

## PD8) 유전체 장벽 방전 반응기에서 Acetonitrile의 분해 특성 Decomposition of Acetonitrile by Dielectric Barrier Discharge Reactor

김관태 · 송영훈 · 신완호 · 김석준

한국기계연구원 환경기계기술연구부

### 1. 서론

VOC를 비롯한 유해대기오염물질(HAP)은 산업의 발달 및 인간의 생활방식에 따라 다양한 환경과 장소에서 발생되고 있으며, 이로 인하여 자연생태계 파괴는 물론 인체에 직접적인 피해를 주고 있다. 따라서 이들 물질의 배출에 따른 환경 및 건강에의 우려는 더욱 강화된 배출규제의 요구로 이어지고 있으며 이들의 안전하고 경제적인 처리기술개발이 시급한 실정이다. 유해대기물질의 처리는 배출조건(유해물질의 종류, 온도, 농도, 유량, 수분함량 등)에 따라 적용기술이 달라질 수 있는데, 기존의 처리기술(소각, 촉매, 흡착, 및 미생물법 등)은 각각의 기술이 특정한 배출조건하에서만 효과적으로 적용되는 제약이 있다. 따라서 보다 다양한 배출조건에서도 확장되어 적용될 수 있는 새로운 기술이 필요하며, 저온 플라즈마에 의한 기술은 그와 같은 노력의 일환으로 연구되고 있다. 그러나 이 기술을 실제 공정에 적용하기 위해서는 기존 기술 대비 경제성 확보를 위한 전력절감기술과 처리공정에서 생성되는 부산물의 저감방안등이 확보되어야 하는데, 이에 대한 방안의 하나로 플라즈마와 촉매(또는 흡착제)를 동시에 사용함으로써 문제를 해결해 가는 연구들이 발표되고 있다.<sup>1)</sup> 본 연구에서 사용한 acetonitrile( $\text{CH}_3\text{CN}$ )과 같은 시안화합물은 일반적으로 다른 VOC에 비하여 분자의 단면적이 작고 높은 결합 에너지를 갖고 있어 분해율이 낮을 뿐더러, 분해시 HCN과 같은 유독한 물질이 발생하는 것으로 보고되고 있다.<sup>2)</sup>

### 2. 연구 방법

본 연구에 사용한 반응기는 세라믹 평판을 이용한 유전체 장벽 판형 반응기(Dielectric Barrier Plate Reactor)로 방전부와 흡착제(또는 촉매)등을 충전할 수 있는 충전부가 연결된 2단의 형태이며, 방전부의 전극간 공간에 평균지름 2mm인 glass, 흡착제(MS 5A, MS 13X), Pt/ $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ (0.5 wt.%)등을 충전하여 충전물에 따른 공정별 분해특성을 알아 보았다. 실험장치는 크게 온도와 반응물의 농도 제어부, 플라즈마 반응기, 전력 및 가스분석 계측부로 구성되었으며, acetonitrile은 온도조절이 가능한 수조(water bath)에서 공기를 통과시켜 발생하는 증기를 희석공기와 혼합하여 사용하였다. 희석공기는 압축공기(R.H 12%), 전력공급은 교류전원(400Hz)을 이용하였으며, 모든 가스의 유량은 MFC로 조절하였다. 인가 전압의 측정은 고전압 프루브(10,000 $\times$ )와 오실로스코프(Tektronix TDS 210)을 이용하였으며, 방전전력은 Lissajou's Plot을 이용하여 계산하였다. 실험은 25 $^{\circ}\text{C}$ 로 유지된 항온 챔버내에서 유량 10 l/min, 처리 농도 약1000ppm 기준으로 수행하였으며, 처리가스의 농도계측에는 on-line으로 연결된 GC/FID(IHP 6890)와 광로(optical path) 8m인 가스셀을 장착한 FTIR(Bio-Rad) 분광계를 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림1은 전극간 간격이 3mm인 반응기를 이용하여 흡착제등을 충전하지 않은 플라즈마만의 공정으로, 공급전력을 180W로 유지한 상태에서 실험한 결과이다. acetonitrile의 초기농도를 400에서 1,800 ppm 까지 변화시키면서 분해율을 평가한 결과, 초기농도를 증가하여도 농도증가분에 비해 분해율은 크게 감소하지 않는 것으로 나타났다. 즉 SED(Specific Energy Density)값으로 1080J/L는 톨루엔이나 TCE등 다른 VOC와 비교하여 상당히 높은 에너지임에도 불구하고 분해율은 40% 이하로 제거가 어려운 물질임을 알 수 있었다. 그러나 초기농도를 4배이상 증가하여도 분해율이 큰 차이를 보이지 않는 것은 초기농도

가 증가할수록 처리된 acetonitrile의 양은 오히려 증가되었음을 의미한다(그림 2). 이것은 acetonitrile과 반응하고 있는 CAS(Chemically Active Species)의 절대적 양이 부족한 것이 아니라 CAS와 acetonitrile

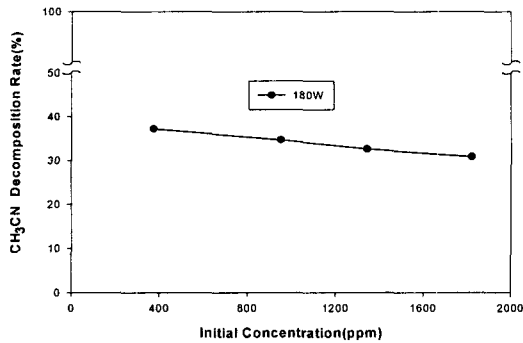


Fig. 1. Decomposition rate with initial con

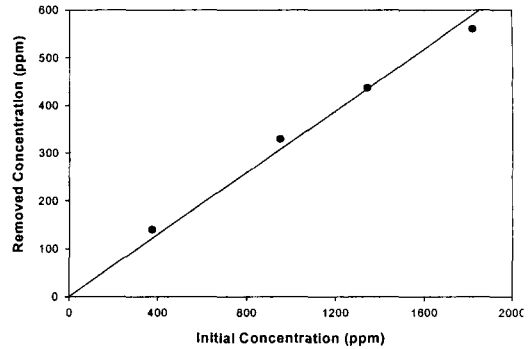


Fig. 2. Removed concentration with initial con

간의 화학반응 속도가 다른 VOC에 비하여 빠르지 않기 때문인 것으로 해석된다. 이와 같이 반응속도가 느린 물질의 경우 흡착제를 사용하여 반응기내 체류시간을 선택적으로 증가시키거나, 촉매를 이용하여 다른 반응경로를 채택하는 방안이 필요하기 때문에 이에 대한 실험을 수행하였다. 그림3은 전극간 공간에 glass bead, (20%)MS5A + (80%)glass 그리고 Pt/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 각각 충전한 경우 분해율을 SED에 따라 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 glass bead의 경우 그림1과 동일한 결과를 얻은 반면, 흡착제 및 촉매를 사용한 경우 동일한 공급전력에서 보다 높은 분해율을 얻을 수 있었다. 특히 Pt/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 경우 SED가 증가함에 따라 분해율이 급격히 증가하였는데, 이는 SED의 증가에 따라 반응기내의 온도도 함께 상승하여 Pt 촉매의 thermal activation에 의한 영향으로 생각된다. 자세한 분석을 위하여 Pt 촉매를 충전한 반응기를 oven에 넣은 다음, 전력을 공급하지 않고 단순히 oven의 온도를 조절하여 촉매공정만으로 분해한 결과를 플라즈마/촉매의 복합공정과 비교하였다. 그림4에서 보는 바와 같이 복합공정에서는 130°C 이상부터 플라즈마와 열에너지에 의한 시너지효과로 분해율이 급격히 증가하였으나, 촉매만의 공정에서는 200°C 이상에서 촉매의 활성이 관찰되었다. 따라서 플라즈마/촉매공정은 촉매의 온도창 (temperature window)을 저온 영역으로 확장시켜 주는 효과가 있으며, 낮은 온도 영역에서 촉매가 활성화되는 mechanism은 단순히 Pt의 thermal activation만으로는 설명하기 어렵다는 것을 알 수 있었다.

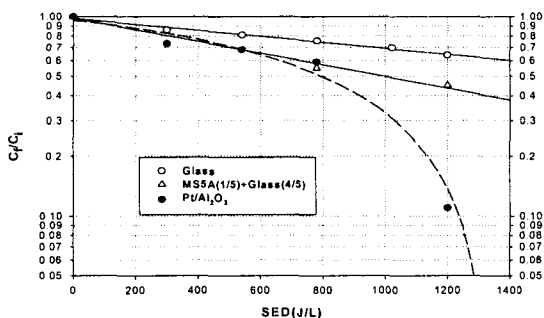


Fig. 3. Effect of adsorption and catalyst

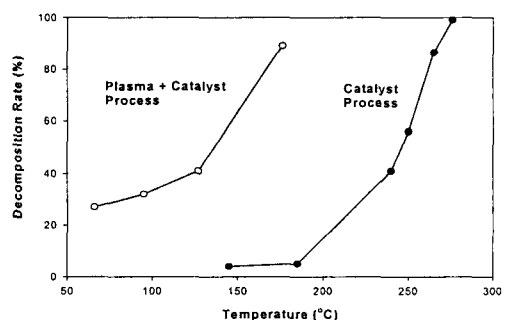


Fig. 4. Comparison test

### 참고 문헌

- 1) 김관태 외(2000) DBD와 흡착공정을 조합한 2단형 반응기에서 톨루엔 분해에 관한 연구, 한국대기환경학회 추계학술논문집, pp.415~416
- 2) Jerome P. Gilman, et al.,(1985) Acetonitrile as a simulant for cyanide compounds for plasma testing, Proceeding of the 1985 scientific conference on Chemical Defense Research