

# 가스메탄/액체산소를 추진제로 하는 인젝터 설계 및 설계 검증

장지훈\* · 민지홍\* · 이양석\* · 고영성\*<sup>†</sup> · 김선진\*\*

## Design and Verification of a Injector using Gas Methane and LOx as Propellants

Jeehun Jang\* · Jihong Min\* · Yangsuk Lee\* · Youngsung Ko\*<sup>†</sup> · Sunjin Kim\*\*

### ABSTRACT

A coaxial swirl/shear injector using GCH4/LOx as propellants was designed and manufactured. Flow analysis by Fluent was performed to decide the number of orifice and the rear shapes of inlet orifice etc. Flow rate of the injector was measured according to differential pressure and uniformity of injector's spray pattern was confirmed by a patternator. The results showed that the difference of flow rate was around 10% and the spray angle of oxidizer was 66°.

### 초 록

기체메탄/액체산소를 추진제로 사용하는 동축 스윙/전단형 인젝터를 설계 및 제작하였다. 각 추진제의 오리피스 개수와 유입오리피스 후단의 형상 등은 상용 해석프로그램인 Fluent를 이용하여 유동해석을 수행한 결과를 바탕으로 결정하였다. 설계/제작된 인젝터는 수류시험을 통해 차압에 따른 설계유량을 측정하였고, 패터네이터를 이용하여 유량분포의 균일성을 확인하였다. 측정결과 설계 유량의 약 10% 내외의 차이를 보였으며, 산화제 인젝터의 분무각은 66°로 측정되었다.

Key Words: Gas Methane(기체메탄), LOx(액체산소), Shear/Swirl Coaxial Injector(전단/스윙 동축 인젝터), Cold Flow Test(수류시험), Patternator(패터네이터)

### 1. 서 론

세계 주요 우주발사체 선진국에서는 고성능을 위해 우주발사체의 1단의 연료로 케로신 및 액

체수소를, 산화제로는 액체산소를 주로 사용하고 있으며 일부 국가에서는 아직도 독성추진제인 하이드라진(Hydrazine), 사산화질소(N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), MMH, UDMH 등을 사용하고 있다. 하지만 우주발사체가 발달하고, 운용횟수가 많아지면서 차세대 우주발사체 개발의 주요이슈로 친환경성과 운용비용의 절감이 대두되었다. 이러한 요소를 갖춘 추진제로는 메탄이 대표적이라 할 수 있다[1]. 로

\* 충남대학교 항공우주공학과

\*\* 충남도립 청양대학 소방안전관리과

<sup>†</sup> 교신저자, E-mail: ysko5@cnu.ac.kr

켓 추진제로 액체산소/메탄을 사용할 경우, 케로신에 비해 환경오염이 적다는 장점이 있다.

인젝터의 종류에는 여러 가지가 있지만 액상/기상 추진제를 사용할 경우, 주로 동축 스윙/전단형 인젝터가 적용된다. 동축 스윙/전단형 인젝터는 연료와 산화제가 같은 동심축을 가지는 것으로 주로 액체상태 산화제를 중앙에서 저속으로 공급하고, 기체상태의 연료를 외곽에서 고속으로 공급하여 액체상태의 산화제 표면에 고속으로 공급된 연료의 전단력에 의하여 추진제를 미립화 시키고 혼합시키는 방식을 말한다. 미립화와 혼합성능을 향상시키기 위하여 가스메탄의 분무속도를 높여 높은 운동량을 지니게 한다. 하지만 기체속도가 너무 빠르게 분무되면 연소능이 오히려 저해되기 때문에 적당한 운동량비를 선택하는 것이 중요하다[2].

본 연구에서는 Fluent를 이용한 유동해석 결과값을 바탕으로 동축 스윙/전단형 인젝터를 설계하였고, 제작된 인젝터는 수위시험을 통해 미립화 성능 및 분무 특성을 살펴보았다.

## 2. 인젝터 설계 및 수치 해석 결과

Table 1에 제시된 설계요구조건을 바탕으로 동축 스윙/전단형 인젝터의 제원을 결정하였고, Table 2에 그 값을 나타내었다. 기본 설계된 인젝터를 바탕으로 수치해석을 통하여 유동의 정체가 없고 인젝터 끝단까지 고르게 분포될 수 있도록 수정 설계하였다.

Table 1. Engine Design Parameters

Parameter	Value
Thrust	250N
Propellant	Oxidizer : LOx Fuel : Gas Methane
Chamber pressure	10 bara
Injector type	Coaxial Swirl/Shear
O/F ratio	3.0

Table 2. Injector Design Parameters

Injector	LOx	Methane
Type	Swirl	Shear
Differential pressure (bar)	5	3
Mass flow rate (g/s)	52.64	17.55
Spray angle ( $\theta$ )	100°	-
Dia. of the inlet orifice (mm)	1.60	1.66
Dia. of the outlet orifice (mm)	2.6	6.6

### 2.1 연료 유입 오리피스 개수 선정

연료 유입 오리피스의 개수가 유동에 어떤 영향을 미치는지에 대해 수치해석을 통하여 예측하였다. Fig. 1은 그 결과값을 보여주는 것으로, 연료 유입 오리피스가 4개, 6개일 경우를 비교한 것이다. 가장 위의 그림은 연료 유입부 전체를 보여주는 것이고 아래 그림은 연료 유입 오리피스를 지나 인젝터를 통해 공급되는 유로 부분을 나타내는 것으로, 연료 유입구로부터의 거리로 표시하였다. 유동 해석 결과 연료 유입 오리피스의 개수가 4개일 경우 원형으로 표시한 것처럼 오리피스 후단에 유동의 정체점이 나타나지만, 오리피스의 개수가 6개일 경우 오리피스 후단에 정체점이 없이 비교적 고른 유동의 분포가 나타나는 것을 확인하였다. 따라서 연료 유입부의 개수를 6개로 선택하였다.

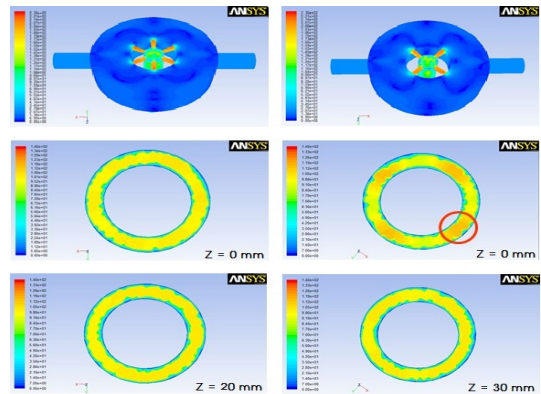


Fig. 1 Flows due to the number of orifice

## 2.2 연료 유입 오리피스 후단 형상 선정

연료 유입 오리피스의 개수가 선정 된 후, 연료 유입 오리피스 후단 형상을 4가지로 나누어 각각에 따른 유동 해석을 수행하였다. Fig. 2는 오리피스의 후단 형상에 따라 유입구의 유동현상을 해석한 결과이고, Fig. 3은 그에 따른 매니폴드 유동의 해석 결과를 각각 보여준다. Fig. 2에서 CASE 1을 제외한 나머지 CASE 2, CASE 3, CASE 4는 각각 원형 부분에서 볼 수 있듯이 유동이 정체되는 구간들이 존재하는 것을 확인하였다. Fig. 3에서도 CASE 1을 제외한 나머지 CASE 모두에서 그 크기는 각각 다르지만 유동이 정체하는 구간이 존재하는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 연료 유입 오리피스의 후단은 연료의 정체 현상이 가정 적은 CASE 1의 형태로 결정하였다.

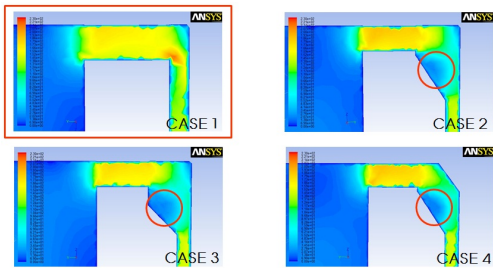


Fig. 2 Flows by rear shape of inlet orifice(side view)

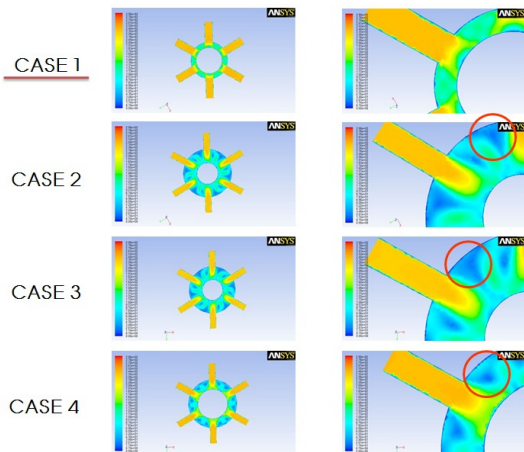


Fig. 3 Flows by rear shape of inlet orifice(top view)

## 2.3 연료 인젝터 포스트 길이 선정

연료 인젝터에서 마지막으로 인젝터 포스트 길이에 따른 유동 현상을 해석하였다. 인젝터 포스트 길이에 따라 산화제 인젝터 길이도 결정되기 때문에 유동 안정화가 되는 최적 길이 확인이 필요하였다. Fig. 4는 수치해석 결과를 나타내며, 인젝터 포스트의 길이가 길어질수록 유동의 분포가 고른 것을 확인 할 수 있었다.

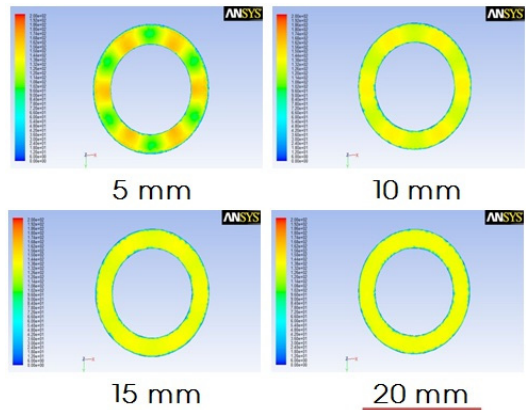


Fig. 4 Flows by the length of fuel injector post

## 2.4 산화제 인젝터 매니폴드 유무 선정

Fig. 5는 산화제 인젝터의 매니폴드의 유무에 따른 유동을 해석한 결과이다. 매니폴드가 없는 경우 스윙챔버 내 유동이 정체되는 구간이 존재하는 것을 확인할 수 있지만, 매니폴드가 있는 경우 스윙챔버 내 유동이 고른 분포를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 산화제 인젝터는 매니폴드를 두어 유동을 고르게 분포 시켰다.

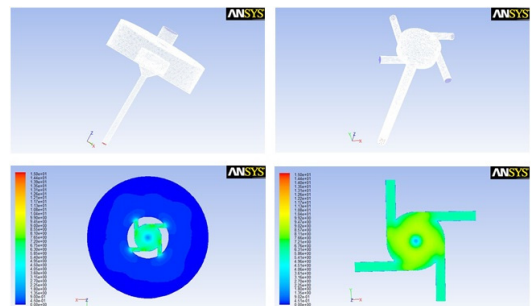


Fig. 5 Flows at swirl chamber by presence manifold

