# 첨착활성탄의 휘발성유기화합물(VOCs) 흡·탈착 특성

김기중, 강찬순, 유영재, 우명우, 정민철, 안호근*
순천대학교 화학공학과
(hgahn@sunchon.ac.kr*)

# Adsorption-Desorption Characteristics of VOCs over Impregnated Activated Carbons

Ki-Joong Kim, Chan-Soon Kang, Young-Jae You, Myung-Wu Woo, Min-Chul Chung, Ho-Geun Ahn*
Department of Chemical Engineering, Sunchon National University
(hgahn@sunchon.ac.kr*)

## 서론

휘발성유기화합물(VOCs)을 제거하는 기술에는 열소각, 촉매산화, 응축, 흡착, 분리막법 등 여러 가지 기술이 있다. 이중에서 흡착법을 이용한 VOCs 처리 기술이 널리 이용되고 있고, 흡착제로서 값이 저렴하고 흡착력이 우수한 활성탄을 주로 사용하고 있다. 그리고 활성탄을 이용하여 VOCs의 흡착력을 높이기 위한 방법으로 다양한 산 또는 염기를 첨착시키는 방법을 연구하고 있다.

본 연구에서는 다양한 산과 염기를 활성탄에 첨착시켜 흡착력이 가장 우수한 첨착활성탄(Impregnated Activated Carbon)에 대하여 VOCs 흡착력과 화학적 특성과 다양한 파라메터(농도변화, 유량변화, 첨착비율 변화, 형상비 변화)의 변화에 따른 흡착특성을 평가하였다. 또한 승온탈착(TPD) 실험을 통하여 활성탄의 재생능력과 탈착특성을 알아보았다.

## 실험

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig. 1과 같이 상압 유통식으로 구성되어 있고, 흡착제로서는 삼천리 활성탄(30~35mesh)을 사용하였으며, 정제활성탄(Purified AC)은 활성탄을 증류수에 넣고 1시간동안 끓인 후 증류수로 세척하여 얻었다. 첨착활성탄 제조에 사용한 산과 염기는 $HNO_3$, $H_2SO_4$, HCl, $H_3PO_4$, $CH_3COOH$, KOH, NaOH이었고, 통상적인 습식법으로 제조하여 100℃에서 건조하였다. VOCs의 흡착 및 탈착에 따른 농도변화는 가스크로마토그래프의 TCD를 이용하

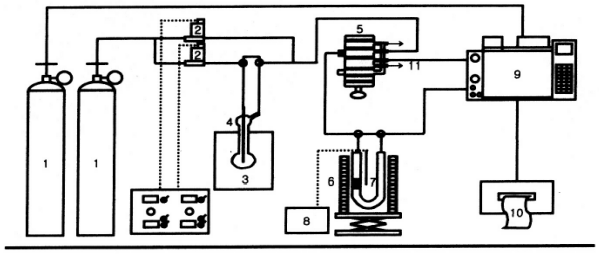


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus for measuring the amounts of VOCs adsorbed.

여 얻었다.

## 결과 및 고찰

1. 첨착활성탄의 VOCs 흡착

다양한 산과 염기 첨착활성탄에 대한 VOCs의 흡착실험을 수행하였다. VOCs에 대하여 각종 첨착활성탄(5wt%)의 흡착량은 염기 첨착활성탄보다 산 첨착활성탄이 총 흡착량에서 흡착량이 더 많은 것을 알 수 있었다. 그리고 산 첨착활성탄중에서 인산첨착활성탄이 흡착력이 가장 우수한 것으로 나타났다.

Fig. 2는 첨착활성탄 중에서 흡착력이 가장 우수한 인산 첨착활성탄에서 $H_3PO_4$의 첨착비율에 따른 VOCs 흡착량을 조사하였다. 이 결과, 0.5~2wt%로 $H_3PO_4$를 첨착시켰을때 다양한 VOCs에 대한 흡착량이 가장 많은 것으로 나타났다.

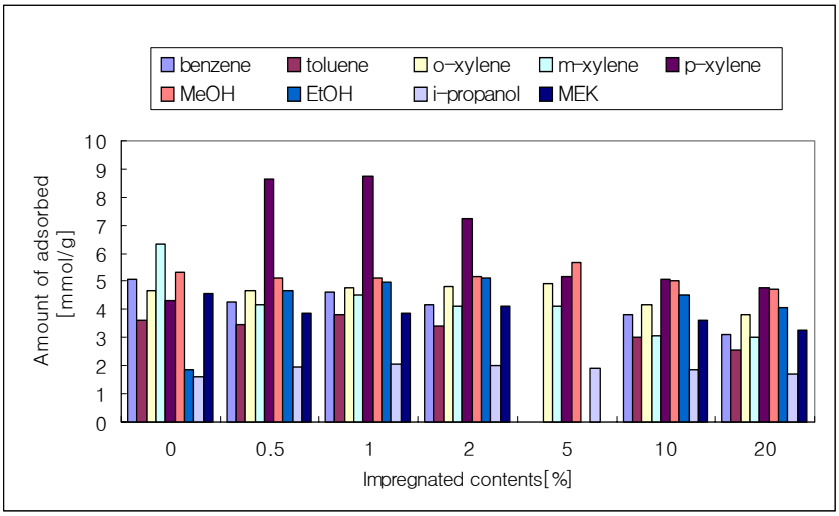


Fig. 2. Effect of impregnated content on the adsorbed amount over $H_3PO_4$/AC.

2. 농도변화

흡착실험에 사용한 VOCs 성분 중에서 toluene과 MEK의 농도변화에 따른 평형흡착량의 변화를 얻었다. 흡착가스의 농도가 증가할수록 평형흡착량이 증가하는 결과를 볼 수 있다. 이는 주어진 온도에서 흡착가스의 농도에 비례하여 평형 흡착량이 증가하는 Langmuir나 Freundlich의 등온흡착식에서 제시된 일반적 흡착특성에 부합되는 것이라 할 수 있다. 결과적으로, 흡착가스의 농도가 높을수록 충전된 흡착제의 평형흡착량이 늘어나면서 그만큼 파과가 지연되기 때문에 흡착가스의 농도가 증가할수록 평형흡착량이 증가함을 알 수 있다.

3. 흡착등온선

Table 1에 toluene과 MEK를 대상으로 Langmuir 흡착등온식을 나타내었다. Fig. 3에는 Langmuir 흡착등온선을 나타내었고, Freundlich 흡착등온선도 구하였다. Langmuir식에서 Ce는 흡착질의 농도(mol/L), Qe는 단위g당 흡착량(mol/L), Xm는 단분자층 최대 흡착량(mol/L), b는 Langmuir 상수이며, 1/b대 Ce/Qe를 plot하면 기울기(1/Xm)으로부터 흡착량과 k값과 n값을 구할 수 있다. Table 2에는 Langmuir와 Freundlich 흡착등온선의 plot로

부터 parameter값을 구하여 정리하였다. Freundlich보다 Langmuir 흡착등온식에 더 부합하였고, 1wt%- $H_3PO_4$/AC는 MEK보다 toluene의 흡착능이 조금 더 우수하다고 말할 수 있으나, 농도변화에 따른 흡착량 변화의 경향과 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 1. Langmuir and Freundlich isotherm models for single component

| Isotherm | Equation | Parameter |
|---|---|---|
| Langmuir | $Qe=\frac{XmbCe}{1+bCe}$ $(\frac{Ce}{Qe}=\frac{1}{Xmb}+\frac{Ce}{Xm})$ | Xm, b |
| Freundlich | $Qe=kCe^{1/n}$ $(\ln Qe=\ln k+\frac{1}{n}\ln Ce)$ | k, n |

Table 2. Adsorption equilibrium isotherms of toluene and MEK

| | Langmuir | | Freundlich | |
|---|---|---|---|---|
| Parameter / VOCs | Xm | b | k | n |
| MEK | 5.1 | 5.3 | 4.4 | 4.2 |
| Toluene | 4.8 | 7.2 | 4.2 | 5.9 |

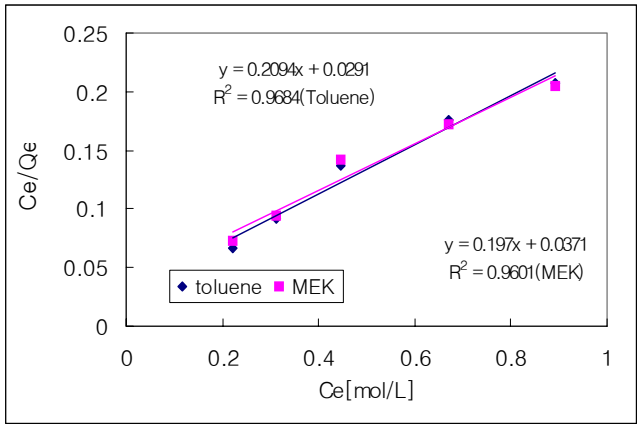


Fig. 3. Adsorption isotherm(Langmuir) of toluene and MEK on 1wt%-PA/AC.

4. 유량변화

Fig. 4는 고정흡착층에서 흡착가스인 toluene과 MEK의 공급유속(유량)에 따른 평형흡착량을 보여준다. 그림에서 보면, 흡착가스의 유속이 증가하면 고정 흡착층의 이용효율이 저하되어 평형흡착량이 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 일정한 흡착농도하에서 흡착질가스의 유속 증가는 흡착질의 유입량 증가와 함께 흡착과정의 물질전달저항을 줄여주므로 그만큼 흡착층의 포화시간에 일찍 도달하게 되는 것으로 볼 수 있다.

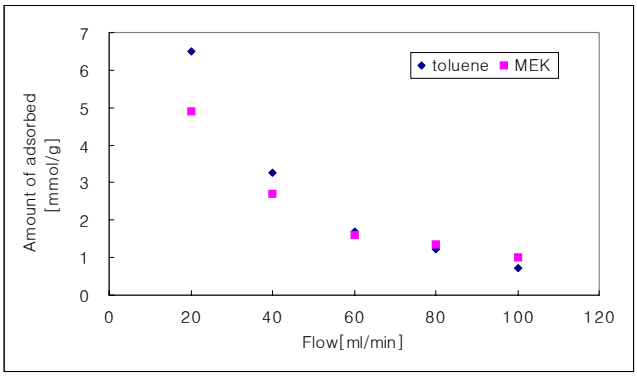


Fig. 4. The effect of flow rate on adsorption capacity with 1wt%-$H_3PO_4$/AC.

5. 형상비 변화

유입되는 흡착가스의 유속과 흡착온도를 일정하게 유지시킨 상태에서 고정 흡착층의 높이(형상비)에 따른 평형흡착량을 Fig. 5에 나타내었다. MEK의 경우, 고정 흡착층의 높이에 따라 각각의 파과점이 비례하여 증가함을 보여주고 있다. 이는 형상비가 커질수록 흡착질에 대한 흡착량이 늘어나기 때문이다. Toluene는 형상비가 약 6일 때 최대의 흡착능을 보이며, MEK는 흡착층 높이와 평형흡착량은 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있다.

6. 재흡착실험

Fig. 6에 흡착제의 재현성을 위한 실험으로 흡·탈착 반복실험을 수행하였다. 이 결과 1wt%-$H_3PO_4$/AC는 6회 이상 흡·탈착을 반복하더라도 충분히 재현성이 있는 것을 보여준다.

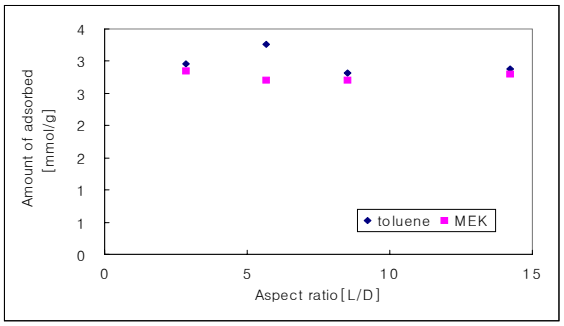


Fig. 5. The effect of aspect ratio on adsorption capacity with 1wt%-$H_3PO_4$/AC.

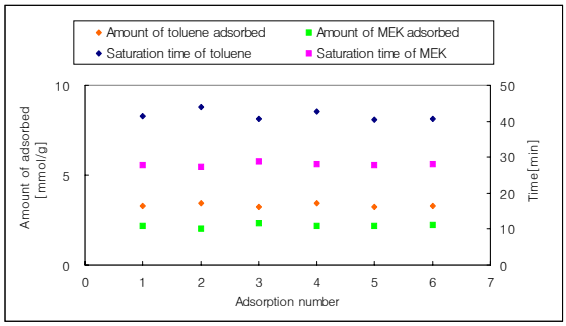


Fig. 6. Repetitive experiments of adsorption and desorption on 1wt%-$H_3PO_4$/AC.

## 결론

다양한 산과 염기를 활성탄에 첨착시켜 보았으며, 첨착활성탄을 이용하여 VOCs의 흡·탈착 특성을 연구하였다. 첨착활성탄중 1wt%-$H_3PO_4$/AC는 각종 파라메터에 대하여 Langmuir나 Freundlich의 등온흡착식에서 제시된 일반적 흡착특성에 부합되었고, 결과적으로 1wt%-$H_3PO_4$/AC는 VOCs를 제거하는데 있어 우수한 흡착제임을 알 수 있었다. 또한, 탈착실험결과 6회 이상 충분히 재현성이 있는 것으로 나타났고, 흡·탈착이 반복되는 흡·탈착-촉매산화 하이브리드 시스템에 흡착제로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

[1] 안호근, “활성탄과 환경”, 학림사, 2003.
[2] 김한수, 박영성, 민병무, J. of KSEE, 23(12), 1979~1988, 2001.
[3] C.L Chuang, P.C Chiang, E.E. Chang, Chemosphere, 53, 17~27, 2003.
[4] Weidong Jin and Shenlin Zhu, Chem. Eng. Technology, 1(23), 2000.

## 사사

본 연구는 환경부의 “차세대핵심환경기술개발사업(Eco-technopia 21 project)으로 지원받은 과제입니다.