

소형 액체로켓엔진 인젝터의 분무패턴 분석

정 훈* · 김진석* · 김정수** · 박 정** · 김성초** · 장기원***

Spray Pattern Analysis of the Injector in a Small Liquid-Rocket Engine

Hun Jung* · Jin Seok Kim* · Jeong Soo Kim** · Jeong Park** · Sungcho Kim** · Ki-Won Jang***

ABSTRACT

Spray characteristics of an injector employed in mono-propellant hydrazine thrusters were investigated by PIV(particle image velocimetry) and LDA/PDA(laser/phase Doppler anemometry) techniques. The instanteneous plane image data captured by PIV measurement were examined in order to judge a pass-fail criteria of spray injection performance according to the specific pressure supplied. LDA/PDA technique were also applied to measure the velocity and droplet size of spray were not obtained from PIV measurement. The objective of this experimental study was the clear understanding of spray characteristics as well as the derivation of injector performance to understand clearly the spray characteristics by comparing the both results.

초 록

단일액체추진제 하이드라진 추력기의 인젝터로부터 발생하는 분무 특성을 파악하기 위해 입자영상유속계 및 레이저 도플러 유속계 기법을 적용하였다. 입자영상유속계를 이용하여 순간 평면 이미지를 획득하고 이 영상 자료를 통해 압력에 따른 분무정도 및 인젝터 분무성능을 판단하였다. 영상 이미지에서 누락된 분무 입자의 속도 및 입경 계측을 위해 레이저 도플러 유속계 계측방법을 적용하였다. 계측된 두 실험결과를 비교함으로써 분무 특성에 대한 명확한 이해 뿐만 아니라 인젝터 설계 변수 도출이 본 연구의 목적이다.

Key Words: Liquid Rocket Engine(액체로켓엔진), Spray Pattern(분무 양식), Injector(인젝터)

1. 서 론

단일액체추진제 인젝터 추력기(mono- propellant

hydrazine thrusters) 시스템은 다른 종류의 소형 로켓 엔진(small liquid rocket engine)에 비해 상대적으로 저렴한 개발비, 간결한 시스템 구조, 장기간의 안정적 시스템 운용능력 및 추진제 저장성, 낮은 플룸(plum) 오염성, 최소추력 발생능력, 매우 낮은 임펄스 비트(impulse bit) 반복성 등의 장점으로 인해 우주 비행체의 자세 및 속

* 순천대학교 기계공학과 대학원
** 순천대학교 기계우주항공공학부
*** (주)한화, 대전공장
연락처, E-mail: jskim@sunchon.ac.kr

도 제어를 위해 사용된다. Figure 1에 나타낸 이 추력기는 노즐부(nozzle), 촉매대(catalyst), 추력실(thrust chamber), 인젝터(injector), 열차폐관(barrier tube) 등으로 구성되며 기관의 연소실에서 일어나는 열·유체역학적 거동은 추진기관의 성능에 직접적인 영향을 미치기 때문에 인젝터에 의한 연소실내 연료의 미립화 특성(atomization characteristic)과 공간상의 분포에 대한 정확한 성능예측이 필요하다.

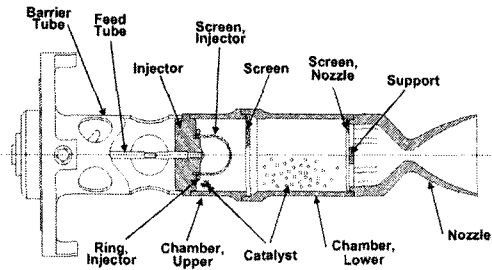


Fig. 1 Configuration of monopropellant hydrazine thruster

실험은 연소 실험(hot firing test)과 비 연소 실험(cold flow test)으로 구분되는데 실제 연소 실험을 수행하면 정확한 성능을 예측할 수 있으나 위험요소 뿐만 아니라 많은 비용이 따른다. 단일액체추진제 추력기의 연소실험[1]과 비연소 실험[2,3]을 통해, 추력기의 성능평가, 액적의 SMD, 평균속도 및 액적 수밀도 등과 같은 분무 특성 변수들에 대한 연구가 진행되었다.

본 연구에서는 입자영상유속계(PIV, particle image velocimetry), 레이저/위상 도플러 유속계(LDA/PDA, laser/phase Doppler anemometry)를 이용하여 인젝터(injektor) 출구 압력이 50~400 psi 범위에서 50 psi 간격으로 8개의 압력조건에서 인젝터 구멍으로부터 발생하는 분무 각(spray angle), 액적의 속도 및 직경과 같은 분무의 특성을 파악하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

실험에 사용된 측정 장치들에 대한 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 평면에서의 순간 이미지를

획득하기 위해서 PIV 기법을 사용하였는데 장치는 120mj 출력의 Nd:Yag 레이저, 레이저 빛을 평면으로 만들기 위한 원통형(cylindrical) 렌즈, 동기화장치, 1280 × 1024 pixel의 해상도를 가지는 CCD 카메라 그리고 컴퓨터 등으로 구성된다.

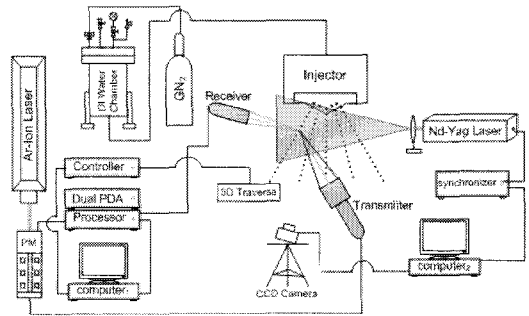


Fig. 2 Schematic diagram of experimental setup

구멍이 서로 대칭되어 배열되었기 때문에 한번의 레이저 빛 조사에 2개의 분무 이미지를 획득하였다. PIV 기법을 통하여 분무 각 뿐만 아니라 입자들의 속도도 측정하고자 하였으나 400 psi의 고압에서도 완전한 미립화가 발생하지 않은 고속의 물줄기 영상 때문에 오류 벡터가 많이 발생하여 측정이 불가능 하였다.

따라서 입자의 속도 및 입경을 측정하기위해 추가적인 측정법이 필요했으며 LDA/PDA기법이 이용되었다. 측정 장치로는 기존의 PDA 장치에서 단점으로 지적되었던 입자의 구형 검증(spherical validation)성능을 향상시킨 Dual PDA 시스템을 사용하였는데 이는 최대 6W 출력의 Ar-Ion 레이저, 레이저 빛을 분리 시켜주는 PM 튜브, 계산을 위한 프로세서, 컴퓨터, 3축 이송장치, 그리고 측정 볼륨을 생성하여 신호를 발생시키는 송광부(Transmitter)와 입자에 의해 굴절되거나 반사되어 나오는 신호를 받는 수광부(Receiver)로 구성된다. 송광렌즈와 수광렌즈의 초점거리 및 확대비(expand ratio)는 각각 1000 mm와 500 mm 그리고 1과 1.98이다.

최대 허용 압력이 800 psi인 고압 챔버는 질소(N_2) 가스로 가압되며 비전도성 액체에 전하의 운반 매체 역할을 하는 이온이 제거된 물

(deionized water)로 채워져 있다.

Figure 3(a)은 실험에 사용된 인젝터를 나타낸다. 인젝터는 방전가공(electric discharge machining)에 의해 가공 되었으며 원뿔 꼭짓점 주변으로 직경 0.406 mm 크기의 8개 구멍이 중앙 축으로부터 30° 각을 가지고 분사되도록 설계되어 있다. 또한 Fig. 3(b)과 같이 8개의 구멍에 각각 가상의 번호를 주어 1-5, 2-6, 3-7, 4-8번으로 짝을 이루어 실험을 수행하였다.

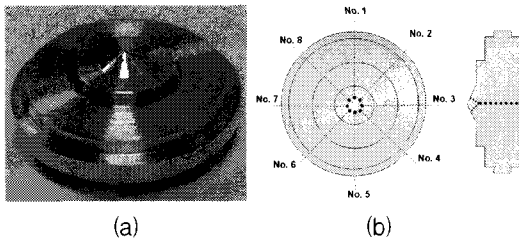


Fig. 3 Picture and schematic of injector

3. 실험 결과 및 고찰

단일액체추진제 추력기에 장착되는 인젝터의 가공 성공-실패 여부를 판단하기 위해서는 대부분 기계적 패터네이터(patternator)를 사용한다. 그러나 이러한 기계적 패터네이터는 이상(two-phase) 유동장 안에서 교란을 발생시킬 뿐만 아니라 제한된 공간 해상도를 가진다. 따라서 PIV 계측을 통하여 비간섭(non-intrusive)적으로 분무의 순간 영상을 취득하였으며 Fig. 4-5에 나타냈다. 측정영역은 55×44 mm²이며 인젝터 출구로부터 측정 영역 하단부까지의 거리는 42 mm이다. 본 실험에 사용된 인젝터 구멍 중 8번 구멍이 50 psi일 때 가공 합격 기준 범위의 가장 자리에 위치하다가 압력이 높아질수록 분무각이 좁아져 합격 범위 안으로 들어온다. 먼저 Fig. 4에서 보이는 바와 같이 50 psi 압력에서 전체적으로 모든 구멍에서 비교적 물줄기가 길게 형성된다. 압력이 증가할수록 물줄기 주변으로 미립화된 입자가 발생하기 시작하며 350 psi(Fig. 5)에서 현저히 증가한다. 이후 400 psi에서의 미립

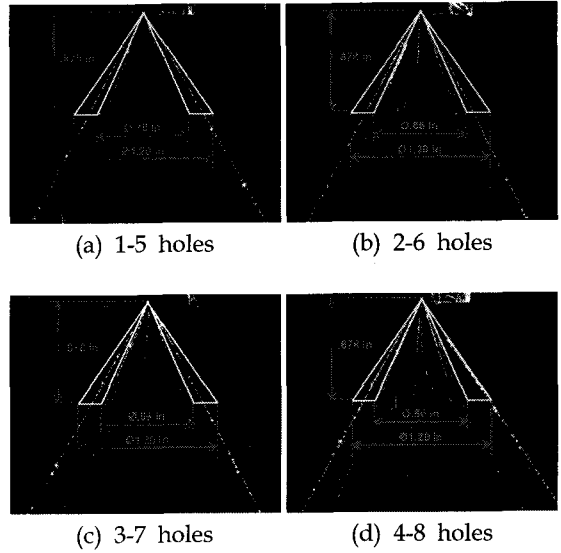


Fig. 4 Spray pattern at 50 psi

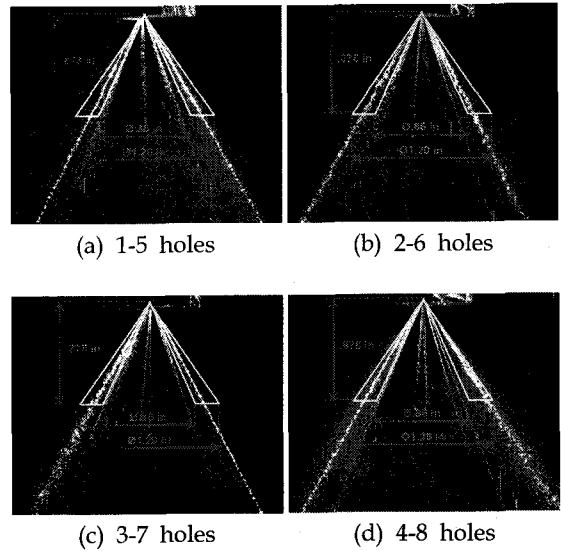


Fig. 5 Spray pattern at 350 psi

화 정도는 350 psi에서와 크게 다르지 않게 나타난다.

이러한 현상은 LDA와 PDA를 통하여 속도 및 입경을 측정된 결과를 비교함으로써 더욱 명료해진다. 각 압력에서의 대표 속도 및 입경을 추출하기 위해 3번 인젝터 구멍으로부터 분무 줄기를 따라 230 mm 하단부에서 측정하였다.

Figure 6은 각 측정 압력에서의 속도 분포를 나타내는데 19.72~43.05 m/s 범위의 속도를 가진다. 압력이 증가 할수록 속도가 증가하다 350 psi를 기점으로 43 m/s 근처에서 속도는 포화상태에 다다른다.

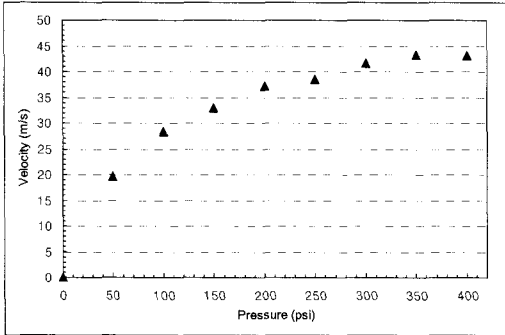


Fig. 6 Velocity distributions at each pressure

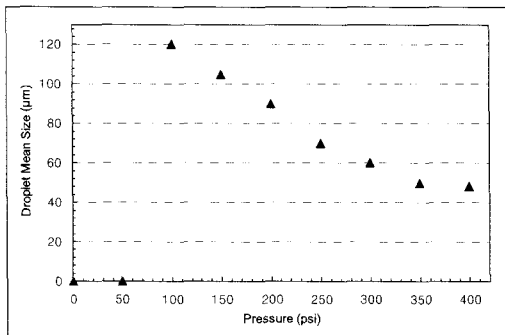


Fig. 7 Mean diameter of droplet at each pressure

Figure 7에서와 같이 분무 평균 입자 역시 압력증가에 따라 직경이 감소하는데 최초 100 psi 압력에서 120 μm 인 입자는 350 psi 이후 50 μm 크기에서 그 변화율이 줄어든다. Fig. 7의 50 psi에서 입자 크기가 없는 것은 8개의 모든 구멍에서 물줄기에 가까운 분무가 발생하였기 때문이다.

4. 결 론

단일액체추진제 추력기에 장착되는 인젝터에

대한 분무 형상을 PIV 기법을 통하여 관찰하고 분무 입자의 속도 및 입경에 대한 분포를 LDA/PDA 측정을 이용하여 획득하였다.

기존의 패터네이터 대신 평면으로 조사되는 레이저와 CCD 카메라를 이용하여 유동장에 교란을 가하지 않고 분무패턴을 측정하였으며 육안으로는 식별이 불가능하였던 순간 분무 유동장을 관찰함으로써 압력에 따른 분무 형상변화 및 분무들 간의 상호작용정도를 파악할 수 있었다.

LDA/PDA기법을 이용한 분무 입자의 속도와 입경측정 결과를 평면 이미지 자료와 비교함으로써 압력에 따른 분무특성에 대한 정확한 이해를 도모하였다.

두 측정 방법을 적용하여 획득한 자료를 비교 연구함으로써 향후 인젝터 성능향상과 설계를 위한 여러 인자들의 연구에 대한 계기를 마련하였다.

후 기

이 논문은 2006년도 교육인적자원부의 지방대학 혁신역량강화사업(NURI)에 의해 지원되었음.

참 고 문 헌

1. 김정수, "단액체추진제 소형 추력기의 진공환경 연소시험 및 성능특성 평가," 한국추진공학회지, 제8권 4호, 2004, pp.84-90
2. R. J. Kenny, M. D. Moser, J. Hulka and G. Jones, "Cold Flow Testing for Liquid Propellant Rocket Injector Scaling and Throttling," 42nd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, AIAA-2006-4705
3. Xiabguo Li, Jihua Shen, "Experimental Study of Sprays from Annular Liquid Jet Breakup," Journal of Propulsion & Power, Vol. 15, No. 1, 1999, pp.103-110