

노즐목 가변 추력기에서 Bore가 구동기의 공력하중에 미치는 영향

왕승원* · 허환일**†

Effect of Bore an Aerodynamic Loads in Modulatable Thrust Devices

Seungwon Wang* · Hwanil Huh**†

ABSTRACT

In solid rockets, a pintle thruster is a modulatable thrust device which controls nozzle throat area. In this study, effect of bore on aerodynamic loads in a SNECMA modulatable thruster was carried out. Existence of bore resulted in reduced aerodynamic load.

초 록

핀틀추력기는 핀틀 구동을 통해 노즐목을 조절하여 고체추진기관에서도 액체추진기관처럼 추력조절이 가능하도록 설계되어있다. 프랑스 SNECMA에서는 핀틀 중심에 bore라는 홀을 뚫어 설계하였다. 본 연구에서는 수치해석 기법을 통해 bore의 존재에 따른 추력기의 성능에 대해 분석하였다. Bore의 존재는 핀틀에 작용하는 공력하중을 감소시키는 결과를 보였다.

Key Words: Modulatable Thrust Device(추력조절기), Thrust(추력), Pintle(핀틀), Bore(보어), Aerodynamic Load(공력하중)

1. 서 론

프랑스 SNECMA에서 개발한 Divert 추력기 [1]는 노즐목을 변화시키는 Pintle(Needle), 핀틀을 구동하기 위한 Actuator, 핀틀과 구동기를 연결시키는 Connector, 그리고 내부의 부품들을 감싸는 Housing으로 이루어져 있다. 또한 다른 추

력기와는 달리 핀틀 중심에 bore라는 홀이 뚫려 있다.

핀틀형 추력기는 내부에 핀틀과 같은 구조물이 존재하고, 핀틀이 구동기(Actuator)를 통해 움직여 처음 설계된 노즐목의 면적을 변경할 수 있게 하여 고체추진기관과 같은 추력기를 액체추진기관과 같이 자유자재로 추력을 조절할 수 있는 추력기를 말한다. 국내에서는 핀틀 형상이 내부 유동과 추력에 미치는 영향에 대해 연구한 결과, 동일한 노즐목일 때 블록한 형상이 오목한 형상에 비해 추력이 증가하고, 핀틀의 하중은 형

* 충남대학교 대학원 항공우주공학과

** 중신회원, 충남대학교 항공우주공학과

† 교신저자, E-mail: hwanil@cnu.ac.kr

상에 따라 증가하는 패턴을 보였다[2].

충남대학교[3]에서는 핀틀 끝이 straight 형상 일 때 bore의 존재 유·무에 따른 유동장과 하중에 대해 수치해석적 기법으로 분석하였다. 추력기 내부에서 유동흐름에 의한 핀틀에 작용하는 총하중은 Eq. 1을 통해 계산할 수 있고, 이 중 추력기 내부의 압력과 핀틀면에서 유동의 점성에 의한 하중이 크게 작용할 것으로 예상할 수 있다. Bore의 존재는 재순환영역의 두께와 핀틀이 받는 공력하중에 영향을 주는 것을 확인하였다.

$$\sum \vec{F} = \sum \vec{F}_{gravity} + \vec{F}_{pressure} + \vec{F}_{viscous} + \vec{F}_{other} \quad (1)$$

본 논문에서는 SNECMA의 특허[1]에 제시된 Divert용 핀틀 추력기 모델의 노즐(aerospike)형상을 디자인하여 동일한 조건에서 핀틀 중심에 뚫려있는 bore의 존재 유·무에 따라 수치해석기법을 이용하여 해석하였다. 해석결과를 이용하여 추력기 내부의 유동 특성과 Eq. 2의 식을 이용하여 추력을 계산하였다. 그리고 핀틀에 작용하는 공력하중을 분석하였고, bore의 존재가 추력기의 성능에 미치는 영향과 핀틀에 작용하는 공력하중에 대해 연구 하였다.

$$F = \dot{m}u_e + (P_e - P_a)A_e \quad (2)$$

여기서, \dot{m} = 질유량, u_e = 노즐출구속도, P_e = 노즐출구압력, P_a = 대기압력, A_e = 노즐출구면적 을 의미한다.

2. 본 론

2.1 해석을 위한 추력기의 모델링

추력기의 모델링은 미국의 특허논문 중 SNECMA에서 제시한 Aerospike형태의 노즐을 기본으로 Fig. 1과 같이 bore가 존재할 때의 모델과 bore가 없는 상태의 모델을 통해 해석결과를 비교, 분석하였다.

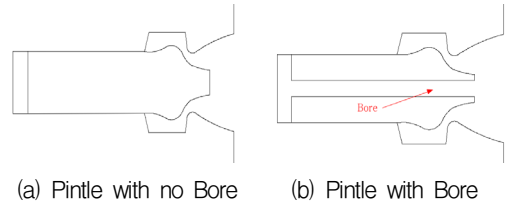


Fig. 1 Modeling of Pintle Thruster

Figure 1과 같이 동일한 추력기 모델에 bore의 존재 여부에 따라 (a), (b)로 나누어 모델링을 하고 Gambit 2.4.6 프로그램을 이용하여 격자를 구성하였다. 유동해석은 상용 프로그램인 Fluent V12.0.1을 이용하였다.

Table 1 Mesh and Analysis Condition

	Bore	No Bore
Mesh no.	202,560	198,820
Viscous model	K-ε standard, wall function	
space solver	2D, Axi - Symmetry	

각 모델의 격자구성과 해석조건은 Table 1과 같다. 2가지 모델 모두 동일하게 2D로 모델링하여 격자를 구성하고, 유동해석은 Axi-Symmetry 조건과 K-ε standard & wall function 의 난류모델로 정하였다.

2.2 Bore의 존재 유·무에 따른 핀틀표면의 압력분포

Bore의 존재 유·무에 따라 핀틀 윗면에 작용하는 정압분포의 해석결과 핀틀 윗면에 작용하는 정압력이 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 bore는 유량이 유입되는 입구, 노즐목 그리고 핀틀을 지나는 유동에 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

Figure 2는 핀틀의 전단부에 작용하는 압력을 나타낸 그래프이다. Aerospike 형상 중 끝이 잘려진 형상의 경우 핀틀 앞부분에서는 유동의 재순환영역이 발생한다[4]. Fig. 1(a)의 bore가 없는 핀틀형상은 핀틀의 중심축으로부터 높이에 따라서 핀틀 방향으로 흐르는 유동은 최고 1.3 MPa의 높은 압력이 생성되지만, Fig. 3에서 보는 바

와 같이 핀틀 앞면을 따라 상승하는 유량의 현상으로 핀틀에 작용하는 압력이 감소하여 평균 825.5 kPa의 압력이 핀틀의 앞면에 작용한다. Fig. 1(b)의 bore가 존재하는 경우, Fig. 4의 결과처럼 핀틀 아래부분에 존재하는 재순환영역과 bore의 안에서 유량이 흘러나오면서 상승하여 평균 696.1 kPa의 압력이 핀틀의 전면부에 작용한다.

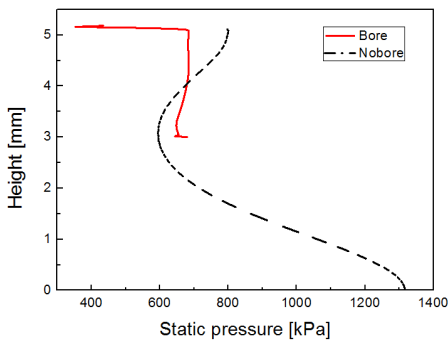


Fig. 2 Static Pressures at the Pintle Front

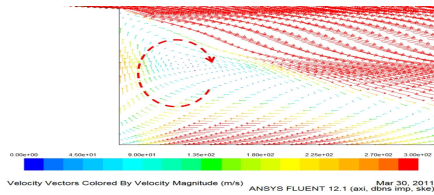


Fig. 3 Velocity Vector of Pintle with no Bore

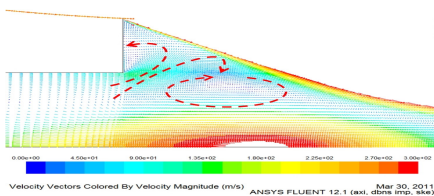


Fig. 4 Velocity Vector of Pintle with Bore

또한 bore의 안쪽에는 유량의 흐름이 거의 없는 Dead Flow Zone이 형성되는데 Fig. 1(b)에서 핀틀의 뒤쪽에 존재하는 공간을 확인 할 수 있다. Bore의 존재로 인한 핀틀의 뒤쪽에서 작용하는 압력을 분석한 결과 평균 901.3 kPa의 압력이 작용하는 것을 알 수 있었다.

2.3 Bore의 존재 유·무에 따른 핀틀의 공력하중 분석

압력분포 결과를 바탕으로 핀틀에 작용하는 공력하중에 대해 분석하였다.

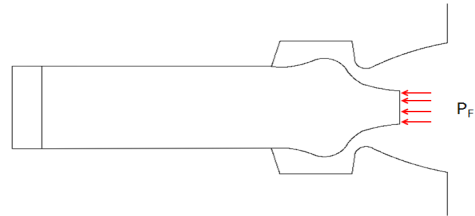


Fig. 5 Pressure Load of Pintle with no Bore

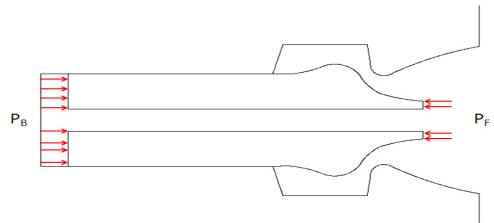


Fig. 6 Pressure Load of Pintle with Bore

Figure 5, 6은 bore 존재의 유·무에 따라 핀틀에 다르게 작용하는 압력을 표시하였다. 핀틀에 작용하는 압력 분포를 통해 핀틀 윗면에서 작용하는 압력은 같음을 확인하였으므로 bore의 존재 유·무에서 발생하는 하중의 차이는 핀틀 앞면과 bore가 존재하는 핀틀의 뒷면에서 작용하는 압력차를 통해 비교할 수 있다.

이러한 결과로 핀틀의 앞, 뒤 부분에 발생하는 압력에 의해 핀틀에 가해지는 하중을 Table 2에 정리하였다. Bore가 존재하지 않는 경우 핀틀 앞부분에서만 정체되는 유량이 재순환영역의 생성과 함께 핀틀 전면에 영향(-)을 준다. 반면에 bore가 존재하는 경우, 핀틀의 전면부에 작용하는 압력의 범위가 상대적으로 작고, 재순환영역은 bore의 안쪽까지 넓게 분포하면서 bore의 안쪽에 존재하는 공간에서 핀틀에 압력이 작용하여 유량의 진행방향(+)으로 하중이 작용하는 것을 확인하였다. 즉, bore의 존재는 핀틀에 작용하는 공력하중을 감소시키는 역할을 한다.

Table 2 Front and Back Load at Pintle

	Load (N)		
	Front	Back	Total
Bore	- 39.5	431.22	391.72
Nobore	- 70.1	0	- 70.1

2.4 추력 성능 분석

Bore의 존재가 추력성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 핀틀 앞에 형성되는 유량분포를 분석하고 그에 따라 추력 성능에 미치는 영향에 대해 알아보았다. Fig. 7, 8은 추력기 내부에 형성되는 유량의 마하수 분포를 나타낸 것이다. bore의 존재는 핀틀 앞부분에 형성되는 재순환 영역에 영향을 주는 것으로 보인다. 이것은 압력과 하중분석을 통해서 재순환영역에 미치는 영향을 확인 하였듯이 재순환영역의 영향이 노즐 끝에서 Y방향의 높이에 따른 속도분포에 영향을 주는 것으로 확인하였다.

해석결과를 바탕으로 추력을 계산한 결과 Bore의 존재 유·무가 추력기의 추력성능에는 큰 차이를 주지 않았다.

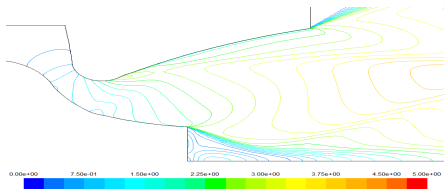


Fig. 7 Mach Contours of Pintle with no Bore

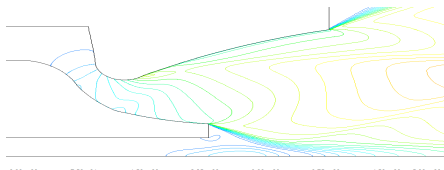


Fig. 8 Mach Contours of Pintle with Bore

3. 결 론

고체추진제를 이용하는 추력기에서 추력을 조절하는 방법으로 핀틀 구동을 통한 노즐목 면적 변화방법이 있다. 프랑스 SNECMA에서 특허는 문에 제시된 bore의 존재가 추력기의 성능과 핀틀 하중에 어떤 영향을 미치는지에 대해 알아보았다. Bore의 존재 유·무는 유동의 흐름과 추력에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보였다. 하지만, 핀틀 앞부분에 존재하는 재순환영역의 형성에 영향을 주고, 이에 따라 노즐끝에서 속도분포에 영향을 주는 것을 알 수 있었다. 또한, 추력을 변화하기 위해서는 핀틀의 이동에 따른 노즐목면적의 변화가 필요한데 핀틀을 구동하기 위한 구동기를 결정하는데 있어 bore의 존재는 핀틀에 작용하는 공력하중을 감소시키는 결과를 보였다.

후 기

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

참 고 문 헌

1. US 6543717 B1, Thierry Le Fur et al(SNECMA), "Compact Optimal and Modulatavle Thrust Device for Controlling Aerospace Vehicle", US Patent, 2003.4
2. 김중근, 박종호, 이종훈, 전민경, “핀틀 형상이 노즐 유동에 미치는 영향에 대한 실험적 연구”, 한국항공우주학회지, 제38권 10호, 2010, pp.985-991
3. 이용우, 허환일, “핀틀 형상이 가변 노즐목 핀틀 추력기의 노즐 유동에 미치는 영향”, 한국추진공학회 2010년도 춘계학술대회 논문집, 2010, pp.275-278
4. Sutton, G. P., Rocket Propulsion Elements, 7th ed., John Wiley & Sons Inc., 2000.