도(gas hourly space velocity, GHSV)가 240 h⁻¹이 되도록 조절하였다. 트리메틸아민 파괴 실험은 투입한 원료 중의 트리메틸아민 농도가 20 ppm 이상 검출되면 파괴가 종료된 것으로 보았고, 50 ppm 이상 검출되면 실험을 종료하였다. 트리메틸아민 파괴 실험 유출물의 분석은 직접 연결된 가스크로마토그래피를 이용하여 분석하였다. 가스크로마토그래피는 DS 6200 GC (Donam Co.)를 이용하였고, 컬럼은 CarbowaxTM Amine Capillary Column (길이 30 m×직경 0.53 mm×필름두께 1.0 μm)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 흡착제의 특성

정수슬러지 가공분말의 조성을 XRF로 분석한 결과, 주요 구성 요

소는 알루미늄, 실리카, 인, 철, 황, 및 칼륨 화합물이며, 조성은 산화물 기준으로 각각 27.5, 34.4, 15.3, 11.7, 6.2 및 2.7 wt%이다. 일반적인 정수장 슬러지는 35~50 wt%의 SiO_2 , 20~30 wt%의 Al_2O_3 를 함유하고 있는 것으로 알려져 있으며, 본 연구에서 사용한 정수슬러지 가공분말의 조성이 일반적인 정수장 슬러지의 조성과의 유사함을 알 수 있다[1].

압출기로 성형하는 과정에서 성형체의 물성을 좌우하는 변수는 함수율과 바인더의 종류 및 함량이다. 본 연구에 앞서 이루어진 사전 연구를 통해서 함수율이 흡착제의 성형 여부에 미치는 영향을 조사한 결과, 함수율이 63~75%인 범위에서 입상형으로 성형이 가장 잘 이루어지는 것으로 밝혀졌다. 또한 원료에 포함된 함수율이 압출 과정을 거쳐서 제조된 입상흡착제의 물리·화학적 특성에 미치는 영향은 아주 미미하여 흡착 성능에 미치는 영향도 거의 없음을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 주로 바인더로 사용한 MC의 함량이 입상흡착제의 물리·화학적 특성에 미치는 영향을 분석하였다.

Fig. 1에 본 연구에서 제조한 입상흡착제의 N_2 흡착 및 탈착등온선을 나타냈다. 바인더를 포함하지 않은 샘플(SA-MC-0)의 N_2 흡착 및 탈착등온선을 살펴보면 낮은 상대 압력에서 흡착량이 급격한 상승을 보여서 IUPAC의 기공 유형 분류에서 I형과 유사함을 알 수 있다. 즉 미세기공을 많이 보유한 물질의 특징을 나타내고 있다. 한편, 상대압이 증가하면 상대압이 0.5 이상인 범위에서 흡착등온선과 탈착등온선이 다른 경로를 보이는 현상인 히스테리시스 나타난다. 따라서 IUPAC 분류에 의하여 IV 형의 흡착 및 탈착등온선으로 분류할 수 있으며, 이 흡착제가 메조기공을 포함하는 물질임을 알 수 있다[12]. 또한, 히스테리시스 고리의 모양이 de Boer의 메조기공 분류에서 슬릿 모양 기공의 특징인 B 유형과 유사함을 알 수 있다[12].

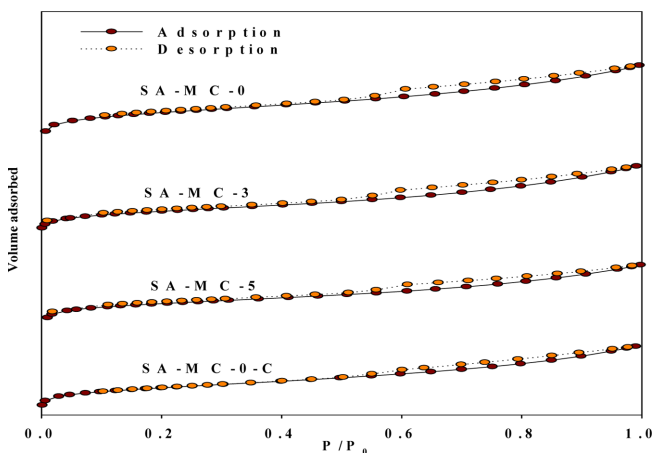


Fig. 1. Nitrogen adsorption isotherms of the samples.

상기와 같은 기공 구조 특징은 바인더의 함량을 증가시키거나 소성 여부에 따라 크게 달라지지 않음을 알 수 있다.

N_2 흡착 및 탈착등온선으로부터 계산된 BET 표면적(S_{BET}), 전체 기공 부피(V_p), t-plot으로부터 계산된 미세기공 부피(V_{micro}), BJH 방법으로 계산한 메조기공의 평균 직경(D_p) 등을 Table 1에 나타냈다. 대기 오염물질을 정화하는데 있어서 흡착제 성능의 핵심 변수는 표면적이다[13]. 바인더를 포함하지 않은 입상형 흡착제의 BET 표면적과 전체기공 부피는 각각 $100 \text{ m}^2/\text{g}$ 과 $0.11 \text{ cm}^3/\text{g}$ 으로 측정되었다. 바인더의 함량을 증가시키면 BET 표면적과 전체기공 부피가 감소하며, 바인더를 5 wt% 함유한 샘플의 경우는 BET 표면적과 전체기공 부피가 각각 $70 \text{ m}^2/\text{g}$ 과 $0.08 \text{ cm}^3/\text{g}$ 으로 나타났다. 이러한 경향은 바인더인 메틸셀룰로스가 슬러지 입자들의 기공에 침투하여 기공의 일부를 막기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 한편 바인더를 함유하지 않은 샘플인 SA-MC-0를 소성과정을 거치면 BET 표면적과 전체기공 부피가 약 1.5배 정도로 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 이는 소성과정에서 슬러지에 포함된 유기물들이 분해하면서 기공이 추가로 형성되었음을 의미한다. 한편, 미세기공의 부피가 전체 기공부피에 기여하는 비율을 살펴보면 4종류의 흡착제 모두 미세기공의 비율이 약 60~65% 범위에서 유사함을 알 수 있다. 또한 메조기공의 평균반경은 1.2~1.6 nm임을 알 수 있으며, Fig. 2에서 확인할 수 있듯이 메조기공 크기의 분포는 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

Fig. 4에 본 연구에서 제조한 입상형 흡착제의 압축 강도를 나타냈다. 바인더의 함량이 5%까지 증가시키면 압축강도가 바인더를 포함하지 않은 흡착제에 비해 약 3배 이상 증가함을 알 수 있다. 이는 대용량의 흡착베드에 입상형 흡착제를 사용할 경우, 바인더를 함유한 입상형 흡착제가 흡착제의 마모 또는 분쇄에 의한 압력손실 가능성

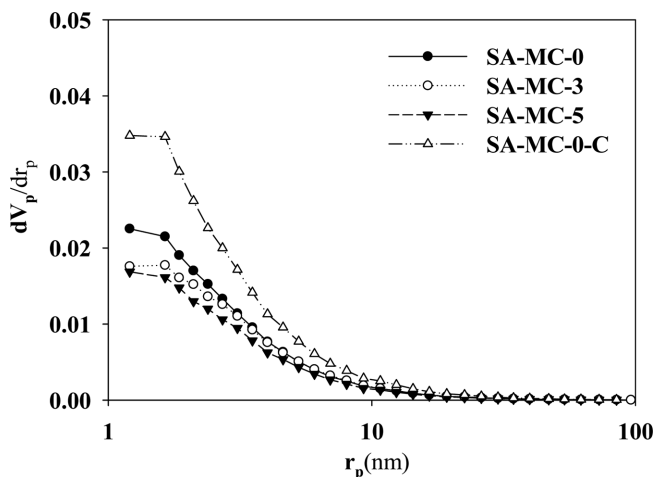


Fig. 2. Pore size distributions of the samples.

Table 1. Surface area and pore volume of pellet-type adsorbents

Adsorbents	Content of binder (wt%)	Calcination temp. (K)	S_{BET}^a (m^2/g)	V_p^b (cm^3/g)	V_{micro}^c (cm^3/g)	V_{micro}/V_p	R_{meso}^d (nm)
SA-MC-0	0	-	100	0.11	0.07	0.64	1.2
SA-MC-3	3	-	78	0.10	0.06	0.60	1.2
SA-MC-5	5	-	70	0.08	0.05	0.63	1.6
SA-MC-0-C	0	773	153	0.17	0.11	0.65	1.2

^aCalculated in the range of relative pressure (P/P_0)=0.05-0.20.

^bMeasured at P/P_0 =0.99.

^cMicropore volume evaluated by the t-plot method.

^dAverage radius of mesopore calculated by BJH method.

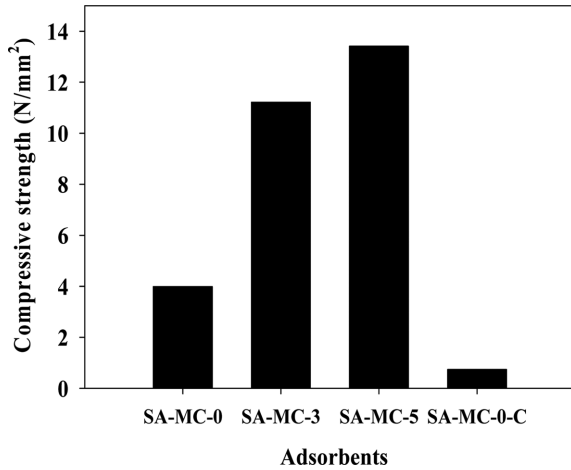


Fig. 3. Compressive strength of the samples.

이 훨씬 적음을 의미한다. 한편, 소성 과정을 거친 입상형 흡착제의 경우는 압축강도가 현저하게 감소하는 단점을 지니고 있음을 알 수 있다.

바인더 함량 또는 소성의 영향이 압축강도에 미치는 영향은 Fig. 4에 나타난 입상형 흡착제 단면의 SEM 사진으로부터 분석할 수 있다. Fig. 4(a) 및 (b)는 바인더를 5 wt% 함유한 입상흡착제인데 단면이 비교적 매끈하게 보이고, 기공 구조가 치밀하게 보인다. 단, SEM 사진으로 확인할 수 있는 기공들은 거대기공을 의미한다. Fig. 4(c) 및 (d)는 바인더를 함유하지 않은 입상흡착제의 단면 사진인데 바인더를 5 wt% 함유한 입상흡착제에 비하여 단면이 거칠게 형성되며, 더 큰 거대기공들이 관찰된다. 또한 Fig. 4(f)는 바인더를 함유하지 않은 입상흡착제를 소성한 후에 얻은 샘플의 SEM 사진인데, Fig. 4(d)에 비해 더 큰 거대기공들이 관찰됨을 알 수 있다. 즉 바인더 함량이 증가하면 기공 구조가 치밀해져서 압축강도가 증가하고, 소성과정을 거치면 슬러지에 포함되었던 유기물들이 휘발되면서 거대기공들을 형성하여 압축강도가 떨어지는 것으로 해석할 수 있다. Fig. 5는 입상흡착제를 구성하고 있는 입자들의 SEM으로 관찰한 결과이다. 바인더 포함 여부에 관계없이 입자들의 형태에서 큰 차이점은 발견되지 않았으며, 소성을 거친 입상흡착제는 입자의 크기가 약간 감소하는 것을 볼 수 있었다.

입상형 흡착제들의 XRD 패턴을 Fig. 6에 도시하였다. 본 연구에서 입상흡착제의 원료로 사용한 정수슬러지 가공분말은 Kang 등이

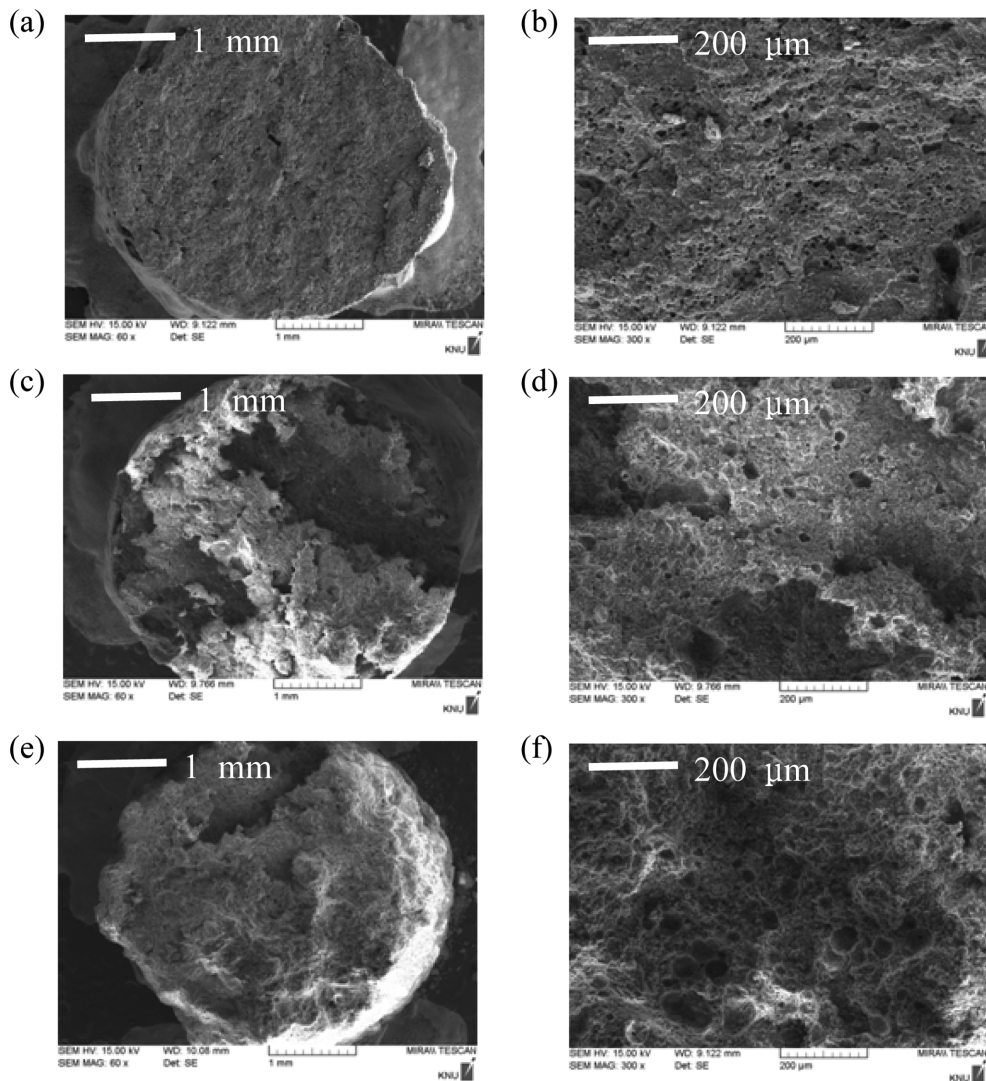


Fig. 4. SEM images of cross-section of pellet (a, b) SA-MC-5, (c, d) SA-MC-0, (e, f) SA-MC-0-C.

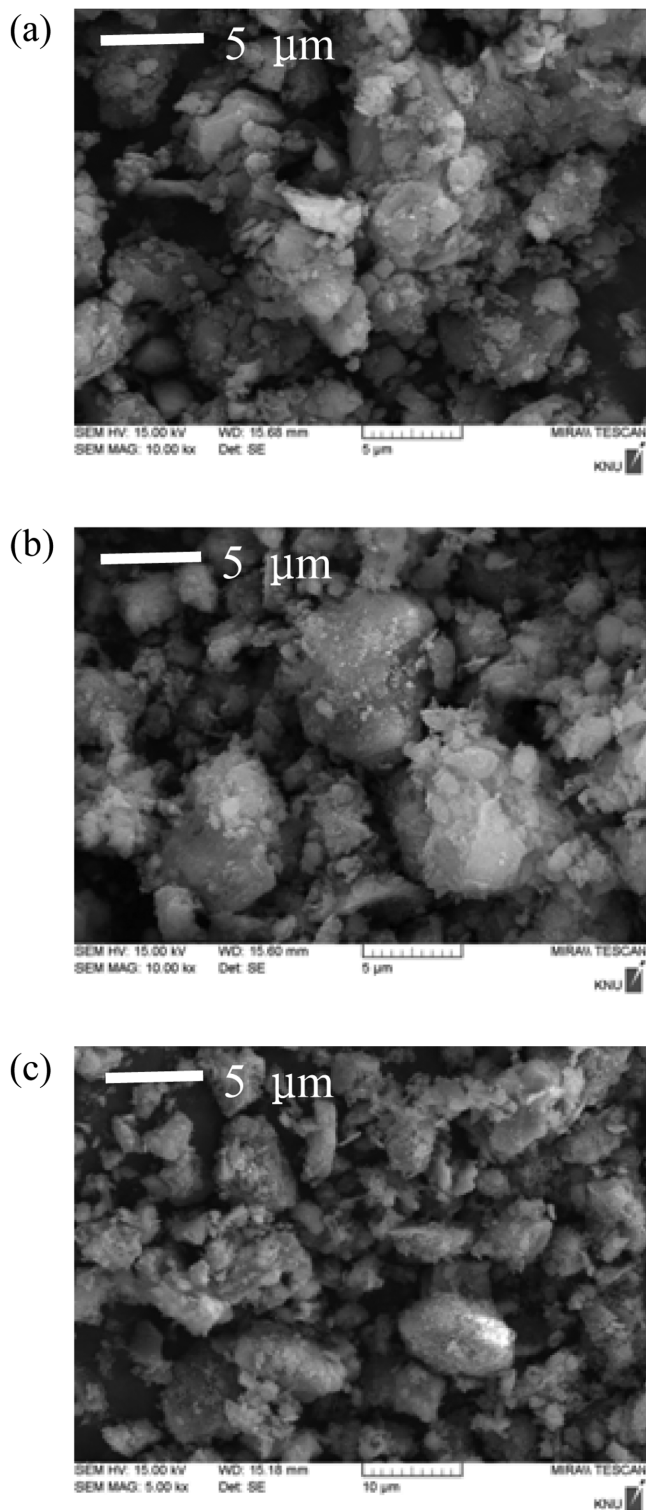


Fig. 5. SEM images of (a) SA-MC-5, (b) SA-MC-0, (c) SA-MC-0-C.

사용한 것과 유사한 물질이다[2]. Kang 등은 유기물질을 포함하는 정수슬리지를 인산과 함께 수열반응을 통해서 합성한 물질이 AlPO_4 형 물질의 XRD 패턴을 보여주었다고 보고했다. 본 연구에서 제조한 입상형 흡착제들의 XRD 특성 피크는 Kang 등이 정수슬리지와 인산을 원료로 합성한 물질의 XRD 특성 피크와 거의 일치한다[2]. 바인더 함량에 따라서 XRD 패턴의 변화는 거의 없으며, 소성한 샘플의 경우는 결정성이 조금 증가하였지만 큰 구조 변화를 보이지는 않았다.

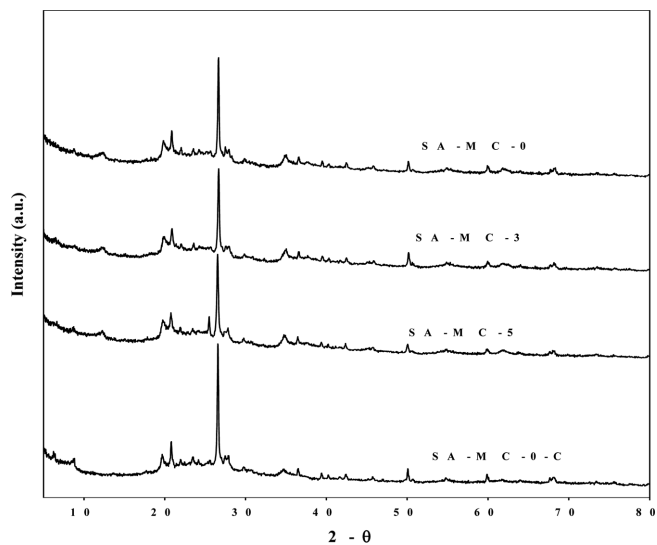


Fig. 6. XRD patterns of the samples.

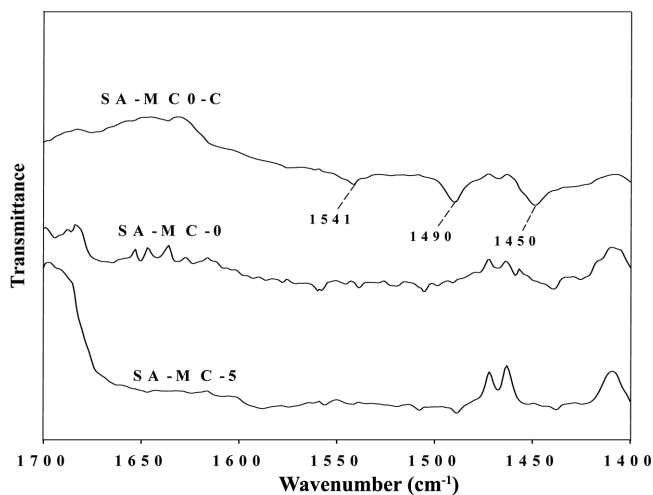


Fig. 7. FTIR of adsorbed pyridine over the samples. The sample was desorbed under 10^{-3} torr at 423 K.

흡착제들의 산 특성을 피리딘 흡착 IR을 통해서 분석하였다. 바인더 포함 여부와 관계없이 소성을 하지 않은 샘플은 산점을 나타내는 특성 피크를 관찰하기 어렵다. 소성을 거친 샘플의 경우는 $1,541\text{ cm}^{-1}$, $1,490\text{ cm}^{-1}$ 및 $1,450\text{ cm}^{-1}$ 에서의 3개 밴드가 뚜렷하게 검출되었다. 이들 3개의 밴드는 각각 브뢴스테드산점, 브뢴스테드/루이스 산점, 그리고 루이스산점으로 할당될 수 있다[14-16]. 즉, 건조과정만 거친 입상 흡착제는 산 특성이 거의 없지만, 소성 과정을 거치면서 산 특성이 발현되며, 산점은 브뢴스테드 산점과 루이스 산점으로 구성됨을 알 수 있다.

3-2. 트리메틸아민 파과 실험 결과

실온에서 GHSV가 240 h^{-1} 의 조건에서 측정한 트리메틸아민의 파과곡선을 Fig. 8에 나타내었다. 우선 바인더의 영향을 살펴보면 바인더 함량이 5 wt%까지 증가함에 따라 파과시간이 감소한다. 이런 경향은 바인더 함량이 증가함에 따라 N_2 흡착실험에서 구한 BET 표면적이 감소하는 결과와 잘 일치한다. 즉 바인더 함량이 증가하면 표면적이 감소하기 때문에 트리메틸아민을 흡착할 수 있는 표면적이

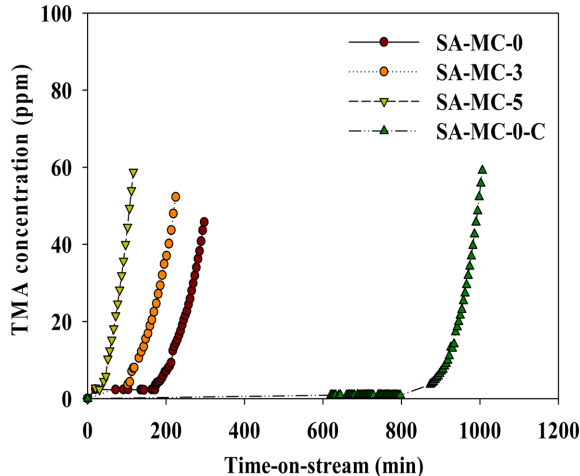


Fig. 8. Trimethylamine breakthrough curves.

감소하여 흡착제의 파과시간이 줄어드는 것으로 볼 수 있다.

한편, 소성 과정을 거친 흡착제의 파과 시간은 획기적으로 증가함을 알 수 있다. N_2 흡착실험에서 구한 BET 표면적이 소성과정을 거치면서 약 50% 정도 증가했기 때문에 흡착용량의 증가에 기여한 것으로 볼 수 있다. 또한 피리딘 흡착 IR을 통해서 분석한 결과에 의하면 소성 과정을 거치면서 흡착제 표면에 산 특성이 발현되는 것을 확인한 바 있다. 트리메틸아민이 염기성 기체이기 때문에 흡착제 표면의 산점이 트리메틸아민과 화학흡착할 가능성이 매우 높아진 것으로 볼 수 있다. 즉, 소성과정을 거친 흡착제의 경우는 물리흡착과 더불어서 산점이 트리메틸아민 제거에 역할을 하는 것으로 해석할 수 있다.

4. 결 론

정수슬러지와 인산의 수열합성을 통해서 정수슬러지 가공분말을 합성하고, 이렇게 합성한 정수슬러지 가공분말에 바인더를 첨가하여 압출 공정을 통해서 입상흡착제를 제조하였다. 정수슬러지 가공분말로부터 제조한 입상 흡착제는 메조기공을 포함하는 물질임을 알 수 있었다. 바인더의 함량을 5 wt%까지 증가시키면 압축강도가 3배 이상으로 개선되었으나 트리메틸아민을 흡착할 수 있는 표면적이 30% 정도 감소하여 흡착제의 트리메틸아민 파과시간이 단축되었다. 입상 흡착제를 소성하면 압축강도가 현저하게 감소하였으나, 소성과정을 통해서 표면에 브륄레산점과 루이스산점으로 구성된 산점이 발현되어, 염기성 기체인 트리메틸아민의 파과 시간이 3배 이상으로 증가하였다.

감 사

본 연구는 환경부 “미래유망 녹색환경기술 산업화 촉진사업”으로 지원받은 과제입니다.

참고문헌

- Kim, J. M., Kim, M. K., Lee, J. M., Lee, C. H., Lee, S. W., Choi, D. J. and La, J. M., “Method of Manufacturing a Building Mate-

- rial Composition Eco-friendly,” Korea Patent No. 10-1041094(2011).
- Kang, K. C., Kim, Y. H., Kim, J. M., Lee, C. H. and Rhee, S. W., “Synthesis of $AlPO_4$ -type Mesoporous Materials Using Alum Sludge,” *Appl. Chem. Eng.*, **22**, 173-177(2011).
- Hwang, H. U., Kim, J. H. and Kim, Y. J., “Recycling of Waterworks Sludge in Red Clay Bricks Manufacturing,” *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **3**, 217-222(2009).
- Lee, J. K., Beak, S. G., Kim, Z. C., Lee, J. I., Pyo, B. S., Choi, J. G., Kim, P. C. and Park, G. H., “A Study on Producing Inorganic Fertilizer from the Sludge of Water Supply Plant,” *J. KOWREC*, **8**, 103-108(2000).
- Xu, G. R., Yan, Z. C., Wang, Y. C. and Wang, N., “Recycle of Alum Recovered from Water Treatment Sludge in Chemically Enhanced Primary Treatment,” *J. Hazard. Mater.*, **161**, 663-669(2009).
- Seredych, M., Strydom, C. and Bandosz, T. J., “Effect of Fly Ash Addition on the Removal of Hydrogen Sulfide from Biogas and Air on Sewage Sludge-based Composite Adsorbents,” *Waste Manage.*, **28**, 1983-1992(2008).
- Lee, J. Y., Park, S. H., Jeon, J. K., Yoo, K. S., Kim, S. S. and Park, Y. K., “The Removal of Low Concentration Formaldehyde over Sewage Sludge Char Treated Using Various Methods,” *Korean J. Chem. Eng.*, **28**, 1556-1560(2011).
- Pan, Z. H., Tian, J. Y., Xu, G. R., Li, J. J. and Li, G. B., “Characteristics of Adsorbents Made from Biological, Chemical and Hybrid Sludges and Their Effect on Organics Removal in Wastewater Treatment,” *Water Res.*, **45**, 819-827(2011).
- Yuan, W. and Bandosz, T. J., “Removal of Hydrogen Sulfide from Biogas on Sludge-derived Adsorbents,” *Fuel*, **86**, 2736-2746(2007).
- Xu, G. R., Zhang, W. T. and Li, G. B., “Adsorbent Obtained from CEPT Sludge in Wastewater Chemically Enhanced Treatment,” *Water Res.*, **39**, 5175-5185(2005).
- Ding, Y., Shi, J. Y., Wu, W. X., Yin, J. and Chen, Y. X., “Trimethylamine (TMA) Biofiltration and Transformation in Biofilters,” *J. Hazard. Mater.*, **143**, 341-348(2007).
- Rouquerol, J., Avnir, D., Fairbridge, C. W., Everet, D. H., Haynes, J. H., Pernicone, N., Ramsay, J., Sing, K. S. and Unger, K. K., “Recommendations for the Characterization of Porous Solids,” *Pure Appl. Chem.*, **66**, 1739-1758(1994).
- Lim, J. W., Choi, Y. H., Yoon, H. S., Park, Y. K., Yim, J. H. and Jeon, J. K., “Extrusion of Honeycomb Monoliths Employed with Activated Carbon-LDPE Hybrid Materials,” *J. Ind. Eng. Chem.*, **16**, 51-56(2010).
- Yurdakoc, M., Akcay, M., Tonbul, Y. and Yurdakoc, K., “Acidity of Silica-alumina Catalysts by Amine Titration Using Hammett Indicators and FT-IR Study of Pyridine Adsorption,” *Turk. J. Chem.*, **23**, 319-328(1999).
- Palomino, G. T., Pascual, J. J. C., Delgado, M. R., Parra, J. B. and Arian, C. O., “FT-IR Studies on the Acidity of Gallium-substituted Mesoporous MCM-41 Silica,” *Mater. Chem. Phys.*, **85**, 145-150(2004).
- Zaki, M. I., Hasan, M. A., Al-Sagheer, F. A. and Pasupulety, L., “In situ FTIR Spectra of Pyridine Adsorbed on $SiO_2-Al_2O_3$, TiO_2 , ZrO_2 and CeO_2 : General Considerations for the Identification of Acid Sites on Surfaces of Finely Divided Metal Oxides,” *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*, **190**, 261-274(2001).