

음향 및 기화반응 모델을 이용한 고주파 연소불안정 예측

Acoustic and Vaporization Responses due to High-Frequency Combustion Instabilities

이길용 · 황용석 · 윤웅섭

연 세 대 학 교

로켓엔진 추력발생용으로 광범위하게 사용되는 액체추진제는 고성능, 대용량의 액체추진제 로켓엔진에서는 필연적으로 고주파 연소불안정의 문제를 수반하며, 이 연소불안정의 정도는 연소성과 더불어 엔진개발의 성패를 좌우하는 중요한 여건이 된다. 따라서 안전한 로켓의 비행을 보장하기 위해서는 연소불안정의 문제가 선결되어야 한다. 연소불안정의 기본 메커니즘은 연소기에서 발생하는 압력섭동에 반응하여 불안정한 음향에너지를 되먹임하는 연소과정으로 설명된다. 연소불안정 현상이 발견된 이후 실험 및 이론적 접근에 의해 이와 같은 연소불안정 메커니즘 및 예측에 대한 체계적인 연구가 이루어져 왔으며, 현재까지의 다양한 고주파 연소불안정 예측방법 중에서 음향 및 기화 응답함수를 이용하는 방법은 직관적 고찰에 의존하는 단순한 연소모델을 적용하며 주로 음향적 섭동에 의한 연소의 반응을 연소안정성 평가의 파라미터로 사용한다. 이와 같은 음향적인 예측방법은 연소불안정 현상을 이론적으로 전개하므로 경제적으로 각종 설계변수에 대한 연소불안정의 변화를 구분할 수 있는 장점이 있어 성능 및 호환설계와 병행하여 로켓엔진 연소실의 초기 안정성 설계방법으로 주로 사용된다.

본 연구에서는 LOX-RPI 추진제 조합을 사용하는 액체추진제 로켓엔진 연소기에서의 고주파 연소불안정 특성을 살펴보았다. 이를 위하여 구동주파수를 매개변수로 하는 음향적인 주파수 변수 방법인 $n-\tau$ 2 파라미터 음향방법과 음향적인 압력섭동에 대한 연소응답을 구하는 과정에 다양한 기화모델을 사용하는 수치적 방법을 조합하여 적용하였다. 연소기의 음향 불안정 특성과 연소반응의 비교를 통해 이들간의 상호관계를 고찰하고 해당 연소기의 연소불안정 특성을 해석하였다. 또한 액체추진제 로켓엔진에 대한 각종 매개변수 변화에 따른 연소불안정 특성의 변화를 계산하였다. 그 결과 연소응답은 분사 액적의 반경이 작은 경우, 즉 액적의 기화가 빠른 시간내에 종료될수록 크게 되며, 정지접선모드보다는 회전접선모드의 영향이 크다. 또한 연소가 충분히 안정한 경우에 연소응답은 압력섭동의 크기나 고유모드에 대해 민감하지 않으며, 액적수명이 불안정 특성시간보다 충분히 짧을 때, 액적가열은 안정성 변화에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.