

발 간 등 록 번 호

11-1613000-001875-01

국토교통기술사업화지원사업 R&D REPORT

보안과제(), 일반과제(O), / 공개(O), 비공개()
국토교통기술사업화지원 사업 제2차 연도 최종보고서

R&D/16TBIP-C094085-02

농축수처리 패키지 무방류형막여과공정 신기술 최종보고서

2017. 07. 07

주관연구기관 / 지앤씨엔지니어링(주)

국토교통부

(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘농축수처리 패키지 무방류형 막여과공정 신기술’(연구개발 기간 : 2015.04.27 ~ 2017.04.26)
과제의 최종보고서 보안본(안) 1부를 제출합니다.

2017. 07. 07

주관연구기관명 : 지앤씨엔지니어링(주) (대표자) 이 규 범 (인)
협동연구기관명 : (대표자) (인)
참여기관명 : (대표자) (인)

주관연구기관책임자: 김 병 택
협동연구기관책임자:
참여기관책임자:

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

과제 고유 번호	16TBIP-C094085-02	해당 단계 연구 기간	2016.04.27.~ 2017.04.26	단계구분	(총단계)
연구사업명	중사업명				
	세부사업명	국토교통기술사업화지원			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	농축수처리 패키지 무방류형 막여과공정 신기술			
연구책임자	김 병 택	해당단계 참여 연구원 수	총: 9명 내부: 9명 외부: 0명	해당단계 연구개발비	정부:167,000 천원 기업: 19,500 천원(현금) 175,500 천원(현물) 계:362,000 천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 12명 내부: 9명 외부: 3명	총 연구개발 비	정부:335,000 천원 기업: 39,000 천원(현금) 351,000 천원(현물) 계:725,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	지앤씨엔지니어링주식회사/부설연구소			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명 : 성균관대학교 (1차년도)			연구책임자 : 김지훈	
1. 기존 2단 막여과 공정개선을 통한 집적화된 1단 막여과 공정 구현 2. 1단 공정으로 2단 공정의 효율 달성(99% 이상의 고회수율, 1% 이하의 농축수 발생) 3. 기존기술대비 20% 초기투자비용 저감 및 30% 운영관리비 절감 4. 환경신기술 정부인증 신청을 통한 경제성 및 신뢰성 확보, 이를 활용한 물 재이용 통합공정 상표등록을 함으로써 사업 브랜드 이미지 창출을 통한 실용화				보고서 면수 59	

연구의 목적 및 내용	○ 고회수율 운영이 가능하고 농축수량의 최소화를 통해 운영비 저감이 가능한 사이클론/나노버블 기술을 적용한 저압 막여과 공정 구성 및 설계 기술 개발 ○ Lab scale 실험 및 Pilot 운영을 통한 구체적인 대용량 설계시안 도출 및 환경 신기술(NET, new environment technology) 정부인증 신청 진행				
연구개발성과	○ 99% 고회수율 1단 막여과 공정 구축 - 기존(1단+2단) 대비 50% 이상의 배출수(농축수) 발생량 절감 - 기존(1단+2단) 대비 20%의 초기투자비(공사비) 절감 - 기존(1단+2단) 대비 30%의 운영관리비 절감				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 고회수율 막여과 공정을 위한 막여과 장치 및 그 세정 방법을 pilot plant 규모의 실증을 통해 환경신기술(NET) 정부인증 신청을 진행함으로써 종래의 기술적 한계를 극복하고 세계 선도형 전처리 공정 기술 확보를 통해 물산업 시장에 진출하는 것을 지향				
핵심어 (5개 이내)	재이용	사이클론	나노버블	막여과	고회수율

Purpose & Contents	○ We aim to simplify membrane process to '1st stage' by applying the physical cleaning drainage system with 'up-flow type' of the core patented technology in this study to the membrane pre-treatment process for wastewater reuse consisting of previous multiple stages (1st stage + 2nd stage) and combining nano bubble and hydro cyclone. In addition, we aim to achieve early commercialization by proving the original technology capable of accomplishing high recovery rate of 99%.				
Results	○ Establishment of 1st stage membrane process with a high recovery rate of 99%. - Compared with the previous multiple stages (1st stage + 2nd stage), the amount of effluent (concentrated water) reduces by more than 50%. - Compared with the previous multiple stages (1st stage + 2nd stage), the initial investment costs (construction costs) reduce by 20%. - Compared with the previous multiple stages (1st stage + 2nd stage), the operational management costs reduce by 30%.				
Expected Contribution	○ We aim to overcome existing technical limitations by using the membrane device and cleaning method for the high recovery rate membrane process and applying for the government authorization of the new environmental technology (NET) through the pilot plant-scale demonstration and to enter the market of water industry by ensuring the technology of the world-leading pretreatment process.				
Keywords	Reuse	Cyclone	Nano bubble	Membrane filtration	High recovery

Part 1. Introduction	7
Part 2. State of Research	13
Part 3. Results of this study	21
Part 4. Achievement	53
Part 5. Application plan of results	54
Part 6. National research facilities and Equipment trends	56
Part 7. Representative research achievements	57
Part 8. References	58
제1장. 연구개발과제의 개요	7
1. 연구개발 목적	8
2. 연구개발의 필요성	10
3. 연구개발 범위	11
제2장. 국내외 기술 개발 현황	13
1. 국내외 시장 동향	13
2. 국내외 기술 동향 및 현황	18
제3장. 연구 수행 내용 및 성과	21
1. 연차별 연구 추진내용	21
2. 연구결과	22
3. 연구성과	50
제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	53
1. 목표 달성도	53
2. 관련 분야 기여도	53
제5장. 연구개발성과의 활용계획	54
1. 연구개발 결과 활용방안	54
2. 요소기술 활용 전략	54
3. 기타	55
제6장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	56
제7장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	57
제8장. 참고 문헌	58

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

가. 연구개발 개요

- 사업화 대상기술은 성균관대학교 산학협력단에서 보유한 기술을 이전받는 기술로서 ‘고회수율 막여과공정을 위한 막여과장치 및 그 세정 방법’에 대한 지적재산권(등록특허)임.
- 사업화 대상기술은 하·폐수 재이용 전처리공정, 정수처리 주처리공정, 해수담수화 전처리공정, 초순수처리 전처리공정, 세일가스 수처리 전처리공정 등 분리막을 이용한 막여과 공정에 광범위하게 적용할 수 있는 권리범위를 갖는 기술임.
- 본 연구제안을 통해 사업화 우선적용 분야로서 기존의 1단과 2단으로 결합된 복합 하·폐수 재이용 막여과공정을 본 사업화에 핵심특허기술인 ‘상향류 흐름’의 물리세정 배수방식을 적용하고 나노버블과 하이드로사이클론을 결합하여 ‘1단’으로 단순화시킴으로써 99%의 고회수율을 달성할 수 있는 기술을 개발함.
- 기존의 막여과공정의 여과 및 역세척 주기로서의 일반적인 역세척 방식인 ‘에어스크러빙 → 수역세척 순서’의 중력 하향류 배수방식을 독창적이고 효율적인 ‘수역세척 → 나노버블 순서’의 상향류 배수방식으로 차별화한 기술을 개발함.

나. 연구개발 내용

(1) 상향류 흐름의 역세척 막여과공정

- 기존 1단막과 2단막이 결합된 복합 하·폐수 재이용 막여과 공정을 핵심 특허 기술인 나노버블과 하이드로사이클론을 결합하여 막모듈 내 ‘상향류 흐름’의 물리세정 방식을 통해 1단막으로 단순화시킴으로써 고회수율을 달성할 수 있는 신기술
- 기존 2단 재이용 막여과공정의 회수율을 98~99%로서 기존의 하향류식 배수방식을 상향류식으로 차별화하여 본 제안 신기술의 1단 공정으로서 동일한 99%의 고회수율을 달성할 수 있는 신기술
- 99% 고회수율의 1단 막여과 공정을 유지하기 위한 상향류식 역세척 방식을 통해 기존보다 50% 이상의 배출수(농축수) 발생량을 저감할 수 있는 친환경적인 신기술로서 20%의 초기설치비(공사비) 절감과 30%의 운영관리비를 절감할 수 있는 경제적인 전처리공정을 구현할 수 있는 신기술

(2) 나노버블을 통한 산화 및 물리세정

- 기포의 크기가 작으면 Zeta Potential이 큰 입자에 대해서도 부착력이 뛰어나 세정의 효과가 클 뿐만 아니라, 기포의 크기가 ‘Nano Size’ 이면 단위체적당 산소량이 증대하므로 살균의 효과가 큼.
- 나노버블의 수처리 적용 시 기포의 크기가 작아 수중에서 상승속도가 느리게 됨으로써 체류시간을 길게 할 수 있으며, 비표면적을 크게 만들어 ‘기-액’ 계면의 흡착조작이나 물질이동조작에 유리함.

- 구형의 계면을 가지는 기포 내부에서 표면장력이 기체를 압축하는 힘으로 인해 발생하는 자기가압효과에 의해 4,000~6,000℃의 순간 고열이 발생하여 100만분의 1초의 짧은 시간에 압축, 파열의 연쇄반응을 반복하며, 자기가압효과에 의해 소멸할 때 OH등의 프리라디칼을 발생시켜 물속에 존재하는 유기물 및 바이러스를 산화시킴.
- 나노버블의 표면은 마이너스로 대전하고 있는데, 이는 서로 반발하려는 성질을 가져 기포가 밀집한 상태에서도 각각의 독립을 지켜, 결코 결합하려 하지 않기 때문에 큰 거품으로 성장하지 않는 특성을 가짐.
- 김영훈(2011)의 연구 결과 미세기포의 세정 효율이 일반 폭기(물리세정) 시 보다 약 5~8% 높은 것으로 나타났으며, 일반 정치(비폭기 휴지) 시와 비교하였을 경우 일반 폭기는 평균 65.7%의 물리세정 효율향상을 보인 반면, 미세기포는 평균 111.6%의 높은 효율을 보임.

(3) 하이드로사이클론을 통한 고회수율 제어

- 하이드로사이클론을 막여과 공정에 적용할 경우 중력방향의 하향류식 입자 분리를 적용하는 것이 일반적이지만, 본 대상 기술은 나노버블의 상향류 흐름과 막여과공정의 하향류 흐름의 반대되는 흐름을 하이드로사이클론을 이용하여 모든 흐름이 상향류 흐름으로 고액분리되어 99%의 고회수율을 달성함.
- 하이드로사이클론은 원심력을 통해 입자성물질의 침전속도를 가속화시킴으로 인해 입자를 분리하는 방식으로 부유물질들을 유체로부터 분리할 수 있는 장치로서, 상향류의 흐름으로 고액분리되어 처리된 깨끗한 배출수는 원수조로 회수되고 함수율이 낮은 배출수의 배출슬러지는 농축됨.
- 일반적인 하이드로사이클론은 원추부에 실린더가 결합된 통형상으로 구성되어 있으며 유체 내 부유물질은 실린더 상단 유입구를 통해 접선방향으로 유입되어 강력한 소용돌이 움직임이 일어나 내벽을 따라 배출구를 통해 배출됨.
- 하이드로사이클론은 원심력을 통해 배출수 정화, 슬러지 농축 등 고액분리가 가능하여 기존의 막여과공정에서 배출되는 역세척 농축수를 정화함으로써 중력 침전조 및 여과공정의 대체공정으로 적용이 가능함.
- 원심력을 통해 단시간 농축수 처리가 가능하여 기존공정대비 낮은 체류 시간과 동력비 절감이 가능하고 설치 시 공간 절약이 가능함.
- 본 공정은 5~500 μm 의 입자성 물질을 분리할 수 있고 반영구적으로 사용이 가능하며 입자성물질 뿐만 아니라 유수분리와 같은 비중이 다른 액체와 액체의 분리에도 적용이 가능함.
- 하·폐수 재이용 공정뿐만 아니라 정수처리 전처리공정, 해수담수화 전처리공정, 초순수 전처리공정, 농축수처리 전처리공정 등 막여과 공정을 적용한 타 수처리 공정에 다목적으로 광범위하게 적용이 가능하고, 궁극적으로 초기설치비 및 유지관리비를 절감할 수 있는 기술임.

다. 연구개발 최종목표

- 기존 2단 막여과 공정 개선을 통한 집적화 된 1단 막여과 공정 구현
- 1단 공정으로 2단 공정의 효율 달성 (99% 이상의 고회수율, 1% 이하의 농축수 발생)
- 기존기술대비 20% 초기투자비용 저감 및 30% 운영관리비 절감
- 환경신기술 정부인증 신청을 통한 경제성 및 신뢰성 확보, 이를 활용한 물 재이용 통합공정 상표등록을 함으로써 사업 브랜드 이미지 창출을 통한 실용화 및 제품

2. 연구개발의 필요성

가. 지구온난화에 따른 물의 위기

- 지구상 존재하는 물 중 0.0075%만이 인간이 실제 사용할 수 있는 수자원임. 이처럼 희소한 수자원은 늘어나는 인구와 산업 활동이 초래하고 있는 수질 오염 등으로 인해 가용량이 점차 줄어들고 있는 실정임. 또한 지역별 수자원 편차 및 오염 심화가 발생함에 따라 수리권 확보 및 무기화에 따른 분쟁이 확대될 가능성이 있음.
- UN 산하 weather agency는 2025년까지 인구증가 및 기후변화, 환경오염 등에 의해 약 10억 명의 사람들이 극심하거나 보통수준의 물 부족 현상을 경험하게 될 것이라고 전망함.
- 유엔 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 또한 물 부족을 해소할 수 있는 방안이 마련되더라도 2020년 최고 17억 명, 2050년 전 세계 인구의 70%인 약 20억 명, 2080년에는 약 32억 명이 물 부족 상태에 빠지고 전 세계 인구의 20%가 홍수의 영향을 받는 등 지구온난화로 전 지구적 환경 재앙 상황에 직면하게 될 것이라는 비관적인 전망을 보임.
- 하지만, 이와 더불어 기회요인으로서 수자원 이동의 제한으로 독점적 지역사업(Regional Business)의 기회가 발생할 수 있음.

표 1. 지구 평균기온 상승에 따른 부문별 영향(IPPC 4차 보고서)

구분	지구 온도변화	부문별 영향
수자원	1.5도	4억~17억 명 물 부족
	1.5~3.8도	10억~20억 명 물 부족
	3.8도 이상	11억~32억 명 물 부족
생태계	1도	양서류 멸종, 산호 백화현상, 생물종 다양성 변화
	1.5~3.5도	생물종 20~30% 멸종 위기
	2.5도	대부분의 산호 멸종
	3.5도 이상	전 지구 주요 생물 대부분 멸종
해안	1.5도	홍수와 폭우 위험 증가
	1.8~3도	최대 300만 명 홍수 위험
	3도 이상	최대 1500만 명 홍수 위험

나. 물산업 기회 및 물시장의 확대

- Fortune지(2000)의 논고인 ‘Water, Water Everywhere’에서는 21세기 물산업이 석유산업을 추월할 것으로 전망하고 있으며, World Bank의 전 부총재 Ismail Serageldin은 “20세기 전쟁이 석유를 차지하기 위한 전쟁이었다면, 21세기 전쟁의 목적은 물이 될 것이다.” 라고 언급함. 이를 입증하듯이 물 수요는 1950~1990년의 40년간 3배로 증가하였으며, 향후 35년 이내에 현재 수요의 2배로 증가할 것으로 전망됨.
- GWI(2014)에 따르면, 물 재이용시장은 2011년 21조원에서 2018년 76.8조원으로 7년간 약 3.7배 성장할 것으로 예측하였으며, 환경부에서는 물재이용 기본계획을 시행함에 따라 2020년까지 하수처리수 재이용율을 31.1% 증대하는 계획을 수립함.

- 전 세계 물 시장 부문별 성장성은 수처리 사업이 연평균 7.6%로 가장 높으며, 특히, 기후 변화로 인한 수자원의 지역적 편중 및 산업화로 인해 RO 방식 담수설비와 물 재사용 시장의 성장률이 각각 10.8%, 14.5%로 성장세를 주도 할 것으로 전망됨. 담수화 시장에서 저압용 막(MF/UF)과 고압용 막(NF/RO)은 동장 성장세를 나타내고 있음.
- 따라서 역삼투(RO) 막여과공정을 이용한 재이용시장 확대와 함께 전처리공정 기술의 중요성이 부각됨에 따라 물 재이용 사업과 관련된 기술개발의 필요성이 대두됨.

다. 물관리 패러다임의 전환 필요

- 기후변화로 인한 가뭄빈발과 수질오염으로 사용가능한 깨끗한 물이 줄어들면서 향후 물부족 문제가 점차 심화될 가능성이 있음. 우리나라는 1인당 강수량(연 2,591m³)이 세계 평균의 약 1/8 수준이며, 특히 하천 취수율이 36%로 물에 관한 스트레스가 높은 국가군에 속하며 가뭄시 물 이용에 취약한 실정임.
- 물은 석유·석탄과 달리 잘 관리할 경우 계속해서 이용 가능한 순환자원이므로 향후 물부족에 대한 선제적 대응을 위해서는 수자원의 최대한 확보와 함께 한번 사용한 물을 재사용하는 것이 매우 중요함.
- 물 재이용은 에너지 소비를 획기적으로 줄여 저탄소 녹색성장을 리드할 대표적 친환경 경산업(제3의 물산업)분야로 에너지 사용 문제 해소 및 절감을 달성하는데 기여할 것이며, 이런 산업시장의 선점시 물부족 국가에 대한 사업 진출이 가능함.

라. 재이용공정 개발의 필요성

- 국민의 생활수준이 향상되고 경제 활동이 증가함에 따라 물 사용량은 늘어나는 반면, 한정된 물 자원과 기후 변화로 인하여 앞으로 물 공급의 지역적인 불균형이 나타날 것으로 전망됨. 또한, 기후변화로 인한 가뭄 빈발과 수질오염으로 원래 사용가능했던 깨끗한 물이 줄어들면서 향후 물 부족 문제가 점차 심화될 가능성이 있음.
- 우리나라는 물 사용지수(WEI)가 29.5%에 불과하여 물 수요와 공급의 집중적인 관리가 필요한 것으로 나타나고 있으며, 특히, 급격한 개발로 인한 물수요 증대와 자체 수원이 부족한 도서 지역의 용수원 확보가 필요한 실정임.
- 이에 따라 기존의 물자원에 대한 의존도를 줄이고 그동안 버려졌던 빗물, 하·폐수 처리수 등을 생활용수 등 각종 용수로 재이용하기 위해 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 및 하위 법령들이 제정되어 시행되는 바, 재이용 활성화를 위해 다양한 물산업 시장 진출에 용이한 기술개발이 필요함.
- 본 연구를 통해 고회수율 및 농축수 저감 기술이 적용된 실증 플랜트에 IT 및 지식 기반 서비스를 접목한 스마트 하수재이용시설 구축을 통해 신산업을 창출하고, 물부족국가·지역 해소 및 하수재이용 등 물산업시장 점유율 확대가 예상됨.

3. 연구개발 범위

가. 연구개발 범위

(1) 개발기술

- 기존 하향류식 기술이 아닌 상향류식 흐름 기술개발을 통한 배출 공정 간소화 및 잔류 오염물을 최소화하여 1단 주처리 막여과공정과 농축수처리 통합 공정을 개발함.
- 특허기술(Cyclone/Nano bubble)을 적용하여 1단 공정으로 2단 공정의 효율을 달성함.(99% 이상의 고회수율, 1% 이하의 농축수 발생)

(2) Pilot plant 시운전 및 장기 운전을 통한 운영 결과 비교 분석

- 주기적인 공인기관의 수질분석 결과 확보
- 원수 부하 및 최적응집제 주입 운전 조건 실험 pilot plant 현장 실증
- 사이클론 운전 조건 및 유입수질 부하별 운영 효율 분석 및 pilot plant 현장 실증
- 나노버블 물리세정 조건별 운영 효율 분석 및 pilot plant 현장 실증

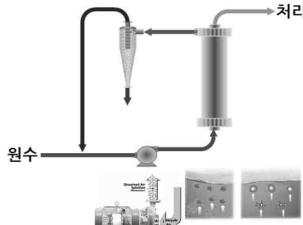
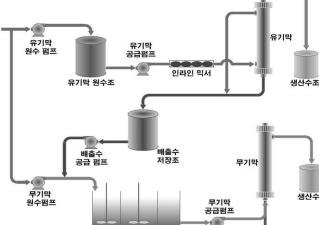
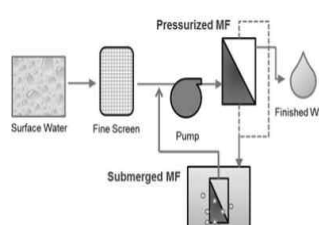
(3) Pilot plant 단위 공정별 수질 분석을 통한 공정 안정성 및 효율 분석

- 단위 공정별 수질 분석 여부 및 항목 도출
- Pilot plant 단위 공정별 수질분석 및 분석 결과를 바탕으로 한 최적 제거율 운전조건 도출

(4) 환경신기술 정부인증 신청을 위한 제안서 제출

- 종래기술과의 운영결과 비교분석을 통한 개발기술의 신규성, 우수성, 유지관리성(경제성) 도출
- 환경신기술 정부인증 신청서 제출

표 2. 기존기술과의 장단점 비교

구분	본 연구 실증화 기술	2단 하이브리드 공정 (가압식+가압식)	2단 하이브리드 공정 (가압식+침지식)
모식도			
장점	- 1단 단독공정으로 Slim화(배출수 처리공정 불필요) - 나노버블을 이용한 막 표면 Bio-fouling 제거 가능 - 초기투자비(시설비) 및 운영비의 경제성 확보 - 회수율이 뛰어남. - 컴팩트한 부지 사용	- 배출수 처리 시설의 규모 감소 - 최종 배출수의 침강성이 높아 별도의 약품 주입이 필요 없음. - 2단 침지식 대비 컴팩트한 부지 사용	- 기존 1단 공정보다 회수율이 뛰어남. - 기존 1단 배출수 처리공정 대비 시설 규모 감소
단점	- 하이드로 사이클론에 대한 logic 필요 - 나노버블 발생을 위한 장치 필요	- 조건에 따른 2단 공정에 대한 각각의 운전 logic 필요 - 배출수 처리에 추가 처리공정 필요 - 추가처리공정으로 인한 약품비 및 동력비 등 운영비 상승	- 차압 변화에 대한 안정성 낮음. - 2단 공정에서 일반 공정과는 다른 역세척 방법 필요 - 최종 배출수의 침강성이 낮아 폴리머 주입에 따른 약품비 및 동력비 등 운영비 상승

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 국내외 시장 동향

가. 국내외 시장분석 및 사업화 전망

- GWI(2013)에 의하면 세계 물시장은 연평균 3.9% 성장하여 2013년 5,560억 달러에서 2018년 6,890억 달러에 달할 것으로 전망함. 이는 세계 물소비가 인구증가와 거대도시화 및 신흥국의 경제성장 등으로 물시장 성장에 견인하고 있으며 특히 지구 담수의 70%가 소비되는 아시아 지역의 물 사용량이 기하급수적으로 증가할 전망이다.
- 상수도 부문의 자본투자(Capex)는 꾸준한 성장세가 지속될 것으로 예상되며, 2010년 904억 달러에서 2016년 1,315억 달러로 성장할 것으로 예상됨. 또한 하수도 부문의 자본투자(Capex)의 경우도 꾸준히 성장하여 2010년 828억 달러에서 2016년 1,151억 달러 규모로 성장할 전망이다.
- 물 산업은 기존 소규모의 로컬산업에서 첨단 기술기반의 대규모 글로벌 산업으로 성장중이며, 또한 세계 각 국에서는 물 관련 서비스를 포함한 생활환경 개선에 대한 요구 수준이 증대하면서 물 관련 기술 및 기업의 전문화가 빠르게 확산 되고 있음.
- 파이프, 펌프 밸브 및 막 등 물 관련 장비시장도 2013년 기준 903억 달러에서 2018년까지 연평균 6.3%의 높은 성장이 전망되고 있음. 물산업 장비 중 막의 경우 전체 규모면에서는 높지 않으나 시장이 급속히 성장하고 있어 비즈니스 호재가 되고 있음.

표 3. 물시장 비율 분석

구분	소재공급/건설/ 건설탕/설계	운영/관리 서비스	합계	
			비용	비율
상수	19.0	19.8	38.8	44.8
하수	21.1	14.4	35.5	41.0
해수담수화	1.0	3.4	4.4	5.2
공업용수·폐수	2.1	—	2.1	2.4
재이용수	5.3	0.4	5.7	6.6
세계물시장	48.5	38.0	86.5	100

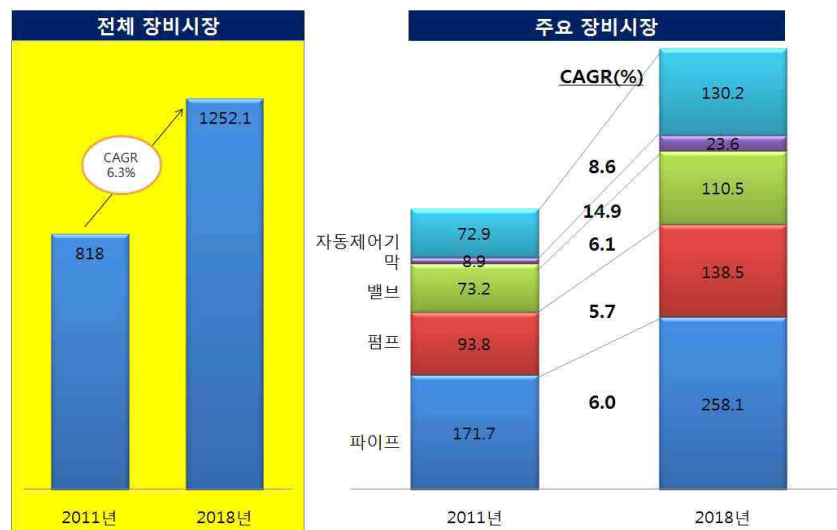
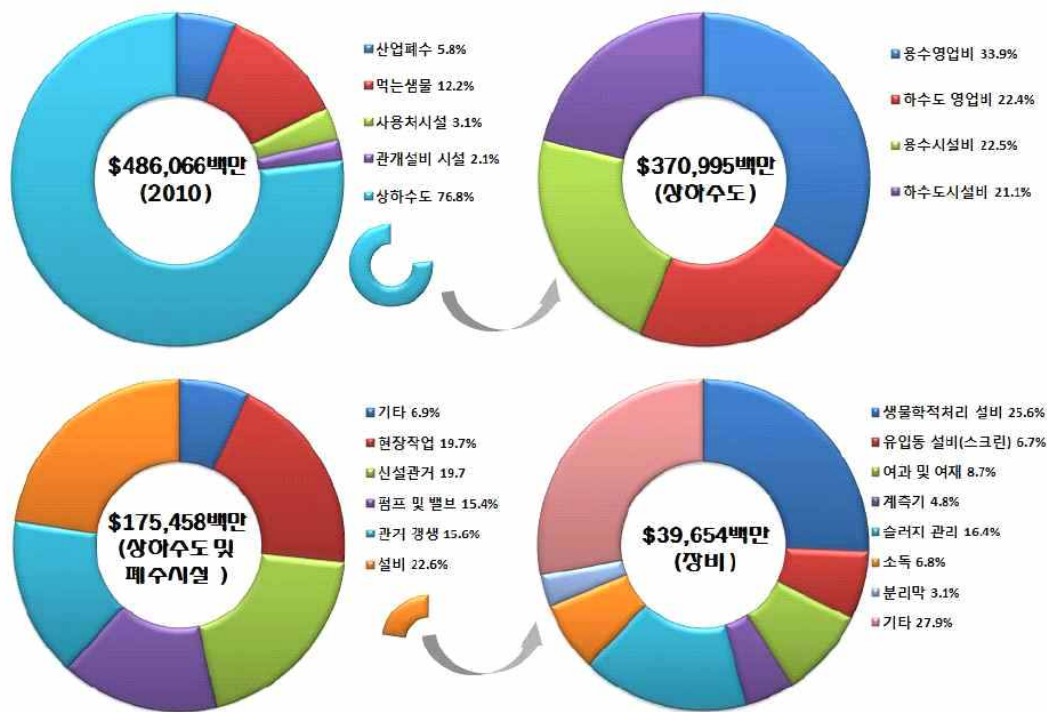


그림1. 물산업 장비시장 전망



자료 : Global Water Intelligence(2011). Global Water Market 2011.

그림2. 세계 물시장 시장규모

- 2018년 수처리 플랜트 규모는 2013년 약 556억 달러 대비 약 29% 증가한 약 716억 달러로 예상되며, 발주 형식의 경우 2018년과 2013년 비교하여 EPC (Engineering procurement construction)가 가장 높은 비중을 차지하고 있으나, DBO (Design-build-operate), BOT (Build-operate-transfer) 형식의 발주가 증가될 것으로 예상됨.
- 자금조달 및 운영에 대한 리스크를 줄이기 위해 DBO 및 BOT 등 시공 중심의 발주가 증가하고 있는 추세이며, 향후 수처리 시설의 수주를 위해서는 시공능력 뿐만 아니라 운영 및 금융조달 역량이 매우 중요해질 것으로 예상됨.
 - EPC(Engineering-Procurement-Construction)
: 플랜트의 설계, 자재조달 및 시공까지의 전 과정을 수주하는 방식
 - DBO(Design-Build-Operate)
: 민간사업자가 프로젝트 설계, 시공, 금융 및 운영을 담당하는 방식으로 주로 민간 합작 사업을 대상으로 함.
 - BOT(Build-Operate-Transfer)
: 민간사업자가 수처리 시설 건설 후 일정기간의 운영 후 시설 및 해당 서비스를 해당 기관에 무상으로 양도하는 방식
- 전 세계 물 시장 부문별 성장성은 수처리 사업이 연평균 7.6%로 가장 높으며, 특히, 기후 변화로 인한 수자원의 지역적 편중 및 산업화로 인해 RO 방식 담수설비와 물 재사용 시장의 성장률이 각각 10.8%, 14.5%로 성장세를 주도 할 것으로 전망됨. 담수화 시장에서 저압용 막(MF/UF)과 고압용 막(NF/RO)은 동장 성장세를 나타내고 있음.
- 물 재이용시장 성장으로 하수 재이용이 2011년 기준 약 21억달러 수준에서 2018년 76.8억 달러 규모로 약 3.7 배 높은 성장이 예상됨.

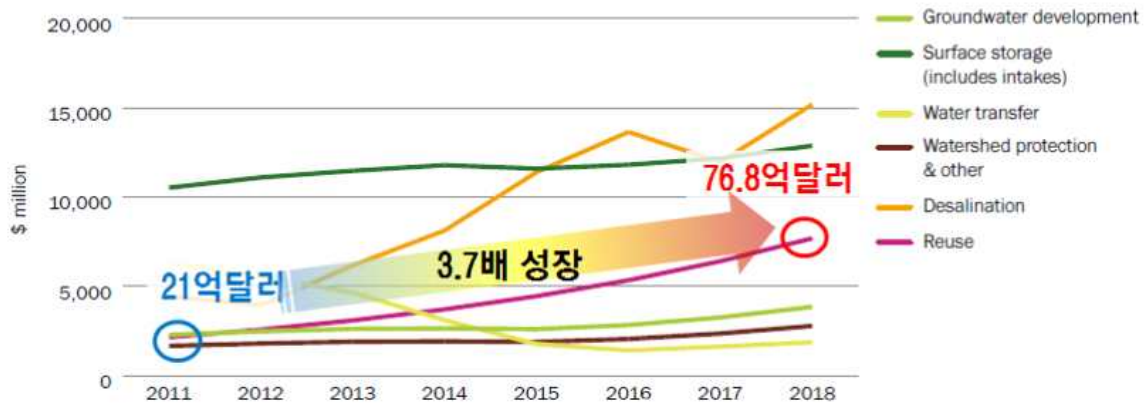


그림3. The water resources development market 2011(GWI, 2014)

- 세계 담수화 수요로는 미국이 2018년 까지 약 83억 달러로 가장 큰 시장을 나타냈으며, 이어 사우디아라비아, 아랍 에미리트, 쿠웨이트 등 중동국가들이 큰 시장을 형성하였으며, 또한 중국과 인도 및 호주와 같은 아시아 국가도 담수화 시장에 높은 점유율이 예측됨.
- 저압막(MF/UF) 제조회사 점유율(10,000 m³/d 이상) 경우 2010년 기준으로 Norit X-flow (25.5%), Zenon/GE (19.7%), Siemens (14.9%), Asahi(14.2%), Hyflux (14.1%) 기타 업체들이 나머지를 차지하고 있음.
- 해외 사업 수주에 있어 가장 중요한 인자 중 하나가 이전 수주 실적이며, 실적 확보를 위한 외형 위주의 해외 수주는 기업의 부실 위험을 증가시킬 수 있으므로 수익성을 감안한 신중한 접근 전략이 필요함.

표 4. 업체별 기술개발 현황

업체/기관명	소속기관 기술개발현황	국적
Agbar	■ 산업용수 처리공정 운영 및 관리, 정수와 하수처리 기술 보유	스페인
BioGeorge system	■ 생물막 측정 장치 개발	미국
Dow Chemical	■ 담수용 폴리아마이드계 복합 멤브레인제조	미국
FCC	■ 설계, 시공, 유지관리	스페인
GE	■ 한외여과 시스템, 역삼투 기술 보유 및 복합 멤브레인 제조	미국
GE water	■ 담수화, 제논 분리막을 이용한 정수처리 기술 보유	미국
HYDRAPRO	■ 해수담수화 플랜트 설계	미국
JONICS	■ 설계, 시공, 유지관리	미국
KEMIC	■ 하수처리 분리막의 역세척 자동화 기술 보유	덴마크
KYOUWAKIDEN	■ 해수담수화 플랜트 설계	일본
Pure Aqua, Inc.	■ 연수화 기능을 자동화 또는 반자동으로 적용시키는 기술 보유	미국

표 4. 업체별 기술개발 현황(계속)

업체/기관명	소속기관 기술개발현황	국적
Evoqua (Siemens)	■ 이동식 수처리 장치에 30분마다 공기를 주입하여 분리막 세척을 자동화하는 기술 보유	독일
	■ 중공사막, 고급 생물학적 공정 및 산화기술, 응집 및 침전을 이용한 분리기술 보유	
Suez	■ 설계, 시공, 유지관리	프랑스
	■ 담수화, 하수처리 및 관리 기술 보유	
Toray	■ 정수처리용 복합 멤브레인 제조	일본
Toyobo	■ 중공사형 정삼투 멤브레인 제조	일본
United Utilities	■ 설계, 시공, 유지관리	영국
Veolia	■ 상하수처리와 담수화사업 등 총체적 물관리 서비스 제공	프랑스
	■ 설계, 시공, 유지관리	
WVZ(Zurich Waterworks)	■ 상하수도 시스템 유지 및 관리	스위스
사베습	■ 설계, 시공, 유지관리	브라질
아그바	■ 설계, 시공, 유지관리	스페인
알베에	■ 설계, 시공, 유지관리	독일

- 국내 상·하수도 운용은 행정구역별로 나뉘어져 있어 설비 투자와 운영 면에서 경제성을 확보하기 어렵고 전문성이 저하됨.
- 국내 물 시장규모는 한계가 있고, 물산업 환경이 개방화·글로벌화 되어 가는 과정에서 지속적인 성장을 위해 해외 시장 진출이 필요하며, 국내 기업이 해외 경쟁력을 가지기 위해서는 정보기술(IT), 생명공학(BT), 나노기술(NT) 등 중소기업의 원천적 기술과 국가적 지원으로 원천기술 발전과 연계한 고부가가치 산업으로 성장이 요구됨.
- 중소기업은 물 산업 수출 유망 품목과 시장에 근거하여 수출 확대 전략설계 및 실행
- 본 연구를 통해 인증된 기술력으로 대기업의 해외 네트워크를 조합함에 따라 해외 마케팅 능력 및 네트워크 부재로 인해 해외진출이 어려운 중소기업과의 연결로 해외시장 진출 가속화 가능
- 중소기업의 기술력과 대기업의 네트워킹 능력 및 해외사업 노하우가 조화되면서 글로벌 환경시장에서 한국 기업이 충분한 성과를 거둘 수 있을 것으로 전망되며, 해외 환경 분야에 중소기업 및 대기업이 동반성장 할 수 있는 교두보 역할

나. 물 재이용 현황

(1) 국외 현황

- 외국의 물 재이용 현황을 보면 선진국인 미국과 일본, 호주, 싱가포르 및 유럽의 독일, 이탈리아 등에서 활발하게 진행되고 있으며 물 부족 현상이 심각한 중동 및 북아프리카 지역 등의 나라에서는 80% 이상의 재이용률을 나타냄.
- 미국에서는 지하수가 식수원으로 쓰이고 있기 때문에 물 재이용수의 지하수원 유지를 위한 지하수 충전의 용도로 쓰이고 있으며 특히 캘리포니아 또는 플로리다처럼 바다에 인접한 주의 경우 해수 침투로부터 지하수 보호를 위한 목적으로도 활용되고 있음.

- 일본의 경우 1979년 도시업무용 화장실 세탁용수로 재이용 시범사업이 실시된 이래로 1998년 사용된 재이용수는 연간 약 13m³ 수준으로 재이용수의 약 40%를 이중배관을 통해 건축물의 화장실 세척용수, 도시조경용수로 사용되고 있음.
- 현재 일본의 물 재이용 기술은 주로 MBR을 활용하고 있으며 3R(Reduce, Reuse, Recycle)의 관점에서 접근을 시도하여 MBR에 의한 물 재이용 등 해외 물 재이용 수요 확대를 고려하여 2020년도에는 2010년도 대비 약 2배 증가할 것으로 전망함.
- 싱가포르는 인구 집약적 도시국가 및 가용 수자원이 부족한 국가로서 식수의 약 40%를 말레이시아에서 수입하므로 양국 간의 물 가격에 대한 물 분쟁이 지속되어 해수담수화 및 물 재이용에 대한 투자를 지속적으로 증가시키고 있음.
- 싱가포르 환경부 산하의 수자원 관리 공기업에서 개발한 하수를 음용수를 정화하는 수처리시설(NEWater)은 싱가포르 전체 음용수의 30%를 공급하고 있으며, Dual-membrane(MF 및 RO)과 UV 공정을 사용하고 있음. 또한 2060년까지 물 수요의 절반(50%)을 NEWater로 공급하는 것을 목표로 하고 있음.
- 유럽 국가의 절반 이상은 물 스트레스 국가에 속하며 유럽 국민 약 70% 이상이 물 부족에 직면하고 있음. 남유럽 및 동유럽의 경우 농업용수가 물 사용의 약 45~85%, 서유럽의 경우는 전력 발전수·냉각수, 북유럽은 공업용수가 가장 큰 비율을 차지하고 있음.
- 중동 및 아프리카 지역의 나라들은 급격한 인구증가로 인해 재생 가능한 수자원량이 1,000m³/capita/yr로 물 기근 국가에 속하며, 2050년에는 100m³/capita/yr에 이를 것으로 예측됨. 또한 폐수처리수의 70% 이상을 재이용하며 주로 농업용 관개용수, 조경용수, 지하수 충전용수로 사용되고 있고, 환경유지용수, 산어용수, 화장식 세척용수로는 드물게 사용되고 있음.

(2) 국내 현황

- 전 세계적으로 선진국 및 물 부족국가를 위한 대체 수자원 확보 및 물 재이용산업이 발전되고 있으며, 상수도를 포함한 먹는 물 시장과 하수도에 이어 물 재이용시장을 제 3의 물시장이라고 할 정도로 재이용산업과 시장이 확대되고 있는 추세임.
- 환경부에서는 ‘물 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률’을 토대로 물 재이용 기본계획을 수립하여 2011~2020년까지 지속 가능한 물 재이용 활성화로 인한 친환경 대체용수로 연간 25.4억 톤을 확보하기 위한 재이용사업 확대를 추진 중에 있음. 이에 파생되는 국가적 기대효과로는 연간 11억 톤의 상수 대체효과와 약 45,600 여명의 물 재이용 고용효과가 있을 것으로 예상됨.
- 지속적으로 물 재이용 산업을 육성하기 위해 중앙정부에서는 법률 제정 시행과 물 재이용 기본계획을 수립하여 점차적으로 재이용을 촉진하는 정책을 진행하고 있으며, 이에 따라 지방정부도 꾸준히 이용률을 높이고 있음.
- 물 재이용 시설의 현황은 주로 대형하수처리장 방류수를 재처리하여 재이용하거나 홍수방지 및 지하수 recharge를 위한 빗물 이용시설을 활용하고 있는 실정임.
- 향후 물 재이용의 중요성을 증가될 것이며 대형 하수처리장의 물 재이용뿐만 아니라 중소형 공공하수처리 또는 개인하수처리시설의 물 재이용의 필요성과 수요가 증가될 전망임.
- 특히 골프장이나 리조트시설과 같이 지하수 사용량이 많은 시설에서 계속해서 지하수에만 의존할 수 없을 것이며, 결국 물을 재이용하는 것이 지속적이고 중요한 대체 수자원이 될 것으로 판단됨.

2. 국내외 기술 동향 및 현황

가. 물 산업 기술 동향 및 현황

(1) 물 산업의 패러다임 변화

표 5. 물 산업 패러다임 변화

구분	내용
과거	○ 건설시대(인프라 구축) ○ 1970년대 : 처리되지 않은 하·폐수의 하천유입으로 수질오염 및 생태계 파괴(하수도 보급률 8%) ○ 공공성 개념 상하수도 플랜트 건설이나 수처리 기자재 공급 중심으로 물 산업 시장 형성(전체 시장 규모의 8%)
현재	○ 관리시대(공공재→경제재) ○ 국민소득 증가 등 깨끗하고 안전한 물에 대한 수요 증가 : 물 산업 패러다임 변화(공공서비스→민간서비스 영역 확대) ○ 베올리아 또는 수에즈 등 물 전문기업의 운영관리시장 점유율 34%, 베올리아 매출 20조 원 중 80%가 해외 수입(2008년 기준)
미래	○ Global Market 시대(블루오션) ○ 멤브레인 방식의 수처리 선진기술 보유 업체를 중심으로 물 산업 시장 재편(물 재이용시장 급성장 및 물 전문기업 서비스시장 확대 전망) ○ 기후변화에 따른 물 부족 심화 및 인구밀집형 Mega&Smart City 부상으로 안정적 수자원확보 산업 대두(해수담수화 및 분산형 다중수원확보, 스마트워터그리드 등)

(2) 물 산업 기술 동향

- 물 산업은 기술 개발에서부터 현장 적용까지 최소 5년 이상의 필요한 분야로 기술적 진입 장벽이 높은 산업임.
- 현재 물 산업은 전통적 수처리 방식 대비 높은 처리효율 및 공간적 경제성을 가진 분리막 방식이 기존의 수처리 기술을 대체 중임.
- 분리막 기술은 막을 통해 정제하는 기술로 역삼투압(RO : Reverse Osmosis), 정밀여과(MF : Microfiltration), 한외여과(UF : Ultrafiltration), 나노여과(NF : Nanofiltration) 등으로 구분됨.
- 전문 제조기업들의 기술 혁신 및 기능성 제품에 대한 시장 수요의 급격한 증가로 역삼투압 방식인 RO 필터 가격은 10년간 75% 정도 하락했으며, 전기도모량도 5년 전에 비해 절반 수준으로 떨어지면서 시장이 급속히 확대되고 있음.
- 특히 MBR 방식은 하수처리의 새로운 표준으로 자리매김하고 하고 있으며, 기존 하수처리 방식인 침전, 여과 대신 MF, UF, RO 막을 사용하여 부유물질을 100% 제거 가능하므로 MBR 방식은 연평균 20%씩 성장하고 있음.

나. 물 재이용 관련 기술 동향

- 세계적으로 막여과를 이용한 고도처리 및 지능형 물 생산·공급 시스템으로 기술이 발전하고 있음.
 - 막 여과시스템 시장 연평균 19.6% 성장전망(2007년 61억\$, 2016년 303억\$)
 - IT를 접목한 상하수도 공급망 및 관망유지, 수요관리 등을 위한 관리기술로 발전 (Smart Water Grid)
- 국내 기술수준을 살펴보면 상하수도 분야는 선진국과의 경쟁 가능한 것으로 판단되나 (선진국 대비 기술수준 : 상수 75%, 하수 80%), 신소재 막분야, IT를 접목한 상하수도 기술 등 핵심기술의 기술차이가 존재함.
- 국내업체의 설계, 건설, 플랜트 시공 경험 및 역량은 확보되었으나, 운영관리 경험, 자금 확보 능력 등 통합솔루션 역량 부족함.
 - 국제 경쟁력 있는 전문 물 기업 부재
 - 상하수도 분야는 비경쟁적 시장체제, 규모영세, 운영관리실적 부족 등으로 해외 진출 곤란함.
 - 물 재이용 분야는 아직 규모가 작고, 제도화가 미흡하여 민간공급 업체나 전문설계 시공업체가 전무함.

다. 물 재이용 관련 기술 현황

- 물 재이용 기술은 개발 초창기 기본적인 방법인 1세대 재이용 공법과 함께 점차 발전을 이루면서 2세대 및 3세대 물 재이용 단계를 거쳐 현재는 음용수로 사용 가능한 만큼의 처리기술과 시설이 발전함.

표 6. 물 재이용 기술 발전 단계

1세대	2세대	3세대	4세대
○ 하수처리장 처리수 ○ 처리수를 관개용수로 이용	○ 물재생시설 ○ 재생용수용 관로 배급수 ○ 오점방지 및 공공교육 프로그램	○ 맞춤형/분산형 물재생시설 ○ 용도별맞춤형 재생용수 보급 ○ 용도별분리관로	○ 음용수용 재이용수 생산시설 ○ 싱가포르 Public Utilities Board (Newater)

(1) 국외 현황

- 세계의 지역별 총 도시 하수재생설비는 약 3,000여개 이상으로 확인됨. 일본이 1,800개 이상으로 가장 많은 설비를 보유하고 있으며 북미 835개, 오세아니아 456개, 유럽 234개 순으로 나타남.
- 라틴아메리카 지역은 주로 농경관개용 물 재이용이 두드러지며 80% 이상의 도시하수처리설비가 2차처리 공정으로 주로 사용됨.
- 한외여과와 역삼투압 여과와 같은 분리막을 활용한 공정이 현재 쿠웨이트의 Sulaibiyah에 위치한 하수처리플랜트에서 적용되어 무제한적 비식수용 재생수 생산

- 유럽, 오세아니아와 북미 지역은 농경 관개, 지하수 충전, 환경 및 친수용수 관련 도
시용수 재이용을 위해 삼차처리 공정 적용
- 유럽에서는 식수와 같은 수준의 수질을 생산하기 위한 다층개념(multi-barrier
concepts)의 공정이 적용

(2) 국내 현황

- 국내에서 적용되고 있는 재이용수 용도별 재처리공정은 모래여과, MF, RO 등의 공
법을 사용함.
- 국내 하수처리수 재이용 기술은 프론티어 21 연구사업으로 2001년부터 진행됨.
 - 분리막 공정을 추가하여 공업용수, 농업용수, 하천유지용수 및 음용수 등의 용도에
적합한 표준공정을 갖추게 됨.
- 공업용수용 재생수 생산에는 생물막반응조 공정과 전처리 후의 역삼투 또는 나노 여
과 처리를 적용
 - 하천유지용수의 재생수 생산 공정은 세 가지로 모두 생물막반응조로 처리가 시작되
며 역삼투 또는 나노막 여과가 추가되거나 추가 없이 독성모니터링을 적용함.
- 가장 높은 수질을 요구하는 음용수 용도의 재생수 생산 공정은 세 종류로 생물막반응
조, 역삼투 또는 나노막 여과로 분류되고 고도산화처리가 추가되거나 추가 없이 독성
모니터링을 적용함.
- Eco-STAR project에서 개발된 하수재이용 분야의 국산화 분리막 기술인 I3
system 적용
 - 무산소 반응조에서의 탈질효율 극대화(TN<5mg/L), 정밀여과막에 의한 고형물 및
병원성 미생물의 완벽한 차단, AOP(Advanced Oxidation Process) 공정을 통한
미량유해물질 제거가 가능하여 수영용수 수준의 수질 확보가 가능함.

라. 물 재이용 기술의 문제점

- 정부 지원 아래 G7사업, 프론티어21, 차세대환경기술 연구사업 등을 통한 연구개발
경험 및 기술 축적과 수처리 관련 엔지니어링 기술 및 고급인력 확보 잠재력을 보유
하고 있는 등 요소 및 개별 공정기술은 우수하나 용도별 시스템 기술 및 적용실적이
부족함.
- 단기간의 성과중심 연구지원으로 인해 국내 실정에 적합한 지속적인 핵심원천기술 개
발 및 시설투자 유치가 부족함.
- 음용수 수준의 물 재생수 생산 등 기술적 패러다임의 변화로 급부상중인 분리막 공정
은 세계 분리막 산업의 점진적인 성장을 초래하고 있으나 선진국에 비해 국내 분리막
원천기술을 매우 미미함.
- 수처리 분야의 전반적인 기술 및 경험을 갖춘 인력은 보유하고 있으나 특정분야에 대
한 전문인력 pool 및 교육인프라가 부족함.
- 따라서 기존의 복잡한 단위공정들의 조합 시스템이 아닌 용도별 수질기준 및 경제성
을 고려한 기능성 맞춤형 하수재이용 시스템 개발 추진이 필요함.

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 연차별 연구 추진내용

가. 주관연구기관(지앤씨엔지니어링(주))

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	▪ Lab-scale 장치 구축 ▪ Pilot-plant 설계 및 발주	▪ 특허기술을 적용한 Lab-scale 장치 구축을 통한 Pilot-plant 적용 설계인자 도출 - Pilot-plant 운영 대상 지역 확보 및 원수수질 분석 - 신기술의 핵심 목표인 나노버블, 사이클론, 막여과 Lab 장치 실험을 통한 Pilot plant 설계인자 확보 - 당해연도 예산에 기초한 Pilot plant 매입과 신기술 정량적 최종 목표에 적합한 운전 및 수질 조건을 고려하여 회수율 99%, 플럭스 60LMH 적용 ▪ Pilot-plant 설계 및 발주
2차년도	▪ Pilot-plant 시운전 및 장기운전 ▪ 환경신기술 정부인증 신청	▪ Pilot plant의 시운전 및 장기운전을 통한 운영 결과 비교 분석 (경제성 평가) ▪ 환경신기술 정부인증 신청 ▪ Pilot plant 단위 공정별 수질 분석을 통한 공정 안정성 및 효율 분석

나. 위탁연구기관(성균관대학교)

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	▪ Lab-scale 장치 실험을 통한 Pilot-plant 설계인자 도출	▪ 신기술 실증을 위한 Pilot-plant 최적의 대상지역 확보 및 선정 하수처리장 원수 수질 분석 - 하수처리장 최종처리수의 하수수질 분석 및 최적 Pilot-plant 공간 확보, 이동 동선을 고려한 신기술 적용 대상후보지 선정 ▪ Lab test를 통한 Pilot-plant 설계인자 도출 및 가변 조건 실험 - 나노버블 막오염저감 실험 - 사이클론 제거율 실험 - 적용 설계플럭스 실험 - 막여과 회수율 및 농축율 실험

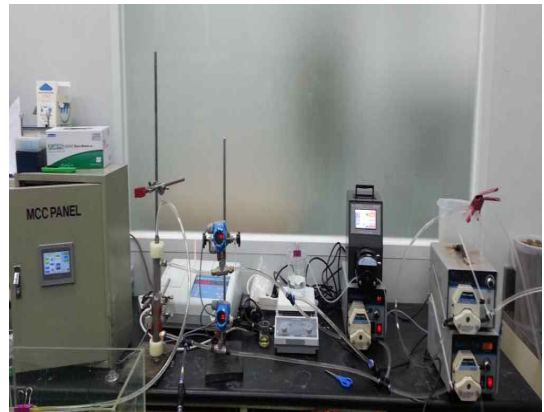
2. 연구결과

가. Lab-scale 실험 결과

(1) Lab-scale 순수투과 플럭스 및 임계플럭스 측정

- 그림. 4는 순수투과 플럭스 및 임계플럭스 실험을 위한 분리막 사양 및 실험장치 사진을 나타냄.
- 제조사별 비교가 가능하도록 4개의 분리막을 구성하여 투과성능을 비교함.
- 본 실험은 사용한 분리막은 가압방식의 중공사형태의 막모듈로 PVDF 재질의 150 kDa 공극크기를 가진 T社 분리막, PES 재질의 0.03 μm 공극크기를 가진 H社, PVDF 재질의 0.1 μm 공극크기를 가진 E社, PVDF 재질의 0.1 μm 공극크기를 가진 L社의 총 4군데 제조사 랩모듈을 사용하여 초순수 투과성능 및 임계플럭스 산정 실험을 실시함.
- 원수저장조와 가압여과 장치로 구성되어있으며 여과장치는 회전수 및 방향을 제어할 수 있는 연동펌프 (Peristaltic pump, Cole-Parmer, USA)와 압력을 측정할 수 있는 디지털압력계로 구성되었음.
- 순수 투과플럭스 측정실험은 초순수를 사용하여 1 kgf/cm^2 압력까지 0.2 kgf/cm^2 씩 증가시켜 처리수는 컴퓨터와 연결된 전자저울(A&D Company, Limited., FX-5000i, Japan)을 통하여 중량 변화를 측정함.
- 임계플럭스에 사용된 원수는 S대학교 하수처리장시설 일반 활성슬러지 공정의 2차 침전지 상등수로 공급수의 수질은 표 7과 같음.

구분	사양	비고
Membrane Material	PVDF (150kDa)	T社
	PES (0.03 μm)	H사
	PVDF (0.1 μm)	E사
	PVDF (0.1 μm)	L사
Membrane Module Type	Pressurized Type	
Operation Mode	Out to In	



(a) 가압식 정밀여과용 분리막 사양

(b) 실험장치 사진

<그림 4. 분리막 사양 및 실험장치>

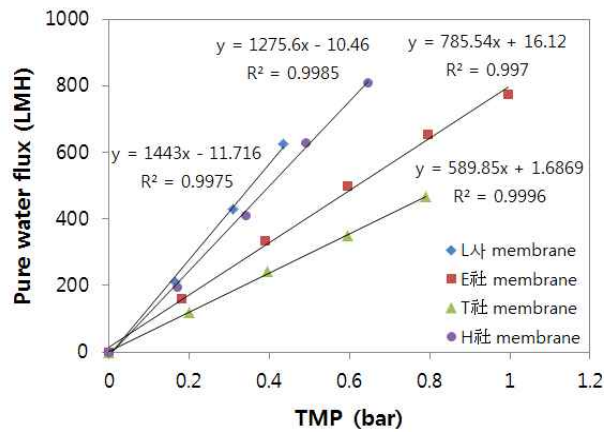
7. 하수처리수 공급수 성상

항목	탁도 (NTU)	SS (mg/L)	COD _{Cr} (mg/L)	SCOD _{Cr} (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)
하수처리수 농도	2.8~4.6	6~8	5~40	0~8	15~20	2~3.5	15~20	0~2

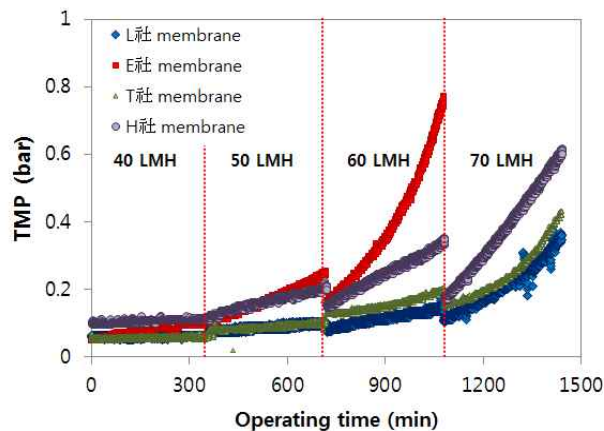
- 임계플럭스 산정 실험을 위해 제조사별 40, 50, 60, 70LMH로 조절 후 조건에 따라 각각 6시간 여과를 진행하여 TMP를 측정하였음.

8. 임계플럭스 운전조건

구분	RUN-1	RUN-2	RUN-3	RUN-4.
Fluxave. (L/m ² /hr)	40	50	60	70



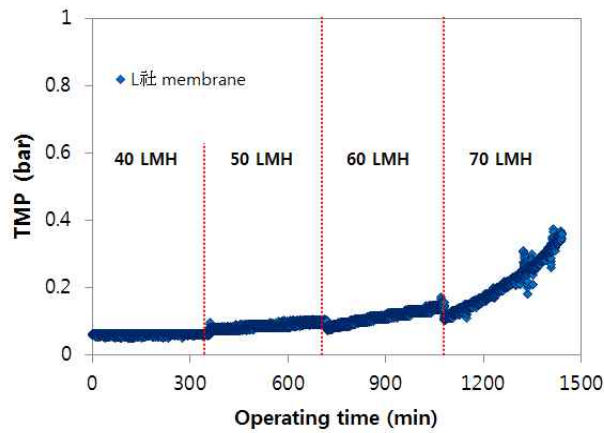
(a) 순수투과 플럭스



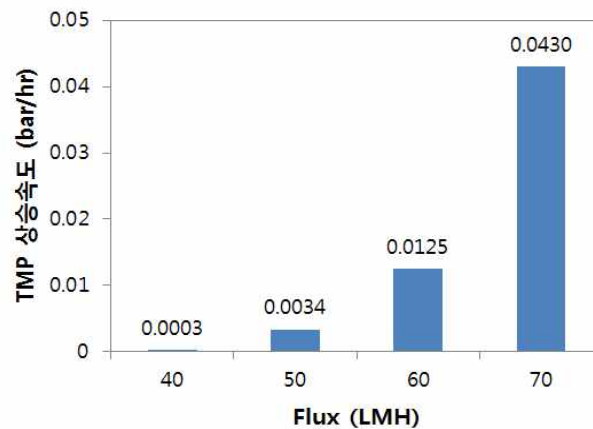
(b) 임계플럭스

<그림 5. 제조사별 순수투과 플럭스 및 임계플럭스 측정>

- 초순수 투과플럭스 측정실험에서 L社 분리막의 투과성능은 1 kg_f/cm²에서 약 1430 LMH로 가장 높은 투과성능을 보였고, H社は 약 1260 LMH, E社は 약 800 LMH, T社は 약 600 LMH 순으로 투과성능을 보임.
- L社 분리막은 60, 80 LMH에서 시간당 약 0.013 kg_f/cm², 0.043 kg_f/cm²의 상승속도를 보였고, T社에서는 시간당 0.012 kg_f/cm², 0.047 kg_f/cm²의 상승속도로 나타남에 따라 E社, H社와 비교할 시 더 낮은 상승률을 보임.
- E社の 경우 60 LMH 운전에서 시간당 약 0.033 kg_f/cm², 80 LMH에서 약 0.071 kg_f/cm²의 상승을 보인 반면 H社は 60 LMH에서 약 0.1 kg_f/cm²의 상승률로 나타남으로써 가장 높은 상승속도를 보임.
- 따라서 대상원수에 대해 가장 낮은 상승속도를 보인 L社와 T社の 분리막을 고려하여 운전하는 것이 타사 제품보다 경제적 측면에서 타당할 것으로 사료됨.



(a) L社 임계 플럭스 측정



(b) L社 투과플럭스에 따른 막간차압 증가율
<그림 6. L社 임계플럭스 측정실험결과>

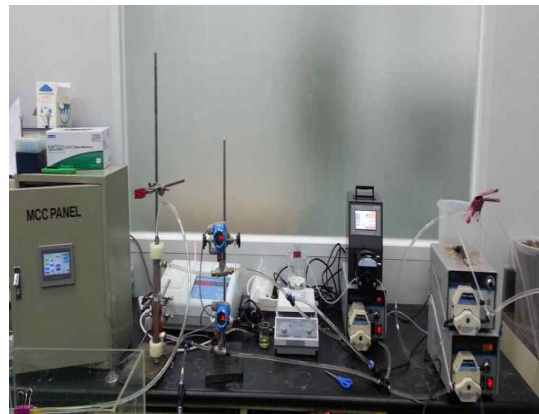
- 다음 그림 6 (b)은 L社 분리막의 각 플럭스 단계에서의 막간차압 증가율을 나타냈으며 그림 6 (b)에서 관찰된 바와 같이 $40\text{L/m}^2/\text{hr}$ 에서는 막간차압 증가율이 0.0003 bar/hr 로 매우 낮은 값을 보이다가 $50\text{L/m}^2/\text{hr}$ 부터 급격히 증가하여 50, 60, $70\text{L/m}^2/\text{hr}$ 각각 0.0034 , 0.0125 , 0.0430 bar/hr 를 나타내었음. Field 등 (1995)의 연구결과에 의하면 $40\text{L/m}^2/\text{hr}$ 를 임계플럭스로 결정할 수 있음.

(2) Lab-scale 미세기포 유무에 따른 TMP 변화

- 그림 7은 미세기포 주입을 위한 마이크로 나노버블장치와 분리막 실험을 위한 분리막 사양 및 실험장치 사진을 나타냄.
- 실험에 사용한 분리막은 가압방식의 중공사형 정밀여과막으로 L社의 분리막은 내화학성이 우수한 PVDF재질이며 공칭공경 $0.1\mu\text{m}$, 막면적 0.06m^2 을 가진 Lab모듈을 사용함.
- 2차침전지 상등수를 원수로 적용하여 마이크로버블 유입에 의한 가압식 유기막의 여과성능평가를 진행함. PLC를 설치하여 장치의 제어 및 데이터를 저동으로 저장하도록 구성하였으며 조작을 통해 여과 및 역세조건, 제어방식 설정이 가능하여 조건별 운영성능평가가 가능하도록 설치하였음.
- 전자식 압력계를 이용하여 실시간으로 압력측정이 가능하며 내장된 프로그램에 의해 자동으로 시간, 막간차압(TMP) 등 운영인자를 저장하도록 구성함.
- 본 실험에 사용된 원수는 S대학교 하수처리장시설 일반 활성슬러지 공정의 2차 침전지 상등수로 공급수의 수질은 표 3과 같음.

구분	사양	분리막
Membrane Material	L社 PVDF(0.1 μ m)	
Membrane Module Type	Pressurized Type	
Operation Mode	Out to In	

(a) 가압식 정밀여과용 분리막 사양



(b) 실험장치 사진



(c) 마이크로-나노버블장치



(d) 마이크로-나노버블 기포발생사진

<그림 7. 분리막 사양 및 마이크로-나노버블 실험장치>

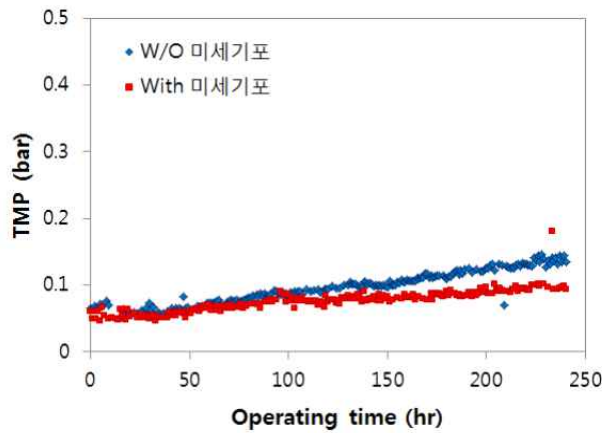
9. 하수처리수 공급수 정상

항목	탁도 (NTU)	SS (mg/L)	COD _{Cr} (mg/L)	SCOD _{Cr} (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)
하수처리수 농도	2.8~4.6	6~8	5~40	0~8	15~20	2~3.5	15~20	0~2

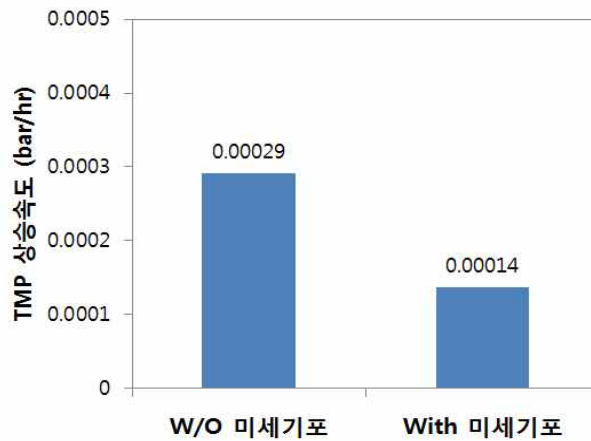
○ 본 실험을 위해 미세기포 주입 유무에 따라 각각 6일 여과를 진행하여 TMP를 측정하였음.

표 10. 미세기포 주입 유무에 따른 운전조건

구분	Flux (L/m ² /hr)	역세Flux (L/m ² /hr)	Operation mode (여과/역세/드레인/리필) (min)	여과량 (mL/min)	여과 시간 (DAY)	미세기포 Aeration rate (L/min)
RUN-1	40	50	28/1/0.5/0.5	40	10	—
RUN-2	40	50	28/1/0.5/0.5	40	10	4



(a) 미세기포 유무에 따른 막간차압(TMP) 변화측정결과



(b) 미세기포 유무에 따른 막간차압증가율(dP/dT) 측정결과

<그림 8. 미세기포 유무에 따른 막간차압 측정>

- 다음 그림 8 (b)은 L社 분리막의 미세기포 유무에 따른 막간차압 증가율을 나타냈으며 그림 8 (b)에서 관찰된 바와 같이 미세기포 주입 유무에 따라 10일 동안 장기운전 평가 결과임.
- 미세기포를 주입한 경우에는 막간차압 증가율이 0.00014 bar/hr로 매우 낮은 값을 보였으며 미세기포를 주입하지 않은 경우 0.00029 bar/hr를 나타내었음.
- 따라서 미세기포를 주입할 경우 막간차압 증가율은 2배 감소되는 것을 볼 수 있음 이는 미세기포가 막면의 물리적 세정력 그리고 Zhou et al.(2009)은 부상(flotation)에서 hydrodynamic cavitation에 의해 발생한 미세기포는 아래의 장점을 지닌다고 보고하였음. hydrodynamic cavitation이 발생되어 미세기포가 붕괴하면서 입자의 표면을 세정시킴(예. Slime 제거, gauge particle 표면 오염층의 제거) 적용분야는 지방유와 셀룰로오스의 가수분해 가속화(Zeitsch, 1987; Pandit et al., 1993), 세포 파괴(Harrison et al., 1992, Save et al., 1994, 1997), 하수처리(Pandit et al., 1999, Gogate, 2001), 하수슬러지 가용화(강 등, 2007; 맹 등, 2010a, 2010b)등 매우 다양함.

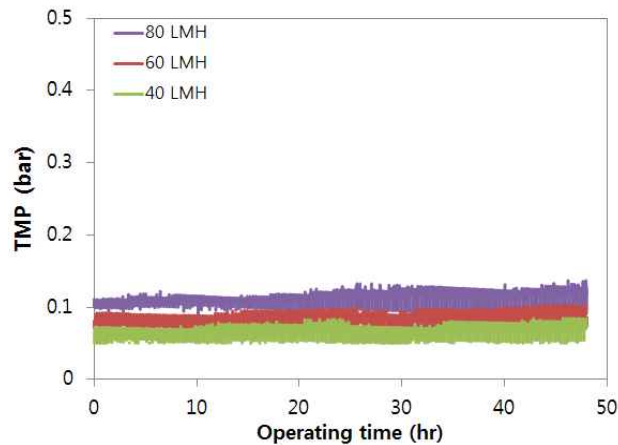
Lab-scale 미세기포 적용 시 플럭스별 TMP 변화

- 미세기포 주입을 통해 막오염 저감을 확인하였으며 플럭스별 분리막에 영향을 파악하기 위해 실험을 진행함,
- 실험에 사용된 분리막 및 실험장치는 그림 9와 같으며 공급수의 수질은 표 3과 같음.

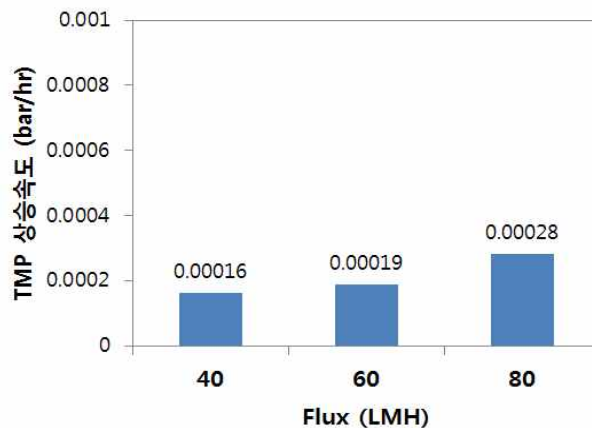
○ 본 실험을 위해 미세기포 주입에 따라 플럭스 40~80 L/m²/hr 까지 20L/m²/hr 씩 증가시켜 각각 6일 여과를 진행하여 TMP를 측정하였음.

11. 미세기포 적용 시 플럭스별 운전조건

구분	Flux (L/m ² /hr)	역세Flux (L/m ² /hr)	Operation mode (여과/역세/드레인/리필) (min)	여과량 (mL/min)	여과 시간 (DAY)	미세기포 Aeration rate (L/min)
RUN-1	40	50	28/1/0.5/0.5	40	6	4
RUN-2	60	90	28/1/0.5/0.5	60	6	4
RUN-3	80	120	28/1/0.5/0.5	80	6	4



(a) 미세기포 적용 시 플럭스별 TMP 변화



(b) 미세기포 적용 시 플럭스별 막간차압증가율(dP/dT) 측정결과
<그림 9. 미세기포 적용 시 플럭스별 TMP 및 증가율>

- 다음 그림 9(b)은 L社 분리막의 미세기포 적용 시 플럭스 40, 60, 80LMH에서의 막간차압 증가율을 나타냈음.
- 1장 임계플럭스 측정 시 미세기포를 적용하지 않은 조건일 경우 40, 50, 60, 70L/m²/hr에서는 막간차압 증가율이 0.0003, 0.0034, 0.0125, 0.0430 bar/hr로 미세기포를 적용할 때와 비교할 때 40, 60, 80L/m²/hr에서는 막간차압 증가율이 0.00016, 0.00019, 0.00028 bar/hr로 미세기포에 의한 플럭스 향상을 보임.

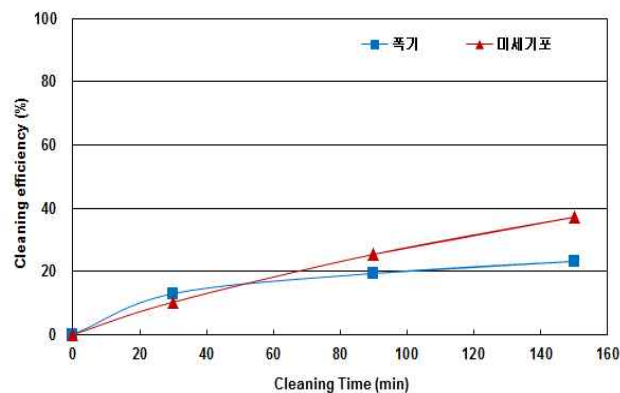
- 미세기포를 적용한 여과 유속 80LMH의 막간차압증가율과 미세기포를 적용하지 않은 50 LMH의 막간차압증가율 보다 매우 낮은 값을 보임. 따라서 미세기포를 적용할 경우 80LMH까지 적용 가능할 것으로 판단됨.

(4) 물리세정 방법별(공기폭기, 미세폭기) 세정효율 변화

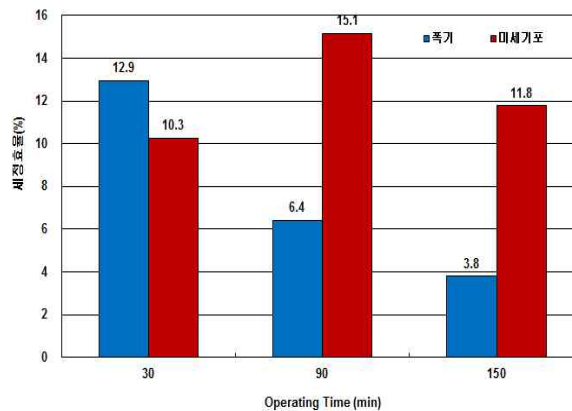
- 폭기와 미세기포 주입을 통해 세정효율 변화를 측정
- 본 실험을 위해 6일 동안 오염된 분리막을 공기폭기와 미세기포 주입에 따라 세정효율을 측정하였음.
- 공기폭기와 미세기포의 경우 분리막 모듈 하부에 Air와 미세기포를 주입하였으며 세정시간 30, 90, 150분 동안 운영하여 각 시간마다 여과저항을 측정하여 세정효율을 측정함.

12. 물리세정 방법별 운전조건

구분	물리세정방법	접촉시간 (min)	공기폭기/미세기포 Aeration rate (L/min)
RUN-1	공기폭기	30, 90, 150	공기폭기 연속주입 / 4(L/min)
RUN-2	미세기포		미세기포 연속주입 / 4(L/min)



(a) 물리세정에 따른 시간별 누적 세정효율



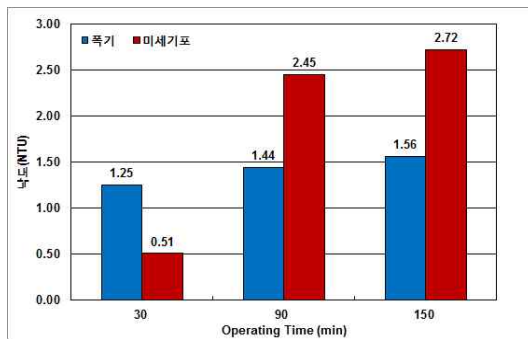
(b) 물리세정 방법에 따른 시간별 세정효율

<그림 10. 물리세정방법별 세정효율>

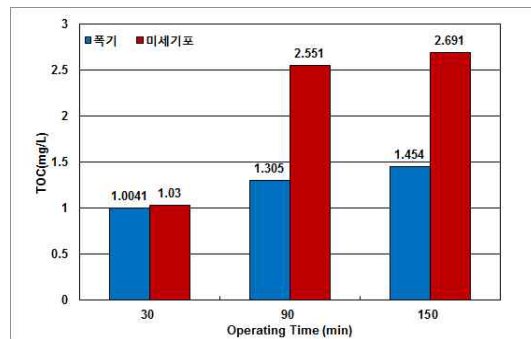
- 세정시간 30분을 제외하고는 모든 구간에서 미세기포의 세정효율이 가장 뛰어났으며 이때 폭기가 미세기포보다 2.6% 높은 세정효율을 나타냄 하지만 세정시간 90분에서 미세기포가 8.7% 150분에서 8% 높은 세정효율을 나타냄 폭기는 60분 이후 물리적 세정효과가 크지 않는 반면, 미세기포의 세정효과는 평균 5%이상 높게 나타남.
- 물리세정 방법에 따른 세정효율을 비교한 결과, 하수재이용 막여과 공정에서 오염된 막에 미세기포를 적용할 경우 물리적인 세정효과가 발생하였으며, 장기적용시 폭기에 의한 물리세정 효과보다 뛰어남을 확인할 수가 있었음.

(5) 물리세정 방법별 막 오염원 제거특성 평가

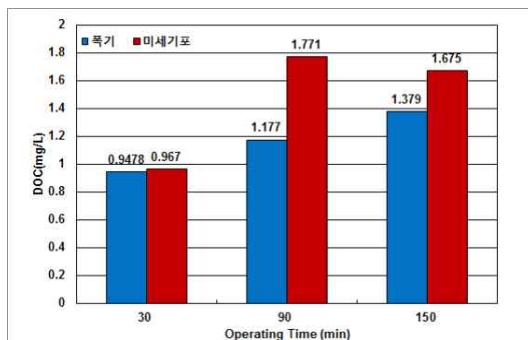
- 본 실험에서는 물리세정별 세정 효율의 원인을 파악하기 위하여 세정효율 평가 실험을 진행하는 동안 일정시간 30, 90, 150분 간격으로 막모듈 내의 시료를 채취하여 시간이 경과함에 따라 막표면에서 제거되는 오염물질을 정성, 정량적으로 파악하기 위하여 수질분석을 하였음.
- 수질 분석 항목으로는 하수처리수는 주로 유기물질이 대다수를 차지하기 때문에 하수재이용 막여과 공정에서 막오염에 가장 많은 영향을 미치는 TOC(Total Organic Carbons), DOC(Dissolved Organic Carbons), UV254, 탁도 등 유기물 위주의 측정을 하였음.



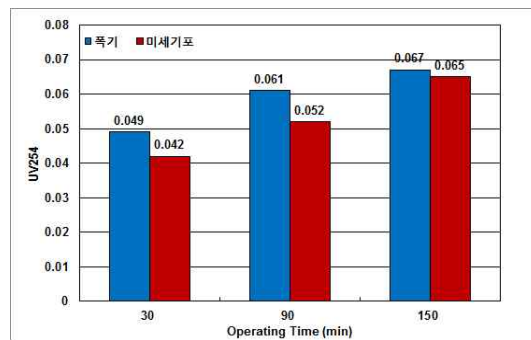
(a) 탁도



(b) TOC



(c) DOC



(d) UV₂₅₄

<그림 11.시간경과에 따른 오염물 유출량>

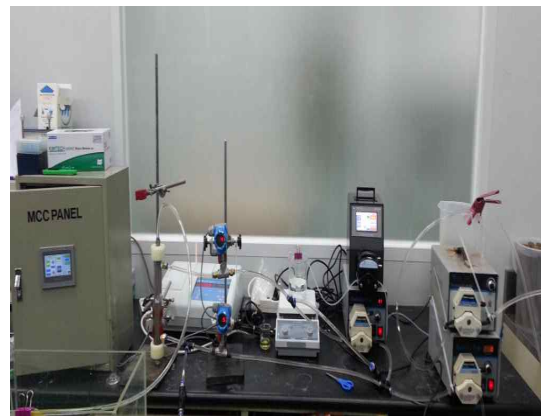
- 세정시간 30, 90, 150분에 따라 폭기시에는 1.25, 1.44, 1.56NTU, 미세기포에 대해서는 0.51, 2.45, 2.72NTU를 나타냄.
- TOC의 경우에는 세정시간 30, 90, 150분에 따라 1.004, 1.305, 1.454 mg/L였으며, 미세기포 적용시 1.03, 2.551, 2.691 mg/L이었음
- DOC는 세정시간 30, 90, 150분에서 폭기시 0.947, 1.177, 1.379 mg/L였으며, 미세기포 적용시 0.967, 1.771, 1.675 mg/L이었음.
- UV254 의 물리세정별 농도는 세정시간 30, 90, 150분에서 폭기시 0.049, 0.061, 0.067 cm⁻¹였으며, 미세기포를 적용한 경우에는 0.042, 0.052, 0.065 cm⁻¹을 나타냄.

- 물리세정 방법에 따라 제거되는 오염물의 유기물 특성을 살펴보면 폭기와 미세기포의 경우에는 탁도와 TOC, DOC 모두 폭기를 행한 경우보다 미세기포를 행한 경우가 초기 30분을 제외하고는 막면 오염물의 유출량이 많음을 확인 할 수 있었음.
- 특히 탁도와 TOC에서 폭기보다는 미세기포에서 많은 양이 모듈내로 유출되었으며 이는 폭기에 의한 물리세정보다 미세기포에 의한 물리세정이 효율이 뛰어나. 그 원인은 막면오염물이 미세기포에 부착하여 부상한 것으로 판단됨.

(6) Lab-scale 여과방식 Cross-flow 순환율에 따른 TMP 변화

- 그림 12는 cross-flow 순환을 통한 분리막 실험을 위한 분리막 사양 및 실험장치 사진을 나타냄.
- 실험에 사용한 분리막은 가압방식의 중공사형 정밀여과막으로 L社의 분리막은 내화학성이 우수한 PVDF재질이며 공칭공경 $0.1\mu\text{m}$, 막면적 0.06m^2 을 가진 Lab모듈을 사용함.
- 2차침전지 상등수를 원수로 적용하여 마이크로버블 유입과 함께 여과방식 Cross-flow방식에 의한 가압식 유기막의 여과성능평가를 진행함. PLC를 설치하여 장치의 제어 및 데이터를 저동으로 저장하도록 구성하였으며 순환배관에 밸브를 통해 순환율을 조작하여 운영성능평가가 가능하도록 설치하였음.
- 전자식 압력계를 이용하여 실시간으로 압력측정이 가능하며 내장된 프로그램에 의해 자동으로 시간, 막간차압(TMP) 등 운영인자를 저장하도록 구성함.
- 본 실험에 사용된 원수는 S대학교 하수처리장시설 일반 활성슬러지 공정의 2차 침전지 상등수로 공급수의 수질은 표 7과 같음.

구분	사양	분리막
Membrane Material	L社 PVDF ($0.1\mu\text{m}$)	
Membrane Module Type	Pressurized Type	
Operation Mode	Out to In	



(a) 가압식 정밀여과용 분리막 사양

(b) 실험장치 사진

<그림 12. 분리막 사양 및 실험장치>

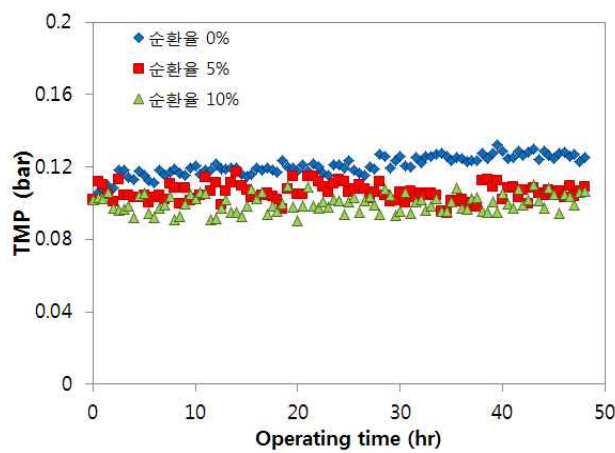
13. 하수처리수 공급수 성상

항목	탁도 (NTU)	SS (mg/L)	COD _{Cr} (mg/L)	SCOD _{Cr} (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)
하수처리수 농도	2.8~4.6	6~8	5~40	0~8	15~20	2~3.5	15~20	0~2

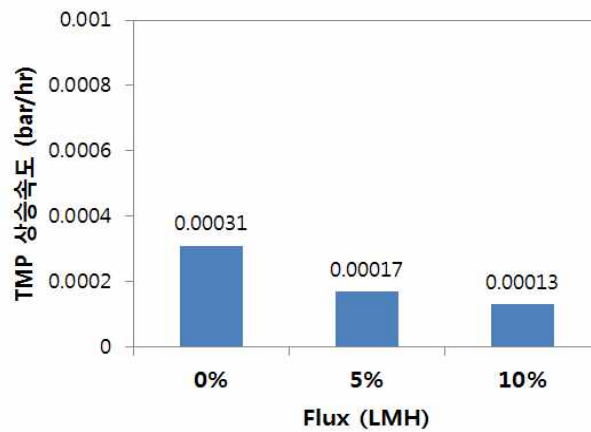
- 본 실험을 위해 순화율에 따라 각각 6일 여과를 진행하여 TMP를 측정함.

14. Cross-flow 순환율에 따른 운전조건

구분	Flux (L/m ² /hr)	역세Flux (L/m ² /hr)	Operation mode (여과/역세/드레인/ 리필) (min)	여과량 (mL/min)	여과시간 (DAY)	미세기포 Aeration rate (L/min)	순환율 (%)
RUN-1	80	50	28/1/0.5/0.5	40	2	4	0%
RUN-2	80	50	28/1/0.5/0.5	40	2	4	5%
RUN-3	80	50	28/1/0.5/0.5	40	2	4	10%



(a) 순환율에 따른 막간차압(TMP) 변화측정결과

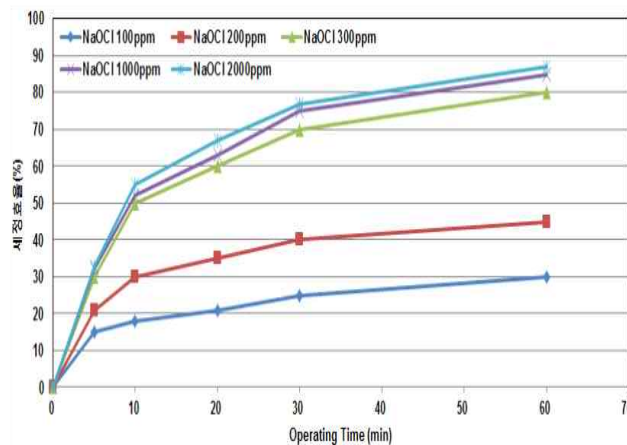


(b) 순환율에 따른 막간차압증가율(dP/dT) 측정결과
<그림 13. 순환율에 따른 막간차압 측정>

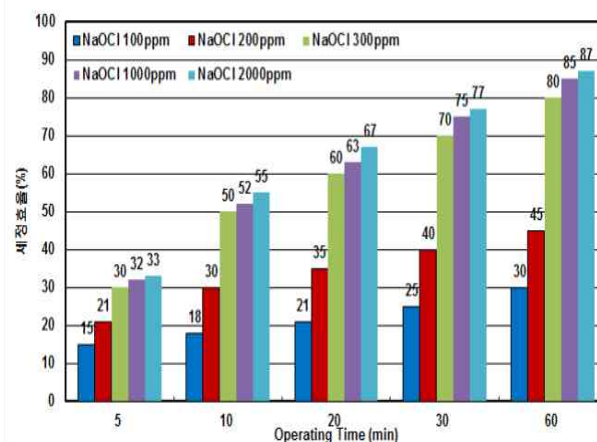
- 다음 그림 13 (b)은 순환율에 따른 막간차압 증가율을 나타냈으며 그림 13 (b)에서 관찰된 바와 같이 순환율에 따라 2일 동안 평가 결과임.
- Cross-flow 여과방식의 장점은 여과중의 막오염물질인 막면의 전단 유속으로 인해 탈착되는 효과가 있음. 하지만 순환을 하기 위해 원수유입 펌프의 전력비 증가로 20%이상의 순환율을 평가하지 않았음.
- 순환을 하지 않은 경우 즉 여과방식이 Dead-end 방식의 경우 막간차압 증가율은 0.00031 bar/hr 였으며 Cross-flow 여과방식인 순환율 5, 10% 여과했을 시 막간차압 증가율은 0.00017, 0.00013 bar/hr로 매우 낮은 값을 보였음. 5, 10% 막간차압 증가율 비교시 미비한 차이로 인해 전력비를 고려했을 때 순환율 5% 조건이 최적 조건이라고 판단됨.

(7) 유지세정을 통한 막 세정효율 평가

- 유지세정에 사용한 약품은 NaOCl 12% 용액을 희석시켜 사용하였으며 유지세정 방법은 일정시간동안 오염된 막모듈에 역세공정을통해 NaOCl(차아염소산나트륨) 100, 200, 300, 1000, 2000 mg/L를 주입하여 침지시켜 5, 10, 20, 30, 60 분 동안 일정 시간이 지난 후 TMP를 측정하여 세정효율을 측정하였음.
- 전자식 압력계를 이용하여 실시간으로 압력측정이 가능하며 내장된 프로그램에 의해 자동으로 시간, 막간차압(TMP) 등 운영인자를 저장하도록 구성함.



(a) 유지세정 약품 농도에 따른 세정효율 그래프



(b) 유지세정 약품 농도에 따른 세정효율 막대그래프

<그림 14. 유지세정을 통한 막 세정효율 결과>

- 유지세정 농도에 따라 세정효율을 평가한 결과 100ppm의 경우 세정시간 5, 10, 20, 30, 60 분에 따라 15, 18, 21, 25, 30%의 세정효율이 나타남.
- 200ppm의 경우 세정시간 5, 10, 20, 30, 60 분에 따라 21, 30, 35, 40, 45%의 세정효율이 나타남.
- 300ppm의 경우 세정시간 5, 10, 20, 30, 60 분에 따라 30, 50, 60, 70, 80%의 세정효율이 나타남.
- 1000ppm의 경우 세정시간 5, 10, 20, 30, 60 분에 따라 32, 52, 63, 75, 85%의 세정효율이 나타남.
- 2000ppm의 경우 세정시간 5, 10, 20, 30, 60 분에 따라 33, 55, 67, 77, 87%의 세정효율이 나타남.

- 유지세정 농도에 따라 세정효율을 살펴보면 세정농도 및 세정시간이 증가할수록 세정효율이 증가함을 확인 할 수 있었음.
- 특히 300ppm의 경우 1000, 2000ppm과 비교 시 세정효율의 큰 차이가 없기 때문에 300ppm에서 충분한 세정효율이 나타남을 확인 할 수 있음. 유지세정시간 10분의 경우 50%이상 세정효과를 볼 수 있었으며, 세정시간 30분의 경우 70%이상의 세정효과를 볼 수 있음. 따라서 유지세정 조건 300ppm, 세정시간 30분이 유지세정 최적조건으로 도출됨.

(8) 응집제 주입량 산정을 위한 Jar-test

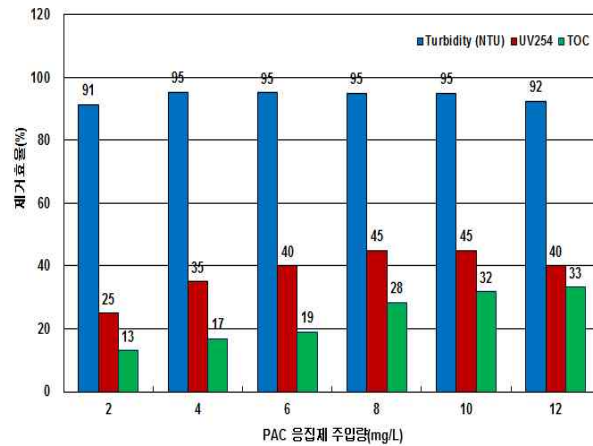
- 막여과 공정에서 원수를 바로 분리막으로 여과를 하는 경우도 있으나, 높은 탁도 및 유기물농도를 갖는 하수원수의 경우 보다 효율적인 여과공정을 수행하기 위해서 혼화/응집/침전 등의 전처리를 통해서 입자성 물질 및 유기물을 제거하여 분리막의 막 오염부하를 줄이는 공정을 도입하고 있음.
- 전처리 방법에 따라서 막여과 공정의 여과 지속성 및 막오염 주기에 영향을 줄 수 있기 때문에 도입하고자 하는 전처리 공정의 평가를 통해 선정하여 막여과 공정조건의 최적화를 이루어야 함.
- 현장 평가를 수행하기 전 Jar-test를 사전에 수행하여 유입되는 원수의 성상에 대응하는 응집제 주입량을 선정하여 막여과 공정에 적용할 수 있도록 하며 적절한 응집제 주입은 막 여과저항의 안정성과 처리수질의 향상을 확보할 수 있음.
- 전처리 분리막 전단에서 응집제를 주입하고자 하였으며, 적정 응집제 주입량을 선정하기 위해 고분자인 PAC (poly aluminium chloride, 17%)는 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 mg/L, 철염(97%, FeCl₃)은 0, 5, 10, 15, 20 mg/L 범위로 주입 후 실험을 진행함.
- 실험 및 교반조건을 일정하게 하기위해 Jar-tester(창신 C-JT)를 사용하였고, 혼화 및 응집조건은 250 rpm으로 급속교반 1분, 40 rpm으로 완속교반을 15분 동안 실시하여 침전시간 15분 후 상등수의 탁도, DOC, UV254를 분석하여 효율을 비교함.

표 15. Jar-test 운전조건

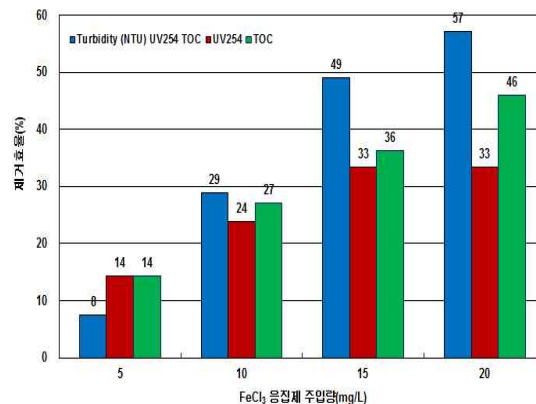
항목	내용
응집제 종류	PAC(Poly aluminium chloride (17%), FeCl ₃ (97%))
사용 원수	하수2차 침전지 상등수
급속교반 강도	250rpm 1분
완속교반 강도	40rpm 15분
침전시간	15분
상등수 채취	수면에서 2cm지점의 상등액 채취
탁도 측정	Hach 2100N 탁도계 이용 탁도 측정
수질분석항목 (원수, 상등수)	탁도, DOC, UV254,
응집제 주입량	PAC: 0/2/4/6/8/10/12 mg/L, FeCl ₃ : 0, 5, 10, 15, 20 mg/L

16. 하수처리수 공급수 성상

항목	탁도 (NTU)	색도	DOC (mg/L)	UV254 (cm ⁻¹)	COD (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	TDS (mg/L)	pH
하수 처리수 농도	3.35	72	6.22	0.025	26	8.6	0.63	231	7.51



(a) PAC응집제 주입을 통한 탁도 (Turbidity), UV₂₅₄, DOC 제거효율



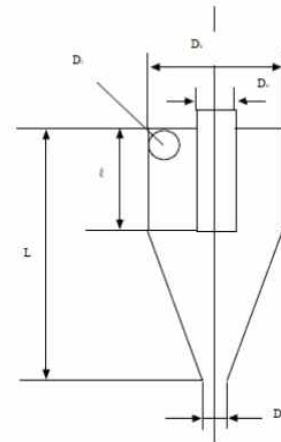
(b) FeCl 응집제 주입을 통한 탁도 (Turbidity), UV₂₅₄, DOC 제거효율
<그림 15. 응집제 주입량에 따른 제거효율>

- 수질분석 결과 DOC 및 UV₂₅₄의 경우 주입량이 높을수록 점차 제거율도 높아지는 경향을 보이며 DOC 제거율은 PAC의 경우 12 mg/L 주입 시 약 33%, FeCl₃의 경우 20 mg/L 주입 시 약 46% 제거효율을 보임.
- 또한, UV₂₅₄제거율은 PAC의 경우 10 mg/L 주입 시 약 45%, FeCl₃의 경우 15 mg/L 주입 시 약 35% 제거효율을 보였고, 탁도의 경우 PAC 4 mg/L를 주입한 경우에서 약 95%로 가장 높은 효율을 보임.
- PAC 응집제의 경우 최적응집제 주입량은 8 mg/L, FeCl₃의 경우 15 mg/L으로 산정하였음.

(9) 하이드로 사이클론 하수 농축수 부유물질(SS) 제거율 평가

- 그림 16은 하이드로 사이클론을 통해 농축수 부유물질(SS) 제거율 실험을 위한 사이클론 사양 및 실험장치 사진을 나타냄.
- 사이클론의 기본적인 분리 원리는 원심력 침전이며 부유입자들은 유체로부터 그 입자들을 분리시키게 하는 원심가속도의 영향을 받음.
- 사이클론은 원추부에 실린더가 결합된 형태로 되어있으며 유체속에 있는 부유입자는 실린더 상단에 위치한 유입구를 통하여 접선방향으로 유입됨. 접선방향유입으로 인해 강력한 소용돌이 움직임이 사이클론 내부에서 일어남.
- 미세입자를 포함한 유체의 일부는 중앙상부에 고정되어 있는 실린더관을 통하여 배출됨. 잔존하는 액상이나 굵은입자는 원추부 아래쪽에 위치한 원형개방부를 통하여 제거됨.
- 본 실험에 사용된 원수는 S대학교 하수처리장시설 일반 활성슬러지 공정의 2차 침전지 상등수를 침지식 막여과 공정으로 여과하여 농축된 원수를 사이클론의 원수로 사용하였음.

구분	사양	사이클론
사이클론 직경	10mm~2.5m	
절단입경 (d50)	2~250 μ m	
운전압력	0.34~6bar	
유량(용량)	0.1~7200m ³ /hr	



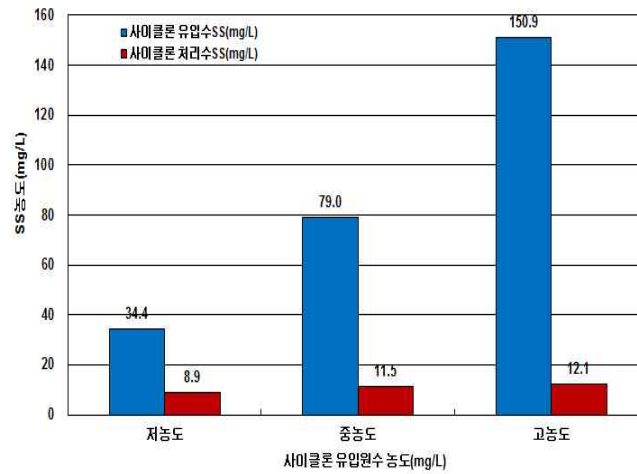
(a) 사이클론의 크기와 적용범위

(b) 일반적인 사이클론 모식도

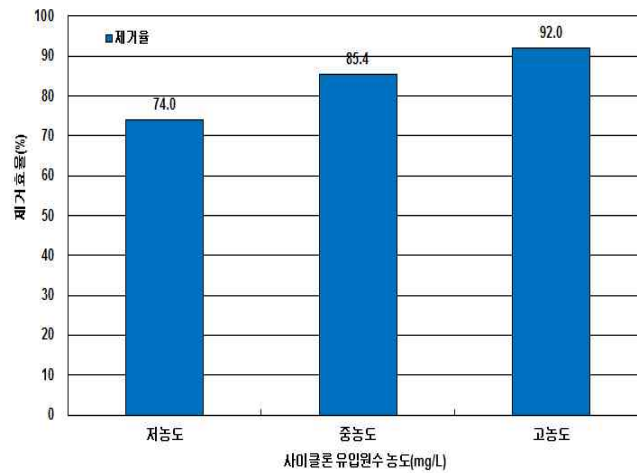
<그림 16. 사이클론 사양 및 모식도>

17. 사이클론을 통한 공급수 성상 및 처리수 제거효율

항목	유입수 SS (mg/L)	처리수 SS (mg/L)	제거율 (%)
저농도	34.4	8.9	74
중농도	79	11.5	85.4
고농도	151	12.1	92



(a) 부유물질(SS) 유입수 농도 및 처리수 농도

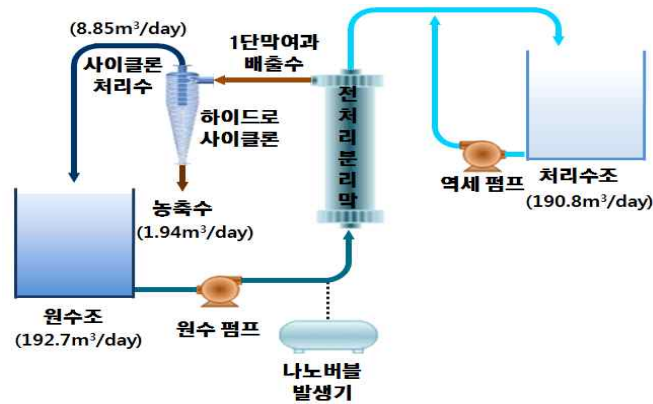


(b) 부유물질(SS) 유입수 농도에 따른 제거효율
<그림 17. 유입원수 농도에 따른 부유물질 제거효율 결과>

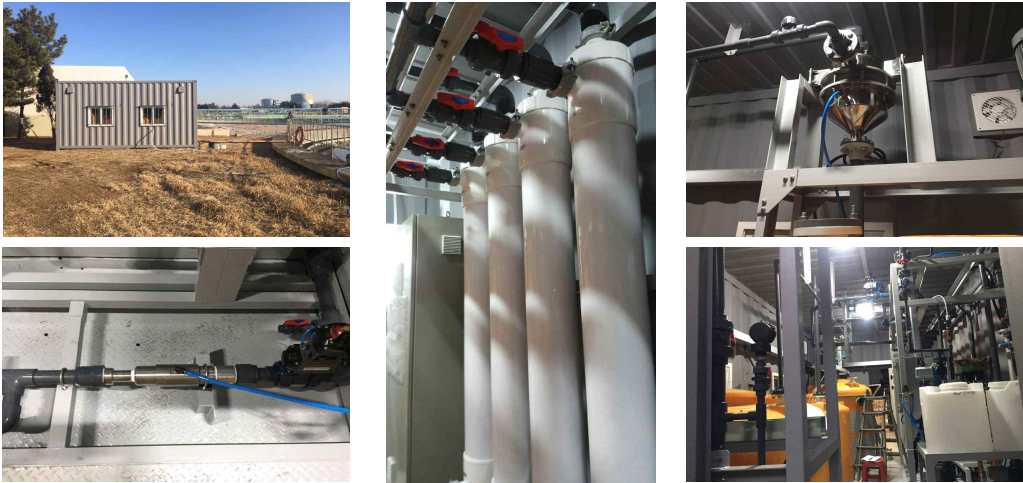
- 하이드로 사이클론을 이용하여 유입원수 농도별 SS제거효율을 실험한 결과 SS농도가 높을수록 사이클론의 제거효율은 더 높아지는 것을 확인할 수 있었음.
- 유입원수SS 농도 34, 79, 151 mg/L 유입 시 처리수의 농도는 8.9, 11.5, 12.1 mg/L 로 저농도의 경우 74%의 제거효율을 보였으며 중농도의 경우 85.4% 고농도 92%의 제거효율을 나타냄.
- 따라서 위와 같은 결과를 통해 막여과 역세 배출수의 경우 여과시간동안 농축된 SS가 역세공정에서 고농도의 부유물질이 배출되면서 사이클론을 통해 90%이상 제거효율을 높일 수 있어 2단 배출수 처리공정이 필요 없는 기술로 평가 할 수 있음.

나. 막오염제어 장기 운영평가(Pilot plant)

(1) 막여과 공정 개요



(a) 막여과 공정 모식도



(b) Pilot plant 현장사진

<그림 18. 막여과 공정 모식도 및 현장사진>

(2) 용량계산서

표 18. 설계기준

항 목	설 계 기 준
운전 Flux	60 LMH
처리수량	190 m³/일
여과공정구성	28분 여과 - 1분 역세+공기세정 - 1분 수세
역세유속(물)	13.5 m³/시간
역세유속(공기)	400 L/분/회/계열
회복세정	1~2회/년
회수율	99 % 이상
처리수질	< 0.2 NTU

○ 설계기준을 만족하기 위하여 여과수량, 역세수량 및 여과시간을 아래와 같은 근거에 의해 계산함.

- 설비공정율 = 여과시간 / (여과시간+역세시간+수세시간)

$$= (28\text{분}) / (28\text{분}+1\text{분}+1\text{분})$$

$$= 0.93$$
- 공정회수 : 1,440분/일 ÷ 30분/회 = 48회/일
- 역세척수량(Q_1) $Q_1 = 10.8\text{m}^3/\text{일}$

$$Q_1 = 1.44\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일} \times 1.5\text{배} \times 75\text{m}^2/\text{모듈} \times 2\text{모듈}/\text{계열} \times$$

$$1\text{계열} \times 1\text{분}/\text{회} \times 1\text{일}/1,440 \times 48\text{회}/\text{일}$$

$$\approx 10.8\text{m}^3/\text{일}$$
- 수세(급수)량(Q_2) $Q_2 = 7.2\text{ m}^3/\text{일}$

$$Q_2 = 1.44\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일} \times 75\text{m}^2/\text{모듈} \times 2\text{모듈}/\text{계열} \times$$

$$1\text{계열} \times 1\text{분}/\text{회} \times 1\text{일}/1,440\text{분} \times 48\text{회}/\text{일}$$

$$\approx 7.2\text{ m}^3/\text{일}$$
- 여과수량(Q_3) $Q_3 = 1.44\text{ m}^3/\text{d} \times 75\text{m}^2/\text{모듈} \times 2\text{모듈} \times 0.933(\text{설비공정율})$

$$= 201.6\text{m}^3/\text{일}$$
- 생산수량(Q_4) $Q_4 = 190.8\text{m}^3/\text{일}$

$$Q_4 = Q_3 - Q_1 = 201.6\text{m}^3/\text{일} - 10.8\text{m}^3/\text{일}$$

$$\approx 190.8\text{m}^3/\text{일}$$
- 계획취수량(Q_5) $Q_5 = 192.74\text{ m}^3/\text{일}$

$$Q_5 = Q_3 - Q_1 = 201.6\text{m}^3/\text{일} - 8.85\text{m}^3/\text{일}$$
(역세척수 사이클론 82%회수가능)

$$\approx 192.74\text{m}^3/\text{일}$$
- 회수율(R_1) $R_1 = 99\%$

$$R_1 = Q_4 \div Q_5 = 190.8\text{m}^3/\text{일} \div 192.74\text{ m}^3/\text{일} \times 100\%$$

$$= 99\%$$

○ 농축수처리 패키지 무방류형 막여과 공정은 수질복원센터에서 유입되는 하수처리수 원수를 대상으로 탁질물질 및 미생물을 제거하기 위한 공정으로, $1.5\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일}$ 이상의 처리유속으로 $192\text{m}^3/\text{일}$ 의 원수를 대상으로 99% 회수율이 적용되어 $190\text{m}^3/\text{일}$ 이상의 처리수를 생산하는 공정임.

- 유입유량 : $192\text{ m}^3/\text{d}$
- 막 모듈 면적 : 75 m^2 , 2本

○ 소요막모듈 및 막 투과플러스는 아래와 같이 산정함.

- 유입유량 : $192.74\text{ m}^3/\text{일}$
- 회수율 : 99 %이상
- 생산수량 : $190.8\text{m}^3/\text{일}$
- 투과플럭스(막여과유속) : $1.44\text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일}$ ($60\text{ l}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$)
- 필요 막 모듈 개수 (막 모듈 1本당 면적 = 75 m^2)

$$: 190\text{m}^3 / \div 150\text{m}^2 \div 1.5\text{m}^3/\text{m}^2\text{ 일} = 0.88$$

$$: \text{예비율 } 30\% \text{ 이상 고려하여 } 0.88 \times 1.3 = 1.15 \approx 2\text{本}$$

(3) 설비사양

표 19. 농축수처리 공정 설비사양

공정명	설비명	규격(제원)	수량	비고
원수공급	카트리지필터	200 μ m, 50A	1	STS304
	원수 유입펌프	15m ³ /hr × 15mH	1	Submersible
응집공정	응집제 저장탱크	50L	1	P.E
	라인믹서	40A, STS304	1	STS304
	응집제 주입펌프	300 ml/min * 50 mH	1	DIAPHRAGM
막여과 공정	막 원수 저장조	1m ³	1	P.E
	막 유입 펌프	7~20 m ³ /hr * 30 mH	1	VERTICAL
	라인믹서	40A, STS304	2	STS304
	카트리지필터	150 μ m, 50A	1	STS304
	나노버블발생장치	40A	1	STS304
	하이드로사이클론장치	0.5~1.0m ³ /hr	1	STS304
	막 여과수조	2m ³	1	P.E
	분리막 압력계	PRESSURE TRANSMITTER	2	
	막 여과 탁도계	FLOW THROUGH	1	
	분리막 유량계	MAGNETIC	5	
	막 역세 펌프	10~30 m ³ /hr × 30 mH	1	
	슬러지 인발펌프	6.9 m ³ /hr * 25mH	1	VERTICAL
	슬러지 탱크	1.5m ³	1	P.E
공통설비	CIP 탱크	1.0 m ³	1	P.E
	CIP 공급펌프	6.9 m ³ /hr * 25mH	1	VERTICAL
	NaOCl 탱크	50L	1	P.E
	Citric Acid 탱크	50L	1	P.E
	NaOH 탱크	50L	1	P.E
	약품 공급펌프	300 ml/min * 50 mH	4	DIAPHRAGM
	컴프레서	2.0 Nm ³ /min * 80 kgf/cm ²	1	
제어반	PLC			

(4) 주요 공정 설명

(가) 원수 저류조

- 수질복원센터 하수처리수 원수가 유입되는 곳으로 유량 조절을 주목적으로 하는 조정조 역할을 행함.

(나) 나노버블 장치

- 막모듈 유입배관 라인에 배관형 나노버블 제너레이터를 사용하여 In-Line으로 설치되어있으며 원수와 마이크로 나노버블이 혼합되어 막유입으로 공급함.

(다) 원수 공급펌프

- 원수 저류조의 처리대상수를 막모듈에 공급하며, 원수조의 Level Sensor에 의해 운전됨.
- 2대의 펌프가 설치되어 있으며, 펌프 한 대가 고장이나 이상이 생겼을 경우 시스템의 정지하지 않도록 다른 펌프가 가동되도록 설정함.
- 중공사막을 보호하기 위하여 Low Level 이하로 내려가는 경우 시스템이 자동적으로 정지됨.

(라) 역세 펌프

- 역세 펌프는 처리수 배관라인에 설치되어 있으며, 설정 유량을 공급할 수 있도록 인버터에 의한 변속 운전되도록 구성함.

(마) 응집제 펌프

- 응집제 주입은 원수공급펌프 전단배관 라인에 설치되었으며 원수가 공급될시 응집제 펌프를 통해 자동주입 되게 구성함.

(바) 가압식 MF 중공사막

① MF 중공사막 사양

구 분	사 양	구 분	사 양
Membrane	PVDF	TMP	최대 300 kPa
Operating mode	Dead-end	Flux	60 L/m ² /hr
Air Scrubbing	200 L/min·module (역세시)	역세약품	NaOCl 3 ~ 5 ppm

② Module 구성 : 2 EA, 1계열

③ 막여과 흐름 : 원수저류조 → Fiber 외부에서 내부로 여과 → 여과수 Filtrate core tube를 통해 Filtrate side로 유출 → 처리수조

④ 운전모드

운전 (Operation)	운전주기	운전방식	Flow rate	Remarks
여과 (Filtration)	28분	Dead-end	원수	60 LMH
↓				
역세 (Backwash)	1분	Backwash water + NaOCl	처리수	운전유량의 1.5배
↓				
수세 (Flushing)	1분	순환	원수	60 LMH
역세수 제거 및 원수 충진 목적				

⑤ 역세척 공정

- 역세척 목적
 - 막여과 시 제거된 SS, 유기물 등이 막표면에 축적되어 케익형성, 공극막힘, 막표면에 흡착등의 Fouling 유발
 - Fouling에는 회복가능한 경우 및 불가능한 경우가 있으며, 순환유량 증가, Rinse, Reverse filtration 등에 의해 해결 가능
 - Rinse, Reverse filtration으로는 모든 막오염 물질을 제거하기 곤란하며 세정약품을 사용하여 제거
- 역세척 방법
 - 역세척은 Time control로 제어시스템에 의해 자동적으로 역세 펌프와 밸브가 작동
 - 28분 여과 후 1회 처리수 이용하는 역세척 실시 공세는 연속으로 실시

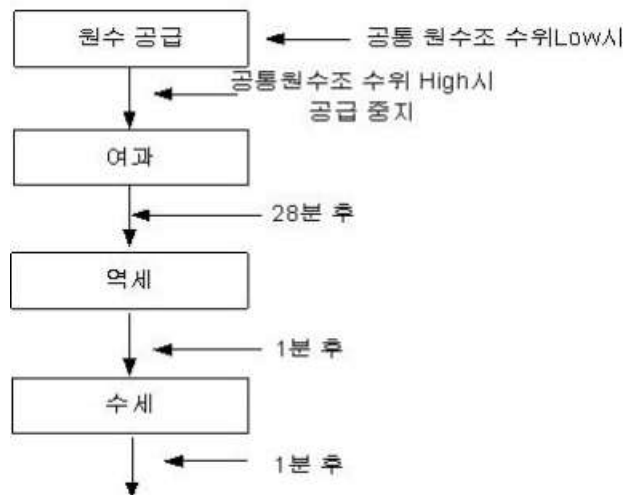
(사) 블로워

- 가압식 MF 중공사막의 파울링 컨트롤을 위해 역세 시 공기를 주입함.
- 모듈 당 주입 공기 유량은 200L/min임.

(아) 기타설비

- 기타 설비에는 공압 밸브를 가동시키는 데 필요한 컴프레샤와 CIP 세정에 필요한 CIP조 2개, CIP에 처리수를 공급하는 처리수 이송 펌프가 있음.
- 추가적으로 각종 Overflow 및 배출수, 배출슬러지들이 유입되는 Drain조가 있음.

(4) 공정 작동 절차

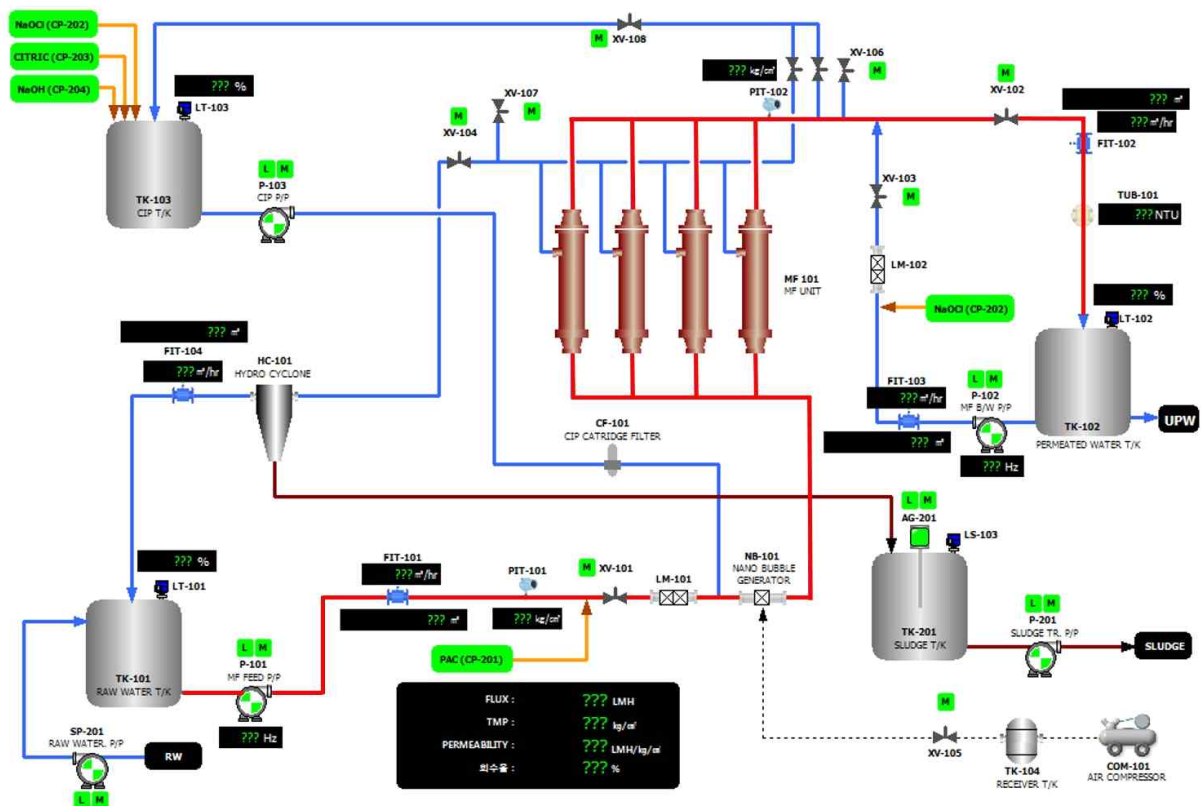


(가) 막여과 장치 설비

- 본 장치의 운전 여과방식은 정유량 제어방식이며 전량 여과방식으로 여과-역세(공기세척병행)-수세 순으로 자동적으로 운전되며, 원수의 수질 등 현장여건에 따라 각 공정별 시간을 변경할 수 있으며 필요 시 수동으로도 운전 가능하도록 설계됨.
- 막여과 공정은 펌프회전수제어(인버터 제어)방식에 의한 정유량 제어를 원칙으로 하고, 물리세척공정(역압수 및 에어스크러빙 세척)과 약품주입 등은 타이머 또는 소정의 공정관리기준에 의해 모두 자동으로 실시되며, 운전관리는 유량, 수위, 압력, 수질 등의 상시 감시를 실시하여야 함.

(나) 여과공정 (28분)

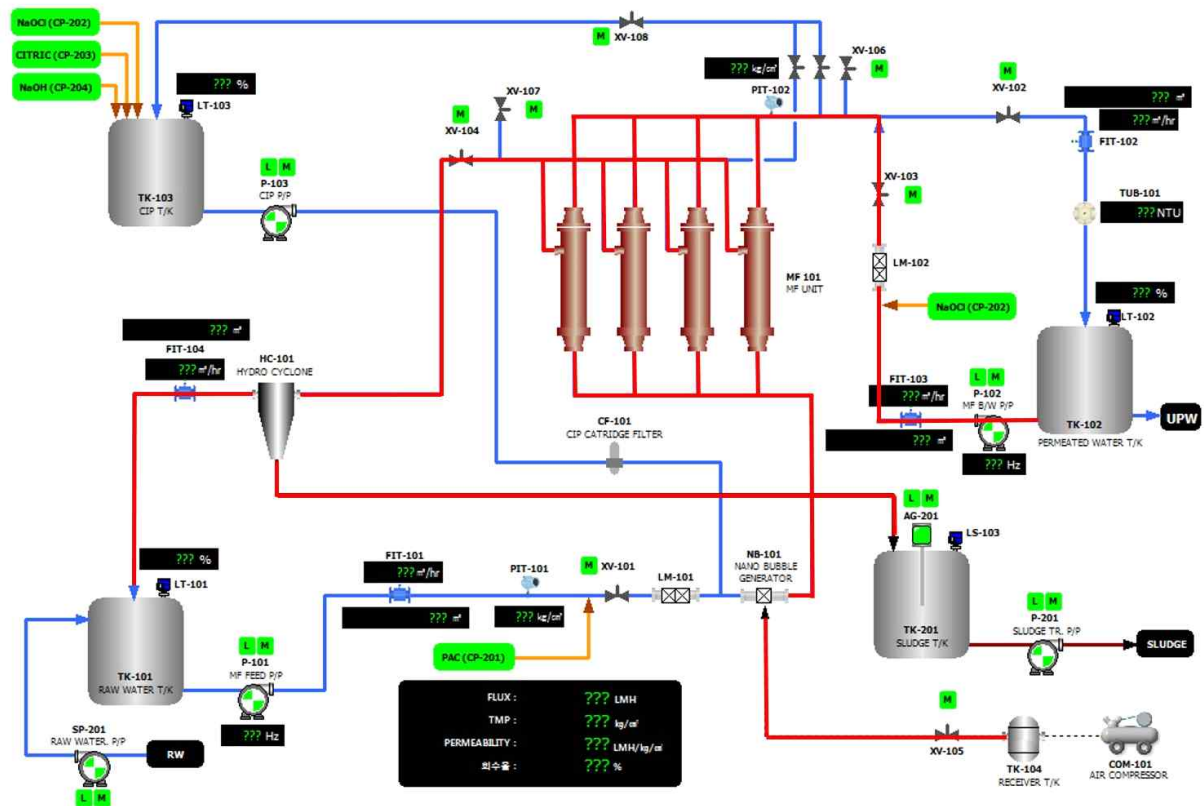
- 원수펌프를 이용한 외압식 여과 방식이며 펌프회전수제어방식(인버터)에 의한 정유량 제어 방식임.
- 여과방식 : 케이싱 수납형 전량여과 방식
- 통수방식 : 외압식
- 구동방식 : 펌프 가압식
- 운전제어방식 : 유량계와 연동된 펌프회전수제어방식에 의한 정유량 제어 방식
- 운전관리 : 유량, 압력 등 상시 감시 실시, 이상 발생시 자동적으로 계열 및 장치 등의 정지



<그림 19. 여과공정 시 폐수 흐름 모식도>

(다) 역세척 공정 (60초)

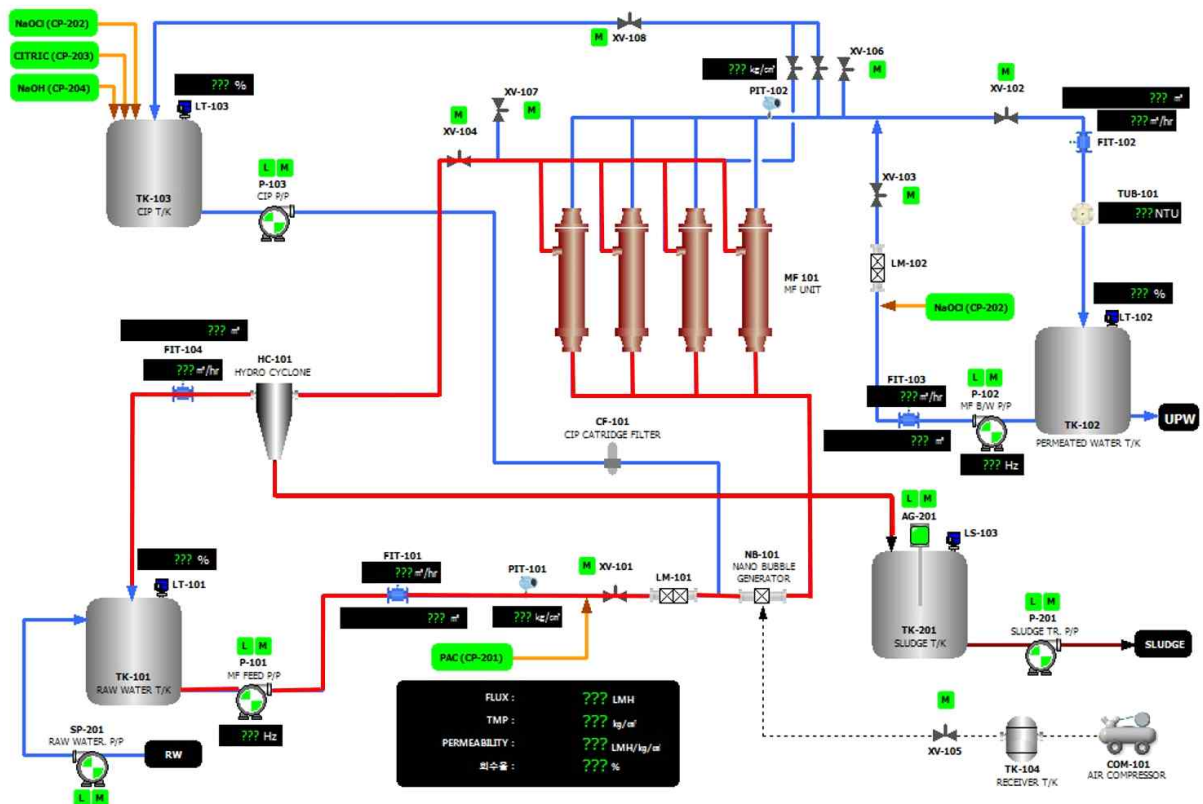
- 막여과수에 의한 역압수와 역세펌프전단으로부터 차아염소산을 함유하는 여과수를 유입하며 역세척 배출수는 사이클론을 통과하여 처리수는 원수조로 농축수는 배출수조로 유입됨.
- 역세 세척 : 역세펌프전단으로부터 NaOCl을 함유하는 여과수를 유입
- 사이클론 : 역세배출수의 99%는 사이클론에 처리되어 원수조로 유입 1%의 농축수는 배출수조에 유입



<그림 20. 역세공정 시 폐수 흐름 모식도>

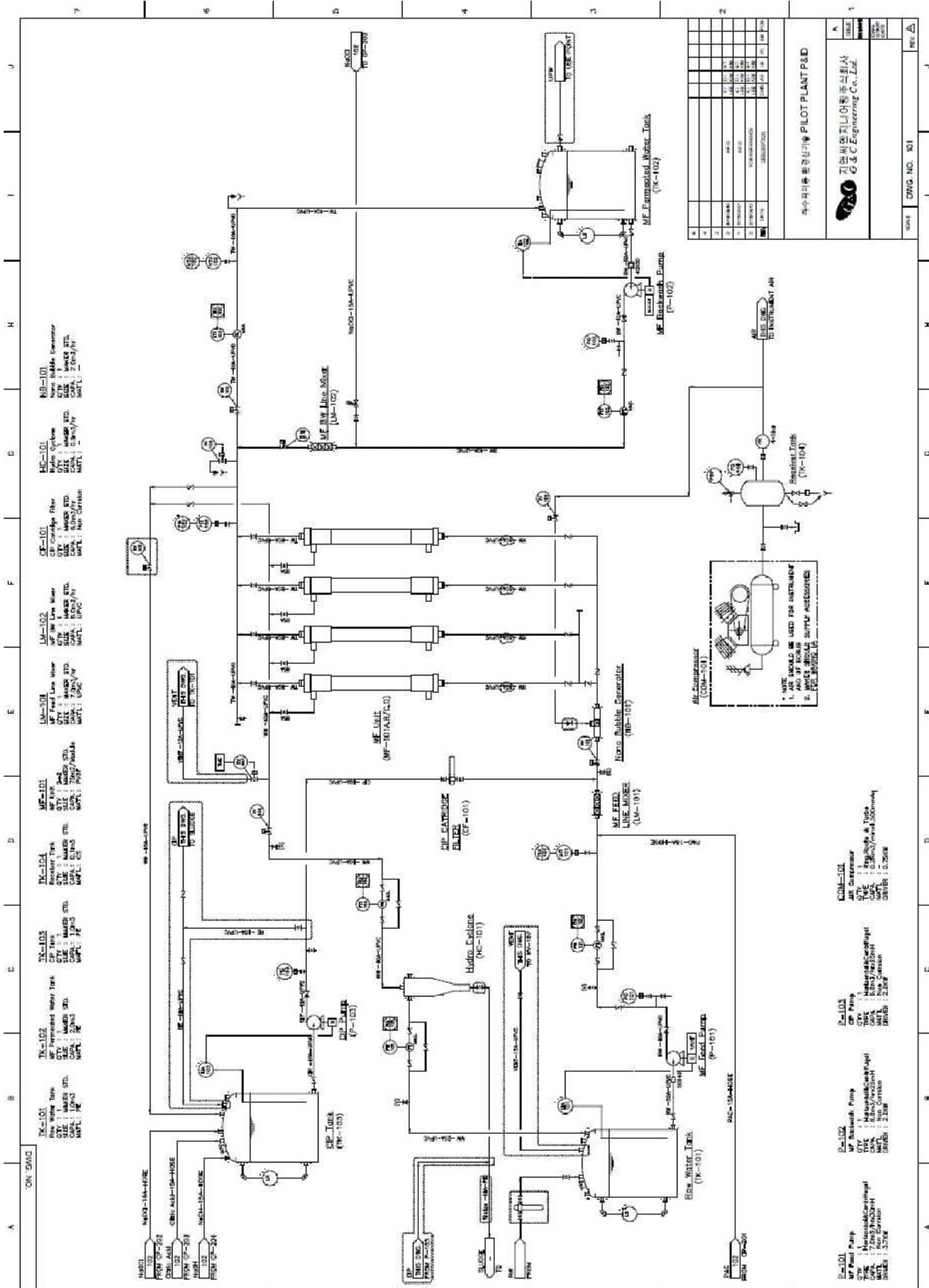
(라) 역세척 공정(60초)

- 원수펌프를 이용하여 막여과 장치의 막모듈 및 배관의 세척공정으로 유입된 원수는 사이클론을 통하여 처리수는 원수조로, 농축수는 배출수조로 배출하는 공정



<그림 21. 세척공정 시 폐수 흐름 모식도>

(5) Pilot-scale 설계도면 (P&ID Flow sheet)



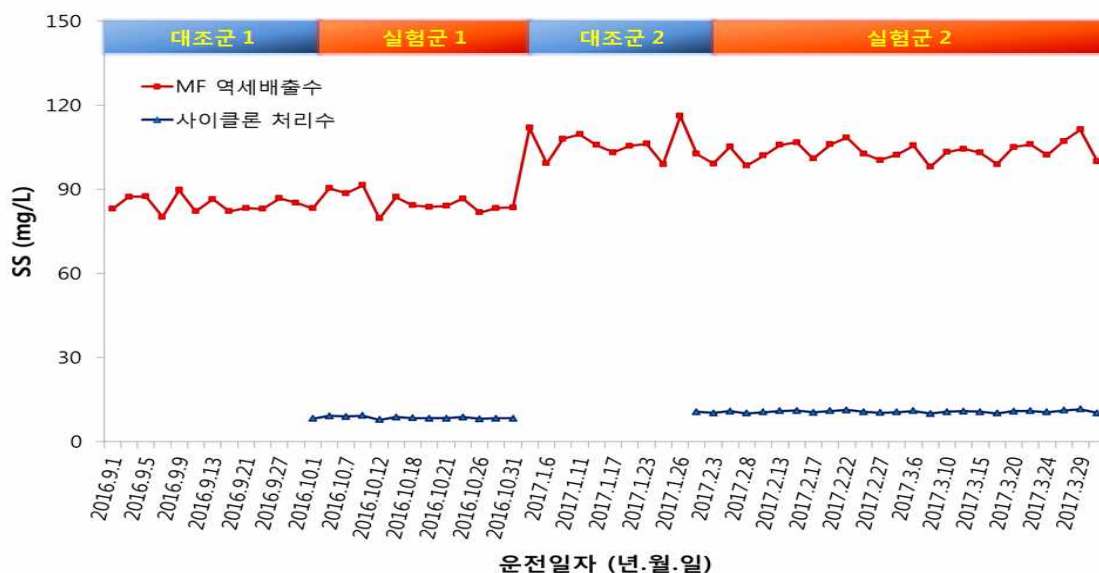
(6) Pilot-scale 실험 결과

(가) 장기운전에 따른 수질 변화

- 본 연구에서는 S 하수처리장과 일산 수질복원센터 내 Pilot-plant를 설치하고, 3차 처리수를 원수로 유입하여 MF 멤브레인 고도처리기능과 하이드로사이클론의 고액분리 및 나노버블을 적용함으로써 농축수 무방류 패키지 공정에 대해 분석함.
- Pilot-plant 운전 기간은 2016. 09. 01. ~ 2017. 03. 29으로 탁도, SS, COD_{Cr}, T-N, T-P에 대한 수질분석을 실시하여 구축한 Pilot에 대한 성능을 테스트 함.
- 나노버블/사이클론 공정을 적용한 Pilot-plant에서 S하수처리장(대조군1, 실험군1)의 하수처리수를 대상으로 약 2개월, I 하수처리장(대조군2, 실험군2)의 하수처리수를 대상으로 약 3개월, 총 5개월간 장기운전을 진행함.



MF유입수 및 처리수의 SS 변화



(b) 사이클론 유입수 및 처리수의 SS 변화

<그림 22. 유입원수 SS농도 및 사이클론 SS변화>

- 대조군 1, 실험군 1에서 MF 유입수의 SS 농도는 4.1~4.9 mg/L 범위로 나타났고, 대조군 2, 실험군 2에서는 6.1~6.9 mg/L 범위로 나타남에 따라 I 하수처리장의 SS 농도에서 더 높은 경향을 보임.

○ MF 처리수의 경우 SS 농도는 대조군 1, 실험군 1, 대조군 2, 실험군 2에서 전체적으로 1 mg/L 이하로 나타났으며, 대조군 1, 실험군 1의 경우 평균 0.5 mg/L, 대조군 2, 실험군 2의 경우 평균 0.4 mg/L로 나타남에 따라 전체 운전기간동안 유사한 처리효율을 보임.

MF 역세배출수에서는 대조군 1, 실험군 1의 SS 농도는 79.6~91.5 mg/L 범위로 나타났고, 대조군 2, 실험군 2에서는 98.1~116.2 mg/L 범위로 나타났으며, 사이클론 처리수는 실험군 1에서 평균 8.6 mg/L, 실험군 2에서는 10.7 mg/L로 나타남.

표 20. S소재지 하수처리장 공급수 수질성상

항목	탁도 (NTU)	SS (mg/L)	COD _{Cr} (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
최고	3.45	4.9	34	9.2	0.82
최저	2.05	4.1	22	6.4	0.61
평균	2.83	4.4	27	7.8	0.65

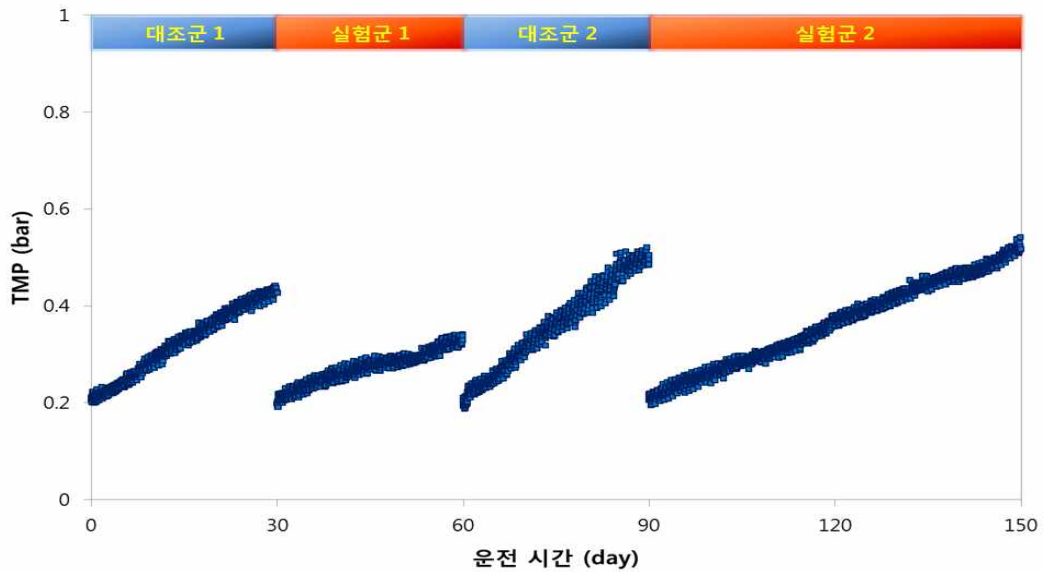
표 21. 일산 수질복원센터 하수처리장 공급수 수질성상

항목	탁도 (NTU)	SS (mg/L)	COD _{Cr} (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
최고	5.26	6.9	47	17.3	1.1
최저	3.45	6.1	26	10.7	0.5
평균	4.56	6.5	35	15.2	0.7

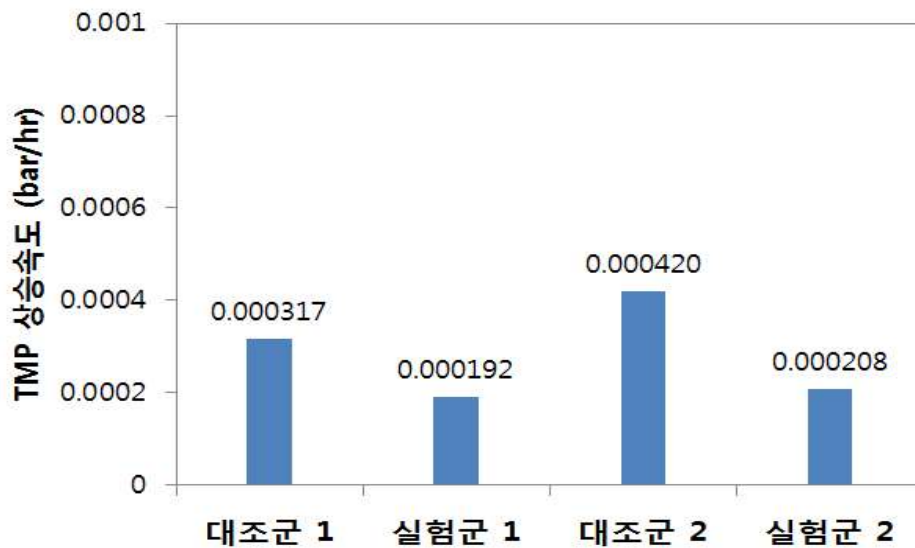
(나) 나노버블 유무에 따른 막간차압(TMP) 변화

표 22. 나노버블 주입 유무에 따른 운전조건(Pilot-plant)

구분	Flux (L/m ² /hr)	역세Flux (L/m ² /hr)	Operation mode (여과/역세/플러싱) (min)	여과량 (m ³ /hr)	여과 시간 (개월)
대조군 W/O 나노버블	60	90	28/1/1	9.3	2
실험군 With 나노버블	60	90	28/1/1	9.3	3



(a) 나노버블 유무에 따른 막간차압(TMP) 변화측정결과

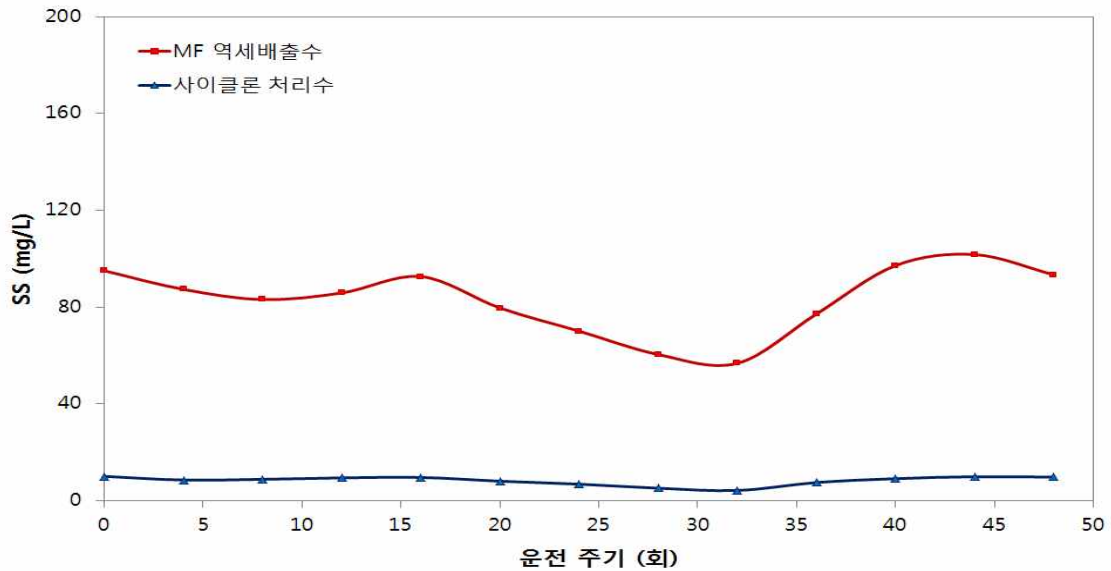


(b) 나노버블 유무에 따른 막간차압증가율(dP/dT) 측정결과

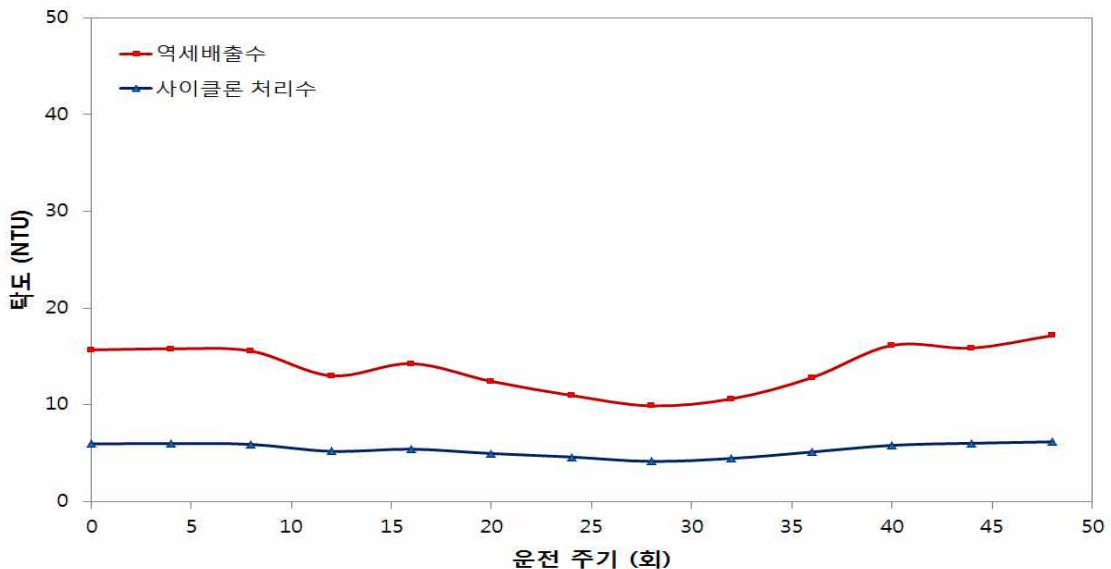
<그림 23. 나노버블 유무에 따른 막간차압 측정 (Pilot-plant)>

- MF 막여과 공정에서 60 LMH의 플럭스로 나노버블/사이클론 공정을 적용 유무에 따라 대조군 및 실험군으로 구분하여 TMP 변화를 비교함.
- 각 공정별 TMP 변화는 대조군 1의 경우 0.198~0.441 bar, 실험군 1의 경우 0.191~0.340 bar, 대조군 2의 경우 0.187~0.520 bar, 실험군 2의 경우 0.195~0.541 bar까지 상승하며, 운전시간에 따라 점차 증가하는 추세를 보임.
- 시간당 TMP 상승속도 비교를 통해 막오염 저감 효율을 평가한 결과 대조군 1과 실험군 1에서 각각 0.000317 bar/hr, 0.000192 bar/hr로 나타났고, 대조군 2와 실험군 2에서 각각 0.000420 bar/hr, 0.000208 bar/hr로 나타남에 따라 실험군에서는 나노버블 적용 시 막오염 저감효율이 발생됨에 따라 낮은 TMP 상승속도를 보임.
- 따라서, 나노버블/사이클론을 막여과 공정에 적용할 경우 막오염 저감과 회수율 증가에 기여함으로써 기존 공정보다 플럭스를 증가하여 운전할 수 있고, 폐수처리시설의 용량 감소가 가능함으로 안정적인 하수재이용 공정으로 적용이 가능함.

(다) 사이클론 공정의 역세주기별 SS 및 탁도 변화



(a) MF 역세배출수 및 사이클론 처리수의 SS 변화



(b) MF 역세배출수 및 사이클론 처리수의 탁도 변화

<그림 24. 사이클론 공정의 운전주기별 SS 및 탁도 변화>

- 사이클론 공정에서 MF 역세공정 주기별 역세배출수의 SS는 56.8~101.68 mg/L의 범위로써 평균 83.1 mg/L로 나타났고, 사이클론 처리수는 4.2~9.9 mg/L로써 평균 약 90.1%의 제거효율을 보임.
- MF 역세배출수의 탁도는 9.89~17.16 NTU의 범위로써 평균 13.86 NTU로 나타났고, 사이클론 처리수는 4.15~6.18 NTU로써 평균적으로 약 61%의 제거효율을 보임.

3. 연구성과

가. 최종목표

- 99% 회수율 1단 막여과 공정 구축
 - 기존(1단+2단) 대비 50% 이상의 농축수(배출수) 발생량 저감
 - 기존(1단+2단) 대비 20% 초기투자비(공사비) 절감
 - 기존(1단+2단) 대비 30% 운영관리비 절감
 - 환경신기술 정부인증 신청

나. 연구성과

	구분	목표	연구성과
기술적 성과	Pilot 실험장치 구축	1 건	1 건
	공정 회수율	99 %	99 %
	공정 플럭스	60 LMH	60 LMH
	최종 처리수질	< 0.2 NTU	0.05 NTU
	특허 등록	2 건	2 건
	신기술 인증 신청	1 건	1 건
학술적 성과	국내외 학술지 게재	2 건	2 건
기타 성과	인력 양성	2 명	2 명

(1) Pilot 실험장치 구축

- 2016. 12 ~ 2017. 03 기간 동안 일산 수질복원센터(경기도 고양시 일산서구 고양대로 112번길 64) 내 일부 부지와 1차 전원 및 3차 처리수를 제공받아 6m(가로)×3m(세로)×3.1m(높이) 크기의 Pilot 실험 장치를 구축함.
- 본 실험 장치는 $1.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일}$ 이상의 처리유속으로 $192 \text{ m}^3/\text{일}$ 의 원수를 대상으로 99% 회수율이 적용되어 $190 \text{ m}^3/\text{일}$ 이상의 처리수를 생산하는 공정임.



<그림 25. Pilot 실험장치 구축>

(2) 특허 등록

No.	특허명칭	등록번호	등록일	출원인 (등록권리자)
1	일체형 나노버블 생성기를 구비한 중공사막 모듈 및 이를 포함하는 막여과 장치(KR)	10-1718100	20170314	지앤씨 엔지니어링(주)
2	고효율 막여과 수처리방법 및 이를 이용한 장치(JP)	—	20170328	지앤씨 엔지니어링(주)

(3) 신기술 인증 신청

환경신기술정보시스템 Home 로그인 회원가입 SiteMap 마이페이지 English

제도소개 인·검증 환경기술 활용실적 사후평가 고객마당

마이페이지

개인정보변경
평가현황
신청
수수료납부
지원금신청
활용실적
민원신청

평가현황

홈 > 개인정보변경 > 평가현황

진행내용

관리번호
기술명

총 1건

순번	관리번호	기술명	신청서구분	접수일자	진행현황
1		농축수 처리 패키지 무방류형 막여과 공정 기술	신기술인증	2017-05-08	접수완료

홈페이지 이용가이드
원격지원 서비스

환경신기술정보시스템 Home 로그인 회원가입 SiteMap 마이페이지 English

제도소개 인·검증 환경기술 활용실적 사후평가 고객마당

마이페이지

개인정보변경
평가현황
신청
수수료납부
지원금신청
활용실적
민원신청

평가현황

홈 > 개인정보변경 > 평가현황

신기술인증 신청 처리

신청 → 서류접수 → 공고 → 평가 → 인증서 발급

기본정보 기술보유자 지적재산권 논문정보 공동연구기관 사업연계현황 접수완료

신청서 정보

신청구분	신기술인증
기술명	농축수 처리 패키지 무방류형 막여과 공정 기술
처리기간	90 일
건설신기술보유여부	기술세부분야 수처리기술 > 재이용

신기술 관련 사항

기술개요

○ 하이드로 사이클론/나노버블발생 장치를 적용한 막여과 공정에서 막공급수에 나노버블을 주입하여 막오염 저감과 하이드로 사이클론을 통해 회수를 99%를 확보할 수 있는 하수재이용 처리기술.

신기술범위

○ 나노버블 발생장치를 이용하여 발생된 기포를 막공급수에 주입하여 분리막 표면에 침적된 입자성 오염물질들이 나노버블에 의해 막면과 입자사이의 부착력이 약화됨으로써 막간자압(TMP)의 증가를 감소시킬 수 있는 기술

○ 하이드로 사이클론을 이용하여 2단 농축수 처리공정이 필요 없으며 99%의 고회수율을 확보할 수 있는 기술

<그림 26. 신기술인증 신청 내역>

(3) 국내외 학술지 게재

No.	SCI/일반	논문명	학술지명	ISBN ISSN	주저자명	Vol. (No)	시작 페이지	끝 페이지	게재 일자
1	일반	오존산화/응집 혼성공정에 의한 UF 분리막의 막오염 저감에 관한 연구	(사)대한상하 수도학회	1225- 7672	김지훈, 김건엽	Vol.31, No.2	161	168	2017. 04
2	일반	하수재이용 막여과 공정에서 막오염 저감을 위한 마이크로버블 적용성 평가	(사)대한상하 수도학회	1225- 7672	김지훈, 이창하	Vol.31, No.2	169	175	2017. 04

(4) 기술사업화 전담인력 채용

No.	성명	담당업무/전공	채용일	참여기간	참여율(%)
1	허영석	공정설계/기계공학	2015. 02. 02	2015. 04 ~ 2017. 04	100
2	최수민	공정개발/환경공학	2016. 12. 26	2017. 01 ~ 2017. 04	61.4

다. 경제성 평가

(1) 시설비 (생산량 190 m³/d 기준)

공 중		금 액 (천원)	비 고
		190m ³ /일 ¹⁾	
		신청기술	
토목	기자재 및 설치공사	-	직접 공사비만 반영
	소계	-	
건축	컨테이너 제작	7,000	
	소계	7,000	
전기, 계측	제어반 제작 및 설치	23,000	
	HMI 작화 및 프로그래밍	15,000	
	전기배선 공사	9,000	
	소계	47,000	
기계	멤브레인 유닛 및 SKID 제작/설치	26,300	
	기타장비류	39,700	
	계측기 및 밸브류	11,000	
	배관공사	3,500	
	소계	80,500	
합 계(총공사비)		134,500	

※ 1), 2) 평가대상시설인 실증 Pilot 기준기술(1+2stage 막여과), 신청기술(1stge 막여과) 설비 설치 금액 기준

(2) 기존기술과 신청기술의 시설비 비교

구분		금 액 (천원)		비고
		신청기술	기존기술 (1+2stage)	
		190 m ³ /일	190 m ³ /일	
설 치 비	토목/건축	7,000	13,000	컨테이너 구매 및 보강
	기계	80,500	130,000	막모듈포함
	전기·계장	47,000	85,000	동력공급설비, 계측 및 제어프로그램
	설치비 합계	134,500	228,000	부지 매입비 제외

(3) 유지관리비 (생산량 190 m³/d 기준)

(가) 유지관리비 내역

구분			내용	비고
운 영 비	전 력 비	일일전력 사용량	150 kW/일	
		전력비 단가	78원/kWh	산업용 전력(갑) 고압A(Ⅱ) 평균전력
		계약전력 단가	7,440원/kW	산업용 전력(갑) 고압A(Ⅱ) 적용
		계약전력 요금	1,573,000원/년	계약전력×계약전력요금×12개월
		상용전력 요금	3,525,000원/년	사용전력 × 전력비 단가 (인버터기기는 수용율 70% 적용)
		전력비 합계	5,099,000원/년	
	약 품 비	PAC 17%	895,000원/년	250원/kg
		NaOCl 10%	93,000원/년	230원/kg
		Citric Acid	35,000원/년	1300원/kg
		NaOH	0원/년	비상용
		연간 약품비 합계	1,023,000원/년	
	수선비		1,345,000원/년	시설비의 1%
	운영비 합계		7,467,000원/년	전력비+약품비+수선비
	슬러지 처리비		29,404,000원/년	탈수케익처리비 58,000원/kg, 함수율 80% 적용
	유지관리비 총계		36,871,000원/년	운영비 합계 +슬러지처리비

(나) 유지관리비 산출근거

공종	금액(원/m ³)	산출근거
유 지 관 리 비	전력비	73.6 · 톤당 전력비 = 연간전력요금 ÷ 연간 생산수량 = (5,099,000원/년) ÷ (190m ³ /일 × 365일/년) = 73.6원/m ³
	약품비	14.8 · 톤당 약품비 = 연간약품비 ÷ 연간 생산수량 = (1,023,000원/년) ÷ (190m ³ /일 × 365일/년) = 14.8원/m ³
	수선비	19.4 · 톤당 수선비 = 연간 수선비 ÷ 연간 생산수량 = (1,345,000원/년) ÷ (190 m ³ /일 × 365일/년) = 19.4원/m ³
	합계	107.8 · 톤당 처리단가
	슬러지 처리비	424 · 톤당 처리비 = 연간 처리비 ÷ 연간 생산수량 = (29,404,000원/년) ÷ (190 m ³ /일 × 365일/년) = 424원/m ³
	총계	531.8 · 톤당 총 처리단가

(4) 연간 유지관리비 및 운영단가

항 목	산정금액 (원/년)	산출근거
전 기 비	5,099,000	· 기본요금($17.62 \text{ kW} \times 7,440 \text{ 원/kW/월} \times 12 \text{ 월/년}$) · 사용요금($123.9 \text{ kWh/일} \times 78 \text{ 원/kWh} \times 365 \text{ 일/년}$) · 기본요금 + 사용요금 = 5,099,000원/년
약 품 비	1,023,000	· 응집제: $10 \text{ kg/일} \times 365 \text{ 일} \times 250 \text{ 원/kg} = 895,000 \text{ 원/년}$ · NaOCl(유지세정) : $1 \text{ kg/일} \times 365 \text{ 일} \times 230 \text{ 원} = 87,000 \text{ 원/년}$ · NaOCl(화학세정) : $5 \text{ kg/회} \times 6 \text{ 회/년} \times 230 \text{ 원} = 6,000 \text{ 원/년}$ Citric Acid(화학세정) : $5 \text{ kg/회} \times 6 \text{ 회/년} \times 1,300 \text{ 원} = 35,000 \text{ 원/년}$
수선비	1,345,000	시설비의 1%
합계	7,467,000	
슬러지 처리비	29,404,000	· 슬러지발생량 $1.9 \text{ m}^3 \times$ 함수율 80% = 1.52 m^3 (58,000원/ m^3)
운영단가	531.8 원/m^3 (107.8 원/m^3)	· 유지관리비 36,871,000원/년 ÷ 생산량 $69,350 \text{ m}^3/\text{년}$ (슬러지 처리비 제외시)

(5) 기존기술 대비 경제성 요약

구 분	신청 기술		비 고
	무	유	
연간 유지관리비 (원/년)	45,599,800	36,871,000	전기비+약품비+약품세정비+수선비
연간 처리량 ($\text{m}^3/\text{년}$)	69,350	69,350	하루생산유량 $\times 365 \text{ 일/년}$
처리단가 (원/ m^3)	657.6	531.8	연간 유지관리비 ÷ 연간처리량
※ 기준 - 본 기술개발 적용에 대한 적용(유), 미반영(무) - 하루 생산수량 190 m^3 기준			

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

가. 연구개발 성과지표 및 목표달성도

구분	성과지표	목표치	가중치(%)	목표달성도(%)
1차년도	Lab 실험장치 구축	1 건	15	100
	기술사업화 전담인력 채용	2 명	10	200
	특허 출원	2 건	20	100
	상표권 출원	1 건	5	200
2차년도	특허 등록	2 건	5	100
	논문 게재	2 건	5	100
	공정 회수율	99 %	5	100
	공정 플럭스	60 LMH	5	100
	최종처리수질	0.2 NTU	5	100
	Pilot 실험장치 구축	1 건	15	100
	신기술 인증신청	1 건	10	100

나. 성과지표 달성을 위한 연구 진행내용 요약

(1) Lab 실험장치 구축 및 실험을 통한 pilot-scale 적용 설계인자 도출

- 나노버블 유무에 따른 막간차압(TMP) 변화 비교평가
- 공기폭기와 나노버블 주입에 따른 세정효율평가
- 공기폭기와 나노버블 주입에 따른 막오염원 제거 비교평가
- 하이드로사이클론 농축수 수질제거율 평가(SS, 탁도)

(2) Pilot-scale 설계/구축 및 장기운전

- 처리 수량 190 m³/d의 규모로 Flux 60 LMH, 회수율 99% 의 설계기준을 적용하여 운전
- 나노버블 유무에 따른 막간차압(TMP) 변화 비교평가
- 하이드로사이클론 농축수 수질제거율 평가(SS, 탁도)
- 기존기술과 신청기술 막여과 공정 플랜트의 경제성 비교 평가

(3) 신기술 인증 신청

- 기술명 ‘농축수처리 패키지 무방류형 막여과 공정 기술’ 의 신기술 신청을 2017. 05. 08일자로 완료함.

2. 관련 분야 기여도

가. 농축수 무방류형 막여과공정 개발

- 본 연구과제에서 제안하는 농축수 무방류형 막여과 처리기술은 핵심 특허 기술인 나노버블과 하이드로사이클론을 결합하여 막모듈 내 상향류 흐름의 물리세정 방식을 통해 1단막으로 단순화시킴으로써 기존 막여과 공정과 비교 시 콤팩트한 배출수 처리 공정으로 처리효율적 및 운영상 경제성 측면에서 매우 합리적이고 안정적인 운전이 가능함. 이러한 점에서 향후 관련 분야에 응용성이 매우 크다고 판단됨.

나. 분리막 성능개선 및 적용확대

- 분리막 기술은 수처리 산업 전반에 폭넓게 사용됨. 본 연구에서는 나노버블 발생장치를 이용하여 원수와 함께 여과 중에 막모듈 유입배관으로 주입시킴으로써 막오염 현상 및 막간차압(TMP) 증가를 감소시킬 수 있는 기술을 개발하여 분리막 기술의 문제점으로 대두되던 막 오염 현상을 저감함.
- 또한 하이드로사이클론을 이용함으로써 2단 농축수 처리공정이 불필요하여 초기투자비 20% 이상, 운영비 30%를 절감할 수 있는 기술로 개발을 통해 축적된 기술력을 관련 물 산업으로 적용을 확대하여 멤브레인 산업 발전에 일조할 것으로 판단됨.

다. 활용실적

(1) 특허 등록 2건 (국내 1건, 해외 1건)

- ‘일체형 나노버블 생성기를 구비한 중공사막 모듈 및 이를 포함하는 막여과 장치’, 대한민국, 10-1718100, 2017.3.14., 지앤씨엔지니어링(주)
- ‘고효율 막여과 수처리방법 및 이를 이용한 장치, 일본, 출원일(2016. 2. 15), 등록일(2017.3.28), 지앤씨엔지니어링(주)
- ‘고회수율 막여과공정을 위한 막여과장치 및 그 세정방법, 사우디아라비아, 특허등록 진행중, 지앤씨엔지니어링(주)

(2) 논문 게재 2건

- ‘오존산화/응집 혼성 공정에 의한 UF 분리막의 막오염 저감에 관한 연구’, 대한상하수도학회, 2017.04., Vol.31, No.2, 161-168
- ‘하수재이용 막여과공정에서 막오염 저감을 위한 마이크로버블 적용성 평가’, 대한상하수도학회, 2017.04., Vol.31, No.2, 169-175

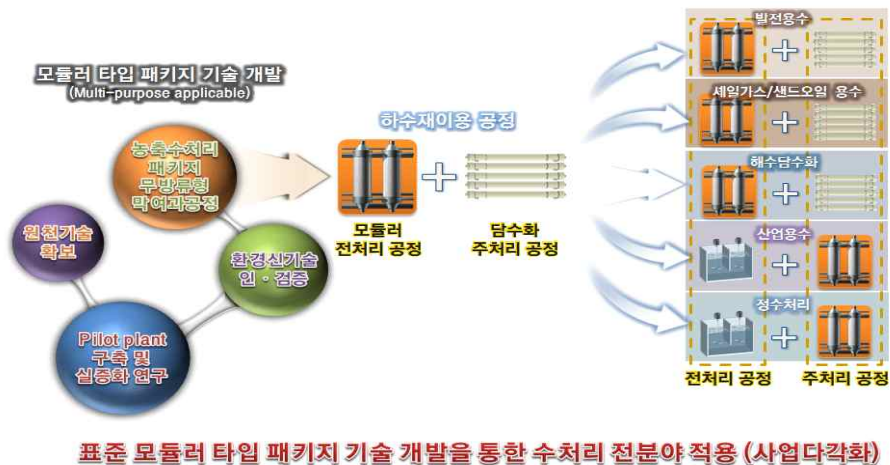
(3) 기타 활용

- ‘농축수처리 패키지 무방류형 막여과 공정 기술’ 신기술 신청, 2017.5.8.

제5장. 연구개발성과의 활용계획

1. 연구개발 결과 활용방안

- 원천 기술이 적용된 중·대규모 물 재이용 공정 설계 인자를 활용한 대규모 시설 현장 적용 및 Pilot plant를 이용한 테스트베드 현장 적용 가능
- 환경신기술 정부인증 신청을 통해 경제성 및 신뢰성을 확보하고 이를 활용하여 물 재이용 통합 공정의 상표등록을 함으로써 사업 브랜드 이미지 창출을 통한 실용화 및 제품화 가능
- 고회수율 및 농축수 저감 기술이 적용된 실증 플랜트에 IT 및 지식기반 서비스를 접목한 스마트 하수재이용시설 구축을 통한 신산업 창출
- 원천기술이 적용된 Pilot plant의 실증 데이터를 바탕으로 설치비 및 운영비 감소를 통한 가격 경쟁력을 확보함으로써 사업화 또는 기술이전의 가능성 제시
- 수질오염총량제 등 선진화된 물 관리 정책 도입으로 인한 폐수처리 시설의 배출기준강화 및 용수 다소비 산업인 제지산업 및 염색 산업, 전자산업들의 대형화에 따른 용수사용량 증가로 인해 산업 용수 재이용 및 처리 공정과 연계하여 후속 연구 가능
- 각각이 독립적으로 구성되어, 가동되던 시스템들을 조합하였을 때, 발생하는 문제점들이 없도록 운영 및 설계 Factor를 확보하여 하나의 안정적인 시스템으로 패키지화하여 시장의 진입이 용이하도록 적용 가능



<그림 27. 기술 개발을 통한 수처리 분야 적용 안>

2. 요소기술 활용 전략

- 국내외 시장조사를 통한 기술개발의 방향과 규모의 적정성 평가
- 저에너지 고효율 친환경 원천기술 확보를 통한 해외시장 플랜트 사업 입찰 참여 및 수주
- 핵심요소기술의 설계·제작·개발 시 검토 자료로서의 활용
- 시스템 제어/운영 DB를 통해 플랜트 운전관리를 위한 검토 자료는 물론 지적 재산권 확보를 위한 자료로서의 활용
- 하수 재이용 전처리 공정 플랜트 설계를 위한 가이드라인 제공
- 표준화된 농축수 저감 기술을 개발함에 따라 하폐수 재이용 플랜트 사업에 농축수 처리 가이드라인 제시
- 농축수 배출 절감을 통한 친환경적 기업 이미지 쇄신
- 농축수 발생량 저감 및 연속 처리공정을 규격화하여 하수 재이용 공정 외 다량의 중금속 및 염을 포함한 특수 산업폐수 등이 배출되는 곳에 활용 가능

3. 기타

가. 홍보 전략

- 국내외 산·학·연 전문가들 간의 지식 교류 및 협력체계를 구축을 통한 연구과제 핵심기술 홍보
- 논문게재 및 학술회의, 박람회, 세미나 활동 등을 통한 개발 기술의 신뢰성 확보
- 공인기관의 기술 인증 및 수질 검증을 통하여, 기술의 우수성 및 안정성을 확보
- 대기업과의 JV를 통하여 환경신기술을 검증하고, 검증된 신기술을 바탕으로 대기업의 마케팅 능력을 적극 활용

나. 정부 협조 방안

- 하수재이용 전처리 기술의 국내적용을 위한 관련부처 법, 제도, 지방서 개정 및 신규 제정
- 개발된 하수재이용 전처리 기술의 해외 시장 진출을 위한 관련 해외 지원 사업과의 연계 및 지원
- 개발된 핵심제품에 대한 조달등록 추진

다. 후속 연구 도출

- 연구과제 종료 시점에 정수, 해수담수화, 발전용수, 초순수 등 타 수처리 분야로의 확대 실증을 위한 후속 연구 가능성 여부 판단 및 도출

제6장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
지앤씨 엔지니어링주식회사	Pilot-scale 재이용 전처리 막여과 실험장치	Pilot-scale 재이용 전처리 막여과 실험장치	1	2016.04.27. ~ 2016.08.31. (구축기간)	147,500		일산 수질복원 센터	NFEC-2017-02-236389

시설장비 등록현황

전체 ▼

내 시설장비 총 1점	등록(1점)			수정(0점)			삭제(0점)		
	대기	승인	반려	대기	승인	반려	대기	승인	반려
	0	1	0	0	0	0	0	0	0

시설장비 검색결과 > 총 1점 (총 0건 선택됨(선택해제))

10점씩 보기 ▼

다운로드

☐ 순번	재원	구분	시설장비명	고정자산관리번호	시설장비등록번호	관리현황	등록소요기간
☐ 1	R&D재원	연구시설	Pilot-scale 재이용 전처리 막여과 실험장치	16TBIP-C094085-02	NFEC-2017-02-236389	완료 승인 (2017-02-28)	181일 (2017-02-27)

제7장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번 호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/ 특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	특허 등록	일체형 나노 버블 생성기 를 구비한 중공사막 모 듈 및 이를 포함하는 막 여과 장치	지앤씨 엔지니 어링(주)	출원인	KR		2017.03.14		
2	특허 등록	고효율 막여 과 수처리방 법 및 이를 이용한 장치	지앤씨 엔지니 어링(주)	출원인	JP		2017.03.28		
3	논문 게재	오존산화/응 집 혼성공정 에 의한 UF 분리막의 막 오염 저감에 관한 연구	성균관 대학교, 지앤씨 엔지니 어링(주)	제2 저자	(사) 대한 상하수도 학회		2017.03.28	단독사사	
4	논문 게재	하수재이용 막여과 공정 에서 막오염 저감을 위한 마이크로버 블 적용성 평가	성균관 대학교, 지앤씨 엔지니 어링(주)	제2 저자	(사) 대한 상하수도 학회		2017.03.28	단독사사	

제8장. 참고 문헌

- 환경부 물 재이용 기본계획 수립을 위한 연구
- 워터저널 국내 물산업 해외진출 전략
- 임세택 물 재이용을 위한 에너지 자립형 하수처리공정에 관한 연구 제주대학교

- Agarwal, A., Ng, W.J., Liu, Y. (2011). Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment, *Chemosphere*, 84(9), 1175–1180.
- Ahn, K.H., Song, K.G. (1998). Characteristics of backwashing factors in ultrafiltration for wastewater reclamation, *Korean society of water Science and Technology*, 6(1), 25–32.
- Field, R.W., Wu, D., Howell, J.A., Gupta, B.B. (1995) Critical flux concept for microfiltration fouling, *Journal of Membrane Science*, 100, 259–272.
- Gwenaelle, M.P.O., Jung, J.W., Choi, Y.G., Lee, S.H. (2017) Case studies of microbubbles in wastewater treatment, *Desalination*, 403, 153–160
- Laabs, C.N, Amy, G.L., Jekel, M. (2006) Understanding the size and character of fouling-causing substances from effluent organic matter(EfOM) in low-pressure membrane filtration, *Environmental Science & Technology*, 40(14), 4495–4499.
- Pierre, L. C., Jefferson, B., Chang, I.S., Judd, S.J. (2003) Critical flux determination by the flux-step method in a submerged membrane bioreactor, *Journal of Membrane Science*, 227(1–2), 81–93.
- Roorda, J.H., Wortel, N.C., Dalen, R. (2005) New process for treatment of organically fouled water; experiences with WTP effluent, *Desalination*, 178, 141–148.
- Sadr Ghayeni, S.B., Beatson, P.J., Schneider, R.P., Fane, A.G.,(1998) Water reclamation from municipal wastewater using combined microfiltration–reverse osmosis(ME–RO):Preliminary performance data and microbiological aspects of system operaton, *Desalination*, 116(1), 65–80.
- Te Poele, S.T., Van Der Graaf, J. (2005) Enzymatic cleaning in ultrafiltration of wastewater treatment plant effluent, *Desalination*, 179(1–3), 73–81.
- Wen, L.H., Ismail, A.B., Menon, P.M., Saththasivam, J., Thu, K., Choon N.K. (2011) Case studies of microbubbles in wastewater treatment, *Desalination and Water Treatment*, 30, 10–16
- Wu, Z., Chen, H., Dong, Y., Mao, H., Sun, J., Craig, V.S.J., Hu J. (2008) Cleaning using nanobubbles: defouling by electrochemical generation of bubbles, *Journal of Colloid and Interface Science*, 328, 10–14.
- Zhou, Z.A., Xu, Z., Finch, J.A., Masliyah, J.H., Chow, R.S.(2009). On the role of cavitation in particle collection in flotation – A critical review. II, *Minerals Engineering* 22(5), 419–433.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발 성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

210mm×297mm[백상지(80g/㎡) 또는 종질지(80g/㎡)]