

폼모니터의 분사거리 예측을 위한 유동해석에 관한 연구

류영춘¹, 서부교¹, 성정현¹, 이영훈², 박영철^{3*}

¹동아대학교 대학원 기계공학과, ²(주)엔케이 기술연구소, ³동아대학교 기계공학과

Study of Computational Fluid Dynamics for Projection Distance Prediction of the Foam Monitor

Young-Chun Ryu¹, Bu-Kyo Seo¹, Jung-Hyun Seung¹, Young-Hoon Lee²,
Young-Chul Park^{3*}

¹ Graduate school, Department of Mechanical Engineering, Dong-A University

²NK Corporation Technology Research Center

³Department of Mechanical Engineering, Dong-A University

요약 폼모니터는 유조선 또는 위험화학품 선적운반선의 화물구역 화재를 진압하기 위해 화물탱크 갑판 상에 필수적으로 설치되어 있는 장치이다. 일반적으로 폼모니터의 주요한 설계 변수는 폼모니터를 통해 분사되는 소방 수의 분사거리이다. 그러나 현재까지 산업계에서는 폼모니터의 분사거리에 대한 수치 해석적 접근 보다는 경험에 근거한 데이터를 바탕으로 설계하고 있다. 따라서 새로운 폼모니터의 형상 설계 시 많은 시간과 비용이 필요한 실정이다. 본 논문에서는 폼모니터의 분사거리 예측에 대한 수치해석적인 방법을 제시하고 제안된 수치 해석 기법의 결과와 실험 데이터를 비교하여 제안된 해석 방법의 효용성을 검증하였다. 또한 설계 변경된 폼모니터에 대하여 추가적인 수치해석을 통해 설계방안을 모색하였다.

Abstract The foam monitor is equipment for extinguishing fires, particularly for oil tankers or cargo areas of the carrying vessel. This equipment is installed on the cargo tank deck. Generally, the projection distance is important for designing an extinguishment. On the other hand, the form monitors in current industry have been designed by trial and error rather than by numerical analysis method. Therefore, the shape design of the new form of monitor is needed. In this study, numerical analysis was performed to determine the projection distance prediction, and experiment results were used to make a comparison with the analysis results. The proposed method was applied to the modified form of a newly designed monitor in a company.

Key Words : CFD(Computational Fluid Dynamics), FEM(Finite Element Method), foam monitor, projection distance

1. 서론

선박 갑판용 소화장치는 유조선 또는 위험 화학품 선적운반선의 화물구역 화재를 진압하기 위해 화물탱크 갑판 상에 설치되는 장치이다. 폼모니터(form monitor)는 갑판 상에 설치되어 상하 및 좌우로 포말(bubble)의 분출 방향을 조정할 수 있도록 설계되어 있다. 폼모니터는 포

말용액과 공기를 혼합하여 포말을 만들 수 있도록 내부에 노즐이 설치되어 있으며, 소화장치의 전방에 설치된 관장치가 손상되는 경우 손상부위로 포말용액이 공급되어 누설되는 것을 방지 할 수 있도록 차단하기 위한 차단 밸브가 설치되어 있다. 이러한 폼모니터를 헬리 데크용으로 제안한 특허로서 공개번호 20-2013-000255가 있다. 적으로 사용되는 설계의 가장 주요한 변수는 분사거

본 연구는 산업통상자원부 지정 지역혁신센터사업(RIC) 고기능성밸브기술지원센터 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Young-Chul Park(Dong-A Univ.)

Tel: +82-51-200-67652 email: parkyc67@dau.ac.kr

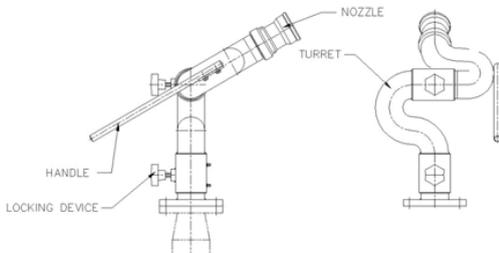
Received June 25, 2014

Revised August 21, 2014

Accepted October 10, 2014

리이다. 현재 산업에서 사용되어지는 폼모니터는 경험적, 즉 시행착오적인 방법으로 설계되어 있다. 따라서 이러한 설계 방법에 대한 신뢰성을 부여하기 위해서는 수치해석 기법을 이용한 접근이 필요하다. 밸브와 이젝터 등과 같이 조선 기자재에 사용되는 제품에 대한 수치해석적인 기법은 유동특성을 파악할 수 있는 유동해석, 구조의 안정성을 판단하기 위한 구조해석이 있다[2,3]. 또한 조선해양 기자재 분야에 적용이 가능한 소화장치인 폼모니터에 대한 수치 해석적 접근 방법은 현재까지 제시되지 않고 있으나, 일반적으로 유체가 흐르는 제품에 대해서는 수치적인 검증을 할 때는 유동해석, 구조해석, 유동-구조 연성해석 등을 이용하여 신뢰성을 검증하고 있다 [1-3]. 그러나 폼모니터의 주요한 변수인 성능지표인 분사거리를 예측에 대한 해석 기법은 현재까지 제안되고 있지 않다. 따라서 이에 대한 연구를 본 논문에서는 제안하였다.

본 논문에서 제안한 분사거리 예측 해석 기법은 현재 선박에 설치되고 있는 N사의 폼모니터의 성능 시험 결과를 비교하여 제안된 해석 기법의 타당성을 검증하였다. 이러한 실험 데이터 비교 결과를 바탕으로 산업계에서 새로운 폼모니터 형상 변경을 통한 제품 개발 시 제안된 해석 기법을 활용하여 그 성능을 예측할 수 있도록 하였다.



[Fig. 1] Schematic of fire extinguish system for a partition of a deck

2. 폼모니터의 유동해석

2.1 폼모니터

해상에서 장기간 작업을 수행하는 선박 또는 해상구조물에는 대부분 헬리콥터의 이착륙을 위한 헬리데크(helideck)가 마련되고, 이 헬리데크에는 화재 발생 시 화재를 진압하기 위해 물, 폼(foam) 등의 소화제를 분사하

는 헬리데크 폼모니터가 장착된다. 이 폼모니터를 물 대포(water cannons)라고도 한다. 일반적으로 사용되는 설계의 가장 주요한 변수는 분사거리이다. 현재 해상구조물 및 선박에서 사용되어지는 폼모니터는 경험적, 즉 실험 착오적인 방법으로 설계되어 있다. 따라서 이러한 설계 방법에 대한 신뢰성을 부여하기 위해서는 수치해석 기법을 이용한 접근이 필요하다.

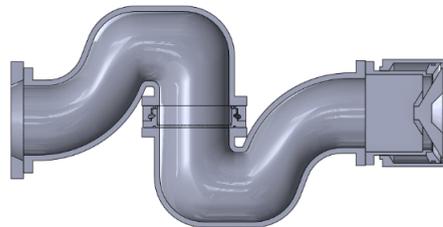
본 연구에서는 N사에서 설계된 초기 폼모니터 모델에 대하여 분사거리 예측에 대한 수치 해석적 방법을 제시하였다.

2.2 수치해석을 위한 폼모니터의 3D 모델링

소화장치인 폼모니터는 커넥션 바다, 스티어링 바다, 커넥션 플랜지, 노즐 어셈블리, 스톱퍼 어셈블리, 핸들 등으로 조립되어 있다. 폼모니터에 대하여 유동경향 파악 및 분사거리 예측을 위해서는 정확한 경계조건을 부여하기 위한 3차원 모델이 필요하다.

전체파트 중에 유동해석을 하기 위해 주요 부품으로 여겨지는 바다, 컨트롤 플레이트, 기어 커버, 기어 휠 파이프, 노즐 바다, 노즐 부쉬, 노즐 포밍 링을 3차원 모델링을 진행하였다.

초기 모델의 폼모니터 캐드(cad) 모델링을 Fig. 2에 나타내었다.

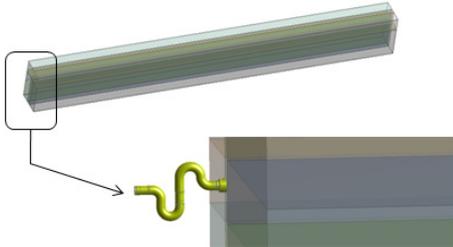


[Fig. 2] 3D modeling of foam monitor about initial model

2.3 폼모니터의 유한요소 모델링

폼모니터의 유동특성을 파악하고, 분사거리를 예측하기 위하여 상용프로그램인 ANSYS CFX를 이용하였다. 위의 목적을 달성하기 위해서는 분사를 하는 폼모니터와 분사가 이루어지는 외부공간에 대해서 유동장에 대한 설계가 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 N사의 폼모니터 분사거리 측정 시험에서 유체가 분사될 때, 유체가 통과하는 외부체적에 대해서 측정하고, 이를 바탕으로 분

사되는 외부공간에 대해서 5000×7000×80000(mm)의 크기로 설정하였다. 외부공간에 대한 유동장의 한 면과 평행한 상태(회전각도 0°)에서의 폼모니터 유동장의 출구 측에 있는 면을 Fig. 3과 같이 결합시켰다.

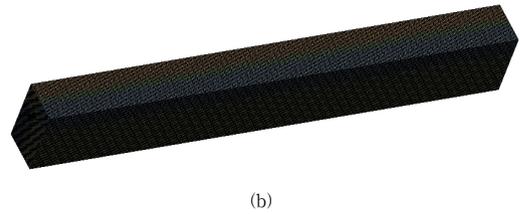
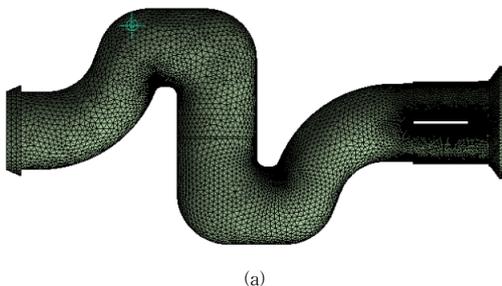


[Fig. 3] 3D modeling of foam monitor for flow analysis

폼 모니터의 유동 장에 비해서 매우 큰 외부공간의 유동장과 결합시켰기 때문에 폼 모니터의 유동장의 격자 크기를 외부 공간에 같게 적용시킨다면 해석 시간이 기하급수적으로 증가한다. 따라서 분사거리 예측에 대한 해석시간을 단축시키기 위해서 해석의 주요 관점을 나누어 격자를 달리 부여하는 방법을 사용하여 해석시간을 단축하였다.

유동장의 격자를 설정하기 위해서, CFX에서 기본 값으로 격자를 구성하여 초기 유동해석을 실시하였다. 폼 모니터에서 분사가 이루어질 때, 유체가 이동하는 경로를 확인할 수 있었고, 유체의 흐름이 존재하지 않는 부분과 흐르는 경로 부분을 확인하였다, 따라서 유동의 흐름을 고려하여 외부공간을 9분할하고, 유체의 이동 경로에 지나는 분할된 공간에 대해서는 조밀한 격자를 구성하고, 그렇지 않은 부분은 격자를 크게 부여하여 해석시간을 단축하였다.

또한 유체의 점성으로 인한 벽면효과를 고려하여 격자를 구성하였으며, Fig. 4에 유동해석을 위한 유한요소 모델을 나타내었다.



[Fig. 4] Finite element model of form monitor
(a) form monitor (b) full model

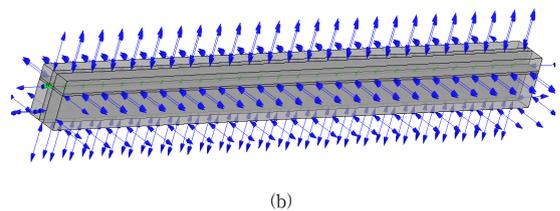
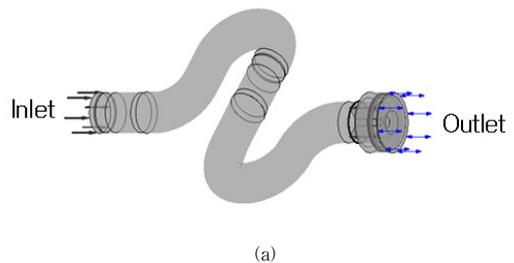
2.4 폼 모니터의 경계조건

폼 모니터에서의 분사거리 예측 및 유동 특성을 파악하기 위해서 경계조건을 부여하였다. 입구에서는 16 (bar) 압력이 작용하고 있으며 분사가 이루어지는 외부공간에 대해서 대기압(0 Pa)으로 설정하였다.

폼 모니터와 외부공간에 나타내는 격자는 GGI(General Grid Interface)방식으로 구성하였으며, Fig. 5와 Table 1에 경계조건을 나타내었다.

[Table 1] Boundary condition

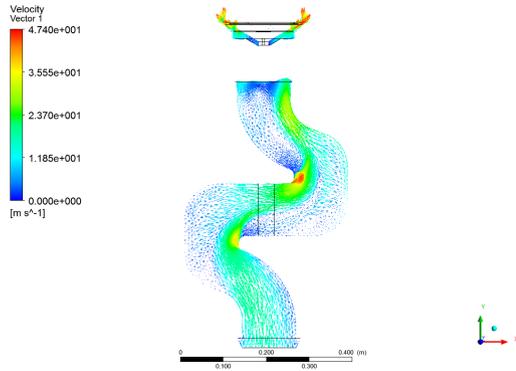
B.C.	
Inlet Pressure	16 [bar]
Outlet Pressure	0 [bar]
Working Fluid	Water
Fluid Temperature	25 [°C]
Outside Fluid	Air
Outside Temperature	25 [°C]



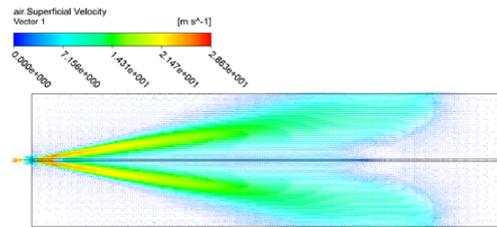
[Fig. 5] Boundary condition of form monitor
(a) form monitor (b) full model

2.5 폼 모니터의 유동해석 결과

폼 모니터에서의 분사거리 비교 및 유동 특성을 파악하기 위해서는 유동해석을 수행한 결과를 Fig. 6-7과 Table 2에 나타내었다.



[Fig. 6] Result of initial model flow analysis about a velocity vector



[Fig. 7] Result of initial model flow analysis about a projection distance

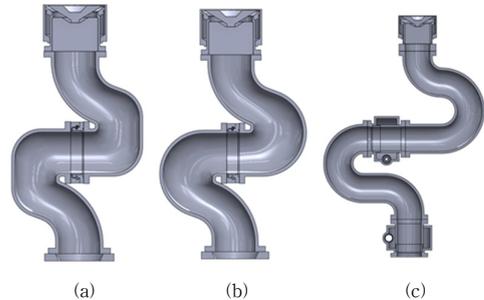
[Table 2] Result of initial model flow analysis

		Initial model
Average velocity		11.20 m/s
Maximum velocity		47.39 m/s
Analysis	Maximum	31.50 m
Experiment	Projection distance	30.13 m

N사에서 설계한 초기 모델에 대하여 해석을 진행한 결과로써, 최대 분사거리는 실제 시험과 5%의 오차를 확인할 수 있었다. 이로써 현재까지 실행 착오적인 방법으로 설계되어진 폼 모니터의 분사거리 예측을 수치해석적인 방법을 이용하여 접근하여 설계 방법의 신뢰성을 향상할 수 있었다.

하지만 초기 모델의 경우에는 유로의 직경이 일정하지 않아 재설계가 필요하다. 따라서 설계 변경한 2가지의 모델에 대하여 추가적인 해석을 진행하였다.

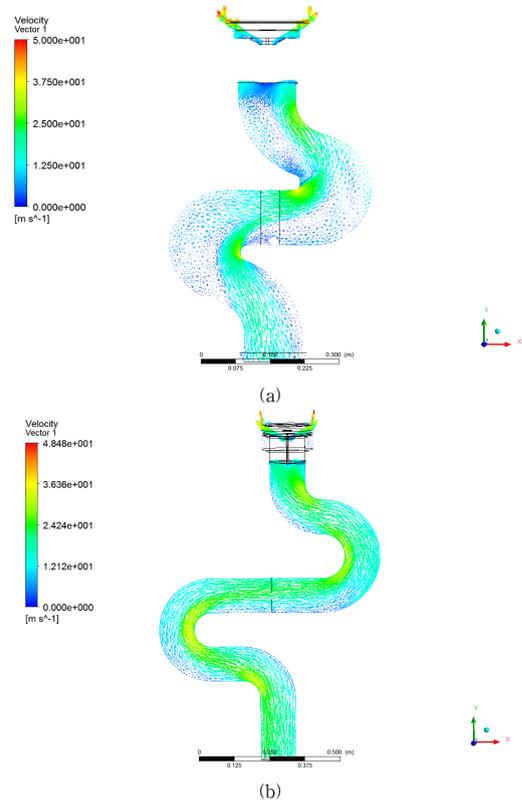
Fig. 8에 형상이 변경된 모델을 나타내었고, 유동해석의 결과는 Fig. 9-10와 Table 3에 나타내었다.



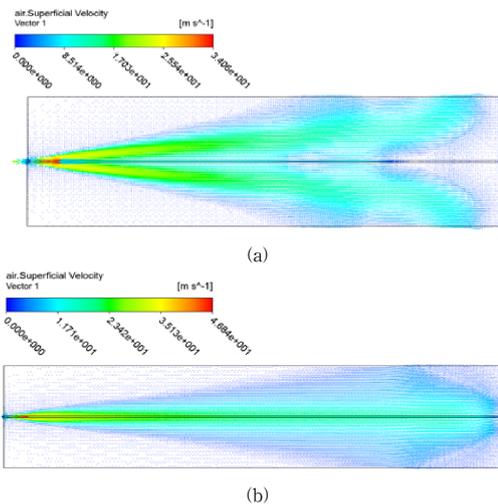
[Fig. 8] 3D modeling of modified foam monitor
(a) initial model (b) model 1 (c) model 2

[Table 3] Result of flow analysis

	Initial model	Model 1	Model 2
Average velocity	11.20 m/s	10.64 m/s	17.82 m/s
Maximum velocity	47.39 m/s	50.00 m/s	48.48 m/s
Maximum Projection distance	31.50 m	28.50 m	45.80 m



[Fig. 9] Result of modified model flow analysis about a velocity vector.
(a) model 1 (b) model 2



[Fig. 10] Result of modified model flow analysis about a projection distance
(a) model 1 (b) model 2

형상이 변경된 모델 1의 형상은 기존 모델의 유로를 곡선 형태로 변경하였다. 유동해석 결과를 살펴보면 최대 유속은 초기 모델보다 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 유선(steam line)의 흐름을 살펴보았을 때, 유동의 흐름이 기존모델보다 자연스럽게 흘러가는 것을 확인하였다. 하지만 일정하지 않은 유로의 크기 때문에 분사거리는 기존 모델과 큰 차이점을 보이지 않았다.

모델 2의 경우에는 유로를 곡선형으로 변경하고, 유로의 크기를 일정한 크기로 유지해주는 주는 모델이다. 그로 인해 평균 유속이 다른 모델에 비해서 월등하게 높은 결과를 얻을 수 있었고, 최대 분사거리 또한 다른 모델에 비해 높은 결과를 얻었다. 기존 모델에 비해 보다 긴 유로를 가지는 이유는 폼 모니터 배관의 중간 부분에서 전자제어 시스템을 부착하기 위함이다. 이는 자동적으로 폼 모니터의 각도를 조절할 수 있게 할 수 있고, U자 곡관과 일자 배관은 쉽게 가공하여 사용할 수 있기 때문에 범용성이 매우 뛰어나다고 볼 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 선박 갑판용에 사용되는 소방설비 장치인 폼 모니터의 유동특성 파악 및 분사거리 예측을 실시하였다. 결론은 다음과 같다.

- (1) 현재 해양구조물 및 선박에서 사용되어지는 폼 모니터 기존 모델의 분사거리를 예측하기 위하여 수치해석적 기법을 제안하였다.
- (2) 폼 모니터와 외부공간(공기)을 나타내는 유동장을 생성하여 GGI 방법을 이용하여 유동 예측모델을 생성하여 분사거리를 예측하였다.
- (3) N사에서 설계한 모델의 분사거리 측정 시험과 수치해석의 결과를 비교한 결과 5%의 오차를 확인할 수 있었다.
- (4) 곡선의 형태를 가진 변경된 모델에서 유동의 흐름이 기존 모델보다 향상된 결과를 얻을 수 있었으며 모델 1의 경우는 분사거리가 기존모델과 차이가 없으나, 모델 2의 경우 유로를 길게 확장하여 기존모델에 비해 긴 분사거리를 확인할 수 있었다.

References

- [1] C.W. Park., C.H. Hong., "User Guide of ANSYS Workbench", Interserion, 2008.
- [2] S.H. Kang., X.G. Song., Y.C. Park., "Investigation on a gas-liquid ejector using three-dimensional CFD model", J Power control and optimization; Proceedings of the Sixth Global Conference on Power Control and Optimization, pp.415-419, 2012.
- [3] S.M Lee., Y.C. Park. Y.J Jo., "The Structural Safety Evaluation for Butterfly Valve of Extra-large Type using Fluid-Structure Interaction", Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference, Nov. 12, pp. 571-572, 2008.
- [4] J.S. Lee., "Computational Fluid Dynamics Hydraulic valve Meter", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.13, No.5, pp.1963-1968, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.5.1963>
- [5] M. S. Chon., "Effect of Nozzle Hole Number on Fuel Spray and Emission Characteristics of High Pressure Diesel Injector," Journal of IlassKorea, Vol.17, No.4, pp.210-215, 2012.
- [6] S.J. Moon., S.J. Jeong., S.G. Lee., T.H. Kim., " A Numerical Study on the Geometry Optimization of Internal Flow Passage in the Common-rail Diesel Injector for Improving Injection Performance", Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 22, No. 2, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2014.22.2.091>
- [7] Ansys Inc, Ansys CFX Release 11.0, ANSYS CFX-Solver

Theory Guide, ANSYS: 2006.

류 영 춘(Young-Chun Ryu)

[정회원]



- 2011년 2월 : 동아대학교 기계공학과 대학원 (석사)
- 2007년 8월 ~ 현재 : 주)선일계전 기술연구소 이사

<관심분야>

유동해석, 구조설계

서 부 교(Bu-Kyo Seo)

[정회원]



- 2013년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (학사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 대학원 (석사과정)

<관심분야>

유동해석, 구조설계

성 정 현(Jung-Hyun Seung)

[정회원]



- 2014년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (학사)
- 2014년 2월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 대학원 (석사과정)

<관심분야>

유동해석, 최적설계

이 영 훈(Young-Hoon Lee)

[정회원]



- 2005년 2월 : 동아대학교 기계산업 시스템 공학부 (학사)
- 2007년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (석사)
- 2013년 8월 : 동아대학교 기계공학과 (박사수료)

<관심분야>

유동해석

박 영 철(Young-Chul Park)

[정회원]



- 1982년 2월 : 부산대학교 금속공학과 대학원 (석사)
- 2002년 2월 : 일본 동북대학교 기계공학과 대학원 (박사)
- 2009년 3월 ~ 2013년 7월 : 동아대학교 산학협력단 단장
- 1998년 3월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

금속재료, 구조설계