

# 화재용 중저압 물분무 노즐의 분무특성에 관한 연구

김성찬 · 유홍선<sup>\*†</sup> · 박현태 · 방기영<sup>\*\*</sup>

중앙대학교 대학원 · <sup>\*</sup>중앙대학교 기계공학부 · <sup>\*\*</sup>삼성에버랜드  
(2002. 11. 4. 접수 / 2003. 1. 2. 채택)

## A Study on Spray Characteristics of Water Mist Nozzle with Mid-low Pressure for Fire Suppression

Sung-Chan Kim · Hong-Sun Ryou<sup>\*†</sup> · Hyun-Tae Park · Ki-Young Bang<sup>\*\*</sup>

Graduate School of ChungAng University

<sup>\*</sup>Department of Mechanical Engineering, ChungAng University

<sup>\*\*</sup>Sam Sung Everland Co.

(Received November 4, 2002 / Accepted January 2, 2003)

**Abstract** : The present study investigates the spray characteristics of water mist nozzle with mid-low pressure for fire suppression. The examined nozzle types are swirl and spiral nozzle. The result shows that K factor of water mist nozzle is much smaller than those of general sprinkler. Spray angle of spiral nozzle is largest and more than 150°. SMD(Sauter Mean Diameter) of water mist nozzles is ranged between 100 and 200 $\mu$ m through measuring by image processing method. The spray pattern of spiral nozzle represent that water flux of first stream is 2 times larger than that of second stream. This study will contribute better understandings of the water-mist spray characteristics and useful data for developing the water-mist nozzles.

**Key words** : fire, water mist, nozzle, spray, fire suppression

### 1. 서 론

분무현상은 연료분사시스템, 분무 도포, 분무건조장치, 분무냉각장치 및 화재소화장치 등 많은 분야에서 널리 이용되고 있다. 연소시스템의 경우 액적의 미립화는 주위 기체와의 열 및 물질전달을 활발히 하여 연소의 효율을 높이는 역할을 하지만 화재소화용의 경우 화원의 냉각 및 산소차단등을 통한 연소를 억제하는 역할을 하기도 한다. 이러한 분무현상이 열기관, 자동차 및 연소기 등 폭넓은 기계공학 분야에서 활발한 연구가 진행되어 왔다. 그러나 안전공학 측면에서의 연소를 억제하기 위한 연구는 상대적으로 미미한 실정이다. 가장 일반적인 수계 화재 제어 장치로 스프링클러가 널리 이용되었으나 과도

한 물소모량으로 인한 화재 진압후 발생하는 수질 오염과 수손의 우려가 있는 공간에 대해서는 적용할 수 없었다. 대신 Halon 1301 등과 같은 불활성 가스 및 화학약품에 의한 화재 제어가 이루어져 왔다. 그러나 몬트리올 의정서에 의해 오존층 파괴물질인 Halon의 사용이 제한되었고 국제해사기구에서의 선박 화재진압시스템으로 물분무 화재 소화 장치를 요구함에 따라 물분무 화재 진압시스템에 대한 연구가 선진국을 중심으로 활발히 진행중이다. 일반적으로 물분무에 의한 화재 억제 기구는 화원 및 화염 냉각, 복사열차단, 산소차단등에 의한 화재 제어가 이루어지는데 각각의 제어효과에 대한 연구가 아직도 진행중이다. 화재를 적절히 제어하기 위한 주요 변수는 화재크기, 분무유량, 분사각, 액적의 운동량, 액적크기등이 매우 중요한 변수이다. 그 중에서 액적크기는 무엇보다 중요한 인자로 작용하지만 앞에서 언급한 복합적인 효과에 의해 화재를 억제하게 되므로 이들을 동시에 만족하는 최적의 액적크기를 선

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
cfdmec@cau.ac.kr

정하는 것은 쉬운일이 아니다. 예를 들어 화염냉각이 중요변수이면 액적의 증발과 열전달을 효율적으로 촉진하기 위하여 액적크기는 작을수록 유리하다. 그러나 화원을 냉각시키기 위해서는 화재의 부력을 극복하고 화원에 도달하기 위하여 액적의 크기는 다소 큰 것이 유리하다. NFPA 750에 따르면 노즐아래 1m 위치에서 밀집도가 낮은 분무 영역의 액적크기의 99%가 1000 $\mu$ m보다 작은크기로 규정하고 있다. 또한 Class B(액체연료)화재에 대해서는 400 $\mu$ m이하로 규정하고 있다<sup>1)</sup>. 뿐만아니라 많은 기존 연구에서 Water mist의 분무액적의 크기에 대하여 다소 다른 정의를 내리고 있다<sup>2,6)</sup>. 이러한 Water mist에 대한 이해의 부족과 모호한 기준으로 인하여 water mist 시스템의 개발과 설치기준 등은 시스템을 생산하는 제조사에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 water mist 소화설비에 대한 특성을 파악하기 위하여 분무 특성에 대한 상세한 정보를 바탕으로 소화특성을 이해하는 것이 매우 중요한 문제이다. 따라서 water mist 소화기구의 특성을 명확히 이해하기 위하여 분무특성에 관한 연구가 선행되어야 하지만 분무 특성에 대한 상세한 연구자료는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 water mist 소화 시스템에 대한 분무 특성을 나타낼수 있는 정량적인 자료를 소개하고 현재 상용화되어 사용되고 있는 중저압용 분무노즐에 대한 분무실험을 통하여 water mist 소화 설비의 분무 특성을 파악하고자 한다. 이러한 연구는 water mist 소화 설비에 대한 소화 성능을 파악하는데 기본적인 자료로 활용이 가능하고 새로운 물분무 노즐개발에 있어서의 기초자료로써 활용될 수 있다.

## 2. 실험장치 및 방법

노즐에서 발생된 분무특성(분사압력, 분사유량, 액적크기, 분사각, 분무패턴 등)을 파악하기 위하여 Fig. 1과 같은 실험장치를 제작하였다. 분무 액적의 크기는 CCD 카메라에 의해 획득된 평면 디지털 영상에 의해 액적크기를 측정하는 영상처리기법(Image Processing Method)에 의해 측정하였다. Fig. 2는 노즐에서 1m 떨어진 위치에서 CCD 카메라에 의해 촬영된 분무 액적의 영상을 보여주고 있다. 획득된 영상은 이진영상으로 전환하여 액적의 크기를 산정하였다. Fig. 3은 노즐 근처에서 발생된 분무의 분포를 파악하기 위하여 제작된 분무수집기(Spray Patternator)를 나타내고 있다<sup>7)</sup>. 노즐에서 발생된 액

적을 수집하기 위하여 직경 6mm의 아크릴 관을 5° 간격의 방사형으로 제작하였고, 수집된 액적은 비닐튜브를 통해 메스실린더로 수집되었다. 일반적으로 분무 수집과정에서 발생하는 오차는 채집시간 후 관과 비닐튜브내에 남아 있는 물량에 의해 결정되는데 노 이는 충분한 채집시간을 통하여 채집된 물의 양을 크게 함으로써 전체 채집된 물량에 대한 측정정확도를 증가 시킬수 있다<sup>8)</sup>. 분무 분사각은 CCD카메라에 의해 분무형상을 획득한 후 분무형상의 사진판독에 의해 분사각을 결정하였다. 실험대상 분무 노즐은 현재 사용중인 Spray System사의 상용 분무노즐로써 Table 1과 같다. 일반적으로 연소기의 연료 분사시스템에서 사용되는 단공노즐의 경우 분사각이 너무 작은 관계로 실험대상 노즐에서 제외하였고 와류노즐과 충돌형노즐(Pendent type nozzle)을 실험대상 노즐로 선정하였다.

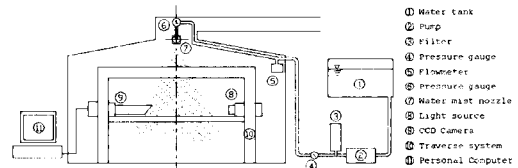


Fig. 1. Schematic view of the experimental set-up

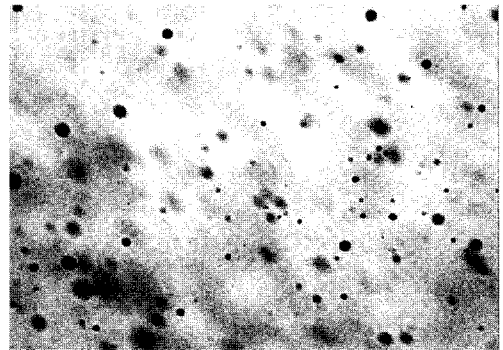


Fig. 2. Image of water droplet at 1m below the nozzle

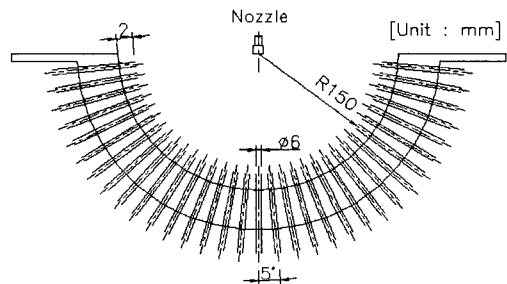


Fig. 3. Schematic of the spray patternator

Table 1. Nozzles used in experiments

	Spray Feature	Model	Orifice Diameter
A	Hollow Cone	B	2.4 mm
B	Solid Cone	HH	2.4 mm
C	Solid Cone	GG	2.4 mm
D	Spiral Pendent	HHSJ	3.2 mm

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 유량-압력 실험결과

Fig. 4는 압력에 따른 유량 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 Nozzle D의 경우 분사압력 증가에 대한 유량의 증가량이 가장 크게 나타났다. 이는 분사압력을 적게 변화시키고도 비교적 큰 분사유량을 얻을 수 있다. 반면에 Nozzle A의 경우 분사유량을 증가시키기 위하여 큰 분사압력을 요구함을 보여주고 있다. 화재 진압용 분무노즐의 경우 다음과 같은 식에 의해 유량과 압력사이의 관계를 정의한다.

$$Q = K\sqrt{p} \quad (1)$$

여기서 Q와 p는 각각 분사유량과 분사압력을 나타내고 있으며 이때 K의 단위는  $lpm/bar^{1/2}$ 로써 동일 분사압력조건하에서 적은 유량을 소모하는 것으로 분무를 생성하는데 소모되는 물소모량을 나타내는 척도로 이용될 수 있다. 실험결과 동일 분사압력에 대하여 Nozzle A가 가장 작은 K값을 나타내었고 Nozzle D가 가장 큰 K값을 보여주었다. 일반적으로 스프링쿨러의 K값이 80-200 정도의 값을 가지는데 반해 실험에 사용된 물분무 노즐의 경우 2-6 정도로 물사용량이 극히 작다는 사실을 알 수 있다.

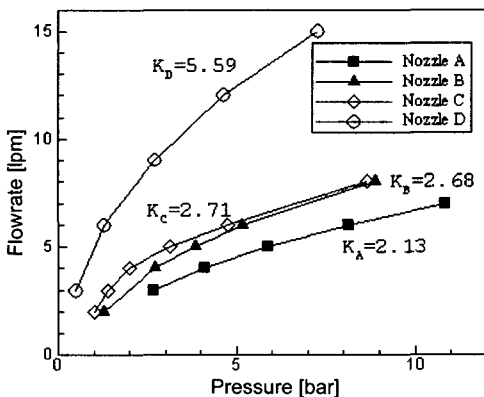


Fig. 4. Flowrate variation with pressure

#### 3.2. 분사각

화재 제어용 분무노즐의 경우 분사각은 화재 진압영역을 결정할 수 있는 중요한 변수이다. 분사각이 클수록 유효화재 제어 반경이 커지므로 화재 제어에 유리하지만 하류에서의 분무량과 노즐배치 관계 등 많은 변수에 의해 영향을 받기 때문에 최적의 분사각은 화재 환경에 따라 달라지게 되는데 분사각이 너무 작을 경우 유효화재 제어 반경이 작아져 효율적인 화재제어가 어렵게 된다. Fig. 5는 분사유량에 따른 분사각을 보여주고 있다. 전체적으로 분사유량이 증가함에 따라 분사각이 증가하다가 일정한 유량에 도달하면 분사각은 일정하게 유지되었다. 그러나 Nozzle C의 경우 유량의 증가에 따라 분사각이 증가하다가 오히려 감소하는 결과를 보여주었다. 일반적으로 날개깃을 가진 와류노즐은 분사각이 상대적으로 작게 나타났다. 반면의 Nozzle D의 경우 분사각이 150도 이상으로 매우 큰 분사각을 보여주었다.

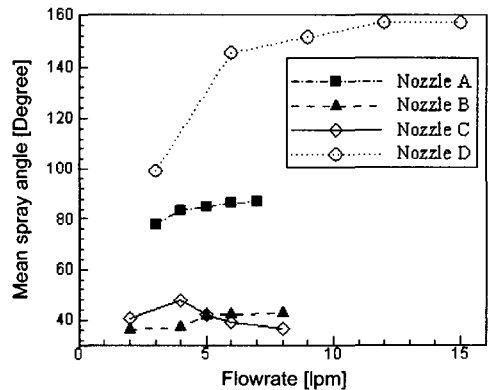


Fig. 5. Mean spray angle with flowrate

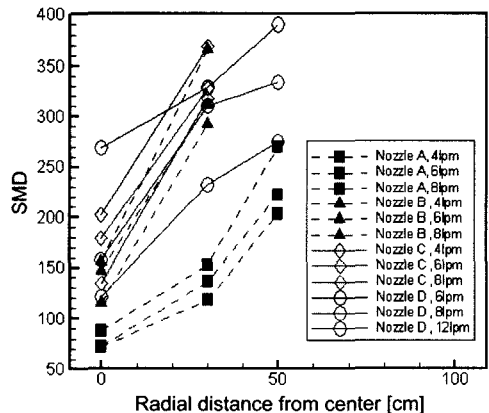


Fig. 6. Comparison of droplet size with radial distance and flowrate

### 3.3. 액적크기

분무액적의 크기는 노즐아래 1m 위치에서 측정되었다. CCD 카메라에 의한 영상의 획득은 1초에 1프레임의 영상 이미지를 획득하도록 하여 20초동안 영상을 획득하였으며 이를 5번 반복하여 얻은 액적 크기를 통계적으로 처리하였다. Fig. 6은 분무 중심에서부터 반경방향으로 30cm와 50cm 위치에서의 SMD(Sauter Mean Diameter)를 보여주고 있다. Nozzle B와 Nozzle C는 분사각이 작은 관계로 30cm 위치에서만 분무액적의 크기를 측정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 유량이 증가함에 따라 SMD는 감소하였으며 중심에서 반경의 길이가 증가할수록 SMD는 크게 나타났다. Fig. 7은 중심과 반경방향에서 측정된 액적크기를 모두 평균한 SMD를 유량에 변화에 따라 나타내고 있다. 유량증가에 따른 SMD의 변화율은 Nozzle A의 경우가 가장 작고 날개깃이 있는 외류노즐이 크게 나타났다. 전체적으로 노즐의 정상 작동상태에서 SMD는 모두 200 $\mu$ m이하로 실험대상 노즐이 대부분의 문헌에서 정의하고 있는 Water mist의 액적크기를 만족하고 있다. Fig. 8은 Nozzle A와 C의 액적크기 분포를 보여주고 있다. 액적크기의 분포는 평균액적크기를 중심으로 대칭적으로 나타나는 것이 아니라 액적의 크기분포는 액적크기가 작은 영역에 밀집되어 있음을 보여주고 있다. 일반적으로 분무액적의 분포함수에 대한 다양한 관계식이 제시되고 있으나 본 연구의 실험결과는 공학적으로 널리 이용되고 있는 Rosin-Rammler 분포함수와 측정된 값을 비교하였으며 관계식은 다음과 같다.

$$F(d) = 1 - e^{-0.693(d/d_m)^r} \quad (2)$$

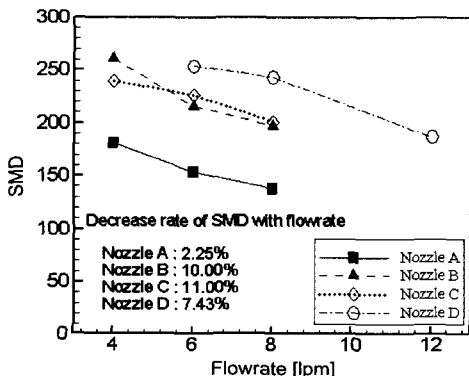


Fig. 7. SMD comparison with flowrate

Fig. 9는 Rosin-Rammler 분포와 Nozzle D의 분사 유량이 8 lpm일때의 액적 크기의 누적분율(Cumulative Volume Fraction)을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 액적크기가 작은 영역에서는 Rosin-Rammler 분포함수보다 큰값을 보이고 액적크기가 큰 영역에서는 Rosin-Rammler 분포보다 작은 값을 보이고 있다. 이는 액적크기가 작은 영역에 상대적으로 밀집도가 높고 액적크기가 큰 영역에서 밀집도가 낮다는 사실을 보여주고 있다.

### 3.4. 분무 형태

노즐근처의 분무형태를 파악하기 위하여 액적 수 집기(Spray patterner)를 이용하였다. Fig. 10은 노즐

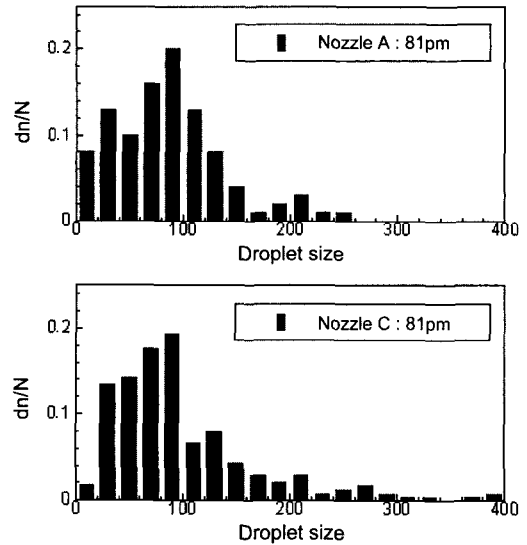


Fig. 8. Droplet size distribution

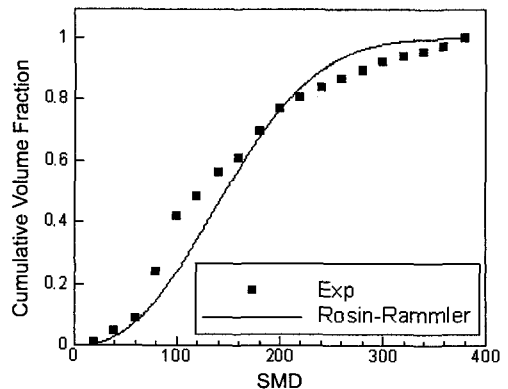


Fig. 9. Comparison between Rosin-Rammler distribution and measured data

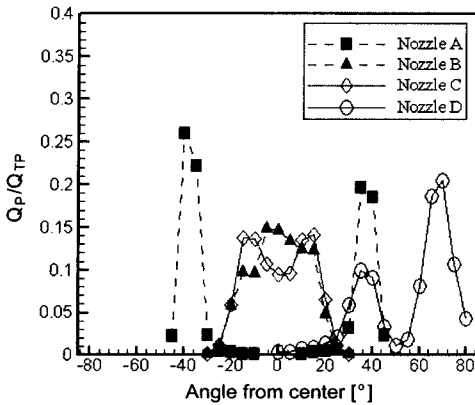


Fig. 10. Comparison of near spray pattern

에서 15cm 떨어진 위치에서의 분무 형태를 보여주고 있다. 각 방향으로의 분사정도를 파악하기 위하여 다음과 같은 유량 분율을 정의하였다.

$$f = \frac{Q_P}{Q_{TP}} \quad (3)$$

여기서  $Q_P$  와  $Q_{TP}$  는 각각 실험시간 동안의 공급된 유량과 채집시간 동안 채집된 유량을 나타낸다. Nozzle A의 경우 중공형 분무형태를 띄고 있고 실제 액적이 분사되는 각은 약  $10^\circ$  정도를 나타내고 있으며 분무의 중심 영역에서는 분무유량이 거의 존재하지 않았다. Nozzle B의 경우 Swirl nozzle 임에도 불구하고 Solid cone 형태의 분무형상을 보여주고 있는데 이는 노즐내부에서 유동이 날개깃에 의해 와류가 형성되는 과정에서 접선방향의 속도성분에 비해 축방향의 속도성분이 상대적으로 크기 때문에 발생하는 것으로 사료된다. Nozzle C의 경우 분무의 각쪽에 유량이 많고 내부쪽에는 상대적으로 적게 나타났다. 이는 Nozzle B에 비해 접선방향의 유동성분이 다소 크기 때문에 발생하는 것으로 사료된다. Nozzle D의 경우 분사각이 너무 큰 관계로 절반만을 측정한 결과 첫 번째 스퀘어 면에 부딪힌 분무유량이 두 번째 면에 부딪힌 유량에 비해 약 2배정도 크게 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 화재 소화용으로 이용되는 미세 물분무 노즐의 분무 특성을 실험적으로 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 물분무 노즐의 물소모량은 스프링쿨러 설비에 비해 15배에서 100배까지 적게 나타났으며 Spiral nozzle의 경우 유량소모가 가장 크게 나타났다.
- 2) 분무액적의 크기는 분무중심에서 외각으로 갈수록 크게 나타났으며 액적의 크기분포는 액적크기가 작은 영역에서 밀집도가 높게 나타났다.
- 3) 분무액적의 크기분포는 Rosin-Rammler 분포함수를 비교적 잘 따르고 있으며 액적크기의 갯수 분포는 평균액적크기보다 작은 크기의 액적이 상대적으로 크게 나타났다.

감사의 글 : 본 연구는 과학기술부 인위재해 방재기술개발사업(M10113000012-01A2-90000600)지원으로 수행되었으며 관계제위께 감사 드립니다.

#### 참고문헌

- 1) NFPA 750 Standard on Water Mist Fire Protection System, pp. 1-40, 1996.
- 2) Herterich, O., Water as an extinguishment agent, Alfred Huthig Publishing Company, 1960.
- 3) Guttler E., Normal Pressure vs. High Pressure: a comparison, Fire Int. 37, pp. 94-101, 1972.
- 4) Kaleta A., "Effect of droplet size on extinguishing effectiveness of a water spray," Archivum Combustionis, 6(3-4), pp. 201-212, 1986.
- 5) Hill, R. G., Marker, T. and Sarkos, C.P., "Evaluation and optimization of an on-board water spray fire suppression system in aircraft," Proc. Water Mist Fire Suppression Workshop, Gaithersburgh, MD, USA, pp. 93-103, 1993.
- 6) Ames, A. A., Purser, D. A., Fardell, P. J., Ellwood, J., Murrell, J. and Andrews, S., "Cabin water sprays for fire suppression : an experimental evaluation," CAA Paper 93009. Fire Research Station, Civil Aviation Authority, Borehamwood, UK., 1993.
- 7) 이상용, 1996, 액체의 미립화, 민음사
- 8) 김인구, 이상용, "두개의 와류분무 노즐로부터 분사되는 이중분무의 분무특성에 관한 실험적 연구," 대한기계학회논문집, Vol. 12-2, pp. 359-372, 1988.