

## PS54(CT33) Plasma/Adsorption 공정의 특성연구

### Plasma/Adsorption Process with Packed Bed Reactor

김관태 · 한 소영 · 신 완호 · 이 재옥 · 송 영훈

한국기계연구원 플라즈마 환경연구실

#### 1. 서론

각종 산업분야에서 발생하는  $\text{NO}_x$  및  $\text{VOC}_s$ 는 발생원에 따라 농도, 조성 및 가스량, 온도등의 조건이 크게 달라, 이를 경제적이고 효율적으로 제어하기 위해서는 각각의 조건 및 처리목적에 따른 적절한 방지기술의 선정이 필요하다. 최근 고도산화법(Advanced Oxidation Technologies)의 한 공정으로 코로나 방전 또는 저온 플라즈마를 이용한 방지기술은 산업용 보일러의 탈황탈질공정을 비롯하여 자동차 후처리장치, 반도체 단위공정과 같이 이동배출원이나 소규모장치에도 적용이 가능한 기술로서 국내외에서 연구가 활발히 진행되고 있는데,<sup>(1-3)</sup> 플라즈마를 이용한 유해가스 처리공정의 실용화에서 가장 문제시 되는 사항은 소요전력 및 by-products에 대한 저감방안으로, 이의 해결책으로 처리대상 가스의 체류시간(residence time) 증가 및 촉매를 동시에 활용하는 방안이 제안되고 있다.<sup>(2,3)</sup> 본 연구에서는 유전체장벽 반응기의 충전물질로  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{zeolite}$ ,  $\text{TiO}_2/\text{Pt}$ , glass bead를 각각 충전하여 각 물질의 흡착 및 촉매효과에 따른 몇가지 VOC 성분의 제거특성과 by-products 생성에 관하여 살펴 보았다.

#### 2. 연구방법

그림 1은 전체실험장치 개략도로 반응기를 중심으로 background gas 및 유해가스공급부, 전원공급장치, 제촉부 그리고 고온실험을 위한 가열부와 항온조(oven)로 구성되었으며, 반응기 전후단에 농도, 온도, 습도측을 위한 여러 port가 준비되어 있다. 본 실험에서 사용한 반응기는 유전체장벽 packed-bed 형 반응기로 Pyrex tube(외경 30mm, 길이 300mm), emitting wire, small sized pellets으로 구성되며, background gas로는 압축공기(R.H 14%), 전원공급은 AC Power Supply가 사용되었다. 실험은 상온에서 공기유량 10 l/min, 인가전압 19kV 상태에서 수행하였으며, 반응기 충전물질은 glass bead,  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2/\text{Pt}$ , 그리고  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 와 zeolite를 1:1(부피비)로 혼합한 4가지 물질이 사용되었다. 처리가스의 반응 특성은 적외선(mid-IR)의 흡수정도를 농도로 변환하는 FTIR(Bio-Rad)을 실험장치와 on-line으로 연결하여 계속하였으며, VOC 종류에 따른 특성비교를 위하여 에틸렌, 프로판, 톨루엔에 대하여 동일한 방법으로 수행하였다.

#### 3. 결과 및 고찰

그림 2는  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  bead로 충전된 반응기에서 에틸렌, 프로판, 톨루엔 주입시 반응기 후단에서 계속한 결과로, 에틸렌이나 프로판의 경우  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  bead에의 흡착정도는 미미한 반면, 톨루엔은 강력한 흡착으로 150분이 지나서야 초기농도에 이르는 것을 볼 수 있다. 이와같은 흡착특성은 19kV 전기인가시 전기공급에 따른 열 에너지의 증가로 초기보다 많은 양의 톨루엔이 일시적으로 탈착된 후 제거되는 과정에서 잘 나타나는데, 이 기간동안 저온 플라즈마에 의한 왕성한 산화과정(oxidation process)이 함께 공존함을 알 수 있다.  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  bead는 다공성 흡착물질로, 특히  $\pi$ -전자 결합을 갖는 유기물을 선택적으로 잘 흡착하는 것으로 알려져 있으며, 흡착이 없는 glass bead 반응기의 경우 톨루엔 제거율이 40%인 점을 비교할 때 흡착과정(adsorption process)이 제거율 향상에 기여하는 것으로 판단된다. 프로판의 경우 충전제에 따른 차이가 별로 없으며, 에틸렌의 경우는 오히려 glass bead에서 다소 높은 제거율을 보였는데, 이것은 흡착특성이외의 다른 반응 메커니즘에 의한 것으로 보인다. 이와 같은 흡착특성은 by-products 생성에도 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 그림 3에서 보는 바와 같이 톨루엔 제거시  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  반응기에서는 생성물이 대부분  $\text{H}_2\text{O}$ 와  $\text{CO}_2$ 인 반면, glass bead의 경우는  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$  및 질소산화물과 같은 inorganic by-products의 생성이 많아지는 것으로 나타났으며, 프로판과 에틸렌의 경우도 비슷한 경향을 보였다. 한편  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  또는 glass bead에서 모두 낮은 제거율을 보인 프로판의 경우,  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{zeolite}$ 로 충전된 반응기에서는 흡착(adsorption) 및 탈착(desorption)과정을 거쳐 높은 제거율을

보였으며,  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  bead에  $\text{TiO}_2/\text{Pt}$ 를 코팅하여 충전한 반응기의 경우  $100^\circ\text{C}$  반응온도에서 톨루엔 제거율이 100%에 이르는 실험결과를 얻을 수 있었다. 이상의 결과로부터 여러 VOC 성분들에 대하여 선택적 흡착특성이 있는 흡착물질 또는 촉매를 이용하면, 제거율 향상과 함께  $\text{O}_3$ 을 비롯한 by-products의 발생량을 줄임으로써 유해가스처리를 위한 유전체 장벽 packed-bed형 플라즈마 반응기의 실용화에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

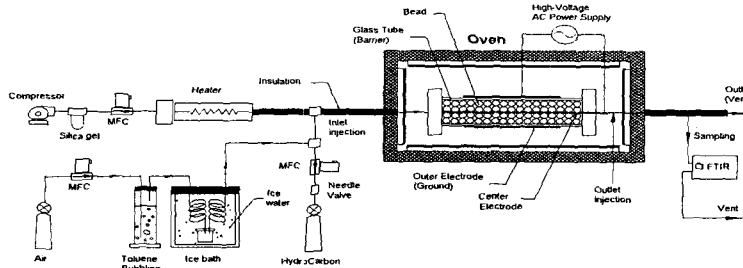


Fig. 1. Schematic of experimental apparatus

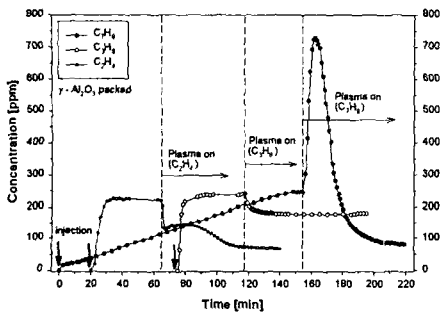


Fig. 2. Adsorption, desorption and removal process of  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$  and  $\text{C}_7\text{H}_8$  in the  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  bead reactor

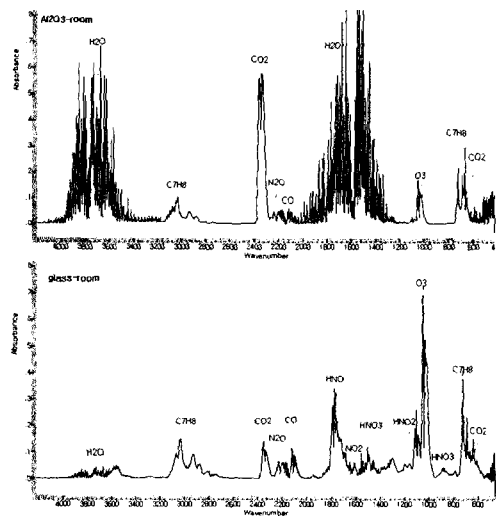


Fig. 3. FTIR spectrum of the  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  and glass bead reactors

### 참 고 문 헌

- 1) 송영훈외(1999), "코로나방전을 이용한 VOCs 처리특성", 한국대기환경학회 춘계학술대회논문집, pp. 323-324
- 2) T. Yamamoto(1997), "VOC Decomposition by Nonthermal Plasma Processing - A New Approach", J. Electrostatics, Vol 42, pp. 227-238
- 3) D. Evans et al(1993), "Plasma remediation of trichloro-ethylene in silent discharge plasmas", J. Appl. Phys., vol.74, no.9, pp. 5378-5386