

PA36) 전기히터-연소 Hybrid scrubber를 이용한 CF₄와 SF₆의 열분해 연구

Thermal Decomposition of CF₄ and SF₆ Using Electric Heater-burner Hybrid Scrubber

정민수 · 이용진 · 장인수 · 허완수 · 권혁희
충실대학교 환경화학공학과

1. 서 론

과불화화합물(perfluoro compounds: PFC)은 일부 다른 용도에 사용하는 것을 제외하면 건식각공정 및 CVD chamber cleaning 시의 반도체 제조 공정에 주로 사용되는 가스물질로 상온에서는 화학적으로 안정하고 무해하며 연소되지 않고 발화되지 않는 특성을 가지나 지구온난화영향(GWP: Global Warming Potential)이 대단히 크고 대기 중에서의 수명이 매우 길다는 특성을 갖고 있다. 이들 PFC 가스들은 그 사용량이 화석연료와 비교해 상대적으로 적으나 CF₄와 SF₆의 경우 CO₂ 대비 각각 6,500, 23,900배의 GWP를 갖는 등 지구온난화에 끼치는 영향은 상당하여 지구 온난화 방지협약에 의해 배출량을 줄여야 하는 물질이다.

이러한 PFC 가스를 처리하기 위해 도입된 방법 중 전기 히터 방식이 현재 가장 많이 사용되고 있지만 여러 PFC 가스물질 중 NF₃처리에 있어서는 그 효율이 검증되어 있으나 고온에서 처리되는 SF₆, CF₄, C₂F₆의 처리는 취약하다는 단점이 있다. 그에 반하여 연료를 이용한 연소방식은 PFC 가스 제거에 있어 좋은 효율을 갖고 있는 반면 연료소모가 많다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 전기 히터에 의한 유입가스의 예열과 연료인 LNG의 연소를 통한 유입 PFC 가스의 산화를 동시에 일으키는 Hybrid scrubber를 도입하여 대상 PFC가스인 CF₄와 SF₆ 가스의 공정 변수에 따른 처리효율 변화를 연구하였다(정민수, 2008).

2. 연구 방법

본 연구는 CF₄와 SF₆의 열분해 하기 위한 혼합, 가열, 연소, 습식챔버의 4부분으로 구성된 lab-scale hybrid scrubber 실험 장치를 설계하여 도입되는 가스 유속별 불꽃의 온도를 측정하였으며 CF₄와 SF₆ 가스의 제거효율(DRE: decomposition rate efficiency)을 FT-IR을 이용 정량 분석에 의하여 측정하였다. 측정 조건은 연료인 CH₄의 부피유량 500, 700, 1,000sccm 조건에서 O₂를 화학양론비의 1.1, 1.3, 1.5배로 공급하여 PFC가스의 농도 5,000, 1,000ppm조건에서의 DRE를 측정하였으며 또한 도입되는 N₂ 가스의 변화에 따른 온도 변화 및 DRE를 측정하였다. 또한 반응 생성물의 분석을 위해서 Scrubber의 배기가스를 Quadrupole Mass Spectrometer를 이용하여 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

B-Type 열전쌍을 이용해 hybrid scrubber의 온도를 측정한 결과 N₂ 공급유속이 5slm, CH₄가 500 sccm 일 때 최저온도 1,300℃, N₂ 공급유속이 1slm, CH₄가 1,000sccm 일 때 최고온도 약 1,800℃ 이상의 온도를 얻었다. 측정된 온도는 단열을 가정한 최대불꽃온도와 비교할 경우 평균 49±8% 정도였다. CF₄의 열분해 실험 결과를 측정온도에 따른 DRE로 그림 1에 나타내었다. DRE 계산에는 검정된 FT-IR의 CF₄ 농도를 이용하여 측정한 결과 CF₄ 제거효율은 온도의 함수임을 알 수 있다. 분해반응의 시작은 최소 1,200℃의 고온이었으며 약 1,800℃ 이상의 온도에서 99% 제거효율을 보였다. 또한 예열 온도를 700℃와 800℃의 조건에서 DRE를 측정하였을 때 연료량이 적을 경우 예열의 영향이 컸으나 연료량이 충분할 경우 그 영향은 상대적으로 작음을 알 수 있었다.

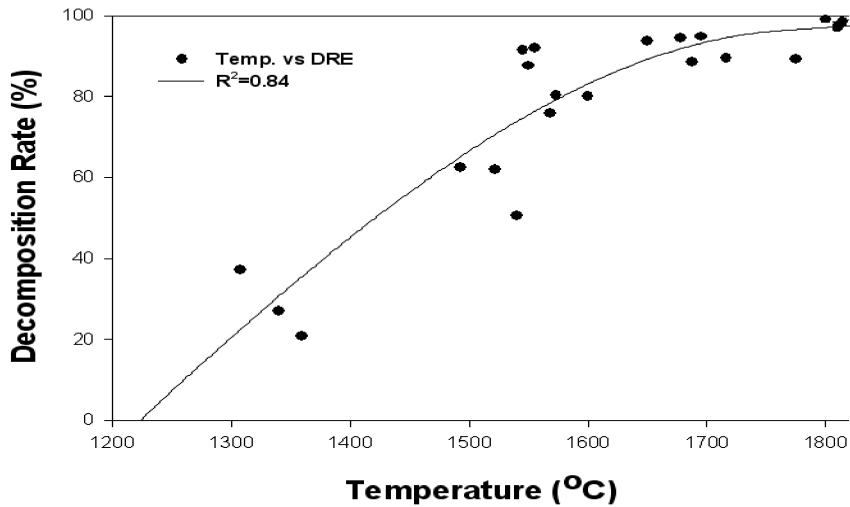


Fig. 1. The DRE of CF₄ at measured burn-chamber temperature.

희석가스인 N₂ 유입량이 증가할수록 N₂에 의한 열 흡수가 커져 반응온도가 하강, 제거 효율이 낮았다. CH₄ 완전 산화를 위한 양론비보다 10~50%까지의 잉여산소는 CF₄ 제거효율에 추세적인 영향을 주지는 않았다.

또한 H₂ 가스를 첨가함으로써 최종 생성물인 HF의 생성이 촉진되는 지 여부를 관찰하였으나 H₂ 첨가는 동일한 발열량을 갖는 연료의 첨가를 의미할 뿐, 화학적으로 CF₄분해를 촉진하지는 않았다.

SF₆의 경우도 제거효율은 반응온도에 직접 영향을 받았으며 CF₄보다 훨씬 낮은 온도인 1,300°C 미만에서 99% 이상이었다. 연료의 연소 없이도 800°C 예열 조건에서 66%까지 제거되며 10,000ppm까지의 실험결과 농도의 영향은 미미하였다. 반응 가스 내에 산소의 농도가 높아지면 SF₆의 DRE는 증가하는 경향을 보였으며 QMS를 이용해 반응 생성물을 조사한 결과 본 연구의 실험 조건에서 CF₄, SF₆의 분해 시 COF₂, SOF₂, SO₂F₂ 등과 같은 부산물은 검출되지 않았다.

참 고 문 헌

- 장현기 (2002) SF₆ 열분해 반응에서 H₂O의 영향과 촉매선정에 관한 연구, 숭실대학교 대학원 석사학위 논문.
- 조완선 (2001) 온도-압력 변화 흡착에 의한 SF₆/N₂ 혼합물의 분리 및 SF₆ 열분해 반응에 관한 연구, 숭실대학교 대학원 석사학위논문.
- David M. Himmelblau and James B. Riggs (2003) Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 7th Ed., Prentice Hall., 806 pp.
- Noel de Nevers (2000) Air pollution control engineering, 2nd Ed., McGraw-Hill., New York, 178 pp.
- Tsai, C.-H. and J.-M. Shao (2008) J. Hazard. Mater. internet edition.
- Tsai, W.-T. (2007) Journal of Fluorine Chemistry, 128, 1345-1352.