

## 친환경 추진제 점화기 설계 및 혼합비에 따른 점화 특성

채병찬\* · 이양석\* · 고영성\* · 김 유\*\* · 김선진\*\*\* · 전영진\*\*\*\*

### Ignition Characteristics According to Mixture ratio of Catalyst Ignitor using Green Propellant

Byoungchan Chae\* · Yangsuk Lee\* · Youngsung Ko\* · Yoo Kim\*\* · Sunjin Kim\*\*\* · Youngjin Jeon\*\*\*\*

#### ABSTRACT

A catalyst ignitor of small thrust engine using hydrogen peroxide and kerosene was designed and fabricated, which confirmed mass flow rate for design pressure through the water cold-flow test in this study. In order to investigate ignition performance, it was changed that mixture ratio for kerosene mass flow rate in a position which heat of hydrogen peroxide decomposition comes to a steady state. And we confirmed stable ignition property in a wide range of mixture ratio.

#### 초 록

본 연구에서는 고농도 과산화수소와 케로신을 사용하는 저추력 엔진의 촉매방식 점화기를 설계 제작하고, 수류시험을 통해 설계 압력 대비 유량을 확인하였다. 점화 성능 확인을 위해 과산화수소 분해열이 정상상태에 도달하는 지점에서의 케로신 유량변화에 따른 혼합비를 변화시켰고, 넓은 범위의 혼합비에서 안정된 점화특성을 확인하였다.

Key Words: Hydrogen Peroxide(과산화수소), Thruster(추력기), Mixture ratio(혼합비), Ignitor(점화기)

#### 1. 서 론

1818년 화합물로 처음 알려진 과산화수소(Hydrogen peroxide)는 무색투명하며 오존과 비슷한 특유의 냄새를 지니고 있으며, 분해 시 산소를 방출하며 강한 산화작용이 있다. 강력한 산화력으로 인하여 고농도의 과산화수소는 추진제

의 산화제로 사용된다. 비교적 저장성이 좋으며 무독성인 친환경적인 추진제로서 2차 세계대전 당시 독일의 V-2 로켓의 터보펌프용 가스발생기로 사용되었다. 그러나 2차 세계대전 이후의 냉전시대에 성능을 최우선시 하는 추세에 따라 하이드라진이나 액체산소 및 사산화질소로 대체되면서, 로켓추진제로서의 사용이 현격히 감소하였다. 그러나 최근에는 저장성이 매우 향상되었으며 친환경 추진제로서의 장점이 부각되면서, 주로 추력기 엔진으로 단일추진제 시스템의 추진제 뿐만 아니라 이원 추진시스템의 산화제로 관심을 받으며 사용되고 있다.

\* 충남대학교 항공우주공학과

\*\* 충남대학교 기계공학과

\*\*\* 청양대학교 소방안전관리학과

\*\*\*\* (주) 한화 구미공장 개발 2부

연락처, E-mail: ysko5@cnu.ac.kr

본 연구에서는 과산화수소와 케로신을 사용하는 이원추진제 저추력 엔진의 촉매점화방식 점화기를 설계 제작하고, 과산화수소 분해열이 정상상태에 도달하는 지점에서의 혼합비 변화에 따른 점화특성을 확인하고자 한다[1].

## 2. 점화기 설계 및 수류 시험

### 2.1 점화기 설계

과산화수소와 케로신을 사용하는 이원추진제 추진기의 점화방법으로는 catalyst, electro-spark, glow plug ignition 등 다양한 방법으로 연구가 수행되고 있다. 그러나 electro-spark와 glow plug ignition의 경우에는 특수 변압기를 사용하는 개념이기 때문에, 실제 시스템의 경우에는 신뢰도 및 반복성의 측면에서 catalyst 점화방식을 사용하는 것이 가장 타당할 것이라고 판단된다. 저추력 엔진에 사용되는 촉매 점화기를 실제 시스템에 적용하기 위해서는 촉매 반응성 및 크기 최적화가 가장 중요하다.

본 연구에서는 설계/제작된 점화기에 과산화수소를 공급할 때 인젝터 상부에 오리피스를 사용하여 유량이 제어되도록 하였고, 제작정밀오차로 인해 유량계수가 달라질 수 있으므로 0.8, 0.9, 1.0, 1.1 mm 4가지 타입으로 제작하여 설계 유량에 맞는 오리피스를 사용하기로 하였다. CEA program을 이용하여 과산화수소 및 케로신 혼합비(O/F ratio)와 과산화수소 공급 온도의 변화에 따른 화염온도를 계산한 결과, Fig. 1과 같이 혼합비 6~8사이에서 가장 높은 것으로 나타났다[2].

따라서 촉매를 사용하는 본 점화기로 유입되는 산화제와 연료의 혼합비는 Table 1과 같이

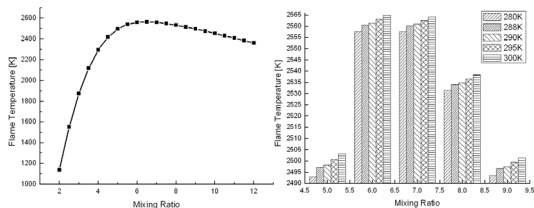


Fig. 1. Chamber temperature for mixture ratio and propellant temperature

Table 1. Design requirement

	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Kerosene
O/F ratio	7	
$\Delta P$ (bar)	4	4
Mass flow rate (g/s)	14	2

7로 결정하였으며, 공급 유량과 각각의 차압은 Table 1과 같다. 본 점화 실험에 사용한 엔진(목표 연소압 10bar)은 과산화수소와 케로신의 종단 밸브는 각각 하나만을 사용하여 주인젝터와 점화기 유량을 동시 제어하기 때문에, 연소압(10bar)이 형성되기 이전에는 설계 유량보다 연소압 기준 3배정도 많은 유량이 점화기로 유입되게 된다[3]. 따라서 점화기는 정상적인 연소압이 형성되기 전의 초기 상태에서도 점화가 이루어져야 한다. 또한 메인 유량이 유입되어도 일정 시간 점화기의 화염이 유지되어야 한다. 만약 점화가 엔진의 노즐 부근에서 이루어질 경우 챔버로 유입되는 메인유량에 의해 소멸될 우려가 있다. 따라서 안정적인 점화를 위해 케로신 인젝터의 분산각과 미립화가 좋은 타입으로 선정하였고, 점화기 화염이 메인유량에 영향을 받지 않는 범위에서 유지될 수 있도록 하였다.

Figure 2,3은 점화기의 설계도면과 실제 제작된 모습을 보여주고 있다.

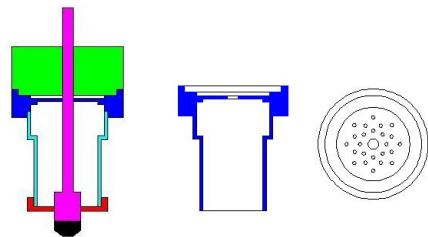


Fig. 2. Configuration of catalyst ignitor and catalyst bed



Fig. 3. ignitor and distributor

## 2.2 수류 시험

점화실험에 앞서 수류시험을 통해 가압압력에 따른 유량데이터를 확인하였다. 수류시험의 모의 추진제로는 물을 사용하였으며, 수류시험의 결과 데이터를 통해 과산화수소의 설계 유량 14g/s ( $\Delta P=4$  bar) 을 가장 근사적으로 만족하는 0.8 mm 오리피스를 선정하였다. Fig. 4는 수류 시험을 수행한 결과를 나타낸 것으로 각각의 오리피스에 대하여 가압 압력 대비 유량을 나타낸다.

Figure 5는 과산화수소와 케로신의 분무형상을 촬영한 것으로서, 과산화수소의 경우에는 촉매반응타입이므로 catalyst bed 상부의 오리피스를 통한 유동을 보여주며 케로신의 경우에는 분무각이  $75^\circ$  로 확인되었다.

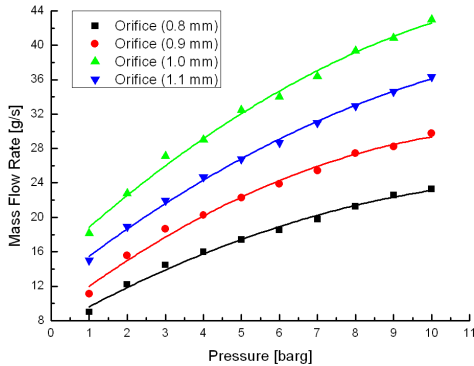


Fig. 4. Mass flow rate of hydrogen peroxide

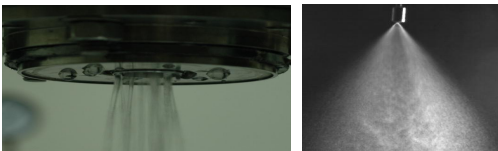


Fig. 5. Spray pattern hydrogen peroxide and kerosene

## 3. 점화실험

### 3.1 과산화수소 촉매 반응 실험

과산화수소와 촉매(과망간산염 계열)와의 반응으로 생기는 분해열이 정상상태에 도달하는 구간에서 케로신을 분사시켜 점화를 시키게 되며, 이 때 케로신 유량을 변화시키면서 혼합비에 따

른 점화특성을 확인하고자 하였다. 따라서 과산화수소 공급 유량에 따른 온도 상승 데이터를 확보하는 것이 필요하다. 과산화수소의 유량계로는 mass flow meter를 사용하였고, 과산화수소 분해 온도는 노즐 출구에 설치된 열전대를 통해 데이터를 수집하였다. 또한 과산화수소 분해의 가시적인 확인을 위해 열화상카메라를 사용하였다. 그리고 과산화수소의 분해상태가 연소실과 노즐의 유무에 따라 많은 차이를 보이기 때문에 연소실과 노즐 모두 장착하고 실험을 수행하였다. Fig. 6은 촉매 베드를 통하여 과산화수소를 공급하였을 때의 유량과 분해열을 측정된 결과로서 과산화수소의 분해열이 정상상태에 이르는 시간이 약 5~10초 정도인 것을 확인하였다. 일반적인 95% 과산화수소의 분해열이  $650\sim 750^\circ\text{C}$  이므로 최고 분해 온도의 90%에 도달하는 지점을 정상상태 구간으로 가정하고, 과산화수소 리드타임을 5초로 하여 점화실험을 수행하였다. Fig. 7은 적외선 열화상 카메라를 사용하여 가압압력이 4bar 일 때 촉매와 반응한 과산화수소의 분해가스를 촬영한 이미지이다.

Table 2는 설계 혼합비 7을 기준으로 O/F비를 바꾸어가며 점화 실험을 수행한 후 점화가 성공

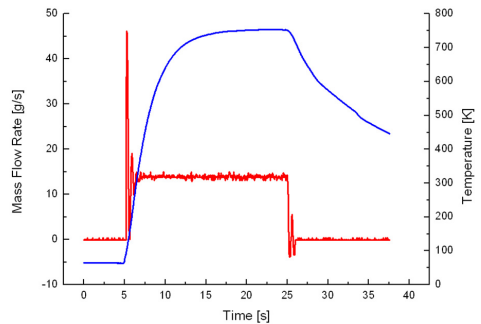


Fig. 6. Mass flow rate and temperature of hydrogen peroxide

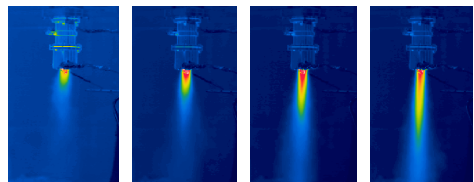


Fig. 7. Reactant of Hydrogen peroxide using infrared camera

Table 2. Ignition test result

$\Delta p$ [bar <sub>g</sub> ]		O/F	Ignition time [s]	Ignition
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Kerosene			
1	5	4.2	2	○
1	4	5	2	○
1	3	5.4	2	○
1	2.5	8.5	2	○
2	7	4.7	2	○
2	5	6.5	2	○
2	3	7.5	2	○
2	2.7	7.7	2	○
2	2.5	10	2	○
3	9	4.7	2	○
3	7	5.4	2	○
3	5	6.3	2	○
3	4	7.2	2	○
3	2	9.4	2	○
4	9	6.2	2	○
4	7	7	2	○
4	5	7.5	2	○
4	4	7.8	2	○
4	2.5	9.9	2	○
5	5	8.5	2	○
5	4	9.3	2	○
5	3	10.9	2	○

4. 결 론

이상과 같이 과산화수소/케로신 이원추진제 저추력 엔진의 촉매 점화방식 점화기를 설계 제작하여, 과산화수소 분해열이 정상상태에 도달한 지점에서의 혼합비 변화에 따른 점화실험을 수행하였다. 이를 통해 과산화수소 분해열이 정상상태 근처에 도달하게 되면 넓은 범위의 혼합비에서 안정된 점화영역을 확보할 수 있다는 것을 확인하였다. 또한 점화기를 작동시키고 엔진의 주인젝터를 통해 주추진제를 모두 공급하였을 때 점화화염이 유지되는 것을 확인하였다. 본 실험에서 사용한 촉매의 경우 성능은 우수하지만 상대적으로 크기가 크기 때문에 과산화수소가 완전분해가 하는데 부분적인 손실을 가져왔다. 따라서 현재 지속적으로 개선된 촉매를 통해 좀 더 최적화된 점화기 크기의 결정 및 성능향상을 위해 연구를 진행하고 있다.

적으로 이루어진 경우를 정리한 것으로, 혼합비가 4~10까지 넓은 영역에서 점화가 이루어지는 것을 볼 수 있다. Fig. 8은 설계 혼합비 7에서의 2초 점화실험 결과를 보여주고 있다. 점화기의 주된 목적은 메인유량 연소에 있으므로, 최대한 짧은 시간에 점화가 이루어지고 메인 연소가 되는 것이 무엇보다도 중요하다.

후 기

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

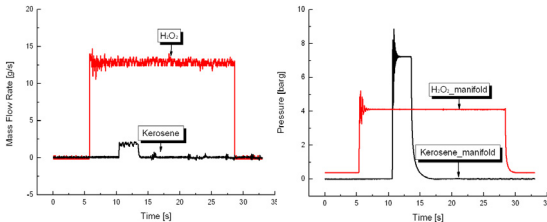


Fig. 8. Test result at O/F ratio 7

점화실험에 사용한 촉매는 과망간산염 계열로 반영구적인 촉매가 아닌 소모성 촉매이다. 따라서 일정량 이상의 과산화수소를 분해하면 그 성능이 떨어져 점화에 영향을 줄 수 있다. 점화실험에서도 과산화수소 대략 1000~1500 kg 정도 분해가 이루어지면 촉매성능이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 이것은 과망간산염 계열 촉매의 특성일 뿐, 과산화수소와의 반응성 및 활성이 매우 뛰어나고 현재까지 러시아 발사체에서도 사용하고 있을 정도로 성능은 뛰어나고 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Air Force Rocket Propulsion Laboratory Research and Technology Division "Hydrogen peroxide handbook"
2. NASA Lewis Research Center "CEA (Chemical Equilibrium with Applications"
3. L. Bayvel and Z. Orzechowski, "Liquid atomization", Taylor & Francis, 1993
4. K. Huzel and David H. Huang, "Modern engineering for design of liquid-propellant rocket engines", AIAA, Vol. 147
5. 김정훈, 이재원, 전영진, 채병찬, 전준수, 김유, 김선진, "과산화수소/케로신 소형 이원추진제 추력기의 설계 및 성능 특성에 관한 연구", 한국추진공학회 춘계학술대회, 2009