

친환경 추진제를 사용하는 저추력 액체로켓엔진의 연소시험 시퀀스에 따른 점화 및 소멸 특성

김영문* · 전준수* · 최유리* · 고영성* · 김 유** · 김선진***

Ignition and Extinction Characteristics of a Low Thrust Combustion Chamber using Green Propellant according to Sequence of the Combustion Test

Youngmun Kim* · Junsu Jeon · Yuri Choi* · Youngsung Ko* · Yoo Kim** · Sunjin Kim***

ABSTRACT

The sequence of the propellant supply is very important for the reliable and safe operation of a LRE combustion test. So combustion performance tests were performed to find an optimum test sequence by changing supply time of propellants and purge gas in the moment of ignition and extinction. The liquid rocket engine consisted of a catalytic ignitor and six swirl-coaxial injectors which used hydrogen peroxide and kerosene. Conclusively, an optimum sequence was found for stable combustion in the moment of ignition and extinction.

초 록

액체 로켓 엔진의 경우 작동초기인 점화와 마지막의 소멸시의 추진제 공급 순서는 안정적으로 시스템을 운영하는데 많은 영향을 끼친다. 안정적인 엔진의 작동확인을 위해 점화할 때 공급순서와 소멸할 때 추진제의 공급 순서를 바꾸어 가면서 연소 실험을 수행 하였다. 본 연구에 사용된 분사기는 과산화수소와 케로신을 추진제로 사용하는 동축 스월형이며, 점화 방식은 촉매 점화를 방식을 사용하였다. 본 실험을 통해서 액체로켓엔진의 연소 시험을 안정적으로 수행하기 위해 점화와 소멸할 때의 최적의 시퀀스를 찾아내었다.

Key Words: Liquid Rocket Engine(액체로켓엔진), Hydrogen Peroxide(과산화수소), Kerosene(케로신), Ignition Characteristic(점화 특성), Extinction Characteristic(소멸 특성)

* 충남대학교 항공우주공학과

** 충남대학교 기계공학과

*** 청양대학교 소방안전학과

연락처, E-mail: ysko5@cnu.ac.kr

1. 서 론

액체로켓 엔진의 안정적인 시스템 운용을 위해 연소 불안정, 점화 및 소멸 특성, 열전달

등 고려하고 해결해야할 요소들이 많이 있지만 특히 점화 및 소염할 때에 많은 사고들이 일어나는 경우가 많다. 점화시의 점화 지연 등의 문제로 연소실 안에서 hard start가 발생하여, 연소실 안에서 detonation이 발생해 엔진의 하드웨어 파손뿐만 아니라 시험설비 및 발사체의 손상을 줄 수 있다[1]. 소염시의 경우도 유량과 유속이 줄어들면서 화염전파 속도가 유속보다 빨라지게 되면 연소실내의 화염이 점점 위로 이동을 하게 되고 심한경우 화염이 인젝터 안으로 들어가게 되어 인젝터 내부에서 추진제와 화염이 접촉하여 폭발 등의 현상이 발생할 수도 있다.

따라서 점화기는 충분한 열에너지를 공급하여, 주 추진제의 안정적인 연소를 유도해야 한다. 점화원은 외부 및 내부에서 공급할 수 있으며 주 추진제가 유입될 때 점화에너지가 지속되어야 하므로 점화 시퀀스는 주 추진제 밸브가 열리기 전까지 계속 점화기로 추진제가 공급 되어야 한다[2].

본 논문에서는 점화 및 소염시의 추진제 공급 시간을 변화시켜 가면서 연소 시험을 수행하여, 과산화수소와 케로신을 사용하는 액체로켓엔진을 안정적으로 연소 시험을 수행할 수 있는 시퀀스를 개발하였다.

2. 시험 장치 및 방법

2.1 시험장치

본 연구에서 사용된 이원추진제 액체로켓엔진의 추진제로는 과산화수소/케로신을 사용하였고, 액체로켓의 연소를 위한 실험장치는 추진제 공급부 및 추진제 가압부, 연소 시험대 그리고 자료 획득을 위한 제어계측부로 구성되어 있다[3].

2.2 실험방법 및 조건

액체로켓 엔진의 점화 및 소염의 시퀀스를 결정하기 위해 과산화수소와 케로신의 분사 시점을 바꾸어가면서 실험을 하였다. 연소시간은 주 인젝터(main injector)로 나오는 추진제의 연소가 시작된 후의 시간으로 결정하게 되는데, 본 연구에서는 시퀀스를 확인 하기위한 실험이므로 장

시간 연소할 필요가 없어 3초 연소로 결정하였다. 본 연구에서 사용된 점화기는 촉매점화기로 과산화수소가 촉매와 반응을 한 후 나오는 고온의 증기가 케로신과 반응하여 점화를 하는 방식이다. 추진제의 주 연소 및 소염 특성을 알아보기 위하여 주 연소 과정에서 점화 시퀀스는 과산화수소 2초 리드로 시험을 수행하였는데, 이는 과산화수소가 촉매대 안으로 들어가 촉매와 반응하는 시간을 충분히 고려한 시간이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 점화 시퀀스 변화

국내에서 이원추진제 연소기의 추진제로 과산화수소와 케로신을 사용한 것은 처음이기 때문에, 본 연구에서는 초기 점화시 안정한 점화를 위한 연구를 수행하고자 하였다. 점화 특성이 연료 리드인지 산화제 리드인지에 따라 많이 바뀌므로, 본 연구에서는 점화기로 들어가는 유량의 공급 시점을 과산화수소 리드와 케로신 리드로 변화시키면서 점화시 안정성을 살펴보았다.

3.1.1 케로신 리드

케로신 리드의 경우 Fig. 1과 같이 점화기로 케로신을 1초 먼저 공급하였다. 이 경우 점화가 잘 이루어진 경우도 있지만 폭발이 발생하기도 하였다. 이러한 폭발의 이유는 먼저 분사되어 미립화된 케로신의 일부가 촉매대 안으로 역류되어 들어가게 되어, 1초 늦게 공급된 과산화수소 증기와 촉매대 안에서 격렬하게 반응을 하면서 폭발이 일어난 것으로 판단된다.

Time		-2	-1	0	1	2	3
Ig.	H_2O_2						
	<i>Kerosene</i>						

Fig. 1. Kerosene lead sequence

3.1.2 과산화수소 리드

과산화수소 리드를 사용한 점화 시퀀스에서는 먼저 Fig. 2와 같이 과산화수소가 공급되고 1초 후 케로신을 공급하였으며, 이 경우 점화가 이루어지는 것을 확인 하였다. 가장 안정적으로 점화

가 일어나는 점화 시퀀스를 찾기 위해, 과산화수소 리드 시간을 0.5~3초까지 0.5초씩 바꾸어 가면서 실험을 수행하였다. 과산화수소가 공급된 후 점화기의 매니폴더를 채우고 촉매와 반응하는 시간이 필요하기 때문에, 과산화수소가 2초 리드일 경우 가장 안정적으로 점화가 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.

Time		-2	-1	0	1	2	3
Ig.	H_2O_2						
	<i>Kerosene</i>						

Fig. 2. Hydrogen Peroxide lead sequence

3.2 주 연소 시퀀스 변화

점화 실험 결과에 따라 점화기의 시퀀스는 과산화수소 2초 리드로 고정한 후, 주 인젝터로 들어가는 추진제의 공급 시점을 변화시키면서 주 연소시 안정성을 확인하였다.

3.2.1 케로신 리드

먼저 주 인젝터의 경우 Fig. 3과 같이 케로신을 1초 먼저 공급하였으며, 이 경우 점화가 시작되고 케로신이 공급 되었을 때엔 안정적인 연소가 일어났지만 과산화수소 공급과 동시에 폭발을 일으켰다.

Time		-2	-1	0	1	2	3
Main	H_2O_2						
	<i>Kerosene</i>						

Fig. 3. Kerosene lead sequence

3.2.2 과산화수소 리드

주 인젝터에 케로신을 리드할 경우 폭발 가능성이 있는 것을 확인하고 과산화리드로 주 연소 시퀀스를 변경하였다. 따라서 점화기의 점화가 이루어지고 1초 후 주 인젝터로 과산화수소가 공급되며, 과산화수소가 공급 된지 1.5초 후 케로신이 공급되었다. 이 경우 점화와 주 연소가 안정적으로 이루어지는 것을 확인하였다.

Time		-2	-1	0	1	2	3
Main	H_2O_2						
	<i>Kerosene</i>						

Fig. 4. Hydrogen Peroxide lead sequence

3.3 과산화수소 리드 시간 변화

일반적으로 주 인젝터로 공급되는 추진제 공급 시간의 차이가 적을수록 좋은데, 이는 초기에 연소실 내에 많은 양의 추진제가 쌓여 있다가 연소를 하게 되면 큰 에너지를 발생시켜 연소실의 폭발 및 시험시설의 손상을 줄 수 있기 때문이다. 따라서 과산화수소의 공급시간을 변화시켜 가면서 최적의 연소 시퀀스를 찾아보았다.

3.3.1 과산화수소 1.5초 리드

주 인젝터의 과산화수소의 공급 리드시간을 0.5~1.5초까지 0.5초 간격으로 변화 시켜가며 실험을 하였다. 모든 경우에서 과산화수소만 공급될 경우에도 점화기의 불이 꺼지지 않았으며, 케로신이 공급될 때 주 연소가 안정적으로 일어남을 확인하였으며, 주 추진제의 유량의 공급 리드 시간은 차이가 가장 적은 0.5초로 결정하였다.

Time		-2	-1	0	1	2	3
Purge							
Ig.	H_2O_2						
	<i>Kerosene</i>						
Main	H_2O_2						
	<i>Kerosene</i>						

Fig. 5. Hydrogen Peroxide 1.5s lead sequence

3.4 소염 시퀀스 확인

연소시험 종료시 추진제의 공급을 중단 하게 되면 유량과 유속이 줄어들면서 화염이 인젝터 쪽으로 가까이 가다가 결국 인젝터의 내부로 빨려들어 가게 되어 좁은 공간에서 추진제와 만나 폭발 등의 결과가 나타날 수 있기 때문에 안정적인 소염을 위한 시퀀스가 필요하다.

따라서 연소 시험이 종료 될 때 Fig. 6과 같이 주 인젝터 유량과 점화기의 케로신의 공급을 동시에 중단하지만, 점화기의 과산화수소는 계속 공급하였다. 이는 주 인젝터로 추진제의 공급이 중단된 후 혹시나 남아 있을 수 있는 케로신을 태우기 위한 것이다. 또한 화염이 역류하는 것을 방지하기 위하여, 점화기와 주 인젝터로 질소를 공급하였다. 이러한 시퀀스에 따라 연소시험을 종료했을 때 안정적으로 소염이 되었음을 확인할 수 있었다.

Time		5	6	7	8
Purge					
Ig.	H_2O_2				
	Kerosene				
Main	H_2O_2				
	Kerosene				

Fig. 6. Extinction sequence

3.5 연소시험 결과

Figure 7은 지금까지 수행된 시퀀스 변화에 따른 연소 시험에 의해 안정적으로 점화와 소염이 된 시퀀스를 정리하여 최종적으로 결정된 시퀀스를 나타낸다. Fig. 8은 최종 결정된 연소 시험 절차에 의해 3초 연소 시험을 수행한 시험 결과를 나타낸 것으로서, 안정적으로 점화와 소염이 이루어짐을 확인할 수 있었다.

Time		-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
Purge										
Ig.	H_2O_2									
	Kero									
Main	H_2O_2									
	Kero									

Fig. 7. Hot test sequence

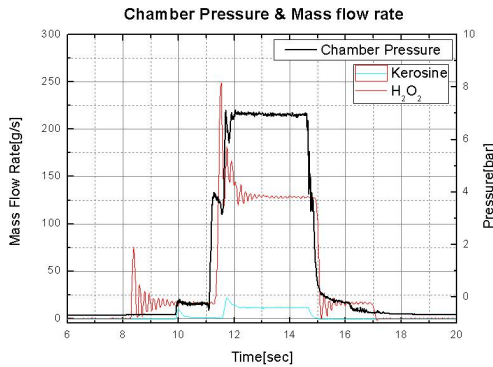


Fig. 8. Chamber pressure and mass flow rate

4. 결 론

과산화수소/케로신을 추진제로 한 액체로켓 엔진의 점화 및 소염 특성을 파악하기 위해 추

진제의 공급 시간을 변화 시켜가면서 연소시험을 수행하였다. 연소시험 시퀀스의 변화를 통해 최적화된 시퀀스를 파악할 수 있었다.

- 1) 점화기와 메인 인젝터의 공급은 과산화수소 리드로 결정하고 점화기의 리드시간은 2초 메인 유량은 0.5초로 결정하였다.
- 2) 연소 시험 종료 시 안정적인 소염을 위해 메인 인젝터와 점화기로의 퍼지가 필요함을 확인하였다.

후 기

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

참 고 문 헌

1. Huzel, D. K. and Huang, D.H., Modern Engineering for Design of Liquid Propellant Rocket Engines, Vol.174, AIAA, 1992
2. 한영민, 김종규, 이광진, 임병직, 안규복, 김문기, 서성현, 최환석, "액체로켓엔진 연소기산화제 선공급 Cyclogram에 의한 점화특성", 한국추진공학회 추계학술대회, 2008
3. 전준수, 신훈철, 이석진, 고영성, 김유, 정해승, 김용욱, "장시간 연소에 따른 단일 인젝터 분사기면 냉각 특성 연구", 한국추진공학회 추계학술대회, 2006.
4. Sutton, G. P., Rocket Propulsion Elements, 7th ed., John Wiley & Sons Inc., 2001
5. 한영민, 조남경, 박성진, 이수용, 이대성, "KSR-III 주엔진 연소시험 Cyclogram에 대한 고찰", 한국추진공학회 제6권 제3호, 2002, 9