

PLIF를 이용한 ATR 연소기 내부의 연료분포 측정

박승재* · 양인영* · 진유인** · 양수석*

Fuel Distribution Measurements in ATR Combustor using PLIF

Seung-Jae Park* · In-Young Yang* · You-In Jin** · Soo-Seok Yang*

ABSTRACT

Fuel/air mixing in air turbo ramjet(ATR) combustor is a significant parameter of combustion stability and efficiency. In this study, fuel distribution in the ATR model combustor was measured to compare the degree of mixing with respect to the velocity ratio($r = v_a/v_f$) between fuel gas and air. Planar laser-induced fluorescence(PLIF) and image processing method were used to obtain two dimensional fuel distribution. Fuel mixing went bad with approaching to $r = 1$.

초 록

ATR 엔진 연소기 내부에서의 연료와 공기의 혼합성능은 연소 안정성이나 효율에 지배적인 요인이 된다. 본 연구에서는 ATR 모델 연소기에서의 혼합성능을 비교하기 위하여 두 유체의 속도 비($r = v_a/v_f$)를 변화시키면서 연료분포를 측정하였다. 측정 방법으로는 2차원 연료분포를 얻기 위하여 널리 이용되는 평면레이저 유도형광기법과 화상처리 기법을 사용하여 연료분포 이미지를 얻었다. 측정된 연료분포 화상으로부터 공기속도/연료속도 비가 1에 가까울수록 연료 혼합성능이 떨어지는 특성을 관찰하였다.

Key Words : ATR(Air Turbo Ramjet; 에어터보 램제트), PLIF(Planar Laser-Induced Fluorescence; 평면레이저 유도형광), petal nozzle(mixer)(꽃잎형 노즐(혼합기))

1. 서 론

ATR 엔진은 가스터빈엔진과 램제트 엔진의 복합 사이클 엔진의 하나이다[1]. 개념적으로 이

룩 시점에서 음속 돌파 근방까지는 가스터빈엔진과 같이 터빈이 구동하는 압축기가 공기를 압축하여 추력을 발생하고 고속에서는 램제트 엔진과 마찬가지로 램 압축에 의존한다. 따라서 ATR 엔진은 마하 0.3-0.5에서부터 마하 6 이상에 이르는 넓은 작동 영역을 가질 것으로 기대하고 있다. ATR 엔진의 특징은 터빈을 작동시

* 한국항공우주연구원 항공추진그룹

** 과학기술연합대학원대학교 항공기시스템 대학원
연락처, E-mail: psj@kari.re.kr

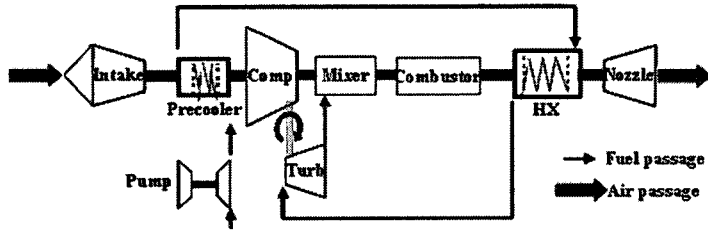


Fig. 1 ATR engine layout

키는 유체(working fluid)가 공기 연소 가스가 아니라 연료라는 점이다(Fig. 1). 이렇게 터빈 입구 온도가 비행 속도와 무관하기 때문에 가스 터빈엔진과 달리 마하 2-3 혹은 이를 초과하는 고속에서도 터빈을 구동할 수 있다.

이러한 ATR 엔진에서 램제트 연소기의 설계/제작 기술은 그 핵심요소기술이라 할 수 있다. 특히 본 ATR 엔진은 기체 연료를 사용하기 때문에 두 기체(연료와 공기) 사이의 난류 혼합이 연소 안정성이나 효율을 지배하는 직접적인 요인이 된다.

본 연구에서는 기존에 설계된 ATR 엔진 연소기[2]에서 기체의 난류 혼합 성능을 실험에 의해 조사하였다. 이를 위해 연소기 혼합 시험 모델 및 혼합 시험 장치를 제작하고, PLIF를 이용하여 혼합 성능을 파악하였다. 이로써 기존의 연소기 설계를 검증하는 한편 기체의 난류 혼합에 영향을 미치는 인자를 파악하고자 하였다.

2. 시험 장치 및 시험 조건

2.1 연소기 혼합 시험 모델

본 연구에서는 연소기의 혼합 성능만을 시험하기 위한 모델을 따로 제작하였다. 혼합 시험 모델은 추력 1.5 kN 급 연소 시험용 모델의 1/2 축소형으로서, 연소기의 안 지름은 66 mm이다. 혼합기 부분은 12개의 슬롯이 있는 꽃잎형(lobed) 혼합기이며, 중심에는 혼합기 후류의 유동 방향을 제어하기 위한 원뿔을 설치하였다(Fig. 2). 혼합기/연소기 상류에는 유동을 균일하게 하기 위하여 안정실(stilling chamber) 및 직선 관을 확보하였고, 레이저 측정 부분은 길

이 100 mm의 석영 튜브로 되어 있다.

연료 측 모사 기체로는 공기에 아세톤 입자를 분사하여 사용한다. 공기 및 연료 측 유량은 각각 압력 조절기 및 음속 노즐로 제어하며, 정확한 제어를 위해 압력 및 온도를 측정한다.

2.3 광학 측정 장치 및 방법

연소기 내부에서의 혼합 성능을 측정하는 방법으로 아세톤 형광을 이용한 PLIF 기법을 사용하였다[3].

아세톤은 상당히 높은 증기압을 가지고 있어서 상온(20°C)에서 180 torr의 증기압과 최고 30% 몰 분율(mole fraction)의 seeding density를 얻을 수 있다. 식 (1)은 온도에 따른 함수로써 아세톤 증기압을 나타낸 것이다[4].

$$\log_{10} P(\text{torr}) = 7.125 - \frac{1214.2}{230.0 + T(^{\circ}\text{C})} \quad (1)$$

아세톤의 형광효율(fluorescence efficiency)은 0.2%이고, 4 ns 이내의 짧은 수명(lifetime)을 갖는다. 레이저광의 흡수 파장대는 225-320 nm에 걸쳐 있으며 270-280 nm 사이에서 최고값($\sigma = 4.7 \times 10^{-20} \text{cm}^2$)을 가진다.

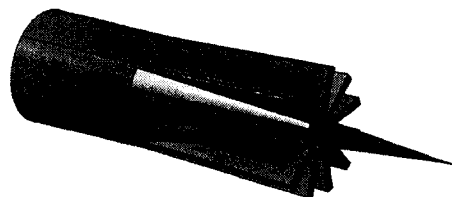


Fig. 2 The 12-lobed petal nozzle

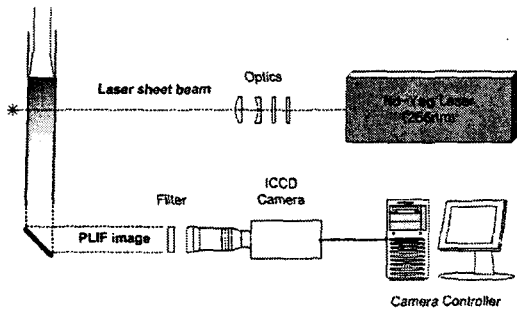


Fig. 3 Configuration of experimental apparatus

본 시험에서는 1064 nm의 Nd-Yag 레이저에서 4th harmonic을 사용하여 얻어진 266 nm의 레이저로 아세톤을 여기시켜 형광 이미지를 얻었다.

2.4 시험 조건

혼합 시험 조건은 ATR 연소기의 설계 조건 (table 1)을 상사하여 도출하였다. 난류 혼합에 있어서 가장 중요한 인자는 두 유체의 속도 비와 밀도 비율이다. 본 연구에서는 연소기 설계를 검증하는 한편 기체의 난류 혼합에 영향을 미치는 인자를 파악하기 위하여 우선적으로 공

Table 1 Full scale conditions

	공기 측	연료 측	비고
유체	공기	메탄	
압력[kPa]	229.8	239.1	
온도[K]	292.1	924.6	
밀도[kg/m ³]	2.744	0.4987	밀도비=5.5
유량[kg/s]	1.7	0.098	속도비=0.61
속도[m/s]	59.8	98.6	
Re	239,790	12,776	

Table 2 Various air velocity (Case 1)

	유량[kg/s]	속도[m/s]	$r = v_a/v_f$
1)	0.05806	16.496	0.348
2)	0.08661	24.610	0.519
3)	0.11517	32.724	0.690
4)	0.14373	40.839	0.861
Fuel condition			
유량: 0.032 kg/s, 속도: 47.4 m/s			

Table 3 Various fuel velocity (Case 2)

	유량[kg/s]	속도[m/s]	$r = v_a/v_f$
1)	0.01297	19.152	1.284
2)	0.01935	28.574	0.861
3)	0.02573	37.995	0.648
4)	0.03211	47.416	0.519
Air condition			
유량: 0.087 kg/s, 속도: 24.6 m/s			

기 속도/연료 속도 비($r = v_a/v_f$)를 변화시키면서 연료 분포 이미지를 측정하였다. 실험의 편의를 위하여 우선 밀도 비의 영향은 무시하였다.

Table 2-3은 시험 조건을 나타낸다. Case 1에서는 47.4 m/s의 일정한 연료 속도 조건에서 공기 측의 속도를 변화시켰으며, case 2에서는 24.6 m/s의 공기 속도 조건에서 연료 측의 속도를 변화시켜 측정하였다.

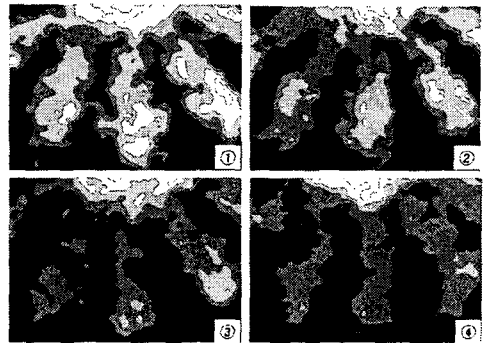


Fig. 4 Various air velocity (Case 1)

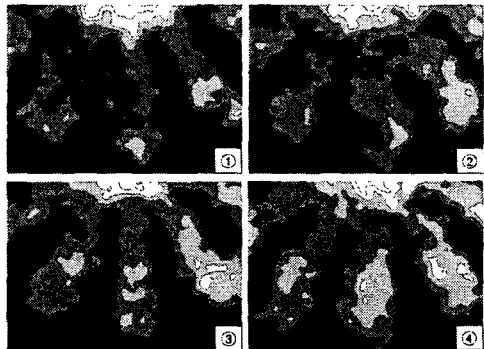


Fig. 5 Various fuel velocity (Case 2)



Fig. 6 Fuel distribution along the flow direction

3. 시험 결과

Fig. 4-5는 시험 조건에서 얻어진 각각의 연료분포 화상을 나타낸다. 연료분포 화상의 우측 하단의 숫자 표기는 Table 2-3에서 나타낸 각각의 조건에 해당된다.

이미지에서 밝기는 연료의 농후 정도를 표시하기 때문에 밝은 부분이 많을수록 혼합이 잘 형성된 것을 나타낸다.

추가적으로 연소기 축 방향으로의 연료 혼합 정도를 측정하기 위하여 혼합기 출구에서부터 6, 17, 26, 36, 46 mm의 위치에서 연료분포 화상을 얻었다(Fig. 6).

4. 결 론

PLIF 기법을 이용한 연료분포 측정에 관한 연구를 1/2 축소형 ATR 연소기 혼합 시험 모델에서 수행하였으며 두 기체의 속도 비가 혼합 성능에 미치는 영향에 대해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Case 1에서는 연료 측의 속도가 일정할 때 공기 측의 속도가 증가할수록 연료농도가 흐려지고 있는 것을 보여준다(Fig. 4).
- 2) Case 2에서는 공기 측의 속도가 일정할 때 연료 측의 속도가 증가할수록 연료농도가 농후해지는 것을 나타낸다(Fig. 5).

3) 결론적으로 두 조건에서의 시험을 통해서 공기속도/연료속도의 비가 1에서 멀어질수록 혼합층의 두께가 증가하면서 연료의 혼합성능이 향상되는 특성을 알 수 있었다.

4) Fig. 6에서는 유동의 하류로 갈수록 난류 혼합에 의한 연료의 혼합 특성을 나타내고 있다.

참 고 문 헌

1. T. Sato et al., "Development Study on ATREX Engine", 20th Intl. Symp. Space Tech. & Sci., 1996
2. 차봉준 외, "에어 터보 램젯 엔진 요소기술 개발", 공공기술연구회 보고서, 2001, 2003.
3. P. J. Rubas, M. A. Paul, G. C. Martin, R. E. Coverdill, R. P. Lucht, J. E. Peters, "Methane Jet Penetration in a Direct-injection Natural Gas Engine," SAE 980143, 1998.
4. A. Lozano, B. Yip, R. K. Hanson, "Acetone : a Tracer for Concentration Measurements in Gaseous Flows by Planar Laser-induced Fluorescence," Experiments in Fluids, Vol. 13, pp.369-376, 1992.