

마이크로파를 이용한 흡착된 휘발성유기화합물의 탈착

안호근[†] · 김기중 · 유영재 · 정민철 · 우명우 · 강찬순* · 정경환*
순천대학교 화학공학과, *순천대학교 공업기술연구소
(hgahn@sunchon.ac.kr[†])

Desorption of Adsorbed Volatile Organic Compounds(VOCs) by Microwave Irradiation

Ho-Geun Ahn[†] · Ki-Joong Kim · Young-Jae You · Min-Chul Chung · Myung-Wu Woo ·
Chan-Soon Kang* · Kyong-Hwan Chung*
Department of Chemical Engineering, Sunchon National University
*Industrial Technology Institute, Sunchon National University

Abstract

Desorption of the adsorbed volatile organic compounds (VOCs) by microwave irradiation was studied, and the adsorbents were repeatedly utilized. The main advantage of microwave heating is that the treatment can be performed in a relatively short period of time, which implies a lower consumption of energy. In this study, desorption experiments by microwave were conducted in a 2450MHz multimode cavity for water, toluene, methanol, methylethylketone (MEK) on molecular sieve 13X and HY-zeolite adsorbents. As a result, the microwave heating can be expected to be effective for desorption of VOCs. Also, it was expected to be very effective means for regenerating of adsorbents.

1. 서 론

포화된 흡착제를 재생하기 위한 방법으로 마이크로파를 이용하는 방법이 연구되고 있다[1,2]. 마이크로파를 이용한 방법은 유전가열(dielectric heating)에 의한 방법이기 때문에 휘발성유기화합물(VOC)를 직접 가열할 수 있고, VOC가 비극성 성분일 경우 일정량의 수분만 공급해 주면 효과적으로 VOC를 간접적으로 가열할 수 있다[3]. 따라서 기존의 hot stream이나 hot air방법에 비하여 처리효율이 매우 높을 뿐 아니라 처리시간이 매우 짧다. 또한 외부에서 직접 가열하는 방법에 비하여 처리설비가 간단하고 후처리 시설용량이 작다는 장점이 있다[4]. 그러나 값이 싼 대표적인 흡착제인 활성탄은 도전성(導電性)이기 때문에 유전에 의한 전기적 편향을 물질 내에서 일으키지 못하고, 주어진 전장(전자파의 전계성분)에 따라서 탄소분자간의 전극을 발생시켜 전류가 흘러 버린다. 하나의 활성탄 입자에 주어진 큰 기전류가 불안정한 활성탄 입자간의 점점에 집중하게 되고 그 부분에서 불꽃방전이 일어나 발광하는 현상을 나타낸다[5].

따라서 본 연구에서는 VOC의 흡착성능은 약간 활성탄보다 낮은 제올라이트를 흡착제로 사용하여, 톨루엔(toluene), 메탄올(MeOH), 메틸에틸케톤(MEK)과 같은 VOC를 포화흡착시킨 후 마이크로파를 이용한 탈착실험을 수행하고 전형적인 가열방법과의 탈착효율을 비교 평가하였다.

2. 실 험

실험에 사용된 제올라이트는 molecular sieve 13X(MS-13X)와 HY-zeolite(HY)이고, 압력강화에 문제가 없도록 pellet 형태의 제올라이트를 60~80mesh로 분쇄하여 사용하였다. 전기로를 이

용한 탈착실험과 마이크로파를 이용한 탈착실험에서는 각각 0.2g과 0.35g의 흡착제를 사용하였고 흡착하기 전 전기로를 이용하여 250°C에서 한 시간 전처리한 후 흡착실험을 수행하였다. 선정된 VOCs는 toluene, MeOH, MEK와 물(H₂O)의 농도를 15,000ppm으로 조절하여 제올라이트의 흡착 특성을 알아보았다. 전형적인 탈착방법은 U자형(ss, 1/4") 흡착관을 전기로를 사용하여 상온에서 5°C/min로 온도프로그램하여 300°C 또는 500°C까지 상승시켰으며, 마이크로파에 의한 탈착 실험에서는 마이크로파에 의한 유전 손실율이 적은 내경이 7mm인 U자형(quartz, 3/8") 흡착관을 사용하였으며 흡착제를 고정하기 위해 유리섬유를 위아래로 채웠다. 그리고 흡착관에 사용된 fitting은 teflon 재질을 가공하여 연결하였다. 마이크로파의 발생원은 1200W급 마이크로파 발생 장치를 이용하였고, 흡착층의 온도는 흡착층에 직접 삽입한 열전대와 적외선 온도계(infrared thermometer, AZ)를 이용하여 마이크로파의 조사시간에 따른 온도변화를 측정하였다. 실험장치와 마이크로파 oven 구조를 Fig. 1과 Fig. 2에 도시하였다.

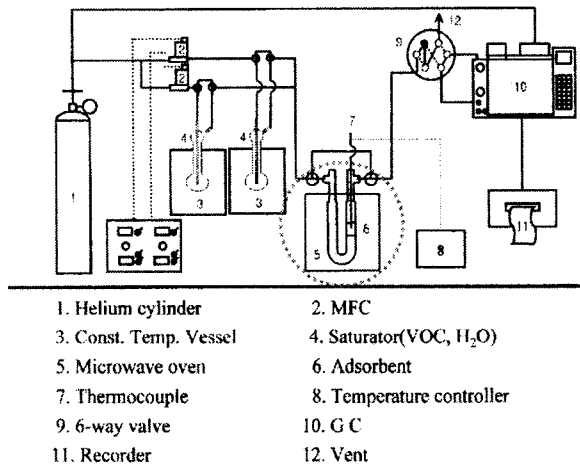


Fig. 1. Experimental apparatus for the desorption of VOCs by microwave irradiation.

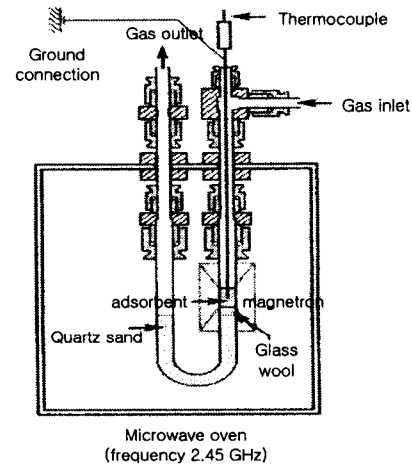


Fig. 2. The details of the adsorbent tube for microwave heating.

3. 결과 및 고찰

포화된 흡착제를 재생하기 위한 방법으로 마이크로파를 이용하여 VOCs와 물에 대한 탈착특성을 조사하였다. Table 1에는 흡착제로서 선정된 MS-13X와 HY의 VOCs의 초기 흡착량과 전형적인 탈착방법과 마이크로파를 사용하는 방법에 대하여 탈착효율을 각각 나타내었다. 흡착실험 결과 MS-13X와 HY의 흡착량 서열은 각각 H₂O>MeOH>toluene>MEK와 MEK>toluene>H₂O>MeOH의 순으로 나타났다. 이는 MS-13X와 HY의 세공구조와 표면의 흡착상태, 그리고 확산속도의 차이에 의한 것으로 생각할 수 있다.

또한, 전기로를 사용하여 탈착시켰을 경우 MS-13X는 초기흡착 이후 500°C에서의 첫 번째 탈착율은 toluene, MeOH, MEK, H₂O에 대하여 각각 64%, 69%, 71%, 81%이었고, 두 번째 탈착율은 거의 유사한 값을 보였다. 그리고 HY에서의 탈착율은 MS-13X에서 보다 훨씬 낮았고, 두 번째 탈착에서의 탈착율은 첫 번째 탈착에서보다 우수한 것으로 보이지만 60% 전후로 매우 낮았다. 이와 반대로 마이크로파를 이용하여 탈착시켰을 경우 흡착제가 포화 후 5분 동안 마이크로파를 조사하였을 때는 탈착율이 낮으나 10분정도 조사하면 거의 완전탈착(96%이상)이 이루어짐을 보여주고 있으며, 마이크로파를 이용하여 흡착제를 가열할 경우 선정된 VOC와 물은 마이크로파

조사시간에 따라 탈착량이 달라짐을 알 수 있었다. 또한 선정된 흡착제에서 MS-13X보다는 HY가 마이크로파에 의한 탈착율이 우수한 것으로 나타났다. 더욱이 MS-13X의 물의 경우 마이크로파를 10분 정도 조사하면 탈착효율이 100% 이상이 되는 이유는, 처음 흡착제를 흡착관에 넣어 흡·탈착 실험전에 전기로를 이용하여 250℃에서 한 시간 동안 전처리를 거쳐 사용되었기 때문에, 그 온도 이상에서 탈착될 수 있는 수분과 불순물들이 5분 동안의 마이크로파 가열로 인하여 탈착되면서 흡착점이 증가하여 전체적인 흡착량이 늘어나 10분 조사 시에는 탈착량이 증가한 것으로 생각된다. 그리고 HY의 경우 탈착율은 MS-13X 경우보다 탈착율이 높게 나타났다. 탈착율은 포화흡착 후 상온에서 헬륨가스만 흘려보내 탈착되는 흡착량 즉, 가역적인 흡착량과 마이크로파에 의해 탈착된 양을 합하여 흡착량으로 나눈 것이다. HY의 5분 조사 경우 탈착율이 MS-13X보다 높은 것은 마이크로파에 의한 탈착량은 서로 비슷하나 가역적인 탈착량이 많기 때문이다. 또한, 메탄올과 물의 초기 흡착량은 MS-13X보다 HY에서 적지만, 10분 조사 시에는 탈착율이 아주 높게 나타나 향후 마이크로파를 조사하면 흡착량이 늘어날 것으로 추정된다. 또한 선정된 물과 VOCs에 대하여 마이크로파를 조사하면 유전율에 의한 탈착량의 차이를 생각할 수 있는데 이것은 물의 유전율이 가장 커서 탈착율이 높게 나타난 것으로 생각된다.

Table 1. Adsorption-desorption characteristics of VOCs and water on MS-13X and HY using conventional heating and microwave heating

Adsorbents		MS-13X					HY				
		Conventional heating			Microwave heating		Conventional heating			Microwave heating	
Parameters		300℃	500℃ ^{1st}	500℃ ^{2nd}	5min	10min	300℃	500℃ ^{1st}	500℃ ^{2nd}	5min	10min
Toluene	Amount adsorbed (mmol/g)	1.93	1.49	1.32	2.80	2.85	2.18	1.86	2.00	2.76	1.13
	Desorption rate (%)	-	64	64	11.4	96.5	-	56.5	60.5	34.4	121.2
MeOH	Amount adsorbed (mmol/g)	3.13	2.52	2.01	4.18	4.23	1.09	1.49	0.85	1.12	0.67
	Desorption rate (%)	-	69	69	17.5	97.4	-	42.3	57.6	83.0	100.0
MEK	Amount adsorbed (mmol/g)	1.69	1.65	1.58	3.36	4.06	2.23	2.20	2.38	2.34	1.80
	Desorption rate (%)	-	71	70	11.0	98.3	-	52.3	64.7	27.8	116.1
H ₂ O	Amount adsorbed (mmol/g)	5.56	5.48	5.40	8.43	9.54	1.82	1.83	1.80	1.34	1.00
	Desorption rate (%)	-	81	81	29.4	107.2	-	51.4	52.2	74.6	137.0

Fig. 3은 HY의 전기로(CH)와 마이크로파(MW)를 이용한 탈착실험에서의 탈착곡선을 각각 보여 준다. MEK가 마이크로파에 의한 탈착농도가 가장 높게 나타났고 전기로를 이용한 탈착보다 마이크로파에 의한 탈착이 대체적으로 빨리 이루어짐을 알 수 있는데 이것은 마이크로파에 의한 가열은 피가열 물질만 순간적으로 가열하는 특성이 있기 때문인 것으로 생각할 수 있다. 결과적으로 흡착제를 재생하기 위한 방법으로 유전자열에 의한 마이크로파의 특성을 이용하면 효과적으로 VOCs를 탈착시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 흡착제의 전처리 과정도 마이크로파를 이용하면 효율적이라 생각된다.

4. 결 론

마이크로파를 이용한 흡착제의 재생방법을 연구한 결과 활성탄은 도전성이기 때문에 주어진 전장에 따라서 탄소분자간의 전극을 발생시켜 활성탄으로 전류가 흘러 불꽃방전이 일어나는 발광현

상을 나타내었다. 그래서 흡착제로서 MS-13X와 HY를 사용하여 VOCs와 물에 대한 흡-탈착 실험 결과, 메탄올과 물에 대하여 MS-13X가 톨루엔과 메틸에틸케톤에 대해서는 HY가 흡착력이 우수하였고, 마이크로파 조사시간에 따른 탈착량이 달라짐을 알 수 있었다. 또한, VOCs의 탈착율은 HY가 우수한 것으로 나타났고, 마이크로파를 이용하여 흡착제를 재생 또는 전처리할 경우 유전가열에 의한 마이크로파의 특성을 적용시키면 전기로를 이용하는 방법보다 훨씬 효율적인 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 "차세대 핵심환경기술개발사업(Eco-technopia 21 project)"으로 지원받은 과제입니다.

참고 문헌

1. Di. P., D.P.Y Chang, Air & Waste Management, For Presentation at the 89th Annual Meeting & Exhibition, 96-RA106.02, (1996).
2. P.S. Schmidt, J.R. Fair, Waste Management, 14, 3~4, (1994).
3. 고영삼, 김용문, 양고수, 대한환경공학회 논문집(II) D-11, (2002).
4. C.O. Ania, J.A. Menendez, J.B. Parra, J.J. Pis, Carbon, 42, 1383~1387, (2004).
5. 小林 悟, 鳥廣 幸弘, 長野 義信, 40(11), 31~36, (2004).

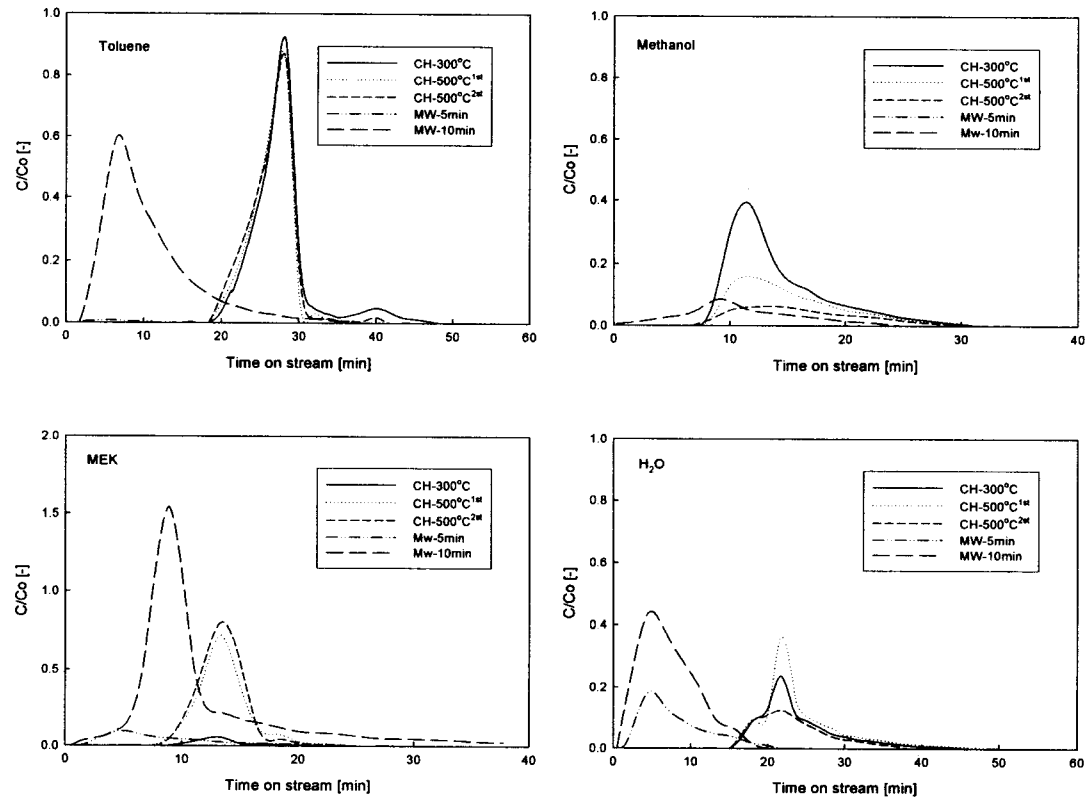


Fig. 3. Desorption curves for toluene, methanol, MEK and H₂O on HY-zeolite by conventional heating and microwave heating.