

# PIV측정을 통한 램제트 연소기의 최적 형상

손창현\*, 김규남\*\*, 문수연\*, 이충원\*

## Optimal Configuration of a Liquid Ramjet Combustor using PIV Method

C.H. Sohn, G.N. Kim, S.Y. Moon, C.W. Lee

### ABSTRACT

Three-dimensional flow characteristics in a liquid fuel ramjet combustor were investigated using the PIV method. The combustor has two rectangular inlets that form a 90-degree angle each other. Three cases of test combustors are made in which those inlet angles are 30 degree, 45degree and 60 degree. The experiments were performed in a water tunnel test with the same Reynolds number as Mach 0.3 at the inlet. PIV software was developed to measure the characteristics of the flow field in the combustor. Accuracy of the developed PIV program was verified with a rotating disk experiment and standard data. The characteristics of the internal flows of the combustor are large swirling flows which appear symmetric with respect to the symmetric section. This is attributed to the fact that the flows introduced from the right and left intakes collide with each other, thus forming symmetrically large vortices. A large and complex three-dimensional recirculating flow was measured behind the intakes. An inlet angle of 30 degrees is the most suitable angle as a frame holder in the performed experimental ranges.

*Keywords: ramjet, combustor, PIV, vortex, recirculation*

### 1. 서 론

액체 램제트 엔진은 그 구조가 산화제인 공기를 대기로부터 직접 흡입하므로 발사체의 크기와 중량을 줄이고 비행거리를 증대시킬 수 있다

는 큰 장점을 가지고 있다.[1][2] 특히 최근에는 정지추력을 내기 위한 보조 부스터를 배제하고 액체 램제트 엔진의 연소실을 부스터로 사용한 통합형 액체 램제트엔진이 개발되어 고성능, 고

\* 경북대학교 기계공학부(chsohn@knu.ac.kr)

\*\* 경북대학교 기계공학부 대학원

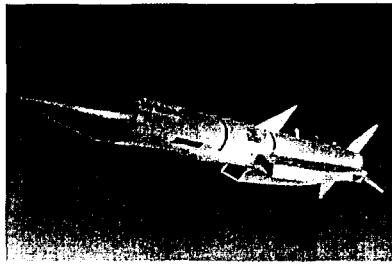


Fig.1 Meteor missile (Air-to-air missile)

효율의 추진체로 더욱 관심을 받고 있다. 액체 램제트 엔진의 연소기 설계 요구조건은 다양한 비행조건에 따른 유입 유동의 변화에도 불구하고 안정적이며, 효율이 높은 연소를 유지하는 것이다. 연소실내의 연소영역은 화염을 안정시키는 영역과 화염을 전파시키는 영역으로 나눌 수 있다. 연소실로 들어오는 공기의 속도는 화염전파속도 보다 빠르기 때문에 화염을 안정화시키는 구조로 연소실을 설계하는 것이 필수적이며, 일반적으로 연소실내에 재순환 영역을 형성시킴으로써 화염을 안정화시킨다. 따라서 연소기의 성능은 연소실의 형상, 공기의 유입각도, 재순환 영역의 크기 등에 크게 영향을 받을 것으로 판단된다. 본 연구는 최적의 액체 램제트 엔진을 설계하기 위하여 연소실내의 공기 흡입 유입각도와 재순환 영역의 크기를 변화하여 그 유동을 계측하여 최적의 형상을 제시하고자 한다.

## 2 본 론

### 2.1 실험장치

Fig. 1은 액체 램제트 엔진을 장착한 실전에 배치되어 있는 공대공 미사일인 Meteor 미사일로 동체 하단부에 사각덕트 형태의 두 개의 intake가 90 각을 이루고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 Metro 미사일의 형상을 참조하여 Fig. 2와 같은 연소실 Test Section을 제작하였다. 공기 유입구의 Mach 수는 0.3일때로 가정하고 Reynolds Number로 similitude을 적용하여

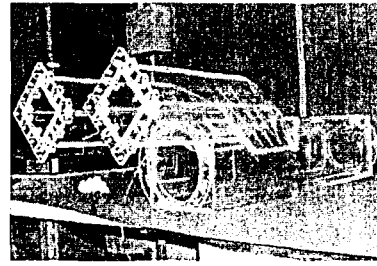


Fig. 2 Test Section

작동유체를 물로 사용하였으며 연소기의 직경은 180mm로 제작하였다. 그리고 공기 유입구로부터 연소실로 들어오는 유체의 유동안정화를 피하기 위해 공기유입구가 각을 이루는 곳에 두께 2mm인 안내깃을 세 개 설치하였다.

최적의 액체 램제트 엔진 형상을 구하기 위해서는 다양한 형상의 Test Section에 대한 실험이 필요하므로 이와 같은 요구조건에 맞게 Test section을 제작하였다. Test section의 공기유입구 각도는 30, 45, 60 인 세 가지를 제작하였으며, 각 test section은 재순환영역의 크기를 다섯 가지로 변화시키면서 실험을 할 수 있도록 제작하여 액체 램제트 엔진 연소실 내의 유동특성 중 중요한 부분인 재순환영역의 크기에 따른 유동특성을 파악하고자 하였다.

실험장치의 전체적인 개략도를 Fig. 3에 나타나 있다. 유체는 펌프에 의해 개방탱크에서 밀폐탱크로 유입되며, 밀폐탱크와 펌프 사이에는 유량조절밸브를 두어 일차적으로 유량을 조절할 수 있도록 하였다. 그리고 밀폐탱크를 설치하여 펌프에서 발생할 수 있는 맥동현상을 줄이도록 하였다. 밀폐탱크와 test section 사이에는 유체가 좀더 균일유동을 할 수 있도록 700mm 길이의 덕트를 설치하였다. 유입구로 들어가는 유체의 유량(속도)을 조절하기 위하여 ⑤번 지점에 미세유량을 조절할 수 있는 by-pass 밸브를 설치하였고, ④번 지점에 유량측정을 위한 마노미터를 설치하였다. 속도계측을 위한 PIV System은 다음과 같다. 광원으로는 200mj의 Dual Head Nd-Yag laser의 광원을 사용하였다.

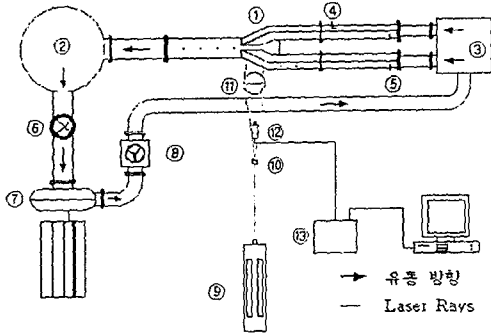


Fig. 3 An apparatus for experiment

### 2.2 결과 및 고찰

측정범위는 중앙 단면의 돔의 끝단에서 유입구 중간 지점까지 측정하였다.

중앙단면에서의 측정결과인 속도벡터와 Fig. 4은 유입각도가 30°, 45°, 60°이고, Dome size가 100mm일때의 속도 벡터와 contour를 보여주고 있다. 유입각도가 클수록 저속 선회 영역의 크기가 점점 작아짐을 알 수가 있고, 와류의 중심부분이 재순환 영역의 우측 상단으로 점차적으로 올라감을 보여 준다. 이는 유입각도가 증가할수록 유입구에서 들어오는 유동이 재순환영역으로 영향을 많이 끼치기 때문이라 판단된다. 연소의 측면에서 본다면 유입각이 30°일 때의 경우가 나머지 경우보다 저속 선회 영역이 더 크기 때문에 회염의 안정화를 유지시킬 수 있는 Flame holder의 역할을 할 수 있다고 판단이 된다.

Fig. 5은 유입각도가 30°, 45°, 60°이고, Dome size가 80mm일 때의 속도 벡터와 contour를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 유입각도가 증가할수록 저속 선회 영역의 크기가 점점 축소해짐을 알 수 있었고 와류의 중심 부분도 재순환 영역의 우측 상단으로 올라감을 알 수 있었다. 이는 Fig. 4의 경우와 유사한 성향을 보여주는 것으로 앞에서 설명한 경우와 마찬가지로 유입각이 증가할수록 재순환영역에서의 유동이 유입구에서 들어오는 유동에 의해 영향을 많이 받기 때문이라 판단이 된다.

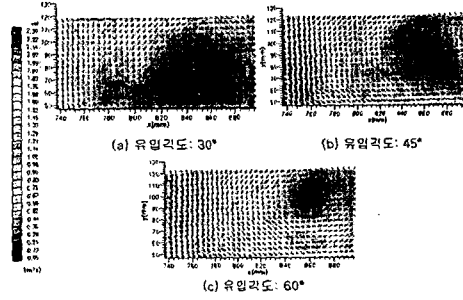


Fig. 4 Velocity vectors and contours with different inlet angles for a 100mm dome size

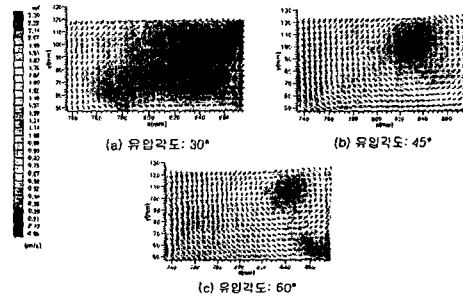


Fig. 5 Velocity vectors and contours with different inlet angles for a 80mm dome size

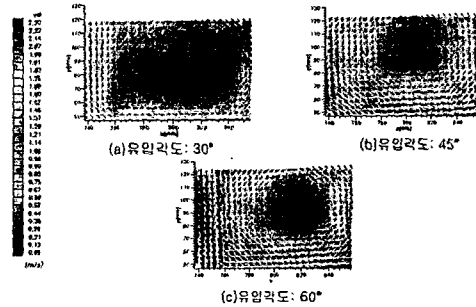


Fig. 6 Velocity vectors and contours with different inlet angles for a 60mm dome size

Fig. 6은 유입각도가 30°, 45°, 60°이고, Dome size가 60mm일 때의 속도 벡터와 contour를 보여주고 있다. 유입각도가 증가할수록 저속 선회 영역의 크기가 작아짐을 알 수 있었다. 유입각도가 30°일 때의 경우에는 Fig. 4와 Fig. 6의 경우와는 달리 순간 속도 벡터에서 발견되었는 2개의 선회 유동이 생성되지 않고 하나의 선회 유동만 형성되었으며, 유입각도 30°의 경우 저속 선회영역이 Dome 영역을 균일하게 분포되어 있음을 알 수 있다. Fig. 7은 유입각도가 30°, 45°, 60°이고 Dome size가 40mm일 때의 속도 벡터와 contour를 보여주고 있다. 앞의 경우와 마찬가지로 유입각도가 증가할 수록 저속 선회 영역이 현저히 작아짐을 보여주고 있다.

### 3. 결론

액체 램제트 엔진의 연소기 내부 유동을 유입각도가 각각 30°, 45°, 60°일 때, dome size를 변화에 따른 유동 측정을 PIV 방법으로 행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 유입각이 증가함에 따라 재순환 영역의 유속이 증가하고, 화염안정화에 필요한 저속 선회 영역은 후방 상부의 일부 영역만을 차지한다.
- (2) 유입각이 30°일때 저속 선회영역은 Dome 전체를 차지하지만 과도하게 Dome이 큰 경우 (80, 100mm) 2개의 선회유동이 관찰되었다.
- (3) 선행 연구로 수치 해석결과는 유입각이 클 수록 압력손실이 증가하였다.
- (4) 수행된 실험 조건에서는 낮은 압력 손실과 안정된 화염유지를 위해서는 유입각이 30°, dome size가 60mm인 경우가 액체 램제트 연소실의 최적형상으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. Eriksson L. E. , Johansson U. and Borg R. "CFD Analysis and Testing on a Twin Inlet Ramjet", AIAA/SAE/ASME/ ASEE 29th Joint Propulsion Conference and

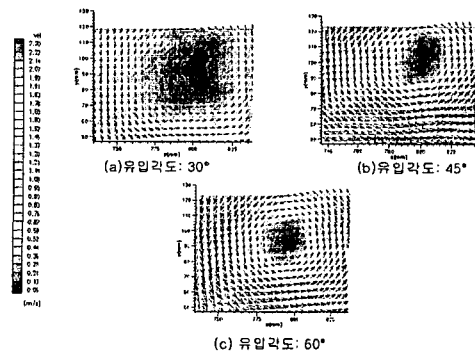


Fig. 7 Velocity vectors and contours with different inlet angles for a 40mm dome size

Exhibit,, 1993.

2. Ristori A., Heid G., Cochet A. and Lavergne G., "Experimental and numerical study of *t*-urbulent flow inside inside a research SD Rcombustor", AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, 1999.
3. Markus Raffel, Christian E. Willert and Jurgen Kompenhans, "Particle Image Velocimetry", 1997.
4. Adrian R. J., "Particle-Imaging Techniques for Experimental Fluid Mechanics", Annual Reviews Fluid Mech., Vol.23, 1991, pp 261-304
5. Prasad A. K., Adrian R. J., Landreth C. C and Offutt P.W., "Effect of resolution on the speed and accuracy of particle image velocimetry introgation", Exp. Fluids, Vol.13, 1992, pp 105-116.
6. Adrian R. J., Dynamic rages of velocity and spatial resolution of particle image velocimetry, Meas. SciTechnol 1997, pp 1393-1398.