

노즐목 가변 추력기의 압력제어 기법에 관한 예비실험 결과

최재성* · 허환일**†

Preliminary Experimental Results of Pressure Control for Modulatable Thruster Applications

JaeSung Choi* · Hwanil Huh**†

ABSTRACT

In this study, basic research on the pressure control using driven pintle of modulatable thruster is presented. For this purpose, pintle thruster and pintle shape was developed. The actuator model was selected by calculating pintle load using Fluent software. Preliminary unsteady experimental results show that huge pressure oscillation is occurred as the pintle approach toward nozzle wall. From the preliminary experimental results, we could see possibility of pressure control of the modulatable thruster.

초 록

본 연구에서는 노즐목 가변 추력기의 핀틀 구동에 따른 압력제어에 대한 기초 연구를 진행하였다. 실험을 위해 핀틀 추력기 및 핀틀 형상을 설계, 제작하였다. Fluent 유동해석을 통해 핀틀에 걸리는 하중을 분석하였고 이를 통해 구동기 모델을 선정하였다. 공압 시험 결과 핀틀이 전진함에 따라 추력기 내부 유동에 영향을 주어 압력에서 큰 오실레이션 현상이 발생하였다. 또한 핀틀의 위치가 노즐 수축부의 특정 위치에 전진하면서 추력기 성능에 영향을 끼치고 있음을 발견하였으며 공압시험을 통해 압력 제어의 가능성을 확인하였다.

Key Words: Modulatable Thruster(가변 추력기), Pressure Control(압력 제어), Pintle Shape(핀틀 형상), Internal Flow(내부 유동), Nozzle Contraction(노즐 수축부)

1. 서 론

노즐목 가변 추력기란 추력기 내부에 핀틀과 같은 구조물이 존재하고 이것이 구동기를 통하

여 처음에 설계된 노즐목 면적을 변경시켜 급격하게 추력을 조절할 수 있는 추력기를 말한다. 고체 추진시스템에서의 연소실내의 압력은 식(1)와 같으며 추력은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다[1].

$$P_C = \left(\frac{a\rho_p A_b c^*}{A_t} \right)^{\frac{1}{1-n}} \quad (1)$$

* 충남대학교 대학원 항공우주공학과

** 충남대학교 항공우주공학과

† 교신저자, E-mail: hwanil@cnu.ac.kr

$$F = C_F P_c A_t \quad (2)$$

식(1)에서 P_c 는 연소실 압력, a 는 연소속도 상수, ρ_p 는 추진제의 밀도, A_b 는 추진제의 연소 면적, C^* 은 추진제의 특성 속도, n 은 연소율 지수, A_t 는 노즐목 면적, C_F 는 추력계수, F 는 추력을 의미한다. 핀틀 추력기는 핀틀이 노즐목과 멀어지게 되면 노즐목 면적이 증가하게 되며 그에 따라 연소실 압력이 감소하게 되고 연소 속도 및 추력이 감소하게 된다. 이와 반대로 핀틀이 노즐목에 가깝게 전진하게 되면 노즐목 면적이 감소하게 되고 그에 따라 연소실 압력이 증가하여 연소속도 및 추력을 증가시킨다.

노즐목 가변 추력기는 주로 국외를 중심으로 활발하게 연구[2]가 이루어지고 있으며 국내에서는 국방과학연구소[3]와 충남대학교[4]에서 유동 해석을 통한 기초연구를 진행 중에 있다.

본 연구에서는 핀틀 추력기의 압력 제어를 위하여 시스템을 구성하고 공압시험을 통하여 핀틀 구동에 따른 압력 제어 가능성을 연구하기 위하여 기초실험을 하고 예비실험결과를 보고 하였다.

2. 본 론

2.1 실험장치 구성

핀틀 추력기 압력 제어를 위한 실험장치 구성은 Fig. 1에서 볼 수 있다. 본 연구에서 사용되

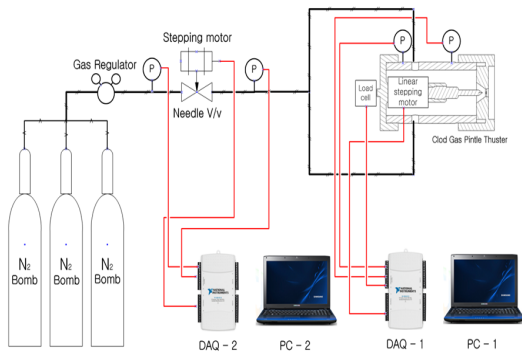


Fig. 1 Schematic of pintle thruster system

는 기체는 질소(N_2)이며 질소 탱크 3개를 위여 공급하여 주고 스텝모터와 니들밸브의 결합을 통해 공급압력을 일정하게 유지시킬 수 있도록 구성하였다.

핀틀 추력기의 압력 제어는 핀틀과 리니어 액츄에이터의 결합을 통해 명령되어지는 압력값에 따라 전·후진할 수 있도록 구성하였다. 공급 압력 제어부와 핀틀 추력기 압력 제어부로 나누어 LabVIEW상에서 제어가 이루어질 수 있도록 PC 2대를 이용하여 구성하였다.

2.2 핀틀 추력기 설계

본 연구에서는 질소가스를 20 bara로 공급하여 주고 오리피스 역할은 스텝모터와 니들밸브의 결합체로 대체하여 추력기로 공급되는 유량값을 일정하게 유지시킬 수 있도록 하였다.

노즐의 형상은 Conical 형상으로 하였으며 핀틀의 위치 변경이 용이하도록 노즐목 직경을 10 mm로 하였다. 노즐의 팽창비는 1.34이며 핀틀이 없는 상태에서의 챔버 압력은 2.31 bara, 추력값은 14 N으로 설계하였다.

2.3 핀틀 형상 설계

본 연구에서 사용된 핀틀 형상은 선행 연구로 진행하였던 정상상태에서의 핀틀 공압 시험[5]에 사용되었던 형상 중 한가지로 핀틀의 최대 직경이 노즐목보다 큰 비관통형 핀틀 형상이다. 핀틀의 형상은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 볼록한 형상 후 끝부분까지 straight한 형상으로 설계하였다.

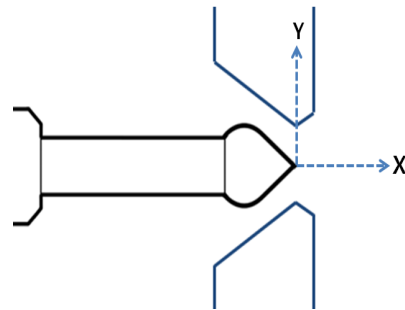


Fig. 2 pintle shape model

2.4 구동기 모델 선정

핀틀 구동을 위한 구동기 모델 선정에서 가장 중요시 되는 부분이 구동력과 응답속도이다. 이들의 상관관계는 반비례관계이며, 연구에 사용되는 핀틀 하중에 따라 적절한 비율을 통한 구동기 모델 선정이 요구된다. 그에 따라 본 연구에서 사용되는 핀틀 구동기 모델 선정을 위하여 상용프로그램인 FLUENT 12.0을 이용한 유동 해석을 통해 핀틀에 걸리는 하중 값을 측정하였다. 2D로 모델링하여 격자를 구성하였고 유동해석은 Axis-Symmetry 조건과 S-A 난류모델[3]로 정하였으며 추력기로 유입되는 압력 값은 선행 연구였던 정상상태에서의 실험값[5]을 이용하여 해석을 진행하였다.

핀틀 위치에 따른 하중 값은 Fig. 3와 같다. 핀틀이 전진함에 따라 하중 값도 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 핀틀 하중 값은 최대 76 N으로 나왔으며 이를 기반으로 하여 구동기 모델을 선정하였다.

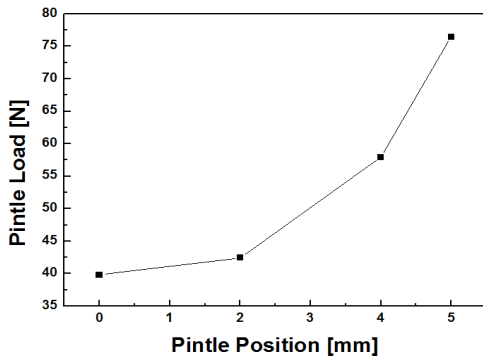


Fig. 3 Pintle load with pintle position

2.5 공압시험 결과

1차 공압시험에서는 핀틀이 Fig. 2의 초기 위치보다 더 추력기 안쪽으로 들어가 노즐이 수축되기 시작하는 위치(즉, X = -12 mm)를 기점으로 1 mm씩 1.5 초마다 전진시켜 가면서 시험을 진행하였다. 최대 위치는 초기 위치에서 5 mm 이동한 위치(즉, X = +5mm)로 하였으며 최대 위치를 지난 후에는 다시 추력기 안쪽(즉, X = -12mm)으로 돌아오도록 하였다.

그 결과 압력 변화 값은 Fig. 4와 같다. 핀틀이 전진함에 따라 압력 오실레이션 현상이 발생하였다. 특히 노즐목에 지나갈수록 더 커짐을 볼 수 있었다. 하지만 핀틀이 점점 후진하였을 때는 안정적인 압력 변화를 보였다.

2차 공압 시험에서는 1차 시험과 동일하게 1 mm씩 1.5 초마다 구동하지만 핀틀 초기 위치보다 5 mm 전진(즉, X = +5 mm)한 지점을 초기 위치로 하고 후진하였다가 다시 전진하는 형식으로 시험을 진행하였다.

그 결과 압력 변화 값은 Fig. 5와 같다. 1차 시험과 동일하게 핀틀이 후진하는 경우에는 오실레이션 현상이 적게 나타났다. 하지만 전진하였을 경우에는 큰 오실레이션 현상이 일어났음을 알 수 있다.

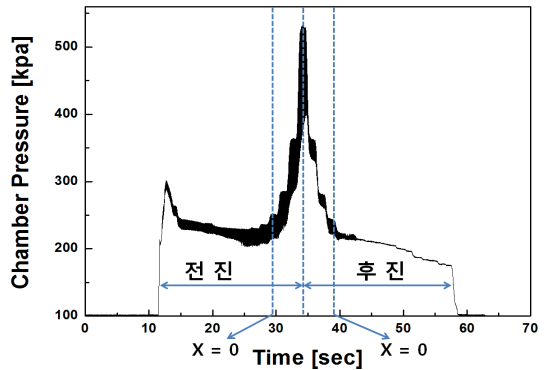


Fig. 4 1st Cold Gas Test
(X : -12mm → +5mm → -12mm)

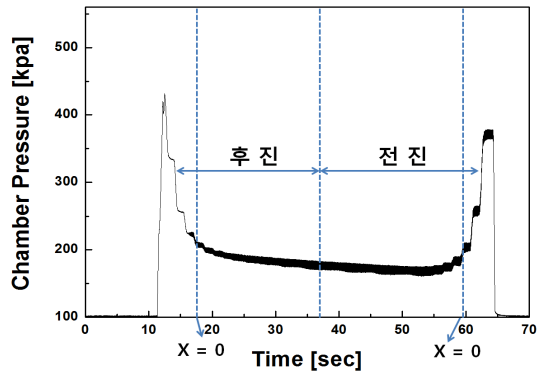


Fig. 5 2nd Cold Gas Test
(X : +5mm → -12mm → +5mm)

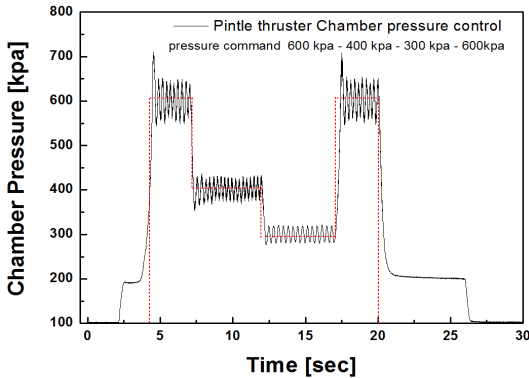


Fig. 6 Chamber Pressure Control Test

두 차례의 공압시험 결과를 통해 핀틀이 전진함에 따라 추력기 내부 유동에 영향을 주어 압력값에 큰 오실레이션 현상이 일어나고 있음을 파악할 수 있었다.

3차 공압 시험에서는 공급 압력은 20 bara로 일정하게 유지시켜 주고 압력 명령 값을 600 kPa -> 400 kPa -> 300 kPa -> 600 kPa으로 변화시켜 압력 제어 시험을 실시하였다. 제어 시험 결과는 Fig. 6와 같다.

명령값이 600 kPa일 때와 300 kPa의 명령을 받았을 때를 비교하여 보면 300 kPa일 때 오실레이션이 작아지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 통해 높은 압력의 명령값에서는 핀틀이 전진함으로써 노즐목에 가깝게 위치하게 되고 그 결과 핀틀의 미세한 움직임에도 압력의 변화가 급격하게 일어나 큰 오실레이션 현상이 일어나고 있음을 파악할 수 있다. 예비시험을 통해 명령된 압력값에 따라 핀틀 구동기가 이동하며 압력 제어 가능성을 보여주었다.

3. 결 론

본 연구에서는 질소가스를 이용하여 핀틀 구동에 따른 압력 제어 시험을 위하여 추력기 및 핀틀 형상을 설계하였다. 또한 핀틀 구동을 위한 구동기 모델 선정을 위하여 상용프로그램인 FLUETN 12.0을 이용하여 핀틀에 걸리는 하중

값을 측정하고 이를 기반으로 구동기를 선정하였다.

선정된 구동기를 이용하여 핀틀 구동에 따른 공압 시험 결과 핀틀이 전진함에 따라 추력기 내부 유동에 큰 영향을 주어 압력 변화에 큰 오실레이션 현상이 발생하였음을 파악할 수 있었으며 핀틀의 위치가 노즐 수축부에서 일정 구간에서부터 압력 변화에 영향을 주고 있음을 알 수 있었다.

또한 실제 공압시험을 통해 핀틀 구동에 따라 압력 제어의 가능성을 확인하였으며 높은 압력 명령에서는 큰 오실레이션 현상이 발생하였다. 이러한 원인으로서는 핀틀이 전진함에 따라 노즐목에 근접하게 갈수록 미세한 핀틀의 움직임에도 압력 변화에서는 크게 작용하기 때문이다.

이러한 결과를 향후 핀틀 구동을 통한 압력 제어 연구에 반영하여 안정적인 압력 제어를 할 수 있도록 연구를 진행할 계획이다.

참 고 문 헌

1. Ronald w. Humble, Gary N. Henry, Wiley J. Larson, "Space propulsion analysis and design", McGraw-Hill, 1995, pp.295-361
2. J. Napier and V. Garmy, "Controllable Solid Propulsion for Launch Vehicle and Spacecraft Application", 57th International Astronautical Congress, Oct. 2006, pp. 1-13
3. 김중근, 박종호, "핀틀 형상이 추력 크기에 미치는 영향에 대한 수치해석적 연구," 한국항공우주학회지, 제37권, 제 5호, 2009, pp.476-482
4. 왕승원, 허환일. "노즐목 가변 추력기에서 Bore가 구동기의 공력하중에 미치는 영향", 한국추진공학회 춘계학술대회 논문집, 2011, pp.189-192
5. 최재성, 허환일, "노즐목 가변 추력기 적용 목적의 핀틀 형상에 대한 정상상태 실험 연구," 한국추진공학회 춘계학술대회 논문집, 2011, pp.153-156