

중공사형 분리막과 막차압변화율을 이용한 간이정수처리기술(HNAT®-II)

환경신기술 지정 제113호 및 검증 제73호

김정훈, 류제천, 강원 중
현대엔지니어링(주)
토건환경사업본부 환경부

1. 서론

국민의 삶의 질 향상에 따른 환경에 대한 요구가 증가하면서 정부의 마을상수도 개체의지가 더욱 강화되고 있으며, 이에 부응하기 위해 완벽한 처리수질 뿐만 아니라 유지관리가 용이한 분리막을 이용한 정수 처리에 관한 기술 개발이 많이 이루어지고 있다. 최근에는 분리막을 이용한 정수처리시설의 실용화가 활발히 진행되고 있는 실정이며, 당사에서는 3년여에 걸친 연구개발의 결과로 HANT II Process에 대한 환경부 신기술을 취득하였다.

막여과 공정에서 입자성 물질에 대한 처리수질의 확실성은 많은 연구자들에 의해 공감되고 있는 상황이나, 막여과 공정의 특성상 유지관리에 대한 최적인 전조건의 도출은 미흡한 상태이며, 시간이 경과함에 따라 여과저항의 증가로 인한 유지관리의 문제점으로 정수처리장에 적용시에는 많은 한계가 있다. 막분리에 있어서 막오염의 억제와 적절한 시기의 막세척은 경제성과 직결되는 플렉스를 유지하고 막의 수명을 연장하기 위해 매우 중요하다.

한편, 기존 막분리 운전 방식의 운전 모드는 운전 환경 변화에 따라 민감하게 반응함에도 불구하고 대부분 여과, 배수 공정을 Timer에 의한 시간 제어 방

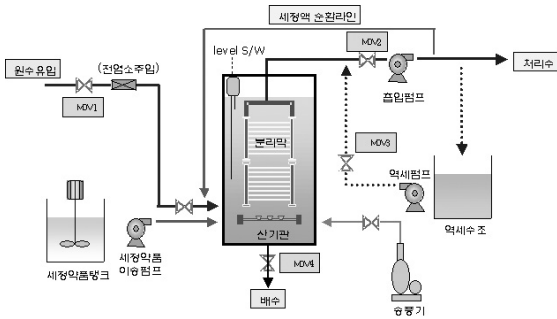
식으로 운전함에 따라, 분리막의 내구성에 영향을 미칠 정도의 물리, 화학적 손상을 유발하는 임계값 이상으로 운전될 경우 분리막에 치명적인 손상을 입힐 우려가 있다. 따라서, 본 기술에서는 정유량 제어방식으로 흡입여과 중인 분리막의 여과저항이 증가할 경우 막차압은 상승하는 특성을 가지고 있으므로 적절한 시기의 막세척을 통해 막분리 공정을 안정하게 운전할 수 있도록 여과저항에 따른 차압변화특성을 고려한 막차압변화율로 여과기능을 제어하는 기술을 개발하였다.

II. 본론

1. 기술의 개요

HANT®-II Process는 막여과조에 침지식 중공사막을 설치하여 막의 순간 및 평균차압변화율로 여과기능을 제어하며, 흡입여과시 막에 부착된 오염물질을 공기와 물로 역세하고, 막여과조에서 전염소처리, 응집 및 여과를 수행하는 간이정수처리기술로서 필요시 이온성 물질의 제거를 위하여 이온교환, R/O등의 후처리설비를 구성할 수 있다. 본 기술에서 이온교환의 역할은 전염소를 이용한 산화, 응집 및 막여과로서도 제거할 수 없는 이온성물질, 특히 질산성질소가 문

제시 되고 있는 상수원에서 질산성 질소를 선택적으로 제거하여 처리수질을 향상시키기 위함이다. 그림 1은 HANT®-II의 공정도를 나타낸 것이다.



(그림 1) HANT®-II 공정도

2. 기술의 특징

본 기술에서는 여과저항에 따른 차압증가를 억제하기 위하여 여과저항 변화에 따른 차압변화가 컴퓨터 프로그래밍에 의해 자동 연산되어 시스템 운전시 그 연산된 값 즉, 분리막의 차압변화폭에 의하여 능동적으로 흡입 운전 시간을 결정하는 특징을 가지고 있다.

3. 신기술의 요건 및 내용

3.1 신구성

여과시간에 따른 막차압의 순간 및 평균변화율을 제어하여 여과하는 기술

3.2 기술의 우수성

여과시간에 따른 차압의 순간 및 평균변화율을 이용하여 안정된 투과유속과 일처리량을 유지시킨 기술

- 여과방법을 기존의 시간으로만 제어하는 방식에서 여과시간에 따른 막의 순간 및 평균차압변화율로 제어하므로써 상수오염물질이 분리막에 영향을 주는 그 순간에 여과공정이 중지되고 결과적으로 역세공정을 수행하여 세정효과를 향상시키고, 여과시에는 차압상승을 억제하기 위한 공기세정과 같은 별도의 세정이 불필요하여 동력비가 절감된 기술

막여과조에서 전염소처리, 응집 및 여과를 동시에 수행하는 기술

- 상수원수의 탁도에 따른 전염소, 응집과 침지된 중공사막을 이용한 고·액분리의 여과를 단일 반응조내에서 동시에 수행함으로써 기존 정수처리공정의 응집, 침전 및 여과시설 대용으로 사용할 수 있는 기술

- 상수원수의 탁도에 따라 응집제가 원수 유입배관에 설치된 Line Mixer로 투입되어 원수와 혼합된 다음 막여과조에서 미세한 물질이나 Colloid 상태 혹은 용해성 물질을 응집, 침전시켜 차압상승 억제효과 및 여과효율을 극대화하고 또한 원수 유입배관으로 차아염소산나트륨을 투입하여 원수내의 유기물, 철, 망간등을 산화하며 조류번식을 억제하는데 이때 차아염소산나트륨의 주입은 막여과처리수의 잔류염소농도에 따라 제어되는 기술

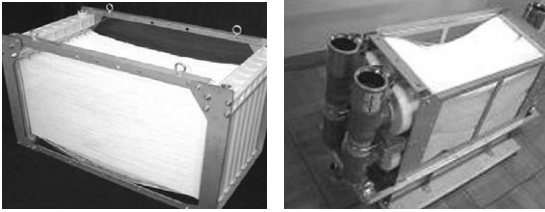
4. 처리성능 및 평가결과

4.1 처리대상수

처리대상수는 고양시 한국수자원공사로 유입되는 한강원수로 공동집수조에서 자연유하되며 평가시설은 1일 50톤 처리규모의 막여과와 이온교환 Pilot Plant였고, 사용한 막유닛은 미쓰비시사의 지포수용 분리막이었다.(그림3)



(그림 2) Pilot Plant 전경



(그림 3) 막유닛(지표수용(좌),지하수용(우))

4.2 운전인자

HANT[®]- II Process의 운전인자는 막여과조내에 설치된 분리막을 통한 흡입여과 운전시 나타나는 차압의 변화를 시간에 따라 자동으로 측정하여 그 변화폭에 의해 여과기능을 제어하는 막차압변화율과 막여과처리수의 잔류염소농도를 계측하여 최소 잔류염소농도 기준인 0.2ppm이하일 경우 차아염소산나트륨이 막여과조로 주입되는 처리수 잔류염소농도이며 이때 주입되는 염소는 막여과조내에서 철, 망간등을 산화시키고 조류성장을 억제하는 전 염소 기능을 병행한다. 또한, 운전기간에 우기가 포함되어 집중호우 이후 탁도가 급격히 높아졌으나(최대 250NTU) 유입탁도에 따라 응집제(PAC)를 주입하여 고탁도 유입시에도 분리막의 여과성능을 유지하였다.

막차압변화폭이 6mmHg 이상이면 흡입여과가 중지되고, 분리막의 오염물질을 털어내기 위한 Scrubbing Air의 공급과 처리수를 이용한 역세정이 수행되었고 표 1와 표 2에 본 평가에 사용된 분리막의 특성 및 운전조건과 평가시설의 운전결과를 나타내었다.

4.3 처리성능

4.3.1 유입처리량

유입유량은 평균 54.2m³/일로 유입되었으며, 막여과 처리수량과 최종처리수량은 각각 평균 56.5m³/일, 평균 51.7m³/일로 안정적으로 처리되었다. 또한, 회수율은 평균 95.5%로 안정하게 나타났으며, 막여과설비만 가동될 경우 이온교환 수지재생 배출과 막여과수의 리사이클링이

없어 약 98%이상의 높은 회수율이 예상되는 것으로 나타났다. 운전기간동안 유입수, 막여과수, 최종처리수의 유량과 회수율은 표 3과 같다.

〈표 1〉 분리막의 특성 및 운전조건

구분	내용	
특징	재질	Polyethylene
	구조	비대칭 중공사막
	PORE SIZE(μm)	0,1
	외경/내경(μm)	540/360
	유닛 크기(mm)	800W x 442D x 480H
	유효막면적(m ²)	78
	여과방식	흡입투과방식(Dead end)
	내약품성	양호 NaOC(50, 200ppm) NaOH(1N, 7.5N)
	PH	1 ~ 14
역세허용압력(kPa)	< 200	
탁도(NTU)	0 ~ 1,000	
수 온()	0 ~ 40	
막투과유속(m ³ /m ² · 일)	0.3 ~ 0.5	
허용차압(mmHg)	초기차압 + 225	

〈표 2〉 평가시설 운전결과

공정	운전인자	단위	운전조건	비고
공통	탁도	NTU	2.1 ~ 30.7	
	수온		19.3 ~ 22.8	
	pH	-	7.12 ~ 7.72	
전처리	처리수잔류염소	mg/L	0.06 ~ 0.15	
	PAC	kg/일	0.33 ~ 2.16	
여과	투과유속	m ³ /m ² · 일	0.36 ~ 0.38	
	차압	mmHg	141 ~ 217	초기차압 60mmHg
	평균차압율	mmHg/초	< 3.5	
	순간차압율	mmHg/초	< 1.5	
배수 / 역세	공기세정시간	초	60 ~ 120	
	역세시간	초	10 ~ 25	
	배출시간	초	10 ~ 30	
이온교환	재생주기	회/일	1	
	재생배출량	m ³ /일	1.42	

〈표 3〉 유입 및 처리량의 변화 단위: m³/1

구분	측정값			비고	
	최저	최고	평균		
유량	유입량	53.0	56.0	54.2	
	막여과량	56.0	58.0	56.5	
	역세량	0.18	0.83	0.49	
	배출량	0.29	0.98	0.54	
	최종처리량	50.20	52.80	51.7	
	재생배출량	1.35	2.30	1.49	수지
회수율(%)	93.1	97.8	95.5		

* 운전기간 : 121일

* 최저 및 최고는 현장측정치(27회) 값임

4.3.2 막차압변화율에 따른 운전결과

막차압변화율에 의한 여과주기는 그림 5와 같이 2~6시간으로 특히, 수온이 10도 이하인 경우에는 3시간 전후로 조사되었고 역세회수는 일 4~12회로 나타났다. 하절기 고탁도 유입시기와 동절기 수온저하시기에 막차압변화율에 의한 여과주기가 짧아져 외부환경변화에 능동적으로 대처함을 알 수 있었다.

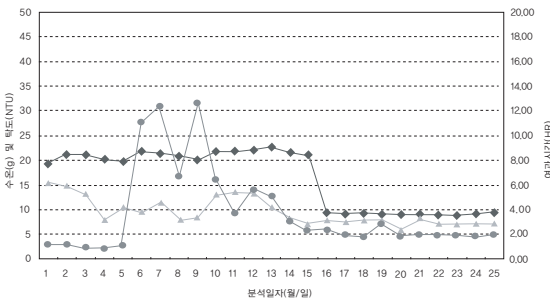
막투과유속은 0.36m³/m²·d에서 0.38m³/m²·d로 일정하게 유지되었으며 운전경과일수 486일째 막차

(표 4) 오염물질 제거효율

항목	수질기준	유입수		막여과 처리수		최종 처리수	
		범위	평균	범위	평균	범위	평균
일반세균	100CFU/ml이하	68~1,696	493	0	0	0	0
총대장균군	불검출/100ml	검출		불검출		불검출	
대장균	불검출/100ml	검출 또는 불검출		불검출		불검출	
분원성대장균	불검출/100ml	검출 또는 불검출		불검출		불검출	
불소	1.5mg/L이하	불검출		불검출		불검출	
암모니아성질소	0.5mg/L이하	불검출~0.04		불검출~0.02		불검출	
질산성 질소	10mg/L이하	9.7~22.6	14.5	1.9~32.4	12.8	0.6~7.5	2.88
잔류염소	4mg/L이하	0.01~0.03	0.02	0.17~0.34	0.22	0.34~0.65	0.40
냄새	이취없을 것	적합 또는 부적합		적합		적합	
맛	이미없을 것	적합 또는 부적합		적합		적합	
색도	5도이하	1~21	7.86	0~3	0.5	0	0
망간	0.3mg/L이하	불검출		불검출		불검출	
탁도	0.5NTU이하	4.4~31.4	9.45	0.06~0.08	0.07	0.06~0.08	0.07
알루미늄	0.2mg/L이하	0.00~0.96	0.16	0.00~0.14	0.05	0.00~0.30	0.05

주1) 일반세균, 총대장균군, 잔류염소, 탁도는 추가분석 결과임.

주2) 질산성 질소는 조제수를 유입원수에 Spiking하여 이온교환으로 처리한 결과임.



(그림 4) 막차압변화율에 의한 여과시간의 변화

압이 217mmHg로 허용차압인 285mmHg(초기차압 +225mmHg)의 76%에 해당하였지만, 중공사막의 세정 전, 후 차압 및 유량 등 운전상태를 알아보기 위해 중공사막을 막여과조내에 장착된 상태에서 0.1%의 NaOH 수용액으로 6시간 동안 세정한 결과, 95mmHg의 차압으로 회복되는 약품세정 효과가 있었고 처리수량의 변화는 없었으며 세정 전, 후의 중공사막의 상태는 그림 5와 같았다.



(그림 5) 약품세정 전, 후 중공사막 상태

4.3.3 처리수질

국가공인기관으로부터 처리수질을 분석한 결과, 간이상수도 수질기준과 먹는물 수질기준을 만족하였다.

4.3.3 처리수질

국가공인기관으로부터 처리수질을 분석한 결과, 간이상수도 수질기준과 먹는물 수질기준을 만족하였다.

4.3.4 경제성

전력사용량은 평균 0.98kWh/m³의 전력이 소요되었으며, 응집제(PAC) 사용량은 평균 0.56kg/일(0.01~2.16kg/일)로 유입 탁도가 높아짐에 따라 증가하였지만 탁도 5NTU 이하에서는 투입되지 않았다. 차아염소산나트륨(NaOCl)은 평균 0.38kg/일(0.17~0.83kg/일)이 사용되었다.

4.4 원격감시제어시스템

HANT[®]-II Process는 그림 6과 같이 인터넷 통신망을 통하여 실시간 운전상황을 원격감시제어하였고 수십개소의 간이상수도 시설을 통합관리할 수 있다.

· 결론

당사에서는 침지식 분리막을 이용한 하, 폐수처리 기술인 HANT[®]-II Process에서 막의 최적 유지관리를 위하여 그 동안 많은 노력을 해 왔으며, 이제 분리막 운전기술을 정수처리에 응용하여 단일 반응조에서 전염소 및 응집, 침전과 동시에 여과하면서 막차압변화율로 분리막의 운전을 제어하는 HANT[®]-II

Process를 개발하였다.

HANT[®]-II Process는 분리막으로 처리할 수 없는 이온성 물질의 경우, 전단 또는 후단에 적합한 제거설비를 추가하여 유입원수 수질에 맞추어 패키징화할 수 있으며, 또한, 자동제어가 용이한 막여과 설비의 특징으로 수개의 간이상수도를 통합운영관리할 수 있으므로 전국의 간이상수도 수질개선 및 시설개량에 적극 참여하여, 현재 간이상수도의 노후화된 시설, 수질불량 및 전문관리 인원의 부족 등의 문제점을 해결하고, 주민들에게 깨끗하고 안전한 먹는 물을 공급할 계획이다.

*홈페이지 : WWW.hants.co.kr(02-2166-8887)