

배출수처리시설 운전자동화를 위한 최적운영 관리방안 연구

배상식* · 박영오* · 반재혁*

1. 서 론

사회적으로 하천 수질개선과 상수원 보호의 중요성이 높아지면서 방류수 수질기준이 강화되는 추세로서 2008년과 2013년 이후 2단계로 기준강화와 함께 TMS 설치가 의무화되고 있으나 대부분 배출수처리시설은 최초 설계·준공 이후 수질향상에 필요한 시설개선이나 설비보완이 미흡한 채로 운영됨에 따라 방류수질기준 달성이 곤란할 것으로 판단되어 고감도 농도계 개발, 슬러지 자동배출, 약품주입 자동화 등으로 배출수 설비 운전자동화 기술을 개발하고 방류수 수질을 개선하고자 검토하였으며 고감도농도계와 복합탈수시스템 개발을 중심으로 연구사례를 소개하고자 한다.

외부요인	내부요인	운영관리효율 저하
<ul style="list-style-type: none"> ■ 방류수 TMS 구축 의무화 ■ 방류수 수질기준 강화('13년) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 배출수 처리시설 문제점 산재 ○ 배출수공정 시설 및 운전개선 미비 ○ 계측장치 운영관리 부족 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 방류수 수질기준 초과 우려 ■ 탈수계약 처분비용 증가

구 분	수질 및 수생태계 보전에 관한 법률			하수도법	
	'96	'08	'13	'01	'08
BOD ₅ (mg/L)	30	20	10	20	10
COD(mg/L)	40	40	40	40	40

2. 배출수처리시설 최적운영방안

2.1 연구목적

- 침전지 운전방법 개선으로 침전슬러지 적정배출(量·濃度)
- 조정슬러지 적정배출(量·濃度)로 농축효율향상 및 방류수 수질 개선
- 농축슬러지의 적정배출(量·濃度)로 슬러지발생량 및 합수율 저감

2.2 현황 및 문제점

□ 외부요인

TMS구축('08-10)이 의무화되어 실시간으로 방류수 수질자료가 환경관리공단으로 전송되고 기준초과시 행정처분을 받으며 '13년부터는 방류수 수질기준이 하수도법 수준으로 강화됨.

□ 내부요인

▷ 배출수공정 시설 및 운전개선 미비

구분	주요 문제점
침전지	<ul style="list-style-type: none"> ● 응집제 과량투입에 따른 높은 ALT비 ● 슬러지 수집, 배출주기, 배출방법의 부적정 ● 슬러지 배출호퍼 문제로 래빗홀 현상발생
조정조	<ul style="list-style-type: none"> ● 상징수 회수금지에 따라 조정슬러지 전량이 농축조 이송되어 과부하 및 방류수수질 악화 ● 침전슬러지내 각종 이물질 유입으로 조정조의 슬러지 배출기능 저하, 슬러지 이송펌프 막힘 현상 유발
농축조	<ul style="list-style-type: none"> ● 슬러지 퇴적깊이, 상징수 수질감시 미흡 ● 침강·농축불량으로 상징수 수질 저하 ● 슬러지부하로 호퍼 내 슬러지 수집 불량 ● 간헐운전에 따른 슬러지 고착으로 래빗홀 형성
방류수	<ul style="list-style-type: none"> ● 방류수 수질기준 강화로 수질초과 우려 ● TMS설비 설치로 방류수 상시 모니터링

* 한국수자원공사 수도기술처

▷ 계측장치 운영관리 부족

농도계의 센서세정 곤란
농도계의 유지보수작업의 어려움
농도계의 정기적인 교정시행 등 유지관리 미흡
농도계의 오차발생에 따른 신뢰성 상실
농도계의 활용방안 부족

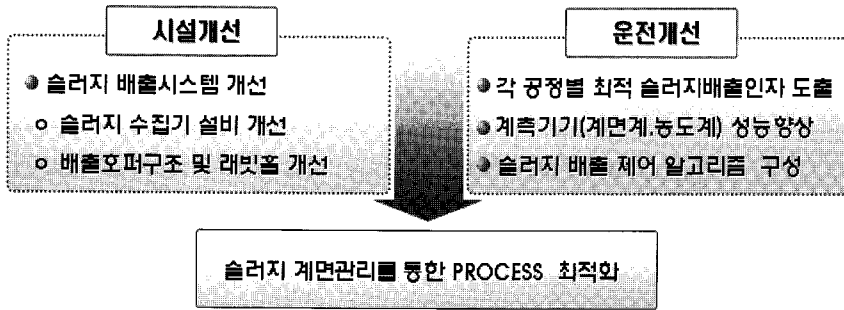
입이전에 슬러지 배출공정(침전지~농축조)에서의 시설개선 및 운전개선을 통한 슬러지 계면관리로 방류수 수질 개선과 탈수효율을 향상시키고자 함.

➡ 슬러지 계면관리를 통한 PROCESS 최적화

2.3 개선방향

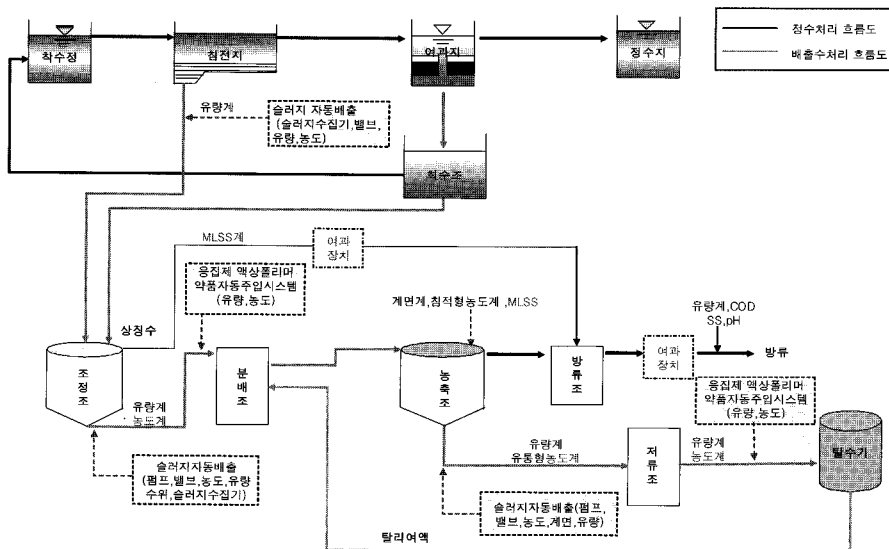
□ 탈수슬러지 함수율 저감을 위한 최적탈수설비의 도

☞ 계면관리 : 슬러지 배출의 시작단계인 침전지부터 탈수전 슬러지 배출의 마지막 농축조에 이르기까지 슬러지 배출, 침강, 농축 및 이송 등을 최적으로 운영, 관리하기 위한 배출수 공정관리 방안으로 방류수 수질개선 및 탈수계의 함수율 저감을 도모하는데 목적이 있음



□ 슬러지 계면관리를 통한 PROCESS 최적화는 각 사업장의 특성(원수 수질, 공정설비구성 및 방류시스템 형식 등)에 맞게 설비 및 운전 개선방안을 수립하여 시행

☞ 슬러지 계면관리 Process Diagram



▷ 시설 및 운전개선 주요항목

공정	내 용
운전	<ul style="list-style-type: none"> • 슬러지 ALT비 관리를 통한 약품투입 최적화 • 슬러지발생량에 따른 슬러지 배출주기 조정 • 슬러지수집기와 배출밸브의 연동(밸브개도 및 배출시간 조정)을 통한 최적 슬러지 배출인자(量, 濃度) 도출
	<ul style="list-style-type: none"> • 침전슬러지 배출 유량계 설치 및 조정조 분배조내 MLSS계 설치로 슬러지 배출농도 감시(필요시) • 침전지 배출밸브 누수방지를 위한 밸브형식 개선, 긴급 차단밸브 설치 및 전동화 • 슬러지 배출호퍼의 문제로 인한 래빗홀 현상 개선 • 슬러지 수집기 성능 및 배출흡입관 개선
조정	<ul style="list-style-type: none"> • 슬러지 이송펌프 용량조정 및 배출밸브 개도, 배출시간 조정을 통한 최적 슬러지 배출인자(量, 濃度)도출 • 슬러지수집기 가동시간, 횟수 및 농축조 계면에 따른 슬러지 배출주기 조정 • 농축조(연속식)의 상등수 월류시 방류수 수질을 감안한 슬러지 배출량 조절
	<ul style="list-style-type: none"> • 조정조 상등수 월류에 따른 정수공정 반송금지 • 슬러지 이송펌프 막힘방지를 위한 스크린 등의 설치 • 슬러지수집기 성능개선
설	<ul style="list-style-type: none"> • 농축슬러지 퇴적깊이별 분포도 조사로 적정 배출 슬러지 계면 도출 • 적정농도 슬러지배출을 위한 감시장치 운영효율화 검토 (예: 수집기 토크센서와 계면계 또는 침적형 농도계를 활용한 슬러지배출) • 슬러지 침강·농축시험을 통한 적정 슬러지 체류시간 산정 • 슬러지 계면 및 농도계측장치 정도향상을 위한 점검정비 주기조정 및 유지관리 철저
	<ul style="list-style-type: none"> • 슬러지계면계 및 농도계(필요시 침적형) 설치 • 농축조 상등수 수질감시장치 구축(or 방류수 활용) • 슬러지 침강,농축불량시 폴리머등 약품투입설비 설치 • 슬러지 이송펌프 막힘방지를 위한 스크린 설치 • 슬러지부하로 인한 호퍼내 슬러지 수집 불량 개선 • 간헐적 운전때 따른 슬러지 고착으로 래빗홀 형성 개선

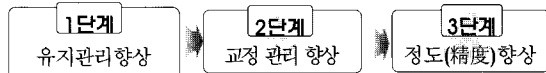
● 각 단위공정별 운영관리 Step

1Step	2Step	3Step	4Step
시설용량평가 및 Mass Balance 산정 ◦설계탁도평가 ◦SS/NTU 비평가 ◦물질수지 산정 ◦시설용량 평가	침전지, 배출수지 배출인자 ◦수집기가동주기 ◦배출량과 농도 ◦밸브개도, 배출시간 ◦체류시간(조정 농축)	조정조 배출인자 ◦배출량과 농도 ◦계면수위(조정 농축) ◦방류수수질	농축조 배출인자 ◦배출량과 농도 ◦계면수위(농축 저류) ◦밸브개도, 배출시간

공정	슬러지 배출인자
침전지	<ul style="list-style-type: none"> • 조정조와 농축조 체류시간을 감안한 슬러지 배출량 산정 • 슬러지배출량에 따른 수집기 가동주기(속도, 왕복 횟수 등) 적정성 검토 • 슬러지배출 밸브개도, 배출시간에 따른 슬러지 배출량, 농도조사
배출수지	<ul style="list-style-type: none"> • 슬러지수집기 가동주기 검토 • 슬러지배출량, 배출시간에 따른 배출농도 조사 • 방류 또는 회수에 따른 수질조사
조정조	<ul style="list-style-type: none"> • 슬러지 배출시간에 따른 슬러지 배출량, 배출농도 조사 • 슬러지 계면수위 적정성 검토 • 침전슬러지 배출에 따른 조정조 상등수 수질 조사 • 조정슬러지 배출에 따른 농축조 상등수 수질 조사
농축조	<ul style="list-style-type: none"> • 농축조내 슬러지 체류시간 • 슬러지 배출시간에 따른 슬러지 배출농도 조사 • 농축조내 깊이별 슬러지 함수율 측정 • 슬러지 유입량(농도)과 계면수위 및 배출량(농도)의 적정성 검토

가. 계측기기(계면계, 농도계) 성능향상

● 각 측정방식 공통 개선사항 → 정도(精度)향상을 통한 슬러지농도계 활용방안 강구



<ul style="list-style-type: none"> • 센서탈착 개선 • By-Pass배관 개선 • 센서세정방식 개선 • Drain배관 막힘 개선 • 슬러지Sampling을 위한 Sampling 배관 • 밸브 별도설치 • 농도계 설치 위치 부적정 개선 	<ul style="list-style-type: none"> • 농도계 최초 설치후 반드시 교정 실시 • 측정방식별 표준 교정 장치 구비필요 • 정기적인 교정작업 시행 및 적정 교정 주기 산정 	<ul style="list-style-type: none"> • 슬러지 함수율에 적합한 농도계 선정 및 측정농도 Range 조정 • Range내 Multi Point 교정기능 부여 및 교정선 산출 • 농도에 따른 주파수자동 절체 • 농도계 점검정비 주기 산정
---	---	---

● 초음파 농도계

항목	기 존	개 선
유지 관리	○Single Beam방식	○Multi Beam방식
	○공구를 사용한 센서달착방식	○수공(手工)으로 가능한 센서 달착방식
	○센서부 슬러지차단밸브 없음	○센서부 슬러지차단밸브 설치
	○센서세정장치 미부착 및 정상 동작 안함	○센서 자동세정장치 장착 및 운영
	○Elbow형 SUS배관방식의 Drain밸브	○직관형 편사호스방식의 Drain 밸브
교정 관리	○Drain밸브 사이즈(1")	○단관사이즈에 따른 Drain 밸브 사이즈 조정
	○Sampling 위치 부적절	○Sampling 밸브, 배관 신설 및 위치변경
정도 관리	○교정장치 없음	○ 교정장치 도입
	○농도계 측정Range 과다	○농도계의 측정Range 조정
정도 관리	○2 Point 교정	○Multi Point 교정 제공
	○농도(저농도, 고농도)측정을 위한 주파수 인위 선택	○농도(저농도, 고농도)에 따른 주파수 자동절제 기능

● 광학식 농도계

항목	기 존	개 선
유지 관리	○공구를 사용한 센서달착방식	○수공(手工)으로 가능한 센서 달착방식
	○센서Type별 세정장치의 유무	○세정장치 내장 Type선택 및 자동세정 기능 구성
	○Elbow형 SUS배관방식의 Drain밸브	○직관형 편사호스방식의 Drain 밸브
	○Drain밸브 사이즈(1")	○단관사이즈에 따른 Drain 밸브 사이즈 조정
	○Sampling 밸브, 배관 없음	○Sampling 밸브,배관 신설 및 위치변경
교정 관리	○농도계의 활용도 미비	○다가용 용도로 활용가능성 검토 - 농도계 가능 - 계면계 가능 - 농축조 상등수 수질감시 가능
	○교정장치 없음	○표준교정장치 도입
정도 관리	○4~5%의 슬러지농도 측정시 불안정	○4~5%의 슬러지농도 측정시 에도 안정된 측정이 될 수 있도록 성능향상
	○농도계 측정Range 과다	○농도계의 측정Range 조정

● 마이크로과 농도계

항목	기 존	개 선
유지 관리	○제조사별 센서달착 여부가 다름	○수공(手工)으로 가능한 센서달 착방식
	○제조사별 센서세정장치 여 부가 다름	○센서 자동세정(Water, Air 등) 장치 장착
	○센서부 슬러지 차단밸브 없음	○센서부 슬러지차단밸브 설치검 토
	○Elbow형 SUS배관방식의 Drain밸브	○직관형 편사호스방식의 Drain 밸브로 변경
	○Drain밸브 사이즈(1")	○단관사이즈에 따른 Drain 밸브 사이즈 조정
교정 관리	○Sampling 위치 부적절	○Sampling 밸브, 배관 신설 및 위치변경
	○제조사별 교정방식이 다르고 교정장치 없음	○교정방법 숙지 및 교정 장치 개발 및 도입 가능여부 검토
정도 관리	○농도계 측정Range 과다	○농도계의 측정Range 조정

나. 슬러지 계면관리 PROCESS 개발

- 슬러지를 배출하는 과정에서 슬러지의 농도를 자동으로 감지하여 고농도의 슬러지를 배출시킴으로써 후속 공정(조정·농축)의 부하 경감으로 탈수슬러지 함수율저감, 방류수 수질개선은 물론 슬러지 발생량 저감으로 인한 유수율 향상에 기여.

기 존	개 선
○슬러지 인발밸브의 개도와 배출시간을 기준으로 조절함에 따라 저농도 슬러지가 다량 배출되어 후속공정의 부하부담은 물론 방류수 수질저하, 함수율 저하 등의 여러 가지 문제점이 있음	○유량계, 슬러지 농도계와 인발밸브의 조합을 통하여 슬러지 농도와 양에 따라 밸브 개도를 조절함으로써 고농도의 슬러지를 배출할 수 있음

다. 슬러지농도에 따른 약품자동주입시스템 개발

- 조정조, 농축조, 저류조 슬러지의 농도를 자동으로 감지하여 농도에 따라 폴리머(응집제)의 양을 자동으로

조절함으로써 농축조의 슬러지 침강·농축효율을 향상시키고 탈수기의 효율을 향상시켜탈수슬러지 함수율 저감과 방류수 수질을 개선

기 존	개 선
○약품 미주입(조정조)	○슬러지 농도와 유량에 따라
○플록형성 정도를 육안으로 확인하여 약품주입률 조절	약품을 자동으로 주입하여 슬러지 농축 효율향상, 방류수 수질개선 및 슬러지 함수율 저감

기 존	개 선
○수동운전 - 침전슬러지 배출 - 조정·농축슬러지 이송 - 약품미주입 or 수동주입 - 주간근무, 주 5일근무로 부하가 편중	○침전 슬러지 자동배출 ○조정·농축 슬러지 자동인출 ○약품 자동주입 ○수질감시 체계구축, 자동제어 ○24시간 균등부하 운전으로 시설용량 확장효과 기대 ○저녁, 심야운전으로 전력 비용 절감 및 주5일제 근무로 인한 과부하 해소

2.4 수질 개선효과

- 라. 배출수 운전자동화 기술 개발
- 침전슬러지 배출, 조정·농축슬러지 이송, 약품주입 자동화와 방류수 수질감시체계 구축하여 운전이 자동화되면 수동운전시 운전자 부주의에 의한 사고가 예방되고, 24시간 균등부하 운전시 주간근무, 주5일 근무 등으로 부하가 편중되어 발생하는 슬러지 침강·농축불량, 방류수수질저하 등의 문제점 해결이 가능함.

- 가. 침전지의 슬러지 분포 및 농도계측으로 침전슬러지의 배출시기 및 배출시간 조정에 따른 고농도의 슬러지를 배출함으로써 후속되는 조정조 및 농축조의 표면부하를 경감하고
- 나. 조정조에서 농축조로 슬러지를 이송하는 과정에서 슬러지의 농도를 측정하여 농도에 따른 폴리머(응집제)의 양을 일정비율로 조절함으로써 농축조의 슬러지 침강 및 농축효율 향상 등으로 방류수 수질 개선효과 기대