

공동을 이용한 모델 스크램제트 엔진 연소기의 실험적 연구

정은주* · 정인석* · Sean O'Byrne*** · A.F.P. Houwing***

Supersonic Combustion Research on the Cavity-Based Model Scramjet Combustor

Eunju Jeong* · In-Seuck Jeung* · Sean O'Byrne*** · A.F.P. Houwing***

Key Words: Cavity(공동), Supersonic Combustion(초음속연소), Fuel Injection Method(연료분사방법)

1. 서 론

초음속 연료-공기 혼합 및 연소를 향상시키기 위한 노력의 일환으로 많은 연구자들이 연료분사구의 형상, 분사 각도, 연소기 형상 등과 같은 다양한 방법들을 이용하여 연구를 진행해오고 있다. 이러한 방법 중에서 연소기 내 공동은 비교적 높은 저항에도 불구하고 그 자체가 가지고 있는 유동의 진동 현상으로 인해 연료-공기 혼합을 증대시킨다. 또한 공동은 공동 내부에 화염을 유지함으로써 지속적인 초음속 연소를 발생시킨다. 그러나 대부분의 선행 연구들은 모두 연소기 유입유동의 마하수가 2인 경우에 대한 것이며, 그 이상의 유속에 대한 실험적 결과가 부족한 실정이다. 따라서, 본 논문은 연소기의 유입 유동 설계 마하수 4에 대해 공동 주위에서 경사분사, 평행분사, 역분사를 수행하고, 각 경우에 대해 초음속 화염 구조를 살펴보았다.

2. 본 론

2.1 실험방법

* 서울대학교 기계항공공학부

** Australian Defence Force Academy

*** Australian National University

연락처자, E-mail: enjis@snu.ac.kr

본 연구에 사용된 초음속 연소기는 길이 500 mm, 폭 52 mm, 높이 25 mm를 가지는 사각형 덕트이다. 덕트의 입구로부터 152.5 mm 지점의 깊이가 5 mm이며, 가로세로비는 4.8이고, 22.5°의 경사각을 가지는 공동이 위치한다(Fig. 1). 연소기 유입 유동의 전 엔탈피에 따라 정압력은 92 - 111 kPa, 정온도는 900 - 1670 K이며, 마하수는 약 3.8이다. 결과 도출을 위해, OH-PLIF 가시화와 정압력을 측정하였으며, 본 논문에서는 가시화에 대해서만 언급한다.

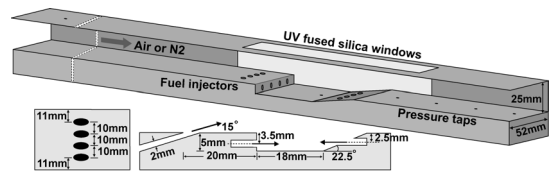


Fig. 1 Schematic of cavity scramjet combustor

2.2 실험결과

Figure 2는 세가지 연료 분사 방법에 대해 공동 및 연료분사 부근에서의 OH-PLIF 이다. 경사분사의 경우((a) & (b)) 15°의 각도로 연료를 분사하므로 연소기 내부의 연료 침투거리를 증가시키고, 연료의 확산을 증대시킨다. 또한 신호가 약하기는 하나 공동 내부에서 OH 신호를 발견할 수 있고, 이는 공동 내부에 화염이 유지됨을 나타낸다. 평행분사의 경우((c) & (d)), 공동 내부

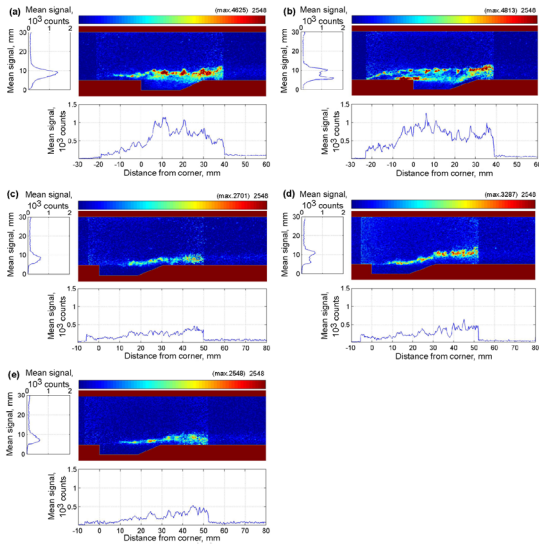


Fig. 2 OH-PLIF image near the cavity: a)angled injection, $\phi=0.13$, b)angled injection, $\phi=0.44$, c)parallel injection, $\phi=0.13$, d)parallel injection, $\phi=0.44$, e)upstream injection, $\phi=0.13$

에서 OH 신호를 전혀 발견할 수 없으며, 공동위 전단층을 따라 초음속 화염이 발생하고 있다. 또한 낮은 당량비의 평행분사는 경사분사에 비해 두 배 정도의 점화지연길이가 요구된다. 당량비가 증가함에 따라 연소기 아랫면에 화염이 형성되지 않음을 알 수 있는데, 이는 연료가 연소기의 아랫면을 따라 후류로 이동하며, 경사분사에서와 같이 연료와 공기가 효과적으로 혼합되지 못함을 알 수 있다. 역분사 또한 공동 내부에서는 화염을 찾아볼 수 없으며, 평행분사에서와 같이 공동 위 전단층을 따라 화염이 형성되고 있다.

Figure 3은 Damkohler 수(Da)와 당량비에 따른 화염의 안정/불안정 영역을 나타낸 것이다. 본 실험의 경우 최대 당량비가 0.44이므로 화염 안정성 영역 중 회박 영역만을 나타내었다. Driscoll 등은 일반적으로 예혼합화염에서 정의되던 Da 를 보정하여 확산화염에까지 적용하였고, 아음속에서부터 마하수 2의 유동 조건에서 공동을 이용한 화염 형성의 실험 데이터들을 이용하여 Fig. 3에 나타난 점선의 관계식을 도출하였다. 본 실험의 유동 마하수는 약 3.8로서

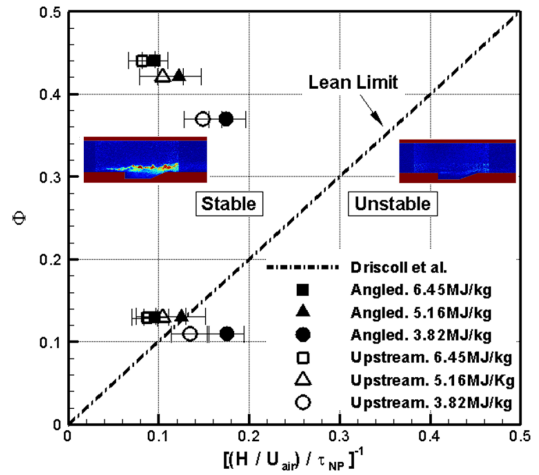


Fig. 3 Comparison amongst the lean stable flame limits according to the location of fuel injection, ϕ , and Da

Driscoll 등이 고려한 마하수에 비해 최소 2 배 정도 높다. 그러나 전 엔탈피에 따른 공동 부근의 화염을 Driscoll의 관계식과 비교해 본 결과, 화염 안정 한계가 일치한다.

3. 결 론

본 실험은 비행 마하수 11에서 운용되는 공동을 기반으로 하는 스크램제트 엔진의 연소기에서 연료분사 위치에 따른 공동 부근의 초음속 화염 형태와 유입유동의 전 엔탈피에 따른 화염 안정 한계를 살펴보았다. 세 분사 방법 대부분의 화염이 공동 위 전단층에서 형성되고 있다. 또한, 보정된 Da 수를 통해 유입 유동의 전 엔탈피에 따라 공동에서 화염이 유지되기 위한 최소 당량비를 결정할 수 있다.

후 기

본 논문의 저자는 서울대 항공우주신기술연구소의 일원으로, 국제과학기술협력재단/한이태리 협력기반조성사업(K2071300013-07B0100-01310)의 지원으로 연구가 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.