

탈수기 운영의 자동화 및 현대화

조태영, 한해우 _ 울산광역시 상수도사업본부 천상정수사업소

서론

1. 연구배경 및 목적

천상정수장은 악품투입에서부터 송수펌프 운전까지 컴퓨터에 의해 자동운전 프로그램을 구성하여 중앙감 시설에서 원격자동운전이 가능하도록 시설되어 최적화 상태에서 효율적인 정수장 운영이 이루어지도록 구성되어 있으나, 배출수 처리시설의 경우 기존의 탈수 공정흐름에 크게 변화되지 못하고 인력에 의한 수작업으로 공정운영을 하고 있다.

이에 배출수 처리시설 전반을 조사 및 검토하여 일부시설을 보완함으로써 유지 관리 및 원활한 시설의 운영이 될 수 있도록 개선하고자 본 연구를 기획하였다.

2. 연구범위 및 내용

본 연구는 천상정수사업소 내 배출수 처리시설을 대상으로 하여 탈수공정의 전반적인 운영방법, 탈수효율 등을 분석하여 보다 효율적인 공정운영을 하고자 한다.

슬러지 처리의 기본개념

1. 슬러지 처리설비

(1) 기능

조정조는 응집 침전지에서 유출되는 슬러지량이 일정하지 않고 간헐적으로 배출되므로 이를 일시적으로 저장함으로써 농축조에 대한 부담을 균등화시키는 시설이며, 회수조는 여과지에서 유입되는 역세척수 등을 저류하기 위한 시설로서 상등수는 착수정으로 회수하기 위한 회수펌프와 침전 슬러지를 농축조로 이송하기 위한 회수조 슬러지 펌프가 탈수기동 지하에 설치되어 있다.

농축조는 조정조 및 회수조에서 연속적으로 유입되는 슬러지를 중력 침전에 의하여 농도를 높이기 위한 시설이다.

(2) 구성

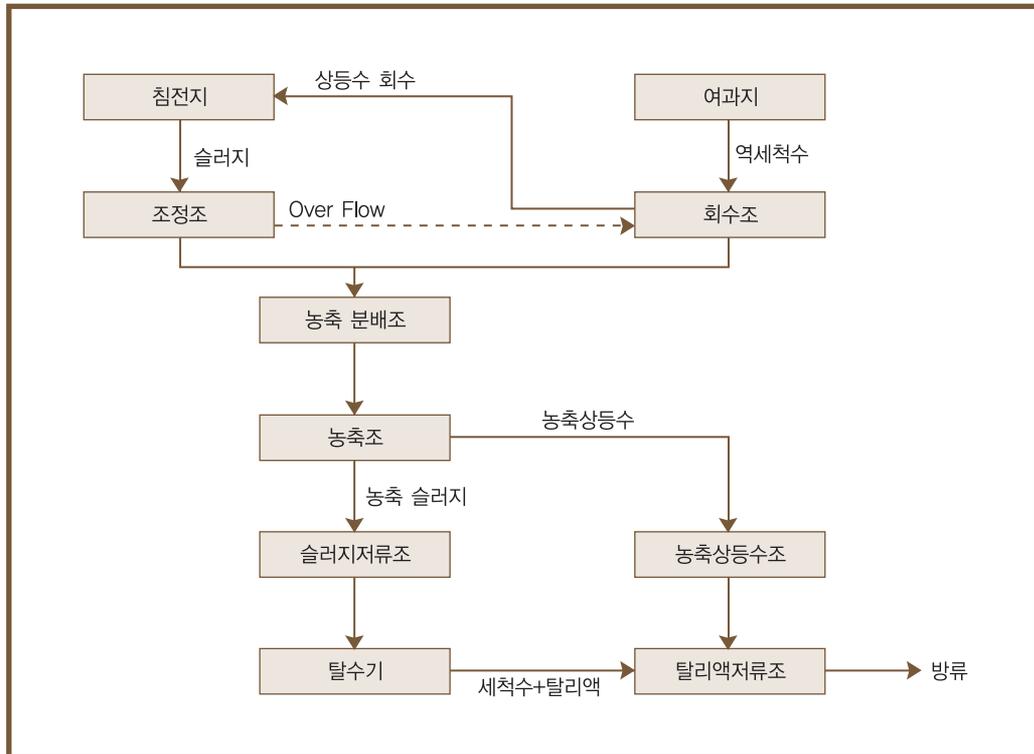
침전지에서 발생된 슬러지와 여과지에서 발생된 역세척수는 조정조 슬러지펌프와 회수조 슬러지펌프를 가동하여 농축조의 분배조로 유입시킨 후 원형 농축조에서 균등 분배된다.

농축조에서 고액분리된 상등수는 V형 웨어를 통하여 월류된 후 자연 유하로 농축조 상등수조에서 펌프에 의해 탈리액저류조로 이송되어 탈리여액과 함께 하천으로 방류된다. 농축조의 슬러지는 수집기에 의해 농축조 중앙 하부의 호퍼에 모여져 간헐적으로 작동되는 농축슬러지 공급펌프에 의해 인발되어 슬러지 저류조에 집수되어 탈수기로 올려진다.

(3) 시설용량

구분	규격(m)	용량(m ³)	비고
조정조	B6,0×L8,0×H3,5×2지	336,0	
회수조	B25,0×L9,2×H3,5×2지	1,610,0	
농축조	Ø18×H3,5×2지	1,781,2	

(4) 공정흐름도



2. 탈수설비

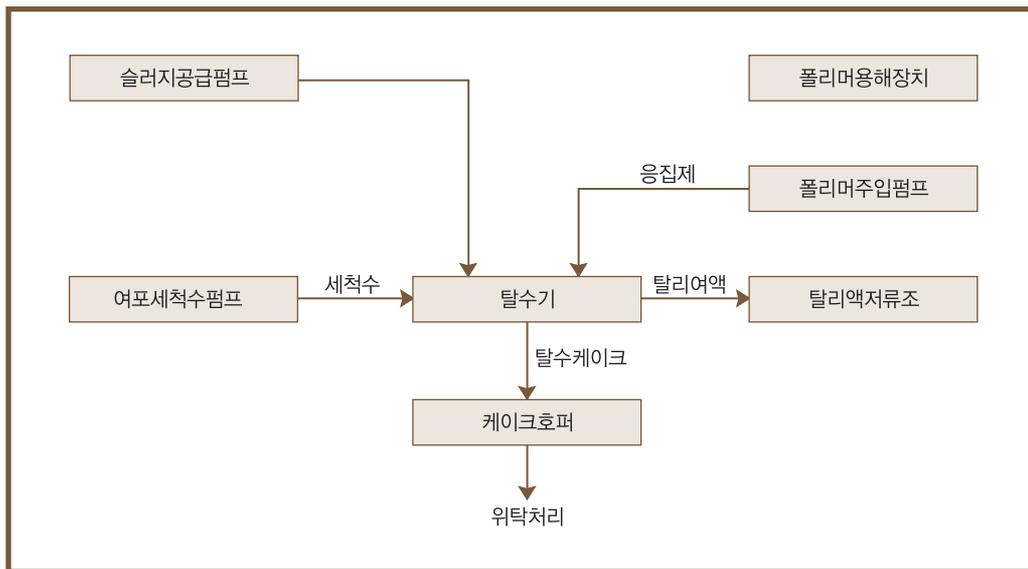
(1) 기능

탈수처리시설은 슬러지의 양 및 농도 등의 정상 또는 처분상 제약에 따라 소정의 함수율이 되도록 하여 처분이 용이한 형태로 전환하는 것으로 슬러지의 부피를 줄이고 함수율을 저감시키는 데 그 목적이 있다.

(2) 구성

농축조에서 중력작용에 의해 농축된 슬러지는 농축 슬러지 공급 펌프에 의해 탈수기동에 위치한 슬러지 저류조로 이송된 후 슬러지 공급펌프에 의해 탈수기의 믹싱교반기로 이송된다. 믹싱교반기는 슬러지와 고분자 응집제를 혼합하여 고분자 응집용액은 주입탱크로부터 모노펌프에 의해 믹싱교반기로 이송된다. 혼합된 슬러지와 고분자 응집제는 탈수가능한 플록이 형성되며 탈수기에 의해 고액을 분리시킨다.

(3) 탈수 흐름도



(4) 벨트프레스탈수기(Belt press)

비교적 최근의 기술혁신으로 만들어진 설비로서 상당히 넓은 범위의 고형물농도를 처리할 수 있다. 가장 큰 장점은 탈수과정이 연속적으로 이루어져 많은 양을 적은 인력으로 연속적으로 처리할 수 있다. 탈수에 영향을 미치는 인자로는 압착시간, 압착압력, 벨트이동시간 및 압착로울러와 지지로울러의 조합방식을 들 수 있다.

1) 압착시간

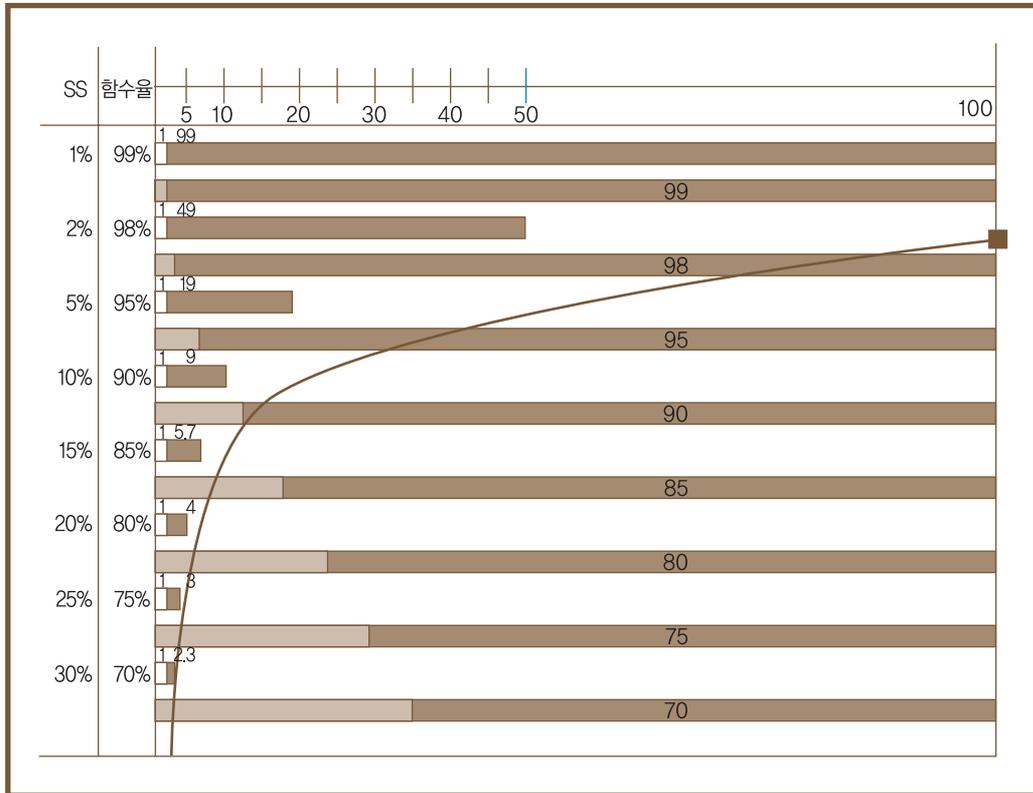
압착회수(N)가 많을수록, 벨트이송속도(V)가 느릴수록 케이크의 함수율을 저하시킬 수 있다.

2) 압착 압력

압력의 크기도 중요하지만 압착공정 전체를 고려하여 슬러지의 상태(유동성)에 대응한 적절한 압력을 서서히 가하는 것이 매우 중요하다. 압착초기에 과압력을 걸어주면 슬러지의 유동성이 높아 슬러지가 로울러 사이를 빠져 나오거나 탈수케이크가 얇아져 탈리가 어렵게 된다.

3) 벨트의 이동속도

벨트의 이동속도는 탈수케이크의 함수율, 처리능력(kg/m · hr), 케이크의 두께 등에 영향을 준다. 이동속도가 빠르면 전체의 압착시간이 짧기 때문에 탈수케이크의 함수율은 이동속도에 비례해서 증가된다. 통상 벨트이동속도가 2배 정도 되어도 함수율은 1~2%정도 증가되므로 벨트이동속도에 비례하여 함수율이 증가하는 적정범위를 찾아 그 이상에서 이동속도를 높여줄 경우, 일정 함수율 범위에서 처리용량을 대폭 증가시킬 수 있다.



〈참고자료〉 정수장 OPERATOR 자격인증교재(한국상수도 학회)

4) 탈수에 의한 슬러지 감량 효과

수리계산

1. SS량

$$SS = A \cdot T + B \cdot P$$

Where

- SS : 발생탁도 (ppm)
- A : SS/탁도 (1.3적용)
- T : 유입탁도 (도)
- B : PAC의 슬러지 생성비 (0.153)
- P : 약품주입률(ppm)

구분		고도(60,000m ³ /day)	일반(220,000m ³ /day)
기준값	평균탁도	15	10
	약품주입률	55	40
	공식(SS)	1,3×15+0,153×55	1,3×10+0,153×40
SS값		27,915(mg/l)	19,12(mg/l)

2. 슬러지 발생량

$$TS = Q \times SS \times 10^{-6}$$

Where TS = 일일슬러지 발생량(kg/일)
 Q = 유입량 (m³/day)
 SS = 유입시 SS량(mg/ l)

구분	고도(60,000m ³ /day)	일반(220,000m ³ /day)
공식	30,000×27,915×10 ⁻⁶	150,000×19,12×10 ⁻⁶
TS값	0,837(ton/일)	2,868(ton/일)
함수율 78%	3,8(ton/일)	13,036(ton/일)
이론 발생량	16,836(ton/일)	
실제 발생량	17,17(ton/일) : 2004/7/31 현재	

3. 발생량에 따른 수리계산

구분	고도(60,000m ³ /일)	일반(220,000m ³ /일)	
조정조 유입량	① 밸브 200A, 개도율 40%, 동작시간 60초 = 300m ³ /일	② 밸브 300A, 개도율 40%, 동작시간 45초 = 1,500m ³ /일	
회수조 유입량	③ 고도여과지 역세척 수량 : 150m ³ /지×3회=450m ³ /일	⑤ 일반여과지 역세척 수량 : 400m ³ /지×4회=1,600m ³ /일	
	④ 활성탄흡착지 역세척 수량 : 350m ³ /지×1회=450m ³ /일		
총유입량	①+②+③+④+⑤=4,300m ³ /일		
회수량	3,400m ³ /일		
농축조	주간(탈수기 가동 8시간)		
	구분	유입량(m ³ /hr)	체류시간
	조정조	40	1781,2÷155=11,5시간
	회수조	15	
	세+탈	100	
	계	155	
농축조 890,6m ³ ×2지의 평균 체류시간 ≒ 22,7시간			
야간(16시간)			
구분	유입량(m ³ /hr)	체류시간	
조정조	20	1781,2÷35=33,9시간	
회수조	15		
세+탈	0		
계	35		

4. 운영현황

구분	고도정수공정	평균탁도(NTU)	비 고
원수 유입량	29,000m ³ /일	12	
일일 회수량	3,400m ³ /일	22	
회수량 대비/원수유입량 비율	11,72 %		

(1) 회수조 및 조정조 슬러지 자동인발

회수수질의 향상을 위한 방안으로 농축조의 슬러지면 계측을 DCS를 통해 제어함으로 조정조 및 회수조의 슬러지 인발을 24시간 분산하여 자동운전프로그램으로 회수조의 슬러지적체를 해소하고 농축조의 농도를 향상시키는 데 목적을 둔다.

탈수기 운영의 자동화 및 현대화

1. 기본 방향

탈수기의 슬러지와 폴리머의 투입량을 DCS를 통해 제어하고, 현장에서의 응집상태를 CCTV를 통해 모니터로 관찰하며, 탈수시설 자체의 알람기능을 갖는 시스템 구성을 목표로 한다.

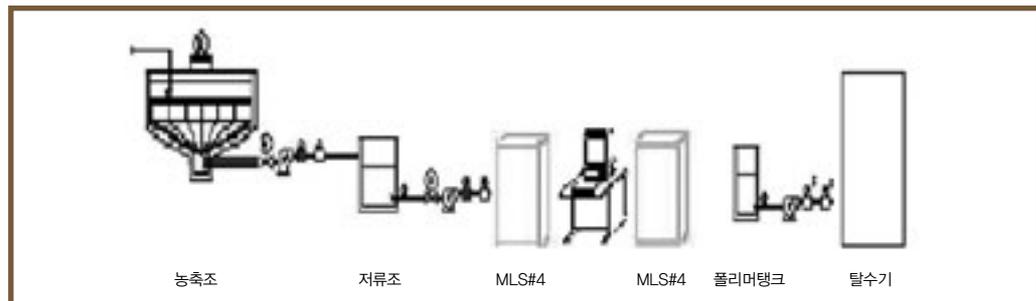
2. 세부 추진 방향

(1) 탈수기 DCS CONTROL

탈수기 가동과 정지는 컴퓨터의 조작 및 프로그램에 의해 가동 및 정지가 가능하며 또한 일정시간 후 예약 정지가 가능하도록 프로그램을 구성한다. 이는 탈수기 가동시간을 100% 활용하여 기계가동효율을 최적화하고자 한다.

(2) 약품(폴리머)의 적정량 투입

그림과 같이 농축조에서 슬러지 저류조로 유입되는 배관의 마이크로와 농도계와 저류조에서 탈수기로 이송되는 배관의 마이크로와 농도계를 이용하여 현재의 농도값에서 인입과 유출쪽의 농도 변화를 컴퓨터가 분석하여 응집제의 적정 투입량을 연산프로그램에 의해 약품 투입펌프의 인버터를 4~20mA로 제어한다. 응집제의 필요 요구량은 슬러지량 × 슬러지 농도에 의해 결정되며, 슬러지량은 통신을 위한 MLS#4판넬의 AO카드의 point부족으로 현장 관넬에서 일정하게 유지하도록 한다.



(3) 계면기를 이용한 농축조의 효율 극대화

자동화를 위한 최우선은 현장슬러지 농도의 일정값을 유지하는 것이다.

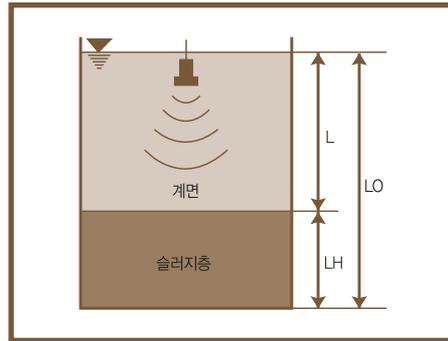
농축조 슬러지 일정농도 유지방안으로는 탈수기 가동 시 발생하는 탈리여액을 농축조에 유입시켜 농축 함수율을 높이고 또한 농축조 내 계면기를 설치하여 자동 운전 프로그램을 이용 농축조의 슬러지 담수능력을 100% 활용함으로써 탈수기에서의 폴리머 투입량을 최소한 정량으로 유지한다.

● 동작원리

초음파가 수중에서 전파되는 속도는 약 1500m/sec로 거의 일정하므로 초음파가 전파되는 시간을 알면 거리를 구할 수가 있다.

그림과 같이 검출기 바닥으로 향해서 수중에 설치한다. 검출기에서 발사된 초음파펄스는 계면에서 반사되어 검출기에 수신된다.

여기서 초음파펄스 전파시간 T는 다음과 같다.



$$T = 2L/C \quad (1)$$

단, C : 음속

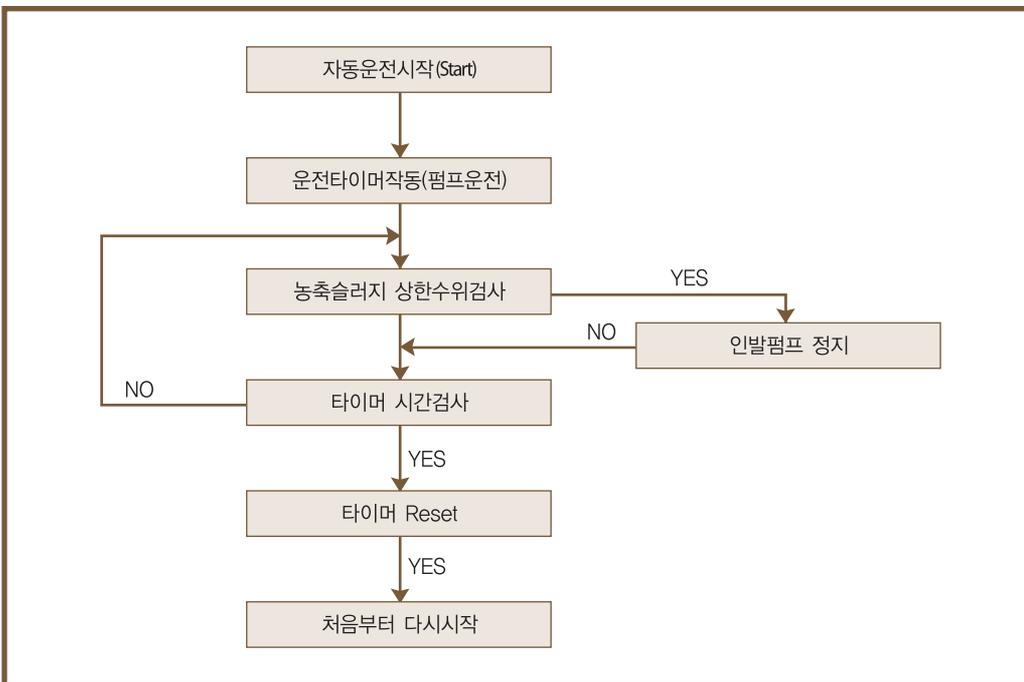
L : 검출기에서 계면까지의 거리

T : 초음파펄스 전파시간

$$(1) \text{식을 바꾸면 } L = CT/2 \quad (2)$$

여기에서 계면위치는 $LH = LO - L$ 이 된다.

(4) 계면기의 자동 운전 구성을 위한 순서도



계면기가 설치되지 않은 시점에서는 농축조의 슬러지 높낮이에 관계없이 시간타이머에 의해 연속적으로 조정조 및 회수조에서 슬러지펌프가 인발되었으나, 계면기를 이용하여 농축조에서의 슬러지량에 대한 상한값과 하한값을 설정하여 일정수위 이상이 되면 자동으로 펌프 인발을 정지하고 적정수위 이하로 슬러지의 계면이 떨어지면 자동으로 펌프 인발이 되도록 하는 제어하는 프로그램의 순서도다.

(5) 약품자동투입에 따른 모니터 방법

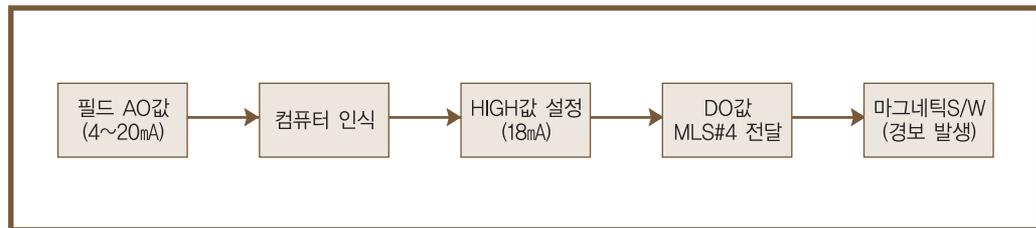
약품의 적정량 투입 확인은 CCTV를 통해 여포에서의 슬러지 응집상태를 근무자가 수시로 모니터링하는 방식을 택하였다.

(6) 알람 시스템의 개선

현재 천상정수장에서 사용되는 프로그램은 KADAC-21S로 알람 체계는 시스템 경보 및 플렌트 경보로 구성되어 있다. 그러나 현재의 프로그램으로는 각 공정별로 알람을 분산할 수 없는 단점이 있다. 회야정수장의 경우는 약품실, 송수펌프장, 탈수동 여러 공정별로 개별 IP판넬이 있어 현장의 값을 IP에서 확인이 가능하고 설정값을 벗어날 경우 알람과 리셋을 할 수 있으나, 천상정수장의 경우 알람은 컴퓨터 모니터에서만 가능하도록 구성되어 있다. 이런 단점을 보완하기 위하여 각 현장 근무지별로 현장에 맞는 경보값을 구성하여 필요한 경보만 동작할 수 있도록 하였다.

먼저 필드에서 숫자값(AO신호)에서 설정값 이상으로 변동하게 되면 알람이 발생되는데 이때 필드의 필요값들을 하나의 덩어리로 묶어 경보가 발생되면 프로그램에 의해 DO카드로 동작신호를 보내게 된다. 즉 전기신호의 연결을 의미하는데 여기서 마그네틱 스위치가 동작되면서 경보가 발생하는 원리를 이용하였다.

<개별 경보의 발생원리>



※ 프로그램 설치업체인 비즈로시스(주)의 기술부와 협의

현재 추진현황

1. 세부 실적

(1) 계면기 설치 및 DCS자동운전

회수수질의 향상을 위해 농축조 내 슬러지면 측정을 위한 계측장비를 도입하여 최대량의 슬러지를 농축조 내에 담수할 수 있도록 DCS를 통해 제어함으로써 조정조 및 회수조의 슬러지를 24시간 분산하여 농축조로 이송하여 회수조의 슬러지 적체를 해소하고, 농축조의 농도를 향상시키며, 회수물량의 수질을 안정화시켰다.

농축조 내 계면기 설치 및 작동원리



※ 현장작업(2004/7/30)

계면기 설치에 따른 회수수질 분석

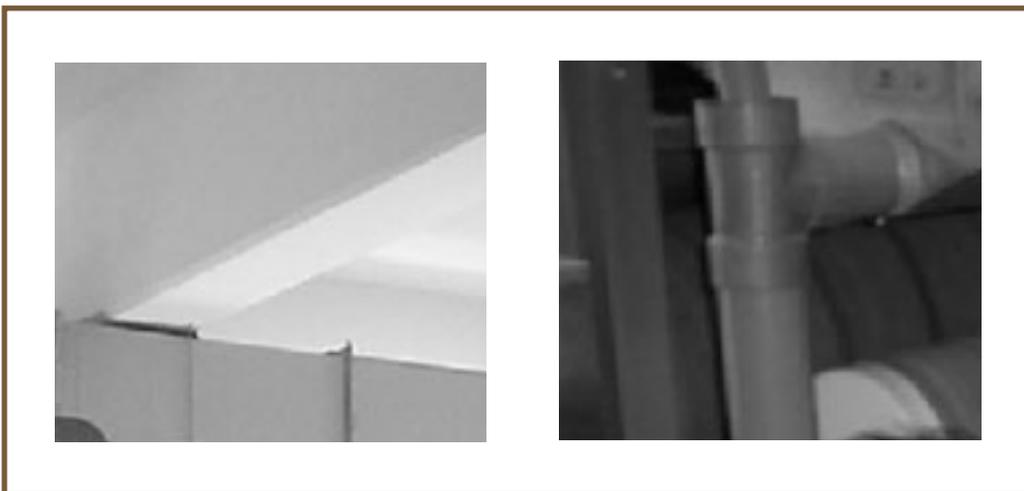
구분	고도정수공정	평균탁도(NTU)		비고
		설치 전	설치 후	
원수 유입량	29,000m ³ /일	12	12	
일일 회수량	3,400m ³ /일	22	15	탁도 감소

조정조 물량을 24시간 분산하여 농축조로 이송함

(2) 탈수기 기계의 표준화

탈수기의 최적운영과 생산슬러지의 안정화 및 가동상태의 표준화를 위해 기계의 전반적인 운영상태를 세팅하였다.

탈수기 구동드럼의 이동속도세팅 장면



계측장비 교정작업을 위한 현장 실측작업

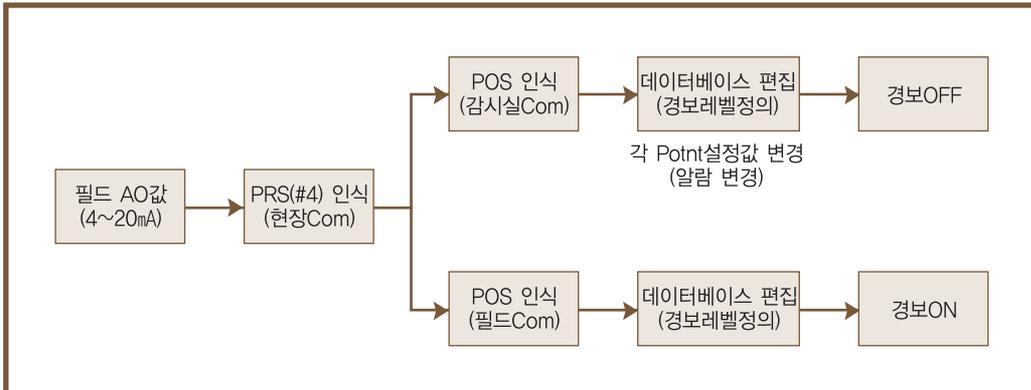


※ 현장작업(2004/6/15)

(3) ALARM SYSTEM 개선

KADAC-21S로 알람 체계는 시스템 경보 및 플랜트 경보로 구성되어 있다. 각 Position별로 조건에 맞는 경보값을 구성하여 필요한 알람만 동작할 수 있도록 데이터베이스 편집기에서의 프로그램을 수정하여 Position에 맞는 알람만을 선정하여 현장에서는 독립적으로 운영을 하며 중앙감시실에는 종합 감시가 가능하도록 구성하였다.

개별 경보의 발생원리



※ 비즈로시스의 기술문의 후 프로그램 수정(2004/8/3)

(4)약품희석탱크 UPS전원연결

정전 시 공급전원의 단락으로 약품공급(폴리머)탱크 판넬의 전기적 접점이 단락되어 판넬 계장의 모든 기능이 Reset되어 약품희석이 처음부터 이루어져 탈수기 운전이 어려움이 있어 이를 보완하고자 판넬 조작 전원엔 UPS전원을 연결하여 정전 시에도 각종 전기밸브 및 마그네틱 접점을 유지하였다.

※ 2004/7/15완료



향후 추진방향

1. 약품(폴리머)자동조절프로그램 설치

오니처리장 탈수기의 슬러지 및 약품응집 자동조절장치를 설치하여 자동화율 제고 및 슬러지 발생량 절감 등 안정적인 배출수 처리를 위한 연계작업 및 프로그램 설치가 필요하다.

(1) 운전방법

- ▶ 조작 가능위치 : 현장 LOP, 중앙 수동 및 자동운전
- ▶ LOP 운전방법 : 현장에 설치된 판넬에서 수동으로 약품량 조절
- ▶ 중앙 운전방법 : CRT화면에서 수동 및 자동운전 가능
 자동은 슬러지 농도변화에 따른 약품량 투입이 컴퓨터 연산에 의해 자동으로 이루어진다.
 수동은 Operator가 적정 약품값을 입력할 수 있도록 하였다.

(2) 프로그램의 개발 및 설치

- ▶ 연 2회 비츠로시스에서 실시하는 프로그램 운영교육을 바탕으로 자체 설치 예정 : 위탁교육 필요

2. 현장 상태확인을 위한 CCTV 설치

약품의 적정량 투입 확인 및 현장 기기의 가동상태 확인을 위한 전용 CCTV 설치 필요

(1) 필요성

- 1) 현장 약취 및 소음으로부터 근무자 보호
- 2) 현장 상황 실시간 확인 가능
- 3) 자동화 운전 시 안전장치

효과분석

1. 탈수기 자동화 및 현대화

(1) 계면기 설치 및 DCS자동운전

- ▶ 농축 효율증가에 따른 탈수효율증대 및 탈수기 운전시간 단축
- ▶ 회수수 수질향상으로 약품비 절감 및 침전지 여과지 부하 감소
- ▶ 컴퓨터 제어로 수작업에 의한 사고예방
- ▶ 농축조 체류시간 증가로 인한 방류수 수질향상

(2) 탈수기 표준화 세팅작업

- ▶ 기기 유지관리의 효율성 확보
- ▶ 소모성부품의 효율성과 최대화

(3) 알람기능 개선

- ▶ 긴급사항 발생 시 조기 대처 가능
- ▶ 자동화의 신뢰성 확보

(4) 약품희석탱크 UPS전원연결

- ▶ 정전에 따른 약품희석문제 완전해결
- ▶ 탈수기 운전의 안정성 확보
- ▶ 약품(폴리머) 재고관리 확실

결 론

울산시는 상수도사업의 일환으로 2003년 220,000m³/일 규모의 정수시설을 갖춘 천상일반정수장의 계통으로 양질의 수돗물을 안정적이고 체계적으로 공급하게 되었다.

본 연구의 목적은 배출수 처리시설의 경우 과거의 탈수처리 공정흐름에 크게 변화되지 않고 근무자의 수작업에 의해 운전되고 있는 배출수 처리시설 전반을 조사 및 검토하여 일부시설을 보완함으로써 시설의 유지관리 및 운전이 용이하도록 개선하고자 하였다. 탈수공정 자동화 및 현대화는 시설개선과 연산 및 제어프로그램화 방식으로 접근하여 탈수케이크의 생산성 제고에 중점을 두어 시스템을 구축하였으며 특히 현장 근무자들이 시설여건에만 의존하지 않고 연구과제를 도출하여 결과를 맺었다는 것에 의미가 더 크다고 본다. ㉠