

# 1/4 음향공에 의한 연소실 음향거동 해석

## Analysis of Acoustic Behavior of Combustion Chambers with Quarter Wave Cavity

조 용 호\*, 윤 응 섭\*\*  
(\* 현대우주항공(주), \*\* 연세대학교)

고주파 연소불안정은 거의 모든 로켓엔진의 개발 프로그램에서 보고되고 있으며, 이 문제의 해결을 위한 많은 연구들이 진행되어 왔다.

고주파 연소불안정은 로켓엔진 연소실 내에서의 연소와 유동변수들이 커플링되어 발생한다. 연소가스의 음향파동은 연소의 외란을 야기하며 외란된 연소는 유동변수들에 맥동에너지를 공급하는 되먹임 과정을 반복하게 된다. 결과적으로 음향파에 의한 외란의 크기, 위상 및 되먹임 과정에서의 파동에너지 감쇠량에 따라 불안정한 파동은 증폭, 유지되거나 소멸된다.

고주파 연소불안정은 연소실의 감쇠효과를 증대시킴으로서 감소, 혹은 제한되며, 일반적으로 배플, 1/4 파장 음향공(quarter wave cavity), Helmholtz resonator 등의 음향적 감쇠장치를 사용하여 불안정주파수에서의 맥동에너지의 증가를 억제한다. 이 중, 음향공은 연소실 분사면 원주부분에 길이, 혹은 반경방향으로 부착되어 분사면에서 연소에 강하게 공명하는 불안정 주파수영역에서 구동 음향주파수를 저주파의 영역으로 이동시켜 감쇠효과를 발생하는 간단한 연소 안정화 장치이다.

본 연구에서는 음향공에 의한 안정화 효과를 예측하기 위해서, 임의의 맥동에 대한 연소실에서의 음향반응과 음향공에서의 음향반응을 연속조건을 사용, 결합하여 전체적인 음향거동의 변화를 계산하는 방법을 채택하였다. 음향공이 제외된 경우에서의 불안정 주파수를 검색하고, 이 주파수에서 설계된 음향공에 의한 불안정 영역의 전이와 시간에 대한 감쇠율을 계산함으로써 전체적인 안정화 음향거동을 예측하고자 하였다. 대상으로는 LOX/RP-1 추진제 조합의 원통형 연소실에서 발생하는 맥동 감쇠장치로서 1차원 1/4 파장 음향공을 적용하였다. 음향공, 연소면 상류, 연소면 하류에서의 음향반응은 각각의 경계면에서의 연속조건을 적용하여 결합하였으며, 유동은 비회전류로 가정하였다. 경계조건으로는 음향공 반응을 포함하고 있는 연소면 상/하류의 연소실 반응을 사용하여 음향공의 기하학적 특성에 따른 감쇠효과 및 맥동에 대한 음향공의 반응을 계산하였다. 음향공에 의한 연소반응의 변화는  $n-\tau^2$  파라메타 방법에 의하여 계산하였다.

연구결과, 1T, 2T의 일반적으로 발생하는 불안정 주파수를 기준으로 설계된 음향공은 불안정한 연소실상류 음향반응을 거의 완전하게 제거하는 것으로 나타났다. 또한 이러한 안정화 경향은 음향공의 수가 많을수록 강하게 발생하며, 음향공 입구의 모따기나 라운딩에 의해서도 상당히 개선되는 것으로 나타났다.