

화염 발광 가시화를 이용한 성층화된 동축류 화염 특성 분석

안태국* · 남연우** · 이원남*

Analysis of Stratified Co-Flow Flames from Chemiluminescence Images

Taekook Ahn*, Younwoo Nam**, Wonnam Lee*

ABSTRACT

The characteristics of stratified co-flow flames have been investigated from the flame chemiluminescence images. The fuel lean premixed flame could be stabilized with a fuel rich premixed flames that is generated with the supply of fuel through the inner nozzle. The penetration of outer region lean premixture into the fuel stream produced a lifted rich premixed flame at the center. Chemiluminescence images of OH, CH, and C₂ radicals indicated that the way of stratification of fuel/air mixture under various operating conditions.

Key Words : Stratified co-flow flame, Flame chemiluminescence, Lifted premixed flame.

연료를 다단으로 공급하여 당량비를 성층화하면 회박 예혼합 화염의 날림을 억제할 수 있다. 안태국 등(1)은 이중 동축류 버너에서 내부와 외부에 공급되는 연료 또는 연료/공기 혼합기의 당량비를 조절하여 회박 예혼합 화염의 날림이 억제되는 것을 보여주었다. 화염의 내부에 연료만을 공급하면 확산화염이 형성되어 외부의 회박 예혼합 화염의 날림을 방지하였다. 이 때 내부로 공급되는 연료의 유량이 증가하면 확산화염은 더 이상 노즐에 부착되지 못하고 날아가게 된다. 그러나 내부 노즐로 공급되는 연료의 유량이 일정 범위에 있는 경우에는 내부 화염은 날아가지 않고 노즐 부근에서 유입되는 공기와 혼합된 후 부상 과농 예혼합 화염이 생성되어 외부의 회박 예혼합 화염을 안정시키는 성층화된 동축류 화염을 형성하는 것이 관찰 되었다. 따라서 본 연구에서는 화염의 OH, CH 및 C₂의 자발광 분포를 가시화하여 성층화된 동축류 화염이 안정화되는 특성을 알아보았다.

실험은 이중 동축류 버너를 사용하여 성층화된 동축류 예혼합 화염을 형성하고 화염의 자발광을 가시화하는 방법으로 수행되었다. 이중 동축류 버너의 구조는 안태국 등(1)에 자세히 설명되어 있다. 사용된 연료는 LPG이며 연료의 구성은 체

적비로 프로판이 92% 이상이고 나머지의 대부분은 부탄으로 이루어져 있다. 성층화된 동축류 화염은 내부 노즐로 연료만을 공급하고 외부 노즐로는 공기/LPG 예혼합기를 공급하여 형성하였다. 화염의 자발광은 FWHM 10 nm인 OH(308 nm), CH(430 nm)와 C₂(515 nm) narrow pass filter를 사용하고 ICCD 카메라(La Vision nano star)를 이용하여 가시화하였다. 실험은 내부 연료의 유량을 변화시키거나 또는 외부 예혼합기의 당량비와 유량을 변화시키면서 수행되었다.

Figure. 1은 전형적인 성층화된 동축류 화염의 형상과 예상되는 국부 당량비의 개념도를 보여주고 있다. 화염이 노즐에서 분리되어 부상되어 있으며 화염의 상부에는 난류 회박 예혼합 화염이 형성되어 있는 것을 알 수 있다. Fig. 2는 내부 노즐에 부착된 확산화염이 존재하는 경우와 연료 유량 증가에 따른 부상된 과농 예혼합 화염이 형성된 경우를 비교하고 있다. 일반적으로 C₂ 자발광은 과농 예혼합 화염에서, CH 자발광은 stoichiometric 화염에서, 그리고 OH 자발광은 회박 예혼합 화염에서 가장 강하게 나타난다고 알려져 있다(2,3). Fig. 2에서 확산화염에 의해 안정된 화염은 확산화염 지역을 제외하면 모든 영역에서 회박 예혼합 화염만 존재하는 것을 알 수 있다. 반면에 부상 화염 조건에서는 화염 하단의 과농 예혼합 화염이 stoichiometric 화염을 거쳐 회박 예혼합 화염으로 점차 변해가는 것을 볼 수 있다.

* 단국대학교 기계공학과

** 한국전급

† 연락처: wlee@dku.edu

Tel : (031)8005-3503 Fax : (031)8005-4003

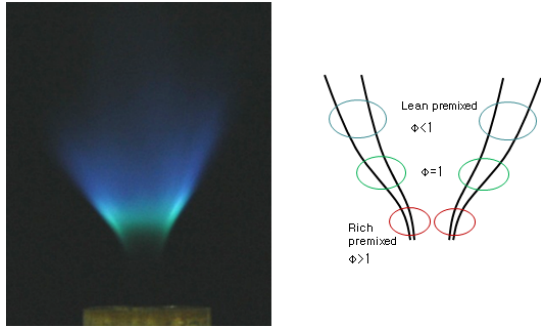


Fig. 1 Typical stratified co-flow flame and the concept of flame structure.

Figure 3은 내부 노즐의 연료 유량을 일정하게 유지하면서 외부 노즐로 공급되는 희박 예혼합 화염의 당량비를 변화시킨 결과를 보여준다. 부상된 화염의 경우 내부 노즐로 공급되는 연료는 외부 노즐로 공급되는 예혼합기와 혼합되어 가연 혼합기가 만들어진다. 따라서 외부 혼합기가 희박해 지면 과농 예혼합 화염이 더 빠르게 생성되어 화염의 높이가 낮아지는 것을 알 수 있다. 이 결과로부터 화염의 높이에 따른 자발광의 세기를 분석하여 Fig. 4에 나타내었다. 외부 노즐로 공급되는 희박 예혼합기의 당량비가 감소하면 내부의 과농 예혼합 화염의 형성이 빨라지고 이에 따라 전체 화염의 길이도 감소하며 희박 예혼합 화염 또한 빠르게 생성되는 것을 알 수 있다. 따라서 내부에 형성되는 부상된 과농 예혼합 화염은 내부 노즐로 공급되는 연료와 외부 노즐로 공급되는 예혼합기가 노즐 출구와 화염의 위치 사이에서 혼합되어 형성되는 것임을 확인할 수 있었다.

화염에 존재하는 라디칼의 자발광 가시화를 이용한 성층화된 동축류 화염의 실험으로부터 다음

을 알 수 있었다. 외부에 형성된 희박 예혼합 화염은 내부에 생성된 부상 과농 예혼합 화염에 의해 날림이 억제될 수 있다. 내부의 과농 예혼합 화염은 공급되는 연료가 노즐 출구와 화염의 위치 사이에서 희박 예혼합기와 혼합되어 형성된다. 외부 노즐의 희박 예혼합기 조건에 따라 내부 노즐로 공급되는 연료를 조절하면 성층화된 동축류 화염으로 최적의 안정된 화염을 얻을 수 있다.

후 기

본 연구는 (사)한국전급에서 지원하는 연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 안태국, 남연우, 이원남, “유동속도 성층화와 동축류 희박 예혼합화염의 날림 특성,” 제 43회 KOSCO Symposium 논문집, 2011, pp. 347-352.
- [2] M. M Tripathi et al., “Chemiluminescence-based multivariate sensing of local equivalence ratios in premixed atmospheric methane-air flames,” Fuel 93, 2012, pp. 684-691.
- [3] M. Orain and Y. Hardalupas, “Effect of fuel type on equivalence ratio measurements using chemiluminescence in premixed flames,” C. R. Mecanique 338, 2010, pp. 241-254.

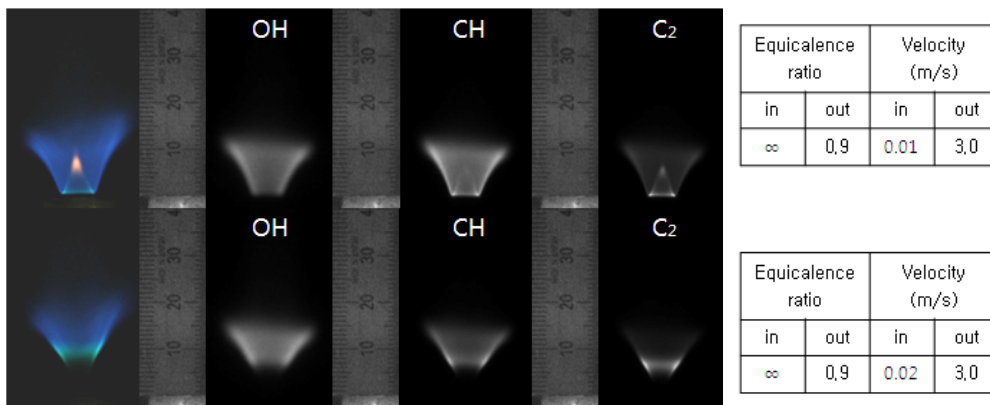


Fig. 2 Chemiluminescence images of an attached diffusion flame and a lifted rich premixed flame.

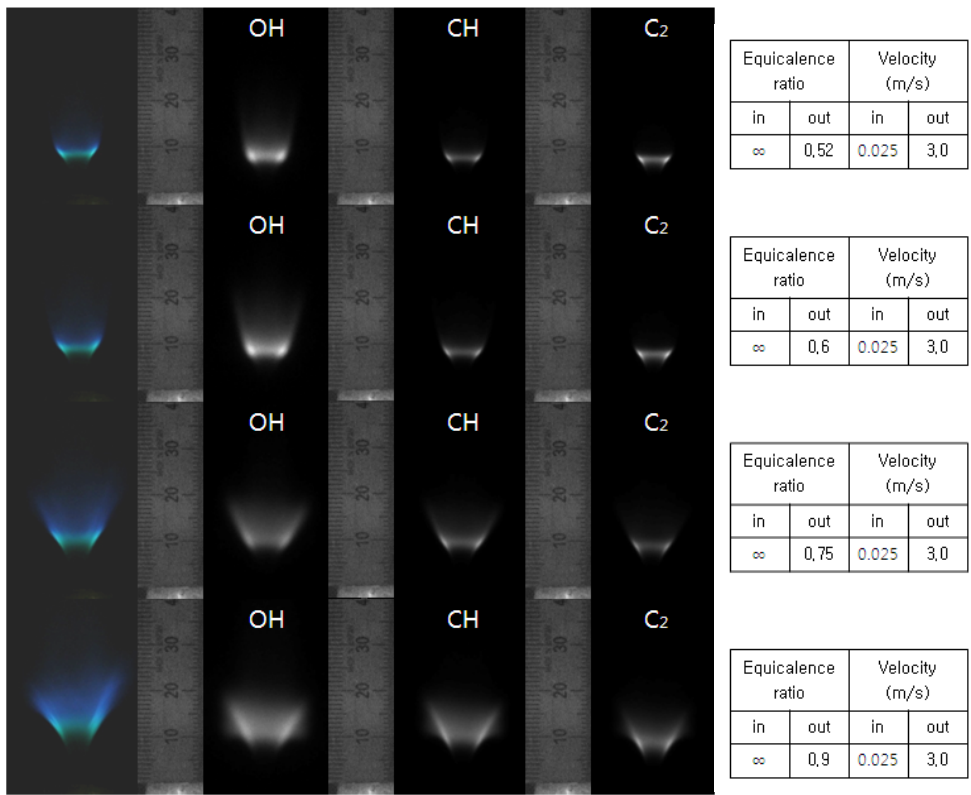


Fig. 3 Chemiluminescence images of selected co-flow flames.

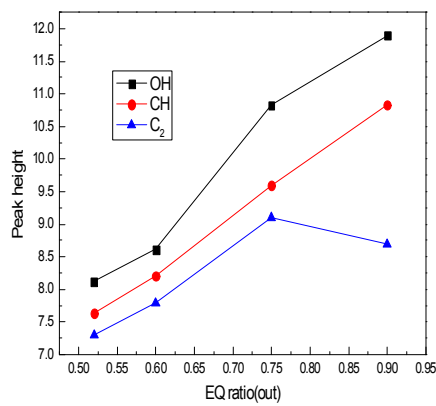


Fig. 4 The effect of equivalence ratio of outer lean premixed flames.