

유동해석을 이용한 횡형 압력식 수영장 여과 시스템의 스트레이너 형상 변화에 따른 성능 연구

강효정* · 조문성* · 박세현** · 전상진* · 김정식* · 이점우*** · 김형호*†

Performance study according to the shape change of strainer in a horizontal pressurized type swimming pool filtration system using flow simulation

Hyo-Jeong Kang*, Mun-Seong Jo*, Se-Hyun Park**, Sang-Jin Jeon*, Jeong-Sik Kim*, Joum Woo Lee***, Hyoung-Ho Kim*†

Key Words : Swimming pool filtration system(수영장 여과 시스템); Flow simulation(유동해석); Strainer(스트레이너)

ABSTRACT

As interest in the quality of life increases, public sports facilities as swimming pool are increasing. As interest in swimming increases, demand for swimming pools across the country is increasing. Therefore, there is also an increasing interest in the economic loss of water maintenance costs. This study aims to evaluate the performance of pool filters according to strainer shapes, which are important components of a pool filtration system, and to obtain data to help design pool filters in the future by analyzing internal flow fields. For the flow analysis according to the shape of the strainer, the magnitude of vector of the strainer part of the diagonal type model is larger than the vertical type model. It is showed that the model using an diagonal type strainer during backwashing will increase the expansion rate of the deposition and remove more contaminants from the filter medium. In this paper, it will propose an improved strainer shape during the filtration and backwash process of the swimming pool filtration system with comparison of the results of the strainer shape change and validate of the flow analysis results of the computational swimming pool filtration system.

1. 서론

최근 삶의 질에 대한 관심이 높아지며 공공 체육 시설이 증가하고 있다. 동시에 계절과 관계없이 모든 연령대가 할 수 있는 수영에 관한 관심이 증가하며 전국의 수영장 수요가 늘어나는 추세이다⁽¹⁻²⁾. Fig. 1을 보면 운동 시설 중 수영장의 이용률이 높은 것을 알 수 있다. 일반적으로 수영장 및 실내의 물놀이 시설, 중수도 처리시설 등에는 해당 수질을 법적 유지조건으로 유지하기 위하여 오염수를 여과하기 위한 여과 시스템이 상시 가동되고 있다. 수영장 개소의 수가 점

차 증가함에 따라 수질 유지비용으로 인한 경제적 손실에 대한 관심이 증가하고 있다⁽²⁾. 수영장 여과기는 여과와 역세척을 반복적으로 수행한다. 여과 시에는 오염수를 정화하고, 역세척 시에는 여과 시 걸러진 여과재 표면에 쌓인 오염물질을 여과기 밖으로 배출한다. 이때, 역세척의 성능은 여과재의 공극에 포획된 오염물질을 얼마나 효과적으로 탈리하여 배출하는지에 대한 지표이다. 수영장 여과기 설계 시 여과와 역세척의 성능을 모두 고려하는 것이 중요하다.

이 성능에 미치는 중요한 인자로는 운영 조건과 여과재 그리고 스트레이너 설계가 있다. 운영 조건과 여과재에 대한 연

* 경상국립대학교 기계소재융합공학부(School of Mechanical and Material Convergence Engineering, Gyeongsang National University)

** 경상국립대학교 대학원 기계공학과(Department of Mechanical Engineering, Gyeongsang National University Graduate school)

** (주)코리아이피디(Koreaepd Corp.)

† 교신저자, E-mail : khh106@gnu.ac.kr

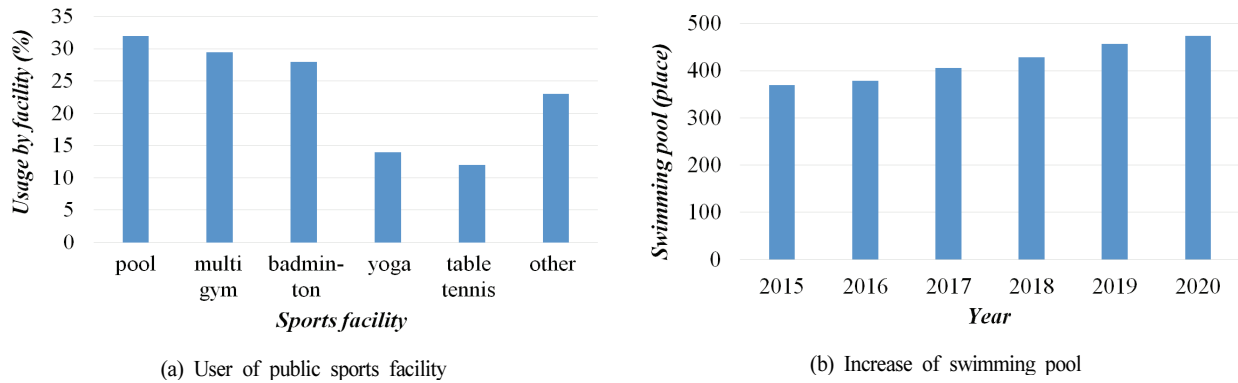


Fig. 1 Statistical data of swimming pool and public facilities utilization

구는 여러 연구자에 의해서 진행된 바 있다⁽³⁻⁶⁾. 최승일 등⁽³⁾은 여러 여과재를 이용하여 여과 장치의 운영에 필요한 자료를 제시하였다. 김형호 등⁽⁷⁾은 전산유체역학을 이용하여 수영장 여과 시스템의 성능을 연구하였고 효율을 분석하였다. 박세현 등⁽⁸⁾은 여과 시스템의 성능을 연구하였고 스트레이너 형상 변화에 따른 여과 시의 유동 성능이 스트레이너 형상 변화에 따라 성능이 영향을 받는다는 결과를 얻었다. 수영장 여과 시스템의 스트레이너는 여과 과정 동안에는 여과된 물을 취합하는 역할을 하며 역세척 과정 동안에는 여과재에 붙은 오염 물질을 제거하기 위한 역세수를 배출하는 역할을 한다. 현재까지는 수영장 여과기의 성능에 큰 영향을 미치는 스트레이너의 세부적인 형상에 대한 연구가 부족하다.

수영장 여과 시스템 내부의 유동을 관찰하기 위해서는 다양한 방법이 적용될 수 있다. 유동해석은 유체기계 및 다양한 분야에서 그 효용성을 인정받았으며 이번 연구를 수행함에 있어서도 적절한 방법이다⁽⁹⁻¹¹⁾.

본 연구에서는 수영장 여과 시스템에 대한 유동해석 모델을 구축하고 내부의 스트레이너 형상 변화에 따른 여과 및 역세척 시의 유동 성능을 유동해석을 통해 분석하고자 한다. 이를 통해 여과와 역세척 성능이 향상된 스트레이너 설계에 대한 자료를 제공하고자 한다.

2. 수영장 여과 시스템

2.1 현장조사

컴퓨터시뮬레이션을 위한 자료 확보 및 실물 관찰을 위해 경상국립대학교 체육진흥원(6동) 스포츠콤플렉스에 설치된 수영장 여과 시스템을 조사하였다. Fig. 2(a)는 실제 스포츠콤플렉스의 수영장 시설 사진이다. Fig. 2(b)와 Fig. 2(c)는 수영장 여과 시스템과 여과기 내부의 70% 정도 쌓인 여과재를 나타내고 있다.



(a) Swimming pool



(b) Swimming pool machine room



(c) Swimming pool filtration

Fig. 2 Photo of sports complex facility at GNU

2.2 수영장 여과 시스템의 사양

수영장 여과 시스템의 구성은 탱크, 맨홀, 자동 역세척 밸브, 역세 가압펌프, 분배조, 스트레이너, 에어벤트, 유입관(토출관), 배수관, 순환펌프로 그리고 중요한 핵심 구성품인 여과재가 있다. 본 여과기에서 사용되는 여과재는 Fig. 2(c)와 Table 1과 같은 크기 #20/40의 Garnet을 사용해 석회질이나 점토 성분이 없는 거칠고 불균일한 모습이다. 이번 연구에 활용된 여과장치는 횡형 압력 구동식이며, 최대 유량은 여과기 한 대당 0.8 m³/min 정도이고 역세척 시 최대 압력 강하는 0.211 kg/cm이다.

Table 2는 스포츠컴플렉스 수영장의 수질을 여과 시설 내 순환펌프 압력변화에 따라서 측정한 자료이다. 측정 결과 유입되는 부분의 압력이 클수록 탁도가 낮게 나타났다. 이를 통해 압력의 크기와 탁도가 연관이 있다는 것을 알 수 있다.

3. 여과 및 역세척의 이론적 연구

3.1 여과 이론

여과재에 의한 여과 유동은 일반적으로 공극이 있는 유동의 계산을 위해 경험적으로 계산된 식을 사용할 수 있다. 이는 압력강하를 통한 대표적인 이론적 상관관계를 가지는 Darcy 식 (1)으로 나타낼 수 있고, 이를 변형시켜서 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다⁽¹²⁻¹³⁾.

$$V = -\frac{\kappa}{\mu} \frac{\Delta p}{L} \quad (1)$$

V = 속도(m/sec)
 μ = 점성계수(Pa · s)
 Δp = 압력강하(Pa)
 L = 여재의 두께(m)
 κ = 다공질 매질의 투과성

$$h_L = f \cdot \frac{L}{\psi d} \cdot \frac{1-\epsilon}{\epsilon^3} \cdot \frac{V_a^2}{g} \quad (2)$$

h_L = 마찰수두손실(m)
 f = 무차원 마찰계수
 L = 고정된 여과상의 깊이(m)
 ψ = 형상계수(무차원)
 d = 동일체적이 구형 입자의 직경(m)
 ϵ = 여재의 공극율
 V_a = 접근 유속(m/sec)
 g = 중력가속도(m/sec)

이때 난류 영역까지 포함한 수두측정은 아래의 Ergun의 식 (3)을 사용하여 아래와 같이 나타낼 수 있다⁽¹⁴⁾. 식 (3)을 이용하여 여과 과정 동안에 발생하는 압력강하를 계산하고 유동해석 모델의 타당성을 확인하는데 이용할 수 있다. 현재 연구는 입자를 균일한 여재로 가정하여 분석하였다는 제한점이 있다.

Table 1 Filter specification and specific density

Garnet Size(mesh)	Filter Media Size(mm)	Specific Density
#20/40	0.43~0.85	4.1

Table 2 Turbidity data change with variation of circulation pump pressure

	Case 1		Case 2	
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
Pressure(Mpa)	0.16	0.12	0.18	0.14
Turbidity(NTU)	0.17		0.14	

$$\frac{h_L}{L} = 150 \frac{\mu}{\rho g} V \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \frac{S_v^2}{6^2} V + 1.75 \frac{S_v}{6} \frac{V^2}{g} \quad (3)$$

S_v = 비표면적-여재의 단위체적당 여재의 표면적(m⁻¹)
 ρ = 물의 밀도(kg/m³)

3.2 역세척 이론

위와 같은 수식으로 여과가 진행됨에 따라 여과재 공극에 오염물질이 축적되고 이에 따라 여과저항이 커지게 된다. 역세척 과정에서 중요하게 고려해야 할 부분은 부유한 여과재가 소실되지 않도록 하는 것이다. 이때 역세척 과정에서 입자가 유동화되는 이론적 최소유동상 속도(V_{mf})는 식 (4)와 (6)를 이용하여 구할 수 있다⁽¹⁵⁾. 이때 유체 내에서 침강하는 입자의 속도는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다⁽³⁾. Fair & Hatch는 역세척 시 발생하는 입자들의 마찰저항과 여과상의 팽창시키는 유체의 손실수두와 크기가 같다는 것을 기초로 하여 여과상의 팽창에 관해 아래와 같이 식 (8)로 정리하였고 이를 이용해 이론적인 팽창된 깊이를 구할 수 있다⁽¹⁶⁾.

$$Ga = \frac{d^3 \rho (\rho_s - \rho) g}{\mu^2} \quad (4)$$

$$N_{Remf} = (dV_{mf}\rho)/\mu \quad (5)$$

$$N_{Remf} = [(33.7)^2 + 0.0408 Ga]^{0.5} - 33.7 \quad (6)$$

Ga = Galileo 수
 N_{Remf} = Reynolds 수
 ρ_s = 여재의 밀도(kg/m³)
 V_{mf} = 최소유동상 속도(m/s)

$$V_s = \left[\frac{4D_p^{1.6} \rho^{1.6} g (\rho_s - \rho)}{55.5 \mu^{0.6} \rho^{0.4}} \right]^{0.714} \quad (7)$$

V_s = 침강 속도(m/s)
 D_p = 입자의 직경(mm)
 ρ, ρ_s = 물과 입자의 밀도(kg/m³)
 μ = 점성계수(Pa · s)

$$L_e = [(1 - \epsilon_{mf}) / 1 - (V_b / V_d)^{0.22}] L \quad (8)$$

L_e = 팽창된 여과상의 길이(m)

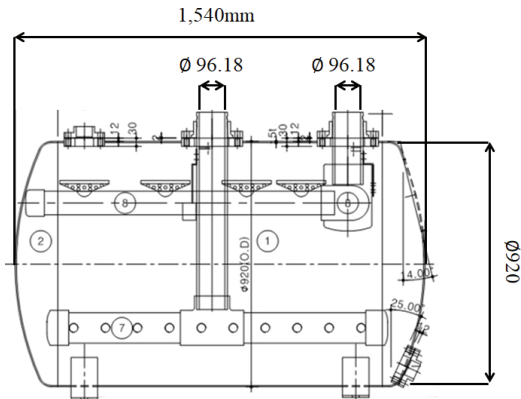
ϵ_{mf} = 고정상의 공극율

4. 컴퓨터시뮬레이션

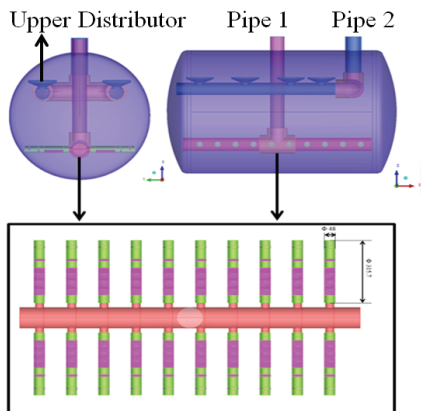
4.1 3차원 형상 모델링 및 격자계 구성

현재 운영 중인 가압식 수영장 여과 시스템의 2차원 도면(쥬코리아이피디)을 활용하여 수영장 여과 시스템에 대하여 Fig. 3과 같은 3차원 모델링을 수행하였다. 수영장 여과 시스템은 Fig. 3(b)와 같이 상부 분배기(UD; Upper distributor), 유입/유출관(Pipe1, 2), 스트레이너(S; Strainer)로 모델링하였다. 본 연구에서는 직선형 스트레이너와 사선형 스트레이너로 설계하여 연구를 진행하였다. 먼저 기존에 설치된 스트레이너는 직선형 형상으로, Fig. 4(a)와 같이 설계되어 있다. 이러한 형상으로 스트레이너가 설계된 경우 역세척 시뮬레이션에서 수직 방향으로 유동이 발생하게 된다. 두 번째로 사

선형 스트레이너는 여과재에 물이 닿지 않는 영역을 최소화하기 위해 Fig. 4(b)와 같이 모델링하였다. 이를 통해 스트레이너 형상 변화에 따른 여과와 역세척의 효율 변화를 검토하고 성능을 검증하기 위해 내부 유동장에 대한 분석을 활용하였다. Fig. 5는 직선형 스트레이너와 사선형 스트레이너의 세부적인 치수를 나타낸 것이다.

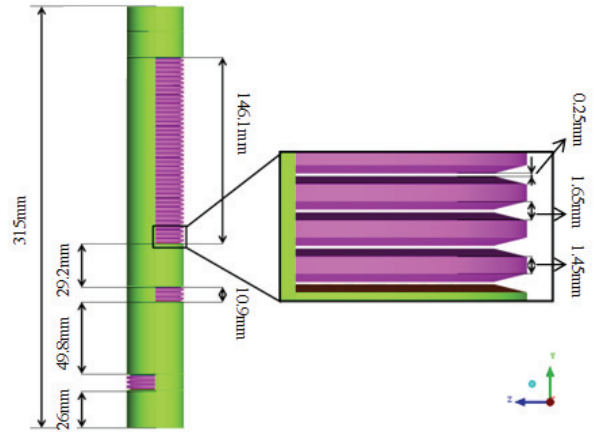


(a) Two-dimensional exterior

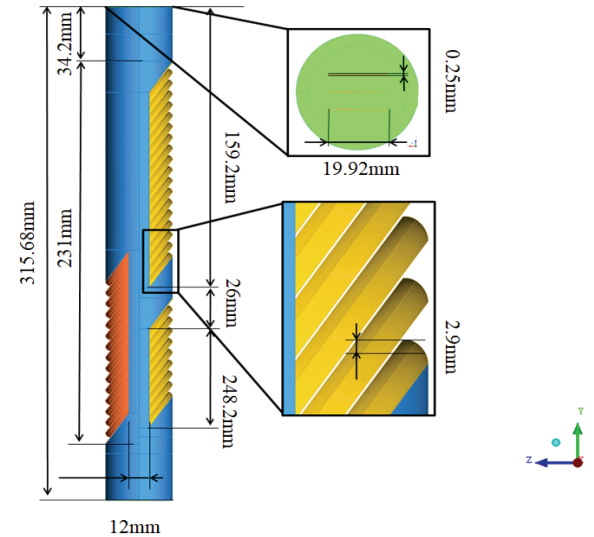


(b) Three-dimensional exterior

Fig. 3 Swimming pool filtration system drawing

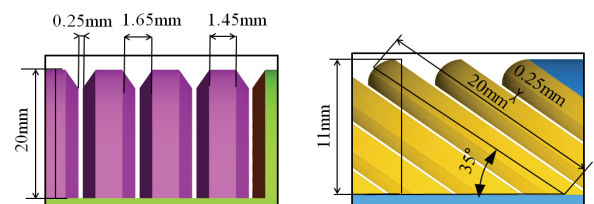


(a) Vertical type



(b) Diagonal type

Fig. 4 Swimming pool strainer geometry



(a) Vertical type

(b) Diagonal type

Fig. 5 Compare to swimming pool strainer geometry

유동해석에 있어 해석 대상에 따른 적절한 해석 모델의 선택 및 경계조건의 선정만큼이나 중요한 요소는 격자계의 적합성이라 할 수 있다. 본 논문에서는 수영장 여과기의 복잡한 내부 형상 때문에 Tetrahedron을 기본으로 한 비정렬 격자를 이용하여 구성하였다. 수영장 여과 시스템에 대한 유동 해석을 수행하기 위하여 탱크, 배관, 스트레이너로 구분하여 격자를 구성하였다. 스트레이너의 경우 형상이 매우 작고 다수면의 면으로 구성되어 있어 격자 크기 변화를 검토하여 만들었다. 이에 대한 각 부분의 격자수를 Table 3과 같이 구성하였다.

Fig. 6에는 각각의 경우에 대해 만들어진 격자계를 나타내었다. 벽면에서의 격자의 절점과 요소의 개수는 Mesh의 종속성을 확인하고, 해석 시간을 고려하여 결정하였다.

4.2 수치해석

수영장 여과기 내 유동 특성을 해석하기 위하여 적용된 지배방정식은 식 (9)와 (10)의 연속방정식과 Navier-Stokes 방정식을 사용하였고, 난류모델은 RANS 방정식 중 와점성(turbulent viscosity) 기반의 k-ε 모델을 통해 해석하였다. 여기서, u_i 는 속도벡터이고, ρ 는 밀도, τ_{ij} 는 응력텐서이며, p 는 정압을 나타낸다.

경계조건으로 실제 운영 시 측정하였던 자료를 기반으로 여과 시에는 Fig. 3(b)의 Pipe2가 입구로 12.76 kg/s, Pipe1가 출구로 0.1 MPa를 적용하였다. 역세척 시에는 Pipe1가 입구로 62,000 Pa, Pipe2를 출구로 41,308 Pa를 부여하였다.

여과재 영역을 모사하기 위해 다공성 모델을 적용하였으며 이에 대한 물리적 모델은 식 (11)과 같은 Darcy' law 기반의 손실 모델을 이용하였다. 이 모델에서 손실은 투과계수(K_{perm})와 손실계수(K_{loss})를 통해 계산된다. 수영장 여과기 내 유동장 문제에 대한 지배방정식을 해석하기 위하여 유한체적법을 이용하여 비엇물림격자계(Non-Staggered Grid System)에 대한 이산화 방정식을 구하였다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0 \quad (9)$$

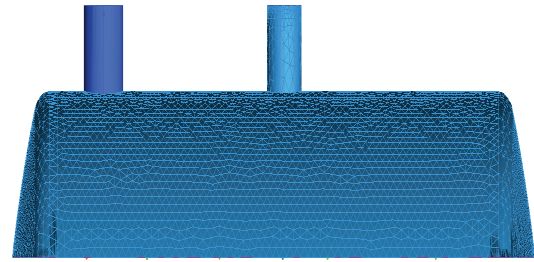
$$\rho \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + S_i \quad (10)$$

$$-\nabla p = \frac{\mu}{K_{perm}} u_i + K_{loss} \frac{\rho}{2} u_i^2 \quad (11)$$

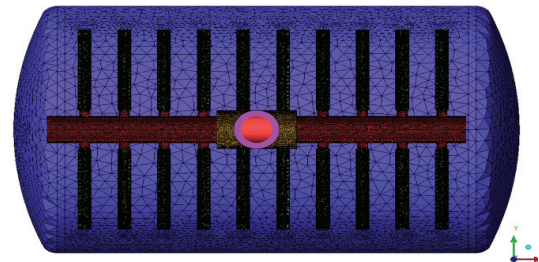
지배방정식의 대류항은 High-Resolution 방법을 이용하였다. 또한, 운동량방정식의 압력항 처리는 압력수정방법을 이용하는 SIMPLE-C 방법을 적용하여 압력수정에 관한 근

Table 3 Grid composition of swimming pool filtration system

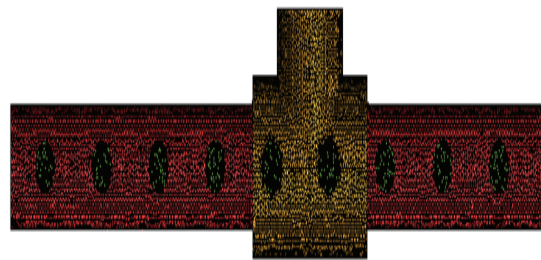
Location	Number of Nodes for vertical/ diagonal	Number of Elements for vertical/ diagonal
Upper grid	$3.16 \times 10^5 / 4.73 \times 10^5$	$1.65 \times 10^6 / 2.61 \times 10^6$
Lower grid	$1.13 \times 10^6 / 4.10 \times 10^6$	$5.78 \times 10^6 / 1.93 \times 10^7$
Strainer	$1.64 \times 10^6 / 4.04 \times 10^6$	$6.74 \times 10^6 / 1.61 \times 10^7$
Total	$3.09 \times 10^6 / 8.62 \times 10^6$	$1.41 \times 10^7 / 3.81 \times 10^7$



(a) Upper part



(b) Lower part



(c) Strainer part

Fig. 6 Grid of swimming pool filtration system

사 이산화 방정식을 압력과 속도의 상관관계를 고려한 연속 방정식의 이산화 방정식으로부터 구하였다. 유동해석 코드는 상용소프트웨어인 ANSYS CFX 2020 R1을 이용하여 정상상태 해석을 진행하였다⁽¹⁷⁾.

5. 해석 결과

5.1 수영장 여과 시스템 유동해석 모델의 검증

본 연구에서 수행한 수영장 여과 시스템 유동해석 모델의 타

당성을 확인하기 위하여 이론적인 결과와 비교를 진행하였다.

식 (3)의 Ergun 방정식은 여과재가 포함된 배관의 압력강하를 예측하기 위해 제시된 이론식이다. 현재 연구에서 활용된 자료에 의하여 Ergun 방정식에 계수와 변수를 대입하였다. 주요 변수는 여재의 공극률 0.4 와 여재의 구형입자 직경 0.5 mm, 여과 시 공탐속도 0.0094 m/s이다. 식 (3)을 통해 계산한 공탐속도에 따른 압력강하 그래프를 Fig. 7과 같이 나타낼 수 있다. 이 결과를 통해 공탐속도에 따른 여과 시의 압력강하를 예측하는 데 사용할 수 있다. 본 연구에서는 이 압력강하량과 유동해석에 의한 압력강하량을 비교하였다. 유동해석 시 여과재에 의한 압력강하를 구하기 위하여 투과 계수와 저항 계수를 반영하였다. 투과 계수와 저항 계수는 식 (11)을 참고하여 주어진 값을 활용해 결정하였다.

유동해석 결과를 나타내기 위해 상부 분배기를 UD, 하부 스트레이너를 S, Inlet을 In, Outlet을 Out으로 명명하였다. 여과기 내부의 형상에 의한 저항을 배제하기 위하여 여과재 즉, 다공성 도메인이 고려되지 않은 유동해석 결과를 Table 4와 같이 구하였다. 이를 통해 Table 5와 같은 여과재가 고려된 유동해석의 결과에서 여과재가 고려되지 않은 유동해석 결과의 차이를 통해 순수 여과재에 의한 압력강하량을 Table 6과 같이 계산하였다. 이 결과에서 식 (3)의 이론값과 유동해석 값 사이의 오차는 9.5 % 정도로 나타났다. 이를 통해 유동해석을 통한 수영장 여과기 모델의 신뢰성이 확보되었다고 판단하였다.

5.2 직선형과 사선형 스트레이너 수영장 여과 시스템의 유동해석 결과

직선형과 사선형 수영장 여과 시스템 유동해석 결과 검토를 위해 내부의 유동장을 분석하였다. 평가 인자로는 속도장과 압력 분포를 이용하였다. 먼저 유동해석을 통해 기존 스트레이너와 신형 스트레이너에 대하여 여과 시와 역세척 시의 벡터 분포를 Fig. 8과 Fig. 9에 각각 나타내었다.

Fig. 8을 통해 여과 과정 시의 유동방향으로 유체가 정상

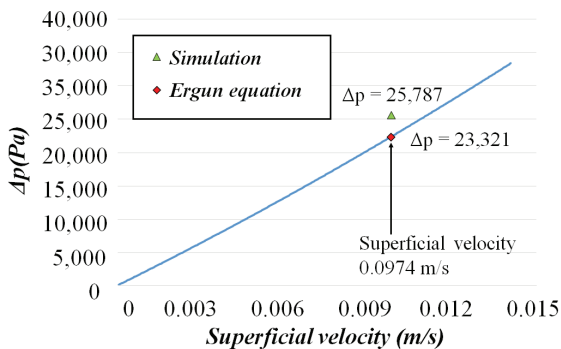


Fig. 7 Pressure drop in filtering of existing swimming pool filter using Ergun equation

Table 4 Results of flow analysis for pressure drop during filtration without filter material

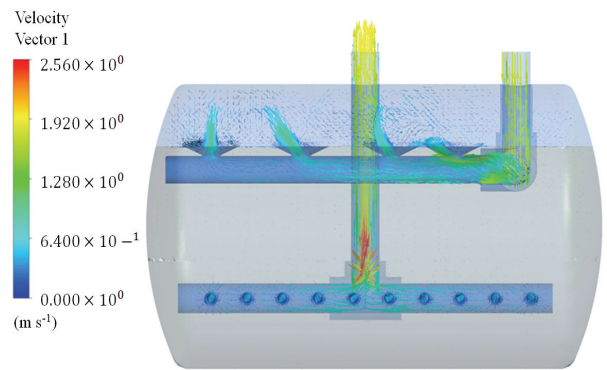
Pressure(Pa)	UD	S	Pressure Drop
Vertical Strainer Without Garnet	103,742	102,564	1,178
Diagonal Strainer Without Garnet	104,779	102,591	2,188

Table 5 Results of flow analysis for pressure drop during filtration with filter material

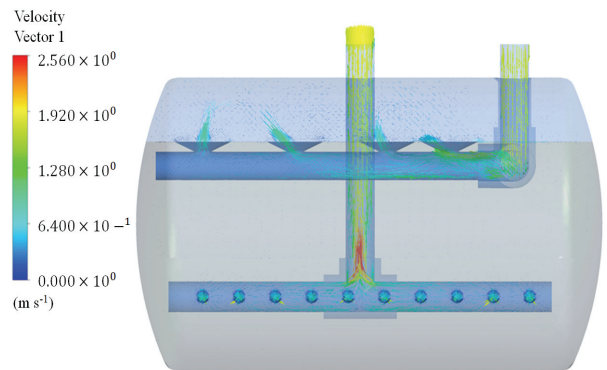
Pressure(Pa)	UD	S	Pressure Drop
Vertical Strainer	129,513	102,548	26,965
Diagonal Strainer	135,155	102,532	32,623

Table 6 Comparison of net pressure drop by the filter during filtering in vertical type swimming pool filtration system

	Ergun Equation	Flow Simulation	Deviation
Pressure drop (Pa)	23,320	25,787	9.5 %

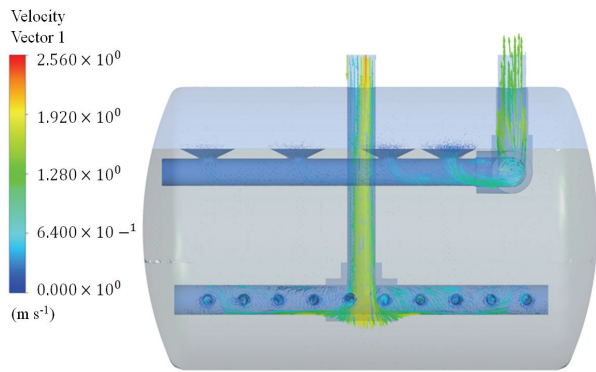


(a) Vertical type

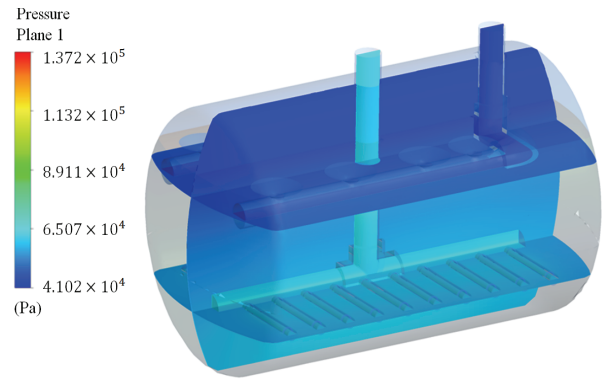


(b) Diagonal type

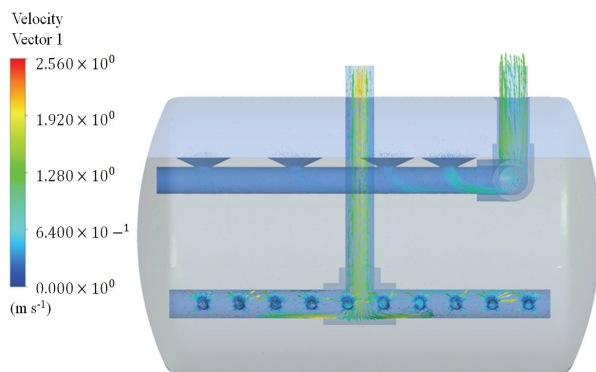
Fig. 8 Vector distribution during filtration of swimming pool filter



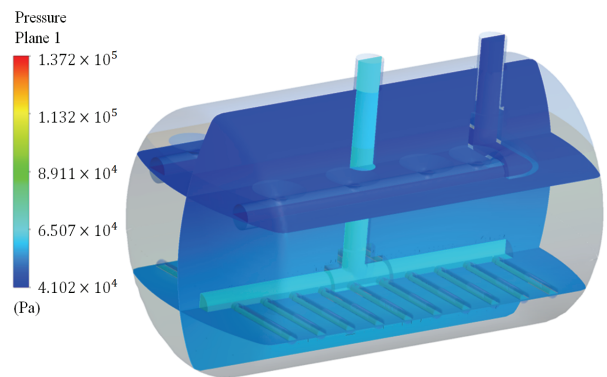
(a) Vertical type



(a) Vertical type



(b) Diagonal type



(b) Diagonal type

Fig. 9 Vector distribution during backwash of swimming pool filter

Fig. 10 Pressure distribution during backwash of swimming pool filter

적으로 흐르는 것을 보여주고 있다. 속도벡터를 통해 유입된 유체가 상부의 분배기를 통해 흘러나오면서 여과재를 통과하여 하부의 스트레이너로 모이고 다시 유출관을 통해 흘러나가는 것을 두 여과기 모두 볼 수 있다.

역세척 시의 직선형 수영장 여과기와 사선형 수영장 여과기의 벡터 분포를 Fig. 9에 나타내었다. 역세척이 유입되어 하부 스트레이너를 통해 여과재로 흘러가는 것을 두 여과기 모두에서 볼 수 있다. 또한 상부의 분배기를 통해 흘러 나갈 때 배출관에 가까운 분배기를 통해 주로 유체가 흘러가는 것을 볼 수 있다. 공통적으로 배출관에서 먼 곳의 분배기는 역세척 시에 유동이 적은 것을 알 수 있다. 하부의 스트레이너 부분의 벡터 분포를 보면 신형 수영장 여과기가 기존 수영장 여과기보다 벡터가 크게 형성되어 배출되는 것을 볼 수 있다.

이를 통해 스트레이너의 사선형 구조가 역세척 시 배출되는 유동이 원활하게 배출되게 하는 것으로 보인다.

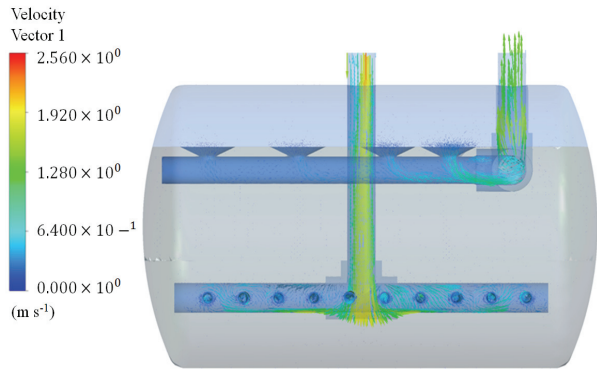
역세척 시의 직선형과 사선형 수영장 여과 시스템의 압력 분포를 Fig. 10에, 여과 시의 압력 분포를 Fig. 11에 각각 나타내었다. 두 여과기 모두 역세척 시의 내부 유동장의 압력 분포가 입구에서 높고 출구에서 낮다. 이는 곧 압력이 고르게 분포되었다는 것을 의미한다. 따라서 유입구에서 배출구

로 원활하게 흘러가리라는 것을 알 수 있다.

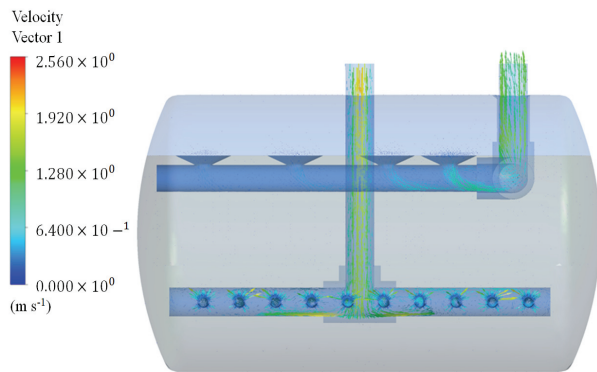
4.2의 수치해석의 경계조건에서 언급하였던 바와 같이 여과과정에 대한 유동해석은 두 여과 시스템 입구에 동일한 유량 조건, 그리고 출구에 동일한 압력조건을 부여하였다. Fig. 11의 결과를 통해 입구에서 출구까지의 압력강하에 대하여 분석하였고 사선형 수영장 여과기의 분배기 위쪽에 압력이 직선형보다 크게 나타났으므로 더 큰 압력강하가 발생하였다는 것을 알 수 있다. 즉, 사선형 수영장 여과기가 동일한 유량을 여과할 때 압력강하가 더 크게 발생할 수 있다는 것이다. 이는 동일한 유량이 출구로 흘러가기 위해 상부에 압력이 더 커야만 한다는 것을 의미하며 이러한 이유는 여과재를 통과한 여과수가 스트레이너로 모여 출구로 나갈 때 스트레이너 형상이 경사져 있기 때문으로 보인다.

Fig. 12와 Fig. 13은 역세척 시와 여과 시 물을 분배하고 취합하는 하부 스트레이너에서 유동양상을 검토하기 위하여 근접하여 속도벡터를 나타낸 것이다.

먼저, Fig. 13에서 역세척 시 직선형 수영장 여과기와 사선형 수영장 여과기의 스트레이너의 속도벡터를 검토한 결과 사선형 수영장 여과기의 속도 벡터의 크기가 직선형 수영장 여과기의 크기보다 대략 2배 정도 크게 나타났다. 이는

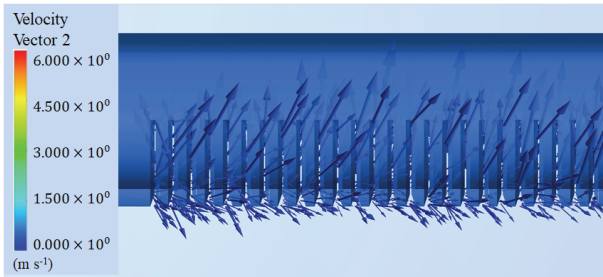


(a) Vertical type

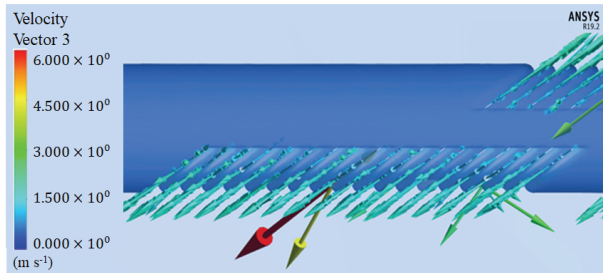


(b) Diagonal type

Fig. 11 Pressure distribution during filtration of swimming pool filter

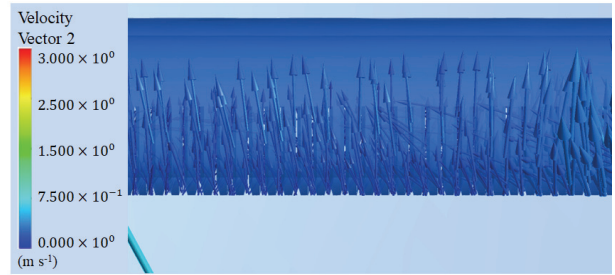


(a) Vertical type

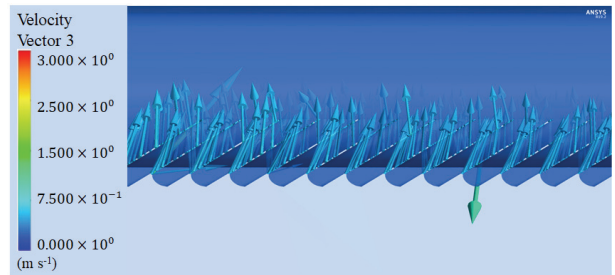


(b) Diagonal type

Fig. 12 Strainer vector distribution during backwash of swimming pool filter



(a) Vertical type



(b) Diagonal type

Fig. 13 Strainer vector distribution during filtration of swimming pool filter

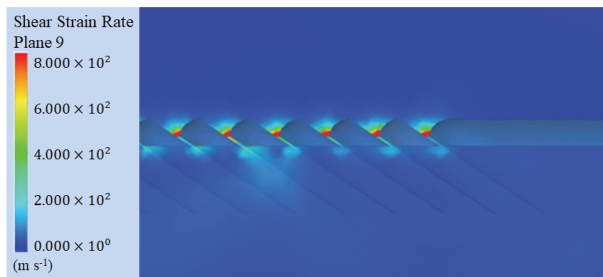
각각의 스트레이너 틈에서 배출된 유체가 여과재에 닿게 되었을 때 사선형 수영장 여과기에서 흘러나온 유체에 의해 작용하는 힘이 더 클 수 있다는 것을 의미한다.

이 힘에 의해서 여과는 부유할 수 있으므로 사선형 수영장 여과기의 스트레이너 형상이 역세척 시 여과재를 팽창하도록 할 가능성이 큰 것으로 보인다.

Fig. 8과 Fig. 9에서 여과 시 직선형 수영장 여과기와 사선형 수영장 여과기의 스트레이너의 속도벡터를 검토한 결과, Fig. 12와 Fig. 13에서 보았던 것 마찬가지로 사선형 수영장 여과기의 스트레이너를 통해 흘러나오는 유체의 속도벡터의 크기가 크게 나타났다. Fig. 14는 스트레이너에서 역세척 시 전단율 분포를 나타내고 있다. 역세척 시에는 스트레이너를 통해 물이 흘러 나와 여과재와 접촉하게 되고 오염 물질을 부유하게 하는 역할을 한다. 분석 결과 직선형 스트레이너보다 사선형 스트레이너에서 전단율이 높게 나타났다. 사선형 스트레이너 틈에서의 최대 전단율과 직선형 스트레이너 틈에서의 최대 전단율은 800 1/s로 같았지만, 사선형 스트레이너는 모든 틈에서 최대치가 나타났다. 직선형 스트레이너는 한 곳에서만 최대치가였고 대부분 200~400 1/s 정도로 나타났다. 이는 사선형 스트레이너에서 흘러나오는 유체의 전단율이 높다는 의미이고 이는 여과재의 표면에 발생하는 전단응력이 클 수 있다는 것으로 간주할 수 있다. 여과재 표면에서 전단응력이 높으면 오염물질을 더욱 잘 제거할 가능성이 있을 것으로 판단된다.



(a) Vertical type



(b) Diagonal type

Fig. 14 Strainer shear rate distribution during backwash of swimming pool filter

5.3 직선형과 사선형 수영장 여과 시스템의 역세척 시 유동성능 평가

역세척에 대한 유동 성능을 평가하기 위해 직선형 수영장 여과기의 역세척 시의 최대 압력강하 값 $0.211 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ 를 경계조건으로 부여하였다. 4.2 수치해석의 경계조건에서 언급하였듯이 역세척 시 입구에 압력계를 측정할 값을 출구는 최대 압력강하가 발생한 압력값을 부여하여 유동해석으로 각 여과기에서의 유량을 Table 7과 같이 분석하였다. 유동해석 결과 동일한 압력강하가 발생하였을 때 직선형 수영장 여과기가 사선형 수영장 여과기보다 유량이 크게 발생하였다. 동일한 압력강하 조건하에 유량이 적다는 의미는 Pipe1에서 스트레이너를 통해 배출되는 유체가 여과재에 의해 저항에 더욱 크게 영향을 받았기 때문이라고 판단된다. 즉, 사선형 스트레이너에서 배출되는 유체가 여과재와 접촉으로 인한 유체의 운동량을 소모하였기 때문에 유량이 감소했을 것으로 보인다. 이는 역세척 시 여과재의 이물질 제거한다는 관점에서 바라보면 사선형 스트레이너가 유리할 것으로 판단된다.

역세척 시 여과재는 유동에 의해 부유할 수 있다. 이때 고려해야 할 변수로는 최소유동상속도이다. 즉 역세척 시 여과재가 유동화되기 시작하는 속도이다. 여러 선행 연구에 의해 정리된 식(4)~ 식(6)을 이용하여 이론적인 최소유동상속도를 구할 수 있다. 주어진 조건을 통해 계산하여 Ga 는

Table 7 Result of flow analysis on the flow of the volume of the reverse tax exemption in consideration

Mass Flow(kg/s)	In	Out
Vertical Strainer	9.242	-9.235
Diagonal Strainer	8.380	-8.380

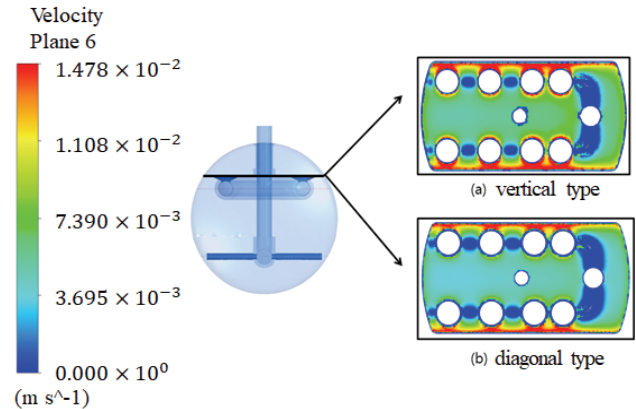


Fig. 15 Velocity distribution during backwash of filter surface

4.65×10^{-3} 이고 Re_{mf} 는 2.70이며 이 값들을 식(5)에 대입하면 V_{mf} 는 0.0048 m/s이다. 즉 여과재가 있는 부분의 속도가 V_{mf} 보다 크면 여과재가 팽창하리라는 것을 의미한다.

유체에 의해 부유하게 된 여과재가 다시 침강하는 속도는 식(7)에 의해 계산해 볼 수 있다. 계산된 V_s 는 0.113 m/s이다. 따라서 여과재의 표면에서의 속도 분포를 Fig. 15와 같이 나타내어 검토하였다.

두 여과기 모두 여과재 표면의 속도가 최소유동상속도인 0.0048 m/s보다 크게 나와 잘 팽창할 것으로 보인다. 하지만 부유한 여과재가 다시 침강되지 못하고 소실될 가능성은 직선형 여과기가 더 클 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 직선형 수영장 여과기와 사선형 수영장 여과기의 도면을 활용하여 ICEM 소프트웨어로 형상 모델링과 격자계를 구성하였다. 수영장 여과 시스템에 대한 여과와 역세척에 대한 정보를 (주)코리아이피디에서 제공받아 ANSYS CFX 2020 R1을 이용하여 유동해석 하였다.

직선형 수영장 여과기의 유동해석 모델의 타당성을 확보하기 위하여 Darcy's law와 Ergun 방정식을 이용해 계산한 여과 시의 압력강하값을 비교하였다. 유동해석 결과 여과 시의 압력강하는 25,787 Pa 이었고 Ergun 방정식을 통해 계산한 압력강하는 23,320 Pa로 9.5 % 정도의 오차가 발생하여 해석 모델의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

역세적 시 직선형 수영장 여과기와 사선형 수영장 여과기의 스트레이너의 속도벡터를 검토한 결과 사선형 수영장 여과기의 속도 벡터의 크기가 직선형 수영장 여과기의 크기보다 대략 2배 정도 크게 나타났다. 따라서 사선형 스트레이너 틈에서 배출된 유체가 여과재에 닿게 되었을 때 여과재에서 오염물질을 더 잘 제거할 것으로 보인다.

즉, 사선형 스트레이너를 이용하여 역세적 할 때 여과재의 오염 물질을 더욱 잘 제거할 것으로 판단된다.

결론적으로 수영장 여과 시스템의 핵심 구성품인 스트레이너 형상 변화에 따라 여과와 역세적 성능이 관계가 있음을 확인하였고 전산유체역학을 이용하여 스트레이너 형상 변화가 성능 변화에 의미가 있음을 확인하였다.

References

- (1) Kim, M. O., Yoo, J. G., Kim, D. H., Jo, H. J., Jung, H. W., Lee, Y. G., Lee, D. C., Kim, S. H., Kim, M. S., Park, S. I., Jung, Y. J., Choi, H. S., Park, J. E., Park, J. G., Seo, W. J., Gwon, O. H., Kim, J. G., Min, Y. S., 2018, "A Study on the Development and Implementation of a Model for the National Sports Center in Korea", Ministry of Culture, Sports and Tourism of Korea.
- (2) Status of public sports facilities nationwide in 2020, 2020, Ministry of Culture, Sports and Tourism of Korea.
- (3) Choi, S., & Choi, J., 1996, "A Study on the Minimum Fluidization Velocity and Expansion of Various Media," Journal of Korean Society of Water and Wastewater, Vol. 10, No. 2, pp. 55.
- (4) Im, J. H., Kim, H. K., Lee, J. J., Moon, T. S., Jeong, M. K., Woo, H. J., and Kim, C. W., 2006, "The Effect on Treatment Performance of Fiber Filter Under Various Packing-Density and Filtration Velocity," Journal of Korean Society of Environmental Engineers, Vol. 28, No. 2, pp. 216~222.
- (5) Rasteh, M., Farhadi, F., & Ahmadi, G., 2018, "Empirical models for minimum fluidization velocity of particles with different size distribution in tapered fluidized beds", Powder Technology, Vol. 338, pp. 563~575.
- (6) You, M., Kim, H. J., 2020, "The mixing method improvement through optimized water supply structure using the CFD and verification test in water treatment plant", The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 23, No. 5, pp. 43~49.
- (7) Kim, H. H., Kim, K. U., Lee, G. B., and Suh, S. H., 2018, "A Study of Swimming pool Filter for Performance using CFD," The KSFM Journal of Fluid Machinery, vol. 2018, No. 7, pp. 357~358.
- (8) Park, S. H., Lee, J. W., and Kim, H. H., 2022, "Performance study according to the shape change of strainer in a horizontal pressurized type swimming pool filtration system using flow simulation," The KSFM Journal of Fluid Machinery, vol. 2022, No. 11, pp. 62~63.
- (9) Gérardin, F., Cloteaux, A., & Midoux, N., 2015, "Modeling of variations in nitrogen trichloride concentration over time in swimming pool water", Process Safety and Environmental Protection, Vol. 94, pp. 452~462.
- (10) Ciuman, P., & Lipska, B., 2018, "Experimental validation of the numerical model of air, heat and moisture flow in an indoor swimming pool", Building and Environment, Vol. 145, pp. 1~13.
- (11) Hassan, A. A., Li, Z., Sahle-Demessie, E., & Sorial, G. A., 2013, "Computational fluid dynamics simulation of transport and retention of nanoparticle in saturated sand filters", Journal of hazardous materials, Vol. 244, pp. 251~258.
- (12) Carman, P. C., 1997, "Fluid flow through granular beds," Process Safety and Environmental Protection: Transactions of the Institution of Chemical Engineers, Vol. 75, No. Suppl, pp. 32~48.
- (13) Kozeny, J., 1927, "Sitzber Akad Wiss Wien, Math-naturw," Klasse, Vol. 136, pp. 271
- (14) Rose, H. E., 1945, "On the resistance coefficient-Reynolds number relationship for fluid flow through a bed of granular material," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers,
- (15) Wen, C. Y., 1966, "Mechanics of fluidization. In Fluid Particle Technology", Chemical Engineering Progress., Symposium Series, Vol. 62, pp. 100~111.
- (16) Fair, G., M., Hatch, L., P., and Hudson, H. E. 1933, "Fundamental factors governing the streamline flow of water through sand with discussion." Journal American Water Works Association, Vol. 25, No. 11, pp. 1551~1565.
- (17) ANSYS CFX 21.0, ANSYS Inc.