

과산화수소/케로신 액체로켓엔진의 연소시험 설비 개발에 관한 연구

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

A Study of Combustion Test Facility for LRE Using Hydrogen peroxide and Kerosene as Propellant

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

ABSTRACT

This study is for development combustion test facility of liquid rocket engine system using hydrogen peroxide/kerosene as propellant. For this new facility, we construct thrust measure system, propellant supply system, control and data acquisition system. To perform 200N liquid rocket engine combustion test, operation scenario and sequence were designed. Result of combustion test propellents were supplied to engine stably and confirm of development combustion test facility very well.

초 록

본 연구는 과산화수소/케로신을 추진제로 사용하는 액체로켓엔진의 연소시험설비 개발에 관한 연구이다. 새로운 연소시험설비 위하여 추력 측정 장치, 추진제 공급라인, 제어 및 계측시스템을 구축하였다. 그리고 연소시험 운용을 위한 시나리오 및 Sequence를 설계하였고 연소시험설비의 안정성을 확인하기 위하여 200N급 액체로켓엔진으로 연소시험을 수행하였다. 연소시험 수행 결과 안정적인 유량공급을 확인 하였고 과산화수소/케로신을 추진제로 사용하는 액체로켓엔진의 연소시험설비 개발이 잘 이루어 졌음을 확인 할 수 있었다.

Key Words : Liquid Rocket Engine(액체로켓엔진), H₂O₂(과산화수소), Kerosene(케로신), Combustion Test Facility (연소시험설비)

1. 서 론

과산화수소는 2차 세계대전 이후 하이드라진 이 추진제로써 각광을 받게 됨으로써 과산화수소의 사용이 감소되었다. 하지만 현재 고순도 과산화수소가 개발되고 안정성이 개선되고 환경문제가 대두되면서 다시 과산화수소를 추진제로

* 충남대학교 항공우주공학과
** 충남대학교 기계공학과
*** 청양대학교 소방안전관리학과
연락처, E-mail: ysko5@cnu.ac.kr

사용하는 액체로켓엔진에 대한 연구들이 각국에서 진행 중이다.

과산화수소는 산화제로써 액체산소보다 고밀도의 특성을 가지고 있어 탱크의 부피와 무게를 감소시킬 수 있으며 동일한 연료와 사용할 때에도 상대적으로 높은 O/F비에서 비추력이 높다는 장점을 가지고 있다. 상온에서 액체 상태로 존재하기 때문에 극저온 추진제인 액체산소에 비하여 사용시간의 제약성을 극복할 수 있고 상당한 기간 동안 보존이 가능하다. 또한 대기 중의 성분과 화학반응을 하지 않으며 과산화수소의 촉매 분해 생성물은 물과 산소뿐이며, 연소 생성물도 물이 대부분이고 액체산소를 사용할 때보다 비교적 적은 이산화탄소를 배출하는 것으로 알려져 있다. 이러한 이유로 과산화수소를 추진제로 선택 하였으며 이것으로 연소시험을 할 수 있는 시스템을 설계 및 제작하였다.

2. 과산화수소/케로신 연소시험 설비 구축

2.1 과산화수소/케로신 연소시험 설비의 요구조건

공급시스템은 Table 1 과 같은 요구조건으로 설계되어졌다. 추력 범위에 따른 유량과 최대 연소시간을 고려하여 탱크의 부피를 결정하였으며 연소압과 배관 및 인젝터 차압을 고려하여 탱크 압력을 결정하였다.[1]

Table 1. Specification of LRE

추력 범위	150~1500 N
총 유량	200~600 g/s
최대 연소시간	90 sec
연소압	10 bar
탱크 압력	100 bar
탱크 부피	100 L

2.2 추력 측정 장치 (TMS)

추력 측정 장치는 엔진의 추력측정을 하는 곳으로써 추력측정범위는 150~1500 N이다. 기존의 추력 측정 장치와는 다르게 기준 로드셀과 작동 로드셀 두 개의 로드셀로 추력측정을 한다.[2] 장착된 추력 측정 장치의 사양은 Table 2와 같

으며 Fig. 1은 추력 측정 장치가 장착된 모습이다.

Table 2. Specification of TMS

추력 측정 범위	150~1500 N
절대 측정 오차	10 N
실험 로켓 중량	15 kg 이하
측정 장치 규격	750 *500 *500 mm
온도 편차	1℃당 0.03% 이하

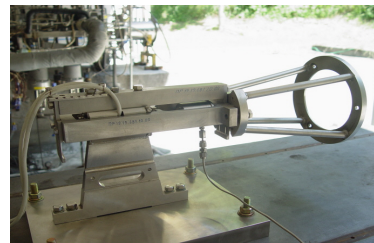


Fig. 1 TMS

2.3 과산화수소/케로신 공급라인 및 탱크

고농도의 과산화수소는 촉매재질과의 반응성이 뛰어나기 때문에 공급라인 구축 및 탱크의 설계시 재료의 적합성을 판단하여야 한다.[3] 고농도 과산화수소에는 알루미늄 계열의 재질이 가장 적절하지만 공급라인으로 알루미늄 계열은 적합하지 않아 SUS316계열의 배관을 선정하였다. 밸브는 SUS316재질에 Sealing은 Viton 계열을 선정하여 공급라인에 장착하였다. 과산화수소의 Run Tank는 SUS304로 제작하였으며 탱크의 부피는 60L이고 압력은 100bar로 제작하였다. 과산화수소의 공급라인과 Run Tank는 세척절차에 따라 세척하였다.

케로신 공급라인은 기존에 설계했던 탱크와 공급라인을 사용하였고 엔진으로 공급되는 라인만 새로 설계하였다. 케로신 공급라인도 SUS-316 계열의 배관으로 구축하였다.

2.4 제어 및 계측 시스템

새롭게 구성한 제어 시스템인 연소시험 자동 제어 장치는 D/I와 D/O 신호 각각 64개씩 받으며 자동밸브를 제어할 수 있다. 제어되는 자동밸브들은 스크린을 통하여 밸브의 ON/OFF 상태

및 limit신호를 화면으로 확인 할 수 있다. 시험 도중에 발생하는 비상상태들을 대비하여 두 개의 Emergency 버튼을 장착하여 주요 밸브들을 수동으로 작동할 수 있게 하여 안정성을 확보하였다. Figure 2의 (a)와 (b)는 각각 컨트롤룸과 파워 컨트롤 유닛을 나타낸다.

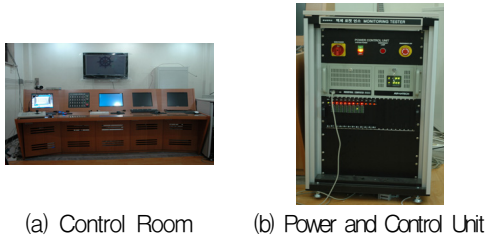


Fig. 2 Control room & Power unit

계측 시스템은 MIC-300 장비와 IMC장비 두 가지를 사용한다. 두 장비는 각각 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. 두 장비의 사양과 측정하는 데이터는 Table 3과 같다.

Table 3. Specification of IMC & MIC-300

		측정센서	채널	최대 Sampling
IMC	ICPU	동압센서	8개	400 KHz
	LV2-8	정압센서 유량계	16개	400 KHz
	C-8	온도센서	16개	400 KHz
MIC-300		동압센서 로드셀	8개	500 KHz



Fig. 3 MIC-300



Fig. 4 IMC

3. 연소시험을 위한 운용절차

3.1 연소 시나리오

연소시험은 미리 작성된 시나리오대로 수행한

다. 작성된 시나리오는 Table 4와 같다.

Table 4. Combustion Test Scenario

No.	시나리오 내용
1	자동밸브 작동 테스트
2	Sequence 입력
3	연료 충전
4	배관내 케로신, 과산화수소 제거및 퍼지
5	연료 및 산화제 퍼지압 설정
6	TMS Static test 및 압력설정
7	산화제 충전
8	연료 및 산화제 최종가압
9	연소시험
* 수시체크 : 노즐내 케로신 유무 검사	

수시체크 항목 중 노즐내 케로신 유무 검사는 노즐내에 남아있는 케로신으로 인한 Hard start 를 방지하기 위한 절차이다.

3.2 Sequence

구축한 공급시스템에서의 Sequence에서는 산화제인 과산화수소를 먼저 리드한다. 구축한 공급시스템에서의 점화방식은 과산화수소와 촉매의 발열반응으로 점화하게되는 촉매점화방식이다. 따라서 연료가 공급되기 전 점화원이 있어야 하기 때문에 과산화수소를 먼저 리드해야 한다. 그리고 케로신을 먼저 리드할 경우 노즐에 남아있는 케로신 때문에 hard start가 발생할 수 있다. Fig. 5는 현재 본 연구실에서 사용하고 있는 시퀀스이다. 과산화수소와 케로신을 공급하기 전 각각 퍼지가 들어가고 추진제 공급과 동시에 종료되도록 되어있다. 또한 연소시험이 끝나는 시점 즉, 추진제 공급이 끝나는 시점에 케로신과 과산화수소에 퍼지를 공급하여 안정적인 연소 종료를 돕는다. 연소 시퀀스는 연소시험 요구 시간에 따라 케로신의 공급 시간만 변화시켜 준다.

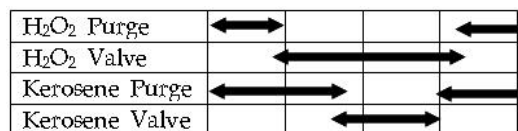


Fig. 5 Sequence

4. 결과 및 고찰

과산화수소와 케로신을 추진제로 사용하는 200N급의 액체로켓엔진을 이용하여 구축된 연소 시험 장치의 검증차원의 연소시험이 수행되었으며, 실험 조건은 Table. 5와 같다. Fig. 6은 연소 시험 시 과산화수소와 케로신의 공급 유량을 각각 나타낸 그래프로, 밸브 open 동시에 유량의 공급이 시작되고 연소종료 시점까지 변화 없이 안정적으로 공급되는 것을 볼 수 있다. Fig. 7는 연소시험 시 과산화수소와 케로신의 배관 및 탱크의 압력을 나타낸 그래프로 연소실험 중 안정적인 압력 공급을 확인 할 수 있다.

Table 5. Condition of Combustion Test

	Fuel	Oxidizer
Chamber Pressure	10 bar	
O/F ratio	7.7	
Mass Flowrate	12 g/s	92 g/s
Tank Pressure	14 bar	12 bar
Purge	5 bar	5 bar
Time	10sec	

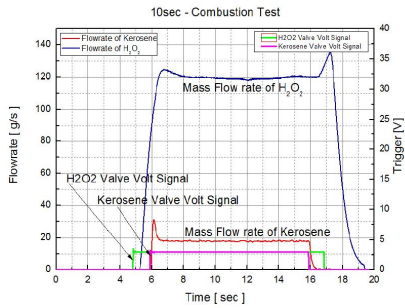


Fig. 6 Mass Flowrate of Propellant

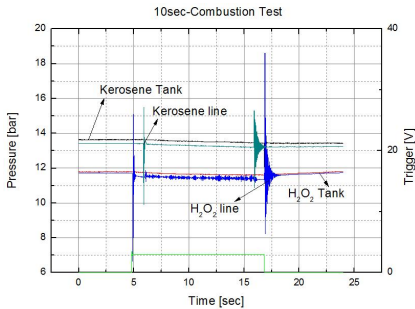


Fig. 7 Pressure of Tank and Pipe

5. 결 론

이상과 같이 과산화수소/케로신을 추진제로 사용하는 액체로켓엔진의 연소시험을 위한 설비구축 및 연소시험 결과에 대하여 소개 하였다. 연소시험을 위한 추력 측정 장치 및 과산화수소/케로신 공급라인, 제어 및 계측장치를 구축하였고 구축된 연소시험 설비로 연소시험을 수행하였다. 연소시험 수행결과 밸브의 ON/OFF에 따른 안정된 유량공급을 확인 할 수 있었으며 케로신과 과산화수소 각각의 공급배관 및 탱크의 압력 역시 안정적으로 일정한 압력을 유지하는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과로 과산화수소/케로신을 추진제로 사용하는 액체로켓엔진의 연소시험 설비가 안정적으로 구축되었음을 확인 하였다.

6. 후 기

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

참 고 문 헌

1. 박종희, 송이화, 최영환, 김정훈, 오응환, 박계승, 박희호, 김유, 김지훈 “소형액체로켓엔진의 공급시스템 설계 및 고찰” 한국추진공학회 2003년도 춘계학술대회 논문집 pp.203~206
2. 이동형, 이양석, 고영성, 김유, 김선진, “저추력 액체로켓엔진의 추력 측정 장치에 대한 연구” 한국추진공학회 2008년도 추계학술대회 논문집, pp.2-3
3. HAZARDS OF CHEMICAL ROCKETS AND PROPELLANTS HANDBOOK, Volume III Liquid Propellant Handling, Storage and Transportation, Chapter 13 Hydrogen Peroxide