

현상적 화염 모델을 이용한 복사 열속 응답 함수의 수치적 계산

김 성 인 · 이 창 진
(건국대학교 항공우주공학과)

응답 함수는 추진제의 연소 불안정성을 예측하는데 사용되는 중요한 측정 방법중 하나이다. 복사 열속과 압력은 연소 불안정을 일으키는 주요인으로 알려져 있다. 최근에는 레이저 기술의 발달로 비접촉 방식으로 외부에서 연소장을 교란하여 불안정성을 판단하는 실험 연구가 많이 이뤄지고 있다. 이러한 실험 연구에 대한 해석 및 예측을 위하여 많은 연구자들이 이론 응답 함수를 구하려는 노력들을 하고 있다. De Luca 등이 복사열에 대한 응답 함수를 제안한데 이어 Brewster 등은 QSHOD 가정과 추진제 내부로의 복사열 흡수비를 고려하여 응답 함수를 구하였다 Lee 등은 ZN 방법을 사용하여 Brewster의 응답 함수를 재계산 하였다. 이와 같은 이론 응답 함수들은 연소 불안정성에 대한 유용한 정보들을 제공하였음에도 불구하고, 현상을 너무 단순화하였다는 한계를 가지고 있다.

최근에 Zebrowski 등은 추진제 내부의 분포 화학 반응을 고려한 수치 방법으로 실질적인 응답 함수 계산을 시도하였으나, 추진제 표면에서 단열 조건을 사용함으로써 한계를 가지게 되었다. 실제 연소에서는 기체 영역으로부터 추진제로 유입되는 열속이 존재하기 때문에, 이를 고려하여야만 보다 실질적인 응답 함수가 될 것이다. De Luca 등은 실험적 결과를 바탕으로 기체 영역의 화학 반응에 대한 모델링을 시도하였다. De Luca 등이 제안한 현상적 실험 모델인 $\alpha \beta \gamma$ 화염 모델은 실제 화학 반응을 모두 고려하지는 않았지만 기존의 해석적 모델들에 비하여 보다 현실적인 모델로 알려져 있다.

본 연구에서는 외부에서 복사 열속 교란이 있는 경우에 대하여 고체 추진제의 응답 함수를 수치적으로 계산하였다. 수치적 응답 함수의 계산을 위하여 추진제의 연소 반응은 분포 화학반응(distributed reaction)을 가정하였고, 또한 $\alpha \beta \gamma$ 화염 모델을 사용하여 기체 영역으로부터 추진제로의 전도 열속을 고려하여, 표면에서의 열평형 경계 조건을 사용함으로써 현실적인 응답 함수를 계산하고자 하였고, 이를 이론 및 실험적 결과와도 비교하였다.