

## 휘발성유기화합물의 흡착회수공정개발을 위한 활성탄의 흡착, 탈착 특성

박은호, 진재성, 김응용, 정봉익, 주국택\*  
(주)테크윈 환경에너지사업부, 한국에너지기술연구원 에너지저장연구센터\*

### Adsorption-Desorption Characteristics of VOCs on Activated Carbon for Solvent Recovery Process

E. H. Park, J. S. Jun, E. Y. Kim, B. I. Jung, K. T. Chue\*  
Environment & Energy Div., Techwin Co., Ltd.,  
Energy Storage Research Center, Korea Institute of Energy Research\*

#### 서론

휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds : VOCs)은 상온, 상압에서 기체상태로 존재하는 모든 유기성물질을 통칭하는 의미로 사용되고 있다. 대기환경보전법시행령 제39조 제1항에서는 석유화학제품, 유기용제 및 기타물질로 환경부장관이 관계중앙행정기관의 장과 협의하여 고시하는 물질로 정의하고 있으며, 환경부고시 제2001-36호(2001. 3. 8)에 따라 벤젠, 톨루엔, MEK, 휘발유 등 37개 물질 및 제품을 규제대상으로 하고 있다. VOCs 배출량을 배출원별로 살펴보면 도장산업의 배출량이 55%로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 자동차등의 교통수단이 그 뒤를 이어 28%를 차지하고 있다. 이런 VOCs의 배출로 인한 대기오염으로 연간 7조~10조원(평균 9조원)의 사회적 피해비용을 유발시키고 있어 적절한 방법으로 배출되는 VOCs를 회수하는 것은 원가절감, 에너지절약, 작업환경의 개선 및 공해방지라는 다목적 효과를 가져온다.

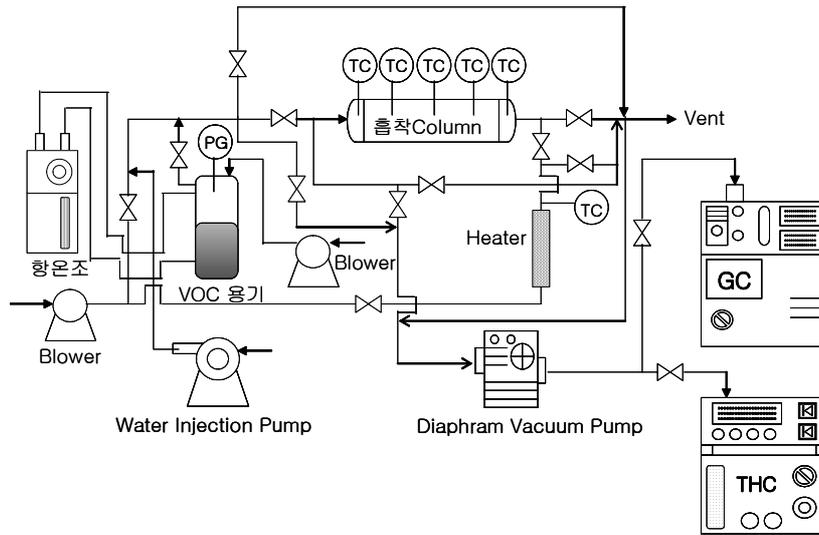
휘발성용제를 회수하는 방법은 크게 응축법, 흡수법, 흡착법으로 나눌 수 있으며, 이 중 흡착법은 초기 설비비가 많이 드는 단점이 있으나 용제의 회수율이 높으며 저농도의 경우도 효과적으로 이용할 수 있다는 장점이 있어 배출되는 용제의 양에 따른 적절한 흡착장치를 이용하면 가장 경제적이고 효과적인 방법이라 할 수 있다.

본 연구에서는 코팅 및 도장시설과 금속세정공정에서 주요 배출물질인 Toluene, MEK, Trichloroethylene의 활성탄에 대한 흡·탈착실험을 수행하여 흡착회수공정설계를 위한 기초 데이터를 축적하고자 하였다.

#### 실험

VOC의 흡·탈착거동 실험은 [그림 1]에 보여진 장치가 사용되었다. 흡착탑은 내경 9.8cm, 길이 40cm인 SUS304로 제작된 원통형 흡착탑이다. 흡착제를 가열재생시에 외부로의 열손실을 줄이기 위해 흡착탑과 주위를 단열재로 감아 보온하였으며, 오염공기의 농도를 측정하기 위하여 흡착탑의 입구와 출구, 탈착가스의 배출부에 각각 시료가스의 분석라인을 설치하였다. 시료의 분석은 THC(HORIBA)와 GC(영린기기 Acme6000)를 사용하여 VOC의 농도를 측정하였다. 가열재생실험은 외기를 고온으로 가열하기 위하여 입구에 전기히터를 설치하였으며, 흡착탑에서의 온도변화를 보기 위하여 5개의 열전대를 설치하였다. 흡착제로는 Norit사에서 제조한 활성탄인 SORBONORIT WX4를 사용하였다. SORBONORIT WX4는 직경 3.5mm, Apparent density 375kg/m<sup>3</sup>, Ash 함유량이 1wt.%, Moisture가 1wt.%인 물성을 갖는 흡착제이다.

흡착과과실험 : 액체용제가 담긴 용기의 온도를 항온조를 이용하여 일정하게 유지시킨 후 외기를 용제가 담긴 용기에 주입하여 발포시켜 증발되는 오염공기와 송풍기에서 배출되는 외기를 혼합하여 VOC 농도가 일정하게 유지되면 흡착탑의 입구와 출구의 밸브를 열어 오염공기를 공급하면서 출구의 농도변화를 분석하였으며, 오염공기의 입구농도를 일



[그림 1] 흡·탈착거동실험장치

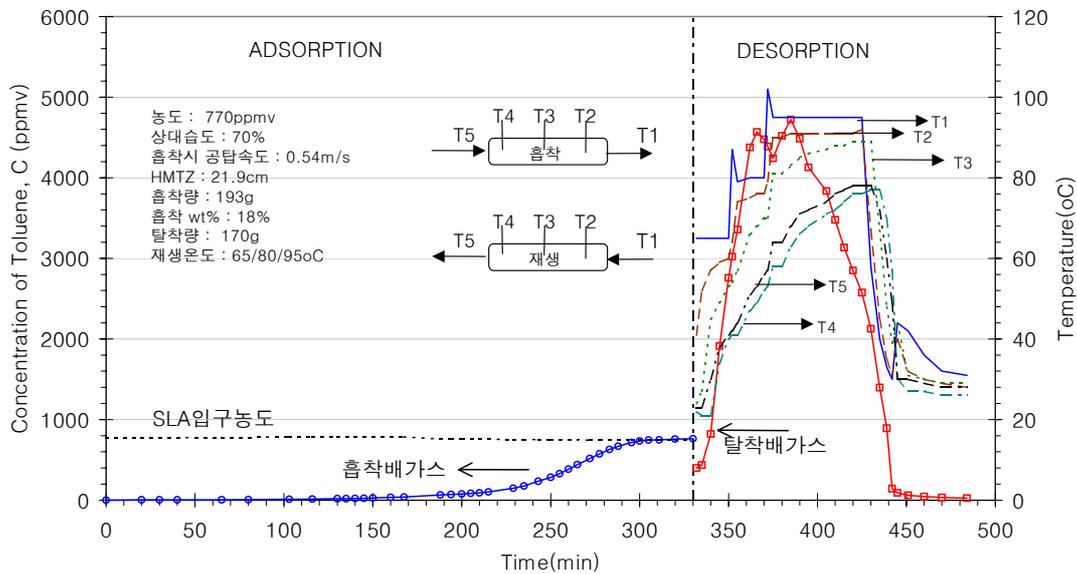
정하게 유지하기 위하여 주기적으로 유입농도를 분석하였다. 오염공기의 습도는 송풍기에서 배출되는 공기에 정량펌프로 물을 분사시켜서 조절하였다. 흡착실험은 출구농도가 입구농도의 5%가 되는 시점 또는 포화되는 시점까지 지속하였다.

가열재생실험 : 흡착과정이 끝난 후 전기히터를 가동하여 재생공기의 온도가 원하는 값(65~160°C)에 도달하면 흡착과정에서 오염공기를 공급하던 반대방향으로 재생공기를 흡착탑에 공급하였으며, 유효흡착량을 구하기 위하여 매 실험마다 재생조건을 일정하게 유지하였다. 재생이 끝나면 전기히터의 전원을 끄고 재생라인으로 냉각 후 반대방향으로 세정·냉각하여 가열재생과정을 마쳤다.

## 결과 및 토론

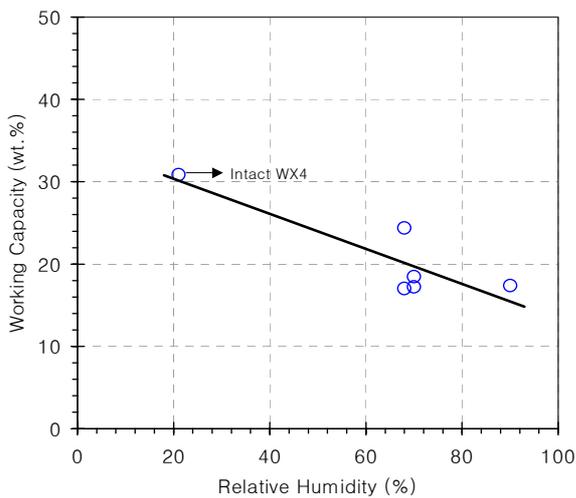
[그림 2]는 톨루엔농도가 770ppmv인 오염공기로 포화상태까지 흡착시킨 후 Counter-Current 방향으로 고온가스를 공급하여 흡착탑을 재생하였을 때 시간에 따른 톨루엔농도와 흡착탑의 각 지점에서의 온도변화를 나타내었다. 이는 흡착과 가열재생실험을 하였을 때 얻어지는 전형적인 거동인데, 초기 약 220분까지는 톨루엔이 활성탄에 흡착되어 50ppmv 이하의 오염공기만이 배출되다가 330분 정도에서 출구농도는 입구농도와 같아진다. 가열재생시 외기를 초기 20분 동안은 65°C, 20~40분 동안은 80°C 40분부터는 95°C 까지 가열하면서 흡착탑의 역방향으로 공급하면 흡착탑 후미의 활성탄(열전대 T2)부터 가열되기 시작하고 결과적으로 톨루엔이 탈착되어 농축된다. 재생을 시작한 시점부터 약 20분이 경과하면서부터 흡착탑의 전반부(열전대 T4)의 온도가 상승한다. 흡착탑의 전반부가 거의 가열온도에 도달하는 시점부터 탈착되는 톨루엔의 농도는 서서히 감소한다. 가열재생가스를 통해서 흡착탑에 공급된 총 열량은 약 200kcal/kg\_활성탄이며, 압력 1kg/cm<sup>2</sup>G의 스팀으로 환산하는 경우에 0.38kg\_스팀/kg\_활성탄이다. 총 탈착된 톨루엔은 0.17kg 이므로 흡착탑의 재생에 소요된 에너지는 약 2.3kg\_스팀/kg\_톨루엔에 해당한다.

[그림 3]은 톨루엔의 농도가 750~790ppmv인 오염공기의 상대습도를 20~90%로 변화시켰을 때 활성탄에 대한 톨루엔의 흡착량을 보여준다. 오염공기의 상대습도가 높아짐에 따라 감소함을 볼 수 있다. 이는 높은 습도에서는 활성탄의 세공에서 수분의 응축이 일어나 톨루엔의 흡착량이 감소하기 때문이라 볼 수 있다.

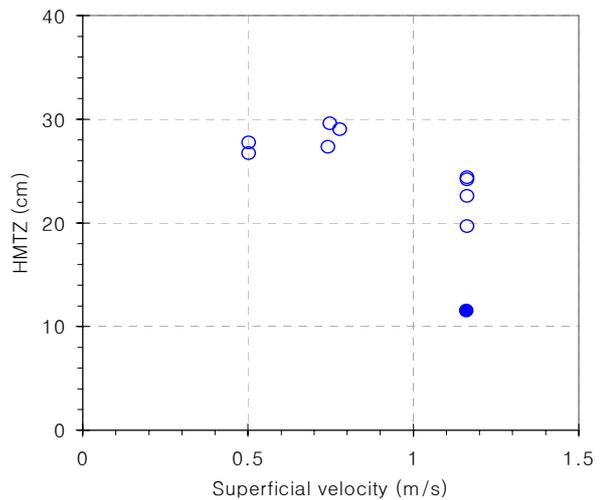


[그림 2] WX4에 대한 톨루엔의 흡·탈착거동

[그림 4]는 MEK 농도가 850ppmv인 오염공기를 공탑속도 0.5 ~ 1.2m/s로 공급하여 측정 한 파과곡선으로부터 물질전달폭을 구하여 나타내었다. 처음 충전한 흡착탑에 대해서 공탑속도 1.2m/s 일 때 물질전달폭은 11.6cm이나, 불완전재생된 활성탄인 경우 20 ~ 30cm 범 위의 값을 갖는다.

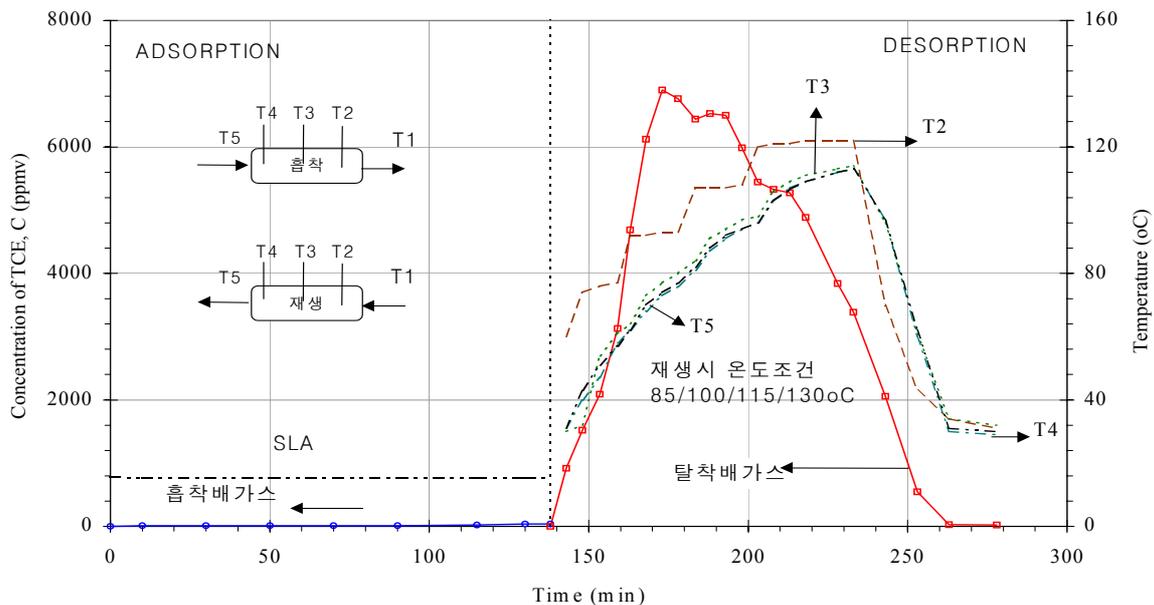


[그림 3] WX4에 대한 톨루엔 흡착에서 상대습도에 따른 유효흡착량



[그림 4] WX4에 대한 MEK 흡착에서 공탑속도에 따른 물질전달폭 (● intact WX4)

[그림 5]는 TCE 농도가 770ppmv 이고 상대습도가 70%인 오염공기를 공탑속도 1.18m/s로 흡착탑에 공급하여서 흡착탑 출구에서 배출되는 TCE 농도가 40ppmv 일 때까지 흡착을 시키고, 이어서 외기를 120Nl/min 유속으로 85→100→115→130℃ 까지 단계적으로 올리면서 흡착탑을 재생한 흡·탈착 실험결과를 나타내었다. WX4의 TCE 흡착량은 약 30.2wt.%의 우수한 흡착성능을 가지며 오염공기의 처리량은 약 72Nm<sup>3</sup>/kg\_활성탄이다. 가열재생도 용이함을 실험적으로 알 수 있으며 재생온도를 130℃ 까지 높인 결과 탈착되는 TCE 농도는 최대 7,000ppmv 까지 상승하였으며, 재생하는데 소요된 에너지는 총 261kcal/kg\_활성탄이다.



[그림 5] WX4에 대한 TCE의 흡·탈착거동

## 감 사

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

## 참고문헌

1. 환경부고시 제2001-36호(2001. 3. 8).
2. VOC 배출억제 방지시설의 저감효율 및 농도기준 설정 등에 관한 연구(2001. 12 환경부).
3. 주국택, 박종기, 조성철, 이호균, 조순행, 화학공학의 이론과 응용, 5, 3445(1999).
4. Ralph T. Yang, "Gas Separation by Adsorption Processes", Butterworth Publishers, Stoneham, MA(1987).
5. K. D. Henning, W. Bongarty. Degel, Meeting of the Nineteenth Biennial Conference on Carbon Pennsylvania State University/USA, June 25-30(1989).