

Needle형 Pintle의 위치에 따른 초음속 노즐 내부 유동장 연구

이지형* · 김중근* · 장홍빈*

A study on internal flow field of supersonic nozzle by needle type pintle position

Jihyung Lee* · Jungkeun Kim* · Hongbeen Chang*

ABSTRACT

Internal flow field of supersonic nozzle with pintle, which control thrust of solid rocket motor, is very complicated by pintle tip shape and contour of nozzle. For studying of pintle nozzle performance by effects of internal flow field variation with pintle position, cold flow test and numerical analysis about needle type pintle shape were performed and results were presented in this paper. As the results of this study, three types of internal shocks exists in the pintle nozzle and oblique shock is oscillated by pintle position

초 록

고체 추진기관의 추력을 조절하기 위하여 사용되는 핀틀은 초음속 유동장 내부에 위치하기 때문에 핀틀 팁의 형상과 노즐의 Contour형상에 따라 초음속 노즐 내부는 복잡한 유동장 패턴을 가지게 된다. 본 연구는 핀틀 노즐성능에 대한 연구로 Needle형 핀틀을 사용하여 수행한 공압 시험과 수치해석을 이용하여 핀틀의 위치에 따른 초음속 노즐 내부 유동장 변화가 핀틀 노즐의 추력성능에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 연구의 결과, 노즐 내부에 3가지 충격파가 존재하고 경사충격파의 위치가 핀틀의 위치에 따라 진동함을 알 수 있었다.

Key Words: Pintle Nozzle(핀틀노즐), Needle Type Pintle(니들형 핀틀), Oblique Shock(경사충격파)

1. 서 론

고체 추진기관의 추력조절을 위하여 사용하는

핀틀(Tapered Plug)기술은 핀틀의 위치를 이동 시킴에 따라 노즐 목 면적을 변화시켜 추력변화를 얻는 원리를 이용한다. 따라서 고체 추진기관에서 추진제 그레이의 변화 없이 핀틀의 위치변화를 제어함에 따라 제한된 범위 안에서 추력변화를 이룰 수 있다. 이 개념은 로켓추진기관의

* 국방과학연구소 추진기관부
연락처, E-mail: im_ljh@hanmail.net

원리인 아래 3가지 기본 식에 의하여 정의된다.

$$F_{thrust} = \dot{m}v_e + (P_e - P_{amb})A_e$$

$$\dot{m} = P_c \frac{A_e}{C^*}$$

$$\dot{r} = aP_c^n$$

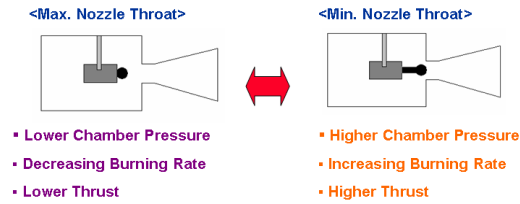


Fig. 1 Pintle Technology

본 연구에서는 핀틀 노즐의 개념연구의 일환으로 Needle형 핀틀의 위치에 따른 초음속 노즐 내부 유동장 변화가 핀틀 노즐의 추력성능에 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

2. 본 론

핀틀의 위치에 따른 핀틀 노즐의 성능평가를 위하여 시험 전 핀틀의 위치에 따른 면적변화를 분석하여 시험 및 해석조건을 정립하였다. Table.1은 시험 및 해석을 수행한 조건으로 핀틀의 영향이 없는 위치(기준위치)부터 23가지 경우

Table. 1 Test Matrix by pintle position

Pintle position	Area ratio (Ae/A*)
0mm*, 10mm	3.987
20mm	4.359
22mm	4.624
24mm	4.987
26mm	5.485
28mm	6.183
30mm	7.202
32mm	8.710
34mm	10.556
36mm	12.649
38mm	14.776
40mm	16.552
42mm	17.487
44mm~60mm	17.541

기준위치 : 0mm (A:492.0mm²)

에 대한 노즐 목 면적변화를 보여준다.

Figure 2는 각 경우에 대한 노즐 목 면적비 변화와 팽창비 변화를 보여준다.

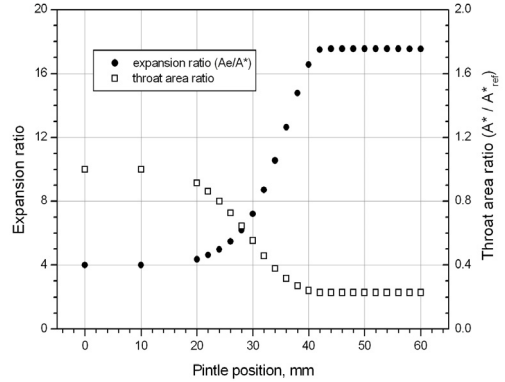


Fig. 2 Geometric Parameters

2.1 유동해석

유동해석은 상용코드(Fluent 6.2.16)를 이용하여 수행하였으며 경계조건은 챔버 입구 측에서는 압력 입구조건(Pressure Inlet)을 외기조건에서는 대기조건(Far-Field)을 사용하였다. 유동해석에 사용한 조건은 Table 2와 같고, 사용된 Mesh는 Figure 3과 같다.

Table. 2 Numerical Approaching Method

변수	조건
Solver	Fluent 6.2.16
Turbulence model	Standard k-e Standard wall function
Working Fluid	Const. transport properties, perfect gas
Inlet Condition	Measured chamber Press. 300K
Thermal B.C.	Adiabatic
Far-field distance	X/D*=100, Y/D*=20
No. of Node	about 110,000

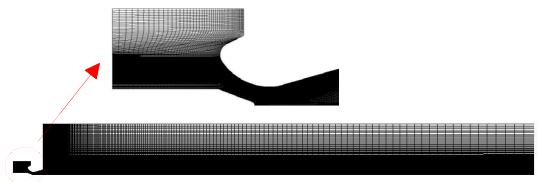


Fig. 3 Mesh for Numerical Analysis

2.2 공압 시험 (Cold-Flow Test)

가) 시험장치 구성

시험 장치는 크게 10m^3 , 350bar 의 고압 공기를 충전할 수 있는 저장탱크 2개, 1m^3 , 200bar 의 고압 공기를 저장할 수 있는 저장탱크 1개와 7조의 오리피스(orifice)를 조합하여 시험 압력을 조절하는 압력조절장치, 시험용 모델로 공급되는 유량을 조절하는 유량조절용 오리피스 및 핀틀 조립체로 구성되며 핀틀 조립체는 고압챔버, 추력측정용 로드셀, A-Frame, Flexure, 및 핀틀의 위치조절을 위한 조절장치, 내삽노즐 및 핀틀로 구성된다. 또한, 노즐벽면 압력을 측정하기 위하여 노즐 벽면에 소형 대기압 센서(Kulite, 25psia 용)를 0도 180도에 4곳, 90도 270도에 3곳을 설치하였다. (Figure 3 참조)

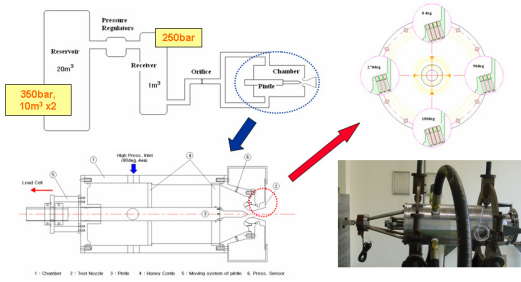


Fig. 4 Test Facility for Pintle Nozzle

나) 추력 보정

주 시험에 앞서 공압공급 시스템에서 챔버로 연결되는 고압 고무호스가 추력에 미치는 영향을 배제하기 위하여 공급압력에 따른 추력보정 시험을 수행하여 추력이 공급압력에 따라 0.2% 미만의 오차가 발생하도록 교정하였다(Figure 6 참조). Figure 5는 추력교정 시험장치의 개념도를 보여준다.

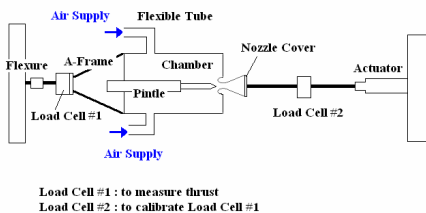


Fig. 5 Test Facility for Thrust Calibration

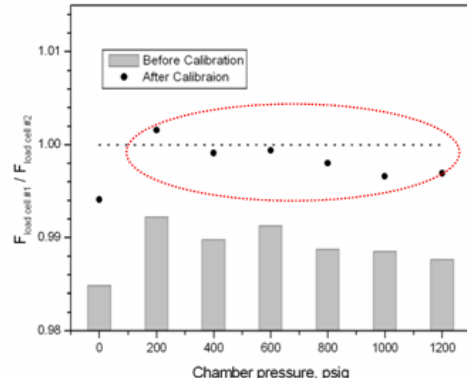


Fig. 6 Results of Thrust Calibration

3. 결과 분석

3.1 핀틀 위치에 따른 챔버 압력 및 추력변화

Figure 7은 핀틀의 위치에 따른 챔버압력 증가와 추력의 변화를 보여준다. 챔버 압력의 경우, 핀틀이 기준위치에서 노즐 목 방향으로 전진함에 따라 약 4.4배가 증가하며 추력의 경우, 약 13%가 증가함을 알 수 있다.

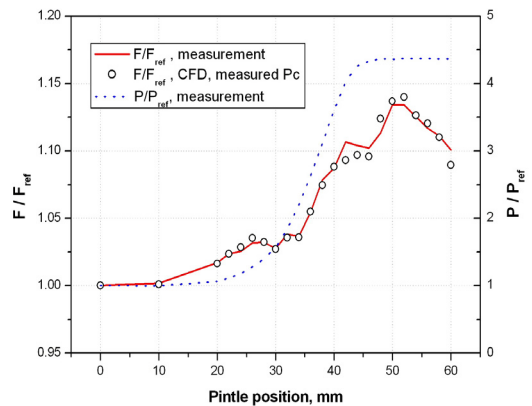


Fig. 7 Thrust Variation by Pintle Position

3.2 Needle형 핀틀 노즐 내부의 Shock구조

Figure 8은 Needle형 핀틀 노즐 내부에 존재하는 대표적인 Shock구조를 보여준다. Needle을 따라 유동이 팽창하면서 발생하는 Lip Shock과 Trailing Edge Shock 및 Oblique Shock이 핀틀 내부에 존재하며 이러한 Shock구조는 핀틀의 위

치에 따라 변화함으로써 노즐 벽면압력의 변화를 발생시켜 추력변화가 불규칙적으로 변화하게 된다.

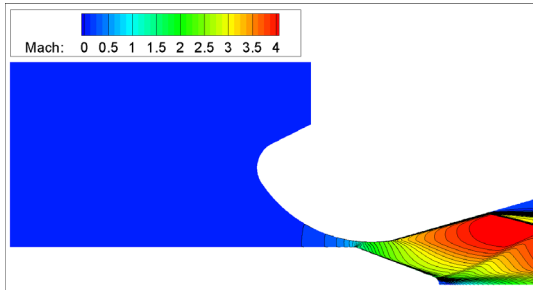


Fig. 8 Shock structures in Pintle Nozzle

Figure 9는 측정된 노즐벽면 압력과 수치해석으로 구한 노즐벽면압력을 비교한 것으로 핀틀의 위치에 따른 Shock의 이동을 보여준다. A 경우는 기준위치에서 26mm 떨어진 위치에서 30mm로 이동하는 경우 Lip Shock이 노즐 벽면에 부딪히는 점이 하류로 이동함을 보여주며, B 경우는 기준위치에서 34mm 떨어진 위치에서 38mm로 이동하는 경우 팽창비가 커짐에 따라 노즐벽면에서 유동박리가 발생되며 유동박리점이 상류로 이동함을 보여준다. C의 경우는 노즐 목 면적이 일정하게 유지되면서 핀틀이 이동하는 경우로 핀틀의 이동에 따라 유동박리점이 하류로 이동해가는 것을 보여준다. Figure 10은 유동해석의 결과를 이용하여 가시화 한 것을 보여준다.

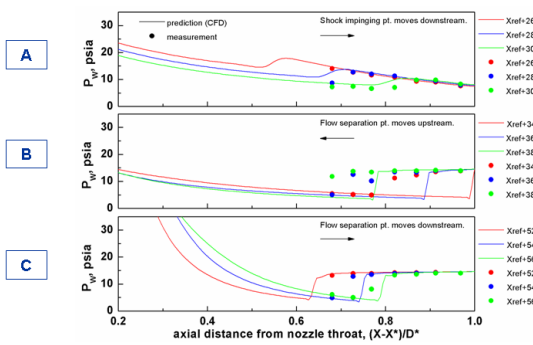


Fig. 9 Shock Movements by Pintle Position

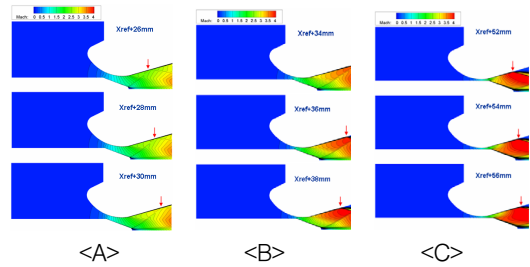


Fig. 10 Graphics of Shock Movements

4. 결 론

Needle형 핀틀을 사용하여 수행한 공압 시험과 수치해석을 이용하여 핀틀의 위치에 따른 초음속 노즐 내부 유동장 변화가 핀틀 노즐의 추력성능에 미치는 영향을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 핀틀 노즐의 추력변화에 대한 연구를 시험적으로 수치 해석적으로 수행하였다.
- 2) 핀틀의 위치이동에 따라 챔버압력과 추력은 크게 변화하였으며 추력변화는 수치해석결과와 시험이 잘 일치 하였다.
- 3) Needle형 핀틀 노즐 내부에는 3종의 Shock이 존재하였고 경사 충격파의 위치는 핀틀 위치에 따라 진동하였다.

참 고 문 헌

1. 김중근, 이지형, 오종운, 장홍빈, 김신희 "공압시험을 이용한 추력가변 노즐의 정상상태 성능연구" 한국 추진공학회 춘계학술대회, 2007
2. 이지형, 김중근, 이도형 "유입부 비대칭 노즐의 성능연구", 한국 추진공학회지 10권 제 2호, 2006
3. Smith-Kent R., Loh, H.T. and Chwalowski P., "Analytical Contouring of Pintle Nozzle Exit Cone Using Computational Fluid Dynamics," 31st AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, 95-2877, AIAA, Washington, DC, 1995