

## 경사판 침전지에서 저류벽의 설치위치에 따른 수리학적 특성의 평가

유명진 · 김현철\* · 류성호\*\*

서울시립대학교 환경공학부

\*한국과학기술연구원 수질환경 및 복원연구센터

\*\*뉴엔텍(주)

## Evaluation of Hydraulic Characteristics Influenced by Different Deflector Baffles in the Sedimentation Basin with Inclined Plate Settler

Myong-Jin Yu · Hyun-Chul Kim\* · Seong-Ho Ryu\*\*

Department of Environmental Engineering, University of Seoul, Seoul, Korea

\*Water Environment and Remediation Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, Korea

\*\*Newentec Environmental Services, Inc., Seoul, Korea

(Received 20 September 2004, Accepted 29 November 2004)

**Abstract** : Sedimentation is one of the most common and important units in conventional water treatment plant. Structure such as various baffle walls and inclined plate settler may be obstacles to the horizontal flow when it is poorly designed. Therefore, the effects of these structures on characteristics of hydraulic flow must be evaluated to improve the settling efficiency of the floc. The hydraulic characteristic of the two sedimentations at Y water treatment plant (YWTP), which have different deflector baffles inside the settling basin, were investigated by tracer (fluoride) test. The inclined plate settler installed inside settling basin caused an undesirable impact on horizontal flow and produced dead zone. Solid baffle wall under the plate settler could help to minimize the formation of density currents and flow short circuiting. NaF used as a tracer was recovered more than 90% at investigated all basins. Morill index ( $t_{90}/t_{10}$ ), Modal index ( $t_p/T-HRT$ ) and short-circuiting index ( $[M-HRT - t_p]/M-HRT$ ) were determined from tracer test results performed at YWTP. Those indices ranged 2.95~3.02, 0.40~0.53 and 0.32~0.46, respectively.

**keywords** : Inclined plate settler, Deflector baffle, Tracer test, Morill index, Modal index, Short-circuiting index

### 1. 서론

정수장에 있어서 침전지는 혼화지와 플록형성지를 통해 생성된 플록(floc)을 제거하여 여과지 부하를 감소시키며, 정수장 전체 운전에 대한 지내 체류시간을 통하여 완충역할을 하고 있기 때문에 침전지가 적절히 설계되고 운전되지 않는다면 여과지 운전에 장애를 주는 등 정수처리에 악영향을 초래할 수 있다. 일반적으로 침전수의 흐름은 침전지의 유입과 유출부의 구조를 비롯하여 지의 형상에 따라 영향을 받게 된다. 즉, 폭이 넓고 수심이 깊은 침전지는 불안정한 흐름이 되기 쉬우며, 대조적으로 폭이 좁고 수심이 얕으며 길이가 긴 침전지는 상대적으로 물의 흐름이 안정되고 단락류(short circuit)의 발생도 최소인 것으로 보고된 바 있다(Kawamura, 2000). 또한 침전지내의 정류벽, 저류벽, 경사판 그리고 슬러지 컬렉터(sludge collector) 등과 같은 구조물의 설계에 문제가 있을 경우, 침전지내 흐름을 방해할 수 있고 이로 인한 편류가 발생하여 침전효율이 저

하될 수 있다. 우리나라의 경사판 침전지는 주로 하부 슬러지 제거와 저류벽의 설치가 필수적인 수평류식을 사용하고 있으나 슬러지 컬렉터 작동의 용이성을 이유로 침전지 하부에 저류벽이 시설되어 있지 않거나 부적절하게 설치되어 경사판 하부로 단락류가 발생하여 실제체류시간이 감소되는 등 침전효율의 향상을 도모하는 경사판 본래의 설치 목적에 부합하지 못하는 결과를 초래하기도 한다(유, 2004a, 2004b). 그러므로 침전지에서 플록의 침전효율을 적절히 유지하고 침전지내의 유체 흐름을 수리학적으로 안정화하기 위해서는 침전지의 수리학적 특성을 파악하기 위한 작업이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 경사판 침전지의 수리학적 특성을 비롯하여 침전지내에 위치하고 있는 저류벽(deflector baffle)의 형태와 설치위치에 따라 영향을 받게 되는 침전수의 흐름을 평가함으로써 기존 정수장 침전지의 개량과 새로이 건설되는 정수처리시설의 설계시 안정적인 유체흐름을 유도할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

\* To whom correspondence should be addressed.  
hckim@kist.re.kr

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 추적자 실험

추적자실험은 정수장 단위공정의 수리학적 특성을 파악하기 위해 널리 사용되지만 먹는 물을 생산하는 공정의 일부이기 때문에 추적자의 선택에 신중을 기할 필요가 있다 (Hudson, 1975). 본 실험에서는 침전지 전반의 흐름특성을 평가하기 위해서 낮은 농도에서 인체에 무해하고 측정이 용이하며 치아보호를 위해서 일부 정수장에서 주입하고 있는 불소를 추적자로 사용하여 2002년 6월에 추적자 실험을 수행하였다. 불화나트륨(NaF)을 용해도(40 g/L)까지 완전히 녹인 다음 침전지 이론적 체류시간의 2%를 초과하지 않는 시간범위 내에서 조사대상 침전지의 유입전단 수표면에 한번에 주입하는 방법(slug dose method)으로 불소를 주입하였다(Kawamura, 2000; Hudson, 1981). 불소는 유량과 최대 검출농도를 고려하여 먹는물 수질기준(1.5 mg/L as F)을 초과하지 않는 범위에서 주입하였으며, 불소측정용 이온전극(Model 9609, ORION, USA)을 이용하여 이온측정기(Model 720A, ORION, USA)로 측정하였다.

### 2.2. 침전지의 선택

본 연구에서는 서울시에 위치한 Y 정수장(Y water treatment plant; YWTP) 침전지 중에서 침전수의 흐름을 안정적으로 유도하기 위해 시설된 저류벽(deflector baffle)의 크기와 위치가 상이하어 흐름특성의 비교가 용이한 2개의 경사판 침전지를 대상으로 추적자 실험을 실시하였다. 조사대상 침전지인 YWTP 2공장 1번지(#1)와 1공장 2번지(#2)는 모두 수평류식의 경사판이 설치되어 있으며, 각각의 수심과 구간별 지점에서 시료를 채취하여 침전지의 수리학적 효율을 평가하고 구조물에 의해 영향을 받는 전반적인 흐름특성을 분석하였다. 조사대상 침전지 사양을 Table 1에 나타내었으며, 각각의 침전지에 설치되어 있는 경사판의 사양을 Table 2에 나타내었다.

조사대상 침전지의 평면도와 측면도를 Fig. 1에 각각 나타내어 지내 구조물의 형태와 위치 그리고 구간별 시료채

취지점을 표시하였다. 추적자의 물질이동특성에 따른 침전지의 수리학적 효율을 조사하기 위하여 최종유출수를 시간별로 채취하여 추적자의 농도를 측정하였다. 또한 이와 별도로 조사대상 침전지의 각 구간에서 실질적인 유체흐름을 확인하기 위하여 경사판을 기준으로 경사판 전단, 경사판 중반, 경사판 후단과 최종 유출웨어 지점으로 나누고 이를 다시 우측(#1,3,5,7,9) 및 좌측(#2,4,6,8,10)흐름으로 나누었으며, 각각의 위치에서 수심에 따라 상층부( $n-1$ )와 하층부( $n-2$ )의 시료를 시간별로 채취하여 추적자의 농도변화를 조사하였다.

#1 침전지의 경우 경사판 하부에 패널형태의 유공 저류벽(perforated baffle-panel type)이 전단에 설치되어 있고 슬러지 컬렉터의 왕복 작동이 원활하도록 바닥면이 일부 절개된 형태이다. 그 외 경사판 후단의 유출웨어 설치위치 하부에 저류벽(deflector baffle)이 시설되어 있다. 또한 #2 침전지의 경우 일반적인 지내 구조는 #1 침전지와 같고 다만 유출웨어 하부에 시설되어 있는 저류벽의 높이가 #1 침전지의 경우(1.8 m)보다 약 0.6 m 더 높고 설치지점 또한 침전수 흐름방향으로 대략 2.5 m정도 더 옮겨 시설되어 있다. 측정지점 중에서 상층부( $n-1$ )는 수심 1.0 m 위치에서 또한 하층부( $n-2$ )는 수심 3.0 m에서 시간별로 시료를 채취하였다.

## 3. 결과 및 고찰

추적자 실험 개요와 추적자 회수율을 Table 3에 나타내었다. 추적자 회수율은 96.1~96.7%로 문헌상에 제시된 75% 이상의 회수율을 얻어 실험시 추적자에 대한 화학적 반응이나 시료채취시 문제점은 없었으며(U.S. Army, 1992), 추적자의 최고유출농도 시간대에서 유량변동이 없어 그에 따른 추적자실험의 오차는 없는 것으로 판단된다.

### 3.1. 침전지 구간별 흐름특성

침전지의 수리학적 특성분석을 위한 정성적인 방법과 달리 침전지 각 구간에서 유체의 실질적인 흐름 특성을 파악

Table 1. Settling basin characteristics of YWTP

No. of basin	Size	L/W	W/H	Q <sub>D</sub> <sup>a</sup> (m <sup>3</sup> /day)	D-HRT <sup>b</sup> (hr)
	W×L×H (m)				
#1	16.0×59.0×4.5	3.7	3.6	60,000	1.7
#2	16.0×59.0×4.5	3.7	3.6	45,000	2.3

<sup>a</sup>designed capacity of water treatment plant, <sup>b</sup>designed hydraulic retention time

Table 2. Characteristics of inclined plate settlers in settling basins

No. of basin	Size		D <sup>b</sup> (cm)	R <sup>c</sup>	B <sup>d</sup>	n <sup>e</sup>	A <sub>E</sub> <sup>f</sup> (m <sup>2</sup> )
	W×L (m)	θ (°) <sup>a</sup>					
#1, #2	1 × 1	60	10	12	3	5,760	2,880

<sup>a</sup>inclined angle of plate, <sup>b</sup>distance between plates, <sup>c</sup>row of plate, <sup>d</sup>No. of bundle of plate,

<sup>e</sup>total number of plate, <sup>f</sup>effective settling area by inclined plate settler

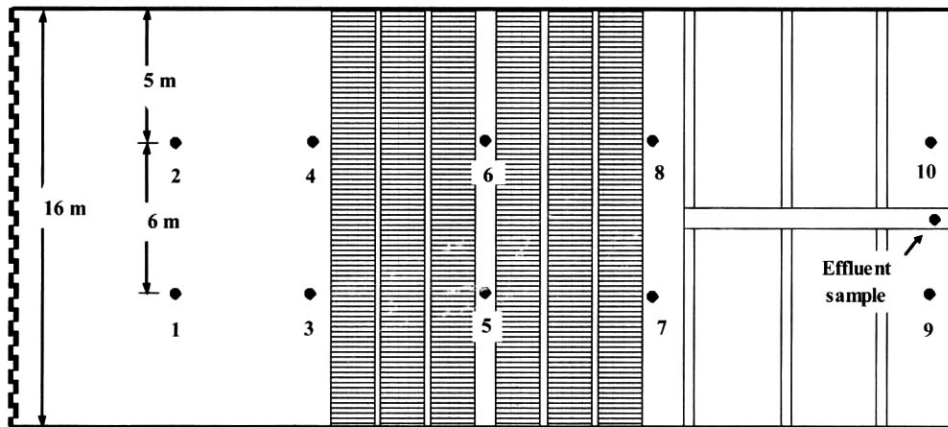
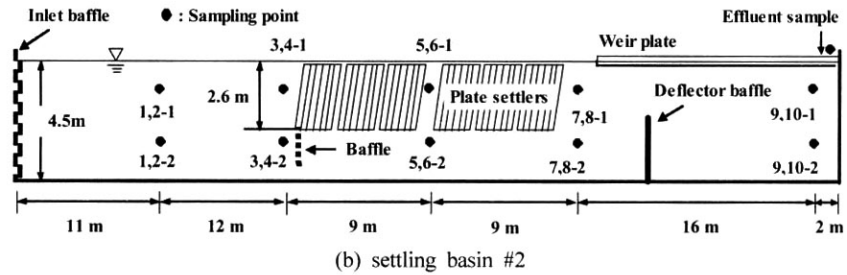
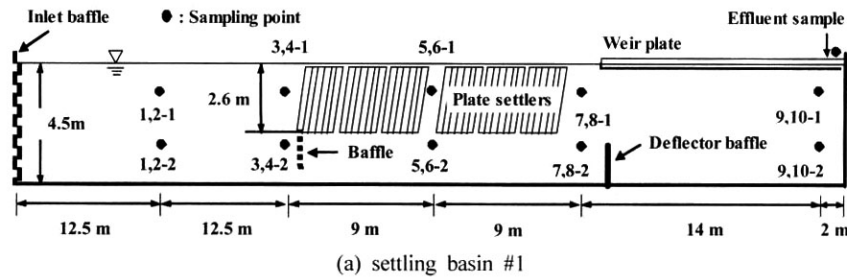


Fig. 1. Elevation and plan of settling basin and sampling points.

Table 3. Outline of tracer test at the settling basins of YWTP

No. of basin	Tracer dose (g as F)	Dose location	Q <sub>R</sub> <sup>a</sup> (m <sup>3</sup> /day)	Recovery (%)
#1	4,248	Front of inlet baffle in settling basin	29,712	96.1
#2	4,248	Front of inlet baffle in settling basin	30,000 ~ 30,600	96.7

<sup>a</sup>flow rate during the tracer test

하기 위하여 앞서 언급한 바와 같이 침전지 각 구간별로 추적자 농도변화를 측정하였다. 이와 같은 분석방법은 침전지 각 구간별로 시료를 채취해야하는 번거로움이 있지만 실질적인 침전수의 흐름을 파악할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 침전지의 상층과 하층흐름 그리고 좌측과 우측흐름으로 구분하여 각각에 대한 평균값으로 흐름특성을 분석하였으며, 그 결과를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다.

#1 침전지의 경우(Fig. 2) 하층부 흐름(n-2)은 시간이 경과함에 따라 경사판 전단에서부터 최종 유출웨어 지점까지 최대 추적자 농도(peak concentration)의 발현시간(peak time)이 증가하는 전형적인 플러그 흐름특성을 나타내었으나, 경

사판 중반지점(5,6-1)까지의 상층부 흐름(n-1)은 하층부 흐름보다 피크시간이 높게 나타나 경사판에 의한 수평류 흐름의 방해로 인하여 침전수의 흐름이 하층부로 집중되는 것으로 조사되었다. 또한 상층부의 경우 경사판 중반 지점(5,6-1)과 경사판 후단(7,8-1)에서의 피크발현시간이 거의 같고 중반 지점(5,6-1)의 피크농도가 상대적으로 낮게 나타난 것은 침전지내에서 추적자의 회석에 의한 결과로 판단된다. 그리고 침전지의 좌측 및 우측흐름을 조사한 결과 평균적으로 경사판 후단까지는 좌우측 균일한 유체흐름을 나타내다가 최종 유출웨어 지점에서의 피크발현시간이 좌측흐름(#2,4,6,8,10)에서 더 높고 피크농도는 우측흐름(#1,3,

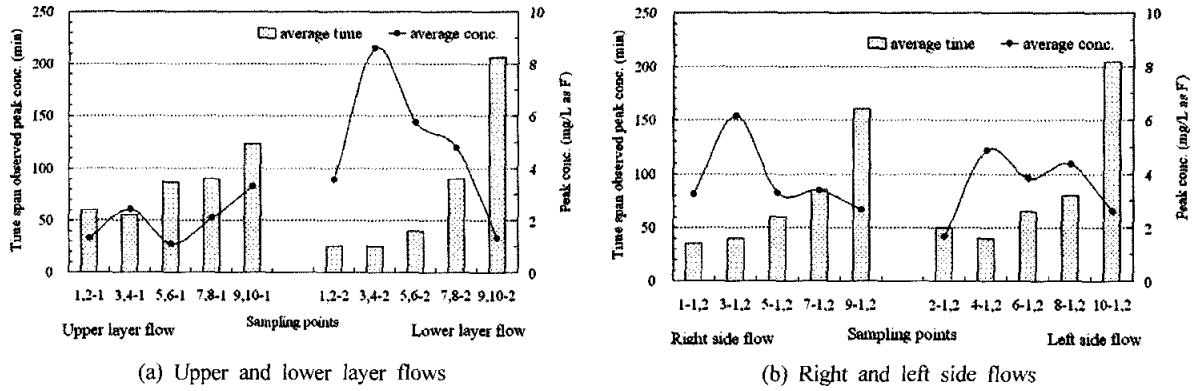


Fig. 2. Tracer peak concentration and time span observed peak concentration (settling basin #1).

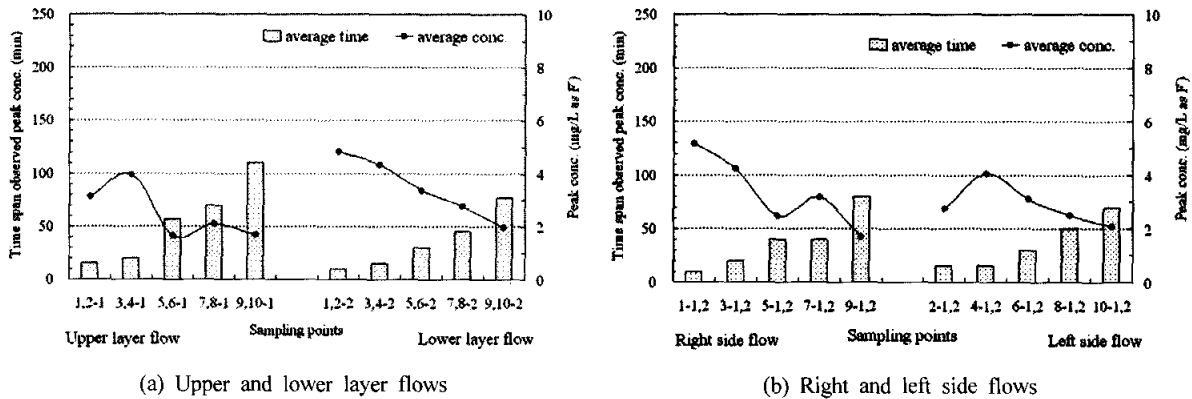


Fig. 3. Tracer peak concentration and time span observed peak concentration (settling basin #2).

5,7,9)과 비슷한 값을 나타내어 좌측흐름보다는 우측흐름방향의 유출웨어로 침전수가 상대적으로 빠르게 이동하는 것으로 나타났다.

#2 침전지의 상층부 및 하층부에서 침전수의 흐름경향 (Fig. 3)은 #1 침전지의 수리학적 흐름특성과 유사하여 하층부 흐름(n-2)이 매우 지배적인 것으로 나타났으며, 상하층 및 좌우측 흐름의 피크발현시간은 #1 침전지보다 대체로 낮은 것으로 조사되었다. 특히, 저류벽의 영향을 많이 받는 하층부 흐름의 경우 경사판 중반 지점(5,6-2)까지는 피크발현시간이 #1 침전지의 경우와 유사한 것으로 조사되었으나 이후 경사판 후단부터 최종 유출웨어 지점까지 #1 침전지와 비교해서 상대적으로 상당히 낮은 것으로 나타났으며, 피크농도 역시 매우 낮은 값을 나타내었다. 이와 같은 결과는 #2 침전지의 저류벽이 #1 침전지의 저류벽에 비해 높이가 더 높고 설치지점 역시 경사판과의 이격거리가 약 2.5m정도 더 증가함에 따라 하층부로 빠르게 이동하던 침전수가 저류벽에 충돌하면서 곧 바로 상부에 위치하고 있는 유출웨어로 직접 유도되었기 때문이다(Fig. 1).

또한 #1과 #2 침전지 모두 경사판 하부의 전단에 패널형태의 유공 정류벽이 설치되어 있으나 그 바닥부분이 일부 절개되어 있는 형태이기 때문에 침전수의 흐름을 경사판이 설치되어 있는 상층부(n-1)로 적절히 유도하지 못하였으며, 경사판 후단에 시설된 저류벽 역시 전체적으로 유체흐름을 경사판 쪽으로 유도하는데 효과적이지 못한 것으로 나타났다.

### 3.2. 지수법(index method)에 의한 침전지 흐름특성의 평가

침전지내에는 통상의 밀도류나 난류 등이 존재하므로 이상적인 플러그흐름(plug flow)으로 유지되지 않으며, 추적자 실험을 통한 실제 체류시간  $t$ 는 이론적 체류시간  $T$  보다 작아 침전지 전체가 유효하게 사용되지 않는 것이 일반적이다. 조사대상 침전지의 추적자 실험결과 최종 유출웨어에서 유출되는 추적자의 농도변화를 Fig. 4에 나타내었으며, 플러그흐름과 단락류의 정도를 나타내는 지표로 지수법을 이용하여 침전지의 흐름을 정성적으로 분석하여 Table 4에 나타내었다(Morill, 1932). 지수법은 침전지 유출부의 추적자 농도를 시간대별로 측정하여 유출시간에 대한 추적자 회수량을 수학적으로 해석함으로써 침전지의 수리학적 특성을 정성적으로 평가할 수 있다.

Morill 지수는 침전지 내에서 혼합정도를 나타내는 값으로 침전지를 최종적으로 통과하는 추적자의 누적 유출량이 전체의 90%일 때와 10%일 때의 시간 비율( $t_{90}/t_{10}$ )로 정의하며, 이상적인 플러그흐름의 경우 그 값은 1에 근접하고 완전혼합 반응조의 경우 1보다 매우 큰 값을 나타낸다. 분석결과 조사대상 침전지의 Morill 지수는 3.02와 2.95로서 기존의 다른 정수장 침전지에서 조사된 분석 값과 유사한 것으로 나타났다(유, 2004a, 2004b).

지수법 중에서 Modal 지수는 침전지 최종 유출지점에서 추적자의 농도가 침투 값을 나타낼 때의 유출 시간( $t_p$ )과

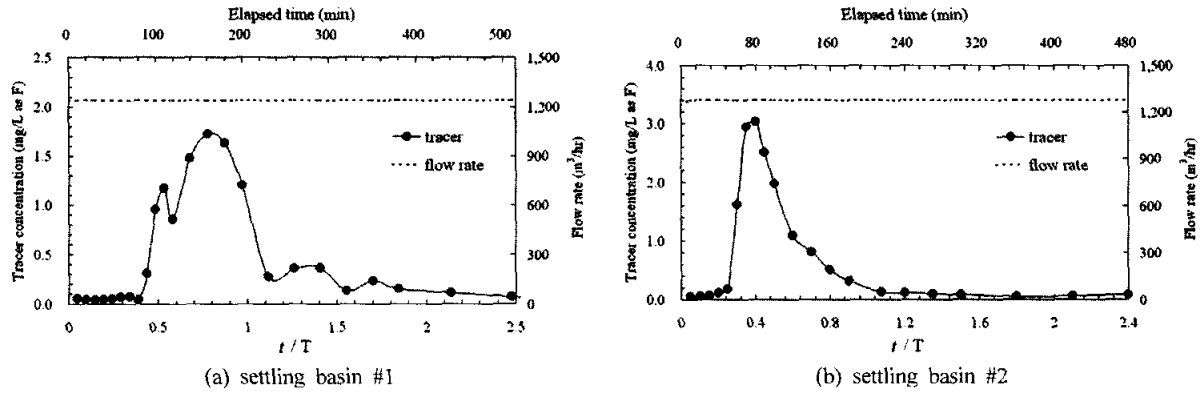


Fig. 4. Tracer test results at the settling basins of YWTP.

Table 4. Hydraulic characteristics of settling basin by various index analysis methods

No. of basin	Morill index	Modal index	Short-circuiting index
#1	3.02	0.53	0.46
#2	2.95	0.40	0.32

이론적인 수리학적 체류시간의 비율( $t_p/T-HRT$ )로서 1에 가까울수록 플러그흐름을 나타낸다. 분석결과 각 침전지의 Modal 지수는 0.53와 0.40로 조사되어 #1 침전지가 상대적으로 플러그흐름에 근접한 것으로 조사되었다.

또한 단락류 지수는 평균수리학적체류시간( $M-HRT$ )과 최종 유출수의 추적자 농도가 가장 높은 유출시간( $t_p$ )의 차이를 평균수리학적체류시간으로 나눈 값( $[M-HRT-t_p]/M-HRT$ )으로 이 값은 지내에 발생하는 단락류 정도를 나타내고 이 값이 작을수록 양호한 흐름으로 평가할 수 있다. #1과 #2 침전지가 각각 0.46과 0.32의 값을 나타내었다.

### 3.3. Rebhun & Argaman(R&A)법에 의한 침전지 흐름 특성의 평가

지수법에서의 정성적인 평가와는 달리 아래의 식으로 표현되는 R&A 법은 시간별 추적자 유출농도 곡선을 변형한  $1-F(t)$  곡선을 이용하여 흐름 특성에 대해 플러그흐름 비율( $p$ ), 완전혼합 비율( $1-p$ ), 사영역 비율( $m$ )에 대한 정량평가가 가능하다. 각각의 비율에 대한 정량평가결과를 비롯하여 평균체류시간과 이론적 체류시간을 이용한 침전지의 수리학적 효율( $E_h$ ; hydraulic efficiency)을 계산하여 Table 5에 함께 나타내었다(Rebhun and Argaman, 1965).

$$1 - F(t) = e^{-\frac{1}{(1-p)(1-m)} \left[ \frac{t}{T} - p(1-m) \right]}$$

Table 5. Hydraulic characteristics of settling basin by Rebhun and Argaman analysis method

No. of basin	p	1-p	m	M-HRT <sup>a</sup> (min)	T-HRT <sup>b</sup> (min)	$E_h^c$ (%)
#1	0.607	0.393	0.040	202.0	205.9	98.2
#2	0.582	0.418	0.457	117.5	199.9	58.8

<sup>a</sup>mean hydraulic retention time (M-HRT):  $\sum t_i C_i \Delta t_i / \sum C_i \Delta t_i$ ; <sup>b</sup>theoretical hydraulic retention time (T-HRT):  $V/Q$ ; <sup>c</sup>hydraulic efficiency;  $M-HRT/T-HRT \times 100$

R&A법에서 p는 전체 흐름 중 플러그 흐름을 이루는 정도를 표시하는 것이고, 1-p는 플러그흐름이 아닌 혼합의 정도를 나타내는 값으로 p 값이 1에 가까울수록 대상 침전지는 플러그흐름에 가까운 수리학적 특성을 나타낸다. #1과 #2 침전지의 p 값은 0.607과 0.582로 조사되어 Modal 지수를 비롯하여 실질적인 침전지 구간별 흐름특성과 일치하는 경향을 나타내었다. 또한 m 값은 사영역 체적 분율을 나타내는 것으로 m 값이 클수록 전체 반응조에서 사영역이 차지하는 체적이 큰 것을 의미한다. #2 침전지에 비해 #1 침전지의 사영역 분율이 상대적으로 작은 것으로 조사되었으며, #1 및 #2 침전지의 수리학적 효율 역시 98.2%와 58.8%로 각각 조사되어 사영역 조사결과와 일치하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 앞서 침전지 구간별 흐름특성을 고찰한 바와 같이 #2 침전지의 저류벽에 충돌하여 흐름방향이 굴절된 침전수가 상부의 유출웨어로 빠르게 유도됨으로써 평균수리학적 체류시간이 감소하고 저류벽 설치 지점 이후로 사영역이 발생함에 따라 수리학적 효율이 감소하였기 때문이다.

## 4. 결론 및 제언

침전지에 시설된 경사판은 그 자체로 침전수 흐름에 방해물로 작용하여 경사판 중심부로 침전수가 균일하게 유도되지 않고 경사판 하부로 침전수의 흐름이 집중되는 것을 확인할 수 있었으며, 침전수의 흐름을 개선하기 위한 노력으로 경사판 하부에 유공 정류벽을 추가로 설치하더라도 정류벽 자체의 정류공과 바닥부분의 절개면으로 침전수의 흐름이 집중되기 때문에 효과적이지 않았다. 따라서 경사판 하부에 정류공이 없는 저류벽(solid baffle wall)을 시설하고 동시에 별도의 슬러지 컬렉터를 운전하는 것은 효과적으로

침전수의 흐름을 경사판으로 유도할 수 있는 대안이 될 수 있으며, 그 외 기존 정수장의 경우 역시 이와 같은 방법으로 시설을 개량함으로써 상대적으로 안정적인 침전수 흐름을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

이론적인 수리학적 체류시간에 대한 평균 수리학적 체류시간의 비율( $M-HRT/T-HRT \times 100$ )은 침전지에서 발생할 수 있는 사영역의 분포를 나타냄으로써 침전지의 수리학적 효율( $E_m, \%$ )을 평가할 수 있는 간접적인 지표로 평가되었다. 조사대상 침전지 중에서 수리학적 효율이 상대적으로 높았던 #1 침전지는 플러그 흐름 정도를 나타내는 Modal 지수가 0.53으로 #2 침전지의 0.40보다 높게 나타난 반면, 사영역 분율을 나타내는  $m$  값은 #2 침전지가 #1 침전지보다 더 높은 것으로 조사되어 수리학적 효율과의 높은 상관성을 나타내었다.

경사판의 설치에 침전수의 이상적인 플러그흐름에 대한 왜곡현상(단락류, 편류 등의 발생)을 가중시키기 때문에 경사판 설치와 더불어 경사판에 의해 발생할 수 있는 단락류 및 편류의 발생을 감소시키기 위한 보조기구로서 여러 가지 구조물(저류벽, 중간 정류벽 등)들을 알맞은 형태로 적절한 위치에 함께 시설하여야 한다. 특히 경사판 후단에 저류벽을 시설할 경우, 경사판과 저류벽사이의 거리가 경사판과 유출웨어 사이의 거리보다 멀게 되면 침전수가 상부의 유출웨어로 빠르게 유도됨으로써 평균 수리학적 체류시간을 감소시키는 결과를 초래할 수 있기 때문에 경사판과 저류벽 그리고 경사판과 유출웨어간의 거리를 고려한 구조물의 설치가 이루어져야 한다.

## 참고문헌

- 유명진, 김현철, 류성호, 수평류 및 상향류식 경사판에 의한 침전지내 수리학적 특성의 영향, *한국도시환경학회지*, **4**(1), pp. 17-24 (2004a).
- 유명진, 김현철, 명규남, 류성호, 조항문, 경사판 침전지의 수리학적 특성에 대한 구조물의 영향, *대한상하수도학회지*, **18**(4), pp. 427-436 (2004b).
- Hudson, H. E. Jr., Residence Times in Pre-treatment, *J. AWWA*, **67**(5), pp. 45-52 (1975).
- Hudson, H. E. Jr., Water Clarification-Processes, Practical Design and Evaluation, Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 123-138 (1981).
- Kawamura, S., *Intergrated Design and Operation of Water Treatment Facilities*, 2nd ed. JOHN WILEY & SONS, INC., New York (2000).
- Morill, A. B., Sedimentation Basin Research and Design, *J. AWWA*, **24**(9), pp. 1442-1458 (1932).
- Rebhun, M. and Argaman, Y., Evaluation of Hydraulic Efficiency of Sedimentation Basins, *J. Sanitary Engineering Division*, **91**, pp. 37-45 (1965).
- U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, *Documentation of the DYECON Module for ADDAMS: Determining the Hydraulic Retention and Efficiency of Confined Disposal Facilities*, Technical Note EEDP-06-17, USA (1992).