

지능형 고효율 탈진 인젝터의 분사관 개발

Development of Injection Tubes for Intelligent High-Efficiency Exhausted Injector

장성철^{1*}, 이경준¹, 이정원²

Sung-Cheol Jang^{1*}, Kyung-Jun Lee¹, Jung-Won Lee²

〈Abstract〉

This study aimed to evaluate the validity of an exhausted injector design for filtration system and the performance characteristics thereof. The evaluation was intended through computational fluid dynamics(CFD) analysis based on computer simulation rather than through prototype fabrication and testing. Furthermore, the design of experiment was used to create an experimental design table by which the reaction characteristics of response factors were analyzed for design parameters. All experiments were substituted with computer simulations. Lastly, an optimal design model for the injection tubes was determined based on response surface method algorithms.

Keywords : Exhausted Injector, Filtration System, Experimental Design, Optimal Design

^{1*}교신저자, 정회원, 한국폴리텍IV대학 충주캠퍼스 기계시스템과
E-mail : jsc@kopo.ac.kr, Tel : 043-850-4280

1 한국폴리텍IV대학 충주캠퍼스
2 에스엠터 기술연구소

^{1*}corresponding author, Department of Mechanical System
Engineering, Polytech4, Chungjoo Camp.
E-mail : jsc@kopo.ac.kr, Tel : 043-850-4280

1 한국폴리텍IV대학 충주캠퍼스
2 SMT R&D Center

1. 서 론

조선소 선박 블록 쇼트블라스트의 기존 설비의 경우 집진기에 설치된 다수의 블로우튜브, 탈진용 다이아프램 밸브, 컨넥터, 인젝터 등을 사용하여 설비비용을 증가시킬 뿐만 아니라, 정기적으로 진행되는 백필터 교체 작업시 많은 시간과 노동력이 소요되고 있다. 또한 집진기 탈진 시스템의 경우 탈진 효율을 높이기 위해서 고가의 수입 인젝터를 사용하고 있으며, 일부 국내기업에서도 유사한 제품을 출시하고 있으나, 설비비 증가의 원인이 되고, 유지 보수시 작업성이 불편하여, 많은 시간과 노동력이 소요되는 단점을 가진다¹⁻²⁾.

본 연구에서는 백필터 탈진시 실용성을 기하기 위해 기존의 고압기류 충격식 백필터 탈진기술을 개량하였고, 고효율 인젝터를 개발하기 위해서 성능실험에 관한 기초연구를 수행하기 위해서 실험 계획법에 의한 최적설계를 제안하여 인젝터에 필요한 기술적 가치를 평가하기 위한 기초연구이다.

2. 탈진 인젝터

Fig. 1에 나타낸 것과 같이 분진이 함유된 배출 가스가 집진필터를 통과하면서 분진입자가 포집되고, 백필터를 통과한 청정공기는 필터 내부를 통해 상부로 배출된다. 백필터를 통과하면서 포집된 분진들은 포집과정과 반대방향의 충격기류의 주기적인 분사로 인해 탈진되며, 하부 호퍼에 저장되어 기계식 장치에 의해 배출되게 된다. 이러한 탈진과정에서 백필터 집진장치의 탈진성능수준이 낮으면, 필터에서의 압력손실이 증가하여 처리가스 유량이 감소하게 되고, 필터수명이 짧아져 백필터

의 잦은 교체로 인한 유지비용이 증가하게 된다.

기존 충격류 탈진방식은 백필터에 주기적인 펄스형 충격으로 필터에 부착된 분진을 탈진하는 방법으로 높은 탈진압력이 요구되며, 이로 인한 큰 충격량이 필터에 가해짐에 따라 필터의 내구수명이 현저히 저하되는 문제점들이 내재되어 있다. 따라서 본 연구에서는 탈진시 백필터 내부로 유입되는 유량을 극대화 시킬 수 있도록 개발된 인젝터와 백필터 개구부에 설치된 벤추리 집진장치에서 동일한 공압 7bar 조건하에서 탈진유량을 극대화 시킬 수 있는 분사관에 관한 형상 최적설계를 수행하고자 한다. 이러한 분사관 최적화를 통해 기 개발된 백필터 집진기보다 낮은 공압으로도 동일한 탈진성능이 발휘되고, 이로 인해 동일한 공압에서 백필터의 길이를 증가시킬 수 있는 집진장치를 실현하고자 한다. 또한 백필터 집진장치의 상품성 개선을 위해 그 구조가 간단하고, 제작이 용이하며, 설치공간을 최소화 할 수 있는 백필터 집진장치를 구현하기 위해 기 개발된 인젝터의 코안다 효과와 백필터 흡입구의 벤추리 효과를 배가시킬 수 있도록 분사관의 최적형상 모델을 제안하고자 한다.

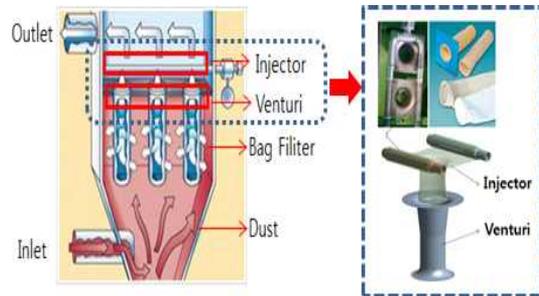


Fig. 1 Bag filter exhaust injector

3. 수치해석모델

3.1 경계조건

본 연구에서는 범용 CFD 툴인 CFX를 사용하여 유동해석을 수행하였다. 지배미분방정식들을 이산화하기 위해 유한체적법³⁾에 기초하여 격자망을 생성하였다.

Fig. 2는 본 연구에서의 해석대상 구조물인 분사관, 인젝터, 백필터 및 벤츄리를 도시한 것이다. Fig 2의 해석대상 구조물에 관한 유한체적 격자망을 Fig 3에 도시하였다. Table 1에 그 격자망의 절점 수와 요소 수를 나타내었다.

입구 경계면에 일정압력 5bar 조건을 설정하였고, 그 외 모든 외기 공기층 경계면에 대기압 조건인 오픈 경계조건을 부여하였다. 또한 Fig 2에서 보는 바와 같이 좌우가 대칭인 구조물이므로 대칭 경계조건을 활용하였다. 그리고 덕트의 모든

Table 1 Number of nodes and elements

Number of Elements	548,662
Number of Nodes	2,080,882



Fig. 2 3D modeling of injector

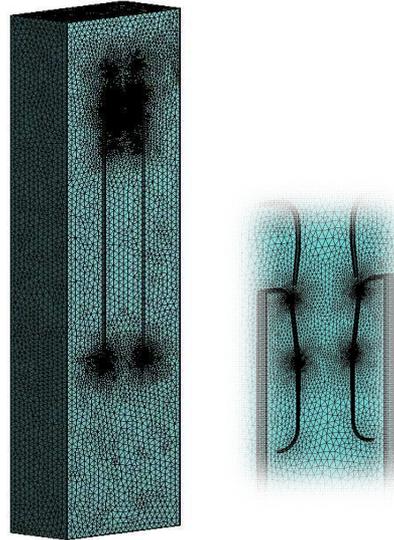


Fig. 3 Finite volume modelc

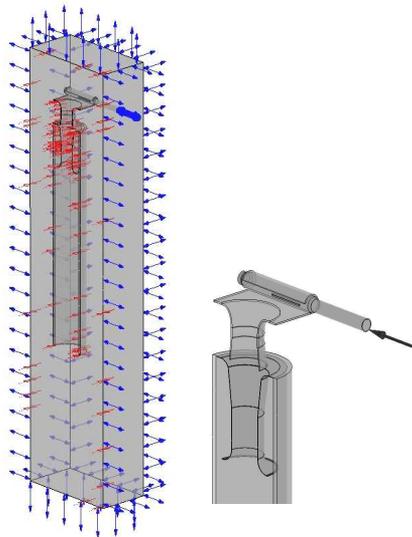


Fig. 4 Boundary condition

벽면에서는 속도에 대하여 점착조건과 난류를 고려하기 위하여 벽법칙을 사용하였다. Fig. 4에 본 해석에 활용된 경계조건들을 나타내었다.

3.2 실험계획법의 목적함수 및 설계변수

최적화^{4~5)}를 수행하기 위해서는 기본적으로 설계변수와 상태변수 및 목적함수에 관한 선정이 우선되어야 한다. 백필터 집진기의 탈진용 코안다-인젝터의 탈진성능을 큰 폭으로 개선시키고, 집진 효율을 향상시키며, 내구수명을 증가시키기 위해서, 입구부와 토출부의 압력차 ΔP 를 최소화하고, 토출부 속도 V_o 와 질량유량 M_o 를 극대화 하고, 토출된 질량유량과 입구로 유입된 질량유량의 차이 값 ΔM 이 최대가 되도록 하기 위하여 ΔP , V_o , M_o , ΔM 을 상태변수 값들로 설정하였다. 설계변수로는 코안다 효과를 극대화하기 위해 분사관으로부터 인젝터에 분사되는 출구부의 폭 W , 길이 L 및 높이 H 및 코안다 인젝터와 벤츄리 간의 간격 G 를 설계변수들로 선정하였으며 Fig. 5에 도시하였다. 목적함수로는 상태변수 값들 $\text{Min}(\Delta P)$, $\text{Max}(V_o)$, $\text{Max}(M_o)$, $\text{Max}(\Delta M)$ 각각을 목적함수로 설정하였다. 그리고 반응표면을 구성하기 위한 설계변수들의 제약조건과 그 실험계획표를 Table 2에 나타내었다.

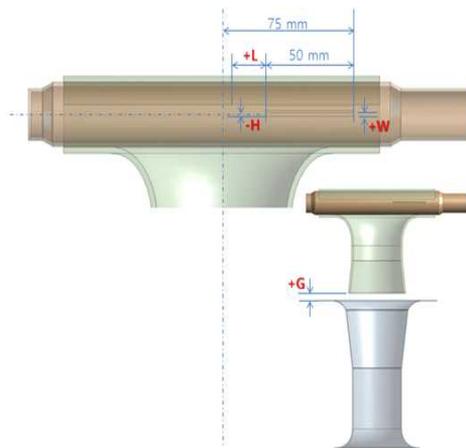


Fig. 5 Design variable of bag filter collector

Table 2 Constraint condition of design variable and status variable

Design variable	Constraint condition [Unit: mm]	Status variable
W	1.5 - 3.5	Outlet velocity: V_o
L	10 - 35	Outlet massflow: M_o
H	-3 - 1	Pressure drop: ΔP
G	-5 - 5	Difference of massflow: ΔM

4. 인젝터 최적모델과 기존모델에 관한 전산 유동해석

Fig. 6과 Fig. 7은 기존모델과 최적모델에 대한 인젝터 분사관의 형상과 유선을 각각 도시한 것이다. 두 모델의 백필터 토출부에서의 유량에 상당한 차이가 있음을 확인할 수 있다. 기존모델의 인젝터 분사관은 인젝터 내부로의 유동흐름 패턴을 형성하지 못함을 볼 수 있고, 최적모델의 경우는 분사관의 공기노즐부로부터 인젝터 내부로 유동흐름이 생성되는 것을 알 수 있다. 즉 분사관의 노즐부를 통해 배출된 공기가 인젝터와 벤츄리를 통과하여 백필터의 출구부로 100% 토출되지 못하고 일부가 외기 공기층으로 유출되고 있음을 알 수 있다. 따라서 백필터의 토출부를 통해 분사되는 공기유량이 약 4배 이상 차이가 나고 있음을 알 수 있다.

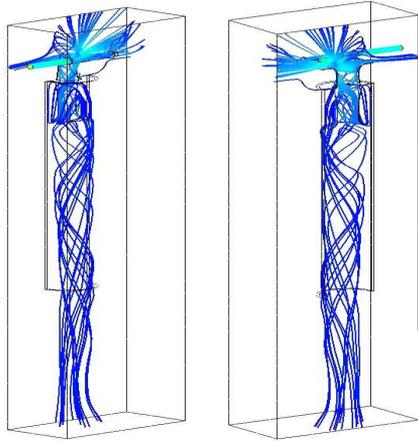


Fig. 6 Flowing of existing model

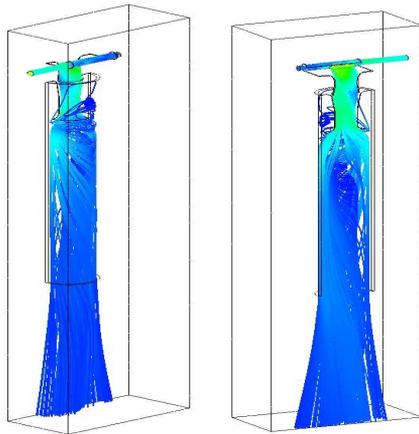


Fig. 7 Flowing of optimum model

Fig. 8과 Fig. 9는 각 모델에 대한 속도벡터를 나타낸 것이다. 기존 인젝터 분사관의 경우는 코안다 효과가 아주 미흡하게 발휘되고 있음을 확인할 수 있고, 최적모델의 경우는 코안다 효과에 의해 분사관의 노즐부를 통과한 유동흐름이 인젝터의 만곡부 주변의 공기를 내부로 빨아들이는 현상을 명확히 볼 수 있고, 또한 인젝터와 벤츄리의 빈 공간틈새를 사이로 주변공기를 흡입하고 있음을 알 수 있다.

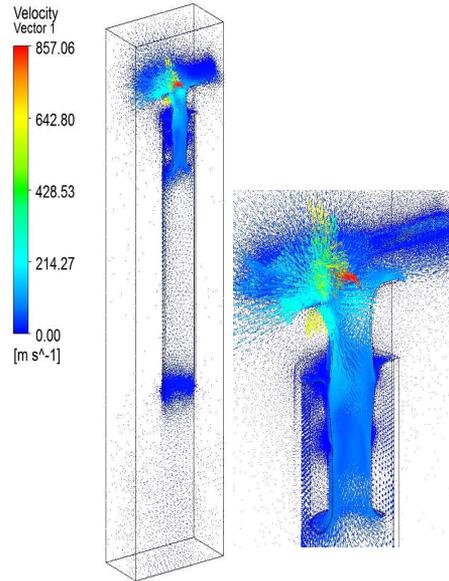


Fig. 8 Velocity vector of existing model

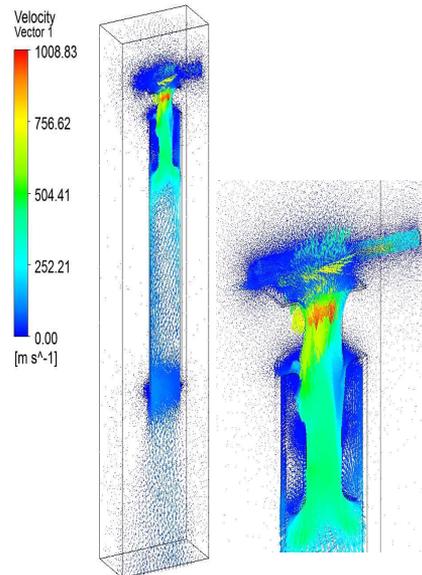


Fig. 9 Velocity vector of optimum model

참고문헌

- [1] G Klein, T Schrooten, L Schenk, R Esser and A Köogel, "Face the operating costs," Intensiv-Filter GmbH, Germany.(2009)
- [2] Menter, F. and Esch, T., "Elements of Industrial Heat Transfer Predictions," 16th Bazilian Congress of Mechanical Engineering (COBEM), Uberlandia, Brazil. (2001)
- [3] D. C. Wilcox, "Turbulence modeling for CFD, DCW industries", Inc. La Canada, CA, (1993)
- [4] Launder, B. E. and Spalding, D. B., "The numerical computational of turbulence flows", Computational methods in applied mechanics and engineering, Vol. 3, pp. 269-289, (1972)
- [5] Jang, S. C., Han, S. M., Lee, C. K., & Jung H. C., "FSI Analysis of Pneumatic Actuator", KSPSE Spring Conference, pp.81-83, (2016)

(접수:2017.01.15. 수정: 2017.02.15. 게재확정: 2017.02.24.)