

## 유입구 및 정류벽 최적설계에 의한 최종 침전지 성능 개선 연구

김혜숙 · 신미수 · 장동순<sup>†</sup> · 정성희\* · 강동효\*\*

충남대학교 환경공학과 · \*한국원자력연구소 · \*부산광역시 환경시설공단

(2004년 9월 22일 접수, 2005년 2월 5일 채택)

### Performance Enhancement Study of a Final Clarifier by the Optimum Design of Inlet and Baffle Condition

Hey-Suk Kim · Mi-Soo Shin · Dong-Soon Jang<sup>†</sup> · Sung-Hee Jung\* · Dong-Hyo Gang\*\*

Department of Environmental Engineering, Chungnam National University · \*Korea Atomic Energy Research Institute

\*\*Busan Metropolitan City Environmental Installations Corporation

**ABSTRACT :** The effluent quality is directly affected by the separation of biological solids in a final clarifier because the majority of discharged BOD<sub>5</sub> and SS are virtually dependent on the results of biological solids in the sedimentation tank effluent. If a final clarifier is effectively designed and operated, the desired goal of clarification for wastewater can be achieved together with the cost reduction in the treatment of wastewater. To this end flow characteristics and the removal efficiency of SS are numerically investigated especially by the change of the inlet position and the installation of baffle to improve the performance of a rectangular final clarifier. The 2-D computer program developed in a rectangular coordinates has been successfully validated against experimental residence time distribution (RTD) curves obtained by tracing radio-isotope. The lowering of the inlet position weakens the density current and induces the settling of SS in the front zone of a clarifier. Thus the decreased traveling distance of the sludge increases the removal efficiency of SS in the effluent. The inlet baffle installed in the front region of clarifier prevents the short circuiting flow and induces to flow into the dense underflow, which eventually improves the effluent quality. In the case of lower inlet position, however, installation of baffle results in degradation of effluent quality. Consequently it is strongly recommended that in-depth numerical study be performed in advance for optimizing a clarifier design and retrofitting to improve effluent quality in a final clarifier.

**Key Words :** Radio-Tracer, Residence Time Distribution (RTD), Density Current, Inlet Baffle, Short Circuiting Flow

**요약 :** 하·폐수 처리장의 방류수 수질은 최종 침전지의 성능에 의해 직접적으로 영향을 받으므로 최종 침전지의 효율적 설계 및 운전은 하·폐수 처리에 소요되는 비용 절감과 더불어 수질보전을 위한 하수 정화의 목표를 달성할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 장방형 최종 침전지의 성능 개선을 위하여 유입구 위치와 정류벽 설치에 따른 내부 유동특성 및 고형물질의 제거효율을 수치해석방법을 통해 평가하였다. 개발된 2차원 컴퓨터 프로그램은 방사성 추적자를 이용한 체제시간분포 곡선과의 비교를 통해 성공적으로 검증된 수치해석 모델로 수력학적 구조변경에 대한 침전지의 성능 예측을 가능하게 하였다. 최종 침전지의 유입구 위치는 낮을수록 침전지에 형성된 강력한 바닥흐름과 수표면 역흐름으로 나타나는 밀도류를 저감시켰으며 침강된 슬러지의 하류 이동을 감소시켰다. 최종 침전지 유입부에 설치된 정류벽은 유입수가 출구로 직접 흐르는 단락류를 방지하고 밀도 저류로 유입되도록 하여 방류수 수질을 향상시키나 유입구 위치가 낮은 경우에 설치된 정류벽은 오히려 방류수 수질을 떨어뜨리는 결과를 초래하였다. 결국 최종 침전지의 성능 개선을 위한 수력학적 구조변경 및 설계는 다양한 변수에 대한 조직적인 수치해석 연구가 필요하며 선행되어야 할 것으로 판단된다.

**주제어 :** 방사성 추적자, 체제시간분포, 밀도류, 정류벽, 단락류

## 1. 서론

하·폐수 처리장에서 활성슬러지 시스템은 가장 중요한 공정의 하나로 생물학적 반응조인 폭기조와 생물학적 고형물질을 제거하기 위한 침전지로 구성되어 있다. 폭기조에서는 활성슬러지와 산소를 주입하여 폐수에 포함된 유기물질

을 분해하며 최종 침전지에서는 공급된 활성슬러지를 폐수로부터 분리하여 공정조건에 따라 일부는 폭기조로 반송시켜 일정량 이상의 활성슬러지 농도를 유지시키고 일부는 폐기시킨다. 일반적인 침전공정은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 생물학적 폭기조 전 후단에 설치하여 유입수에 포함된 모래나 입자성 물질을 최초 침전지에서 제거하고 최종 침전지에서는 폭기조에서 유입된 활성슬러지 및 침전성 입자를 분리하는데 사용된다.

최종 침전지에서 유기성 입자들이 효율적으로 제거된다

<sup>†</sup> Corresponding author  
E-mail: P\_dsjang@cnu.ac.kr  
Tel: 042-821-6677

Fax: 042-821-8362

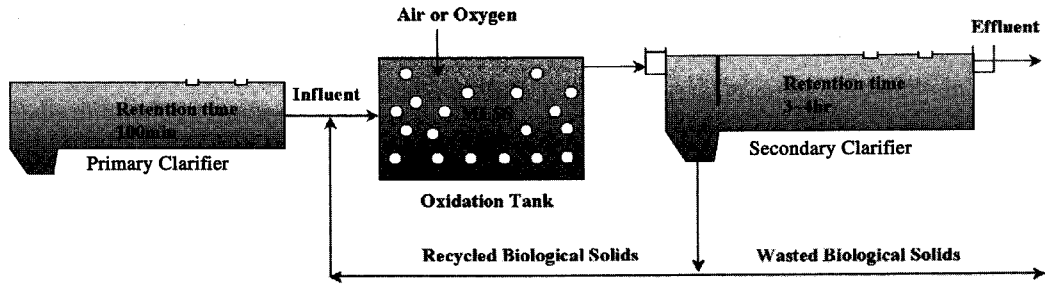


Fig. 1. Schematic of a typical activated sludge system.

면 방류수 COD(Chemical Oxygen Demand)가 14~45%까지 감소될 수 있으며 입자성 인의 제거효율 또한 55~80%까지 증가될 수 있으므로 고형물질의 분리는 전반적인 폐수처리성능에 매우 중요한 인자임을 알 수 있다. 이외 여러 국가의 하·폐수 처리장에서 침강 문제로 인한 방류수 수질의 저하는 대략 20~50% 정도로 보고되고 있다.<sup>1)</sup> 결국 하·폐수 처리장의 방류수 수질은 최종 침전지의 성능에 의해 직접적으로 영향을 받으므로 최종 침전지가 효과적으로 운전된다면 하수처리에 소요되는 비용절감과 더불어 수질보전을 위한 하수 정화의 목표를 달성할 수 있다.

활성슬러지 시스템에서 최종 침전지는 생물학적 고형물질의 제거 외에도 일정량의 활성슬러지를 고농도로 반송하여 처리계통 전체를 안정적으로 유지할 수 있는 농축기능이 부가적으로 필요하며 우기시 최고유량에 대비하여 슬러지를 저장할 수 있는 기능을 수행한다. 이와 같은 침전지의 기능 중 하나라도 문제가 발생하면 과도한 부유고형물질이 웨어를 통해 유출될 수 있다.

최종 침전지에 의한 방류수 수질저하의 원인을 평가하기 위해 Parker 등(1999)는 구조적 진단 접근법(Structured diagnostic approach, SDA)을 제안하였다.<sup>2)</sup> SDA는 방류수 부유고형물질(Effluent suspended solids, ESS), 분산 부유고형물질(Dispersed suspended solids, DSS), 그리고 응집고형물질(Flocculated suspended solids, FSS)의 농도 측정을 포함하고 있다. 침전지의 정화성능을 단적으로 나타내는 ESS와 함께 DSS는 채취시점 및 위치에서의 응집 상태를 정량화할 수 있는 반면 FSS는 시료의 최적 응집정도를 모사한다. Table 1은 SDA로부터 침전지 문제의 원인을 평가하는 방법을 제시하고 있으나 침전지의 수력학적 문제에 대한 정확한 해석은 불가능하다.

이외 물리·화학적, 그리고 생물학적 요인들과 같이 많은 인자들이 침전지의 성능과 고형물질 제거효율에 영향을 준다.

Table 1. Analysis of clarification failure (at high ESS) by DSS/FSS testing<sup>3)</sup>

| DSS  | FSS  | cause                   |
|------|------|-------------------------|
| high | high | biological flocculation |
| high | low  | physical flocculation   |
| low  | high | impossible              |
| low  | low  | hydraulics              |

특히 최종침전지의 수력학적 특성은 과거 이상적인 유동형태인 층류 가정과 달리 고형물질에 의해 증가된 유입수의 밀도에 의해 입구근처에서 밀도폭포현상과 침강부의 강력한 바닥 밀도류, 그리고 수표면 역흐름 등을 형성하고 있다.

최종 침전지에서 부유고형물질과 온도차에 의해 발생한 강력한 밀도류는 침전지 내부에 비이상적인 유동특성인 난류와 편류 등을 형성하므로 유입 에너지를 슬러지 저류에 작용시키지 않기 위한 최적설계 및 운전조건을 설정하기 위한 많은 연구를 필요로 하며 본 논문에서는 이의 일환으로 유입구 위치와 정류벽 설치에 따른 내부 유동특성과 침전지의 고형물질 제거성능을 수치해석적 방법을 통해 평가하였다.

입구와 정류벽과 같은 수력학적 구조물은 침전지에 형성된 강력한 밀도류를 감소시키고 슬러지 블랭킷을 안정적으로 유지하여 슬러지 응집을 도모하는 형태가 바람직하다. 침전지 성능을 개선하기 위하여 Kreb 등(1995)은 유입구의 위치가 낮을수록 고형물질의 제거효율에 유리하다는 결론을 제시하였으며 유입수가 넓은 영역으로 분산되어 수직·수평방향 흐름이 균일하게 유입될수록 밀도류를 감소시킬 수 있다.<sup>4)</sup>

Esler 등(1984)은 기존의 장방형 침전지 중간부분에 정류벽을 설치할 경우 밀도류를 분산시켜 침전 성능이 개선되었음을 보여주었으며 최근에는 일본에서 이를 설계에 직접 응용하고 있다.<sup>5)</sup> 그러나 장방형 침전지 중간부의 정류벽 설치에 스크 및 하부에 침전된 슬러지 제거를 위한 스크래퍼의 이동으로 인해 현장작용이 어려운 실정이다. 그러므로 대부분의 하수처리장에서는 침전조 유입구에 유입 정류벽의 설치하여 유입수의 흐름을 균일하게 분산시키고 단락류를 방지하도록 권장하고 있다.

기존의 장방형 최종 침전지에 대한 연구는 실제 현장에서 측정장치의 부적합성과 슬러지 제거시스템의 비정상 조건, 운전상태 등의 변화 등으로 신뢰성 있는 실험결과가 부족한 이론적인 수치해석 결과가 대부분이었다. 그러나 본 연구에서는 부산 하수처리장의 최종 침전지에 방사성 추적자를 투입한 후 시간에 따른 농도곡선인 체제시간분포도(Residence Time Distribution, RTD), 즉 유량통과속도(Flow through-curve)를 측정하여 내부 유동특성을 정확하게 평가하였으며 이로부터 개발된 2차원 장방형 침전지 프로그램을 보정하고 검증하는데 이용하였다.

현재 대부분의 하수처리장이 과대 설계되거나 비효율적으로 운영되고 있으며 하수처리에 소요되는 비용이 계속 상승하고 있는 추세로 방류수 수질에 직접적인 영향을 줄 수 있는 최종 침전지의 효율적 설계 및 운영이 시급한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 장방형 최종 침전지의 유입구와 정류벽의 수력학적 구조변경에 따른 침전지 내부 유동특성을 검증된 컴퓨터 모델을 이용하여 평가하였으며 출구에서 계산된 SS 농도를 비교하여 침전지 성능 개선을 위한 최적의 설계 자료를 제시하고자 한다.

## 2. 수학적 모델 및 방법

최종 침전지의 2차원 수직평면에서 유동특성을 규명하기 위하여 x-y 수직평면에 대한 직교좌표에서 컴퓨터 프로그램을 개발하였다. 질량, 운동량, 에너지, 난류 및 고형물질 농도 등에 대한 지배방정식은 2차원 좌표계에서 다음과 같이 표현되며 단위체적당 시간에 따른 변화량은 유동 및 확산항 그리고 단위체적당 생성항의 합으로 나타난다.

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \phi) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_j}) + S_\phi \tag{1}$$

위 식에서  $\phi$ 는 단위 질량당 일반 종속변수로서 x, y 방향으로 따른 속도(u,v), 압력(p), 난류에너지(k)와 이의 소산율( $\epsilon$ ), 온도(T), 부유고형물질농도(C) 등을 나타내며  $\Gamma_\phi$ 와  $S_\phi$ 는  $\phi$ 에 해당되는 난류확산계수와 생성항이다.<sup>6)</sup>

다양한 크기를 가진 부유고형물질의 농도를 계산하기 위한 입자이동모델은 식 (2)와 같이 표현할 수 있으며 마지막 항인  $V_s$ 는 고형물질의 침강속도를 나타낸다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}(v_{sx} \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(v_{sy} \frac{\partial C}{\partial y}) + V_s C_i \tag{2}$$

여기서  $v_{sx}$ 와  $v_{sy}$ 는 각각 x 방향, y 방향의 물질전달 특성을 나타내는 Schmidt 수이다.

부유고형물질의 침강속도는 침전지 성능을 결정하는 중요한 인자로 개별입자 침강모델, 동형분산 침강모델, 이형분산 침강모델, 그리고 현장에서 실측된 SVI(Sludge Volume Index)의 함수로 주어지는 경험적 침강모델들이 제안되고 있다.<sup>7)</sup> 그러나 다양한 침강모델의 현실적인 적용을 위해서는 유입되는 하·폐수의 특성과 사용된 처리공정에 따른 함수 보정이 추가적으로 필요하며 이러한 과정은 비교적 쉽지 않다. 그러므로 본 연구에서는 최종 침전지 고형물질의 일반적인 입경범위인 0.05~1.4 mm에 대해 식 (3)과 같은 경험적 개별입자 침강모델을 사용하였으며 출구에서 측정된 방출수의 SS와 비교하였을 때 다른 침강모델에 비해 상대적으로 일치된 결과를 나타내었다.

$$V_s = 0.35 + 1.7D_i \tag{3}$$

여기서  $D_i$ 는 슬러지 입자의 직경을 나타낸다.

유체 밀도는 부유고형물질의 농도와 온도로부터 식 (3)과 같이 경험적으로 계산하며  $\rho_T$ 는 온도의 함수인 밀도, C는 부유고형물질의 농도를,  $S_s$ 는 고형물질의 비중량을 나타낸다.<sup>8)</sup>

$$\rho = \rho_T + C(1 - S_s^{-1}) \tag{4}$$

난류 유동 해석은 다양한 특성 시간과 와(渦)크기에 대한 구체적인 계산이 필요하나 제한된 컴퓨터 용량과 속도로 인해 직접적인 해를 구하는 것은 쉽지 않으므로 주요 변수에 대해 시간 평균을 사용하는 전통적인 방법으로 해석하였다. 이때 유동항과 같은 비선형항에 대한 시간 평균은 레이놀즈(Reynolds) 전단력과 같은 변동상관항(Turbulent fluctuation correlation)에 대한 모델이 요구된다. 미지의 레이놀즈 전단력은 Boussinesq 가정을 이용하였고 난류점성계수  $\mu_t$ 는 Launder와 Spalding이 제시한 표준 k- $\epsilon$  모델을 사용하였다.<sup>9)</sup>

식 (1)과 같이 표현된 2차 편미분 지배방정식은 검사체적에 기초한 Patankar의 유한차분방법을 사용하여 이산화하였으며 운동량 방정식에 나타나는 속도와 압력의 연계는 SIMPLEC (Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations Consistent) 알고리즘을 사용하였다. 이산화된 식은 형식은 선형이나 종속변수의 함수로 주어지는 선형계수에 내재된 비선형특성으로 인해 TDMA(TriDiagonal Matrix Algorithm)에 의해 반복 계산하였다.<sup>6)</sup>

## 3. 실험방법 및 결과

본 연구에서 개발된 최종 침전지 유동 해석 모델은 일반 산업공정에서 공정성능을 진단하는 방법 중의 하나인 체재시간 분포곡선(RTD)을 이용하여 모델을 검증하였다. 체재시간 분포곡선 실험은 방사성 동위원소인 I-131(20mCi, 액체상)을 추적자로 사용하였다. 이와 같이 추적자로 사용된 방사성 동위원소는 미량으로도 정확하게 검출되며 공정의 물리·화학적 상태에 전혀 영향을 주지 않기 때문에 최근에 그 사용량이 증가하고 있다.<sup>10)</sup>

방사성 추적자는 침전지 입구 전 단계 공정인 생물학적 폭기조 후단에 주입한 후 Fig. 2에 나타난 최종 침전지 도식도와 같이 입구와 출구를 포함한 침전지 내부에 2×2 인치 NaI(Tl) 섬광검출기(Eberline, SPA-3)를 고정시킨 후 시간에 따른 방사선량을 계측하였다.<sup>11)</sup> 계측된 RTD 곡선은 자연방사선에 의한 기여를 제거하고 사용된 I-131의 반감기(8.04일)를 고려한 자연감쇄 영향을 보정하여 나타내었다.

Fig. 3(a)는 밀도류가 없는 이상적 균일유동인 plug flow에 대한 RTD 곡선으로 이론적 체류시간(T)과 최고농도 도달시간( $t_p$ )이 동일한 반면 실제 최종 침전지 바닥 흐름에서 측정될 수 있는 RTD 곡선인 Fig. 3(b)의 경우 밀도류의 영향으로 최고농도 도달시간이 빠르게 나타나고 있다. 결국

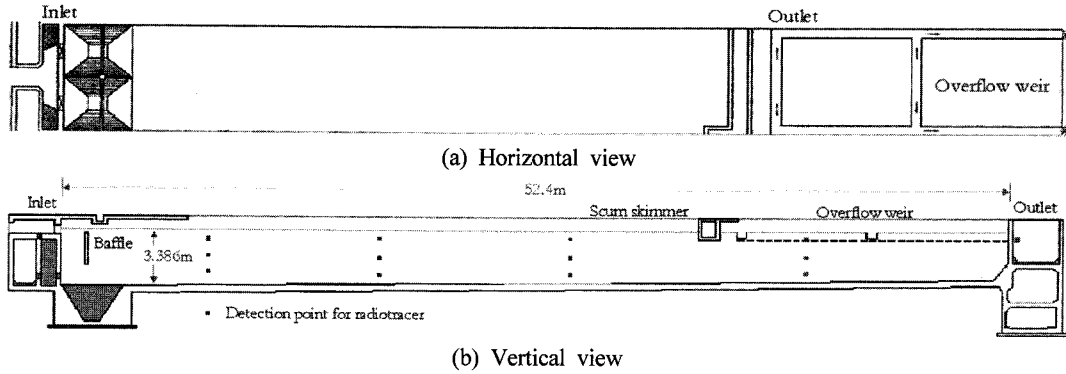
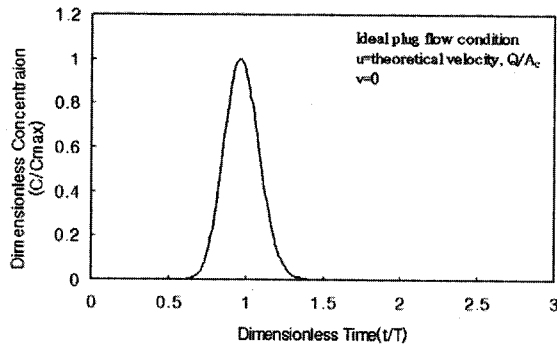


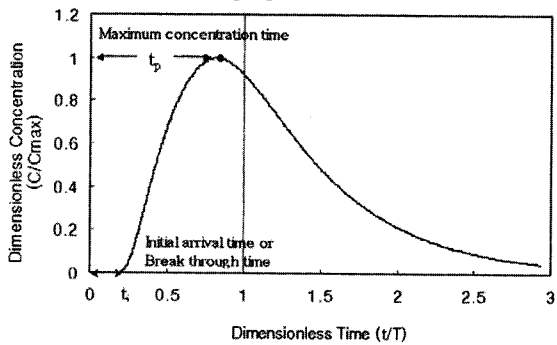
Fig. 2. Schematic of a final rectangular clarifier in wastewater treatment plant.

이론적 체류시간과 최고농도 도달시간의 편차로부터 침전지에서 발생하는 밀도류의 강도를 알 수 있다.

Fig. 4는 입·출구에서 실측된 RTD 곡선으로 방사성 추적자가 임펄스로 폭기조 후단에 주입되자마자 Fig. 4(a)에서와 같이 입구에서 최고농도를 나타내다가 침전지 내부로 유체가 유입됨에 따라 급격히 감소되는 현상을 보이고 있다. Fig. 4(b)는 출구에서 측정된 RTD 곡선으로 설계 체류시간인 3시간과 유사한 시간에서 최고 농도를 나타내었으나 최종 침전지에 형성된 수표면 역흐름과 재순환 영역으로 인해 추적자 농도는 서서히 감소하였다. 특히 투입된 방사성 추적자는 16시간이 경과된 후에야 침전지를 대부분 빠져나가고 있으므로 내부 재순환 영역의 존재를 확인할 수 있었다.

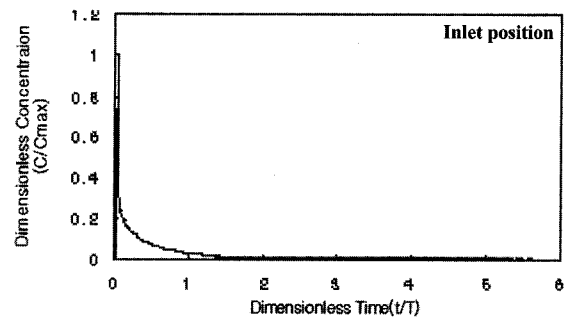


(a) ideal plug flow condition

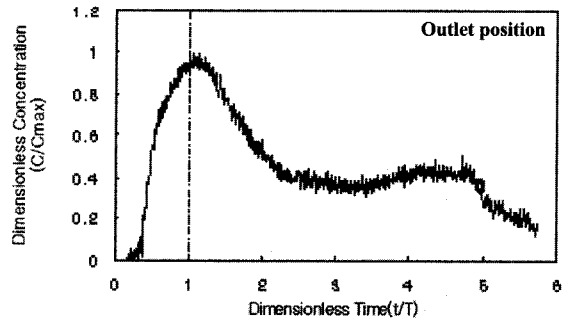


(b) practical flow condition with density current

Fig. 3. Calculated dimensionless RTD curve in a final clarifier.



(a) outlet position



(b) inlet position

Fig. 4. Experimental dimensionless RTD curve in a final clarifier.

#### 4. 수치해석 결과 및 고찰

개발된 2차원 수치해석 모델은 대형 침전지에서 방사성 추적자를 이용하여 측정된 체재시간분포곡선과의 비교를 통해 성공적으로 검증하였으며 이로부터 유입구 및 정류벽 등의 수력학적 구조에 의한 최종 침전지의 성능과 유동특성을 일련의 변수연구를 통해 평가하였다. 본 논문은 최종 침전지에서 발생하는 밀도류를 저감시킬 수 있는 유입구 및 정류벽의 최적 설계와 이에 따른 침전지의 성능개선이 주요 연구 목적이며 개발된 프로그램의 검증결과는 최근에 김 (2004a; 2004b) 등에 의해 발표된 논문에 나타나 있다.<sup>12,13)</sup>

##### 4.1. 경계조건

Table 2는 본 연구에서 고려한 최종침전지의 설계 및 운

**Table 2.** Design and operation data of a final clarifier

| Tank parameter                                       | Final Clarifier |
|--|-----------------|
| Sewage Treatment plant                               | Suyoung         |
| Width, m   | 7.5             |
| Depth, m   | 3.386           |
| Length, m  | 52.40           |
| Over flow rate, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> · day | 12.98           |
| Avg. flow-through velocity, cm/sec                   | 0.265           |
| Re <sup>1)</sup>                                     | 9000            |
| MLSS concentration, mg/L                             | 1,600~1,800     |
| Fr <sup>2)</sup>                                     | 0.0025          |
| Sludge volume index(SVI), mL/g                       | 160~200         |
| Effluent SS concentration, mg/L                      | 4~5             |

1)  $Re = \frac{u_{in} H_{in}}{\nu}$  based on average flow-through velocity

2)  $Fr = \left( u_{in} \sqrt{\frac{g H_{in} (\rho - \rho_r)}{\rho_r}} \right)^{1/2}$

전자료, 그리고 방사성 추적자 실험시 측정된 유체의 특성을 나타내며 이를 근거로 하여 Fig. 2의 수치해석 영역을 위한 경계조건을 수립하였다. 입구 경계조건으로 실측된 유입유량과 부유고형물질 농도를 균일한 수평방향 속도 성분  $u_{in}$ 과  $C_{in}$ 으로 사용하였으며 실측된 RTD 곡선과의 비교로부터 입구 난류운동에너지( $k$ )는 유입속도( $u_{in}$ )의 자승에 3%로 하였고 이의 에너지 소산율( $\epsilon$ )은 경험식으로 계산하였다. 자유 수표면은 Stamou 등(1969)과 마찬가지로 대칭면 조건을 사용하였다.<sup>11,14</sup> 벽면에서의 속도 성분은 no slip 조건을 사용하였으며 평행 속도 성분에 대해서는 벽함수를 이용하였다. 출구에서의 물리량은 출구 경계 근처의 값으로부터 연속방정식을 함시 만족하도록 계산하였다. 침전지 바닥은 유체운동에 의해 고형물질이 재비산되지 않는 완벽한 흡수경계층으로 가정하였다.

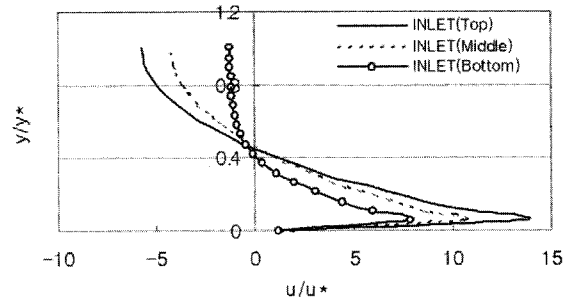
**4.2. 유입구**

고농도 MLSS(Mixed liquor suspended solids)의 높은 밀도로 인해 유입수는 침전조로 유입되자마자 바닥으로 떨어져 위치에너지  $E_p(\rho gh)$ 를 바닥 밀도류로 전환시키며 이 속도는 침전지의 평균유체속도보다 매우 높은 값을 나타낸다. 보통 최종 침전지에서는 고농도로 SS가 유입되므로 간단한 계산을 통해 위치에너지의 유입이 운동량 에너지( $\rho_w v^2$ )의 유입보다 큰 것을 알 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 유입구 위치변화에 따른 침전지 내부 유동특성과 고형물질의 분포를 수치해석을 통해 계산하였다.

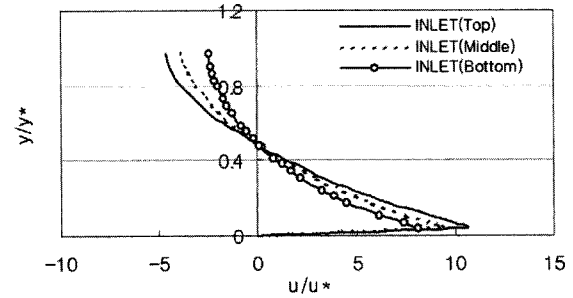
Fig. 5는 침전지 입구로부터 일정 거리 떨어진 부분에서 계산된 수평방향 속도분포로 유입구 위치에 따른 밀도류의 강도를 비교하여 나타낸 것이다. 유입구에서 5 m 떨어진 부분에서 수평방향 속도분포를 비교한 Fig. 5(a)의 경우 유입구 위치가 낮아질수록 강력한 바닥흐름과 수표면 역흐름으로 나타나는 밀도류의 크기가 작아진 것을 보여준다. 그러나 이와 같은 밀도류 크기의 차이는 Fig. 5(b)와

(c)로부터 유입구에서 멀어질수록 줄어들었으며 침강영역으로 갈수록 유입구 위치의 영향이 감소됨을 알 수 있었다. 결국 부유고형물질의 침강이 종료된 후에는 더 이상의 위치에너지가 바닥 밀도류로 전환되지 않고 있음을 판단할 수 있었다.

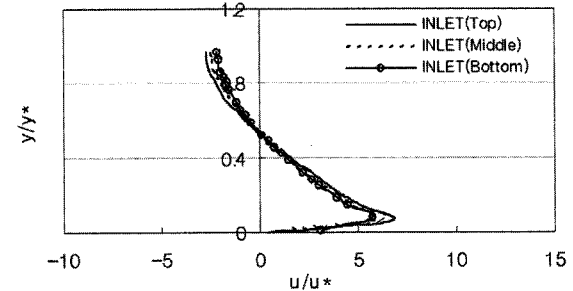
Fig. 6는 유입구 위치에 따른 부유고형물질의 농도분포를 보여준다. 유입수의 높이가 높을수록 20 mg/L의 슬러지 등 농도 곡선이 출구방향으로 휩쓸려 가는 현상을 나타내었으며 방류수의 SS 농도 또한 증가됨을 알 수 있었다. Fig. 6(c)의 낮은 유입구 위치는 침전지에 형성되는 밀도류를 감소시켜 침전지 전단부에서 SS의 침강을 유도하며 슬러지의 짧은 이동 거리는 결국 방류수의 SS 제거효율을 증가시킨다. 그러나 바닥에 너무 가까운 유입구는 오히려 침전된 슬러지 블랭킷에 교란을 줄 수 있으므로 슬러지의 재부유를 유도할 수 있다. 이와 같이 단순히 입구설계를 통해 완벽한 밀도류의 차단은 쉽지 않으나 전장이 짧은 침전지의 경우 낮은 유입구의 높이는 밀도류의 강도를 저감시킬 수 있는 하나의 설계안자로 고려되어야 한다.



(a) Horizontal velocity profiles at x=5 m



(v) Horizontal velocity profiles at x=10 m



(c) (a) Horizontal velocity profiles at x=20 m

**Fig. 5.** Strength of density current as the inlet position. ( $u^*$  = flow through velocity,  $u$  = horizontal velocity,  $y^*$  = depth,  $y$  = local depth)

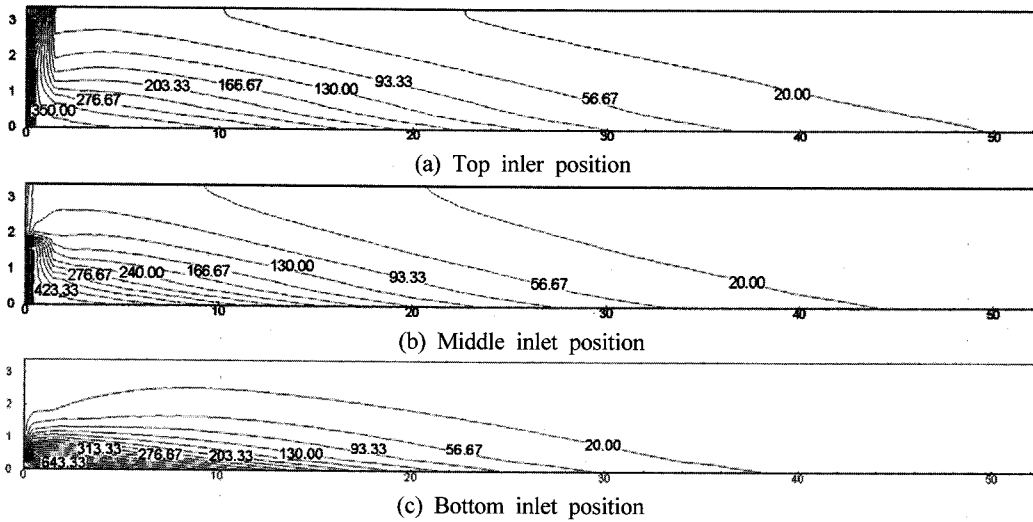


Fig. 6. Distributions of SS concentration in a final clarifier (mg/L).

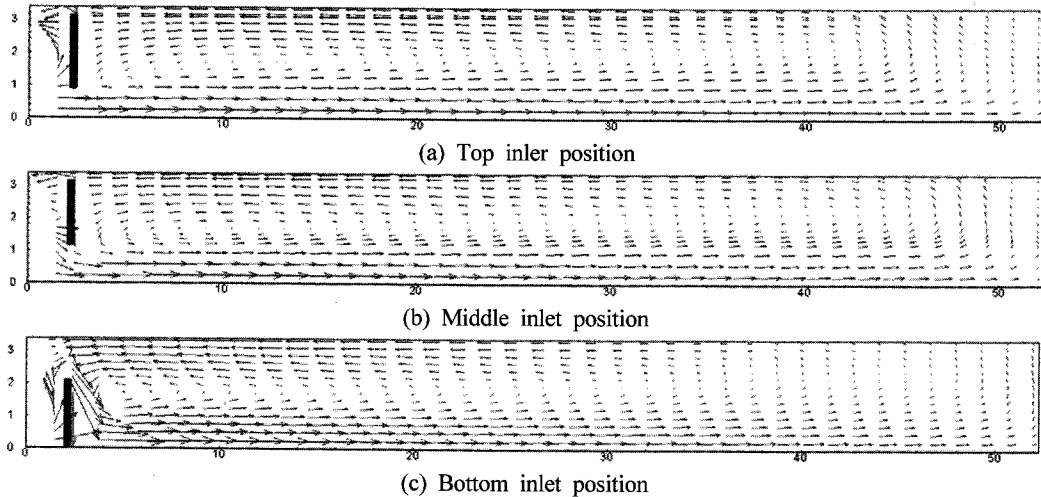


Fig. 7. Velocity vector field with inlet baffle at the various inlet positions.

4.3. 정류벽

침전지 유입부에 설치된 정류벽의 주요목적은 유입수를 침강부 전면에 골고루 배분시켜 유속의 감소와 유체를 평행하게 흐르게 하여 와류를 최소화시킬 뿐 아니라 단락류를 없애고 슬러지부 근처에서 과대한 유속이 생기지 않도록 함으로써 침전효과를 높이는 데 있다. 그러므로 본 연구에서는 최종 침전지에 입구 정류벽 설치에 따른 방류수 수질의 향상 정도를 수치해석방법을 통해 평가하였다.

Fig. 7은 Fig. 6과 동일한 조건에서 정류벽을 설치했을 경우의 속도벡터장을 보여준다. Fig. 7(a)의 입구 정류벽은 상부 유입수가 밀도저류로 유입되도록 하며 밀도가 높은 저류부의 수력학을 제어해준다. 이 경우 정류벽은 유입수가 출구로 직접 흐르는 것을 방지하여 주브로 방류수의 평균 SS 농도는 정류벽이 없는 5.15 mg/L에서 3.88 mg/L로 향상되었다. 그러나 유입부에서 흐름이 균등하게 배분되더라도 정류벽 직후에서 유입수와 침전지 내부의 밀도차이에 의해 강력한 바닥흐름과 수표면 역흐름과 같은 밀도류가

형성되고 있는 것을 볼 수 있다.

Fig. 7(b)에서와 같이 유입구가 중간에 위치한 경우 입구 정류벽의 설치는 방류수 수질개선에 크게 영향을 주지 않았다.

반면 Fig. 7(c)의 하부에 위치한 유입구에 설치된 정류벽은 침전지 상부 유입수가 입구전단에서 밀도 폭포류를 형성하는 것과 동일하게 정류벽 직후에서 밀도 폭포류를 형성하므로 오히려 침전지의 성능을 저하시키는 결과를 초래하였다. 결국 정류벽을 타고 넘어가는 유입수와 수표면에서 연행가입되는 유체는 침전지 바닥에서 강력한 바닥 밀도류를 형성하여 0.1 mg/L에서 1.14 mg/L로 출구 SS 농도의 증가를 초래하였다. 그러나 유출부에서 감소된 상향흐름은 유입구 위치가 높은 Fig. 7(a)와 (b)에 비해 낮은 방류수 농도를 나타내어 정류벽 설치에 관계없이 낮은 유입구 위치는 밀도류를 어느 정도 감소시켜 주는 것을 알 수 있었다.

Table 3은 유입구 위치와 정류벽 설치에 따른 침전지의 정화성능을 출구에서 계산된 방류수의 SS 농도로 상대적으로

**Table 3.** Relative SS concentration in the effluent

| Inlet position | Effluent quality on suspended solids, mg/L |             |               |
|----------------|--|-------------|---------------|
|                | Without baffle                             | With baffle | Baffle effect |
| Top            | 5.17                                       | 3.88        | Good          |
| Middle         | 2.91                                       | 3.00        | Negligible    |
| Bottom         | 0.10                                       | 1.14        | Bad           |

로 비교하여 나타낸 것이다. Table 3으로부터 유입구 위치에 따른 정류벽의 존재는 침전지의 성능을 개선시킬 수도 있으며 반대로 저하시킬 수 있음을 보여주고 있다. 그러므로 다양한 수력학적 변수에 대한 조직적인 수치해석 연구는 최종 침전지의 부유고형물질 제거성능을 증가시킬 수 있음과 동시에 수력학적 구조물의 최적 설계 자료를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

### 5. 결론

본 연구에서는 장방형 최종 침전지의 성능 개선을 위해 수력학적 구조변경에 따른 침전지 내부 유동 특성 및 고형물질의 제거효율을 검증된 2차원 수치해석 모델을 사용하여 평가하였다. 본 연구의 주요결과를 요약하면 다음과 같다.

최종 침전지의 유입구 위치는 낮을수록 침전지에 형성된 강력한 바닥흐름과 수표면 역흐름으로 나타나는 밀도류를 저감시켰으며 침강된 슬러지의 하류 이동을 감소시켰다. 유입구의 위치변경이 밀도류를 완벽히 차단할 수는 없었으나 전장이 짧은 침전지의 경우 낮은 유입구의 높이는 밀도류의 강도를 저감시킬 수 있는 하나의 설계인자로 고려될 수 있었다.

최종 침전지 유입부에 설치된 정류벽은 유입수가 출구로 직접 흐르는 단락류를 방지하며 밀도 저류로 유입되도록 하여 방류수 수질을 향상시키나 유입구 위치가 낮은 경우에 정류벽의 설치는 오히려 방류수 수질을 떨어뜨리는 결과를 초래하였다. 결국 최종 침전지의 성능 개선을 위한 수력학적 구조변경 및 설계는 다양한 변수에 대한 조직적인 수치해석 연구가 선행되어야 할 것으로 판단되었다.

본 연구에서 개발된 컴퓨터 프로그램은 하·폐수처리장의 침전공정에서 일어날 수 있는 수력학적 현상들을 평가할 수 있으므로 최종 침전지의 설계 및 최적 운전조건을 설정하는데 있어 유용한 도구로서의 가능성을 보여주었다. 결국 최종 침전지에서 효과적인 침전공정의 운영은 날로 엄격해지는 방류수 수질기준에 대응할 수 있으며 하수처리에 소요되는 비용 절감 효과를 기대할 수 있다.

### 사 사

본 연구는 과학기술부의 원자력 증장기연구개발 사업의 일환으로 수행되었으며, 최종 침전지에 대한 현장실험은 부산광역시 환경시설공단의 협조로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- Piirtola, L., Hultman, B., Andersson, C., and Lundeberg, Y., "Activated Sludge Ballasting in Batch Tests," *Water Res.*, **33**(8), 711~723(1999).
- Parker, D. S., Kinnear, D. J., Gerges, H. Z., and Wahlberg, E. J., "Approach for Diagnosing Secondary Clarifier Performance Problems and Prescribing Improvements," WEF plant Operations Specialty Conference, 6-9 June, Milwaukee, Wisconsin, USA(1999).
- Wahlberg, E. J., Merrill, D. T., and Parker, D. S., "Troubleshooting Activated Sludge Secondary Clarifier Performance using Simple Diagnostic Tests," Proc. 68th Annual WEF Conference and Exposition on Water Quality and Wastewater Treatment, 23 October, Miami, Florida, USA(1995).
- Krebs, P., "Success and Shortcomings of Clarifier Modeling," *Water Sci. Technol.*, **31**(2), 181~191(1995).
- Esler, J. K., "Optimizing Clarifier Performance," paper presented at 57th Annu. Conf. Water Pollut. Control Fed., New Orleans, La.(1984).
- Patankar, S. V., "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow," McGraw-Hill Company(1980).
- Mazzolani, G., Pirozzi, F., and d'Antoni, G., "A Generalized Settling Approach in the Numerical Modeling of Sedimentation Tanks," *Water Sci. Technol.*, **38**(3), 95~102(1998).
- McCorquodale, J. A., and Zhou, S., "Effect of Hydraulic and Solids Loading on Clarifier Performance," *J. Hydraulic Research*, **31**(4), 461~478(1993).
- Lauder, B. E., Spalding, D. B., "Mathematical Models of Turbulence," Academic Press, New York(1972).
- Chimelewski, A. G., Owczarczyk, A., and Palige, J., "Tracer Investigations of Sedimentation Processes after Biological Treatment of Waste Water," Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Warsaw, Poland Annual Report 206, 121~122(1999).
- Kim, H. S., "Numerical Modeling of SS Separation, Thermal Drying and Incineration Pollutant Abatement in a Sludge and Wastes Related Combined System," Ph. D. Thesis, Chungnam National University(2004).
- 김혜숙, 신미수, 장동순, 정성희, 강동효, "부유고형물질에 의해 유도된 최종 침전지 유동 특성 연구(I)," 대한환경공학회지, **26**(6), 629~634(2004).
- 김혜숙, 신미수, 장동순, 정성희, 강동효, "수표면 열손실 및 수력학적 구조변경에 의한 최종 침전지 유동 특성 연구(II)," 대한환경공학회지, **26**(9), 1017~1024(2004).
- Stamou, A. I., "Modelling of Settling Tanks - A Critical Review," 3rd International Conference, Water Pollution 95, Porto Carras, Greece, 25~28 April(1995).