

침전지내 유출웨어의 부하율에 관한 연구

최계운*, 김기훈**, ○강희경**, 임부상***

1. 서 론

최근들어 국내에서는 고도정수처리리에 관한 관심못지 않게 재래식 정수과정의 개선방안에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 재래식 정수공정이 크게 혼화, 응집, 침전, 여과의 4공정으로 이루어져 있으나 연구는 주로 혼화나 응집 공정에서의 혼화기나 응집기와 관련된 연구나 여과공정에서의 효율향상 또는 단위 공정의 개선등에 대한 연구에 집중되어 있고 침전공정에 대한 연구는 그리 많지 않은 실정이다.

침전지 유출부에 설치되어 있는 유출웨어는 맑은 물을 여과지로 내보내는 유출구의 역할만을 단순히 감당하는 것이 아니라 부하율에 따라 침전지내 물의 흐름 형태에도 영향을 준다. 특히나, 혼화, 응집공정에서 형성된 플러크가 침전지내에서 침강, 제거되게 되는데 유출웨어의 부하율에 따라 영향을 받은 물의 흐름 형태변화는 플러크의 침강제거에도 영향을 주게 된다. 따라서, 유출웨어의 부하율이 어느 이상의 부하율로 증가하게 되면 침전제거되어야 많은 탁도물질들이 유출웨어를 통하여 직접 여과지로 유입되어 여과지의 부하를 증가시키게 된다.

현재, 국내 정수장의 침전지 설치는 환경부에서 제정된 상수도시설기준(1997)에 의하게 되는데 이에 의하면 '유출부에는 트라프(위어 또는 오리피스)를 설치하고 될수록 저탁도의 침전수를 지내 수류를 흐트러 뜨리지 않고 유출시킬 수 있도록 하여야 한다.'라고 되어있다.

또한, '월류부하를 감소시키기 위하여 트라프를 너무 근접시키면 서로 간섭이 되어 효과가 나 빠진다.'라고 일반론적인 원칙만이 적혀있다. 특히, 월류부하에 대하여는 '500m³/day/m이하가 바람직한 것으로 생각되고 있으나 실제에는 구조적인 제약에서 350~400m³/day/m정도가 한도로 생각된다.'라고 기술되어 있어 부하율에 관한 한계설정이 막연한 상태이며, 유입수질의 조건이나 설계된 침전지의 크기등에 관한 영향이 고려되지 못하고 있다.

통상의 실험연구의 경우 실제 원형을 어느정도 축소시킨 모형 또는 pilot plant등의 설치를 통하여 실험을 실시하고 실험결과를 원형조건으로 다시 환원하는 것이 통상적이거나 본 연구에서는 유출웨어의 부하율의 경우 단위폭당 유량과 웨어의 크기등에 대한 축척 결정과 실험결과와 실제 정수장에서 적용상의 어려움 때문에 현재 수도권에서 사용중인 실제 정수장을 선정하여 저온 및 고온시 부하율 실험을 실시하여 적정부하율을 결정하였다.

* 인천대학교 토목공학과 교수

** 인천대학교 토목공학과 석사과정

*** 한국수자원공사 과천사무소 과장

2. 실험대상 정수장 선정 및 실험방법

2.1 실험대상 정수장 선정

침전지내 유출웨어 부하율에 따른 탁도제거효율 변화 실험을 위하여 한강수계내 팔당원수를 사용하고 있는 S정수장을 실험대상 정수장으로 선정하였다.

선정된 실험대상 정수장은 공업용수 60,000 m³/day과 생활용수 50,000 m³/day등 함께 110,000 m³/day의 처리용량을 가진 정수장으로, 혼화, 응집, 침전, 여과공정으로 이루어져 있으며 침전공정을 위한 침전지는 총 8지로서, 3지를 공업용수 침전지로, 3지를 생활용수 침전지로 사용하며 나머지 2지는 여유지로 보유하고 있다.

본 실험을 위해서는 생활용수 침전지를 선정하였으며, 선정된 침전지의 유출웨어의 형상은 finger형 유출웨어로 응집지와 침전지의 크기는 그림 1과 같이 응집지의 체적은 991.185m³ [17m(W)×14.95m(L)×3.9m(D)]이고, 침전지의 체적은 6120.0 m³ [17m(W)×80.0m(L)×4.5m(D)]이다.

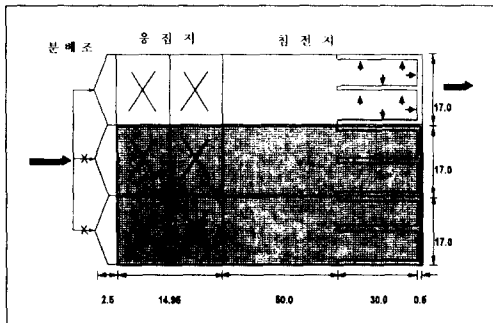


그림 1. 실험정수장의 침전지 평면도

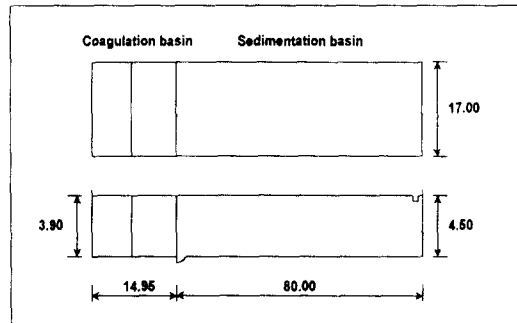


그림 2. 실험정수장 침전지의 단면도

2.2 실험방법

실험은 침전지간의 유량제어가 어려운점을 감안하여 3지의 생활용수 침전지중 그림 1과 같이 1지만 사용하여 실험을 실시하였으며 원수 및 유출수의 탁도를 측정하여 유출수의 부하율에 따른 탁도제거효율을 비교하도록 하였다.

유출부하율은 저온시 및 고온시 모두 적합해야 함을 감안하여 저온의 경우로 수온10~12℃인 1998년도 3~4월에 실험을 실시하였으며, 고온시는 23~26℃로 1997년 9월에 실험을 실시하였다. 원수 및 유출수의 탁도 측정의 일관성을 유지하기 위하여 동일한 측정 지점을 선택하였으며, 탁도 측정은 HACH사의 2100P 탁도계를 사용하였다.

또한, 유량을 변경한 후의 변화와 유량이 충분히 배출되도록 침전지 및 응집지의 체류시간이 경과한 이후에 실험을 실시하였으며, 탁도제거효율은 유입된 원수가 그림 2와 같은 응집 및 침전지에서의 체류시간 이후에 유출되는 유출수의 탁도를 비교하여 결정하였다.

3. 실험결과 및 분석

고온인 경우와 저온인 경우의 웨어부하율에 따른 탁도제거 효율을 비교하기 위하여 침전지내

유입유량을 1000m³/hr~2700m³/hr으로 조절하여 고온시에는 178, 290, 368, 393, 445, 480m³/day/m의 웨어부하율로 실험을 실시하였으며 저온시에는 178, 231, 267, 285, 320, 445m³/day/m의 웨어부하로 실험을 실시하여 각각의 탁도제거효율을 비교하였다.

3.1 고온시의 탁도제거효율 분석

표 1. 고온시 웨어부하율에 따른 탁도제거효율

웨어부하율 (m ³ /day/m)	총유입유량 (m ³ /hr)	원수의 탁도(NTU)	유출수의 탁도(NTU)	체류시간(hr)	탁도제거효율 (%)
178	1000	8.10-14.1	0.70-1.24	7.1	94.3%
290	1630	3.33-5.65	0.51-0.93	4.4	87.3%
368	2050	4.05-4.71	0.77-1.07	3.4	79.6%
393	2210	5.12-6.84	0.54-1.15	3.2	83.5%
445	2500	4.79-5.77	1.05-1.47	2.9	72.8%
480	2700	4.94-5.48	0.58-1.39	2.6	75.5%

고온시의 실험은 1997년 9월 13일부터 9월 24일사이에 실시하였으며 이때의 수온은 23~26℃이고, pH는 7.5~8.0, 알칼리도는 35~55 ppm이었다.

표 1은 고온시 탁도제거효율 실험시의 조건 및 실험결과를 보여주고 있으며 웨어부하율이 480m³/day/m인 경우 침전지내 유속이 너무 빨라서 플러키 정상적으로 침강을 이루지 못할뿐 아니라 침전되었던 플러키들이 상승하는 것을 볼 수있다. 이 때문에 시간이 경과할수록 탁도제거효율이 계속적으로 저하하여 여과지에 걸리는 부하가 너무 커져서 더 이상 실험을 진행하기가 어려웠다.

위의 탁도제거효율은 체류시간이후의 원수의 탁도와 유출수의 탁도를 비교하여 30분간격으로 1.5~2시간동안 구한 탁도제거효율을 평균한 값이다.

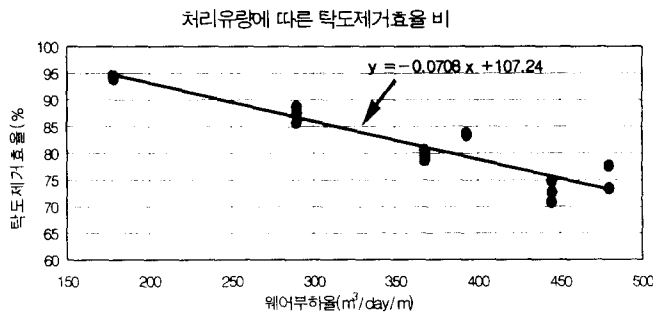


그림 3. 고온시 웨어부하율에 따른 탁도제거효율

위의 그림 3에서 보는바와 같이 웨어부하율이 증가함에 따라 탁도제거효율이 직선변화 하면서 감소하는 것을 볼 수있으며 웨어부하율이 증가할수록 편차가 크게 발생하는 것은 유입원수의 탁도에 차이가 있어서 발생할 가능성도 있지만 350m³/day/m이상일 경우 침전지 하부에 이미 침전되어있던 플러키들이 재 부상하는 현상을 보이는데 이로 인한 영향이 큰 것으로 보인다.

일반적으로 웨어부하율은 침전효율에 그다지 큰 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있기는 하

지만 통상적으로 웨어부하율이 커질수록 침전제거효율은 감소하는 것으로 생각할수 있는데 본 실험의 결과에서도 이러한 현상을 잘 나타내고 있음을 볼 수있다.

3.2 저온시의 탁도제거효율분석

표 2. 저온시 웨어부하율에 따른 탁도제거효율

웨어부하율 (m ³ /day/m)	총유입유량 (m ³ /hr)	원수의 탁도(NTU)	유출수의 탁도(NTU)	체류시간(hr)	탁도제거효율 (%)
178	1000	4.44~5.33	0.70~0.76	7.1	83.7%
231	1300	5.20~5.52	1.33~1.40	4.4	74.2%
267	1500	3.70~4.11	0.85~0.87	3.4	77.1%
285	1600	3.02~3.51	0.80~1.02	3.2	73.8%
320	1800	5.04~5.15	1.33~1.46	2.9	72.3%
445	2500	4.88~5.72	1.50~1.63	2.6	67%

저온시의 실험은 1998년 4월 3일부터 4월 11일에 실시하였으며 이때의 수온은 10~12℃이었고 pH 7.5~8.9, 알칼리도는 38~48이었으며 표 2은 실험시의 실험조건 및 실험결과를 보여주고있다.

표 2에서도 알수있듯이 저온시의 실험결과를 살펴보면 고온일때보다 원수의 탁도가 전체적으로 낮고 탁도제거효율이 낮음을 볼수있다.

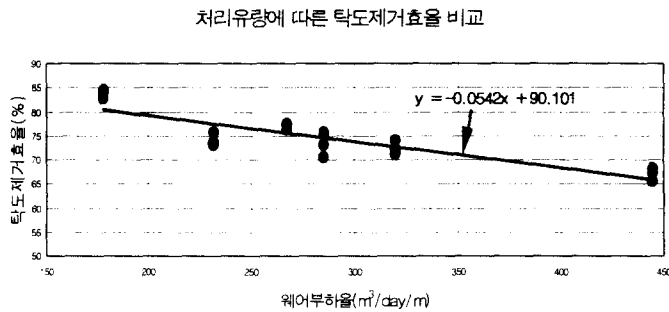


그림 4. 저온시 웨어부하율에 따른 탁도제거효율

그림 3과 그림 4에서 웨어부하율에 따른 탁도제거효율을 보면 웨어 부하율의 증가에 따른 침전효율의 감소를 볼 수 있는데 그림 3에서는 $Y = -0.07076x + 107.23562$ 로 그림 4에서는 $Y = -0.0542x + 90.11$ 과 같이 나타낼수 있으며 Y는 %로 나타낸 탁도제거효율, x는 웨어부하율 (m³/day/m)을 나타내고 있다.

직선으로 표시된 식에서 90%의 탁도제거효율은 그림 3에서는 240m³/day/m이하일 때 나타나고 있으며 85%의 탁도제거효율은 웨어부하율이 365m³/day/m일 때 나타나고 있다. 그림 5에서는 80%이상의 탁도제거효율은 웨어부하율이 180m³/day/m이하일 때 나타나고 있고, 75%의 탁도제거효율은 웨어부하율이 280m³/day/m일때 나타나고 있다. 그리고 전체적인 탁도제거효율을 살펴보면 저온보다 고온에서 높은 것을 알 수 있는데, 이는 저온시의 경우 응집효율이 떨어지고 본실험을 실시하였을 때 약간의 조류가 발생하였기 때문으로 여겨진다.

3.3 실험결과의 분석

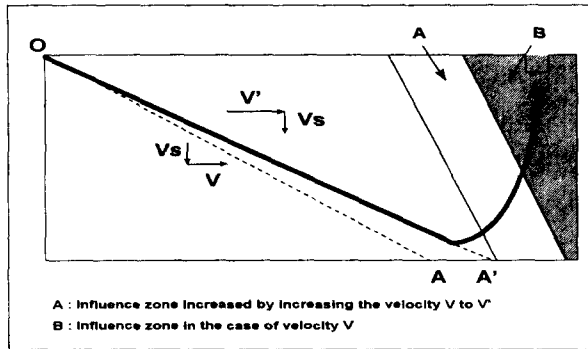


그림 5. 침전지내 유속증가에 대한 침전의 영향

그림 5에서 보는 바와 같이 침전지내 유속이 V 일 때 입자의 침전속도가 V_s 인 입자는 A지점에 침전되지만, 동일한 입자일 경우라도 침전지내 유속이 V' 로 증가되는 경우 A'에 침전되도록 위치가 수정되며 이 경우 A' 지점은 유출웨어의 영향권에 속하여 입자는 유출웨어를 통하여 여과지로 유출하게 된다.

이와같이 웨어부하율이 증가함에 따라 유출웨어를 통한 입자의 월류량은 증가하게 되고 침전지내 체류시간이 작은 경우, 조류가 발생되어 응집이 제대로 이루어지지 않는 경우 등에는 이와같이 월류되는 입자의 량이 많게 되고 침전제거효율이 감소하게 된다.

표 3. 침전조건에 의한 최대웨어부하율

Researcher	Condition in sedimentation basin	Maximum weir loading ($m^3/day/m$)	
Anderson (1945)	Within upturn zone	186	
	Without upturn zone	248	
Montgomery (1985)	General sedimentation basin	140~270	
	Sedimentation basin installed rapid filter	Rapid separator installed	90~360
		Rapid separator not installed	210~330
AWWA (1984)	General sedimentation basin	248	
	In the light Alum floc	178	

표 3에서 보는바와같이 침전지내 각종조건에 따른 최대 월류부하율에 차이가 있으며 90~360 $m^3/day/m$ 의 범위를 가지고 있다. S정수장에 유입되는 원수의 탁도가 수온이 높을 때는 3.33~14.1NTU인 점을 감안한다면 탁도제거효율이 수온이 높은 경우 85%이하가 된다면 유출웨어를 월류하는 침전수의 탁도가 1.5NTU를 초과하는 것으로 이와같은 경우 월류되는 입자들이 여과지에서 제거되도록 운영할 수밖에 없어 여과지에 과중한 부담을 주게된다. 또한 수온이 낮은 경우 원수의 탁도가 3.01~5.52NTU인 경우 고온인 경우와 마찬가지로 여과지에 과중한 부담을 주지 않기 위해 침전수의 탁도가 1.0NTU를 초과하지 않는 것으로 하며, 홍수시 탁도가 크게 증가하는 경우,

조류발생시 응집제거가 어려운 점등을 감안할 때 고온시에는 탁도제거효율 85% 또는 90%이상, 저온시에는 탁도제거효율 75%이상의 제거효율을 가지는 것이 바람직한 것으로 판단되다.

4. 결론

본 논문에서는 실제 정수장내 침전지에서 유출웨어의 월류부하율 변화에 따른 탁도 제거효율을 분석하였으며 아래와같은 결론을 구할 수 있다.

첫째로, 처리유량의 조절로 침전지내 유출웨어의 부하율을 조정하여 실험을 실시한결과 유출웨어의 부하율이 적을수록 침전지내 체류시간이 증가하여 탁질의 침전이 충분히 이루어지고 상승플럭의 양도 감소하여 탁도제거효율이 증가하는 경향을 보이고 있다.

둘째로, 팔당원수를 사용하는 S정수장의 경우 고온시는 90%이상의 탁도제거효율은 유출웨어의 부하율이 $240\text{m}^3/\text{day}/\text{m}$ 이하일 경우에 나타나고, 85% 이상의 탁도제거효율은 유출웨어의 부하율이 $315\text{m}^3/\text{day}/\text{m}$ 이하인 경우에 나타나며, 저온시는 80%이상의 탁도제거효율은 웨어부하율이 $180\text{m}^3/\text{day}/\text{m}$ 이하에서, 그리고 75%이상의 탁도제거효율은 웨어부하율이 $280\text{m}^3/\text{day}/\text{m}$ 이하인 경우에 나타나고 있다.

따라서, 기존의 시설기준등에서 제시하고 있는 웨어의 부하율이 $350\sim 400\text{m}^3/\text{day}/\text{m}$ 에 비해 더 낮은 범위의 유출웨어의 부하율을 갖도록 운용되는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

이와같은 결과들을 살펴볼 때 기존의 정수장에서 이와같은 침전지내 유출웨어의 부하율에 의한 탁도제거효율을 조사하여 침전지 운용에 대한 규정을 결정한다면 침전지의 효율적인 운용과 여과지의 부하를 줄일수 있어 기대효과가 클 것으로 여겨진다.

감사의 글

본 연구는 G-7환경공학기술개발사업의 지원과제로 수행되었으며 연구비 지원에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Graber, S.D., "Outlet Weir Loadings for Settling Tanks", Journal Water Pollution Control Federation, Vol.46, No.10, pp2355-2362, (1974).
2. Ingersoll, A.C. et. al., "Fundamental Concepts of Rectangular Settling Tanks", Transaction, ASCE, (1955).
3. Montgomery, J.M., "Water Treatment Principles and Design.", A Wiley- Interscience Publication, (1985).
4. Rankin, R.S., "Weirs on Sedimentation Tanks.", Pub. Works, 12, 66, (1959).
5. 환경부, "상수도 시설기준", (1997).
6. 최계운, 곽창호, 김량, "응집 교반강도 및 침전지 월류부하율 개선을 통한 기존 정수장의 정수 처리 능력 향상", 한국상수도 학회지, 제8권 제2호, pp43-52, (1994).
7. 최계운, "과부하율의 횡방향 유출웨어를 지닌 침전지내에서 탁도제거효율", 인천대학교 공업개발연구소, pp379-395, (1994).
8. 한국수자원공사, "정수처리 능력향상에 관한 연구", (1992).