

과산화수소 분해반응을 이용한 초소형 추력기 성능평가

이정섭* · 안성용** · 권세진***

Performance Evaluation of a Micro Thruster Utilizing Hydrogen Peroxide Decomposition

Jeongsu Lee* · Sungyong An** · Sejin Kwon***

ABSTRACT

The performance evaluation of the micro thruster utilizing hydrogen peroxide decomposition is described. The catalyst bed was made of porous ceramic material(Isolite[®]) with large surface to mass ratio. 14%wt platinum was loaded on the catalyst support as a catalyst. Hydrogen peroxide with 85% concentration was used as a monopropellant. The length of the catalyst bed and the feed pressure of the hydrogen peroxide were taken as the parameters for the experiment. All experiments were carried out under cold start condition for 30 seconds. The c^* efficiency was evaluated for each test case using measured pressure data. For the catalyst support length of 30 mm and feed pressure at 5.51 bar, satisfactory c^* efficiency beyond 95% was observed.

초 록

본 연구에서는 과산화수소 분해 반응을 이용한 초소형 추력기에 대한 성능 평가 실험을 수행하였다. 촉매 베드로는 질량 대 면적 비가 큰 다공성의 세라믹 물질(Isolite[®])을 사용하였다. 14%wt의 백금이 촉매로서 촉매 베드에 코팅되었고, 단일추진제로는 85% 과산화수소를 사용하였다. 촉매 베드의 길이와 과산화수소의 가압 압력을 변수로 정하였다. 모든 실험은 콜드 스타트 조건에서 30초간 수행되었다. 매 실험마다 압력을 측정하여 c^* 효율을 계산하였다. 촉매 베드의 길이가 30 mm이고 가압압력이 5.51 bar일 때 95% 이상의 만족스러운 c^* 효율을 보였다.

Key Words: Micro Thruster(초소형 추력기), Hydrogen Peroxide(과산화수소), Isolite(아이솔라이트), Platinum(백금), c^* efficiency(c^* 효율)

1. 서 론

초소형 위성은 기존의 대형위성에 비해 제작 단가가 저렴하고 발사비용을 줄일 수 있다. 이러한 초소형 위성의 위치를 수정하고 궤도를 변경할 수 있는 동력 시스템으로서 초소형 추력기의 필요성이 대두되었고 그 연구가 활발히 진행되

* 한국과학기술원 항공우주공학과

** 학생회원, 한국과학기술원 항공우주공학과

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

었다. 이 연구에서는 구조가 간단하고 펄스동작과 정상상태 추력을 제공할 수 있으며 비교적 높은 비추력을 갖고 있는 단일추진제시스템을 추진 방식으로 채택하였다.[1] 소형 추력기가 인공위성의 자세 제어에 사용되기 위해서는 큰 추력을 필요로 하지 않으므로 0.5 N을 목표 추력으로 설정하였다.

2. 연구방법

추력기의 추력은 과산화수소 분해 반응물의 질량유량과 밀접한 관련을 갖고 있기 때문에 질량유량에 영향을 주는 과산화수소의 가압압력과 촉매베드의 길이를 변수로 설정하였다. 가압압력은 5 bar, 10 bar, 15 bar이고, 촉매 베드의 길이는 20 mm, 30 mm, 40 mm이다. 모든 성능평가 실험은 Cold Start 조건에서 30초간 수행되었다. 성능평가의 척도로 η^* 효율을 사용하였다.

3. 연구장비

3.1 추진제

많은 선행연구에서는 과산화수소대신 비추력이 높은 하이드라진을 단일추진제로 사용하였지만, 독성이 강하기 때문에 대학 실험실에서 사용하기에는 적당하지 않다. 반면에 과산화수소는 다른 추진제에 비하여 사람에게 미치는 영향이 매우 적다. 또한 과산화수소는 밀도가 높기 때문에 높은 밀도 비추력을 얻을 수 있다.[2] 과산화수소를 단일추진제로 사용하기 위해서는 높은 농도가 요구되므로 단순증류법을 통해서 85%wt로 농축하여 사용하였다.[3]

3.2 촉매 및 촉매 베드

은, 메탈 옥사이드, 과망간산칼륨, 백금과 같은 촉매들이 과산화수소를 분해할 수 있다. 몇 가지 촉매들의 비교를 통해 반응성이 좋고 촉매 베드에 흡착이 용이한 백금을 촉매로 선정하였다.

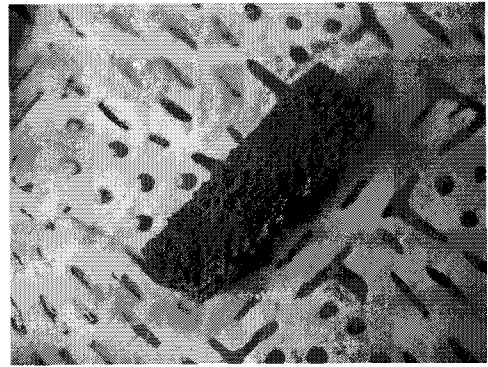


Fig. 1 Isolite coated with catalyst

촉매 베드로는 다공성의 세라믹 물질인 아이솔라이트(Isolite)를 사용하였다. Isolite는 질량대비 면적이 넓어 촉매의 반응 면적을 최대화할 수 있고 고온을 견뎌낼 수 있으며 가공이 용이한 장점을 지녔다. 촉매 베드는 길이별로 지름 7 mm의 원통형으로 제작되었다. Figure 1은 촉매가 흡착된 Isolite의 모습이다. 코팅된 촉매의 양은 14%wt이다.

3.3 추력기

추력기의 모습은 Fig. 2와 같다. 추력기는 스테인리스 스틸로 제작되었고, 전단부, 인젝터, 반응기, 노즐의 네 부분으로 구성되었다.

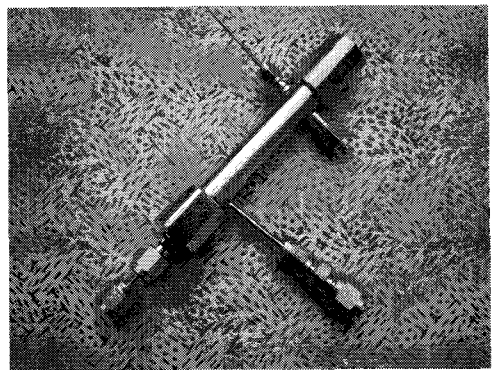


Fig. 2 Thruster

이와 같이 추력기를 네 부분으로 나눔으로써 촉매 베드의 삽입 및 제거가 용이하다. Injector의 오리피스 개수는 과산화수소의 고른 분사를 위

해 네 개로 정하였다. 오리피스 면적과 C_d 를 곱한 값, C_dA 는 약 $1.51 \times 10^{-7} \text{ m}^2$ 이다.

3.4 전체 시스템

전체 시스템은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 간단하다. 질소를 통해 과산화수소를 가압하고 두 개의 볼밸브로 흐름을 제어하였다. 과산화수소가 중력의 영향을 받지 않고 고른 분포를 하도록 하기 위해 추력기를 수직으로 설치하였다.

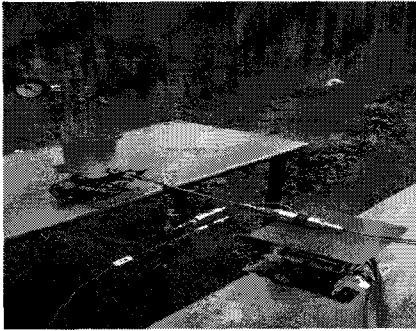


Fig. 3 Total system

4. 연구결과

가압압력과 촉매 베드의 길이를 변화시키면서 압력과 온도의 변화를 측정하였다. 실험에서 얻은 데이터를 통해 c^* 효율을 구할 수 있다.[4] 실험결과는 아래 Fig. 4와 Table. 1과 같다.

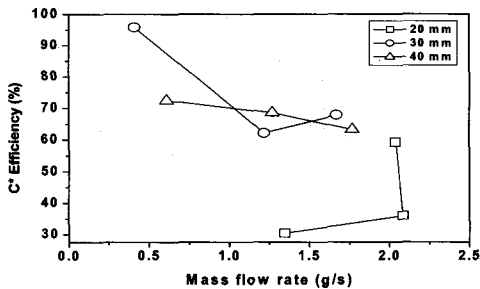


Fig. 4 Graph of the c^* efficiency vs. Mass flow rate

Table 1. Experiment Results

촉매 베드 (mm)	가압 압력 (bar)	질량 유량 (g/s)	반응기 압력 (bar)	c^* 효율 (%)
20	5.41	1.34	4.60	30.4
	10.1	2.09	8.43	36.0
	14.9	2.04	13.55	59.2
30	5.51	0.41	4.41	95.8
	10.17	1.22	8.47	62.1
	14.79	1.67	12.66	67.8
40	5.91	0.61	4.92	72.4
	10.78	1.27	9.02	68.5
	15.19	1.77	12.61	63.2

c^* 효율과 질량유량과의 관계를 알아보기 위하여 Fig. 4에 나타내었다. 가압압력은 각 그래프마다 순서대로 5 bar, 10 bar, 15 bar이다. 촉매 베드의 길이가 20 mm 일 때 과산화수소를 충분히 분해시키지 못해 c^* 효율이 낮다. 그런데 가압압력이 높아지면서 효율이 증가하는 현상을 볼 수 있다. 이는 c^* 효율이 반응기압력에 비례하고 질량유량에 반비례하기 때문이다. 질량유량이 증가하였지만 반응기압력이 더 많이 증가하였기 때문에 결과적으로 c^* 효율이 높아지게 되었다. 하지만 이 현상은 본 연구에서 다루고자 하는 것이 아니고, 효율이 높아졌지만 과산화수소가 완전히 분해된 것이 아니기 때문에 효과적인 방법이 아니다. 그리고 높은 가압압력을 얻기 위해서는 가압장치의 부피가 커지기 때문에 초소형 추력기로는 부적합하다.

촉매 베드의 길이가 30 mm 이고 가압압력이 5.51 bar 일 때 95.8%의 만족스러운 효율을 얻을 수 있었다. 앞서 언급했던 가압압력의 증가에 따른 c^* 효율의 증가 현상이 나타나고 있다.

촉매 베드의 길이가 40 mm 일 때는 예상했던 대로 가압압력이 증가할수록 c^* 효율이 감소하였다. 가압압력이 5.91 bar 인 경우, 질량유량이 0.61 g/s 로서, 이전실험에서 가장 좋은 c^* 효율을 보였던 0.41 g/s 와 겨우 0.2 g/s 차이가 나지만 이로 인해 효율은 72.4%로 급격하게 감소

하였다. 이는 다루는 질량유량이 매우 작기 때문이다. 그렇기 때문에 질량유량을 정확하게 조절하는 것이 중요한 것을 알 수 있다.

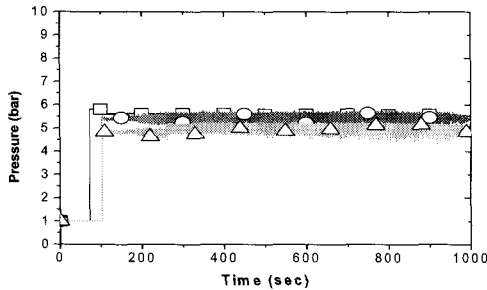


Fig. 5 Catalyst Life Test

촉매의 수명을 시험해보기 위해 가장 좋은 성능을 보였던 30 mm 촉매 베드를 사용하여 수명 테스트를 하였다. 30 mm 촉매 베드에 가압압력을 5.61 bar 로 하여 약 900초 동안 실험하였고, 실험결과는 Fig. 5와 같다. 시간이 지남에 따라 압력이 고르지 못하고 크게 변동하는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 촉매의 수명이 좋지 않음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 과산화수소 분해반응을 이용한 초소형 추력기의 성능평가 실험을 수행하였다. 85wt%의 과산화수소를 단일추진제로 사용하였고, 다공성의 세라믹 물질인 Isolite를 촉매 베드로 사용하였다. 촉매로는 백금을 사용하였으며 14%wt의 백금이 Isolite에 코팅되었다. 촉매 베드의 길이와 과산화수소의 가압압력을 변화시키면서 실험을 수행하여 c*효율을 구하였다. 실험결과, 30 mm 촉매베드에 5.51 bar 로 가압하였을 경우 95.8%의 만족스러운 c*효율을 얻었다. 이와 같이 높은 효율을 얻을 수 있다는 것은 Isolite와 백금 촉매를 이용한 초소형 추력기의 제작 가능성이 높다는 것을 보여준다. 앞으로 행

해질 연구에서는 질량유량을 세밀하게 조절할 수 있는 질량유량컨트롤러를 사용하여 보다 정확한 실험을 수행해야 할 것이다. 또한 Injector에서 과산화수소를 더욱더 균일하게 분포할 수 있도록 디스트리뷰터(Distributor)등을 사용해야 할 것이다. 그리고 코팅된 촉매의 양을 달리하여 실험을 함으로써 최고의 효율을 찾아야 한다. 높은 효율을 얻은 뒤에는 노즐의 설계를 보다 정확히 하고 전체적인 시스템을 구축하여 사용가능한 초소형 추력기 모듈 개발을 이루어야 한다.

6. 후 기

본 연구는 방위사업청 지정 국방 MEMS특화센터의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 유명중, 이균호, 최준민, "우주비행체 추진기 관의 개발동향," 항공우주산업기술동향, 2권 2호, 2004, pp.70-73
2. M. Ventura, P. Mullens, "The Use of Hydrogen Peroxide for Propulsion and Power," 35th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, June 20-24, 1999, pp. 1-3
3. Sungyong An, "Design and Microfabrication of Catalytic Reactor for a Micro Monopropellant Thruster," 석사학위논문, 한국과학기술원, 2006, pp.4-5
4. Sutton, G. P., Rocket Propulsion Elements, 7th ed., John Wiley & Sons Inc., 2001
5. 한조영 위, "우주비행선 추진공학," 경문사, 2005, pp.22-27
6. Patrick H. O. and William E. C., Compressible Fluid Flow, McGraw-Hill, 1997.