

# 국소 슈미트수가 부상화염 및 화염전파속도에

## 미치는 영향에 관한 연구

전민규\* · 이민정\*\* · 정용진\*\* · 김남일\*†

### The Study on Effect of Local Schmidt Number on Lifted Flame and Its Propagation Velocity

Minkyu Jeon\*, Min Jung Lee\*, Nam Il Kim\*†

#### ABSTRACT

Lifted flame stabilization mechanism can be explained with constant Schmidt number from the equation of  $H_L^*/d_o^2 = const \times v_e^{(2Sc-1)/(Sc-1)}$ . In this research, a method of local Schmidt number was applied in order to measure edge flame propagation velocities, and edge flame propagation velocity was calculated from the trend between lift-off height and nozzle flow rate.

**Key Words** : Laminar jet lifted flame, Local Schmidt number, Edge flame propagation velocity

부상화염의 안정화 메커니즘은 그의 해석해와 슈미트수로 설명되어 왔다. 슈미트수는 동적 점성도와 확산계수의 비로 정의된다. 선행연구에 따르면, 프로판 연료의 슈미트수( $Sc$ )는 1.376으로, 부상화염의 높이는 노즐의 유속에 따라 안정화되어 증가하며, 반면  $0.5 < Sc < 1$ 의 범위에서는 부상화염의 높이가 연료유량의 증가에 따라 감소한다고 보고되었다[1]. 이러한 부상화염의 안정화 메커니즘은 과거, 연료의 슈미트수로 설명되어져 왔다. 하지만, 화염의 전파속도가 일정하다는 가정에서, 예전 연구에서는 에지화염의 전파 속도를 측정하기 어려웠다. 본 연구에서는, 에지 화염의 전파속도를 부상높이로부터 직접 측정하기 위해 국소 슈미트수를 이용한 방법을 제시한다.

부상화염의 안정화 메커니즘은 연료의 슈미트수에 의해 결정된다. 만약, 모멘텀과 농도간의 유사성이 만족된다면, 부상화염은 슈미트수  $Sc > 1$  또는  $Sc < 0.5$ 에서 안정화되며, 반면  $0.5 < Sc < 1$ 에서는 화염이 불안정하다[1]. 이를테면, 프로판 연료의 슈미트수는 1.37 이므로 부상화염이 안정화되고, 메탄 연료의 경우, 그의 부상화염은 갑자기 꺼지는 현상이 나타나며, 이는 메탄의 슈미트 수가 0.5에서 1사이인 0.704이

기 때문에 설명될 수 있다. 여기서 부상화염 높이는 노즐 직경, 연료의 유속, 그리고 슈미트수의 함수로 다음과 같이 정의된다.

$$H_L^*/d_o^2 = const \times v_e^{(2Sc-1)/(Sc-1)} \quad (1)$$

여기서, 안정화 지점( $r^*, H_L^*$ )에서의 축방향 유속을 에지화염의 전파속도  $S_{edge}$ 로 간주하면, 다음과 같다.

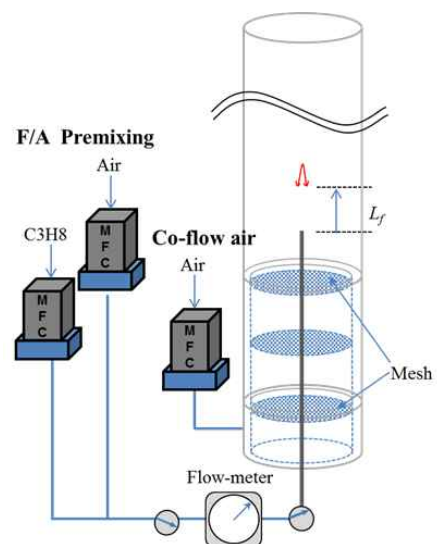


Fig. 1. Experimental Set-up

\* 한국과학기술원 기계공학과

\*\* 한국과학기술원 기계기술연구원

† 연락처자, nikim@kaist.ac.kr

TEL : (042)350-3211

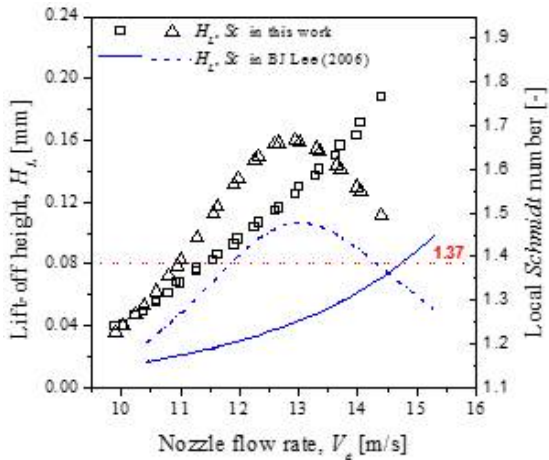


Fig. 2 Lift-off height (left-side y-axis) and local Schmidt number (right-side y-axis) with flow rate (x-axis)

$$\begin{aligned} H_L^*/d_o^2 &= const \times S_{edge}^{Sc-1} \times v_e^{2Sc-1} \\ &= const' \times v_e^{(2Sc_{eff}-1)/(Sc_{eff}-1)} \end{aligned} \quad (2)$$

식(2)에서, 오른쪽의 상수항 ( $const'$ )을 특정 연료의 물리적 특성에 의해 결정되는 상수로 볼 수 있다. 연료유속과 부상화염 높이 간의 관계를 과거 연구결과에 적용하면 Fig. 2 와 같다.

그림에서 나타난 바와 같이, 국지 슈미트 수는 부상화염 높이와 노즐 유속의 경향을 통해서 얻을 수 있다. 노즐의 유속이 최대 또는 최소가 되면, 국소 슈미트 수가 작아지고, 반면, 연료유속이 평균 근처에서, 국소 슈미트 수는 최대가 된다. 이때, 동적 점성도가 상대적으로 물질전달보다 지배적인 것을 의미한다. 만약, 평균화된 슈미트 값을 이용한다면, 본 연구와 예전 연구 결과[2]에서도 1.48과 1.37과 같이 상수값을 얻을 수 있다.

공기의 동적 점성도를 이용하면, 예지화염 전파속도를 부상화염 높이  $H_L$  와 연료 유속  $v_e$  간의 실험 결과로부터 예측할 수 있다. 식 (1, 2)를 통해, 예지화염 전파속도와 화염 농도구배를 부상화염 안정화 지점 ( $r^*, H_L^*$ ) 에서 나타내면, 다음과 같이 정의내릴 수 있다.

$$S_{edge} = f(Sc, v_e, H_L^*, d_o) \quad (3)$$

$$r^* = f(S_{edge}, v_e, H_L^*, d_o) \quad (4)$$

$$\frac{dY_F^*}{dr^*} = f(r^*, v_e, H_L^*, d_o) \quad (5)$$

Fig. 3에서는, 예지화염 전파속도와 농도구배에서 안정화 조건 및, 전파속도와 농도구배의 경향

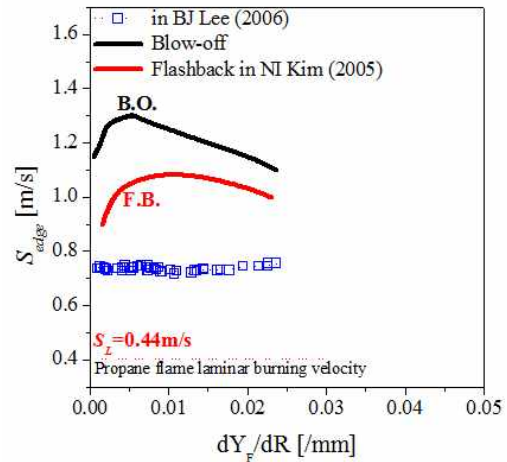


Fig. 3 Edge flame propagation velocity (y-axis) with fuel concentration gradient (x-axis)

을 나타낸다. 만약 일정한 슈미트수를 이용한다면, 일정한 예지화염 전파속도를 계산된다. 따라서, 본 연구는 부상화염의 높이와 연료유량에서 예지화염 전파속도를 구할 수 있는 방법을 제시한다.

## 후 기

본 연구는 2013년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(2013T100200071). 또한, 본 연구는 BK21 플러스 프로그램에서 지원되었습니다.

## 참고 문헌

- [1] Chung, S. H., and B. J. Lee. "On the characteristics of laminar lifted flames in a nonpremixed jet." *Combustion and Flame* 86.1 (1991): 62-72.
- [2] Lee, B. J., and S. H. Chung. "Determination of schmidt number of mixed fuels by the characteristics of laminar lifted jet flames." *Fuel* 85.1 (2006): 68-74.