

스월 인젝터에서 접선방향 유입구 조건에 따른 내부유동의 특성 연구

김성혁* · 길태욱* · 조성호* · 윤영빈*

Internal Flow Characteristics for Tangential Entry Conditions in a Swirl Injector

Sunghyuk Kim* · Taeock Khil* · Seongho Cho* · Youngbin Yoon*

ABSTRACT

Many theoretical and experimental studies have been conducted to investigate elements of the hydrodynamic process, such as variations in liquid film thickness or air core diameter. From these studies, some theoretical relationships have been established through an approximated analytical solution of flow hydrodynamics in a swirl nozzle. However, experimental studies on elements such as internal flow have not produced conclusive results. In this study, the variations and stability of the internal flow were examined by visualizing the air core and measuring the liquid film thickness.

초 록

지금까지 액막두께나 air core 직경 변화 등과 같은 수력학적 과정에 대한 이론·실험적 연구가 많이 이루어져왔다. 스월 노즐에서 수치적 해석 등을 통해 이에 대한 몇 가지 이론식들이 확립되었지만, 아직까지 내부유동에 대한 실험적 연구 결과 등은 명백히 정립되어 있지 않고 있다. 본 연구에서는 스월 챔버 내의 air core를 가시화하고 액막두께를 측정하여 내부유동의 변화 및 안정성 등을 살펴보았다.

Key Words: Tangential entry(접선방향 유입구), Liquid film thickness(액막두께), Air core(에어코어), Angular momentum(각운동량), Swirl chamber(스월챔버)

1. 서 론

스월 챔버 내에서 형성되는 air core는 오리피스에서의 액막두께를 결정하는 직접적인 원인이 된다. 일반적으로 인젝터 외부의 분무현상은 관

찰이 용이하지만, 스월 챔버 내의 air core 및 유동 현상은 large scale의 인젝터를 제외하고 보통은 가시화하기가 어렵기 때문에 주로 수치적인 해석을 통한 연구가 이루어지고 있다. Som 등은 air core가 중요한 분무특성 중의 하나인 유출계수에 지배적인 영향을 미치며, air core의 직경 역시 SMD에 지배적인 영향을 미치는 액막두께를 결정한다고 하였다. 따라서 air core가 스월

* 서울대학교 기계항공공학부
연락처, E-mail: inas97@snu.ac.kr

분무 영역에서 가장 중요한 요소 중의 하나가 될 수 있다고 하였다[1]. Dash 등은 원뿔형 노즐과 실린더형 노즐에서의 air core 형상을 비교하였으며, 실린더형 노즐에서 air core가 복잡한 나선 구조를 이루어 노즐 출구에서 원형이 아닌 타원형 제트가 나타난다고 하였다[2]. Cooper 등은 고속영상과 LDA 기법을 이용하여 pressure swirl atomizer의 air core와 액체표면의 wave를 가시화하였으며, helical/low amplitude random ripples/low frequency stationary wave라는 3가지 형태의 wave를 언급하였다. 또한, air core와 액체 표면상의 교란이 atomizer 출구에서 분열되는 액막에 의해 발생되는 wave 때문이라고 하였다[3].

본 연구에서는 스윙 인젝터 내부의 유동현상을 분석하기 위해 오리피스에서 액막두께를 측정하고 스윙 챔버 내의 air core를 가시화하였다. 액막두께는 Kim 등의 전기전도도법을 이용한 측정방식을 사용하였다. 이 방식은 Suyari와 Lefebvre가 사용한 방식과 유사하지만, 스윙 챔버 내부의 가시화가 가능하고, 다양한 형상 변수에 따른 액막두께를 측정하기 위해 인젝터를 교체 가능하도록 제작하였다. 또한, 정확한 액막두께 측정을 위해 더 다양한 두께에 대한 calibration을 수행하였다[4, 5].

2. 실험장치 및 방법

2.1 인젝터 및 장치구성

실험에 사용된 단일 스윙 인젝터의 구조는 Fig. 1과 같다. 기본적으로 액막두께를 측정할 수 있으며 스윙 인젝터는 tangential entry 개수 및 직경, 스윙 챔버 길이 및 직경을 변화시킬 수 있도록 교체가 가능한 파트로 구성되어 있다. 액막두께는 스윙 유동이 인젝터 내부에 형성되고 오리피스 하단에 위치하고 있는 두 전극 사이의 전압을 측정함으로써 얻어진다.

실험에서 작동유체로 사용되는 물의 전기전도도는 일정하기 때문에 오리피스 내에서 형성되는 액막두께에 따라 측정되는 전압으로 평균 액

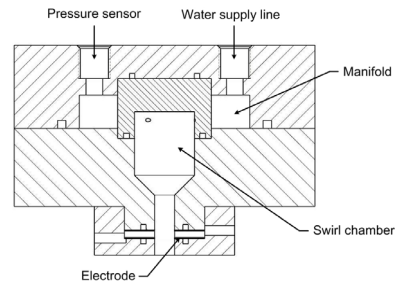


Fig. 1 Schematic of swirl injector

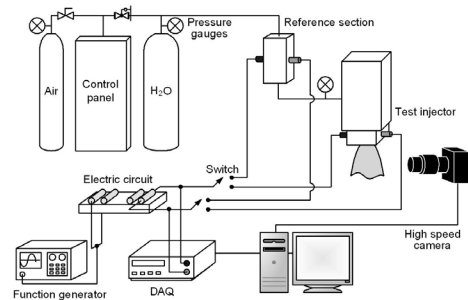


Fig. 2 Experimental apparatus

막두께를 환산할 수 있다. 전극은 원형의 얇은 SUS sheet 재질이며, 두 전극은 절연물질인 acryl에 접착되어 서로 분리되어 있다.

실험장치의 구성은 Fig. 2와 같다. 실험장치는 크게 함수발생기, 측정회로, DAQ, 인젝터, 고속 카메라로 구성되어 있다. 함수발생기로 일정한 주파수(10 kHz)와 전압(20 V_{p-p})을 공급해주고 오리피스 내의 두 전극을 통해 액막두께에 따른 전압이 측정된다. 인젝터 내부유동은 Photron社의 고속카메라(FASTCAM SA1.1 model 675K-C2)를 사용하여 4000 frame/s의 이미지를 촬영하여 분석하였으며, 이때 인젝터 manifold 압력과 액막두께는 동시에 측정하였다.

2.2 실험방법

실험에 사용되는 인젝터의 형상 변수를 정리하면 Table 1과 같다. 스윙 인젝터의 기본 형상은 스윙 챔버 길이 및 직경이 각각 19 mm, 18 mm, 접선방향 유입구 직경과 개수가 각각 1 mm, 3개로 이루어져 있다. 접선방향 유입구 직

경은 유입구의 개수가 3개로 고정된 상태에서 0.5, 2, 3, 4 mm로 변화시킬 수 있으며, 유입구 개수는 유입구의 직경이 1 mm로 고정된 상태에서 2, 4, 5, 6개로 변화시킬 수 있다. 이러한 접선방향 유입구의 조건은 내부유동에 불안정이 발생할 수 있는 스윙 챔버의 모든 길이 변수에 적용이 가능하다. 스윙 챔버 직경 변화에서는 기본 직경인 18 mm보다 작은 12, 15 mm 직경에 접선방향 유입구 직경 1, 3 mm를 각각 적용할 수 있게 하였다.

분사압의 측정은 인젝터 manifold의 압력을 직접 측정하였으며, 동시에 오리피스에서의 액막 두께를 200 kHz의 sampling rate로 측정하였다.

Table 1. Specification of swirl injector

Variable parameter	Value				
	Swirl chamber length (mm)	19	28	37	46
Swirl chamber diameter (mm)	12	15	18	21	24
Tangential entry diameter (mm)	0.5	1	2	3	4
Tangential entry number (ea)	2	3	4	5	6

유량은 각 조건에 따라 20초 동안 측정하여 평균된 값을 사용하였다. 분사압력은 기본적으로 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16 bar로 설정하였으며, 접선방향 유입구 조건에 따라 적절히 유동적으로 조절하였다. 이는 특정 유입구 조건에서 유량이 급격히 증가하기 때문에 정확도를 위해 평균한 유량 측정이 어렵기 때문이다.

3. 실험결과

3.1 형상변수에 따른 내부유동 및 액막두께 변화

스윙 인젝터에서 air core의 구조와 액막두께는 서로 밀접한 관련이 있다. Fig. 3은 스윙 챔버의 길이가 37 mm일 때, 일정한 분사압력(4 bar)에서 접선방향 유입구 직경 및 개수 변화에

따른 내부유동의 변화를 나타낸다. Fig. 3의 (a)와 (b)의 경우에서 air core가 완전히 발달되지 못하거나 꼬임현상이 발생하였다. 이는 (a)의 경우 좁은 유입구 면적으로 인해 충분한 유량이 공급되지 못했기 때문이며, (b)의 경우에는 유입구 개수가 3개에서 2개로 감소함으로 인해 유량이 감소하였기 때문이다. Fig. 3(c)의 경우 유입구 면적이 2 mm로 증가하였고, Fig. 3(d), (e)의 경우 유입구 개수가 각각 3, 4개로 증가해서 그만큼 유량의 증가폭이 커졌기 때문이다.

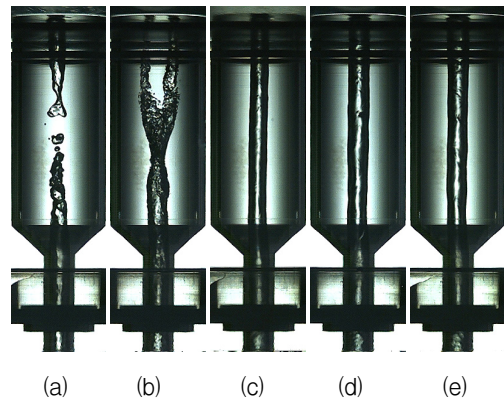


Fig. 3 Formation of air core in swirl chamber ; (a) $d_p = 0.5$ mm, (b) $n_T = 2$ ea, (c) $d_p = 2$ mm, (d) $n_T = 4$ ea, (e) $n_T = 5$ ea (d_p : tangential entry area, n_T : tangential entry number, $\Delta P = 4$ bar)

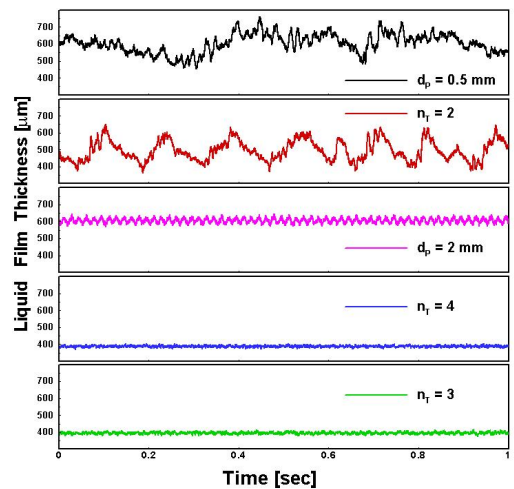


Fig. 4 Variations of liquid film thickness in orifice

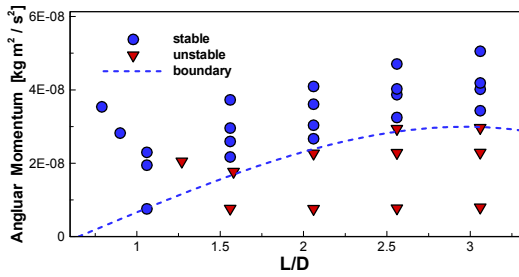


Fig. 5 Boundary map for internal flow ($\Delta P = 4$ bar)

Dash 등은 inlet Reynolds number에 따라 air core의 형상이 불안정해질 수 있음을 언급하였고, air core의 발달에는 충분히 높은 입구 속도와 유량에서만 가능하다는 점을 언급하였다[2]. Fig. 3(a)와 3(b)의 경우 이점을 고려하여 분사압을 16 bar까지 증가시켰음에도 불구하고 접선방향 유입구 조건으로 인해 air core의 형태가 여전히 불안정하게 나타나고 있다. 이러한 내부유동의 불안정 경향은 스웰 챔버 내부의 가시화뿐만 아니라 Fig. 4에서와 같이 오리피스 내의 액막두께 변화에서도 잘 나타나고 있다. Fig. 5는 일정한 분사압(4 bar)에서 각 형상변수 변화에 따른 안정성 경계를 나타낸다. 스웰 챔버에서 충분한 초기 모멘텀은 안정된 air core 및 내부유동을 위한 조건이 된다. Fig. 5에서의 각운동량은 초기 모멘텀($m^2/\rho A$, A : tangential entry area)과 회전반경을 곱한 값으로 유량증가 폭에 큰 영향을 받는다.

4. 결 론

스웰 인젝터에서 접선방향 유입구 조건이 내부유동의 안정성에 미치는 영향을 분사압에 따라 스웰 챔버 길이를 변화시키면서 비교하였다. 분사압의 증가가 유량의 증가를 가져오는 것은 사실이지만, 접선방향 유입구 조건에 따라서 유량의 증가에는 한계가 있을 수 있고, 그 한계 시점도 달라질 수 있으며, 내부유동의 안정성에도 영향을 줄 수 있다는 점을 확인하였다. 또한, 오

리피스 내에 형성되는 액막두께를 정확하게 측정하고 시간별로 분석하여 안정성 여부를 정확하게 분석할 수 있었다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 특정기초연구사업(R01-2007-000-11071-0)과 항공우주신기술연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. S. K. Som and S. G. Mukherjee, "Theoretical and Experimental Investigations on the Formation of Air Core in a Swirl Atomizing Nozzle," Applied Scientific Research, Vol. 36, No. 3, 1980, pp.173-196
2. S. K. Dash, M. R. Halder, M. Peric and S. K. Som, "Formation of Air Core in Nozzles with Tangential Entry," Journal of Fluids Engineering, Vol. 123, 2001, pp.829-835
3. D. Cooper and A. J. Yule, "WAVES ON THE AIR CORE/LIQUID INTERFACE OF A PRESSURE SWIRL ATOMIZER," ILASS-Europe 2001, Zurich 2-6 September 2001
4. 김성혁, 김동준, 윤영빈, "스웰 인젝터에서의 액막두께 측정에 관한 연구," 한국추진공학 회지, 제10권 2호, 2006, pp.70-77
5. M. Suyari and A. H. Lefebvre, "Film Thickness Measurements in a Simplex Swirl Atomizer," Journal of Propulsion and Power, Vol. 2, No. 6, 1986, pp.528-533
6. Donjat D., Estivaleres J. L., Michau M. and Lavergne G., "Phenomenological Study of the Pressure Swirl Atomizer Internal Flow," ILASS 2003