

4C2) 워터젯 플라즈마 반응기를 이용한 톨루엔 제거 특성 Removal Characteristics of Toluene Using Waterjet Plasma Reactor

전영남 · 송형운 · 김창근¹⁾ · 천우일¹⁾ · 김해연¹⁾

조선대학교 환경공학부 · BK21 바이오가스 기반수소생산 사업팀,

¹⁾창성엔지니어링(주)

1. 서 론

탄화수소를 총칭하는 VOCs(volatile organic compounds)는 종류가 무수히 많고 다양하여 여러 형태로 환경에 영향을 미치며, 일부 VOCs는 그 자체로서 매우 유해하다. 그러나 지금까지 실제 VOCs에 대해 규제관리를 이행하는데 있어 국내의 관련 연구와 기술 수준은 아직 미비하고 사업장 적용의 경험이 부족하다. 따라서 주어진 기한 내 배출 시설의 환경규제 기준을 만족하면서 사업장의 경제적 부담을 최소화하는 기술의 선택에서는 어려움이 따르고 있다. 워터젯 플라즈마(waterjet plasma)는 방전 전극 간에 물을 사용하여 수 표면(water surface)에 플라즈마 영역을 증대시키며 충격파(shock wave), UV 복사(UV radiation)를 방출한다. 따라서 높은 에너지를 가지며 다른 물질에 에너지를 쉽게 전달하는 특징을 가지고 있기 때문에 반응성이 낮은 VOCs 물질도 쉽게 구조를 깨트려 무해한 물질로 전환시킨다. 또한 실제 산업체에서 배출되는 VOCs 물질은 단일 화학 성분만이 아닌 다수의 성분이 섞여 있는 상태로 배출되므로 대부분의 VOCs인 소수성 VOCs는 워터젯 플라즈마에 의해 제거되고 일부 친수성 VOCs는 물에 흡수되어 제거된다. 이에 본 연구에서는 VOCs 중 대표물질인 톨루엔의 제거를 위해 저온 플라즈마를 형성하는 워터젯 플라즈마 장치를 제안하고 톨루엔의 제거특성 및 변수별 연구를 통한 영향인자를 파악한다.

2. 실험장치 및 실험방법

그림 1은 본 실험에서 사용한 워터젯 플라즈마 장치를 나타낸 것으로 워터젯 플라즈마 반응기, 전원 공급 장치, 가스 및 물공급 장치, 측정 및 분석장치로 구성되어 있다. 워터젯 플라즈마 반응기는 부피가 27.5ℓ이며, 물 분사노즐과 방전 전극은 스테인레스스틸 재질로 제작되었으며, 분사노즐과 방전 전극의 간격은 30mm로 하였다. 전원공급 장치는 반응기에 안정적인 워터젯 플라즈마 방전을 유지하기 위한 장치로 최대 용량이 18kVA인 네온트랜스이다. 가스 및 물공급 장치는 톨루엔을 기화시켜 희석하여 주입되는 가스 공급과 반응기에 물 순환 장치로 구성되어 있다. 가스 공급은 VOCs 기화공기와 희석공기로 구분되어 공급되는데 VOCs 기화공기는 공기 블레어에서 고압 공기를 MFC(Line Tech M3030V)에 의해 유량 제어되어 희석공기와 혼합되어 공급된다. 물공급 장치는 반응기 하부의 물탱크에 물을 물 분사노즐로 정량 펌프에 의해 공급되게 구성되어 있다. 측정 및 분석장치는 온도 측정, 가스, 전기적 특성 분석으로 구분된다. 온도 측정은 제작된 K-type 열전대와 데이터 분석장치(Fluke Hydra Data Logger)로 구성되어 있으며 온도 변화를 실시간으로 컴퓨터로 모니터링 하였다. 가스분석은 샘플링 라인과 가스 크로마토그래프(SHIMADZU-14B)로 구성되어 있으며, 분석 컬럼으로 DB-1(30m×0.25mm, 0.25 μ m) 컬럼을 사용하였다. 전기특성은 고전압 프로브(Tektronixa P6015A), 전류 프로브(Tektronix A6303)와 디지털 오실로스코프(Tektronix TDS 3052)에 의해 측정하였다.

실험은 상온 상압 상태에서 진행되며 공급되는 물은 정량펌프에 유량을 조절하였고 방전 전압과 전류는 각각 18kV, 20mA로 하였다. 워터젯 플라즈마를 발생시키는 전극의 간격은 30mm로 설정하였으며, 주입 유량은 희석공기와 기화공기를 합한 혼합공기를 6m³/hr로 하였다. 톨루엔의 제거특성을 파악하기 위하여 반응기 유입부와 반응기 출구부에서 가스를 샘플링하여 가스 크로마토그래프에 FID를 사용하여 농도를 분석하였다.

예비실험을 통해 톨루엔의 제거율이 최적인 조건을 도출하였으며, 이를 기준 조건으로 정하여 실험을

수행하였다. 또한 톨루엔의 제거율을 높이기 위해 영향인자인 유입 유량, 방전 전력, 물 분사유속, 방전 길이 변화에 대한 변수별 연구를 수행하였다.

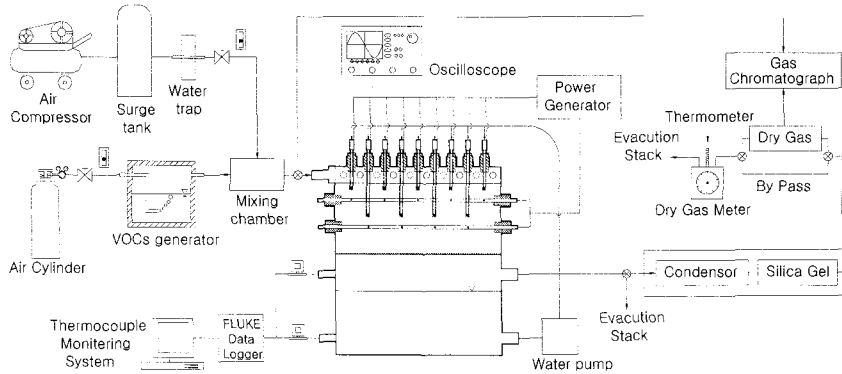


Fig. 1. Schematic diagram of experimental set up.

3. 결과 및 고찰

본 연구는 반복 실험을 통하여 워터젯 플라즈마 반응기에 안정적인 방전과 톨루엔의 제거율이 최대가 되는 조건을 파악하였다. 그림 2는 워터젯 플라즈마 반응기와 반응기 내에 방전 특성을 나타낸 것이다. 반응기 전 영역에서 방전이 형성되도록 방전 전극을 9개 설치하여 방전을 형성하였다. 워터젯 플라즈마 방전은 물 분사노즐에서 분사되는 워터젯의 표면으로 방전이 전파되어 방전 전극으로 강하게 플라즈마가 형성된다. 이때 워터젯의 전기적인 방전 현상은 비록 전류 채널 형성 메카니즘은 다르지만 금속 와이어로 방전하는 형태와 유사한 특성을 보인다. 또한 방전 시에 형성되는 충격파(shock wave)에 의해 워터젯이 작은 액적으로 깨지면서 기액 접촉면적이 커지므로 톨루엔에 에너지 전달이 빠름으로 톨루엔의 분해 효율이 커진다.

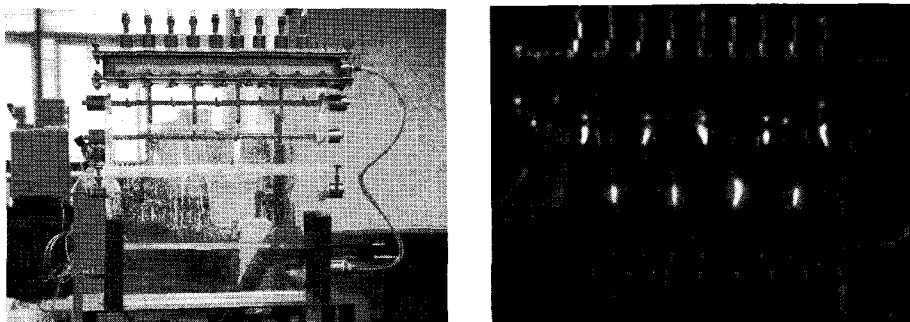


Fig. 2. Electric discharge characteristic in water jet plasma reactor.

사 사

이 논문은 중소기업청의 2007년도 산학연 공동기술개발컨소시엄사업의 재원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

Shmelev, V.M. and A.D. Margolin (2003) Propagation of an electric discharge over the surface of water and semiconductor, High Temperature, 41(6), 735-741.