

Gas-centered swirl coaxial 분사기의 상압수류시험

전재형[†] · 홍문근* · 김종규* · 이수용*

Cold flow tests of Gas-centered swirl coaxial injectors

Jaehyoung Jeon[†] · Moongeun Hong* · Jonggyu Kim* · Soo Yong Lee*

ABSTRACT

An experimental study on the spray characteristics of Gas-centered swirl coaxial injectors(GCSCI) for high-performance staged combustion rocket engines has been carried out using cold flow tests. In this study, water and gaseous nitrogen are used as working fluids and a back-lit photography technique with image processing for the measurements of spray characteristics. Our study is focused on the effect of injector geometries like as gap thickness of liquid nozzle and gas nozzle and momentum flux ratio for fundamental understanding of the injectors.

초 록

고성능의 다단연소 사이클 액체로켓 엔진에 사용되는 Gas-centered swirl coaxial injector(GCSCI)의 분무특성에 대한 연구가 상압수류시험을 통해 이루어졌다. 시험은 물과 질소를 사용하였고, 고속카메라를 이용하여 분무형상을 측정하였고 이미지 프로세싱으로 데이터 처리에 활용하였다. 본 연구에서는 분사기의 리세스 길이와 액체노즐과 기체노즐의 간격과 같은 형상에 따른 영향과 기체와 액체의 운동량비에 따른 분무특성을 알아보았다.

Key Words: Gas-centered swirl coaxial injector(기체중심 와류 동축 분사기), Spray characteristics(분무특성), momentum flux ratio(운동량비)

1. 서 론

다단 연소 사이클 로켓엔진은 사이클 손실을 감소시키고 효율을 극대화하여 우주발사체용 고성능 액체 로켓에 많이 사용되고 있다. Gas-centered swirl coaxial injector(GCSCI)는 다단 연소 사이클 엔진에 매우 성공적으로 쓰이는

분사기로 fig. 1에서 보는바와 같이 가운데 노즐로 기체상태의 산화제가 제트형태로 분사되고 그 외곽으로 액체 연료가 와류운동으로 동시에 분사되는 형태를 가진다. 실제로 성공적으로 사용되고 있지만 분사기의 분무특성이나 연소성능에 대해서는 알려진 바가 매우 부족하다. 최근들어 이와 관련된 연구가 이루어지고 있고 Cohn et al.[1]은 GCSCI의 수류시험과 연소시험을 통해 분사기 설계 방안을 제시하였다. Lightfoot et al.[2,3]는 분사기의 형상인자와 운동량비에 따른

* 한국항공우주연구원

† 교신저자, E-mail: carrick64@kari.re.kr

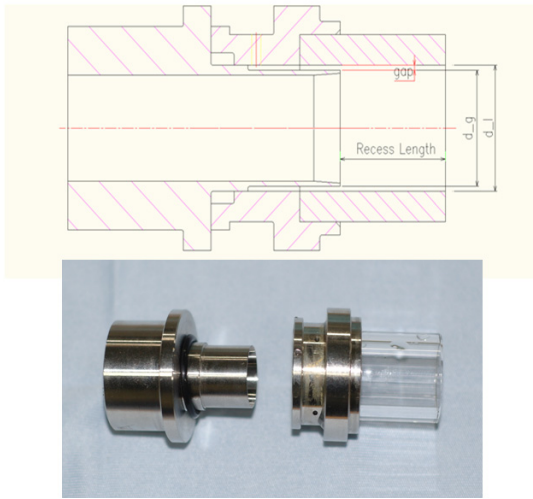


Fig. 1 Gas-centered swirl coaxial injector

영향을 살펴보고 액막과 열 길이에 대한 연구를 하였다. 국내에서도 GCSCI에 대한 기초적인 연구가 이루어지고 있는데, Im et al.[4]은 Liquid-centered swirl coaxial 분사기와 비교를 통해 분무특성에 대해 알아보았다. 그럼에도 불구하고 여전히 실제 연소시험과 성능을 예측할 수 있는 데이터와 분사기 설계 방법에 대한 자료가 부족한 실정이고, 이에 대한 체계적이고 다양한 시험이 필요하다.

본 연구에서는 연소시험에 앞서 기초 데이터를 얻을 수 있는 상압수류시험이 이루어졌고, 분무특성을 파악하기 위해 고속카메라로 분무형상을 측정하여 이미지 프로세싱으로 그 결과를 처리하였다. 주된 시험 조건으로는 리세스 길이와 액체노즐과 기체노즐의 간격과 같은 형상에 대한 영향과, 운동량비가 분무특성에 미치는 영향에 대해 알아보았다.

2. 시험 설비 및 방법

GCSCI는 중앙으로 GOx가 제트형태로 분사되고 외부의 노즐로 액체연료인 Kerosene이 와류로 동시에 분사된다. 기체와 액체의 운동량비에 따른 분무특성을 알아보기 위해 기체질소와 물

을 사용한 상압수류시험이 이루어졌다. 분사기는 내부유동과 노즐 부근의 유동을 보다 자세히 알아보기 위해 아크릴로 제작하였고, 형상 요소에 따른 영향을 파악하기 용이하도록 기체노즐과 액체노즐을 각각 제작하여 조립할 수 있게 되어 있다. 기체노즐은 지름(d_g)을 11.4, 11.2, 11 mm로 gap을 변경할 수 있고, 액체노즐(d_l)의 경우는 지름이 12.4 mm이고 리세스 길이(l_R)를 기체노즐의 1.0, 2.0, 3.0, 4.0배로 변경할 수 있게 하였다.

기체질소는 질유량계(Rheonik)를 이용해 ± 0.05 g/s의 정확도로 유량을 측정하고, 물은 ± 0.5 l/s의 정확도인 터빈유량계(Kometer)로 유량을 측정하여 운동량비 계산에 사용하였다. 분무형상은 고속카메라(MacroVis EoSens)로 촬영하여 이미지프로세싱을 통해 분무각도를 계산할 수 있게 하였다.

3. 시험 결과

3.1 운동량비에 따른 영향

기체의 운동량과 액체의 운동량의 비로 나타나는 운동량비($M = \rho_g u_g^2 / \rho_l u_l^2$)는 기/액 분사기의 분무특성을 결정짓는 주요 변수로 알려져 있다. GCSCI 분무특성 또한 운동량비에 따라 매우 큰 영향을 받는데 분무형상에 따라 일반적인 스월 분사기의 분무와 비슷한 영역과 노즐 끝 부근에서 액적으로 분무되는 영역으로 나눌 수 있다 [5]. Figure 4에서 운동량비가 낮은 영역에서는 액막이 hollow cone 형상으로 분무되고, 운동량비가 증가함에 따라 분무각도가 점차 줄어드는 것을 볼 수 있다. 운동량비가 증가하다가 어느 순간이 되면 액막이 거의 보이지 않게 되고 액적형태로 분사되게 된다. 이 운동량비를 기준으로 기체의 운동량이 더 커지게 되면 분무각도가 천천히 증가하거나 거의 일정한 분포를 보이며 분사된다. 이때의 기준이 되는 운동량비를 M_c (critical momentum flux ratio)라고 정의하도록 한다. M_c 는 액막이 노즐 끝 부근에서 분열되는

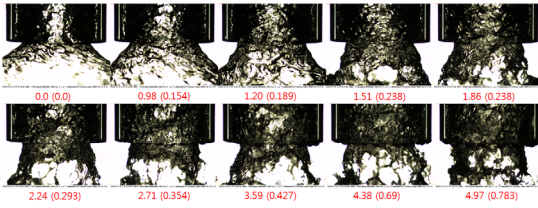


Fig. 2 Spray patterns near the nozzle exit

지점을 표현한다고 볼 수 있는데, 노즐 부근의 분무형상을 확대 촬영하여 분열되는 형상을 더 자세히 보았다(Fig.2). 그러나 운동량비가 계속 증가하여도 노즐 부근에 액막이 조금씩 분사되고 있고 액막이 노즐 내부에서 완전하게 분열되어 분사된다고 보기는 힘들다. 따라서 전체분무각도가 확연히 변하는 부분을 M_c 로 두고 그 영향을 살펴보았다.

운동량비는 액막의 파열길이에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있고, 파열길이 $L \sim M^{-n}$ 의 관계로 나타낼 수 있다[6]. M_c 를 기준으로 그 결과를 보면 fig. 3과 같이 n 이 약 0.5로 전단동축 이상유체 분사기의 값과 비슷한 것으로 보인다.

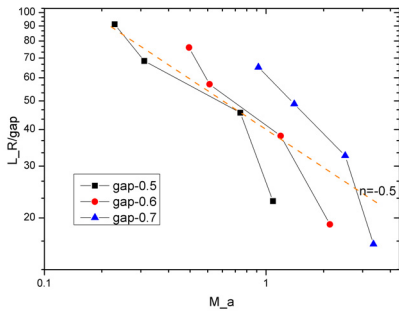
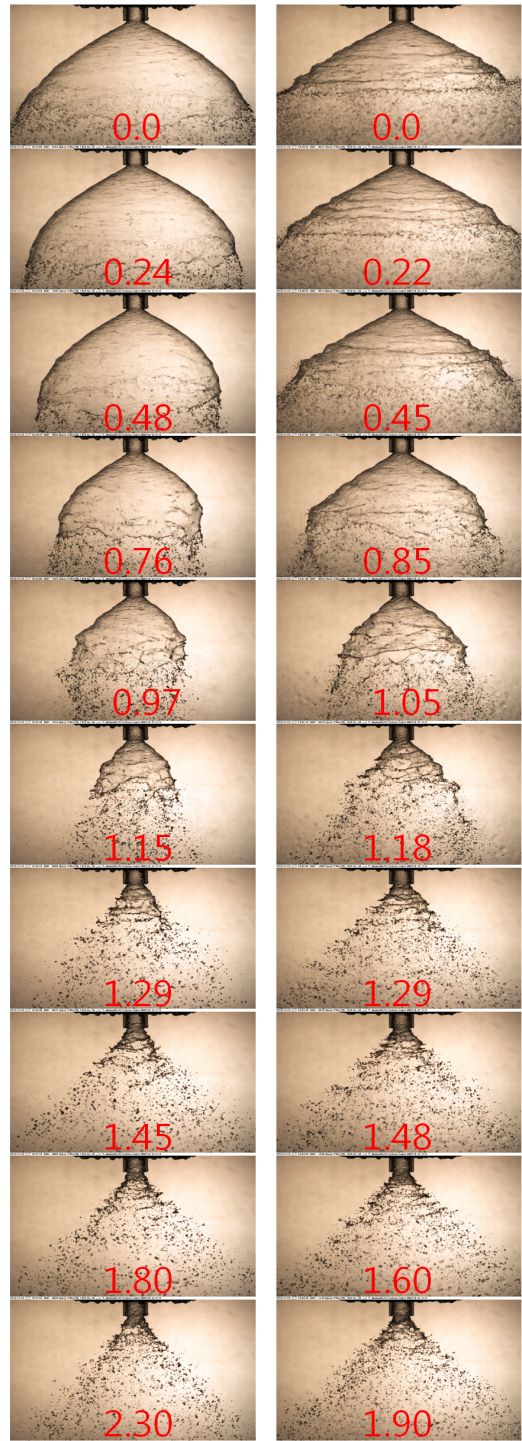


Fig. 3 Liquid breakup length according to axial momentum ratio

3.2 분사기 형상에 따른 영향

리세스 길이(l_R)와 gap에 따른 영향을 살펴보았다. gap의 경우는 액체의 액막 두께와 아주 밀접한 관계가 있다. 일반적인 스웰 분사기의 경우 액막 두께 $t = 3.1(d_o \dot{m} \mu / \rho_l \Delta p)^{0.25}$ 로 나타나지만, 이 값보다 gap이 작을 경우에는 액막 두께



Fixed Liquid axial velocity 1.79m/s

Fixed Liquid axial velocity 2.23m/s

Fig. 4 Spray development on momentum flux ratio

는 gap으로 생각할 수 있다. 따라서 gap이 크다는 것은 액막 두께가 두껍다는 것을 의미하고 Fig 5.에서 보는 바와 같이 이를 분열시키기 위해서는 더 많은 기체 운동량을 요구한다.

리세스는 기체의 유동이 액체의 유동에 미치는 공기역학적인 힘이나 난류운동에 더 많은 영향을 주는 역할로 생각할 수 있다. 액체의 접선 방향의 속도와 축방향 속도의 비로 분무각도가 결정된다고 보면, 기체의 영향이 많이 미치게 되는 리세스가 긴 경우에 분무각도가 줄어드는 것으로 볼 수 있다.

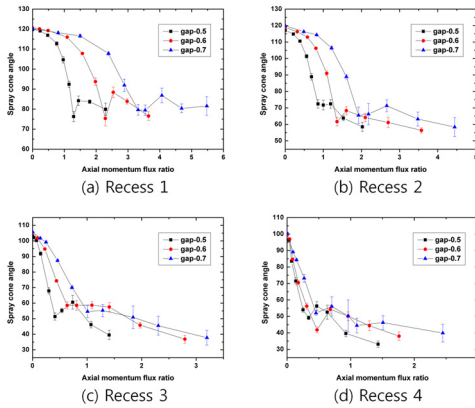


Fig. 5 Spray angle according to injector geometries

4. 결론 및 검토

본 연구에서는 GSCSI의 상압수류시험을 통해 기본적인 분무특성에 대해 알아보았다. 운동량비를 주요 시험조건으로 두었고, 분사기의 형상적인 요소인 리세스 길이와 gap에 따른 영향에 대해 살펴보았다. 분무형상이 변하는 구간인 M_c 와 액막의 파열 길이에 대해 알아보았는데, 이는 추후에 내부유동 가시화 시험과 optical probe를 이용한 액체 분사의 분포를 알아보는 시험을 추가적으로 시험하여 비교할 수 있도록 할 예정이

다. 또한 분사기의 형상 요소인 리세스와 gap에 따른 영향을 보다 정량적으로 알아보기 위해 더욱 많은 데이터를 확보하려 한다.

참고 문헌

1. Cohn,R.K., Strakey,P.A., Bates,R.W., Talley,D.G., Muss,J.A., and Johnson,B.W., "Swirl coaxial injector development," AIAA, 2003-0124, 2003
2. M.D.A.Lightfoot, S.A.Danczyk, K.G.Talley, "Atomization in Gas-Centered Swirl coaxial Injectors," ILASS Americas, 19th Annual Conference on Liquid Atomizaion and Spray Systems, Toronto, Canada 23-26 May 2006
3. M.D.A.Lightfoot, S.A.Danczyk, Douglas G.Talley, "Scaling of Gas-Centered Swirl-Coaxial Injectors," AFMC, AFRL/RZSA, 10 E.Saturn Blvd., Edwards AFB, CA, 93524-7680
4. Im,J.-H., Cho,S., Yoon,Y., and Moon, I., "Comparative study of spray characteristics of gas-centered and liquid-centred swirl coaxial injectors," Journal of Propulsion and Power, 26(6), pp.1196-1204
5. 전재형, 홍문근, 김종규, 한영민, 이수용, "액체스웰-기체제트 동축 분사기의 분무특성," 한국추진공학회 2009년도 추계학술대회 논문집, pp.82-85
6. Jeon,J., Hong,M., Han,Y.M. Lee,S.Y., "Spray Characteristics in Gas-Centered Swirl Coaxial injectors," Asian Joint Conference on Propulsion and Power 2010 Mar.2-6, 2010. Miyazaki. Japan, AJCPP2010-110