50 Newton 급 액체 추력기의 촉매베드 사이징

안성용* · 권세진**

Experimental approach for catalyst bed sizing of liquid propellant thruster

Sungyong An* · Sejin Kwon**

ABSTRACT

A 50 Newton monopropellant thruster being developed for attitude control in a variety of aerospace application systems is described in this paper. A scaled down thruster with platinum on aluminum oxide in the reaction chamber was tested to determine the catalyst capacity. A scaled up thruster, was designed and fabricated using data obtained on small scale device, was evaluated by decomposition efficiency based on temperature, efficiency of characteristic velocity, and measurement of thrust. The performance of a scaled up thruster was 42 Newton in thrust, 98 % in efficiency of characteristic velocity, and 123 sec in specific impulse at sea level.

초 록

50 Newton 진공 추력 레벨을 가지는 과산화수소 단일추진제 추력기를 개발하였다. 축소형 추력기를 제작하여 제조한 촉매의 추진제 분해 성능을 평가하였다. 축소형 추력기의 성능평가 결과로부터 50 Newton 추력을 위한 추진제 유량을 완전히 촉매 분해시키기 위해 필요한 반응기를 설계하였다. 스케일 업을 통해 제작된 추력기는 34.8 g/s의 추진제 유량에서 98%의 특성속도 효율을, 대기압 조건에서 42 Newton의 추력, 123 sec의 비추력 결과를 보임으로써 반응기 스케일 업 과정이 적절함을 확인하였다.

Key Words: Hydrogen peroxide(과산화수소), Catalyst(촉매), Reactor(반응기), Thruster(추력기), Monopropellant(단일추진제), Green propellant(친환경 추진제)

1. 서 론

친환경적인 추진제로 분류되는 과산화수소는 추진제 자체로써 독성이 적어 취급이 용이하고 추진제 취급 시 필요한 특별한 안전장치가 요구되지 않아 저렴한 비용으로 취급할 수 있다. 분해 시 생성물은 Eq. 1과 같이 수증기와 산소이므로 환경 파괴를 유발하지 않는 친환경 추진제

* 한국과학기술원 항공우주공학과 로켓 실험실
** 한국과학기술원 항공우주공학과 로켓 실험실
연락저자, E-mail: kslv@kaist.ac.kr

이다[1].

이런 장점으로 국내 대학에서는 과산화수소를 이용한 추력기 연구가 수 년 전부터 시도되었다. 단일추진제 마이크로 추력기[2] 및 소형 추력기 개발[3], 추진 모듈 개발[4], 10, 100 Newton 급 로켓 개발[5, 6], 이원 촉매를 이용한 가스발생기[7], 과산화수소와 케로신을 이용한 이원 추진제 로켓[8] 등의 다양한 개념 연구가 수행되어 현재는 성숙기에 접어들었다.

최근 국내외 연구 동향을 조사한 결과 친환경 추진제를 이용한 추력기 개발 연구가 활발히 진행되고 있으나 추력기 개발에서 가장 초점을 맞추어야 할 부분인 촉매 반응기 사이징 관련 연구는 현재까지 구체적으로 수행된 사례를 찾아볼 수 없었다. 이에 본 연구에서는 촉매베드 사이징을 위한 스케일 업 방법을 설정하고 실험을 통해 검증하는 일련의 개발과정을 수행하였다. 축소형 추력기를 제작하여 제작한 촉매의 성능 한계를 평가하였고, 결과 데이터를 이용하여 50 Newton 용 촉매베드 크기를 결정하였다. 추력기의 성능평가를 수행함으로써 촉매베드 사이징의 적절성 여부를 판단하였다.

$$2H_2O_2\,(l) \rightarrow 2H_2O(g) + O_2(g) + Heat \qquad (1)$$

2. 실험 준비 및 방법

2.1 추진제

추진제로 MIL-16005F 규정에 맞는 90 wt. % 농도의 과산화수소를 사용하였다. 상온에서 90 wt. % 추진제의 밀도는 1392 kg/m^3[9], 단열분해온도는 1023 K, 특성속도는 936 m/s^2 이다.

2.2 촉매 제작

정상상태에서 과산화수소와 우수한 반응 특성을 보이는 백금을 활성물질로 선정하여 알루미나에 함침법으로 코팅하였으며 최종적으로 23 wt. % 의 Pt/Al_2O_3 촉매를 완성하였다.

2.3 축소형 및 스케일 업 추력기 설계

촉매를 포함한 반응기 성능을 평가하여 고추력 추력기 개발에서 필요한 데이터를 얻기 위해 축소형 추력기를 설계한 후(반응기 직경 1 cm, 길이 4 cm), 이를 확장하여 50 Newton 급 추력기(Fig. 1, 반응기 직경 3 cm, 길이 4cm)를 설계하였다. 내부에서 생성가스 온도를 측정할 수 있도록 촉매베드 전단으로부터 1, 2, 3, 4 cm 지점에 온도 센서 포트를 가공하였다(T2, T3, T4, T5). 또한 촉매베드 전·후단(P3, P4)에 압력센서를 장착하여 촉매베드에서의 압력 손실(P3-P4) 및 반응챔버 압력(P4)을 측정하였다.

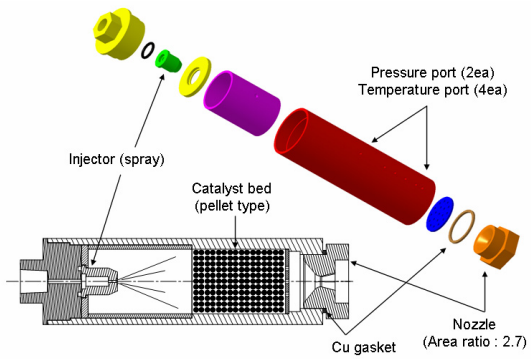

Fig. 1 스케일 업 추력기의 설계 형상

2.4 추력기 성능평가

성능 평가를 위한 추력 스탠드를 제작하였고(Fig. 2), 온도를 통한 추진제 분해효율(Eq. 2), 압력을 통한 특성속도 효율계산(Eq. 3) 및 추력 측정 방법을 이용하였다. 추력 측정은 대기압 조건에서 수행하였으며 추력 결과를 이용하여 비추력을 계산하였다.

$$\eta_{c^*} = \frac{C^*_{experiment}}{C^*_{theoretical}} \times 100 \qquad (2)$$

$$\eta_T = \frac{T_{chamber}}{T_{adiabatic}} \times 100 \qquad (3)$$

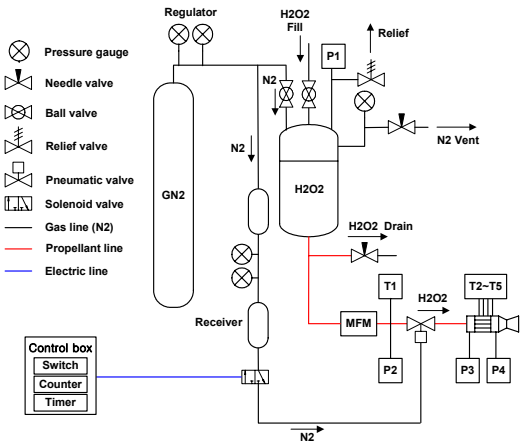

Fig. 2 추력 스탠드 설계

3. 결과 및 고찰

축소형과 스케일 업 추력기의 모든 반응 실험은 20 sec 간 연속작동, 냉시동 조건으로 평가하였으며, 정상상태에서의 온도 및 압력을 측정하였다.

Figure 3은 축소형 추력기의 유량 증가에 따라 촉매베드 내에서 최대온도가 측정된 위치를 나타낸다. 유량이 작은 범위에서는 촉매 전단부에서 대부분의 추진제가 분해되지만(Region A), 유량이 증가함에 따라 하류로 이동하는 현상을 보였다. 촉매베드 끝 4 cm 지점에서 최대 온도가 측정된 이후부터는 유량을 증가시켜도 최대 온도는 계속 4 cm 지점에서 측정될 뿐 아니라 단열분해 온도보다 낮은 온도가 측정되었다(Region B). 두 영역의 경계점에서의 유량은 4 g/s로써 직경 1 cm, 길이 4 cm 의 촉매베드 부피에서는 분해효율 100 %를 보장하는 추진제 유량이 약 4 g/s 임을 확인하였다.

Figure 4는 특성속도 효율 측정을 통한 촉매베드의 분해 특성 한계를 결과이다. 유량이 작은 범위에서는 분해 효율이 90 %를 상회하지만, 4.0 g/s 이상의 유량에서는 분해효율이 급격이 떨어졌다. 이는 온도 측정을 통한 결과와 잘 일치하였다.

Figure 5는 스케일 업 추력기의 촉매베드 내 생성가스 온도 측정 결과이다. 반응이 시작된 후, 수 초 이내에 정상상태 온도에 도달하였다. 촉매베드 하류로 이동함에 따라 생성물의 온도가 증가하여, 촉매베드 끝단에서는 단열분해 온도에 도달하여 촉매베드가 설계 유량에 맞게 설계되었음을 확인하였다.

온도 및 추력 측정 결과 98 %의 특성속도 효율을 보였다. 34.8 g/s 유량에서 42 Newton 추력을 보여 비추력은 123 sec으로 측정되었다. 이는 실험조건의 이론 비추력인 128 sec의 96 % 수준으로 노즐에서 확산각에 의한 추력 손실이 주요 원인으로 파악된다. 제작된 추력기는 진공조건, 최적 팽창인 경우를 가정하면 약 58 Newton을 낼 수 있는 수준이다.

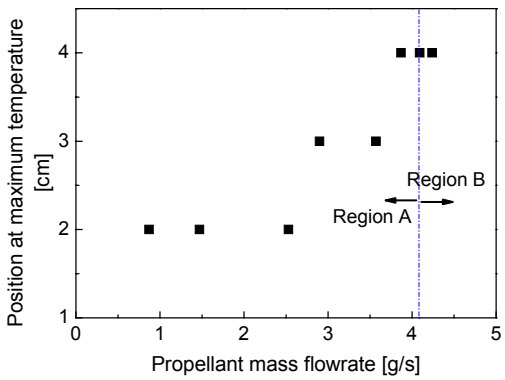

Fig. 3 축소형 추력기에서 생성 가스 온도

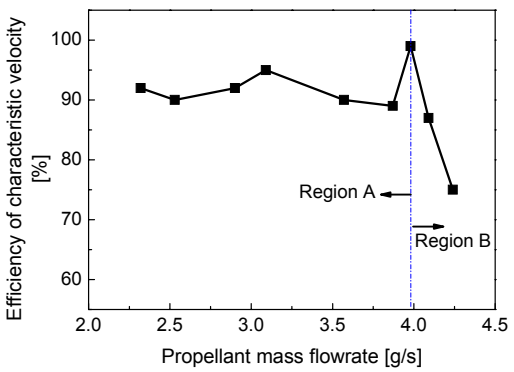

Fig. 4 축소형 추력기에서 특성 속도 효율

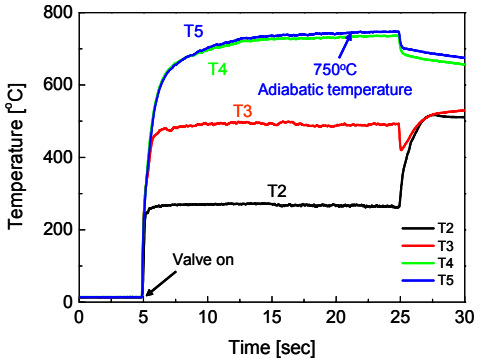

Fig. 5 촉매베드 위치에 따른 생성가스 온도

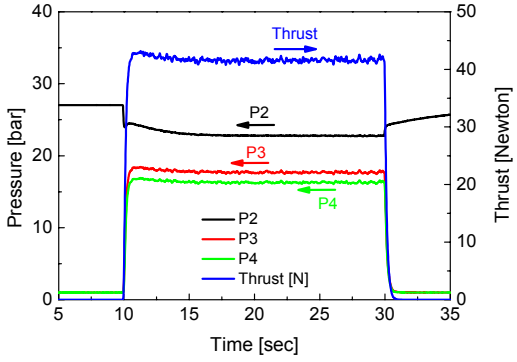

Fig. 6 50 Newton 추력기의 추력 및 압력 특성

4. 결 론

개발 된 50 Newton 급 추력기는 정상상태에서 설계조건을 잘 만족하였다. 추력기 개발 과정에서 축소형 추력기의 스케일 업 과정을 통해 고추력 추력기를 개발할 수 있는 절차를 마련하였다. 기존 연구결과를 바탕으로 지속적인 연구가 수행되면, 향후 발사체용 고추력 추력기 개발이 가능할 것으로 기대된다.

후 기

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

참 고 문 헌

1. 임하영, 안성용, 권세진, “친환경추진제 “과산화수소”의 특성과 응용,” 한국추진공학회 춘계학술대회, 2006, pp.283-287.
2. 안성용, 이종광, 랑성민, 권세진, “마이크로 추력기 응용을 위한 과산화수소 촉매 분해 반응,” 한국추진공학회, 제9권, 제4호, 2006, pp.1-8.
3. 안성용, 진정근, 권세진, “모노리스를 이용한 과산화수소 단일추진제 추력기 개발,” 추진공학회지, 제11권, 제1호, 2007, pp.18-26.
4. 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.
5. 이정섭, 안성용, 김민기, 문기현, 송승환, 최원준, 박선금, 권세진, “10N급 단일 추진제 추력기 설계 및 성능평가,” 한국항공우주학회 추계학술발표회, 2007, pp.1349-1352.
6. 이수림, 이충원, "은을 촉매로 사용하는 과산화수소 추력기 개발," 한국추진공학회지, 제11권, 제4호, 2007, pp.67-73.
7. 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.
8. 박근홍, 임하영, 권세진, “촉매 분해된 과산화수소 제트에 분사된 케로신의 자연발화 특성,” 제14차 유도무기학술대회, 2007, pp.677-681.
9. Hydrogen peroxide handbook, Air Force Rocket Propulsion Laboratory, AFRPL-TR-67-144, USA, 1967.