

TiO₂가 고정된 광섬유를 내장한 반응기에서 H₂O의 첨가량이 기상 톨루엔의 광촉매 산화반응에 미치는 영향

남우경, 김지선, 김문선, 김병우*
성균관대학교 화학공학과
(bwkim@skku.edu*)

The Effect of Added H₂O on the Photocatalytic Oxidation of Gaseous Toluene in the Reactor with the TiO₂ Immobilized on Optical Fiber

Woo Kyoung Nam, Ji Sun Kim, Moon-Sun Kim, Byung-Woo Kim*
Department of Chemical Engineering, Sungkyunkwan University
(bwkim@skku.edu*)

서론

산업화가 급속히 진행됨에 따라 부산물로 발생하는 VOC의 유해성이 사회적 관심이 되고 있으며 용제로 주로 사용되는 톨루엔의 대기오염은 더욱 심각하다[1,6,8]. 수질오염은 확산속도가 한정적이고 방제기술의 발달로 통제가 가능하나 대기오염은 확산속도가 빠르고 제어변수가 많기 때문에 오염의 심각성을 인정하면서도 적용할 수 있는 분해기술이 한정적이었다[2]. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 높은 광분해능을 가지고 있으면서 경제적인 TiO₂를 이용하여 기상 톨루엔을 효율적으로 제거할 수 있는 공정 조건을 연구하였다. 기상 톨루엔 분해의 효율성을 높일 수 있는 TiO₂/UV 시스템을 제안하였으며 광촉매(P-25, Daegusa)를 광섬유 표면에 균일하게 고정하기 위해 티타늄계 바인더를 졸-겔 법에 의해 합성하였다[2-4,7,8]. 현재 진행하고 있는 연구는 실험실의 제한된 공간에서 한정적으로 진행되고 있으나 향후 운전비의 개선을 위해 자연광을 이용하는 연구의 기초자료로 사용할 예정이다[9].

실험 방법

1. 티타늄계 바인더의 합성

P-25를 광섬유에 고정시키기 위해 (Fig. 1)과 같이 sol-gel 법을 이용하여 티타늄계 바인더를 합성하였다[4]. 삼구플라스크를 질소로 purging 하면서 92.14 mL의 ethanol에 9.47 mL의 TTIP (terta-titanium iso-propane)를 넣은 후 30분간 교반한다. 여기에 7.5 mL의 H₂O와 8 mL의 HCl을 혼합한 수용액을 교반 상태 하에서 천천히 dropping시키면서 90분 동안 교반하였다. 생성된 티타늄계 화합물 sol에 P-25를 5g/100 mL의 비율로 첨가하고 30분 이상 교반시켰다. 만들어진 용액에 광섬유 표면에 dip-coating 한 후 상온에서 12시간 동안 건조시킨 뒤 furnace에서 200°C로 1시간 동안 소결하였다[2,4].

2. 실험 장치

본 연구에서 톨루엔의 광분해 반응을 위해 사용한 실험 장치는 (Fig. 2)와 같다[2-6]. 광반응기는 아크릴을 이용해 원통으로 제작하였으며 전체 부피는 0.38L이고 길이는 30cm이다. 반응기의 상단 부분은 고정된 광섬유의 갯수를 조절할 수 있도록 탈착이 가능하다. 사용된 광섬유 직경이 1 mm이며 30 cm의 길이로 잘라 20개의 광섬유를 반응기 내부에 설치하였다. UV 광원은 30 W BLB(Black Light Blue) lamp를 사용하여 발생시켰으며 315~400 nm의 파장(UV-A)를 갖는 것으로 확인되었다. Lamp 앞에는 focusing lens(DOI, DCX1305, focal length 10cm)를 설치하여 광이 손실 없이 광섬유로 집중될 수 있도록 하였으며 lamp와 focusing lens는 알루미늄 박스 안에 장치하였다 [2].

결과 및 고찰

티탄계 binder를 사용하여 이산화티탄 미립자(P-25)를 광섬유 표면에 dip coating한 결과의 1~5 회 코팅횟수별 고정된 이산화티탄 막의 두께는 (Fig. 3)과 같다. 1회 도포했을 때 이산화티탄 막의 두께는 1.50 μm 였으며 2, 3, 4, 5 회로 도포횟수를 증가시키면 따라 도포막의 두께는 2.61, 3.19, 3.98, 4.24 μm 로 증가하였다. 그러나 3회 coating시 광분해능이 가장 우수하였다[4]. 수분은 광분해 반응에 필요하며 수분의 농도가 톨루엔 광분해에 미치는 영향을 평가하기 위해 (Fig. 4)와 같이 수분의 공급농도를 변화시키면서 분해능을 평가했다[1,3]. 건조한 상태에서 톨루엔의 분해능은 84%이였으며 습도가 10%, 20%로 올라감에 따라 분해능도 85%, 87%로 상승되었다. 습도 30%에서 분해능은 88%로 가장 높았으며 40%, 50%로 습도를 높아지면 오히려 톨루엔의 분해능은 86%, 80%로 낮아졌다.

결론

톨루엔의 광분해능이 수분농도에 따라 변하는 것은 다음과 같이 추론할 수 있다. 광촉매 표면이 광에너지를 흡수하면서 생성된 정공과 수분의 반응으로 $\cdot\text{OH}$ 이 생성하며 이 라디칼은 톨루엔의 사슬을 분해시키는 역할을 하게 된다[1,3]. 일정 농도의 수분이 존재하는 조건에서는 이산화티탄 표면에 흡착된 수분의 $\cdot\text{OH}$ 의 생성속도가 빨라지면서 광분해능의 개선효과를 얻을 수 있었으나 지나치게 높은 수분의 농도는 광촉매 표면에 저항막으로 존재하면서 유기물의 흡착능을 오히려 떨어뜨리는 역할을 하게 되며 이로 인하여 광분해능도 낮아지게 된다.

참고문헌

1. G. Martra, S. Coluccia, L. Marchese, V. Augugliaro, V. Loddo, L. Palmisano and M. Schiavello, *Catalysis Today*, **53**, 695-702 (1999).
2. Wonyong Choi, Joung Yun Ko, Hyunwoong Park and Jong Shik Chung, *Applied Catalysis B: Environ.*, **31**, 209-220 (2001).
3. A. J. Maira, K. L. Yeung, J. Soria, J. M. Coronado, C. Belver, C. Y. Lee and V. Augugliaro, *Applied Catalysis B: Environ.*, **29**, 327-336 (2001).
4. Jong-Min Lee, Moon-Sun Kim and Byung-Woo Kim, *Water research*, **38**,

3605–3613 (2004)

5. Michael E. Zorn, Dean T. Tompkins, Walter A. Zeltner and Marc A. Anderson, Elsevier, *Applied Catalysis B: Environmental*, **23**, 1–8, (1999)
6. Vincenzo Augugliaro, Salvatore Coluccia, Vittorio Loddo, Leonardo Marchese, Gianmario Martra, Leonardo Palmisano and Mario Schiavello, *Applied Catalysis B: Environmental*, **20**, 15–27, (1999)
7. A. Kubacka, A. Fuerte, A. Martínez-Arias and M. Fernández-García, *Applied Catalysis B: Environ.*, **74**, 26–33 (2007).
8. W. S. Nam and G. Y. Han., *Korean J. Chem. Eng.*, **20(1)**, 180–184, (2003).
9. Marco S. Lucas and José A. Peres, Elsevier, *Dyes and Pigments*, **74**, 622–629 (2007).

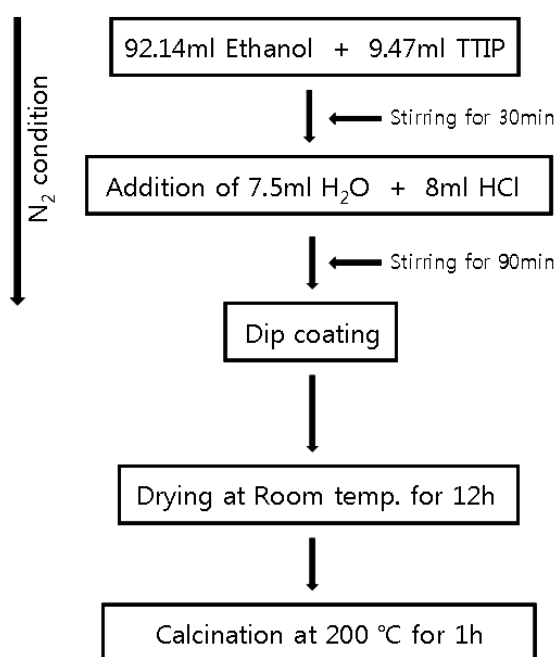


Fig. 1. A sol-gel method to prepare a titanium binder.

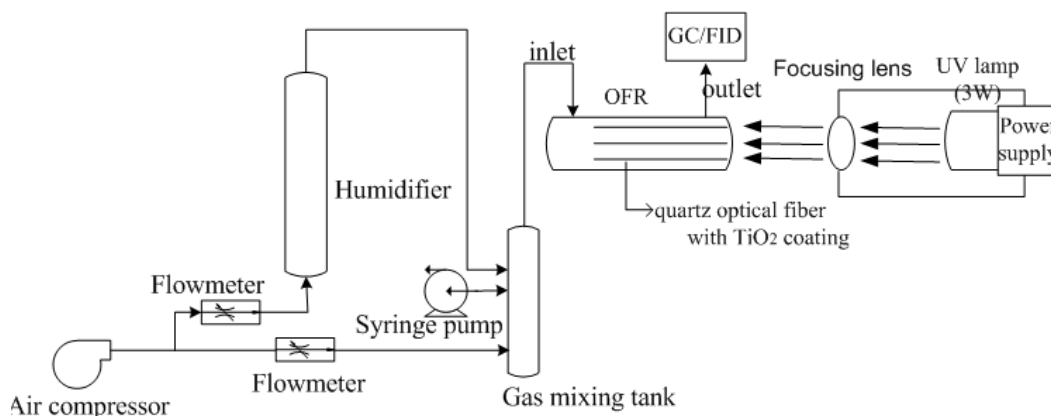


Fig. 2. A schematic diagram of photocatalytic reaction system.

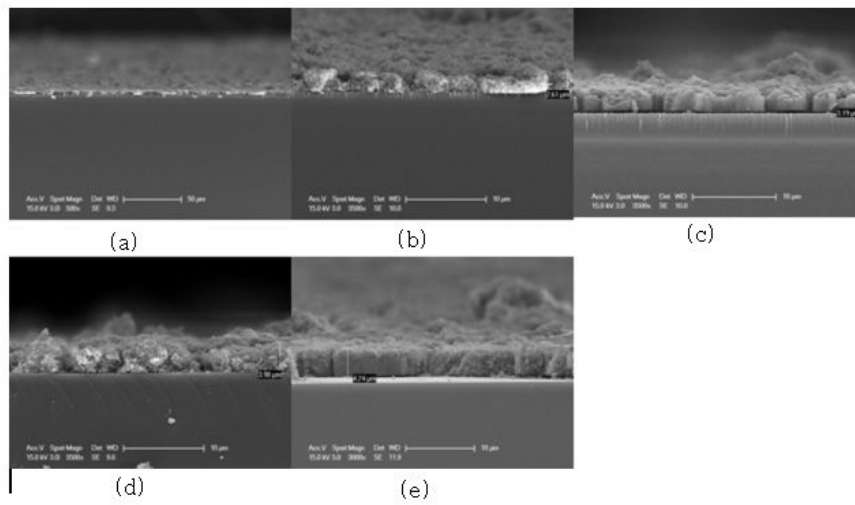


Fig. 3. Cross-sections images of titanium dioxide layers with (a) 1-, (b) 2-, (c) 3-, (d) 4-, and (e) 5-coatings by SEM (magnification: 3,500).

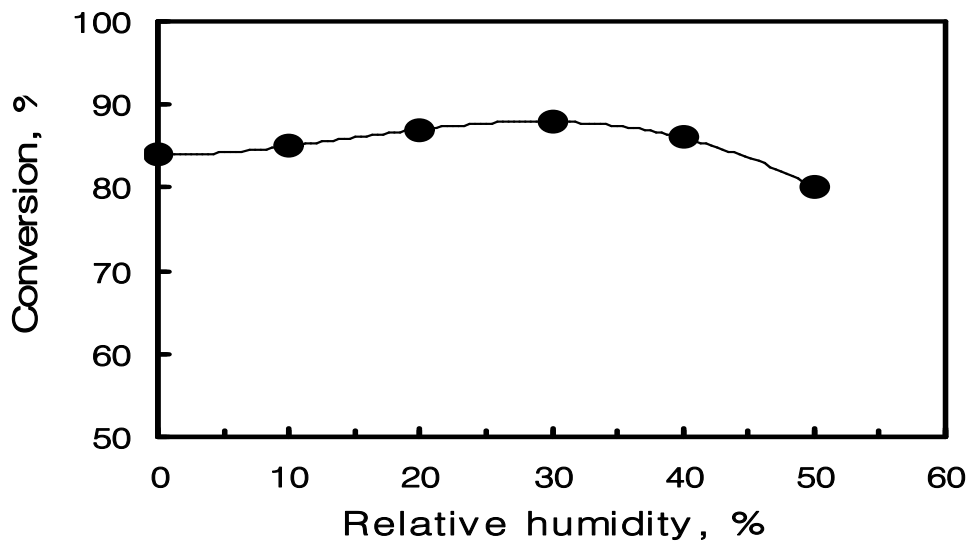


Fig. 4. Conversion of gaseous toluene with an increasing number of photo-fibers in 30 sec at 30°C (C_{initial} : 100 ppm, TiO_2 thickness: 3.19 μm).