

스윙 동축형 인젝터의 리세스 특성에 대한 실험적 연구

최호연* · 김성혁* · 윤정수* · 윤영빈**

Experimental Study on Recess Characteristic of Swirl Coaxial Injector

Hoyeon Choi* · Sunghyuk Kim* · Jungsoo yoon* · Yungbin Yoon**

ABSTRACT

This paper presents experimental results of Recess Characteristic of Swirl Coaxial Injector of fuel-rich gas generators. It was revealed that the internal impinging phenomenon played an important role in the spray characteristics, such as spray angle and breakup length.

초 록

본 연구는 케로신-LOX를 연료와 산화제로 하는 액체로켓엔진의 가스발생기용 스윙 동축형 인젝터의 리세스 길이에 따른 분무특성 파악을 목표로 하였다. 리세스 길이에 따른 두 추진제의 혼합 형태가 내부 혼합, 팁 혼합, 외부 혼합 등으로 분류되고, 인젝터 외부의 분무안정성에 영향을 미치므로 분무특성과 큰 연관성을 가진다.

Key Words: Swirl Coaxial Injector(스윙 동축형 인젝터), Spray Characteristics(분무특성), Spray Angle(분무각), Breakup Length(분열길이), Recess(리세스)

1. 서 론

연소가 발생하는 액체로켓엔진의 연소실은 고압으로 진행되기 때문에 추진제를 연소실로 공급하기 위해서는 연소실의 연소압력보다 더 큰 압력을 필요로 하게 된다. 추진제를 연소실로 공급하기 위한 방식은 로켓구조물 내에 가압탱크를 따로 두어 추진제를 연소실로 공급하는 가압

방식과 터보펌프를 사용하는 두 가지 방식이 존재한다. Open cycle은 가스발생기를 사용하여 추진제 일부의 연소로 터보펌프를 구동한 후 자체의 노즐로 배출되거나, 노즐 목으로부터 멀리 떨어진 팽창부의 임의위치로 배출되는 방식이다. Closed cycle은 예연소기(preburner)를 사용하는 데, 사용된 추진제의 연소가스 에너지를 효과적으로 사용하기 위하여 터빈을 통과한 후에 로켓엔진의 주연소실로 분사되는 방식이다.

가스발생기는 터빈에 공급되는 가스의 온도가 너무 높으면 터빈의 블레이드를 녹일 우려가 있다. 일반적으로 가스발생기의 연소가스 온도는

* 학생회원, 서울대학교 기계항공공학부

** 정회원, 서울대학교 기계항공공학부

연락처, E-mail: ybyoon@snu.ac.kr

터빈의 재질에 의해 1000 K 이내로 제한 받게 되며, 가스 온도는 연료와 산화제의 혼합비로 조절하게 된다. 따라서 가스발생기에서는 연소가스의 온도를 낮추기 위해 연료 과농(fuel-rich)이나 산화제 과농(oxidizer-rich) 조건에서 연소가 이루어지게 한다. 본 연구에서는 연료 과농 방식의 가스발생기의 스윙 동축형 인젝터에서 리세스의 영향을 파악하고자 하였다.

동축형 인젝터에서 매우 일반화된 기구로 사용되어 온 리세스는 내부 인젝터가 외부 인젝터 면으로부터 안쪽으로 들어간 형상을 일컫는다. 프랑스의 Kendrick 등[1]은 리세스가 극저온 화염안정화 영역 구조에 미치는 영향에 대하여 연구를 수행하였는데, 리세스가 미립화 효율을 향상시켜서 화염이 비교적 넓게 존재하고 있음을 밝혔다. 독일의 Mayer 등[2]은 연소 환경에서 LN2/GH2 엔진의 분무특성 실험을 수행하였는데, 리세스 유무에 따라 미립화 특성은 크게 변하지 않지만, 리세스가 교란을 받지 않는 작은 연소챔버 역할을 하기 때문에 화염이 인젝터 근방에 부착되게 하는 화염안정성 측면에서 큰 역할을 하고 있다고 설명하였다. 화염부착기구로 작용하는 리세스 영역 내 재순환 영역의 존재는 Glogowski 등[3]의 실험을 통해서도 확인할 수 있다. 이러한 리세스 형상은 인젝터 내부에서의 연료와 산화제의 내부혼합을 유도하여 추진제 혼합비 및 성능을 향상시키는 장점을 가질 뿐 아니라, 액체로켓엔진의 작동중에 화염을 보존하는 영역으로서, 화염의 소멸을 방지하는 역할을 한다고 알려져 있다.

Sivakumar와 Raghunandan[4]은 액체-액체 스윙 동축형 인젝터에서 리세스의 영향에 대해서 실험을 수행하였는데, 기체-액체 동축형 인젝터와 반대로 리세스가 증가함에 따라 미립화 특성이 나빠지는 결과를 얻었다. 김동준 등[5]은 액체로켓엔진용 액체-액체 스윙 동축형 인젝터의 리세스 길이에 따른 분무특성을 파악하였다. 하지만, 액체-액체 추진제를 사용하는 동축형 인젝터에 대한 문헌은 매우 부족한 실정이다.

본 연구에서는 가스발생기용 연료 과농 스윙 동축형 인젝터를 설계하여, 리세스 길이에 따른

분무특성 파악을 목표로 하였다. 그리고 설계한 인젝터를 과시화창이 있는 연소 챔버에서 연소 실험을 하여 연소실험 시 리세스의 특성파악을 목표로 하였다.

2. 실험 장치

본 연구에서 사용된 스윙 동축형 인젝터는 케로신과 액체산소를 추진제로 하는 가스발생기용 인젝터를 모델로 하고 있다. 내부 인젝터에는 산화제가, 외부 인젝터에는 연료가 공급되며, 기학적 변수인 리세스의 영향을 고려하기 위해서 내부 인젝터의 교체 및 조립이 가능하도록 Fig. 1과 같이 제작하였다. 실험에 사용된 스윙 동축형 인젝터는 잘 알려진 수력학적 절차에 의하여 설계되었으며, 내부 산화제와 외부 연료 인젝터 각각의 오리피스 내경은 1.6 mm와 4 mm로 고정하였다. 리세스가 없는 경우부터 0.5 mm 단위로 3 mm 리세스 길이까지 총 7가지로 제작하였다. 실험조건은 산화제와 연료의 유량이 24.2 g/s와 75.8 g/s로 분사되도록 하여 O/F 비가 0.32가 되어 연료 과농 조건이 되게 하였다.

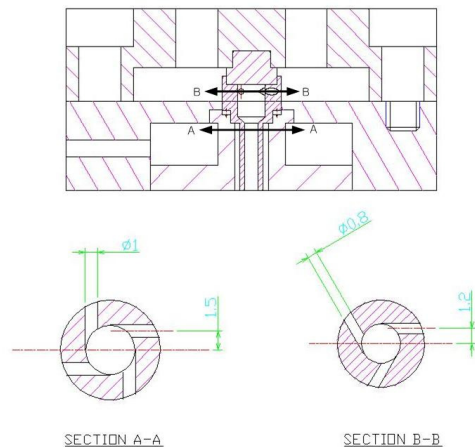


Fig. 1. Schematic of Swirl Coaxial Injectors

연소 시 리세스의 특성파악을 위하여 Fig. 2와 같이 가시화 연소 챔버를 제작 하였다. 연소 챔

버의 직경은 100 mm, 길이는 150 mm이고, 연소 챔버의 좌우로는 인젝터 면부터 가시화를 할 수 있는 높이 70 mm, 길이 100 mm의 가시화 창이 존재한다. 가시화 창의 안쪽 면에는 가시화 창의 이물질 제거해 줄 수 있는 에어커튼 용홀이 가공 되어 있다. 가시화 창의 소재로는 30 mm 두께의 퀴츠 플레이트가 사용되었다. 연료 과농 조건의 경우 노즐이 있을 경우 수트(soot)가 많이 발생하여 연소 시 가시화에 어려움이 있을 것으로 예상되어 노즐은 장착하지 않았다.

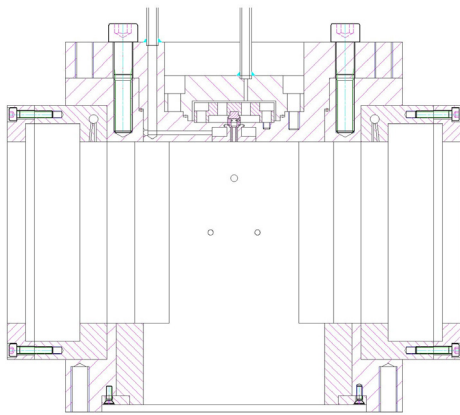


Fig. 2. Schematic of Combustion Chamber

3. 실험 결과 및 분석

3.1 분무 형상

스웰 동축형 인젝터의 분무특성은 내부 혼합(internal mixing)인지, 외부 혼합(external mixing)인지에 따라 그 특성이 달라짐을 알 수 있었다. 분무의 혼합 형태를 결정하는 것이 내부 인젝터의 리세스 길이이다. 내부 인젝터의 리세스 길이에 따라 산화제와 연료의 충돌 위치가 달라지고, 이에 따라 두 추진제의 충돌 위치가 인젝터 안쪽이면 내부 혼합분무(internal mixing), 인젝터의 바깥쪽이면 외부 혼합분무(external mixing)가 된다.

Figure 3은 내부 인젝터의 리세스 길이에 따른 분무 형상을 보여준다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이

동일한 조건에서의 분무 형상은 리세스의 길이에 따라 달라짐을 알 수 있다. 리세스 길이가 1 mm까지는 외부 혼합분무가 되고, 리세스 길이가 2 mm 이상 부터는 내부 혼합분무가 된다. 리세스 길이가 1.5 mm인 경우에는 두 추진제의 충돌이 인젝터의 팁 부근에서 형성되어 팁 혼합분무로 볼 수 있다. 설계 점과 다른 O/F 비에 따른 분무형상도 확인 하였는데, O/F 비가 커짐에 따라 분무 폭이 좁아지지만, 그 효과는 리세스 길이가 주는 영향보다 미미하다고 할 수 있다.

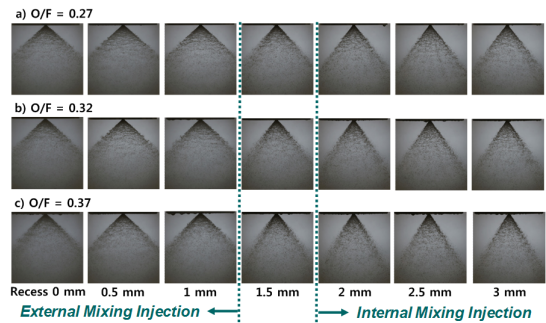


Fig. 3. Spray pattern with recess length

3.2 분무각 및 분열 길이

Figure 3에서 보면 리세스 길이에 따른 혼합 특성에 따라 분무의 폭이 달라짐을 알 수 있다. 리세스 길이에 따른 분무각의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 리세스 길이 1.5 mm를 경계로 1.5 mm 미만의 경우 외부 혼합분무로 95° 내외의 분무각이 측정 되었다. 그리고 리세스 길이가 1.5 mm를 초과한 경우 내부 혼합분무로 O/F 비가 0.27 인 경우에 74° 내외, 0.32 인 경우엔 70° 내외, 0.37인 경우엔 64° 내외로 측정 되었다.

리세스 길이에 따른 분열 길이 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 분무의 분열 길이는 리세스의 길이가 증가함에 따라 증가함을 볼 수 있는데, 외부 혼합분무인 리세스 길이 1 mm 까지는 분열 길이가 증가하다가, 외부 혼합분무에서 내부 혼합분무로 바뀌면서 분열 길이가 줄어들었다가 내부 혼합분무 내에서 리세스 길이가 증가함에 따라 다시 분열 길이가 증가하였다.

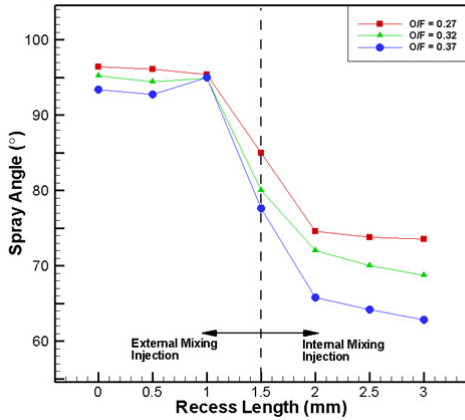


Fig. 4 Spray angle with recess length

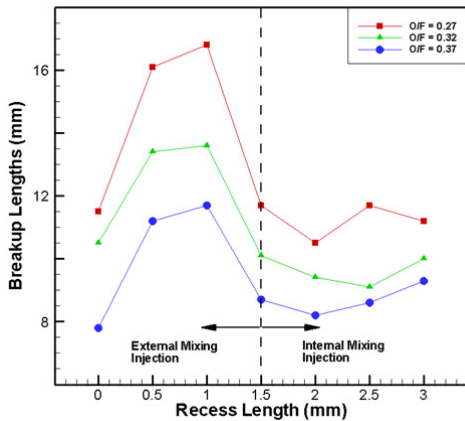


Fig. 5. Breakup length with recess length

4. 결 론

케로신/액체산소를 연료와 산화제로 하는 가스발생기용 스윙 동축형 인젝터의 분무특성을 파악하기 위하여, 물을 유사추진제로 사용하는 연료 과농형 인젝터 시제를 제작하였고 리세스

영향에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 리세스는 산화제와 연료의 내부 혼합분무를 유도하여 분무 특성이 외부 혼합분무와 차이가 있음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 특정기초연구사업 (R01-2007-000-11071-0)과 항공우주신기술연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. D. Kendrick, G. Herding, P. Scoufnaire, C. Rolon and S. Candel, "Effects of a Recess on Cryogenic Flame Stabilization", *Combustion & Flames*, 118, 1999.
2. W. Mayer, A. Schik, D. Talley and R. Woodward, "Atomization and Breakup of Cryogenic Propellants under High-Pressure Subcritical and Supercritical Conditions", *J. Propulsion and Power*, 14(5), 1998.
3. M. Glogowski and M. Micci, "Shear Coaxial Injector Spray Characterization Near the LOX Post Tip Region", *AIAA* 95-2552, 1995.
4. D. Sivakumar and B.N. Raghunandan, "Role of Geometric Parameters on the Drop Size Characteristics of Liquid-Liquid Coaxial Swirl Atomizers", *Atomization and Sprays*, 8, 1998.
5. 김동준, 김성혁, 한풍규, 윤영빈, "액체-액체 스윙 동축형 인젝터의 분무특성 Part II : 리세스 형상에 따른 영향", *한국추진공학회지*, 제10권 3호, 2006, pp.9~17