

표면 증발을 고려한 AP추진제의 정상 연소율 해석

Theoretical Analysis of the Steady Burning Rate for Homogeneous Solid Propellants with Surface Evaporation

이 창 진

건국대학교 항공우주공학과

고체 추진제의 연소율(burning rate)은 연소의 동적 기동을 이해할 수 있을 뿐 아니라 추진제의 성능을 판단할 수 있는 중요한 수단이기 때문에 많은 연구가 진행되어 왔다. 특히 AP계의 고체추진제 표면에서는 발열반응인 분해반응(decomposition) 이외에도 기체로 증발되는 증발반응(evaporation or sublimation)이 존재한다. 증발반응으로 인하여 연소율은 외부 압력의 변화에 대하여 반응하게 되며 실험적으로 $r_b = ap^n$ 의 관계를 보여주고 있다. 즉, 연소율(burning rate)은 연소실 압력 P의 n승에 비례하며 여기서 n은 실험적으로 결정되는 지수이다. 그러나 압력지수 n은 일반적으로 온도와 압력의 함수이기 때문에 실험적으로 이를 측정하기는 매우 어려운 일이다. 또한 QSHOD 가정을 사용하여 고체 추진제의 연소 응답함수를 해석하기 위해서 추진제의 민감계수(sensitivity parameters)에 관한 관계식이 필요하며 이러한 관계식은 추진제의 정상연소율에 관한 관계식으로부터 얻을 수 있다. 본 연구에서는 분해반응과 증발반응이 존재하며 외부로부터 고체추진제 표면으로 입사하는 복사열 전달이 있는 경우, 응축영역에서 에너지 방정식과 화학 종 보존식을 사용하여 정상상태의 연소반응물에 관한 이론 식을 유도하였다. 여기서 m 은 질량 연소율(mass burning rate = ρr_b), $a = Y_d$ 로 추진제 표면에서 분해반응에 대하여 생성된 질량 분율이며 $\omega = 1 - \frac{Q_e}{Q_d} \frac{Y_e}{1 - Y_e}$ 로 증발이 발생하지 않는다면 $\omega = 0$ 이며 이 경우는 Ibirucu등에 의하여 밝혀진 연소율 관식과 동일하다.

$$m^2 = \frac{R_u T_s^2 \lambda \rho A \exp(-E_d/R_u T_s)}{E_d(1-a) [e(T_s - T_H) - \frac{\epsilon}{2} (1-a)Q_d - \frac{(1-fr)a}{m}]}$$

그러나 추진제 표면반응영역에 기화반응이 존재하며 $\epsilon < 1$, $a = 0$ 이면 연소율은 위와 같다. 연소반응율의 압력에 대한 의존도 즉, 압력지수 n은 위 식으로부터 직접 유도할 수는 없으나, 반응에 의한 압력변화 관계식을 사용하면 가능하다. 앞으로의 연구는 응답함수를 사용하여 연소실 압력이 변화하는 경우의 추진제의 응답특성을 정확히 예측하려 한다.