

고체 추진기관의 성능 손실 예측

성홍계, 황용석, 김윤곤

국방과학연구소

(E-mail : hgsung@sunam.kreonet.re.kr)

실제 추진기관에서 비추력 성능에 미치는 열/유동현상은 이상 유동(ideal flow)과는 달리, 추진기관의 특성에 따라 다양한 열/유동손실이 나타나며, 연소시험 시에는 이러한 성능 손실 인자들이 복합적으로 작용하여 나타나는 추력이 측정된다. 따라서 임의의 추진기관을 새롭게 성능 설계할 때에 부딪히는 문제중의 하나는 추력 손실양을 정량화 시키는 일이다. 그런데 고체 추진기관은 복잡한 물리적인 현상들이 복합되어 작동되기 때문에 lump parameter로 간단히 추력 손실을 예측하는 것은 매우 어려운 일이다. 국과연에서는 그동안 축적된 데이터와 경험을 바탕으로 유사 추진기관 형상 및 추진제 특성을 갖는 추진기관에서의 시험 데이터를 이용하여 사용해왔다. 그러나 유사 추진기관이 없을 때에는 예측 오차의 범위가 커지게 되므로 성능 손실 인자에 대한 정량적인 예측이 요구된다. 또한 새로운 구성품, 예를 들면 제트베인의 재료 특성 시험을 하기 위하여 임의의 추진기관을 선정하여 시험할 때, 그 구성품이 성능에 미치는 영향을 도출해야 하는데, 이를 위해서 성능 손실 인자에 대한 정량적인 예측이 또한 요구된다.

고체추진기관에서 성능손실에 의한 비추력 보정 계수(η_{ISP})와 추력 보정 계수(η_F)를 다음과 같이 모델링하였다.

$$\eta_{ISP} = \{1 - (\eta_{Div} + \eta_{TP} + \eta_{BL} + \eta_{Kin} + \eta_{Sub} + \eta_{Ero} + \eta_{JV}) / 100\} \times \eta_C \times \eta_{Int}$$

$$\eta_F = \{1 - (\eta_{TP} + \eta_{BL} + \eta_{Kin} + \eta_{Sub} + \eta_{JV}) / 100\} \times \eta_C$$

위 식에서 사용된 각 인자들은 η_{Div} , η_{TP} , η_{BL} , η_{Kin} , η_{Sub} , η_{Ero} , η_{JV} , η_C , η_{Int} 는 각각 divergence loss, two phase loss, boundary layer loss, kinetics loss, submergence loss, nozzle erosion loss, jet vane loss, combustion efficiency 및 inert material ablation gain을 나타내며, 물리적 의미는 표 1과 같다.

위의 각 인자들을 해석적(analytic), 반 실험적, 실험적인 방법들을 이용하여 모델링 하였다. 또한 SPP(미국), SNIA-BPD(이태리), Bayern-Chemie(독일), SEP(프랑스), KeRC(러시아) 및 ADD등에서 연구된 각 모델을 이용하여 비교 검토하였다. 그림 1에서는 추력 손실의 모델링 결과와 시험 결과를 비교한 것 중 한 예인데, 연구된 모델의 결과가 유용하게 적용됨을 알 수 있다.

표 1. 성능 손실 인자

	원 인
divergence loss(η_{Dv})	노즐 출구 팽창각으로 인한 축방향 모멘텀 감소
two phase loss(η_{TP})	연소 생성물내의 가스와 응집물(액체, 고체)간의 속도, 온도 등의 모멘텀 차
boundary layer loss(η_{BL})	연소 가스의 점성으로 인한 노즐 벽면에서의 열전달 및 마찰 손실
kinetics loss(η_{kin})	추진제가 연소되면서 추진제의 화학적 에너지가 완전히 열에너지로 변환되기 전에 노즐 밖으로 빠져나감으로써 발생하는 손실
submergence loss(η_{Sub})	노즐이 연소실 안으로 잠입됨에 따른 열 및 운동 모멘텀 손실
nozzle erosion loss(η_{Ero})	노즐목의 삭마에 의한 노즐 팽창비 및 압력 저하
combustion efficiency(η_C)	이론적으로 계산된 화염 온도와 실제 연소실내의 화염온도의 차
jet vane loss(η_{JV})	제트 베인의 항력
inert material ablation gain(η_{mi})	inert 물질의 ablation에 의한 유량 증가

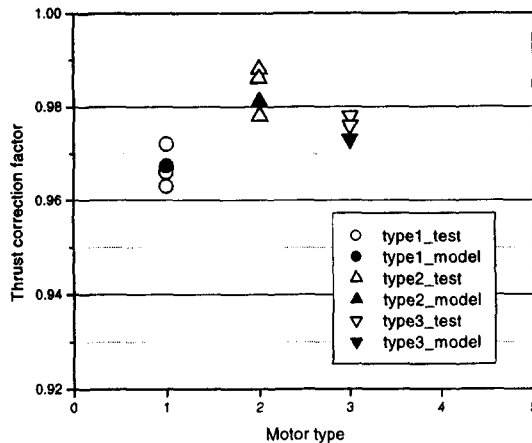


그림 1. 추력보정 계수의 이론 모델 결과와 시험결과 비교