

장방형 침전지 유입 정류벽 유공비의 지내 수리거동에 미치는 영향 연구

The Effect of Open Ratio of the Inlet Baffle on Hydraulic Behavior within a Rectangular Sedimentation Basin

박노석 · 김성수 · 임성은 · 이두진 · 서인석

No-Suk Park · Seong-Su Kim · Sung-Eun Lim · Doo-Jin Lee · In-Seok Seo

한국수자원공사 K-water연구원

(2009년 4월 16일 접수, 2009년 2009년 6월12일 채택)

Abstract

The purpose of inlet baffle is to distribute the flow uniformly over the entire cross-sectional area of the sedimentation basin. The goal when designing this baffle is to achieve some head loss while keeping the velocity gradients through the ports equal to the velocity gradient in the end of the flocculator, so as to not break up the flocs. Sedimentation tank performance is strongly influenced by hydrodynamic and physical effects such as inlet design. This study was conducted to evaluate the effect of open ratio of the inlet baffle on hydraulic behavior within a rectangular sedimentation basin using CFD simulation and ADV technique. In order to verify the CFD simulation, we measured the factual velocity at 18 points in the full-scale sedimentation basin at Y water treatment plant. Good agreement was obtained between the CFD predictions and the experimentally measured data. From the simulation results of the existing basin with 7.4 % open ratio, it was investigated that extreme decrease in velocity occurred in the middle of basin. Since then, flow features was unstable. The region which the velocity decrease rapidly moved forward to the flow direction in proportion to the increase of inflow velocity. Also, it was investigated that the flow characteristic of 6.0 % open ratio was significantly different from 7.4 % open ratio at the same configuration condition. These results are a clear indication that inflow momentum and open ratio are the parameters affecting the characteristics of hydraulic patterns. The influence of these parameters on the sedimentation performance requires further study.

Key words : sedimentation basin, CFD simulation, inlet baffle, open ratio

주제어 : 침전지, 전산유체역학 모사, 유입정류벽, 유공비

1. 서론

정수처리에서 중요한 고액분리 공정으로 자리매김한 침전공정은 유입부에서 균형을 이루지 못한 흐름이 발생하면

단락류 또는 난류의 원인이 될 뿐 아니라 침전지역에서 전반적으로 수리적인 안전성을 상실하게 되므로 유입부에 관한 많은 수리모형실험이 실시되었고 정류벽(diffuser wall)에 대한 설계기준들이 발표되었다(Kawamura, 1991). 특히,

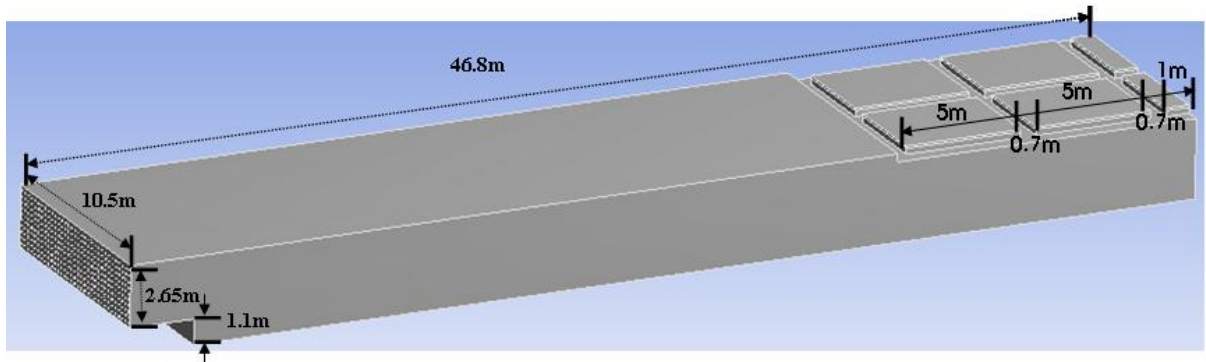


Fig. 1. 대상 침전지 현황 및 제원

1950년대 후반 광범위한 수리모형 실험을 통해 제안된 정류벽의 설계 기준은 정류공(port)의 직경, 중심간의 거리, 정류공을 사이에 두고 발생하는 수두손실 및 유공비를 포함하고 있다. 이에 국내 상수도 시설 기준에서는 장방형 침전지의 정류설비 및 유출설비 기준에서 “정류벽에서 정류공의 총면적은 유수단면적의 6% (유공비)를 표준으로 한다(약 6%정도가 바람직하다)”라고 기술하였으며, 정류공의 직경은 10cm 전후로 시공함을 제시하고 있다.

문제는 여기에 있다. 신설되는 정수장 내 장방형 침전지에 유입측 정류벽을 시공할 때 1 cm이하의 수두손실을 발생시키면서 정류공의 중심간의 거리를 0.25~0.5 m로 유지하고, 하나의 정류공 직경을 10 cm전후로 하면서 유공비를 6%로 맞추기가 어려운 경우가 종종 발생한다. 또한, 6%에 대한 허용범위 또한 어느 연구자나 기술자도 언급하고 있지 못하다. 즉, 6.1%는 가능하고 6.5%는 불가능한 것인지에 대한 지침이 없다. Kawamura의 경우 1950년대 단지 수리모형의 실험을 통해서 정류벽의 유공비가 너무 크면 정류효과가 감소되고 너무 작으면 정류공 통과부에서 유속이 과대하여 지내 수류 및 플록 파괴의 관점에서 바람직하지 못한 것으로만 언급하고 있다.

수리모형실험의 단점을 극복하기 위해 1990년대 중반부터 지속적으로 전산유체역학(CFD; Computational Fluid Dynamics)기법이 정수뿐만 아니라 하수처리공정의 최적화 방안 도출에 적용되고 있다. 특히, 박 등(2005)의 논문에서 언급되었듯이 침전지내 흐름을 모사하기 위해 전산유체역학 기법을 이용하는 연구가 이미 몇몇 연구자들에 의해 수행되었으며, Matko 등 (1996)은 하수처리에 있어서 침전조 내의 수리거동을 전체적으로 검토하였다 (Matko, 1996). Stovin과 Saul은 하수처리장 유량 조정조에서의 침전을 모사하는데 있어서, 임계 전단항력(shear stress)을 통해 속도장을 계산함으로써 침전물의 위치를 예측할 수 있

다는 것을 보였다 (Stovin and Saul, 1994). 또한 이들은 속도분포를 계산함으로써 침전을 예측할 수 있다고 제안하였으며, 이러한 연구결과를 기반으로 CFX라는 상용 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 소프트웨어를 이용해서 침전지에서의 침전효율을 예측하는 모사를 하였다 (Stovin and Saul, 1996).

이에 본 연구에서는 상용 CFD 프로그램인 CFX-11을 이용하여 현재 운영중인 국내 Y 정수장 장방형 침전지를 대상으로 유입측 정류벽의 유공비 7.4%로 설치된 경우의 침전지 내 유동특성을 모사하고 ADV(Acoustic Doppler velocimetry) 유속측정 기법을 이용하여 유속을 실측하여 서로 비교평가를 수행하였다. 또한, 유량이 변동되는 경우 유입되는 유량으로 발생하는 모멘텀 변화에 따른 흐름특성을 평가하였으며, 유공비 6%에서의 침전지 내 흐름특성을 예측하여 Y 정수장에 설치되어 있는 유공비 7.4%와 상수도 시설기준 상의 6.0%와의 흐름특성을 비교하고자 연구를 수행하였다.

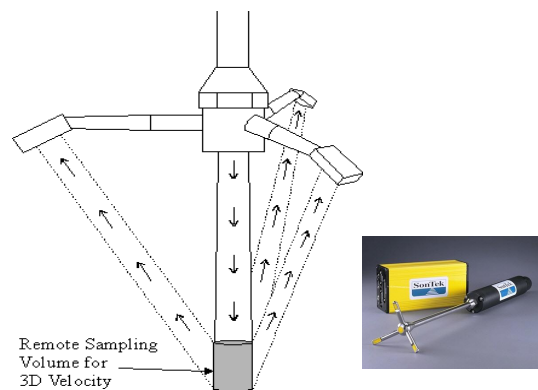


Fig. 2. ADV 측정원리 및 장비

2. 연구방법

2.1 대상 침전지 현황

본 연구대상인 Y 정수장은 혼화, 응집, 침전, 여과 및 오존, 활성탄 고도처리 공정이 도입되어 운영중인 정수장으로서 침전지 1개 용량은 11,000m³/일 이다. 침전지 유입부는 10.5 × 2.65 m 정류벽에 φ 100 mm의 정류공을 264개가 균등하게 설치되어 유공비 7.4 %로 설치되어 있다. 침전지의 형식은 철근 콘크리트의 장방형 구조로서 장폭비는 1 : 4.0 이며, 규격은 W 11.1 m × L 44.0 m × H 4.0m 로서 체류시간은 4.06 시간이며, 지내평균유속은 0.18 m/분이다 (Fig. 1 참조). 침전지의 유출부 구조는 흐름방향으로 직각 라운더가 이중으로 설치되어 있는 격자형으로 되어 있다.

2.2 유공비에 따른 침전지 유동장 해석

본 연구에서는 전산유체역학(CFD) 및 ADV 유속 측정 기법을 이용하여 기존 침전지내 유동장을 모사 해석하여 문제점을 면밀히 조사하고, 추후 제안될 개선방안을 모사하여 지내 흐름의 양상 및 안정성을 예측 평가하고자 하였다.

CFD는 수작업으로 해석이 불가능한 복잡한 구조물내의 유동장 해석을 FDM (Finite Differential Method)기법을 이용하여 작은 셀로 분할하여 각각의 경계조건을 두어 해를 구해내는 방법으로 본 연구에서는 침전지의 흐름거동을 해석하기 위해 상용 전산유체 프로그램인 CFX-11을 사용하였다. 자세한 CFD 모사방법은 저자가 앞서 발표한 논문(박노석 등, 2005)에 수록되어있다. 정류공에서의 유입유속 조건을 0.01 m/sec 조건에서 0.1 m/sec 까지 0.01 m/sec 유속 단계별로 총 10 조건에 대하여 모사를 수행하여 7.4%

의 유공비 조건에서 각 유입유속에 따른 침전지내 거동을 평가하였다. 또한, 현재의 정류벽에 유공비를 6%로 조정된 경우 나타날 수 있는 침전지내 유동특성을 CFD 모사를 통하여 예측하여 유공비 7.4 %와 6.0 %의 차이를 비교 평가하였다.

2.3 현장 검증실험

상기 언급한 모사 방법으로 CFD를 이용하여 구한 수치해석 값을 검증하기 위해 Y 정수장 침전지를 대상으로 지점별 유속을 ADV (Sonteck 10MHz)를 사용하여 측정하였다 (Fig. 2 참조). ADV는 침전지 내에서 한 지점의 x, y, 및 z 방향의 순간 유속을 측정하는 기기로 probe로부터 일정 거리(약 7cm)에 위치한 sampling volume의 유속을 음파를 사용하여 측정한다. Fig. 3에서 보이는 바와 같이 Y 정수장 침전지의 경우 양측 벽면에서 약 80cm 떨어진 지점에서 흐름방향으로 1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36 그리고 41 m의 총 9개 지점에서 각 지점별 깊이 방향으로 1, 2 m 지점에서의 속도를 각각 측정하였다. 실측된 유속과 실측당시 운영 유량(약 5,500 m³/일) 조건과 동일한 CFD 모사 조건(0.03 m/sec)에서의 모사결과를 비교하여 결과를 검증하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유공비 7.4 %의 침전지 흐름 특성

3.1.1 CFD 모사를 통한 침전지 유동장 해석

유공비 7.4 %로 설치되어 운영중인 국내 Y 정수장의 침전지를 대상으로 CFD 모사를 수행하였다. 침전지 1지당 운영 중인 유량 5,500 m³/일 조건을 고려하여 정류공 유입유속

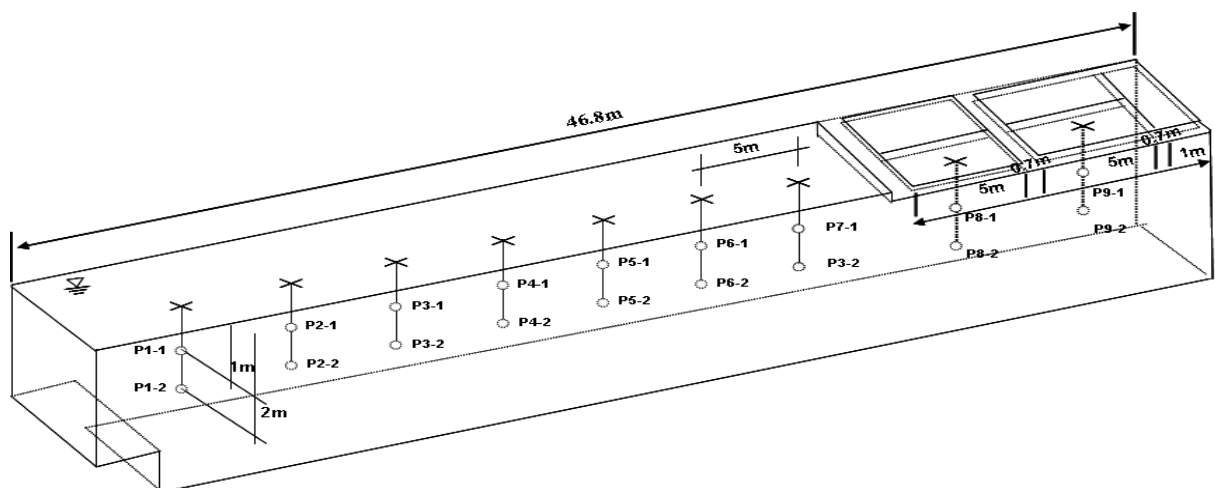
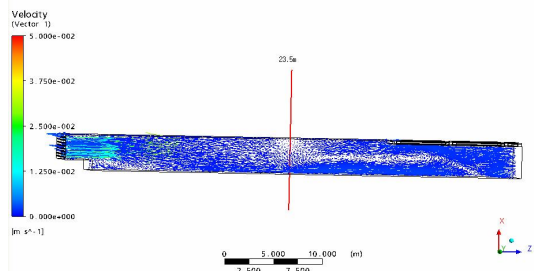
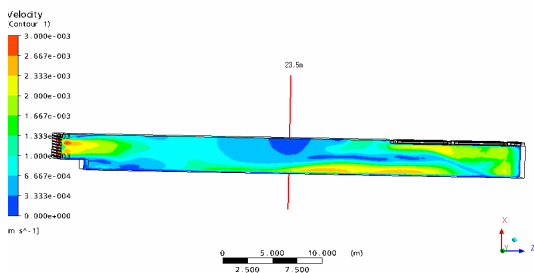


Fig. 3. 침전지 내 유속측정 지점

0.03 m/sec 조건으로 CFX-11을 이용 모사하였다. 유공비 7.4 %로 설치된 침전지내 유동장의 모사결과를 Fig. 4에 속도 벡터(velocity vector)와 등고선(velocity contour)으로 각각 나타내었다. 그림에서 나타나듯이 운영유량 조건에서 침전지 중간 지점(23.5 m 지점부근)에서 유속이 급격히 감소되는 지점이 나타나며, 이 지점의 이전 영역에서는 안정된 흐름으로 진행하다 이 지점을 통과하여 침전지 말단으로 갈수록 불안정한 양상을 보이고 있다. 즉, 유속이 급격히 감소되는 지점을 지나면서 침전지 하층부로 흐름이 진행하면서 트립 부근에서 상향유속이 발생하고 있다. 따라서 침전지 바닥에 침전된 슬러지가 다시 부상하게 될 가능성이 매우 높은 흐름을 형성하고 있다.



(a) CFD 모사결과(velocity vector)



(b) CFD 모사결과(velocity contour)

Fig. 4. 유공비 7.4% 침전지의 흐름 특성

3.1.2 ADV를 이용한 CFD 모사 결과의 검증

상기 CFD 모사 결과를 검증하기 위하여 ADV로 유속을 측정하였으며, 상기 CFD 모사결과로부터 ADV 측정지점 (Fig. 3 참조)에서의 유속 데이터를 읽어 CFD 모사결과와 ADV 실측결과를 비교 검토하였다. Fig. 5는 각 지점 위치별 (유입부로부터 1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36, 41 m), 깊이별 (수면으로부터 1, 2m 지점 하부) CFD 모사 및 ADV 실측 결과를 나타내고 있다. 각 지점에서 실측 유속과 모사결과에서 나타난 유속의 값은 다소 차이를 보이고 있으나, 그 경향은 매우 유사함을 나타내고 있다. 특히, 유속이 급격히 감소되는 것으로 모사된 유입부로부터 20 m 이후 지점의 경우 실제적으로 26 m 지점에서 측정한 결과처럼 CFD 모사결과

에서 나타난 것과 같은 유속이 감소되는 현상이 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉 침전지 내 일정 지점에서 상층부의 유속이 매우 작은 영역이 존재하여 하층부로 흐르는 흐름이 발생하며, 그 지점 이후부터 침전지 말단까지는 상승유속이 지배적인 흐름 특성을 나타내고 있다.

3.2 유입유속 변화에 따른 유동장

유공비 7.4 %로 설치되어 운영중인 Y 정수장 침전지에서 유입유량 또는 유입유속 변동에 따른 침전지 내 유동장 변화 특성을 검토하기 위하여 침전지 유입유속 조건을 세분화하여 CFD 모사를 수행하였다. 모사된 침전지 유입유속 0.01 ~ 0.1 m/sec 조건은 유량으로 1,800 ~ 18,000 m³/일의 범위로서 설계유량(11,000 m³/일)을 초과한 조건까지 포함하여 모사하였다. 각 유입유속 조건에 따른 침전지내 유동 특성을 나타낸 Fig. 6에서 보이는 바와 같이 침전지 내 유속이 급격히 감소하는 지점은 모든 유속조건에서 침전지 중간 지점 부근에서 모두 나타나고 있다.

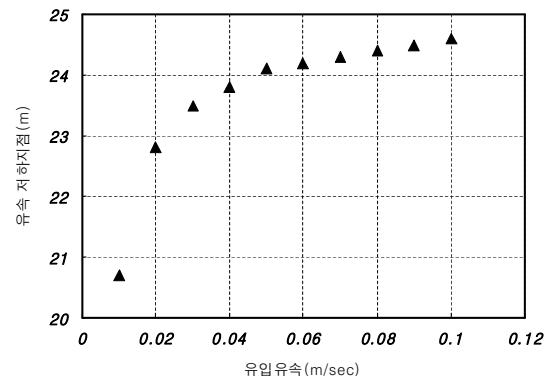
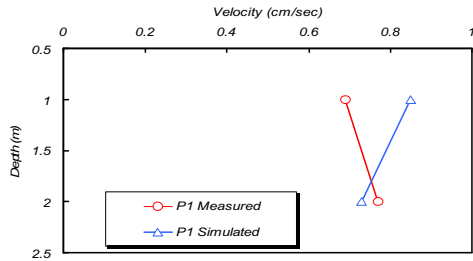
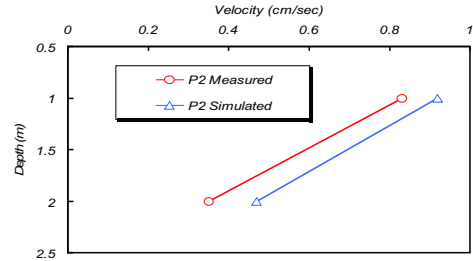


Fig. 7. 유입유속에 따른 지내 유속 저하지점

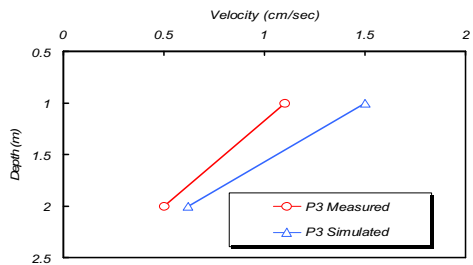
그러나, 침전지 내 유속저하 지점 위치를 유입유속 조건별로 나타낸 Fig. 7에서 보이는 바와 같이 유입유속이 0.01 m/sec에서 점차 증가할수록 침전지 중간 지점 부근의 와류 형성 지점이 점차 흐름방향으로 이동하는 것을 알 수 있다. 세부적으로 유입유속이 0.01 ~ 0.05 m/sec 범위에서는 유속증가에 따른 이러한 유속이 급감하는 지역이 점차 하류지점으로 이동하는 경향이 뚜렷하게 나타났으며, 0.05 ~ 0.1 m/sec 조건에서는 매우 완만한 이동현상을 나타내고 있다. 따라서, 침전지로 유입되는 수체의 모멘텀이 침전지 유입 정류벽에 설치되어 있는 정류공의 유공비 7.4 % 조건에서 침전지 내 수리 흐름 특성에 영향을 미치는 하나의 인자임을 확인할 수 있다. 그러나 특정 정류공 유공비 조건에서 모멘텀 차이에 따른 침전지 내 효율 차이는 좀 더 평가가 필요하다.



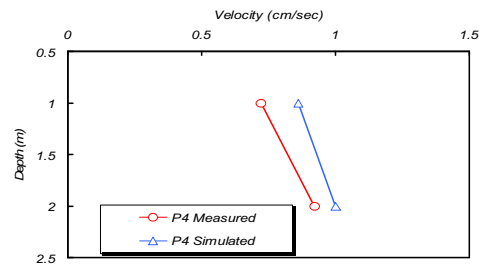
(a) P1 (유입부로부터 1 m 지점)



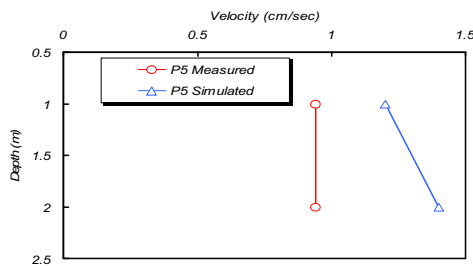
(b) P2 (유입부로부터 6 m 지점)



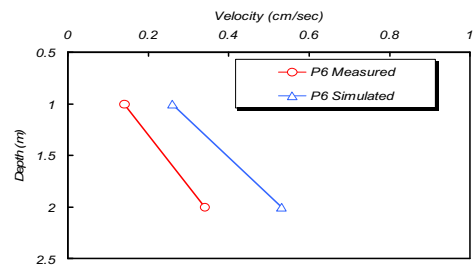
(c) P3 (유입부로부터 11 m 지점)



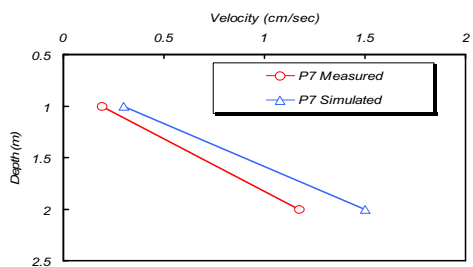
(d) P4 (유입부로부터 16 m 지점)



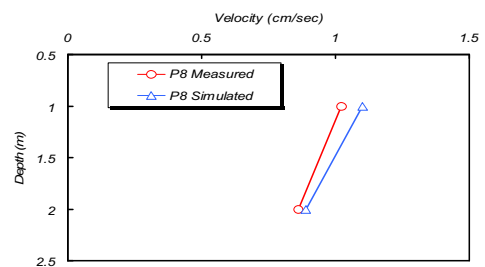
(e) P5 (유입부로부터 21 m 지점)



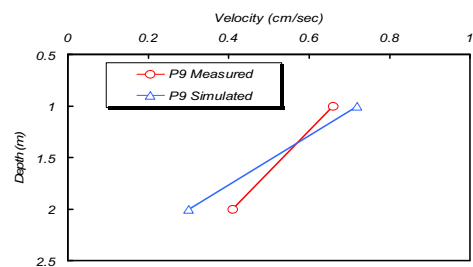
(f) P6 (유입부로부터 26 m 지점)



(g) P7 (유입부로부터 31 m 지점)



(h) P8 (유입부로부터 36 m 지점)



(i) P9 (유입부로부터 41 m 지점)

Fig. 5. CFD 모사결과와 ADV 실측결과 비교

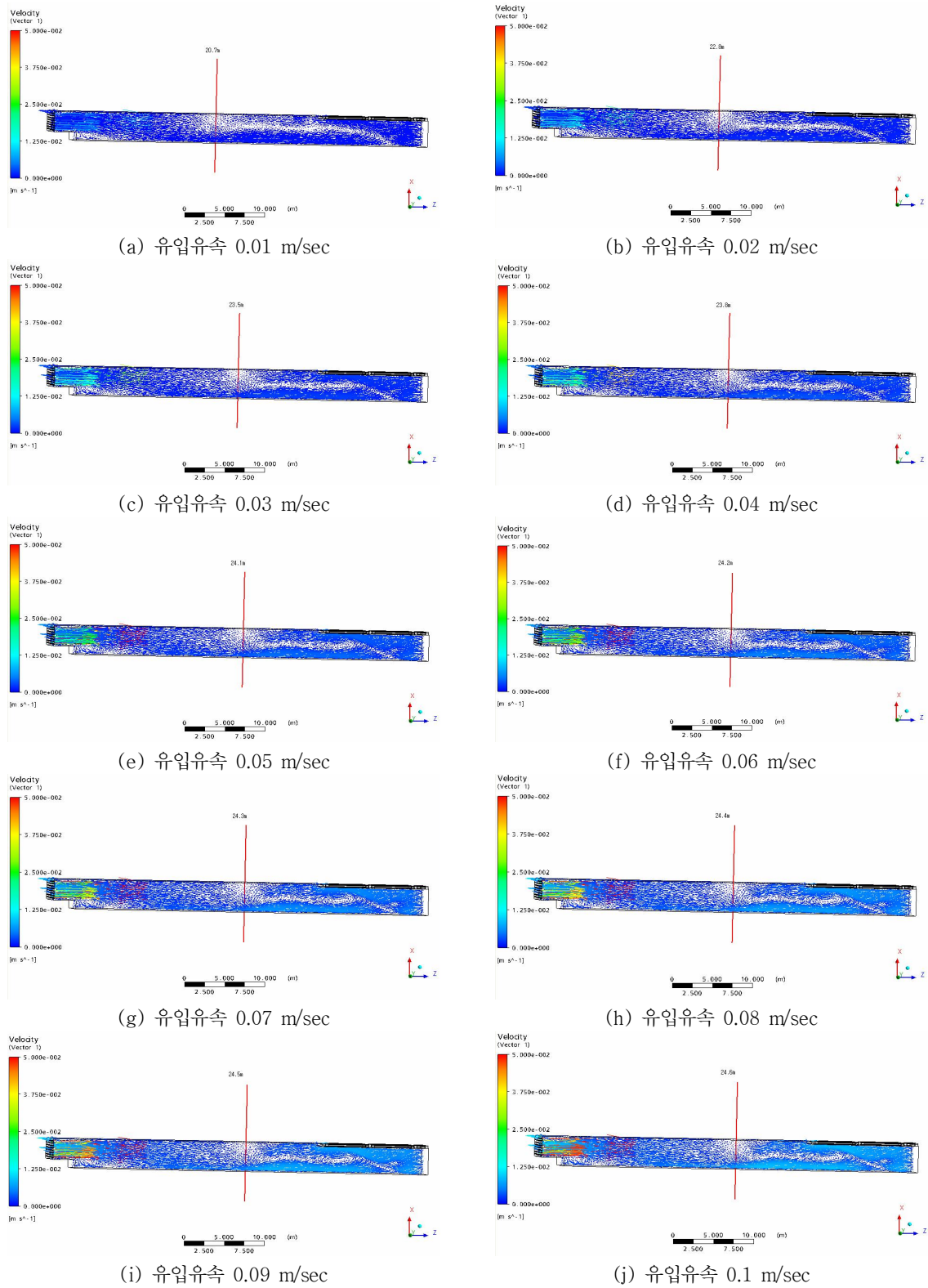


Fig. 6. 유입유속에 따른 침전지 내 유황 (vector)

3.3 유공비 6 %의 침전지 흐름특성

침전지 유입부 정류공의 단면적(유공비)에 따른 유입유량의 균등분배 차원에서 6 ~ 8.5% 까지 유공비에 따른 연직 균등분배 효과를 평가한 김 등(2005)의 연구결과에서는 7 % 유공비가 가장 균등분배 효과가 우수함을 제시하고 있다. 그러나 유공비가 침전지 내 전반적인 수리흐름 특성에 미치는 영향은 연구결과가 거의 없다. 따라서, 유공비 7.4 %로 설치 운영중인 Y 정수장 침전지의 정류벽을 동일한 정류공 크기를 이용하여 개수를 유공비 6.0 %로 변경하였을 경우 (ϕ 100 mm의 정류공 216개)의 침전지 내 수리흐름 특성을 CFD 모사기법을 이용하여 평가하였다. 침전지 1지당 설계 유량(11,000 m³/일)을 감안 유입유속 0.075 m/sec 조건으로 모사하여 그 결과를 Fig. 8에 속도 벡터(velocity vector)와 등고선(velocity contour)으로 각각 나타내었다. 또한, 흐름특성을 비교하기 위하여 같은 유량조건에서 유공비 7.4%의 흐름특성을 Fig. 9에 속도 벡터(velocity vector)와 등고선(velocity contour)으로 각각 나타내었다.

Fig. 8에서 보이는 바와 같이 유공비 6 %를 가진 정류벽을 가진 침전지의 경우 현재 설치되어 있는 유공비 7.4 %와는 현저하게 다른 흐름 특성을 보이고 있다(Fig. 9 참조). 유공비 7.4 %에서 나타난 침전지 중간 지점에서의 유속저하 영역은 유공비 6.0 %에서는 나타나지 않음을 알 수 있다. 즉,

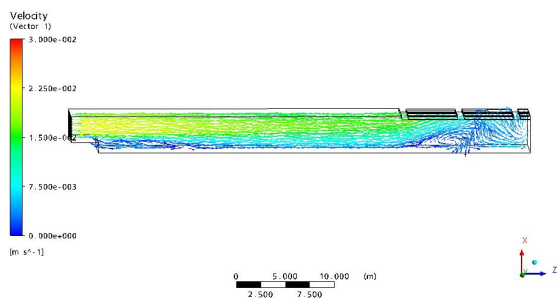
침전지 구조적으로 정류벽에서 유공비에 따라 침전지 내 유동특성은 달라지게 됨을 알 수 있다.

그러나 유공비 6.0 % 조건의 경우 침전지 말단에 상당히 큰 사류지역이 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 사류구역이 침전지 말단에 존재하는 경우 상승유속이 발달하여 말단에서 플러이 떠오르는 현상이 종종 발생하게 된다. 따라서, 침전지 유입부 정류벽의 유공비 6.0 %와 7.4 %에 따라 침전지내 유동특성은 서로 큰 차이를 나타내고 있으며, 침전지의 침전효율 측면 특히, 처리수질 측면에서는 어떠한 차이를 나타낼 지 추후 추가적인 연구가 필요하다.

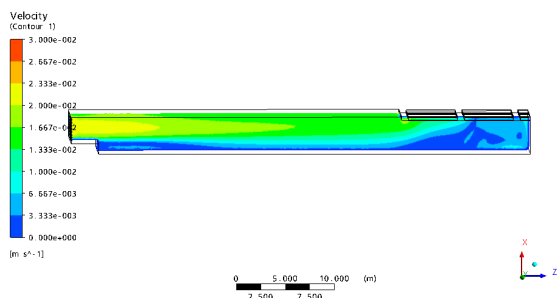
4. 결 론

본 연구에서는 전산유체해석(CFD) 상용 프로그램(CFX-11)과 ADV 유속측정 기법을 이용하여 유입측 정류벽 정류공의 유공비가 7.4 %로 설치된 국내 Y 정수장 장방향 침전지를 대상으로 정류공의 유공비가 침전지 내 유동특성에 미치는 영향을 평가하였다.

침전지 유입부 정류공의 단면적이 7.4 %로 설계 운영중인 Y 정수장 침전지의 전산유체해석(CFD) 결과 침전지 중간 지점 부근에서 유속이 급격히 저하되고 그 이후에서는 불안정한 흐름 특성을 나타내는 경향을 나타내었으며, ADV 유

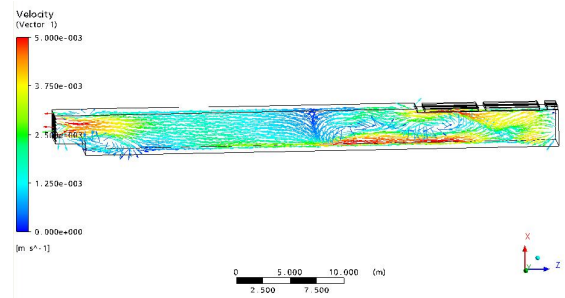


(a) CFD 모사결과(velocity vector)

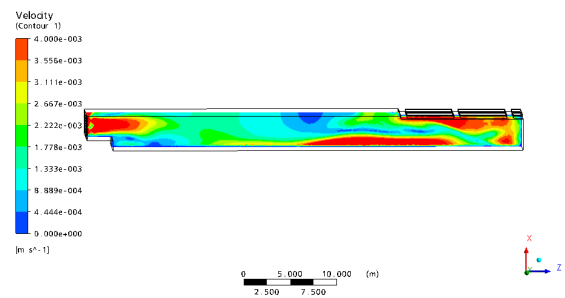


(b) CFD 모사결과(velocity contour)

Fig. 8. 유공비 6.0% 침전지의 흐름 특성
(유입유속 0.075m/sec)

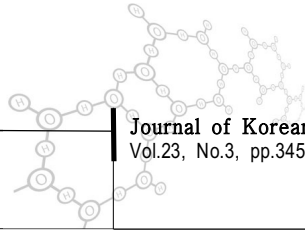


(a) CFD 모사결과(velocity vector)



(b) CFD 모사결과(velocity contour)

Fig. 9. 유공비 7.4% 침전지의 흐름 특성
(유입유속 0.06m/sec)



속 측정기법을 이용하여 침전지 내 유속을 실측한 결과 CFD 모사결과와 유사한 경향을 나타내었다. 또한, 동일한 유공비 (7.4 %) 조건에서 유입유속이 변경되는 경우 유속이 급격히 저감되는 지점은 유입되는 모멘텀의 변화에 따라 차이를 나타내고 있으며, 유속이 증가할수록 그 지점은 흐름방향으로 이동하고 있다. 따라서, 이러한 침전지로 유입되는 모멘텀 또한 침전지 내 수리흐름 특성에 영향을 미치는 인자임을 확인할 수 있었다.

동일한 처리 유량에서 동일한 침전지 체원을 대상으로 유입부 정류공의 단면적을 6.0 %로 모사한 결과 현재의 7.4 % 조건과는 다른 흐름특성을 나타내어 침전지 유입부의 정류공 단면적이 침전지 내 흐름특성을 좌우하는 하나의 인자임이 확인되었다. 따라서, 침전지 유입부 정류벽의 정류공 유공비 및 이러한 정류공을 통과하는 모멘텀 모두 침전지 흐름 특성에 영향을 미치는 인자이며, 이러한 각 인자들이 침전지의 전반적인 처리 효율에 미치는 영향은 추후 좀 더 면밀한 평가가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. S. Kawamura, (1991), Integrated Design of Water Treatment Facilities, John Wiley & Sons, Inc.
2. 박노석, 임재림, 이선주, 권순범, 민진희, (2005), "CFD를 이용한 침전지 구조가 수리거동에 미치는 영향 평가(II)", 상하수도학회지, Vol.19, No.6, pp.758-766.
3. Matko, T., Fawcett, N., Sharp, A., and Stephenson, T. (1996) "Recent Progress in the numerical modelling of wastewater sedimentation tanks." *Trans, IChem*, 74B, pp.245-257
4. Stovin V. R. and Saul A. J. (1994) "Sedimentation in Storage Tank Structures." *Water Science and Technology* 29(1-2), pp.363-372
5. Stovin V. R. and Saul A. J. (1996) "Efficiency Prediction for Storage Chambers Using Computational Fluid Dynamics." *Water Science and Technology* 33(9), pp. 163-170
6. 김남일, 김대근, 유창환, 김태영 (2005), "침전지 유입부 설계를 위한 CFD 모형의 적용", 상하수도학회지, Vol.19, No.3, pp 318-322.
7. 한국상하수도협회, 상수도 시설기준