

# 시뮬레이션을 이용한 중력식 농축조 운영관리 개선 방안



안 세 영

(주)수엔지니어링&컨설팅 대표이사

## 목차

1. 하·폐수처리장 시스템 분석의 중요성
2. 시스템 분석에 의한 활성슬러지공정 최적화
3. 폭기조 용존산소농도 제어에 의한 전력 비용 분석
4. 시뮬레이션을 이용한 농축조 운영관리 개선 방안
5. 수학적 모델을 이용한 질소·인 처리 공정 설계

### 슬러지 농축의 필요성

중력식 농축조는 하·폐수처리공정에서 발생하는 슬러지를 농축시키는 시설로서 1차 처리 침전과정으로부터 발생하는 슬러지와 생물학적 2차처리에서 분리된 잉여슬러지의 부피를 감소시키는 역할을 한다. 하·폐수처리장의 침전지에서 배출되는 슬러지 농도가 1.6%라고 할 때, 이 슬러지가 중력식 농축조에서 4%로 농축된다면 슬러지 부피는 2.5배로 줄어들어 슬러지 처리를 용이하게 하여준다.

중력식 농축조는 기계식 농축기에 비해 설치 및 운영 비용이 저렴하고 농축조 자체가 슬러지를 저장하는 기능을 가지고 있으며 숙련된 운전자의 유지관리가 필요치 않기 때문에 대부분의 하·폐수처리장에 설치되어 있다. 그러나 중력식 농축조의 관리가 미흡하면 슬러지 농축과 고·액분리가 제대로 이루어지지 않고, 이로 인하여 악취가 발

생할 수 있다.

중력식 농축조에서 주로 발생하는 문제는 농축조 내부에 슬러지가 적체되거나, 농축된 슬러지가 위로 떠올라 슬러지 고형물과 상등수의 계면이 분리되지 않는 현상을 들 수 있다. 고액분리가 이루어지지 않는 상태에서 농축조 내부 혐기성 상태의 지속은 악취를 유발시켜며, 소화조 등의 후단 슬러지 처리 시설이 요구하는 슬러지 농도를 맞출수 없어 슬러지 처리성능저하를 야기한다. 또한 전단계의 처리 시설로 반송되는 상등수에 높은 농도의 고형물이 포함되어 있어서 수처리공정의 오염물 부하를 증가시키는 요인이 된다.

처리장의 운영관리 비용 중에서 많은 부분이 슬러지 처리에 소요될 뿐 아니라 슬러지의 적절한 처리가 전체공정의 성능과 직결되기 때문에 중력식 농축조를 철저히 관리

해 줄 필요가 있다. 본 환경기술보고에서는 중력식 농축조 내부에서의 슬러지 농축상태를 수리학적 모델과 컴퓨터 시뮬레이션으로 분석하여 문제점을 해결할 수 있는 방법을 제시해 보았다.

### 조사대상 처리시설 및 분석 Tool

A 하수종말처리장의 중력식 농축조는 수면적이 67m<sup>2</sup> 이고, 유효깊이가 3.8m이며, 최초 침전지와 최종침전지로부터 배출되는 생슬러지와 잉여슬러지를 함께 농축한다. 표 1에서 중력식 농축조는 고형물 농도 2.0%의 생슬러지 105m<sup>3</sup>/day와 고형물 농도 0.8%의 잉여슬러지 375m<sup>3</sup>/day을 처리할 수 있는 용량으로 설계 되었으며, 농축조의 고형물 부하율은 76kg/m<sup>2</sup>-day, 수리학적 부하율(hydraulic loading)은 7.2m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-day이다. A 하수처리장에 설치된 중력식 농축조의 고형물 부하율은 설계 권장치보다 다소 높으며 농축시간은 짧은 것을 알 수 있다.

중력식 농축조의 슬러지 농축과정의 모의실험은 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 GPS-X에 의해 수행되었으며, 농축조 내부의 슬러지 농축 농도는 1991년 Tak cs, Patry, Nolasco가 발표한 solid flux 기반 double exponential settling function을 이용하여 계산되었다. 설계기준을 이용한 침전모델 계수 조정으로 농축슬러지의 모델결

과를 설계 고형물 농도인 3.5%에 일치시켰고, 슬러지 블랭킷 상부의 고형물 농도를 0.5%라고 가정하여 슬러지 블랭킷과 상등수 사이의 계면(이하 '슬러지 계면'이라 함)이 바다으로부터 1.0m 높이에 나타나도록 하였다.

### 슬러지 배출량의 변화에 따른 슬러지 농축 상태

농축조의 슬러지 배출량을 줄이면 조 내부의 슬러지 농축 상태가 어떻게 변화하는지 시뮬레이션해 보았다. 그림 1에서 보는 바와 같이 슬러지 배출량을 줄이면 슬러지 계면이 상승하고 후단 처리시설로 배출되는 슬러지 농도는 점차적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 중력식 농축조의 원

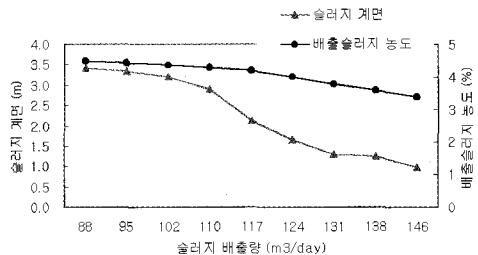


그림 1. 슬러지 배출량에 따른 슬러지 계면 높이와 배출 슬러지 농도의 변화

구 분		설 계 기 준		권 장 치
유입슬러지 량 및 농도	최초침전지	105 m <sup>3</sup> /day	2.0 %	
	최종침전지	375 m <sup>3</sup> /day	0.8 %	
배출슬러지량 및 농도		146 m <sup>3</sup> /day	3.5 %	
중력식 농축조 수면적		67 m <sup>2</sup>		
깊이		3.8 m		
농축시간		12.6 시간		18시간
고형물 부하율		76 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -day		24~71 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -day

표 1. A하수종말처리장 중력식 농축조 설계기준

활한 운영을 위해서 슬러지 계면 높이를 적절하게 조절해 주어야 한다. 그림 1에서 슬러지 배출량을 117m<sup>3</sup>/day로 줄이면 슬러지 계면이 2.1m까지 차오르는 것으로 계산되는데, 슬러지 배출량을 더 줄여서 110m<sup>3</sup>/day로 조절하면 슬러지 계면이 2.9m로 상승하게 되어 슬러지 농축 상태를 악화시킬 수 있다.

그림 1에서 또한가져 고려해야 할 사항은 배출 슬러지 농도이다. 슬러지 배출량을 줄였을

때 농축조에서 배출되는 슬러지 농도가 증가하는 것을 볼 수 있는데, 실제 하수처리장의 중력식 농축조에서는 슬러지 배출량을 줄여도 배출 슬러지의 농도가 증가하지 않을 수 있다. 이러한 경우 슬러지 배출량을 줄이게 되면 슬러지 계면 높이가 급격히 상승하게 된다. 그림 2는 슬러지 배출량이 감소할 때 배출슬러지 농도가 증가하지 않을 경우 슬러지 계면 높이의 변화를 나타내 주고 있다. 슬러지 배출량을 설계수치인 146m<sup>3</sup>/day보다 10% 줄인 131m<sup>3</sup>/day에서 슬러지 계면 높이가 3m까지 급격히 상승하는 것을 볼 수 있다. 중력식 농축조에서 슬러지 농축이 적절히 이루어지지 않으면 슬러지 배출량이 슬러지 계면 높이에 매우 민감한 영향을 줄 수 있다.

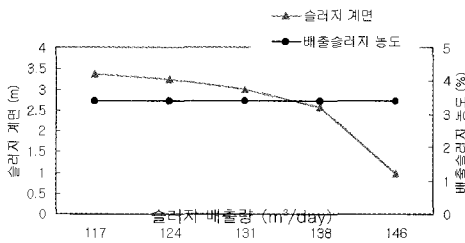


그림 2. 배출 슬러지 농도 3.4%에서 슬러지 배출량과 슬러지 계면과의 관계

### 유입슬러지 부하량의 변화에 따른 슬러지 농축 상태

최초침전지와 최종침전지에서 배출되는 슬러지량과 농도가 달라지면, 중력식 농축조에 유입되는 고형물량이 변하게 된다. 농축조에 유입되는 고형물량의 설계값은 5,100 kg/day인데, 최초침전지 또는 최종침전지에서 배출되는 고형물량, 즉 중력식 농축조의 유입고형물량이 증가한다면 조 내부의 상태는 어떻게 변화하는지 조사해 보았다. 유입고형물량을 설계값의 10%씩 40%까지 증가시켰을 때 슬러지 계면은 농축조 바닥으로부터 1.0~3.5m 사이

에 형성되는 것으로 나타나고 있으며, 배출슬러지 농도는 3.4~4.1%의 범위를 갖는 것으로 산출되었다.

그림 3에서 보는 바와 같이 농축조에 유입되는 고형물량을 증가시키면 조내부의 슬러지량과 슬러지 계면이 상승하는데, 고형물이 설계값인 5,100kg/day보다 30% 높은 6,630kg/day로 유입되면 농축조 내부의 슬러지량이 6,000kg 이상으로 증가하여 슬러지 적체현상이 일어나고, 이로 인하여 슬러지 계면이 바닥으로부터 3m 이상 높게 형성되어 슬러지 농축에 부적합한 상태에 이른다. 그림 3에서 알 수 있는 것은 중력식 농축조에 유입되는 고형물량이 설계치의 30%를 넘지 않도록 최초침전지와 최종침전지의 슬러지 배출량에 유의해야 한다는 것인데, 만약 최초침전지와 최종침전지의 배출량이 늘어나 설계값보다 30%이상 높게 농축조로 유입된다면 농축조의 슬러지 적체를 방지하기 위해서 슬러지 배출량을 늘려주어야 한다.

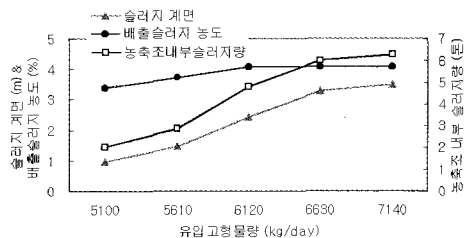


그림 3. 유입고형물량의 증가에 따른 농축조의 상태 변화

### 유입슬러지부하 증가시 처리 방안

중력식 농축조에 고형물이 설계치보다 40% 높은 7,140 m<sup>3</sup>/day로 유입된다면, 농축조를 정상적으로 유지하여 주기 위하여 농축조로부터 슬러지를 설계치보다 많이 배출시켜야 하는데, 슬러지 배출량의 적정범위가 어느정도인지 결정할 필요가 있다. 농축조의 배출량을 증가시켰을 때 조 내부의 슬러지 농축 상태가 어떻게 변화하는지 그림 4

에 나타나 있다. 농축조의 슬러지 배출을 증가시키면 슬러지 계면이 낮아지는데, 슬러지 배출량이 190m<sup>3</sup>/day 이상에서 슬러지 계면 높이가 2.2m로 유지되고 있으며, 슬러지 배출량 250m<sup>3</sup>/day까지 더 이상의 현저한 감소는 나타나지 않고 있다. 농축조 내부의 슬러지량과 배출슬러지 농도는 배출량 230m<sup>3</sup>/day에서 설계값과 유사하게 나타나고 있다.

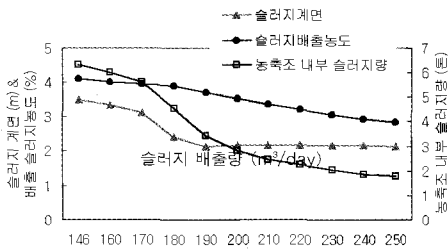


그림 4. 고부하시 슬러지 배출량의 변화에 따른 농축조의 농축 상태

## 결론

중력식 농축조로 유입되는 슬러지 고형물 부하가 7,140kg/day일 때 농축조의 정상적인 유지관리를 위한 슬러지 배출의 적정범위는 190~230m<sup>3</sup>/day로 볼 수 있는데, 배출슬러지의 농축 농도와 농축조 후단에 설치되어 있는 소화조 또는 탈수기의 처리 용량을 고려하여 상기의 범위에서 가장 적절한 배출량을 결정하여야 할 것이다.

유입 고형물 부하량이 증가할 때 중력식 농축조를 적절히 유지관리할 수 있는 방법을 수리학적 모델과 컴퓨터 시뮬레이션의 결과 분석을 통하여 알아보았다. 다른 공정과 마찬가지로 중력식 농축조에 대한 조사는 처리시스템의 전·후단계 처리공정과 연계하여 종합적으로 분석해야 하며, 각각의 문제점을 해결할 수 있는 시나리오를 미리 마련하여 실제로 문제가 발생하였을 경우 준비된 시나리오에 따라 빠른 시간내에 문제를 해결할 수 있는 운영 전략 프로그램을 수립해야 하는데, 본 기술보고에서 제시된 모델링 분석이 이러한 전략시나리오 수립에 적절한 Tool이 될 수 있다.

다음호에 계속