



CFD와 PIV test를 통한 장방형 2차침전지 유입 및 유출배플 형상 최적화

Optimization of influent and effluent baffle configuration of a rectangular secondary clarifier using CFD and PIV test

최영균¹ · 배강형² · 윤정환^{3*}

YoungGyun Choi¹ · KangHyung Bae² · Jong-Hwan Yoon^{3*}

1 대구대학교 환경공학과, 2 뉴엔텍(주), 3 대구대학교 자동차·산업·기계공학부

(2009년 11월30일 접수, 2010년 2월 3일 수정, 2010년 2월 5일 채택)

Abstract

The influent and effluent baffle configurations seriously affect the hydraulic characteristics of the secondary clarifier in wastewater treatment plant. In this study, those baffle configurations were optimized by computational fluid dynamics(CFD) analysis and particle image velocity(PIV) test in order to obtain uniform flow in inlet region and to minimize upflow velocity in outlet region of the secondary clarifier. Theoretical analysis using CFD showed that more uniform flow could be accomplished when the influent baffle was located closely to the inlet opening. Effects of effluent baffle configuration on the upflow velocity in the outlet region of the secondary clarifier were analyzed with four types of effluent baffles which are widely adopted for secondary clarifier design. From the CFD analysis, McKinney baffle(EB-2) was estimated to be the most effective for restraining the upflow velocity in the outlet region and these trends were identified by PIV tests. In addition, the McKinney baffle showed the most uniform overflow velocity distribution around the weir.

Key words : CFD, effluent baffle(EB), influent baffle(IB), optimization, PIV

주제어 : 전산유체역학, 유출배플, 유입배플, 최적화, 입자영상유속

1. 서론

국내에서 대부분의 하수처리장 2차침전지 설계는 1차원 질량플럭스 이론(1-Dimensional Mass Flux Theory, 1-DMFT)에 의거하여 수행되고 있다. 1-DMFT는 침전지에서 중력에 의한 입자의 침전속도, 고형물의 농도, 침전지 표면적, 그리고 침전지 하부 배출 속도만을 고려 대상으로 하여 침전지의 고형물부하율(Solids Loading Rate, SLR)과 표면유통율(Surface Overflow Rate, SOR)을 결정하는

방법이다. 그러나 이러한 1차원 침전 모델로는 실제 2차침전지에서 빈번하게 발생하는 밀도류(Density Current)나 침전지 내부 형상에 따른 불규칙적인 유체의 흐름에 대한 설명이 불가능하다(김 등, 2001; 이 와 김, 2001; Ekama et al, 1997). 또한 침전지의 외형적인 설계가 1-DMFT에 부합한다고 하더라도 침전지 내부 유체의 흐름에 의해 실제 운전에서는 생물학적 고형물이 침전지 외부로 과도하게 유출될 위험성이 여전히 존재한다(Ekama et al, 1997; Ekama and Marais, 2004). 2차침전지를 설계할 때, 종종

* Corresponding author Tel:+82-53-850-6673, Fax:+82-53-850-6689, E-mail: jhyoon@daegu.ac.kr(Yoon, J.H.)

침전지의 표면적을 20% 이상 높게 하여 안전율(safety factor)을 두는 것도 바로 이러한 1-DMFT의 결점 때문이라고 할 수 있다(Ekama and Marais, 2004). 몇몇 연구결과에서는 2차침전지를 1차원적인 고품물 플럭스 해석에 의해 설계할 경우, 한계고형물플럭스를 현실보다 25% 정도 과도하게 설정하여 침전지 운전이 심각한 문제가 발생할 수 있다고 경고하고 있다(Watts et al., 1996; Ekama et al., 1997; Ekama and Marais, 2004). 이렇게 1-DMFT에 의한 2차침전지 설계가 실패의 위험성을 내재하고 있는 근본적인 이유는 침전지의 수리동력학적 영향인자에 대한 현실적인 고려가 불가능하고 특히 침전지 내부구조물에 대한 최적 배치 방안에 대해 아무런 정보도 제공할 수가 없기 때문이다(Ekama et al., 1997; Ekama and Marais, 2004).

이러한 1-DMFT의 한계를 극복하고자 제안된 방법이 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)을 이용한 침전지 내부에서의 난류와 밀도류 해석, 그리고 유입부 및 유출부 배플, 유출위어, 유출벽 등과 같은 내부구조물의 최적 배치 방안 도출이다. 국외의 경우, CFD를 이용한 2차 침전지의 성능 진단과 관련된 연구결과가 최근 들어 종종 보고되고 있으며, 향후 2차침전지의 신규 설계나 시설물 개선 시에 CFD의 적용 방향을 제시하고 있다(Glover et al., 2006; Jensen et al., 2006; Merlo et al., 2006). 그러나 아직까지 2차원적인 해석에 그치고 있는 경우가 많고, 침전지 내부 구조물의 최적 배치 방안에 대한 연구도 매우 제한적인 수준에서만 진행되고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 하수처리장 장방형 2차침전지에서 유체 흐름에 큰 영향을 줄 수 있는 변수인 유입부 및 유출부 배플을 대상으로 CFD

를 적용하여 형상을 최적화하고자 하였으며, PIV (Particle image velocimetry) test를 통해 CFD 결과를 검증함으로써 이론적인 해석결과를 보완하고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 장방형 침전지 모형 및 형상변수

장방형 침전지 모형은 현재 운영 중인 하수처리장의 설계 도면을 바탕으로 1/60로 축소하여 이론적 해석 및 모형실험에 사용하였다. 침전지 모형은 아크릴을 이용하여 제작하였으며 각 단면의 형상 및 길이는 Fig. 1에 제시한 것과 같다. 침전지 유입부에서 110mm 떨어진 지점에는 유체흐름의 안정성 확보를 위한 정류벽이 존재하며, 유공률은 12%로 하여 하수도시설기준(환경부, 2005)에서 제시하는 6-20%에 맞추었다. 유출위어는 국내 하수처리장 침전지에서 가장 많이 사용되는 finger type outlet 방식으로 하였다. Finger type outlet은 침전지내 흐름방향에 평행하도록 launder를 길게 두는 방식으로 침전지 흐름에 직각으로 설치하는 경우에 비하여 위어길이가 증가하여 월류부하와 상향유속을 감소시킨다는 장점이 있다(오, 2003). 위어의 길이는 185mm로 침전지의 양쪽 벽면에 위치시켰고 길이를 동일하게 하여 월류부하에 차이가 발생하지 않도록 하였다.

장방형 침전지의 대표적 형상변수로는 침전지 길이, 폭, 깊이, 하부경사, 유입배플, 유출배플, 슬러지 수집장치, 스크 배플 등이 있다. 이 중 유입배플, 유출배플, 슬러지 수집장치, 스크배플 등의 설계는 1차원 질량플럭스 이론(1-DMFT)

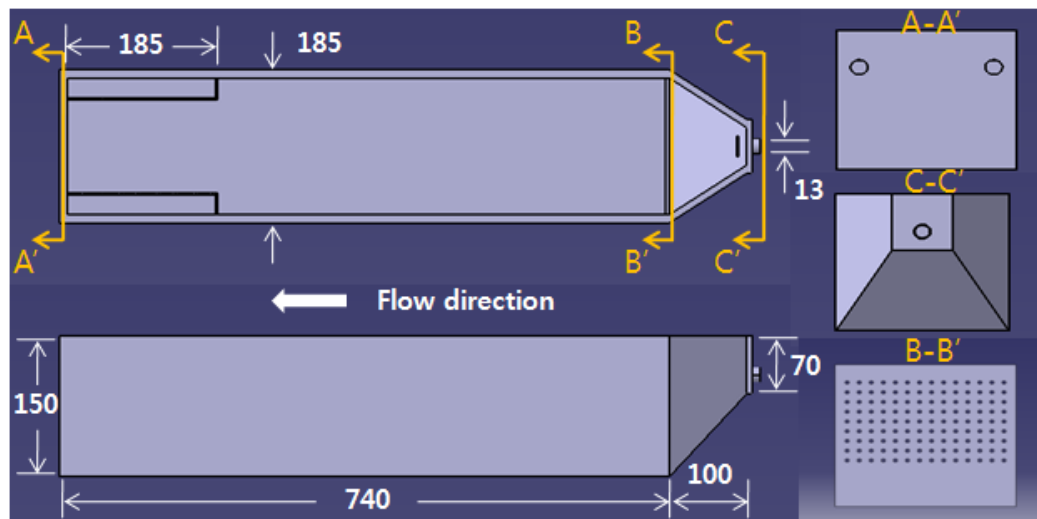


Fig. 1. Geometry of a bench-scale rectangular clarifier

에 의한 해석이 불가능하여 현장 경험이나 주관적인 방법에 전적으로 의존하고 있는 실정이다(김 등, 2001; 오, 2003; Ekama et al, 1997; Ekama and Marais, 2004). 이에 본 연구에서는 유입배플(influent baffle)의 위치와 유출배플(effluent baffle)의 형태를 장방형 이차침전지의 내부 형상 변수로 선정하여 CFD 해석과 PIV test를 통해 최적화하고자 하였다. 유입배플은 침전지로 유입되는 유체가 가진 속도 에너지를 소멸시켜 침전지의 단면에 대해 고른 수평 유속분포를 갖게 하는 일차적 역할을 한다.

유입배플의 위치는 길이 35m의 장방형 침전지에서 종횡비가 3:1~5:1이고 배관으로부터의 유입유속이 최하 0.6m/s일 때, 유입배관 끝부분에서 0.6~0.9m 정도 떨어진 지점에 설치되는 것이 일반적인 것으로 보고되고 있다(Hamlin, 1972; ASCE, 1994). 이에 본 연구에서는 1/60로 축소된 모형 침전지를 활용하였기 때문에 유입배플의 위치를 유입배관으로부터 1~3cm 떨어진 지점(IB-1, 2, 3)에 설치하여 유체의 흐름특성을 파악하였다(Fig. 2). 유입배플은 정사각형 아크릴판을 사용하여 제작하였으며 유입관 직경의 1.5배를 한 변의 길이(1.95cm)가 되도록 하였다.

유출배플은 침전지 벽면에서 발생하는 상향유속에 의해 슬러지가 부상하는 것을 방지하기 위해 설치된다(Stukenberg et al., 1983; ASCE, 1994). Fig. 2의 유출배

플 2와 4의 경우 각각 Lincoln(McKinney)과 Stamford baffle로 불리우며 슬러지 부상 방지에 비교적 효과적인 형태로 알려져 있으나(ASCE, 1994), 이에 대해 유체흐름해석 등을 통한 객관적 입증 자료는 찾아보기 힘들다. 이에 본 연구에서는 유출배플의 형태를 Fig. 2와 같이 4가지 형태(EB-1, 2, 3, 4)로 변화시키며 CFD와 PIV test를 통해 최적의 형태를 도출하고자 하였다. 배플의 길이는 모두 18.5cm로 동일하며(Fig. 1), 유출벽과 유출위어까지의 거리는 1.8cm(EB-4 제외), 배플 수평면에서 위어 끝부분까지의 높이와 위어 하단부에서 배플 마지막 지점까지의 거리는 1.5cm로 하였다(Fig. 2 EB-2 참고). EB-3와 EB-4 배플의 각도는 수직면을 기준으로 45°로 고정하였다.

2.2. CFD를 이용한 침전지 전산모사 조건

본 연구에서는 CFD 해석을 위해 상용 프로그램인 CFX(ver. 10.0)를 사용하였으며, 침전지 설계에는 CFX에서 호환이 되는 CAD 프로그램인 CATIA(ver. 5.0)를 사용하였다(ANSYS, 2003). 수치해석을 위한 격자생성은 지형과 유동양상을 고려하여 지형과 흐름이 급변하는 곳은 격자 크기를 작게, 지형과 흐름의 변화가 완만한 곳은 격자 크기를 크게 하는 가변격자를 채택하였다. 격자의 크기는 최소 1 mm에서 최대 5 mm이며 격자생성에 사용된 형태는 사면체,

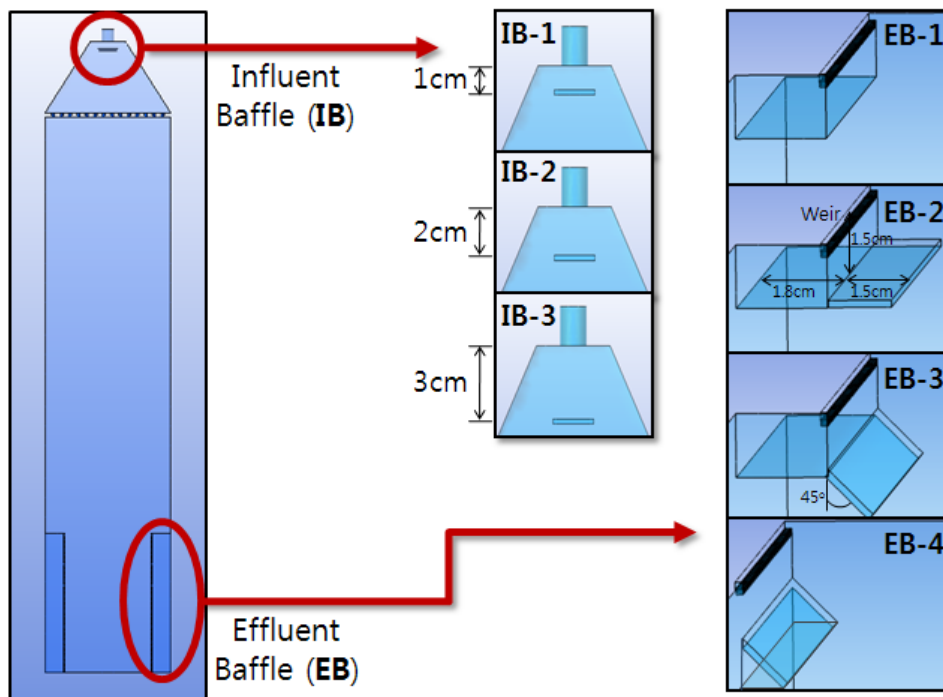


Fig. 2. Influent and effluent baffle configurations

Table 1. Mesh statistics(EB: Effluent Baffle)

Type	Tetrahedra	Pyramids	Prisms	Total
EB-1	1,006,144	1,850	476,902	1,484,896
EB-2	1,007,319	1,772	480,530	1,489,621
EB-3	1,006,633	1,942	477,730	1,486,305
EB-4	1,069,988	3,850	496,455	1,570,293

피라미드 및 프리즘으로 침전지 내부의 구조에 적합한 형태를 자동으로 구성하였다. 유동변동이 심할 것으로 예상되는 정류벽과 유출배플 그리고 침전지 벽면의 격자는 프리즘과 사면체격자를 조합하여 세밀하게 구성하였으며 각각의 유출배플의 형태에 따른 격자통계는 Table 1과 같다.

CFD 해석을 위한 경계조건으로 유입유체를 물로 가정했으며 난류모델은 자유면과 벽면에서의 영향을 동시에 해석하기 위해 SST(shear stress transport) 모델을 사용하였다. SST 모델은 경계층 내부에서는 $k-\omega$ 모델이 정확하고, 자유류에서는 $k-\epsilon$ 모델이 정확하다는 점에 착안하여 블렌딩 함수(blending function)를 이용, 두 난류모델을 조합한 형태이다. 침전지 유입조건(inlet mass flow rate)은 표면부하율 $20\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 을 기준으로 하여 계산된 0.03kg/s 를 적용하였고, 유출부는 대기압 상태에서 자연 유출되도록 상 대기압을 0 pa 로 설정하였다. 침전지의 벽면은 no-slip condition을 적용하였고, 수표면은 풍향이나 온도에 의한 영향을 받지 않는 자유수면을 갖도록 하였다. 유체의 온도는 20°C 로 항상 일정하다고 가정하였다.

2.3. PIV test

최근 들어 유속측정에 ADV(acoustic doppler velocimetry)와 PIV(particle image velocimetry)가 흔히 사용되고 있다. ADV는 3차원 유속데이터를 얻을 수 있고 휴대가 용이하나(신 등, 2003; 김 등, 2006) 수 cm/s 이상의 범위에서 유속 측정이 가능하고 수표면 부근에서는 유속측정이 불가능하여 bench-scale의 실험에서는 다소 부적합하다. 이에 본 연구에서는 CFX를 이용한 수치해석 결과에 대한 검증용을 위해 PIV test 기법을 채택하였다.

PIV test 시스템은 흐름의 정량적인 특성을 가시화시키는 장치이며, 광학영상기술을 이용하여 흐름장 내의 여러 지점의 속도를 동시다발적으로 측정할 수 있는 방법을 제공한다. PIV test를 위해 사용한 seeding particle은 유체흐름에 따

라서 움직임 정도로 충분히 작고, 부력의 영향을 최소화할 수 있어야 하므로, 본 연구에서는 seeding particle로서 hollow glass bead를 사용하였다. 이 입자의 직경은 $10\mu\text{m}$ 이며, 밀도는 1.05g/ml 로서 활성슬러지의 밀도와 매우 유사하다. CCD(charge-coupled device) 카메라(Megaplus ES 1.0)는 같은 입자의 움직임을 1초에 30장을 촬영하여 host computer에 저장하고 이 사진들에 나타난 동일 입자들의 움직임을 시간에 따라 추적함으로써 유속을 측정하게 된다. 본 연구에서 사용된 카메라는 1008×1018 pixel의 해상도를 가진다. 즉, 1초에 촬영된 30장 사진 각각의 시간 간격은 $1/30$ 초가 되며, 입자의 속도 벡터는 위치의 변화량을 시간 간격으로 나눔으로써 얻어진다. 후속 영상처리작업은 cross-correlation method를 사용하였다(박노석 등, 2001). 본 연구에 사용된 PIV test 시스템을 Fig. 3에 제시하였다.

3. 결과 및 토의

3.1. 유입배플의 위치가 유속분포에 미치는 영향

장방향 침전지에는 유입수 흐름이 침전지의 전 단면에 걸쳐 균일하게 되도록 유입배플이나 유공정류벽을 설치하게 된다. 유입흐름이 침전지의 전단면에서 균일하게 분배되지 않거나 유입관성에너지가 큰 경우에는 침전효율이 떨어지게 되므로(김, 1990) 유입수가 정류벽을 통과한 후 정류벽의 상, 하, 좌, 우에서 유속이 고르게 분포하는 것이 중요하다. 또한, 배플을 침전지 가까이 설치할수록 유입구와 배플 사이의 영역이 감소하여 이 영역 사이에서 생물학적 고형물의 응집가능성이 더욱 증대될 뿐만 아니라 유입수가 지내 체류수에 의해 희석되는 정도가 작아져 침전효율이 증가한다고 알려져 있다(김 등, 2001). 본 연구에서는 장방향 침전지에서 배플의 위치에 따른 영향을 정류벽 통과후의 유속 분포 결과로 평가해보고자 하였으며 CFD 해석결과를 Fig. 4에 제시하였다.

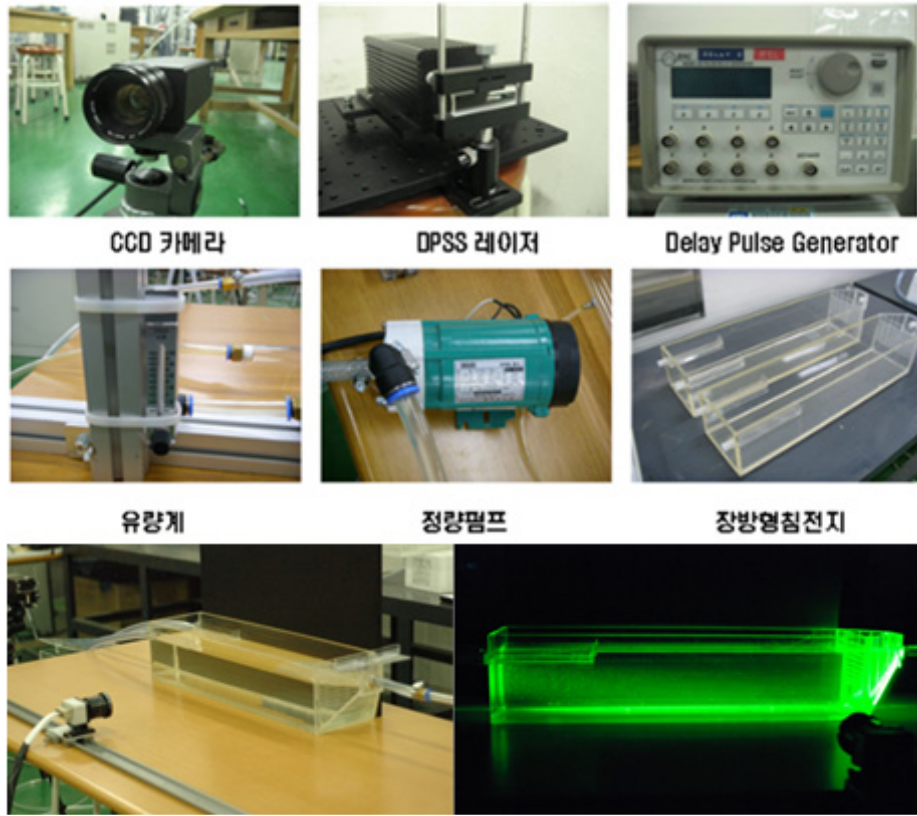


Fig. 3. Bench scale PIV test system

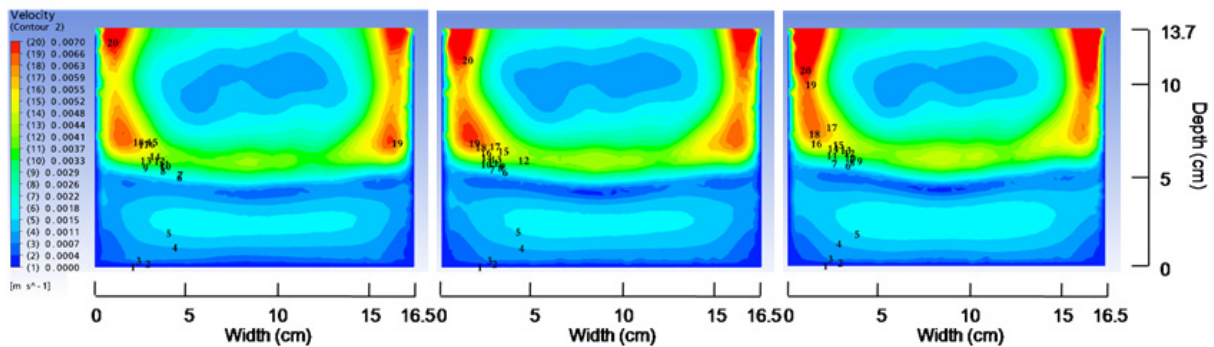


Fig. 4. Longitudinal velocity contour in the cross sectional area

Fig. 4는 Fig. 2에서 제시한 IB-1, 2, 3에 대해 유체가 정류벽을 통과한 직후 침전지 전단면에서의 유속분포를 나타낸 것으로 유공정류벽이 위치하는 단면에서의 속도범위는 0.0015 ~ 0.007 m/s인 것으로 파악되었다. 전체적인 유체의 흐름은 정류벽의 좌우 측면에 집중되는 경향을 나타내었으며, 정류벽의 하부 40%에 해당하는 단면에서는 공극이 존재하지 않기 때문에 매우 낮은 유속분포를 갖는 것으로

파악되었다. IB-3의 경우 침전지 바닥으로부터의 높이 10 ~ 13.7 cm인 구간에서 IB-1과 2에 비해 약 1.5 ~ 2배 가량 높은 값을 보여, 유속분포의 불균형이 가장 심한 것으로 확인되었다. 침전슬러지의 재부상 방지를 위해 유공이 설치되어 있지 않은 하부 40%(침전지 바닥으로부터 7.0 cm)를 제외한 상부 정류벽 직후 횡방향 단면에서의 높이별 평균 유속분포와 u(길이), v(폭), w(높이) 방향별 유속의

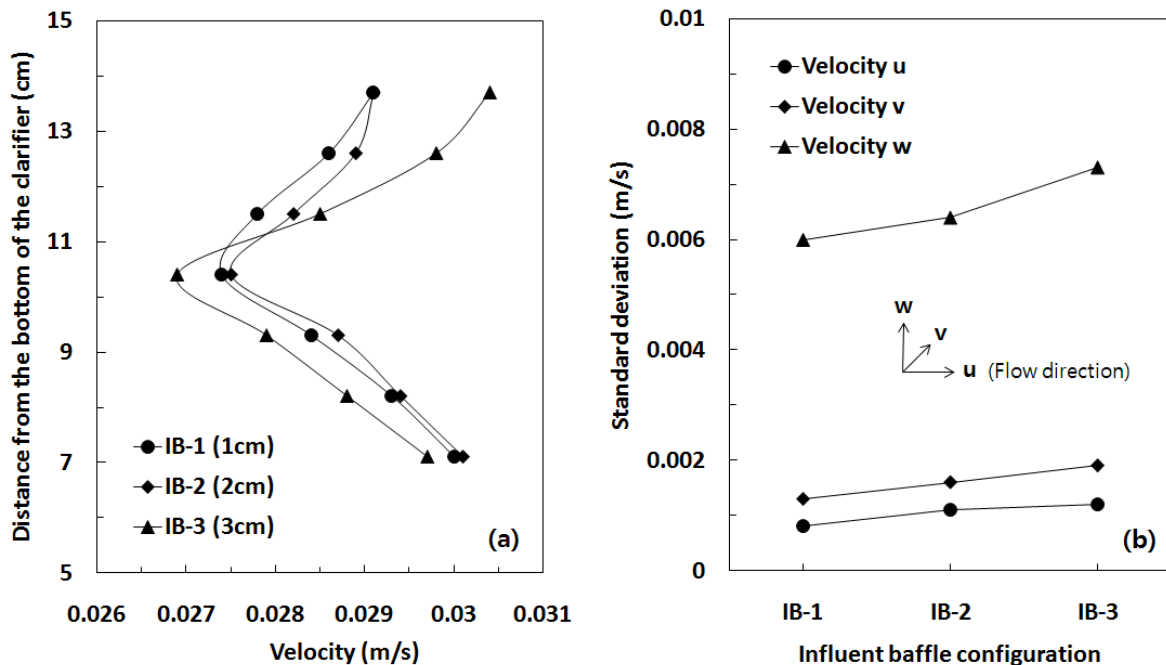


Fig. 5. Variation of averaged longitudinal velocity in the cross sectional area (a) and standard deviation of longitudinal(u), horizontal(v) and vertical(w) velocity (b)

표준편차를 Fig. 5에 제시하였다. 정류벽을 통과한 직후 높이별 축방향 평균유속은 Fig. 4에서 확인한 바와 마찬가지로 IB-3에서 그 편차가 가장 심한 것으로 파악되었고 IB-1과 2의 경우에는 비슷한 것으로 나타났다. 동일한 단면에서 유속벡터를 각 방향별(u, v, w 방향)로 추출하여 표준편차를 계산한 결과 IB-3가 가장 큰 편차를 가지는 것으로 분석되었고 IB-1이 상대적으로 가장 고른 유속분포를 나타내는 것으로 확인되었다. 이는 김 등(2001)에 의한 침전지 유입구와 유입배플의 간격을 최소화하는 것이 침전효율 향상에 유리하다는 연구결과와도 일치한다. 따라서 이후 유출배플의 형태 최적화 연구에서는 IB-1을 고정적으로 채택하여 사용하였다.

3.2. 유출배플의 형상이 유속분포에 미치는 영향

침전지 내부의 유체이동 형태는 침전지의 전반부에서는 유속분포가 불균일하며 침전지의 수면부분에서 가장 빠르고 하단부로 갈수록 느린 경향을 보이거나 침전지 말단부에서는 수표면으로의 상향유속을 강하게 나타낸다(최 등, 2002). 본 연구에서 수행한 수치모의해석 결과 역시 이와 유사한 경향을 보였다. 유체의 흐름은 정류벽을 통과한 후 수표면에서 가장 높은 것으로 나타났으며, 침전지 중심부에서는 유체의 흐름이 정체되는 경향을 보였고, 침전지의 유출부로 갈수록 상향유속이 급격히 증가하였다. 유출배플이 위

치한 지역을 중심으로 Fig. 2에서 제시한 유출배플의 형태(EB-1, 2, 3, 4)에 따른 침전지 중단면에서의 유속분포를 Fig. 6에 제시하였다.

Fig. 6은 유출위어의 끝에서 침전지 중심축 방향으로 2 mm 떨어진 중단면에서의 유속분포도로서 상향유속이 가장 뚜렷하게 발생하는 부분이다. CFD 해석결과 유출배플의 형태에 따라 상향유속에 다소 차이가 발생하는 것을 확인하였으며, 중단면 전체에 걸쳐 가장 낮은 상향유속을 나타낸 배플의 형태는 EB-2인 것으로 나타났다. 또한 EB-2의 경우에는 다른 배플과는 달리 위어 전체에 걸쳐서도 고른 상향유속을 나타내는 것으로 확인되어 수평형태의 상향유속방지 배플(EB-2, McKinney baffle)이 침전지에서의 입자 재부상 방지 및 위어에서의 안정적인 유출수 월류에도 가장 유리한 것으로 판단되었다. 반면 상향유속방지를 위한 가이드 배플이 별도로 설치되어 있지 않은 EB-1에서는 침전지 하부에서의 상향유속이 가장 높은 것으로 나타났으며, 가이드 배플이 45°의 각도를 이루고 있는 EB-3에서는 배플 하단의 상향유속 감소에는 다소 효과적이거나 위어 부분에서의 유속분포가 불균일한 것으로 나타났다. EB-4의 경우 유출위어에서의 유속분포도 불균일한 것으로 나타났을 뿐만 아니라 유출배플 하단에서도 국부적인 상향유속이 발생하는 것으로 확인되었다.

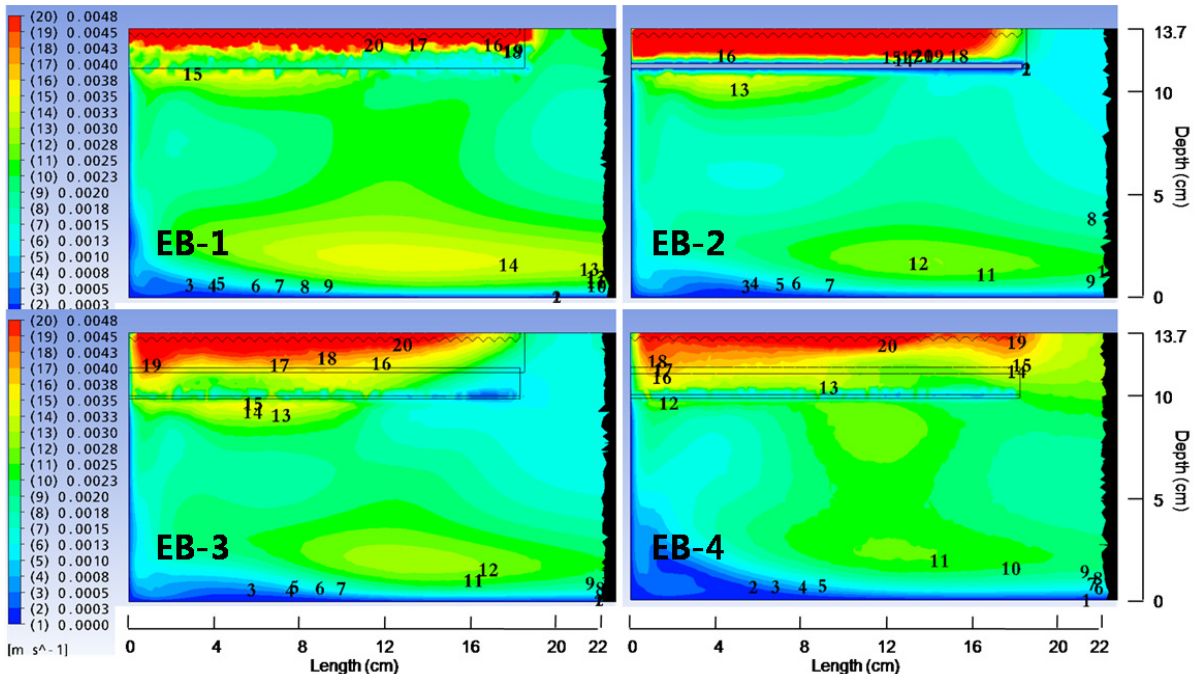


Fig. 6. Velocity contour around the effluent baffle(CFD analysis)

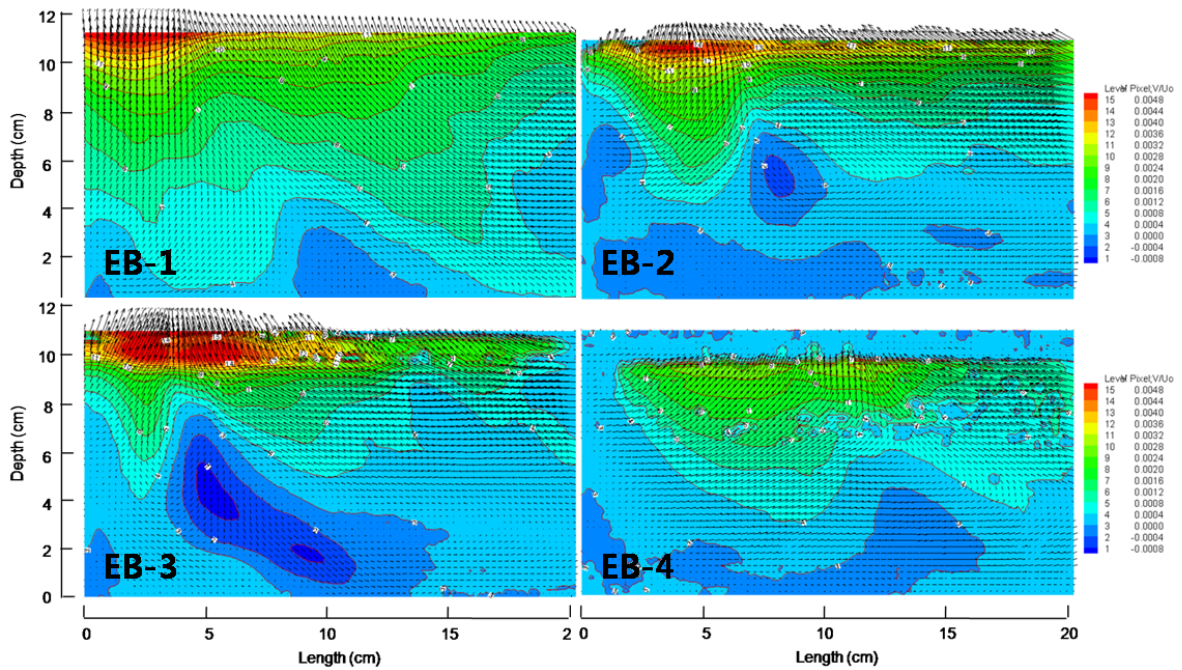


Fig. 7. Velocity profile around the effluent baffle (PIV test)

3.3. 유출배플의 형상에 따른 PIV test 결과
CFD 분석결과에 대한 비교검증을 위해 아크릴반응조와 hollow glass bead를 사용하여 실시한 PIV test 결과를 Fig. 7에 제시하였다. PIV 측정은 유출위어의 형태로 인해

촬영이 불가능했던 상부 2cm를 제외하고 CFD 해석과 같은 종단면에서 실시하였다. 다만 EB-4의 경우에는 유출위어가 침전지 벽면에 위치하고 있기 때문에 PIV test 결과에 유출위어 부분의 상향유속이 표현되지 못하였다. Fig. 6에

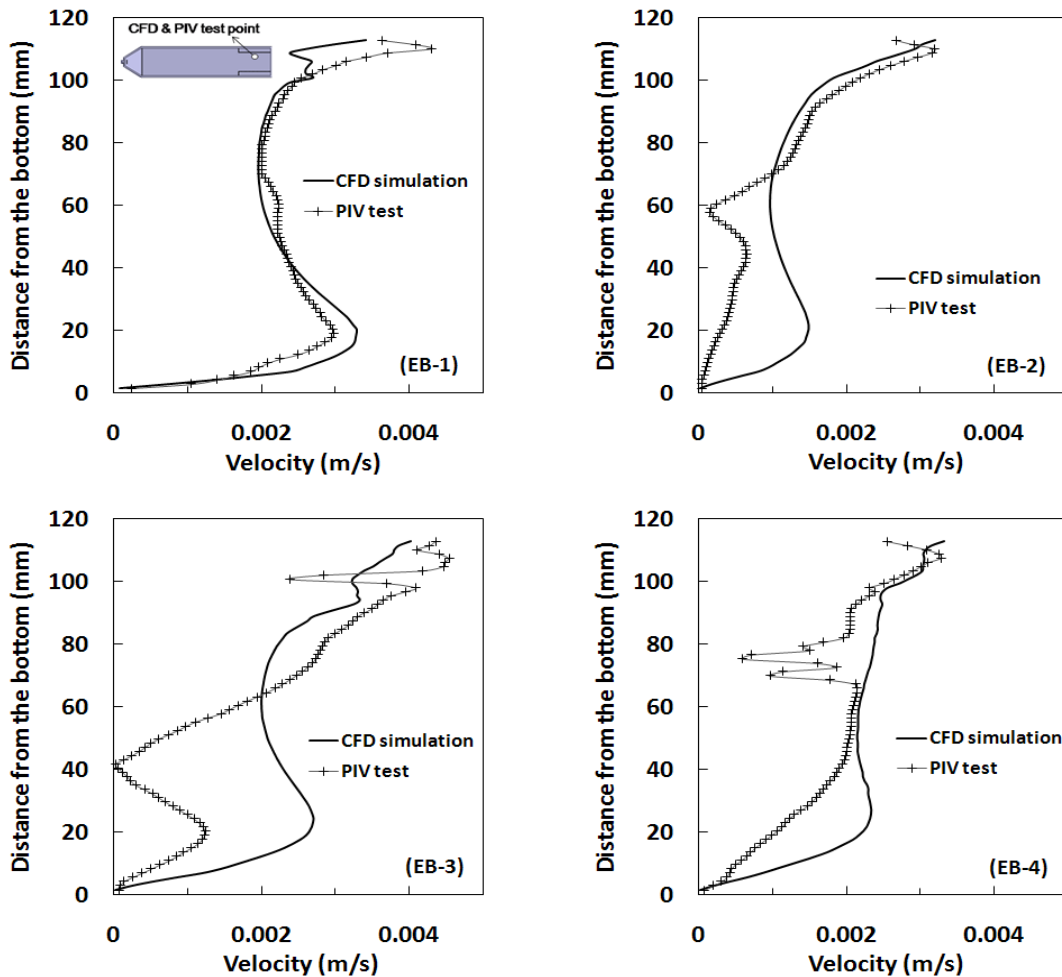


Fig. 8. Comparison between CFD and PIV test results at the center of the effluent baffles in longitudinal direction

제시한 유출배플이 위치한 종단면에서의 CFD 해석결과와 마찬가지로 EB-1의 경우 단면 전체에 걸쳐 실제 상향유속이 가장 높은 것으로 나타났다(Fig. 7). 또한 EB-3의 경우 CFD 해석결과와 마찬가지로 유출위어 부근에서의 유속이 다른 배플 형태에 비해 높은 것으로 나타났을 뿐만 아니라 유속분포도 가장 불균일한 것으로 확인되었다. EB-4의 경우 유출위어부분의 유속장이 측정되지지는 못하였으나 유출배플 하단부에서의 유속분포는 비교적 안정적인 것으로 측정되었다. 그러나 CFD 결과와 같이 국부적인 유속장의 변화는 발생하지 않았다.

결과적으로 PIV test에서도 EB-2의 경우가 침전조 바닥 부근의 상향유속을 최대한 억제할 수 있음과 동시에 유출위어에서의 고른 유속분포를 보이는 것으로 나타나 침전조의 고액분리효율을 극대화시킬 수 있는 배플의 형태인 것으로 확인되었다.

3.4. CFD와 PIV test 결과 비교 · 분석

CFD 해석결과와 PIV test 결과를 비교·분석하기 위해 EB-1~EB-4의 길이방향 중간지점을 선택하여 침전지 깊이별 유속값을 Fig. 8에 제시하였다. CFD를 이용한 이론적 해석의 경우, 침전지 바닥으로부터의 유속 증가가 PIV test 결과에 비해서 전반적으로 크게 나타났다. 이러한 현상은 Lamberto et al.(1999)이 제시한 완전혼합탱크의 층류 유동해석에서 교반패들과 인접한 유체의 경우, PIV test 결과가 CFD 해석 결과에 비해 낮은 유속분포를 보인다는 결과와 일치한다. 즉, hollow glass bead를 PIV test용 입자로 사용한 본 연구의 경우, bead의 비중(1.05)이 물보다는 무거운 뿐만 아니라 침전지 바닥에 가라앉은 bead가 순수한 물보다는 훨씬 더 큰 마찰을 받았을 것이기 때문이다. 모형침전지 바닥으로부터 40mm 위쪽에서는 침전지 벽면과 입자와의 마찰이 거의 없기 때문에 CFD 해석결과와 PIV test 결과가

침전지 하부보다는 잘 일치하는 것으로 확인되었다.

유출배플의 형태에 따른 CFD와 PIV 해석결과(Fig. 8)로부터 침전지 하부의 유동이 가장 작은 배플은 EB-2인 것으로 나타났다. 하부 40mm 이하 영역에서의 PIV 실측 평균유속은 EB-1, EB-2, EB-3, EB-4 배플의 경우, 각각 2.38, 0.30, 0.68, 1.04 mm/sec로 나타나 EB-2가 가장 낮았으며, CFD 해석결과도 EB-2가 1.16 mm/sec로 분석되어 침전지 바닥면의 상향유속 방지에 가장 유리한 것으로 확인되었다. CFD 해석결과 EB-1, EB-3, EB-4의 경우 침전지 하부 평균유속은 각각 2.66, 2.08, 1.78 mm/sec로 PIV test 결과와 비슷한 경향을 나타내었다. 결론적으로 유출배플의 주요한 목적인 상향유속 방지에는 EB-2 형태의 배플이 가장 효과적인 것으로 확인되었으며, 배플이 없는 EB-1과 배플이 45° 하향으로 위치한 경우에는 상향유속 저감효과가 상대적으로 미미한 것으로 나타났다. 침전지 하단부에서의 유속분포에서 PIV 실측 결과가 CFD 예측 결과에 비해 전반적으로 낮게 나타난 이유는 PIV test에 사용된 hollow glass bead의 밀도가 물보다는 다소 높고 bead 간의 충돌에 의한 간섭이 발생했기 때문이라고 판단된다. 또한 침전지 중상부의 PIV test에서 확인된 EB-3과 EB-4의 비일관적인 유속분포는 국지적인 와류발생이 주요한 원인이라고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 장방형침전지의 유입 및 유출배플의 위치 및 형태가 침전지에서의 수리학적 거동에 미치는 영향을 파악하여 가장 효율적인 배플의 위치 및 형태를 도출하고자 하였다. 이를 위해 CFD를 이용한 이론적 해석과 PIV test를 통한 검증은 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 장방형 2차침전지 유입배플의 위치를 유입구에서 1cm, 2cm, 3cm로 변화시키며 유속분포를 해석한 결과 유입배플의 위치가 유입구에 가깝게 위치할수록 상대적으로 보다 균일한 축방향 유속을 보이는 것으로 나타났다.
2. 4가지 형태의 유출배플을 장방형 2차침전지에 적용하여 유체의 유동을 해석한 결과, 수평형태의 상향유속방지 배플이 설치된 McKinney baffle (EB-2) 형태가 상향유속방지에 가장 효과적인 것으로 예측되었다.
3. 입자영상유속계를 사용하여 실측한 경우에도 McKinney baffle (EB-2)을 사용한 경우가 침전지 하단에서의 상향유속이 가장 낮은 것으로 확인되었고, 위어에서의 월류유속도 가장 고르게 분포하는 것으로 분석되었다.
4. 침전지 유출배플의 형태에 따른 PIV test 결과가 이론적

유체 유동해석결과와 매우 유사한 경향을 갖는 것으로 나타나 CFD 해석과정에 대한 신뢰성을 확인할 수 있었다. 이를 통해 침전지 상향유속 방지에는 EB-2 배플의 형태가 가장 유리한 것으로 확인할 수 있었으며, 배플이 없는 EB-1 형태 및 배플이 45° 하향으로 위치한 EB-3의 경우에는 상향유속 저감효과가 상대적으로 미미한 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2007년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호: KRF-2007-314-D00153)

참고문헌

- 김진우, 최영균, 김규동, 정태학 (2001) 수리유체동역학 모델을 이용한 장방형 침전지에서의 유체흐름 분석, **한국물환경학회대 한상하수도학회 2001 공동총계학술발표회 논문집**, pp. 341-344.
- 김지원, 김상현, 윤종성, 우혜진, 김창원 (2001) 2차 침전조내 baffle 위치에 따른 밀도류 발생의 실험연구, **대한환경공학회지**, 제23권, 제2호, pp. 223-231.
- 김성수, 박노석, 문용택, 이선주 (2006) 침전지 유출부 구조 Remodeling을 통한 개선 사례 연구, **상하수도학회지**, 제20권, 제6호, pp. 911-918.
- 김홍석 (1990) 구형 침전지의 정류벽과 월류장치의 형태와 위치에 관한 연구, **한양대학교 대학원 박사학위논문**.
- 노성진, 이길성 (2000) CFD를 이용한 정방형 침전지의 흐름 수치 모의, **대한토목학회 2000 학술발표회 논문집**.
- 박노석, 권순범, 이선주, 배철호, 김정현, 안효원 (2005) 전산유체 역학과 ADV 기술을 이용한 장폭비의 DAF조내 수리흐름에 미치는 영향 연구, **상하수도학회지**, 제19권, 제4호, pp. 421-428.
- 박노석, 박희경, 김종섭 (2001) 입자영상유속계를 이용한 급속혼화에서의 국부속도경사 분포에 관한 연구, **대한환경공학회지**, 제23권, 제12호, 2033-2044.
- 신은허, 김성훈, 석관수, 박희경 (2003) CFD를 이용한 정수지의 모델 개발과 장폭비에 대한 고찰, **대한환경공학회 2003 춘계 학술연구발표회 논문집**, pp. 387-391.
- 오미영 (2003) 장방형 침전지의 배플과 위어가 수리거동에 미치는 영향, **서울대학교 대학원 석사학위논문**.
- 이길성, 김성훈 (2001) CFD를 이용한 침전지내 흐름의 수치모의 및 침전효율의 평가, **대한토목학회 2001 학술발표회 논문집**.

- 최계운, 김경환, 김사동, 이용희 (2002) 축소형 정류공을 가진 정류벽 설치에 따른 하향흐름효과에 관한 연구, *대한토목학회지*, 제22권, 제1-B호, pp. 11-19.
- 환경부 (2005) *하수도시설기준*.
- ANSYS (2003) *ANSYS-CFX 5.6 User Manual*, ANSYS-CFX Europe Ltd., Oxfordshire, UK.
- Armbruster, M., Krebs, P., Rodi, W. (2001) Numerical modelling of dynamic sludge blanket behaviour in secondary clarifiers, *Water Sci. Technol.*, Vol. 43, pp. 173-180.
- ASCE (1994) *Design of Municipal Wastewater Treatment Plants*, 4th Edn., WEF Manual of Practice 8, ASCE Manual and Report on Engineering Practice No. 76, USA.
- Daigger, G.T. (1995) Development of refined clarifier operating diagrams using an updated settling characteristics database, *Water Environ. Res.*, Vol. 67, pp. 95-100.
- Ekama, G.A., Barnard, J.L., Gunthert, F.W., Krebs, P., McCorquodate, J.A., Parker, D.S. and Wahlberg, E.J. (1997) *Secondary settling tanks: theory, design, modelling and operation*, IAWQ STR No. 6, London: International Water Association: London.
- Ekama, G.A. and Marais, P. (2004) Assessing the applicability of the 1D flux theory to full-scale secondary settling tank design with a 2D hydrodynamic model, *Water Res.*, Vol. 38, pp. 495-506.
- Glover, G.C., Printemps, C., Essemiani, K. and Meinhold, J. (2006) Modelling of wastewater treatment plant - how far shall we go with sophisticated modelling tools?, *Water Sci. Technol.*, Vol. 53, No. 3, pp. 79-89.
- Gohle, F., Finnson, A., Hultman, B. (1996) Dynamic simulation of sludge blanket movements in a full scale rectangular sedimentation basin, *Water Sci. Technol.*, Vol. 33, No. 1, pp. 89-99.
- Hamlin, M.J. (1972) *Paper 2. Preliminary treatment and sedimentation, In Advances in Sewage Treatment*, Proc. Conf. Inst., Civil Eng. London, Eng.
- Helton, J.C., Davis, F.J. and Johnson, J.D. (2005) A comparison of uncertainty and sensitivity analysis results obtained with random and Latin hypercube sampling, *Reliability engineering & System safety*, Vol. 89, No. 3, pp. 305-330.
- Jensen, M.D., Ingildsen, P., Rasmussen, M.R. and Laursen, J. (2006) Computational fluid dynamics modelling of hydraulics and sedimentation in process reactors during aeration tank settling, *Water Sci. Technol.*, Vol. 53, No. 12, pp. 257-264.
- Lakehal, D. (2002) On the modelling multiphase turbulent flows for environmental and hydrodynamic applications, *Multiphase Flow*, Vol. 28, pp. 823-863.
- Lamberto, D.J., Alvarez, M.M. and Muzzio, F.J. (1999) Experimental and computational investigation of the laminar flow structure in a stirred tank, *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 54, pp. 919-942.
- Merlo, R.P., Esping, D., Jimenez, J., Campanella, K., Freedman, S., Parker, D., Wahlberg, E., Witzgall, B. and Caldwell, B. (2006) *Getting more out of secondary clarifiers for wet weather flow management using state of the art tools*, WEFTEC 2006, Water Environment Foundation, pp. 292-309.
- Metcalf & Eddy, Inc. (2003) *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th Edn. McGraw-Hill, New York.
- Minasny, B. and McBratney, A.B. (2006) A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information, *Computers & Geosciences*, Vol. 32, No. 9, pp. 1378-1388.
- Stukenberg, J.R., Rodman, L.C. and Touslee, J.E. (1983) Activated sludge clarifier design improvements, *J. Water Pollut. Control Fed.*, Vol. 55, No. 4, pp. 341-348.
- Wahlberg, E.J. (1995) *Update on secondary clarifiers: Design, Operation, and Performance*, Proceedings, 4th National Wastewater Treatment Technology Transfer Workshop, Kansas City, MO.
- Watts, R.W., Svoronos, S.A. and Koopman, B. (1996) One dimensional modelling of secondary clarifiers using a concentration feed velocity dependent dispersion coefficient, *Water Res.*, Vol. 30, No. 9, pp. 2112-2124.
- Wilson, T.E. (1996) *A New Approach to Interpret Settling Data*, Proceedings of Water Environment Federation 69th Annual Conference and Exposition, Vol. 1, Part 1, Wastewater Treatment Research, Alexandria, VA.