

75톤급 액체로켓엔진 축소형 가스발생기 연소시험 결과

김문기* · 안규복* · 임병직* · 김종규* · 서성현* · 최환석*

Hot-firing Test Results of Subscale Gas Generator for 75 ton-class Liquid Rocket Engine

Munki Kim* · Kyubok Ahn* · Byoungjik Lim* · Jong-Gyu Kim* · Seonghyeon Seo* · Hwan-Seok Choi*

ABSTRACT

A subscale gas generator was designed and manufactured to investigate the effect of design parameters on discharge coefficients of injectors for a 75 ton-class gas generator and hot-firing tests were successfully performed. The test results showed that discharge coefficients of fuel and liquid oxygen injectors remained nearly constant irrespective of variations of a mixture ratio and a chamber pressure. When the post diameter of the liquid oxygen injector was reduced, the discharge coefficient was increased as the pressure drop of the injector was decreased.

초 록

75톤급 가스발생기 개발을 위한 분사기의 설계 변수에 따른 유량계수의 영향을 파악하기 위하여 축소형 가스발생기를 설계, 제작하였으며, 연소시험을 성공적으로 수행하였다. 연소시험 결과 연료 및 산화제 분사기의 유량계수는 혼합비와 연소압에 상관없이 거의 일정한 것으로 나타났으며, 산화제 분사기의 노즐 지름을 줄인 경우 분사기 차압이 줄어들어 유량계수가 증가하는 것을 확인하였다.

Key Words: Gas Generator(가스발생기), Liquid Rocket Engine(액체로켓엔진), Hot-firing Test(연소 시험), Discharge Coefficient(유량계수)

1. 서 론

한국항공우주연구원에서는 추력 30톤급 펄프 공급방식 액체로켓엔진 개발 과정에서 습득된 경험을 바탕으로 추력 75톤급 액체로켓엔진용

가스발생기의 기술검증시제를 설계, 제작하였으며[1], 설계점 연소시험 결과 측정된 산화제 분사기 차압이 설계 차압보다 큰 값을 보여 유량계수를 감소시키는 것을 확인하였다[2]. 이에 대한 원인 파악을 위해 축소형 가스발생기를 설계, 제작하여 연소시험을 수행한 결과 산화제 분사기 차압이 다소 작아지긴 하였지만 목표치보다 여전히 큰 사실을 확인하였다[3].

* 한국항공우주연구원 연소기팀
연락처, E-mail: kimun77@kari.re.kr

본 연구에서는 축소형 가스발생기 2호기를 설계, 제작하여 혼합비 및 연소압 변화에 따른 연소시험을 수행하였으며, 이를 통해 분사기 유량계수에 영향을 주는 인자를 파악하고자 하였다.

2. 축소형 가스발생기 및 시험 조건

축소형 가스발생기 2호기의 헤드는 Fig. 1과 같이 제작되었으며, 연소실은 기존의 heat-sink형 연소실을 그대로 사용하였다. 분사기 형상을 제외하고 다른 설계 형상은 축소형 가스발생기 1호기와 동일하다[3]. 축소형 가스발생기 2호기의 분사기는 연료 분사기 형상은 1호기와 동일하게 하면서 산화제 분사기 노즐 지름을 줄이는 방향으로 설계를 진행하였다.

축소형 가스발생기의 연소시험 조건을 Fig. 2에 도시하였다. 설계점(Design Point, DP)은 연소실 압력 58 bar, 혼합비 0.321이며, 총 추진제 유량은 2.54 kg/s이다. 탈설계점(Off-Design)은 설계점을 기준으로 연소실 압력 $\pm 16\%$, 혼합비 $\pm 10\%$ 의 8개 시험점을 의미하며 Fig. 2에 OD1에서 OD8까지 마름모 기호로 표시하였다. 연소시험은 1회 연소시간 4초로 5회, 두 번째 설계점 시험은 20초 1회로 총 6회 수행하였으며, 연소압을 고정한 후 혼합비를 변화시킨 시험 3회(DP, OD6, OD8), 혼합비를 고정한 후 연소압을 변화시킨 시험 3회(DP, OD5, OD7)로 구성하였다.

3. 연소시험 결과

축소형 가스발생기를 시험대에 장착한 후 총 6회의 연소시험을 성공적으로 수행하였다. 수행된 연소시험의 실제 시험점은 Fig. 2와 같이 세모 기호로 표시하였는데, 시험 설비의 오차로 인해 목표 시험점에서 약간 벗어나는 조건에서 수행된 것을 확인할 수 있다. 하지만 고정 인자인 연소압과 혼합비에 따른 시험간 편차는 평균 연소압 59.1 bar 기준으로 약 0.7%, 평균 혼합비 0.321 기준으로 약 1.1%로 거의 일정한 조건에서 시험이 수행되었다.

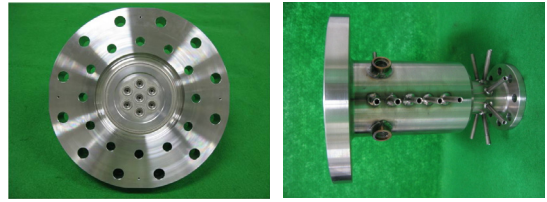


Fig. 1 Subscale Gas Generator. Injector Head (left) and Heat-sink Type Combustor Chamber (right)

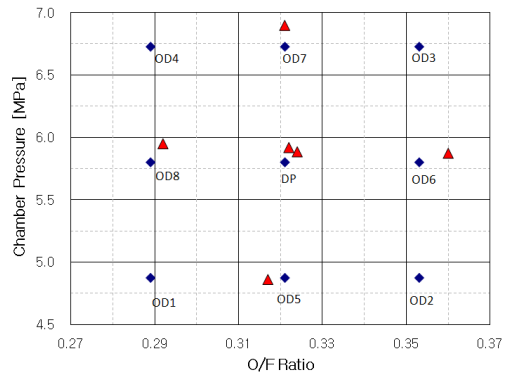


Fig. 2 Experimental Conditions of Hot-firing Tests

연소시험에서 측정된 분사기 차압, 추진제 유량, 밀도 등을 통해 분사기의 점화율을 기준으로 유량계수를 계산하여 혼합비와 연소압에 따른 유량계수 변화를 도시하면 각각 Fig. 3, 4와 같다. 유량계수 결과는 수류시험 대비 연소시험 유량계수 비율로 표시하였으며, 원형 기호(●)와 네모 기호(■)는 각각 축소형 가스발생기 2호기(A2)의 산화제와 연료 유량계수를 의미한다. 또한, 1호기(A1)의 유량계수 결과를 참고하기 위하여 Fig. 3, 4에 기호(○, □)로 나타내었다. 축소형 2호기의 분사기 유량계수는 Fig. 3에서 보듯이 고혼합비 조건(OD6)에서 연료의 유량계수가 다소 감소하고 산화제는 약간 증가하는 것으로 보이며, 1호기에서 비슷한 경향을 나타내고 있다. 하지만 유량계수 간의 편차는 산화제 0.7%, 연료 1.8%로 그리 크지 않아 혼합비에 따라 일정한 것으로 볼 수 있으며, 고 혼합비 조건에 대한 재현성을 확인하여 시험 오차 유무를 파악할 필요가 있다.

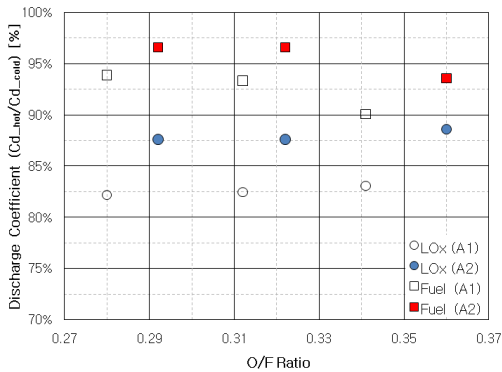


Fig. 3 Discharge Coefficient according to Mixture Ratio at Fixed Chamber Pressure

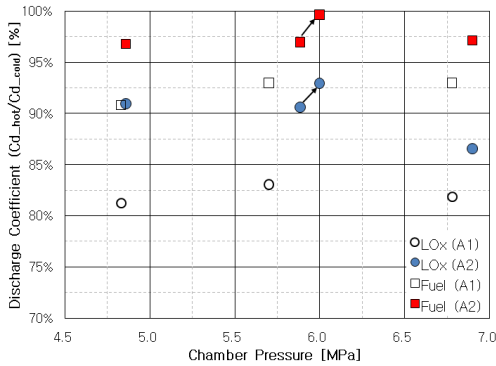


Fig. 4 Discharge Coefficient according to Chamber Pressure at Fixed Mixture Ratio

연소압에 따른 분사기 유량계수 변화는 Fig. 4와 같이 고압 조건(OD7)에서 산화제의 유량계수가 다소 감소한 것을 고려하더라도 유량계수 편차가 산화제 2.7%, 연료 0.2%로 연소압에 따라 크게 변하지 않는 것으로 나타났다. 특히, 20초 설계점 시험의 경우 4초를 기준으로 수행된 연소시험의 유량계수 결과보다 Fig. 4의 화살표에 의해 표시된 것과 같이 2~3%의 증가를 보이는 데, 이는 초기 추진제 공급 시점에 비해 추진제 공급 매니폴드가 열적 평형 상태 도달하여 정상 상태에서 유량이 공급되어 유량 증가 및 차압 감소에 의한 효과로 예상된다.

축소형 가스발생기 2호기의 전체적인 분사기 유량계수는 연료는 수류시험 대비 약 96.3%, 산

화제는 약 88.6%로 산화제가 여전히 연료에 비해 작게 계측되었지만, 연료와 산화제 분사기의 유량계수는 1호기에 비해 많이 개선된 것을 알 수 있었다. 이는 산화제 노즐 출구 지름의 축소로 인해 산화제 분무각이 줄어들게 되어 내부혼합 정도가 약해진 것이 주요 원인으로 파악된다. 하지만, 예기치 않은 저주파 섭동이 저압 조건(OD5)에서 약하게 발생하였으며, 향후 연구를 통해 이에 대한 개선이 필요할 것으로 보인다.

4. 결 론

75톤급 가스발생기의 축소형 시제를 설계, 제작하여 혼합비와 연소압에 따라 총 6회의 연소시험을 성공적으로 수행하였다. 연소시험 결과 혼합비나 연소압의 변화에 상관없이 연료 및 산화제 분사기의 유량계수는 거의 일정하였다. 또한, 산화제 분사기의 노즐 지름을 축소함에 따라 분사기 차압이 줄어들게 되어 연료와 산화제 분사기의 유량계수가 모두 증가하는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. 안규복, 서성현, 한영민, 최환석, "75톤급 액체로켓엔진 가스발생기 설계 및 제작," 한국항공우주학회 2008년도 춘계학술발표회 논문집, 2008, pp.743-746
2. 안규복, 서성현, 김문기, 임병직, 김종규, 이광진, 한영민, 최환석, "75톤급 가스발생기 기술검증시제의 연소시험," 한국추진공학회 2009년도 추계학술대회 논문집, 2009, pp.225- 230
3. 김문기, 서성현, 안규복, 임병직, 김종규, 이광진, 한영민, 최환석, "75톤급 액체로켓엔진 축소형 가스발생기 연소시험," 한국추진공학회 2010년도 춘계학술대회논문집, 2010, pp.173-176