

화염거동을 통한 이중선회 가스터빈 모델 연소기에서 연소실 길이에 따른 연소 불안정성 이해

장문석* · 이기만**†

Combustion Instability Comprehension with Combustion Chamber Length in Dual Swirl Gas Turbine Model Combustor from Flame Behaviors

Munseok Jang*, Keeman Lee**†

ABSTRACT

This study is to investigate the combustion instability of the variation of combustion chamber length in dual swirl gas turbine model combustor. When equivalence ratio was fixed at 1.1, as the length of the combustion chamber increases the value of the frequency decreased in 7kW while the value of the frequency was constant in 4kW. The analysis of flame behaviors by high speed camera was conducted to identify such trend.

Key Words : Dual Swirl Combustor, Lean Premixed, Combustion Instability, Spectral Frequency Analysis, Combustor Length

희박 예혼합 연소는 기존의 확산 연소 방식보다 저 NO_x배출 성능과 높은 연소효율을 얻을 수 있어 산업 및 항공용 가스터빈에서 널리 사용되고 있다. 그러나 희박 예혼합 연소기에서는 고유의 압력과 유량 변화에 의해 발생되는 열 발생율의 변동이 서로 상호작용하여 열-음향 불안정현상을 나타낸다. 이를 억제 시키고자 스윌러를 이용하여 노즐 출구에 재순환 영역을 만들어 화염을 안정화 시키는 방법과 예혼합 화염의 내부에 확산화염으로 Pilot화염을 만들어 화염을 부착 시키는 방법에 대한 연구가 많이 이루어졌다.

Table 1 Experimental conditions

Conditions	Main Nozzle	Pilot Nozzle
Equivalence ratio	1.1	0.7
Swirl number	2.32	0.81
Heat release ratio	Main : Pilot = 8 : 2	
Thermal power(kW)	3kW ~ 8kW	
Combustor dia.(mm)	74 (inner)	
Combustor length(mm)	350 ~ 700	
Fuel	CH ₄	

* 순천대학교 대학원 우주항공공학과

** 순천대학교 기계우주항공공학부

† 연락처, kmlee@scnu.ac.kr

TEL : (061)750-3828

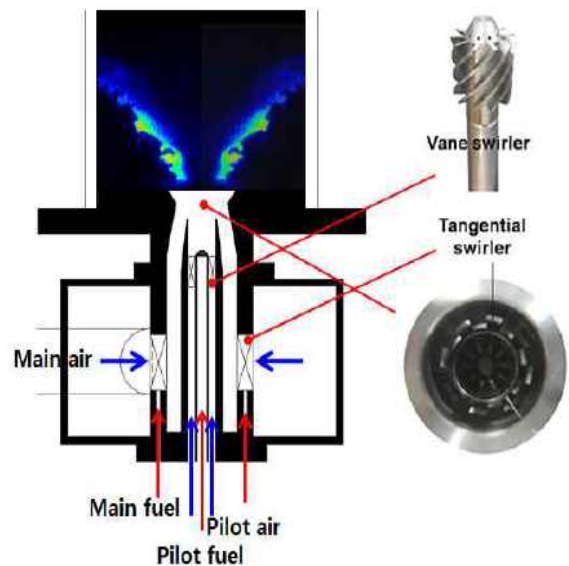


Fig. 1 Schematic diagram of a dual swirl combustor

본 연구는 스윌러를 이용하여 예혼합 화염과 확산화염이 함께 형성되는 이중선회 연소기 연소실 길이의 변화에 따른 화염 불안정 특성에 관하여 연구를 수행하였다.[1-2]

Fig.1은 본 연구에 사용된 연소기의 개략도 및 공급연료와 산화제의 유로를 나타내었다.

공급 연료 및 산화제는 각각 버블메터기로 검증된 MFC를 이용하여 유량을 조절하였고, Main노즐과 Pilot노즐의 연료비를 8:2로 하였으며, 당량비는 각각 1.1과 0.7로 고정하여 실험을 진행하였다.

실험 조건은 Table 1에 표기한 것과 같고, 압력 변동 및 열방출 변동의 측정은 이전연구와 같이 진행하였다.[3]

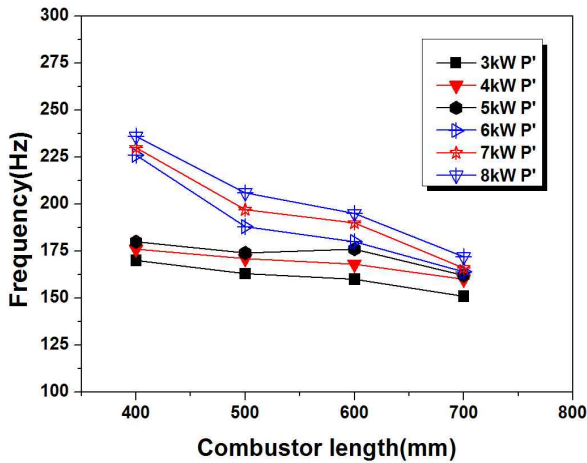


Fig. 2 The frequency variations according to the combustion chamber length and thermal power

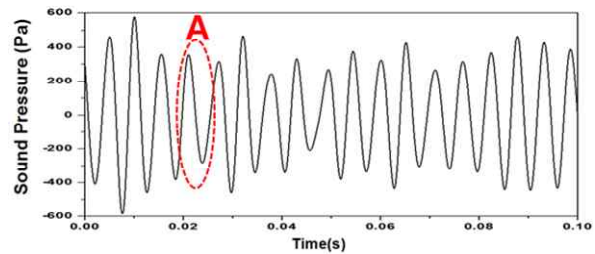
측정결과 압력변동 주파수와 열방출 주파수가 각 조건에서 서로 일치하는 것을 확인하여 열-음향 불안정성을 규명할 수 있는 기구임을 확인하였고, Fig.2에 나타낸 값을 통해 3, 4, 5 kW 영역과 6, 7, 8 kW의 영역이 서로 다른 경향이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 먼저 3, 4, 5 kW의 중간 값인 4kW와 6, 7, 8 kW의 중간 값인 7kW를 비교 하였을 때 연소실의 길이가 증가함에 따라 7kW의 경우 주파수의 값이 감소하는 것을 확인 하여 식(1)에 나타낸 공명주파수의 식에 만족하였고, 4kW의 경우 연소실의 길이가 길어짐에도 불구하고 주파수의 값이 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있었다.

$$f_0 = \frac{(2n-1) \times c}{4L}, \quad n = 1, 3, 5 \dots \quad (1)$$

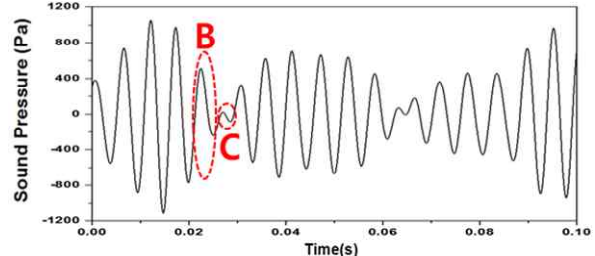
where, $c = \sqrt{kRT}$

또한 화염의 거동이 주파수에 미치는 영향을 알아보기 위하여 High speed camera를 이용하여 화염의 이미지를 관측하였다. 압력 신호를 Fig.3의(a), (b), (c), (d)과 같이 나타내었고, 각 신호의 한 사이클(A, B, C, D, E)에 대한 화염 이미지를 (a-1)~(d-1)에 나타내었다. 신호와 화염 이미지를 분석하여 7kW, 400mm일 때는 화염의 소멸 및 재점화가 덤프면 위에서 일어났고, 600mm에서는 덤프면 안쪽에서 일어나는 것을

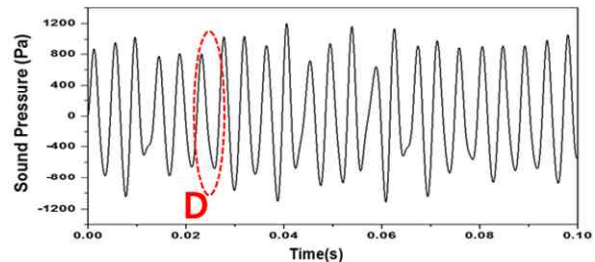
확인하여 길이가 길어짐에 따라 주파수의 값이 감소하는 것은 연소실에서 소멸 및 재점화의 시간이 사진과 같이 길이가 길어질수록 더 깊은 곳에서 일어나기 때문에 One Cycle의 시간이 길어져서 주파수의 값이 작아지는 것이라 판단하였고, 4kW에서는 다른 경향이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 400mm에서는 7kW, 400mm일 때와 같이 덤프면 위쪽에서 재점화가 일어났다. 하지만 600mm일 때는 화염이 덤프면 안쪽에서 일어나 One Cycle의 시간이 길어지지만 때때로 파일렛 화염이 역화가 되지 않고 덤프면 위쪽에서 연소실에 남아있는 잔여 연료 및 산화제로 인하여 재점화가 일어나게 되어 짧은 Cycle의 연소가 일어나는 것을 확인함으로써 4kW에서 길이가 길어짐에도 주파수의 값이 일정하게 유지되는 것이라 판단하였다.



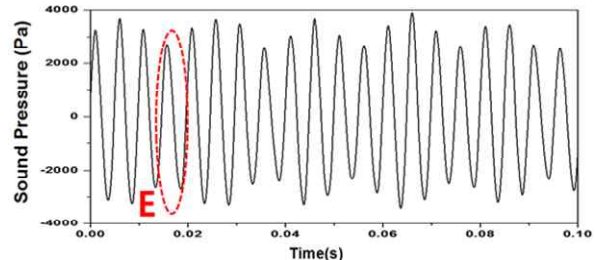
(a) Pressure signal of 4kW (L=400mm)



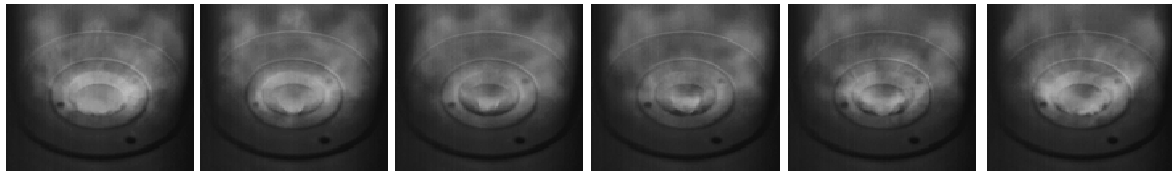
(b) Pressure signal of 4kW (L=600mm)



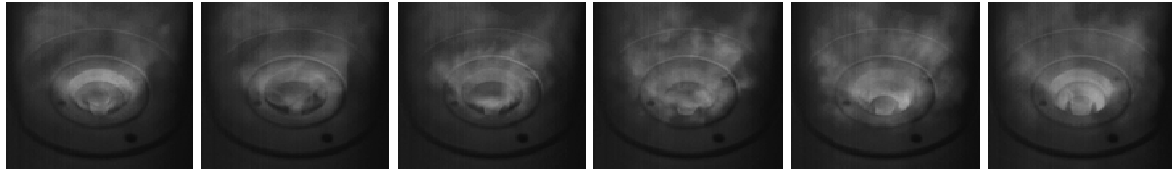
(c) Pressure signal of 7kW (L=400mm)



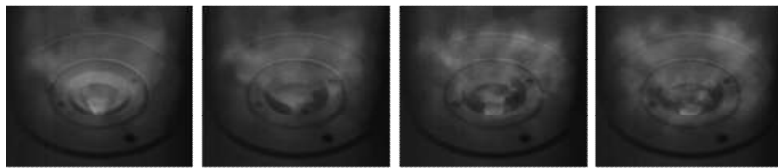
(d) Pressure signal of 7kW (L=600mm)



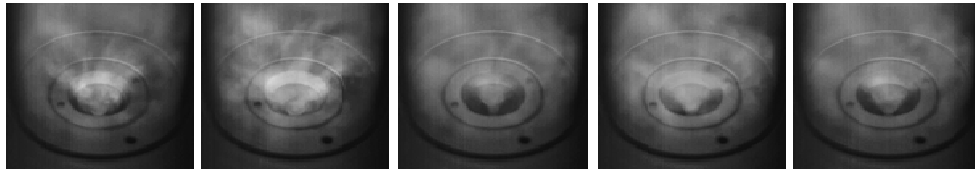
(a-1) High speed camera image by the signal of A-cycle (176Hz)



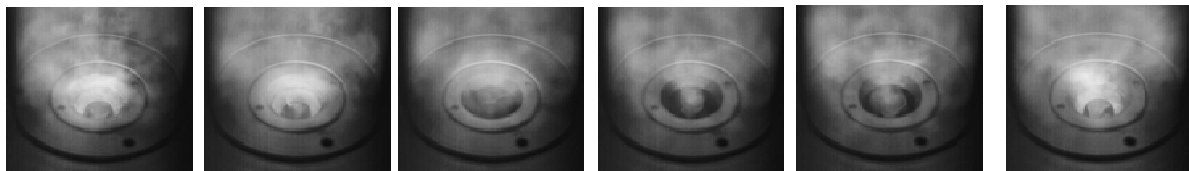
(b-1) High speed camera image by the signal of B-cycle (168Hz)



(b-2) High speed camera image by the signal of C-cycle (202Hz)



(c-1) High speed camera image by the signal of D-cycle (230Hz)



(d-1) High speed camera image by the signal of E-cycle (190Hz)

Fig. 3 Pressure signals and high speed camera images of 4kW, 7kW

후 기

본 연구는 2015년도 산업통상자원부 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (과제번호 : 2014-2010-102780).

참고 문헌

- [1] Ducruix, S. et al., "Combustion dynamics and instabilities: elementary coupling and driving mechanisms," *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 19, No. 5, pp. 722-734, 2003.
- [2] Lieuwen, T., "Modeling premixed combustion acoustic wave interactions: a review," *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 19, No. 5, pp.765-781, 2003.
- [3] Munseok Jang, Keeman Lee, "Flame Stabilization Characteristics with Combustion Chamber Length in Dual Swirl Gas Turbine Model Combustor", 50th KOSCO SYMPOSIUM, 2015, pp181-183