핀틀 노즐의 비정상 특성연구

이지형*† · 장홍빈* · 고현**

A study of unsteady characteristics on the pintle nozzle

Jihyung Lee*† · Hongbeen Chang* · Hyun Ko**

ABSTRACT

Pintle technology, which is one of the thrust control method for solid rocket motor, can control the thrust by the control of nozzle throat area through the pintle moving. For studying the unsteady flow characteristics of pintle nozzle by needle type pintle moving, cold flow test and numerical analysis were performed. The pressure distribution on the pintle tip was varied for pintle moving and stopping and thrust was varied by this effects.

초 록

고체 추진기관의 추력 조절의 한 방법인 핀틀 노즐 기술은 초음속 유동장 내부에 핀틀을 위치시키고 핀틀의 위치를 조절하여 노즐 목 면적을 조절함으로써 추력의 크기를 조절한다. 본 연구는 Needle형 핀틀이 초음속 유동장 내부에서 구동될 때 발생하는 핀틀 팁에서의 압력변화와 핀틀노즐의 비정상 유동특성에 대해 분석하였다. 연구 결과 초음속 유동장 내부에서 핀틀이 움직일 때 핀틀 팁에서의 압력변화가 발생하고, 이러한 압력변화에 따라 추력변화가 야기됨을 비정상상태 해석으로 확인하였다.

Key Words: Pintle Technology(핀틀기술), Unsteady characteristics(비정상 특성), Pintle Tip(핀틀 팁)

1. 서 론

추진기관의 추력조절에 적용되는 방법 중 핀틀노즐 기술은 고체 추진기관에 적용이 가능한 기술로 최근 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 핀틀노즐 기술은 추진기관의 연소 중 핀틀이 움직임에 따라 노즐 목 면적을 변화시킴으로써 연소관 내부의 압력 변화를 얻을 수 있고, 이러한 압력변화는 추력의 변화를 야기 시킨다.[1][2][3] 따라서 초음속 유동장 내부에 존재하는 핀틀 형상의 연구 및 정상상태에서의 추력성능변화에 대한 연구가 진행되어 왔다.[2][3]

본 연구는 초음속 유동장 내부에서 노즐 목을 감소시키는 방향으로 핀틀이 움직일 때 초음속 노즐 내부의 유동장 특성변화를 분석하기 위하여 압력변화가 심하게 나타나는 영역에서 비정상 유동해석을 수행하였고, 그 결과를 검증하기

* 국방과학연구소 1본부 6부
** (주)마이크로프랜드
† 교신저자, E-mail: im_ljh@hanmail.net

위하여 공압 시험을 수행하였다. 공압시험 결과는 유동해석 결과와 일치하지는 않았으나, 유동해석의 결과의 분석을 통하여 핀틀 팁에 작용하는 압력이 핀틀의 이동 시 현저하게 변화함을 알 수 있었다.

2. 시험장치 구성 및 수치해석 방법

2.1 공압시험장치의 구성

공압시험장치는 Fig. 1과 같이 축 방향의 추력을 측정하기 위한 Load cell과 4개의 연결관에 의해 공급되는 공압챔버, 핀틀 구동을 위한 위치제어장치, 핀틀 및 노즐로 구성되었다. 시험에 사용한 위치제어장치는 4mm/sec의 속도로 위치를 제어하였으며, 노즐 목 변화가 없는 초기위치와 노즐목 변화가 발생하는 +20mm에서 +60mm(목 방향 이동)구간에서 2mm씩 이동시켜 가면서 추력 및 노즐 목에서의 압력변화를 측정하였다.

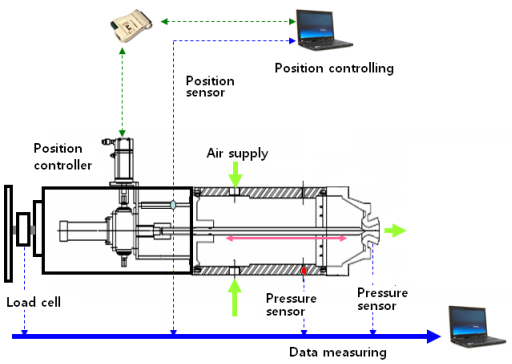

Fig. 1 시험장치 개념도

2.2 수치해석 방법

유동해석은 Fig. 2와 같이 경계조건을 부여하였고, 핀틀의 이동을 고려하기 위하여 Moving Mesh(Dynamic Layering)기법을 적용하였다. 해석은 상용프로그램인 Fluent를 적용하였으며, 난류모델의 경우 Spalart Allmaras(1차원 모델)을 적용하여 해석하였다[3]. 해석에 사용된 Mesh의 경우 Y+값을 100이하로 유지하였으며, 약 112,000개의 Cell로 구성하였다.

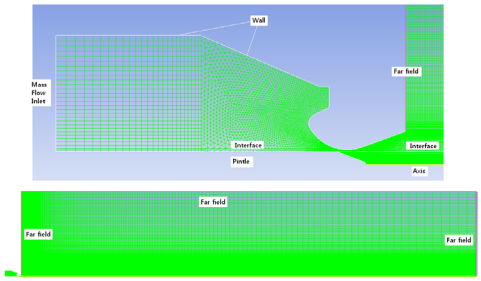

Fig. 2 경계조건 및 Mesh

3. 분석 결과

3.1 공압시험 결과

공압시험 결과 핀틀을 이동할 때 추력의 변화는 Fig. 3과 같으며, 정상상태에서의 추력값 및 이론적 해석값의 비교는 Fig. 4와 같다.

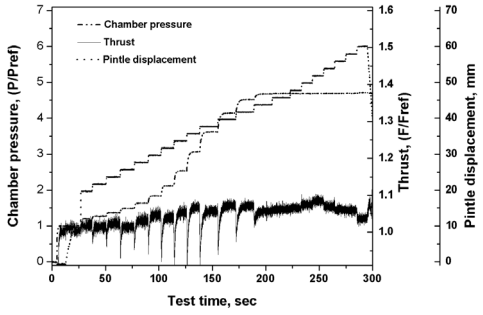

Fig. 3 핀틀 이동시 추력 및 압력변화

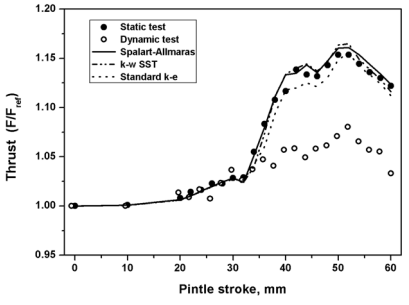

Fig. 4 추력변화

핀틀이 이동할 때(0~60mm) 챔버압력은 약 4.9배 증가하나 추력의 경우 약 0.9배 증가함을 알 수 있다. 이 결과는 핀틀을 고정시키고 시험한 결과와 비교할 경우 보다 낮게 증가한다. 이러한 현상은 핀틀 면과 연소관 면 사이에 위치하는 O링의 마찰 및 핀틀 구동을 위해 장착된 위치제어기의 영향으로 판단된다. 특히, 핀틀이 움직임을 시작할 때 추력의 경우 크게 감소 후 증가하는 경향을 보이는데 이러한 현상 또한 O링에 작용하는 최대 정지 마찰력에 기인한 것으로 판단된다. Fig. 5는 이론적으로 계산된 정지 마찰력의 크기를 보여준다. 따라서 본 시험의 정확한 추력의 측정을 위해 시스템의 추력교정이 필요하며 추후 교정시험을 수행한 후 재시험이 요구된다.

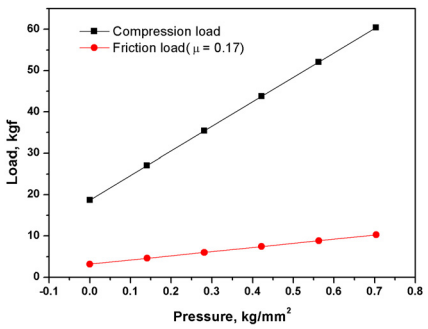

Fig. 5 O링에 작용하는 정지 마찰력

Figure 6과 Fig. 7은 시험에서 추력변화가 가장 크게 나타나는 34mm에서 36mm로 이동하는 구간에서 4mm/sec의 속도로 핀틀을 이동할 때의 비정상 유동해석결과를 이용하여 핀틀 팁에 걸리는 압력변화 및 추력변화를 나타낸 것이다. 핀틀이 이동하는 시간동안 핀틀에 작용하는 힘의 크기는 감소하며 핀틀이 정지한 후 힘이 증가하는 경향을 나타내는데 이러한 경향은 핀틀이 이동하는 동안 핀틀 팁에서의 압력이 감소하다가 핀틀이 정지한 후 압력이 회복되면서 발생하는 것으로 판단된다.

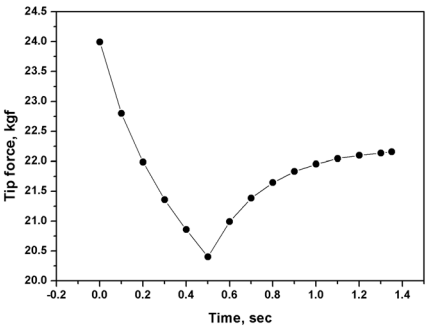

Fig. 6 핀틀의 이동에 따른 핀틀팁 힘 변화

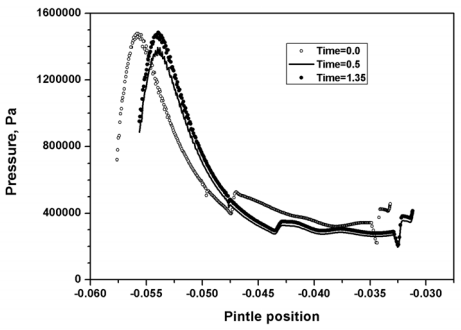

Fig. 7 핀틀의 이동에 따른 핀틀팁 압력변화

4. 결론

본 연구에서는 핀틀이 움직일 때 초음속 노즐 내부의 유동장 특성변화 및 추력변화를 예측하기 위하여 공압시험 및 비정상 수치해석을 수행하였으며, 아래와 같은 결과를 얻었다.

1. 핀틀의 이동에 따른 정확한 추력측정을 위하여 시험장비에 대한 추력의 교정이 요구된다.

2. 핀틀 이동시 핀틀 팁 부의 압력이 변화되며, 이 영향으로 핀틀 팁부에 작용하는 하중의 변화가 발생한다.

참 고 문 헌

1. 김중근, 이지형, 오종윤, 장홍빈, “공압시험을 이용한 추력가변 노즐의 정상상태 연구,” 한국추진공학회지, 제12권, 제2호, 2008, pp.8-12
2. 이지형, 김중근, 장홍빈, “ Needle형 Pintle의 위치에 따른 초음속 노즐 내부 유동장 연구" 한국추진공학회 2008년 추계학술대회
3. 김중근, 이지형, 장홍빈, “ 핀틀 노즐 유동장의 수치해석적 연구" 한국추진공학회지, 제13권, 제2호, 2009, pp.35-39
4. J.H. Lee, J.K. Kim, H.B. Jang, J.Y. Oh, " Experimental and Theoretical Investigations of Thrust Variation with Pintle Positions using Cold Gas", AIAA 2008-4787, 44th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Conference
5. Sutton, G. P., Rocket Propulsion Elements, 6th ed., John Wiley & Sons Inc., 1992