

침전지 추적자 실험의 해석을 위한 Dispersion Number의 적용

Application of Dispersion Number for Analysis of Tracer test in Sedimentation Basin

김영일¹ · 박노석^{1,*} · 정남정¹ · 김성수¹ · 배병욱²

Kim, Young-Il¹ · Park, No-Suk^{1,*} · Jung, Nam-Jung¹ · Kim, Seong-Su¹ · Bae, Byung-Uk²

1 한국수자원공사 수자원연구원 상하수도연구소
2 대전대학교 환경공학과

(2006년 11월 23일 논문 접수; 2007년 3월 22일 최종 수정논문 채택)

Abstract

Reynolds and Froude numbers, along with tracer tests, have been widely used to estimate hydrodynamics in full-scale horizontal sedimentation basin in water treatment plants (WTPs). In spite of this, the former numbers do not reflect actual operating conditions, instead most often being based on the dimensions of the structures. The index and graphic analyses most often used were found to be too subjective to accurately analyze tracer test results. In order to overcome these limitations, dispersion number was applied for analysis of tracer test results. Tracer tests were conducted in eight full-scale sedimentation basins in six WTPs, and then analyzed by index and graphic analyses as well as by dispersion number. The dispersion number was more useful as an indicator of the hydrodynamic behavior in the basin. It was also found that as dispersion number decreased, flow approached the ideal for plug flow in which case, higher sedimentation efficiency could be expected.

Key words: Tracer test, Reynolds number, Froude number, Dispersion number

주제어: 추적자 실험, Re수, Fr수, 분산수

1. 서론

정수장에서 침전공정은 다른 정수처리 공정과는 달리 수리학적 특성이 처리효율에 중요한 영향을 미치는 전형적인 공정으로 실제 침전지내에서 흐름현상은 이상적 흐름이기보다는 불규칙한 것으로 알려져

있다(Levenspiel, 1999). 침전지에서의 유체흐름은 유입 및 유출부의 구조, 침전지 내의 정류벽 또는 경사판, 그리고 슬러지 수집기와 같은 지대 구조물 등으로 인해 국부적인 난류와 단락류(short circuiting), 사수부(dead space) 발생 등 복잡한 흐름특성을 보이며, 각 세부인자에 의해 침전지 전체의 흐름이 크게 좌우되는 것으로 알려져 있다(Krebs et al., 1996;

*Corresponding author Tel: +82-42-870-7525, FAX: +82-42-870-7549, E-mail: nspark@kwater.or.kr (Park, N.S.)

Kawamura, 1981; Hudson, 1981). 일반적으로 침전지는 수리학적 체류시간, 장폭비, 월류부하율, 수리부하율, 그리고 Reynolds수(Re) 및 Froude수(Fr)를 이용하여 수리구조물의 적정성을 평가하거나 추적자 실험 등을 통하여 침전지의 흐름특성을 파악하고 있는 실정이다. 최근에 들어 정교한 수치모형과 전산 유체역학(computational fluid dynamics, CFD)과 같은 난류모델이 개발되기도 하였으나, 현장 침전지에서는 믿을 만한 유속을 측정하기 힘들뿐만 아니라 유입부 유량을 정확히 조절하기가 어려워 수치모형을 검증하고 개발하는데 시간과 비용이 상당히 소요된다(Stovin and Saul, 1994). 따라서 현장 침전지 등의 수리학적 효율을 평가하는데 있어 정교한 수치모형 보다는 현장조건에 맞도록 대처할 수 있는 추적자 실험을 이용하는 것이 시간과 비용 측면에서 유리하다.

일반적으로 추적자 실험은 유체의 흐름특성을 파악하기 위하여 유체흐름이 연속적인 평행한 지들 사이에 유체 흐름과 지의 유입부와 배열 등에 대한 수리학적 효율을 평가하는 수단으로 사용되어져 왔으며, 정수장에서 각 단위공정들의 체류시간 및 유체흐름 특성을 파악하기 위한 방법으로도 널리 사용되고 있는 실정이다. 특히, 정수장에서 추적자 실험은 1989년 미국에서 지표수 처리법(surface water treatment rule, SWTR)을 공포한 이후 강화되고 있는 소독기준을 만족시키기 위해 정수지의 체류시간(retention time, T)을 결정하는 방법으로 흔히 사용되어 왔다(USEPA, 1991; Teefy and Singer, 1990; Bishop et al., 1993). 그러나 정수장 침전지와 같이 유체흐름이 연속적이면서 대규모 단위공정의 경우 추적자 실험결과의 해석도 쉽지 않을 뿐만 아니라, 결과 해석에 많은 인력과 know-how가 요구된다. 특히, 추적자 실험의 결과해석을 위해 Index 분석방법이나 Rebhun & Argaman이 제시한 Graphic 분석방법을 이용하고 있으나, Index법은 혼합의 정도와 사영역의 크기를 정량적으로 결정할 수 없고 정성적인 평가만 가능하고, Graphic 분석방법은 결과해석에 매우 주관적인 특성을 가지고 있어 정확한 결과해석에 어려움이 있다(Hart and Gupta, 1978; Rebhun and Argaman, 1965). 이와 같은 연구배경을 바탕으로 본 연구에서는 6개 정수장의 8개 침전지를 대상으로 수행한 추적자 실험의 결과해석을 위하여 dispersion number를 이

용한 새로운 방법으로 침전지의 흐름특성을 해석하였으며, 기존 수리특성인자(체류시간, Re수, Fe수)와의 비교 분석을 통하여 dispersion number의 효율성을 평가하였다.

2. Dispersion number에 대한 이론적 배경

Levenspiel은 다음 식 (1)을 “dispersion number”로 정의하였다.

$$\text{Dispersion number} = \frac{D}{v_x L} \quad (1)$$

여기서, D 는 분산계수(dispersion coefficient)와 확산계수(diffusion coefficient)의 총합을 나타내고, v_x 는 축방향에 대한 수평유속, 그리고 L 은 침전지의 장방향 거리를 나타낸다. Dispersion number는 분산(dispersion)과 이류(advection) 간의 상대 중요도에 관한 정보를 제공하는데, dispersion number가 클수록 분산이 이류에 비해 상대적으로 커진다. Dispersion model은 dispersion number를 단일변수로 이용하고 있으므로 대상이 되는 시스템(반응조)이 압출형 흐름과 완전혼합 흐름 사이에서 어느 정도에 위치하는지를 나타내는 지표로 활용된다. Fig. 1은 Levenspiel의 문헌에서 발췌한 무차원의 exit age distribution과 시간 변수간의 관계를 나타낸 것이다(Levenspiel, 1999).

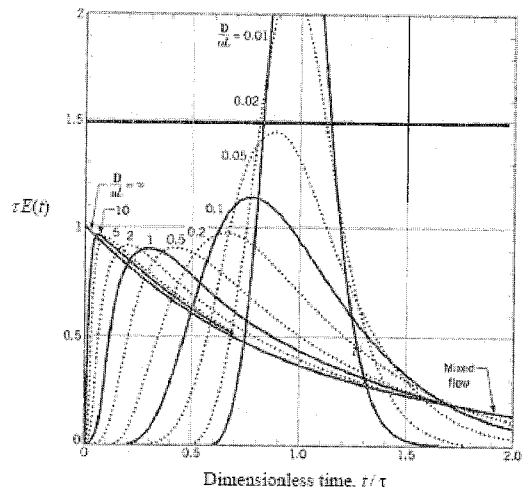


Fig. 1. Model exit age distribution for a plug flow reactor with various amount of dispersion, for a reactor with closed boundaries.

그림에서와 같이 dispersion number가 크면 클수록 반응조는 완전혼합 반응조(continuous flow stirred tank reactor, CFSTR)와 같이 거동하였으며, 완전한 압출형 반응조(plug flow reactor, PFR)의 경우에는 분산이 없고, 완전한 CFSTR인 경우에는 완전 분산되는 것으로 나타났다. 그러나 실제 존재하는 대부분의 반응조는 비이상적인 특성을 가지기 때문에 분산정도에 따라서 압출형 흐름과 완전혼합 흐름이 공존하게 된다. 또한 반응조 내의 흐름 특성이 분산이 존재하는 압출형 흐름이라 할지라도 분산 이외에 국부혼합이 발생하거나, 부분적으로 전체의 분산계수와 다른 값을 가지는 영역이 존재하게 된다.

다음 식 (2)는 dispersion model로부터 dispersion number(D/v_xL)를 구하는 식이다.

$$\frac{\sigma_E^2}{\bar{t}^2} = 2 \frac{D}{v_xL} - 2 \left(\frac{D}{v_xL} \right)^2 \left(1 - \exp\left(-\frac{v_xL}{D}\right) \right) \quad (2)$$

Dispersion number는 추적자 실험결과로부터 구해진 exit age distribution($E(t)$)의 분산(σ_E^2) 값과 평균 체류시간(\bar{t})을 이용하여 반응조 고유의 D/v_xL 를 구할 수 있다. 만약 적절한 D/v_xL 값을 구할 수 없는 경우에는 반응조의 수리거동은 분산이 내재된 압출형 흐름이라 할 수 없다. 그렇기 때문에 대부분의 침전조는 D/v_xL 값을 구할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 실험재료 및 방법

3.1. 추적자 실험을 위한 대상 정수장의 선정

침전지의 수리학적 특성을 파악하기 위하여 하천 복류수를 취수원으로 사용하고 있는 5곳의 대상정수장을 대상으로 추적자 실험을 수행하였다. CJ 정수장

은 호소수를 취수원으로 하고 전형적인 정수처리 공정을 가지고 있는 시설용량 290,000m³/d의 정수장이다. DS 정수장은 시설용량 60,000m³/d로 다른 정수장과는 달리 착수정이 없어 혼화지가 착수정 역할을 수행하고 있으며, 침전지의 길이가 폭과 유효수심에 비해 짧아 침전지 내에 경사판이 설치되어 있다. DW 정수장은 시설용량 35,000m³/d로 침전지가 총 4지 설치되어 있으며, 침전지에는 슬러지수집기가 설치되어 있지 않아 주기적으로 슬러지를 인력으로 인발하고 있는 실정이다. 특히, 오래 전에 건설된 정수장이다 보니 응집지가 2단으로 구성되어 있으며, 응집지 각 단 사이는 정류벽 대신 나무판자로 막혀 있다. 시설용량 20,000m³/d인 JG 정수장은 침전지가 총 2지 설치되어 있으며, 침전지의 길이가 폭과 유효수심에 비해 짧아 이를 극복하기 위해 침전지 내에 경사판이 설치되어 있다. JH와 SH 정수장은 모두 2지의 침전지를 가지고 있으며, 시설용량은 각각 20,000m³/d, 7,500m³/d이다. 참고로 Table 1은 대상 정수장 침전지의 제원을 현장 실측 및 실시설계 보고서의 설계 값을 이용하여 요약 정리한 것이다.

3.2. 추적자 실험

추적자 실험(tracer test)을 수행하기 위하여 적절한 추적자를 선정해야 하는데, 추적자는 실험하는 동안 물속에 있는 다른 물질과 반응을 하지 않는 비반응성 물질, 즉 보존성 물질이어야 한다. 일반적으로 추적자는 불소(fluoride, F), Rhodamine WT, 리튬(lithium, Li), 나트륨(sodium, Na), 염소(chloride, Cl), 그리고 칼슘(calcium, Ca) 등이 사용된다(Teehy, 1996). 본 연구에서는 분석의 용이성 및 안정성의 이유로 불소를 추적자로 이용하여 실험을 수행하였으며, 침전지 가운데 슬러지가 거의 축적되어 있지 않

Table 1. Design informations of sedimentation basin in tested water treatment plants(WTPs)

Item \ WTP	CJ	DS	DW	JG	JH	SH
Design capacity (m ³ /d)	290,000	60,000	35,000	20,000	20,000	7,500
Specification	W17.0xL80.0xH4.0	W14.3xL50.0xH4.0	W8.5xL40.0xH3.2	W10.0xL31.6xH4.0	W10.7xL44.5xH3.0	W5.0xL28.0xH4.1
Volume(m ³)	43,520(5,440x8)	8,580(2,860x3)	4,352(1,088x4)	2,528(1,264x2)	2,856(1,428x2)	1,148(574x2)
Retention time (min)	216	206	170	182	206	220
Avg. velocity(m/hr)	21.0	14.4	13.8	-	13.2	7.6

Table 2. Evaluation of hydrodynamic characteristics for sedimentation basin in tested WTPs by design guidelines

Item # \ WTP	Guideline*	CJ	DS	DW	JG	JH	SH	
Length ratio	L/W	4:1 8:1	4.7 : 1	3.5 : 1	4.7 : 1	3.2 : 1	4.2 : 1	5.6 : 1
	W/H	3:1 6:1	4.3 : 1	3.6 : 1	2.7 : 1	2.5 : 1	3.6 : 1	1.2 : 1
	L/H	15:1이상	20 : 1	12.5 : 1	12.5 : 1	7.9 : 1	14.8 : 1	7 : 1
Re	10,000 이하	12,873	7,847	5,169	4,914	5,423	1,988	
Fr	1.0×10^{-6} 이상	1.44×10^{-6}	0.64×10^{-6}	0.76×10^{-6}	0.39×10^{-6}	0.73×10^{-6}	0.36×10^{-6}	
SOR	15~49	26.7	28.0	25.7	31.6	21.1	26.8	
WOR	248 이하	183.1	65.5	163.7	-	209	141.5	

#Note: Re=Reynold number; Fr=Froude number; SOR=surface overflow rate($m^3/m^2 \cdot d$); WOR=weir overflow rate($m^3/m \cdot d$).

*한국수도협회, 상수도 시설기준, 2004.

한국수자원공사, 원수 수질특성에 따른 수처리설비 및 공정관리 최적화 방안, 1995.

은 한 지를 선택하여 실험을 수행하였다. 분배수로에 불소 원액(NaF, 함량 24%) 일정량을 pulse input 방법으로 투입한 후, 일정한 시간 간격으로 침전지 유출부에서 시료를 채취하여 불소 농도를 측정하였다. 불소농도는 DR2010(Hach, USA)을 이용하여 발색법으로 측정하였으며, 시료채취 간격과 실험시간을 수리학적 체류시간의 0.1배 및 2배 정도로 각각 선정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 대상정수장 침전지의 수리학적 특성 및 설계인자 평가

일반적으로 침전지 내의 유체 흐름특성은 Reynolds 수(Re)와 Froude 수(Fr)에 의해 평가된다. Re는 층류 및 난류를 Fr는 수류의 관성력에 대한 중력의 상대적인 비를 나타내는 무차원 값으로서, Re와 Fr은 모두 동수반경(hydraulic radius, R)의 함수이다(AWWA, 1999). Camp는 Fr이 증가하면 수류의 안전성이 향상된다는 사실을 증명하였으며, Kawamura(2000)는 Re를 2,000 이하, Fr을 1×10^{-5} 이상으로 할 것을 제안한 바 있다. 본 연구에서는 한국수자원공사에서 제시한 Re 10,000 이하 및 Fr 1×10^{-6} 이상을 기준으로 평가하였으며, 기타 수리학적 특성들은 상수도 시설기준과 한국수자원공사 기준을 이용하였다(한국수도협회, 2004; 한국수자원공사, 1995). Table 2는 대상 정수장 침전지의 수리학적 특성 및 설계 인자들을 평가한 결과를 요약 정리한 것이다. 대부분 정수장 침전지의 길이, 폭, 수심에 대한 비율은 시설기준을 만족하지 못하였으며, 특히, 길이와 수심에 대한 비는 모든 침

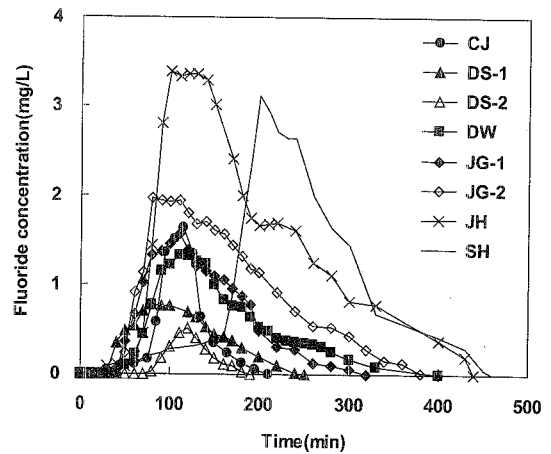


Fig. 2. Tracer test results of sedimentation basin in tested WTPs.

전지가 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 침전지 내의 유체 흐름특성을 나타내는 Re 수는 CJ 정수장을 제외하고 모두 시설기준을 만족한 반면, Fr 수는 정반대의 경향을 보였다. 반면, 표면부하율과 웨어부하율은 모든 침전지에서 시설기준을 만족하였다.

4.2. Index 및 Graphic 분석방법을 이용한 추적자 실험의 해석

Fig. 2는 6개 정수장의 8개 침전지를 대상으로 추적자 실험 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 침전지에 따라 추적자 곡선의 피크가 나타난 체류시간은 모두 달랐으나, 곡선의 형태는 거의 유사한 경향을 보였다. 추적자 곡선에 의해서 구해진 침전지의 체류시간은 대부분 이론적 체류시간보다 작은 값을 보였으며, 특히, SH 정수장 침전지의 경우 체류시간이 200분으로 실험에 사용된 침전지 중에서 가장

Table 3. Hydrodynamic characteristics of sedimentation basin in tested WTPs by index and Rebhun & Argaman methods

Index \ WTP	CJ	DS-1	DS-2	DW	JG-1	JG-2	JH	SH
Short circuiting(t_i/T) ¹⁾	0.14	0.19	0.38	0.26	0.24	0.24	0.10	0.07
Modal detentiontime(t_p/T) ²⁾	0.53	0.38	0.56	0.58	0.54	0.39	0.33	0.47
Morrill dispersion index(t_{90}/t_{10}) ³⁾	1.74	3.19	1.62	3.00	2.86	3.38	3.37	2.03
p(%) ⁴⁾	80.0	66.4	87.0	37.7	67.3	56.2	43.7	83.9
1-p(% ⁵⁾)	20.0	33.6	13.0	62.3	32.7	43.8	56.3	16.1
m(% ⁶⁾)	61.2	48.8	55.5	22.8	36.8	28.1	56.3	55.5

- 1) Time when tracer initially exist / theoretical detention time.
- 2) Time where peak conc. of tracer curve is reached / theoretical detention time.
- 3) Time for 90% of tracer to exit / time for 10% of tracer to exit.
- 4) Plug flow fraction.
- 5) Complete flow fraction.
- 6) Dead space fraction.

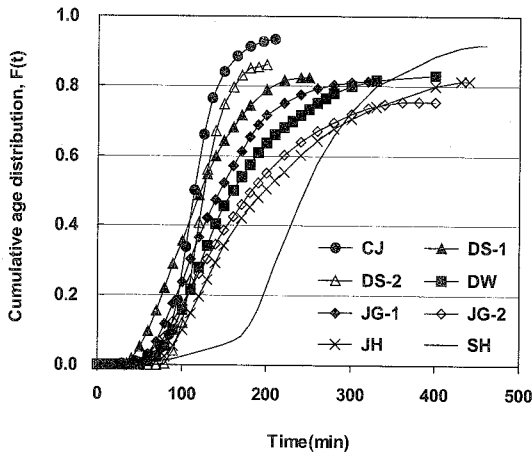


Fig. 3. F(t) curve of sedimentation basin in tested WTPs by analysis of tracer tests.

긴 체류시간을 보였다. 이와 같이 침전지 실제 체류 시간이 이론적 체류시간에 비해 짧은 이유는 여러 요인들에 의해 발생할 수 있으며, 대부분 침전지의 유입 및 유출 트라프의 구조, 침전지 내의 정류벽 또는 경사판, 그리고 슬러지 수집기와 같은 지내 구조물 등으로 인해 국부적인 난류와 단락류(short circuiting) 및 밀도류 발생 등에 기인한다. 이러한 체류시간의 감소는 플러기 침강하기 전에 웨어로 유출되기 때문에 후속 공정인 여과지에 과부하를 일으켜 여과 지속 시간의 단축, 탁질 누출 등의 악영향을 미칠 수 있다. 한편, Fig. 3은 Fig. 2의 추적자 실험을 바탕으로 누적 F곡선을 나타낸 결과로서, 그림에서와 보는 같이 모든 침전지에서의 회수율이 만족할만한 수준인 80%를

상회하는 값을 보였다(김정현, 2000).

한편, Table 3은 침전지의 수리학적 특성을 평가하기 위하여 추적자 실험을 Index 분석방법과 Rebhun & Argaman이 제시한 Graphic 분석방법을 이용하여 평가한 결과를 요약 정리한 것이다. 단락류 Index(t_i/T)는 반응조 내 흐름의 단락류(short circuiting) 정도를 나타내는 값으로 항상 0보다는 크고 1에 가까울수록 단락류가 적은 것을 의미하며, Modal Index(t_p/T)는 반응조 내에서의 압출형 흐름의 정도를 나타내는 상수로 1에 가까울수록 이상적 상태의 압출형 흐름에 가까운 것을 의미한다(Hart and Gupta, 1978). 반면, Morrill Index(t_{90}/t_{10})는 반응조 내에서의 혼합정도를 나타내는 상수로 이상적인 압출형 흐름에서는 1, 완전혼합 흐름에서는 1보다 매우 큰 값을 가진다. 그러나 본 실험에서는 Fig. 3에서와 같이 대부분의 침전지에서 추적자 회수율이 80%정도 밖에 되지 못하여, 맨 마지막 시료채취 시간의 회수율을 100%로 가정하고(모든 침전지에서 추적자의 농도변화가 거의 없으므로) 이를 기준으로 t_{90} 을 구하여 Morrill Index를 산정하였다. 표에서와 같이 JH와 SH 정수장 침전지의 경우 단락류 Index 값이 0에 가까워 다른 정수장에 비해 단회로를 일으킬 가능성이 가장 큰 것으로 나타났다. CJ, DS-2, DW, 그리고 JG-1 정수장의 침전지가 Modal 및 Morrill Index 값이 1에 가까워 수리학적 특성이 압출형 흐름에 가까운 것으로 나타났다. 한편, Graphic 분석방법에 의해 구해진 압출형 흐름 비율(p), 완전혼합 흐름 비율(1-p), 그리고 사수부(m) 비율도 대부분 Modal 및 Morrill

Table 4. Dispersion numbers of sedimentation basin in tested WTPs

Item \ WTP	CJ	DS-1	DS-2	DW	JG-1	JG-2	JH	SH
Q(m ³ /min)	25.2	13.4	13.4	5.75	6.94	6.93	4.67	1.4
V(m ³)	5,440	2,860	2,860	1,088	1,422	1,422	1,422	574
Re	12,873	7,847	7,847	5,169	4,914	4,914	5,423	1,988
Fr(x10 ⁻⁶)	1.44	0.64	0.64	0.76	0.39	0.39	0.73	0.36
T ¹⁾ (min)	216	213	213	189	205	205	304	424
\bar{t} ²⁾ (min)	114	113	123	158	135	161	190	247
\bar{t}/T	0.53	0.53	0.58	0.84	0.66	0.79	0.63	0.58
p(% ³⁾)	80.0	66.4	87.0	37.7	67.3	56.2	43.7	83.9
Dispersion number	0.0284	0.0885	0.0157	0.0988	0.0833	0.1103	0.1180	0.0452

- 1) Theoretical retention time(V/Q).
- 2) Real retention time when tracer test was performed.
- 3) Plug flow fraction analysed by Rebhun & Argaman method.

Index법에 의해 구한 값들과 거의 유사한 경향을 보였다.

한편, 동일한 정수장에서 두 개의 침전지를 대상으로 추적자 실험을 수행한 DS와 JG정수장의 경우, 두 정수장 모두 침전지들 사이에 압출형 흐름의 차이를 보였으며 DS 정수장의 침전지에서 보다 큰 차이를 보였다. 이러한 차이가 나는 이유는 동일 정수장의 다른 침전지라 할지라도 수리흐름에 영향을 미치는 인자가 다르기 때문이며, 특히 각 침전지에 유입되는 유량의 균등분배가 이루어지지 않은 것이 실제 체류 시간의 감소 뿐만 아니라 침전지의 수리흐름특성에 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

4.3. Dispersion number를 이용한 추적자 실험의 해석

Table 4는 dispersion number를 이용하여 추적자 실험을 해석한 결과이다. Fig. 2와 Table 3에서의 결과와 마찬가지로 모든 침전지의 실제 체류시간이 이론적 체류시간의 53~84%로 매우 다양한 값을 보였으며, 실험대상 정수장 침전지 중에서 DW 정수장 침전지의 실제 체류시간이 이론적 체류시간에 가장 가까운 것으로 나타났다. 모든 침전지의 실제 체류시간과 dispersion number와는 상관관계를 보이지는 않았으나, Graphic 분석방법에 의해 구해진 압출형 흐름 분율이 큰 침전지일수록 dispersion number가 작아지는 경향을 보였다. 이는 dispersion number가 침전지의 압출형 흐름을 나타내는 인자로 사용할 수 있다는 간접적인 결과라 할 수 있다.

한편, 동일 정수장에서 2개의 침전지를 대상으로 실험을 수행한 DS와 JG 정수장의 경우 수리구조와 유량이 동일하므로 각 침전지의 Re수와 Fr수가 모두 같은 값으로 계산된 반면 dispersion number는 차이를 보였다. 이는 현재 침전지의 수리흐름특성을 평가하는 인자인 Re수와 Fr수의 경우 물 흐름에 수직 단면 형상의 함수(유속, 동수반경)이므로 주흐름 방향(main flow direction)의 흐름특성을 반영하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 유입수내 입자의 물리적인 성장과 수리구조에 의한 흐름 특성이 침전효율에 큰 영향을 미치는 인자임을 감안할 때, 설계 도면상의 기하학적인 수치와 유량으로 결정되는 Re수와 Fr수는 시공상의 미비한 오류 및 수표면 상부의 풍속 등이 지내 흐름에 미치는 영향 등이 반영될 수 없는 단점을 가지고 있다. 이에 반해 dispersion number는 실제 흐름을 평가하기 위한 추적자 실험결과에 기초하여 도출한 지표이므로 같은 수리구조에 같은 유량이 설계되더라도 상이한 결과를 나타낼 수 있으므로 침전지의 흐름특성을 실질적으로 대변할 수 있는 지표로 활용 가능하다고 할 수 있다. 침전지의 이상적인 흐름은 분산이나 국부적인 혼합이 압출형 흐름을 지향하기 때문에 이론적 배경에서 언급한 바와 같이 장방향 수평류식 침전지의 dispersion number는 작을수록 흐름특성이 좋고, 침전효율도 좋다고 할 수 있다.

5. 결론

- 1) 추적자 실험결과 대부분의 침전지 체류시간이

이론적 체류시간보다 작은 값을 보였는데, 이는 침전지의 유입 및 유출 트라프의 구조, 침전지 내의 정류벽 또는 경사판, 그리고 슬러지 수집기와 같은 지내 구조물 등으로 인해 국부적인 난류와 단락류 및 밀도류 발생 등에 의한 것이며, 이러한 체류시간의 감소는 플럭이 침강하기 전에 웨어로 유출되기 때문에 후속 공정인 여과지에 과부하를 일으켜 여과 지속시간의 단축, 탁질 누출 등의 악영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

2) Index와 Graphic 분석방법을 이용하여 추적자 실험을 평가한 결과, JH과 SH 정수장 침전지의 경우 단락류 index 값이 0에 가까워 다른 정수장에 비해 단회로를 일으킬 가능성이 가장 큰 것으로 나타났다. CJ, DS-2, DW, 그리고 JG-1 정수장의 침전지가 Modal 및 Morrill Index 값이 1에 가까워 수리학적 흐름특성이 압출형에 가까운 것으로 나타났다.

3) DS와 JG정수장의 2개의 침전지들 사이에 압출형 흐름의 차이를 보였는데, 이는 동일 정수장의 다른 침전지라 할지라도 수리흐름에 영향을 미치는 인자가 다르기 때문이며, 특히 각 침전지에 유입되는 유량의 균등분배가 이루어지지 않은 것이 실제 체류시간의 감소 뿐만 아니라 침전지의 수리흐름특성에 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

4) 침전지의 실제 체류시간과 dispersion number와는 상관관계가 보이지는 않았으나, Graphic 분석방법에 의해 구해진 압출형 흐름 분율이 큰 침전지일수록 dispersion number가 작아지는 경향을 보였다. 이는 dispersion number가 침전지의 압출형 흐름을 나타내는 인자로 사용할 수 있다는 간접적인 결과라 할 수 있다.

5) 동일 정수장 침전지 2개의 Re수와 Fr수는 모두 같은 값을 보였으나 dispersion number는 차이를 보였다. 이는 침전지의 수리흐름특성을 평가하는 인자인 Re수와 Fr수는 수직 단면형상의 함수(유속, 동수반경)이므로 주흐름 방향의 흐름특성을 반영하지 못하기 때문이며, 이에 반해 dispersion number는 가능한

것으로 평가되었다.

참고문헌

1. 김정현 (2000) 정수장 수리특성평가를 위한 추적자시험의 고찰, 한국수처리기술연구회, 8(1), pp. 19-28.
2. 한국수도협회 (2004) 상수도시설기준.
3. 한국수자원공사 (1995) 원수 수질특성에 따른 수처리 설비 및 공정관리 최적화 방안.
4. AWWA (1999) *Water Quality and Treatment*, 5th ed., McGraw-Hill, New York.
5. Bishop, M.M., Morgan, M., Cornwell, B., and Jamison, D.K. (1993) Improving the Disinfection Detention Time of a Water Plant Clearwell, *AWWA*, 85(3), pp. 68-75.
6. Hart, F. L. and Gupta, S. K. (1978) Hydraulic Analysis of Model Treatment Units, *J. Environmental Engineering Division, ASCE*, 104(EE4), pp. 785-798.
7. Hudson, H.E. Jr (1981) *Water Clarification Process, Practical Design, and Evaluation*, Van Nostrand Reinhold, New York.
8. Kawamura, S. (1981) Hydraulic Scale Model Simulation of the Sedimentation Tanks, *AWWA*, 73(7), pp. 372-379.
9. Kawamura, S. (2000) *Integrated Design of Water Treatment Facilities*, 5th ed., John Wiley & Sons, New York.
10. Krebs, P., Stamou, A. I., Garcia-Heras, J. L., and Rodi, W. (1996) Influence of Inlet and Outlet Configuration on the Flow in Secondary Clarifiers, *Wat. Sci. Tech.*, 34(5-6), pp. 1-9.
- Levenspiel, O. (1999) *Chemical Reaction Engineering*, 3rd ed., John Wiley & sons, New York.
- Rebhun, M., and Argaman, Y. (1965) Evaluation and Hydraulic Efficiency of Sedimentation Basin, Sanitary Engineering Division, *ASCE*, 91(SA5), pp. 37-45.
- Stovin, V., and Saul, A. J. (1994) Sedimentation in Storage Tank Structures, *Wat. Sci. Tech.*, 29(1-2), pp. 363-372.
- Teefy, S.M., and Singer, P.C. (1990) Performance and Analysis of Tracer Tests to Determine Compliance of a Disinfection Scheme with the SWTR, *AWWA*, 82(12), pp. 88-98.
- Teefy, S. (1996) *Tracer Studies in Water Treatment Facilities: A Protocol and Case Studies*, AWWARF, USA.
- USEPA (1991) *Guidance Manual for Compliance with the Filtration and Disinfection Requirements for Public Water System Using Surface Water Sources*.