

이층 침전지 설계를 위한 CFD모형의 적용

Application of CFD model for the design of multi-layer settling basin structure

유창환*, 김태원**, 김남일***, 이길성****

Chang Hwan Yu, Tae Won Kim, Nam Il Kim, Kil Seoung Lee

요 지

하수처리장의 침전지 구조물은 고형물(SS) 및 현탁물을 침전, 제거하여 하수의 정화를 도모하는 시설로 초기 유입 하수의 생물학적 처리로 인해 발생하는 슬러지와 처리수를 분리함에 그 목적을 두고 있다. 침전지 구조물은 장소의 제약 및 침전지의 효율성 측면에서 많은 공법이 제안되고 있으며, 그중 이층 침전지의 경우 구조물의 시공비용 절감 및 공간 활용측면에서 단층 침전지에 비해 우수성을 인정받고 있다. 하지만 상·하층에 위치하고 있는 침전지 유입부의 위치적 특성으로 인해 균등한 유량의 분배가 이루어지지 않고 유량이 한곳에 집중되는 현상으로 보일 수 있다. 본 연구에서는 3차원 수치모형인 FLOW-3D를 이용하여 이층 침전지의 유량분배 최적화를 위한 설계인자를 도출 하였다. 특히 상·하층에 위치하고 있는 유입부의 위치적인 특성을 고려하여 유입부의 직경을 상층 500mm ~ 600mm, 하층 500mm ~ 700mm으로 변화시키며 수치모의를 수행하였으며, 유입량의 분배효과를 확인하기 위해 각 동일한 위치에서 유입량을 산정하였다. 각 케이스 별 분배효과를 분석한 결과 상·하층의 유입부 직경을 상층 600mm 와 하층 700mm를 적용했을 경우 유입량의 표준편차가 가장 작게 발생하며, 침전지 내부의 흐름이 원활하게 이루어지는 것으로 확인되었다. 본 연구에서는 상용 CFD모형인 FLOW-3D를 계획 중인 H하수처리장의 이층 침전지 설계에 적용하였으며 유입부 직경에 따른 분배효과를 분석하였다.

핵심용어 : FLOW-3D, 이층 침전지, 유입부 직경

1. 서 론

하수처리장 침전지 시설은 처리장으로 유입되는 처리수의 고형물(SS)의 제거하여 유입하수의 정화를 도모하는 시설로 생물학적처리에 의해 발생하는 슬러지와 처리수를 분리하는 것에 주목적으로 한다. 침전지 내부 설비는 유체의 흐름을 층류(laminar flow)로 유지시키기 위해 설치하며 와류가 발생되지 않도록 설치하여야 하며, 침전지 유입수의 내부 유속은 0.08 m/sec 이하가 되도록 설계되어야 한다. (한국 수도협회, 1998). 현재 까지 하수처리장 설계 시 상기에서 제시한 설계기준만을 참조하여 설계가 수행되고 있는 실정이고, 하수처리 시설의 최적 설계안 도출을 위한 분석 철자가 미흡한게 사실이다. 특히 금회 설계되는 H하수장과 같이 이층 침전지에 대한 분석 자료는 기존 침전지 구조물에 비해 기준이 모호하고 국내 적용사례도 전무하여 설계시 어려움을 겪고 있는 것이 사실이다. 하지만 CFD모형을 이용하여 다양한 대안에 대한 수리학적 분석을 통해 각안들의 비교 및 검토가 가능하므로 보다 효율적인 설계를 수행할 수 있다.

기존의 연구결과에서 유입수가 균일하게 분배되지 않거나 유입관성 에너지가 큰 경우에는 침전효율이 떨어진다는 연구사례가 있으며 (김홍석, 1990) CFD모형을 이용하여 하수처리장 수리구조물의 침전지 유입부

* 정회원 · (주)웹솔루스 수자원부 팀장 · E-mail : cv13@websolus.co.kr
** 정회원 · (주)웹솔루스 수자원부 이사 · E-mail : ktw@websolus.co.kr
*** 정회원 · (주)웹솔루스 대표이사 공학박사 · E-mail : utopia@websolus.co.kr
**** 정회원 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 정교수 · E-mail : kilselee@snu.ac.kr

에서의 수리학적인 거동에 관한 연구로 CFD모형의 적용성이 검증되고 있는 현실이다(김진우 등, 2001, 한국수자원공사, 2002; 박노석 등, 2004). 이에 본 연구에서는 상용 CFD모형인 FLOW-3D를 H하수처리장의 이층 침전지 설계에 적용하였으며 각 유입부에 직경에 따른 분배효과를 분석하였다.

2. 연구방법

비압축성 유체의 흐름을 해석하기 위하여 FLOW-3D에서 사용하는 지배방정식은 직교좌표계(x, y, z)에서의 다음과 같은 시간적분 레이놀즈방정식이다 (Flow Science, 2003).

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + F_i \quad (2)$$

여기서 t 는 시간, U_i 는 x_i 방향의 속도, ρ 는 물의 밀도, P 는 압력, F_i 는 중력, 점성력 등과 같은 외력이다. 물과 공기의 경계인 자유수면을 모델링하기 위하여 VOF (volume of fluid)함수를 정의하는데, 함수의 값이 1인 경우는 검사체적에 물이 가득한 상태를 의미하고 함수의 값이 0인 경우는 검사체적에 물이 없는 경우를 의미하고 자유수면에서는 함수의 값이 0과 1사이의 값을 가진다. 난류모형은 RNG $k-\epsilon$ 난류모형을 사용하였다 (Yakhot, 1992). 지배방정식은 유한차분법을 이용하여 이산화되며, 격자계의 구성시 격자망과 지형은 독립적으로 입력되며 특히, FAVOR (fractional area and volume obstacle representation)기법을 사용함으로써 유한체적법의 접근방법으로 해석된다.

분석을 위한 하수처리장은 현재 계획 중에 있는 H하수처리장으로 침전지의 용량은 $8000 \text{ m}^3/\text{day}$ 이다. 유입부의 형상은 한변의 길이가 0.5 m인 정사각형으로 유입유속은 약 0.362 m/sec이며, 유공정류벽의 정류공의 직경은 0.15 m이다. 수치모의를 위한 침전지의 형상은 Fig. 1과 같다.

경계조건으로 유입부는 일정유량을 유출부는 수위조건을 부여하였으며, 초기조건으로는 유출부 경계조건으로 사용한 수위를 부여하였다. 나머지 변수의 초기조건은 모두 0으로 놓았다.

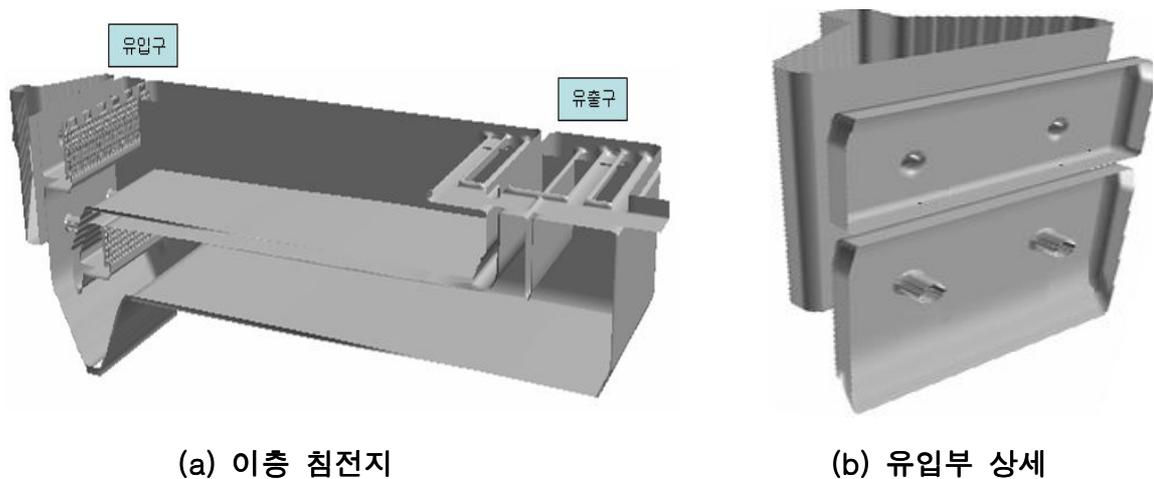


Fig. 1. 침전지 개요도

3. 연구결과

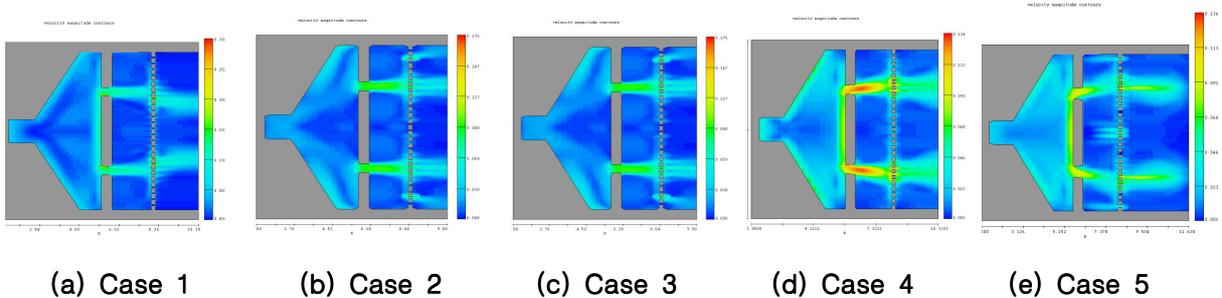
유입부 직경에 따른 이층침전지 유량분배효과를 검토하기 위하여 상층 유입부의 직경을 450mm, 500mm, 600mm로 변화시키고 하층 유입부의 직경을 500mm, 600mm, 700mm로 변화시키며 수치모의를 수행하였다. 침전지의 유입부 직경을 결정하기 위해서 제트이론을 도입하였다.(Fischer 등, 1979; Papanicolaou, 등, 1988; 류시완 2003) 본 연구에서 수행된 모의조건은 Table 1과 같다.

Table 1. 유입부 직경에 따른 모의조건

Case	상층 유입부 직경(mm)	하층 유입부 직경(mm)
Case 1	500	500
Case 2	500	600
Case 3	450	600
Case 4	450	500
Case 5	600	700

아래 Fig. 2에서는 모의조건에 대한 상·하층의 평면유황을 보여준 것이다. 결과에서 보여진 것과 같이 동일한 직경을 사용한 CASE 1에서는 유입부의 흐름이 상층으로 집중되는 것을 확인할 수 있으며, 상층 유입수의 양을 조정하기 위해 하층의 유입구 직경을 증가시킨 CASE2 ~ CASE5까지는 하층으로 흐름이 집중되는 현상을 보여주고 있다.

[상층]



[하층]

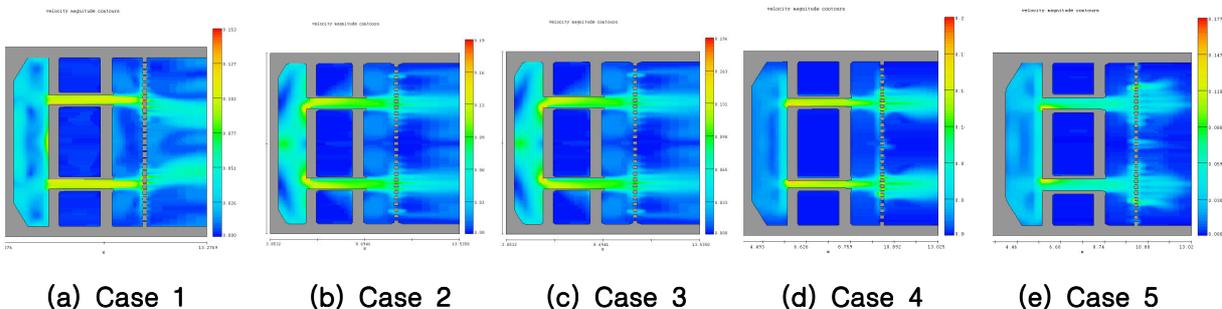
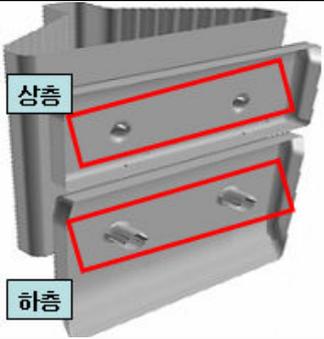


Fig. 2. 저류벽의 위치와 폭에 따른 평면유황 (단위 : m/sec)

각 유입부의 통과유량을 산정하기 위해 Table 2의 비교란에 표현된 위치에서 통과유량을 측정하였다. 각 유입부의 통과유량 산정결과를 Table 2에 정리하였다. CASE 1에서 확인할 수 있듯 같은 직경의 유입관 설치 시 유입부의 위치적인 특성과 마찰인자증가로 인해 흐름이 상층에 집중되는 현상을 보이고 있다. 이러한 불균등요소를 해결하기 위해 하층의 유입면적을 상층에 비교해 증가시켜 유량의 균등분배를 유도하였고, 유입관경은 H하수처리장에서 계획된 유입관경 범위(450mm ~ 700mm)에서 적용되었다. 분석결과 CASE 5(상층-600mm, 하층-700mm)에서 H하수처리장 설계에 필요한 통과유량이 산정되었고 침전지 내부 흐름 또한 안정적인 흐름을 보이는 것으로 판단되었다.

Table 2. 통과유량 측정결과

CASE		상층	하층	합계	비 고
CASE1	m ³ /sec	0.052	0.038	0.0904	
	(%)	57.5	42.5		
CASE2	m ³ /sec	0.038	0.052	0.0904	
	(%)	42.5	57.5		
CASE3	m ³ /sec	0.0332	0.0572	0.094	
	(%)	36.7	63.3		
CASE4	m ³ /sec	0.0378	0.0526	0.094	
	(%)	41.7	58.3		
CASE5	m ³ /sec	0.042	0.0484	0.094	
	(%)	46.5	53.5		

4. 결론

본 연구에서는 상용 CFD모형인 FLOW-3D를 H하수처리장의 이중침전지 설계에 적용하였으며 유공율에 따른 상·하층 침전지의 유량 분배효과를 분석하였다. 분석결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 이중침전지의 상·하층 유입부의 직경을 동일한 경우 흐름이 상층으로 집중되는 현상을 확인할 수 있었다.
- 2) 유입부의 직경을 변화시켜 상·하층의 분배율을 조정할 수 있었다.
- 3) H하수처리장의 경우 상·하층 유입부의 직경을 600mm과 700mm으로 설치한 경우 설계인자에 가장 근접한 값을 얻을 수 있었다.

본 연구에서 하수처리장 침전지 설계와 같이 다양한 대안에 대한 수리학적 검토가 필요한 경우 CFD모형이 효과적으로 사용될 수 있음이 확인되었다. CFD 모형은 향후 하수처리장 구조물 설계 및 대안검토 시 참조할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 김진우, 최영균, 김규동, 정태학 (2001) 수치유체 동력학모형을 이용한 장방형 침전지에서의 유체흐름 분석, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동춘계학술발표회논문집, pp. 341-344.
- 김홍석 (1990) 구형 침전지의 정류벽과 율류장치의 형태와 위치에 관한 연구, 박사학위논문, 한양대학교 대학원, 한양대학교.
- 한국수도협회 (1998) 하수도시설기준.
- Krebs, P., Vischer, D., and Gujer, W. (1995) Inlet-Structure Design for Final Clarifiers, *J. of Environmental Engineering*, 121(8), pp. 558-564.