

램제트 연소기의 보염기 장착에 따른 연소기 특성 변화에 대한 수치적 연구

김성돈* · 정인석**

ABSTRACT

A numerical study was conducted on the effect of flame holder which could be added to the inlet duct of Integral Rocket-Ramjet. Two different types of flame holder installations, flame holder without sudden expansion region and flame holder with small sudden expansion region, were compared and showed different flame shapes and pressure rise in the combustor.

Key Words: ramjet combustor, flame holder, sudden expansion region

1. 서 론

램제트 연소기와 부스터가 통합된 Integral Rocket-Ramjet (IRR) 형태의 램제트 연소기의 경우 제한된 공간으로 인해 연소기 내부에 라이너나 보염기 장착이 불가하며 연소기 전방의 급확산부에 의한 화염 안정화 효과를 얻는 구조로 되어 있다. 이러한 구조의 동축형 램제트 연소기는 연소기 길이와 지름비가 약 4.5 이상에서 효과적인 연소를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다. 연소기 내부에 보염기를 장착하는 대신 공기 흡입구의 아음속 확산부와 연소기부가 연결되는 포트커버 전방에 보염기를 장착하여 연소기 내의 화염안정화를 기대할 수 있다. 본 연구에서는 동축형의 IRR형 램제트 연소기를 대상으로 2가지 형태의 보염기를 장착에 따른 연소기 특성변화를 살펴보았다. 급확산부가 없는 하나의 보염기를 장착한 경우와 작은 급확산부와 보염기를 동시에 장착한 경우에 대한 수치적 연구를 수행

하였으며 연소기 길이와 연료분사는 동일하게 부여하여 화염의 구조 및 연소기 내의 압력 거동을 살펴보았다.

2. 수치해석적 방법

질량가중 평균된 Navier-Stokes 방정식에 예조건화 기법을 적용한 2차원 축대칭 방정식을 대상으로 공간차분 기법은 Edward의 LDFSS 기법을 이용하였으며 2차 시간 정확도를 가지는 내재적 시간적분 해석을 위해 이중시간전진기법을 적용하였다. 난류 유동장 해석을 위해 SST 모델을 사용하였으며 화학반응은 비가역 1단계 반응 모델을 Magnussen 등에 의한 EDM 모델로 계산된 화학종의 생성율과 Arrhenius 형태의 층류 화학반응 모델 값을 비교하여 반응을 지배하는 값을 구하는 방법을 적용하였다. 액적모델링은 dilute spray를 해석대상으로 액적의 증발에 의한 기체상의 연료 생성항과 기체상/액상의 상호작용에 의한 생성항을 고려하며 2차원 액적의 분사형태는 환형의 분무형태를 이루도록 되어 있으며 원주방향으로 연료분사구가 연속적으로

* 서울대학교 기계항공공학부

** 서울대학교 기계항공공학부

연락처, E-mail: enjis@snu.ac.kr

배치된 형상으로 가정하였다.

운용조건은 대표적인 램제트 엔진의 작동범위인 마하수 2.5, 고도 5km로 선택하였다.

3. 흡입구를 포함한 일체형 램제트 연소기의 보염기 장착에 따른 영향

후향단 형태의 급확산부를 가지는 램제트 연소기에서는 고속 유입유동의 영향으로 일정량의 연료가 연소되지 못하고 배출되는 경우가 발생한다. 주어진 형상에서 포텐셜 코어가 연소기 내에서 종료되도록 하기 위해서는 연료분사 위치의 조정이나 길이 연장에 의한 효과를 기대할 수 있으나 본 연구에서는 보염기의 장착에 의한 연소의 활성화를 살펴 보고자 하였다. Fig. 1은 보염기와 연소기 끝에서의 압력변화를 나타낸 것으로 유동 중앙에 하나의 보염기를 장착한 경우(case1) 진폭 100kPa 정도의 저주파 진동이 유도되며 보염기와 급확산부를 동시에 장착한 경우(case2) 압력의 진동 주기는 줄어드나 진동폭은 보다 상승하는 결과를 볼 수 있다. case1의 경우 기화에 필요한 시간이 존재함에 따라 연료 분포가 연소기 전반에 걸쳐 넓게 나타나고 불규칙한 상태가 발생함에 따른 영향으로 보인다. case2의 경우 작은 급확산부의 장착에 의해 화염 정착부가 상하로 존재하며 case1에 비해 짧은 영역에서도 보다 넓은 연소면의 존재에 따른 영향으로 보다 활발한 연소를 보여주었다. 한 주기 동안의 기화된 연료 및 액적의 거동은 case1의 경우 보염기에 부딪힌 액적이 활발히 기화하고 보염기 전면부에 과농한 연료분포 영역을 형성한다. 이러한 과농영역에 의해 화염면의 진동이 유도되는 것으로 판단할 수 있다. 미연 연료의 양은 case2에 비해 case1이 더 많으며 연소되지 못하고 배출되는 결과를 보였다. Fig. 2는 한 주기 동안의 온도 변화를 나타낸 것이다. case2의 경우 연소기 길이의 중간에서 연소가 종료되는 것을 볼 수 있으나 연소기 내의 압력 진동이 약 200kPa 매우 심하게 변동하고 있어 흡입구 부의 종단 충격파의 위치 변화 또한 크게 나타나는

현상을 보이고 있다. case2 형상을 대상으로 분사구의 위치 조절을 통해 연소기로의 유입 연료 분포 변화에 따른 영향을 살펴본 결과 온도와 압력의 변화 성향은 고온부가 연소기 상부로 이동하는 것 외에는 거의 유사한 형태를 보였으며 보염기에서의 압력 변화 또한 주기에서 약간의 변화는 있으나 거의 유사한 형태를 보이고 있어 위치 변화에 의한 영향은 크지 않은 것으로 판단된다. 연료 분사구 위치 및 노즐 목 변경에 따른 제어시도에서도 거의 유사한 형태를 보였다.

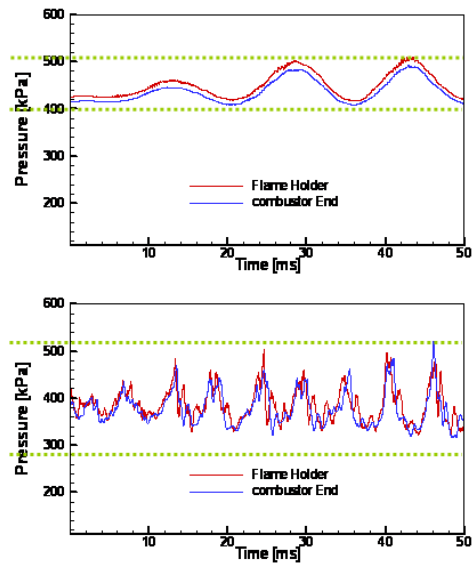


Fig. 1 Pressure histories

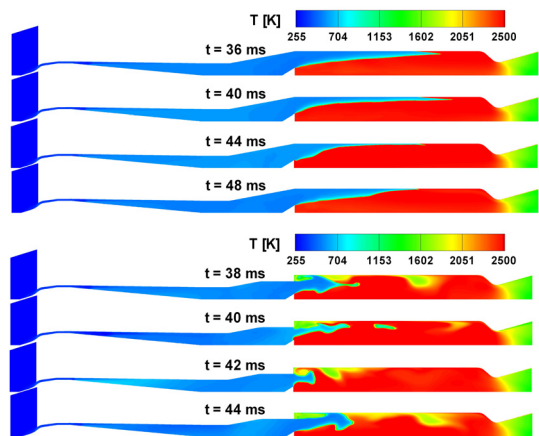


Fig. 2 Temperature distributions during one cycle