

회전연료노즐 형상변경에 따른 분무특성

장성호* · 최현경* · 이동훈** · 유경원*** · 최성만****

Spray Characteristics of the Rotating Fuel Nozzle with Orifice Geometry

Seongho Jang* · Hyunkyung Choi* · Donghun Lee** · Gyungwon You*** · Seongman Choi****

ABSTRACT

An experimental study was conducted to understand spray characteristics of rotating fuel nozzle by using high speed rotational system. The experimental apparatus consist of a fuel injection system, high speed rotational system, and acrylic case. The test is performed with several diameters and number of injection orifices. Spray characteristics such as droplet size and velocity are measured by PDPA(Phase Doppler Particle Analyzer). From the test results, we could understand the spray characteristics of rotating fuel nozzle with orifice number and diameter.

초 록

회전식 연료 노즐의 분무특성을 알기 위해서 고속회전 시험장치를 이용하여 실험적 연구를 수행하였다. 시험장치는 연료공급장치, 고속 회전장치 그리고 아크릴 케이스로 구성되어있다. Injection orifice의 직경 및 개수를 변화시켜가며 분무실험을 수행하였다. 액적의 크기 및 속도는 PDPA(Phase Doppler Particle Analyzer)시스템을 이용하여 측정하였다. 실험결과로부터 Injection orifice의 직경 및 개수변화에 따른 회전식 노즐의 분무특성을 이해 할 수 있었다.

Key Words: Rotating Fuel Nozzle(회전식연료노즐), Spray Characteristics(분무특성)

1. 서 론

가스터빈엔진의 연료분사 방법에는 공기충돌형(Air Blast), 압력분무식과 회전연료분무시스템

등이 사용된다. 기존의 공기충돌형과 압력분무식 연료분사 방식은 가스터빈 엔진에서 요구하는 분무특성을 잘 만족 시키지만 매우 정밀하고 복잡한 부품들이 필요하며 제작이 어렵고 비용과 시간이 많이 소요된다. 또한 연료를 공급할 보조 장치들이 필요하기 때문에 소형 가스터빈 엔진에 적용하는데 어려움이 있다. 반면 본 연구에 적용된 회전연료노즐 분무시스템은 엔진 회전축 원심력을 이용하므로 고압 연료펌프 시스템이

* 전북대학교 항공우주공학과
** 삼성테크윈
*** 국방과학연구소
**** 전북대학교 항공우주공학과
연락처, E-mail: csman@chonbuk.ac.kr

필요가 없고, 다른 연료노즐에 비해 부품 수가 매우 적고 간단한 구조로 되어있어 소형 가스터빈 엔진에 적용하는데 용이하다[1]. 이러한 회전 연료노즐 분무시스템은 Norster, Morishita 및 Dahm등에 의하여 연구되어졌고, 분무입자의 크기 및 속도 측정 데이터로부터 분무 특성을 이해하고 설명하고자 하였다. 첫 번째로, Norster[2]의 연구에서는 입자의 SMD(Sauter Mean Diameter, μm)와 회전방향 속도의 관계식 (1)을 도출하였고, 두 번째로, Morishita[3]의 연구에서는 회전속도 성분 V_p 와 연료유량에 관계된 SMD 경험식(2)를 얻었다.

$$SMD = \frac{3962}{V_p} \text{-----} (1)$$

$$SMD = 0.033 \frac{Q^{0.2} \cdot D^{0.3}}{V_p^{0.7}} \text{-----} (2)$$

Dahm[4]은 여러 형상의 회전연료노즐에 대하여 가시화 실험을 수행하였다.

본 연구는 회전연료노즐의 Orifice의 개수와 형상 변화에 따른 분무특성을 이해하기 위해 PDPA 시스템을 이용하여 입자의 SMD, 속도분포 및 분무패턴을 측정하고 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

회전연료 노즐의 실험장치 개요도는 Fig.1과 같다. 실험 장치는 가압식 물탱크, 회전연료노즐, 연료공급노즐, 고속회전이 가능한 Spindle, Acryl case 및 PDPA 시스템으로 구성하였고, 작동유체는 물을 사용하였다.

실험에 사용된 PDPA 측정시스템은 Ar-Ion Laser, Transmitter, Receiver, Signal Processor와 3-D Traverse로 구성된다. 회전연료노즐은 Spindle 축과 직접 연결하여 구동하도록 하였고, 가압식 탱크와 연료노즐을 연결하여 일정한 압력의 연료를 공급하도록 하였다.

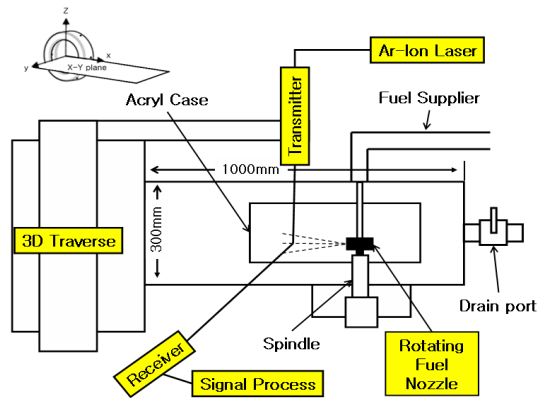


Fig. 1 Schematic diagram of Spray test rig with PDPA system

2.2 실험방법

분무실험은 엔진의 시동조건과 비슷한 조건에서 이루어 졌으며, Table 1에 보이는 것과 같이 세 가지 회전연료노즐을 이용하여 실험하였다. 3가지 경우를 각각 Case1, Case2, Case3로 표시한다.

Table 1. Test Matrix for Rotating Fuel Nozzle

	Injection Orifice개수	Injection Orifice직경(Φ)	면적(mm^2)
Case1	6	1.5	42.39
Case2	6	2.2	91.19
Case3	12	1.5	84.78

실험에 사용된 회전연료노즐은 세 종류이고 Fig. 2와 같다. Fig.2에서 보는 것과 같이 A와 B단면의 위치에 따라 Injection Orifice의 수가 다르다. (b)에 제시된 회전연료노즐은 Injection Orifice 수가 A 단면에 4개, B 단면에 2개로, 총 6개이며, (c)에 제시된 회전연료노즐은 Injection Orifice 수가 A 단면에 8개, B 단면에 4개로, 총 12개의 Injection Orifice가 위치하도록 하였다.

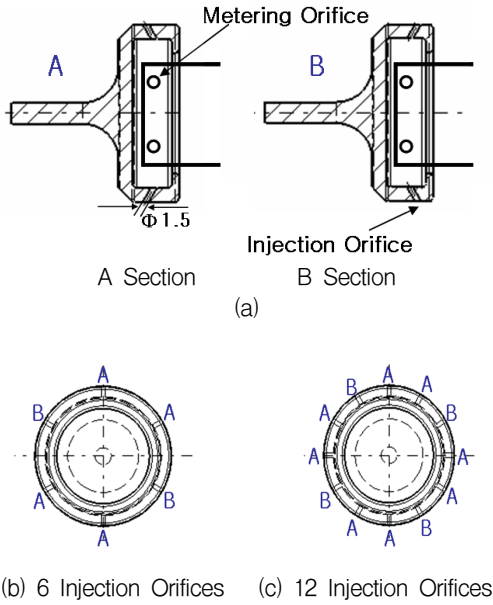
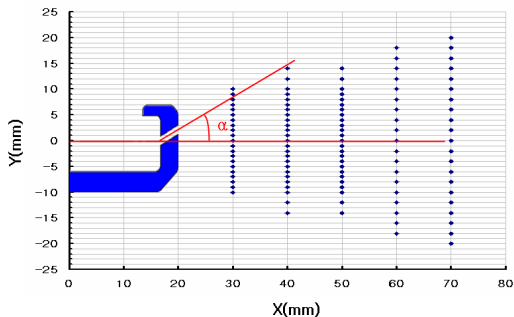


Fig. 2 Rotational Fuel Nozzle

Figure 3은 1-D PDPA를 이용한 입자의 크기 및 속도 측정 시 측정위치를 나타낸다. 측정위치는 xy평면 111개이며, Traverse에 의하여 자동이송 되도록 하였다. 각 측정 위치에서 10,000개의 데이터를 샘플링 하였고, 소요시간은 20초 이하로 측정하였다. Fig. 3의 y(-) 영역은 Fig. 2의 A 단면에 해당하며, y(+) 영역은 B 단면에 해당한다.



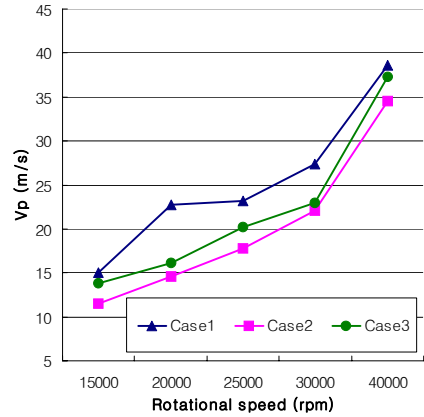
* α : Spray angle

Fig. 3 PDPA Measurement Points

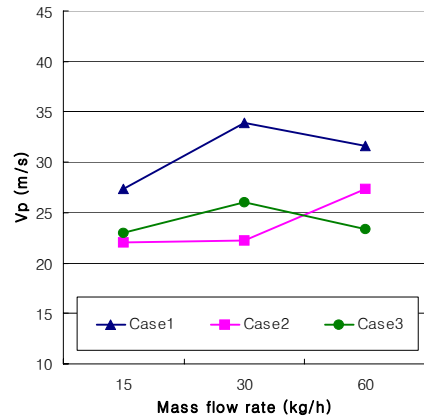
3. 실험결과 및 검토

2.1 PDPA 측정결과

Figure 4는 $X=30\text{mm}$ 인 위치에서 회전연료노즐의 최대속도를 회전수와 유량에 따라 비교한 것이다.



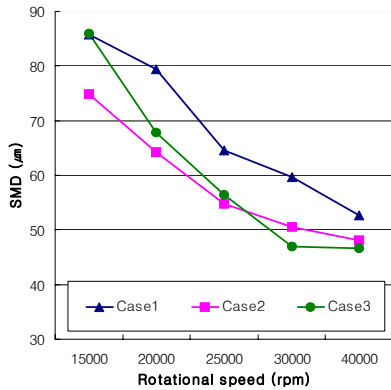
(a) Rotational Speed



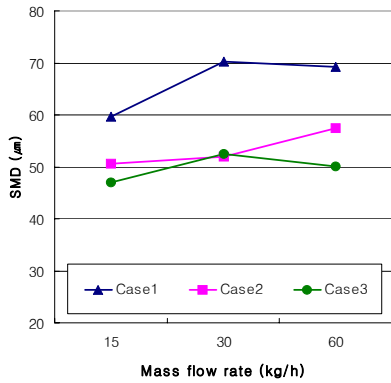
(b) Mass Flow Rate

Fig. 4 Peripheral velocity

Figure 4의 (a)에서는 인젝터의 회전수가 증가함에 따라 회전속도도 증가함을 볼 수 있었고, 특히 30,000rpm에서 40,000rpm으로 가는 부분에서는 급격한 변화가 있음을 확인하였다. 반면에 Injection Orifice 수가 많거나 직경이 큰 경우에는 회전속도가 작게 나타남을 볼 수 있었다. 반면 Fig. 4의 (b)에서는 유량이 증가할수록 회전속도가 변함은 확인 할 수 있었지만, 증가하거나 감소한다는 결과를 도출해내기는 어렵다.



(a) Rotational Speed



(b) Mass Flow Rate

Fig. 5 SMD with Rotational speed and Mass flow rate

Figure 5는 회전연료노즐의 SMD를 회전수와 유량에 따라서 비교해 놓은 것이다. Fig. 5의 (a)에서는 회전수가 증가함에 따라 SMD는 감소함을 볼 수 있었고, 이것은 회전속도가 증가하면 분사 액체와 주위기체와의 상대속도가 증가하여 액체의 미립화가 더 이루어지면서 SMD가 작아지기 때문이라 볼 수 있다. 25,000rpm이하의 저속 영역에서는 직경이 가장 큰 Case2가 가장 작은 SMD를 나타내며 그 이상의 회전수에서는 Orifice 개수가 많은 Case3이 가장 작은 SMD 분포를 보여주고 있다. Fig. 5의 (b)에서는 유량이 증가함에 따라 SMD도 증가함을 보여준다. 이것은 유량이 증가할 경우 액체 내부의 표면 장력과 점성력이 더 크게 작용하기 때문에 SMD가

커지는 것이라 볼 수 있다.

4. 결 론

회전연료노즐의 형상변화에 따른 분무특성을 이해하기 위하여 여러 가지 Injection Orifice에 대하여 PDPA를 이용하여 분무입자의 속도와 SMD를 측정하였다. 연구결과는 다음과 같다.

1. 회전연료노즐의 회전수가 증가함에 따라 분무입자의 원주방향 속도가 증가한다.
2. 회전연료노즐의 회전수가 증가함에 따라 분무입자의 직경은 점차 작아진다.
3. 유량이 증가함에 따라 분무입자의 직경은 점차 커지는 경향을 나타내었다.
4. 같은 오리피스 면적일 경우 저속에서는 오리피스의 직경이, 고속에서는 오리피스의 개수가 분무입자의 크기를 지배함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. A. M Mellor, Design of Modern Turbine Combustors, Academic Press, London, 1990, pp.306~314
2. Norster, E. R., CoA-Memo-51, 1964 Cranfield College of Aeronautics, Bedford, England
3. Morishita, T., A Development of the Fuel Atomizing Device Utilizing High Rotational Speed, ASME PaperNo. 81-GT-180, American Society of Mechanical Engineers, New York, NY
4. W. J. A. Dahm, P. R. Patel, B. H. Lerg, Visualization and Fundamental Analysis of Liquid Atomization by Fuel Slingers in Small Gas Turbine Engines, 32nd AIAA Fluid Dynamics Conference and Exhibit, 2002, AIAA Paper No. 2002-3183