

沈澱池 流出웨어 形態 및 負荷率에 따른 沈澱效率 比較

최 계운*, 곽 창호**

1. 序論

현재 국내 정수장내 침전지 유출웨어는 上水道 시설기준에 의하여 一律적으로 설치되고 있는 실정이나 실제적으로 유출웨어는 해당정수장에 유입되는 濁度등의 원수특성을 고려하여 설치되는 것이 바람직하며 유출웨어의 효율을 향상시키기 위해서는 웨어의 월류부하율을 적절하게 유지하여야 하고 월류부하가 균일하게 分布되도록 웨어가 설치되어야 한다. 또한, 유출웨어의 설치로 인하여 침전지내에서 停滯部나 死水部가 형성되지 않도록 하여야 하며, 침전지 바닥에 슬리지가 재부상하지 않도록 하여야 한다. 특히 선진국에서의 유출웨어의 부하율은 국내 규정에 비하여 작은 형편인데(7) 이는 가능한 많은 floc을 침전지에서 침전 제거하고 濾過池의 負荷를 줄여 여과지의 이용시간을 늘림과 동시에 여과수의 수질을 향상시키기 위한 목적이다.

통상 설치되는 침전지 유출웨어의 형태는 침전지내 흐름방향의 유출웨어(finger형 유출웨어)와 침전지내 흐름방향의 직각방향 유출웨어(횡방향 유출웨어)로 대별되는데, 최근에는 횡방향 유출웨어 보다는 finger형 유출웨어가 비교적 많이 이용되고 있는 실정이다. 현재, 국내에서는 김 홍석 교수(9)등의 연구를 제외하고는 유출웨어에 대한 연구가 상당히 미미한 상태이나 선진국에서는 횡방향 및 finger 유출웨어에 대한 연구가 많이 이루어졌다. 1946년 미국 National Reserch Council (NRC) Sub-Committee(2)에서 발행된 보고서에는 침전지에서의 沈澱效率에 관한 이론을 정립하여 유출웨어의 負荷率이 상당히 중요하다고 결론지은 것에 비하여 1953년 Camp(2)는 침전탱크에 대한 실험을 실시하여 침전지 유출부의 설계가 침전효율에 그다지 영향을 미치지 않는다는 결론을 내렸다. Ingersoll(5)등은 직사각형 침전탱크에서 NRC이론과 Camp의 이상적인 침전실험과는 비교할 수 없다고 Camp의 실험을 반박하였다. 또한 WPCF(Water Pollution Control Federation)(2)는 1959년 이른바 'Ten State Standards'에서 설계권고 規程을 제정함과 아울러 웨어의 월류부하율에 따른 floc 제거효율과의 관계를 실험하였다. 1959년 Rankin은 침전탱크내의 웨어에 대한 論文에서 웨어의 길이, 월류 부하율, 설치된 웨어의 갯수 등에 대하여 연구하였다. 이와같은 연구들을 종합하여 볼때 어떠한 淸便일률적인 規程을 모든 정수장에 그대로 적용하기 보다는 실제 정수장의

* 정희원, 한국수자원공사 수자원연구소 책임연구원

** 정희원, 한국수자원공사 수자원연구소 연구원

각종 조건을 감안하여 유출웨어를 설치하는 것이 바람직하다고 판단되며 또한, 현재 이용되고 있는 여러 정수장을 조사하여 본 결과, 설치된 유출웨어에서 일단 침전지 하류부에 침전되었던 floc들이 유출웨어, 특히 말단 유출웨어부에서 부상하여 월류부를 통하여 여과지로 넘어가고 것이 있는것들이 목격되고 있으며 이와같은 현상은 유출웨어 형태에 따라 다르게 나타나고 있는바, 실제 정수장에서 유출웨어를 설치할때 원수수질에 적합한 유출웨어 형태와 부하율을 선정하는 것이 바람직하며 이와같은 選定은 원수를 이용한 모형실험 실시후 그 결과에 따르는 바람직한 것으로 사료되는바, 본 논문에서는 현재 사용되고 있는 정수장을 대상으로 그 형태와 부하율의 변화에 따른 침전효율을 비교하였다.

2. 淨水場內 流出웨어의 形態 및 負荷率

정수처리가 도입된 이후 여러가지 형태의 침전지 유출웨어가 연구되었지만 구조들이 복잡하다든가 설치비용이 많이 들거나 침전지내에서의 흐름을 불균일하게 만드는 등의 단점때문에 사용되지 않고 현재에는 침전수의 흐름방향과 평행하게 설치하는 finger형 유출웨어와 흐름에 직각으로 설치하는 횡방향 유출웨어만이 주로 이용되고 있다. 흐름과 평행하게 유출웨어를 설치할때에는 유출웨어 설치부분과 유출웨어 미설치 부분사이에 흐름변화와 이에 따른 濁度變化를 유발하며 유출웨어의 최초 유출부분이 凝集池와 가깝게 되어 완전히 침강하지 못한 floc이 그대로 유출웨어를 통하여 월류될 수 있는 단점이 있는 반면 침전지의 상당한 부분이 월류부로 이용될 수 있는 장점이 있다. 유출웨어를 沈澱池의 흐름방향과 직각방향으로 설치하는 경우에는 유출수가 균일하게 월류되어 침전지의 평면적인 흐름상태를 양호하게 하나 유출웨어가 침전지 하류부 상단에 집중적으로 설치되므로 침전지내에서 수평으로 흐르던 흐름률(flux)이 유출웨어에 접근함에 따라 상향흐름률로 변하게 되어 침전지 하부 일정구간은 침전지의 역할을 제대로 못하는 경우가 많다. 또한 월류부의 길이를 연장시키기 위하여 유출웨어를 여러개로 나누어 설치하면 유출웨어 단위길이에 대한 부하량은 경감되나, 몇개로 나누어진 유출웨어를 침전지 말단에 집중배치 하면, 탁질누출현상의 경감이나 유출웨어의 상향유속을 개선할수 없으므로 沈澱池의 기능을 향상시키는 것은 기대할수 없다. 유출웨어를 분산설치 하더라도 웨어 설치부분과 미설치부분에 흐름변화가 있으며 상당한 부분이 무효부분이 되거나 정체부로 형성된다. 이 무효부분이 커짐에 따라 침전지 효율도 좋지않게 되며 따라서 침전제거율도 양호하지 못하다.

현재 국내 침전지는 建設部에서 제정된 上水道 施設基準에 의하고 있는바, 이에 의하면 웨어를 침전지의 흐름방향과 같은 방향으로 설치하든가 또는 직각으로 설치하는데에 대한 구체적인 지침이 없는 실정이다. 즉, 상수도 시설기준에서는 유출웨어의 부하율에 대하여 막연하게 "500m³/||/m 이하가 바람직한 것으로 생각되고 있으나 실제에는 구조적인 제약에서 350~400m³/||/m 정도가 한도로 생각된다."라고 언급하고 있는 실정으로 부하율에 대하여는 막연하나마 규정이 있는 실정이나 형태에 관여하는 언급이 없다.

표 2.1은 현재 국내정수장에 설치되어 있는 유출웨어의 설치형태 및 부하율등을 나타내고 있다. 표 2.1에서 보는바와 같이 A, D, E, F, J정수장 등은 횡방향웨어가 설치되어 있으며 B, G, H, I 정수장 등은 finger형 유출웨어가 설치되어 있고 C 정수장은 수중 finger형 유출웨어가 설치되어 있다.

표 2.1 침전지내 유출웨어의 형태 및 부하율비교

정수장명	설계용량 (M ³ /day)	침전지 제원(M) (폭*길이*깊이)	체류시간 (분)	weir형태	weir 부하율 (m ³ /day/m)
A	250,000	17.0*80.0*4.0	252min	횡방향 weir	412
B	300,000	18.0*76.9*4.0	300min	finger형 weir	207
C	425,000	18.0*80.0*4.5	175min	수중형 finger형 weir	200
D	16,000	5.5*33.0*3.2	210min	횡방향 weir	223
E	20,000	10.0*50.5*3.5	252min	〃	317
F	20,000	10.0*31.6*4.0	180min	〃	158
G	150,000	18.0*50.0*3.5	90min	finger형 weir	381
H	150,000	18.0*80.0*4.5	186min	〃	144
I	75,000	11.6*46.6*4.7	192min	〃	260
J	70,000	15.0*50.0*4.0	246min	횡방향 weir	364

유출웨어 부하율은 250,000m³/day 규모의 A 정수장이 가장 큰 412m³/day/m의 부하율을 나타내고 있으며 150,000m³/day 규모의 H 정수장이 144m³/day/m로 가장 작은 負荷率을 보이고 있으며 A 정수장과는 약 3배의 차이를 보이고 있다. 또한, 200,000m³/day 이상의 대형정수장에서는 A 정수장을 제외한 정수장이 약 200m³/day/m의 부하율을 보이는데 비하여 A 정수장은 2배나 높은 부하율을 보이고 있다. 이를 미국의 경우와 비교해 보면 미국 미시시피강 하도 위원회에서 제정된 設計指針書에는 설계용량 3,785m³/day 이하인 경우 124m³/day/m, 그 상인 경우 186m³/day/m의 부하율을 초과해서는 안된다는 규정(2)과 미국내 정수장에 설치되어 있는 전형적인 횡방향 침전지의 월류부하율이 140-270m³/day/m(7)이라는 것을 감안하면 정수장내 유출웨어의 월류부하율은 국내 타 정수장 및 외국의 정수장보다 큰 월류 부하율을 나타내고 있는 실정이다.

· 實驗裝置 製作 및 設置

침전지 유출웨어 형태에 의한 침전효율을 비교하기 위하여는 유출웨어만 설치하여 간이적 실험을 실시하는 것 보다는 실제 정수장 공정인 혼화, 응집 및 침전공정이 동시에 고려되는 실험을 종합적으로 실시하는 것이 바람직하다. 따라서 淨水공급량 250,000m³/day인 A 정수장을 選定하여 모델을 제작 設置하였는바, 이 정수장내 공정은 착수정 2지, 약품혼화지 4지, 응집지 및 침전지 각 8지, 여과지 24지로 이루어져 있다.

형태에 따른 효율을 비교하기 위하여 모형을 2조로 하여 각각 24m³/day를 處理하도록 하였다. 즉 48m³/day의 원수가 1조의 원수공급조에 유입된후, 다음 工程부터 24m³/day씩 均等分配되어 일련의 처리공정을 거치도록 計劃하였다. 각 처리공정의 所要容積 산출은 기본적으로 원형 및 模型의 각 單位公定별 처리유량비를 同一하게 하여 수리학적 상사법칙에 의한 比率을 適用하여 결정하였다. 설치된 모형실험장치는 그림 3.1과 같다.

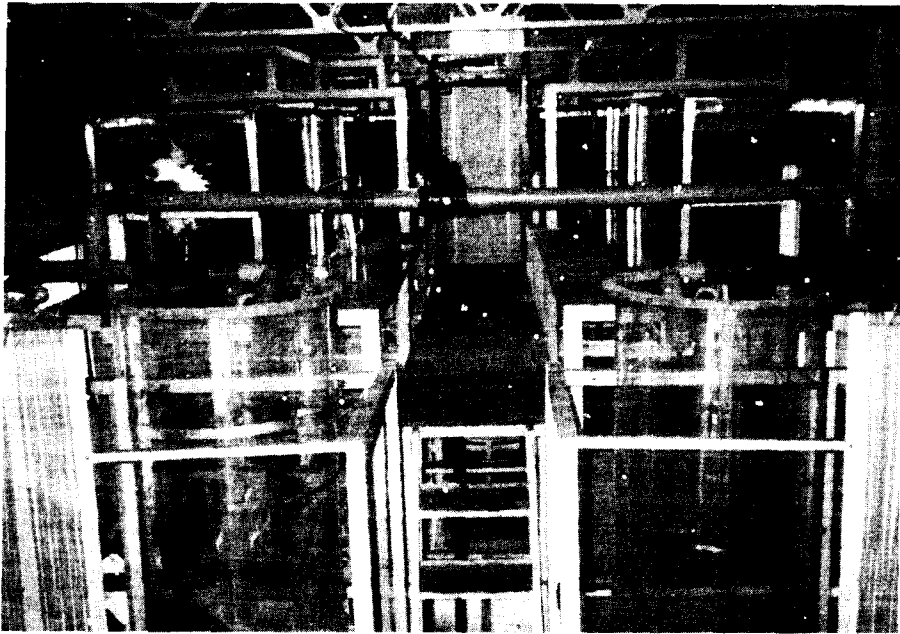


그림 3.1 모형 실험 장치의 전경

또한, 유출웨어는 원형정수장의 $412\text{m}^3/\text{day}/\text{m}$ 의 월류부하율을 가진 횡방향 유출웨어를 한 쪽 모형실험장치내 침전지 말단에 제작설치하였으며, 이와 침전효율을 비교검토하기 위하여 finger형 유출웨어를 다른쪽 모형실험 장치내 설치하였다. 이때 finger형 유출웨어는 finger형 웨어 초입에서의 월류부하율을 줄이기 위하여 횡방향으로 설치되어 있는 유출웨어의 일부분을 이용하였으며, 웨어부하율로 타정수장 수준인 $250\text{m}^3/\text{day}/\text{m}$ 를 이용하였으며 월류 웨어내 개개 V-notch의 각도는 90° 를 이용하였다.

4. 實驗內容 및 結果分析

4.1 模型의 檢證

원형과 모형과의 상사성을 검증하기 위하여 탁도의 침전제거 효율을 이용하였으며, 이를 위하여 원형과 모형에서 길이방향으로 6지점, 수심방향으로 7지점, 폭방향으로 3지점을 선택하여, 즉 126지점의 탁도를 측정하여 모형을 검증하였다. 이때 원형 및 모형간 floc형성을 위한 약품투입량, 혼화, 응집공정의 체류시간, 교반강도 등의 조건이 동일하게 유지되었다. 원형 침전지에서의 탁도의 측정은 가을 및 겨울 2회에 걸쳐 실시하였는바 침전지내 침전제거 효율곡선의 변화가 원형과 모형간 상사성을 이루고 있으며 침전지 유출웨어에서의 탁도변화도 원형과 모형간에 동일하게 나타나고 있다.

4.2 實驗內容

현재 A 정수장에 유입되는 원수를 그대로 이용하여 실험을 실시하였으며 이때 유입되는 원수의 특성과 응집제 사용량은 표 4.1에 나타내었다. 표 4.1에 나타낸바와 같이 실험에 사용된 원수의 알카리도, pH, 온도의 변화는 크지 않았으며, Jar실험에 의하여 결정된 황산알루미늄의 사용량도 거의 일정하였다. 그러나 유입된 원수의 탁도는 작게는 1.3NTU에서 크게는 2.7NTU까지 약 2배 정도의 차이가 있었다. 실험유량은 A 정수장의 설계유량에 해당하는 1m³/hr(24m³/day)를 기준으로 실험을 실시하였으며 유량변화에 따른 효과측정을 위하여 설계유량의 10, 20, 30 및 50%를 증가시켜 실험을 실시하여 검토자료로 이용토록 하였다.

각각의 유량에 대한 혼화지 및 응집지의 G값은 사전실험한 결과를 이용하였는바, 실험유량이 1m³/hr 일때는 혼화지의 G값은 347/sec, 응집지 2단의 G값은 65/sec이었다. 또한, 1.3m³/hr의 실험유량 일때는 혼화지의 G값은 347/sec, 응집지의 2단의 G값은 85/sec이었다. 또한 횡방향 유출웨어에는 통상의 침전지처럼 정류벽을 설치하였으며 finger형 유출웨어에서는 침전지 말단부에 정류벽을 설치하지 않았다. 또한 횡방향 유출웨어에서의 정류벽 효과를 검토하기 위하여 정류벽이 없는 경우도 함께 실험을 실시하였다.

표 4.1 실험에 사용된 원수의 특성 및 황산알루미늄 사용량

일 시	alkalinity (mg/l)	pH	turbidity (NTU)	temperature (℃)	alum-dose (P.P.M)
1992/11/09	29	7.48	1.85	16.5	25
1992/11/10	28	7.40	1.80	16.0	25
1992/11/11	32	7.55	2.30	15.8	25
1992/11/12	27	7.43	2.30	15.6	25
1992/11/13	29	7.40	1.30	16.0	25
1992/11/16	28	7.41	2.70	15.6	25
1992/11/18	28	7.44	2.50	15.0	25
1992/11/19	27	7.35	2.20	15.0	25
1992/11/20	26	7.21	2.40	15.0	25
1992/11/24	28.6	7.31	1.50	15.0	25
1992/11/25	29	7.36	1.80	15.0	25

표 4.2에서 나타낸바와 같이 11월 16일 실험까지는 횡방향 유출웨어에 정류벽이 설치된 상태에서, 나머지는 정류벽이 없는 상태에서 실험을 실시하였다. 실험결과 분석의 첫번째로 유출웨어 형태에 따른 침전지내 탁도제거 효율을 비교하였는바, 그림 4.1 및 그림 4.2에서 보는바와 같이 침전지내에서는 횡방향 유출웨어가 설치되어 있을때가 finger형 유출웨어가 설치되어 있을때에 비하여 floc의 침강효율이 우수한 것으로 나타나고 있다. 그러나, 말단 유출부에 대하여는 횡방향 유출웨어의 경우가 웨어 설치부분에서 월류할때 발생하는 상향유속에 의하여 침강되었던 floc이 재상승되어 침전효율이 낮아지는 경향을 보이고 있다.

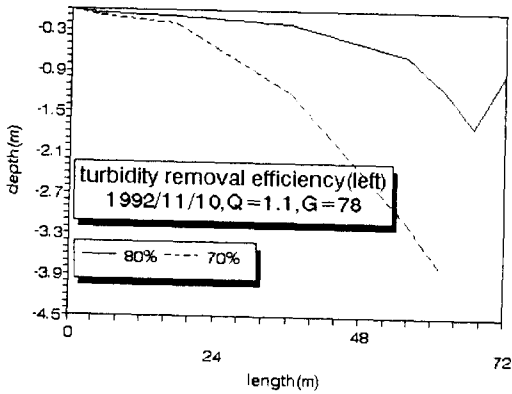


그림 4.1 침전지내 탁도제거 효율곡선(횡방향 웨어)

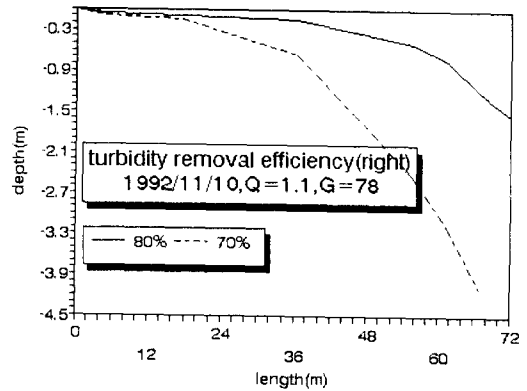


그림 4.2 침전지내 탁도제거 효율곡선(finger형 웨어)

이와는 달리 유출웨어를 통과한 유출수의 탁도를 비교하여 본 결과 250m³/day/m의 웨어부하율을 가진 finger형 유출웨어를 사용할때 정류벽이 있는 횡방향 유출웨어나 정류벽이 없는 횡방향 유출웨어에 비하여 공히 20~30% 정도 탁도가 개선된 것으로 나타났으며 유량이 증가할수록 이 차이가 커지는 경향이 있다. 이와같이 finger형 유출웨어에서 침전지내에서의 침전효율이 낮음에도 불구하고 유출수의 탁도가 낮게 나타나는 까닭은 finger형 유출웨어의 경우 최초 유출부가 침전지 입구에 가까워 전반적으로 침전효율곡선이 상향으로 나타내도록 유도하나 흐름의 직각방향에서 유출되는 유량은 상대적으로 미미하여 침강되었던 floc의 재상승이 작은 반면 횡방향 유출웨어에서는 유출되는 유량이 전단면에 걸쳐 일어나므로 floc의 재상승을 유도하기 때문으로 판단된다. 표 4.2에서 나타내는 바와같이 유출수 탁도의 차이는 작게는 0.1 NTU에서 크게는 0.2 NTU까지 일어나는바 이에의한 영향을 검토하기 위하여 여과에서의 여과 지속시간을 이용하였다.

표 4.2 웨어 형태에 따른 침전지 유출수의 탁도비교

구분	원수탁도 (NTU)	응집지3단 탁도 (ntu)	침전지 유출수 탁도 (NTU)		유량 (m ³ /hr)	교반강도 (sec ⁻¹)	정류벽
			횡방향 웨어	finger형 웨어			
11/09	1.85	3.3	0.3	0.3	1.0	65	유
11/10	1.80	2.3	0.4	0.4	1.1	"	"
11/11	2.30	3.1	0.6	0.5	1.2	"	"
11/12	2.30	3.0	0.6	0.4	1.3	"	"
11/13	1.30	1.8	0.4	0.3	1.5	"	"
11/16	2.70	3.0	0.5	0.4	1.3	85	"
11/18	2.50	3.0	0.4	0.3	1.0	65	무
11/19	2.20	2.75	0.5	0.4	1.3	"	"
11/20	2.40	2.7	0.6	0.5	1.5	"	"

이때 여과지내 여층에서의 손실수두를 측정하기 위하여 표층으로부터 매 10cm 간격으로 piezometer를 설치하였는바, 횡방향 유출웨어나 finger형 유출웨어를 통과한 유출수가 여과지를 통과할때 손실수두는 주로 상부 10cm 사이에서 발생하였다.

또한, 그림 4.3은 횡방향 유출웨어와 finger형 유출웨어 여층상부의 수두증가를 나타내고 있는데 이를 보면, 횡방향 유출웨어에서는 10시 00분에 여과를 시작하여 13시47분에 여과지가 폐색되어 overflow되기까지 3시간47분 동안이 소요되었으며 finger형 유출웨어에서는 10시00분에 여과를 시작하여 14시22분에 여과지가 폐색되어 overflow되기까지 4시간22분 동안이 소요되어 결국 finger형 유출웨어가 여과지 폐색까지 20% 정도 더 사용된 것으로 나타나 유출웨어에서 나타난 잔류탁도가 그대로 여과지에 반영되는 것으로 나타났다.

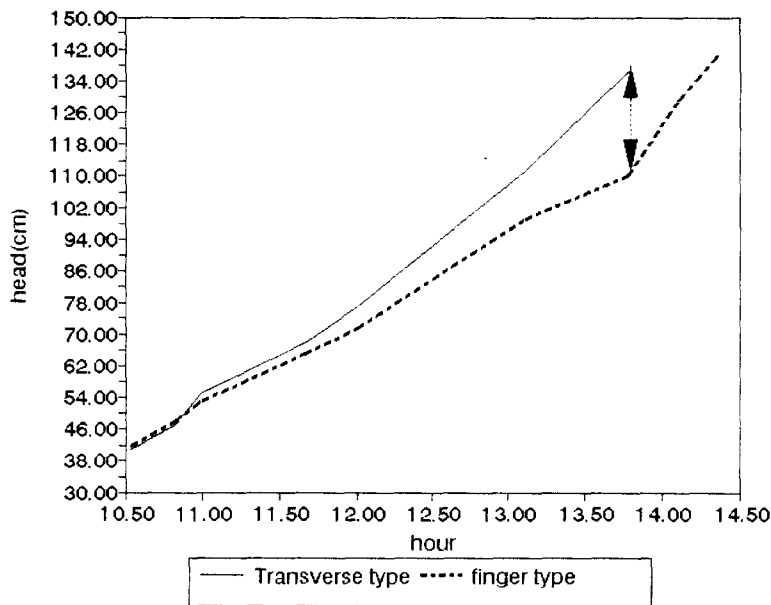


그림 4.3 횡방향 및 finger형 유출웨어의 여과지 상단의 수두변화

5. 結論

本 論文에서 국내 침전지에서의 유출웨어의 형태 및 부하율에 대한 현장조사를 실시하였으며 이를 토대로 침전지 유출웨어의 형태와 부하율 조정에 따른 침전효율을 비교분석하였다. 이때 실험모형으로 국내 정수장중 유출웨어 부하율이 큰 A 정수장을 채택하여 모형실험을 실시하였으며, 이때 탁도의 침전제거 효율을 측정하여 아래와 같은 결론을 도출하였다.

첫째로, A 정수장에 설치된 것과 동일한 횡방향 유출웨어를 finger형 유출웨어로 전환하고 월류부하율을 412m³/day/m에서 250m³/day/m로 조정할때 월류탁도가 약 20% 개선된다.

둘째로, 침전지내 전면부에서의 침전제거 효율을 비교하여 볼때, 횡방향 월류웨어를 설치할 경우가 finger형 월류웨어를 설치할때보다 침전제거 속도가 빠르다.

셋째로, finger형 유출웨어를 설치할 때 횡방향 유출웨어에 비하여 개선된 월류타도는 그대로 여과지에 영향을 미치어 여과지의 유효이용을 또는 역세척 주기가 20% 증가되는 효과를 가져온다.

넷째로, 횡방향 유출웨어 및 finger형 유출웨어 설치시 정류벽을 설치하면 정류벽이 없는 경우에 비하여 침전효율은 약간 향상된다.

다섯째로, 현재 대부분의 정수장내 여과지는 100cm내외의 여층이 있지만 여과지 수두손실 대부분이 상부 10cm에서 이루어져 표세여과가 모래여과의 주된 mechanism이 확인되었다.

參考文獻

1. Degremont, 1979, "water Treatment Handbook"
2. Graber, S. D., 1974, "Outlet Weir Loadings for Settling Tanks", Journal Water Pollution Control Federation, Vol.46, No.10, pp. 2355-2362.
3. Hudson, H. E. Jr., 1981, "Water Clarification Processes Practical Design and Evaluation", Van Nostrand Reinhold Company.
4. Hudson, H. E. Jr., 1972, "Density Considerations in Sedimentation", Journal AWWA, pp. 382-385.
5. Ingersoll, A. C. et. al., 1955, "Fundamental Concepts of Rectangular Settling Tanks", Transaction.
6. Kawamura, S., 1981, "Hydraulic Scale-Model Simulation of the Sedimentation Process", Journal AWWA, pp. 372-379.
7. Montgomery, J. M., 1985, "Water Treatment Principles and Design", A Wiley-Interscience Publication, John Willy & Sons.
8. 건설부, 1985, "상수도 시설기준".
9. 김 홍석, 1990, "矩形沈澱池의 整流壁과 越流裝置의 形態와 位置에 관한 연구", 박사학위 논문, 한양대학교 대학원.
10. 신 성의, 김 재곤, 1991, "수처리 공학", 이론과 응용, 동화기술.
11. 양 상현, 1990, "상.하수도 공학", 동화기술.
12. 최 계운, 백 흥기, 광 창호, 신 항식, 1991, "정수처리 능력 향상을 위한 PILOT PLANT의 축척결정에 관한 연구", 상하수도 학회지, 제6권 제1호, pp. 25-33.