

가스메탄/액체산소를 추진제로 하는 스윙 동축형 인젝터의 리세스 길이에 따른 분무특성

민지홍* · 이양석* · 고영성*[†] · 김선진** · 김 유***

Spray Characteristics for Recess Length in a Swirl Coaxial Injector to use GCH4/LOx

Jihong Min* · Yangsuk Lee* · Youngsung Ko*[†] · Sunjin Kim** · Yoo Kim***

ABSTRACT

The spray and atomization characteristics of swirl coaxial injectors which use gas methane and LOx as propellants are investigated experimentally with a recess length variation. Mass distribution and spray angle are measured by a patternator and droplet size to find atomization characteristics are measured by GSV(Global Size and Velocity) system. As a result, when the liquid sprayed, the spray angle decreased and the atomization characteristic was improved with the recess length increase. When the gas and liquid injected simultaneously, the spray angle was decreased and the atomization characteristic was improved comparing to only the liquid injection.

초 록

가스메탄과 액체산소를 추진제로 사용하는 스윙 동축형 인젝터에서 리세스 길이 변화에 따른 분무특성 및 미립화 특성에 대한 연구를 수행하였다. 패턴네이터를 이용하여 분산각 및 분무의 질량분포를 측정하였으며, 미립화 특성을 살펴보기 위해 GSV(Global Size and Velocity)를 이용하여 평균액적크기를 측정하였다. 결과적으로 액체만 분사한 경우 리세스 길이가 증가함에 따라 분산각은 감소하나 미립화 특성이 좋아지는 것을 확인하였고, 기체/액체를 동시 분사한 경우 액체만 분사한 경우에 비해 분산각은 작아지나 미립화 특성이 좋아지는 것을 확인하였다.

Key Words: Gas methane(기체메탄), LOx(액체산소), Swirl coaxial injector(스윙 동축형 인젝터), Patternator(패터네이터)

1. 서 론

기체/액체추진제를 사용하는 동축형 인젝터는 연료 및 산화제 분사방법에 따라서, 스윙 동축형 인젝터와 전단 동축형 인젝터로 나뉜다. 스윙 동

* 충남대학교 항공우주공학과
** 청양대학교 소방안전관리학과
*** 충남대학교 기계공학과
[†] 교신저자, E-mail: ysko5@cnu.ac.kr

축형 인젝터는 내부 분사기의 추진제가 얇은 액막의 형태로 분사되기 때문에 미립화 및 혼합 효율이 좋고 안정된 연소특성을 가지고 있어 설계 및 제작이 어려운 단점에도 불구하고 많이 사용된다[1,2]. 효율적이고 안정된 연소를 위해서는 인젝터에 의해서 분사되는 분무의 미립화와 균일한 분포 및 혼합성능이 좋아야 하며, 이를 통해서 최대의 연소효율과 안정된 연소 및 정상상태의 완전연소를 이룰 수 있다.

본 연구에서는 기체/액체를 추진제로 사용하는 스윙 동축형 인젝터의 리세스 길이 변화에 따른 분무특성을 확인하고, GSV를 이용한 미립화 특성을 분석하고자 하였다.

2. 엔진 설계 및 제작

본 연구에서는 선행 연구에서 제시된 설계 요구 조건을 바탕으로 스윙 동축형 인젝터를 설계/제작 하였다[3]. 동축형 인젝터 내부는 Fig. 1과 같이 스윙형 분사기로 액체산소가 공급되며 외부는 전단형 분사기로 기체메탄이 공급되도록 설계하였으며, 리세스 길이 변화에 따른 분무 특성을 확인하기 위하여 내부 인젝터의 오리피스 길이를 외부 인젝터 끝단으로부터 0, 1.5, 3, 4.5, 6 mm의 리세스를 가지도록 총 5개의 내부 인젝터를 설계/제작하였다.

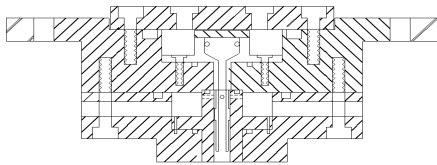


Fig. 1 Schematic of injector head

3. 실험 장치 및 방법

인젝터의 기하학적 형상과 유동조건과의 관계를 규정한 혼합 변수인 Momentum flux ratio(J)는 식 (1)과 같으며, 기체/액체 혼합 및 미립화의

특성을 결정하는 주요 변수로 알려져 있다[2]. 기체/액체 혼합분사 수류시험 조건을 연소 실험 조건(J=0.2)과 동일하게 고정하여 수행하였다[3].

$$J = \frac{\rho_{CH_4} V_{CH_4}^2}{\rho_{LOx} V_{LOx}^2} \quad (1)$$

3.1 패턴미터

수류시험을 통해 리세스 길이 변화에 따른 분무특성을 알아보는 실험을 수행하였다. 모의추진제는 물과 기체 질소를 사용하였다. 수류시험을 통해 인젝터의 분산각 및 미립화 정도를 파악하였고, 패턴미터를 통해 인젝터의 분무패턴을 확인하였다.

3.2 GSV 시스템

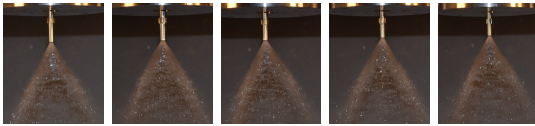
GSV 시스템은 기본적으로 속도 측정을 위한 PIV(Particle image velocimetry) 기능에 액적크기 측정 기능이 추가된 것으로, 액적의 크기와 속도 측정이 가능하다. GSV 시스템에는 Nd-YAG 고체형 레이저(파장 : 532 nm, 세기 : 200 mJ)가 사용되었으며, 카메라로 유입되는 빛의 강도를 조절하기 위하여 ND4X, ND8X 필터를 사용하였다. 인젝터는 3축 이송 장치에 장착되며, 이를 이용하여 측정 위치를 변화시켜가며 액적크기와 속도를 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 분산각 측정

먼저 액체 분산각에 영향을 미칠 수 있는 기체 오리피스를 제거한 상태에서 설계 차압인 5 bar로 액체만을 분사하였다. Fig. 2는 각각의 리세스 길이에 따른 분무 형태를 보여주는 것으로 hollow cone형태로 분사되는 것을 확인하였고, 미립화 특성이 양호한 것으로 확인되어졌다. 분산각은 리세스 길이가 0, 1.5, 3일 때 약 60°, 리세스 길이 4일 때 65°, 리세스 길이 6일 때 71°로 각각 측정되었다. 액체 오리피스의 포트 길이가 일반적인 액체/액체 분사기의 설계치 보다

10배 이상 늘어났기 때문에 실제 분산각은 설계 분산각인 100°에 미치지 못하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 리세스 길이가 증가함에 따라 분무각이 증가하는 경향을 보이는데 이는 오리피스 내부공간에서 접촉마찰로 인한 스월 속도의 손실이 감소되기 때문으로 판단된다.

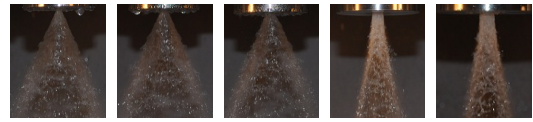


(a) R 0 (b) R 1.5 (c) R 3 (d) R 4.5 (e) R 6
Fig. 2 Liquid injection without gas methane

액체 분사기의 분무 특성 파악을 마친 후, 기체/액체 혼합 분사 시험을 수행하였다. 기체/액체 혼합분사 수류시험 조건은 연소 실험 조건 ($J=0.2$)과 동일하게 수행하였다. Fig. 3은 각각의 리세스 길이에 따른 분무 형태를 보여주는 것으로 액체만 분사하였을 때와 마찬가지로 hollow cone 형태로 분사되며, 미립화 특성이 좋은 것으로 확인되어졌다. 하지만 리세스 길이가 커질수록 분산각이 점점 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 실제로 리세스 길이 0, 1.5, 3일 때는 액체만 분사하였을 때보다 분무각이 약간 작게 측정되었으나, 리세스 길이가 4.5, 6일 때 분산각이 크게 줄어 33°로 측정되었다. 따라서 Fig. 4와 같이 리세스 길이 0, 1.5, 3일 때는 external mixing 구간, 리세스 길이 4.5, 6일 때는 internal mixing 구간으로 판단할 수 있으며, 리세스 길이가 3일 때 인젝터 끝단에서 혼합이 이루어진다고 판단된다.

4.2 분무 패턴 측정

스월 동축형 인젝터의 분무 패턴을 확인하기 위해 패턴네이터를 이용하여 수류 시험을 수행하였다. Fig. 5, 6은 각각 리세스 길이에 따른 액체 분무 패턴과 기체/액체 동시 분무 패턴을 나타낸 것이다. 리세스 길이가 0, 1.5일 때 기체/액체 동시 분사시 액체 분사 시보다 분산각은 다소 줄어들었으나, 유량이 보다 고르게 분포됨을 확인하였다. 리세스 길이 4.5, 6 일 때는 액체만



(a) R 0 (b) R 1.5 (c) R 3 (d) R 4.5 (e) R 6
Fig. 3 Liquid injection with gas methane

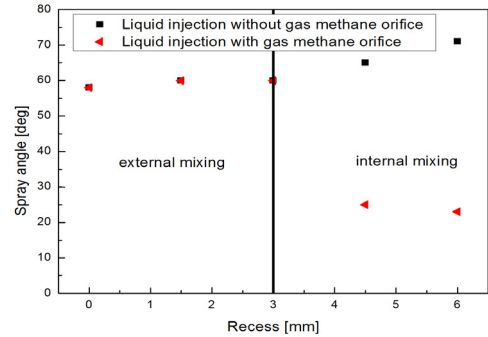


Fig. 4 Liquid & liquid/gas injection spray angle at $\Delta P=5\text{bar}$

분사되었을 때 내부 벽면 충돌에 의해 분무각이 작고 유량 밀도가 높았으나, 기체가 동시에 분사될 경우 분무각이 향상과 유량 밀도가 좀 더 고르게 분포하는 것을 확인하였다.

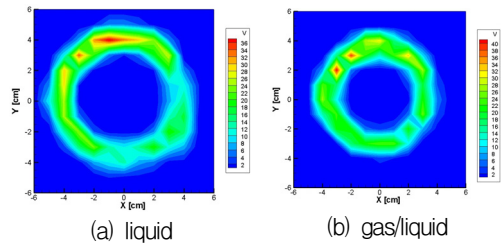


Fig. 5 Spray pattern by patternator (R 0)

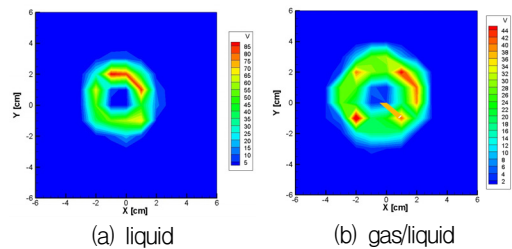


Fig. 6 Spray pattern by patternator (R 4.5)

4.3 액적 입경 측정 결과

GSV 시스템을 이용하여 인젝터 분사면 기준으로 50mm 하단 액적의 크기를 측정하였다. Fig. 7, 8은 액체 분사 시와 기체/액체 동시 분사 시 리세스 길이 변화에 대한 SMD의 반경방향 분포특성을 각각 나타낸 것이다. 액체 분사 및 기체/액체 분사 두 경우 모두 hollow cone 내부의 액적 크기가 작고 외각으로 갈수록 상대적으로 액적의 크기가 커지는 것을 확인할 수 있다. 또한, 두 경우 모두 리세스 길이가 길어질수록 상대적으로 hollow cone의 크기가 작아졌고, 기체/액체 동시 분사의 경우 리세스 길이가 길어질수록 최대 SMD 크기는 작게 측정되는 것을 확인하였다. 이는 리세스 길이 변화에 따라 external mixing 과 internal mixing 의 차이에 의한 영향으로 판단된다.

기체/액체 동시 분사시 SMD의 크기가 액체분사일 때 보다 작아지는 것을 확인하였으며, 이는 기체의 전단력에 의해 액체 미립화 성능이 향상되어 나타난 것으로 사료된다.

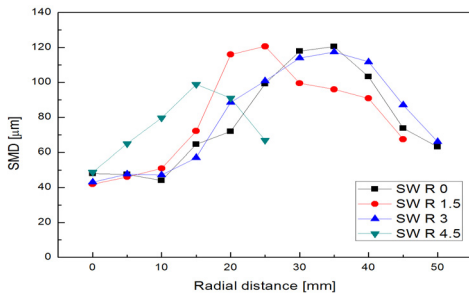


Fig. 7 SMD distribution at liquid injection

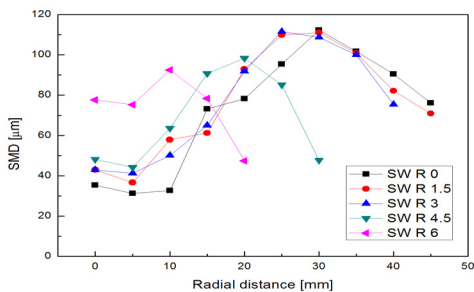


Fig. 8 SMD distribution of the swirl injector at gas/liquid injection ($J=0.2$)

5. 결 론

본 연구에서는 가스메탄과 액체산소를 추진제로 사용하는 스웰 동축형 인젝터에서 리세스 길이 변화에 따른 분무특성 및 미립화 특성에 대한 연구를 수행하였다. 패터네이터와 GSV 시스템을 이용한 수류 시험은 연소 실험 조건($J=0.2$)과 동일하게 수행하였으며, 리세스 길이에 따라 external mixing 구역에서는 기체 분사에 의해 분무각이 다소 감소되었으며, internal mixing 구역에서는 분무각이 다소 향상되며 분무 특성이 향상됨을 확인하였다. 미립화 특성 또한 internal mixing 과 external mixing 구역에서 차이를 보였으며, internal mixing 구역에서 최대 입경이 작아지는 것을 확인하였다.

향후 본 연구를 통해 미립화 및 분무특성이 양호한 오리피스스의 리세스 길이를 선정하여, 스웰 동축형 인젝터의 연소시험을 수행할 예정이다.

후 기

본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 우주기초원천기술개발 사업(NSL, National Space Lab)으로 지원받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 임지혁, "액체로켓용 기체-액체 스웰 동축형 분사기의 분무특성," 서울대학교, 2010
2. 강경택, "전단형 동축 인젝터의 미립화 및 혼합특성에 관한 실험적 연구", 충남대학교, 2000
3. 김보연, 이양석, 박진호, 고영성, 김선진, 김유, "가스메탄/액체산소를 추진제로 이용한 동축인젝터 설계 및 분무 특성", 제35회 한국추진공학회 추계, 2010, pp.577-580