

PE6) 벌집형 광촉매 반응기의 VOC 제거에 관한 수치해석적 연구

A Numerical Analysis of VOC Removal in Honeycomb Photocatalytic Reactor

류무성·김창녕¹⁾

경희대학교 대학원 기계공학과, ¹⁾경희대학교 테크노공학대학

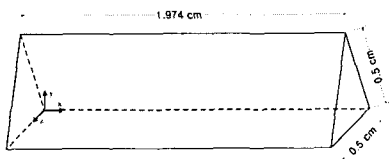
1. 서론

건축자재의 제작 및 도장공정, 합성수지 제조공정 등에서 많이 배출되는 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, 이하 VOCs)은 이동성이 강하고 악취를 유발할 뿐만 아니라 마취성이 강하여 잠재적인 독성 및 발암성을 가진다. 이러한 VOCs의 제거방법 중 광촉매 제거법은 380 nm 이하의 자외선을 흡수하여 표면에서 생긴 전자와 정공으로 대부분의 유해물질을 제거하는 비교적 최근에 개발된 방법이다. 광촉매는 한번의 설치로 반영구적으로 사용할 수 있고 인체에 무해하며 유지비용이 적게 든다는 장점으로 인해 크게 부각되고 있다. 그러나, 광촉매 제거법은 다른 방법에 비해 제거효율이 낮아 저농도의 VOCs 제거에만 적합하다는 단점이 있다.

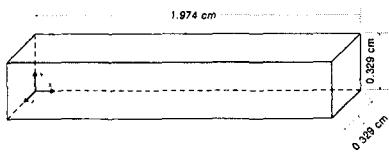
현재 생산되고 있는 광촉매를 이용한 공기정화장치에서는 벌집형의 필터를 채용한 것이 대부분이다. 이는 다른 형상에 비해 벌집형 필터가 비교적 높은 VOCs의 제거성능을 보이기 때문이다. 본 연구에서는 벌집형 광촉매 반응기의 최적형상을 제시하기 위해 정삼각형과 정사각형의 단면을 가지는 벌집형 광촉매 반응기의 성능을 수치해석적 방법으로 검토하였다.

2. 유동모델 및 수치해석

정삼각형(A-type)과 정사각형(B-type)의 단면을 가지는 벌집형 광촉매 반응기에서 하나의 격자에 해당하는 형상이 Fig. 1에 제시되어 있다. 두 형상은 동일한 체적을 가지며 내부에는 이산화티타늄(TiO₂)이 코팅되어 있다. 좌측의 입구에서 자외선의 세기는 5 mW/cm²이고 트리클로로에틸렌(Trichloroethylene, 이하 TCE) 100 ppm이 혼합된 공기가 0.01 m/s의 속도로 유입된다. 유입된 공기는 광촉매와의 반응으로 VOCs이 일부 제거된 후 우측의 출구로 빠져나간다.



(a) A-type



(b) B-type

Fig. 1. Schematic diagram of the element of reactors

반응기 내부 벽면에서 자외선의 세기를 계산하기 위해 Hossain, M. M.의 복사모델을 사용하였으며, 유체유동 및 농도를 해석하기 위해 상용 CFD 코드인 FLUENT 6.0을 사용하였다. 계산영역의 유체는 3차원, 정상, 비압축성, 층류유동으로 가정하였다. 유동장을 해석하기 위하여 SIMPLE 알고리즘과 상류차분방식을 사용하였다.

TCE와 TiO₂의 반응면에는 K. H. Wang et al.이 제시한 다음의 Langmuir-Hinshelwood 반응식을 사용하였다.

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

여기서, I_{abs} 는 자외선의 세기, C_r 은 TCE의 농도, C_w 은 H₂O의 농도이고 α , k_0 , K_1 , K_2 , K_3 , K_4 는 비례상수이다.

3. 결과 및 고찰

무차원 축방향 길이에 따른 자외선의 세기를 Fig. 2에 나타내었다. 반응면에 도달하는 자외선의 대부분은 무차원 축방향 길이 3 이하에 분포하고, 자외선의 세기는 A-type에 비해 B-type에서 다소 높았다.

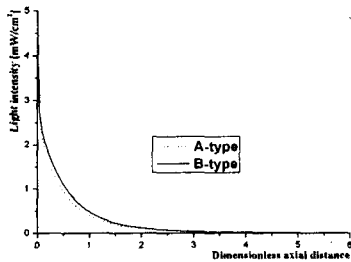


Fig. 2. Light intensity with dimensionless axial distance

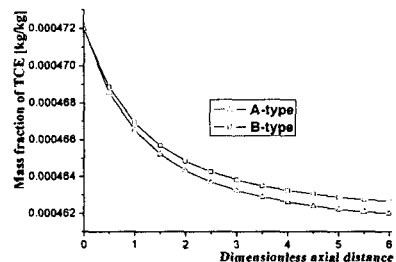


Fig. 3. Mass fraction of TCE with dimensionless axial distance

반응기내 유체의 VOCs 평균농도분포는 Fig. 3과 같다. 입구 부근에서는 VOCs의 농도가 급격히 감소하고, 출구 부근에서는 농도가 매우 서서히 감소한다. 이는 광촉매 반응의 반응속도가 빛의 강도의 함수이기 때문이다.

무차원 축방향 길이 3 이상에서는 반응기의 길이를 더 크게 하여도 증가하는 반응기 체적과 압력강하에 비해 VOCs의 제거량은 그다지 증가하지 않을 것으로 예상된다. 또한 VOCs의 제거성능은 B-type보다 A-type이 더 좋을 수 있다. 이는 동일한 체적을 갖는 벌집형 반응기이지만 B-type보다 A-type의 반응면적이 약 1.5배나 되기 때문이다.

이러한 벌집형 광촉매 반응기의 경향은 유동속도, VOCs의 농도, 광촉매의 종류 등의 조건이 변하여도 정성적으로는 유사할 것으로 예측된다.

참고 문헌

- 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
- Hossain, M. M. and Raupp, G. B. (1998) Radiation field modeling in a photocatalytic monolith reactor, *Chem. Engng. Sci.*, Vol. 53