

## DA3) TiO<sub>2</sub> 광촉매 졸 담체에 따른 가스상 벤젠 제거의 적정조건 Optimal Condition of Photocatalytic Degradation of Benzene Using TiO<sub>2</sub> Coated on Support

양원호 · 손현석 · 김현용<sup>1)</sup> · 박종래<sup>2)</sup> · 조경덕

서울대학교 보건대학원 환경보건학과, <sup>1)</sup>(주) 이앤비코리아, <sup>2)</sup>보람이엔티(주)

### 1. 서 론

휘발성 유기화합물(VOCs)은 환경에 광범위하게 분포되어 있으며 특히 벤젠(benzene)은 발암물질로 규제가 강화되고 있다. 또한 높은 증기압과 헨리상수를 가지고 있으므로 환경 중 이동이 용이하므로 대기, 수중, 토양 모두에 심각한 오염물질이 되고 있다. 이런 유기화합물 처리에 높은 효율을 나타내는 것이 자외선을 이용한 광분해(UV/Photodegradation)로 TiO<sub>2</sub>를 촉매로 이용하는 것이다(Blystone et al., 1991). 본 연구에서는 가스상의 벤젠을 처리하기 위해 TiO<sub>2</sub> sol을 이용하였으며 TiO<sub>2</sub> sol의 물리적 특성 즉, 결정구조와 화학적 첨가제의 종류에 따른 흡광용량, 담체의 영향과 코팅의 횟수, pH, 그리고 UV 조사량에 따른 벤젠 제거율의 차이를 조사하여 적정한 TiO<sub>2</sub> sol의 조건을 찾기 위해 시행하였다.

### 2. 연구 방법

TiO<sub>2</sub> sol을 제조하기 위해서는 Ti-alkoxide가 가수분해가 일어나지 않도록 화학적 첨가제를 첨가함으로써 10% TiO<sub>2</sub> sol을 제조하였다(Fu et al., 1995). 화학적 첨가제로는 아민계 화합물과 아세틸아세톤(Junsei Co.)을 사용하였다. 먼저 Ti(OC<sub>3</sub>H<sub>7</sub>)<sub>4</sub>, 증류수, 화학적 첨가제를 넣고 혼합한 후 이 용액을 압력 용기에 넣고 일정 온도 압력에서 2시간 반응시켰다. 이렇게 만들어진 졸 용액에 무기계 binder로 Si, Al 계통의 화합물을 일정량 혼합한 후 유리, 세라믹 구슬에 코팅한 후 상온에서 건조하여 TiO<sub>2</sub>가 코팅된 담체를 제조하였다. 광촉매의 물성을 분석하기 위해 XRD(X-Ray diffraction analysis)로 TiO<sub>2</sub>가 anatase 결정구조 여부를 확인하였고 SEM(Scanning Electron Microscopy) 분석을 통하여 입자크기를 측정하였다. 본 실험에서는 40 Watt의 광원을 가지는 365 nm UV lamp(Sanko Denki), 담체로 glass bead와 ceramic bead를 이용하였고 bead를 담은 piece의 수를 1개, 2개, 3개 등의 다양한 변화 하에서 벤젠의 제거율 실험을 수행하였다(그림 1). 반응 실험조는 배치(batch)식으로 아크릴로 구조되었으며 체적은 0.49 m<sup>3</sup>이었다. 반응 실험조에는 토치(torch)를 이용하여 벤젠의 농도를 계산하여 증발시켰으며, 광촉매를 포함한 시스템에는 팬(fan) 4개를 설치하여 벤젠을 포함한 공기가 강제 유입되도록 하였다. 팬당 유량은 1분당 3.3 m<sup>3</sup> (3.3 m<sup>3</sup> × 4 EA)이었다.

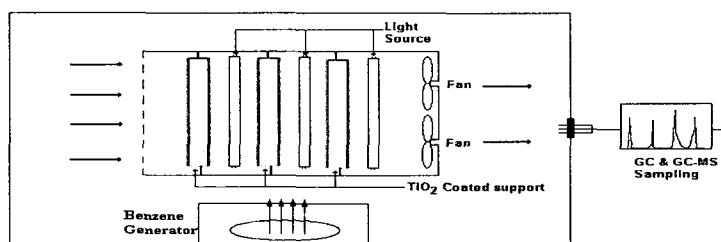


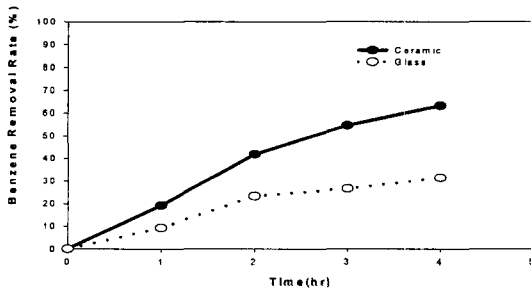
Fig. 1. Schematic diagram of photocatalyst reaction in batch system.

### 3. 결과 및 고찰

기존 연구에 의하면 anatase에 비해 rutile 구조의 흡착능력이 작으며 또한 빛에 의해 생성된 전자와 정공의 재결합 속도가 빠르기 때문에 anatase 구조가 rutile 구조보다 우수한 광촉매 활성을 보였다. 따

라서 본 연구에서는 TiO<sub>2</sub> sol을 광촉매 활성이 우수한 anatase 구조로 제조하였다고, XRD 분석으로 결정 구조를 확인하였다. 아민으로 제조되어진 경우 그 결정성이 더 좋게 나타났고, 제조 온도가 증가함에 따라 결정성은 더 좋아지는 것을 볼 수 있었다. SEM을 이용하여 아민계 화합물을 사용한 TiO<sub>2</sub> sol의 입자크기는 약 30~40nm를 나타내었다.

광촉매 반응에서 반응성에 영향을 줄 수 있는 또 다른 인자인 에너지의 흡수능력은 촉매 자체의 흡광용량(light-absorption capacity)에 의해 영향을 받으며 흡광용량은 띠간격의 간격이 클수록 그 보다 작은 에너지를 가지는 빛을 흡수할 수 없기 때문에 자연히 에너지 흡수율이 떨어지게 된다. 또한 띠간격이 너무 작으면 산화·환원 반응에 대한 구동력(driving force)가 작아지므로 오염물질의 제거효율의 감소를 보인다. 본 실험의 결과에 의하면 P-25, 아세틸아세톤, 질산, 그리고 아민계화합물에 대해 띠간격은 별차이를 보이지 않았다. 또한 파장에 따른 각 물질의 흡광도의 조사는 200 nm 부분에서 가장 높은 흡광도를 보였으며, 아민계화합물을 사용한 TiO<sub>2</sub> sol의 제조온도에 따른 변화를 보면 120 °C에서 가장 높은 흡광도를 보였다.



벤젠 처리방법의 하나로서 UV/TiO<sub>2</sub> 촉매의 중요한 인자와 적정조건을 찾기 위한 본 연구의 결론은 다음과 같다. 벤젠 제거 실험 결과 TiO<sub>2</sub>를 glass와 ceramic bead에 코팅한 결과 glass bead보다 벤젠 가스의 흡착력이 우수한 ceramic bead에서 높은 반응성을 보임에 따라 촉매 반응에 있어 담체의 선택이 중요한 인자임을 알 수 있었다(그림 2).

Fig. 2. Removal efficiency of benzene with regard to support.

코팅을 위한 TiO<sub>2</sub> sol 용액의 농도와 코팅 횟수에 대하여는 벤젠의 제거 효율은 큰 차이점을 보이지 않았다. 그러므로 이를 상용화하기 위해서는 경제성을 고려하여 최적 조건의 TiO<sub>2</sub> sol 용액의 농도와 코팅 횟수를 구하여야 할 것이다. UV lamp의 조사량과 촉매량에 대하여 조사한 결과 그 양이 많을수록 활성이 우수하였고 제거반응은 초기에는 담체에 의하여 영향을 받고 후기에는 UV 조사량에 의하여 영향을 받았다. 즉 반응의 시작은 담체의 흡착에서 시작되고 이는 전체 반응의 중요한 부분임을 나타내었다. 촉매의 pH에 관한 영향은 촉매가 산성일 경우 벤젠의 산화반응에 좋은 활성을 보였다.

### 참 고 문 헌

Blystone, P.G., M.D. Johnson, W.R. Hagg, and P.F. Daley(1991) Advanced ultraviolet flashlamps for the destruction of organic contaminants in air, Proceedings of Industrial and Engineering Division Symposium Emerging Technology of Hazardous Waste Management, Atlanta, GA, 1-3.