

# 액체 물성치에 따른 APU 연료 노즐의 분무특성

최채홍\* · 전용민\*\* · 최성만\*\*\*

## Spray Characteristics of the APU fuel injector with liquid properties

Cheahong Choi\* · Yongmin Jun\*\* · Seongman Choi\*\*\*

### ABSTRACT

Spray characteristics for the simplex atomizer are investigated. The atomizer was tested with kerosene which is generally used as a fuel for gas turbine engines. But it is very difficult and dangerous to measure spray performance. So water is used as a working fluid for measuring the droplet information. In this study, spray visualization was performed by using ND-Yag Laser and droplet size was measured by using PDPA system by using two different working fluid such as water and test fluid # 2 which has similar characteristics of the kerosene. The test results show that SMD of water bigger than test fluid # 2 about 5~15 mm because surface tension of water is higher by a factor of 3. But the spray angles and the spray shapes have similarity

### 초 록

심플렉스 연료노즐의 분무시험을 수행하였다. 가스터빈의 주 연료인 등유를 이용한 연료노즐 분무시험의 경우 폭발의 위험과 유해성으로 인하여 물을 이용하여 시험을 수행하는 경우가 많이 있게 된다. 본 연구에서는 ND:Yag 레이저를 이용한 가시화 시험과 PDPA 시스템을 이용한 입자 크기 측정 시험을 등유와 같은 특성을 가지는 Calibration Fluid Type # 2와 물을 작동유체로 사용하여 수행하였다. 시험결과에서 물의 SMD는 Calibration Fluid Type # 2 보다 5~15 mm 정도 크게 나타났으며 이는 물의 표면장력이 3배 정도 크기 때문으로 판단된다. 반면에 분무각과 분무형태는 유사하게 나타났다.

Key Words: PDPA(위상 도플러 액적 분석기), SMD(Sauter 평균 입경)

### 1. 서 론

가스터빈 연소기에 사용되는 연료분사기는 일반적으로 연료의 속도를 증가시키는 압력식 미립화기(Pressure Atomizer)와 회전식 미립화기(Rotary Atomizer) 등이 있으며 주위 공기의 높은 속도를 이용하는 공기보조 미립화기(Air-Assist Atomizer)와 공기충돌 미립화기

\* 전북대학교 항공우주공학과

\*\* 한국항공우주연구원

\*\*\* 전북대학교 항공우주공학과

연락처, E-mail: csman@chonbuk.ac.kr

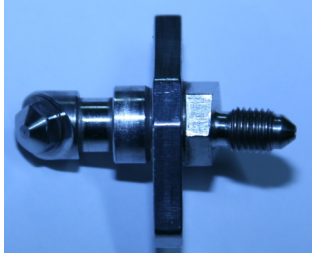


Fig. 1 Simplex injector

(Airblast Atomizer) 등이 있다[1].

이러한 연료분사기들을 개발할 때에는 많은 성능시험을 수행하게 되는데 이때 실제 가스터빈 연소기의 연료인 kerosene은 폭발의 위험성과 유해 가스 발생 등의 이유로 인해 성능 시험시 많은 어려움이 발생한다. 따라서 일반적으로 물 또는 물과 글리세린 혼합물을 사용하여 시험을 수행하게 된다. 하지만 물 또는 물과 글리세린 혼합물은 실제 항공유와 기본적으로 표면장력과 점도, 비중 등의 물성치가 다르기 때문에 분무특성이 다르게 나타날 가능성이 존재하게 된다.

따라서 작동유체에 따른 분무특성 변화를 이해하는 것이 필요하며, 이를 위하여 항공유와 유사한 특성을 가지는 Calibration Fluid Type 2와 물을 작동유체로 사용하였을 경우에 대한 분무특성을 연구하고자 하며 실험은 분무 가시화와 PDPA를 이용한 분무입자의 액적의 크기 및 분포를 측정 하였다.

## 2. 실험장치

### 2.1 연료노즐

Figure 1에 시험에 사용된 연료노즐을 나타내었다. 연료노즐은 전형적인 심플렉스 형태의 연료노즐이며 노즐 출구의 직경은 0.38 mm 이다.

### 2.2 PDPA system

분사된 액적의 크기 및 속도, 분포 등을 알기 위하여 PDPA 시스템을 사용하여 실험을 수행하

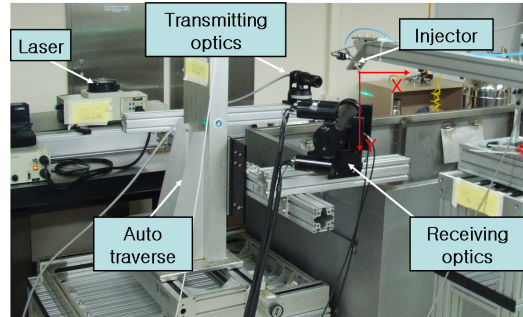


Fig. 2 PDPA system

였으며 실험에 사용된 PDPA 시스템을 Fig. 2에 나타내었다. 광원으로 공랭식 Ar-ion 레이저를 사용하였고 분무액적의 크기와 속도는 도플러 효과에 의한 신호의 상대적 위상차와 주파수 크기를 이용해 계산하였다.

### 2.3 가시화 시험장치

연료노즐의 분무 형상 및 분무각 등을 알기 위하여 가시화 시험 장치를 구성하였으며 Cannon 580EX 2개를 광원으로 사용하였고 Cannon EOS 5D 카메라를 이용하여 이미지를 획득하였다. 카메라의 셔터스피드는 1/10 초, F수는 5로 설정하였으며 Cannon EF 70~200 mm 렌즈를 사용하였다.

### 2.4 시험조건

모든 분무시험은 상압, 대기조건에서 실시되었으며 모의 연료 공급압력을 0.5 bar에서 6 bar 까지 변화해 가며 분무가시화 시험을 수행하였다. PDPA 실험은 6 bar에서 실시하였으며 작동유체를 물과 Calibration Fluid Type 2로 변화해 가며 SMD 및 속도, 분무 분포 특성 등을 관찰하였다. 실험에 사용된 Calibration Fluid Type 2는 항공기 연료시스템의 구성품 시험 시 사용하는 유체로써 폭발의 위험성을 감소시키기 위해 JP-8 보다 발화점이 높은 특성이 있다. Table 1에 시험에 사용된 물과 Calibration Fluid Type 2 및 항공기용 연료인 JP-8의 물성치를 나타내었다.

Table 1. Performance specification of the working fluids

	물	Kerosene (JP-8)	Calibration Fluid Type 2
밀도 (kg/m <sup>3</sup> )	999 (at 15°C)	812 (at 15°C)	770 (at 15°C)
점성계수 (kg/m·s)	$0.894 \times 10^{-3}$ (at 25°C)	$1.102 \times 10^{-3}$ (at 25°C)	$0.9009 \times 10^{-3}$ (at 25°C)
표면장력 (N/m)	$7.134 \times 10^{-2}$ (at 26°C)	$2.516 \times 10^{-2}$ (at 26°C)	$2.345 \times 10^{-2}$ (at 26°C)

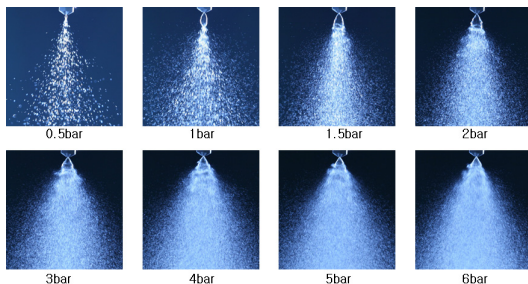


Fig. 3 Spray photographs of water

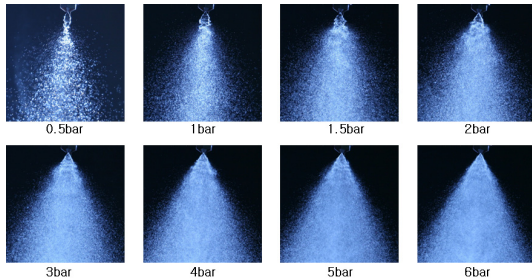


Fig. 4 Spray photographs of Calibration Fluid Type 2

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 가시화 실험 결과

물과 Calibration Fluid Type 2의 가시화 실험 결과를 Fig. 3~4에 나타내었다. 물의 경우 분사압이 0.5~1 bar에서 양파 형태의 분무 형상이 나타나고 분사압이 증가 할수록 튕림 형태로 발달하여 4 bar에서 부터는 완전히 발달된 분무 형태를 보인다. 하지만 Calibration Fluid Type 2의

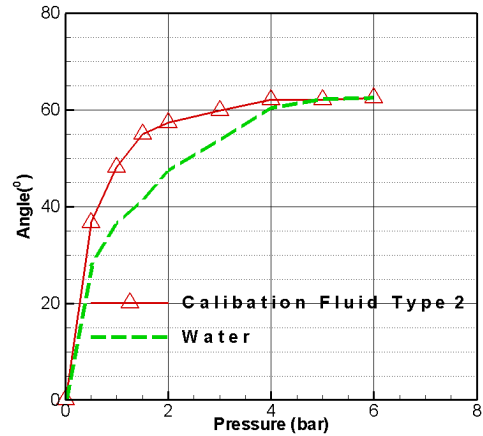


Fig. 5 Spray angle

경우 0.5 bar 에서만 양파 형태의 분무형상이 나타나고 이후 튕림 형태로 발달하게 되어 3 bar 에서 완전히 발달된 분무 형태를 보인다. 따라서 Calibration Fluid Type 2가 물에 비해 미립화 발달 속도가 더 빨리 진행된다고 판단된다. 하지만 4 bar 이상부터는 충분히 발달되어 유사한 분무 형태를 보임을 알 수 있다.

가시화 이미지를 토대로 한 분무각 측정 결과가 Fig. 5에 나타나 있다. 분무각은 분사압이 비교적 낮은 경우에는 Calibration Fluid Type 2가 조금 크게 나타났으나 분무압이 증가함에 따라 유사한 값을 나타내었다. 이러한 분무각은 가스 터빈 엔진 연소기 내의 연소 특성과 밀접한 관련이 있으므로 연료노즐 성능 평가에 매우 중요한 항목 중의 하나이다.

#### 3.2 PDPA 시험결과

노즐 출구에서 거리에 따른 SMD 분포를 알아보기 위해 Fig. 6~7에 노즐출구에서 35 mm 떨어진 지점과 70 mm 떨어진 지점에서의 SMD를 나타내었다. 전체적인 SMD 분포에서 나타난 것처럼 노즐출구에서 거리에 따른 SMD 분포 또한 물이 크게 나타났으며 이러한 차이는 동일한 위치에서 5~15 μm 내외로 분포하고 있다. 이렇게 물의 SMD가 크게 나타나는 이유는 물의 표면장력이 Calibration Fluid Type 2에 비해 약 3배

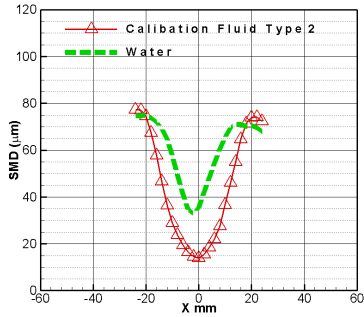


Fig. 6 SMD distribution at x=35 mm

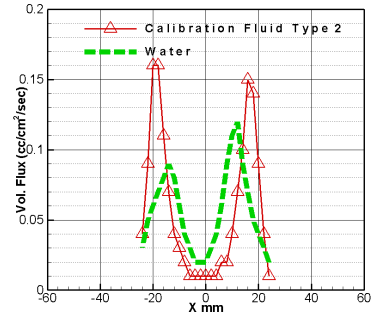


Fig. 8 Volume flux distribution at x=35 mm

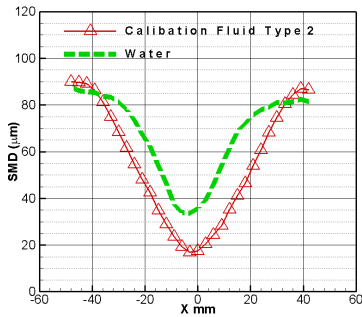


Fig. 7 SMD distribution at x=70 mm

정도 크기 때문에 미립화가 지연되어 나타난 결과로 판단되며 Jones의 실험적 연구[2]에서는  $SMD \propto d^{0.25}$ 의 관계식을 도출한 바 있다.

Figure 8에 노즐 출구에서 35 mm 떨어진 지점에서의 Volume Flux를 나타내었다. Volume Flux는 시간당 단위 면적을 통과하는 액적들의 부피를 나타낸 것으로 분무의 집중도를 확인할 수 있는 인자이다. 물에 비하여 Calibration Fluid Type 2의 값이 변화폭이 크고 더 높은 Volume Flux 값을 나타내는 것으로 보아 Calibration Fluid Type 2의 분무 집중도가 더 큰 것으로 보인다.

#### 4. 결 론

가시화 및 PDPA실험을 통해 작동유체에 따른 심플렉스 연료노즐의 분무특성을 확인해 볼 수

있었으며 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 가시화 및 Volume Flux 분포 등을 통하여 전체적인 분무형태를 확인할 수 있었으며 공급압력 6 bar 에서는 유사한 분무형상을 보였다.
- 2) PDPA 측정 결과, 물의 SMD가 Calibration Fluid Type 2보다 5~15 μm 크게 분포하였다.
- 3) 분무입자의 크기 및 Volume Flux 등의 PDPA 측정 결과를 통해 물에 비하여 Calibration Fluid Type 2의 미립화 특성이 더 우수한 것으로 판단되며 이는 물의 표면장력이 Calibration Fluid Type 2에 비하여 약 3배 정도 크기 때문으로 판단된다.

#### 후 기

동 연구는 지식경제부 한국형헬기 민군겸용구성품개발사업(KARI주관) 위탁연구결과 중 일부임.

#### 참 고 문 헌

1. A. H. Lefebvre, "Atomization and Sprays", Hemisphere Publishing Co., 1989.
2. Jones. A. R., "Design Optimization of a Large Pressure-Jet Atomizer for Power Plant", Proceedings of the 2nd International Conference of liquid Atomization and Sprays, madison, wis., 1982, pp. 181~185