한국대기환경학회 2006 춘계학술대회 논문집
Proceeding of the 41st Meeting of KOSAE(2006)
Korean Society for Atmospheric Environment

PC5) 마이크로 광촉매 반응기의 휘발성 트리클로로에탄 제거에 관한 수치해석적 연구

A Numerical Analysis of the Abatement of Trichloroethane in a Photocatalytic Microreactor

염민규 · 정 진 · 김창녕[1)]
경희대학교 대학원 기계공학과, [1)]경희대학교 테크노공학대학

1. 서 론

대기 중 악취 물질로서 환경 및 건강에 악영향을 초래하는 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds; VOC)의 심각성과 위험성은 최근 크게 대두되고 있다. VOC는 피부 접촉 또는 호흡기로 흡입되어 신경계 등에 장애를 일으키는 발암물질이며, 증기압이 높아 대기 중으로 쉽게 휘발하여 악취 및 오존의 원인물질로도 작용한다.

VOC의 배출 제어를 위한 가장 좋은 방법은 방출을 미연에 방지하는 것이지만 어쩔 수 없이 배출된 VOC에 대해서 후처리기술이 필요하다. VOC의 후처리 기술로는 열소각법, 촉매소각법, 흡착법, 생물여과법, 광촉매 기술 등이 있지만 각각의 장단점으로 인해 사용상의 한계가 있다. 차세대 환경문제의 해결책이자 21C 유망기술분야로 떠오르고 있는 광촉매는 빛을 사용하여 촉매작용을 하여 VOC, NOx, SOx 및 각종 세균 등을 분해시켜 주는 반도체 물질이다. 광촉매는 햇빛만으로도 성능을 발휘할 수 있으며, 한번의 설치로 반영구적으로 사용할 수 있고 인체에 무해할 뿐만 아니라 유지비용이 적게 든다. 따라서 최근에는 공기청정기, 에어컨, 건물의 내·외장재 등에도 활용되고 있다. 그러나 광촉매는 다른 방법에 비해 고농도 VOC의 제거효율이 낮아 저농도의 VOC의 제거에만 적당하다는 단점이 있어 아직까지 광촉매에 관한 연구가 활발히 진행 중이다(류무성, 2004).

광촉매 반응기 중의 하나인 마이크로 반응기는 반응기 내에서 층류흐름, 짧은 분자 확산 거리, 높은 비표면적 그리고 높은 열 및 물질전달 특성을 갖는 것으로 알려져 있다. 특히 마이크로 광촉매 반응에서 균일한 광조사를 가능하게 하며 대형 반응기에 비하여 반응기 전체에 더 높은 광조사를 가능하다는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 마이크로 광촉매 반응기의 성능을 수치해석적 방법으로 검토하였다.

2. 유동모델 및 수치해석

마이크로 반응기는 그림 1에 제시되어 있는 바와 같이 $200\,\mu m \times 300\,\mu m$의 정사각형 단면을 가지는 19개의 채널로 구성되어 있으며 각 채널의 길이는 1 cm이다. 내부에는 이산화티타늄(TiO_2)이 코팅되어 있다. 반응기 윗면에서의 자외선 세기는 5 mW/cm^2이고 입구에서는 트리클로로에탄(Trichloroethane, 이하 TCE) 300 ppm이 혼합된 공기가 각각 0.002 m/s, 0.004 m/s, 0.006 m/s, 0.008 m/s, 0.01 m/s, 0.015 m/s, 0.02 m/s의 속도로 유입된다. 유입된 공기는 광촉매와의 반응으로 TCE가 일부 제거된 후 우측의 출구로 빠져 나간다.

유체유동 및 농도를 해석하기 위해 상용 CFD 코드인 FLUENT를 사용하였다. 계산영역의 유체는 3차원, 정상, 비압축성, 층류유동으로 가정하였다. 유동장을 해석하기 위하여 SIMPLE 알고리즘과 상류차분방식을 사용하였다.

TCE와 TiO_2의 반응면에는 Wang et al.이 제시한 다음의 Langmuir-Hinshelwood 반응식을 사용하였다.

$$r = k_0 I_{abs}^{a}\left(\frac{K_1 C_r}{1+K_1 C_r+K_2 C_w}\right)\left(\frac{K_4 C_r}{1+K_3 C_r+K_4 C_w}\right)$$

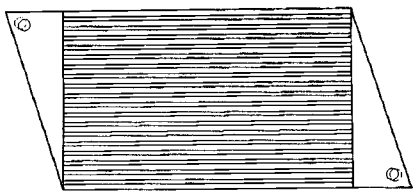

Fig. 1. Schematic diagram of the element of reactor.

여기서, I_{abs}는 자외선의 세기, C_r은 TCE의 농도, C_w은 H_2O의 농도이고 α는 자외선 세기에 적용되는 지수, k_0, K_1, K_2, K_3, K_4는 비례상수이다.

3. 결과 및 고찰

유입 속도에 따른 TCE의 제거율을 그림 2에 나타내었다. 유입 속도가 빨라질수록 제거율은 지수감소를 나타내었다. 그 이유는 유입 속도가 클수록 반응시간이 줄어들기 때문이다.

유입 속도에 따른 TCE의 제거량은 그림 3과 같다. 제거량은 속도가 증가할수록 증가하는데 이는 속도가 증가할수록 유입되는 유량이 증가하므로 제거량은 더 커진다.

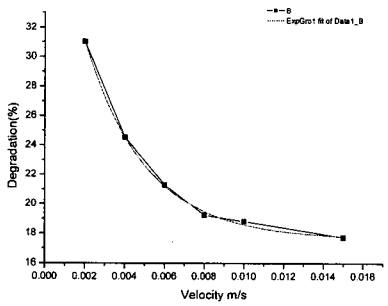

Fig. 2. Degradation of TCE for different inlet veloctity.

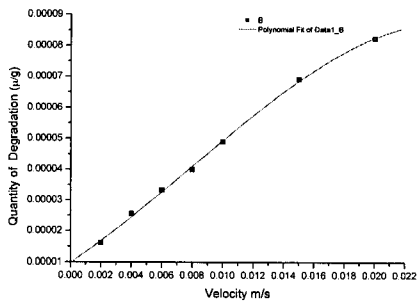

Fig. 3. Degradation quantity of TCE for different inlet velocity.

유입속도가 빠를수록 제거량은 증가하지만 제거률은 감소 하므로 대기 중 TCE의 양에 따라서 적절히 유입속도를 조절하여야 충분한 제거량과 최적의 효율을 얻을 수 있다. 이러한 마이크로 광촉매 반응기의 경향은 유동속도, VOCs의 농도, 광촉매의 종류 등의 조건이 변하여도 정성적으로는 유사할 것으로 예측된다. 따라서 본 연구는 반응기의 최적설계에 유용하게 쓰일 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

류무성 (2004) 「광촉매 필터에서 휘발성 유기화합물의 제거에 관한 수치해석적연 연구」, 경희대학교 대학원 석사학위논문.

Wang, K. H., Tsai, H. H. and Hsieh, Y. H. (1997) The kinetics of photocatalytic degradation of trichloroethylene in gas phase over TiO_2 supported on glass bead, Applied Catalysis B: Environmental 17.