

산화제과잉 예연소기 점화시험

문일윤* · 문인상* · 유재한* · 전재형* · 이선미* · 홍문근* · 하성업* · 강상훈* · 이수용*

Ignition Test of an Oxidizer Rich Preburner

Il-Yoon Moon* · Insang Moon* · Jaehan Yoo* · Jae-Hyoung Jeon* · Seon-Mi Lee*
Moongeun Hong* · Seong-Up Ha* · Sang Hun Kang* · Soo Young Lee*

ABSTRACT

Ignition tests of an oxidizer rich preburner for a staged combustion cycle liquid rocket engine were performed to evaluate combustion performance. Design operation conditions of the tested oxidizer rich preburner are about 60 of OF ratio and 20 MPa of combustion pressure. The entire kerosene and some LOx injected into the mixing head is burned in combustion chamber and the remaining LOx injected through center holes of combustion chamber is vaporized. Full flow ignition method with hypergolic fuel was used. Each propellant was supplied in two stages for soft ignition. Test results, low frequency oscillation was occurred in low flow rate conditions under 45% of design flow rate. Stable ignition in the course of design combustion pressure was able to induce by minimization of low flow rate ignition region to escape low frequency oscillation.

초 록

다단연소 사이클 로켓엔진용 산화제과잉 예연소기 연소성능 평가를 위해 점화시험을 수행하였다. 산화제과잉 예연소기는 혼합비 60, 20 MPa의 연소압에서 작동하도록 설계되었다. 케로신과 액체산소의 일부는 혼합헤드를 통해 연소실로 공급되어 산화제과잉 환경에서 연소되며 나머지 액체산소는 연소실 중앙에 위치한 분사구를 통해 연소실에 주입되어 기화된다. 접촉발화성 연료로 별도의 점화용 분사기 없이 전체 분사구를 통해 점화용 추진제를 공급하여 점화하는 방식을 사용하였다. 안정적 점화를 위해 각각의 추진제를 2단으로 공급하여 점화할 수 있도록 하였다. 시험결과 설계유량의 45% 이하의 저유량 점화구간에서 저주파 진동이 발생하였다. 저주파 진동을 피하기 위해 저유량 구간을 최소화하는 방식으로 설계 연소압까지 안정적 점화를 유도할 수 있었다.

Key Words: Preburner(예연소기), Oxidizer Rich(산화제과잉), Ignition(점화), Low Frequency oscillation(저주파 진동), Staged Combustion Cycle(다단연소 사이클)

* 한국항공우주연구원 미래로켓추진팀

† 교신저자, E-mail: iymoon@kari.re.kr

다단연소 사이클 로켓엔진의 예연소기에서 배출된 연소가스는 터보펌프의 터빈을 구동한 후 연소기로 공급돼 연소되므로 다단연소 사이클 로켓엔진의 예연소기는 개방형 가스발생기 사이클 엔진의 가스발생기에 비해 높은 연소압을 갖는다[1].

케로신과 액체산소를 추진제로 하는 다단연소 사이클 로켓엔진에서 연소기에 사용되는 산화제는 모두 예연소기의 연소가스 형태로 공급되므로 예연소기에는 사용되는 액체산소 전부가 공급된다.

예연소기 개발과정에서 가압식 연소시험 설비에서 연소시험 할 경우 연소압력이 없는 점화초기에 높은 가압압력과 많은 유량으로 하드 스타트의 위험이 커지므로 점화초기 유량과 추진제 공급순서 등의 점화에 많은 어려움과 위험이 따른다.

본 논문에서는 2단계의 추진제 공급장치를 사용하여 점화초기 유량을 변화시켜 점화특성을 비교하였다.

2. 시험대상 및 방법

2.1 산화제과잉 예연소기

산화제 과잉 예연소기는 연료 과잉 예연소기에 비해 동일한 연소압력에서 더 낮은 온도의 연소가스를 발생시키는 장점을 가지고 있어 케로신과 액체산소를 추진제로 하는 다단연소 사이클 액체엔진의 터보펌프 구동을 위해 널리 사용되고 있다[2].

다단연소 사이클 로켓엔진 핵심기술개발의 일환으로 유량 16 kg/s, 혼합비 60, 연소압 20 MPa 급 산화제 과잉 예연소기를 개발하고 있다.

개발 중인 산화제 과잉 예연소기는 Fig. 1과 같이 전체 연료와 산화제 일부를 혼합헤드를 통해 연소실에 공급하여 혼합비 15에서 1차 연소시키고, 나머지 산화제는 연소실의 냉각채널을 통해 연소실을 냉각시킨 후 연소실 중앙에 위치한 분사공을 통해 연소실로 주입하여 기화시키는 형태로 최종적으로 혼합비 60에서 작동하도록

설계되었다.

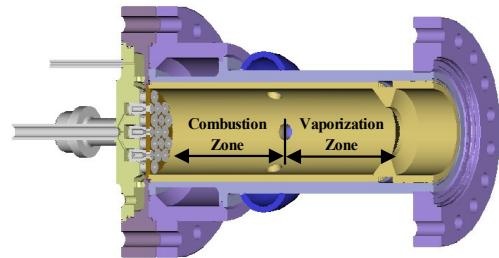


Fig. 1 Schematic of Oxidizer Rich Preburner

2.2 점화방식 및 시험방법

액체산소로 생각하는 소형의 고압 재생냉각 연소실을 고려하여 점촉발화방식을 채택하였다.

Figure 1에서와 같이 별도의 점화용 분사기 없이 모든 연료 분사기에서 점화용 추진제가 분사되는 full flow 점화방식을 취하였다. 케로신으로 점화용 추진제를 밀어내는 구조로 점화용 추진제가 먼저 연소실에 공급된 후 연료가 공급될 수 있도록 하였다. 점화용 추진제로 30 ml의 TEAB가 사용되었다.

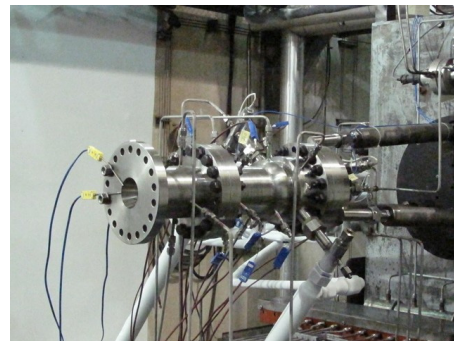


Fig. 2 Oxidizer Rich Preburner

연소시험설비는 예연소기 혼합헤드로 케로신과 액체산소를, 연소실로 액체산소를 각각 독립적으로 공급할 수 있도록 배관이 구성되었다.

각각의 추진제 공급 배관에는 2개의 밸브와 오리피스 조합을 사용하여 추진제 공급량을 2단으로 제어할 수 있도록 하였다.

추진제 가압압력은 일정하게 유지하면서 배관

오리피스 크기를 교체하여 점화초기 연소실에 공급되는 유량을 2가지로 변화시켜 시험을 수행하였으며 각 배관에 구성된 2개의 밸브가 다 열렸을 경우 설계유량이 공급되도록 각각의 오리피스를 설정하였다.

산화제과잉 예연소기는 터빈 구동을 위한 가스를 생성하는 역할을 하므로 터빈 입구 허용 온도 이하의 연소가스를 생성하여야 한다. 따라서 초기 점화시와 설계압력으로 천이시에도 설계한 혼합비 비율내에서 추진제 공급이 이루어져야 한다. 이를 위해 수류시험을 통해 연소실내로 추진제 도달시간을 측정하여 점화시험을 위한 사이클로그래를 정하였다[3].

설계 연소압 구간 뿐 아니라 보조 밸브만 개방한 점화모드 시에도 예연소기에 공급되는 추진제간 비율은 설계값을 유지하도록 하여 시험하였다.

3. 점화시험 결과

각각의 추진제 공급배관 보조 밸브만 3초간 개방하여 저압 점화모드를 유지한 후 주밸브를 개방하여 설계 연소압까지 승압시킨 후 1초간 유지하였다.

Figure 3의 Case 1은 점화모드에서 설계유량의 27%를 공급한 결과이며 Fig. 4의 Case 2는 점화모드에서 설계유량의 45%를 공급한 점화시험 결과이다. 두 시험 모두 동일한 추진제 가압압력과 사이클로그래를 사용하였다.

설계유량의 27%를 공급한 Case 1의 점화모드인 6.8~8.4 초 사이에서 69 Hz의 저주파 섭동이 발생하였으며 설계유량의 45%를 공급한 Case 2의 점화모드인 6.2~8.4 초 사이에서 77 Hz의 저주파 섭동이 발생하였다.

Figure 3, 4에서 설계유량의 45%를 공급한 Case 2가 설계유량의 27% 공급한 Case 1에 비해 점화지연시간이 0.6초 단축되었음을 확인할 수 있다.

Case 1의 점화모드에서 분사기는 설계차압의 약 8%에서 작동하게 되며 Case 2의 점화모드에

서는 분사기 설계 차압의 약 20%에서 작동하게 된다. 따라서 저차압에 의한 불안정한 분사, 추진제 공급배관과 연소실 압력과의 비차별성 등에 의한 진동 현상으로 볼 수 있다.

실제 예연소기 동작환경과는 동떨어진 저유량, 저차압의 점화모드는 가압식 연소시험설비에서 안전한 점화를 위해 임의로 도입한 조건이다. 이러한 저주파 진동은 혼합헤드에 손상을 입힐 수 있으므로 가능한 억제하거나 회피하여야 한다.

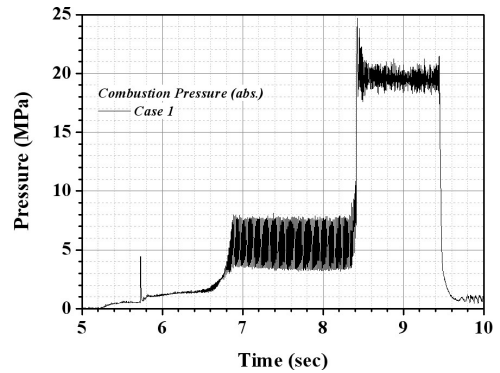


Fig. 3 Ignition Test Result of Case 1

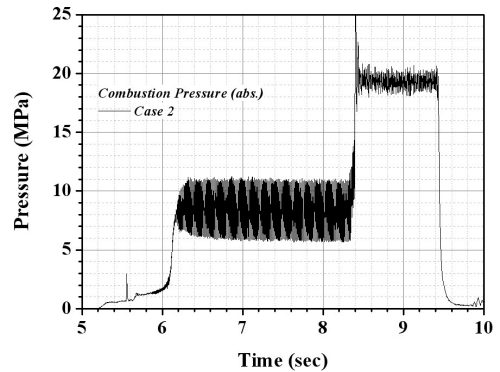


Fig. 4 Ignition Test Result of Case 2

저유량 조건에서 발생하는 저주파 진동을 회피하기 위해 Case 1번과 동일한 유량조건에서 점화모드 시간을 단축하여 설계 연소압까지 연소시킨 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

Figure 3의 Case 1에서 저주파 진동이 발생하는 6.2초대에 설계유량이 공급될 수 있도록 사이

클로그래를 조정하여 저주파 진동 구간 없이 바로 설계 연소압까지 상승이 가능하였다.

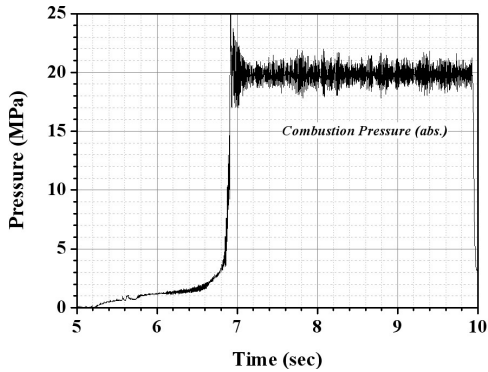


Fig. 5 Ignition Test Result of Modified Cyclogram from the result of Case 1

4. 결 론

다단연소 사이클 로켓엔진용 산화제과잉 예연소기 개발과정에서 연소시험 시 안정적 점화기법 확보를 위해 점화초 공급되는 추진제 유량을

변화시켜 점화시험을 수행하였다.

시험결과 설계유량의 45% 이하의 저유량 점화구간에서 저주파 진동이 발생하였다. 저주파 진동을 피하기 위해 저유량 구간을 최소화하는 방식으로 설계 연소압까지 안정적 점화를 유도할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Huzel, DK. and Huang, DH., "Modern Engineering for Design of Liquid-propellant Rocket Engines," AIAA, 1992
2. Yang, V., Habiballah, M., Hulka, J. and Popp, M., "Liquid Rocket Thrust Chambers : Aspects of Modeling, Analysis and Design," AIAA, 2003
3. 한영민, 조남경, 박성진, 이수용, 이대성, "KSR-III 주엔진 연소시험 Cyclogram에 대한 고찰," 한국추진공학회지, 제6권, 제3호, 2002, pp.19-27