

활성탄소섬유의 흡착 kinetics 연구

김정수*, 장현태**, 차왕석***
*바다정수산업
**한서대학교 화학공학과
***군산대학교 환경공학과
e-mail:wscha@kunsan.ac.kr

Adsorption kinetics of activated carbon fiber

Jung-Su Kim*, Hyun-Tae Jang**, Wang-Seog Cha***
*Bada Watertreatment Co. LTD.
**Dept. of Chem. Eng., Hanseo University
***Dept. of Environ. Eng., Kunsan National University

요 약

활성탄소섬유를 이용하여 대표적 휘발성유기화합물인 톨루엔과 MEK에 대한 흡착실험을 수행하였으며, 흡착실험결과를 등온흡착식에 적용하여 주요 매개변수값을 측정하였다.

1. 서론

화학 및 제약공장, 플라스틱 성형시설 그리고 세정 시설 등에서 매우 다양한 휘발성유기화합물이 발생되며 휘발성유기화합물은 종류가 다양하며 끓는점이 낮은 액체연료, 파라핀, 올레핀 그리고 방향족 화합물들이 포함된다.

휘발성유기화합물은 질서산화물과 반응하여 광화학 스모그를 유발하며 오존을 생성시켜 인간의 건강에 해를 끼치는 물질로 작용한다.

대표적인 휘발성유기화합물 처리기술은 산화, 흡착, 응축회수등의 기술이 있으나 현재 국내에서는 대부분이 활성탄등을 비롯한 흡착제를 이용한 기술이 적용되고 있다.

활성탄을 이용한 처리기술은 잦은 흡착제 교체, 2차오염물 발생, 높은 분진발생률, 재생사용의 어려움 등의 단점이 있다[1].

이러한 문제점을 해결하고자 넓은 표면적과 큰 기공부피를 가지며 활성탄보다 작은 기공크기와 단순한 기공구조를 가지는 활성탄소 섬유를 흡착공정에 이용하고자하는 연구가 활발히 진행되고 있다[2].

본 연구에서는 공정조건에 따른 활성탄소섬유의 흡착특성을 조사하였으며, 흡착실험결과를 흡착등온식에 적용하여 주요 매개변수를 측정하였다.

2. 흡착 kinetics

흡착등온식은 대상 흡착계의 온도와 흡착질의 농도로부터 흡착제에 흡착된 흡착질의 농도 또는 흡착량을 계산할 수 있는 정보를 제공하며 일반적인 물리 흡착일 경우 흡착등온식의 형태는 Brunner등에 의하여 제시된 5가지 유형이 있다.

이 중에서 흡착제 세공크기가 흡착분자의 크기보다 매우 크지 않을 때 형성하는 흡착등온의 유형이며 흡착질이 흡착제의 표면에 단층으로 흡착하는 경우가 Langmuir 평형식이다.

Langmuir 등온흡착식은 흡착과 탈착속도식 사이의 동적평형에 개념적인 기초를 두고있다.

흡착이 일어난 흡착점에서는 더 이상 흡착되지 않으므로 단위표면적당 흡착속도는 $\alpha\nu(1-\theta)$ 이다. 여기에서 α 는 sticking probability이며, ν 는 collision frequency이고, θ 는 흡착분율이다. Langmuir isotherm은 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$\theta = \frac{q}{q_{max}} = \frac{bP}{1+bP} \quad (1)$$

q 와 q_{max} 는 각각 흡착물수와 최대평형흡착물수이며, b 는 흡착평형정수, P 는 압력이다.

무정형 표면에서 흡착이 일어난 경우에 표면의 흡착률이 증가함에 따라서 흡착열이 지수함수로 감소

한다고 가정하면 Langmuir isotherm을 통계적으로 처리하여 freundlich isotherm을 이론적으로 유도할 수 있다. 이 식은 원래 실험적으로 구하였으며 다음과 같이 나타낸다.

$$q = kP^{1/n} \quad (2)$$

여기서 항상 $n > 1$ 이며, 이온도가 증가함에 따라서 n 과 k 는 감소한다. 이 식은 Langmuri isotherm이 적용되지 않는 경우에 넓은 범위의 q 값에 대해 잘 맞는다.

만약에 한 개 분자가 n 개의 흡착점을 차지하면서 각각의 활성점이 다른 에너지를 갖고 있다면 다음식으로 표시되며, 이를 Langmuir-Freundlich isotherm 이라고 한다.

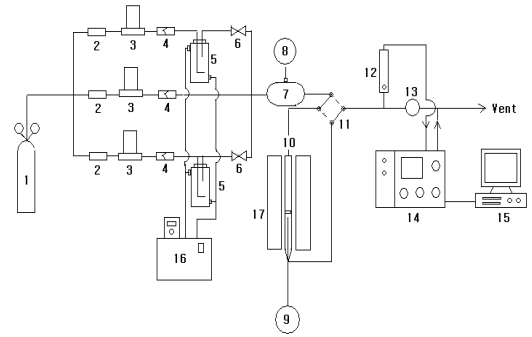
$$\theta = \frac{q}{q_{max}} = \frac{bP^{1/n}}{1 + bP^{1/n}} \quad (3)$$

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 실험에 사용한 실험장치의 개략도는 그림 1과 같다. 실험장치는 크게 유량조절부, 증기발생 부, 흡착제 충전층, 분석부로 구성되어 있다. 실험장치 시스템은 전체적으로 1/4 inch 테프론 재질의 튜브를 이용하여 주요 장치들을 연결하였다. 유량조절부에서는 휘발성 유기화합물 제조에 사용된 공기를 일정한 유량으로 주입할 수 있도록 MFC(Mass Flow Controller)를 사용하였다. 증기발생부에서는 MFC로 조절된 공기를 톨루엔 또는 MEK가 담긴 용기에 주입하여 다양한 농도의 휘발성 유기화합물이 제조되도록 하였으며 또한 농도의 교란을 최소화하기 위해 mixing chamber를 두었다. 유리재질의 흡착실험용 반응기는 직경 10mm, 길이 450mm이며, 반응기 중간에 glass frit를 두어 충전된 흡착제를 고정할 수 있게 하였다. 반응기 주위로 흡착실험시 흡착층의 온도 유지와 탈착 실험시 흡착층 가열을 위해 IR 히터를 장착하였으며, 흡착층 하부에 K형 열전대를 장착하여 IR 히터를 조절하였다.

분석부에서는 4방 밸브를 사용하여 휘발성 유기화합물의 흡착전과 후의 농도를 on-line으로 측정할 수 있도록 구성하였으며, 분석은 GC(Gas Chromatography) 기기의 FID(Flame Ionization Detector)를 사용하여 분석하였다.



- | | |
|------------------------------|----------------|
| 1. Air | 2. Filter |
| 3. MFC(Mass Flow Controller) | 4. Check valve |
| 5. VOCs generator | 6. 2-way valve |
| 7. Mixing chamber | 8. PI |
| 9. T/C | 10. Reactor |
| 11. 4-way valve | 12. Flow mater |
| 13. Micro valve | 14. G.C |
| 15. Computer | 16. Water bath |
| 17. IR heater | |

[그림 1] 휘발성 유기화합물 흡착실험을 위한 실험장치 개략도

3.2 흡착 실험방법

ACF에 흡착물 이외의 물질이 흡착되는 것을 최소화하기 위해 실험 수행 전에 200℃의 불활성 분위기에서 4시간 동안 소성시킨 후 사용하였다. 흡착 실험전 흡착반응기에 ACF를 일정량 충전하고 공기를 흘리면서 흡착온도를 일정하게 유지하였다. 흡착온도에 도달하면 3방 밸브를 사용하여 일정농도의 휘발성 유기화합물이 흡착반응기에 유입되도록 하였다. 흡착반응기에서 배출되는 휘발성 유기화합물의 농도는 연속적으로 실시간 측정하였다.

휘발성 유기화합물 농도측정 곡선으로부터 흡착된 양을 Simpson rule을 이용하여 계산하였으며, 흡착이 완료된 후 AFC의 무게를 측정하여 계산 값과 실제 측정값을 비교하였다.

4. 실험결과 및 고찰

휘발성유기화합물의 주입농도 변화에 따라 흡착되는 양이 크게 달라짐을 알 수 있으며 본 실험에서는 약 100ppm을 기점으로 상당히 달라졌다.

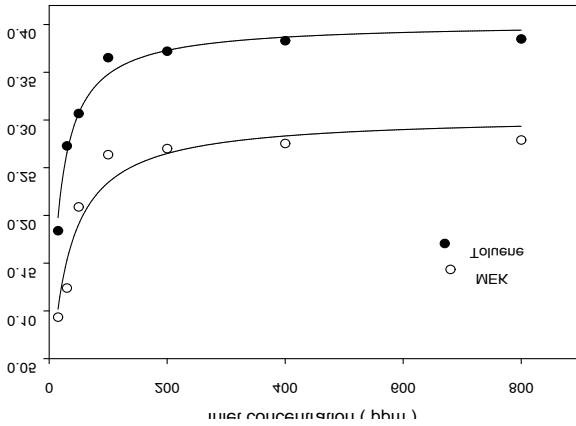
실험에 사용한 활성탄소섬유는 Brunauer분류의 유형 I을 따름을 확인할 수 있었다.

5. 결론

활성탄소섬유를 이용하여 톨루엔과 MEK를 대상으로 흡착실험을 수행하였으며 각 공정조건에서의 흡

착특성을 파악하였다.

전체적으로 등온흡착형태는 Langmuir 등온흡착형태이었으며, Langmuir식을 이용하여 주요 흡착매개 변수를 측정하였다.



[그림 2] 톨루엔과 MEK에 대한 ACF의 등온평형곡선

사사

본 논문은 군산대학교 환경건설연구소의 연구지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Geun-Ho Baek, Jung-su Kim, Hyun-Tae Jang and Wang-seog Cha, "Adsorption/Desorption Properties of ACF on Toluene and MEK with operation Condition", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 12, No. 6, pp. 2898-2903, 2011
- [2] Geun-Ho Baek, Jung-su Kim, Hyun-Tae Jang, Hyeong-Wan Kim, Hyeong-Joo Kim and Wang-seog Cha, "Adsorption/Desorption Properties of VOCs on Activated carbon fiber", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 12, No. 5, pp. 2439-2444, 2011
- [3] S. H. Moon and S. Y. Park "selective Separation of CO₂/CH₄ by Pore Structure Modification of Activated Carbon Fiber", J. of KSEE, 29(9), pp1027-1034, 2007