

용존공기부상설비(DAF) 시스템 구축

신흥식*

Build of DAF(Dissolved Air Flotation) System

Shin Heung Sik*

제 1 장 용존공기부상법의 개요

1.1 발달배경

1.1.1 연구 분야

DAF에 관한 연구는 19세기에 들어서면서 많은 관심을 가지고 연구되어 왔다. 19세기초 부상하는 기포에 광물입자가 부착하는 메커니즘을 연구하였다. 1940년대 기포가 광물표면의 소수기를 먼 곳에 부착되어 부상한다는 사실을 연구를 하였으며, 1941년 입자와 기포의 충돌과정을 고속촬영을 통하여 확인하였다.

2차 대전후 입자와 기포간의 물리적 현상에 관하여 많은 관심이 집중되었다.

1960년대 중반 핀란드와 스웨덴에서 DAF가 정수처리에 본격적으로 이용되면서 이후 1969년 영국 등지에서 기존의 정수처리 방식을 개선하기 위하여 DAF에 관한 연구가 시작되었으며 프랑스 등지에서 연구 및 적용이 활발히 이루어졌다. 1976년 영국에서는 처음으로 DAF에 관한 학술회의가 개최되어 세계 여러 나라에서 연구 개발되기 시작하였다.

이후 DAF의 각 부문별 연구가 진행되어 기포와 입자의 부착과정 및 부상조에서의 흐름에 대한 컴퓨터 모델링(computational fluid dynamic)분석, 유입노즐과 가압탱크의 최적설계에 대한 연구, 최소규모화 하기 위한 여과지와 부상조의 결합, *Cryptosporidium* 및 *Giardia*, THMFP, 청녹조류 등의 제거를 위한 새로운 방식의 DAF조 등에 관한 연구가 이루어졌다.

조류, 색도 제거에 침전지보다 월등한 성능을 지니고 있어 이에 대한 연구가 유럽 및 미국을 중심으로 활발히 진행되어 왔으며 영국의 경우 봄과 여름에 Thames

강의 조류로 인한 모래여과지의 폐쇄현상을 해결하기 위해 DAF를 통한 연구결과로 침전지를 대체한 바가 있다.

1.1.2 수처리적용 분야

2,000여년전 고대 그리스에서는 필요없는 물질인 맥석(脈石, Gangue)으로 부터 원하는 무기물을 분리하기 위하여 부상공정을 사용하였다. 이 공정은 원석을 분쇄하여 물의 표면에 뿌리면 표면장력에 의해 무기물 입자들은 남게되고 맥석은 가라앉게 된다.

공기의 부상력을 이용한 부상분리법은 이미 100여년 전부터 장석, 운모, 주석, 회중석 등의 광물질을 선별하는 데 이용되었으며, 이러한 선광에 부상기법을 이용한 사례는 중세로 거슬러 올라가, 동양에서는 15세기 청금석에서 구리를 선광한 사례가 있었다.

용존공기부상법(Dissolved Air Flotation)의 발전은 1920년대 미국의 광산업에서 광물질 분리 공정인 부유선광법에 이용되었으며, 이후 독일의 제지업에서 제지의 분리에 응용되어 왔다. 상수처리에서의 이용은 1960년대 남아프리카공화국에서 시작하였으며, 이후 스칸디나비아를 비롯한 유럽으로 확산되었다. 미국의 경우는 Massachusetts의 Lenox에 처음 도입되어 확산되고 있다.

용존공기 부상공정의 원래의 특허는 1924년 Peterson과 Sveen의 제지공업에서 섬유질을 재생하는데 사용되었던 것을 출원하였다. 용존공기 부상은 공기방울이 대기압 이상으로 공기가 물속에 과포화되었다가 압력을 낮추어 줌으로서 공기방울이 생성된다.

수처리에 있어 용존공기 부상은 침전법의 대안으로 사용되기 시작하였으며, 부상조의 크기가 작은 장점으로 인하여 혼화, 응집, 부상, 여과 소독을 이동용 차량에 탑재하여 수처리할 수 있는 설비가 실용화 되어있다. 여기에는 발생하는 Sludge를 완전 소각시켜버리는 공정까지 도입시키려하고 있다.

* 한국수자원공사 수도시설처

E-mail : shinhs@kowaco.or.kr

1.2 부상 원리

일반적으로 부상법은 미세한 기포를 액체속으로 주입시켜 입자에 작은 공기를 부착시키는 방법으로 부착된 기포에 의해 입자가 액체표면으로 상승되는 원리를 이용하는 것이다.

용존공기부상법이란 가압상태에서 과포화된 물을 감압시키면, 미세기포가 발생되어 상승하면서 수중의 콜로이드 물질과 충돌/부착되는 원리를 이용하여 水中의 부유물질을 제거하는 수처리방법이다. 여기서 포화의 원리는 Henry의 법칙에 따라 '일정한 온도하에서 액체속에 흡수되는 공기의 체적은 공기의 압력에 비례한다'는 것이다.

대기중의 공기를 압축하여 물에 포화시키고 이 압력(4~6kg/cm²) 포화수를 응집지 후부의 Basin에 방출시 용존된 공기가 미세기포(10~100 μ m)로 생성되어 Flocc에 부착, 수면으로 부상됨으로서 물속의 탁질성분 및 조류 성분 등이 제거되며 기존 정수공정의 침강과 반대되는 System이다.

기존 침전지와와 소요 부지면에서도 유리하며 원수운도가 낮은 상태에서도 처리효율이 높고 단점으로는 실내 설치 및 100NTU의 고탁도 처리가 곤란하여 홍수 등으로 원수탁도가 급격 상승시 대체시설 필요하며 포화수를 만들기 위한 순환수(8~20%) 사용에 따라 순환 손실이 발생한다는 점이다.

1.3 용존공기부상법의 분류

1.3.1 부상방법에 의한 분류

일반적으로 부상분리법은 적용되는 대상에 따라 분류되기도 하며 거품의 존재 유무와 기포를 생성하는 기술에 따라 분류되기도 한다. 기포를 생성하는 기술에 따른 분류는 일반적으로 용존공기부상법(Dissolved air flotation; DAF), 분산공기부상법(Dispersed air flotation), 진공부상법(Vacuum flotation), 전해부상법(Electro-flotation), 미생물학적 부상법(Microbiological autoflotation) 등으로 나누어진다.

가. 전해 부상(Electro-flotation)

전해부상의 기본은 수용액 내의 두 전극사이에 직류를 흘려보내 산소와 수소방출을 발생시키는 것이다.

나. 공기분산 부상(Dispersed air flotation)

두 가지 다른 형태의 공기분산 부상법이 사용되고 있는데, 거품부상과 포말부상이 있다.

다. 용존공기 부상(Dissolved air flotation)

용존공기 부상은 공기로 포화된 수류에서 압력을 감소시킴으로서 방울이 생성된다. 주로 3종류의 용존공기 부상이 사용되고 있는데 진공부상, 미세부상(Micro-flotation), 가압부상이 있다. 이러한 3종류 중 가압부상이 현재 많이 사용되고 있다. 가압부상은 공기에 압력을 가하게 되면 물에 녹아 들어가는 용존의 원리를 이용한 것이다.

1.3.2 가압방법에 의한 분류

원수에 기포수를 공급하기 위한 원수의 가압방법에 따라 세 가지가 사용되고 있는데, 전원수 가압법(Total flow pressurization), 부분원수 가압법(Partial flow pressurization), 순환수 또는 반송가압법(Recycle flow pressurization)이 사용되고 있다.

1.3.3 원수와 순환수 흐름에 의한 분류

부상조내에 유입되는 물과 공기의 흐름에 따라 Co-current DAF와 Counter-current DAF로 구분한다.

가. Co-current DAF : 이 방식은 처리대상인 원수의 흐름에 동일한 방향으로 기포수가 흘러 응집조에서 응집된 상태의 슬러지가 부드럽게 기포에 부착하여 상승하는 방식으로 일반적으로 사용하는 방법이다.

나. Counter-current DAF : 이 방식은 원수의 흐름과 반대방향으로 기포수를 흐르게 하여 입자와 기포의 충돌효율을 높인 방식으로 원형 부상조에서 사용되는 방식이다.

1.4 용존공기부상법의 적용범위

1.4.1 탁도와 Chlorophyll-a

정수장 원수의 특성중 대표적으로 나타낼 수 있는 탁도와 Chlorophyll-a에 따른 공정별 처리한계는 Janssens (1993)에 의해 정리되었다.

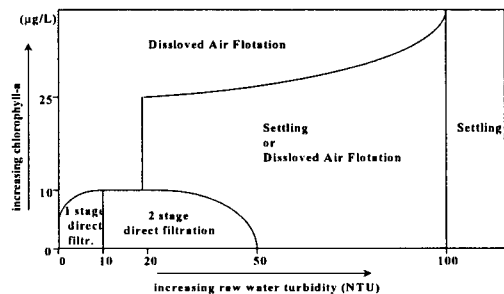


그림 1-1. 공정별 수처리범위

1.4.2 SS농도와 표면부하율

우리나라 정수장 중 댐을 원수로 취수하는 경우는 대부분이 낮은 탁도에 비해 높은 조류농도를 포함하고 있다. 따라서 이에 대한 적절한 공정의 선택이 필요하며 플록 제거공정의 처리능력을 나타내는 표면부하율은 다음과 같다. 침전지의 표면부하율이 최대 2.5 m³/m²·hr인 것에 반해 DAF와 급속여과 등은 SS농도에 따라 침전지에 최고 10배까지의 효율을 보이고 있다.

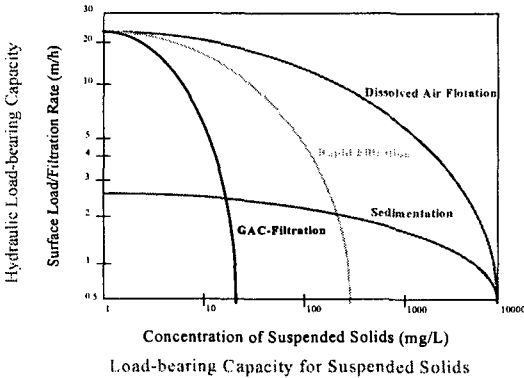


그림 1-2. SS 농도에 따른 표면부하율

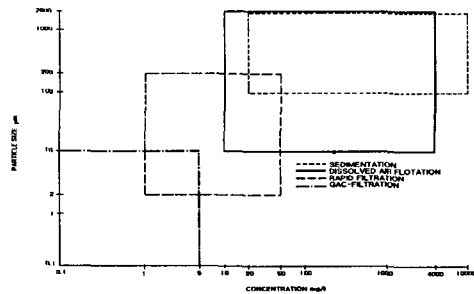


그림 1-3. 입자 크기와 농도별 공정비교

1.5 용존공기부상법의 특징

1.5.1 특징

DAF의 장점은 짧은 시일 내에 건설이 가능하며, 조류제거와 부상슬러지의 고형물비가 높아지고 체류시간이 감소된다. 기존의 중력침전방식보다 저탁도로 유입되는 원수를 처리하기에 유리하며, 수온이 낮은 지역에서 부유물질을 제거하는 데 효율이 좋다. 또한 수처리 과정에 사용되는 응집제량이 감소하고 슬러지 발생량도 감소한다. 또한 침전방식보다 DAF를 이용한 정수장의 경우 높은 수리학적 부하

량을 지닌다. 아래 표 1-1과 같이 수리학적 부하율이 크기 때문에 기존 침전지보다 적은 표면적이 필요하므로 정수장 건설비를 절감할 수 있다.

표1-1 . CGS와 DAF의 부하율과 유속비교

| | 수리학적 부하율(gpm/ft ²) | 유속(m/hr) |
|-----|--------------------------------|----------|
| CGS | 0.3-0.6 | 0.75-1.5 |
| DAF | 2.0-6.0 | 5-15 |

- 결국 DAF의 특징은 다음과 같이 요약될 수 있다.
- 가. Giardia, Cryptosporidium, THMs 등 조류나 미생물의 효과적 제거
 - 나. 신속한 Particle 제거(슬러지 제거시간의 신속성)
 - 다. 작은 응집 floc 규모로 제거(응집제 사용량의 절감)
 - 라. CGS에 비하여 제거효과 높고 여과지 효율 증가
 - 마. 제거되는 Sludge의 고형물비가 높아 발생량 및 처리비용 감소
 - 바. 기존의 침전지를 대체하는 공정으로 체류시간이 5-20분으로 CGS의 2-5시간보다 월등히 짧아 면적을 약 1/5로 축소가능
 - 사. Air stripping에 의한 수중의 VOC, 색도, 이취미물질제거 탁월
 - 아. 고탁도시 처리효율 저하(100NTU이상), 실내 설치
 - 자. 수중의 DO 증가
 - 차. Package화 가능하며 소규모단위의 하수폐수처리에 효과적
 - 카. 동력이 소요되나 약품량 감소와 모래여과지 지수시간의 증가, 고형물 처리 공정의 경제성으로 전체 운영비는 감소

1.5.2 DAF와 CGS의 비교

아래 그림 1-4는 CGS(Conventional Gravity Sedimentation)과 DAF의 개념을 잘 보여주고 있다. CGS는 수중에서 응집된 Floc.과 조류성분이 나뉘는 침강속도로 하강하면서, DAF는 응집된 Floc.과 조류성분의 침강과 반대로 기포에 의한 부상조건을 보여준다. 이때 뒤에 언급하는 입자와 기포의 부착/충돌 메카니즘에 의해 처리되는 것이다.

아울러 부상의 방법으로 비중이 2.65인 Clay Water에서의 수처리 가능성도 논문에서 발표되었다.

표에 여러 가지 조류 중에 대한 부상법과 침전법의 제거효율을 나타내었다. 부상법에 의해 처리된 처리수의 조류 수는 침전여과공정의 처리수의 조류보다 훨씬 낮았다.

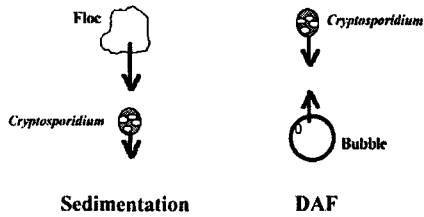


그림 1-4. CGS와 DAF의 개념

표 1-2. 침전과 부상의 조류제거 효율 비교(응집제-황산철)

| 조류형태 | 원수 (cells/ml) | 침전처리수 (cells/ml) | 부상처리수 (cells/ml) |
|-----------------------|---------------|------------------|------------------|
| <i>Aphanizomenon</i> | 179,000 | 23,000 | 2,800 |
| <i>Microcystis</i> | 102,000 | 24,000 | 2,000 |
| <i>Stephanodiscus</i> | 53,000 | 21,900 | 9,100 |
| <i>Chlorella</i> | 23,000 | 3,600 | 2,200 |

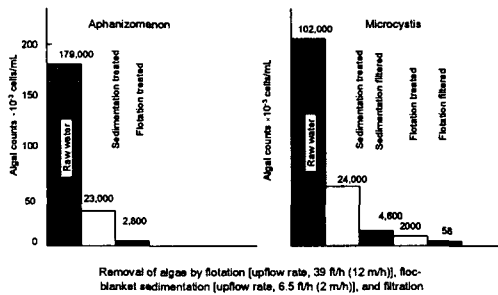


그림 1-5. 장방형 구조에서 DAF와 CGS의 비교

특이한 것은 물에 활성을 넣어 계속적인 물의 자체정화에 도움이 되고 후속처리에 도움이 될 수 있는 DO의 농도는 CGS의 처리후 농도인 약 7ppm에 비하여 DAF에서 약 10ppm정도로 훨씬 높게 나타났다. 포화된 공기를 물에 투입하므로 당연한 결과이나 DAF로 수처리시 얻어지는 장점중 하나이다.

제2장 설계/운영에서 알아야 할 DAF의 제반 요인

2.1 부상공정의 이해

2.1.1. 기포-플록의 충돌메카니즘

DAF에서 부상하는 기포에 입자가 충돌하는 메카니즘에 관하여 최근 일부 수처리 학자들에 의하여

연구 발표된 바 있다. Tambo등(1985)은 난류상태하에서 기포와 플록의 입자개수모델에 기초로 한 Kinetic model(PBT model)을 연구하였고, Malley와 Edzwald(1990, 1991)는 층류상태 하에서 적용가능한 개념적 모델(SCC model)을 제시하였다.

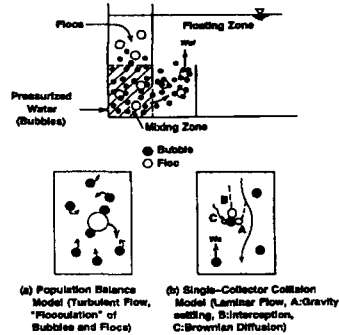


그림 2-1. PBM과 SCC의 개념도

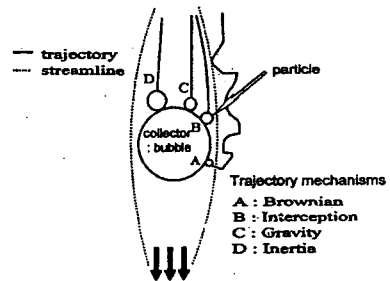


그림 2-2. 기포와 입자의 Mechanism

2.1.2 충돌효율계수(α_{bp})

충돌효율계수(α_{bp})는 근본적으로 Han & Lawler (1991)의 충돌이론에서 비롯된 개념으로서 다음과 같다.

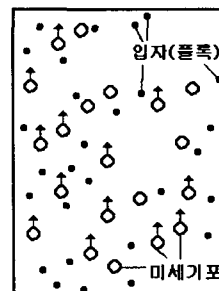


그림 2-3. 부상조내의 입자와 기포

충돌효율계수(α_{bp})의 정의는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha_{bp} = \frac{N\pi X_c^2}{N\pi (A_B + A_P)^2} = \frac{X_c^2}{(A_B + A_P)^2}$$

여기서 N은 입자와 미세기포의 예상충돌회수이고, Xc는 미세기포가 입자와 충돌하지 않고 빗겨가는 최대한의 수평거리로서 임계수평 이격거리이다.

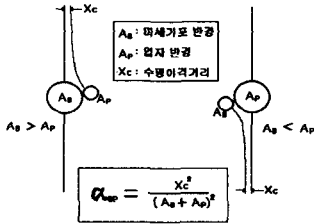


그림 2-4. 충돌효율계수 α_{bp} 의 정의

그림 2-4와 같이 기포와 입자의 충돌효율계수(α_{bp})는 기포와 입자의 반지름의 합이 만드는 원면적에 대한 X_c 가 만드는 원면적에 대한 비율로 정의된다. 이 정의에 의하면 α_{bp} 는 0~1 사이의 값을 지니며 변화한다. 이와 같이 기포와 입자간의 충돌에 영향을 미치는 변수들에 따른 충돌 가능성을 충돌효율계수(α_{bp})를 사용하여 나타내었다.

먼저 Saturator 내에 녹아들어 있는 공기의 농도(C_s)를 다음 식을 이용하여 구한다.

$$C_s = \frac{6.89 f (P_g + 14.7)}{K_H}$$

C_s : concentration of air in saturated recycle stream, mg/L

C_a : concentration of air that in solution at atmospheric pressure, mg/L

P_g : saturator pressure, psig

f : saturator efficiency factor

K_H : Henry's Law constant, kPa/mg/L

부상조내에서 발생하는 공기의 농도 (C_r)를 다음 식을 이용하여 구한다.

$$C_r = \frac{[(C_s - C_a)Rr - k]}{1 + Rr}$$

C_r : concentration of released air in the DAF tank, mg/L

Rr : recycle ratio given by $Q_r : Q_o$, %

(Q_r is the recycle flow rate and Q_o is the influent flow)

k : influent saturator factor given by $(C_a - C_o)$
(C_o is the concentration of air in the influent water)

일반적으로 batch방식의 부상조내에서 발생하는 공기의 농도(C_r)는 다음과 같이 정의된다.

$$C_r = \frac{(C_s - C_a)Vr}{(V_o + Vr)}$$

Vr : recycle volume

2.2 기포 특성

2.2.1 공기의 구성요소, 점성 및 비중

공기는 질소, 산소, 이산화탄소가 대부분의 성분으로 구성되어 있으며, 온도에 따라 점성과 중량비가 변화한다. 이것을 나타낸 것이 표 2-1과 표 2-2이다.

표 2-1. 공기의 구성비 및 용해도

| 구성인자 | 체적당 구성비(%) | 용해도(mg/L) |
|-----------------|------------|-----------|
| N ₂ | 78.08 | 23.2 |
| O ₂ | 20.95 | 54.3 |
| CO ₂ | 0.33 | 2,318.0 |
| CH ₄ | - | 32.5 |
| H ₂ | - | 1.6 |

표 2-2. 공기의 점성 및 중량비

| 온도(°C) | 체적당 구성비(%) | 체적당 중량비(ppm) |
|--------|------------|--------------------------|
| -20 | 1.392 | 1.152 x 10 ⁻⁵ |
| -10 | 1.340 | 1.245 x 10 ⁻⁵ |
| 0 | 1.293 | 1.319 x 10 ⁻⁵ |
| 10 | 1.247 | 1.412 x 10 ⁻⁵ |
| 20 | 1.201 | 1.486 x 10 ⁻⁵ |
| 30 | 1.160 | 1.607 x 10 ⁻⁵ |
| 40 | 1.129 | 1.691 x 10 ⁻⁵ |

2.2.2 수중 기포의 상승속도

기포와 플럭 사이에 최대한의 결합물을 만들기 위해서 가스방울은 층류(Laminar flow)상태에서 떠올라야 한다. 이러한 것은 난류상태에서 플럭이 깨어지는 것을 방지하기 위해서다. 층류에서 공기방울의 최대직경은 130 μ m이다. 공기방울이 130 μ m보다 작아야 침전에 있어 스토크법칙 (Stokes's Law)의 적용이 가능하며 아래의 식과 같이 부상속도를 계산할 수 있다.

$$U_t = g(\rho - \rho_g)d^2 / 18\mu$$

ρ_g 는 공기방울의 밀도이다.

결론적으로 기포크기가 너무 작을 경우는 상대적으로 큰 부상조가 필요하며, 큰 기포의 경우는 작은 부상조가 필요하나 효율의 저하요인이 생기므로 적절한 부상조의 설계가 중요하다. 실제적으로 용존공기부상법에서 생성되는 공기방울의 크기는 10~120 μm 이며, 평균적으로 대략 40 μm 이다.

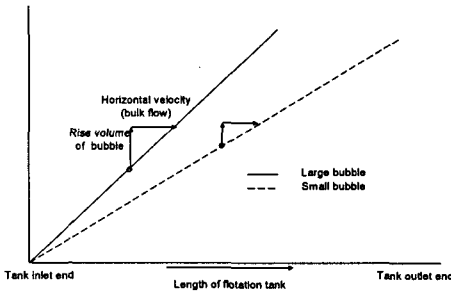


그림 2-5. 기포크기별 부상조의 크기



그림 2-6. 기포의 관찰사진 예

다. 분석결과 기포의 크기별 상승속도 분포가 그림에 나타나 있다.

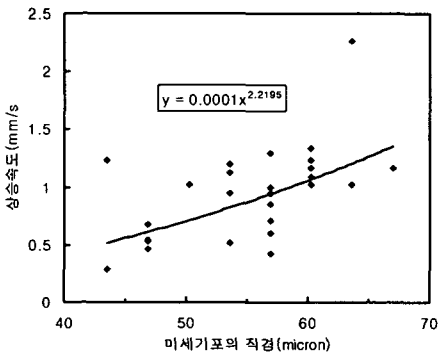


그림 2-7. 기포의 크기별 상승속도 분포

가로축은 기포의 직경, 세로축은 기포의 상승속도이다. 가압탱크에서 발생하는 기포의 크기는 약 20 μm ~100 μm 정도로 다양하지만 대부분 50~80 μm 이다.

2.2.3 물에 대한 공기의 용해도

용존공기부상법에서 사용되는 온도와 압력의 범위(0 - 30 $^{\circ}\text{C}$, 200 - 800 kPa)에서는 질소와 산소 둘 다 헨리의 법칙에 따른다.

$$p = (H_c)(x)$$

p = 가스상에 있어 가스의 부분압

x = 액상에 있어 가스의 몰분율

H_c = 헨리법칙의 상수

2.2.4 압력에 따른 기포의 크기변화

이상적으로 약 3.5 atm 이상으로 가압한 가압수가 대기압으로 감압될 때 발생하는 기포의 평균크기는 약 30 μm 인 것을 알 수 있다. 따라서, 실제 가압부 및 노즐설계에 있어서 이러한 사항들을 고려해야만 고효율의 작은 기포를 생성시킬 수 있을 것이다.

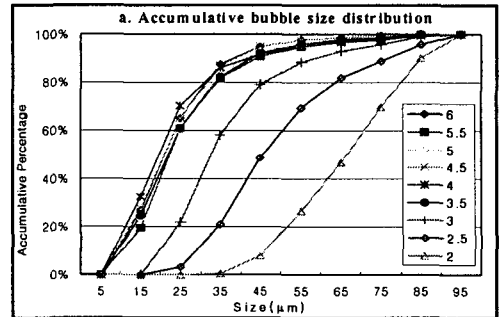


그림 2-8. 기포크기분포

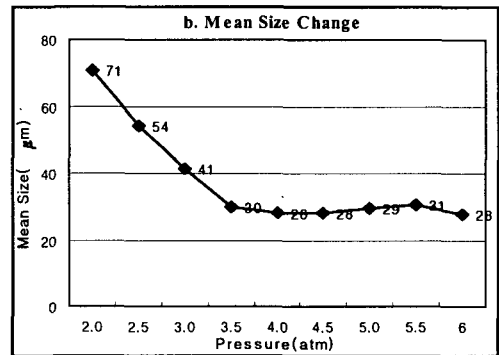


그림 2-9. 압력변화에 따른 기포크기

실험결과에서와 같이 특정압력 이상에서는 기포의 크기가 줄어들지 않으므로 기포의 크기 측면에서 보면 무

리하게 큰 압력을 가하는 것은 DAF의 효율과는 상관이 없으므로 불필요하다.

아래 그림은 원주권광역상수도에 적용된 DAF구조의 시스템 단면 계통도이다.

2.3 DAF SYSTEM의 효율적 구축 방안

2.3.1 원주 DAF 소개

사업개요

- 취수원 : 황성댐(강원도 황성군 갑천면 대관대리)
- 시설용량 : 200천m³/일(1단계: 150천m³/일, 2단계: 50천m³/일)
- 목표년도 : 2011년(1단계: 2006년 2단계: 2011년)
- 사업기간 : '97 ~ 2003
- 급수지역 : 원주시(127.1천m³/일), 황성군(22.9천m³/일)
- 시설개요
 - 도수가압장 : 1개소 (Q=210천m³/일)
 - 정수장 : 1개소 (Q=200천m³/일)

추진경위

- '92. 5 ~ '96. 4 : 타당성 조사 및 기본계획
- '97. 5 ~ '98. 9 : 실시설계
- '99. 4 : 1단계사업 시설공사 시행
- 2003. 10 : 시설공사 준공예정

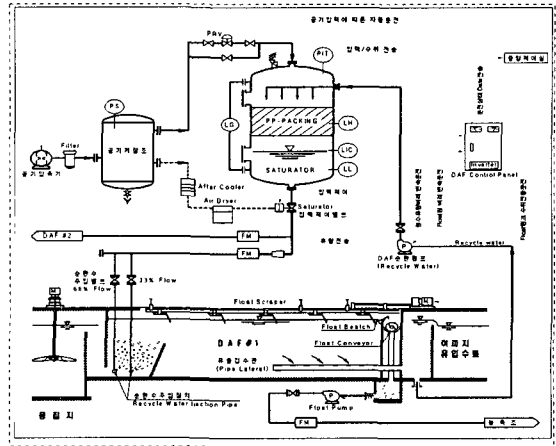


그림 2-10. DAF 단면계통도

용집지와 같이 원수유입량에 대하여 2계열로 구성된 DAF는 최대 105,000m³/일을 처리할 수 있도록 하였다. 각 계열별로 4지씩 설치되는 DAF설비는 내부순환수를 용존공기로 포화시키는 포화기(Saturator)와 포화된 순환수를 DAF에 공급하는 2기의 직경이 다른 주입관(Injection Manifold)을 두어 순환수의 주입량을 조절하도록 하였다. 포화기는 수직 원통형 탱크 구조로서 공기용존효율을 크게 하기 위하여 내부에는 입경 25mm의 폴리프로필렌 폴링(pall ring)을 충전하도록 하였다. 포화기에서의 포화를 위한 순환수의 공급을 위해 순환펌프를 각 계열별로 3대씩(1대 예비) 총 6대를 계획하였으며 포화기 내부에 공기 주입을 위한 공기압축기를 설치하였다. 포화된 순환수의 공급으로 DAF의 표면에는 Float가 부상하게 되며 부상된 Float를 제거할 수 있도록 제거판(Blade)을 장착하고 왕복운전하는 Float 스크레이퍼를 계획하였다. 제거된 Float는 Float 펌프에 의해 농축조로 압송되도록 하였다.

| | |
|---|------------------------|
| · Number of DAF basins, total | 8 |
| · Number of DAF basins per train | 4 |
| · Design flow per basin without recycle (m ³ /d) | 25,000 x 1.05 = 26,250 |
| · Operating flow per basin without recycle(m ³ /d) | 13,000~26,250(50~105%) |

DAF 설계유량 조건

유출수기준

| | |
|--------------------------------|--|
| · Average daily turbidity(NTU) | < 1 if DAF influent Turbidity is < 30NTU < 2 if DAF influent turbidity is greater than 30NTU, but less than 50NTU |
| · Algae percent removal | > 90% |

2.3.2 설계기준 및 효율화 방안

(1) DAF 구조

부상조의 세부사항

사각형 부상조는 유입부,접촉조,부상/분리조,유출부로 나누어진다.

유입 지점으로부터 부상조 전체 폭으로 물이 분배되도록 하는 것은 쉬운 일이 아니므로 부상조 폭과 같은 유입부를 갖는 것이 바람직하다. 단면이 좁은 도관 등을 피하고 부상조 폭과 같은 크기로 부상조 입구에 Hanging wall을 설치하는 것이다. 물이 흐르는 동안 부

유물의 파괴를 가능한 한 피하기 위해서 응집지와 부상조사이의 연결에도 또한 주의가 요구된다.

수력학적인 조건은 높은 전단력으로 플록의 파괴를 피할 수 있는 정도이어야 한다. 유입부의 하향 유속은 대부분이 낮게 유지한다.

접촉조의 기하학적구조

플록을 파괴시키는 심한 난류를 발생시키지 않기 위해서는 응집원수와 순환유량이 적정하게 혼합되도록 하여야 한다.

접촉조는 응집된 원수와 효율적으로 혼합이 잘 이루어지도록 유속을 고려한 접촉조 폭, 유체흐름의 상태를 고려하여야한다. 아울러 포화수와 자연스럽게 전체적으로 혼합이 되도록 하여야한다. 그렇게 하기 위해서 분사노즐의 위치가 중요하며 접촉조 폭이 너무 넓어 유입원수가 포화수와 접촉하지 않고 Baffle을 넘어가는 일이 없도록 주의하여야 한다.

부상조에서 노즐의 위치가 결정적인 역할을 하는 것은 아니지만 바닥 가까이 Hanging wall이후에 설치한다. 부상조에서 가장 중요한 점중의 하나는 접촉조에서 기포와 플록간의 접촉효율을 높이는 방안이다. 응집지에서 부상조로 유입되는 처리수가 기포와 접촉하지 않고 넘어가지 않도록 노즐위치나 접촉조 구조에 유의하여야 한다. 부상조 바닥에서 노즐 사이의 거리는 약 20cm정도로 한다고 하나 어떠한 경우는 원수와 기포가 전체적으로 접촉하도록 하여야 한다.

노즐은 일반적으로 m당 3-4개의 노즐이 설치된다. 조정할 수 있는 노즐을 선택하면 순환유량을 조절할 수 있다. 그러나 공기방울 형성과 마찬가지로 순환 시스템은 작은 흐름 변화에 매우 민감하고 운영 중 순환유량의 조정은 가능한 한 피하는 것이 바람직하다.

부상조 바닥에 수평으로 60 - 80. 각도로 주로 설치되는 Baffle에 의해 분리조와 상승 공기방울을 일반적으로 분리시킨다. Baffle은 공기방울과 플록 덩어리를 수표면으로 향하게 하고 상승 유속을 다소 줄이며 부유물층의 충격을 방지한다. 게다가, Baffle은 부상조 유출부의 단락류를 방지하고 상승 유속을 낮춰주며 상승 공기방울의 위치를 고정시키고, 공기방울과 플록사이의 보다 좋은 접촉을 가능하게 한다. 일부 연구결과에서 단순한 수직 Baffle이 일반적으로 접촉조에서 보다 일정한 흐름을 가져오고 최소한의 역류혼합을 일으킨다고 말하고 있다.

접촉조에서 물의 체류시간은 약 0.7 - 1.5분 정도로 한다.

Baffle의 상부와 수표면 사이의 거리는 부유물의 파괴와 교란을 방지하고 안정적으로 유동하도록 저유속(예를 들면 0.6m/s 이하)으로 유지되도록 한다. Baffle상부 끝의 형상은 부유물 수질에 특별한 영향을 주지 않는다고 본다.

깊고 좁은 부상조가 수리학적으로 보다 안정한 것처럼 보인다. 그러나 넓고 깊은 부상조가 층류 상태를 유지하기가 용이하다.

또한 10m 이상의 긴 탱크는 부상물의 하강우려가 상당히 증가하고 운영상에도 잇점이 없다. 기포-플록 덩어리의 대부분은 분리조의 앞 부분에서 수표면에 이미 도달하므로 부상조는 필요이상으로 길게 할 필요가 없으며 부상조의 폭은 기계적인 스크레이퍼의 폭을 고려하여 약 10 - 12m로 하는 것이 바람직하다. 부상조 깊이는 1.5 - 3.0m로 설계된다.

접촉조의 체적과 분리조의 체적의 비는 일반적으로 1 : 6 정도이다.

유출부

공기방울과 플록 덩어리의 제거 후 유출수는 바닥의 어떤 지점으로부터 유출되어야 한다.

유출부 설계시 고려사항은 :

- 탱크에서 안정적인 수리조건을 유지하기 위해 유량이 탱크의 전폭에 걸쳐 배출되어야 한다.
 - 수면을 조절하기 위한 장치가 필요하다.
 - 후속 처리단계로부터의 역류를 방지하여야 한다.
- 표면부하가 과도할 경우 부상조에서 하부 유출배관을 통하여 처리수와 함께 공기방울이 넘어가거나 여과지에서 Air binding이 생길 수 있고 유출수질의 악화를 가져온다. 부상조 후단의 유출Weir는 공기방울이 넘어가는 현상을 최소화 할 수 있다.

Nozzle에 대하여

효과적으로 기포를 발생시키기 위해 갑작스런 수압감소 (기포 분출기구의 좁혀진 부분을 이용하여) 에 이어 다음단계에서 심한 난류흐름을 이용한다.

여러 가지 기포 분출 기구가 연구기관, 물 공급기관, 컨설턴트 그리고 제작사 등등에 의해 개발되고 시험되어 왔고 노즐은 고정형과 조정형 두가지가 있다.

- 고정형 (예를 들면 : WRC - 노즐, Bete - 노즐)
 - 조정형 (예를 들면 : DWL 노즐, AKA 니들 벨브)
- 물과 기포가 분출기구를 고속으로 통과하는 동안 상당한 부식과 침식이 발생할 수 있으므로 기구들은 대부분 스테인리스 스틸로 만들어진다.

상업적으로 유통되는 기구들의 용량은

$$q_{nozzle} = 200 - 800 \text{ } \ell \text{ water /h}$$

$P_s = 200 - 800 \text{ kPa}$ 이다.

현재 넓은 범위의 고정 노즐들이 적용 가능하다. 이들은 모두 다음 5가지 특징을 가지고 있으며 이들 특징은 노즐의 개발에 있어 중요하다고 알려져 왔다.

- 분출기구에 최대한 근접하여 1 단계의 순간적인 압력강하
- 오리피스 입구에서 흐름 방향의 갑작스런 변화 (대개 90°)
- 오리피스는 2.5mm 혹은 그 이하, 노즐에서의 체류시간은 1.5 ms 이하
- 오리피스를 지난 후 흐름을 유도하는 적절한 각도와 형상의 와실 (shroud)
- 분출 속도의 감소와 기포확산을 돕는 차츰 커지는 형상의 분출구

특허상표인 WRC 노즐의 모양은 아래그림과 같다.

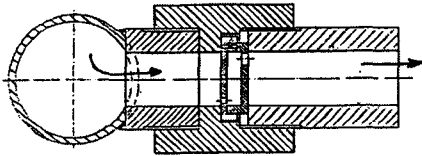


그림 2-11. WRC 노즐

이 노즐은 압력을 줄이고 난류를 일으키는 2개의 오리피스로 구성되었고, 이어지는 와실은 순환수가 응집공정을 거친 물과 섞이기 전에 유속을 감소시킨다. 두 개중 더 작은 첫 번째 오리피스 판은 부상 조에 가해지는 순환수의 량을 조절한다. 두 번째 판은 공기 분출을 돕고 순환수가 와실로 유입되기 전에 그 흐름의 속도를 줄인다.

조정 가능한 DWL 노즐이 네덜란드 물 공급 회사에서 개발되었다. 지그재그 모양의 개구부가 수류에 큰 저항을 주고 이로서 본류에 적은 난류를 발생시킨다. 이 노즐은 청소를 위해 쉽게 분해 할 수 있다.

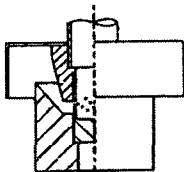


그림 2-12. 조정가능한 DWL 노즐

고정 노즐은 사용하기에 더욱 단순하고 비록 파울링 (fouling) 장애를 일으킬 가능성은 있지만 조정 노즐보다 널리 쓰인다. 따라서 여러 형식의 고정 노즐들이 고안되었다.

고정 노즐은 허용압력 변동폭이 제한되지만 노즐을 2 혹은 3 그룹으로 나누면 단계별로 용이하게 조정 할 수 있다. 게다가 한번 가동되면 순환수량의 미세조정은 불필요하다.

조정 가능한 노즐은 원수수질, 온도와 유량의 변화에 유연성 있게 적용될 수 있다.

노즐의 위치는 단지 실제적이고 경험적인 고려사항으로 감안될 수 있다.

적용되는 노즐의 수는 순환수의 유량과 각 노즐의 용량에 따른다. 대개 m당 4 - 8 개의 노즐이 채택되고 각각의 거리는 15 - 30cm 정도이다.

더 많은 수의 노즐을 사용한다고 해서 효율 증가에는 별 영향이 없다.

파일릿 플랜트 실험결과 모든 노즐로부터 얻어진 결과가 만족스럽다. 노즐의 형식을 선정하는데 부가적 고려할 점은 조정성, 막힘의 경우 청소가 가능한지의 여부, 강도와 가격 등이 고려되어야 한다. 노즐의 최적화에 대한 연구는 아직 진행중이다. 원주권에 적용된 노즐은 고정식으로 그림2-13는 조립된 모습이고 그림2-14는 분해한 모습이다.

그림2-14의 Orifice plate(왼쪽에서 세 번째)는 33%와 66% 구경이 다르게 적용되어있다.

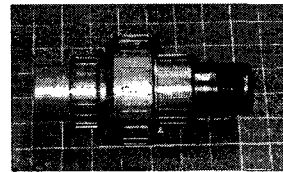


그림 2-13. 원주권에 적용된 노즐

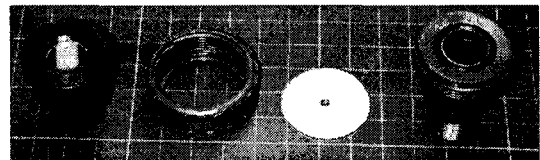


그림 2-14. 분해된 노즐의 모습

여기서 오리피스의 구경은 33%가 3.733mm, 66%가 5.3mm이며 충돌판과의 거리는 동일하게 5.5mm이며 충돌판의 폭은 12.5mm이다. 노즐의 내경은 24mm이며 노

줄의 총길이는 나사부 포함하여 131mm이다. 노즐이 설치된 간격은 200mm이다.

(2) 포화기(Saturator vessels)

원주권에 적용된 포화기의 제원은 아래와 같다.

| | |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| · Saturator packing depth | 약 1.22m(Recommended by manufacturer) |
| · Saturator packing type | 25mm nominal diameter PP Pall Rings |
| · Operating pressure range | 400 - 600 kPag |
| · Max. Vessel design pressure | 1,054 kPag |
| · Size(Inner dia. x Height) | ø 1.8m×H4.3m approx. |

공기포화시스템이 부상공정 동력비의 약 50%를 차지하므로 적절한 포화시스템을 선정 및 설계하는 것이 운영비를 최소화하기 위해 매우 중요하다. 다양한 공기포화기가 있지만 최근 일반적으로 음용수 처리 정수장에서는 대부분 Ejector 형식 혹은 Packed 형식을 사용한다.

압력이 가해진 상태에서 공기로 포화된 물은 매우 부식성이 크다. 포화기 탱크의 재질로 연강을 사용할 경우 내식 라이닝이 필요하다. 포화기와 부상조 사이의 연결 배관은 플라스틱이나 스테인레스 재질을 사용해야 한다. 부상조까지의 공급 배관은 가능한 한 짧아야 하고 수두손실에 따른 사전 공기 발생을 피하기 위해 최소한으로 하여야 하며 포화기를 부상조에 근접시켜야 한다.

Ejector 형식

순환수는 펌프에 의해 압력이 가해져 벤츄리(Ejector)를 통과한다. 벤츄리는 배관중의 좁혀진 부분으로서 수직형 포화조의 중심에 위치한다.

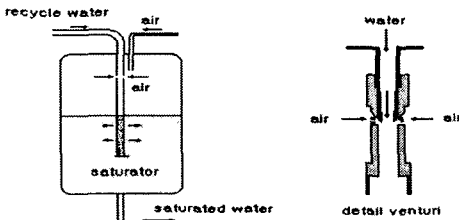


그림 2-15. 벤츄리 포화기

포화기는 일부 물로 채워지고 공기압축기에 의해 가압

되어진다. Ejector의 좁혀진 목부분에서 진공이 형성되어 벤츄리 개구부를 통해 물에 잠겨진 배관속으로 공기를 빨아들인다. 공기는 강력하게 물과 섞여지고 물과 기포와의 혼합물이 포화조내에 저장된다.

포화수의 체류시간은 기포가 수면까지 빠져나갈 수 있도록 충분해야 한다. 기포는 배관에서 장애를 일으키고 접촉 조에서 생성된 미세 기포구름을 흩뜨리거나 노즐에 손상을 입힌다. 포화기에는 안전밸브가 장치되어 있으며 포화기 수면은 순환수 제어밸브에 연동되어 일정하게 유지되고 포화기 압력 또한 압축기와 연동되어 일정범위에서 유지된다.

많은 실험결과 Ejector 형상의 포화기 성능에의 영향은 적은 것으로 나타났다. Ejector 속에서의 물의 속도는 목의 직경에 따라 결정되는데 이는 포화기 효율과 직선적으로 비례하는 관계를 보인다. 더 높은 유속은 더 높은 효율을 얻을 수 있다. 유속 8m/s에서 공기 포화 효율은 공기포화 압력과 직선적인 관계를 보인다.

효율 90 - 100 %를 얻기 위해 다음 조건이 필요하다.

- 목에서의 유속은 최소 10 - 12 m/s
- 최소 요구 절대압 700 - 800 kPa

Packed 형식

패킹형식 포화기는 배관을 통하여 포화조 내부에 충전된 패킹 상부에서 순환수를 스프레이로 분사시킨다. 공기 또한 포화기 상부에서 유입되고 공기와 순환수는 같은 방향의 흐름 형태를 보인다.

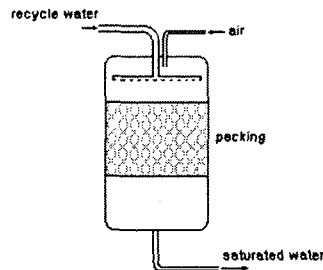


그림 2-16. 패킹형식 포화기

Packing은 여러가지 크기(15~75mm), 형상(Hollow ring, Pall ring, Cyl. ring, Saddle, Ball), 재질(세라믹, 플라스틱, 금속)로 만들어 질 수 있다. 공기의 물 속으로의 이동을 촉진시키기 위해 패킹은 큰 비표면적을 가져야 한다.

포화기내 수면은 패킹이 물 속에 잠기지 않도록 가능

한 한 일정하게 유지되어야 한다. 수면제어는 포화기에 설치된 수위감지기 신호를 처리하여 순환수 펌프의 회전수를 제어하거나 순환수 조절밸브를 이용하여 제어할 수 있다.

패킹형식 포화기의 최적화를 도모하기 위해 많은 실험과 연구가 수행되어 왔다. 그에 따르면 포화기는 효율의 별다른 저하 없이 300 - 2500 m³/m²·day 범위에서 운전되어질 수 있는 것으로 나타났다. 패킹 깊이 0.8m, 25mm 폴리프로필렌 pall rings 패킹은 100% 포화효율을 내기에 충분하다.

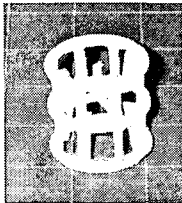
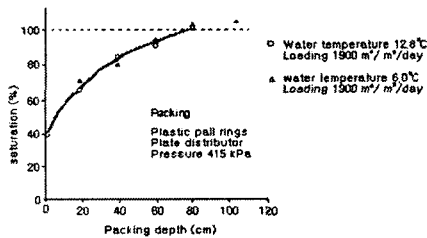


그림 2-17. 패킹 깊이의 공기용해 영향

일반적으로 패킹형식 포화기 설계 운영에 있어 고려사항은 다음과 같다.

- 포화조의 직경과 패킹의 직경 비는 최소 8 : 1
- 유효 패킹 깊이는 30cm 이상
- 최소 표면부하는 300 - 500m³/m²·day, 최대 2,500 m³/m²·day, 표면부하 변화는 효율에 영향이 거의 없음
- 포화기의 절대압력은 최소 400 - 650 kPa

패킹형식의 포화기를 사용하는데 있어 불리한 점은 생물 성장에 의한 막힘 위험성이 있다. 포화기의 부하율(1000과 2000m³/m²·day 사이)이 일반적인 완속여과 부하율(10m³/m²·day) 보다 훨씬 높으므로 생물 성장에 의한 문제 발생은 결코 바람직하지 못하다. 순환수의 부유 입자들은 패킹 층에 장애를 일으킬 수 있고 잦은 청소를 필요로 하게된다. 비록 지금까지 패킹에서의 생물 성장에 의한 장애가 관찰된 바 없다 하더라도, 이에 대해 축적된 자료가 신뢰를 가질 만큼 충분하지 못해 실제 운영과정에서의 자료축적과 연구가 필요하다.

Ejector 형식의 포화기가 패킹형식의 포화기와 같은 성능을 발휘하기 위해서는 패킹형식 포화기 운전압력보다 약 200 kPa정도의 더 높은 운전압력이 요구된다.

물 또는 수증기와 접촉하는 모든 부품은 Type 316 stainless steel 이거나 동등이상의 부식이 되지 않는 재료로 한다.

원주권에 적용된 주요제원은 다음과 같다. 포화기의 순환수량은 순환수량 10% 기준시

- 총 순환수량 : Qr = 10,500m³/d
- 포화기 대수 : 2 대
- 포화기당 순환수량 : Qs = 5,250m³/d = 3.65m³/min
- 포화기 효율 : Es = 95 %
- 노즐 효율 : En = 95 %
- 포화기 최고사용압력 : Pmax 600 kPag
- 포화기 최저사용압력 : Pmin 400 kPag
- 사용 온도 : 0~20 °C
- 수면적 부하율 : LR' = 2,170m³/m²/d
- 소요 수면적 : 2.42m²
- 소요 직경 : 1.8 m
- 선정 수면적 : 2.55m²
- 선정 수면적 부하율 : 2,059m³/m²/d
- Packing 높이 : H = 1.22m

(3) 플로트 스크레이퍼(Float scraper)

DAF 상부에 모여지는 Float를 Float trough를 통해 Float 저장조로 보내기 위하여 Float 스크레이퍼를 설치한다. 적기에 부상된 슬러지를 제거하는 것은 부상공정에서 대단히 중요한 부분이다. 원주에 적용된 규격은 다음과 같다.

- 형 식 : 왕복 주행식
- 규 격 : W9.1m
- 구동장치 : 연속 및 간헐운전 (Timer 제어)
- 동 력 : 1/2Hp
- 수 량 : 8 대
- 주행속도 : 125~1,250mm/분 (변속)
- 최대 DAF 수위변화 : 50mm
- Float Trough 폭 : 500mm

Blade를 3개 설치하여 1단은 15°로 경사진 Beach를 적절히 굽어 슬러지를 제거하도록 Brush로 제작되었고 2,3단은 폴리우레탄재질로 제작하였다. 아울러 부상조 측면의 Dead zone을 없애기 위해 Side에도 스크레이퍼를 부착하였다. Side scraper가 Flexible type이라 하더라도 측면은 Blade 이동시 구조물 굴곡시공으로 저항을 받지

않도록 시공에 유의하여야 한다.

기포-플록의 결합물과 물의 분리과정 동안 얇은 부상 슬러지층이 분리조의 상부에 형성된다. 이러한 부상물 들은 수면의 위, 아래에 위치하게 되고, 수면위에 있을 동안 공기제거와 부상물의 농축이 일어날 것이다. 수면에 부상물의 체류시간이 길면 길수록 부상물의 고형물 농도는 증가한다.

수면위에 자동적으로 천천히 퍼지는 슬러지의 연속적인 발생 때문에 슬러지의 제거가 필요하고, 슬러지 제거는 연속적 혹은 간헐적으로 수행된다. 간헐적인 제거의 경우에 부상물의 농축으로 고형물의 농도는 점차적으로 5% 건조 고형물(DS) 수준 이상으로 증가시킬 수 있다. 그러나 연속적인 부상물의 제거는 부상물의 고형물 농도를(<1% DS) 낮게 만든다.

슬러지의 특성은 부상물 제거설비를 선택시 고려되어야만 한다. 선택된 부상물 제거장치와 그것의 운전방식에 따라 부상물의 고형물 농도가 0.2 - 8% DS까지 변한다.

부상물에 미치는 충격은 빈번하게 균일한 부상물 슬러지층에 균열을 가져오고, 작은 플록이 부상물로부터 이탈하는 원인을 제공한다. 이 작은 플록들은 아래로 침전하여 부상조로부터 유출되어 처리수의 수질을 악화시킨다. 이러한 플록이 침전하여 유출되는 현상은 특별히 두꺼운 슬러지층이 형성되는 경우와 부상물이 제거되는 분리조의 끝부분에서 나타난다.

그러나 잉여의 공기 때문에 기포가 분리조에서 여전히 남게되고, 부상공정이 반복될 때 이러한 기포들은 이탈하는 슬러지 입자들을 다시 부상물로 부상시켜 어느정도 부상공정의 처리수의 수질악화를 방지한다.

부상물에 미치는 충격은 아래의 결과로서 나타난다. 부상되는 슬러지층의 구조와 특성들(안정성, 균질성, 강도, 접착성, 고형물의 농도 등)은 다양하게 나타난다.

조류가 많은 물은 거품과 탈수가 힘들고 오히려 안정한 다소 부착성이 높은 물을 생산한다. 색도가 높은 물은 약하고 불균질한 부상물을, 부유 고형물이 높은 강물은 쉽게 탈수되는 슬러지를 만드나, 불안정하고 부상공정 처리수의 수질을 악화를 초래한다.

부상물에 가해지는 힘들과 충격의 다른 원인들은 다음과 같다.

- 상승하는 공기방울의 덩어리(혹은 큰 공기방울들)들은 부상에 충격을 줄 수 있으나, 또한 슬러지 층에 붙어 약한 부분을 보강해주는 원인이 되기도 한다.
- 부상조 벽에 부상물의 부착은 불균등한 부상물의 배출을 가져온다.

- 분리조에서 난류의 발생과 불균등한 수류의 흐름은 응집지에서 회전하는 패들에 의해 야기될 수도 있다.

두꺼운 부상물로부터 슬러지 입자들의 침전, 유출은 부상물의 안정성을 고려하여 설명될 수 있다. 농축에 의해 슬러지의 상부층은 전체적으로 균일하게 물보다 더 큰 밀도를 가진다. 부상물보다 낮은 층은 고형물의 농도도 뿐만 아니라 밀도도 낮다. 한 예로 25Cm 두께를 가진 슬러지 층을 대상으로 조사한 결과 상부에서 아래로 내려올수록 5.3 - 3.9 - 1.4%의 고형물 농도를 보여 주었다.

상층부에 무거운 슬러지가 존재하는 경우에도 이러한 상층부는 하단부에서 연속적으로 공급되는 가벼운 슬러지층과 공기 쿠션에 의해 부상되어 있어, 침전하지 않을 것이나 그럼에도 불구하고 그림 11에서 보여주는 것과 같이 그러한 시스템은 불안정하고 상층부가 무겁게 된다.



그림 2-18. 두꺼운 슬러지 층의 슬러지 입자의 유출형태

부상물과 슬러지 층 하부의 물의 이동으로 균일한 부상층에 균열을 야기하게 되고, 슬러지 층 아래 물은 부상압력을 받고 있어 균열된 곳을 통해서 수면으로 올라온다. 상층부의 무거운 슬러지는 균열된 곳에서 전도되어 미끄러져 분리조 바닥으로 침전한다. 분리조에서 난류가 있는 경우 침전한 슬러지의 많은 부분이 유출되어 부상공정 처리수에 존재하게 된다.

대부분 슬러지는 연속적으로 제거되고, 수면위 부상물은 주로 부상물의 자연적인 이동에 따라 Beach부로 운반된다. 부상물의 두께는 슬러지 층의 성질과 제거율에 따라 1 - 2 Cm의 범위이다.

부상물 제거장치

부상물 제거장치에는 다음과 같은 방법이 있다.

- 수류에 의한 제거(Flooding)
- 스크래핑(Scraping) : Full length scrapers, beach scrapers
- 흡입에 의한 제거(Sucking)

수류에 의한 제거방법(Flooding/weir)

수류에 의해 유인된 얇은 슬러지층이 물위에 형성되고, 물과 부상물의 혼합물은 분리조의 끝부분에 위치한 웨어위로 넘어가는 수류에 의해 제거되어 슬러지 트로프에 수집된다.

웨어 끝(crest)위 수류의 높이가 슬러지를 통과시키기에 충분한 높이이어야 한다. 물을 함유한 슬러지 뿐만 아니라 물도 함께 제거된다. 분리조에서 물의 수위는 제거되는 슬러지의 건조 고형물 농도를 결정하므로 높은 건조고형물 함량을 가진 상층부의 슬러지층을 긁어내므로 슬러지의 고형물 농도를 높일 수 있다. 부상공정 처리수의 조절은 물 수위와 부상물의 제거량 모두를 높인다.

수류에 의한 제거방법(Flooding)은 낮은 시설경비, 쉬운 운전, 부상공정 유출수 수질에 미치는 영향의 최소화 등의 장점이 있으나, 높은 물의 손실(약 생산량의 1-2.5%)과 낮은 슬러지 고형물 함량(0.1-1.0% DS)의 단점이 있다. 이 방법은 연속적으로 혹은 간헐적으로 운전될 수 있다.

연속적으로 수류에 의해 제거되는 경우, 성공적으로 운영되기 위해서는 부상조에 일정한 수위를 유지하기 위한 일정한 유입유량이 요구된다. 만일 조내 수위가 일정 시간동안 떨어지면, 슬러지가 굳어지고, 이를 제거하기 위해 훨씬 많은 양의 물이 웨어로 흘러야 한다.

간헐적으로 수류에 의해 제거되는 경우, 슬러지는 부상조의 수면위에 농축되도록 일정 시간이 주어지고 슬러지 제거를 위해서 부상조 처리수의 출구는 짧은 시간동안(5-10분) 부분적으로 혹은 완전히 닫혀져서 슬러지를 웨어로 넘기도록 수류를 발생시킨다.

수위와 웨어 끝사이의 높이는 중요한 인자이므로 최적화 되어야 한다.

스크래핑(Scraping)

스크래퍼는 부상물을 운반하여 부상조에서 특수하게 형상화된 부분을 통해 슬러지 트로프로 넘긴다. 기계적인 스크래퍼에 의해 축적된 슬러지의 제거는 일반적으로 슬러지 제거과정 동안과 스크래핑 완료후 짧은 시간동안 일부 부상조 처리수의 수질 악화를 가져온다.

부상조에서 수위는 모든 슬러지 제거장치 형식에 중요하고, 수위변동은 앞에서 설명된 것과 같이 부상조 처리수 뿐만 아니라 부상물 제거에 부정적인 영향을 주므로 가능한 없어야 한다. 그러므로 스크래퍼의 수평과 적절한 수위 조절기가 중요하다.

처리수 수질에 미치는 슬러지 제거의 영향을 최소화하기 위해서 슬러지 제거 빈도, 스크래퍼 속도, 부상조의

수위는 개별적으로 최적화되어야 한다.

기계적 슬러지 제거장치들은 좀 더 비싼편이나 간헐적으로 혹은 연속적으로 운영될 수 있기 때문에 운영측면에서는 유연성이 높다. 건조 고형물의 농도는 1-4% 정도이고, 물의 손실량은 생산량의 0.2 - 2.0%정도이다.

이 방식의 슬러지 제거장치 경비는 전체 정수장 운영비의 10 - 20% 정도로 상당히 높을 수 있어 가장 적절하고 비용면에서 효과적인 것을 선택하는데 많은 고려가 필요하다.

기계적인 부상물 제거를 위해서 다음과 같은 2가지 형태의 장치가 일반적으로 사용된다.

① Full-length 스크레이퍼(or chain scraper)

부상조 전체 폭에 부착된 스크래핑 날개는 체인으로 연결되어 있다. 부상물은 천천히 밀려서 경사진 비치(beach)를 넘겨 슬러지 트로프로 보내진다.

부상물에 미치는 힘을 작게 할수록 약한 슬러지의 경우에도 양호한 부상조 처리수의 수질을 얻을 수 있다. 고려할 사항은 아래와 같다.

- 수위와 비치(beach)사이의 거리
- 부상물위 스크래퍼 날개의 깊이
- 스크레이퍼 속도는 30m/h 정도가 될 수 있고, 슬러지의 건조 고형물 농도는 1% 정도이다.

② 비치(Beach) 스크레이퍼(rotating roll scraper)

분리조의 끝부분에 48개의 날개를 가진 스크래핑 회전 롤러가 연속적으로 부상물을 비치쪽으로 밀어서 슬러지 트로프로 보낸다. 부상물이 스크레이퍼에 의해 부딪치기 때문에 어느정도 부상물의 교란이 일어난다. 그러므로 롤 스크레이퍼는 점착력이 있고 안정한 슬러지의 경우에 사용된다.

부상조 처리수 수질의 악화를 최소로 하여 1-3%의 건조 고형물 농도가 얻어질 수 있다.

설계와 운영을 위해 가장 중요한 인자들은 아래와 같다.

- 스크래퍼 날개의 수
- 요구되는 회전수
- 수면과 비치(beach) 사이의 거리
- 비치 스크레이퍼의 경우 0-4rpm의 회전속도가 사용된다.

비치스크레이퍼의 장점은 full-length 스크레이퍼와 비교하여 기계적인 부분이 적다는 점이고, 일부 연구자들은 부상물의 파괴가 적다고 보고하고 있다.

③ 흡입 제거(Sucking) 등

다른 기계적 제거기술에는 슬러지를 흡입하거나 수면에 롤러를 설치하여 슬러지를 퍼내는 방법 등이 있다. 정수장에는 Full-length 스크래퍼와 비치(beach) 스크레이

퍼가 가장 널리 사용되고 있다.

제거장치의 선택

어떤 스크레이퍼를 사용할 것인가는 부상물의 특성에 달려있다. 비치 스크레이퍼는 강한 부상물에, full-length 스크레이퍼는 부서지기 쉬운 부상물에 사용한다. 투자 경비와 운영경비는 full-length 스크레이퍼의 경우가 다소 높다. 비치 스크레이퍼의 최대 길이는 10-12m 정도로 부상조 설계 폭을 한정한다.

일반적으로 제거장치와 운영방법의 선택은 높은 건조고형물(DS%) 혹은 좋은 수질의 부상조 처리수를 얻는 것인가 하는 의도하는 목적에 달려있다. 동시에 모두를 만족시키는 것은 어려워 대부분의 경우 좋은 수질의 부상조 처리수를 얻는 것을 목적으로 한다.

그러므로 제거시스템의 선택은 기계적 스크레이퍼에서 보다 단순하고 투자비와 운영비가 적은 수리학적 제거방법으로 바뀌어가고 있다. 또한 부상조 설계 폭에 대한 제한이 없고, 부상조 처리수의 탁도도 기계적 제거의 경우보다 적게 영향을 받는다. 부상조 슬러지는 후에 여과지로부터 생성되는 역세척수와 혼합되어 함께 처리된다.

원수에 따른 슬러지 제거사례

[많은 조류와 높은 탁도를 가진 원수]

조류가 많고 탁도가 높은 원수의 처리에서 24시간까지 부상조 수면에서 축적된후 얻어진 슬러지는 아주 안정한 상태이다. 부상조 수면에 슬러지의 축적이 바로 부상조 처리수의 수질악화를 가져오는 것은 아니다.

이러한 경우에 비치 스크레이퍼가 슬러지에 교란을 적게 주어 파괴를 최소화하므로 효율적인 제거방법으로 판명되었다. 슬러지 고형물 농도와 처리수 수질의 관점에서 비치 스크레이퍼의 최적 운영을 위해서 스크레이퍼는 연속적으로 운영되어야만 한다. 부상조 수위는 비치의 아래쪽 끝단에 가깝게 조정되어야 하고, 얇고 연속적인 슬러지 층(약 10mm)이 부상조 표면에 유지되어야 한다.

이러한 운영조건하에서 처리수 수질에 영향을 적게 주면서 슬러지 고형물 농도는 약 3% 정도로 계속적으로 발생된다. 이러한 슬러지들은 폴리머의 사용없이 16-23%의 케이크 고형물 농도를 만드는 필터프레스에 적합하다.

[낮은 탁도와 높은 색도를 가진 원수]

낮은 탁도와 높은 색도를 가진 원수의 처리에서 발생된

슬러지는 30분 이하의 축적시간후에도 쉽게 부서지는 경향이 있고, 처리수의 수질악화를 초래한다. 부상물 제거를 위해서 30m/h의 속도를 가진 full-length 스크레이퍼 선택될 수 있고, 이때 슬러지 건조고형물 농도는 1% DS 이다.

[낮은 알카리도와 색도가 있는 원수]

낮은 알카리도와 색도가 있는 원수를 처리하는 부상설비는 단지 30분의 짧은 축적시간후 슬러지가 파괴되기 시작하기 때문에 full-length 스크레이퍼를 연속적으로 운영하는 것이 필요하다. 처리수 수질과 슬러지 고형물 농도의 관점에서 최적의 스크레이퍼 속도는 30m/h 이고, 이때 발생하는 슬러지의 고형물 농도는 1%이다. 보다 낮은 스크레이퍼 운영속도에서는 수면에 머무는 체류시간으로 슬러지의 파괴가 일어난다. 보다 높은 속도에서는 슬러지 고형물 농도와 처리수 수질 둘다 악화되는 것으로 나타났다.

(4) 플로트 비치(Float Beaches)

플로트 비치의 경사도와 길이는 플로트 스크레이퍼 설계와 작동 그리고 DAF지의 수위범위를 유지할 수 있도록 한다. 플로트 비치(Float beaches)는 DAF 유출위어 게이트가 고정된 DAF 유출위어와 최고 높이가 같을 때, 설계유량의 50 - 120% 사이에서 수면이 플로트 비치(Float beaches)의 바닥 아래로 떨어지지 않도록 설계한다.

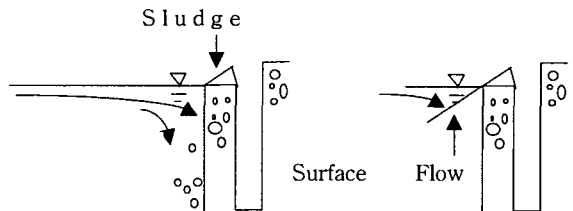


그림 2-19. Float beach의 개선

또한 DAF 유출위어 게이트가 조절범위 내에 있을 때, 설계유량의 50 - 150%사이에서 DAF 지 수면이 플로트 비치(Float beaches)의 바닥 아래로 떨어져서는 안 된다. 플로트 비치(Float beaches)는 Beach에서 수거된 Float가 DAF basin으로 떨어지지 않도록 한다.

(5) 플로트 컨베이어(Float conveyor)

플로트 컨베이어는 기 시공된 플로트 트러프에 적절히 설치되어 수집된 플로트를 플로트 저류조에

원활히 이송할 수 있도록 한다. 플로트 컨베이어는 플로트 스크레이퍼와 연동으로 작동되며, 트러프에서 플로트가 체류하지 않도록 한다.

그러나 부상공정이 침전방식에 비하여 전력비가 크기 때문에 플로트 컨베이어 등 기계적인 이송방식보다는 자연유하식을 선택하는 것이 바람직하다. 구조물 설계시 슬러지 유출을 중앙으로 하게 하여 경사 18~30°유지하도록 하고 Spray설비를 갖추어 동력절감을 도모한다.

(6) 순환수 주입장치(Recycle Injection Headers)

| | |
|-------------------------|--------------------------------|
| · Number per basin(set) | 1 (2 headers) |
| · Header diameter (mm) | 67% recycle flow header 150 mm |
| | 33% recycle flow header 100 mm |
| · Nozzle type | Fixed orifice |
| · Nozzle spacing (mm) | 200 |

DAF 조에는 순환수 헤더를 지폭에 가로질러 순환수가 고르게 배분될 수 있도록 한다.

원주권의 경우 하나의 Injection header 설비는 순환유량에 대한 총 오리피스 면적의 2/3를 갖도록 하고, 나머지 하나는 1/3을 갖도록 하여 설계순환수 유량의 33%, 67% 또는 100%를 공급할 수 있게 하였다. 노즐크기와 간격은 앞에 언급한바와 같다. 각 노즐은 헤더를 따라 일정하게 위치하도록 한다.

2조의 Injection manifold는 배관이 겹치지 않도록 설치하며 DAF 유입수에 대하여 적절히 작용하도록 한다. 유입수와 최대한 많은 접촉이 이루어지도록 고려하여야 한다.

(7) DAF지 유출집수관(Basin Pipe Laterals)

각 DAF지 바닥에 유출집수관(pipe lateral)을 공급한다.

지의 처리유량 67~100%의 작동범위에 걸쳐 50mm의 수위 변화를 제한하도록 설계하며, 설계용량의 150%에서도 수위변동이 125mm 이하를 유지한다.

- 정상 작동범위 (정상 용량의 67~100%)에 걸쳐 부상조 수위변화는 플로트 수거 작업을 고려 너무 과도하게 하지 않는다.

- 67% ~ 수리용량(정상 설계용량의 150%) 사이의 수위 변화에도 플로우트 트러프로 넘지 않도록 하며, 정상 용량의 100% 초과 운전에 대하여는 처리수질 보증이 어려우며 150%까지의 수리용량은 단지 안전성을 목적으로 한다.

원주권에 적용된 DAF 유출배관 (Pipe Laterals)은 다음과 같다.

- 수 량 : 지당 8개
- 배관직경 : Ø300mm × L6,900mm
- 노즐구경 : Ø25 (180개/배관당)
- 노즐간격 : 75mm

(8) DAF 공기압축기설비

DAF 공기압축기 설비는 포화기(Saturator)로 압축공기를 공급하며 항상 일정압을 유지하기 때문에 가동빈도가 높다고 볼수 있다. 따라서 공기압축기는 유지보수가 편리하고 고장이 적은 기종으로 선정하는 것이 바람직하다고 본다. 원주권과 같이 100,000m³/day 기준으로 2대중 1대는 예비기이며 대기하고 있는 공기압축기는 어느 포화기(Saturator)에나 사용이 가능하도록 구성한다.

공기압축기는 공기저장조의 압력스위치에 따라 조정이 가능하도록 (690 kPag에서 가동되고 860 kPag에서 정지 등) 하며 이것은 현장 조정이 가능하다. 주요제원은 다음과 같다.

- 형 식 : Standard rotary screw 형
- 수 량 : 3(1)대
- 상용압력 : 860KPa
- 정격용량 : 2.1m³/min × 8.6bar
- 참고동력 : 16.4kW
- 부속설비 : 필터류 및 건조기, 에프터쿨러등
- 순환수량 기준 : 10 %
- 총 순환수량 : Qr = 10,500m³/d = 7.29m³/min
- 5.6kg/cm²의 압력과 0.5℃ 온도에서 물속에 완전 포화된 공기의 체적비 VR=0.163
- Packing형 포화기의 효율 Es=95%
- 필요 공기량 Va = 1,802 m³/d = 75 m³/hr = 1.25m³/min

(9) 순환수 펌프(Recycle pump)

원주권의 순환수 펌프는 DAF의 각 계열당 3대씩을 설치하여 포화기 1대에 펌프 1대를 적용하며 1대는 예비기이다. 순환수 펌프는 DAF 유출수의 일부를 포화

기에 공급, 순환시켜 포화기에서 공기가 용존되도록 하였고 포화기의 운전압력과 순환수량에 연계하여 자동 변속운전 되도록 구성하였다.

- 형 식 : 수평축 한쪽흡입 벌루트 펌프 (가변속)
- 유 량 : 3.7m³/min
- 양 정 : 75m
- 참고동력 : 75kW
- 수 량 : 3(1)대/계열 × 2계열 = 6(2)대

(10) 슬러지 이송 펌프(Sludge feeding pump)

펌프는 추진공동형펌프(progressive cavity pump) 형식 또는 동등이상으로, 발생된 플로트를 농축조까지 이송하는데 적합하도록 한다.

Float 저장조에 모여지는 Float를 농축조로 이송하기 위하여 설치하며 평상시는 각 지별로 1대가 가동되고, 유량이 증가할 경우 나머지 1대가 추가로 가동된다. 원주권의 경우 제원은 다음과 같다.

- 형 식 : 추진 공동형 펌프 (Mono Pump)
- 유 량 : 0.7m³/min
- 양 정 : 11m
- 참고동력 : 7.5kW
- 수 량 : 2(1)대/계열 × 2계열, 총 4(2)대

플로트 펌프는 총 4대를 설치하여 DAF 2지 당 1지씩 설치되어 있는 플로트 저류조에 저장된 플로트를 농축조로 이송되도록 한다. 플로트 펌프는 플로트 저류조의 수위와 연동하여 운전되며, 각 플로트 저류조 당 2대의 펌프가 설치된다.

(11) DAF 제어반

원주권의 경우 DAF용 제어반은 현장에서 모든 연동이 이루어지도록 구성하였으며 운전자 편의를 도모하기 위하여 Touch screen방식으로 시공하였다. 아울러 주요 기동반은 소독약품인 염소로 인한 부식을 최소화하기 위해 DAF동 상부로 시공하였다.

2.3.3. 혼화 및 응집공정

(1) 혼화시설

혼화설비는 정수장 유입부 혼화설비와 같은 관 및 Pump Diffusion 형식으로 선정하였다. 또한, DAF 혼화설비 후단, 유입수로 유입부 직전에 SCD 및 샘플링 펌프가 설치된다.

- 형 식 : Pump diffusion mixer
- 노즐구경 : 75mm
- 약품배관 : 13mm
- 혼화펌프
 - 형 식 : 수평축 한쪽흡입 벌루트펌프
 - 유 량 : 2,100~3,170m³/일 (가변속)
 - 양 정 : 7m
 - 참고동력 : 5.5kW
 - 수 량 : 3대 (1대는 설치하지 않는 예비기)
- 스트레이너 : 200A × 3.0m³/분
- 주 응집제(Alum)의 급속한 수화반응 이전에 높은 혼화강도(G=300~1,000/sec)로 확산, 응집효율을 향상시키고 응집제(30%) 및 전력비(50%) 절감.
- 수온변화(점도변화)에 따른 혼화강도(G) : 펌프의 회전수 제어로 분사속도 조절
- 미국 등 선진국에서 널리 활용

(2) 응집기

- 형 식 : 수직축 하이드로포일형 (Hydrofoil type)
- 규 격 : Ø2,032mm
- 참고동력 : 2.2kW
- 구동장치 : G값제어 자동응집장치 (가변속)
- 수 량 : 2대/지 × 8지/계열 × 2계열 (32대)

여름 및 겨울철 등 원수의 다양한 변화에 전체 시스템의 유연성을 가능하게 하기 위하여 응집 에너지의 조정 범위가 크게 구성하였다. 1,2단 응집의 G값이 최대 100sec-1까지 적용하였다.

이는 플록이 크게 형성될 경우 응집교반을 강하게 하여 부상에 알맞은 미세한 플록으로 필요에 따라 사용할 수 있도록 하기 위함이다.

2.3.4. 소비전력비 산출

원주권 DAF를 기준으로 소비동력을 구하여 보면 다음과 같다.

| 품 명 | 규격 (105,000m ³ /d 기준) | 가동조건 | 소요동력 (시간당) | 침전과 비교시 예상 추가동력 |
|------------------|--|--|--|--------------------------------|
| 순환수 펌프 | 5,280 m ³ /d, 75mH 75kw 3대(1 예비) | 52,500m ³ /d 생 산시 1대 연속 가동 | 60.7kwh | 60.7kwh |
| 공기압 축기 | 2.4 m ³ /min, 6.9bar 20Hp 2대(1 예비) | 52,500m ³ /d 생 산시 1/4대 연 속가동 | 16.5kw x 1/4=4.12 5kwh | 4.125kwh |
| 스키머 | 1/2Hp 4대 | 52,500m ³ /d 생 산시 2대 20분 에 5분가동 | 0.367kw x 2대x 15/60=0. 183kwh | 0.183kwh |
| 플로트 콘베이 어 | 2Hp 4대 | 52,500m ³ /d 생 산시 2대 20분 에 5분가동 | 1.5kw x 2 대 x 15/60=0. 735kwh | 침 전 지 의 스크레퍼와 동일 |
| 슬러지 이송 펌 프 | 44 m ³ /hr, 1.1kg/cm ² 7.5kw 4대(2 예비) | | | 침 전 지 의 펌프와 동 일 |
| 계 | | | | 65kwh/52,5 00m ³ |

즉, 1일 처리 톤당 0.0297kwh를 사용하게 되며 52,500 m³/d를 정수처리시 47,580kwh/월을 사용하게되고 전력요금은 기본요금과 계절별요금이 다르나 약 65원/kwh로 계산한다면 3,700만원/년이 추가되는 것으로 판단된다.

일반 침전지와 비교시 소요부지는 1/6정도로 줄어들어 그로 인한 토공 및 구조물공사가 절감된다고 볼 수 있으나 부상조의 경우 건축비가 추가로 소요되고 포화기, 순환펌프, 공기압축기 등 기계공사비가 추가되므로 부지매입비용을 제외하고 유사하다고 본다면 약품비의 절감이나 슬러지 농축차로 인한 처리비용 등에 큰 차이가 발생하지 않는다면 부상조는 유지관리비가 침전방식에 비해 많음을 알 수 있다.