

과산화수소/ 케로신을 추진제로 한 200N급 엔진의 연소 성능에 관한 연구

김영문* · 황오식* · 이양석* · 고영성* · 김 유** · 김선진***

A study on the combustion performance with Hydrogen Peroxide / Kerosene

Youngmun Kim* · Ohsik Hwang · Yangsuk Lee* · Youngsung Ko* · Yoo Kim** · Sunjin Kim***

ABSTRACT

A study on the variation of combustion performance by oxidizer/fuel ratio was conducted. Shower head type injector was used. Injector propelled by liquid kerosene and liquid hydrogen peroxide. The designed operation condition for thrust and combustion pressure were 200N and 10bar. It is found that optimum oxidizer/fuel ratio.

초 록

본 연구에서는 액체 로켓 엔진의 연소 시험을 통하여 O/F ratio가 연소 성능에 미치는 영향을 측정하였다. 사용된 분사기는 추력 200 N, 챔버 압 10 bar로 설계된 샤워헤드형 이며, 점화 방식은 촉매 점화를 선택하였고, 과산화수소와 케로신을 추진제로 사용하였다. 본 실험을 통해서 로켓의 효율을 보다 증가시킬 수 있는 방법으로 O/F ratio가 연소 성능에 미치는 영향을 측정하여 O/F ratio의 운용조건을 알 수 있었다.

Key Words: Liquid Rocket Engine(액체로켓엔진), Hydrogen Peroxide(과산화수소), Kerosene(케로신), Uni-element Combustor(단일분사기 연소기)

1. 서 론

과산화수소는 1918년 처음 발견되었으며 의료용, 표백제로 활용되다가 종이 및 펄프 산업에

널리 사용되며 제조 기법이 향상 되어왔다. 1933년 Walter가 80%의 과산화수소를 추진제로 이용하여 터빈구동 시스템을 개발하였다. 최초의 로켓 추진제로의 활용은 1936년에 80% 과산화수소에 액체촉매를 분사하여 로켓 엔진을 제작하였다. 그 후 2차 세계대전에서 사용된 V-2 로켓 엔진의 터보 펌프 가스발생기에 사용되면서 과산화수소가 추진제로 널리 사용하게 되었다. 하지

* 충남대학교 항공우주공학과

** 충남대학교 기계공학과

*** 청양대학교 소방안전관리학과

연락처, E-mail: ysko5@cnu.ac.kr

만 1960년대에 Shell 405이라는 하이드라진 촉매가 개발 되면서 상대적으로 고성능이며 장기간 저장성이 우수한 하이드라진으로 대체되면서 과산화수소의 사용이 현격히 감소되었으며, 이원 추진제로서도 보다 고성능인 액체산소 및 사산화질소로 대체되었다. 그러나 1990년대 이후 고순도 과산화수소가 개발되고 성능보다는 운영비용과 안전성이 우선시 되면서 과산화수소에 대한 관심이 새롭게 대두되고 있다. 이러한 과산화수소의 연소와 재점화 특성을 파악하기 위해 연구를 수행하였다.

2. 시험 장치 및 방법

2.1 시험장치

추진제로 과산화수소/케로신을 사용하였고, 액체로켓의 연소를 위한 실험장치는 액체로켓 연소를 위한 추진제 공급부 및 추진제 가압부, 연소 시험대 그리고 자료 획득을 위한 제어계측부로 구성되어 있다[3].

Figure 1은 시험에 사용한 액체 로켓 엔진을 연소 실험대에 장착한 모습을 보여주고 있다.

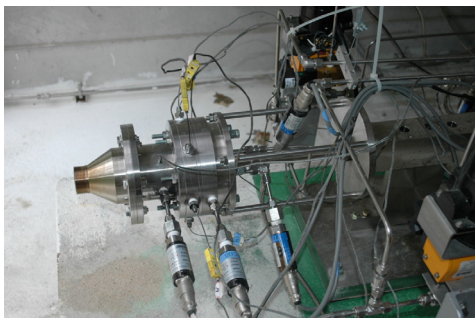


Fig. 1 Uni-element Combustor in Test stand

2.2 실험방법 및 조건

액체 로켓 엔진의 연소성능을 고찰하기 위해 O/F비를 6 ~ 10까지 변화 시키면서 시험을 수행 하였다. 본 시험에 사용된 엔진의 설계 포인트는 Table 1과 같다. 연소시간은 연소실 압력의 정상상태를 고려하여 3초로 하였으며, 재점화 특

성을 파악하기 위해 총 5번 연소를 하게 되는 펄스 테스트를 수행 하였다. Table 2는 연소시험의 조건을 나타낸 것이다.

Table 1 Condition of Design

	과산화수소	케로신
추력	200N	
연소압	10 bar	
O/F ratio	7.33	
유량	12.88 g/s	94.39 g/s

Table 2 Condition of Combustion Test

	유량(g/s)		O/F ratio	Remark
	H ₂ O ₂	Kerosene		
실험 1	124	11.5	10.78	
실험 2	124	14	8.86	
실험 3	124	15	8.2	
실험 4	124	16	7.69	
실험 5	124	19	6.53	
실험 6	124	15	8.2	Pulse Test

3. 결과 및 고찰

연소 시험은 과산화수소가 분사된 4.5초 후 케로신이 분사되는데 이는 액체 로켓 엔진의 점화원이 따로 존재 하는 것이 아닌 과산화수소가 분사되면서 촉매를 지나고 촉매와 반응하여 발생하는 열으로 점화가 되기 때문에 과산화수소 리드로 연소시험을 수행하였다.

3.1 특성속도 비교

Figure 2는 연소 시험에 의해 얻어진 값을 이용하여 계산한 특성속도를 나타낸 것이다. 정상 연소가 시작된 후 부터 2초간의 연소실 압력의 평균값을 계산하여 나타냈다.

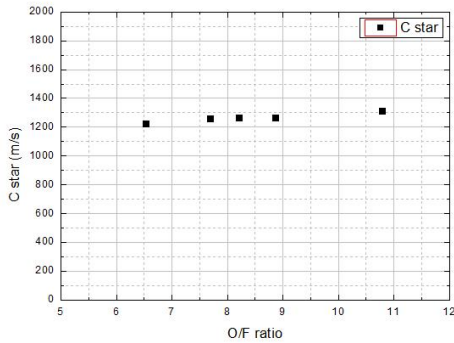


Fig. 2 Characteristic velocity vs. O/F ratio

O/F ratio 6 ~ 11 정도 일 경우 특성속도가 1300 m/s 정도로 비슷함을 알 수 있다. 이는 O/F ratio 6 ~ 11 경우 비슷한 연소 성능을 나타낼 것이라고 보여 진다.

3.2 연소실 압력 및 공급 유량 비교

Figure 3을 보면 연소 초기에 유량이 많이 들어갔다가 정상 상태로 돌아오는 것을 알 수 있는데 이는 중단 밸브 전까지 압력이 가해져 있다가 순간적으로 밸브가 열리면서 중단 밸브와 분사기 사이의 배관이 비어 있다가 그 부피만큼 갑자기 차오르게 되므로 순간적으로 유량이 많이 들어가서 발생하는 것으로 보인다.

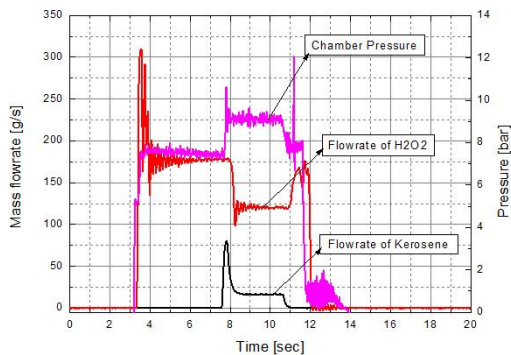


Fig. 3 O/F ratio 7.69

과산화수소가 액체 로켓 엔진 연소실 안으로 분사가 되면 촉매와 반응을 하여 7 barg 정도의 압력을 형성하게 되고 케로신이 분사 되면 9

barg의 연소실 압력을 형성한다. 케로신의 공급이 중단된 이후 과산화수소의 유량이 증가함을 알 수 있는데 케로신의 중단과 동시에 과산화수소의 공급이 중단이 되는 것이 아니라 1초 동안 공급이 되기 때문에 연소실의 압력이 낮아지면서 과산화수소의 유량이 증가하게 된다.

또한 과산화수소와 케로신의 공급이 중단된 이후에 연소실의 압력이 1 barg정도 형성되는 것을 알 수 있는데 이는 공급이 중단된 후 각각의 라인에 퍼지가 되면서 중단 밸브이후에 남아있던 추진제들이 밖으로 나오면서 연소가 일어나기 때문이다. 이 문제는 분사기와 중단밸브 사이의 거리를 줄임으로서 해결될 것으로 보인다.

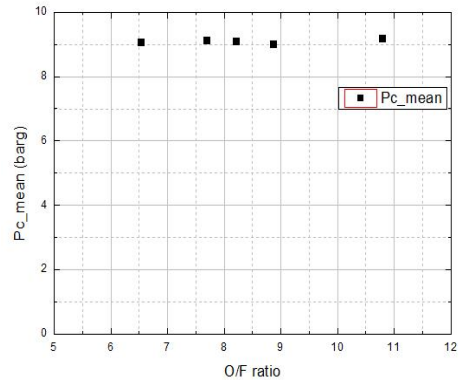


Fig. 4 Pc_mean vs. O/F ratio

Figure 4는 연소실 압력이 정상상태일 경우 연소실 압력의 평균값을 O/F ratio의 변화에 따라 나타낸 그래프이다. 각각의 O/F ratio에 따라 연소실 압력은 약 9 barg로 차이가 거의 없음을 알 수 있다.

3.3 재점화 특성

재점화 특성을 파악하기위한 연소시험은 과산화수소 리드로 시작이 되는데 과산화수소가 분사된 후 2초가 지난 뒤 케로신이 2초간 공급된다. 케로신의 공급이 중단되면 과산화수소만 2초 동안 공급이 된 후 밸브가 닫힌다. 두 밸브가 완전히 닫힌 후 5초가 지나면 다시 과산화수소가 나오고 2초후 케로신이 2초간 공급된다. 이러한

과정을 총 5번 반복하여 재점화 특성을 파악하게 된다. 재점화 시험을 하는 도중엔 혹시라도 중단 밸브와 분사기 사이의 배관에 추진제가 남아있게 되어 다음 연소 때 더욱 많은 추진제가 들어가서 예기치 않은 사고가 발생할 가능성이 있어 과산화수소와 케로신의 퍼지를 계속 해주었다. 이때 연소 과정엔 영향을 최대한 적게 미치도록 케로신 퍼지는 3 barg, 과산화수소는 2 barg로 퍼지를 하였다.

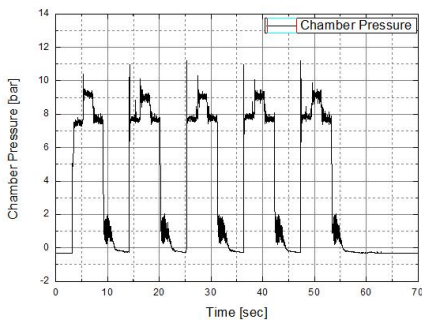


Fig. 5 Chamber pressure of Pulse Test

Figure 5를 보면 과산화수소만 공급이 될 때엔 7 barg 정도의 연소실 압력을 형성하고, 케로신이 같이 공급되어 연소할 땐 9 barg 정도의 연소실 압력을 형성한다. 이는 앞서 시험했던 연소 시험 결과와 유사한 결과를 보임으로서 정상 연소 때와 같은 성능을 낼 수 있는 재점화가 일어남을 알 수 있다. Fig. 6은 펄스 시험시 사용했던 제어 시퀀스를 나타낸다.

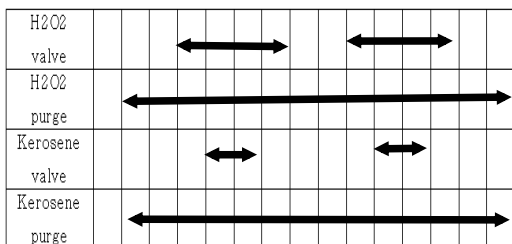


Fig. 6 Cyclogram for Pulse test

4. 결 론

과산화수소/케로신을 추진제로 한 액체로켓 엔진의 연소 성능을 파악하기 위해 단일분사기 연소기를 이용한 연소시험을 수행하였다. 연소시험 결과를 통해 특성 속도와 재점화 특성을 파악할 수 있었다.

- 1) 연소실 압력이 9 barg로 형성됨을 확인 할 수 있었다.
- 2) O/F ratio 6 ~ 11 부근에선 1300 m/s의 비슷한 특성 속도를 가진다.
- 3) 재점화 시험에서도 일반 연소와 같은 연소실 압력을 형성 한다.

후 기

본 연구는 한국과학재단을 통해 교육과학기술부의 우주기초원천기술개발 사업(NSL, National Space Lab)으로 지원받아 수행 되었습니다.

참 고 문 헌

1. 이동진, 박희호, 김유, "LOX와 kerosene을 이용한 층돌형 F-O-O-F 인젝터의 연소 성능에 관한 실험적 연구", 한국항공우주학회지, 제 28권, 제 7호, 2000.10, pp.111~118
2. Sutton, G. P., Rocket Propulsion Elements, 7th ed., John Wiley & Sons Inc., 2001
3. 전준수, 신훈철, 이석진, 고영성, 김유, 정해승, 김용욱, "장시간 연소에 따른 단일 인젝터 분사기면 냉각 특성 연구", 한국추진공학회 추계학술대회, 2006.
4. 임병직, 서성현, 최환석, 최영환, 이석진, 김유, "동축스웰분사기에서 와류실 유무 및 노즐길이에 따른 연소특성 변화", 한국추진공학회 추계학술대회, 2005.