선박용 스트레이너의 압력강하 예측에 관한 연구

A Study on the Prediction of Pressure Drop for Ship Strainer

손인수[1*]

In-Soo Son[1*]

〈Abstract〉

In this study, flow analysis was performed on three types of strainers for ships with different flow rates to predict the pressure drop of the strainer due to the filter of strainer. In the case of flow analysis, the flow analysis was performed by applying the porous media method by applying the resistance value derived by Ergun's equation to the filter position. As a result of the analysis, it was found that when the dimensions of the strainer body were small, the influence of the flow rate on the pressure drop was large. In addition, the amount of pressure drop and the flow rate are almost linearly proportional, and an analysis formula that can predict the amount of pressure drop was derived. In order to predict the amount of pressure drop of the strainer when blockage exist in the strainer filter, the analysis was performed by introducing the resistance ratio to derive the prediction equation. Using this equation, it is thought that it will be possible to predict the performance of the strainer due to blockage in the future strainer design and field application.

Keywords : CFD, Equivalent Model, Filter Blockage, Inertial/Viscous Resistance, Pressure Drop, Strainer Filter

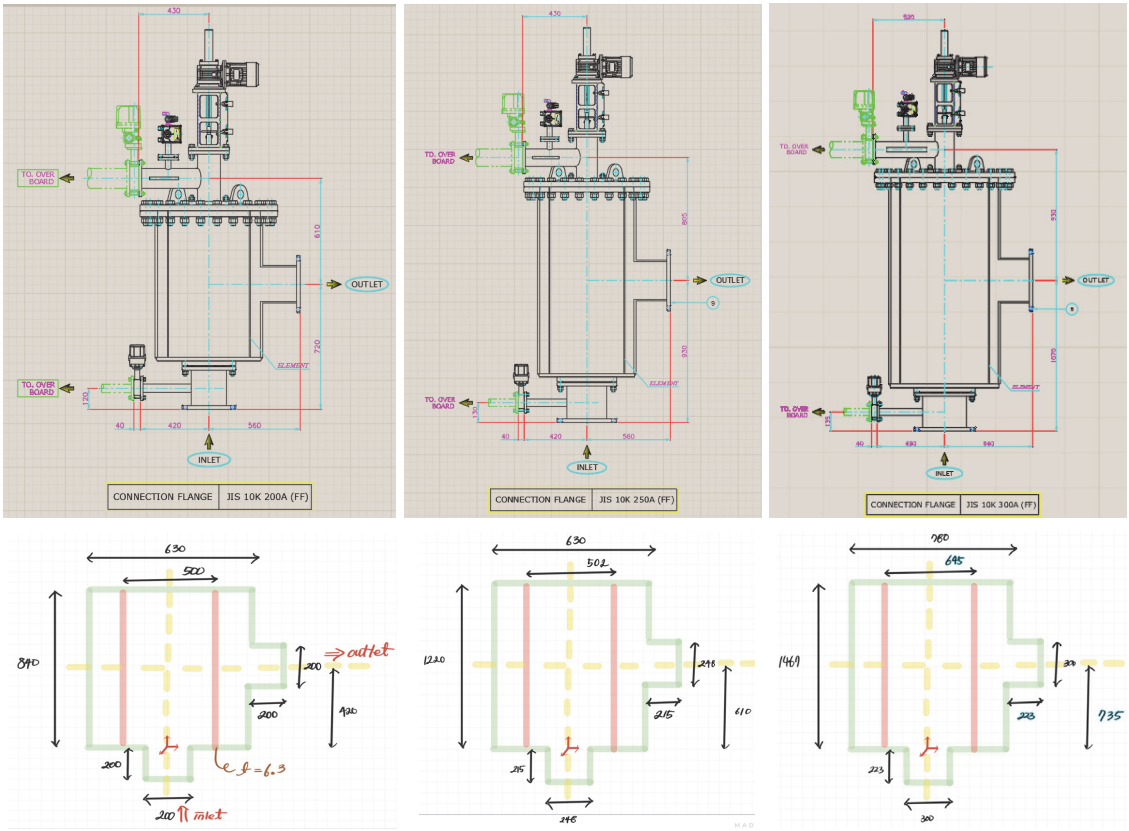
1* 정회원, 교신저자, 교신저자, 동의대학교 기계자동차로봇 부품공학부 E-mail: isson92@deu.ac.kr

1* Corresponding Author, Division of Mechanical, Automobile, Robot Component Engineering, Dong-eui University

1. 서 론

스트레이너는 유체 속에 포함된 고형물을 제거하여 기기 등에 이물질이 유입하는 것을 방지하는 장치를 의미하며, 일반적으로 배관 시스템에서 불순물 제거를 목적으로 사용하고 있다. 이러한 스트레이너는 건축설비, 선박 플랜트, 기계시설, 소방시설, 자동차 연료라인, 가스 정압시설 등 산업시설 전반에 사용되고 사용처에 따라 형태도 다양하다. 스트레이너는 물, 기름, 가스 등이 유입되는 배관의 밸브, 기기, 펌프 등의 전단에 설치되어 불순물 유입을 방지하고 내부기관의 안전운전을 보장하는데 중요한 역할을 한다. 이와 같이 스트레이너는 일반적으로 유동 시스템의 보호를 목적으로 사용하지만 이로 인하여 시스템 내 관로를 작동유체가 흐를 때 흐름을 방행하여 압력강하를 일으키는 하나의 저항체이다. 따라서 스트레이너는 이물질을 설계기준까지 걸러내면서 보다 작은 압력강하를 일으키게 하여 시스템의 전체 효율을 향상시킬 수 있는 설계가 필요하다. 하지만 스트레이너 설계를 위한 압력 강하량 예측은 주로 경험식이나 실험식에 의존하고 있는 실정이며, 특히 대형 스트레이너의 경우에는 실험이 어렵기 때문에 컴퓨터를 이용한 유동해석을 활용하여 스트레이너의 압력 강하량을 예측하고 있다[1].

산업설비 등의 배관에서 불순물이 유입되는 것을



(a)capacity 250 (b)capacity 500 (c)capacity 750

Fig. 1 2D modeling for three types of strainers

막아 유동 시스템을 보호할 수 있는 스트레이너를 개발하기 위하여 유입되는 유체가 일직선상인 C형 스트레이너를 대상으로 불순물에 따른 유동특성을 실험을 통하여 분석하고 그 우수성을 입증한 연구가 진행되었다[2]. 필터의 투과율이 필터 표면에서의 유동속도와 입자 수의 분포에 미치는 영향을 살펴보기 위한 수치해석 연구를 수행한 결과가 발표되기도 하였으며[3], 수소 브레이크어웨이(breakaway) 장치의 유동해석을 위한 필터의 구간별 다공성 등가모델 제시를 위한 연구도 수행되었다[4]. 최근 CFD 모사기법을 이용하여 가스 여과기의 성능해석에 관한 연구결과가 발표되기도 하였다[5].

이 연구의 목적은 Fig. 1에 보인 용량이 서로 다른 선박용 스트레이너에 대하여 내부 필터(filter)가 장착된 경우 유한요소 해석을 이용하여 유량에 따른 압력강하 경향을 분석하고, 해석 식을 도출하기 위함이다. 특히 스트레이너 내부에 불순물이 존재하는 경우 스트레이너의 압력강하 특성을 분석하기 위하여 Ergun's equation[4]으로 저항값을 도출하고 스트레이너의 등가모델에 그 저항값을 적용하여 불순물에 따른 스트레이너의 압력 강하량을 예측하였다.

2. 해석조건

이 장에서는 유한요소해석 상용프로그램인 Ansys WB(2019)를 이용하여 Fig. 1에 보인 산업용 스트레이너의 유동해석을 수행하기 위한 조건을 설명하고자 한다. 유동해석은 Fig. 1 및 Table 1과 같이 유량 및 치수가 서로 다른 3 종류의 스트레이너에 대하여 해석을 수행하였으며, Fig. 2는 스트레이너의 유체영역 모델링과 유체의 입출구 및 해석결과를 도시하기 위한 스트레이너의 단면을 표현한 것이다.

Table 1. Strainer models for analysis

Model	flow rate (m^3/hr)	in/out dia. (m)	initial velocity (m/s)	P_out (kPa)
Q250	100	0.20	0.89	100
	250	0.20	2.21	100
	350	0.20	3.10	100
Q500	400	0.25	2.30	100
	500	0.25	2.88	100
	600	0.25	3.45	100
Q750	600	0.30	2.36	100
	750	0.30	2.95	100
	900	0.30	3.54	100

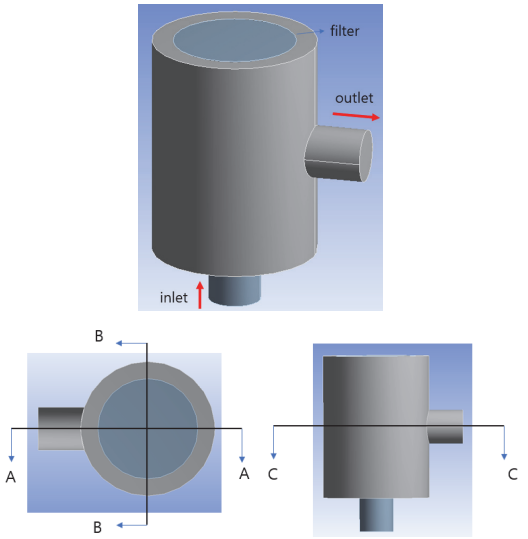


Fig. 2 Fluid area modeling of strainer

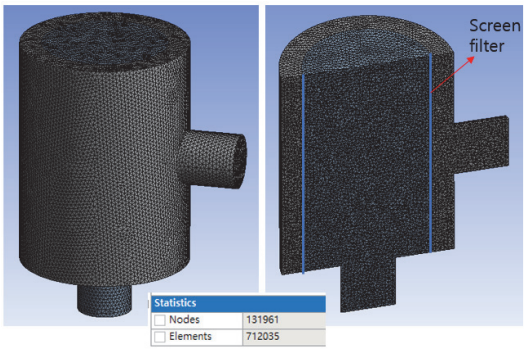


Fig. 3 FE modeling for analysis(Q250)

Table 2. Mesh information for strainers

Model	Nodes	Elements
Q250	131,961	712,035
Q500	191,981	1,038,441
Q750	344,089	1,893,685

Fig. 3은 Q250 스트레이너 모델에 대한 유한요소 모델을 도시하였으며, Table 2는 각 모델에 대한 유한요소 모델의 노드와 요소수를 정리한 것이다. 해석에 있어 입구에는 각 모델에 따라 유량조건을 Table 1과 같이 적용하였으며, 출구에는 설계압력인 0.1 MPa의 압력조건을 동일하게 적용하였다. 내부 필터의 경우 그 위치에는 다공성 매질기능으로 다음 식 (1), (2)로 표현되는 Ergun 식으로 도출한 저항값을 적용하여 유동해석을 수행하였다.

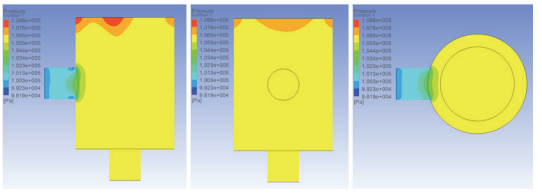
$$\frac{150\times\mu\times(1-e)^2}{\phi^2\times d^2\times e^3}\times v = \mu\times R_v\times v \qquad (1)$$

$$\frac{1.75\times\rho\times(1-e)}{\phi\times d\times e^3}\times v^2 = \frac{1}{2}\times\rho\times R_i\times v^2 \qquad (2)$$

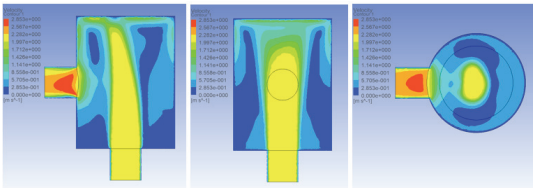
여기서 ρ는 유체의 밀도, v는 유체의 속도, e는 공극률, ϕ는 다공성 매질의 구형도, 그리고 d는 매질의 입자 지름을 나타낸다. 또 R_i와 R_v는 각각 관성저항(inertial resistance)과 점성저항(viscous resistance)을 의미하며, μ는 유체의 점성을 나타낸다.

3. 유동해석 결과

유동해석을 통하여 얻은 3종류의 스트레이너에 대한 압력 및 속도변화를 Fig. 4에서 Fig. 6에 각각 도시하였다. 여기서 스트레이너 내부의 유동특성을 명확하게 확인할 수 있도록 스트레이너의 단면을 도시하였다. 각 그림에서 첫 번째 그림은 Fig. 2에 보인 단면 A-A, 두 번째는 단면 B-B, 그리고 세 번째는 단면 C-C에 대한 스트레이너 유동해석 결과를 나타내고 있다. 각 스트레이너는 치수가 서로 다르기 때문에 직접적으로 비교를 할 수는 없지만, 전반적으로 용량 및 유량이 증가할수록 압력 강하량과 유체의 최대속도는 더 커진다

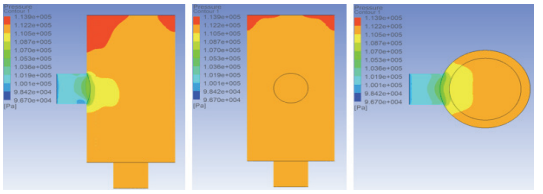


(a) pressure contour

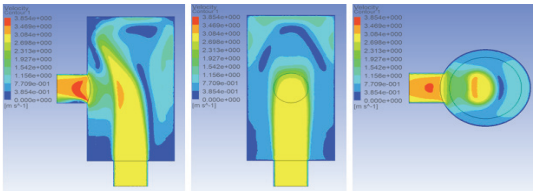


(b) velocity contour

Fig. 4 Pressure and velocity distribution of staraier (Q250)

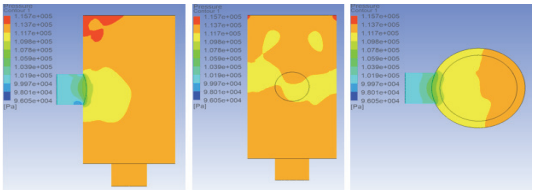


(a) pressure contour

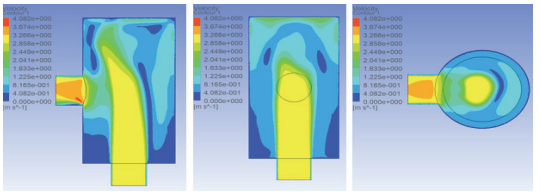


(b) velocity contour

Fig. 5 Pressure and velocity distribution of staraier (Q500)



(a) pressure contour



(b) velocity contour

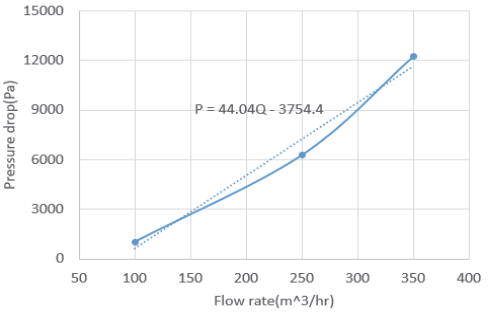
Fig. 6 Pressure and velocity distribution of staraier (Q750)

Table 3. Analysis results for strainer

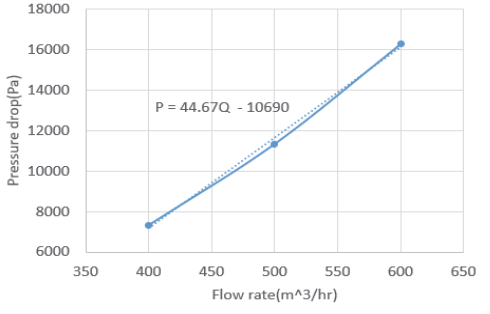
Q(m³/hr)	P_out (kPa)	⊿P (kPa)	V_max (m/s)	Note
100	100	1.04	1.13	capacity 250
250	100	6.29	2.85	
350	100	12.2	4.00	
400	100	7.33	3.09	capacity 500
500	100	11.3	3.85	
600	100	16.3	4.50	
600	100	7.79	3.27	capacity 750
750	100	12.1	4.08	
900	100	17.4	4.90	

는 것을 알 수 있다.

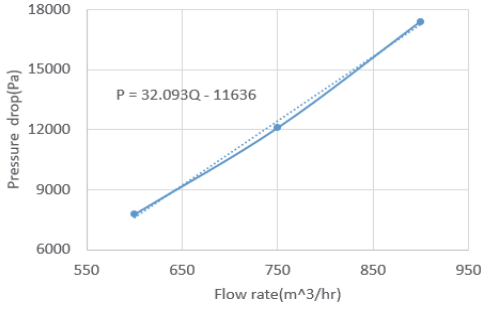
Table 2는 각 유량에 맞게 설계된 스트레이너 바디에 대하여 각기 다른 유량을 적용한 경우 압력 강하량 및 최대 속도를 도시한 것이다. Q250 스트레이너 모델의 바디 치수인 경우 유량이 1.5 배 증가하는 경우 압력 강하량은 약 6 배 증가하며, Q500 및 Q750 모델의 바디 치수에 대하여 유량이 1.5 배 증가할 때 압력 강하량은 약 2.2 배 정도의 동일한 수치로 증가한다는 것을 알 수 있다.



(a) Q250



(b) Q500



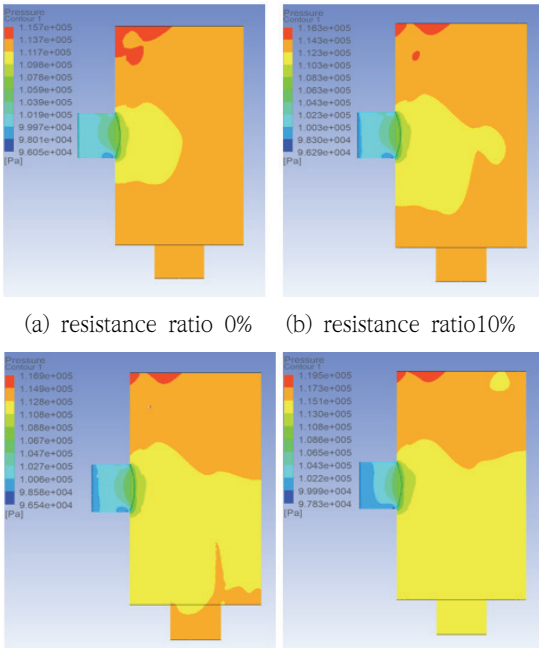
(c) Q750

Fig. 7 Prediction equation of pressure drop according to flow rate

Fig. 7은 각 스트레이너 치수에 대하여 유량에 따른 압력 강하량을 나타낸 것으로 유동해석 결과를 이용하여 유량에 따른 압력 강하량을 예측할 수 있는 해석 식을 선형 회귀분석을 통하여 도출하였다. 모든 스트레이너에 대하여 유량이 증가할수록 스트레이너의 압력 강하량은 선형적으로 증가하는 경향을 보인다.

Table 4. Resistance from result of Ergun's equation

Resistance ratio	Inertial resistance (1/m)	Viscous resistance ($1/m^2$)
0%	3.24	2.26×10^5
10%	3.56	2.49×10^5
20%	3.89	2.71×10^5
40%	5.44	3.80×10^5

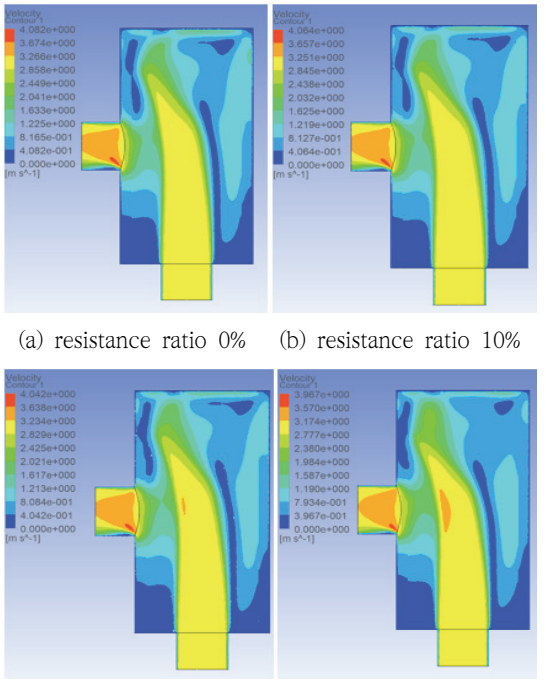


(a) resistance ratio 0% (b) resistance ratio10%

(c) resistance ratio 20% (d) resistance ratio 40%

Fig. 8 Pressure distribute according to the resistance ratio(Q 750)

스트레이너 내부 필터에 불순물이 존재하는 경우 압력 강하량을 예측하기 위하여 식 (1), (2)의 Ergun 식의 저항값을 활용하였다. 즉, Table 4와 같이 실제 변수를 적용하여 얻은 저항값을 0 %라고 하고, 그 저항값에 각각 10 ~ 40 %의 값을 추가하여 저항값을 높여 불순물이 쌓여 있음을 나타내었다. 즉, 유체가 필터를 통과할 때 저항값이 크다는 것은 유체의 흐름이 나쁘게 되어 불순물이 쌓여



(a) resistance ratio 0% (b) resistance ratio 10%

(c) resistance ratio 20% (d) resistance ratio 30%

Fig. 9 Velocity distribute according to the resistance ratio (Q 750)

있는 것과 동일한 효과를 나타낸다는 것이다.

Fig. 8, 9는 Q750 스트레이너 모델에 대하여 저항값을 40 %까지 증가시킨 경우 스트레이너의 압력 및 속도 분포를 도시한 것이다. 저항값이 클수록 즉, 불순물이 많이 쌓여 있을수록 유체 유입구 부분의 압력이 증가하며, 출구측 압력이 감소한다는 것을 알 수 있다.

Table 5는 저항비에 따른 스트레이너의 압력 강하량을 각 스트레이너 용량에 따라 나타낸 것이다. 쉽게 예측할 수 있는 것처럼 저항값이 증가할수록 압력 강하량은 증가하며 각 스트레이너에 대하여 저항값이 40 % 증가할 때 스트레이너의 압력 강하량은 거의 유사하게 20~23 %정도 증가한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 Q250 모델에서 용량 250 m^3/hr 스트

Table 5. Pressure drop according to resistance ratio

Flow rate (m^3/hr)	Pressure drop(ΔP, kPa)			
	0	10%	20%	40%
250	6.285	6.486	6.677	7.588
500	11.34	11.68	12.02	13.64
750	12.10	12.49	12.89	14.88

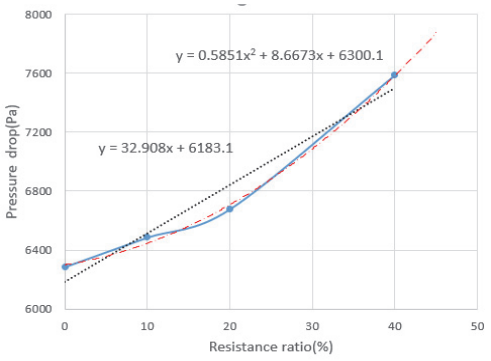


Fig. 10 Prediction equation of pressure drop according to resistance ratio

레이너의 경우 저항비에 대한 압력 강하량을 그래프로 나타낸 것으로 불순물이 쌓인 경우에 압력 강하량을 예측할 수 있는 해석 식을 도출하였다. Fig. 10에서 확인할 수 있는 것처럼 2차 다항식으로 표현된 해석 식이 가장 잘 부합한다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

이 연구에서는 유량이 서로 다른 3종류의 선박용 스트레이너에 대하여 유동해석을 수행하여 스트레이너 내부 필터가 존재하는 경우 유량에 따른 스트레이너의 압력 강하량을 예측하고자 하였다.

유동해석에 있어 내부 필터의 경우 필터 위치에는 Ergun 식으로 도출한 저항값을 적용하여 다공성 매질 기능으로 유동해석을 수행하였다. 해석 결과 스트레이너 바디의 치수가 작은 경우 압력 강하량에 미치는 유량의 영향이 크다는 것을 알 수 있었다. 또 압력 강하량과 유량은 거의 선형적으로 비례하며, 압력 강하량을 예측할 수 있는 해석 식을 도출하였다.

스트레이너 내부 필터에 불순물이 존재하는 경우 스트레이너의 압력 강하량을 예측하기 위하여 저항비를 도입하여 해석을 수행하고 예측 식을 제시하였다. 제시된 예측 식을 이용하여 향후 스트레이너 설계 및 현장 적용에 있어 불순물에 의한 스트레이너 성능 감소 등을 파악할 수 있을 것이라고 판단된다.

향후 해석을 통하여 얻은 예측 식의 신뢰성을 확보하기 위하여 시험을 수행하고 그 결과를 비교할 예정이다.

참고문헌

[1] Jung, I. S., Park, H. J., Bae, J. H. and Kang, S., “Porous Modeling for the Prediction of Pressure Drop Through a Perforated Strainer”, Journal of AMET, Vol. 37, No. 4, pp. 358-267, (2013).

[2] Shin, B. K. and Kwon, C. H., “Comparison of Flow Characteristics for the Development of a C-Type Strainer with Its Inlet and Outlet on a Straight Line”, Journal of Digital Convergence, Vol. 14, No. 11, pp. 257-265, (2016).

[3] Pakr, S. J., Lee, D. G. and Lee, S. H., “Computational Analysis of Flow Velocity and Particle Trajectory on the Surface of Bag-Shaped Filters with a Different Permeability”, Korean Chem. Eng. Res., Vol. 44, No. 3, pp. 294-299, (2006)

[4] Son, S. J., An, S. J., Song, T. H., Joe, C. H. and Park, S. H., “Velocity Considered Sectional Porosity Equivalent Model (VSPE) of Filters for CFD Analysis of Breakaway Devices”, Journal of KSMPE, Vol. 18, No. 8, pp. 85-90, (2019)

[5] Jeon, R., Kwon, K., Yoon, S., Park, M., Lee, C. and Oh, M., “Analysis of a Gas Mask Using CFD Simulation”, Korean Chem. Eng. Res., Vol. 57, No. 4, pp. 475-483, (2019)

(접수: 2021.08.26. 수정: 2021.09.16. 게재확정: 2021.09.17.)