

이중 선회 분무간의 거리와 연료온도 변화에 따른 분무특성에 관한 실험적 연구

최경식* · 박병성** · 김호영*** · 민성기****

The Experimental Study on the Effects of Temperature and Distance between Injectors on the Spray Characteristics of Duplex Swirl Injector

K.S. Choi*, B.S. Park**, H.Y. Kim*** and S.K. Min****

ABSTRACT

Experimental studies on effects of the interaction of duplex swirl injector and the liquid temperature on the spray characteristics were conducted. Water and fuel were used as a test fluid for the experiments. The drop size distributions of the liquid spray were measured with Malvern particle sizer. The liquid temperature and distance of injectors were adopted as the operating parameter. The results show that SMD decrease as the increases of fuel temperature and pressure. The spray angle increase as fluid temperature increases. For fuel spray, SMD of impacting surface increase as the distance of injectors is lengthened.

Key Words : Spray, SMD, Fuel temperature, Spray angle

1. 서 론

현재 사용되고 있는 대다수의 동력기관들이 액체연료를 사용하고 있다. 이들기관에 사용되는 연소기의 효율은 곧 그 기관의 효율에 크게 영향을 미치고 있으며, 연소기의 효율은 연소실 내의 온도, 압력 등의 여러 가지 요인에 의해 영향을 받지만 인젝터의 분무특성에 의해 크게 영향을 받는다.[1,2,3]

인젝터의 분무특성을 결정하는 인자 중 중요시되는 것으로 분무액적의 크기 및 질량·속도 분포가 있다. 이들에 대한 연구는 효율적이고 안정

적인 연소를 위해서 인젝터의 연구 중 가장 기본적인 면서 중요하다.

통상적으로 여러 개의 인젝터에 의해 분무가 동시에 이루어지는 실제 시스템의 경우에는 인젝터간 거리에 따라 개별적으로 분사된 분무들이 서로 중첩되어 단일 인젝터를 사용할 때의 현상과 다른 분무특성을 갖게 된다.[3]

따라서 단일 인젝터의 분무특성만으로는 연소기내의 현상을 이해하기 힘들다. 또한 연소기공급되는 연료의 온도변화가 비교적 큰 경우, 연료의 물성치 변화로 인하여 분무특성의 변화가 나타나게 되지만 이에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다.

이에 본 연구는 온도, 압력 및 작동유체를 변화시켰을 때, 단일 인젝터의 분무특성을 살펴보고, 2개의 인젝터를 동시에 분사할 때, 인젝터간 거리변화에 따라 분무간 상호작용에 의한 분무특성을 파악하였다.

또한, 연료의 온도범위를 $-15^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$ 로 변화시켜가며 연료의 물성변화로 인한 분무특성의 변

* 한국가스공사 연구개발원

† supercks@kogas.or.kr

** 고려대학교 기계공학과 대학원

*** 고려대학교 기계공학과

**** 국방과학연구소

화를 파악하였다. 작동유체로서 물과 Kerosine 계 연료를 사용하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig.1 은 실험장치의 개략도이다. 작동유체는 진공펌프를 이용하여 고압용 스테인레스 탱크에 충전된다. 질소가압에 의하여 연료가 분무기(Injector)로 공급되며, Regulator로 가압탱크의 질소압력을 조정한다. 탱크로부터 가압되어 나온 작동유체의 압력은 pressure transducer를 통하여 측정한다. 작동유체의 온도는 K-type 열전대를 이용하여 측정하고, 그 출력을 digital thermometer를 이용하여 측정하였다.

작동유체는 온도범위 $-40^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 까지 가열, 냉각시킬 수 있는 고온/저온 항온조와 열교환기를 이용하여 온도조절을 하였다.

항온조 내부에는 heater와 cooler가 함께 있어 설정온도까지 온도가 변하면 feedback방식으로 온도를 유지시켜준다.

열교환기는 일반냉동기용 condenser를 수조규격에 맞추어 가공하였다.

3차원 이송기구를 이용하여 인젝터와 Malvern particle sizer와의 거리를 변화시켰으며, 두 개의 분무기의 분무상태 측정에서 분무기 사이의 간격을 변화시킬 수 있는 분무기 간격조절 치구를 제작하여 거리간 변화에 따른 분무특성을 측정하였다.

본 실험에서 사용한 입경분석장치는 Malvern Particle Sizer로서 He-Ne 레이저를 사용하며, 빔의 회절(Diffraction)을 이용하여 입자의 크기를 측정한다.

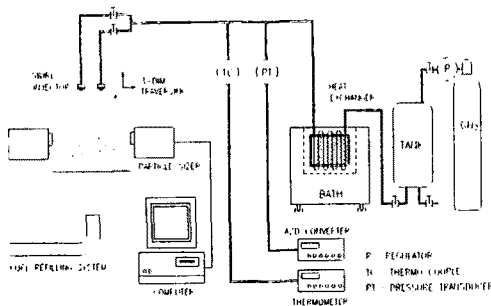


Fig.1 The schematic diagram of experimental apparatus.

2.2 실험조건 및 관련이론

본 실험은 상온의 대기압 하에서 분무실험을 수행하였으며, 실험유체로 쓰인 물과 Kerosine계 연료(이하 Fuel) 각각의 물성치는 다음과 같다.[8]

Table 1. The properties of water and fuel at 20°C

	Water	Fuel
Density (kg/m^3)	998	808
Kinetic Viscosity (mm^2/s)	1.007	1.625
Surface tension (mN/m)	73.6	23.3

본 실험에서는 digital camera를 이용하여 영상처리를 하였고, Malvern Particle Sizer를 이용하여 SMD(Sauter mean diameter)를 측정하였다.

SMD는 물질전달, 화학반응 및 연소에서 액적 분무특성을 잘 표현하는 인자이며, 다음과 같은 정의식으로 표현된다.[1,2,3]

$$SMD = D_{32} = \frac{\sum D^3 dn}{\sum D^2 dn} \quad (1)$$

SMD는 체적과 표면적의 비를 나타내기 때문에 체적당 표면적이 넓을수록 SMD가 작아지게 된다. SMD가 작을수록 단위 분사량당 주위 공기와 접하는 면적이 크기 때문에 주위 공기와의 열전달이 용이해지고, 또한 증발이 원활하게 되어 증발율이 증대된다.[1, 6]

2.3 실험방법

본 실험에 사용된 인젝터는 점화 및 저추력 운용시 사용되는 Pilot 노즐과 일반 운용시 사용되는 main노즐로 구성되어 있으나 본 연구에서는 main노즐의 분무특성만을 다루기로 한다.

작동유체로 물과 연료를 이용하여 측정하였다.

물은 0°C 이하에서 얼음결정을 만들기 때문에 온도변화를 고려하지 않고 10°C 로 일정하게 유지시키고, 압력에 의한 영향만을 측정하였다. 연료는 실험온도범위 전체에 걸쳐서 온도의 영향을 살펴보았다.

두 개의 인젝터에 대해 각각 단일분무의 측정 데이터를 확보한 후 압력을 $6\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 일정

게 유지하고, 두 인젝터간 거리와 온도를 변화시켜 가며 SMD를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유량계수 실험

Fig. 2는 온도 10°C 물을 이용하여 측정한 유량계수를 도시한 그래프이다.

압력의 변화에 상관없이 두 개의 인젝터 모두 0.06정도로 거의 일정하다.

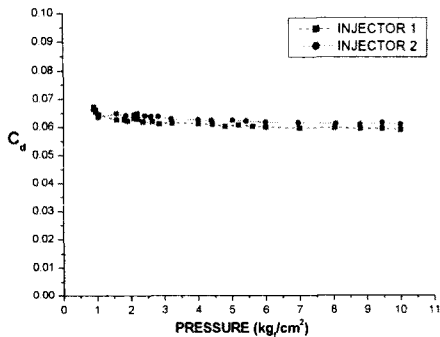


Fig. 2 Discharge coefficient (water, 10°C)

3.2 단일분무특성

3.2.1 물을 사용한 분무

실험유체로 물을 사용하였고, 온도를 10°C 일정하게 하고, 압력 6, 7 kg/cm²으로 변화시켰을 때의 반경방향 액적크기(SMD)분포를 Fig. 3에 도시하였다.

중심으로부터 반경방향으로 거리가 증가할수록 SMD가 증가함을 나타낸다. 이는 분무가 hollow cone 형태로 이루어지기 때문에 인젝터 중심부에서 주유동방향으로 갈수록 수밀도(number density)가 높아지고, 액적의 크기가 커지는 것으로 해석된다.

또한 압력이 6kg/cm²에서 7 kg/cm²으로 증가시켰을 때, 전 영역에서 SMD가 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 압력증가로 인하여 분출되는 액적의 속도가 증가하게 되어 분열이 촉진된다는 기존의 연구결과와 잘 일치된다.[1, 2, 3, 9]

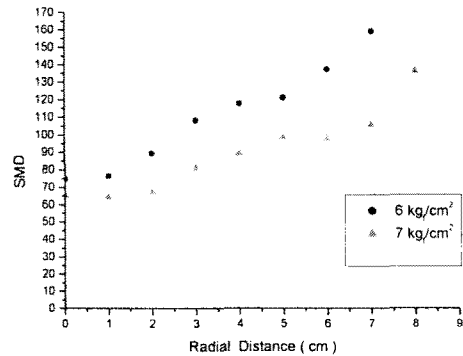


Fig. 3 The effect of pressure on SMD (water, 10°C)

3.2.2 연료를 사용한 분무

Photo. 1은 압력을 6 kg/cm²으로 일정하게 유지하고 온도를 변화시켜가며 촬영한 분무영상이다.

Photo. 1은 온도가 증가할수록 액적의 증발이 활발해짐을 확인할 수 있다.

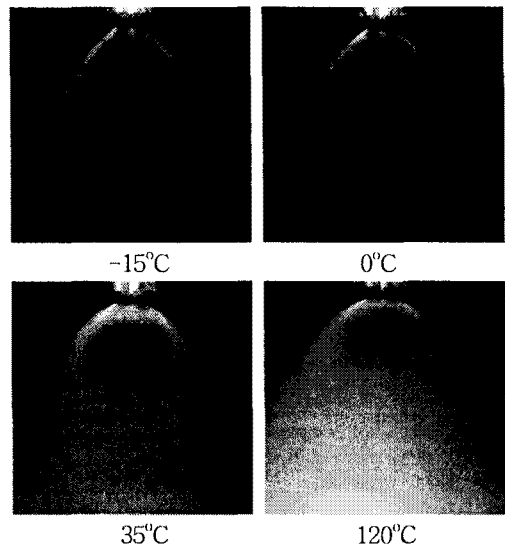


Photo. 1 Photographs of spray for various fuel temperature (Fuel, P=6kg/cm²)

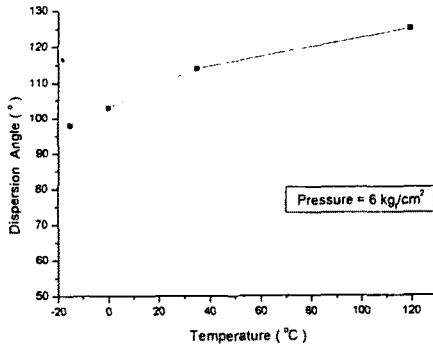


Fig. 4 The effect of temperature on spray angle (fuel, P = 6kg/cm²)

Fig. 4는 온도변화에 따른 분산각의 변화를 나타낸 것이다. 온도가 증가할수록 분산각이 증가한다.

분산각에 가장 큰 영향을 미치는 것은 액체의 점도이다. 점도는 액체 내에서의 마찰과 액체와 벽면사이의 마찰에 의해 유체의 흐름에 영향을 미치며, 점도가 감소할수록 즉, 온도가 증가할수록 분산각이 증가한다.[1]

Fig. 5는 연료 분무시, 압력이 6, 7 kg/cm²일 때, 연료의 온도변화에 따른 SMD의 영향을 나타낸 것이다.

압력이 6 kg/cm²에서 7 kg/cm²으로 변화되었을 때, 온도에 상관없이 모두 SMD가 감소한다. 이는 압력이 증가함에 따라 액적의 속도가 증가하고, 그러므로 분열이 촉진되어 SMD가 감소하는 것으로 앞의 물의 경우와 동일한 결과를 나타낸다. 또한, 온도가 증가함에 따라 SMD가 감소함을 나타낸다.

이는 온도가 증가함에 따라 점도가 감소하기 때문에 분산각이 증가하여 액막의 두께가 얇아지고, 앞의 영상자료에서 확인하였듯이 증발이 더욱 활발하게 일어나며, 표면장력의 감소로 분열이 촉진되기 때문으로 해석된다.

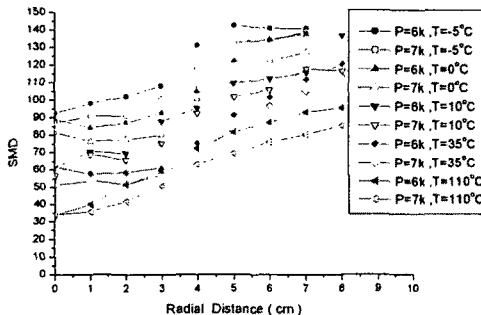


Fig. 5 The effects of temperature and pressure on SMD. (fuel)

3.3 두 개 분무기의 상호분무특성

3.3.1 물을 사용한 분무

Fig. 6은 압력 6 kg/cm², 온도 10°C의 물을 사용하여 인젝터간 거리를 6, 8, 10 cm 간격으로 변화시켜가며 측정된 SMD를 나타낸 것이다.

인젝터 간의 거리가 변함에 따라 인젝터의 중심이 반경방향으로 3, 4, 5 cm 로 이동하지만 충돌면에서의 SMD 변화는 거의 나타나지 않았다.

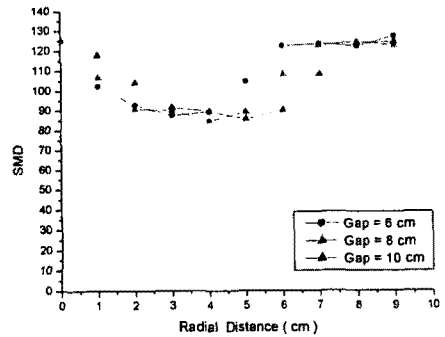


Fig. 6 The effect of distance between injectors on SMD (Water, P= 6kg/cm²)

3.3.2 연료를 사용한 분무

Fig. 7은 연료 분무시, 압력을 6 kg/cm², 인젝터간 거리 10 cm일 때, 온도변화에 따른 SMD의 영향을 나타내는 그림이다.

충돌점의 위치를 0 cm로 설정했을 때, 반경방향으로 2번 인젝터의 중심은 5 cm에 위치하게 된다.

온도가 증가함에 따라 SMD가 감소한다. 이는 온도가 증가함에 따라 점도와 표면장력이 감소하며, 증발율이 증가하기 때문에 나타나는 현상으로 앞의 단일 분무에서와 동일한 현상이다.

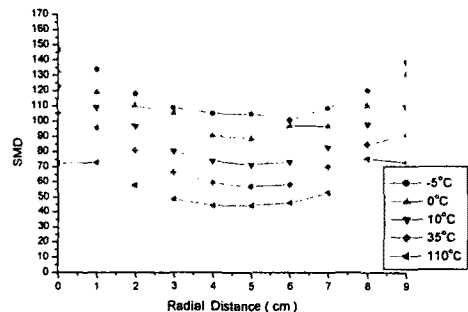


Fig. 7 The effect of variations of temperature on SMD (Fuel, P=6kg/cm², Gap=10cm)

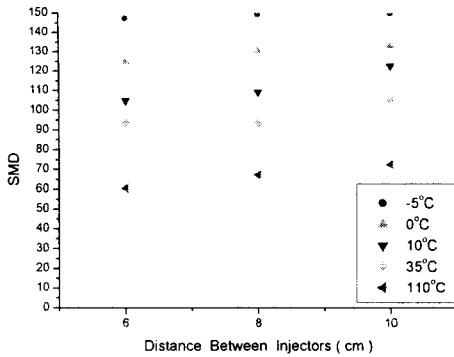


Fig. 8 The effect of temperature and distance between injectors on SMD (Fuel, $P=6\text{kg/cm}^2$)

Fig. 8은 두 인젝터간 중간면에서 온도와 인젝터간 거리를 변화시켰을 때의 SMD를 나타낸 것이다. 온도가 증가함에 따라 SMD가 감소하며, 인젝터간 거리가 증가할수록 SMD가 증가한다. 이는 인젝터간 거리가 증가할수록 인젝터와 충돌면까지의 거리가 증가하며, 이로 인하여 인젝터에서 분출된 액적의 운동량이 감소하게 되고, 결과적으로 SMD가 증가하게 된다.

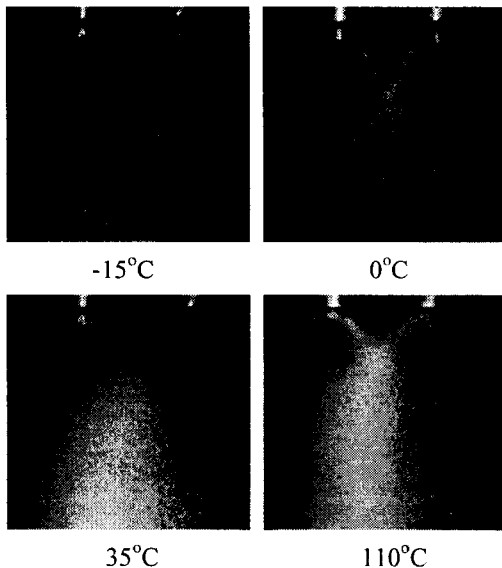


Photo. 2 Photographs of dual spray for variation of temperature (Fuel, $P=6\text{kg/cm}^2$, Gap=6cm)

Photo. 2는 압력을 6kg/cm^2 으로 일정하게 유지하고 온도를 변화시켜가며 촬영한 분무영상이다. 단일분무와 동일하게 온도가 증가할수록 액적의 분열이 활발해짐을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 실험의 조건과 범위내에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 온도와 압력이 증가함에 따라 SMD가 감소하였다.
2. 온도가 증가함에 따라 분산각이 증가하였다.
3. 인젝터간 거리가 증가함에 따라 충돌면에서 연료의 SMD가 증가한다.

후 기

본 연구는 2000년 국방과학연구소(UD009003ED)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] A. H. Lefebvre, "Atomization and Sprays", Taylor & Francis, 1989.
- [2] L. Bayvel, Z. Orzechowski, "Liquid Atomization", Taylor & Francis, 1993.
- [3] 김형준, 박병성, 김호영, 정진택, "이중 선회 분무간의 상호작용에 관한 실험적 연구", 제22회 KOSCO SYMPOSIUM 논문집, pp. 119-126, 2001.
- [4] 김인구, 이상용, "두 개의 와류분무 노즐로부터 분무되는 이중분무의 분무특성에 관한 실험적 연구", 대한기계학회 논문집, Vol. 12, No. 5, pp. 359-372, 1988.
- [5] A. Datta and S. K. Som, "Effects of spray characteristics on combustion performance of a liquid fuel spray in a gas turbine combustor", Int. J. Energy Res. 23, 217-228, 1999.
- [6] G. Knubben, C.W.M. van der Geld, "Drop size distribution evolution after continuous or intermittent injection of butane or propane in a confined air flow", Applied Therm. Eng. 21, pp. 787-811, 2001.
- [7] Coordinating Research Council, Inc., "Handbook of Aviation Fuel Properties", May 1988.
- [8] Melissa Orme, "Experiments on droplet collisions, bounce, coalescence and disruption", Prog. Energy Combust. Sci. Vol. 23, pp. 65-79, 1997.
- [9] A.J. Yule, I.R. Widger, "Swirl atomizers operating at high water pressure", Int. J. Mech. Sci. Vol. 38, Nos8-9, pp. 981-999, 1996.