

중형급 하이드라진 추력기에 장착되는 비충돌형 인젝터의 수류시험 및 성능평가

정훈* · 김종현** · 김정수**† · 김인태***

Water-flow Test/Performance Evaluation of Nonimpinging-type Injector used in the Hydrazine Thruster of Medium-level Thrust

Hun Jung* · Jong Hyun Kim** · Jeong Soo Kim**† · In-Tae Kim***

ABSTRACT

A water-flow test for acceptance verification is carried out for a nonimpinging-type injector prior to the design-performance verification of hydrazine thruster under development. The injector used in the experiment is to be equipped on the hydrazine thruster producing 70 N of nominal thrust at an inlet pressure of 24.6 kg_f/cm². It is observed that there exist varying characteristics of atomization among the injector-nozzle orifices caused by a fabrication error which can be judged from a microscopic standpoint. On the other hand, all of the injector orifices are placed within the design criteria in an injection-angle performance.

초 록

본 연구팀에서 개발 중인 하이드라진 추력기의 설계성능 검증에 앞서 요소부품인 비충돌형 인젝터에 대한 인수시험 및 수류시험을 수행하였다. 실험에 사용된 인젝터는 추진제 주입압력 24.6 kg_f/cm²에서 70 N의 공칭추력을 내는 하이드라진 추력기에 장착되는 것이다. 각각의 인젝터 노즐 오리피스스의 미세한 가공오차에 기인하여 미립화 특성 차이가 관찰되기는 하였으나, 인젝터 분사각 관련 성능평가에서는 모든 오리피스가 합격범위에 있음이 확인되었다.

Key Words: Space Vehicle(우주비행체), Attitude Control(자세제어), Hydrazine Thruster(하이드라진 추력기), Nonimpinging-type Injector(비충돌형 인젝터), Water-flow Test(수류시험)

1. 서 론

* 부경대학교 대학원 에너지시스템공학과

** 부경대학교 기계공학과

*** (주)한화 대전사업장 개발부

† 교신저자, E-mail: jeongkim@pknu.ac.kr

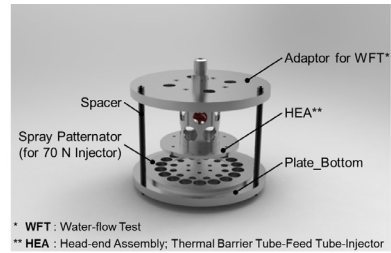
단일액체추진제(liquid-monopropellant) 하이드라진(hydrazine, N₂H₄) 추력기는 비추력(specific

impulse), 추력조절(throttling) 능력, 추진제 저장성, 배기 오염성, 시스템 중량 등에서 보이는 우수한 성능특성으로 인하여 우주비행체(발사체, 인공위성, 외대기권 요격체(EKV), 행성간 탐사선 등)의 속도/자세 제어 측면에 있어 많은 장점을 제공한다. 또한, 로켓엔진 관련 기술 선진국에서는 이미 30,000기 이상의 하이드라진 추진기가 우주비행체의 자세제어 및 궤도기동용으로 활용되어 그 임무수행능력과 신뢰도가 검증되었다 [1]. 현재 우리나라는 국내 독자기술에 의한 우주발사체(KSLV-II) 개발을 목표로 하고 있는 바, 우주비행체 기술개발 자립을 위해서는 대형 엔진의 개발뿐만 아니라 하이드라진 추진기와 같은 소형 액체로켓엔진에 대한 핵심기술 확보가 반드시 필요한 실정이다. 이에 따라 본 연구팀은 중·대형급 하이드라진 추진기의 체계소요에 대비하여, 공칭추력 4.5 N급 추진기(MRE-STD-1) 및 그 핵심부품의 성능평가기술에 대한 연구뿐만 아니라 10~1,000 N 대역의 추진기군에 대한 설계/개발 기술을 구축하여 왔다[2-4]. 액체로켓엔진 추진체계의 성능은 연소실내로 추진제를 분사하는 인젝터 성능과 추력실 형상설계에 크게 의존하므로, 연료주입 압력변화에 따른 분무패턴, 연료 소비율 및 압력강하량 등에 관한 시험은 엔진 형상설계 과정에서 반드시 필요하다.

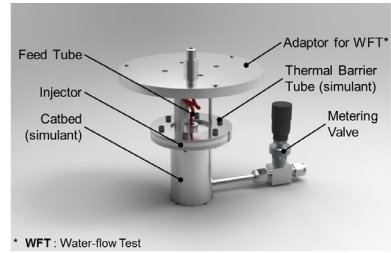
본 논문에서는, 선행연구를 통하여 확보된 하이드라진 추진기의 핵심부품 설계와 하드웨어로 구현된 부품에 대한 성능평가의 일환으로 수행한 70 N급 인젝터의 수류시험 결과를 기술한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 수행된 실험은 가공이 완료된 인젝터에 대한 인수시험 및 압력강하 측정시험으로 대별되며, Fig. 1에 인젝터 패터네이터 및 압력강하율 시험용 지그(ΔP 시험장치)를 도시한다. 인젝터 패터네이터, ΔP 시험장치, 분무발생장치(SGS), 추진제 공급장치, 펄스 발생기, DPSS 레이저($\lambda=532$ nm), 이송장치, 고속카메라(HSC), 구면(spherical) 및 원주(cylindrical) 렌즈, PC, 그



(a) Injector Patternator



(b) ΔP Test Equipment

Fig. 1 Configuration of the Jigs for Water-flow Test

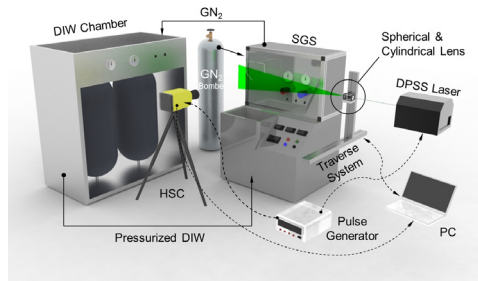
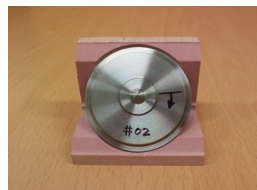
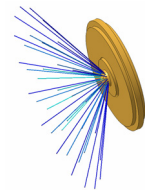


Fig. 2 Constitution of the Experimental Apparatus



(a) Injector, Prototype



(b) Spray Trajectory

Fig. 3 Configuration of 70 N-class Injector

리고 인젝터 등으로 구성되는 전체 실험장치가 Fig. 2에 보여지고 있다(패터네이터, ΔP 시험장치, 인젝터는 그림에서 생략).

패터네이터는 설계 및 시작품 제작이 완료된 70 N급 인젝터의 분무궤적(trajjectory) 규격에 근거하여 설계되었으며, 모든 오리피스에서 발현되

는 분사각 관련 성능특성을 동시에 판별할 수 있는 형태로 제작되었다. 실험에 사용된 비충돌형 인젝터는 본 연구진에서 설계/개발중인 우주비행체 정밀 자세제어용 하이드라진 추력기(70 N급)에 장착되는 것으로, 인젝터의 노즐 오리피스는 방전가공(EDM)으로 제작되었으며 그 시작품 형상 및 예상 분무패턴을 Fig. 3에 간략히 나타낸다. 인젝터는 총 36개의 오리피스로 구성되어 있으며, 인젝터 중심축과 엇각(cant angle)을 이루어 분사된다. 실제 액체로켓엔진의 연료로 널리 사용되는[1] 하이드라진은 실험실 단위 연구에서 취급하기에 많은 제약이 따르기 때문에 하이드라진과 물성치가 매우 유사하고[3], 고압 분사 시험시 정전기에 의한 미립화 액적의 이상 거동을 방지할 수 있는 이온 제거수(Deionized Water, DIW)를 작동유체로 사용하였다. DIW는 질소가스로 가압되며 일련의 밸브와 필터 등으로 구성된 분무발생장치를 지나 최종적으로 인젝터에서 상온의 대기(atmosphere) 중으로 분사된다. 레이저 빔은 구면 및 원주 렌즈를 지나 평면(sheet) 형태로 인젝터 분무에 조사되며, 고속 카메라로 순간이미지를 획득하여 각 오리피스에서 분사된 분무의 패턴을 정성적으로 평가한다.

3. 실험결과 및 고찰

가공이 완료된 인젝터 시작품에 대한 인수시험의 일환으로 전자현미경을 활용하여 노즐 오리피스의 가공완성도(직경, 내부 표면거칠기, 원형도 등) 판별을 수행하였으며, 그 중 선별된 결과를 Fig. 4에 보인다. 그림에서 #01과 #02는 600 배율로 촬영한 결과이며, #03은 인젝터 형상이 갖는 제약으로 인하여 300 배율의 렌즈로 획득한 이미지이다. 모든 오리피스가 동일 규격(직경) 및 방법으로 가공되었음에도 불구하고 각각의 오리피스에서 보이는 가공완성도 차이가 그림에서 극명하게 관찰된다. 이러한 가공오차는 인젝터 분무의 비균일성을 촉발시켜 추력기 시스템의 전체 성능을 좌우하므로 노즐 오리피스 가공법 개선에 대한 필요성을 시사한다.

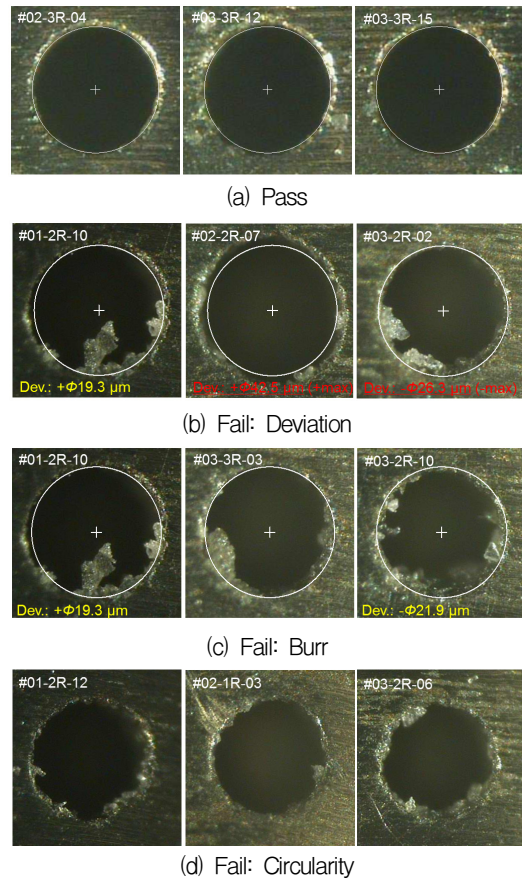


Fig. 4 Inspection Results: Completion for Fabrication of Injector Nozzle Orifice

추력실 조립체 구성품 가운데 HEA(Head-end Assembly)는 추진제 주입압력(P_{inj})에 따른 유량(\dot{m}) 및 압력강하율을 결정짓는 요소부품으로, 추력기 전체 성능에 막대한 영향을 미친다. 때문에 가공이 완료된 추진제 주입관 및 인젝터에 대한 압력강하율 특성 검증이 요구되며, 설계규격에 기준한 수류시험을 통하여 HEA의 압력강하율 성능을 조정한다. 인젝터는 그 형상개조 등이 불가하므로 추진제 주입관의 유로(flow path) 면적을 조절한 후, 유량성능 기준과 부합되는 HEA에 대해서만 분무패턴 측정시험 등에 활용하였고 그 성능기준은 Table 1과 같다.

인젝터 패턴네이터를 이용해 분사각 성능특성을 평가하였으며, 시험은 실제 추력기의 성능기준인 주입압력 $3.5 \sim 28.1 \text{ kgf/cm}^2$ 의 범위에서 수

Table 1. Design Criteria for a HEA of 70 N-class Hydrazine Thruster

Designation	Parameter	Unit	Spec.
P_{inj}	Injection Pressure	kgi/cm ²	24.6
ΔP	Pressure Drop	kgi/cm ²	8.8
\dot{m}	Flow Rate	g/s	29.2

행하였다. 인젝터에서 분사된 모든 분무의 중심축이 압력에 상관없이 패턴네이터 홀을 통과하여 설계규격을 만족하는 것이 확인되었다. 다만, 각각의 분무에서 발현되는 미립화도(degree of atomization)의 차이가 관찰되었으며, 이는 인수시험 결과에서 이미 제시된 오리피스 가공완성도 비균일성에 기인한 결과로 사료된다.

본 연구팀에 의해 수행된 바 있는 공칭추력 4.5 N급 인젝터의 분무특성 시험결과 가운데 일부를 Fig. 5에 보인다. 그림은 고속카메라 및 레이저 등을 활용하여 인젝터 분무의 유동특성을 가시화한 것으로, 개발모델 인젝터의 명확한 성능 검증을 위해서 기 확보된 결과와의 면밀한 비교/분석이 진행 중이다.

4. 결 론

본 연구팀에서 설계/개발 중인 공칭추력 70 N급 하이드라진 추력기의 요소부품인 인젝터 시제품에 대한 수류시험을 수행하였다.

제작된 인젝터의 인수시험 결과 각각의 노즐 오리피스에서 가공완성도 차이가 관찰되었으며, 이는 추력기 전체 성능에 막대한 영향을 미치므로 오리피스 가공법 개선에 대한 필요성이 대두되었다. 또, 인젝터 패턴네이터를 활용한 분사각 관련 성능평가에서는 모든 오리피스가 합격 범위에 있음이 확인되었으나, 미시적 관점에서의 가공오차에 기인하여 각각이 보이는 미립화 특성은 다소 차이를 보였다.

본 연구결과는 향후 진행될 분무특성 실험과의 비교/분석을 통하여 인젝터 노즐 오리피스 최적설계제원 도출에 활용할 수 있을 것이다.

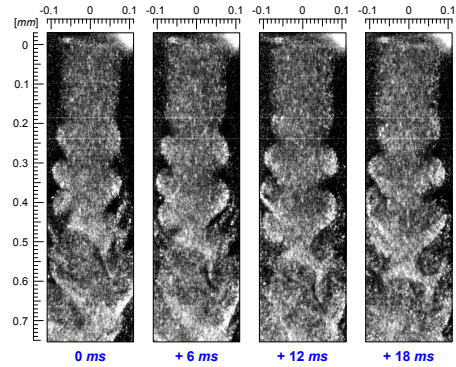


Fig. 5 Instantaneous Images of 4.5 N-class Injector-spray

후 기

본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부 우주핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행되었음(No. 20110020890).

참 고 문 헌

1. 김정수, 정훈, 감호동, 서항석, 서혁, "우주비행체 궤도기동/자세제어용 추력기의 개발과 발사체에의 활용현황," 한국추진공학회지, 제14권, 제6호, 2010, pp.103-120
2. Kim, J. S., Park, J., Kim, S., Choi, J., and Jang, K. W., "Test and Performance Evaluation of Small Liquid-monopropellant Rocket Engines," AIAA-2006-4388, 2006
3. 정훈, 김정수, "소형 액체로켓엔진 인젝터 분무의 연료분사압력 변이에 따른 액적의 공간 분포 특성," 한국추진공학회지, 제12권, 제5호, 2008, pp.1-8
4. Kim, J. S. and Kim, J. S., "A Characterization of the Spray Evolution by Dual-mode Phase Doppler Anemometry in an Injector of Liquid-propellant Thruster," Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 23, No. 6, 2009, pp.1637-1649