

### 침착 활성탄의 흡착 특성에 관한 연구

노성희, 차진명<sup>1</sup>, 김선일\*

조선대학교 화학공학과, <sup>1</sup>비앤이테크(주)  
(sibkim@mail.chosun.ac.kr\*)

### A Study on the Adsorption Characteristics of Impregnated Activated Carbon

Sung-Hee Roh, Jin-Myeong Cha<sup>1</sup>, Sun-Il Kim\*

Dept. of Chemical Engineering, Chosun University

<sup>1</sup>B&E Tech. Co. Ltd.,

(sibkim@mail.chosun.ac.kr\*)

#### 서론

탄소는 일정량의 산소와 결합하고 있다. 이 산소는 화학적으로 단단히 결합되어 있으며 진공이나 불활성분위기에서 400~500℃의 고온으로 가열하면 산화물의 형태로 배출된다. 마찬가지로 모든 미소 결정성 탄소는 수소와도 단단히 화학적으로 결합되어 있다. 또한, 탄소는 페놀, 아민, 니트로벤젠, 계면활성제 및 특별한 양이온들과도 잘 결합하고 있다. X-ray 회절 연구에 의하면 방향족 판의 모서리나 구석에 있는 heteroatoms이나 분자종들은 탄소판과 결합하여 heterocyclic ring system을 구성하고 있다. 이 탄소원자들은 불포화 cacancy를 가지고 있고 이들 heteroatoms들과 결합을 이루어 potential energy를 낮추는 경향이 있다. 이러한 모서리들이 주 흡착면을 이루기 때문에 heteroatoms이나 분자종의 존재는 탄소의 표면 특성이나 표면 거동을 변화시킬 것으로 기대된다. 탄소가 항상 산소와 화학결합을 하고 있다는 사실이 탄소를 유용하게 응용할 수 있게 한다. 탄소는 이러한 산소의 화학적 흡착에 의하여 결합산소의 판을 변화시키기도 한다. 예를 들면, 탄소는 오존, 질소산화물과 같은 산화성가스에 의하여 분해되기도 한다. 탄소는 또한 공기, 탄산가스, 산소 중에서 열처리에 의하여 산화된다. 이때 형성되는 표면산화물의 특성이나 양은 탄소의 형성단계, 비표면적, 처리온도 등에 따라 달라진다. 그리고 표면에는 여러 가지 관능기가 발달하는데 이 관능기들이 흡착질의 흡착에 크게 영향을 미친다. 따라서 탄소 흡착제의 표면을 적절히 처리하여 필요한 관능기를 부여하고 불필요한 관능기를 제거하여 흡착능을 향상시킬 필요가 있다.

활성탄과 같은 탄소흡착제의 표면처리는 화학약품처리법과 열처리법 등을 들 수 있으며, 약품처리법에는 (질)산처리, 오존처리, 침착처리 등을 들 수 있다. 탄소흡착제들은 90%이상의 탄소로 이루어져 있지만 또한 산소, 수소, 질소, 유황 등에 의한 산화복합체 표면화합물을 포함하고 있다. 그리고 이들 표면화합물들은 미세공 구조와 함께 흡착특성을 제어하고 있다. 대부분의 표면복합체들은 강도가 다른 산성 산화물그룹들이다. 따라서 표면처리에 의한 흡착능력의 향상은 이들 표면복합체들의 증가 혹은 변환을 의미한다. 활성탄은 비표면적이 크고 세공구조가 미세하게 발달되어 있으며 활성탄 표면이 소수성이기 때문에 수증기에 대한 흡착 친화도가 낮고 저농도가스에 대한 흡착의 친화도가 높기 때문에 공기중의 유해가스를 제거하는데 많이 이용되고 있으나 흡착질 중 활성탄에 대한 친화도가 낮으면 탈취조작시간이 짧다는 단점이 있다. 이러한 경우 화학적 침착물질을 첨가한 침착활성탄을 사용하면 탈취효과도 증대되고, 탈취조작 운전시간을 훨씬 연장하는 것이 가능하므로 탈취조작에서 경제적이 된다.

일반적으로 단일성분의 흡착 능력은 흡착용량과 흡착속도로 평가된다. 활성탄의 흡착 능력은 활성탄의 종류나 피흡착제에 따라 달라질 뿐만 아니라 처리하고자 하는 물질의 수은, pH 또는 용존물질에 의하여도 변한다. 활성탄의 흡착의 정도는 흡착 등온식을 이용하여 예측할 수 있다. 그러나 처리하고자 하는 물질의 복잡성과 여러 가지 형태의 화

흡물이 가지는 흡착의 정도는 일반적인 흡착속도 방정식을 이용하여 예측하는 것이 쉽지 않다. 분자구조나 기타 변수들이 흡착의 정도에 큰 영향을 미치기 때문이다. 이러한 흡착의 정도를 수식화 하는 것이 어렵기 때문에 이를 파악하기 위하여 경험적인 접근방법을 채택해야 한다. 따라서, 오염물질의 제거율을 나타내는 파과곡선, 활성탄의 흡착능력, 운전에 미치는 공정 변수의 영향력 등에 관한 사항은 각각의 상황에 맞는 실험 하에서 알아내야 한다. 본 연구에서는 악취성분의 효과적인 제거를 위해 활성탄에 화학적 표면처리·침착을 하여 흡착 특성에 대하여 알아보았다.

## 실험

세탁소에서 발생하는 VOCs 중 정량한 물질은 Benzene, Toluene, o-, m-, p- Xylene, Ethanol, Perchloroethylene이었다. 이중 발생량이 가장 많고 대표적인 VOCs인 Benzene, Toluene, Xylene에 대한 활성탄(AC)의 흡착특성을 알아보기 위해 고정층 흡착탑을 Fig.1 과 같이 구성하였다. VOCs가스는 원하는 농도를 유지하기 위해 Bomb에서 공급되어 MFC에 의해 조절하였고, 반응온도를 일정하게 하기 위해 항온조에 Pyrex로 제작된 흡착셀을 설치하였다. 흡착에 사용되는 활성탄은 120°C에서 24시간 동안 건조되어 수분을 완전히 제거한 후 일정량을 흡착셀에 채워서 흡착실험을 진행하였으며 입구와 출구 농도는 Gas chromatography(Shimadzu, GC-14B)에 의해 분석되었다. 활성탄 단위무게당 흡착질의 양을 알아봄으로써 침착에 사용될 우수한 활성탄을 선별하였다.

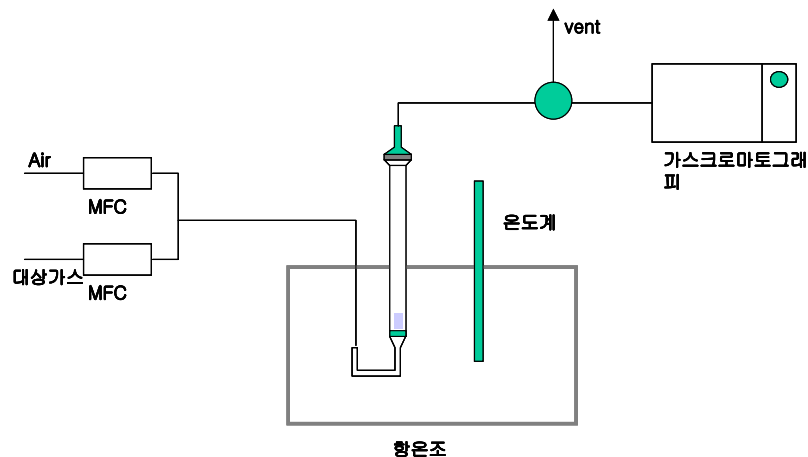


Fig. 1. Schematic diagram of adsorption reactor.

## 결과 및 토론

공기 중의 수분의 양에 따른 흡착성능의 변화는 비오는 날과 건조한 날에 의한 성능 변화를 고려하기 위해 상대습도에 따른 흡착특성을 고려하여 Benzene, Toluene, Xylene에 대해 상대습도 0%, 40%, 90%에서의 흡착성능을 실험하였다.

Benzene의 경우 상대습도가 90%일 때 많이 감소하는 것으로 나타났으며 약간의 roll-over 현상이 나타났다. 파과시간을 도입된 농도 300ppm의 10%가 배출되는 시간으로 보면 상대습도 0%, 40%, 90%로 증가할 때 파과시간은 240분, 200분, 120분으로 급격히 감소하였다. Toluene과 Xylene의 경우 Benzene과 마찬가지로 상대습도가 증가할수록 흡착량이 감소하여 Toluene의 경우 파과시간이 300분, 280분, 160분으로 감소하였고, Xylene의 경우 300분, 240분, 120분으로 감소하였다. Benzene-Toluene 2성분계에서 파과곡선의 물질전달영역의 개형은 단일성분계와 다르게 나타났다. Benzene의 파과가 먼저 일어나 배출농도가 도입농도의 1.5배 정도까지 상승하였다가 Toluene의 파과와 동시에

Benzene의 배출농도는 감소하여 도입농도를 유지하게 되었다. 이와 같이 한 성분이 다른 성분에 비해 선택적으로 흡착이 되는 경우는 크게 두 가지 이유로 설명된다. 첫 번째, 평형흡착의 차이로 설명할 수 있으며 두 번째, 속도론적인 차이로 설명할 수 있다. 평형흡착의 차이로 선택적 흡착이 일어나는 경우, 강하게 흡착되는 흡착질이 먼저 흡착되어 있던 약하게 흡착되는 흡착질을 치환하여 파과곡선에서는 약하게 흡착된 흡착질이 도입농도 이상으로 배출되게 된다. 이렇게 배출되는 농도가 공급되는 농도 이상으로 되어 둥근 언덕을 만드는 현상을 밀어올림(roll-up) 또는 굴림(roll-over)현상이라 한다. 속도론적 차이에 따른 현상은 각 성분들이 흡착제 입자 내에서 확산속도의 차이로 선택적 흡착이 일어난다. Toluene-Xylene 2성분계에서 파과곡선의 경우 Toluene에서 roll-up 현상이 발생하였다.

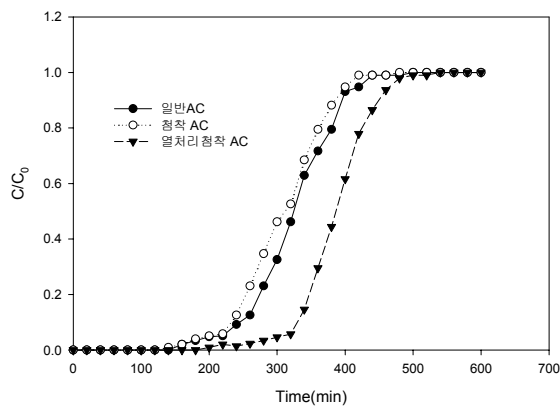


Fig. 2. Breakthrough curve of Benzene (inlet 300ppm)

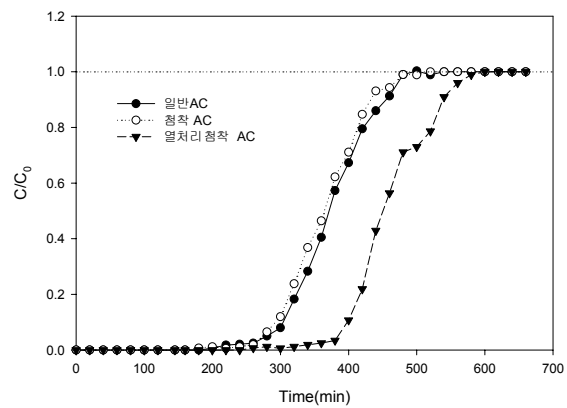


Fig. 3. Breakthrough curve of Toluene (inlet 300ppm)

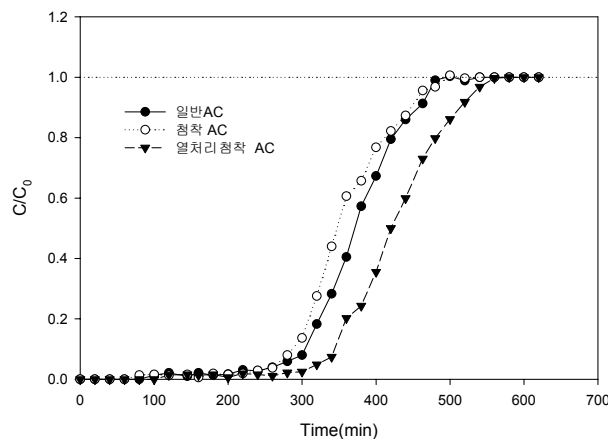


Fig. 4. Breakthrough curve of Xylene (inlet 300ppm)

Benzene, Toluene, Xylene을 제거하기 위한 침착활성탄은 가장 좋은 성능을 보인 KI에 의해 침착된 활성탄을 사용하였다. 열처리한 침착활성탄은 KOH에 의해 침착한 후 800°C에서 2시간동안 열처리한 시료를 사용하였다. 그 결과를 Fig. 2~4에 나타내었다. KI에 의해 침착된 활성탄은 일반 활성탄과 거의 같은 흡착량을 보이거나 더 적은 흡착량을 나

타내었다. 이는 NaOH 침착시에 나타난 것과 같이 침착율이 증가할수록 비표면적이 감소하기 때문인 것으로 생각된다. 하지만, 열처리를 한 침착활성탄은 일반 활성탄보다 Benzene, Toluene, Xylene 세 가지 성분 모두에서 더 나은 성능을 보였다. 열처리한 침착 활성탄의 총 흡착량은 Benzene 397 mg/g-AC, Toluene 548 mg/g-AC, Xylene 589 mg/g-AC이다. 이는 일반 활성탄의 흡착량이 Benzene 324 mg/g-AC, Toluene 412 mg/g-AC, Xylene 511 mg/g-AC인 것에 비해 각각 18.4%, 24.2%, 13.3% 증가한 양이다.

### 결론

활성탄에 화학적 표면처리를 하여 악취성분의 흡착능력을 증가시키고자 침착활성탄을 제조하여 대표적인 VOCs인 Benzene, Toluene, Xylene에 대한 흡착실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Benzene-Toluene 2성분계에서 과과곡선의 물질전달영역의 개형은 단일성분계와 다르게 나타났다. Benzene의 과과가 먼저 일어나 배출농도가 도입농도의 1.5배 정도까지 상승하였다가 Toluene의 과과와 동시에 Benzene의 배출농도는 감소하여 도입농도를 유지하게 되었다. 한편, Toluene-Xylene 2성분 과과곡선의 경우 Toluene에서 속도론적 차이에 의해 roll-up 현상이 발생하였다.

2) 열처리를 한 침착활성탄은 일반 활성탄보다 Benzene, Toluene, Xylene 세 가지 성분 모두에서 더 나은 성능을 보였다. 열처리한 침착 활성탄의 총 흡착량은 일반 활성탄의 흡착량에 비해 각각 18.4%, 24.2%, 13.3% 증가한 양으로 나타났다.

### 감 사

본 연구는 광주지역환경기술개발센터의 2004년도 (산학)연구비의 지원(04-4-40-44)에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- 1) 손성섭, 김진오, 최광호, 상수 고도처리에서 활성탄 재생기술, 1999.
- 2) 김종규, 활성탄소의 특성 비교 및 사업장 적용(1), 환경기술인회보 **171**:78~84, 2000.
- 3) 조달운, 활성탄에 의한 중금속 제거에 관한 연구, 숭실대학교 석사학위논문, 1992.
- 4) T. D. Reynolds, Unit operations and processes in environmental engineering, PWS Pub. Co. 1996.
- 5) M. M. Maroto-Valer, Z. Tang and Y. Zhang, CO<sub>2</sub> Capture by Activated and Impregnated Anthracites, *Fuel Pro. Tech.*, **86**:1487~1502, 2005.
- 6) Y. C. Chung, Y. Y. Lin and C. P. Tseng, Removal of High Concentration of NH<sub>3</sub> and Coexistent H<sub>2</sub>S by Biological Activated Carbon Biotrickling Filter, *Bioresource Tech.*, **96**:1812~1820, 2005.
- 7) O. TerZic, J. Krstic, A. Popovic and N. Dogovic, Synthetic Activated Carbons for the Removal of Hydrogen Cyanide from Air, *Chem. Eng. and Pro.*, **44**:1181~1187, 2005.