

# 소형 액체로켓엔진 인젝터의 분사성능 고찰을 위한 분무특성 매개변수 측정

정훈\* · 김진석\* · 김정수\*\* · 박정\*\* · 최종욱\*\*\*

## Measurement of Spray Characteristic Parameters for Inquiry into Small LRE-Injector's Injection Performance

Hun Jung\* · Jin Seok Kim\* · Jeong Soo Kim\*\* · Jeong Park\*\* · Jongwook Choi\*\*\*

### ABSTRACT

An injector plays an important role in the process of an efficient combustion in liquid-rocket engines (LRE). This paper is focused on the injection performance of a small LRE-injector by employing the spray characteristic parameters made up of the velocity, Sauter mean diameter, and turbulence intensity. An experimental investigation is carried out with the aid of a dual-mode phase Doppler anemometry (DPDA) according to the injection pressure variation and along transverse axis, spatially. The Weber number and Reynolds number are used to characterize the atomization and turbulence nature of injector spray.

### 초 록

액체로켓엔진 연소실의 연소특성은 인젝터의 성능에 지대한 영향을 받는다. 본 논문은 소형 액체로켓엔진 인젝터의 분사성능 고찰을 위해 이중모드 위상도플러속도계를 이용하여 분사압력 및 분무의 횡단방향 이동거리 변화에 따라 액적의 속도, Sauter 평균직경, 난류강도와 같은 분무특성 매개변수를 측정한다. 또, Weber 수와 Reynolds 수를 활용하여 인젝터 분무의 미립화 및 난류특성을 규명한다.

Key Words: LRE-Injector(액체로켓엔진 인젝터), Injection Performance(분사성능), Atomization(미립화), Dual-mode Phase Doppler Anemometry(이중모드 위상도플러속도계)

### 1. 서 론

단일액체추진제(liquid-monopropellant) 로켓엔

진은 용이한 추력조절(throttling), 추력실(thrust chamber)의 경량화, 장기간의 추진제 저장성 등의 장점으로 오랜 시스템 운용이 요구되는 우주 비행체 추진 시스템의 속도, 자세(attitude) 제어 및 궤도(trajecory) 기동 등에 활용되어 왔다[1]. 액체로켓엔진의 성능은 인젝터로부터 발생하는 미립화 연료의 공간분포 특성에 지배적인 영향

\* 순천대학교 기계공학과 대학원  
\*\* 부경대학교 기계공학부  
\*\*\* 순천대학교 기계우주항공공학부  
연락처, E-mail: jeongkim@pknu.ac.kr



액체로켓엔진에 장착되는 것으로, 인젝터의 노즐 오리피스는 방전가공(electrical discharged machining, EDM)으로 제작하였으며 그 모델형상을 Fig. 2에 보이고 있다. 직경( $d_o$ ) 0.15 mm를 갖는 8개의 오리피스는 인젝터 중심축( $z$ )과  $30^\circ$ 의 엇각을 이루고 있으며, 실험시 편의를 위해 각각의 오리피스에 Fig. 2(b)와 같이 가상의 번호를 부여한다. 실제 단일액체추진제 로켓엔진의 연료로 사용되는  $N_2H_4$ (hydrazine)는 독성, 폭발성 등의 위험요소로 인해 취급에 많은 제약이 따르므로, 본 연구에서는  $N_2H_4$ 와 물성치가 매우 유사하고[1], 고압 실험환경에서의 정전기 등에 의한 미립화 액적의 이상거동을 방지할 수 있는 이온이 제거된 물을 작동유체로 사용한다. 작동유체는 질소가스( $GN_2$ )로 가압되며 일련의 밸브와 필터를 지나 최종적으로 인젝터에서 분사된다.

### 3. 실험결과 및 고찰

8개의 오리피스 가운데 #3 오리피스에서 분사된 분무액적의 속도, 크기 등의 분무특성 원시변수가 DPDA로 측정된다. 일반적으로 오리피스 타입의 노즐은 분무축( $z$ -axis)을 중심으로 분무특성 매개변수가 유사 대칭성을 보이게 된다. 본 실험의 결과 또한 비슷한 양상을 보이고 있으며, 완전한 대칭특성을 보이지 않는 것은(Figs. 3-5 참조) 실험에 사용된 인젝터의 노즐 오리피스가 EDM으로 가공되어 오리피스 단면이 완전한 원형을 이루지 않고, 균일하지 않은 오리피스 내부의 표면거칠기(surface roughness), 오리피스 내부 유동에서 발생하는 공동현상(cavitation)[1] 등으로 인해 제트의 대칭성이 깨져서 발생하는 결과이다.

분무액적의 속도( $V$ ), SMD( $D_{32}$ ), 난류강도( $TI_V$ )의 변이를 Fig. 3에 도시하였으며, 분사압력 및 분무액적의 횡단방향 이동거리에 따른 용이한 비교를 위해 측정된 각각의 값 가운데 최대값( $V_{max}=49$  m/s,  $D_{32,max}=132$   $\mu$ m,  $TI_{V,max}=0.2$ )으로 무차원화 하였다. 그림에서 분무특성 매개변수(속도, SMD, 난류강도)가 고압과 저압 모두 분무의 중심에서 외곽으로 이동하면서 분무액적과 주변

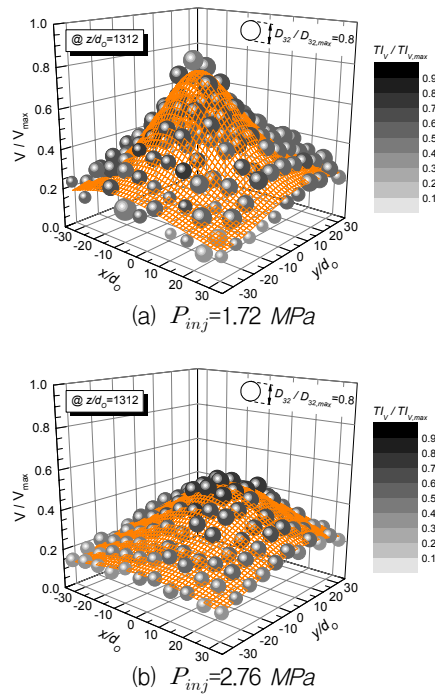


Fig. 3 Cross-sectional Distributions of Spray Characteristic Parameters

기체간의 운동량 확산(momentum diffusion)에 의해 그 크기가 감소하는 것이 관찰된다. 주목할 만한 점으로, 고압으로 분사된 분무액적은 분무의 상류와 중심에서의 충분한 미립화 결과로 인하여 분무액적이 중심에서 외곽으로 이동하여도 분무특성 매개변수의 크기 감소가 거의 없음이 확인된다. 한편, 저압으로 분사된 분무의 최외곽 지역에서 분무특성 매개변수가 고압에 비해 다소 작은 값을 보이는 것은 저조한 미립화의 결과로 분무의 폭이 고압보다 좁기 때문이다.

분무액적의 미립화 및 난류특성 규명을 위해  $We_D$ 와  $Re_D$ 를 Fig. 4와 5에 각각 나타낸다. 일반적으로  $We_D \geq 100$ ,  $Re_D \geq 2,000$ 이면 미립화 및 난류가 시작된다고 간주된다[3]. 본 실험의 결과는 저압으로 분사된 분무액적이 고압의 그것보다  $We_D$ 와  $Re_D$ 의 크기가 더 크고, 미립화 및 난류 영역의 분포 또한 고압보다 저압이 더 넓은 것이 관찰된다. 고압의 분무가 저압의 분무보다 미립화 성능이 저조하고 난류세기가 작게 나타나는 것은, 본 실험이 분무의 하류에서 진행되었기

#### 4. 결 론

소형 단일액체로켓엔진 인젝터 분무의 연료 분사압력 및 분무확산방향으로의 이동에 따른 액적의 공간분포특성 규명을 위해 Dual-mode PDA를 이용한 실험적 연구를 수행하였다.

분무액적의 속도, SMD, 그리고 난류강도는 분무의 중심에서 외곽으로의 이동에 따라 그 크기가 작아졌다. 또, 본 실험의 조건인 분무의 하류에서는 저압으로 분사된 분무가 고압보다 분무의 중심과 외곽에서의 분무특성 매개변수 크기 차이가 크고, 저압이 고압보다 상대적으로 활발한 미립화가 진행되고 있는 것을 관찰할 수 있었다.

#### 후 기

이 논문은 교육과학기술부의 2009년도 지방대학혁신역량강화사업(NURI)에 의해 지원되었음.

#### 참 고 문 헌

1. 정훈, 김정수, "소형 액체로켓엔진 인젝터 분무의 연료분사압력 변이에 따른 액적의 공간분포 특성," 한국추진공학회지, 제12권, 제5호, 2008, pp.1-8
2. 정훈, 김정수, 김성초, 박정, "소형 액체로켓엔진 인젝터의 분무 분열특성에 대한 연료분사압력의 영향," 한국추진공학회지, 제11권, 제3호, 2007, pp.50-57
3. Kenny, R. J., Moser, M. D., Hulka, J., and Jones, G., "Cold Flow Testing for Liquid Propellant Rocket Injector Scaling and Throttling," 42nd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion conference and Exhibit, 2006, AIAA-2006-4705
4. Wu, P. K., Kirkendall, K. A., Fuller, R. P., and Nejad, A. S., "Spray Structures of Liquid Jets Atomized in Subsonic Crossflows," Journal of Propulsion and Power, Vol. 14, No. 2, 1998, pp.173-182

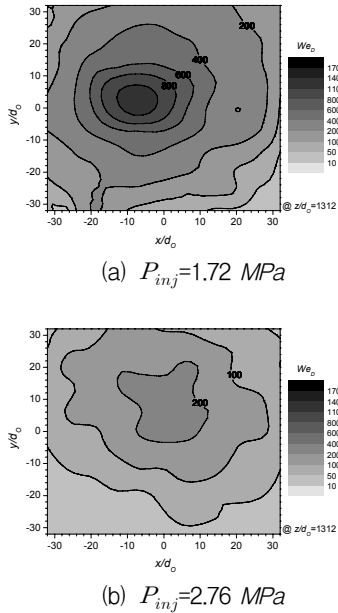


Fig. 4 Cross-sectional Distributions of Weber Number

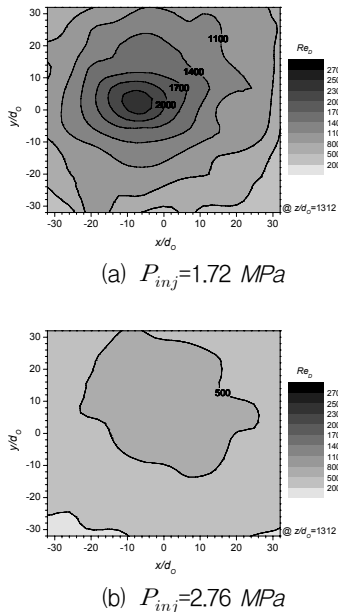


Fig. 5 Cross-sectional Distributions of Reynolds Number

때문이다. 즉, 고압의 경우는 상류에서 이미 충분한 미립화 과정이 전개되어 분무의 하류에서는 미립화가 활발하지 않은 것이다.