

대류유동으로 수직 분사된 과열 와류분무의 분무특성

이해천* · 윤웅섭*

Spray Characteristics of Superheated Swirl Spray Vertically Introduced into Convective Cross-flow

Haecheon Lee* · Woongsup Yoon*

초 록

감압비등에 의한 미립화는 더 미세한 직경의 액적을 얻을 수 있고, 분무각이 증가하며, 더 좋은 혼합특성을 갖는다는 점에서 단순 압력식 미립화와 차이가 난다. 감압비등이란 과열된 액체를 포화 압력 이하의 대기 중으로 분사하여 급격한 비등에 의해 이루어지는 미립화이다. 본 연구는 금속 연료를 이용한 추진기관의 산화제인 물 공급기술에 감압비등과정을 이용한 와류분무를 적용시키기 위해 수행됐다. 분열길이와 같은 거시적 특성은 Charge-Couple Device(CCD) 카메라를 이용해 측정하였고, Sauter Mean Diameter(SMD)와 SMD분포와 같은 미시적 특성은 Global Sizing Velocimetry(GSV) 시스템을 이용해 측정했다. 실험은 압력과 온도, 대류 속도를 변화시키며 진행했다.

Key Words: Flash-boiling(감압비등), Swirl spray(와류 분무), Spray characteristic(분무 특성), Dimensionless superheat(무차원 과열도)

1. 서 론

물을 산화제로 사용한 금속연료의 연소는 단위체적당 에너지 방출량이 높고 연소 시 발생하는 수소의 활용이 가능 하지만 점화가 어렵다는 단점이 있다. 용이한 점화를 위해 산화제의 미립화 성능을 개선할 필요가 있다. 일반적인 미립화 도구는 단순히 압력을 분열원으로 사용하기 때문에 작은 직경의 액적을 얻기에는 한계가 있다. 하지만, 감압비등(Flash-boiling)을 이용한 과열된 액체의 분사는 열역학적 분열 메커니즘 더해지기 때문에 더욱 미세한 액적을 얻을 수 있어 반

응률이 향상되며 과열된 액체는 내부 에너지 준위가 높기 때문에 금속연료점화에 유리할 것이라 기대된다.

앞서 말한 감압비등의 특징을 활용하고자 과열된 감압비등 대한 연구는 활발히 이루어지고 있다. Brown은 노즐 직경, 노즐 형상과 분무 특성에 대해 연구하였다[1]. Nagai등은 무차원 과열도 ΔT^* 를 정의하였고[2], 본 연구에서 중요한 변수로 사용되었다. Reitz는 사진촬영법을 이용하여 감압비등 액주 분무 미립화에 대해 연구하였다[3].

실제 연소실의 조건은 산화제와 금속연료의 분사와 점화, 연소로 인해 대류 유동이 형성돼있다. 연소실 조건과 같은 대류 환경에 액체의 수직분사는 공업적으로 다양한 활용이 가능하기

* 연세대학교 기계공학과
연락처, E-mail: wseyoon@yonsei.ac.kr

때문에 많은 연구가 진행되고 있다. Birouk은 대류환경에서 작동유체의 점성, 대류의 유속, 입사되는 액주 제트의 속도와 분열길이와의 관계에 대해 연구하여 대류 공기유동으로 수직 분사되는 액주제트의 온도 변화로 인한 점성의 변화는 분열 메커니즘에 영향을 주지 않지만, 천이 경계 큰 영향을 준다는 결과를 보고했다[4]. Choi 등은 직접 분사식 가솔린 인젝터를 사용하여 대류의 유속 변화에 따른 분무특성에 대한 연구를 하였다. 대류의 유속이 빠를수록 액적의 분열과 동시에 액적끼리의 합착현상이 가속화 되어 평균입경은 감소하지만 Sauter Mean Diameter (SMD)는 증가하는 양상을 확인하였다[5].

와류 노즐은 오리피스에 비해 미세한 액적을 얻을 수 있으며 축대칭 형태의 중공 원추 분무 형상을 나타내서 혼합 성능이 좋기 때문에 본 연구에 적절하다.

본 연구는 대류환경에서 과열된 와류 분무의 수직 분사 실험을 통해 연소실 내에서의 산화제 분무 특성을 확인하기 위해 수행하였다.

2. 실험 장치 및 방법

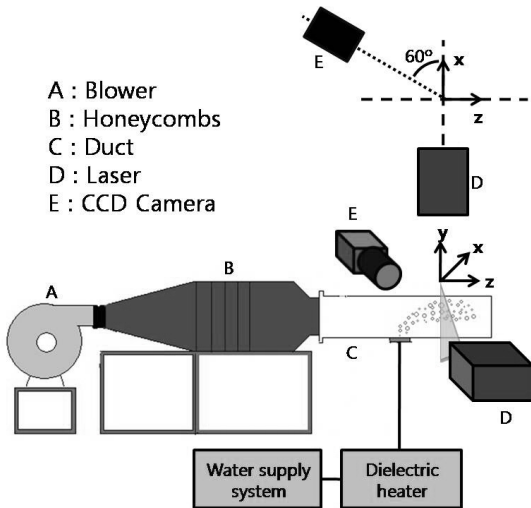


Fig. 1 Experimental setup

개략적인 실험 장치의 구성은 Fig. 1 과 같다. 연소실 모사를 위해 1,000 mm×150 mm×150

mm의 덕트를 제작하였다. 가시성 확보를 위해 소재는 아크릴로 선정하였다. 대류상황을 모사하기 위해 풍동과 허니콤을 이용하여 단면적 150 mm×150 mm의 관내에 균일한 유속의 유동이 발생하도록 하였다. 작동유체는 물을 사용하였으며, 펌프를 이용해 가압하여 분사했다. 가압된 액체가 노즐에서 분사가 이루어지기 전까지 고주파 유전가열 방식을 이용하여 목표온도까지 가열하였다. Global Sizing Velocimetry(GSV, TSI inc.) 시스템을 이용하여 액적의 위치와 액적의 직경에 대한 정보를 취득하였다. GSV시스템은 CCD 카메라(PowerView 4MP)와 광원인 레이저(Nd:YAG Laser), 카메라와 레이저를 동기화 시켜주는 싱크로나이저 등으로 구성된다. 카메라와 레이저를 60°의 각도로 배치한 후 싱크로나이저를 이용하여 동기화시켜 정지된 액적의 산란된 이미지를 얻었다. 그 후 프로그램(Insight 3G, TSI inc.)을 이용한 후처리 과정을 거쳐 액적의 위치와 액적의 직경 대한 정보를 얻을 수 있다. 대류유동의 방향으로 노즐로부터 40 mm 지점에 150 mm×150 mm의 넓이의 정사각형 25×25격자를 생성하였다. 각 격자 내에서 600장의 이미지를 취득하여 누적하였다.

분열길이는 노즐로부터 처음 발생하는 천공까지의 거리로 반응이 일어나는 지점을 결정하는 중요한 변수이다. 분열길이는 분무형태의 이미지를 각 상태에서 30개의 이미지를 취득, 누적하여 평균을 구하였다.

실험에 사용된 노즐은 중공원추형의 단면적을 갖는 상용노즐로(Hago Inc.) 분사공의 직경은 0.75 mm이고, 완전 발달 시 60°의 분무각을 갖는다.

Table 1 Experimental condition

P_{inj} [MPa]	Temperature			
	T_{inj} [K]	385	388	392
0.19	ΔT^*	0.63	0.78	0.94
	T_{inj} [K]	394	399	404
0.29	ΔT^*	0.64	0.79	0.94
	T_{inj} [K]	401	407	411
0.39	ΔT^*	0.65	0.79	0.88

Table 1 은 실험한 분사압력과 가열온도에 대한 표이다. 상온과 각 온도조건, 압력에서 실험을 수행하였다. ΔT^* 는 무차원 과열도이다.[2]

3. 결과 및 고찰

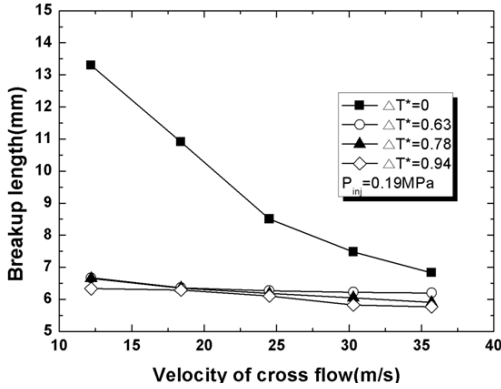


Fig. 2 Breakup length varying velocity of crossflow and ΔT^* at $P_{in}=0.19$ MPa

Figure 2 는 분사압력이 0.19 MPa 일 때 온도, 대류속도의 변화에 따른 분열길이이다. 대류속도가 증가할수록 액막에 전달되는 운동량이 증가하고, 액막을 분열시키는 외력으로 작용하여 분열길이 감소한다. 과열 시에도 대류의 영향으로 분열길이 감소하지만 상온상태에 비하여 감소하는 폭이 적게 나타난다.

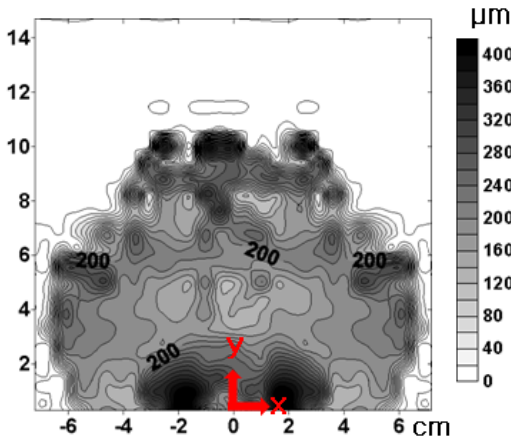


Fig. 3 SMD contour at $P_{in}=0.19$ MPa, $v=35.7$ m/s, $\Delta T=0$

Figure 3 는 상온에서 분사압력 0.19 MPa, 대류속도 35.7 m/s 일 때 SMD분포도이다. 대류의 영향으로 덕트 바닥면을 향하여 치우친 분포를 나타낸다. 분포도의 아랫부분과 윗부분, 그리고 분무의 경계에서 SMD가 크게 나타난다.

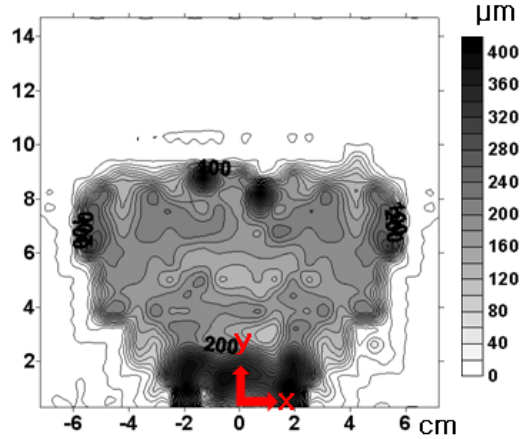


Fig. 4 SMD contour at $P_{in}=0.19$ MPa, $v=35.7$ m/s, $\Delta T=0.94$

Figure 4 는 Fig. 3와 동일한 분사압력과 대류속도에서 무차원 과열도가 0.94 일 때 SMD분포도이다. 무차원 과열도가 증가함에 따라 타원형의 단면적이 역삼각형의 형태로 변하며, 분무의 단면적이 감소한다. 또한, 국부적으로 SMD가 크게 나타나는 영역이 해소된다. Fig. 3와 마찬가지로 노즐에 가까운 아랫부분에서 상대적으로 SMD가 크게 나타난다.

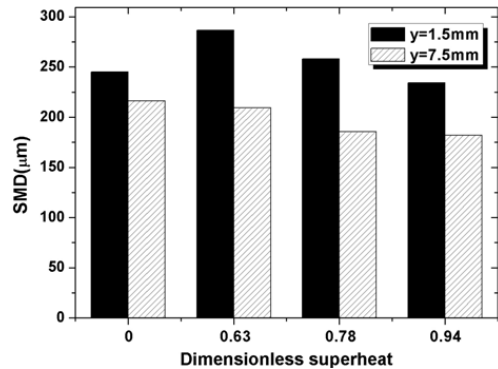


Fig. 5 Comparison of SMD varying measurement point, $y=1.5$ mm and $y=7.5$ mm

Figure 5은 대류속도 35.7 m/s 일 때 덕트 바닥면으로부터 수직거리 1.5 mm 지점과 7.5 mm 지점의 무차원 과열도 변화에 따른 SMD 그래프이다. 수직거리 1.5 mm 인 지점에서는 상온 분사 시 보다 무차원 과열도가 0.63 일 때 SMD가 증가하지만 무차원 과열도가 증가할수록 SMD가 감소한다. 수직거리 7.5 mm 인 지점에서는 과열도가 증가할수록 SMD가 감소하는 경향을 나타낸다.

4. 결 론

횡방향 대류 유동으로 수직분사한 과열 와류 분무의 수직분사 시 분무 특성 변화에 대한 연구를 하였다. 과열된 액체의 분무는 상온일 때에 비하여 향상된 분무 특성을 나타내며 요약하자면 다음과 같다.

상온 분사와 과열 분사 모두 대류속도가 증가할수록 분열거리가 감소하는 경향을 나타낸다. 하지만 상온 분사에 비하여 과열 분사 시 감소하는 분열길이의 폭이 적다.

상온 분사 시 분무의 경계 부분에 국부적으로 존재하던 SMD가 높은 지역이 가열할수록 해소된다.

분무의 대류 방향에 대한 수직 단면은 과열도가 증가할수록 단면적이 줄어든다. 그 이유는 과열도가 증가하게 되면 수증기 생성량이 증가하고 더욱 미세한 액적을 얻을 수 있다. 큰 액적에 비하여 작은 액적의 관성이 작아 대류의 영향에 빠르게 순응하기 때문이다.

후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다. (계약번호 UD070027AD)

참 고 문 헌

1. R. Brown and J. Louis York, "Sprays Formed by Flashing Liquid Jets", American Institute of Chemical Engineers, Vol. 8, No. 2, May, 1962, pp.149-153
2. N. Nagai, K. Sato and W. Ch. Lee, "Atomization Characteristics of Superheated Liquid Jets", International Conference on Liquid Atomization and Spray System, 1985
3. Rolf D. Reitz, "A Photographic Study of Flash-Boiling Atomization", Aerosol Science and Technology, Vol. 12, Issue 3, 1990, pp. 561-569
4. M. Birouk, T. Stähler and B. J. Azzopardi, "An Experimental Study of Liquid Jets interacting with cross airflow", Particle and Particle System Characterization, Vol. 20, Issue 1, 2003, pp.39-46
5. Jaejoon Choi, Youngseok Lee, Dongsuk Choi and Choongsik Bae, "Spray Characteristics of High Pressure Gasoline Swirl Injector with Various Cross-flow Speeds", Transactions of KSAE, Vol. 13, No. 1, 2005, pp.1-8