

공기충돌형 연료분사장치의 분무특성에 관한 실험적 연구

김현중*, 한재섭*, 김 유*, 민성기**

An experimental study on the characteristics of spray pattern by the Airblast Atomizer

Hyun-Joong Kim*, Jae-Seob Han*, Yoo Kim* and Seong-Ki Min**

ABSTRACT

An experimental study was carried out to investigate the characteristics of spray pattern such as discharge coefficient, spray angle, and mass distribution for two-fluid airblast swirl injector, within the range of fluid supply pressure 0~13Kg/cm². In general, atomization is promoted with increasing total gas mass flow and performance of the spray pattern was more stable when radial mass flow was greater than axial mass flow, radial swirler was better than Axial swirler for atomization. Equivalent spray angle did not change with water mass flow except for the condition of 3Kg/cm² and showed the same for the gas mass flow. Mass distribution from the patternator shows that maximum value of the distribution were lowered but distributed larger area when gas flow rate increased. Center of mass position did not change with increasing water mass flow.

초 록

Duplex Type의 2-유체 공기충돌형 Swirl 인젝터의 분무특성을 파악하고자 유체공급압력 0~13Kg/cm² 범위에서 유량계수, 등가 분산각, 질량분포를 실험적으로 구하였다. 일반적으로 기체의 총 유량이 증가할수록 미립화는 촉진되나 반경방향 유량이 많은 경우에 분무형상은 비교적 안정적이었으며, 축방향 보다는 반경방향 선회기가 미립화에 미치는 영향이 컸다. 3Kg/cm²을 제외하고는 물 유량이 증가함에 따른 등가 분산각의 변화는 미소하였고, 기체의 유량증가도 마찬가지였다. Patternator를 사용한 질량 분포는 반경방향 기체유량이 증가함에 따라 분포곡선의 최대점은 낮아지면서 더 넓은 영역에 걸쳐 분포하였고, 물 유량의 증가에 따른 질량중심점의 위치는 변화가 없었다.

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

**국방과학연구소(Agency for Defense Development)

기호설명

- P 압력
- h 액주 높이
- θ patternator 중심에서 질량중심까지 거리
- D 인젝터 노즐출구와 patternator 상판까지의 수직거리
- r patternator 중심에서 각 셀의 중심까지 거리
- A 시험관 단면적
- A_0 노즐 출구 단면적
- ρ 물의 밀도
- \emptyset 등가 분산각
- φ 반경방향 기체공급 압력 대 축 방향 기체 공급 압력비
- del P 공급압과 대기압의 차(분사차압)

- 아래첨자 -

- I 채집관의 각 요소
- w 물
- r 반경방향 선회기
- a 축방향 선회기

1. 서 론

분무의 목적은 액체의 표면적을 증대시킴으로써 열 및 물질전달 특성을 증대시키는 것이다. 연소기에서는 연료를 연소하기 이전에 미소 액적으로 분열시킨 후 연소하므로 액체연료 분사 시스템의 설계시 액체의 균일하고 완전한 미소분열문제는 매우 중요하다. 특히, 항공기용 가스터빈 연소기에 사용되는 분사 시스템은 단순한 미소분열 이외에도 시동성 향상, 화염의 안정화, 공해물질의 저감 등을 고려하여야 하며, 미립화(Air Atomization)의 효율이 낮은 영역 즉, 시동(Start-up) 및 플레임 아웃(Flame-out) 근처의 영역에서도 효율적인 미립화가 이루어져야 한다. 이러한 요구를 만족시키기 위하여 오래 전부터 다양한 연구가 이루어져 왔으며, 최근에는 선회(Swirl)제트에 의한 재순환 영역을 형성하는 방법에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다.

본 연구에서는 압력분사방식에 의한 시동용 가압

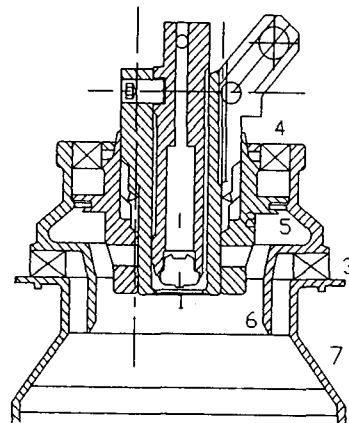
(Pilot pressure)노즐과 2유체 분사방식에 의한 주 분사노즐의 장점이 조합된 이중의 매니폴드(Manifold)를 갖는 복합형태(Duplex Type)의 연료노즐에 대해 직접 사진측정법과 포집법을 사용하여 운용조건에 따른 분산각, 미립화 정도 및 액적 분포 등의 분무특성을 고찰하였다.

2. 실험장치 및 조건

2.1. 실험장치

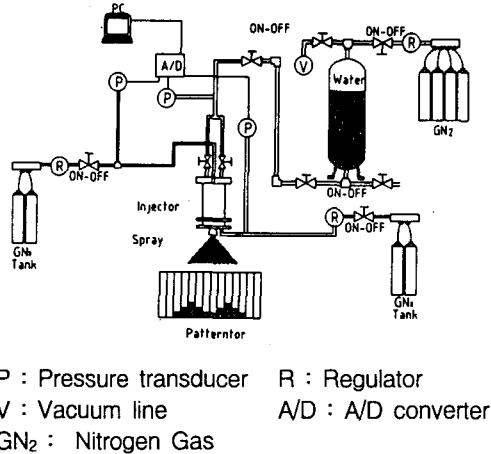
Fig. 1은 본 연구에서 사용한 노즐의 조립도이다. 작동유체의 공급부는 노즐출구직경이 0.4mm인 보조(Pilot) 노즐과 축 방향 배인 사이에 60° 간격으로 노즐출구직경이 1mm인 주(Main) 노즐 6개로 이루어져 있다. 공기 공급부는 배인각 60°의 축 방향 선회기(Axial Swirler)와 선회방향이 서로 반대인 반경방향 선회기(Radial Swirler)가 있고, 이외에 예혼합실(Premixing chamber), 편향기(Deflector) 및 안정기(Stabilizer)로 구성되어 있으며 실험 장치는 Fig 2에 보인 바와 같다.

본 실험에서는 분무형태를 파악하기 위해 Stroboscope로 4500 rpm의 광원을 공급하여 순간적인



- 1. Pressure Atomizer
- 2. Fuel spray hole
- 3. Radial Swirler
- 4. Axial Swirler
- 5. Premixing Chamber
- 6. Deflector
- 7. Stabilizer

Fig. 1 Injector assembly



P : Pressure transducer R : Regulator
 V : Vacuum line A/D : A/D converter
 GN₂ : Nitrogen Gas

Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

분무형상을 카메라에 담았다. 또한 인젝터로부터 분사되는 액적의 질량분포를 측정하기 위하여 Photo. 1과 같이 10mm×10mm 정방형 셀이 가로에 25개 세로에 15개로 총 375개의 격자 셀을 가진 채집장치 (Patterner)를 제작하여 실험하였다.

실험방법으로는 질소에 의하여 작동유체가 가압 되어 보조(Pilot) 작동유체 라인 및 주(Main) 작동유체 라인을 통해 시험단면으로 공급되고, 작동유체 및 질소가스의 공급압력은 인젝터 매니폴드 바로 앞에 압력변환기를 부착하여 측정하였다. 작동유체로는 물을 가압용 기체로는 질소를 사용하여 3, 6, 9, 12Kg_f/cm²의 가압 조건을 바꾸어가며 보조(Pilot) 노즐과 주(Main) 노즐에 공급할 수 있도록 하였다. 공급 공기는 공기대신 압축질소를 사용하여 축류(Axial) 및 반경(Radial)방향으로 0~13Kg_f/cm²의 압력범위에서 각 선회기를 통하여 공급되도록 하였다.

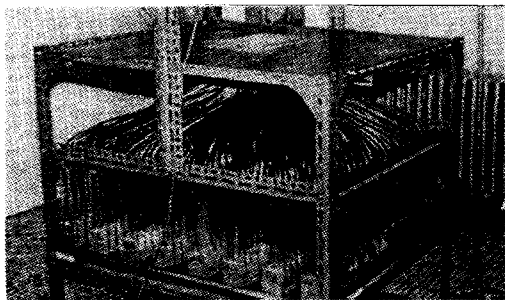


Photo.1 Photograph of Patterner

3. 실험결과 및 고찰

연료노즐에서 선회실(Swirl Chamber)을 가진 보조(Pilot) 노즐은 공기-코아형 와류(Air-cored Vortex)를 형성하여 분사 노즐로부터 증공 원추형의 얇은 막 형태로 분출되어 미립화 되고, 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 반 시계 방향 선회운동에 의하여 액막이 불안정하게 될 뿐 아니라 경계 층에서의 난류 및 전단 응력이 커져서 최종적으로 재 미립화(reatomization)가 이루어진다.

3.1. 유량계수

유량계수(discharge coefficient)는 식 1)에 나타난 바와 같이 분사차압(del P)의 함수로써 나타낼 수 있으며 본 실험에서는 압력변환기로 분사차압을 측정하고 일정시간 동안 분사된 물을 용기에 담아 전자저울을 이용하여 실제 질량 유동율을 구한 다음 식 1)에 의해 간단히 계산한 후 비교하였다.

$$C_d = \frac{\text{Experimental mass flow rate } (\dot{m}_{Exp})}{\text{Theoretical mass flow rate } (\dot{m}_{The})}$$

$$= \frac{\dot{m}_{Exp}}{(\sqrt{2\rho \text{ del}P} A_o)_{The}} \dots\dots\dots 1)$$

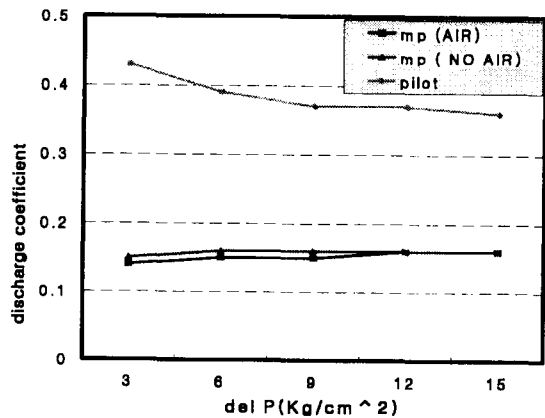


Fig. 3 Discharge coefficient

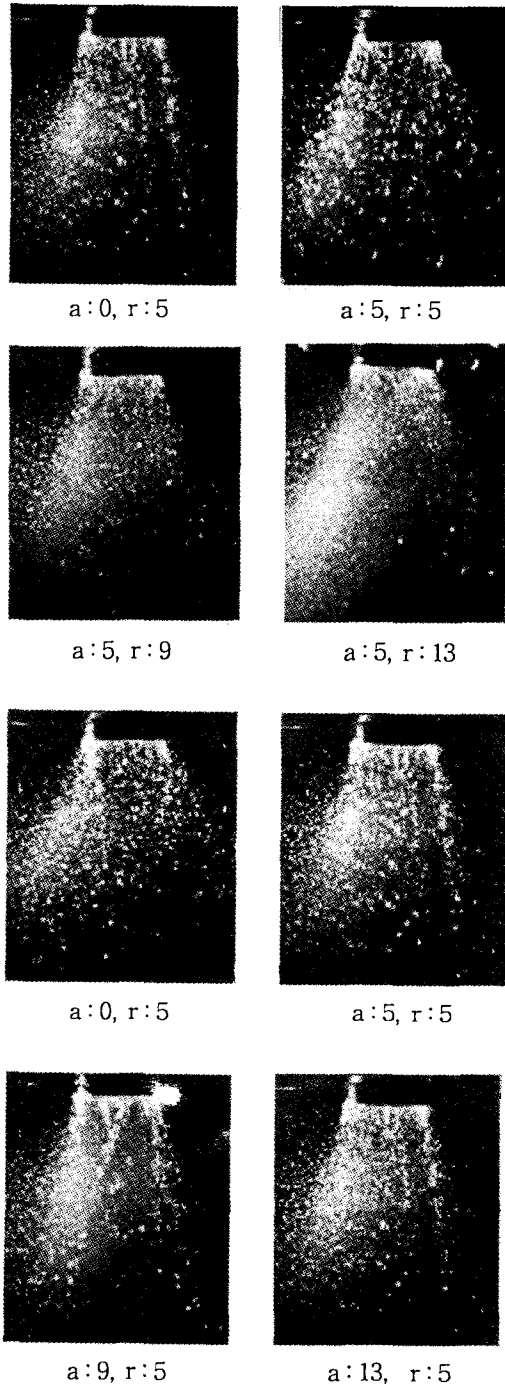


Photo. 2 Instantaneous image of Spray pattern (Pw = 9Kg/cm²)

Fig. 3은 보조(Pilot) 노즐과 기체를 공급 공급하지 않았을 때와 공급했을 때의 복합형태(Duplex Type) 연료노즐 (Main Nozzle + Pilot nozzle)의 유량계수를 나타낸 그래프로서 유량계수가 공급기체의 영향을 거의 받지 않았다.

3.2. 가시화 결과

미립화 정도는 사진촬영과 육안에 의한 관찰에 주로 의존했으며 실험결과 작동유체의 미립화 현상은 작동유체의 유량과 공급 기체의 총 유량간에 밀접한 관계가 있었고, 공급기체는 축 방향과 반경방향의 총 공급유량이 증가할수록 미립화는 촉진되나 반경방향 유량이 축 방향 유량 보다 많을 때 미립화가 안정적이며 Photo. 2는 축 방향 공급압력이 일정할 때, 반경방향 공급 압력이 일정할 때 각 선회기의 분무 영향을 본 것으로 반경방향 유량의 증가가 미립화 촉진에 미치는 영향이 크을 알 수 있다.

3.3. 등가 분산각

분무 액체는 미립화 과정을 진행하면서 표면장력에 의한 액막의 수축효과와 주위기체와의 상호작용에 의하여 액막이나 액적군이 궤적의 안쪽으로 들어오는 효과가 발생하여 이상적인 분무면적보다 실제 분무면적의 감소가 일어난다. 본 연구에서는 분무 유량분포곡선의 중심의 위치를 나타내는 각도로서 다음과 같이 정의된 식에 실험치를 대입 계산하여 분

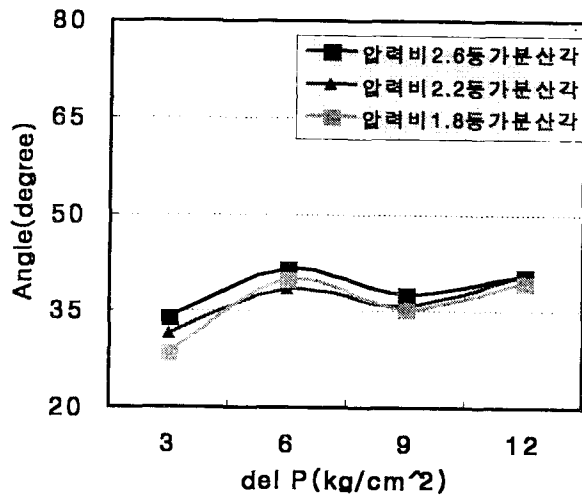


Fig. 4. Equivalent spray angle

석하였다.

Equivalent Spray Angle, $\Phi = \Phi_L + \Phi_R$

$$\theta = \frac{\sum (h_i r_i A_i \rho_i)}{\sum (h_i A_i \rho_i)}$$

$$\Phi_L(\text{or } \Phi_R) = \arctan\left(-\frac{\theta}{D}\right)$$

Fig. 4는 작동유체의 공급 압력의 증가에 따른 등가분산 각의 변화를 나타내는 그래프로서 물 공급 압력이 3kg/cm²일때 기체의 운동량에 비해 물의 유량이 충분하지 못해 낮은 분산각을 보이다가 6kg/cm²이후부터는 큰 변화없이 일정한 값을 유지하려는 경향을 보여주고 있다. 이는 본 인젝터 하단에 부착된 안정기의 영향인 것으로 사료된다.

3.4 질량분포

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

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

Fig. 5는 공간적인 질량분포변화를 3차원으로 나타낸 것이다.

Fig. 6 (a), (b), (c) 는 Patternator에 의해 채집된 질량분포중 Patternator 중심축상의 질량분포를

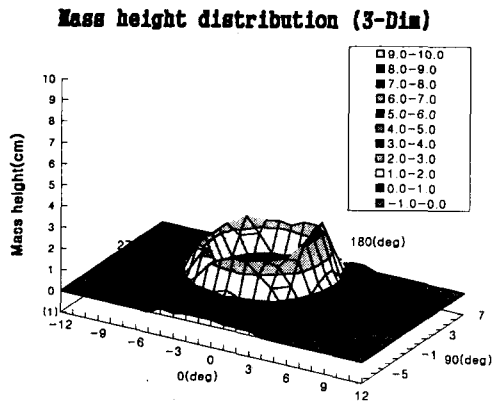
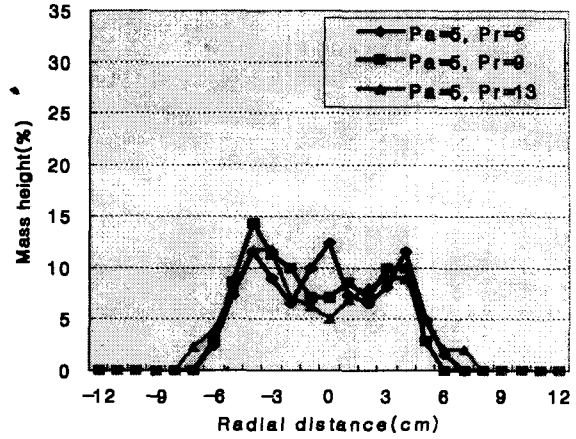
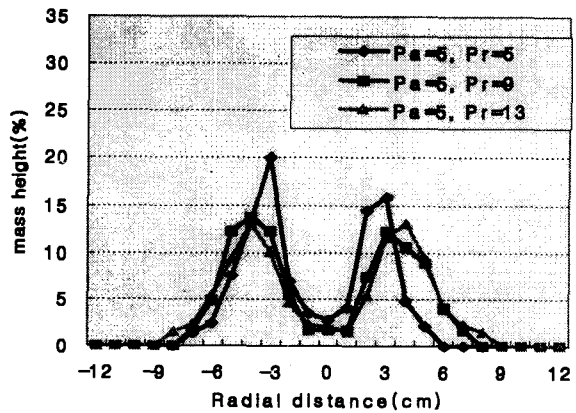


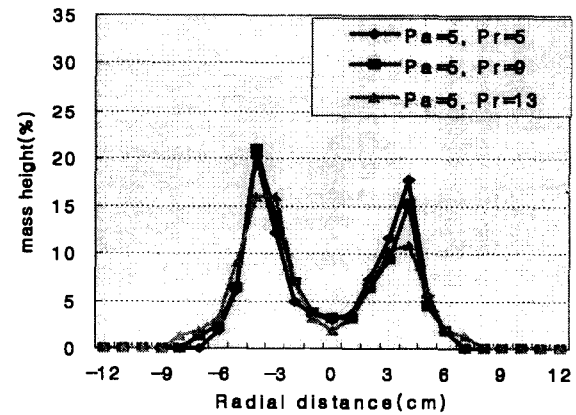
Fig. 5 Mass distribution of nozzle



a) P_w = 3Kg/cm²



b) P_w = 6 Kg/cm²



c) P_w = 9 Kg/cm²

Fig. 6. Effect of the Air pressure

선택하여 그래프화 한 것으로 작동유체의 압력이 일정할 때 반경방향 대 축 방향의 공급 압력비 ϕ 의 증가에 따른 질량분포의 변화를 나타낸 것이다. (a)의 경우 물 공급압이 기체 공급압에 비해 상대적으로 작아 main stream을 형성하지 못하고 불안정한 분무 형태를 보여주고 있으나 (b), (c)의 경우는 압력 비 ϕ 가 증가함에 따라서 질량분포의 최대점이 낮아지면서 더 넓은 영역에 걸쳐 분포하는 경향을 보였다.

Fig.7은 공급질소 압력 비 ϕ 값이 일정할 때 작동유체의 공급압력 증가에 따른 질량분포를 나타낸 그래프로서 작동유체의 공급압력의 증가에도 질량중심의 위치는 거의 변하지 않았다.

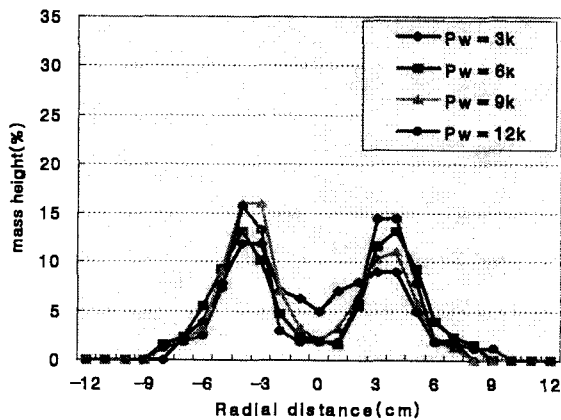


Fig. 7. Effect of the Fluid pressure

4. 결 론

2-유체를 사용하고 축 방향과 반경 방향의 선회기를 갖는 복합형태(Duplex Type)의 연료노즐(Main Nozzle+Pilot nozzle)로부터 본 연구의 실험에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 선회실(Swirl Chamber)을 가진 보조(Pilot) 노즐은 약 0.36~0.43의 유량계수 값을 가졌으며 복합형태(Duplex Type)의 연료노즐은 기체의 공급에 무관하게 약 0.15~0.16의 유량계수 값으로 일정하였다.
- (2) 미립화는 축 류 및 반경방향의 총 유량이 증가할수록 촉진되나 축 류 공급 유량보다는 반경

류 공급유량이 많을 때 미립화는 잘 일어나며 축 류(Axial)방향 선회운동 보다는 반경(Radial)방향 선회운동이 미립화에 미치는 영향이 컸다.

- (3) 등가 분산각은 물 공급 압력이 6kg/cm^2 이상부터는 거의 변화가 없었으며, 반경방향 기체공급 압력의 증가에도 마찬가지로 결과였다.
- (4) 본 실험조건에서 질소공급 압력비 ϕ 가 일정할 때 작동유체 압력의 증가에도 질량중심의 위치는 변함이 없었으며, 작동유체의 압력이 일정할 때 반경방향 기체 유량이 증가할수록 분포곡선의 최대점이 낮아지면서 더 넓은 영역에 분포하려는 경향을 나타내었다.

Reference

1. Lefevber, A. H, and Miller. D, "The development of an Air Blast Atomizer for Gas Turbine Application, CoA-Rreport-Aere-193, College of Aeronautics", Cranfield, England, 1966.
2. 정래혁, 차영란, 지평삼, 김유, 박정배, "2-유체를 사용하는 Swirl 인젝터의 분무특성에 관한 연구", 항공우주학회 춘계학술대회 논문집, 1997
3. Arthur H. Lefebvre, "Atomization and sprays", Hemisphere Publishing Corp., 1989
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 추계학술대회 논문집 1997.