

## 소화 시스템에서 다중노즐의 분무특성에 관한 연구

정영권<sup>\*†</sup>, 김은필<sup>\*\*</sup>, 김영수<sup>\*\*</sup>, 김인관<sup>\*\*\*</sup>

부경대학교 기계공학부 대학원<sup>\*†</sup>, 부경대학교 기계공학부<sup>\*\*</sup>, 부경대학교 RIC<sup>\*\*\*</sup>

### The Study of a Atomizing Characteristics of a Multi-Nozzle in a Fire Extinguishing System

Young Kwon Jung<sup>\*†</sup>, E Kim<sup>\*\*</sup>, Young Soo Kim<sup>\*\*</sup>, In Kwan Kim<sup>\*\*\*</sup>

*Department of Mechanical Engineering, Pukyong University, Busan 607-737, Korea<sup>\*,\*\*</sup>*

*Regional Innovation Center for New · Renewable Energy, Materials & Components, Pukyong University, Busan 607-737, Korea<sup>\*\*\*</sup>*

**Abstract:** This paper is about a study of atomizing characteristics of a Multi-Nozzle, which is an important part in a flooding water mist system for extinguishing fires broke out in ships. Comparing the results of experiments for the Single-Nozzle to that of numerical analyses, characteristics of a Multi-Nozzle can be found out. In situation of a Single-Nozzle's, the atomizing angle was 34°. And in situation of Multi-Nozzle that combined with 5 single-nozzles, the atomizing angle increase to 125°. The effective area is 3.7 times of the former. The quality factor will reduce, if the diameter of the atomizing region of the nozzle reduces. Although the atomizing angle is reduced because of the atomizing property, the value of SMD still shows a good result.

**Key words :** Atomizing Characteristics (분무특성), Fire Extinguishing System (소화 시스템), Multi-Nozzle (다중노즐)

#### 1. 서 론

현재 선박용 소화시스템에 있어서, 과거부터 선박 기관실 화재진압에 효과적으로 널리 사용되던 할론 가스계 소화약제가 환경보호 차원 혹은 인체 유해성의 이유로 사용이 억제

되고 있거나 또는 불가능한 실정이다. 선박용 전역방출 화재 진압 설비(total flooding system)의 경우 현재 이산화탄소 시스템이 많이 사용되고 있으나 이 소화시스템 역시 사용 소화약제가 대표적 지구온난화 물질로 확인되어 배출규제가 될 전망이며, 이를 대체할 수단으로 미분무수 화재진압 장치가 유

† Corresponding author

Tel.: +82-51-629-6177; fax: +82-51-629-6177

E-mail address: mentholmania@gmail.com

립을 중심으로 개발되고 있다.

국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)<sup>[1]</sup>는 1994년에 선박용 전역방출 미분무수 화재 진압 설비(Total flooding water mist system)의 승인기준으로 IMO MSC Circ. 668<sup>[2]</sup>을 개발하였으며, 2005년 5월 IMO MSC(해사안전위원회) 80차 회의에서 선박용 전역방출 미분무수 화재 진압 설비의 승인기준을 새로이 마련하여 IMO MSC Circ. 1165<sup>[3]</sup>를 개발하였으며 선박에 설치되는 선박용 전역방출 미분무수 화재 진압 설비는 이 요건을 만족하여야 한다.

선박용 전역방출 미분무수 소화시스템은 환경친화적 측면과 인명 안전성 측면에 많은 장점을 살려 지금까지 Halon 소화 약제가 주류를 이루고 있는 엔진, 터빈, 항공기, 해상유전시설 및 인화성 액체의 보관시설 등의 소화설비들을 대체하고 있으며, 이외에도 해군 전함, 잠수함, 지하철<sup>[4]</sup>, 지상 기계실 변전소<sup>[5]</sup> 등의 적용영역을 계속적으로 확장시켜 나가고 있다. 따라서 기술발전의 전개에 따라 전역방출 미분무수 소화시스템은 조선해양뿐만 아니라 고층빌딩 등 생활전반의 기존 화재진압설비(스프링클러 시스템 등)를 대체해 나갈 전망이다.

본 연구는 선박용 소화시스템에서 발생하는 화재를 소화하기 위해 기관구역용 미분무수 소화설비중에 중요한 노즐의 특성을 알아보고자 한다. 특히 단일 노즐의 특성을 실험과 수치해석의 결과를 비교하여 검증한 후에 다중노즐의 특성을 수치적으로 살펴보았다.

## 2. 이론

미분무수 소화시스템의 유동장 특성은 일반적으로 두 영역으로 구분된다. 노즐 내부의 유동 정보는 비압축성 1구간과 노즐 외부의 이상유동장인 2구간이다.

노즐 내부는 고압과 복잡한 형상으로 본 연구에서는 3차원 비압축성 단상 유동으로 가정하고 해석을 수행하였다. 그 결과 유량과

압력에 따른 노즐의 성능(K-factor)이 결정되고, 내부의 유동 정보는 2구간의 분무 유동장 해석의 입력조건이 된다. 노즐 외부의 유동장은 2구간으로 정의한 영역으로 노즐에서 분사된 고속의 3차원 분사수가 대기 중의 공기와 상호작용하는 이상유동장이 된다.

분무 유동장의 해석을 위해서 이상유동 모델(DPM)을 사용하였다.<sup>[6,7]</sup> 2구간해석에서 Pressure-Swirl 노즐에 적합한 Linearized Instability Sheet Atomization(LISA) 모델을 이용하였다.

분무 유동장의 해석을 위해서 Discrete Phase Model (DPM 모델)을 사용하였으며, 입자들의 궤적을 계산할 때 입자와 대기 중 공기와 상호교환 계산을 하게 된다. 이때 입자 추적의 계산 식(2)와 같이 표현된다.

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + g_x(\rho_p - \rho) / \rho_p + F_x \quad (2)$$

여기서  $F_D(u - u_p)$  는 각 단위 입자 질량에 대한 항력이고  $F_x$ 는 외력이다.

본 연구에서는 유동장 해석을 위하여 범용 유동해석 프로그램인 FLUENT<sup>[10]</sup>를 선정하여 노즐의 분무 유동 특성에 맞게 해석 절차를 구성 하였다.

## 3. 결과 및 토의

기법의 검증을 위해 본 연구에서는 단일노즐을 채택하였다. 이 노즐은 높은 압력과 내부의 Swirl에 의해 분무되는 전형적인 Pressure-swirl 노즐이다. Fig. 1은 단일노즐의 단면개략도이다. ①은 노즐의 입구, ②는 Swirl을 발생시키는 구간인 Swirler이며 ③은 노즐의 출구, 즉 노즐 분사오리피스이다.

분무특성 해석결과 Fig. 2는 분무궤적과 입자 분포를 도시화 한 것이며 Fig. 3은 미분무수지름의 분포를 나타낸 것이다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 실험값과 CFD 해석결과

분무 궤적이 비슷한 것을 알 수 있다.

Table 1은  $z=100$  mm 지점에서의 CFD 해석결과와 실험값을 비교한 것이다. CFD 해석결과에서  $\alpha$ 는 34.9로 계산되었고 이는 실험값인 32.5도와 비교하여 큰 차이점이 없는 것을 알 수 있고, SMD 및 입자의 평균속도 비교에 있어서 유사한 것을 알 수 있다.

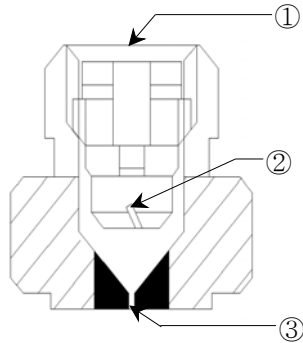


Fig. 1 Schematic of a single clustering nozzle

Table 1 Comparison of the experiment and numerical results

	Experiment	Numerical
K-factor	0.1	0.095
Diameter(SMD) [ $\mu m$ ]	108.7	111.6
Mean Velocity [m/s]	6.03	6.08
Spray Angle	32.5°	34.9°

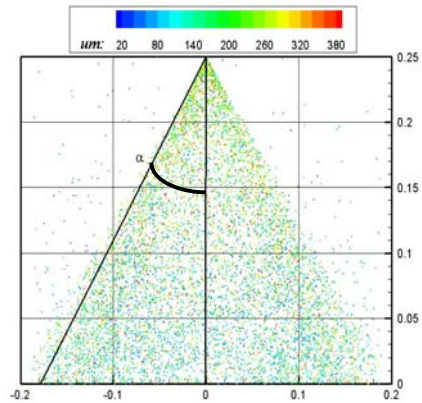


Fig. 2 Numerical results of spray distribution

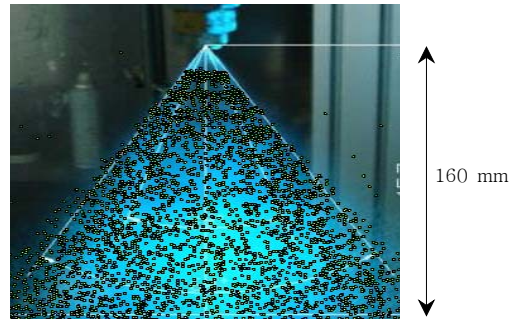


Fig. 3 Experimental results of spray distribution

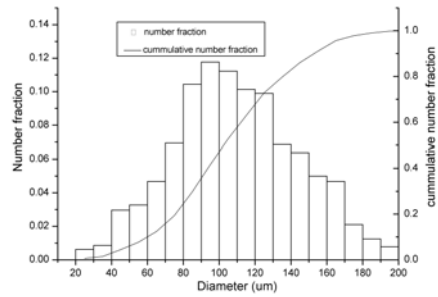


Fig. 4 Particle size histogram at  $z=100$  mm

Fig. 5는 압력이 60 기압에서의 clustering 각도 변화에 따른 분무유동장 특성의 비교하였다.  $\alpha = 30^\circ$  인 경우, Fig. 5에 나타난 바와 같이 분사각도는  $z = 0.1m$ 에서  $82^\circ$  이고

분사유효면적은  $z = 1$  m에서  $1.54\text{m}^2$ 이다. 단일 노즐인 경우(분사각  $68^\circ$ , 분사면적  $0.09\text{m}^2$ )와 비교하면 분사각은  $14^\circ$ , 분사면적은 17배 증가하였다. Fig. 6과 같이  $z = 1$  m에서의 평균입자 반경은  $220\ \mu\text{m}$ 로 단일노즐 분사와 차이가 거의 없다.

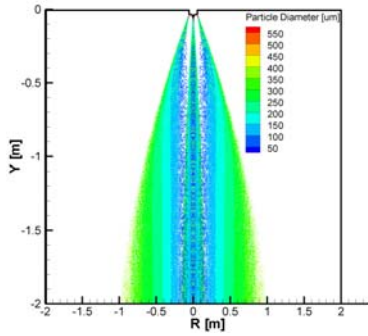


Fig. 5 Spray distribution at  $\alpha = 30$

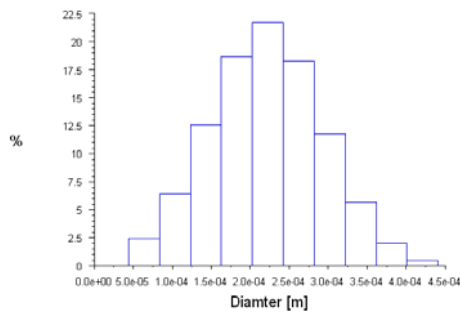


Fig. 6 Histogram of spray particles at  $\alpha = 30$

$\alpha = 45^\circ$  인 경우, Fig. 7에 나타난 바와 같이 분사각도는  $z = 0.1$  m에서  $127^\circ$ , 분사유효면적은  $z = 1$  m에서  $2.54\text{m}^2$ 이다. 단일노즐인 경우와 비교하면 분사각은  $59^\circ$ , 분사면적은 28배 증가하였다.  $z = 1$  m에서의 평균입자 반경은  $250\ \mu\text{m}$ 로 약간 증가하였다.  $\alpha = 60^\circ$  인 경우, Fig. 9에 나타난 바와 같이 분사각도는  $z = 0.1\text{m}$ 에서  $150^\circ$ , 분사유효면적은  $z = 1$  m에서  $6.16\text{m}^2$ 이다. 단일노즐인 경우와 비교하면 분사각은  $14^\circ$ , 분사면적은 68배 증가하였다. Fig. 10과 같이  $z = 1$  m에서의 평균입자 반경은  $240\ \mu\text{m}$ 로  $45^\circ$ 인 경우보다 줄어든 것을 알 수 있다. 따라서 분사

면적이 단일노즐이 비하여 각각 17배, 28배, 68배 씩 증가하여 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 하지만  $z = 1\text{m}$ 에서의 평균입자 반경은  $30^\circ$ 에서  $45^\circ$ 는 증가하다가  $60^\circ$ 에서는 완만한 감소를 보이고 있다.

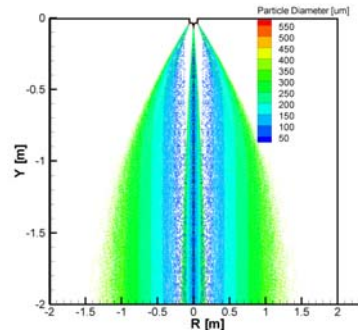


Fig. 7 Spray distribution at  $\alpha = 45$

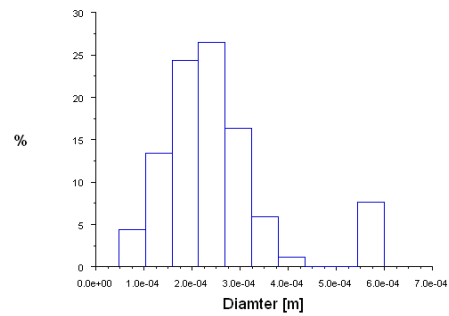


Fig. 8 Histogram of spray particles at  $\alpha = 45$

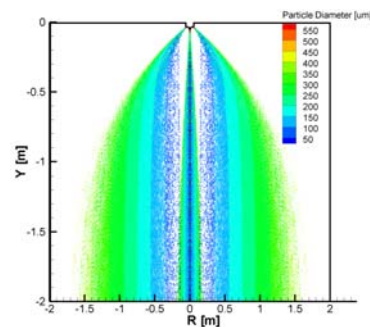


Fig. 9 Spray distribution at  $\alpha = 60$

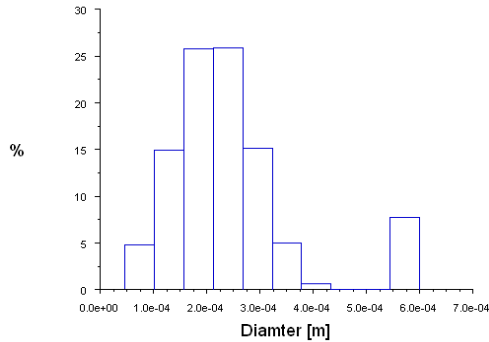


Fig. 10 Histogram of spray particles at  $\alpha = 60$

Fig. 11은 5개의 clustering을 가진 노즐에서 clustering 각도  $\alpha = 45^\circ$ 에서의 분무유동장 특성을 나타내었다. 단일 노즐의 분사인 경우 분사각도가  $34^\circ$ 이었으나, 5개의 노즐로 다중분사인 경우에는 분사각이  $125^\circ$ 로 증가하여 분사유효면적이 3.7배 증가하였다.

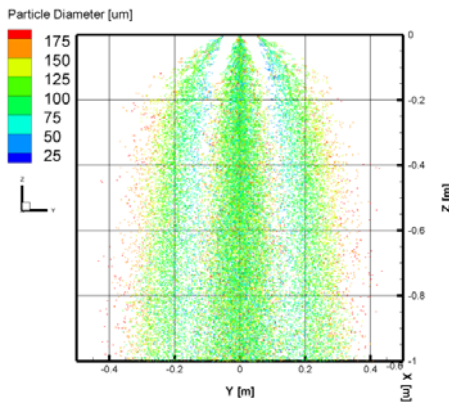


Fig. 11 Spray distribution of a 5 clustering nozzle

Table 2는 입자크기의 변화에 따른 분무특성을 나타내고 있다.  $d_o$ 가 작으면 손실에 의해 성능계수가 떨어지고 분무특성에 있어 분사각이 작아지지만 SMD값에 있어 좋은 결과를 보이는 것을 알 수 있다.

Table 2 Atomizing characteristics for  $d_o$

	$d_o=0.2$ mm	$d_o=0.5$ mm	$d_o=0.8$ mm
Spray Angle	29.2	32.6	34.8
SMD( $\mu$ m)	54.1	111.6	112.8
Mean Velocity(m/s)	1.19	6.08	5.87
Spray Angle	25.6	34.9	35.75

#### 4. 결론

본 연구는 선박용 소화 시스템에서의 다중노즐의 분무특성을 살펴보기 위하여 수치해석 기법을 사용하여 각각의 노즐에 대한 분무특성을 실험과 비교하고 수치적으로 노즐에 대한 분무유동 특성을 파악하였다.

단일 노즐의 분사인 경우 분사각도가  $34^\circ$ 이었으나, 5개의 노즐로 다중분사인 경우에는 분사각이  $125^\circ$ 로 증가하여 분사유효면적이 3.7배 증가하였다. 노즐 분사구 직경이 작으면 손실에 의해 성능계수가 떨어지고 분무특성에 있어 분사각이 작아지지만 SMD값에 있어 좋은 결과를 보이는 것을 알 수 있었다.

#### 후 기

본 논문은 교육과학기술부와 한국산업기술 재단에서 시행한 지역혁신인력양성사업의 결과이다.

#### 참고문헌

[1]. [<http://www.imo.org/HOME.html>]  
 [2] IMO Msc/Circ.668, Alternative Arrangements For Halon Fire-Extinguishing Systems In Machinery Spaces And Pump-Rooms, 1996

- [3] IMO Msc/Circ.1165, Revised Guidelines For The Approval Of Equivalent Water-Based Fire-Extinguishing Systems For Machinery Spaces And Cargo Pump-Rooms
- [4] G. Santos, "Water mist technology for under ground Transportation Systems," International Water Mist Conference, 2003
- [5] 물안개 소화설비시스템 소화/냉각특성 성능실험, 한국전력주식회사, 2004.1
- [6] Schmidt D. P., Nouar I., Senecal P. K., D., 1999, "Pressure-Swirl Atomization in the Near Filed," SAE Paper, 01-0496.
- [7] Morsi, S. A. and Alexander, A. J., 1972, "An Investigation of Particle Trajectories in Two-Phase Flow Systems," J. Fluid Mech., Vol. 55, part2, pp. 193-208.
- [8] Lefebvre, A., 1989, "Atomization and Sprays," Hemisphere Pub.
- [9] FLUENT Inc., 2001, "Fluent 6 User's Guide," Fluent Inc. Lebanon.