

축소형 가스발생기 연소안정성 연구

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

Study on Combustion Stability of Sub-scale Gas Generator

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

ABSTRACT

Hot-firing tests were performed on a sub-scale gas generator for development of a 75 ton-class liquid rocket engine. This paper deals with the analysis results of low-frequency combustion instability that encountered during combustion tests of the gas generator.

초 록

추력 75톤급 액체로켓엔진용 가스발생기의 초기 검증을 위해 축소형 모델에 대한 연소시험이 수행되었다. 본 논문에서는 축소형 가스발생기 연소시험 중 발생한 저주파 연소불안정에 대하여 분석을 수행하였다.

Key Words: Gas Generator(가스발생기), Combustion Stability(연소안정성), Swirl Coaxial Injector(동축 와류형 분사기)

1. 서 론

Open-cycle 액체로켓엔진에서는 추진제를 연소기로 전달하는 터보펌프를 구동하기 위해 가스발생기가 사용되고 있다[1]. 한국항공우주연구원에서는 75톤급 액체로켓엔진용 가스발생기의 연구가 진행되고 있다[2]. 먼저 연료과농 조건에서 작동하는 동축 와류형 분사기의 성능 및 안정성을 파악하기 위해 분사기의 수를 줄인 축소형 가스발생기를 설계, 제작하여 연소시험을 수

행하고 있다[3, 4].

동축 와류형 분사기가 사용된 축소형 연소기의 경우 특정 조건에서 저주파 연소불안정이 문제가 된다고 알려져 있다[5]. 축소형 가스발생기 연소시험에서도 연소실 압력이 낮은 영역에서 저주파 연소불안정이 발생하였다. 본 논문에서는 이러한 가스발생기 연소시험에서 발생하는 저주파 압력섭동에 대해 살펴보았다.

2. 가스발생기 및 시험조건

축소형 가스발생기의 헤드와 연소실은 조립형

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

으로 제작되었다. 분사기는 중심에 1개, 1열에 6개로 총 7개가 배치되어 있다. 실물형 가스발생기와 설계조건을 맞추기 위해 연소실 직경은 74 mm, 길이는 146 mm로 결정되었으며, 연소실 끝단에 직경 20.8 mm의 노즐을 장착하여 터빈 매니폴드 노즐을 모사하였다.

가스발생기 연소시험에서 얻어진 혼합비, 연소실 압력 결과를 Fig. 1에 빨간색 원으로 표시하였다. 연소시험은 초기 설계점을 기준으로 혼합비 및 연소실 압력을 독립적으로 변경하여 6번을 수행하였으며, 저압에서의 저주파 압력섭동을 살펴보기 위해 저압 조건에서 혼합비를 변경하며 3번의 연소시험이 추가로 이루어졌다.

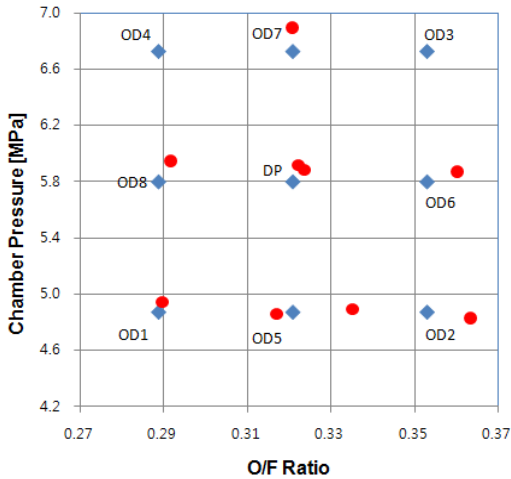


Fig. 1 Test conditions of sub-scale gas generator

3. 연소시험 결과 및 검토

Figure 1의 탈설계점5(OD5)에서 수행된 연소시험 결과 중 연소실 압력섭동 데이터를 Fig. 2에 도시하였다. 압력섭동은 peak-to-peak 기준으로 10 bar 정도로, 연소실 압력의 20%에 이르는 150 Hz 대역의 저주파 연소불안정이 발생한 것을 알 수 있다. Figure 2의 연소실 압력섭동 데이터를 FFT 처리한 결과를 Fig. 3에 제시하였다. 연소실의 음향학적 모드와는 상관없는 150 Hz 영역에서 압력섭동의 최대값이 나타나고 있다.

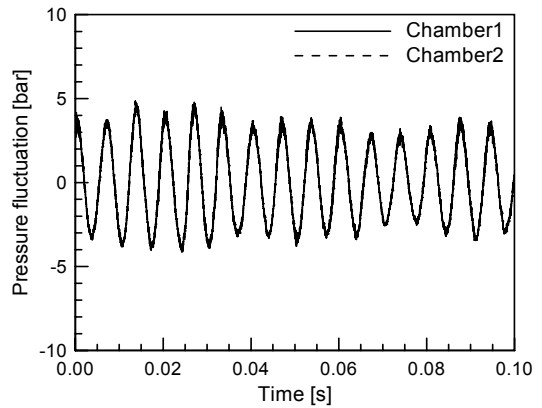


Fig. 2 Temporal evolution of filtered chamber pressure fluctuation at OD5

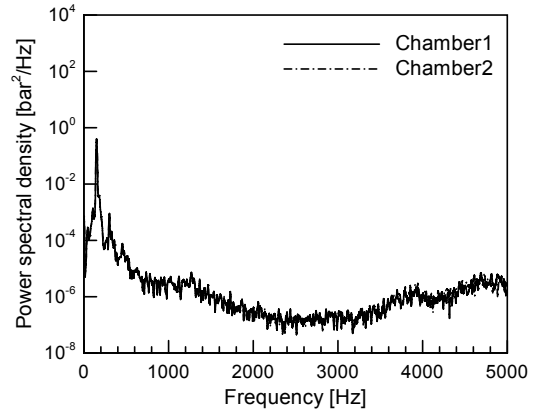


Fig. 3 Power spectral density of filtered chamber pressure fluctuation at OD5

축소형 가스발생기 연소시험에서 발생하는 이러한 저주파 연소불안정을 보다 심도 있게 살펴보기 위해 9번의 연소시험에서 얻은 연소실 압력섭동의 RMS 값을 연소실 압력으로 정규화하여 살펴보았다. Fig. 4, 5는 각각 연소실 압력과 연료 분사기 차압의 함수로 압력섭동을 분석한 그래프이다. Fig. 4에서 연소실 압력이 50 bar 이상인 경우에는 압력섭동의 RMS 값이 연소실 압력의 2% 수준에 머물고 있지만, 50 bar 이하일 경우 저주파 섭동의 발생으로 RMS 값이 5% 수준으로 증가를 하고 있다. 하지만 50 bar 이하의 압력에서도 한 번의 연소시험에서는 RMS 값이 1% 미만으로 더 작아지는 결과가 나타났다.

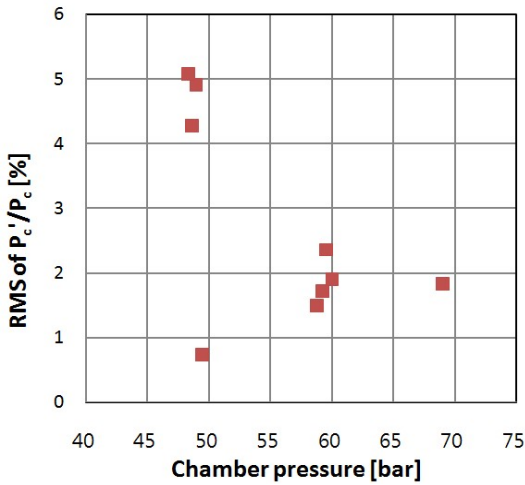


Fig. 4 Pressure fluctuation data normalized by chamber pressure as a function of chamber pressure

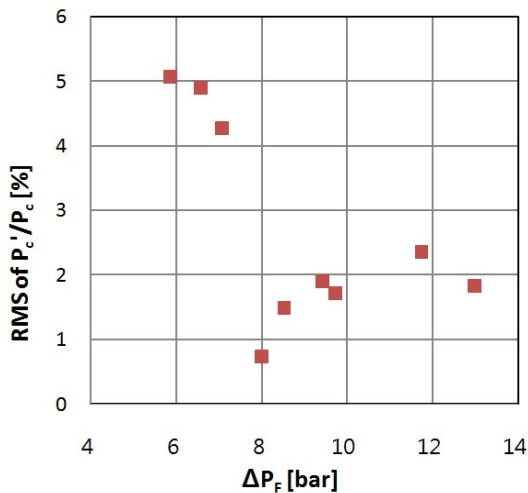


Fig. 5 Pressure fluctuation data normalized by chamber pressure as a function of fuel injector pressure drop

Figure 5를 살펴보면 연료 분사기 차압이 8 bar 이하에서는 분사기 차압이 감소함에 따라 압력섭동의 강도가 증가하고 있는 것을 알 수

있다. 여기에서 저주파 연소불안정의 경우 잘 알려진 바와 같이 분사기 차압 증가가 해결책이 될 수 있음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

축소형 가스발생기 연소시험에서 발생한 저주파 연소불안정 현상을 분석하였다. 동축 와류형 분사기를 사용한 연료과농 연소시험에서는 연소실 압력 및 연료 분사기 차압이 저주파 섭동에 매우 중요한 요소임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 홍용식, 우주추진공학, 청문각, pp.143-149
2. 안규복, 서성현, 김문기, 임병직, 김종규, 이광진, 한영민, 최환석, "75톤급 가스발생기 기술검증시험의 연소시험," 제33회 한국추진공학회 춘계학술대회논문집, 2009, pp.225-228
3. 서성현, 안규복, 한영민, 최환석, "작동 조건에 따른 이중 와류 분사기 유량 계수 변화 연구," 제34회 한국추진공학회 춘계학술대회 논문집, 2010, pp.177-180
4. 김문기, 서성현, 안규복, 임병직, 김종규, 이광진, 한영민, 최환석, "75톤급 액체로켓엔진 축소형 가스발생기 연소시험," 제34회 한국추진공학회 춘계학술대회논문집, 2010, pp.173-176
5. Ahn, K., Han, Y.M., Seo, S., and Choi, H.S., "Effects of Injector Recess and Chamber Pressure on Combustion Characteristics of Liquid-Liquid Swirl Coaxial Injectors," Accepted to Combustion Science and Technology, 2010.