

부력을 최소화한 대향류 확산화염 소화거동에서 연료농도구배의 영향

박진욱* · 박 정**† · 윤진한*** · 김상인***

Influence of Fuel concentration gradient on the Extinction Behavior in Buoyancy minimized Counterflow Diffusion Flame

Jin Wook Park*, Jeong Park**†, Jin-Han Yun***, Sang-In Keel***

ABSTRACT

Influence of fuel concentration gradient was investigated near flame extinction limit in buoyancy-suppressed non-premixed counterflow flame with triple co-flow burner. The use of He curtain flow produced a microgravity level of $10^{-2} - 10^{-3}g$ in He-diluted non-premixed counter triple co-flow flame experiments. Flame stability map was presented based on flame extinction and oscillation near extinction limit. The stability map via critical diluent mole fraction with global strain rate was represented by varying outer and inner He-diluted mole fractions. The flame extinction modes could be classified into five: an extinction through the shrinkage of the outmost edge flame forward the flame center with and without self-excitation, respectively ((I) and (II)), an extinction via the rapid expansion of a flame hole while the outmost edge flame is stationary (III), both the outermost and the center edge flames oscillate, and then a donut shaped flame is formed or the flame is entirely extinguished (IV), a shrinkage of the outermost edge flame without self-excitation followed by shrinking or sustain the inner flame (V).

Key Words : Global strain rate, Flame oscillation, Heat loss

대향류 확산화염의 연구는 Tsuji[1] 등이 화염 구조와 화염소화거동을 정의하기 위해 수행하였으며, 특히 고신장률 화염소화 한계를 주요 다각으로 많은 양의 연구가 진행되었다[2-6].

본 연구 그룹에서는 에지화염의 안정화 혹은 불안정화 메커니즘을 규명함으로써 C-curve를 따라 나타나는 3가지 화염 소화 모드의 메커니즘을 규명하였고, 유한한 버너직경의 대향류 확산화염에서 반경방향의 전도 열손실이 화염 소화에 지배적으로 작용한다는 사실을 밝혔다.[7-10]

하지만, 이러한 연구들은 일반적으로 지상에서 부력의 영향 하에 수행된 실험이기에 부력이 화염에 미치는 영향을 명확히 하기에 힘든 것이 사실이며, 이에 부력의 영향을 배제하고, 조금 더 명확한 결과를 얻기 위해 부력이 다음과 같은 식(1)에 의해 정의된다는 사실을 바탕으로 화염대형성하는 장막유동의 밀도 구배를 최소화 하여 부력의 영향을 최소화 하였다.

$$F_b = -(\rho - \rho_\infty)g \quad (1)$$

이후 부력을 최소화 한 조건에서 연구가 수행되었고, 유한한 버너직경의 대향류 확산화염에서 반경방향의 전도 열손실이 화염 소화에 지배적으로 작용함을 밝혔다.

이에 본 연구그룹은 대향류 확산화염에서 화염 중심부와 에지부분의 연료농도를 다르게 하여 연료농도구배가 화염의 소화와 소화거동에 어떠한 영향을 미치는 알아보고, 열손실에 의해 발생하는 화염진동을 다양한 연료농도구배에서 평가하기 위해 삼축 대향류 버너를 이용하여 연구를 진행하였다.

Fig 1.는 이번 연구에 사용된 실험장치의 개략도이다. 노즐간의 간격은 15mm로 고정하였고, 외부 버너 직경은 40mm, 내부 버너 직경은 10mm로 하였다. 버너의 상부노즐과 하부노즐에서는 각각 헬륨으로 희석한 메탄과 산화제를 분사하였고, 에지화염의 거동을 살펴보기 위해 내부와 외부 노즐에의 헬륨 희석 물분율을 변화시키며 실험을 진행하였다. 실험에서는 부분적인 외부의 화염 교란을 막고 후류(wake flow)에 의해 생성되는 외부 화염을 제거 하기 위해 장막유동을 공급하였으며, 장막유동은 헬륨을 사용하여

* 부경대학교 의생명융합협동과정

** 부경대학교 기계공학과

*** 한국 기계연구원 그린환경에너지기계본부

† 연락처, jeongpark@pknu.ac.kr

TEL : (051)629-7911 FAX : (051)629-6126

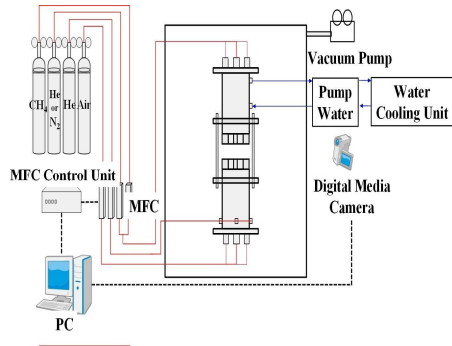


Fig. 1. schematic diagram of counter triple co-flow burner and flow systems.

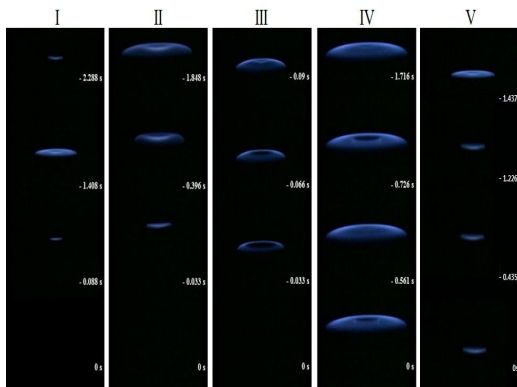


Fig. 3. Representative flame extinction modes.

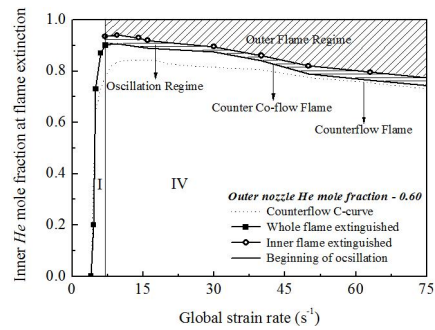
부력의 효과를 최소화 하였다. 연료 및 산화제 노즐 내부에 미세한 메쉬 스크린(mesh screen)을 다단으로 설치하여 노즐 출구에서 균일한 유동속도를 갖게 하였고, 화염의 위치를 상하부 버너의 중심에 유지하기 위해 상하부 노즐의 출구 속도를 1로 고정시켰다. 장막유동의 속도를 상하부 노즐의 출구속도와 동일하게 분사하여 장막유동에서 예지화염의 전단층에 대한 불안정성을 제거하였다. 실험을 수행한 전체 신장률의 범위는 $4s^{-1}$ 에서 $80s^{-1}$ 이며, 전체 신장률의 정의는 식 (2)과 같다.[4]

$$a_g = \frac{2V_a}{L} \left(1 + V_r \frac{\sqrt{\rho_f}}{\sqrt{\rho_a}} \right) \quad (2)$$

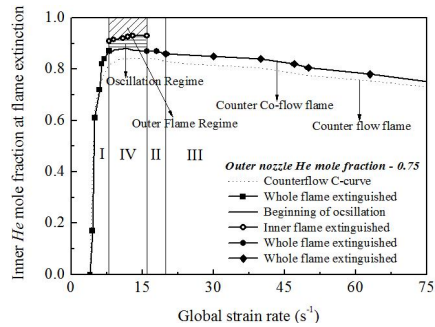
where, $V_r = \frac{V_f}{V_a}$ (= 속도비)

여기서 V 와 ρ 는 반응물의 유동속도와 밀도를 나타내며, L 은 노즐간의 거리, 하첨자 f 와 a 는 연료와 산화제를 나타낸다.

본 연구에서 Fig 3.과 같이 5가지 화염 소화거동을 관찰하였으며, Fig 6.은 IV에서 헬륨 희석 물분율에 따른 도넛모양 화염의 길이 변화를 나



(a) Outer nozzle He mole fraction - 0.60



(b) Outer nozzle He mole fraction - 0.75

Fig. 5. Inner He diluent mole fractions versus global strain rate at 40mm burner diameter.

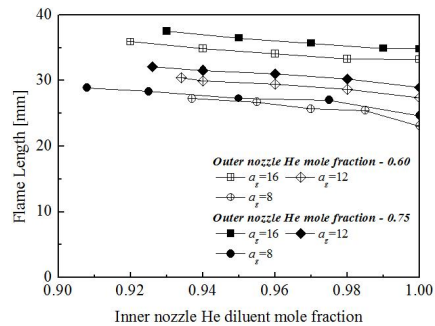


Fig. 6. Normalized flame length versus Inner nozzle He diluent mole fraction.

타낸 그래프이다. 대향류 삼축 화염에서는 안쪽 노즐의 헬륨 희석 물분율을 바깥 노즐의 헬륨 희석 물분율 보다 높이면 안쪽 예지화염의 연료농도 구배가 커져서 화염 전파속도가 감소하게 된다. 바깥 예지화염과 다르게 안쪽 예지화염은 기연층에서 미연층으로 화염이 전파하는 즉, 양의 전파속도를 가지기 때문에 헬륨 희석 물분율이 증가할수록 화염의 중심부의 구멍이 커지면서 Fig 6.과 같이 화염의 길이가 작아지게 된다.

후 기

본 연구는 한국연구재단 우주핵심기술개발사업의 일환(CD20130942)으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] H. Tsuji, *Prog Energy Combust Sci* 9 (1982) 93-119.
- [2] M.D. Smooke, I. K. Puri, K. Seshadri, *Proc Combust Inst* 21 (1986) 1783-1792.
- [3] N. Peters, R. J. Kee, *Combust Flame* 68 (1987) 17-29
- [4] H. K. Chelliah, C. K. Law, T. Ueda, M. D. Smooke, F. A. Williams, *Proc Combust Inst* 23 (1998) 503-511.
- [5] C. -J. Sung, J. B. Liu, C. K. Law, *Combust Flame* 102 (1995) 481-492.
- [6] M. D. Smooke, R. A. Yetter, T. P. Parr, D. M. Hanson-Parr, M. A. Tanoff, M. B. Colket, R. J. Hall, *Proc Combust Inst* 28 (2000) 2013-2020.
- [7] D. G. Park, J. H. Yun, J. Park, S. I. Keel, *Energy & Fuels* 23 (2009) 4236-4244.
- [8] J. S. Park, D. J. Hwang, J. Park, J. S. Kim, S. C. Kim, S. I. Keel, T. K. Kim, D. S. Noh, *Combust. Flame* 146 (2006) 612-619.
- [9] C. B. Oh, Hamins A, Bundy M, J. Park, *Combust. Theory Modeling* 12 (2008) 283-302.
- [10] Y. H. Chung, D. G. Park, J. H. Yun, J. Park, O. B. Kwon, S. I. Keel, *Fuel*, 105 (2013) 540-550.
- [11] Y. H. Chung, K. H. Bahn, J. Park, O. B. Kwon, J. H. Yun, S. I. Keel, *Combust. Sci. Technol*, Submitted (2014).