

노즐목 가변 추력기 적용 목적의 핀틀 형상에 대한 정상상태 실험 연구

최재성* · 허환일**†

Steady State Experimental Study of Pintle Shape for Modulatable Thruster Applications

Jae Sung Choi* · Hwanil Huh**†

ABSTRACT

Steady state experiment was carried out for modulatable thruster applications, with four different pintles. Results show that thrust can be modulated by changing nozzle throat area with pintle penetration. However, effect of pintle shape on the thruster performance is yet to be concluded.

초 록

노즐목 가변 추력기에 적용할 목적으로 4가지 핀틀 형상을 사용하여 정상상태의 공압시험을 수행하였다. 실험결과 핀틀의 전진에 따라 추력 조절이 가능함을 확인하였다. 그러나, 추력기 성능에 대한 핀틀 형상 효과에 대한 결론을 내리기에는 아직 시기상조이다.

Key Words: Steady State(정상 상태), Modulatable Thruster(가변 추력기), Pintle Shape(핀틀 형상), Nozzle Throat Area(노즐목 면적)

1. 서 론

핀틀 추력기는 핀틀이 노즐목에서 멀어지게 되면 노즐목 면적이 증가하게 되고 연소실내의 압력과 연소속도는 감소하게 되어 질량유량이 감소함에 따라 추력이 작아지고, 핀틀이 노즐목에 가깝게 구동하게 되면 노즐목 면적이 감소하

게 되고 연소실내의 압력과 연소속도는 증가하게 되어 질량 유량이 증가하게 되므로 추력이 증가하게 된다[1].

이러한 핀틀 추력기는 주로 구조가 간단하며 설계/제작이 용이하지만 추력 조절의 한계를 보이는 고체 추진시스템에 적용을 위한 연구가 진행 중에 있으며 국내에서는 주로 국방과학연구소[2]와 충남대학교[3]에서 핀틀 추력기에 대한 연구가 진행 중에 있으며 국외에 비하여 연구가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 핀틀 추력기의 공압시험을 위

* 학생회원, 충남대학교 대학원 항공우주공학과

** 종신회원, 충남대학교 항공우주공학과

† 교신저자, E-mail: hwanil@cnu.ac.kr

한 시스템 및 핀틀 형상을 설계하고 실험을 통하여 핀틀 형상에 따른 추력기의 성능 분석을 실시하였다.

2. 본 론

2.1 실험장치 구성

공압시험을 위한 핀틀 추력기의 실험장치 구성은 Fig. 1에서 볼 수 있다. 본 연구에서 사용되는 기체로는 질소(N_2)를 사용하였으며 120 bara의 질소 탱크 3개를 엮어 공급 시에 손실되는 공급압력을 최소화하였다. 질소 탱크로부터 연소실로 공급되는 유량은 레귤레이터를 지나 니들밸브를 통해 일정한 압력으로 챔버로 공급되게 하였다. 공급되는 유량은 180도로 양쪽으로 마주보게 설치하였다. 일정한 유량의 공급을 위하여 양쪽으로 들어가는 공급 배관에 2.5 mm의 오리피스를 사용하였으며 전·후단의 압력 측정을 통하여 Choking 현상의 유·무를 확인하도록 하였다. 또한 추력기내의 압력 및 추력 측정을 수행하였다.

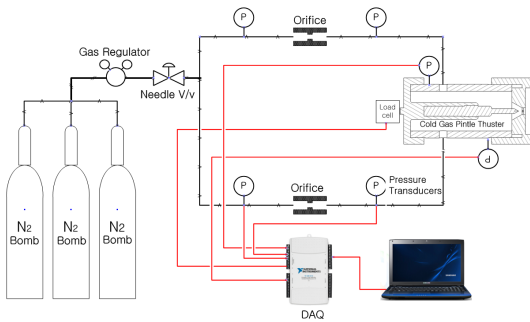


Fig. 1 Schematic of pintle thruster system

2.2 핀틀 형상 설계

핀틀 형상은 총 4가지 형상으로 설계하였으며 그 형상은 Fig. 2와 같다. 핀틀의 형상을 크게 분류하면 2가지로 분류된다. 핀틀의 최대 직경이 노즐목보다 더 작은 관통형 형상인 Pintle 1과 핀틀의 최대 직경이 노즐목 보다 더 큰 비관통형 형상인 Pintle 2, 3, 4로 나누어질 수 있다.

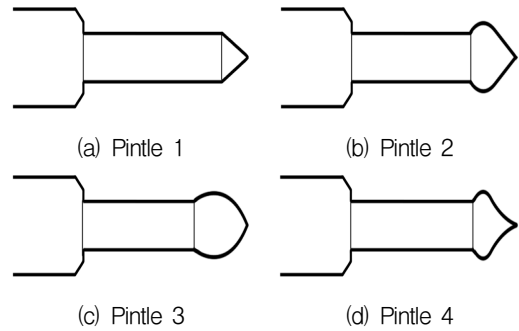


Fig. 2 Pintle shape

Pintle 1은 관통형 핀틀 형상으로 기본적인 핀틀 연구에서 많이 사용되어지는 straight한 형상의 핀틀이다. Pintle 2~4는 비관통형 핀틀 형상으로 SNECMA사에서 개발한 핀틀 형상[4]을 착안하여 설계된 핀틀 형상의 해석 결과[3]를 바탕으로 설계된 추력기에 맞도록 형상을 설계하였다. 핀틀 형상은 Pintle 2에서의 불록하게 나온 부분을 기준으로 하여 Pintle 3에서는 이 불록하게 나온 부분의 반경을 2배로 늘렸으며 끝부분으로 갈수록 불록 형태를 가지며 Pintle 4에서는 반대로 그 반경을 반으로 줄였으며 끝부분으로 갈수록 오목한 형태를 가지도록 설계하였다.

2.3 노즐목 면적비 변화

핀틀 추력기는 노즐목 면적의 변화를 통하여 추력을 제어한다는 목적을 가지고 있다. 특히 공압시험에 있어 노즐목 면적은 추력기의 성능에 가장 큰 영향을 주는 요소이다.

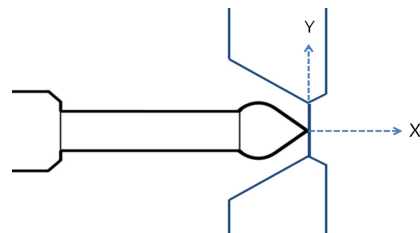


Fig. 3 Initial position of pintle

각 핀틀 형상의 초기 위치는 Fig. 3와 같으며 이 때의 노즐목 면적을 기준으로 핀틀의 위치에

다른 노즐목 면적의 비를 노즐목 면적비로 정의하며 각 형상의 핀틀 위치에 따른 노즐목 면적비 변화는 Fig. 4와 같다.

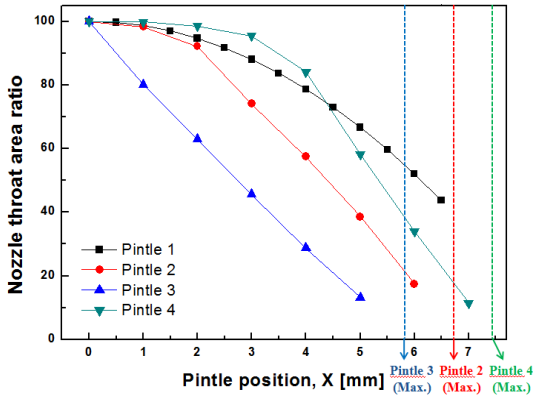


Fig. 4 Nozzle throat area ratio with pintle position

각 형상의 노즐목 면적비 변화를 보면 형상에 따라 큰 차이가 있는 것을 확인할 수 있다. Pintle 1의 경우 관통형 핀틀 형상으로 핀틀이 전진함에 따라 노즐목 면적비가 일정하게 감소되는 것을 확인할 수 있다. 비관통형으로 설계된 Pintle 2의 경우 핀틀의 초기에는 Pintle 1과 같은 형상이므로 노즐목 면적비 변화가 유사하게 따라가지만 점점 전진함에 따라 불록하게 나온 형상으로 인하여 노즐목 면적비가 급격히 떨어지는 것을 볼 수 있다.

Pintle 3의 경우에는 핀틀의 형상이 불록하게 나와 있기 때문에 다른 형상에 비하여 핀틀의 전진이 작지만 노즐목 면적비의 변화가 큰 것을 알 수 있다. 반면 Pintle 4의 경우에는 핀틀 전진 3 mm까지는 오목한 핀틀 형상으로 인하여 큰 노즐목 면적비 감소율을 보이지 않지만 그 이후에서는 불록하게 나와 있는 핀틀 형상으로 인하여 급격하게 감소되는 것을 확인할 수 있다.

각 형상의 최대 핀틀 위치는 Table 1에 나타내었다. 관통형 핀틀 형상인 Pintle 1의 경우에는 노즐목 면적비가 최소가 되는 지점으로 하였으며 비관통형 핀틀 형상인 Pintle 2, 3, 4의 경우에는 핀틀이 노즐벽면에 맞닿는 상태를 최대 위치로 정리하였다.

Table 1 Maximum Pintle position

Pintle shape	Maximum Pintle position [mm]
Pintle 1	6.50
Pintle 2	6.74
Pintle 3	5.88
Pintle 4	7.47

2.3 핀틀 형상 변화에 따른 공압시험 결과

공압시험은 질소를 이용하여 2000 kpa로 공급하며 핀틀의 위치에 따라 핀틀을 고정시켜 정상 상태에서 시험을 실시하였다.

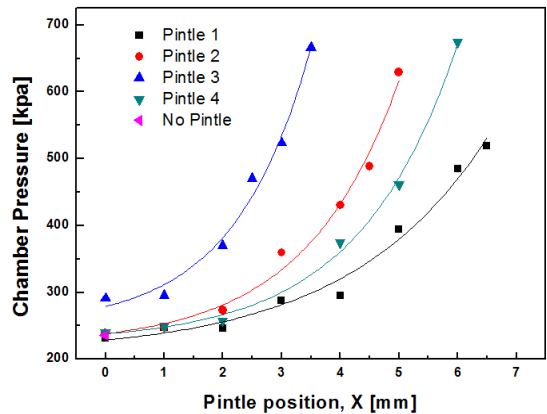


Fig. 5 Chamber pressure by pintle position

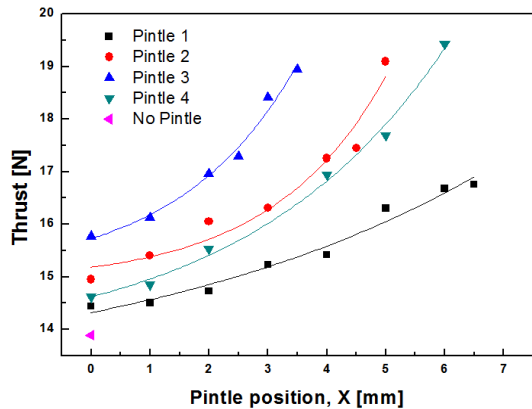


Fig. 6 Thrust by pintle position

실험결과 핀틀 전진에 따른 챔버 압력 및 추력 변화는 Fig. 5, 6과 같다. Pintle 1의 경우 챔버 압력 및 추력 증가폭이 가장 작게 변하는 것을 확인할 수 있다. 반면 가장 큰 변화폭을 보이는 형상은 블록한 형상인 Pintle 3으로 앞서 Fig. 4에서 노즐목 면적비가 급격히 감소되는 것과 같이 핀틀이 전진함에 따라 챔버 압력과 추력이 급격히 증가되는 것을 파악할 수 있다. Pintle 2의 경우에는 핀틀의 위치가 0~2 mm일 때는 큰 변화를 보이지 않지만 점점 전진함에 따라 챔버 압력과 추력이 급격히 증가되는 것을 확인할 수 있었다. Pintle 4의 경우는 오목한 핀틀 현상으로 인하여 0~2 mm의 위치에서는 챔버 압력과 추력이 거의 변화가 없었으나 핀틀이 전진함에 따라 챔버 압력과 추력의 증가폭이 커졌으며 5~6 mm 구간에서는 다른 형상에 비하여 챔버 압력과 추력이 증가되는 폭이 더 컸다.

각 형상에 따른 챔버 압력과 추력 변화의 경향을 Fig. 4에서 나타낸 핀틀 위치에 따른 노즐목 면적비의 경향과 비교하여 보면 각 형상에 따라 챔버 압력과 추력 변화의 양상이 다른 원인을 핀틀의 형상으로 인한 것으로 파악할 수 있다.

Figure 5에서 핀틀을 제거한 뒤 초기 핀틀 위치(즉, $X=0$)에서의 챔버 압력을 비교해보면 핀틀의 전진이 없는 상태의 Pintle 1, 2, 4의 경우와 유사한 값을 나타낸다. 하지만 Pintle 3의 경우에는 다른 형상에 비하여 챔버 압력이 높게 나타났다. 추력에서는 각 형상마다 차이를 보임을 확인할 수 있다. 이러한 원인은 핀틀이 노즐 유동에 영향을 주어 같은 노즐목 면적에도 불구하고 챔버 압력 및 추력에서 차이를 보이는 것으로 판단되어진다.

5. 결 론

본 논문에서 수행한 핀틀 형상에 따른 공압 시험을 한 결과, 압력과 추력은 핀틀 형상에 따라 변화 정도가 크게 차이를 보였다. 핀틀의 작은 전진에도 가장 큰 챔버 압력 변화를 나타내

는 핀틀의 형상은 블록하게 나온 형상인 Pintle 3이었으며 핀틀 전진에 따라 가장 작은 변화를 나타내는 형상은 관통형 핀틀 형상인 Pintle 1이었다. 이를 통해 핀틀의 짧은 전진거리에도 큰 추력 변화를 나타내는 Pintle 3이 추력기 설계 및 추력 변화 성능면에서 가장 적합한 핀틀 형상으로 간주된다. 또한 노즐목 면적비의 변화가 챔버 압력과 추력 변화에 가장 큰 영향을 주며 이러한 노즐목 면적비의 차이는 핀틀 형상으로 인해 결정된다. 이는 핀틀 추력기 성능에서 가장 큰 영향을 주는 것이 핀틀의 형상임을 파악할 수 있었다.

본 연구는 정상상태의 실험 연구이고 노즐도 SNECMA에서 사용한 bell형이 아닌 cone형 노즐이므로 추가 연구에 의한 결론 도출이 필요할 것이다.

후 기

이 논문은 “2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단”의 지원을 받아 수행된 연구임(2010-0017045).

참 고 문 헌

1. 김중근, 박종호, “핀틀 형상이 추력 크기에 미치는 영향에 대한 수치해석적 연구,” 한국항공우주학회지, 제37권, 제 5호, 2009, pp.476~482
2. 김중근, 박종호, 이종훈, 전민경, “핀틀 형상이 노즐 유동에 미치는 영향에 대한 실험적 연구,” 한국항공우주학회지, 제38권, 제10호, pp.985~991
3. 이용우, 허환일, “핀틀 형상이 가변 노즐목 핀틀 추력기의 노즐 유동에 미치는 영향”, 한국추진공학회 춘계학술대회 논문집, 2010, pp.275~278.
4. US 6543717 B1, "Compact Optimal and Modulatavle Thrust Device for Controlling Aerospace Vehicle", US Patent, 2003. 4