

경사판 침전지의 수리학적 특성에 대한 구조물의 영향

Effects of Various Baffles on Hydraulic Characteristics in the Sedimentation Basin with Inclined Plate Settler

유명진¹ · 김현철^{1,*} · 명규남² · 류성호³ · 조항문⁴

Myong-Jin Yu¹ · Hyun-Chul Kim^{1,*} · Gyu-Nam Myung² · Seong-Ho Ryu³ · Hang-Moon Cho⁴

1 서울시립대학교 환경공학부

2 (주)워터앤랜드

3 뉴엔텍(주)

4 서울시정개발연구원

(2004년 1월 30일 논문접수; 2004년 7월 21일 최종수정논문 채택)

Abstract

Sedimentation is one of the most common and important units in conventional water treatment plants. 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 four sedimentations at the three real WTPs (water treatment plants), which have different structural properties respectively inside the settling basin, were investigated by tracer (fluoride) test. The inclined plate settler installed inside settling basin caused a undesirable impact on horizontal flow and produced dead zone. Intermediate baffle and solid baffle wall under the inclined plate settler at GE plant help to minimize the formation of density currents and flow short circuiting. However, installing perforated baffle under the inclined plate settler at other plants could not induce even distribution of flow. NaF used as a tracer was recovered more than 90% at investigated all basin. 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 three WTPs. Those indices ranged 2.99~3.45, 0.44~0.72 and 0.23~0.47, respectively.

Key words: inclined plate settler, baffle walls, tracer test, Morill index, Modal index, short-circuiting index

주제어: 경사판, 저류벽, 유공정류벽, 추적자실험, Morill 지수, Modal 지수, 단락류 지수

1. 연구배경

재래식 정수처리는 약품혼화, 응집, 침전, 여과, 소독 등의 공정으로 구성되어 있으며, 개개의 단위 공정이 효율적으로 운전되고 유지될 때 최상의 수질을 얻을 수 있다. 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.

침전지의 유입과 유출부의 구조를 비롯하여 지의 형상에 따라 침전수의 흐름은 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 저하될 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 유효침전면적을 증가시켜 침전지의 수리학적 표면부하율(hydraulic surface loading rate; $m^3/m^2/day$)을 감소시킴으로써 침전효율의 향상을 도모하는 경사판 본래의 설치목적에 부합하지 못하는 결과를 초래하기도 한다.

침전지에서 플록의 침전효율을 적절히 유지하려면 침전지의 수리학적 특성을 파악하여 침전지내의 유체 흐름을 수리학적으로 안정화하기 위한 작업이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 침전지내에 위치하고 있는 각각의 구조물의 형태와 위치에 따라 영향을 받게 되는 침전수의 흐름을 평가함으로써 기존 정수장 침전지의 개량과 새로이 건설되는 정수처리시설의 설계시

안정적인 흐름을 유도할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 연구방법

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 지내 구조가 서로 다른 침전지를 대상으로 침전지 전반의 흐름특성을 평가하기 위해서 낮은 농도에서 인체에 무해하고 측정이 용이하며 치아보호를 위해서 일부 정수장에서 주입하고 있는 불소를 추적자로 사용하여 2002년 5월~7월 사이에 수행되었다. 불소주입은 불화나트륨(NaF)을 용해도($40g/L$)까지 완전히 녹인 다음 조사대상 침전지의 유입전단 혼화지 등의 수표면에 한번에 주입하는 방법(slug dose method)을 채택하였으며(Table 3), 주입시간은 침전지 이론적 체류시간의 2%를 초과하지 않는 범위 내에서 침전지 유입부에 순간적으로 주입하였다(Kawamura, 2000; Hudson, 1981). 불소는 유량과 최대검출농도를 고려하여 먹는물 수질기준($1.5mg/L$ 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 정수장 3곳에서 지내 구조물의 형태와 위치가 상이하여 흐름특성의 비교가 용이한 4개의 침전지를 대상으로 추적자 실험을 실시하였으며, 각각의 수심과 구간별 지점에서 시료를 채취하여 침전지의 수리학적 효율을 평가하고 구조물에 의한 전반적인 흐름특성을 분석하였다. 각 정수장의 조사대상 침전지 사양을 Table 1에 나타내었다.

조사대상 침전지는 모두 수평류식의 경사판이 설치되어 있으며, GE 정수장 침전지의 경우 침전지 폭이 설계 상 35m로 표기되어 있으나 침전지 중앙부 슬러지 컬렉터의 일부 작동범위를 제외하고 대부분 분리벽으로 차단되어 있어 규격 $17 \times 31 \times 4.5$ (폭 길

Table 1. Settling basin characteristics of three water treatment plants

WTPs	No. of basin	Size W × L × H (m)	LW	WH	Q ₀ ^a (m ³ /day)	D-HRT ^b (hr)
BG	#10	13.1 × 39.5 × 3.9	3.0	3.4	25,000	1.9
SW	#2	17 × 66.5 × 3	3.9	5.7	20,000	4.1
	#4	11 × 66.5 × 3	6.0	3.7	20,000	2.6
GE	#C3, 4	35 × 31 × 4.5	0.9	7.8	75,000	1.6

^adesigned capacity of water treatment plant, ^bdesigned hydraulic retention time

Table 2. Characteristics of inclined plate settlers in settling basins of each plant

WTPs	No. of basin	Size		D ^b (cm)	R ^c	B ^d	n ^e	A _ε ^f (m ²)
		W × L (m)	θ(°) ^a					
BG	#10	1 1	60	10	12	3	4,716	2,358
SW	#2	1 1	60	12	12	2	3,400	1,700
	#4	1 1	60	12	16	2	2,933	1,467
GE	#C3,4	1 1	60	10	9	3	9,450	4,725

^ainclined angle of plate, ^bdistance between plates, ^crow of plate, ^dNo. of bundle of plate, ^etotal number of plate, ^feffective settling area by inclined plate settler

이 수심)의 침전지가 병렬로 연결되어 있는 형태이며, 실질적인 침전수의 유입과 유출 흐름상 별개의 구조로 해석하는 것이 바람직하다. 각각의 침전지에 설치되어 있는 경사판의 사양을 Table 2에 나타내었다.

조사대상 침전지의 평면도와 측면도를 Fig. 1~Fig. 3에 각각 나타내어 지내 구조물의 형태와 위치 그리고 구간별 시료채취지점을 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 상층부와 하층부의 시료를 시간별로 채취하여 추적자의 농도변화를 조사하였다.

BG 정수장 침전지는 외형상 2층 침전지처럼 보이지만 실제로 하층구조는 플록입자의 침전기능을 수행한다기보다는 침전수를 여과지로 이송하는 수로의 역할을 하고 있기 때문에 실질적인 침전기능은 상층구조로 제한되어 있다. 상층 구조는 침전지 표면적의 39.2%에 해당하는 부분에 경사판이 설치되어 있

며, 유입정류벽 이외에 저류벽이나 중간정류벽 등의 구조물이 전혀 없는 상태이다. 측정지점 중에서 상층부(n-1)는 수심 1.0m 위치에서 그리고 하층부(n-2)는 수심 3.0m에서 시간별로 시료를 채취하였다.

SW 정수장 #2침전지의 경우 침전지 표면적의 22.9%에 해당하는 부분이 경사판으로 채워져 있으며, 경사판 하부에 패널형태의 유공 정류벽(perforated baffle-panel type)이 전단과 후단에 각각 설치되어 있고 슬러지 컬렉터의 왕복 작동이 원활하도록 바닥면이 일부 절개된 형태이다. 그 외 경사판 후단의 유출웨어 설치위치 하부에 저류벽이 시설되어 있다. 또한 SW 정수장 #4침전지의 경우 경사판 설치면적이 침전지 표면적의 30.7%에 해당하며, 일반적인 지내 구조는 #2침전지와 같고 다만 유입정류벽과 경사판 사이에 중간정류벽이 시설되어 있다. 측정지점 중에서 상층부(n-1)는 수심 0.8m 위치에서 또한 하층부(n-2)는 수심 2.5m에서 시간별로 시료를 채취하였다.

GE 정수장 침전지는 경사판이 침전지 표면적의 약 41.5%를 차지하고 있으며, 경사판 전단과 후단에 각각 유입정류벽과 중간정류벽이 그리고 경사판 하부 2개 지점에 저류벽(solid baffle wall)이 시설되어 있다. 침전지내 측정지점 중에서 상층부(n-1)는 수심 1.0m 위치에서 그리고 하층부(n-2)는 수심 3.0m에서 각각 시간별로 시료를 채취하였다.

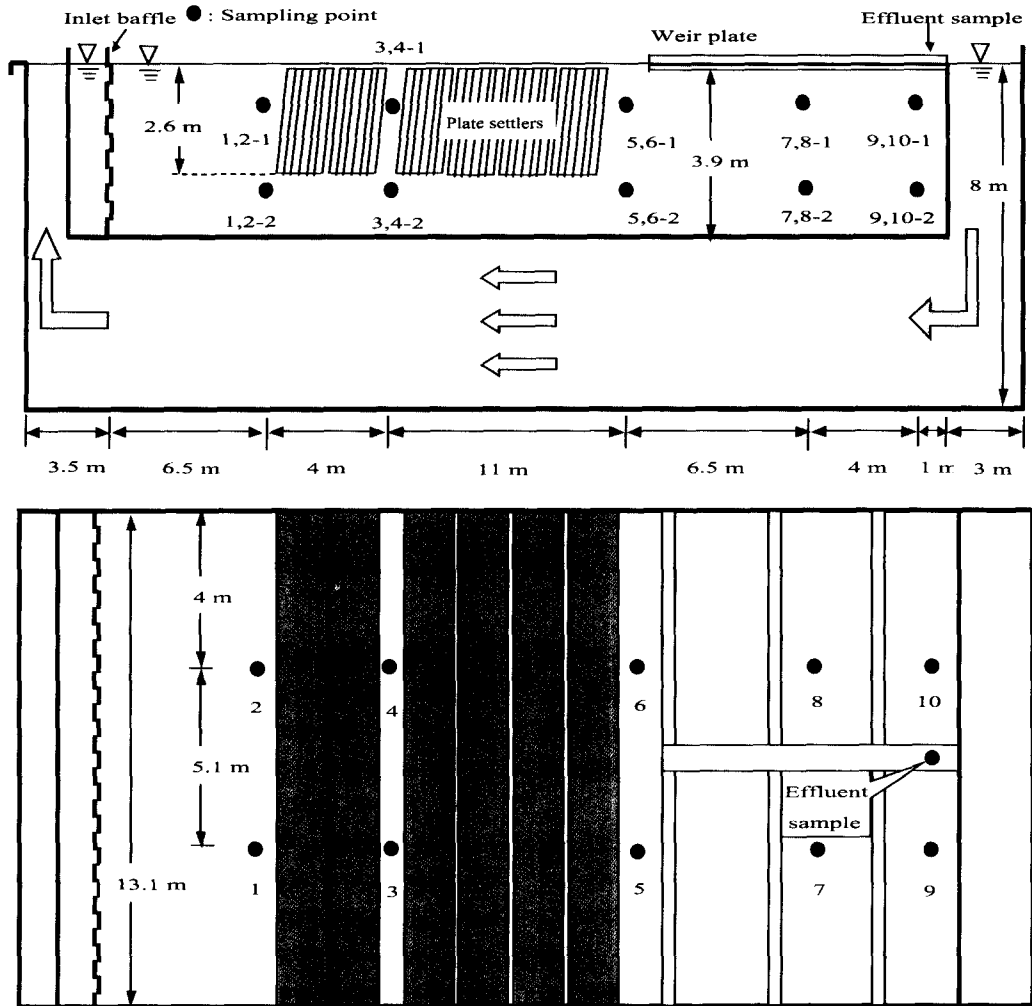


Fig. 1. Elevation and plan of settling basin and sampling points (BG plant).

3. 결과 및 고찰

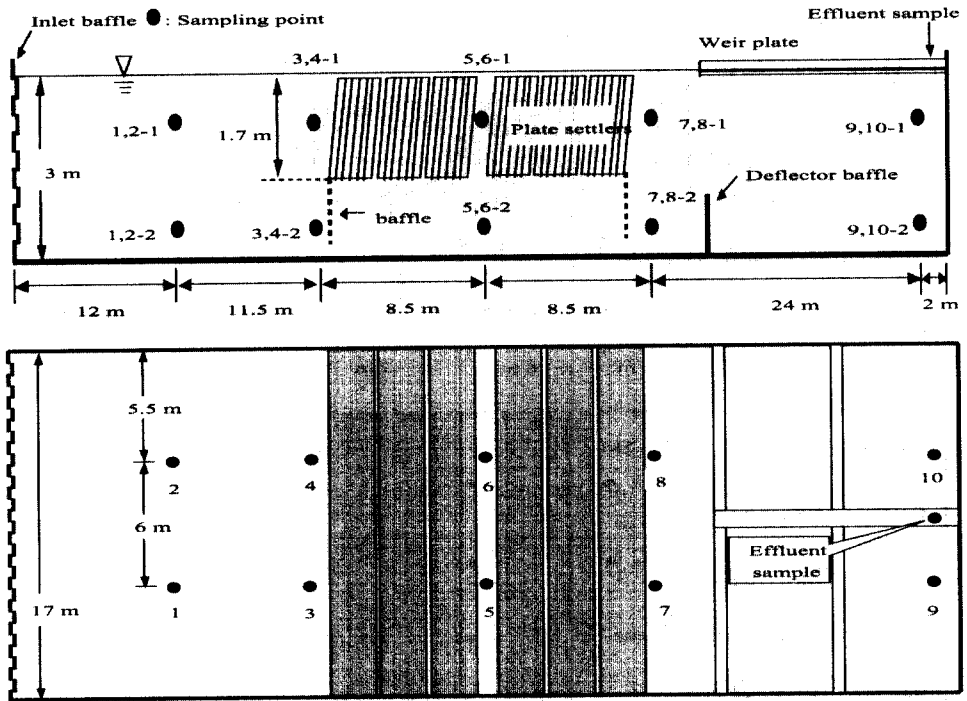
3.1. 침전지의 흐름특성

추적자 실험 개요와 추적자 회수율을 Table 3에 나타내었다. 추적자 회수율은 93.1~99.7%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.

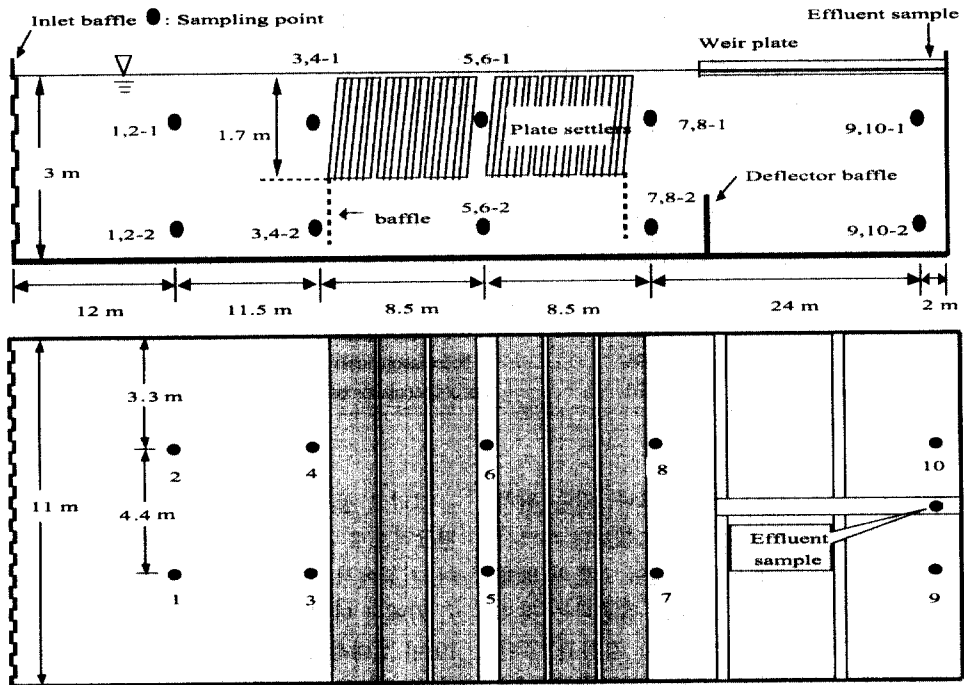
3.1.1. 침전지 구간별 흐름특성

침전지의 수리학적 특성분석을 위한 정성적인 방법과 달리 침전지 각 구간에서 유체의 실질적인 흐름 특성을 파악하기 위하여 2.2절에서 언급한 바와 같이 침전지 각 구간별로 추적자 농도변화를 측정하였다. 따라서 침전지의 상층과 하층흐름 그리고 좌측과 우측흐름으로 구분하여 각각에 대한 평균값으로 흐름특성을 분석하였으며, 그 결과를 Fig. 4~Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 4의 BG 정수장 침전지의 경우 하층부 흐름 ($n - 2$)은 시간이 경과함에 따라 경사판 전단에서부터 최종 유출웨어 지점까지 최대 추적자 농도(peak concentration)의 발현시간(peak time)이 증가하는 전



(a) settling basin #2



(b) settling basin #4

Fig. 2. Elevation and plan of settling basin and sampling points (SW plant).

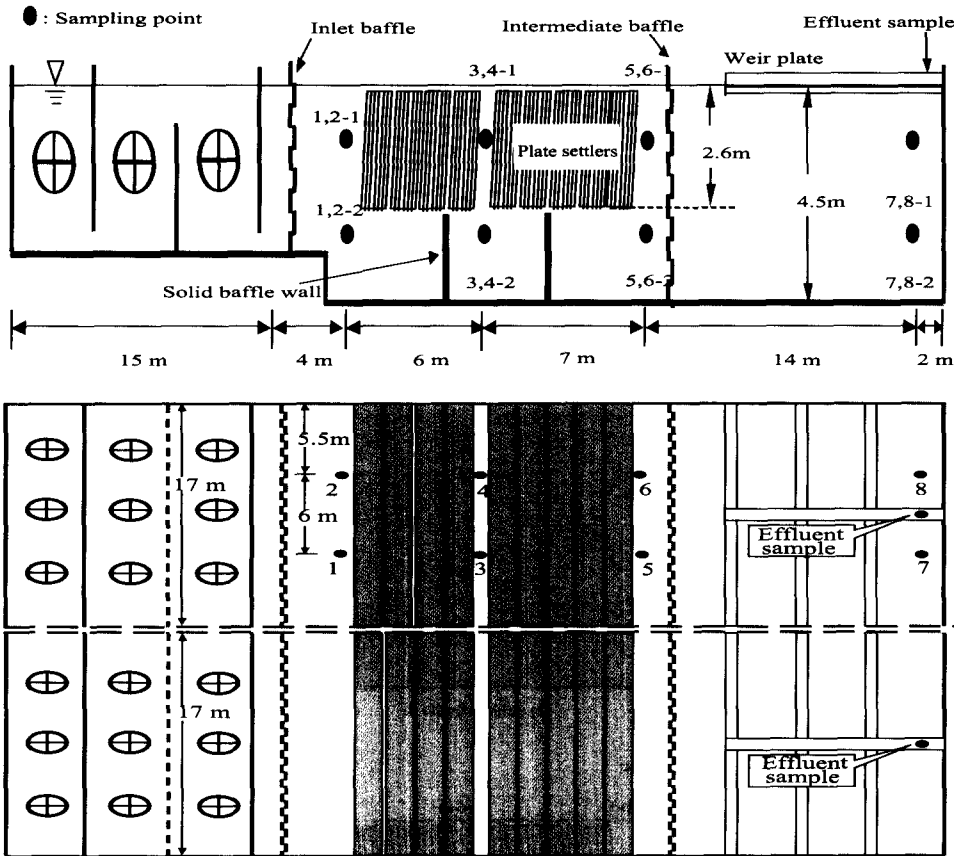


Fig. 3. Elevation and plan of settling basin and sampling points (GE plant).

Table 3. Outline of tracer test at the settling basins of three water treatment plants

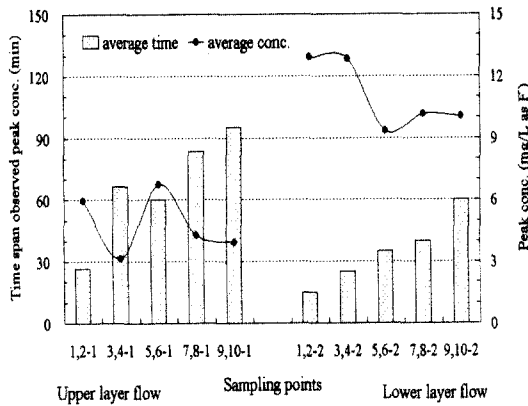
WTPs	No. of basin	Tracer dose (g as F ⁻)	Dose location	Q _R ^a (m ³ /day)	Recovery (%)
BG	#10	2,018	front of inlet baffle in settling basin	12,192~12,408	99.7
SW	#2	3,392	flocculation basin	13,176~21,072	93.9
	#4	2,195	flocculation basin	8,544~14,808	93.1
GE	#C3,4	6,720	front of flocculation basin	42,528~51,792	93.4

^aflow rate during the tracer test

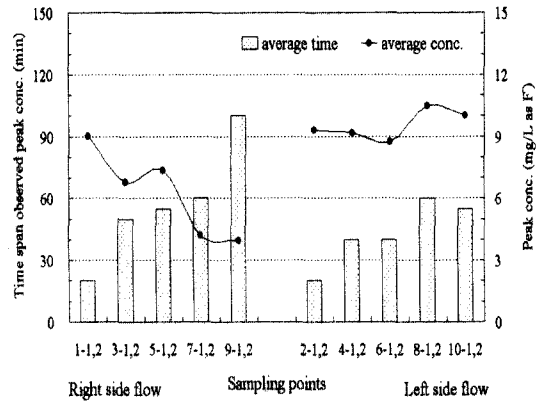
형적인 플러그 흐름특성을 나타내었으나, 같은 위치에서의 상층부 흐름($n-1$)은 하층부 흐름보다 피크시간이 높게 나타나 경사판에 의한 수평류 흐름의 방해로 인하여 침전수의 흐름이 하층부로 집중되는 것으로 조사되었다. 또한 상층부의 경우 경사판 후단(5,6-1)에서보다 경사판 중반 지점(3,4-1)에서의 피크발현시간이 길고 피크농도가 낮게 나타난 것은 침전지내에서 추적자의 회석에 의한 결과로 판단된다.

그리고 침전지의 좌측 및 우측흐름을 조사한 결과 평균적으로 경사판 중반과 후단 그리고 최종 유출웨어 지점에서의 피크발현시간이 우측흐름(#1, 3, 5, 7, 9)에서 더 길고 피크농도는 좌측흐름(#2, 4, 6, 8, 10)이 상대적으로 높고 일정하게 유지되는 것으로 나타나 좌측흐름방향의 각 구간을 침전수가 비교적 빠르게 이동하는 것으로 나타났다.

SW 정수장 침전지의 추적자 실험 결과(Fig. 5, 6)

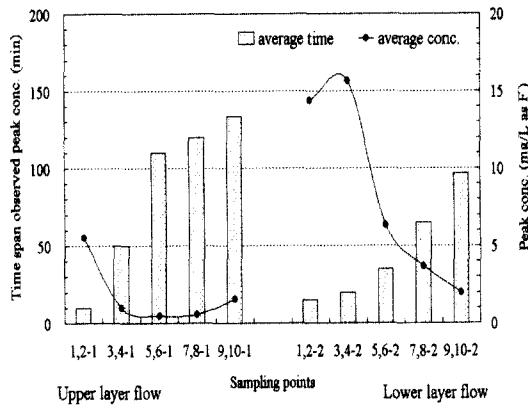


(a) Upper and lower layer flows

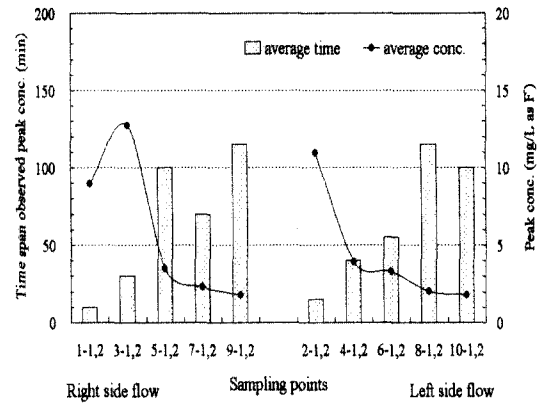


(b) Right and left side flows

Fig. 4. Tracer peak concentration and time span observed peak concentration (BG plant).



(a) Upper and lower layer flows



(b) Right and left side flows

Fig. 5. Tracer peak concentration and time span observed peak concentration (SW plant - #2).

침전수의 상층부 및 하층부 흐름의 경향은 경사판 의 구조물이 없는 BG 정수장의 수리학적 흐름특성과 유사하여 하층부 흐름($n-2$)이 매우 지배적인 것으로 나타났다. 경사판 하부의 전단과 후단에 각각 설치된 패널형태의 유공 정류벽은 바닥부분이 일부 절개되어 있기 때문에 침전수의 흐름을 경사판이 설치되어 있는 상층부($n-1$)로 적절히 유도하지 못하였으며, #4 침전지의 경우 유입 정류벽과 경사판 사이에 시설되어 있는 중간 정류벽 역시 전체적으로 침전지내에서 안정적인 침전수의 수평류 흐름을 유도하는데는 효과적이지 못한 것으로 나타났다.

Fig. 7의 GE 정수장 침전지의 경우 다른 조사대상

침전지와 달리 상층부 및 하층부 흐름은 시간이 경과함에 따라 경사판 전단에서부터 최종 유출웨어 지점까지 피크시간이 증가하는 전형적인 플러그 흐름특성을 나타내었다. 경사판 하부 2개 지점에 시설되어 있는 저류벽은 SW 정수장 침전지에 설치된 패널형태의 유공 정류벽과 달리 정류공이 없을 뿐만 아니라 정류벽 바닥부분이 절개되어 있지 않기 때문에 효과적으로 침전수를 경사판으로 유도하여 경사판에 의한 사영역의 발생을 최소화시켰다. 또한 좌측 및 우측흐름 역시 시간이 경과함에 따라 경사판 전단에서부터 최종 유출웨어 지점까지 피크시간이 증가하는 경향을 나타내어 저류벽을 비롯하여 경사판과 유출웨어 사이

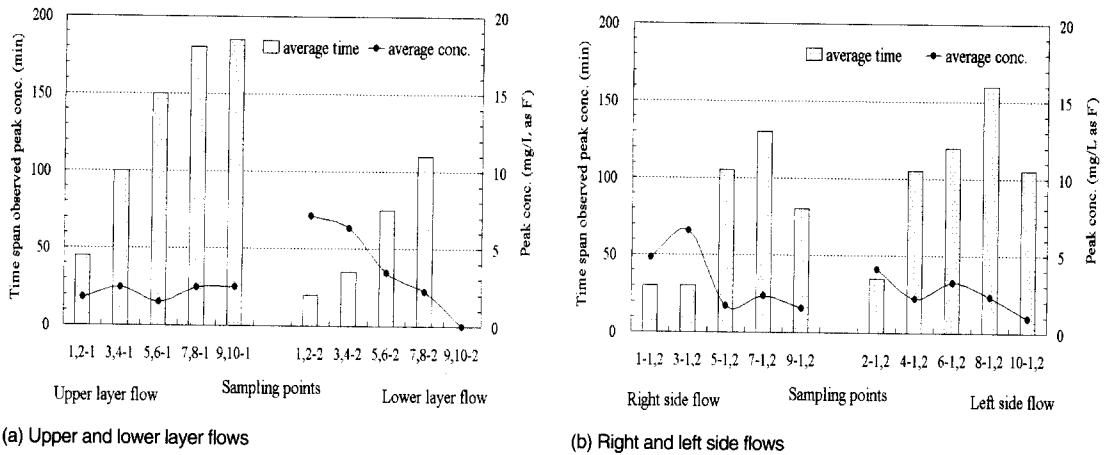


Fig. 6. Tracer peak concentration and time span observed peak concentration (SW plant - #4).

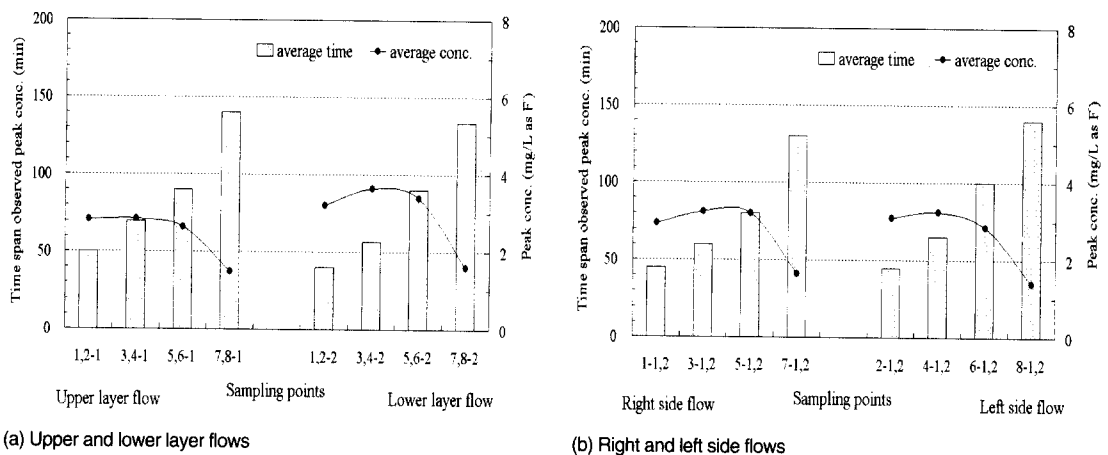


Fig. 7. Tracer peak concentration and time span observed peak concentration (GE plant).

에 시설된 중간 정류벽으로 인하여 어느 한쪽으로 침전수의 흐름이 집중되는 편류의 발생이 억제되고 따라서 매우 안정적인 플러그 흐름을 나타내었다.

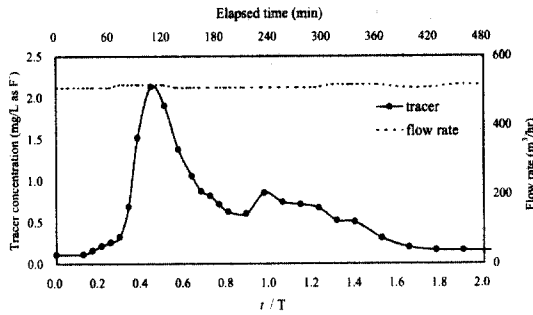
3.1.2. 지수법(index method)에 의한 침전지 흐름특성의 평가

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.

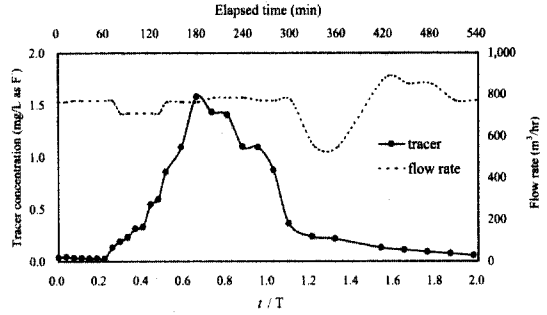
조사대상 정수장 침전지의 추적자 실험 결과 최종 유출웨어에서 유출되는 추적자의 농도변화를 Fig. 8

에 나타내었으며, 플러그흐름과 단락류의 정도를 나타내는 지표로 지수법을 이용하여 침전지의 흐름을 정성적으로 분석하였고 평균체류시간과 이론적체류시간을 이용한 침전지의 수리학적 효율(E_n ; hydraulic efficiency)을 계산하여 Table 4에 함께 나타내었다 (Rebhun and Argaman, 1965; Morill, 1932).

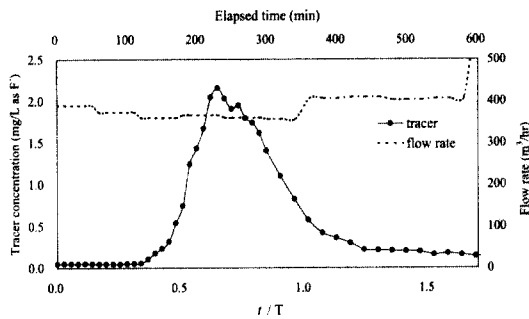
Morill 지수는 침전지 내에서 혼합정도를 나타내는 값으로 침전지를 최종적으로 통과하는 추적자의 누적 유출량이 전체의 90%일 때와 10%일 때의 시간 비율(t_{90}/t_{10})로 정의하며, 이상적인 플러그흐름의 경우 그 값은 1에 근접하고 완전혼합 반응조의 경우 1보다 매우 큰 값을 나타낸다. 분석결과 조사대상 침전지의



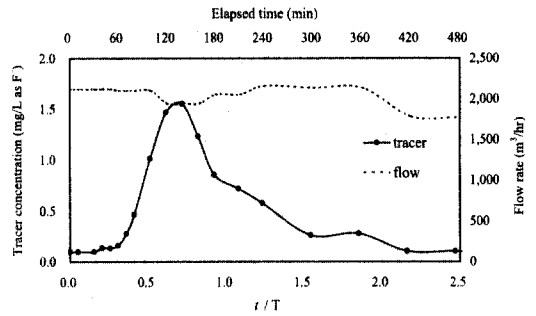
(a) BG plant



(b) SW plant - #2



(c) SW plant - #4



(d) GE plant

Fig. 8. Tracer test results at the settling basins of three plants.

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

WTPs	No. of basin	Morill index	Modal index	Short-circuiting index	M-HRT ^a (min)	T-HRT ^b (min)	E ₁₁ ^c (%)
BG	#10	3.42	0.44	0.47	198.5	245.7	80.8
SW	#2	3.14	0.66	0.24	238.2	273.1	87.2
	#4	2.99	0.65	0.23	297.8	338.7	87.9
GE	#C 3,4	3.45	0.72	0.28	193.7	199.3	97.2

^amean hydraulic retention time (M-HRT); $\sum V_i C_i / \sum C_i \Delta t_i$; ^btheoretical hydraulic retention time (T-HRT); V/Q ; ^chydraulic efficiency; $M-HRT/T-HRT \times 100$

Morill 지수는 GE 정수장 침전지의 3.45를 비롯하여 전체적으로 2.99~3.45의 범위로서 기존의 다른 정수장 침전지에서 조사된 분석 값을 나타내었다.

지수법 중에서 Modal 지수는 침전지 최종 유출지점에서 추적자의 농도가 침투 값을 나타낼 때의 유출시간(t_p)과 이론적인 수리학적 체류시간의 비율($t_p/T-HRT$)로서 1에 가까울수록 플러그흐름을 나타낸다. 분석결과 각 침전지의 Modal 지수는 0.44~0.72의 범위로 조사되어 GE 정수장의 침전지가 1에 가장 근접한 값을 나타내었다.

또한 단락류 지수는 평균수리학적 체류시간(M-HRT)과 최종 유출수중 추적자의 농도가 가장 높은 유출시간(t_p)의 차이를 평균수리학적 체류시간으로 나눈 값($[M-HRT - t_p]/M-HRT$)으로 이 값은 지내에 발생하는 단락류 정도를 나타내고 이 값이 작을수록 양호한 흐름으로 평가할 수 있다. 단락류 지수의 경우 0.23~0.47의 값을 나타내었으며, BG 정수장의 침전지가 0.47의 값을 나타낸 것을 제외하고 나머지 정수장의 침전지들은 0.23~0.28의 값으로 유사하였다.

4. 결론 및 제언

서울시에 위치한 정수장 3곳에서 지내 구조물의 형태와 위치가 상이한 4개의 침전지를 대상으로 추적자 실험을 실시하여 침전지의 수리학적인 효율을 평가하고 구조물에 의해서 영향을 받는 전반적인 흐름특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

경사판 설치 침전지는 경사판 자체로 침전수 흐름의 방해물로 작용하여 BG 정수장 침전지에서 처럼 경사판 하부로 침전수의 흐름이 집중되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 침전수의 흐름을 개선하기 위한 노력으로 경사판이 이미 설치되어 있는 침전지의 경우, 슬러지컬렉터(sludge collector)의 왕복운전이 원활하도록 바닥부분이 일부 절개된 형태로 경사판 하부에 유공 정류벽을 추가로 시설하여도 정류벽 자체의 정류공과 바닥부분의 절개면으로 인하여 추가설치 전과 마찬가지로 침전수의 흐름이 경사판 하부로 집중되기 때문에 경사판에 의한 사영역의 발생을 제어하는데 효과적이지 않았다. 그리고 경사판 하부로 침전수가 집중되는 현상을 제어하지 않은 상태에서 중간정류벽을 추가로 시설하는 것 역시 경사판 하부에서 발생하는 단락류와 침전지 전반에 걸쳐 발생하는 편류를 제어할 수 없는 것으로 조사되었다. 따라서 경사판 하부에 유공 정류벽이 아닌 저류벽을 시설하고 동시에 별도의 슬러지컬렉터를 설치함으로써 침전수의 흐름을 수리학적으로 안정화시킬 수 있을 것이다.

이론적인 수리학적 체류시간에 대한 평균 수리학적 체류시간의 비율($M-HRT/T-HRT \times 100$)은 침전지에서 발생할 수 있는 사영역의 분포를 상대적으로 나타냄으로써 침전지의 수리학적 효율(E_h , %)을 평가할 수 있는 간접적인 지표로 평가되었다. 조사대상 침전지 중에서 수리학적 효율이 가장 높았던 GE 정

수장 침전지는 Modal 지수(4개 침전지 평균 0.62)가 0.72로 조사되어 가장 높았으며, 수리학적 효율이 가장 낮았던 BG 정수장 침전지의 경우 Modal 지수는 조사대상 침전지 중 0.44로 가장 낮은 값을 나타낸 반면 단락류 지수(4개 침전지 평균 0.31)는 0.47로 가장 높은 값을 나타내었다.

침전지의 수리학적 표면부하율을 감소시키므로써 침전지의 플록입자 침강효율을 향상시키고자하는 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 보조장치로서 여러 가지 구조물(저류벽, 중간정류벽 등)들을 알맞은 형태로 적절한 위치에 함께 시설하여야 한다.

참고문헌

- Hudson, H.E.Jr. (1975) Residence Times in Pre-treatment, *J. AWWA* 67(5), pp. 45-52
- Hudson, H.E.Jr. (1981) *Water Clarification - Processes, Practical Design and Evaluation*, Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 123-138.
- Kawamura, S. (2000) *Intergrated Design and Operation of Water Treatment Facilities*. 2nd Ed., JOHN WILEY & SONS, INC., New York.
- Morill, A.B. (1932) Sedimentation Basin Research and Design, *J. AWWA* 24(9), pp. 1442-1458.
- Rebhun, M. and Argaman, Y. (1965) Evaluation of Hydraulic Efficiency of Sedimentation Basins, *J. Sanitary Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers* 91, pp. 37-45.
- U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station (1992) Documentation of the DYECON Module for ADDAMS: *Determining the Hydraulic Retention and Efficiency of Confined Disposal Facilities*, Technical Note EEDP-06-17, December.