

과산화수소 케로신을 추진제로하는 다중 인젝터 설계 및 수류실험

김기우* · 전준수* · 박진호* · 고영성** · 김 유*** · 김선진****

Design and Cold Flow test of a Multi-injector Engine using Hydrogen Peroxide/Kerosene

Kiwoo Kim* · junsu Jeon* · jinho Park* · Youngsung Ko** · Yoo Kim*** · Sunjin Kim****

ABSTRACT

A multi-injector rocket engine using high concentrated hydrogen peroxide and kerosene as the oxidizer and fuel was designed and fabricated. Six coaxial swirl injectors were mounted on the mixing head and flow analysis in the manifold was performed to minimize stagnation and recirculation zones. Finally, uniformity of mass flow rate and spray pattern was evaluated by cold flow tests and the mixing head design process was successfully verified the results.

초 록

본 연구에서는 고농도 과산화수소와 케로신을 산화제와 연료로 사용하는 다중 인젝터 액체로켓엔진을 설계, 제작하였고 수류시험을 수행하였다. 이 엔진에는 6개의 동축 선회형 인젝터를 사용하였으며, 유동해석 결과를 바탕으로 정체 구간과 재순환 영역을 최소화한 매니폴드 유로를 설계, 제작하였다. 최종적으로 수류실험을 통해 추진제의 공급 유량 및 분무 성능을 확인하였으며, 인젝터의 설계 타당성을 검증하였다.

Key Words: Hydrogen Peroxide(H_2O_2 , 과산화수소), Kerosene(케로신), Bi-Propellant(이원추진제), Coaxial Swirl Injector(동축 선회형 분사기), Cold Flow Test(수류실험)

1. 서 론

근래까지 성능을 최우선하는 로켓 개발방향으

로 인하여 과산화수소는 상대적으로 고성능이며 저장성이 우수한 Hydrazine과 사산화질소 등으로 대체되면서 이를 이용한 로켓연구는 현격히 감소하였다. 그러나 Hydrazine과 사산화질소 사용에 따른 환경오염 및 운용 시 위험으로 인해 인체에 무해한 과산화수소는 단일/이원 추진제의 산화제로서 재조명 되고 있다. 또한 과산화수소의 안정성이 크게 개선되고 고순도 과산화수

* 충남대학교 대학원

** 충남대학교 항공우주공학과

*** 충남대학교 기계공학과

**** 청양대학교 소방안전관리학과

연락처, E-mail: ysko5@cnu.ac.kr

소의 생산방법이 개발되면서, 이를 로켓 추진제로 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

본 연구에서는 과산화수소/케로신을 추진제로 사용하는 저추력 이원추진제 로켓엔진 개발의 일환으로, 인젝터의 설계와 매니폴드 유동해석을 수행하였으며 제작된 엔진의 수류시험 결과를 제시하였다.

2. 인젝터 설계 및 제작

2.1 개발 목표 및 기본 설계

일반적인 이원추진제 액체로켓 엔진은 독립된 인젝터를 통해 산화제와 연료가 분사되어 미립화와 혼합과정을 거친다. 이는 연소 성능과 안정성에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 미립화와 혼합 성능을 향상시키기 위하여 적절한 인젝터의 설계와 배치가 필요하다.

본 연구에서는 연소실 압력 10bara를 목표로 95%의 과산화수소와 케로신을 사용하는 이원추진제 액체로켓엔진의 인젝터 형상 설계에 앞서 운용 조건에 따른 연소생성물의 열역학적 특성값을 도출하기 위하여 상용 프로그램인 CEA code를 사용하였고, 도출된 열역학적 특성을 이용하여 비추력이 가장 높은 구간에서의 O/F ratio와 추진제의 공급유량을 선정하였다. Table 1은 CEA code를 사용하여 도출된 열역학적 특성값과 인젝터 기본 설계 조건들을 나타낸다.

Table. 1 Thermodynamic Calculation

Parameter	Value	
Specific heat ratio (γ)	1.1214	
Gas constant (R)	377.86 J/kgK	
Gas temperature (T_c)	2759.48 K	
Mixture ratio (O/F)	7.6	
Number of injector elements	6EA	
mass flow rate (ΔP - 5bar)	H_2O_2	144.13g/s
	Kerosene	18.97g/s

2.2 인젝터 형상설계

일반적으로 인젝터의 개수가 많을수록 혼합

및 미립 성능이 뛰어나지만 분사기면의 면적이 제한되어 제작 시 다수의 인젝터를 분사기면에 설치하는 것은 한계가 있다. 또한 인젝터의 크기가 너무 소형일 경우 가공 시 발생하는 오차에 상대적으로 민감하므로 본 연구의 엔진은 6개의 단위 인젝터로 분사기면을 구성하였다.

인젝터는 앞서 수행한 단위 요소 인젝터 연구를 통해 얻어진 자료를 바탕으로 연소성능과 안정성이 검증된 Recess number 1.2의 동축 선회형 분사기를 적용하였다[2].

믹싱 헤드(mixing head)는 Fig. 1과 같이 추진제 공급관, 추진제 분기관, 케로신 공급관, 과산화수소 공급관, 외부 케이스 순으로 구성되어있다. 추진제 분기관은 주 공급라인의 추진제를 각각 3개로 분기시켜 케로신 공급관과 과산화수소 공급관으로 공급하는 역할을 하며, 공급된 추진제는 각각의 공급관을 통해 연소실 내부로 분사된다.

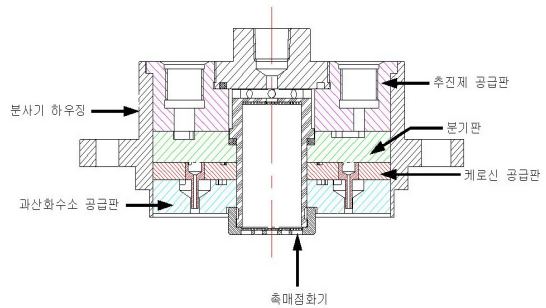


Fig. 1 Schematic of mixing head

2.3 매니폴드 유로설계

다중 분사기형 믹싱헤드 유로 설계의 경우 각각의 인젝터에 동일한 유량의 추진제를 공급하는 것이 매우 중요하다. 매니폴드의 부피증가를 통해 안정적인 추진제 공급이 가능하지만 과도한 부피증가는 추진제 공급 중단 후 연소실로 공급되는 잔류 추진제의 증가를 야기하는데 이는 엔진의 동특성에 반하는 현상이므로 적절한 조율이 필요하다. 또한 분사기면은 연소실과 가장 근접해 있기 때문에 매니폴드 내부에 유동의 정체나 재순환 영역이 존재하면 연소과정에 수

반되는 고온/고압의 연소 가스에 의한 인젝터 면의 손상이 일어날 수 있다. 따라서 케로신 공급판과 과산화수소 공급판에 splitter와 곡면을 적절히 사용하여 유동의 정체와 재순환 영역에 대비하였고, 매니폴드 내부의 유로는 유속이 10 m/s를 유지하도록 설계하였다.

2.4 매니폴드 유동해석 및 인젝터 제작

상용 격자 생성 프로그램인 Gambit을 이용하여 인젝터 유로 전체의 반쪽 면에 대하여 메쉬를 생성한 후 Fluent 유동해석 프로그램을 사용하여 공급되는 추진제의 유동을 분석하였다. 경계 조건으로는 pressure inlet, outlet으로 설정하였으며, 유입부에는 설계 차압인 5bar를 입력하여 유동해석을 수행하였다.

Figure 2는 케로신 공급판, Fig. 3은 과산화수소 공급판의 최종 유동 해석 결과를 각각 나타내는 것으로서, 매니폴드 설계 초기에 나타났던 정체 구간을 모두 해소하여 주목할 만한 정체구간 및 재순환 영역은 발생하지 않았고 6개의 단위 인젝터로의 균일한 유동 흐름을 확인하였다.

유동 해석을 통해 검증된 인젝터의 외부 케이스 및 각종 분기판과 공급판은 과산화수소와의 반응성을 고려하여 SUS304로 제작하였고 진공 브레이징 공법으로 결합된 각각의 추진제 공급판을 아르곤 용접으로 외부케이스와 결합하는 방식을 사용하였다. Fig. 4는 제작된 다중 인젝터의 전체적인 형상을 보여준다. 또한 고온의 연소가스로부터 분사기면을 보호하기 위하여 지르코늄으로 표면처리 하였다.

3. 수류 실험

제작된 믹싱 헤드의 제작성을 확인하고 공급 압력에 따른 분무 특성 및 유량을 비교하기 위하여 수류실험을 수행하였다. 모의 추진제로는 물을 사용하였고 모의 추진제의 유량에 밀도를 보정하는 방법으로 해당압력에서의 추진제 유량을 측정하였다.

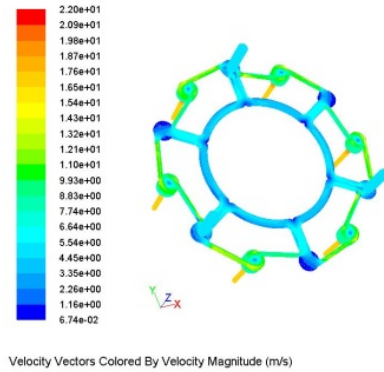


Fig. 2 Flow Velocity at Kerosene manifold

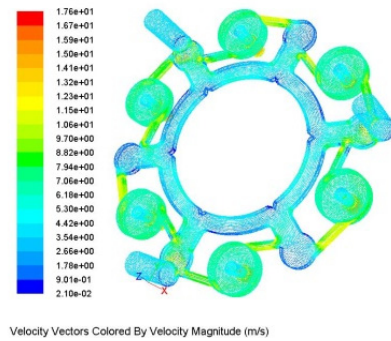


Fig. 3 Flow Velocity at H_2O_2 manifold



Fig. 4 Fabricated Mixing Head

Figure 5, 6은 각각 과산화수소와 케로신 인젝터의 가압 압력에 따른 설계유량과 수류실험을 통해 얻어진 측정유량을 나타낸 것이다. 실험을 수행한 모든 압력 범위에서 설계유량과 측정유량이 매우 유사한 값을 보이고 있으며, 설계차압인 5bar에서도 설계유량과 측정유량의 차이는 미미하였다. 또한 과산화수소와 케로신을 일정압력에서 동시에 분사하였을 경우의 유량과 각각

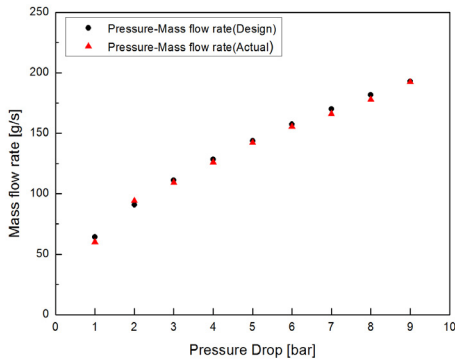


Fig. 5 ΔP - Mass Flow rate(H_2O_2)

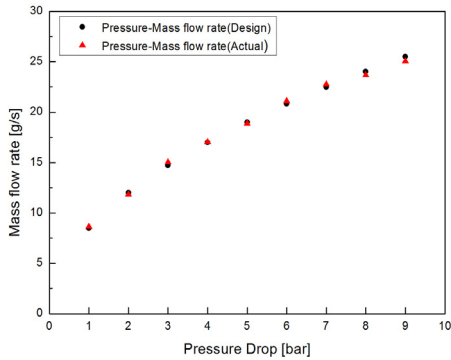
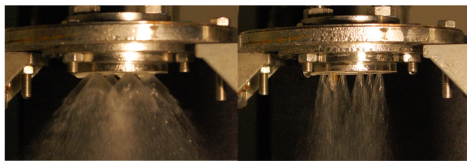
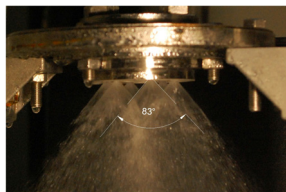


Fig. 6 ΔP - Mass Flow rate(Kerosene)



(a) Hydrogen Peroxide (b) Kerosene



(c) Hydrogen Peroxide + Kerosene

Fig. 7 Spray Pattern ($\Delta P = 5\text{bar}$)

분사하여 혼합한 값이 동일하였다. 이는 인젝터 내부에서 각 추진제의 상호 간섭이 없음을 의미한다.

인젝터의 성능지표 중 하나인 미립성능과 분산각은 육안으로도 우수한 성능을 관찰할 수 있다. 5bar의 차압에서 과산화수소 분산각은 약 90° 정도로 단일 분사기에서 기록되었던 81°보다 향상된 결과였다. 반면 케로신의 분무 특성은 과산화수소와 비교할 때 작은 분산각을 보이는데 이는 긴 길이의 출구 오리피스에 의한 유동저항으로 선회(swirl) 운동량의 감소에 따른 현상으로 판단된다. 과산화수소와 케로신을 동시 공급하였을 경우 분산각은 약 83°로 인젝터 설계와 제작성의 우수함을 확인하였다.

4. 결 론

이상과 같이 과산화수소와 케로신을 사용하는 동축 선회형 다중 인젝터 액체로켓엔진 믹싱 헤드의 상세 설계 및 제작을 수행하였다. 매니폴드 내부의 유동해석을 통하여 매니폴드 내부의 정체구간 및 재순환 영역을 효과적으로 억제하였으며, 또한 수류실험을 통해 상세 설계된 믹싱 헤드의 제작성과 설계 타당성을 검증하였다. 이상과 같이 제작된 다중 인젝터 믹싱 헤드를 장착하여 연소 실험을 수행할 계획이다.

후 기

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

참 고 문 헌

1. Antony J Musker, "Highly Stabilised Hydrogen Peroxide as a Rocket Propellant" AAIA Paper 2003-4619, July 2003
2. 김보연, 이양석, 김근철, 고영성, 김유, 김선진, "83N급 과산화수소/케로신 단일 인젝터 설계 및 혼합비에 따른 연소특성", 한국추진공학회 춘계학술대회, 2010