

공기충돌형 연료분사장치의 운용조건이 이중분무특성과 간섭효과에 미치는 영향

박승규* · 한재섭* · 김 유* · 박정배**

Effect of Operating Condition of Airblast Atomizer on Twin spray characteristics and interaction

S. G. Park* · J. S. Han* · Y. Kim* · J. B. Park*

ABSTRACT

The effect of operating condition was studied experimentally on the characteristics of twin sprays ejected from two airblast atomizers, within the range of the mass air-fuel ratio 1.36 ~ 3.54.

Water and nitrogen gas were used as test fluids for the experiments. Spray characteristics of liquid spray were measured with measurement of mass distribution and instantaneous image of the spray cone.

Experimental results show that the maximum specity of the distribution were lowered but distributed over the larger area when the ROA ratio increased, Center of mass position did not change with increasing water mass flow, Increase of the nozzle distance has an small effect on mass distribution of interaction area but distributed over the larger area. It was also conformed that the effect of interaction near central point of collision descreased with the increase of the ROA ratio on interaction area from comparision using superposition method

초 록

작동조건이 두개의 공기충돌형 연료분사장치로부터 분사되는 이중분무 특성에 미치는 영향을 공연비 1.36 ~ 3.54의 범위에서 실험적으로 수행하였다. 물과 질소가스가 실험유체로서 사용되었다. 분무 액적의 분포특성은 질량분포와 순간영상 촬영법에 의하여 측정되었다.

실험적 결과는 ROA(축방향에 대한 반경방향 공급압력비)의 증가에 따라 질량분포곡선의 최대값은 낮아지면서 더 넓은 영역에 걸쳐 분포하였으며 공급유체의 증가에 따른 질량중심점의 위치는 변화가 없었다. 노즐간격 증가는 간섭영역에서의 질량분포에는 커다란 영향을 미치지는 않았으나 더 넓은 영역에

*충남대학교 기계공학과(Chungnam National University, Dept. of Mechanical Engineering)

**국방과학연구소(Agency for defense Development)

걸쳐 분포하려는 특성을 보여주었다 또한, ROA 비가 증가할수록 충돌중심점 근처에서 간섭의 영향은 작아짐을 중첩법을 이용하여 비교함으로서 잘 알 수 있었다.

1. 서 론

항공기용 가스터빈 및 일반적인 산업용 분무시스템에서는 많은 양의 분사액체를 미립화시키고 시스템의 연속적인 운전과 유지를 편리하게 하기 위하여 여러 개의 분사노즐을 열(列)로 설치하여 동시에 분사하도록 하고 있다. 이렇게 동시에 분사할 경우, 노즐간에 거리가 충분히 크지 않으면 개별적으로 분사된 분무들이 서로 합해져서 하나의 연합된 분무군이 형성된다. 이렇게 Two element에 의해서 형성된 spray는 공급압력이 증가함에 따라 관성력이 증가하게 되어 중심부분에서 액막 혹은 액적상태로서 충돌이 발생하여 복잡한 분무특성을 가질 것이다. 따라서, 연합된 분무군의 특성을 이해하는 것은 응용의 측면에서 매우 중요하다고 할 수 있다.^{2~3)}

본 연구에서는 항공기용 가스터빈 및 일반적인 산업용 분무시스템에서 많이 사용되는 타입인 복잡한 구조의 공기충돌형 인젝터를 이용하여 이중분무공급장치를 구성하고 이로부터 분출된 spray는 공급압력이 증가함에 따라서 관성력이 증가하여 가시화 결과로 부터 중심부분에서 액적상태로서 충돌이 발생할 것으로 예측하고 충돌이 발생한다면 충돌점 하류 지역에서의 질량분포 변화는 어떻게 될 것인지와 spray cone이 충돌한 후에 얼마만큼의 양이 다른 하나의 liquid sheet를 투과하는지 등의 간섭효과에 의한 특성들을 규명해보고자 하였다.

2. 실험장치 및 조건

2.1. 연료분사장치 및 작동유체

본 연구에서는 Fig. 1과 같은 Injector 구조의 공기충돌형 인젝터를 사용하였으며 분사액체의 공급부는 노즐출구직경이 0.4mm인 보조(Pilot) 노즐과 축방향 배인사이에 60° 간격으로 노즐출구직경이 1mm인 주(Main) 노즐 6개로 이루어져 있다. 공기 공급부는 베인각 60°의 축방향 선회기(Axial

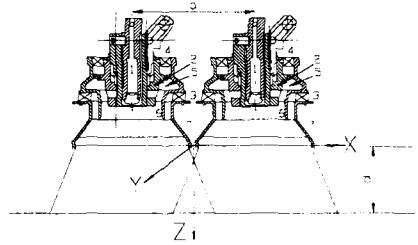


Fig. 1. Detail drawing of Injector assembly

Swirler)와 선회방향이 서로 반대인 반경방향 선회기(Radial Swirler)가 있고, 이외에 예 혼합실(Premixing chamber), 편향기(Deflecter) 및 안정기(Stabilizer)로 구성되어 있다.

연료노즐에서 선회실(Swirl Chamber)를 가진 보조(Pilot) 노즐은 공기-코아형 와류(Air-cored Vortex)를 형성하여 분사 노즐로부터 중공 원추형의 얇은 막 형태로 시동용 연료를 분출시켜 미립화시키고, 주 연료의 경우는 축류 선회기 속에 있는 분사노즐을 통해 분무되어 축류 선회기에 의해 예 혼합실에서 부분적인 미립화 및 혼합이 일어난 후 편향기의 외벽면을 따라 유동한다. 그리고 선회기 사이의 경계 벽에서 액체 막을 형성한 보조(pilot) 노즐에서 분사된 액적 중 일부와 함께 액체 막은 다시 반경방향 선회기의 반시계 방향 선회운동에 의하여 액막이 불안정하게 될 뿐 아니라 경계 층에서의 난류 및 전단 응력이 커져서 최종적으로 재 미립화(reatomization)가 이루어진다. 이후 액적은 인접한 또 하나의 연료분사장치로부터 분사되는 액적과 충돌하여 복잡한 분무특성을 일으킨다.¹⁾

본 실험에 있어서 작동유체로는 물을 공기대신으로는 압축 질소가스를 사용하였다.

2.2. 실험장치 및 실험

본 연구를 위하여 제작된 실험장치는 Fig. 2와 같다.

분사액체는 가연성이 없는 질소가스로 압축하였으며 압력용기는 100KPa까지 견딜 수 있는 특수용기를 사용하였다. 테스트 챔버(Test Chamber)는 10mm두께의 투명 아크릴로 만들어진 상자(10cm × 13cm × 16cm)로서 이중인젝터는 이 상자 하단에 설치하였다.

본 실험에서는 우선 분무형태를 파악하기 위해 Stroboscope로 3000~4500rpm의 광원을 공급하면서 순간적인 분무형상을 카메라에 담았고 인젝터로부터 분사되는 액적의 이중분무특성에 대한 분포 특성을 측정하기 위하여 10mm × 10mm정방형 셀이 가로에 25개 세로에 15개로 총 375개의 격자셀을 가진 채집장치(Patternator)를 제작하여 설치하였다.

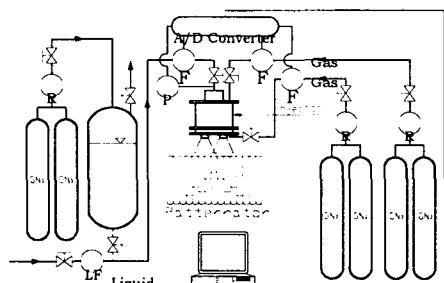


Fig. 2. Schematic diagram of experimental set-up

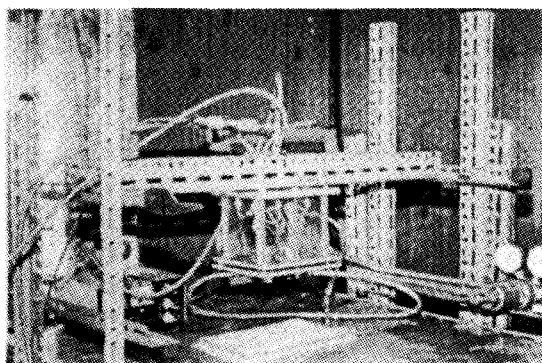


Photo. 1. Photograph of system

노즐내의 분사압력을 유량을 측정하기 위하여 Strain gauge type 압력계와 Micro motion사의 유량계(모델명:DO40H-SS-200)를 사용하였으며 채집된 유량은 직접 시험관에 받아 측정하였다. 실험에 사용된 장치는 photo. 1과 같다.

실험은 5.1, 6.1, 7.8, 12.2KPa의 가압 조건을 바꾸어가며 보조(Pilot) 노즐과 주(Main) 노즐에 공급할 수 있도록 하였으며, 이때 공급된 분사액체인 물의 유량은 각각 24, 30, 35, 41 g/s에 해당되었다. 질소가스는 미립화에 크게 영향을 끼치지 않는다고 판단되는 축류(Axial)방향의 공급압을 30.6KPa으로 고정하고 반경방향과 축방향의 압력비 ROA가 1, 1.3, 1.67, 2가 되도록 반경(Radial)방향으로 30.6, 40.8, 51, 61.2 KPa의 압력을 공급하여 각각의 유량을 56, 66, 75, 85g/s이 되도록 하였다.

이때의 공연비는 약 1.36~3.54의 범위었으며 이 공연비는 일반적인 공연비 영역대인 4~8정도에는 미치지 못하지만 과농연소기의 운전값으로서 실제연소시 용용될 수 있는 범위의 공연비과 비슷하다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 가시화 결과

미립화 정도는 사진촬영과 육안에 의한 관찰에 주로 의존했으며 실험결과 분사액체의 이중분무특성은 분사액체의 유량, 공급 기체의 총 유량 및 두 연료분사장치간의 간격 등과 밀접한 관계가 있었다. 이는 공기충돌형 분사기에서 액적의 크기를 줄이기 위해서는 공기와 연료사이의 물리적 접촉을 증가시켜야 하며 공기의 밀도 및 속도를 높여야 한다는 Lefebvre 등의 결과와 일치하였다.^{5,7)} 또한, 본 공기충돌형 인젝터의 특성상 분무 후 액막의 형태는 거의 나타나지 않았음을 볼 수 있었다.

Photo. 2는 작동유체 및 공기량이 일정할때 노즐간 거리 a가 6cm일때의 이중분무의 특성을 보여주는 사진으로 노즐하단의 stabilizer 끝단으로부터 약 2~3cm 아래 부근에서 충돌이 일어남을 보여주고 있다.

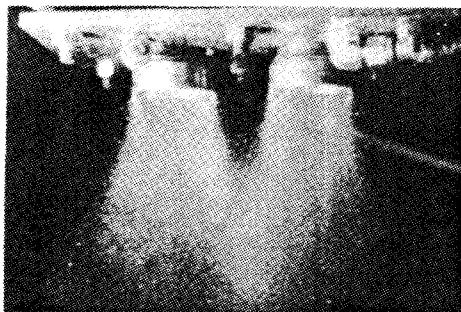


Photo. 2. Photograph on Characteristics of Twin Sprays

3.2. 질량분포

일반적인 공기충돌형 분무화에 영향을 미치는 주요인자는 액막의 초기두께, 공기의 운동량이며 분무화과정에서 선회유동과 액적의 상호작용이 매우 복잡한 구조를 가지며, 특히 선회방향이 서로 다른 경우 두 유동사이의 간섭이 매우 커 한쪽 유동의 변화는 전체 유동의 변화를 가져오기도 한다. 실험에 사용된 인젝터는 여러 개의 인젝터 중 차압에 따른 공급유량이 비슷한 두개의 인젝터를 선정한 것이다. 액적분포 결과 중심으로부터 약간 오른쪽으로 편심되는 특성을 보였으나 이는 개별실험으로부터 예측된 결과로서 오른쪽 방향의 공기를 공급 선회기를 사용함으로서 나타나는 작은 영향으로 판단된다.

본 연구에서는 질량분포율을 비교하기 위하여 다음과 같은 식으로 무차원화 하여 비교 분석하였다.

$$\text{Normalized height} = \frac{h_i}{\sum h_i} \times 100(\%)$$

h_i : 하나의 격자에서 포집된 질량높이

$\sum h_i$: 각각의 격자에서 포집된 질량높이의 총합

축방향 거리에 따른 질량분포

Fig. 3은 작동유체의 유량을 35g, 공기공급량을 75g, 노즐간 거리 a 를 6cm로 고정하였을 때 축방향 거리변화에 대한 분무분산도(dispersion rate)을 나타낸 것으로 노즐의 stabilizer 하단으로 내려갈수록 간섭정도가 작아지면서 외곽쪽으로 분포하려는 성질을 보이다가 110mm 하단에서는 전 영역에 넓게 분포하려는 성질이 확연히 있음을 보여주고 있

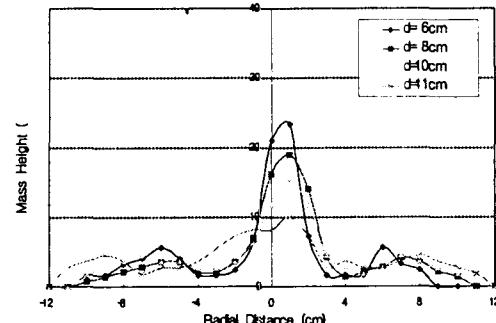


Fig. 3. Spray Pattern Formed by Twin Airblast Atomizers

다. 이는 하류로 내려갈수록 충돌 중앙점에서의 간섭영향이 작아지면서 외곽쪽으로 분포하려는 성질을 가지는 것으로 사료된다.

연료 및 공기량 변화에 따른 질량분포

- 공기량 변화

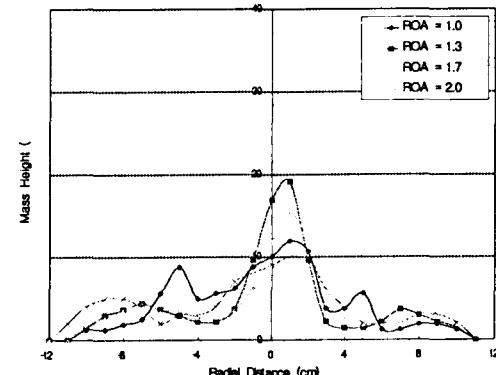


Fig. 4. Variations of Spray characteristic as a Function of radial air-pressure

Fig. 4는 노즐간 거리 a 를 6cm으로 고정하고 작동유체의 유량을 35g으로 일정하게 하여 축방향 공기공급량을 고정하고 반경방향 공급압을 증가(ROA = 1, 1.3, 1.7, 2.0)시키는 방법을 사용하여 공연비를 증가시킬 때에 인젝터로부터의 분무액적을 축방향거리 100mm 지점에서 채집하여 그림으로 나타낸 것으로 ROA = 1일때는 질량분포가 불안정한 특성을 보였으나 공급 ROA 비가 1.3보다 커지면서 간섭효

과에 의하여 좌우 대칭적인 질량분포를 유지하며 중앙으로 집중되는 특성을 보였고 ROA 비가 더 증가할 수록 충돌중심점에서의 최대값은 낮아지면서 외곽쪽으로 넓게 분포하려는 특성을 보여주었다.

- 연료량변화

Fig. 5는 노즐간의 간격 a 를 6cm로 고정하고 공기공급량을 75g/s로 일정하게 유지하였을 때 작동유체의 공급량의 증가에 따른 질량분포를 보여주는 그림으로서 작동유체 공급량이 증가할수록 질량중심점의 위치는 변화가 없으나 충돌이 일어나는 지점인 중심점 하단에 유량분포가 집중되는 현상을 보이고 있다. 이는 증가된 액적이 공기의 선회유동에 더 큰 영향을 미치면서 질량분포의 변화를 초래한 것으로 사료된다.

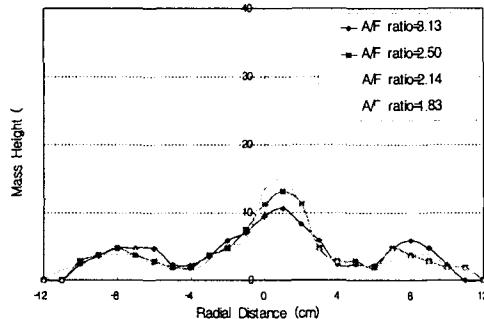


Fig. 5. Variations of Spray characteristic as a Function of supply fluid

노즐간 거리(d) 변화에 따른 분포변화

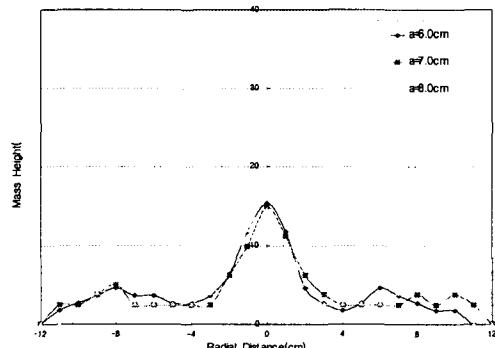
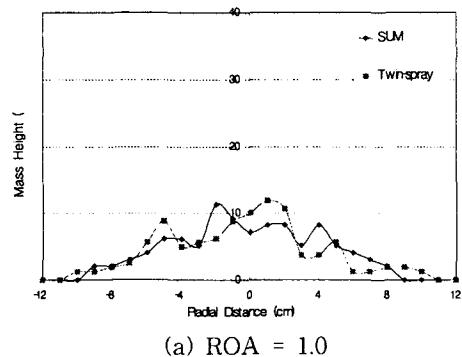


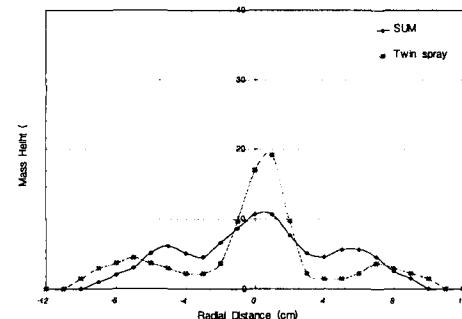
Fig. 6. Variations of Twin spray characteristic as a nozzle distance

Fig. 6은 작동유체의 유량을 35g, 공기공급량을 75g으로 일정하게 하고 노즐간 거리 a 를 6, 7, 8cm로 변화시키며 이중분무특성을 나타낸 결과로 연구 범위내 노즐간격 증가는 간섭영역에서의 질량분포에는 커다란 영향을 미치지는 않았으나 더 넓은 영역에 걸쳐 분포하려는 특성을 보여주었다.

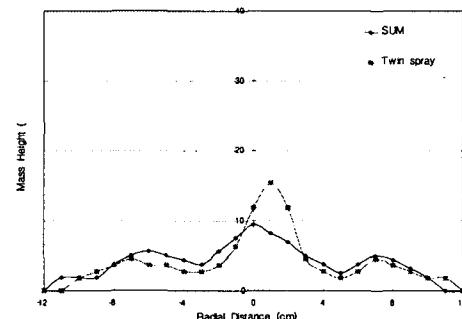
선형화된 Uni-element와 two-element의 질량분포 특성 비교



(a) ROA = 1.0



(b) ROA = 1.3



(c) ROA = 1.7

Fig. 7. Spray Characteristic of the Twin Spray and the Superposed Result

Fig. 7의 (a), (b), (c)는 Radial 방향의 공기량을 증가시키는 방법으로 얻은 uni-element 질량분포 데이터를 two-element의 해당거리인 6cm만큼 이동시킨 후 간섭효과가 전혀 발생하지 않는 것으로 간주하여 합산 후 무차원 선형화시켜 실험에 의해 얻어진 two-element의 질량분포 데이터와 비교하여 간섭효과의 크기변화를 나타낸 그레프로서 ROA 비가 커질수록 두 분무가 서로 상호작용에 의하여 충돌중심점 근처에서 간섭의 영향은 작아짐을 보여 주고 있다.

4. 결 론

가시화방법 및 액적 채집장치(Patternater)를 이용한 공기충돌형 연료분사장치의 이중분무특성과 간섭효과를 질량분포에 대한 실험적 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유량분포가 축방향 거리 d 의 증가에 따라 충돌 중앙점에서의 간섭영향이 작아지면서 외곽쪽으로 넓게 분포하였다.
2. 실험 범위내에서 두 노즐간 거리 a 가 멀어질수록 질량분포에는 커다란 영향을 미치지는 않았으나 더 넓은 영역에 걸쳐 분포하려는 특성이 있었다.
3. 축방향에 대한 반경방향 공급압력비(*ROA*비)를 증가시키는 방법으로 공기공급량을 증가시킬 때 질량분포 특성은 *ROA* 비가 증가할 수록 충돌 중심점에서의 최대값은 낮아지면서 외곽쪽으로 넓게 분포하려는 특성을 나타내었으며 간섭효과는 점차 감소하였다.
4. 분사액체의 공급량 증가는 공급공기의 선회유동에 영향을 미쳐 충돌 중앙점에서의 간섭효과의

증가는 초래하였으나 질량중심점의 위치변화에는 영향을 끼치지 못하였다.

Reference

1. 김현중, 한재섭, 김유, 민성기, “공기충돌형 연료분사장치의 분무특성에 관한 실험적 연구” 한국추진공학회지 제2권 제2호, 1998. 8
2. 정래혁, 차영란, 지평삼, 김유, 박정배, “2-유체를 사용하는 Swirl 인젝터의 분무특성에 관한 연구”, 항공우주학회 춘계학술대회 논문집, 1997
3. 김인구, 이상용, “두개의 외류분무 노즐로부터 분사되는 이중분무의 분무특성에 관한 실험적 연구”, 대한기계학회 논문집 제12권 제2호, pp359 ~372, 1988
4. L. Bayver, Z. Orzechowski, “Liquid atomization”, Taylor & Francis, 1993
5. Rizk, N. K., and Lefebvre, A. H., “Influence of Liquid Film Thickness on airblast Atomization”, ASME Journal of Engineering for Gas Turbine and Power, Vol. 102, pp.706~710, 1980.
6. El-Shanawany, M.S. M. R., and Lefebvre, A. H., “Airblast Atomization : The Effect of Linear scale on Mean Drop Size”, Journal of Energy, Vol. 4, No. 4, pp. 184~189, 1980.
7. 한영민, 설우석, 이대성, 정인석, “공기충돌형 분무화에서 액적과 공기의 상호작용에 대한 실험적 연구,” 한국항공우주학회 추계학술 대회 1997.