

V-gutter 형 보염기를 장착한 모델 램제트 연소기의 화염 특성 및 연소 불안정 연구

송진관* · 황정재* · 송재천* · 윤영빈**

A Study on Flame Dynamics and Combustion Instability Stabilized with a V-gutter Type Flameholder in a model ramjet combustor

Jinkwan Song* · Jeongjae Hwang* · Jaechon Song* · Youngbin Yoon**

ABSTRACT

The goal of this study is to find flame dynamic behavior using a transverse fuel injection in a model combustor, and is to investigate main causes of unstable combustion in a liquid-fueled combustor. For transverse fuel injection into air cross flow, spray result shows similar tendency with Wu et al.[1998] until spray arrives at flame-holder. However, passing through flame-holder, fuel inflow into recirculation region of flameholder is not sufficient so it makes large difference between shear flame and recirculation flame behind flameholder. In combustion tests, the stable flame shows a kind of shear flames and low peaks of dynamic pressure frequencies. On the other hand, unstable flame shows periodic detached flame in recirculation zone and a strong peak of dynamic pressure frequency. The instability frequency is highly affected by influx air velocity, air temperature, equivalence ratio and wake or vortex shedding frequency behind the flameholder

Key Words: Combustion Instability(연소 불안정), Flame Dynamics(화염 동역학), V-gutter Flameholder (V-거터형 보염기)

1. 서 론

공기흡입추진기관에서 발생한 연소 불안정의 경우, 엔진의 성능을 떨어뜨리고 과도한 배기 배출물을 발생한다. 특히 액체 램제트엔진이나 가

스터빈 보조추력기의 경우, 흡입공기속도가 빨라서 연소실에 공기가 머무르는 시간이 짧고, 액체 연료의 기화 시간이 길기 때문에 연소 불안정의 가능성이 높아진다. 따라서, 본 연구의 중재는 모델 램제트 연소기 내에서 V-gutter 타입의 보염기를 이용한 연소 시 전후의 수직 분사의 분무 특성과 화염 특성을 연구하고, 이를 통해 연소 불안정 발생의 요인을 고찰하기 위함이다.

* 서울대학교 대학원 기계항공공학부

** 서울대학교 기계항공공학부

연락처, E-mail: ybyoon@snu.ac.kr

2. 실험 장치 및 조건

실험부는 40mm X 40mm의 단면적을 가진 직관 덕트 형상으로 제작되었다. 그리고 각 변이 14mm인 정삼각형의 보염기를 사용하였다. 연소 불안정성은 연소실 내의 압력 섭동과 열방출의 섭동과의 상호 작용으로 발생하는 것으로 알려져 있기 때문에, 연소실에서 발생하게 될 주파수를 한정하기 위해서, 상단의 오리피스와 하류의 노즐을 두어 연소실의 음향학적 길이를 2.3m로 고정하였다. 시험 연료로 등유를 사용하였으며, 화염 형성은 토치형 점화기를 사용하였다. 연료는 2~10s, 공기는 40~80g/s, 총 당량비는 0.5~0.85 로 시험을 수행하였다.

3. 실험 결과 및 분석

분무의 궤적을 도출하기 위해서, 스트로보스코프를 이용한 직접 촬영기법을 수행하였다. 연료를 횡단류에 대해 수직분사하였을 경우, 보염기 이전까지의 분무의 분포는 Wu et al.[98]의 결과와 비슷한 궤적식을 재확인하였다. 그러나 보염기를 지나게 되면서 보염기의 재순환영역으로의 연료 삽입이 일부 발생하게 되는데, 이 때의 삽입 진동이 연소 주파수에 관련이 있음을 확인하였다.

V-gutter형 보염기에 부착된 화염을 가시화하기 위하여 고속 카메라를 이용한 촬영을 하였으며, 연소 불안정 주파수를 검출하기 위해 동압을 측정하였다. 안정된 화염의 경우, 전단 화염이 주가 되는 형상을 보여주며, 압력 섭동이 크지 않음을 확인할 수 있었다. 반면에, 불안정한 화염의 경우, 붉고 격렬한 진동을 가진 화염이 발생하며, 이 화염의 주파수가 연소 불안정 주파수와 일치함을 확인하였다(Fig.1,2). 이 불안정은 재순환 영역의 화염의 영향이 강하게 미치기 때문이다. 전단화염의 경우, 연료의 균일한 밀집으로 인해 보염기의 후류의 진동의 영향을 거의 받지 않아서 그런 것으로 생각되며 난류 강도 역시 약해지기 때문으로 생각된다. 반면에 재순환 영

역의 화염의 경우 보염기 직후에 발생하는 와류의 진동의 영향과 함께, 밀한 연료의 분포로 인해 격렬한 붉은 화염이 발생하는 것으로 보인다. 각 조건의 화염 주파수는 흡입 공기의 속도와 온도, 당량비에 영향을 받는 것으로 생각된다. 하지만 이러한 주파수의 특징이 특정 조건을 넘어감에 따라 시험 조건에 무관하게 일치한 것으로 보이며, 이는 Langhorne[1988]에서 제시한 convective behavior와 concurrent behavior와 관련이 있는 것으로 생각된다.

4. 결 론

1) 연료를 횡단류에 수직 분무하였을 경우, Wu[98]의 기존 결과와 비슷한 궤적식을 재확인하였으며, 보염기 후 연료의 삽입을 확인하였다.

2) 안정 화염의 경우, 전단 화염이 주 화염이 되면서 압력 섭동이 작게 이루어진다. 반면에 불안정 화염의 경우, 보염기 뒤에서 발생하는 재순환 영역의 화염이 강하게 진동하면서 발생하는 것으로 확인되었다.

3) 연소 불안정 주파수의 요인으로 흡입 공기의 특성(속도, 온도), 당량비, 보염기에서 발생하는 와류의 주파수에 기인하는 것으로 생각된다.

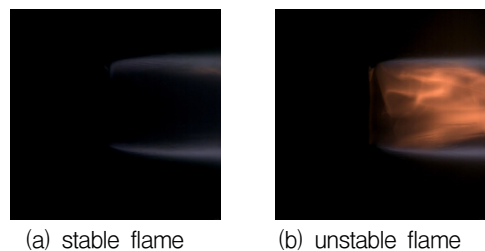


Fig. 1 Direct photography of flame

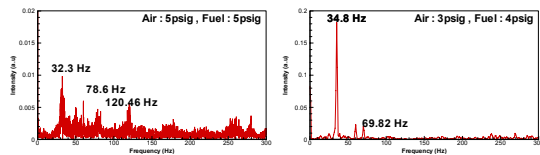


Fig. 2 Frequency domain of dynamic pressure (instability frequency)