

PA3) 마이크로파를 이용한 제올라이트의 VOC 흡착특성

도상현*, 최상기, S. Kobayashi¹, 김윤갑², 최성우

계명대학교 환경과학과, ¹일본산업기술총합연구소 환경관리연구부, ²계명문화대학 소방환경안전과

1. 서 론

휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOC)이란 증기압이 높아 대기중으로 쉽게 증발되고, 대기중에서 질소산화물과 공존시 태양복사에너지를 받아 광화학반응(Photochemical Reaction)을 일으켜 오존 및 Peroxy Acethyl Nitrate(PAN) 등 광화학산화물을 생성시켜 광화학 스모그를 유발시키는 물질을 총칭하는 것으로 고정배출원에서의 유기용제 사용과 액체연료의 사용, 수송, 저장 및 자동차 등의 이동배출원에서 대기중으로 배출되며, 산업체에서 사용되고 있는 용매와 화학 및 제약공장 그리고 플라스틱의 건조공정에서 배출되는 유기가스 등까지 매우 다양하다.

배출되는 VOCs에 대한 처리 기술의 개발이 중요한 과제로 떠오르는 가운데, 배출된 유기 용매를 귀중한 자원으로서 회수하여 재이용 하는 것도 에너지 및 자원의 효율적 이용의 관점에서 중요하다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Zeolite를 이용하며 VOCs를 흡착 분리하고 기존의 흡착제와 다른 마이크로웨이브파를 이용한 흡착제에 대해 연구하였다.

2. 재료 및 실험 방법

유로부는 Mass Flow Meter로 가스의 유량을 조절하였으며, 본 실험에서 총 유량이 400 ml/min이 되도록 하였다. 흡착질 가스인 벤젠의 농도는 530ppm으로 나머지를 헬륨가스로 충전하여 반응기로 흘러 보냈다. 물의 농도는 일정한 온도를 유지하는 Saturator를 통하여 수증기압에 해당하는 양만큼 유입되도록 하였다. 각각의 벤젠과 물은 Mixing Chamber에서 잘 혼합되어 흡착관으로 유입되도록 하였으며, 가스 출구에는 열선을 감아 100℃ 정도를 유지하도록 하여 탈착물이 응축되지 않도록 하였다.

흡착관은 유전손실이 아주 작은 석영제로서 내경 8mm의 U자관을 사용하였으며, 내부에 흡착제로 제올라이트를 약 0.6g을 충전하였다. 마이크로파 발진관은 2.45GHz, 최대출력 1.2kW의 마그네트론 관을 사용하였고, 마이크로파는 발진관으로부터 도파관을 통하여 도입되었으며 도파관 중간에 흡착관을 설치하였다. 출구가스는 GC-MSD로 연속적으로 농도를 측정하였다.

흡착제가 충전된 흡착관에 He을 흐르게 하면서 가열을 행하여 흡착해 있던 물과 불순물을 탈착시켰다. 흡착관에 벤젠가스를 유입시켜 파파에 도달할 때까지 흡착을 시켰다. 이때 흡착층 외측에 냉매를 흘려 흡착층의 온도를 조절 후 파파에 도달한 시점에서 마이크로파를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 제올라이트의 2성분계 파과곡선

벤젠과 물 2성분계의 혼합가스가 흡착온도 25℃, 유량 400ml/min의 조건에서 나타난 제올라이트의 파과곡선을 실험하였다. 본 실험에서 벤젠은 15분 정도에서 파과가 시작되었으며, 물은 50분 정도에서 파과가 일어나기 시작하였다. 2성분계가 완전히 포화되는데는 약 90분 정도가 소요되었다. 제올라이트의 경우 고정층 흡착공정에서 다성분계에 대한 파과곡선의 형태는 많은 연구자들에 의해 rollup현상으로 알려져 있다. 이러한 현상은 약흡착성 성분이 흡착된 자리에 강흡착성 성분으로 치환되는 것이다. 벤젠과 물의 2성분계가 입구로부터 유입되면 흡착층의 입구부분부터 흡착대가 형성된다. 먼저 약흡착성인 벤젠은 앞으로 나아가 흡착되며 흡착이 진행됨에 따라 강흡착성인 물의 파두(wavefront)의 전진에 의해 벤젠과 치환되어 벤젠을 탈착시키면서 진행된다.

3.2. 마이크로파의 조사로부터 흡착제어

마이크로파를 조사하여 2성분계의 흡착거동을 검토하였다. 벤젠 530ppm과 물 10,000 ppm의 혼합가스가 파과에 도달한 후 마이크로파를 조사하였다. 이때 흡착층의 온도를 25℃로 유지하도록 하였다. 2성분계가 포화된 후 마이크로파를 조사시키면 물의 출구농도가 급격하게 증가하였으며, 이는 마이크로파에 의해 제올라이트에 흡착된 물이 여기되어 탈착되고 있음을 나타내고 있다. 마이크로파를 조사하자마자 벤젠이 순간적으로 탈착이 이루어지며 또한 이때 벤젠의 경우 물의 공존 하에서도 벤젠의 일부가 흡착하는 것으로 사료된다.

물의 탈착농도가 계속 증가하다가 감소하여 입구농도에 가깝게 되는데 이는 마이크로파 조사에 기인하여 흡착된 물의 탈착이 종료된 것을 나타내고 있다. 이 시점에서 벤젠은 S시점에서부터 출구농도가 감소하기 시작한다. 이는 물의 탈착에 의해 제올라이트내의 빈 흡착자리(Adsorption Site)에 벤젠이 흡착된 것이다. 이후 벤젠 농도의 감소경향이 적어지면서 마이크로파 조사 상태하에서의 흡착은 종료하게 된다.

4. 요 약

제올라이트는 흡습성이 강하기 때문에 수분을 함유한 벤젠의 경우, 벤젠의 흡착에는 적절하지 못한 것으로 알려져 있다. 하지만 본 실험결과에서는 마이크로파를 이용함으로써 물의 흡착을 어느 정도 막고, 벤젠의 흡착이 일어나는 결과로부터 제올라이트의 용도를 확대시킬 수 있을 것이다. 또한 마이크로파에 의한 제어는 열, 압력보다 간단하지만, 보다 세밀한 제어가 가능하게 되면 새로운 흡착 및 기타 기술의 발전을 기대할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- Ania C.O., J.A. Menéndez, J.B. Parra, and J.J. Pis, 2004, Microwave-induced regeneration of activated carbons polluted with phenol. A comparison with conventional thermal regeneration, 42, 1383-1387.
- Bathen D., 2003, Physical waves in adsorption technology-an overview, Separation and

- Purification Technology, 33, 163-177.
- Carrott P.J.M., J.M.V. Nabais, M.M.L. Ribeiro Carrott, and J.A. Menéndez, 2001, Thermal treatments of activated carbon fibres using a microwave furnace, Microporous and Mesoporous Materials, 47, 243-254.
- Liu X., X. Quan, L. Bo, S. Chen, and Y. Zhao, 2004, Simultaneous pentachlorophenol decomposition and granular activated carbon regeneration assisted by microwave irradiation, Carbon, 42, 415-422.
- Quan X., X. Liu, L. Bo, S. Chen, Y. Zhao, and X. Cui, 2004, Regeneration of acid orange 7-exhausted granular activated carbons with microwave irradiation, Water Research, 38, 4484-4490.
- Tai H and C.G. Jou, 1999, Application of granular activated carbon packed-bed reactor in microwave radiation field to treat phenol, Vol. 38, No. 11, 2667-2680.