https://doi.org/10.21289/KSIC.2023.26.4.615

다중 필터 시스템의 유동특성 해석

Analysis of Flow Characteristics of Multiple Filter System

손인수[1*], 서미영[1], 김준호[2], 유진석[3]

In-Soo Son[1*], Mi-Young Seo[1], Jun-Ho Kim[2], Jin-Soek Yu[3]

〈Abstract〉

In this study, flow analysis of single, double, and triple filter systems of cylindrical structures was performed to analyze the flow characteristics of each filter. As a result of the flow analysis of the filter system, the number of filters and the pressure drop rate tend to be proportional to each other. It was found that the area passing through the inside of the filter had almost the same pressure. The maximum pressure drop rate of the triple filter system was about 14.9% for the forward-flow and about 12.4% for the reverse-flow. It was determined that the performance of the filter was stable within 20% of the allowable pressure drop rate of the filter system, which is the standard presented to the Korea Water Technology Certification Institute(KWTCI). In the future, a study on the decompression characteristics of the filter system according to the effect of the arrangement interval and filter density of the triple filter will be conducted.

Keywords : CFD Analysis, Flow Characteristics, Multiple Filter System, Porosity Equivalent Model, Pressure Drop Rate

1* 정회원, 교신저자, 동의대학교 기계자동차로봇부품공학부
E-mail: isson92@deu.ac.kr
1 동의대학교 기계자동차로봇부품공학부
2 울산과학기술원 기계공학과
3 태성후렉시블

1* Corresponding Author, Division of Mechanical, Automobile, Robot Component Engineering, Dong-eui University
1 Division of Mechanical, Automobile, Robot Component Engineering, Dong-eui University
2 Department of Mechanical Engineering, UNIST
3 Tae-sung Flexible Co.

1. 서 론

최근 수자원 통합관리 시행에 따라 수량과 수질을 동시에 관리하는 기법과 기술에 관한 관심이 높아지고 있다. 효율적인 수량, 수질 동시 통합관리를 위해서는 수량, 수질 관련 데이터의 On-Line, On-Site, On-Time 정도가 고도로 진행되어야 한다. 수량, 수질 통합관리는 수자원 관리 분야에서도 4차 산업의 적극적 개입 가능성을 대폭적으로 높인 계기가 되고 있다. 환경부 통계 자료(수도운영 관리 현황)에 의하면 수돗물 관련 민원 사례 중 수질 관련 민원이 전국적으로 16%이상 높게 나타나고 있는 것으로 조사되었다. 따라서, 상수도 급, 배수관로에 설치되어 관로에서 발생하는 부유성 이물질을 1차적으로 필터링하고, 유량 변화 및 기준 이상의 탁도 발생, 잔류 염소량변동 등의 데이터를 활용하여 수질 이상 예상 시 역방향 흐름을 통하여 필터의 세척이 가능한 스마트 감시설비의 필요성이 대두되었다. 따라서 이 연구에서는 스마트 오토드레인 필터 시스템 설비중에서 필터종류에 따른 시스템의 유동특성을 해석하고자 한다.

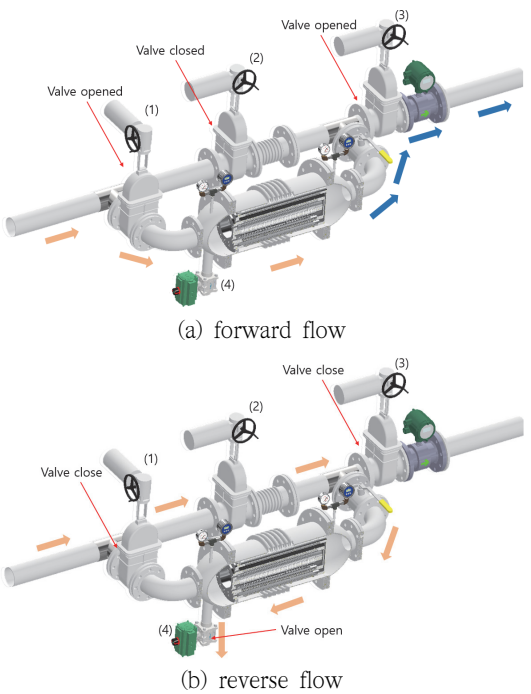


Fig. 1 Examples of cleaning and drain operation of developed products

Fig. 1은 오토드레인 필터시스템의 밸브 룸에서 해석하고자 하는 파이프 및 필터 시스템 부분만을 모델링한 것이다. Fig. 1은 오토 드레인 필터 시스템의 작동예시를 보여주고 있으며, Fig. 1(a)는 평소 상수 공급의 경우(순방향 흐름)를 도시하고 있다. 평상 시 물공급은 순방향으로 (1)의 밸브가 열리고 (2)의 밸브가 잠겨 필터 구조체를 통해 상수도의 이물질 등은 제거된 상태로 수용가로 공급된다. Fig. 1(b)는 수질 이상 발생시 역방향 유체 흐름에 대한 작동 메카니즘을 나타내고 있으며, 이상 발생이란 이물질 등이 여과 과정에서 필터의 막힘 등으로 발생 되는 압력손실 또는 탁도의 이상 발생 시를 의미한다.

일반적으로 필터류의 압력 강하량 예측은 주로 경험식이나 실험식에 의존하고 있는 실정이며, 특히 대형 스트레이너는 실험이 어려워 전산 유동해석을 활용하여 스트레이너의 압력 강하량을 예측하고 있다[1]. Kim 등[2]은 입자 발생장치를 거친 공기의 포집 효율을 검사하기 위해 단일필터와 이중필터의 포집 효율 차이, 이중필터의 간격에 따른 포집 효율을 연구하였으며, 다공성매질 기법을 적용하여 필터의 압력강하 예측에 관한 연구도 지속적으로 발표되어지고 있다.[3]

이 연구에서는 원통형 구조의 단일, 이중, 그리고 삼중 필터 시스템의 유동 해석을 수행하여 각 필터의 유동특성을 분석한다. 유동 해석은 입형도를 고려하여 입자의 형상을 표현해 다공성 매체를 통과하는 유동으로 나타내고, 순방향 유동 흐름과 역방향 흐름에 대한 각 필터 시스템의 유동 특성을 분석하고자 한다.

2. 해석모델 및 방법

Fig. 2는 필터 시스템 해석모델의 개략도를 보여주고 있으며, 1번 필터만 있을 때를 단일(single) 필터, 이중(double) 필터는 1, 2번 필터를 포함하는 경우, 그리고 삼중(triple) 필터는 3개의 필터를 포함하는 구조이다. 해석은 상용프로그램인 Ansys WB(18.2)를 이용하여 필터부분은 다공성 매질로 설정하여 해석을 수행하였으며[4], 다공성 매질에 대한 입력 저항값은 Ergun 식으로 도출한 Table 1의 저항값을 적용하였다. 해석에 있어 초기조건은 필터입구 속도 2.3m/s를 적용하였으며, 출구단에 0 Pa을 대입하여 순방향 및 역방향 흐름에 대한 필터 시스템의 게이지 압력을 도출하였다. Fig. 3은 내부에 단일 필터인 경우 유한요소 모델의 단면을 나타내고 있으며, 단일, 이중 및 삼중 필터 시스템에 대한 유한요소 모델의 노드와 요소수는 Table 2에 정리하였다.

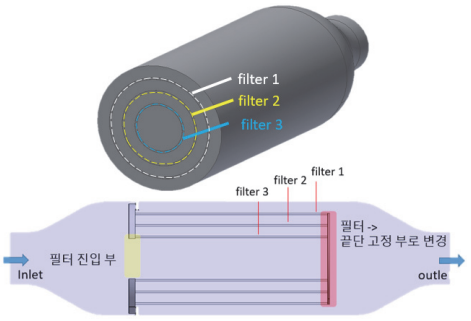


Fig. 2 Structure and section of filter system

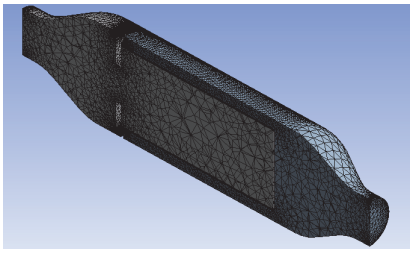


Fig. 3 FE modeling of single filter system

Table 1. Source term in CFD analysis for each filter

Filter No.	Viscous resistance (R_v, 1/m^2)	Inertial resistance (R_i, 1/m)
filter 1	1.146×10^7	9433.67
filter 2	5.675×10^7	1391.10
filter 3	1.863×10^7	2707.64

Table 2. Mesh information for filter system

Model	Nodes	Elements
Single	894,371	1,351,919
Double	1,396,561	1,683,524
Triple	1,787,874	2,156,430

3. 해석결과 및 고찰

Fig. 4는 단일 필터 시스템의 필터구간 중심부 단면의 압력변화를 도시한 것이다. 가로축은 필터 시스템의 길이이며, 세로축은 필터 시스템 내부의 게이지 압력을 나타내고 있다. 필터가 장창된 부분인 다공성 매질 구간에서의 압력은 입구기준 0.4m에서 0.5m까지는 낮아지는 경향을 나타낸다. 이것은 유체의 필터 진입시에 좁아지는 관로의 영향으로 유량이 집중되어 초기 압력이 높아졌다가

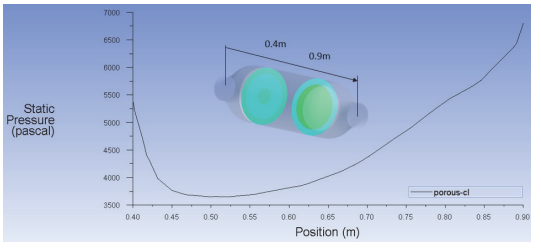
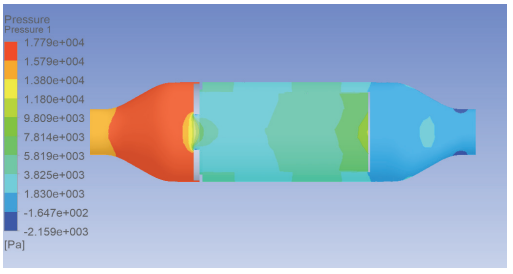


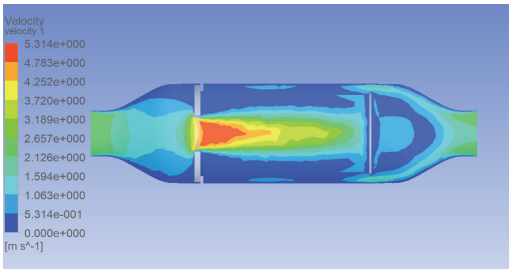
Fig. 4 Pressure variation of single filter system (forward flow)

유체가 다시 넓어진 관로로 이동하면서 압력이 낮아지기 때문이라고 판단된다.

Fig. 5는 순방향 유동흐름에 대한 단일 필터 시스템의 중앙평면에서의 필터내부 압력과 속도분포를 나타낸 것이다. 단일 필터 시스템의 입구압력은 15.79kPa이며 이를 절대압력 값으로 변환하면 그 값에 101.325kPa을 더하여 입구압력이 117.12kPa로 나타났다. 입출구 절대압력에 대한 압력강하에 대하여 다음과 같이 차압율을 계산할 수 있다.



(a) pressure contour



(b) velocity contour

Fig. 5 Central section pressure and velocity for single filter system(forward flow)

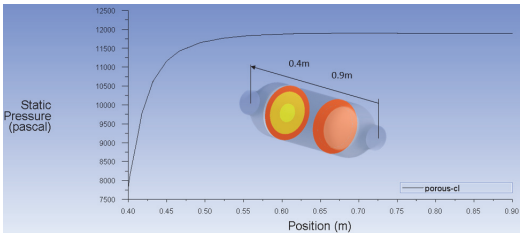


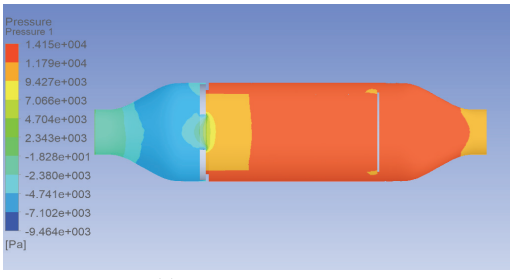
Fig. 6 Pressure variation of single filter system (reverse flow)

$$P_{drop} = \frac{\triangle P}{P_{in}} \times 100\ (\%) \qquad (1)$$

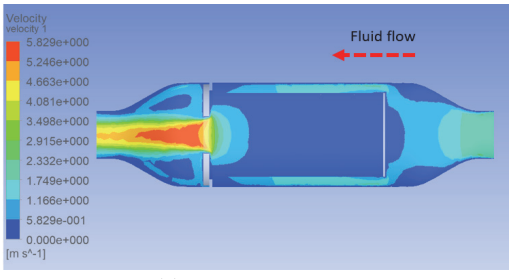
여기서 $\triangle P$는 입구압력에서 출구압력을 뺀 압력이며, P_{in}은 입력단에서의 압력을 의미한다. 식 (1)을 이용하여 단일필터 순방향 유동흐름에 대한 필터의 차압율을 계산하면 약 13.48%의 압력강하 비를 나타낸다. 액체 필터 시스템의 성능 규정[5]에 따르면 허용 차압율을 20%를 기준으로 시스템의 안정성을 판단하기 때문에 안정적인 구조라고 판단할 수 있다.

Fig. 6은 역방향 유동흐름에 대한 단일 필터 시스템의 필터구간 중심부 단면 압력변화를 나타낸 것이다. 필터 도입부인 0.4m 부분을 지나면서 압력은 급격히 상승하며 0.5m 부분을 지나 필터영역 구간인 0.9m 부분까지는 약 11.7 kPa로 거의 일정한 압력을 유지하고 있다.

Fig. 7은 역방향 유동흐름에 대한 단일 필터 시스템의 중앙평면에서의 필터내부 압력과 속도분포



(a) pressure contour

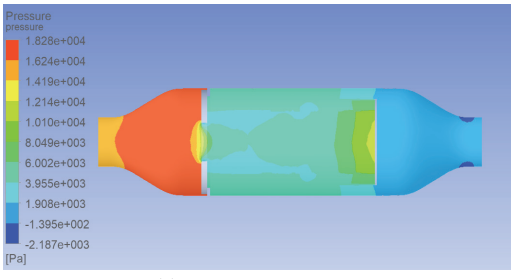


(b) velocity contour

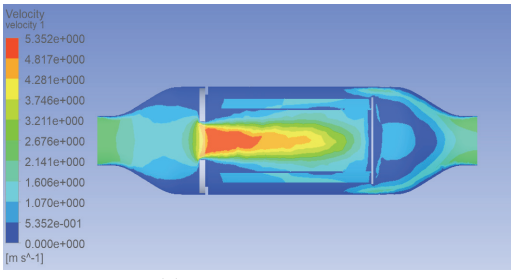
Fig. 7 Central section pressure and velocity for single filter system(reverse flow)

를 나타낸다. Fig. 7(a)에서 게이지 압력 기준 필터의 입구압력은 11.79kPa이며, 절대압력으로 변환하면 입구압력은 약 113.12kPa이다. 또한 역방향 유동에 대한 단일 필터 시스템의 차압율은 약 10.42%를 나타내었다. Fig. 7(b)에서 필터 시스템의 최대 속도는 필터 입구부분에서 발생하며 그 값은 약 5.83m/s로 나타난다.

Fig. 8은 순방향 유동흐름에 대한 이중 필터 시스템의 중앙평면에서의 필터내부 압력과 속도분포를 나타낸다. 단일 필터 시스템의 안쪽으로 필터를 추가한 이중 필터 시스템에 대한 유동해석 결과이다. 게이지 압력 기준 입구압력은 16.24kPa이며, 차압율은 약 약 13.1%의 압력강하를 보이고 있고 단일필터 시스템과 비교하면 약 0.3%의 압력강하가 증가한다. 이 결과는 허용 차압율인 20% 안에 들어감으로 필터 시스템의 안정성에는 문제가 없다고 판단할 수 있다. Fig. 8(b)에서 이중필터 시스템의 최대 속도는 약 5.35 m/s 를 나타낸다.



(a) pressure contour

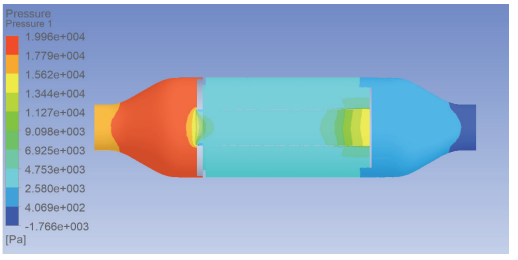


(b) velocity contour

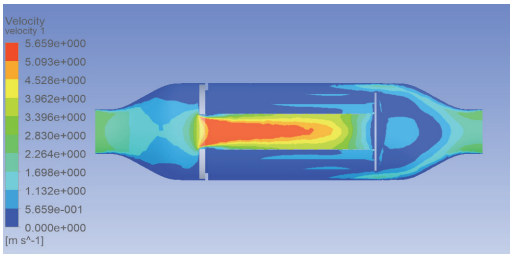
Fig. 8 Central section pressure and velocity for double filter system(forward flow)

Fig. 9는 순방향 유동흐름에 대한 삼중 필터 시스템의 중앙평면에서의 필터내부 압력과 속도분포를 나타낸다. 시스템 내부에 필터를 이중 필터 내부에 한 개 더 추가한 삼중 필터를 장착한 후 유동해석을 하였을 때 게이지 압력 기준 입구압력은 약 17.79kPa로 나타났다. 차압율은 약 14.94%의 압력강하 비를 보였으며, 삼중 필터 시스템의 최대 유속은 약 5.66m/s를 보이고 있다.

Table 3은 필터 시스템의 유동해석 결과를 정



(a) pressure contour



(b) velocity contour

Fig. 9 Central section pressure and velocity for triple filter system(forward flow)

Table 3. Summary of analysis results for filter system

Filter system		P_{max} (kPa)	$\triangle P$ (kPa)	v_{max} (m/s)	P_{drop} (%)
Forward -flow	single	17.79	15.79	5.31	13.48
	double	18.28	16.24	5.35	13.81
	triple	19.96	17.79	5.66	14.94
Reverse -flow	single	14.15	14.17	5.83	10.42
	double	14.28	11.99	5.64	10.58
	triple	16.52	14.40	5.85	12.44

리하여 나타낸 것이다. 최대 압력 및 최대 속도는 순방향 유체흐름의 삼중 필터 시스템에서 발생하고 있다는 것을 알 수 있다. 차압율은 필터 시스템의 허용 차압율에 비하여 낮은 값이기 때문에 시스템은 안정적임을 알 수 있다.

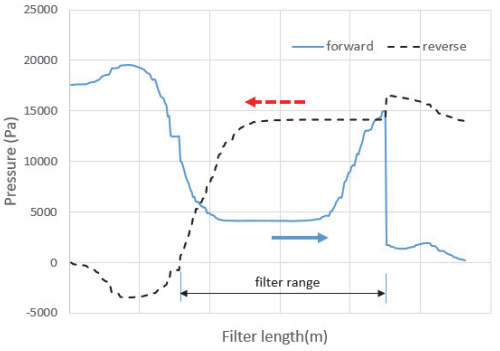
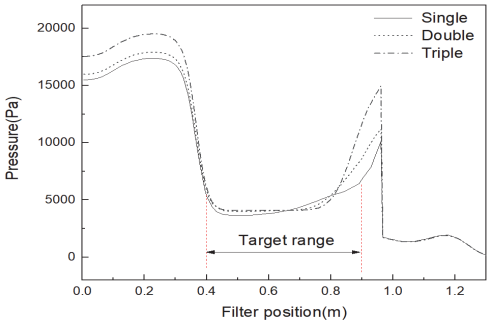
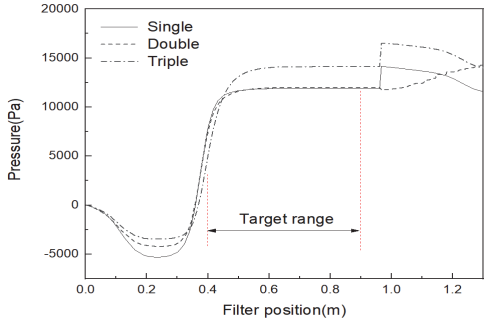


Fig. 10 Central section pressure variation for triple filter system



(a) forward flow



(b) reverse flow

Fig. 11 Central section pressure variation for filter system

Fig. 10은 삼중 필터 시스템의 순방향 및 역방향의 내부 압력변화를 도시한 것이다. 필터 영역에서는 거의 동일한 압력을 유지하며 순방향과 역방향의 압력분포는 대칭적인 경향성을 나타내고 있다.

Fig. 11은 필터 시스템의 위치별 압력변화를 도시한 것이며, 가로축은 필터 내부 위치를 나타내며 세로축은 압력을 의미한다. 순방향의 압력 위치별 압력변화를 보면 필터 진입 전 압력이 필터가 많을수록 높아지는 것으로 나타났다. 이것은 필터의 개수가 많아짐에 따라 유체의 흐름이 원활하지 못해 필터 진입부에서의 압력이 커진 것으로 생각된다. 필터의 끝부분에서도 동일하게 압력이 높은 것으로 나타나며, 이것은 필터가 많을수록 유체가 필터 밖으로 빠져나가지 못하고 필터 고정 벽 끝으로 집중되어 나타나는 현상이다. 역방향 유동에서도 순방향 압력변화와 비슷한 경향을 나타낸다.

Fig. 12는 필터 시스템의 위치별 유속을 나타내며 가로축은 필터 내부 위치 세로축은 유속을 의미한다. 대부분의 구간에서 큰 차이를 나타내지 않으나 필터 구간에서 필터의 수와 유속은 서로 비례적인 경향을 보인다. 이것은 필터의 개수가 늘어날수록 유체가 흐를 수 있는 관로가 좁아져 발생한다고 생각한다.

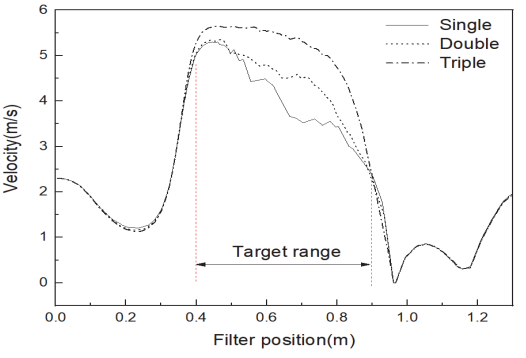


Fig. 12 Central section velocity variation for filter system(forward flow)

4. 결 론

이 연구에서는 원통형 구조의 단일, 이중, 그리고 삼중 필터 시스템의 유동 해석을 수행하여 각 필터의 유동특성을 분석하였다.

단일, 이중, 그리고 3중 필터에 대한 유동해석 결과 필터의 수가 많아질수록 압력강하 및 유속은 높게 나타났으며, 필터 내부를 통과하는 동안은 거의 유사한 압력을 갖는다는 것을 알 수 있었다. 필터를 통과하는 영역에서는 필터의 수가 많을수록 압력증가 폭이 커졌으며, 필터 시스템의 출구 측에서는 거의 동일한 압력값을 가짐을 알 수 있었다.

필터의 수가 증가할수록 차압율은 증가하는 경향을 보이며, 삼중 필터 시스템의 최대 차압율은 순방향 유동흐름인 경우 약 14.9%, 그리고 역방향 흐름일 때 약 12.4%를 보인다. 이것은 필터 시스템의 허용 차압율인 20% 이내로 필터의 성능은 안정하다고 판단할 수 있었다.

향후 삼중필터의 배치간격 및 필터 조밀도의 영향에 따른 필터 시스템의 감압특성에 관한 연구를 진행할 예정이다.

사 사

이 연구는 중소벤처기업부가 지원하는 2022년 구매조건부신제품개발사업(No. S322178)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

[1] Kim, S. Y., Kwon, S. P., Park, D. S., Cho, Y. M., Nam, G. S. and Kim, T. S., “Study on the Particle Collection Efficiency of 2-layered Non-woven Filters with Different Gaps”, Proceeding of the 49th Meeting of KOSAE, Vol. 2009, No. 10 pp. 366-368, (2009).

[2] 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).

[3] Son, I. S., “A Study on the Prediction of Pressure Drop for Ship Strainer”, Journal of the Korean Society of Industry Convergence, Vol. 24, No. 5, pp. 573-580, (2021).

[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] KIWATEC-CP-043, pp. 5~6, (2022).

(접수: 2023.06.28. 수정: 2023.07.27. 게재확정: 2023.08.07.)