

축소형 가스발생기 분사기 형상에 따른 연소 특성

김문기* · 임병직* · 강동혁* · 안규복* · 김종규* · 최환석*

Effects of Injector Shape on Combustion Performance of a Subscale Gas Generator

Munki Kim* · Byoungjik Lim* · Donghyuk Kang* ·
Kyubok Ahn* · Jong-Gyu Kim* · Hwan-Seok Choi*

ABSTRACT

The hot-firing tests of a subscale gas generator were successfully performed to investigate the effect of injector shape variation on its discharge coefficient. The test results showed that discharge coefficient of liquid oxygen injectors was enhanced significantly. However, the combustion instability of low-frequency fluctuation occurred at low and design pressure conditions.

초 록

축소형 가스발생기를 제작하여 연소시험을 성공적으로 수행하였으며 분사기의 형상 변화에 따른 유량계수의 영향을 파악하였다. 연소시험 결과 산화제 분사기의 유량계수는 이전 결과보다 향상되었지만 저압 및 설계압 시험조건에서 저주파 섭동이 발생하였다.

Key Words: Gas Generator(가스발생기), Hot-firing Test(연소시험), Discharge Coefficient(유량계수), Combustion Instability(연소 불안정)

1. 서 론

한국항공우주연구원에서는 한국형발사체에 적용할 추력 75톤급 엔진용 가스발생기를 개발하고 있으며 본격적인 개발에 앞서 가스발생기에 적용할 분사기를 선정하기 위하여 축소형 시제 1~4호기를 설계, 제작하여 다수의 연소시험을 수행하였다[1-6]. 축소형 시제 1~3호기 연소시험 결과 측정된 분사기 유량계수가 점차 향상됨에 따

라 분사기 차압이 작아지는 것을 확인하였다. 하지만 분사기 차압이 줄어들어 따라 축소형 2, 3호기에서 저주파 압력 섭동이 발생하여 연소 안정성이 떨어지는 것으로 나타났다[1-5]. 축소형 4호기의 경우 연소 불안정이 발생하지 않았으나 다시 유량계수가 줄어드는 현상이 나타났다[6].

본 연구에서는 축소형 4호기의 결과를 바탕으로 유량계수를 향상시키면서 연소 불안정이 발생하지 않는 방향으로 축소형 가스발생기 5호기를 설계, 제작하였으며, 설계점 및 탈설계점에 대한 다수의 연소시험을 수행하여 축소형 5호기

* 한국항공우주연구원 연소기팀

† 교신저자, E-mail: kimun77@kari.re.kr

에 대한 연소 특성 및 연소 안정성을 파악하고자 하였다.

2. 축소형 가스발생기 및 시험 조건

축소형 가스발생기 5호기의 헤드는 Fig. 1과 같이 제작되었으며, 기존의 heat-sink 형태의 연소실과 조립하여 시험대에 장착하였다. 분사기를 제외한 헤드부 형상은 기존의 축소형 1~4호기와 동일하다[1]. 축소형 5호기의 분사기 형상은 축소형 4호기의 형상을 바탕으로 미세조정 하였다. 즉, 다른 분사기 형상 수치는 동일하게 유지하고 산화제와 연료 분사기의 접선홀 지름을 4호기에 비해 각각 0.1 mm씩 증가시켜 분사기 차압을 줄이는 방향으로 설계하였다.

축소형 5호기의 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 point)은 설계점을 기준으로 연소실 압력 $\pm 16\%$, 혼합비 $\pm 10\%$ 의 8개 시험점을 의미한다. 연소시험은 1회 연소시간 4초를 기준으로 설계점 2회, 탈설계점 11회로 총 13회를 성공적으로 수행하였다. 시험 데이터는 연소가 종료 직전 0.2초를 평균하였으며, 저주파 불안정이 발생할 경우 발생 시점 직전 0.2초를 평균하였다. 실제 연소시험에서 측정된 시험점을 도시하면 Fig. 2에 네모 기호로 표시하였다.



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

3. 연소시험 결과 및 유량계수

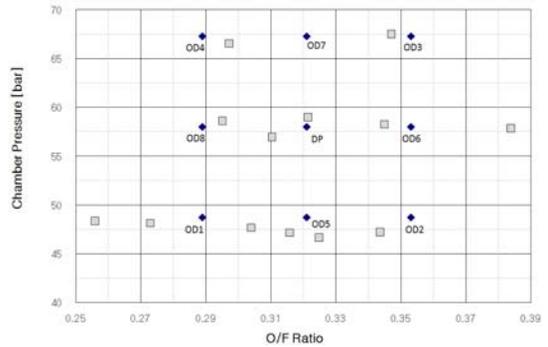


Fig. 2 Experimental Conditions of Hot-firing Tests

축소형 5호기의 유량계수 특성을 파악하기 위하여 연소압과 혼합비에 따른 유량계수의 변화를 살펴보았다. 연소압 고정 시험은 설계점 시험 2회와 탈설계점 OD6, OD8을 포함한 총 4회, 혼합비 고정 시험은 설계점 및 탈설계점 OD5, OD7를 포함하여 총 3회의 결과를 기준으로 하였다. 연소압 고정 시험은 평균 압력 57.9 bar를 기준으로 압력 변화는 약 1.06% 편차 내에서 수행되었으며, 혼합비 고정 시험은 평균 혼합비 0.311를 기준으로 혼합비 변화는 약 3.65% 편차 내에서 수행되었다.

연소시험에서 측정된 분사기 차압, 추진제 유량, 밀도 등을 통해 분사기의 접선홀을 기준으로 유량계수를 계산하여 혼합비와 연소압에 따른 유량계수 변화를 도시하면 각각 Fig. 3, 4와 같다. 유량계수 결과는 수류시험 대비 연소시험 유량계수 비율로 표시하였다. Fig. 3, 4에서 원형 기호(●)와 네모 기호(■)는 각각 축소형 5호기의 산화제와 연료의 유량계수를 의미하며, 축소형 1~4호기(A1~A4)의 유량계수 결과를 비교하기 위하여 A1은 기호(x, +), A2는 기호(○, □), A3은 기호(△, ◇), A4는 기호(*, -)로 함께 표시하였다.

축소형 5호기의 혼합비에 따른 유량계수 변화를 살펴보면 Fig. 3에서 보듯이 산화제 유량계수는 거의 일정하다가 고혼합비에서 약간 증가하는 것으로 보인다. 연료 유량계수의 경우 혼합비가 증가함에 따라 감소하다가 약간 증가하는 경향을 보인다. 연소압에 따른 유량계수의 변화를

살펴보면 Fig. 4에서 보듯이 산화제와 연료가 반대의 경향성을 보이고 있다. 즉 산화제 유량계수는 연소압에 따라 감소하는 반면 연료 유량계수는 증가하는 경향을 보이고 있다. 하지만 축소형 5호기의 유량계수간 편차는 혼합비나 연소압에 따라 연료와 산화제 모두 2.0% 이내로 나타나 거의 일정하다고 볼 수 있다.

축소형 가스발생기 5호기의 전체적인 분사기 유량계수는 연료는 수류시험 대비 약 92.1%, 산화제는 약 94.0%로 계산되는데, 이는 축소형 4호기에 비해 연료 유량계수는 거의 유사한 값인 반면 산화제는 4호기의 90.9%에 비해 크게 향상된 결과이다.

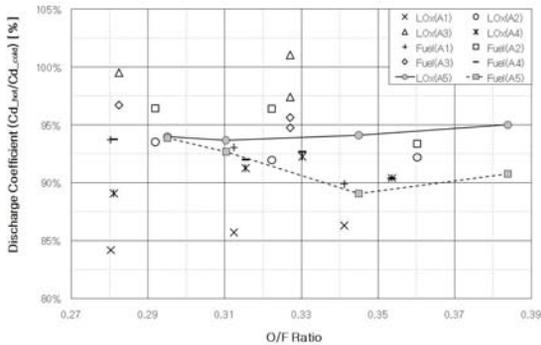


Fig. 3 Discharge Coefficient Variations according to Mixture Ratio at Fixed Chamber Pressure

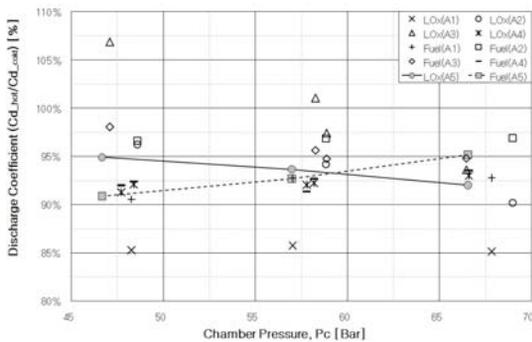


Fig. 4 Discharge Coefficient Variations according to Chamber Pressure at Fixed Mixture Ratio

하지만 연소 안정성을 파악하기 위하여 저압 조건에서 연소시험을 수행한 결과 축소형 3호기

와 마찬가지로 설계점 압력 및 저압 탈설계점 조건에서 저주파 압력 섭동이 관측되었다. 이는 산화제 분사기 유량계수가 향상됨에 따라 산화제 분사기 차압이 작아진 것이 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다.

4. 결론

축소형 1~4호기 연소시험 결과를 바탕으로 축소형 가스발생기 5호기를 설계, 제작하여 다수의 연소시험을 성공적으로 수행하였다. 연소시험 결과 축소형 4호기에 비해 산화제 분사기의 유량계수가 향상되었지만 저주파 연소 불안정 현상이 발생하였다.

참고 문헌

1. 김문기 외 7인, "75톤급 액체로켓엔진 축소형 가스발생기 연소시험," 한국추진공학회 2010년도 춘계학술대회논문집, 2010, pp.173-176
2. 김문기 외 5인, "75톤급 액체로켓엔진 축소형 가스발생기 연소시험 결과," 한국추진공학회 2010년도 추계학술대회논문집, 2010, pp.726-728
3. 안규복 외 6인, "축소형 가스발생기 연소안정성 연구," 한국추진공학회 2010년도 추계학술대회논문집, 2010, pp.594-596
4. 김문기 외 5인, "축소형 가스발생기 연소시험에서의 유량계수 특성," 한국추진공학회 2011년도 춘계학술대회논문집, 2011, pp.73-76
5. 안규복 외 5인, "축소형 가스발생기 연소안정성 특성," 한국추진공학회 2011년도 추계학술대회논문집, 2011, pp.69-72
6. 김문기 외 5인, "분사기 형상 변화에 따른 축소형 가스발생기 연소 특성," 한국추진공학회 2011년도 추계학술대회논문집, 2011, pp.159-162