ISSN (Print) 1225-7672
ISSN (Online) 2287-822X
Journal of Korean Society of Water and Wastewater Vol. 28, No. 2, pp. 225-233, April, 2014
http://dx.doi.org/10.11001/jksww.2014.28.2.225

A CFD-based simulation study of a serpentine flocculation basin for potable water treatment

CFD를 이용한 우류식 응집지 수리해석에 관한 연구

Seong-Su Kim[1] · Jong-Woong Choi[1] · No-Suk Park[2*] · Kwan-Yeop Kim[3]

김성수[1] · 최종웅[1] · 박노석[2*] · 김관엽[3]

[1]K-water · [2]Department of Civil Engineering and Engineering Research Institute, Gyeongsang National University · [3]POSCO E&C

[1]한국수자원공사 K-water연구원 · [2]경상대학교 토목공학과 및 공학연구원 · [3]포스코건설

Abstract : This paper presents a Computational Fluid Dynamics(CFD) based simulation and experimental tracer test of flow pattern and turbulent energy dissipation inside a serpentine flocculation basin with continuous operation. Research focused on the evaluation of a specific flow pattern on the hydraulic behavior on the flocculation basin. From the results of CFD simulation and actual tracer test, both results were in good accordance with each other. Also, each Morill index were calculated as 1.5 from CFD simulation and 1.7 from actual tracer test, respectively. Especially, turbulence energy was dissipated relatively higher in the vicinity of inlet to the flocculation basin than other region. The differences between the CFD simulation and actual tracer test were 1.4 min in T_{50}, and 1.3 min in T_p, respectively.

Key words : Computational Fluid Dynamics(CFD), Serpentine flocculation basin, Turbulence energy dissipation, Morill index
주제어 : 전산유체역학, 우류식 응집지, 난류에너지 소산율, 모릴지수(Morill index)

1. 서 론

현대 정수처리 기술에서 응집은 매우 중요한 처리공정 중 하나이다. 특히 입자의 제거 및 탁도 기준이 지속적으로 강화되는 최근에는 응집공정에 대한 이해와 이를 근거로 한 최적 설계는 그 중요성이 더욱더 강조되고 있다(Bratby, 2006). 응집공정을 이해하는데 어려운 점은 물리적인 요소와 전기화학적인 요소가 복합적으로 영향을 미치고 있기 때문이다. 물리적인 요소라 함은 수체 내에 존재하는 입자들 간의 충돌기회를 충분히 부여할 수 있는 적절한 속도 구배를 의미하며, 전기화학적인 요소는 충돌 기회를 부여받은 입자들의 표면이 전기적으로 중화되어 Van der Waals힘에 의한 상호간의 끌어당기는 힘(attraction force)의 발생을 의미한다. 이 두 가지 요소 모두 수체내의 입자를 궁극적으로 침전지에서 제거하기 위한 충분한 플럭 크기와 밀도를 유도하는데 중요하다.

일반적으로 정수처리 공정에서는 기계식 응집공정이 주로 이용된다. 응집지는 통상 2단(compartment) 내지 3단으로 구성되고 각단은 수위차를 주기 위해 정류벽으로 구분되며, 각 단은 응집기라고 불리는 회전체가 회전하면서 물리적으로 유입된 입자가 서로 충돌할 수 있는 난류강도와 에너지를 부여한다. 응집기에서 수체로 전달된 에너지는 응집지내 균등하게 분배되지 않는다(Bratby, 2006). 그러나 지내에서 에너지의 소산 및 응집지 내 난류의 분포, 국부적인 사류의 형성

• Received 08 April 2013, revised 10 April 2014, accepted 11 April 2014.
* Corresponding author: Tel : 055-772-1798 Fax : 055-772-1799 E-mail : nspark@gnu.ac.kr

에 관한 자세한 정보를 추출하기는 쉬운 일이 아니며, 1980년 대 컴퓨터와 수치해석 기법이 접목된 CFD(Computational Fluid Dynamics; 전산유체역학) 기술이 수처리 공정해석에 활용되면서 가능하여졌다(Koh et al., 1983; Koh et al., 1987; Heath and Koh, 2003). Koh 등 (1987)의 연구에서 관심 대상은 입자 거동 및 크기 성장 과정, 입자 농도의 변화 등에 중점을 두었는데 반해, Samaras 등(2010)은 실제 응집 메커니즘을 대상으로 CFD 모사를 수행하는데 컴퓨터의 용량 제한 및 비용 문제가 큰 걸림돌이 됨을 언급하였다(Samaras et al., 2010). Samaras 등(2010)은 실규모의 기계식 응집 공정을 대상으로 지 내 난류에너지의 소산을 큰 규모(large scale)의 관점에서 해석하였다. 그들의 연구에서 플록의 크기 분포에 비해 큰 규모에서 응집지의 수리구조 및 흐름 거동의 분석이 훨씬 중요함을 강조하였다. 또한 그들은 응집공정에서 야기되는 각 입자별 물리적 거동(충돌 및 파괴)을 모사하기 위해서는 대용량의 컴퓨터와 이를 운전하데 소요되는 비용이 엄청나며, 모사한 결과의 유용성도 크지 않음을 강조하였으며, 응집공정 경계조건 내 전체적인 흐름 양상을 분석하는 것이 보다 경제적이며, 유용한 정보를 획득할 수 있음을 제안하였다.

본 연구에서 수리해석의 대상으로 G_정수장의 우류식 응집공정을 선정하였다. 일반적으로 우류식 응집공정은 정수처리공정에 도입된 사례가 많지 않다. 우류식 응집공정에는 상하 유류식과 수평 우류식이 있는데, 실제 우류식 공정의 단점으로 수량이나 수질의 변동이 심한 경우에 이를 대처할 융통성이 없기 때문이다. 그러나 일반적으로 우류식 응집공정을 효율적으로 운전하기 위해서는 큰 수두손실이 필요하나, 부가적인 기계를 사용하지 않으므로 유지 관리면에서 대단히 용이하다(상수도 시설기준, 2010). 우류식 응집공정에서 소모되는 동력은 다음 식(1)로 표시한다.

$$P = \frac{\omega Q h_f}{al} = \frac{\omega v h_f}{l} \qquad \text{식(1)}$$

여기서, P는 단위체적당 동력(N.m/s.m^3), ω는 물의 단위 중량(1000N/m^3), Q는 단위시간당 유입량(m^3/s), h_f는 응집지에서 총수두손실(m), a는 우류수로의 단면적(m^2), l은 우류수로의 총연장(m), v는 지내유속(m/s)을 나타낸다.

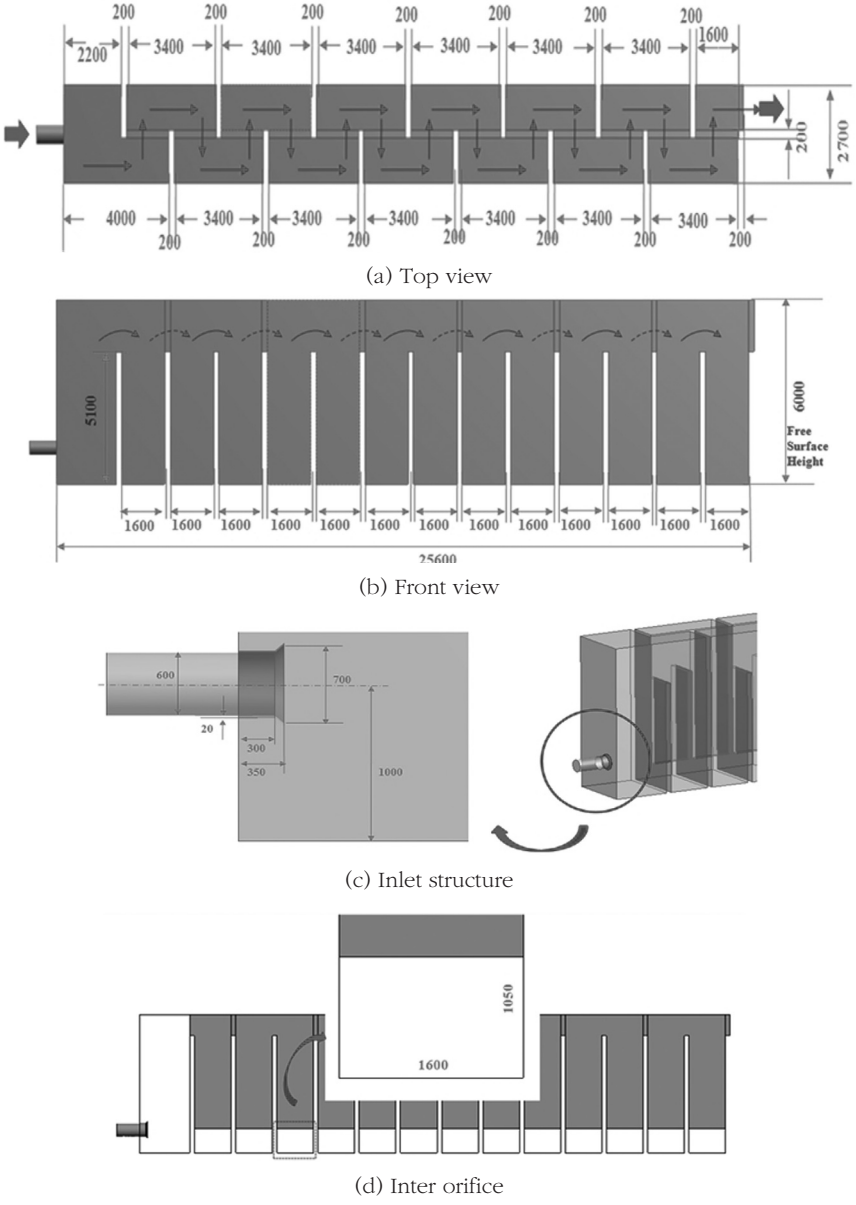
식(1)의 동력 값은 해당 응집지의 평균속도구배, G값을 구하는 데 사용한다. 그런데 우류식 응집지는 우류수로의 단면적(a)이 위치별로 일정하지 않으며, 이에 따라 지내 유속(v)도 지점별로 위치별로 변한다. 이는 우류식 응집지가 완벽한 plug flow임을 가정하고 적정 설계 속도구배를 편의상 구하기 위함이다.

본 연구에서는 현재 운전 중인 G_정수장의 상하우류식 응집지를 대상으로 CFD를 이용, transient 해석을 수행하고, 이를 검증하기 위하여 추적자 실험을 수행하였다. CFD모사 결과와 추적자 실험결과로부터 지점별 흐름 양상, 난류에너지의 소산 양상 및 와류의 분포, 수리특성인자를 구함으로써 대상 응집공정의 수리 특성을 평가하고자 하였다.

2. 대상 우류식 응집공정

Fig. 1은 본 연구이 대상인 G_정수장에서 운영 중인 상하 우류식 응집지를 도시한 것이다. 응집지 전체의 길이는 가로 25.6 m, 세로 2.7 m, 그리고 바닥에서 수면까지의 높이 6m이다. 그리고 격벽이 좌우 각각 13개씩 응집지 내부에 설치되어 있으며, 7개는 유로를 차단하기 위하여 높이 방향 6 m 크기이며, 6개는 유로의 물넘이부로 활용하기 위하여 5.1 m 높이로 시공되었다. 각각의 격벽은 0.2 m의 두께를 갖는다. 격벽의 설치 간격은 왼쪽으로부터 2.2 m로 시작하여, 3.3 m 등간격으로 그리고 마지막 오른쪽 격벽은 벽으로부터 1.6 m 간격으로 설치되어 있다. 13개의 격벽은 1.6 m로 동일한 간격의 위치

ISSN (Print) 1225-7672
ISSN (Online) 2287-822X
Journal of Korean Society of Water and Wastewater Vol. 28, No. 2, pp. 225-233, April, 2014



(a) Top view

(b) Front view

(c) Inlet structure

(d) Inter orifice

Fig. 1. The geometry of the target serpentine type flocculation basin (dimension : mm).

를 가지고 있다. (c)는 응집지로 유입되는 파이프의 형상을 나타내며, 직경 0.7 m를 갖는 파이프 출구를 통하여 응집지로 유입된다. 응집지 입구 파이프는 응집지 바닥으로부터 1 m 떨어진 곳에 위치한다. (d)는 응집지 길이방향의 도류벽 바닥부에 설치된 오리피스를 나타낸 것이다. 가로 1.6 m, 세로 1.05 m의 크기를 가비며, (a)와 같이 화살표 방향으로 유로가 형성된다. 추적자 실험 당시의 운전유량은 36,000 m^3/day 이었다. 이 경우 이론적 체류시간(τ)는 16.6분으로 계산된다. 통상 상수도시설기준에서는 응집공정의 체류시간은 20 ~ 40분 정도로 권장하고 있는데 이 기준에 비해 조금 짧은 것으로 판단된다.

3. 연구방법

3.1 CFD 모사 방법

본 연구의 응집지 유동해석을 모사하기 위하여 정상상태 계산과 추적자 수치모사를 위하여 시간변화에 따른 해석인 비정상상태 계산을 수행하였다. Fig.2는 본 수치 모사에 사용된 격자 분포를 나타내고 있다. 응집지의 출구의 영역에서 역류가 발생할 것으로 판단되어 역류가 발생하지 않을 만큼 확장하여 수치모의에 적용하였다.

사용된 격자 수는 총 578,000 노드(1,978,000 element)가 사용되었으며 격자형태는 tetra이며, 벽면에서 발달하는 유동장의 해상을 위하여 벽면근처에서 prism 격자를 생성하였다. 사용된 격자의 정보를 table 1에 나타내었다. 정상상태 계산에서의 입구 경계조건은 하루 운전유량인 36,000 m^3/day에 해당되는 체적 유량을 적용하였으며, 출구에서는 대기압 압력 조건을 적용하였다. 벽면 조건으로는 no-slip wall condition을 적용하였으며, 자유표면에 해당하는 수리 구조 형상의 상부에는 free slip wall condition을 적용하였다. 작동유체로서 25 ℃에 해당하는 밀도와 점성을 가지는 물을 사용하였다. 난류모델은 y^+의 값이 11.06 이하로 떨어지는 것을 허용하지 않게 하여 모든 격자점이 점성 경계층 밖에 존재하도록 제한하는 scalable 벽법칙을 사용하는 standard k-ε 난류 모델을 적용하였다.

Table 1. Mesh information of the flocculation basin

Item	Flocculation basin	Extended outlet	Total
Mesh type	Tetra, Prism	Tetra, Prism	-
Number of nodes	571,000	7,000	578,000
Number of Elements	1,956,000	22,000	1,978,000

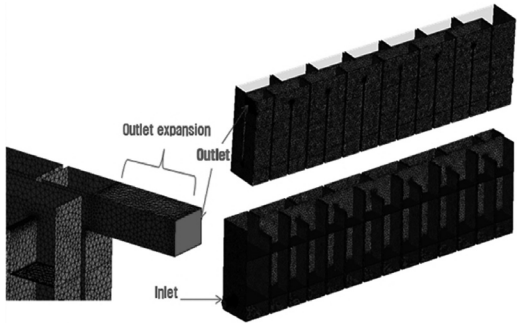


Fig. 2. Mesh distribution of the flocculation basin.

시간 변화에 따른 추적자 수치모사를 위한 경계조건은 정상상태 수치모사와 동일하게 입구, 출구 벽면에 대한 경계조건을 적용하였으며, 추적자에 대한 물성치는 물와 동일한 특성을 같은 물질로 가정하여 Fig. 2와 같이 입구에서 시간변화에 따라 유입되도록 하였다. 그리고 응집지 입구에서 유입된 추적자가 출구로 모두 유출될 때까지 수치모의를 수행하였다.

3.2 추적자 실험

추적자 실험을 수행하기 위하여 적절한 추적자를 선정해야 하는데, 추적자는 실험하는 동안 물속에 있는 다른 물질과 반응을 하지 않는 비반응성 물질, 즉 보존성 물질이어야 한다. 일반적으로 추적자는 불소(fluoride, F), Rhodamine WT, 리튬(lithium, Li), 나트륨(sodium, Na), 염소(chloride, Cl), 그리고 칼슘(calcium, Ca) 등이 사용된다(Teefy, 1996).

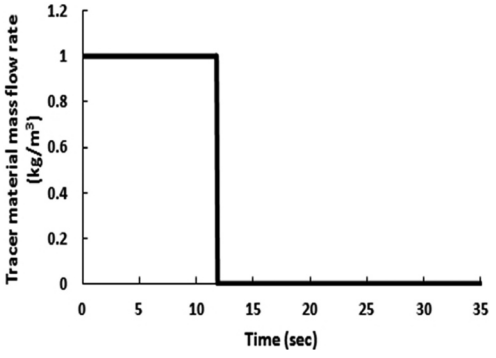


Fig. 2. Tracer material mass flow rate at the inlet boundary for the transient analysis.

ISSN (Print) 1225-7672
ISSN (Online) 2287-822X
Journal of Korean Society of Water and Wastewater Vol. 28, No. 2, pp. 225-233, April, 2014

본 연구에서는 분석의 용이성 및 수질 안정성의 이유로 불소를 추적자로 이용하여 실험을 수행하였다. 실험은 Fig. 1(c)에 나타난 유입관로 불소 원액(NaF, 함량 25 %) 1 L를 침전지 유입관로 pulse input 방법으로 투입한 후, 5분 간격으로 시간 간격으로 유출부에서 불소농도를 측정하였다(Kawamura, 2000; Hudson, 1981). 불소농도는 DR2010 (Hach, USA)을 이용하여 발색법으로 측정하였으며, 시료채취 간격과 실험시간을 수리학적 체류시간의 0.1배 및 2배 정도로 각각 선정하였다.

추적자 실험 수행 동안 응집지 이론적 체류시간(T)은 16.6 분이었다.

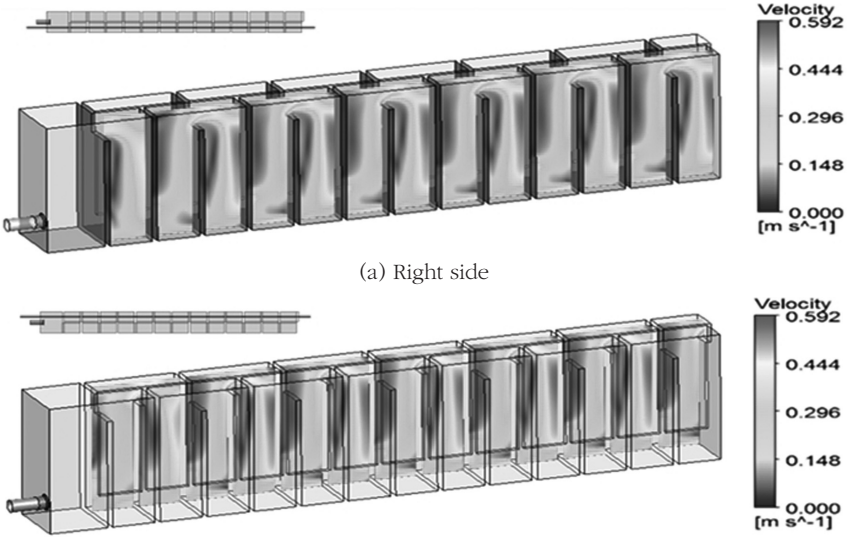
4. 결과 및 토의

4.1 CFD 모사 결과

다음 Fig. 3은 현재 운전 중인 G_정수장의 상하우류식 응집지를 대상으로 CFD모사한 결과를 속도장으로 도시한 그림이다. Fig. 3에서 상단부는 유입부를 중심으로 흐름방향으로 우측 단면을, 하단부는 좌측 단면을 도시한 것인데, 응집지의 구조가 대칭을 이루고 있어 흐름 양상 또한 대칭적으로 모사된 것을 알 수 있다. 각각의 유동장에서 격벽 후단에 진한 파란색으로 도시된 부분은 유속이 낮은 사류 지역을 나타내고 있다. 이는 연직방향 격벽을 설치하는 경우 일반적으로 나타나는 현상이며 이러한 부분은 실제 유효용량(effective volume)에서 제외되므로 이를 저감할 수 있는 방안의 연구가 필요한 실정이다. 이에 Park et al.,(2010)은 격벽 하단부에 정류공을 설치하여 사류지역을 저감시킬 수 있는 방안을 제시하기도 하였다(Park et al., 2010).

Fig. 3에서 제시된 CFD결과를 이용하여 각 지점별 난류 소산율을 계산하여 다음 Fig. 4에 도시하였다. 본 고에서 난류 소산율을 언급하는 이유는 대상이 된 우류식 응집지의 경우 응집지 전단과 침전공정 후단의 수위차에 의해 흐름이 발생됨에 따라 응집지 내 지점별 에너지의 소산이 일어남을 살펴보고, 에너지의 소산이 가장 많이 발생하는 지점에서 교반강도가 가장 크게 나타남을 유추할 수 있기 때문이다. 난류 소산율은 식(2)와 같이 정의된다.

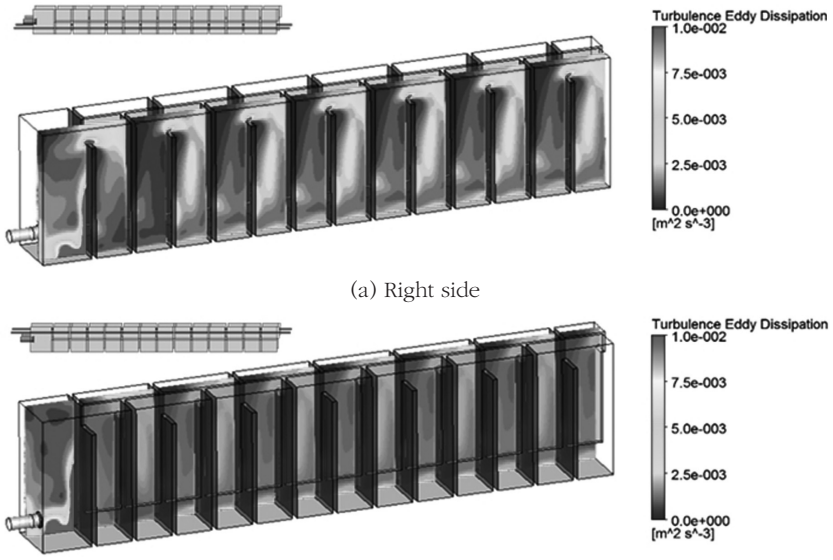
$$\varepsilon = \frac{\rho C_{\mu} k^2}{\mu_t} \qquad \text{식(2)}$$



(a) Right side

(b) Left side

Fig. 3. Velocity distribution of the flocculation basin.



(a) Right side

(b) Left side

Fig. 4. Turbulence eddy dissipation of the flocculation basin.

여기서 ρ는 밀도(kg/m^3), C_μ는 무차원화된 상수(=0.09), k는 난류운동에너지(m^2/s^2), μ_t는 난류 점성(kg/m · s)을 나타낸다. 식 (2)에서 상수 값으로 0.09를 대입하게 된 것은 기존 문헌에서 개수로의 경우 난류 에너지 소산율 계산 시 제시된 값을 인용한 것이다(ANSYS, 2009).

Fig. 4를 살펴보면 응집지 유입부와 첫 번째 격벽 부근에서 약 0.01 m^2/s^3 정도의 높은 난류 에너지 소산율이 관측되었으며, 이후 물이 격벽을 통과하면서의 소산율은 0.0025 m^2/s^3 이하로 안정화되는 것을 알 수 있다. 즉, 일정 수두를 가진 물이 응집지에 유입되면서 통수 단면의 확대에 의한 에너지의 소산이 가장 크게 나타나는 것으로 생각할 수 있다. 정수처리에서 기계식 응집지의 경우 응집지를 2단 또는 3단으로 구성하여 교반강도를 75에서부터 10 s^{-1}까지 점감(tapering)하면서 플록을 성장시키는 것을 제안하고 있다. 그러나 우류식 응집지의 경우는 격벽의 간격을 조정하지 않고서는 이와 같은 교반강도의 점감 효과를 얻을 수 없지만 본 연구의 대상이 되는 우류식 응집지의 경우 난류에너지 소산율을 검토한 결과 어느 정도의 교반 강도 점감 효과를 유입부의 수리구조로부터 얻을 수 있는 것으로 판단된다.

앞서 Fig. 3에서 언급한 바와 같이 대상 응집지내 각 격벽 후단에 유속이 낮은 사류 지역이 관측됨을 언급하였다. 그런데, 본 응집지의 경우 중간 도류벽을 중심으로 물이 좌측과 우측을 교대로 흘러감에 따라 좌측과 우측을 연결시키는 오리피스를 통과하는 동안의 사류발생이 수두 저감에 큰 원인이 될 수 있음을 생각하였다. 이에 Fig. 5에서는 물이 도류벽에 설치된 각 오리피스를 통과하는 동안의 흐름 양상을 속도 분포로 도시하였다. 각각의 오리피스 통과시 와류가 형성되고 있으며, 발생양상은 좌측과 우측이 대칭적으로 나타남을 알 수 있었다. 본 연구에서 대상 유류식 응집지의 이론적 체류시간(τ)은 16.6분으로 계산되었으며, 이는 상수도시설기준에서 권장하고 있는 응집공정의 체류시간은 20 ~ 40분에 비해 조금 짧은 것으로 나타났다.

다음 Fig. 6과 Table 2에서는 시간 변화에 따른 추적자 실험을 CFD기법으로 수치모사를 수행한 결과를 정리한 것이다. 통상 염소접촉조(정수지 및 배수지)에서는 보수적인 설계를 위해서

ISSN (Print) 1225-7672
ISSN (Online) 2287-822X
Journal of Korean Society of Water and Wastewater Vol. 28, No. 2, pp. 225-233, April, 2014

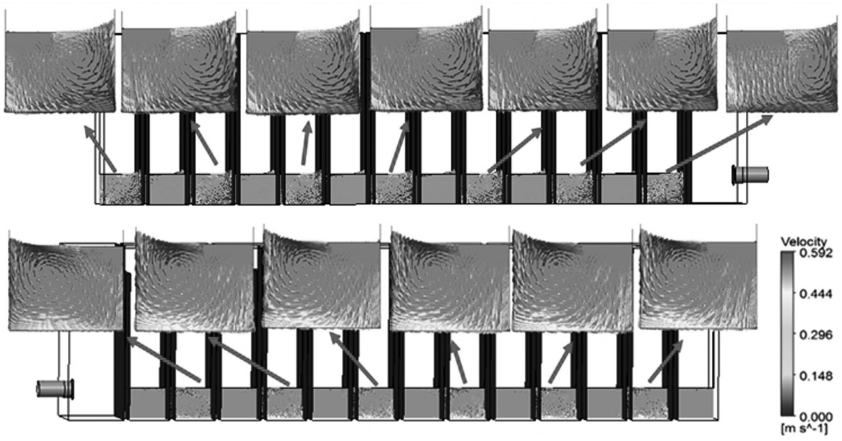


Fig. 5. Velocity vector distribution at the inner orifice of the flocculation basin.

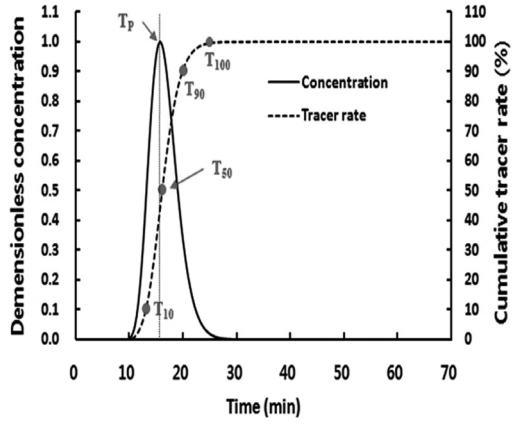


Fig. 6. Tracer simulation result of the flocculation basin by CFD.

이론적 체류시간과의 비교 실험값으로 T_{10}값(추적자 10 %가 유출되는 시간)을 사용하지만, 응집공정에서는 추적자 실험결과로부터 계산되는 T_{10}, T_{50}(추적자의 50 %가 유출되는 시간), T_{90}(추적자의 90 %가 유출되는 시간), T_{100}(추적자의 100 %가 유출되는 시간), T_p(추적자 농도의 peak치가 나타나는 시간) 값 중 하나의 비교 대상을 선정하기가 어렵다. 본 연구에서는 추적자 실험 모사 결과(Fig. 6)로부터 얻은 C-curve의 형태를 고려할 때 연구 대상으로 선정한 우류식 응집지의 흐름 양상이 plug-flow의 특징을 나타냄에 따라 T_{50}와 T_p와의 비교가 적절한 것으로 판단하였다.

이에 대상 우류식 응집지의 이론적 체류시간(τ)은 16.6분, CFD를 이용한 추적자 실험 모사 결과 도출된 T_{10}값과 T_p값은 각각 16.12(오차률 2.89 %)분과 15.67분(오차률 5.81 %)으로 도출되어 모사한 CFD의 결과가 실제 응집지의 흐름 거동을 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다. 이는 실제 응집지를 대상으로 수행한 추적자 실험 결과의 비교를 통해 검증을 수행하였다.

4.2 추적자 실험을 통한 검증

다음 Fig. 7과 Table. 3은 앞서 수행된 CFD를 이용한 추적자 실험 모사결과를 검증하기 위해 G_정수장 우류식 응집지를 대상으로 2012년 7월 10일과 2012년 7월 11일 이틀 간 수행한 실제 추적자 실험결과를 정리한 결과이다. 당시 추적자 실험을 한 결과 추적자 회수율은 82.5 %로 계산되어 본 추적자 실험이 의미가 있음을 알 수 있었다. Fig. 7과 같이 시간에 따른 유출부에서의 추적자(불소) 농도를 무차원의 농도곡선으로 도시한 경우 CFD모사 결과에 비해 각각의 체류시간이 0.2에서부터 4.7 min정도 지연되어 나타나는 현상을 보이고 있다. 이와 같은 현상은 CFD 전처리 작업에서 실제 응집지 구조물을 단순화하는 작업에 기인할 수 있으며, 특히 실제 응집지 벽면의 거칠기가 정확하게 반영시키

기 어려기 때문이라 판단된다. 그러나 운전유량 36,000 m^3/day, 전장 25.6 m가 되는 유류식 개수로 수리구조물의 해석에 있어서 최고 농도 발현 시간(T_p)의 지연이 1.3 min밖에 되지 않아 모사가 실제 현상을 잘 반영한 것으로 판단된다. CFD 결과 및 실제 실험결과의 C-curve를 기준으로 Morill index(1에 가까울수록 plug flow를 나타냄) 및 Modal index(1에 가까울수록 plug flow, 전체흐름에 대한 plug flow 분율)를 계산한 결과, Morill index의 경우에는 각각 1.49와 1.7로 계산되어지며, Modal index는 0.95와 1.02로 나타났다.

$$\text{Morill index} = \frac{T_{90}}{T_{10}} \qquad \text{식(3)}$$

$$\text{Modal index} = \frac{T_p}{\tau} \qquad \text{식(4)}$$

여기서, τ는 이론적 체류시간을 의미한다.

두 index가 거의 차이가 없으므로 실제 응집지 내 흐름 거동을 CFD 모사로 재현성 있게 구현한 것으로 사료된다. 이에 앞서 CFD모사 결과로부터 언급된 지점별 흐름 양상, 난류 에너지의 소산 및 와류의 분포, 각 체류시간별 정량화 수치 해석은 유의한 의미를 가진다고 할 수 있으며, 본 연구 대상이 된 G_정수장 우류식 응집지의 경우 plug flow가 지배하는 이상적 응집조건을 가지고 있음을 알 수 있다.

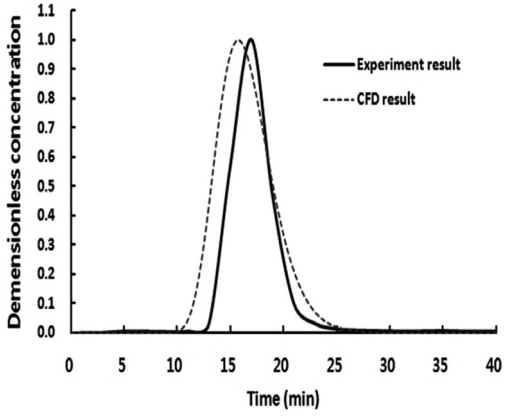


Fig. 7. Comparison between CFD simulation andTracer test.

Table 2. The results of CFD simulation and tracer test

Index	CFD simulation	Tracer test
T_{10}(min)	13.3	13.5
T_{50}(min)	16.1	17.5
T_{90}(min)	19.8	22.9
T_{100}(min)	24.8	29.5
T_p(min)	15.7	17.0
T_{10}/τ	0.80	0.81
Morill Index (T_{90}/T_{10})	1.49	1.70
Modal Index (T_p/τ)	0.95	1.02

τ : 이론적 체류시간
$T_{10,50,90,100}$: 누적 유출량이 전체 추적자량의 10, 50, 90, 100 %가 될 때의 시간
T_p : 유출 추적자의 농도가 최대일 때의 시간(mode 값)

5. 결 론

본 연구에서는 현재 운전 중인 G_정수장의 상하우류식 응집지를 대상으로 CFD를 이용, transient 해석을 수행하고, 이를 검증하기 위하여 추적자 실험을 수행하였다. CFD모사 결과와 추적자 실험결과로부터 지점별 흐름 양상, 난류에너지의 소산 양상 및 발 지점별 발생 와류의 분포, 특성 체류시간을 구함으로써 대상 응집공정의 수리 특성을 평가하고자 하였다. 이에 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 연구 대상 응집지의 구조가 대칭을 이루고 있어 흐름이 대칭적으로 나타났으며 각각의 유동장에서 격벽 후단에 진한 파란색으로 도시된 부분은 유속이 낮은 사류 지역이 관측되었다. 또한 난류 소산율을 계산한 결과 응집지 유입부와 첫 번째 격벽 부근에서 약 0.01 m^2/s^3 정도의 높은 난류에너지 소산율이 관측되었으며, 이후 물이 격벽을 통과하면서의 소산율은 0.0025 m^2/s^3 이하로 안정화되는 것을 알 수 있다.
2) 본 연구에서는 연구 대상으로 선정한 우류식 응집지의 흐름 양상이 plug-flow의 특징을 나타냄에 따라 T_{50}와 T_p와의 비교가 적절한 것으로 판단하였다. 대상 우류식 응집지의 이론적 체류시간(τ)은 16.6분, CFD를 이용한 추적자 실험 모사 결

과 도출된 T_{10}값과 T_p값은 각각 16.12(오차률 2.89 %)분과 15.67분(오차률 5.81 %)으로 도출되어 모사한 CFD의 결과가 실제 응집지의 흐름거동을 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다.

3) CFD 모사 결과와 추적자 실험결과 비교시 최고농도 발현 시간(T_p)의 지연이 1.3 min 밖에 되지 않아 모사가 실제 응집지내 흐름거동을 잘 모사한 것으로 판단되며, 특히 C-curve를 기준으로 Morill index를 계산한 결과 각각 1.5와 1.7이, Modal index는 0.95와 1.02로 도출되어 거의 차이가 없는 것으로 나타났으며 본 연구 대상이 된 G_정수장 우류식 응집지의 경우 plug flow가 지배하는 이상적 응집조건을 가지고 있음을 알 수 있었다.

사 사

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호 : 10기술혁신 C01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

K. Samaras, A. Zouboulis, T. Karapantsios, M. Kotsoglou, (2010) "A CFD-Based simulation study of a large scale flocculation tank for potable water treatment" *Chemical Engineering Journal*, Vol.162 pp.208-216

J. Bratby, (2006) "Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment" IWA Publishing, London.

P.T.L. Koh, J.R.G Andrew, P.H.T. Uhlherr, (1983) "Flocculation in stirred tanks", *Chemical Engineering Science*, Vol. 39, pp.975-985.

P.T.L. Koh, J.R.G Andrew, P.H.T. Uhlherr, (1987) "Modeling shear-flocculation by population balances" Chemical Engineering Science, Vol. 42, pp.353-362.

A.R. Heath, P.T.L. Koh,(2003) "Combined population balance and CFD Modeling of particle aggregation by polymeric flocculant" in Proceedings of the 3rd International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries, CSIRO, Melbourne, Austrailia.

Korea Water and Wastewater Works Association (2010), "Water Supply Infrastructure Standards(in Korean)"

ANSYS (2004) CFX-Solver, Release 10.0: Theory and Modeling, Electronic Manual, SAS IP.

Teefy, S.M., and Singer, P.C. (1990) "Performance and Analysis of Tracer Tests to Determine Compliance of a Disinfection Scheme with the SWTR", *Journal of AWWA*, Vol.82, No.12, pp.88-98.

ANSYS (2009) CFX-Solver, Release 12.0: Theory and Modeling, UK

Kawamura, S. (2000) Integrated Design of Water Treatment Facilities, 5th ed., John Wiley&Sons, New York

Hudson, H. E. Jr (1981) Water clarification Process, Practical Design, and Evaluation, Van Nostrand Reinhold, New York.

H.O. Park, N.S. Park, M.H. Cha, S.D. Kim, C.H. Won (2010) "Study on Methodology for Reducing Dead Zone Flow within Chlorine Contactor Instlling Porous Baffles", *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, Vol. 25, No. 5, pp.519-525.