

가연한계 영역에서의 에지 화염 구조 및 고찰

이민정* · 정용진* · 김남일**†

Discussion of the edge flame structure at the near flammability limits

Min Jung Lee*, Yongjin Jung*, Nam Il Kim**†

ABSTRACT

In this study, the structure of a edge flame near the flammability limits was explored through several paths approaching the combustion limits of a non-premixed flame: i.e., increase of fuel dilution ratio (FDR), reduction of mean flow velocity and variation of gravity effect. As a result, a unique interesting flame structure was discovered; i.e., a diffusion flame branch was enclosed by two asymmetric premixed flame branches. These structures have been compared for various fuels. Conclusively, each fuel has different flame structure and the meaning of this structure was discussed concerned about our understanding of laminar flame structures.

Key Words : Mesoscale combustion, Mixing layer burner, Edge flame, Flammability limit, Flame seed

1. Introduction

가연한계 영역에서의 화염 거동에 관한 고찰은 화염의 소멸 과정에 대한 이해를 통해 화염의 근원적인 특성을 파악할 수 있다는 점에서 매우 중요하다. 화염은 점화에서부터 안정화, 소멸 및 소멸까지 일련의 과정을 겪을 수 있으며, 층류 및 난류 화염에서의 각 영역에 대한 경계에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 일반적으로 화염의 점화에 관한 연구에서는 초기 조건이 화염 전파 및 안정화에 미치는 영향들이 주요 관심 대상이었으며, 화염 안정화에서는 유동과 화염간의 상호 작용에 의한 유체역학적 안정화 및 이를 고란하는 불안정성에 관한 연구가 집중되었다. 한편, 화염의 소멸은 화학반응을 통해 발생된 발열량이 화염에서 부터의 열손실 크기가 동일하게 될 경우 발생하는데, 주로 비 단열 조건에서 대류의 속도가 낮은 영역에서 발생한다. 여기서 열손실 기구로는 전도 및 대류, 복사를 고려할 수 있다.

최근에는 좁은 연소 공간 내부에서의 화염 거

동 특성에 대한 이해를 통해 층류 화염이론을 적용하거나, 화학반응의 상세 메커니즘에 관한 검증기구로써 메소 스케일 연소 분야가 활발히 연구되고 있다. 대표적으로 특성 길이 스케일의 감소를 통해 부력을 억제하여 저신장을 조건에서 화염의 거동을 관찰한 연구, 좁은 튜브를 이용하여 유동형태를 단순화 시켜 저온 영역에서의 연료별 반응특성을 연구한 바 있다 [1-3]. 메소스케일 연소현상은 층류 화염과 이를 지배하는 길이스케일에 대한 이해를 통해 기존 층류 화염 이론에서 제시되고 있는 길이 스케일과의 상관관계를 도출하여 연소이론을 발전시키고자 하는데 궁극적인 목표를 두고 있다. 따라서 본 연구에서는 좁은 채널을 이용하여 연료-산화제 혼합경계층을 형성하고, 연료의 희석비율을 증가시켜 가연한계 근처의 영역에서 안정화된 에지 화염의 구조를 관찰하고, 물리적 의미를 고찰하고자 한다.

2. Experimental set-up

본 연구에 사용된 메소 스케일 혼합층 연소기를 그림 1에 나타내었다. 투명한 석영관을 이용하여 좁은 채널 (8 mm)을 구성하였고, 내부에 마주보는 노즐이 삽입된 형태이다. 연소기 상류 측 좌, 우에서 각각 희박 예혼합기와 과농 예혼

* 한국과학기술원 기계기술연구소

** 한국과학기술원 기계공학과

† 연락처, nikim@kaist.ac.kr

TEL : (042)350-3251

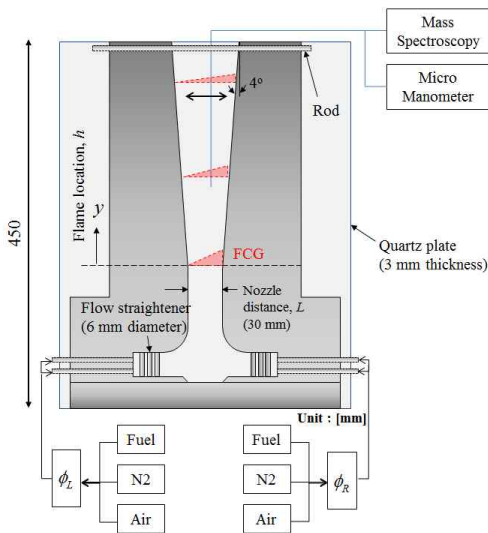


Fig. 1 Experimental setup [4].

합기가 투입되며, 이후 혼합층을 형성하게 된다. 따라서 실험영역의 시작지점을 그림 1에 좌표로 나타내었다. 연소기 내부에서의 연료 농도 분포를 직접 측정하였으며, 기존 경계층 이론으로 설명되는 선형적인 농도 구배를 가진다는 점을 알 수 있었다. 좌, 우에 투입되는 혼합기의 농도 차이를 주요 변수로 설정하였으며, 농도 차이가 클수록 농도 구배는 증가하게 된다. 외부에서 점화된 에지 화염은 유동 속도와 균형을 이루는 지점에서 안정화되며, 연료희석비율을 점차 증가시켜 가연한계 조건으로 이동하게 된다. 연료희석비율을 증가시키게 되면, 에지 화염의 전파속도 감소로 인해 화염은 유동 하류로 이동하게 되어, 일정 높이에 화염을 안정화시키기 위해서는 유동 속도를 감소 시켜야 한다. 따라서 동일한 높이에서의 안정화된 화염을 대상으로 가연한계 영역 근처에서의 화염 구조를 살펴보고자 하였다.

3. Results and Discussions

좁은 채널 내부에서 형성된 화염의 일반적인 가연한계 특성을 그림 2에 나타내었다. 그림과 같이 상대적인 크기는 다르지만, 일반적으로 희박, 과농 및 질소 희석의 세 개의 가연한계를 가지게 된다. 또한 기존에 알려진 표준방법으로 측정된 연료의 가연한계 (점선)에 비해 좁은 채널 내부에서의 가연한계는 감소된다. 또한 연료희석 비율 (FDR)이 증가함에 따라 가연한계영역은 감소되며, 이론 당량비 조건에서 최대값을 가지게 된다. 본 실험은 최대 연료희석비율의 약 90%에 해당하는 조건에서 수행되었으며, 이러한 조건에서 에지 화염 구조를 살펴보고, 이미지 프로세싱을 통해 연료별 화염 구조에 대한 민감도 분석 및 자발광 측정을 통한 화학적 특성에 관한 고찰이 수행되었다.

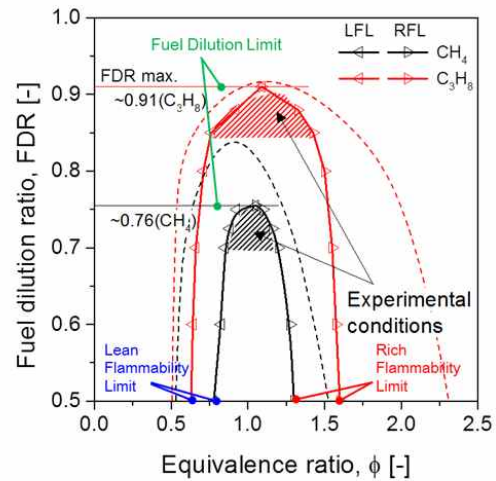


Fig. 2 Flammability limits in a mesoscale channel

결과적으로 확산화염이 예혼합화염으로 둘러싸인 형태의 독특한 화염 구조를 관찰 할 수 있었으며, 연료에 따라 서로 다른 구조 및 화학발광 특성을 가진다는 것을 알 수 있었다. 또한 단면 형태의 구조가 희박, 과농 예혼합화염 영역에서 비대칭적으로 존재하였으며, 이에 대한 원인을 고찰하고자 한다. 또한 화염 후단에는 고온, 희석 조건의 MILD 연소조건과 유사한 특성을 가진다는 것을 알 수 있었다.

후 기

이 논문은 2014년도 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2013R1A2A2A01015816)

참고 문헌

- [1] M. J. Lee, N. I. Kim, "Flame structures and behaviors of opposed flow non-premixed flames in mesoscale channels." *Combust. Flame* 161, 2361-2370 (2014).
- [2] 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.* 35, 3439-3446 (2015).
- [3] K. Maruta, "Micro and mesoscale combustion." *Proc. Combust. Inst.* 33, 125-150 (2011).
- [4] 이민정, 정용진, 김남일, "혼합 경계층 연소기를 이용한 가연한계 영역에서의 부분 예혼합 화염 구조에 관한 실험적 연구." 제 50회 KOSCO SYMPOSIUM 초록집 229-230 (2015)