

## 듀얼베드에 충전된 활성탄과 Zeolite 13X를 이용한 벤젠의 흡착 특성

최준근, 서성섭\*  
 홍익대학교 화학공학과  
 (suhss@wow.hongik.ac.kr\*)

### Benzene adsorption Characteristic in Activated Carbon and Zeolite 13X Dual Bed

Jun-keun Choi, Sung-Sup Suh\*  
 Department of Chemical Engineering, Hongik University

#### 1. 서론

경제가 발전함에 따라 그에 비례하여 환경오염 또한 점점 심각해지는 실정이다. 그 중 특히 휘발성 유기화합물(VOCs)은 산업단지나 이동수단에 의해 대기 중으로 쉽게 증발되며, 이는 인체에 유해하고 환경오염의 주범으로 상당히 문제시 되고 있다. 이처럼 VOCs의 배출량이 늘어나고 있음에 따라 전세계적으로 VOCs 처리 규제가 강화되고 있는 실정이며 그에 따라 휘발성 유기화합물을 처리하는 기술의 중요성이 커지고 있다. 이 중 VOCs 물질인 벤젠은 적정 관리기준 제정의 필요성이 지속적으로 제기되어 신규로 대기환경기준이 정해지기도 했다. 그러나 VOCs는 희박농도로 대기중에 섞여있어서 수집과 처리에 비용이 많이 소요되어 공정의 경제성이 낮다. 따라서 다량 배출되는 VOCs를 본 실험방법인 흡착공정을 이용 회수하여 자원을 절약하고 경제성을 향상시키는 것이 중요하다.

본 연구에서는 대표적인 VOC 물질인 벤젠을 흡착질로 사용하여 벤젠의 유량과 농도를 변화시켜 주면서 활성탄과 제올라이트로 충전된 듀얼베드에서 흡착제 비에 따른 흡착 특성을 알아보고 활성탄과 제올라이트 각각의 단일베드와의 실험결과를 비교해 보았다. 이때 듀얼베드의 경우, 두 종류의 흡착질이 섞이지 않도록 흡착질 사이에 Sieve를 삽입한다. 이를 통해 파과 시간과 파과곡선의 기울기를 구하여 분석하고, 그에 따른 흡착 효율을 분석하였다.

#### 2. 실험

##### (1) 실험장치

실험장치는 크게 원료공급부, 흡착부, 측정부로 나눌 수 있다. 원료공급부는 CEM(Controlled Evaporator Mixer, bronkhost Co.)장치에서 액상상태의 벤젠을 기상상태로 변환시켜주고, mixing valve에서 기화된 벤젠을 캐리어가스인 질소와 완전 혼합이 이루어진 후에 일정한 농도로 유지되면서 탑으로 유입된다. 흡착부는 Zeolite 13X와 활성탄(12-20 mesh)을 채운 탑(길이 27cm)에서 본격적인 실험이 이루어지는 부분으로, 탈착 시에 고온상태로 만들기 위해서 heating coil을 탑 벽면에 설치하였고, 중간에 J type의 열전대를 설치하여 흡착탑의 온도변화를 확인하였다. 흡착탑을 통과한 원료가스는 흐름의 마지막 단

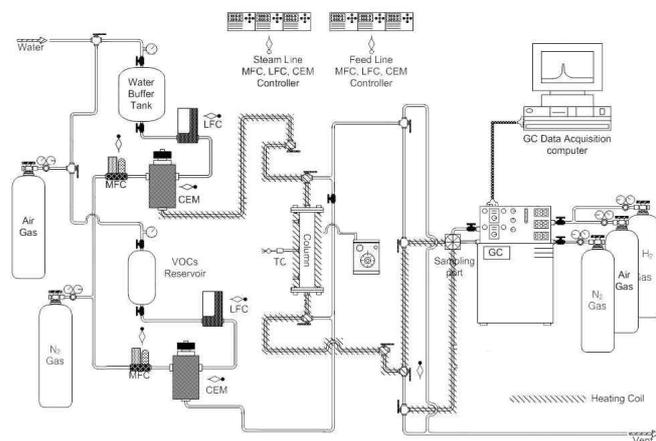


Figure 1. Experimental apparatus of dynamic adsorption.

계인 측정부로 넘어간다. 측정부에서는 GC(Gas Chromatography DS6200, Donam instrument Co.)를 이용하여 기상의 벤젠 분율을 측정하게 된다. GC에서는 유기물질에 대하여 감도가 좋아 VOCs 분석에 주로 이용되는 F.I.D.(Flame Ionization Detector)를 사용하였고, 일정 간격으로 배출가스를 자동으로 채취하기 위해 자동 주입 밸브(Auto Injection Valve, Valco instrument Co.)를 사용하여 3분 간격으로 측정하였다.

## (2) 실험방법

본격적인 흡착실험이 이루어지기 전에 GC를 미리 가동하여 signal baseline이 안정화 될 때까지 캐리어 가스를 공급하면서 capillary column의 이물질들을 충분히 제거한다. 캐리어가스와 완전 혼합이 이루어진 기화된 벤젠이 직접 GC로 유입되도록 by-pass line를 흐르게 하여 벤젠의 초기농도를 측정하고, 질소와 혼합된 벤젠을 흡착제가 충전된 흡착탑으로 공급한다. 흡착탑을 통과한 원료가스가 초기농도와 같아지면 파과가 완료된 것으로 가정하고 흡착실험을 중지한다. 이 때 단일 및 더블베드의 활성탄과 제올라이트는 Table 1에, 각 실험의 조작조건들은 Table 2에 나타내었다.

Table 1. The flowrate of carrier gas and concentration of benzene

Length of Bed	Adsorbent	Flowrate of N2 [NL/min]	Concentration of Benzene [ppm]
27 cm	AC(12~ 20 mesh) 100% Zeolite 13X 100%	0.3	10000
		0.3	15000
		0.3	20000
		0.4	10000
		0.4	15000
		0.4	20000
		0.5	10000
		0.5	15000
		0.5	20000
	Ze 13X 25% + AC 75%	0.3	20000
		0.4	20000
		0.5	20000
	Ze 13X 50% + AC 50%	0.3	20000
		0.4	20000
		0.5	20000
	Ze 13X 75% + AC 25%	0.3	20000
		0.4	20000
		0.5	20000

Table 2. The ratio of Activated Carbon and Zeolite

Length of Bed	Adsorbent	Zeolite 13X [g]	Activated Carbon [g]
27 cm	AC(12~ 20 mesh) 100%	0	40.6910
	Zeolite 13X 100%	67.9380	0
	Ze 13X 25% + AC 75%	16.8745	30.5183
	Ze 13X 50% + AC 50%	33.9690	20.3455
	Ze 13X 75% + AC 25%	50.9535	10.1728

### 3. 결과 및 토론

#### 3-1. 단일베드에서의 흡착거동

Fig.2는 싱글베드에서 활성탄과 제올라이트 13X에 질소 도입유량을 0.3NL/min으로 일정하게 유지하고 벤젠의 농도를 변화시켰을 때, 활성탄이 제올라이트 13X보다 파과시간이 짧음을 보여준다. Fig.3은 싱글베드에서 벤젠의 농도는 일정하게 유지하고, 질소 도입유량을 0.3NL/min에서 0.5NL/min으로 변화시켰을 때를 나타낸 것이다. 이를 통해 같은 벤젠 농도에서도 활성탄의 파과시간이 제올라이트 13X보다 짧다는 것을 볼 수 있다.

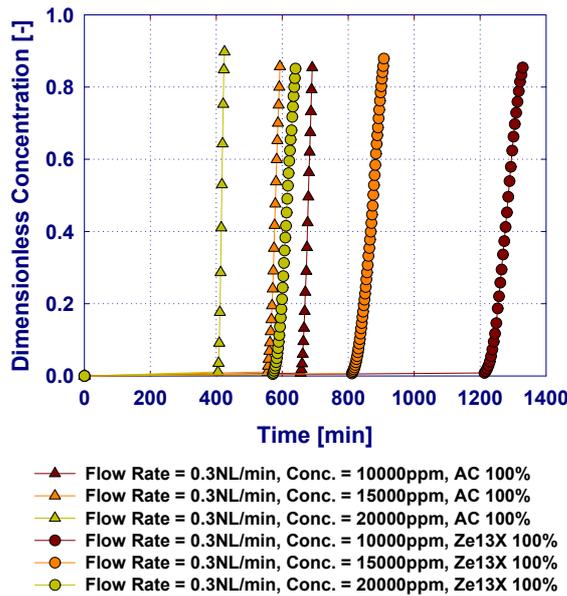


Figure 2. The effect of concentration changes of benzene

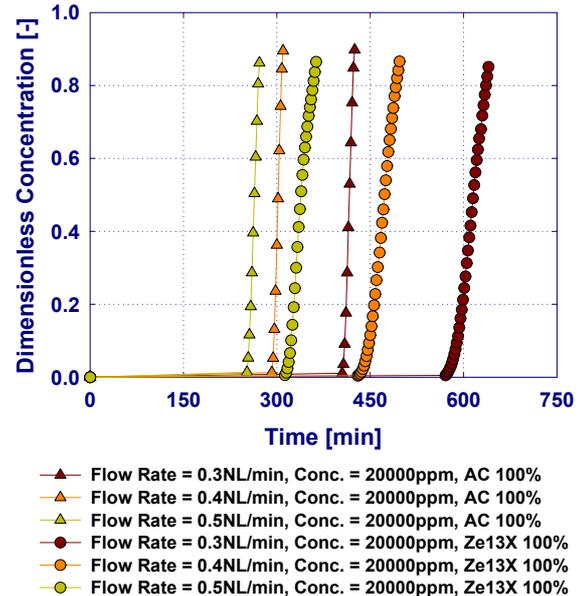


Figure 3. The effect of flow rate change

#### 3-2. 듀얼베드에서의 흡착거동

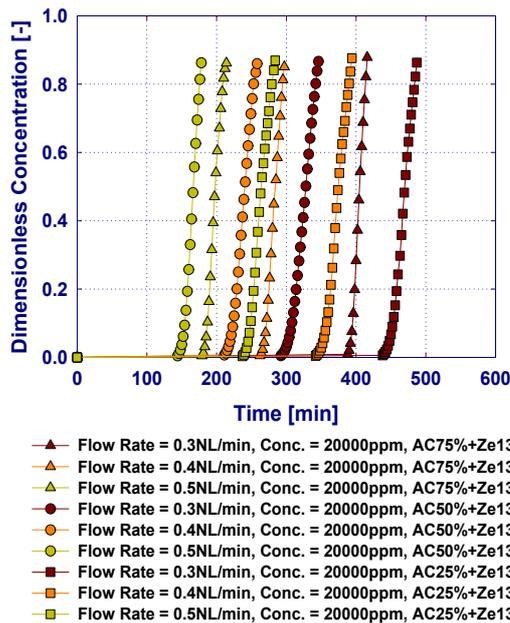


Figure 4. The changes of flow rate on AC+Ze13X

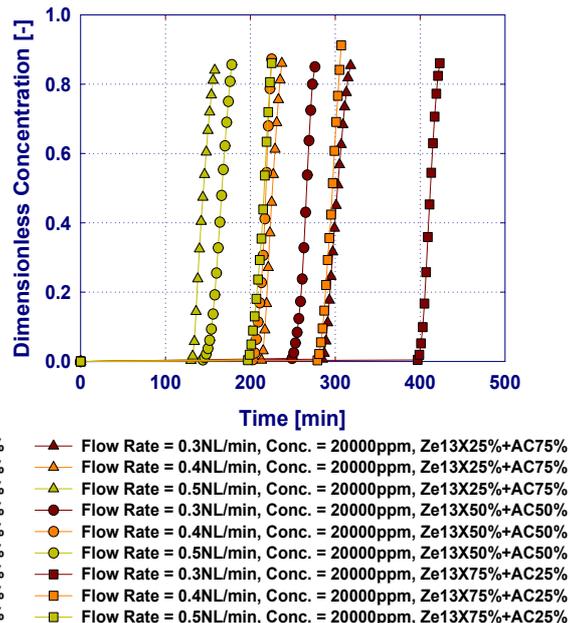


Figure 5. The changes of flow rate on Ze13X+AC

Fig.4은 듀얼베드에서 벤젠의 농도를 20000ppm으로 고정시키고 활성탄과 제올라이트의 비율을 다르게 하여 충전시킨 다음, 벤젠이 활성탄을 먼저 지나가도록 설계한 후 질소

도입유량을 0.3NL/min에서 0.5NL/min으로 변화시켰을 때의 결과이다. fig.5는 벤젠의 농도는 고정시키고 도입되는 벤젠이 제올라이트 13X를 먼저 지나가도록 설계한 후 질소도 입유량을 변화시켜가며 실험한 결과이다.

### 3-3. 파과시간 및 파과곡선 분석

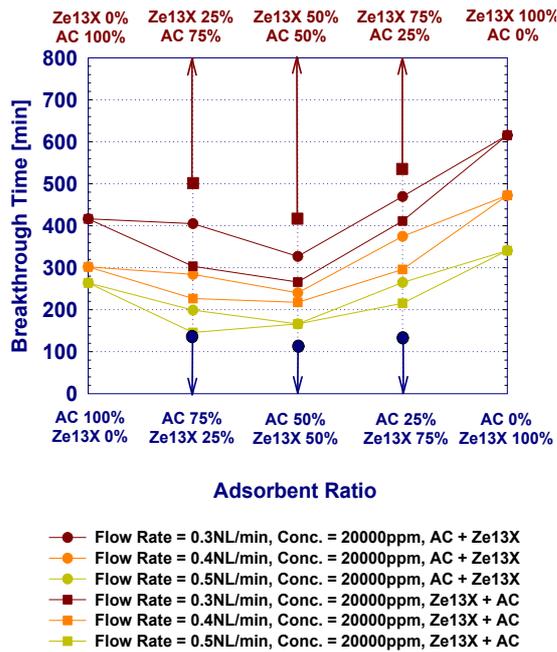


Figure 6. The breakthrough time of packed ratio

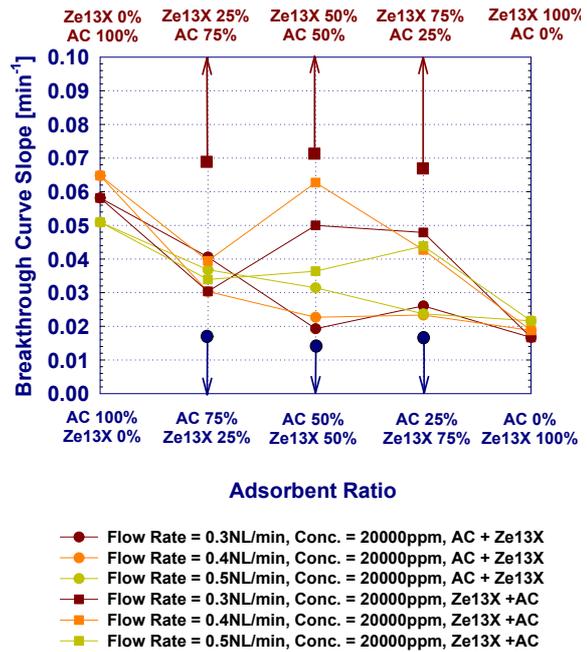


Figure 7. The breakthrough curve slope of packed ratio

Fig.6과 Fig.7은 각각 실험에서의 파과시간과 파과곡선 기울기를 나타낸다. 이때 사각형 포인트는 벤젠이 제올라이트 13X를 먼저 거치는 경우, 원형 포인트는 활성탄을 먼저 거치는 경우이다. 실험결과 활성탄과 제올라이트 13X의 비율이 50 대 50일 때의 파과시간이 가장 짧으며 파과곡선의 기울기는 불규칙적인 경향을 볼 수 있다. 다른 비율로 갈수록 좋아지는 현상을 보이므로 이를 통해 활성탄과 제올라이트 13X를 듀얼베드로 사용할 시에 최적의 지점을 찾을 수 있다. 또한 최적의 흡착량 뿐 아닌 흡착제의 가격 분석을 통한 경제성을 찾을 수 있을 것이다.

### 참고문헌

1. 임재석, 임 평 "흡착 화학공학과 흡착제", 내하출판사 (2012)
2. Y. H. Park, "Effects of operating variables on benzene adsorption and activated carbon regeneration", Hongik University (2012)