전산유체역학을 이용한 여과지 분배수로의 유량 균등분배에 관한 연구

The Equality of Flow Distribution to the Distribution Channel of a Filtration Basin Using CFD Analysis

류영석* · 정남정** · 조명환***

Ryu, Young-Suk*, Jung, Nahm-Chung**, and Cho, Myung-Hwan***

Abstract

A filtration-basin is the most essential component to remove fine particles in water purification process. This study conducted a Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis based on Building Information Modeling (BIM), to estimate flow distribution in the inflow distribution channel of the filtration-basin. The BIM model was prepared based on the preliminary construction design draft drawings, and a CFD analysis model was created from the BIM model. The distribution rate of the distribution channel currently operating within the filtration-basin was reviewed. To find the optimal operation method that ensures equal distribution of each filtration-basin, CFD analysis was carried out to compare the adjustment methods of opening the ratio of the butterfly valve and adjusting the height of the stainless steel (STS) plate, using Autodesk CFD software. The CFD analysis revealed that the STS plate method was more efficient at inducing equal distribution rates than the method of opening the ratio of the butterfly valve.

Key words : Clean Water Treatment, Filtration-basin, BIM, CFD, Equality Distribution

요 지

정수처리공정에서의 여과지는 미세입자를 제거하는 핵심공정으로 사용되고 있다. 본 연구에서는 여과지 분배수로의 유입 유량 균등분배를 예측하기 위해 BIM 모델을 기초로 한 유동해석을 수행하였다. BIM 모델은 H정수장의 기본 및 실시설계 도면을 바탕으로 작성하였고, BIM 모델로부터 유동해석 모델을 형성하여 현재 운영 중인 H정수장의 여과지 분배수로 균등분배를 검토하였다. 여과지 분배수로의 최적의 유량 균등분배 방안을 도출하기 위해 전산유체해석 프로그램인 Autodesk CFD를 사용하였고, 버터플라이 밸브의 개도율과 STS 플레이트의 높이 조정에 따른 전산유체해석을 수행하였다. 유동해석 결과, STS 플레이트 높이 조정에 의한 방식이 버터플라이 밸브의 개도율 조정 방식과 비교하였을 때 유량 균등분배에 더 효율적인 방식인 것으로 나타났다.

핵심용어 : 정수처리공정, 여과지, 건설정보모델, 전산유체해석, 균등분배

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

정수처리공정에서 여과지는 정수에 포함되어 있는 미세

입자를 제거하는 핵심공정으로, 여과속도에 따라 완속모래 여과지, 급속모래여과지 및 막여과로 분류할 수 있다. 여과지의 설계와 시공은 여과지별 유입유량의 균등분배, 여과속도의 제어, 여과유량의 수집 및 이송, 하부집수장치 등 역세척

*정회원, (주)도화엔지니어링 기술개발연구원 연구원(E-mail: ryuys48@dohwa.co.kr)

Member, Research Engineer, Technological Development Dept., DOHWA ENGINEERING CO., LTD.

** (주)도화엔지니어링 기술개발연구원 연구원장(E-mail: ncj9191@dohwa.co.kr)

Research Director, Technological Development Dept., DOHWA ENGINEERING CO., LTD.

***교신저자, 정회원, (주)도화엔지니어링 기술개발연구원 수석연구원(Tel: +82-2-6323-3352, Fax: +82-2-558-5669, E-mail: navdragon@naver.com)

Corresponding Author, Member, Principle Research Engineer, Technological Development Dept., DOHWA ENGINEERING CO., LTD.

시설의 설치 등은 정교한 수리적 특성을 고려해야 한다. 여과지의 여과속도를 정속으로 유지하기 위한 방식으로 유출측제어방식과 유입측제어방식이 있는데, 유입측제어 방식으로 설계할 때에는 복수의 여과지에 균등하게 유량을 분배하는 것이 여과수 수질 향상을 위하여 매우 중요한 일이다. 이는 일반적으로 분배 수로에 의하여 각 여과지에 수량을 분배하도록 되어 있는 경우가 많다.

그러나 수리적 분배수로는 균등한 수량의 분배가 어렵다. 대부분의 수로 구조 중 수로의 끝단에서 속도수두가 압력수두로 변하면서 유량이 증대되는 경향을 피할 수 없으며, 수로를 좁히며 구배를 상향 조정하더라도 다소간 차이가 발생한다. 또한, 분배수로 내에서의 유동은 난류가 존재하는 3차원 유동을 보이고 있기 때문에 이를 1차원 시간의 함수로 해석하거나 2차원 천수방정식(Shallow Water Equation)으로 해석할 경우, 그 결과는 실제 현상과 비교할 때 오차가 발생할 수 있다(Park et al., 2007).

본 연구에서는 인프라 시설 중 정수처리 시설인 여과지에 대한 Building Information Modeling (BIM) 모델을 작성하고, BIM 모델로부터 작성된 3차원 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)을 수행하여 여과지 분배수로의 유량 균등분배에 대한 연구를 수행하고자 한다. 분배수로 내에서 유동은 3차원 난류 유동을 보이고 있기 때문에 이를 1차원 시간의 함수로 해석을 수행하거나 또는 2차원 천수방정식으로 해석할 경우 그 결과는 실제 현상을 정확하게 묘사하지 못해 많은 차이가 발생할 수 있다. 이에 본 연구에서는 여과지 분배수로에 대한 BIM 모델을 작성하였고, BIM 모델로부터 전산유체역학에 필요한 3차원 유동 해석 모델을 형성하였다. 여과지 BIM 모델은 현재 기본 및 실시설계가 끝나고 실제 운영 중인 H정수장(설계유량 $Q = 60,000 \text{ m}^3/\text{day}$)의 설계도면을 바탕으로 작성하였다. 유동해석에 필요한 모델은 BIM 설계를 통해 작성된 3차원 모델로부터 공용 CAD 포맷인 SAT 파일로 변경하였고, 전산유체역학 프로그램인 Autodesk CFD를 활용하여 여과지 분배수로에 대한 유동해석을 수행하여 유량 균등분배에 관한 연구를 수행하려 한다.

1.2 연구동향

이전 국내의 분배수로의 설계는 주로 Chao and Tussell (1980)이 제시한 Step Method를 널리 이용하였는데, 이 방법은 유입단 각 분배 지점의 유량을 계산한 후 유량을 합산하여 총 유입량과의 비교편차가 $\pm 1\%$ 이내에 들어올 때까지 시행착오법으로 반복계산을 수행하는 방식이다. 이 방식을 통해 각 수로 단면의 Froude수 또는 비에너지를 동일하게 유지할 수 있도록 설계가 가능하지만, 이 방법이 적용된 실제 정수장들을 대상으로 유량분배를 조사한 결과, 적정 유량분배가 이루어지지 않고 각 지점 별 유량편차가 심하게 나타났다(Hudson, 1981). Ramamurthy et al. (1987)은 분배수로 내에서 위어-오리피스 구조를 도입하는 방식을 제안하였는데, 위어-오리피스

스 유동의 기하학적 매개변수와 유체역학적 매개변수 사이의 이론적 관계식을 도출하여 이를 실험적으로 검증하였다. 하지만 이러한 방식은 단순히 이론적 계산을 이용할 뿐만 아니라 랩스케일 실험에 기반한 2차원 분석방식이기 때문에 실제 복잡한 형상을 가지는 시설에 적용이 제한적으로 보고되고 있다(Park et al., 2007).

이러한 문제들의 방안으로 3차원 수치해석을 수행할 수 있는 전산유체역학을 이용하여 분배수로 내 유량분배의 불균등의 원인을 파악하고 이를 저감할 수 있는 방안에 대한 연구가 진행되고 있다(Park et al., 2004; Dutta et al., 2010; Knatz et al., 2015). Park et al. (2004)은 전산유체해석을 이용하여 분배수로 내 지별 유량 분배율 차이를 확인하였고, 구조적 변경을 통해 기존 대비 분배율을 비교하였다. 균등분배에 영향을 미치는 인자는 여러 가지가 있겠지만 해당 연구에서는 유입부 구조에 관심을 갖고 불균등을 해결할 수 있는 구조를 제시하였고, 제시한 구조의 지별 최대 분배오차는 유동해석 결과 약 3%로 분배효과가 상당히 개선됨을 확인하였다. Knatz et al. (2015)은 수처리시설의 설계 단계에서 Dissolved Air Flotation (DAF) 시스템의 유입 수로를 최적화하기 위해 전산유체해석을 수행하였다. 기 설계된 구조의 경우 전산유체해석을 통해 최대 약 60%의 유량 편차가 발생하는 것을 확인하였고, 발생하는 유량 편차를 감소시키기 위해 4가지의 대안을 제시하여 유량 분배율을 비교하였다. 그 결과 약 10% 미만의 유량 편차를 가지는 구조를 도출하였으며, 개선된 구조를 기반으로 제작되어 실제 탁도 데이터를 통해 유량이 균등하게 분배되는 것을 검증하였다.

현재 국내 상수도 설계 시 유량 균등분배를 고려하기 보다는 시설 배치면적 이용의 효율성이나 시공의 편의성 위주로 설계방법을 채택하고 있으며, 이에 따라 실제 분배수로 내에서 유량배분 편차가 어느 정도 발생하고 있는지에 대한 현황 파악도 제대로 이루어지지 않고 있는 상황이다. 즉, 수리 구조물 설계가 단순한 손실수두 계산과 1차원 수리해석만으로 실시되었기 때문에 구조물 내에서 실제 3차원 유동예측을 통한 최적설계에 관한 연구는 미비한 상황이다.

2. 설계 형상 및 전산유체해석 개요

2.1 BIM 모델 및 분배수로 유동 특성

H정수장 여과지 분배수로의 BIM 모델은 기본 및 실시설계 도면을 바탕으로 Autodesk사의 Revit을 활용하여 3차원 BIM 모델을 형성 하였으며, 작성된 여과지 평면계획과 3차원 BIM 모델은 Fig. 1과 같다. H정수장 여과지 분배수로는 Fig. 1(a)와 같이 해당 유입관으로부터 직선수로 형태이며, 여과지의 설계유량(Q)은 $60,000 \text{ m}^3/\text{day}$ 이고 5개의 여과지로 구성 되어 있다. H정수장 여과지 내 정수는 Fig. 1(b)와 같이

유입관을 통해 여과지 분배수로로 정수가 유입 되고, 횡월류 위어(Weir)와 유입거(Inlet Chamber)를 거쳐 L형관과 버터플라이 전동밸브를 통해 여과지로 이송된다.

Fig. 1. Filtration-basin BIM Model

정수장에 적용되는 버터플라이 밸브는 KS B 2333 (2016)에 의해서 관리되고 있으며, 밸브 축 위치에 따라 수직/수평형을 구분하고 있다. H정수장 여과지 BIM 모델은 Fig. 2와 같이 버터플라이 밸브 내부의 디스크 형상을 포함하고 있으며, 개도율(또는 개도각도)을 매개변수로 조정할 수 있도록 하였다.

Fig. 2. Butterfly Valve Drawing and BIM Model Section View

2.2 전산유체해석 개요

H정수장의 여과지 분배수로의 현재 나타나는 문제점을 정량화하고 유량 균등분배를 달성할 수 있는 설계 방안을 검토하기 위하여 전산유체해석을 수행하였으며, 상용 전산유체해석 프로그램인 Autodesk CFD 2018을 사용하였다. 여과지 분배수로의 유동장을 모사하기 위하여 정상상태와 비압축성 난류유동으로 가정하였다. 난류거동을 모사하기 위해 Standard k-ε 난류 모델을 사용하였으며, 이는 기존 수송방정식에 난류운동에너지(k)와 난류소실율(ε)에 관한 2개의 수송방정식을 추가한 난류 모델이다. 3차원 비압축성 정상상태

유동장 모사를 위한 지배방정식으로 Eqs. (1)과 (2)를 사용하였다(Park et al., 2007; Kim et al., 2012).

$$\nabla \cdot \rho \vec{u} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \vec{v} + \frac{1}{\rho} \vec{F} \quad (2)$$

여기서, $\vec{v}$: 속도벡터(u, v, w)
 ρ : 밀도
 ν : 동점성 계수
 p : 압력
 $\vec{F}$: 외력(중력항을 포함)

Autodesk CFD는 수치기법으로 유한체적법(Finite Volume Method, FVM)을 사용하며, 해석기법으로는 각각의 방정식들을 해석하는 Segregated Solution Algorithm을 사용하였다. 일반적인 방법을 이용하여 대류항을 모델링하는 경우, 수치 확산 오류가 발생되기 때문에 Autodesk CFD는 대류항을 차분화하는 방식으로 유동장의 정보 전달방향을 고려할 수 있는 Streamline Upwind Discretization 기법을 사용하고 있다(Autodesk, 2009).

2.3 전산유체해석 모델 및 경계조건

H정수장의 전산유체해석은 Fig. 3(a)와 같이 3차원 BIM 모델로부터 Autodesk CFD 해석 모델을 작성하였다. 여과지 분배수로의 유량 균등분배를 검토하기 위한 전산유체해석은 먼저 일반적인 여과지 운영 조건에 대하여 아래와 같이 모델링을 수행하여 각 여과지별 유입 유량비를 검토 하고자 한다.

- 5개지 모두 운영
- 5개지 중 1지 휴지

또한, 유입 유량 조절을 위해 기 설치된 버터플라이 밸브의 개도율과 STS 플레이트의 높이를 매개변수로 설정하였고, 개도율과 높이 조정에 따른 유량분배에 대한 전산유체해석을 추가적으로 수행하고자 한다. 전산유체해석을 위한 격자는 Fig. 3(b)와 같이 피라미드 형태의 사면체 격자를 Adaption 기법을 이용하여 격자를 형성하였고, 격자의 수는 약 200만 개이다. 콘크리트 슬래브 또는 벽면과 접촉하는 경계면은 no-slip 조건을 적용 하였으며, 수로 내부 유동은 개수로이기 때문에 자유수면을 고려한 해석을 수행하였다. 또한, 여과지의 유입 유량은 H정수장 운영조건을 고려하여 설계유량의 90%, 80%, 및 70%에 해당하는 유량 조건을 고려하였고, 유출부의 압력은 0 Pa인 출구 조건을 사용하여 해석을 수행하였다. 자세한 경계조건은 Table 1과 같다.

Fig. 3. Autodesk CFD Simulation Model

Table 1. Boundary Conditions & Material Properties

Index	Condition	Value
Inlet	Mass flow inlet	54,000 m ³ /day
		48,000 m ³ /day
		42,000 m ³ /day
Outlet	Pressure outlet	0 Pa
Wall	No-slip	-
Material	Water	$\rho = 998.2 \text{ kg/m}^3$
		$\mu = 0.001003 \text{ kg/m-s}$

3. 여과지 분배수로 균등 분배 검토

3.1 여과지 운영 자료 검토

현재 H정수장 여과지의 지별 유입 유량을 측정할 수 있는 유량계가 설치되어 있지 않아, 여과지 별 유입 유량의 불균등 특성을 파악하기 위해 2017년과 2018년도의 역세척 (Backwashing) 횟수를 조사 하였다. 조사된 역세척 횟수로부터 역세척비를 산정 하였으며, 산정결과는 Table 2와 같다. Table 2의 역세척비는 1지부터 5지까지 임의로 휴지기를 포함한 데이터이며, 1회 휴지기간은 약 1일에서 3일 정도를 가지고 운영되고 있다. 운영 중인 여과지의 역세척비 확인 결과 1지의 역세척 비율이 가장 낮았으며, 4지와 5지의 역세척 비율이 가장 높은 것으로 나타났다. 역세척 횟수는 여러 운영조건의 영향을 받을 수 있지만 여과지로 유입되는 정수가 동일하다는 가정 하에 여과지로의 유입 유량에 비례하여 변화한다고 가정할 수 있다고 사료된다. 따라서 Table 2의

역세척 비율로부터 1지로의 정수 유입 유량이 가장 적고, 4지와 5지의 유입 유량이 가장 많을 것으로 가정하였다.

Table 2. Annual Average Backwashing Rate

Year	Filtration-basin Number				
	1	2	3	4	5
2017	17.74%	19.49%	19.05%	21.52%	22.21%
2018	16.96%	19.88%	19.60%	22.10%	21.41%

또한, H정수장의 여과지 유입거 내 수심을 측정한 결과 운영 중인 여과지 유입거 내 수심은 Table 3과 같이 $0.10 \pm 0.05 \text{ m}$ 의 수심이 측정 되었으며, 휴지기(Taken Off Line)인 4지의 경우 유입거의 수심이 여과지 분배수로 내 수위인 0.80 m 에 근접하여 상승해 있는 것으로 측정되었다. 현재 H정수장의 경우 2019년도 3월에 4지와 5지의 버터플라이 밸브 개도율을 100%에서 50% 조정하여 운영 중에 있다.

Table 3. Operating Condition

Index	Filtration-basin Number				
	1	2	3	4	5
Water Level at Inlet Chamber (m)	0.045	0.135	0.050	0.785	0.150
Valve Open Rate	100%	100%	100%	50%	50%
Remark	-	-	-	Taken off line	After backwashing

3.2 전산유체해석을 통한 균등분배 현황 검토

3.2.1 5지 운영의 경우

여과지 분배수로의 5개의 여과지 모두 운영하는 경우에 대하여 전산유체해석을 수행하였다. Fig. 4는 5개 여과지의 유입유량에 대한 유량 별 속도 분포 결과를 나타낸 것이다. 전산유체해석 결과 유입 유량에 따라 여과지별 분배율에 차이가 있는 것으로 나타났으며, 각 여과지에 유입되는 유량은 유입구에서 속도가 가장 빠른 1지에서 가장 적은 유량이 유입되고 나머지 지별 유입 유량 분배율은 약 1% 이내의 값을 보이는 것을 알 수 있다. Table 4는 해석을 통해 계산한 유량분배율과 Table 2에서 제시한 연평균 역세척비를 비교한 표로, 연평균 역세척비가 휴지기를 포함한 값이기 때문에 2-5지에서 약 2% 가량의 편차가 존재하지만 1지에서 연평균 역세척 비율이 가장 낮은 것으로 보아 유사한 경향을 확인할 수 있다. Fig. 5는 유량 별 각 지의 유량 분배율을 나타낸 것으로, $Q = 54,000 \text{ m}^3/\text{day}$ 의 경우에서 약 3.6%의 최대 편차가 발생하는 것으로 나타났으며, $Q = 42,000 \text{ m}^3/\text{day}$ 의

경우에서 약 3.1%의 최소 편차가 발생하는 것으로 나타났다. 해석 결과를 통해 유량이 증가할수록 여과지 분배 수로의 유량 불균등성이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 4. Velocity Contours of Channel

Table 4. Comparison of Average Distribution Rate (CFD) and Annual Average Backwashing Ratio

Index	Filtration-basin Number				
	1	2	3	4	5
Avg. Distribution Rate (%)	17.39	20.20	20.87	20.83	20.72
Annual Avg. Backwashing Ratio (%)	2017	17.74	19.49	19.05	21.52
	2018	16.96	19.88	19.60	22.10

Fig. 5. Flow Distribution Rate

3.2.2 1개지의 휴지의 경우

유량 불균등을 해결하기 위한 방법 중 여과지 분배수로의 구조적 변경 없이 1개지의 여과지를 휴지하는 방식을 해석적으로 검토하였다. 해석 결과 Fig. 6과 같이 여과지 5개지 중 1개지가 휴지기인 경우도 모든 여과지를 운영하는 경우와 같이 1지로의 유입 유량이 가장 적은 것으로 나타났다. 또한 여과지 5개지 중 1개지를 운영하지 않는 방식을 택한다면, 각각 평균 유량 분배율 대비 최대 0.8%, 1.1%, 1.2%, 1.2%, 1.0%의 편차를 가지므로 1지를 운영하지 않는 경우가 분배 수로의 구조 변경 없이 가장 분배가 잘 될 것으로 판단된다.

(a) Case of taken off line of filtration-basin no.1

(b) Case of taken off line of filtration-basin no.2

(c) Case of taken off line of filtration-basin no.3

(d) Case of taken off line of filtration-basin no.4

(e) Case of taken off line of filtration-basin no.5

Fig. 6. Flow Distribution Rate at Taken Off Line

4. 여과지 분배수로 균등 분배 검토

4.1 버터플라이 밸브 개도를 조정에 대한 검토

H정수장의 여과지별 유입유량은 버터플라이 밸브 개폐에 의해 조절되고 있으며, 이에 버터 플라이 밸브의 개도율에 따른 여과지 유입거의 수위 변화를 확인하기 위해 전산 유체해석을 수행하였다. 현재 여과지 4지와 5지의 경우 개도를 50%로 조정하여 운영 중에 있으며, Table 5의 Weisbach의 버터플라이 밸브 손실수두를 참조하여 손실수두를 계산하였을 때 Fig. 7과 같이 개도를 50%의 운용조건에서 약 0.09 m의 손실수두가 발생하는 것으로 나타났다. 여과지 유입관에 설치된 버터플라이 밸브의 개도 각도 변화에 따른 여과지 유입거의 수위 변화를 확인하기 위해 0도(개도를 100%), 15도, 30도(개도를 50%), 45도, 50도의 밸브 개도 각도에 대하여 전산유체해석을 수행하였다. 이때, 여과지 유입거의 수위는 버터플라이 밸브의 손실수두와 여과지 내 수위에 영향을 받기 때문에 여과지 내 수위 2.27 m (EL. (+) 144.27 m)와 2.67 m (EL. (+) 144.67 m)를 버터플라이 밸브의 손실 수두 등과 함께 고려하였으며, 해석 결과는 Fig. 8과 같다. 여과지내 수위 2.27 m에 대한 해석 결과, 개도 각도를 50도까지 증가시켜도 여과지 유입거의 수위가 황월류 위어의 높이에 도달하지 않는 것으로 예측되었으며, 이는 여과지 분배수로에 수위 변화에 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

Table 5. Loss Factor and a/A Value according to Butterfly Valve Opening Angle (Kim et al., 2009)

Open Angle (deg)	0	10	20	30	40	50	60	70
a/A	1.00	0.83	0.66	0.50	0.36	0.23	0.13	0.06
Loss Factor (K_L)	0.00	0.45	1.34	3.54	9.30	24.9	77.4	368

Fig. 7. Head Loss of Butterfly Valve

Fig. 8. Comparison of Simulation Results

Fig. 9는 버터플라이 밸브와 여과지 내 수위에 대한 전산유체해석 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 여과지 분배수로에서 각 여과지로의 분배에 영향을 주기 위해서는 황월류 위어의 높이까지 유입거 수위가 상승해야 한다. 그러나 Fig. 9와 같이 여과지내 수위가 EL. (+) 144.27 m 근처에서는 밸브 개도를 50도까지 변경하여도 여과지 분배수로에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났으며, 여과지내 수위가 EL. (+) 144.67 m인 경우 밸브 개도를 30도 이상을 유지해야 각 여과지로의 분배에 영향을 주는 것으로 나타났다.

Fig. 9. Water Level Change in the Inlet Chamber

현재 H정수장의 여과지 운영수위는 평균적으로 EL. (+) 144.40 m 미만으로 운영되고 있다. 만약, 버터플라이 밸브의 개도 각도 수정에 의한 방식으로 여과지 유입 유량을 조절하

기 위해서는 여과지 수위와 개도각도를 독립변수로 하는 다중회귀분석식이 필요하며, 24시간 여과지가 운영되고 실시간으로 여과지 내 수위가 변동하는 것을 고려할 때, 현실적으로 버터플라이 밸브의 개도각도 수정에 의한 방식으로 여과지 유입 유량을 조절하는 것은 쉽지 않을 것으로 사료된다.

4.2 횡월류 위어 높이 조정에 대한 검토

현재 횡월류 위어에 설치된 STS 플레이트의 높이는 0.20 m이며, 횡월류 위어로부터 ± 0.10 m의 높이 조절이 가능하다. 3절의 여과지 불균등을 해소하기 위하여 STS 플레이트 높이 조정 방식에 의한 여과지 유입유량 변화를 전산유체해석을 통해 검토하였다. STS 플레이트의 높이 조절은 Table 6과 같이 5가지 경우에 대하여 수행 하였으며, STS 플레이트 높이는 0.5 cm 단위로 조절 된다고 가정하였다. 이때, 여과지 유입유량은 설계유량($Q = 60,000 \text{ m}^3/\text{day}$)을 기준으로 해석을 수행하였다. STS 플레이트 높이 조절에 대한 전산유체해석 결과, Fig. 10과 같이 5가지 해석 케이스들 중 Case E가 평균 분배율인 20.0%에 대해서 $\pm 1.5\%$ 이내를 만족하는 것을 확인할 수 있으며 Case E에서 가장 균등한 분배를 유도할 수 있을 것이라고 판단된다.

앞서 3절에서 유입유량 별로 여과지로의 유량분배율이 달라지는 것을 확인하였다. Case E의 경우로 위어 높이를 조정하였을 때, 설계 유량뿐만 아니라 다양한 유량 조건에서도 유량 균등분배를 달성해야 한다. 이에 정수장 시설 용량의 70%에 해당하는 유량($Q = 42,000 \text{ m}^3/\text{day}$) 조건일 때, 여과지 유입유량 균등분배에 대한 추가 검토를 수행하였다. Case E는 Table 6에서 확인할 수 있듯이 1지, 2지에서 각각 2 cm, 1 cm의 높이를 감소시켰고, 3지는 기존 구조물과 동일하며 4지와 5지에서 각각 0.5 cm, 1 cm를 증가시킨 경우로 유량 균등분배 해석 결과 유입유량이 70%로 감소해도 Table 7과 같이 유량 균등분배 효율이 향상하는 것을 알 수 있었다. 또한, 기존 여과지 분배수로의 분배율 표준편차는 1.29인 값의 비해 Case E의 표준편차는 약 0.55로 STS 플레이트의 높이를 Case E와 같이 변경 하였을 때 유량 균등분배 효율이 향상되는 것을 확인하였다.

Table 6. CFD Model by Varying the Height of STS Plate

Case	Revision of STS Plate Height (cm)				
	1	2	3	4	5
Current	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Case A	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Case B	-1.0	0.0	0.0	0.0	+1.0
Case C	-1.0	-1.0	+1.0	+1.0	+1.0
Case D	-1.5	-1.0	+5.0	+1.0	+1.0
Case E	-2.0	-1.0	0.0	+0.5	+1.0

Fig. 10. Flow Distribution Rate by Varying the Height of the STS Plate under the Condition of $Q = 60,000 \text{ m}^3/\text{day}$

Table 7. Flow Distribution Rate under the Condition of $Q = 42,000 \text{ m}^3/\text{day}$

Case	Flow distribution rate (%)				
	1	2	3	4	5
Case E	19.30	19.58	20.12	20.36	20.64
	STDEV				
	0.55				

5. 결 론

본 연구에서는 현재 운영하고 있는 H정수장 여과지 분배 수로에 대한 균등분배 검토 및 최적 유도 방안을 검토하기 위하여 기본 및 실시설계 도면으로부터 작성된 BIM 모델을 기반으로 전산유체해석을 수행하였으며, 검토 결과는 아래와 같다.

- (1) H정수장 여과지 분배수로의 유량 분배에 대하여 여과지 역세척 자료를 통하여 간접적으로 이를 비교 및 검토 하였으며, 검토 결과 1지에서 최소의 유량이 유입되고 4지 및 5지에서 최대의 유량이 유입되는 것으로 예측되었다.
- (2) 여과지 5개지 운영에 대한 전산유체해석 결과 역세척비와 같이 1지로의 유입이 가장 크며, 여과지 5개지 중 1개지의 휴지가 필요한 경우 1지를 운영하지 않는 경우가 최대 0.8% 유량 편차로 분배 수로의 구조 변경 없이 가장 분배가 잘되는 것으로 나타났다.
- (3) 여과지 유량 균등분배를 위해 버터플라이 밸브의 개도율을 변경하여 유량 조절 방안에 대하여 전산유체해석을 수행 하였으며, 해석 결과 분배수로의 균등 분배를 유도하기 위하여 실시간으로 여과지내 수위 변동을 고려하여 밸브 개도율을 변경해야 하므로 24시간 운영하는 정수장 운영 특성상 적합 하지 않은 것으로 사료된다.
- (4) STS 플레이트의 높이를 변경하는 방안에 대하여 전산 유체해석을 수행하였으며, 1지와 2지의 STS 플레이트의 높이를 낮추고, 4지와 5지의 플레이트의 높이를

높이는 Case E의 경우가 다른 경우와 비교하였을 때 보다 균등 분배를 유도할 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 동일 유량 하에 1지를 운영 하지 않는 경우 표준편차는 0.82로, 해당 정수장의 경우 Case E와 같이 STS 플레이트의 높이를 조정하는 것이 유량 균등분배 효율 향상에 더 적합한 방안으로 판단된다.

References

- Autodesk (2009). *User's guide*. Autodesk, Inc.
- Chao, J.L., and Trussel, R.R. (1980). Hydraulic design of flow distribution channels. *Journal of the Environmental Engineering Division*, Vol. 106, No. 2, pp. 321-334.
- Dutta, S., Catano, Y., Liu, X., and Garcia, M.H. (2010). Computational fluid dynamics (CFD) modeling of flow into the aerated grit chamber of the MWRD's north side water reclamation plant, Illinois. *Proceedings of the World Environmental and Water Resources Congress*, Providence, RI, USA, pp. 1239-1249.
- Hudson, H.E. (1981). *Water clarification processes: practical design and evaluation*. New York, NY, USA: Van Nostrand Reinhold.
- Knatz, C., Rafferty, S., and Delescinskis, A. (2015). Optimization of water treatment plant flow distribution with CFD modeling of an influent channel. *Water Quality Research Journal*, Vol. 50, No. 1, pp. 72-82.
- Kim, S.S., Park, N.S., Jeong, W.C., and Wang, C.K. (2012). Examining the equality of multi-outlet flow rates within a dual open channel. *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*, Vol. 26, No. 3, pp. 423-430.
- Kim, S.H., Yang, S.G., Kim, D.H., and Woo, H.M. (2009). *The piping network analysis and diagnostic using GIS and EPANET to raising the water revenue*. Seoul: HongReung Publishing Company.
- KS B 2333. (2016). *Butterfly valves*. Korean Agency for Technology and Standards.
- Park, N.S., Beak, H.K., Kim, J.H., Min, J.H., and Shin, H.S. (2004). Examining three-dimensional flow characteristics in the distribution channel to the flocculation basin using CFD. *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*, Vol. 18, No. 4, pp. 500-507.
- Park, N.S., Kim, S.S., Park, J.Y., Yoon, C.H., and Kim, C.H. (2007). The remodelling of hydraulic structure in a distribution channel for improving the equality of the flow distribution (I): Design using CFD simulation. *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*, Vol. 21, No. 5, pp. 571-579.
- Ramamurthy, A., Tim, U., and Rao, M. (1987). Weir-orifice units for uniform flow distribution. *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 113, No. 1, pp. 155-166.

Received	July 13, 2020
Revised	July 13, 2020
Accepted	August 31, 2020