

PE6) DBD와 흡착공정을 조합한 2단형 반응기에서 톨루엔

분해에 관한 연구

Decomposition of Toluene using a 2 Stage Reactor Composed of Dielectric Barrier Discharge and Adsorption Process

김관태¹ · 이웅재¹¹ · 한소영 · 한의주 · 최연석 · 송영훈 · 김석준

한국기계연구원 플라즈마 환경연구실, ¹¹단국대 대학원

1. 서 론

플라즈마 화학공정을 이용한 유해대기오염물질(HAPs 또는 VOCs) 처리기술은 기존의 촉매연소, 소각 및 흡착기술등에 비하여 낮은 초기 투자비, 여러가스의 동시처리, 소형화 또는 이동 배출원에 대한 적용이 가능하며, 대상가스의 종류나 발생량등에 따라 여러 전원(AC, Pulse, DC)을 이용한 기술개발이 가능하여 많은 연구가 진행되고 있다.⁽¹⁻⁴⁾ 그러나 이와 같이 다양한 배출원에서 플라즈마 공정의 실용화를 위해서는 소요전력 및 반응생성물에 대한 저감대책이 문제점으로 제기되고 있는데, 최근의 연구결과들에 의하면 이에 대한 해결책의 하나로 플라즈마 공정과 촉매(또는 흡착제)를 동시에 사용함으로써 문제를 해결하는 결과들이 발표되고 있다. 플라즈마/촉매의 동시공정에 대한 연구로는 플라즈마 또는 촉매를 단독으로 사용하였을 경우에 대비하여 제거율에 대한 시너지효과, 고성능의 촉매선정과 최적의 반응기 설계등으로 볼 수 있는데, 본 연구에서는 유전체장벽 플라즈마 반응부와 흡착제등이 충전된 반응공간으로 구성된 2단형 반응기에서 톨루엔의 제거특성과 플라즈마/흡착(또는 촉매)의 동시공정시 시너지 효과(제거율 향상, 반응생성물 저감)에 대하여 알아 보았다.

2. 연구방법

본 연구에 사용한 반응기는 세라믹 평판을 이용한 유전체장벽 플라즈마 반응부와 흡착제등을 충전할 수 있는 충전부로 구성된 2단의 반응기 형태로 충전물질로는 평균지름이 각각 3mm인 glass bead, γ -Al₂O₃, Pt/ γ -Al₂O₃(0.2 wt.%) 3종류를 사용하였다. γ -Al₂O₃와 Pt/ γ -Al₂O₃의 경우 glass bead의 충전부피를 1로 하였을 때, (1/3) γ -Al₂O₃ + (2/3)glass bead와 (1/3)Pt/ γ -Al₂O₃ + (2/3)glass bead의 형태로 충전하여 glass bead의 실험조건과 동일(압력손실)하게 하였다. 공기(background gas)는 압축공기(R.H 10%), 전원공급은 교류전원(60Hz, neon transformer)을 이용하였으며, 톨루엔은 상온에서 공기를 통과(bubbling)시켜 기상의 상태로 만든후 온도가 0°C로 유지되는 ice bath를 통과하게 하여 실험중 공급농도의 변화를 최소화하였다. 모든 가스의 유량은 MFC로 조절하였으며 반응기에 공급되는 전력은 오실로스코프(LeCroy LT344 500MHz), 고전압 프루브(10,000×) 및 전류 프루브(Tektronix TM502A)를 이용하여 평균전력(P_{mean})을 측정하였다. 실험은 상온에서 공기유량 10 l/min, 톨루엔 공급농도는 300ppm 기준으로 하여 평균전력 28, 19, 10W의 3조건에 대하여 수행하였으며, 처리가스의 농도측에는 적외선의 흡수정도를 농도로 변환하는 FTIR(Bio-Rad)과 오존계측기(Dylec DY-1500)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

그림1은 γ -Al₂O₃ bead로 충전된 반응기에 톨루엔 300ppm을 포함하는 공기를 10 l/min의 유속으로 공급시 흡/탈착과정을 나타낸 그림이다. 본 연구에 사용된 반응기의 플라즈마 반응부 세라믹 평판은 흡착이 없는 재질이므로 그림1, 상단의 실험결과는 반응기 충전부의 γ -Al₂O₃ bead에 의한 특성으로 설명되며 톨루엔의 강력한 흡착으로 약 3시간이 지나서 초기공급농도에 도달함을 알 수 있다. 그림1, 하단의 그림은 톨루엔 공급을 중단하고 공기만 공급하였을 경우로 초기에 급격한 탈착을 보인후 서서히 탈착정도가 감소하는 것으로 나타났다. 공기의 공급을 그대로 유지한 상태에서 이번에는 플라즈마 반응부에 약 10kV 정도의 전기를 인가하면 톨루엔의 검출농도가 급격히 감소하는 것으로 나타났는데, 이것은 플

라즈마 반응부에서 코로나 방전에 따라 생성되는 여러 화학종(전자, 이온, 래디칼, 오존등)중 life time이 긴 것으로 알려진 오존이 γ -Al₂O₃ bead가 충전된 충전부에 도달하여 톨루엔과의 산화반응으로 분해에 기여하는 결과로 해석된다. 이 같은 현상은 이 과정에서 발생하는 CO₂, CO peak에 의하여도 설명될 수 있는데, 본 연구에서 사용한 반응기와 같이 플라즈마 영역과 흡착공간이 따로 분리된 반응기의 경우 플라즈마/흡착(또는 촉매)의 동시공정시 오존에 의한 시너지 효과가 있음을 시사하고 있다. 따라서 본 연구에서는 위에서 언급한 3종류의 충전물질을 이용하여 톨루엔 310ppm을 포함하는 공기를 10 l/min의 유속으로 공급하고 반응기에 투입되는 평균전력(P_{mean} 28, 19, 10W)에 따른 제거특성에 대하여 실험을 수행하였다. 그림2에서 보는 바와 같이 각각의 전력조건에서 γ -Al₂O₃와 Pt/ γ -Al₂O₃의 경우가 흡착이 없는 glass bead의 경우에 비하여 높은 분해율을 나타내었으며, 본 반응기와 같이 플라즈마와 흡착영역

이 따로 분리된 반응기에서는 Pt/ γ -Al₂O₃에 비해 상대적으로 흡착표면적이 큰 γ -Al₂O₃의 경우가 다소 높은 제거율을 보였다. 이와 같이 플라즈마/흡착(또는 촉매)의 동시공정에서 플라즈마만 단독(또는 glass bead 충전)으로 사용하였을 경우에 비하여 동일 전력에서 높은 분해율과 함께 O₃, 질소산화물과 같은 반응생성물의 발생도 상당히 억제할 수 있음을 알 수 있었다.

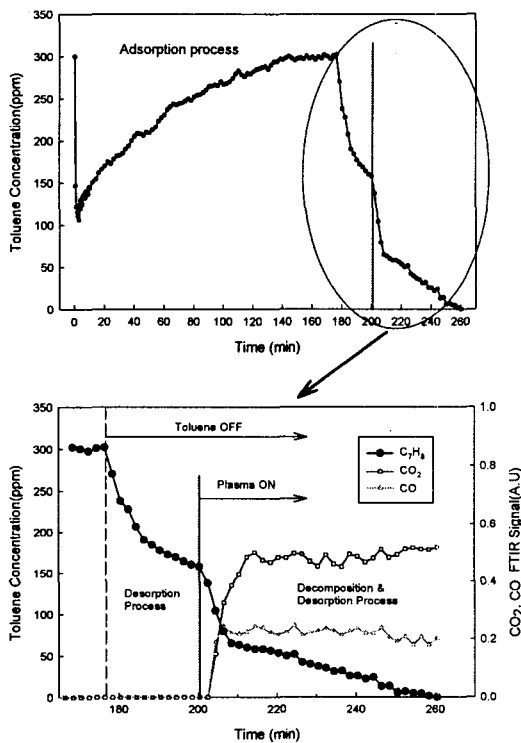


Fig. 1. Adsorption, Desorption and Decomposition process of Toluene

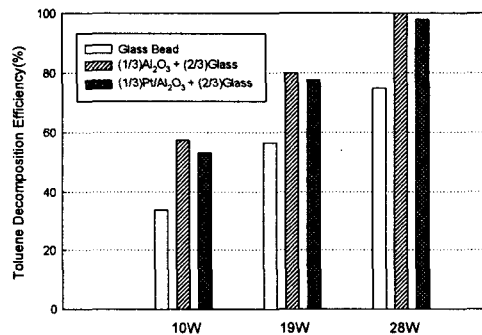


Fig. 2. Comparison of Glass, γ -Al₂O₃ and Pt/ γ -Al₂O₃

[감사의 글] 본 연구는 2000년도 특정연구개발사업(NRL) 및 선도기술개발사업(G7)의 연구비에 의해 이루어졌으며, 감사의 뜻을 전합니다.

참고 문헌

- 1) 김관태 외(1999) Plasma/Adsorption 공정의 특성연구, 한국대기환경학회 추계학술논문집, pp.471~472
- 2) Hitoshi Kohno et al(1998) Destruction of Volatile Organic Compounds Used in a Semiconductor Industry by a Capillary Tube Discharge Reactor, IEEE, Vol.34, No.5
- 3) A. Ogata et al(1999) Oxidation of Dilute Benzene in an Alumina Hybrid Plasma Reactor at Atmospheric Pressure, Plasma Chemistry and Plasma Processing, Vol.19, No.3
- 4) Antonella Gervasini et al(2000) Catalytic technology assisted with ionization/ozonization phase for the abatement of volatile organic compounds, Catalysis Today 60(2000) 129-138