

NOVEC가스 소화설비용 노즐 형상 설계에 대한 수치해석

윤정인* · 정경국** · 김지성** · 김성윤** · 노범석*** · 최재혁****†

*, ** (재)한국조선해양기자재연구원, *** 한국해양수산연수원, **** 한국해양대학교 기관시스템공학부

Numerical Analysis on Development of Nozzle Shape for NOVEC Gas Extinguishing System

Jeong In Yun* · Kyung Kuk Jung** · Ji Sung Kim** · Sung Yoon Kim** · Beom-Seok Rho*** · Jae-Hyuk Choi****†

*, ** Korea Marine Equipment Research Institute, 435, Haeyang-ro, Yeongdo-gu, Busan 49111, Korea

*** Education & Management Team, Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 49111, Korea

**** Division of Marine System Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea

요약 : 청정소화약제는 지구오존층 보호를 위해 발효된 몬트리올 의정서에 따라 할론 1211 및 할론 1310을 대체할 수 있는 약제를 말한다. 국내외적으로는 청정소화약의 시스템 표준화와 성능평가가 수행되고 있다. 본 논문은 일반적인 청정소화약제 시스템을 바탕으로 다양한 노즐의 형상에 대한 모델링 및 수치해석을 수행하여 최적의 노즐 형상을 제안하였다. Type A와 B의 2가지 형상에 대한 노즐의 3차원 모델링을 통해 노즐의 분출속도가 개선될 수 있도록 하였다. 2가지 형상의 노즐에 대하여 유동해석을 실시하였으며 노즐의 홀 직경을 다르게 하여 가스속도 및 압력분포를 측정하였다. 측정결과 노즐 홀 수 및 직경에 따라 노즐출구에서 분출속도가 달라지는 것을 확인할 수 있었으며 노즐 홀 직경에 관계없이 유량은 압력이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 실험을 통해 얻어진 결과를 바탕으로 노즐 직경이 5 mm인 경우의 K-factor값이 101.8 l/min-bar^{0.5}임을 확인하였으며, 최종적으로 노즐 홀 5 mm인 12개의 홀이 2층 구조로 되어 있는 형상의 노즐을 제안하였다.

핵심어 : 청정소화약제, 3D 모델링, 유동해석, 노즐형상, K-factor

Abstract : Clean fire extinguishing agents refer to chemical that can replace Halon 1211 and Halon 1310 according to the Montreal Protocol fermented to protect the Earth's ozone layer. In Korea and abroad, system standardization and performance evaluation of clean fire extinguishing agents are being carried out. This paper proposes an optimal nozzle shape by modeling and numerical analysis of various nozzle shapes based on general clean fire extinguishing system. The ejection speed of the nozzle can be improved by studying three - dimensional modeling of the nozzle for two shapes, Type A and B. Flow analysis was performed on the two types of nozzles and the gas velocity and pressure distribution were measured with different nozzle diameters. It was confirmed that the jetting speed was changed at the nozzle outlet according to the number and diameter of the nozzle holes. The flow rate increased with increasing the pressure regardless of the nozzle hole diameter. Based on the results obtained from the experiment, the K-factor value was deduced. Finally, a nozzle with a 12-hole structure with a 5-mm nozzle hole was proposed.

Key Words : Clean Fire Extinguishing Agent, 3D Modeling, Flow analysis, Shape of Nozzle, K-factor

1. 서론

청정소화약제는 수동식소화기용 소화약제가 아닌 소화설비용으로 사용할 수 있는 소화약제이며 그 외에도 여러가지 물질의 소화약제가 있으나 소화약제의 제조사 및 시험기관

에 따라 약제의 소화 작용 및 특성에 차이가 있다.

노벡가스를 이용한 소화설비는 화재공간에 방사될 경우 불이나 연기와 함께 바로 증발되기 때문에 화재열을 저하시키고 사물에는 잔유물질을 남기지 않는다. 따라서 고가장비나 전산실, 전기실, 통신실, 데이터저장소 등의 손실을 최소화할 수 있다. Fig. 1에 노벡가스를 이용한 기본적인 소화시스템의 개념도를 나타낸다. 국제사회에서는 소화

* First Author : jiyun@komeri.re.kr, 051-400-5162

† Corresponding Author : choi_jh@kmou.ac.kr, 051-410-4257

약제의 성능을 평가하기 위하여 여러 가지 시험평가 방법을 개발하고 시행하였다. 미국의 NFPA(National Fire Protection Association)에서는 소화 약제 및 시스템에 대한 표준화를 하였으며 UL(Underwriters Lab.)과 FM(Factory Mutual) 등에서 소화 성능 시험평가를 수행하였다(NFPA 2001, 1996). 유럽의 LPC(Loss Prevention Council)에서 성능평가 시험을 수행하고 있으며 국내에서도 소화약제 성능평가 기준을 정하고 한국소방검정공사(KFI)에서 이를 수행하고 있다(ISO 14520, 2000).

Vahdat et al.(2003)은 순수한 질소와 노백을 사용한 소화농도 실험의 결과에서 투입된 공기유량과 질소유량을 측정하면 소화농도를 계산할 수 있음을 밝혔다. Kim et al.(2011)은 군 장비용 소화능력시험기준인 2~3분 이내 진화를 만족하는 밸브를 개발하였다. Yun and Choi(2015)은 NOVEC가스 소화설비용 배관장치 설계방법론을 개발하여 이를 통해 소화제 방출시간을 산정하였다. Chang et al.(2016)은 NOVEC 649의 발전효율은 R-245fa보다 상대적으로 적음을 밝혔다. Pagliaro and Linteris(2017)은 C6F120가 첨가된 CH4-air와 C3H8 air-flame의 층류 연소 속도를 실험하여 수치적으로 결정하였다.

본 연구에서는 일반적인 소화시스템을 바탕으로 모델링 및 수치해석을 수행하였다. 그러나 직접적으로 화염에는 무화, 관통, 분산, 분포의 역할을 최종적으로 수행하는 것은 노즐이므로, 본 연구에서 목표로 하는 속도, 시간, 유량을 제어할 수 있는 노즐을 설계하는 것이 매우 중요한 내용이 될 것이다.

이에 본 연구에서는 다양한 노즐의 형상에 대하여 모델링 및 수치해석을 수행하여 본 연구에 적합한 최적의 노즐 형상을 제안하였다.

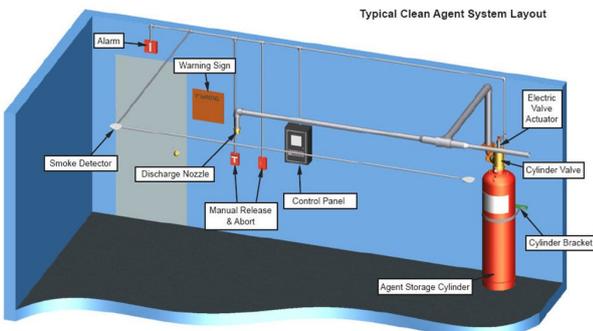


Fig. 1. NOVEC gas extinguishing system.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

실험에 사용된 시제품설계도 및 데이터 분석 시스템을 Fig. 2에 나타낸다. Fig. 2(a)를 살펴보면 데이터 분석용 노즐은 Full flooding을 요구하는 IMO Requirement를 충족하는 것으로 노즐 분사 방향이 반경방향에만 집중되어 축 방향으로 흐름을 가공했을때의 영향을 추가로 검토중에 있다. Fig. 2(b)와 (c)를 살펴보면 데이터 분석 시스템은 압력, 유량 및 온도를 측정하여 10 Hz의 주기로 Data를 저장할 수 있다. 저장된 Data는 게이지형태의 표현부터 그래프, 엑셀로의 데이터 변환을 지원하여, 노즐로부터 수집된 정보를 쉽게 가공이 가능하다.

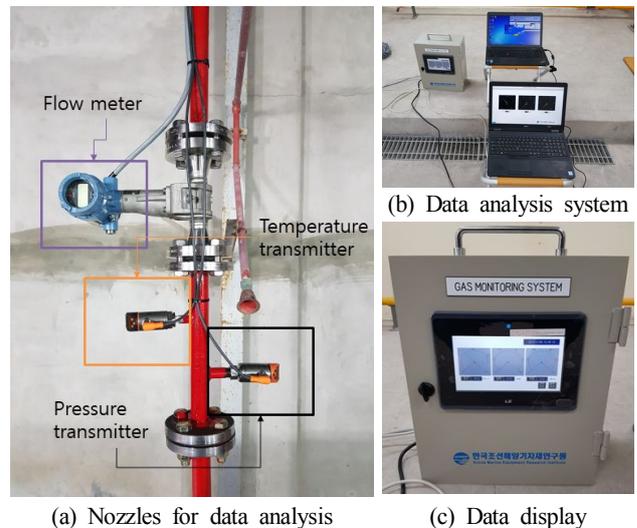


Fig. 2. Nozzle configuration and data display for data analysis.

2.2 실험 방법

수치 유동해석은 상온에서 작동유체를 액체로 가정하였으며 노백 물성치는 분출될 때의 조건인 1 atm, 25 °C를 사용하였다. 첫 번째 및 두 번째 노즐은 360° 전체에 대하여 계산을 수행하였다. 2상 유동해석은 Euleria-Eulerian 해석 기법을 사용하였으며, 이 때 25 °C공기를 continuous fluid, 노백을 dispersed fluid로 두었다. 난류는 SST방식을 적용하였으며, 노백가스는 zeoro equation을 사용하였다. 노즐 직경별로 입구조건 10, 20, 30, 40 bar 그리고 외부 opening은 1 atm조건으로 해석하였다. 또한 본 시뮬레이션의 최종목표는 K-factor를 구하는 것이므로 식(1)과 같이 오일러-오일러 기법을 채택하였다.

$$Q = \frac{K}{\sqrt{P}}$$

(1)

여기서, Q : Flow Rate

P : Discharge Pressure at Nozzle

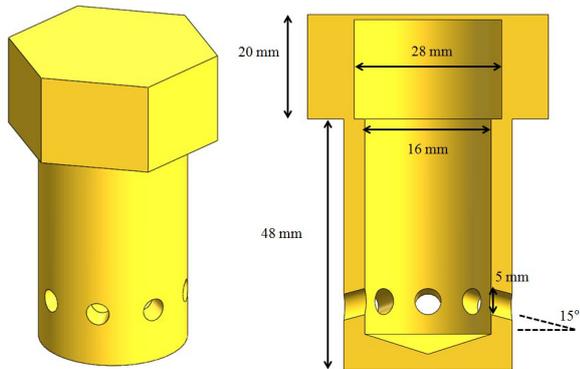
K : Nozzle Discharge Coefficient

3. 수치결과 및 고찰

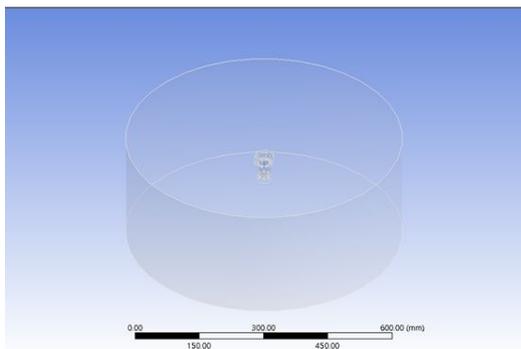
3.1 노즐의 3차원 모델링

Fig. 3에 Type A의 3D 모델링 결과를 나타낸다. 노즐 전체의 길이는 68 mm이며 2겹 홀 형태를 가지고 있다. 시뮬레이션을 위한 전체 형상을 살펴보면 해석을 위한 노드는 89,370 개이다.

Fig. 4에 Type B의 3D 모델링 결과를 나타낸다. 일반적인 노즐에서 개선된 형상을 고안하여 기존 4겹 홀 형태에서 2겹 홀 형태로 개선하였다. 분출속도를 개선하였으며 노즐 홀 수도 증가시켜 원활한 분출이 이루어지도록 하였다. 이때 노드는 총 75,828개로 구성되어 있다.

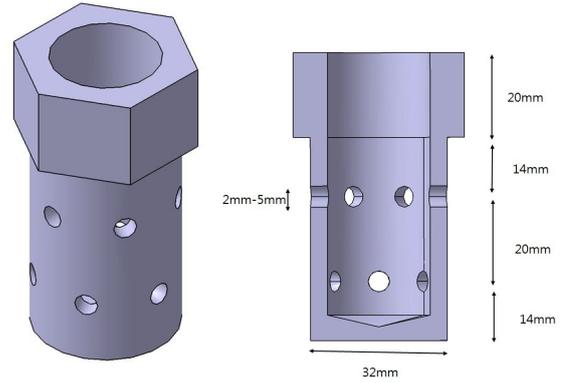


(a) 3D modeling of nozzle

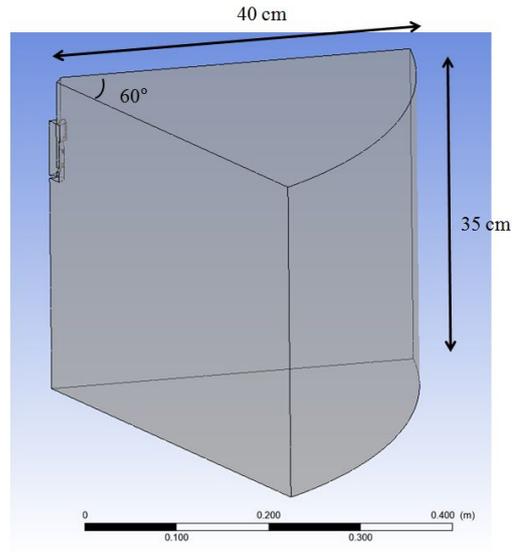


(b) Geometry of simulation

Fig. 3. 3D modeling of Type A.



(a) 3D modeling of nozzle



(b) Geometry of simulation

Fig. 4. 3D modeling of Type B.

3.2 Type A 노즐의 유동해석 결과

Fig. 5에 Type A 노즐의 노즐 홀 직경이 4 mm 및 5 mm일 경우의 가스 체적 분율을 나타낸다. 분사형태는 원방형 모양으로 매우 양호한 분사 형태를 보이는 것을 알 수 있다.

Fig. 6에 가스속도 및 압력분포 결과를 나타낸다. 노즐 홀 수 및 직경 대비 많은 유량을 방출하려다 보니 노즐출구에서 매우 높은 속도를 보이고 있는 것을 알 수 있다.

이와 같이 일반노즐의 형상으로 유량을 계산한 결과 노즐 홀 직경이 4 mm 및 5 mm일 때 각각 0.32 kg/s, 0.5 kg/s 로 필요 유량인 0.63 kg/s를 만족시킬 수가 없었다. 따라서 개선된 형상의 노즐 모델링이 필요하다고 판단되었다.

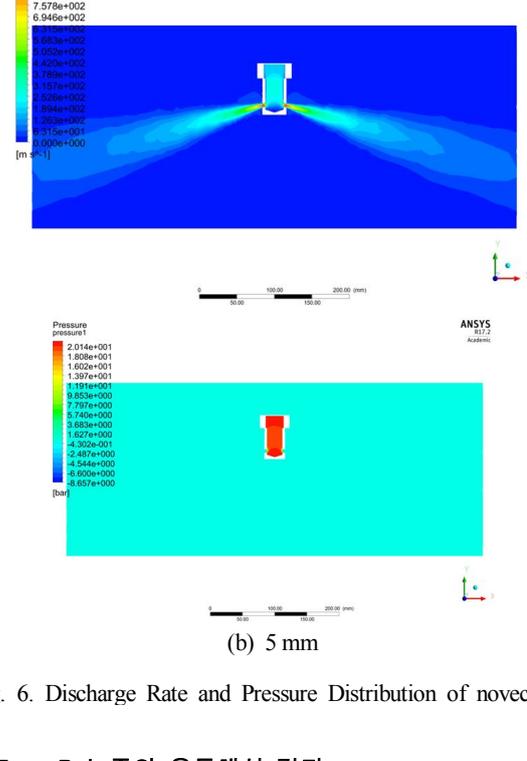
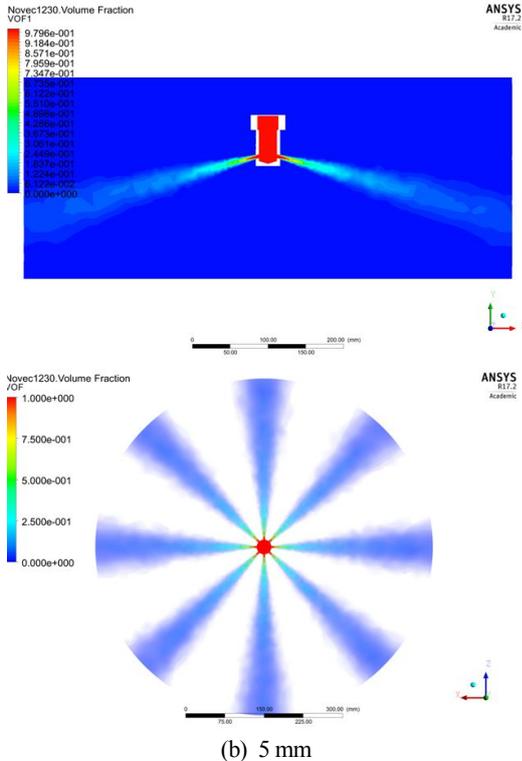
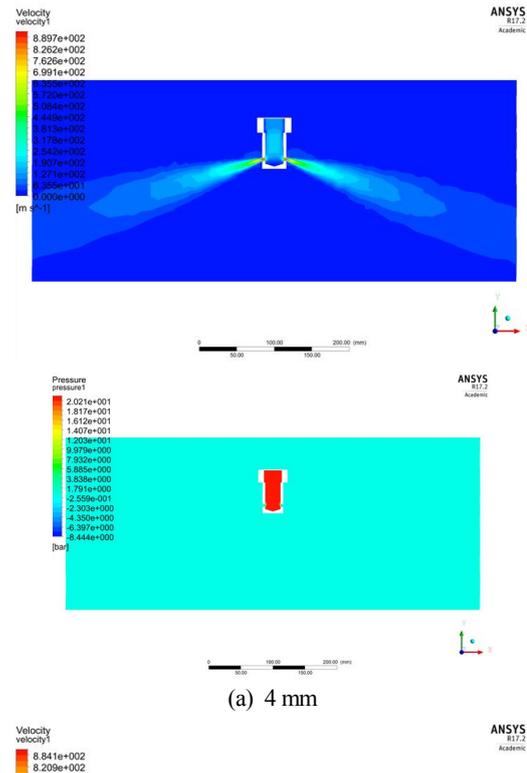
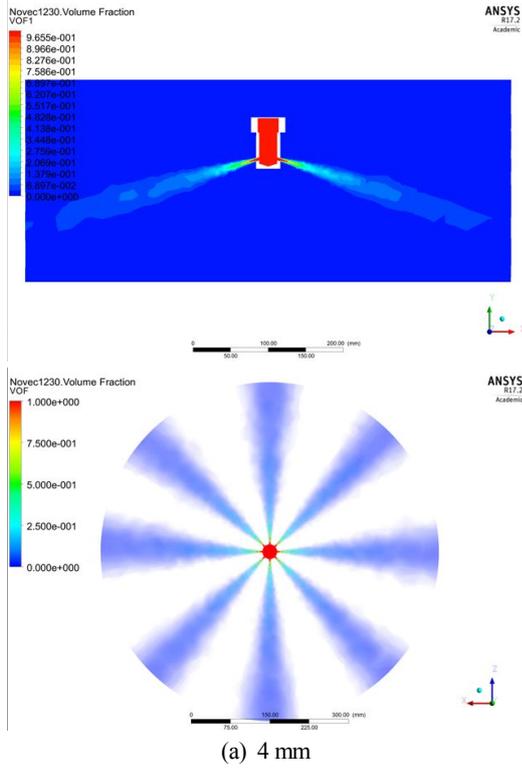


Fig. 5. Fraction of novect gas.

Fig. 6. Discharge Rate and Pressure Distribution of novect gas.

3.3 Type B 노즐의 유동해석 결과

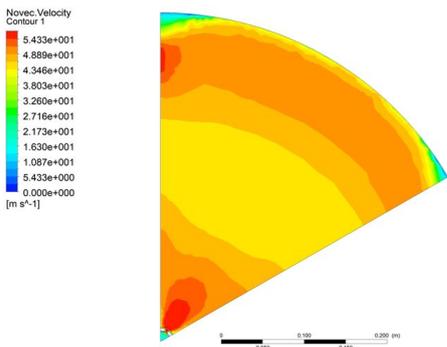
Type B 노즐의 경우 노즐 홀 개수를 기존의 4겹 홀 형태에서 2겹 홀 형태로 개선하였다. 노즐의 전체 길이는 68 mm 로 Type A와 동일하며 본 계산에서는 노즐 직경을 2 mm 및

5 mm로 설정하였다.

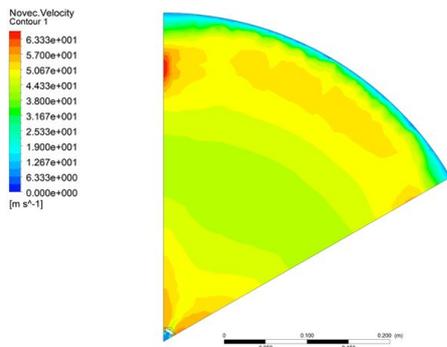
계산 도메인은 전체 계산 시간을 고려하여 360° 중 60°에 해당하는 부분만을 계산하였다. 전체 노드수는 노즐 홀 직경이 2 mm인 경우 93503개이며, 5 mm인 경우 56758개이다. 위 두 경우에 비해 도메인을 적게 했음에도 불구하고 노드수가 증가한 것은 보다 정확한 계산 수행을 위해 격자간격을 적게 하였기 때문이다.

Fig. 7에 노즐 홀 직경 2 mm와 5 mm에서의 속도분포를 나타낸다. 2 mm 직경의 노즐에서는 최고 54 m/s, 직경 5 mm 직경의 노즐에서는 45 m/s 정도의 속도를 나타내고 있다. 이러한 결과들을 바탕으로 K-factor값을 구하였으며, 그 결과를 Fig 8에 나타낸다. 노즐 홀 직경에 관계없이 유량은 압력이 증가함에 따라 증가하고 있으며 노즐 홀 직경이 2 mm 및 5 mm인 경우 40 bar에서 각각 3.021 kg/s, 17.245 kg/s이다. 이러한 결과는 Yun et al.(2018)의 연구와 유사하게 나타났다.

K-Factor는 노즐 홀 직경이 2 mm인 경우 17.8 l/min·bar^{-0.5}, 노즐 홀 직경이 5 mm인 경우 101.8 l/min·bar^{-0.5}인 것을 알 수 있었다. 이에 노즐 홀 5 mm인 경우 필요 유량(0.63 kg/s) 이상으로 분출할 수 있으므로, 노즐 홀 5 mm인 12개의 홀이 2층으로 되어 있는 형상의 노즐을 최종적으로 제안하였다.

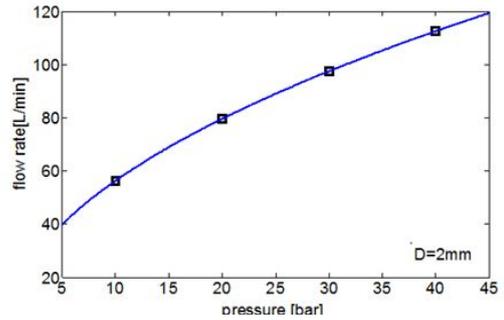


(a) Diameter of nozzle hole: 2 mm



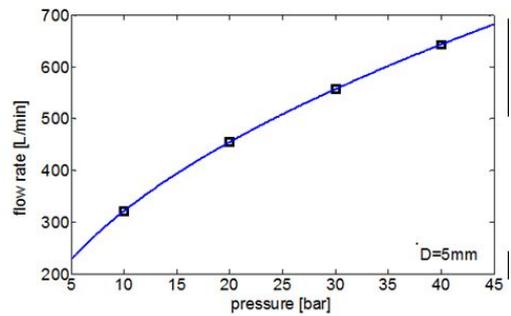
(b) Diameter of nozzle hole: 5 mm

Fig. 7. Discharge Rate of novec gas.



ΔP	bar	10	20	30	40
Q _{CFD}	l/min	56.118	79.629	97.542	112.702
W _{CFD}	kg/s	1.504	2.134	2.614	3.021

(a) Diameter of nozzle hole : 2 mm



ΔP	bar	10	20	30	40
Q _{CFD}	l/min	320.996	455.158	557.604	643.391
W _{CFD}	kg/s	8.604	12.200	14.956	17.245

(b) Diameter of nozzle hole : 5 mm

Fig. 8. Variation of flow rate with pressure.

4. 결론

본 연구에서는 수치 해석을 통한 NOVEC가스 소화설비용 노즐형상개발을 위한 실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었으며, 향후 연구내용을 기술하였다.

- (1) 노즐형상의 3차원 모델링 수행결과, Type A, B의 두 개의 3D 모델링을 실시하였으며 Type A는 4겹 홀 형태이며 분사방향이 15° 각도 아래쪽, 해석을 위한 노드는 89,370개이었다. Type B는 2겹 홀 형태이며 노즐 홀 수를 증가시켜 원활한 분출이 이루어지도록 하였다.
- (2) Type A 노즐의 유동해석 결과, 노즐 홀 직경이 4 mm, 5 mm일 때 분출유량이 각각 0.32 kg/s, 0.5 kg/s로 필요유량인 0.63 kg/s를 만족시킬 수 없었다.
- (3) Type B 노즐의 유동해석 결과, 노즐 홀 직경이 5 mm인 경우 필요유량 0.63 kg/s의 유량을 분출할 수 있었으며

노즐 홀 5 mm인 12개의 홀이 2층으로 되어있는 형상의 노즐을 최종적으로 제안하였다.

- (4) 본 연구는 국내 육상소화설비에 부분적으로 적용되고 있는 노백 소화설비를 조선 및 해양플랜트에 적합하게 개발함으로써, 국내에 건조하는 고부가가치 선박이나 해양플랜트에 납품 가능할 것으로 예상된다. 특히 군함에도 그 필요성이 인정되어 논의가 진행 중이다.

Received : 2018. 10. 10.

Revised : 2018. 11. 26.

Accepted : 2018. 12. 28.

후 기

본 연구는 2017년 기술이전사업화 사업 청정소화약제 적용 가능한 조선 해양 플랜트용 소화 설비 개발 연구로 수행된 연구결과이다.

References

- [1] Chang, H. S., Y. S. Han, Y. K. Song and S. H. Kim(2016), ORC System Performance Analysis upon R-245fa and NOVEC649, Transactions of the Korea society of Geothermal Energy Engineers, Vol. 12, No. 3, pp. 17-23.
- [2] ISO 14520(2000), Gaseous Fire Extinguishing Systems-Physical Properties and System Design.
- [3] Kim, J. R., H. K. Ku and S. S. Oh(2011), Development of Fire Extinguisher Valves for Tracked Vehicle Using NOVEC1230, Korea Academy Industrial Cooperation Society, Vol. 12, No. 4, pp. 1539-1546.
- [4] NFPA 2001(1996), Standard on Clean Agent Fire Extinguishing system.
- [5] Pagliaro, J. L. and G. T. Linteris(2017), Hydrocarbon flame inhibition by C6F12O (Novec 1230): Unstretched burning velocity measurements and predictions, Fire Safety Journal, Vol. 87, pp. 10-17.
- [6] Vahdat, N., Y. Zou and M. Collins(2003), Fire Extinguishing Effectiveness of New Binary Agent, Fire Safety J., Vol. 38, pp. 553-567.
- [7] Yun J. I. and J. H. Choi(2015), A Development of Methodology for NOVEC Gas Fire Extinguishing System, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 39, No. 3, pp. 206-210.
- [8] Yun, J. I., K. K. Jung, J. S. Kim, S. Y. Kim and J. H. Choi(2018), Effect of Nozzle Shape on the Flow Rate of Novec Gas for Fire Extinguishing Facilities, Proceedings of the KOSOMES Autumn Conference, p. 124.