

## 선박 엔진룸의 소화용 분무노즐의 재료특성 및 유동해석

### Finite Element Analysis and Material Characteristics of Fire Spray Nozzle for Ship Engine Room

배동수<sup>1</sup>, 이진경<sup>2\*</sup>

Dong-Su Bae<sup>1</sup>, Jin-Kyung Lee<sup>2\*</sup>

#### 〈Abstract〉

Various types of nozzles have been used to cope with fire in ships. However, in Korea, precise nozzles that perform fine spraying function are required for fire fighting in case of fire in a ship, and most of these nozzles depend on imports. Therefore, in this study, we developed various types of nozzles to develop the water spray nozzle for evolving fire in the engine room of the ship, and developed an optimal nozzle through flow analysis and fire test. For this purpose, we selected the materials that can satisfy the characteristics of existing nozzle materials and developed the design technology and processing technology in the nozzle considering fluid flow to achieve optimal water spraying performance. In order to develop an optimal nozzle, the flow through the finite element analysis was first analyzed and the nozzle was manufactured. As a result of flow analysis of the developed nozzle, the maximum velocity at the outlets of four holes at 0.3 MPa was about 3m/s and about 0.15 MPa. In addition, when the pressure at the inlet was 1.8 MPa, it showed the outlet speed of about 18m/s and a pressure of 1.2 MPa.

*Keywords : Nozzle, Engine Room, Design Technology, Processing Technology, Fire Test, Finite Element Analysis*

---

1 동의대학교 신소재공학부

2\* 정회원, 동의대학교 기계자동차로봇부품공학부, 조교수  
E-mail: leejink@deu.ac.kr

1 Division of Advanced Materials Engineering, Dongeui University

2\* Division of Mechanical, Automobile and Robot Component Engineering, Dongeui University

### 1. 서론

노즐은 유체의 흐름을 빠르게 하여 고압으로 분사되는 장치를 말한다[1-3]. 즉 압력에너지로 속도에너지로 바꾸어 유체를 가속시키는 장치이다.

현재 다양한 형태의 노즐이 다양한 분야에서 사용되어지고 있다. 소방차에 사용되어지는 노즐, 증기터빈에서 기계의 부품으로써 사용되어지는 노즐 등을 비롯하여 로켓 등의 추진력을 얻기 위해 유체를 가속시켜 분출할 때 생기는 반작용을 이용하기도 하며 발전소의 전력을 얻기 위해 사용되며 또한 자동차 및 기차 등 거의 모든 분야에서 노즐이 사용되어지고 있다.

또한 선박에서도 화재에 대응하기 위해 다양한 종류의 노즐이 사용되어지고 있지만 국내의 선박에서 화재 발생시 소방을 위해서는 미세한 분사 기능을 하는 정밀한 노즐이 필요하며 이들 노즐들은 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 선박의 엔진룸(engine room)에 화재가 발생시 진화용 물 분무 노즐을 개발하기 위해 다양한 형태의 노즐을 개발[4-6]하여 유동해석 및 소방실험[7]을 통해 최적의 노즐을 개발하고자 하였다.

이를 위해 기존 노즐재질이 가지고 있는 특성을 만족시킬 수 있는 재료를 선정하고 유체의 흐름을 고려한 노즐 내부의 설계기술 및 가공기술을 개발하여 최적의 물 분무 성능 효과 이루고자 하였다.

또한 최적의 노즐을 개발하기 위해 먼저 유한요소해석[8,9]을 통한 유동을 분석하여 노즐 입구에서 속도 및 압력에 따른 출구에서의 유동 속도 등을 측정하여[10-11] 최적의 노즐을 도출하고 이와 같은 결과를 이용하여 최종적으로 최적의 노즐을 제작하고자 하였다.

### 2. 노즐평가

일반적으로 노즐의 성능평가는 다음의 시험기준을 따른다. 첫째 1개의 물분무 헤드를 시험장치에 부착하고 0.3 MPa 및 1.8 MPa의 방사압력에서 2회 방사하여 1분간 평균방수량, 표준분사각 및 유효사정거리를 측정한다. 둘째 실수요자의 필요에 의하여 설치하는 헤드는 별도의 규격이나 사양에 의하여 성능시험을 받을 수 있다.

Table 1. Water Spray Performance Value of Imported Nozzles

Performance indicators	Unit	Value
1. Water pressure	MPa	0.3 - 1.8
2. Spray angle	°	90
3. Flux	L/min	6.3 - 23
4. Effective range	m	0.6

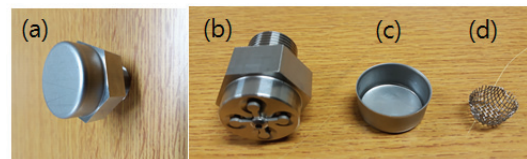


Fig. 1 (a) Shape and (b) body, (c) cap, (d) filter parts of the developed nozzle

주로 수입되어 사용되어지고 있는 물분무 헤드의 살수 성능치를 한국소방산업기술원(KFI)에 의뢰하여 평가한 결과, 아래 Table 1과 같은 값을 얻었다. 즉, 방수압력 0.3 MPa와 1.8 MPa에서 각각 분사각도 및 방수량 그리고 유효사정거리를 측정된 결과, 0.3 MPa에서 분사각도와 방수량은 90° 및 6.3 L/min 이었으며 1.8 MPa에서는 90°와 23 L/min으로 각각 나타났다. 그리고 유효사정거리는 0.3 MPa와 1.8 MPa에서 모두 0.6 m로 나타났다.

### 3. 노즐개발

#### 3.1 노즐의 재료특성 평가

본 연구에서는 현재 선박용 엔진룸의 화재발생에 사용되는 소방용 노즐은 전량 수입되고 있기 때문에 수입된 노즐과 같은 성능 또는 더 나은 성능의 노즐을 국산화하기 위해 다양한 형태의 노즐들을 유한요소해석으로 유동해석 및 설계하여 여러 시제품들로 제조하였다.

그 후 노즐의 살수 성능을 한국소방산업기술원(KFI)에서 평가한 결과를 바탕으로 Fig. 1과 같은 최적의 노즐 모델을 개발하였다.

개발된 노즐은 크게 캡, 필터 및 몸체의 3 부분으로 나눌 수 있다. 사용된 재료는 노즐의 내식성을 고려하여 시중에 사용되는 316L 스테인리스강을 사용하였다.

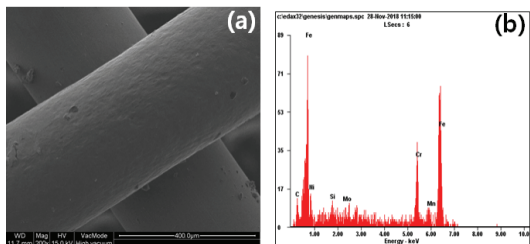


Fig. 2 (a) Photograph of filter and (b) result of EDS

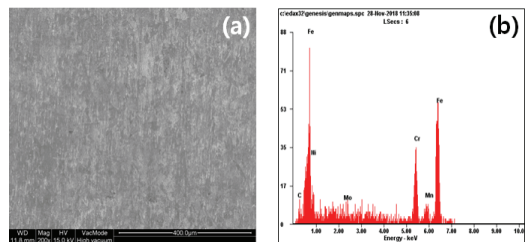


Fig. 3 (a) Photograph of body part and (b) result of EDS

Table 2. Chemical properties of each part of the developed nozzle.

	Ni	Mo	Cr	Fe
Cap	12.07	3.76	14.7	57.48
Filter	14.52	3.92	17.17	53.49
Body	20.25	3.45	17.93	50.91

Fig. 2(a) 및 3(a)는 각각 노즐의 필터재 및 몸체부를 주사전자현미경(SEM)으로 관찰한 결과를 나타내며, Fig. 2(b) 및 3(b)는 노즐의 필터재 및 몸체부의 Ni, Cr 및 Mo의 화학조성을 에너지분산형분광기(EDS)를 이용하여 분석한 결과를 나타낸다. 성분 분석한 결과를 정리하여 Table 2에 나타난 것과 같이, 본 노즐에 사용된 구성품들은 모두 STS 316L인 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 노즐의 구멍에 이물질이 들어감 막힘 현상을 방지하기 위하여 필터를 장착하였다. Fig. 4의 (a)와 (b)에 각각 필터의 메쉬(mesh)의 크기와 필터선재의 직경을 영상분석프로그램을 통하여 측정한 결과를 나타내었다.

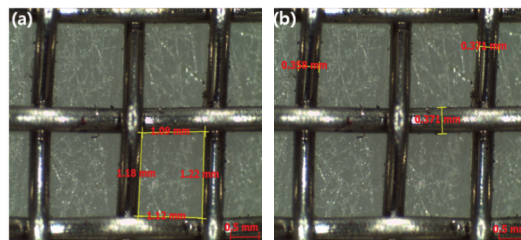


Fig. 4 (a) Mesh size of filter and (b) diameter of wire rod

Table 3. Water spray performance values and hardness of developed nozzle.

Performance indicators	unit	value
1. Water pressure	MPa	0.3 - 1.8
2. Spray angle	°	120
3. Flux	L/min	12.9 - 29.3
4. Effective range	m	1.5

Fig. 4에서 보는 바와 같이, 필터 메쉬는 약 1.20 mm×1.10 mm 정도의 크기로 그리고, 필터 선재의 직경은 약 0.37 mm의 크기로 정하였다.

한편 사용된 재료의 경도를 측정하기 위하여 로크웰 경도기를 사용하여 경도값을 측정한 결과 78 HRB의 경도값을 얻을 수 있었다.

그리고 개발된 노즐을 이용하여 분사각, 수압 및 물의 유량 등을 한국소방산업기술원에서 측정한 결과를 정리하여 Table 3에 정리하여 나타내었다. 즉, 분사각은 120°, 유효사정거리는 1.5m, 수압 0.3 MPa-1.8 MPa에서 물의 유량은 12.9 L/min-29.3 L/min의 값을 나타내었다.

이러한 수치들은 Table 1에 나타낸 현재 수입해 사용하고 있는 노즐의 성능들을 능가하는 값을 가지는 것을 알 수 있다.

### 3.2 노즐의 유동해석 평가

본 연구에서는 최적의 선박용 엔진룸 노즐을 개발하기 위하여 다양한 형태의 노즐을 설계하였으며 최적의 노즐을 개발하기 위해 먼저 유한요소해석(ANSYS Workbench 18.2)을 통한 유동을 분석하고 노즐을 제작하였다. Fig. 5(a)은 개발한 노즐에 대한 모델링을 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 노즐의 구멍은 4개로 정하였으며 각 구멍 앞에는 분사각을 조절하기 위해 노즐 핀을 고정하였다. 분사각을 조절하기 위해 노즐 핀의 위치를 임의의 위치에 고정할 수 있도록 하였다.

Fig. 5(b)는 모델링된 노즐에 대한 메쉬를 나타낸 것으로 노즐 앞 부분은 노즐핀에 의해 분산되는 유동을 분석하기 위해 원형의 가상공간으로 메쉬로 나타낸 것이다.

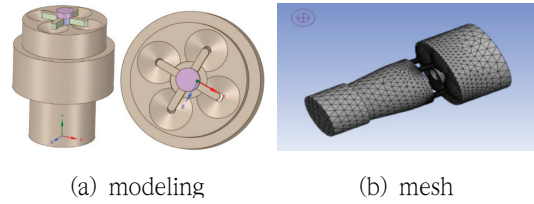


Fig. 5 Modeling and mesh for flow analysis of nozzle

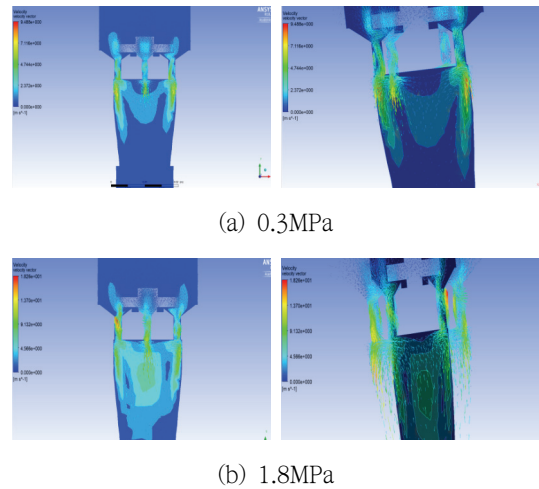


Fig. 6 Velocity vectors according to water pressure of nozzle inlet

Fig. 6은 입구압력이 0.3 MPa 및 1.8 MPa일때의 출구에서의 속도의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보여주는 바와 같이 0.3 MPa 일때 노즐 내부의 4개의 구멍 입구에서는 최대 9.5 m/s 정도의 속도를 나타내었지만 4개의 구멍 출구에서의 최대속도는 약 3 m/s 정도의 속도를 나타내었다. 또한 입구에서의 압력이 1.8 MPa인 경우 노즐 내부의 4개의 구멍 입구에서는 13 m/s의 속도를 나타내었지만 4개의 구멍 출구에서는 약 18 m/s 정도의 출구속도를 나타내었다. 따라서 압력이 6배 정도 증가하면 노즐 4개 구멍의 속도역시 약 6배 정도 증가함을 알 수 있었다.

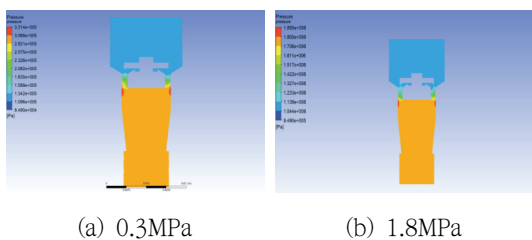


Fig. 7 Water pressure of nozzle outlet according to water pressure of nozzle inlet

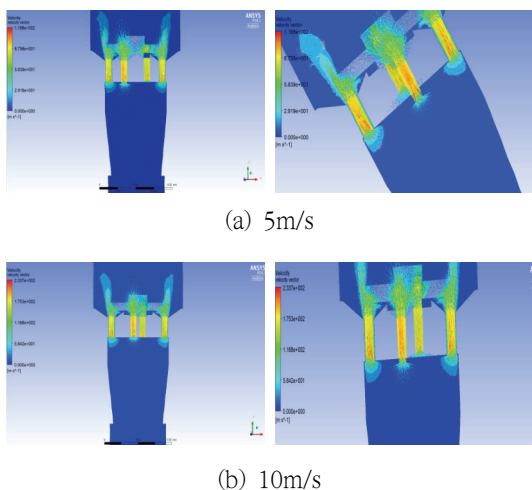


Fig. 8 Velocity vectors of nozzle outlet according to velocity of nozzle inlet

Fig. 7에서는 노즐 입구압력이 0.3 MPa 및 1.8 MPa일때의 노즐 내부의 4개의 구멍 입구와 출구에서의 압력의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보여주는 바와 같이 0.3 MPa의 입구압력에서 노즐 내부의 4개 구멍 입구에서의 압력은 최대 0.33 MPa 정도의 값을 나타내었지만 4개 구멍에서의 압력은 점차적으로 감소하여 약 0.15 MPa 정도로 감소하였다. 또한 노즐의 입구압력이 1.8 MPa인 경우 노즐 내부의 4개 구멍 입구에서의 최대 압력은 약 1.9 MPa 정도의 수치를 나타내었지만 4개 구멍 출구에서는 점차적으로 감소하여 약 1.2 MPa 정도의 압력을 나타내었다.

Fig. 8은 노즐의 입구속도가 5 m/s 및 10 m/s 일때의 노즐 내부의 4 구멍에서의 속도의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보여주는 바와 같이 입구속도가 5 m/s인 경우 노즐 내부의 4 구멍에서의 속도는 최대 약  $1.17 \times 10^2$  m/s의 속도를 나타내었다. 반면 10m/s의 입구속도에서는 약  $2.34 \times 10^2$  m/s 의 속도를 나타내어 입구속도가 5 m/s인 경우에 비하여 2배 증가함을 보여주었다.

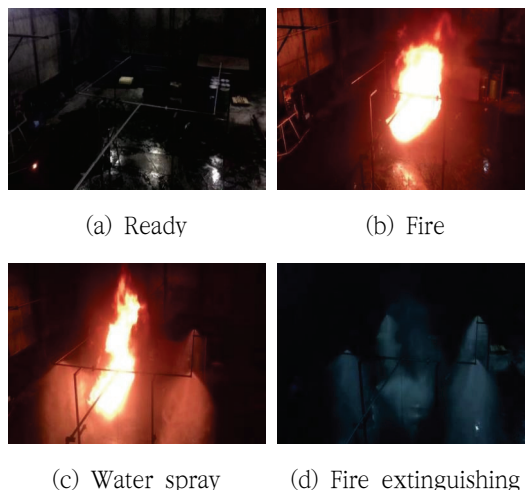


Fig. 9 Fire test of the developed nozzle

### 3.3 노즐의 개발 및 소화성능 평가

본 연구에서는 개발된 노즐을 이용하여 화재시험시 소화 능력을 평가하였다. 기존의 노즐의 화재시험은 노즐간의 간격이 3 m에서의 화재시험을 실시하지만 개발된 노즐에 의해 노즐간 간격이 4 m에서의 화재시험을 실시하였다. Fig. 9에서는 화재시험을 위한 준비(I), 발화(II), 물분출(III)과 소화(IV)의 전과정을 나타내었다. 그림에서 보여주는 바와 같이 사각형의 프레임에 4개의 노즐이 4 m의 간격으로 설치되어 있으며 중앙에서 발화되었을 경우 4개의 노즐에서 물분출이 발생하고 일정한 시간이 흐른 후에 소화되는 것을 알 수 있었다.

## 4. 결 론

- (1) 사용된 재료는 스테인리스강으로 각 부분에 들어가는 재료에 대한 표면 및 성분분석을 실시하였으며 또한 로크웰경도가 78 HRB를 나타냄으로 기존의 노즐 재료와 비교하면 재료적 성능은 만족하였다.
- (2) 개발된 노즐에 대한 유동해석을 한 결과 0.3 MPa 일때 4개의 구멍 출구에서의 최대속도는 약 3 m/s 정도의 속도 및 0.15 MPa 정도를 나타내었다. 또한 입구에서의 압력이 1.8 MPa인 경우 4개의 구멍 출구에서는 약 18 m/s 정도의 출구속도와 1.2 MPa의 압력을 나타내었다.
- (3) 개발된 노즐의 소화성능 시험에서 사각형의 프레임에 4개의 노즐이 4 m의 간격으로 설치되어 중앙에서 발화되었을 경우 4개의 노즐에서 물분출이 발생하고 일정한 시간이 흐른 후에 소화되는 것을 알 수 있었다.
- (4) 5가지의 노즐 모델을 개발하여 노즐의 살수 성능을 한국소방산업기술원(KFI)에서 평가한 결과 본 연구에서와 같은 최적의 노즐 모델을 개발하였다.

## 후 기

이 논문은 2019학년도 동의대학교 교내연구비에 의해 연구되었으며(201902140001), 이 성과는 정부(교육부)의 재원으로 한국기초과학지원연구원 국가연구시설장비진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2019R1A6C1010045).

## 참고문헌

- [1] H. Chen, H. Zhang, Z. Xi, Q. Zheng, "Modeling of the turbofan with an ejector nozzle based on infrared prediction" *Applied thermal Engineering*, vol. 159, pp. 1-12, (2019).
- [2] F. Wu, L. Li, C. Du, J. Wang, X. Fan., "Effects of circumferential nozzle number and temperature ratio on swirl cooling characteristics," *Applied Thermal Engineering*, vol. 154, pp. 332-342, (2019).
- [3] S. W. Chang, K. C. Yu., "Thermal performance of reciprocating two-phase thermosyphon with nozzle," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 129, pp. 14-28, (2018).
- [4] H. Chu, R. Zhang, Y. Qi, Z. Kan., "Simulation and experimental test of waterless washing nozzles for fresh apricot," *Biosystems Engineering*, vol. 159, pp. 97-108, (2017).
- [5] C. Murillo, M. Amin, N. B. Monnier, F. Munoz, A. Pinilla, N. Ratkovich, D. Torrado, D. Vizcaya, O. Dufaud., "Proposal of a new injection nozzle to improve the experimental reproducibility of dust explosion tests," *Powder Technology*, vol. 328, pp. 54-74, (2018).
- [6] X. Ai, Z. G. Xu, C. Y. Zhao, "Experimental study on heat transfer of jet impingement with a moving nozzle", *Applied Thermal Engineering*, vol. 115, pp. 682-691, (2017).
- [7] M. Abdollahzadeh, F. Rodrigues, J. C. Pascoa, P. J. Olivera, "Numerical design and analysis of a multi-DBD actuator configuration for the experimental testing of ACHEON nozzle model," *Aerospace science and Technology*, vol. 41, pp. 259-273, (2015).
- [8] S. Yan, B. Li, B. Li., "Finite element model updating of liquid rocket engine nozzle based on modal test results obtained from 3-D SLDV technique," *Aerospace science and Technology*, vol. 69, pp. 412-418, (2017).
- [9] 김원중, 황은하, "Wire Boding Head Horn 설계 및 유한요소해석," *한국산업융합학회 논문집* 15,

- 4, pp. 111-115, (2012).
- [10] P. B. Dehkordi, L. P. M. Colombo, M. Guilizzoni, G. Sotgia, "CFD simulation with experimental validation of oil-water core-annular flows through Venturi and Nozzle flow meters," *Journal of Petroleum science and Engineering*, vol. 149, pp. 540-552, (2017).
- [11] J. Lee, "Numerical analysis on the rapid fire suppression using a water mist nozzle in a fire compartment with a door opening," *Nuclear Engineering and Technology*, vol. 51, pp. 410-423, (2019).

---

(접수: 2019.06.05. 수정: 2019.09.03. 게재확정: 2019.09.09.)