화재진압용 미세 물분무 상용 노즐의 분무 특성에 관한 실험적 연구

박현태 · 김성찬 · 이성룡 · 유홍선* · 방기영**
중앙대학교 기계공학부 대학원 · *중앙대학교 기계공학부 · **삼성 에버랜드

1. 서 론

노즐을 통하여 미세한 물 입자를 뿜어내어 화재를 진압하는 방식은 1930년대부터 응용되어왔지만 하론이 소화 물질로서 개발되어 널리 사용됨에 따라 물분무에 대한 개발이 중단되었다. 그러나 몬트리올 환경회의에 의해 하론이 오존층 파괴 물질로 사용이 제한됨에 따라 대체 소화물질로서 1990년대에 미세 물분무에 대한 연구가 활발히 진행되기 시작하였으며 최근 IMO(세계 해사기구)에서는 2003년부터 건조되는 선박의 소화설비로서 물분무 노즐 사용을 의무화하기 시작했다.

미세 물분부의 화재진압 원리는 크게 복사열 차단, 화염냉각, 액체 상태의 물이 수증기로 될 때 약 1600배 정도로 부피가 증가하여 공기 중의 산소의 농도를 줄이며 산소가 화재 진원지로 확산되는 것을 차단하는 질식효과가 주를 이루고 있다. 미세 물분무는 하론에 비해 화재 진압 효과가 우수하며, 기존의 스프링클러에 비해 물 소모량이 적다. 또한 환경친화적이고, 인체에 무해하며, 물로 인한 2차적 피해를 최소화 할 수 있는 장점이 있다.

일반적으로 물분무의 정의는 NFPA에 따르면 1mm이하의 물입자로 정의된다.[1] 그러나 여러 소방관련 기업 및 연구기관마다 정하는 물분무 입자의 크기는 다르지만 200㎛ 이하의 물 입자를 물분무로 보는 것이 현실적이다.[2]

이러한 화재진압 및 장점 때문에 선진국에서는 1990년대 후반부터 물분무 시스템이 기존 소화 설비를 대체하고 있으며, 현재에도 심도 있는 연구 활동이 진행되고 있다. 하지만 국내에서의 물분무 시스템의 연구는 매우 제한적이며 핵심기술인 분무 노즐에 대한 체계적인 연구개발이 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 화재진압용으로 사용되는 분무 노즐 중 대표적인 형태로 swirl 노즐, pendent 형태의 spiral nozzle 등과 같은 상용 노즐에서의 작동 유량 및 압력, 분사각 등을 측정하였다. 그리고 영상처리기법을 활용하여 분사압력에 따른 액적 크기 및 분포와 같은 분무 특성을 비교 분석함으로써 국내 미세 물분무 노즐 설계에 있어서 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험대상 상용 노즐

본 연구에서 사용된 상용 노즐을 Table 1.에 나타내었다.

Table 1. Water mist nozzle

Nozzle name	분무 형성 방법	비고
Nozzle A	swirl	
Nozzle B	swirl	vane
Nozzle C	swirl	vane
Nozzle D	pendent	spiral

2.2 실험 장치 및 방법

미세 물분부 실험 장치를 Fig 1에 나타내었다. 유량과 압력의 측정은 노즐에 따라 유량을 변화시키면서 압력을 측정하였고, 반복 측정 결과를 평균하였다. 분사각의 측정은 디지털 카메라를 이용하여 사진 판독을 하였으며, 분무의 대칭성을 파악하기위해 서로 다른 두 지점에서 반복 촬영한 영상을 산술 평균하였다. 액적의 크기 및 분포의 측정은 영상 처리기법을 이용하여 초당 1프레임씩 20초간 5회 반복 측정한 결과를 통계처리하였으며, 노즐에서 수직 방향으로 1m 떨어진 위치에서 중심, 반경 방향으로 30cm 지점, 그리고 50cm 지점에서 연속 측정을 하였다.

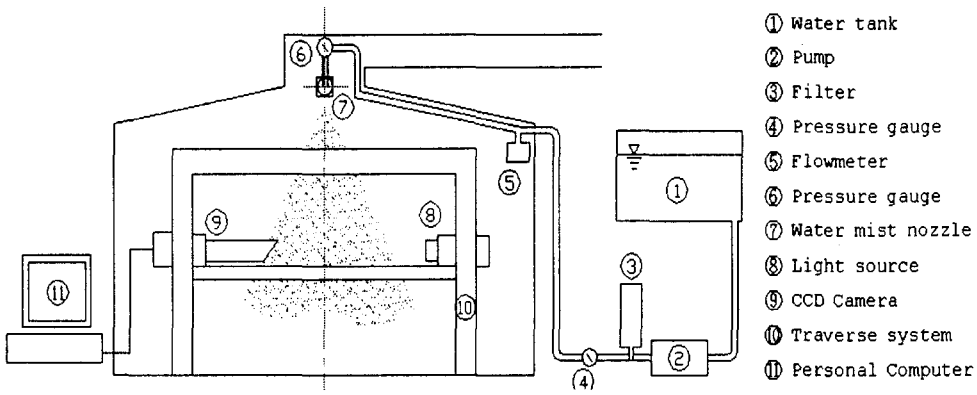

Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 유량 및 압력, 분사각 측정

Fig. 2에 유량과 압력과의 관계를 나타내었다. 이는 물분무 노즐에서 물소모량과 관련된 중요한 인자로써 다음의 관계식에 의해 K 값으로 표현된다.

$$Q = K\sqrt{p} \tag{1}$$

여기서 Q는 유량을 나타내며, P는 유량을 나타낸다. 각 노즐에 대한 K 값을 Table 2.에 나타내었다. 일반적으로 화재진압용으로 많이 쓰이는 스프링클러의 경우 K 값이 100~200의 값을 가지게 된다. 반면에 본 연구에서 사용된 미세 물분무 노즐의 경우에는 스프링클러에 비하여 K 값이 최대 1/100까지 감소되는 것을 알 수가 있다. Nozzle A의 K 값이 2.13으로 가장 작게 측정되었으며, 가장 적은 물 소모량을 보이고 있다. 반면 Nozzle D가 K 값이 가장 크게 나타나 가장 많은 물 소모량을 보이고 있다.

Table 2. Comparisons of K factor

Nozzle name	K factor
Nozzle A	2.13
Nozzle B	2.68
Nozzle C	2.71
Nozzle D	5.59

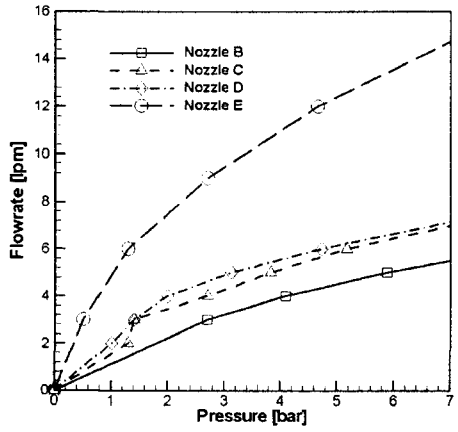

Fig. 2 Flowrate for pressure

각 노즐의 유량에 따른 분사각을 비교하여 Fig. 3에 나타내었다. 분사각은 spiral 노즐인 Nozzle D가 가장 크고 vane 형태의 분무 노즐인 Nozzle B와 Nozzle C가 가장 작다. 따라서 vane 형태의 swirl 노즐은 화재용 물분무 노즐로 이용하기에는 부적합함을 알 수 있다. 측정 방향에 따라 분사각의 차이가 나는 것은 분무의 비대칭성이 원인

인 것으로 사료되며, 이러한 분무의 비대칭성은 Nozzle A가 최대 분사각 차이가 11°로 가장 크게 나타나고 있다.

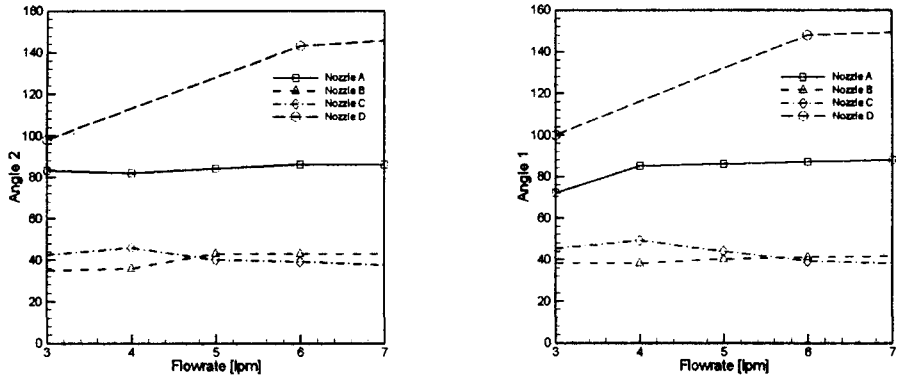

Fig. 3 Flowrate for spray angle

3.2 액적 크기 및 분포

각 노즐의 분사 유량이 다른 관계로 유량에 따른 액적크기 변화를 파악하였다. 유량에 따른 액적의 크기는 Fig. 4에 나타내었다. 액적의 크기는 유량이 증가할수록 감소하고, 중심에서 멀어질수록 증가하는 경향을 보이고 있으며, spiral 노즐의 액적 크기가 가장 크고, swirl 타입의 노즐의 액적 크기는 상대적으로 작게 측정되었다. 중심과 30cm 위치에서 액적의 크기를 비교해 보면 spiral 노즐인 Nozzle D가 30cm 지점에서 중심에 비해 액적 크기의 약 1.7배로써 작은 차이를 보이는 반면 swirl 계통의 노즐들은 모두 2.0배 이상의 차이를 보이고 있다. 즉 spiral 노즐이 가장 균일한 액적 크기를 나타내고 있다. 중심과 30cm 위치의 액적 크기의 비를 Table 3.에 나타내었다. Nozzle B와 C의 경우에는 상대적으로 작은 분사각으로 인해 중심에서 50cm 떨어진 곳에서는 액적의 크기를 측정할 수 없었다. 일반적으로 물분무 노즐의 액적의 크기는 100~200㎛가 적당함으로 모든 노즐이 적절한 액적크기를 생성하고 있다.

액적 크기 분포는 Fig. 5에 나타내었다. 액적 크기의 분포는 모든 노즐이 150㎛ 이하의 액적이 주를 이루고 있으며, 200㎛ 이상의 액적은 크게 나타나지 않고 있으며. 대칭적인 분포를 보이지 않고 있다.

Table 3. Ratio of droplet size

Nozzle name	ratio of droplet size
Nozzle A	2.2배
Nozzle B	2.5배
Nozzle C	1.9배
Nozzle D	1.7배

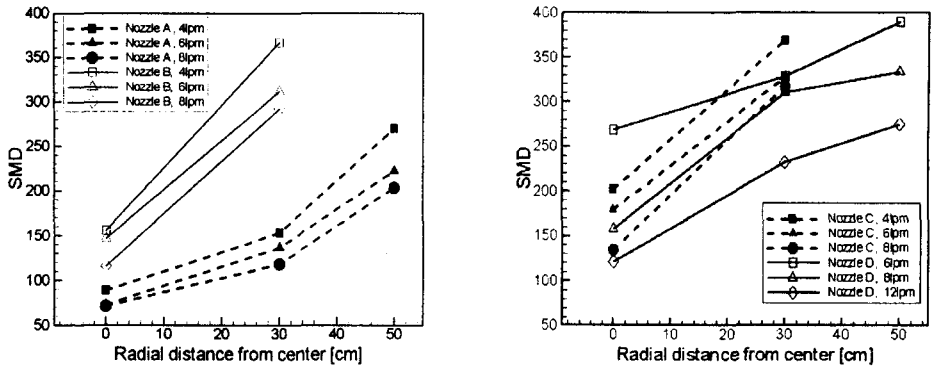

Fig. 4 SMD for difference flowrate and radial distance

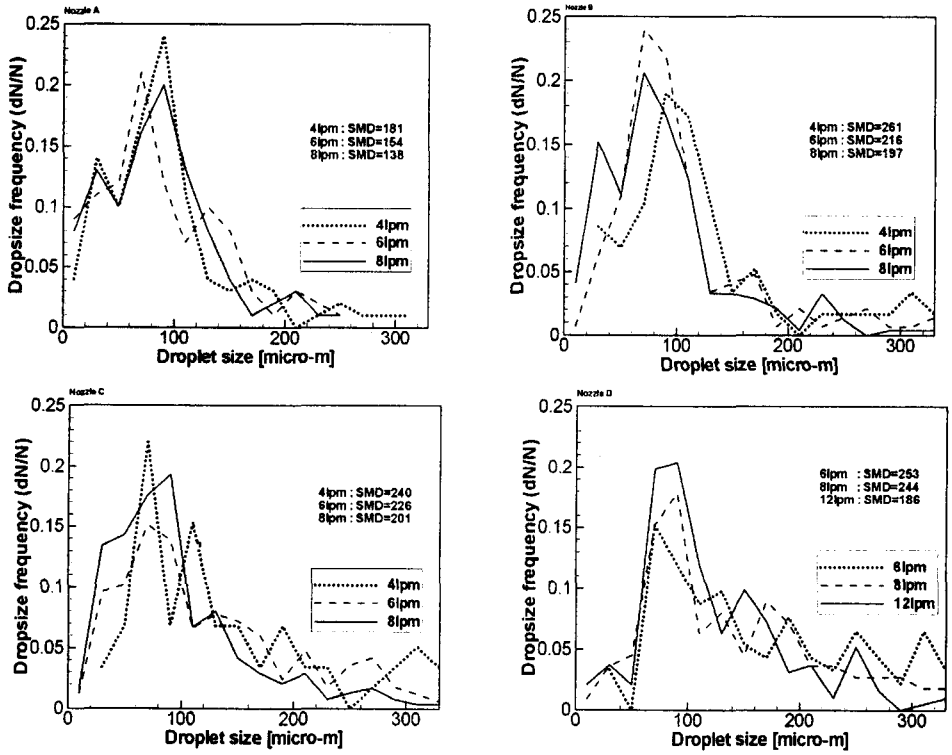

Fig. 5 Droplet size distribution for flowrate

4. 결 론

(1) 유량과 압력 측정에 있어서는 Nozzle A가 가장 작은 K 값을 나타내 물 소모량이 가장 작게 나타났고, Nozzle D가 가장 물 소모량이 크게 나타났다.

(2) 분사각에 있어서는 Nozzle B와 Nozzle C가 42°, 40°로써 고정식 화재 진압용 물분무 노즐로 적합지 않음을 파악하였고, Nozzle A와 Nozzle D는 85°, 155°로 화재진압에 적절한 분사각이 나타내었으며, Nozzle A가 분무의 비대칭성이 가장 큰 것으로 나타났다.

(3) 액적 크기 및 분포 측정에 있어서는 유량이 증가함에 따라 액적의 크기가 감소하는 경향을 보였고, 반경방향에 따라 액적 크기는 증가하였다. 액적 크기에 있어서 모든 노즐이 200㎛이하의 액적 크기를 나타내 적절한 크기를 생성하고 있다. swirl 계통의 노즐은 반경방향으로 불균일한 액적크기의 변화를 보이고 있다.

참고문헌

1. 김명배, "미분무수 소화설비의 기술동향 및 NFPA 750의 소개", 한국화재·화재학회 제1권 제2호, pp. 2~5, 2000
2. Kathy A. Notarianni, "Water mist fire suppression system.", Society of Fire Protection Engineers and PLC Education Foundation. Technical Symposium on Halon Alternatives, Proceedings. pp.57-64, 1994.
3. Anthony D. Putority Jr., Tamra D. Belsinger, William H. Twilley " Determination of Water Spray Drop Size and Velocity From a Low Pressure, High Momentum, Water Mist Nozzle. Report of Test.", FR 4000; p.15, 1995
4. 김주연, 추정호, 이상용, "입경측정을 위한 영상처리기법의 재검토", 액체미립화학회 학술강연회 논문집, pp.76~80, 1997.
5. C.C Ndubizu, R. Ananth, P.A Tatem, V. Motevalli, "On water mist mechanisms in a gases diffusion flame", Fire Safety Journal 31 pp.253~276, 1998
6. G. Grant, J. Brenton, D. Drysdale, "Fire suppression by water sprays", Progress in Energy and Combustion Science 26 pp.79~130, 2000