

복사 열전달을 고려한 고체 추진제의 연소 불안정 현상에 관한 재해석

Reexamination of the combustion instability of solid propellant with radiative heat transfer

이창진, 변영환, 이재우
(건국대학교 항공우주공학과)

초 록

고체 추진제를 사용하는 추진 시스템을 개발하는데 가장 커다란 문제로 인식되고 있는 것은 추진제의 연소 특성을 이해하는 일이다. 그 중에서도 연소실의 압력 진동과 추진제 벽면으로 흡수되는 복사 열전달에 의한 연소율(burning rate)의 변화로 인하여 발생하는 연소 불안정에 대한 이해는 아직도 완전히 규명되지 않고 있다.

고체 추진제의 연소 불안정에 대한 이론적 해석은 준-정상 1차원 해석(Quasi-Steady Homogeneous One-Dimension) 방법에 의하여 단순화된 지배방정식을 해석하는 것이 일반적으로 잘 알려져 있는 방법이다. 이 가정은 고체 추진제가 연수되는 영역을 두께가 매우 얇은 영역의 표면반응영역(surface reaction layer)과 화학반응이 없는 응축상태영역(condensed phase zone) 그리고 기체상태의 연료와 화염이 존재하는 기체상태영역(gas phase zone) 등의 3영역으로 구분하며, 기체상태영역에서 발생하는 교란에 대한 응축상태영역의 반응시간 크기(response time scale)가 매우 크기 때문에 응축상태영역의 반응은 준정상적으로 일어난다고 가정하는 것이다.

그러나, 연소실의 온도가 3000 °K 정도의 높은 온도이어서 복사 열전달에 의한 고체 추진제의 가열이 중요한 열전달 방법으로 작용하게 되므로 이를 무시한 이론적 해석은 물리적인 중요성이 약하여질 수밖에 없다.

본 연구에서는 기체영역으로부터 전달되는 복사 열전달은 투명(transparent)한 표면반응영역을 통과하여 응축상태영역에서 모두 흡수되며 추진제 표면에서의 복사열방출(emission)을 고려하였다. 또한 연소불안정 현상을 해석하기 위하여 표면반응영역에서의 경계조건은 선형교란량으로 대치하는 Zn(Zeldovich-Novozhilov) 방법을 사용하였다. 이

방법은 기체상태영역에 대한 구체적인 해석없이도 연소불안정 현상을 해석할 수 있는 장점이 있다. 즉 응축상태영역에서의 연소율과 표면온도는 각각 기체영역으로부터 전달되는 온도구배와 연소압력, 그리고 복사 열전달의 함수관계이므로 선형교란에 의한 추진제 표면에서의 교란경계조건을 얻을 수 있으며, 응축영역의 교란지배방정식과 함께 사용하여 압력교란과 복사 열전달의 교란에 대한 연소율의 교란 증감 여부를 판단하여 연소 불안정 현상을 해석할 수 있다.