# 제 출 문

국토교통부장관 귀하

‘평상시와 재난시 각종 용수 공급이 가능한 친환경 모듈형 물생산시스템 개발’(연구개발 기간 : 2016. 04. ~ 2017. 12.) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2018 . 02 . 02 .

주관연구기관명 : 케이원에코텍(주) (대표자) 김 종 학 (인)

협동연구기관명 : (주)지티이 (대표자) 김 태 원 (인)

주관연구기관책임자: 최 창 형

협동연구기관책임자: 김 태 원

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

# 보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>17TBIP-C111068</td><td>해당 단계<br>연구 기간</td><td>2016.04.27. ~<br>2017.12.26</td><td>단계구분</td><td>(2차년도)/<br>(2차년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">국토교통기술사업화지원사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">중소기업 보유기술 사업화 분야</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">평상시와 재난시 각종 용수 공급이 가능한 친환경 모듈형 물생산시스템 개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">최 창 형</td><td>해당단계<br>참여<br>연구원 수</td><td>총: 34명<br>내부: 34명<br>외부: -명</td><td>해당단계<br>연구개발비</td><td>정부: 395,000 천원<br>기업: 263,000 천원<br>정부 외: 0 천원<br>계: 658,000 천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간<br>참여<br>연구원 수</td><td>총: 34명<br>내부: 34명<br>외부: -명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부: 828,000 천원<br>기업: 552,000 천원<br>정부 외: 0 천원<br>계: 1,380,000 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및<br>소속 부서명</td><td colspan="3">케이원에코텍 주식회사</td><td colspan="2">참여기업명<br>케이원에코텍 주식회사<br>주식회사 지티이</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:<br>동부엔지니어링(주)<br>서일대학교 산학협력단<br>서울과학기술대학교 산학협력단<br>주식회사 에코피엔지</td><td colspan="2">연구책임자:<br>김지호<br>박영진<br>황유훈<br>박기학</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)<br>▪ 국토교통기술사업화 지원사업 연구를 진행하여 시제품 제작, 수치모의, 모니터링을 통해 제품 성능을 보완·검증하였으며, 특허 출원, 설계 표준화를 수행하여 표준화된 설계·제작 능력을 보유하였음<br>▪ 모듈형 물생산시스템 시제품을 실험실 및 현장용으로 제작, 성능평가를 수행하였으며, 생활용수 및 음용수의 용도별 수질기준을 만족하는 제품으로써 재난시 용수공급과 도서, 산간 지역 등 비상급수시설이 필요한 지역에서의 활용성을 확인하였음<br>▪ 모듈형 물생산시스템에 적용된 여과기의 여과필터 방향, 물의 흐름, 필터 구조 개선, 필터 내 흐름공간 크기 및 각도 변경 등 3차원 CFD모형의 수치해석을 수행하여 시제품 여과기의 성능향상을 도모하였음<br>▪ 프로세스 조합 및 모듈형 물생산시스템 구축을 통해 실험실 및 현장용 시제품의 용수 조건별 프로세스 조합을 계획하였고, 설계, 내역, 운영메뉴얼 작성 등 제품 생산 표준화를 수행하였음<br>▪ 모듈형 물생산시스템의 전과정 환경영향평가 및 경제성 분석을 수행하여 기존기술 대비 우수성을 검증하였음</td><td colspan="2">보고서 면수<br>100</td></tr>
</table>

| | |
|---|---|
| 연구의<br>목적 및 내용 | 연구진이 보유한 ‘전처리가 가능한 2중관 구조의 취수관과 강제 역세척 장치를 갖는 매설식 해수 취수시설’, ‘수처리에서 조류 및 슬러지 제거장치’, ‘가압 필터여과방식을 이용한 미세여과장치’, ‘수방대비 야외수영장용 이동형 기계실’, ‘해수여과 취수시스템 및 이의 유지 관리를 위한 제어방법’ 등의 기술들을 통합화하여 평상시 및 재난시 각종 용수 공급이 가능한 친환경 모듈형 물생산 시스템을 개발하는 것임<br>개발된 모듈형 물생산시스템은 평상시 생활용수, 가뭄, 지하수 오염 등의 재난시 비상급수, 마을상수도, 하천유지용수 등에 적용 가능하도록 모듈화, 시스템화 하고, 사업화를 위해 국내외 전시회 참가, 홍보자료 제작 및 배포로 신규 시장을 확보할 수 있도록 하고, 해외 물부족 국가의 ODA 사업에 진출하는 등 해외 신규시장을 창출하고자 함<br>본 연구진이 보유하고 있는 기술을 이용하여 평상시 및 재난시 각종 용수 공급이 가능한 친환경 모듈형 물생산시스템 개발로 주요 연구내용 및 범위는 다음과 같음<br>① 전처리가 가능한 취수설비 개발 및 실용화<br>② 생활용수를 위한 여과설비 개발 및 실용화(1차 처리)<br>③ 생활용수를 위한 여과설비 개발 및 실용화(2차 처리)<br>④ 음용수를 위한 여과설비 개발 및 실용화(3차 처리)<br>⑤ 친환경 에너지를 활용한 시스템 구축<br>⑥ 수치모의를 통한 물생산시스템 성능 평가<br>⑦ 프로세스 조합 및 모듈형 물생산시스템 구축<br>⑧ 유지관리 최소화를 위한 통합 관리 시스템 개발<br>⑨ 기후변화 대응을 위한 녹색인증 추진 |
| 연구개발성과 | 기술적으로는 모듈형 물생산시스템의 시제품 개발·제작 및 모니터링을 통해 제품의 성능을 인증받고, 제품의 설계 및 내역 작성 등 표준화를 수행하여 기술의 상용화가 가능토록 했으며, 사회·경제적으로는 물관련 국내시장의 조기진입을 유도하고 해외 물시장 분야와 ODA사업에 진출할 수 있는 발판을 마련하였음 |
| 연구개발성과의<br>활용계획<br>(기대효과) | 기존 비상급수시설과 다양한 용수확보시설들을 모듈형 물생산시스템으로 대체하고, 평상시와 재난시에 다양한 용수 사용이 가능하게 하여 기후변화 대비 안정적인 수자원 확보 및 관리가 가능함<br>사회·경제적으로는 기후변화 대비 모듈형 물생산시스템의 국내시장 조기진입을 유도하여 국민 경제에 기여할 수 있으며, 해외 물시장 분야와 ODA사업에 진출하여 수출증대효과를 얻을 수 있음 |

| 핵심어<br>(5개 이내) | 수처리 | 재난 | 물산업 | 모듈형 | 기후변화 |
|---|---|---|---|---|---|

# 〈 SUMMARY 〉


| | |
|---|---|
| Purpose & Contents | The purpose of the study is to develop an eco-friendly module production system that integrates technologies such as 'A sewage pipe with a double pipe structure capable of being pre-treated and a backwashing facility with a forced backwashing facility', 'Algae and sludge removal equipment in water treatment', 'Microfiltration device using pressurized filter filtration', 'Movable machine room for outdoor swimming pools' and 'Control system for the maintenance and management of seawater filtration system' that the researchers possess and that can supply water during normal and disaster situations.<br>Through the developed modular water production system, it is aimed to modularize and systemize it to be applicable to emergency water supply, village water supply, river water maintenance water, etc. in case of disaster such as daily water, drought, groundwater pollution. We will also participate in domestic and international exhibitions for commercialization, make new markets possible by producing and distributing promotional materials, and enter new markets overseas by entering overseas ODA projects.<br>The development of eco-friendly modular water production system that can supply various kinds of water in everyday and disaster by using the technology that our research team possesses is as follows.<br>① Development and commercialization of the intake facility that can be pre-processed<br>② Development and commercialization of filtration equipment for domestic water (primary treatment)<br>③ Development and commercialization of filtration equipment for living water (secondary treatment)<br>④ Development and commercialization of filtration equipment for drinking water (3rd treatment)<br>⑤ Establishment of a system using eco-friendly energy<br>⑥ Performance evaluation of water production system through numerical simulation<br>⑦ Establishment of process combination and modular water extraction system<br>⑧ Development of an integrated management system for minimum maintenance<br>⑨ Promotion of green certification to cope with climate change |
| Results | Technically, it is authorized to certify the performance of the product through the development, production and monitoring of the prototype product of the modular water production system, and to standardize the product design and specification, and commercialization of the technology is made possible.<br>In social and economic terms, It led to the early entry of the domestic market and provided a platform for foreign markets and ODA projects. |
| Expected Contribution | Replace existing emergency water supply facilities and various water supply facilities with modular water production systems, and make it possible to use various water during normal and disasters, thus securing and managing water resources more stable than climate change.<br>Socially and economically, it can contribute to the national economy by inducing early entry of the modular water production system against climate change in the domestic market, and it can gain the export increase effect by entering the overseas water market field and ODA business. |



| Keywords | Water treatment | Disaster | Water industry | Modular Systems | Climate change |
|---|---|---|---|---|---|

# 〈 Contents 〉


1. Overview ····· 1
2. Development Status of Technology at Domestic and Foreign ····· 2
3. Contents and Results of R&D ····· 4
4. Performance and Effectiveness of Research Objectives ····· 86
5. Future Utilization of Research Results ····· 91
6. Science and Technology Information Surveyed from Overseas ····· 93
7. Security Rating ····· 94
8. Research Facility and Equipment ····· 95
9. Performance of Safety Measures ····· 96
10. Representative Research Results ····· 97
11. Others ····· 98
12. References ····· 99

# 〈 목 차 〉


1. 연구개발과제의 개요 ····· 1
2. 국내외 기술 개발 현황 ····· 2
3. 연구 수행 내용 및 성과 ····· 4
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 86
5. 연구개발성과의 활용 계획 ····· 91
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 93
7. 연구개발성과의 보안등급 ····· 94
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황 ····· 95
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ····· 96
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 97
11. 기타 사항 ····· 98
12. 참고 문헌 ····· 99

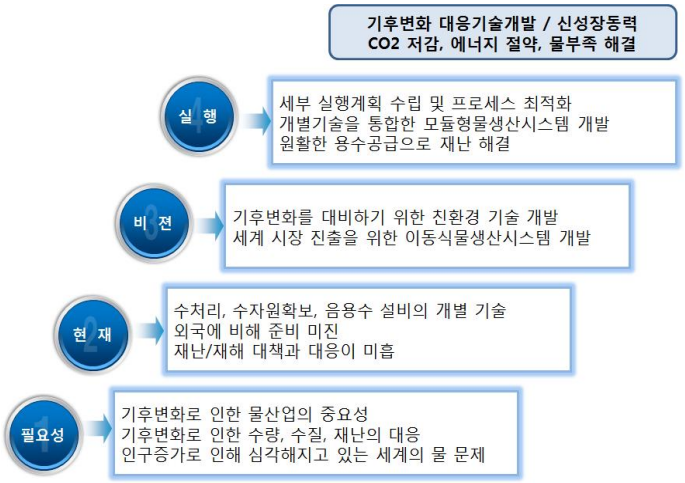
# 제1장. 연구개발과제의 개요

## 1. 연구개발 목적

최근의 급격한 세계 인구 증가 및 산업화로 인한 기후변화에 대비하여 평상시와 재난시 각종 용수 공급이 가능한 친환경 모듈형 물생산시스템을 개발하여 국내 물관련 시장 뿐 아니라 해외 물시장 분야 및 ODA 사업에 진출할 수 있는 기술력을 확보하고자 한다.

## 2. 연구개발의 필요성

급격한 세계 인구 증가 및 산업화에 의한 기후변화는 남극의 오존을 감소시키고 대기 중의 이산화탄소를 증가시켜 지구온난화를 일으키고 있으며, 다양한 환경문제를 야기시키고 있다. 기후변화 대응 미래 수자원 전략 보고서에 따르면 향후 100년간 가뭄의 발생횟수는 2배, 가뭄 계속 기간은 6배 이상 증가할 것으로 전망하고 있으며, 21세기 중반에는 우리나라를 비롯하여 중위도 지역의 하천유량이 10~30% 감소 할 것으로 예측하고 있다. 안정적인 수자원의 확보는 21세기 메가트렌드이며 모듈형 물생산시스템에 대한 연구개발은 물수요 증가, 홍수와 가뭄 등의 물문제 및 물안보 해결을 위해서 반드시 필요한 실정이다. 본 연구에서 개발한 모듈형 물생산시스템은 급변하는 기후변화에 대응한 다목적 용수 공급이 가능하고, 모듈형으로써 용수 용도별 다양한 조합이 가능하며, 친환경적 기술과 선진화된 물생산시스템이다.




**<그림 1-1> 연구개발의 필요성**

## 3. 연구개발 범위

평상시와 재난시 각종 용수 공급이 가능한 친환경 모듈형 물생산시스템의 연구개발 범위는 다음과 같다.

① 전처리가 가능한 취수설비 개발 및 실용화
② 생활용수를 위한 여과설비 개발 및 실용화(1차, 2차 처리)
③ 음용수를 위한 여과설비 개발 및 실용화(3차 처리)
④ 친환경 에너지를 활용한 시스템 구축
⑤ 수치모의를 통한 물생산시스템 성능 평가
⑥ 프로세스 조합 및 모듈형 물생산시스템
⑦ 유지관리 최소화를 위한 통합 관리 시스템 개발
⑧ 기후변화 대응을 위한 녹색인증 추진

# 제2장. 국내외 기술 개발 현황

## 1. 국외 기술개발 현황

홍수 혹은 갈수기 등 비상시 대체급수를 위한 모듈형 물생산시스템의 기존 기술개발 현황은 국외의 경우 개인이 직접 휴대가 가능하거나, 컨테이너 형이나 이동식 차량 등을 이용해 다양한 형태의 이동식 여과장치 개발이 활성화되어 있다.

미국의 General Electric - GE Mobile Water Solutions, 코카콜라의 EKOCENTER, 베올리아의 이동식 정수차량, Gloval Water Group의 휴대용 및 군사시설용 정수장비, 중국 BIC의 컨테이너형 정수처리시설, 스위스의 TRUNZ Water Systems, 일본 EX_Cuorier Water의 이동식 정수차량 등이 있다.







**<그림 2-1> 국외 이동식 물생산 장치 사례조사**

## 2. 국내 기술개발 현황

국내의 경우 SYNOPEX의 이동형 정수처리 시스템 SMDT, 대현하이테크의 이동형 정수시스템 등이 있다.

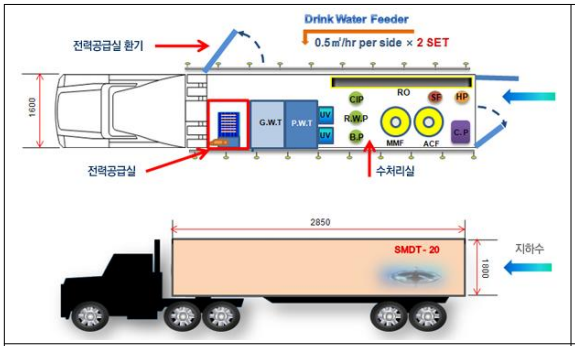
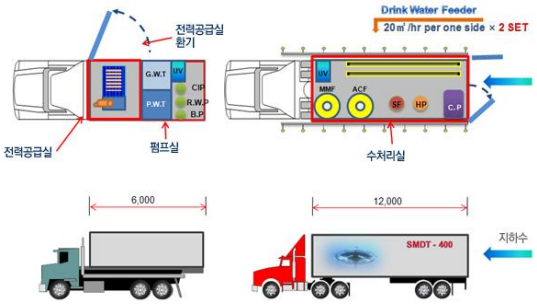
SYNOPEX의 경우 국내 실적이 미비하여 사용가능이 입증되지 않으며 멤브레인 여과기를 사용기 유입수가 1NTU 내외 이어야 한다는 단점이 있다. 또한 대현하이테크의 경우에는 지하수를 원수로 이용하는 한계와 재난시 수질상태가 일정하지 않아 활용이 어렵다는 단점이 있으며, 회사내 정수처리 사업을 폐지함으로써, 현재 정상적인 사업이 되지 못하고 있다.

이처럼 국내업체의 경우 사업을 폐지하거나 실적이 없어 이동식 여과장치가 비 활성화 되어 있다.

| SYNOPEX (이동형 정수처리 시스템) | 대현하이테크 (이동형 정수처리 시스템) |
|---|---|
|  |  |
| • 국내 실적이 미비로 사용가능 입증되지 않음<br>• 맴브레인 여과기 – 유입수가 1NTU 내외 이어야 함 | • 지하수를 원수로 이용하는 한계<br>• 재난 시 수질상태가 일정하지 않아 활용이 어려움<br>• 정수처리 사업 폐지함 |

<그림 2-2> 국내 이동식 물생산 장치 사례조사

기존의 모듈형 물생산시스템은 비상시의 대체급수를 목적으로 하기 때문에 자체 발전기(디젤)를 갖추고 있으며, 물생산량은 최대 20㎥/hr 정도이며, 이는 생산 규모에 맞춰 장비의 조합으로 가능한 것으로 조사되었다.

| | |
|---|---|
|  |  |
| 적은용량의 경우 발전기와 일체 구성 | 큰 용량의 경우 발전기와 별도로 분리 구성 |

<그림 2-3> 국내 이동식 물생산 장치 사례조사

# 제3장. 연구 수행 내용 및 성과

## 제1절 관련 자료 조사 및 분석

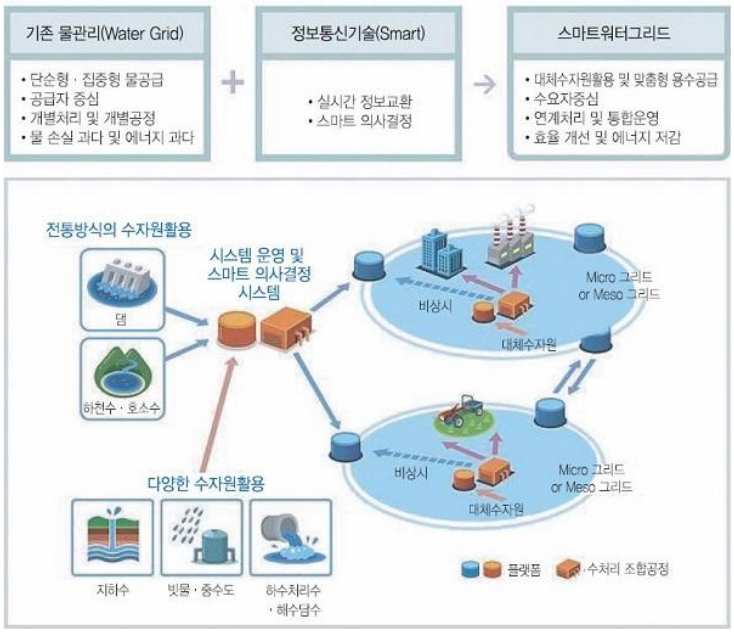
### 1. 재해발생시 안전한 물확보 방안

재해 발생시 물로 인한 문제는 극한홍수시에는 단기적 피해 형태를 띠는 반면, 극한가뭄시에는 발생 예측이 어렵고 피해가 장기적으로 나타나 위험도가 큰 만큼 물관리 방안이 전적으로 중요하다. 이러한 재해 발생시 물로 인한 피해에 대비하기 위해선 기존 수자원의 확보 및 관리·운영 방안도 중요하고, 그에 못지않게 상하수도나 수처리 등 공급 및 재생과 관련된 물산업도 중요한 분야이다.




<그림 3-1> 기후변화로 인한 물 관련 재해

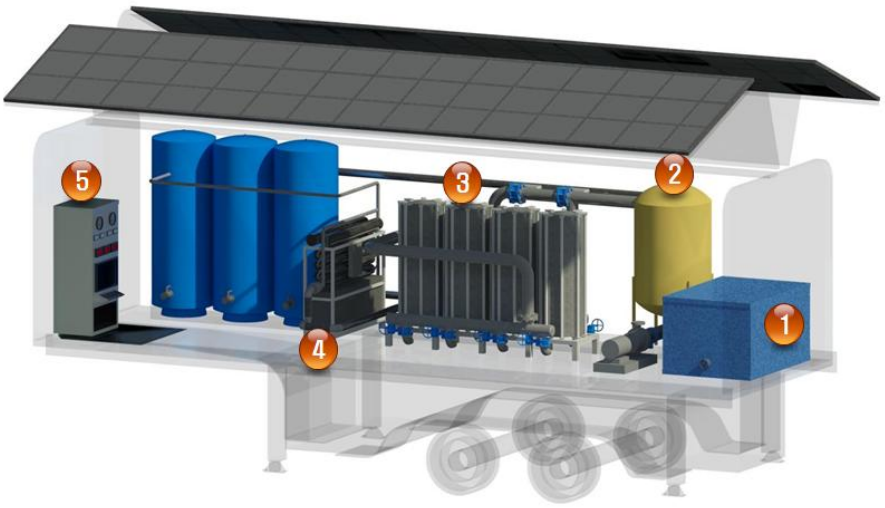
기후변화로 인한 수자원 부족현상을 해결하기 위해서는 기후변화 대응 뿐만 아니라 수자원 분야에서의 새로운 정책과 새로운 기술 개발을 통해 물을 공급하고 관리를 해야 한다. 기존의 물부족으로 인한 대책은 수요 관리 대책으로 상수도 누수방지, 노후수도관 교체, 중수도 확대, 수도요금 정상화, 절수기기 보급 확대 등을 시행하고 있고, 용수 공급 측면에서의 대책은 신규 댐 건설 및 기존 댐 재개발, 지하수 개발 및 보전, 광역상수도 확충 및 연계 등을 시행 중이다.




<그림 3-2> 스마트 워터 그리드 개요

최근의 용수 공급 측면에서의 대책은 빗물재이용, 해수담수화, 하수 재이용, 통합물관리(IWRM) 스마트워터그리드(SWG) 체계 구축 등 새로운 방향으로도 진행되고 있다. 이러한 가운데 최근 주목 받고 있는 물관리 방안으로는 스마트워터그리드(Smart Water Grid, SWG), 저영향개발(Low Impact Development, LID), 통합수자원관리(Integrated Water Resources Management, IWRM), 식량(Food)·에너지(Energy)·워터(Water) 넥서스 등이 있다.

본 연구에서의 모듈형 물생산시스템은 다양한 원수를 사용할 수 있으며, 이동이 가능하므로 가뭄이나 폭염시 비상급수시설로 사용이 가능하며, 재해발생지역의 수인성 전염병을 예방하기 위한 생활용수를 공급할 수 있다. 또한 군 방위산업시설로 전환이 가능하다.




① 전처리 → ② 1차 처리 → ③ 2차 처리(생활용수) → ④ 3차 처리(음용수), ⑤ 통합관리 시스템

**<그림 3-3> 모듈형 물생산 시스템 계통도**

## 2. 자연재해 대비 비상급수 시설 검토

현행 비상급수시설 설치는 크게 민방위기본법에 근거하여 정부가 주도하는 정부지원(자치단체)비상급수시설 설치, 건축법 및 주택건설촉진법에 근거하여 민간이 주도하는 공공단체 및 민간비상급수시설 설치로 나누어져 있다. 세부적인 재난 및 재해 관련법에서 급수시설 관련 내용을 검토한 결과는 다음 표에 제시되어 있다.

**<표 3-1> 현행 비상급수시설의 현황**

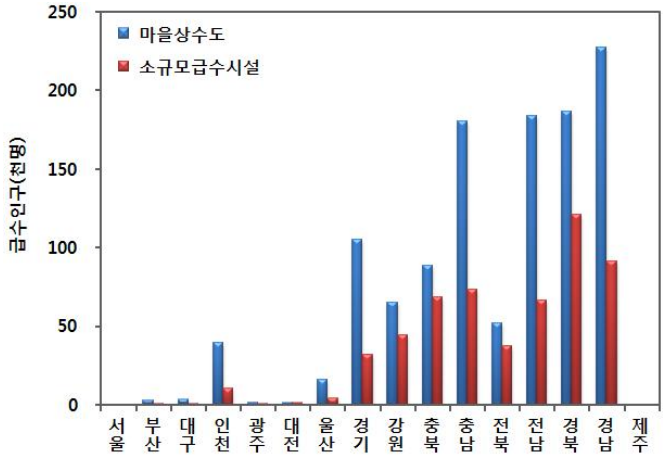
| 시설수 | 공공용 지정시설 | | | 비지정시설 |
|---|---|---|---|---|
| | 정부지원 시설 | 공공기관 및 민간시설 | 소계 | |
| 76,571 (100%) | 703 | 2,888 | 3,591 (5%) | 72,980 (95%) |

<표 3-2> 재난 및 재해 관련법 급수시설 검토

| 재난 및 재해 관련법 | 급수시설 관련 내용 | 비고 |
|---|---|---|
| 재난 및 안전관리 기본법 (제37조 5항) | • 급수 수단의 확보, 긴급피난처 및 구호품의 확보<br>⇒ 재난 발생시의 응급조치 수단으로 급수시설의 확보만을 명시 | 비상급수 및 생활용수 공급 필요 |
| 자연 재해 대책법 (제30조 1항) | • 가뭄으로 인한 재해를 극복하기 위하여 제한급수 및 제한발전 등의 조치를 취할 수 있음<br>⇒ 급수시설에 대한 내용이 아닌 가뭄시의 제한 급수 조치 가능함을 명시 | |
| 민방위 기본법 시행규칙 (제15조 1항) | • 국가·공공단체의 대피시설 및 비상급수시설과 개인 소유의 60제곱미터 이상의 대피시설 및 1일 생산능력이 100톤 이상인 비상급수시설을 각각 공공용 대피시설 및 비상급수시설로 지정할 수 있음<br>⇒ 민방위사태 발생시 사용을 위한 비상급수 시설의 설치, 이를 위한 재정조치 등에 대해 명시 | |
| 재해구호법 (제4조) | • 1항 : 임시주거시설의 제공<br>• 2항 : 급식이나 식품·의류·침구 또는 그 밖의 생활필수품 제공<br>• 4항 : 감염병 예방 및 방역활동<br>⇒ 이재민에 대한 구호 방법을 정의함<br>급식 등의 제공 및 위생지도 관련 사항, 비상급수에 대한 명시는 없음 | |
| 주택건설기준 등에 관한 규정 (제35조 1항) | • 공동주택을 건설하는 주택단지에는 「먹는물관리법」 제5조의 규정에 의한 먹는물의 수질기준에 적합한 비상용수를 공급할 수 있는 지하양수시설 또는 지하저수조시설을 설치하여야 함<br>⇒ 공동주택의 비상급수시설에 대한 구체적 기준(수질, 수량 등) 제시되어 있음 | |

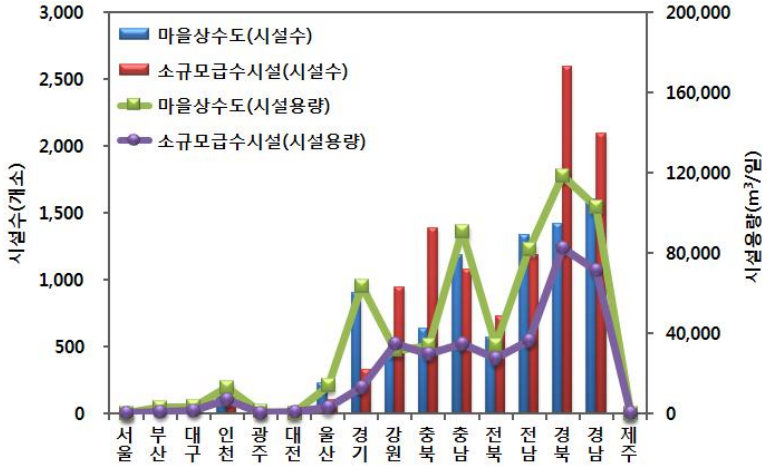
## 3. 마을상수도 현황 조사

소규모수도시설인 마을상수도와 소규모급수시설의 현황은 2011년 기준 전체 급수인구 51,716,745명 중 마을상수도 1,150,664명(2.2%), 소규모급수시설 549,829명(1.1%)이며, 전체 시설 개소수는 마을상수도 8,539개소, 소규모급수시설 10,689개소인 것으로 조사되었다.




<그림 3-4> 전국 시·도별 소규모수도시설 급수인구

소규모수도시설의 급수인구 및 시설수는 지역에 따라 편차가 큰 것으로 나타났으며, 광역시의 경우는 거의 없는 반면에 경상도 지역은 가장 많은 급수인구 및 시설수를 나타냈다.




**<그림 3-5> 전국 시·도별 소규모수도시설 시설수 및 시설용량**

소규모수도시설의 운영현황은 자치단체, 민간위탁, 주민대표 등 크게 3가지 유형으로 운영, 관리되고 있으며, 자치단체 운영의 경우도 담당자 1인이 관리하고 있는 경우가 많아 급수 및 운영에 많은 문제점이 있다. 또한 소규모수도시설의 개발 및 관리는 농어촌정비법에 따라 농림부서(농림수산식품부)에서 농촌용수 및 생활용수 개발을 추진하고 있고, 상수도 부서(환경부)에서 기존 시설의 개선 및 개량사업을 추진하고 있어 신규 설치 및 개량사업을 담당하는 부서가 이원화되어 적정 대상지역 선정 및 유지관리에 일관성이 없는 것으로 조사되었다.

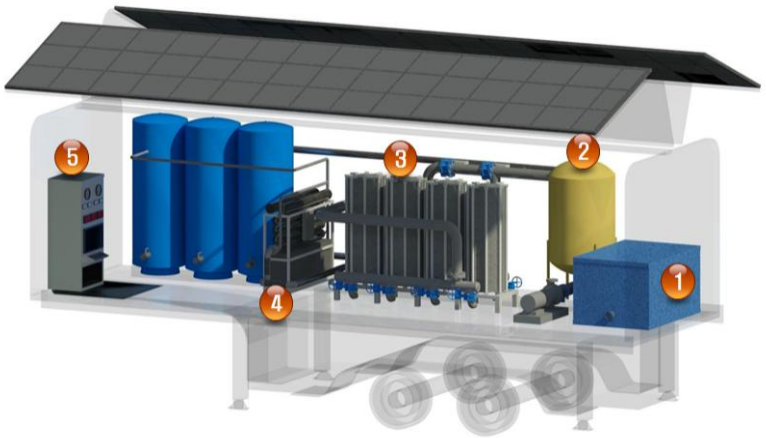
소규모수도시설의 현황은 대부분의 시설이 노후화된 곳이 많고, 취수원으로는 주로 지하수를 사용하고 있는 곳이 많으며, 일부는 계곡수, 용천수, 호소수 등을 사용하고 있다. 주된 취수원인 지하관정 부근에 농경지 및 축사가 위치하는 경우가 많고, 갈수기 지하수량 부족으로 수질오염이 큰 문제인 실정이다.

이러한 소규모수도시설의 문제 개선 방안으로는 광역 및 지방상수도의 공급이 가장 쉬운 방법이겠으나, 관로 설치가 불가하거나 경제성이 떨어지는 경우 수질을 해결할 수 있는 정수시설, 시설 관리를 위한 보안시설 등으로 개량, 개선하는 방법이 있다. 그러나 이러한 방법 또한 사업비가 크게 소요될 것으로 예상되며, 항구적인 대책이라 하기에는 무리가 있다.

## 제2절 모듈형 물생산시스템 개발

### 1. 공정 구성 및 연구개요

#### 가. 공정의 구성




① 전처리 → ② 1차 처리 → ③ 2차 처리(생활용수) → ④ 3차 처리(RO), ⑤ 통합관리 시스템

**<그림 3-6> 모듈형 물생산 시스템 개념도**

#### 나. 공정개요

① 전처리장치

정의 – 이중관 모래여과로 큰 이물질, 부유물질 제거하여 후단 공정의 오염부하 경감

여과공정 – 탱크 상부로 원수를 공급하고 여재층을 통과하면서 정화된 물은 하부로 이동

역세공정 – 탱크 하부에서 역세수를 공급하여 여재층에 축적된 오염물질을 상부로 이동시킨 후 상부에 있는 역세배관으로 오염물질 배출

② 1차 처리

정의 – 활성탄 여과로 체거름 현상만으로 제거하기 어려운 색도, 냄새, 각종 유기물을 제거하여 후단공정의 오염부하 경감

여과공정 – 탱크 상부로 원수를 공급하고 여재층을 통과하면서 정화된 물은 하부로 이동

역세공정 – 탱크 하부에서 역세수를 공급하여 여재층에 축적된 오염물질을 상부로 이동시킨 후 상부에 있는 역세배관으로 오염물질 배출

③ 2차 처리

정의 – 가압 필터로서 다단의 여과포에 규조토를 투입하여 프리코팅 한 후, 형성된 여과막을 사용하여 입자성물질 고액분리

여과공정 – 여과기 하부에서 상부로 적층된 여과판을 통과하면서 개별 여과판에서 여과

역세공정 – 여과방향의 역방향으로 역세수를 통과시켜 여과포에 포집된 오염물질 배출

④ 3차 처리

정의 – 역삼투 여과로서 이온물질제거를 목적으로 하며 대부분의 오염물질을 분리

여과공정 – 여과막 외측으로 원수를 공급하고 여과막을 통과한 후 내측에 형성된 처리수 라인으로 처리수 이동

역세공정 – 고압운전으로 한계압까지 운전 후 물리세정 및 화학세정으로 막성능 회복

⑤ 통합관리시스템

정의 - 제어반으로서 전체시스템의 자동운전이 가능하도록 제어

구성 - 시스템 자동운전이 가능하도록 PLC프로그램으로 구성하였고, 계측값은 시스템 내에서 지속적으로 데이터가 저장될 수 있도록 하였으며 통신모듈을 설치하여 외부와 데이터 수신이 가능하도록 계획하였다.

### 다. 연구내용

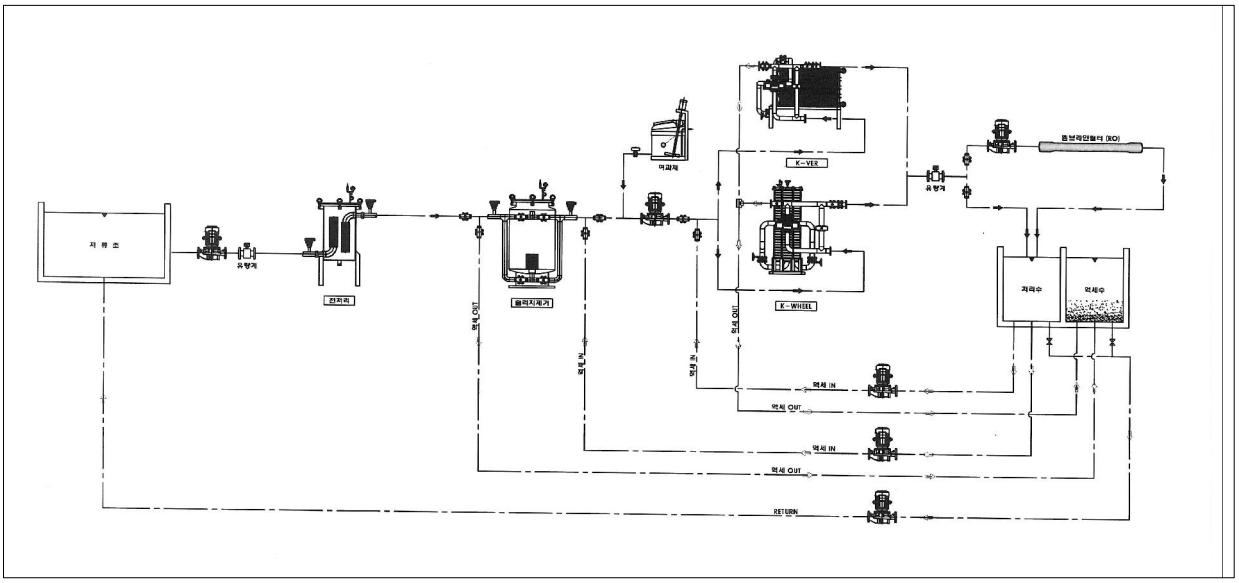
**<표 3-3> 연구과제 및 주요내용**

| 연구과제 | 연구과제별 주요 내용 |
|---|---|
| 1. 실험실 규모 테스트<br>: 여과 공정 검증<br>: 최적 여과포 선정 | 처리 공정 별 수질 데이터 도출<br>2차 처리(가압필터) 최적 조건 선정 |
| 2. 현장 규모 테스트<br>: 생활용수 생산 모듈 | 처리 공정 별 수질 실험 결과를 중수도 수질기준과 비교 분석<br>지하수와 하천수 원수의 종류에 따른 데이터 비교 |
| 3. 현장 규모 테스트<br>: 소독 공정 | UV처리와 염소처리를 거친 시료 수질 평가<br>: 총대장균 항목 중심의 수질 데이터<br>소독부산물 성분 분석과 해결방안 제시 |
| 4. 현장 규모 테스트<br>: 음용수 생산 모듈 | RO처리수의 수질을 먹는물 수질기준과 비교 분석<br>농축수의 수질을 방류수 수질 기준과 비교 분석 |
| 5. 자연유기물 거동 평가 | 처리 공정 별 시료의 자연 유기물 특성 평가<br>: EEM, UV-Vis, DOC 등<br>원수의 종류(하천수, 지하수)에 따른 유기물 특성 차이 평가 |

## 2. 실험 방법

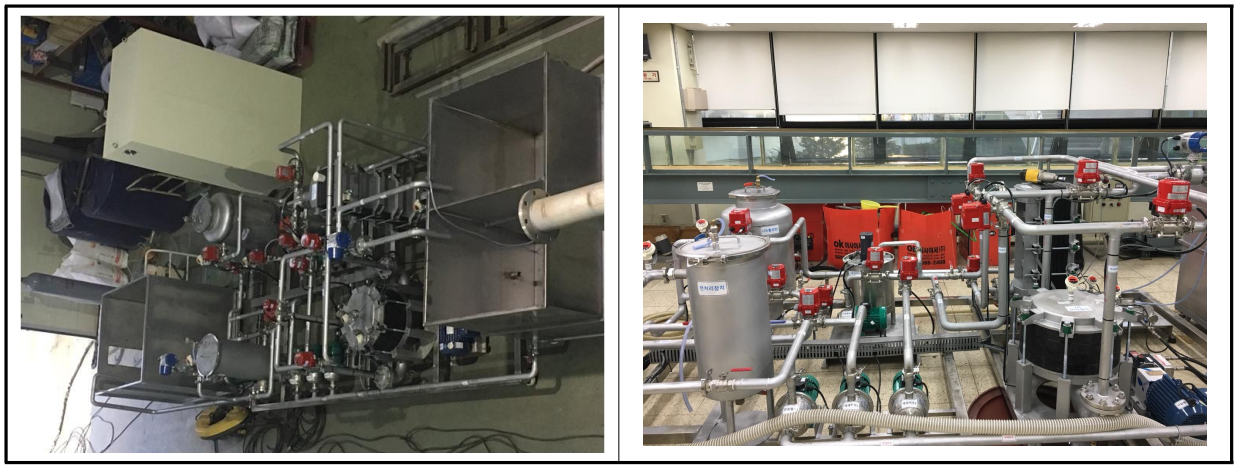
### 가. 실험 장치 설계 및 제작

(1) 실험실 규모




**<그림 3-7> 모듈형 물생산 시스템 처리 계통도**

원수의 저류조에 가압펌프를 이용하여 전처리(이중관 모래여과)와 1차 처리(활성탄)를 통해 큰 부유물질 및 슬러지, 유기물 등을 제거하고자 하였고, 여과수가 가압 펌프 2를 통해 2차 처리(가압필터)를 여과하여 처리 수조로 보내지며, 이중 일부는 멤브레인(RO)을 통해 음용수 생산이 가능하도록 설계하였다. 설계도면에 따른 이동식 물생산 시스템 모듈 장치는 실험실 규모로 제작하여 다음의 그림과 같다.



**<그림 3-8> 이동식 물생산 시스템 실험실 장치 제작 - 공장설치**

(2) 현장 규모

상기 실험실 규모의 시스템을 이용한 테스트를 통해 여과 장치 모듈을 최적화하여, 현장 적용 모듈을 제작하였다. 적용 장소는 경기도 평택의 진위천에 적용할 수 있도록 제작 설치하였다. 모듈 규모는 선행된 실험실 규모의 제작시스템을 바탕으로 최적화 시켰으며, 시간 당 30톤의 생활용수 생산을 위한 모듈로 제작 되었다. 또한 음용수 생산을 위한 RO시스템 및 살균력 테스트를 위한 UV시스템과 염소소독 시스템을 설계 제작하였다.



**<그림 3-9> 이동식 물생산 시스템 현장 적용 파일롯 모듈 전경(평택 진위천 설치)**

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>전처리 취수 설비 및 1차처리(활성탄)</td><td>2차처리(가압필터)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>3차처리 및 UV, 염소소독 장치</td><td>최종 처리수조</td></tr>
</table>

**<그림 3-10> 이동식 물생산 시스템 현장 적용 파일롯 모듈 구성(평택진위천 설치)**

## 나. 최적 여과포 선정 실험

당사의 보유기술인 가압필터여과장치는 여과판 후레임을 여러매 겹쳐 그사이에 여과포를 설치한 구조로 다수 적층된 여과판의 여과포에 여과재를 균일하게 프리코팅하여 여과재로 여과하는 방식이다.

생산하고자 하는 용수 종류에 따라 다양한 여과재를 사용할 수 있고, 여과효율도 상승시킬 수 있는 장점을 지니고 있어, 본 과제에 적합한 생활용수 생산을 위해 가압필터의 성능 개선 방법으로 최적 여과포와 여과재 선정을 하고자 테스트를 실시하였다.

### (1) 여과포 선정 테스트

여과포 선정 테스트를 위해 사용된 여과포로 모노모노 여과포와 화신 여과표, 스테인레스 등을 이용해 테스트를 진행하였다. 여과포의 두께 종류에 따라 테스트를 실시하였다. 여과포에 적정량의 여과보조제를 코팅하여 여과속도, 여과수 성상 등의 분석을 통해 최적 여과포를 선정하였다.

### (2) 여과 보조재 선정 테스트

여과재 선정을 위해 규조토, Celpure, 산성백토 등 다양한 여과보조재를 활용하여 테스트를 진행하였다. 선정된 여과재의 프리코팅을 여과포 전면에 골고루 적용하기 위해 최적 여과재 최적 주입량 산정 테스트를 실시하였다. 성능 확인은 여과된 여과수의 총인, COD, 탁도, 총대장균수, 입경 분포 등을 분석하였다.

## 다. 이동식 물생산 시스템 테스트 계획 및 방법

### (1) 실험실 규모

#### (가) 테스트 샘플 성상 분석 항목

생활용수 가능성 확인을 위해 중수도 수질기준을 참고하여 다음의 항목을 성상 분석을 실시하였다.

- 분석항목 : 탁도, BOD, 냄새, PH, 색도, COD

또한 음용수 가능성 확인을 위해 3차 멤브레인 필터를 여과한 처리수를 먹는물 수질기준 항목에 대해 성상 분석을 실시하였다.

- 분석항목: 탁도, COD, pH, T-P, SS, 기타 먹는물 수질기준 항목

#### (나) 테스트 조건 및 방법

- 실험방법: 각 여과장치를 조합한 모듈 프로세스를 통해 다양한 성상을 지닌 원수를 대상으로 여과 테스트를 실시
- 원수 종류: 합성 하천수
- 테스트 조건: 테스트 1회 실험 시 6시간 운전

### (2) 현장 규모

#### (가) 테스트 샘플 성상 분석 항목

생활용수 가능성 확인을 위해 중수도 수질기준을 참고하여 다음의 항목을 성상 분석을 실시하였다.

- 분석항목: 탁도, CODMn, 색도, pH, T-N, T-P, 전기전도도, 총대장균군수, DOM 특성

또한 음용수 가능성 확인을 위해 3차 멤브레인 필터를 여과한 처리수를 먹는물 수질기준 항목에 대해 성상 분석을 실시하였다.

- 분석항목: 탁도, CODMn, 색도, pH, T-N, T-P, 전기전도도, 총대장균군수, DOM 특성

#### (나) 테스트 조건 및 방법

- 실험방법: 각 여과장치를 조합한 모듈 프로세스를 통해 다양한 성상을 지닌 원수를 대상으로 여과 테스트를 실시
- 원수 종류: 지하수, 하천수(평택 진위천)

#### (다) 소독장치 실험방법

이동식 모듈형 여과시스템에서 음용수 생산을 위해 멤브레인 필터를 이용하여 탁질, 유기물등 제거 후 대장균, 바이러스 등의 세균 제거를 위해 3차 처리수를 소독하는 테스트를 실시하였다. 소독 실험 장치는 UV 살균기, 염소주입장치 두 가지로 실시하였다.

## 라. 공인 인증기관 분석

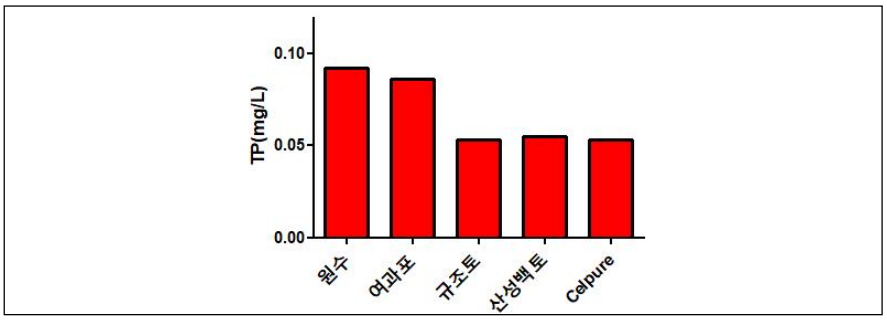
생활용수 생산을 위한 실험실 장치 및 현장 파일롯 플랜트 테스트 처리수의 성상 분석을 의뢰하여 분석 결과치에 대한 신뢰도를 상승시키고자 하였다. 프로세스 모듈의 원수, 전처리, 1차처리, 2차처리, 3차처리의 5개소 샘플에 대해 일반 분석 의뢰 및 중수도 공인기관에 분석의뢰를 실시하였다. 프로세스 모듈 1회 테스트 실험 시 2시간 단위로 4회 채수하여 각 프로세스 장치 5개소 샘플 등을 분석 의뢰하여 성상 분석을 완료하였다.

또한, 음용수 가능성을 확인하기 위해 음용수 공인기관을 통해 먹는물 수질 기준 항목에 대해 분석 의뢰를 하여 먹는물 기준에 대한 적합성을 판단하고자 하였다. 음용수 분석 의뢰 샘플은 실험실 장치 테스트에서 채수한 원수 및 3차 처리수 2개소 샘플에 대해 공인기관 분석 의뢰를 실시하였으며, 현장 파일롯 테스트에서는 채수한 원수 및 2차 처리수 2개소 샘플에 대해 공인기관 분석의뢰를 실시하였다.

## 3. 최적 여과포 및 여과 보조제 선정

### 가. 폴리에틸렌 여과포 두께 및 여과보조제 종류에 따른 여과 특성 및 성능

두꺼운 폴리에틸렌 재질의 여과포를 통과한 물은 총인 농도 0.08692mg/L로 원수 0.09292mg/L에서 감소하여, 두꺼운 여과포는 인 제거 효율이 있음을 확인하였다. 이에 반해 얇은 폴리에틸렌 재질의 여과포를 통과한 물은 총인 농도가 0.27692mg/L로 얇은 여과포 자체에서 인성분이 용출되어 총인 농도가 오히려 증가했다.




**<그림 3-11> 두꺼운 여과포의 여과보조제 종류에 따른 총인제거 결과**

두꺼운 여과포를 사용하여 여과보조제 종류에 따른 총인농도를 측정한 실험결과는 여과포 + 규조토 0.05392mg/L, 여과포 + 산성백토 0.05592mg/L, 여과포 + celpure는 0.05392mg/L로 여과보조제에 따른 제거율은 큰 차이를 보이지 않았다. 이 중 규조토 여과보조제를 이용한 경우가 총인 제거효율이 45.6%로 양호한 것으로 나타났다.

규조토 여과보조제 양에 따른 여과 성능을 알아보고자 테스트를 실시하였다. 두꺼운 여과포에 규조토 여과보조제의 양을 57.6 g/㎡에서 115.3 g/㎡, 172.9 g/㎡, 288.2 g/㎡ 까지 증가시켜 프리코팅하여 여과특성을 검토한 결과 다음과 같다. 여과보조제의 양을 증가시켰을 때에도 탁도는 57.6을 제외한 값들에서 모두 0.001NTU로 차이를 보이지 않았다. COD와 T-P의 경우 여과보조제의 양이 증가함에 따라 코팅두께도 증가되어 처리효율이 일부 증가하였으나, 과량일 경우에는 여과과정에서 입자가 작은 보조제가 유실되어 오히려 처리 효율이 감소하였다.

여과보조제의 양이 증가함에 따라 코팅두께도 증가되어 처리수의 COD 및 T-P농도가 약간 감소되는 것을 알 수 있었으나 288.2 g/㎡에서는 오히려 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 여과과정에서 입자가 작은 보조제가 유실되어 처리수에 영향을 미친 것으로 판단된다.

**<표 3-4> 규조토 여과보조제 양 변화에 따른 여과 특성**

| 측정항목 | 생물학적 처리수 | 여과포 | 여과보조제양(g/㎡) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 57.6 | 115.3 | 172.9 | 288.2 |
| 여과속도(sec) | | | 300mL/ 22sec | 300mL/ 26sec | 300mL/ 32sec | 300mL/ 33sec |
| 탁도 (660nm, NTU) | 0.004 | 0.003 | 0.004 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| COD(mg/L) | 10.8 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 8.8 |
| T-P(mg/L) | 0.123 | 0.121 | 0.097 | 0.098 | 0.093 | 0.117 |

## 나. 스테인레스 여과포를 이용한 여과보조제 종류에 따른 여과 특성

스테인레스 여과포의 경우 입경이 매우 작아 여과보조제의 양을 14.41~57.6 g/㎡ 까지 변화시켜 프리코팅한 후 여과수를 분석하여 비교하였다. COD의 경우 규조토 여과보조제를 이용한 경우 가장 효율이 좋았으며 T-P농도도 53.9%의 제거효율을 나타내었다. 원수의 부유물질유래 COD, T-P성분이 제거된 것으로 판단되며, 산성백토의 경우도 여과보조제량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.

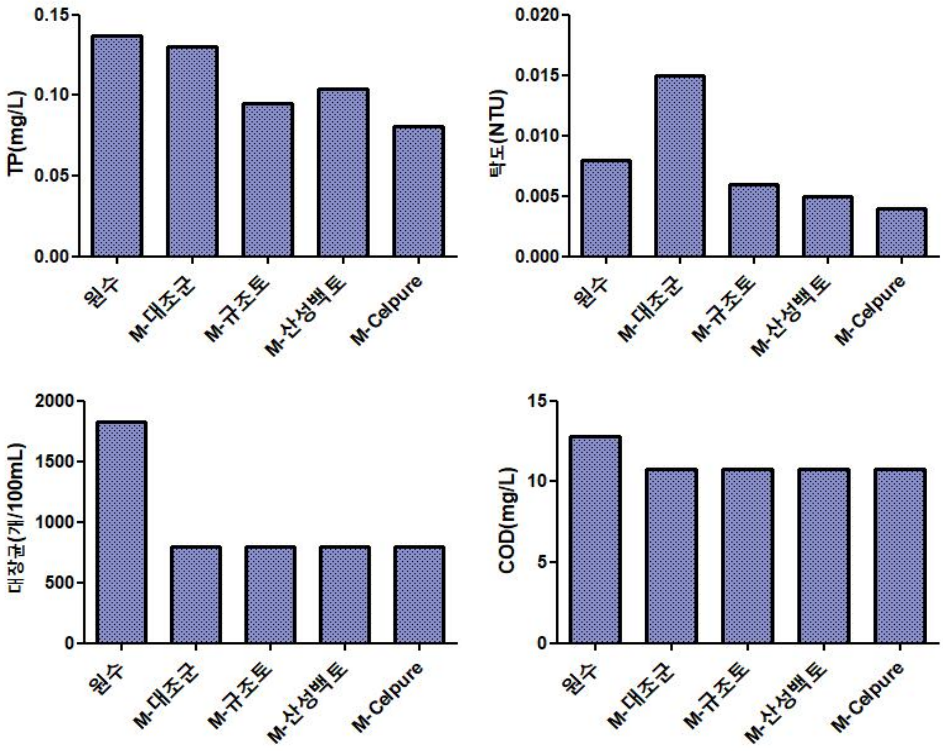
**<표 3-5> 스테인레스 여과포를 이용한 여과보조제 종류별 여과 특성**

| 측정항목 | 생물학적 처리수 | 여과포 | 규조토 +여과포 | | | 산성백토 +여과포 | | | Celpure +여과포 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 보조제양 ( g/㎡) | - | - | 14.4 | 28.8 | 57.6 | 14.4 | 28.8 | 57.6 | 28.8 | 57.6 |
| 탁도(NTU) | 0.006 | 0.018 | - | 0.005 | 0.009 | - | 0.008 | 0.004 | - | 0.007 |
| COD(mg/L) | 4.0 | 4.0 | - | 2.8 | 2.4 | - | 3.6 | 3.2 | 4.0 | 4.0 |
| T-P(mg/L) | 0.102 | 0.092 | 0.057 | 0.055 | 0.047 | 0.1 | 0.065 | 0.049 | 0.102 | 0.076 |

## 다. 폴리프로필렌 여과포를 이용한 여과보조제 종류에 따른 여과 특성

M사의 폴리프로필렌 여과포로 300 mL를 여과하였을 때 걸리는 시간은 5초, 규조토로 코팅한 제품은 34초, CELPURE의 경우는 39초, 산성백토는 154초가 걸렸다. 규조토 코팅의 경우 위사진과 같이 부분적으로 코팅이 되었고 모서리로 몰리는 경향이 있었다. CELPURE는 입자사이즈가 작아 코팅이 양호하였다.

COD의 경우 모든 여과보조제 코팅을한 여과포 처리수에서 10.8 mg/L로 일정한 값이 나왔다. T-P는 규조토 0.095 mg/L, 백토 0.104 mg/L, Celpure 0.083 mg/L로 Celpure 여과보조제가 T-P 제거율이 조금 좋은 것으로 나타났다. 탁도도 Celpure 여과보조제에서 가장 처리 효율이 좋았다. 이는 여과보조제의 입경분포가 가장 작은 것에 기인한 것으로 판단된다. 총대장균군의 경우는 보조제별 큰 차이가 없었다.




<그림 3-12> M사 여과포에 여과보조제 종류별 여과 특성 그래프

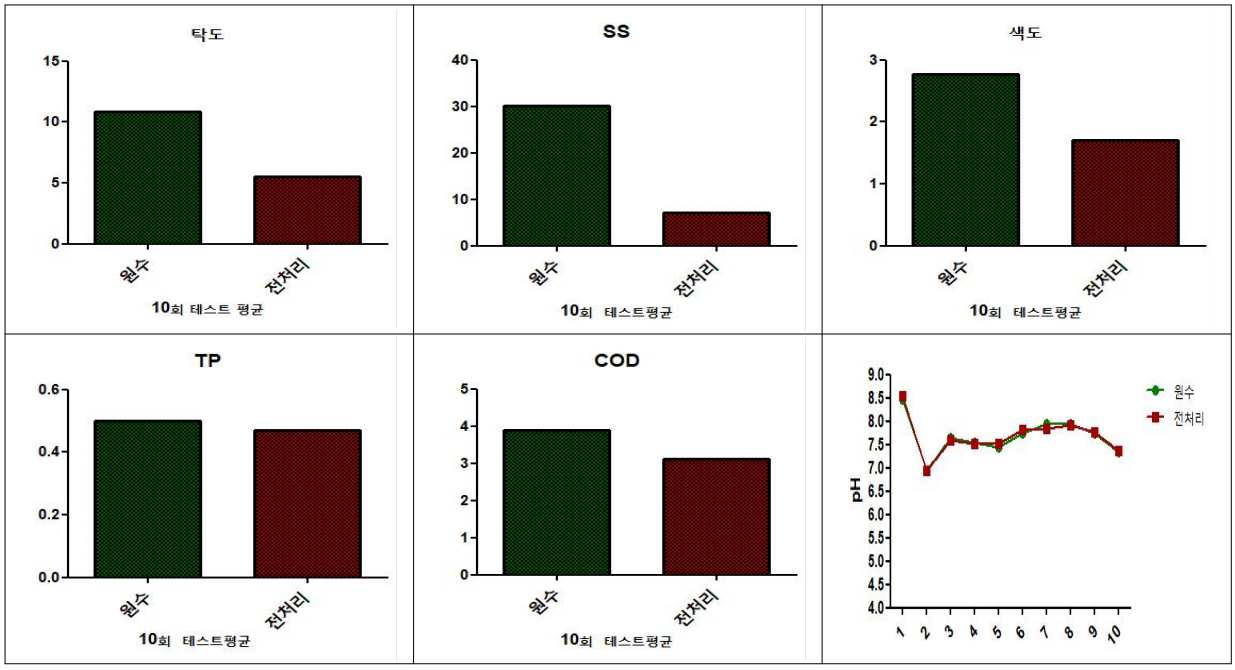
## 4. 실험실 규모 여과 시스템 운전 결과

### 가. 전처리 장치

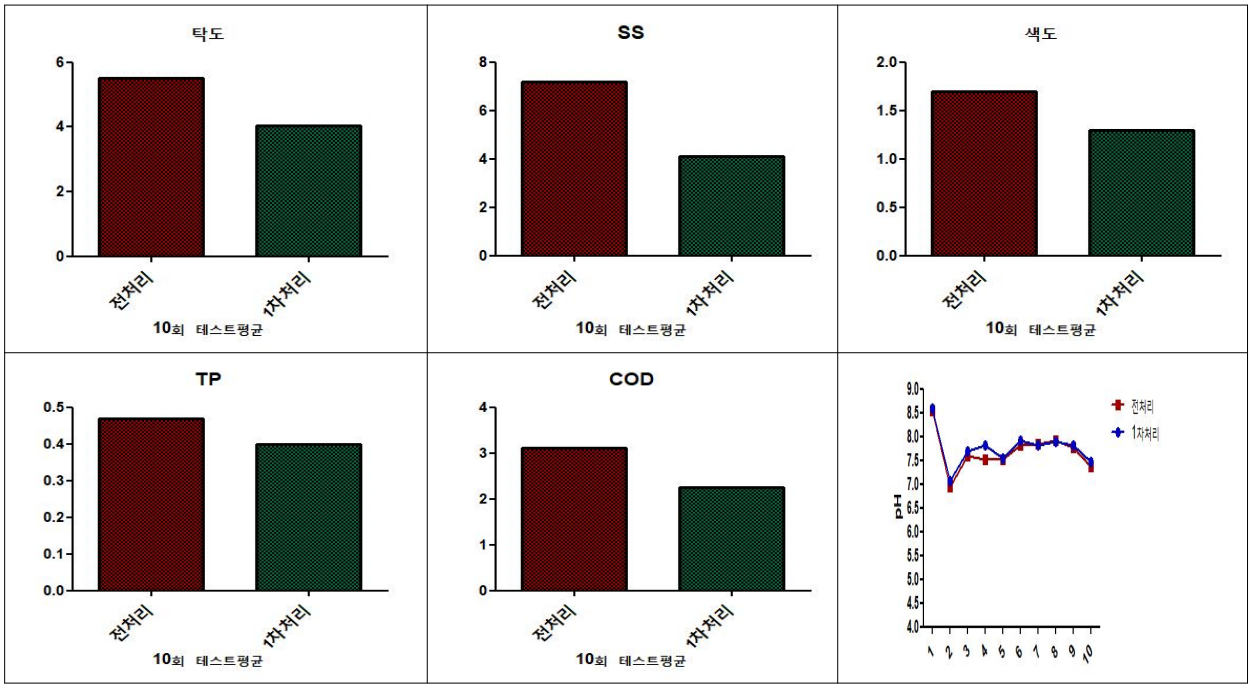
전처리 취수 설비를 설치함으로 큰 이물질, 부유물질을 제거하고자 하였다. 또한 전처리 시설에서 부유물질을 제거함으로써 후단 여과기 효율을 극대화하여 효율 증대를 도모하고자 하였다. 인공오염수, 하수 2차 처리수, 상수원 원수등을 대상으로 전처리 취수 설비의 효율 확인 테스트를 진행하였다. 전처리 취수설비로 여과 테스트 결과 유기물(COD), 부영양화물질(T-P)등의 제거효율은 크지 않지만 큰 이물질, 부유물질 등이 제거됨으로써 탁도 및 SS 제거효율이 높아 후단 여과 공정의 부하를 크게 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

### 나. 1차 처리 장치(활성탄 여과 장치)

재난 시 원수의 수질상태가 최악의 경우를 고려하여 1차 처리 필터의 경우 고농도 슬러지를 처리 및 유기물 처리하는 장치이다. 전처리 취수 설비를 통해 큰 부유물질 등을 제거한 후 수중 유기물 제거를 위해 활성탄 시설을 활용하고자 하였다. 전처리 취수설비 여과 후 1차 활성탄 장치 여과로 잔존 이물질, 입자 사이즈가 작은 부유물질등이 제거되었고, 유기물이 활성탄에 흡착되어 제거효율이 올라가는 것을 확인 하였다. 하지만 유기물 제거의 경우 원수 COD 농도가 낮은 상태여서 제거 효율이 크지 않지만, 유기물 농도가 높은 원수 대상으로는 유기물 제거 효율이 증가 할 것으로 기대된다.



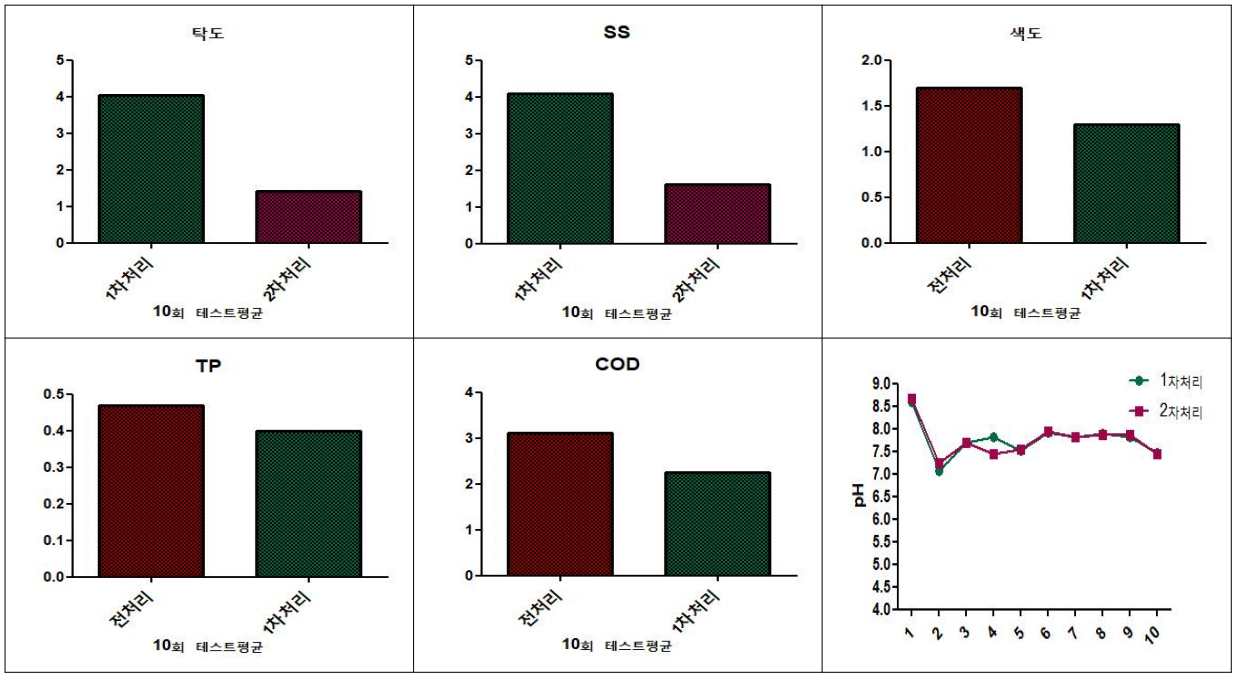

<그림 3-13> 전처리 취수 설비 여과 테스트 결과




<그림 3-14> 1차 처리 장치(활성탄 여과 장치) 테스트 결과

## 다. 2차 처리 장치 (가압필터 여과기)

1차 활성탄 시설 여과수를 이용하여 가압필터 시스템으로 여과 성능을 파악하고자 하였다. 1차 활성탄 장치까지 여과한 여과수를 이용하여 미세 입자 및 잔존 물질 제거를 위해 2차 처리장치인 가압필터 여과 테스트를 실시하였다. 1차 활성탄 장치 여과 후 2차 가압필터 여과로 잔존 이물질, 입자 사이즈가 작은 부유물질 등이 제거되었고, 총인이 여과재에 흡착되어 제거효율이 올라가는 것을 확인하였다. 또한 2차 처리에 의해 SS가 거의 제거됨에 의해 3차 처리의 부하를 최소화 하여 효율을 극대화 할 것으로 기대된다.

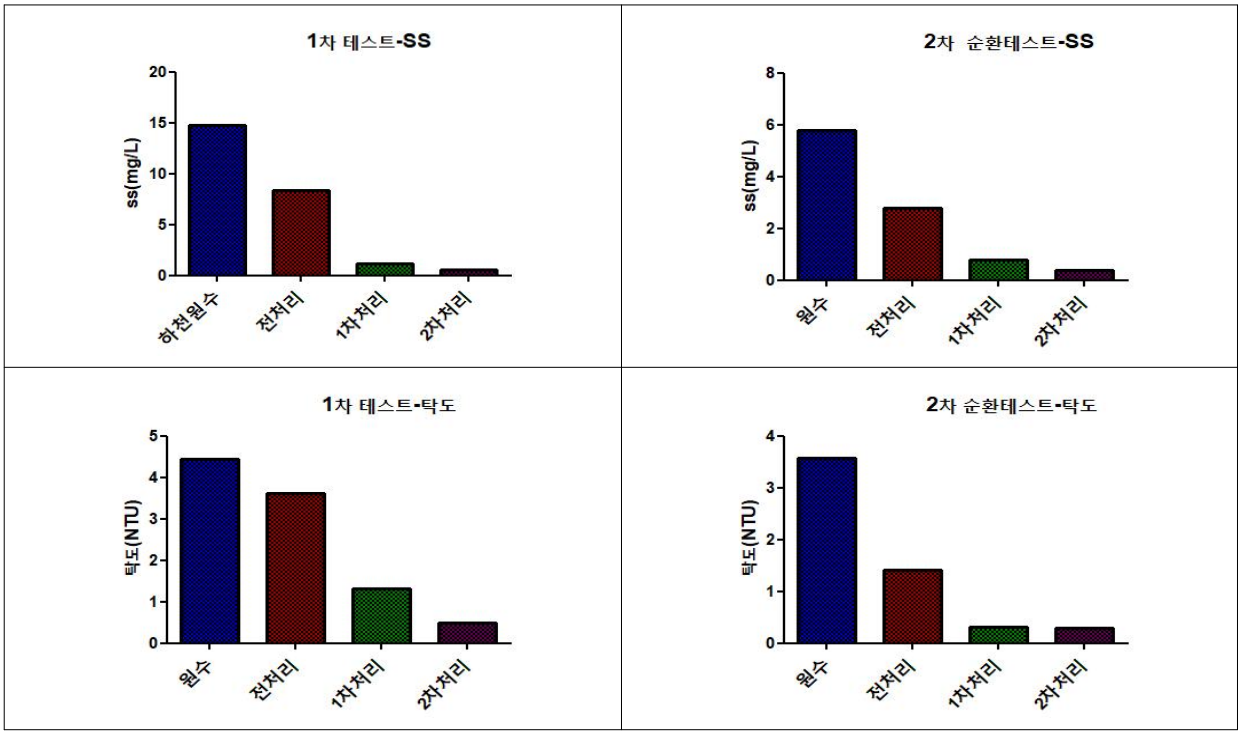



<그림 3-15> 2차 처리 장치(가압필터 장치) 테스트 결과

## 라. 모듈 조합 프로세스 테스트 결과 – 생활용수

이동식 물생산 시스템 프로세스 모듈을 조합한 장치를 이용하여 인공 오염수 제조 후 테스트를 실시하였다. 인공 오염수의 SS농도를 14.8mg/L로 제조하여 종합 모듈 테스트를 실시한 결과 2차 처리에서 SS가 0.6 mg/L까지 처리 되어 원수 대비 95.9%의 SS 제거율을 나타내었다. 탁도 결과도 SS와 유사한 결과를 나타내었다. 인공 하천수의 탁도가 4.43 NTU로 제조되어, 2차 처리(가압필터)를 통해 0.48 NTU를 나타내어 원수 대비 89.1% 탁도 제거율을 나타내었다.

1차 테스트를 거친 처리수를 다시 원수 유입 배관을 통해 순환처리 테스트를 실시하였다. 2차 순환 테스트의 원수 SS농도는 5.8 mg/L로 확인되었으며, 1차 처리 시 가압필터로 나온 처리수가 원수 저장탱크로 순환하여 원수 탱크에 잔존해 있던 부유물질의 영향으로 SS가 증가한 것으로 판단된다. 2차 순환 테스트의 2차 가압필터 처리 후 SS농도가 0.4 mg/L까지 낮아져 순환 원수 대비 93.1% SS 제거 효율을 나타내었다. 탁도 결과도 SS와 유사하였으며, 최종적으로 0.29 NTU 까지 처리되었음을 확인하여 먹는물 수질기준 0.5 NTU를 안정적으로 만족 하는 것으로 확인되어 생활용수 사용으로 충분할 것으로 판단된다.




**<그림 3-16> 종합 시스템 모듈 활용 테스트 부유물질 및 탁도 분석 결과**

선행된 테스트의 생활용수 가능성 확인을 위해 공인기관에 원수 및 각 처리수를 의뢰하여 분석한 결과는 다음과 같다.

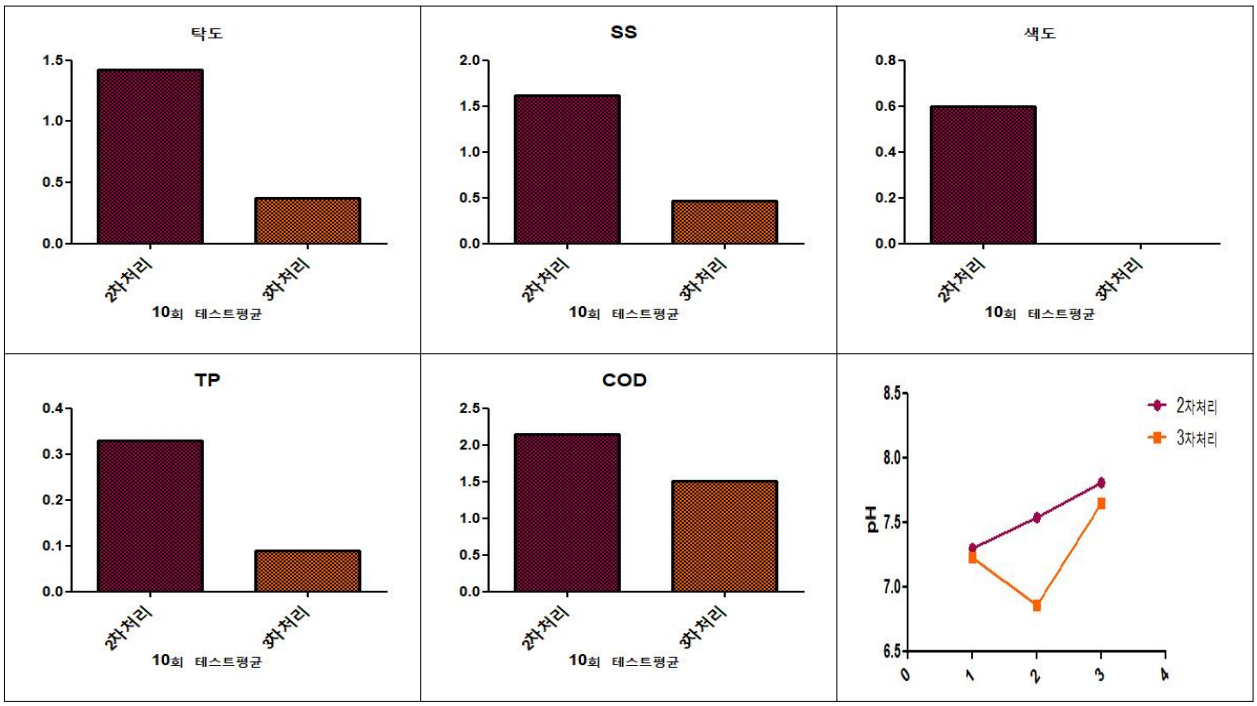
**<표 3-6> 시스템 모듈 실험실 설비를 활용한 원수 및 각 처리수 공인기관 분석 결과**

| 항목 | 단위 | 중수도기준 | 원수 | 전처리 | 1차처리 | 2차처리 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BOD | mg/L | 10 | 1.10 | 0.80 | 0.50 | 0.40 |
| COD | mg/L | 20 | 3.60 | 3.00 | 2.80 | 2.80 |
| PH | | 5.8~8.5 | 7.60 | 7.70 | 7.70 | 7.80 |
| 색도 | 도 | 20 | 3.00 | 3.00 | 4.00 | 3.00 |
| 탁도 | NTU | 2 | 5.59 | 1.23 | 1.10 | 1.05 |
| 냄새 | | 없음 | 없음 | 없음 | 없음 | 없음 |

생활용수 가능성 확인을 위해 분석공인기관 한국건설생활환경시험연구원(이하 KCL)을 통해 테스트 원수 및 각 처리수를 분석한 결과 최종 처리수는 중수도 기준을 안정적으로 만족하였다.

## 마. 비상급수(음용수) 생산을 위한 3차 처리 설비

3차처리 필터인 맴브레인 필터는 음용수를 생산하기 위한 역삼투압 방식의 여과기로 현재 여러 곳의 회사에서 생산되고 있는 제품을 활용하여 자체 제작하여 실험실에서 실험을 진행하였다.




<그림 3-17> 3차 처리(RO멤브레인) 테스트 결과

3차 처리 장치인 RO 멤브레인 여과수의 경우 탁도, 색도 등은 먹는물 수질 기준(탁도 1NTU, 색도 5도 이하)을 안정적으로 만족 하고 있어 음용수로 가능성을 확인할 수 있었다.

음용수 가능성 확인을 위해 탁도, 색도, 경도, pH, 미생물에 관한기준, 건강 유해 무기물질 기준, 건강 유해 유기물질 기준, 소독제 및 소독 부산물질에 관한 기준, 심미적 영향물질에 관한 기준, 방사능에 관한 기준 등의 분석을 처리수를 공인 인증기관을 통해 실시하였고, 모든 경우에 불검출 또는 수질 기준을 안정적으로 만족 하고 있는 것으로 확인되었다.

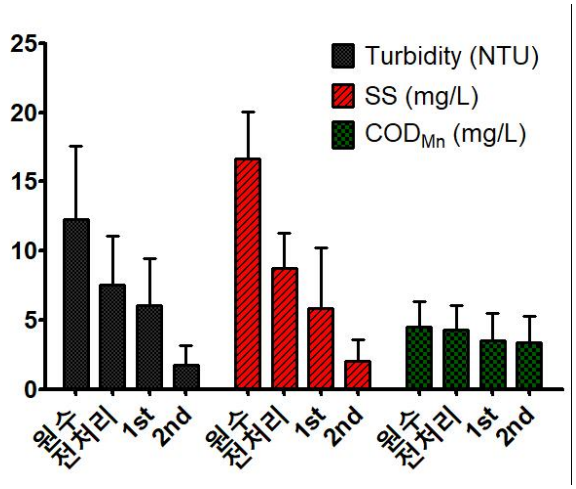
따라서 이동식 물생산 시스템의 3차 처리시설(RO) 시스템을 활용하여 음용수 생산이 가능한 것을 확인하였으며, 이에 따라 평상시와 재난시의 비상급수로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 바. 실험실 규모 테스트 종합 평가

실험실 규모 실험에서는 합성 하천수를 제조하여 사용하였다. 다양한 측정 항목 중 유의미한 변화를 나타내는 탁도, 부유물질 및 COD의 결과를 다음의 그림에 나타내었다. 입자성 물질을 대표하는 탁도와 부유물질은 여과 공정을 통해 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 탁도의 경우 원수 내 평균 12.3 NTU로 존재하였지만 처리 공정을 거치면서 최종적으로 1.72 NTU까지 감소하였으며, 부유물질의 경우에도 최초 16.7 mg/L에서 2.00 mg/L로 감소하였다. 특히 3차처리로 사용하였던 가압 필터에서 높은 제거 효율을 보여주었다.

그러나 유기물질 지표인 COD는 유입 원수 4.49 mg/L에서 처리수 3.38 mg/L로 약 25% 가량 감소하는 데 그쳤으며, 측정 오차를 감안하면 그 제거가 미미한 수준으로 볼 수 있다. 이와 같은 결과는 유입수 내 유기물질이 대부분 용존성으로 존재하여 여과 공정에서 제거되지 않음을 보여주었으며, 유기물이 존재하는 경우에는 음용수로의 적용을 위하여 추가적인 공정이 필요할 수 있음을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과를 토대로 현장 파일럿 규모 실험에서는 역삼투 공정을 추가하여 음용수 생산이 가능하도록 하였다. 따라서 현장 파일럿 여과 시스템은

생활용수 공급을 위한 여과 시스템 (전처리-2차 처리) 및 음용수 공급을 위한 역삼투 시스템 (3차 처리)로 구분하여 설계하였다.




<그림 3-18> 실험실규모 여과 시스템 성능 결과

## 5. 현장 규모 테스트

### 가. 생활용수 생산 모듈

<표 3-7> 수질 데이터 및 수질 기준 자료

| 구분 | 원수 | | 2차 처리수 | | 중수도 수질기준 (2015.01.01.적용) |
|---|---|---|---|---|---|
| | 하천수 | 지하수 | 하천수 | 지하수 | |
| $COD_{Mn}$(mg/L) | 2.70 | 3.41 | 2.08 | 1.66 | *20이하 |
| TN(mg/L) | 1.85 | 0.5 | 1.59 | 0.5 | 10이하 |
| TP(mg/L) | 0.074 | 0.012 | 0.03 | 0.03 | 0.5이하 |
| 탁도(NTU) | 5.28 | 1.1 | 0.43 | 0.73 | 2이하 |
| 색도 | 3.95 | 1.36 | 2.18 | 2.03 | 10이하 |
| pH | 7.43 | 9.36 | 7.36 | 7.93 | 5.8~8.5 |
| 전기전도도 (uS/cm) | 544 | 676 | 582 | 593 | - |
| 총대장균군 (개/100mL) | 48.8 | 3.7 | 5.15 | 2 | 불검출 |

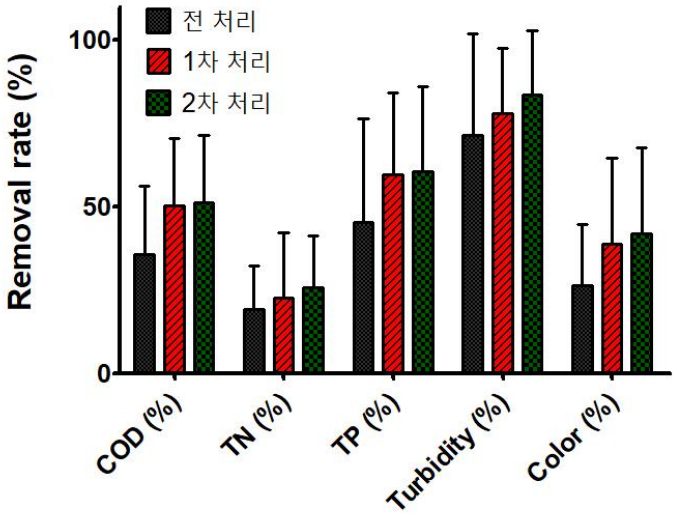
*COD기준은 현재 중수도 수질기준에 포함되지 않아 예전 중수도 기준을 차용

2차 처리 후의 수질은 대부분 중수도 수질을 만족하였을 뿐 아니라 음용수 수질 기준 또한 대부분의 항목이 기준치를 충족하였다. 다만 유입수의 수질변동에 따라 COD 및 탁도의 최댓값이 음용수 수질 기준을 초과하는 경우가 발생하여, 2차 처리수를 음용수로 사용하기에는 적절하지 않다고 판단된다.

2차 처리를 거친 용수는 pH, TN, TP, 색도, 탁도의 기준을 만족하였지만, 대장균군의 경우

여러 중수도 기준 중 일부 만족하지 못하였다. 본 현장 실험의 결과로 측정된 총대장균군수의 경우에는 약 50% 내외의 시료에서만 대장균군이 검출되어, 조경용수(200개/100mL이하), 하천유지용수(1000개/100mL이하)의 중수도 수질기준을 만족한다. 하지만 청소/화장실 용수, 친수용수와 같이 인체 접촉이 가능한 용수에서는 총대장균군의 불검출이 기준으로 이를 만족하지 못하였다. 본 이동형 물생산 장치의 목적이 재난 현장에서의 청소 등의 생활용수로써의 공급이므로 여과 공정을 거친 처리수를 인체 접촉이 가능한 생활용수로 공급하기에는 적당하지 않다고 판단되었으며, 생활용수로의 사용을 위해 추가적인 소독공정이 필요하다고 판단된다.

각 공정별 처리 효율을 나타내면 다음의 그림과 같다. 물리적인 여과 공정을 사용하였기 때문에 입자성 물질인 탁도의 제거율은 80% 내외로 상당히 높았지만, 용존성 물질인 총 질소의 경우에는 25%의 제거율로 그다지 높지 않은 결과를 나타내었다. 총인과 COD, 색도는 각각 60%, 51%, 42%의 제거율을 보여 입자성으로 존재하는 인이나 유기물질의 경우에 일부 제거할 수 있음을 확인하였다.




**<그림 3-19> 종합 하천수 생활용수 단계별 처리 그래프**

공인 인증기관에 의뢰하여 원수 전처리 1차 처리, 2차 처리 시료의 11가지 수질항목(총질소, 총인, BOD, COD, 부유물질, 탁도 pH, 총대장균군, 결합잔류염소, 냄새, 색도)의 데이터를 받았고 이를 다음의 표에 정리하였다.

표를 보면 대부분의 수질항목이 수질기준을 만족하였다. 2차 처리를 중심으로 수질기준과 비교할 경우 07.26시료에서 BOD값이 초과하였고, 결합잔류염소의 양이 부족하였다. 08.22의 시료에서는 BOD가 1.7 mg/L로 중수도 수질기준을 만족한다. BOD실험은 값의 편차 및 원수의 BOD 농도가 기준치와 근접함을 미루어 볼 때, 추가 실험을 진행 시 중수도 기준을 만족할 것으로 판단된다, 결합잔류염소는 생산된 물에서 추가 오염을 방지하기 위한 소독방법으로 후단 염소 소독 공정의 강화가 필요하다고 판단된다.

<표 3-8> 공인기관 수질항목 데이터 및 중수도 수질 기준

| 구분 | 단위 | 원수 | 전처리 | | 1차처리 | | 2차처리 | | 중수도 수질기준 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 07.26 | 07.26 | 08.22 | 07.26 | 08.22 | 07.26 | 08.22 | |
| 총질소 | mg/L | 1.4 | 1.38 | 1.15 | 1.15 | 1.10 | 1.38 | 1.10 | 10 이하 |
| 총인 | mg/L | 0.132 | 0.421 | 0.006 | 0.222 | 0.011 | 0.200 | 0.011 | 0.5 이하 |
| BOD | mg/L | 3.3 | 4.0 | 1이하 | 3.3 | 1.8 | 4.1 | 1.7 | 3 이하 |
| COD(망간법) | mg/L | 2.5 | 2.1 | 3.3 | 2.0 | 3.1 | 2.3 | 1.5 | *20 이하 |
| 부유물질 | mg/L | 1.8 | 2.5 | 3.1 | 3.5 | 3.7 | 1.3 | 3.0 | 6 이하 |
| 탁도 | NTU | 0.78 | 0.61 | 0.83 | 0.43 | 1.16 | 0.29 | 0.85 | 2 이하 |
| pH | - | 7.5 | 7.4 | 7.0 | 7.5 | 7.0 | 7.5 | 7.0 | 5.8~8.5 |
| 총대장균군 | 개/mL | $4.5\times10^4$ | 불검출 | 10 | 불검출 | 7 | 불검출 | 불검출 | 불검출 |
| 결합잔류염소 | mg/L | 0.10 | 0.12 | - | 0.08 | - | 0.07 | - | 0.2 이상 |
| 냄새 | - | 없음 | 없음 | 없음 | 없음 | 없음 | 없음 | 없음 | 불쾌하지 않을 것 |
| 색도 | 도 | 4 | 3 | 1 이하 | 3 | 1 이하 | 3 | 1 이하 | 10 이하 |

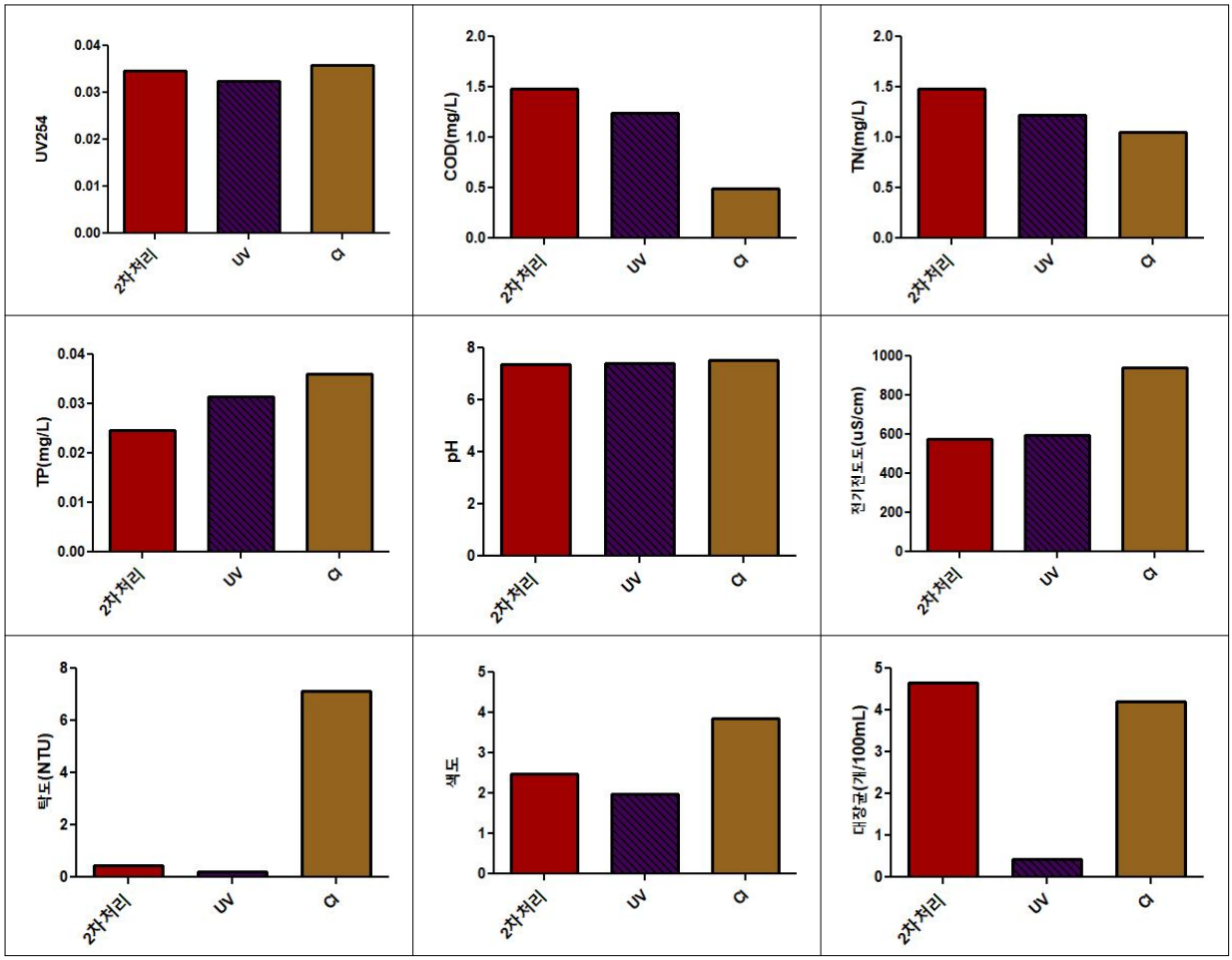
*COD기준은 현재 중수도 수질기준에 포함되지 않아 예전 중수도 기준을 차용

## 나. 소독 공정 운전 평가

### (1) 소독 공정 효율

상기 (1)에서 기술한 바와 같이, 생활용수 공급을 위한 2차 처리에서 대부분의 항목은 중수도 수질 기준 (친수용수)을 만족하였지만, 일부 처리수 시료에서 대장균이 검출되어 소독 공정의 도입이 필수적이라고 판단하였다. 특히, 결합 잔류 염소의 값이 기준치에 미치지 못한 공인 인증 기관 평가 결과를 바탕으로, 최적의 소독 공정 운전 인자를 파악하기 위한 추가 연구를 실시하였다.

2차 처리수에서 평균 1.46개/100 mL으로 존재한 대장균군이 자외선 조사 및 염소 투입 시 측정의 오차에 기인한 데이터를 제외한 경우에서는 모두 검출되지 않았다. 소독의 효율은 자외선 조사와 염소 투입 모두 효과적인 것으로 나타났다. COD의 경우에는 자외선 및 염소처리 후 유의미한 정도로 감소하였으며, 이는 산화제에 의한 유기물 산화 효과에 기인한 것으로 판단된다. 유기물 제거 효율은 염소처리가 더 우수하였으나, 소독 부산물에 대한 우려도 동시에 존재하므로 과다한 유기물의 제거가 긍정적이라고만은 볼 수 없다고 판단된다.

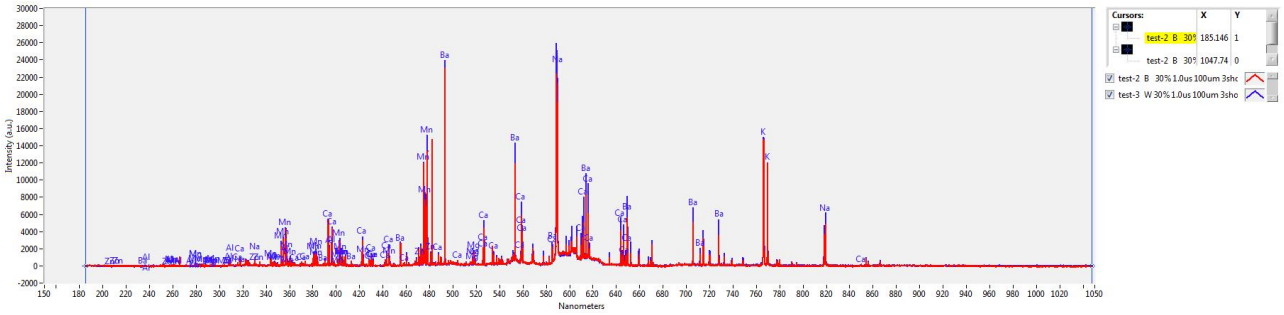



<그림 3-20> 하천수 소독공정 수질항목별 그래프

그러나 소독을 위해 염소처리 거친 물에서 붉은색 침전물이 발생해 탁도가 평균 7.14 NTU, 최대 14.4NTU로 하천수 원수보다 높은 탁도 값을 갖는다. 소독공정을 거친 생활용수에서 붉은색 침전물이 발생하여 시민들이 실제 사용 시 처리수의 신뢰도를 잃을 수 있다. 따라서 소독부산물의 발생을 억제하거나 소독부산물을 제거할 방법을 선정하기 위해 소독부산물을 분석해 그 성분을 알아보고자 하였다.

(2) 소독 부산물 분석

레이저 어블레이션-레이저 유도 플라즈마 분광 분석기를 이용해 소독부산물의 정성 분석을 실시하였다.



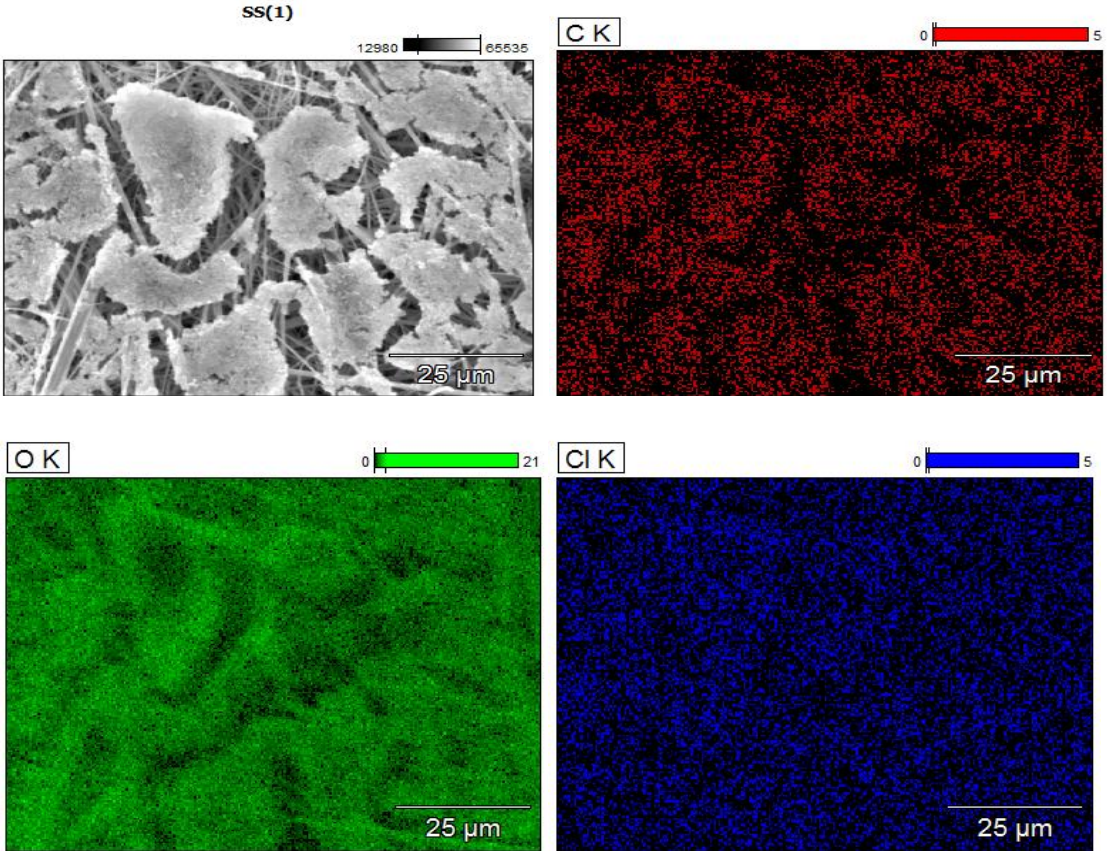

<그림 3-21> 소독부산물 LA-LIBS 분석 데이터

데이터 분석결과 시료의 명암에 따른 성분 차이는 확인되지 않았으며 Na, Ba, Mn, K, Ca이 소독부산물의 주요 물질로 측정되었다. Na, Mn, K, Ca은 일반적인 토양이온으로 토양과 접촉하는 수계에 존재한다. Ba의 경우 일반적으로 측정되는 이온이 아니기에 추가적인 정성분석과 정량분석을 통해 소독부산물의 성분을 정확히 확인할 필요가 있다. 우선 LA-LIBS로 측정된 원소 중 침전물을 형성할 가능성이 있는 물질을 선정하였다. 염소처리 후 붉은색 침전물이 발생하므로 용해성이 낮아 침전물을 형성할 가능성이 있고 붉은색을 띄는 물질을 조사하였다. 위의 실험결과로 얻은 원소 중 Mn과 Ba이 침전물을 형성하고 적색계열의 침전물을 형성할 가능성이 있어 산화망간과 산화바륨을 침전물 성분물질로 예상 후 나머지 실험을 진행하였다.

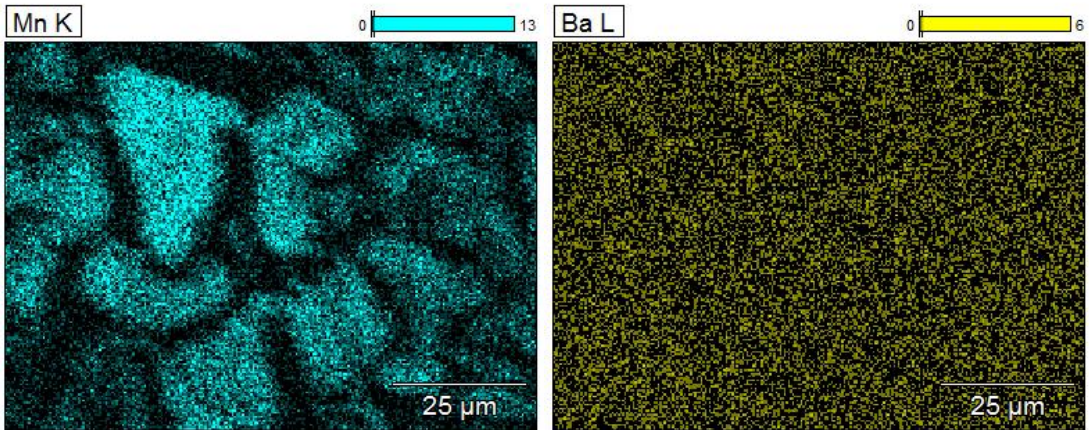
염소처리수 시료를 GF/C 필터로 거른 후 120도에서 2시간 건조한 SS에 대해 SEM-EDS를 통해 분석하였다. SEM으로 각 물질의 표면을 찍어 몇 종류의 표면형태를 가지는지, 어떤 표면의 모습을 가지는지 확인하고 EDS를 통해 소독 부산물의 정성과 정량을 분석하였다.

GF/C 필터위의 소독부산물을 1.5만배, 3만배 확대해 표면을 관찰한 모습은 다음의 그림에 나타나 있다. EDS는 LA-LIBS를 통해 추정한 원소 중 침전물 발생 가능성이 있는 원소인 Mn, Ba, Cl, O, C 분석하였다.

탄소 EDS 사진을 보면 기본 SS의 모습과 일부 유사함을 확인할 수 있다. 탄소의 원자비는 5.68%로 소독부산물에 탄소가 소량 포함되어 있다고 판단된다. 탄소는 침전물의 주요 성분이 아닌 침전물의 크기를 키우는 폴리머 역할을 하는 것으로 예상된다. 염소와 바륨의 EDS 사진은 기본 SS 사진의 모습과 전혀 유사하지 않고 소독부산물의 염소의 원자 비는 0.13%, 바륨의 원자 비는 0.96%로 침전물의 성분이 아니라고 판단된다. 따라서 예상 침전물인 산화바륨은 침전물 성분에서 제외된다. 산소와 망간의 EDS 사진의 모습은 기본 SS 사진의 모습과 유사하다. 특히 Mn의 사진은 기본 SS사진과 매우 유사해 소독부산물이 망간성분일 가능성에 무게가 실린다. 또한 Mn의 원자비가 8.40%, O의 원자비가 54.02% 두 원소의 양이 뚜렷하게 관찰되어 소독 부산물의 성분이 예상 침전물인 산화망간으로 판단된다.




<그림 3-22> SS 소독부산물 SEM-EDS 사진




<그림 3-22> SS 소독부산물 SEM-EDS 사진(계속)

원자비 순으로 이온을 나열하면 O, Si, Mn, Na, C, Al, Ca, K, Ba 기타이온 순이다. 이 중 Si는 필터의 성분이 유리로 되어있어 측정된 원소로 소독부산물과 관련이 없다. 소독부산물과 관련된 가장 많은 원소는 산소와 망간으로 산화망간이 소독부산물의 주성분임을 추정할 수 있다.

<표 3-9> SS 원소별 무게비, 원자비 데이터

| 원자 종류 | 무게비(%) | 원자비(%) |
|---|---|---|
| C | 2.84 | 5.68 |
| O | 36.02 | 54.02 |
| Mn | 19.24 | 8.40 |
| Na | 5.87 | 6.13 |
| Mg | 0.18 | 0.18 |
| Al | 2.17 | 1.93 |
| S | 0.21 | 0.16 |
| Cl | 0.19 | 0.13 |
| K | 2.34 | 1.43 |
| Ca | 2.89 | 1.73 |
| Ba | 5.51 | 0.96 |
| Si | 22.52 | 19.24 |
| Total | 100.00 | 100.00 |

망간은 먹는 물 수질 기준에서 수돗물의 경우 0.05 mg/L, 지하수의 경우에는 0.3 mg/L로 규제하고 있는 물질로, 무산소 조건에서 주로 용존성 Mn(II)로 존재하여 처리 공정에서 적절히 제거되지 않을 수 있다. 용존성 망간은 일반적으로 산소 및 염소와 같은 산화제를 사용하여 침전성 Mn(IV)로 산화시키는 방법으로 제거한다. 이와 같은 사실과 상기 분석 결과를 토대로 염소 주입 시, 주입된 염소가 산화제로 작용하여 3차 처리수 내 용존성 망간을 이산화망간으로 전환시킨 것이라고 결론을 내릴 수 있었다.

이처럼 따라서 소독 공정을 적용할 시 침전물이 발생할 가능성이 높은 염소 주입보다는 자외선 조사가 효과적일 것이라고 판단하였으며, 염소 주입을 적용할 시에는 원수 내의 용존 망간 이온을 제거하기 위하여 전염소 처리를 수행할 필요가 있다고 판단되었다.

(3) 공인 인증기관 분석의뢰 결과

<표 3-10> 공인인증기관 소독처리 시료 세균 데이터

| 시험항목 | 농도 | 염소소독 | UV소독 |
|---|---|---|---|
| 총대장균군 | -/100mL | 검출 | 불검출 |
| 중온일반세균 | CFU/mL | $7.3\times10^{2}$ | 14 |
| 분원성대장균 | -/100mL | 검출 | 불검출 |
| 대장균 | -/100mL | 검출 | 불검출 |

중수도 수질 기준 중 친수용수(청소,화장실용수)의 사용 시 총대장균군은 불검출이 기준이다. 공인인증기관의 결과서를 보면 염소처리를 한 시료에서는 총대장균군이 검출 되었고 UV처리를 한 시료에서는 총대장균군이 불검출 되었다. 따라서 두 소독공정 중 UV처리를 선정하는 것이 바람직하다고 판단된다.

## 다. 음용수 생산 모듈

RO막을 이용한 수처리 시 RO막을 통과한 깨끗한 물과 RO막을 통과하지 못한 물질이 농축된 농축수가 발생한다. RO처리를 거친 물이 먹는물 수질 기준을 만족하는지 확인하고, 버려질 농축수의 수질이 방류수 수질 기준을 만족하는지 확인하여 환경에 주는 부담을 확인하고자 한다.

### (1) 하천수

RO막을 통과한 물에서 UV254 와 COD의 제거율은 94.6%, 95.2%로 대부분의 유기물이 제거된다. COD의 최댓값은 1.97mg/L로 먹는물 수질 기준에 근접하게 나왔지만, 15번의 실험에서 13개의 값이 최저 측정농도인 0.6mg/L 이하로 측정되었다. 나머지 2번의 실험에서는 1mg/L가 넘는 값이 측정되었는데, 이는 더 높은 COD를 갖는 원수에서도 최저측정농도 이하의 값을 기록한 것으로 보아 실험과정의 오류로 인한 측정치로 판단된다.

RO처리는 TN, TP, 탁도, 색도, 전기전도도에서도 역시 높은 제거율을 보여주었다. TN은 47.1%, TP 81.1%, 탁도 96.2%, 색도 86.2%로 대부분의 오염물질이 제거되었다. 2차 처리의 제거율인 TN 25.7%, TP 60.5%, 탁도 83.5%, 색도 41.8%과 비교해 확실히 제거율이 크게 증가한 것을 확인할 수 있다. 전기전도도의 경우 이전 처리에서는 변화가 없었지만 RO막을 통과한 물에서는 14.09uS/cm로 90% 이상의 제거율을 보여주었다. 전기전도도는 물속에 녹아있는 이온에 대한 척도로 RO막이 물속의 이온을 대부분 제거해주었기 때문으로 생각되고, 다른 제거율의 증가 역시 오염물질의 이온성분 제거에 기인한 것으로 판단된다.

**<표 3-11> 하천수 음용수 생산 수질항목별 데이터 및 먹는물 수질 기준**

| 구분 | 단위 | 원수 | RO처리수 | | 먹는물 수질기준 | 농축수 | | 방류수 기준 (1 지역) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 평균 | 최대 | | 평균 | 최대 | |
| UV254 | | 0.058 | 0.0004 | 0.002 | - | 0.160 | 0.221 | - |
| COD | mg/L | 2.70 | 0.489 | 1.97 | 2 | 8.55 | 13.29 | 40 |
| TN | mg/L | 1.85 | 0.884 | 2.67 | - | 5.19 | 7.53 | 20 |
| TP | mg/L | 0.074 | 0.0117 | 0.02 | - | 0.0467 | 0.07 | 0.2 |
| pH | | 7.43 | 6.08 | *5.73 | 5.8~8.5 | 7.03 | *7.15 | - |
| 전기전도도 | uS/cm | 544 | 14.09 | 19.97 | - | 2383 | 3020 | - |
| 탁도 | NTU | 5.28 | 0.085 | 0.47 | 1 | 2.03 | 7.74 | - |
| 색도 | 도 | 3.95 | 0.697 | 2.29 | 5 | 8.11 | 11.9 | - |
| 대장균 | 개/100mL | 48.8 | 0.2 | 3 | 불검출 | 3.82 | 16 | 3000 |

*pH의 경우 최소값을 기입하였음

pH의 경우 평균 6.08, 가장 낮게는 5.73까지 내려가 수질기준을 넘어서는 값을 기록하기도 하였다. 이는 수계 내 알칼리도 이온 제거에 기인한 것으로 판단된다. 알칼리도의 대표적인 물질인 탄산염(CO32-)과 중탄산염(HCO3-)은 하나의 C와 세 개의 O를 포함한 비교적 큰 물질이다. 탄산염의 크기가 RO막의 공극보다 커 대부분의 알칼리도 물질이 제거되어 RO처리수의

pH가 감소하고 이후 pH의 완충능력이 감소할 것으로 생각된다. pH의 과도한 감소는 부식성의 증가 등을 불러 올 수 있으므로, RO 운전 시 압력의 감소를 통한 회수율 조정을 통하여 pH 하강을 제어하여야 할 것으로 보인다.

대장균은 평균 0.2개/100mL가 검출되었는데 이는 15번의 실험 중 단 한번에서 3개의 대장균군이 검출되어 나타난 값이다. 나머지 14번의 실험에서는 모두 불검출로 먹는 물 수질 기준을 만족하였다. 2차 처리수에서 51개/100mL의 대장균이 검출되어도 3차 처리에서는 불검출이 된 것으로 보아, 대장균이 검출된 실험은 시료 채취 및 운송과정의 오차에 의한 것으로 판단된다.

농축수의 수질을 보면 대부분이 원수에 비해 높은 오염도를 갖는다. UV254 0.160, COD 8.55mg/L, 유기물의 농도가 원수보다 높고, TN 5.19mg/L, TP0.07mg/L로 부영양화를 일으킬 수 있는 물질의 농도 역시 증가하였다. 하지만 이들 값이 모두 방류수 수질 기준 중 가장 엄격한 I 지역의 기준을 만족해, 하천에 주는 부담은 하천의 자정작용보다 작을 것으로 판단된다. 그 외 pH 7.03, 전기전도도 2383uS/cm, 탁도 2.03NTU, 색도 8.11도, 대장균 3.82개/100mL로 오염물질의 농축으로 오염도가 증가하였지만 방류수 수질기준을 만족해 음용수 생산에 문제가 없을 것으로 판단된다.

(2) 지하수

지하수를 원수로 실험한 데이터는 하천수의 것과 유사하게 측정되었다. RO 처리수의 제거율은 UV254 94.6%, TP 81.1%, 탁도 96.2%, 색도 86.2%로 대부분의 물질이 제거 되었고 COD와 TN은 모든 값이 측정하한을 넘어섰다. 전기전도도는 13.7uS/cm로 대부분의 이온물질이 제거되었음을 확인할 수 있고, 대장균은 모든 실험에서 불검출이 되었다. pH는 크게 감소하였지만 지하수 원수의 pH가 높았기 때문에 먹는물 수질 기준을 넘어서지는 않았다.

**<표 3-12> 지하수 음용수 생산 수질항목별 데이터 및 먹는물 수질 기준**

| 구분 | 단위 | 원수 | RO처리수 | | 먹는물 수질기준 | 농축수 | | 방류수 기준 (1 지역) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 평균 | 최대 | | 평균 | 최대 | |
| UV254 | | 0.0076 | 0.0128 | 0.037 | - | 0.182 | 0.237 | - |
| COD | mg/L | 3.41 | 0.3 | 0.3 | 2 | 11.18 | 16.49 | 40 |
| TN | mg/L | 0.5 | 0.5 | 0.5 | - | 3.96 | 4.84 | 20 |
| TP | mg/L | 0.0117 | 0.0133 | 0.03 | - | 0.03 | 0.05 | 0.2 |
| pH | | 9.36 | 6.06 | *5.86 | 5.8~8.5 | 7.3 | *7.44 | - |
| 전기전도도 | uS/cm | 675.9 | 13.7 | 15.75 | - | 2643 | 3030 | - |
| 탁도 | NTU | 1.1 | 0.153 | 0.38 | 1 | 2.56 | 3.16 | - |
| 색도 | 도 | 1.36 | 0.47 | 1.33 | 5 | 9.00 | 10.46 | - |
| 대장균 | 개/100mL | 3.67 | 0 | 0 | 불검출 | 6.3 | 16 | 3000 |

*pH의 경우 최소값을 기입하였음

농축수는 방류수 수질기준이 적용되는 항목인 COD 11.18mg/L로 방류수 수질기준인 40mg/L보다 낮은값을 갖고 TN은 3.96mg/L, TP는 0.03mg/L로 방류수 수질기준인 20mg/L, 0.2mg/L을 각각 넘어서지 않았다. 대장균 역시 6.3개/100mL로 방류수 수질기준인 3000개

/100mL를 넘지 않았다.

(3) 음용수 생산 모듈 종합 평가

여러 측정값 중 대표적으로 전기 전도도는 3차처리수의 약 590 μS/cm내외에서 13.9 μS/cm로 97.6% 감소하였으며, 이를 총 용존 고형물 농도로 환산하면 약 7 mg/L 내외의 아주 낮은 농도이다. 함께 나타낸 음용수 수질 기준과 비교하였을 때 모든 항목에 대해 만족하였으며, 최댓값도 COD를 제외하고는 수질 기준을 초과하지 않았다. 대장균군의 경우 1회 검출되었으나, 당시 현장 시스템의 장기간 운전 정지 이후 재시동하여 측정한 값이므로 실제 연속 운전의 경우에는 검출되지 않을 것으로 판단된다. 역삼투 공정 이후 pH가 상당히 하락하는 경향이 있는데, 이는 역삼투 공정에 따른 이온 불균형에 따른 일반적인 현상이다. 회수율의 조정 등을 통하여 pH를 기준치 이내로 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

역삼투 공정의 운전 시 필연적으로 농축수가 발생하게 되며, 공정의 회수율에 따라 원수의 20-50% 내외가 발생하게 되어 상당히 많은 양이 발생하게 되며, 물공급 장치의 설치 및 운전에서 농축수의 적절한 처분이 중요한 부분을 차지하게 된다. 하천수를 원수로 취하기 때문에 농축수의 수질도 상당히 양호한 편으로 COD 8.55 mg/L, 총질소 5.19 mg/L, 총인 0.05 mg/L 등으로 하수처리장 방류수의 수질기준에 비하여 크게 낮은 값을 보인다. 또한 측정 최댓값도 모두 방류수 수질 기준보다 크게 낮아 하천으로 방류하는 데에 큰 지장이 없을 것으로 판단되었다.

(4) 공인 인증기관 분석 결과

다음의 표에 RO 처리수의 데이터와 먹는물 수질기준의 일부 항목을 표기하였다. RO처리를 통과한 물은 pH를 제외한 모든 항목에서 수질 기준을 만족하였다. pH의 값이 07.26에서 채수한 물은 5.0, 08.22에서는 7.1이 측정되었다. 두 번째 시료부터는 RO막 운전의 최적화가 이루어져 안정적인 음용수 생산이 가능한 것으로 판단된다.

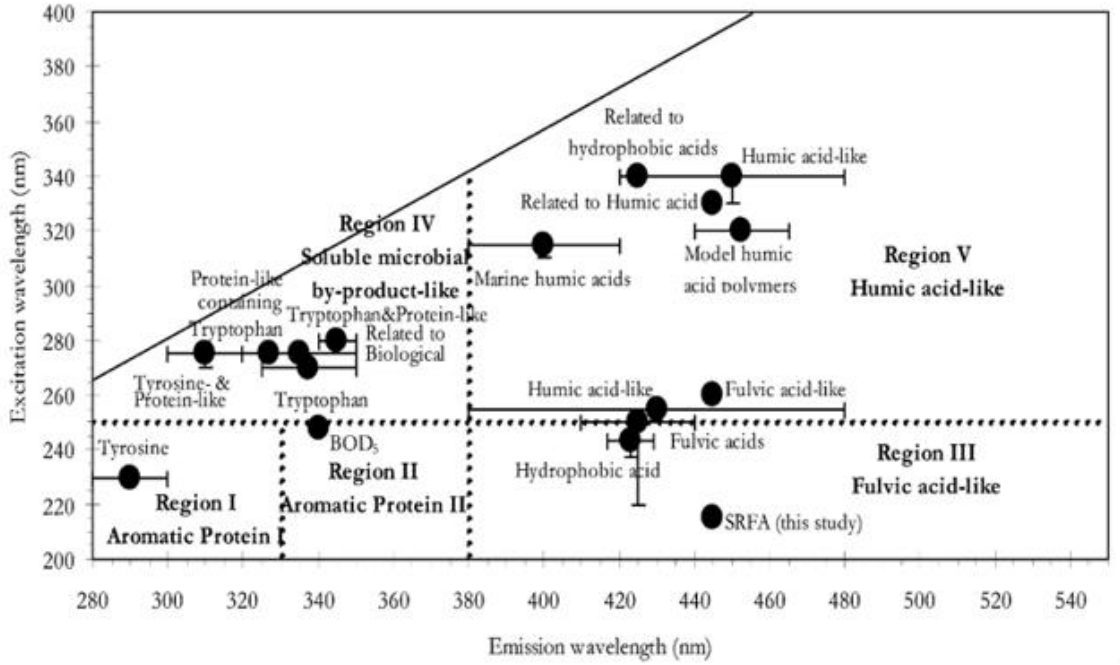
**<표 3-13> 공인인증기관 RO 처리수 먹는물 수질 기준 항목 일부**

| 구분 | 단위 | RO 처리수 | | 수질 기준 |
|---|---|---|---|---|
| | | 07.26 | 08.22 | |
| 총대장균군 | 개/100mL | 불검출 | 불검출 | 불검출 |
| 냄새 | - | 없음 | 없음 | 없음 |
| 맛 | - | 없음 | 없음 | 없음 |
| pH | - | 5.0 | 7.1 | 5.8~8.5 |
| 색도 | 도 | 불검출 | 1 | 5 |
| 질산성질소 | mg/L | 불검출 | 불검출 | 1 |
| 암모니아성질소 | mg/L | 불검출 | 0.06 | 0.5 |
| 탁도 | NTU | 0.02이하 | 0.04 | 0.5 |

# 6. 자연 유기물 거동 특성 평가

## 가. 자연 유기물 거동 특성 평가 및 필요성

용수 생산에 필요한 원수를 하천수 등의 지표수를 사용하였을 경우 NOM (natural organic matter)의 농도가 지하수에 비해 높아 여러 문제를 일으킬 수 있다. NOM은 자연에 의한 부패, 생물, 미생물 분해과정에 의해 생성된 다양한 유기물질로 그 종류를 Allochthonous NOM(부패 NOM), Autichthonous NOM(미생물 부산물 NOM), Effluent Organic Matter(하수 NOM)으로 분류할 수 있다. 부패 NOM은 주로 토양 등에서 부패한 물질로 휴믹산이 대표적이다. 미생물 부산물 NOM은 조류부산물, 박테리아 부산물 등이 있고, 하수 NOM은 하수처리장 방류수를 포함한 유기물질이다.




**<그림 3-23> EEM 데이터 피크 위치에 따른 성상**

NOM은 낙엽 등의 부식을 통해 자연적으로 형성되어 하천수로 유입되며, 한강 수계 중 팔당댐의 경우 2017년 연 평균 TOC는 2.2mg/L로 검출되었다 NOM을 포함하는 DOM은 막 파울링 문제를 야기해 본 장치에서 음용수 생산에 사용하는 RO막의 수명을 줄이는 피해를 줄 수 있다. 또한 염소와의 접촉 시 트리할로메탄과 같은 소독부산물을 형성함으로써, 음용수 공급에 제한을 줄 수 있다. 대규모 정수장에서는 다량의 유기물 존재 시 활성탄 흡착 등을 통해 소독부산물 공급을 최소화할 수 있는 조작이 가능하지만, 재난 시 사용되는 이동형 물생산 시스템에서는 이러한 조작이 용이하지 않을 수 있으므로, 처리 공정 내에서의 DOM 거동을 면밀히 파악할 필요가 있다.

EEM 데이터의 피크 위치에 따라 유기물의 성상을 대략 구분할 수 있다. Ex 250 nm이상 Em 380 nm이상에서는 휴믹산 계열의 물질로 구분되고 Ex 200~250 nm, Em 300 nm 이상에서는 풀빅산 계열의 물질로 구분된다. 이 외에도 Ex 200~250 nm, Em 280~330 nm와 Ex 200~250 nm, Em 330~380 nm 방향성 단백질 성분으로 구분된다.

EEM 데이터에서 특정Em과 Ex를 가지는 값들의 비율에 따라 DOM의 특성을 나타내는 여러

인덱스가 있다. 그 중 FI(Fluorescence index, Ratio of (Em 450nm Ex 370nm), (Em 500nm Ex 370nm))는 FI값이 높을수록 미생물 부산물 NOM으로 조류부산물박테리아 부산물을 의미하고 FI값이 낮을수록 부패 NOM으로 토양 등에서 부패한 휴믹산을 의미한다. HIX(Humification index, Rario of (Em 435-480 nm, Ex 254nm), (Em 300-345nm, Ex 255nm))는 값이 높을수록 DOM이 휴믹화 되고 복잡한 구조를 갖는다. BIX(Biological index, Ratio of (Em 380nm Ex 310nm), (Em 430nm, Ex 310nm))는 BIX >1인 경우 생물에서 나온 물질로 구분하고 BIX <1인 경우 DOM의 생물기원 물질이 적음을 의미한다.

## 나. 처리공정별 NOM 특성

### (1) EEM 그래프

| | | |
|---|---|---|
| (a) 원수 | (b) 전처리 | (c) 1차 처리 |
| (d) 2차 처리 | (e) RO처리 | (f) 농축수 |

**<그림 3-24> 하천수 공정별 EEM 그래프**

| | | |
|---|---|---|
| (g) UV 처리수 | (h) 염소 처리 | |

**<그림 3-24> 하천수 공정별 EEM 그래프(계속)**

공정별 EEM 그래프를 보면 원수, 전처리, 1차 처리, 2차 처리의 피크는 Ex230/Em430에 위치한다. 이는 원수의 DOM 특성이 풀빅산 계열이며 2차 처리까지의 처리과정을 거치며

피크의 위치의 변화가 미비해 비슷한 성상을 유지한다. DOM은 용존성 유기물질로 2차 처리까지의 처리는 용존성 물질에 대한 제거 성능이 약해 눈에 띄는 변화가 나타나지 않는 것으로 판단된다. 3차 처리(RO)수의 피크 위치는 Ex210/Em290으로 파크의 위치가 변하였다. RO 처리 수 피크의 위치는 방향성 단백질의 특징을 갖는다. 이는 미생물 부산물 NOM(조류부산물, 박테리아 부산물)의 크기가 부패 NOM(휴믹산, 풀빅산)에 비해 작아 큰 크기의 풀빅산 물질이 제거되고 일부 있던 미생물 부산물 NOM의 특징을 가지게 된 것으로 판단된다. 농축수는 제거된 풀빅산이 모여, 원수와 같은 Ex230/Em430에서 피크를 갖는다.

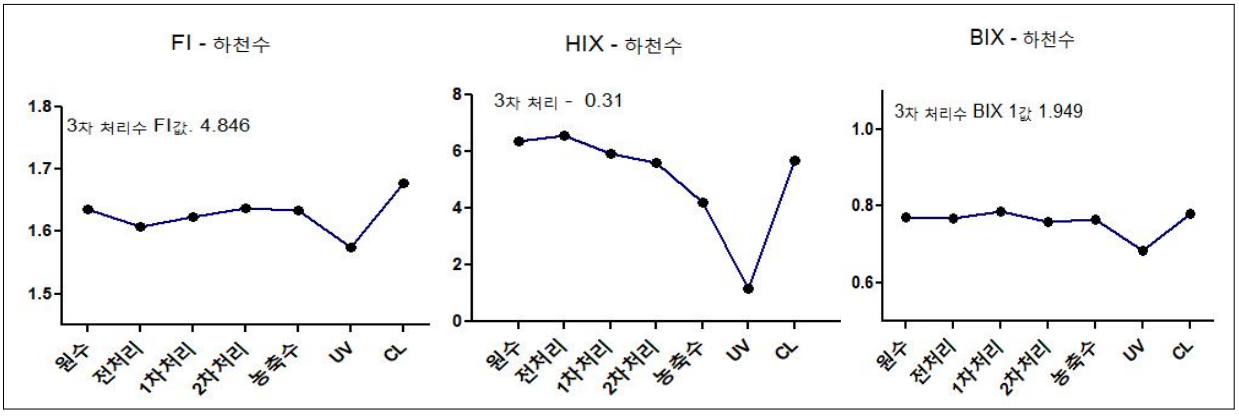
(2) NOM INDEX

다음의 그림에 처리 공정별 인덱스 값의 변화를 표현하였다. 3차 처리수는 그 값이 다른 값에 비해 매우 커 따로 표기하였다. 3개의 인덱스 그래프를 보면 원수, 전처리, 1차 처리, 2차 처리, 농축수의 값은 변화가 미비하고 소독공정과 3차처리에서 유의미한 변화가 나타난다.

FI값은 UV처리 수에서 감소, 염소처리 수에서는 증가, 3차 처리수에서는 매우 크게 증가하였다. 3차 처리에서 대부분의 풀빅산이 제거되어 풀빅산을 포함하는 Allochthonous NOM에서 Autochthonous NOM으로 변했다고 판단할 수 있다. 염소 처리수 역시 염소처리로 인해 풀빅산이 일부 제거되어 FI값이 증가한 것으로 생각된다. UV처리수의 경우 EEM 피크의 위치가 풀빅산에서 방향성 단백질로 변할 정도의 변화가 있었음에도 FI 값이 감소하였다. 일부 데이터 측정에 오류로 FI 값의 변동이 생긴 것으로 판단된다.

HIX값은 1차 처리, 2차 처리, 농축수에서 소폭 감소하고 UV처리 수와 3차 처리 수에서 큰 폭으로 감소한다. HIX값은 휴믹화 정도를 나타내는 지표로 UV처리와 3차 처리에서 휴믹물질의 양이 줄어들었음을 알 수 있다. UV처리는 큰 분자의 풀빅산이 자외선을 받아 쪼개져 휴믹화정도가 감소하였고, 3차 처리는 풀빅산의 크기가 RO막의 공극보다 커 통과를 하지 못해 감소한 것으로 판단된다. 특이하게 농축수에서도 HIX 값이 감소하였는데, 이는 RO막에 풀빅산이 쌓여 농축수로도 배출되지 못한 것으로 판단된다.

BIX값은 3차 처리수의 BIX값만이 1을 넘고 나머지에서는 1보다 낮은 값을 가진다. 이를 통해 하천수 원수의 DOM은 생물기원 물질이 아니며, RO막을 통과할 만큼의 작은 물질은 생물기원 물질임을 확인할 수 있다.




<그림 3-25> 하천수 공정별 EEM 인덱스 그래프

### 다. 종합 평가

하천수 원수의 경우 Ex/Em 230 nm/430 nm 에서 가장 높은 피크를 나타냈으며, 이는 DOM이 FA를 포함함을 나타낸다. 이 피크의 상단에 위치한 Ex/Em 330 nm/430 nm의 피크는 HA를 나타내는 지역으로, 하천수 원수에는 FA가 주로 존재하며 일부 HA가 혼합되어 존재한다고 판단된다. 3단계의 여과공정을 거친 3차처리수의 경우에는 동일한 위치에 피크가 존재하여 일부 DOC의 저감 등은 있을 수 있지만, 유기물의 선택적인 제거 등은 일어나지 않음을 확인할 수 있었다.

역삼투 공정에서는 피크의 위치 변동이 일어난다. 역삼투 공정 생산수의 경우에는 기존에 존재하던 피크는 대부분 사라졌으며, Ex/Em 210 nm/290 nm 구간에 새로운 피크가 발생하였다. 이 부분은 분자량이 작은 단백질, 아미노산 등을 나타내는 구간으로 하천수에 존재하던 고분자 펄빅산 및 휴믹산이 역삼투 공정을 통해 대부분 제거가 되고 일부 저분자 물질만 존재하게 되는 것을 의미한다. 반면에 역삼투 공정 농축수는 높은 DOC를 나타내나, 하천수와 동일한 위치에 피크가 존재함으로써 유기물의 대부분이 농축수에 그대로 존재함을 나타낸다. 위와 같은 결과는 본 연구에서 사용한 처리 공정 중 유기물의 제어는 대부분 역삼투 공정이 담당하며, 따라서 고농도의 유기물이 우려가 되는 하천수를 사용할 경우에는 음용수용으로 역삼투 공정 생산수를 사용하여야 함을 보여준다.

하천수 원수와 3차 처리수의 HIX 값은 각각 0.534와 0.565로 유사하였으나, 역삼투 공정 농축수에서는 0.657로, 약간 증가하였다. 이는 3차처리가지의 공정에서는 DOM의 특성이 유사하나, 역삼투 농축수에서는 휴믹화정도, 숙성도, 그리고 구조적 복잡성이 높은 특성을 가지는 DOM이 그렇지 않은 DOM에 비해 더 많이 제거되었음을 의미할 수 있으나, 모든 시료에서 HIX 값은 매우 낮으므로, 역삼투 공정에서의 DOM 제거능이 DOM 특성에 따라 주목할 정도로 상이하다고 할 수는 없는 것으로 생각된다. 하천수 원수, 3차 처리수, 그리고 역삼투 공정 농축수의 FI와 BIX 값은 각각 1.634-1.637과 0.757-0.771로 유사한 값을 나타내었다. 이는 본 연구의 DOM이 휴믹화 정도가 낮고 비교적 최근에 생성된 유기물이며, 생물학적 반응에 의해 생성된 유기물 함량이 낮음을 의미한다. 또한, 이는 위의 EEM에서 알 수 있는 바와 같이, 3차처리와 역삼투 공정에서도 DOM 특성변화가 적으므로, 3차처리와 역삼투 공정이 DOM 특성에 따른 선택성이 낮음을 의미한다. 그러나 역삼투 공정 처리수의 HIX, FI, 그리고 BIX 값은 각각 4.748, 4.846, 그리고 1.949로, 다른 시료에 비해 높은 값을 나타내었다. 이는 역삼투 공정 처리수가 원수나 3차처리 수에 비해 휴믹화 정도가 더 낮고 생물학적으로 생성된 유기물이 높음을 의미한다. 휴믹화 정도가 낮은 유기물은 일반적으로 분자량이 낮으므로 역삼투 공정에서는 분자량이 낮고 간단한 구조의 유기물이 제거되지 않았음을 의미한다.

## 7. 결론

본 연구에서는 다양한 원수에서의 적용성을 높이는 동시에 생활용수와 음용수 등 다양한 용도의 용수를 생산할 수 있는 모듈형 이동식 물생산 장치를 개발하였고, 그 성능을 평가하였다. 모듈형 이동식 물생산 장치는 모래 여과-활성탄 여과-가압여과의 3단계의 여과를 통하여 생활용수를 생산하고, 역삼투 공정을 통해 음용수를 생산하는 공정으로 구성하였다. 실험실 및 현장 실험에서 생활용수 생산 시스템은 중수도 수질 기준을 대부분 만족하는 수질을 보여주었다. 특히, 탁도, SS와 같은 입자상 물질에 대해서는 80% 이상의 우수한 처리 효율을 보여 주었지만, 유기물, T-N, 색도 등과 같은 용존 물질에 대해 처리에 한계를 나타내었다. 또한 일부 시료의

경우 처리수에서 대장균군이 검출됨으로써 인체 접촉이 가능한 생활용수로써의 적용 시에는 추가적인 소독 공정이 필요하다고 판단되었다.

추가적인 소독 공정으로써 자외선 조사와 염소 주입을 고려하였다. 두 경우 모두 안정적인 소독 효율을 보여 주었지만, 염소 주입의 경우에는 소독 후 붉은 색 계열의 침전물이 형성되었고, 다양한 분석을 통해 망간 산화물로 판명되었다. 또한 공인 인증 기관에서의 분석 결과에서는 자외선 조사가 염소 주입보다 효과적인 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 망간 계열의 침전물이 형성되지 않는 자외선 조사가 적절하다고 판단하였다. 다만, 잔류 염소의 농도가 필수적인 생활용수 및 음용수 수질 기준을 충족하기 위해서는 공정 말단에 잔류 염소 주입을 고려할 수 있을 것으로 사료된다.

안정적인 음용수의 생산을 위하여 역삼투 공정을 추가함으로써 용존 물질에 대한 처리 효율을 증대시켰으며, 음용수 수질 기준을 만족하는 처리수를 생산할 수 있었다. 용존 유기물의 성상 변화를 형광분석 및 이를 통해 얻을 수 있는 HIX, FI, BIX 등의 다양한 지표를 분석하였다. 그 결과 본 연구의 DOM이 휴믹화 정도가 낮고 비교적 최근에 생성된 유기물이며, 생물학적 반응에 의해 생성된 유기물 함량이 낮음을 확인하였다. 또한 역삼투 공정을 통하여 고분자의 휴믹산 등은 대체로 제거되고 휴믹화 정도가 더 낮고 생물학적으로 생성된 유기물 중 일부만 생산수에 존재함을 확인하였다.

역삼투 공정의 운전에서는 역삼투 막에 의하여 걸러진 물질이 모여 있는 농축수가 필연적으로 발생한다. 생성되는 농축수는 회수율에 따라 그 양이 달라지기는 하지만 약 20~40% 내외로써, 그 처분 역시 음용수의 생산 만큼이나 중요하다. 본 연구에서 발생한 농축수의 수질을 확인한 결과, 하수 처리장 방류수 수질 기준에 비하여 훨씬 낮은 오염물질 농도를 나타냄으로써 하천으로의 방류가 충분히 가능할 것으로 예상되었다. 또한 중수도 수질 기준의 하천 유지용수 기준과 비교했을 때에도 대부분 만족하는 수질을 보여, 농축수의 처분에 대한 우려가 없음을 최종 확인하였다.

본 연구에서 개발한 이동식 물생산 시스템은 재난 시 신속히 전개하여 용수를 공급할 수 있음은 물론 도서 및 산간 지역 등 상수도가 보급되지 않은 지역에서도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

# 제3절 수치모의를 통한 물생산시스템 성능 평가

## 1. 연구개발 주요내용

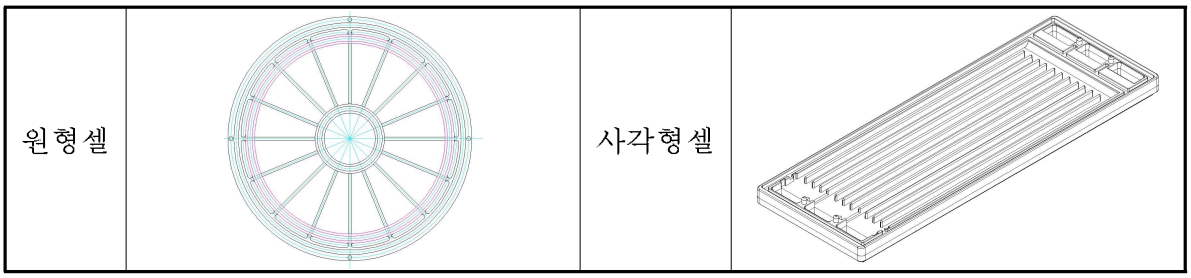
### 가. 연구목적

평상시와 재난시 각종 용수 공급이 가능한 친환경 모듈형 물생산시스템 제품에 대하여 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 프로그램인 ANSYS Fluent 와 CFX 모형을 적용하여 성능 검토 및 설계인자 가이드라인을 제안하고자 한다.

본 연구에서는 "수치모의에 의한 물생산시스템의 알고리즘 개발 및 실용화"를 위해 전처리 시설 및 1, 2차 및 3차 처리 필터 내에서 다양한 여과시스템에 대하여 검토를 수행하여 각각의 필터 성능을 검증하고 연계하여 이에 대한 설계인자들을 도출함으로써 실용화를 위한 가이드라인을 제안하고자 한다.

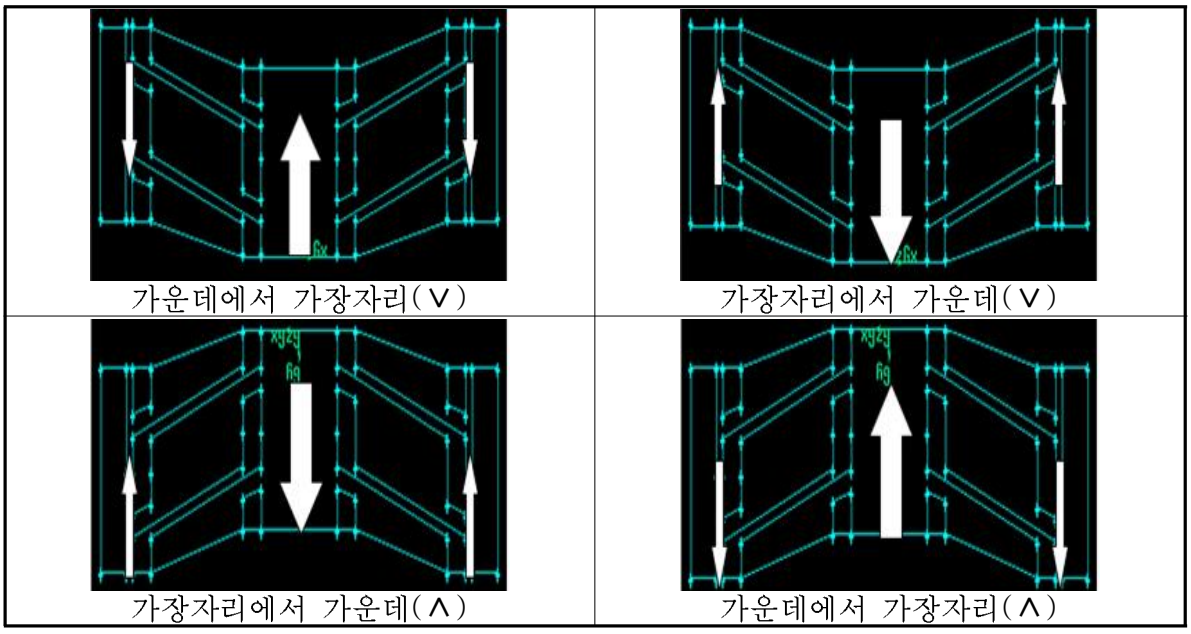
### 나. 연구범위

① 현재 개발된 K-WHEEL F120 기술에 대해 여과장치(여과판)의 형상(원형, 사각형)에 따른 여과망 투과 속도를 검토하여 여과능력 검증



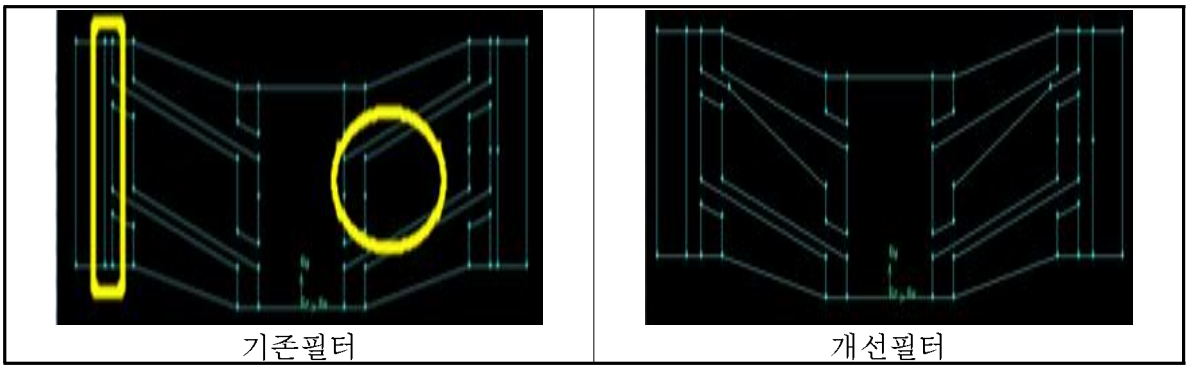

<그림 3-26> 수치모의 셀 구조

② 최적의 여과장치(여과판)의 형상에 대해 여과 필터의 방향을 ∨형과 ∧형으로 하고 물의 흐름을 가운데에서 바깥쪽으로 하는 것과 바깥쪽에서 가운데 방향으로 변환하면서 수치모의를 진행하여 여과 방향을 결정



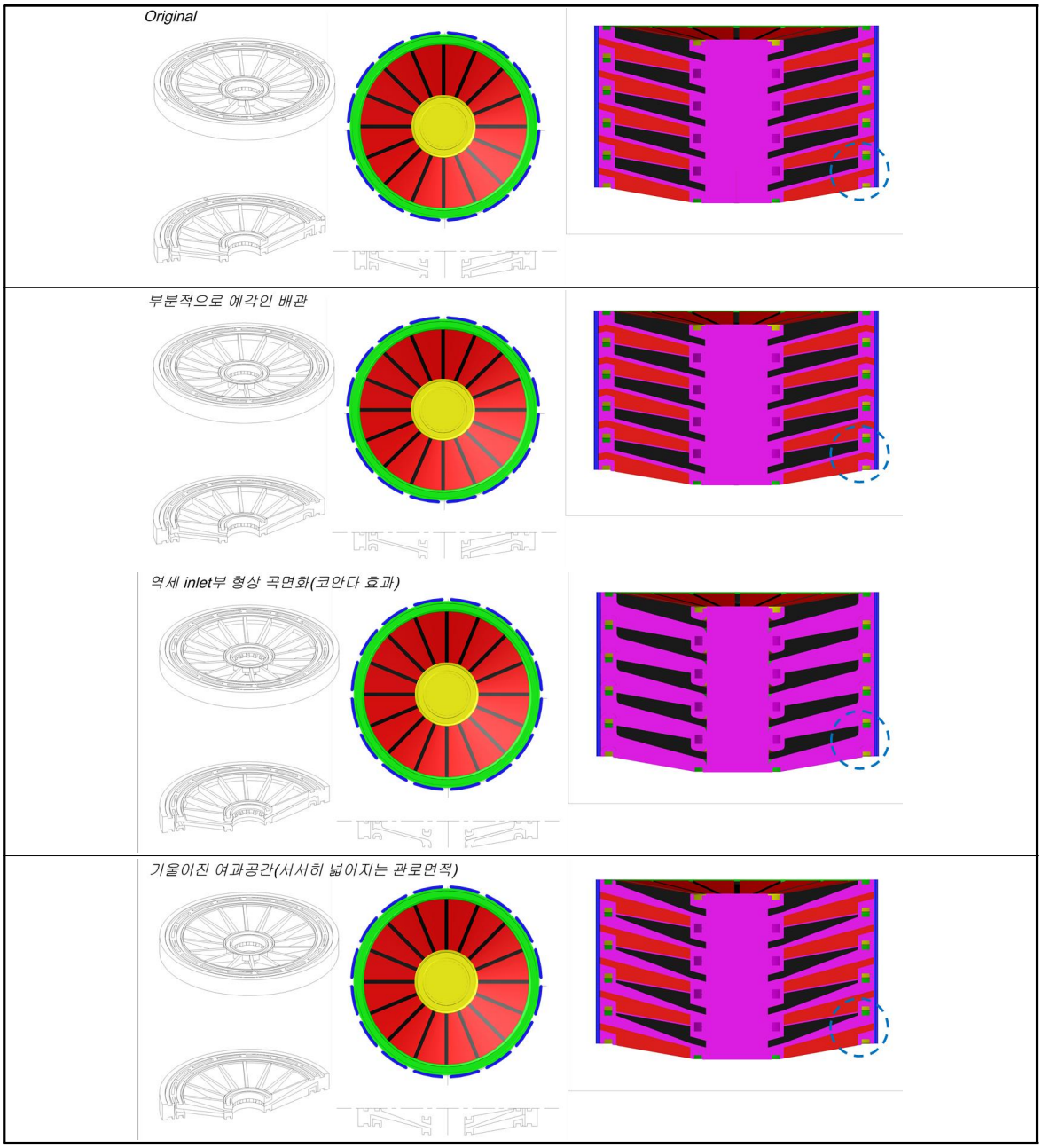

<그림 3-27> 여과 방향별 수치모의 CASE

③ 여과기의 효율성 향상을 위해 필터 구조 개선을 통한 여과능력 검토




<그림 3-28> 여과필터 구조 개선

④ 여과 방향과 연계하여 여과필터 내 흐름공간의 크기 및 각도 조정에 따른 검토를 통해 여과기 내 유동특성 검토

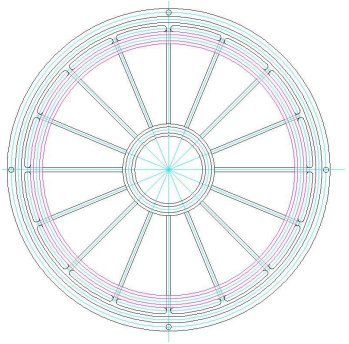
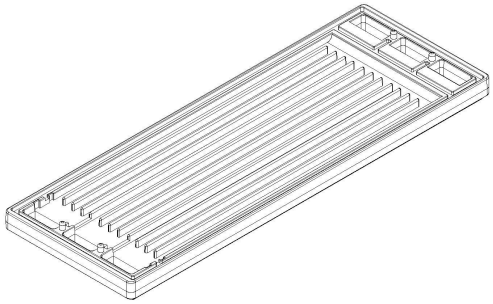



<그림 3-29> 여과필터 흐름공간 크기 및 각도 조정

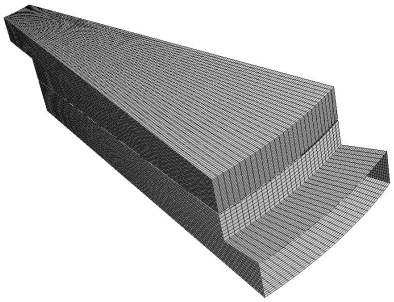
## 다. 검토 결과

### (1) 여과장치 구조 및 형태에 따른 2가지 여과장치 효율 비교 검토

① 여과기 단위셀 개요

| 항 목 | 원 형 셀 | 사 각 형 셀 |
|---|---|---|
| 해 석 공 간 구 조 |  |  |
| 특 징 | • 여과기를 통과하는 유입수가 방사형으로 축대칭인 흐름을 갖도록 한 형태 | • 여과기를 통과하는 유입수가 양쪽 벽면에서만 공기를 분사하는 대칭 측면 폭기 |

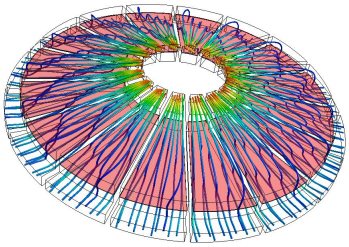
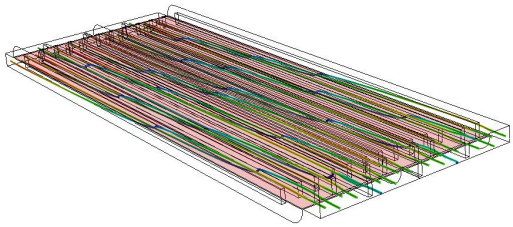
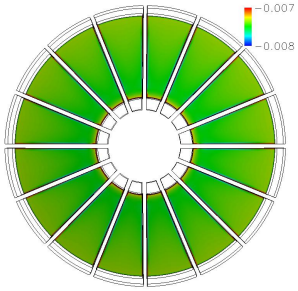
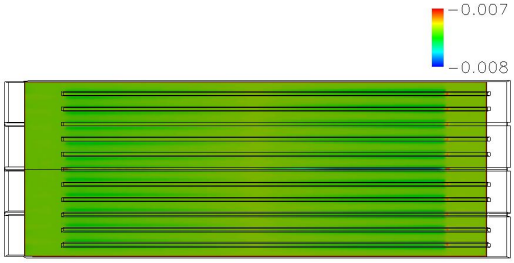
② 수치해석 적용

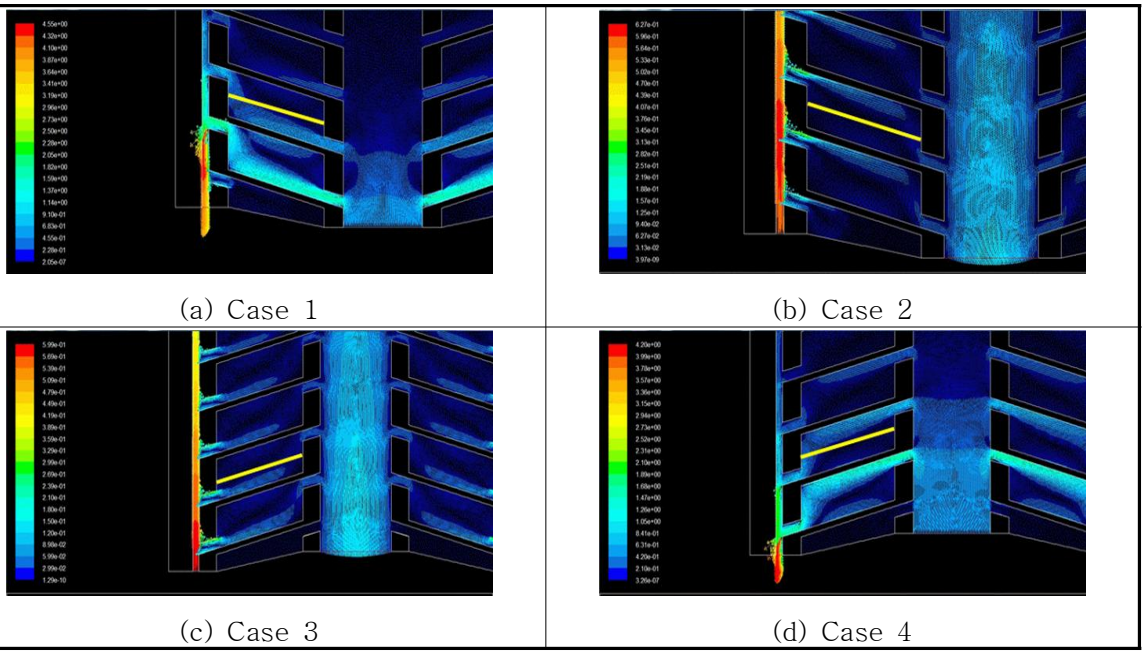
| 항 목 | 원 형 셀 | 사 각 형 셀 |
|---|---|---|
| 계산 격자 |  <br>233,240×16 = 3,731,840 Cells |  <br>377.644×2 = 755,288 Cells |
| 적용 모델 | • 여과포를 모사하기 위한 porous media 모델<br>• k-e 난류 모델 | |

| 가 정 | 계 산 조 건 |
|---|---|
| • 중력효과는 고려하지 않음<br>• 대칭적인 형상으로 유동 대칭 가정<br>• Porous media의 저항특성은 여과기 셀당 4ton/h의 유량이 유하되는 경우 약 0.5bar의 압력이 분포하도록 설정 | • Steady state 계산<br>• 유입면: Mass flow inlet<br>• 토출면: Static pressure outlet (대기압)<br>• 대칭면: 대칭조건 |

③ 수치모의 결과

여과망을 통과하는 유동의 흐름은 두 가지 형태의 여과기 모두 비교적 안정된 것으로 보이나, 방사형으로 유입수를 분배하는 원형 셀의 여과기에 비해 평행 흐름을 유도하는 사각형 셀을 가진 여과기의 여과망 투과 속도 표준편차가 4배가량 크게 나타나고 있어 여과망 이용의 효율성 측면에서 원형 여과기가 더 유리한 것으로 판단된다.

| | 원 형 셀 | 사 각 형 셀 |
|---|---|---|
| 유 선 분 포 |  |  |
| 여과망 수 직 속 도 분 포 |  |  |
| 해 석 | • 여과망 수직 유속 : 평균 0.0074m/s<br>• 속도 표준편차 : 0.00028m/s | • 여과망 수직 유속 : 평균 0.0077m/s<br>• 속도 표준편차 : 0.0011m/s |



(a) Case 1 (b) Case 2

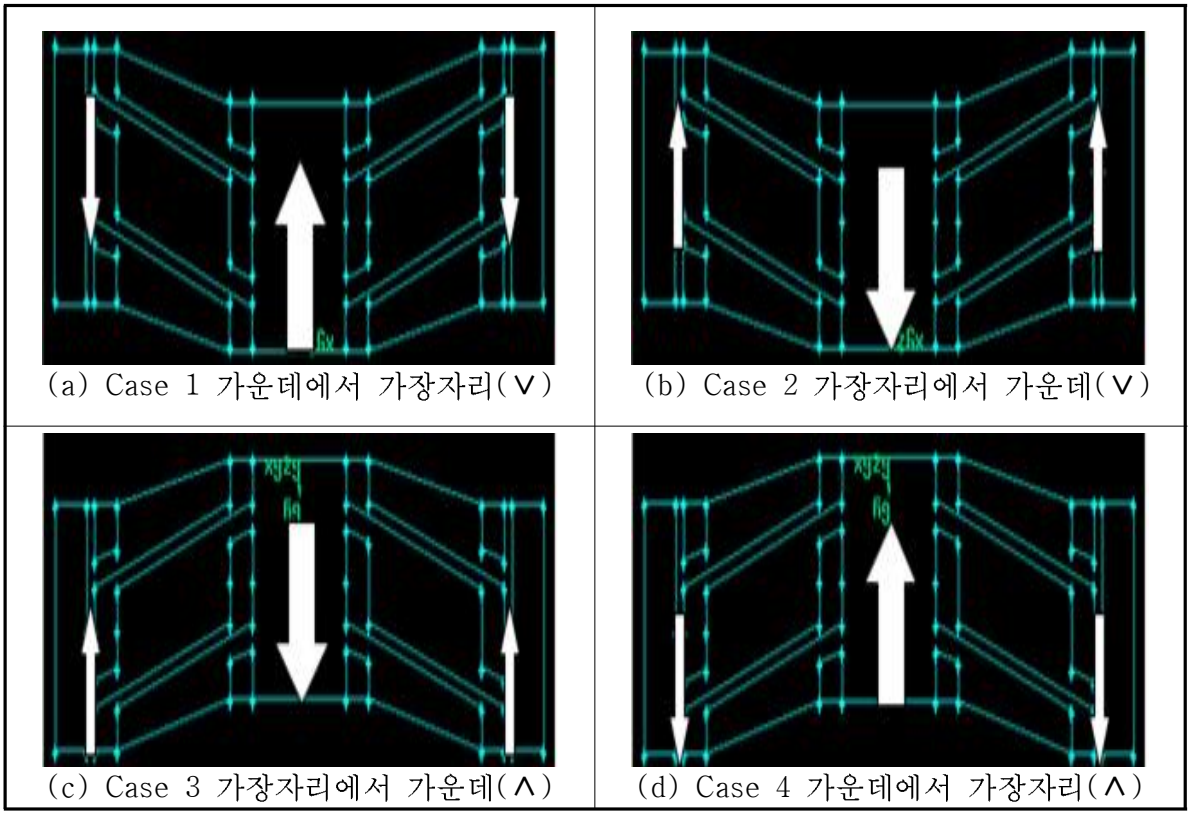
(c) Case 3 (d) Case 4

**<그림 3-30> 유속벡터**

(2) 여과필터의 방향 및 물의 흐름에 따른 여과기 내 유동특성 검토

여과필터의 방향 및 물의 흐름에 따른 여과기 내 유동 흐름을 파악하기 위하여 Fluent 6.2.16 버전을 이용하여 전산유체역학 해석을 수행하였다. 해석은 축대칭 가정하에 다음의 그림과 같이 2차원 구조를 고려하였다. 본 해석은 그림에 표시된 입출구에 대해, 입구에서는 유량기준 4000 g/s로 가정하여 0.576 m/s 속도경계조건을, 출구에는 일정압력 (P=1.0 atm) 조건을 고려하였다. 격자는 삼각형 구조를 기본으로 구성하였다.

본 계산은 기본적으로 여과기 내 유체 흐름이 난류일 거라는 가정하에 $k-\epsilon$ 모델을 이용하여 계산을 수행하였다. $k-\epsilon$ 모델은 벽 근처 난류 유동을 정확히 모사하지 않고 근사화해서 나타내는 관계로, 벽 경계조건 모델이 필요하다. 본 연구에서는 표에서 볼 수 있듯이 standard wall functions를 적용하였다. 기타 시간 차분법과 공간 차분법 등 다른 정보들을 요약하면 다음의 표와 같다.



(a) Case 1 가운데에서 가장자리(∨)　(b) Case 2 가장자리에서 가운데(∨)

(c) Case 3 가장자리에서 가운데(∧)　(d) Case 4 가운데에서 가장자리(∧)

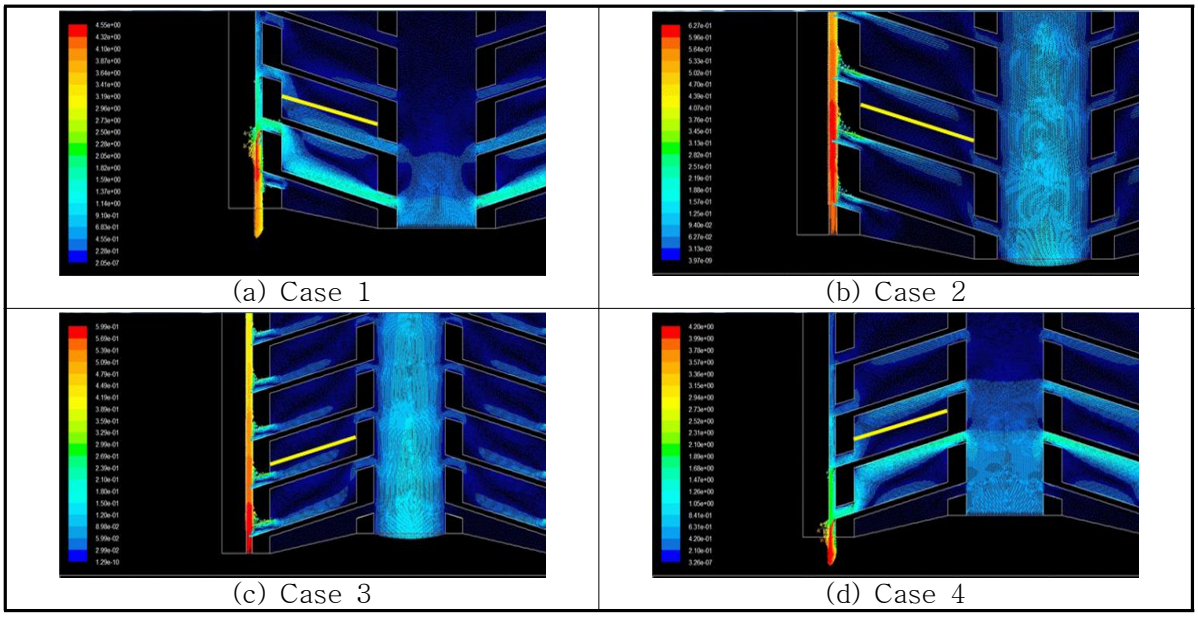
**<그림 3-31> 여과 방향별 수치모의 Case**

**<표 3-14> 사용한 계산 모델 및 수치알고리즘**

| Fluent 6.2.16 (2d 계산 수행) | | | |
|---|---|---|---|
| Solver | | segregated | |
| 난류 모델 | | $k-\epsilon$ 모델 (+standard wall functions) | |
| 시간 차분 | implicit | 공간차분 | first-order upwind |

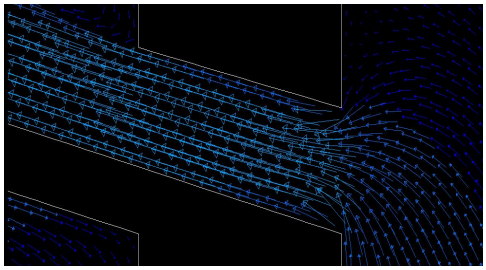
② 수치해석 결과

여과 방향별 수치모의 Case의 유동해석 결과는 다음의 그림과 같다. 노란색 선은 실제 여과가 진행되는 필터를 나타낸 것이다. 입구에서 출구로 가는 사이에 필터에 물이 균등하게 통과할수록 여과 효율이 좋다고 볼 수 있다. Case 1은 실험 결과의 효율이 가장 좋은 Case로 비교적 필터를 안정적으로 통과한다. Case 2의 경우는 좁은 유로로 물이 흐르기 때문에 입구에서 나가는 유속은 증가되고 유입되는 유량이 작아 필터 내부로 유입되는 유속이 급격히 떨어지므로 여과 효과가 뛰어나지 않다. 반면 출구로 빠져나가는 유속은 빠르다. Case 3의 경우 들어가는 유속에 비해 필터 위치에 해당하는 부분에서의 유속이 급격히 떨어져 제대로 필터를 통과하기 힘든 것으로 보인다. 출구로 나오는 흐름이 구조 특성상 다시 여과 공간 내에 존재하는 유동과 충돌하게 되어 여과 효과가 낮게 된다고 생각된다. Case 4에서 유동방향은 Case 1과 흡사하고, 전체적인 결과도 Case 1과 유사하게 나왔다. 현재 계산은 모든 경우 4000 g/s로 유량을 조정한 반면, 실험은 Case 1과 Case 4에서 2배의 유량 차이를 가진다. 따라서 계산과 실험의 직접적인 비교는 어려울 것으로 보인다. 향후 유량에 따른 이런 계산 결과는 성능에 대한 연구가 이루어져야 하는 것을 보여준다고 할 수 있다.




**<그림 3-32> 유속벡터**

유량 방향과 전체적인 흐름이 유사한 Case 1과 Case 4에 대하여 상세검토를 수행하였다. Case 1의 경우 유동이 관을 꽉 차서 흐르지만 Case 4의 경우는 아랫부분의 유동이 관 아래 부분에 충분히 여과수가 채워져 흐르지 않는다. 따라서 여과 방향의 구조는 Case 1이 더 효율적인 유동이 될 것으로 보인다.

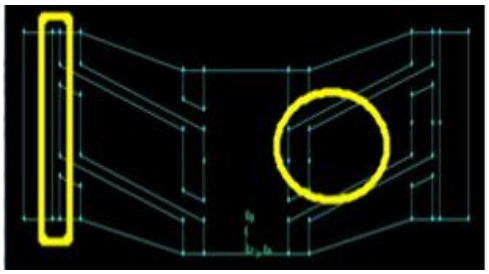




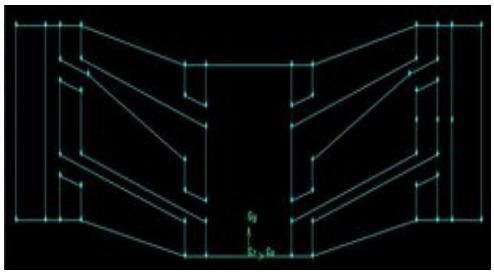
**<그림 3-33> Case 1의 유로 확대 <그림 3-34> Case 4의 유로 확대**

(3) 여과필터 구조 개선안에 대한 여과능력 검토

여과가 효율적으로 되기 위해 현재 필터 구조보다 더 나은 방향의 모양을 개선해 보았다. 기존 수치해석 결과와 같이 개선 구조를 그려서 시뮬레이션으로 계산했다. 다음의 그림과 같이 출구의 유로를 8 mm에서 16 mm로 넓히고 여과공간을 유체의 흐름과 흡사하게 만들었다. 아래 노란선으로 표시한 부분을 개선하였다. 시뮬레이션 계산의 용이성을 위해 필터 두 층만을 이어 부분적으로 수치모의 하였다.

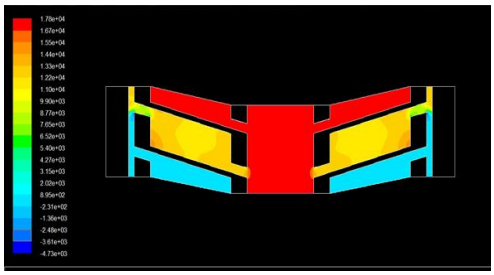


<그림 3-35> 기존 필터 구조

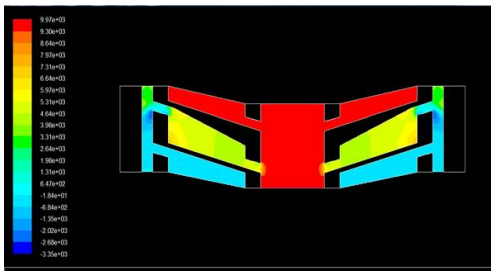


<그림 3-36> 개선 필터 구조

유량은 이전과 마찬가지로 4000 g/s를 기준으로 가정하여 입구에 유속을 0.576m/s로 주고 출구는 대기압으로 하였다. 다음의 그림은 기존 필터와 개선 필터의 압력 분포를 나타낸 것이다. 실제적으로 여과가 이루어지는 공간은 그림에서 주황색 부분으로 기존 필터에서는 비교적 높은 압력이 걸린다. 하지만 개선된 디자인에서는 확실히 압력이 낮아졌다는 것을 알 수 있다.



<그림 3-37> 기존 필터 압력 분포

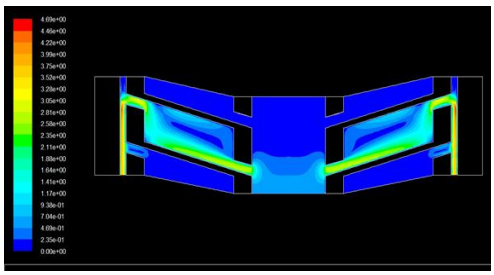
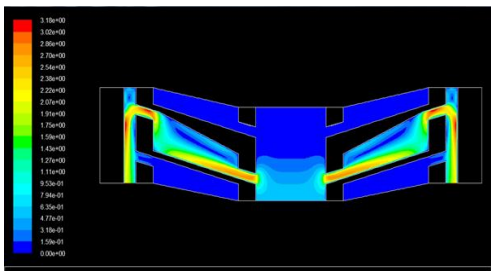


<그림 3-38> 개선 필터 압력 분포

다음의 표에 따르면 출구의 압력은 크게 달라지지 않으나 입구의 압력은 무려 절반 가까이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 입출구의 압력차는 약 44 % 줄어든다. 출구 유로의 갭사이즈를 2배 증가시키면 압력강하가 $\left(\frac{1}{2}\right)^{1.75}$ 즉, 약 29.7 %가 감소한다고 이론적으로 예측하였지만 출구의 갭사이즈 뿐만 아니라 여과공간의 구조가 고려되어 44 % 정도가 줄어든 것으로 보인다. 필터 내의 압력강하가 크게 줄어듬으로서 필터 내부의 내구성이 더 좋아질 것으로 보이며 펌프의 전력 사용량을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

<표 3-15> 기존 필터와 개선 필터의 압력 비교

| 구분 | 입구압력(pascal) | 출구압력(pascal) | 입출구압력차 |
|---|---|---|---|
| 기존 필터 | 17,800 | 894 | 16,906 |
| 개선 필터 | 9,970 | 647 | 9,323 |

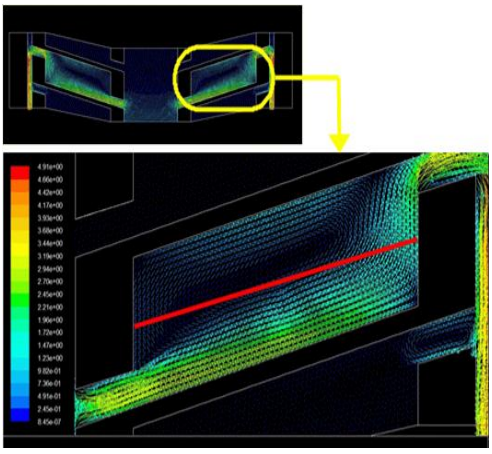
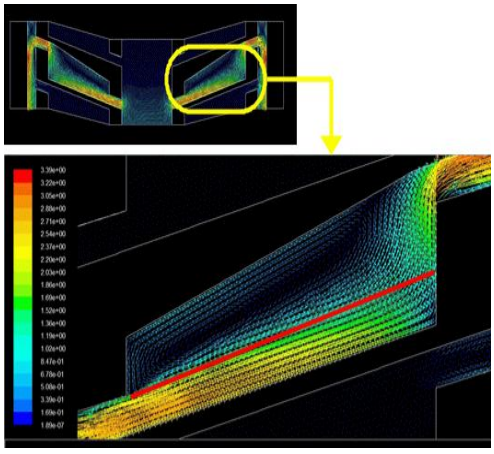



<그림 3-39> 기존 필터 유속 분포 <그림 3-40> 개선 필터 유속 분포

입구에 같은 속도를 주었을 때, 출구의 유속은 기존 필터에서 3.5 m/s, 개선 필터에서 1.75 m/s로 앞의 장에서 예상했다시피 속도가 절반으로 줄어들었다. 다음의 그림은 확대된 유동장 결과이다.

빨간선은 여과가 이루어지는 실제 필터의 위치를 나타낸다. 빨간 선을 잘 통과할수록 여과 효과가 좋다고 볼 수 있다. 기존 필터는 그림에서 볼 수 있듯이 필터를 통과하기 전의 유동이 출구 방향으로 충분히 흘러가는 모습이 보이지 않는다. 또한, 여과공간의 유체 절반 이상이 여과공간 안에서 도는 것을 볼 수 있다.

개선 필터의 경우 기존 필터에 비해 상당 부분의 유체가 필터를 통과하고 여과공간의 구조 특성상 물의 흐름의 방향과 흡사하여 상당 부분이 출구로 빠져나가는 모습을 볼 수 있다. 시뮬레이션을 통해 화학적 반응에 의한 여과 효과는 예측하기 어렵지만, 필터 내부 유동을 분석하여 조금 더 안정적이고 필터 내에 무리를 주지 않는 선에서 여과가 가능한 설계를 고려할 수 있다.

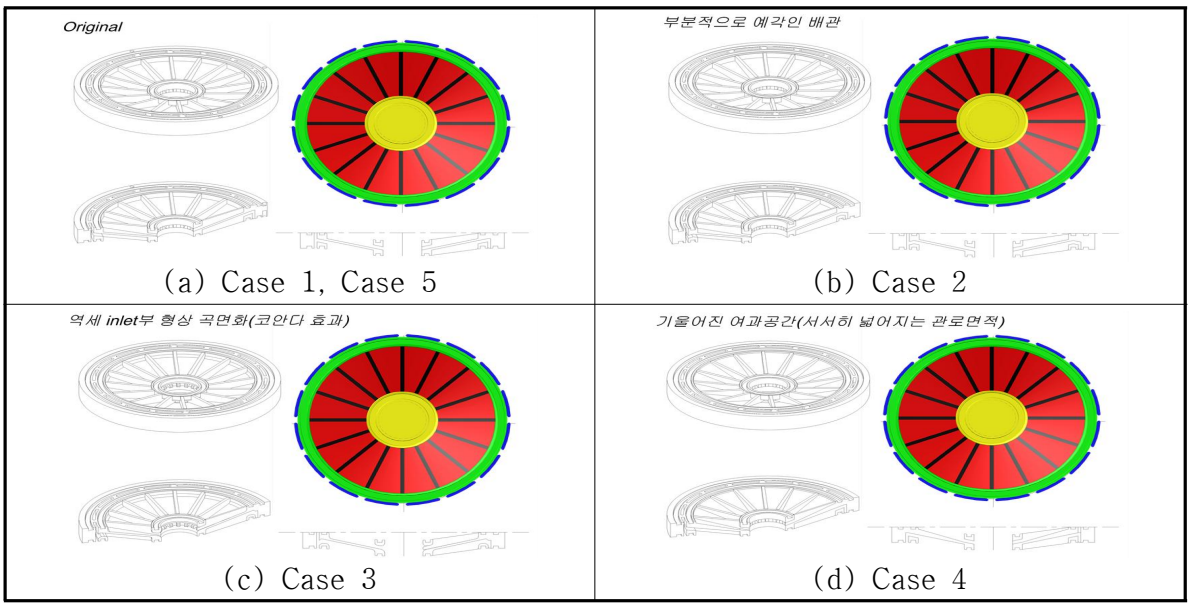
<그림 3-41> 기존 필터 유속 벡터 확대 <그림 3-42> 개선 필터 유속 벡터 확대

(4) 여과필터 내 흐름공간의 크기 및 각도 조정에 따른 여과기 내 유동특성 검토

① 수치해석 내용

여과 방향과 연계하여 여과필터 내 흐름공간의 크기 및 각도 조정에 따른 검토를 통해 여과기 내 유동특성 CFX 모형을 적용하여 검토하였다. 기존 검토와 달리 실제 여과기를 정확히 재현하기 위해 3D 모형으로 구성하였으며, CFX 모형의 다공성(Porous) 기법을 적용하여 여과필터의 두께를 2.0 mm, 공극율을 25 %로 가정하고 여과판 내부의 각도, 여과 방향, 격벽의 형태에 따라 4가지 Case로 구분하여 수치모의를 진행하였다. 입구 경계는 실제 가압필터 여과정수 시스템에서 목표 취수량으로 계획된 6 ㎥/hr

에 대해 여과판의 개수 및 유입면적을 계산하여 0.235 m/s의 속도 경계조건을, 출구 경계는 대기압(P=1.0 atm) 조건을 적용 하였으며, 격자 구성시 여과판은 3.0 mm, 여과필터는 1.0 mm의 크기로 구성하여 흐름장을 최대한 반영할 수 있도록 하였다.




(a) Case 1, Case 5 (b) Case 2

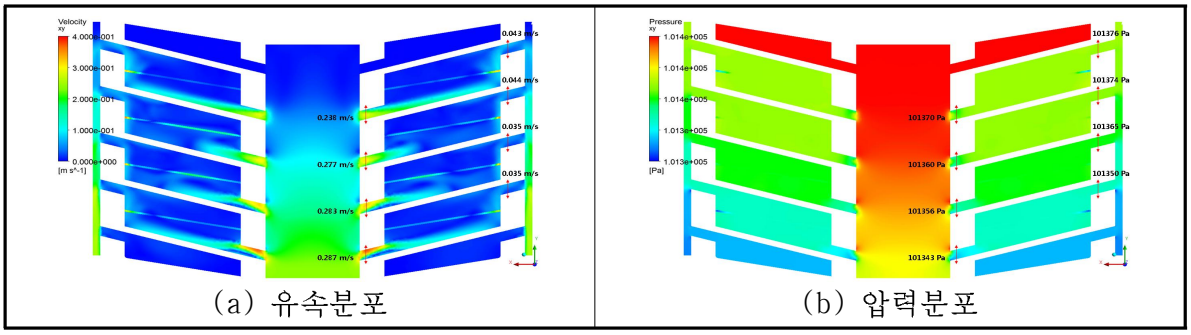
(c) Case 3 (d) Case 4

<그림 3-43> 수치모의 Cases

② 수치해석 결과

금회 수치해석에 적용된 4가지 여과기의 구조에 대해 유속 및 압력, 유출부 유량, 각 구조별 유입부 및 유출부 형상에 따른 유속벡터를 비교 검토 하였다.

Case 1은 현재 상용화된 K-WHEEL F120 여과기 구조에 대한 수치모의를 진행하였다. 유속 및 압력분포 결과는 다음의 그림과 같다. 각 층의 유입부에서 0.238 m/s ~ 0.287 m/s, 유출부에서 0.035 m/s ~ 0.044 m/s의 유속분포를 보이고 있다. 유입부와 유출부의 유속차는 최대 약 8배 차이가 발생되었으며, 여과필터에 의한 흐름 단절로 인해 여과필터 상·하부에 와류가 발생하는 것으로 검토 되었다. 2.0 mm두께의 여과필터 통과 유속 검토 결과 0.015 m/s ~ 0.330 m/s의 분포를 보이며, 압력분포 검토 결과, 유입부에서 101,343 Pa ~ 101,370 Pa, 유출부에서 101,350 Pa ~ 101,376 Pa의 분포를 보이고 있다. 유출부 유량 검토 결과, 각 유출부에서 0.103 kg/s ~ 0.104 kg/s가 유출되며, 표준편차는 0.0002로 검토되었다.




(a) 유속분포 (b) 압력분포

<그림 3-44> Case 1에 대한 수치해석 결과

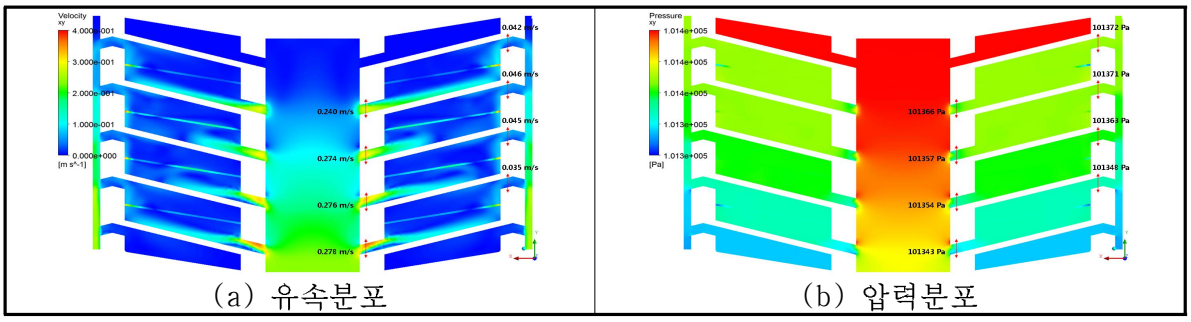
<표 3-16> 여과필터 통과 유속(m/s)

| P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.073 | 0.062 | 0.067 | 0.078 | 0.121 | 0.155 | 0.167 | 0.165 | 0.144 | 0.107 | 0.063 |
| P12 | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 | P18 | P19 | P20 | P21 | 표준편차 |
| 0.021 | 0.015 | 0.036 | 0.049 | 0.059 | 0.062 | 0.056 | 0.045 | 0.165 | 0.330 | 0.0705 |

<표 3-17> 유출부 유량(kg/s)

| Outlet1 | Outlet2 | Outlet3 | Outlet4 | Outlet5 | Outlet6 | Outlet7 | Outlet8 | Outlet9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.103 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 |
| Outlet10 | Outlet11 | Outlet12 | Outlet13 | Outlet14 | Outlet15 | Outlet16 | 합계 | 표준편차 |
| 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 1.661 | 0.0002 |

Case 2는 직선구조로 설계된 기존 여과기 유출부를 예각으로 변경 후 수치모의를 수행하였다. 유속 및 압력분포 검토 결과는 다음의 그림과 같다. 각 층의 유입부에서 0.240 m/s ~ 0.278 m/s, 유출부에서 0.035 m/s ~ 0.042 m/s의 유속분포를 보이고 있다. 유입부와 유출부의 유속차는 최대 약 8배 차이가 나는 것으로 검토 되었으며 여과필터에 의한 흐름 단절로 인해 여과필터 상·하부에 와류가 발생하는 것으로 검토 되었다. 2.0 mm두께의 여과필터 통과유속 검토 결과 0.015 m/s ~ 0.290 m/s의 분포를 보이며, 압력 검토 결과, 유입부에서 101,343 Pa ~ 101,366 Pa, 유출부에서 101,348 Pa ~ 101,372 Pa의 분포를 보이고 있다. 유출부 유량 검토 결과, 각 유출부에서 0.103 kg/s ~ 0.104 kg/s가 유출되며, 표준편차는 0.0002로 검토되었다.




(a) 유속분포 (b) 압력분포

<그림 3-45> Case 2에 대한 수치해석 결과

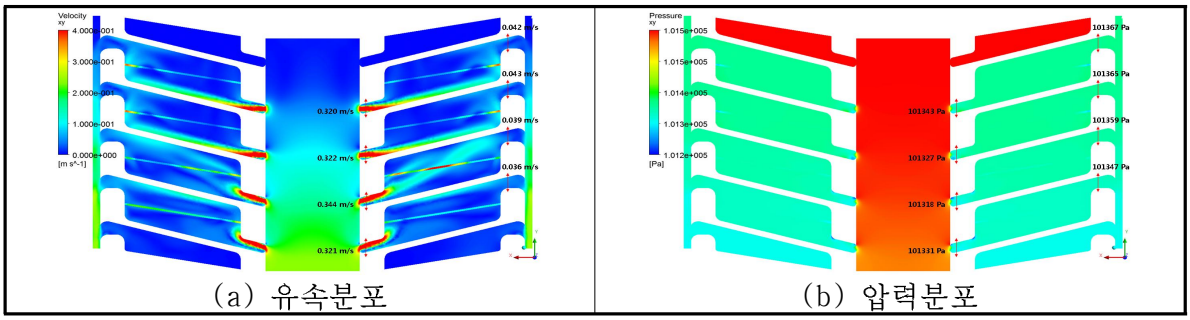
<표 3-18> 여과필터 통과 유속(m/s)

| P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.063 | 0.058 | 0.057 | 0.071 | 0.083 | 0.085 | 0.082 | 0.083 | 0.090 | 0.120 | 0.151 |
| P12 | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 | P18 | P19 | P20 | P21 | 표준편차 |
| 0.162 | 0.155 | 0.124 | 0.072 | 0.021 | 0.015 | 0.028 | 0.09 | 0.201 | 0.290 | 0.0630 |

<표 3-19> 유출부 유량(kg/s)

| Outlet1 | Outlet2 | Outlet3 | Outlet4 | Outlet5 | Outlet6 | Outlet7 | Outlet8 | Outlet9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 |
| Outlet10 | Outlet11 | Outlet12 | Outlet13 | Outlet14 | Outlet15 | Outlet16 | 합계 | 표준편차 |
| 0.104 | 0.104 | 0.103 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 1.661 | 0.0002 |

Case 3은 코안다 효과를 고려하여 설계된 여과기에 대해 수치모의를 진행하였다. 유속 및 압력분포 검토 결과는 다음의 그림과 같다. 각 층의 유입부에서 0.320 m/s ~ 0.344 m/s, 유출부에서 0.033 m/s ~ 0.043 m/s의 유속분포를 보이고 있다. 다른 조건에 비해 유입부 유속이 크게 발생하고 있으며, 이는 유입 단면적이 좁아진 결과라 판단된다. 유입부와 유출부의 유속차는 최대 약 9배 차이가 나는 것으로 검토 되었다. 2.0 mm두께의 여과필터 통과유속 검토 결과, 필터 중앙에서 상대적으로 유속이 크게 발생하며 0.090 m/s ~ 0.482 m/s의 분포를 보이고 있다. 압력분포 검토 결과, 유입부에서 101,318 Pa ~ 101,343 Pa, 유출부에서 101,347 Pa ~ 101,367 Pa의 분포를 보이고 있다. 유출부 유량 검토 결과, 각 유출부에서 0.102 kg/s ~ 0.103 kg/s가 유출되며, 표준편차는 0.0007로 검토되었다.



(a) 유속분포 (b) 압력분포

**<그림 3-46> Case 3에 대한 수치해석 결과**

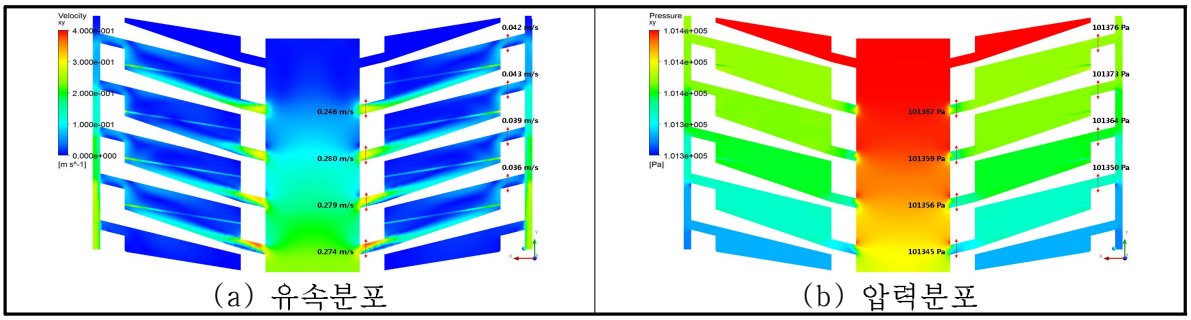
**<표 3-20> 여과필터 통과 유속(m/s)**

| P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.127 | 0.254 | 0.353 | 0.298 | 0.211 | 0.192 | 0.242 | 0.343 | 0.439 | 0.482 | 0.455 |
| P12 | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 | P18 | P19 | P20 | P21 | 표준편차 |
| 0.387 | 0.318 | 0.273 | 0.214 | 0.117 | 0.090 | 0.090 | 0.098 | 0.159 | 0.174 | 0.1205 |

**<표 3-21> 유출부 유량(kg/s)**

| Outlet1 | Outlet2 | Outlet3 | Outlet4 | Outlet5 | Outlet6 | Outlet7 | Outlet8 | Outlet9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.103 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 |
| Outlet10 | Outlet11 | Outlet12 | Outlet13 | Outlet14 | Outlet15 | Outlet16 | 합계 | 표준편차 |
| 0.102 | 0.106 | 0.104 | 0.104 | 0.105 | 0.103 | 0.103 | 1.661 | 0.0007 |

Case 4는 기울어지게 설계된 여과공간에 대해 수치모의를 진행하였다. 유속 및 압력분포 검토 결과는 다음의 그림과 같다. 각 층의 유입부에서 0.246 m/s ~ 0.280 m/s, 유출부에서 0.036 m/s ~ 0.043 m/s의 유속분포를 보이고 있다. 유입부와 유출부의 유속차는 최대 약 8배 차이가 나는 것으로 검토 되었으며, 다른 Case에 비해 여과필터 하부의 와류는 감소하는 것으로 나타났으나, 여과필터 상부의 와류는 발생하는 것으로 검토 되었다. 2.0 mm두께의 여과필터 통과유속 검토 결과 0.031 m/s ~ 0.247 m/s의 분포를 보이며, 압력분포 검토 결과, 유입부에서 101,345 Pa ~ 101,367 Pa, 유출부에서 101,350 Pa ~ 101,376 Pa의 분포를 보이고 있다. 유출부 유량 검토 결과, 각 유출부에서 모두 0.104 kg/s가 고르게 유출되며, 표준편차는 0.0001로 검토되었다.




(a) 유속분포 (b) 압력분포

<그림 3-47> Case 4에 대한 수치해석 결과

<표 3-22> 여과필터 통과 유속(m/s)

| P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.046 | 0.049 | 0.049 | 0.052 | 0.057 | 0.063 | 0.070 | 0.077 | 0.077 | 0.065 | 0.049 |
| P12 | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 | P18 | P19 | P20 | P21 | 표준편차 |
| 0.031 | 0.033 | 0.055 | 0.080 | 0.106 | 0.129 | 0.162 | 0.217 | 0.217 | 0.247 | 0.0629 |

<표 3-23> 유출부 유량(kg/s)

| Outlet1 | Outlet2 | Outlet3 | Outlet4 | Outlet5 | Outlet6 | Outlet7 | Outlet8 | Outlet9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 |
| Outlet10 | Outlet11 | Outlet12 | Outlet13 | Outlet14 | Outlet15 | Outlet16 | 합계 | 표준편차 |
| 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 0.104 | 1.661 | 0.0001 |

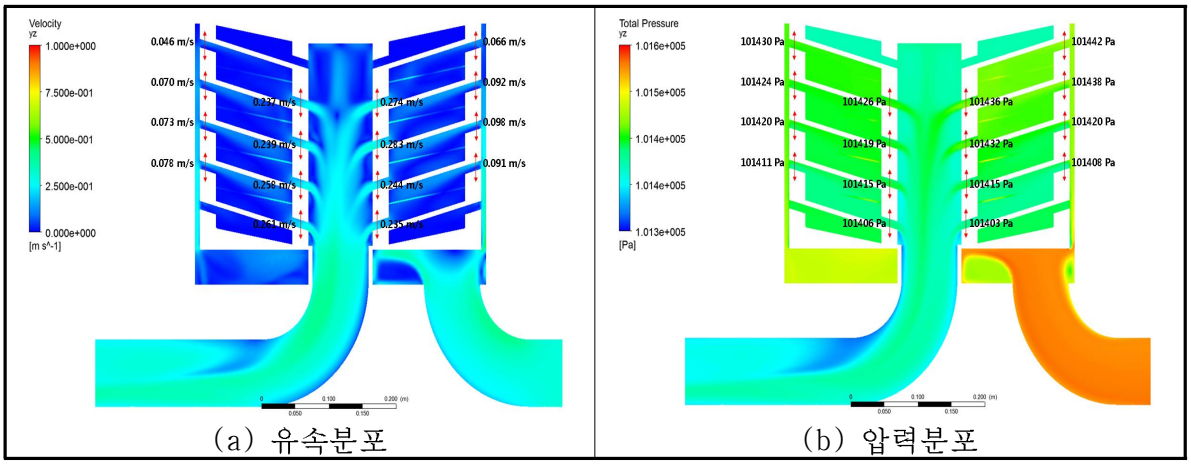
(5) 여과필터 내 흐름공간의 크기 및 각도 조정에 따른 역세척시 여과기 내 유동특성 검토

앞에서 수행한 여과필터 내 흐름공간의 크기 및 각도 조정에 따른 역세척시 여과기 내 유동특성에 대해 CFX 모형을 적용하여 검토하였다.

실제 여과기를 정확히 재현하기 위해 3D 모형으로 구성하였으며, 경계조건의 단순화를 위해 유입, 유출부를 연장하여 모형을 구성하였다. 기타 경계조건은 CFX 모형의 다공성(Porous)기법을 적용하여 여과필터의 두께를 2.0 mm, 공극율을 25 %로 가정하고 여과판 내부의 각도에 따라 4가지 Case로 구분하여 수치모의를 진행하였다. 입구 경계는 실제 가압필터 여과정수 시스템에서 목표 취수량으로 계획된 6 $m^3$/hr에 대해 여과판의 개수 및 유입면적을 계산하여 0.307 m/s 속도 경계조건을, 출구 경계는 대기압(P=1.0 atm) 조건을 적용 하였으며, 격자 구성시 여과판은 3.0 mm, 여과필터는 1.0 mm의 크기로 구성하여 흐름장을 최대한 반영할 수 있도록 하였다. 금회 수치해석에 적용된 4가지 여과기의 구조에 대해 유속 및 압력, 각 구조별 유입부 및 유출부 형상에 따른 유속벡터를 비교 검토 하였다.

Case 1은 현재 상용화된 K-WHEEL F120 여과기 구조에 대한 역세척 수치모의를 진행하였다. 유속 및 압력 분포 결과는 다음의 그림과 같고 각 층의 유입부에서 0.046 m/s ~ 0.098 m/s, 유출부에서 0.235 m/s ~ 0.274 m/s의 유속분포를 보이고 있다. 유입부 형상의 영향으로 여과기 내부 좌, 우의 유속차가 발생하며, 유입부와 유출부의 유속은 최대 약 5배 차이가 나는 것으로 검토 되었다. 2.0 mm두께의 여과필터 통과유속 검토 결과 0.006 m/s ~ 0.283 m/s의 분포를 보이며 여과필터에 의한 흐름 단절로 인해 여과필터 상·하부에 와류가 발생하는 것으로 검토 되었다. 압력 분포 검토 결과, 유입부에서 101,408 Pa ~ 101,442 Pa, 유출부에서

101,403 Pa ~ 101,436 Pa의 분포를 보이고 있다.



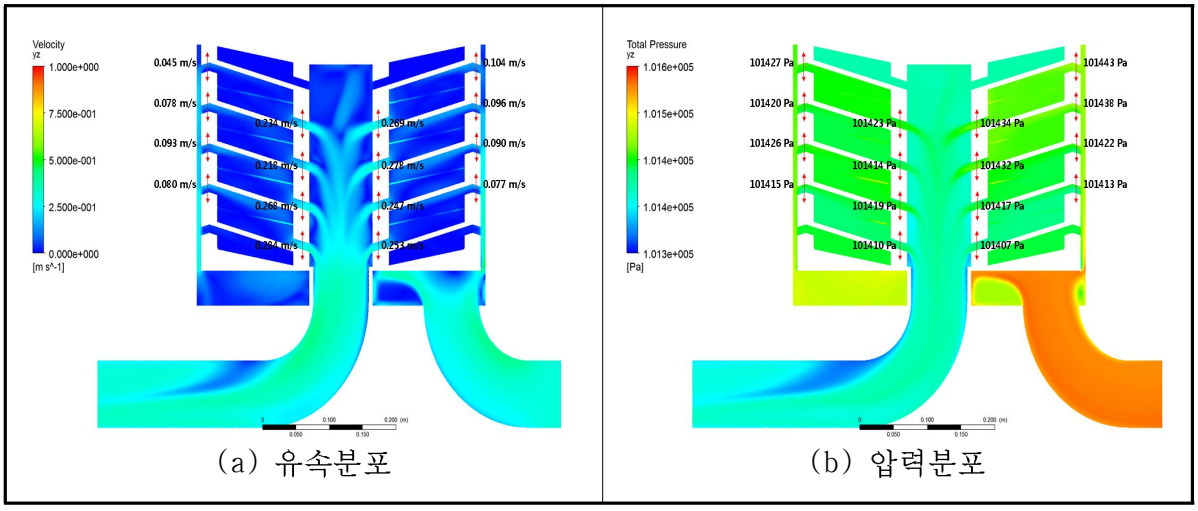

(a) 유속분포 (b) 압력분포

<그림 3-48> 역세척 여과지 내 수치해석 결과(Case 1)

<표 3-24> 여과필터 통과 유속(m/s)

| P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.165 | 0.246 | 0.277 | 0.283 | 0.276 | 0.259 | 0.236 | 0.212 | 0.183 | 0.153 | 0.124 |
| P12 | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 | P18 | P19 | P20 | P21 | 표준편차 |
| 0.094 | 0.066 | 0.040 | 0.015 | 0.006 | 0.021 | 0.027 | 0.028 | 0.031 | 0.031 | 0.1008 |

Case 2는 직선구조로 설계된 기존 여과기 유출부를 예각으로 변경 후 역세척 수치모의를 진행하였다. 검토결과 유속 및 압력 분포 결과는 다음의 그림과 같고 각 층의 유입부에서 0.045 m/s ~ 0.104 m/s, 유출부에서 0.218 m/s ~ 0.284 m/s의 유속분포를 보이고 있다. 유입부 형상의 영향으로 여과기 내부 좌, 우의 유속차가 발생하며, 유입부와 유출부의 유속은 최대 약 5배 차이가 나는 것으로 검토 되었다. 2.0 mm 두께의 여과필터 통과유속 검토 결과 0.006 m/s ~ 0.283 m/s의 분포를 보이며 여과필터에 의한 흐름 단절로 인해 여과필터 상·하부에 와류가 발생하는 것으로 검토 되었다. 압력 검토 결과, 유입부에서 101,413 Pa ~ 101,443 Pa, 유출부에서 101,407 Pa ~ 101,434 Pa의 분포를 보이고 있다.



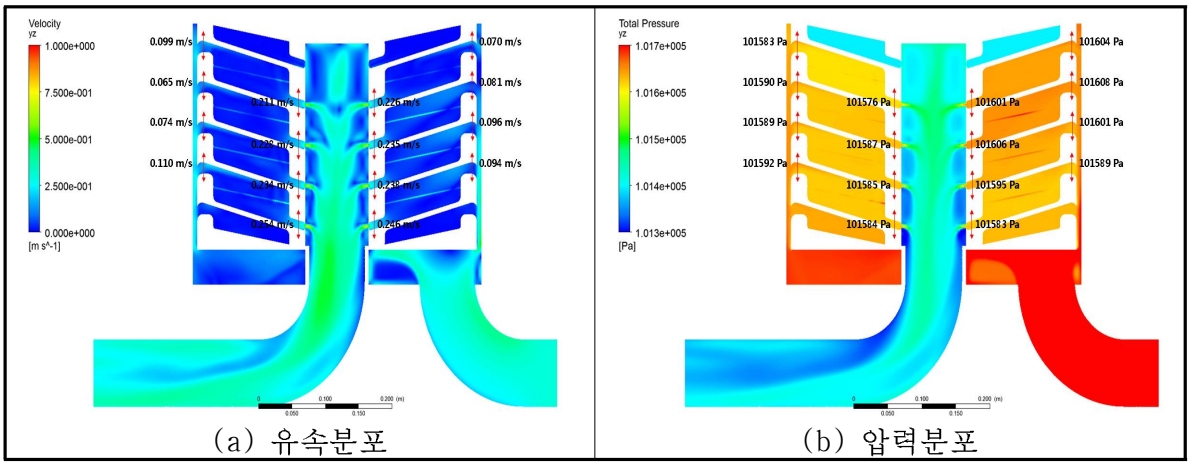

(a) 유속분포 (b) 압력분포

<그림 3-49> 역세척 여과지 내 수치해석 결과(Case 2)

<표 3-25> 여과필터 통과 유속(m/s)

| P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.173 | 0.265 | 0.294 | 0.299 | 0.293 | 0.279 | 0.260 | 0.234 | 0.199 | 0.162 | 0.125 |
| P12 | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 | P18 | P19 | P20 | P21 | 표준편차 |
| 0.090 | 0.061 | 0.042 | 0.033 | 0.033 | 0.037 | 0.044 | 0.054 | 0.063 | 0.057 | 0.1014 |

Case 3은 코안다 효과를 고려하여 설계된 여과기에 대해 수치모의를 진행하였다. 검토결과 유속 및 압력분포 검토 결과는 다음의 그림과 같고 각 층의 유입부에서 0.070 m/s ~ 0.110 m/s, 유출부에서 0.211 m/s ~ 0.254 m/s의 유속분포를 보이고 있다. 유입부와 유출부의 유속은 최대 약 3배 차이가 나는 것으로 검토 되었다. 2.0 mm 두께의 여과필터 통과유속 검토 결과 0.010 m/s ~ 0.299 m/s의 분포를 보이며, 압력분포 검토 결과, 유입부에서 101,583 Pa ~ 101,608 Pa, 유출부에서 101,576 Pa ~ 101,606 Pa의 분포를 보이고 있다. 다른 Cases에 비해 압력이 좁은 유출부의 영향으로 압력이 크게 발생하는 것을 볼 수 있다.



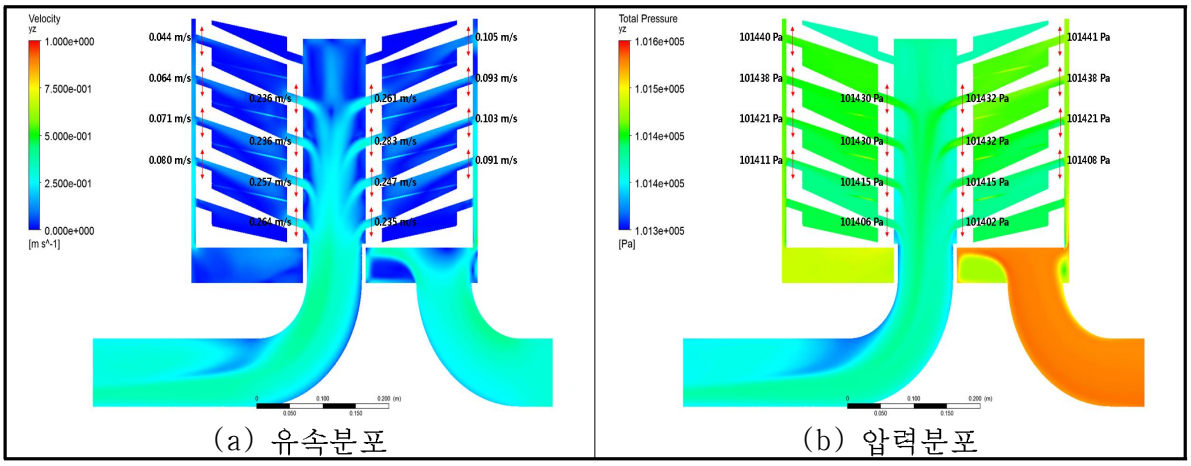

(a) 유속분포 (b) 압력분포

<그림 3-50> 역세척 여과지 내 수치해석 결과(Case 3)

<표 3-26> 여과필터 통과 유속(m/s)

| P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.200 | 0.218 | 0.277 | 0.299 | 0.257 | 0.220 | 0.273 | 0.105 | 0.106 | 0.104 | 0.101 |
| P12 | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 | P18 | P19 | P20 | P21 | 표준편차 |
| 0.105 | 0.103 | 0.099 | 0.062 | 0.059 | 0.083 | 0.010 | 0.044 | 0.047 | 0.043 | 0.0872 |

Case 4는 기울어지게 설계된 여과공간에 대해 역세척 수치모의를 진행하였다. 검토결과 유속 및 유속벡터 검토 결과는 다음의 그림과 같고 각 층의 유입부에서 0.044 m/s ~ 105 m/s, 유출부에서 0.235 m/s ~ 0.264 m/s의 유속분포를 보이고 있다. 유입부와 유출부의 유속차는 최대 약 5배 차이가 나는 것으로 검토 되었으며, 여과필터에 의한 흐름 단절로 인해 여과필터 상·하부에 와류가 발생하는 것으로 검토 되었다. 2.0 mm두께의 여과필터 통과유속 검토 결과 0.060 m/s ~ 0.269 m/s의 분포를 보이며, 압력분포 검토 결과, 유입부에서 101,408 Pa ~ 101,441 Pa, 유출부에서 101,402 Pa ~ 101,430 Pa의 분포를 보이고 있다. 다른 Cases과 구별되게 각 층의 좌, 우에서 압력의 분포가 대체로 균일하게 발생하는 것으로 검토 되었다.




(a) 유속분포 (b) 압력분포

<그림 3-51> 역세척 여과지 내 수치해석 결과(Case 4)

<표 3-27> 여과필터 통과 유속(m/s)

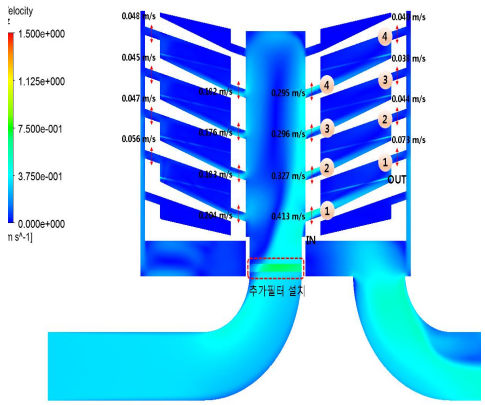
| P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.174 | 0.247 | 0.269 | 0.266 | 0.253 | 0.233 | 0.209 | 0.184 | 0.155 | 0.124 | 0.093 |
| P12 | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 | P18 | P19 | P20 | P21 | 표준편차 |
| 0.060 | 0.070 | 0.065 | 0.063 | 0.063 | 0.060 | 0.069 | 0.072 | 0.063 | 0.083 | 0.0786 |

(6) 여과필터 내 균일한 흐름 유도를 위한 유입부 필터 설치 검토

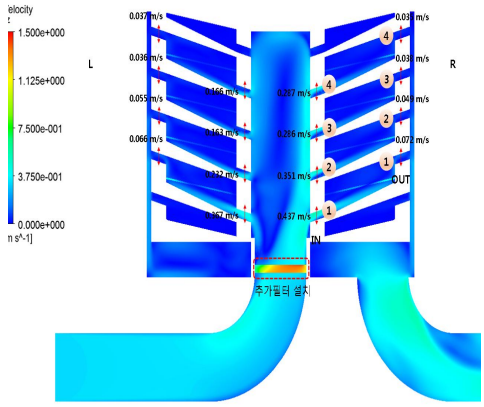
앞에서 수행한 여과필터 내 흐름공간의 크기 및 각도 조정결과 중 최적의 구조로 선정된 Case 4의 기울어진 여과공간을 가진 여과기에 대해 유입부 형상에 따라 균일한 여과기 내 균일한 흐름 유도를 위해 유입부 필터를 설치하여 수치모의를 진행하였다.

실제 여과기를 정확히 재현하기 위해 3D 모형으로 구성하였으며, 경계조건의 단순화를 위해 유입, 유출부를 연장하여 모형을 구성하였다. 기타 경계조건은 CFX 모형의 다공성(Porous)기법을 적용하여 여과필터의 두께를 2.0 mm, 공극율을 25 %로 가정하고 유입부 필터의 공극율을 50 %, 25 %로 가정하여 수치모의를 진행하였다.

유입부 필터의 공극율에 따른 유속검토 결과는 다음의 그림과 같고 유입부 필터의 공극율이 감소할수록 유입부 필터 내부에 걸리는 유속이 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 유입부 및 유출부에 대해 여과기 내부 좌·우의 유속을 비교해본 결과, 유출부에서는 좌·우 평균유속이 거의 비슷하게 분포하고 있지만 유입부에서는 공극율이 작아질수록 유입부 좌·우의 유속이 비슷하게 분포하는 것으로 검토 되었다. 따라서 유입부에 공극율이 작은 필터를 설치하는 것이 여과기 내부의 균일한 흐름분포를 유도하는데 도움이 되나, 여과포에 포설된 여과재의 공극율과 비교 검토하여 적절한 공극율의 유입부 필터를 설치해야 할 것이다.




<그림 3-52> 유입부필터 공극율 50% 유속분포




<그림 3-53> 유입부필터 공극율 25% 유속분포

<표 3-28> 유입부 좌·우 유속비교

| 구분 | 유속(m/s) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Right | | | | | Left | | | | |
| | IN-1 | IN-2 | IN-3 | IN-4 | 평균 | IN-1 | IN-2 | IN-3 | IN-4 | 평균 |
| No inlet filter | 0.436 | 0.344 | 0.292 | 0.301 | 0.343 | 0.199 | 0.208 | 0.174 | 0.176 | 0.189 |
| porosity 50% | 0.413 | 0.327 | 0.296 | 0.295 | 0.333 | 0.204 | 0.183 | 0.176 | 0.182 | 0.186 |
| porosity 25% | 0.437 | 0.351 | 0.286 | 0.287 | 0.340 | 0.367 | 0.232 | 0.163 | 0.166 | 0.232 |

<표 3-29> 유출부 좌·우 유속비교

| 구분 | 유속(m/s) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Right | | | | | Left | | | | |
| | OUT-1 | OUT-2 | OUT-3 | OUT-4 | 평균 | OUT-1 | OUT-2 | OUT-3 | OUT-4 | 평균 |
| no inlet filter | 0.074 | 0.047 | 0.040 | 0.038 | 0.050 | 0.061 | 0.056 | 0.043 | 0.044 | 0.051 |
| porosity 50% | 0.073 | 0.044 | 0.038 | 0.040 | 0.049 | 0.056 | 0.047 | 0.045 | 0.048 | 0.049 |
| porosity 25% | 0.072 | 0.049 | 0.038 | 0.035 | 0.049 | 0.066 | 0.055 | 0.036 | 0.037 | 0.048 |

## 3. 결론

현재 개발된 K-WHEEL F120 여과기에 대해 여과 필터의 방향 및 물의흐름, 여과필터의 구조 개선, 여과필터 내 흐름공간 크기 및 각도에 따라 3차원 CFD모형을 이용한 수치해석을 실시하였으며, 그 결과를 요약하면 아래와 같다.

### (1) 여과장치 구조 및 형태에 따른 2가지 여과장치 효율 비교 검토

여과망을 통과하는 유동의 흐름은 원형, 사각형 두 가지 형태의 여과기 모두 비교적 안정된 것으로 보이나, 방사형으로 유입수를 분배하는 원형 셀의 여과기에 비해 평행 흐름을 유도하는 사각형 셀을 가진 여과기의 여과망 투과 속도 표준편차가 4배가량 크게 나타나고 있어 여과망 이용의 효율성 측면에서 원형 여과기가 더 유리한 것으로 분석되었다.

### (2) 여과필터의 방향 및 물의 흐름에 따른 여과기 내 유동특성 검토

여과 방향 및 필터 방향에 따른 Case 1~4의 수치모의 결과 가운데로 유입되고 가장자리로

유출되는 Case 1의 유체 흐름이 가장 효율적이라고 판단되었다.

(3) 여과필터 구조 개선안에 대한 여과능력 검토

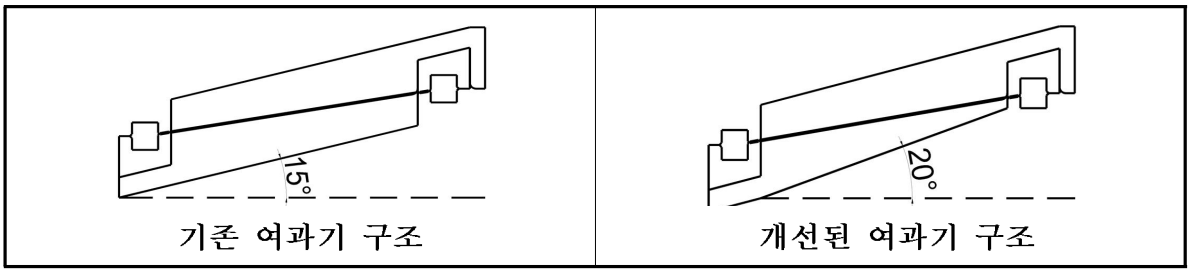
(2)의 분석에서 효율이 가장 좋았던 Case 1에 개선안을 제시하였다. 개선안에 대한 수치해석 결과, 기존 필터보다 압력강하가 감소함에 따른 펌프에 사용되는 전력이 감소되어 필터 내부에 부담이 축소될 것으로 예상된다.

(4) 여과필터 내 흐름공간의 크기 및 각도 조정에 따른 여과기 내 유동특성 검토

여과필터 내 흐름공간 크기 및 각도 조정에 따른 검토 결과, Case 1~4까지의 여과기 내 유동특성 결과 유입 면적이 줄어드는 Case 3을 제외하고 전체적인 유속 및 압력은 비슷한 경향을 보이고 있으며, 유입부 유출부의 유속차는 평균적으로 약 7배 차이가 나는 것으로 검토되었다. 여과포를 통과하는 유속 검토 결과 기울어진 여과공간을 통과하는 Case 4의 표준편차가 가장 작게 나와 여과포에 부착되는 여과재의 안정성 측면에서 가장 효율적이라 판단되며, 유출 유량도 가장 균등하게 유출되는 것으로 검토되었다.

(5) 여과필터 내 크기 및 각도 조정에 따른 역세척시 여과기 내 유동특성 검토

여과포를 통과하는 유속 검토 결과 기울어진 여과공간을 통과하는 Case 4의 표준편차가 가장 작게 나와 여과포에 부착되는 여과재의 안정성 확보 측면에서 가장 효율적이라 판단된다. 수치모의를 통해 도출된 최종적인 여과장치 내 여과기 내부 각도를 15°에서 20°로 변경하여 여과효율 및 역세척 효율을 향상시킬 수 있을 것으로 예측된다.



기존 여과기 구조 개선된 여과기 구조

(6) 여과필터 내 균일한 흐름 유도를 위한 유입부 필터 설치 검토

유입부에 공극율이 작은 필터를 설치하는 것이 여과기 내부의 균일한 흐름분포를 유도하는데 도움이 되나, 여과포에 포설된 여과재의 공극율과 비교 검토하여 적절한 공극율의 유입부 필터를 설치해야 할 것이다.

# 제4절 프로세스 조합 및 모듈형 물생산시스템 구축

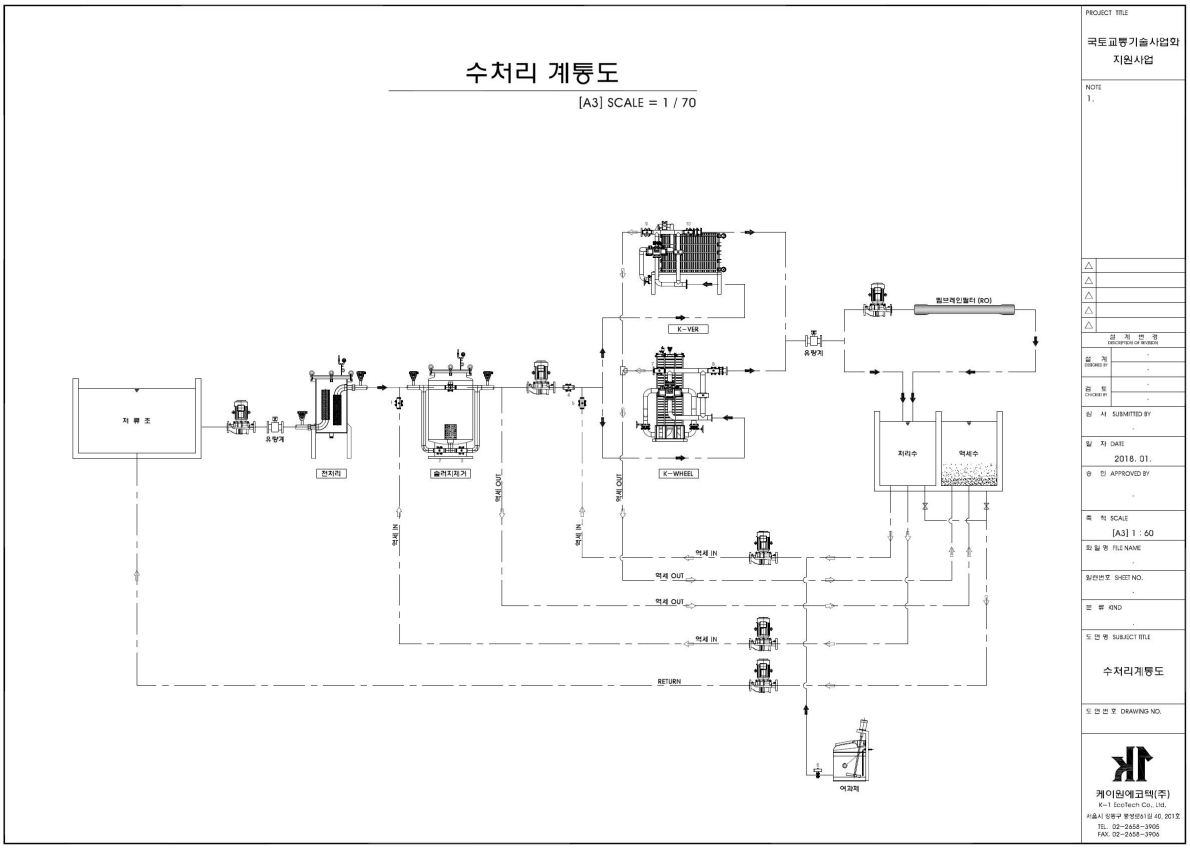
## 1. 모듈형 물생산시스템 설계

평상시와 재난시 각종 용수 공급이 가능한 물생산시스템을 개발하기 위해 실험실용과 현장 PILOT용의 2가지로 시스템을 설계하였다.

실험실용과 현장 PILOT용 물생산시스템 모두 전처리, 1차, 2차, 3차(살균포함)처리가 가능하도록 구성하였고, 각종 용수의 사용 목적에 부합되도록 시제품을 제작하여 성능을 검토 하였다.

### 가. 실험실용 설비 설계

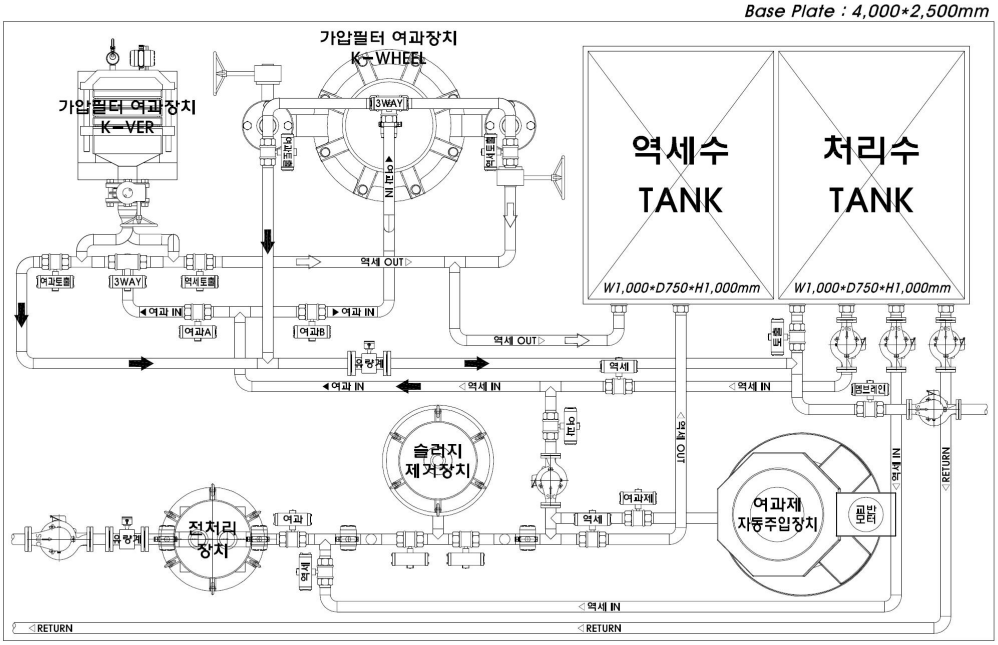
1차년도에 실험실용 모듈형 물생산시스템의 설계 및 시제품을 제작하였으며, 그 내용은 다음과 같다.



## 수처리장비 배치도

[A3] SCALE = 1 / 12

*Base Plate : 4,000*2,500mm*




PROJECT TITLE
국토교통기술사업화 지원사업

NOTE
1.

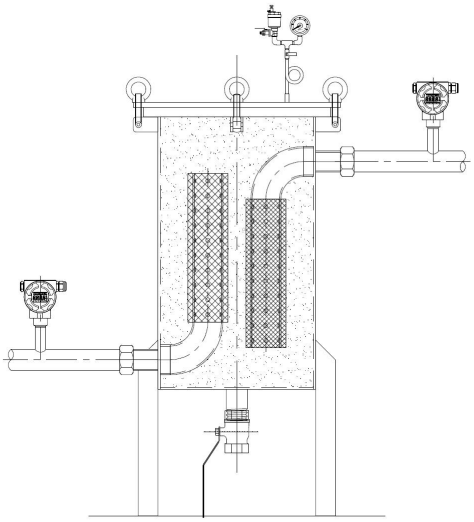
△ △ △ △ △
삽 제 변 경
DESCRIPTION OF REVISION

설 계 DESIGNED BY
검 토 CHECKED BY
심 사 SUBMITTED BY
일 자 DATE 2018. 01.
승 인 APPROVED BY
축 척 SCALE [A3] 1 : 12
파일명 FILE NAME
첨판번호 SHEET NO.
분 류 KIND
도면명 SUBJECT TITLE 장비배치도
도면번호 DRAWING NO.


케이원에코텍(주)
K-1 EcoTech Co., Ltd.
서울시 양동구 봉방로51길 40, 201호
TEL. 02-2658-3906
FAX. 02-2658-3906


## 전처리장치 상세도

[A3] SCALE = 1 / 12



PROJECT TITLE
국토교통기술사업화 지원사업

NOTE
1.

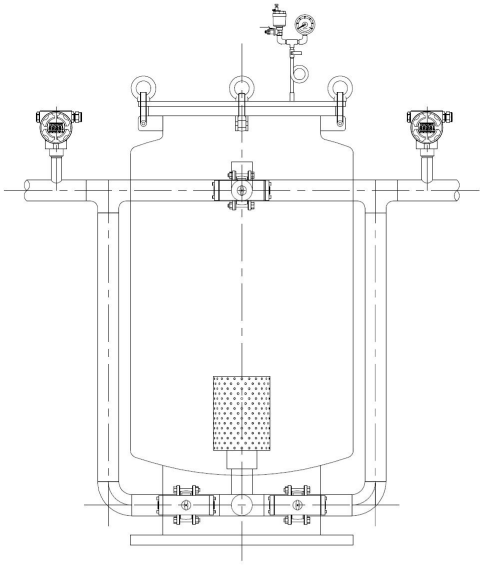
△ △ △ △ △
삽 제 변 경
DESCRIPTION OF REVISION

설 계 DESIGNED BY
검 토 CHECKED BY
심 사 SUBMITTED BY
일 자 DATE 2018. 01.
승 인 APPROVED BY
축 척 SCALE [A3] 1 : 12
파일명 FILE NAME
첨판번호 SHEET NO.
분 류 KIND
도면명 SUBJECT TITLE 전처리장치 상세도
도면번호 DRAWING NO.


케이원에코텍(주)
K-1 EcoTech Co., Ltd.
서울시 양동구 봉방로51길 40, 201호
TEL. 02-2658-3906
FAX. 02-2658-3906

# 슬러지 제거장치 상세도

[A3] SCALE = 1 / 12



PROJECT TITLE

국토교통기술사업화 지원사업

NOTE

1.

△

△

△

△

△

검 계 변 경
DESCRIPTION OF REVISION

설 계 DESIGNED BY

검 토 CHECKED BY

심 사 SUBMITTED BY

일 자 DATE

2018. 01.

승 인 APPROVED BY

축 척 SCALE

[A3] 1 : 12

화일 명 FILE NAME

참관번호 SHEET NO.

분 류 KIND

도 면 명 SUBJECT TITLE

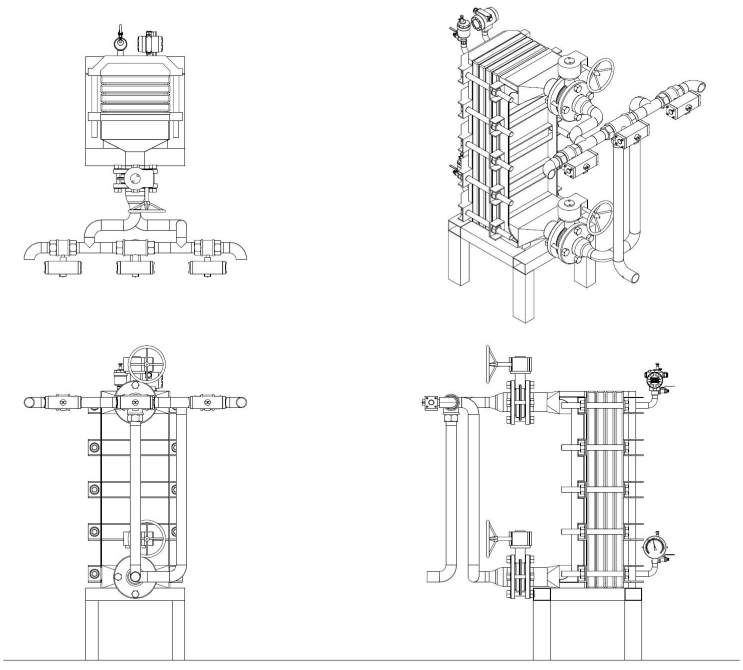
슬러지 제거장치 상세도

도 면 번 호 DRAWING NO.

케이원에코텍(주)
K-1 EcoTech Co., Ltd.
서울시 양동구 목보로51길 40, 201호
TEL. 02-2658-3906
FAX. 02-2658-3906

# 가압필터 여과장치 상세도

[A3] SCALE = 1 / 12



PROJECT TITLE

국토교통기술사업화 지원사업

NOTE

1.

△

△

△

△

△

검 계 변 경
DESCRIPTION OF REVISION

설 계 DESIGNED BY

검 토 CHECKED BY

심 사 SUBMITTED BY

일 자 DATE

2018. 01.

승 인 APPROVED BY

축 척 SCALE

[A3] 1 : 12

화일 명 FILE NAME

참관번호 SHEET NO.

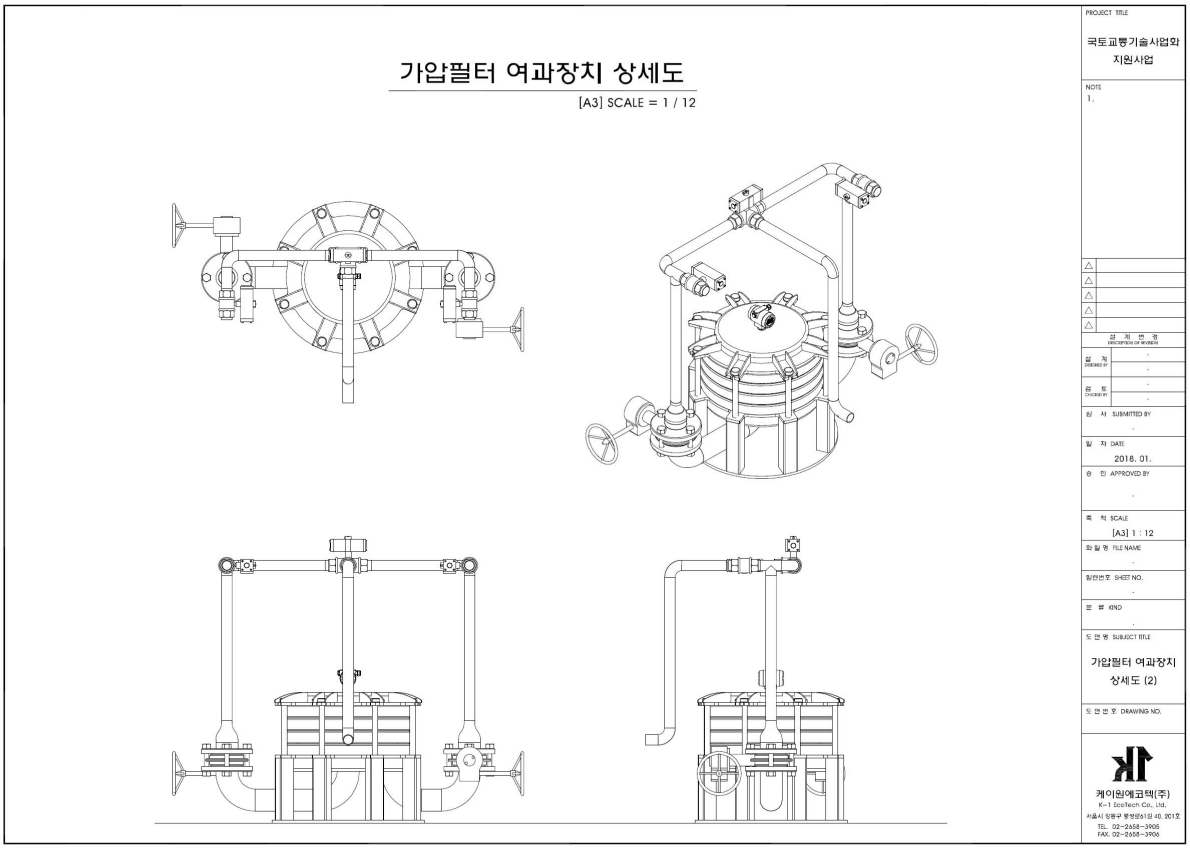
분 류 KIND

도 면 명 SUBJECT TITLE

가압필터 여과장치 상세도 (1)

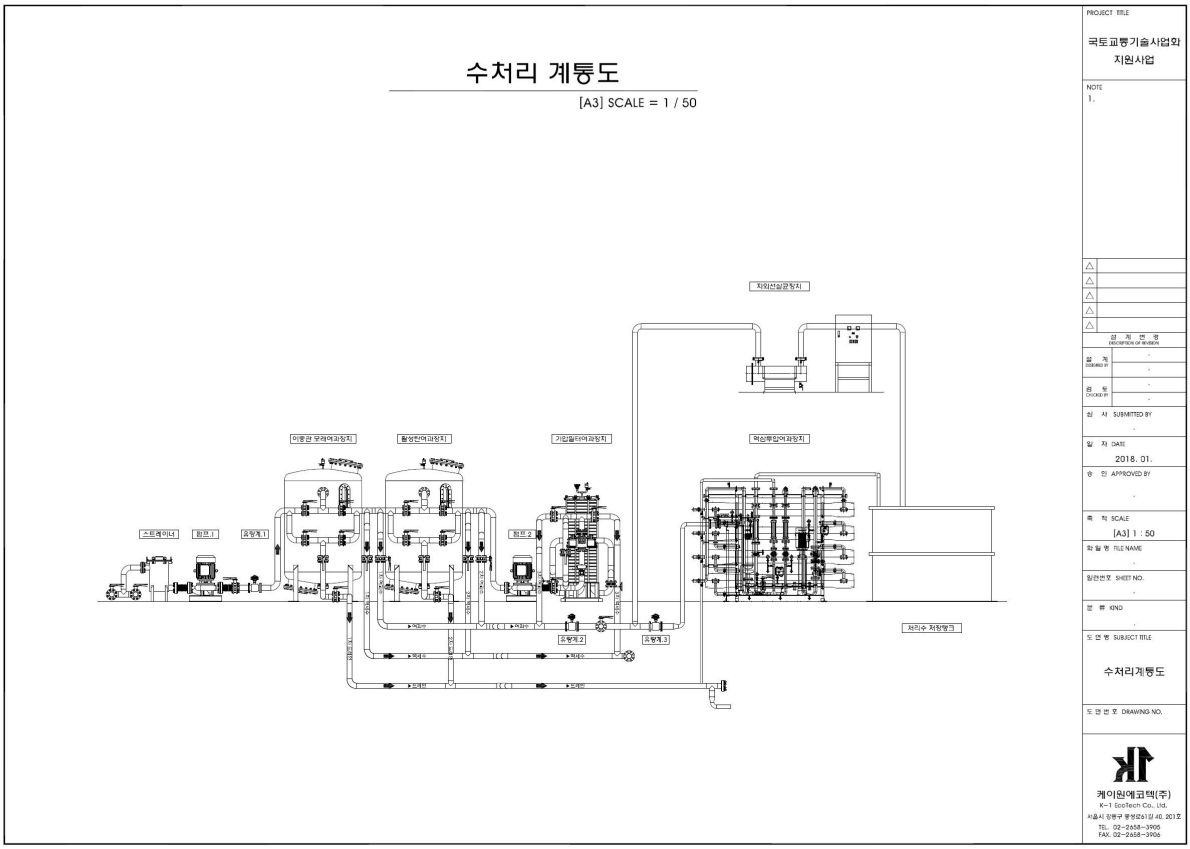
도 면 번 호 DRAWING NO.

케이원에코텍(주)
K-1 EcoTech Co., Ltd.
서울시 양동구 목보로51길 40, 201호
TEL. 02-2658-3906
FAX. 02-2658-3906



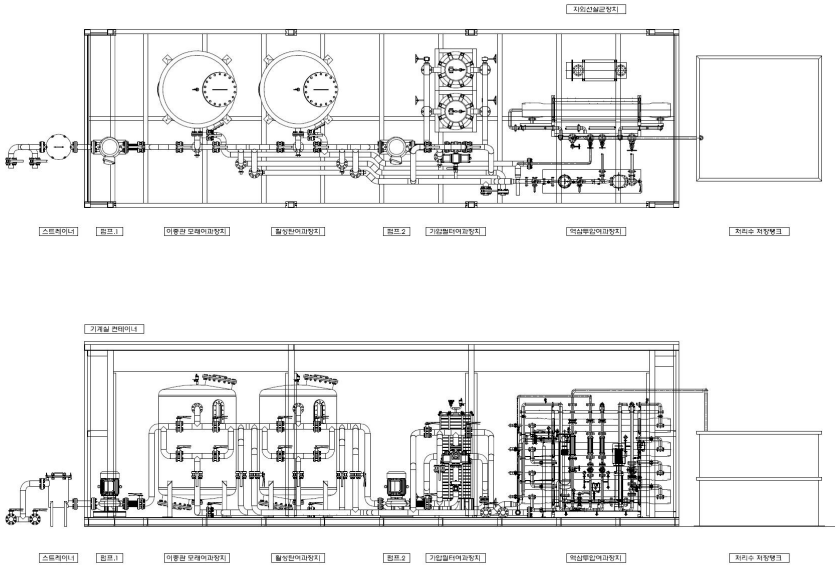

## 나. 현장 Pilot용 설비 설계

2차년도에 현장 Pilot용 모듈형 물생산시스템의 설계 및 시제품을 제작하였으며, 그 내용은 다음과 같다.



# 수처리장비 배치도

[A3] SCALE = 1 / 50




PROJECT TITLE

국토교통기술사업화 지원사업

NOTE

1.

△
△
△
△
△

설 계 변 경
DESCRIPTION OF REVISION

설 계 DESIGNED BY -

검 토 CHECKED BY -

심 사 SUBMITTED BY -

일 자 DATE 2018. 01.

승 인 APPROVED BY -

축 척 SCALE [A3] 1 : 50

파 일 명 FILE NAME -

참 관 번 호 SHEET NO. -

분 류 KIND -

도 면 명 SUBJECT TITLE

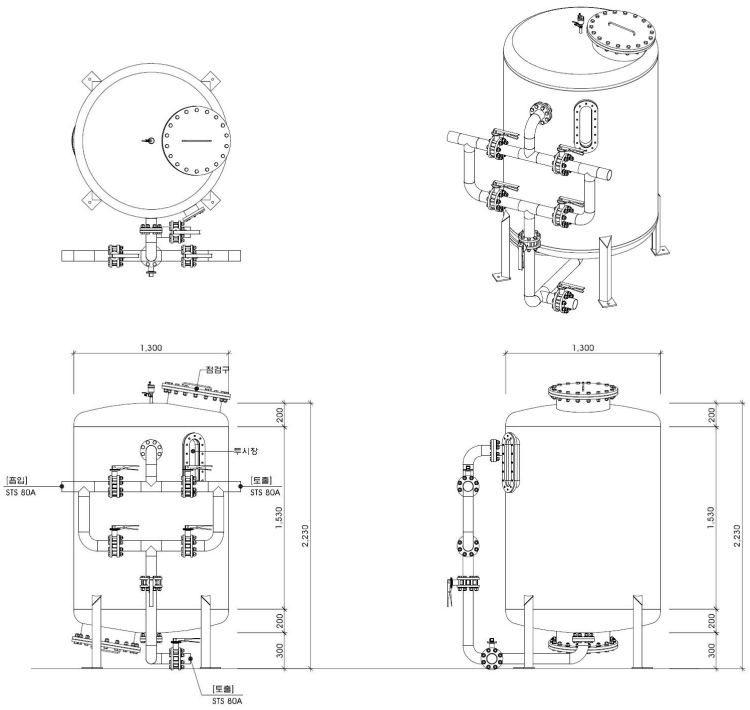
장비배치도

도 면 번 호 DRAWING NO.


케이원에코텍(주)
K-1 EcoTech Co., Ltd.
서울시 강동구 풍성로51길 40, 201호
TEL. 02-2658-3905
FAX. 02-2658-3906


# 이중관 모래여과장치 상세도

[A3] SCALE = 1 / 25




PROJECT TITLE

국토교통기술사업화 지원사업

NOTE

1.

△
△
△
△
△

설 계 변 경
DESCRIPTION OF REVISION

설 계 DESIGNED BY -

검 토 CHECKED BY -

심 사 SUBMITTED BY -

일 자 DATE 2018. 01.

승 인 APPROVED BY -

축 척 SCALE [A3] 1 : 25

파 일 명 FILE NAME -

참 관 번 호 SHEET NO. -

분 류 KIND -

도 면 명 SUBJECT TITLE

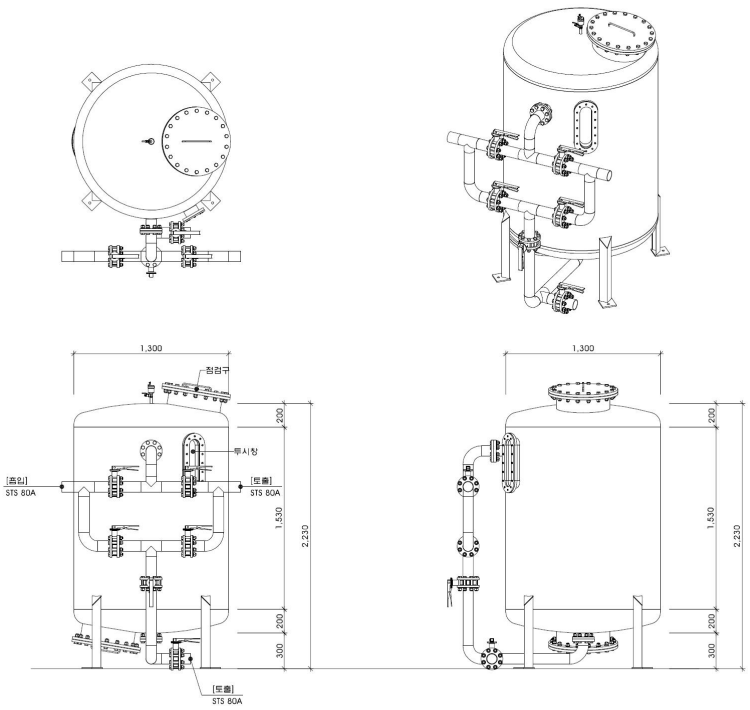
이중관 모래여과장치 상세도

도 면 번 호 DRAWING NO.


케이원에코텍(주)
K-1 EcoTech Co., Ltd.
서울시 강동구 풍성로51길 40, 201호
TEL. 02-2658-3905
FAX. 02-2658-3906

# 활성탄 여과장치 상세도

[A3] SCALE = 1 / 25




PROJECT TITLE

국토교통기술사업화 지원사업

NOTE

1.

△
△
△
△
△

삽 계 변 경
DESCRIPTION OF REVISION

설 계 DESIGNED BY -

검 토 CHECKED BY -

심 사 SUBMITTED BY -

일 자 DATE

2018. 01.

승 인 APPROVED BY -

축 척 SCALE

[A3] 1 : 25

화 일 명 FILE NAME -

참 관 번 호 SHEET NO. -

분 류 KIND -

도 면 명 SUBJECT TITLE

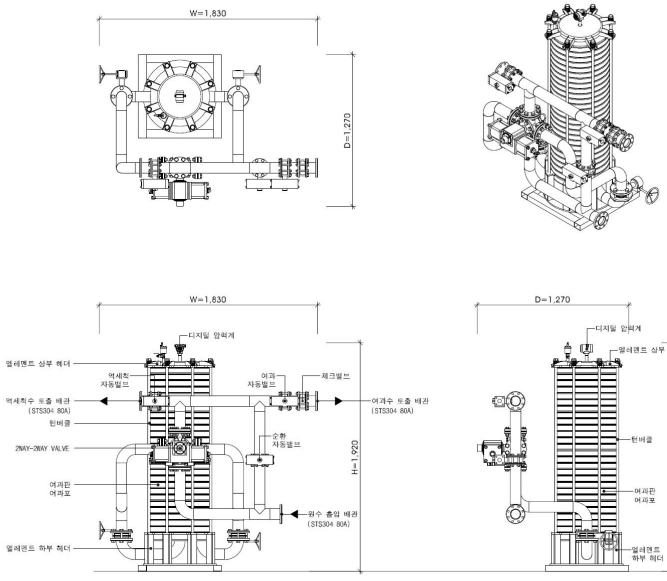
활성탄 여과장치 상세도

도 면 번 호 DRAWING NO.


케이원에코텍(주)
K-1 EcoTech Co., Ltd.
서울시 장동구 부방로51길 40, 201호
TEL. 02-2658-3905
FAX. 02-2658-3906


# 가압필터 여과장치 상세도

[A3] SCALE = 1 / 25




■ SPEC

| No | 구 분 | 내 용 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| [1] | 여과기 | 제품명 : K-WHEEL F30<br>여과용량 : 30㎥/hr<br>SIZE : W1,830×D1,270×H1,920 | |

■ 가압필터 여과기 주요부품

| No | 품 명 | 재 질 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| [1] | HEAD | STS 304 | |
| [2] | TURNBUCKLE | STS 304 | |
| [3] | FILTER | 폴리프로필렌 | |
| [4] | FILTER CLOTH | 폴리에스테르 | |
| [5] | 2WAY-2WAY VALVE | 청동주물(BC) | |
| [6] | BUTTERFLY VALVE | STS 304 | |
| [7] | 배관용 스테인리스강관 | STS 304 | |
| [8] | FLANGE | STS 304 | |
| [9] | FLEXIBLE | STS 304 | |

■ 외부 연결 배관

| No | 구 분 | 재 질 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| [1] | 원수 흡입 배관 | STS 304 | 플랜지 이후 공사분 |
| [2] | 여과수 토출 배관 | STS 304 | 플랜지 이후 공사분 |
| [3] | 역세척수 토출 배관 | STS 304 | 플랜지 이후 공사분 |


PROJECT TITLE

국토교통기술사업화 지원사업

NOTE

1.

△
△
△
△
△

삽 계 변 경
DESCRIPTION OF REVISION

설 계 DESIGNED BY -

검 토 CHECKED BY -

심 사 SUBMITTED BY -

일 자 DATE

2018. 01.

승 인 APPROVED BY -

축 척 SCALE

[A3] 1 : 25

화 일 명 FILE NAME -

참 관 번 호 SHEET NO. -

분 류 KIND -

도 면 명 SUBJECT TITLE

가압필터 여과장치 상세도

도 면 번 호 DRAWING NO.

케이원에코텍(주)
K-1 EcoTech Co., Ltd.
서울시 장동구 부방로51길 40, 201호
TEL. 02-2658-3905
FAX. 02-2658-3906

# 역삼투압 여과장치 상세도

[A3] SCALE = 1 / 40

**DESIGN DATA**

| | | | |
|---|---|---|---|
| NO. REQUIRED | | 1 | UNIT |
| CODE | | - | - |
| CAPACITY | | 5.0 | M³/Hr |
| FLUID CIRCULATED | | SURFACE WATER | |
| PRESSURE | DESIGN | 10 | Kg/cm²G |
| | OPERATING | 7.2 | Kg/cm²G |
| TEMPERATURE | DESIGN | 30 | °C |
| | OPERATING | 10 | °C |
| TEST PRESS | HYDROSTATIC | -- | Kg/cm²G |
| | PNEUMATIC | -- | Kg/cm²G |
| STRESS RELIEF | | N/A | N/A |
| RADIOGRAPHY | | -- | -- |
| CORROSION ALLOWANCE | | - | MM |
| INSULATION | | N/A | |
| WEIGHT | EMPTY | 1,200 | KG |
| | OPERATING | 2,000 | KG |
| PAINTING | INSIDE | -- | |
| | OUTSIDE | EPOXY PAINTING | |

| MARK | DESCRIPTION | SIZE | Q'TY | RATING | TYPE | FACE | MATL | REMARK |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N-3 | CONC. WATER OUT | 25A | 1 | JIS 10K | S.O | F.F | SUS 304 | |
| N-2 | PERMEATE WATER OUT | 40A | 1 | JIS 10K | S.O | F.F | SUS 304 | |
| N-1 | FEED WATER IN. | 50A | 1 | JIS 10K | S.O | F.F | SUS 304 | |

| NO. | DESCRIPTION | DIMENSION | MATL | Q'TY | REMARK |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 | ANGLE | 50x50x6 | SS400 | -- | |
| 2 | SQUARE PIPE | 50x50x3.2t | SS400 | -- | |
| 1 | CHANNEL | 100x50x5x7.5t | SS400 | -- | |

PLAN VIEW

LEFT VIEW(2) FRONT VIEW(2) RIGHT VIEW(2)

LEFT VIEW(1) FRONT VIEW(1) RIGHT VIEW(1)

PROJECT TITLE

국토교통기술사업화 지원사업

NOTE

1.

| | |
|---|---|
| 설 계 DESIGNED BY | - |
| 검 토 CHECKED BY | - |
| 심 사 SUBMITTED BY | - |
| 일 자 DATE | 2018. 01. |
| 승 인 APPROVED BY | - |
| 축 척 SCALE | [A3] 1 : 40 |
| 화일명 FILE NAME | - |
| 참관번호 SHEET NO. | - |
| 분 류 KIND | - |

도 면 명 SUBJECT TITLE

역삼투압 여과장치 상세도

도 면 번 호 DRAWING NO.

케이원에코텍(주)
K-1 EcoTech Co., Ltd.
서울시 양동구 봉방로51길 40, 201호
TEL. 02-2658-3906
FAX. 02-2658-3906

# 자외선 살균장치 상세도 (1)

[A3] SCALE = 1 / 8

| | |
|---|---|
| LAMP LIFE | 9,000 HRS |
| CURRENT | 0.8AX10EA=8.0A |
| LAMP WATT | 75WX10EA=750W |
| POWER | 220*1Ø*0.9KW |

| NO | MATERIAL | Q'TY | SIZE |
|---|---|---|---|
| 6 | SAMPLE VALVE | STS304 | 2 | 8A |
| 5 | DRAIN VALVE | STS304 | 1 | 20A |
| 4 | STAND | STS304 | 1 | |
| 3 | CHAMBER | STS304 | 1 | 250A |
| 2 | CHAMBER FLANGE | STS304 | 2 | |
| 1 | CAP | STS304 | 1 | 250A |
| N2 | WATER OUTLET | STS304 | 1 | 80A |
| N1 | WATWE INLET | STS304 | 1 | 80A |

PROJECT TITLE

국토교통기술사업화 지원사업

NOTE

1.

| | |
|---|---|
| 설 계 DESIGNED BY | - |
| 검 토 CHECKED BY | - |
| 심 사 SUBMITTED BY | - |
| 일 자 DATE | 2018. 01. |
| 승 인 APPROVED BY | - |
| 축 척 SCALE | [A3] 1 : 8 |
| 화일명 FILE NAME | - |
| 참관번호 SHEET NO. | - |
| 분 류 KIND | - |

도 면 명 SUBJECT TITLE

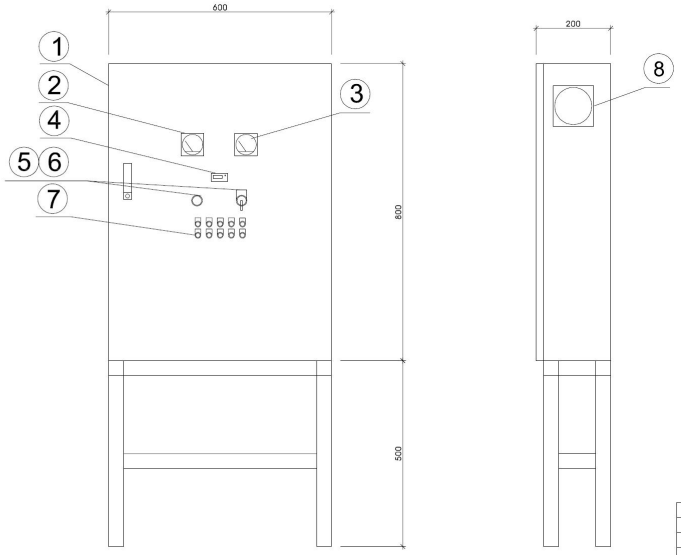
자외선 살균장치 상세도 (1)

도 면 번 호 DRAWING NO.

케이원에코텍(주)
K-1 EcoTech Co., Ltd.
서울시 양동구 봉방로51길 40, 201호
TEL. 02-2658-3906
FAX. 02-2658-3906

# 자외선 살균장치 상세도 (2)

[A3] SCALE = 1 / 8




| NO | NAME | MATERIAL | Q'TY |
|---|---|---|---|
| 8 | PANEL FAN | | 1 |
| 7 | U.V. LAMP INDICATOR | LED | 10 |
| 6 | U.V. SWITCH | | 1 |
| 5 | PILOT LAMP | | 1 |
| 4 | HOUR METER | | 1 |
| 3 | AMPARE METER | | 1 |
| 2 | VOLT METER | | 1 |
| 1 | PANEL | STS304 | 1 |

PROJECT TITLE
국토교통기술사업화 지원사업

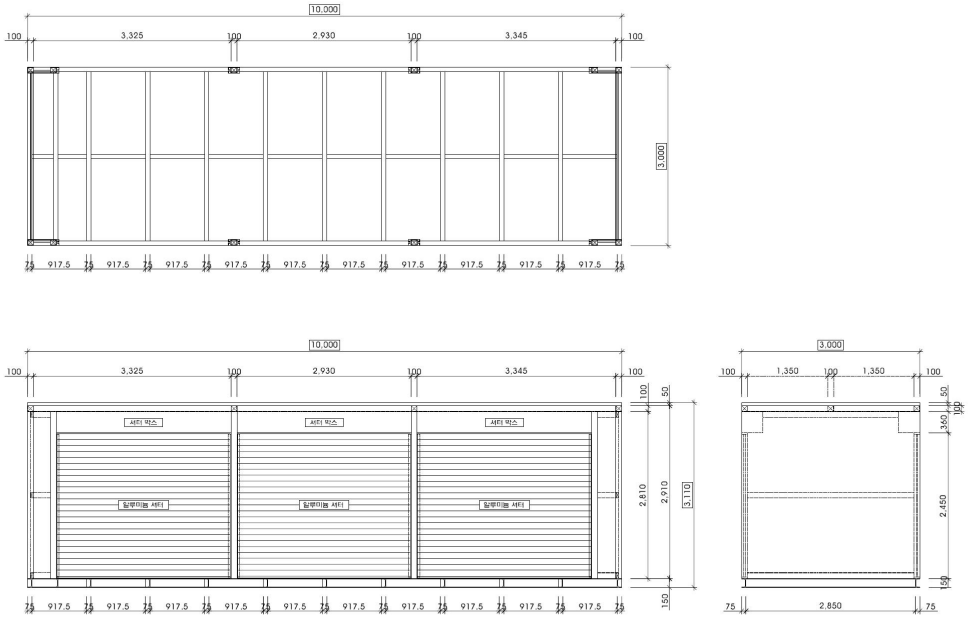
NOTE
1.

△ 설 계 DESIGNED BY
△ 검 토 CHECKED BY
△ 검 시 SUBMITTED BY
△ 일 자 DATE 2018. 01.
승 인 APPROVED BY
축 척 SCALE [A3] 1 : 8
화일명 FILE NAME
참관번호 SHEET NO.
분 류 KIND
도 면 명 SUBJECT TITLE 자외선 살균장치 상세도 (2)
도 면 번 호 DRAWING NO.

케이원에코텍(주)
K-1 EcoTech Co., Ltd.
서울시 양동구 봉방로51길 40, 201호
TEL. 02-2658-3906
FAX. 02-2658-3906

# 기계실 컨테이너 상세도

[A3] SCALE = 1 / 50




PROJECT TITLE
국토교통기술사업화 지원사업

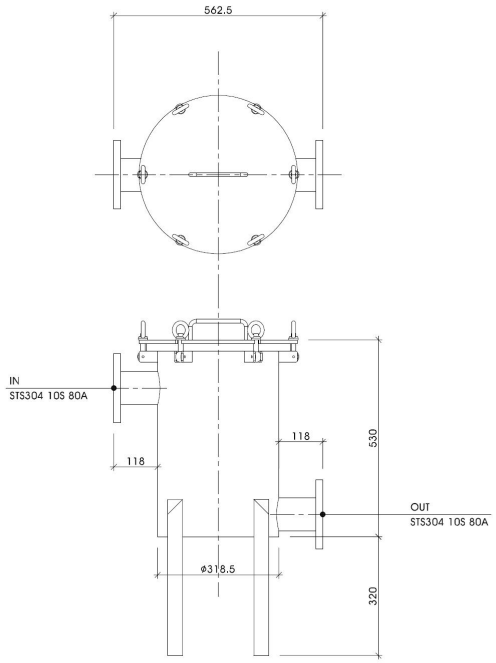
NOTE
1.

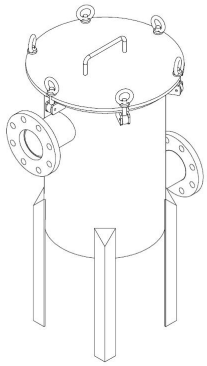
△ 설 계 DESIGNED BY
△ 검 토 CHECKED BY
△ 검 시 SUBMITTED BY
△ 일 자 DATE 2018. 01.
승 인 APPROVED BY
축 척 SCALE [A3] 1 : 50
화일명 FILE NAME
참관번호 SHEET NO.
분 류 KIND
도 면 명 SUBJECT TITLE 기계실 컨테이너 상세도
도 면 번 호 DRAWING NO.

케이원에코텍(주)
K-1 EcoTech Co., Ltd.
서울시 양동구 봉방로51길 40, 201호
TEL. 02-2658-3906
FAX. 02-2658-3906

## 스트레이너 상세도

[A3] SCALE = 1 / 8



PROJECT TITLE
국토교통기술사업화 지원사업

NOTE
1.

△ △ △ △ △
삽 계 변 경
DESCRIPTION OF REVISION

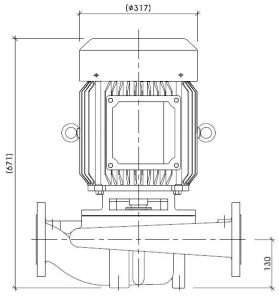
설 계 DESIGNED BY
검 토 CHECKED BY
심 사 SUBMITTED BY
일 자 DATE 2018. 01.
승 인 APPROVED BY
축 척 SCALE [A3] 1 : 8
파 일 명 FILE NAME
참관번호 SHEET NO.
분 류 KIND
도 면 명 SUBJECT TITLE 스트레이너 상세도
도 면 번 호 DRAWING NO.

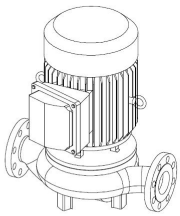

케이원에코텍(주)
K-1 EcoTech Co., Ltd.
서울시 양동구 목보로51길 40, 201호
TEL. 02-2658-3906
FAX. 02-2658-3906

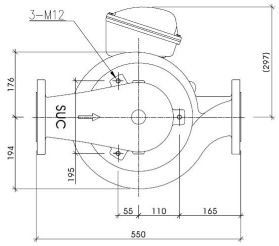

## 인라인펌프 상세도

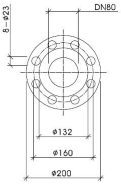
[A3] SCALE = 1 / 8

| SPECIFICATION | | | |
|---|---|---|---|
| BORE | SUCTION | mm | DN 80 |
| | DISCHARGE | mm | DN 80 |
| MOTOR | OUTPUT | kW | 11 |
| | VOLTAGE | V | □220 ■380 □440 |
| | FREQUENCY | Hz | 60 |
| | No. of REVOLUTION | rpm | 1750 |
| | TYPE | | Three Phase Induction Motor |






Notes
1.Without pump supports.
2.All dimensions in millimeters.
3.( ) dimensions and dimensions of motor can be changed without prior notices.

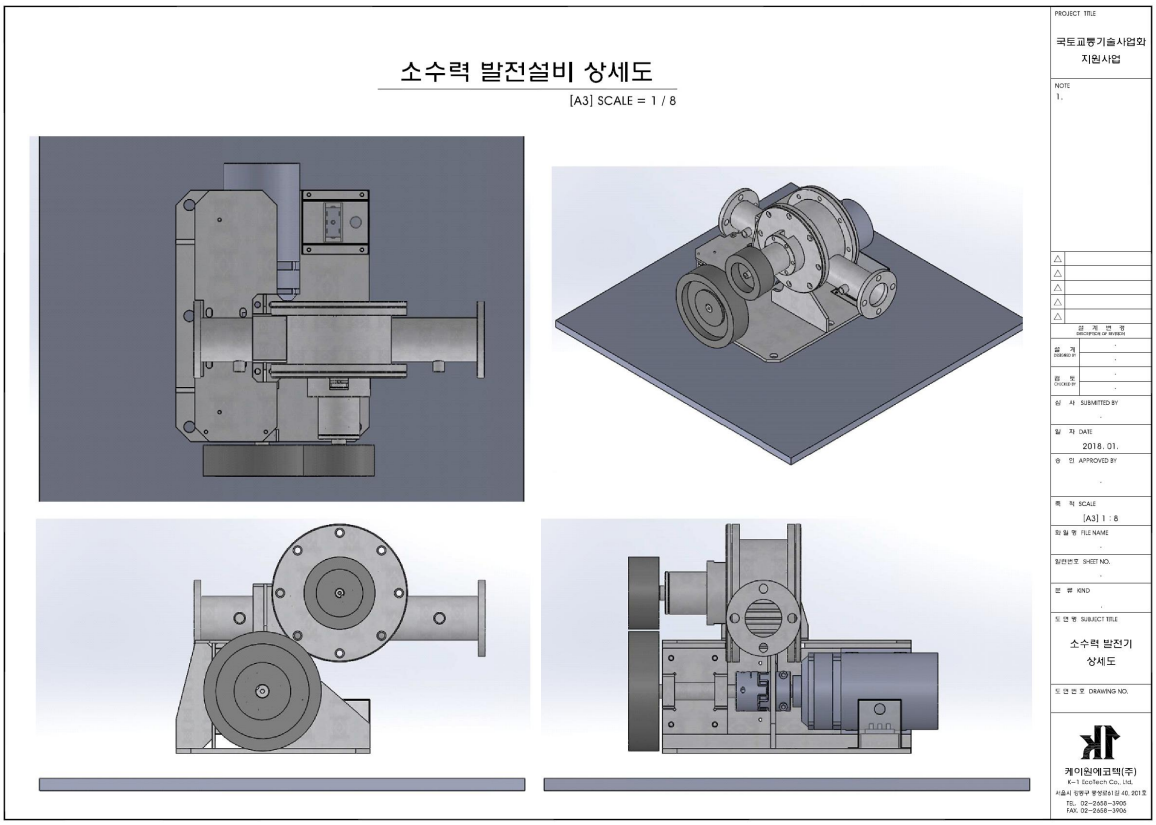
PROJECT TITLE
국토교통기술사업화 지원사업

NOTE
1.

△ △ △ △ △
삽 계 변 경
DESCRIPTION OF REVISION

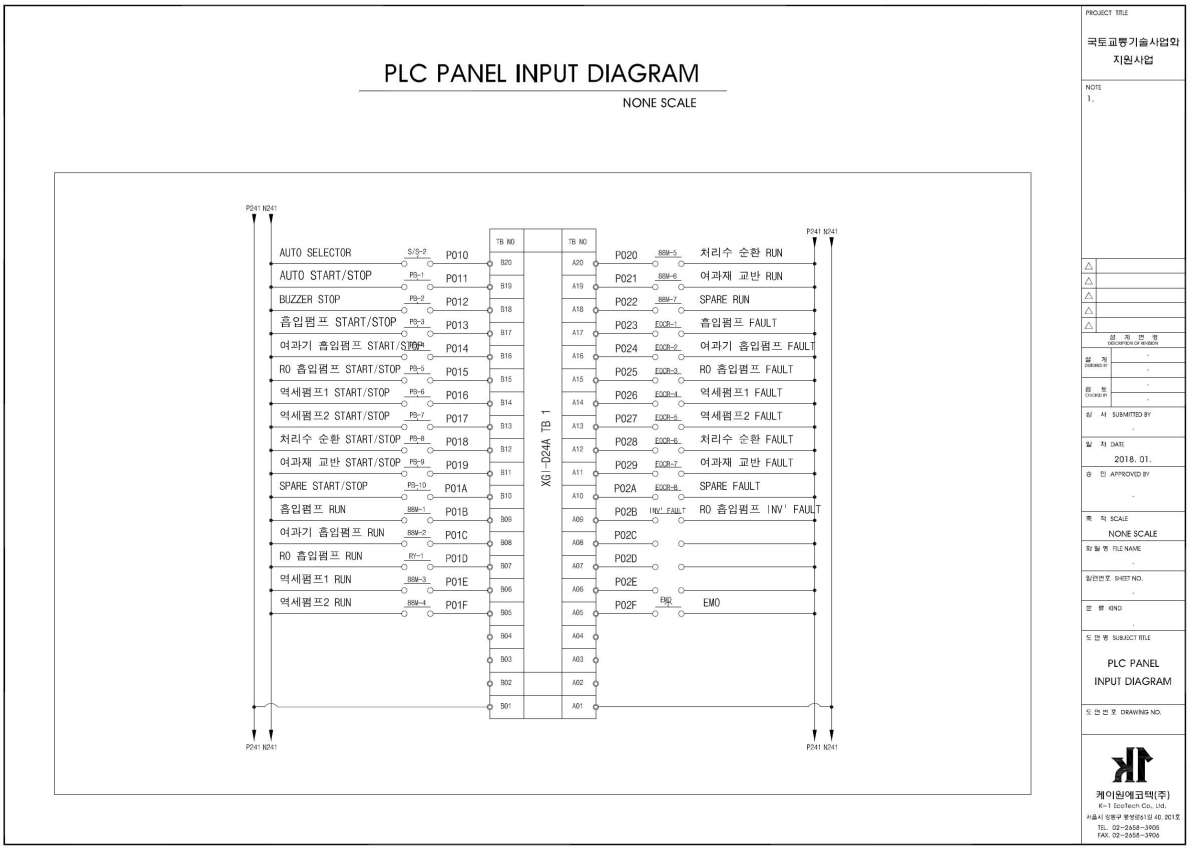
설 계 DESIGNED BY
검 토 CHECKED BY
심 사 SUBMITTED BY
일 자 DATE 2018. 01.
승 인 APPROVED BY
축 척 SCALE [A3] 1 : 8
파 일 명 FILE NAME
참관번호 SHEET NO.
분 류 KIND
도 면 명 SUBJECT TITLE 인라인펌프 상세도
도 면 번 호 DRAWING NO.


케이원에코텍(주)
K-1 EcoTech Co., Ltd.
서울시 양동구 목보로51길 40, 201호
TEL. 02-2658-3906
FAX. 02-2658-3906



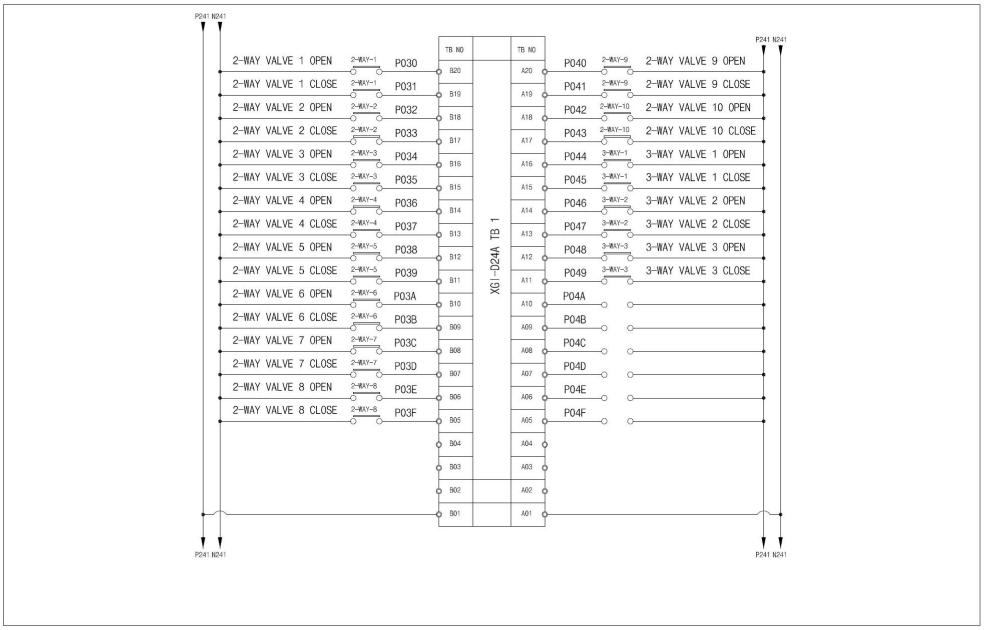

## 다. 전기 및 자동제어 설계

모듈형 물생산시스템의 적정 유량 공급과 처리 시설별 수질 측정 및 기계의 효율적 운영을 위해 각 밸브에서의 압력과 유량을 자동제어 할 수 있는 시스템을 적용하였으며, 그 내용은 다음과 같다.



# PLC PANEL INPUT DIAGRAM

NONE SCALE




PROJECT TITLE

국토교통기술사업화 지원사업

NOTE

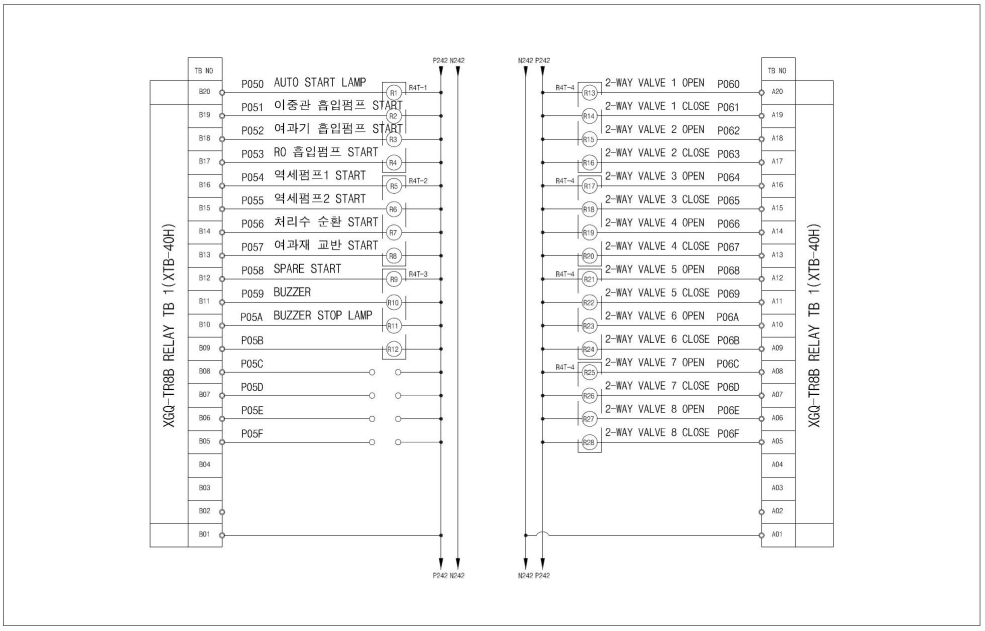
1.

| | |
|---|---|
| 설 계 DESIGNED BY | - |
| 검 토 CHECKED BY | - |
| 심 사 SUBMITTED BY | - |
| 일 자 DATE | 2018. 01. |
| 승 인 APPROVED BY | - |
| 축 척 SCALE | NONE SCALE |
| 화일명 FILE NAME | - |
| 참관번호 SHEET NO. | - |
| 분 류 KIND | - |
| 도면명 SUBJECT TITLE | PLC PANEL INPUT DIAGRAM |
| 도면번호 DRAWING NO. | |


케이원에코텍(주)
K-1 EcoTech Co., Ltd.
서울시 양동구 봉보로51길 40, 201호
TEL. 02-2658-3906
FAX. 02-2658-3906


# PLC PANEL OUTPUT DIAGRAM

NONE SCALE





PROJECT TITLE

국토교통기술사업화 지원사업

NOTE

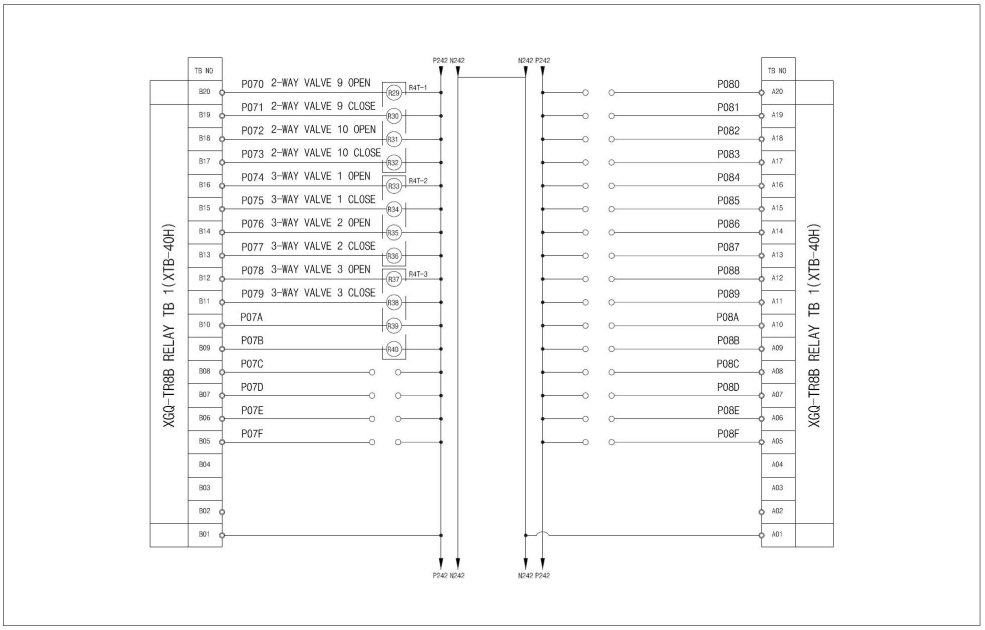
1.

| | |
|---|---|
| 설 계 DESIGNED BY | - |
| 검 토 CHECKED BY | - |
| 심 사 SUBMITTED BY | - |
| 일 자 DATE | 2018. 01. |
| 승 인 APPROVED BY | - |
| 축 척 SCALE | NONE SCALE |
| 화일명 FILE NAME | - |
| 참관번호 SHEET NO. | - |
| 분 류 KIND | - |
| 도면명 SUBJECT TITLE | PLC PANEL OUTPUT DIAGRAM |
| 도면번호 DRAWING NO. | |

케이원에코텍(주)
K-1 EcoTech Co., Ltd.
서울시 양동구 봉보로51길 40, 201호
TEL. 02-2658-3906
FAX. 02-2658-3906

# PLC PANEL OUTPUT DIAGRAM

NONE SCALE




PROJECT TITLE

국토교통기술사업화 지원사업

NOTE

1.

| | |
|---|---|
| 설 계 DESIGNED BY | - |
| 검 토 CHECKED BY | - |
| 심 사 SUBMITTED BY | - |
| 일 자 DATE | 2018. 01. |
| 승 인 APPROVED BY | - |
| 축 척 SCALE | NONE SCALE |
| 화일명 FILE NAME | - |
| 참관번호 SHEET NO. | - |
| 분 류 KIND | - |

도 면 명 SUBJECT TITLE

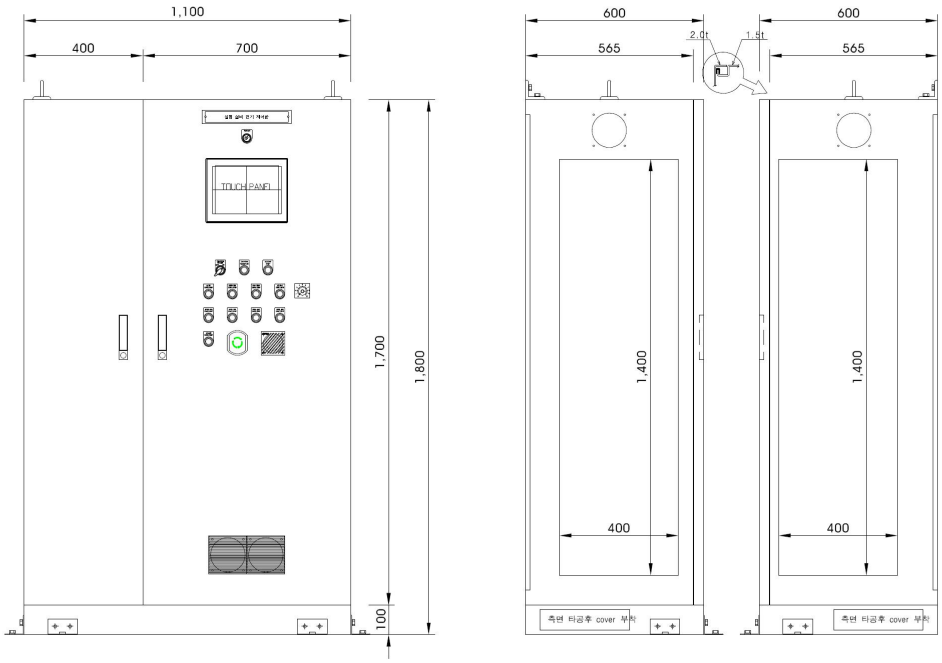
PLC PANEL OUTPUT DIAGRAM

도 면 번 호 DRAWING NO.


케이원에코텍(주)
K-1 EcoTech Co., Ltd.
서울시 영등구 문발로51길 40, 201호
TEL. 02-2658-3906
FAX. 02-2658-3906


# PLC PANEL LAYOUT

NONE SCALE




PROJECT TITLE

국토교통기술사업화 지원사업

NOTE

1.

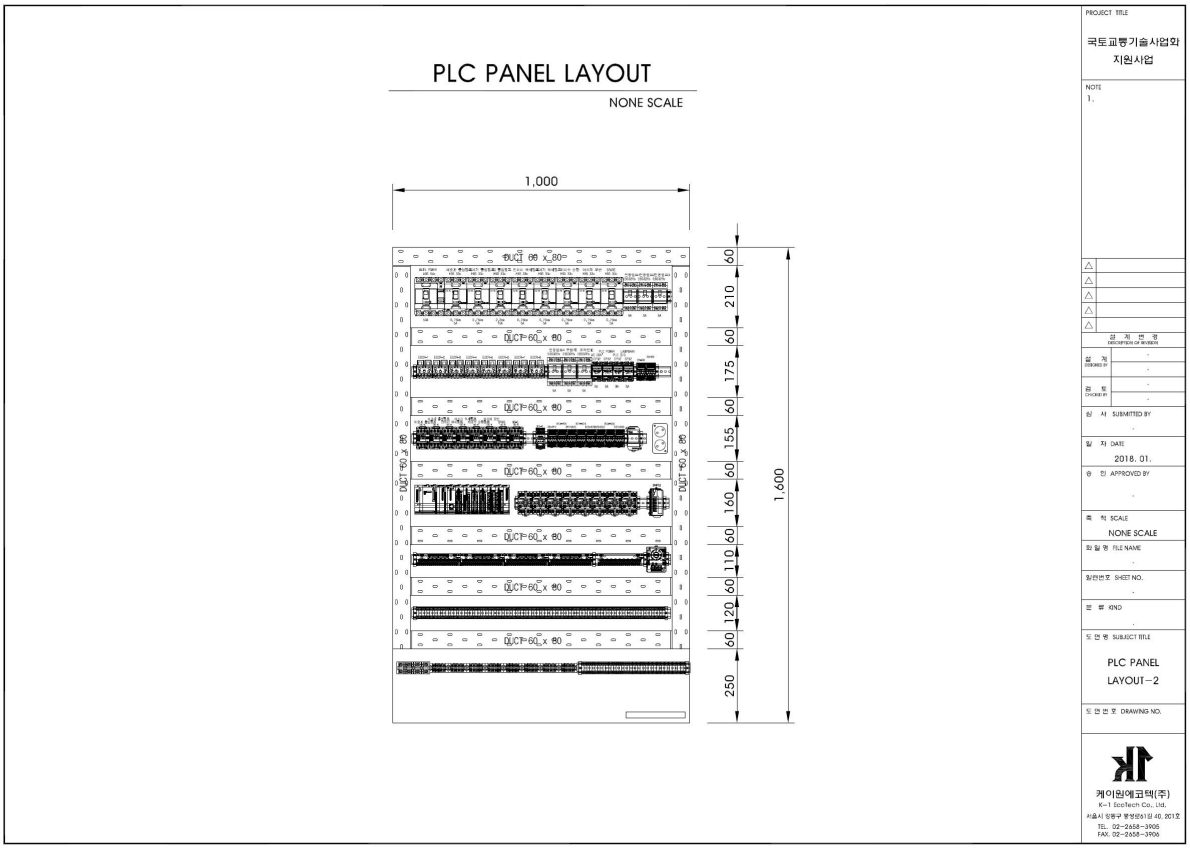
| | |
|---|---|
| 설 계 DESIGNED BY | - |
| 검 토 CHECKED BY | - |
| 심 사 SUBMITTED BY | - |
| 일 자 DATE | 2018. 01. |
| 승 인 APPROVED BY | - |
| 축 척 SCALE | NONE SCALE |
| 화일명 FILE NAME | - |
| 참관번호 SHEET NO. | - |
| 분 류 KIND | - |

도 면 명 SUBJECT TITLE

PLC PANEL LAYOUT-1

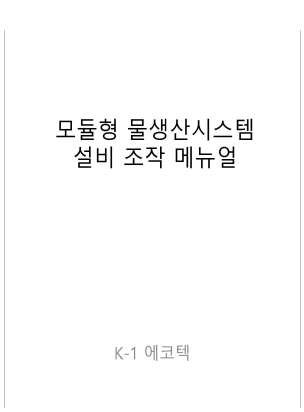
도 면 번 호 DRAWING NO.


케이원에코텍(주)
K-1 EcoTech Co., Ltd.
서울시 영등구 문발로51길 40, 201호
TEL. 02-2658-3906
FAX. 02-2658-3906

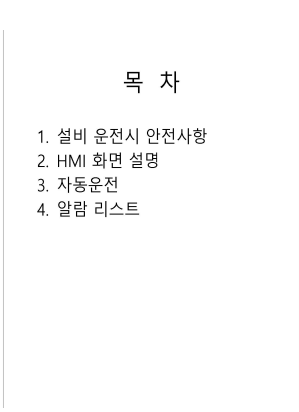



## 2. 설비 조작 메뉴얼

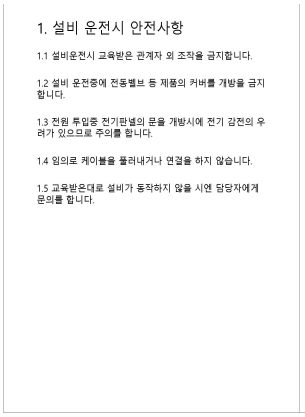
모듈형 물생산시스템의 전기 및 제어 설비의 운영을 위한 조작메뉴얼을 작성하여 물생산시스템의 운영 및 조작이 용이하도록 표준화하였다.


모듈형 물생산시스템
설비 조작 메뉴얼

K-1 에코텍


목 차

1. 설비 운전시 안전사항
2. HMI 화면 설명
3. 자동운전
4. 알람 리스트


1. 설비 운전시 안전사항

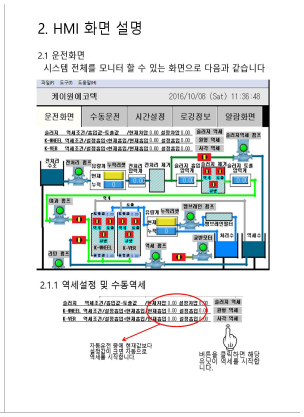
1.1 설비운전시 교육받은 관계자 외 조작을 금지합니다.

1.2 설비 운전중에 전동밸브 등 제품의 커버를 개방을 금지합니다.

1.3 전원 투입중 전기판넬의 문을 개방시에 전기 감전의 우려가 있으므로 주의를 합니다.

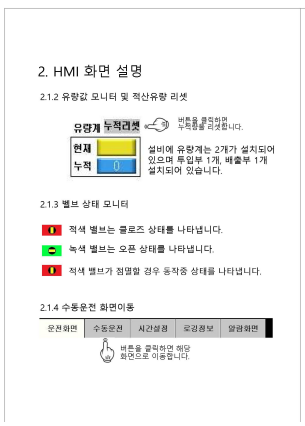
1.4 임의로 케이블을 풀러내거나 연결을 하지 않습니다.

1.5 교육받은대로 설비가 동작하지 않을 시엔 담당자에게 문의를 합니다.


2. HMI 화면 설명

2.1 운전화면
시스템 전체를 모니터 할 수 있는 화면으로 다음과 같습니다

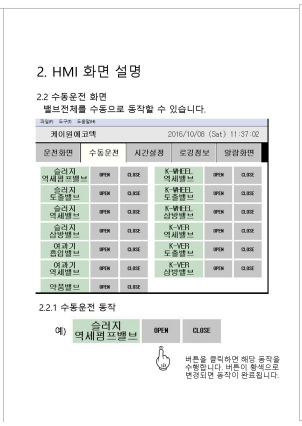
2.1.1 역세설정 및 수동역세


2. HMI 화면 설명

2.1.2 유량값 모니터 및 적산유량 리셋

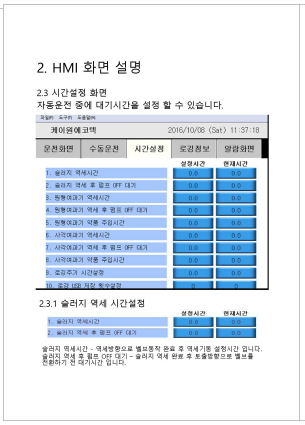
2.1.3 밸브 상태 모니터

2.1.4 수동운전 화면이동


2. HMI 화면 설명

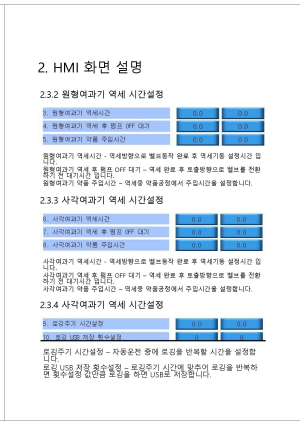
2.2 수동운전 화면
밸브전체를 수동으로 동작할 수 있습니다.

2.2.1 수동운전 동작


2. HMI 화면 설명

2.3 시간설정 화면
자동운전 중에 대기시간을 설정 할 수 있습니다.

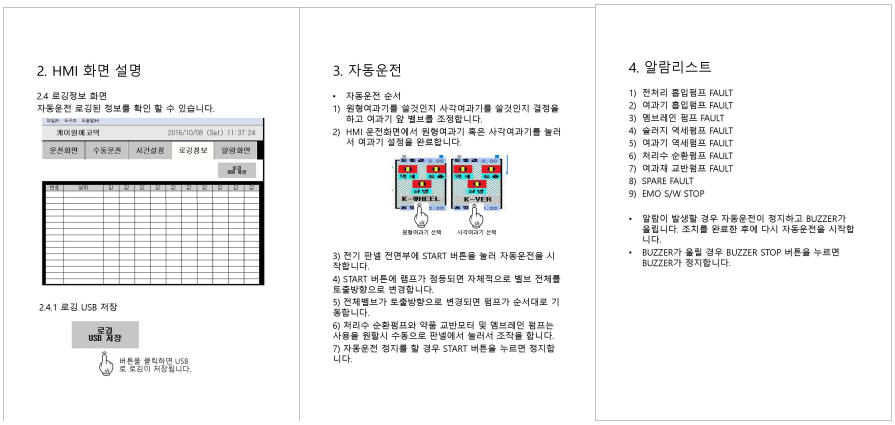
2.3.1 슬러지 역세 시간설정


2. HMI 화면 설명

2.3.2 원형여과기 역세 시간설정

2.3.3 사각여과기 역세 시간설정

2.3.4 사각여과기 역세 시간설정



2. HMI 화면 설명

2.4 로깅정보 화면
자동운전 로깅된 정보를 확인 할 수 있습니다.

2.4.1 로깅 USB 저장

버튼을 움직하면 USB로 로깅이 저장됩니다.

3. 자동운전

- 자동운전 순서

1) 원형여과기를 설정인지 사각여과기를 설정인지 결정을 하고 여과기 앞 밸브를 조정합니다.
2) HMI 운전화면에서 원형여과기 혹은 사각여과기를 눌러서 여과기 설정을 완료합니다.
3) 전기 판넬 전면부에 START 버튼을 눌러 자동운전을 시작합니다.
4) START 버튼에 램프가 점등되면 자체적으로 밸브 전체를 토출방향으로 변경합니다.
5) 전체밸브가 토출방향으로 변경되면 펌프가 순서대로 기동합니다.
6) 처리수 순환펌프와 약품 고란모터 및 엠브레인 펌프는 사용을 원할시 수동으로 판넬에서 눌러서 조작을 합니다.
7) 자동운전 정지를 할 경우 START 버튼을 누르면 정지합니다.

4. 알람리스트

1) 전처리 흡입펌프 FAULT
2) 여과기 흡입펌프 FAULT
3) 엠브레인 펌프 FAULT
4) 슬러지 역세펌프 FAULT
5) 여과기 역세펌프 FAULT
6) 처리수 순환펌프 FAULT
7) 여과재 교반펌프 FAULT
8) SPARE FAULT
9) EMO S/W STOP

- 알람이 발생할 경우 자동운전이 정지하고 BUZZER가 울립니다. 조치를 완료한 후에 다시 자동운전을 시작합니다.
- BUZZER가 울릴 경우 BUZZER STOP 버튼을 누르면 BUZZER가 정지합니다.

# 3. 각종 용수 공급이 가능한 프로세스 조합 및 모듈 구축

평상시와 재난시 각종 용수 공급이 가능한 모듈형 물생산시스템을 구축하기 위하여 공급된 각종 용수의 처리수를 사용 목적에 부합되도록 프로세스를 조합할 수 있도록 시제품을 설계하였다. 시제품은 처리수의 사용 목적에 부합되는지 성능을 검증할 수 있도록 실험실용 시스템과 현장PILOT용 시스템으로 구분하여 구축하였고, 실험실용과 현장PILOT용 시스템 모두 전처리-1차처리-2차처리-3차처리(살균포함)가 가능한 시스템으로 구성하였다.

모듈형 시스템의 프로세스 조합은

① 전처리 - 1차 - 2차로 구성한 경우 수질기준은 중수도기준으로 하였고, 실험 방법은 UV, 염소소독, OH라디컬 3가지 장치로 원수의 조건을 달리하여 2주간 4회 채수 후 공인시험기관 의뢰하여 성능을 검증하도록 하였다.

② 전처리 - 1차 - 2차 - 3차(살균포함)로 구성한 경우 수질은 음용수 수질기준으로 하였고, 채수 후 공인시험기관 의뢰하여 성능을 검증하도록 하였다.

다음의 그림은 모듈형 물생산시스템의 실험실용, 현장Pilot용 구성 사진이다.




실험실용 물생산시스템 전경

전처리, 1차처리 | 2차, 3차처리

**<그림 3-54> 실험실용 물생산시스템 구성(1)**

<table>
<tr><td colspan="2">   </td></tr>
<tr><td colspan="2">현장 Pilot용 물생산시스템 전경</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>전처리 압력계, 유량계</td><td>1차처리 채수</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>2차처리</td><td>3차처리</td></tr>
</table>

**<그림 3-55> 현장 Pilot용 물생산시스템 구성**

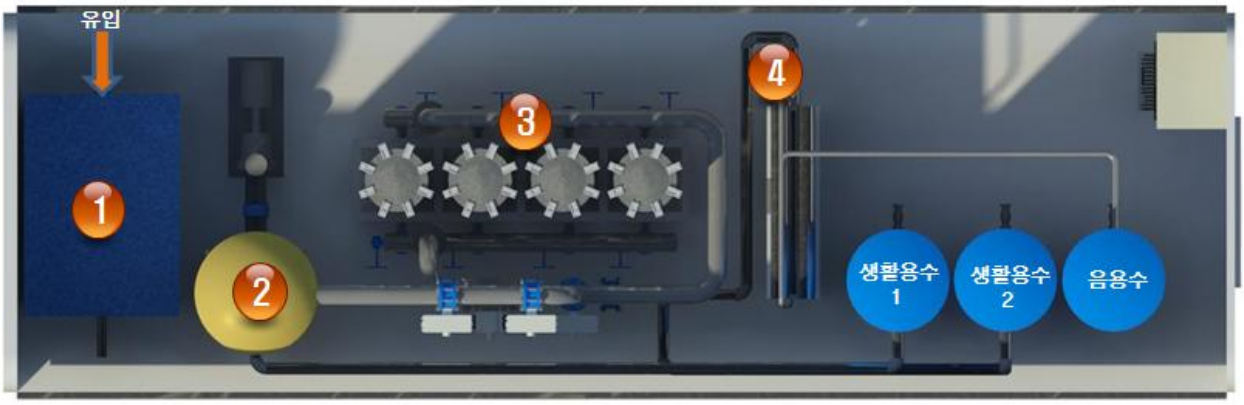
## 4. 모듈형 물생산시스템 현장 적용

본 연구에서는 물생산시스템의 공급 용수에 대해 사용목적에 부합되는 프로세스 조합을 구성하여 각각의 프로세스별 수질 및 유량을 시험 모니터링을 통해 성능을 확인하였다. 이처럼 프로세스별 수질개선 효과, 사회적 편익 분석, 환경성 평가(LCA) 및 경제성 평가를 통해 성능을 검증토록 하였으며, 이를 통해 최종 모듈형 물생산시스템의 현장적용 계획 수립의 기초자료를 마련하였다.

각 프로세스별 조합을 통한 각종 용수조건별(① 생활용수1(재해복구수), ② 생활용수2, ③ 음용수) 모듈형 물생산시스템의 개략적인 현장적용 계획 수립하였으며, 다음의 표에 나타내었다.

<표 3-30> 각종 용수 조건별 프로세스 조합

| 구 분 | 프로세스 조합 |
|---|---|
| 생활용수1<br>(재해복구수) | • ①전처리 취수처리 시설+②1차 처리설비 |
| 생활용수2 | • ①전처리 취수처리 시설+②1차 처리설비+2차 처리설비 |
| 음용수 | • 전처리 취수처리 시설+1차 처리설비+2차 처리설비+3차 처리설비 |




<그림 3-56> 각 여과시설 모듈별 배치도

## 5. 원가계산서 작성

설계 표준화를 수행하여 공법의 실용화와 사업화가 가능하도록 했으며, 모듈형 물생산시스템의 원가계산서(내역서)는 다음과 같다.

**내 역 서**

평상시와 재난시 각종 용수공급이 가능한 친환경 모듈형 물생산 시스템 개발

| 번호 | 공종 | 규격 | 단위 | 수량 | 재 료 비 | | 노 무 비 | | 경 비 | | 합 계 | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 단가 | 금액 | 단가 | 금액 | 단가 | 금액 | 단가 | 금액 | |
| 1 | 장비설치비 | | 식 | 1.00 | | | | | | | | | |
| | 컨테이너 제작 설치 | 3000W*10000L*2800H | 동 | 1.00 | 11,355,275 | 11,355,275 | 7,378,010 | 7,378,010 | 34,040 | 34,040 | 18,767,325 | 18,767,325 | 일위001번 |
| | 공압식 사방형 밸브 설치 | 100A, 액츄레이터 | EA | 1.00 | 2,950,000 | 2,950,000 | - | - | - | - | 2,950,000 | 2,950,000 | 자재015번 |
| | 전자식유량계 설치 | 80A | EA | 1.00 | 1,550,000 | 1,550,000 | 29,090 | 29,090 | - | - | 1,579,090 | 1,579,090 | 일위004번 |
| | 전자식유량계 설치 | 80A | EA | 2.00 | 1,550,000 | 3,100,000 | 29,090 | 58,180 | - | - | 1,579,090 | 3,158,180 | 일위004번 |
| | 집모기 설치 | 300Dx600H 투시창 설치 | EA | 1.00 | 2,000,000 | 2,000,000 | - | - | - | - | 2,000,000 | 2,000,000 | 일위005번 |
| | 순환펌프 설치 | 7.5kw | 대 | 2.00 | 1,661,000 | 3,322,000 | 387,318 | 774,636 | - | - | 2,048,318 | 4,096,636 | 일위006번 |
| | 처리수 BOX (STS304) 설치 | W2400*1200*1500*4t | EA | 1.00 | 2,272,531 | 2,272,531 | 3,825,807 | 3,825,807 | - | - | 6,098,338 | 6,098,338 | 일위007번 |
| | 모래여과기 및 활성탄여과기 설치 | 규격:1300D*1500H | 대 | 2.00 | 8,712,717 | 17,425,434 | 15,359,501 | 30,719,002 | - | - | 24,072,218 | 48,144,436 | 일위008번 |
| | 가압필터여과기 헤드 | K-WHEEL F | 조 | 3.00 | 3,500,000 | 10,500,000 | | - | - | - | 3,500,000 | 10,500,000 | 자재026번 |
| | 가압필터여과기 여과판 | K-WHEEL F | EA | 50.00 | 350,000 | 17,500,000 | - | - | - | - | 350,000 | 17,500,000 | 자재027번 |
| | 가압필터여과기 여과포 | K-WHEEL F | 매 | 50.00 | 250,000 | 12,500,000 | - | - | - | - | 250,000 | 12,500,000 | 자재028번 |
| | UV 살균장치 설치 | 40 TON/HR | SET | 1.00 | 3,500,000 | 3,500,000 | - | - | - | - | 3,500,000 | 3,500,000 | 일위010번 |
| | 규조토 약품 탱크 | 500W*500L*500H PVC TANK | SET | 1.00 | 1,250,000 | 1,250,000 | - | - | - | - | 1,250,000 | 1,250,000 | 자재030번 |
| | 콤프레샤 설치 | 2HP | SET | 1.00 | 1,388,000 | 1,388,000 | - | - | - | - | 1,388,000 | 1,388,000 | 일위009번 |
| | 디지털 압력계설치(PIT) | 4-20mA | 조 | 6.00 | 800,000 | 4,800,000 | 51,788 | 310,728 | - | - | 851,788 | 5,110,728 | 일위012번 |
| | R/O 시스템 | 5ton/hr | SET | 1.00 | 48,500,000 | 48,500,000 | - | - | - | - | 48,500,000 | 48,500,000 | 자재032번 |
| | 소계 | | | | | 143,913,240 | | 43,095,453 | | 34,040 | | 187,042,733 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 배관 공사 | | 식 | 1.00 | | | | | | | | | |
| | 스테인리스강관 배관(용접) | 20A, 2.8T | m | 3.00 | 6,820 | 20,460 | 6,548 | 19,644 | - | - | 13,368 | 40,104 | 일위041번 |
| | 스테인리스강관 배관(용접) | 40A, 2.8T | m | 3.00 | 12,250 | 36,750 | 12,206 | 36,618 | - | - | 24,456 | 73,368 | 일위039번 |
| | 스테인리스강관 배관(용접) | 80A, 3.0T | m | 22.00 | 23,560 | 518,320 | 20,584 | 452,848 | - | - | 44,144 | 971,168 | 일위037번 |
| | STS ELBOW | STS304 20A,90° | EA | 1.00 | 1,640 | 1,640 | - | - | - | - | 1,640 | 1,640 | 자재067번 |
| | STS ELBOW | STS304 40A,90° | EA | 1.00 | 4,020 | 4,020 | - | - | - | - | 4,020 | 4,020 | 자재064번 |
| | STS ELBOW | STS304 80A,90° | EA | 33.00 | 11,770 | 388,410 | - | - | - | - | 11,770 | 388,410 | 자재061번 |
| | STS ELBOW | STS304 80A,45° | EA | 16.00 | 11,770 | 188,320 | - | - | - | - | 11,770 | 188,320 | 자재062번 |
| | STS TEE | STS304 80A-80A | EA | 29.00 | 19,630 | 569,270 | - | - | - | - | 19,630 | 569,270 | 자재068번 |
| | STS TEE | STS304 80A-40A | EA | 1.00 | 19,630 | 19,630 | - | - | - | - | 19,630 | 19,630 | 자재069번 |
| | STS REDUCER | STS304 80A-40A | EA | 1.00 | 9,126 | 9,126 | - | - | - | - | 9,126 | 9,126 | 자재073번 |

# 내 역 서

평상시와 재난시 각종 용수공급이 가능한 친환경 모듈형 물생산 시스템 개발

| 번호 | 공종 | 규격 | 단위 | 수량 | 재 료 비 | | 노 무 비 | | 경 비 | | 합 계 | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 단가 | 금액 | 단가 | 금액 | 단가 | 금액 | 단가 | 금액 | |
| | STS CAP | STS304 80A | EA | 2.00 | 5,850 | 11,700 | - | - | - | - | 5,850 | 11,700 | 자재072번 |
| | 나사 엘보 | STS304 15A | EA | 10.00 | 3,250 | 32,500 | - | - | - | - | 3,250 | 32,500 | 자재043번 |
| | 나사 티 | STS304 15A | EA | 10.00 | 4,850 | 48,500 | - | - | - | - | 4,850 | 48,500 | 자재044번 |
| | 장니플 | 15A | EA | 10.00 | 2,120 | 21,200 | - | - | - | - | 2,120 | 21,200 | 자재047번 |
| | 장니플 | 20A | EA | 1.00 | 2,970 | 2,970 | - | - | - | - | 2,970 | 2,970 | 자재046번 |
| | 장니플 | 40A | EA | 1.00 | 7,760 | 7,760 | - | - | - | - | 7,760 | 7,760 | 자재045번 |
| | 편니플 | 20A | EA | 1.00 | 2,970 | 2,970 | - | - | - | - | 2,970 | 2,970 | 자재048번 |
| | 편니플 | 40A | EA | 1.00 | 7,760 | 7,760 | - | - | - | - | 7,760 | 7,760 | 자재049번 |
| | 단니플 | 15A | EA | 10.00 | 2,120 | 21,200 | - | - | - | - | 2,120 | 21,200 | 자재052번 |
| | 단니플 | 20A | EA | 1.00 | 2,970 | 2,970 | - | - | - | - | 2,970 | 2,970 | 자재051번 |
| | 단니플 | 40A | EA | 1.00 | 7,760 | 7,760 | - | - | - | - | 7,760 | 7,760 | 자재050번 |
| | 유니온 | 20A | EA | 1.00 | 5,900 | 5,900 | - | - | - | - | 5,900 | 5,900 | 자재053번 |
| | 유니온 | 40A | EA | 1.00 | 15,500 | 15,500 | - | - | - | - | 15,500 | 15,500 | 자재054번 |
| | 황동 볼 밸브 설치 | 황동 10K, 20A | EA | 1.00 | 5,240 | 5,240 | 7,171 | 7,171 | - | - | 12,411 | 12,411 | 일위021번 |
| | 황동 볼 밸브 설치 | 황동 10K, 40A | EA | 1.00 | 21,090 | 21,090 | 10,613 | 10,613 | - | - | 31,703 | 31,703 | 일위020번 |
| | BUTTERFLY VALVE 설치 | STS304 10K, 80A | EA | 30.00 | 135,000 | 4,050,000 | 29,090 | 872,700 | - | - | 164,090 | 4,922,700 | 일위019번 |
| | FLEXIBLE JOINT 설치 | STS304 10K, 80A | EA | 4.00 | 101,000 | 404,000 | 49,469 | 197,876 | - | - | 150,469 | 601,876 | 일위028번 |
| | STS FLANGE | STS304 10K SOFF 80A | EA | 81.00 | 21,040 | 1,704,240 | - | - | - | - | 21,040 | 1,704,240 | 자재039번 |
| | STS FLANGE | STS304 10K BLFF 80A | EA | 1.00 | 30,400 | 30,400 | - | - | - | - | 30,400 | 30,400 | 자재040번 |
| | U자형볼트 | 철연, Φ180 | 개 | 7.00 | 3,638 | 25,466 | - | - | - | - | 3,638 | 25,466 | 자재088번 |
| | 탱크 소켓 | 황동, 20D | 개 | 1.00 | 3,450 | 3,450 | - | - | - | - | 3,450 | 3,450 | 자재080번 |
| | 탱크 소켓 | 황동, 40D | 개 | 1.00 | 7,050 | 7,050 | - | - | - | - | 7,050 | 7,050 | 자재081번 |
| | 다기능 에어밴트 | SUS 304 | 개 | 4.00 | 32,000 | 128,000 | - | - | - | - | 32,000 | 128,000 | 자재082번 |
| | 압력계 | 6 kgf/cm2 | 개 | 10.00 | 11,600 | 116,000 | - | - | - | - | 11,600 | 116,000 | 자재034번 |
| | 사이펀 밸브 | - | 개 | 10.00 | 2,550 | 25,500 | - | - | - | - | 2,550 | 25,500 | 자재086번 |
| | 고무패킹 | 스파이럴 가스켓 80A | EA | 21.00 | 1,940 | 40,740 | - | - | - | - | 1,940 | 40,740 | 자재087번 |
| | BOLT_NUT SUS 304 | M16-110L | EA | 240.00 | 1,376 | 330,240 | - | - | - | - | 1,376 | 330,240 | 자재074번 |
| | BOLT_NUT SUS 304 | M16-65L | EA | 168.00 | 967 | 162,456 | - | - | - | - | 967 | 162,456 | 자재075번 |
| | 평와사 SUS 304 | M16 | EA | 816.00 | 67 | 54,427 | - | - | - | - | 66 | 54,427 | 자재076번 |
| | 스프링와사 SUS 304 | M16 | EA | 408.00 | 72 | 29,498 | - | - | - | - | 72 | 29,498 | 자재077번 |

# 내 역 서

평상시와 재난시 각종 용수공급이 가능한 친환경 모듈형 물생산 시스템 개발

| 번호 | 공종 | 규격 | 단위 | 수량 | 재 료 비 | | 노 무 비 | | 경 비 | | 합 계 | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 단가 | 금액 | 단가 | 금액 | 단가 | 금액 | 단가 | 금액 | |
| | 지지대 제작(폴프지지대 포함) | STS 304 40*40*3T 앵글 | M | 13.00 | 1,529 | 19,877 | 405 | 5,265 | - | - | 1,934 | 25,142 | 일위013번 |
| | 스테인리스강관 용접접합 개소 | 20A | 개소 | 3.00 | 650 | 1,950 | 9,291 | 27,873 | - | - | 9,941 | 29,823 | 일위049번 |
| | 스테인리스강관 용접접합 개소 | 40A | 개소 | 5.00 | 1,462 | 7,310 | 13,692 | 68,460 | - | - | 15,154 | 75,770 | 일위046번 |
| | 스테인리스강관 용접접합 개소 | 80A | 개소 | 355.00 | 4,666 | 1,656,430 | 22,005 | 7,811,775 | - | - | 26,671 | 9,468,205 | 일위044번 |
| | **소계** | | | | | **10,768,000** | | **9,510,843** | | **-** | | **20,278,843** | |
| | | | | | | | | | | | | | |

국내에서 최대 이동이 가능한 트레일러형의 경우 최대 크기가 2.6 × 14 m이며, 본 과제에서는 3 × 10 m 크기의 모듈형으로 제작하였다. 이동이 가능한 모듈형에서의 먹는물 기준 생산 가능한 최대용량은 시간당 5$m^3$이다. 먹는물 생산을 위해서는 유입수의 조건이 부유물질 기준 25 mg/L의 고농도로 가정하였을 경우 전처리-1차처리-2차처리-RO시스템으로 시스템을 구축하였고, 원수의 수질조건에 따라 전처리와 1차처리는 생략이 가능하다.

각 모듈별 구축비용은 전처리장치 24백만원, 1차처리장치 24백만원, 2차처리장치 42백만원,

3차처리장치 48백만원, 부대시설 58백만원이 소요되었으며 총구축비용은 196백만원이다. 생산단가는 전처리장치, 1차처리장치, 2차처리장치의 경우 생활용수생산량 30 ㎥/h, 3차처리장치는 먹는물 생산기준량 5 ㎥/h을 기준으로 하였고, 연간 유지관리비용을 총 물생산량으로 나누어 생활용수 1 ㎥과 음용수 1㎥을 생산하는데 드는 비용을 산정하였다. 산정결과 생활용수 1㎥을 생산하는데 드는 비용은 21.05원, 음용수 1㎥을 생산하는데 드는 비용은 108.92원으로 나타났다.

<표 3-31> 모듈별 구축비용 (단위: 백만원)

| 구분 | 전처리 | 1차처리 | 2차처리 | RO | 기계실 | 배관 공사 | 전기 제어 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 구축비 | 24 | 24 | 42 | 48 | 18 | 20 | 20 | 196 |

<표 3-32> 생활용수와 음용수 ㎥당 생산단가

| 구분 | 생활용수 | 음용수 |
|---|---|---|
| 전력비(원/년) | 4,687,695 | 3,437,570 |
| 소모품비(원/년) | 843,000 | 1,333,333 |
| 합계(원/년) | 553,0695 | 4,770,903 |
| 연간처리량(㎥/년) | 262,800 | 43,800 |
| 생산단가(원) | 21.05 | 108.92 |

# 제5절 유지관리 최소화를 위한 통합관리 시스템 개발

## 1. 시스템 개요 및 특징

개발한 통합관리시스템은 모듈화된 물생산시스템을 효율적으로 운영관리하고 제어하기 위한 시스템으로써 다음과 같이 기존 통합 유지관리 시스템과 차별성을 가지고 있다.

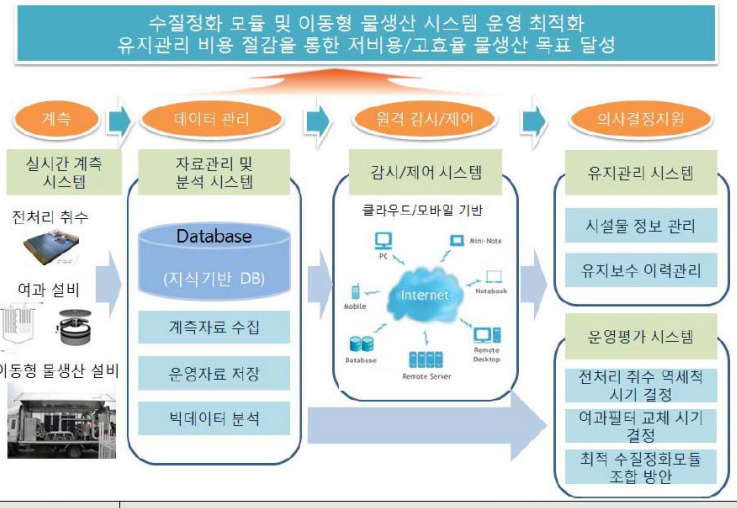
**<표 3-33> 통합관리 시스템의 개요 및 특징**

| 구분 | 기존 시스템 | 개발 통합관리 시스템 |
|---|---|---|
| 개요 | 대규모 물관리 시설물(정수처리장 및 하수처리장, 상하수도 관망, 댐 및 저수지 등)관리를 위한 SCADA 기반의 단순 감시/제어 시스템 | 소규모, 모듈화된 이동/분산형 물생산 시스템에 대한 감시/제어부터 운영 및 유지관리를 모두 포함하는 종합적인 통합관리 시스템 |
| 특징 | · 수처리 공정 및 관망 감시 위주<br>· 감시제어를 위한 C/S기반 HMI 시스템 적용<br>· 계측자료에 대한 단순 DB화<br>· 의사결정지원 정보 부재 | · 모듈조합에 따른 확장성 있는 실시간 모니터링 체계<br>· 모바일/웹 기반 감시제어 시스템 적용(장소/시간 제약없음)<br>· 계측/운영자료 DB화를 통한 지식기반 통합 DB 구축<br>· 빅데이터 분석을 통한 의사결정지원 정보 제공 |
| 초기구축 비용 | 최소 30~100억 | 모듈조합에 따라 탄력 적용(5~10억) |
| 유지관리 비용 | 2~5억/년 | 2천만원 미만/년 |

기존 통합유지관리시스템의 경우 대규모 물관리 시설물(정수처리장 및 하수처리장, 상하수도 관망, 댐 및 저수지 등) 관리를 위한 SCADA 기반의 일반적인 감시/제어 시스템이 대부분이며, 본 연구과제와 같은 모듈형 물생산시스템을 통합 관리하기 위한 시스템은 개발된 바 없다. 일부 시설의 경우 공정진단을 통한 운영 최적화 및 에너지 절감, 유지관리 비용 절감 등을 시도하고 있으나, 수처리 모듈 및 공정의 복잡도가 크고 운영자료에 대한 DB화 및 분석이 체계화 되어있지 않은 상황이다.

이에 따라 모듈형 물생산시스템의 유지관리 비용 최소화 및 운영 최적화를 위한 통합관리 시스템을 구상하고 실시간 계측 시스템을 포함하여 다음과 같은 개념도 및 단위 시스템으로 계획하였다.

계획된 기술의 지적재산권 보호를 위해 2017년 5월에 특허를 출원(제10-2017-0058518호)하였고, 2017년 10월에 특허 등록(제10-1788811호)까지 완료하였다.

<table>
<tr><td>통합관리시스템 개념도</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="6">시스템</td><td>단위 시스템</td><td>시스템 기능</td></tr>
<tr><td>실시간 계측 시스템</td><td>취수원 수위 및 전처리 취수설비, 여과설비(1~3차 필터), 이동형 물생산 설비에 대한 실시간 운영 정보 수집</td></tr>
<tr><td>자료 관리 및 분석 시스템</td><td>실시간 계측 자료 및 운영정보 수집/저장을 통한 지식기반 DB 구축, 빅 데이터 분석 수행</td></tr>
<tr><td>감시제어 시스템</td><td>클라우드 및 모바일 기반의 통합 원격 감시/제어 체계 구축</td></tr>
<tr><td>유지관리 시스템</td><td>전처리 취수를 비롯한 여과설비 등에 대한 시설물 정보 및 유지보수 이력 정보 관리</td></tr>
<tr><td>운영평가 시스템</td><td>설비 운영자료를 기반으로 한 빅데이터 분석을 통해 전처리 취수 설비의 역세척 시기와 가압필터 교체 시기 정보 제공, 물생산시스템 최적 조합 방안 정보 제공</td></tr>
<tr><td>특징 및 기능</td><td colspan="2">① 클라우드 및 모바일 기술 적용<br>모바일 기술을 활용하여 장소와 시간에 구애받지 않고 언제 어디서나 원격에서도 물생산시스템을 감시/제어 가능<br>클라우드(Cloud) 기반의 통합 유지관리 체계 구축을 통해 다양한 접속 환경(PC/노트북, 스마트폰, 태블릿 등)에서도 활용 가능<br>관리 감독자가 현장에 없더라도 모바일 기반 유지관리 시스템을 통해 취수 및 전처리, 수질정화 모듈 등을 원격에서 모니터링 및 제어가 가능<br>② 빅 데이터 분석을 통한 최적 운영 방안 도출<br>수치모의 결과와 축적된 운영자료 분석을 통해 전처리 취수 설비의 역세척 및 가압필터 교체시기 자동 알람 기능 제공<br>취수 수질조건에 따른 최적의 수질정화모듈 조합 방안에 대한 의사결정지원 정보 제공<br>③ 네트워크 기술을 활용한 통합관리 체계 구축<br>다수의 모듈형 물생산시스템이 운영될 경우, 무선 네트워크를 통해 각각의 물생산 시스템을 하나로 연결하여 중앙 또는 현장에서 통합관리 할 수 있는 체계 구축<br>GPS 및 GIS 기술 융합을 통해 분산형 모듈형 물생산시스템의 위치와 최적 이동경로를 관리함으로써 물생산의 효율성 증대</td></tr>
</table>

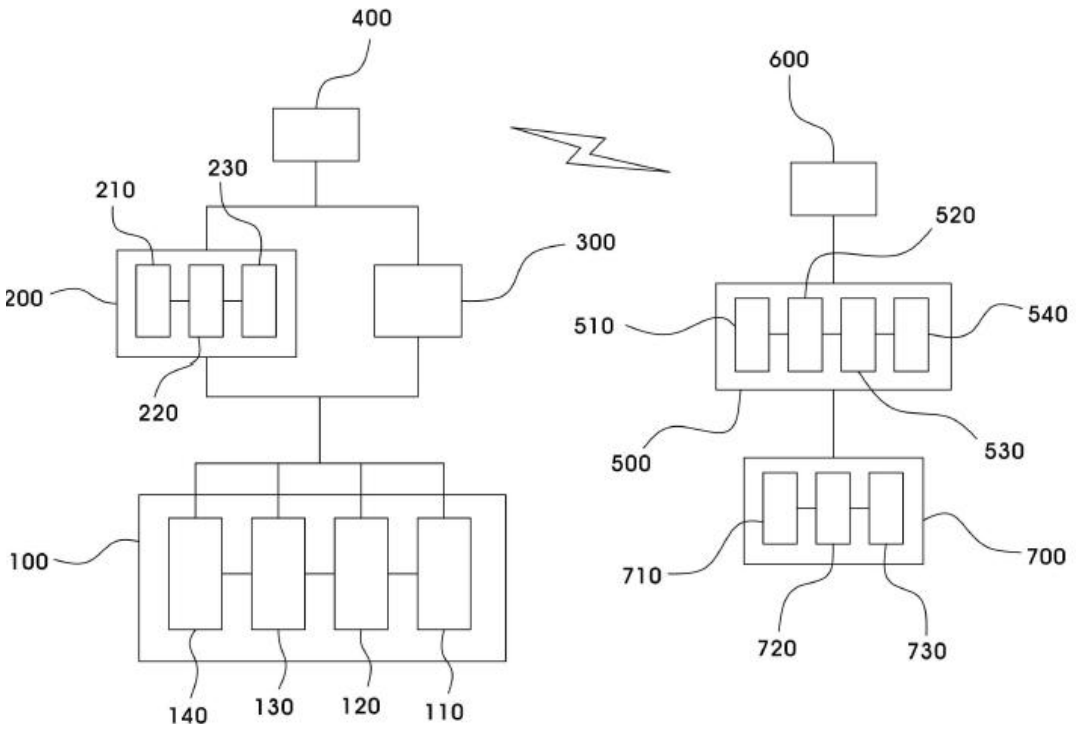
<그림 3-57> 통합관리 시스템 계획

## 2. 시스템 내용

<그림 3-58>은 시스템 개념도로 크게 2가지로 구성되어 있다.

1) 현장에서 모듈형 통합 운영 제어 시스템(100, 200, 300, 400)

2) 중앙에서 관리 운영할 수 있는 통합관리시스템(500, 600, 700)




| | |
|---|---|
| 400 | 시스템데이터 송수신부 |
| 300 | 고장 확인 감시부 |
| 200 | 수질 측정 감시부 |
| 210 | 여과값 데이터 저장부 |
| 220 | 수질특정데이터 비교부 |
| 230 | 압력측정데어터 확인부 |
| 100 | 물생산시스템 |
| 110 | 모래여과부 |
| 120 | 활성탄 여과부 |
| 130 | 가압필터여과부 |
| 140 | 멤브레인필터부 |
| 600 | 중앙데이터 송수신부 |
| 500 | 중앙제어부 |
| 510 | 시스템데이터송수신부 |
| 520 | 수질현황자료저장부 |
| 530 | 작동부현황자료저장부 |
| 540 | 역세척자동제어부 |
| 700 | 비상감시제어부 |
| 710 | 근무자 db관리부 |
| 720 | 비상연락부 |
| 730 | 조치사항저장부 |

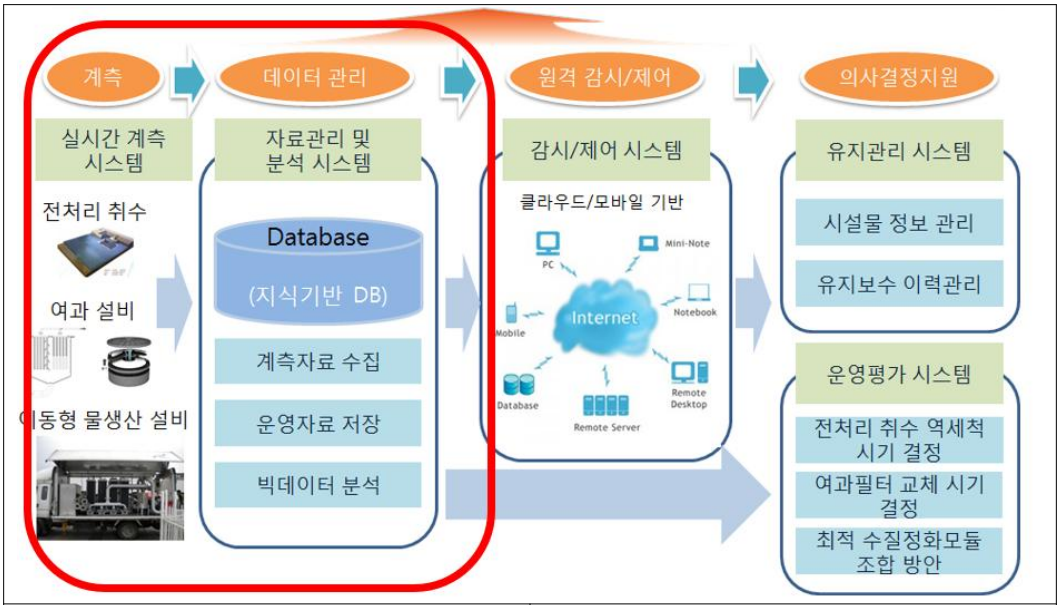
**<그림 3-58> 통합관리 시스템 개념도**

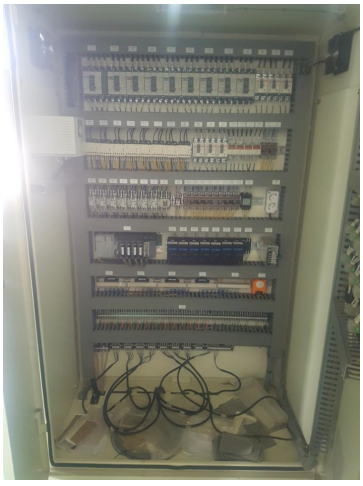
## 가. 네트워크 기술을 활용한 통합관리 체계 구축

- 산업용 이더넷을 기반으로 고효율의 산업용 네트워크 및 버스 시스템을 구현할 수 있는 SIMATIC NET IWLAN을 이용하여 유선 및 무선 네트워크를 구축하고 중앙서버와의 원활한 통신연결을 통해 통합관리가 가능하도록 네트워크 시스템을 구축하였다. 또한 GPS와 GIS를 활용한 위치추적 및 시스템 확장을 통해 다수의 현장에서도 통합서버로의 네트워크가 가능하도록 계획하였다.

## 나. 빅 데이터 분석을 통한 최적 운영 방안 도출

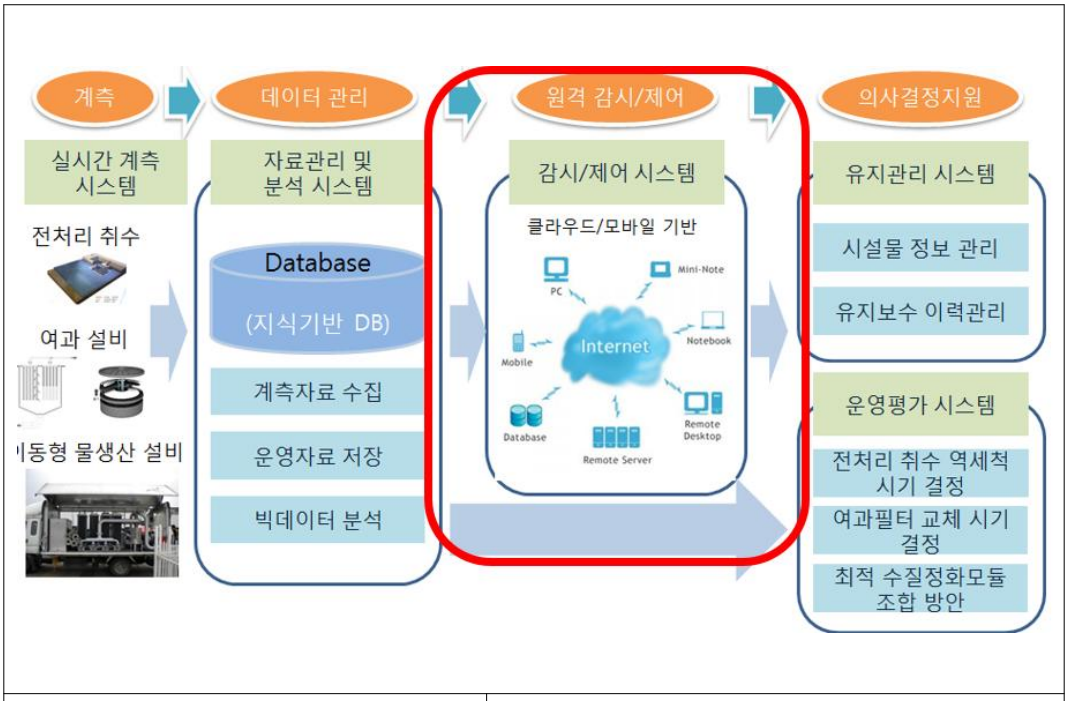
- 네트워크 구축을 통해 전송되는 운영자료(압력값, 유량, 역세횟수 등)를 서버에서 수집하고 SIMATIC 플랫폼을 통해 데이터 분석을 하여 운영자가 의사결정을 원활히 할 수 있도록 도와주며 가변 할 수 있는 시스템 설정값을 통해 운영공정 도래 시 자동 알람이 가능할 수 있도록 계획하였다. 또한 수질모니터링 시스템을 구비한 상태에서 수질조건에 따라 개별 공정을 단축하여 구동할 수 있도록 단계별 자동운전도 가능하도록 하였다.
- 자료관리 및 분석을 위해서 압력값, 유량, 역세횟수 등에 대하여 지식기반 DB 구축이 가능하도록 하였다.

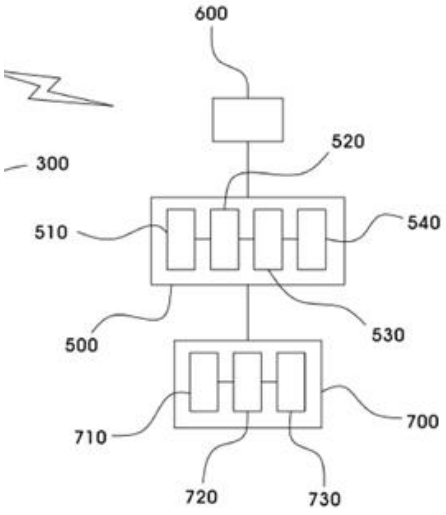


계측 및 데이터 관리
– 다음 각각의 모듈에서 계측 및 데이터 관리가 가능할 수 있도록 설계

| | |
|---|---|
| 300 | 고장 확인 감시부 |
| 200 | 수질 측정 감시부 |
| 210 | 여과값 데이터 저장부 |
| 220 | 수질특정데이터 비교부 |
| 230 | 압력측정데이터 확인부 |




– 각각의 물생산시스템에서 계측 및 데이터를 400(시스템데이터 송수신부)와 600(중앙데어터 송수신부)을 네트워크를 통해 연계함

– 중앙에서 관리자가 각각의 물생산시스템에서 송신한 데이터들을 관리 운영할 수 있음

– 빅데이터 분석을 통해 최적 의사결정 지원

## 다. 클라우드 및 모바일 기술 적용

- 모바일 기술을 활용하여 원격 감시 제어 클라우드 기반의 다양한 접속환경에서 활용가능한 간단한 키패드 패널, 이동식 및 고정식 운영자 인터페이스, 고성능 전방위 장치에 이르기까지 모든 애플리케이션에 적합한 솔루션을 제공하는 SCADA 기반의 인터페이스를 활용하여 장소와 시간에 구애받지 않고 언제 어디서나 PC, 노트북, 스마트폰, 태블릿 등에서도 접속이 가능하도록 계획하였다.




– 중앙관리자가 물생산시스템(100)의 각각 운영에 대한 흐름을 확인할 수 있도록 GUI 시스템으로 표출

| | |
|---|---|
| 100 | 물생산시스템 |
| 110 | 모래여과부 |
| 120 | 활성탄 여과부 |
| 130 | 가압필터여과부 |
| 140 | 멤브레인필터부 |

– 이와 같은 시스템은 현장 및 중앙에서 운영 관리가 효율적으로 운영될 수 있는지 관리할 수 있는 시스템임

## 라. 친환경 에너지를 활용한 시스템

재난시 전력공급이 어려운 상황에 대비하기 위하여 태양광 발전설비를 컨테이너 지붕에 설치하였다.





<그림 3-64> 태양광 발전설비

태양광 발전설비는 400 Wp 솔라모듈을 16장 설치하였으며, 여름~가을 기간 동안 시스템 평균 가동 7.5시간 동안 계량기를 통해 생산량을 관측한 결과 최대 생산량은 48kwh, 전력이 생산되는 발전시간은 평균 4.5시간)으로 나타났다. 시스템을 일 24시간 가동한다고 가정하였을 때 일 전력소모량은 384kwh이며, 이를 태양광 에너지로 대체하면 최대 12.5% 전력량을 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

다만 본 연구 설비에서는 비용적인 측면에서 축전에 필요한 설비를 설치하지 못하였고 기계실 지붕이라는 설치공간의 제약으로 친환경에너지만으로 시스템을 가동하기는 어려웠지만 주전력은 이동형 발전기, 보조전력은 태양광 발전설비로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

향후 전기공급이 어려운 조건에서 활용하기 위해서는 생산된 전기를 저장하기 위한 축전설비가 필요하며 시스템 구동에 필요한 최소 전력생산을 위해서는 기계실 지붕 이외의 면적을 활용하여 설치 부지를 확대하기 위한 연구와 태양광 발전시설의 발전효율 개선 및 대체가능한 친환경 에너지 기술의 추가연구가 필요하다.

<표 3-40> 친환경 에너지 대체비율

| 일 전력소모량 | 일 태양광 전력 생산량(최대) | 에너지 대체비율 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 16kw x 24hr = 384kwh | 48kwh | 12.5 % | 일24시간 가동 기준 |

# 제6절 기후변화 대응을 위한 녹색인증 추진

## 1. 기후변화대응 효과 분석

### 가. 국내외 기술현황 분석

본 연구에서는 가압필터 여과장치의 유사한 성능을 가진 여과시스템(섬유상여과기, 역삼투여과기)을 비교 분석하였다. 수영장에서 가장 보편적으로 사용되는 다층복합여과기는 여러 층의 적재층을 통하여 여과되는 방식이나 크기에 비해 여과능력이 떨어져 수질관리에 어려움을 겪었으나, 본 사에서 개발한 가압필터 여과방식으로 특히 규조토 여과포의 여과능력, 여과용량이 뛰어나 보다 수처리가 용이하다. 가압필터 여과장치는 중앙을 통해 원수가 공급되고, 외측 가장자리 사방을 통해 여과수가 배출되는 원형의 형태로 설계 및 개발되었다. 또한 현탁물질이 누출되지 않으며 원수의 탁도 변화에 관계없이 안정적으로 여과가 가능하다. 응집제가 불필요하여 여재비용이 감소하고 전자동화 시스템으로 인한 인건비 절약의 특징이 있다.

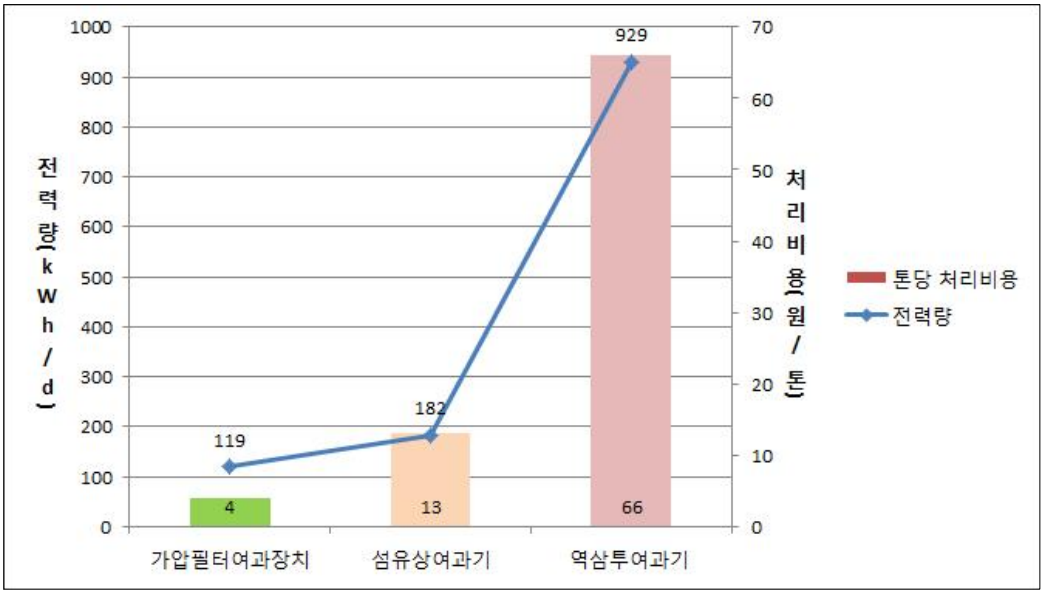
본 기술(가압필터 여과장치)과 기존 기술(섬유여과기 방식, 역삼투여과기)의 성능에 대한 제거 특성과 전력량, 톤당 처리비용을 분석한 결과 아래의 표와 같다.

**<표 3-41> 본사의 기술과 타사 기술 성능 비교**

| 구분 | 제거특성 (처리효율, %) | | 전력량 (kWh/일) | 톤당 처리비용 (원/톤) | 처리용량 (㎥/일) | 특징 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | SS | SS성 COD | | | | |
| 본 기술 (가압 필터 여과장치) | 70~90 | 3~6 | 119 | 4 | 2880 | · 현탁물질이 누출되지 않음<br>· 원수의 탁도변화에 관계없이 안정적으로 여과 가능<br>· 전자동화 시스템 가능<br>· 응집제 불필요, 여재비용감소 |
| 기존 기술 A (섬유상 여과기) | 50~80 | 0~2 | 182 | 13 | 2600 | · 부하변동 대응성 우수<br>· 고장시 단위기기별 보수<br>· 손실수두가 높아 동력소비 큼<br>· 중력식, 압력식 시설설치<br>· 하수처리장 3차처리 실적다수 |
| 기존 기술 B (역삼투 여과기) | 99 | 5~10 | 929 | 66 | 2400 | · 막공경 (0.2~0.01μm)이 미세하여 처리수질 우수<br>· 미세한 막공경으로 유입수 SS증가시 플럭스 저하 및 잦은 역세척 발생 |

위의 표에서 보는바와 같이 수질 제거 특성에서는 부유물질(SS)은 가압필터 여과장치가 70~90%, 섬유상여과기는 50~80%, 역삼투여과기는 99%의 효율을 보이고 있다. 단, 역삼투여과기의 여과시스템 효율이 높은 반면 많은 양의 전력량을 소모하며, 그 비용 또한 고가임을 알 수 있다. SS성 COD제거 효율은 가압필터 여과장치는 3~6%, 섬유상여과기는 0~2%, 역삼투여과기는 5~10%의 제거특성을 가지고 있다. 가압필터 여과장치는 규격 K-WHEEL F120 기준 1일 동안 가동시 전력은 119 kWh가 소요되며, 섬유상 여과기는 182 kWHh, 역삼투여과기는 929 kWh로 본 기술의 에너지 효율이 매우 우수하다. 가압필터 여과장치의 톤당 처리비용은 4원이며, 섬유상여과기는 13원, 역삼투여과기는 66원으로 조사되었다.

본 연구의 대상인 가압 필터 여과장치는 운전소요 전력이 타사 기술보다 우수하고, 에너지 부하 및 온실가스의 배출이 적은 기술이며, 톤당 처리 비용이 우수하여 경제적인 효과도 가지고 있다. 또한 적은 전력을 소모하고, 응집제가 불필요한 점과 여재비용의 절감으로 인하여 톤당 처리비용이 기존의 기술과 비교하였을 때 우수함을 알 수 있다.




<그림 3-65> 본 기술과 기존 기술의 전력량/톤당 처리비용 비교

## 나. 환경성 분석 결과

본 연구에서는 가압필터 여과장치의 성능개선을 통해 수질개선효과와 에너지 사용량 절감으로 친환경적 첨단기술임을 검증하고 저탄소 녹색성장 정책에 부응하는 기술임을 제안하고자 한다. 환경성 분석은 전과정평가 방법을 이용하여 8가지의 범주(무생물 자원고갈, 산성화, 부영양화, 지구온난화, 인체독성, 오존층고갈, 광화학산화물 형성, 생태독성)를 정량화하여 지구온난화를 비롯한 각종 환경영향을 비교 분석하였다. 환경성 분석에 사용되는 전과정평가(LCA; Life Cycle Assessment) 방법은 제품의 생산·사용·폐기까지 제품의 전과정에서 발생되는 환경영향을 평가하는 기법이다. 전과정 환경영향은 특성화와 가중화 결과를 이용하여 분석하였으며, 특성화에서는 부영양화 지수와 지구온난화 지수를 중심으로 분석을 진행하였다. 가압필터 여과장치는 생산단계와 운영단계의 시스템경계에서 전과정평가를 진행하였으며, 기존 기술인 섬유상여과기와 역삼투여과기의 성능을 운영단계에서 환경성 분석을 통해 비교하였다.

가압필터 여과장치와 기존 기술들의 수질 오염물질(SS성 COD) 1kg 제거에 필요한 전력량과 전기사용에 따른 발생하는 환경영향을 분석하였으며, 각 기술들을 1년 동안 운행할 때 발생하는 환경영향평가 가중치(Pt)를 이용하여 처리수 1톤 정화할 때 발생하는 환경영향 지수를 도출하였다.

### (1) 연구범위 및 생산단계 결과

전과정평가 분석을 위해서는 대상 제품의 목록 분석을 실시하여야 하며, 연구범위에서 설정한 시스템을 대상으로 시스템으로 들어오고 나가는 모든 에너지, 원료, 제품, 부산물

및 환경오염물 등의 종류와 양을 기록하여 목록화해야 한다. 본 연구에서는 생산 단계에서는 가압필터 여과장치의 제작에 필요한 원자재의 량만을 고려하였으며, 투입되는 자재의 95%를 Cut-off하여 정량화하여 분석을 진행하였다.

**<표 3-42> 가압필터 여과장치 생산 단계에서의 투입물**

| 품명 | | 재질(모델) | 질량(kg) |
|---|---|---|---|
| K-WHEEL F120<br>2100(W)×3270(D)×1530(H) | 파이프, 여과기헤드, 플랜지, 밸프 | STS PIPE | 295.81 |
| | 엘레멘트후레임 | 복합 PP | 14.03 |
| | 엘레멘트턴버클 | 아연 | 10.52 |
| | 밸브 | 청동 | 55.00 |
| | 여과포 | 폴리에스테르 | 3.50 |

가압필터 여과장치의 생산 단계에 대한 전과정평가를 수행 한 결과 다음의 표와 같은 특성화 결과 값이 나타났다. 전과정평가의 특성화 값은 산자부의 방법론을 활용하여 환경영향범주를 산출하여 분석을 진행하였으며, 지구온난화 결과값은 1.25E+03 kg $CO_2$-eq, 부영양화 결과값은 4.22E-01 kg $PO_4^{3-}$-eq으로 분석되었다.

**<표 3-43> 가압 필터 여과장치의 생산 단계 특성화 결과**

| 환경영향범주명 | 결과 | 단위 |
|---|---|---|
| 자원고갈(ADP) | 4.48E+02 | 1/yr |
| 산성화(AP) | 2.89E+00 | kg $SO_2$ -eq. |
| 부영양화(EP) | 4.22E-01 | kg $PO_4^{3-}$ -eq. |
| 지구온난화(GWP) | 1.25E+03 | kg $CO_2$ -eq. |
| 인체독성(HTP) | 2.31E+03 | kg 1,4 DCB -eq. |
| 오존층고갈(ODP) | 3.78E-04 | kg CFC 11 -eq. |
| 광화학산화물 형성(POCP) | 5.48E-01 | kg ethylene -eq. |
| 생태독성(TETP) | 5.95E+00 | kg 1,4 DCB -eq. |

(2) 본 기술과 기존 기술의 전과정평가 비교 분석

(가) 본 기술과 기존 기술의 전과정평가 특성화 결과

가압필터 여과장치는 소모 전력이 기존 여과시스템보다 우수하고, 오염물질 제거당 소요전력 원단위를 알아보기 위해 각 여과시스템들의 SS성 COD 제거 특성을 이용하여 제거되는 부영양화 지수를 도출하였다.

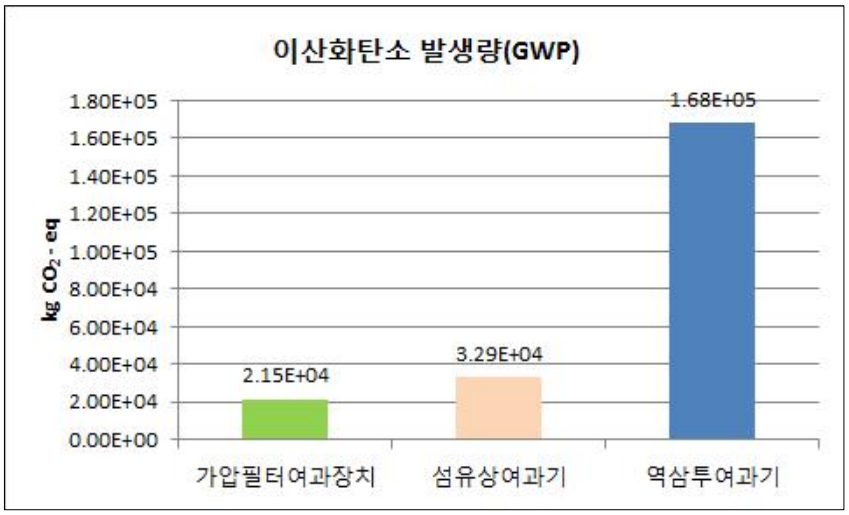
각 여과시스템들의 1kg 오염물질(SS성 COD) 제거할 때 필요한 전력은 다음의 표와 같이 가압필터 여과장치는 1,997kWh/kg, 섬유상여과기는 5,196kWh/kg, 역삼투여과기는 4,317kWh/kg로 가압필터 여과장치가 기존 기술(A,B) 대비 38.4%, 46.3%의 전력이 필요한 것을 알 수 있었다.

<표 3-44> 오염물질 1kg 제거에 사용된 전력량

| 구분 | 본 기술 (가압필터 여과장치) | 기존 기술A (섬유상여과기) | 기존 기술B (역삼투여과기) | 비교 대비% | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 본 기술/기존기술A | 본 기술/기존기술B |
| 전력량 kWh /1kg 오염물질 제거 | 1,997 | 5,196 | 4,317 | 38.4 | 46.3 |

(나) 운영에 따른 기후변화 대응 효과

가압필터 여과장치와 기존 기술들을 1년동안 운영하였을 때 발생하는 이산화탄소 발생량은 다음의 그림과 같다. 가압필터 여과장치는 2.15E+04 kg CO2-eq, 섬유상여과기는 3.29E+04 kg CO2-eq, 역삼투여과기는 1.68E+05 kg CO2-eq 로 가압필터 여과장치가 가장 온실가스를 적게 배출하는 것으로 분석되었으며, 이는 기후변화에 능동적인 대응을 할 수 있는 기술임을 알 수 있었다.




<그림 3-66> 본 기술과 기존 기술의 이산화탄소 발생량 비교

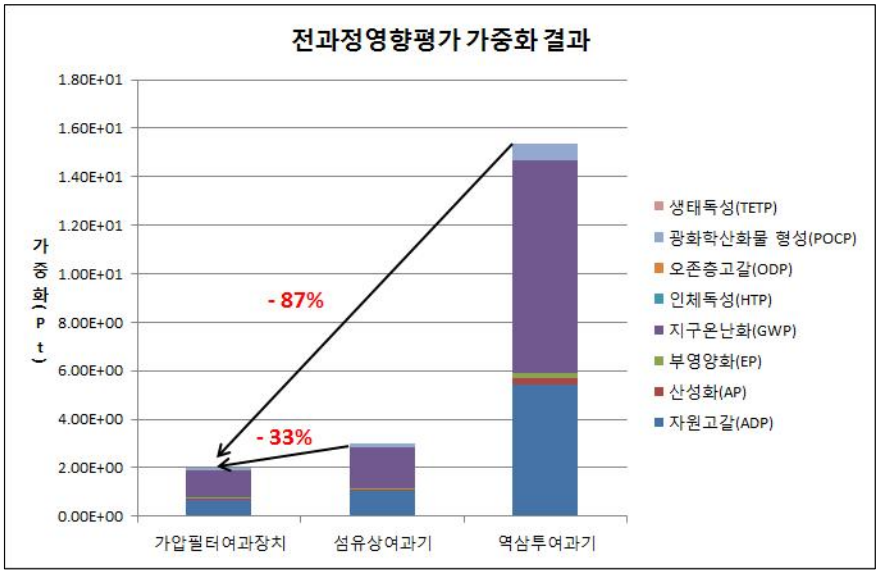
(3) 환경성 분석 종합

가압필터 여과장치와 기존 기술들을 1년 동안 운영 유지하였을 때 발생하는 전과정영향평가를 가중화 지수(Pt)로 분석하여 전과정에 대한 환경영향평가를 실시하였다. 결과는 다음의 그림과 같이 1년 동안 여과시스템을 운영하였을 때 전과정환경영향이 가압필터 여과장치는 역삼투여과기보다 87% 환경영향이 낮고, 섬유상여과기보다 33% 환경영향이 낮은 것으로 분석되었다.

가중화 결과를 이용하여 처리수 1톤을 정화할 때 각 기술들의 원단위를 분석한 결과는 다음의 표와 같이 나타났다. 각 여과시스템들을 1년 동안 가동할 때 처리수 1톤 정화에 발생하는 환경영향 지수는 가압필터 여과장치가 1.91E-06 Pt, 섬유상여과기가 3.17E-06 Pt, 역삼투여과기가 1.76-05 Pt로 본 기술이 기존 기술(A,B) 대비 39.8%, 89.1% 환경영향을 적게 발생되어 본 기술인 가압필터 여과장치가 우수하다는 것을 알 수 있다.

가압필터 여과장치가 오염물질 제거특성과 전력소요량에서 기존 기술보다 우수하기 때문에 온실가스 발생량이 적은 것으로 분석되었으며, 전체적인 환경영향도 여과시스템 중에

가장 우수한 것으로 평가되었다.




**<그림 3-67> 본 기술과 기존 기술의 전과정영향평가 가중화 결과**

**<표 3-45> 1톤 정화 시 발생하는 환경영향 지수**

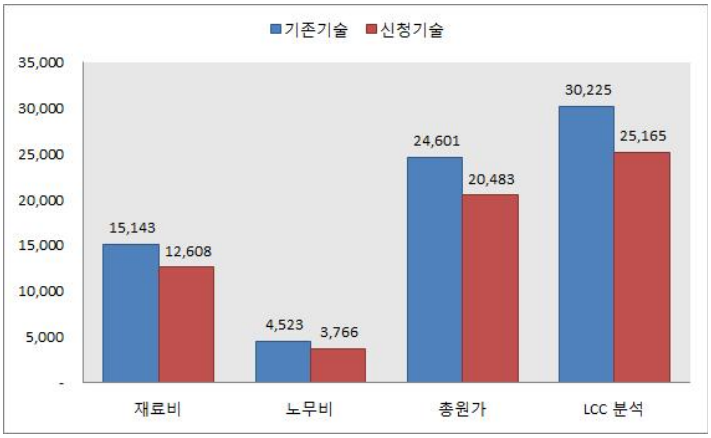
| 단 위 | 본 기술 (가압필터여과장치) | 기존 기술A (섬유상여과기) | 기존 기술B (역삼투여과기) | 비교 대비% | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 본 기술/기존기술A | 본 기술/기존기술B |
| 환경영향 Pt / 1톤 정화 | 1.91.E-06 | 3.17.E-06 | 1.76.E-05 | 39.8% | 89.1% |

## 2. 경제성 분석

### 가. 원형 가압필터 여과장치와 사각 가압필터 여과장치의 비교

#### (1) 설계, 시공비 절감효과

본 기술은 필터의 모형을 사각에서 원형으로 개선함으로써 여과기에 대한 재료비, 노무비, 경비 등 설치비를 절감하였다. 재료비 및 운영비가 1대 설치 기준 2,535만원 감소하였고, 노무비는 설치의 시간 단축으로 인해 757만원 감소하였다. 총원가는 사각여과장치보다 4,118만원을 감소시켜, 1대를 설치하여 20년동안 운영하였을 때 전과정비용평가를 실시할 때 기존 기술보다 20.1%의 공사비를 절감하여 경제성을 개선하였다.




<그림 3-68> 기존기술(사각)과 신기술(원형)의 경제성 비교

<표 3-46> 기존기술과 신기술의 원가계산서

| 구분 / 비목 | | 가압필터 여과장치 K-WHEEL F2 120 | 가압필터 여과장치 K-TOP F2 120 | 절감액 |
|---|---|---|---|---|
| 재료비 | 직접재료비 | 126,087,894 | 151,435,414 | 25,347,520 |
| | 간접재료비 | 63,043 | 75,717 | 12,674 |
| | 작업설(△) | 6,661 | 7,999 | 1,339 |
| | 소계 | 126,144,277 | 151,503,131 | 25,358,854 |
| 노무비 | 직접노무비 | 26,254,801 | 31,532,818 | 5,278,017 |
| | 간접노무비 | 11,411,649 | 13,705,739 | 2,294,090 |
| | 소계 | 37,666,450 | 45,238,557 | 7,572,107 |
| 경 비 | 전력비 | 1,031,969 | 1,239,426 | 207,457 |
| | 수도광열비 | 206,881 | 248,470 | 41,589 |
| | 운반비 | 1,627,477 | 1,954,650 | 327,173 |
| | 감가상각비 | 2,611,001 | 3,135,892 | 524,891 |
| | 수리수선비 | 352,673 | 423,571 | 70,898 |
| | 기타 경비 | 7,086,827 | 8,511,496 | 1,424,669 |
| | 소계 | 12,916,828 | 15,513,505 | 2,596,677 |
| 제조원가 | | 176,727,555 | 212,255,193 | 35,527,639 |
| 일반관리비(7%) | | 12,370,928 | 14,857,863 | 2,486,935 |
| 이윤 (25%) | | 15,738,551 | 18,902,481 | 3,163,930 |
| 총원가 | | 204,837,034 | 246,015,537 | 41,178,503 |
| 부가가치세 (10%) | | 20,483,703 | 24,601,553 | 4,117,850 |
| 합 계 | | 225,320,737 | 270,617,090 | 45,296,354 |

(2) 유지관리비용 절감 등

본 기술은 원형여과장치의 중앙을 통해 원수가 공급되고, 외측 가장자리 사방을 통해 여과수가 배출되는 원형 형태로 설계 및 개발되었기 때문에 기준 기술보다 유지 관리가 용이하다. 특히 필터의 모형의 개선으로 유량과 오염물질제거효율이 높아지면서 보수비용을 약 4,000만원을 절감 할 수 있다. 신기술을 LCC분석을 통해 제품수명주기 기준으로 환산한 단위당 단가는 기존기술이 332백만원이며 신기술은 283백만원으로 신기술 적용 시 20년을 사용했을 경우 기존기술보다 약 20.1%의 비용을 절감할 수 있는 것으로 조사되었다.

**<표 3-47> 기존기술과 신기술의 유지관리비용 비교**

| 품 명 | | 가압필터여과장치 | 가압필터여과장치 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 모 델 명 | | K-WHEEL F2 120 | K-TOP F2 120 | |
| 수명주기 | | 20년 | 20년 | |
| 취득원가 | 설치원가 | 225,320,737 | 270,617,090 | |
| 사용원가 | 운전 및 현장점검 | 1,770,250 | 1,770,250 | |
| | 연간 소모품 | 1,000,000 | 1,201,000 | |
| | 소계 | 55,405,000 | 59,425,000 | |
| 폐기원가 | 폐기물처리비 | 1,135,650 | 1,135,650 | |
| 설치비 | 초기설치비 | 1,770,099 | 1,770,099 | |
| 합 계(제품수명주기기준) | | 283,631,486 | 332,947,839 | |

## 나. 가압필터 여과장치와 기존 기술 비교

### (1) 설계, 시공비 절감효과

본 기술은 본사의 보유 기술인 사각 여과장치기술에서 개선된 신기술로써 사각여과장치와 달리 원형여과장치의 중앙을 통해 원수가 공급되고, 외측 가장자리 사방을 통해 여과수가 배출되는 원형 형태로 설계 및 개발되었다. 신기술과 보유 기술을 제품수명주기(20년)로 경제성 분석한 결과 보유 기술(사각)이 332백만원이며 신청 기술(원형)은 283백만원으로 신청 기술이 보유 기술보다 약 20.1%의 비용을 절감할 수 있는 것으로 분석되었다.

**<표 3-48> 본 기술과 보유기술의 경제성 원가계산서**

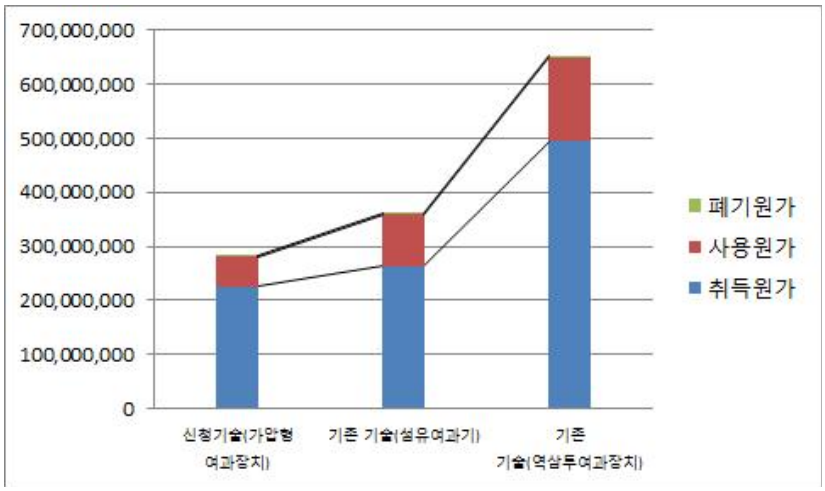
| 품 명 | 본 기술<br>(가압형 원형여과장치) | 보유기술<br>(가압형 사각여과장치) | 비고 |
|---|---|---|---|
| 모 델 명 | K-WHEEL F2 120 | K-TOP F2 120 | |
| 합 계(원) | 283,631,486 | 332,947,839 | 20년 기준 |

### (2) 유지관리비용 절감 등

본 기술인 가압형 여과장치 중 2,880m3/d의 처리용량을 가진 K-WHEEL F2 120을 제작 설치하는 것을 가정하여 제조 및 설치에 따른 취득원가, 가압형 여과장치를 설치 후 유지보수 및 관리에 따른 사용원가, 내구연한 동안 사용 후 폐기에 대한 각각의 내용을 신청기술과 타사 기존기술의 원가분석을 통해 비교하였다. 경제성 비교 결과는 다음의 표와 같이 신청기술은 기존기술(섬유여과기)의 77.77%, 기존기술(역삼투여과장치)의 43.16%로 신청기술이 더 경제성을 갖는 것으로 분석되었다. 사회적 할인율 4.5%를 적용하여 내구연한 20년을 가정하였을 때 전과정비용평가(LCC)를 실시한 결과, 신청 기술이 타사 기존기술들보다 각각 79.97%, 43.78%의 대비 절감효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

<표 3-49> 기존 기술과 본 기술의 경제성 원가계산서

| 구분 | | ① 본 기술 (가압형 여과장치) | ②기존 기술 (섬유여과기) | ③기존 기술 (역삼투여과장치) | 비교(%) [①/②] | 비교(%) [①/③] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 모델명 | | K-WHEEL F2 120 | 섬유여과기 YDF-2316 | BW 10000 | | |
| 규격 | | 2,880m3/d | 11,200m3/d | 2,400m3/d | | |
| 원가항목 | 취득원가 | 225,320,737 | 264,000,000 | 495,000,000 | 85.35 | 45.52 |
| | 사용원가 | 55,405,000 | 95,405,000 | 155,405,000 | 58.07 | 35.65 |
| | 폐기원가 | 1,135,650 | 3,028,400 | 2,649,850 | 37.50 | 42.86 |
| | 합계 | 281,861,387 | 362,433,400 | 653,054,850 | 77.77 | 43.16 |
| LCC 분석(20년) (할인율 4.5%, 내구연한 20년) | | 251,653,166 | 314,682,688 | 574,759,129 | 79.97 | 43.78 |




<그림 3-69> 기존 기술과과 본 기술의 경제성 비교

# 제7절 사업화 추진

## 1. 국내·외 시장규모 및 전망

### 가. 국내 시장규모 및 전망

국내시장성 및 판매전망을 분석한 결과 기후변화에 따른 가뭄, 돌발홍수, 폭염 등으로 인한 비상 대체급수 시설, 소규모 읍·면 단위나 섬지방의 마을상수도, 하천유지용수, 조경용수, 청소용수, 평상시 하천, 호소의 정화 및 녹조제거용 등으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

가뭄에 대비한 지하수자원사업의 경우 총 투자비는 2021년까지 766억이며, 도서해안 지하수 개발(지하수댐)의 경우 총 투자비는 2021년까지 1,400억원 규모이다.

마을 상수도의 경우 2015년 환경부 예산중 수질개선 환경기초시설 설치사업 확대에 2,452억원이 투입되고 있으며, 농어촌 등 취약지역 상수도 확충(3,052억원), 음용 지하수 수질조사(31억원) 등 취약지역·계층 물복지 증진사업이 진행되어 깨끗하고 안전한 먹는물 공급을 확대하고 있다. 국내 시장규모를 검토해본 결과 지하수 지원사업의 경우 총 2,166억원 정도가 투자되며, 취약지원 마을상수도 확충 사업비는 년간 3,000억원, 비상급수시설 중장기 수급전망이 최소 년간 2,000억원으로 총 5,241억의 규모의 시장이 형성될 것으로 판단되었다.

### 나. 해외 시장성 및 판매전망

전세계 물산업 현황과 주요 국가별 물산업 현황을 검토한 결과, 인구증가와 경제성장으로 인한 물수요 증가, 기후변화로 인한 가뭄 등의 재난으로 물부족 및 수질확보가 이슈화되고 있다. 이에 따라 물산업에 대한 지속적인 투자로 시장규모가 연평균 4.9% 씩 성장할 것으로 예상된다.

**<표 3-50> 분야별 세계 물시장 규모**

| 분야 | 전체 | 상수도 | 하수도 | 공업용수 | 생수 |
|---|---|---|---|---|---|
| 시장규모 (억달러, %) | 4,828(100) | 2,094(43.4) | 1,618(33.5) | 275(5.7) | 590(12.2) |

해외시장에 진출방안으로는 시장발전 가능성이 크고, 기술개발이 늦어 외국기업에 개방적인 동남아시아나 아프리카 시장 진입이 용이할 것으로 판단된다. 주시장은 태국, 인도네시아 등 동남아시아 국가와 자연재해가 빈번한 국가(동남아시아, 유럽 등), 또는 물부족으로 모듈형 물생산시스템이 필요한 국가들(아프리카 등)을 대상으로 선정하였다.

환경부의 ODA사업의 경우 수원 보급이 낮은 아프리카 낙후지역에 이동형 정수처리설비를 제공함으로서 깨끗하고 안정적인 식수원을 공급하는 사업이 진행되고 있으며 시범사업 이후 사업이 확대될 전망이고, 코이카 사업중 녹색 ODA사업의 '식수공급 및 위생' 분야에서 물과 관련된 식수개발과 기초식수공급에 본 기술이 활용될 수 있다.

### 다. 사업화전략

사업화 추진을 위한 방법으로 ①마케팅 및 홍보활동, ②신기술 신청, ③제품표준화를 구상하였으며, 마케팅 및 홍보활동을 위해 2017국토기술대전, 2017중소기업기술혁신대전에 참가하여 기술 마케팅 및 홍보활동을 하였다.

기술인증을 위하여 건설신기술과 녹색기술인증을 신청하여 현재 심사가 진행 중이며, 용량별 제품표준을 위해 설계도면, 원가계산, 내역을 최적화하여 표준화를 진행하였다.

# 제4장. 목표 달성도 및 관련분야 기여도

## 제1절 목표 달성도

### 1. 양적 성과지표 달성도

| 핵심성과 | | 단위성과 | | 성과목표 | 결 과 |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 모듈형 물생산 시스템의 시제품 개발 | A-1 | 시제품 도면제작 | 보고서 : 2 건 | 보고서 : 2 건 |
| | | A-2 | 시제품제작 | 시제품제작 : 1 건 | 시제품제작 : 1 건 |
| | | A-3 | 시제품성능 | 생활환경기준 Ⅰb 이상<br>먹는물기준 이상 | 생활용수 : 중수도 수질기준에 적합<br>음용수 : 수돗물 수질기준에 적합 |
| | | | | 생활용수 : 30 ton/hr 이상<br>음용수 : 5 ton/hr 이상 | 생활용수 : 30 ton/hr 이상<br>음용수 : 5 ton/hr 이상 |
| | | | | 신기술 : 1 건 | 신기술 : 1 건 |
| | | | | 논문 : 1 건 | 논문 : 0 건 |
| | | A-4 | 특허출원 | 특허출원 : 1 건 | 특허출원 : 2 건 |
| B | 수치모의 | B-1 | 학술발표 | 학술발표 : 2 건 | 학술발표 : 2 건 |
| | | B-2 | 제품성능분석 | 보고서 : 1 건 | 보고서 : 1 건 |
| | | B-3 | 논문게재 | 논문 : 1 건 | 논문 : 1 건 |
| C | 프로세스 조합 및 모듈형 물생산 시스템 구축 | C-1 | 학술발표 | 학술발표 : 2 건 | 학술발표 : 3 건 |
| | | C-2 | 도면 표준화 | 보고서 : 1 건 | 보고서 : 1 건 |
| | | C-3 | 기술보고서 | 보고서 : 1 건 | 보고서 : 1 건 |
| D | 통합관리 시스템 | D-1 | 특허출원 | 특허출원 : 1 건 | 특허출원 : 0 건 |
| E | 기후변화 대응을 위한 녹색인증 추진 | E-1 | 보고서 | 보고서 : 1 건 | 보고서 : 1 건 |
| | | E-2 | 학술발표 | 학술발표 : 1 건 | 학술발표 : 2 건 |
| | | E-3 | 논문발표 | 논문 : 1 건 | 논문 : 2 건 |
| 추가성과 | | | 시제품성능 | | 신기술 : 1 건 |
| | | | 사업화제품화 | | 매출액 : 1 천원 |
| | | | 사업화제품화 | | 신규채용 : 1 명 |
| | | | 특허등록 | | 특허등록 : 2 건 |
| 계 | | | | 특허출원 : 2 건<br>논문 : 3 건<br>학술발표 : 5 건<br>신기술 : 1 건<br>보고서 : 6 건 | 특허출원 : 2 건<br>특허등록 : 2 건<br>논문 : 3 건<br>학술발표 : 7 건<br>신기술 : 2 건<br>보고서 : 6 건<br>매출실적 : 1,087,500천원<br>신규채용 : 1명 |

본 연구의 양적성과 목표 및 달성도는 위의 표와 같으며, 각각의 목표에 대한 달성도를 간략히 기술하면 다음과 같다.

(1) 국내 특허를 총 2건 출원하였으며 2건 모두 등록되었다. (목표치: 출원 2건 / 달성치: 출원 2건, 등록 2건)

(2) 논문은 3건을 게재하였다. (목표치: 3건 / 달성치: 3건)

(3) 학술발표는 한국기후변화학회, 전과정평가학회, 한국방재학회, 한국수자원학회, 한국산학기술학회 등에 7건을 발표하였다. (목표치: 5건 / 달성치: 7건)

(4) 건설신기술과 녹색기술인증을 신청하여 현재 심사가 진행 중이다. (목표치: 1건 / 달성치: 2건)

(5) 사업화성과로 1,087,500천원의 매출이 발생하였으며, 연구원1명을 신규 채용하였다. (목표치: 0원, 0명 / 달성치: 1,087,500천원, 1명)

## 2. 질적 성과지표 달성도

| 최종성과 점검기준 | | | | | 결과 |
|---|---|---|---|---|---|
| 단위성과 | 성과지표 | 목표치 | 측정방법 | 검증방법 | |
| 생활용수 | 총대장균군수 (개/100mL) | 불검출 | 시험성적서 | 중수도 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 탁도(NTU) | 2 이하 | 시험성적서 | 중수도 수질기준 | 원수: 13.4<br>처리수: 0.22 |
| | BOD(mg/L) | 10 이하 | 시험성적서 | 중수도 수질기준 | 원수: 2.0<br>처리수: 1.0 |
| | COD(mg/L) | 20 이하 | 시험성적서 | 중수도 수질기준 | 원수: 4.0<br>처리수: 1.8 |
| | 총질소(mg/L) | 10 이하 | 시험성적서 | 중수도 수질기준 | 원수: 1.01<br>처리수: 0.59 |
| | 총인(mg/L) | 0.5 이하 | 시험성적서 | 중수도 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 색도(도) | 20 이하 | 시험성적서 | 중수도 수질기준 | 원수: 3<br>처리수: 1이하 |
| | 냄새 | 불쾌감이 없을것 | 시험성적서 | 중수도 수질기준 | 원수: 없음<br>처리수: 없음 |
| | pH | 5.8 ~ 8.5 | 시험성적서 | 중수도 수질기준 | 원수: 7.4<br>처리수: 7.9 |
| 먹는물 | 중온일반세균 (CFU/mL) | 100 CFU/mL | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 2.5x10^3<br>처리수: 8 |
| | 총대장균군 (CFU/mL) | 100mL에서불검출 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 검출<br>처리수: 불검출 |
| | 분원성대장균군 (CFU/mL) | 100mL에서불검출 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 대장균 (CFU/mL) | 100mL에서불검출 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 검출<br>처리수: 불검출 |
| | 냄새 | 없을것 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 없음<br>처리수: 없음 |
| | 맛 | 없을것 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 있음<br>처리수: 없음 |
| | 증발잔류물(mg/L) | 500 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 1,052 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 처리수: 16 |
| | pH | 5.8 ~ 8.5 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 7.6<br>처리수: 6.3 |
| | 경도(mg/L) | 300 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 155<br>처리수: 6 |
| | 과망간산칼륨소비량(mg/L) | 10 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 0.3<br>처리수: 0.3 |
| | 구리(mg/L) | 1 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 색도(도) | 5 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 10 이상<br>처리수: 불검출 |
| | 탁도(NTU) | 0.5 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 27.28<br>처리수: 0.05 |
| | 세제(mg/L) | 0.5 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 염소이온(mg/L) | 250 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 39<br>처리수: 0.6 |
| | 망간(mg/L) | 0.05 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 2.85<br>처리수: 0.007 |
| | 황산이온(mg/L) | 200 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 22<br>처리수: 불검출 |
| | 아연(mg/L) | 3 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 0.061<br>처리수: 불검출 |
| | 철(mg/L) | 0.3 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 0.32<br>처리수: 불검출 |
| | 알루미늄(mg/L) | 0.2 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 0.81<br>처리수: 불검출 |
| | 암모니아성질소(mg/L) | 0.5 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 수은(mg/L) | 0.001 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 시안(mg/L) | 0.01 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 불소(mg/L) | 1.5 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 0.15<br>처리수: 불검출 |
| | 납(mg/L) | 0.01 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 셀레늄(mg/L) | 0.01 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 크롬(mg/L) | 0.05 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 비소(mg/L) | 0.01 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 질산성질소(mg/L) | 10 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 0.2<br>처리수: 불검출 |
| | 카드뮴(mg/L) | 0.005 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 보론(mg/L) | 1 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 0.03<br>처리수: 0.02 |
| | 페놀(mg/L) | 0.005 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 카바릴(mg/L) | 0.07 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 1,2디브로모3-클로로프로판(mg/L) | 0.003 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 파라티온(mg/L) | 0.06 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 처리수: 불검출 |
| | 페니트로티온(mg/L) | 0.04 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 다이아지논(mg/L) | 0.02 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 1,1,1-트리클로로에탄(mg/L) | 0.1 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 트리클로로에틸렌(mg/L) | 0.03 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 테트라클로로에틸렌(mg/L) | 0.01 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 디클로로메탄(mg/L) | 0.02 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 벤젠(mg/L) | 0.01 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 톨루엔(mg/L) | 0.07 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 에틸벤젠(mg/L) | 0.3 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 크실렌(mg/L) | 0.5 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 0.001 |
| | 1,1-디클로로에틸렌(mg/L) | 0.03 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 사염화탄소(mg/L) | 0.002 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 1,4-다이옥산(mg/L) | 0.05 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 잔류염소(mg/L) | 4 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 총트리할로메탄(mg/L) | 0.1 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 0.001 |
| | 클로로포름(mg/L) | 0.08 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 0.001 |
| | 클로랄하이드레이트(mg/L) | 0.03 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 디브모아세토니트릴(mg/L) | 0.1 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 디클로로아세토니트릴(mg/L) | 0.09 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 트리클로로아세토니트릴(mg/L) | 0.004 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 할로아세틱에시드(mg/L) | 0.1 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 브로모디클로로메탄(mg/L) | 0.03 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 디브로모클로로메탄(mg/L) | 0.1 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |
| | 포름알데히드(mg/L) | 0.5 | 시험성적서 | 먹는물 수질기준 | 원수: 불검출<br>처리수: 불검출 |

본 연구의 질적성과 목표 및 달성도는 위의 표와 같으며, 시제품의 공인기관 수질분석결과 생활용수 생산공정의 처리수는 중수도 수질기준을 모두 충족시키는 것으로 나타났으며, 음용수 생산공정의 처리수도 먹는물 수질기준을 모두 만족하여 개발기술의 수처리 성능에는 문제가 없는 것으로 나타났다.

## 제2절 관련분야 기여도

### 1. 기술적 측면

기술적으로는 시제품개발과 모니터링을 통해 제품의 성능을 인증받아 기술을 상용화 시킬 수 있다. 세부적인 기술적 측면의 기대성과는 다음과 같다.

(1) 생활용수를 위한 여과설비 개발 및 실용화(1차처리)
- 부유물질 저감 및 탁도개선을 위한 여과설비 개발
- 부하변동에 대한 대응성(고농도에서도 처리가능)

(2) 생활용수를 위한 여과설비 개발 및 실용화(2차처리)
- 원수조건에 따른 여과포, 여과재 개발
- 오염부하의 경감을 통해 3처리(RO막)의 효율을 극대화
- 저농도의 원수 유입시에는 자체성능으로 음용수 처리가능

(3) 음용수를 위한 여과설비 개발 및 실용화(3차처리)
- 먹는물 수준의 수처리 가능
- 원수의 수질에 따라 NF, UF 시스템 적용 가능
- 재난 시 식수 공급 가능

### 2. 사회경제적 측면

사회경제적으로는 국내시장의 조기진입을 유도하고 해외 물시장 분야와 ODA사업에 진출할 수 있다. 세부적인 사회경제적인 측면에서의 기대성과는 다음과 같다.

(1) 부족한 고정식 비상급수시설을 목표용량까지 확보하기 위해서는 막대한 예산이 소요되나 모듈형 물생산시스템으로 비상급수 시스템을 보완하여 설치함으로서 예산을 절감

(2) 모듈형 물생산 시스템으로 급수시설을 대처함으로서 예산절감의 효과가 있을 뿐만 아니라 비상 급수시설의 유지관리비용도 절감

(3) 재난시 신속하게 이동이 가능하여 재해복구용도로 활용하므로서 사회적 이슈인 '안전한 사회' 구현에 이바지 할 수 있음

(3) 평상시 하천유지용수 등을 이용해 조경용수나 생활용수로 활용이 가능함으로 자원의 효율적 이용이 가능함

### 3. 정책적 측면

동남아시아나 아프리카 중심의 개발도상국의 경우 소규모 마을별로 극심한 물부족 현상으로 물생산장치가 절실히 요구되고 있다. 현재에도 환경부 주도로 동남아시아나 아프리카 중심의 개발도상국을 상대로 마을상수도 지원사업이나, 수자원공사에서 수자원체계 관리사업을 진행하고 있으므로, 현지의 관리청과 연계하여 보급한다면 모듈형으로 다양하게 적용이 가능하여 수출증대 및 국가 이미지 상승의 효과가 기대된다.

# 제5장. 연구개발성과의 활용계획

## 제1절 성과물의 활용 방안

본 연구에서 개발한 평상시와 재난시 각종 용수 공급이 가능한 친환경 모듈형 물생산시스템은 생활용수, 비상급수, 마을상수도, 하천유지용수 등 각종 용수 생산이 가능하므로 각 지자체, 환경부, 국민안전처, 국토교통부 등에 제안하여 판매할 계획이다.

인구증가, 경제성장에 따른 물수요 증가, 기후변화에 따른 가뭄 등 재난으로 인한 물부족, 수질확보 필요로 인한 물생산시스템의 필요성에 대한 인식이 증가하므로, 각 지방자치단체 및 정부기관에 지속적으로 접촉하여 물생산시스템의 장점을 최대한 홍보한다면, 장기적으로 지속적인 매출이 발생할 것으로 예상된다. 또한 환경부, KOICA 및 KOTRA와 연계하여 해외 물부족국가에 판매할 계획이다.

본 연구 개발 제품의 연도별 판매계획은 다음과 같다.

**<표 5-1> 연도별 판매계획**

(단위 : 백만원)

| 연 도 별 | | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024~2033 (안정기) | 2034~2038 (쇠퇴기) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 이동형 물생산 시스템 | 국내 | 900 | 1,500 | 3,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 24,000 | 10,200 |
| | 해외 | | 300 | 900 | 1,500 | 3,000 | 3,000 | 12,000 | 6,000 |
| 합 계 | | 900 | 1,800 | 3,900 | 7,500 | 9,000 | 9,000 | 36,000 | 16,200 |

## 제2절 성과물의 향후 추진 계획

본 연구에서 필요용수의 종류에 따른 프로세스 조합 계획은 아래 <표 5-2>와 같으며, 프로세스 조합에 따른 원활한 수질성능 충족을 위해서는 가뭄, 홍수, 폐수유입 등에 의한 상황별 유입수 조건(고탁도, 조류, 유해물질 등)의 변화에도 안정적인 수질성능을 유지할 수 있는가에 대한 추가성능평가를 추진할 계획이다.

**<표 5-2> 필요용수에 따른 프로세스 조합 계획**

| 필요용수 | 프로세스 조합 |
|---|---|
| 조경용수<br>청소용수 | • 전처리 취수처리 시설+1차 처리설비 |
| 하천유지용수<br>친수용수<br>공업용수 | • 전처리 취수처리 시설+1차 처리설비+2차 처리설비 |
| 음용수<br>고농도공업용수 | • 전처리 취수처리 시설+1차 처리설비+2차 처리설비+3차 처리설비 |

향후 친환경 모듈형 물생산시스템은 차량에서 휴대가 가능한 규모로 소형화화, 경량화를 유도하면 가정마다 비상용으로 보급이 가능할 것이라 판단되므로 이 기술과 관련된 중장기 기술개발 및 보급 목표를 다음과 같이 계획하였다.

**<표 5-3> 중장기기술개발 및 보급 목표**

| 구분 | 1단계<br>기술개발 및 신뢰성 확보 | 2단계<br>실증 적용 | 3단계<br>시장진입 및 확대 |
|---|---|---|---|
| 모듈형 물생산시스템<br>(차량) | 기 원천기술 확보 | 금회 사업화 | 2019년 시장진입 및 확대 |
| 모듈형 물생산시스템<br>(휴대용) | 2020년 소형화 및 경량화 | 2021년 사업화 | 2022년 시장진입 및 확대 |
| 모듈형 물생산시스템<br>(가정용) | 2021년 소형화 및 경량화 | 2022년 사업화 | 2023년 시장진입 및 확대 |

이 기술의 경우 국내외 유사제품과의 경쟁과 향후 경쟁제품의 출현가능성이 커져 기술개발이 시급한 상태이므로, 조속한 시일 내에 추가적인 연구개발이 필요하다고 판단된다.

# 제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

해당사항 없음

# 제7장. 연구개발성과의 보안등급

해당사항 없음

# 제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 장비 현황

| 구입 기관 | 연구시설/ 연구장비명 | 규격 (모델명) | 수량 | 구입 연월일 | 구입 가격 (천원) | 구입처 (전화번호) | 비고 (설치 장소) | NTIS장비 등록 번호 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |

# 제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

해당사항 없음

# 제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

| 번호 | 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 | 논문 | 가압형 미세여과장치의 전과정평가를 이용한 수질개선효과 분석 | (주)에코피엔지 | 위탁기관 | 한국 | | 2016.12.30 | 단독 | |
| 2 | 논문 | 기후변화대응을 위한 수처리 여과시스템 선정 방안 연구 | (주)에코피엔지 | 위탁기관 | 한국 | | 2018.02 | 단독 | |
| 3 | 논문 | 수치모형을 이용한 가압필터 여과시스템 내 여과기 구조변경에 따른 유동특성 연구 | (주)지티이 | 공동기관 | 한국 | | 2018.02 | 단독 | |
| 4 | 특허 | 평상시와 재난시 각종 용수공급이 가능한 친환경 모듈형 물생산시스템 | 케이원에코텍(주) | 주관기관 | 한국 | | 2017.10.16 | 단독 | |
| 5 | 특허 | 평상시와 재난시 각종 용수공급이 가능한 친환경 모듈형 물생산시스템의 통합관리 시스템 | 케이원에코텍(주) | 주관기관 | 한국 | | 2017.10.16 | 단독 | |

# 제11장. 기타 사항

해당사항 없음

# 제12장. 참고 문헌


- 2012 우리나라 ODA 통계자료집, 2012, 대외경제협력기금
- 21세기 기술사업화, 2014, 책과나무
- Polyelectrolyte흡착에 의한 규조토 여과보조제의 여과특성개선, 1989, 화확공학회
- 가압필터 여과장치의 성능개선 및 시장다변화 전략 컨설팅(2010, 서울산업통상진흥원)
- 공적개발원조(ODA)가 개발도상국의 투자에 미치는 영향에 관한 연구, 2012, 동국대학교
- 국내 물산업의 해외진출 전략(2014, 한국수출입은행)
- 국제마케팅, 2014, 탑북스
- 규조토여과 및 활성탄 흡착 공정을 이용한 용수처리에 관한연구, 2004, 한국환경보건학회지
- 규조토와 그 응용, 2000, 한국광물학회지
- 그물망 압착식 섬유여과 장치를 이용한 물 재이용 시스템 개발, 2012, 한국환경과학회지
- 기술사업화 전략과 제도, 2014, 도서출판 두남
- 기후재난에 대비한 사회기반 및 기후금융 보험시스템 구축(2010, 중앙대학교 산학협력단)
- 김태균, 조강우, 송경근, 윤민혁, 안규홍, 홍승관. 2009. 여재 특성에 따른 강우 유출수 내 오염물질 제거특성 평가. 대한환경공학회지, 31(7), 483-490.
- 대체수원개발방안 기본조사, 2009, 한국수자원공사
- 도서 해안지역 지하수 확보 방안 기본조사 보고서, 2012, 한국수자원공사
- 도서해안지역(1단계) 지하수자원확보 타당성조사 보고서, 2013, 국토교통부
- 물리 화학적 수처리 원리와 응용, 2014, 성안당
- 물산업 해외시장 진출 활성화 방안 연구, 2011, 국토해양부
- 민관협력시스템을 통한 해외도시개발 촉진방안 연구, 국토연구원
- 상수도공사 표준시방서, 2007, 환경부
- 상수도공학 : 일반 및 고도 정수처리, 2007, 동화기술
- 상수도시설기준, 2010
- 수처리 기기의 설계, 2014, 동명사
- 수처리기술, 2011, 씨아이알
- 용폐수처리와 설계 관리, 2004, 동화기술교역
- 재해발생시 비상급수시설의 효율적인 관리대책(2011, 경북대학교 산업대학원 토목공학박사학위논문)
- 정수설비핸드북, 2009, 한국수자원공사
- 정수시설의 종합설계와 유지관리, 2003, 대한상수도 학회
- 제품개발과 기술사업화 전략, 2014, 한티미디어
- 중력식 무밸브 여과기술을 이용한 하수고도처리 및 중수이용 기술개발, 2007, 환경부
- 지표수 및 지하수 연계사업 기본조사 보고서, 1998, 한국수자원공사
- 지하댐 업무요령, 2004, 한국수자원공사
- 지하수업무수행 지침, 2006, 한국수자원공사
- 하천수 재이용을 위한 규조토 여과기의 현장 적용성 평가, 2007, 대산상하수도학회
- 환경부, 수질오염공정시험기준, 환경부, 2011.06. (2012.06.04 일부 개정)
- Bond, T., Gooslan, E.H., Parsons, S.A., Jefferson, B. (2012). A critical review of trihalomethane and haloacetic acid formation from natural organic matter surrogates, Environmental Technology Reviews 1, 93-113.
- Chen, H., Liao, Z., Gu, X., Xie, J., Li, H., Zhang, J. (2017). Anthropogenic Influences of Paved Runoff and Sanitary Sewage on the Dissolved Organic Matter Quality of Wet Weather Overflows: An Excitation-Emission Matrix Parallel Factor Analysis Assessment, Environ. Sci. Technol., 51, 1157-1167.
- Fouga, G.G., Micco, G.D., Bohe, A.E. (2009). Chlorination of manganese oxides, Thermochimica Acta 494(1-2), 141-146.
- Fritzmann, C., L?wenberg, J., Wintgens, T., Melin, T. (2007) State-of-the-art of reverse osmosis desalination, Desalination 216, 1-76.

- Hosen, J.D., McDonough, O.T., Febria, C.M., Palmer, M.A. (2014). Dissolved Organic Matter Quality and Bioavailability Changes Across an Urbanization Gradient in Headwater Streams, Environ. Sci. Technol., 48, 7817-7824.
- Huguet, A., Vacher, L., Saubusse, S., Etcheber, H., Abril, G., Relexans, S., Ibalot, F., Parlanti, E. (2010). New insights into the size distribution of fluorescent dissolved organic matter in estuarine waters, Org. Geochem., 41(6), 595-610.
- Hur, J., Shin, J.K., Park, S.W.. (2006). Characterizing fluorescence properties of dissolved organic matter for water quality management of rivers and lakes, Journal of Korean Society of Environmental Engineers 28(9), 940-948.
- Inamdar, S., Singh, S., Dutta, S., Levia, D., Mitchell, M., Scott, D., Bais, H., McHale, P. (2011). Fluorescence characteristics and sources of dissolved organic matter for stream water during storm events in a forested mid-Atlantic watershed, J. Geophys. Res., 116, G03043, doi:10.1029/2011JG001735.
- Johnson, M.S., Couto, E.G., Abdo, M., Lehmann, J. (2011). Fluorescence index as an indicator of dissolved organic carbon quality in hydrologic flowpaths of forested tropical watersheds, Biogeochem., 105, 149-157.
- Kim, Y., Park, H., Jeon, S, Korea Environment Institute (2014). Study on response to water supply damage for management of drought disaster, 2014-13.
- Korak, J.A., Wert, E.C., Rosario-Ortiza, F.L. (2015). Evaluating fluorescence spectroscopy as a tool to characterize cyanobacteria intracellular organic matter upon simulated release and oxidation in natural water, Water Res., 68, 432-443.
- Lee, K., Baek, H.J., Cho, C., Kwon, W.T. (2011). The recent (2001-2010) changes on temperature and precipitation related to normals (1971-2000) in Korea, The Geographical Journal of Korea 45(2), 237-248.
- Lee, M., Choi, K., Kim, S., Kim, D. (2009). Characterization of Dissolved Organic Matter in Stream and Industrial Waste Waters of Lake Sihwa Watershed by Fluorescence 3D-EEMs Analysis, Journal of Korean Society of Environmental Engineers 31(9), 803-810.
- McKnight, D.M., Boyer, E.W., Westerhoff, P.K., Doran, P.T., Kulbe, T., Andersen, D.T. (2001). Spectrofluorometric characterization of dissolved organic matter for indication of precursor organic material and aromaticity., Limnol. Oceanogr., 46(1), 38-48.
- Seo, H.N., Lee, J.K., Min, H.J., Lee, I.J. (2013). “Analysis of Characteristics and Correlation Between TOC and COD, SS Concentration in According to River Watershed”, Proceedings of The Korean Society of Environmental Agriculture, 333-334.
- Sierra, M.M.D., Giovanela, M., Parlanti, E., Soriano-Sierra, E.J. (2005). Fluorescence fingerprint of fulvic and humic acids from varied origins as viewed by single-scan and excitation/emission matrix techniques, Chemosphere 58, 715-733.
- TechNavio (2014) Global Mobile Water Treatment Market 2015-2019 industry research report.
- Tobiason, J.E., Bazilio, A., Goodwill, J., Mai, X., Nguyen, C. (2016). Manganese Removal from Drinking Water Sources, Current Pollution Reports 2(3), 168-177.
- Velten, S., Knappe, D.R.U., Traber, J., Kaiser, H.P., von Gunten, U., Boller, M., Meylan, S. (2011). Characterization of natural organic matter adsorption in granular activated carbon adsorbers. Water Res., 45, 3951?3959.
- Water Information System (2017). http://water.nier.go.kr.
- Xingxing, D. (2015). A study on surface water treatment using movable water purifying system, Master’s Thesis, Hanbat University, Daejeon, Republic of Korea.
- Zhao, C., Wang, C-C., Li, J-Q., Wang, C-Y., Wang, P., Pei, Z-J. (2015). Dissolved organic matter in urban stormwater runoff at three typical regions in Beijing: chemical composition, structural characterization and source identification, RSC Adv., 73490-73500.