

### 1. 서론

우리나라는 체계적인 단계별 경제개발 계획을 거치면서 산업발전과 병행하여 생활 및 공업용수 수요량 증가에 따라 중·대규모의 정수처리시설의 발전과 이에 따른 하수처리의 괄목한 만한 성장을 이룩하여 왔다. 또한 대기업중심의 고부가가치산업, 이를테면 반도체, 박막액정화면, 특수전자부품 등의 산업의 발달로 공업용수의 대량소비가 필요하게 되었고, 이에 따라 많은 산업폐수처리시설의 신설 및 증개축이 추진되어 왔으며 현재 계속하여 설계 및 공사 중에 있다. 여기서 우리는 수처리시설 중 가장 보편적으로 적용되며, 부지면적에서나 체류시간 측면에서 가장 높은 비중을 차지하는 침전공정의 기술에 대하여 문제점을 검토하고 선진국에서 상용화된 기술의 적용사례를 소개하고자 한다.

### 2. 침전지 설계시 고려사항

침전이란 정수 및 하수 그리고 산업폐수처리에 이르기까지 가장 보편적으로



# 최적화된 경사판을 이용한 침전분리기술과 적용사례

글 한인섭 \_ 서울시립대학교 환경공학부교수 · 공학박사 / 강관일 \_ 뮤러아시아(주) 대표이사



로 사용되고 있는 단위공정의 하나로서 물속에 포함된 입자의 크기, 양, 비중에 따라 중력으로 침강분리하는 공정으로 일반침전지(Plain Sedimentation Tank : 응집제를 사용하지 않는 완속여과지 등에 가장 보편적으로 사용되는 일반적 침전공정), 약품침전지(Chemical Sedimentation Tank : 응집제의 작용에 의하여 Floc을 형성하여 침전), 부유물접촉침전지(Suspended Solids Contact Clarifier) 의 3가지 종류로 대별되며, 특수한 경우로서 슬러지농축조(Sludge Thickener)를 포함하기도 한다. 여기서는 정수처리의 침전분리기술에 대하여 선진기술보유국에서 실제 적용하였거나 검토된 사례와 국내에 기 상용화되어 성공적으로 운전 중인 산업폐수시설 적용사례에 대하여 소개 및 개괄적으로 설명하고자 한다.

침전지 설계에 있어서 가장 중요한 요소는 침전지 유입수의 균일한 분배와 침전구역에서 슬러지 교란을 일으키지 않는 침전수의 이동속도, 상등수의 균일한 유출을 고려한 유출부 시공, 마지막으로 제거된 Floc이 축적

되는 슬러지Zone를 들 수 있다.

일반적으로 현장여건에 맞춰 최적의 선정을 위하여 다음과 같은 사항들이 고려되어야 한다.

- (1) 제거대상 고형물질의 특성
- (2) 전체적인 정수처리공정과 조합된 침전설비의 기능
- (3) 수리적 충격부하 가능성 및 제거대상물질의 응집, 응결성
- (4) 침전지 유출수의 수질조건 (후단설비 보증수질을 충족하기 위한 처리조건)
- (5) 발생하는 슬러지의 특성 및 발생량
- (6) 시설 및 운전, 유지관리상의 경제성
- (7) 설계 및 공사 소요기간
- (8) 장래 확장계획 (용량증설 및 고도처리)

### 3. 경사판 침전지 시설기준 및 해설

정수공정에 있어서 침전지는 대부분 응집제를 투여하는 약품침전지의 형태이며, 침전대상의 처리대상 수질에 포함된 탁질을 가장 효과적으로 침전의 형태로 고액분리시키기 위한 침전효율을 나타내는 가장 기본적인 지표로서 표면부하율(Surface Loading Rate)을 사용한다. 표면부하율은 침전지에 유입하는 유량을 침전지의 수표면적으로 나눈 값을 의미하며, 이상적인 흐름의 침전지에서는 최상단의 위치에서 유입되어 출구에서 침전지의 바닥에 침전하는 플록(Floc, 응집된 슬러지의 단위 입자)의 침강속도와 같은 값을 갖는다. 따라서 단락류나 밀도류가 없는 이상적인 침전지에 유입하는 플록 중에서 침강속도가 표면부하율보다 큰 플록은 100% 제거되며, 반대로 적은 플록은 부분적으로 제거된다. 그러나 이론적인 접근으로 이상적인 침전 이론 설계에 근거하여 시공하여 현재 운영되고 있는 상당수의 침전지에서 유동해석 Program(Computational Flow Dynamics Simulation)을 통하여 정밀분석하면 슬러지의 부상, 지내의 편류 및 밀도류의 발생, 같은 지내에 단락류와 정체 심지어는 Back-flow와 같은 효율저하현상이 빈번히 발생되고 있다. 침전지의 물의 흐름에 따라 슬러지의 고액분리성능을 평가하는 지표로서 Reynolds Number(Re)와 Froude Number(Fr)를 통한 해석이 사용된다.

Reynolds Number(Re)란 물의 난류도(Turbulence)를 판단하는 기준으로 침전지의 경우 10,000 이하의 조건에서 응집된 입자들이 침전할 수 있다. 그 이상의 범위에서는 난류에 의하여 침전지의 효율이 감소하게 된다.

Froude Number(Fr)는 물의 Critical Point를 의미한다. 즉, 침전지 바닥의 마찰력과 물의 상관관계로 Critical Point 이하의 Fr은 더 이상 흐르지 않으며 그 위에 멈춰진 상태를 의미한다. 침전지의 경우  $10^{-5}$  이상이어야 하며, 그 이하일 경우에는 침전지내 물이 자력으로 움직이지 않고 밀려들어오는 물에 의해 흐르기 때문에 단락류의 우려가 있다. 국내에 설치된 상당수의 정수장의 경우, 설계용량 대비 적은 유입량 또는 과다설계 등으로 인하여 발생하는 것으로 이를 보완하기 위하여 침전지 중앙부에 도류벽을 설치하는 등의 방법으로 해결이 가능하다.

#### ▶ 침전지 물흐름의 Reynold Number(Re)

$$Re = vR/\nu$$

v 침전지 물의 평균유속 m/sec  
R 경심  
 $\nu$  동점성계수 ( $1.022 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$  at  $20^\circ\text{C}$ )

#### ▶ 침전지 물흐름의 Froude number(Fr)

$$Fr = v^2/g \cdot R$$

v 침전지 물의 평균유속 m/sec  
R 경심  
g 중력가속도 ( $9.81 \text{ m}/\text{sec}^2$ )

약품침전지의 건설로 소요되는 상당한 부지와 높은 건설비의 절감방안으로 침전지내 경사판을 이용한 침전방식이 1950년대부터 일본에서 점차 시작하였고, 유럽 및 북미에서도 이의 사용이 보편화되기 시작하였다. 경사판은 당초 채석장과 같은 비중이 높은 물질의 선별목적의 광업이나 화학공업 등의 분야에서 침전에 의한 제품의 농축, 회수 또는 배수처리 등을 위하여 사용되기 시작하였으나, 1960년대 이후부터 정수처리 및 하수처리시설에서도 적용되기 시작하였다. 경사판 침전지는 초기에는 단순히 침전면적을 증가시키기 위하여 사용되기 시작하였으나, 최근에는 고분자응집제의 개발과 특수용도의 보조응집제의 첨가를 병행하거나, 독특한 수리구조의 고속응집침전시설과 조합하여 침전지 형식 자체를 변경하는 복합단위공정으로 사용되고 있다. 국내의 경우, 이러한 기술의 국내실정 적합여부에 대한 타당성 검토와 도입기술에 대한 사전기술검토 및 검증절차 없이 무분별

하게 1970년대 후반부터 도입되어 국내 여러 정수장에 적용되기 시작하였으나, 시공 후 운영단계에서 발생한 침전효율 저하와 운전 및 유지보수상의 어려움과 문제점이 기술적 한계와 지적사항으로 크게 대두되면서 정수장에서 경사판의 사용을 주저하게 만들었다.

이와 같이 국내에서의 경사판 침전지의 사용기피 현상과는 달리 선진국에서는 지속적인 기술개발을 통하여 문제점을 개선함은 물론 적용분야를 산업폐수 등의 분야에 이르기까지 점차 더 확대해나가고 있는 추세이다. 현재 선진국에서는 하수처리장의 최종침전조 및 발생부유물의 농도가 매우 높고 점도가 다양한 고도처리, 그리고 상업폐수처리분야에 이르기까지 이미 사용되고 있는 추세이다.

한국과 일본에서 규정하고 있는 상수도 시설기준은 표 1)과 같이 요약된다.

원래 경사판 침전지는 이론적으로 침전지내 일정 각도의 경사판

| 항목                     | 한국 상수도시설기준             |                         | 일본 Kawamura<br>권장치<br>(Tube Settler) | 비고 |
|------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|----|
|                        | 수평류식                   | 상향류식                    |                                      |    |
| 지내 평균유속 <sup>1</sup>   | 0.6m/분 이하              | 언급 없음                   | 0.6m/분 이하                            |    |
| 경사각 <sup>2</sup>       | 60도                    | 60도                     | 60도                                  |    |
| 경사판내 체류시간 <sup>3</sup> | 20~40분                 | 언급 없음                   | 3.5~5분                               |    |
| 표면부하율 <sup>4</sup>     | 4~9mm/분 <sup>4-1</sup> | 7~14mm/분 <sup>4-1</sup> | 5~8.8<br>mm/분 <sup>4-2</sup>         |    |
| 경사판내 유속 <sup>5</sup>   | 언급 없음                  | 0.7m/분 이내               | 0.15~2m/분<br>이내                      |    |
| 장치하부 높이 <sup>6</sup>   | 1.5m 내외                | 1.5m 내외                 | 언급 없음                                |    |

1. 침전지내 설계상의 수평흐름유속
2. 수평면으로부터의 경사판 설치각도
3. 경사판내부 흐름에소요되는 체류시간
4. 처리수량을 경사판해당면적으로 나눈 수치
- 4-1. 4.에서 언급한해당면적 (경사판 장당 수평투영면적의 적산치,  $nA\cos\theta$ )
- 4-2. 4.에서 언급한해당면적 (침전지수면에 경사판이 설치된 소요면적)
5. 경사판내부 흐름의유속
6. 침전지단면상의 경사판 하부공간 유효고

표 1) 한국 상수도시설기준 및 일본 기준치



그림 1) 국내 경기도 B정수장 수평류식 경사판침전지

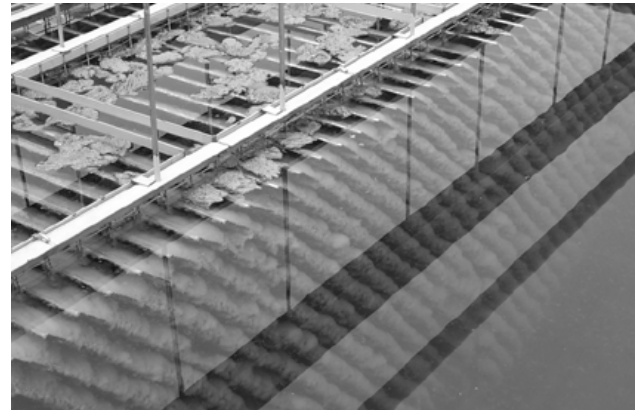


그림 2) 국내 D시 S정수장 수평류식 경사판침전지



그림 3) 미국 콜로라도주 B정수장 상향류식 경사판침전지 역세척수회수조

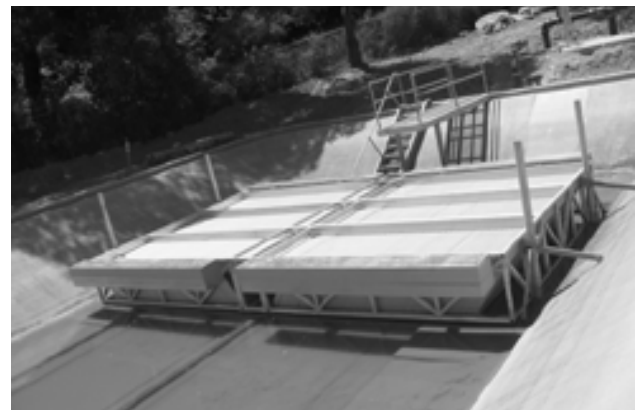


그림 4) 미국 워싱턴주 S정수장 상향류부유식경사판이 설치된 정수장

을 설치하여 부유입자가 침강할 수 있는 침강거리를 짧게 하여 침전시간을 단축시키고 유효 침전면적을 증가시켜 단위면적당 침전효율을 높이기 위하여 개발되었으나, 실제로 당연히 제거되어야 할 대형 플록이 침전지의 유출웨어를 통하여 여과지로 유출되어 여과지의 운용시간을 크게 단축시키고 침강입자가 경사판 위에 슬러지의 형태로 두껍게 퇴적되어 정수수질을 악화시키는 미생물이 증식하게 된다.

또한 국내 정수장의 경우, 대부분의 경사판의 설치위치가 물속에 잠겨있고 장방향으로 길게 펼쳐서 설치하며, 또한 경사판 간의 간격을 좁게 설치하여 세척 및 부분교체 등의 주기적인 경사판의 유지관리 작업이 사실상 불가능하며, 고압호스에 의한 물세척시 PVC 등의 재질사용시 상부가 쉽게 파손되고 오랜 일광노출에 의한 광화학적반응(백화현상)으로 재질이 소손되는 등의 부작용이 심각한 실정이다.

경사판 침전지의 기능저하의 원인으로는 침강장치의 운영상 문제점과 구조적인 문제점으로 크게 구분할 수 있다. 운영상의 문제에 있어서 주종을 이루는 것은 세척불량에 의한 슬러지 과퇴적 및 이로 인하여 슬러지 자중에 의한 경사판 함몰과 조류번식 등으로 현재 국내에 설치된 대부분의 정수장 경사판의 경우, 침전지 경사판의 형상과 설치위치 등 구조적인 문제점으로 근본적인 해결은 어렵다고 할 수 있다.

현재 국내에서 적용되어 사용 중인 정수장 침전지의 구조적인 문제점은 다음과 같다.

우선 수평류식의 경우, 경사판 아랫부분의 유속을 줄이기 위한 저류벽이 없거나 부적절한 위치에 있는 경우, 경사판 하단에 발생하는 빠른 유속으로 경사판의 효과를 전혀 보지 못하고 오히려 경사판 구간에 Dead Zone이 형성되어 있는 경사판이 원래의 기능을 전혀 발휘하지 못함과 동시에 평균유속을 증가시켜 침전지 말단에서 플록을 부상시키는 등 방해역할을 하게 된다.

한편, 저류벽이 있는 경우, 침전지의 경사판 아래의 과도한 흐름을 막아 경사판 구간에 Dead Zone형성을 막고 경사판 원래의 기능을 발휘하도록 하고 있으나, 저류벽의 설치로 저류벽 후방 구간에 퇴적되는 슬러지를 기계적으로 제거할 수 없기 때문에 장기간 운영시 거친 미세플록이 침전지 바닥에 쌓이게 되므로 결국 슬러지가 Carry-over하여 수질이 저하하게 된다.

한편, 수평류식에 비하여 상향류식의 경우에는 구조적인 특징면에서 위에서 언급한 저류벽의 설치가 불필요하다. 즉, 침전지 유입부를 통하여 유입된 물은 정면에 위치한 유로변경 정류벽 또는 침전지 입구측에서 바라볼 때 정면으로 설치된 경사판에 의

하여 하향으로 유로가 변경되며, 경사판 아래로 유로가 바뀐 물이 경사판 전체 면적으로 분산되어 경사판을 거쳐 위로 향하게 된다.

수평류식 경사판의 경우, 슬러지의 경사판내 퇴적이 진행됨에 따라 입구측으로부터 슬러지가 퇴적하게 되며, 경사판 아래에 저류벽이 설치된 경우 경사판 간격이 슬러지의 퇴적으로 인하여 단면이 줄어드는 만큼의 유량감소분을 경사판 상부나 측면을 통하여 이동하기위하여 빠른 유속을 가지게 되며, 따라서 장기적으로 침전지의 안정적인 운전을 고려해 볼 때 전체 단면에 균일한 유량을 분산 및 배분하기가 사실상 불가능하다.

일반적인 상향류식 경사판의 경우, 정류벽에 의하여 경사판 아래로 유도된 물은 침전지내 종방향의 경사판 사이를 아래에서 위의 방향으로 이동하는 동안 오리피스 또는 인위적인 통수마찰 저항이 없으므로 전체면적에 분포한 경사판에 일정한 유량흐름을 기대하기 어려우며, 또한 Trough를 통한 유출로 국부적인 편류발생이 불가피하므로 침전지의 경사판의 각각의 단면에 일정한 유량을 배분하는데 한계가 있다.

이에 대한 기존의 경사판에 대한 기술적 한계를 극복하기 위한 해결방안으로 선진국에서 기 개발하여 사용 중인 여러 가지 기술에 대하여 다음 장에서 구체적으로 소개한다.

#### 4. 여러 가지 경사판의 기술비교

지금까지 언급한 국내에 기 적용하여 사용 중인 수평류식과 상·향류식에서 나타난 문제점에서 살펴본 바와 같이 수평류식의 경우에는 이미 실제 적용시 노출된 한계성 때문에 적용을 기피하고 있으며, 최근에는 상·향류식의 경사판기술을 적용하는 추세에 있다. 경사판에 사용되는 재질로는 금속형 재질로서 SUS304/316/316L, 비금속형 재질로는 PVC, ABS, Polyethylene 그리고 미국 등에서는 FRP재질이 일부 사용되기도 한다. 경사판의 설치형상에 의한 종류로는 판형 또는 육각형 벌집모양(Honey-comb) 등이 사용되고 있으며, 설치각도는 60도가 가장 일반적이거나, 제작사의 기술검토를 거쳐 55도로 설치되는 경우도 있다. 판형의 경우에는 직선형, 굴절형(수직부분에 중간지점을 꺾어 설치), 지그재그형(Zig-zag)의 형태로 제작사마다 각각의 기술사양으로 설계·시공한다.

다음 표 2)는 현재 기술개발 되어 사용 중인 대표적 3가지 경사판기술에 대한 설명 자료로서 유동해석을 통한 기술의 장단점을 비교하였다.



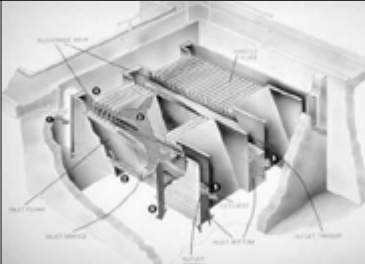

| 경사판 기술                | 외형도/사진  | 기술의 특징   | 비고   |
|-----------------------|---|--|--|
| Trough Type           | <br>그림 5)  | 경사판 아랫부분에서 유입하여<br>상향류 경사판을 거친 물이<br>경사판 상부에 설치된 트러프로<br>최종 유출   | 지금까지 국내에서 사용되고 있는<br>가장 일반적인 경사판형식           |
| Lamella Plate Type    | <br>그림 6)  | 경사판 아랫부분에서 유입하여<br>경사판을 거친 물이<br>경사판 상부 삼각형의 Lateral을<br>통하여 트러프로 최종 유출                                | 침전지 전체에<br>균일한 유량배분을 위하여<br>초기 개발된 경사판형식     |
| Top Tube Orifice Type | <br>그림 7) | 경사판 아랫부분의 측부로 유입하여<br>경사판을 거친 물이 경사판 상부에<br>설치된 Orifice공을 통하여 월류되어<br>Top Tube내부를 거쳐<br>양측의 트러프로 최종 유출 | 수리학적 계산에 근거하여<br>이상적인 유량배분을 실현한<br>최근의 경사판형식 |

표 2) 상향류식 경사판의 기술별 비교설명

▶ 경사판 기술별 비교방법 : 유동해석 Simulation에 의한 수리적 특성 조사

- Method of Analysis : Computational Flow Dynamics
- Software : FLUENT 6.1
- Performed by : 미국 Colorado주립대학 Robert N. Meroney 교수 토목공학과 (Wind Engineering & Fluids Laboratory)
- Performed on : 2003년 10~11월

위 3가지 상향류식 경사판의 Simulation에 적용된 설계조건은 다음과 같다.

- 경사판 규격 폭1,492 × 길이2,896 × 간격50, mm
- 설치각도 55도 (수평면으로부터의 설치각도)
- 유입수량 36m<sup>3</sup>/일
- 경사판 원수 유입지점
  - Trough Plate Collection Type : 경사판 양측하부 폭2인

치×길이 6인치 개구부

- Lamella Plate Type : 경사판 양측하부 폭2인치×길이 6인치 개구부
- Trough Plate Collection System : 경사판 양측하부 직경38mm×각 6개의 Orifice설치
- 경사판 처리수 유출지점
  - Trough Plate Collection Type : 1인치 구경의 2개의 월류공(Orifice)설치, Trough 바닥에 위치
  - Lamella Plate Type : 경사판 최상단에 0.25인치의 경사판간 Slot 유지하기 위해 절곡,설치
  - Top Tube Orifice Type : 경사판의 45mm Top Tube상단에 6개의 유출 Orifice 설치

앞의 3가지 형식은 공히 모두 상향류식 흐름을 유도하기 위한 경사판 구조를 가지며, 그림 5)에 비해 그림 6)과 그림 7)은 침전지 수면적에 넓게 설치된 경사판에 가능한 유입물량을 균일하

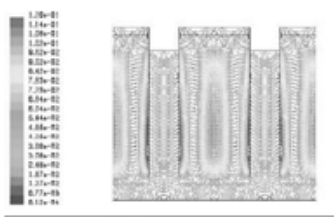
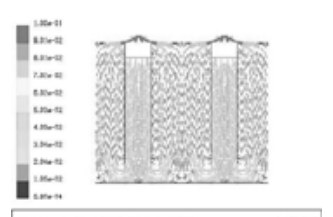
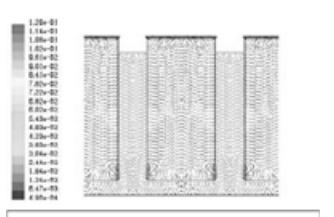
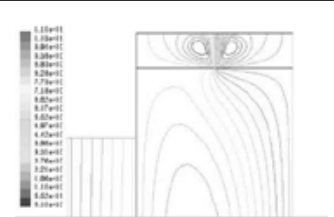
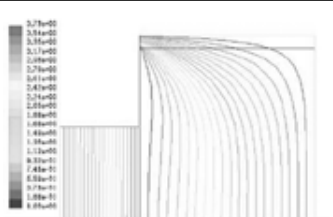

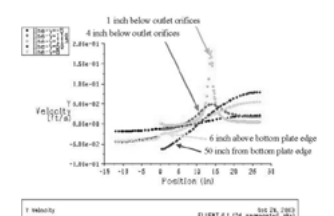
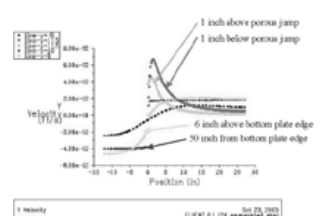
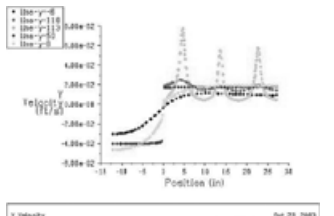
| 경사판 기술                  | Trough Type  | Lamella Plate Type  | Top Tube Orifice Type  |
|-------------------------|--|---|--|
| 침전지 전단면<br>유속분포         | <br>그림 8)   | <br>그림 9)   | <br>그림 10)  |
| 경사판 내부<br>유선방향          | <br>그림 11)  | <br>그림 12)  | <br>그림 13)  |
| 경사판 상부 유출부<br>Floc속도 분포 | <br>그림 14) | <br>그림 15) | <br>그림 16) |

표 3) 경사판 기술별 CFD Simulation 결과자료

계 분배하기 위하여 경사판 상부에 특정한 장치를 고안하여 적용한 것으로 판단된다. 즉, 통수단면을 각각의 경사판 기술특성에 따라 Lateral 또는 Top Tube 상단에 위치한 Orifice공을 설

치하는 등 강제적으로 단위 경사판 공간을 통과하는 통수능력을 제한함으로써 경사판의 유입하는 물의 도달시간과 거리에 무관하게 전체 침전지의 길이와 폭의 전체구간에 고른 유량흐름을



그림 17) 미국 B정수장 정방형침전지내 경사판 설치광경

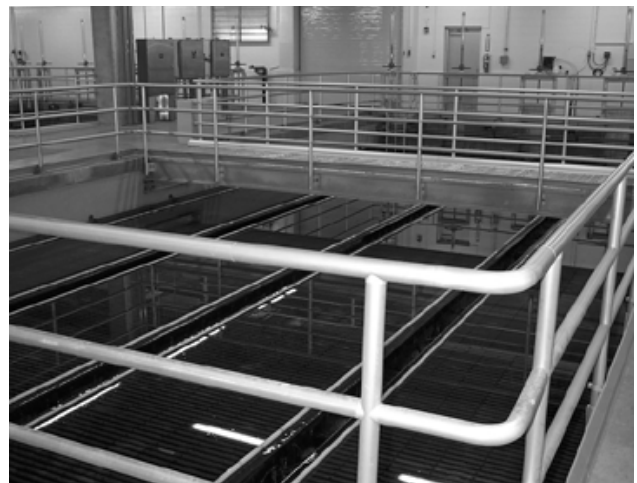


그림 18) 미국 S정수장 Top Tube Orifice Type경사판 운전

실현하도록 고안되었다. 앞에서 언급한 3가지 경사판 형태에 대한 2차원 CFD Simulation 결과 자료는 다음과 같다.

앞의 표 3)에 나타낸 바와 같이 경사판 기술형태별 CFD Simulation을 적용한 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

첫째, 현재 일반적으로 국내에 적용하여 이미 사용 중인 Trough Type의 경사판의 경우, 경사판내부에서 유속분포가 매우 불균일하며 내부에서 슬러지가 순환하는 형태를 나타내므로 상대적으로 침전분리기능이 낮음을 예측할 수 있다.

둘째, Lamella Plate Type의 경사판의 경우, Trough Type 보다는 경사판내 균일한 유속분포를 보이나, 경사판 상부의 처리수유출부에서 양측의 개구부로 유출하려는 플록의 입자가 빠른 흐름을 보이므로 국부적으로 불균일한 유속분포를 나타내므로 Carry Over등의 현상이 자주 발생가능함을 예측가능하다.

마지막으로, Top Tube Orifice Type의 경사판의 경우, 유입부에 위치한 유입 Orifice에 의하여 통수단면적을 통과한 물이 상부의 Top Tube에 위치한 6개의 월류 Orifice를 통과하면서 일정한 속도분포와 안정된 유선방향을 확보함으로써 향상된 침전기능을 발휘하는 것으로 판단된다.

3가지 경사판 침전지의 특징을 열거하면 표 4)와 같다.

| 경사판 기술                | Cartridge 형태여부 | 경사판 관찰가능 여부 | 경사판 상부 도보가능 여부 | 경사판 탈착가능 여부 | 경사판 표면상태           |
|-----------------------|----------------|-------------|----------------|-------------|--------------------|
| Trough Type           | Yes            | 일부 혹은 불가능   | 불가능            | 불가능         | 매끈한 금속표면           |
| Lamella Plate Type    | No             | 불가능         | 불가능            | 불가능         | 격자식 금속판의 연결로 거친 표면 |
| Top Tube Orifice Type | Yes            | 가능          | 가능             | 가능          | 매끈한 금속표면           |

표 4) 경사판기술의 형태별 특징 비교

### 5. 사례소개 및 연구

〈사례 1〉 미국 Arvada WTP 침전지경사판 설치를 통한 처리용량 증설 적용사례

① 정수장명 : Arvada WTP, 미국 Arvada시

② 시공구분 : 도시인구 증가에 따른 처리용량 증설 (기 운전 중인 침전지에 경사판설치로 시설용량 증가)

③ 설계사 : 미국, Burns & McDonnell

④ 시공년도 : 2000년

⑤ 설계조건

- 설계(운전)유량 : 151,000m<sup>3</sup>/일
- 원수수질 : 2~20NTU
- 침전수 요구수질 : NTU 이하

⑥ 설계적용

- 경사판 설치매수 : 3,840매
- 경사판 규격 : W1,372 × L 2,445 × D50 ,mm
- 경사판 형태 : Top Tube Orifice Type
- 운전수질 : 0.2~0.6NTU

〈사례 2〉 미국 Westminster City 생공용수 증가에 따른 정수장 1개소 신설 적용사례

① 정수장명 : Westminster Northwest WTP, 미국 Westminster시

② 요구조건

- 안정된 처리수 탁도유지 및 병원성미생물 제거
  - 적은 소요부지로 건설비 절감 및 공기단축
  - 향후 생공용수 증가에 대비한 증설의 용이성
- 비교적 낮은 수준의 TOC농도

③ 선정공법 : 경사판 침전지 + 막여과설비(0.1μm PVDF, Hollow Fiber Type)

④ 설계용량 : 57,000m<sup>3</sup>/일

⑤ 설계(시공)사 : 미국, Burns & McDonnell Engineering (Garney Construction)

⑥ 설계(시공)년도 : 2000년 (2001년~2002년)

⑦ 설계주요내용 : 취수원(Standley Lake)로부터의 도수배관 내 정수장내 막여과 Fouling을 억제하기위한 과망간산칼륨(KMnO4) 주입설비 및 ORP Monitoring설비

- 홍수기 등 년중 간헐적인 사용이 예상되는 침전지에 대하여 경사판(침전지를 채택하여 소요부지 절감 및 건설비용 절감 평수기 침전공정 없이 직접 막여과방식 채택으로 효율적 운전)
- 향후 용량증설이 용이한 Module Membrane 여과방식 선정 (82 MF module/unit × 8 units, 11unit 분의 장래부지 확보)

\* 동절기 처리수량 3만(3.8만) m<sup>3</sup>/일, 침전수 미사용시(사용시)

\* 하절기 처리수량 4.5만(5.7만) m<sup>3</sup>/일, 침전수 미사용시(사용시)

**〈사례 3〉** 미국 Broomfield WTP 역세척회수조내 상향류식 경사판 설치 적용사례

- ① 정수장명 : Broomfield WTP, 미국 Broomfield시
- ② 시공내용 : 여과지 증설에 따라 추가로 발생하는 역세척수처리를 위한 회수조시설 건설을 위한 지하구조물 신설 (주차장 위치 지하 구조물 건설)  
(Batch Flow운전방식의 역세척수 회수조내 상향류식 경사판 설치)
- ③ 설계사 : 미국, Mountain Consultants
- ④ 시공년도 : 2000년

| Parameter                                       | 9/8/99  | 10/5/99 | 2/7/00           | 3/1/00  |
|---|---------|---------|------------------|---------|
| Plant Operating Parameters                      |         |         |                  |         |
| Raw Water Turbidity                             | 25      | 16      | 2                | 7       |
| Plant Flow Rate, MGD                            | 100     | 80      | 80               | 70      |
| Alum Dosage, #/MG                               | 300     | 200     | 225              | 350     |
| Settled Water Polymer Dose, #/MG                | 8       | 0       | 12               | 10      |
|   | 2       | 0       | 0                | 4       |
| Recycle Test Parameters                         |         |         |                  |         |
| Filter Backwashed                               | 26      | 25      | 27&33            | 33      |
| Backwash Residuals Tank Level Prior to Wash, ft | 4.3     | 2.6     | 2.9              | 5.7     |
| Volume of Backwash, gal                         | 185,000 | 174,000 | 153,000 /167,000 | 207,000 |
| Peak Backwash Residuals Tank Level, ft          | 6.5     | 4.9     | 6.9              | 7.1     |
| Recycle Flow Rate, gpm                          | 2,140   | 1,900   | 2,200            | 2,080   |
| Lamella Loading Rate, gpm/sqft                  | 0.54    | 0.47    | 0.55             | 0.52    |
| Recycle Flow/Raw Flow Rate, %                   | 3.1     | 3.4     | 4.0              | 4.3     |
| Final Backwash Residuals Tank Level, ft         | 2.8     | 1.8     | 5.3              | 4.7     |
| Volum of Water Treated, gal                     | 321,000 | 285,000 | 330,000          | 312,000 |
| Polymer Feed Rate, gph                          | 89      |         | 89               | 94      |

표 5) 정수장 운전 및 재이용 Parameter Condition

- ⑤ 설계조건
  - 설계(운전)유량 : 최대 32,700m<sup>3</sup>/일 (유량조정기능 없음)
  - 원수수질 : 통상 0~200NTU (최대 500NTU)
  - 회수수 수질 : 10NTU 이하
- ⑥ 설계적용
  - 설계수면적부하 : 26m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.일
  - 경사판 규격 : W1,372 × L2,445 × D50 ,mm
  - 경사판 형태 : Top Tube Orifice Type
  - 운전수질 : 5NTU 이하

**〈사례 4〉** 병원성미생물, 오염물질 제거를 위한 역세척수회수조내 고율경사판 설치 적용사례

- ① 정수장명 : White River Filtration Plant  
미국, Indianapolis시 (Indiana Water company운영중인 정수장)
- ② 시공내용 : 미국 EPA에 규정한 정수장 재활용수의 병원성미생물(Cryptosporidium, Giardia)의 효과적인 제거를 위한 역세척수회수조 내 경사판 설치
- ③ 설계용량 : White River Filtration Plant 364,000m<sup>3</sup>/일
- ④ 설계용량 : 역세척수 유량조정조 + 역세척수회수조(경사판 설치)
- ⑤ 운전개시 : 1998년 6월
- ⑥ 타당성검토
  - 기존 처리공정 : 재래식 정수공정
  - 사용 약품 : 염소, 황산반토, 종종 고분자응집제 사용
  - 원수 탁도 : 1~300NTU (평균탁도 20)
  - 응집제투입율 : 평균 30mg/l as Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> · 14H<sub>2</sub>O
  - 처리수 탁도 : 침전수 1.6NTU, 여과수 0.12NTU
- ⑦ 설비내용 : 역세척수 유량조정조 및 역세척수이송펌프설비, 역세척수처리조 (Lamella Separator 및 급속교반기, 응집기), 음이온고분자응집제 약품저장 및 투입설비(평균주입율 1ppm), 슬러지인발 및 이송설비
- ⑧ 슬러지처리방안 : 농축슬러지를 인근 하수관거로 유도
- ⑨ 표면부하율 : 30.5m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.일 (Lamella Plate 수평투영면적기준)
- ⑩ 측정항목
  - 탁도 및 SS농도, 철 및 망간농도
  - Cryptosporidium Oocysts 및 Giardia Cysts(EPA



| Parameter   | September 8,<br>1999 Test |                |         | October 5,<br>1999 Test |                |         | February 7,<br>2000 Test |                      |                |         | March 1,<br>2000 Test |                      |                |         |
|---|---------------------------|----------------|---------|-------------------------|----------------|---------|--------------------------|----------------------|----------------|---------|-----------------------|----------------------|----------------|---------|
|   | Plant Raw Water           | Backwash Water | Lamella | Plant Raw Water         | Backwash Water | Lamella | Plant Raw Water          | Plant Finished Water | Backwash Water | Lamella | Plant Raw Water       | Plant Finished Water | Backwash Water | Lamella |
| Composite Samples                                 |                           |                |         |                         |                |         |                          |                      |                |         |                       |                      |                |         |
| Alkalinity, mg/l as CaCO <sub>3</sub> (EPA 310.1) | 218                       | 208            | 202     | 220                     | 214            | 206     | 288                      |                      | 312            | 266     | 222                   |                      | 212            | 194     |
| Hardness, mg/l as CaCO <sub>3</sub> (EPA 130.2)   |                           | 328            | 344     |                         | 356            | 328     |                          |                      | 424            | 420     |                       |                      | 336            | 328     |
| Iron, mg/l (EPA 236.1)                            |                           | 2.08           | 0.19    |                         | 0.11           | 0.11    |                          |                      | 7.77           | 0.48    |                       |                      | 3.68           | 0.31    |
| Manganese, mg/l (EPA 243.1)                       |                           | 0.44           | 0.03    |                         | 0.02           | 0.03    |                          |                      | 0.76           | 0.05    |                       |                      | 0.47           | 0.04    |
| pH (EPA 150.1)                                    | 8.32                      | 7.35           | 7.35    | 8.01                    | 7.39           | 7.41    | 8.16                     |                      | 7.63           | 7.63    | 8.35                  |                      | 7.45           | 7.51    |
| Average Temperature, deg C                        |                           | 24.7           | 24.6    |                         | 15.9           | 15.8    |                          |                      | 4.7            | 4.1     |                       |                      | 11             | 11      |
| Grab Samples                                      |                           |                |         |                         |                |         |                          |                      |                |         |                       |                      |                |         |
| Total Organic Carbon, mg/l (SM5310C)              | 3.5                       | 4.2            | 4.7     | 3.6                     | 3.7            | 3.9     | 3.7                      | 3.0                  | 3.5            | 3.6     | 4.3                   | 3.3                  | 7.9            | 4       |
| THMs (EPA 524.2)                                  |                           |                |         |                         |                |         |                          |                      |                |         |                       |                      |                |         |
| Chloroform  |                           | 82.0           | 80.0    |                         | 38.0           | 38.0    |                          | 8.0                  | 12.0           | 13.0    |                       | 38.0                 | 47.0           | 47.0    |
| Bromodichloromethane                              |                           | 23.0           | 23.0    |                         | 18.0           | 18.0    |                          | 6.6                  | 8.2            | 8.9     |                       | 11.0                 | 12.0           | 12.0    |
| Dibromochloromethane                              |                           | 4.7            | 4.3     |                         | 5.0            | 5.0     |                          | 3.0                  | 3.6            | 3.8     |                       | 1.7                  | 1.7            | 1.9     |
| TOTAL THMs  |                           | 109.7          | 107.6   |                         | 61.0           | 61.0    |                          | 17.6                 | 23.8           | 25.7    |                       | 50.7                 | 60.7           | 60.9    |
| HAA5 (EPA 552)                                    |                           |                |         |                         |                |         |                          |                      |                |         |                       |                      |                |         |
| Dibromoacetic acid                                |                           | 1.1            | 1.0     |                         | 1.2            | 1.0     |                          | 1.2                  | 1.4            | 1.3     |                       | ND                   | ND             | ND      |
| Dichloroacetic acid                               |                           | 41.0           | 39.0    |                         | 25.0           | 23.0    |                          | 6.9                  | 11.0           | 10.0    |                       | 31.0                 | 43.0           | 36.0    |
| Monobromoacetic acid                              |                           | 1.8            | 1.3     |                         | 1.4            | ND      |                          | 1.5                  | 1.1            | 1.1     |                       | ND                   | ND             | ND      |
| Monochloroacetic acid                             |                           | 11.0           | 10.0    |                         | 11.0           | 11.0    |                          | 10.0                 | 6.8            | 6.3     |                       | 9.2                  | 4.9            | 14.0    |
| Trichloroacetic acid                              |                           | 58.0           | 56.0    |                         | 43.0           | 40.0    |                          | 14.0                 | 18.0           | 17.0    |                       | 52.0                 | 60.0           | 59.0    |
| TOTAL HAA5  |                           | 112.9          | 107.3   |                         | 81.6           | 75.0    |                          | 33.6                 | 38.3           | 35.7    |                       | 92.2                 | 107.9          | 109.0   |

표 6) 수질분석 결과

Method 1623) 외  
- TOC 및 THMs

① 분석결과

- 역세척수처리조에 유입되는 SS 및 탁도의 경우, 매우 급격

한 농도변화에도 불구하고 Lamella처리수는 상대적으로 매우 낮고 안정적인 수질을 보이고 있음.

- Lamella 침전지는 수온변화에 대체적으로 무관하게 안정된 처리효율을 나타내고 있음.

- TOC 및 THMs의 농도는 유입부에 비해 처리수질에 약간

| Pathogen/Test Date                 | Plant Raw Water | Plant Settled Water | Backwash Water | Lamella Effluent | Plant Effluent | Backwash Water Spike Recovery | Lamella Effluent Spike Recovery | Settled Water Spike Recovery |
|------------------------------------|-----------------|---------------------|----------------|------------------|----------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Numbers of Giardia Cysts           |                 |                     |                |                  |                |                               |                                 |                              |
| September 8, 1999 Test             | <10             |                     | <40            | <10              | <10            |                               |                                 |                              |
| October 5, 1999 Test               | 80              |                     | <40            | <10              |                | 12%                           |                                 |                              |
| February 7, 2000 Test              | <10             | <10                 | <120           | <10              |                |                               | 10.0%                           |                              |
| March 1, 2000 Test                 | 30              | <10                 | <20            | <10              |                |                               |                                 | 14.2%                        |
| Numbers of Cryptosporidium Oocysts |                 |                     |                |                  |                |                               |                                 |                              |
| September 8, 1999 Test             | <10             |                     | <40            | <10              | <10            |                               |                                 |                              |
| October 5, 1999 Test               | 10              |                     | <40            | <10              |                | 14.2%                         |                                 |                              |
| February 7, 2000 Test              | <10             | <10                 | <120           | <10              |                |                               | 4.4%                            |                              |
| March 1, 2000 Test                 | <10             | <10                 | <20            | <10              |                |                               |                                 | 12.4%                        |

표 7) 공정수별 Giardia 및 Cryptosporidium 분석결과

높은 수질을 나타내고 있으며, 이는 용존상태에 기인하는 것으로 추정됨.

따라서, 소독부산물을 저감하기 위하여 염소투입지점을 침전지이전에서 침전지 유출지점으로 이동함과 동시에 여과지후단에서 충분한 염소접촉시간을 가질 수 있도록 구조를 개선함.

- 철과 망간 등의 제거는 우수한 것으로 나타나고 있으며, 특히 망간은 산화물의 형태로 침전지에서 쉽게 제거가능하며, 침전지 하부의 혐기성조건에서의 환원반응에 의한 악영향을 방지하는 측면에서 고려되어야 함.

- Cryptosporidium Oocysts 와 Giardia Cysts는 Lamella Plate 전후단에서 발견되지 않았지만, 분석시기가 강우량이 적은 시기일 뿐 아니라 원수 중에는 상당부분 발견되었음을 미루어 홍수기 또는 높은 농도의 병원성미생물의 발생 등의 경우를 대비하여 반드시 고려되어야 할 것으로 판단된다. Lamella침전지에서 탁질제거가 매우 효과적인 것으로 추정되므로 재활용 회수시 병원성미생물의 영향은 매우 미미할 것으로 추정됨.

〈사례 5〉 국내 대용량 산업폐수처리시설 상향류식 경사판침전지 적용사례

① 사업장명 : 경북 “K” 시 “L” 사 TFT-LCD생산공장 내 폐수처리시설

② 요구조건

- 안정된 처리수 SS 확보 (폐수종말처리 및 용폐수 재활용)
- 절대공사기간 단축을 위한 Compact한 설비 요구
- 옥내 구조물 건설에 따른 공사비 절감
- 유지보수 및 운영관리의 용이성
- 적은 운전비용

③ 처리대상폐수

- 고농도총질소(T-N) 및 유기폐수 : 28,000m<sup>3</sup>/일
- 산·알카리폐수, 약품폐수 등 무기폐수 : 20,000m<sup>3</sup>/일
- 폐수재활용(역삼투막전처리공정) : 24,000m<sup>3</sup>/일

④ 처리공정

- 고농도총질소(T-N) 및 유기폐수 : 생물반응조후단 침전지
- 기타 무기폐수 및 폐수 재활용 : 약품응집침전지

⑤ 적용효과

- 소요부지의 혁신적 절감 (기존공장대비 약 1/6면적)
- 공사기간 및 초기투자비의 절감
- 탁월한 처리수질 : 무기(유기)폐수 침전수 수질 : SS 0.5~1.5(2~3)ppm 운전 중

6. 결론

1970년대 후반부터 국내에 도입된 수평류식 경사판기술의 경우, 기술의 한계성으로 그동안 대부분의 많은 사용자로부터 적용을 꺼려왔던 경우와는 달리 미국 등 선진기술국에서는 지속적

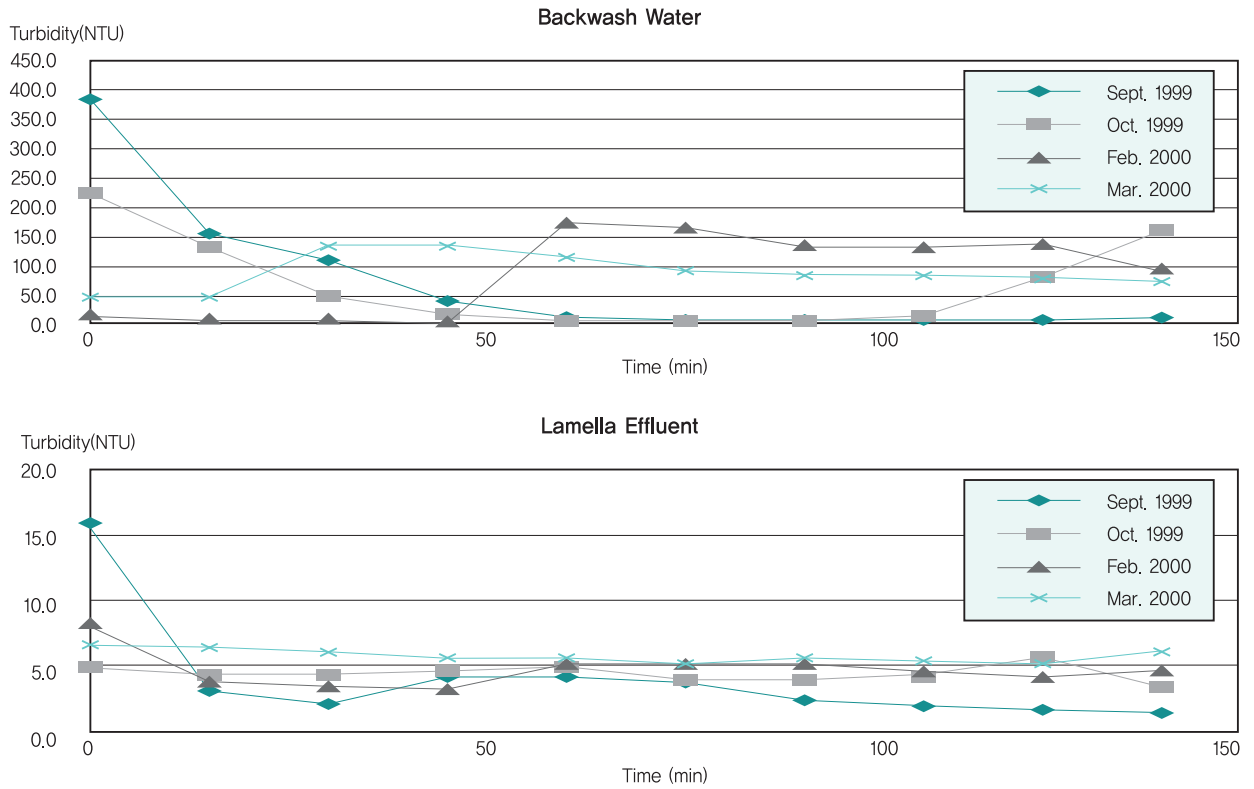


그림 19) 역세척시 경과시간별 탁도 변화도 (원수 및 Lamella처리수)

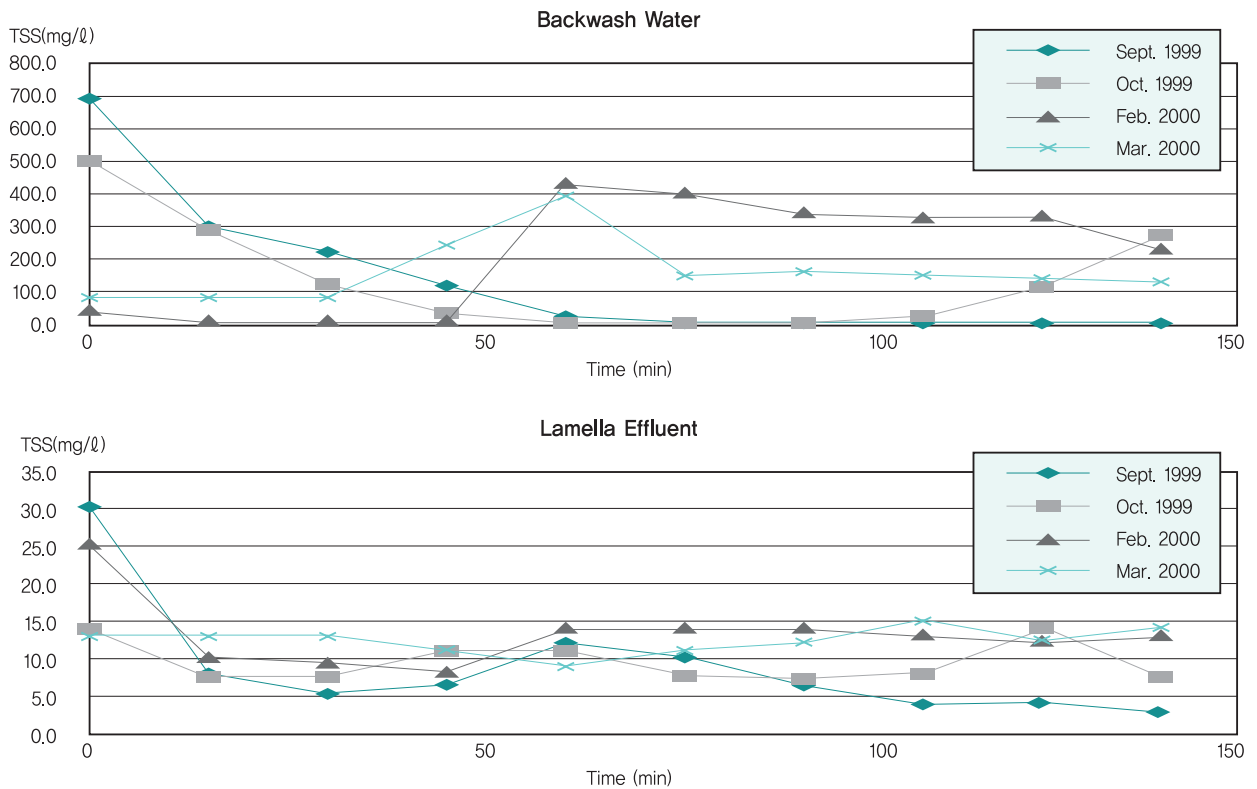


그림 20) 역세척시 경과시간별 TSS 변화도 (원수 및 Lamella처리수)

인 기술연구로 문제점을 해결하여 여러 분야의 침전지 상용화에 이르고 있다.

최근 국내에서도 점진적으로 상향류식 경사판을 적용하는 추세에 있으나 성능 및 유지관리상 보다 탁월한 기능을 갖는 기술의 보급이 시급하다고 판단되며 기 개발기술에 대한 적용사례와 기술의 특·장점을 세부분석하고 사용자의 필요성에 부합되는 효율적이고 경제적인 침전공정의 설계 및 시공에 노력해야할 것으로 판단된다.

향후 최적화된 경사판을 이용한 침전분리기술의 적용가능분야는 다음과 같을 것으로 판단된다.

(1) 신규정수장의 경우 고도처리(막여과 등) 설계고려시 고탁도 원수 유입시 등의 특이시기를 제외하고는 원수의 직접여과가 가능하므로, 비상시 전처리기능을 가지는 적은 소요부지의 경사판침전지를 채택하여 부지절감 및 탄력적인 정수처리운용 실현가능

(2) 기존정수장 고도처리 시설개량시 막여과 혹은 활성탄여과 및 오존, 자외선 소독 등 추가로 신설되는 공정의 부지는 기존 일반약품침전지를 경사판침전지로 시설개량시 철거되는 2/3

이상의 여유부지를 활용하여 탄력적인 정수고도처리 공정도입 실현

(3) 기존 및 신설정수장 급속여과지공정의 역세척수 회수조내 경사판 설치로 병원성미생물 관리강화를 통한 회수수질의 향상 및 소요부지의 절감실현

(4) 기존정수장, 하수처리장내 기설치된 일반침전지의 시설개량으로 성능개선

(5) 기존정수장, 하수처리장의 용량증설시 별도의 구조물 신축 없이 기존 침전지내 경사판설치

(6) 원폐수 성상에 따른 경사판침전지 적용 타당성 검토 후 선택적으로 산업폐수처리시설내 경사판침전지의 선택적 도입 및 적용

## 상하수도 업무 개선 사례 발표회 개최 안내

우리 협회에서는 사업자 회원들의 업무개선 및 예산 절감 우수사례들을 공유하여 상하수도 분야 종사자들의 업무능력 향상에 기여코자 올해부터 WATER KOREA 행사 기간중에 "상하수도 업무 개선 사례 발표회"를 개최할 예정입니다.

관심 있는 수도사업자들의 많은 참여를 부탁드립니다.

**1. 일 정** : 2004 WATER KOREA 행사 기간내

**2. 주 제**

- 상하수도 관련 업무 개선 사례
- 상하수도 관련 예산 절감 사례

**3. 우수사례 시상**

- 정부포상
- 해외연수 및 해외산업시찰 기회 제공

교육  
훈련

정보

행사

시험

[www.kwwa.or.kr](http://www.kwwa.or.kr)

물은 생명 그리고 미래입니다

☎ 문의처 : 상수도팀 윤여천 (Tel : 02-384-8151~4)

※ 보다 자세한 사항은 추후 협회 홈페이지 및 공문 등을 통해 공지 예정