

2C2) 워터젯 글라이딩 아크 플라즈마를 이용한 CF₄ 가스 제거 Decomposition of CF₄ Gas using a Waterjet Gliding Arc Plasma

김성천 · 이채홍 · 전영남

조선대학교 환경공학과 · BK21 바이오가스기반 수소생산 사업팀

1. 서 론

반도체 및 LCD 디스플레이 제조 공정으로부터의 배출가스 중 식각(etching) 및 증착 공정에 사용되는 합불소 화합물인 PFCs(Perfluorocompounds)가 차지하는 비중이 크며, 높은 안정성 및 지구 온난화 지수로 인하여 환경적 문제가 되고 있다.

PFCs의 일종인 CF₄의 경우는 배출량이 CO₂에 비하여 매우 적지만, 발생하는 장소가 대부분 반도체 산업에 국한되어 있기 때문에 그 처리가 기술적으로 가능하다. 따라서 현재 배출가스에 대한 분해기술을 비롯하여 회수 및 대체 물질 개발에 관한 연구가 필요하다(Yu and Chang, 2001).

여러 처리기술 중 글라이딩 아크 플라즈마는 다양한 난분해성 물질을 분해하는데 연구되었으며, 현재 주로 사용되고 있는 비열평형 플라즈마뿐만 아니라 열평형 플라즈마의 성질을 복합적으로 나타내기 때문에 각 상태의 특징을 이용할 수 있는 장점을 가지고 있다(Kuznetsova et al., 2002).

따라서 본 연구에서는 글라이딩 아크 플라즈마에 워터젯을 적용하여 CF₄를 분해를 위한 플라즈마와 화학적 활성종의 생성, 전자의 가속 및 전기장 형성을 최적화하였다. 그리고 저비용 고효율의 최적화를 위한 워터젯 주입유량, 처리가스 유량, 주입 전력, 주입 농도에 따른 변수별 실험을 진행하였으며, 워터젯을 주입하지 않은 경우를 실험하여 그 결과를 비교하였다.

2. 실험 장치 및 방법

그림 1은 본 실험에서 사용한 글라이딩 아크 워터젯 플라즈마 장치를 나타낸 것으로 글라이딩 아크 워터젯 플라즈마 반응기, 전원공급 장치, 가스 공급 라인, 분석 라인 그리고 제어 및 모니터링 장치로 구성되어 있다. 실험은 상온 상태에서 진행하였으며 공기를 주입하여 플라즈마를 방전한 후 SEI는 7.42 kJ/L로 조절하였다. 그리고 공급 되는 물의 양이 0 mL/min 조건으로 배출가스의 온도는 113°C로 안정화한 뒤 워터젯을 주입하여 반응가스의 온도를 측정하여 153°C로 안정한 상태를 확인하였다. 표 1은 변수별 실험 조건을 나타내고 있다.

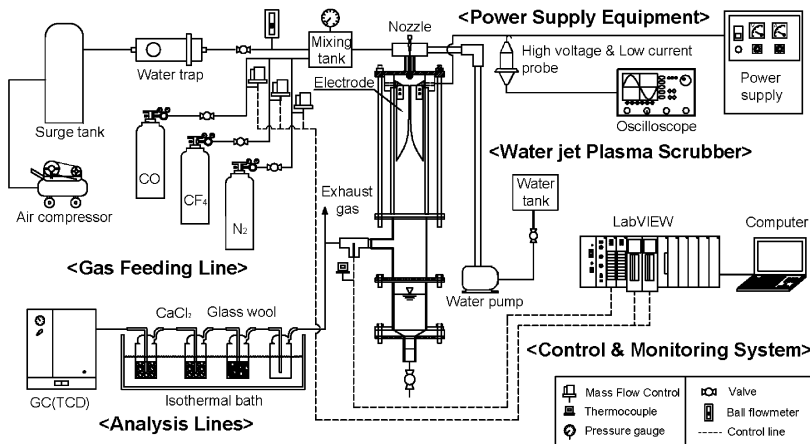


Fig. 1. Experimental apparatus.

Table 1. Experimental conditions for parametric studies.

Conditions	Water input flow rate(mL/min)	Specific energy input(kJ/L)	Total gas flow rate(L/min)	Input CF ₄ concentration(%)
Variables range	0~32	4~12	4~14	1.08~5.43

3. 결과 및 고찰

그림 2는 물 주입 유량 변화에 따른 CF₄의 분해효율과 에너지 효율을 나타낸 것이다. 공기 주입량은 9 L/min, CF₄의 주입유량은 0.2 L/min으로 주입되는 CF₄의 농도를 2.1%로 고정하였으며 SEI는 7.4 kJ/L로 고정하였다. 워터젯을 주입함으로써 플라즈마 영역 및 고에너지의 전자 밀도가 증가하며, OH 라디칼이 생성되고 CF₄의 분해효율이 96.7%로 높게 나타나는 결과를 나타냈다.

그림 3은 CF₄주입농도 변화에 따른 CF₄의 분해효율과 에너지효율을 나타낸 것이다. 공기 주입량은 9 L/min, 워터젯 주입유량은 25.5 mL/min, 방전전력은 1.1 kW로 고정하였다. CF₄의 제거 효율은 주입농도에 크게 영향 받지 않고 제거효율이 평균 96%를 나타내고 있다. 에너지 효율의 경우 CF₄의 가스성분 농도가 증가함에 따라 제거되는 CF₄의 양도 증가하기 때문에 에너지 효율이 계속하여 증가하였다.

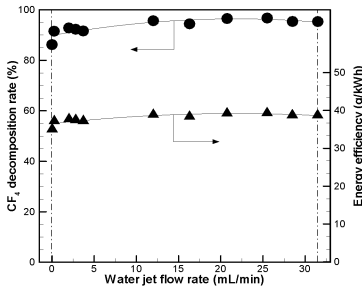


Fig. 2. Effect of water jet flow rate.

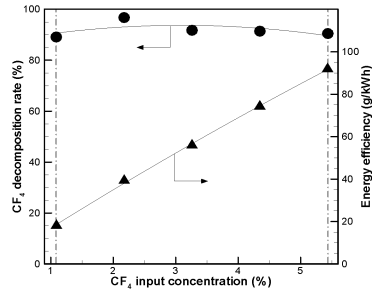


Fig. 3. Effect of CF₄ input concentration.

그림 4는 체류시간 변화에 따른 CF₄의 분해효율과 에너지 효율을 나타낸 것이다. CF₄의 주입 농도는 2.17%, 워터젯 주입유량은 25.5 mL/min, 방전전력은 1.1 kW로 고정하였다. 주입되는 전체가스량은 4~14 L/min로 조절하였다. 전체가스량이 9.2 L/min 이상 증가하면서 제거율이 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 이는 전체가스량내 체류시간의 감소로 인하여 충분한 반응시간이 감소되기 때문이다.

그림 5는 입력전력 변화에 따른 CF₄의 분해효율과 방전전력을 나타낸 것이다. CF₄의 주입 농도는 2.17%, 워터젯 주입유량은 25.5 mL/min, 전체가스량을 9.2 L/min으로 고정하였다. 그리고 방전전력을

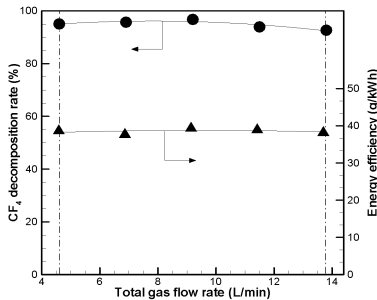


Fig. 4. Effect of total gas flow rate.

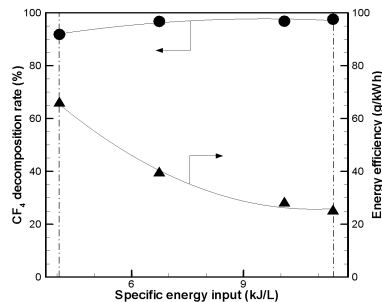


Fig. 5. Effect of SEI.

0.62~1.74 kW으로 조절하여 SEI를 4.18~11.74 kJ/L로 조절하였다. SEI가 증가할수록 CF₄의 제거효율은 증가하는 결과를 나타내고 있다.

사 사

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2009-0071280).

참 고 문 헌

Kuznetsova, I.V., N.Y. Kalashnikov, A.F. Gutsol, A.A. Fridman, and L.A. Kennedy (2002) Effect of “overshooting” in the transitional regimes of the low-current gliding arc discharge, *Journal of Applied Physics*, 92(8), 4231-4237.

Yu, S.J. and M.B. Chang (2001) Oxidative Conversion of PFC via Plasma Processing with Dielectric Barrier Discharges, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 21(3), 311-327.