

질소로 과다 희석된 초과엔탈피 화염의 다공체 내

안정화 특성에 대한 실험적 연구

김승곤* · 이대근* · 노동순* · 고창복* · 정종국**

Experimental Investigation on the Stabilization Characteristics of the Excess Enthalpy Flame Highly diluted with N₂

Seung Gon Kim*, Dae Keun Lee*, Dong-Soon Noh*, Chang-Bog Ko*, Jung Jong Kuk**

ABSTRACT

Stabilization characteristics of highly N₂-diluted CH₄-O₂ flame in an axially two-section porous inert medium were experimentally investigated for its application to the waste gas scrubber in semiconductor manufacturing processes. The flame behaviors were observed with respect to the fuel and N₂ flow rates and the equivalence ratios. As a result, four kinds of flame behaviors such as stable, flashback crossing the interface, blowout and sudden extinction were observed.

Key Words : Combustion in porous inert medium, Flame stabilization, Two-section porous medium, Excess enthalpy combustion, Waste gas scrubber in semiconductor manufacturing processes

주요 에너지 다소비 산업 중 하나인 반도체 산업에는 제품의 생산 및 세정 공정에서 지구온난화를 유발하는 PFC(perfluorocarbon) 계열의 다양한 가스가 사용된다[1]. 공정 후 배출되는 이들의 폐가스는 N₂에 매우 낮은 농도로 섞여서 배출되는데, 그들의 처리 방법 중 하나가 LNG를 이용한 연소처리법이며 그 설비를 Burn & Wet 스크리버(이하 스크리버)라 한다.

종래의 스크리버에서 사용되는 연소기는 일반적인 노즐타입의 연소기가 대부분이다. 여러 종류의 PFC 처리 가스들 중 난분해성인 CF₄, SF₆ 등을 태워 분해하기 위해 일반적으로 고온의 순산소 화염을 사용하며 연소기의 안전을 위해 노즐에서 화염을 부상시키는 형태로 연소기를 고안한다. 이 때 제트 부상 화염은 처리가스의 유량이 증가함에 따라 처리 효율(destruction rate of efficiency, DRE) 감소 및 화염 날림과 같은 연소 불안정성을 유발시켜 시스템의 안정성을 위협하는 요인이 된다. 근래에는 반도체 및 디스플레이의 고집적화 및 대형화로 인해 단위 설비 당 폐가스의 배출량이 점차 증가하는 추세이며, 이를 안정적으로 처리함과 동시에 에너지 이용 효율 측면 및 점차 심화되는 환경물질 배출규제

(NO_x 총량제 등)에 효과적으로 대응할 수 있는 새로운 연소기술의 개발이 시급한 실정이다.

본 연구에서는 전자산업에서 배출되는 PFC계 폐가스의 처리에 적용하기 위한 초과엔탈피 연소[2] 중 하나인 다공체 연소(PMC) 기법을 고안하고, 처리 용량에 따른 화염 안정화 특성을 도출하기 위해 N₂로 과다 희석된 CH₄-O₂화염의 거동을 관찰하였다. 연료량과 당량비 및 N₂ 유량에 따라 화염 안정화 선도를 도출하였고 화염온도와 배기가스의 조성을 측정하였다.

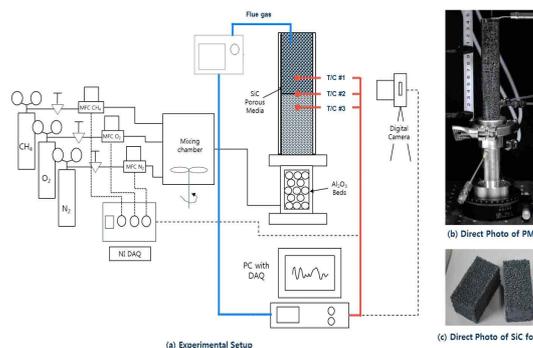


Fig. 1 Experimental setup (a) Experimental setup, (b) Direct photo of PMC, and (c) Direct photo of SiC form.

* 한국에너지기술연구원

** 글로벌스탠다드테크놀로지(주)

† 연락처, kimsg@kier.re.kr

Fig. 1은 실험장치 개략도이다. 기본 다공체는 발포 성형된 SiC Form 형태이나, 화염 안정성을 향상시키기 위해 서로 다른 기공률 및 기공 크기를 갖는 두 개의 SiC 폼을 축 방향으로 적층한 형태(two-section porous medium)의 다공체를 사용하였다[3-4]. 두 종류의 SiC form은 모두 외경이 27 mm이고 길이는 40 mm이다. 화염의 거동은 SiC foam의 적열 위치로부터 간접적으로 확인하였고, 디지털 카메라를 이용하여 10초 간격으로 180초 간 촬영하여 그 안정화 위치를 정량화 하였다. 연료와 산화제로는 CH₄(99.95%)와 순수 O₂(99.95%)를 사용하였으며 처리가스는 그것의 대부분을 차지하는 N₂로 모사하였다.

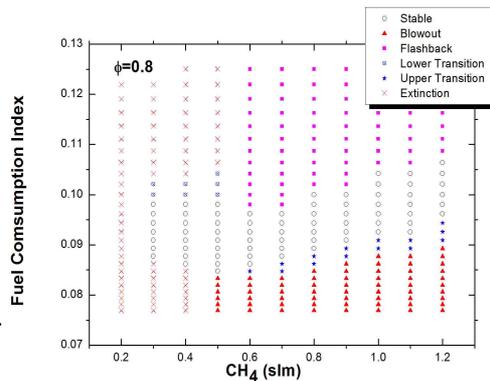


Fig. 2 Flame Stability map at $\phi=0.8$ with various FCI and CH₄ flowrate.

2단 SiC 다공체 연소기 내에서의 화염 안정화 특성은 Fig. 2와 같다. 연료 희박 조건인 당량비 0.8에 대해 연료량과 산화제(O₂) 및 N₂ 유량을 변화시키면서 화염의 거동을 관찰하였다. 본 연구에서는 FCI(Fuel Consumption Index)라는 지표를 도입하였고 이는 스크러빙의 처리용량을 의미하는 지표이다.

실험적으로 도출된 화염 안정화 선도를 통해 연료량과 FCI변화에 따라 크게 네 가지 화염거동이 관찰되었다. 첫 번째는 두 다공체의 경계에 화염이 안정화되는 화염 안정(stable) 영역이며, 두 번째는 경계를 가로질러 상류로 전파하는 역화 (flashback) 영역, 세 번째는 하류로 서서히 전파하는 blowout 영역, 그리고 마지막은 화염의 순간적인 소화(extinction) 영역이다.

안정화선도에 도시된 바와 같이 연료 유량이 충분할 경우에는 N₂ 유량이 증가하거나 감소할 때 각각 blowout 또는 flashback이 발생하지만, 충분치 못할 경우 N₂ 유량의 증감에 관계없이 공통적으로 화염 소화가 발생하였다.

당량비 0.8에서 관찰되는 Stable 영역은 FCI 최소 0.0847, 최대 0.106이었다. 한편, CH₄량 변화에 대해서 모든 경우 안정조건이 관찰되는 FCI는 0.096였으며 기존의 제트화염 처리방법의

경우 FCI는 약 0.25였다. 본 연구에서 사용된 2-section PMC 연소방법은 기존 제트화염 처리 방법보다 세배 이상의 FCI에서 화염안정이 이루어짐을 확인하였고 이는 기존 처리방법보다 약 3배정도 연료를 절약할 수 있다는 결론을 유추할 수 있다.

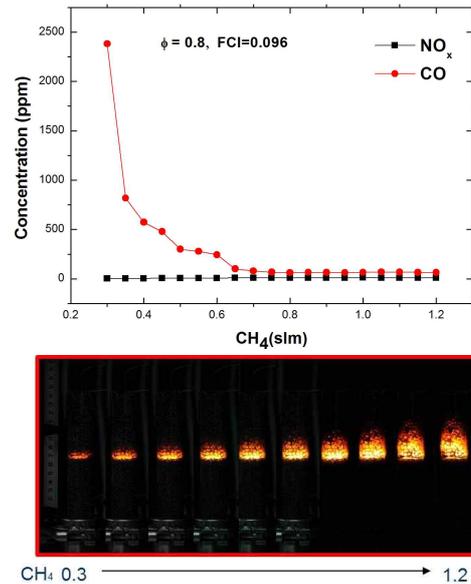


Fig. 3 Stable 영역에서 CH₄량 변화에 따른 CO, NO_x 변화(at $\phi=0.8$, FCI=0.096)

Fig.3은 안정(Stable)영역에서 CH₄량 변화에 따라 CO, NO_x 배출 특성을 보여준다. 모든 경우 NO_x의 배출량은 10ppm 이하로 매우 낮은 경향을 보이며 CH₄량이 감소할수록 CO 배출량이 급격히 증가함을 확인할 수 있었다. CH₄량이 0.3미만에서는 화염의 소화가 발생하였다.

후 기

본연구는 환경부 글로벌탑 환경기술개발사업 중 Non-CO₂ 온실가스 저감기술개발 사업에서 지원받았습니다.

참고 문헌

- [1] M. B. Chang and J. S. Chang, Ind. Eng. Chem. Res. 45 (2006) 4101
- [2] Weinberg, F. J., Combust. Sci. Technol., 121(1996) 3 - 22.
- [3] P.-F. Hsu, W.D. Evans, J.R. Howell, Combust. Sci. Tech. 90 (1993) 149-172.
- [4] B.J. Vogel, J.L. Ellzey, Combust. Sci. Tech. 177 (2005), 1323-1338.