

## 활성탄과 활성탄소섬유에 의한 톨루엔의 흡·탈착 성능비교

손미숙\*, 김상도, 임영준, 이시훈, 유승곤<sup>1</sup>  
한국에너지기술연구원, <sup>1</sup>충남대학교 화학공학과  
(shrick@lycos.co.kr\*)

### Performance comparison of Toluene's adsorption and desorption by activated carbon and activated carbon fiber

Mi sook Son\*, Sang do Kim, Young jun Rhim, Si hyun Lee, Seung gon Ryu<sup>1</sup>  
Clean Air Research Center, Korea Institute of Energy Research  
<sup>1</sup> Department of Chemical Engineering, Chungnam National University  
(shrick@lycos.co.kr\*)

#### 1. 서론

휘발성유기화합물(VOC)은 대기 중에서 태양 빛을 받아 질소산화물과 광화학반응을 일으켜 ground level 오존을 만들고 스모그를 형성하는 연소배가스 중의 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> 와 함께 대기환경 오염의 주원인이 되는 물질이다. 이러한 물질은 주로 석유화학단지, 염색, 도장, 건조 등의 화학공정에서 발생하는데, 국제소방안전법에 따라 이들 휘발성유기물질의 농도를 배출원에서부터 LEL(Lower Explosion Limit) 의 25% 이하로 회석하여 처리하여야 하는 규제 때문에 저 농도로 배출이 이루어진다. 국내에서는 2000년부터 울산, 여수, 온산단지를 시작으로 37개 휘발성유기화합물(2000년 6월 고시)의 규제를 시작하였으며 2005년부터는 전국 공단으로 확대될 것으로 예측하고 있다.

이들 저 농도의 휘발성유기물질을 처리하는 과정은 근본적으로 고에너지 소비성 공정이 될 수밖에 없다. 휘발성유기물질을 처리하기 위한 흡착법은 배출가스를 탄소 흡착제 표면에 직접 접촉시켜 포집하는 방법으로 많은 VOC 를 회수하거나 감소시킬 수 있는 효율적인 수단이다. 배출가스 내의 많은 화합물을 회수하거나 감소시킬 수 있는 효율적인 수단으로 폭넓게 이용되고 있다. 국내의 경우 대기업에서는 VOC 발생공정이 연속적이며, 이때 발생하는 VOC 를 처리하기 위하여 산화시스템과 같은 설비에 의해 운전이 이루어지고 있다. 그러나 중소형 업체의 경우에는 주로 활성탄만을 이용하여 VOC 가 처리되고 있는 실정이며, 활성탄의 성능, 교체시기 등에 대한 자료가 없어 실제로는 다량의 VOC 들이 배출되는 것으로 추정되어 이들에 대한 정량적 연구가 필요한 실정이다.

본 연구는 저 농도 VOC 의 효율적인 처리를 위하여 활성탄 및 활성탄소섬유를 사용한 흡착 및 탈착 성능을 비교 실험하는데 목적이 있으며, 이러한 결과와 정보를 VOC 의 농축 및 산화를 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

## 2. 실험방법 및 장치

본 연구에서 사용된 흡착제는 활성탄(AC, 미쯔비시, 일본)과 활성탄소섬유(ACF, A-10)이며, 이들에 대한 물리적 특성을 Table 1.에 기공분포도를 Fig 1.에 나타내었다.

Table 1. Physical properties of absorbents.

Property	ACF	AC
BET surface area(m <sup>2</sup> /g)	1147	1058
Micropore volume(cm <sup>3</sup> /g)	0.48	0.46
Total pore volume(cm <sup>3</sup> /g)	0.48	0.49
Microporosity (%)	98.6	92.9
Average pore diameter(Å)	17.2	18.6
*Microporosity = micropore volume / total volume X 100%		

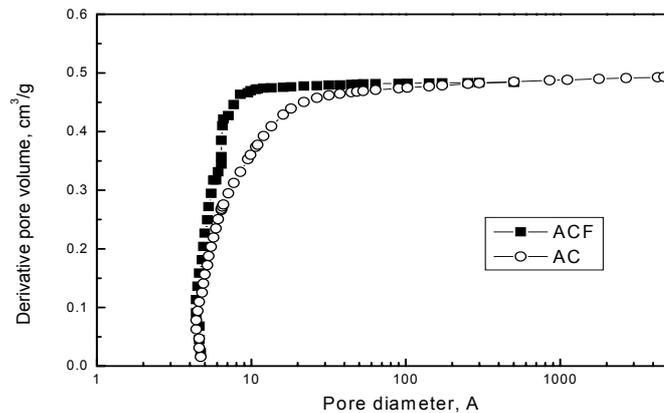


Fig 1. Pore size distribution of AC and ACF

IUPAC(International Union of Pure and Applied Chemistry) 는 흡착제의 기공크기에 따라 기공직경 20Å 이하를 micropore, 20-500Å을 mesopore, 500Å 이상을 macropore 로 분류하고 있다. Fig 1.의 기공분포도를 보면 ACF 는 20Å 이하의 기공으로 이루어져 있음을 알 수 있고, AC 는 5 ~ 100Å의 분포를 가지고 있어 micro - mesopore 가 혼합되어 있음을 알 수 있다.

사용된 탄소흡착제의 기초적인 흡·탈착 능력을 조사하기 위하여 Fig 2.와 같은 흡착 및 탈착장치를 설치하였다. 흡·탈착 단계의 운반가스는 공기를 사용하였다. 실험에 사용된 흡착관의 내경은 5cm, 길이는 35cm의 스테인레스 스틸 파이프를 사용하여 흡착제를 고정할 수 있도록 철망을 설치하였다. 임핀저에 톨루엔용액(99.9%)을 넣고 항온조에 넣어 일정한 온도를 유지시키면서 공기를 불어 넣어 증기를 발생시켰으며 이를 운반가스에 다시 희석시켜 요구하는 톨루엔 농도로 조절하였다.

실험 전에 흡착제를 oven에 넣고 105℃ 에서 24시간 건조시켜 습기를 제거한 후 흡착관에 흡착제를 균일하게 충전시킨다. 실험에 사용된 AC는 30g 을 적용하였고, ACF 는 5g을 적용하였다. AC 및 ACF 를 통과하는 각각의 체류시간은 0.53sec 및 0.825sec 이며, 각각의 공간속도(space velocity)는 4,500hr<sup>-1</sup> 및 6,800hr<sup>-1</sup> 이다. 흡착관으로 유입되는 공기의 유량을 10.0L/min으로 조절하였고 유속은 8.5cm/sec 이다. 톨루엔을 발생시키기

위해 필요한 공기 유량은 0.28L/min으로 전체 유량에 크게 영향을 미치지 않았다. 실험 장치로 유입되는 톨루엔의 농도는 280ppm으로 조절하였다. 혼합된 톨루엔 농도가 일정한 조성에 이를 때까지 by-pass 시켜 원료가스의 조성이 일정해지면 흡착관 상부의 밸브를 열어 실험을 실시하였다.

탈착실험은 흡착이 종료된 흡착관을 그림 2의 탈착장치인 oven 에 넣고 탈착을 실시하였는데, 충분히 가열하여 일정한 온도에 도달하게 하였고, 반응기에 유입되는 공기의 온도도 탈착온도에 도달한 이후 흡착관을 삽입하도록 하였다. 탈착온도는 90 - 210℃ 범위에서 조절하였다. 탈착에 사용한 공기유량은 5.0L/min을 적용하였다.

흡·탈착 실험에서의 유입부 및 출구부에서의 톨루엔 농도는 HP사 GC 6890의 FID로 분석하였으며, 운반가스로는 헬륨가스를 사용하였다.

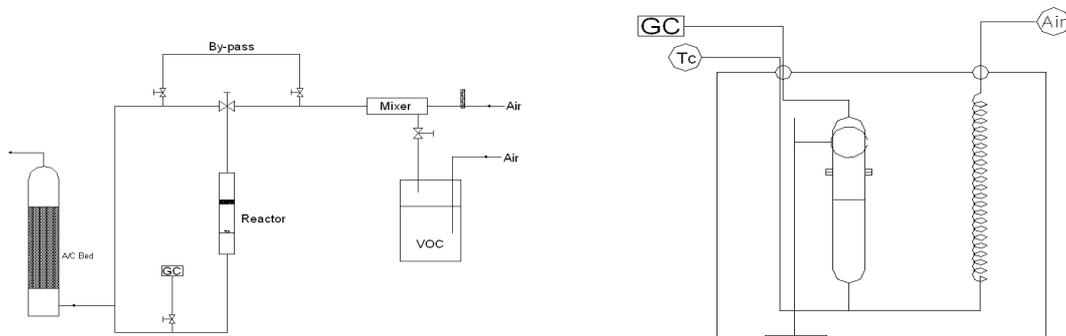


Fig 2. Adsorption and desorption from diagram

### 3. 결과 및 고찰

Fig .3 에 ACF 및 AC의 흡착, 탈착 파과곡선을 도시하였다. 그림으로부터 흡착은 동일한 조건으로 실험하였으나, 분위기 온도에 영향을 받아 파과점이 다소 차이가 있었음이 보여 진다. 탈착은 10분에서 최대능력이 나타나며 온도가 높을수록 탈착량이 증가하고 있다. 최대 피크는 탈착온도가 가장 높은 150℃ 인 경우 약 10,000ppm 정도가 배출되었다. 최대 피크이후 유출농도가 급격하게 감소하며 1시간이 경과되면 탈착되는 농도는 100ppm 이하가 된다.

AC의 경우에도 온도변화에 따라 탈착 시 배출되는 톨루엔의 농도가 크게 변화하는 것을 알 수 있다. 150℃ 이후에서도 유출농도가 4,000ppm 이상으로 높게 나타났다. 1시간 경과 후 배출되는 톨루엔의 배출농도는 130℃ 미만에서 300ppm 이하이지만 150℃ 이상에서는 550ppm 이상이 유지됨으로서 AC에 흡착된 톨루엔은 탈착이 잘 안됨을 알 수 있었다.

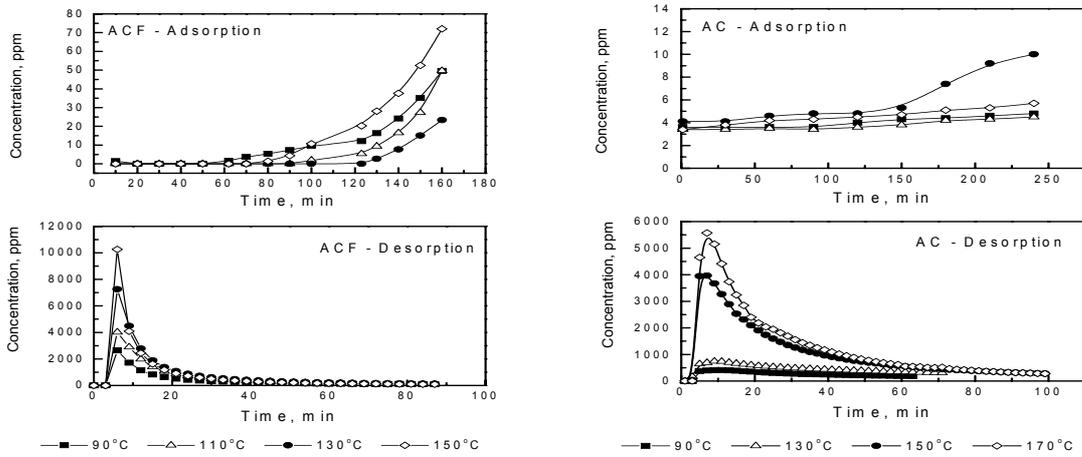


Fig 3. Breakthrough curves of toluene on ACF and AC at 20°C

ACF의 경우는 기공크기가 작기 때문에 흡착도 잘 되지만, 과과점도 빠르며, 탈착도 빠른 시간 내에 이루어진다. 그러나 AC의 경우 ACF에 비해서 micropore 뿐만 아니라 mesopore도 채우기 위하여 흡착이 선형적으로 이루어지며, 과과도 날카롭게 나타나지 않는다. 또한 탈착 시에도 계속해서 흡착이 이루어지기 때문에 ACF에 비해 초기의 배출 농도가 작고, 장시간 동안 VOC 배출농도가 높게 나타나게 된다.

4. 결론

유사한 비표면적을 가진 활성탄과 활성탄소섬유에 의한 톨루엔의 흡, 탈착 능력을 비교한 결과, 활성탄소섬유는 활성탄에 비하여 훨씬 큰 흡착능력을 보였는데 이것은 활성탄소섬유가 미세공을 많이 갖고 있을 뿐만 아니라, 이들이 모두 표면에 노출되어 있어서 물질전달저항이 거의 없기 때문이다. 또한 톨루엔이 포화된 활성탄소와 활성탄소섬유의 탈착에서도 활성탄소섬유는 90°C에서도 거의 탈착이 완료되나 활성탄소는 150°C에서도 탈착이 완료되지 않고 있는데, 역시 미세공의 양과 표면노출의 차이 때문으로 판단된다. 따라서 활성탄소섬유를 흡착제로 하는 VOC의 농축시스템을 설계, 운영할 필요성이 강조된다.