

## 정수지내 사류지역이 수리학적 효율에 미치는 영향 연구

### The Effect of Dead Zone on Hydraulic Efficiency in Clearwell

이승재 · 신은허 · 김성훈 · 박희경\*

Lee, Seungjae · Shin, Eunher · Kim, Sunghoon · Pakr, Heekyung\*

한국과학기술원 건설 및 환경공학과

(2006년 10월 11일 논문 접수; 2007년 3월 5일 최종 수정논문 채택)

#### Abstract

Hydraulic efficiency( $T_{10}/T$ ) in clearwell is often estimated by  $L/W$  ratio. However, this estimation is not accurate because other factors which give an effect on hydraulic efficiency such as shape of basin, diffuser wall and intra-basin is ignored. Therefore, in this research, hydraulic efficiency is predicted by the quantitative analysis of dead zone using CFD simulation in a pilot scale clearwell. The results show that the reason why higher  $L/W$  ratio increase the hydraulic efficiency is to decrease the dead zone of linear region which is located between baffles. Diffuser wall or intra-basin also affects on hydraulic efficiency with this process. Also, we conclude that hydraulic efficiency can not be reached to 0.8 or higher.

**Key words:** Hydraulic efficiency,  $L/W$  ratio, Diffuser wall, Intra-basin, Dead zone, CFD(Computational Fluid Dynamics), SF(Shape Factor)

**주제어:** 수리학적 효율, 장폭벽, 정류벽, 내부도류벽, 사류지역, CFD, 형상계수

#### 1. 서론

상수처리과정중 소독은 원수 중의 수인성 미생물을 제거하여 처리수의 안전도를 높이기 위한 중요한 과정이다. 현재 소독기준으로는 미국의 지표수 처리법에 따라 바이러스(Virus)와 지아디아(Giardia)의 불활성도를 각각 99.99%, 99.9%를 요구하고 있다.

일반적으로 소독의 정도는 CT 값, 즉 소독능으로 평가하는데, 이때 C는 잔류 소독제의 농도를 의미하며, T는 정수지에서 10%의 유체가 유출되는 시간

$T_{10}$ 값을 나타낸다. 효율적인 소독을 위해서는 이러한 소독능을 증가시켜야 하지만, 잔류 염소의 농도가 높을 경우 THMs와 같은 소독부산물(DBPs)의 생성을 촉진시키고,  $T_{10}$ 값을 증가시키는 것은 큰 규모의 정수지를 건설하는 것이 좋지만, 이는 부지 면적의 제한, 건설 및 유지 관리 비용 증가 등으로 현실적으로 불가능한 것이다(Bishop et al., 1993). 이러한 이유로 정수지 내의 수리학적 효율을 평가한다.

수리학적 효율을 평가하는 지수로는  $T_{90}/T_{10}$ (Morril index),  $T_{10}/T$ , dispersion 등이 있는데, 통상적으로  $T_{10}/T$  값으로써 나타내고 있다. 본

\*Corresponding author Tel: +82-42-869-3620, FAX: +82-42-869-3610, E-mail: hkpark@kaist.ac.kr (Park, H.K.)

**Table 1.** 도류벽에 따른 USEPA's Guidance Manual  $T_{10}/T$

Baffling Condition	Guidance Manual $T_{10}/T$	Baffling Definition in USEPA's Guidance Manual
Unbaffled (mixed flow)	0.1	None; agitated basin; very low length-to-width ratio; high inlet and outlet flow velocities
Poor	0.3	Single or multiple unbaffled inlets and outlets; no intrabasin baffles
Average	0.5	Baffled inlet or outlet with some intrabasin baffles
Superior	0.7	Perforated inlet baffle; serpentine or perforated intrabasin baffle; outlet weir or perforated launders
Perfect (plug flow)	1.0	Very high length-to-width ratio (pipeline flow); perforated inlet, outlet and intrabasin baffles

연구에서도 이 값을 수리학적 효율을 평가하는 지표로 이용할 것이다.

Hannoun(1997, 1998)에 따르면, 지의 형상, 도류벽, 유입 및 유출부의 위치와 속도, 정류벽 혹은 내부도류벽의 유무 등이 수리학적 효율( $T_{10}/T$ )에 영향을 미친다. 그러나 유입, 유출부의 위치가 단락류에 영향을 주지만(Shilton et al., 2003), 도류벽이 설치된 경우 유입부와 유출부의 영향이 적고(Clark et al., 1999), 실 정수지에서는 유량변화가 작다는 것을 감안할 때, 지의 형상, 도류벽, 정류벽 혹은 내부도류벽이 가장 큰 영향을 미친다고 할 수 있다.

신은허(2005)의 연구에서 장방형의 정수지에서 다음과 같이 정의된 형상비(Shape Factor: SF)가 높을수록 높은 수리학적 효율을 가진다는 것을 알 수 있다. 정류벽 혹은 내부도류벽의 설치로 효율이 크게 증가하는 경향(Hannoun et al., 1995, 1997; Lee et al., 2006)을 나타내었다. 도류벽을 추가하여 장폭비를 증가 역시 수리학적 효율 향상에 큰 도움이 된다(Clark et al., 1999; Bishop et al., 1993).

$$\text{Shape Factor(SF)} = \frac{\text{정수지 가로 길이}}{\text{정수지 세로 길이}}$$

정수지 설계에 있어서 이러한 영향요소들이 모두 다 반영되지 않는다. Table 1에서와 같이  $T_{10}/T$ 에 대한 USEPA의 견해는 정성적인 설명으로서, 정량적인 파악이 불가능하여 구체적인 수리학적 효율 산정에 어려움이 있다. Bishop(1993)이나 Clark(1999)의 연구에서는 다른 조건들을 무시한 채 장폭비만으로  $T_{10}/T$  값을 산정하여 신뢰성이 떨어질 뿐만 아니라, 두 연구사이에서의 값도 차이가 많다. Bishop의 연구에서는 장폭비가 약 20일 때까지 선형적으로 수리학

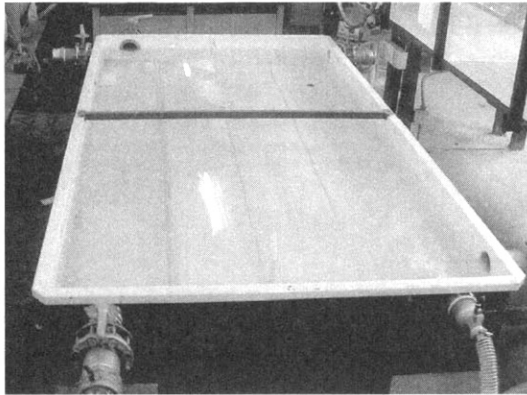
적 효율이 증가하다가 그 이후 일정한 값(약 0.7)을 가지지만, Clark의 연구에서는 수리학적 효율이 0.9까지 증가한다.

기존의 연구에서 장폭비를 통한 수리학적 효율을 평가하지만, 이는 설계를 위한 좋은 자료가 될 수 있으나, 장폭비만으로 수리학적 효율을 예측하는 데에는 한계를 가지고 있다. 따라서, 이 연구에서는 장폭비가 아닌 사류지역(Dead Zone)을 평가함으로써, 수리학적 효율을 예측하고자 한다. Thackston(1987)은 사류지역 형성으로 인하여 단락류(Short Circuit)가 생기고, 이는 접촉조의 모든 공간을 통하여 흐름이 진행되지 않아서 결국  $T_{10}$  값을 낮추게 된다고 하였다. 장방형 구조의 정수지에서 정수지내 측정을 통하여, 사류지역이 존재한다는 것이 밝혀졌으며(Wang et al., 1998), Hannoun(1997, 1998)은 도류벽 내 사류지역이 곡선부에서 흐름영역이 넓어져서 발생한다고 하였다. 이러한 사류지역은 도류벽 설치뿐만 아니라, 정류벽, 내부 도류벽 설치로 줄어들게 할 수 있고, 이는 결국 수리학적 효율을 높이는 결과를 낳는다.

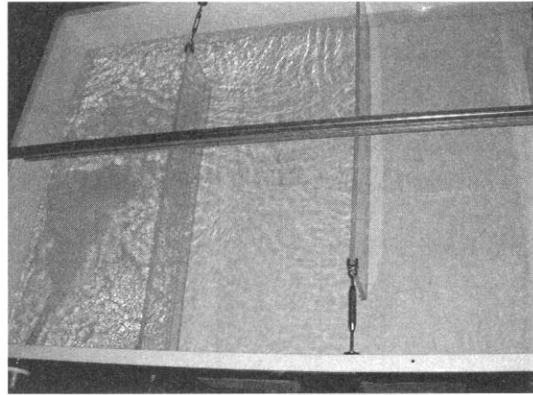
Hannoun(1998)은 사류지역을 흐름의 반대방향으로 흐르는 흐름으로 정의하였고, Thackston(1987)은 평균속도와 현저하게 차이가 나는 흐름지역이라고 하였는데, 본 연구에서는 이러한 사류지역의 정의에 따라 CFD를 통하여 사류지역을 측정 및 평가하고, 이에 따른 수리학적 효율 값을 예측 및 설계인자로서의 활용가능성을 파악하고자 한다.

## 2. 연구 방법

사류지역 및 수리학적 효율 평가를 위해 Pilot 규모의 추적자 실험과 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 병행하였다. 실험은 가로길이-세로길이



(a) SF 0.5



(b) SF 2

Fig. 1. Pilot 실험 장치.

비 즉, 형상비가 0.5, 2인 파일럿 규모의 실험 장치를 이용하였으며, 이 실험 장치에 Fig. 1과 같이 장폭비가 10에서 60까지 되도록 도류벽을 설치하여 실험을 실시하였다. 유입유량은 77.87L/min으로 Clark (1999)이 실험한 경우와 같게 설계되었다. 추적자로는 sodium fluoride(NaF, 97%)를 사용하였으며, Slug Method를 이용하여 10초 이내에 주입하도록 하였다. 이 추적자는 반응에 있어 안정적이고, 수리학적 거동에 영향을 미치지 않는다. 수질분석기(HS2300)를 이용하여 불소를 측정하여 수리학적 효율을 산정하였다.

CFD를 통한 수리모델은 정수지 분석에 유용한 도구이며(Hannoun et al., 1997; 1998), Wang(1998)에 의하여 실정수지내 농도 측정과 수리모델을 직접 비교한 결과 k-ε 난류모델이 가장 정확하다는 것이 알려져 있다. 또한, CFD 수리모델이 수리학적 효율을 잘 반영한다는 것은 많은 연구에서 이미 알려져 있다(Wang et al., 1998). 이 결과를 통하여 CFD 모델은 정수지내 수리거동을 잘 반영한다는 것을 알 수 있다. 이 연구에서는 상용프로그램인 CFX 5.6을 사용하

여 모델을 구축하였다.

앞서 살펴본 바와 같이 정수지의 형상에 따라 수리학적 효율은 차이를 나타낸다. 따라서, 수리학적 모델은 형상비가 0.5, 1, 2로 다른 세가지 형태의 Pilot 규모의 정수지를 통하여 사류지역 및 수리학적 효율을 평가하였다. 수위와 향의 부피 및 유입 속도를 일정하게 하여 이론적 체류시간이 약 22.3분으로 동일하다. 도류벽이나 정류벽, 내부도류벽과 같은 구조물이 사류지역에 미치는 영향을 파악하기 위해 Fig. 2와 같이 도류벽 사이에 위치한 ①, ②, ③과 같은 직선부와 ④, ⑤, ⑥과 같은 곡선부로 구분하여 사류지역을 평가하였다.

정류벽과 내부도류벽에 의한 정수지 내 사류지역 및 수리학적 효율을 평가하기 위해 Fig. 3과 같은 위치에서 CFD를 통하여 분석하였다. Hannoun(1997, 1998)의 연구에서 알 수 있듯이, 정방형의 구조물에서 정류벽이 Fig. 3에서와 같이 도류벽 끝의 위치에서 좋은 효율을 나타냈을 뿐만 아니라, 일반적으로 곡선부에 설치된 내부도류벽이 좋은 수리학적 효율을 낳았다(Lee et al., 2006). 정류공은 원형으로 모든 경우

Table 2. CFD simulation 및 Pilot 실험 장치 구조

	SF 0.5	SF 1	SF 2
향의 구조(너비×길이×수위)[m]	1.725×3.45×0.305	2.44×2.44×3.05	3.45×1.725×3.05
도류벽 구조(너비×길이×높이)[m]	1.42×0.01×0.305	2.135×0.01×0.305	3.145×0.01×0.305
유입구, 유출구 형태		원형	
유입구, 유출구 지름[m]		0.091	
유입 유량[l/min]		77.87	

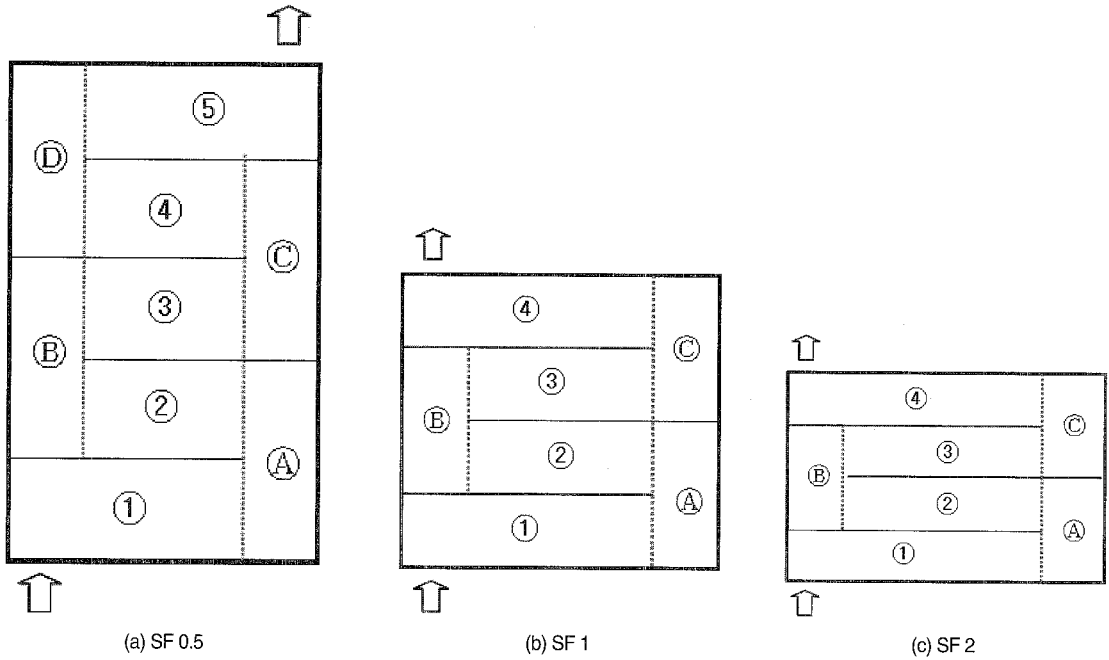


Fig. 2. 항의 형태 및 사류지역의 구분.

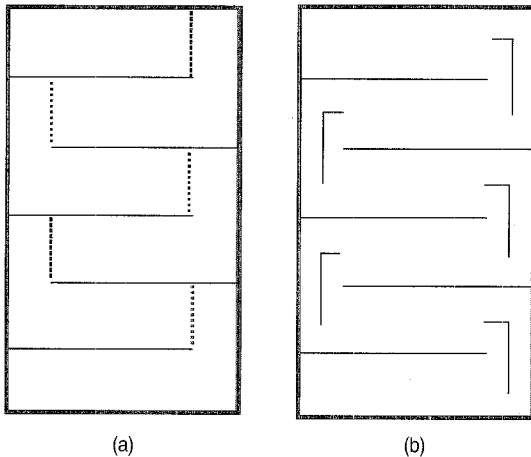


Fig. 3. 정류벽(a) 및 내부 도류벽(b)의 설치 위치.

에 지름 5cm로 설치하였다.

사류지역 평가하기 위해 부피율을 이용하였다. 즉, 각 영역의 사류지역을 조 전체의 부피로 나눈 백분율을 사용하였다.

Dead Zone Volume Percentage (DVP, %)

$$= \frac{\text{Dead Zone Volume} \times 100}{\text{Clear well Volume}}$$

앞서 언급한 사류지역 정의로부터 두 가지의 Index 를 사용하여 사류지역을 평가하였다. Hannoun(1998) 이 정의한 바와 같이 직선부, 곡선부에서 유출부로 흐르는 흐름의 반대방향인 영역과 평균속도의 10%미 만인 영역(Thackston et al., 1987) 으로 구분하여 각각 Index 1, 2로 지정하였다.

### 3. 결과 및 토의

#### 3.1. CFD 모델과 실험의 비교

CFD 모델과 실험의 수리학적 효율을 비교한 결과 Fig. 4와 같이,  $R^2$  값이 0.89로 높은 상관관계를 가진다. 형상비가 0.5, 2인 곳에서만 실험을 하였으나, 이러한 결과는 곧 다른 형상비에서도 좋은 결과를 가진다는 것을 의미하며, 이는 구축된 수리 모델이 조 내의 유동을 잘 나타낸다. 즉, 정수지에서 실측을 통한 Wang(1998)의 연구에서와 같이 조 내의 사류지역을 잘 모사하고 있는 것으로 판단된다.

#### 3.2. 도류벽 설치에 따른 사류지역 변화 및 수리학적 효율( $T_{10}/T$ )

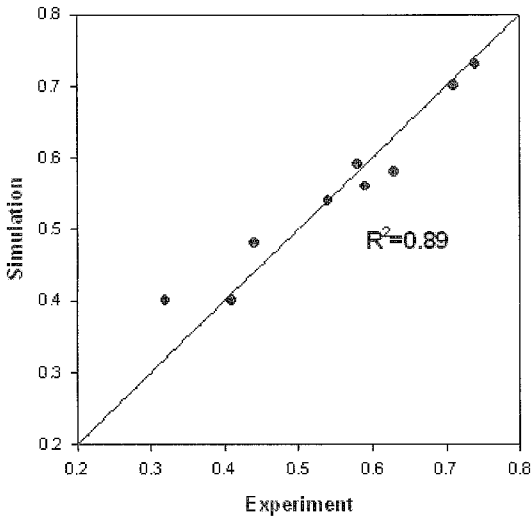


Fig. 4. 실험과 CFD 모델 수리학적 효율( $T_{10}/T$ ) 비교.

구축된 모델을 통하여 도류벽 설치 시 즉, 장폭비에 따른 수리학적 효율을 평가 한 결과, Fig. 5와 같이 각 형상에 따라 일정한 추세를 가지고 있다. 장폭비가 작은 경우 도류벽 추가는 곧 수리학적 효율 증가로 연결이 되지만, 장폭비가 약 60이 될 경우 형상에 관계없이 일정한 수리학적 효율을 가지게 된다. 형상비(SF)가 0.5에서 2로 커질 경우, 이 일정한 수리학적 효율 값이 0.6, 0.63, 0.73으로 증가한다. 이는 수리학적 효율 장폭비만으로 결정하는 것은 무리가 있으며, 형상에 따라 달리 결정해야 한다는 것을 의미한다.

사류지역을 평가한 Table 3에서 알 수 있듯이, 장폭비에 따른 수리학적 효율 증가는 직선부에서의 사류지역 감소와 밀접한 관계를 가지고 있다. Index 1과 2 두 가지 경우 모두 도류벽 설치와 함께 직선부의 사류지역은 점차 줄어들고 있지만, 곡선부의 사류지역은 형상에 따라 거의 일정하다. Index 1의 경우 형상비가 0.5이면 36%에서 29%로, 형상비 1에서는 44%에서 23%, 형상비 2에서는 45%에서 18%로 직선부의 사류지역이 줄어든다. 또한, 이때의 곡선부의 사류지역은 형상비가 0.5에서 2로 증가할 때, 10%, 5%, 1.5%로 거의 일정하다는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 Index 2에서도 유사하게 나타난다.

이러한 사류지역 분석은 형상비에 따른 수리학적 효율( $T_{10}/T$ )이 차이가 나타나는 원인을 찾을 수 있

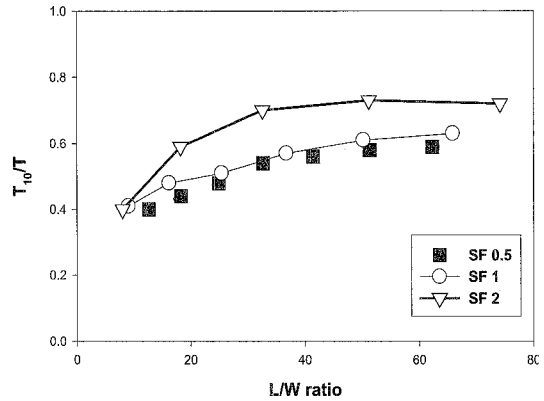


Fig. 5. 도류벽 설치 시 장폭비에 따른 수리학적 효율( $T_{10}/T$ ).

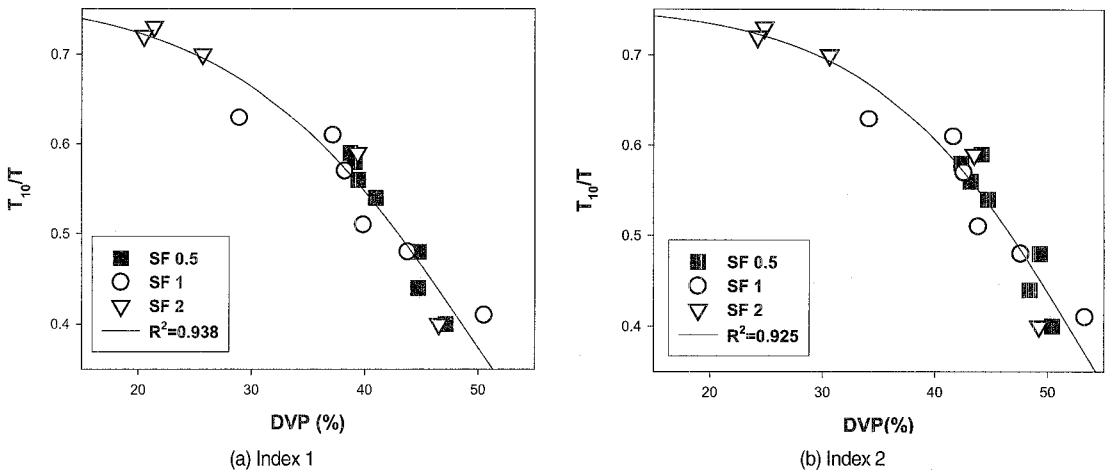
다. 앞서 설명하였듯이, 형상비가 0.5에서 2로 증가할 경우, 각각 0.6, 0.63, 0.73의 최대 수리학적 효율( $T_{10}/T$ )값을 가진다. 이러한 형상비에 따른 차이는 도류벽을 통해 사류지역을 줄일 수 있는 직선부의 부피가 형상비가 커질수록 상대적으로 크기 때문이다. 즉, 장폭비가 30인 경우, 형상비가 0.5, 1, 2로 증가함에 따라 각각 7개, 5개, 3개의 도류벽이 필요하게 된다. 이러한 도류벽의 설치에 사류지역이 줄어들기 어려운 곡선부의 부피를 증가하게 되어 결국 형상에 따라 수리학적 효율( $T_{10}/T$ ) 값의 차이를 가져오게 된다.

형상비와는 관계없이 정수지내 총 사류지역을  $T_{10}/T$  값과의 그래프로 나타내면 Fig. 6과 같다. Index 1과 2 모두  $R^2$  값이 각각 0.938, 0.925를 가져 좋은 상관관계 나타내고 있다. 또한, Fig. 5에서 나타난 장폭비에 따른 그래프와는 달리 어떠한 형상이든 하나의 그래프로 나타낼 수 있다. 이는 사류지역이 조 내의 흐름을 잘 반영하고 있으며, 형상 외에 다른 요소 역시 잘 나타낼 수 있다는 것으로 생각된다. Index 1, 2 모두 사류지역이 약 30% 정도 부근에서 그래프의 기울기가 차이가 많이 나는데, 이는 높은 사류지역에서는 수리학적 효율과 관련성이 높지만, 낮은 사류지역을 가지는 형태는 사류지역보다는 유출부로 흐르는 흐름 내의 속도차가 더 중요하게 작용하기 때문인 것으로 판단된다.

**Table 3.** 도류벽 설치에 따른 수리학적 효율 및 사류지역(Dead Zone Fraction) 평가

도류벽	개수	장폭비	Index 1*			Index 2*			T <sub>10</sub> /T
			곡선부	직선부	계	곡선부	직선부	계	
SF 0.5	4	12.65	10.393	36.759	47.152	12.204	38.201	50.405	0.40
	5	18.26	11.378	33.346	44.723	13.284	35.104	48.388	0.44
	6	24.93	11.529	33.264	44.793	14.314	34.982	49.296	0.48
	7	32.66	10.868	30.115	40.983	13.351	31.339	44.69	0.54
	8	41.46	10.781	28.663	39.444	13.179	30.009	43.188	0.56
	9	51.34	10.813	28.322	39.135	13.320	29.020	42.34	0.58
	10	62.31	9.510	29.260	38.77	13.438	30.697	44.135	0.59
SF 1	2	9.07	5.763	44.773	50.536	7.074	46.236	53.31	0.41
	3	16.20	5.399	38.408	43.807	6.911	40.697	47.608	0.48
	4	25.41	6.015	33.858	39.873	7.834	36.009	43.843	0.51
	5	36.75	5.426	32.834	38.26	7.899	34.661	42.56	0.57
	6	50.23	5.860	31.344	37.204	8.256	33.394	41.65	0.61
	7	65.89	5.029	23.898	28.927	8.117	26.042	34.159	0.63
	SF 2	1	8.04	0.578	45.980	46.558	1.677	47.553	49.23
2		18.21	1.826	37.569	39.395	3.233	40.254	43.487	0.59
3		32.57	1.652	24.030	25.682	3.855	26.782	30.637	0.70
4		51.19	1.552	19.840	21.392	2.967	21.880	24.847	0.73
5		74.15	1.790	18.708	20.498	3.801	20.440	24.241	0.72

\*: Dead zone Volume Percentage (DVP, %)



**Fig. 6.** 도류벽 설치시 사류지역 변화에 따른 수리학적 효율.

### 3.3. 내부도류벽 및 정류벽 설치에 따른 사류지역 변화 및 T<sub>10</sub>/T

내부 도류벽과 정류벽의 효과를 파악하기 위해 각각의 형상에서 도류벽 설치와 함께 수리학적 효율이 증가하는 장폭비 약 20 정도로 도류벽을 설치한 정수지와 수리학적 효율이 일정한 정수지 형상에서 내부

도류벽과 정류벽을 설치하여 시물레이션을 하였다. Table 4에서 나타난 바와 같이 내부도류벽 및 정류벽 모두 효율을 증가시킨다. 그러나 내부 도류벽 및 정류벽을 설치하는 것은 장폭비에 영향을 주지 않기 때문에 이러한 증가를 장폭비만으로 나타낼 수 없다.

Table 4에서 알 수 있듯이, 내부 도류벽 및 정류벽

**Table 4.** 내부 도류벽 및 정류벽 설치에 따른 수리학적 효율 및 사류지역 평가

형상비	도류벽	추가 내부구조물	장폭비	Index 1			Index 2			T <sub>10</sub> /T
				곡선부	직선부	계	곡선부	직선부	계	
SF 0.5	5개	없음	18.26	11.378	33.346	44.723	13.284	35.104	48.388	0.44
		정류벽		6.765	20.438	27.203	9.893	22.574	32.467	0.62
		내부도류벽		9.991	24.564	34.555	12.865	26.073	38.938	0.61
	10개	없음	62.31	9.510	29.260	38.77	13.438	30.697	44.135	0.59
		정류벽		6.798	15.824	22.622	10.831	17.621	28.452	0.73
		내부도류벽		10.982	12.791	23.773	14.511	13.955	28.466	0.75
SF 1	3개	없음	16.2	5.399	38.408	43.807	6.911	40.697	47.608	0.48
		정류벽		2.961	20.982	23.942	5.337	23.183	28.52	0.65
		내부도류벽		5.107	25.828	30.934	6.851	27.536	34.387	0.58
	6개	없음	50.24	5.860	31.344	37.204	8.256	33.394	41.65	0.61
		정류벽		3.131	14.354	17.485	5.708	15.536	21.244	0.71
		내부도류벽		6.209	13.03	19.239	8.970	14.111	23.081	0.74
SF 2	2개	없음	10.35	1.826	37.569	39.395	3.233	40.254	43.487	0.59
		정류벽		2.574	28.302	30.876	4.002	23.679	27.681	0.63
		내부도류벽		2.869	20.74	23.61	4.394	22.420	26.814	0.68
	5개	없음	74.15	1.79	18.708	20.498	3.801	20.440	24.241	0.72
		정류벽		2.329	12.966	15.295	4.263	14.083	18.346	0.75
		내부도류벽		5.098	10.722	15.82	6.657	11.326	17.983	0.77

효과는 도류벽과 마찬가지로 직선부에서의 사류지역이 줄어든 결과이다. Index 1의 경우, 형상비 0.5이고 도류벽이 5개 설치된 곳에서는 직선부의 사류지역이 33.346%에서 정류벽의 효과로 20.438%, 내부도류벽으로 인하여 24.564%까지 줄어들고 있다. 이러한 효과는 다른 형상비나 장폭비에서도 똑같이 발견된다. 곡선부에서의 사류지역도 11.375%에서 정류벽 설치시 6.765%, 내부도류벽 설치시 9.991%로 감소하나, 형상비가 큰 즉, 곡선부가 차지하는 부피가 작은 형상에서는 1.826%에서 2.574%, 2.869%로, 1.79%에서 2.329%, 5.098%로 오히려 증가하는 경우도 있다. 따라서 내부 도류벽 및 정류벽은 직선부의 사류지역이 줄어들게 함으로써, 수리학적 효율증가를 가져온다. 형상비 2인 pilot 실험조에서 정류벽과 내부도류벽으로 곡선부의 사류지역이 오히려 늘어나는 것은 정류벽이나 내부도류벽으로 인한 또 다른 사류지역이 생성되기 때문이라고 판단된다.

정류벽과 내부 도류벽의 영향을 비교하면, 대체로 장폭비가 크면 내부도류벽이, 장폭비가 작으면 정류벽이 직선부에서의 사류지역 감소효과가 더 큰 것으로 파악된다. Index 1의 경우, 장폭비가 크면 형상비

가 0.5, 1, 2로 커질수록 내부도류벽의 영향으로 직선부의 사류지역이 12.791%, 13.03%, 10.722%이지만, 정류벽을 사용하면, 15.824%, 14.354%, 12.966%으로 나타난다. 장폭비가 작은 경우는 반대로 정류벽이 더 좋은 효과를 나타낸다. 이러한 결과로 미루어 형상에 관계없이 장폭비가 큰 경우는 내부도류벽이, 장폭비가 작은 경우는 정류벽이 더 효과적인 것이다.

사류지역 분석을 통한 수리학적 효율은 Fig. 7에서 나타난 바와 같이, 형상에 관계없이 R<sup>2</sup>값이 0.867, 0.798로 좋은 상관관계를 가진다. 이러한 관계는 앞서 살펴본 바와 같이 장폭비만으로는 설명할 수 없지만, 사류지역 평가를 통하여 가능하게 될 것이다. 또, 흐름의 반대 방향으로 정의한 Index 1이 Index 2보다 더 좋은 관계를 가지는 것을 알 수 있다.

### 3.4. 사류지역을 통한 수리학적 효율 평가 및 예측

수리학적 효율 평가를 위해서는 장폭비 외에도 형상 및 내부 도류벽 및 정류벽과 같은 추가 구조물을 고려해야 한다. 이 연구에서는 사류지역을 분석하여 이들의 효과를 모두 고려한 Fig. 8와 같은 그래프를 얻을 수 있었다. 이 그래프에서 알 수 있듯이, 사류지

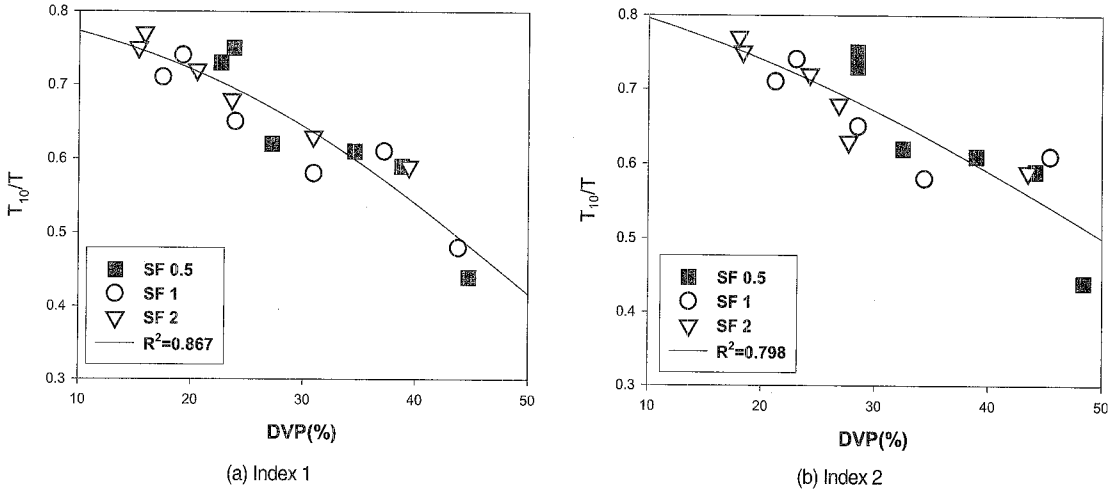


Fig. 7. 내부도류벽 및 정류벽 설치시 사류지역 변화에 따른 수리학적 효율.

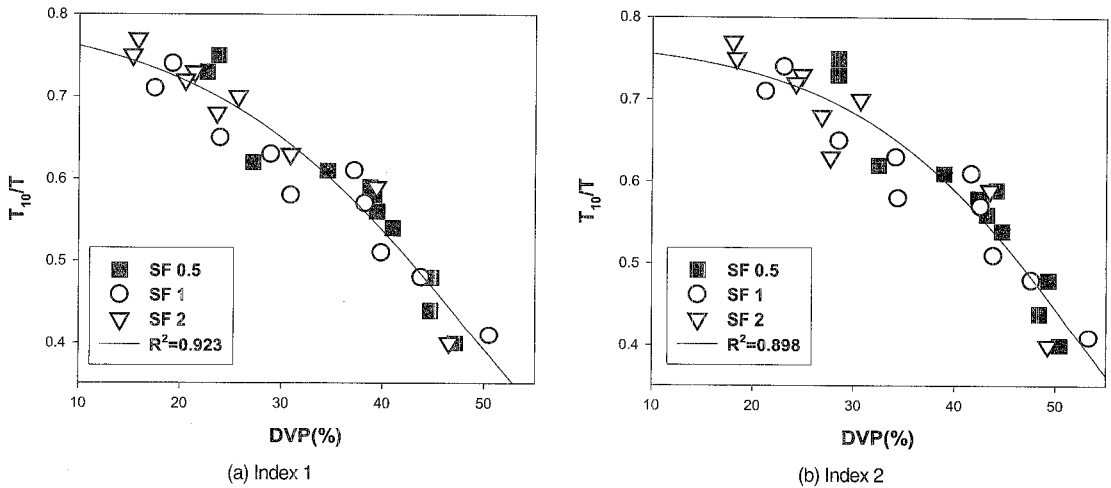


Fig. 8. 사류지역 변화에 따른 수리학적 효율 예측.

역의 정상적인 파악은 곧 수리학적 효율 즉  $T_{10}/T$  값을 예측하는 좋은 도구가 될 수 있을 것이다. 또한, 기존의 수리모델은 통한 해석 시 Transient 해석 필요 없이, Steady 해석만으로 수리학적 효율을 알 수 있어 정수지 설계 시 많은 시간과 노력을 단축시킬 수 있을 것이다.

$R^2$  값이 각각 0.923, 0.898이므로, 흐름의 반대방향으로 사류지역을 정의한 Index 1이 평균속도의 10% 이내로 정의한 Index 2보다 더 큰 상관관계를 가진다. 또한, Index 1로부터 다음과 같은 식을 구할 수 있다.

$$\frac{T_{10}}{T} = \frac{0.8011}{1 + \exp((\text{Dead Zone Fraction}(\%) - 49.4348)/13.3133)}$$

이 식을 통해 정수지내에서 수리학적 효율( $T_{10}/T$ )로 0.8 이상을 기대하는 것은 어렵다고 판단된다. 실정수지에서는 유속에 따른 수리학적 효율 차이가 존재하므로, 이 부분에 대해서도 연구가 진행되어야 할 것이다.



#### 4. 결론

본 연구에서는 장폭비만을 이용하여 수리학적 효율을 산정하는 기존의 방식을 대체하기 위해서 도류벽, 내부도류벽 및 정류벽 설치시의 사류지역의 정량적인 분석을 통한 수리학적 효율 평가를 시도하였다. 이러한 연구를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 사류지역의 정량적인 파악은 수리학적 효율( $T_{10}/T$ )을 예측하는 중요한 단서가 된다. 이는 장폭비와는 달리 도류벽뿐만 아니라, 정류벽, 내부도류벽 추가 시에도 적용이 가능하고, 정수지 설계 시에도 큰 도움이 될 것이다.

둘째, 도류벽, 내부도류벽, 정류벽은 모두 직선부의 사류지역을 줄임으로써 수리학적 효율을 높인다. 곡선부에서의 사류지역은 도류벽만 설치할 경우 형상별로 일정하게 유지가 되고, 정류벽이나 내부도류벽이 설치되면, 줄어드나 형상비(SF)가 큰 경우에는 늘어나는 경우도 있다.

셋째, 장폭비 약 60 정도에서는 도류벽을 추가하여도 수리학적 효율( $T_{10}/T$ )값이 더 이상 증가하지 않는다. 이 값은 형상비에 따라 조금씩 차이가 있는데, 이는 형상비에 따라 곡선부가 차지하는 부피가 다르기 때문이다.

넷째, 사류지역을 흐름의 반대방향으로 정의하여 수리학적 효율값을 예측하는 것이 상관관계가 더 크다.

다섯째, 지의 형상비와는 관계없이 장방형의 정수

지에서는 0.8 이상의 수리학적 효율을 기대하기 어렵다.

#### 참고문헌

1. 신은허, 김성훈, 박희경, 안재찬, 최재호, 최영준 (2005) 정수지의 형상과 유입유량이  $T_{10}$ 에 미치는 영향 연구, *상하수도학회지*, **19**(6), pp. 819-826.
2. Bishop M.M., Morgan J.M., Cornell B., and Jamison D.K. (1993) Improving the Disinfection Time of Water Plant Clearwell, *Jour. AWWA*, **85**(3), pp. 68-75.
3. Shilton A. and Harrison J. (2003) Development of guidelines for improved hydraulic design of waste stabilisation ponds, *Water Science and Technology*, **48**(2), pp. 173-180.
4. Clark M.M., Ducoste J. and Burns C. (1999) *Improving Clearwell Design for CT Compliance*, AWWARF and AWWA.
5. Hannoun I.A., Boulos F. (1997) Optimizing distribution storage water quality: A hydrodynamic approach, *Appl. Math. Modelling*, **21**, pp. 495-502.
6. Hannoun I.A., Boulos F. and List J. (1998) Using hydraulic modeling to optimize contact time, *Jour. AWWA*, **90**(8), pp. 77-87.
7. Lee Seungjae, Shin Eunher, Kim Sunghoon, and Park Heekyung (2006) Improving Hydraulic Efficiency of Clearwell Using CFD Simulation, 15th Joint KKNN Symposium, Kyoto, Japan.
8. Thackston, E.L, Shields Jr., F. Douglas Jr. and Schroeder, P. R. (1987), Residence Time Distributions Of Shallow Basins, *J. Envir. Eng. ASCE*, **113**(6), pp. 1319-1332.
9. Wang H. and Falconer R.A. (1998) Simulating Disinfection Processes in Chlorine Contact Tanks Using Various Turbulence Model and High-Order Accurate Difference Scheme, *Wat. Res.*, **32**(5) pp. 1529-1543.