

서로 다른 촉매를 사용하는 과산화수소 추력기의 응답 속도

안성용* · 권세진**

The Response time of the Hydrogen Peroxide Monopropellant Thruster as Different Catalysts

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 response time of various catalysts was measured with a 50 Newton class thruster. Ir/Al₂O₃ that showed the fastest 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

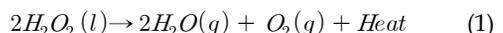
고농도 과산화수소를 분해시킬 수 있는 다양한 촉매의 성능을 비교하였다. 감마 알루미나에 산화망간, 백금, 이리듐을 각각 코팅하여 펠렛 촉매를 제작하였다. 50 Newton 급 추력기를 이용하여 펄스 응답 특성을 비교하였다. 그 결과 이리듐 촉매가 가장 빠른 응답성을 나타내었으나, 연속모드에서 반응 실패 경향을 보여 과산화수소 분해용 촉매로는 부적절하였다. 백금, 산화망간 촉매 또한 우수한 반응성을 보여 높은 가능성을 보였으며, 고추력 추력기와 같이 촉매양이 많이 요구되는 경우, 비용문제를 고려한다면 산화망간 또한 과산화수소 분해에 적합할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

Key Words: Monopropellant(단일추진제), Hydrogen Peroxide(과산화수소), Thruster(추력기), Catalyst(촉매), Response Time(응답속도)

1. 서 론

고농도 과산화수소(HTP, High Test Peroxide)는 과거 우주개발 초창기 단일추진제로써 사용

이력을 가지고 있으며 최근 친환경적인 측면이 부각되면서 HTP에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1, 2].



* 한국과학기술원 항공우주공학과

** 한국과학기술원 항공우주공학과

연락처, E-mail: trumpet@kaist.ac.kr

단일추진제로써 HTP를 사용하기 위해서는 촉

매를 이용하여 추진제를 식 (1)과 같이 분해해야 한다. 촉매베드는 HTP를 다양한 항공우주 시스템에서 사용하기 위한 핵심 요소이기 때문에 대부분의 연구 그룹에서는 촉매베드의 성능에 우선적인 관심을 가지고 있으며 자세한 내용은 핵심기술로 분류하여 대부분 공개하지 않는 경향이 있다.

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 분해성능이 크게 변한다. 본 연구에서는 대표적인 지지체를 선정하여 지지체로 고정시킨 후, HTP를 분해시키는데 가장 가능성이 높은 것으로 판단되는 활성물질을 선정하여 활성물질 변화에 따른 추진제 분해성능을 비교하였다. 추력기를 이용한 펄스 작동에서 응답특성을 비교함으로써 활성물질의 순위를 평가하였다.

2. 촉매 제작

촉매베드는 일반적으로 활성물질인 촉매와 촉매를 지지하고 있는 지지체로 구성되어 있다. 촉매 반응은 촉매의 표면적에 비례하므로 255 m²/g 비표면적을 갖는 알루미나 펠렛을 지지체로 사용하였다.

활성물질은 추진제 분해 반응에 직접적으로 기여하는 물질로써 어떤 촉매를 사용하는지에 따라 추진제를 분해시키는 속도가 다르게 되므로 추력기용 촉매의 선정은 매우 중요하다. 본 연구에서는 활성물질 후보 군을 선정하는데 있어 높은 활성을 가짐과 동시에 활성물질의 녹는 점이 추진제의 단일분해온도보다 높아야 한다는 두 가지를 전제로 하였으며 이를 기준으로 산화물 계열인 산화망간과 귀금속 계열인 이리듐, 백금을 후보로 설정하였다.

촉매 코팅은 함침법(impregnation method)을 이용하였다[3]. 지지체를 전처리(pre-treatment)한 후, 제조한 전구체 용액에 담근 후 펠렛 내부

의 세공까지 흡수시킨다. 펠렛을 건조, 하소(calcination)하여 유기물을 제거한 후 최종적으로 고온에서 표면을 환원(reduction)시켰다. 산화망간은 산화물 자체가 촉매이므로 환원 과정을 생략하였다. 완성된 펠렛 촉매의 형상은 Fig. 2, 3, 4에서 제시하였다. MnO₂/Al₂O₃는 16.9 wt%, Ir/Al₂O₃는 18.0 wt%, Pt/Al₂O₃는 15.5 wt%로 제조되었다.



Fig. 1 Alumina pellet



Fig. 2 MnO₂/Al₂O₃



Fig. 3 Ir/Al₂O₃



Fig. 4 Pt/Al₂O₃

3. 추력기를 이용한 응답성

추력기의 형상은 Fig. 5와 같다. 추진제 유량을 결정 및 균일한 분사를 위한 목적으로 직경 300 μm의 오리피스 19개를 가지는 평판형 shower head 인젝터를 장착하였다. 촉매베드의 부피는 28.3 cm³로써 1/4 크기의 Pt/Al₂O₃ 펠렛을 촉매베드로 사용할 경우 50 Newton 급 추력기의 최적 부피이다[4].

앞서 제작한 다섯 가지 촉매베드를 추력기에 장착한 후 펄스 실험을 하였다. 추진제는 90 wt% HTP이며 가압압력은 30 bar에서 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 평균하였

다. 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.

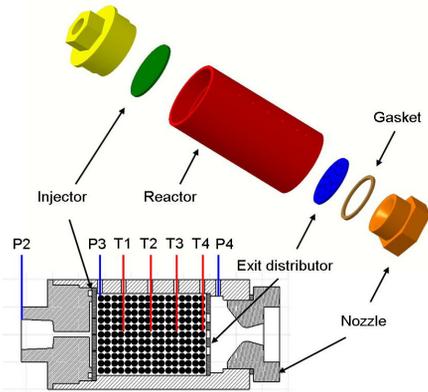


Fig. 5 50 Design of thruster

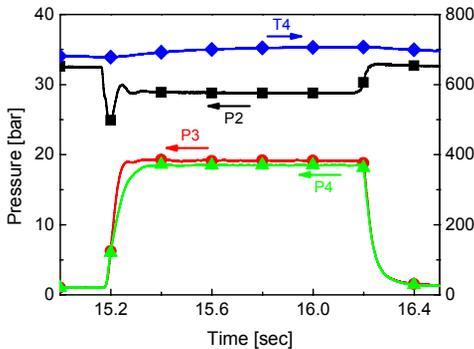


Fig. 6 Pt/Al₂O₃ (15.5 wt%)

대표적인 펄스 형상은 Fig. 6에서 제시하였다. 추진제 밸브가 열리기 시작하면서 가압압력(P2)이 감소하고 추진제가 공급된다. 잠시 후, 촉매 베드 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 1에서 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 나타내었다.

Table 1. The results of response time

Active material	wt%	Ignition delay [msec]	Rising time [msec]	Tail-off time [msec]
MnO ₂	16.9	25	130	166
Ir	18.0	17	106	109
Pt	15.5	17	103	122

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 촉매와는 달리 연속작동 모드에서 반응 실패를 하는 경우가 나타났다. Fig. 7, 8에서 반응 실패한 경우, 압력, 추력 및 내부 생성가스 온도를 제시하였다. 압력 및 생성가스 온도가 급격히 감소하여 추진제를 적절히 분해시키지 못하고 있음을 보였다. 하이dra진 분해용 촉매가 과산화수소 분해에는 적합하지 않다는 것을 의미한다. 이는 이리듐 표면의 급격한 산화, Sn에 의한 피독 등의 요인으로 보고된 바 있다[5, 6]. 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.

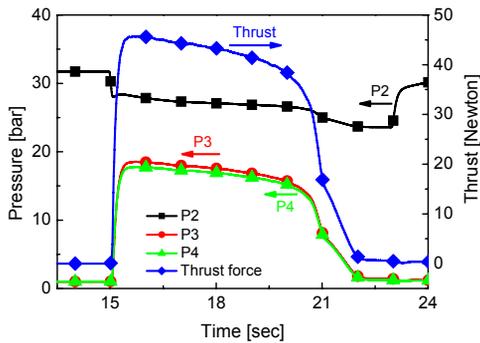


Fig. 7 Reaction failure of Ir/Al₂O₃

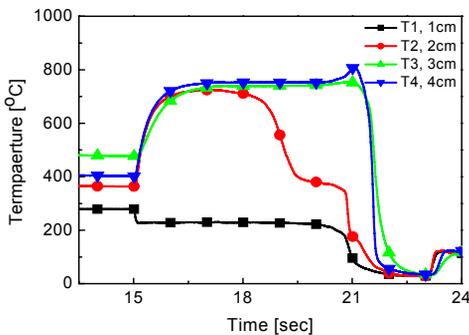


Fig. 8 Reaction failure of Ir/Al₂O₃

5. 결 론

활성물질인 촉매 변화에 따른 HTP를 분해특성을 비교하기 위해 Ir/Al₂O₃, Pt/Al₂O₃, MnO₂/Al₂O₃를 후보 촉매로 선정/제작하였다. 추력기를 이용하여 응답특성을 살펴본 결과 하이드라진 분해에 널리 사용되는 Ir/Al₂O₃는 높은 활성에도 불구하고 반복사용시 반응성이 급격히 감소하므로 HTP 분해에 사용할 수 없었다. 세 가지 후보 촉매 중, 백금 촉매가 HTP 분해에 가장 적합한 것으로 판단되며, 가격적 요소를 고려하거나 시스템의 무게 및 부피가 커도 문제가 되지 않는다면 산화망간 촉매가 경쟁력이 있는 것으로 판단된다. 또한 본 연구는 활성물질 변화

에 따른 응답특성 차이만 살펴본 것이므로 추력기 및 촉매펠렛 크기 최적화 작업은 고려하지 않은 상태이므로 추력기 및 촉매 설계 최적화 연구를 통해 개선시킬 여지가 있다.

후 기

본 연구는 과학기술부 특정연구개발사업인 소형위성발사체(KSLV-I) 개발사업의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

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. 전학제, 서곤, 촉매개론, 제4판, 한림원, 2002.
4. 안성용, 권세진, "액체추력기 촉매베드 크기 결정을 위한 실험적 방법," 한국추진공학회지, 제 12권, 제 3호, 2008, pp.24-33.
5. 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.
6. 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.