

4A5) 플라즈마 구동 촉매 (PDC: plasma-driven catalyst) 반응기를 이용한 스타이렌 제거 Removal of Styrene Using PDC(plasma-driven catalyst) Hybrid System

박정욱·최금찬·김현하¹⁾

동아대학교 환경공학과, ¹⁾산업기술종합연구소(일본)

1. 서 론

최근 들어 저온 플라즈마 공정을 이용한 각종 유해가스 제거기술이 연구되고 있다. 이 플라즈마 공정은 저비용에 처리효율이 높은 장점과 더불어 많은 비투입 에너지와 2차 오염물질을 유발하는 단점이 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 플라즈마와 촉매를 복합적으로 이용한 공정이 시도되고 있으며 PDC(플라즈마 구동 촉매활성) 공정은 일반 대기 상태 중에서도 휘발성 유기화합물을 제거하는 비교적 새로운 기술이다. 본 연구에서는 휘발성 유기화합물 중 가스상 스타이렌을 2wt% Ag/TiO₂를 충전한 PDC 시스템을 사용하여 처리하고자 하였으며, 또, 플라즈마 단독 공정과 비교 실험하였다.

2. 실험 장치의 구성 및 방법

본 연구에서는 플라즈마 단독 공정과 PDC 공정 두 가지 방법으로 시행하였다. 처리 물질인 스타이렌의 농도는 100ppmv, 50ppmv로 하여 두 공정의 효율 및 특성을 비교하고자 하였다. 플라즈마 단독 공정은 무성 방전형태의 반응기와 연면 방전형태의 반응기를 사용하였다. 시료가스가 흐르는 관로는 시료가스와의 반응성이 없는 테프론 재질의 관 및 스텐레스 관을 사용하였다. 실험 장치는 시료가스의 발생부, 플라즈마 반응기, 방전 전력 계측기 그리고 반응 전후의 가스 성분 분석부로 구성되어 있다. 가스의 유량은 플라즈마 단독공정에서는 4ℓ/min으로 실험하였으며, PDC 공정에서는 4LPM, 6LPM으로 실험 하였다.

연면 방전 반응기는 유전체로 내부 직경 12.5mm, 길이 150mm의 석영관을 사용하였고, 내부에는 지름 0.45mm의 코일상의 스텐레스선을 삽입하여 방전 전극으로 사용하였다. 무성방전 반응기는 유전체로 내부 직경 13.5mm, 길이 175mm의 석영관을 사용하였으며, 내부에는 직경 10mm의 스텐레스 봉을 삽입하여 방전전극으로 사용하였다. PDC 반응기는 연면반응기 내부에 Ag/TiO₂ 촉매를 충전 한 형태로 기본적으로 연면 반응기와 동일하다.

플라즈마를 발생시키기 위한 AC 전원은 고전압 앰프(Trek, 20/20B) 와 Function generator (Tektronix, AFG 310)로 구성되어 있다. Function generator에서 설정한 인가전압과 주파수의 입력 신호를 고전압 앰프로 2000배 증폭하여 플라즈마 반응기로 인가하였다. 인가전압과 주파수는 각각 24kVpk-pk ~ 32kVpk-pk, 100 ~ 1200Hz의 범위로 하였다.

3. 결과 및 고찰

무성방전, 연면방전 및 PDC 반응기를 각각 이용하여 스타이렌의 제거실험 결과를 그림 1~ 2에 나타내었다. 무성방전, 연면방전 반응기는 50J/L의 낮은 비투입 에너지 영역에서도 제거율 100%를 나타냈으나, 탄소수지는 20%로 낮아 탄소가 주요 생성물(CO, CO₂, HCOOH)외에도 다른 중간체로 전환되고 있음을 의미한다. 플라즈마 단독 공정에서는 300J/L이상에서 탄소수지는 100%가 되나, 400J/L에서도 9ppmv 정도의 HCOOH가 잔류되고 있어 완전 제거가 되지 않고 있다. 한편 PDC 반응기의 경우에는

50J/L의 낮은 비투입 에너지 영역에서 탄소수지는 50%이나, 비투입 에너지가 증가할수록 탄소수지가 급격히 증가한다. PDC 반응기에 의한 스타이렌 50ppmv, 100ppmv 제거시, 반응 생성물이 CO, CO₂만 생성되는 비투입 에너지 영역은 100J/L, 150J/L로서 플라즈마 단독 공정보다 낮은 비투입에너지 영역에서 완전제거가 가능하다.

그림 4에서 나타나듯이 본 연구의 실험한 조건에서는 플라즈마 단독 공정과 PDC 공정 모두 비투입 에너지의 증가에 따라 CO₂ 수율이 증가함을 알수있다. PDC 공정에서는 플라즈마 단독 공정보다 CO₂ 수율이 높게 나타나며, 스타이렌 농도 50ppmv 일 때 비투입 에너지가 32J/L에서 90J/L까지 증가 할 시 CO₂ 수율은 30~79%까지 급격히 증가 하였다. 스타이렌 농도 100ppmv 일 때 비투입 에너지가 40J/L에서 165J/L까지 증가할 때, CO₂ 수율은 30~77%까지 급격히 증가 하였다.

두 공정 모두 비투입 에너지가 높을수록 농도에 관계없이 CO의 선택성이 조금 높아지고 CO₂의 선택성은 조금 낮아지나 거의 일정하다. PDC 공정이 플라즈마 단독 공정보다 CO 선택성이 20%정도 낮으며, CO 선택성은 20% 정도 높게 나타난다.

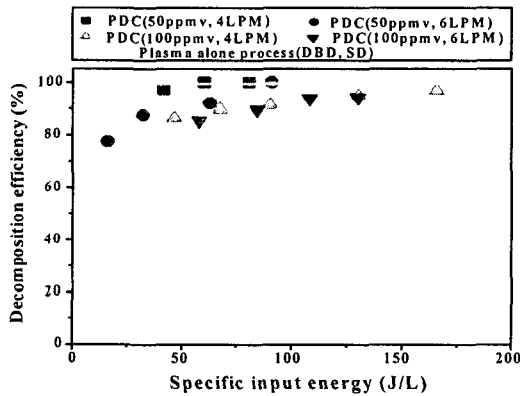


Fig. 1. Composition of decomposition efficiencies of styrene for 3 different plasma reactor.

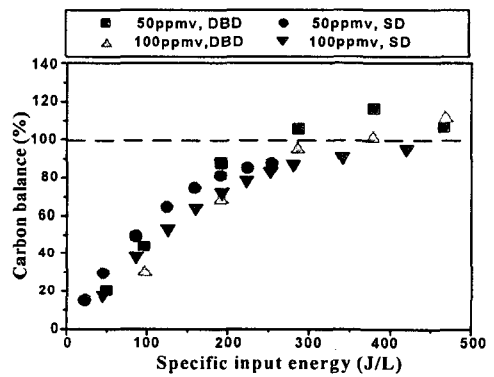


Fig. 2. Carbon balance data from styrene decomposition using the DBD and SD reactors.

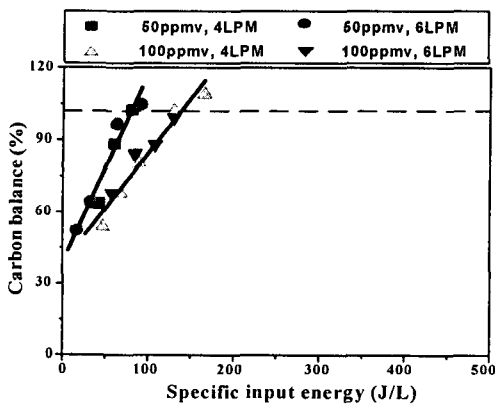


Fig. 3. Carbon balance data from styrene decomposition using PDC reactor.

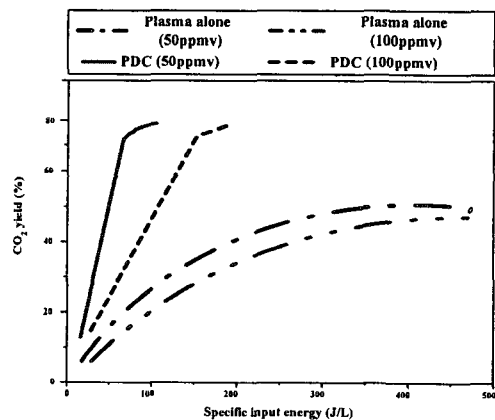


Fig. 4. CO₂ yield in plasma alone and PDC reactor.

참 고 문 헌

- A. Ogata, N. Shintani, K. Mizuno, S. Kushiyama, T. Yamamoto (1999) Decomposition of Benzene using a nonthermal plasma reactor packed with ferroelectric pellets, IEEE, Appl., 35(4), pp.753-759.
- H. H. Kim, S. M. Oh, A. Ogata, and S. Futamura (2004) Decomposition of benzene using Ag/TiO₂ packed plasma-driven catalyst reactor : influence of electrode configuration and Ag-loading amount, Catalysis Letters vol.96, Nos. 3-4.