

UV/광촉매를 이용한 가스상 오염물질의 분해에 관한 연구 Study on Destruction of Gaseous Pollutants by Using UV/Photocatalyst Reaction

홍원석·김용진·최용석·김정호¹⁾

한국기계연구원 열유체환경연구부, ¹⁾한국캠브리지필터(주)

1. 서 론

산업의 발달로 인해 좀더 쾌적하고 깨끗한 공간을 추구하는 사람들의 욕구가 증가하고 있으며, 일반 실내환경에서의 장시간 생활함에 따라 발생하는 SBS(Sick Building Syndrome)과 BRI(Building Related Illness)등으로 선진국의 경우 최근에 실내공기질의 규제가 강화되는 추세에 있다. 또한 반도체, 액정을 제작하는 첨단산업분야에서 제품의 고집적화, 고품질화가 추진되고 있으며, 이러한 제품의 제조·생산현장에서는 높은 청정도가 유지되는 공간인 청정실이 반드시 필요하다.

최근에는 청정실 내부에서 발생하는 미세입자 뿐만 아니라 공기속에 존재하는 미량의 가스상 물질 제거에 많은 연구가 진행중이며, 이러한 가스상 오염물질의 제거를 위하여 반도체인 이산화티타늄(TiO₂)과 자외선(UV irradiation)을 이용한 광촉매 화학반응법이 연구되어지고 있다. 본 연구에서는 UV/광촉매(TiO₂)를 이용하여 실내에 존재하는 가스상 휘발성유기화합물(VOCs)을 분해하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 항온·항습 조절이 가능한 2×2×2m²크기의 아크릴 챔버(8m³)를 제작하였으며, 실험장치의 전체 구성도는 그림 1과 같다.

본 연구에 사용되어진 시험용 가스제거 반응기는 크게 UV/TiO₂ 광촉매 반응기와 플라즈마 반응기로 구분되는데, UV광원으로는 254nm 파장의 20Watt와 50Watt 램프를 사용하였으며, TiO₂ 광촉매부는 분말상의 Degussa P-25를 알루미늄 망(No.20)에 코팅하여 사용하였다. 반응기의 단면적은 170×570mm로 하였으며, 코팅된 망은 램프의 전/후단에 설치를 하여 UV광을 최대로 조사케 하였다. 또한, 동일한 크기의 와이어-판 방식의 플라즈마 반응기를 UV/광촉매반응기 전단에 설치하여 효율을 향상시키는 연구를 수행하였다.

분해대상가스는 톨루엔, 포름알데히드 및 아세트알데히드를 선정하였다. 특히 휘발성유기화합물을 대표하는 용제 등에 다량이 함유되어 있으며, VOC 중 실내에 비교적 고농도로 존재하고, 분해효과를 측정하기 쉬운 물질로 알려져 있는 톨루엔을 중심으로 연구를 수행하였다.

실험방법은 챔버 내에 톨루엔을 일정량 투입한 후, 30분간 혼합하여 농도를 균일하게 한 후 샘플링을 하여 초기농도로 정한 후 12m³/min.의 풍량을 지닌 송풍기를 이용하여 반응기를 통과시켜 오염가스를 제거시키면서 각 30분 간격으로, 최대 2시간까지 챔버 내 오염물질의 잔존농도를 측정하였다. 다양한 종류의 VOCs 농도는 검지관과 GC-FID를 병행하여 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

그림 2는 톨루엔 단일성분에 대하여 시간에 따라 다양한 분해방식에 대한 챔버 내의 VOC 잔존율 변화 실험 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이, UV/TiO₂ 광촉매 방식의 경우 2시간 후 챔버 내의 제거효율이 약 20%로 나타났다. 이에 반해 동일조건에서 TiO₂ Mesh에 (+)1kV를 하전 할 경우에

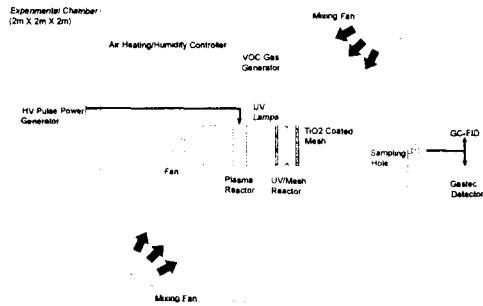


Fig. 1. Schematic diagram of UV/Photocatalyst reactor.

분해 효율이 향상되는 것을 알 수 있었다. 이는 (+)전원을 공급하였을 경우 산화반응에 기여하는 TiO_2 입자의 정공의 수를 증대시키는 역할을 하여 분해반응의 활성이 향상되는 것이다. 플라즈마 방식(필스 8kV)의 경우 분해효율이 약 25%로 나타났으며, 두 방식을 조합한 플라즈마 반응기와 UV/ TiO_2 광촉매를 조합한 방식의 경우 분해효율이 현저히 향상되었다. 이는 플라즈마에서 발생하는 오존이 광촉매 반응과 함께 코로나 방전에 의하여 발생하는 (+)이온의 첨가가 VOCs의 분해율을 상승시키는 것으로 나타났다.

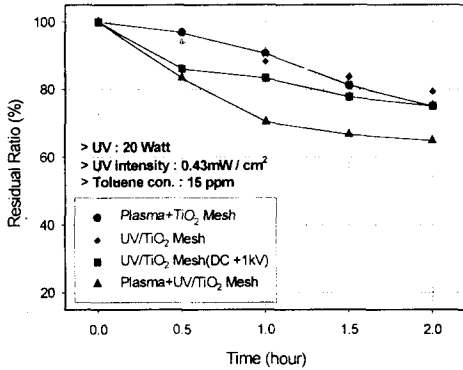


Fig. 2. Residual ratio of toluene gas for various methods.

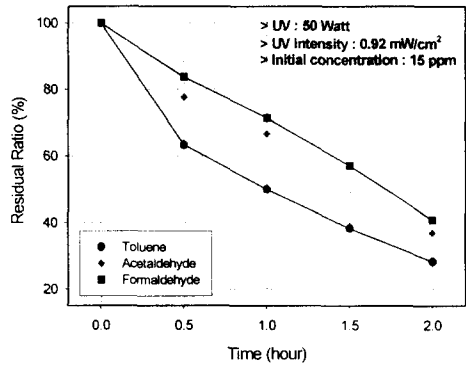


Fig. 3. Residual ratio of various VOCs.

그림 3은 톨루엔, 포름알데히드 및 아세트알데히드 단일성분에 대하여 시간에 따라 UV/ TiO_2 광촉매 방식에 따른 VOC 잔존율의 변화를 나타낸 것이다. 실험결과, 동일한 실험 조건에서 VOCs의 분해효율은 톨루엔, 아세트알데히드, 포름알데히드 순으로 톨루엔이 가장 제거가 잘 되는 것을 알 수 있었다.

특히, 톨루엔의 경우 그림 1과 그림 2를 비교하여 보면 2시간 경과 후의 제거효율에서 큰 차이가 있는데, 이는 광원이 20Watt($0.43mW/cm^2$)에서 50Watt($0.92mW/cm^2$)로 약 2배정도로 증가하여 자외선 조사량에 크게 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 건물, 빌딩 등의 실내 공조용 정화장치에 적용하기 위하여 TiO_2 입자를 알루미늄 망에 코팅시키는 방식을 채택하였으며, 또한 대용량의 처리가스에 의한 비교적 낮은 분해효율을 향상시키기 위한 연구가 수행되었다.

일반적으로 광촉매에 의한 VOC분해효율은 운전조건인 통과유속과 광촉매량이 주요변수로 알려져 있으며, 본 실험에서도 UV의 조사강도가 가스의 분해효율에 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며, 코팅된 광촉매 망에 (+)전압을 부가적으로 공급하였을 경우 반응의 활성이 향상되는 효과를 볼 수 있었다.

그리고 전기 하전 및 플라즈마 방전과의 조합에 의해 분해효율의 상승 효과를 파악하므로써, 본 반응장치들이 대형 빌딩, 지하철역 등의 밀폐된 실내 공간내에서의 VOCs 제거에 적용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- 坂本和彦, 井上淳, 石谷治, 河野仁志, "UV/光觸媒を用いた揮發性有機物の分解", 第15回 空氣清淨とコンタミネーションコントロール研究大會, 305-308, 1998.
- 河野仁志, 田村穂, 坂本和彦, "光化學反應と觸媒を利用したガス汚染物質の除去に関する研究", 第15回 空氣清淨とコンタミネーションコントロール研究大會, 325-328, 1998.
- N. Serpone 외 1, "Photocatalysis", John Wiley & Sons, 1989.