

채널 내부 대향류 산소부화 부분에혼합 화염의 저신장을 소화특성

이민정* · 김남일**†

Low Strain Rate Flame Extinction Characteristic of Oxygen Enhanced Opposed Flow Partially Premixed Flame in a Mesoscale Channel

Min Jung Lee*, Nam Il Kim**†

ABSTRACT

The opposed flow flame in a mesoscale channel was constructed to observe the flame stabilization behaviors at low strain rate conditions ($<10 \text{ s}^{-1}$). The purpose of this study is to get the overall flame behaviors of partially premixed flames with oxygen enhanced conditions at low strain rates. The oxygen ratio in oxidizer was changed from 18 to 30 %. Conclusively, the flame extinction limit approached to about 1 s^{-1} , and divided into three representative regimes corresponding to self propagating flame, transitional flame, quenching flame regimes.

Key Words : Mesoscale channel, Diffusion flame quenching, Oxygen enhanced flame, Low strain rate

좁은 연소 공간 내부에서의 화염 거동에 관한 연구는 소형 연소기 개발의 화염 안정화 측면에서 매우 중요하게 다루어져 왔다. 하지만 최근의 연구 동향을 살펴보면, 소염 거리와 유사한 크기의 연소 공간 내부에서 발생하는 다양한 현상들을 층류 화염 이론의 중요한 분야로 인식하여, 직접적으로 화염과 연소기의 상호작용을 이용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 대표적인 예로 Maruta[1] 등은 좁은 튜브와 외부 열원을 이용하여, 다양한 연료에 대한 화염거동 특성과 저온 영역에서의 상세 화학 반응 메커니즘을 보고하고 있으며, 관련연구가 활발히 진행되고 있다.

최근 본 연구 그룹에서는 좁은 채널 내부에 대향류 버너를 삽입하여, 확산화염 및 부분에혼합 화염 조건에서의 화염 거동을 실험적으로 살펴보고, 이론적인 모델을 제시하였다[2-3]. 특히 지면과 수평으로 설치된 좁은 채널 내부의 화염은 부력을 영향을 상대적으로 적게 받음을 알 수 있었으며, 저신장을 ($\sim 3 \text{ s}^{-1}$) 조건에서의 화염거동이 미소 중력 조건에서의 실험 결과와 유사함을 보고한 바 있다. 하지만 기존 연구에서는 비에혼합화염과 부분에혼합화염 조건만 수행되었으

며, 부분에혼합화염에서부터 에혼합화염의 천이 영역에 대한 연구가 부족하였다. 따라서 본 연구에서는 산화제의 산소 비율을 조절하여 산소부화 조건에서의 화염 거동을 살펴보고, 기존 이론 모델에 대한 타당성을 검증하고자 한다.

본 실험에 사용된 연소기를 그림 1에 나타내었다. 기존 실험에서 사용된 연소기[2]와 동일하

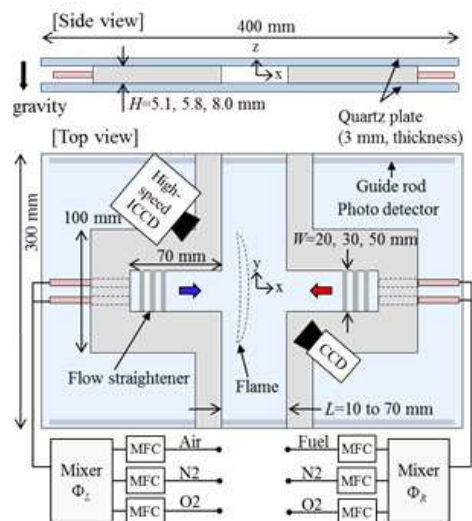


Fig. 1 Schematic diagram of counterflow burner and flow systems.

* 한국과학기술원 기계기술연구소

** 한국과학기술원 기계공학부

† 연락처, nikim@kaist.ac.kr

TEL : (042)350-3211 FAX : (042)350-3251

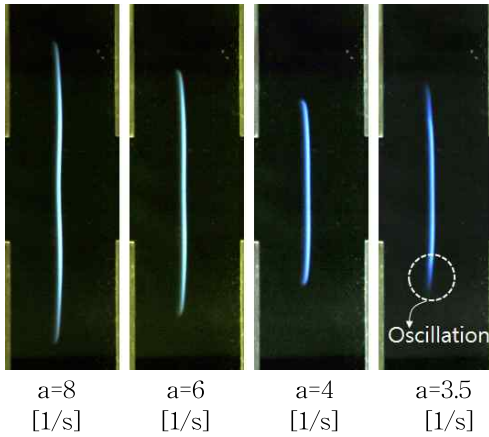


Fig. 2 Flame extinction process at low strain rate conditions.

지만, 질소와 산소를 개별적으로 제어하여 산화제의 산소비를 조절하기 위하여 추가적인 MFC (Mass Flow Controller)를 설치하였다. 사용연료는 메탄(purity>99.995%)이며, 공기는 건조기를 통과한 압축공기를 사용하였다. 이미지 측정은 C CD 카메라를 이용하였으며, 경우에 따라 이미지 증폭 카메라(ICCD)를 이용하여 화염 꺼짐 직전의 화염 거동을 획득하였다. 그림 1에서 연소기의 왼쪽에서는 산화제가 투입되며, 오른쪽에서는 혼합조건에 따라 연료 및 연료와 산화제의 혼합기가 투입된다. 실험을 위해 속도를 기준으로 한 신장율, 산화제 중의 산소 농도, 오른쪽에 투입되는 혼합기의 연료공기 혼합비율을 실험 변수로 설정하였다. 여기서 산소비는 다음과 같이 정의된다.

$$R_{Ox} = \frac{Q_{O_2, Ox}}{Q_{O_2, Ox} + Q_{N_2, Ox}} \quad (1)$$

산화제를 공기로 사용할 경우 $R_{Ox}=0.21$ 의 값을 가지게 되며, 본 연구에서는 0.18~0.3의 범위에서 실험을 수행하였다. 혼합기의 혼합비율은 당량비를 정규화하여 다음과 같이 정의하였다.

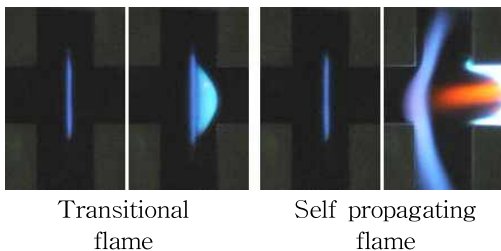


Fig. 3 Behaviors for transitional and self propagating flames.

$$\Phi = \frac{2\phi}{\phi + 1} \quad (2)$$

따라서, 식(2)의 값은 당량비의 변화에 따라 0에서부터 최대 2를 가지게 되며, 본 연구에서는 과농예혼합화염 조건 ($\Phi > 1$)에서 연구가 수행되었다.

그림 2는 전반적인 화염 거동을 나타낸다. 신장율의 감소에 따라 화염의 길이가 점차 감소하면서 화염 꺼짐이 발생하며, 화염 꺼짐이 발생하기 직전 화염진동을 동반하는 현상이 관찰되었다. 산소비의 증감에 따라 전반적인 거동은 유사하였으나 산소비의 증가에 따라 화염꺼짐 신장율 조건이 점차 감소하였으며, 본 연구에서는 $R_{Ox}=0.3$ 인 경우 1 s^{-1} 의 매우 낮은 신장율 조건까지 화염이 안정화 되었다. 이는 산소부화에 따른 단열화염 온도 상승효과에 의한 것으로 기존의 연구를 통해 제시된 소염 이론 모델[2]과도 잘 일치할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 그림 3에 나타난 바와 같이 혼합비의 감소에 따라 특정조건에서 화염의 역화가 발생하는데, 화염 역화 직후 화염이 소멸되는 점이 조건에의 역화와 입구 영역 내부까지 전파하는 전형적인 역화화염으로 구분할 수 있었다.

본 연구를 통해 산소부화 조건에서의 대항류 부분예혼합화염의 거동 특성을 살펴보았다. 또한 저신장율 조건에서의 화염관찰이 용이한 본 실험장치를 통해 향후 다양한 조건에서의 화염 거동뿐만 아니라 메소스케일 연소분야에서의 기초적인 연소기로의 활용가능성을 확인할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2013R1A2A2A01015816).

참고 문헌

[1] K. Maruta, "Micro and mesoscale combustion", Proc. Combust. Inst., Vol. 33, 2011, pp. 125-150.
 [2] M. J. Lee, N. I. Kim, "Flame structures and behaviors of opposed flow non-premixed flames in mesoscale channels", Combust. Flame, Vol. 161(3), 2014, pp. 2361-2370.
 [3] M. J. Lee, M. S. Cho, N. I. Kim, "Characteristics of opposed flow partially premixed flames in mesoscale channels at low strain rates", Proc. Combust. Inst., Vol. 35, 2014, in press.