

압력이 상승하는 고체 추진제 비정상 연소에서 복사열 해석

정호걸, 이창진

건국대학교 기계항공학부

고체 추진제에서 연소실 압력이 급격히 변하는 비정상 상태에서의 연소 특성은 정상 상태와 다른 경향을 보인다. 고체 추진 시스템에서 안정적이고 필요한 성능을 얻기 위해서는 이러한 비정상 상태에서 일어나는 현상에 대한 예측이 필요하다.

고체 추진제에서 비정상 연소는 크게 두 가지 경우에 나타나게 된다. 그 중 하나는 소염을 위하여 연소실내 압력강하가 일어나는 경우이며, 다른 하나는 점화 후 압력이 상승하는 경우이다. 급격한 압력 강하로 인한 고체 추진제의 소염에 대하여 그 동안 많은 연구들이 진행되었다. 압력이 빠르게 강하하는 경우에 연소율은 정상상태의 연소율과 차이를 보이며, 때로는 복사열 전달 영향에 의하여 소염이 일어나지 않고 재점화가 일어나기도 한다. 또 다른 비정상 연소현상은 점화 이후 정상상태까지 압력상승이 일어나는 동안에 발생한다. 추진제가 점화된 후에 연소실 압력은 급격히 증가하게 되므로 정상상태의 연소율을 적용하게 되면 실제 일어나는 연소율과의 심한 차이로 설계된 추력을 얻지 못해 임무를 달성하지 못하는 원인이 되기도 한다.

Suhas 등은 응축 영역의 시간 크기($t_c = a_c/r_b$)와 압력 변화 시간 크기($t_p = |\Delta p / (dp/dt)_c$)의 비에 따라서 각 경우의 연소특성이 다르다는 것을 연구하였다. $t_c/t_p \leq 1$ 의 경우, 응축영역은 압력변화에 빨리 적응해 그 압력에서 정상상태 연소율을 나타내나, $t_c/t_p > 1$ 이 되면 기체영역보다 큰 열관성을 가지고 있는 응축영역이 압력 변화에 적절하게 반응하지 못하므로 정상상태의 연소율보다 작은 값을 나타내게 된다.

고체 추진제에서 알루미늄은 추진제의 불안정성을 줄이고 비추력을 향상시키기 위해서 사용된다. 그러나 알루미늄 입자들은 노즐을 통해서 연소가스가 배출될 때까지도 완전히 타지 않고 남아 있기 때문에 복사 열전달을 발생시키는 요인이 된다. Brewster 등은 정상상태의 기체 영역에서 유동, 연소, 복사 열전달에 대한 모델을 제시하였다.

본 연구는 알루미늄을 포함한 복합 고체 추진제가 점화되어 압력이 상승하는 비정상 연소에서 기체영역에 존재하는 Al과 Al_2O_3 에 의한 복사 열전달이 비정상 연소 현상에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보려고 하였다. 고체 추진제는 응축 영역, 표면 반응 영역, 기체 영역으로 나누어졌으며 1차원으로 가정하여 해석하였다. 복사 열전달 계산은 combustion flow 모델을 비정상 상태로 변형하였다. Al, Al_2O_3 의 직경과 부피비에 대한 정보를 구하여 복사와 관련된 계수들을 계산하였으며 최종적으로 복사 강도를 구하였다.