

# 단요소 층돌형 분사기에 의한 액체추진제 연소성능의 수치적 연구

황용석\*, 윤웅섭\*\*

(\*국방과학연구소, \*\*연세대학교)

액체추진제 로켓엔진에서 분사기의 미립화 및 혼합 특성과 그에 따른 연소 특성은 성능과 안정성을 결정하는 중요한 파라미터이며 분사기는 제한된 설계 조건하에서 최대의 열방출을 발휘하도록 설계되어야 한다. 여기서 연소효율은 연료와 산화제의 혼합특성과 층돌 분무의 미립화의 정도에 의해 결정되므로 층돌 분무 유동성의 혼합, 미립화 특성과 이에 따른 인조성능 특성을 명확하게 밝힘으로써 최대 엔진성능을 위한 설계가 가능하게 된다. 분사기의 설계에는 분사요소 형태, 분사공의 형상 및 유동시스템 등이 포함되며 특히 분사요소 형태의 선택에는 추진제, 연소 실냉각방법, 연소실 형상, 자동조건 및 엔진의 수명 등이 중요한 제한조건으로 고려된다. 이런 형태의 분사 요소들 중, 층돌형 분사기는 저장성 추진제를 사용하는 중, 저추력의 액체추진제 로켓 엔진에 주로 사용된다. 이 분사형태는 미립화 성능이 높지 않고, 분사공 직경 및 운동량비에 따른 혼합성능이 민감하며 blow apart 등에 의한 열부하 혹은 안정성에 대한 문제가 있으나 양호한 혼합효율, 신뢰성과 제작의 용이함으로 인하여 광범위하게 사용된다.

여러가지 분사기의 미립화 특성에 대한 이론적인 연구는 액체 막(sheet)의 분열(break-up)특성에 관한 연구 중심으로 적용되며, 이론적 혹은 실험적으로 구하여진 분무특성을 입력조건으로 하는 연소실 내에서의 분무연소를 이론적으로 계산하는 방법들이 연구되어 왔다. 또한 최근 연소실 내부에서의 3차원 난류 분무연소장의 해석에 전신유체역학(CFD)을 응용하는 연구들이 활발하게 시도되고 있다.

본 연구에서는 OFO, FOF의 삼중층돌형, FOF 분리층돌형 분사기의 실험을 통하여 획득된 분사특성을 바탕으로 액체추진제 로켓엔진 내에서의 n heptane-air 3차원 난류분무연소장을 계산하여 연소효율을 비교, 분석하였다. 수치기법으로는 저 마하수 비압축성 유동장에서 압축성을 동시에 고려하기 위한 에포긴화 방법을 사용하였고, 압력항의 Singularity를 해결하기 위한 압력 분리기법을 사용하였다. 난류모델로는 벽면 근처에서 난류의 Kolmogorov 거동을 고려한 낮은 Re 수  $k-\epsilon$  모델을 사용하였으며, 분무 모델로 DSF 모델을 사용하였다. 난류 연소 모델로는 Eddy Dissipation Model을 사용하였다.

FOF, FOF, OFO형의 층돌형 분사기에 각각 4가지 운동량비에서의 분무특성을 경계조건으로 액체추진제 연소과정을 계산한 결과, 연소효율(combustion efficiency)에 있어서 FOF형 분사기가 가장 우수하고 OFO형 분사기가 가장 저조한 결과를 나타냈다. 연소효율에 중대한 영향을 미치는 파라미터로는 초기 분무의 평균지름과 혼합비, 그리고 혼합성능에 의한 단열 파임 온도와 연소실내 평균온도와의 차이 등이 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한 액적의 평균지름, 단열 화염과의 온도차는 연소효율에 반비례하고, 혼합비에는 최대 연소효율을 나타내는 최저혼합비가 존재함을 확인할 수 있었다.