

정수장에서 블록형성지의 효율향상을 위한 사례연구

강창호 (동일기술공사 상하수도부 부사장)

이현동 ((한국건설기술연구원 선임연구원)

1. 서론

2. Tracer Test 분석방법

2.1 Index법

2.2 Rebhun & Argaman법

3. 정수장의 현황

3.1 개량전

3.2 개량후

4. 모형 블록형성지에 의한 실험방법

5. 실험 결과 및 고찰

5.1 체류시간에 따른 영향

5.2 상하류식 유출벽 변경에 따른 비교평가

5.3 좌우류식 유출벽 변경에 따른 비교평가

5.4 상하류식과 좌우류식의 비교평가

5.5 현재단면과 최적단면의 비교평가

6. 최적단면의 결정

7. 개량공사에 대한 성능진단실험

7.1 실험방법

7.2 실험결과 및 고찰

8. 결론

참고문헌

1. 서론

수리구조물의 수리학적 특성을 평가하는데 Tracer Test는 아주 유용한 방법중의 하나이다. 본 연구에서는 포항시 양덕정수장 플록형성지를 대상으로 Tracer Test를 이용한 Pilot Test를 실시하여 기존 플록형성지에 대한 문제점을 도출하였다. 또한 플록형성지의 모형은 1/20 Scale의 모형 반응조를 아크릴로 제작이용하여 플록형성지 각단 유출부의 단면을 여러가지 형태로 변경시키면서 수리학적 평가를 실시하였고, 그 결과 플록형성지의 각단 유출부에 대한 최적 개량단면을 제시하여 개량공사를 완료하여 현재 운전중에 있다.

또한 입자의 크기별 갯수를 측정할 수 있는 Particle Counter를 이용하여 플록형성지 개량 후의 효율을 평가하였다.

2. Tracer Test 분석방법

수리구조물의 수리학적 특성변화를 알아내기 위하여 사용되는 방법중 하나가 Tracer Test이다. Tracer Test란 반응조의 흐름 내에 유체의 흐름에 따라 운동하는 Tracer를 투입한 후, 이 물질의 시간에 따른 유출형태의 관찰을 통하여 반응조 내의 수리학적 특성을 파악하는 것이 목적이다.

Tracer는 반응조 내에서 반응성이 없거나 반응에 민감하지 않고, 밀도류를 형성하지 않아야 하며, 처리과정중 제거되거나 소비되지 않는 물질이고, 투입과 검출(측정)이 용이하여야 하고, 또한 원수에 포함되지 않을 것과 저렴하고 다루기 쉬운 것으로서 선택하여야 한다.

플록형성지는 궁극적으로 Plug Flow를 지향하는 구조이다. Plug Flow라는 것은 이상적으로 유체내 분자들 간에 유체의 흐름에 의한 이동이외에는 아무런 운동도 일어나지 않는 상태를 나타내는 것으로 흐름 단면적 내에서 분자들의 횡방향 운동은 물론 단락류, 반응조 내 사수부의 발생이 전혀없는 흐름상태를 말한다. 하지만 각 단간 개개의 반응조는 완전혼합 반응조로 기능이 요구되고 있으므로 각 단의 경계벽은 플록형성지 전체적인 흐름상태와 한 개 단을 이루는 반응조내 흐름의 수리학적 효율을 결정짓는 큰 요인이라 할 수 있다.

Tracer Test를 한 후 그 결과로부터 단락류의 크기, 조 내의 mixing정도 등의 수리학적 특성을 분석하는 방법에는 Index법과 Rebhun & Argaman법(Rebhun과 Argaman, 1965; AWWA, 1996)이 제시한 2가지 방법이 있다.

2.1 Index법

Tracer의 시간별 누출농도 변화곡선에서 다음과 같은 값들을 이용하여, 각 Index값들을 구할 수가 있다. 이 Index값들은 반응조의 흐름 조건변화에 따른 효율변화와 서로 다른 반응조간의 상대적인 수리학적 효율을 비교하는데 사용될 수 있다.

즉, Morill Index는 반응조 내에서의 혼합(Mixing)정도의 상대적 수치를 비교하여 나타내는 계수(상수)로 누적유출량의 전체 추적자량의 10%와 90%가 유출되는 시간의 비로써 이상적 Plug Flow 반응조의 경우 1, 완전혼합반응조의 경우 1보다 매우 큰 값을 나타낸다.

한편, Modal Index는 반응조 내에서의 Plug Flow 흐름정도를 나타내는 상수로 유출 추적자 농도가 최대일 때의 시간과 이론적 체류시간의 비로써 1에 가까울 수록 이상적인 상태의 Plug Flow에 가까운 것이다. 그리고, 단락류 Index는 반응조 내에서의 흐름의 단락류의 정도를 나타내는 계수(상수)를 말한다.

$$\text{Morill Index} : \frac{t_{90}}{t_{10}}, \quad \text{Modal Index} : \frac{t_p}{T}, \quad \text{단락류 Index} : \frac{t_g - t_p}{t_g}$$

여기서, t_{90} : Tracer의 누적유출량이 전체 유출량의 90%가 되었을 때의 유출시간

t_{10} : Tracer의 누적유출량이 전체 유출량의 10%가 되었을 때의 유출시간

t_p : 최대농도의 Tracer의 용액이 유출될 때의 측정시간

t_g : 농도곡선의 도심에서의 시간

T : 이론적 체류시간

2.2 Rebhun & Argaman법

Rebhun과 Argaman(1965)에 의해 시도된 분석방법으로 Index법과 더불어 Tracer Test에 의한 수리학적 특성 평가에 널리 사용되고 있다. 이 방법은 시간별 Tracer 누출농도 곡선을 변형한 $1-F(t)$ 곡선을 Semi-log 그래프에 작도한 다음 이 곡선을 이용하여 p , $1-p$, m 을 도식적으로 구하는 방법이다.

$$F(t) = \sum_{i=0}^T \left(\frac{C(t)}{\text{총 tracer 유출량}} \right)$$

$$p = \frac{\log(1 - F(t))}{0.43 + \log(1 - F(t))} \quad m = 1 - \frac{t}{T} \times \frac{1}{p}$$

여기서, $1-F(t)$: 측정시간 t 까지 유출되지 않고 남아있는 Tracer의 분율,

T : 이론적 체류시간

p : 전체 흐름 중 Plug Flow를 이루는 흐름의 분율

따라서 $1-p$ 는 전체흐름 중 Mixed Flow를 이루는 흐름의 분율을 나타낸다. m 은 반응조 체적중 사수부를 이루는 부분의 체적의 분율을 나타낸다.

Rebhun & Argaman법은 Index법과는 달리 그래프에 직선을 긋어서 구해지는 값이므로 주관적인 경향이 있으며, 이에 따른 한계성이 존재한다. 즉, p 값은 비교적 안정적으로 값을 구할 수 있지만 m 값은 그렇지 못하여 음의 값이 나올 수도 있다. 따라서, 이는 현실적으로 맞지 않는다고 판단하여 본 연구에서는 이들 실험값들은 제외하고 고찰하였다.

3. 정수장의 현황

3.1 개량전

포항시 양덕정수장은 설계유량이 50,000 m³/일로 플록형성지가 2지, 3열로 되어 있으며 그림 3.1은 양덕정수장 1열의 플록형성지를 나타낸 개략도이다.

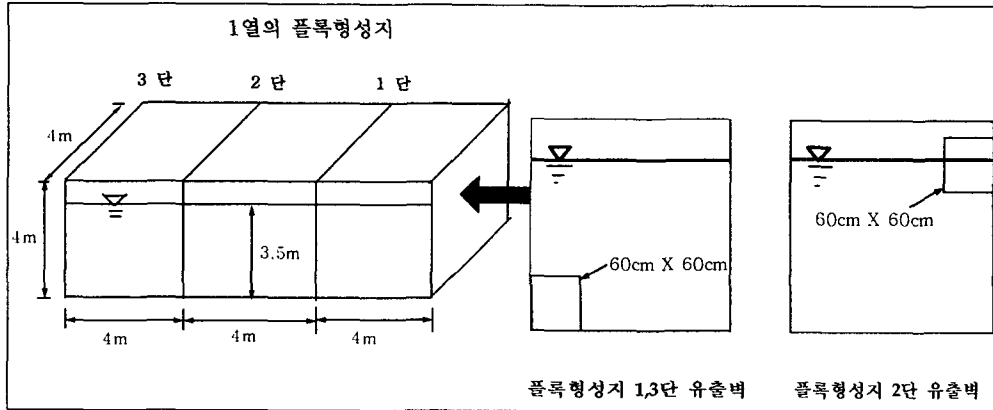


그림 3.1 플록형성지 및 유출벽의 개략도

기존에 설치된 플록형성지는 그림 3.1.1과 같이 3단으로 되어 있으며, 각 단과 단 사이의 유출벽에는 60cm×60cm의 오리피스(Orifice)가 1단과 3단에는 좌측 하단, 2단에는 우측 상단에 각각 뚫려져 있다. 평상시 운전중에 2단 플록형성지를 지나는 유출벽에서 플록이 깨지는 것이 많이 관찰되었는데, 그 이유는 2단 유출벽을 통과시 흐름의 단면적이 작아져서 이 부분의 유속이 급격히 커지기 때문으로 풀이된다. 특히, 유량이 변할 경우 이 부분의 유속이 가장 많이 변한다.

따라서, 본 연구에서는 이와 같은 것을 개선하기 위하여 가능한 여러 구조중에서 장래 확장분의 설계시에도 사용할 수가 있고, 기존의 정수장에도 사용하도록 여러 가지 방법을 시도하였다. 그러나, 대안중에서도 유공 정류벽은 기존에 설치된 격벽에 다수의 작은 구멍을 뚫어야 하므로 시공성을 감안하여 실험대상에서 제외하였다.

3.2 개량후

실험결과를 이용하여 포항시 양덕정수장에서 기존의 오리피스를 하부로 길게 확장하여 개량공사를 완료한 플록형성지 격벽에 대한 각각의 단면은 그림 3.2과 같다. 현재 양덕정수장의 시설용량은 1999년에 50,000m³/일을 확장하여 총 100,000m³/일로 운전중이다.

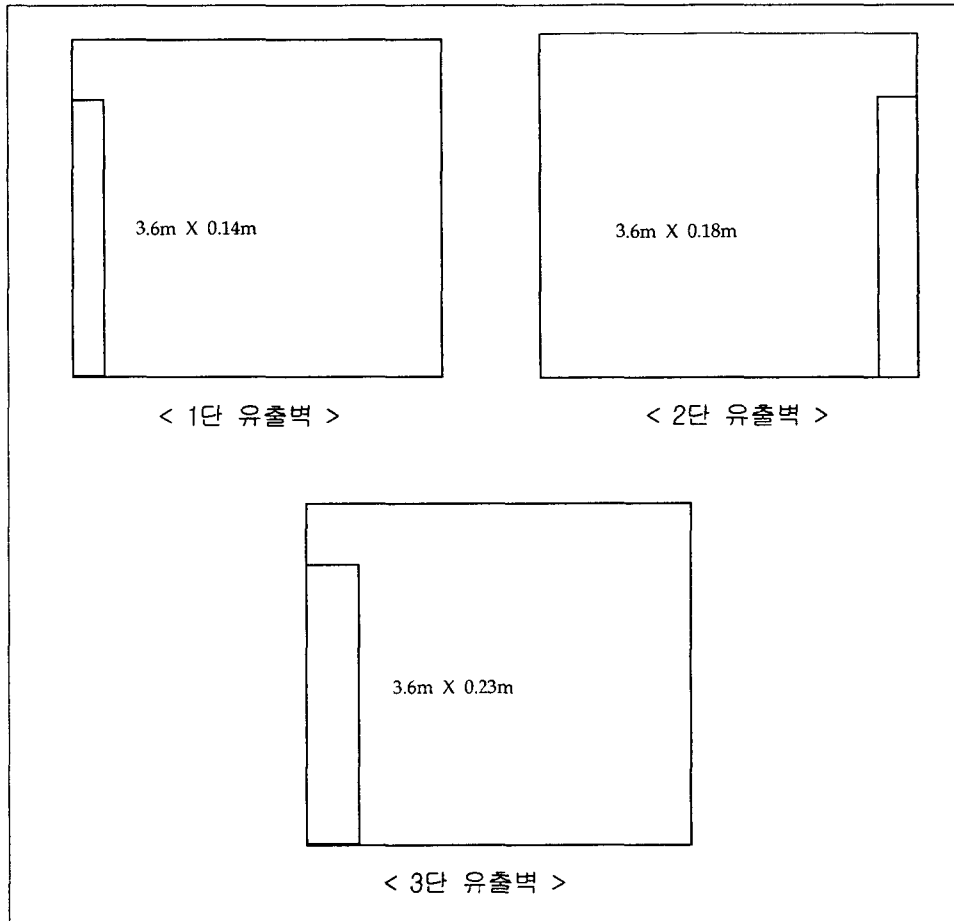


그림 3.2 플록형성지 유출벽 단면도

4. 모형 플록형성지에 의한 실험방법

플록형성지의 모형은 1/20 Scale로 아크릴을 사용하여 제작하였다. 각 단별로 실제 정류벽이 설치된 위치에 여러 가지 다른 형태의 아크릴판을 부착할 수 있도록 슬릿을 설치하였다. 모형 플록형성지 최종 유출부분은 삼각형 위어(Weir)를 설치하여 일정한 수위가 유지되도록 하였고, 3단 유출벽 후에 흐름을 안정시키기 위하여 유출조를 실제와는 다르게 추가하였다.

유출벽의 설계에서는 유출벽의 오리피스 통과유속이 0.15~0.30m/sec 보다 크지 않도록 제시하고 있다.[Reynolds/Richards(1996)] 그 유속의 범위내에 들도록 표 4.1과 같이 A계열(A-1, A-2, A-3)과 B계열(B-1, B-2, B-3)의 6가지 유형으로 제작하였다. A계열은 기존 양덕정수장 오리피스(Orifice)의 가로축을 일정하게 하고 높이를 변경시킨 것이며, B계열은 높이를 전수심에 걸치게 하고 폭을 변경한 것이다.

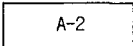
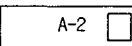
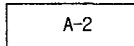
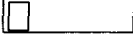
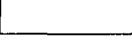
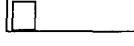
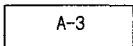
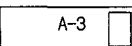
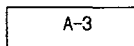
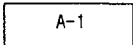
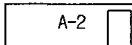
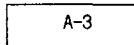
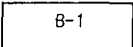
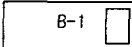
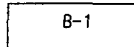
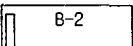
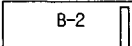
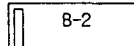
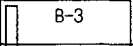
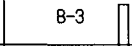
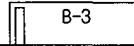
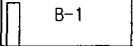
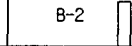
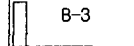
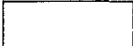

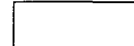
표 4.1 정류벽의 제원

계열	유형	오리피스의 크기 (width×height, 단위:mm)	유속(m/sec)
A 계열	A-1	30 × 26.8	0.30
	A-2	30 × 35.7	0.23
	A-3	30 × 53.6	0.15
B 계열	B-1	4.6 × 175	0.30
	B-2	6.1 × 175	0.23
	B-3	9.2 × 175	0.15

Pilot Test의 운전실험은 원수조에 모아진 실험실 수돗물을 정량펌프를 이용하여 일정하게 모형 플록형성지의 유입구로 공급하고, 반응조내에 물이 가득차서 유출부를 통하여 유출이 시작되면 1단 유입구에 일정량의 Tracer를 주입한 후, Stop Watch로 미리 설정된 시간 간격에 따라 시험관으로 샘플링을 하였다. 반응조의 G값(75-50-25 sec⁻¹)은 실제 정수장의 설계값을 이용하였다. Tracer로는 메틸렌 블루(Methylene Blue)를 사용하고, 주입량은 100ppm, 100mL이다.

농도의 측정은 UV-Spectrophotometer를 이용(파장 664nm)하였고, 실험 전후에 Calibration을 실시하였다. 유입유량은 체류시간이 10분이 되도록 3.15 L/min를 유지하였다. 표 4.2는 A계열과 B계열의 실험조건 및 실험방법을 나타낸 것으로 모형 플록형성지의 슬릿에 부착될 유출벽의 형태를 그림으로 간략하게 나타내었다.

표 4.2 실험조건 및 실험방법

계열	실험Mode	1단	2단	3단	체류시간	비 고
A 계 열	1	A-1	A-1	A-1	10분	기존 정류벽 형태
	2				10분	
	3				10분	
	4				10분	점감식
B 계 열	5				10분	
	6				10분	
	7				10분	
	8				10분	점감식
	9				30분	체류시간 변경실험
						

5. 실험 결과 및 고찰

실험은 체류시간의 변경에 따른 영향을 파악하고, 흐름을 유도하는 유출벽을 사용한 상하류식과 좌우류식의 비교실험을 통해서는 수리학적 특성을 평가하였다. 그리고, 현재 시공된 유출벽의 단면과 실험에서의 최적단면의 비교를 통해 개선안을 제시하였다.

5.1 체류시간에 따른 영향

Pilot Test에서 수리학적 실험시 동일조건하에서 체류시간 변경에 대한 영향이 있는지를 알아보기 위한 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 정류벽은 현 정수장 정류벽을 축소한 단면을 사용하여 체류시간을 10분(유입유량 3.15 L/min)으로 한 실험과 체류시간을 30분(유입유량 1.05 L/min)으로 한 실험을 각각 비교·분석해 보았다.

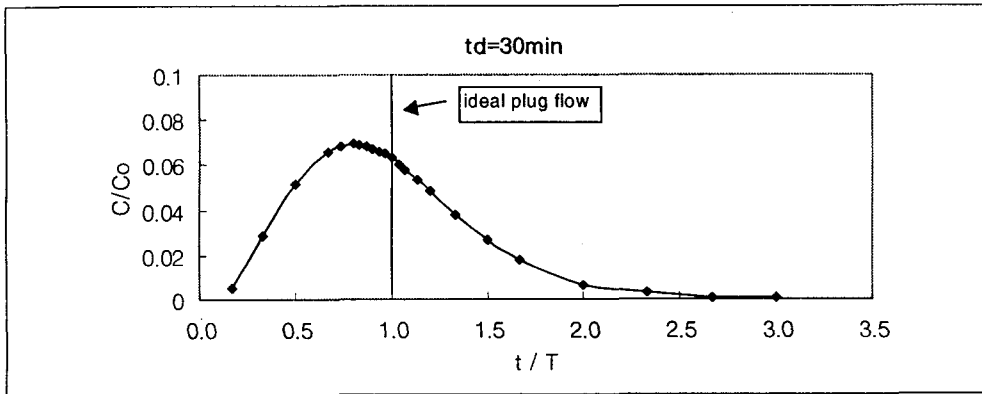


그림 5.1 체류시간 변경에 따른 영향(td=30)

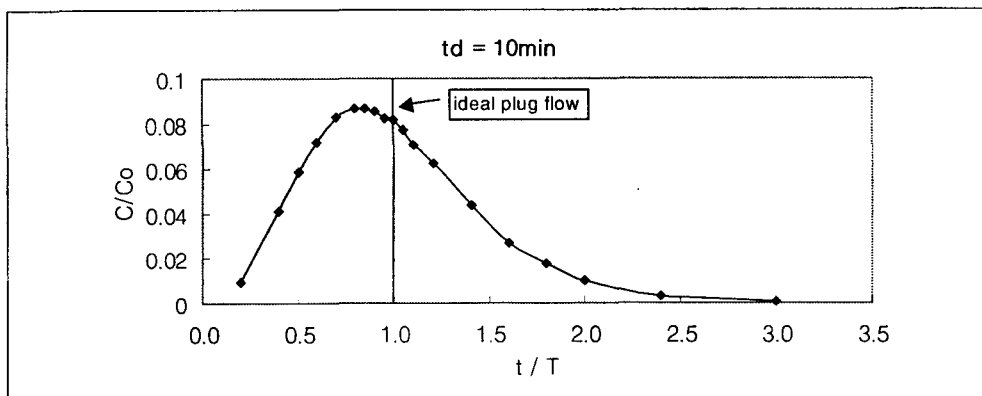


그림 5.2 체류시간 변경에 따른 영향(td=10)

그림 5.1과 5.2는 시간별 누출곡선을 무차원화시킨 그래프로서, 두 곡선이 서로 비슷한 경향을 보이고 있다는 것을 알 수 있다. 이 그래프로부터 수리학적 특성을 나타내는 Index값을 구한 결과는 표 5.1과 같다.

표 5.1에서 보면 체류시간을 10분으로 설정한 실험과 30분으로 설정한 실험에서 p값은 약간 상이하지만 전체적으로 단락류 Index, Modal Index, Morill Index가 비슷하게 나타나고 있다. 이러한 결과로 볼 때, 플록형성지 내에서의 실험조건만 동일하다면 Pilot Test시 체류시간이 변화해도 그에 따른 변동이 크게 나타내지 않는다는 것을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 효율성을 높이고 단시간에 여러번 실험을 실시할 수 있도록 체류시간을 10분으로 하였으며, 측정시간은 체류시간의 3배인 30분까지 유출수의 농도를 측정하였다.

표 5.1 체류시간 변경에 따른 비교실험 결과

구 분	실제단면	실제단면
Index법에 의한 계수		
체류시간(분)	10	30
t_{90} (분)	15.21	43.90
t_{10} (분)	3.78	11.09
t_g (분)	11.45	32.72
t_p (분)	8.50	24.00
단락류 Index	0.26	0.27
Modal Index	0.80	0.80
Morill Index	4.02	3.96
평균체류시간	1.14	1.09
Rebhun & Argaman법에 의한 계수		
p	60.3 %	58.3 %
1-p	39.7 %	41.7 %

5.2 상하류식 유출벽 변경에 따른 비교평가

Pilot Plant에 상하류식 흐름을 유도하는 유출벽을 사용하여 같은 조건하에서 가장 효율이 좋고 Plug Flow에 가까운 최적의 구조를 찾아보기 위해 4번의 실험을 실시하였다. 그림 5.3은 표 4.2의 A제열에 대한 실험결과를 각 유출벽에 따른 시간별 누출곡선을 무차원화시켜 나타

낸 것이다.

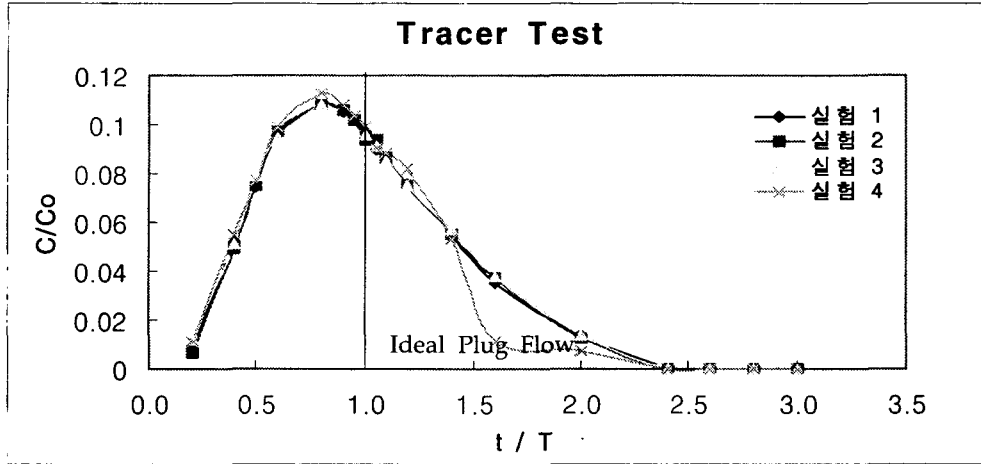


그림 5.3 상하류식 유출벽 변경 Tracer Test 결과

그림 5.3의 실험결과로부터 수리학적 특성을 나타내는 인자들을 구하여 비교한 것은 표 5.2의 실험 1부터 실험 4의 결과이다. 분석결과에서 보는 바와 같이 실험 1부터 실험 4중에서 실험 4의 경우가 Modal Index가 0.85이고, Plug Flow 분율을 나타내는 p값이 60.3%로 가장 높다. 이는 실험 4의 경우가 가장 Plug Flow에 가까움을 나타낸다. 단락류 Index 역시 0.23으로 영향이 가장 적으며, 평균체류시간이 1에 가까우므로 사수부도 거의 존재하지 않는 결과를 나타내고 있다. 따라서, 플록형성지의 흐름을 상하류식으로 유도하는 경우 유출벽의 통과유속을 동일하게 하는 것보다는 점차적으로 줄여나가는 점감식 방법이 효율적이라는 것을 알 수 있다.

5.3 좌우류식 유출벽 변경에 따른 비교평가

Pilot Plant에 좌우류식 흐름을 유도하는 유출벽을 사용하여 가장 효율이 좋고 Plug Flow에 가까운 최적의 구조를 찾아내기 위하여 4번의 실험을 실시하였다. 그림 5.4는 표 4.2의 B계열의 각 유출벽에 따른 실험결과를 나타낸 시간별 누출곡선으로 무차원화시킨 것이다.

그림 5.4에서 볼 수 있듯이 유속을 점감식으로 유출벽을 설치한 실험 8의 경우가 곡선의 기울기와 Peak값이 가장 이상흐름 상태에 가까우므로 가장 높은 효율의 흐름상태임을 쉽게 예상할 수 있다. 실험의 결과인 표 5.2의 실험 5부터 실험 8에서 보면 실험 8의 경우가 Modal Index가 0.85이고, Plug Flow 분율을 나타내는 p값이 61.9%로 높으므로 가장 Plug Flow에 가까움을 알 수 있다. 단락류 Index 역시 0.21로 영향이 가장 적으며, 평균체류시간이 거의 1에

가까우므로 사수부도 거의 존재하지 않는 결과를 나타내고 있다. 따라서, 좌우류식 흐름 역시 유출벽의 통과유속을 점차적으로 줄여나가는 점감식 방법이 가장 효율이 좋음을 알 수 있다.

표 5.2 상하류식과 좌우류식 유출벽의 수리학적 특성 비교실험 결과

구분	실험 1	실험 2	실험 3	실험 4	실험 5	실험 6	실험 7	실험 8
Index법에 의한 계수								
체류시간(분)	10	10	10	10	10	10	10	10
t_{90} (분)	14.44	14.39	14.49	12.94	14.75	11.71	17.22	12.87
t_{10} (분)	3.84	3.97	3.71	3.52	3.56	3.89	3.92	3.29
t_g (분)	11.60	11.65	11.62	10.39	11.76	11.71	13.12	10.09
t_p (분)	8.00	8.00	8.00	8.50	8.00	8.00	8.00	8.50
단락류 Index	0.31	0.31	0.31	0.23	0.32	0.32	0.39	0.21
Modal Index	0.80	0.80	0.80	0.85	0.80	0.80	0.80	0.85
Morill Index	3.76	3.62	3.90	3.67	4.14	3.74	4.39	3.92
평균체류시간	1.16	1.17	1.16	1.04	1.18	1.17	1.31	1.01
Rebhun & Argaman법에 의한 계수								
p	54.0 %	58.3 %	55.9 %	60.3 %	59.2 %	59.2 %	48.1 %	61.9 %
$1-p$	46.0 %	41.7 %	44.1 %	39.7 %	40.8 %	40.8 %	51.9 %	38.1 %

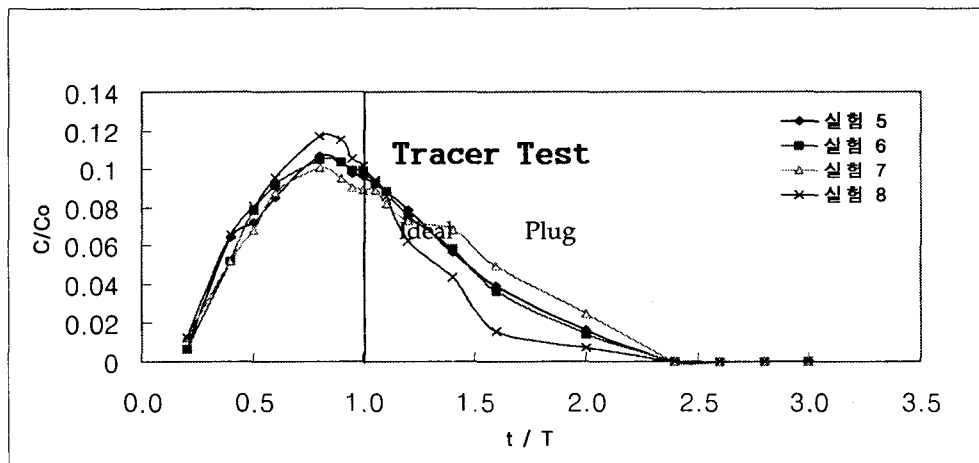


그림 5.4 좌우류식 유출벽 변경 Tracer Test 결과

5.4 상하류식과 좌우류식의 비교평가

플록형성지 유출벽의 형태가 좌우류식과 상하류식중 어느 것이 효율이 더 좋은지를 평가하기 위해서 위의 실험중 가장 좋은 결과를 나타낸 실험 4와 실험 8의 경우를 비교·평가해 보았다. 그림 5.5에서 보면 좌우류식의 흐름이 상하류식의 흐름보다 Peak값이 더 높게 나타나고, 곡선의 기울기 역시 이상흐름 상태의 곡선에 가까움을 알 수 있다.

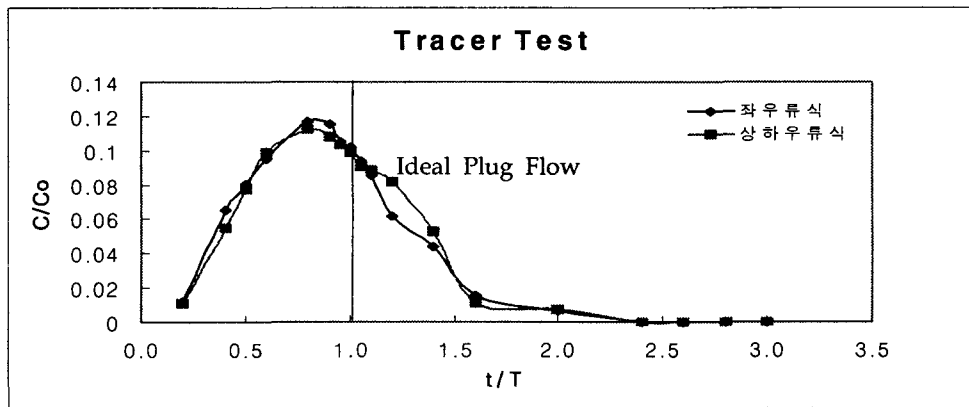


그림 5.5 좌우류식과 상하류식의 비교

표 5.2에서 실험 4와 실험 8의 결과를 비교해 보면 상하류식보다는 좌우류식의 경우가 Plug Flow 분율을 나타내는 p값에서 61.9%가 60.3% 보다 1.6% 더 크므로 더 Plug Flow에 가깝다고 할 수 있다. 단락류 Index 역시 0.21로 적으며 평균체류시간이 1에 가까우므로 사수부가 거의 존재하지 않는다는 것을 알 수 있다. 따라서, 유출벽을 통과하는 흐름이 상하류식보다는 좌우류식의 경우가 이상적인 흐름에 가깝고 효율이 좋다는 것을 알 수 있다.

5.5 현재 단면과 최적단면의 비교평가

실제 포항시 양덕정수장의 플록형성지 단면 그대로를 사용한 실험결과와 위의 실험 중 가장 좋은 결과를 나타낸 실험 8과의 비교를 통해 실제 단면의 효율성을 평가해 보았다. 그림 5.6은 실제 정수장의 조건과 실험 8의 조건을 실험하여 시간별 누출곡선을 무차원화시켜 나타낸 것이다.

그림 5.6에서 보는 바와 같이 실제단면보다는 최적단면이 더 Plug Flow에 가까움을 알 수 있다. 수리학적 특성을 나타내는 인자들을 도출하여 비교한 것을 표 5.3에 나타내었다.

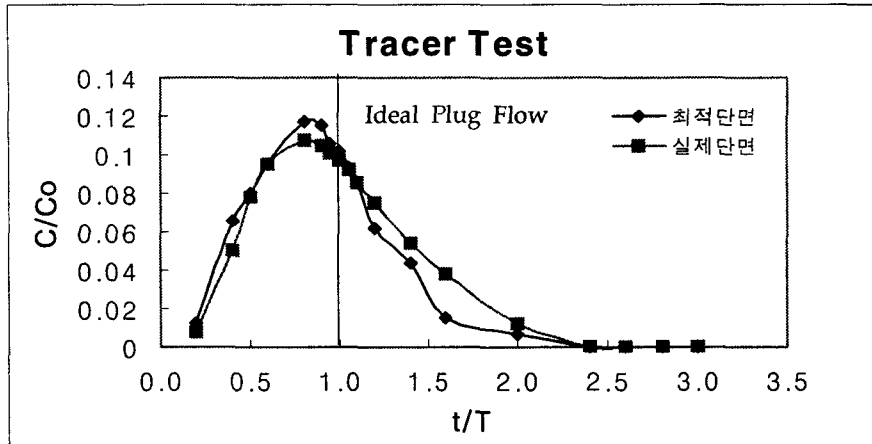


그림 5.6 실제단면과 최적단면의 Tracer Test 결과

표 5.3 실제단면과 최적단면에서 특성의 비교실험 결과

구분	실제단면	최적단면
Index법에 의한 계수		
체류시간(분)	10	10
t_{90} (분)	15.21	12.87
t_{10} (분)	3.78	3.29
t_0 (분)	11.45	10.09
t_p (분)	8.50	8.50
단락류 Index	0.26	0.21
Modal Index	0.80	0.85
Morill Index	4.02	3.92
평균체류시간	1.14	1.01
Rebhun & Argaman법에 의한 계수		
p	60.3 %	61.9 %
1-p	39.7 %	38.1 %

표 5.3의 분석결과에서 보는 바와 같이 현재 시공되어 있는 상하류식의 단면보다 실험의 최적구조인 실험 8의 경우가 Modal Index값 및 p값이 각각 0.85%, 61.9%로 더 높으므로 Plug Flow에 가깝다. 단락류 Index 역시 0.21로 영향이 적고 사수부가 거의 존재하지 않음을 알 수 있다.

따라서 상하류식의 흐름보다는 좌우류식의 흐름이 더 효율적이며, 동일유속을 유도하기보다는 점차적으로 줄여가는 점감식의 방법이 이상적인 흐름에 가까움을 알 수 있다.

6. 최적단면의 결정

최적단면을 결정하기 위한 실험은 앞에 제시한 표 4.2와 같이 오리피스(Orifice) 구멍의 단면을 변화시켜 총 9가지로 실시하였는데, 실험결과는 실험 8의 경우가 Plug Flow 분을 및 단락류의 분율이 다른 형태의 단면에 비해 우수한 것으로 분석되었다. 그러나 문헌(Montgomery 등)에 의하면 플록이 깨지는 것을 방지하기 위하여 Peak Flow시 정류공 통과 유속을 0.3m/sec 이내로 제한하며, 오리피스 통과시의 손실수두가 8mm를 초과하면 효율이 좋지 못하고 정류벽에 대한 오리피스 구멍의 단면적 비율이 10% 이상이면 단락류에 비효과적이며, 2% 이하이면 높은 유속으로 인해 플록의 파괴현상이 나타나므로 적절한 단면적 비율로 2~5%를 사용할 것을 권장하고 있다.

반면, 본 실험 8의 경우 아래의 표 6.1과 같이 플록형성지 1단 통과시의 손실수두가 12.3mm로 이를 초과하고 있다. 또한 이 경우 오리피스(Orifice) 구멍의 단면적이 작기 때문에 높은 G값을 유발하여 양덕정수장에서 현재 일어나고 있는 플록이 깨어지는 문제점이 야기되고 있는 것으로 판단된다.

표 6.1 실험 8에 의한 단면결정

구분	B(m)	h(m)	손실수두(mm)
0.32% (플록형성지 1단)	0.092	3.5	12.3
0.225% (플록형성지 2단)	0.123	3.5	7
0.15% (플록형성지 3단)	0.184	3.5	3

따라서 위의 실험 8의 결과와 문헌의 내용을 참조하여 단면적 비율을 1단 3%, 2단 4%, 3단 5%로 정하여 점감식 플록형성이 이루어지도록 구성하였으며, 스킴(Scum)이 오리피스 구멍 위 부분에 걸려 빠져나가지 못하는 것을 방지하기 위해 최대유량일 경우의 수위보다 0.1m의 여유를 두어 그에 따른 단면을 아래와 같이 결정하였다.

표 6.2 최적단면의 결정

구분	B(m)	h(m)	유속(m/sec)	손실수두(mm)
3% (플록형성지 1단)	0.14	3.6	0.20	5.3
4% (플록형성지 2단)	0.18	3.6	0.15	3.1
5% (플록형성지 3단)	0.23	3.6	0.12	2.0

7. 개량공사에 대한 성능진단 실험

7.1 실험방법

양덕정수장의 플록형성지는 수직축 교반기로서 3단으로 이루어져 있으며 각 단별로 91.6%, 75.6%, 64.7%의 교반강도로 운전되고 있다. 특히 얼마전까지 1단 및 2단, 3단으로 유출하는 사각의 오리피스에서 G값이 커져 플록이 깨지는 구조를 가지고 있던 곳으로서, Pilot-scale Test를 통하여 개선방안을 제시, 앞의 6장 및 그림 3.2와 같이 기존의 오리피스를 하부로 길게 확장하는 개선공사를 실시하였다.

따라서 본 연구에서는 이에 대한 효율을 평가하고자 각 단에서 입자의 크기별 갯수를 측정하여 개선된 효율을 평가하였다. 플록형성지내에서 플록이 각 단을 통과하면서 어떠한 크기와 어떠한 정도로, 또한 플록의 깨어지는 정도를 평가하기 위해 실제 플록형성지를 대상으로 각 단의 유출부마다 Sampling을 하였으며, Sampling 깊이는 1.5~2.0m, 측정시간은 각 지점에서 20분 단위로 실시하여 측정된 크기별 입자 갯수의 변화와 탁도를 분석하였다. 그림 7.1은 양덕정수장 응집지의 Sampling 위치를 나타낸 그림이다.

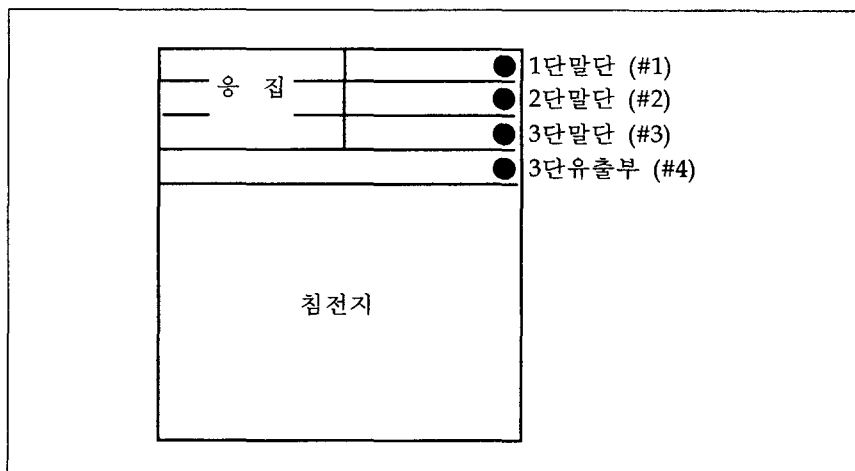


그림 7.1 Sampling 위치도

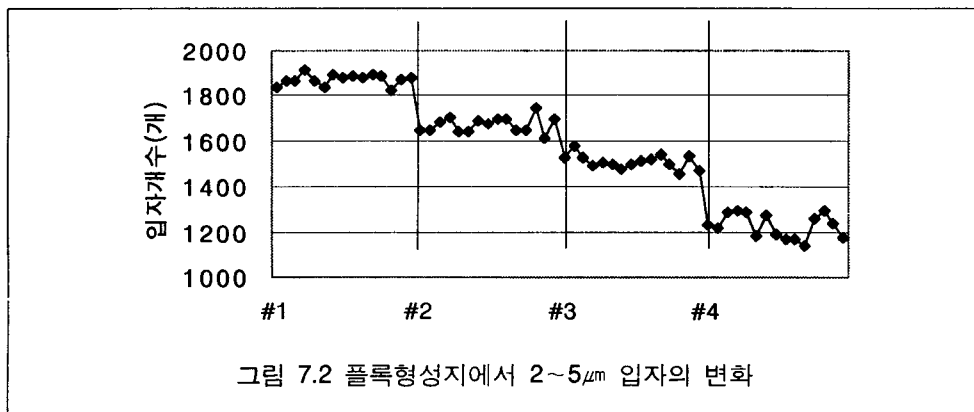
또한 양덕정수장에서 운전중인 플록형성지의 교반강도(G)에 대한 효율평가를 위해 교반기의 회전속도변경 실험을 실시하였다. 회전속도 변경실험시 응집지 교반기의 회전수는 점감식을 기본으로하여 정수장 운전치를 기준으로 조절가능한 범위내에서 표 7.1과 같이 변화를 주어 실시하였으며 Sampling은 각 경우에 대하여 변화된 응집지 전체 효율을 대표할 수 있는 3단 유출부에서 실시하였다.

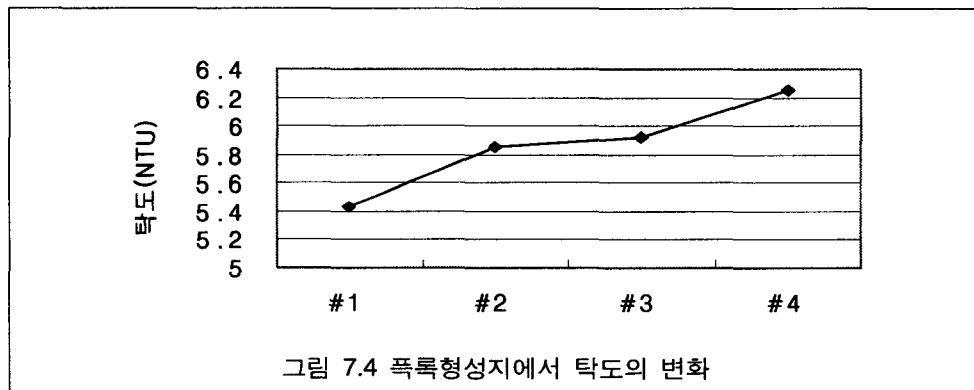
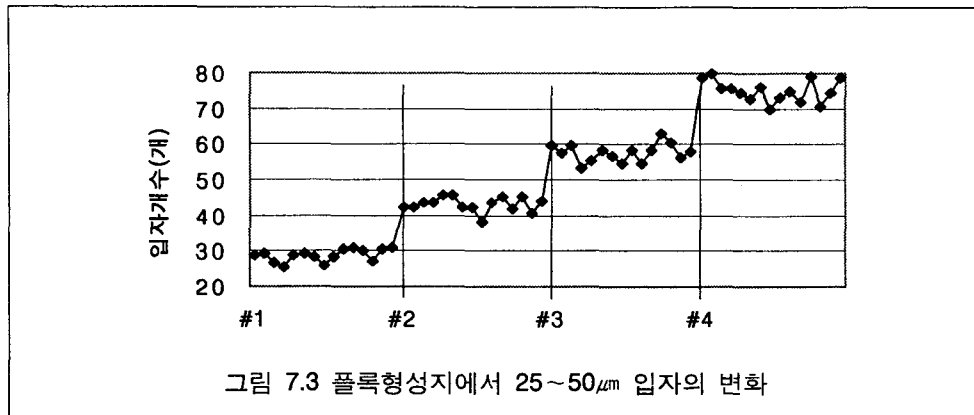
표 7.1 각 실험순서에 따른 교반강도(%)

구 분	1단	2단	3단	비고
#1	91.6	75.6	64.7	정수장 운전치
#2	96.4	80.6	69.8	(약 +5%)
#3	86.6	70.9	59.6	(약 -5%)
#4	94.3	78.3	67.5	(약 +2.5%)

7.2 실험결과 및 고찰

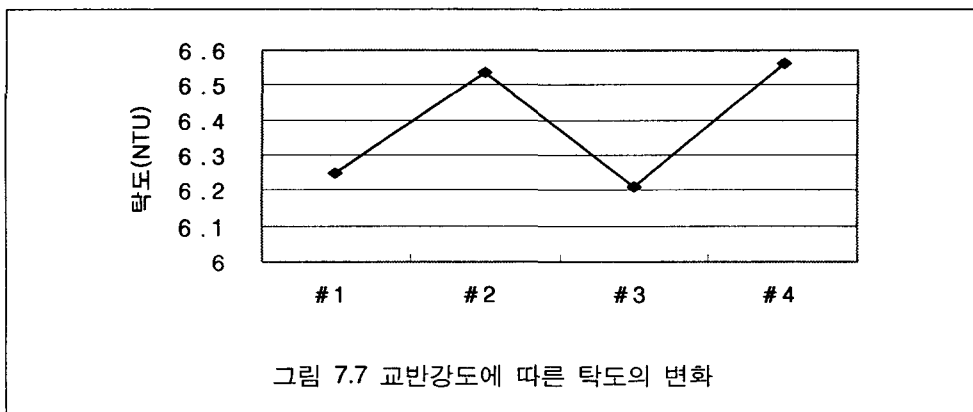
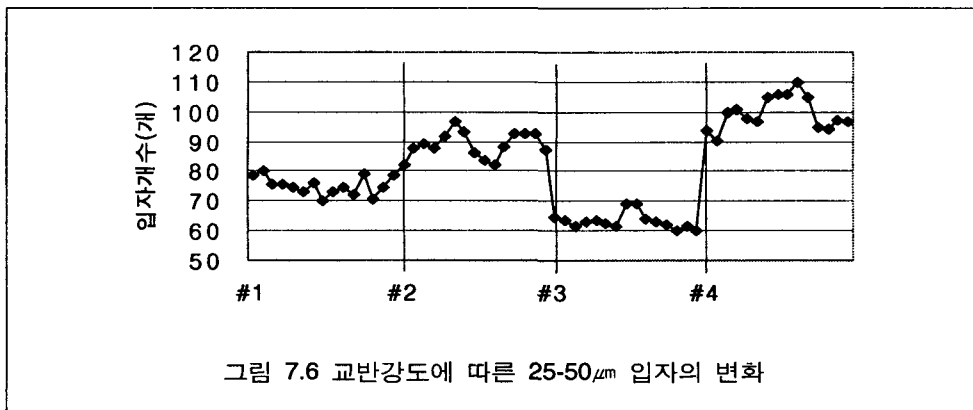
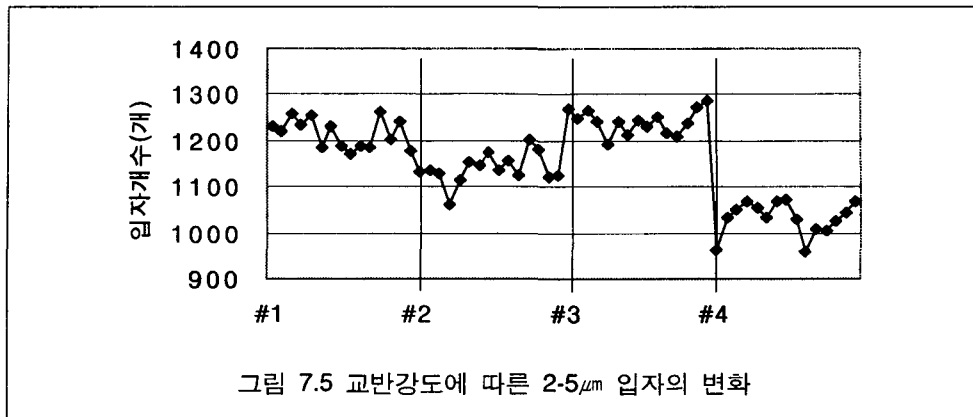
그림 7.2와 그림 7.3은 플록형성지내 각 단에서의 크기별 입자의 변화를 나타낸 그래프이며, 그림 7.4는 같은 위치에서 탁도를 측정된 그래프이다. 교반강도는 현재 운전상태인 91.6%, 75.6%, 64.7%로 실험하였다.





입자의 변화는 각 단을 지날 수록 작은 입자는 점차 감소하고, 큰 입자는 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 플록형성지의 목적이 작은 입자를 크게 만드는 것임을 감안할 경우, 이와 같은 결과는 현재의 운전상태가 공정의 목적에 잘 부합되고 있다는 것을 나타낸다. 또한 작은 입자가 각 단을 지날수록 선형적으로 감소하여 각단의 오리피스를 통과하면서 플록이 깨지는 문제점이 개선된 것을 알 수 있다. 따라서 개량공사후, 플록형성지의 효율이 증대되었으며 상당히 양호한 상태에서 운전되고 있는 것으로 판단되며 정수장 운전자와의 인터뷰를 통해 이를 확인하였다. 탁도 역시 앞에서 언급한 바와 같이 점차 증가하는 경향으로서 입자의 변화를 통한 효율의 평가를 간접적으로 판단할 수 있는 방법으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

그림 7.5와 그림 7.6은 표 7.1.1에서와 같은 교반강도로 각각 교반기를 운전했을 때 3단 유출부에서 측정된 입자의 크기별 개수의 변화를 나타낸 그래프이며, 그림 7.7은 이때의 탁도를 측정된 그래프이다.



위의 그림 7.5, 7.6에서 볼 수 있는 바와 같이 현재 운전되고 있는 #1(정수장 운전치) 및 교반강도를 (-5)% 감소시킨 #2의 효율에 비해 교반강도를 증가시켜준 #3, #4의 실험결과가 좋음을 알 수 있으며 그중 교반강도를 (+)2.5% 증가시킨 #4(rpm : 94.3-78.3-67.5)의 경우가 응집지 3단 유출부에서 작은 입자의 개수가 가장 적고 큰 입자의 개수는 가장 많아 효율이 가

장 좋음을 알 수 있다. 탁도 또한 이러한 결과에 비례하여 효율이 좋을 때는 고탁도를, 저효율 일때는 저탁도를 나타내 정수장 운전자가 교반기의 회전속도를 변경시켜 가면서 최적운전 포인트를 찾을 때 정성적인 평가기준이 될 수 있을 것으로 판단된다.

본 실험중 교반기의 회전속도변경 실험결과는 1회적으로 시행되었기 때문에 년중 정수장 운영에 일괄적으로 적용하기에는 무리가 있다. 따라서 Paticle-Counter의 경우 조작 및 실험방법이 간단하므로 Paticle-Counter를 구입하여 원수의 성상이 크게 바뀌는 시기 등, 필요하다고 판단될 때마다 정수장 운전요원이 실험을 실시하여 최적의 운전조건을 도출하거나 탁도 역시 정성적인 평가기준이 되므로 탁도계를 이용하는 방안도 고려해 보는 것이 바람직하리라 판단 된다.

8. 결론

(1) Pilot Plants를 이용하여 시간과 비용이 크게 소요되지 않는 간단한 Tracer Test를 실시하여 수리학적으로 가장 좋은 플록형성지 유출벽의 설계에 도움이 되는 대안을 찾아낼 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 포항시 양덕정수장의 플록형성지를 대상으로 실시한 Pilot Test의 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

① Pilot Test시 체류시간을 길게 하거나 짧게 하여도 전체적으로 비슷한 흐름과 Index 수치를 나타내므로 체류시간을 가능한 짧게 잡는 것이 바람직하다고 판단된다.

② 플록형성지 1단, 2단, 3단의 상하류식 흐름과 좌우류식 흐름 모두 유출벽의 통과유속을 점감식으로 하는 것이 효율적이다.

③ 플록형성지의 유출벽의 흐름을 상하류식으로 유도하는 것보다는 좌우류식으로 흐름을 유도하는 것이 Plug Flow에 가깝고 단락류에 의한 영향이 적으며, 사수부가 줄어든다는 것을 알 수 있다.

또한, 상하류식 유출벽의 경우는 부유물질의 퇴적으로 유지관리가 어렵지만 좌우류식 유출벽의 경우는 편리하다.

④ 포항시 양덕정수장에 기존의 플록형성지 유출벽 형태보다 수리학적으로 우수하게 개선된 유출벽의 구조를 제시하였다.

(2) 양덕정수장의 플록형성지는 개선공사후 기존의 플록이 깨어지는 문제가 개선되어 상당히 양호하게 운전되고 있는 상태이다.

(3) Tracer Test를 이용한 수리학적 특성 실험방법은 플록형성지 뿐만 아니라 기존 정수장의 단위공정에 대한 성능평가나 시설개선에 사용할 수 있으며, 신설정수장의 설계전에 설계인자를 구하는데 유용하게 이용할 수 있다.

(4) 파티클 카운터를 이용하여 적정운전조건을 찾아낸 결과 다음과 같은 결론을 얻어 개선안을 제시해 보았다.

- 플록형성지의 교반강도는 현재의 교반속도보다 약 2.5% 증가시켜 교반하도록 하는 것이 더 효율적이다.

(5) 연속측정식의 파티클 카운터를 이용하여 현장에서 응집공정의 최적운전 조건을 신속하게 찾아내는 것이 가능하다. 그러나 그 결론은 정수장의 현황에 따라 달라질 수 있으므로 상황에 맞게 실험을 실시하여 최적의 운전조건을 찾아내는 것이 중요하다.

참고문헌

- Rebhun, M., and Argaman, Y. (1965). "Evaluation of hydraulic efficiency of sedimentation basins." *Journal of the Sanitary Engineering Division*, pp. 37-45.
- AWWA (1996). *Tracer studies in water treatment facilities: A protocol and case studies*. AWWA Research Foundation.
- Reynolds/Richards (1996). *Unit operations and processes in environmental engineering*. PWS Publishing Company.
- SKawamura, S. (1991). *Integrated design of water treatment facilities*.