

## 길이 스케일이 관여된 층류 화염의 연소 속도 이해

정용진\* · 최용운\* · 김남일\*†

### Understanding of Laminar Burning Velocity within a Length Scale Domain

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

#### ABSTRACT

Laminar burning velocities have been predicted by constant volume combustion chamber, counter flow burner and others. In this study, the measured flame propagation velocities in an assembled annular stepwise diverging tube were plotted with respect to equivalence ratio, length scale, and velocity scale. Three dimensional approach to understand the flame propagation velocity including laminar burning velocity is investigated, and the surface provides the correlation among quenching distance, propagation velocity, and equivalence ratio.

**Key Words** : Laminar burning velocity, Meso-scale combustor, Quenching distance, Assembled annular stepwise diverging tube

층류 예혼합 화염의 연소 속도는 연소 현상을 이해하는 기본적인 물리량으로 오랫동안 실험적으로 측정되어 왔으며, 상세 화학반응의 발전과 더불어 검증 및 예측되어지고 있다. 층류 예혼합 화염의 연소 속도 측정은 신장(stretch)을 받지 않는 1차원 평면(planar)의 이상적인 화염을 그 측정 대상으로 하고 있으나, 이러한 화염은 실제로 존재하기 어렵다. 따라서 신장을 신장율(stretch rate)로 정량화하여 측정 가능한 범위의 신장율을 바탕으로 신장율 0인 지점을 외삽(extrapolation)법을 통하여 연소 속도를 예측한다. 화염의 신장은 미연 혼합기(unburned mixture)의 유동 속도에 대한 일정한 연소 속도를 가진 화염의 상호 작용으로 인한 전파 속도 변화의 이해를 도우며, 화염의 전파 속도 적응을 위한 열 및 물질 전달의 비에 따른 화염의 구조(예: cellular structure)를 설명케 한다. 이러한 신장의 개념 이해는 연소 속도에도 크게 영향을 끼쳤으며, 참고 문헌 [1]에 잘 나타나 있다.

지금까지의 연소 속도는 정해진 연료에서 당량비에 따라 측정되어 왔다. 하지만 본 연구에 사용된 연소기는 연소 속도 측정과 더불어 그와 관련된 길이 스케일을 동시에 측정하므로, 연소 속도를 길이 스케일과 관련지어 설명하고자 한

다.

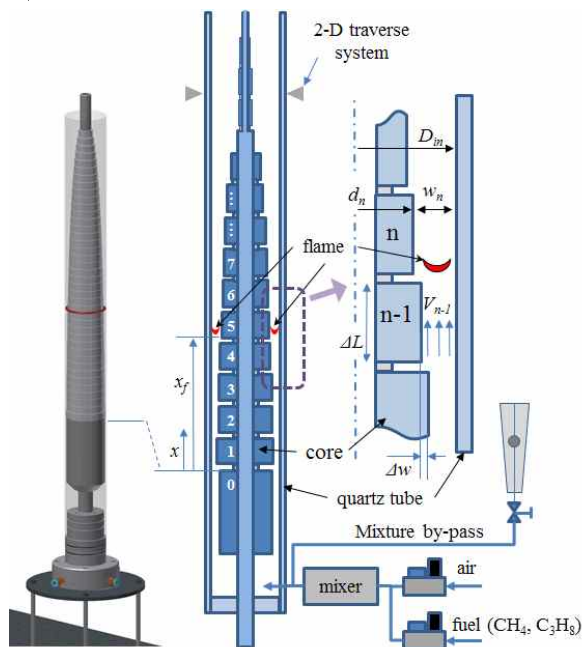


Fig. 60 Rendering image of an assembled annular stepwise diverging tube (a) and a schematic of experimental setup (b).

메탄과 프로판 공기 예혼합 화염의 연소 속도를 측정하기 위한 환형 다단 확장관 연소기의 실제 사진을 Fig. 1a에, 그리고 그 개략도를 Fig. 1b에 나타내었다.

\* 한국과학기술원 기계공학과

† 연락처, nikim@kaist.ac.kr

TEL: (042) 350-3211

스텝 코어(step core)라 불리는 두께 9.7 mm를

영역에서 메탄-공기 화염의 전파 속도 및 연소

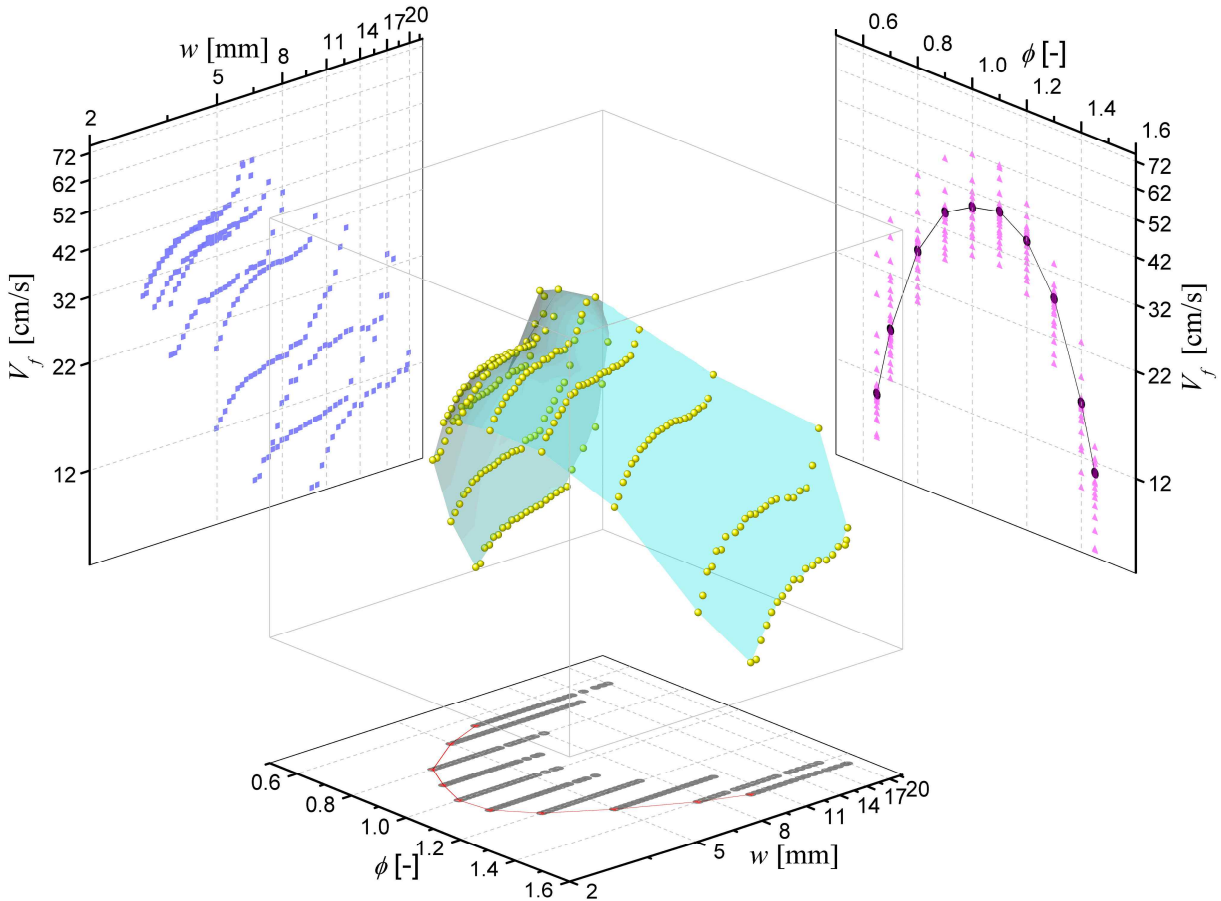


Fig. 61 Laminar burning velocity of methane-air flames related to length scale in a three-dimensional *Length - Equivalence ratio - Velocity* domain.

가지는 스테인리스 재질의 환형들은 하부의 내경 15 mm와 상부의 내경 5 mm 기둥에 동축으로 끼워져 있다.

코어와 코어 사이의 접촉면적을 줄일 수 있는 금속 링을 두어 화염으로부터의 열전달을 억제하여 화염 전파 속도에 미치는 영향을 최소화하였다 [2]. 내경 55 mm의 투명 퀴즈(quartz)관은 앞서 얘기한 코어들을 둘러싸며 설치되어 있으며, 코어의 외경은 하부로 갈수록 증가하여 각 코어 바깥쪽과 퀴즈관 내부가 이루는 면적 및 간격은 아래로 갈수록 줄어든다. 또한 하부에서 상부로 혼합기의 유동이 있는 가운데, 평균 유속은 상부로 갈수록 작아지게 된다. 상부에서 점화된 화염은 하부로 전파하며 자신의 전파 속도와 평균 유속이 같아지는 곳에서 상대 속도가 0이 되며 관측자의 입장에서 멈추어 있는 것으로 보인다. 이 때 화염의 전파속도는 전체유량의 환산으로 간단히 구할 수 있다. 실험 장치 및 방법의 상세한 기술은 문헌 [2]에 나와 있다.

Fig. 2는 길이-당량비-속도의 3개 축을 갖는

속도에 해당하는 임계 전파 속도를 보여주고 있다. 지금까지 정사영 평면 그래프의 개별 해석은 길이-당량비-속도의 3축에서 연관되어 해석되어야 함을 알 수 있다.

### 후 기

본 연구는 한국 연구 재단 (NRF - 2013R1A2A2A01015816) 및 BK21 Plus 사업의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고 문헌

[1] Law, C.K., Combustion at a crossroads: Status and prospects. Proceedings of the Combustion Institute, 2007. 31(1): pp. 1-29.  
 [2] Liu, Z. and N.I. Kim, An assembled annular stepwise diverging tube for the measurement of laminar burning velocity and quenching distance. Combustion and Flame, 2014. 161(6): pp. 1499-1506.