

압력 강하로 인한 고체 추진제 동적 소화에 복사열전달이 미치는 효과

이창진, 정호걸

건국대학교 항공우주공학과

(E-mail : cjlee@kkucc.konkuk.ac.kr)

추력 중단이나 발사체가 단(stage) 분리를 하는 경우에 고체 추진제의 소화특성은 매우 중요한 의미를 지닌다. 고체 추진기관은 액체나 혼합형(hybrid) 추진기관에 비하여 추력 조절, 중단과 같은 운용의 유연성(flexibility in operation)이 부족한 것으로 알려져 있다. 따라서 고체 추진제의 점화/소화/재점화 등과 같은 특성을 이해하여 설계에 적용하는 것은 고체 추진기관의 응용에 많은 도움이 될 것이다.

소화란 연소실내에서 모든 화학반응이 정지되는 것을 의미한다. 고체 추진제의 소화는 물리적으로 2종류로 구별할 수 있다. 정적(static) 소화는 주어진 연소 조건에서 추진제의 연소율이 0으로 되는 것을 의미하고, 동적(dynamic) 소화는 어떤 연소 조건에서 안정한 연소(stable combustion)가 이루어지고 있을 때, 연소조건 변화 인하여 다른 연소 상태로 천이 한 후(transition) 소화에 이르는 경우 즉, 연소조건 변화에 대하여 연소 시스템이 동적인 반응(적응, response)을 하여 소화에 이르는 것을 의미한다. 따라서, 연소 압력이 임계 압력인 PDL(Pressure Deflagration Limit) 다 낮은 경우, 또는 추진제 초기 온도가 과도하게 낮거나 과도한 열손실 등이 발생할 때 정적 소화가 나타나는데 비하여, 동적 소화는 압력 강하(depressurization dp/dt), 기체영역에서 연소표면으로 전달되는 열속(heat flux) 감소 등과 같은 연소성 인자의 비-정상적(unsteady)인 변화에 대한 연소가 어떤 반응을 하느냐에 따라 결정된다.

본 연구에서는 알루미늄을 포함한 복합 고체 추진제에서 소화를 목적으로 연소실 압력을 강하시킬 때 기체영역에 존재하는 Al과 Al_2O_3 에 의한 복사 열전달이 비-정상 연소 현상에 미치는 영향과 연소면적, 연소실 크기에 따른 소화 특성을 살펴 보았다.

고체 추진제는 응축영역, 표면 반응영역, 기체영역으로 나누어졌으며 1차원으로 가정하였으며 화염이 존재하는 기체영역의 화학반응에 대한 준-정상(quasi-steady) $\alpha\beta\gamma$ 모델을 사용하였다.

그림 1은 1-D 모델을 간략히 나타낸 것이며, 표 1은 각 영역에서 사용된 가정들과 지배방정식을 나타낸 것이다.

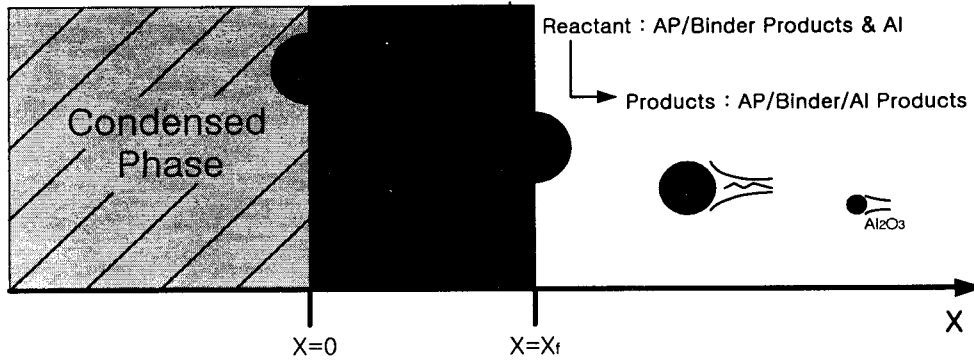


그림 1 고체추진제의 1차원 모델

응축영역	기체반응영역	Al 반응영역
<ul style="list-style-type: none"> ▲ 가정 X축 추진제 표면에 고정 화학반응 없음 전도, 복사 열전달 Beer's law (복사열 흡수) ▲ 지배방정식 에너지 방정식 	<ul style="list-style-type: none"> ▲ 화학반응 AP+Binder -> 기체발생 ▲ 화염모델 	<ul style="list-style-type: none"> ▲ 화학반응 : Al 산화반응 $Al + O_2 \rightarrow Al_2O_3$ ▲ Al, Al₂O₃에 의한 복사열전달 발생 (기체에 의한 복사열은 무시) ▲ 지배방정식 Two-Flux Model Combustion Flow Model (2-Phase)
비-정상상태(Unsteady)	준-정상상태 (Quasisteady)	

표 1 각 영역에서 사용된 가정과 지배방정식

계산에 사용된 추진제 조성은 AP:Al:CTPB=76:10:14 이다.