

# 가스메탄/액체산소를 추진제로 이용한 동축인젝터 설계 및 분무 특성

김보연\* · 이양석\*\* · 박진호\*\* · 고영성\*\*\* · 김선진\*\*\* · 김 유\*\*\*

## Design and Spray Characteristics of Coaxial injector using GCH4/LOx

BoYeon Kim\* · YankSuk Lee\* · JinHo Park\* · YoungSung Ko\* · SunJin Kim\*\* · Yoo Kim\*\*\*

### ABSTRACT

Coaxial injectors using GCH4/LOx as propellants was designed with shear(gas)/shear(liquid) type and shear(gas)/swirl(liquid) type. Spray characteristics were investigated by cold flow test. Spray patterns of the shear/shear and the shear/swirl type injectors were like a spout of water and hollow cone, respectively. Atomization efficiency of the shear/swirl type injector was better than atomization efficiency of the shear/shear type injector.

### 초 록

기체메탄/액체산소를 추진제로 이용한 동축인젝터를 설계하였으며, 전단(기체)/전단(액체)형 인젝터와 전단(기체)/스윙(액체)형 인젝터 두 가지로 제작하였다. 수류시험을 통해 두 가지 인젝터의 미립화와 분무특성을 알아보았다. 전단/전단형 인젝터는 물줄기 형태로 분무되고, 전단/스윙형 인젝터는 hollow cone형태로 분무되었다. 전단/전단형 인젝터보다 전단/스윙형 인젝터의 미립화 성능이 우수하였다.

Key Words: Gas Methane(기체메탄), LOx(액체산소), Coaxial Injetor(동축 인젝터), Cold Flow Test(수류시험), Patternator(패터네이터)

### 1. 서 론

현재 전세계 주요 우주발사체 개발 국가에서

는 냉전시대 이후 성능을 최우선시 하는 경향에 따라 우주발사체의 1단의 추진제로 연료로는 케로신 및 액체수소, 산화제로는 액체산소 등을 주로 사용하고 있으며, 일부 발사체의 경우 아직까지도 독성추진제인 MMH, 하이드라진(hydrazine, N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), UDMH 및 사산화질소(N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) 등을 사용하고 있다[1]. 하지만 20세기 말부터 차세대 우

\* 충남대학교 항공우주공학과  
\*\* 청양대학교 소방안전관리학과  
\*\*\* 충남대학교 기계공학과  
연락처, E-mail: ysko5@cnu.kr

주발사체 개발의 주요 이슈로 운용 비용의 절감 및 신뢰성의 향상과 더불어 친환경성이 대두되면서, 친환경적이고 비교적 저렴한 새로운 추진제에 대한 관심이 증대되고 있다[1]. 이러한 친환경 추진제로 주목을 받고 있는 추진제로는 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)와 메탄이 대표적이라 할 수 있다[1]. 이 중 메탄의 장점으로는 청정성, 높은 비열, 높은 밀도 비추력, 취급 용이성, 저비용, 현지활용이 가능하다는 점이 있다[1,2].

본 연구에서는 이러한 메탄과 액체산소를 사용하는 엔진 설계를 위해 기체/액체 인젝터를 설계하였다. 기체/액체를 추진제로 사용하는 동축인젝터 형상은 크게 전단(기체)/전단(액체), 전단(기체)/스월(액체) 두 가지로 구분되며, 고속의 기체 전단력으로 액체를 미립화시키도록 설계한다. 본 연구에서는 두 가지 형상의 인젝터를 설계/제작하여, 수류시험을 통해 인젝터의 미립화 성능 및 분무 특성을 살펴보았다[3-5].

## 2. 인젝터 설계 및 제작

Table 1, 2에 제시된 설계요구조건을 바탕으로 동축형 인젝터를 설계하였으며, 동축형 인젝터 내부에 액체산소가 공급되며 외부에는 기체메탄이 공급되도록 설계하였다. Fig. 1, 2는 설계/제작된 인젝터 헤드 도면과 사진을 나타낸 것으로서, 연료, 산화제 오리피스를 교체할 수 있도록 제작하였다. 전단/스월형 산화제 오리피스의 직경은 3mm로 설계하였다. 전단/전단형 산화제 오리피스의 직경은 1.8mm이고, 오리피스 끝단에 6° 테이퍼를 주었다. 인젝터의 리세스 길이는 두 가지 형상 모두 산화제 오리피스 직경의 1.5배로 정하였다.

Table 1. Engine Design Parameter

조건	내용	
추진제	연료	기체메탄
	산화제	액체산소
추력	250 N	
연소압	10 bar	
노즐 팽창비(압력비)	1000	

Table 2. Injector Design Parameter

조건	연료(기체)	산화제(액체)
인젝터 타입	동축전단	동축스월 동축전단
차압 [ $\Delta P$ ]	5 bar	5 bar
유량 [g/s]	19.5	58.5
Inlet Orifice	8	4 (스월형)

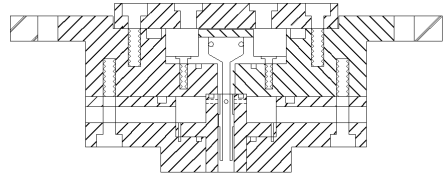


Fig. 1 Schematic of injector head

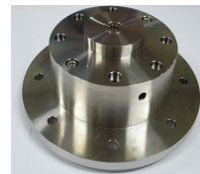


Fig. 2 Injector head (bottom view)

## 3. 실험장치 및 방법

수류시험을 통해 인젝터의 분산각 및 분무 특성을 살펴보기 위하여, Fig. 3과 같은 수류시험장치를 사용하였다. 안전을 위하여 액체산소와 기체메탄의 모의 추진제로 물과 기체질소를 사용하였다. 수류시험을 통해 인젝터의 분산각 및 미립화 정도를 파악하였고, Fig. 4와 같이 셀 개수 20×18의 패터네이터(patternator)를 이용하여 인젝터의 분무 패턴을 확인하였다.

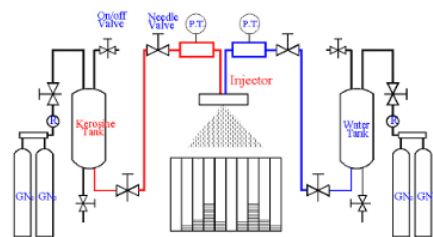


Fig. 3 Cold Flow Test System

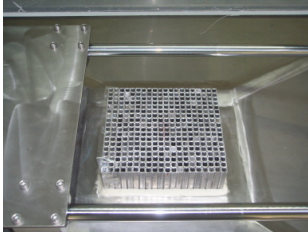


Fig. 4 Patternator

#### 4. 결과 및 고찰

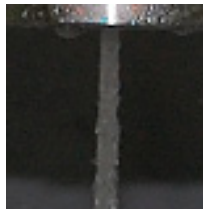
##### 4.1 분산각 측정

###### 4.1.1 액체분사

설계 가압 압력인 5bar로 유체를 공급하였으며, 유량은 두 가지 타입 모두 모의액 물을 사용했을 때 예상유량 54g/s에 유사하게 측정되었다. 전단/스윙형 인젝터는 분산각이 Fig. 5(a)와 같이 19°로 측정되었다. 이는 recess의 크기가 크기 때문에 분무된 액막이 기체 오리피스 내부에 부딪히기 때문에 나타난 현상이며, 기체 오리피스를 제거한 상태에서 분무각을 측정하였을 때는 65°로 측정되었다. 전단/전단형 인젝터는 Fig. 5(b)와 같이 분산각이 거의 없이 물줄기 형태로 분사되었으며, 이로부터 현재 전단 인젝터의 경우 테이퍼의 효과가 거의 없음을 확인하였다.



(a) Swirl type



(b) Shear type

Fig. 5 Spray pattern of liquid injection

###### 4.1.2 기체/액체 동시 분사

기체/액체 혼합 및 미립화의 특성을 알아 볼 수 있는 변수로 Momentum flux ratio(J), Momentum ratio(M), Weber number(We)등 이

있다[2]. 기체/액체 혼합분사 수류시험 조건은 연소 실험시의 분무 조건과 동일하게 J=0.2로 설정하고 분무 시험을 수행하였다.

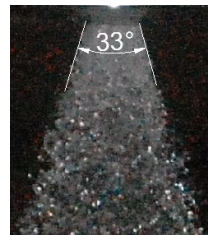
$$J = \frac{\rho_{CH_4} V_{CH_4}^2}{\rho_{LOx} V_{LOx}^2} \quad (1)$$

$$M = \frac{m_{CH_4} V_{CH_4}}{m_{LOx} V_{LOx}} \quad (2)$$

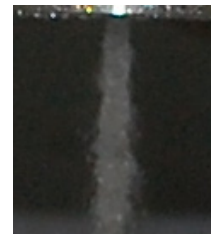
$$We = \frac{\rho_{CH_4} (V_{CH_4} - V_{LOx})^2 d_{LOx}}{\sigma} \quad (3)$$

Fig. 6은 기체/액체 동시 분사시의 경우의 분무 사진으로서, 전단/스윙형 인젝터는 기체/액체를 혼합하여 분사하였을 때 고속의 기체 전단력으로 인하여, 액체만 분사하였을 때보다 액적의 미립화가 향상되는 것을 볼 수 있다. 또한 이로 인해 액체만 분산될 때보다 분산각이 커져 33°가 측정되었다.

전단/전단형 인젝터는 액체만 분사하였을 때보다 기체/액체 동시 분사시 분산각이 향상되지는 않았으나, 기체 전단력에 의해 액주의 외관부분에서 미립화가 향상됨을 확인하였다.



(a) Shear/swirl



(b) Shear/shear

Fig. 6 Spray pattern of gas/liquid injection

##### 4.2 패터네이터 측정

분무 분포를 확인하기 위하여 인젝터면에서 5cm 떨어진 곳에서 패터네이터를 이용하여 유체를 채집하였다. 전단/전단형 인젝터는 물줄기 형태로 분사되어 패터네이터 측정이 크게 의미가 없기 때문에 패터네이터 측정을 수행하지 않았

다. 전단/스윙형 인젝터의 분무 패턴을 살펴보기 위해 액체만 분사한 결과 Fig.7과 같으며,  $J=0.2$  일 때 분사 패턴을 분석한 결과 Fig. 8과 같다. 중앙에는 유량이 거의 없고 외곽에 유체가 집중되는 hollow cone 형태로 분사되는 것을 확인하였다. 기체/액체가 동시에 분사되면서 액체만 분무 될때 보다 분무패턴이 다소 넓어지는 것을 확인하였다.

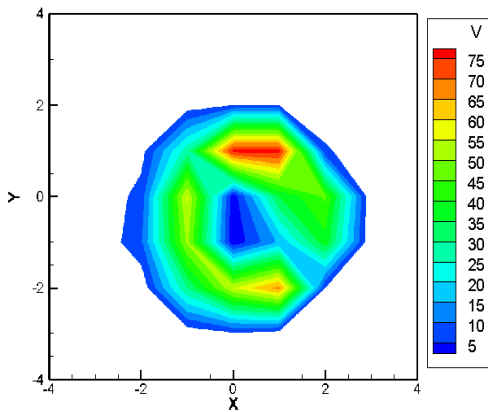


Fig. 7 Spray Pattern of shear/swirl injector (liquid injection)

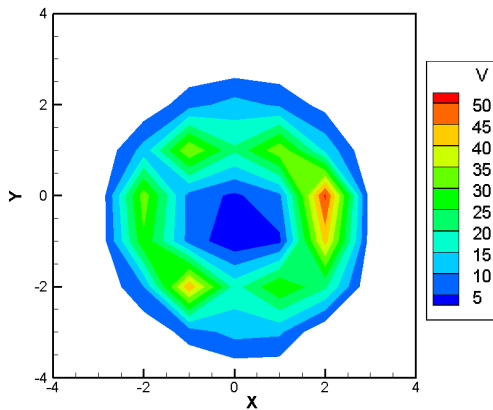


Fig. 8 Spray Pattern of shear/swirl injector at  $J=0.2$  (gas/liquid injection)

## 5. 결 론

본 연구에서는 메탄과 액체산소를 추진제로 사용하는 액체로켓엔진을 설계하기 위하여, 기체

/액체를 추진제로 하는 인젝터를 전단(기체)/전단(액체)형, 전단(기체)/스윙(액체)형 두가지로 설계/제작하였다. 물과 기체질소를 이용한 수류 실험을 수행하였으며, 전단/전단형 인젝터는 유체가 물줄기 형태로 분사되고 전단/스윙형 인젝터는 hollow cone 형태로 분사됨을 확인하였다. 기체/액체가 동시 분사될 때 액체만 분사될 때 보다 분산각이 커지고 미립화가 향상되는 것을 확인하였다.

향후 전단/스윙형 인젝터의 리세스 길이를 변화시켜 수류시험을 수행할 예정이며, GSV를 이용하여 액적 크기와 속도를 측정하여 보다 세밀한 분무 특성을 살펴볼 예정이다.

## 후 기

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

## 참 고 문 헌

1. 김선진, 이양석, 고영성, "친환경 추진제인 과산화수소와 액체메탄의 활용역사와 연구 동향," 한국추진공학회지 제14권 제3호,
2. D. Salgues et. al., "Shear and Swirl Coaxial Injector Studies of LOX/GCH<sub>4</sub> Rocket Combustion Using Non-Intrusive Laser Diagnostics", AIAA Aerospace Sciences meeting and exhibit AIAA-2006-757, 2006
3. S. A. Rahman, S. Pal, and R.J. Santoro, "Swirl Coaxial Atomization: Cold-Flow and Hot-fire Experiments", Pennsylvania AIAA 95-0381, 1995
4. 임지혁, "액체로켓용 기체-액체 스윙 동축형 분사기의 분무특성," 서울대학교, 2010
5. 강경택, "전단형 동축 인젝터의 미립화 및 혼합특성에 관한 실험적연구", 충남대학교., 2000