

활성물질에 따른 과산화수소 추력기의 응답 특성

안성용* · 권세진**

The Response Characteristics of the Hydrogen Peroxide Monopropellant Thruster as Active Materials

Sungyong An* · Sejin Kwon**

ABSTRACT

The performance of several catalysts to decompose the high test peroxide (HTP) was described in this paper. Manganese oxide, Platinum and Iridium were coated on the gamma alumina. The catalyst activity as active materials was measured at the flask reactor. The response time of various catalysts was also measured with a 50 Newton class thruster. Ir/Al₂O₃ that showed the best activity in the flask reactor and response time at the thruster, failed the reaction when continuous mode test was carried out with the thruster. Pt/Al₂O₃ and MnO₂/Al₂O₃ can be substitutes to decompose the HTP. In addition, for larger thruster, MnO₂/Al₂O₃ can be a good catalyst because its cost is below 5 % of Pt/Al₂O₃.

초 록

고농도 과산화수소를 분해시킬 수 있는 다양한 촉매의 성능을 비교하였다. 감마 알루미나에 산화망간, 백금, 이리듐을 각각 코팅하여 펠렛 촉매를 제작하였다. 각기 다른 세 가지 촉매를 이용하여 플라스크 반응기에서 반응성을 비교하였고, 50 Newton 급 추력기를 이용하여 펄스 응답 특성을 비교하였다. 그 결과 이리듐 촉매가 가장 높은 활성, 빠른 응답성을 나타내었으나, 연속모드에서 반응 실패 경향을 보여 과산화수소 분해용 촉매로는 부적절하였다. 백금, 산화망간 촉매 또한 우수한 반응성을 보여 높은 가능성을 보였으며, 고추력 추력기와 같이 촉매양이 많이 요구되는 경우, 비용문제를 고려한다면 산화망간 또한 과산화수소 분해에 적합할 것으로 판단된다.

Key Words: Monopropellant(단일추진제), Hydrogen Peroxide(과산화수소), Thruster(추력기), Catalyst(촉매), Iridium(이리듐), Platinum(백금), Manganese Oxide(산화망간)

1. 서 론

† 2008년 6월 20일 접수 ~ 2008년 8월 25일 심사완료

* 학생회원, 한국과학기술원 항공우주공학과

** 종신회원, 한국과학기술원 항공우주공학과
연락처, E-mail: trumpet@kaist.ac.kr

고농도 과산화수소(HTP, High Test Peroxide)는 과거 우주개발 초창기 로켓 엔진의 산화제,

항공기, 인공위성 및 발사체 상단 RCS(Reaction Control System)용 단일추진제, 다양한 탄도 미사일의 가스발생기용 단일추진제로써 널리 사용되었다. 1960년대 우주 개발 경쟁이 시작되면서 성능 최우선 정책으로 인해 산화제는 사산화질소로 단일추진제는 하이드라진으로 대체되었으나, 최근 친환경적인 측면이 부각되면서 HTP에 대한 관심이 증가하고 있다[1].

HTP는 독성이 없고, 특히 추진제 분해 시 인체에 무해한 산소와 과열증기가 생성된다(Eq. 1). 저장성 추진제이면서 증기압이 낮아 쉽게 증발하지 않는 등, 다양한 장점으로 인해 독성 추진에 비해 취급이 용이하며 저렴한 비용으로 관련 시스템을 개발할 수 있다[2].



HTP를 산화제로 이용하던지 단일추진제로 이용하던지 간에 연료-산화제 간의 액체-액체 접촉 발화(hypergolic ignition) 사용을 제외하면 촉매 분해하여 사용해야 한다. 미국의 General kinetics 사는 은 스크린을 이용하여 90 wt% HTP를 분해하는 방법을 사용한다[3]. 스웨덴의 Peroxide Propulsion은 Pt/ceramic 및 은 스크린 촉매를 이용하여 80~90 wt% HTP를 분해시키고 있으며[4], 오스트리아 ARC의 Scharlemann 등은 MnO₂/Mullite 촉매베드를 이용하여 단일 및 이원 추진제 추력기를 개발하였다[5]. 이탈리아 Pasini 등은 Pt/Al₂O₃ 촉매 펠렛을 5 Newton 급 단일추진제 추력기에 적용하였고[6], 일본 Sagara 또한 Pt/Al₂O₃를 이용하여 SOHLA 위성용 추력기를 개발하고 있다[7].

국내의 경우, 이 등은 100 N 급 추력기에 은 스크린 금속 촉매를 이용하였고[8], 권 등은 La_{0.8}Sr_{0.2}Co₃/cordierite를 이용하는 가스발생기 연구를 수행하였다[9]. 량 등은 K₂MnO₄/cordierite, La_{0.8}Sr_{0.2}Co₃/cordierite를[10], 임 등은 Pt/cordierite, La_{0.8}Sr_{0.2}Co₃/cordierite 이원 촉매 가스 발생기 연구를 통해 HTP를 분해시키는 연구를 하였다[11]. 이 등은 Pt/Isolite를 이용

하여 10 N 급 로켓을 개발하였고[12], 안 등은 1 ~ 50 Newton 추력기 개발을 위해 Pt/cordierite, Pt/Isolite, Pt/Ni foam, Pt/Al₂O₃ 촉매를 사용하였다[13, 14, 15].

촉매베드는 HTP를 다양한 항공우주 시스템에서 사용하기 위한 핵심 요소이기 때문에 대부분의 연구 그룹에서는 촉매베드의 성능에 우선적인 관심을 가지고 있다. 그럼에도 불구하고 대부분의 연구는 단일 촉매의 반응성능평가로 이루어졌으며 촉매의 변화에 따른 반응성 연구는 수행된 사례가 별로 없다[16, 17]. 또한 촉매 변화에 따른 반응성을 비교하였다라도 대기압에서 활성을 비교하였으며 실제 추력기의 작동 환경인 고온 고압에서 실험을 수행한 사례는 찾아볼 수 없었다.

촉매베드의 성능에 영향을 미치는 요소는 매우 많다. 활성물질의 종류에 따라 성능이 다르다. 같은 활성물질을 사용하더라도 전구체의 종류에 따라 다르며, 동일한 전구체더라도 지지체의 종류 및 특성에 따라 추진제 분해능능이 크게 변한다.

따라서 본 연구에서는 대표적인 지지체를 선정하여 지지체로 고정시킨 후, HTP를 분해시키는데 가장 가능성이 높은 것으로 판단되는 활성물질을 선정하여 활성물질 변화에 따른 추진제 분해성능을 비교하였다. 플라스크 반응기를 이용하여 촉매의 기본적인 반응성을 비교한 후, 추력기를 이용한 펄스작동에서 응답특성을 비교함으로써 활성물질의 순위를 평가하였다.

2. 촉매 제작

2.1 지지체

촉매베드는 일반적으로 활성물질인 촉매와 촉매를 지지하고 있는 지지체로 구성되어 있다. 촉매 반응은 촉매의 표면적에 비례하는데, 촉매 자체만으로는 표면적이 작아 활성이 높지 않다. 따라서 넓은 표면적을 가지는 물질인 지지체에 촉매를 코팅하는 방법으로 높은 표면적을 가지는

촉매 베드를 제작하였으며[18], 255 m²/g 표면적을 갖는 직경 1/8" 감마 알루미나 펠렛을 지지체로 사용하였다[19].

22 활성물질(촉매)

활성물질은 추진제 분해 반응에 직접적으로 기여하는 물질로써 어떤 촉매를 사용하는지에 따라 추진제를 분해시키는 속도가 다르게 되므로 추력기용 촉매의 선정은 매우 중요하다.

활성물질의 선정에 있어서 고려해야 할 요소는 추진제 분해반응에서의 활성도, 반응 과정 중 안정성, 반응물 또는 생성물에 의한 피독성 여부, 가격, 녹는점, 선정된 지지체와의 친화력 등이 있다. 즉, 활성물질은 추진제를 급격히 분해시킬 수 있는 높은 활성을 가질수록, 고온의 반응 과정에서 뭉쳐져서 소결(sintering)되지 않을수록, 반응 도중 촉매독에 의해 피독되지 않고 반응을 지속적으로 유지 할수록, 저렴할수록, 녹는점이 높아 고온에서 녹지 않을수록, 지지체와 높은 친화력을 가질수록 유리해진다[20].

본 연구에서는 활성물질 후보 군을 선정하는데 있어 높은 활성을 가짐과 동시에 활성물질의 녹는점이 추진제의 단열분해온도보다 높아야 한다는 두 가지를 전제로 하였으며 이를 기준으로 산화물 계열인 산화망간과 귀금속 계열인 이리듐, 백금을 후보로 설정하였다. 은(Ag) 촉매는 과산화수소 분해에 매우 높은 활성을 보이지만 녹는점이 962 °C로 낮아 고려하지 않았다.

Table 1. Solubility of Manganese oxide precursor [21]

Precursor	Solubility [gram/ 100 cc]	
	at cold water	at hot water
NaMnO ₄	Very soluble	
KMnO ₄	6.382	25.65
K ₂ MnO ₄	Decompose	
NH ₄ MnO ₄	7.915	Decompose
BaMnO ₄	Very slight soluble	No data
Ba(MnO ₄) ₂	62.511	75.425

23 전구체

활성물질을 포함하고 있는 촉매 전구체 또한 매우 다양하다. 어떤 물질을 전구체로 사용하여 지지체에 촉매를 코팅하는지 여부에 따라 지지체와 촉매의 친화력이 달라진다. 지지체와 촉매의 친화력이 강하지 않을 경우, 반응 도중 촉매가 지지체에서 떨어지고, 노즐을 통해 빠져나가기 때문에 촉매베드에서의 반응성이 급격하게 감소한다. 이에 지지체와의 친화력을 우선적으로 고려하고, 솔벤트에 녹는양, pH 값 등을 종합적으로 고려하여 적합한 전구체를 선택하였다.

산화망간의 전구체로 사용 가능한 물질은 NaMnO₄, KMnO₄, K₂MnO₄, NH₄MnO₄, BaMnO₄, Ba(MnO₄)₂, Co(MnO₄)₂, CaMnO₄, H₂CsMnO₄, AgMnO₄ 등이 있으나 KMnO₄, K₂MnO₄는 대부분의 솔벤트에 매우 소량만 녹게 되므로(Table 1) 원하는 wt%로 담지하기 위해 수많은 코팅 횟수를 거쳐야 한다. 또한 실제 반응시험에서 알루미나와 친화력이 매우 약하여 금방 씻겨 나가는 문제가 있다[10, 11]. 따라서 알루미나와 친화력이 강하고 물에 매우 잘 녹아 코팅이 용이한 NaMnO₄를 전구체로 선택하였다.

백금의 대표적인 전구체로 Pt(NH₃)₄Cl₂와 H₂PtCl₆가 있다. Pt(NH₃)₄Cl₂는 전구체 용액에서 Pt(NH₃)₄²⁺ 이온이 형성 되고, H₂PtCl₆는 전구체 용액에서 PtCl₆²⁻ 이온이 형성되게 된다. 감마 알루미나의 경우 등전점이 7.4 ~ 8.6 으로써 양이온인 Pt(NH₃)₄²⁺ 이온으로 제조하게 되면 촉매와 알루미나의 친화력이 약하므로 촉매 담지량이 많아질 경우 서로 덩어리져서 알갱이가 커지게 되고, 노출된 백금 원자수가 늘어나지 않아 분해 반응에서 불리하게 작용한다. 반면 PtCl₆²⁻ 이온은 알루미나와 친화력이 강해 Pt(NH₃)₄²⁺ 이온으로 제조한 촉매보다 활성물질의 분산도가 우수하고 촉매 크기가 작아지게 되어 결과적으로 추진제 분해반응에서 유리하게 작용하게 되므로 백금의 전구체는 H₂PtCl₆를 이용하였다[18].

이리듐 전구체 또한 알루미나와 친화력이 강한 H₂IrCl₆를 이용하였다. H₂IrCl₆은 H₂PtCl₆ 보다 알루미나와 친화력이 강하여 매우 높은 양을

담지 하더라도 이리듬 입자가 매우 작은 크기로 유지되어 매우 높은 분산도를 가지는 것으로 보고된 바 있다[22].

2.4 활성물질의 코팅

활성물질의 코팅 방법은 단일추진제 추력기의 핵심 기술로써 대부분의 자료에서 구체적인 언급은 회피하고 있다. 본 연구에서는 촉매 코팅을 위해 함침법(impregnation method)을 이용하였다[18]. 지지체를 전처리(pre-treatment) 한 후, 제조한 전구체 용액에 담근 후 펠렛 내부의 세공까지 흡수시킨다. 펠렛을 건조시키고 하소(calcination)하여 유기물을 제거하였다. 최종적으로 고온에서 H_2/N_2 가스를 이용하여 표면을 환원(reduction)시켰다. 산화망간은 산화물 자체가 촉매이므로 환원 과정을 생략하였다.

완성된 펠렛 촉매의 형상은 Fig. 2, 3, 4에서 제시하였다. 활성물질이 담지 된 정도는 촉매베드 전체 대비 활성물질의 무게를 이용하여 나타낸다. MnO_2/Al_2O_3 는 11.6, 16.9, 38.1 wt%의 세가지로 담지량을 달리하여 제작하였으며, Ir/Al_2O_3 는 18.0 wt%, Pt/Al_2O_3 는 15.5 wt%로 제조되었다. 높은 무게 비율로 활성물질을 코팅하기 위해 활성물질의 담지과정을 수차례 수행하였다.



Fig. 1 Alumina pellet



Fig. 2 MnO_2/Al_2O_3



Fig. 3 Ir/Al_2O_3



Fig. 4 Pt/Al_2O_3

3. 플라스크 반응기 실험

3.1 실험장치

촉매베드를 제작한 후, 모든 실험을 추력기를 통해 성능평가 한다면 많은 양의 촉매베드와 추진제가 요구된다. 최종 사용자 입장에서 보면 추력기를 이용한 실험을 통해 직접적인 결과를 얻는 것이 좋지만, 모든 실험을 추력기를 통해 수행하는 것은 비효율적이므로 간단히 촉매의 활성을 비교하기 위해 플라스크에서 추진제와 촉매를 반응시켜 생성가스량을 측정하는 방법을 많이 사용한다.

실험장치의 구성을 Fig. 5에서 제시하였으며 원리는 다음과 같다. Flask A에 90 wt% HTP 10 cc를 주입한 후, 촉매베드 0.03 gram을 떨어뜨린다. 촉매베드가 떨어진 순간부터 분해반응이 시작되는데, 생성물질 중 산소만 걸러내기 위해 Flask B에서 물과 과산화수소 증기를 응축시킨 후, Flask B를 빠져나온 산소의 유량을 유량계를 통해 측정하였다. 시간에 따른 산소발생량을 유량계를 통해 측정하였으며 유량을 비교하여 촉매의 활성을 비교하였다. 추진제의 온도 또한 실시간으로 측정하여 촉매의 활성 결과를 뒷받침하였다.

3.2 실험 결과 및 고찰

측정한 시간에 따른 산소 유량은 Fig. 6에서 제시하였다. 촉매베드와 추진제가 만나면서 활발한 반응이 일어나 유량이 급격히 증가하고, 일정 시간이 지나면 안정된 유량 값을 나타낸다. 시간이 지날수록 생성된 물에 의해 반응물의 농도가 감소하고, 반응물 양 또한 감소하므로 산소 유량이 서서히 감소하는 경향을 보였다. 비슷한 촉매 wt% 인 MnO_2 , Ir , Pt 촉매베드에서 산소의 유량을 비교한 결과 Ir 가 가장 높은 활성을 보였고, Pt , MnO_2 순으로 나타났다.

촉매의 wt%를 증가시킬 때, 촉매 활성이 증가하는 것은 아닌 것으로 나타났다. MnO_2 의 경우 11.6, 16.9, 38.1 wt%로 각각 담지 하였으나 16.9 wt%인 경우 가장 높은 활성을 나타내었다. 이는

담지량이 증가함에 따라 활성물질의 분산도 (dispersion)가 증가하지 않고 서로 뭉쳐지거나 코팅된 촉매 위에 재코팅이 되어 활성물질의 표면적의 증가가 담지량 증가와는 다른 방향으로 이루어졌기 때문으로 판단된다.

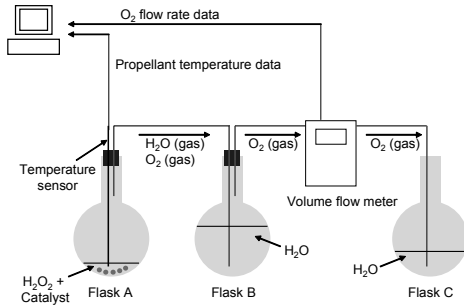


Fig. 5 Schematic of flask reaction test

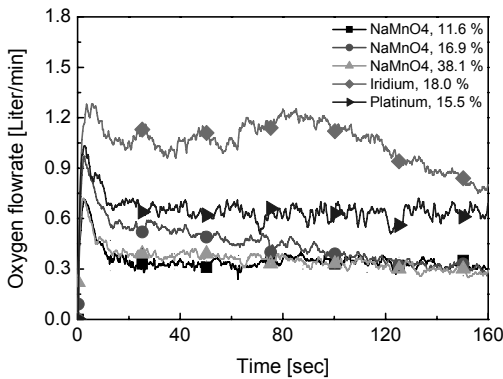


Fig. 6 Oxygen flowrate as various active materials

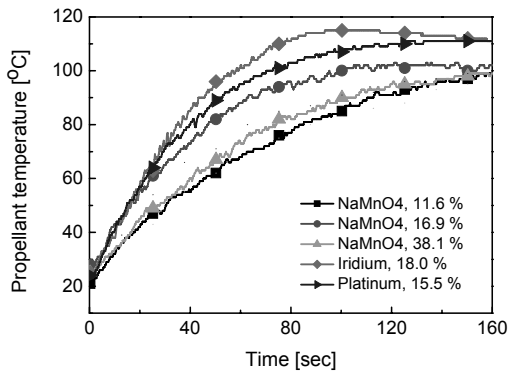


Fig. 7 Propellant temperature as a function of time

플라스크 내부의 추진제 온도를 측정한 결과는 Fig. 7과 같다. 시간이 지남에 따라 온도가 빨리 상승한다면 활성이 높은 것으로 볼 수 있다. 추진제 온도 측정을 통한 결과 또한 Ir > Pt > MnO₂ 순으로 활성이 높을 것으로 나타나 산소 유량을 통해 평가한 결과와 일치하였다.

4. 추력기를 이용한 응답성

4.1 실험 장치

Figure 8, 9는 각각 추력 스탠드의 구성도 및 형상을 나타낸다. 실험 장치는 질소 탱크, 추진제 탱크, 압력 조절기, 추진제 공급 밸브, 질량 유량계, 추력측정 장치 등으로 구성되어 있다. NI 사의 DAQ 카드 및 SCXI 시스템(10 kHz filter)을 사용하여 압력, 온도, 추력, 추진제 유량 신호를 1000 samples/sec로 측정하였다.

4.2 추력기

추력기의 설계 형상은 Fig. 10과 같다. 추진제 유량을 결정 및 균일한 분사를 위한 목적으로 직경 300 μm의 오리피스 19개를 가지는 평판형 shower head 인젝터를 장착하였다(Fig. 11). 촉매베드의 부피는 직경 30 mm, 길이는 40 mm 로써 1/4 크기의 Pt/Al₂O₃ 펠렛을 촉매베드로 사용할 경우 50 Newton 급 추력기의 최적 부피이다[15].

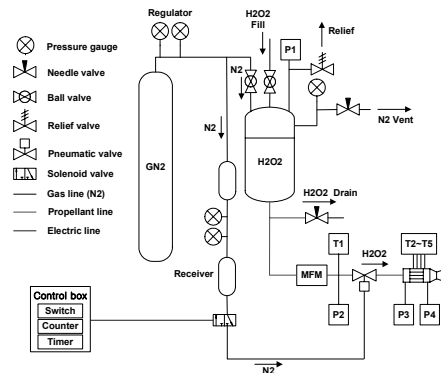


Fig. 8 Schematic of experimental setup

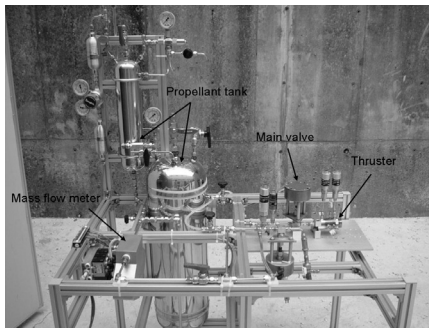


Fig. 9 Thrust stand

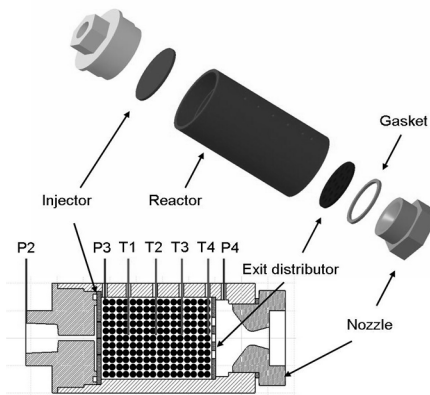


Fig. 10 50 Design of thruster



Fig. 11 Injector apparatus

4.3 응답특성 및 고찰

앞서 제작한 다섯 가지 촉매베드를 추력기에 장착한 후 펄스 실험을 하였다. 추진제는 90 wt% HTP이며 가압압력은 30 bar, 유량은 약 45 g/s 내외이다. 1.0 sec on, 1.0 sec off 펄스모드를 10 회 수행하였으며, 추력기 및 촉매대가 가열된 상태에서 데이터를 측정하기 위해 온도 및

압력이 정상상태에 이른 후, 3회의 펄스에서 응답성을 측정하여 평균하였다. 점화지연(ignition delay, 밸브 open 시작 ~ 정상상태 추력의 1%), 추력상승시간(thrust rising time, 정상상태 추력의 1% ~ 90%) 및 추력 하강시간(thrust tail-off time, 밸브 close 시작 ~ 정상상태 추력의 10%)의 평균을 구해 응답성을 비교하였다. 문헌 조사 결과 응답특성은 몇 가지 정의가 존재하였으나 단일추진제 추력기에서 많이 사용하는 방식을 따랐다.

대표적인 펄스 형상은 Fig. 12에서 제시하였다. 추진제 밸브가 열리기 시작하면서 가압압력(P2)이 감소하고 추진제가 공급된다. 잠시 후, 촉매베드 전 압력(P3) 및 반응챔버 압력(P4)이 상승하면서 추력이 발생하기 시작하고 추력상승 구간을 거쳐 정상상태 추력에 도달하였다. 밸브가 닫히기 시작하면서 가압압력(P2)이 상승하기 시작하고 추력 하강 구간을 거친 후 추력이 0으로 떨어졌다.

각각의 촉매에 대해 응답특성을 Table 2에서 정리하였다. 비슷한 wt%에서 서로 다른 촉매를 사용하였을 때, 점화지연 특성은 17~28 msec 수준으로써 Ir, Pt > MnO₂의 순으로 우수한 것으로 나타났다. 추력 상승 시간은 약 110 msec 내외, 추력 하강 시간은 약 109~216 msec 수준을 보였고, 점화지연 결과와 마찬가지로 Ir ≥ Pt > MnO₂ 순서로 짧은 특성을 나타내었는데, 플라스크 반응기에서의 활성 순서와 일치하였다.

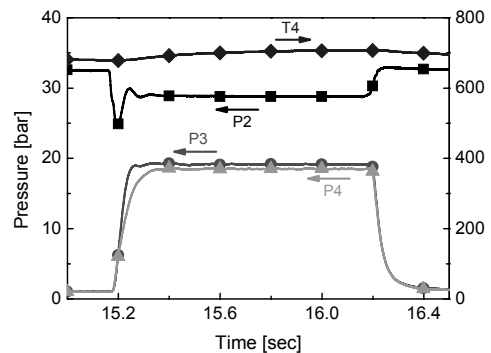


Fig. 12 Pressure-time history of Pt/Al₂O₃ (15.5 wt%)

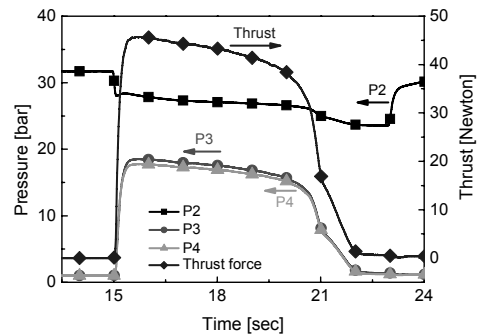
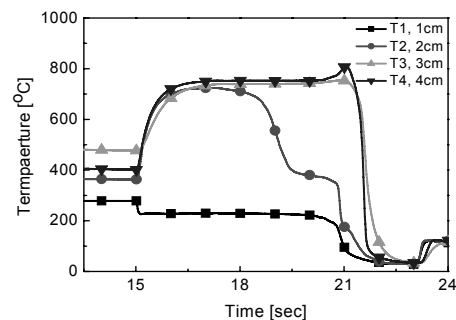
Table 2. The results of response time [msec]

Active material	wt% [%]	Ignition delay	Rising time	Tail-off time
MnO ₂	11.6	28	104	162
	16.9	25	130	166
	38.1	26	119	216
Ir	18.0	17	106	109
Pt	15.5	17	103	122

동일한 촉매에서 wt% 만 변화시킨 경우에는 플라스크 반응기에서 측정된 활성 순서와는 조금 상이한 특성을 보였다. MnO₂/Al₂O₃의 경우 플라스크 실험에서는 16.9 wt% 경우 가장 높은 활성을 보였으나, 추력기 실험에서는 11.6 wt% 경우가 점화지연을 제외한 응답특성 항목에서 모두 가장 빠른 것으로 나타났다. 플라스크 반응기에서의 실험결과와 추력기에서 실험결과가 일치하지 않는 이유는 여러 가지가 있을 수 있다. 플라스크 반응기의 경우 촉매베드가 추진제에 완전히 담겨있고, 추진제 온도가 높지 않아 펠렛 촉매 내부 모든 영역이 반응에 기여하게 되지만, 추력기에서 실험할 경우에는 반응물이 펠렛 내부의 세공까지 들어가는데 확산 저항이 있으므로 주로 펠렛 외부에서 추진제 분해반응이 일어나게 된다. 또한 플라스크 반응기와 추력기 내부의 상이한 실험환경이 원인이 될 수 있다. 플라스크 반응기는 촉매반응이 대기압, 비교적 낮은 온도에서 일어난다. 반면, 추력기에서는 고압이며, 촉매 전단부는 낮은 온도, 후단부는 약 750 °C의 고온에서 반응이 일어나게 된다. 또한 전단부 촉매에서는 공급되는 추진제는 액상이며 농도가 높으나 촉매베드를 지나감에 따라 추진제가 기상으로 변하고 농도가 감소하게 된다. 따라서 촉매 펠렛의 크기에 따른 확산 저항의 존재, 추력기 내부에서의 복잡한 반응 양상, 압력, 온도 등에 기인한 것으로 볼 수 있다.

펄스응답 특성에서는 활성물질의 담지량이 비슷하다면 귀금속 촉매가 유리하고, 귀금속 촉매에서는 이리듐이 백금보다 소폭 우수한 특성을 보였다. 응답성만 고려한다면 이리듐 촉매를 사용하는 것이 유리하지만, 이리듐 촉매는 타 촉매

와는 달리 연속작동 모드에서 반응 실패를 하는 경우가 종종 나타났다. 추진제가 일정유량으로 지속적으로 공급될 때, 추진제가 지속적으로 분해되면 반응챔버 압력 및 추력이 일정하게 유지되어야 하는데, 초기 수 초 동안은 추진제를 잘 분해시키지만, 그 이후에는 반응성이 급격히 감소하여 챔버 압력 및 추력이 급격히 감소하였다. Fig. 13, 14에서 반응 실패한 경우, 압력, 추력 및 내부 생성가스 온도를 제시하였다. 15초 지점에서 밸브가 열렸으며, 실험시작 후 반응성을 잃어감에 따라 압력, 추력이 서서히 감소되고 20초 지점에서는 급격히 감소하여 23초 지점에서 밸브를 닫았다. 생성가스 온도 역시 반응 도중 감소하다가 급격히 감소하여 추진제를 적절히 분해시키지 못하고 있음을 보였다. 하이드라진 분해용 촉매가 과산화수소 분해에는 적합하지 않다는 것을 의미한다.

Fig. 13 Pressure-time history of Ir/Al₂O₃ in the case of failure reactionFig. 14 Temperature-time history of Ir/Al₂O₃ in the case of failure reaction

과산화수소가 분해될 때 고온의 산소가 생성된다. 따라서 금속은 정도에 차이가 있지만 표면이 산화되어 촉매로써의 기능을 점진적으로 상실할 수 있다. 특히, 이리듐은 산화가 잘 일어나 고온의 산소에 의해 펠렛 표면이 촉매로써의 기능을 상실하는 것으로 보고된 바 있다[23, 24]. 또한, 이리듐 촉매는 과산화수소 내부의 안정제 성분인 Sn에 의해 촉매 활성점이 쉽게 피독되는 것으로 보고되었다[24]. 사용한 추진제는 MIL-16005F에 부합하는 추진제로써 최소한의 안정제가 포함되어 있으므로 촉매의 피독은 무시할 수 있으므로 촉매 표면의 산화가 주요 원인으로 판단된다. 따라서 대표적인 귀금속 촉매인 이리듐과 백금 중, 백금이 HTP 분해에 적합하다.

MnO₂ 촉매는 펄스응답성과 연속작동 성능에 있어 백금보다는 소폭 낮았다. 그러나 MnO₂ 촉매는 백금에 비해 가격이 매우 저렴하여 백금 촉매 제조 비용의 약 5 %만으로 같은 양을 제조할 수 있어 가격적 요소를 고려한다면 MnO₂ 촉매 또한 HTP 분해에서 적합한 것으로 판단된다.

5. 결 론

활성물질인 촉매 변화에 따른 HTP를 분해특성을 비교하기 위해 이리듐, 백금의 귀금속 촉매와 산화망간 촉매를 후보로 선정하고 알루미늄 지지체에 코팅하였다.

제작한 촉매를 플라스크 반응기에서 생성되는 산소의 유량 측정을 통해 활성을 비교한 결과 이리듐, 백금, 망간 촉매의 순서로 높은 활성을 보였다. 추력기를 이용하여 응답특성을 살펴본 결과 활성이 높을수록 빠른 응답성 경향을 보였다. 하이드라진 분해에 널리 사용되는 이리듐 촉매는 높은 활성에도 불구하고 반복사용시 반응성이 급격히 감소하므로 HTP 분해에 사용할 수 없는 것으로 나타났다. 따라서 세 가지 후보 촉매 중, 백금 촉매가 HTP 분해에 가장 적합한 것으로 판단되며, 가격적 요소를 고려한다면 산화망간 촉매가 적합하다.

본 연구는 활성물질 변화에 따른 응답특성 차이만 살펴본 것이므로 추력기 및 촉매펠렛 크기 최적화 작업은 고려하지 않았고 응답속도가 상용 추력기에 비해 소폭 느린 특성을 보였는데, 이는 추력기 및 촉매 최적 설계를 통해 개선시킬 여지가 있을 것이다. 또한 만약 발사체 자세 제어용으로 응용한다면 발사체의 높은 관성으로 인해 서서히 제어되므로 추력기의 응답속도가 소폭 느리더라도 현재 설계된 추력기에서 추력을 증가시킨다면 향후 개발되는 발사체에 적용 가능할 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R0A-2007-000-20065-0)

참 고 문 헌

1. M. Ventura, G. Garboden, "A Brief History of Concentrated Hydrogen Peroxide Uses," 35th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, AIAA 1999-2739
2. 임하영, 안성용, 권세진, "친환경추진제 "과산화수소"의 특성과 응용," 한국추진공학회 춘계학술대회, 2006, pp.283-287.
3. www.gkllc.com
4. www.peroxidepropulsion.com
5. C. Scharlemann, "Development of Miniaturized Green Propellant Based Mono- and Bipropellant Thrusters," 43rd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, AIAA-2007-5580.
6. A. Pasini, L. Torre, L. d'Agostino, A. Cervone, "Experimental Characterization of 5 N Hydrogen Peroxide Monopropellant

- Thruster Prototype," 43rd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, AIAA-2007-5465.
7. H. Sahara, S. Nakasuka, Y. Sugawara, and C. Kobayashi, "Demonstration of Propulsion System for Microsatellite Based on Hydrogen Peroxide in SOHLA-2 Project," 43rd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, AIAA-2007-5575.
 8. 이수립, 이충원, "은을 촉매로 사용하는 과산화수소 추력기 개발," 한국추진공학회지, 제 11권, 제4호, 2007, pp.67-73.
 9. 권혁모, "과산화수소 가스발생기 개발을 위한 촉매 분해 반응 연구," 석사학위논문, 한국과학기술원, 2005.
 10. 량성민, 안성용, 권혁모, 권세진, "이원 촉매를 이용한 과산화수소 가스발생기," 항공우주공학회지, 제34권, 제3호, 2006, pp.87-92.
 11. Hayoung Lim, Sungyong An, Sejin Kwon, and Seongmin Rang, "Hydrogen Peroxide Gas Generator with Dual Catalytic Bed for Non-preheating Start-up," Journal of propulsion and power, Vol. 23, No. 5, 2007, pp.1147-1150.
 12. 이정섭, 안성용, 김민기, 문기현, 송승환, 최원준, 박선금, 권세진, "10 N 급 단일 추진제 추력기 설계 및 성능 평가," 한국항공우주학회 추계학술발표회, 2007, pp.1349-1352.
 13. 안성용, 진정근, 권세진, "모노리스를 이용한 과산화수소 단일추진제 추력기 개발," 한국추진공학회지, 제11권, 제1호, 2007, pp.18-26.
 14. Sungyong An, Hayoung Lim, Sejin Kwon, "Hydrogen Peroxide Thruster Module for Microsatellites with Platinum Supported by Alumina as Catalyst," 43rd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, AIAA-2007-5467.
 15. 안성용, 권세진, "액체추력기 촉매베드 크기 결정을 위한 실험적 방법," 한국추진공학회지, 제 12권, 제 3호, 2008, pp.24-33.
 16. L. Romeo, L. Torre, A. Pasinim L. d'Agostino, F. Calderazzo, A. Cervone, "Performance of Different Catalysts Supported on Alumina Spheres in Hydrogen Peroxide Decomposition," 43rd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, AIAA-2007-5466.
 17. Laurence Pirault-Roy, Charles Kappenstein, Maurice Guerin, and Rachel Eloirdi, "Hydrogen Peroxide Decomposition on Various Supported Catalysts Effect of Stabilizers," Journal of Propulsion and Power, Vol. 18, No. 6, 2002, pp.1235-1241.
 18. 전학제, 서곤, 촉매개론, 제4판, 한림원, 2002.
 19. www.alfa.com
 20. 과제보고서, "과산화수소 단일추진제 추력기 개발 및 성능검증," 한국항공우주연구원, 2008.
 21. Robert C Weast, CRC Handbook of chemistry and physics, 51st edition, 1970.
 22. Stephane Mary, Charles Kappenstein, Stephane Balcon, Sylvie Rossignol, Eric Gengembre, "Monopropellant decomposition catalysts. I. Ageing of highly loaded Ir/Al₂O₃ catalyst in oxygen and steam. Influence of chloride content," Applied Catalysis A: General 182, 1999, pp.317-325.
 23. P. Morlan, P. Wu, A. Nejad, D. Ruttle, R. Fuller, "Catalyst Development For Hydrogen Peroxide Rocket Engines," 35th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, AIAA-99-2740.
 24. Hanjing Tian, Tao Zhang, Xiaoying Sun, Dongbai Liang, Liwu Lin, "Performance and deactivation of Ir/ γ -Al₂O₃ catalyst in the hydrogen peroxide monopropellant thruster," Applied Catalysis A: General 210, 2001, pp.55-62.