

과산화수소/케로신 점화용 분사기 설계 및 분무특성에 관한 연구

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

A Study of Design of H_2O_2 /Kerosene Ignition Injector and Spray Characteristics

Boyeon Kim* · Ohsik Hwang* · Yangsuk Lee* · Youngseong Ko* · Yoo Kim** · Sunjin Kim***

ABSTRACT

This study was performed to design of H_2O_2 /Kerosene catalyst ignition injector and cold flow test to measure the mass flow rate and spray angle. Mass flow rate and spray angle were measured by designed injector through cold flow test. Result of test kerosene mass flow rate was measured 12.88 g/s and 40 deg of spray angle at pressure drop 3 bar as same as design point. And hydrogen peroxide was measured 94.39 g/s at pressure drop 1 bar smaller than design point.

초 록

본 연구에서는 케로신/과산화수소 점화용 분사기의 설계/제작하여 분무특성에 관한 연구를 수행하고자 하였으며, 이에 앞서 촉매점화방식으로 적용할 때 가장 적합한 분사기를 설계하고자 하였다. 설계/제작된 분사기를 수류시험을 통해 질량 유량 및 분산각을 측정하였다. 그 결과 케로신의 목표 질량 유량(12.88 g/s)은 설계 차압과 같은 차압인 3 bar에서 측정되었으며, 이 때 분산각은 40°임을 확인하였다. 또한 과산화수소의 목표 질량 유량(94.39 g/s)은 설계 차압(3 bar) 보다 작은 1 bar에서 측정됨을 확인하였다.

Key Words: Hydrogen Peroxide(과산화수소, H_2O_2), Catalyst Ignition(촉매점화) Injector(분사기), Cold Flow Test(수류시험), Mass Flow Rate(질량유량), Spray Angle(분산각)

1. 서 론

과산화수소(H_2O_2 , Hydrogen peroxide)는 1818년 화합물로 처음 소개되어졌으며, 무색 투명한

액체로 알칼리 금속이나 이산화망간과 같은 무기물과 반응함으로써 산소와 물로 쉽게 분해된다고 알려져 있다. 또한 강한 산화력으로 인하여 분석 시약의 산화제나, 표백제 등 여러 분야에 광범위하게 사용되고 있으며, 고농도의 과산화수소는 전부터 고밀도, Mono-propellant 특성, Non-cryogenic, 무독성 및 저장의 안전성으로 인하여 장기간의 임무를 수행하는 인공위성의 자세

* 충남대학교 항공우주공학과

** 충남대학교 기계공학과

*** 청양대학교 소방안전학과

연락처, E-mail: ysko5@cnu.ac.kr

제어 추력기나 촉매반응으로부터 발생한 가스를 이용하여 터빈을 구동하는 Power System의 산화제로 널리 사용되고 있다.[1-4]

최근에 환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 저장의 안전성 및 무독성 연료에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이에 따라 현재 국내에서도 고농도 과산화수소를 이용한 단일추진제 시스템의 기초 연구가 진행되고 있으며 이에 따라 로켓 엔진의 산화제로 과산화수소의 활용이 어느 정도 입증된 실정이다. 하지만 이러한 과산화수의 활용의 이점에도 불구하고 국내에선 과산화수소를 활용한 이원 추진시스템에 대한 연구가 아직 활발하게 진행되지 않고 있는 실정이다.

과산화수소가 가지고 있는 고밀도 특성은 이원추진제의 산화제로 가장 널리 사용되고 있는 액체산소와 비교할 때 산화제 탱크의 부피와 무게를 감소시킬 수 있는 장점이 있으며, 또한 밀도가 높기 때문에 Table 1과 같이 단일추진제와 비교할 때 높은 밀도 비추력을 갖는다.

이에 따라 본 연구에서는 기초 연구로써 과산화수소-케로신을 추진제로 사용하는 촉매점화용 이원추진제 분사기를 설계/제작하고 수류시험을 통해 분무특성 및 공급 유량을 파악하였다.

2. 분사기 설계

2.1 설계 요구 조건

본 연구에서 설계/제작한 분사기 설계요구조건은 과산화수소/케로신 점화용 분사기, 연소압 1 Mpa, 추력 200 N, 팽창비 2.42이다.

2.2 기본설계

분사기 설계 시 추력, 연소실 압력, 노즐 출구 압력, 추진제 종류 등의 설계 요구 조건으로부터 연소범용 프로그램인 CEA code를 이용하여 최적의 특성속도를 갖는 O/F 7.4를 구하고 이를 통해 공급유량을 결정하였다.

분사기는 분사기를 통해 공급되는 추진제를 미립화하여 혼합하는데 중요한 역할을 한다. 연소실 내부에 추진제를 균일하게 분포시키기 위

Table 1. Design Parameter of Injector

Parameter	Oxidizer	Fuel
Injector Type	Shower Head	Swirl
Mass Ratio [g/s]	94.39	12.88
Chamber Pressure	1 Mpa	1 Mpa
Density(ρ_o) [Kg/m^3]	1430	830
Pressure Drop (ΔP)	0.3 Mpa	0.3 Mpa
No. of The orifice 1st Plate	18	1
No. of the orifice 2nd Plate	12	

해선 분사기 개수를 늘리면 되지만 소추력 액체 로켓에서는 분사기당 2g/s 이하로 추진제를 공급하는 것은 바람직하지 못하다. 그리고 유량이 작은 경우 분사기 가공 오차에 의한 성능 변화가 크기 때문에 이에 유의해야 한다.

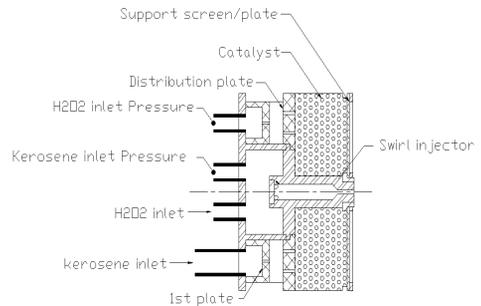


Fig. 1 Design of Injector



Fig. 2 Manufacture of Injector

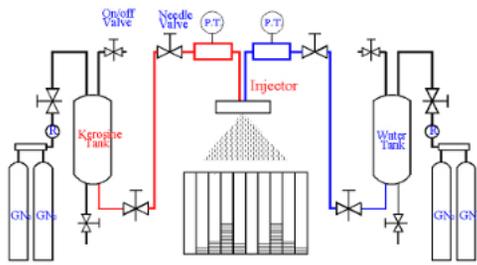


Fig. 3 Cold Flow Test System

본 실험에 사용한 엔진의 경우 촉매점화방식을 사용하기 때문에 과산화수소가 촉매 bed를 통과하여야 한다. 과산화수소가 촉매 bed를 통과하게 되면 기체로의 상변화가 발생하기 때문에 과산화수소의 경우 Swirl의 효과를 보기 어려우므로 가공이 어려운 Swirl 형태보다 Sower Head 형태의 Injector를 사용하였다.

본 연구에서 분사기 설계는 두 번에 걸쳐 이루어졌다. 첫 번째 설계에서 과산화수소 Orifice Plate 1개에 과산화수소 Orifice Hole을 18개 뚫어 수류시험 및 연소실험 결과 연소가 제대로 이루어지지 않아 두 번째 설계에서 과산화수소 Orifice Plate를 2개 가공하고 첫 번째 Plate에는 Hole을 12개, 두 번째 Plate에는 Hole을 18개 가공하였다. 이는 Plate를 2개 가공함으로써 차압을 낮추어 과산화수소 분사속도를 느려지도록 하여 촉매와 과산화수소의 반응시간을 늘리기 위함이다.

3. 실험 결과 및 토의

3.1 수류시험

본 연구에서 설계/제작된 분사기의 분사각을 알아보기 위한 수류시험 장치의 구성은 Fig 2.와 같고 모의 추진제는 탈이온수(Dionized water)를 사용하였고, 추진제를 분사기로 유입하기 위해 고압의 가스 질소를 추진제 탱크에 유입하여 탱크를 가압하는 가압방식을 사용하였다. 추진제 탱크 및 분사기 헤드에서의 압력데이터는 전기식 압력 센서를 이용하여 측정하였고, 데

이터 수집 장비인 NI PCI- 6254와 연결하여 Labview 프로그램으로 작성한 처리 프로그램으로 데이터를 처리하였다.

3.1.1 유량측정

위의 수류시험 장치를 사용하여 측정한 과산화수소 질량 유량 측정 결과 Fig 3.과 같이 Cd 값은 0.35정도가 측정되었고, 설계유량은 설계차압 보다 작은 1 bar에서 측정되었다. 첫 번째 설계를 통해 가공한 분사기로 수류시험 하였을 때는 Cd값이 0.8정도 나왔다. 두 번째 설계를 통해 Cd값이 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 또한 케로신의 질량 유량 측정 결과 Fig 4.와 같이 Cd값은 0.52정도가 측정되었으며 설계유량이 분무되는 차압은 설계차압과 같은 3 bar임을 확인하였다.

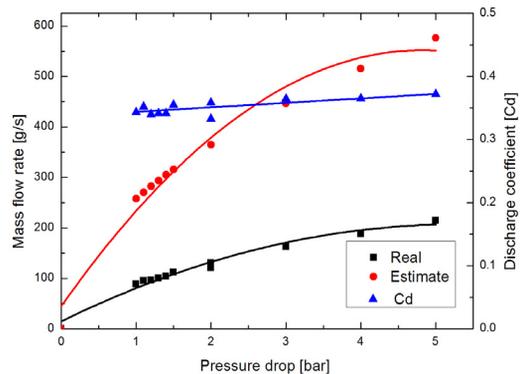


Fig. 4 H₂O₂ Mass Flow Rate

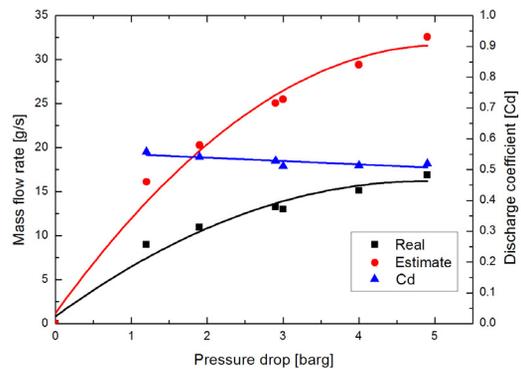


Fig. 5 Kerosene Mass Flow Rate

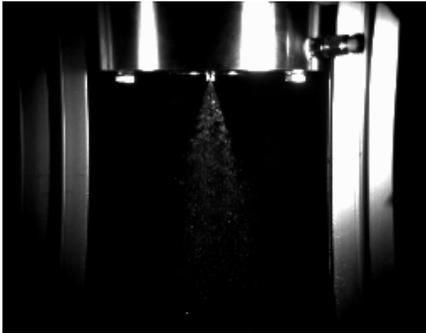


Fig. 6 Measure of Spray angle($\Delta P=3 \text{ bar}$)

3.1.2 분산각 측정

초당 500프레임의 셔터 속도와 조리개 수치 F2.8로 설정된 고속카메라를 이용하여 실험장면을 촬영한 결과 Fig5.와 같고 차압 3 bar에서 분산각 40°가 측정됨을 확인하였다.

4. 결 론

첫 번째 설계한 분사기로 연소실험 하였을 경우 연소실험에 실패하여 차압을 줄이고 분사속도를 줄이기 위하여 과산화수소 Orifice Plate를 2개로 늘려 재설계 및 제작하였다. 재설계한 분사기를 통해 연소실험한 결과 연소가 잘 되는 것을 확인 할 수 있었다. 이를 통해 과산화수소 Orifice Plate가 1개에서 2개로 늘어나게 되면 Cd값이 줄어드는 것을 확인 할 수 있었고, 과산화수소와 촉매의 반응시간을 늘리기 위해서는 차압을 줄이고 유량을 제어 하는 것이 중요하다는 것을 알 수 있었다.

후 기

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

참 고 문 헌

1. E. Wernimont, M. Ventura, G. Garboden, P. Mullens, "Past and Present Uses of Rocket Grade Hydrogen Peroxide", 2nd International Hydrogen Propulsion Conference, Purdue Univ. Nov. 7-10, 1999
2. F. Grafwallner, "Hydrogen Peroxide(HP) Potential for Space applications", 2nd International Conference on Green Propellants for Space Propulsion, Cagliari, June 7-8, 2004
3. J. C. Sisco, B. L. Austin, J. S. Mok, and W. E. Anderson, "Autoignition of Kerosene by Decomposed Hydrogen Peroxide in a Dump-Combustor Configuration", Journal of Propulsion and Power, Vol. 21, No. 3, May-June 2005, pp. 450-459
4. Sungyung An, Hayoung Lim, and Sejin Kwon, "Hydrogen Peroxide Thruster Module for Microsatellites with Platinum Supported by Alumina as Catalyst", 43rd Joint Propulsion Conference and Exhibit, 8-11 July, Cincinnati, OH, AIAA 2007-5467