

침전지 유입부 설계를 위한 CFD 모형의 적용

Application of a CFD Model for the Design of a Settling Basin Inlet Structure

김남일¹ · 김대근^{2,*} · 유창환¹ · 김태영³

Kim, Nam Il¹ · Kim, Dae Geun^{2,*} · Yu, Chang Hwan · Kim, Tae Young³

1 (주)웹솔루스

2 목포대학교 건설공학부 토목공학과

3 (주)웨텍 상하수도부

(2005년 2월 14일 논문 접수; 2005년 6월 1일 최종 수정논문 채택)

Abstract

We applied a commercially available computational fluid dynamics model, FLOW-3D, to design a settling basin inlet structure for the intended O sewage plant. In addition, we analyzed the extent to which the inlet sewage water was distributed as a result, firstly, of the location and width of a submerged baffle wall and, secondly, of the opening ratio of a baffle wall with opening holes. The application results show that the flow is unstable due to the generation of eddies in both sides of the submerged baffle wall when the submerged baffle wall is located close to the inlet. The eddies and subsequent instability also occur when the submerged baffle wall is located close to the baffle wall with opening holes. Moreover, the discharge that passes through the midsection of the settling basin increases as the width of the submerged baffle wall increases. At the O sewage plant, when the submerged baffle wall with a width of 2.4 m was located 2 m from the inlet structure and the opening ratio of the baffle wall was 7 percent, the most satisfactory distribution of the inlet sewage water occurred at the entrance of the settling basin.

Key words: FLOW-3D, settling basin, submerged baffle wall, baffle wall with opening holes, opening ratio

주제어: FLOW-3D, 침전지, 저류벽, 유공정류벽, 유공율

1. 서 론

하수처리장의 침전지는 고형물(SS)을 침전, 제거하여 하수를 정화하는 시설로서 생물학적처리에 의해

발생하는 슬러지와 처리수를 분리하는 것을 주목적으로 한다. 침전지 내의 정류설비는 유체의 흐름을 층류(laminar flow)로 유지시키기 위하여 설치하는 것으로 와류가 발생하지 않도록 설치하여야 하며, 침전지 내의 유효침전구역을 좁히지 않도록 저류벽과 유공정

*Corresponding author Tel: +82-61-450-2476, FAX : +82-61-452-6468, E-mail: kdg05@mokpo.ac.kr (Kim, D.G.)

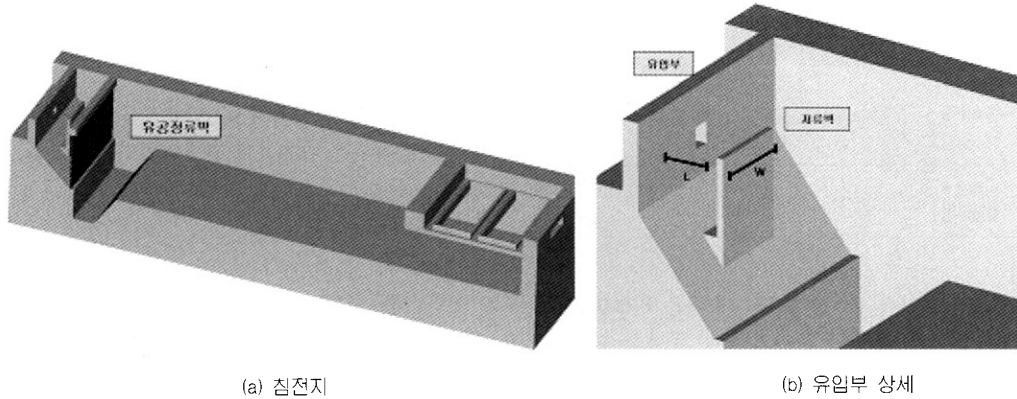


Fig. 1. 침전지 개요도.

류벽으로 구성된다. 장방형침전지의 경우, 유입된 하수가 침전지의 전 단면에 걸쳐 균일하게 도달하게 하기 위하여 6~20% 정도의 유공율을 가진 유공정류벽을 설치하며 유효침전구역에서의 유속은 0.08m/sec 이하가 되도록 설계되어야 한다(한국수도협회, 1998). 지금까지 침전지 유입부의 설계시에는 상기 설계기준만을 참조하여 설계가 진행되고 있는 실정으로 보다 나은 대안을 도출하기 위한 분석은 미흡한 실정이다. 그러나 CFD 모형을 이용하면 다양한 대안에 대한 수리학적인 거동의 비교, 검토가 가능하므로 효율적인 설계를 수행할 수 있다.

침전지 유입부에서의 수리학적인 거동에 관한 연구로 유공정류벽을 통과한 흐름이 하향류일때 침전효율이 우수함을 보이는 연구사례가 있으며(최계운 등, 2002; Zhou와 McCorquodale, 1992; Krebs 등, 1995) 또한 유입수가 균일하게 분배되지 않거나 유입관성에너지가 큰 경우에는 침전효율이 떨어지는 것으로 알려져 있다(김홍석, 1990). 최근 들어 CFD 모형을 이용한 정수처리 수리구조물에서의 흐름거동을 해석하는 연구가 국내에서도 수행되고 있으며 이를 통해 CFD모형의 적용성이 검증되고 있는 추세이다(김진우 등, 2001, 한국수자원공사, 2002; 박노석 등, 2004). 이에 본 연구에서는 상용 CFD 모형인 FLOW-3D를 하수처리장의 침전지 유입부 설계에 적용하였으며 저류벽의 위치와 폭, 유공정류벽의 유공율에 따른 유입하수의 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).

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + f_i + F_i \tag{2}$$

여기서 t 는 시간, U_i 는 x_i 방향의 속도, ρ 는 물의 밀도, P 는 압력, f_i 는 점성력항, F_i 는 중력, 전향력 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 1 사이의 값을 가진다. 난류모형은 RNG $k-\epsilon$ 난류모델을 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 O

Table 1. 저류벽의 위치 및 폭에 따른 모의조건

Case	L (m)	W (m)
Case 1	1.5	
Case 2	2.0	2.4
Case 3	2.5	
Case 4		1.2
Case 5	2.0	3.6

하수처리장으로 한개 침전지의 용량은 8,000m³/day이다. 유입부의 형상은 한변의 길이가 0.5m인 정사각형으로 유입유속은 약 0.37m/sec이며, 유공정류벽의 정류공의 직경은 0.2m이다. 수치모의를 위한 침전지의 형상은 Fig. 1과 같다.

계산격자는 지형과 흐름양상을 고려하여 지형과 흐름이 급변하는 곳은 격자크기를 작게, 지형과 흐름의 변화가 완만한 곳은 격자크기를 크게 하는 가변격자를 사용하였다. 격자의 크기는 최소 0.037m에서 최대 3.76m이며, 총 1,197,000개의 셀로 격자망을 구성하였다. 경계조건으로 유입부는 일정유량을 유출부는

수위조건을 부여하였으며, 초기조건으로는 유출부 경계조건으로 사용한 수위를 부여하였다. 나머지 변수의 초기조건은 모두 0으로 놓았다. 계산결과와 수렴여부는 흐름의 운동에너지, 난류운동에너지, 유출유량의 수렴여부를 이용하여 판단하였다.

3. 연구결과

3.1. 저류벽의 위치 및 폭의 영향

저류벽의 위치에 따른 유량의 분배효과를 검토하기 위하여 저류벽의 폭, W를 2.4m로 고정하고 유입부에서 저류벽까지의 거리, L을 1.5m, 2.0m, 2.5m로 변화시키며 수치모의를 수행하였다. 그리고 저류벽의 폭에 따른 유량의 분배효과를 검토하기 위하여 L을 고정하고 W를 변화시키며 수치모의를 수행하였다. 모의조건은 Table 1과 같다.

Fig. 2는 Table 1의 모의조건에 대한 평면유황을 도시한 것이다. 저류벽이 유입부에 가까운 Case 1은 저류벽의 양쪽에서 와가 형성되고 있으며, 저류벽이

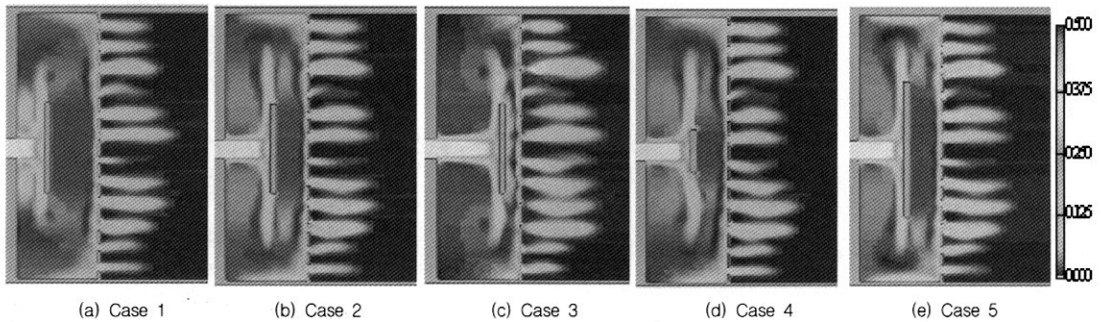


Fig. 2. 저류벽의 위치와 폭에 따른 평면유황(단위: m/sec).

Table 2. 저류벽의 위치와 폭에 따른 연직위차별 통과유량(단위: m³/day)

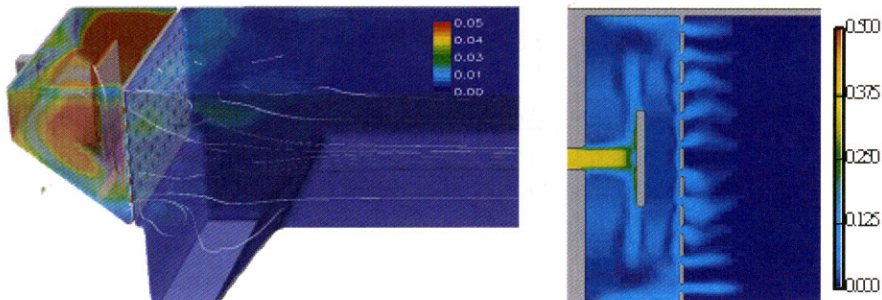


Table 3. 유공정류벽의 유공홀에 따른 연직위치별 통과유량(단위: m³/day)

연직위치	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	비고
1	276.5	181.4	216.0	254.0	〈유공율〉 Case 1 : 6.0% Case 2 : 7.0% Case 3 : 8.0% Case 4 : 8.5%
2	155.5	146.9	155.5	123.6	
3	121.0	129.6	138.2	110.6	
4	112.3	146.9	155.5	111.5	
5	112.3	146.9	164.2	113.2	
6	129.6	146.9	172.8	109.7	
합 계	907.2	898.6	1002.2	822.5	
표준편차	57.9	15.5	24.3	52.5	

주) 연직위치는 Table 2와 동일

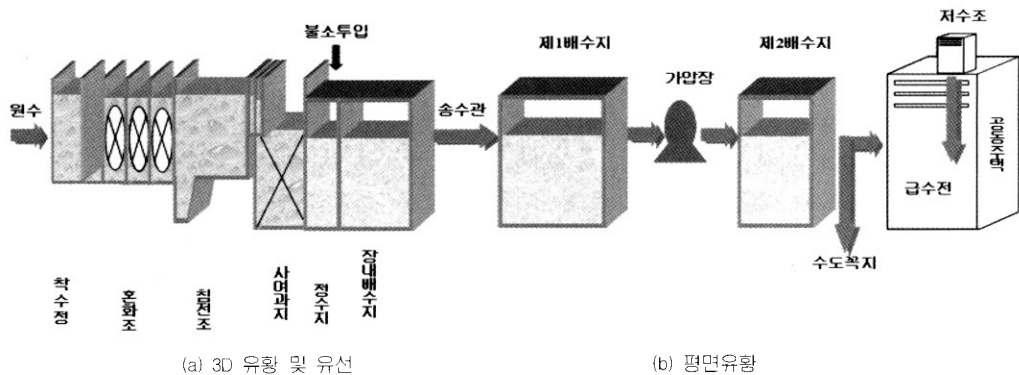


Fig. 3. 유입부 최적안에 대한 유량 (단위: m/sec)

유공정류벽에 가까운 Case 3은 저류벽의 양쪽 후면에서 와가 형성되고 있다. Case 2의 경우가 흐름의 안정성 측면에서는 가장 유리함을 알 수 있다. Case 4와 5는 Case 2와 비교할 때 저류벽의 위치는 동일하나 저류벽의 폭이 다른 경우로 평면의 유량은 대체로 비슷한 거동을 보이고 있다.

유량의 연직 분배효과를 검토하기 위하여 Table 2의 비교란에 도시한 위치에서의 통과유량을 산정하였다. 각 모의조건에 대한 통과유량 산정결과를 Table 2에 함께 정리하였다. Table 2의 결과는 침전지 중앙부에서의 결과이나, 양 측면에서의 연직분포 또한 중앙부와 비슷한 양상을 보여주고 있어 본 연구에서는 중앙부에서의 결과만을 비교하였다. 수평방향으로 흐름이 균등하다면 중앙부에서의 전체 통과유량은 666.7m³/day(= 8,000/12)이어야 하나, Case 4를 제외하면 모든 경우에서 이보다 큰 유량을 보이고 있다. 즉, Case 4를 제외하면 모든 경우에 측면보다는 중앙부에서 보다 많은 유량이 통과하고 있음을 의미한다.

이러한 현상은 베르누이방정식으로 설명할 수 있는데, 유량의 크기는 수위와 관련된 위치수두와 흐름의 속도와 관련된 속도수두에 의해 결정된다. 즉, Case 4를 제외한 모든 경우는 유공정류벽의 직상류에서 주 흐름방향과 직각인 방향의 흐름이 발달하므로 침전지 중앙부로 향하는 흐름이 침전지 중앙부에서 서로 만나게 되어 속도수두만큼 수위가 상승하게 되어 중앙부의 유량이 증가하는 요인이 된다. 하지만 Case 4는 저류벽의 폭이 좁기 때문에 유공정류벽의 직상류에서 주 흐름방향에 직각인 흐름보다는 주 흐름방향의 흐름이 발달하기 때문에 양 측면에서의 유량이 증가하게 되는 것이다. 따라서 저류벽의 폭이 넓을수록 중앙부의 유량이 증가하는 현상을 보이게 되는데, 본 연구의 모의결과에서도 이러한 현상을 잘 재현하고 있다. 연직위치별 통과유량은 모든 경우에 대해 표층부에서 가장 큰 값을 보이고 있다. 하지만 Case 2는 2번째 연직위치부터는 거의 동일한 유량분포를 보이고 있으며 통과유량의 표준편차에 있어서도 가장 작은 값을 보

이고 있어 유량의 균등분배의 관점에서 가장 우수한 경우인 것으로 판단된다.

3.2. 유공정류벽의 유공율에 따른 영향

유공정류벽의 유공율에 따른 유량의 연직 분배효과를 검토하기 위하여 Table 3과 같이 유공율을 변화시키며 연직위치별 통과유량을 산정하였다. 저류벽은 3.1절에 제시된 Case 2의 제원을 사용하였다. 각 모의 조건에 대한 통과유량 산정결과를 Table 3에 함께 정리하였다. 유공율이 7%일 때 통과유량의 표준편차가 가장 작게 발생하며, 유공율이 7%보다 감소하거나 증가하면 표준편차가 증가하고 있음을 알 수 있다. Fig. 3은 3.1절과 3.2절의 대안검토를 통해 최적의 안으로 선정된 경우에 대한 3차원 유황 및 유선, 평면유황을 도시한 것이다. 3차원 CFD 모형을 이용함으로써 침전지 유입부의 유황을 상세히 파악할 수 있는데, 이는 수리구조물의 설계시 CFD 모형을 이용하여 얻을 수 있는 장점 중의 하나이다.

4. 결 론

본 연구에서는 상용 CFD 모형인 FLOW-3D를 계획 중인 O하수처리장의 침전지 유입부 설계에 적용하였으며 저류벽의 위치와 폭, 유공정류벽의 유공율에 따른 유입하수의 분배효과를 분석하였다. 분석결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 저류벽의 위치가 유입부와 유공정류벽에 가까운 경우 저류벽의 양측면에서 와가 발생하는 등 유황이 불안정하였다.

2) 저류벽의 폭이 증가할수록 침전지 중앙부를 통과하는 유량이 증가하였다.

3) O하수처리장의 경우, 저류벽은 유입부에서 2.0m 떨어진 곳에 폭을 2.4m로 설치했을 때 유량이 가장 균등하게 분배되었다.

4) 유공정류벽의 유공율이 7.0%일 때 유량이 가장 균등하게 분배되었다.

본 연구는 다양한 대안에 대한 수리학적인 거동의 비교, 검토시 CFD 모형이 효과적으로 사용될 수 있음을 보인 것으로, 향후 상하수도 관련 수리구조물, 특히 침전지 유입부 설계시 참조할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 김진우, 최영균, 김규동, 정태학 (2001) 수치유체 동력학모형을 이용한 장방형 침전지에서의 유체흐름 분석, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동총회학술발표회는 문집, pp. 341-344.
- 김홍석 (1990) 구형 침전지의 정류벽과 월류장치의 형태와 위치에 관한 연구, 박사학위논문, 한양대학교 대학원, 한양대학교.
- 박노석, 백홍기, 김정현, 민진희, 신형식 (2004) 전산유체역학을 이용한 응집지 분배수로의 흐름 해석에 관한 연구, 상하수도학회지, 18(4), pp. 500-507.
- 최계운, 김경환, 김사동, 이용희 (2002) 축소형 정류공을 가진 정류벽 설치에 따른 하향흐름효과에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 22(1-B), pp. 11-19.
- 한국수자원공사 (2002) 최적 정수처리시설 설계를 위한 3차원 수치해석 연구.
- 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.
- Zhou, S. and McCorquodale, J.A. (1992) Modeling of Rectangular Settling Tanks, *J. of Hydraulic Engineering*, 118(10), pp. 1391-1405
- Flow Science (2003) FLOW-3D (Theory Manual), Los Alamos, NM.
- Yakhot, V., Orszag, S.A., Thangam, S., Gatski, T.B., and Speziale, C.G. (1992) Development of Turbulence Models for Shear Flows by a Double Expansion Technique, *Physics of Fluids*, 4(7), pp. 1510-1520.