제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 물관리 연구사업 “수직형 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템 구축” 연구단 과제 최종보고서로 제출합니다.

2014. 12.

주관연구기관명 : K-water
주관연구책임자 : 김 정 현
협동연구기관명 : ㈜포스코건설
㈜코오롱글로벌
K-water
협동연구책임자 : 윤 희 철
강 문 선
서 인 석

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>10기술혁신
C01</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2013.05~
2014.11</td><td>단 계 구 분</td><td>4/4</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">물관리 연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위
과 제 명</td><td colspan="4">수직형 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템 구축</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">(협동) 분산형 정수처리시설 설계기술 개발 및 Prototype 제작
(협동) 분산형 용수공급시스템 실증시설 구축
(주관) 분산형 용수공급시스템 운영유지관리 기술개발</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>김 정 현</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 145 명
내부 : 145명
외부 : 명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 218,000천원
기업 : 218,000천원
계 : 436,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국수자원공사
(K-water연구원)</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">포스코건설, 코오롱글로벌,
대림산업, 코오롱베니트,
대양하이드로, 테크윈</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td>1075</td></tr>
<tr><td colspan="6">1세부) 분산형 정수처리시설 설계기술 개발 및 Prototype 제작
■ 1,000 ㎥/일 규모 수직형 정수처리 실증시설 설계 및 20,000㎥/일 실규모 수직형 정수처리 시설 설계(직결형(tankless) 및 압력식 컴팩트 공정 최적화로 소요부지 저감)
■ 사업화 대상 모델지역 분산형 용수공급시스템기본계획 수립 및 편익분석
■ 수직형 정수처리 시설 프로토타입 제작 및 비상용수 확보량 산정
2세부) 분산형 용수공급시스템 실증시설 구축
■ 감성설계가 고려된 미적시공기술 개발 및 수직형 정수처리 실증시설 구축
■ 기존 광역 및 배/급수시스템 최적 연계 및 분산형 용수공급시스템 구축 기본 계획
3세부) 분산형 용수공급시스템 운영유지관리기술 개발
■ 용수 및 에너지 통합 운영관리시스템 구축
■ 수직형 정수처리 시설 운영유지관리 Guidance Manual
■ 신재생에너지 및 에너지 효율화 기술 설계 및 검증(소비 에너지 효율화율 30% 달성)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">수직형 정수처리시설, 분산형 용수공급시스템, 탱크리스, 다층형, 에너지 효율화, 물안보</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">Vertical type WTP, Decentralized water supply system, Tankless, Muli-story, Energy efficiency, Water Security</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제 목

수직형 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템 구축

Ⅱ. 연구개발과제 개요

▌최근 들어 ‘국민의 보건’과 ‘삶의 질 향상’과 맞물려 물 공급이라는 수도의 기본적인 기능 이외에 고품질 수도, 친수환경 조성, 물순환의 연속성 확보와 친환경적 대체수자원의 확보 등 다양한 유·무형의 기능적 역할을 요구하고 있으며 기술적, 기능적, 구조적으로 새로운 시스템으로의 전환을 필요로 하고 있음

【용수공급시스템(수도)의 개념적 변천사】

▌기존 용수공급시스템은 정수장에서 생산한 정수를 이송하는데 필요한 송·배수 관로 및 배·급수 관로의 장거리화로 유지관리 비용이 지속적으로 증가하고 관로 노후화로 인한 2차 오염이 큰 문제

【기존 용수공급시스템 계통】

▌기존 생산자 중심의 중앙집중식 처리시스템과 장대(長大)형 용수공급시스템으로는 소비자의 다양한 수요를 충족시키기 어렵고 비상시 신속한 대응에 어려움이 있음

- ‘70~’ 90년대 양적 공급시기를 지나 국민들의 수돗물에 대한 관심이 증대하고 있으나 현재의 집중형 용수공급체계로는 미래사회 다양한 소비자의 욕구충족을 위한 근본적인 해결에 한계가 있음
- 현재의 용수공급시스템은 정수장에서 생산한 정수를 이송하는데 필요한 송수 및 배수관로의 길이가 길고, 관로의 노후화가 발생됨에 따라 2차오염 우려 및 유지관리 비용이 지속적으로 증가하고 있는 상황이며, 단일 수원을 사용함에 따라 수원의 오염이나 재난 상황 발생시 용수공급이 중단으로 대단위 단수가 발생할 가능성이 많음
- 수돗물의 소비자 만족도는 2차 오염 발생우려, 소독제 이취미, 불신감 등으로 인해 5% 이하의 매우 낮은 직접 음용률을 나타내고 있음에 따라 다가올 미래사회에 대비하기 위해서는 근본적인 용수공급시스템의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 공급체계 마련이 요구됨

▌용수 생산 및 공급과정은 막대한 에너지를 소비하고 있음에 ‘저탄소 녹색에너지 도입 및 활용’의 구체적인 방안을 모색하여야 할 시기이며, 국내적으로 수자원의 지역적 균등분배와 물 공급의 안정성 확보를 위해 반드시 필요하며, 향후 중국 및 개발도상국의 수로 건설사업, 자원외교 또는 수자원의 배분에 기여할 기술을 도출하기 위해 필요함

▌**따라서, 미래사회 패러다임에 부합하는 새로운 개념의 용수공급 체계를 구축하기 위한 핵심기술 개발을 통해 국가의 안정적인 용수공급을 통해 신 성장 동력을 창출하기 위한 시점임**

- 소비자의 다양한 니즈를 충족시키기 위한 맞춤형 용수공급시스템 개발로, 물산업 기반기술 확보를 통한 주민 생활 향상 및 산업 발전 기여 등 미래사회 라이프라인 구축 필요
- 전 세계적으로 건설되는 새로운 개념의 도시건설(제로탄소도시 등) 시장에 진출할 신개념(분산화, 저에너지, 물 안보 등)의 용수공급 시스템의 브랜드 기술이 부재한 상황임에 따라 해외시장에 진출할 브랜드화 된 용수공급 인프라 설계, 건설 및 운영 유지관리 기술의 개발 및 확보가 필요

▌저탄소 녹색에너지 산업이 미래성장동력으로 급부상하고 있으며, 기후변화 협약 포스트 교토 체제 하에서 선진국 중심으로 녹색보호주의가 강화될 경우 탄소배출권 시장이 확대될 전망되어 용수공급시설을 이용한 다양한 R&D 투자 필요

- 미국 내에서 물과 관련된 CO_2 방출량은 5% 수준(River Network, 2009), 일본 동경시의 경우, CO2 총 발생량의 15%를 용수생산 및 공급이 점유(하나끼, 2008)하고 있어 용수공급의 에너지 비용 절감 필요성 증가하고 있는 상황으로 신재생에너지를 융합한 저에너지형 용수공급시스템 운영 및 유지관리기술의 개발이 필요함

▌미래의 용수공급시스템은 최종 소비자 중심의 형태로 변화(Decentralization)가 예상되며, 기존 수도는 단위시설(공정)으로부터 조합 시설로 발전되어 왔으나 미래사회에서의 용수공급 시스템은 소비자 중심의 시스템 사업으로 발전될 것으로 전망됨에 따라 핵심 요소기술의 확보가 필요

- 미래사회는 분산화 된 새로운 도시형태의 발달과 교통, 통신, 환경, 문화, 교육 등 다양한 분야에서 유비쿼터스 기술과 인프라 구축에 기초하여 대상 지역을 통합하는 포털 도심 서비스 시스템이 구축될 것으로 전망됨에 따라 이러한 패러다임에 부합하는 용수공급 체계 마련 요구
- 미래 도시의 기능 및 미관을 고려하고 용수공급의 안전성 및 안정성 확보를 위한 분산형 용수공급시스템의 설계 기술 개발 및 컴팩트한 단위공정 조합의 정수처리 시설 설계기술 개발을 통해 미래사회 대비 필요
- 과거 용수공급시설 또는 수원에 대한 공격이 수원 개발이나 물 배분의 결정에 대한 불공평함으로 발생하였으나 최근 국가 간의 분쟁에 따른 테러의 목적으로 발생될 우려가 있으며 물리/화학적인 테러와 함께 광범위한 피해를 발생시킬 수 있는 사이버 테러에 대한 위협도 존재함에 따라 용수공급 체계 구축에 있어 물안보 개념의 정립과 이를 위한 인프라 구축기술 개발 필요

▌본 연구단의 최종목표는 미래사회가 요구하는 용수공급시스템 구축에 있어서 수질의 안전성과 수량의 안정성을 확보할 수 있고 용수생산 및 공급에 소요되는 에너지를 절감할 수 있는 핵심요소기술을 개발하고 실증시설 구축을 통하여 검증하는 것임

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

【1세부 과제】분산형 정수처리시설 설계기술 개발 및 Prototype 제작

▌비상용수 용량 기준 수립

- 물안보 및 비상용수 용량 기준 수립을 위하여 해외 물 안보 측면에서 비상용수 용량기준 수립 절차를 준용하여 본 연구에서도 단수사고 등의 사례조사, 자체 설문조사 등을 수행하였으며, 취수원 오염 발생시 수질모의 등을 통하여 비상용수 용량기준을 수립하여 제시함

▌분산형 용수공급시스템 기본계획

- 분산형 용수공급시스템 기본계획 수립은 기존 도시를 대상으로 분산형 용수공급체계의 기본계획 수립보다는 신규 개발지역을 대상으로 분산형 용수공급체계 구축을 검토하였으며, 그 대상지역으로 검토된 지역은 세종시(행복도시), 부산 에코델타시티, 새만금 개발지역 등이 검토되었음.
- 분산형 용수공급시스템 대상지역인 H도시의 계획 관망 및 배수지를 조사하여 분산형 용수공급시스템의 적용 가능성을 검토함
- 새만금 개발지역 중 복합도시 북측지역을 사업화 대상지역으로 선정하고, 해당지역의 수직형 정수처리시설 2개소 설치를 포함한 분산형 용수공급시스템 기본계획 수립

▌수직형 정수처리시설 유동모의 및 상사성 반영 Lab 규모 실험

- 전산유체동역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 기법을 이용하여 수직형 정수처리시설의 유동안정성 확보를 위한 유동모의를 수행하였으며 수리학적으로 최적화된 설계 개선안을 도출
- 다중 막여과 시스템 내에서의 유량 균등분배를 개선하기 위한 설계안을 도출하였으며 직결식 시스템의 안정성 평가 및 설계 고려사항을 도출하기 위해 직결식 시스템의 유동모의를 실시함

▌수직형 정수처리 실증시설 설계

- 수직형 정수처리시설의 설계기술 검증을 위해 청주정수장에 1,000 m^3/일 규모 실증시설 설계
- 직결식 시스템 설계안을 제안하여 실증시설 설계에 반영하였으며 3세부의 실증시설

운영 결과를 기초로 하여 설계를 개선하였으며 설계를 모듈화 하였음

▌실규모 수직형 정수처리시설 설계

- 수직형 정수처리시시설 설계는 설계계획수립 → 실증시설 설계 → Protoype 제작 → 실증시설 시공 및 운영 → 운영결과 Feedback → 실규모 시설 설계의 순서로 수행함
- 실증시설 운영결과에서 도출된 설계 개선안을 반영하여 각 단위공정 설비를 10,000 m^3/일 단위로 모듈화 하였으며 이를 기초로 한 20,000 m^3/일 규모의 실규모 수직형 정수처리시설을 설계하였음
- 수직형 정수처리시설의 도입의 타당성을 평가하기 위하여 기존 정수처리시설 대비 수직형 정수처리시설의 공사비를 비교 분석하였음

▌분산형 용수공급시스템 편익 산정

- 본 연구의 과정은 편익항목을 도출한 후 편익의 다양한 방법론을 통해 객관성과 중복을 방지한 정량적인 가치를 추정하여 향후 분산형 용수공급시스템의 사업화에 경제성평가를 추진하기 위한 기초자료를 제공하는 것임
- 편익 산정을 위한 방법으로 설문조사에 의한 방법과 가상가치평가법 (CVM)을 통한 분산형 용수공급시스템의 지불의사금액 추정을 적용하였음.

▌분산형 용수공급시스템 경제성 분석

- 분산형 용수공급시스템이 기존 집중형 용수공급시스템과 비교하여 경제적으로 투자할 만한 가치가 있는 것인지에 대하여 경제성 분석을 통해 사업의 타당성을 확보하고자 함.
- 분산형 용수공급시스템을 적용할 지역은 2가지 대상지역을 선정하였음. 분산형 용수공급시스템은 특성상 기존 수도시설이 설치되어 있는 지역은 직관적으로 사업성이 높지 않기 때문에 신도시 지역 중에서 H도시 지역과 새만금 지역을 대상으로 경제적 타당성을 분석함.

▌분산형 용수공급시스템 사업화 및 실용화 방안

- 수직형 정수처리시설만 적용이 가능한 지역은 기존 수도시설에 대해서 노후화 및 민원이 증가하여 향후 신증설계획이 있는 지역, 기존 산업단지 중에서 생활용수공급이 필요한 지역, 소규모 정수장의 개량이 필요한 지역, 고도정수 처리시설 설치가 필요한 지역 등임
- 분산형 용수공급시스템과 같이 해외시장에 본격적으로 진출하기 위해서는 우리 기업들이 국내 시장참여를 통한 비즈니스 모델 검증이 필요하며, 모델 추진과정에서 축적된 경험과 노하우, 한계 극복방안을 발굴하여 진출하고자 하는 국가에서 성공할

수 있는 비즈니스 모델을 도출할 필요가 있음

- 분산형 용수공급시스템이 해외진출하기 위해서 경제여건과 기업의 사업추진 가능성을 고려하여 해당 시장에 성공적으로 진출할 수 있도록 시장별 세분화에 따른 맞춤형 사업모델을 제시하고자 함

▌분산형 정수처리시설 BAT matrix tool 개발

- 유럽, 중동 및 사하라 이북 아프리카, 사하라 이남 아프리카, 동남아시아, CIS, 몽고, 중남미 등 지역별 수질특성 파악 및 특정 오염물질 선정
- 상수원수 중 오염물질의 처리방안 조사 및 대상 오염물질별 처리기술 분류 Matrix 구성
- 대상오염물질의 처리성 실험 및 최적공정 제시하는 BAT matrix tool 개발

▌법·제도 보완안 제시

- 분산형 용수공급시스템 적용을 위한 다양한 법/제도 측면에서의 검토 및 보완안을 제시하기 위하여 현재의 수도법 및 수도정비기본계획 등의 법적 검토를 통하여 분산형 용수공급체계 도입에 필요한 가능성을 검토하였으며, 물공급 안정성 강화를 위한 수도법 개정안과 신재생에너지 등의 활용을 높이기 위한 개정안을 제시하였음

【2세부 과제】분산형 용수공급시스템 실증시설 구축

▌감성설계가 고려된 미적 시공기술 개발

- 미적시공 디자인 아이디어 공모전을 통한 일반인의 다양한 디자인 아이디어 수용
- 공모전 출품작 경향분석을 통한 디자인 기본안 도출
- 디자인 심화 과정을 거쳐 구체화한 실증시설 감성설계안 도출 및 적용
- 다양성 추구를 위한 대안디자인 도출 및 모형 제작

▌수직형 정수처리 실증시설 구축

- 수직형 정수처리 실증시설 설계안 검토 및 시공 재료 검토
- 1,000톤/일 수직형 정수처리실증시설 구축 및 시운전을 통한 시공시방서 작성
- 기존 수평형 정수처리시설 대비 수직형 정수처리시설 건설비 140% 검증을 위한 건설비용 분석

▌막역세배출수 처리공정 선정 및 평가

- 막 역세배출수 침강성 부족으로 인한 처리 문제 발생
- 막 역세배출수 처리공정용 가압식 내압막 선정.
- 막 역세배출수 처리 공정 파일럿 제작을 통한 다양한 조건에서의 처리방안 검토

▌수직형 정수처리시설 막여과 공정 최적화

- Lab 및 파일럿 장치를 이용한 배관 내 역세 가능성 평가결과, 일반적인 역세공정과 동일한 효율을 보였지만 짧은 시간 안정적인 유량 유지 어려움
- 분리막 공정 발생 배출수 양을 줄이기 위한 역세유량 재산정 결과, 기존 막여과 역세배출수 대비 0.7Q~0.9Q로써 약 20% 이하의 유량에서도 안정적인 운전 가능
- 정수처리 막여과 공정도입은 모래여과 공정의 대안이며, 모래여과 역세배출수 성상에 따른 배출수 처리 시설 기준에 맞춰 있기 때문에 타당성 비교 분석

▌기존 광역상수도와 연계한 분산형 용수공급시스템 구축

- 기존 광역용수공급시스템 및 급/배수시스템과 수직형 정수처리 시설을 연계하기 위해 기존 관로의 노후상태 등에 대해 진단 및 평가할 수 있는 항목 이외에 관 파괴 영향척도 항목 추가
- 비상용수 공급능력 평가 방법론 제시 및 모델도시를 대상으로 비상용수 공급능력을 평가한 결과 분산형 용수공급시스템의 도입 필요성 확인
- 수직형 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템의 맞춤형 급수방식으로 하이브리드 급수방식을 제안하였으며, 급수구역내 수직형 정수처리시설의 최적 설치 위치를 결정할 수 있는 방법론을 제안하였음.

▌상수 수요예측 모델 개발

- 다변수 회귀분석의 한계를 보완하고자 인공신경망(Artificial Neural Network)에 의한 물수요 예측 수행. 적용한 인공신경망은 총 7개의 Input Layer와 5개의 Hidden Layer 2개를 적용하였으며, 단기 물수요 예측에는 다변수 회귀분석에 의한 방법보다는, 인공신경망 모델에 의한 예측이 보다 우수한 결과를 얻을 수 있었음.

▌펌프 최적운전(배수지 연계) 조건 도출

- 펌프 최적운전 조건을 모델링 도시에 분산형 용수공급시스템이 구축된다는 가정 하에 모델링 도시의 용수공급 시나리오별로 달리 적용하여 분석하였음. 결과로 유량제어범위는 설치대수를 증가할수록 좁아지므로 시간별로 변동되는 수요량에 대응이

우수한 것으로 나타났음.

- 전력비 및 유지관리는 유사한 수준이나 펌프의 개수가 증가할수록 설치비(초기투자비)가 증가하여 펌프 개수를 증가시키는 대안이 경제적으로 불리한 것으로 나타났음.

▌H도시 대상 분산형 용수공급시스템 구축 타당성 평가

- 대상지역으로 행정중심복합도시(이하, H도시)를 기준으로 200,000m^3 규모의 분산형 용수공급시스템 구축 타당성 평가 수행
- 급수구역내 용수공급측면에서 수리/수질/수송에너지를 구분하여 정량적으로 평가하였으며, 기존 중앙집중형 용수공급시스템 대비 수리/수질의 안정성 및 안전성을 확보할 수 있는 것으로 분석됨. 반면 수송에너지는 원수 공급방법에 따라 해당 결과가 상이하게 도출되었으며 천심도 공급라인을 통해 원수를 수직형 정수처리시설까지 공급 가능할 수 경제성 있는 결과 도출

▌새만금 실증 모델지역 대상 분산형 용수공급시스템 구축 기본계획 수립

- 분산형 용수공급시스템 설계/시공/운영/구축을 위한 기본계획 수립
- 새만금 기반환경을 고려한 기존 용수공급방식과 분산형 용수공급시스템의 수압, 수질, 경제성 측면에서 정량적 분석을 수행한 결과 금회 제안 방식이 기존방식에 비해 월등히 우수한 결과를 나타냄.
- 향후 새만금 지역의 분산형 용수공급시스템 구축 사업 진행시 본 기본계획이 새로운 용수공급시스템 구축에 가이드라인을 제공할 것으로 판단됨.

【3세부 과제】분산형 용수공급시스템 운영유지관리 기술

▌수직형 정수처리 실증시설 효율성 검증

- 본 연구단에서 개발한 직결-수직형(direct coupled – multi story) 정수처리 공정의 실증시설(청주정수장, 1,000㎥/일 규모)의 효율성을 수리적 안정성, 수질적 안전성, 엔지 효율성 측면에서 검증평가 하였음
- 본 연구에서 에너지 효율화율 30% 달성 위해 최적 운영방법, 저에너지설비 및 신재에너지 생산설비의 효율성을 검증 평가하였음.
- 수직형 정수처리 플랜트의 최적 운영압력의 도출 및 각 단위공정의 운영방법, 공정간의 결합, 계열수 등 향후 설계에 유용하게 활용될 수 있는 운영관리 요소기술 확보

▪ 수직형 정수처리 플랜트의 성능 검증으로 정수처리기술의 새로운 방안 제시

▌신재생에너지 활용 및 에너지 효율화 기술

▪ 에너지 효율화율 전략을 수립하여 신재생에너지원별 최적 구성 및 계통연계 방안을 제시하였다. 이를 위해 MATLAB을 활용한 신재생에너지원별 최적 구성알고리즘을 도출하여 효율 분석이 가능한 TOOL을 개발하였다. 또한, 계통연계시 영향 평가를 위하여 PSCAD를 활용한 모의계통 구성을 통한 모델링을 수행하였음.

▪ 유비쿼터스와 결합된 DC배전 시스템을 설계 적용하여 LED조명제어와 공정제어의 효율성을 증대시켰다. MATLAB을 통한 DC배전 도입의 적용효과를 분석하였으며, LED 조명제어를 위하여 디밍제어와 모션제어방식을 적용하여 에너지 효율화를 높였음.

▪ 수직형 정수처리 실증시설(1,000㎥/일)의 옥상과 벽면에 태양광시스템을 설계 구축하였다. 옥상설치 태양광발전시스템을 설계하기 위하여 일사량 측정, 연간 발전량 산정, 태양광발전 회로구성 및 설치간격 등을 결정하였다. 이를 통하여 옥상태양광 10kW와 벽면을 활용한 BIPV 5kW 규모의 태양광시스템을 설계 구축하였으며, 효율성을 평가하였음.

▪ 태양광시스템, 소수력발전시스템 및 수온차시스템 등 신재생에너지 기술을 개발하고, DC배전 구축을 비롯한 클라우드 컴퓨팅과 LED 조명제어등 에너지 효율화 기술을 개발함은 물론, 정수공정의 최적 운영압력 제어기술 등을 적용하여 에너지 효율화율 44% 달성

▌용수 및 에너지 통합운영관리시스템

▪ 본 연구단에서 개발한 직결-수직형 정수처리플랜트를 효율적으로 운영할 수 있도록 전체 공정을 자동으로 감시제어가 가능한 공정운영제어 알고리즘 개발

▪ 분산형 용수공급시스템 운영을 위한 최적의 용수 및 에너지 통합운영관리 시스템 구축하고 클라우딩 컴퓨팅 기반의 통합운영시스템을 설계하여 자원을 효율적으로 운영하고 운영에너지 절감하였으며 에너지 관리시스템을 설계 제작하여 현장적용을 통하여 우수성 검증

▪ 수직형 정수시설에 적용된 설비의 운영관리를 위하여 LCC 및 자산관리시스템을 개발하고 각 설비별 수명 및 개대체 관리와 개별 자산의 변동을 확인할 수 있는 관리시스템을 제작하여 적용.

▌Pico급 소수력 발전설비 및 시험설비

▪ 수직형 정수처리 플랜트의 낙차를 이용한 발전이 가능한 수차의 형식을 선정하기 위해 CFD를 활용한 시뮬레이션을 수행하여 최적의 횡축 프로펠러 수차를 선정

▪ 피코급 소수력 발전설비의 성능을 검증하기 위한 모델 시험설비를 제작하였으며,

국제기준 IEC 60193 또는 JIS B 8103의 규격에 따라 모델 수차의 허용 공차, 계측기 허용 오차등의 시험이 가능하도록 설계 제작하였고, 모델수차 성능시험설비는 상부탱크와 하부수조, 입구탱크와 방수로 탱크, 양수펌프, 그리고 기타 설비등으로 구성

- 수직형 정수처리 시설 20,000 ㎥/day 용량의 소수력 발전설비를 국제 규격에 부합하는 설계를 통하여 실물 사이즈의 소수력 발전설비를 제작하였으며, 규격 모델시험절차에 따라 성능평가를 시행하여 정격조건에서 만족할 수 있는 성능 확보
- 국내 최초 수직형 정수시설의 저낙차와 저유량 환경에 적합한 피코급(5kW) 프로펠라형 국산 소수력 발전시스템을 자체 설계・제작・검증하여 효율 66%의 모델 수차기술 확보

▌수온차시스템 효율성 제고 및 활용기술

- 히트펌프 구성요소 및 열원 모델링을 통한 통합모델을 개발하였다. 이를 위해 다수의 기존정수장 실측자료를 수집하여 계절별 특성을 분석하였고, 수집된 실측자료를 활용하여 ESS를 통한 요소기기 모델링과 Trynsys를 통한 통합시스템 모델링 수행
- 둘째, 고효율 수온차 냉난방 시스템을 설계하여 현장에 적용하여 실증하였다. 물-물 방식의 히트펌프, 버퍼탱크, 원수/브라인/순환수 펌프, FCU 등으로 구성되었으며, 유량계, 온도계, 전력량계를 설치하여 수온차시스템의 성능을 분석
- 셋째, 냉난방 시스템 적용 이외에 추가적인 적용방안을 제안하였다. 막여과 공정의 CIP 공정 등 플랜트 내에서 필요로 하는 열원을 연계 공급하도록 설계 적용
- 고효율 수온차 냉난방 시스템의 설계 및 제작을 통하여 난방운전시 운전 COP 2.98 그리고 냉방운전시 운전 COP 3.53을 실제 운전을 통하여 검증 기술을 확보함으로써 수직형 정수퍼리 플랜트 내의 활용(냉난방, 막여과 CIP 가온 수 공급 등) 뿐만아니라 용수 내의 온도를 이용하는 응용분야(건축물, 하폐수 등) 등 으로 확대 활용 가능토록 기술적 진보 달성

▌운영관리기술 및 노하우의 체계화

- 수직형 정수처리 실증시설(1,000㎥/일)의 제원, 설비현황 및 운영절차 및 방법에 대한 운영관리 매뉴얼 제작하였으며, 실증시설에서 검증된 기술(공정기술, 에너지 기술 등)에 대한 효율성 평가 보고서를 제작하여 운영관리기술 및 개발기술의 효율성을 체계적으로 정립

Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

【1세부 과제】분산형 정수처리시설 설계기술 개발 및 Prototype 제작

▌비상용수 용량기준 및 분산형 용수공급시스템 기본계획

- 비상용수 확보의 필요성 기고문 1편 게재, 전문가 자문위원회 1회 개최
- 비상용수 확보용량 기준 수립 및 논문 2편 게재
- H 도시 분산형 용수공급시스템 기본계획(안)
- 사업화 대상 모델 지역(새만금 개발지역) 분산형 용수공급시스템 기본계획 반영

▌수직형 정수처리시설 설계기술 개발 및 Prototype 제작

- 수직형 정수처리시설 대상지 기준 선정
- 장치용량 10m^3/일 이상 Lab test 시작품 제작 및 상사성 평가
- 처리용량 1,000 m^3/일 규모 실증시설 설계안 도출
  (평면형 정수처리시설 대비 부지절감율 50% 이상)
- 막여과 설비 분배관로 유량균등배분율 87% 개선
- 시설용량 1,000 m^3/일 실증시설 설계도면 제작 및 1/20 규모 Prototype모형 제작
- 시설용량 20,000 m^3/일 규모 실규모 시설 설계도면 제작
- 유동모의 및 분석을 통한 실증시설 설계 개선안 도출

【2세부 과제】분산형 용수공급시스템 실증시설 구축

▌수직형 정수처리 실증시설 시공

- 실증시설 건물 외피 설계 1건
- 막여과 공정 Lab test 장치 제작
- 200 m^3/일 규모 상용 가압막 Pilot 장치 제작
- 1,000 m^3/일급 수직형 정수처리 실증시설 구축 1건
- 수직형 정수처리 실증시설 시공시방서 1건
- 막여과 역세배출수 처리 공정 선정 및 성능평가
- 50 m^3/일 규모 막여과 역세배출수 처리 Pilot 장치 제작

▌수직형 정수처리시설 막여과 공정 설계 가이드라인 구축

- 200 ㎥/일 파일롯 플랜트 운영을 통한 실증시설 설계조건 제시
- 수직형 막여과 공정의 배출수 처리를 위한 성상 파악 및 설계 조건 제시

▌ **기존 광역 용수공급시스템 및 급/배수 연계시스템 개발**

- 수직형 정수처리시설 최적위치 제안 논문 1편 게재
- 전문가 자문위원회 1회 개최
- 하이브리드 용수공급시스템 관련 특허 1건 출원
- H 도시 분산형 용수공급시스템 기본계획(안) 수립
- 새만금 실증 모델지역 분산형 용수공급시스템 기본계획 수립
- 새만금 광역기반시설 MP 내 분산형 용수공급시스템 구축(안) 수록

【3세부 과제】분산형 용수공급시스템 운영유지관리 기술

▌ **신재생에너지 최적구성 및 에너지 효율화 기술 확보**

- 옥상・BIPV 태양광발전시스템 설계・구축
- DC 배전시스템 설계・구축
- LED 조명제어시스템 개발・구축

▌ **고효율 수온차 냉난방시스템 모델링, 설계기술 및 응용기술 확보**

- 수온차 관련 특허 출원 및 등록 2건
  - 수열원 히트펌프의 열교환기 동파방지제어시스템 (제10-1188964호)
  - 막여과공정의 원수 가온시스템 (제10-1280116호)
- 수온차 성능예측 관련 개발 프로그램 등록 1건(등록번호)
  - 수직형정수장 내 수온차히트펌프 냉난방 성능예측 프로그램 Ver. 2(제 14-029939호)
- 고효율 수온차 냉난방시스템 구축 및 막여과 공정 CIP 가온수 공급계통 연계 기술 확보

▌ **국산 Pico급 소수력 발전설비 개발 및 설계, 제작기술 확보**

- Pico급 횡축 프로펠러 수차 설계 제작 및 검증(효율 66%, 5kW 급)
- 국제규격 소수력발전설비 모델시험설비 구축 및 특허출원

▌ **클라우딩기반 핵심 프로그램 개발 및 통합운영관리시스템 구축**

- 수직형 정수처리 플랜트의 운영프로그램 개발
  - 감시제어 통합운영 프로그램(DWSS operator), 실시간 에너지관리 프로그램(DWSS EMS)
  - LCC 및 자산관리 프로그램(DWSS AMS), 비상대응 프로그램(DWSS ERS)
  - 유무선 계측제어 프로그램, 유비쿼터스기반 LED 조명제어 프로그램
  - 막여과 공정 유량변동 대응 최적운영 프로그램
- 분산형 용수공급시스템 운영방안 수립

▌ **에너지 효율화 및 운영관리기술의 검증 및 체계화**

▪ 수직형 정수처리실증시설(1,000㎥/일) 운영관리 매뉴얼 제작

▪ 수직형 정수처리실증시설(1,000㎥/일)의 공정효율성 및 각종 구축된 기술의 효율성 평가보고서 제작

▌주요 개발기술별 적용 방안

연번	성과명	적용실적 및 예정	비고
1	비상용수 용량기준 및 분산형 용수공급시스템 기본계획	◦ 향후 국내 비상용수 용량기준 수립에 활용(정책) ◦ 분산형 용수공급시스템 기본계획은 새만금 개발지역 시범사업 추진을 위해 관련 기관 및 용수공급 수행기관과의 협의를 추진 중에 있음	제도/기준
2	수직형 정수처리시설 설계기술 개발 및 Prototype 제작	◦ 수직형 정수처리 실증시설 구축을 통한 운영 및 검증 완료 ◦ 새만금 개발지역 시범 사업 추진시 반영추진 ◦ 노후 정수장 개량 사업시 반영 추진을 위한 환경부 담당자 기술 소개 및 협의 추진	수직형 정수 시설 설계 도면
3	수직형 정수처리 시공기술 개발	◦ 수직형 정수처리 실증시설 구축 ◦ 감성설계 미적시공 기술 개발 ◦ 수직형 정수처리시설 도입시 활용	시공 가이드 라인
4	기존 광역용수 공급시스템 및 급/배수 시스템 최적 연계기술 개발)	◦ 분산형 용수공급시스템 구축 요소기술로서 수리/수질/에너지 측면에서의 최적 위치 결정방법론 등 개발 ◦ 새만금 개발지역 대상 분산형 용수공급시스템 기본계획 제시를 통한 시범사업 추진	새만금 기본 계획
5	피코급 소수력 발전설비 및 수차 시험설비 개발	◦ 피코급 소수력 발전설비 개발 ◦ 수차시험설비 구축을 통한 개발제품 검증 ◦ 수직형 정수처리시설 도입시 활용 ◦ 기존 및 신규 용수공급 인프라에 적정 용량 및 적용 조건에 따라 적용 추진	수차 장치/시험 설비
6	수온차 냉난방 시스템	◦ 수직형 정수처리 실증시설 적용을 통한 검증 ◦ 타 용수 공급 및 처리 시설에 적용 예정	시스템
7	태양광 시스템	◦ 수직형 정수처리 실증시설 적용을 통한 검증 ◦ 현재 용수공급 및 처리시설에 기 적용진행 ◦ 기존 시설에 추가 적용시 해당 기술 적용예정	시스템
8	DC배전 시스템	◦ 수직형 정수처리 실증시설 적용을 통한 검증 ◦ 태양광 발전설비 도입시 활용 추진예정	시스템
9	USN기반 데이터 취득 시스템	◦ 수직형 정수처리 실증시설 적용을 통한 검증 ◦ 기존 시설 계측기 추가시 해당기술 적용예정	장치/시스템
10	운영관리시스템	◦ 용수 및 에너지 통합운영관리시스템 개발 적용 ◦ 실증시설 운영으로 오차 및 해킹건수를 통한 검증 완료 ◦ 수직형 정수처리기술 적용시 동반 활용예정	프로그램

Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

▌수직형 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템 구축 연구단 과제의 최종목표인 “미래사회가 요구하는 용수공급시스템 구축에 있어서 수질의 안전성과 수량의 안정성을 확보할 수 있고 용수생산 및 공급에 소요되는 에너지를 절감할 수 있는 핵심 요소기술을 개발하고 실증시설 구축을 통한 검증” 은 계획대로 완료함

▌분산형 용수공급시스템 구축 연구단의 기술적 개발 성과는 미래창조과학부 주관 **“국가연구개발우수성과 100선”** 및 국토교통 R&D 우수성과 20선에 선정되어 창의성과 우수성을 인정받았으며, 세계 최대 물 전문기관인 국제물협회(IWA)에서 주관하는 **프로젝트 혁신상(PIA, project innovation award)**의 소규모 프로젝트 분야 “Global Honour Award” 를 수상(2014. 06(동아시아지역), 2014. 09(글로벌지역)) 함으로써 **전 세계적으로 기술의 혁신성과 우수성을 인정받아 국가 기술경쟁력 제고**

▌**비상용수 용량기준 수립 및 제시**

- 물안보 측면을 고려한 미래사회 안전하고 안정적인 용수공급 체계 구축을 위한 국내 비상용수 용량기준 수립 방법론 검증 및 용량기준 제시를 통한 향후 국가 용수공급 제도 및 전략 수립 시 활용 가능

▌**수직형 정수처리 설계 및 시공기술 개발**

- 소비자 가까이로 정수시설 분산을 위한 핵심기술로서 기존 정수처리 공정 설계기술 대비 소요 부지를 70% 수준으로 저감하기 위한 컴팩트한 신개념 정수처리 기술인 수직형 정수처리 설계기술 개발 및 실증시설 운영을 통한 검증
- K-water 청주정수장에 1,000 m^3/일 규모 수직형 정수처리 실증시설 구축 운영 및 설계 Feedback을 통한 20,000㎥/일 규모의 실규모 수직형 정수처리 시설 설계 제시로 활용성 극대화(수직형/계층형 배치안 및 공정간 직결식 시스템 적용)
- 고도처리 근간의 수직형 정수처리기술 개발로 **기존 대비 소요부지 1/3 수준**의 경제적 수직형 설계 기술 확보로 향후 기존 노후시설 및 새로운 정수시설 건설시 활용
- 도시 및 주민 친화적 정수시설 설치를 위한 미적시공 및 감성설계 개념을 도입한 미래형 정수시설 시공기술 확보
- 개략공사비 및 원가 산정을 통한 **건설비 140% 이하 달성**이 가능한 수직형 정수처리 건설기술 확보

▪ 수직형/압력식 정수처리공정 및 tankless시스템 개발을 통한 모듈화, 패키지화로 시설 용량별로 설치 용이한 정수기술 확보로 활용성 증대

▌ 신재생에너지 활용 및 에너지 효율화 기술개발을 통한 에너지 효율화율 30% 이상 달성

▪ 국내 최초 Pico 급 소수력 발전설비 설계 및 제작, 검증과 COP 2.5 이상급의 수온차 시스템 설계 및 실증시설 검증, 태양광 발전설비 설계기술 개발 및 실증시설 검증

▪ 태양광발전, 소수력 발전시스템 및 수온차 시스템 등 신재생에너지 기술을 개발하고, DC 배전 구축을 비롯한 클라우드 컴퓨팅과 LED 조명제어등 에너지 효율화 기술을 개발함은 물론, 정수공정의 최적 운영압력 제어기술 등을 적용하여 에너지 효율화율 44% 달성

▪ 오차 및 해킹 보안성이 확보된 용수 및 에너지 통합운영관리시스템 개발 및 구축

▪ 신재생에너지 연계 활용으로 에너지원의 효용 가치를 높여 에너지 다소비 구조의 수직형정수시설의 운영에 따른 비용 문제를 최적화함으로써 향후 분산형 용수공급 시스템의 확대 적용

▌ 분산형 용수공급시스템 기본계획

▪ 기존 광역 용수공급시스템 및 급/배수 연계시스템 개발, 최적 위치결정 방법론 등 도심 내 분산형 용수공급시스템 구축 요소기술 개발

▪ H도시 및 새만금 개발지역 대상의 분산형 용수공급시스템 기본계획 제시를 통한 미래사회 신개념 용수공급체계 구축 방향 제시 및 시범사업 추진 기반 마련

▪ 분산형 소규모정수장 네트워크화 및 비상용수 확보, 보조수원 연계로 단수시 유연한 대처가 가능하고 물공급의 안정성 확보 및 단수 저감을 통한 중단없는 용수공급 가능 예상

▪ 공급관로내 물 체류시간 저감, 소독제 주입량 및 냄새 최소화, 병입 수돗물 수준의 고품질 수돗물 공급이 가능하여 직접 음용률 및 주민 신뢰도 제고 효과 기대

Ⅵ. 연구성과 활용계획

▌ 미래지향적 용수공급 체계인 분산형 용수공급시스템의 국가적 도입, 운영전략 수립 및 분산형 용수공급시스템 구축의 법률/기술적 타당성 평가 및 제도 보완에 활용

▪ 분산형 용수공급시스템 구축 및 적용을 위한 법, 제도 정비의 기반 마련

▌ **비상용수 확보 및 공급 개념의 정립으로 가뭄, 지진, 사고 등 재난 시 국가 비상용수 공급 체계구축에 활용**

- 비상용수 기준 수립 기초 자료 제공 및 지하 저류공간 확보로 비상시 대응능력을 키우고, 물 공급의 안정성을 확보

▌ **해외 도시건설시장에 용수공급시스템 구축 브랜드화 기술의 동반 진출**

- 분산형 용수공급시스템 마케팅 전략구축으로 민간/공공부문의 해외시장 공동 진출에 활용
- 국내 기업의 해외 신도시 건설시장 진출에 브랜드화 된 용수공급시스템 구축기술의 동반 진출로 국익창출
- 해외 신도시의 특성에 적합하도록 맞춤형 용수공급시스템의 설계 및 건설
- 과학적이고 체계적인 운영관리 핵심 요소기술의 확보로 해외 운영관리시장의 진출 및 주도, 공적개발원조(ODA) 사업과 연계하여 물산업 해외진출의 일환으로 분산형 시스템의 기술 수출

▌ **국내 신도시 및 노후시설 개량·재구축에 활용**

- 개발되는 신도시의 특성에 가장 적합하도록 Smart Water Main System 구축 등 맞춤형 용수공급시스템의 설계 및 적용
- 환경부 및 지자체 노후 수도시설 개량 사업 적용, 신규 용수 수요 발생지역의 물공급 대안으로 제시, 산업용수 등 시장 대응형, 수요 맞춤형 용수공급시스템으로 활용

▌ **개발된 원천기술을 활용한 확대적용 기술 발전**

- 사업화 촉진을 위한 신기술 인증, 설비 국산화, 후속 연구개발 사업 연계, Smart Water City 및 급수지역 확대 지역 시범사업 등 적용 확대
- 높은 지역 수원의 낙차를 활용한 정수처리 시설 설치·운영, 신재생에너지 및 에너지효율화 설비 적용으로 저탄소 그린 정수장 구현
- 분산형 용수공급시스템 구축기술의 연관기술의 중복 투자를 방지하고, 기 개발된 관련기술의 연계로 국가개발기술의 상용화 촉진
- 소수력 발전설비의 연관사업장 실용화 및 수차시험설비의 수차개발 주요 인프라로 지속적 활용
- 수온차 시스템은 원수가 풍부한 정수장뿐만 아니라 물 사용량이 많은 대형 건축물에 사용할 수 있으며 원수 외에 폐수를 이용한 시스템도 가능함으로 대형 건축물, 하폐수처리장 등 연관사업장에 실용화

▪ USN 기술의 연관 사업장 실용화

▌확보된 기술을 활용한 시범사업

▪ 새만금 개발지역 등 신도시 개발시 수직형 정수처리시설을 적용한 분산형 용수공급 시스템 시범구축 사업 추진

▪ 국토부, 환경부, 지자체 등과 연계하여 범부처 공동으로 시범사업 발굴, 추진

▪ 소수력 발전설비의 연관사업장 실용화 및 수차시험설비의 수차개발 주요 인프라로 지속적 활용

▌국제적 홍보로 국가 기술력 및 위상 제고 수단으로 활용

▪ 국제 학회 및 행사에 기술 발표, 홍보 및 권위 있는 기술상 수상 추진

▪ 인증된 기술을 기반으로 국외기관과 연계 공동사업 발굴 및 해외 물시장 진출

SUMMARY

A general centralized water supply system supplies water to consumers after treating it in a large water treatment plant through a large pipe network. This system is designed to ensure stable water quality and to avoid secondary pollution due to long water supply pipes and pipe aging that need ever-increasing maintenance costs for pipe improvement and water supply equipment. Although high quality water is treated by advanced water treatment plant, poor management of the transmission process, indoor service pipes and storage tanks result in people's disbelief in the supplied water. Because people use their own water purifiers and buy bottled water, direct drinking of tap water is not higher than 4% and thus it is critical to develop a scheme for improving the water supply system.

Therefore, we need to first study a new concept water supply system compatible with the paradigms of future cities, and solve the current issues of inefficiency. It is necessary to take the treatment plant of a Decentralized Water Supply System (DWSS) to places close to consumers, to address issues of changing water quality and demands for each area, and to effectively cope with emergencies through a network. DWSS is expected to be an alternative for realizing a sustainable water supply system.

For a DWSS, water treatment facilities are installed around end consumers in a city to be supplied with primarily treated water in the water treatment plant or raw water, in order to treat it compatible with consumers' needs. This system reduces the time to transmit the treated water to end consumers, and enables the reduction of possible secondary pollution in pipes and disinfection chemicals in order to stably supply safe water. Unit processes for water treatment are made of multi-layers, a tower-type in an urban area, and an underground tower in parks or facilities. This system implements proper use of ground and facilities ideal for functioning in and adaption to the conditions of the relevant city, It is also designed to be an eco-friendly and resident-friendly facility to be a landmark in the area.

The vertical-type water treatment system is compact for each area. It can supply

water in combination with a direct supply and water reservoirs depending on the daily changes of water demand. In an emergency, the system uses feed water and substitutes water sources for supplying emergency water for maximum 14 days per person to function as a storage tank without an interruption of water supply. Processes customized to water quality enable this system to be used for drinking water and industrial water.

A plant with a capacity of 1,000㎥/day was designed and constructed to assess and verify the applicability of this decentralized water treatment(DWT) system design technology which is being developed for the first time. Three dimensional drawings and a prototype model were produced for examining overall process configuration, internal machine layout and issues in construction in advance. Hydraulic examination was conducted through CFD analysis, for example, flow and pressure changes in various conditions for each process were applied to the design. Stability of the tankless system, which does not need a storage tank between unit processes, was applied to the tested facility and was verified through hydraulic model experiment. The DWSS technology, which takes emergency water is currently being applied to a master plan for Korea' s water supply system.

The vertical-type water treatment system employs renewable energy technology including solar photovoltaic system, small hydropower systems and raw-water source heat pumps to ensure at least 30% of consumed energy efficiency. The system also employs DC distribution, for improving energy change efficiency, LED lighting for minimizing lighting load, and highly efficient pumps and control equipment. This eco-friendly and low-carbon water treatment system is ideal for stably supplying safe and quality water to consumers.

The DWSS is a compact water treatment facility designed to greatly reduce required ground area. Processes thereof are laid out in a vertical-type structure, not typical planar gravity flow. A membrane filtration process is employed, and the pressure type structure is applied to the advanced water treatment by ozone and GAC to implement it in a compact plant or package structure. In this project we designed a system without intermediate storage tanks between respective unit processes. This is a method of

transferring treated water to the end process by means of the initial pressure of a supply pump for supplying water in the membrane filtration process, and the unit process at later stages is also a pressure type. The tankless system and the pressure type structure in each unit process contribute to reducing the required ground area and space resulting in a compact size, and thus reducing facility and operation costs. The initial operation pressure range affects selection of membranes made in Korea and other countries, and other involved equipment.

For improved energy efficiency of the water treatment system, a PVIB (Photovoltaic in Building) and the BIPV (Building Integrated Photovoltaic System) were installed. The maximum power is 10 kW and 5 kW, respectively, and a solar power meter was equipped to analyze energy efficiency. It is possible to analyze daily/monthly/yearly data through the installed monitoring system.

The raw-water source heat pump system was installed in the heat pump, the heat exchanger, the expansion tank, the buffer tank and the FCU. Regarding energy efficiency, the power consumption is 28.234 kW, the system COP is 2.55, and the produced heat of 72 kW to contribute to improving energy efficiency. Integrated O&M system is constructed to enable monitoring and control for each process in detail. For reducing energy and thus for stable operation of the water treatment plant, a virtual server environment is constructed to reduce resources required for system construction to 10%. Mobile equipment history management enables equipment information to be monitored and a maintenance history to be managed by using the mobile QR code.

This new concept technology of a compact DWT process is applicable to constructing new water treatment facilities and retrofitting old facilities in Korea and other countries. It is thus expected that this technology will be a leading key design technology for future-city water supply systems. This vertical-type water treatment technology with its compact design is perfectly applicable to urban areas that have limited space.
This technology will contribute to implementing new reliable water supplies, expanding the existing water related market that is currently not in prosperity, and stably supplying safe and reliable drinking water.

CONTENTS

Summary ····· x x i i

Chapter 1. Research Overview ····· 1

1.1 Background and needs for research and development ····· 1

1. The purpose of the study ····· 1

2. The need for research ····· 7

1.2 Definition, scope, and features for R&D ····· 11

1. Definition ····· 11

2. Scope ····· 12

2. Feature ····· 20

1.3 Domestic and international technology developments ····· 23

1. Domestic technology developments ····· 23

2. International technology developments ····· 60

3. Distinction of technology ····· 114

Chpater 2 Contents and Results ····· 115

2.1 Strategy and methodology ····· 115

2.2 Process and contents ····· 121

1. Design technology of DWSS and Multistory water treatment plant ····· 121

2. Construction technology of DWSS ····· 192

3. Operation & Maintenance technology of DWSS ····· 241

2.3 Results and Verification Methods ····· 455

1. Design technology of DWSS and Multistory water treatment plant ····· 455

2. Construction technology of DWSS ·····701
3. Operation & Maintenance technology of DWSS ·····842

Chapter 3. Performance and Application ····· 987

3.1 Research achievements ····· 987
3.1 Application of research products ····· 999

Chpater 4 Attainment of goal and Effects ····· 1001

4.1 Achievement of final objects ····· 1001
4.2 Technological effects of achievements ····· 1010
4.3 Economic effects of achievements ····· 1013
4.4 Political effects of achievements ····· 1016

Chpater 5 Applications and future research ····· 1017

5.1 Application scheme ····· 1017
5.2 Future Research ····· 1019

Refference ····· 1021

Appendix ····· 1029

목 차

요 약 문 ····· v

Summary ····· x xii

제 1 장 연구개발 개요 ····· 1

제 1 절 연구개발 목적 및 필요성 ····· 1

1. 연구개발의 목적 ····· 1

2. 연구개발의 필요성 ····· 7

제 2 절 연구개발 정의, 범위 및 특징 ····· 11

1. 연구개발 정의 ····· 11

2. 연구개발 범위 및 세부 목표 ····· 12

3. 연구개발 특징 ····· 20

제 3 절 국내외 기술개발 현황 ····· 23

1. 국내 기술개발 현황 ····· 23

2. 국외 기술개발 현황 ····· 60

3. 기술개발 차별성 ····· 114

제 2 장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 115

제 1 절 연구수행 전략 및 방법론 ····· 115

제 2 절 연구 수행과정 및 내용 ····· 121

1. 분산형 정수처리시설 설계기술 개발 및 Prototype 제작 ····· 121

2. 분산형 용수공급시스템 실증시설 구축 ····· 192

3. 분산형 용수공급시스템 운영유지관리 기술 (3세부) ····· 241

제 3 절 연구 수행 결과 및 검증 ····· 455

1. 분산형 정수처리시설 설계기술 개발 및 Prototype 제작 ····· 455

2. 분산형 용수공급시스템 실증시설 구축 (2세부) ····· 701

3. 분산형 용수공급시스템 운영유지관리 기술 (3세부) ····· 842

제 3 장 최종 연구성과 및 적용 실적 ····· 987

제 1 절 주요 연구성과 ····· 987
제 2 절 연구성과 적용(예정) 실적 ····· 999

제 4 장 연구목표 달성 및 효과 ····· 1001

제 1 절 연구개발 최종목표 달성도 ····· 1001
제 2 절 연구개발 성과의 기술적 효과 분석 ····· 1010
제 3 절 연구개발 성과의 경제적 효과분석 ····· 1013
제 4 절 연구개발 성과의 정책적 효과분석 ····· 1016

제 5 장 연구성과 활용 및 추가연구 필요성 ····· 1017

제 1 절 연구성과 향후 활용방안 ····· 1017
제 2 절 추가연구 필요성 ····· 1019

참고문헌 ····· 1021

부 록 ····· 1029

표 차 례

▌표 1.1 연도별 수도관 연장 현황 ▐ ····· 2
▌표 1.2 경년별 수도관 연장 현황 ▐ ····· 2
▌표 1.3 보유 능력에 따른 해외 진출 예시 ▐ ····· 8
▌표 1.4 연구단 개발 유사기술 현황 ▐ ····· 25
▌표 1.5 상수원 수질오염 사고 사례 ▐ ····· 31
▌표 1.6 공주정수장 주요 시설물 규격 및 제원 ▐ ····· 35
▌표 1.7 공주정수장 막여과 공정 설계조건 ▐ ····· 36
▌표 1.8 영등포정수장 침지식 막여과 공정 설계조건 ▐ ····· 38
▌표 1.9 영등포정수장 가압식 막여과 공정 설계조건 ▐ ····· 39
▌표 1.10 위기형태 및 전개양상 ▐ ····· 45
▌표 1.11 위기경보 수준 ▐ ····· 46
▌표 1.12 정수처리 공정별 긴급조치 요령 ▐ ····· 47
▌표 1.13 정수장 수질오염 물질별 특성에 따른 상황판단 기준 ▐ ····· 48
▌표 1.14 오염물질별 긴급조치 방법 ▐ ····· 49
▌표 1.15 K-water SafeWater 수질사고 신속대응 시스템 구성 ▐ ····· 50
▌표 1.16 측정항목별 상황판단 기준 ▐ ····· 50
▌표 1.17 독일 베를린 소니센터 지하 저류시설 현황 ▐ ····· 60
▌표 1.18 일본 스미다 시청 건물 지하 저류시설 현황 ▐ ····· 60
▌표 1.19 용수공급시스템 개소별 위해원인 사상 ▐ ····· 64
▌표 1.20 일본의 비상용수량 산정 ▐ ····· 68
▌표 1.21 Lakeshore WTP 처리공정 ▐ ····· 76
▌표 1.22 USN 기술분야별 표준 참여 주요기업 현황 ▐ ····· 89
▌표 1.23 용수공급 시스템에 대한 위협 ▐ ····· 92
▌표 1.24 EPA의 취약성 분석 보고서 ▐ ····· 93
▌표 1.25 용수공급시스템 개소별 위해원인 사상 ▐ ····· 96
▌표 1.26 표준화 수차 생산 현황 ▐ ····· 100
▌표 1.27 세계의 소수력용 수차(300~1,000kW급) 생산업체 수 현황 ▐ ····· 100
▌표 1.28 국외 온도차에너지를 이용한 열공급 사례 ▐ ····· 105
▌표 1.29 로브스텐 해수이용 지역열공급시스템의 이용형태 ▐ ····· 109
▌표 1.30 20세기 세계 인구증가 및 도시화율 추이 ▐ ····· 110
▌표 1.31 주요기술별 세계 최고기술 보유국 현황 ▐ ····· 110
▌표 1.32 세계 물시장 성장 전망 ▐ ····· 111
▌표 2.1 국내에서 적용되는 제품사별 막 여과 시스템의 제원▐ ····· 128
▌표 2.2 격자망을 구성하는 각 셀의 형태와 수▐ ····· 129
▌표 2.3 10개의 폴리우레탄 멤브레인 샘플에 대한 물리적인 특성▐ ····· 130
▌표 2.4 유입유속에 따른 유입량▐ ····· 131
▌표 2.5 수리모형실험 시나리오▐ ····· 136
▌표 2.6 국내 고도처리시설 주요처리대상 물질 ▐ ····· 143
▌표 2.7 처리대상물질과 처리방법▐ ····· 143
▌표 2.8 맛있는 수돗물의 수질 가이드라인-환경부(안)(2006년)▐ ····· 144
▌표 2.9 고도정수처리 목표수질▐ ····· 145
▌표 2.10 정수처리공정 Master plan의 수질목표 ▐ ····· 145

▌표 2.11 정수처리의 대표적인 처리공정과 그 선정 표준▌ ····· 148
▌표 2.12 수직형 정수처리 실증시설 대상지역 선정 기준▌ ····· 155
▌표 2.13 막여과 공정 설계 검토 조건▌ ····· 161
▌표 2.14 6계열 가변플럭스 설계 조건▌ ····· 163
▌표 2.15 6계열 고정플럭스 설계 조건▌ ····· 165
▌표 2.16 예비타당성조사 수자원부문 편익항목 및 산출방식▌ ····· 175
▌표 2.17 주요항목의 구성비 (N=400)▌ ····· 181
▌표 2.18 평가지표의 특징▌ ····· 186
▌표 2.19 편익추정법의 분류▌ ····· 188
▌표 2.22 수도용 막모듈의 성능기준▌ ····· 198
▌표 2.23 입상활성탄의 세척조건▌ ····· 200
▌표 2.24 가압형 멤브레인(UF) 시설계획▌ ····· 202
▌표 2.25 오존접촉설비 시설계획▌ ····· 204
▌표 2.26 활성탄 접촉설비 시설계획▌ ····· 206
▌표 2.27 자외선 소독설비 시설계획▌ ····· 207
▌표 2.28 원수 공급설비 시설계획▌ ····· 208
▌표 2.29 막여과 Unit 시설계획▌ ····· 208
▌표 2.30 역세설비 시설계획▌ ····· 209
▌표 2.31 약품세정설비 시설계획▌ ····· 209
▌표 2.32 원료가스 공급시설 시설계획▌ ····· 210
▌표 2.33 오존용해설비 시설계획▌ ····· 211
▌표 2.34 자외선 소독설비 시설계획▌ ····· 213
▌표 2.35 수직형 정수처리 파일럿 설계변경 내용▌ ····· 218
▌표 2.36 역세배출수 농축공정용 멤브레인 평가▌ ····· 229
▌표 2.37 H도시 용수공급 현황 ▌ ····· 232
▌표 2.38 H도시 단계별 용수공급방안▌ ····· 233
▌표 2.39 H도시 상수관망 현황▌ ····· 234
▌표 2.40 H도시 기본 물수요량 ▌ ····· 235
▌표 2.41 단수시 용수공급 기준▌ ····· 235
▌표 2.42 H도시 용수공급 현황 ▌ ····· 239
▌표 2.43 H도시 단계별 용수공급방안 ▌ ····· 239
▌표 2.44 어레이 이격 거리를 고려한 총 필요면적 설계 ▌ ····· 247
▌표 2.45 Solar Pathfinder 입력조건 ▌ ····· 250
▌표 2.46 Solar Pathfinder 분석결과 ▌ ····· 250
▌표 2.47 RETScreen 입력조건 ▌ ····· 251
▌표 2.48 RETScreen 경제성 분석결과 ▌ ····· 251
▌표 2.49 분산형 전원 배전계통 연계 기술기준 ▌ ····· 260
▌표 2.50 한국전력거래소의 수요관리 제도 ▌ ····· 269
▌표 2.51 한국전력의 수요관리 제도 ▌ ····· 269
▌표 2.52 입찰 가능량 및 입찰 가능일의 선정 예시 ▌ ····· 270
▌표 2.53 최적 수요 반응 전략 ▌ ····· 272
▌표 2.54 산업용(을) 요금제 ▌ ····· 273
▌표 2.55 예측 제어법과 슬라이딩 윈도우법 ▌ ····· 273
▌표 2.56 지역별 계절별 최적경사각 ▌ ····· 276
▌표 2.57 태양전지 모듈 및 인버터 사양(설계사양)▌ ····· 277
▌표 2.58 모듈 직.병렬회로 개수▌ ····· 280
▌표 2.59 태양전지 모듈 및 인버터 사양(설계사양)▌ ····· 280
▌표 2.60 모듈 직.병렬회로 개수▌ ····· 283
▌표 2.61 수차의 형식에 따른 특성▌ ····· 288

▌표 2.62 프란시스 수차의 직경에 따른 해석결과▌ ····· 293
▌표 2.63 프란시스 수차의 회전수에 따른 해석결과▌ ····· 293
▌표 2.64 회전수에 따른 프로펠러 수차의 해석결과▌ ····· 296
▌표 2.65 상사설계의 검증▌ ····· 305
▌표 2.66 회전수 보정에 따른 설계▌ ····· 307
▌표 2.67 낙차에 따른 해석 결과(1,000㎥/day)▌ ····· 307
▌표 2.68 원형수차와 축소수차의 출력 비교▌ ····· 308
▌표 2.69 원형수차와 축소수차의 출력 비교▌ ····· 308
▌표 2.70 물-물 방식과 물-공기 방식의 장단점 비교▌ ····· 314
▌표 2.71 물-물 방식과 물-공기 방식의 냉난방 성능 비교▌ ····· 316
▌표 2.72 성남(정) 물-물 방식 원수 온도차시스템 성능분석 결과▌ ····· 319
▌표 2.73 원수 가온시스템 소비전력량 및 전력요금 예측 값▌ ····· 320
▌표 2.74 원수 유입온도에 따른 평균 난방성능계수 및 추세선▌ ····· 323
▌표 2.75 원수 유입온도에 따른 평균 냉방성능계수▌ ····· 325
▌표 2.76 동절기 월별 난방 COP▌ ····· 327
▌표 2.77 하절기 월별 냉방 COP▌ ····· 328
▌표 2.78 시뮬레이션의 Input values▌ ····· 345
▌표 2.79 냉방 모델링 결과▌ ····· 346
▌표 2.80 실별 공급유량 ▌ ····· 374
▌표 2.81 수직형 정수장 히트펌프 설계조건 ▌ ····· 379
▌표 2.82 LED 조명과 형광램프 비교 ▌ ····· 397
▌표 2.83 조명제어 시스템 현장 설정 상황 ▌ ····· 399
▌표 2.84 웹 개발 방법론 및 산출물 ▌ ····· 406
▌표 2.85 업무기능 정의 ▌ ····· 407
▌표 2.86 Zigbee 설계규격 ▌ ····· 442
▌표 2.87 IEEE 802.15.4. 2.4 GHz 대역 11개 전 채널에 대한 기준 ▌ ····· 444
▌표 2.88 Zigbee IC 구성 회로 및 인터페이스 회로도 ▌ ····· 445
▌표 2.89 WirelessHART 설계규격 ▌ ····· 446
▌표 2.90 운영자용컴퓨터 설계규격 ▌ ····· 447
▌표 2.91 통신장비 규격 ▌ ····· 449
▌표 2.92 데이터 계측 요소 ▌ ····· 452
▌표 2.93 데이터 수신 결과 ▌ ····· 454
▌표 2.94 자연재해, 사고 등에 의한 용수공급 피해 사례 ▌ ····· 456
▌표 2.95 상수도 보급 현황 ▌ ····· 458
▌표 2.96 연도별 상수도 총급수량 분석 추이▌ ····· 458
▌표 2.97 전국 1인당 수돗물 사용량 추이▌ ····· 459
▌표 2.98 국내 가정용수 용도별 사용 현황▌ ····· 459
▌표 2.99 국가별 가정용수 사용량 비교▌ ····· 459
▌표 2.100 전국 비상급수 현황(예)▌ ····· 459
▌표 2.101 광역상수도 사고 발생 현황▌ ····· 460
▌표 2.102 발생빈도가 높은 사고 유형▌ ····· 460
▌표 2.103 연도별 광역상수도 관로 사고건수▌ ····· 460
▌표 2.104 2012년 월별 단수건수▌ ····· 461
▌표 2.105 2012년 월별 단수시간▌ ····· 461
▌표 2.106 수질오염 사고 발생 현황 분석▌ ····· 461
▌표 2.107 연도별 제한급수 인구 추이▌ ····· 462
▌표 2.108 연도별 민원 현황▌ ····· 462
▌표 2.109 민방위 비상급수 시설 현황▌ ····· 463
▌표 2.110 전국 시·도별 비상급수시설 확보 현황▌ ····· 464

▌표 2.111 공동주택 비상급수 시설 설치 기준▌ ····· 464
▌표 2.112 전국 저수조 현황▌ ····· 465
▌표 2.113 K-water 정수지 현황▌ ····· 466
▌표 2.114 전국 배수지 현황▌ ····· 467
▌표 2.115 전국 급수 인구 현황▌ ····· 467
▌표 2.116 전국 급수인구 대비 배수지 및 저수조 용량▌ ····· 468
▌표 2.117 비상시 급수대책▌ ····· 469
▌표 2.118 수질 이상 오염▌ ····· 470
▌표 2.119 식용수 시설·설비 파괴▌ - 광역상수도- ····· 470
▌표 2.120 식용수 시설·설비 파괴▌ - 지방상수도- ····· 471
▌표 2.121 생존을 위한 물 요구 사항▌ ····· 472
▌표 2.122 비가정용수의 사용을 위한 최소한의 물 필요 용량에 대한 지침 ····· 472
▌표 2.123 지진 재해시 응급급수 기준▌ ····· 473
▌표 2.124 음용수 비축 방법과 비용(10,000명, 3L/人,日)▌ ····· 475
▌표 2.125 설문조사 대상자 현황▌ ····· 478
▌표 2.126 단수 경험 현황▌ ····· 478
▌표 2.127 재해별 인식 범위▌ ····· 479
▌표 2.128 단수사고 발생시 물사용 용도별 우선순위▌ ····· 479
▌표 2.129 단수사고 발생시 비상용수 공급 요구량▌ ····· 480
▌표 2.130 단수 시간별 비상용수 공급 요구량▌ ····· 480
▌표 2.131 단수사고 발생시 비상용수 저장일수 우선순위▌ ····· 481
▌표 2.132 단수사고 발생시 비상용수 공급 요구 일수▌ ····· 481
▌표 2.133 비상용수 공급 방식 선호도▌ ····· 481
▌표 2.134 비상용수 저류방식 선호도▌ ····· 482
▌표 2.135 비상용수 공급 시설별 우선순위 ▌ ····· 482
▌표 2.136 비상용수 확보량 산정 (일 평균 급수량 349ℓpcd 적용시)▌ ····· 483
▌표 2.137 비상용수 확보량 산정 (일 평균 급수량 349ℓpcd 적용시)▌ ····· 483
▌표 2.138 비상용수 확보량 산정 (가정용수 평균 소비량 152.34ℓpcd 적용시)▌ ····· 484
▌표 2.139 분산형 수처리 시스템의 도입가능성 검토▌ ····· 488
▌표 2.140 용수공급 안정성 강화 수도법 개정(안)▌ ····· 491
▌표 2.141 전력 대규모 수요자 대상 2단계 RPS 도입(지식경제부) ▌ ····· 492
▌표 2.142 신재생에너지 이용의무화 수도법 개정(안) ▌ ····· 493
▌표 2.143 수처리 기술의 발전 추이 ▌ ····· 494
▌표 2.144 용수공급 방식별 찬성 및 반대 논리 (OECD) ▌ ····· 495
▌표 2.145 분산형 수처리 시스템 구축 촉진에 관한 법률 제정(안) 골자 ▌ ····· 497
▌표 2.146 전 세계 하이브리드 시스템의 사례▌ ····· 499
▌표 2.147 H도시 용수공급 현황▌ ····· 501
▌표 2.148 H도시 단계별 용수공급방안▌ ····· 501
▌표 2.149 H도시 비상용수 및 계획용수량 산정▌ ····· 504
▌표 2.150 대심도 관로 연장 및 관경 결정▌ ····· 505
▌표 2.151 H도시 저류지 용량 및 크기 결정▌ ····· 510
▌표 2.152 H도시 저류지 연결 인입/배출 관로 관경 설계 안▌ ····· 511
▌표 2.153 새만금 종합개발계획 용도 및 소관기관 ▌ ····· 515
▌표 2.154 복합도시 용지 토지이용계획▌ ····· 515
▌표 2.155 유량과 압력의 통계학적 결과 (Case 1)▌ ····· 531
▌표 2.156 유량과 압력의 통계학적 결과 (Case 2)▌ ····· 533
▌표 2.157 유량과 압력의 통계학적 결과 (Case 3)▌ ····· 534
▌표 2.158 유량과 압력의 통계학적 결과 (Case 4)▌ ····· 536
▌표 2.159 2013년 11월 27일 실증시설 시험 결과▌ ····· 537

▌표 2.160 막여과 공정 제원 ▌ ····· 541
▌표 2.161 막여과 운전조건 및 설정시간 ▌ ····· 542
▌표 2.162 오존 공정 제원 ▌ ····· 543
▌표 2.163 오존 공정 설비 구성 ▌ ····· 543
▌표 2.164 활성탄 공정 제원 ▌ ····· 544
▌표 2.165 활성탄 공정 운전조건 ▌ ····· 544
▌표 2.166 자외선 소독공정 제원 ▌ ····· 544
▌표 2.167 막여과 공정 모듈화 ▌ ····· 559
▌표 2.168 오존접촉공정 모듈화 ▌ ····· 560
▌표 2.169 활성탄흡착공정 모듈화 ▌ ····· 560
▌표 2.170 UV소독공정 모듈화 ▌ ····· 560
▌표 2.171 공업용수 용수수요(새만금용수공급기본구상, 2011) ▌ ····· 563
▌표 2.172 맛·냄새 제거 대응기술 ▌ ····· 568
▌표 2.173 활성탄공정의 장단점 비교 ▌ ····· 569
▌표 2.174 정수처리공정 선정 ▌ ····· 570
▌표 2.175 막여과 시설의 수질대책에 따른 주입약품의 종류 ▌ ····· 573
▌표 2.176 바이러스 및 지아디아 낭의 제거 및 불활성화율(상하수도협회잠정안) ▌ ····· 574
▌표 2.177 정수처리에 관한 규정 (환경부고시 제 2006-60호) ▌ ····· 575
▌표 2.178 제거대상물질별 단위공정 ▌ ····· 576
▌표 2.179 제거대상물질별 공정구성안 ▌ ····· 577
▌표 2.180 용량별 개략공사비 비교 ▌ ····· 590
▌표 2.181 용량별 개략공사비 비율 비교 ▌ ····· 591
▌표 2.182 Concentration of heavy metals in ppm from Ismailia canal ▌ ····· 594
▌표 2.183 Summary of selected trace-element data for groundwaters from Nigeria ▌ ····· 594
▌표 2.184 Stockholm 지하수의 중금속 농도(ng/L, Hg는 예외적으로 μg/L) ▌ ····· 595
▌표 2.185 Kura 강의 수질 지표 ▌ ····· 596
▌표 2.186 Countries affected by arsenic pollutionfor drinking water ▌ ····· 598
▌표 2.187 국가별 지하수 내 비소농도 분포 ▌ ····· 599
▌표 2.188 Arsenic concentrations in various groundwater samples (mg/L) ▌ ····· 600
▌표 2.189 미국의 질산염 오염 현황 ▌ ····· 603
▌표 2.190 캐나다 남부 Dissolved organic carbon 오염 현황 ▌ ····· 604
▌표 2.191 캘리포니아 Marstow 지역 Dissolved organic carbon 오염 현황 ▌ ····· 604
▌표 2.192 필리핀 지표수 질산염 농도 ▌ ····· 605
▌표 2.193 필리핀 지하수 질산염 농도 ▌ ····· 605
▌표 2.194 태국 지하수 질산염 농도 ▌ ····· 606
▌표 2.195 방글라데시의 지하수 중 중금속 수질기준 초과 비율 ▌ ····· 606
▌표 2.196 파키스탄 Shush Andimeshk 지역 지하수 중금속 분석 결과 ▌ ····· 607
▌표 2.197 Erbil의 먹는물 방사선 농도(pCi/L) ▌ ····· 608
▌표 2.198 모로코 Essaouira 지하수 질산염 농도별 분포 ▌ ····· 609
▌표 2.199 그리스 주요 호수의 방사능 물질 검출 결과 (Bq/L) ▌ ····· 610
▌표 2.200 그리스 주요 호수의 방사능 물질 검출 결과 (Bq/L) ▌ ····· 611
▌표 2.201 남부 나이지리아 지하수의 중금속 농도 (μg/l) ▌ ····· 612
▌표 2.202 Stability of arsenic conditions ▌ ····· 613
▌표 2.203 주요 비소제거 공정 정리 및 처리효율 ▌ ····· 619
▌표 2.204 주요 망간제거 공정 정리 및 처리효율 ▌ ····· 621
▌표 2.205 BAT Matrix 메뉴기능 요약 ▌ ····· 622
▌표 2.206 전체 WTP 응답현황 ▌ ····· 634
▌표 2.207 H도시 지역의 단계별 급수인구와 용수 수요량 ▌ ····· 637
▌표 2.208 대전시를 통한 물공급시 사업현황 ▌ ····· 638
▌표 2.209 수자원공사 공급방안 안별 비교 ▌ ····· 640
▌표 2.210 수자원공사를 통한 물공급시 사업현황 ▌ ····· 641
▌표 2.211 정수장 설치현황 ▌ ····· 641
▌표 2.212 정수장 설치사업비 ▌ ····· 642

▌표 2.213 대전시안과 수자원공사의 경제성 비교▐ ····· 642
▌표 2.214 규모별 정수처리시설에 대한 공사비▐ ····· 643
▌표 2.215 정수처리시설별 항목별 비율(30,000톤 가정)▐ ····· 644
▌표 2.216 H도시의 집중형 용수공급시스템과 분산형 용수공급시스템의 비용비교▐ ····· 645
▌표 2.217 H도시의 생활용수 개선 편익 보정값▐ ····· 646
▌표 2.218 H도시의 비상용수 확보 편익 보정값▐ ····· 647
▌표 2.219 H도시의 연도별 급수인구 추정 및 1인1일급수량 산정▐ ····· 647
▌표 2.220 H도시의 분석기간 사회적 할인율▐ ····· 648
▌표 2.221 에너지원별 사용단위당 온실가스배출량▐ ····· 649
▌표 2.222 시나리오별 온실가스 저감에 따른 경제적 효과 추정▐ ····· 649
▌표 2.223 전체 편익규모 산정▐ ····· 650
▌표 2.224 편익이전 방법론을 가정할 경우비용-편익분석(1안)▐ ····· 650
▌표 2.225 가상가치평가법(CVM)을 가정할 경우 비용-편익분석(2안)▐ ····· 650
▌표 2.226 대심도 관로시설 비용 추정 ▐ ····· 651
▌표 2.227 수도권외 시부 지목별 보상배율▐ ····· 653
▌표 2.228 대심도 시설 설치에 따른 편익 추정 값▐ ····· 654
▌표 2.229 새만금 지역의 분산형용수공급시스템 적용 시나리오▐ ····· 655
▌표 2.230 새만금지역의 공사비 비교▐ 단위 : 백만원 ····· 657
▌표 2.231 새만금지역의 운영유지비 비교▐ 단위 : 백만원 ····· 659
▌표 2.232 H도시의 집중형 용수공급시스템과 분산형 용수공급시스템의 비용비교▐ ····· 659
▌표 2.233 H도시의 비상용수 확보 편익 보정 값▐ ····· 660
▌표 2.234 새만금 지역의 비용-편익분석▐단위 :억원 ····· 661
▌표 2.235 정수장 노후도 평가▐ ····· 663
▌표 2.236 정수장 증설계획▐ ····· 664
▌표 2.237 지자체별 단수건수▐ ····· 664
▌표 2.238 지자체별 민원건수▐ ····· 665
▌표 2.239 지자체별 평균지가▐ ····· 665
▌표 2.240 신증설 및 노후도를 고려한 국내 사업화 대상지역 평가▐ ····· 666
▌표 2.241 전국 산업단지 현황▐단위 : 개, 천㎡, 개사, 명 ····· 667
▌표 2.242 산업단지의 용수공급 현황▐ ····· 668
▌표 2.243 새만금종합개발계획 용도 및 소관기관▐ ····· 674
▌표 2.244 복합도시용지 토지이용계획▐ ····· 674
▌표 2.245 국내지역의 국제행사 계최계획▐ ····· 675
▌표 2.246 물산업 해외수주 실적▐ ····· 680
▌표 2.247 2012년 해외 상하수도 프로젝트 계약 현황▐ ····· 680
▌표 2.248 해외건설협회 자금지원 세부내용▐ ····· 682
▌표 2.249 해외건설협회 자금 연도별 지원현황▐ ····· 683
▌표 2.250 KOICA 분야별 지원실적 누계▐ ····· 684
▌표 2.251 지역별 EDCF 승인실적(2012.12.31. 기준)▐ ····· 684
▌표 2.252 분야별 EDCF 승인실적(2012.12.31. 기준)▐ ····· 685
▌표 2.253 해외진출 세부 유형별 내용▐ ····· 688
▌표 2.254 단독투자와 M&A의 비교▐ ····· 689
▌표 2.255 전략적 제휴와 M&A의 비교▐ ····· 689
▌표 2.256 해외진출시 조사항목 체크리스트▐ ····· 693
▌표 2.257 주요 신흥국의 국제적 분류▐ ····· 697
▌표 2.258 해외지역의 국제행사 계최계획▐ ····· 700
▌표 2.259 실증시설 외피디자인 공모전 당선작▐ ····· 701
▌표 2.260 외피디자인 공모전 당선작 디자인 경향분석▐ ····· 703
▌표 2.261 외피 구조물 재료 선정▐ ····· 712
▌표 2.262 벽면녹화 재료 선정▐ ····· 713
▌표 2.263 표면 재료 선정▐ ····· 714
▌표 2.264 평판재하시험 결과 요약▐ ····· 727
▌표 2.265 막여과 고도정수처리시설 건설 단가▐ ····· 740
▌표 2.266 고도정수처리시설(오존+활성탄) 건설 단가▐ ····· 740
▌표 2.267 실증시설 탱크리스 공정에 적용가능한 외산막 검토 결과 ▐ ····· 746
▌표 2.268 여과 분리막(B,C)의 유량 및 압력변화▐ ····· 751
▌표 2.269 여과 분리막(A,C)의 유량 및 압력변화 ▐ ····· 752

▌표 2.270 여과 분리막(A,B)의 유량 및 압력변화 ▌ ····· 754
▌표 2.271 분리막 사양▌ ····· 758
▌표 2.272 플랜트 운전조건▌ ····· 759
▌표 2.273 원수수질 특성▌ ····· 759
▌표 2.274 차압 및 여과저항 (1.2 / 1.0Q 역세)▌ ····· 761
▌표 2.275 차압 및 여과저항 (0.9 / 0.8Q 역세▌ ····· 762
▌표 2.277 차압 및 여과저항 (1.5 / 1.2Q 역세) ▌ ····· 763
▌표 2.278 막역세척수 처리공정 파일럿 운전조건▌ ····· 784
▌표 2.279 도수/송수 시스템과 배수/급수 시스템의 비교 ▌ ····· 787
▌표 2.280 폐합형 관망과 수지형 관망의 비교 ▌ ····· 787
▌표 2.281 관경별 사고현황 ▌ ····· 788
▌표 2.282 관경별 누수현황 ▌ ····· 789
▌표 2.283 누수원인 ▌ ····· 789
▌표 2.284 도/송/배/급수 시스템 PI ▌ ····· 790
▌표 2.285 블록연계 전후의 위험관망 개수 변화 분석결과 ▌ ····· 792
▌표 2.286 비상시 블록연계에 따른 용수공급 가능량 비교 ▌ ····· 792
▌표 2.287 비상시 블록연계 모델링 결과 요약 ▌ ····· 793
▌표 2.288 가상관망 절점수요량 ▌ ····· 796
▌표 2.289 가상관망 관경 및 기타제원 ▌ ····· 796
▌표 2.290 가상관망의 수직형 정수처리시설 최적 설치 위치 결정 결과 ▌ ····· 798
▌표 2.291 25% 결과를 기준으로 한 수직형 정수처리시설 설치 위치 제안 ▌ ····· 798
▌표 2.292 25% 결과를 기준으로 한 수직형 정수처리시설 설치 위치 제안 ▌ ····· 800
▌표 2.293 25% 모델링에 사용된 수리학적 조건 ▌ ····· 800
▌표 2.294 25% 일일 물수요 예측을 위한 인공신경망 모델 조건 및 결과 ▌ ····· 801
▌표 2.295 25% 시간대별 물수요 예측을 위한 Artificial neural network 조건 및 결과▌ ····· 803
▌표 2.296 잔류염소 모델링을 위한 염소 주입 조건 ▌ ····· 809
▌표 2.297 전력요금(산업용을) ▌ ····· 809
▌표 2.298 산업용(을) 계절별 시간대별 구분 ▌ ····· 810
▌표 2.299 블록별 압력변화 분석결과 : 시나리오-1 @ 56:00 ▌ ····· 812
▌표 2.300 블록별 압력변화 분석결과 : 시나리오-3 @ 56:00 ▌ ····· 812
▌표 2.301 블록별 잔류염소 분석결과 : 시나리오-1 @ 56:00 ▌ ····· 817
▌표 2.302 블록별 잔류염소 분석결과 : 시나리오-3 @ 56:00 ▌ ····· 817
▌표 2.303 시나리오별 차아염소산나트륨 비용 비교 ▌ ····· 821
▌표 2.304 시나리오별 수송에너지 비교 ▌ ····· 822
▌표 2.305 펌프 운전 변경에 따른 에너지 비용 절감 효과 분석 ▌ ····· 824
▌표 2.306 시나리오 별 결과 요약정리 ▌ ····· 825
▌표 2.307 H도시 비상용수 및 계획용수량 산정 ▌ ····· 828
▌표 2.308 대심도 관로 연장 및 관경 결정 ▌ ····· 828
▌표 2.309 H도시 저류지 용량 및 크기 결정 ▌ ····· 830
▌표 2.310 H도시 저류지 연결 인입/배출 관로 관경 설계 안 ▌ ····· 831
▌표 2.311 급수구역의 용수공급계획 비교 ▌ ····· 833
▌표 2.312 시스템별 정량적 결과 비교 ▌ ····· 836
▌표 2.313 최적펌프조합 검토를 위한 시간별 유량 변동 ▌ ····· 838
▌표 2.314 최적펌프조합 검토를 위한 시간별 유량 변동 ▌ ····· 839
▌표 2.315 펌프조합 대안별 유량제어범위 ▌ ····· 840
▌표 2.316 최적펌프조합 검토를 위한 시간별 유량 변동 ▌ ····· 841
▌표 2.317 막여과 공정 제원▌ ····· 844
▌표 2.318 막여과 운전조건 및 설정시간▌ ····· 845
▌표 2.319 오존 공정 제원▌ ····· 845
▌표 2.320 오존 공정 설비구성▌ ····· 845
▌표 2.321 활성탄 공정 제원▌ ····· 846
▌표 2.322 활성탄 공정 운전조건▌ ····· 846
▌표 2.323 자외선 소독 공정 제원▌ ····· 846

▌표 2.324 압력실험 운전조건 - 침전수▌ ····· 848
▌표 2.325 압력실험 운전조건 - 원수▌ ····· 848
▌표 2.326 압력실험 결과 - 침전수▌ ····· 851
▌표 2.327 압력실험 결과 - 원수▌ ····· 852
▌표 2.328 Result of active power in each unit(Test2)▌ ····· 855
▌표 2.329 화학세정 운전조건▌ ····· 860
▌표 2.330 화학세정 결과▌ ····· 861
▌표 2.331 막여과 운영의 CIP 및 CEB 에 소요되는 각종 약품의 소비량▌ ····· 862
▌표 2.332 오존 용해율 실험 결과▌ ····· 863
▌표 2.333 활성탄 A계열 역세척시 DATA SHEET 및 그래프▌ ····· 869
▌표 2.334 약품주입비용▌ ····· 876
▌표 2.335 부압효과분석▌ ····· 878
▌표 2.336 태양전지 모듈 및 인버터 사양(설계사양)▌ ····· 886
▌표 2.337 모듈 직.병렬회로 개수 ▌ ····· 886
▌표 2.338 태양전지 모듈 및 인버터 사양(설계사양)▌ ····· 888
▌표 2.339 모듈 직.병렬회로 개수▌ ····· 888
▌표 2.340 모델수차의 제작 사양▌ ····· 901
▌표 2.341 모델시험용 수차의 제작 사양서▌ ····· 901
▌표 2.342 제어요소 측정위치▌ ····· 909
▌표 2.343 피코급 소수력 발전시설 평가결과 요약▌ ····· 911
▌표 2.344 수온차 시스템▌ ····· 913
▌표 2.345 Heat Pump▌ ····· 913
▌표 2.346 Fan Coil Unit 규격▌ ····· 914
▌표 2.347 Heat Exchanger 규격▌ ····· 914
▌표 2.348 Pumps 규격▌ ····· 915
▌표 2.349 Expansion Tank 규격▌ ····· 915
▌표 2.350 수직형 정수처리설비 전기 설비 리스트▌ ····· 924
▌표 2.351 LED조명 소비 전력량▌ ····· 928
▌표 2.352 보안점검 체크표 및 결과▌ ····· 940
▌표 2.353 기존 통합운영시스템 설비 현황▌ ····· 943
▌표 2.354 실증시설 통합운영시스템 설비 현황▌ ····· 944
▌표 2.355 에너지 효율화 추정내역▌ ····· 944
▌표 2.356 단위공정별 계측기 위치선정▌ ····· 949
▌표 2.357 수질오염물질 분석 실험 조건▌ ····· 949
▌표 2.358 산 농도별 희석실험결과▌ ····· 949
▌표 2.359 유기산 농도별 희석실험 결과▌ ····· 950
▌표 2.360 중금속 농도별 희석실험결과▌ ····· 950
▌표 2.361 유기물질 농도별 희석실험결과▌ ····· 950
▌표 2.362 실험에 이용된 원수 수질 및 파울링 메카니즘 비교▌ ····· 958
▌표 2.363 USN 설치 현황▌ ····· 961
▌표 2.364 Zigbee AT91RM9200 통신모듈 전송 속도▌ ····· 969
▌표 2.365 지그비 AT91RM9200 유/무선 상관성▌ ····· 971
▌표 2.366 Zigbee(ProBee-ZE10) 실험 결과▌ ····· 973
▌표 2.367 Zigbee(ProBee-ZE10) 유/무선 상관성▌ ····· 974
▌표 2.368 Wi-HART 전송 속도▌ ····· 976
▌표 2.369 Wi-HART 유/무선 상관성▌ ····· 977

그 림 차 례

▌그림 1.1 용수공급시스템(수도)의 개념적 변천사 ▐ ····· 1
▌그림 1.2 세계 물 시장 변동 전망 (출처: GWI, 2014) ▐ ····· 6
▌그림 1.3 수도(물) 산업과 타 산업의 규모 비교(출처: 한국수출입은행, 2014) ▐ ····· 6
▌그림 1.4 기존 용수공급 계통도 ▐ ····· 7
▌그림 1.5 기존 용수공급시스템과 분산형 용수공급시스템의 차별성 ▐ ····· 10
▌그림 1.6 분산형 용수공급시스템 개념도 ▐ ····· 12
▌그림 1.7 연구개발 목표와 성과목표/지표의 연계성 ▐ ····· 20
▌그림 1.8 분산형 용수공급시스템 연구단 과제별 연계도 ▐ ····· 21
▌그림 1.9 환경부 오염물질 유입시 행동 매뉴얼 및 위기경보 발령 체계 ▐ ····· 23
▌그림 1.10 저류조 개념 및 분류▐ ····· 26
▌그림 1.11 서울대학교 기숙사 저류조 개념도▐ ····· 28
▌그림 1.12 주엽초등학교 지하저류조 개념도▐ ····· 28
▌그림 1.13 스타시티 주상복합아파트 건물 전경▐ ····· 29
▌그림 1.14 청계천 상류 지하 저류시설 전경▐ ····· 30
▌그림 1.15 공주정수장 공정도▐ ····· 34
▌그림 1.16 공주정수장 내부 전경▐ ····· 34
▌그림 1.17 막여과 공정 물질수지▐ ····· 36
▌그림 1.18 영등포 정수장 공정도 ▐ ····· 38
▌그림 1.19 영등포 정수장 침지식 막여과 공정 및 모듈 ▐ ····· 39
▌그림 1.20 영등포 정수장 가압식 막여과 정수처리 공정도 ▐ ····· 40
▌그림 1.21 영등포 정수장 가압식 막여과 공정 전경 ▐ ····· 40
▌그림 1.22 국내 RFID 및 USN 시장현황 ▐ ····· 42
▌그림 1.23 대전시 : USN 기반 3대 하천 생태복원 모니터링 ▐ ····· 42
▌그림 1.24 댐 주변 및 하류 실시간 모니터링을 위한 Mesh망 구축▐ ····· 43
▌그림 1.25 제주 EMS 프로젝트 ▐ ····· 44
▌그림 1.26 K-MEG(Korea Micro Energy Grid) ▐ ····· 44
▌그림 1.27 건물에너지관리시스템(BEMS) ▐ ····· 44
▌그림 1.28 K-water 수질사고 위기관리시스템(SafeWater) ▐ ····· 49
▌그림 1.29 한국해양대학교 CFD 성능해석 사례 ▐ ····· 52
▌그림 1.30 덕트타입 수열원 히트펌프 시스템 ▐ ····· 53
▌그림 1.31 배관타입 수열원 히트펌프 시스템 ▐ ····· 53
▌그림 1.32 하수처리장 수온차 활용시스템 ▐ ····· 55
▌그림 1.33 정수처리시설 수온차 활용시스템 ▐ ····· 55
▌그림 1.34 산업체 시설 수온차 활용시스템 ▐ ····· 56
▌그림 1.35 국내 정수장 태양광 발전설비 설치 사례 ▐ ····· 57
▌그림 1.36 일본 칸다가와 유역의 환상7호선 지하조절지 내부 모습 ▐ ····· 61
▌그림 1.37 TARP의 개념도 및 현황 ▐ ····· 62
▌그림 1.38 EPA, ASCE, AWWA의 물안보 및 취약성 및 위해도평가 가이드라인 ▐ ····· 65
▌그림 1.39 스위스 Lengg 정수장의 무지개 송어 모니터링 장치 ▐ ····· 66
▌그림 1.40 스위스 취리히시 링메인 관로 시스템 ▐ ····· 67
▌그림 1.41 WHO에서 제시한 비상용수 요구량 ▐ ····· 68
▌그림 1.42 노르웨이의 지하 저수조 설치 현황▐ ····· 69
▌그림 1.43 물공급 안정성 강화방식의 발전▐ ····· 69
▌그림 1.44 네덜란드 3단 인공 정수지(Biesbosh reservoir)▐ ····· 70
▌그림 1.45 스위스 Lengg 정수장의 연도별 정수처리 공정 변화 ▐ ····· 72

▌그림 1.46 유럽정수장의 안전성 확보를 위한 공정 격리 구조 ▐ ····· 73
▌그림 1.47 유럽정수장의 미학적 건축 설계 ▐ ····· 74
▌그림 1.48 Lakeshore WTP 전경 ▐ ····· 75
▌그림 1.49 Lakeshore WTP 배치도 ▐ ····· 75
▌그림 1.50 Lakeshore WTP 공정도 ▐ ····· 77
▌그림 1.51 WINDSOR WTP 공정도 ▐ ····· 78
▌그림 1.52 LornePark WTP 공정도 ▐ ····· 79
▌그림 1.53 무라노 정수장 전경 및 구성도 ▐ ····· 81
▌그림 1.54 후루에 정수장 공정도 및 구조 ▐ ····· 82
▌그림 1.55 Kvernberget Rock Cavern Tank Project (지하저류시설)▐ ····· 83
▌그림 1.56 The Hogasen underground water tank in Trondheim (지하저류시설)▐ ····· 84
▌그림 1.57 The Skullerud water treatment plant (지하저류시설)▐ ····· 84
▌그림 1.58 The Hovringen underground sewage treatment plant (지하 수처리시설)▐ ····· 85
▌그림 1.59 USN 분야별/지역별 시장현황▐ ····· 87
▌그림 1.60 미국 : 허드슨강 USN 기반 하천관리시스템▐ ····· 88
▌그림 1.61 Water Safety Plan Manual▐ ····· 90
▌그림 1.62 물리위협의 감지 및 지연시간 계산 ▐ ····· 91
▌그림 1.63 물 공급시설 물리적 안보 가이드라인과 물리위협에 대한 의사결정 시스템의 예▐ ····· 91
▌그림 1.64 용수공급시스템의 14 계획 및 설계 단계▐ ····· 92
▌그림 1.65 오염경보시스템의 구성▐ ····· 94
▌그림 1.66 오염경보시스템의 수질모니터링 SCADA 시스템 구성도 및 수질 모니터링 자료의 흐름도▐ ····· 95
▌그림 1.67 위해수준의 설정 순서▐ ····· 97
▌그림 1.68 물 안전계획의 책정과 운영의 흐름▐ ····· 97
▌그림 1.69 무라노 정수장 경사판 침전지 상부의 태양열 판넬▐ ····· 99
▌그림 1.70 후지전기의 마이크로 튜블러 수차의 구조▐ ····· 101
▌그림 1.71 수도관 차압을 이용한 실용화 예▐ ····· 101
▌그림 1.72 링 수차의 구조▐ ····· 102
▌그림 1.73 수로형상에 맞추어 설치한 수차▐ ····· 103
▌그림 1.74 유수식 스트림 수차 설치 예▐ ····· 103
▌그림 1.75 피코급 소수력 수차 사진 (예)▐ ····· 104
▌그림 1.76 하코자키 지역냉난방 공급지역 및 히트펌프▐ ····· 106
▌그림 1.77 하코자키지구 하천수이용 지역열공급시스템 개략도▐ ····· 106
▌그림 1.78 칸사이빌딩의 취수구와 취출구 위치▐ ····· 107
▌그림 1.79 나카노지만 열공급시스템 구성도▐ ····· 107
▌그림 1.80 모모치지구 열공급플랜트의 현황 및 열원시스템 흐름도▐ ····· 108
▌그림 1.81 열공급시스템 구성도 및 열교환기 구성(7대)▐ ····· 108
▌그림 1.82 상수관로 이용 냉난방 시스템▐ ····· 109
▌그림 2.1 연구단 구성 체계도 ▐ ····· 115
▌그림 2.2 연구단 협업 체계도 ▐ ····· 116
▌그림 2.3 비상용수 용량 산정기준 수립 방법론 ▐ ····· 124
▌그림 2.4 분산형 용수공급시스템 개념도 ▐ ····· 125
▌그림 2.5 분산형 용수공급 시스템의 기본계획 대상지역인 H 시의 도시계획 ▐ ····· 126
▌그림 2.6 새만금 개발지역 내 분산형 용수공급시스템 기본계획 대상지역▐ ····· 127
▌그림 2.7 코오롱 분리막 모듈의 제원▐ ····· 128
▌그림 2.8 단일 막여과 시스템의 기하학적 구성▐ ····· 129
▌그림 2.9 단일 MF 시스템의 격자망 구성▐ ····· 129
▌그림 2.10 공극율과 투수성과의 관계▐ ····· 130
▌그림 2.11 다중 막여과 시스템의 기하학적 모형 구성▐ ····· 131
▌그림 2.12 다중 막여과 시스템(좌)과 내부 다공성 멤브레인(우)▐ ····· 132

▌그림 2.13 다중 막여과 시스템을 구성하는 격자시스템 ▌ ····· 132
▌그림 2.14 격벽이 설치된 분배관로와 연결된 다중 막여과 시스템 ▌ ····· 133
▌그림 2.15 수리모형실험장치 및 흐름도 ▌ ····· 134
▌그림 2.16 시간, 압력 및 유량 수동 설정 및 자동 설정 ▌ ····· 135
▌그림 2.17 전자압력게이지, 전자유량계 ▌ ····· 136
▌그림 2.18 실증시설 내 공정별 배치도 및 기하학적 모형 구축 ▌ ····· 137
▌그림 2.19 유동모의를 위해 설정된 경계조건 ▌ ····· 138
▌그림 2.20 기존의 오존접촉탱크 및 개선된 오존접촉탱크 ▌ ····· 138
▌그림 2.21 기존설계방식과 협업설계방식의 비교 ▌ ····· 139
▌그림 2.22 각 세부간 협업설계 구조 ▌ ····· 140
▌그림 2.23 분산형 용수공급시스템 및 수직형 정수처리시설의 특징 ▌ ····· 141
▌그림 2.24 수직형 정수처리시설 설계기술 개발 공정도 ▌ ····· 142
▌그림 2.25 수직형 정수처리 실증시설 공정 구성 ▌ ····· 153
▌그림 2.26 단위공정 계층형 배치시 고려사항 ▌ ····· 154
▌그림 2.27 수직형 정수처리 실증시설 단위공정 배치도 ▌ ····· 155
▌그림 2.28 청주정수장 유입원수 수질조사 결과 ▌ ····· 157
▌그림 2.29 기존 설계안과 tankless 설계안의 차이점 ▌ ····· 159
▌그림 2.30 기존 설계안 (단위공정 중간저류조 설치) ▌ ····· 159
▌그림 2.31 Tankless 설계안 (단위공정 중간저류조 제거, 직결식) ▌ ····· 160
▌그림 2.32 연속유동수처리장치 공정도 (특허출원) ▌ ····· 160
▌그림 2.33 가변플럭스 운전에서 계열별 유량 변화 ▌ ····· 162
▌그림 2.34 6계열 가변플럭스 설계시 각 계열당 플럭스 (L/m2/hr) 모의 결과 ▌ ····· 163
▌그림 2.35 6계열 가변플럭스 설계시 총여과유량 변화 ▌ ····· 164
▌그림 2.36 고정플럭스 운전에서 총생산유량 변화 ▌ ····· 164
▌그림 2.37 6계열 고정플럭스 설계시 각 계열당 플럭스 (L/m2/hr) 모의 결과 ▌ ····· 165
▌그림 2.38 6계열 고정플럭스 설계시 총여과유량 변화 ····· 165
▌그림 2.39 standby 설계안 개념도 ▌ ····· 166
▌그림 2.40 5+1계열 standby 설계시 각 계열당 플럭스 (L/m2/hr) 모의 결과 ▌ ····· 167
▌그림 2.41 5+1계열 standby 설계시 총여과유량 변화 ▌ ····· 167
▌그림 2.42 수질조건별 BAT Tool 개발 절차 ▌ ····· 168
▌그림 2.43 분산형 용수공급시스템의 실용화·사업화 연구 흐름도 ▌ ····· 169
▌그림 2.44 창조경제와 분산형 용수공급시스템 ▌ ····· 170
▌그림 2.45 분산형 용수공급시스템의 SWAT 분석 ▌ ····· 171
▌그림 2.46 분산형 용수공급시스템의 국내사업화 가능 대상지역 ▌ ····· 190
▌그림 2.47 분산형 용수공급시스템의 국내사업화 대상지역 선정기준 ▌ ····· 191
▌그림 2.48 해외진출 대상지역 선정시 고려사항 ▌ ····· 191
▌그림 2.49 분산형 용수공급시스템 실증시설 감성설계 과정 ▌ ····· 197
▌그림 2.50 가압형 멤브레인(UF) 설비계통 ▌ ····· 202
▌그림 2.51 활성탄 흡착장비 설비계통 ▌ ····· 205
▌그림 2.52 오존발생기 운전 흐름도 ▌ ····· 210
▌그림 2.53 지상층 배수계획 ▌ ····· 214
▌그림 2.54 자동화 lab-scale P&ID ▌ ····· 216
▌그림 2.55 자동화 lab-scale 장치 전경 ▌ ····· 216
▌그림 2.56 수직형 정수처리 파일럿 흐름도 ▌ ····· 219
▌그림 2.57 수직형 정수처리 파일럿 물질수지 ▌ ····· 220
▌그림 2.58 수직형 정수처리 파일럿 설치 전경 ▌ ····· 220
▌그림 2.59 막여과 공정 운전 조건에 따른 TMP 상승 추이 ▌ ····· 222
▌그림 2.60 조건별 초기운전 성능 비교 ▌ ····· 223
▌그림 2.61 조건별 역세유량 ▌ ····· 223

▌그림 2.62 Lab 테스트 결과▌ ····· 224
▌그림 2.63 공주정수장 배출수 침전관 실험 ▌ ····· 226
▌그림 2.64 막역세 배출수 침강성 관찰 (G-정수장)▌ ····· 227
▌그림 2.65 모래여과 역세 배출수 침강성 관찰 (S-정수장)▌ ····· 227
▌그림 2.66 Zeta-potential Measurement Equipment (Zeta PALS potential analyzer)▌ ····· 228
▌그림 2.67 입자 계수기(particle counter) ▌ ····· 229
▌그림 2.68 막역세배출수 처리 파일럿 P&ID ▌ ····· 230
▌그림 2.69 H도시 조성계획 및 용수공급 계획▌ ····· 232
▌그림 2.70 H도시 상수관망 및 블록연계방안▌ ····· 234
▌그림 2.71 상수관망의 중요도 분석 절차 및 Emitter Coefficient 산출식 ▌ ····· 236
▌그림 2.72 HWSS(Hybrid Water Supply System) 개요 ▌ ····· 237
▌그림 2.73 거리척도법 개념도 ▌ ····· 238
▌그림 2.74 현 H도시 용수공급시스템 체계도 ▌ ····· 240
▌그림 2.75 수직형 정수처리 실증시설 운영 및 검증계획 ▌ ····· 242
▌그림 2.76 기존의 Tank type과 개발된 tankless type 공정 모식도 ▌ ····· 243
▌그림 2.77 에너지 효율화을 증진을 위한 주요 요소기술 ▌ ····· 243
▌그림 2.78 태양광 발전설비 개념도 ▌ ····· 245
▌그림 2.79 태양광 발전설비 도입(예) ▌ ····· 246
▌그림 2.80 태양광 어레이 이격거리를 고려한 총 필요면적 설계 개념 ▌ ····· 247
▌그림 2.81 옥탑지붕 평면도 ▌ ····· 248
▌그림 2.82 실증시설 정면도 ▌ ····· 248
▌그림 2.83 수직형 정수처리 실증시설 설치지역 위성사진 ▌ ····· 249
▌그림 2.84 청주정수장 설치예정지 음영 윤곽 추적 ▌ ····· 250
▌그림 2.85 최적구성 알고리즘의 흐름도 ▌ ····· 258
▌그림 2.86 신재생에너지 최적구성 알고리즘의 GUI ▌ ····· 259
▌그림 2.87 PV의 전압과 전류 ▌ ····· 261
▌그림 2.88 PV의 전압과 전류▌ ····· 261
▌그림 2.89 태양광 출력 예측의 흐름도▌ ····· 264
▌그림 2.90 1변수 SVM 회귀 분석▌ ····· 265
▌그림 2.91 2변수 SVM 회귀 분석▌ ····· 265
▌그림 2.92 일사량 자료 및 온도자료▌ ····· 266
▌그림 2.93 태양광 발전의 예측 값과 실제 값▌ ····· 266
▌그림 2.94 태양광 발전의 예측의 순간 오차▌ ····· 267
▌그림 2.95 태양광 발전 예측 알고리즘 결과▌ ····· 268
▌그림 2.96 수직형 정수처리시설 수요반응 framework▌ ····· 271
▌그림 2.97 태양광 발전 시스템 설계 Process▌ ····· 275
▌그림 2.98 계절별 최적경사각(남향기준)▌ ····· 276
▌그림 2.99 태양광 시스템 용량결정 흐름도▌ ····· 277
▌그림 2.100 태양의 고도 및 방위각 변화(청주시, 2011.12.23)▌ ····· 283
▌그림 2.101 청주시 방위 및 고도각 변화▌ ····· 284
▌그림 2.102 옥상태양광 설치평면도▌ ····· 285
▌그림 2.103 옥상태양광 설치 측면도▌ ····· 285
▌그림 2.104 BIPV 설치정면도▌ ····· 286
▌그림 2.105 소수력 발전 수차 개념도▌ ····· 287
▌그림 2.106 소수력 발전 수차 적용 사례▌ ····· 287
▌그림 2.107 수차의 사용 범위(Andriz)▌ ····· 289
▌그림 2.108 수차의 사용 범위(Mavel)▌ ····· 289
▌그림 2.109 수차의 사용 범위(Gugler)▌ ····· 290
▌그림 2.110 해석 모델 전체 조견표▌ ····· 291

▌그림 2.111 위치별 수두변화 그래프▐ ····· 292
▌그림 2.112 크로스플로우 수차의 설계▐ ····· 294
▌그림 2.113 프로펠러 수차 해석모델 전체 조건표▐ ····· 295
▌그림 2.114 프로펠러 수차 해석 결과▐ ····· 296
▌그림 2.115 유량에 따른 효율 및 출력▐ ····· 297
▌그림 2.116 해석모델 전체 조건표▐ ····· 298
▌그림 2.117 프로펠러 수차의 해석 결과▐ ····· 299
▌그림 2.118 프로펠러 수차 설계도면▐ ····· 299
▌그림 2.119 모델 시험설비 평면도 및 단면도▐ ····· 300
▌그림 2.120 수온차 시스템 개념도▐ ····· 309
▌그림 2.121 수온차 시스템 사례▐ ····· 309
▌그림 2.122 수계별 정수장 원수유입 평균온도 분포▐ ····· 312
▌그림 2.123 청주(정) 유입수와 대기의 온도 변화▐ ····· 313
▌그림 2.124 물-물 방식과 물-공기 방식의 수온차시스템 비교▐ ····· 314
▌그림 2.125 물-물 방식 히트펌프 시스템의 냉난방 성능 (성남정수장)▐ ····· 315
▌그림 2.126 물-물 방식 히트펌프 시스템의 냉난방 성능 (충청통합운영센터)▐ ····· 315
▌그림 2.127 막여과 원수 가온시스템 공정도▐ ····· 318
▌그림 2.128 청주정수장 유입원수 및 대기온도 (2010년 3월~2011년 2월)▐ ····· 319
▌그림 2.129 충청통합운영센터 원수열원 냉난방시스템 구성도▐ ····· 321
▌그림 2.130 난방시 원수 유입조건 및 성능분석 결과▐ ····· 322
▌그림 2.131 냉방시 원수 유입조건 및 성능분석 결과▐ ····· 324
▌그림 2.132 성남(정) 원수열원 냉난방시스템 구성도▐ ····· 325
▌그림 2.133 동절기 유입원수 온도와 난방성능▐ ····· 326
▌그림 2.134 하절기 유입원수 온도와 난방성능▐ ····· 327
▌그림 2.135 물-공기 방식 히트펌프의 문제점▐ ····· 329
▌그림 2.136 물-물 방식 히트펌프의 장점▐ ····· 330
▌그림 2.137 수온차 시스템 P&ID▐ ····· 334
▌그림 2.138 수온차 시스템 지하층 배치도▐ ····· 334
▌그림 2.139 수온차 시스템 1층 배치도▐ ····· 335
▌그림 2.140 수온차 시스템 2,3층 배치도▐ ····· 335
▌그림 2.141 수온차 시스템 4층 배치도▐ ····· 336
▌그림 2.142 CIP 공정 연계 방안▐ ····· 338
▌그림 2.143 막여과 공정 연계 방안▐ ····· 338
▌그림 2.144 일별 원수온도와 대기온도 비교▐ ····· 339
▌그림 2.145 월별 원수온도와 대기온도 비교▐ ····· 340
▌그림 2.146 냉방일 때 히트펌프 성능데이터▐ ····· 340
▌그림 2.147 난방일 때 히트펌프 성능데이터▐ ····· 341
▌그림 2.148 냉방일 때 원수 온도차 데이터▐ ····· 341
▌그림 2.149 난방일 때 원수 온도차 데이터▐ ····· 341
▌그림 2.150 일별 원수온도와 수학적 모델링▐ ····· 342
▌그림 2.151 분별 원수온도와 수학적 모델링▐ ····· 342
▌그림 2.152 EES를 통한 공기열원 히트펌프 모델링▐ ····· 343
▌그림 2.153 EES를 통한 수열원 히트펌프 모델링▐ ····· 345
▌그림 2.154 수열원과 공기열원 히트펌프 난방 시 시뮬레이션▐ ····· 346
▌그림 2.155 부분부하(시뮬레이션)▐ ····· 346
▌그림 2.156 청주 정수장 수온차 시스템 개념도▐ ····· 349
▌그림 2.157 청주정수장 수열원 TRNSYS 모델링▐ ····· 350
▌그림 2.158 원수→열교환기 데이터 입력▐ ····· 350
▌그림 2.159 TRNBUILD 벽체 물성값 입력▐ ····· 350

▌그림 2.160 환기 횟수와 Inlet temperature 그리고 Inlet humidity ▌ ····· 351
▌그림 2.161 Cooling/Heating 조건 입력 ▌ ····· 351
▌그림 2.162 수열원 히트펌프 냉방 성능 데이터 ▌ ····· 351
▌그림 2.163 냉방일 때 원수온도 데이터 ▌ ····· 352
▌그림 2.164 냉방일 때 수열원 히트펌프 시뮬레이션 ▌ ····· 353
▌그림 2.165 난방일 때 수열원 히트펌프 시뮬레이션 ▌ ····· 353
▌그림 2.166 TRNSYS를 통한 계절별 수열원 히트펌프 COP 변화 ▌ ····· 353
▌그림 2.167 TRNSYS 시뮬레이션과 실험을 통한 유닛 COP 비교 ▌ ····· 354
▌그림 2.168 TRNSYS 시뮬레이션과 실험을 통한 시스템 COP 비교 ▌ ····· 354
▌그림 2.169 TRNSYS를 통한 수열원 히트펌프 소비동력 ▌ ····· 354
▌그림 2.170 TRNSYS 시뮬레이션과 실험결과를 통한 유닛 소비동력 비교 ▌ ····· 355
▌그림 2.171 TRNSYS 시뮬레이션과 실험을 통한 시스템 소비동력비교 ▌ ····· 355
▌그림 2.172 공기열원 히트펌프 모델링 ▌ ····· 356
▌그림 2.173 공기열원 히트펌프 냉방 성능 데이터 ▌ ····· 356
▌그림 2.174 공기열원 히트펌프 난방 성능 데이터 ▌ ····· 356
▌그림 2.175 냉방일 때 공기열원 히트펌프 시뮬레이션 ▌ ····· 357
▌그림 2.176 난방일 때 공기열원 히트펌프 시뮬레이션 ▌ ····· 358
▌그림 2.177 TRNSYS 시뮬레이션과 기존 데이터 12월 부분 일별 비교 ▌ ····· 358
▌그림 2.178 TRNSYS 시뮬레이션과 기존 데이터 부분 월별 전력량 비교 ▌ ····· 358
▌그림 2.179 청주 수직형 정수장 내 물 대 물 히트펌프 모델링 ▌ ····· 359
▌그림 2.180 성남정수장 내 자료 바탕의 대상건물 도면 ▌ ····· 360
▌그림 2.181 TRNBUILD를 이용한 대상건물 모델링 ▌ ····· 360
▌그림 2.182 TRNBUILD Library의 물성 값 ▌ ····· 360
▌그림 2.183 벽체 물성 값 및 환기횟수 ▌ ····· 361
▌그림 2.184 대상건물 환기횟수 ▌ ····· 361
▌그림 2.185 TRNBUILD 내 냉난방 온도 입력 ▌ ····· 361
▌그림 2.186 물-물 히트펌프 성능데이터 입력 ▌ ····· 362
▌그림 2.187 물-물 히트펌프 적용 대상건물 부하계산 ▌ ····· 362
▌그림 2.188 수직형 정수 처리장 물-물 히트펌프 모델링 ▌ ····· 363
▌그림 2.189 성남정수장 성능계수 자료 ▌ ····· 363
▌그림 2.190 수직형 정수장 내 물-물 히트펌프 TRNSYS simulation 결과 ▌ ····· 364
▌그림 2.191 기존 데이터와 TRNSYS simulation COP 비교 ▌ ····· 364
▌그림 2.192 기존 데이터와 TRNSYS simulation 소비전력 비교 ▌ ····· 364
▌그림 2.193 수직형 정수장 내 도면 일부 ▌ ····· 365
▌그림 2.194 수직형 정수장 내 지하층, 지상 1,2층에서의 난방부하 계산결과 ▌ ····· 366
▌그림 2.195 수직형 정수장 내 3층 제어실에서의 냉난방부하 계산결과 ▌ ····· 366
▌그림 2.196 TRNedit 모델링 ▌ ····· 367
▌그림 2.197 축열조/히트펌프 1대 운전 시 ▌ ····· 368
▌그림 2.198 축열조/히트펌프 2대 운전 시 ▌ ····· 369
▌그림 2.199 수직형 정수처리시설 내 모델링 ▌ ····· 370
▌그림 2.200 TRNBUILD를 이용한 대상건물 모델링 ▌ ····· 370
▌그림 2.201 TRNBUILD Library의 물성값 ▌ ····· 371
▌그림 2.202 벽체 물성 값 및 환기횟수 ▌ ····· 371
▌그림 2.203 대상건물 환기횟수 ▌ ····· 372
▌그림 2.204 물 대 물 히트펌프 성능데이터 입력 ▌ ····· 372
▌그림 2.205 축열조 1대 가동시 COP 및 소비전력 ▌ ····· 373
▌그림 2.206 축열조 2대 가동시 COP 및 소비전력 ▌ ····· 373
▌그림 2.207 히트펌프 1대 운영 시 축열조 용량에 따른 COP 비교 ▌ ····· 374
▌그림 2.208 히트펌프 1대 운영 시 축열조 용량에 따른 소비전력량 비교 ▌ ····· 375

▌그림 2.209 히트펌프별 용량 변화에 따른 COP 비교▐ ····· 376
▌그림 2.210 히트펌프별 용량 변화에 따른 각각의 COP 비교▐ ····· 376
▌그림 2.211 히트펌프별 용량 변화에 따른 소비전력량 비교▐ ····· 377
▌그림 2.212 축열조 용량 변화에 따른 COP(좌) 및 소비전력량(우) 비교▐ ····· 378
▌그림 2.213 통합운영 시스템 구성▐ ····· 381
▌그림 2.214 수온차 시스템 P&ID▐ ····· 383
▌그림 2.215 수온차 시스템 설비배치도 ▐ ····· 384
▌그림 2.216 수온차 시스템 장비일람표 ▐ ····· 385
▌그림 2.217 수온차 시스템 히트펌프 및 열교환기 ▐ ····· 387
▌그림 2.218 수온차 시스템 펌프 및 제어반 ▐ ····· 388
▌그림 2.219 AC 배전 및 DC 배전 ▐ ····· 389
▌그림 2.220 MATLAB/Simulink의 Block Diagram 및 시뮬레이션 결과 화면 ▐ ····· 391
▌그림 2.221 DC 시스템 구성 ▐ ····· 392
▌그림 2.222 Simulink를 이용한 시스템 구성 ▐ ····· 392
▌그림 2.223 Subsystem 구성 ▐ ····· 393
▌그림 2.224 GUI와 Simulink의 연동 ▐ ····· 393
▌그림 2.225 BLDC 모터 시스템 개념 ▐ ····· 394
▌그림 2.226 BLDC 모터와 AC모터의 전력원단위(kWh/m3)비교 ▐ ····· 395
▌그림 2.227 BLDC 모터의 설계도서 반영 ▐ ····· 395
▌그림 2.228 DC 전원을 이용한 LED 조명▐ ····· 396
▌그림 2.229 LED 조명기구 상세도▐ ····· 397
▌그림 2.230 조명제어 시스템 구성도▐ ····· 398
▌그림 2.231 통신모듈 블록도▐ ····· 399
▌그림 2.232 운영관리 시스템 구성도▐ ····· 403
▌그림 2.233 설비관리 개념의 변천사▐ ····· 405
▌그림 2.234 LCC 및 자산관리 데이터베이스 개념설계 결과▐ ····· 409
▌그림 2.235 LCC 및 자산관리 데이터베이스 물리설계 결과▐ ····· 409
▌그림 2.236 LCC 및 자산관리 네비게이션 흐름도▐ ····· 410
▌그림 2.237 프로그램 사용을 위한 기본 시나리오▐ ····· 410
▌그림 2.238 에너지경영시스템의 구성▐ ····· 411
▌그림 2.239 에너지 관리시스템 아키텍처▐ ····· 412
▌그림 2.240 에너지관리 데이터베이스 개념설계 결과▐ ····· 414
▌그림 2.241 에너지관리 데이터베이스 물리설계 결과▐ ····· 415
▌그림 2.243 통합운영관리시스템 구성 및 개발전략▐ ····· 417
▌그림 2.244 비상대응시스템 구성 및 개발전략▐ ····· 418
▌그림 2.245 비상대응시스템 개념도▐ ····· 419
▌그림 2.246 수질모니터링 시스템 배치 1▐ ····· 419
▌그림 2.247 수질모니터링 시스템 배치 2▐ ····· 419
▌그림 2.248 원수 수질현황 (청주정수장)▐ ····· 420
▌그림 2.249 저류조 도입 시 유입수 탁도 모의 1. (청주정수장)▐ ····· 421
▌그림 2.250 저류조 도입 시 유입수 탁도 모의 2. (청주정수장)▐ ····· 421
▌그림 2.251 저류조 도입 시 유입수 탁도 모의 1. (구미정수장)▐ ····· 422
▌그림 2.252 저류조 도입 시 유입수 탁도 모의 2. (구미정수장)▐ ····· 422
▌그림 2.253 비상대응 운영관리 데이터베이스 개념설계 결과▐ ····· 424
▌그림 2.254 비상대응 운영관리 데이터베이스 물리설계 결과▐ ····· 425
▌그림 2.255 비상대응 운영관리 내비게이션 흐름도▐ ····· 426
▌그림 2.256 막여과 운전 비교▐ ····· 427
▌그림 2.257 유량 변동에 따른 정수처리 공정의 생산 수질 변화▐ ····· 427
▌그림 2.258 정유량 막여과의 파울링 모델▐ ····· 428

▌그림 2.259 파울링 모델링 순서 ▐ ····· 428
▌그림 2.260 1차 시뮬레이션 조건 ▐ ····· 429
▌그림 2.261 1차 시뮬레이션 결과 ▐ ····· 429
▌그림 2.262 플럭스에 따른 막 저항값 ▐ ····· 430
▌그림 2.263 모델링 파라미터 재설정 방법 ▐ ····· 430
▌그림 2.264 현도 파일럿플랜트 개요 ▐ ····· 431
▌그림 2.265 현도 파일럿플랜트 데이터 활용 범위 ▐ ····· 431
▌그림 2.266 현도 파일럿플랜트 파라미터 산정 결과 ▐ ····· 432
▌그림 2.267 시뮬레이션과 실제 운영 데이터 비교 ▐ ····· 432
▌그림 2.268 플럭스에 따른 막 저항값(Case 1) ▐ ····· 433
▌그림 2.269 플럭스에 따른 막 저항값(Case 2) ▐ ····· 433
▌그림 2.270 연초정수장 파일럿플랜트 개요▐ ····· 434
▌그림 2.271 연초정수장 파일럿플랜트 데이터 활용 범위▐ ····· 434
▌그림 2.272 연초정수장 파일럿플랜트 데이터 활용 파라미터 산정 결과▐ ····· 435
▌그림 2.273 Lab-scale 막여과 실험 개요▐ ····· 435
▌그림 2.274 Lab-scale 막여과 실험장치 개요▐ ····· 436
▌그림 2.275 Lab-scale 막여과 실험결과 (카올린)▐ ····· 436
▌그림 2.276 스프레드 시트 형태의 막여과 공정 성능평가 모델▐ ····· 437
▌그림 2.277 유비쿼터스센서 네트워크 구성도▐ ····· 438
▌그림 2.278 수직형 정수처리공정 무선네트워크 구성도▐ ····· 439
▌그림 2.279 Zigbee Stack 구성도▐ ····· 441
▌그림 2.280 Star, Tree, Mesh Topology▐ ····· 443
▌그림 2.281 감시제어화면 구성예시▐ ····· 447
▌그림 2.282 무선센서네트워크 통신망 구성 개요도▐ ····· 448
▌그림 2.284 감시제어화면(초기화면)▐ ····· 451
▌그림 2.285 NS2를 활용한 최적 알고리즘 도출▐ ····· 451
▌그림 2.286 유량계 교정동 센서노드 위치▐ ····· 452
▌그림 2.287 Zigbee 센서노드 설치 위치▐ ····· 453
▌그림 2.288 데이터 수신 현황▐ ····· 453
▌그림 2.289 Zigbee 수신레벨▐ ····· 454
▌그림 2.290 비상시 필요 용수량▐ ····· 471
▌그림 2.291 비상용수 저장 탱크 -유수식 물탱크-▐ ····· 474
▌그림 2.292 국외 비상용수 저장 및 비상급수 사례▐ ····· 476
▌그림 2.293 온라인 설문조사 개요▐ ····· 477
▌그림 2.294 CE-QUAL-W2 모델 격자 구성도▐ ····· 485
▌그림 2.295 오염물질 유입에 따른 지점별 농도 변화▐ ····· 486
▌그림 2.296 최대 유입농도 대비 제거율 60% 도달 시간▐ ····· 487
▌그림 2.297 UN 총회의 물인권 승인과 물인권 개념▐ ····· 489
▌그림 2.298 용수공급시설의 물공급 안정성 강화▐ ····· 490
▌그림 2.299 물공급 Security 확보를 위한 제도▐ ····· 490
▌그림 2.300 신재생에너지 의무할당제(RPS) ▐ ····· 492
▌그림 2.301 H도시 조성 계획 및 용수공급 계획▐ ····· 502
▌그림 2.302 현 H도시 용수공급시스템 체계도▐ ····· 502
▌그림 2.303 현 H도시 대심도 용수공급라인 계획 설계 안▐ ····· 506
▌그림 2.304 H도시 대심도 터널 단면 설계 Ⅰ ▐ ····· 507
▌그림 2.305 H도시 대심도 터널 단면 설계 Ⅱ▐ ····· 508
▌그림 2.306 H도시 저류조를 통한 용수공급 계획 설계 안▐ ····· 512
▌그림 2.307 새만금 개발지역 내 복합도시 용지 위치▐ ····· 514
▌그림 2.308 새만금 사업화 대상지역 내 구획 분할▐ ····· 516

▌그림 2.309 새만금 사업화 대상지역 내 수직형 정수처리시설 설치 계획▐ ····· 517
▌그림 2.310 새만금 사업화 대상지역 내 분산형 용수공급시스템 급수방식▐ ····· 517
▌그림 2.311 모의시간 0.5초에서의 유입유속에 따른 유동변화▐ ····· 519
▌그림 2.312 모의시간 4초에서의 유입유속에 따른 유동변화▐ ····· 519
▌그림 2.313 모의시간 6초에서의 유입유속에 따른 유동변화▐ ····· 520
▌그림 2.314 모의시간 20초에서의 유입유속에 따른 유동변화▐ ····· 520
▌그림 2.315 유입유속에 따른 유출관으로부터 유출시작 시간 ▐ ····· 520
▌그림 2.316 유입유속에 따른 정유량 도달시간▐ ····· 521
▌그림 2.317 모의시간 1초에서의 유입유속에 따른 유동변화▐ ····· 522
▌그림 2.318 모의시간 2초에서의 유입유속에 따른 유동변화 ▐ ····· 522
▌그림 2.319 모의시간 4초에서의 유입유속에 따른 유동변화▐ ····· 522
▌그림 2.320 모의시간 6초에서의 유입유속에 따른 유동변화 ▐ ····· 523
▌그림 2.321 8초에서의 유입유속에 따른 유동변화▐ ····· 523
▌그림 2.322 모의시간 10초에서의 유입유속에 따른 유동변화▐ ····· 523
▌그림 2.323 유입유속에 따른 정유량 도달시간▐ ····· 524
▌그림 2.324 시간에 따른 다중 막여과 시스템 내 유동변화▐ ····· 525
▌그림 2.324 시간에 따른 다중 막여과 시스템 내 유동변화 (계속)▐ ····· 526
▌그림 2.325 멤브레인 모듈별 위치와 분배된 유량의 시간적 변화▐ ····· 527
▌그림 2.326 멤브레인 모듈별 유량배분 결과▐ ····· 528
▌그림 2.327 분배관로 내에 격벽의 존재여부에 따른 유동변화▐ ····· 528
▌그림 2.328 분배관로를 통한 유량배분 결과▐ ····· 529
▌그림 2.329 유량과 압력의 시간적 변화 (Case 1) : (a) Case 1-1, (b) Case 1-2, (c) Case 1-3 ▐ ····· 530
▌그림 2.330 유량과 압력의 시간적 변화 (Case 2) : (a) Case 2-1, (b) Case 2-2, (c) Case 2-3 ▐ ····· 532
▌그림 2.331 유량과 압력의 시간적 변화 (Case 3) : (a) Case 3-1, (b) Case 3-2 ▐ ····· 534
▌그림 2.332 유량과 압력의 시간적 변화 (Case 4) : (a) Case 4-1, (b) Case 4-2 ▐ ····· 535
▌그림 2.333 유동모의를 위해 설정된 경계조건 ▐ ····· 538
▌그림 2.334 실증시설 공정별 모의된 압력과 측정된 압력의 비교▐ ····· 538
▌그림 2.335 기존의 오존 접촉 탱크 (a) 및 개선된 오존 접촉 탱크 (b) 내에서의 속도 분포▐ ····· 539
▌그림 2.336 기존의 오존 접촉 탱크와 개선된 오존 접촉 탱크 내에서의 속도비▐ ····· 539
▌그림 2.337 막여과 공정 설계 용량계산 ▐ ····· 541
▌그림 2.338 수직형 정수처리 실증시설 운영방안▐ ····· 545
▌그림 2.339 분산형 용수공급시스템 및 수직형 정수처리시설 개념도▐ ····· 550
▌그림 2.340 수직형 정수처리 실증시설 3D 도면▐ ····· 551
▌그림 2.341 수직형 정수처리 실증시설 Prototype 모형 상세▐ ····· 552
▌그림 2.342 막여과공정 구동펌프 구성 설계 개선▐ ····· 554
▌그림 2.343 막여과공정 계열 설계 개선▐ ····· 555
▌그림 2.344 오존접촉조 형식 개선▐ ····· 555
▌그림 2.345 활성탄 흡착탱크 높이/직경비 감소▐ ····· 556
▌그림 2.346 시설 공간 활용도 개선▐ ····· 557
▌그림 2.347 구동에너지 절감 직결식 설계 개선▐ ····· 557
▌그림 2.348 수직형 정수처리시설 모듈화 개요도▐ ····· 558
▌그림 2.349 새만금 복합도시 북측지역 급수구역 분할도▐ ····· 562
▌그림 2.350 수직형 정수장 설치 후보지역 선정▐ ····· 563
▌그림 2.351 수직형 정수처리시설▐ ····· 565
▌그림 2.352 직결식 시스템 (Tankless system)▐ ····· 565
▌그림 2.353 미래도시 소비자 인근 수직형 정수처리시설 설치 전경(예시)▐ ····· 565
▌그림 2.354 정수처리시스템 공정 구성도▐ ····· 579
▌그림 2.355 배출수 처리시스템 공정 구성도▐ ····· 579
▌그림 2.356 정면도 (건축) - 정수처리동▐ ····· 585

▌그림 2.357 정면도 (건축)- 배출수처리동 ▌ ····· 585
▌그림 2.358 횡단면도 (기계) - 정수처리동 ▌ ····· 586
▌그림 2.359 횡단면도 (기계) - 배출수처리동 ▌ ····· 586
▌그림 2.360 3D 도면 ▌ ····· 587
▌그림 2.361 Process Flow Diagram ▌ ····· 588
▌그림 2.362 조감도 ▌ ····· 589
▌그림 2.363 용량별 개략공사비 비교 ▌ ····· 591
▌그림 2.364 용량별 개략공사비 비율 비교 ▌ ····· 591
▌그림 2.365 부지면적 비교 ▌ ····· 591
▌그림 2.366 Variation in arsenic and manganese concentrations in the Bangladesh ▌ ····· 592
▌그림 2.367 Maps of the Mekong Delta in-depth study area showing contour plots of Mn ▌ ····· 593
▌그림 2.368 중남미 상수도 소독 비율 ▌ ····· 595
▌그림 2.369 Reconquista 강에서 As, Cd, Cr 의 농도 ▌ ····· 596
▌그림 2.370 상수 및 원수가 비소에 영향을 받는 국가의 지도 ▌ ····· 597
▌그림 2.371 Map of northern La Pampa showing distribution of As concentrations ▌ ····· 599
▌그림 2.372 Arsenic versus manganese concentration in Vietnam (back o) and Cambodia ▌ ····· 601
▌그림 2.373 Maps of the Mekong Delta in-depth study area showing contour plots of Mn ▌ ····· 601
▌그림 2.374 Distribution of manganese in ground waters ▌ ····· 601
▌그림 2.375 질산염 오염 지역의 증가 ▌ ····· 602
▌그림 2.376 아프리카 지역 방사선 농도 ▌ ····· 603
▌그림 2.377 Shush and Andimeshk aquifer 의 중금속 측정 항목별 분포 ▌ ····· 607
▌그림 2.378 스페인 El Salobral-Los Llanos 지역의 질산염 농도 분포 ▌ ····· 609
▌그림 2.379 핀란드의 222Rn 의 지역적 분포 ▌ ····· 610
▌그림 2.380 South Africa 지하수에서 NO3+NO2 농도가 50 mg/L를 초과하는 지역 ▌ ····· 611
▌그림 2.381 pH diagram for As0+ ▌ ····· 613
▌그림 2.382 Parts of M. Oleifera(a) fruits(b) seeds and kernels(c) ▌ ····· 614
▌그림 2.383 Changes in pH with increasing coagulants doses ▌ ····· 615
▌그림 2.384 Changes in turbidity with increasing coagulants doses ▌ ····· 615
▌그림 2.385 Changes in turbidity and pH with increasing coagulants (Chitosan) doses ▌ ····· 616
▌그림 2.386 철에 오염된 이온교환수지 ▌ ····· 617
▌그림 2.387 Bench-scale UF 시스템 정수처리에 있어서 염소의 투입 ▌ ····· 618
▌그림 2.388 염소투입과 철과 망간의 제거율 비교 ▌ ····· 618
▌그림 2.389 As 처리를 위한 BAT Matrix ▌ ····· 620
▌그림 2.390 Mn 처리를 위한 BAT Matrix ▌ ····· 621
▌그림 2.391 프로그램 메인화면 - 국가별 오염물질 현황 ▌ ····· 622
▌그림 2.392 처리 대상물질 클릭 화면 ▌ ····· 623
▌그림 2.393 비소의 BAT Matrix 화면과 BAT Matrix Score 설정화면 ▌ ····· 623
▌그림 2.394 물 음용형태 ▌ ····· 625
▌그림 2.395 정수기 및 생수 사용이유 ▌ ····· 625
▌그림 2.396 정수기 및 생수의 물 맛에 대한 만족도 ▌ ····· 626
▌그림 2.397 정수기 초기 구입비 ▌ ····· 626
▌그림 2.398 매월 정수기 유지비용 ▌ ····· 627
▌그림 2.399 매월 생수 구입비용 ▌ ····· 627
▌그림 2.400 정수기 또는 생수 지출비용 만족도 ▌ ····· 628
▌그림 2.401 수돗물 품질 보증시 수돗물 음용여부 ▌ ····· 628
▌그림 2.402 수돗물 용도의 중요도 순위 ▌ ····· 629
▌그림 2.403 수돗물 안전성에 대한 신뢰도 ▌ ····· 629
▌그림 2.404 수돗물을 지속적으로 음용할 경우에 대한 의견 ▌ ····· 630
▌그림 2.405 최근 3년간 수돗물 오염 경험 여부 ▌ ····· 630

▌그림 2.406 최근 3년간 단수나 급수제한 경험 여부 ▌ ····· 631
▌그림 2.407 가구당 월평균 수도요금 ▌ ····· 631
▌그림 2.408 Mapping분석 좌표 설명 ▌ ····· 632
▌그림 2.409 정부정책에 대한 Mapping 분석 ▌ ····· 633
▌그림 2.410 이중양분선택형 모형 ▌ ····· 633
▌그림 2.411 대심도 관로설치시 발생 편익 ▌ ····· 652
▌그림 2.412 새만금 지구 용수공급 계획 ▌ ····· 656
▌그림 2.413 새만금 지구 정수처리시설 설치 계획 ▌ ····· 656
▌그림 2.414 기존 형태의 고도정수처리시설 운영방안 ▌ ····· 671
▌그림 2.415 수직형 정수처리시설이 도입된 고도정수처리시설 운영방안 ▌ ····· 671
▌그림 2.416 국내 사업대상지역 검토에 따른 시사점 ▌ ····· 677
▌그림 2.417 사업 추진체계 ▌ ····· 686
▌그림 2.418 사업 추진절차 ▌ ····· 686
▌그림 2.419 해외 투자 종류 ▌ ····· 688
▌그림 2.420 단계별 해외진출 순서(예시) ▌ ····· 691
▌그림 2.421 멕시코의 SWAT분석 ▌ ····· 698
▌그림 2.422 칠레 수처리 투자 현황 ▌ ····· 699
▌그림 2.423 입면디자인(Facade Design) 기본안 ▌ ····· 704
▌그림 2.424 외피디자인(Envelope Design) 기본안 ▌ ····· 705
▌그림 2.425 동선디자인(Circulation Design) 기본안 ▌ ····· 706
▌그림 2.426 실증시설 감성설계 디자인 도출안 ▌ ····· 708
▌그림 2.427 실증시설 감성설계 대안 디자인1 ▌ ····· 709
▌그림 2.428 실증시설 감성설계 대안 디자인2 ▌ ····· 711
▌그림 2.429 분산형 용수공급시스템 부지 ▌ ····· 721
▌그림 2.430 분산형 용수공급시스템 실증시설 건축물 개요 ▌ ····· 722
▌그림 2.431 건축물 상세구성 및 건축평면도 ▌ ····· 723
▌그림 2.432 실증시설 예상부지 지반조사 실시 ▌ ····· 724
▌그림 2.433 지반조사 결과 ▌ ····· 725
▌그림 2.434 실증시설 기초 토목공사 ▌ ····· 726
▌그림 2.435 평판재하시험 실시 ▌ ····· 726
▌그림 2.436 기초 콘크리트 강도시험 ▌ ····· 727
▌그림 2.437 실증시설 철근 콘크리트/철골 공사 ▌ ····· 728
▌그림 2.438 건물 콘크리트 강도시험 ▌ ····· 728
▌그림 2.439 실증시설 도장 및 방수공사 ▌ ····· 729
▌그림 2.440 실증시설 전기 계장공사 ▌ ····· 730
▌그림 2.441 실증시설 설비 설치공사 ▌ ····· 730
▌그림 2.442 제어시스템 HMI 화면 ▌ ····· 731
▌그림 2.443 수직형 정수처리 실증시설 전경 ▌ ····· 731
▌그림 2.444 지하층 동력기기 ▌ ····· 732
▌그림 2.445 실증시설 내부 Tankless 공정 (막/오존/활성탄/UV 공정) ▌ ····· 732
▌그림 2.446 수직형 정수처리 실증시설 준공행사 ▌ ····· 733
▌그림 2.447 오존/활성탄 공정 가이드라인 제시 ▌ ····· 736
▌그림 2.448 수직형 정수처리실증시설 원가계산서 ▌ ····· 737
▌그림 2.449 표준 정수처리공정(응집/침전 제외) 톤당 건설비 ▌ ····· 739
▌그림 2.450 고도처리공정(오존+활성탄) 톤당 건설비 ▌ ····· 741
▌그림 2.451 용량별 수직형/수평형 건설비 ▌ ····· 743
▌그림 2.452 수평형/수직형 실규모 플랜트 공종별 공사비 구성 비율 ▌ ····· 744
▌그림 2.453 탱크리스 공정 적용 가능한 외산막 검토 ▌ ····· 745
▌그림 2.454 Direct Feed System (DOW社) ▌ ····· 747
▌그림 2.455 탱크리스 역세 공정 개념 ▌ ····· 748
▌그림 2.456 일반적인 역세방법 ▌ ····· 748

▌그림 2.457 본 연구장치 시스템 및 모니터링 지점 ▌ ····· 749
▌그림 2.458 탱크리스 공정 개념도 ▌ ····· 750
▌그림 2.459 역세 분리막(A)의 유량 및 압력변화 ▌ ····· 750
▌그림 2.460 역세 분리막(B)의 유량 및 압력변화 ▌ ····· 752
▌그림 2.461 역세 분리막(C)의 유량 및 압력변화 ▌ ····· 753
▌그림 2.462 폭기량에 따른 역세유량의 변화 ▌ ····· 754
▌그림 2.463 역세효율 비교 ▌ ····· 755
▌그림 2.464 탱크리스공정과 일반공정 효율비교(분리막A) ▌ ····· 755
▌그림 2.465 탱크리스공정과 일반공정 효율비교(분리막B) ▌ ····· 756
▌그림 2.466 탱크리스공정과 일반공정 효율비교(분리막C) ▌ ····· 756
▌그림 2.467 운전기간 중 탁도 및 수온 변화 ▌ ····· 759
▌그림 2.468 운전기간 차압변화(1.5/1.2Q 역세) ▌ ····· 760
▌그림 2.469 운전기간 차압변화(1.2/1.0Q 역세) ▌ ····· 761
▌그림 2.470 운전기간 차압변화(0.9/0.8Q 역세) ▌ ····· 762
▌그림 2.471 운전기간 차압변화(0.7/0.6Q 역세) ▌ ····· 763
▌그림 2.472 운전기간 차압변화(1.5/1.2Q 역세) ▌ ····· 763
▌그림 2.473 TOC, UV254 (원수 및 처리수) ▌ ····· 764
▌그림 2.474 TTF equipment with side arm adaptor ▌ ····· 766
▌그림 2.475 CST equipment used in this study ▌ ····· 766
▌그림 2.476 H2SO4 주입농도에 따른 TSS와 CST의 변화 결과 ▌ ····· 767
▌그림 2.477 NaOCl 주입농도에 따른 TSS와 CST의 변화 결과 ▌ ····· 768
▌그림 2.478 H2SO4 주입농도에 따른 TSS 결과 ▌ ····· 768
▌그림 2.479 NaOCl 주입농도에 따른 TSS 결과 ▌ ····· 769
▌그림 2.480 Mode 1 운전 결과 (초) ▌ ····· 770
▌그림 2.481 Mode 1 운전 결과 (일) ▌ ····· 771
▌그림 2.482 Mode 2 운전 결과 (일) ▌ ····· 772
▌그림 2.483 Mode 3 운전 결과 (일) ▌ ····· 772
▌그림 2.484 Mode 1 운전 결과 (일) ▌ ····· 773
▌그림 2.485 Mode 2 운전 결과 (일) ▌ ····· 773
▌그림 2.486 Mode 3 운전 결과 (일) ▌ ····· 774
▌그림 2.487 Mode 1 운전 결과 (일) ▌ ····· 775
▌그림 2.488 Mode 2 운전 결과 (일) ▌ ····· 775
▌그림 2.489 Mode 3 운전 결과 (일) ▌ ····· 776
▌그림 2.490 운전차압-역세저항 비교 (일) ▌ ····· 776
▌그림 2.491 G 정수장의 제타포텐셜 측정결과(막여과 공정) ▌ ····· 778
▌그림 2.492 S 정수장의 제타포텐셜 측정결과(모래여과 공정) ▌ ····· 778
▌그림 2.493 G 정수장의 입도분석 결과(막여과 공정) ▌ ····· 779
▌그림 2.494 S 정수장의 입도분석 결과(모래여과 공정) ▌ ····· 779
▌그림 2.495 Multibore 내압막 ▌ ····· 780
▌그림 2.496 2단 막여과 계획 ▌ ····· 780
▌그림 2.497 막배출수 처리 파일럿 HMI 화면 ▌ ····· 781
▌그림 2.498 막배출수 처리 파일럿 현장 설치 사진 ▌ ····· 781
▌그림 2.499 막역세척수 처리공정 파일럿 시운전 결과 ▌ ····· 782
▌그림 2.500 막역세척수 처리공정 파일럿 전처리 장치 보완 ▌ ····· 783
▌그림 2.501 막역세척수 처리공정 파일럿 운전로직 ▌ ····· 784
▌그림 2.502 막역세척수 처리공정 파일럿 침전수 운전결과 ▌ ····· 784
▌그림 2.503 막역세척수 처리공정 파일럿 원수 운전결과 ▌ ····· 785
▌그림 2.504 막역세척수 처리공정 파일럿 전처리 추가 후 운전결과 ▌ ····· 785
▌그림 2.505 기존 시스템과 분산형 용수공급 시스템의 도수/송수 시스템 비교 ▌ ····· 787
▌그림 2.506 상수관망 경과년수별 사고건수 ▌ ····· 788
▌그림 2.507 상수관망 관경별 사고건수 ▌ ····· 789

▌그림 2.508 관 파괴시 용수공급능력 70% 이하인 상수관 ▌ ····· 791
▌그림 2.509 H도시 상수관망과 이에 따른 물 공급 특성 ▌ ····· 793
▌그림 2.510 일일 물수요 변화를 고려한 용수공급 계획 ▌ ····· 794
▌그림 2.511 HWSS 개념도 ▌ ····· 795
▌그림 2.512 가상관망 ▌ ····· 796
▌그림 2.513 수직형 정수처리시설이 설치된 가상 관망 ▌ ····· 796
▌그림 2.514 물수요 패턴 적용화면 ▌ ····· 799
▌그림 2.515 물수요 예측을 위한 인공신경망 모델 구조 ▌ ····· 800
▌그림 2.516 UJ지역 일일 물수요 예측 결과 ▌ ····· 802
▌그림 2.517 M지역 일일 물수요 예측 결과 ▌ ····· 804
▌그림 2.518 Scenario별 펌프 전양정 계산을 위한 모식도 ▌ ····· 805
▌그림 2.519 펌프 특성 곡선 ▌ ····· 806
▌그림 2.520 펌프 선정표 ▌ ····· 807
▌그림 2.521 펌프 효율곡선 및 프로그램 ▌ ····· 807
▌그림 2.522 잔류염소 모델링에 사용된 EPANET 2.0 적용 계수들 ▌ ····· 808
▌그림 2.523 전기요금 패턴 적용 화면 ▌ ····· 810
▌그림 2.524 시간대별 residual pressure 변화 추이 (Node : ND1_444) ▌ ····· 811
▌그림 2.525 H도시 블록 구성도 ▌ ····· 813
▌그림 2.526 시나리오별 시간대별 압력분포 분석결과 ▌ ····· 814
▌그림 2.527 모델링 결과- residual pressure - Scenario-1 ▌ ····· 815
▌그림 2.528 모델링 결과- residual pressure - Scenario-2 ▌ ····· 815
▌그림 2.529 모델링 결과- residual pressure - Scenario-3-4 ▌ ····· 815
▌그림 2.530 모델링 결과- distribution of residual pressure @50:00 - Scenario-1 ▌ ····· 816
▌그림 2.531 모델링 결과- distribution of residual pressure @50:00 - Scenario-2 ▌ ····· 816
▌그림 2.532 모델링 결과- distribution of residual pressure @50:00 - Scenario-3,4 ▌ ····· 816
▌그림 2.533 시나리오별 시간대별 잔류염소 분포 분석결과 ▌ ····· 818
▌그림 2.534 모델링 결과- residual chlorine - Scenario-1 ▌ ····· 819
▌그림 2.535 모델링 결과- residual chlorine - Scenario-2 ▌ ····· 819
▌그림 2.536 모델링 결과- residual chlorine - Scenario-3,4 ▌ ····· 819
▌그림 2.537 모델링 결과- distribution of residual pressure @50:00 - Scenario-1 ▌ ····· 820
▌그림 2.538 모델링 결과- distribution of residual pressure @50:00 - Scenario-2 ▌ ····· 820
▌그림 2.539 모델링 결과- distribution of residual pressure @50:00 - Scenario-3,4 ▌ ····· 820
▌그림 2.540 펌프 운전 패턴 적용 화면 ▌ ····· 823
▌그림 2.541 주수원 연계 시나리오(기존시스템 vs 분산형 용수공급시스템 ▌ ····· 832
▌그림 2.542 주수원 및 보조수원 연계 시나리오(기존시스템 vs 분산형 용수공급시스템) ▌ ····· 832
▌그림 2.543 급수구역별 용수수요 ▌ ····· 833
▌그림 2.544 기존시스템과 분산형 용수공급시스템의 직압식과 가압식의 비교 ▌ ····· 834
▌그림 2.545 수직형 정수장 설치 후보지역 선정 ▌ ····· 835
▌그림 2.546 Schematics of direct coupled multi-stories WTP ▌ ····· 843
▌그림 2.547 Schematics of conventional system with inter-reservoir ▌ ····· 843
▌그림 2.548 Schematics of direct coupled system without inter-reservoir ▌ ····· 844
▌그림 2.549 Process diagram of vertical type WTP ▌ ····· 847
▌그림 2.550 Test1의 각 단위공정에서의 압력실험 결과 ▌ ····· 848
▌그림 2.551 Test1의 각 단위공정에서의 압력실험 결과 ▌ ····· 849
▌그림 2.552 Test2의 각 단위공정에서의 압력실험 결과 ▌ ····· 849
▌그림 2.553 Test3의 각 단위공정에서의 압력실험 결과 ▌ ····· 849
▌그림 2.554 Test4의 각 단위공정에서의 압력실험 결과 ▌ ····· 850
▌그림 2.555 Test5의 각 단위공정에서의 압력실험 결과 ▌ ····· 850
▌그림 2.556 Test7의 각 단위공정에서의 압력실험 결과 ▌ ····· 850
▌그림 2.557 Average of differential value in Case2 ▌ ····· 853
▌그림 2.558 Average of differential value of in Case3 ▌ ····· 853

▌그림 2.559 Effect of differential pressure by feed pump pressure ▌ ····· 854
▌그림 2.560 화학세정 전 후 보정 차압의 변화 ▌ ····· 861
▌그림 2.561 화학세정 전 후 회복율 ▌ ····· 861
▌그림 2.562 모배관 개도율 조절에 따른 오존 용해율 변화 ▌ ····· 864
▌그림 2.563 개도율 조절에 따른 막여과 공정과 오존 공정의 전력 사용량 변화 ▌ ····· 864
▌그림 2.566 스트레이너 청소 전 후 활성탄 A계열 차압 ▌ ····· 870
▌그림 2.567 원수 유입 탁도 ▌ ····· 871
▌그림 2.568 원수 및 최종 생산수 TOC 농도 ▌ ····· 871
▌그림 2.569 전력 사용량 분석을 위한 설비 그룹화 ▌ ····· 872
▌그림 2.570 막간 차압 상승에 따른 막여과 공정 전력사용량 변화 ▌ ····· 872
▌그림 2.571 각 단위공정별 소비전력량 변화특성 ▌ ····· 874
▌그림 2.572 소비전력 분포 ▌ ····· 875
▌그림 2.573 수직형 정수처리 플랜트 내 유량, 압력 측정위치 ▌ ····· 877
▌그림 2.574 수직형 플랜트 부압여부에 따른 에너지 소비량 비교평가 ▌ ····· 879
▌그림 2.575 수직형 플랜트 염소소비량 변화 1차 및 2차실험 ▌ ····· 882
▌그림 2.576 수직형 플랜트 원수 및 농축수 탁도 변화 ▌ ····· 883
▌그림 2.577 농축수의 회수율의 계산 예 ▌ ····· 883
▌그림 2.578 옥상태양광 구조물 도면 ▌ ····· 887
▌그림 2.579 옥상 태양광발전의 시공 ▌ ····· 887
▌그림 2.580 BIPV 설치정면도 ▌ ····· 888
▌그림 2.581 BIPV 시공 ▌ ····· 889
▌그림 2.582 태양광발전시스템 모니터링 화면구축 ▌ ····· 889
▌그림 2.583 태양광발전시스템 발전현황 모니터링 화면 ▌ ····· 890
▌그림 2.584 프로펠러 수차 설계도면 ▌ ····· 902
▌그림 2.585 조립된 모델시험용 수차 ▌ ····· 903
▌그림 2.586 모델시험설비 레이아웃 ▌ ····· 904
▌그림 2.587 모델시험설비 레이아웃(SECTION A-A) ▌ ····· 904
▌그림 2.588 정격낙차에서 유량별 효율 평가 절차 ▌ ····· 909
▌그림 2.589 모델 시험 러너 각도 ▌ ····· 910
▌그림 2.590 런너 개도별 N11 및 Q11 상관관계 ▌ ····· 910
▌그림 2.591 런너 개도별 N11 및 효율 상관관계 ▌ ····· 910
▌그림 2.592 런너 개도별 낙차, 유량 및 효율 상관관계 ▌ ····· 911
▌그림 2.593 설정조건 1 시뮬레이션 결과 ▌ ····· 925
▌그림 2.594 설정조건 2 시뮬레이션 결과 ▌ ····· 926
▌그림 2.595 설정조건 3 시뮬레이션 결과 ▌ ····· 927
▌그림 2.596 1층 LED조명설비의 전력소비 패턴 ▌ ····· 929
▌그림 2.597 4층 LED조명설비의 전력소비 패턴 ▌ ····· 929
▌그림 2.598 유입 원수 주요 감시대상 물질에 대한 수질 계측 항목 ▌ ····· 945
▌그림 2.599 수질감시 장치를 통한 원수성상 분석 ▌ ····· 946
▌그림 2.600 비상대응 알고리즘 ▌ ····· 948
▌그림 2.601 실증시설 단위공정 배치 ▌ ····· 948
▌그림 2.602 무기산 물질의 농도별 pH 및 E.C ▌ ····· 951
▌그림 2.603 유기산(아세트산) 농도별 pH, E.C, TOC ▌ ····· 952
▌그림 2.604 유기물(페놀) 농도별 pH, E.C, TOC ▌ ····· 952
▌그림 2.605 중금속 물질의 농도별 pH, E.C ▌ ····· 953
▌그림 2.606 시뮬레이션과 실제 운영 데이터 비교(2차년도) ▌ ····· 954
▌그림 2.607 시뮬레이션과 실제 운영 데이터 비교(3차년도) ▌ ····· 955
▌그림 2.608 최대 플럭스에 따른 막 저항값 ▌ ····· 955
▌그림 2.609 유량변동 빈도에 따른 막 저항값 ▌ ····· 956
▌그림 2.610 Lab-scale 막여과 실험장치 개요 ▌ ····· 956
▌그림 2.611 파라미터 산정결과(부산지역 상수원수) ▌ ····· 957
▌그림 2.612 파라미터 산정결과(실증시설 원수) ▌ ····· 957

▌그림 2.613 시뮬레이션 결과 ▌ ····· 958
▌그림 2.614 분산형 용수공급 시스템 최적운영 알고리즘 ▌ ····· 959
▌그림 2.615 USN 구성도 ▌ ····· 960
▌그림 2.616 게이트웨이 세부구성 ▌ ····· 964
▌그림 2.617 센서노드 세부구성 ▌ ····· 964
▌그림 2.618 지그비 AT91RM9200 유/무선 표준편차 ▌ ····· 970
▌그림 2.619 ProBee-ZE10 유/무선 표준편차 ▌ ····· 974
▌그림 2.620 Wi-HART 유/무선 표준편차 ▌ ····· 976
▌그림 2.621 설계 및 운영에 근거한 연간 전력소비량 비교 ▌ ····· 982
▌그림 2.622 설계 및 운영에 근거한 각 단위공정의 연간 전력소비량 비교 ▌ ····· 983
▌그림 2.623 설계 및 운영에 근거한 에너지 효율화율 비교 ▌ ····· 983
▌그림 2.624 기존 정수장과 정수생산 전력원단위 비교 ▌ ····· 984
▌그림 2.625 정수생산 전력원단위 비교 ▌ ····· 985

제 1 장 연구개발 개요

제 1 절 연구개발 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

가. 기존 용수공급 시스템의 한계

▌최근 들어 ‘국민의 보건’과 ‘삶의 질 향상’과 맞물려 물 공급이라는 수도의 기본적인 기능 이외에 고품질 수도, 친수환경 조성, 물순환의 연속성 확보와 친환경적 대체수자원의 확보 등 다양한 유·무형의 기능적 역할을 요구하고 있으며 기술적, 기능적, 구조적으로 새로운 시스템으로의 전환을 필요로 하고 있음

▌그림 1.1 용수공급시스템(수도)의 개념적 변천사 ▐

▌기존 생산자 중심의 중앙집중식 처리시스템과 장대(長大)형 용수공급시스템으로는 소비자의 다양한 수요를 충족시키기 어렵고 비상시 신속한 대응에 어려움이 있음, 1993년 울산 공단의 가뭄피해 및 1991년, 2008년 발생한 낙동강 페놀 누출사고는 비상시 긴급한 상황에서의 “비상용수 공급체계 구축 마련”의 필요성을 더욱더 절실하게 하고 있음

▌용수 생산 및 공급과정은 막대한 에너지를 소비하고 있음에 ‘저탄소 녹색에너지 도입 및 활용’의 구체적인 방안을 모색하여야 할 시기

나. 기존 수도시스템의 문제점

▌ 기존 광역수도시스템은 정수장에서 생산한 수돗물을 소비자에게 이송하는 송·배수 관로 및 배·급수 관로의 연장이 길고 그에 따라 유지관리 비용이 증가하면서 사용하고 있는 관로는 지속적인 노후화로 2차 오염의 문제가 존재하고 있음

- 2012년 말 현재 우리나라 수도관 총연장 179,160 km 이며, 이 중 지방사수도는 174,157 km (97.0%), 광역상수도는 5,003 km (3.0%)로 매년 증가 추세를 보이고 있음

▌표 1.1 연도별 수도관 연장 현황 ▐

연도별 수도관 연장 현황(km)					
구 분	2008	2009	2010	2011	2012
계	151,293	154,435	165,800	173,014	179,160 (100%)
지방상수도	146,771	149,633	160,913	168,057	174,157 (97.0%)
광역상수도	4,522	4,802	4,887	4,957	5,003 (3.0%)

- 수도관 총연장 중 21년 이상 경과된 관은 41,947 km(23.4%)이며, 16~20년은 27,193 km(15.2%), 11~15년은 26,985 km(15.0%), 6~10년은 32,005 5km(17.9%), 5년 이내 51,030 km(28.5%)임

▌표 1.2 경년별 수도관 연장 현황 ▐

경년별 수도관 연장 현황(km)						
구 분	총계	5년 이내	6 ~ 10년	11 ~ 15년	16 ~ 20년	21년 이상
총계	179,160 (100.0%)	51,030 (28.4%)	32,005 (17.9%)	26,985 (15.0%)	27,193 (15.2%)	41,947 (23.4%)
지방상수도	174,157 (100.0%)	50,582 (29.0%)	30,703 (17.6%)	25,480 (14.6%)	26,496 (15.2%)	40,896 (23.5%)
광역상수도	5,003 (100.0%)	448 (9.0%)	1,302 (26.0%)	1,505 (30.1%)	697 (13.9%)	1,051 (21.0%)

▌ '70~'90년대 양적 공급시기를 지나 국민들의 수돗물에 대한 관심이 증대하고 있으나

근본적인 해결에는 한계

- 수돗물 내 THM(트리할로메탄), 미량유해물질 검출, 낙동강 오염사고 등으로 수돗물 불신증가에 따른 저조한 직접 음용율
- 소득수준의 향상에 따라 정수기의 이용이 증가하고, 수돗물을 직접 이용 및 음용하는 비율은 감소

▌ 수원으로의 화학물질 배출종류 및 양의 증가와 기존 수돗물 수질 감시체계의 한계가 나타남에 따라 신개념의 수질 오염사고 감시체계 도입의 시급

- 2008년 발생한 낙동강 페놀 누출사고, 2009년 1-4다이옥산 및 2012년 구미 불산 누출 사고는 상수원 및 수돗물을 공급하는 과정에서 안전 관리가 중요함을 강조하는 증거
- 국내 화학물질 배출량 조사결과 213종의 화학물질이 사용되고 그 중 202종이 환경으로 배출(2010년 기준, 환경부)되고 있으며,
  - 총배출량은 50,034톤 (대기배출 49,882톤, 수계배출 152톤)
  - 지역별 배출순위로는 경남이 1위, 울산광역시가 2위, 경북이 6위로 경상도 지역의 배출량이 최다임
- 수질오염 625건 중 유류 및 화학물질 유입에 의한 사고는 380건으로 60%이상을 차지하고 있음
  - 1999년부터 2008년까지 유류 사고는 47.5%, 화학물질 누출 사고는 13.4%, 수환경의 변화로 인한 수질 오염사고는 17.0%에 달함 (나머지는 기타 22.1%로 조사)
- 배출되는 화학물질(202종) 대비 취수원에서 감시 가능한 항목(25종)은 일부 유류, 휘발성유기물질 등으로 아주 제한적임
  - 국가측정망 연계 및 자체 수질측정기를 통해 페놀, VOCs, 중금속 등 최대 15항목의 유해물질만 측정/감시 가능
- 또한, 기존 측정 장비는 한 종류의 유해화학물질에 대해서 정량적으로는 측정이 가능하지만 설치비가 고가이고, 유지관리가 어려워 설치확대의 한계가 있음
  - 예를 들어 구미 및 본포 취수장 원수를 대상으로 수질오염감시 시스템의 설치비용은 총 9.6억 원이 소요되었음 (개소당 4.8억 원)
- 유류, VOCs 등 특정 물질을 제외하고는 취수원에 유입 가능한 다른 유해화학물질에 대한 정성적 또는 정량적 검출방법이 없어 사고발생 시 초동대처가 어려움 → 신개념의 수질오염사고 감시시스템의 도입이 필요

다. 기존 수도에 대한 새로운 요구 및 미래사회 용수공급 시스템

▌ 사회와 경제발전에 따라 수도 보급률 제고 위주의 기존 수도에 대한 이해와 요구가 최근 생활수준의 향상과 더불어 수돗물의 불신과 같은 새로운 사회적 갈등으로 표출되고 있음

▌ 21세기 물산업의 성장은 전 세계적인 현상으로, 선진국에서는 기존 시설에 대한 재투자 시기 도래와 국민의 환경요구 증대가, 후진국의 경우 여전히 낮은 상하수도 서비스 보급률이 성장 동인이 될 것임

▌ 미래 사회와 도시에 적합한 용수공급시스템은 지역적 단위 도시에 일방적인 용수공급을 수행하는 기반 시설을 초월하여 유역간, 도시간, 도시내 융합시스템을 구축 및 통합관리의 광역적 개념의 Total 시스템 구축

▌ 미래의 용수공급시스템은 거주민이 도시에 건설된 기반시설을 찾아가 이용하던 기존의 개념으로부터 탈피하여 ‘기반시설이 거주민을 찾아가서 서비스를 제공’하는 최종 소비자 중심의 형태로 변화(Decentralization) 예상

▌ 수도 시스템 및 이수(利水)에 새로운 패러다임 요구

- 미래 사회와 도시에 적합한 수도 시스템은 지역적 단위 도시에 일방적인 용수공급을 수행하는 사회기반 기반 시설을 초월하여 유역 간, 도시 간, 도시 내 융합시스템을 구축 및 통합관리의 광역적 개념의 Total 시스템 구축
- 수량, 수질, 분배, 통합관리 등 다양한 법적·제도적 조건과 함께 미래사회가 필요로 하는 요구 충족 필요
- 건설, 기계, 전기전자 등 다양한 응용 기술의 융합이 필요

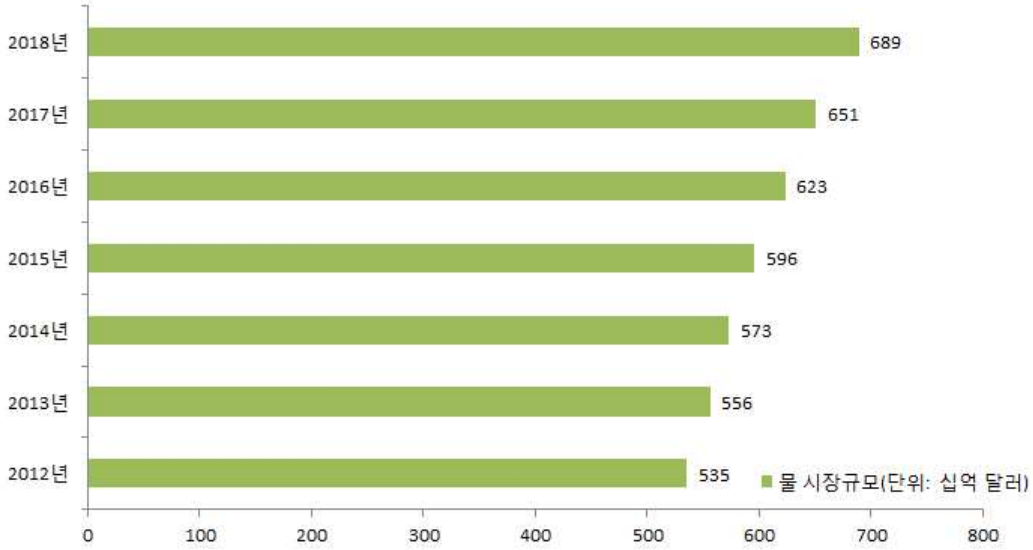
▌ 도시발전에 따른 기존 수도의 문제점 개선 필요

- 사회와 경제발전에 따라 수도 보급률 제고 위주의 기존 수도에 대한 이해와 요구가 최근 생활수준의 향상과 더불어 수돗물의 불신과 같은 새로운 사회적 갈등으로 표출되고 있음
- 기존 수도 시스템을 유지하는 수준으로는 미래사회의 기대와 요구를 충족할 수 없음
- 수도 기술은 동시대 관련 기술들의 집합체이자, 효과적 운영을 위한 다양한 법적·제도적 장치에 대한 준수와 이해관계자(stakeholder)들 간의 조율을 필요로 하므로 미래

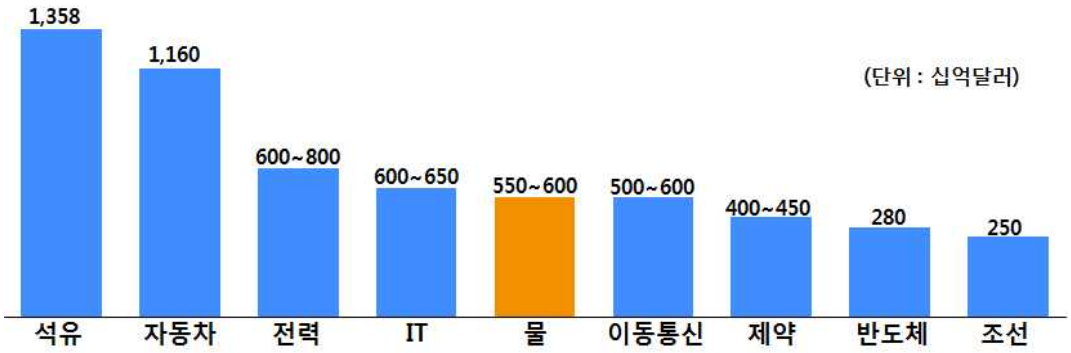
사회의 기대와 요구를 충족하기 위해서는 전 과정 시스템화가 가능한 국가주도의 프로그램이 필요한 시기임

▌수도는 '도시의 기반시설'이라는 고정관념에서 '산업이다'라는 개념의 전환

- 1980년대 중반부터 전문기업들이 정부나 지방자치단체를 대신해서 상하수도서비스를 제공하는 세계적인 물 시장 형성
- 2009년 1월 정부 또한 17개의 신성장 동력 내에 6개의 녹색기술사업 중 '고도 물처리'를 선정하였으며, 이를 근간으로 하여 STAR 브랜드로 스마트 상수도, 친환경대체용수 및 지속가능 물환경에 집중 지원 결정
- "Global Water Market 2014" 보고서 (Global Water Intelligence, GWI)에 따르면 2013년 세계 물 시장규모는 5,560억 달러로 추정되며, 2018년 6,890억 달러 시장으로 연평균 4.2% 성장할 전망임
  - 세계경제성장 : 2013년 3.2% 증가 → 2014년 3.5% 증가 예상 (국제통화기금 IMF 보고서)
  - 물 관련 인프라 투자비용 2013년 3.7% 증가 → 2014년 4.9% 증가 예상
  - 2015년 이후 세계 경제안정과 개도국의 성장세 회복과 맞불리면서 연 평균 5%대의 빠른 성장세를 기록할 것으로 전망
- 세계 물 시장의 변동 규모는 2013년 5,560억 달러로 추정되며 중국, 인도 및 동남아 국가를 중심으로 물 수요가 급증하고 있으며, 안정적이고 안전한 수돗물 공급을 위한 신규 투자가 확대될 것으로 예상됨
  - 개도국의 경제성장 및 소득수준 향상에 따른 물수요 증가가 세계 물 시장 성장의 가장 큰 원동력이 될 것으로 예상함
  - 향후 세계 물 시장은 연평균 5.6%의 지속적인 성장을 보여, 2025년에는 약 8천 700억 달러로 성장할 전망임
- OECD (경제개발협력기구) 자료에 따르면 2010~2020년 물 관련 인프라 투자 수요가 7천 720억 달러에 육박할 전망이며, 이는 통신(6천 460억 달러), 전력(1천 800억 달러), 도로(2천 450억 달러), 철도(540억 달러) 인프라에 비해 월등히 높은 수치임



▌그림 1.2 세계 물 시장 변동 전망 (출처: GWI, 2014) ▐



▌그림 1.3 수도(물) 산업과 타 산업의 규모 비교(출처: 한국수출입은행, 2014) ▐

▌ **따라서, 현재 용수공급 체계의 문제점을 해소하고 미래사회 패러다임에 부합하는 새로운 개념의 소비자 중심 용수공급 체계를 구축하기 위한 핵심 요소기술의 개발을 통해 다가올 미래를 준비해야 할 시점임. 이에 본 연구단에서는 새로운 용수공급체계인 분산형 용수공급시스템의 개념을 설정하고 이를 구축하기 위한 소요부지 저감형 수직형 정수처리 설계 및 시공, 운영유지관리 기술을 개발하고, 용수공급 및 생산에 소요되는 에너지를 절감할 수 있는 핵심요소기술을 개발하고자 함**

2. 연구개발의 필요성

▌**기존 용수공급시스템은 정수장에서 생산한 정수를 이송하는데 필요한 송·배수 관로 및 배·급수 관로의 장거리화로 유지관리 비용이 지속적으로 증가하고 관로 노후화로 인한 2차 오염이 큰 문제**

▌그림 1.4 기존 용수공급 계통도 ▐

▌ '70~' 90년대 양적 공급시기를 지나 국민들의 수돗물에 대한 관심이 증대하고 있으나 현재의 집중형 용수공급체계로는 근본적인 해결에 한계가 있음

- 수돗물의 소비자 만족도는 2차 오염 발생우려, 소독제 이취미, 불신감 등으로 인해 5% 이하의 매우 낮은 직접 음용률을 나타내고 있음에 따라 다가올 미래사회에 대비하기 위해서는 근본적인 용수공급시스템의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 공급체계 마련이 요구됨

▌**기존 생산자 중심의 중앙집중식 처리시스템과 장대(長大)형 용수공급시스템으로는 소비자의 다양한 수요를 충족시키기 어렵고 비상시 신속한 대응에 어려움이 있음**

- 현재의 용수공급시스템은 정수장에서 생산한 정수를 이송하는데 필요한 송수 및 배수관로의 길이가 길고, 관로의 노후화가 발생됨에 따라 2차오염 우려 및 유지관리 비용이 지속적으로 증가하고 있는 상황이며, 단일 수원을 사용함에 따라 수원의 오염이나 재난 상황 발생시 용수공급이 중단으로 대단위 단수가 발생할 가능성이 많음

▌용수 생산 및 공급과정은 막대한 에너지를 소비하고 있음에 '저탄소 녹색에너지 도입 및 활용' 의 구체적인 방안을 모색하여야 할 시기이며, 국내적으로 수자원의 지역적 균등분배와 물 공급의 안정성 확보를 위해 반드시 필요하며, 향후 중국 및 개발도상국의 수로 건설사업, 자원외교 또는 수자원의 배분에 기여할 기술을 도출하기 위해 필요함

▌**따라서, 미래사회 패러다임에 부합하는 새로운 개념의 용수공급 체계를 구축하기 위한 핵심기술 개발을 통해 국가의 안정적인 용수공급을 통해 신 성장 동력을 창출하기 위한 시점임**

- 소비자의 다양한 니즈를 충족시키기 위한 맞춤형 용수공급시스템 개발로, 물산업 기반기술 확보를 통한 주민 생활 향상 및 산업 발전 기여 등 미래사회 라이프라인 구축 필요
- 전 세계적으로 건설되는 새로운 개념의 도시건설(제로탄소도시 등) 시장에 진출할 신개념(분산화, 저에너지, 물 안보 등)의 용수공급 시스템의 브랜드 기술이 부재한 상황임에 따라 해외시장에 진출할 브랜드화 된 용수공급 인프라 설계, 건설 및 운영 유지관리 기술의 개발 및 확보가 필요

▌2010년 10월 13일 제9차 녹색성장위원회에서 정부의 물 산업 육성 및 수출전략화 방안 발표

- IT기반의 지능형 물 생산·공급시스템을 개발하여 세계 상하수도 기술을 선도하고, 향후 고도 수처리에 필요한 첨단소재 막 공정 및 운영관리 기술 등 원천기술을 개발, 토털 솔루션 능력을 보유한 물 전문기업을 육성, 물 산업의 해외진출 위한 세계 물 시장 분석을 통해 맞춤형 해외진출 전략 수립·추진

▌표 1.3 보유 능력에 따른 해외 진출 예시 ▐

보유 능력	해외 진출 예시
해외 건설 능력, 네트워크	상하수도 건설 + 운영·관리 동반진출
수자원 개발·관리	패키지형 해외진출 적극 추진 ▪ 하천관리 + 상·하수도 ▪ 신도시 건설 + 상·하수도 ▪ 댐 건설·관리 + 발전 + 상·하수도 관리
신도시 건설 능력	
4대강 사업의 노하우	

▌저탄소 녹색에너지 산업이 미래성장동력으로 급부상하고 있으며, 기후변화 협약 포스트 교토 체제 하에서 선진국 중심으로 녹색보호주의가 강화될 경우 탄소배출권 시장이 확대될 전망되어 용수공급시설을 이용한 다양한 R&D 투자 필요

▌미국 내에서 물과 관련된 CO_2 방출량은 5% 수준(River Network, 2009), 일본 동경시의 경우, CO_2 총 발생량의 15%를 용수생산 및 공급이 점유(하나끼, 2008)하고 있어 용수공급의 에너지 비용 절감 필요성 증가하고 있는 상황으로 신재생에너지를 융합한 저에너지형 용수공급시스템 운영 및 유지관리기술의 개발이 필요함

▌ 현 시점에서 미래사회를 위한 용수공급 인프라의 건설 및 운영관리기술과 신재생에너지 활용기술은 녹색성장의 성장 동력이 될 것이며, 세계 용수공급 인프라 건설시장에서 우위를 확보할 수 있는 핵심기술임

▌ **미래의 용수공급시스템은 최종 소비자 중심의 형태로 변화(Decentralization)가 예상되며, 기존 수도는 단위시설(공정)으로부터 조합 시설로 발전되어 왔으나 미래사회에서의 용수공급 시스템은 소비자 중심의 시스템 사업으로 발전될 것으로 전망됨에 따라 핵심 요소기술의 확보가 필요**

- 미래사회는 분산화 된 새로운 도시형태의 발달과 교통, 통신, 환경, 문화, 교육 등 다양한 분야에서 유비쿼터스 기술과 인프라 구축에 기초하여 대상 지역을 통합하는 포털 도심 서비스 시스템이 구축될 것으로 전망됨에 따라 이러한 패러다임에 부합하는 용수공급 체계 마련 요구
- 미래 도시의 기능 및 미관을 고려하고 용수공급의 안전성 및 안정성 확보를 위한 분산형 용수공급시스템의 설계 기술 개발 및 컴팩트한 단위공정 조합의 정수처리 시설 설계기술 개발을 통해 미래사회 대비 필요
- 과거 용수공급시설 또는 수원에 대한 공격이 수원 개발이나 물 배분의 결정에 대한 불공평함으로 발생하였으나 최근 국가 간의 분쟁에 따른 테러의 목적으로 발생될 우려가 있으며 물리/화학적인 테러와 함께 광범위한 피해를 발생시킬 수 있는 사이버 테러에 대한 위협도 존재함에 따라 용수공급 체계 구축에 있어 물안보 개념의 정립과 이를 위한 인프라 구축기술 개발 필요

▌ **기존 용수공급시스템과의 차별성**

- 기존 용수공급시스템은 생산자 중심의 중앙집중식 처리시스템과 장대 수송시스템으로는 소비자의 다양한 수요를 충족시키기 어렵고 비상시 신속한 대응이 어려우며, 상시 대두되는 기존시설 노후화 문제의 근원적인 해결방안 필요

▌이러한 문제를 근원적으로 개선할 수 있는 신개념 즉, 처리시설의 분산화 및 컴팩트화, 수송과정의 최소화, 물안보 및 비상대응 원수의 저류화, 신재생에너지의 활용 극대화 등을 포함하는「분산형 용수공급시스템」개발

▌그림 1.5 기존 용수공급시스템과 분산형 용수공급시스템의 차별성 ▐

제 2 절 연구개발 정의, 범위 및 특징

1. 연구개발 정의

▌**본 “수직형 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템 구축” 연구단 과제의 최종 목표는 ‘미래사회가 요구하는 용수공급시스템 구축에 있어서 수질의 안전성과 수량의 안정성을 확보할 수 있고 용수생산 및 공급에 소요되는 에너지를 절감할 수 있는 핵심 설계기술 개발 및 실증시설 구축을 통한 검증’** 임

- 상기 최종목표 달성을 위한 세부목표를 다음과 같이 설정하였음
  - ▷ 2 ~ 3 만톤/일 용량의 수직형/분산형 수처리 시설물 설계기술 개발
  - ▷ 수질사고 및 재해 대비 시스템 기술 확보
  - ▷ 용수공급시스템의 소비에너지 효율화율 30%이상 달성을 위한 신재생에너지 활용 기술 개발
  - ▷ 수질 신뢰성 확보를 통한 음용율 제고
  - ▷ 비상용수 및 물안보 확보를 통한 수질사고 Zero

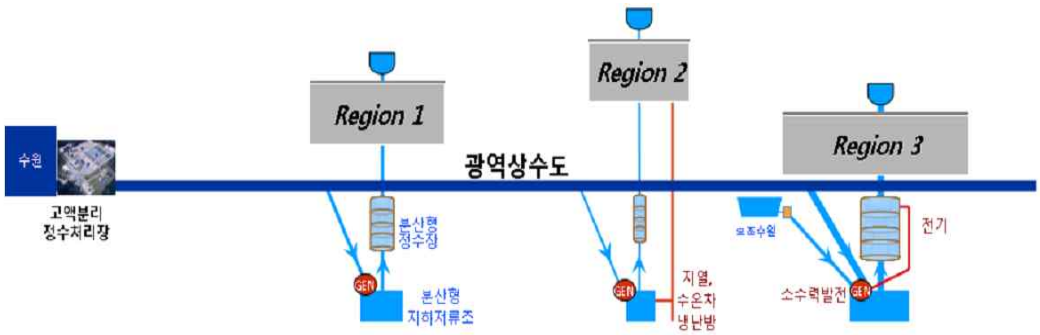
▌**분산형 용수공급시스템**은 수원에서 취수하여 대규모 정수장에서 정수 처리한 용수를 장거리 공급관로를 통해 소비자에게 공급하는 중앙집중식 용수공급시스템과 대조적으로 원수를 소비자 최근거리에서 정수 처리하여 공급하는 정수시설의 시설분산을 근간으로 하는 용수공급 시스템을 의미함

- 분산형 용수공급시스템 설계기술 개발은 도시의 기능 및 미관을 고려하고 용수공급의 안정성 및 안정성 확보를 위한 분산형 용수공급 시스템의 인프라 구축계획 및 설계 기술의 개발을 의미함

▌**수직형 정수처리시스템**은 상기 소비자 인근으로의 정수시설 시설분산을 위해 소요부지 저감형 신개념 정수처리 시설의 설계기술로서 분산형 용수공급시스템 구축을 위한 핵심기술임

- 수량면에서 안정적이고, 수질면에서 안전한 정수처리 설비의 기능과 소비자 근거리에 설치될 정수처리 설비로 정수처리 단위공정 설비들이 횡으로 설치된 기존 시설의 설계기술과는 달리 수직 형태로 배열되어 부지면적을 최소화할 수 있는 컴팩트형 정수처리시스템 설계 기술임
- 수직형 정수처리시스템의 설계기술 개발은 수직형(컴팩트형) 정수처리 시스템의 각 단

위 공정들의 수직 배열 방안을 도출하고, 설계인자를 도출하며 수직형 정수처리공정 설계 패키지를 개발, 1,000 ㎥/일 규모의 컴팩트형(수직형) 정수처리 실증시설 시공을 위한 상세설계 도면 및 시방서 작성을 위한 기술의 개발을 의미함. 또한, 실증시설 운영결과를 토대로 20,000 ㎥/일 규모의 실규모 수직형 정수처리시설 설계가 세부 목표임



▌그림 1.6 분산형 용수공급시스템 개념도 ▐

▌**소비에너지 효율화 기술**은 용수공급 및 생산에 소요되는 에너지를 신재생에너지 생산과 에너지 효율화 설비의 적용을 통한 절감을 통하여 기존 대비 에너지를 절감하기 위한 기술로서 본 연구단에서는 수직형 정수시설 설계기술 개발시 다양한 신재생에너지 생산 설비 및 에너지 효율화 설비의 적용을 통하여 소비에너지 효율화율을 30% 가량 절감하기 위한 기술을 개발하고자 함

2. 연구개발 범위 및 세부 목표

▌기존 용수공급시스템은 정수장에서 생산한 정수를 이송하는데 필요한 송수관로의 장거리화 및 관로의 노후화로 야기되는 2차 오염 및 유지관리 비용이 지속적으로 증가하고 있으며, 수원오염 및 재난시 용수공급의 중단으로 단수가 되는 문제점이 발생할 수 있음.

▌이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 본 연구단의 분산형 용수공급시스템을 제시하였으며, 분산형 용수공급시스템은 시설 분산화 된 소규모 정수장의 네트워크화로 단수시 유연한 대처가 가능하며, 보조수원 연계로 안정성을 확보할 수 있으며 친환경 그린에너지를 사용함으로서 에너지 절감 효과가 있음. 또한 부지면적을 최소화하여 도심지에 설치가 가능하여 소비자와 근거리에서 정수하여 공급함으로서 직접 음용율 제고

에도 효과적일 것으로 판단됨.

▌미래사회 분산형 용수공급시스템 구축을 위해 필요한 핵심기술을 개발하기 위한 본 연구단 각 세부과제별 구성과 각 과제별 개요는 다음과 같음

세부과제	추진방향	세부연구내용
1세부과제 : 분산형 정수처리 설계기술 개발 및 Prototype 제작	분산형 용수공급 시스템의 기본 설계 및 수직형 정수처리시스템 상세 설계 기술 개발	1-1 : 분산형 용수공급시스템 설계 기술 개발 및 법/제도 연계방안 수립
		1-2 : 컴팩트(수직)형 정수처리 시스템 설계 기술 개발 및 Prototype 제작
2세부과제 : 분산형 용수공급 시스템 실증시설 구축	실증시설 구축을 통한 분산형 용수공급 시스템 설계 기술 검증 및 시공 기술 개발	2-1 : 컴팩트(수직)형 정수처리시설 시공기술 개발
		2-2 : 기존 광역 용수공급 및 급/배수 시스템 연계 기술 개발
3 세부과제 : 분산형 용수공급 시스템의 운영·유지관리 기술 개발	에너지 절감 및 물안보 확보를 위한 용수공급 시스템의 운영관리 기술 개발	3-1 : 용수공급 및 신재생에너지 통합 운영관리 기술 개발
		3-2 : 용수공급 및 에너지 통합운영관리 시스템 구축
		3-3 : 용수공급 위치에너지 활용 소수력발전 기술
		3-4 : 수온차 시스템 개발 및 구축

1) 분산형 정수처리시설 설계 기술 개발 및 Prototype 제작 (1세부 과제)

- 도시의 기능 및 미관을 고려하고 용수공급의 안전성 및 안정성 확보를 위한 분산형 용수공급 시스템의 설계 기술 개발 및 컴팩트형(수직형 포함) 단위 공정 조합의 정수처리 시설 설계 및 검증 기술 개발을 의미함
- 본 기술의 비전은 미래도시의 안전하고 안정적이고 경제적인 분산형 용수공급 인프라를 구축하는 것임
- 이를 위해 새로운 설계기술의 개발과 비상용수 용량기준을 제시함으로써 미래사회

안전하고 안정적인 용수공급 체계 구축을 위한 핵심기술을 개발하고자 함

- 본 기술은 비상용수 및 다중방어 시스템의 확보를 통한 수질사고 발생 가능성을 없애고, 수질신뢰성 확보를 통한 음용율을 제고하고자 함
- 분산형 용수공급시스템 설계 기술은 소비자 인근 시설 분산을 위한 새로운 개념의 정수처리 공정 설계기술을 개발하였으며, 비상용수 용량기준 수립과 모델도시 대상으로 분산형 용수공급시스템 기본계획을 수립하였으며, 이를 위한 법/제도 검토 및 보완과 향후 활용화 및 사업화 방안에 대한 검토 등을 수행하였으며, 본 1세부 과제의 세부목표는 다음과 같음

▌1세부 : 분산형 정수처리시설 설계기술 개발 및 Prototype 제작

- 분산형 용수공급시스템 설계 기술 개발
  - 분산형 수처리 시스템 기본 설계 및 도면 제시(기존 소요부지 70%)
- 수직형 정수처리 시스템 설계 기술 개발 및 Prototype 제작
  - 수직형 정수처리시설 설계 기술 및 상세 설계 도면
  - 수직형 정수처리시설 Prototype 제작
- 용수공급 시스템 법/제도적 연계방안 및 물안보/비상용수 기준 수립
  - 기존 법/제도 보완안 수립
  - 분산형 용수공급시스템 물산업 진출 전략 및 사업화 방안
  - 물안보/비상용수 기준 및 매뉴얼 작성

2) 분산형 용수공급시스템 실증시설 구축 (2세부 협동)

- 분산형 용수공급시스템의 실용화 및 사업화를 위해서 고도처리를 근간으로 하는 실규모 컴팩트형(수직형 포함)정수처리시설의 시공기술 개발 및 중단 없는 최종 생산수의 공급을 위한 기존 광역용수공급 시스템 및 급/배수 시스템의 최적 연계기술 개발을 의미함
- 본 기술의 비전은 분산형 용수공급시스템의 시공기술 확보를 통한 중단 없이 용수를 소비자에게 공급하는 것임
- 본 기술은 1,000㎥/일 규모의 컴팩트형(수직형) 정수처리 시설 시공기술 확보, 중앙집중식 공정 수평 배열 정수시설 대비 공사비 저감, 또한 중앙 집중식 공정 수평 배열 정수시설 대비 소요부지 30% 절감과 공사비 140% 이내 달성이 주요 목표로서 2

세부 협동과제의 세부목표는 다음과 같음

▌2세부(협동) : 분산형 용수공급시스템 실증시설 구축

- 수직형 정수처리시설 시공기술 개발
  - 수직형 정수처리시설 시공 시방서 (기존 대비 건설비 140%이하)
  - 1,000톤/일 규모의 수직형 정수처리시설 1기
- 분산형 정수처리시설에서 수직형(분리막) 수처리 시스템 개발의 정의
  - 수직형 정수처리 시설의 분리막 적용을 위한 공정 최적화
  - O&M의 일환으로 다양한 Prototype의 공정조합 및 운전 매뉴얼 정립

3) 기존 광역 용수공급 및 급/배수 시스템 연계기술 개발 (2세부 공동)

- 수직형 정수처리 시설이 도입된 분산형 용수공급 시스템이 도입될 경우, 기존의 생산자 중심의 중앙집중식 처리 시스템과 장대 수송시스템으로 소비자의 수요를 충족시키기 힘든 문제에 대한 솔루션이 필요함.
- 또한 기존의 급/배수 관망 및 배수지 등의 시스템과의 효율적인 연계 가능성에 대해 판단이 필요하고, 기존의 광역 용수공급시스템과 비교하여 효율성에 대한 평가가 반드시 필요하며, 추가적으로 기존의 도 송수 관망 및 용수공급 시스템과의 활용성에 대한 검토가 반드시 수반되어야 할 것으로 판단됨
- 수직형 정수처리 시설이 도입된 분산형 용수공급 시스템이 신설될 경우, 효율적인 관망의 설계방안에 대한 가이드 라인이 필요할 것으로 보여지고, water age 단축 방안 및 관망 내 수돗물 관리방안에 대한 검토도 소비자의 수요를 충족시키기 위한 방안이 마련되어져야 할 것으로 사료됨
- 2세부 공동기관에서 수행하는 기존 광역 용수공급시스템 및 급/배수시스템의 최적 연계기술 개발의 세부목표는 다음과 같음

▌2세부(공동) : 기존 광역 용수공급시스템 및 급/배수 연계시스템 개발

- 기존 광역 용수공급 시스템 및 급/배수 연계시스템 개발
  - 수직형 정수처리 시설과 연계된 송/배/급수 시스템 설계 및 시공시방서
  - 펌프 조합 및 직결급수 시스템 설계 및 시공시방서
  - 기존 용수공급체계와의 통합관리 프로그램
  - 용수공급 구역의 통합화 시나리오

▪ 기존 광역상수도 연계를 위한 기반기술 확보
- 수직형 정수처리 시설이 도입된 분산형 용수공급 시스템에서의 기존 급/배수 시설과의 연계를 위한 Guide-line 제시
- 펌프조합 및 직결급수시스템 설계 및 시공시방서 작성을 위한 수송에너지 분석

4) 분산형 용수공급시스템의 운영·유지관리 기술개발 (3세부)

▪ 본 기술은 분산형 용수공급시스템의 안전하고 안정적인 운영 및 유지관리와 소비에너지 효율화 율을 향상시킬 수 있는 통합시스템의 구축 기술과 수질사고 및 재해발생으로부터 대응이 가능한 기술 개발로 정의됨
▪ 본 기술의 비전은 분산형 용수공급시스템의 안정적이고 안전한 용수/에너지 통합 운영관리 기술확보를 통한 소비에너지 효율화율 및 물안보 체계를 확립하는 것임
▪ 본 기술은 비상용수 및 보조 수원확보를 통한 예비율 확보, 정수처리시설 내 소비에너지 효율화율 제고, 수질사고 및 재해 대비, 용수와 에너지를 통합 관리할 수 있는 시스템 구축하는데 목표가 있음
▪ 3세부 주관기관에서 수행하는 분산형 용수공급시스템의 운영유지관리 기술개발의 세부목표는 다음과 같음

▌3세부 : 분산형 용수공급시스템의 운영·유지관리 기술개발

▪ 용수공급 및 신재생에너지 통합 운영관리 기술 개발
- 신재생에너지 활용 및 에너지 효율화 기술 개발
- 에너지 종합관리 알고리즘 개발
▪ 용수공급 및 에너지 통합운영관리 시스템 구축
- 운영 및 유지관리 통합 시스템(H/W, S/W)
- LCC 및 용수공급 자산관리 고려한 관리 프로그램/매뉴얼
- 수질 모니터링 매뉴얼/프로그램
- 에너지 설비 및 효율화 기술 설계서 및 시방서
▪ 용수공급 위치에너지 활용 소수력발전 기술
- 소수력 발전 및 활용 시설 설계 및 시방서
▪ 수온차 시스템 개발 및 구축
- 수온차 설비 설계 및 활용 시방서

▌수직형 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템 구축 연구단 내 각 세부과제별 주요 연구내용 및 수행기관은 다음과 같음

■ 1세부 과제 (분산형 정수처리시설 설계기술 개발 및 Prototype 제작)

연차	연구목표	주요연구내용	연구수행기관
1차 년도	■ 분산형 용수공급시스템의 기본설계	■ 국내외 사례조사 및 실증시설 대상지역 선정	포스코건설 K-water, 단국대
	■ 수직형 정수처리시설 기본계획 수립	■ 공정선정 및 공정 배열 계획 수립	포스코건설 K-water,경남대
	■ 물안보 및 비상용수 기준 수립	■ 개념정립 및 비상용수 확보 기준 마련	K-water
2차 년도	■ 분산형 용수공급시스템 기본설계	■ 실증시설 분산형 용수공급시스템 기본설계	K-water 수도경영연구소
	■ 수직형 정수처리시설 기본/상세설계	■ 실증시설 수직형 정수처리시설 기본/상세설계 ■ 시나리오별 수직형 정수처리시설 공정 선정	포스코건설 K-water 단국대 경남대
	■ 법/제도 보완안 수립	■ 물안보/비상용수 기준 수립 및 법제화 검토	K-water
3차 년도	■ 사업화 대상지역 분산형 용수공급시스템 기본설계	■ 사업화 대상지역 선정 ■ 시나리오별 용수공급시스템 규모/공정 및 유동량 산정 ■ 분산형 정수처리시설 BAT tool 제작 ■ 분산형 용수공급시스템 경제성 평가	포스코건설 K-water 단국대 수도경영연구소
	■ 수직형 정수처리시설 설계 최적화	■ 수직형 정수처리 실증시설 전산유체해석 및 유량 분배 해석 ■ 수직형 정수처리시설 설계안 최적화 ■ 수직형 정수처리시설 설계 상사성 반영 Prototype 제작	포스코건설 K-water 경남대
	■ 분산형 용수공급시스템 법/제도 검토	■ 분산형 용수공급시스템 도입의 법적 가능성 검토 ■ 수도사업의 에너지 자립화를 위한 법제도 개선방향 도출	K-water
4차 년도	■ 사업화 대상(모델)지역 분산형 용수공급시스템 기본계획	■ 대상지역 기본계획 수립 ■ 대상지역 유동량 산정	K-water
	■ 수직형 정수처리시설 설계 보완 및 사업화 대상지 규모 시설 설계	■ 수직형 정수처리시설 실증 운영결과 등을 활용한 공정별 설계보완 ■ 사업화 대상지역 적용 5,000~20,000㎥/일 규모 수직형 정수처리시설 설계 ■ 공정별 유동모의 및 개선방안 도출	포스코건설 K-water 경남대
	■ 사업화 및 실용화 전략 수립	■ 사업화 Road-map 및 사업모델 도출 ■ 물산업 진출에 따른 파급효과 산정	포스코건설 수도경영연구소

■ 2세부 과제 (분산형 용수공급시스템 실증시설 구축)

연 차	연구목표	주요 연구내용	연구수행 기관
1차 년도	■ 수직형 정수처리시설 시공 기술 개발	■ 시공 계획 수립	코오롱글로벌㈜
	■ 기존 광역용수공급시스템 연계기술개발	■ 도/송/급/배수 시스템 진단	대림산업(주)
2차 년도	■ 수직형 정수처리시설 시공기술 개발	■ 감성설계가 고려된 미적시공기술 개발 ■ 공정별 시공기술 개발 및 재료선정	코오롱글로벌㈜
	■ 분리막 정수처리 공정평가	■ Pilot 테스트를 통한 분리막 공정평가 ■ 수직형 정수처리 시설을 위한 분리막 평가/선정	성균관대학교
	■ 분산형 용수공급 시스템 연계사례 조사 ■ 기존용수공급 시스템 활용방안 수립	■ 해외 분산형 용수공급 시스템 연계사례 조사 ■ 기존 용수공급시스템 진단사례 조사 및 활용방안 수립	대림산업(주)
	■ 수송에너지 및 배수지 최적설계안 도출	■ 수송에너지 분석 및 직결급수 사례조사/분석	유앤유소프트
3차 년도	■ 실증시설 구축	■ 시공 전 탱크리스 공정 검토 및 평가 ■ 미적시공을 통한 실증시설 구축	코오롱글로벌㈜
	■ 배출수 처리(농축)공정 선정	■ 단위공정별 배출수 성상 파악 ■ 배출수 처리(농축)공정 선정	코오롱글로벌㈜ / 성균관대
	■ 펌프조합 및 직결급수시스템 기술 개발	■ 최적조합 시뮬레이션 및 모델링	대림산업(주)
	■ 급/배수시스템 연계를 위한 Guideline 설정	■ 급/배수시스템 연계를 위한 Guideline 설정	유앤유소프트
4차 년도	■ 시공기준 수립 및 시방서 작성	■ 실증시설 준공 ■ 성능 평가	코오롱글로벌㈜
	■ 배출수 처리(농축)공정 선정 및 평가	■ 배출수 처리(농축)공정 평가	코오롱글로벌㈜ / 성균관대
	■ 단일 분리막 정수처리의 회수율 최대화	■ 운전성능을 평가할 수 있는 지수도출 및 회수율간의 관계를 통한 평가 ■ 선행 도출된 평가방법을 통하여 여과유량, 여과시간, 역세유량, 역세시간 최적화	성균관대학교
	■ 공급 구역 통합화 시나리오 작성	■ 공급구역 통합화 시나리오 및 분산형 용수공급시스템 실증지역 기본설계 ■ 실증지역을 대상으로 한 분산형 정수처리시설 최적 설치 위치 제안	대림산업(주)

■ 3세부 (분산형 용수공급시스템 운영유지관리 기술 개발)

연차	연구목표	주요연구내용	연구수행기관
1차 년도	■ 신재생에너지 활용 및 에너지 효율화 기술 개발	■ 대상지역 내 조사, 신재생에너지별 목표 및 에너지효율화 기술 전략 수립	K-water
	■ 용수 및 에너지 통합운영관리시스템 구축	■ 자료 수집 및 운영관리 전략 수립	K-water 코오롱베니트
	■ Pico급 소수력 발전설비 설계	■ 자료 수집 및 분석 및 설비 형식선정	대양수력
	■ 수온차 시스템 설계	■ 자료 수집 및 분석, 수온차시스템 활용 및 적용방안 수립	테크윈
2차 년도	■ 신재생에너지 활용 및 에너지 효율화 기술 개발	■ 신재생에너지원별 설계기술 확보 ■ 에너지효율화 설계기술 개발 ■ DC시스템 제작 및 실증 ■ USN 설계기술 개발 및 하드웨어 제작	K-water
	■ 용수 및 에너지 통합운영관리시스템 구축	■ 비상 알고리즘 구축 ■ LCC 및 자산관리 고려 알고리즘 구축 ■ 용수 및 에너지 통합관리 시스템 구축 방안 ■ LCC 및 용수공급 자산관리 설계 ■ 에너지 관리시스템 설계	K-water 코오롱베니트
	■ Pico급 소수력 발전설비 설계	■ 수차형식 선정 및 수차의 상세 설계	대양수력
	■ 수온차 시스템 설계	■ 수직형 정수장 수온차 히트펌프 시스템 설계	테크윈
3차 년도	■ 신재생에너지 활용 및 에너지 효율화 기술 개발	■ 신재생에너지원 생산 및 활용기술 확립 ■ USN, DC시스템 설치 및 분석 ■ 센서노드(계측기기 및 조명) 최적 알고리즘 개발 ■ 에너지관리시스템 알고리즘 개발	K-water
	■ 용수 및 에너지 통합운영관리시스템 구축	■ 수질 모니터링 시스템 통합 ■ 용수 및 에너지 통합관리 알고리즘 수립 ■ SCADA 시스템 구축 ■ 에너지 관리시스템 개발	K-water 코오롱베니트
	■ Pico급 소수력 발전설비 제작	■ Pico급 소수력 발전설비 제작 및 성능평가	대양수력
	■ 수온차 시스템 구축	■ 수온차 시스템 구축 및 연계	테크윈
4차 년도	■ 신재생에너지 활용 및 에너지 효율화 기술 개발	■ 에너지 설비 효율 평가 및 효율성 검증 재생에너지 설계기술 확립	K-water
	■ 용수 및 에너지 통합운영관리시스템 검증	■ 용수 및 에너지 통합운영관리시스템 검증	K-water 코오롱베니트
	■ Pico급 소수력 발전설비 성능평가	■ Pico급 소수력 발전설비 성능평가	대양수력
	■ 수온차 시스템 성능 평가	■ 수온차 시스템 성능평가	테크윈

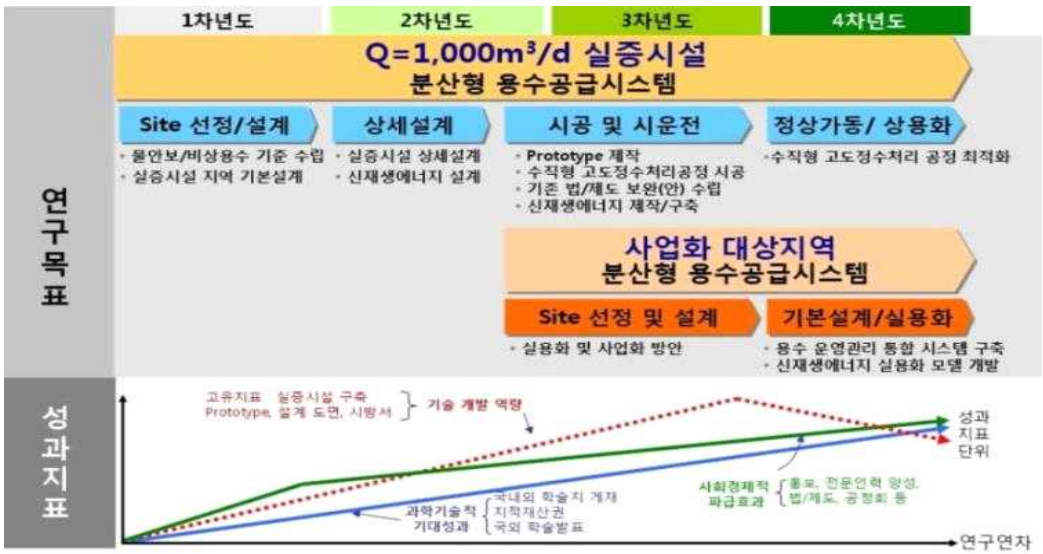
3. 연구개발 특징

▌ 수직형 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템 구축 연구단에서 제시한 최종 목표는 궁극적으로 분산형 용수공급시스템 구축을 위한 컴팩트(수직)형 정수처리시설의 설계 기술 및 시공기술, 또한 분산형 용수공급시스템 구축을 위한 법/제도 보완안 제시, 기존 용수공급 및 급/배수 시스템과의 연계 기술을 매뉴얼, 시방서, 설계 도면, Prototype 및 실증시설의 형태로 완성하는 기초 및 응용기술의 성격을 가지고 있음

▌ 또한, 중앙집중식 용수공급시스템을 분산형으로 전환시키는 경우 초기 투자비의 상승분에 대해 효율적 운영관리 및 경제적 경쟁력 확보를 위해 화석연료 대체 신재생에너지의 활용과 저에너지 설비의 활용을 본 연구과제에서 포함하고 있음.

▌ 이러한 신재생에너지 활용측면은 하드웨어 및 운전 소프트웨어를 개발하여 궁극적으로 용수공급과 에너지의 효율측면을 통합하여 운전 관리하는 시스템 구축이라는 측면에서 응용기술의 성격을 가지고 있음

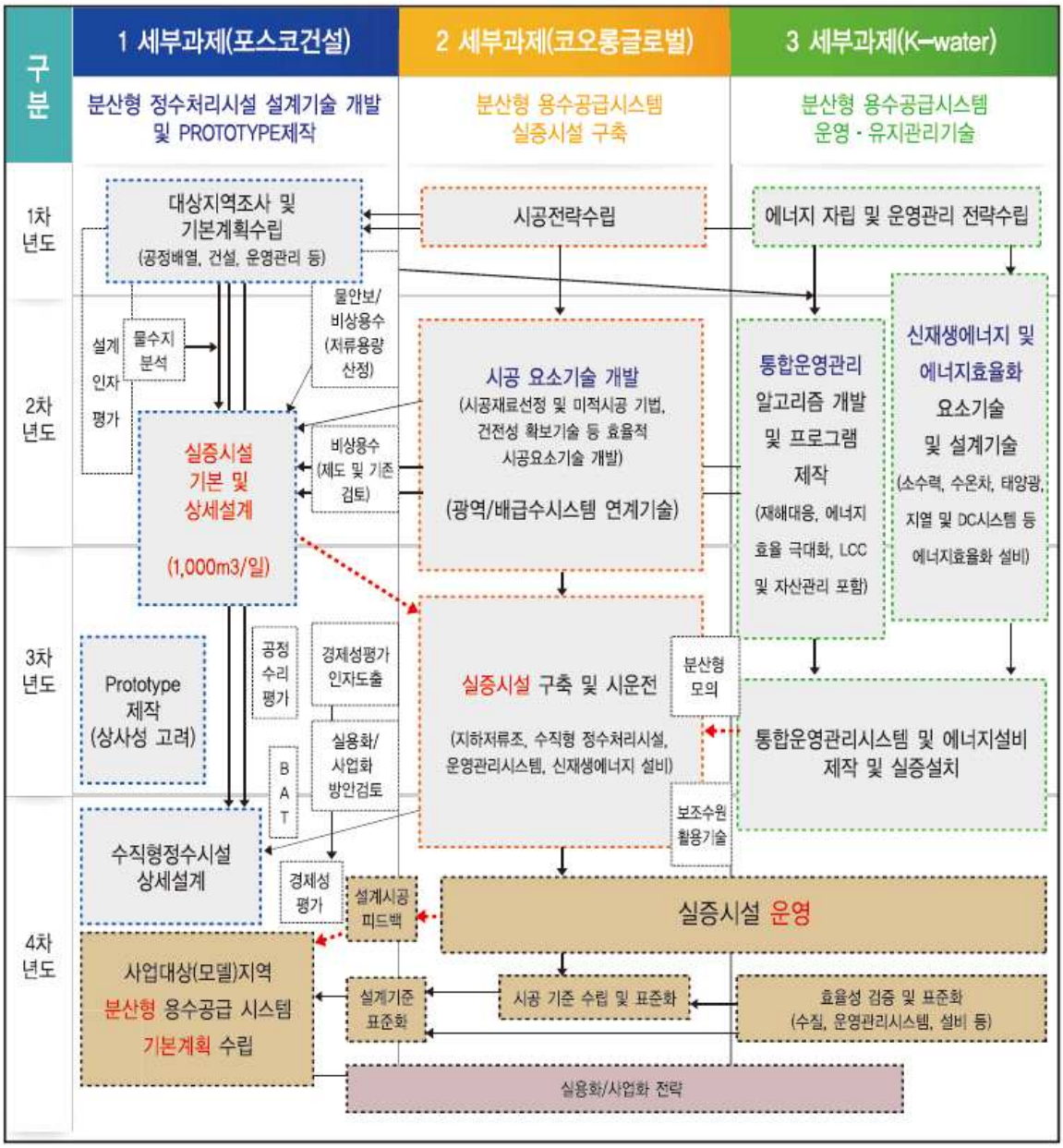
▌ 연구단의 연구과제 추진 시, 아래 그림에서 나타낸 바와 같이 1, 2 및 3세부의 과제가 지속적으로 연계성을 지니고 있으며, 상호 협업하는 구조적 성격을 지니고 있음.



▌그림 1.7 연구개발 목표와 성과목표/지표의 연계성 ▐

▌ 본 연구단 과제에서 연구목표의 설정은 각 연차별로 1차 년도에는 대상지역 선정 및

기본계획 수립, 2차 년도에는 상세 설계, 3차 년도에는 Prototype 제작 및 사업화 대상 지역(국내 및 해외에 분산형 용수공급시스템의 구축 가능성이 내재된 지역 중 선정)의 선정 마지막으로 4차 년도에는 사업화 대상지역 분산형 용수공급시스템 구축을 위한 기본 계획을 수립하는 절차로 각 년차별 연구가 추진됨



▌그림 1.8 분산형 용수공급시스템 연구단 과제별 연계도 ▐

▌ 세부과제 구성은 (1세부) 설계기술, (2세부) 시공기술, (3세부) 운영유지관리기술로 크

게 구분되어 각 기관별 개별 요소기술의 개발내용은 상호 연관성이 밀접하게 연결되어 있음에 따라 연구전반에 걸쳐 협업설계(Con-current design and construction procedure) 방식을 적용하여 추진하였음

▌ 따라서, 개별기술 개발에 다양한 관점에서의 협업적 검토를 위하여 연구수행시 연구추진을 위한 시간적 애로점과 기관별 협의를 통한 추진상의 어려움은 있지만, 실질적으로 도출된 개별 성과는 높은 적용성을 가진 기술이 개발될 수 있도록 추진하였음

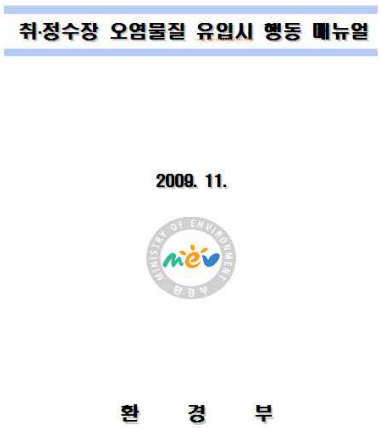
▌ 이에 연구목표와 관련된 성과지표 및 성과달성 목표의 경우, 과학기술적 기대성과에서는 국내외 학술지 게재 및 국내외 학술발표의 건수 등의 경우 연구가 추진되는 과정에서 연차별로 적절하게 설정하여 실용화 측면에서의 노력에 좀 더 비중을 두고 연구를 수행하였음. 또한, 개발된 원천 기술 성격의 지식재산권은 적극적으로 확보토록 노력하였음

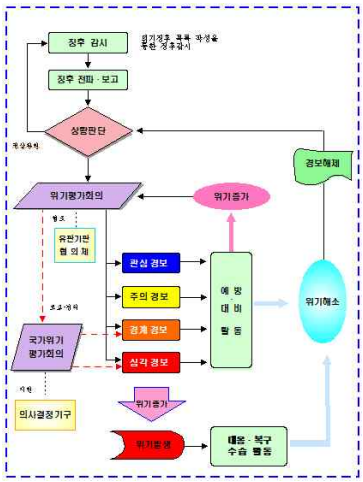
제 3 절 국내외 기술개발 현황

1. 국내 기술개발 현황

▌본 연구단에서 개발하는 소비자 인근 설치를 위한 컴팩트 형(수직형) 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템은 국내에 구축된 적이 없기 때문에 기술 축적은 거의 되어 있지 않음.

- 이제까지의 수직형 정수처리시설은 소규모 정수장(5,000m^3/일 이하)에 설치되어 있는 고속응집침전여과기 및 압력식 여과기, 압력식 활성탄 흡착공정이 대부분이며 이와 같은 시설로는 본 연구에서 제안하는 도시 내 분산형 용수공급 시스템의 수처리 시설로 고려하기에는 효용성이 적음
- 광역 기반의 수원, 도수관로, 정수장, 송수관로, 배수지 및 소비자에 이르는 통합 용수공급시스템의 설계, 건설 및 운전의 이력은 K-water에서 보유하고 있으며, 특히 K-water는 수도시설의 성능 제한인자를 도출하기 위한 기존의 정수장 진단 프로그램 및 고도처리, 막여과 시설 등을 포함한 전체 정수처리공정을 진단할 수 있는 컴퓨터 베이스의 기술진단 전문 Tool 개발하여 활용중에 있음
- 수원 수질오염 사고의 지속적 발생으로 재정적 손실, 소비자 불편 등을 초래함에 따라 환경부에서는 '취·정수장 오염물질유입시 행동매뉴얼' 을 제작하였으며 K-water에서도 '수질사고 대응 업무 프로세스' 를 제작하여 시행하고 있으나 외국과 비교하여 미비한 상태





▌그림 1.9 환경부 오염물질 유입시 행동 매뉴얼 및 위기경보 발령체계 ▐

▪ 코오롱은 본 수직형 정수처리시설의 근간이 되는 분리막 관련 기술에 있어 국내 최고수준의 기술을 확보하고 있으며 최근 영등포 정수장에 적용된 분리막 고도정수처리시설 (2.5만톤/일)에 침지형 분리막을 공급하였으며, 과거 분리막을 이용한 하수고도처리 사업을 시작으로 하수재이용, 산업단지폐수처리 및 재이용 사업 등에 활발히 진출하고 있음

▪ K-water는 수자원을 활용한 소수력, 지열, 태양광 및 조력 등과 관련된 다수의 에너지 기술을 보유하고 있고, 소수력 성능기반 구축 연구 개발사업, 대용량 여과수를 활용한 수온차 냉난방 연구 개발사업 등의 정부사업을 수행 중에 있으며 자체 수도사업장 운휴부지를 활용하여 태양광, 소수력 및 수온차 냉난방 시스템을 설치하여 운영중에 있음

▌그간 **본 연구단과 관련이 있는 국가 연구개발사업 유사연구 실적에 대한 조사 및 검토 결과 중복성이 있는 과제는 없음**

▪ 미래도시 분산형 용수공급시스템과 관련하여 정부 각 부처에서 인프라, 수질, 수량, 신재생에너지 분야별로 수행하였거나 수행중인 사업 및 과제의 현황을 조사함.

▪ 국토교통부는 첨단도시개발사업, 건설교통RnD정책인프라사업, 건설기술혁신사업에서 용수공급시스템의 인프라 부문이 주요 연구 분야임

▪ 환경부는 차세대핵심환경기술개발사업을 중심으로 수질모니터링 및 고도정수처리시스템, 위해성평가 등 수질분야에 관한 연구가 대부분을 차지함

▪ 지식경제부는 대체에너지기술개발사업, 신재생에너지기술개발사업, 산학연공동기술개발사업을 통해 태양광, 지열, 히트펌프 등 신재생에너지 단위기술 및 융·복합 기술 개발에 주력함

▪ 미래창조학기술부는 목적기초 연구사업 및 기초과학 학술연구 조성사업 등을 통해 용수공급시스템의 인프라, 수질, 수량, 신재생에너지와 관련된 연구가 있으나 국토교통부, 환경부, 지식경제부에 비해 미래도시 분산형 용수공급시스템과 관련된 연구가 적음

▌**본 연구단 개발 내용과 관련하여 개별 세부기술별 국내 기업의 보유기술 관련 현황을 보면 설계, 시공, 운영관리 등 다양한 분야에서 세계 수준의 기업을 추격하고 있는 추격형 기술을 확보하고 있음**

▌표 1.4 연구단 개발 유사기술 현황 ▐

세부기술	업체명	보유 기술 또는 특허	최고기술 보유기관	비고
용수공급 시스템 설계 및 건설 기술	코오롱 건설	상하수도 시설, 해외 물산업 진출, 환경관리시설공사 인수 후 정수처리 및 폐수처리 시장 진출	Veolia, Suez	국내외 수처리 및 상하수도관련 수행경험 및 기술 보유, 멤브레인 제조 기술 보유
	삼성 엔지니어링	용수공급시스템 설계 및 건설 노하우 축적 플랜트 설계 및 노하우 축적	Veolia, Suez	
	태영	수처리 및 폐수처리 운영관리	Veolia, Suez	
물안보 및 비상용수 확보 기술	K-water	수질사고 관리대응 업무 프로세스 구축 (K-water SAFE)	EPA, AWWA	ASCE와 AWWA는 이미 2006년에 "Guideline for the Physical Security of Water Utility" 수립
신재생 에너지 활용	K-water	소수력 설비 성능평가 소수력 발전설비 운영 및 유지관리 수온차에너지 설계 및 유지관리	동경발전, 일본공영 등	
	대양전기	소수력 발전설비 설계 및 제작 발전기 설계 및 제작	Toshiba, Fujj, Hitachi 등	
	테크윈	수온차에너지 활용 설비 설계, 제작 기술	Fujj, Hitachi	
용수공급 시스템 운전 및 유지관리 시스템 구축	K-water	통합 용수공급시스템 설계, 시공감리 및 운전 노하우 축적	Veolia/Suez 등	
	팬지아 21	공정진단시스템 막분리 공정진단시스템 상하수도관망해석 상하수도 시설 진단	Veolia/Suez 등	
	뉴엔텍	상하수도 기술진단 단위 공정 및 시스템 성능 평가	WRc, EPA	
	코오롱 베니트	수처리 통합관리 솔루션 구축 노하우 축적	Siemens/ABB /Honeywel	

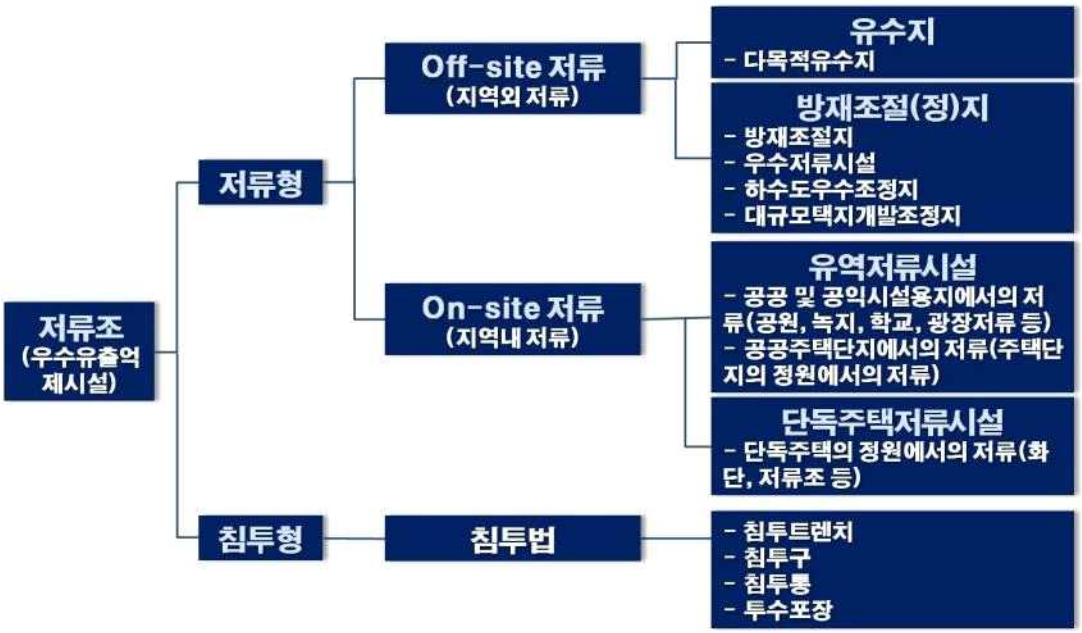
가. 지하저류조 현황

▌국내 저류조는 주로 홍수 시 도시지역 내 우수유출 억제시설로써 이용되고 있음

▪ 저류조는 일반적으로 저류형과 침투형으로 분류되며, 저류형은 off-site 저류인 지역 외 저류와 on-site 저류인 지역 내 저류로 분류됨.

▪ Off-site 저류시설에는 유수지와 방재조절(정)지로 분류되며, on-site 저류시설에는 공공 및 공익시설용지 및 공공주택단지에서의 저류에 해당되는 유역저류시설과 단독주택 정원 등에서의 저류에 해당되는 단독주택저류시설로 분류됨. (K-water연구원, 2010; 현인환 외 2인, 1997)

▪ 침투형에는 침투트렌치, 침투구, 침투통 및 투수포장과 같은 침투법에 의한 저류시설에 해당됨.



▌그림 1.10 저류조 개념 및 분류▐

▌최근 들어 국내에도 지하 저류조를 통한 용수공급(주로 잡용수 확보)을 목적으로 꾸준히 증가되고 있는 실정임.

▪ 국내에서 도시침수 예방을 위해 지하 저류조를 설치한 곳 중 대표적인 지역은 서울시임. 서울시는 청계천 상류 등에 총 6개소 68,000여 톤을 저류할 수 있는 시설을 설치한 바 있으며, 2006년 7월 200mm/일 이상의 강우가 2회에 걸쳐 발생했을 때 하류지역 침수예방에 큰 효과가 있었던 것으로 평가하고 있음 (구자용, 2008).

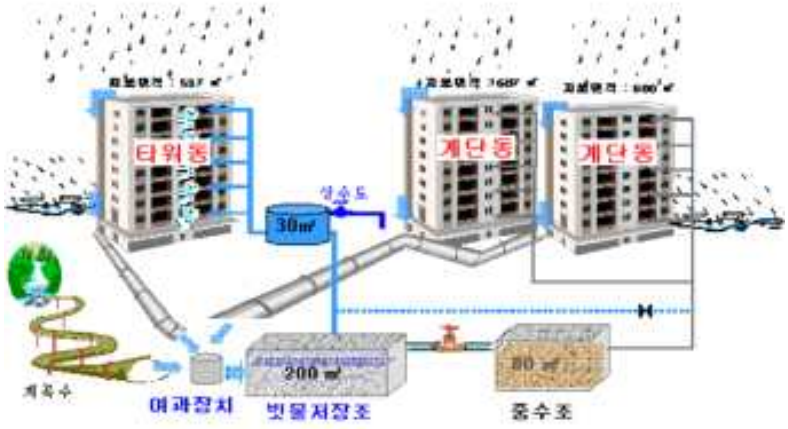
▌국내에 설치되어 운영 중인 대표적인 지하 저류조는 다음과 같음

▪ 대전 월드컵 경기장 지하 저류시설

<table>
<tr><th colspan="4">시설개요</th></tr>
<tr><td>이용용도</td><td>조경용수 (잔디 살수용수)</td><td>건축면적</td><td>34,443.86m^2</td></tr>
<tr><td>연면적</td><td>100,206.35km^2</td><td>집수면적</td><td>보조경기장바닥 7,140m^2</td></tr>
<tr><td>저류용량</td><td>지하 저류조 200m^3</td><td>보급수원</td><td>부족시 지하수로 충당</td></tr>
<tr><td>수질처리</td><td>경기장 자체
지반으로 여과</td><td>초기우수대책</td><td>-</td></tr>
<tr><td>위치</td><td colspan="3">대전광역시 유성구 노은동 270번지 일원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">시스템 구성</td><td>주요공정</td><td colspan="2">집수 → 저류 → 침투 처리 → 급수 → 배수
경기장 바닥면 집수 7,140㎡ / 지하 저류조 200㎥ / 없음 / 경기장 지반 여과 / 조경 용수 (잔디 살수) / 활용후 반석천으로 방류</td></tr>
<tr><td>시설비</td><td colspan="2">- 우수저류조 : 190,000원
- 빗물집수정 및 지하저류조 연결관 : 1,500천원</td></tr>
<tr><td>시스템 운영</td><td colspan="3">- 2002년 우수 2,000m^3 사용 (10회 살수)</td></tr>
</table>

▪ 서울대학교 기숙사 지하 저류시설

<table>
<tr><th colspan="4">시설개요</th></tr>
<tr><td>이용용도</td><td>화장실 세정용수</td><td>건축면적</td><td>4,021m^2</td></tr>
<tr><td>연면적</td><td>18,541km^2</td><td>집수면적</td><td>2,093m^2</td></tr>
<tr><td>저류용량</td><td>지하 저류조 200m^3</td><td>보급수원</td><td>중수, 계곡수</td></tr>
<tr><td>수질처리</td><td>Voumenfilter VF6</td><td>초기우수대책</td><td>유입수의 10% 배제</td></tr>
<tr><td>위치</td><td colspan="3">서울대학교 대학원 기숙사</td></tr>
<tr><td rowspan="2">시스템 구성</td><td>주요공정</td><td colspan="2">집수 → 저류 → 침투 처리 → 급수 → 배수
A,B,C,D동 옥상면 집수 / 저류조 300㎥ / Filtering / 화장실 세정 용수</td></tr>
<tr><td>시스템 운영</td><td colspan="3">- 5개월간(2004년 4~10월) 총 947m^3, 일평균 6.2m^3 급수</td></tr>
</table>



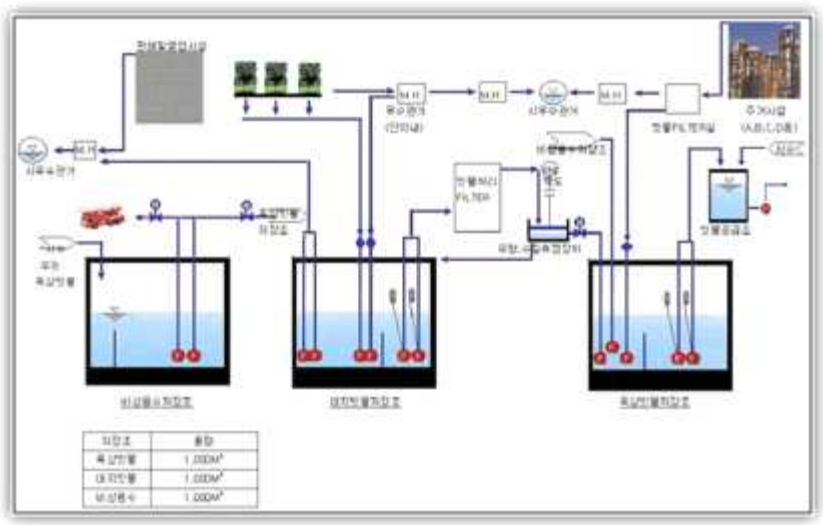
▌그림 1.11 서울대학교 기숙사 저류조 개념도▐

▪ 경기도 주엽초등학교 지하 저류시설

시설개요				
이용용도		조경용수, 화장실, 세정용수, 운동장 살수용수	건축면적	-
연면적		-	집수면적	332m^2
저류용량		60m^3	보급수원	-
수질처리		금속막 처리장치	초기우수대책	1차 침전 후 초기우수처리
위치		경기도 일산구 주엽동 주엽초등학교 내		
시스템 구성	주요공정	집수 → 저류 → 처리 → 급수 → 침투 → 배수		
		광촉매 집수면/ 침전조/ 초기우수 처리장치	60㎥ (강판 저류조)	금속막 처리장치 (처리용량 10㎥/일)
		5층 화장실/ 운동장 살수/생 태공원	침투동 침투 트렌지	하수

▌그림 1.12 주엽초등학교 지하저류조 개념도▐

▪ 서울 광진구 스타시티 주상복합아파트 지하 저류시설

시설개요				
이용용도		도시홍수저감, 화장실 및 청소 용수, 비상용수	건축면적	11,632m^2
연면적		-	집수면적	51,200m^2
저류용량		3,000m^3	보급수원	-
수질처리		금속막 처리장치	초기우수대책	1차 침전 후 초기우수처리
위치		서울 광진구		
시스템 구성	주요 공정			

▌그림 1.13 스타시티 주상복합아파트 건물 전경▐

▪ 청계천 상류지역 지하 저류시설

구 분		시설개요		공사기간
		위치	용량(m^3)	
계			68,384	
1	망우산	중랑구 망우동 망우산 체육공원	30,000	'03.04.21 ~ ' 04.11.30
2	석관동	성북구 석관동 샛별 놀이터	2,700	'03.09.18 ~ ' 04.08.17
3	예장동	중구 예장동 숭의여대 뒤	2,165	'05.04.22 ~ ' 06.04.21
4	삼청동	종로구 삼청동 중학천 상류 삼청공원 내 테니스장	7,300	'06.03.24 ~ ' 06.09.19
5	성북동	성북구 성북동 성북천 상류	12,119	'06.06.21 ~ ' 07.07.11
6	마들근린공원	노원구 상계동 마들근린 공원 내	14,100	'06.02.27 ~ ' 07.08.31

▌그림 1.14 청계천 상류 지하 저류시설 전경▐

나. 물안보 및 비상용수 공급시스템

▌ 국내에서는 낙동강 수질오염 사고로 대표되는 수원 수질오염 사고의 지속적 발생으로 재정적 손실, 소비자 불편 등을 초래

▪ 환경부 조사에 따르면, 2005년 이후, 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 기타수계에서 발생한 수원 수질오염 사고수는 각각 79, 31, 20, 11, 73건

▪ 배출업소에서 방류되는 산업폐수에 의한 수질오염사고는 감소하고 있으나 유류·유독물시설 부적정 관리에 의한 유출사고는 지속적으로 발생하고 있으며 수환경변화

및 농약 등 비점오염원에 의한 오염사고 증가

▌표 1.5 상수원 수질오염 사고 사례 ▐

수질오염사고	사고경위
정수장 THMs 검출	1990년 6월, 전국 262개 정수장 중 17개 정수장에 대한 표본조사 결과 발암물질인 THM이 당시 WHO 허용기준인 0.1 mg/L을 크게 초과 검출
낙동강 페놀 오염사고	1991년 3월 16일, 1991년 4월 22일 2차례에 걸쳐 페놀원액 저장탱크에서 수지생산공장으로 페놀원액을 공급하는 과정에서 지상파이프가 고장, 예비용 지상파이프를 사용하던 중 연결부에 페놀원액이 유출되어 낙동강으로 유입
낙동강 수질 오염사고	1994년 1월 4일부터 1월 8일까지 원수 중 암모니아성 질소 성분의 증가와 정수처리 미흡, 벤젠 등의 유기용제 유출 등 복합요인으로 수돗물에서 악취가 발생
수돗물 바이러스 검출 사고	수돗물 내 바이러스 함유 논란에 따라 환경부에서 1997년 12월 31일부터 2001년 5월 26일 기간 중 대표지점 64개소를 대상으로 「수돗물 바이러스 분포실태조사」 조사결과, 일부상수원에서 바이러스 검출 (정수장 소독미비, 운영부실, 배관노후, 부적절한 취수장 위치가 원인)
영산강 오염사고	2005년 6월 6일 공장 지하탱크 내 기름 (B-Cdb) 주입시 탱크로리 차량 운전자의 부주의로 탱크가 월류하여 기름 약 100L가 대전천으로 유출
섬진강 오염사고	2005년 6월 26일 순천시 황전면 월산리 원전마을 앞 황전천에 농약 또는 독극물(추정) 유입

▌ 수원 수질오염 사고의 지속적 발생으로 재정적 손실, 소비자 불편 등을 초래함에 따라 환경부에서는 '취·정수장 오염물질 유입시 행동 매뉴얼' 을 제작하였으며 K-water에서도 '수질 사고 대응 업무 프로세스' 를 제작하여 시행중

다. 국내 용수공급 시스템

▌ 국내에서는 높은 누수율로 인해 제한급수 고통과 경제적 손실을 겪었으며, 이로 인해 노후수도관에 대한 진단 및 정비의 필요성이 강조됨에 따라 국토해양부, 환경부, 교육과학기술부를 중심으로 관로의 개량/갱생, 진단, 보수/보강 기술 개발에 관한 연구가

지속적으로 수행되고 있음

- 2008년말 기준으로 우리나라 상수도관 총연장은 151,293㎞이며, 이중 도수관(취수시설→정수장)이 3,179㎞(2.1%), 송수관(정수시설→배수구역)은 10,204㎞(6.7%), 배수관(배수지→배수펌프)은 75,100㎞(49.6%), 급수관(배수관→가정 등 일반수용가)은 62,810㎞(41.5%)에 이르는 거대한 시스템이나, 시간 경과에 따른 노후화로 전체적인 성능(Performance)이 약화되므로 이를 적절하게 유지관리하고 성능을 개선하기 위한 기술 필요
- 국내에서도 최근 최악의 가뭄과 높은 누수율로 인해 17만명이 제한급수 고통을 겪었으며, 이로 인해 노후수도관에 대한 진단 및 정비의 필요성이 강조됨에 따라 상수관망의 종합적인 성능평가 및 개선을 위한 합리적이고, 경제적인 투자유도와 계획 수립을 위한 진단, 평가, 개량기술 등의 개발이 매우 시급한 실정임
- 수도법 개정(2006.3)에 따른 상수관망 진단 의무화로 인하여 상수관망에 대한 진단과 평가를 통한 개량계획 수립이 필수적이므로 향후 상수관망에 대한 설계, 진단, 평가, 개량계획 등에 이르는 종합적인 성능의 평가와 개선을 위한 시스템 개발이 시급한 실정임
- 궁극적으로 경제적인 유지관리 및 운영이 가능토록 관망의 수리적·수질적·시설적 성능을 진단·평가하는 기술 개발 필요
- 국내에서는 교육과학기술부, 국토해양부, 환경부를 중심으로 관로의 개량/갱생, 진단, 보수/보강 기술 개발에 관한 연구가 지속적으로 수행되고 있음
- 국내에서는 관 상태평가 모델로 주로 점수평가법이 사용되며, 최근 확률론적 모델 또는 Fuzzy를 도입한 연구수행

  ☞ 점수평가법은 관 제원, 매설, 운영환경 DB로 구축 용이

▌관망 관련 S/W 분야에서는 유수율 제고, 과학적이고 효율적인 관망관리체계를 구축을 목적으로 개발하여 현장적용 평가 수행 중

- G-7을 통해서 개발된 "kor-Assess(ver.1)"이 관망도(map)를 활용한 국내 최초로 S/W로 개발하였으나 GIS 등 정보 미구축으로 활용도, 현장적용을 통한 검증 부족으로 상용화 한계 발생
- 최근 21C 프로티어 사업 등 국가사업을 통해서 유수율 제고를 위한 S/W 일부 개발 및 관망진단 S/W (Dr. Pipe) 개발 중

▌**상수도 통합관리 및 관망관리 선진화 등 수도산업 선진화를 위한 정부정책 추진과 상하수도서비스 국제표준 도입에 따른 물시장 개방 및 경쟁력 강화에 대한 요구에 부응하여 수리, 수질, 시설의 종합적인 진단을 통해 최적의 운영, 유지관리, 시설개량을 실현함으로서 현재와 미래를 동시에 대비할 수 있는 상수관망 운영관리를 위한 토털 솔루션(Total Solution) 개발의 중요성 높아짐**

- K-water에서는 관망정비 계획부터 운영관리 단계까지 진단, 블록구축, 관망정비, 누수관리 등 관망 최적관리를 위한 핵심기술의 개발과 운영관리체계의 구축을 위해 통합 상수관망 운영관리시스템인 ‘water-NET’ 개발계획을 수립하여 개발 중

▌**수도시설의 성능제한인자를 도출하기 위한 기존의 정수장 진단 프로그램 및 고도처리, 막여과시설 등을 포함한 전체 정수처리공정을 진단할 수 있는 컴퓨터 베이스의 기술진단 전문 Tool 개발**

- K-water에서는 정수처리공정 미국 EPA에서 개발된 CCP (Composite Correction Program, EPA)에 단위공정 최적화 개념보안, 규모별·형식별 진단 양식 구성, 자가진단 및 정밀진단의 2계열로 구성, 고도처리공정을 고려한 정수시설 진단 프로그램인 Dr. Water 개발

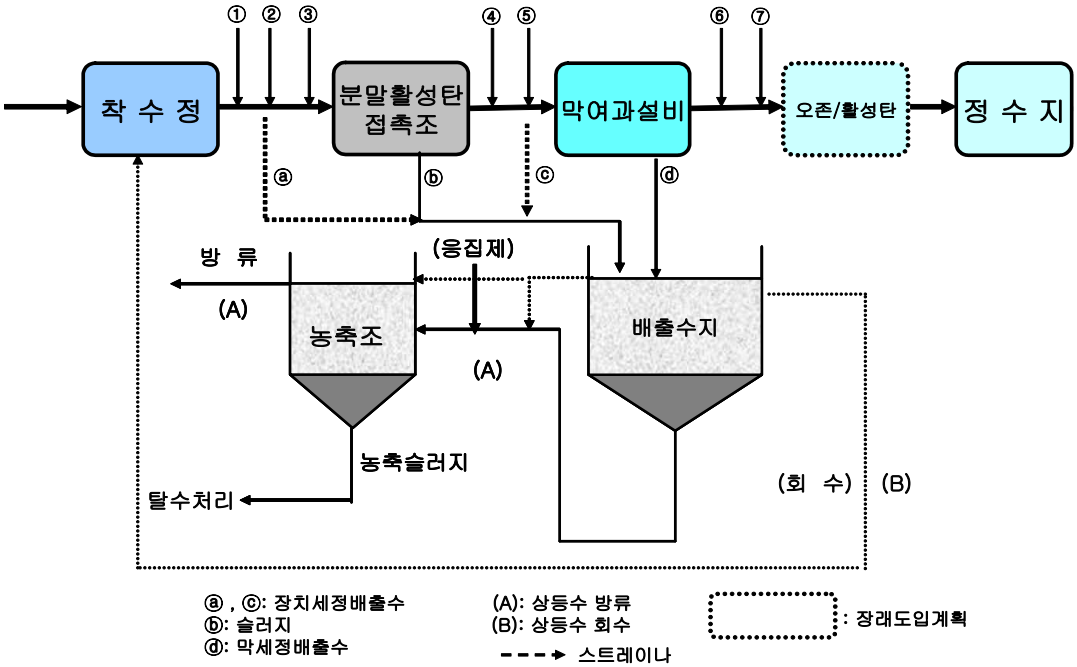
라. 국내 막여과 정수처리 시설 및 기술현황

(1) 공주정수장

▌**충남중부 공주정수장은 시설용량 30,000 ㎥/일의 국내 최초 음용수용 막여과 정수장으로 우리나라의 막여과 도입 가속화 및 수자원공사 설계, 연구진의 자체 설계에 따른 국내 막여과 공정 설계 기술력 향상의 계기가 됨**

- 원수 수질특성을 고려하고 목표수질을 달성하기 위한 공주정수장의 정수처리시스템은 탁질 제거를 위한 막여과 공정(정밀여과 또는 한외여과)과 간헐적으로 발생 가능한 맛·냄새물질을 처리하기 위한 분말활성탄공정으로 선정함
- 막여과 시설을 기본으로 하여 전단에 분말활성탄 접촉조, 후단에는 적정 CT값 만족을 위한 정수지를 도입함
- 처리목표 수질은 원수의 수질특성(호소수)과 현재의 우리나라 수질기준, 한국수자원공사 자체기준, 외국의 강화된 기준을 고려하여 우리나라의 먹는물 수질기준 55개 항목을 기본으로 하고, 탁도는 “한국수자원공사의 정수장 운영기준”인 0.1 NTU이하(95%이하, 최고 0.3 NTU, 평균 0.05 NTU이하), THM 0.08㎎/L이하, 망간 0.05 ㎎/L

이하, pH 7~8.5, 냄새 3 TON이하, Geosmin · 2-MIB 15ng/L이하, 잔류염소 1 ㎎/L이하 등 미국, 일본, 한국수자원공사 등의 강화된 기준을 적용함



▌그림 1.15 공주정수장 공정도▐

▌그림 1.16 공주정수장 내부 전경▐

▪ 공주정수장 주요시설물의 규격 및 제원은 다음과 같음

▌표 1.6 공주정수장 주요 시설물 규격 및 제원 ▐

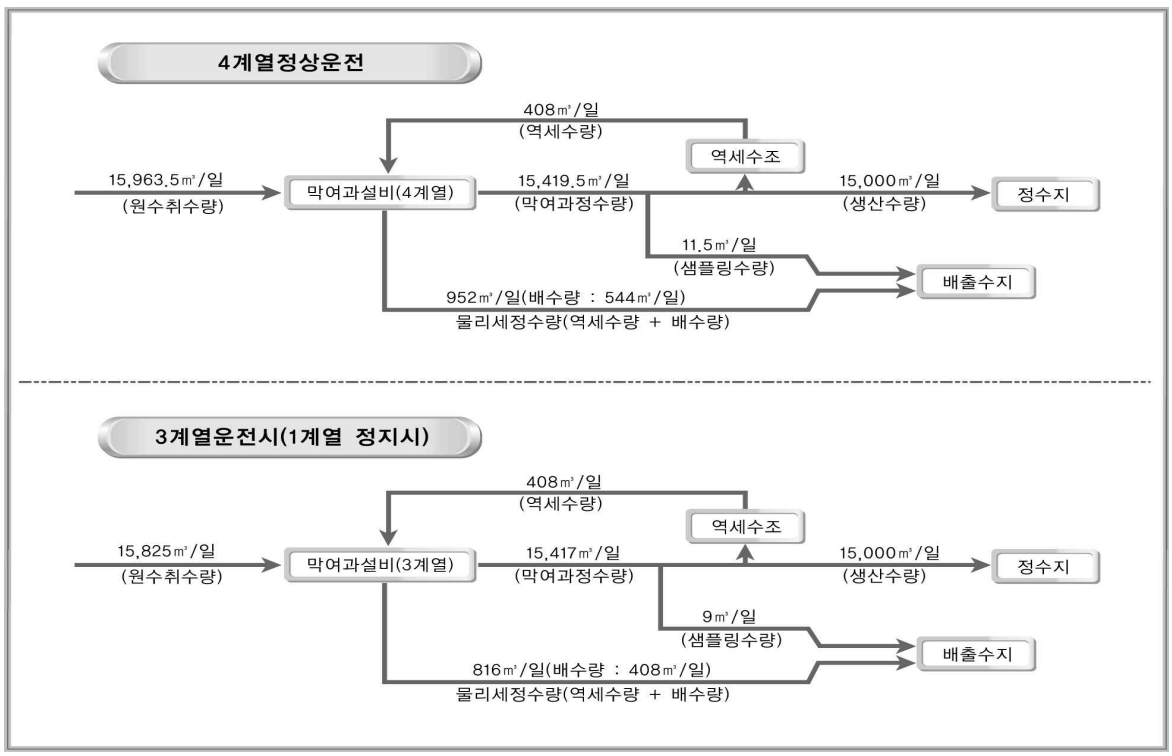
단위공정	규격	Unit
① 분말활성탄 접촉조	W8.4×L13.2×H2.5×2지	
- 체류시간	22.8	min
- 표면부하율	1.83	m/sec
② 혼 화 지	W2.0×L2.0×H1.5×2지	
- G값	1단 : 750~1,000, 2단 : 500	sec^{-1}
- 체류시간	1단 : 1~2초, 2단 : 30초	sec
③ 응 집 지	W9.0×L7.0×H3.0×2지	m
- G값	25~100	sec^{-1}
- 체류시간	15.56분	sec
④ 막여과지	W45×L45×H10이내	
	Flux : 1	㎥/㎡/day
	Recovery : 90	%
	30,000	㎥/일
⑤ 정 수 지	W36.0×L13.3×H4.1×2지	
- 체류시간	3.14	hr
⑥ 배 수 지	W36.0×L22.5×H6.0×2지	
- 체류시간	7.78	hr
⑦ 고효율농축침전조	HEPICAF 적용	
⑧ 섬유상여과기	3FM 적용	
⑨ 탈 수 기	Filter Press	

▌막여과 정수시설에서 시설능력은 계획정수량을 적정하게 처리할 수 있는 능력, 개량, 갱신 또는 재해, 사고시에도 대처할 수 있는 예비력을 가져야 하므로 1계열 정지시에도 막여과 유속의 조정 없이 계획 정수량의 75%이상의 능력을 가지도록 4계열 이상으로 구성하며, 막여과 유속의 조정으로 나머지 25%의 예비력을 확보할 수 있도록 설계함

▪ 막여과 공정의 회수율은 물리세정빈도에 크게 영향을 받고, 물리세정빈도는 원수수질 및 막투과 유속에 영향을 받는 것으로 일반적으로 물리세정빈도가 많으면 회수율은 저하되므로 용량의 결정에 있어서, 막여과 설비의 회수율은 90%이상으로 하며, 시설전체로 볼 때 손실이 되는 작업용수의 수량은 회수율, 원수로의 반송 등을 고려하여 계획일일 최대급수량의 10%정도를 기준으로 하였음

▌표 1.7 공주정수장 막여과 공정 설계조건 ▐

구분		설계조건	비고
계획취수량		33,300㎥/일	
계획급수량		30,000㎥/일	
회 수 율		최저 90% 적용	생산수 기준
막장치계열수		4계열, 480본	6unit/계열, 20본/unit
운전 제어 방식	여과방식	전량여과, Cross-flow(Bleed)	고탁도시 일부배출
	통수방식	외압식	
	막차압(최고)	2.0 ㎏f/㎠ (운전차압)	허용압력: 3.0㎏f/㎠
	구동방식	가압식	펌프가압
	제어방식	정유량제어	펌프가압
		펌프회전수제어	인버터 제어
막여과 유속		1.0㎥/㎡ · 일 (막차압 1kgf/㎠, 1℃)	통상시(4계열 운전)
		1.33㎥/㎡ · 일	비상시(3계열 운전)
분리막	모듈형식	중공사형, 케이싱수납방식 외압여과방식	
	제원	72 m^2/module, PVDF, 0.05 μm 2160 mm(L)×216 mm(Φ)	
운전모드		30분 여과 / 30초 역세+공세	
회수율		90%	



▌그림 1.17 막여과 공정 물질수지 ▐

▌**탁질 성분 외에 고도정수공정에서 맛.냄새 유발 미량 용존물질 제거를 위해 분말활성탄 흡착 공정을 분리막 전처리 공정으로 선정함**

- 분말활성탄 공정은 맛.냄새 또는 소독부산물 문제시 가장 경제적인 대안임
- 기존 정수장의 시설 및 설비로 사용 가능하며 Silo 형태의 저장 및 투입설비를 갖출 경우 자동화 운전이 가능한 장점이 있음
- 분말활성탄 공정을 막여과 공정 전단에 배치함으로써 원수 중 맛·냄새물질 및 용존유기물질을 흡착제거하는 수질 향상 효과와 함께 후단 분리막의 막오염 유발물질을 경감시켜 막여과 공정의 성능향상을 얻을 수 있음
- 분말활성탄은 이·취미를 유발하는 조류개체수가 임계 개체수 이상 발생시 또는 조류증가에 따른 pH 상승으로 응집불량시 응집개선 효과를 기대할 수 있으며, 적정 체류시간 확보로 효율을 보다 더 향상시키기 위해 접촉조를 계획함
- 분말활성탄 공정은 접촉조 방식으로 적용하였으며 규격은 W8.4×L13.2×H2.5×2지, 체류시간 22.8 min, 표면부하율 1.83 m/sec로 설계함

(2) 영등포정수장

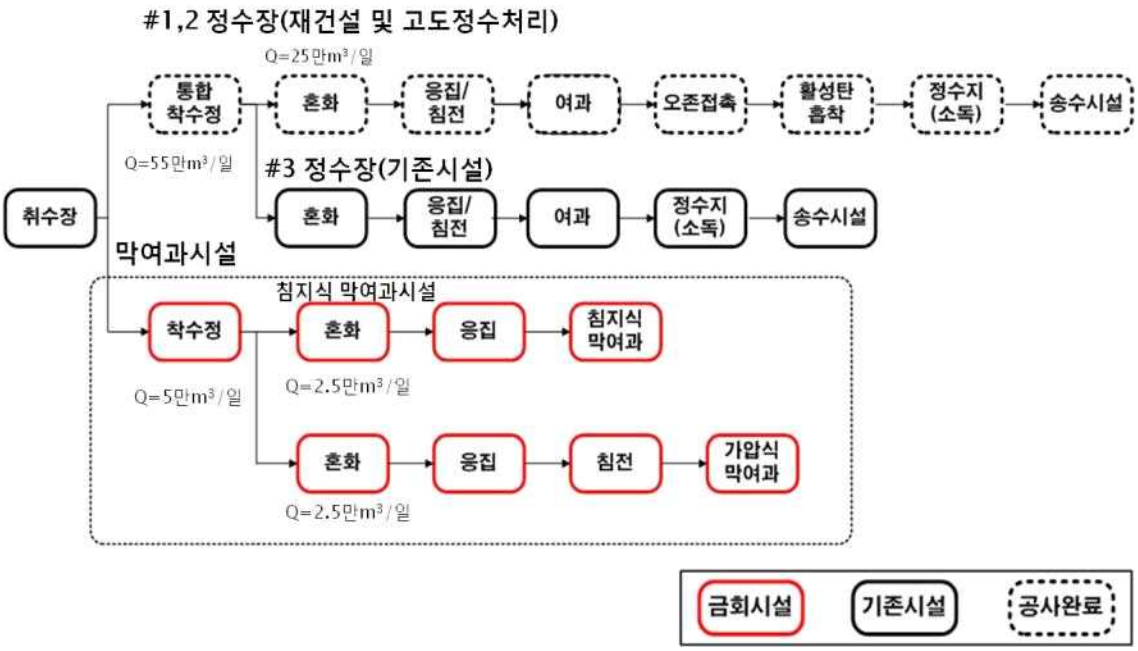
▌**서울시 영등포 정수장은 환경부 국책사업 (Eco-STAR Project)으로 건설된 국내 최대 규모의 막여과 정수장으로 가압형/침지형 각각 25,000 m^3/일 규모로 자체 설계기술 및 국산 분리막이 적용된 최초의 정수장임**

- 서울시 영등포 정수장은 환경부 국책사업(Eco-STAR Project)으로 진행
- 25,000 톤/일 규모의 침지형(코오롱 분리막) 및 가압형 (H2L 분리막) 정수장 각각 건설
- 영등포 정수장의 처리공정도는 그림 2.3.3과 같으며 고도정수처리장으로 재건설된 1, 2 정수장은 응집/침전, 여과, 오존, 활성탄, 정수지의 순서로 처리됨
- 막여과를 거친 정수는 오존접촉지 전단으로 유입되어 고도처리된 물과 합류
- 침지형 정수장의 처리 흐름도는 혼화, 응집, 침지형 여과막의 순서이며 가압형 정수장의 처리 흐름도는 혼화, 응집, 침전, 가압식 여과막의 순서임

▌**침지형 분리막은 고탁도(~ 500 NTU)이거나 조류가 많은 원수를 안정적으로 처리할 수 있으며, 동력비가 적게 소요됨**

- 역세시 공기가 필요하기 때문에 포기를 위한 동력비가 상당히 들어가는 단점이 있는데, 이러한 단점을 극복하기 위해 막오염지수를 이용하여 막오염제어를 수행하여 송풍량을 최소화 하는 방법이 적용되었으며 1단 및 2단 막여과 공정을 통하여 회수

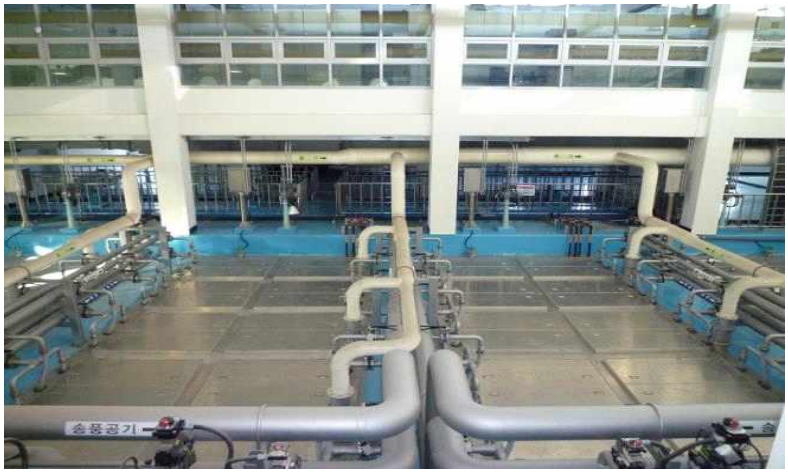
율을 99%까지 향상시킴



▌그림 1.18 영등포 정수장 공정도 ▐

▌표 1.8 영등포정수장 침지식 막여과 공정 설계조건 ▐

구 분	설 계 인 자	
계획취수량	25,253 m^3/d	
계획정수량	25,000 m^3/d	
회수율	99%	
막종류	탁질제거용 MF 막	
막여과유속	1st stage	40 LMH
	2nd stage	20 LMH
막장치 계열수	1st stage	5 계열
	2nd stage	1 계열
화학세정	유지세정, 회복세정	
예비기설치	펌프류, 송풍기 설비	
기후변화대책	설비의 동결 및 결로 대책	
공급범위	막여과 설비의 일체 (배출수 설비 및 수전설비 제외)	



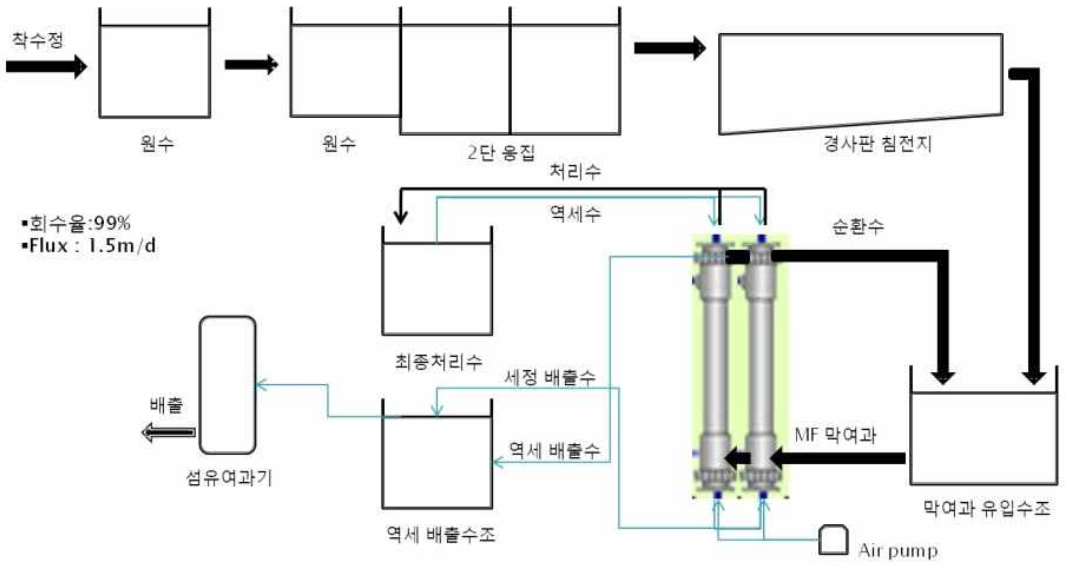
▌그림 1.19 영등포 정수장 침지식 막여과 공정 및 모듈 ▐

▌ 가압형 막여과 공정은 상대적으로 높은 플럭스로 설계할 수 있으며, 모듈의 분리 없이 세정이 가능한 장점이 있음

▌표 1.9 영등포정수장 가압식 막여과 공정 설계조건 ▐

구분		설계조건	비고
계획취수량		25,214 ㎥/일	
계획급수량		25,000 ㎥/일	
회 수 율		최저 90% 적용	생산수 기준
막장치계열수		6계열, 252본	42본/계열
운전 제어 방식	여과방식	전량여과, Cross-flow(Bleed)	고탁도시 일부배출
	통수방식	외압식	
	막차압(최고)	2.0 ㎏f/㎠ (운전차압)	허용압력: 3.0㎏f/㎠
	구동방식	가압식	펌프가압
	제어방식	정유량제어	펌프가압
		펌프회전수제어	인버터 제어
막여과 유속		1.48㎥/㎡・일 (막차압 1kgf/㎠, 1℃)	통상시(6계열 운전)
		1.78㎥/㎡・일	비상시(5계열 운전)
분리막	모듈형식	중공사형, 케이싱수납방식 외압여과방식	
	제원	75 m^2/module, PVDF, 0.05 μm 2300 mm(L)×216 mm(Φ)	
운전모드		40분 여과 / 60초 역세	
회수율		96%	

- 영등포 정수장에 설치된 가압식 분리막 정수장은 혼화, 응집, 경사판 침전, 분리막으로 구성됨
- 배출수는 섬유상 여과기로 처리하며 응집/침전공정에서는 Data Miner Algorithm을 이용하여 응집제 주입량을 자동 제어하고, MF 막여과 설비에서는 인공 신경망을 이용하여 화학세정을 자동제어 함



▌그림 1.20 영등포 정수장 가압식 막여과 정수처리 공정도 ▐

▌그림 1.21 영등포 정수장 가압식 막여과 공정 전경 ▐

마. 용수공급 통합운영관리 기술

▌ 한국수자원공사는 7개 권역 통합운영 체계를 구축하고 분산되어있는 여러 수도시설을 중앙 집중화 하여 업무효율을 높이고 운영기술을 과학화 하고 있음

▌ 지방상수도의 통합은 부산시를 시작으로 서울, 인천, 대구 등 중규모 이상의 수도 사업자 중심으로 구축되고 있으며, 통합운영 체계 구축을 위해 최근 환경부 등 5개 부처가 “물 산업 육성 5개년 세부추진계획(07.7.16)” 을 경제정책조정회의에서 확정 발표함에 따라 수도사업자들 간의 지역거점 통합센터 구축이 실시되고 있음

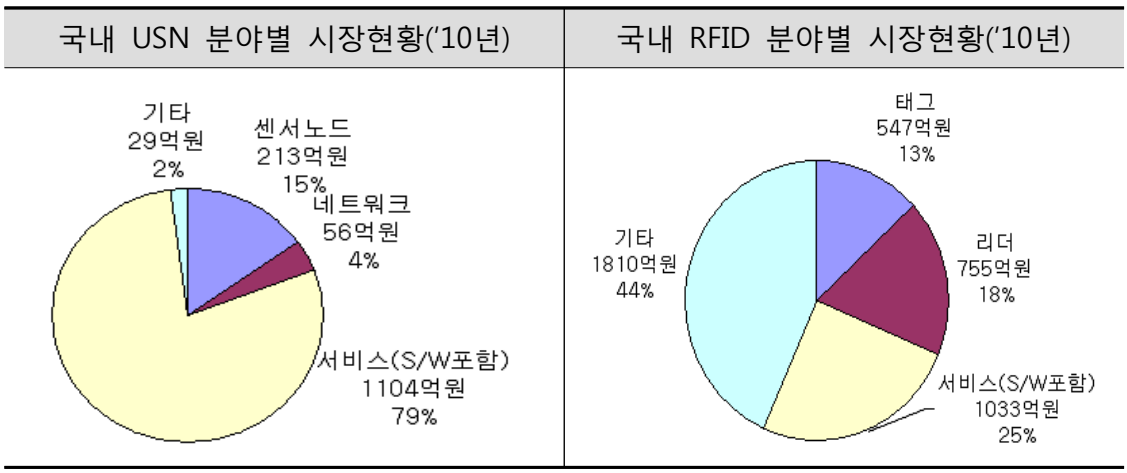
▌ 통합운영 시스템의 구성요소는 공정을 감시/제어하는 SCADA시스템 및 화상감시 시스템, 공정 데이터를 기록 정보화 하는 데이터베이스 및 정보시스템, 알람 및 이벤트 관리를 위한 UMS, 생산량 및 급배수량 결정을 위한 수요예측, 관망해석 시스템, 유지관리 업무 전산화를 위한 CMMS, 유수율 제고를 위한 관망관리 시스템 및 급배수 수질모니터링 시스템, 검침 및 요금 관련 업무를 위한 고객관리 시스템 등으로 구성되며 해당시설의 규모와 업무 프로세스에 의해 다양하게 구성됨

▌ USN 국내 기술동향

- 국내 USN 제품분야별 시장규모는 서비스분야의 시장이 가장 큰 것으로 분석되고, 앞으로 서비스분야의 시장규모가 계속 커질 것으로 전망됨
- 국내에 구축된 USN 기술은 온습도, 광센서 등 일부 범용센서가 국내에서 생산되고 있으나, 고성능센서(유량, 압력, 수질 등)는 외산에 대부분 의존하고 있는 상태임
- USN 센서노드의 원천기술은 미국, 일본 등에 비해 뒤쳐져 있으나, 옥타컴, 멕스포 등은 ETRI나 KETI로부터 관계 기술을 이전받아 센서노드를 자체 생산, 판매 중임
- 현재의 USN 통신 방식은 주로 2.45GHz 대역을 이용하여 저속 WPAN(Wireless Personal Area Network)기반의 ZigBee 기술이 활용되고 있음
- USN 기술을 국방 분야에 활용하기 위해 다중 센서를 이용하여 적의 침입을 탐지하고 추적하는 기술인 감시정찰 센서 네트워크 기술을 개발 중에 있음
- USN 기반 자산추적의 경우 2007년 국내에 병원의 이동성 자산추억에 시범서비스를 거쳐서 현재 실용시스템을 적용할 수 있는 단계임
- RFID/USN 응용서비스는 한국전산원을 중심으로 8개의 USN관련 현장·실증 시험사업이 추진되었으며, 여러 차례 실증 실험에서 나타난 정보 불일치 문제점을 해결하기 위해 센서 관련 정보의 표준화를 USIS(Ubiquitous Sensor Information System)라는 이

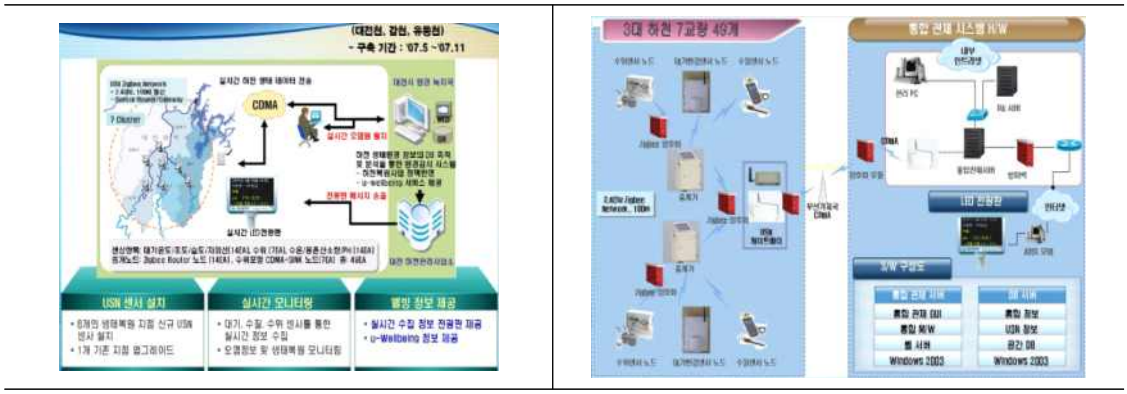
름으로 진행 중에 있음

- 2007년 Zigbee 프로토콜과 센서 네트워크 게이트웨이, 브리지를 개발하였으며, 멀티홉 라우팅, 위치인식, 시각동기 기술을 확보하였음



▌그림 1.22 국내 RFID 및 USN 시장현황 ▐

▌ 대전시의 경우 USN기반 3대 하천 생태복원 모니터링시스템을 구축하여 갑천, 유등천, 대전천 등 대전시의 3대 하천을 실시간 모니터링 함으로서 생태계감시 및 오염원 저감에 대한 데이터를 분석하여 하천복원사업정책에 반영하고 있음



▌그림 1.23 대전시 : USN 기반 3대 하천 생태복원 모니터링 ▐

- 실시간 수집된 정보를 전광판에 제공함으로서 시민들에게 U-wellbeing 서비스 제공
- 기상정보, 재난재해 및 하천 환경정보를 실시간으로 제공

▌ K-water의 경우 대청댐에 댐 주변 및 하류 실시간 모니터링을 위한 메시(mesh)망을

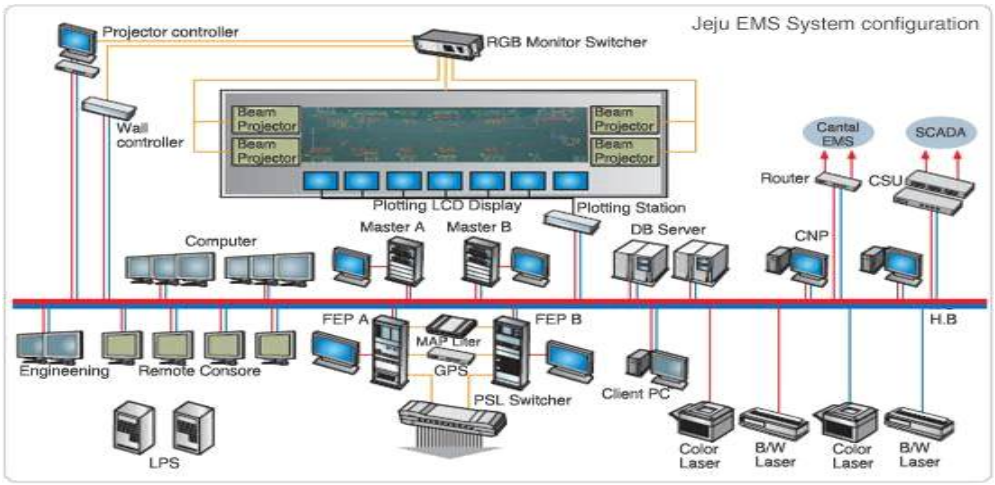
구축하여 댐 주변에 다양한 방법으로 혼재되어 있는 통신망을 무선메시망을 활용하여 현장감 있는 물관리 체계를 구축함으로서 각종 계측 통신망의 일원화를 통한 인프라를 제공하고 있음

- 고품질의 하천 데이터 취득 및 물 관리 체계를 한 차원 업그레이드함으로써 하천 모니터링 선진화된 운영기틀 마련

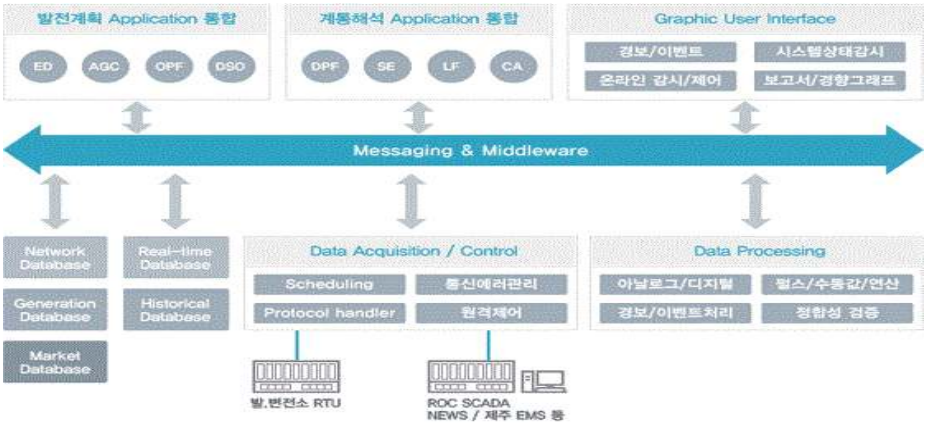
▌그림 1.24 댐 주변 및 하류 실시간 모니터링을 위한 Mesh망 구축▐

▌ 신재생에너지의 활용과 에너지의 효율성을 높이기 위해 2003년 “제주 EMS 프로젝트”를 시작으로 EMS에 대하여 활발하게 연구되고 있음.

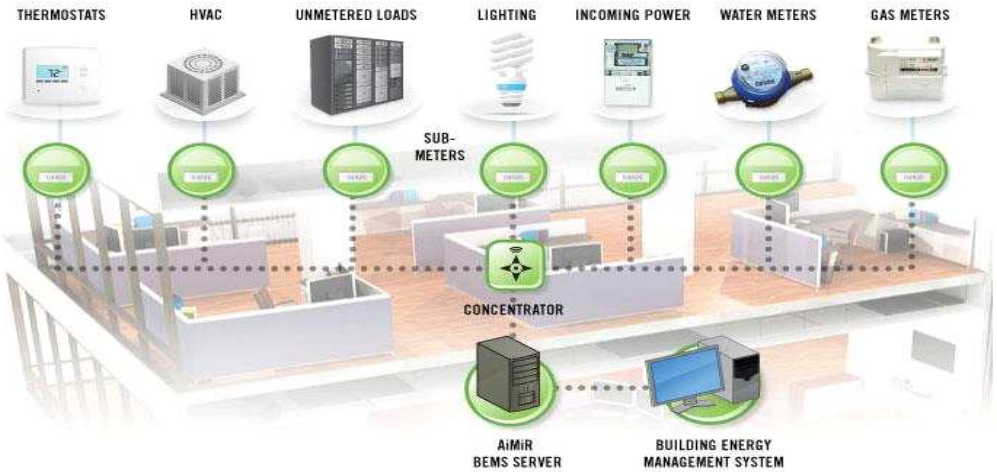
- 최근 “K-MEG(Korea Micro Energy Grid)” 프로젝트에서 기업과 연구기관의 컨소시움을 통하여, 건물에너지관리시스템(BEMS)의 확장과 마이크로그리드 에너지관리시스템(EMS)과의 통합으로 분산전원의 활용, DC배전의 적용, 건물의 에너지효율 향상 등을 목표로 대규모 프로젝트를 진행하고 있음
- 무역센터에 구축된 BEMS는 소비되는 에너지의 단가를 방영하여 에너지의 부하예측 시뮬레이션과 실시간 에너지별 생산단가, 작동 설비의 원가 등을 산출하여 이를 시스템에 적용 최적화하는 기능을 제공하고 있음



▌그림 1.25 제주 EMS 프로젝트 ▐



▌그림 1.26 K-MEG(Korea Micro Energy Grid) ▐



▌그림 1.27 건물에너지관리시스템(BEMS) ▐

▌**분산형 용수공급 시스템 관련 유량변동 대응기술은 본 연구단 과제에서 새로이 도입된 신개념 기술로 국내외 개발사례를 찾기 어려움**

▌**정부(환경부)에서는 취·정수장 오염물질 유입 시 행동 매뉴얼(2009.11)을 제작하여 시스템 붕괴사고 시에도 일상생활에 필요한 최소한의 용수를 공급하고 수도시스템의 안전성 및 안정성 확보를 목표로 시행중에 있으며, 위기의 형태를 가뭄 등 용수부족, 홍수·태풍·지진 등 시설/설비의 파괴, 수질 악화/이상/오염, 테러 발생 및 전산/시스템 운영 중단 등 5가지로 구분**

▌표 1.10 위기형태 및 전개양상 ▐

위기형태	전개양상
가뭄 등 용수부족	■ 이상 기후에 의한 강우량 부족 ■ 용수의 부족 및 공급의 불균형 ■ 용수부족에 의한 수질악화
홍수·태풍·지진 등 시설/설비의 파괴	■ 시설물 파괴에 의한 공급 불가 ■ 공급의 불균형
수질 악화/이상/오염	■ 유해물질 투입 위협 또는 투입 ■ 오염된 물질로 인한 취·정수장 오염 ■ 홍수, 가뭄, 이상조류, 녹조와 같은 자연현상에 의한 수질이상/오염
테러 발생	■ 시설물 파괴에 의한 공급 불가 ■ 공급의 불균형
전산/시스템 운영 중단	■ 급수체계 혼란 유발 ■ 공급 불균형 초래

자료 : 취·정수장 오염물질 유입시 행동 매뉴얼(환경부, 2009.11)

▌표 1.11 위기경보 수준 ▐

등 급	상 황	비 고
관 심 (Blue)	■기상예보 등 자연재해 징후 발견(태풍, 홍수, 지진, 이상기후, 가뭄 등) ■용수 관련요원 불법 단체행동 움직임 감지 ■화재, 폭발, 사고, 테러 등 수도시설/설비 주변 위험 요소 상존 ■**상수원의 수질오염사고 발생가능성 상존**	징후활동 감지
주 의 (Yellow)	■테러발생 첩보의 입수 ■수도시설 운영요원들의 단체행동 결의 ■기상 경보의 발효(태풍, 홍수 등) ■화재, 폭발, 사고, 테러 등에 의한 급수 일시중단 ■용수 급수 제어시스템 부분 장애 발생 ■**상수원의 수질오염사고 발생**	협조체계 가동 (Ⅱ급 상황)
경 계 (Orange)	■용수 관련요원 불법 단체행동 다수 지역으로 확대 ■구체적인 테러발생 첩보의 입수 ■**상수원의 수질오염사고로 오염된 원수의 취수장 유입**	대비계획 점검 (Ⅰ급 상황)
심 각 (Red)	■기상경보/특보 지속으로 자연재해 확대 직전 ■용수 관련요원 불법 단체행동 전면적으로 확대 ■화재, 폭발, 사고, 테러 등에 의한 대규모 지역, 광역 및 수도권 지역 일시 급수 중단 ■용수 급수제어시스템 심각한 장애 발생 ■**정수장 수질이 갑자기 악화(원인 불명)**	즉각대응 태세돌입 (급수 중지)

자료 : 취·정수장 오염물질 유입시 행동 매뉴얼(환경부, 2009.11)

▌표 1.12 정수처리 공정별 긴급조치 요령 ▐

취수장	■ 사고 발생 시 정수장으로 비상연락 및 상황을 통보 ■ 긴급하다고 판단될 때는 취수중단의 기준에 준하여 취수중단 ■ 취수장에서 실시 가능한 방제조치 실시(기름띠 발견 시 오일펜스 설치 등) ■ 비상약품 투입시설이 설치된 경우 비상약품 투입(일반적으로 분말활성탄을 항상 비치)
착수정	■ 원수 도달 전 사전에 원수를 확보하여 예비 수질조사 ■ 어류관찰수조 등 수질경보장치를 설치하여 독성물질 유입 관찰 ■ 수시로 수질을 분석하여 오염물질의 종류와 농도를 파악하고, 그에 따른 약품투입 실시
약품 투입 시설 및 혼화지	■ 전염소처리를 위한 염소 및 응집제, 소석회, 분말활성탄 등을 상시구비 ■ 약품종류별 Jar-Test를 통한 최적 응집약품 선정 및 약품주입량 결정(이때 정수장 주입시설에 대한 안전성 고려) ■ 분말활성탄은 기존의 응집/침전/여과공정에서 처리되지 않는 용존성 유기물, 맛·냄새물질, 색도, 음이온계면활성제, 페놀류, 농약류 등을 흡착제거하기 위한 고도처리의 목적으로 투입 ■ 분말활성탄 투입 후 충분한 접촉시간(20분 이상)을 갖도록 한 다음 전염소 투입
응집 및 침전 시설	■ 고탁도 및 응집에 영향을 미치는 오염물질의 유입에 대비하여 침전지의 체류시간을 조절하는 방안 검토 ■ 처리효율을 높이기 위해 주기적인 청소 및 슬러지 배제 ■ 수질오염사고 발생 시 침전수 탁도 및 기타 오염물질의 수질분석 ■ 침전지에서의 침전상태, 슬러지 퇴적상태, 유출수 탁도 등을 고려하여 필요한 대책 실시(원수와 유출수 탁도를 비교하여 침전지 탁질제거효율 검사, 여과지 탁질부하량 계산 및 가동시간 계산, 여과수 수질 조기 파악)
여과 설비	■ 여과시설은 역세척에 의해 여과효율이 결정되므로 역세척의 빈도, 시간조정 등을 수질에 맞게 효율적으로 관리 ■ 여과효율 감소를 가져오는 머드볼 생성을 방지하기 위하여 표면세척 및 역세척을 반복하고, 머드볼이 생성되었을 경우 여과사 1-2cm를 제거한 후 적절한 여과사 보충을 실시
정수지	■ 조류의 과다번식으로 인한 맛·냄새 유발물질의 유입이 있거나 수인성 전염병 등의 발생이 있는 경우에는 후염소 투입률 증가 ■ 수질분석시간 확보를 위한 정수지 체류시간 증대 ■ 사고 시 원활한 퇴수를 위한 퇴수밸브 수시 점검 ■ 역세척수조의 역할을 겸용하는 소규모 정수지는 충분한 용량 확보 ■ 독성물질이나 미량유해물질 유입의 이상 징후가 발견된 경우는 급수 중단

자료 : 취·정수장 오염물질 유입시 행동 매뉴얼(환경부, 2009.11)

▌표 1.13 정수장 수질오염 물질별 특성에 따른 상황판단 기준 ▐

구 분	내 용
급수 정지 (심각)	• Ⅰ급 상황의 지속 및 건강상 유해영향 유·무기물질 등이 기준을 초과하여 주민들의 건강을 해할 우려가 있는 다음 각 호의 경우 오염인지 후 24시간 이내에 즉시 주민공지 실시(서식 2), 어떠한 용도로도 수돗물을 사용할 수 없는 경우 - Ⅰ급 상황(위급상황)이 3일 이상 연속될 경우 - 상수원수 수질검사 결과 상수원수가 건강상 유해영향 유기물질 또는 무기물질에 오염되어 정수장의 정수처리능력에 한계로 수질기준 준수가 곤란하다고 판단되는 경우 - 수돗물로 인하여 수인성질병이 발생된 것으로 판명된 경우 - 수도관 파손 및 정수시설(소독설비 포함)의 고장 등으로 위생적인 정수처리가 곤란하다고 판단될 경우 - 각종 경보시스템을 통해 관찰한 결과 독극물 유입이 명확하다고 판단되는 경우 - 그밖에 수도사업자가 급수정지가 필요하다고 판단되는 경우
Ⅰ급 상황 (경계)	•수돗물 중 오염물질로 인해 급수대상 지역주민들의 건강에 단기간 내 위해 영향을 미칠 수 있는 위급한 상황으로 다음 각 호에 해당될 경우 오염인지 후 24시간 이내에 즉시 주민공지 실시(서식 2), 음용은 할 수 없으나 잡용수로는 이용가능 - 정수 탁도가 5NTU를 초과 - 정수 탁도가 1NTU를 초과하여 24시간 이상 지속되는 경우 - 정수지 유출부에서의 잔류염소가 0.2mg/L(결합잔류염소의 경우 1.5mg/L) 미만으로 1시간 이상 지속되거나 4mg/L 이상인 경우 - 소독에 의해 요구되는 불활성화비 값이 1미만인 경우로 48시간 이상 지속되는 경우 - pH가 5.5 미만이거나 9.0을 1시간 이상 초과한 경우 - 정수지유출부에서 분원성 대장균군이 검출되는 경우 - 질산성질소 농도가 10mg/L를 초과한 경우 - 납, 비소, 수은, 페놀 등 건강상 유해영향 유·무기물질이 먹는물 수질기준을 6시간 이상 지속적으로 초과하는 경우 - 자연재해 등으로 인해 시설의 정상적인 유지관리가 불가능한 경우 등 기타 건강에 심각한 영향을 초래한다고 판단되는 경우
Ⅱ급 상황 (주의)	•주민들의 건강에 단기간 내 영향을 미치는 위급한 상황은 아니며, 수돗물 수질기준을 일시적으로 초과한 상황으로 다음 각 호의 경우 오염인지 후 30일 이내에 주민공지 실시(서식 2) - 맛·색도·알루미늄 등 심미적 영향물질 기준초과 시 - 미생물항목 중 일반세균 및 총 대장균군 기준초과 시 - 건강상 유해영향물질 중 불소항목 기준초과 시 - 소독부산물질이 기준을 일시적으로 초과하는 경우

자료 : 취·정수장 오염물질 유입시 행동 매뉴얼(환경부, 2009.11)

▌표 1.14 오염물질별 긴급조치 방법 ▐

오 염 물 질	처 리 방 법
미생물 - 대장균군, 일반세균	■ 긴급처리대책 : 전염소처리 및 후염소처리 등 소독·여과처리 ■ 오존, 자외선 소독처리
무기물 I - CN,Hg,Pb,Cd,As,Se, Cr^{+6}중금속 및 독성물질	■ 혼화, 응집, 침전 공정으로 제거
무기물 II - 암모니아성질소	■ 긴급처리대책 : 파괴점 전염소처리
유기물 I - 농약류 및 합성유기물질	■ 긴급처리대책 : 분말활성탄처리, 전염소처리 전염소와 분말활성탄 병행처리 ■ 입상활성탄처리, 오존처리가 가장 효과적임
유기물 II - 맛냄새, 휘발성유기물질	■ 긴급처리대책 : 분말활성탄처리, 공기폭기 ■ 오존+입상활성탄 병행처리가 가장 효과적임
유기물 III - 페놀류	■ 긴급처리대책 : 이산화염소처리, 분말활성탄 ■ 입상활성탄 처리, 오존+입상활성탄 병행처리
유기물 IV - 합성세제	■ 긴급처리대책 : 분말활성탄처리 ■ 입상활성탄 처리
유기물 V - THMs, HAAs - THMFP, HAAFP	■ 긴급처리대책 : 분말활성탄처리 ■ 입상활성탄 처리, 오존+입상활성탄 병행처리
유기물 VI - 1,4-다이옥산	■ 긴급처리대책 : 오존처리 ■ 오존+입상활성탄 병행처리 고도산화공정(오존/과산화수소) 처리

자료 : 취·정수장 오염물질 유입시 행동 매뉴얼(환경부, 2009.11)
※ 전 정수장 분말활성탄 보유 필수

▌ 국내에서는 다양한 수질모니터링 시스템을 설치하여 운영하며, 수자원공사에서는 위기대응 매뉴얼에 의거 경보발령기준 이상인 수질이 유입 시 적절한 조치를 취하고 있음.

- K-water에서는 수질사고의 발생부터 사후관리까지 IT기술과 연계한 종합적인 대응 시스템 구축으로 비상대처 능력 강화

▌그림 1.28 K-water 수질사고 위기관리시스템(SafeWater) ▐

▌표 1.15 K-water SafeWater 수질사고 신속대응 시스템 구성 ▐

사고정보	대응정보	기술정보		훈련정보
사고정보 종합관리	수질조사/ 방제 및 현장복구	오염물질 정보DB	GIS와 연계한 오염물질 농도 예측모델	수질사고 모의훈련
사고대응 마법사	상황별 정수처리 대응	유관기관 정보DB	정수처리모델, 대응 시나리오	평가, 문제점 진단
GIS연계 위치정보	오염물질 농도예측 분석	수질조사 정보DB		

- 현재 상수원 수질을 실시간으로 모니터링 하는 항목은 전기전도도, 알카리도, pH, 수온, 탁도이며, 취수장에 따라 휘발성 유기화합물(VOCs), 오일 감시장치, 암모니아성질소 측정 장치들이 추가적으로 설치되어 있다. 아울러 생물경보시스템인 어류 관찰수조, 물벼룩 독성감시 장치, 조류독성 감시 장치 등이 설치되어 운영되고 있음

▌표 1.16 측정항목별 상황판단 기준 ▐

구 분		원수	정수장 관리기준		정수
			침전수	여과수	
pH	황색		5.8미만 8.5이상 (1시간 지속)		5.8미만 8.5이상 (30분 지속)
	적색				5.8미만 8.5이상 (24시간 지속)
탁도 (NTU)	황색	평시대비 2배 이상 증가 (30분 지속)	2NTU 이상 (1시간 지속)	0.5NTU 이상 (통합여과수) (1시간 지속)	0.5NTU 초과 (30분 지속)
	적색				정수처리에 관한기준
전기 전도도 (㎲/cm)	황색	평시대비 1.5배 이상 증가 (30분 지속)			
잔류염소 (mg/L)	황색				0.2 미만 (30분 지속)
	적색				0.2 미만 (1시간 지속)

출처: 한국수자원공사 수도수질사고 대응매뉴얼 (2005)

바. 신재생에너지 융합 기술 개발

(1) 소수력 발전

▌'신재생에너지 R&D 전략 2030(소수력)' 에서는 선진국 대비 국내 수차발전실비의 성능평가 기술수준은 선진국에 비교해 다소 부족한 60%로 평가되었으나, 2000년 이후 민간 기업에 의해 개발된 사례는 전무하고, 공공기관에서 기존 시설물을 이용한 소수력 개발로 명맥 유지

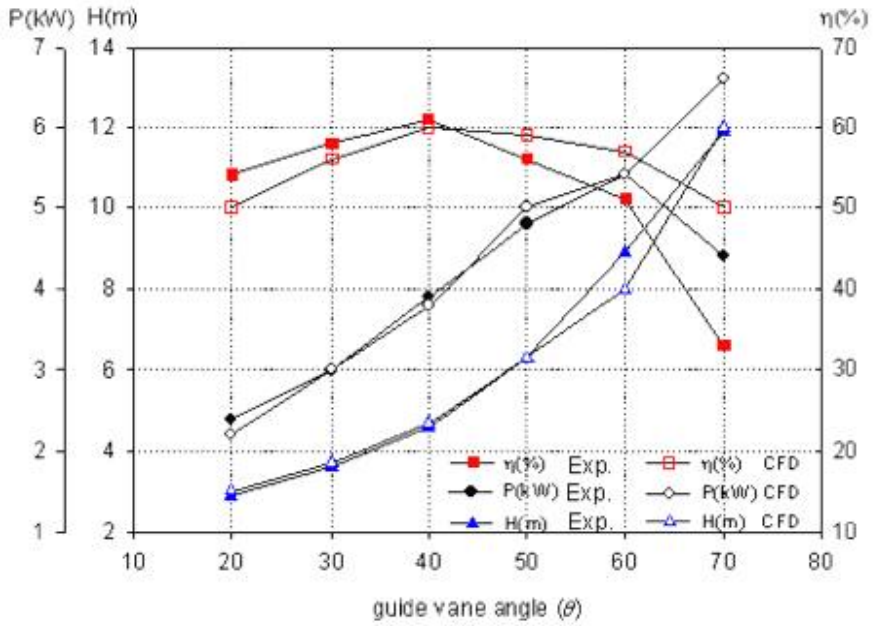
- 수차발전기는 선진국의 55% 기술수준으로 수차발전기 효율과 부속설비(개도조절 장치, 수밀장치, 권선절연방법 등) 기술 미흡
- 소수력 발전설비의 국내 시장이 협소하고 산업기간이 취약하여 경쟁력에 한계가 있으며, 연구 인력 및 연구기반 조성미흡으로 기술개발을 위한 인프라가 열악한 상황으로 인허가 추진에 따른 주변지역민의 반대와 환경단체의 반대로 보급에 어려움 발생
- 국산 수차는 외산 수차에 비해 가격 경쟁력이나 고장 발생 시 부품조달 등 유지보수 측면에서 다소 우위에 있으나, 내구성과 효율 등에 대한 기술 부족
- 설비의 국산화는 상당부분 이루어졌으나, 소수력 발전설비에 대한 국가적으로 표준화된 수차발전기의 성능평가 진단 기준·절차에 의해 수차발전기의 성능 평가가 실시되지 않고, 사업주체에 따라 성능평가 실시여부나 항목이 매우 상이하게 이루어지고 있는 실정
- 현재 국내 소수력의 75% 이상이 보증사항(효율, 출력, 진동 등)에 대한 성능 평가 기준이 없이 준공·운영되고 있으며, 해당설비의 안전성, 신뢰성 강화를 위한 기법개발이 시급히 필요하고, 종합적인 성능평가기법 및 기준을 정립으로 소수력발전의 경제성을 제고하고, 성능개선 및 고장 발생을 억제시킴으로써 유지관리 비용 최소화할 필요

▌국내의 소수력 발전설비의 연구개발 및 기술수준은 초기단계라 할 수 있으며, 최근 설계기술의 확보 및 장비의 국산화에 주력하고 있음.

- 소수력용 튜블러 수차 개발 (1983-1986년)
- 소수력발전시스템 자동화 연구 (1985-1987년)
- 소수력용 횡류형 수차 개발 (1987-1988년)
- 소수력 자원의 정밀조사 및 최적개발분석 연구 (1989-1992년)

- 소수력발전소의 최적운용기법 적용연구 (1993-1996년)
- 카프란 수차 설계기술 및 국산화개발 연구 (1997-1999년)
- 입축 프로펠러수차 개발 (2001년)

▌ 5kW급 튜블러 수차의 CFD 성능해석 사례(한국해양대학교)



▌그림 1.29 한국해양대학교 CFD 성능해석 사례 ▐

- 가이드 베인에 따른 성능특성을 CFD와 비교한 결과 출력 및 유효낙차는 5% 이내, 효율은 10%이내로 거의 일치
- 70° 각도에서의 CFD와 실험의 출력의 상이성에 대한 추가 검토 및 조사 필요

(2) 수온차(히트펌프) 시스템

▌ 수열원 히트펌프 시스템은 미국에서 1950년대 말부터 상업용으로 제작 판매되었고 최초 수열원 히트펌프는 플로리다 주에서 지하수와 운하 내 물을 열원으로 사용, 주거용으로 이용하도록 구성된 시스템임

▌ 국내 대부분 지열을 이용한 수열원 히트펌프 시스템으로 2004년 정부의 대체 에너지 적용 의무화 법규 시행 이후 급격한 증가 추세임. 그러나 보급된 대부분의 수열원 히트 펌프 시스템은 해외에서 도입되어 설치되고 있어 독자적 기술 확보를 통한 시장

형성이 어려운 상황임

- 국내 히트펌프 제조사들은 자체 국내 기술로 수열원 냉난방기를 개발하고 주상 복합 및 고층 건물에 적용되는 기존의 공랭식과는 달리 차별화된 수열원 공조 시스템을 도입하여 적용하는 추세임
- 수열원 히트펌프 시스템의 적용방식에 있어서 덕트 타입은 실외기가 필요 없는 실내외기 일체형 구조로 다양한 실내 공간의 효율적 냉난방은 물로 실내를 다용도로 적용하고 운용할 수 있고, 또한 배관 연결 타입은 실외기에 여러 대의 실내기를 단 배관으로 직접 연결하여 냉난방 하는 시스템임

▌그림 1.30 덕트타입 수열원 히트펌프 시스템 ▐

▌그림 1.31 배관타입 수열원 히트펌프 시스템 ▐

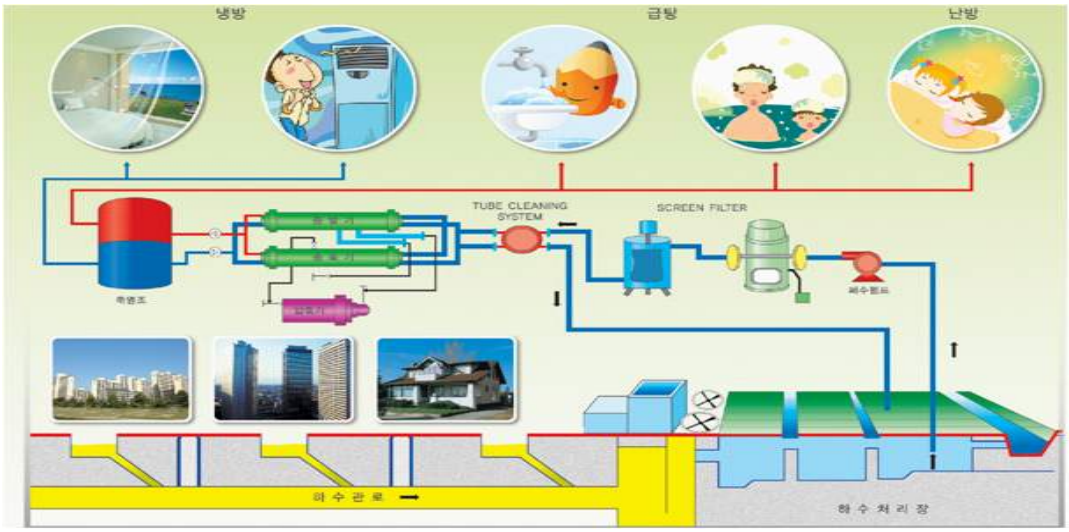
▌ 국내의 경우 지열원 히트펌프에 대한 trnsys해석이 수행되고 있으나 이를 설계에 도입한 사례는 없으며, 최근 설계단계에서 최적화 기법이 도입되고 있으나 아직 국내에서는 관련 연구가 활발히 진행되지 않음

▌ 국내에 히트펌프시스템이 도입된 시기는 1990년대 초반이며, 타 신재 생에너지 기술과 비교해 볼 때 이 분야기술은 크게 뒤떨어 짐

- 보급초기에 비해 현재 시장규모는 20배 증가
- 국내 히트펌프 보급현황은 시장 진입 초기에는 소규모 식당, 숙박시설 및 학교 등에 국한
- 국내에서 사용되는 히트펌프는 초기 미국의 Florida Heat Pump사, Water Furnace 사, Climate Master사, Trane사의 제품을 많이 사용했으나 현재는 소용량은 국내 기업제품(삼성,LG등) 을 사용하며 대용량은 외국 제품(료코, 멕케이 등)을 사용함
- 국내 시장규모는 2010년 기준 5.5조원 규모이며, 2015년 6조원 전망
- 국내에서 1991년 서울 마포 변전소 주변압기에서 냉각열을 히트펌프로 회수하여 한전 서부지점 신축건물의 난방에 사용한 사례 이후 1995년에는 한전 속초생활연수원에서 배출되는 생활배수를 열원으로 하여 급탕과 냉방에 이용한 사례가 있으며, 1996년에는 서울 탄천 하수처리장의 하수처리수를 이용하여 하수처리사업소내의 건물의 냉난방열 공급을 시도한 사례가 있음.
- 2004년에는 낙동강 하천수를 열원으로 하여 화훼단지의 난방열 공급과 해수를 열원으로 하여 양식장의 난방을 위한 사례와 2002년 여수 양식장에서 해수열을 이용한 사례 등이 보고되었다. 그러나 이들은 거의 모두가 기술개발에 따른 시범적용사업의 일환으로 소규모로 이용한 사례에 지나지 않으며 최근 지열 히트펌프 시스템의 우수한 성능이 검증되면서, 지열 히트펌프 시스템을 설치하고자 하는 경우가 늘고 있다. 그러나 설치비용 및 부지의 문제로 인하여 많은 문제점을 겪고 있음.
- 최근 들어 한국수자원공사에서는 현재 6개의 사이트에서 댐 호소수(주암댐, 대청댐)와 정수장(청주, 밀양, 성남 정수장,)에 유입되는 원수를 이용한 히트펌프 시스템을 설치하여 운영 중에 있다. 또한, 현재 건축중인 잠실 제2롯데월드의 전체 냉난방 부하의 15% 정도인 3,000 RT에 대하여 원수를 이용한 히트펌프 시스템이 예정되어 있어 관련 연구를 진행하고 있으며, 대규모 강변여과수를 이용한 히트펌프 시스템에 대한 연구도 활발히 진행하고 있음.

▌ 국내 실용화 사례 : 하수처리수

- 지역난방공사 : ‘07년 용인 하수처리장 공사 중(6.6Gcal), 마곡지구 - 서남하수처리장 활용 설계 진행 중



▌그림 1.32 하수처리장 수온차 활용시스템 ▐

▌ 국내 실용화 사례 : 상수

- 한국 수자원공사 : 07년 청주정수장외 4개소의 원수사용(청주정수장(30RT), 주암댐(10RT), 대청댐(60RT-Hybrid), 충청통합운영센터(30RT), 밀양정수장(70RT), 성남정수장(10RT)

【대청댐(60RT-Hybrid)】

【충청통합운영센터(30RT)】

▌그림 1.33 정수처리시설 수온차 활용시스템 ▐

▌ 국내 실용화 사례 : 해수

- 한국 해양대학교 : '08년 직접 해수열원으로 기숙사동 지방보급사업선정, 열교환 온도차 - 2℃ 적용

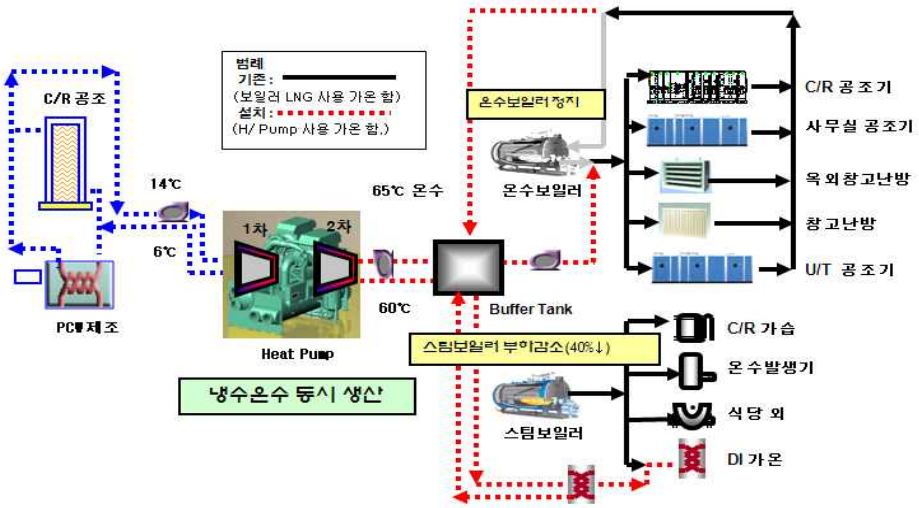
▌ 국내 실용화 사례 : 열병합 발전소 냉각수 폐열

- 지역난방공사 : 2008년 파주, 화성, 강남지사 80Gcal 적용 예정, 이후 13개 전 지사

확대적용 예정

▌ 국내 실용화 사례 : 산업체 냉각수 폐열

- 동부하이텍 : 10년 진천 폐열 이용(1800RT), Heaying & Colling 동시가동(H:1800RT, C:1300RT)



▌그림 1.34 산업체 시설 수온차 활용시스템 ▐

(3) 태양광 발전

▌ 2000년 이전까지는 태양광 분야가 사업화를 추진할 만한 여건이 충분치 않아 주로 기초적이고 핵심적인 요소기술 위주로 개발이 진행되었으나, 최근 국내 기업들의 적극적 투자로 국내업계의 시장점유율이 증가하고 있으며 향후 수출 확대도 예상됨

- 우리나라의 태양광 기술수준은 2007년 대비 71% 정도이며, 국산화율은 설계분야에서 70%, 제작생산 분야에서 68%로 상업화된 개발기술이 현장에서 성능의 실증 연구가 이루어지는 수준
- 2008년 7월말 기준으로 현재 가동 중인 176MW의 태양광발전소 중 국산모듈 사용 비중은 25%, 196MW의 풍력발전기 중 국산 발전기는 750kW로 0.4%
- 2000년 이전까지는 태양광 분야가 사업화를 추진할 만한 여건이 충분치 않아 주로 기초적이고 핵심적인 요소기술 위주로 개발이 진행됨
- 국내 정수장 등 수처리 부문에 태양광보급은 2003년 이후 점진적으로 설치 및 보급
- 현재까지는 국내에 보급되는 상업용 설비 모듈의 85% 이상을 해외 수입에 의존하고 있었으나, 최근 국내 기업들의 적극적 투자로 국내업계의 시장점유율이 증가하고

있으며 향후 수출 확대도 예상됨

▌그림 1.35 국내 정수장 태양광 발전설비 설치 사례 ▐

사. 용수공급 연구 인프라 및 시장 현황

▌ **세계 물 시장 변화의 흐름 속에 국내 물 관련 기업들은 해외 물 사업을 진출을 위한 분주한 움직임을 보이고 있으며, 전략적 제휴, 전문가 파견, 교육사업 등 미래 수자원 시장 확보를 위한 인프라 구축사업들을 포함한 세계 최고수준의 물 관리 기술 개발 및 등록, 국제기관 파견 및 교육을 통한 전문 인력 확보, 국내외 해외사업 전문가 DB 구축 및 활용, 지역전문가 육성 등을 통한 역량 강화에도 힘을 모으고 있음**

- 현재 국내에서 출원한 “수직형 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템 구축” 관련 특허는 양적인 측면에서 볼 때 미국이나 일본, 유럽 등에서의 특허의 10% 이하의 수준이며 원천기술의 확보수준도 미비함. 따라서 국내 분산형 용수공급시스템 구축관련 연구는 국내 고유기술의 개발을 통해 특허점유율을 향상시키고 기술자립도 및 경쟁력을 높이는데 크게 기여할 것으로 판단됨

기술분야	인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
		부족	다소 부족	동등	우월	보다 우월
분산형 용수공급시스템 설계기술 개발	전문인력 보유정도	○				
	설비 인프라 구축정도		○			
수직형 정수처리시설 설계기술개발	전문인력 보유정도	○				
	설비 인프라 구축정도		○			
용수공급시스템 관련 법/제도 수립	전문인력 보유정도			○		
	설비 인프라 구축정도	○				
시공기술	전문인력 보유정도		○			
	설비 인프라 구축정도		○			
기존 광역 및 급/배수연계 기술	전문인력 보유정도	○				
	설비 인프라 구축정도	○				
신재생에너지 활용기술	전문인력 보유정도		○			
	설비 인프라 구축정도		○			
물안보 및 비상용수공급시스템 구축기술	전문인력 보유정도		○			
	설비 인프라 구축정도	○				
통합운영관리시스템 구축	전문인력 보유정도			○		
	설비 인프라 구축정도		○			

▌국내 물 관련 산업은 사회간접자본으로서 공공성 측면이 강조되어 왔으나, 최근 들어 세계적인 물기업의 성장에 따라 산업적인 측면이 부각되고 있음

- 우리나라 물 산업은 정부와 지자체가 주도한 대대적인 시설 확충의 결과로 2004년 시설 보급률이 상수도 90%, 하수도 80%를 넘어 선진국 수준 도달
- 현재 수도산업의 규모가 2003년 우리나라 전체 물산업 10.9조원의 84.5%를 차지하며, 국내총생산(GDP)의 1.3% 수준에 달함

▌정수장, 하수처리장 등 인프라 건설의 비중이 높았으나, 점차 운영·관리, 시설개량 등의 비중이 확대되는 추세

- 신규 상하수도 인프라 구축은 2011년경에 거의 완료될 전망

  ※ 인프라 구축율(2003년→2011년): 상수도 89% → 96%, 하수도 79% → 85%
- 상수도의 경우 2004년 신규 시설 공사비는 전체 세출의 15.5%에 불과한 반면, 개량

및 유지관리 비용이 52.1%까지 확대된 상황

▌**수돗물 공급은 크게 확대되었지만, 수돗물에 대한 국민의 불신이 심각한 상황으로 기존의 시설을 효과적으로 개량하고 전문적인 운영·관리 기법을 도입하여 고품질 서비스를 제공하는데 집중하여야 할 시기 도래**

※ 관망, 정수장 등 상하수도 기초시설의 노후화로 인해 수질악화 및 누수 등의 문제점 발생 (2004년 수돗물 누수율 : 14.2%)

▌**적극적으로 기존시설에 대한 재투자 수요를 발굴하고 사업화할 전문적인 주체 필요**

- 적기에 적정 규모의 재투자가 이루어지지 않으면 미래세대의 부담이 크게 늘어나고 경제성장에 지장이 초래될 우려가 있음

※ 기존 상하수도 시설에 대한 적정 재투자 실현은 대부분 선진국들의 현안과제

▌**우리나라에도 지자체 상하수도 사업의 운영 효율성 제고를 위한 위탁운영 제도가 도입되어 활용되고 있음**

- 한국수자원공사는 1,648만톤/일을 공급할 수 있는 27개 광역 및 공업용수도 시설을 활용하여 전국 주요도시와 산업단지에 생활 및 공업용수를 공급(국내 상수도 47% 공급)하고 있으며, 전국을 12개 광역급수권으로 구분, 권역별 통합급수체계를 구축 운영하고 논산, 정읍 등 15개 지자체 지방상수도 수탁운영 중

▌우리나라 상하수도 사업은 7개 특·광역시의 경우 규모나 기술면에서 상당한 수준에 올라있으나, 160개 시·군 단위 사업의 경우 대부분 전문인력과 투자재원이 만성적으로 부족하여 영세성을 면치 못하고 있는 실정임

- 2008년말 현재 수도사업 재정은 부채액 1조원 이상이며, GIS 구축현황은 전국평균 58.3%이며 특·광역시의 경우 100%에 가까우나 시군 지역은 낮다. 상수도 보급률은 읍지역 87.4%, 면 단위 농어촌 지역 47.4%에 불과

▌국내 물산업의 상수도분야 기술수준은 정부가 대규모 연구비를 투자한 “G-7 환경공학 기술개발사업 (1992~2001)” 을 시작으로 확대, 발전하였으나, 아직 선진국 수준에는 못 미치는 것으로 평가되고 있으며, 정부의 지속적 R&D 투자와 의지가 필요한 실정

2. 국외 기술개발 현황

가. 해외 지하저류조 및 용수터널 도입 현황

▌독일 소니센터) 독일 베를린에 위치한 소니센터의 집수면을 통해 지하 저류조에 저장된 빗물은 화장실 용수나 건물 외부의 조경용수로 사용되어지며, 화재가 발생할 경우에도 소방용수로도 사용됨. 지하 저류조가 가득 차게 되어 월류된 물은 합류식 하수도로 유입되게 되며, 비가 오지 않은 경우에는 빗물 대신 수돗물이 채워지도록 되어 있음

- 독일 베를린 소니센터 지하 저류시설의 현황은 다음과 같음

▌표 1.17 독일 베를린 소니센터 지하 저류시설 현황 ▐

시설개요				
이용용도		화장실 세정용수, 소방용수, 조경용수	건축면적	-
연면적		-	보급수원	상수도
위치		독일 베를린		
시스템 구성	주요 공정	집수 → 저류 → 침투 → 처리 → 급수 → 배수		
		소니센터 지붕면 집수	지하 저류조	화장실 세정용수 건물외부 조경용수 / 합류식 하수관거

▌일본 스미다시청 건물) 5,000㎡의 집수면적과 저류용량 1,000㎥의 지하 저류조를 가지고 있으며, 저류된 빗물은 주로 건물 내 화장실 용수로 사용됨

▌표 1.18 일본 스미다 시청 건물 지하 저류시설 현황 ▐

시설개요				
이용용도		화장실 세정용수	집수면적	5,000㎡
저류용량		1,000㎥		
위치		일본 스미다시		
시스템 구성	주요공정	집수 → 저류 → 침투 → 처리 → 급수 → 배수		
		옥상 집수면 5,000㎡	지하 저류조 1,000㎥	화장실 세정용수
시스템 운영		- 1997년 당시 시청의 화장실 세정 용수의 43.7%를 빗물로 급수		

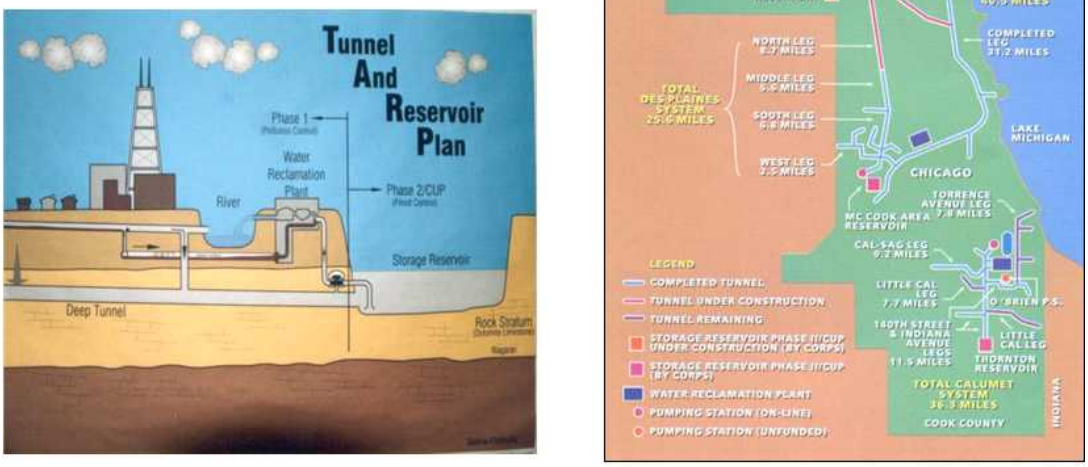
▌**일본 칸다가와 지하조절지) 칸다가와·환상7호선 지하조절지는 수해가 빈발하게 발생했던 칸다가와 중류역 지하 34~43m 지점에 총연장 4.5km, 외경 13.7m, 내경 12.5m의 거대한 터널로 건설되었음**

- 칸다가와 유역에서 지류인 모쇼지가와 유역과 젠뿌쿠지가와 유역의 홍수발생량의 60%에 해당하는 약 54만톤을 저류할 수 있음.
- 홍수재해 발생 때는 우수조절기능을 하며, 평상시에는 저류된 우수를 공업용수로 사용하는 다목적 지하저류시설로 사용되고 있음.

▌그림 1.36 일본 칸다가와 유역의 환상7호선 지하조절지 내부 모습 ▐

▌**미국 TARP) 2차 세계대전 이후 시카고와 그 주변지역이 발전함에 따라 포장지역 확대로 인한 강우 유출량 상승하였음**

- 합류식 하수체계를 갖춘 많은 지역에서 강우시 우수와 오수가 동일 관거로 전량 하수처리시설에 유입하여 처리시설 용량 이상의 하수는 미처리 상태로 하천에 그대로 방류할 수밖에 없었고, 또한 하수체계의 과부하로 물이 역류되어 저지대 지역이 침수되는 문제 발생하였음.
- 이러한 문제를 해결하기 위해 MWRDGC(Metrpolition Water Reclamation District of Greater Chicago)는 지하 109.7m 깊이에 길이 175km 그리고 직경 10m의 터널과 3개의 거대한 저류지(각 저류지별 저류용량: 약 6천만m^3)를 건설하자는 TARP를 제안하였음.
- TARP 건설로 인한 효과는 수백 평방 킬로미터의 지역과 350만명이 침수 위협으로부터 보호됨과 더불어 800만 시카고 주민과 인근 지역의 음용수원인 미시건호로의 하수 직유입을 차단하여 수질유지 및 향상하는 효과가 발생하였음.



▌그림 1.37 TARP의 개념도 및 현황 ▐

나. 물안보 및 비상용수공급시스템

(1) 물안보 시스템

▌ 과거에는 용수공급시설 또는 수원에 대한 공격은 수원 개발이나 물 배분의 결정에 대한 불공평함으로 발생하였으나 최근 들어 국가 간의 분쟁에 따른 테러의 목적으로 발생될 우려가 있으며 물리/화학적인 테러와 함께 광범위한 피해를 발생시킬 수 있는 사이버테러에 대한 위협도 존재함

- 1907년부터 1913년에 걸쳐 캘리포니아의 Owens Valley 농민이 급성장하고 있는 로스앤젤레스로 물을 끌어 들이기 위하여 건설 중인 도수관을 반복하여 다이너마이트로 폭파
- 2000년 북프랑스 화학공장의 노동자가 보수를 받지 못하여 5,000리터의 황상은 Meuse강에 폐기
- 최근 인도・파키스탄・페르시아만・중동에서 발생된 일련의 사건은 물과는 관계없는 다양한 전쟁이나 분쟁으로 물 및 용수공급시스템이 테러의 표적이 되고 있음을 재인식
- 2000년 호주의 퀸즐랜드에서 컴퓨터와 무선으로 하수시스템을 컨트롤하여 공원과 강에 하수를 방류하려고 한 남성이 체포된 사건 발생(수도계에서 확인된 최초의 사

이버 테러)

- 2002년에는 미국의 사법 및 정보 당국이 알카에다가 SCADA 시스템의 정보를 표적으로 하고 있다는 조짐을 포착

▌ 2004년 WHO의 음용수 수질 가이드라인에서는 위해를 체계적으로 평가하고 관리할 수 있도록 「Water Safety Plans (WSPs)」의 책정 및 이행을 권고

- 식품제조분야에서 확립된 HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point)의 방법을 도입하여 수원으로부터 급수전에 올리는 전체 단계에서 위해평가와 위해관리를 행하여 안전한 물의 공급을 확실히 하는 수도시스템의 구축 목적
- WHO의 물 안전계획(WSPs)은 원수수질의 오염을 가능한 한 최소화, 정수처리과정에서 오염물질을 저감 및 제거, 배/급수 과정에서의 수도수의 오염 방지가 목적

▌ 일본에서는 2008년 5월 30일에 후생노동성에서 「물안전계획책정 가이드라인」 (이하, 가이드라인)을 공표하여 2011년경까지를 목표로 물안전계획의 책정 또는 이에 준한 위해관리를 철저히 하여 양질의 안전한 수도수의 공급확보에 노력 중

▌ 일본의 물안전계획은 HACCP적 관리방법을 기초로 하여 용수공급시스템의 안정성 향상, 유지관리의 향상·효율화를 목적으로 함

- 물안전 계획은 신뢰성(안전성)이 높은 수도수를 지속적으로 공급하기 위한 수도 시스템 전체를 포괄하는 계획
- 수원관리, 정수관리, 급배수관리, 수질관리 등의 수원에서 수도꼭지까지의 관리 전체를 계통화 한 종합적인 품질관리 시스템

▌ 물 안전계획은 수도시스템의 평가, 관리지침의 설정, 설계의 운용의 3요소 순서로 구성되며 세부적으로는 물안전계획 채정·추진팀의 편성, 수도시스템의 파악, 위해도 평가, 관리조치 결정, 대응방법 설정, 문서/기록 관리의 순서으로 행하며 마지막으로 계획의 타당성 확인 및 실시상황을 검증함

- 고베시의 물안보 대책: 수원에서의 수질오염사고에 대해서는 하천을 관리하는 효고현을 통하여 정보연락망을 정비하고, 긴급연락 및 정보의 수집에 노력함
- 원수에서 수질이상이 발생된 경우에는 「수질오염사고에 관한 위기관리실요령」에 따라 사고내용의 조기파악과 취수 및 정수처리에 대한 영향을 판별하여 사고가 정수처리에 영향을 미치지 않도록 적절한 대응을 행하도록 체계화 됨
- 정수를 공급받는 한신수도기업단 및 효고현영수도와는 「수원수질이상 사고 시 등에

대한 연락통보체계표」에 따라 긴급연락을 수신하도록 하여 수질이상에 대비함

- 정수처리에 영향을 미치는 사고발생 시에는 즉시 사고대책본부를 세우고, 전자회의실을 활용하여 전부서가 실시간 사고대응현황을 공유하도록 함

▌표 1.19 용수공급시스템 개소별 위해원인 사상 ▐

발생개소		위해 원인 사상
수원유역		PTTR 대상물질, 기름, 농약, 내염소성 병원 생물, 그 외의 오염물질 등의 유출 (예를 들면, 공장폐수, 하수방류 등)
수원	수원하천 등	고사에 따른 수질악화, 강우시의 고탁도, 갈수시의 수질악화, 유래에 의한 수질오탁
	수원정호	케이싱 파손, 스크린 폐색, 유기염소계용제 고농도
취수/도수	취수	취수언 파손, 취수구폐색
	도수	차량사고, 불법투기
정수장	착수정	약품의 과잉주입, 약품의 주입부족
	침전지	플록침강부족, 슬러지퇴적, 단락류
	여과지	세정부족, 탁도누설
	정수지	잔류염소부족, 내면도장제박리
	약품설비	유효염소농도저하, 염소산농도상승, 주입기고장·주입관파손
	계장설비	샘플링 관 폐색, 계기 지시값 이상
배수	배수지	모니터링기기이상, 방충망파손
	배수관	부식, 적수, 흑수
급수		cross connection, 잔류염소부족, 소독부생성물증가
저수조수도		인위적 독물투입, 잔류염소부족, 소독부생성물증가

▌미국에서는 환경보호국 (EPA) 및 기타 정부조직도 포함한 상수 인프라 부분은 수도공급자, 산업단체 및 이 risk에 대처하기 시작한 관계시민을 공영적 및 민영적으로 보유

- 위협 및 취약성을 평가한 결과, 인프라 부분은 이들 중 가장 중요한 것으로 대응하기 위해서 이상상태의 수질을 감시할 수 있는 센서를 사용하기 시작하는 것을 적극적으로 시도
- 다른 중요한 수단으로서는 수도시스템 인원을 기존의 비상시 대응 네트워크에 투입하고 수질측정을 다른 data 추적활동에 도입

- 물의 인프라 부문은 비상시 대응계획을 개발하고, 정보자원을 설치하여 실험실 정원을 증가
- EPA, ASCE, AWWA를 중심으로 물안보 및 오염경보시스템, 취약성 및 위해도평가에 대한 가이드라인을 제시하고 있음 (ASCE/AWWA, 2006; AWWA, 2010)

▌그림 1.38 EPA, ASCE, AWWA의 물안보 및 취약성 및 위해도평가 가이드라인 ▐

▌ 유럽에서는 취수원으로 대규모 저류 시설을 이용해 오염 물질 유입 시 수원을 안전하고 안정적으로 운영함. 또한 취수원에 모니터링 장치를 설치, 운영하여 항시 오염 물질 유입에 대비

- 네덜란드 WPH 정수장은 취수대상의 강, 강물 취수구 입구, 대규모 원수 저류지 입구에 생물 모니터링 및 이화학적 모니터링 장치를 설치, 운영하여 오염물질 유입에 대비
- 오염 물질 유입 시 저류지 유입부(모니터링 장치 설치지역)를 차단하고 나머지 저류지 용량으로 지속적인 원수 공급이 가능토록 함.

- 취수원인 대규모 저류지 주변은 상수원 보호 구역으로 설정하여 오염 유발 활동 규제
- 네덜란드 Andjik, Baanhok 정수장, 독일 뒤셀도르프 정수장등은 저류지 (혹은 강변여과 관정)유입부분에 생물 모니터링, 화학적 모니터링, 물리적 모니터링을 병행하여 운영 → 이상 징후 시 취수를 중단하고 위해성 여부 판단 시 까지 저류지에 저장된 원수를 사용
- 기존 모니터링 장치의 검출 감도가 낮은 한계를 극복하기 위해 농축 방식을 이용한 모니터링 장치를 개발하여 운영
- 스위스 Lengg 정수장은 방공 시설을 고려해 정수장을 지하화 하고, 정수지의 저류용량을 1일 급수량 만큼 확보하여 비상시 단수 없는 운영이 가능토록 함. 아울러 취리히 호수의 오염 상태를 무지개 숭어를 이용해 상시 모니터링

▌그림 1.39 스위스 Lengg 정수장의 무지개 송어 모니터링 장치 ▐

▌ 상수도 시설 테러 , 용수 부족, 정수장 운영 문제 등 비상시를 대비한 환형 용수 관로 시스템(Ring Main) 구축

- 스위스 취리히시의 경우 평상시 Lengg 정수장(250,000m^3/일)에서 용수를 공급하며, 용수 부족 시 Hardhof 정수장(150,000m^3/일)의 생산 용량을 증가시켜 공급.
- 25개의 정수장을 보유하고 있는 네덜란드 WML사도 강물, 지하수, 우물물을 사용하여 정수처리된 물을 ring main system을 이용하여 공급
- 관망의 체류시간은 최대 3일로 유지, 약 900개의 소화전을 이용하여 연 1회 Flushing으로 관망 유지, 관망 수질은 미생물 항목을 모니터링 함
- 독일 뒤셀도르프시의 경우 관로에서 생물학적, 화학적 모니터링을 병행함

▌그림 1.40 스위스 취리히시 링메인 관로 시스템 ▐

▌ 비상시를 대비하여 취수원의 다변화를 추구

- 네덜란드 WML사, PWN사, Avides사 모두 취수원을 강물에만 의존하지 않고 수원으로 지하수, 우물물 등을 5~20% 이용하여 비상시 활용
- 스위스 취리히시도 호소수(70%), 지하수(15%), 우물물(15%)을 원수로 사용하여 정수처리할 수 있도록 하여 비상시 활용

(2) 비상용수 확보량 산정

▌ 일본의 비상용수 확보량의 산정은 1995년 고베 지진 발생으로 인한 용수공급 중단으로 인한 피해 주민들의 민원 전화 내용 분석 결과를 토대로 마련되기 시작함

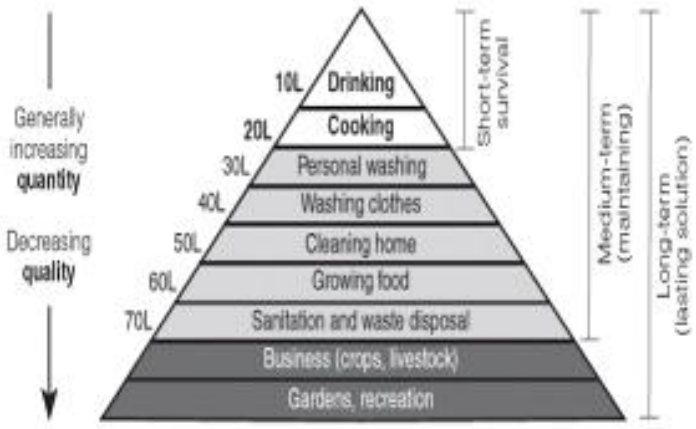
- 지진재해시 자립일수 기준별 응급 급수량 및 사용 용도 기준을 마련하여 각 지자체별로 재정 상태에 따라 용수의 저류용량을 결정하고 있음 (厚生労働省, 2008).
- 일본은 지진에 대한 대응을 위해 3일간 3L, 4일간 11L, 7일간 60L, 7일간 175L를 기준양으로 21일간 저장할 수 있는 필요한 비상용수 용량을 1,698L로 산정함

▌표 1.20 일본의 비상용수량 산정 ▐

지진발생 이후	응급 급수량 (1인/day)	용 도
~ 3일	3L	생존을 위한 최소 수량
4 ~ 7일	3 ~ 20L	간단한 취사, 화장실 용수(1인 1회)
8 ~ 14일	20 ~ 100L	목욕(3일 1회 1인), 빨래, 화장실(1인 1일 1회)
15 ~ 21일	100 ~ 250L	지진 발생전 상황과 유사한 수준
22 ~ 28일	250L	지진 이전과 유사한 수량
29일 이상	250L	-

▌ **미국 EPA에서 2011년 6월 "Planning for an Emergency Drinking Water Supply" 보고서를 통해 1인당 비상용수 확보량은 WHO(World Health Organization)(WHO, 2005)에서 제시한 지침을 준용할 것을 권장하고 있음(EPA, 2011)**

- 미국은 지진, 허리케인에 대한 대응을 위해 음용수, 조리, 개인위생 목적으로 50L를 21일간 저장할 수 있는 필요한 비상용수 용량을 1,050L로 산정함

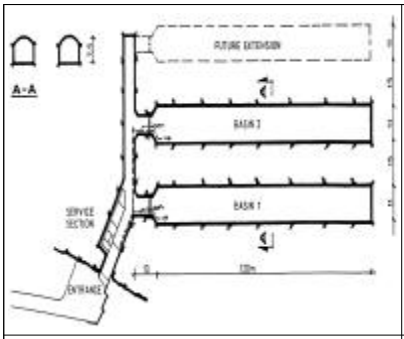
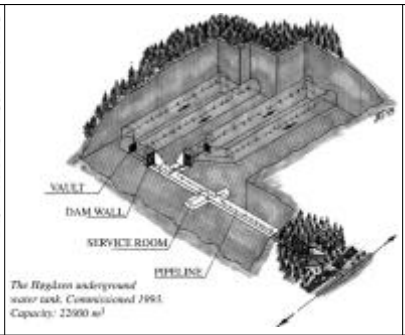
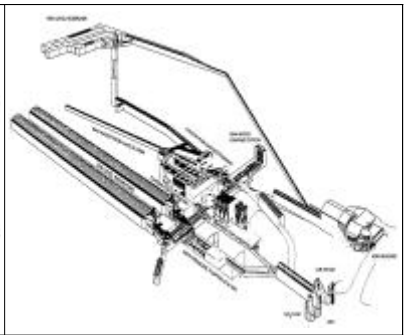


▌그림 1.41 WHO에서 제시한 비상용수 요구량 ▐

다. 해외 용수공급시스템

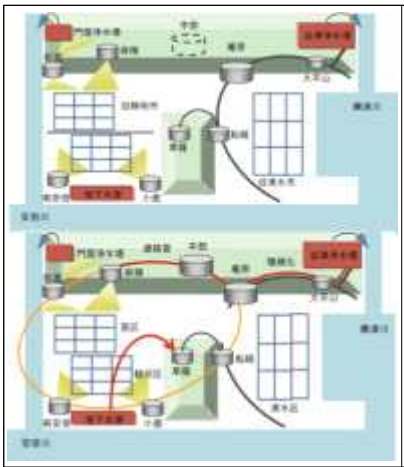
▌ **수돗물 공급의 안정성 확보를 위해 수도시설에 지하 저류조를 설치한 사례는 노르웨이에서 1950년대부터 시작되어 1천㎥에서 25천㎥까지 다양한 규모로 확인되고 있음** (A. Nordmark, 2002)

▌영국 Knapp Mill(24천㎥), 네덜란드 DZH에도 지하 저류조가 설치되어 있음

		
Kvernberget rock cavern tank (16,000㎥)	Hosagen underground water tank (22,000㎥)	Skullerud water treatment plant (15,000㎥ 2기, 7,000㎥ 1기)

▌그림 1.42 노르웨이의 지하 저수조 설치 현황▐

▌물 공급의 안정성을 높이기 위한 대책도 지역에 따라 수도관망의 복선화 및 환상화에서 GRID화로 다시 GRID화된 관망과 다원화된 수원간 연계로 발전하고 있음

		
복선화 및 환상화 (일본 시즈오카 광역상수도)	Water Grid (이스라엘 Water Grid)	Water Grid + 수원 다변화 (호주 SEQ water Grid)

▌그림 1.43 물공급 안정성 강화방식의 발전▐

▌일본의 수도 사업은 시(현), 동경(도) 등 수도사업자별 수도사업을 단기(3개년), 중기(10개년), 장기(25개년) 계획을 수립하여 중앙정부로부터 인가를 받고 있으나 업무는 수도사업자한테 위임하였으며, 수도법은 한국 수도법과 유사하고, 지방공영기업으로 운영관리를 확대 중이며, 댐, 수도시설물 관리는 도에서 일원화하여 관리하며, 지리적 특성 상, 수도시설물의 지진 · 재해에 대비 내진설계에 중점

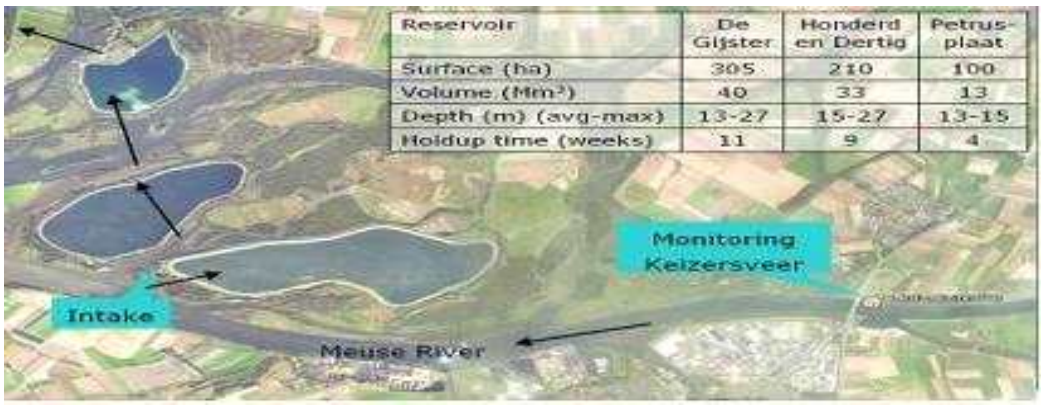
- 1960년대 후반에서 70년대에 걸친 고도경제 성장기에 수도권의 인구와 산업 집중으

로 급격한 증가

- 1975년 오일 쇼크 이후 경제의 저성장, 수도 인구 억제 정책에 의해 속도를 급격히 멈추었으며 최근에는 크게 변화가 없는 상태
- 수요예측방법은 과거 15년 데이터를 분석하여 2025년까지의 생활, 공업용수 등 중회귀 분석을 통해 수요예측
- 동경도의 부하율은 81%로 일본수도설계지침에 제시되어 있으며, 도의 재정장기계획상의 인구변동 계획에 따라 조정되고 있음
- 동경 내 배수관 설치는 완료, 수도관 갱생 및 지진대책 수립 등에 중점
- 동경도의 유수율은 94%이며, 일본내 누수율이 낮은 수치는 후쿠오카 1위, 동경이 2위(’05년 누수율 4.2% → ’06년 3.6%)
- 배수지관은 50년을 교체주기로 계획하고 있으며, 전부 교체할 계획
- 수질기준 강화로 급수관의 누수원인 비율을 많이 차지하던 아연도강관은 1980년도부터 스테인레스 관으로 교체하여 2006년 완료하였음

▌네덜란드의 Avides사가 운영하는 Baanhoek 정수장 등은 취수원의 해수 침투 사고로 인해 대규모 저수지를 건설하여 운영

- 1963년 해수의 유입으로 인한 상수원 염분 침투 문제 발생 → 1973년 Meusr강과 Maas강 합류 지점의 삼각주에 형성된 농지를 구매 하여 대규모 저수지 (Biesbosh reservoir)를 건설함
- 3개의 인공 저류 시설을 건설하여 직렬로 연결하여 사용함 → 원수의 총 저류 기간은 약 24주
- 저수지 장기 체류에 의한 부영양화로 야기될 수 있는 맛·냄새 문제를 제거하기 위해 정기적으로 저수지 준설을 실시함



▌그림 1.44 네덜란드 3단 인공 정수지(Biesbosh reservoir)▐

▌**네덜란드의 WPH 정수장은 수질 오염에 대한 안전성 확보 및 수질 개선 효과를 위하여 운하에서 원수를 취수 하여 저류지에서 저류 시킨 후 강변여과 형태로 취수하여 정수처리함**

- 저류지 체류시간은 평균 1.5년 유지
- 저류를 2단으로 구분 → 전단에 수질 모니터링을 실시하여 비상시 원수 유입 차단
- 저류지 주변에 40여개의 관정을 설치하여 취수하며, 각 관정 마다 체류시간(traveling time)을 다르게 유지하여(개별 관정 위치가 취수원과 각기 다른 위치에 설치) 오염 물질 유입 시 희석 효과 및 차단 효과 기대
- 조류 제어를 위해 수중폭기 방법을 도입하여 원수의 조류 성장을 제어
- 강변 여과 취수 방식을 통해 *Cryptosporidium*과 같은 원생동물 및 미생물의 여과방식의 소독실시 (1 log)

▌**독일 라인 강물을 원수로 이용하는 뒤셀도르프 정수장은 수질 오염에 대한 안전성 확보 및 수질 개선 효과를 위해 강변 여과 방식 취수를 선택**

- 강에서 관정까지 원수의 모래층 통과 시간은 3~6주 (정수용량 : 150,000㎥/일)
- 안정적 수량 확보를 위해 4~5년 주기로 관정 청소 실시
- 강변 여과를 거친 원수의 용존 유기물질 농도(DOC)는 1mg/L 이하

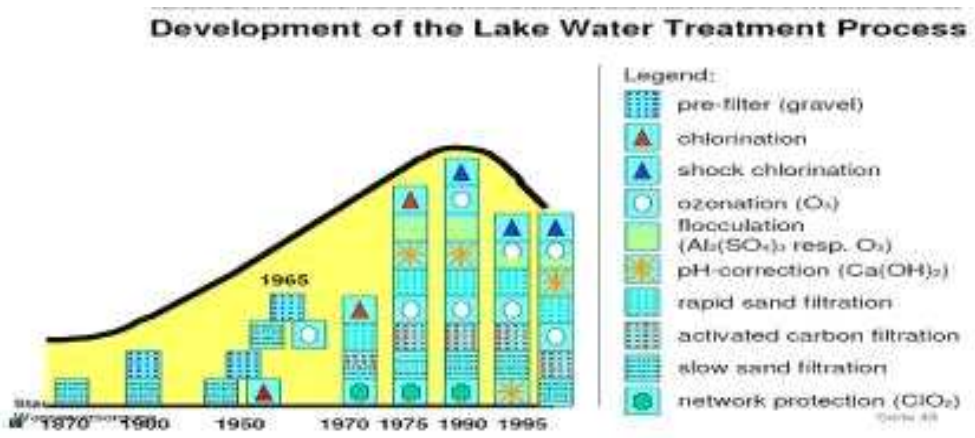
▌**독일의 Ruhr 강물을 원수로 이용하는 Witten 정수장은 수질 오염에 대한 안전성 확보 및 수질 개선 효과를 위해 저류시설 및 강변여과 시설을 동시에 운영함 (정수용량 : 100,000㎥/일 규모)**

- 강물을 취수하여 대규모 저류 시설에서 원수의 침전 과정을 거친 후 저류지의 하부 모래층을 통과하는 방식의 여과 방식 채택
- 일반 지형을 이용한 여과 후 정수장에서 전오존, 혼화/응집, 이중여과(모래+활성탄) 방식으로 재처리 함.
- 강물 오염시 정수장 유입전 침전지 및 여과지에서 장기간 저류하므로 오염 물질의 정수장 유입을 차단할 수 있는 시간 및 방법 확보.

▌**유럽의 대규모 원수 저류지를 확보한 정수장의 경우 장기간 저류에 의한 자연적 수질 개선 효과로 후단의 정수공정이 간단해질 수 있음**

- 네덜란드의 WHP 정수장의 경우 대규모 저류지의 수심을 30~40m로 유지하여 호소 하부에서 강변 여과를 시킴으로서 수온이 상시 20℃를 유지 → 높은 수온 유지로 생물학적 활동도가 높아 정수장 유입 전 질산화가 이루어지고, 미생물 성장가능 탄소(AOC) 농도가 상당량 저감되어 유입(AOC 10㎍/L이하 유지)

- 정수장에서는 응집제 주입 없이 급속여과, 입상 활성탄, 소독 공정만으로 운영하므로 공정 구성 단순
- 정수처리공정에서 약품 사용을 가급적 배제하기 위해 소독 공정은 염소 대신 자외선 소독 공정 운영
- 처리수의 AOC 농도 또한 낮은 농도이므로 잔류 소독제가 없어도 배·급수 관망에서의 미생물 재성장 문제가 없음.
- 강변여과를 통해 미생물의 소독능(1 log)을 확보하므로 정수장 소독 공정의 단순화가 가능
- 배출수 처리를 위해 막여과(MF/UF) 공정을 도입하여 공정 단순화를 추구하며, 슬러지는 벽돌 재료로 재활용
- 독일 뒤셀도르프 정수장의 경우 강변여과 후 정수장에서 오존, 여과 공정만으로 처리
- 여과지는 GAC와 모래로 구성된 이중 여재를 사용함으로서 공정의 컴팩트화 추구
- 네덜란드 Berenplaat 정수장의 경우 대규모 저류조(24주)에서 취수된 원수를 다시 정수장 저류지에서 침전 처리 시키며 정수처리 → 정수처리공정을 모래여과, 활성탄, UV소독으로 단순화
- 스위스의 호소수를 원수로 하는 정수장의 경우 그림 II-30과 같이 산업화 함께 정수처리 공정이 복잡해지고 다양한 약품을 사용하였으나, 최근 정수처리공정의 단순화, 무약품화 추세 → 취리히 Lengg 정수장의 경우 현재 전오존, 모래여과, 중오존, 활성탄, 완속여과 순으로 처리 → 약품을 사용하는 혼화, 응집과 소독공정이 없음
- 유럽 지역의 많은 정수장에서 소독은 가능한 강변여과, 완속여과 등 물리적 방법으로 만족 시키고 소독제 사용을 가급적 배제 → 수돗물에서 THM 기준이 25ppb이므로 필요시 이산화염소를 최소량(0.5mg/L 이하)으로만 주입



▌그림 1.45 스위스 Lengg 정수장의 연도별 정수처리 공정 변화 ▐

▌정수장은 처리 효율뿐 아니라 건물 외관, 공정 내 배관 등도 미학을 고려하여 설계 및 시공

- 건물 외부의 미학을 고려하여 네덜란드 WPH의 정수장이나 Andjik 정수장은 설계 시부터 건축 전문 설계자를 참여시켜 미학적 건물 설계가 가능토록 함
- 공정 배관의 색체도 파스텔톤, 벽체 및 바닥 구조 투명화 적용

▌수돗물의 무소독제 운영으로 인하여 모든 정수처리 공정은 운영자와 격리될 수 있도록 설치되며, 감기 등 운영자의 경미한 질병에도 감염을 고려하여 병원체 보균자의 정수장 출입 금지함

- 공정의 안전성 확보를 위하여 유럽의 대부분 정수장은 각 공정에 대한 운영자 및 견학인의 통행을 차단하는 시설을 설치하여 안전성을 확보

▌그림 1.46 유럽정수장의 안전성 확보를 위한 공정 격리 구조 ▐

▌정수장의 획일적 공정 구성, 배치보다는 각자의 정수장 환경, 경제적 여건을 고려한 신 공정 적용

- 네덜란드 Andjik정수장은 해수 침투 가능성으로 오존 공정 적용 시 Bromate의 맹독성 오존 소독부산물(5ppb 규제) 발생 가능성에 따라 과산화수소/UV 공정 적용
- 과산화수소/UV공정의 운영 단가는 0.11 €/㎥로 상당히 고가임에도 불구하고 수돗물의 안전성을 위해 채택
- 네덜란드 Andjik 정수장의 또 다른 공정은 호소수의 응집, 침전 후 모래 사구 지형을 이용하여 인공함양 후 취수하여 Lime으로 연수화시 염농도가 높아지는 것을 우려해 고가의 UF와 RO를 이용하여 처리하는 방식 채택
- 스위스 취리히 호소수를 취수하는 Lengg정수장은 전오존/Lime/모래여과/중오존/활성탄/완속여과의 다단계 공정 적용

▌**신규 정수장 건설 보다는 정수장 증설 및 공정 추가 등으로 기존 정수장을 개보수하여 활용하려는 노력**

- Lengg정수장은 1960년에 건설되어 완속 여과 공정으로 운영하다 1975년 이후 지속적인 개보수로 오존, 활성탄 공정 적용 → 완속 여과지의 폐쇄 없이 현재까지 이용중이며 현재 UF 막공정 추가 도입 여부를 평가
- 독일 뒤셀도르프 정수장은 1900년 초반 강변여과수를 수돗물로 직접 공급하다가 1982년 오존/활성탄 공정 추가 사용
- 독일 Witten정수장은 1800년대 후반 강물을 취수하여 모래여과 공정 만으로 처리하였으나, 1980년대 대대적인 개보수를 통하여 강변여과, 오존, 활성탄 공정 도입

▌그림 1.47 유럽정수장의 미학적 건축 설계 ▐

라. 빌딩형 정수처리 시설 및 기술 현황

▌**Lakeshore WTP는 (이전에 Belle River WTP 라고도 함) 1926년에 건립, 1945년에 시설은 중력식 여과시설 추가를 포함한 광범위한 업그레이드를 실시 1974년 주요 시설공사가 실시되었고, 2006년 5월에 추가적인 공정 개선을 시작하여 현재의 계층형(빌딩형)의 정수장으로 건설되었으며 2009년 1월부터 가동을 시작함**

- 현재 시설규모는 36.4ML/d 규모이며 원수는 Lake St. Clair. 로부터 1,050m길이의 1200 mm 직경의 흡입파이프를 통해서 취수, 원수 수질은 일반적으로 범위는 20~50

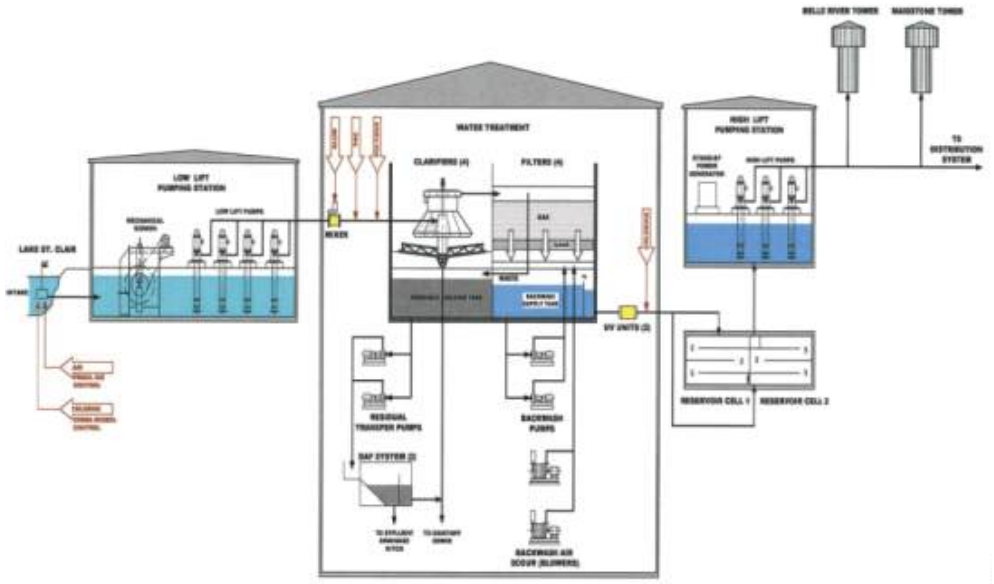
NTU 범위이며 계절 변화에 의하여 최대 500 NTU 이상의 탁도를 확인할 수 있음 원수는 얼룩말의 홍합 축적을 제어하기 위하여 전염소를 주입하며 취수 구조도 얼음 결빙 방지 시설을 갖추고 있음 저양정 펌프를 통하여 들어오는 원수는 1차 스크린 후 처리 시설로 유입되고 있으며 현재 지역 내의 20,000명의 시민들에게 수돗물을 공급중

▌그림 1.48 Lakeshore WTP 전경 ▐

▌그림 1.49 Lakeshore WTP 배치도 ▐

▌표 1.21 Lakeshore WTP 처리공정 ▐

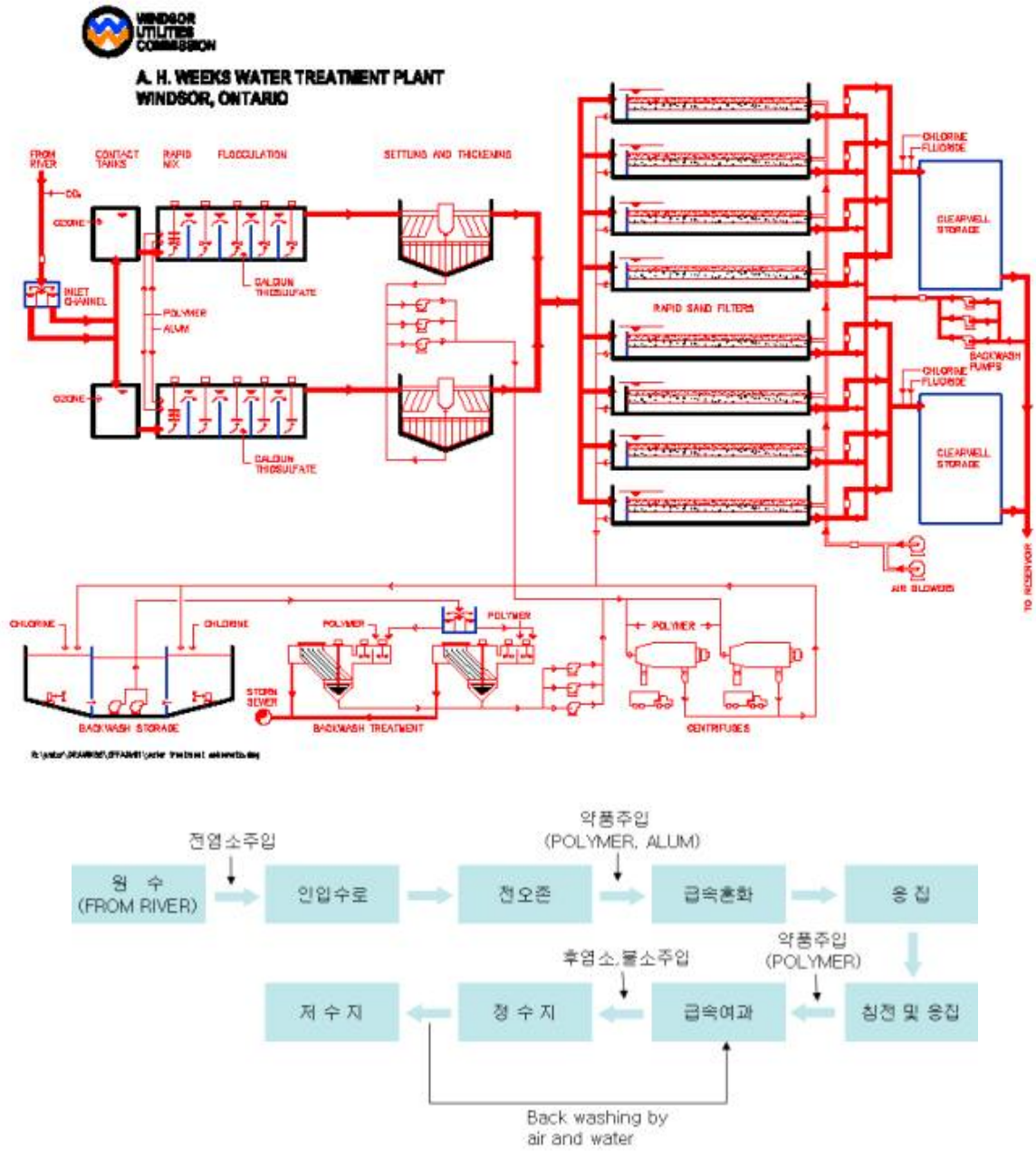
원수수질	pH 7.54 수온 4.2 ℃(여름철 최대 28~29℃) 탁도 60 NTU
염소소독	Zebra Mussel 제거위한 전염소 주입량 3ppm 후염소 주입량3.3 ppm
이취미 제거	PAC 2 ppm 주입 중
침전지	원형침전지 1지당 처리량 (9000㎥/day) -4지 (3 가동, 1 예비) 유입유량 30.3L/sec 유입탁도 60 NTU 처리수탁도 0.5 NTU
여과지	이중여재의 중력식 필터 (GAC+모래) 탄층고 GAC 3m 유입유량 22L/sec (1지당) 역세척 주기 - 약 2시간 (head loss 제어) 유입탁도 0.5 NTU 처리수탁도 0.1 NTU 미만
DAF	침전지 배슬러지+여과지 역세척수의 혼합 유입탁도 26 NTU 처리수탁도 0.5 NTU
UV 반응조	주입에너지 120 mJ/㎠
최종처리수질	총염소 1.96 ppm 잔류염소 1.53 ppm pH 7.03 탁도 0.1 NTU 미만
기타사항	* 착수정의 동결방지를 위한 Aeration 기능이 포함된 Frazil ice system 설치 * 겨울철 동결방지를 위하여 Heating water 공급라인 설치 * DAF 처리공정 후 발생되는 슬러지는 외부 처리시설로 운송



▌그림 1.50 Lakeshore WTP 공정도 ▐

▌ **WINDSOR WTP는 전오존-응집/침전-여과-후염소 공정의 고도정수처리시설로 동결방지 목적으로 건물 내에 공정이 배치되어 있음**

- 원수 유입관로에는 동결방지를 위하여 공기를 주입시키는 것이 특징적임
- 급속여과(중력식다층여과)에서는 안트라사이트 (anthrasite), 모래, 자갈층으로 되어 있으며 주기적으로 공기수세척을 하며 역세배출수는 2차처리후 디트로이트강에 방류함
- 처리수의 배관에 UV소독장치를 설치한것이 특징적이며, 처리수 내에 존재할 수 있는 크립토스포르디움 (cryptosporidium), 지아디아 (giardia)를 제거하기 위하여 설치하였음
- UV장치의 최대 유량은 420L/sec
- Operating control room에서는 처리장의 모든 시스템을 운전 조작할수 있으며, 도시밖에 있는 원수를 펌핑 해서 가동하고 있음
- 오존발생장치에는 산소의 습기가 높아서 습기제거장치가 설치되어 있음.
- 처리수의 잔류염소는 1.51ppm으로 유지하고 있음



▌그림 1.51 WINDSOR WTP 공정도 ▐

▌ 1975년 건설된 Lorne Park 정수장은 2002년 처리용량 227,000 m^3/d에서 347,000 m^3/d로 증축하였음. 정수장이 최초 건설된 이래로 지역인구는 352,703명에서 2006년 1,159,400명까지 증가하였으며 2031년에는 1,571,000명으로 증가할 것으로 예상. 따라서 Peel's 지역에 안전하고 안정적인 식수를 보급하기 위하여 Lorne Park WTP는 현재 추가 확장 중에 있음

- Lorne Park 정수장은 처리용량 500,000m^3/d 를 충족하기 위하여 최신의 막여과 기

술을 도입, 완성되면 세계최대의 막여과 시스템이 됨. 추가적으로 Pathozen 비활성화를 위한 UV 살균시스템과 계절적으로 두드러지는 이·취미 물질 제어를 위한 고도산화설비를 도입. 이러한 고도처리 시스템은 Ontarino Drinking Water Quality Standards 기준을 초과하는 높은 수준의 수질을 보증할 것이며 소비자 또한 이를 믿고 이용할 수 있을 것임

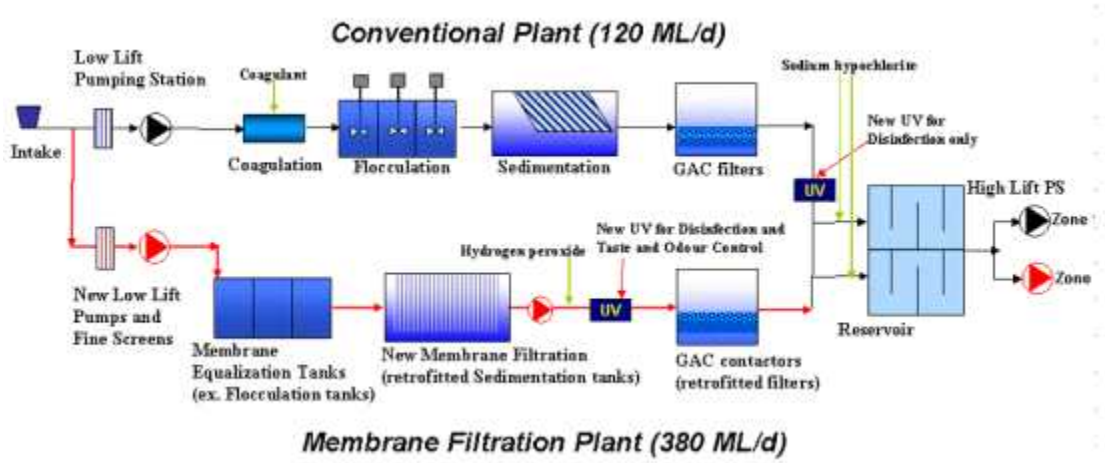
- Ontarino의 여느 정수장과 달리 Lorne Park WTP는 재래식 정수처리 공정과 막여과 공정의 2가지 공정을 병행 운영

<재래식공정>

원수→혼화→응집→침전→여과(GAC+Sand+Gravel)→UV Disinfection→정수지

<막여과공정>

원수→스크린→혼화→막여과(UF)→UVDisinfection→여과(GAC+Sand+Gravel)→정수지



▌그림 1.52 LornePark WTP 공정도 ▐

▌ 대표적인 빌딩형 정수처리 시설인 일본 무라노 정수장은 정수처리시설을 위한 용지확보가 어려워 빌딩형태의 정수처리 시설로 변모한 시설임

- 도입배경 : 시설용량 550,000㎥/d의 단층 정수처리시설을 위한 용지확보가 곤란
- 취수원 : 비와코호수 요도강
- 오사카 부영수도의 약 80% 수준(지하수 포함)의 용수를 공급
- 대표적인 일본내 계층식(건물형) 정수장
- 평면형(1,247천㎥/d)과 계층(건물)형(2동, 550천㎥/d)이 공존

▪ 계층형 시설의 경우, 부지면적 축소를 제외한 기술적 매리트는 부족함

정수장	정수과정
평면계 공정 1963년 가동	혼화 · 응집 → 침전(3Type) → 급속여과 → 오존접촉지 → 입상활성탄 흡착지 → 정수지
계층계 공정 1994년 가동	혼화 · 응집 → 침전(경사관) → 흡수정 → 펌프 → 급속여과 → 오존접촉지 → 입상활성탄 흡착지 → 정수지

▌ 일본 무라노 계층형 시설(빌딩형)의 특징은 다음과 같음

▪ 전 시스템(침전/여과/오존/활성탄)이 밀폐형으로 설계됨
▪ 경사관(평면계에 비해 1/3의 부지면적 소요)을 설치, 1회/년 세척
▪ 유량제어 : 계층시설의 유입부에서 조절, 처리수는 월류되어 유출되므로 정전시에도 만수상태를 유지
▪ 문제점 : 기둥이 많아 건물 용적율이 떨어지고 방수/결로문제 발생
▪ 적정 수요/물량에 맞는 면적산정이 어려움(공정별 사구역 발생이 큼)
▪ 운영측면에서 생산비에 의거 평면계가 주공정, 계층계는 보조 형태로 운영
▪ **정수처리 조정센터** : 수질 · 수량 데이터, 정수약품 사용량 및 전체 정수처리 공정을 감시 제어하기 위하여 정수처리 조정센터가 24시간 운영
▪ 이중 시스템 : 감시 · 제어설비는 고장에 대비하여 이중으로 구성
▪ 분산 시스템 : 시스템의 기능을 분산하여 돌발사고의 영향을 최소화
▪ 축적된 데이터에 의한 유지관리 관행

■ 송수관리 센터

▪ 물공급 제어센터(Water Supply Control Center)는 무라노, 니와쿠보, 미시마 정수장에서 생산되어 540km의 송수관로를 통하여 공급되는 수돗물을 조정 · 통제하며, 수돗물의 공급을 원활히 하기 위하여 10개 펌프장과 6개의 배수지가 관로를 따라 설치되어 있음
▪ 시설 자동화, 무선통신을 통하여 24시간 원격감시 · 제어
▪ 비상 사태에 대처하기 위하여 예비시설이 비치되어 있으며, 현내 41개 자치단체는 “Aquanet Osaka” 라는 네트웍을 통하여 각종 데이터를 교환 · 공유

■ 원수 수질감시

▪ Koi 센서 설치 : 1994년 4월 이소시마 취수장에 잉어의 행동변화를 관찰하여 원수 수질변화를 감지할 수 있는 Koi 센서 설치

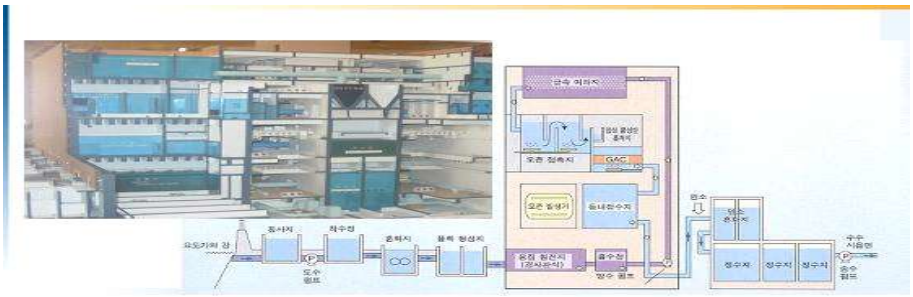
▪ Yuki 센서 : VOC 화합물의 24시간 연속 감시시스템으로 벤젠 등 23개 유기화합물의 매 시간 동시 측정이 가능

■ 슬러지 처리과정

▪ 슬러지 농축(함수율 94%)후 소석회 처리 → 가압탈수 → 탈수케익(함수율 64%) → 건조(함수율 35%) → 재활용(간척지 복토)

【평면계 정수시설】

【빌딩형 정수시설】



【빌딩형 정수시설의 공정도 및 내부 구성도】

▌그림 1.53 무라노 정수장 전경 및 구성도 ▐

■ 기 타

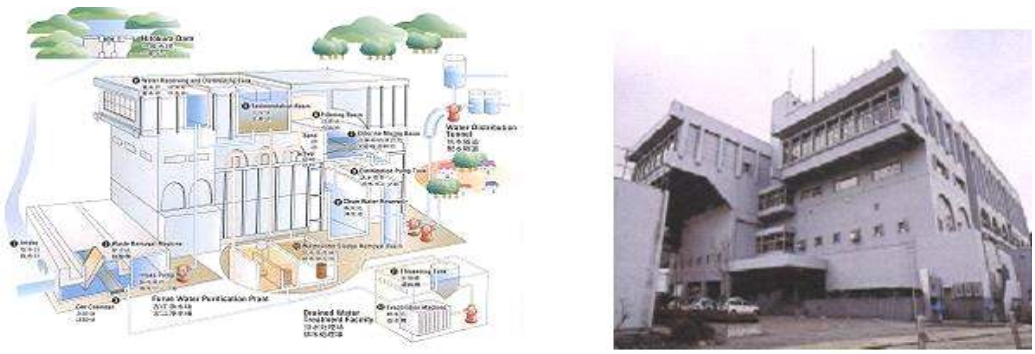
▪ 환경친화적인 관리시스템(ISO 14001) : 환경친화적인 정수장 관리를 위하여 1999년 8월에 ISO 14001 인증을 취득

☞ 환경관리 목표 : 전력사용량 절감, 슬러지 및 폐기물 배출량 최소화, 정수처리 및 시험시약의 최적 유지관리, 상수원(요도강) 보전활동 추진

- 수위차 발전설비 : 다층 정수시설의 염소 접촉조와 정수지의 낙차 10m를 이용하여 연간 1,160,000kwh의 전기를 생산하며, 생산된 전기는 정수장 운영에 사용
- 가스폐열 발전시스템 : 가스폐열 발전시스템은 케이크 야적장의 NOX, CO2를 줄이고 전기를 보완할 목적으로 설치되었으며, 발생되는 폐열은 슬러지 건조에 이용
- 태양광 발전시스템 : 침전지에 태양광 판넬을 설치하여 전기를 생산하고 있으며, 태양광 판넬은 침전지 덮개로 작용하여 조류발생 방지

▌일본 이케다시 후루에정수장 (217,500㎥/d) 또한 부지확보가 어려워 빌딩형 정수처리 시설로 도입된 정수장임

- 무라노 정수장과는 달리 설계초기부터 완전 계층식 (지상 4층, 지하 2층)으로 설계 및 운영 중 (부지면적 1/3로 감소 효과)
- 취수원 : 인아강 직접취수 또한 일본의 대표적인 계층식 정수장으로 일반 정수처리 공정 (혼화/응집/침전/소독)으로 구성
- 취수원의 수질이 양호하여 별도 고도처리시설 도입을 검토하고 있지 않음
- 현 시설은 101,000명 인구에 대해 97% 용수공급능 확보, 이외 3% 수준에 대해 타 지역(오오사카부에서) 용수공급 (1941년 가동)



▌그림 1.54 후루에 정수장 공정도 및 구조 ▐

▌이케다시 후루에 정수장의 계층형 시설(빌딩형)의 특징은 다음과 같음

- 정수장 전 시스템이 밀폐형으로 설계됨
- 공정 : 고속응집침전 → 여과 → 소독
- 동일 건물 내에 시설동과 관리동 분리
- 수원의 수질이 양호(원수 탁도: 1~100도, 설계당시 1,000 도 설계)하여 고도정수시스템의 도입을 검토하고 있지 않음

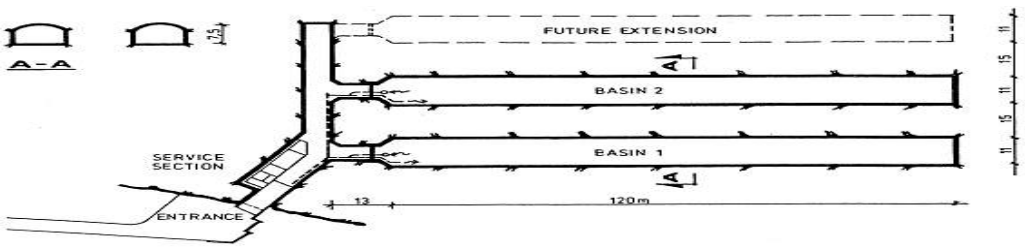
- 방수를 위해 독일 노벨사의 비닐시트를 사용함

▌ 일본 키누타 정수장 (114,500㎥/d) 은 막여과 공정이 빌딩형 정수처리 시설에 설치되어 운영중인 정수장임

- 취수원 : 타마강 하천복류수
- 공정 : (혼화)막여과/소독
- 원수수질 : 탁도 0도, TOC 0.2mg/L
- 인근 지역 키누타시모(중공사막, 4만㎥/d, 무인운전)정수장의 막여과 시설도 동시 운영 · 관리
- 막여과시설 (빌딩형: 일체형 건물형)
  - 막여과시설 (중공사막, 4만㎥/d) 2007년부터 운전
  - SUS344 재질의 저류조 (초기비용은 고가이나 장기적 관점에서의 운영관리를 위해 저장탱크 및 관망에 스테인레스 스틸을 사용)

▌ 노르웨이 및 영국에서는 1950년대부터 물 저장 시설이 지하에 건설되어 운영중임

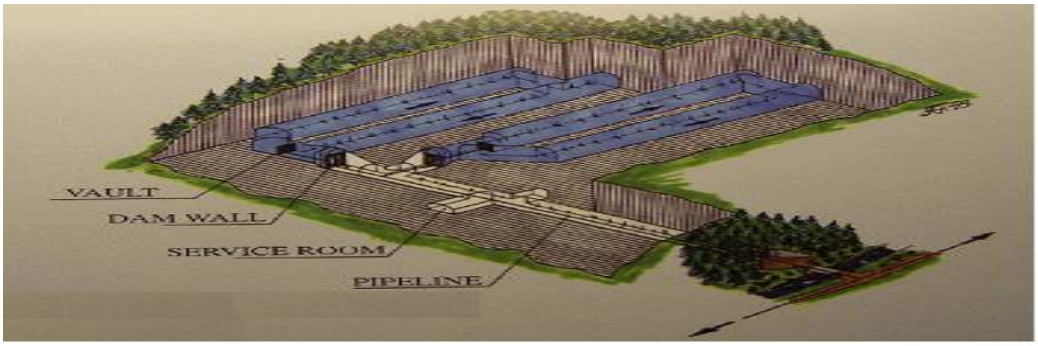
- 암질이 좋아 라이닝이 필요 없기 때문에 지하에 건설
- 지형적으로 적합하고, 5,000 m3 이상의 저류용량에서는 no-support 형식의 지하저류조가 일반적인 철근콘크리트 저류조보다 건설비가 작고, 유지관리비가 절감되기 때문에 지하 암반에 건설
- 적용사례 1 : Kvernberget Rock Cavern Tank Project (노르웨이)
  - 저장용량 : 16,000 ㎥
  - 규격 : 11 m (W), 7.5 m (H), 120 m (L)



▌그림 1.55 Kvernberget Rock Cavern Tank Project (지하저류시설)▐

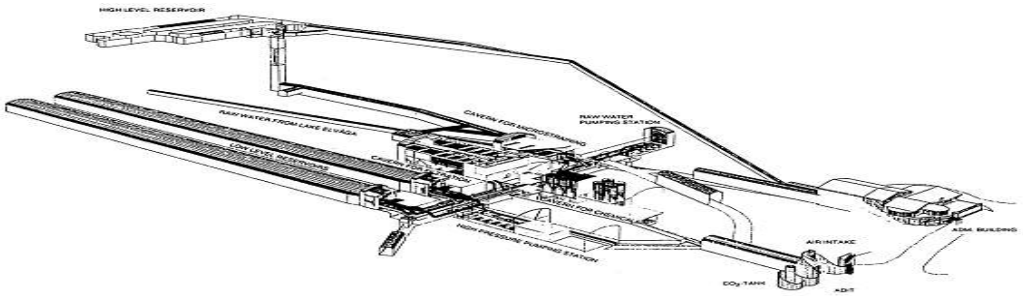
- 적용사례 2 : Hogasen Underground Water Tank (노르웨이)
  - 저장용량 : 22,000 ㎥

- 규격 : 8 m (W), 8.5 m (H), 80 m (L)



▌그림 1.56 The Hogasen underground water tank in Trondheim (지하저류시설)▐

▪ 적용사례 3 : **Skulleud Water Treatment Plant (노르웨이)**
- 완공시기 : 1994년
- 규격 : 2×15,000 ㎥ (low level 저류지), 7,000 ㎥ (high level 저류지)



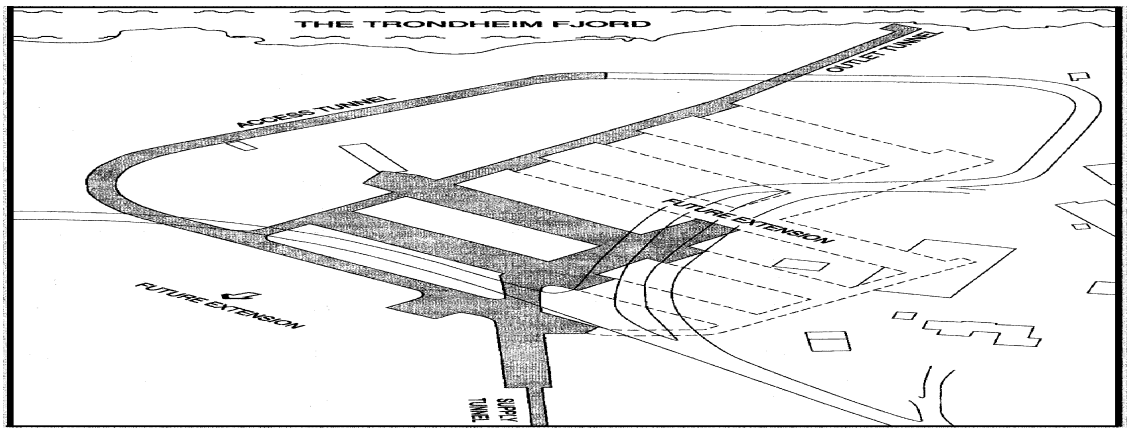
▌그림 1.57 The Skullerud water treatment plant (지하저류시설)▐

▪ 적용사례 4 : **Knapp Mill Water Treatment Works Storage Reservoir Project (영국)**
- 목적 : 환경보전과 안전성을 위해 지하에 건설
- 규격 : 93.5 m (W), 6.3 m (H), 51.2 m (L), 24,000 ㎥ (저류용량)

▌ 또한, 노르웨이에서는 지하에 수처리 시설이 건설되어 운영중임

▪ 적용사례 1 : **Hovringen Underground Sewage Treatment Plant (노르웨이)**
- 플랜트 설비를 포함한 시설과 함께 향후 확장을 고려하여 건설이며, 90,000명 (Trondheim시 인구의 70%) 배출량을 처리하는 시설

- 석영 섬록암으로 구성된 모암층 하부에 건설



▌그림 1.58 The Hovringen underground sewage treatment plant (지하 수처리시설)▐

▪ 적용사례 2 : Ladehammeren Underground Sewage Treatment Plant (노르웨이)
- Oslofjord의 수질 향상을 위하여 하수이송 터널시스템 및 지하하수처리장이 건설됨
- 석영각반암을 포함한 녹색편암층에 건설되었으며, 10,000 ㎥ 규모의 세 개의 터널로 구성
- 2차 처리 플랜트로 50,000명의 하수 및 산업폐수 처리

마. 용수공급 통합운영관리 기술

▌미국수도협회 연구재단 AwwaRF와 전기전력연구기관(EPRI)에서는 에너지 관리 시스템 모델을 상수 사업에 도입하기 위한 다양한 프로젝트 진행, 기술뿐만 아니라 운영원칙, 구조적 프로토콜까지 포함

▪ 미국 및 캐나다 지역에 위치하고 있는 60여개 이상의 수도 및 전기 공급회사가 첫 번째 프로젝트 참여, 이후 캘리포니아의 이스트베이 지방 자치 수도 사업자 지역에서 두 번째 프로젝트를 수행하였고 여기서는 자동화된 에너지 및 수질관리 시스템인(EWQMS)를 사용하여 수도사업자의 운영을 최적화 하게 되었음

▌미국 환경보호청(USEPA)의 Energy Star 프로그램은 상수도 및 하수도 시설에서 이용 가능한 에너지관리 시스템으로, 이 프로그램의 목적은 "에너지 효율이 높은 상품 및 실천을 통하여 환경을 보호하고, 운영비 절감을 위한 것임

▪ Energy Star는 에너지 사용량, 에너지 비용 및 탄소배출량을 추적하여 에너지에 관한 많은 정보를 제공함(각 시설에 대한 다수의 에너지 및 유량계 연동 추적, 각 시

설의 과거 실적과 관련된 시설 벤치마킹, 에너지 사용 개선 시뮬레이션, 에너지 및 상수도 비용 모니터링, 시설 내 외부와의 데이터 인터페이스 등)

▌WRF(Water Research Foundation)의 사례연구

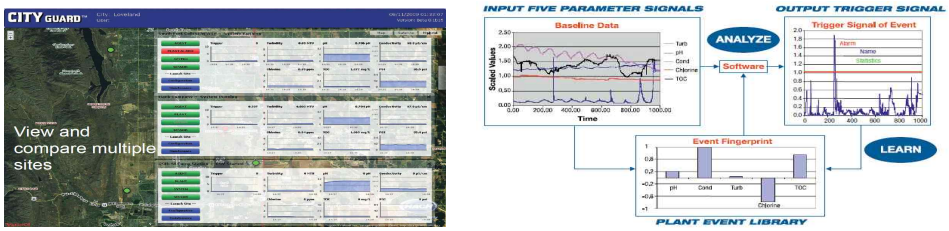
- 캘리포니아의 지방자치 단체의 특화된 에너지 및 운영 최적화 S/W는 SCADA 시스템과 데이터 인터페이스를 통해 데이터를 취득하고 송수 최적화 프로그램 개발 적용하여 연간 12%의 에너지 비용을 절약, 애리조나의 상수도 시설을 대상으로 펌프 스케줄링 소프트웨어를 이용한 펌핑 시간대 변동을 통해 연간 6.9~8.5% 에너지 절감 달성하였음

▌미국에서는 환경보호국 (EPA) 및 기타 정부조직도 포함한 상수 인프라 부분은 수도공급자, 산업단체 및 이 risk에 대처하기 시작한 관계시민을 공영적 및 민영적으로 보유

- 위협 및 취약성을 평가한 결과, 인프라 부분은 이들 중 가장 중요한 것으로 대응하기 위해서 이상상태의 수질을 감시할 수 있는 센서를 사용하기 시작하는 것을 적극적으로 시도
- EPA, ASCE, AWWA를 중심으로 물안보 및 오염경보시스템, 취약성 및 위해도 평가에 대한 가이드라인을 제시하고 있음

사례 : CityGuard

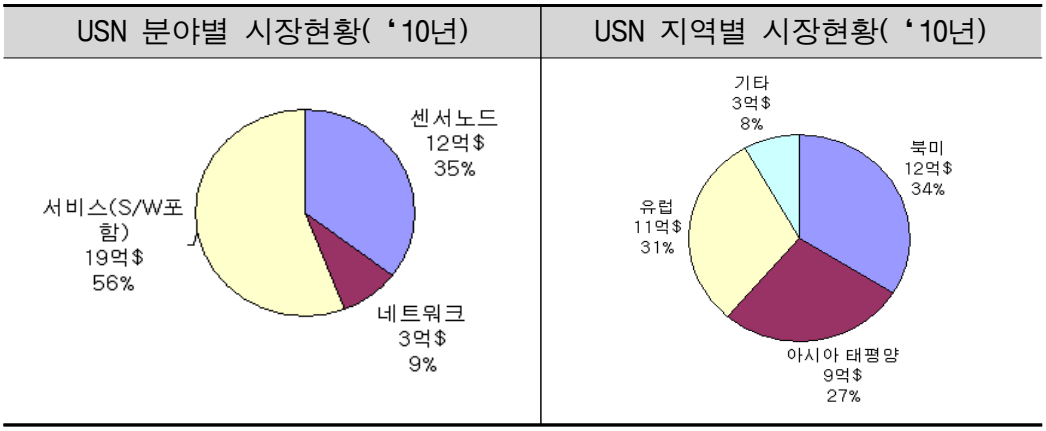
HACH사는 CityGuard™을 개발하여 용수공급시스템에서 수질이상을 실시간으로 감지하는 시스템을 적용하고 있다. 이 시스템은 각종 센서를 조합하여 활용하고 있으며, 센서는 pH, Conductivity, Solids/Turbidity, LDO, ORP, UV254, Nitrate, Ammonia등이며, SC1000 Controller w RS485 Modbus를 탑재하고 있으며, 실시간으로 수질이상 및 영향지역을 파악하고 있으며, 대상지역의 주민들에게 건강상의 영향을 최소화하고 용수공급시스템의 인프라시설의 영향을 최소화하며, 신속하게 대처할 수 있도록 활용하고 있음



【HACH사의 CityGuard 적용사례, Loveland city】

▌USN 국외 사례

- 세계 USN 전체 시장규모는 '08년 이후 북미 시장이 전체 시장의 약 40%를 차지하고, 그 다음으로 유럽 시장이 약 31%를 차지하는 수준임



▌그림 1.59 USN 분야별/지역별 시장현황▐

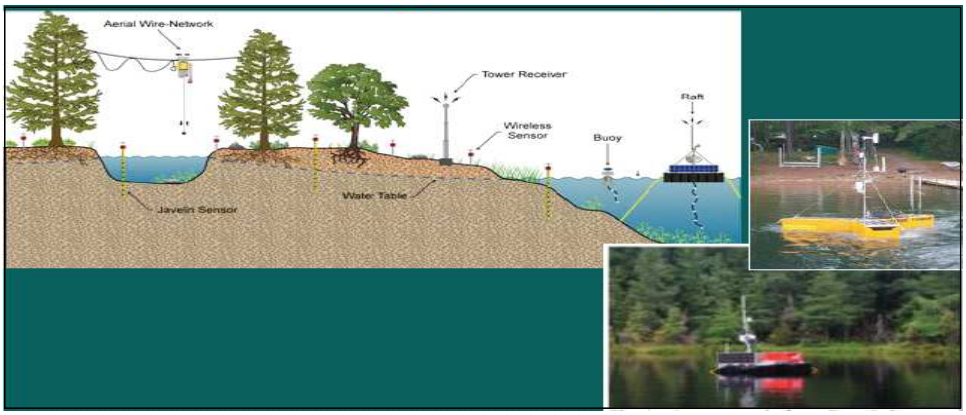
- 미국은 Smart Dust, 오염물질 전파 모니터링 등 국방, 과학, 환경 모니터링 분야에서 다양한 기반기술연구가 진행 중이며 일부 상용화 상태임
- Zigbee 등 문제점 개선 및 USN 산업적용을 위해 Zigbee Pro, IEEE 802.15.4c/d/e, IEEE 802.15 NAN 등 새로운 표준화를 추진 중임
- 저전력 저속의 WPAN 기술로 IEEE 802.15.4, Zigbee, Z-Wave, INSTEON, Wavenis 등이 시장에 적용되고 있음
- USN 기반 자산추적의 경우 미국은 병원의 이동성 자산추적에 시범적으로 적용되고 있는 상태이며 Zigbee Alliance에서는 표준화 진행중임
- AMI 기술의 경우 미국은 2005년 통과된 에너지 정책법안(2005 Envegy Policy Act)을 바탕으로 각 주 단위로 입법안이 완료 및 진행되고 있고 2008년부터 상용시스템을 설치하기 시작함
- 오라클, IBM, MS 등은 기존의 자체 솔류션에 센서네트워크를 연동하는 RFID/USN 통합 플랫폼을 개발하였음
- Comell, Rutgers 등 대학을 중심으로 센서 네트워크로부터 인식된 대량의 실시간 센싱 데이터를 수집·처리 및 가공하여 DB에 저장하고, 질의 처리 및 정보 분석을 수행하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며, WSN 미들웨어에 대한 연구가 진행중임
- WPAN 기술은 home automation, building automation, industrial automation, utillity

monitoring 분야에 적용되고 있으며, medical, transportation, agriculture 분야 적용은 2단계로 진행중임

- 일본에서는 총무성을 주축으로 의료, 건강, 방범, 방재, 교육, 시설제어, 농산물 등의 각종 생산과정, 환경문제 등 사회의 안전, 생활의 쾌적성, 여유로움, 생산/업무의 효율화 등에 대한 USN 기반 응용 서비스를 추진 중임

▌미국은 허드슨강 USN기반 하천관리시스템을 구축하여 허드슨강 전 구간에 5천여개의 센서로 네트워크를 구축하여 정보를 수집 분석하고 돌발적인 재난에 대비하고 있음

- 생물학적, 물리학적, 화학적 모든 정보에 대한 데이터수집 및 제공
- 첨단 IT기술을 활용한 수질, 수위 및 수중 생태모니터링 서비스구축



*자료출처 : River & Estuary Observation Network by J.S. Bonner)

▌그림 1.60 미국 : 허드슨강 USN 기반 하천관리시스템▐

▌USN 표준화 동향

- 주요 표준화 기구로는 IEEE 802.15와 ISO/IED JTC 1/SC 6, Zigbee Allience, IETF 6LoWPAN, ITU-T 등이 있음
- USN 주요 표준화 추진 분야는 PHY/MAC 분야, 네트워킹 분야, 미들웨어 분야, USN 응용 및 정보보호 분야에서 표준화가 추진되고 있음

▌해외 많은 전력회사들은 20년 이상 EMS에 계통의 운영을 의존해 왔지만, 적용되고 있는 EMS들은 현재 IT기술로 구현할 수 있는 기술 수준보다 낮은 수준으로 개발된 상태임

▌전력산업의 구조가 발전 중심에서 소비자 중심의 시장으로 변환되고 있는 시점으로 발전 운영의 관점보다 소비자 중심의 응용프로그램 개발에 투자가 집중되고 있음. 이로

인하여 현재 EMS의 기술 발전 속도는 늦어지고 있으나, 신재생에너지원의 도입으로 마이크로그리드에 적용되는 micro-EMS나 건물의 에너지관리에 사용되는 BEMS 중심의 연구가 활발하게 진행되고 있는 실정임

▌표 1.22 USN 기술분야별 표준 참여 주요기업 현황 ▐

기술분야	기술동향	주요기업		참여현황
PHY/MAC (H/W, Chip)		한국	ETRI	IEEE 802.15/TG4e
		미국	Dust networks	IEEE 802.15/TG4e
ZigBee (S/W)	Smart Energy WG은 2007년 결성되어 2008년 Smart Energy 프로파일 표준 개정중	미국	Ember	Zigbee Allience/ ZARC
			Itron	Zigbee Allience/ Smart Energy
			Daintree	Zigbee Allience/ ZARC
USN 미들웨어 (S/W)	ETRI 주도로 표준화 진행 중	한국	ETRI	ITU-TSG16

▌ 2004년 WHO의 음용수 수질 가이드라인에서는 위해를 체계적으로 평가하고 관리할 수 있도록 「Water Safety Plans (WSPs)」의 책정 및 이행을 권고

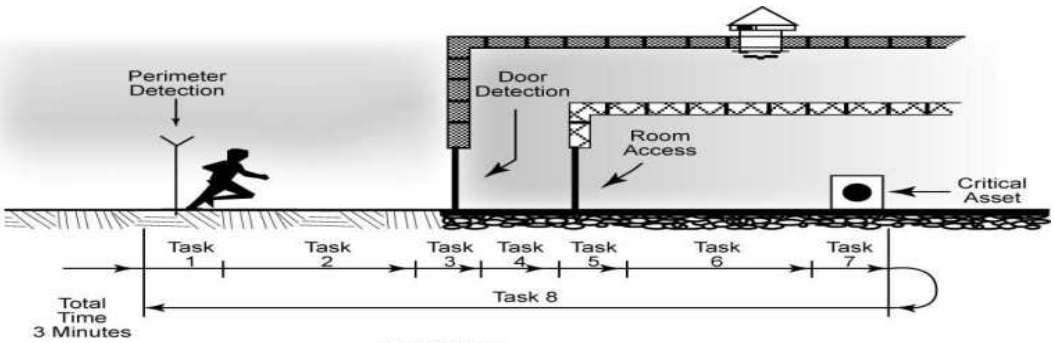
- 식품제조분야에서 확립된 HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point)의 방법을 도입하여 수원으로부터 급수전에 이르는 전체 단계에서 위해평가와 위해관리를 행하여 안전한 물의 공급을 확실히 하는 수도시스템의 구축 목적
- WHO의 물안전계획(WSPs)은 원수수질의 오염을 가능한 한 최소화, 정수처리과정에서 오염물질을 저감·제거, 배/급수 과정에서 수도수의 오염 방지가 목적
- 물안전 계획은 다음의 요소로 구성됨
  - 수도시스템의 평가 : 수도를 구성하는 전체 시스템의 수도 수질기준 및 수질 목표 달성여부 평가
  - 관리조치의 설정 : 수도 시스템 위협이 되는 risk를 특정하여 이들을 포괄적으로 제어하기 위해 필요한 정수처리 등의 관리조치를 확립
  - 계획의 운용 : 수도 시스템의 운전, 제어의 방법이나 수도 시스템에서 발생할 가능성이 있는 이상사태에 대응 (이상시의 연락체제를 포함)을 문서화

▌그림 1.61 Water Safety Plan Manual ▐

▌ ASCE와 AWWA에서는 2006년 12월, 물공급 시설의 물리위협 발생 시 대처에 관한 가이드라인으로 "Guidelines for the Physical Security of Water Utilities" 제정

- 수돗물 수원, 처리 및 분배시스템에 사용되는 시설의 물리적인 안보에 적용
- 가이드라인 적용 단계

- **Step 1** - Vulnerability Assessment (취약성 평가)
  - 평가 tool : Vulnerability Self-Assessment Tool (VSAT™) (NACWA 2005), Asset Based Vulnerability Checklist for Wastewater Utilities (NACWA 2002), Security Vulnerability Self-Assessment Guide for Small Drinking Water Systems (ASDWA 2002), Protecting Your Community's Assets: A Guide for Small Wastewater Systems (NETCSC 2002)
- **Step 2** - Design Basis Threat (기준위협수준 설정)
- **Step 3** - Identify Security Measures (현재안보수준 평가)
- **Step 4** - Consider Consequence Mitigation(위협 경감에 따른 경제성에 따라 경감대책 결정)

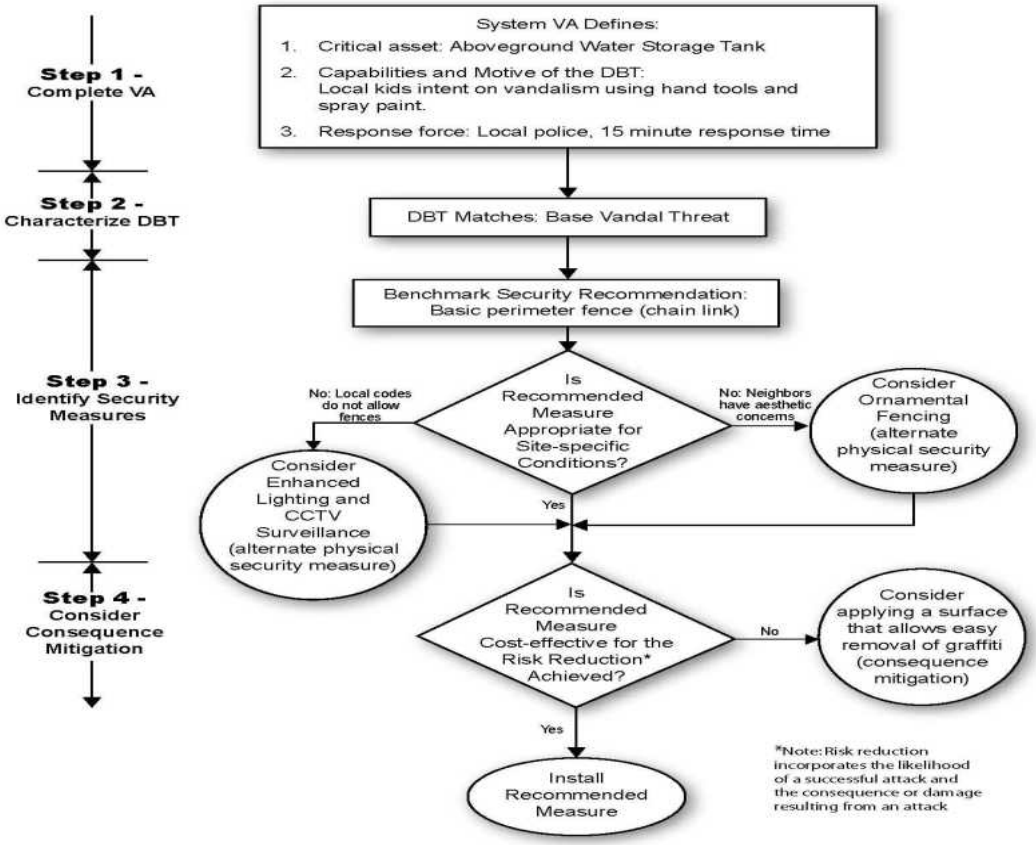


Time Estimate

Task	Task Time (minutes)	Cumulative Time (minutes)	Adversary Task Description	Response
1	0.1		Climb over fence	1st Alarm
2	0.3	0.4	Run 250 feet (76 m)	
3	0.8	1.2	Force door	2nd Alarm
4	0.4	1.6	Walk 150 feet (46 m)	
5	0.2	1.8	Cut door lock	
6	0.1	1.9	Walk to asset	Response Force Arrives
7	0.2	2.1	Disable asset	Stop Adversary
8	0.9	3.0	Escape	
	3.0		Total Time	

Effective response time

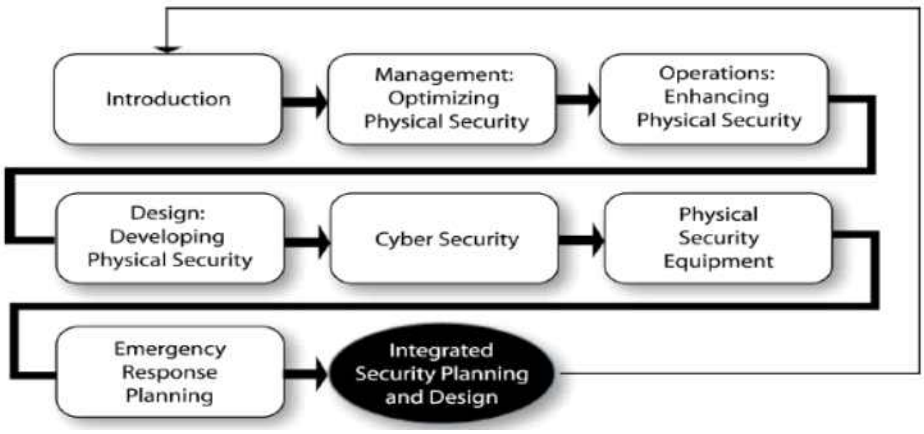
▌그림 1.62 물리위협의 감지 및 지연시간 계산 (adapted from Garcia, 2001)▐



▌그림 1.63 물 공급시설 물리적 안보 가이드라인과 물리위협에 대한 의사결정 시스템의 예▐

▌미국 EPA등에서는 물안보에 있어서 수도 기반시설 보호를 위한 연구와 기술지원 활동 및 비상대응, 위해도 평가, 유해폐기물 정화, 음용수 및 하폐수 처리, 수질 모니터링 수행

- 2001년 9월 11일 탄저균 테러 위협 이후, 미국 시민들 사이에서 건강 위해에 대한 관심 증가
- 테러리스트 위협은 개인뿐만 아니라 음용수 및 하폐수 시스템을 포함한 국가의 주요 시설과 기반시설까지 목표로 함
- 위협, 오염물질 및 위험상황에 대해 주기적으로 업데이트



▌그림 1.64 용수공급시스템의 14 계획 및 설계 단계▐

▌표 1.23 용수공급 시스템에 대한 위협 ▐

시스템	전체적인 논점	잠재적인 위협의 예	영향대상		
			시설	개인	사회
원수 및 수처리 시설	-원수와 이송지역간 원거리 -fence외 보안시설 부족	-주요자산의 손상/무력화 -원수/처리장에 독극물 투입 -염소가스 배출	-구조물/설비 손상 -처리공정 장애	-폭발/독극물에 의한 작업자 부상	-용수공급 장애 -오염수/염소가스에 의한 건강악화
분배 시스템	-시설/관로의 모니터링 부재	-시스템을 적의 통로로 이용 -시설에 급조폭발물 설치	-관로와 저류조 손상	-폭발/독극물에 의한 작업자 부상	-용수공급 장애 -오염수에 의한 건강악화 -주위건물/주민 피해
펌프장	-원거리 위치 -무인화	-임의가동 -시설 및 장비의 손상 -펌프장 panel 파괴	-구조물/설비 손상	-폭발/독극물에 의한 작업자 부상	-물부족/오염수에 의한 건강악화
SCADA 시스템	-SCADA 시스템 해킹(인터넷/전파방해)	-경보기 불능화 -흐름 및 공정 제어의 장악 -상황파악 인지 지연화	-처리/분배공정 장애	-상황/상태 미인지	-용수공급 장애 -정보부재로 인한 건강 악화

▌표 1.24 EPA의 취약성 분석 보고서 ▐

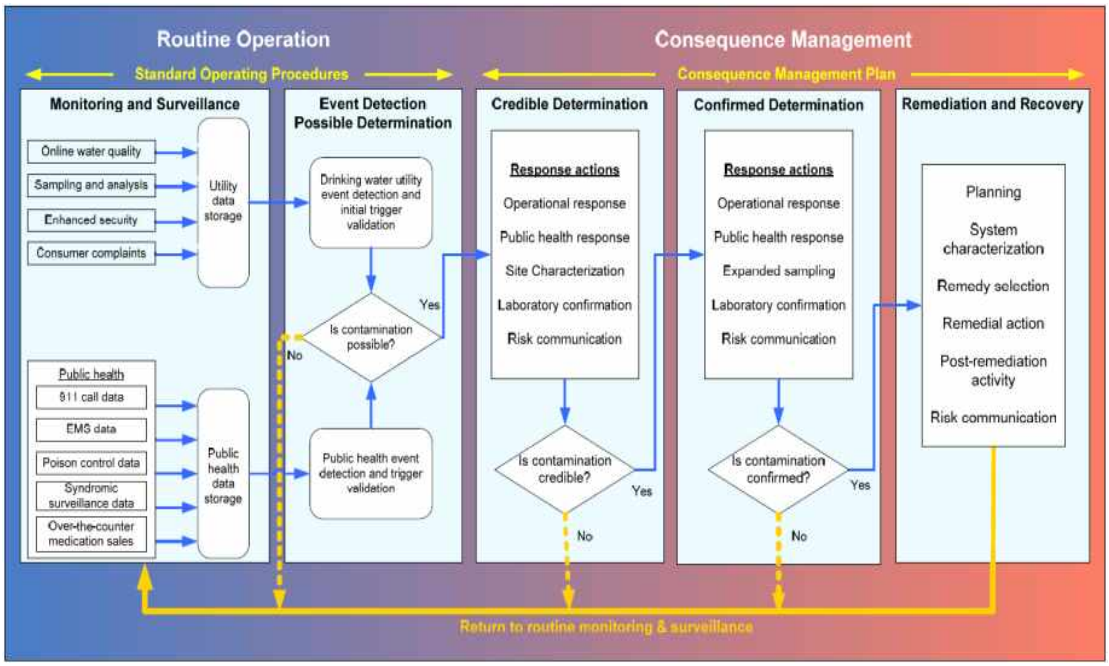
기본요소	고려사항
1. 용수시스템의 특성 (임무와 목적)	■ 용수공급의 최우선 순위 결정 ■ 시스템에서 가장 중요한 시설, 공정 및 자산 결정
2. 확인과 우선순위화	■ 시스템의 물공급을 방해하는 악영향을 고려 ■ 각 사건에 대한 결과 및 영향을 확인 ■ 고려인자 - 서비스 방해의 정도 - 경제적인 영향 - 사상자수 - 장기적인 영향
3. 주요자산의 결정	■ 취약성 평가 항목 - 이송관로 - 취수, 전처리 및 처리시설 - 저류, 분배시설 - 공공용수시스템의 전기, 컴퓨터, 자동화시설 - 다양한 약품의 저장, 취급 - 시스템의 운전과 유지관리
4. 문제 발생의 정성적인 가능성	■ 용수시스템의 주요자산에 기초한 가능성 모드 결정 ■ 지리적 위차, 시설규모, 이전공격사례
5. 현재 대응책의 평가	■ 현재 시스템의 감지, 지연, 대응능력 - 감지능 : 침입감지시스템, 수질모니터링, 운전경보, 안보인식프로그램 - 지연능 : 잠금장치, 울타리, 주요자산의 구조완결성, 검문소 - 대응능 : 시스템 고장경보, 수질이상감지장치, 사이버 침입 ■ 사이버 보호 시스템 (SCADA) - 방화벽 - 모뎀, 인터넷 및 외부연결 - 안보정책 및 프로토콜 ■ 현재의 정책과 과정 - 개인보안 - 물리적 보안 - 시스템 제어와 운전 data - 화학약품 - 안보교육 및 연습기록
6. 위해도의 분석 및 우선순위화 계획의 개발	■ 위협, 주요자산, 용수시설 운전, 결과와 대응에 대한 정보 분석을 통해 현재의 위해도 결정 ■ 특정 위해도 저감대책의 선택 (장기, 단기) ■ 안보 향상 계획 고려 ■ 취약성 저감 범주 - sound business practices - 원활한 상호의사소통 - 시스템 업그레이드 : 운전, 장치, 공정, 시설 - 안보 업그레이드 : 감지, 지연, 대응능력 향상

▌EPA의 물안보 시스템을 신시내티 용수공급시설에 pilot 형태로 적용하여 오염 경보시스템의 적용성 및 경제성 평가를 실시(Water Security Initiative: Cincinnati Pilot Post-Implementation System Status, EPA)

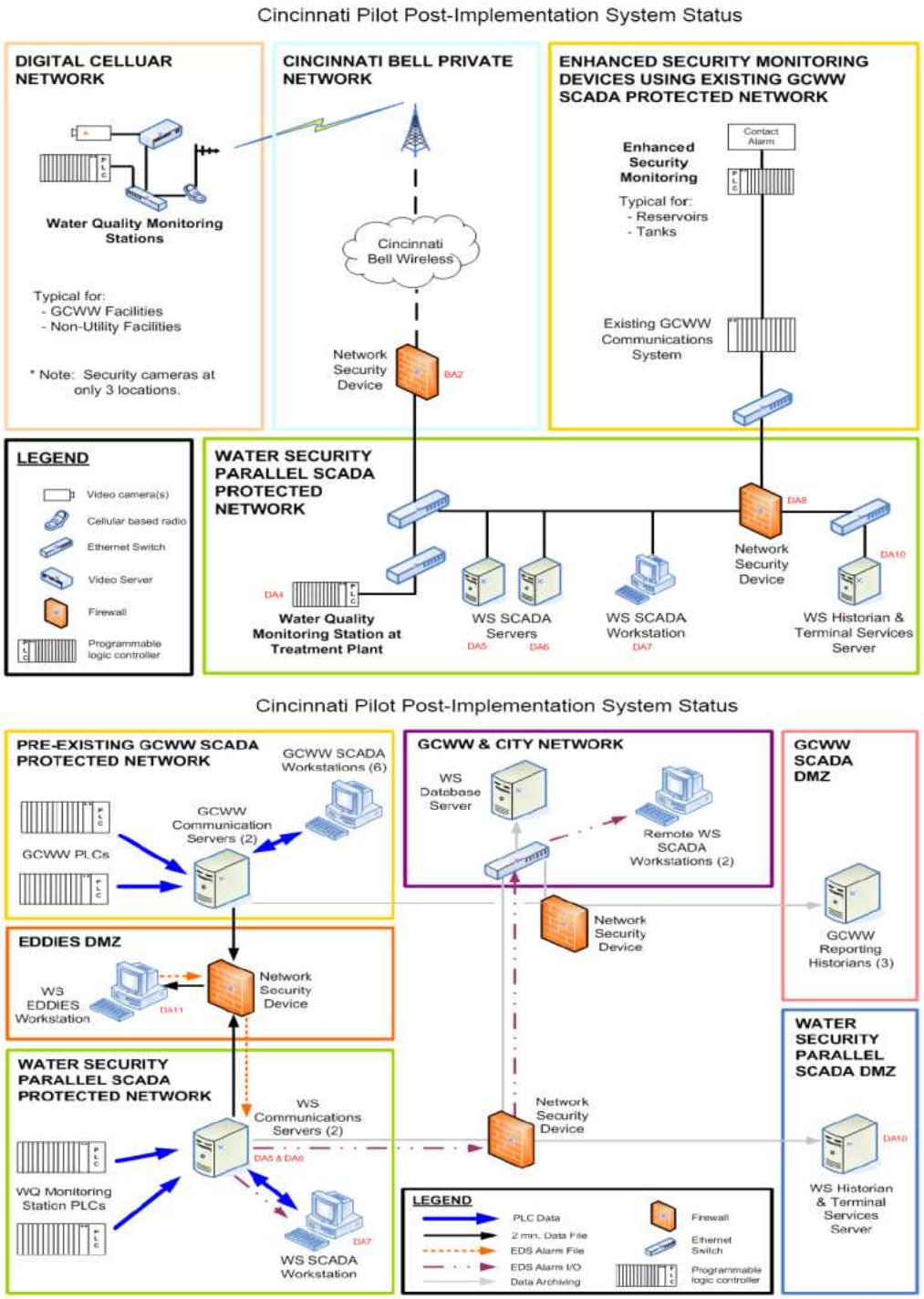
- 신시내티 오염경보시스템의 설계 목적 - 공공에 위해가 되거나 용수공급 장애를 일으킬 수 있는 잠재적인 오염 스펙트럼 감지, 대응행동이 이행되도록 충분한 시간 내에 오염사고 감지 및 분배시스템의 지속가능한 모니터링 경보시스템 제공
- 수질모니터링 장치, 수질모니터링 네트워크, 자료 수집과 통신, 수질사고 검출 시스템으로 구성됨
- 오염 감지를 위한 다중요소 접근방법을 적용

▌오염경보시스템의 개념설계는 일상운전단계와 오염사고시 운영단계로 구분됨

- Routine Operation Phase : 가능한 오염의 경향지표를 확인하기 위해 시스템에서 생성된 대량의 data들을 얻기 위해 설계된 사건감시시스템 및 모니터링, 감시 요소 포함
- Consequence Management Phase : 가능한 오염사고 확인 후, 오염의 신뢰성 조사, 사건 확인 및 오염된 시스템의 복구 포함



▌그림 1.65 오염경보시스템의 구성▐



▌그림 1.66 오염경보시스템의 수질모니터링 SCADA 시스템 구성도 및 수질 모니터링 자료의 흐름도▐

▌ 일본에서는 2008년 5월 30일에 후생노동성에서 「물안전계획책정 가이드라인」을 공표하여 물안전계획의 책정 또는 이에 준한 위해관리를 철저히 하여 양질의 안전한 수

도수의 공급확보에 노력 중

▌ 일본의 물안전계획은 HACCP적 관리방법을 기초로 하여 용수공급시스템의 안정성 향상, 유지관리의 향상·효율화를 목적으로 함

- 물안전계획은 신뢰성 (안전성)이 높은 수도수를 지속적으로 공급하기 위한 수도 시스템 전체를 포괄하는 계획
- 수원관리, 정수관리, 급배수관리, 수질관리 등의 수원에서 수도꼭지까지의 관리 전체를 계통화 한 종합적인 품질관리 시스템

▌표 1.25 용수공급시스템 개소별 위해원인 사상 ▐

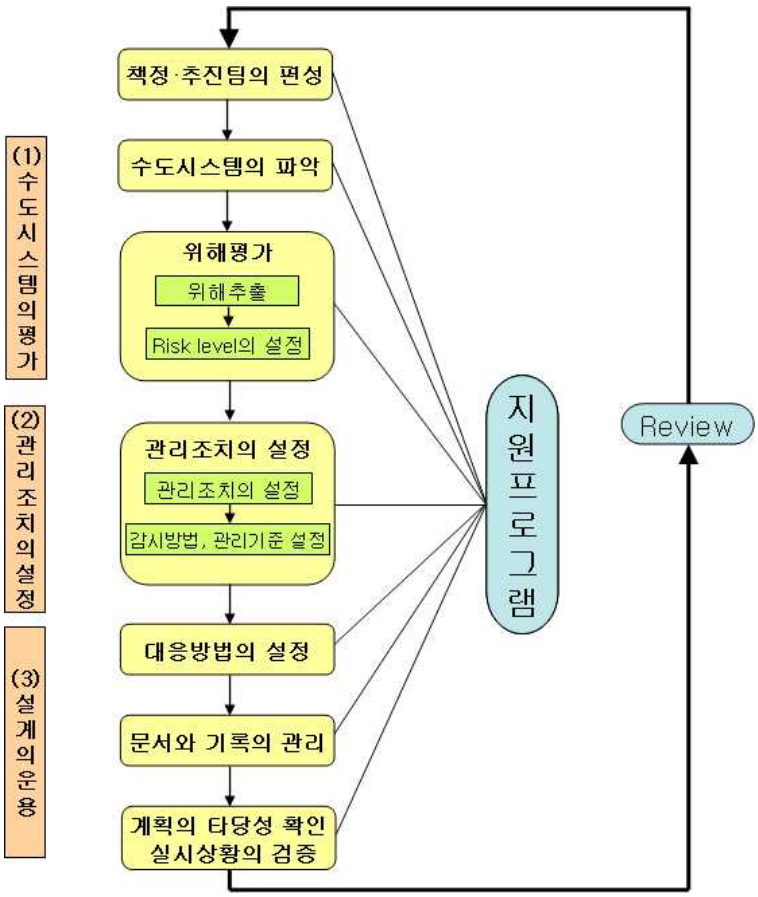
발생개소		위해원인사상
수원유역		PTTR 대상물질, 기름, 농약, 내염소성병원생물, 그 외의 오염물질 등의 유출 (예를 들면, 공장폐수, 하수방류 등)
수원	수원하천 등	고사에 따른 수질악화, 강우시의 고탁도, 갈수시의 수질악화, 유래에 의한 수질오탁
	수원정호	케이싱 파손, 스크린 폐색, 유기염소계용제 고농도
취수·도수	취수	취수언 파손, 취수구폐색
	도수	차량사고, 불법투기
정수장	착수정	약품의 과잉주입, 약품의 주입부족
	침전지	플록침강부족, 슬러지퇴적, 단락류
	여과지	세정부족, 탁도누설
	정수지	잔류염소부족, 내면도장제박리
	정수약품 관련설비	유효염소농도저하, 염소산농도상승, 주입기고장·주입관파손
	계장설비	샘플링관폐색, 계기지시값이상
배수	배수지	모니터링기기이상, 방충망파손
	배수관	부식, 적수, 흑수
급수		cross connection, 잔류염소부족, 소독부생성물증가
저수조수도		인위적독물투입, 잔류염소부족, 소독부생성물증가

▌ 물안전 계획은 수도시스템의 평가, 관리지침의 설정, 설계의 운용의 3요소 순서로 구성되며 세부적으로는 물안전계획 채정·추진팀의 편성, 수도시스템의 파악, 위해도 평가, 관리조치 결정, 대응방법 설정, 문서/기록관리의 순서로 행하며 마지막으로 계획의

타당성 확인 및 실시상황을 검증함

1) 발생빈도의 특정
↓
2) 영향정도의 특정
↓
3) Risk level의 가설정
↓
4) Risk level의 비교검증·확정, 설정

▌그림 1.67 위해수준의 설정 순서▐



▌그림 1.68 물 안전계획의 책정과 운영의 흐름▐

▌**유럽에서는 취수원에 모니터링 장치를 설치, 운영하여 오염 물질 유입을 실시간으로 모니터링하며, 오염 물질 유입 시 대규모 저류시설을 이용해 용수공급을 안전하고 안정적으로 운영함**

- 네덜란드 WPH 정수장은 취수대상의 강, 강물 취수구 입구, 대규모 원수 저류지 입구에 생물 모니터링 및 이화학적 모니터링 장치를 설치, 운영하며, 오염물질 유입 시 저류지 유입부를 차단하고 나머지 저류지 용량으로 지속적인 원수 공급이 가능토록 함.
- 네덜란드 Andjik, Baanhok 정수장, 독일 뒤셀도르프 정수장등은 저류지 (혹은 강변여과 관정)유입부분에 생물 모니터링, 화학적 모니터링, 물리적 모니터링을 병행하여 운영 → 이상 징후 시 취수를 중단하고 위해성 여부 판단 시 까지 저류지에 저장된 원수를 사용
- 스위스 Lengg 정수장은 방공 시설을 고려해 정수장을 지하화 하고, 정수지의 저류용량을 1일 급수량 만큼 확보하여 비상시 단수 없는 운영이 가능토록 함. 아울러 취리히 호수의 오염 상태를 무지개 숭어를 이용해 상시 모니터링

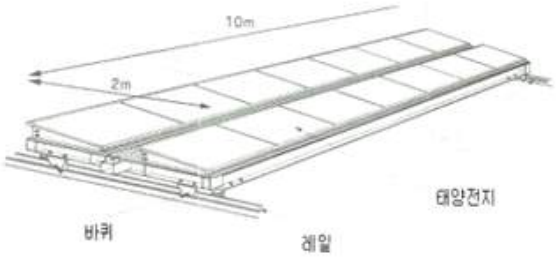
바. 신재생에너지 융합 기술

(1) 태양광

▌**2000년 이후 미국, 독일, 일본, 노르웨이 등을 중심으로 활발히 전개되어 온 선진국의 기술개발은 태양광발전 산업의 빠른 발전에 기인**

- 2004년 말 이후 유가의 고공행진이 계속되므로 선진국들은 태양광발전 산업이 필수적 산업이라 보고 더욱 상용화 기술 가속화
- 세계기술 및 시장을 선도하고 있는 일본, 유럽, 미국은 정부주도의 장기 기술개발을 추진 중
- 용수공급시스템에서 태양광발전 시스템의 적용은 수원인 하천 또는 호소 수면위에 태양광 판넬을 설치하는 방식이 주로 적용되며 정수장의 경우, 침전지 및 여과지에서 조류발생 및 이물질 투입을 방지하기 위한 계패장치를 태양광 판넬로 대체하여 시공하는 사례가 있음
- **적용사례** : 일본 무라노 정수장
  - 설치장소 : 경사판 침전지 상부
  - 연간발전량 : 26만2천 kWh

- 태양전지 판넬 : 다결정 실리콘 (134W×2,700매)



▌그림 1.69 무라노 정수장 경사판 침전지 상부의 태양열 판넬▐

(2) 소수력 발전

▌ 소수력 발전은 세계적으로 광범위하게 운영되고 있으며, 특히, 중국의 소수력 발전 용량은 38,500MW로 가장 많이 운영되고 있음

- 소수력 수차의 경우, 일반적으로 발전용량이 증가할수록 경제성이 증가하나, 외국의 경우에는 경제성이 우수한 저낙차, 저용량의 수차를 개발, 사용
- 유럽 등 선진국은 수차 종류별로 설계기술을 확보했으며 형식별로 표준화 및 간소화 기술 개발을 완료한 상태
- 미국은 '80년대에 수력발전의 잠재지역을 조사하였으며, 90년대에는 수차의 표준화와 개도국에 대한 기술지원
- 독일의 경우 소수력 발전소 1개소당 평균 발전용량은 58kW의 극소규모(Micro) 수력발전소를 건설하여 부존에너지를 최대한 활용하도록 정부에서 발전소 건설 및 운영에 대하여 지원
- 일본은 80년대에 Sunshine계획의 일환으로 수차의 국산화 개발과 수력발전 시스템 자동화 연구를 수행하였으며 90년대에는 New Sunshine계획으로 수차의 표준화 개발 완료, 일본 무라노 정수장의 경우, 계층식 정수장으로서 다른 정수장에 비해 이용할 수 있는 낙차가 큰 점을 이용하여 수위차 발전을 적용 중

▌ 수차발전기 및 부속설비에 대해서는 각국들이 표준화하여 수차발전기의 비용을 절감하게 되었고, 소수력발전설비를 대부분 자국에서 생산 및 수출하고 있다. 아래의 표에 각 나라별 표준화 수차생산현황과 소수력용 수차 생산업체 수 현황을 정리하였음

▌표 1.26 표준화 수차 생산 현황 ▐

수차제작회사	국 명	수차형식	표준화내용
Allis-Chalmer Co	미 국	Tube	수차 직경(D) : 750 - 3,000mm
Fuji	일 본	Tube Bulb	D : 800 - 2,500mm D : 1,250 - 2,000mm
CMEC	중 국	Francis	D : 300 - 1,000mm
Sorumsand-Verksted	노르웨이	Tube	D : 100 - 2,400mm
Bofors-Nohab	스 웨 덴	Bulb	D : 500 - 3,000mm
Neyrpic	프 랑 스	Bulb	D : 800 - 1,800mm

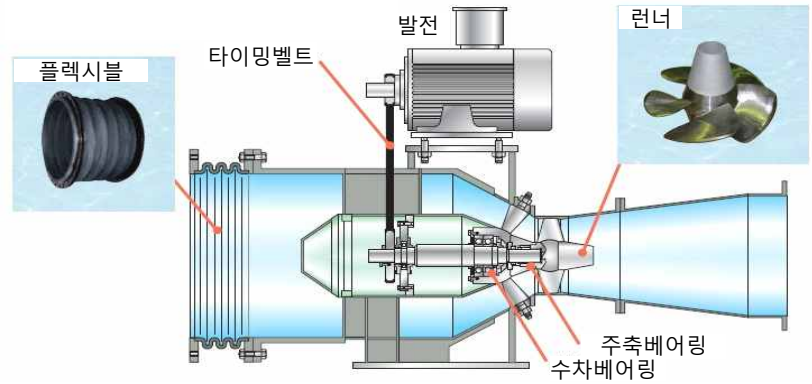
▌표 1.27 세계의 소수력용 수차(300~1,000kW급) 생산업체 수 현황 ▐

국 명	생산업체 수	국 명	생산업체 수	국 명	생산업체 수
Canada	4-6	U.K.	7 이상	Tanzania	1-3
USA	7 이상	Netherlands	7 이상	Sri Lanka	1-3
Cuba	1-3	Germany	4-6	India	4-6
Mexico	1-3	Irish.Rep.	1-3	Pakistan	1-3
Costa Rica	4-6	Belgium	1-3	Nepal Indonesia	7 이상
Colombia	1-3	France	4-6	Singapore	1-3
Peru	7 이상	Portugal	1-3	Vetnam	1-3
Brazil	4-6	Spain	4-6	China	1-3
Bolivia	1-3	Austria	4-6	Japan	7 이상
Chile	4-6	Italy	4-6	Australia	4-6
Argentina	1-3	Slovenia	1-3	New Zealand	1-3
Finland	1-3	Romania	1-3		1-3
Sweden	4-6	Hungary	1-3		
Norway	1-3	Czech.Rep	1-3		

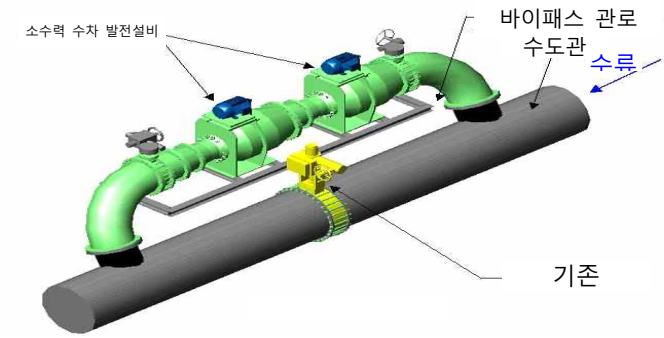
▌소수력 발전수차는 다양한 형태로 개발되어 적용되고 있음

▪ 마이크로 튜블러 수차(micro tubular turbine)

- 개발사: 일본 후지전기시스템 주식회사
- 수차발전기 구조
  - 유량변화가 있는 지점에서는 에너지를 최대한 이용하기 위해 전동가동익 수차를 선택할 수 있다.
  - 수차중심은 방수면보다 높게 위치할 수 있어, 토목비의 삭감이 가능
  - 발전기에의 동력전달은 고효율 타이밍 벨트를 채택
  - 플렉시블 튜브를 채택하여 탈부착이 용이
- 특징
  - 유량이 많은 지점에 적용하는 튜블러형 수차로 상수, 하수, 농업용수, 하천 등 넓은 활용 가능성이 있음
  - 광범위의 운전범위에서 고효율화를 실현하였고, 간소화된 구조로 보수가 용이



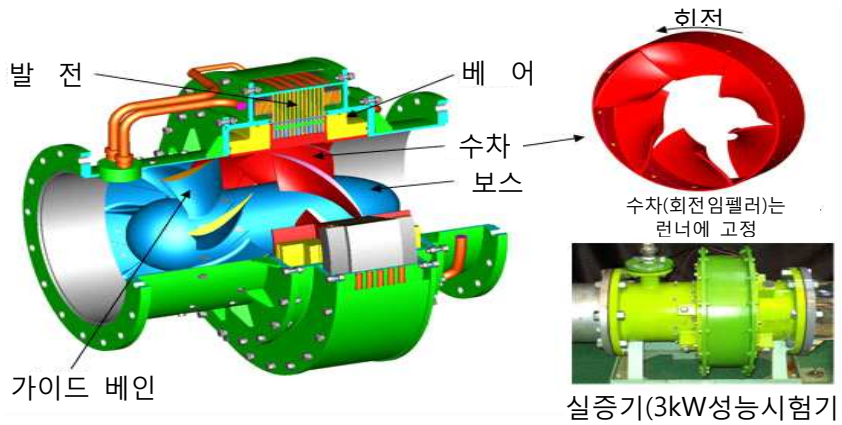
▌그림 1.70 후지전기의 마이크로 튜블러 수차의 구조▐



▌그림 1.71 수도관 차압을 이용한 실용화 예▐

▪ 링 수차 (ring turbine)

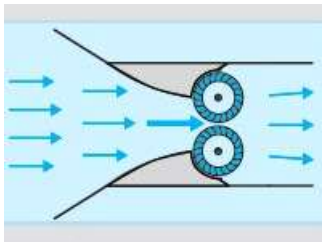
- 개발사: 일본 카와사키중공업
- 수차발전기 구조
- 특징
  - 간결한 디자인 : 영구자석을 런너에 매입하여 수차와 발전기를 일체화하여 종래의 인라인형 수차에 비해 50% 이하의 크기를 실현하였고, 이때까지 도입이 어려웠던 좁은 배관 공간에서도 설치 가능
  - 저소음, 저진동 : 수윤활 베어링을 채택하여 고체 접촉이 발생하지 않기 때문에 소음 및 진동이 거의 발생하지 않는다. 이 때문에 주택이 가까운 장소에 도입하는 경우에도, 특별한 소음대책이 불필요하다. 또한, 감압밸브, 유량조절밸브 대신에 링 수차를 도입하면, 발전에너지 회수와 동시에 주변 환경에의 소음을 대폭 저감하는 것이 가능
  - 오일레스화 : 발전용 수류의 압력만으로 수차의 회전을 지지하는 수윤활 베어링을 채택하고 있기에, 오일을 전혀 사용하지 않고, 수질에 영향을 주지 않는다.
  - 간단한 유지보수 : 오일 보충 및 벨트 교환 등의 일상 메인트넌스가 불필요



▌그림 1.72 링 수차의 구조▐

▪ 유수식 스트림 수차 (small hydro stream turbine)

- 개발사 : 일본 Seabell international(주)
- 특징
  - 수직 2축형 발전시스템 : 수직 2축형 수차의 수력발전 시스템으로, 유속을 빠르게 하는 특허 기술을 적용하여 수류 에너지를 고효율로 수차에 작용시켜, 발전에너지를 얻을 수 있게 시스템화하고 있다.



• 저낙차 수로에도 설치가능 : 개방수로를 이용하는 소수력 발전시스템으로, 낙차가 적은 수로에도 설치가능.

• 간단한 유지보수 : 수로에 계류하여 설치하기에, 대규모 공사를 하지 않아도 도입 가능하고, 설치 후에도 유지보수 시 등 수상에 끌어 올릴 수 있는 구조

• 수로형상에 맞추어 설치 : 동일 수로 상에 복합 대수의 시스템을 연속해서 설치 가능하고, 위치에너지를 이용한 종래의 수력발전과의 큰 차이점으로, 복수대의 연속운전으로 큰 발전에너지를 발생할 수 있고, 기존 수력발전설비의 후방에 유수식 수력발전설비를 설치하는 이용방법도 가능

▌그림 1.73 수로형상에 맞추어 설치한 수차▐

• **적용사례 : 일본 山梨県 / 2009. 4 ~**

- 수로 유속 약 1.8m/s, 수로 폭 2.5m, 수심 약 0.6m

▌그림 1.74 유수식 스트림 수차 설치 예▐

▌Pico급 수차 발전시스템 사례 조사

- 페루의 마그달레나 지역에 설치된 수차 발전시스템으로 콘크리트 개수로에 원형파이프로 수차발전기까지 연장시켜 발전 후 다시 방류하여 농업용수로 활용(설치 된 장소의 유효낙차(H)=4.0m, 유량(Q)=0.18~0.22cms)

▌그림 1.75 피코급 소수력 수차 사진 (예)▐

(3) 수온차(히트펌프) 시스템

▌**미활용에너지의 이용은 규모의 경제성으로부터 대규모 빌딩의 냉난방시스템이나 지역냉난방에 실용화되고, 세계적으로 83개 지역에서 냉난방 열공급에 미활용을 이용하고 있음**

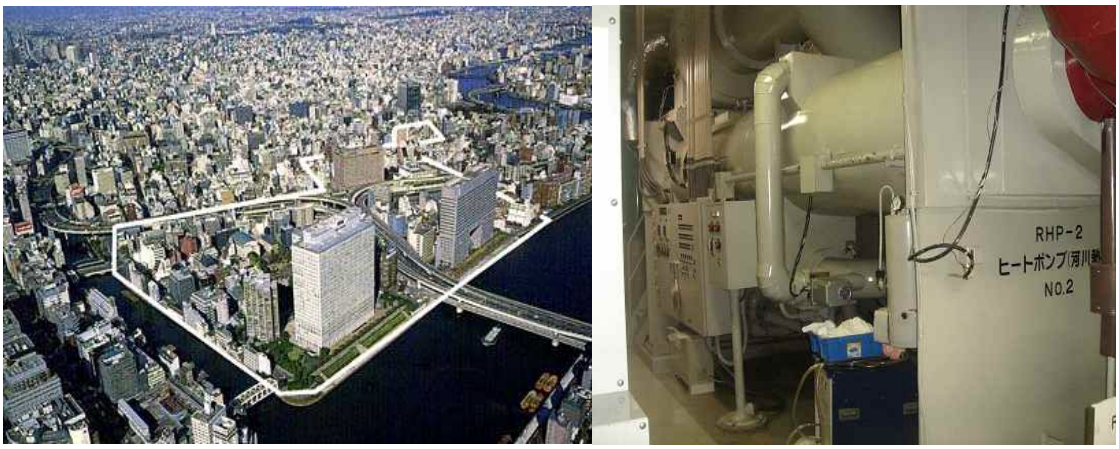
- 북유럽을 비롯한 일본 등에서 미활용에너지를 이용하여 열 공급부문에서 에너지이용 합리화를 도모하고 있음
- 특히 일본의 경우에는 전국 136지구에서 행해지고 있는 지역 열공급사업중 26.5%인 36지구가 미활용에너지를 열원으로 이용하고 있으며, 신설되는 플랜트에서는 미활용에너지의 도입비율이 증가되고 있음
- 해외에서의 미활용에너지 이용사례를 국가별, 열원별, 열공급 형태별, 설비규모별로 분석한 결과는 일본, 스웨덴, 미국, 노르웨이, 독일 등이 높은 것으로 나타남
- 일본, 유럽을 중심으로 하수, 하천수, 해수, 지하수 등 모든 열원을 이용하여 온도차 에너지를 이용하고 있음

▌표 1.28 국외 온도차에너지를 이용한 열공급 사례 ▐

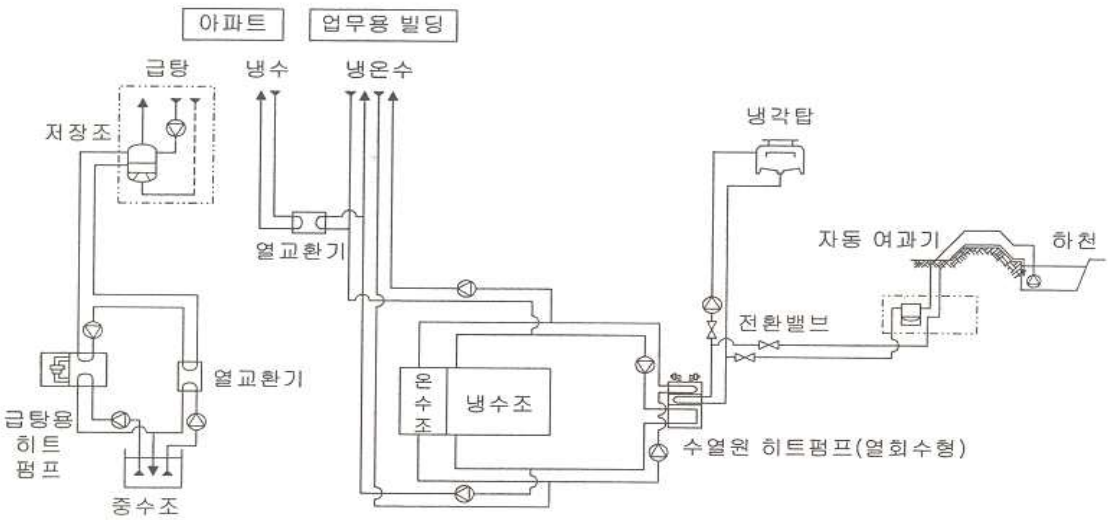
이용열원(개소)		국가	공급지구명	공급대상	공급형태	공급면적(ha)
하수(6)	처리수(5)	일본	幕張新都心 Hightech-Business	오피스빌딩외	온수 냉수	48.9
			千葉問屋町	오피스빌딩,호텔외	증기냉수온수	4.4
			盛岡驛西口	오피스,방송국,쇼핑센터	온수냉수	7.1
			高松市番町	행정시설,병원,복지시설	온수냉수	7.8
			下川端再開發	극장,호텔,병원외	증기냉수온수	2.2
	생하수(1)		後樂1丁目	오피스빌딩,호텔,문화시설	온수냉수	21.6
하천수(3)			箱崎	오피스빌딩외	온수냉수	22.7
			天滿橋1丁目	호텔,오피스빌딩,주택	온수냉수	5.1
			富山驛北口	오피스빌딩,공공시설,병원	온수냉수	15.3
해수(2)			Seaide Momochi	호텔, 야구장,오피스빌딩	온수냉수	43.5
			大阪南港Cosmo Square	오피스빌딩,호텔외	온수냉수	21
지하수(2)			高崎市中央	오피스빌딩,공공시설	온수냉수	18.2
			高松市番町	행정시설,병원,복지시설	온수냉수	7.8
하수(8)	처리수(5)	스웨덴	스톡홀롬(소르나)	주택, 업무, 공장	온수(75℃)	120
			스톡홀롬(하마비)	주택	온수(70 ~ 120℃)	114
			마루메	주택, 업무, 상업	온수(85 ~ 120℃)	40
			우프사라	주택, 업무, 상업	온수(85 ~ 120℃)	6
			예테보리	주택, 업무	온수(80 ~ 120℃)	1,600
	생하수(3)	노르웨이	바룸·센드윗카	주택, 업무, 상업	온수(78℃),냉수(5℃)	23
			오슬로(스코얀웨스트)	주택	온수(85℃)	8
			오슬로	주택, 업무	온수(70 ~ 80℃)	21
해수(4)		스웨덴	스톡홀롬(로프스텐)		온수(80℃)	262
			스톡홀롬(리팅고)	주택, 업무, 공장	온수(50 ~ 120℃)	14.7
		노르웨이	오레슨	주택	온수(60 ~ 90℃)	6
		홍콩	호텔 日航香港	호텔	냉수,온수(호텔내)	
하천수·호수(11)		독일	드레스텐	주택/학교등	온수(70~120℃)	4.5
		영국	돗크랜드	업무	온수(70~120℃)	6
		스위스	르잔누	대학시설등	온수(65℃), 냉수	15
			취리히	주택/대학시설등	온수(70℃)	10
			루체룬	업무/상업/학교	온수(65~70℃)	2.6
		핀란드	헬싱키	주택	온수(70~120℃)	2,850
		미국	뉴욕	업무/상업	냉수(5.6℃)	5,200
			화이트포트	주택/업무	증기, 냉수	56
			올바니사우스몰	업무/상업	증기, 냉수	21
			캐나다 문명박물관	박물관	온수, 냉수	8
		캐나다	Public Works	업무	증기, 냉수	145
지하수(5)		독일	스탄베르크	리조트	온수	
		프랑스	폴베닐	주택/공공시설등	온수(55~69℃)	1.5
			파리교외	주택	온수(50℃)	0.5
		미국	세인트폴	주택·공장	온수, 냉수(6.1℃)	
		캐나다	칼톤대학	대학	온수, 냉수	2

▌적용사례 1 : 하코자키지구 지역냉난방 공급

- 열원 : 일본 하코자키지구 스미다강의 하천수
- 용량 : 3,200RT
- 목적 : 일본 최초로 동경전력에 의해 동경하코자키 재개발지구에 지역냉난방 공급



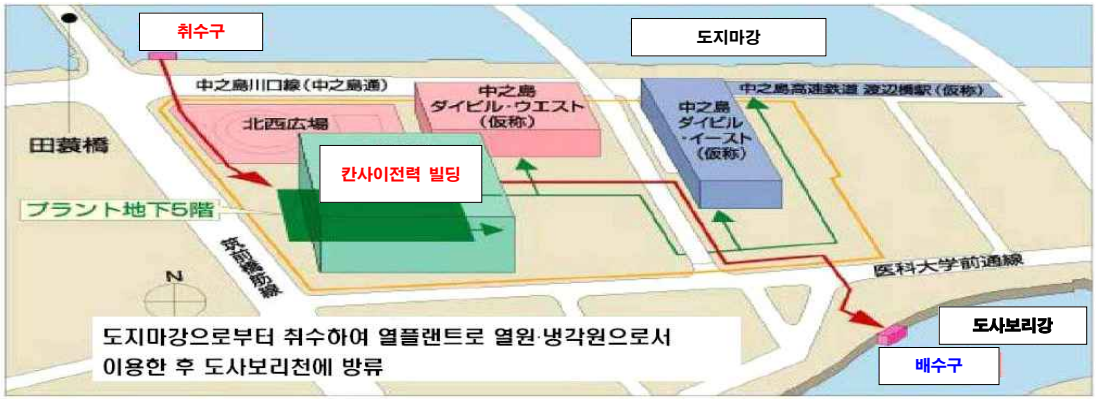
▌그림 1.76 하코자키 지역냉난방 공급지역 및 히트펌프▐



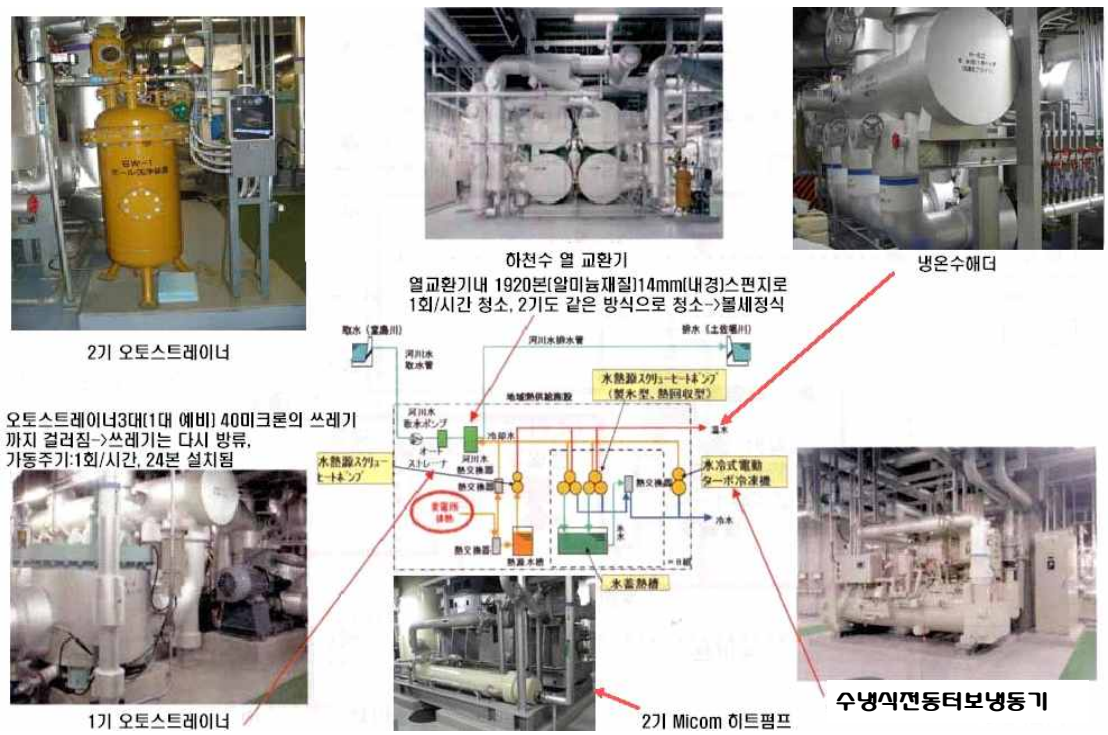
▌그림 1.77 하코자키지구 하천수이용 지역열공급시스템 개략도▐

▌적용사례 2 : 나카노지마 열공급 시스템

- 열원 : 오사카시 도지마강에서 취수, 도사보리강에서 배수
- 용량 : 2,320RT
- 목적 : 사카지역의 중심부에 위치한 칸사이전력빌딩(41층)을 포함하여 대규모재건축 공사가 추진에 따른 열공급



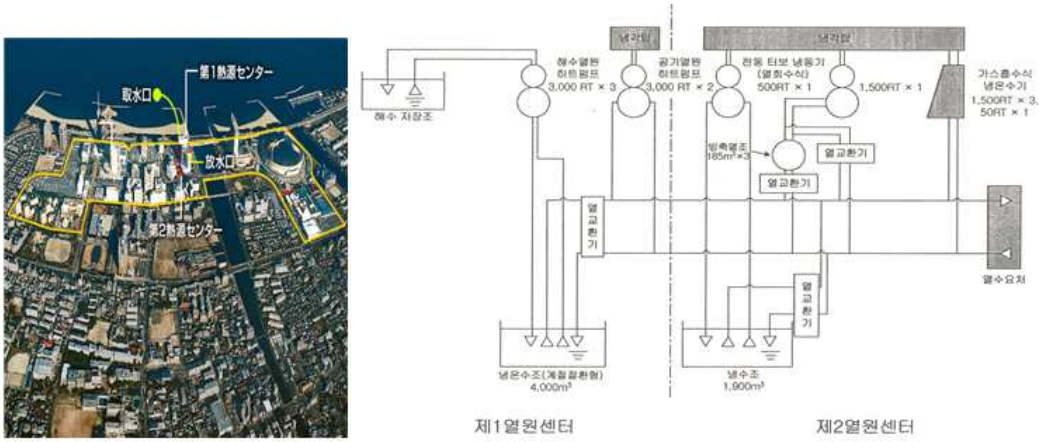
▌그림 1.78 칸사이빌딩의 취수구와 취출구 위치▐



▌그림 1.79 나카노지만 열공급시스템 구성도▐

▌적용사례 3 : 후쿠오카 모모치지구 냉난방공급

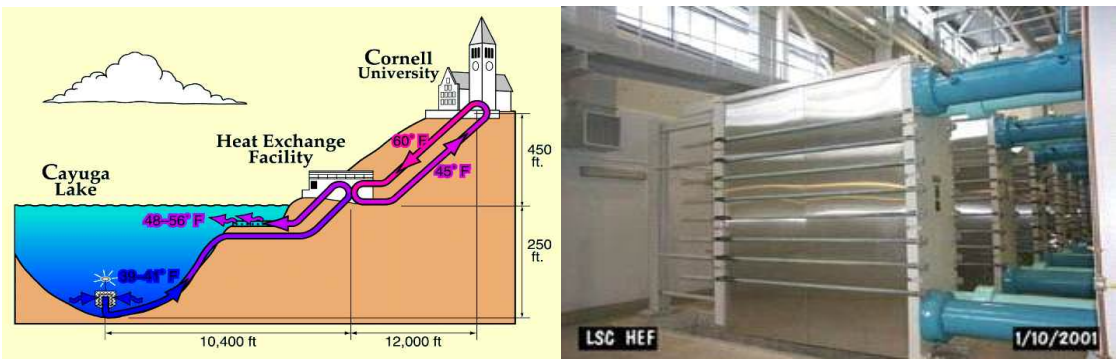
- 열원 : 하카타만 해안지역 해수
- 용량 : 22,000RT
- 목적 : 서일본환경에너지(주)에서 해수열원을 이용한 축열실 열펌프시스템 채용에 의한 모모치지구 열공급 사업 개시



▌그림 1.80 모모치지구 열공급플랜트의 현황 및 열원시스템 흐름도▐

▌적용사례 4 : 코넬대학교 호수심층수 냉난방공급

- 열원 : Cayuga호수 심층수
- 용량 : 1,800RT
- 목적 : 미국 코넬대학 70개 건물(3백50만ft2)의 냉방에 사용



▌그림 1.81 열공급시스템 구성도 및 열교환기 구성(7대)▐

▌적용사례 5 : 스웨덴 스톡홀름 로브스텐 냉난방공급

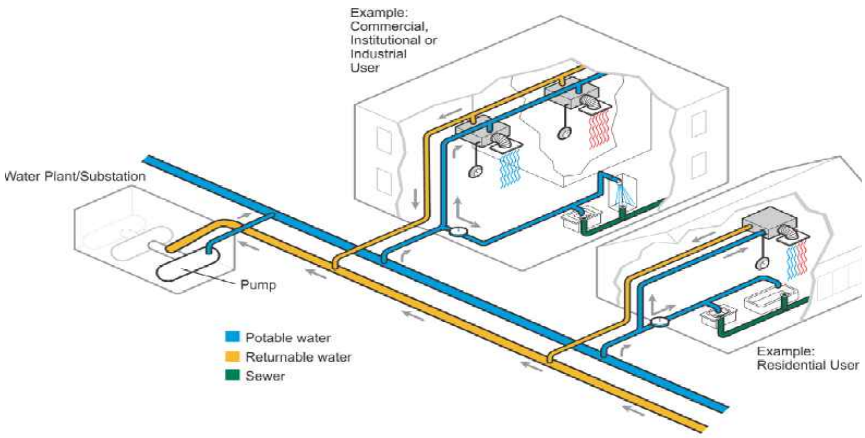
- 열원 : 스톡홀름시 해안지역 해수
- 용량 : 74,500RT
- 목적 : 스톡홀롬시 냉난방공급을 위해 제1,2,3플랜트를 설치하여 운영

▌표 1.29 로브스텐 해수이용 지역열공급시스템의 이용형태 ▐

	열원		수요
종별/용도	해수	히트펌프	
규모 (전기/열 MW)	취수량 15㎥/s 8.4㎥/s	27MW×6 25MW×4	연간 344,000Gcal
열조건 (온도, 압력 등)	1.5 - 2.0° C		공급온도 : 급수 80° C 환수 40 - 50° C
기타	동계는 보조 보일러로 보완 축열조 지상설치 탱크 30톤 보조보일러 40×2대		

▌ 적용사례 6 : 미국 상수도 열 이용

- 열원 : Waterplus사에서 설치한 상수도 관로수
- 용량 : 3,500RT



▌그림 1.82 상수관로 이용 냉난방 시스템▐

사. 해외 용수공급 연구 인프라 및 시장 현황

▌ 물 산업은 지난 20세기 동안 전 세계적인 인구의 증가와 도시화·산업화의 영향으로 크게 성장하였으며, 물 수요는 전 세계적으로 폭발적으로 증가할 것으로 예측

- Goldman Sachs는 그동안 전 세계적으로 물에 대한 수요가 20년마다 두 배로 증가했다고 추정(The Economist, 2008)

▪ 에너지원은 다양해져 서로 제한적이나마 대체가 가능하나 물은 대체방안이 전혀 없다는 면에서 상황은 더 심각

▌표 1.30 20세기 세계 인구증가 및 도시화율 추이 ▐

연 도	세계 인구(명)	도시 인구(명)	도시화율(%)
1900	1,619,886,800	232,694,900	14.3
1970	3,610,034,400	1,354,237,000	37.5
1985	4,781,124,000	2,053,544,000	42.9
2000	6,055,049,000	2,881,079,000	47.6

* 자료 : Greenway and Monsna, 1989; Barrett and Johnson, 2001

▌표 1.31 주요기술별 세계 최고기술 보유국 현황 ▐

세부기술	업체명(국적)	보유 기술 또는 특허	기술수준	비고
용수공급 시스템 설계 및 건설 기술	EIMCO water technologies (미국)	MBR공정 운전 및 세정	85%	
	Milosaljevic (미국)	용수공급시스템 소요부지 저감 기술	80%	
	Kubota Corp. (일본)	간헐 포기 및 멤브레인 결합 기술	85%	
	票田공업주식회사(일본)	이온교환공정을 이용한 수처리 시스템	85%	
	Liang (미국)	수처리 단위공정 조합방법	90%	
물안보 및 비상용수 확보 기술	Water security & Technology	원수내 오염 및 불순물 측정	80%	
	Frosolone (미국)	원수내 생화학적 오염 측정 및 신호 전달	85%	
	농업식품산업기술연구소	수질 모니터링 장치	80%	
	大江通博 (일본)	비상시 급수장치	75%	
	후지 크리닝 공업주식회사(일본)	재난시 수처리 시스템 (비상용수공급시스템 개발)	90%	
신재생 에너지 활용	Argad-Eyal Ltd(미국)	하수열원을 열원을 이용한 수처리	80%	
	Zeikus & Park (미국)	연료전지를 이용한 수처리	85%	
	NGK (일본)	유기물 슬러지로부터 에너지 회수 기술	90%	
	票田공업주식회사(일본)	연료 전지를 이용한 수처리	80%	
	송하전기산업주식회사 (일본)	수소생성장치를 이용한 급수	80%	
	Water plus(미국)	상수관로부터 지열을 활용하는 기술	90%	
용수공급시스템 운전 및 유지관리	Chief Davis (미국)	Hydro Turbine을 이용한 관리	80%	
	Timothy Martine (미국)	용수공급 시스템 청소 기술	90%	
	Yamaguchi University	관거 맨홀 모니터링을 통한 안전도 진단	80%	

▌ **세계적인 물기업은 사업범위 확대하고 핵심역량 분석에서 Veolia, Suez는 운영역량 강화에 집중**

- 상수도·하수도를 비롯한 산업용수, 해수담수화, 지하수 등의 물 순환 전반으로 사업 범위 확대

▌ **개발도상국은 안전한 상하수도 서비스 및 전력 서비스에 취약하며, 물 투자수요 매우 큼**

- 세계은행(2006)에 따르면, 생활 및 경제성장에 있어 SOC로서의 중요성에도 불구하고 아직까지 개발도상국의 많은 인구가 안전한 상하수도 서비스 및 전력 서비스를 받지 못하고 있음.

▌ **현재 세계 물 시장규모 5,010억 달러로 추정(GWI, 2009.7)되며, 수처리에 있어서 멤브레인의 비중이 증대될 것으로 전망됨(LG Business Insight, 2009)**

- 2007년 멤브레인 시스템 시장은 61억 달러 수준으로 추산되고 있으며, 연평균 19.5%로 성장하여 2016년에는 303억 달러 규모로 커질 것으로 예상.
- 반면, 기존의 수처리 방식에서 자주 사용되었던 화학처리제 관련 시장은 2007년에는 멤브레인의 3배 규모인 180억 달러 규모였으나, 연평균 3.7%의 낮은 성장으로 2016년에는 250억 달러수준으로 멤브레인 시스템 시장보다 작아질 것으로 예상.

▌ **각국의 지속적인 물 수요 증가에 따른 물 시장 확대 추세**

▌표 1.32 세계 물시장 성장 전망 ▐ (단위: 백억$)

업무분야 / 사업분야	소재·부품공급, 설계·건설·컨설팅	운영·관리 서비스	합계
상수	6.6 → 19.0[1)]	10.6 → 19.8	17.2 → 28.8
하수	7.5 → 21.1	7.8 → 14.4	15.3 → 35.5
공업용수	2.2 → 5.3	0.2 → 0.4	2.4 → 5.7
재이용수	0.1 → 2.1	-	0.1 → 2.1
해수담수화	0.5 → 1.0	0.7 → 3.4	1.2 → 4.4
합계	16.9 → 48.5	19.3 → 38.0	36.2 → 86.5

* '07년 시장규모 → ' 25년 시장규모, 자료 : GWI(2008), 한국무역협회(2010)

- 상하수도의 경우 선진국의 관망노후화 교체와 개도국의 상하수도 인프라 구축을 위한 대규모 투자 예상
  ☞ 미국 500조원, 영국 128조원, 이탈리아 60조원, BRICs국가 8,375조원('11~' 30)
- 동아시아, 중동, 아프리카 시장이 연간 10%이상 성장하여 세계 최대 시장이 될 것으로 전망
  ☞ 동아시아(10.6%), 중동아프리카(10.5%) 성장 예상
- 아시아의 경우, 중국, 베트남을 중심으로 폭발적인 경제개발 진행 중이며, 최근 일부 국가에서 물 분야 인프라시설에 대한 적극적인 민자유치 추진
- 중동의 경우, 세계인구의 5%를 차지하고 있으나 가용수자원은 1%로 만성적인 물 부족하나 인구는 세계 평균보다 약 55% 빠르게 성장하고 있어 물 부족은 더욱 심화 예상되며, 최근 해수담수화시장 활발
- 아프리카의 경우, 인구증가로 물 수요는 지속적으로 증가하나, 물 분야 투자는 매우 취약한 실정

▌각국은 세계 물 시장 공략을 위한 투자 및 지원확대 등 움직임 가속화

- KOTRA 보고서(2009)에 의하면, 싱가포르, 독일, 스페인 등의 국가에서는 자국에서의 경험을 활용하면서 국가정책의 일환으로 세계시장을 공략하는 움직임이 가속화
- 일본의 경우, 2025년까지 세계 물시장 점유율을 6%(1조8000억원 규모)까지 끌어올리기 위해 물산업에 집중적인 투자 지원을 하며, 해외기업과의 합작기업 설립, 물처리기업 인수 등을 적극 지원.
- 상하수도 보급률이 낮고 인구가 계속 증가하는 아시아, 남미, 아프리카의 개발도상국을 중심으로 물 분야 투자수요가 매우 큰 상황임(환경부, 2006)

▌물 시장의 표준화 및 시장개방 논의 활발하게 진행 중

- 국제표준화기구(ISO)는 프랑스 표준기구(AFNOR)의 제안으로 2001년 4월 산하에 전문위원회(TC224)를 구성하여 2007년 10월 상하수도서비스 국제 표준 발간을 목표로 작업 중
- 서비스 분야는 우루과이라운드(UR) 협상을 계기로 세계무역기구(WTO)의 다자간 무역체제에 편입되었으며, 2001년 11월 개시된 '도하개발아젠다(DDA)'에서 시장개방 협상이 진행 중이며, 2000년 11월 유럽연합(EU)은 상하수도를 포함하는 환경서비스 분류체계 개선을 제안하였으며, 주요 국가들이 이 기준을 지지하고 있음
- 전 세계적인 규모로 진행되는 WTO의 시장개방 협상은 더딘데 비해, 국가 간에 체

결하는 자유무역협정(FTA)을 통한 시장개방은 비교적 활발하며, 우리나라는 칠레, 싱가포르, 유럽자유무역연합(4개국)와 FTA 체결, 미국, 아세안(10개국), 캐나다, 멕시코, 인도 등 14개국과 협상 진행 중

※ 유럽연합(25개국)과는 예비협의 중으로 적절한 시점에 협상 개시 검토 예정

▌21세기에도 세계 물산업의 성장은 계속될 것으로 전망됨

- 물 산업은 20세기의 석유산업과 같은 21세기 최대 성장산업(미국 포춘지)
- 21세기에는 물산업이 수천조원 규모의 산업 형성 예측(세계은행)
- 선진국에서는 시설의 재투자 시기 도래와 국민의 환경에 대한 욕구 증대로 인해 물산업이 성장할 것으로 전망됨.

  ※ 상하수도 인프라의 내구연한은 보통 60-80년 정도로 간주되며, 물 공급을 위한 인프라가 빠르게 노후화하고 있어, 막대한 투자가 필요한 시점
- 후진국의 경우 인구증가와 도시화·산업화 확산에 따른 수요 증가와 국제사회의 상하수도 보급확대 노력에 따라 물 산업이 성장할 것으로 전망됨
- 2025년까지 개도국의 물 분야 총 투자수요는 연간 1,800억달러에 달함

▌물 부족, 상하수도 보급 미비 등 '물 문제가 심각한 신흥국은 안정적 수자원 확보를 위해 인프라를 구축 중

- 후진지역의 물 오염 심각하여 전 세계적으로 약 10억명 정도가 안전하게 물을 마실 수 없는 것으로 알려져 있으며, 이에 대한 사업기회가 큼(SAM study, 2007)
- 특히 아프리카는 아시아 다음으로 인구가 많은 대륙으로 면적은 20.4%에 해당하나 약 2/3 정도만 전기의 혜택을 받으며, 리비아, 남아프리카공화국, 이집트를 제외하면 약 20% 정도만 전기를 공급받아(Wikipedia, 2009) 용수공급에도 큰 장애가 됨으로 저에너지형 또는 신재생에너지 기반의 플랜트기술에 대한 수요가 클 것으로 전망 됨.
- 선진국과 비교할 때 중국, 인도, 중동 등 신흥국의 물 부족 현상이 상대적으로 심각

  ※ 주요국 물빈곤지수: 캐나다 77.7, 프랑스 68.0, 미국 65.0, 일본 64.8, 한국 62.4, 쿠웨이트 53.5, 인도 53.2, 중국 51.1
- 깨끗한 물의 공급과 안전한 수처리를 위한 상하수도 구축도 미흡

  ※ 중국의 경우 지표수 중 식용가능한 물은 68%에 불과 (2009년)
- KOTRA 조사(2009)에 의하면, 인도네시아 정부는 상수도 보급률을 2015년까지 도시지역 80%, 비도시지역 60%까지 올릴 계획(현재 각각 40%, 20%)

3. 기술개발 차별성

▌현재 용수공급 체계의 문제점을 해소하고 미래사회 패러다임에 부합하는 새로운 개념의 소비자 중심 용수공급 체계를 구축하기 위한 핵심 요소기술의 개발을 통해 다가올 미래를 준비해야 할 시점임.

▌본 과제는 컴팩트형(수직형) 정수처리시설을 도입한 미래도시의 분산형 용수공급시스템 구축을 목적으로 하는 연구로, 기 수행하였거나 수행중인 과제들의 연구내용 및 범위를 비교 검토한 결과, 중복성이 없으므로 과제 내용상의 차별화 방안은 불필요하다고 판단됨

▌기술적으로 미래사회 새로운 개념의 용수공급 패러다임에 부합하는 기술개발을 위해 기존 용수공급 체계의 장점을 유지하고 단점을 극복할 수 있는 새로운 분산형 용수공급체계를 구축하기 위한 핵심기술을 개발하고자 함

▌이를 위해 설계, 시공, 운영유지관리의 큰 세부과제 분류를 통해 역할 분담을 하였으며, 각 기관별 협업 설계과정을 통해 기술개발 방향을 설정하였음.

▌미래사회의 생활용수 뿐 아니라, 고품질 산업용수 공급과의 연계 활용이 가능한 설계기술 개발을 위해 플랜트 설계 개념을 적용한 수처리 기술 개발을 통해 향후 다양한 품질의 용수처리에 대응이 가능한 수처리 설계 기술을 개발하였음

▌소비자 인근 설치를 위해서는 도심 내 정수시설의 진입이 필수적임에 따라 미적시공 및 감성설계 개념을 적용한 건설 기술의 개발 뿐 아니라 다양한 신재생에너지 및 에너지 효율화 기술의 적극적인 융합을 통해 타 산업과의 연계발전을 도모하였음

▌본 연구단에서는 새로운 용수공급체계인 분산형 용수공급시스템의 개념을 설정하고 이를 구축하기 위한 소요부지 저감형 수직형 정수처리 설계 및 시공, 운영유지관리 기술을 개발하였으며, 용수공급 및 생산에 소요되는 에너지를 절감할 수 있는 핵심 요소기술을 검증 개발하였음. 또한, 독창성 있는 브랜드화 기술 개발을 통해 향후 국내 용수공급 분야 시장 뿐 아니라 세계 물 시장 진출 기반 마련을 위한 연구를 수행하였음

제 2 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 연구수행 전략 및 방법론

▌본 "수직형 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템 구축" 연구는 연구단 과제로서 설계(1세부), 건설(2세부), 운영관리(3세부)의 3개의 세부 과제로 구성되어 있으며, 각 세부 과제 간 긴밀한 협조가 반드시 필요한 연구체계를 갖추고 있음

▌그림 2.1 연구단 구성 체계도 ▐

- 1세부에서는 용수공급시스템 구축 관련 설계가 이루어 졌으며, 이러한 설계과정에 2세부의 건설과 3세부의 운영관리 및 에너지 전문가가 동시에 참여하는 협업 연구가 이루어졌음.
- 1세부 설계를 거쳐 2세부에서는 실증시설의 시공이 이루어 졌으며, 시공된 실증시설을 활용하여 3세부에서는 개발기술의 검증이 이루어 졌음. 3세부 과제 수행을 통해 검증된 결과는 1세부의 실규모 설계, 2세부의 시공분야에 feedback 되어 실

규모(20,000㎥/일) 수직형 정수처리 플랜트 설계에 반영토록 하였음

▌그림 2.2 연구단 협업 체계도 ▐

▌ 본 "수직형 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템 구축" 연구는 연구단 과제로서 3개의 세부 과제로 구성되어 있음

- 1세부에서는 분산형 용수공급시스템 기본계획 및 수직형 정수처리시설 설계기술 개발을 목적으로 협동연구기관인 포스코건설과 공동연구기관인 K-water에서 각각 수직형 정수처리시시설 설계기술 개발과 분산형 용수공급시스템 기본계획 수립 분야를 맡아 연구개발을 수행하였으며 위탁연구기관으로 경남대학교 (유동모의), 단국대학교 (BAT tool 개발), 수도경영연구소 (경제성 평가 및 사업화 방안 도출)가 참여하였음
- 2세부에서는 분산형 용수공급시스템 시공기술 개발을 목적으로 협동연구기관인 코오롱글로벌과 공동연구기관인 대림산업에서 각각 수직형 정수처리 시공기술 및 기존 광역 용수공급 및 급/배수 시스템 연계기술 개발을 수행하였으며, 위탁연구기관으로 ㈜유앤유소프트, 성균관대학교가 참여하였음
- 3세부에서는 분산형 용수공급시스템 운영유지관리 기술 개발과 신재생에너지 관련 기술 개발이 주관연구기관인 K-water, 공동연구기관인 코오롱베니트, ㈜테크윈, ㈜

대양수력이 연구를 수행하였으며, 위탁연구기관으로 부경대학교, 한양대학교, 한밭대학교가 참여하였음

▌연구단 총괄

연구개발과제	
과제명	수직형 정수처리시설이 도입된 분선형 용수공급시스템 구축
주관기관	K-water(한국수자원공사)

총 참 여 연 구 원
주관연구책임자 (김정현)외 134명

기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	8	91	135명
대 학	6	32	
국공립(연)			
출 연 (연)			
기 타	2	12	

1 세 부 과 제 (협 동 연 구 기 관)	2 세 부 과 제 (협 동 연 구 기 관)	3 세 부 과 제 (주 관 연 구 기 관)
(주)포스코 건설(외 4개기관)	(주) 코오롱글로벌(외 3개기관)	K-water(외 6개기관)
참 여 연 구 원	**참 여 연 구 원**	**참 여 연 구 원**
협동연구책임자 (윤희철)외 45명	협동연구책임자 (강문선)외33명	주관연구책임자 (서인석)외54명
책임급 9명, 선임급 26명, 원급 11명	책임급 9명, 선임급 13명, 원급 8명, 기타 4명	책임급 27명, 선임급 20명, 원급 7명, 기타 1명
담당연구개발내용	**담당연구개발내용**	**담당연구개발내용**
과제명: 분산형 정수처리시설 설계기술 개발 및 Prototype 제작	과제명: 분산형 용수공급시스템 실증시설 구축	과제명: 분산형 용수공급시스템 운영·유지관리 기술개발
- 분산형 용수공급시스템의 기본설계 및 수직형 정수처리시설의 상세설계 기술 개발	- 실증시설 구축을 통한 분산형 용수공급시스템 설계 기술 검증 및 시공기술 개발	- 실증시설 구축을 통한 분산형 용수공급시스템 설계 기술 검증 및 시공기술 개발

▌1세부

1 세부과제
과제명
분산형 정수처리시설 설계기술 개발 및 Prototype 제작
협동기관
(주)포스코건설
총 참 여 연 구 원
협동 연구책임자
(윤희철)외 45명
기 관 별 참 여 현 황
구 분
기관수
인원수
총인원 수
산 업 계 2 29
대 학 2 9
국공립(연)
출 연 (연)
기 타 1 8
46
협 동 연 구 기 관
(주)포스코건설
공 동 연 구 기 관
한국수자원공사
위 탁 연 구 기 관
단국대학교
위 탁 연 구 기 관
경남대학교
위 탁 연 구 기 관
한국수도경영연구소
참 여 연 구 원
협동연구책임자 (윤희철)외 18명
책임급 3명 선임급 15명 원급 1명
참 여 연 구 원
공동연구책임자 (김정현)외 9명
책임급 3명 선임급 6명 원급 1명
참 여 연 구 원
공동연구책임자 (김두일)외 4명
책임급 1명 선임급 0명 원급 4명
참 여 연 구 원
공동연구책임자 (정우창)외 3명
책임급 1명 선임급 0명 원급 3명
참 여 연 구 원
위탁연구책임자 (김길복)외 7명
책임급 1명 선임급 5명 원급 2명
담당연구 개발내용
과제명
수직형 정수처리 시스템 설계기술 개발 및 Prototype 제작
· 수직형 정수처리시설 설계 기술 및 상세 설계 도면
· 수직형 정수처리시설 Prototype
담당연구 개발내용
과제명
분산형 용수공급시스템 설계 기술 및 법/제도 연계방안 수립
· 수원 및 해당 거주지역 특성 파악
· 수처리 시스템의 단위 결정
· 분산형 수처리 시스템의 기본설계 시방서 및 모면
담당연구 개발내용
과제명
수직형 정수 처리시설 설계 인자 도출
· 수직형 정수처리 시스템의 원수성상별 운전인자 도출
· 수직형 정수단위공정 수직배열 설계방안 도출
담당연구 개발내용
과제명
물수지 분석을 통한 분산형 정수처리시스템 유동량 산정
· 저류시설 및 분산화 수처리 시스템 연계를 위한 유동량 산정
· 수리학적 분석 미 최적 설계기술 개발
담당연구 개발내용
과제명
실용화 및 사업화 방안 수립
· 분산형 용수공급시스템의 실용화 및 물사업 진출전략 및 사업화 방안

▌2세부

2 세부과제
과제명
분산형 용수공급시스템 실증시설 구축
총 참 여 연 구 원
협동연구책임자
(강문선)외 33명
기 관 별 참 여 현 황
구 분
기관수
인원수
총인원 수
산 업 계
2
23
대 학
1
7
국공립(연)
출 연 (연)
기 타
1
4
34
협 동 연 구 기 관
코오롱글로벌(주)
공 동 연 구 기 관
대림산업(주)
위 탁 연 구 기 관
성균관대학교
위 탁 연 구 기 관
(주)유앤유소프트
참 여 연 구 원
협동연구책임자
(강문선)외 10명
책임급 4명, 선임급 4명, 원급 3명
참 여 연 구 원
공동연구책임자
(강기훈)외 11명
책임급 2명, 선임급 9명, 원급 1명
참 여 연 구 원
위탁연구책임자
(김형수)외 4명
책임급 1명, 원급 2명, 기타 4명
참 여 연 구 원
위탁연구책임자
(유광태)외 3명
책임급 2명, 원급 2명
담당연구개발내용
과제명
수직형 정수처리시설 시공기술 개발
· 수직형 공정조합 고도정수처리시설 시공기술 개발
· 감성설계가 고려된 미적 시공 기술 개발
담당연구개발내용
과제명
기존광역 용수공급 및 급/배수 시스템 연계 기술 개발
· 신설될 수직형 정수처리시설과 기존 광역 관망을 연계한 급/배수시스템 설계 및 시공 시방서 도출
담당연구개발내용
과제명
분산형 정수처리시설에서 수직형(분리막) 수처리 시스템 개발
· 수직형 정수처리시설을 위한 분리막 평가 및 선정
· 수직형 정수처리 공정의 배출수 처리시설 최적 방안 확립
담당연구개발내용
과제명
기존 광역상수도 연계를 위한 기반기술 확보
· 기존 광역용수공급 시스템 평가
· 기존 광역용수공급 시스템 구역 통합화 기술 개발
· 용수의 이송에너지 평가기술 개발

▌3세부

3 세부과제	
과제명	분산형 용수공급 시스템 운영유지관리 기술개발
주관기관	K-water연구원

총 참 여 연 구 원
주관연구책임자 (서인석)외 54명

기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	4	39	55
대 학	3	16	
국공립(연)			
출 연 (연)			
기 타			

주 관 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관
K-water연구원	코오롱베니트(주)	대양수력	테크윈
참 여 연 구 원: 주관연구책임자 (서인석)외 18명 / 책임급 12명, 선임급 7명	참 여 연 구 원: 공동연구책임자 (김대중)외 7명 / 책임급 8명	참 여 연 구 원: 공동연구책임자 (박준식)외 4명 / 책임급 1명, 선임급 2명, 원급 2명	참 여 연 구 원: 공동연구책임자 (정의용)외 6명 / 책임급 3명, 선임급 3명, 원급 1명
담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용
과제명: 용수공급 및 신재생 에너지 통합운영관리 기술 개발	과제명: 용수공급 및 신재생에너지 통합운영관리시스템 구축	과제명: 용수공급 위치에너지 활용 소수력 발전	과제명: 수온차 시스템 개발 및 구축
신재생에너지 활용 및 통합운영관리 기술	LCC 및 자산관리시스템, 에너지관리시스템, SCADA 시스템 구축	Pico급 소수력 발전설비 설계 및 제작	수온차 히트펌프 시스템 구축

위 탁 연 구 기 관	위 탁 연 구 기 관	위 탁 연 구 기 관
한양대학교	한밭대학교	부경대학교
참 여 연 구 원: 위탁연구책임자 (김진오)외 8명 / 책임급 1명, 선임급 5명, 원급 3명	참 여 연 구 원: 위탁연구책임자 (서성현)외 2명 / 책임급 1명, 원급 1명, 기타 1명	참 여 연 구 원: 위탁연구책임자 (김수한)외 3명 / 책임급 1명, 선임급 3명
담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용
과제명: 신재생 에너지 활용기술 및 최적 에너지관리 방안 연구	과제명: 수온차 히트펌프 시뮬레이터 및 제어로직 개발	과제명: 분산형 정수처리 시스템의 유량변동 대응기술 개발
신재생 에너지원별 최적구성 알고리즘 개발	수온차 히트펌프 구성요소 및 통합 모델 개발, 최적운전을 위한 제어로직 개발	정수처리공정 유량변동 성능평가 알고리즘 개발 및 유량변동에 따른 분산형시스템 운영알고리즘 개발

제 2 절 연구 수행과정 및 내용

1. 분산형 정수처리시설 설계기술 개발 및 Prototype 제작 (1세부)

▌ 1세부 과제에서는 분산형 용수공급시스템 기본계획 및 수직형 정수처리시설 설계기술 개발을 목적으로 수직형 정수처리 시설 설계기술 개발을 실증시설과 실규모 시설을 대상으로 수행하였으며, 모델도시 및 사업화 대상지역의 분산형 용수공급시스템 기본계획을 수립하였으며, 설계기술과 관련하여 BAT tool 개발을 담당한 단국대학교, 수직형 시설 내 유동모의를 수행한 경남대학교의 위탁연구가 수행되었고, 분산형 용수공급시스템 경제성 평가 및 사업화 방안 도출을 위하여 수도경영연구소가 위탁연구를 진행하였음

- 분산형 시스템 분야에서는 분산형 용수공급시스템 기본계획 수립, 비상용수 확보량산정 방법론 개발, 법·제도 가이드라인 제시, 경제성 평가 및 사업화 방안 도출이 추진되었음
- 수직형 정수처리시설 설계 분야에서는 단위공정 선정, 해외 사업화 대비 최적공정(BAT) 도출 tool 개발, 계층형 배치안 도출, 유동안정성 평가, 실증시설 설계, Prototype 모형 제작, 설계기술 모듈화 및 실규모 수직형 정수처리시설 설계를 수행하였음

▌ 수직형 정수처리시설 설계 기술 개발 분야는 수직형 정수처리시설 설계와 수리학적 최적설계안 도출로 세분화 하여 수행하였음

- 1차년도에는 수직형 정수처리시설의 정의 및 범위를 설정하고, 국내외 사례를 조사하였으며 실증시설 설계계획을 수립하였음
- 2차년도에는 수직형 정수처리공정의 단위공정을 선정하고 계층형 배치안을 도출하였으며 직결식 시스템의 유동안정성 평가를 수행한 결과를 바탕으로 1,000 m^3/일 규모의 실증시설을 설계하였음
- 3차년도에는 청주정수장 내 실증시설이 구축되어 시운전되었으며 상사성을 반영한 Prototype 모형이 제작되었음
- 4차년도에는 실증시설 운영결과를 반영하여 설계를 개선하였으며 단위공정 설계 모듈화를 수행하여 실규모 수직형 정수처리시설을 설계하였음

▌ 분산형 용수공급시스템 구축계획 수립 분야는 시스템 기본계획과 사업화 방안 도출

분야로 세분화 하여 수행하였음

- 1차년도에는 분산형 용수공급시스템의 개념을 정의하고 용수공급시스템과 물안보 관련 해외 규정 및 제도를 검토하였음
- 2차년도에는 모델 도시를 대상으로 분산형 시스템 구축안을 수립하였으며 법/제도 가이드라인을 제시하였음
- 3차년도에는 분산형 용수공급시스템 적용 시나리오별 시스템 규모, 공정 및 유동량을 산정하였으며 분산형 시스템 도입에 따른 편익을 산출하였음
- 4차년도에는 사업화 대상지역 비상용수 확보계획을 수립하고, 분산형 시스템의 사업화 전략 및 모델을 도출하였음

▌1세부 과제 연구범위 및 연구수행 방법은 다음과 같음

연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근 방법)
▪ 분산형 용수공급시스템 기본계획	- 사업화 대상지역 선정 (국내 H 도시) - 대상지역 분산형 용수공급시스템 적용 시나리오별 시스템 규모, 공정 및 유동량 산정 - 비상용수 확보량 산정 방법론 개발
▪ 비상용수 확보량 산정 방법론 제안	- 국외 비상용수 확보량 산정 사례조사 - 단수사고 조사, 설문조사 및 수질오염 모사 수행 - 전문가 자문회의를 통한 산정론 검토
▪ 분산형 용수공급시스템 법/제도 검토	- 분산형 용수공급시스템 도입의 법적 가능성 검토 - 물공급 안정성 강화 필요성 및 방향 검토 - 수도사업의 에너지 자립화를 위한 법제도 개선방향 도출 - 분산형 수처리 시스템 도입 촉진방안 제시
▪ Tankless 막여과 시스템 운영 가이드 설정 (유동모의 및 Lab 실험)	- Tankless 막여과 시스템 수리모형실험 - Tankless 막여과 시스템 수치모의를 통한 수리학적 안정성 평가 및 개선안 도출 - 압력 및 수두손실 등과 같은 수리학적 특성 규명 - 수직형 정수처리 실증시설 수치모의 (전산유체해석 및 유량 분배 해석)

연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근 방법)
▪ 수직형 정수처리 실증시설 설계 (보완 및 최적화)	- Tankless 설계안 적용성 평가를 위한 Lab test - 1,000 m^3/일 규모 수직형 정수처리 실증시설 설계 검토 - 막여과공정 정유량 제어 계열 설계 - 수직형 정수처리 시증시설 공정 운영 제어로직 알고리즘 도출 - 수직형 정수처리 실증시설 상사성 반영 1/20 축소 prototype 모형 제작 - 실증시설 운영결과 반영 설계 개선안 도출 - 수직형 정수처리시설 설계모듈화 - 실규모 수직형 정수처리시설 설계
▪ 분산형 정수처리시설 BAT tool 개발	- 사업화 대상지역 주요 오염물질 조사 및 오염특성 DB화 - 대상 물질별 BAT matrix 도출 (6개) - 지역특성, 처리대상물질, 기술 적용성 등을 반영한 BAT tool 제작
▪ 분산형 용수공급시스템 경제성 분석	- 분산형 용수공급시스템의 설치비 및 운영비 조사 - 설문조사를 통한 분산형 시스템 편익 조사 (분산형 용수공급시스템 적용에 따른 지불의사, 선호도 등 정량적 편익 도출) - 대심도시설 유/무에 따른 경제성 평가 (기초자료 수집 및 편익항목 발굴/분석)

가. 비상용수 용량기준 수립

▌ 물안보 및 비상용수 용량 기준 수립을 위하여 해외 물 안보 측면에서 비상용수 용량 기준 수립 절차를 준용하여 본 연구에서도 단수사고 등의 사례조사, 자체 설문조사 등을 수행하였으며, 취수원 오염 발생시 수질모의 등을 통하여 비상용수 용량기준을 수립하여 제시함

▌그림 2.3 비상용수 용량 산정 기준 수립 방법론 ▐

- 국내의 경우 용수공급에서 비상상황 발생시 행동요령에 대한 개략적인 행동요령이 수도사업자 및 K-water, 환경부에서는 제시되어 있으나, 실질적인 인프라 측면에서의 비상용수 확보 용량기준은 없는 실정임
- 이에, 미국 및 일본 등의 해외 사례조사와 국내의 관로사고 및 설비/수질사고 등을 포함한 단수 사고 사례조사, 전문가 및 비전문가를 대상으로 한 설문조사 등을 통하여 국내 비상용수 확보용량 기준을 마련하고자 하였음
- 연구는 비상용수 용량 기준 수립 방법론을 마련하고 이를 전문가 자문회의를 거쳐 타당성을 확보한 수 용량 기준을 수립하였으며, 연구내용은 국내 논문게재를 통하여 전문가의 검토를 진행하였음

▌H 도시를 대상으로 분산형 용수공급시스템 기본계획 수립시 산정된 용량기준을 반영하여 2가지 형태(대심도 방식 및 기존시스템 활용과 저류조 방식)의 기본계획을 수립하여 제시하였음

- 세종시(행복도시)를 대상으로 분산형 용수공급 기본계획 수립시에는 비상용수 용량기준을 적용하여 지하공간을 활용한 2가지 형태(대심도 터널, 지하저류조)의 저류용량 확보를 반영한 분산형 용수공급계획을 수립 제시함
- 사업화 대상지역으로서 부산의 에코델타시티 및 전라북도의 새만금 개발지역 내 복합도시 북측지역을 대상으로 해당 지자체와의 설명회 및 검토를 거쳐 향후 사업화 대상지역의 가능성에 무게를 두고 최종적으로 새만금 개발지역을 분산형 용수공급시스템 기본계획 수립의 대상지역으로 선정하여 분산형 용수공급 기본계획을 수립하여 제시함. 비상용수 용량은 여건에 따라 조건을 달리하여 적용하였음

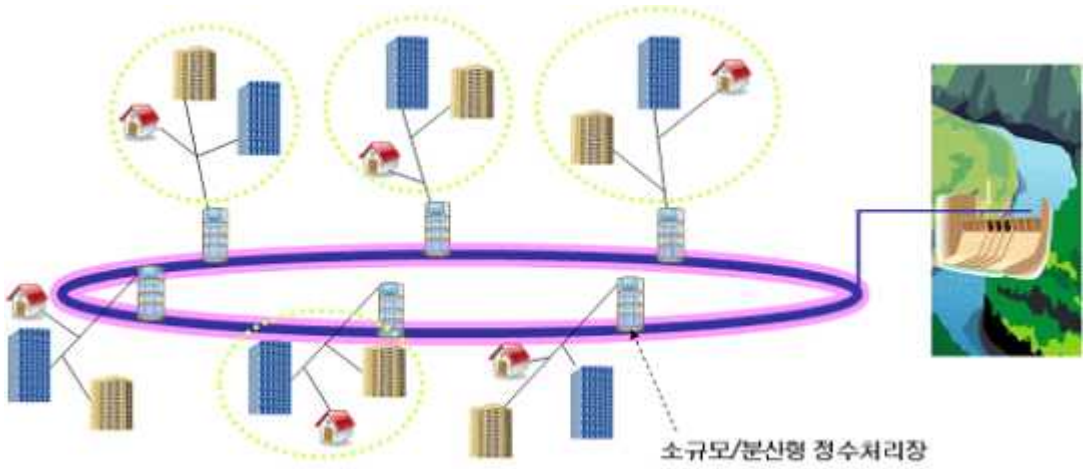
나. 분산형 용수공급시스템 도입을 위한 법/제도 검토 및 보완안

▌분산형 용수공급시스템 적용을 위한 다양한 법/제도 측면에서의 검토 및 보완안을 제시하기 위하여 현재의 수도법 및 수도정비기본계획 등의 법적 검토를 통하여 분산형 용수공급체계 도입에 필요한 가능성을 검토하였으며, 물공급 안정성 강화를 위한 수도법 개정안과 신재생에너지 등의 활용을 높이기 위한 개정안을 제시하였음

- 현행 수도법상 분산형 수처리시스템의 광역상수도, 지방상수도, 공업용수도 시설로서 도입 가능성에 대한 법/제도적 검토를 수행함
- 미래도시 안전하고 안정적인 용수공급을 위한 물 공급 안정성 강화방안에 대하여 국제사회의 동향 조사를 통해 수도법 및 물안전 계획 가이드라인을 제안하였음
- 또한, 많은 에너지를 필요로 하는 용수공급시스템에서 신재생에너지 이용 의무화에 대한 방안을 검토하였으며, 외국의 분산형 용수공급시스템에 대한 동향조사를 통해 분산형 수처리 시스템 도입 촉진방안을 마련하였음

다. 분산형 용수공급시스템 기본계획

▌물안보 측면을 고려한 분산형 용수공급시스템은 취수와 고도처리를 근간으로 실규모 컴팩트형(수직형 포함) 정수처리시설, 중단 없는 최종 생산수의 공급을 위한 급/배수 시스템, 물안보, 정수처리시스템 비상운영 및 저류시설 및 보조수원 등 비상용수 확보를 범위로 하고 있음



▌그림 2.4 분산형 용수공급시스템 개념도 ▐

- 분산형 용수공급 시스템의 계획은 2005년을 기준으로 개발이 완료되는 2030년에 최종 목표인구 50만을 계획하고 있는 개발범위가 73.14㎢인 H시를 대상으로 선정하였음
- H시 대상 분산형 용수공급 시스템의 기본계획은 기초조사, 현지조사, 기본계획으로 수행하였으며, 비상용수를 포함한 용수공급 계획, 수직형정수처리 공정 계획, 배수시설계획을 근간으로 설계하였고, 도수관로, 지하저류조, 배수지 및 수직형 정수처리 시설의 위치, 지역거주인구별 규모 등을 결정하였음
- 계획 급수량인 기존계획, 계획급수량과 비상용수량 대상의 대심도, 비상용수량 대상의 저류조의 3가지 시나리오로 작업하였고, 계획 수립 시 비상용수량은 보조수원 및 병물 확보량은 무시하였음.

▌그림 2.5 분산형 용수공급 시스템의 기본계획 대상지역인 H 시의 도시계획 ▐

▌ 분산형 용수공급시스템 대상지역인 H도시의 계획 관망 및 배수지를 조사하여 분산형 용수공급시스템의 적용 가능성을 검토함

- H시의 계획 급수원단위는 2015년에 일 평균 330L/인·일, 일 최대 413L/인·일로 산정되어 있으며, 2020년부터 2030년까지 변동 없이 일 최대 급수 원단위만 414L/인·일로 산정됨
- 생활용수 정수장과 공업용수 정수장의 용량은 정해지지 않은 상태로 용수공급이 60,000㎥/일로 공급이 확정되었고, 추후 140,000㎥/일 공급이 계획되어 있으나 불확실한 상태이며, 배수구역은 6개 지역으로 분리되어 6개의 배수지가 운영될 계획에 있음

▌ 분산형 용수공급시스템 사업화 대상지역인 새만금 개발지역 중 복합도시 북측지역을

대상으로 수직형 정수처리시설 2개소 설치를 통한 북축지역 내 분산형 용수공급체계 구축 기본계획을 수립하여 제시하였음

▌그림 2.6 새만금 개발지역 내 분산형 용수공급시스템 기본계획 대상지역▐

- 사업화 대상지역 분산형 용수공급시스템 기본계획 방향은 기존 공급계획인 중앙집중형 공급체계와 새로운 개념의 분산형 용수공급 체계의 수리/수질/경제성 평가를 통해 새만금 북측지역 분산형 용수공급시스템 도입 타당성을 검토
- 기존 새만금 종합개발계획(MP)의 중앙집중형 용수공급 계획은 옥산 계획 배수지 통해 생활용수는 전주권 광역, 공업용수는 금강광역에서 공급이 계획되어 있음
- 새만금 복합도시 북측지역을 대상으로 수직형 정수처리시설 2개소 설치를 통한 새만금 복합도시 북측지역 대상 분산형 용수공급시스템 기본계획 수립을 진행

라. 수직형 정수처리시설 유동모의 및 Lab 실험

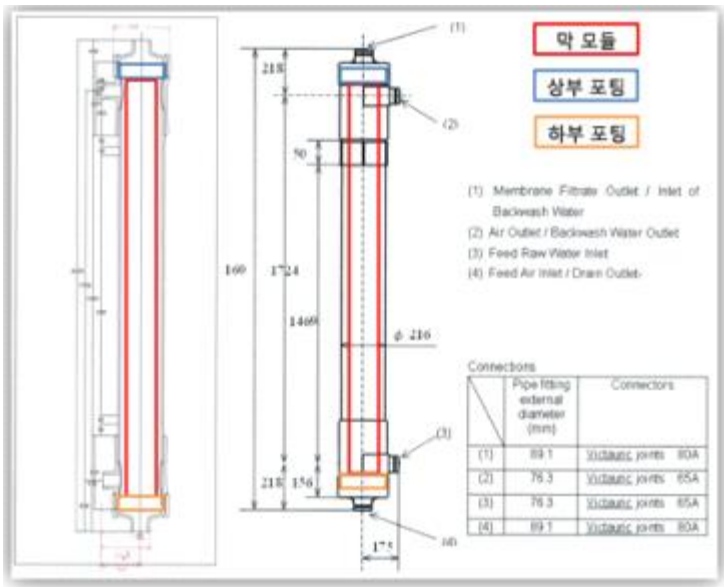
(1) 전산유체해석 기법을 활용한 유동 모의

▌ 전산유체동역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 기법을 이용하여 분산형 정수처리시스템을 구성하는 단일 그리고 다중 막여과 시스템 내에서 유동모의를 수행하였으며, 적용된 수치모형은 상용 소프트웨어인 ANSYS CFX (ver. 13)임

▌ 단일 그리고 다중 막여과 시스템 내에서의 유입량 및 멤브레인의 공극율에 따른 유

동변화를 모의하였으며, 이에 대한 결과를 비교.분석하였음

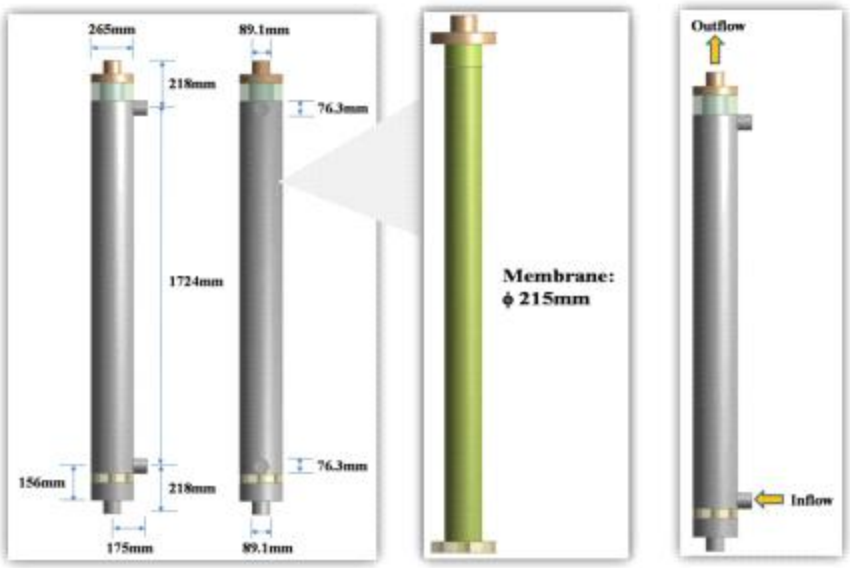
- 국내에서 적용되고 있는 제품사별 막여과 시스템으로는 일본 아사히카세이와 도레이에서 제작되어 설치되는 막여과 시스템과 코오롱에서 제작되는 막여과 시스템이 있음
- 본 연구에서는 코오롱에서 제작되는 막여과 시스템을 채택하였으며, 그림 2.7은 코오롱 분리막 모듈의 제원을 나타낸 것임
- 단일 막여과 시스템의 기하학적 구성으로 막여과 시스템의 총길이와 직경은 각각 2,160mm와 265mm이며, 유입관과 유출관의 직경은 각각 76.3mm와 89.1mm이며, 시스템 내의 멤브레인의 직경과 길이는 각각 215mm와 1,724mm임
- 단일 막여과 시스템 하단에 위치한 유입관으로 유입된 물은 수직 상방향으로 멤브레인을 통과하여 유출관을 통해 다음 공정으로 이동됨



▌그림 2.7 코오롱 분리막 모듈의 제원▐

▌표 2.1 국내에서 적용되는 제품사별 막 여과 시스템의 제원▐

구분	중공사 막내경 (mm)	중공사 막외경 (mm)	막길이 (mm)	막가닥 수(EA)	막면적 (m^2)	모듈 제원 (ϕ ×H)	상/하 노즐 구경	옆면노 즐구경	막부피	ϕ ×H
아사히 카세이	0.7	1.3	1960	6349	50	6in×2.4 m	50A	40A	$6.5\times10_{7}$	182.1× 1960
도레이	0.9	1.5	1830	8323	72	8in×2.2 m	80A	65A	$1.1\times10_{8}$	242.5× 1830
코오롱 1	0.9	1.6	1870	7770	73	8in×2.2 m	80A	65A	$1.2\times10_{8}$	245.0× 1870
코오롱 2	0.6	1.65	1870	7534	73	8in×2.2 m	80A	65A	$1.2\times10_{8}$	253.8× 1830



▌그림 2.8 단일 막여과 시스템의 기하학적 구성▐

▪ 단일 막여과 시스템을 구성하는 총 셀의 수는 1,064,765개이며, 격자망을 구성하는 각각의 셀 형태와 수는 다음과 같음

▌표 2.2 격자망을 구성하는 각 셀의 형태와 수▐

Mesh statistics	
Total number of nodes	323,086
Total number of tetrahedra	811,108
Total number of pyramids	1,121
Total number of wedges	189,789
Total number of hexahedra	62,747
Total number of cells	**1,064,765**

▌그림 2.9 단일 MF 시스템의 격자망 구성▐

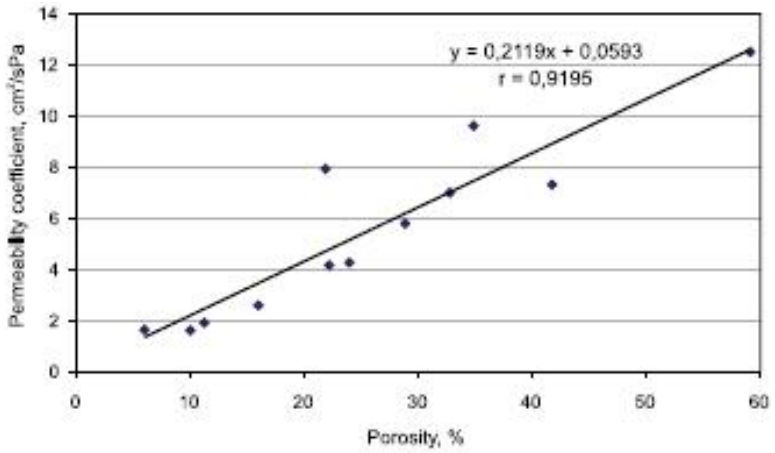
▌단일 MF 시스템 내에서의 유동은 비정상상태로 모의하였으며, 시간에 따라 변화되는 유동변화를 분석하였음

- 본 연구에서는 멤브레인의 공극율의 변화에 따른 유동모의를 수행하였으며, 유입유속 2.0m/sec에 대해 공극율을 0.1과 0.5에 대해 유동변화를 분석하였음. Schmidt 등(2005)은 10가지 폴리우레탄 멤브레인 샘플자료를 이용하여 물리적 실험을 수행하였으며, 멤브레인의 공극율과 투수성(permeability)과의 관계를 도출하였음. 표 2.3은 10개의 폴리우레탄 멤브레인 샘플에 대한 물리적 특성을 나타낸 것으로 공극율의 경우 0.113부터 0.5778과 같이 변화되며, 공극율의 평균은 약 0.292이며, 표준편차는 0.131임.

▌표 2.3 10개의 폴리우레탄 멤브레인 샘플에 대한 물리적인 특성▐

Sample	Mass per unit area (g/cm^2)	Thickness l (μm)	Apparent density ρ (g/cm^3)	Porosity ε (%)
U-1	41.0	69	0.586	31.33
U-2	36.3	60	0.605	29.11
U-3	42.0	51	0.700	30.00
U-4	36.8	99	0.368	57.78
U-5	42.2	60	0.703	22.45
U-6	37.8	50	0.756	15.67
U-7	34.5	62	0.524	41.76
U-8	39.7	62	0.640	28.89
U-9	40.9	60	0.684	23.98
U-10	30.6	38	0.798	11.30

- 공극율과 투수성에 대한 관계식을 도출한 것으로 공극율과 투수성은 선형으로 비례하는 것을 알 수 있음. 본 모의에서는 멤브레인 공극율을 0.1과 0.5로 가정하여 수행하였으며, 이에 대한 결과를 분석하였음.



▌그림 2.10 공극율과 투수성과의 관계▐

- 유입관을 통해 물은 세 가지 유입유속으로 유입된다고 가정하였으며, 멤브레인의 공극율은 동일하게 0.5로 가정하였음.

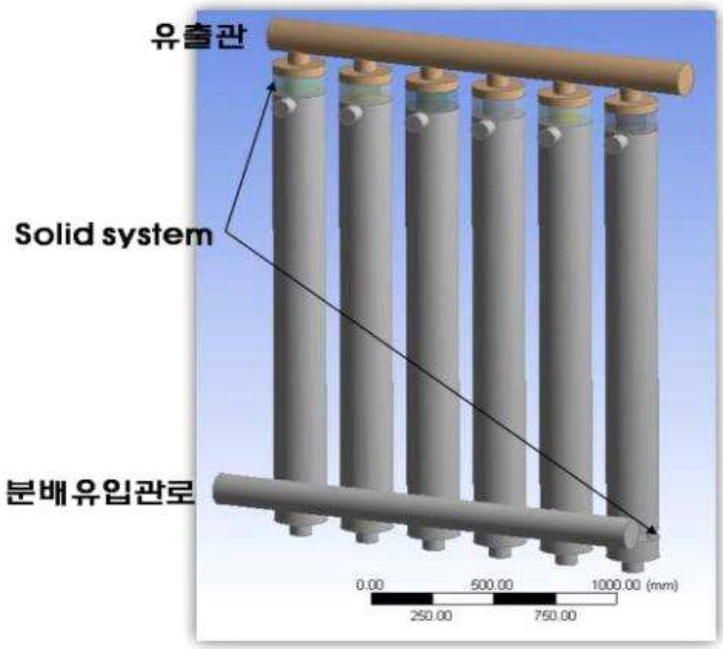
▌표 2.4 유입유속에 따른 유입량▐

유입유속(m/sec)	1	2	3
유입유량(l/sec)	4.5	9.1	13.6

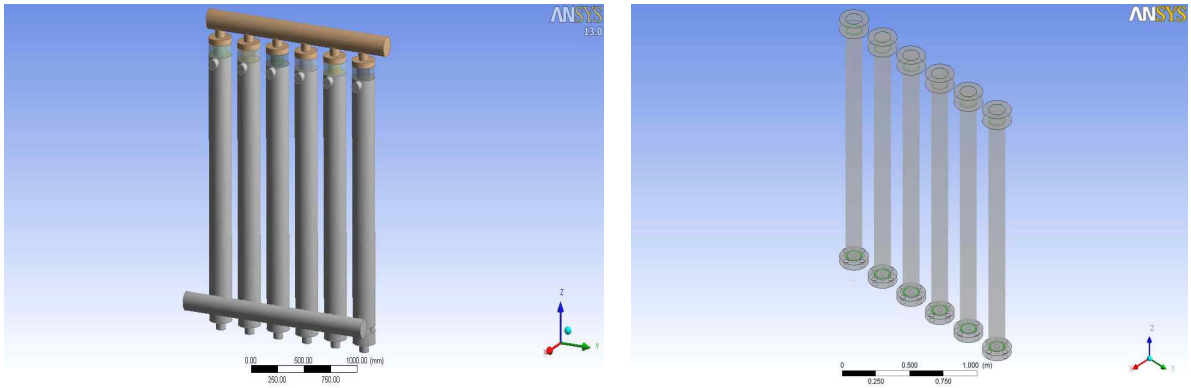
- 유출관의 끝단은 대기압 조건 하에서 자유 유출된다고 가정하였음. 막여과 시스템 내에서의 유동에 대한 난류 모의는 ANSYS CFX에서 제공되는 $k-\varepsilon$ 모형을 적용하였으며, $k-\varepsilon$ 모형에 적용되는 turbulence kinetic energy와 turbulence eddy dissipation 매개변수의 값은 유동상황에 따라 자동으로 계산되도록 선택하였음.

▌ 다중 막여과 시스템의 기하학적 모형(그림 5.7.19)에서 다중 막여과 시스템과 연결된 분배관로(유입관)의 길이와 직경은 각각 2,000mm와 150mm로 가정하였으며, 상단부 유출관의 길이와 직경은 분배관로와 동일한 제원을 적용하였음

- 모의대상 영역은 단일 막여과 시스템의 경우와 마찬가지로 유체 시스템과 멤브레인을 대표하는 다공성 매질로 구성되어 있음



▌그림 2.11 다중 막여과 시스템의 기하학적 모형 구성▐



▌그림 2.12 다중 막여과 시스템(좌)과 내부 다공성 멤브레인(우)▐

▌그림 2.13 다중 막여과 시스템을 구성하는 격자시스템▐

- 다중 막여과 시스템의 기하학적 모형을 바탕으로 구축된 격자시스템은 1,147,684개의 절점과 4,398,781개의 셀로 구성됨

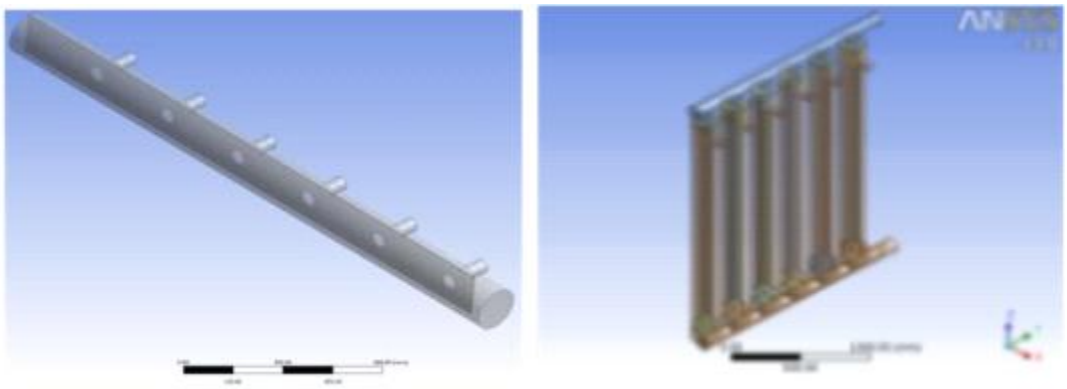
▌ 다중 막여과 시스템 모의는 비정상상태 흐름으로 가정하여 수행하였음

- 총 모의시간은 대상영역에 충분히 물로 채워질 수 있도록 하기 위해 40초를 적용하였음. 모의시간 간격은 0.01초로 하였으며, 매 0.5초마다 분배관로로부터 각각의 멤브레인 모듈에 유입되는 유량과 유출되는 유량 결과를 도출함.
- 유입유속은 2.0m/sec를 부여하였으며, 이때 유입유량은 26.39l/sec임. 유출관 단면에는 대기압의 영향을 받는다고 가정함. 각각의 막여과 모듈에 존재하는 멤브레인의 공극율은 0.4로 가정함

▌ 다중 막여과 시스템 내 유량의 균등배분은 막여과 운영에 있어 사용기한을 연장시킬 수 있으므로 경제적으로 매우 중요한 요소로 판단됨

- 다중 막여과 시스템 내 보다 균등하게 유량분배를 위해 막여과 시스템과 연결된 분배관로의 개선에 대한 모의를 수행하였으며, 이에 대한 결과를 기존의 분배관로 결과와 비교·분석하였음
- 본 모의의 목적은 다중 막여과 시스템을 구성하는 각각의 모듈 내로의 유량배분 차이를 10% 감소하는 것임

▌ 6개의 멤브레인 모듈로 구성된 시스템과 연결된 분배관로로부터 각 모듈 내로 분배되는 유량 차이를 보다 균등하게 위한 하나의 방안으로 균일단면의 분배관로 대신 분배관로 길이방향을 따라 중앙에 격벽이 있는 관을 적용함



▌그림 2.14 격벽이 설치된 분배관로와 연결된 다중 막여과 시스템▐

▌ 격벽이 설치된 분배관로와 이에 연결된 다중 막여과 시스템 모의는 비정상상태 흐름을 가정하여 수행하였음

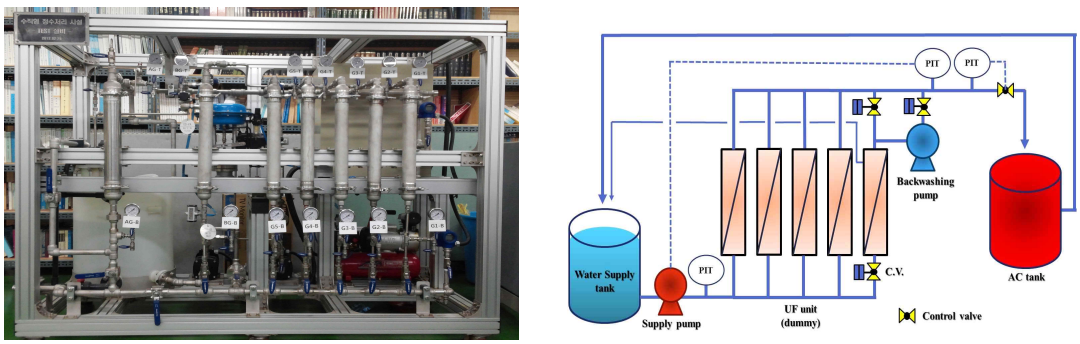
- 총모의시간은 대상영역에 충분히 물로 채워질 수 있도록 하기 위해 40초를 적용하였음. 모의시간간격은 0.01초로 하였으며, 매 0.5초마다 분배관로로부터 각각의 멤브레인 모듈에 유입되는 유량과 유출되는 유량 결과를 도출함
- 유입유속은 2.0m/sec를 부여하였으며, 이때 유입유량은 기존의 격벽무 분배관로의 경우보다 절반인 13.01l/sec임. 유출관 단면에는 대기압의 영향을 받는다고 가정함
- 각각의 막여과 모듈에 존재하는 멤브레인의 공극율은 0.4로 가정함

(2) 수리모형 Lab 실험 및 수치 모의

▌직결식 시스템은 공급수 및 처리수를 위한 저장탱크를 두지 않고 막 분리 장치로의 공급으로부터 최종 처리수 생산까지 중간 저류가 없는 직수 방식의 고도 정수처리방법으로 고려될 수 있음.

- 막분리 장치의 공급압력을 후단의 수처리 공정들의 운전을 위한 구동력으로 이용함으로써 각 단위공정 간 처리수의 흐름에 제동이 없도록 하여 전체 고도 정수처리 공정의 공간 효율성을 극대화시킬 수 있음.
- 중간 저류조에서의 체류로 인해 발생할 수 있는 2차 오염을 방지할 수 있을 것으로 기대할 수 있음. 또한 후처리 공정 구동에 필요한 구동압력을 보충하기 위한 구동설비가 불필요하며, 전체 수처리 공정의 에너지 효율을 증가시킬 수 있는 효과를 제공할 것으로 기대할 수 있음
- 막여과 공정과 후단 공정본 연구에서는 공급수조, 공급펌프, 막여과 공정, 역세펌프, 활성탄 여과장치 및 조절밸브로 구성된 tankless 정수처리시스템에 대한 수리모형실험을 통해 설정 압력 및 유량에 따른 공정별 수리학적 변화(예, 압력 및 유량의 변화)를 분석하고 이에 대한 안정성 평가를 통해 tankless 정수처리시스템의 활용 가능성을 검토하였음.

▌본 연구에서는 tankless 정수처리시스템에서 설정 압력과 유입유량의 변화에 따른 수리모형실험 장치를 구성하고 있는 공정별 압력 및 수두손실 등과 같은 수리학적 특성을 규명하고, 현장에서 운영이 가능한 프로세스로 운영될 수 있는지에 대한 안정성 여부를 검토하였음



(a) (b)

▌그림 2.15 수리모형실험 장치(a) 및 흐름도(b) ▌

- 공급 수조(water supply tank), 공급펌프(supply pump), dummy 막여과 설비(UF unit), 역세척 펌프(backwashing pump), 활성탄 탱크(AC tank) 그리고 조절밸브(control valve)로 구성되어 있다. 본 연구에서 고려된 dummy UF 막여과 시스템은 개별적인 막여과 장치 내부에 막이 존재하지 않는 것을 의미하며, 막여과 장치 상부에 설치되어 있는 밸브를 조작하여 막여과 효과를 모사하였음.
- 막여과 장치의 운전은 여과(filtration) 및 역세척(backwashing) 그리고 방류(flushing) 순으로 이루어지며, 원수 저장소를 통과한 처리수는 원수공급펌프를 통해 막여과 설비에 공급이 되며, 설정된 막여과 운전에서 역세척 과정에 도달하게 되면 5개 중의 한 개의 막여과 장치에 역세펌프를 통해 역세수를 공급하고 설정된 시간동안 역세가 시행됨. 역세과정을 통해 배출된 역세수는 다시 원수 저장소로 유입이 되며, 이와 같은 과정이 설정된 운전기간동안 반복해서 시행됨.
- 본 수리모형실험 장치의 운전 방식은 유량과 유압 그리고 가동조건을 설정하고 막여과 설비의 여과, 역세척 그리고 방류와 같은 세 가지 공정에 대해 시간 설정을 하게 되면 자동 또는 수동으로 이루어짐

▌막여과에 대한 운전조건은 일반적으로 현장에서 적용되는 있는 여과 30분, 역세척 1분 그리고 방류 40초로 설정하였으며, 설정된 압력과 유입유량의 변화에 따른 수리모형실험 장치 내에서의 압력 및 유량 변화를 조사하기 위해 4 개의 압력 및 유입유량 시나리오를 설정하여 실험을 수행하였음.

- 막여과 효과를 모사하기 위해 개별적인 막여과 장치 상부의 밸브의 잠긴 정도를 완전 열림에 대해 25 % 그리고 75 %로 설정하였으며, 밸브의 잠긴 정도가 클수록 막여과 장치 내의 막의 밀도가 높다는 것을 의미함.

(a) (b)

▌그림 2.16 시간, 압력 및 유량 수동 설정(a) 및 자동 설정(b) ▌

▌표 2.5 수리모형실험 시나리오▐

Case		Inflow (l/min)	Pressure (bar)	Valve state
1	1	10	2.0	complete opened
	2		2.5	complete opened
	3		3.0	complete opened
2	1	20	2.0	complete opened
	2		2.5	complete opened
	3		3.0	complete opened
3	1	20	2.0	25 % closed
	2	30	3.0	25 % closed
4	1	20	2.0	75 % closed
	2	30	3.0	75 % closed

- 수리모형 실험은 2013년 12월 12일부터 2014년 2월 11일까지 case 별로 7일 동안 지속적으로 운전을 시행하였으며, 주요 지점별 압력과 유량의 결과 분석은 수리모형실험 장치에 부착되어 있는 공급 수조에 설치된 전자유량계(그림 2.3(a))와 막여과 장치 유입부(lower Pressure gauge)와 유출부(upper Pressure gauge)에 설치된 전자압력계로 매 10분 간격으로 기록한 자료를 이용하였음.

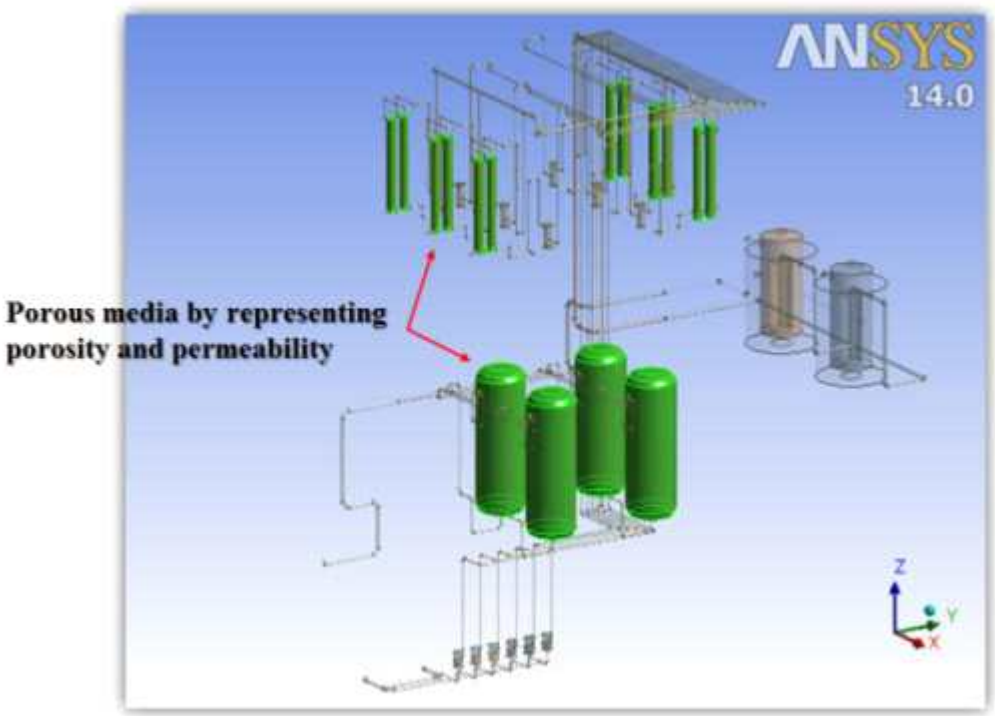
(a) (b)

▌그림 2.17 전자압력게이지 (a), 전자유량계 (b)▐

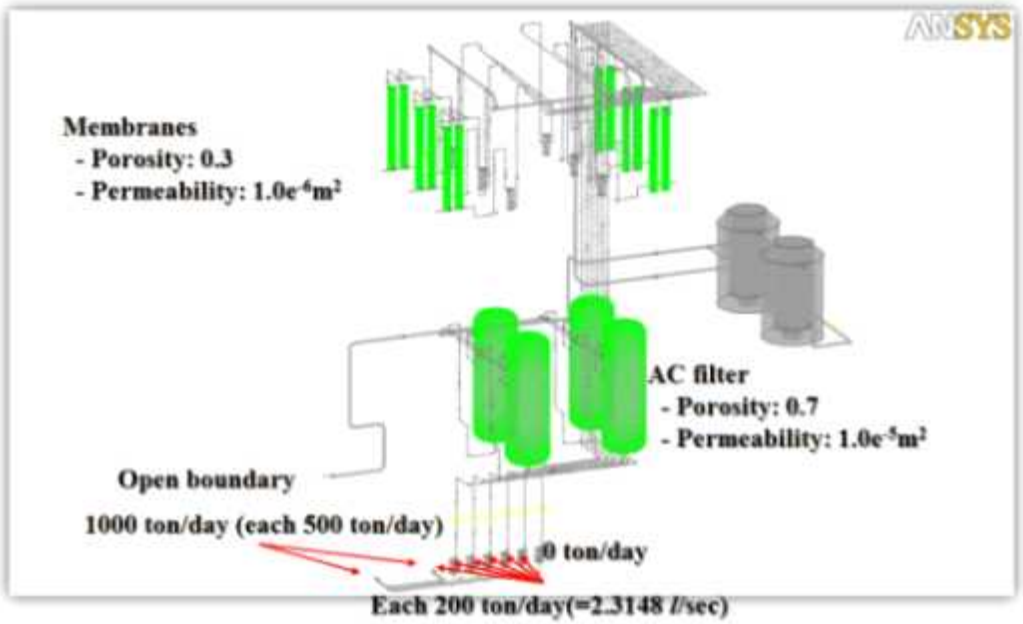
▌ 실증시설 대상 모의는 실증시설 설계에서 반영된 공정별 모듈과 용수공급조건을 이

용하여 전반적인 유동 및 압력 등의 변화에 대한 수리학적 검토를 수행하고자 함.

- 본 모의에서 적용된 경계조건에서는 두 개의 집수수조 내로 각각 500 ton/day의 유량이 유입되며, 집수수조와 연결되어 상부의 막 여과 공정으로 물을 공급하기 위해 설치되는 6개의 펌프가 있으며, 그 중 1개는 비상용으로 작동하지 않는다고 가정하면서 5개의 펌프를 통해 상부에 위치해 있는 막 여과 공정으로 공급함. 각각의 펌프에서 공급하는 유량은 200 ton/day(=2.3148 liter/sec)임. 유동모의는 시간에 따라 변화되는 유속 및 압력의 상태를 검토하기 위해 정상상태 조건에서 수행하였음
- 본 모의결과 분석에서는 22분 동안 매분 측정된 공정별 압력과 유출유량의 평균을 모의된 공정별 결과와 비교하였음

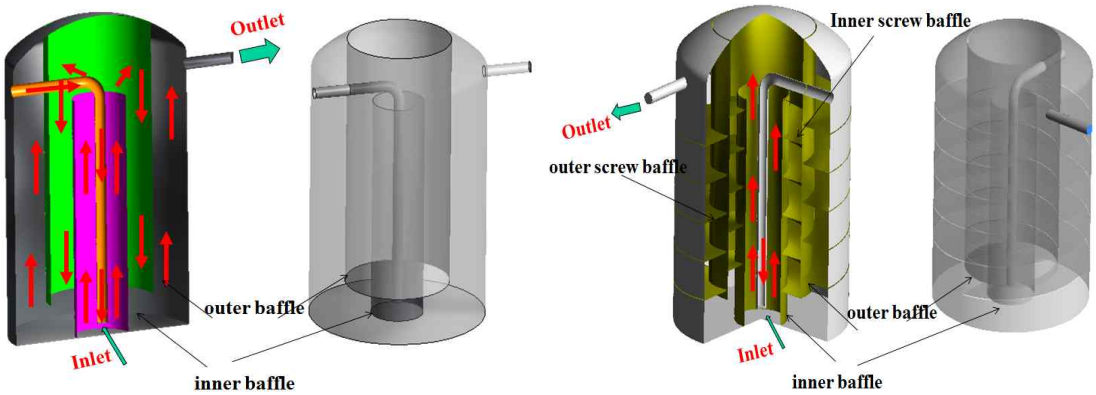


▌그림 2.18 실증시설 내 공정별 배치도 및 기하학적 모형 구축▐



▌그림 2.19 유동모의를 위해 설정된 경계조건▐

▌ 설계 당시 오존 접촉 탱크 내 유체가 오존과의 접촉을 더욱 원활하게 하기 위한 목적으로 오존접촉 탱크 내부형상의 개선을 고려함. 본 연구에서 고려된 오존 접촉 탱크 내부의 형상은 screw 타입으로 오존과의 접촉 면적을 보다 크게 할 수 있음.



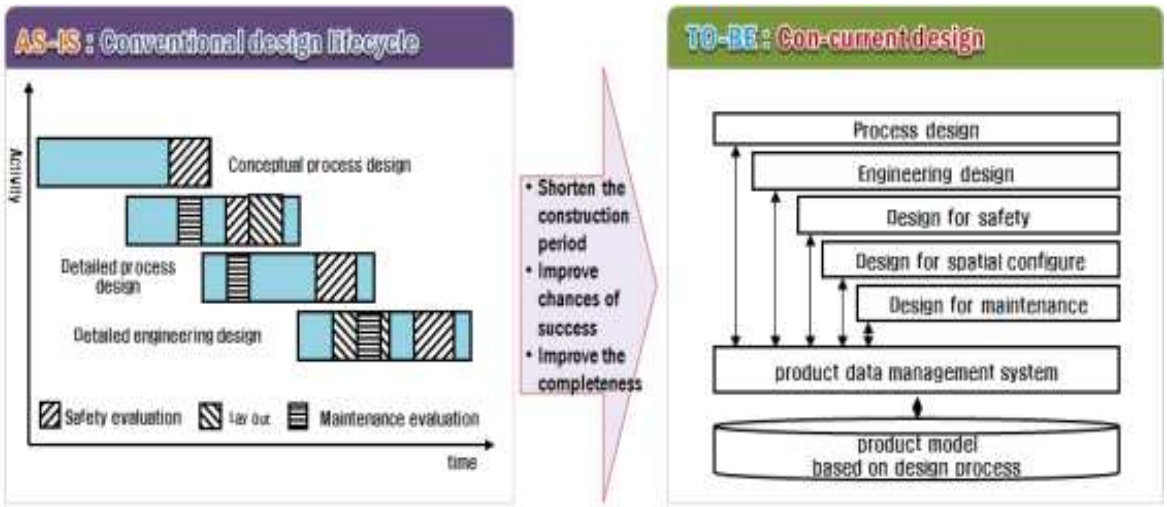
(a) (b)

▌그림 2.20 기존의 오존 접촉 탱크 (a) 및 개선된 오존 접촉 탱크 (b)▐

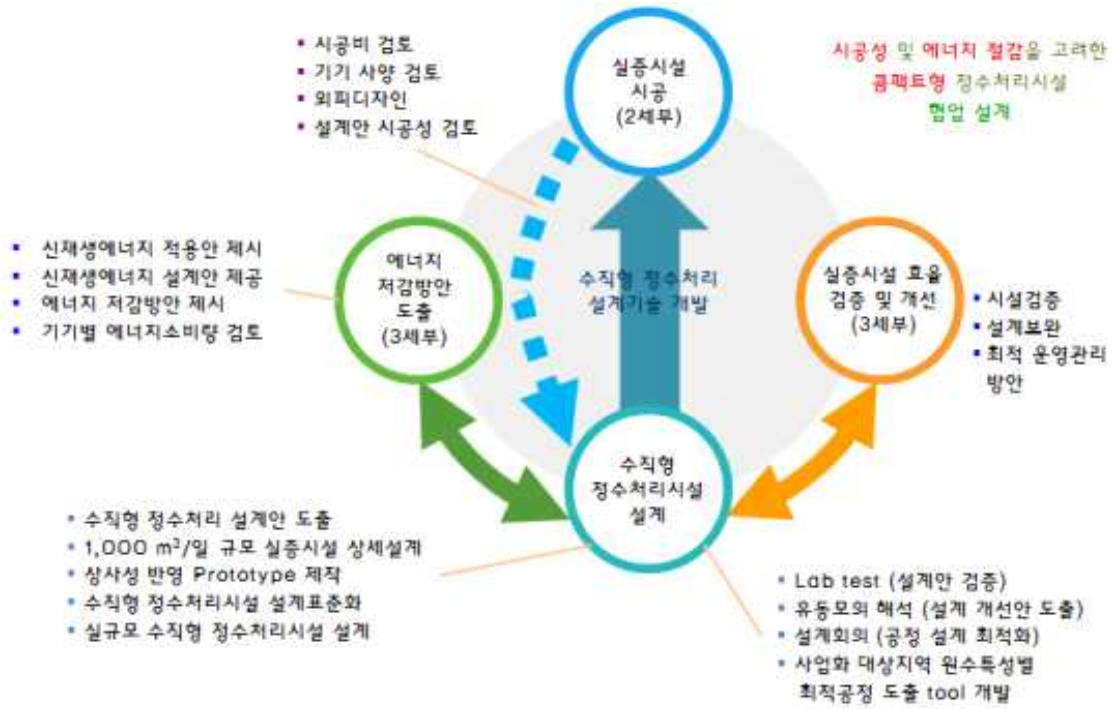
마. 수직형 정수처리 설계 기술

▌수직형 정수처리 실증시설의 설계는 1, 2, 3 세부과제 연구기관이 모두 관여하기 때문에 각 세부과제 간의 연계성을 고려한 계획을 수립하였음

- 수직형 정수처리 실증시설의 시공을 담당하는 2세부과제 연구기관과는 시공성을 고려한 설계와 외피디자인에 대해 협업하며 신재생에너지 장치 및 에너지 절감방안에 대한 설계인자를 제공하는 3세부과제 연구기관과 연계하여 설계를 진행함
- 수직형 정수처리시설 설계 기술 개발은 1세부의 설계와 2세부의 실증시설 시공, 3세부의 운영이 모두 고려되어야 하기 때문에 기존의 설계-시공-운영을 순차적으로 실시하는 방식은 시간적인 효율성이나 개발 기술의 완성도를 위한 피드백 구조에 적합하지 않음
- 따라서 실증시설 및 실규모 수직형 정수처리시설 설계의 전과정에 1, 2, 3세부가 모두 참여하여 시공 및 운영 측면에서 완성도를 높이기 위한 협업설계를 수행하였음



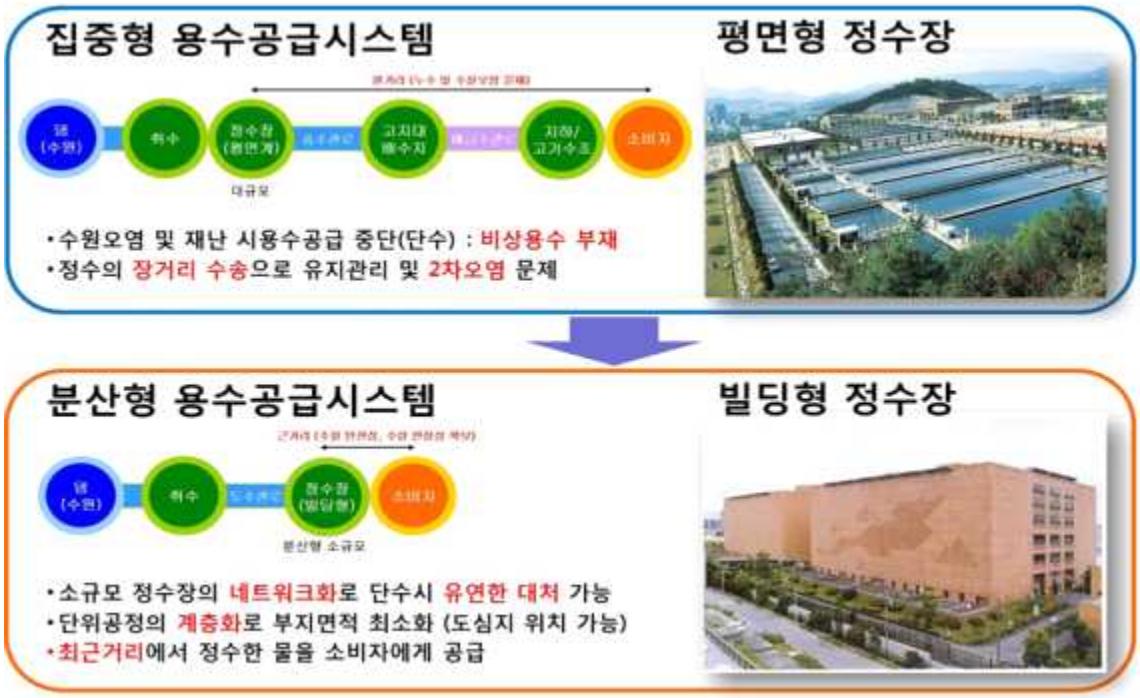
▌그림 2.21 기존설계방식과 협업설계방식의 비교 ▌



▌그림 2.22 각 세부간 협업설계 구조▐

▌ 분산형 용수공급시스템에 적용될 수직형 정수처리시설은 정수처리시설이 기존 집중형 용수공급시스템에서의 정수처리시설과는 달리 사용자 정수처리시설과 물 사용자 간의 거리를 최소화하고 안정적인 물 공급을 위하여 비교적 소규모 정수장이 네트워크 형태로 연결된 형태로 도심지 내에 정수처리시설이 설치됨

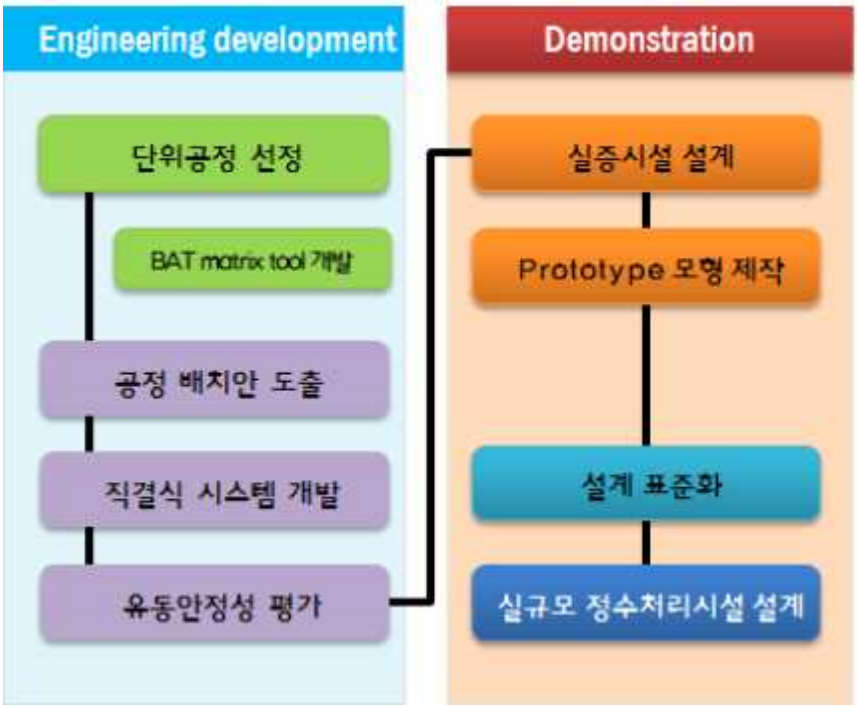
- 기존 집중형 용수공급시스템에서의 정수시설은 수원에 근접하며 대용량의 정수를 처리하는 넓은 부지의 평면계 정수처리시설인데 반해 분산형 용수공급시스템에 적용되는 정수처리시설은 비교적 소용량의 부지면적을 최소화한 형태의 정수처리시설이 요구됨
- 분산형 용수공급시스템은 기존 정수처리시스템의 단순 소규모화가 아닌 정수와 사용자간의 거리 최소화를 통한 안전하고 안정적인 물공급의 목적이 있음
- 분산형 용수공급시스템에서의 정수처리시설은 컴팩트한 시설로서 부지면적을 최소화하기 위하여 수직형 (계층형)으로 구축되는 것이 적합하며 이에 따라 각 수처리 단위공정들이 다층 건물의 각 층에 배치됨



▌그림 2.23 분산형 용수공급시스템 및 수직형 정수처리시설의 특징▐

▌ 실규모(20,000㎥/일 규모) 수직형 정수처리시시설 설계는 설계계획 수립 → 실증시설 설계 → Prototype 제작 → 실증시설 시공 및 운영 → 설계 Feedback → 실규모 시설 설계의 순서로 수행함

- 1차년도에는 수직형 정수처리시설을 정의하고, 국내외 사례를 조사하였으며 실증시설 및 실규모 설계를 위한 계획을 수립하였음
- 2차년도에는 시설의 규모, 단위공정, 배치안 등을 결정하였으며 직결식 시스템(Tankless system)이라는 새로운 개념의 설계안이 적용된 1,000 m^3/일 규모의 수직형 정수처리 실증시설을 설계하였음
- 3차년도에는 수직형 정수처리 실증시설의 설계를 보완하였으며 시공에 앞서 단위공정의 배치 점검 및 시공성 검토를 위해 상사성을 반영한 1/20 규모의 prototype 모형을 제작하였음
- 4차년도에는 실증시설 운영결과에서 도출된 설계 개선안을 반영하여 단위공정 설비 설계를 모듈화 하였으며 이를 기초로 한 20,000 m3/일 규모의 실규모 수직형 정수처리시설을 설계하였음



▌그림 2.24 수직형 정수처리시설 설계기술 개발 공정도▐

(1) 단위공정 선정

(가) 고도정수처리

▌국내외 정수장의 고도정수처리 도입 시 주요 처리대상물질은 맛·냄새물질, 각종 소독부산물(THMFP, HAAFP 등) 및 기타(ABS, 색도, 미량유기물질 등)물질을 주요 처리대상물질로 정하고 있음

- 모래여과 또는 막여과 처리방식으로는 용해성 성분을 충분히 제거할 수 없기 때문에 제거대상으로 되는 용해성 물질의 종류와 농도에 따라 고도정수처리 등의 처리방법을 단독 또는 조합하여 사용할 필요가 있음
- 고도정수처리란 일반적인 정수처리방식으로 제거하기 어려운 원수의 냄새물질 (2-MIB, geosmin 등의 곰팡이 냄새), 색도, 미량유기물질, 소독부산물 전구물질, 암모니아성질소, 음이온계면활성제, 휘발성 유기물질 등을 제거하는 방식으로 제거하려는 대상물질에 따라 고도정수시설은 활성탄처리시설, 오존처리시설 등을 단독 또는 조합하여 도입함
- 철, 망간, 침식성유리탄산, 불소, 암모니아성질소, 질산성질소, 경도 등을 처리할 목적으로 전염소처리, 폭기처리 (aeration), 알칼리제처리 등 각각의 물질제거에 알맞은 처리방법을 도입함

▌표 2.6 국내 고도처리시설 주요처리대상 물질 ▐

구 분	처 리 대 상 물 질
한 강 수 계	- 맛·냄새물질(2-MIB, Geosmin) - 암모니아성 질소, 미량유기물(TOC, $KMnO_4$ 소비물질, THMFP)) - 조류 및 취기물질
낙동강 수 계	- 원수 수질악화 (암모니아성 질소, 유기물질, 철, 망간, 조류) - 맛·냄새물질
금 강 수 계	- 원수 수질악화(암모니아성 질소, 망간) - 맛·냄새물질

▌표 2.7 처리대상물질과 처리방법 ▐

	처리대상항목	처리대상물질	처 리 방 법
불용성분	탁 도		완속여과, 급속여과(직접여과), 막여과
	조 류		막여과, 마이크로스트레이너, 부상분리
	미 생 물	크립토스포리디움	완속여과, 급속여과, 막여과, 오존
		일반세균, 대장균군	염소, 오존
용해성분	냄 새	곰팡이 냄새	활성탄, 오존, 생물처리
		기타 냄새	활성탄, 오존, 폭기, 염소
	소독부산물	THMs전구물질	완속여과, 급속여과, 막여과, 오존, 활성탄
		THMs	활성탄, 산화, 소독방법 변경
	음이온계면활성제		활성탄, 오존, 생물처리
	휘발성 유기물		활성탄, 탈기
	농 약 류		활성탄, 오존
	무 기 물	철	산화(염소, 폭기)처리, 폭기와 여과
		망간	산화(염소, 오존, 과망간산칼륨)처리와 여과, 망간사 여과
		암모니아성질소	염소(파과점염소)처리, 생물처리, 막여과(RO)
		질산성질소	이온교환, 막여과(RO), 전기투석, 생물처리(탈질)
		불소	응집침전, 활성알루미나, 골탄, 전기분해, 막여과(RO)
		경도	정석(晶析)연화, 응석(凝析)침전, 막여과(NF), 이온교환
		침식성유리탄산	폭기, 알칼리, 오존
	색 도	부식질	응집침전, 활성탄, 오존
	랑겔리아지수		알칼리제 처리, 탄산가스, 소석회 병용법

(나) 수질기준

▌2006년 환경부에서는 수돗물의 맛·냄새 물질에 대한 수질규정을 구체화하려는 방안으로 미국의 Secondary drinking water regulation이나 일본의『쾌적 수질항목』처럼 자발적 달성을 위한 권고항목(Guideline)으로 설정하는『맛있는 수돗물 수질가이드라인』을 설정함

- 환경부에서 검토하고 있는 안으로서 주요내용으로는 수돗물에서의 2-MIB와 Geosmin의 농도를 10ng/L로 설정하고, 시민들의 불만사항인 염소냄새를 낮추기 위해 잔류염소농도를 0.4mg/L 이하로 유지하도록 함
- 2006년 12월에 환경부는 수도법개정을 통해서 급수계통의 유리 잔류염소농도를 종전 0.2mg/L 이상에서 0.1mg/L 이상으로 강화 조정함

▌표 2.8 맛있는 수돗물의 수질 가이드라인-환경부(안)(2006년)▐

수질항목	먹는물수질기준	맛있는물 가이드라인	비 고
잔류염소	0.2 mg/L 이상 4.0 mg/L 이하	0.2 mg/L 이상 4.0 mg/L 이하	추후 소독효능의 확보와 함께 잔류염소의 기준을 하향조정하면 본 기준을 하향조정 요망
Geosmin	-	10 ng/L 이하	광역시 정수장에서 월1회 검사요망, 소규모 정수장에서는 수원에 조류경보가 발령되었을 때 검사 요망
2-MIB	-	10 ng/L 이하	
맛,냄새	무미 무취	1 TON 이하	
알루미늄	0.2 mg/L 이하	0.1 ng/L 이하	건강에 유의
	0.5 NTU 이하	0.1 NTU 이하	미생물(원형동물, 바이러스 등)의 제거강화로 건강에 유의
	0.3 NTU 이하 (10만톤/일 이상 정수장)		

▌서울시 상수도연구원에서는 오존과 입상활성탄 고도정수처리공정을 적용함으로서 얻을 수 있는 수질개선 효과는 매우 다양하므로 고도정수처리 우선 순위와 목표수질을 설정함

- 맛·냄새물질은 2-MIB와 geosmin, 염소냄새로 설정함
- 2-MIB와 geosmin에 대한 목표수질은 일반인이 인지 가능한 농도(OTC:Odor threshold concentration)와 일본 먹는물 수질기준을 고려하여 10ng/L 이하로 설정함
- 염소냄새는 정량적 측정이 어려우므로 대체지표로 잔류염소농도 0.1mg/L이하로 설정함
- 수질에 대한 안전율을 고려하여 소독부산물은 THMFP(Trihalomethane formation

potentials)는 0.08mg/L이하, 유기물은 총괄유기물지표로서 TOC(Total organic carbon) 1.0mg/L이하로 설정함

▌표 2.9 고도정수처리 목표수질 ▐

순위	제거대상물질	수질기준	고도정수처리 목표	비 고
1	맛·냄새물질	Geosmin 10ng/L(일본) 2-MIB 10ng/L(일본) 잔류염소 0.1mg/L(한국)	Geosmin 10ng/L 2-MIB 10ng/L 잔류염소 0.1mg/L	잔류염소농도를 염소취저감의 대체지표로 설정
2	소독부산물	THMs 0.1mg/L(한국) HAAs 0.1mg/L(한국)	THMFP 0.08mg/L HAAFP 0.06mg/L	
3	총괄유기물	TOC 5.0mg/L(일본)	TOC 1.0mg/L	

▌한국수자원공사에서 수립한 정수처리공정 Master plan에서는 우리나라 수질 특성, 미국 EPA 등 선진 외국 수질기준 및 미국 Black & Veatch사가 수행한 수도사업 경쟁력 강화방안 용역결과 등을 감안, 맛, 냄새 등 5개 중점 수질관리항목 및 수질목표 설정함

▌표 2.10 정수처리공정 Master plan의 수질목표 ▐

수질항목	내 용	비 고
최고탁도	· 평균탁도 0.05NTU, 0.1NTU 이하 95% · 최고탁도 0.3NTU 이하	미국 AWWA, Black & Veatch
소독부산물	· THM 80㎍/L, HAA 60㎍/L	미국 EPA, Black & Veatch
맛·냄새	· 3TON 이하(무미, 무취 수준)	미국 EPA, 일본 등
잔류염소	· 최저 0.2mg/L, 최고 1.0mg/L	영국, 일본 등
부식지수	· 조사후 추후 설정	미국, 일본 등

(다) 수직형 정수처리시설 단위공정 선정

▌수직형 정수처리 시설 (Vertical Water Treatment Facility)이란 정수단위공정이 평면적으로 배치된 일반적인 형태의 정수처리 시설과는 달리 입체적으로 한 건물 내에 수용된 계층형(階層形) 정수처리시설을 의미함

▪ 목표) 시설용량 1,000m^3/일 규모의 수직형 정수처리 시설의 설계 및 건설·운영

▪ 범위) 공정설계, 시공 기술, 미적 감각을 고려한 건축 설계, 신재생 에너지 요소기술,

통합운영 기술의 적용

- 수직형 정수처리 시설은 소비자에게 근거리에서 최고 품질의 수돗물을 공급하기 위해 분산된 수처리 시설을 대상으로 하기 때문에 고도정수처리를 근간으로 시설 규모의 최소화를 위해 공정을 구성하였음
- 실증시설의 단위공정은 계층화를 위한 부지면적 최소화 및 고도정수처리공정의 대표적인 공정들로 구성하며 이 후, 사업화 및 사용화를 위해서는 대상지역의 수질특성 및 설계조건에 따라 최적공정 (BAT, Best Available Technology)을 선정할 계획임
- 따라서 본 수직형 정수처리 실증시설의 단위공정은 탁질제거를 위한 막(Membrane), 산화공정의 오존(O_3, Ozone), 흡착과 생물학적 공정의 입상활성탄(GAC, Granular Activated Carbon), 소독을 위한 자외선(UV) 공정들로 구성됨

① 탁도 제거 공정 (막여과공정)

- 정수처리에서 막여과 공정은 압력차를 이용하여 원수를 막에 통과시켜, 현탁물질이나 콜로이드, 박테리아와 같은 미생물을 물리적으로 분리 제거하는 기술임
- 막여과공정은 탁질제거용의 정밀여과(Micro Filtration) 또는 한외여과(Ultra Filtration)와 미량물질제거용의 나노여과(Nano Filtration)가 있음
- 수도시설에 도입된 막여과 정수처리시설은 주로 탁질제거용의 막여과공정과 소독공정으로 구성되어 있으며, 원수의 특성, 설계방법 및 제도에 따라 전처리나 후처리 및 배수처리설비를 설치함
- 막여과시설을 수도시설에 적용함에 있어서 정수장 전체를 막여과시설로 대체하거나, 기존의 급속모래여과설비에 막여과시설의 대체 및 막모듈을 침전지에 침적시키는 등의 방법이 있음
- 막여과 처리수의 수질은 모래여과 처리수와 비교하여 탁도, 대장균군 및 일반세균의 제거면에서 우수하나 맛·냄새물질, 소독부산물 전구물질, 미량화학물질 등의 오염물질을 제거하기 위해서는 기존에 알려진 생물처리·오존처리·활성탄처리 등의 고도정수처리공정과 정밀여과 및 한외여과공정을 조합한 정수처리공정을(Hybrid type) 도입할 필요가 있음
- 사용되는 막의 종류를 제거특성에 따라 분류하면, 정밀여과 (microfiltration, MF)와 한외여과 (ultrafiltration, UF)는 0.01~0.5um의 세공을 가지며 응집/침전/여과공정을 대신하는 기능으로 탁도 및 미생물 등의 입자상 물질을 주 제거대상으로 함
- 나노여과 (nanofiltration, NF)는 1~10nm의 세공을 가지며 기존공정에 오존/활성탄이 부

가되는 고도처리공정과 동등한 기능을 하는 것으로 농약, 유기물 등의 용존성 물질이 주제거대상이 됨. 역삼투 (reverse osmosis, RO)는 1nm 이하의 세공을 가지며 이온을 분리하는 것이 주요 기능으로 염분 및 이온성 오염물질을 주 제거대상으로 함.

② 미량오염물질 제거 공정 (오존처리공정, 활성탄흡착공정)

- 오존공정은 오존은 1906년 소독목적으로 프랑스 니스에서 최초로 정수처리장에 사용되었으며, 이후 주로 유럽에서 맛·냄새 제거의 목적으로 사용 되어져왔으며, 최근에는 Cryptosporidium과 Giardia에 대한 불활성화와 환경호르몬(Endocrine Disrupting Chemicals, EDCs)의 처리에 사용되고 있음
- 타 공정에 비해 다소 설치 및 운영비가 고가인 오존공정의 효율적 운영을 위하여 고효율로 오존가스를 수중에 전달하기 위해 인젝터(Injector) 타입의 오존 주입설비, Jet-Loop타입의 오존 반응기 설계 등 오존 반응기 설계와 오존처리의 효율을 향상하기 위한 오존 촉매제에 대해 최근 연구 중임
- 입상활성탄공정은 매우 오래전부터 용해성 성분을 제거하기 위한 방법으로 널리 사용되어져 왔으며, 맛·냄새물질, 소독부산물, 농약, 휘발성오염물질, 환경호르몬, 의약품계 오염물질의 제어를 위해 사용되고 있음
- 현재 최적 설계 및 운영을 위하여 활성탄 층고, 역세척 기술, 하부집수장치에 대한 연구개발이 이루어지고 있으며, 활성탄 재생기술 및 공극크기, 표면화학성질 등을 특성화한 맞춤형 활성탄이 개발되고 있음

③ 소독공정 (UV소독)

- UV를 이용한 소독공정은 짧은 접촉시간으로 큰 소독효과를 얻을 수 있고 소독 부산물을 생성하지 않는 장점이 있음
- 1980년대 후반 수 mJ/cm^2의 UV 조사만으로도 원생동물의 감염성을 억제 할 수 있음을 발견한 후 최근 원생동물의 소독에 가장 효과 적인 방법으로 평가받고 있음

▌표 2.11 정수처리의 대표적인 처리공정과 그 선정 표준▐

불용성분의 처리방식	용해성분의 처리방식	정수처리공정의 대표예	정수처리공정에 의한 처리대상 항목 또는 물질의 처리성					
			탁도	맛,냄새 2-MIB Geosmin	THMs/ THMs 전구물질	농약	ABS	철, 망간
완속여과		①완속여과	◎	○	△	X	△	
급속여과 또는 막여과 방식 (MF, UF)		②응집침전→급속여과 (전염소 또는 중간염소)	◎	△	△	X	X	
	분말활성탄	③분말활성탄→응집침전→급속여과 (전염소 또는 중간염소)	◎	○	○	○	○	◎
		분말활성탄→막여과(염소처리함)						
	입상활성탄	④응집침전→급속여과→입상활성탄 (전염소 또는 중간염소)	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		막여과→입상활성탄 (염소처리 있음)						
	입상활성탄 (GAC)	⑤응집침전→급속여과→입상활성탄 (전염소 또는 중간염소 없음)	◎	◎	○	◎	◎	○
		막여과→입상활성탄(염소처리없음)						
		⑥응집침전→입상활성탄 →급속여과 (중간염소 있음)	◎	◎	○	◎	◎	◎
		막여과→입상활성탄(염소처리 있음)						
	오존, 입상활성탄	⑦응집침전→급속여과 →오존→입상활성탄 (전염소 또는 중간염소 있음)	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		막여과→오존→입상활성탄 (염소처리 있음)						
	오존 입상활성탄 (GAC)	⑧응집침전→급속여과→오존 →입상활성탄	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		막여과→오존→입상활성탄 (염소처리 없음)						
		⑨응집침전→오존→입상활성탄 →급속여과(중간염소 있음)	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		오존→입상활성탄→막여과 (염소처리 있음)						
		⑩ 응집침전→급속여과→오존 →입상활성탄→급속여과 (입상활성탄 후 중간염소 있음)	◎	◎	◎	◎	◎	◎

정수처리공정에 의한 평가 :

◎; 양호하게 처리, ○; 어느 정도 처리, △; 약간 처리, X; 처리 불가능

(라) 단위공정 설계기준

① 막여과공정

▌막여과는 여재를 통해 불순물질을 분리제거하고 깨끗한 여과수를 얻는 정수방법으로 정수처리에 주로 사용되고 있는 막여과는 정밀여과와 한외여과가 있으며, 주로 현탁물질을 주로 하는 현탁물질의 주요 제거대상임

▌막여과 정수시설은 환경부에서 고시한 막여과 정수시설의 설치기준에 따라 설치함

- 상수원관리규칙. 제25조 제1항 “원수의 수질검사기준”에 따라 실시한 과거 3년간의 원수수질검사 결과를 검토해야 함
- 장래 원수 수질변화가 예측되는 경우는 그 대응 방안을 마련해야 함
- 신설하는 막여과 정수시설 및 기존 정수시설을 개량하여 막여과 정수시설을 설치하고자 할 경우에는 막여과 정수시설의 안정성을 검토해야 함
- 제1호부터 제2호까지 검토 결과, 막여과공정 단독으로 정수를 생산하여 먹는 물 수질기준의 초과가 예상되는 경우에는 다른 정수공정과의 조합을 고려해야 함
- 건설비, 유지관리비등을 포함한 경제성을 고려해야 함
- 계획 정수량은 계획 1일 최대급수량을 기준으로 하고, 그 외 작업용수와 기타용수 등을 고려하여 결정함
- 막여과 정수시설은 개량, 보수 및 사고에 의해 일부 기능이 정지한 경우에도 통상의 급수에 영향을 주지않도록 시설을 구성해야 함
- 막여과 정수시설의 계열 수는 2계열 이상으로 구성하는 것을 원칙으로 하며, 각 계열 및 시설의 여과수에는 연속측정식 탁도계 등을 설치해야 함
- 막여과 정수시설의 계열 수를 2계열 이상으로 구성하기가 곤란한 경우에는 기기 고장이나 사고로 급수에 지장이 생기지 않도록 상시 예비기기나 예비모듈을 확보해야 함
- 계열의 구성에는 막의 손상을 검지하기 위하여 막모듈의 압력유지시험(Pressure Decay Test)등 직접완결성시험 감시설비를 설치해야 함
- 막여과 정수시설은 막모듈을 이용하여 여과하는 공정과 소독제를 이용하여 소독하는 공정을 기본공정으로 구성함
- 막여과공정은 원수공급, 펌프, 막모듈, 세척, 배관 및 제어설비 등으로 구성되며, 막의 종류, 막여과 면적, 막여과 유속, 막여과 회수율 등은 원수수질 및 여과수의 수질기준과 시설의 규모 등을 고려하여 결정함

▪ 막여과 정수시설은 필요에 따라 배출수처리설비를 설치하여야 하며, 막모듈의 보호 및 여과수의 수질 향상을 위해 별도의 전 . 후처리 설비를 설치함

② 오존접촉공정

▌오존처리는 THMs와 HAAs의 전구물질을 저감시키는 전처리산화제로는 물론이고 염소보다 훨씬 강한 오존의 산화력을 이용한 대체소독제로서 소독과 함께 맛.냄새물질 및 색도의 제거, 소독부산물의 저감 등을 목적으로 함

▪ 오존은 유기물과 반응하여 부산물을 생성하므로 일반적으로 오존처리와 활성탄처리는 병행됨
▪ 오존처리공정의 설계와 운전요소로서 처리목적에 따라 주입점, 주입률 등을 고려하고 파일럿플랜트 등 실험결과에 근거하여 결정하는 것이 바람직함
▪ 오존은 원수(전오존), 침전수(중오존), 여과수(후오존)에 주입할 수 있으며 원수에 주입하는 전오존 처리는 색도성분이 많은 경우에 적합하나, 현탁물질에 의한 오존소비량이 많아짐
▪ 일반적으로는 침전수 또는 여과수에 오존을 주입하는 예가 많음
▪ 주입점이 어디가 되더라도 필요한 혼화와 충분한 접촉시간을 확보해야 하며 또 배오존이 대기 중으로 확산되지 않도록 밀폐식 접촉지를 설치해야 함

▌오존 주입률은 처리하고자 하는 물의 수질 및 제거대상물질의 종류와 농도 등에 따라 다르며 처리효과에도 큰 영향을 미치므로 문헌을 참고로 하고 필요한 경우 예상되는 제거대상물질의 농도범위에 대한 실험을 실시하여 여러 조건변화에 대한 적정주입률을 결정함

▪ 맛.냄새물질 제거의 경우, 일반적으로 많은 정수장에서 0.5 ~ 2 mg/L의 주입률로 오존접촉시간은 10 ~ 20분 내외로 운전함
▪ 실증플랜트에서 운전한 결과로부터 오존주입률이 1.0 m/L일 때 2-MIB와 geosmin 처리효율이 높은 것으로 나타난 바 있으며, 특히 오존에 대한 geosmin 처리효율이 더 높은 것으로 보고된 바 있음
▪ 후속공정에 입상활성탄공정을 조합하여 운전할 경우 대부분의 맛.냄새유발물질이 제거되는 것으로 보고됨
▪ 오존처리와 활성탄흡착처리는 실제 정수장의 운전결과로부터 오존주입률이 0.5~3.0 mg/L (평균 1.1 mg/L)일 경우에 2-MIB가 거의 100 % 제거됨

③ 활성탄흡착공정

▌활성탄흡착 공정은 맛.냄새물질, 소독부산물 전구물질, 색도, 음이온계면활성제, 휘발성 유기화합물 등을 제거할 목적으로 적용함

▌입상활성탄 흡착설비를 도입할 경우에는 제거대상물질에 따라 설비내용과 구성이 다르기 때문에 원수의 오염실태, 장래의 수질변화 및 수질기준의 강화추세, 처리목표물질의 식별 및 처리목표농도 등을 충분히 조사하여 제거대상물질을 분명하게 선정함

- 입상활성탄은 5.17.2 처리공정의 선정에 따라 최적의 공정을 선정하며, 규격은 분말활성탄의 규격과 KS M1421을 참고함
- 흡착방식은 기본적으로 고정상 (fixed bed)식과 유동상 (fluidized bed)식으로 분류되며 각 방식의 특성과 처리효과, 유지관리, 경제성 등을 고려하여 결정함
- 적정한 접촉시간은 입상활성탄의 성능, 제거대상물질의 종류와 농도에 따라 다르므로 공간속도 (SV), 탄층의 두께, 공상접촉시간 (EBCT) 등은 문헌 등을 참고하고 실험 등으로 결정함
- 공상접촉시간(Empty Bed Contact Time, EBCT)은 입상활성탄의 충전량(m^3)을 처리수량(m^3/h)으로 나눈 값으로 공상접촉시간이 결정되면 탄층의 두께와 선속도의 관계가 결정되며 선속도를 크게 하려면 입상활성탄의 층고를 두껍게 해야 함
- 공상접촉시간은 고정상인 경우 10~30분, 유동상인 경우 5~10분이 일반적이다. 유럽에서는 생물화학적 분해를 효과적으로 이용하고 입상활성탄의 흡착능을 장기간 유지하고자 할 경우에는 10~25분이 필요하다는 보고도 있으며, 이러한 경우에는 탄층의 두께가 두꺼워짐
- 공간속도(Space Velocity, SV)는 입상활성탄층을 통과하는 1시간당 처리수량을 입상활성탄의 용적으로 나눈 값으로 표시되며, 공상접촉시간의 역수로서 1시간에 통과하는 수량이 입상활성탄 용적(m^3)의 몇 배가 되느냐를 나타낸 통과수량($m^3/m^3 \cdot h$)으로 5~10 l/h가 일반적인 표준임
- 선속도(Linear Velocity, LV)는 처리수량을 흡착지의 면적으로 나눈 값으로서, 여과속도에 해당된다. 중력식의 고정상인 경우에는 10~15 m/h, 가압식인 경우는 15~20 m/h가 일반적이다. 그리고 유동상인 경우는 10~15 m/h 정도임
- 탄층이 두꺼운 경우 탄층의 손실수두가 커지므로 운전수위가 높아지며 흡착지의 높이가 커지며 탄층두께를 얇게 하고 일정한 접촉시간을 유지하려면 지의 면적이 커짐

- 고정상인 경우 일반적으로 1.5~3.0 m의 탄층두께가 많이 사용되고 있으며, 유동상인 경우에는 정지시의 두께로서 1.0~2.0 m 정도가 많이 사용됨
- 탄층 두께가 커질수록 오염물질의 제거율은 높아지므로 처리목표의 달성 여부와 재생주기 등을 고려하여 결정함

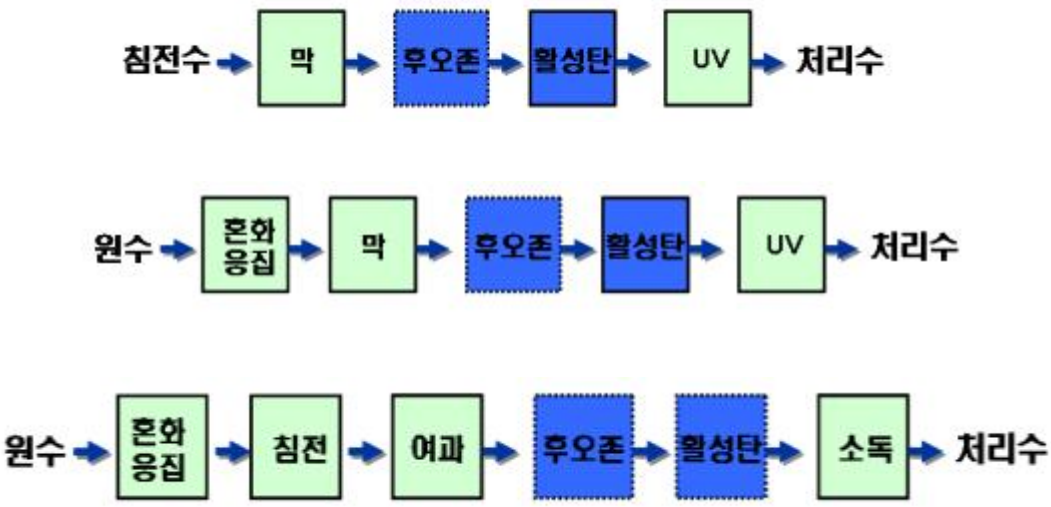
(2) 단위공정 구성 및 배치

(가) 공정구성

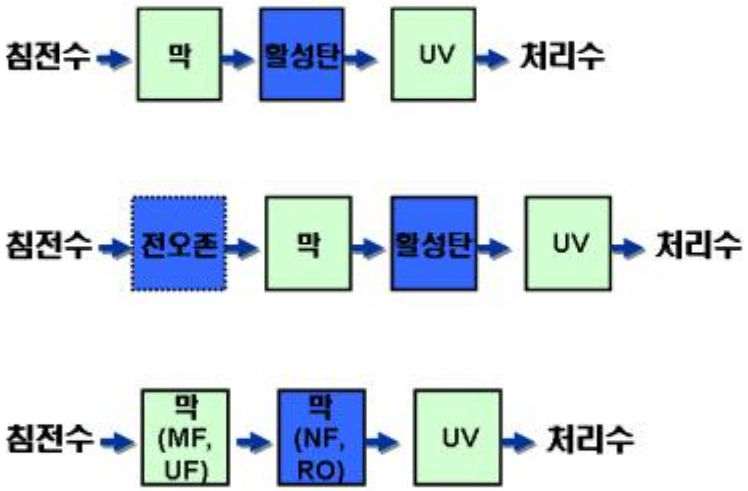
▌수직형 정수처리 시설의 공정 구성은 유입수이 특성에 따라 달라지며 본 시설에서는 1개의 시스템에 유입원수의 종류에 따라 가변하여 운영할 수 있도록 계획함

- 고액분리공정(혼화/응집/침전)을 거친 유입수가 수직형 정수처리 시설에 유입될 경우 시스템은 막-오존-활성탄-UV로 운전되고, 원수가 그대로 유입될 경우 고탁도의 제어를 위해 혼화/응집(혹은 혼화)-막-오존-활성탄-UV로 운전됨. 원수의 수질이 양호할 경우 미량오염물질 제어 공정인 오존공정과 활성탄공정은 경우에 따라 설치되지 않을 수 있음

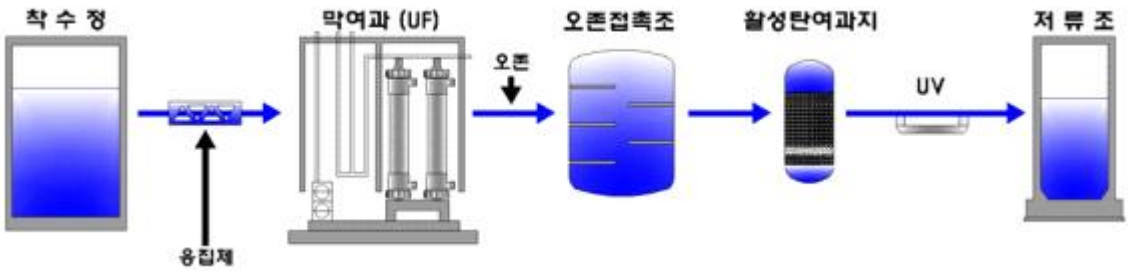
- 유입수 특성에 따른 구성



▪ 공급 구역의 특성에 따른 구성



▪ 실증시설의 정수처리 단위공정은 [막여과-오존처리-활성탄흡착-UV소독]으로 구성하되, 향후 수직형 정수처리시설의 사업화 대상지역의 특성을 고려하여 대상지 특성과 원수수질의 다양성에 유연하게 대처할 수 있도록 각 단위공정간 by pass line을 설치하여 운전성을 평가할 예정임



▌그림 2.25 수직형 정수처리 실증시설 공정 구성▐

(2) 공정배치

▪ 수직형 정수처리시설의 단위공정은 막여과-오존처리-활성탄흡착-UV소독으로 구성하며 각 단위공정의 배치는 상향류 및 하향류 형식이 고려될 수 있음
▪ 공정배치시에는 에너지소비 및 시스템의 compact화, 운전 및 유지관리의 용이성 등을 고려하여 배치되어야 함

【단위공정 계층형 배치안】

	1 안	2 안	3 안
공정 (배치)	저류조 활성탄 오존 막여과 제어실	제어실 막여과 오존 활성탄 저류조	막여과 오존 / 활성탄 제어실 저류조
특징	• 상향류 4층 구조 • 막여과공정 최하단 배치 • 공정순서별 상향류 운전 • 저류조가 최상층에 위치	• 하향류 4층 구조 • 막여과공정 상단 배치 • 공정순서별 하향류 운전 • 저류조가 지하층에 위치	• 하향류 3층구조 • 막여과공정 상단 배치 • 공정순서별 하향류 운전 • 오존/활성탄 동층 배치
장점	• 막여과공정 동력비 낮음 • 최상단 저류조에서 직접급수 가능	• 막여과 후단공정의 하향류 중력에 의한 구동 가능 • 단위공정 설비중량 고려시 구조적 안전성 높음 • 유지관리 용이	• 공간효율성 높음 (층고 낮음) • 막여과 후단공정의 하향류 중력에 의한 구동 가능 • 단위공정 설비중량 고려시 구조적 안전성 높음
단점	• 오존/활성탄 공정의 추가적인 구동력 필요 • 층고가 높고, 공간활용도 낮음 • 구조적 안정성 낮음	• 막여과공정 동력비 높음 • 지하저류조에서 정수 공급시 추가 동력 필요	• 단위공정 동층 배치에 따른 부지면적 증가 • 공간배치의 어려움

▌그림 2.26 단위공정 계층형 배치시 고려사항▐

- 수직형 정수처리 실증시설은 세계 최초의 단위공정 계층형 막여과 정수처리시설로서 설계/시공 편의성, 공정운영 안정성을 고려하여 단위공정 계층형 배치안 도출
- 에너지 효율성 측면에서 최초 단위공정인 막여과공정 처리수측 수두를 후단공정의 구동에 이용할 수 있도록 막여과설비를 최상단인 3층에 배치
- 막여과 후단공정은 하향류가 되도록 오존설비를 2층, 활성탄/UV설비를 1층에 배치
- 빌딩형/계층형 정수처리설의 특성을 고려하여 전 단위공정은 폐쇄형 압력식으로 구성
- 압력기간의 공정 구성에서는 각 공정간 정유량 유동이 중요하다고 판단하여 막여과공정은 역세 또는 유지세정 시에도 정유량이 지속적으로 생산될 수 있도록 다계열로 구성

▌그림 2.27 수직형 정수처리 실증시설 단위공정 배치도▐

(3) 실증시설 대상지역 선정 검토

▌수직형 정수처리 실증시설 시공 대상지역 선정을 위해 선정기준을 설정하여 여러 지역을 검토하였으며 그 결과 한국수자원공사 충정지역본부 (청주정수장)를 실증시설 구축 대상지로 선정하였음

▌표 2.12 수직형 정수처리 실증시설 대상지역 선정 기준▐

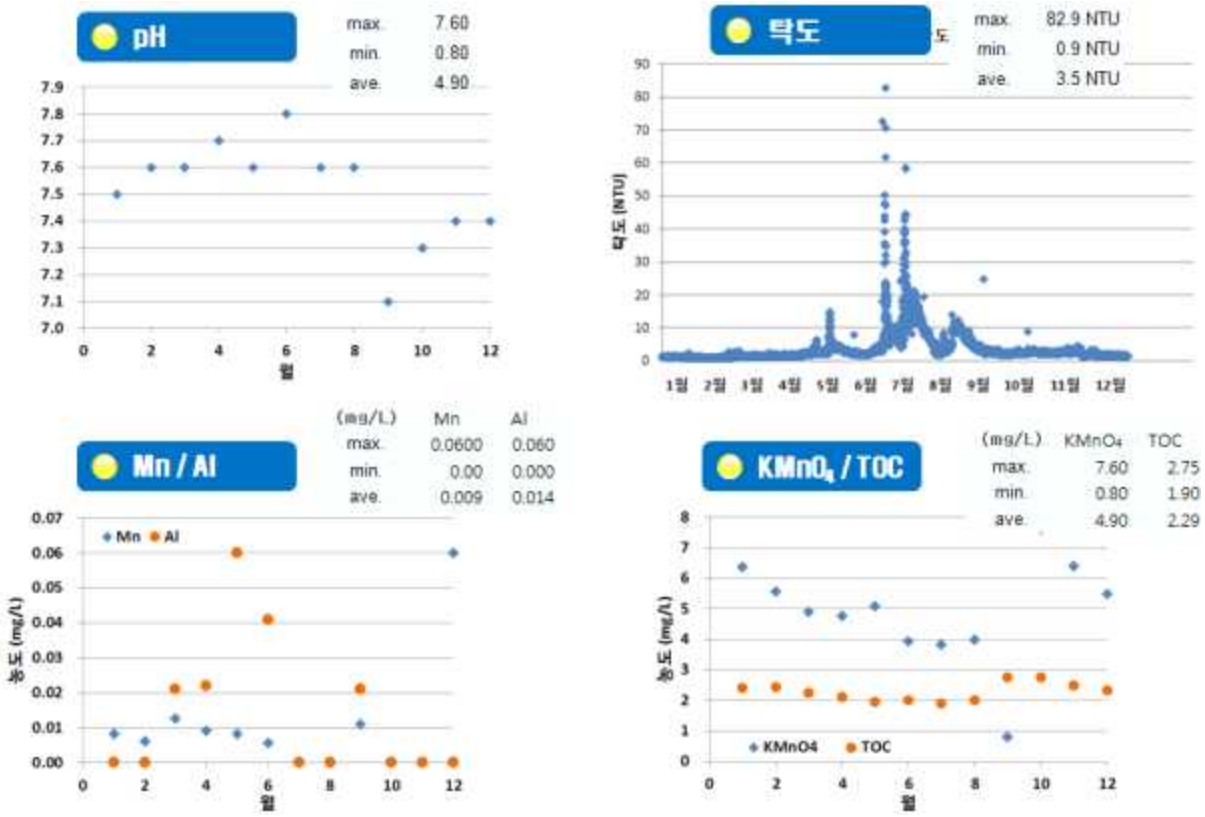
항목	선정 조건
용량	■ 실증시설 500㎥/일 2기 및 1000㎥/일 1기가 설치될 여유 공간이 있는 곳 (약 1.5배의 공간이 확보되는 곳) ■ 1일 1,500㎥의 원수/침전수/여과수를 가용할 수 있는 곳
소요 부지	■ 지하 저류조 부피 : 1,000㎥(10m×10m×10m) ■ 정수지 부피 : 100㎥(dir 4.5m×4.5m×4.5m)
접근성 및 활용성을 고려한 지역	■ 광역 또는 수도권(시흥, 수지, 일산, 성남) 접근성 및 홍보효과가 높음 ■ 소규모 지방 상수도 완속여과로 효율에 문제가 있는 위탁 지자체 정수장(예천정수장 등). 연

	구단 과제 종료 후 실증시설의 활용성 높음 ■ K-water 연구원 접근성, 홍보효과 및 과제 종료 후 실증시설의 활용성 높음
과제 종료 후 실증시설의 용도	■ 연구 참여기관의 지분율에 따라 폐기 처리 ■ 처리시설로 활용 ■ 한정 기간 동안 연구시설로 활용
기존 용수공급시스템 및 관로의 상태	■ 송/급/배수 노후화정도 ■ 배수지 운영 상태 ■ 원수, 침전수, 여과수 수질 ■ 기존 광역 정수처리시설의 가동율
생산수 용도	■ 급수 및 활용 ■ 방류
승인 문제	■ K-water가 운영 중인 정수장이라도 실증시설의 건설은 승인 문제 발생
무선통신 잡음해소	■ 시설의 주변(500m이내)으로 고압 전력선이 지나갈 경우, USN 통신 및 무선데이터 통신에 장애가 생길 수 있음
인터넷 전용선 설치 용이	■ 100Mbps 이상의 인터넷 전용선이 설치 가능한 곳으로 하여야 함 ■ 네트워크는 내부와 외부를 따로 설정하지만, 운영업무를 진행하기 위해 필요함
주변 보조수원 확보여부	■ 실증시설의 원활한 확보 및 보조수원 물수지분석을 위한 보조수원 확보여부
지하저류시설 건설	■ 기존 인프라 설치상태에 따른 지하 저류시설 건설 용이성 여부
태양광발전	■ 일사량이 우수하고 09:00~16:00까지 그늘이 지지 않는 지역의 선정이 필요 → 3.3 이상 [KWh/㎡/일]
소수력	■ 펌프 동력이 아닌 자연유하에 의한 공급일 것
수온차시스템	■ 동절기 최저 수온 1.0℃ 이상 ■ 건물 내 냉난방 공간 10 m^2 이상 확보(1,000 m^2 이하) ■ 건물 내 수온차시스템 설치공간 30 m^2 이상 확보 (원수 이용이 용이한 장소)
통합운영부분 (위치 및 크기)	■ 통합운영시스템 제어실은 설치되는 SCADA 감시제어설비(COS, SCADA 서버, DB서버, 영상감시설비, RCS, Projection설비, 네트워크 설비, 프린터류 등)종류와 수량, 항온항습설비, UPS설비의 크기에 따라 제어실 규모 결정. (최소 16m*8m=128㎡) ■ 수직형 정수처리 실증시설물의 상층에 제어실이 마련되어야 하며, 적정한 위치가 선정되지 않을 경우 제어실 규모를 고려하여 부지가 소요됨

(4) 실증시설 대상지역 유입수질 검토

▌청주정수장에 설치될 실증시설 수직형 정수처리 시설은 유입수로 대청호 원수 및 정수장 침전수를 대상으로 함. 실증시설의 설계 및 운영을 위한 유입수의 특성을 과거 운영 실적 및 실험을 통해 평가함

- 실험을 통한 평가에 앞서 아산정수장 수질자료를 바탕으로 2011년 1월부터 12월까지 청주정수장 원수 수질을 pH, 탁도, 망간, 알루미늄, 과망간산칼륨소비량, 총유기탄소 항목으로 검토함



▌그림 2.28 청주정수장 유입원수 수질조사 결과▐

- 수온은 4~26℃로서 평균 15.4℃였고, pH는 6.4~7.8 (평균치 7.4)로서 먹는물의 수질기준 pH 5.8~8.5 범위 내에 있음
- 탁도는 최저 0.9 NTU, 최대 8.29 NTU로서 편차가 크게 나타났지만 평균 탁도는 3.5 NTU 수준
- 여름철 집중호우에 따른 탁도의 증가에 기인하는 것으로 전체 조사 기간 중 2~3일에

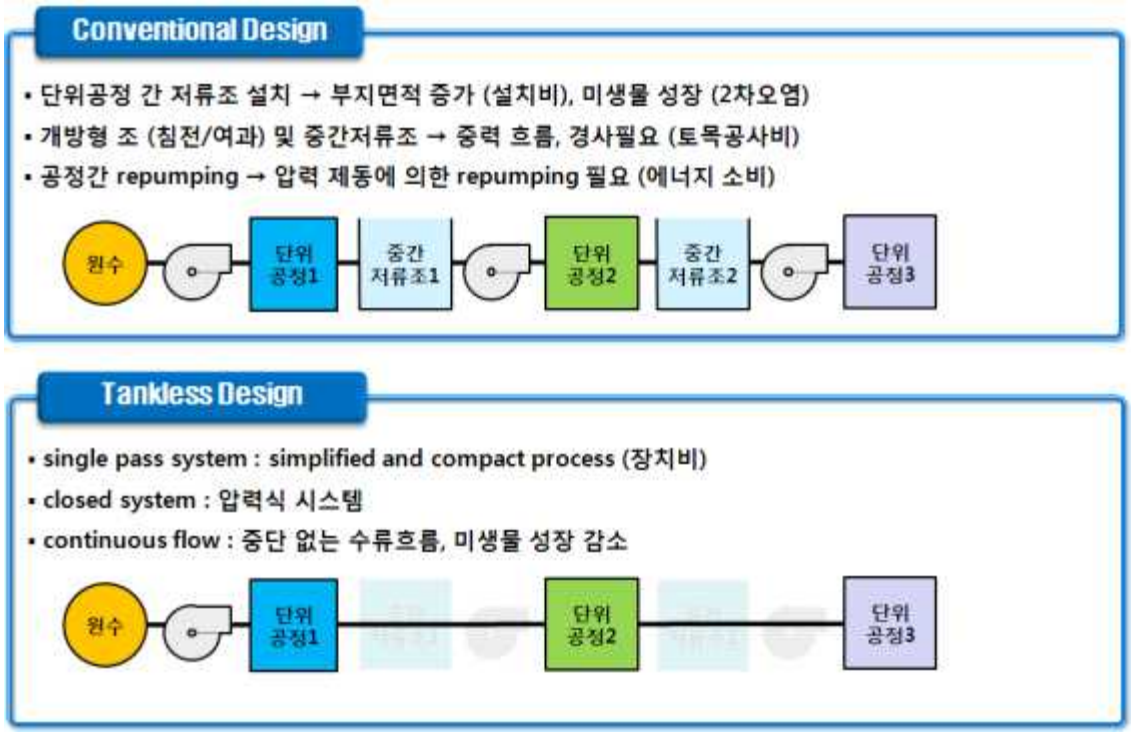
만 고탁도 경향이 나타났기 때문에 설계에 크게 영향을 미치지는 않을 것으로 판단됨. 평균 4.34 NTU를 나타냈으며 탁도의 계절적 추이는 여름철에 높고 겨울철에 낮은 경향을 보임

- 망간 및 알루미늄 성분 농도 조사 결과, 망간은 0~0.06 mg/L (평균 0.009 mg/L), 알루미늄은 0~0.06 mg/L (평균 0.014 mg/L) 수준으로 매우 낮게 나타남
- 유기물 지표인 과망간산칼륨소비량과 TOC는 각각 0.8~7.6 mg/L (평균 4.9 mg/L), 1.9~2.75 mg/L (평균 2.29 mg/L)로 비교적 양호한 수질을 보였음

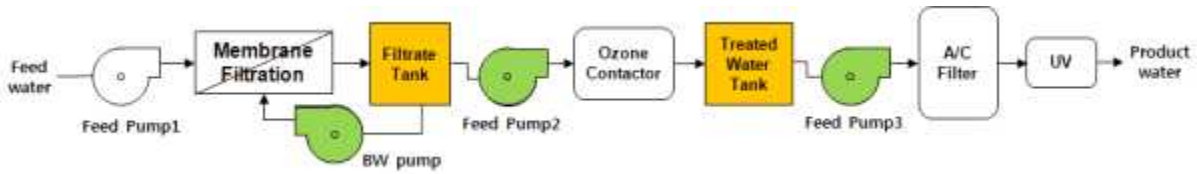
(5) 직결식 (Tankless) 시스템 설계안

▌기존 대규모 평면형 정수처리시설에서는 수처리 공정이 수리학적 구배를 이용한 자연유하 형식이지만 수직형 정수처리시설에서는 각 단위공정들이 계층형태로 배치되기 때문에 압력 기반 공정이 적합함

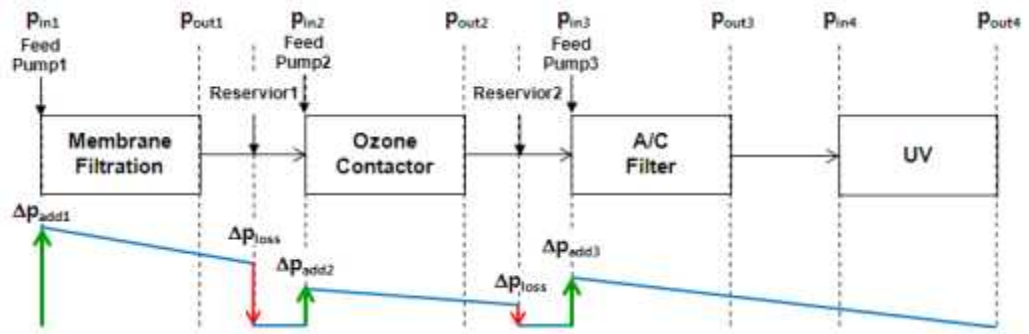
- Tankless 설계안은 각 단위공정의 처리수를 저장하는 중간저류조를 두지 않고, 직수방식으로 최소한의 구동력을 이용하는 공정구성안으로서 막여과공정의 공급부터 최종처리수 생산까지 중간저류가 없는 직수방식의 정수처리방법
- 종래의 막분리 고도정수처리공정에서은 분리막 역세척을 위해 처리수 저류조와 역세펌프가 설치되며 이 때, 개방형 수조에서 압력이 소실됨으로써 오존공정 및 활성탄공정과 같은 후처리공정으로의 공급을 위해서는 공급펌프에 의한 추가적인 동력이 필요함
- 이 경우, 각 단위공정 간 수류흐름에 제동이 발생하여 후단처리공정에 공급을 위한 공급펌프 동력이 필요하여 장치비 및 동력비가 증가하고, 처리수의 정체에 따른 미생물 성장 등 2차오염의 우려가 있으며 저류조, 펌프 추가로 인해 부지면적이 커지는 단점이 있음
- 수직형 정수처리 실증시설의 설계 초기에는 기존 설계방법에 따라 단위공정 사이에 중간저류조 및 공급펌프를 설치하도록 설계하였으나 수직형 정수처리시설의 중요한 조건인 시설의 compact화 및 설비비 및 운전비용 절감, 2차 오염 방지 등을 고려하여 tankless system으로 설계를 수행함



▌그림 2.29 기존 설계안과 tankless 설계안의 차이점▐

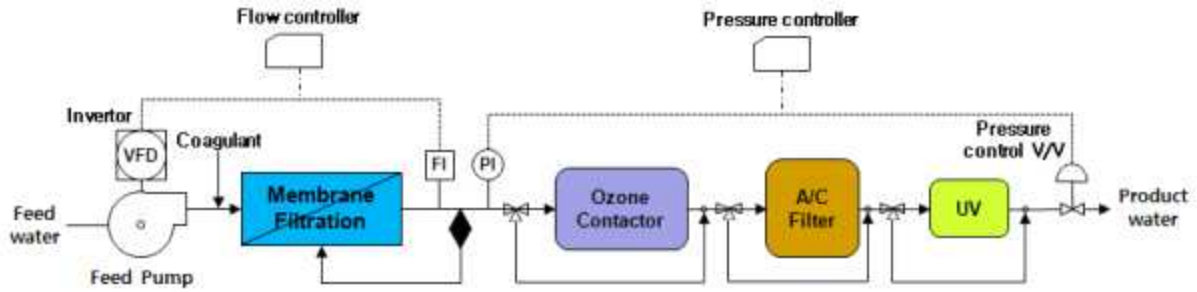


(a) 공정도

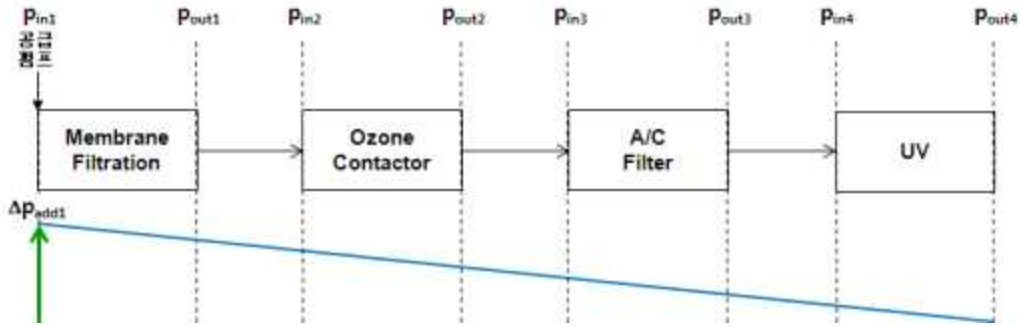


(b) 압력분포

▌그림 2.30 기존 설계안 (단위공정 중간저류조 설치)▐



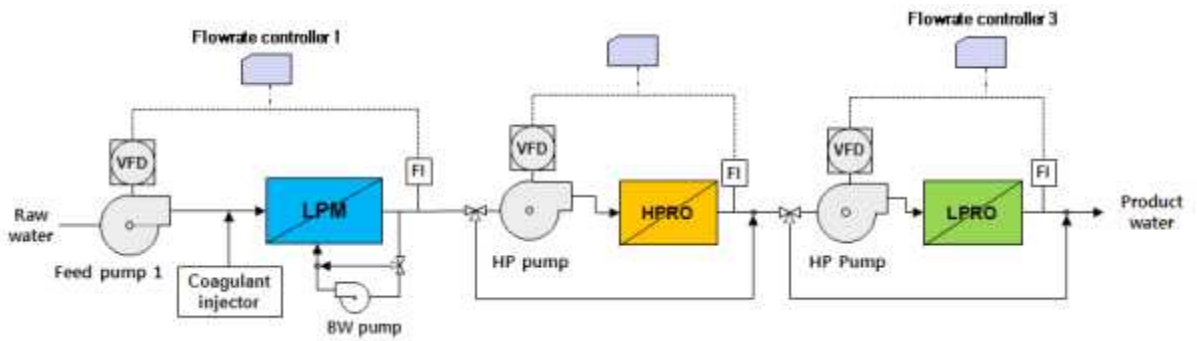
(a) 공정도



(b) 압력분포

▌그림 2.31 Tankless 설계안 (단위공정 중간저류조 제거, 직결식)】

- 기존 설계안과 tankless 설계안 적용시 가장 주요한 개선점은 압력분포로서 기존 설계안에서는 중간저류조에서 압력이 소실되어 후단 공정을 위해서는 추가적인 구동압력을 공급하여야 하나 tankless 설계안에서는 공정 전체의 운전에 막여과공정의 공급압력만을 이용함으로서 저류설비 및 구동설비를 감소시킬 수 있음
- Tankless 설계안은 고도정수처리시설 뿐만 아니라 막여과공정이 적용되는 수처리 전 분야에서 적용 가능하며 저압분리막과 고압분리막을 조합되는 공정에서 시설비 및 동력비 절감을 위해 직결형태로 구성될 수 있음



▌그림 2.32 연속유동수처리장치 공정도 (특허출원)▌

- Tankless system 설계시, 막여과 공정의 압력의 변화는 후단에 영향을 미치기 때문에 후단공정의 처리성능을 유지하기 위해서는 막여과공정 처리수측 유량/압력을 일정하게 제어할 수 있는 설계가 필요함
- 이에 따라 막여과공정은 유량변동에 대응할 수 있도록 다계열로 설계되어야 하며 예비계열 반영하거나 설계플럭스를 안정적인 수준으로 설정하고 설비와 공정제어 프로그램이 유량과 압력을 동시에 제어할 수 있도록 계획되어야 함
- 분리막 선택시에도 tankless system에서는 막여과공정 구동압력을 후단공정에도 이용해야 하기 때문에 막분리설비 유입측 압력이 기존 막여과공정에 비해 높게 설정되므로 적정 분리막을 선정해야 함

(6) 실증시설 정유량 제어방안 검토

- 1,000 m^3/일 규모 수직형 정수처리 실증시설에 tankless 설계안이 적용됨에 따라 후단공정으로 일정한 유량이 공급되도록 막여과공정 설계를 검토함
- 막여과공정은 일상적인 여과공정에 역세와 수세와 같은 휴지공정이 존재하며 일정기간 운전 후, 분리막 성능 회복을 위한 CIP (회복세정)를 실시하는 등 정기적/비정기적 휴지기간이 존재하게 됨
- 이러한 휴지기간에도 막여과공정 여과수는 일정하게 후단공정으로 공급되어야 하기 때문에 막여과공정은 다계열로 설계되어야 함
- 막여과공정은 여과 30분, 공세 1분, 역세 1분 및 수세 1분으로 검토하였으며 막면적을 77 m^2로 하였을 때, 소요 모듈수는 12 개로 산정되었음
- 막여과공정 설계유량은 수직형 정수처리시설 설계유량인 1,000 m^3/일을 기준으로 하기보다는 후단공정으로의 수간적인 유량까지도 일정하게 하기 위해 0.694 m^3/분을 기준으로 검토하였음

▌표 2.13 막여과 공정 설계 검토 조건▐

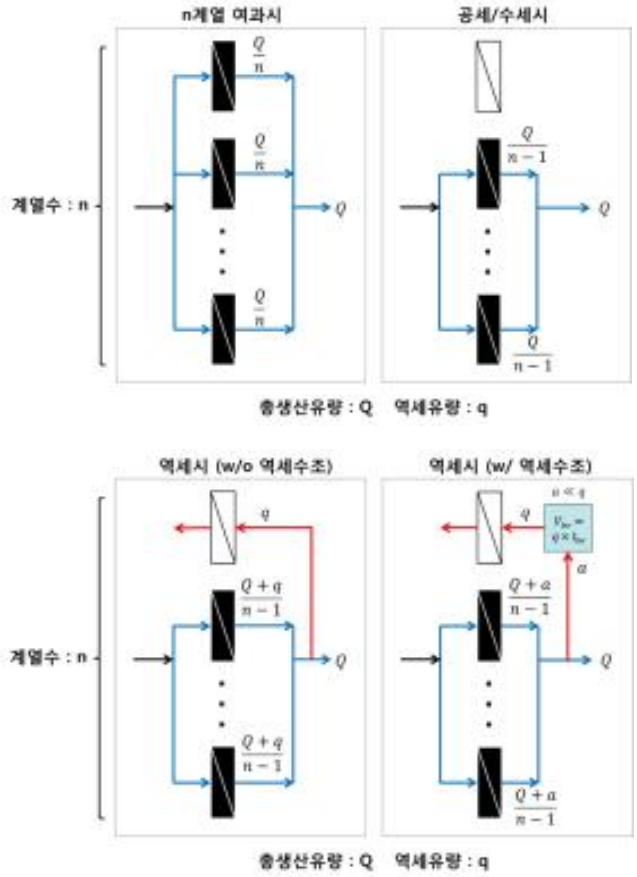
Filtration	30	min
Air Scrub.	1	min
Backwash	1	min
Flushing	1	min
Duration	33	min/cycle
Cycle	43.64	cycle/day

생산유량	1,000	m^3/day
설계유량	1,000 41.667 0.694	m^3/day m^3/hr m^3/min
막면적	77	m^2/mo.
모듈수	12	modules

▪ 막여과공정 운전조건은 플럭스 (투과유속)이 운전 중 변화되는 가변운전방식과 고정운전방식이 있으며 4~6계열의 다계열 설계 조건으로 검토함

(가) 가변플럭스 설계안 검토

▪ 가변플럭스 운전에서는 운전기간 동안 생산수량의 정유량 유지가 가능하도록 [수세/공세] 및 [역세]와 같이 여과운전이 정지되어 여과수 생산이 중지되는 경우에 나머지 계열에서 총생산유량을 일정하게 유지하도록 투과플럭스를 증가시키는 방법임
▪ n 계열의 막여과공정에서 한 계열이 [공세/수세]가 될 때, 총생산유량 (Q)를 유지하기 위해서는 나머지 계열의 생산유량이 Q/(n-1)로 증가되고, [역세]의 경우에는 역세수조 유무에 따라 (Q+q)/(n-1) 또는 (Q+a)/(n-1)로 증가됨
▪ 정유량 생산을 위해 분리막의 투과플럭스가 변화되기 때문에 정유량 생산을 위한 제어 포인트가 많게 되어 운영관리가 어려운 단점이 있음



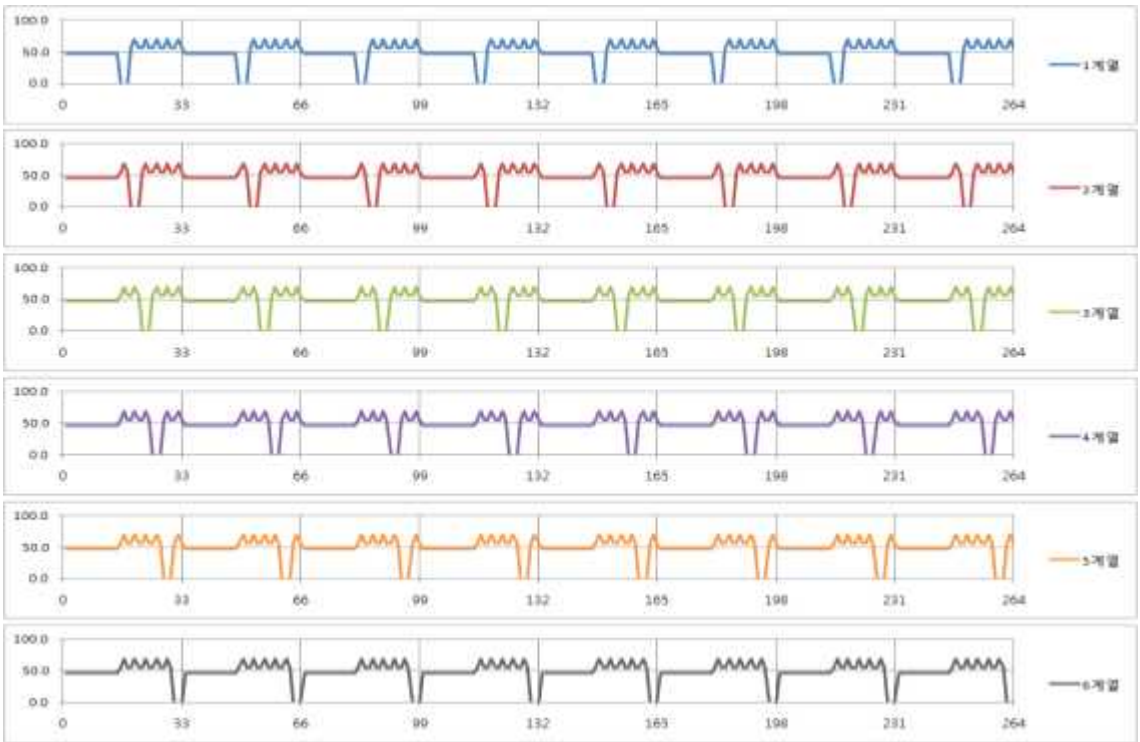
▌그림 2.33 가변플럭스 운전에서 계열별 유량 변화▐

- [6계열 가변플럭스] 설계에서는 상시운전 계열수가 6개이며 한 계열 휴지기간 (수세/역세/공세 포함) 진입시 나머지 계열의 플럭스가 증가되도록 계획하는 방식임
- 전계열 운전시 플럭스는 46 L/m2/hr이며 [수세/공세]시에는 55.2 L/m2/hr로 증가되고, [역세]시에는 69 L/m2/hr로 변화되어 운전조건에 따라 한 계열 정지시 최대 50% 변화폭을 나타냄
- 전계열 [여과]시 계열당 생산유량은 0.118 m3/분으로 유지되다가 한 계열 [수세/공세]시 계열당 생산유량은 0.142 m3/분으로 약 20% 증가하며 한 계열 [역세]시에는 0.177 m^3/분으로 50%까지 증가함
- 각 계열의 운전조건에 따라 플럭스는 변화하지만 <그림 2.1.11>에서와 같이 총여과유량은 일정하게 유지됨

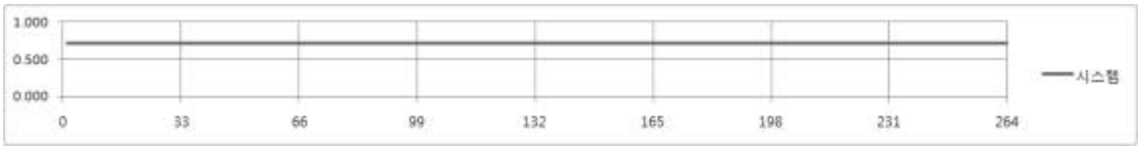
▌표 2.14 6계열 가변플럭스 설계 조건▐

계열수	6	
설계플럭스	46	L/m^2/hr
역세플럭스	69	L/m^2/hr

계열당 모듈수	2	mo./unit
계열당 생산유량	0.118	m^3/min
계열당 역세유량	0.177	m^3/min



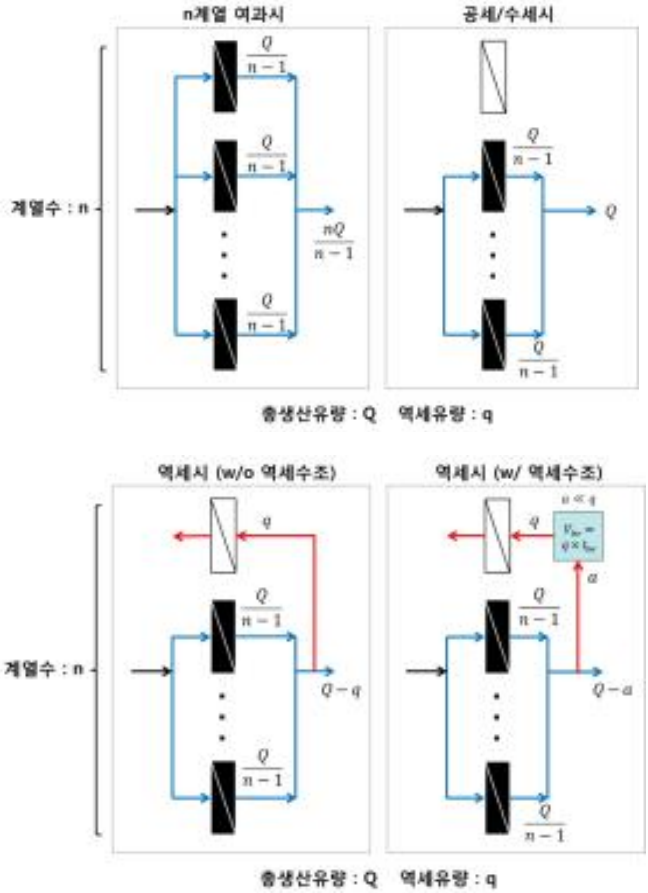
▌그림 2.34 6계열 가변플럭스 설계시 각 계열당 플럭스 (L/m^2/hr) 모의 결과▐



▌그림 2.35 6계열 가변플럭스 설계시 총여과유량 변화▐

(나) 고정플럭스 설계안 검토

- 고정플럭스 설계는 운전기간 동안 투과플럭스가 설정 플럭스로 지속적으로 운전되는 방식으로 유지관리가 용이한 장점이 있으나 [수세/공세], [역세]와 같이 여과운전이 정지되는 기간 동안에는 총생산유량을 일정하게 유지할 수 없는 단점이 있음
- 고정플럭스 설계에서는 한 계열이 [공세/수세] 될 때, 총생산유량 (Q)를 유지하기 위해 각 계열의 생산유량을 Q/(n-1)로 설정하면, 전계열 여과시에는 생산유량이 nQ/(n-1)로 Q보다 높아지게 되고, [역세] 때에는 역세수조의 유무에 따라 Q-q 또는 Q-a로 감소하게 되므로 tankless system에서 후단공정의 체류시간에 영향을 미치게 됨.



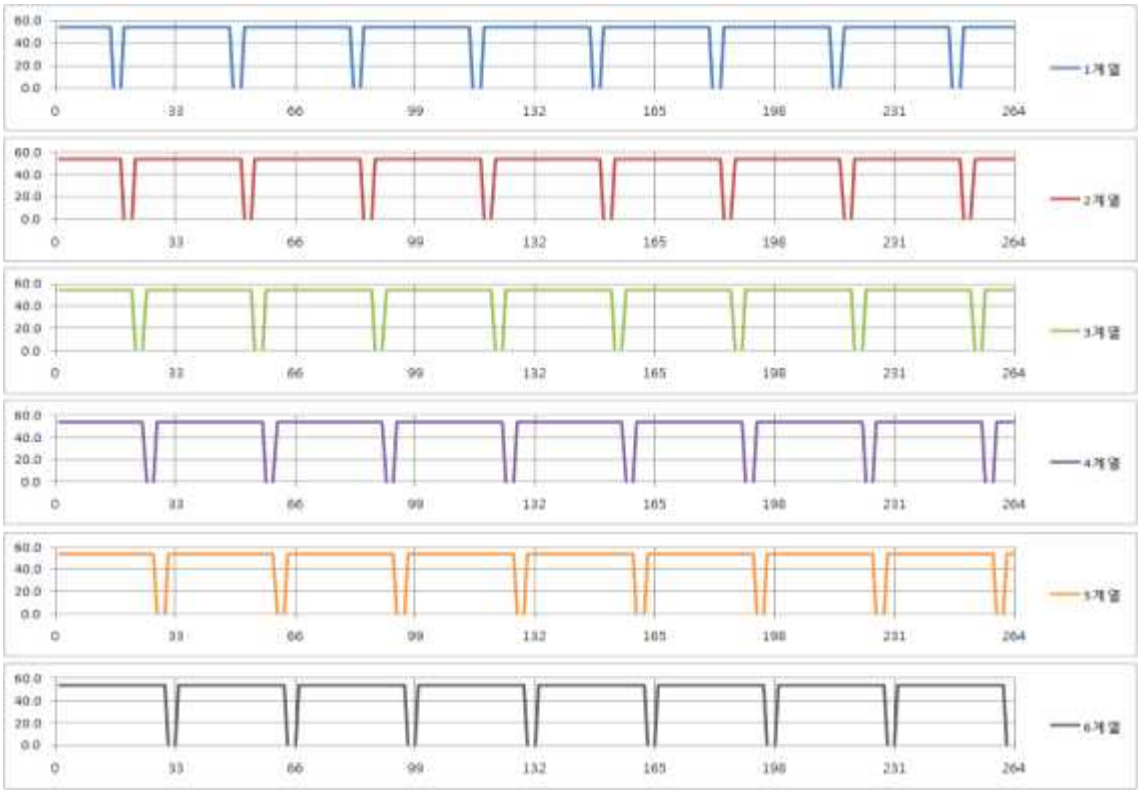
▌그림 2.36 고정플럭스 운전에서 총생산유량 변화▐

- [6계열 고정플럭스] 설계에서는 상시운전 계열수가 6개이며 한 계열 휴지기간 (수세/역세/공세 포함) 진입에 상관없이 플럭스가 일정하게 유지되도록 계획하는 방식임
- 설계플럭스는 53.8 L/m2/hr 전계열 [여과]시 총생산유량은 0.829 m3/분으로 유지되다가 한 계열 [수세/공세]시 총생산유량은 0.690 m3/분으로 약 17% 감소하며 한 계열 [역세]시에는 0.438 m^3/분으로 약 47%까지 감소함

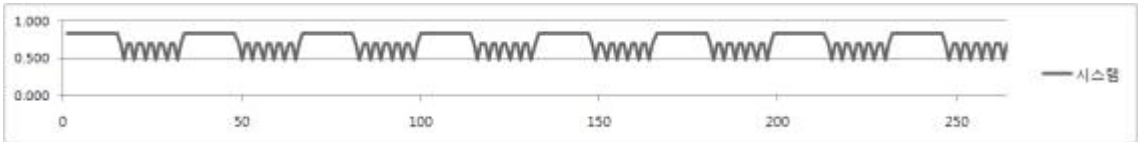
▌표 2.15 6계열 고정플럭스 설계 조건▐

계열수	6	
설계플럭스	53.8	L/m^2/hr
역세플럭스	80.7	L/m^2/hr

계열당 모듈수	2	mo./unit
계열당 생산유량	0.138	m^3/min
계열당 역세유량	0.207	m^3/min



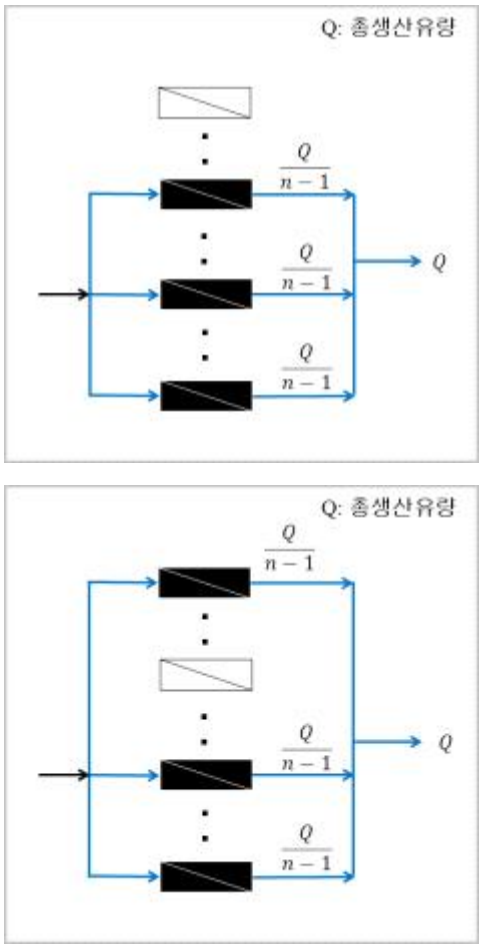
▌그림 2.37 6계열 고정플럭스 설계시 각 계열당 플럭스 (L/m^2/hr) 모의 결과▐



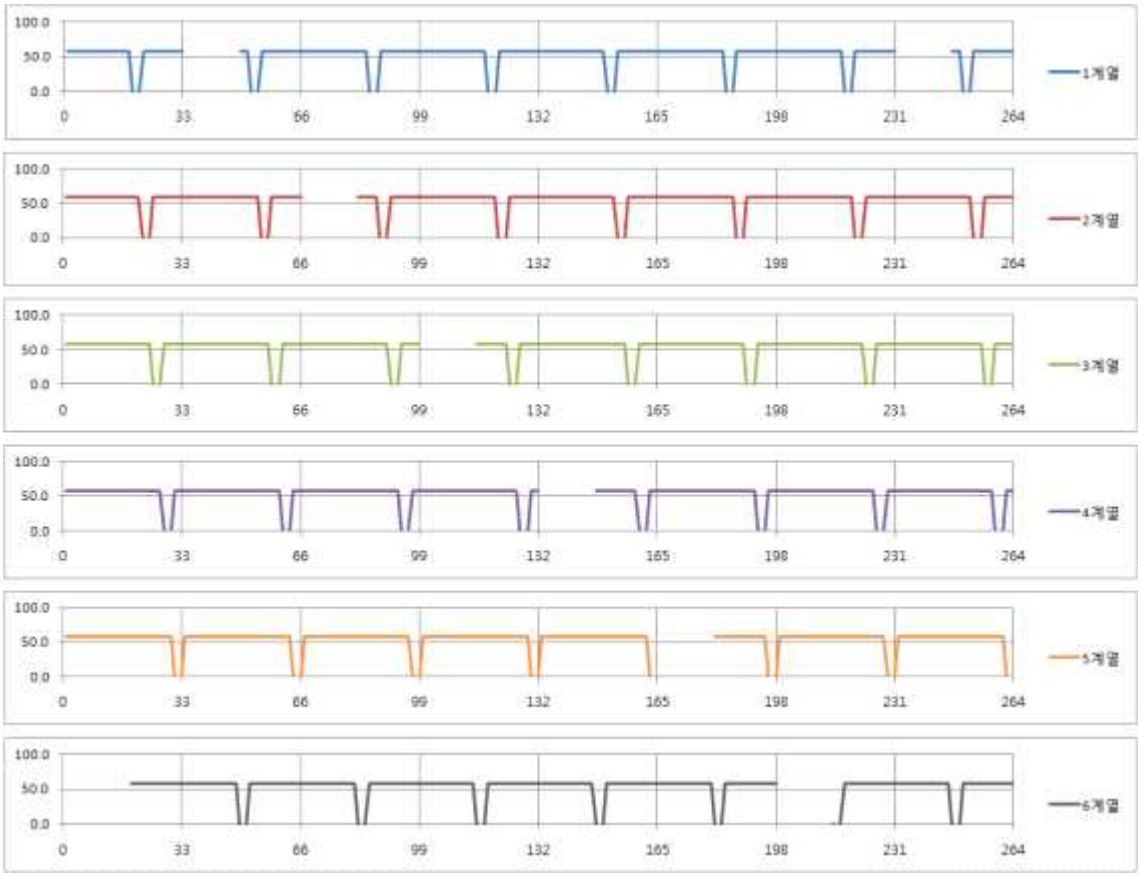
▌그림 2.38 6계열 고정플럭스 설계시 총여과유량 변화

(다) Standby 설계안 검토

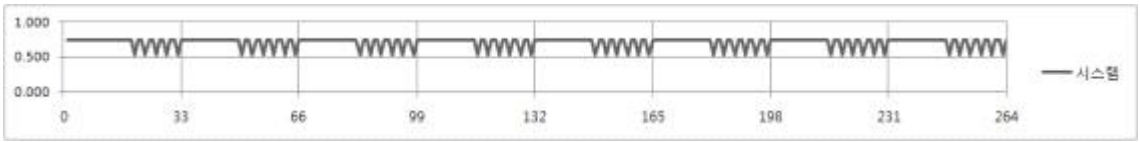
- Standby 설계는 가변플러스 운전의 총여과유량 유지성과 고정플러스 운전의 운영관리 용이성을 조합한 막여과공정 설계방법으로 n계열로 설계된 막여과공정은 상시 (n-1)계열로 운전되며 한 계열시 [수세/공세] 및 [역세]와 같이 여과가 중지 되는 경우, 대기하고 있던 예비계열이 운전계열로 편입되면서 총생산유량을 일정하게 유지하는 방식임
- 여과가 중지 된 계열은 [수세/공세] 및 [역세]가 끝나면 예비계열로 편입되어 대기하게 되며 전체 계열이 이러한 순환을 반복하게 됨
- Standby 설계는 고정플럭스이므로 운전관리가 용이하고, 정유량을 생산할 수 있는 장점이 있으며 총생산유량 유지를 위해 가변플럭스 설계에 비해 운전플러스는 높게 설정되어야 함



▌그림 2.39 standby 설계안 개념도▐



▌그림 2.40 5+1계열 standby 설계시 각 계열당 플럭스 (L/m^2/hr) 모의 결과▐



▌그림 2.41 5+1계열 standby 설계시 총여과유량 변화▐

- [5+1계열 standby] 설계에서는 상시운전 계열수가 5개이며 한 계열 휴지기간 (수세/역세/공세 포함) 진입 시 대기계열이 운전계열에 편입되어 4계열 운전을 유지함
- 설계플럭스는 58 L/m^2/hr, 전계열 [여과]시 총생산유량은 0.829 m^3/분으로 유지되다가 한 계열 [수세/공세]시 총생산유량은 0.690 m^3/분으로 약 17% 감소하며 한 계열 [역세]시에는 0.438 m^3/분으로 약 47%까지 감소함

바. 분산형 정수처리시설 BAT matrix tool 개발

▌ 용수공급을 위한 수처리 시설은 수원의 수질여건에 따라 각 공정구성을 다르게 적용하여함. 따라서, 해외 지역별 수질특성과 특정 오염물질을 조사하고 그에 따른 처리방안을 조사하여 이를 데이터베이스를 구축하여 향후 해외진출시 대비하고자 함

▌ 유럽, 중동 및 사하라 이북 아프리카, 사하라 이남 아프리카, 동남아시아, CIS, 몽고, 중남미 등 지역별 수질특성 파악 및 특정 오염물질 선정

- 해외 각국의 수질기준 조사
- 해외 각국의 중요 상수원 오염물질 조사
- 해당국 진출을 위해 대상 오염물질 선정 및 제거기술 조사

▌ 상수원수 중 오염물질의 처리방안 조사

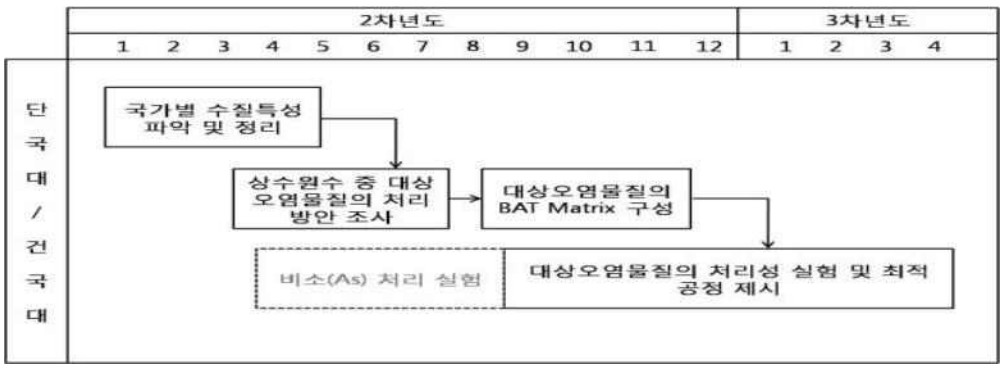
- 대상 오염물질들의 처리방안 문헌조사
- 해외 진출 회사를 통한 면담조사
- 해외 대학 및 연구소를 통한 협력조사

▌ BAT Matrix의 구성

- 대상 오염물질별 처리기술을 분류하여 Matrix 구성
- 대상 오염물질: 비소, 질산염, 중금속, 탁도, 유기물질(타닌 등)
- 제거대상 오염물질에 대한 단위공정별 처리효율 예측
- 필요기술에 대한 광범위한 자료 조사

▌ BAT tool 개발

- 대상오염 물질의 처리성 실험 및 최적공정 제시



▌그림 2.42 수질조건별 BAT Tool 개발 절차▐

사. 분산형 용수공급시스템 편익산정 및 경제성 분석, 실용화 및 사업화 방안

(1) 분산형 용수공급시스템 편익 산정

▌본 분산형 용수공급시스템의 편익산정은 편익항목을 도출한 후 편익의 다양한 방법론을 통해 객관성과 중복을 방지한 정량적인 가치를 추정하여 향후 분산형 용수공급시스템의 사업화에 경제성평가를 추진하기 위한 기초자료를 제공하는 것임

- 3차년도에는 2차년도 자료를 바탕으로 경제성 평가를 통한 사업의 경제적 타당성을 확보하고, 4차년도에는 국내·외 사업화 전략 마련 및 물산업 진출에 따른 파급효과를 산정하였음

▌그림 2.43 분산형 용수공급시스템의 실용화·사업화 연구 흐름도▐

▌신정부가 2012년도에 들어서면서 창조경제를 기본목표로 정책방향이 변화되고 있으며 창조경제는 다음과 같이 크게 일자리 창출, 민생 및 경제안정, 국정과제 재원확보로 구분할 수 있음.

- 창조경제의 기본개념은 「기술추격형 경제를 선도형 경제로 바꾸는 것」이임. 즉, 미래 경제를 이끌어나 갈 새로운 경제발전 패러다임이고, 또한, 국민의 상상력과 창의성을 과학기술과 ICT에 접목하여 산업을 강화하고, 새로운 산업과 시장을 창출하는 것임.
- 새로운 산업과 시장의 창출은 결국 새로운 일자리와 시장 창출능력이 큰 벤처, 중

소기업과 상생 · 협력하고, 창의성과 혁식에 기반한 창조경제로 전환하자는 것임.

- 이러한 신정부의 창조경제 추진과 물산업과의 연관성은 기본적으로 물과 IT, 인프라를 통합적 기술로 발전시켜 새로운 물산업의 구조를 고도화시키는 것임.

▌분산형 용수공급시스템은 정부의 창조경제의 기본개념과 대부분 일치함.

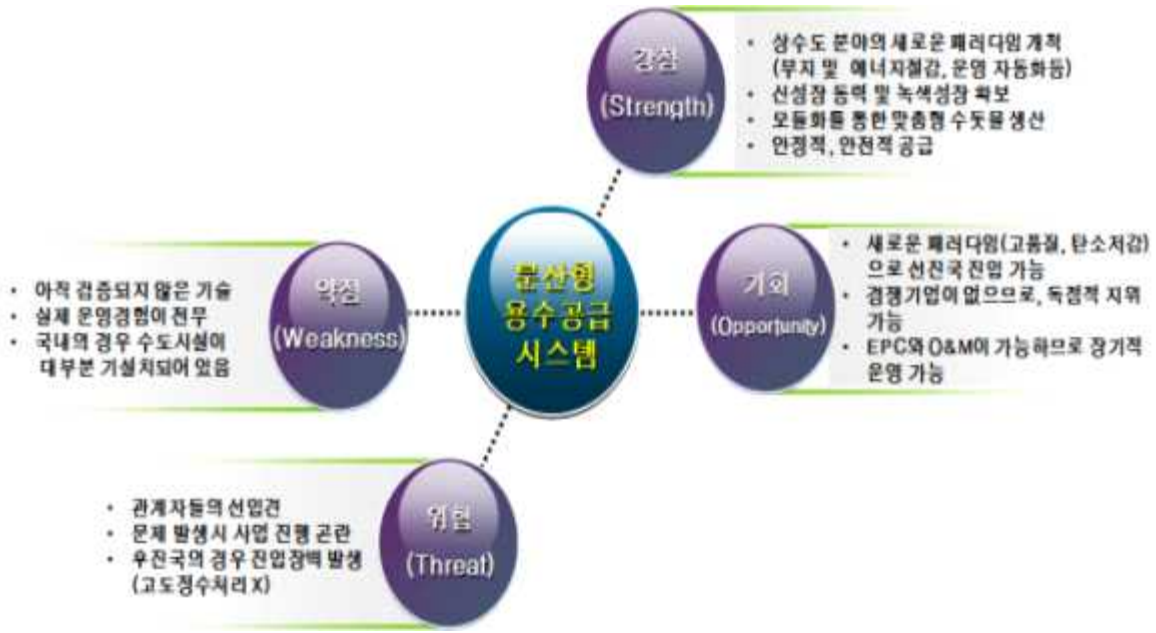
▌그림 2.44 창조경제와 분산형 용수공급시스템▐

- 첫째, 분산형 용수공급시스템은 국내 수도사업 약 100년여의 역사동안 생산자 위주의 공급에서 소비자 중심의 공급으로 전환하는데 획기적인 기여를 하는 창의성을 나타내고 있음. 즉, 기존의 원거리에서 생산되는 중앙집중형 공급시스템에서 탈피하여 수직형 정수처리시스템을 수용가 근접에 건설하는 분산형 용수공급시스템은 결국 Water age를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 염소등 소독약의 투입을 적게 하여 기존 정수장과 가까이 있는 수용가의 경우 소독약의 농도가 높아지는 것을 방지할 수 있음.
- 둘째, 분산형 용수공급시스템은 Tankless설계 등 새로운 신기술을 개발하여 적용하였고, 이는 원천기술을 확보하여 다양한 수요처 및 해외진출이 용이할 것임. 따라서, 국내의 포화상태인 수도산업을 해외에 진출할 수 있는 교두보적인 역할을 할 것임.
- 셋째, 국내 물산업의 성장동력의 모델이 될 수 있음. 국내 물산업은 보급률 90%이상을 넘어가면서 실제 정체되고 있는 산업임. 특히, 2005년 감사원에서 「상수도 운영 및 개발실태에 대한 감사」를 통해 상수도시설의 중복 및 과다 설치를 지적하여, 이후 환경부에서 2007년부터 2009년까지 「급수체계조정 방안 구축사업 기본계획」을 수립하면서 인근 지자체의 여유용량에 대해 급수체계조정을 실시함에 따라 정수장의 신설 및 증설을 최소한도록 하는 정책을 펼치고 있음. 결국, 국내 기존 정수장 및 관련 시설들은 이미 포화상태이나, 이러한 기설치된 수도산업에 분산형 용수공급

시스템은 다양한 수요처를 통해 새로운 수도산업의 성장동력이 될 가능성이 높음.

- 마지막으로 융합을 통한 새로운 기술의 결정체라는 점임. 분산형 용수공급시스템은 수리학, ICT, 녹색기술, 감성디자인등 다양한 학문이 결합 및 융합을 통해 새로운 기술을 선보였다는 점에서 창조경제에 부합한 것으로 판단됨.

▌분산형 용수공급시스템의 SWAT 분석을 한 결과 주요내용은 다음과 같음.



▌그림 2.45 분산형 용수공급시스템의 SWAT 분석▐

▌분산형 용수공급시스템 강점

- **분산형 용수공급시스템의 강점**은 첫째, 상수도 특히 설비분야의 새로운 패러다임을 개척했다는 점임. 이는 현재 정부에서 중점적으로 추진하고 있는「창조경제」에 부합됨. 즉, 고도화된 물을 생산할 뿐 만 아니라 IT, 신재생에너지등과 같은 다양한 기술을 통합적으로 발전시켜 기존의 넓은 부지 및 비효율성을 제거하여 새로운 물산업의 구조를 고도화시킨다는 점에서 새로운 패러다임을 추구한다는 점임
- 둘째, 녹색성장을 확보했다는 점임. 이는 점차 규제가 강화되고 있는 온실가스 규제에 대응하기 위한 에너지 절감차원에서 신재생에너지를 이용함에 따른 기존 정수장에 비해 화석에너지를 적게 사용함에 따라 온실가스를 줄이고 녹색성장을 추구한다는 장점을 포함하고 있음.
- 셋째, 모듈화를 통한 맞춤형 수돗물 생산이 가능하다는 점임. 즉, 기존 Pilot형태의

수직형 정수처리시스템은 5개층으로 설계되어 있으나, 이 중 오존처리 또는 막여과 시설의 경우 고도처리가 필요 없는 지역의 경우 보다 컴팩트하게 이들 시설을 설치하지 않고 수직형 정수처리시설을 설치할 수 있다는 점임. 따라서, 후진국 또는 개도국의 경우 고품질의 수돗물 시설을 원하지 않을 경우 수직형 정수처리시설을 보다 간단하게 건설하여 이들의 수요품질에 충족시킬 수 있다는 장점이 있음.

- 넷째, 고품질의 수돗물 생산 및 안정적이고 안전적인 공급임. 분산형 용수공급시스템에서 적용하고 있는 수직형 정수처리시설은 막여과, 오존, 활성탄 공정등을 적용하여 고품질을 수돗물을 생산하고, 이러한 고품질의 수돗물을 분산형 용수공급시스템을 통하여 각 가정 및 수요처에 단수 걱정없이 안정적이고, 안심할 수 있는 안전한 물을 공급한다는 점은 기존 중앙집중형 용수공급시스템에 비해 강점이라고 할 수 있음.

▌분산형 용수공급시스템 약점

- 분산형 용수공급시스템의 가장 큰 약점은 먼저 검증되지 않은 기술이라는 점임. 즉, 수직형 정수처리시설에 적용하고 있는 Tankless기술은 세계 최초이고, 이는 공정 중간에 저류조를 없애 공정을 단순화하고, 중간 오염을 없애는 장점이 있으나 이러한 기술은 현재까지 검증이 되지 않은 단점이 있음. 이와 관련하여 우리나라에서는 분산형 용수공급시스템을 적용한 사례가 없고, 더구나 수직형 정수처리시설도 도입되어 운영된 적이 없음. 운영경험이 없다는 점은 아직 많은 시행착오를 겪어야할 부담이 상존하고 있고, 이러한 점은 수요처를 발굴하여 설치하기가 쉽지 않은 약점이 존재함.
- 다른 측면에서의 약점은 아직 실험단계인 분산형 용수공급시스템을 실증 및 검증할 수 있는 지역이 많지 않다는 점임. 즉, 국내 상수도 보급률이 90%이상 넘었고, 대부분 상수도 시설이 기설치되어 있다는 점에서 분산형 용수공급시스템과 같은 대규모의 시설을 Test-bed할 수 있는 실증지역을 찾기가 현실적으로 어렵다는 것임.

▌분산형 용수공급시스템 기회(Opportunity)

- 현재 국내 물산업의 경우 2011년 기준 전국 수도보급률은 94.6%이고, 정수장 가동률은 평균 57.3%, 최대 71.8%로 물산업 인프라는 거의 포화상태임. 이에 따라 국내 물관련 사업은 점차 시장의 한계로 인해 발전을 저해하고 있는 현실임. 따라서, 국내 물관련 산업을 성장시키기 위해서는 해외진출을 통한 새로운 시장개척이 필수적임. 따라서 안전하고 안정적인 고품질 수돗물 생산 및 온실가스 저감을 융합한 새로운

기술로 선진국 시장을 진출 가능성은 기존의 개도국 및 후진국을 목표로 진출한 것보다 높은 부가가치를 창출할 가능성이 높음.

- 분산형 용수공급시스템은 현재 개도국 및 후진국을 통한 물산업 시장개척을 선진국으로 타겟의 스팩트럼을 넓히는 동시에 보다 높은 부가가치를 창출할 기회가 제공될 것임.

▌분산형 용수공급시스템 위협(Threat)

- 국내 수도사업은 거의 100년의 역사를 가지고 있음. 수도역사 100년동안 수도시스템은 중앙집중형 용수공급시스템을 적용하여 현재까지 이러한 틀은 변함없이 진행되어 왔음. 결국 대부분의 수도사업자들이 중앙집중형 용수공급시스템에서 분산형 용수공급시스템으로 변화에 많은 혼란과 때로는 저항할 것으로 예상됨.
- 특히, 정수장의 경우 한번 설치후 30년에서 50년까지 유지되는 인프라 시설물이기 때문에 정책결정자들은 확실하게 검증되지 않은 시설물을 모험적으로 구축하기에는 쉽지 않을 것으로 예상됨
- 또한, 정수장은 국민 건강과 편의에 직결되는 시설물이기 때문에 수직형 정수처리시설물이나 분산형 용수공급시스템의 문제가 발생시에는 신뢰도가 떨어짐과 동시에 향후 추가적인 사업을 진행하는데 어려울 것이라는 위협이 존재함

▌전통적 상수도 공급시스템인 중앙집중형 용수공급시스템과 비교하여 분산형 용수공급시스템이 가지고 있는 특징 및 비용절감 요인에 대한 내용은 다음과 같음

- 기존 중앙집중형 정수처리시설보다 소규모 또한 수직형으로 건설하기 때문에 이에 따라 기존 시설보다 부지면적을 저감시킬 수 있음
- 대부분 무인 또는 최소인원으로 수직형 정수처리시스템을 설치하기 때문에 이에 따른 인건비를 절감시킬 수 있음. 또한 태양열, 소수력, 수온차등 신재생에너지 사용으로 기존 동력비의 30%를 저감이 가능할 것으로 예상됨
- 안정적인 공급원과 지하저류조 설치에 따라 가뭄 또는 사고에 대비하여 안정적인 용수공급이 가능함
- 기존 중앙집중형 용수공급시스템은 수요처가 원거리에 있기 때문에 급·배수관의 오염 및 수질사고의 확률이 높은 반면, 분산형 용수공급시스템은 수직형 정수처리시설을 수요처와 근거리에 위치하기 때문에 이에 따른 양질의 용수를 공급할 수 있음
- 대심도를 설치할 경우 혼잡비용, 관로유지비용, 수송에너지 저감등의 추가적인 비용이 절감될 수 있을 것이라 예측됨

- 수직형 정수처리시설이 1만㎥정도의 소규모시설이므로, 이를 규격화 또는 모듈화를 통해 생산비용 절감이 가능할 것으로 판단되며, 이는 향후 해외 진출 및 사업화를 위해 큰 장점으로 작용할 수 있음

▌편익의 항목을 객관적으로 판단하고자, KDI 예비타당성 조사 표준지침에 따른 편익 항목을 선정하여 이를 추정하고자 함.

- 일반적인 편익의 형태는 통상 시장에서 평가될 수 있는 유형적(tangible) 편익과 시장에서 평가할 수 없는 무형적(intangible) 편익으로 구분할 수 있음. 수돗물 공급과 같은 공공재 편익의 경우 유형적인 편익만큼 무형적인 편익이 높게 발생함. 따라서, 이러한 무형적인 편익의 선정과 이러한 편익을 정량적으로 산정할 수 있을지에 대한 연구가 필요함

(가) 수자원 공급 편익

① KDI 예비타당성 조사 표준지침

▌예비타당성조사는 국가재정법 38조 및 동법 시행령 제13조의 규정에 따른 총사업비가 500억원 이상이고, 국가의 재정지원 규모가 300억원 이상인 대규모 신규 사업에 대한 예산편성 및 기금운용계획을 수립하기 위하여 기획재정부 주관으로 실시하는 사전 평가임

- 예비타당성조사의 목적은 대규모 재정사업에 대한 신규투자를 우선 순위에 입각하여 투명하고 공정하게 결정함으로써 불필요한 예산낭비를 방지하고, 재정운영의 효율성 제고에 기여함을 목표로 하고 있음
- 2008년부터 R&D분야 예비타당성 조사의 대상범위는 기존에 연구센터 설립 등 구체적 산출물이 있는 R&D사업에서 모든 국가연구개발사업으로 변경되었고, 수행기관도 종전에 한국개발연구원(KDI)에서 총괄 수행하였으나 SOC·정보화·산출물이 있는 R&D는 한국개발연구원에서 수행하고, 순수 R&D의 경우에는 한국과학기술기획평가원(KISTEP)에서 수행하는 것으로 변경되었음
- 예비타당성조사에서 고려되는 편익은 재무적 편익이 아닌 경제적 편익이며, 금전적 편익에 해당하는 파급효과이거나, 계량화가 곤란하거나, 측정방법론이 정립되지 않았거나, 편익의 기준이 부재하거나, 편익의 산정에 논란이 있는 경우에는 제

외하고 있음

▌표 2.16 예비타당성조사 수자원부문 편익항목 및 산출방식▐

구분	예타 편익 반영	산출방식
수자원	용수공급 편익	생활용수, 공업용수, 농업용수, 발전용수별 가치를 측정
	홍수조절 편익	홍수발생확률과 피해액 자료로 산출
	관개 편익	관개로 인한 농업소득 증가와 시설유지관리 감소액을 반영
	발전 편익	시장가격, 행정적 결정가격(한전의 구매가격), 대체 시설비용 기준(동일 용량 화력발전의 고정비와 변동비) 중 선택하여 적용

자료 : 「수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)」, 한국개발연구원, 2008

- 위 표에서 알 수 있듯이 예비타당성 조사에서 수자원관련 분야의 편익 반영항목은 용수공급편익, 홍수조절 편익, 관개편익, 발전편익으로 구분되어 짐

② 분산형 용수공급시스템의 편익항목 선정

▌ 분산형 용수공급시스템의 편익은 KDI 예비타당성조사에서의 편익을 기준으로 하여, 운영비 저감 편익, 생활용수 개선 및 비상용수 확보 편익, 온실가스 저감 편익으로 선정하였음

- 비용절감 측면에서는 기존 중앙집중형 용수공급시스템과 비교하여 부지면적 저감 편익, 인건비 저감편익, 동력비 저감편익이 발생할 것으로 예측됨
- 비용절감은 기존 중앙집중형과 비교하여 어느 정도 저감이 되었는지를 살펴볼 필요가 있으며, 기존 현재 H도시에 대해 설계중이기 때문에 3차년도에서 비용자료가 추정이 될 경우 H도시의 기존 설계되어진 중앙집중형과의 비교를 통해 정량적인 저감액을 산정할 수 있을 것으로 예측됨
- 수량개선편익은 생활용수 개선편익과 비상용수 확보편익을 선정하였음
- 생활용수 개선편익과 비상용수 확보편익의 선정기준은 한국개발연구원(KDI)과 한국과학기술기획평가원(KISTEP)의 수자원관련 예비타당성조사 보고서에서 인정하고 수용된 편익을 기준으로 하였음

- 생활용수 개선편익은 일반적으로 공급개선에 따른 개선편익과 수질개선에 따른 개선편익으로 구분되어짐.
- 공급개선에 따른 개선편익은 수요량의 증가에 따른 편익과 수요 증가에 따른 편익으로 구분되어 짐. 수요량의 증가에 의한 편익은 개인들의 용수 소비량이 증감으로써 소비자가 느끼는 효용증가를 편익으로 산정하는 것이며, 수요 증가에 의한 편익이란 대상지역의 용수시장이 확대됨으로써 증가되는 수요를 편익으로 산정하는 것임
- 수질개선편익은 기존 집중형과 비교하여 수질개선 항목이 다수 설치됨으로 인해 발생하는 편익임. 특히 정수장에서 배수지까지의 용수이동거리가 급격히 짧아짐으로 인해 수돗물이 관에 머무는 기간이 짧아 염소투입량의 감소와 수질오염의 확률이 감소함에 따라 수질개선이 발생할 것으로 예상됨. 또한 막여과(Membrane)와 오존처리 등의 고도처리 도입으로 기존대비 수질이 개선될 것으로 판단됨
- 수질이 개선될 경우 통상적으로 상수도에 대한 직접 음용률이 상승하여 회피행위(정수기 및 먹는 샘물 이용)에 따른 추가적인 비용지출이 감소로 사회적인 편익이 발생할 것으로 예측되나, 이러한 예측은 공급자 입장에서의 판단이고, 실제 수질개선에 따른 음용률 상승은 다양한 요인에 따라 결정되어짐.(예를 들면, 소득수준, 원수의 수질여부, 개인적 기호 등) 결국, 음용률 상승에 따른 수질개선의 편익을 살펴보기 위해서는 직접 해당지역에 대한 진술선호법(CVM등) 방법론을 이용하여 각각의 소비자의 지불의사를 추정하는 것이 가장 합리적일 것임.
- 분산형 용수공급 시스템의 범위는 취수, 고도처리를 근간으로 하는 컴팩트형(수직형 포함)정수처리시설, 중단 없는 최종 생산수의 공급을 위한 급/배수 시스템, 물안보, 정수처리시스템 비상운영 및 저류시설 및 보조수원 등 비상용수 확보를 범위로 하고 있음
- 이중 비상용수의 확보는 기후재해, 사고, 테러, 오염물질 유입으로 인하여 상수원수의 오염, 가뭄 혹은 상수도 보급시설의 운영불가로 인하여 대상지역의 물공급이 일시적으로 불가능할 때 이를 예방하거나 복구기간동안 지역주민의 생존권 유지를 위한 보조수원의 확보를 의미함
- 비상용수 확보의 목표는 정상적인 상수도 보급이 불가능할 때 복구기간동안 대상지역에 생존권 유지를 위한 안정적인 수량과 수질을 확보하여 중단없이 물을 공급하는데 있음. 특히 비상용수의 용량 산정의 기준은 1)가뭄, 2)수질사고, 3)지진, 4)테러의 4개의 경우에 대해 발생기간, 발생지점, 1인1일급수량 및 1인1일최소응급수량을 기준으로 시설설치가 이루어 지며 통상 급수지역대상으로 14일치 분량의

비상용수를 확보를 목표로 하고 있음

- 분산형 용수공급시스템의 특징 중 하나는 신재생에너지(태양열, 소수력, 수온차)를 이용하여 기존 공급시스템 대비 30% 에너지를 절감한다는 데에 있음
- 따라서 분산형 용수공급시스템은 신재생에너지 사용에 따른 온실가스 절감효과가 발생하고 이에 따라 간접적으로 추가적인 온실가스 저감 편익이 발생하게 됨
- 온실가스 저감 편익은 결국 수직형 정수처리시설의 전기사용량을 신재생에너지원을 사용하여 기존 대비 30% 저감에 따른 부가적인 경제적 편익임
- 1992년 리우 세계환경개발회의에서 유엔기후변화협약을 채택하고, 2005년 2월 16일 교토의정서가 발효됨에 따라 기후변화 방지를 위하여 선진국과 개도국에게 각 국가의 경제 상황과 역사적 책임을 고려하여 공통의 의무와 차별화된 책임을 부여하고 있음
- 교토의정서에서는 선진국들의 온실가스 저감의무를 보다 용이하게 달성하기 위한 보조수단으로 CDM(Clean Development Mechanism), JI(Joint Implementation), 배출권거래(Emission Trading)의 교토메카니즘을 채택하였으며, 교토메카니즘 중에서 CDM사업은 온실가스 감축목표를 받은 선진국이 감축목표가 없는 개도국에서 온실가스 감축사업을 수행하여 달성한 온실가스 감축분을 자국의 감축량으로 활용하는 사업으로 선진국은 상대적으로 저렴한 비용으로 온실가스 감축량을, 개도국은 기술과 재정지원을 획득하게 되어 개도국과 선진국이 Win-Win전략을 구사할 수 있는 매력적인 사업으로 평가되고 있으며, 현재 국내외에서 활발하게 추진되고 있음
- 국내에서도 많은 CDM 사업이 진행되고 있음. 울산화학 HFC-23 Decomposition 사업은 국내최초로 UNFCCC에 등록된 CDM 사업으로서 일본기업의 주도하에 사업이 진행되어 현재 CER(Certified Emission Reduction)이 발생되고 있고, 강원풍력 CDM 사업(예상 연간 발생 CER은 15만톤), 영덕풍력 CDM(예상 연간 발생 CER은 6만톤)과 시화조력 CDM(예상 연간 발생 CER은 30만톤)등이 UN 기후변화 총회(United Nations Framework Convention on Climate Change; UNFCCC)에 등록되어 있음
- 온실가스 저감편익도 수량개선편익과 마찬가지로 한국개발연구원(KDI)과 한국과학기술기획평가원(KISTEP)의 예비타당성조사 보고서에서 인정되었기 때문에 편익항목으로 선정하였음

(나) 생활용수 개선 편익

▌수질 개선 및 수량 확보 편익을 산정하기 위해서 기존 KDI와 KISTEP의 예비타당성

보고서를 이용하여 편익이전 방법을 적용하기 위해 기존 선행연구들을 조사함

- 진술 선호법인 가상가치방법론을 적용하기 위해 기존 7대광역시 및 H도시를 대상으로 가상가치평가법을 적용하기 위한 설문조사를 실시함

▌편익이전이란 주어진 어떤 자원 및 정책조건 하에서 특정 대상지로부터 획득한 경제적 정보를 새로운, 그러나 유사한 대상지에 조정하여 적용하는 기법으로 정의할 수 있음(Rosenberger and Loomis, 2001). 일반적으로 관련문헌에서는 정보가 실제로 존재하는 대상지를'study site'라 하고, 정보가 이전되는 대상지를'policy site'라 하고,해외에서는 이미 1990년대 이후 편익이전이 다양한 자연 . 환경 분야의 관리정책을 평가하는 데 사용되어 왔음

- 편익이전 기법은 크게 가치이전(value transfer)과 함수이전(function transfer)으로 대별될 수 있음. 가치이전은 다시 편익이전 대상지와 유사한 대상지에 대해 수행된 기존 연구결과로부터 하나의 추정치를 이전하는 점추정치이전과, 유사한 다수의 대상지에 대해 수행되었던 연구결과로부터 하나 이상의 추정치를 추출하고 이들의 중앙 대표값(일반적으로 평균값)을 이전하는 평균값이전으로 세분됨
- 함수이전은 지불의사액 또는 보상수용액과 같은 편익척도(benefit measure)를 직접 옮겨오는 가치이전과는 달리, 편익척도와 평가주체인 모집단이나 가치추정 대상인 자원의 특성변수들간의 상관관계를 기술한 함수 자체를 이전하는 방법을 의미함. 함수이전은 특정지역의 자원에 대해 추정된 수요(또는 편익)함수 자체를 옮겨오는 수요(편익)함수이전과, 독립적으로 수행되어진 일련의 연구들을 대상으로 이를 종합한 메타회귀분석을 실시한 후 그 결과를 활용하는 메타회귀분석 함수이전으로 다시 구분됨
- 생활용수의 수질개선의 가치는 크게 두 가지 측면에서 볼 수 있음. 즉 공급측면에서 원수의 수질개선이 상수도의 생산과 공급에 주는 효과와 수요측면에서 소비자에게 직접 제공하는 효과임. 두가지 측면의 차이는 공급자가 관리하는 수질항목수와 수질기준이 수요자가 인지하는 수질의 그것과 서로 다르다는 데 기인함. 공급자 측면에서 상수도 생산 및 공급과정에서 수질의 범위와 수준을 만족시키기 위한 비용절감이 명확한 경제적 가치가 되는 반면, 삶의 질에 대한 의식이 높은 최근의 소비환경에서 전문지식이 없는 생활용수 수요자는 매우 포괄적인 범위나 수준의 수질을 선호함. 즉 수요자의 입장에서는 원수의 수질이 개선될 경우에 규정된 범위 이외의 항목에 대한 수질도 개선될 것이라는 막연한 기대를 하게 될 것임. 따라서 이러한 선호는 수질개선에 대한 소비자의 지불의사로 이어지며, 수요측면에서 수질

개선의 경제적 가치를 유발하게 됨

- **기존 수질개선관련 주요 선행연구는 다음과 같음**
- 이승복(2002)은 환경기초시설의 정비에 필요한 소요 재원으로 활용하기 위하여 서울시민들을 대상으로 한강 수질개선에 지불하고자 하는 지불의사금액을 측정하여, 매월 가구당 6,875원의 지불의사가 있는 것으로 추정함
- 김기환(2004)은 낙동강의 상류지역과 하류지역에 초점을 맞추어 두 지역에 거주하는 주민들이 갖게 되는 수질에 대한 상이한 가치를 계량적으로 측정해보고 그 결과가 갖는 정책적인 의미를 살펴봄. 이들 지역의 주민은 수질유지 시 매월 가구당 964원, 수질향상시 매월 가구당 1,132원의 지불의사가 있는 것으로 조사하였음
- 유승훈 외(2007)은 서울시 수돗물 수질개선편익을 추정하기 위해 선행연구에서 주로 사용하였던 복잡한 이변량 모형 대신에 단변량 모형의 구도에서 무응답 자료를 쉽게 처치할 수 있는 모형을 개발하여 적용하고, 개발된 모형으로 추정한 결과 지불의사 금액이 매월 가구당 3,808~4,580원으로 추정하였음
- 여규동 외(2009)는 환경개선용수 공급사업에 따른 상수도의 원수수질개선에 대한 편익산정을 하기 위해 가구소득별 수질개선-지불의사 관계식을 이용함으로써 수질개선사업에 대한 원수수질편익을 산정할 때 수질개선정도에 상관없이 쉽게 편익을 산정할 수 있도록 하였음. 이 관계식을 통해 연간 5,980~14,502백만원의 수질개선 편익이 있는 것으로 추정하였음
- 생활용수의 공급에 지장이 발생하는 사건들, 예를 들면 가뭄이나 수질오염사고 등의 다양한 이유로 인해 물의 이용이 제한되어 이용자들을 만족시키지 못하는 모든 사항에 대한 선행연구를 조사함
- 하지만, 수질개선에 관련된 선행연구보다는 연구가 활발하지 못한 편이며, 대부분의 선행연구는 KDI의 예비타당성 조사에서 연구한 내용들임
- 또한, 과거에는 수요함수를 이용하여 수량의 안정성에 대한 가치를 추정하였으나 최근에는 대부분 가상가치평가법(Contingent Valuation Method: CVM)[1]의 방법론을 이용하여 편익을 산정하고 있음.
- **기존 수량의 안정성관련 주요 선행연구는 다음과 같음**
- 황영순 외(1999)는 수돗물의 공급신뢰도 개선에 대한 편익을 측정하고자 부산지역 주민을 대상으로 설문 조사를 실시하였음. 조건은 여름 3개월동안 공급량의 15%를 감소하는 경우를 가정하여 Spike 모형을 통해 수돗물 공급신뢰도 개선에 대한 응답자들의 평균 지불의사금액은 매달 가구당 3,570원 인 것으로 추정하였음

1) CVM 방식은 환경개선을 위해 지불해도 좋은 지불의사(意思)금액을 알아봄으로써 환경개선이 지니고 있는 가치를 금액으로 평가하는 방법임

- 박두호 외(2007)는 가뭄시 제한급수를 할 경우 이에 대한 소비자의 지불의사금액을 7대 광역시와 32개 가뭄상습지역에 거주하는 일반인을 대상으로 CVM을 적용하여 추정한 결과, 가뭄으로 인해 가정용수가 25% 제한될 경우 가구당 WTP가 매월 약 2,010원으로 추정되나 50% 제한할 경우 2,392원으로 추정됨
- 그 밖에 KDI에서 예비타당성 조사를 통해 수량의 가치에 대해 조사함. 대상지역은 한강하류권 (동두천, 고양, 김포, 파주, 포천, 의정부), 충남남부권 (금산군, 무주군), 경북중부권 (군위군, 의성군, 칠곡군), 구미시, 한강하류권 (화성시, 오산시, 평택시, 안성시)에 대해 톤당 가치를 추정함.

▌환경재의 가치를 추정하는 방법중에서 가장 많이 이용되는 방법은 환경에 부여하는 가치 혹은 환경개선에 대한 지불용의액을 사람들에게 직접 물어보는 방법임.

- 그 대표적인 방법이 가상가치평가법(Contingent Valuation Method)임. 가상가치평가법은 예를 들어 어느 지역의 수질을 깨끗하게 만드는 사업을 추진하기로 한다면, 이로 인해서 혜택을 받으리라고 예상되는 사람들이 이 혜택에 대해서 최대한 얼마나 많은 금액을 기꺼이 지불할 용의가 있는지를 물어서 알아낸 다음 해당 사람들의 최대지불용의액을 전부 합한 값을 깨끗해지는 수질의 가치의 총가치로 간주하는 방법임
- 분산형 용수공급시스템에 대한 가상가치평가법을 적용하기 위해 2012년도에 총 400명을 대상으로 설문조사를 실시하여 지불의사금액을 추정하였음
- 행복도시와 7대광역시에 거주하는 20세이상 60세미만을 대상으로 각각 200명씩 총 400명을 대상으로 총 22문항으로 구성된 수도에 대한 일반인식과 본 과업에 대한 지불의사를 중심으로 설문조사 실시함
- 구체적인 설문문항은 수돗물의 수질 및 수량에 대한 만족도, 수도요금의 만족도, 정부정책에 대한 신뢰도, 정수기 및 생수이용자에 대한 지출액 조사, 분산형 및 대심도 설치에 따른 지불의사금액 등에 대한 설문임
- 본 설문조사에 앞서 설문문항과 지불의사금액에 대한 사전조사를 위해 Pre-test를 실시함.(2012년 11월 27~28일, 표본수 50개)
- 본 조사는 2012년 12월 4일 ~ 14일까지 총 11일 동안 조사를 하였으며, 7대광역시의 경우 인터넷 설문조사, 행복도시의 경우 대면면접을 통해 설문조사를 실시하였음. 또한, 행복도시의 경우 세종시 한솔동 첫마을을 중심으로 면접조사를 실시함
- 표본추출방법은 7대광역시의 경우 인구비례할당으로 하였고, 행복도시의 경우 성별/연령/지역별 임의할당으로 표본을 추출하였음. 표본오차는 95% 신뢰수준에서 7

대광역시의 경우 ±6.93%, 행복도시의 경우 ±6.86%임.

- 응답자의 49.5%는 남성이었으며, 응답자의 연령은 각각 20대 24%, 30대 25.5%, 40대 25.5%, 50대 이상 25%로 비교적 연령별 응답자가 고르게 분포하였음
- 또한 대졸이상의 학력을 소유하는 응답자는 전체 응답자의 약 78.3%를 차지하여 응답자의 대부분 고학력이었고, 월평균 가구소득은 300만원이상~400만원미만이 전체 응답자의 약 39%를 차지하였음. 또한 3세미만의 유아 또는 70세 이상의 고령자와 함께 거주하고 있는지에 대한 질문에 약 86.5%가 같이 살고 있지 않다고 응답하였음

▌표 2.17 주요항목의 구성비 (N=400)▐

구분		표본수(명)	비율(%)
남、여구성	남자	198	49.5
	여자	202	50.5
연령구성	20대	96	24.0
	30대	102	25.5
	40대	102	25.5
	50대 이상	100	25.0
주거형태	아파트	303	75.8
	단독주택	42	10.5
	연립주택	20	5.0
	다세대주택	26	6.5
	기타	9	2.3
학력구성	고졸이하	87	21.8
	대졸이상	313	78.3
6세미만 유아 또는 70세이상 고령자 유무	그렇다	54	13.5
	아니다	346	86.5
월평균 가구소득	200만원 미만	14	3.5
	200만원 이상~300만원 미만	45	11.3
	300만원이상~400만원 미만	156	39.0
	400만원이상~500만원 미만	91	22.8
	500만원이상	94	23.5

(다) 비상용수 확보 편익

▌ 분산형 용수공급시스템은 비상용수 저류조를 설치함에 따라 기존 집중형 대비 단수 발생확률을 급격히 감소시킬 것으로 판단됨. 즉 기존 집중형 용수공급시 발생하는 급격히 단수사고를 감소시켜 물공급의 안정성을 높인다는데 있음. 즉 단수저감편익은 분산형용수공급시스템에서 저류조 설치에 따른 편익임. 즉, 기존 집중형용수공급시스템에 비해 가뭄, 홍수등(구미시 사고와 같은)의 사고 발생시 비상용수로 확보될 수 있는 편익을 추정한 것임

- 기존 분산형 용수공급시스템의 경제적편익에는 사용가치(use value)를 고려하여 최종소비자가 물 1톤을 소비하는데 지불하고자 하는 금액을 기준으로 편익을 산정하였으나 비상용수 공급시스템의 설치에 따라 단수상황을 해소하는 비사용가치(non use value)도 경제적 편익으로 산정할 필요성이 있음
- 일반적으로 용수공급사업의 총 가치는 사용가치(use value)와 비사용가치(nonuse value)의 합으로 정의될 수 있으나, 그동안의 용수공급사업에서는 사용가치에 국한된 평가가 이루어짐에 따라 경제적 가치를 과소평가하는 경향이 있어 왔음. 가령, 한 도시의 용수 수요 및 (최대)공급능력이 100t인 경우 인구 유입 혹은 생활수준의 향상으로 용수에 대한 수요량이 10% 증가한다면, 지금까지의 경제성 분석의 편익은 10t의 사용가치만 반영되고 있으나, 용수 공급사업의 경제적 가치를 고려함에 있어서 단순히 직접 사용하는 것뿐 아니라, 사업 미시행 시의 수도공급제한으로 인한 단수상황의 불편함에 대한 비사용가치도 경제적 가치에 포함하여 고려할 필요가 있음
- 즉, 경제성 분석은 사업시행 전·후의 비교가 아닌 미래 어느 시점에서의 시행·미시행에 따른 편익의 증분을 고려해야하기 때문에 본 사업의 미시행에 따른 미래 어느 시점에서는 용수 수급 불안정 문제와 함께 제한적 단수 조치상황에서의 불편함이 존재할 수 있다는 점을 고려하여 사업시행이 제공하는 단수상황으로부터의 위협 해소라는 경제적 가치도 고려할 필요가 있음. 그러나 일반적인 재화의 가치가 시장에서는 가격이라는 흔적(sign)으로 관찰이 가능하지만, 단수상황을 회피하기 위한 지불의사는 시장 내에서 관찰되지 않기 때문에 이에 대한 경제적 가치를 추정하는 데 어려움이 있음
- 비상용수의 경제적 편익은 용수공급에 따른 사용가치 편익과 유사한 방식으로 직접 대상지역의 주민들에게 설문을 통한 조건부 가치추정법(Contingent Valuation Method)을 통해서 산출됨. 통상적인 재화라면 시장에서 거래되는 가격을 기준으로

관찬을 통해 가치를 산정하지만 단수상황을 회피하기 위한 지불의사는 시장 내에서 관찰되지 않기 때문에 경제적 가치를 추정하는데 어려움이 있기 때문임

- 따라서 기존 국책사업의 예비타당성 자료를 토대로 유사지역의 단수상황 회피에 따른 지불의사를 추정한 자료를 토대로 하여 H도시의 소득과 물가수준을 보정하고 편익이전(Benefit Transfer)방식으로 단수상황회피에 따른 지불의사를 추정하였음
- 하지만, 단수저감편익을 추정한 사례가 매우 드물며, 최근 한강하류권 2차급수체계 조정사업 예타보고서상에서 단수저감편익을 추정한 바 있어 이를 토대로 단수저감편익을 산정하였음. 구체적으로 지불의사를 분석한 논문은 “조건부 가치추정법을 이용한 단수상황 회피의 경제적 가치추정연구-채수복, 강기래” 2011년 서울도시연구 등이 있음. 본 연구는 2009년 4월의 한강하류권 2차 급수체계 조정사업 예비타당성조사 보고서의 설문자료를 토대로 하여 산정된 것임
- 위 논문의 결과를 통해 편익이전 방식으로 분산형용수공급시스템의 단수상황회피에 따른 경제적 편익을 추정하였음. 본시 편익이전 방식은 유사연구를 모두 조사하고 관련 독립변수를 모두 고려하여 적정 종속변수를 추정하는 메타회귀분석을 적용할 필요성이 있으나 단수상황에 대한 연구는 위 연구를 제외하고 전무한 상황이기 때문에 소득과 물가수준만을 보정하여 분산형 공급시스템의 단수저감편익을 산정하였음
- 단수상황에 대한 지불의사 연구는「한강하류권 2차 급수체계 조정사업의 예비타당성」을 토대로 하고 있는데 주로 경기도 평택, 오산, 안성, 화성지역의 2015 ~ 2059년(45년)간 급수체계 조정사업으로 인하여 증가되는 생활용수에 지불의사를 곱하여 생활용수편익을 추정하고 있음. 다만 단수편익은 보고서에 포함되어 있지 않은데 이는 기존 생활용수 공급편익만으로도 편익-비용 비율(B/C ratio)이 1.4에 이르고 있기 때문임
- 위 논문에서 경기도 4개 지역에 대한 단수상황에 대한 지불의사 조사는 수돗물을 원활히 공급하기위한 급수체계조정사업에 대한 추가적인 지불의사액을 측정하기 위해 단수가 발생할 수 있음을 조사대상자들에게 인식시키고 설문조사를 진행하였으며, 전체 900여 가구 중 수돗물 사용 가구인 803가구만을 그 분석대상으로 고려하였음
- 조사 대상의 기본적인 단위가 가구이므로, 표본설계 및 추출에 있어서도 지역별 가구 비율을 기준으로 삼아 지역단위별로 추출하였으며 이 조사에서 표본 설계 및 추출 역시 층화추출법의 원리에 따라, 2007년 주민등록인구통계자료를 모집단에 대한 정보의 근거로 하여 조사 대상 지역인 4개 시를 첫 번째 단계의 층으로, 각 시의 동 또는 읍.면을 다음 단계의 추출 단위(층)로 하여 표본수를 책정하였음.

그런 다음 각 동.읍.면에서 무작위로 가구를 방문 면접하여 책정된 표본수 만큼의 조사를 실시하였음

- 설문문항은 세부적으로 다음과 같음.

> 최근 안성시, 오산시, 평택시, 화성시의 인구는 빠른 속도로 증가하고 있으며, 각종 개발계획으로 인해 앞으로도 인구가 계속해서 증가할 것으로 예상됩니다. 이에 따라 수돗물에 대한 수요도 증가할 것이므로, 상수도 공급시설이 제때 확충되지 못한다면 물 부족 상황을 겪을 수 있습니다.
> 귀하가 거주하시는 지역의 수도요금은 대략 ⓐ원/㎥입니다. 본 조사에서는 수돗물 공급시설이 제대로 확충되지 못해 수돗물이 제대로 공급되지 않는 상황을 막기 위해 귀하의 가구가 현재의 수도요금 외에 추가적으로 부담하시고자 하는 금액에 대해 알고자 합니다. 귀하 가구의 소득은 제한되어 있고 그 소득은 여러 용도로 지출되어야 한다는 사실을 감안하여 응답해 주십시오.
> ---
> 지자체 Ⓐ : 화성시 749원/㎥, 오산시 518원/㎥, 안성시 769원/㎥, 평택시 582원/㎥

- WTP 모형에 대한 모수 추정결과 단수상황 회피에 대한 물 1톤(1,000ℓ)당 소비에 따른 소비자의 지불액은 약 175.4원인 것으로 나타났음

(라) 온실가스 저감 편익 산정

▌분산형 용수공급시스템을 H도시에 적용하여 공급시 신재생에너지 이용을 통한 배출권거래에 따른 편익 산정에 있어서 한국과학기술평가원(KISTEP)에서 평가한 예비타당성분석 자료 중 2011년 12월에 평가한 "기후변화대응 환경기술개발사업"에서 적용한 분석방법론을 기준으로 평가함

- 상기 보고서에서 적용한 온실가스 배출량 감축편익의 기본 공식은 다음과 같음

> **[온실가스 배출량 감축편익]**
> 동 사업으로 인한 감축될 수 있는 CO_2배출량 × 탄소배출권 거래가격 × R&D 사업화성공률 × R&D 기여율

- 이 중 탄소배출권 거래가격은 지역단위 배출권거래제 시범사업(환경부시행)의 평균 거래가격인 27,041원/톤과 한국전력거래소 시뮬레이션 결과인 9,254원/톤과의 2개 시나리오를 적용함
- R&D 기여율의 경우 28.1% 값을 적용함. R&D 기여율 28.1%의 의미는 일반적으로 R&D가 GDP에 기여하는 정도, 즉 GDP가 1원 늘어나는 데 있어서 R&D가 0.281원만큼 기여한다는 의미임. 단, 동 사업의 R&D 기여율은 이런 개념이 아니라 기후변화에 적응하는 데 있어서 R&D가 기여하는 정도를 의미해야 하므로 해당 편익에 적용하는 데 한계가 존재함
- R&D사업화성공률의 경우 「차세대핵심환경기술개발사업 성과분석 및 효과성 평가보고서」(2010, 환경부)의 내용 중 2001~2008년 동안 완료된 총 588개 과제 중 사업화에 성공한 과제의 비율인 31.3%를 적용함

(2) 분산형 용수공급시스템 경제성 분석

▌일반적으로 공공사업의 투자계획은 다양하므로 대상사업들의 비용과 편익을 분석하여 투자의 최적화를 기하고 우선순위를 정할 객관적인 기준이 투자사업의 경제성 분석임.

- 따라서, 분산형 용수공급시스템이 기존 집중형 용수공급시스템과 비교하여 경제적으로 투자할 만한 가치가 있는 것인지에 대하여 경제성 분석을 통해 사업의 타당성을 확보하고자 함.
- 분산형 용수공급시스템을 적용할 지역은 2가지 대상지역을 선정하였음. 분산형 용수공급시스템은 특성상 기존 수도시설이 설치되어 있는 지역은 직관적으로 사업성이 높지 않기 때문에 신도시 지역 중에서 H도시 지역과 새만금 지역을 대상으로 경제적 타당성을 분석함.

(가) 비용편익분석 방법론

▌비용편익분석이란 국가적인 차원에서 정해진 공공목표를 달성하기 위하여 예상되는 여러 대안들 각각의 비용과 편익을 측정하고 비교 평가하여 최선의 대안을 도출하는 기술적 방법이라 규정할 수 있음[2].

- 비용편익분석의 평가지표로는 일반적으로 순현재가치(NPV : Net Present Value),

2) Peter G. Sassone and William A. Schaffer, Cost-Benefit Analysis : A Handbook(Academic Press, Inc.n 1978) p.3

비용편익비율(CBR : Cost Benefit Ratio, B/C로 표기되는 경우가 많음), 경제적 내부수익률(EIRR : Economic Internal Rate of Return)이 이용되고 있음

- 각각의 평가지표의 특징은 다음과 같음

▌표 2.18 평가지표의 특징▐

지표	정의	특징
순현재가치 (NPV : Net Present Value)	$\sum_{t=0}^{n}\frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$	·사업 실시에 의한 순 편익의 크기를 비교할 수 있음 ·사회적인 할인율에 따라 값이 변화함
비용편익비율 (CBR : Cost Benefit Ratio)	$\frac{\sum_{t=0}^{n}\frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^{n}\frac{C_t}{(1+r)^t}}$	·단위 투자 당 편익의 크기에 따라 사업의 투자 효율을 비교할 수 있음 ·사회적인 할인율에 따라 값이 변화함. ·사업 간의 비교에 이용하는 경우 각 비목(영업비용, 유지관리비용 등)을 편익 측면에 계산하거나 비용측면에서 계산할 때 주의가 필요함
경제적 내부수익률 (EIRR : Economic Internal Rate of Return)	$\sum_{t=0}^{n}\frac{B_t - C_t}{(1+r_0)^t} = 0$ 이 되는 r_o	·사회적인 할인율과 비교하여 사업의 투자 효율성을 판단할 수 있음 ·사회적인 할인율의 영향을 받지 않음

- 순현재가치법은 편익의 총현재가치와 비용의 총현재가치와의 차에 의해 산출되고, 산출된 순현재가치가 정(正)의 값일 경우 사회경제적 측면에서 효율적인 정책사업으로 평가함
- B/C 비율법은 미래 편익(Benefit)흐름의 현재가치의 합계가 미래 비용(Cost)흐름의 현재가치의 합계보다 크거나 같은 경우 사업시행의 타당성을 확보하는 것으로, B/C비율이 1보다 크면 클수록 사업의 비용 한 단위 당 편익의 발생이 크므로 경제적 효과가 큰 사업이라고 볼 수 있음
- B/C비율은 사업의 순편익 규모를 제시하지 않는 대신 비용 대비 편익의 비율만 보고하기 때문에, 수익성이 가장 높은 사업이 채택되는 것을 권고하는 방식임. 순편익의 절대규모가 상대적으로 크지만 B/C비율은 낮은 사업보다는 사회적 파급효과는 낮지만 B/C비율이 큰 사업이 선정될 가능성이 높음
- 경제적 내부수익률은 순편익의 현재가치의 합, 즉 순현재가치가 0으로 만들어주는 할인율을 내부수익률이라 함. 따라서 이 내부수익률이 사회적 할인율보다 클 경우

사업이나 정책이 시행되어야 하고, 반대로 작다면 사업이 시행되지 않아야 함

- 비용편익분석에서 즉 B/C비율법 중 편익(Benefit)을 추정하는 방법은 매우 다양함. 공공재 및 환경재의 경우 경제이론에 기반을 두고 환경개선에 대한 지불의사를 도출하는 방법은 크게 시장적 방법(market methods), 현시선호방법(revealed preference methods), 진술선호방법(stated preference methods), 모의시장분석법(simulated market approach), 편익이전(benefit transfer)등으로 구분할 수 있음
- **시장적 방법**은 환경이 제공하는 재화나 서비스의 시장이 직접 존재하는 경우 사용될 수 있음. 하지만, 환경이 제공하는 재화나 서비스의 시장이 존재하는 경우는 드물고, 따라서 시장접근법이 사용될 수 있는 경우도 매우 제한되어 있음
- 시장적 방법을 사용할 수 있을 정도의 시장자료가 갖추어지 않았다면, 비시장적 접근법인 현시선호방법, 진술선호방법, 모의시장분석법등의 방법론을 선택해야 함
- **현시선호방법**은 환경재의 시장자료가 존재하지 않기 때문에 대신 환경개선시 환경재와 관련된(related) 시장에서 발생하는 변화를 분석하여 환경개선에 대한 지불의사를 도출하는 방식임. 이 방식이 현시선호방법이라 불리는 이유는 각 개인이 관련시장에서의 행위를 통해 환경재에 대해 부여하는 가치나 선호를 현시(revealed)하였다고 볼 수 있기 때문임
- 이에 반해 **진술선호법**은 각 개인이 자신의 선호를 직접 말하게 하는 것임. 즉, 가상적인 시장을 만든 후 설문조사를 통하여 응답자들이 어떻게 반응하는지를 관찰하는 것임
- **모의시장법**은 실제 모의시장을 만들어 참가자들이 모의시장에 참여하여 실제로 거래행위를 하도록 하는 것임
- **편익이전**이란 현재 존재하는 정보나 지식을 새로운 상황 또는 환경에 이전, 사용하는 것을 총체적으로 일컫는 용어임(Desvousges et al., 1998) 즉, 기존 편익관련 연구를 이용하여 새로운 site에 적용하는 방법론임

▌표 2.19 편익추정법의 분류▐

추정법	주요 분석모형	적용대상
시장적방법	• 피해함수(damage function) • 생산함수(production function) • 비용함수(cost function)	•식량, 연료, 목재, 섬유 등 생태계가 제공하는 시장적 편익
현시선호법	• 휴양수요모형 (recreational demand models)	•휴양가치, 경관가치
	• 특성임금모형(hedonic wage model)	•사망위험성 감소, 질병위험성 감소
	• 특성가격모형(hedonic price model)	•쾌적함, 휴양가치, 경관가치
	• 회피행위모형(averting behavior model)	•사망 및 질병위험성, 쾌적함, 휴양 및 경관, 생태계 보존, 시설물 보존
진술선호법	• 가상가치평가법 (CVM)	•모든 종류의 편익
	• 가상순위결정법 (CRM)	
	• 선택실험법(choice experiment, CE)	
혼합모형	• 현시선호법과 진술선호법의 혼합	•모든 종류의 편익
모의시장분석	• 실험경매법(experiment auction)	•모든 종류의 편익
편익이전	• 가치이전, 함수이전, 메타분석	•모든 종류의 편익

자료 :「환경경제학」(권오상, 2007)

(나) 예비타당성 조사 방법론

▌ 예비타당성조사는 국가재정법 38조 및 동법 시행령 제13조의 규정에 따른 총사업비가 500억원 이상이고, 국가의 재정지원 규모가 300억원 이상인 대규모 신규 사업에 대한 예산편성 및 기금운용계획을 수립하기 위하여 기획재정부 주관으로 실시하는 사전 평가임

- 예비타당성조사의 목적은 대규모 재정사업에 대한 신규투자를 우선 순위에 입각하여 투명하고 공정하게 결정함으로써 불필요한 예산낭비를 방지하고, 재정운영의 효율성 제고에 기여함을 목표로 하고 있음
- 2008년부터 R&D분야 예비타당성 조사의 대상범위는 기존에 연구센터 설립 등 구체적 산출물이 있는 R&D사업에서 모든 국가연구개발사업으로 변경되었고, 수행기관도 종전에 한국개발연구원(KDI)에서 총괄 수행하였으나 SOC·정보화·산출물이 있는 R&D는 한국개발연구원에서 수행하고, 순수 R&D의 경우에는 한국과학기술기

획평가원(KISTEP)에서 수행하는 것으로 변경되었음

(다) 경제성분석 방법론

- 예비타당성조사에서 편익 추정의 단위는 개별 사업이고, 연구진은 합리적인 편익추정을 통해 평가대상의 장단점을 분석하여 종합한 평가를 도출해야 함. 경제적 타당성 평가는 공공투자사업의 시행여부 판단에 있어서 사업을 시행할 경우에 발생하는 편익을 사업이 추진되지 않는 경우와 비교하는 것임. 그러므로 사업 전후(before and after)가 아닌 유무(with and without) 비교를 통하여 사회후생의 차이를 분석하여야 함. 예비타당성조사는 비용과 편익을 고려하여 보다 큰 규모의 편익을 얻을 수 있는 방안을 선택한다는 후생경제학에 이론적 기반을 두고 있으므로, 비용과 편익이 구체적으로 누구에게 귀속되는가에 대해서는 관심을 두지 않음. 즉 예비타당성조사에서 순편익의 발생이란 사업으로 인한 국민의 후생 개선이 사업으로 인한 손실을 보상하고도 남을 경우를 의미함
- 2011년 한국과학기술기획평가원(KISTEP)에서 발간한 “연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구”에 따르면, 예비타당성조사 일반지침에 따르면 편익은 여러 유형으로 분류될 수 있음. 첫 번째 분류는 실질적인(real) 편익과 금전적인(pecuniary) 편익의 구분임. 실질적인 편익은 공공사업에 의해 발생한 진정한 편익으로, 국민생산 또는 사회후생의 증가를 통해 국민들이 실제로 받는 혜택을 의미함. 금전적 편익은 공공사업에 의해 빚어진 화폐적 가격의 변화 때문에 발생한 편익이며, 돈으로 측정될 수 있다는 의미가 아니라 순전히 화폐적 현상에 의한 효과라는 의미로 ‘실질적’인 것과 구별되는 개념임. 예비타당성조사의 편익추정부분에서는 실질적인 편익만을 고려하며, 금전적 편익을 계산에 포함시키면 이중계산 또는 과대계산의 과오를 범하게 될 가능성이 있음. 두번째 분류는 편익이 내부적(internal)으로 발생하느냐 혹은 외부적(external)으로 발생하느냐에 따른 구분으로, 어느 쪽이건 실질적인 편익이라면 편익추정 범위에 포함됨. 마지막으로 공공투자사업의 일차적인 목적과 관련된 직접적 편익과 2차적인 목적, 즉 부산물의 성격을 가지고 있는 간접적 편익으로 구분됨. 앞서 언급한 실질적 편익은 직접적일 수 있고 간접적일 수도 있음
- 예비타당성조사에서 고려되는 편익은 재무적 편익이 아닌 경제적 편익이며, 금전적 편익에 해당하는 파급효과이거나, 계량화가 곤란하거나, 측정방법론이 정립되지 않았거나, 편익의 기준이 부재하거나, 편익의 산정에 논란이 있는 경우에는 제외하고 있음

(3) 분산형 용수공급시스템 실용화 및 사업화 방안

▌국내 사업화 및 실용화 방안 검토

- 국내 지역은 상수도 시설이 이미 거의 기설치되었기 때문에 분산형 용수공급시스템을 적용하기에는 현실적으로 쉽지 않음
- 따라서, 국내 실용화 및 사업화를 위한 사업 가능화 대상지역은 분산형 용수공급시스템이 모두 가능한 지역과 수직형 정수처리시설만 가능한 지역으로 구분하여 살펴보고자 함
- 먼저, 수직형 정수처리시설만 적용이 가능한 지역은 기존 수도시설에 대해서 노후화 및 민원이 증가하여 향후 신증설계획이 있는 지역, 기존 산업단지 중에서 생활용수공급이 필요한 지역, 소규모 정수장의 개량이 필요한 지역, 고도정수 처리시설 설치가 필요한 지역 등임

▌그림 2.46 분산형 용수공급시스템의 국내사업화 가능 대상지역▐

▌분산형 용수공급시스템의 해외진출 방안

- 2010년 기준 세계 물산업은 약 4,829억달러 규모로, 향후 물산업 성장세는 더욱 높아져 2025년 약 1조달러 규모의 물시장을 형성할 것으로 전망되고 있음
- 이 중 민간이 담당하는 상하수도 운영관리 시장의 규모는 482억달러로 전체 시장의 약 10% 수준을 차지하고 있으며, 기후변화 등의 요인으로 물산업은 물순환 체계 전 과정을 포괄하는 범위로 확장되어 그 규모가 더욱 확대될 전망임
- 그러나 지금까지의 물산업 육성은 주로 상하수도 분야의 중심으로 이루어져 기후변화에 대응한 새로운 시장 진출기회를 상실하고 있으며, 기존의 상하수도 중심의 물산업 역시 이미 선진국의 주요 물기업들이 선점하여 치열한 경쟁이 벌어지고 있음.

이 가운데 우리나라가 새로운 물산업의 강국으로 부상하기 위해서는 우리가 가진 장점을 바탕으로 물산업의 새로운 영역을 개척해 나가야 하며, 시장성장 한계에 도달해 있는 국내를 벗어나 해외시장에 진출할 필요가 있음

▌그림 2.47 분산형 용수공급시스템의 국내사업화 대상지역 선정기준▐

▌그림 2.48 해외진출 대상지역 선정시 고려사항▐

- 특히 분산형 용수공급시스템과 같이 해외시장에 본격적으로 진출하기 위해서는 우리 기업들이 국내 시장참여를 통한 비즈니스 모델 검증이 필요하며, 모델 추진과정에서 축적된 경험과 노하우, 한계 극복방안을 발굴하여 진출하고자 하는 국가에서 성공할 수 있는 비즈니스 모델을 도출할 필요가 있음
- 따라서, 분산형 용수공급시스템이 해외진출하기 위해서 경제여건과 기업의 사업추진 가능성을 고려하여 해당 시장에 성공적으로 진출할 수 있도록 시장별 세분화에 따른 맞춤형 사업모델을 제시하고자 함

2. 분산형 용수공급시스템 실증시설 구축 (2세부)

▌ 2세부 과제에서는 수직형 정수처리시설 시공기술 개발 및 기존 광역 용수공급 및 급배수 연계기술 개발을 수행하였으며, 시공기술 개발을 위해 설계 단계에서도 1세부 및 3세부 수행기관과의 협업을 통해 시공과정에서의 오류를 최소화하였음.

- 수직형 정수처리시설 시공기술 개발 분야에서는 미적시공 감성설계 개념을 도입한 도심 내 정수처리시설의 외피안에 대한 연구가 추진되었으며, 이를 위해서 공모전 개최를 통하여 다양한 아이디어를 도출하여 추진되었음
- 수직형 정수처리시설 시공기술 측면에서 수직형 정수처리시설의 단위공정에서 배출되는 배출수의 처리시설 선정과 관련한 연구가 진행되었으며, 시공시 고려되어야 하는 분리막 공정 평가에 대해서는 파일럿 규모 테스트를 거쳐 연구를 진행하였음. 또한, 최적 CEB(유지세정) 조건 결정에 대한 다양한 조합에 대한 실험이 진행되었음

▌ 또한, 기존 광역 및 급배수 시스템 연계방안 마련을 위해 분산형 용수공급시스템의 최적 설치 위치 결정방법론 등의 개발을 통해 분산형 용수공급시스템 기본계획 구성을 수행하였음

- 1차년도에는 기존 광역 및 급배수 시스템 진단평가 방안, 다양한 펌프 조합 및 직결급수 시스템 시나리오 작성 등의 검토를 진행하였음
- 2차년도에는 용수공급 방식별 수송에너지 분석 및 정량화 기술 개발을 통해 최적 배수지 위치 제안 및 검토방법을 제시하였으며, 배수지 수위에 따른 송수 펌프 최적 운영안을 개발하였음. H 도시를 대상으로 비상용수 용량기준을 반영한 2가지 형태의 분산형 용수공급시스템 구축 방안을 1세부 공동기관(K-water)과 협업하여 수행하였음
- 3차년도에는 기존 광역 및 도송수 시스템 진단평가 방안을 마련하였으며, 상수소비 패턴 및 물수요량 예측과 보조수원 및 접근성 평가 등을 통한 비상용수 확보능 평가 등 분산형 용수공급시스템 구축 요소기술을 개발하였음
- 4차년도에는 기존 용수공급시스템 운영 및 유지관리 평가기술 개발과 1세부 공동기관(K-water)과 협업하여 기존 광역용수공급 인프라를 활용한 사업화 대상지역 분산형 용수공급시스템 구축 계획을 수립하여 제시하였음

▌2세부 과제 연구범위 및 연구수행 방법은 다음과 같음

연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)
■수직형 정수처리 실증시설 구축	- 1,000ton/d급 수직형 정수처리 실증시설 구축 (청주정수장 내 실증시설 부지) - 실증시설 외피 미적시공 (폭포 이미지) - Tankless System 구축 - 에너지 효율화 설비 결합 - 운영인력 교육 및 3세부 운영 인계 - 실증시설 준공 및 준공행사 실시
■수직형 정수처리 실증시설 시운전	- 수직형 정수처리 실증시설 전공정 정상운전 테스트
■건설비 기존대비 140%이내	- 수직형 정수처리 실증시설 원가계산서 작성 - 동일 공정 및 용량의 수평형 정수처리 시설 비용 추산 - 실규모 수평형/수직형 건설비 추산 및 비교
■배출수 처리시설 선정 및 성능평가	- 배출수 성상분석 - nge社의 내압막을 이용한 막배출수 처리 파일럿 설계 (50ton/d급) - 막배출수 파일럿 정수처리 실증시설 내 설치 완료 및 시운전 - 막배출수 처리 파일럿 막 성능평가
■Pilot 테스트를 통한 분리막 공정평가	- 비가역적 막오염 특성(내부 및 표면 막오염) 분석을 통하여 역세척에 의한 제거 막오염 특성 분석 - 고정주기 CEB 및 가변주기 CEB 적용을 통한 막오염 제어
■Lab-scale 장치를 이용한 CEB 운전 조건 도출	- 약품농도에 따라 제거 가능한 막오염양 측정 - 동일한 약품농도에서 원수의 탁도 및 DOC가 막오염 제거에 미치는 영향
■ 분산형 용수공급시스템 최적 설치 위치 제안	- 대상지역의 특성과 실무자의 판단에 의한 변수간 가중치가 고려된 수직형 정수처리시설 최적위치 방법론을 제시함
■모의상수관망을 이용한 HOR 관계식 도출	- 상수관망의 비정상상태를 해석할 수 있는 PDA모형의 핵심인 HOR 관계식을 실험을 통해 정립하고 기존의 HOR 관계식과 비교하여 일정하게 가정된 기존 관계식의 매개변수을 일차적으로 보완하며 이차적으로는 상수관망 해석의 신뢰성을 향상시키기 위한 실험 진행 - 압력조건을 달리하면서 각 절점에 설치된 압력계 및 유량계를 통해 절점들에서 토출되는 유량과 압력을 체크하여 도출된 결과를 분석하여 관계식 도출
■분산형 용수공급시스템 실증지역 기본설계	- 사업화 모델링 대상지역 지구 개발 마스터 플랜 검토 - 지구내 용수공급체계, 계통 및 수원 파악 및 분산형 용수공급시스템 연계방안 모색 - 기본설계 진행

가. 수직형 정수처리 실증시설 시공

(1) 감성설계가 고려된 미적 시공기준

▌ 도시인구 집중화 및 생활수준 향상으로 인한 인식의 변화에 따라 근래에 신설 또는 개보수 및 증설되는 정수장은 기존의 대형의 평면형 방식을 탈피하여 친환경적인 개념을 도입한 건물형 고도처리 정수장이 건설되고 있음

▌ 주로 추운지역에서 동파방지를 위해 건물형으로 건설되었던 기존의 건물형 정수장과는 달리 근래의 건물형 정수장은 생산수의 위생문제 확보 또는 지리적·사회적 여건에 따라 건설되면서 내·외부 미관까지 고려하여 시공되는 사례가 나타나고 있음

- 유럽의 대부분 정수장은 수돗물의 무소독제 운영으로 공정의 안전성 확보를 위하여 모든 정수처리 공정이 운영자와 격리될 수 있도록 설치되며, 감기 등 운영자의 경미한 질병에도 감염을 고려하여 병원체 보균자의 정수장 출입을 금지
- 특히, 네덜란드 WPH의 정수장이나 Andjik 정수장은 공정의 안전성 및 처리효율뿐 아니라 설계 시부터 건축전문 설계자를 참여시켜 미학적 건물설계가 가능토록 하였으며, 공정 배관의 색체도 파스텔톤을 사용하고 벽체 및 바닥 구조 투명화가 적용되었음
- 일본이나 캐나다 같은 경우, 지리적 여건으로 인해 계층형으로 설계하고 시내인근 지역이라는 특이성으로 정수장이 아닌 일반 건물느낌으로 디자인
- 미국의 경우, 정수장에 친환경적인 개념을 도입하여 주변경관과 조화되게 건설하는 미적시공 사례가 있으며, 냄새 및 소음을 유발하는 공정을 지하화 함으로써 혐오감을 최소화 하고, 지중열 교환기 및 자연채광등을 활용하여 사용에너지를 절감하는 노력

▌ 본 과제에서의 분산형 용수공급시스템은 “미래도시의 안전하고 안정적이고 경제적인 용수공급 인프라 구축”을 비전으로 내세우고 있음

- 미래 도심형 정수처리시설로서 안전한 수돗물 공급을 위한 계층형·건물형 정수장과, 도심 내 혐오시설이 아닌 공원 같은 개방형 느낌의 미적시공을 추구함

▌표 2.20 미관을 고려한 건물형 정수장 사례▐

구분	정수장 사례	특이사항
정수장 위생문제 확보 및 미관고려	 유럽의 정수장	• 수돗물의 무소독제 운영 • 공정의 안전성 확보를 위한 공정 격리구조 (모든공정은 운영자과 격리될 수 있도록 설치) • 운영자의 경미한 질병에도 감염을 고려하여 병원체 보균자의 정수장 출입금지 • 건축 전문 설계자가 참여 설계시부터 미학적 설계 • 공정 배관의 색채도 파스텔톤 적용 • 벽체 및 바닥 구조 투명화 적용
지리적·사회적 여건 고려	 일본 후루에 정수장	• 주거지역으로 부지확보가 어려워 빌딩형 채택 • 지상4층, 지하 2층으로 부지면적 1/3으로 감소 효과 • 정수장 전 시스템이 밀폐형으로 설계됨 • 방수를 위해 독일 노벨사의 비닐시트를 사용함
	 캐나다Lakeshore정수장	• 온타리오 시내에 인근지역 거주자 수도공급 • 지리적 여건(부지부족)으로 계층형으로 건설 • 대부분의 공정이 한 개 독립 건물 내에 위치 • 외관상 정수처리 시설이 아닌 일반 물로 보임 • 주변시설과 조화를 이룬 도시형 정수처리시설
미관을 고려한 정수장	 미국 Willamette 정수장	• 급속한 인구증가에 대비 • 친환경적인 개념을 도입, 주변경관과 조화 • 대부분의 공정이 실내와 지하에 위치 • 외부로의 냄새 및 소음 유발 최소화
	 미국 Whitney 정수장	• 물방울을 뒤집어 놓은 모양으로 디자인 • 친환경 건축 개념을 적용, 주변 경관과 조화 • 미국 건축협의 Honor Award 수상 • 2007 Top Ten Green project에 선정 • 지중열 교환기, 자연채광 활용을 통한 에너지 절감

▌본 연구단 과제에서 분산형 용수공급시스템의 실증시설 건물은 향후 도시근교의 공원 또는 근린시설 등에 설치될 경우를 가정하여 주변 환경과 서로 상생할 수 있도록 하는 친환경 건축의 기본철학을 바탕으로 건물이 환경에 미치는 충격을 최소화하고 주변 환경의 질을 높이는 외재적 조건과 건축물의 기능성과 아름다움이 발휘될 수 있는 내재적 조건들이 조화를 이루도록 설계하고자 하였음

- 분산형 용수공급시스템 실증시설의 기본공정은 가압식 막여과 공정 - 오존 공정 - 활성탄 공정 - UV 소독공정으로 이루어져 있으며, 각각의 공정 및 펌프실과 제어실을 지하1층, 지상 4층 규모로 설정하였음
- 소음 및 진동을 일으킬 수 있는 펌프실과 냄새를 유발할 수 있는 수조 등은 지하에 위치하고, 에너지 효율 및 유지 관리성을 고려하여 막여과 공정 3층, 오존 공정 2층, 활성탄과 UV공정을 1층에 배치하고, 제어실을 4층으로 하여 1세부에서 최소 요구면적을 바탕으로 본건물 기본설계를 진행하였음
- 본 세부과제에서는 1세부의 본건물 기본 설계안을 바탕으로 Boundary Condition을 설정하고, 건물의 외피부분에 대해 감성설계/미적시공을 진행하고자 하였으며, 도출한 Boundary Condition은 아래와 같음

▌표 2.21 실증시설 건물 Boundary Condition ▌

구분	내용
① 건물용도	수직형 정수처리 실증시설 (지하1층, 지상4층)
② 대지면적	50m×50m
③ 건축규모	12m(L)×12m(W)×20m(H)
④ 특이사항	• 건물일체형 BIPV 적용 (박막투과형, 5kW) • 고정식 고효율 태양광 모듈 (10kW)
⑤ 고려사항	• 4층으로 구성 • 각 층고 및 내부형태 및 기능이 변하지 않는 범위에서 건물 외형은 변형이 가능함 • 태양광 발전설비의 최대 효율을 위해 건물 정면이 정남향을 향하여야 함 • 고정식 태양광 전지판 설치를 위해 평면 옥상부지 12m×12m를 반드시 확보하여야 함 • 1~4층 정면은 BIPV설치를 위한 유리창 면적을 고려할 것 (1m×1m 모듈 120장 이상, 120m^2 이상은 흑색유리창 공간으로 고려할 것)

▌ **본 과제에서 실증시설 감성설계는 아래와 같은 과정으로 진행되었음**

- Step 1. 본격적인 감성설계를 진행함에 앞서, 연구단 및 전문기관의 협의를 통해 실증시설 외피공모전을 실시하여 일반인들의 다양한 디자인 아이디어를 수용하여 최적의 외피디자인을 도출하는 것으로 결정하였음
- Step 2. 실증시설 외피 디자인 공모전은 앞에서 도출한 실증시설 Boundary Condition을 바탕으로 실시하였으며, 공모전 출품작들의 경향 분석을 통해 기본안을 도출하였음
- Step 3. 공모전 출품작 분석을 통해 나온 기본안을 바탕으로 본 연구단이 추구하는 이미지를 덧씌우는 디자인 심화 과정을 통해 디자인을 구체화하고 실증시설 감성설계안을 도출하였음
- Step 4. 획일화된 도심형 정수장 이미지를 탈피하고 다양성을 추구하고자 다른 대안 디자인들을 도출하여 모형제작까지 진행하였음

▌그림 2.49 분산형 용수공급시스템 실증시설 감성설계 과정▐

(2) 수직형 정수처리 실증시설 공정별 시설기준 검토 (상하수도시설기준, 2010)

▌ **막여과(membrane filtration)란 막(membrane)을 여재로 사용하여 물을 통과시켜서 원수 중의 불순물질을 분리제거하고 깨끗한 여과수를 얻는 정수방법임**

- 담수처리에 주로 사용되고 있는 막여과는 정밀여과와 한외여과가 있으며, 제거대상물질은 현탁 물질을 주로 하는 불용해성물질임
- 나노여과 및 역삼투법은 용해성물질을 제거대상물질로 하며 단독 또는 고도정수처리와의 조합 등이 검토되고 있음

▌ **아래 표는 현재 국내에 고시된 수도용 막모듈의 성능기준을 나타냄**

▌표 2.22 수도용 막모듈의 성능기준▐

항 목	정밀여과막 모듈	한외여과막 모듈	나노여과막 모듈	역삼투막 모듈	해수담수화 역삼투막모듈
여과성능	0.5 ㎥/㎡·일 이상	0.5 ㎥/㎡·일 이상	0.05 ㎥/㎡·일 이상	0.05 ㎥/㎡·일 이상	0.01 ㎥/㎡·일 이상
탁도 제거성능	0.05 NTU 이하	0.05 NTU 이하	-	-	-
염화나트륨 제거성능	-	-	5 ~ 93 미만	93 % 이상	99 % 이상
내압성	누수, 파손 및 기타 외형에 이상이 없을 것				
미생물 제거성능	시료수에 대해서 형성된 집락수가 시료수 1mL 당 10개 이하 일것				
용출성	시료수의 분석치와 대조수의 분석치의 차가 “막모듈 용출액 분석기준에 적합할 것”				

▌막여과 정수시설 검토설비

- 전처리설비 - 막여과 정수시설의 전처리는 원수수질과 처리목표수질 등을 감안하여 필요에 따라 적절한 방법을 선정
- 막과 막모듈 - 막과 막모듈은 수도용 막모듈 성능인증을 받은 막모듈 중 처리성능, 내구성, 내약품성 및 위생성 등을 고려하여 선정
- 막여과설비 - 회수율은 취수조건이나 막공급수질, 역세척, 세척배출수처리 등의 여러가지 조건을 고려하여 효율성과 경제성 등을 종합적으로 검토하여 설정
- 후처리설비 - 막여과 정수시설의 후처리는 처리목표수질에 따라 적절한 방법을 선정
- 막세척과 배출수 처리 - 막여과 정수시설에서는 물리적 세척배출수와 약품세척폐액(약품세척을 정수장 내에서 하는 경우) 등을 적절하게 처리하기 위하여 필요한 처리설비를 설치
- 기계·전기설비 - 계측제어설비는 계측제어용 기기 기준 및 막여과 설비 기준에 따름
- 부속설비 - 원수조, 세척조, 처리수조 등
- 유지관리 - 막모듈 및 운전에 관한 사항 및 기타 유지관리에 관한 사항

▌오존처리는 THMs와 HAAs의 전구물질을 저감시키는 전처리산화제로는 물론이고 염

소보다 훨씬 강한 오존의 산화력을 이용한 대체소독제로서 소독과 함께 맛.냄새물질 및 색도의 제거, 소독부산물의 저감 등을 목적으로 함

- 오존은 유기물과 반응하여 부산물을 생성하므로 일반적으로 오존처리와 활성탄처리는 병행해야 하며, 오존처리공정의 설계와 운전요소로서 처리목적에 따라 주입점, 주입률 등을 고려하고 파일럿플랜트 등 실험결과에 근거하여 결정하는 것이 바람직함
- 처리공정 내에서 과도한 용존잔류오존은 강력한 산화력으로 후단의 활성탄흡착능에 대한 소모를 촉진하는 문제점이 있으며, 배오존이 대기 중에 방출되는 경우에는 노동안전위생 또는 환경상의 문제를 일으킬 우려가 있으므로 충분히 저농도가 되도록 처리해야 함

▌오존처리공정 검토설비

- 오존처리공정의 배열과 주입률 - 오존처리는 목적에 따라 적절한 처리공정을 선정
- 오존발생장치와 주입설비 - 발생효율이 높고 내구성과 안전성이 충분해야 함
- 배오존설비 - 배오존설비는 배오존의 농도, 풍량, 운전조건 등에 따라 활성탄흡착분해법, 가열분해법, 촉매분해법 중에서 선정
- 안전설비 등 - 오존처리설비와 제어방법 등은 누출에 대하여 충분히 안전해야 하며 안전 및 위생상 필요한 설비와 용구 등을 비치

▌활성탄처리는 응집, 침전, 모래여과 등 통상적인 정수처리로 제거되지 않는 맛.냄새의 원인물질(2-MIB, geosmin 등), 합성세제, 페놀류, 트리할로메탄과 그 전구물질(부식질 등), 트리클로로에틸렌 등의 휘발성유기화합물질, 농약 등의 미량유해물질, 상수원의 상류수계에서 사고 등에 의하여 일시적으로 유입되는 화학물질, 그 밖의 유기물 등을 제거하기 위하여 적용됨

▌흡착설비의 계획

- 흡착설비 - 흡착지의 구조는 효과적인 흡착과 역세척이 가능하고 또 활성탄교체 등이 용이하도록 함
- 세척설비 - 세척설비는 역세척에 적당한 보조세척을 추가한 방식으로 활성탄의 유출을 방지
- 저장설비, 계량설비 및 이송설비 - 흡착지는 설비규모와 재생빈도에 따라 활성탄을 적절하게 충전하고 반출할 수 있도록 함

▌표 2.23 입상활성탄의 세척조건 ▐

구 분			활성탄 입경 (2.38~0.59 mm)	활성탄 입경 (1.68~0.42 mm)
물 역세척과 공기세척	역세척	역세척 속도	0.67 $m^3/min{\cdot}m^2$	0.4 $m^3/min{\cdot}m^2$
		역세척 시간	8~10분간	15~20분간
	공기세척	역세척 속도	0.83 $m^3/min{\cdot}m^2$	0.83 $m^3/min{\cdot}m^2$
		역세척 시간	5분간 공기세척과 물 역세척을 행할 때에는 주의 필요	5분간 공기세척과 물 역세척을 행할 때에는 주의 필요
물 역세척과 표면세척	역세척	역세척 속도	0.67 $m^3/min{\cdot}m^2$	0.4 $m^3/min{\cdot}m^2$
		역세척 시간	8~10분간	15~20분간
	표면세척	세척 속도	0.1 $m^3/min{\cdot}m^2$	0.1 $m^3/min{\cdot}m^2$
		세척 시간	5분간	5분간

▌ 자외선(UV)의 소독작용은 주파장이 253.7 nm인 자외선이 박테리아나 바이러스의 핵산에 흡수되어 화학변화를 일으킴으로써 핵산의 회복기능이 상실되는데 기인한다고 알려져 있음

- 자외선 조사에 의한 물의 소독방법은 물이 흐르는 상태에서 외부로부터 자외선을 조사하는 외조식과 석영유리 램프에 의해 유수중의 내부로부터 자외선을 조사하는 내조식이 있고, 단순한 장치로서 다량의 물을 처리할 수 있는 내조식이 주로 이용됨
- 자외선에 의한 물의 소독은 화학물질의 첨가를 필요로 하지 않기 때문에 안전성이 높을 뿐만 아니라 경제적으로 양질의 물을 얻을 수 있는 소독방법임

▌ 자외선 소독 검토설비

- 자외선 소독시설의 구성 - 장치능력은 일최대급수량에 의하여 정하되, 여유율을 고려
- 자외선 램프의 종류 - 자외선램프는 저압(고출력 포함)과 중압의 두 가지 종류가 있음
- 장치의 형식 - 자외선소독 형식의 선정은 사용목적, 설치 공간, 보수관리성 등을 고려

(3) 수직형 정수처리 실증시설 시공 시방서 작성

※ 본 연구단에서 수행하는 분산형 용수공급시스템의 실증시설에 대한 시공시방서를 작성하였으며, 본 보고서에서는 일반사항에 대한 내용만 간략하게 수록하였음, 세부

내용은 부록 참고

① 일반사항

▌제작목적

- 본 장치는 연구과제 수행을 위한 실증시설임

▌제작기간

- 본 시설의 제작은 발주 후 8개월 이내에 수행되어야 하며, 시운전 기간을 포함함

▌P&ID

- 장치의 모든 구성을 포함하는 도면으로 Autocad/PDF로 제출 및 승인 후 제작되어야 함

▌Equipment list

- 장치를 구성하는 요소들의 사양으로 제품의 구성을 알 수 있는 모든 정보가 명시되어야 하고, 각 요소의 제조사 사양표 및 성능표가 첨부되어야 하며, 장치의 크기, 총 전력 소요량, 무게, 등이 명시되어야 함

▌외형도

- 장치의 외형을 나타내는 평면도, 우측면도, 좌측면도 및 배관 등각투영도가 준공완료 확인 시 Autocad로 제작되어 제출되어야 함

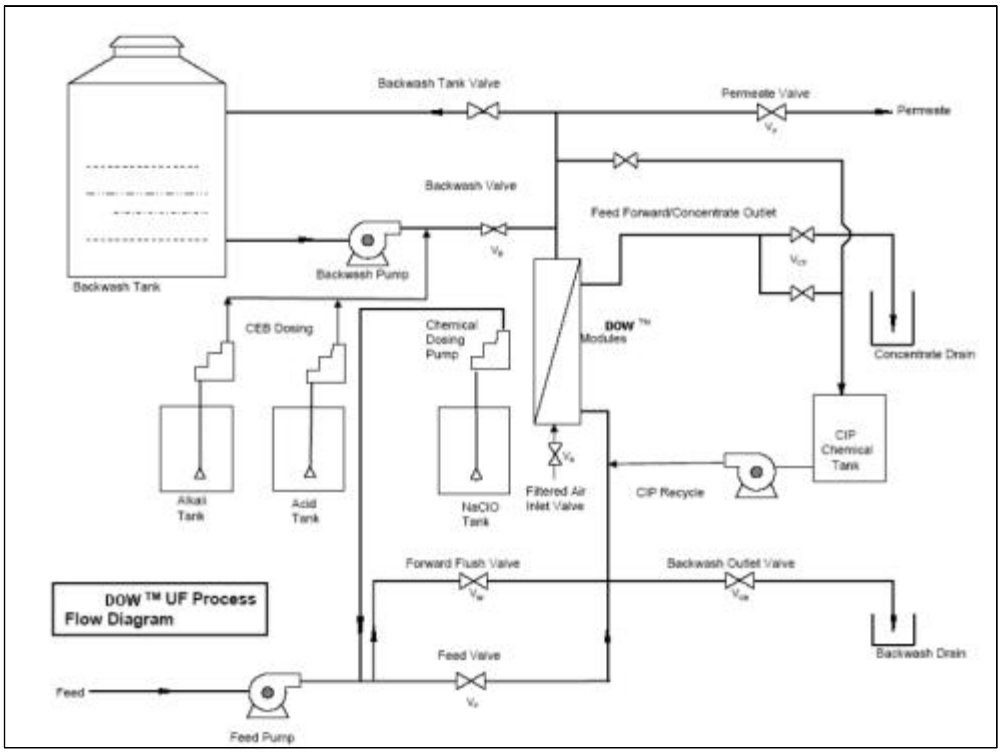
▌유의점

- 본 시방서는 최소한의 요구사양을 기술한 것이며 장치의 설계 시 필요한 요소장치를 추가할 수 있으며, 장치의 상세설명을 위한 추가도면 등 서류의 제출이 장려됨

② 기본설계

▌ 가압형 멤브레인 (UF)

- Membrane 설비는 원수공급설비, Membrane Unit, 역세 설비, 약품세정설비로 구성되며, 설비계통의 주요사항은 아래 그림과 같음

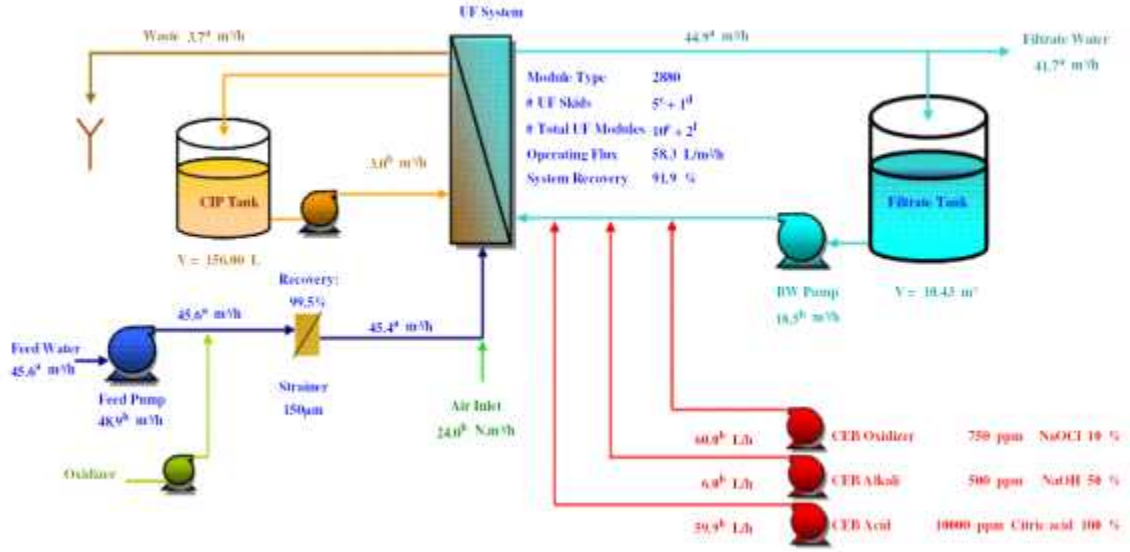


▌그림 2.50 가압형 멤브레인(UF) 설비계통 ▌

▌표 2.24 가압형 멤브레인(UF) 시설계획 ▌

구 분	시설계획
구조물 계획	• Skid W0.9m × L2.1m × H3.1m × 6 Unit • 기계실 : W9.0m x L12m x H5.0m
방수계획	• 기계실 바닥 : 우레탄 방수
배관계획	• 유입배관 : 100mm(STS 304) • 계열연결배관 : 50mm(STS304) • 역세배관 : 50mm(UPVC) • 유출배관 : 100mm(STS 304) • 드레인배관 : 50mm(STS 304)
드레인계획	• 물리적 역세수는 배수지로 이송 • 화학세정 폐액은 약품폐액조로 이송

▪ 설계조건(예)



Feed Water Data

Feed Water Type	Feed Water Temperature		Turbidity	TOC	TSS
	Minimum	Design			
Surface Water	2.0 °C	18.0 °C	<5 NTU	unknown	unknown
Design Basis Notes	River Water. The highest turbidity(over 80 NTU) period is maximum 7 days after heavy rain(rainy season). Most of the time of the year turbidity is below 5 NTU.				

Product Water Quality

Product Turbidity	Product SDI
≤0.2 NTU	≤2.5

System Details

Module Type	2880	Operating Flux		58.3 L/m²/h
Active Membrane Area	77 m² 829 ft²	Estimated Initial TMP	Design Temperature	0.6 bar
			Minimum Temperature	0.9 bar
Module Length	2360 mm 92.9 "	Design Product Pressure		0.5 bar
Water Volume per Module	39 L 10 gal	Product Flow Rate per Skid		9.0 m³/h
Number of Modules per Skid	2	Filtration Mode		Dead-End, Constant-Flux
Number of UF Skids	5[a] + 1[b]	System Scale		Large-Scale UF system
Number of Total UF Modules	10[c] + 2[d]	Backwash water type		UF Filtrate Water
System Recovery	91.9 %	F/F Water Type		Feed Water
Footnotes	a. Number of operating skid(s). b. Number of standby skid(s) for large-scale system. c. Number of operating module(s). d. Number of standby module(s) for large-scale system.			

▌오존접촉시설

▪ 오존접촉시설은 맛·냄새 제거 및 잔류오존 유지를 위한 반응시간 확보 및 장래 필요시 소독능(CT값) 유지 기능을 가짐

▪ 오존 접촉설비는 2개로 구성되어 있으며, 오존접촉설비의 유입수는 접촉설비에 유

입되기 전 설치된 2개의 유량계에 의해 유입유량이 계측되기 때문에 각 오존접촉설비에 유입되는 유량에 따라 설비별로 주입량 제어가 가능함

- 오존발생설비, 오존주입설비, 감시제어설비 등은 오존설비 등은 기계실 옥내에 설치하도록 하였으며, 냉각수는 계속 순환하는 것으로 계획함
- 산소저장탱크는 고압가스이므로 옥외에 설치하는 것으로 계획하였음
- 오존접촉설비의 기계실에는 오존 용해설비(Full stream system)가 위치하므로 오존 누출에 대비하여 환경오존모니터를 계획하였음

▌표 2.25 오존접촉설비 시설계획▐

구 분	시설계획	비 고
구조물 계획	• 오존반응설비 : W0.9m × L2.1m × H1.9m × 2대 • 기계실 : W3.8m × L4.0m x H3.5m	
방수계획	• 기계실 바닥 : 우레탄 방수 • 기계실 외부 : 샌드위치판넬	
배관계획	• 유입배관 : 100mm (STS 304, Ejector 및 이후 배관부터는 STS316L) • 계열연결배관 : 65mm(STS316L) • Bypass배관 : 65mm(STS316L) • 유출배관 : 65mm(STS316L) • 드레인배관 : 50mm(STS 316L, 밸브전 까지)	
기 타	• 기계실 장비반입구 : 1.0m×2..0m • 과압방지밸브, 배오존시설 및 환경오존모니터 • 오존 sampling port - 오존반응탱크 유입배관 및 유출배관 : 용존오존모니터 × 3개 - grab sampling line : 오존반응탱크 계열당 2개소	

- 설계조건 : Design Basis
  - Flowrate : 42 ㎥/hr
  - 오존 주입율 : 2.0 g O_3/㎥
  - 오존 접촉시간 : 15 min
  - 발생오존농도 : 7wt%
- 설계조건 : Sizing

- 필요 오존량

오존발생기 용량 = 처리유량 X 오존 주입율 = 42㎥/hr x 2.0 $gO_3/㎥$

= 84 gO_3/hr ---> 0.1kg O_3/hr 로 선정

- 오존화 공기량

발생오존화가스(O_3+O_2) 유량 = 오존발생량/오존농도

= 84g O_3/hr / 102.39 g O/N㎥ = 0.83N㎥/hr (O_3+O_2)

여기서 7wt% ÷ 4.785 Vol%이므로 발생 오존화가스량 중 순수한 오존량은

0.83 N㎥/hr(O_3+O_2) x 0.048 Vol% --> 0.04N㎥/hr(O_3)

또한, 0.04N㎥/hr 의 순수한 O_3를 생산하기 위해선 $3O_2$ --> $2O_3$ 이므로0.04N㎥/hr(O_3) x 3/2 = 0.06N㎥/hr (O_2)필요

따라서,

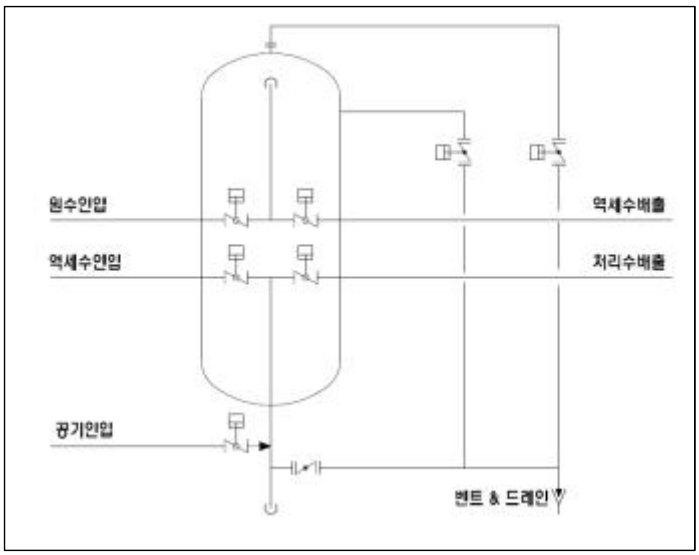
필요산소량 = 발생오존화가스량 -순수한 오존가스량 + 산소가스량

= 0.83Nm3/hr (O3+O2) - 0.04 Nm3/hr + 0.06Nm3/hr

(O_2) = 0.85N㎥/hr (O_2) ----> 1N㎥/hr(O_2)

▌활성탄 흡착 설비

▪ 활성탄 흡착장비는 4대로 구성하였으며, 각각 독립적 운영이 가능함



▌그림 2.51 활성탄 흡착장비 설비계통▐

▪ 각 장비는 D=50mm 유출배관에서 각각 모아진 후 100mm 배관을 통해 정수지로 유입됨

- 역세척 방식은 물 + 공기 역세척으로서 역세척 펌프는 정수지에 설치하고 D=50mm의 역세척관에 의해 공급되도록 계획하였음
- 각 장비의 공기 역세척을 위해 역세송풍기에서 D=50mm 배관을 통하여 공기가 공급됨

▌표 2.26 활성탄 접촉설비 시설계획▐

구 분	시설계획	비 고
입상활성탄	• 재질 : 석탄계 • 입경 : 8×30mesh(유효경 : 0.9mm, 균등계수 : 1.9 이하) • GAC 여층두께 : 1.9m	
방수계획	• 기계실 바닥 : 우레탄 방수 • 기계실 외부 : 샌드위치판넬	
배관계획	• 원수유입 : 100 mm(STS304) • 장비별유입 : 50mm(STS304) • 정수유출 : 100mm(STS304) • 역세수 : 50mm(STS304) • 역세공기 : 50mm(STS304) • 드레인관 : 50mm(STS304)	
드레인 계획	• 흡착설비 드레인 : 배출수조로 이송(자연유하)	

- 설계조건(Design Basis)
  - Flowrate : 10.4 m3/Hr
  - EBCT : 15.4 min
  - Service L.V : 10m/hr
  - Air L.V : 0.85m/min
- 설계조건(Sizing)
  - V=Q/EBCT : 2.603m3
  - Service L.V : 10 m/Hr

$$\text{A (Area)} = \frac{10.41\,m^3Hr}{10\,m/Hr} = 1.04\ \text{m2}$$

$$\text{D (Diameter)} = \sqrt{\frac{1.04m^2 \times 4}{3.14}} = 1.15169\ \text{m} \rightarrow 1.2\ \text{m}$$

- Actual A = $\frac{1.2 \times 1.2 \times 3.14}{4}$ = 1.13 m^2

- Actual LV : 9.21 m/Hr
- Filter Media
  Activated Carbon : 2,603 L
  Gravel (25~40 mm) : 113 L
  Sand 大 (12~25 mm): 113 L
  Sand 中 (6~12 mm): 113 L
  Sand 小 (3~6 mm) : 113 L
- Height
  2603L (Activated Carbon) / 1.13m2 = 2302 mm
  113L (Gravel) / 1.13m2 = 100 mm
  113L (Sand) / 1.13m2 = 100 mm
  113L (Sand) / 1.13m2 = 100 mm
  113L (Sand) / 1.13m2 = 100 mm
  Free Voard 30% = 232 mm x 0.3 = 691 mm
- Applied Dimension = 1,200 mm x 3,971 mm
- 손실수도 - 1℃, LV 10 기준 = 5 Kpa

▌자외선 소독설비

▪ 자외선 소독설비는 밀폐된 용기에 자외선 램프를 포함하는 장치로써, 램프의 자외선 발생 부분이 물 밖으로 노출되지 않도록 설계되어야 하며, 석영관의 청소 시에도 계속적으로 소독 할 수 있어야 함

▌표 2.27 자외선 소독설비 시설계획 ▌

구 분	시설계획	비 고
구조물 계획	• Skid W1.2m × L1.3m × H1.0m × 1개	
방수계획	• 기계실 바닥 : 우레탄 방수 • 기계실 외벽 : 샌드위치 판넬	
배관계획	• 유입배관 : 100mm(STS 304) • 유출배관 : 100mm(STS 304) • 드레인배관 : 25mm(STS 304)	
드레인계획	• 배수지로 이송(자연유하)	

③ 주요설비

▌원수공급설비

- 원수공급설비는 착수정과 원수공급펌프로 구성되며, 착수정의 저장용량은 29ton x 2지로 계획하였고, 원수공급 펌프의 용량은 11.5㎥/hr x 6대로 계획하였으며, 예비펌프는 별도로 보관하여 기계적 결함시 교체하는 것으로 계획

▌표 2.28 원수 공급설비 시설계획 ▌

구 분	시설계획	비 고
착수정	•형 식 : 수직사각형(콘크리트) •용 량 : 29TONx 2지	
공급펌프	•용 량 : 11.5㎥/hr x 4.0bar x 6대	

▌Membrane Unit

- Membrane unit는 Membrane 과 밸브 유닛으로 구성되고, membrane Unit 의 용량은 9㎥/hr x 6유닛으로 구성되며, 하나의 유닛에는 Membrane이 각 2개식 설치하는 것으로 계획하였음
- 밸브 유닛은 유닛별로 하나씩 구성되어 있으며, 원수인입밸브, 처리배출밸브, 역세인입밸브, 역세배출밸브, 약품세정인입밸브, 약품세정배출밸브로 계획

▌표 2.29 막여과 Unit 시설계획 ▌

구 분	시설계획	비 고
Membrane	•형 식 : SFD2880 •크 기 : 200mm x 2360mm •여과면적 : 77m^2 •Flux : 58.3L/m^2/h •운전방식 : Dead-End	
밸브유닛	•원수인입밸브 : 50A(STS 304) •처리수배출밸브 : 50A(STS 304) •역세인입밸브 : 50A(PVC) •역세배출밸브 : 50A(PVC) x 2개 •약품세정인입밸브 : 50A(PVC) •약품세정배출밸브 : 50A(PVC) •처리수배출라인 에어벤트밸브 : 25A(STS 304) •역세수배출라인 에어벤트밸브 : 25A(PVC)	

▌역세 설비

- 역세 설비는 역세수 공급펌프와 역세수 저장탱크로 구성되며, 역세수 저장탱크의 저장용량은 3ton x 1대로 계획하였음
- 역세수 공급 펌프의 용량은 18.5㎥/hr x 2대로 계획하였으며, 1대는 예비펌프로 계획하였음

▌표 2.30 역세설비 시설계획 ▌

구 분	시설계획	비 고
역세수 저장탱크	•형 식 : 수직원통형(PE) •용 량 : 3TONx 1대	
역세수 공급펌프	•용량 : 18.5㎥/hr x 2.0bar x 2대	1대 예비

▌약품세정설비

- 약품세정설비는 약품세정펌프와 약품세정탱크, 약품주입펌프, 약품세정탱크로 구성되며, 세정탱크의 저장용량은 1ton x 1대로 계획하였음
- 약품세정펌프의 용량은 3.0㎥/hr x 1대로 계획하였으며, 약품저장탱크는 약품별로 1개, 약품주입펌프는 2대로 계획하였음

▌표 2.31 약품세정설비 시설계획 ▌

구 분	시설계획	비 고
약품세정탱크	•형 식 : 수직원통형 (PE) •용 량 : 1.0 TON x 1대	
약품 세정펌프	•용 량 : 3.0㎥/hr x 3.0bar x 1대	
약품저장탱크 (NaOCl)	•형 식 : 수직원통형 (PE) •용 량 : 0.2 TON x 1대	
약품공급펌프 (NaOCl)	•용 량 : 112L/hr x 5.0bar x 2대	
약품저장탱크 (NaOH)	•형 식 : 수직원통형 (PE) •용 량 : 0.1 TON x 1대	
약품공급펌프 (NaOH)	•용 량 : 15L/hr x 5.0bar x 2대	
약품저장탱크 (Citric Acid)	•형 식 : 수직원통형 (PE) •용 량 : 0.1 TON x 1대	
약품공급펌프 (Citric Acid)	•용 량 : 150L/hr x 5.0bar x 2대	

▌오존접촉설비 원료가스 공급시설

▪ 기체산소공급설비는 기체산소저장탱크와, 압력조절밸브 및 안전밸브 등의 가스공급 장치 등으로 구성되고, 기체산소저장탱크는 옥외에 설치하며, 기체산소탱크의 저장용량은 40L×24대로 계획하였음

▌표 2.32 원료가스 공급시설 시설계획 ▌

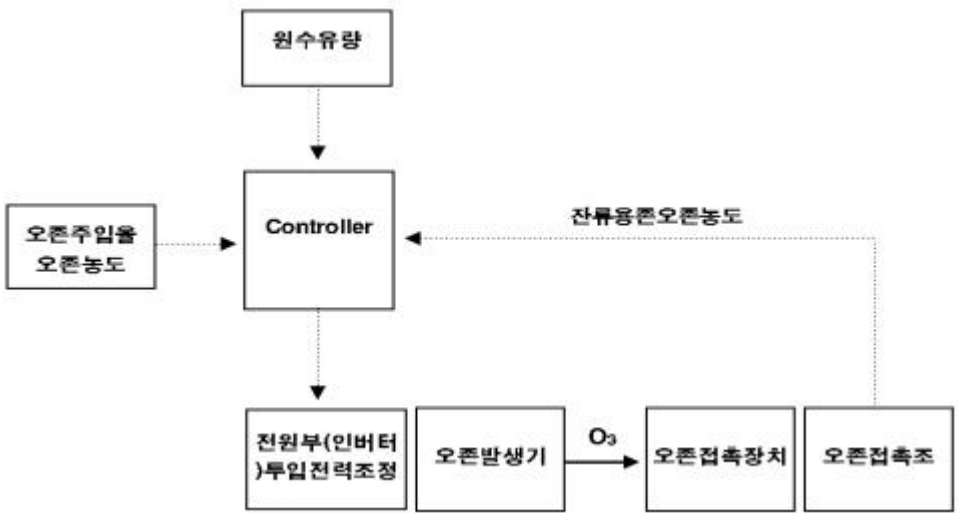
구 분	시설계획	비 고
산소저장탱크	•형 식 : 수직원통형 •용 량 : 40L x 24대	

▌오존 발생설비

▪ 오존발생설비의 설계 사양은 다음과 같음

- 형 식 : 무성방전 수냉식
- 용 량 : 80g/hr(냉각수수온 15℃) × 2대
- 오존발생농도 :

  설계 오존발생농도 : 7%wt (100g/N㎥)



▌그림 2.52 오존발생기 운전 흐름도 ▌

▪ 오존가스(O3)의 발생은 오존발생기에 산소를 공급하여 발생기 내부의 방전관을 통해 고압의 전력을 방전함으로서 오존이 발생되는 원리로서 발생기 외에 동력공급설비와 전류제어기, 승압기, 주파수제어기 등으로 구성되어 연속 운전됨

▪ 오존발생기의 운전은 오존주입량 제어, 잔류오존농도 제어, 배오존농도 제어 등의 제어방법이 있으나 금회에는 오존주입율을 유량비례 제어하는 방식으로 계획하였으며, 잔류오존농도에 의한 오존주입량을 복합 제어하는 방식이 가능토록 계획하였음

▌오존 용해설비

▪ 오존발생기에서 공급되는 오존가스를 원수중에 효율적으로 용해하는 설비로서 오존이 원수에 용해되는 오존흡수율에 따라 오존발생설비의 규모에 영향을 미침

▪ 오존가스 용해설비는 Ejector에서 발생되는 부압에 의해 오존가스를 흡입, 이송하여 Mixing Nozzle이 부착된 원수유입관에서 용해하는 Ejection 방식으로서 Ejector, Mixing Nozzle이 장착된 용해용 원수관, 오존가스 유량계 등으로 구성됨

▌표 2.33 오존용해설비 시설계획 ▌

구 분	시설계획	비 고
Ejector System	•형 식 : Liquid Ejector •규격 및 재질 : 100A STS 316L •수 량 : 1대	
Mixing System	•형 식 : 강제 회전 용해식 Nozzle 장착 용해 pipe •용해 pipe : D100mm × L600mm × 1set	

▌배오존 파괴설비

▪ 오존용해설비에 의해 원수중에 주입된 오존가스 중 원수중에 흡수된 가스 외의 배오존을 제거하는 설비로서 제습기(Demister), 배오존 파괴기, 배오존 밸브 등으로 구성됨

▪ 원수 중에 용해되지 않은 오존은 밀폐된 오존접촉조의 상부로 방출되어 배오존 파괴기에서 안정한 산소로 분해되어 대기로 방출함

- 형 식 : 열촉매접촉식
- 용 량 : 3N㎥/hr × 2대(1대예비)
- 처리효율 : 0.1ppm 이하 (대기환경기준)

▌활성탄 역세척 공정

- 역세척은 물+공기 동시 역세척으로 계획하였으나, 공기역세척은 여재 오염 상태, 수질조건에 따라 간헐 사용하도록 하였음
- 역세척수의 공급은 정주지에 저장된 잔류염소가 없는 물이며, 역세척시 backwash 유량과 Rinse 유량이 1.5배 차이가 있으므로 Rinse 시에는 원수를 이용하도록 설계하였음
- 평상시는 역세척만 시행하며 필요시 공기 역세척(1~3분)을 실시하고 공기역세척이 종료된 이후에는 여재내에 남아 있는 공기를 배제하기 위해서 1분동안 Pause 기간을 확보한 후 Rinse를 12분간 수행하도록 계획하였으며 “Pause” 기간 대신 약 1~2분 동안 서서히 역세척 유량을 증가시킬 수 있도록 운영자가 선택하여 운전할 수 있음
- 활성탄의 설계 역세척주기는 상수도연구원 모형플랜트의 역세주기인 7일로 계획(1일 7지 역세)하였으나, 활성탄흡착지는 손실수두발달이 크지 않아 7일이상 운영이 가능함

▌활성탄 설비 Filter to waste

- 일반적으로 Filter-to-waste 공정은 여과수의 초기 탁질 누출이 처리수에 유입되는 것을 방지하고 여과속도의 급격한 변동 없이 온라인 운전으로 서서히 이행하기 위한 것으로 이번 설계에서는 반영되어 있지 않음
- 그러나 활성탄흡착지에서 Filter-to-waste 공정은 활성탄 재생/교체 등의 유지관리시 활성탄에서 발생되는 미탄분(GAC fines) 또는 활성탄 ash 성분에 의한 활성탄 처리수의 초기 pH 상승 등의 운영 및 유지관리상 문제점을 용이하게 해결하기 위하여 설치함
- 현장조사 결과 국내 도입된 활성탄 여과지의 운영에서는 활성탄 충진 시 미탄분 또는 일시적 pH 상승의 문제를 역세척에 의해서 해결하였으나, 역세설비의 용량이 미탄분 제거에 적합하지 않고 배출수 시설 용량도 부족한 경우가 많아 재생 후 활성탄 투입시 정상 가동되는데 1개월 이상 소요되는 경우도 있는 것으로 조사되었음
- 또한, 기존 활성탄 여과지에는 역세척 후 여과개시에 따른 수질의 변동 상황을 체크하고 적정한 수질을 안정적으로 유지함을 확인하고 정상 가동을 할 수 있는 설비 여건이 충분하지 않으므로 활성탄흡착공정에서도 filter-to-waste 설비의 설치를 고려할 수 있음

▌활성탄 반출입

- 활성탄 투입 및 반출을 위한 이송설비는 직접이송과 수력이송의 방법이 있음
- 부산 덕산정수장 등 일부 정수장은 활성탄 이송을 위하여 별도의 설비를 갖추고 있으나 기타 정수장들은 대부분 직접이송 방식으로 계획되었음

- 직접이송은 인력이송과 흡인차(vacuum car)에 의한 방법이 있으며 수력이송은 injector에 의한 방법이 있음
- 인력에 의한 직접이송 방식은 대구시 및 김해시 등에서 시행하고 있었으며 반출입에 많은 시간이 소요되고 인부의 작업여건이 열악하여 개선이 필요한 것으로 운영자 면담결과 나타났음
- 이번 설계에서는 설비의 특성(실증시설)을 감안하여 직접이송에 의한 활성탄 반출입방식을 채택하였음

▌자외선 소독설비

- 자외선 소독 설비는 처리되어 배출하는 관에 연결하는 자외선 소독기로, 자외선 램프와 제어반으로 계획하였음

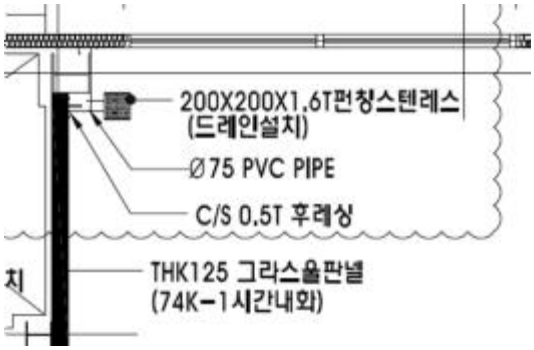
▌표 2.34 자외선 소독설비 시설계획▐

구 분	시설계획	비 고
자외선 소독설비	•형 식 : 관로형 •용 량 : 42.0㎥/hr •수 량 : 1대 •자외선투과율 : 65%이상 •자외선조사량 : 40,000 uW-sec/cm^2	

④ 운영 및 유지관리

▌배수체계

- 지하 1층에는 설비공간 주변으로 배수트렌치가 설치되어 있으며, 결로로 인한 설비부식방지를 위해 벽면에는 이중으로 격벽을 세워 결로는 격벽내부 공간으로만 흘러 배수트렌치를 통해 외부로 배출될 수 있도록 함.
- 지상층의 경우에는 바닥이 Deck Plate로 구성되어 있기 때문에 트렌치 구성이 어려우므로 아래 그림에 나타난 도면과 같이 75A PVC 파이프를 매설하여 지하 트렌치 집수정으로 연결하여 층바닥에 약간의 슬로프를 주어 지하 트렌치 집수정에서 펌프를 통해 배출 하는 것으로 계획되어 있으며, 청소 외에 공정상 드레인 되는 배출수는 모두 배관을 통해 배출수조로 이송됨



▌그림 2.53 지상층 배수계획▐

▌건물환기

- 지하층에는 Dry Area를 두어 외부와 열린상태로 만들어 환기에 지장이 없도록 하였으며 지상층에는 모두 건물 양측으로 창문을 설치함으로써 환기 기능을 하도록 함
- 특히 인체에 유해한 오존이 유출될 수 있는 오존접촉조의 경우 건물내에 따로 격리공간을 두고 유사시에 창을 통해 환기가 가능하도록 하였으며, 평상시에는 배오존 설비를 통해 안전하게 외부로 배출될 수 있도록 계획하였음(배오존 설비 사양 참고)

▌설비 고장시 안전/안정적 운영대책

- 실제 플랜트에서는 각 공정별로 설비 고장에 대비한 예비계열을 구성하여 운전하는 것이 일반적이나, 본 실증설비에서는 단기간의 실증테스트를 목적으로하는 설비로서 공정에 문제가 생길 시 생산 유량을 축소 또는 일부 공정을 **바이패스**하여 생산하는 방향으로 설정하였음.
- 막여과 공정의 경우 6개 계열로 구성되어 있으며, 1개 계열 문제 발생 시 까지는 계획 유량대로 운전하고 2개 계열 문제 발생시는 800 ton/일로 생산유량 축소 운영함
- 오존주입기 문제 발생시, 오존주입공정을 생략하고, 오존접촉조를 지나 정상운전되며, 오존 주입기 수리 후 정상운전
- 활성탄 공정 문제 발생시는 문제가 생긴 계열 수 만큼 생산유량 축소 운영함
- UV 공정 문제 발생시에는 바이패스 배관을 통해 활성탄공정 처리수를 최종처리수로 배출함

▌자외선 소독 이후 수질에 대한 보장 대책

- 본 실증시설에서는 최종 공정으로 자외선 소독공정을 채택하였으며, 분산형 용수공급시스템에서는 소비자에게 용수를 공급하는 과정에서 모델링을 통해 최적의 염소

주입량을 결정하는 연구를 수행하였음

- 본 실증시설 설계시에 기본적인 사항에 대한 검토는 이루어졌으나 실제 수직형정수처리시설 구축후 실제 운영함에 있어 여러 가지 보완요구사항이 나올 수 있을 것으로 예상되며, 추후 해당사항들에 대한 피드백을 통해 완성도를 높일 예정임

(4) 기존 수평형 대비 수직형 정수처리시설 건설비 비교

▌ 기존 수평형 정수처리시설 건설비 대비 수직형 정수처리시설의 건설비를 비교하기 위해 아래와 같은 기준으로 각각의 비용을 추산하여 비교하는 방식을 사용하였음.

- 적용 공정 : 막-오존-활성탄-소독 공정 외 착수정 및 배출수 처리 시설 등 기반시설 일체
- 1,000톤/일급 수직형 정수처리 실증시설 원가조사 실시
- 1,000톤/일 규모에서 수직형과 수평형 정수장 공정관련 설비 설치비는 동일하다고 가정하고, 유사한 공정을 가진 실제 정수장의 건설비 중 토목/건축비에 해당하는 부분을 추산하여 비교함
- 10,000 ~ 30,000톤/일급 정수처리 시설에서 수직형의 경우 1세부에서 진행한 설계예가를 적용하고, 수평형의 경우 수직형에 포함된 공정 및 시설을 포함한 각각의 비용을 추산하여 비교

▌ 건설비 비교는 본 과제에서 구축한 1,000톤/일급 건설비를 추산하여 1차 비교하였고, 1세부에서 제시한 수직형 정수처리시설 10,000~30,000톤/일급 건설시 예상되는 설계예정가를 바탕으로 해당 규모의 수평형 정수처리시설 건설비를 추산하기 위해 아래와 같은 자료를 참고하여 비교하였음

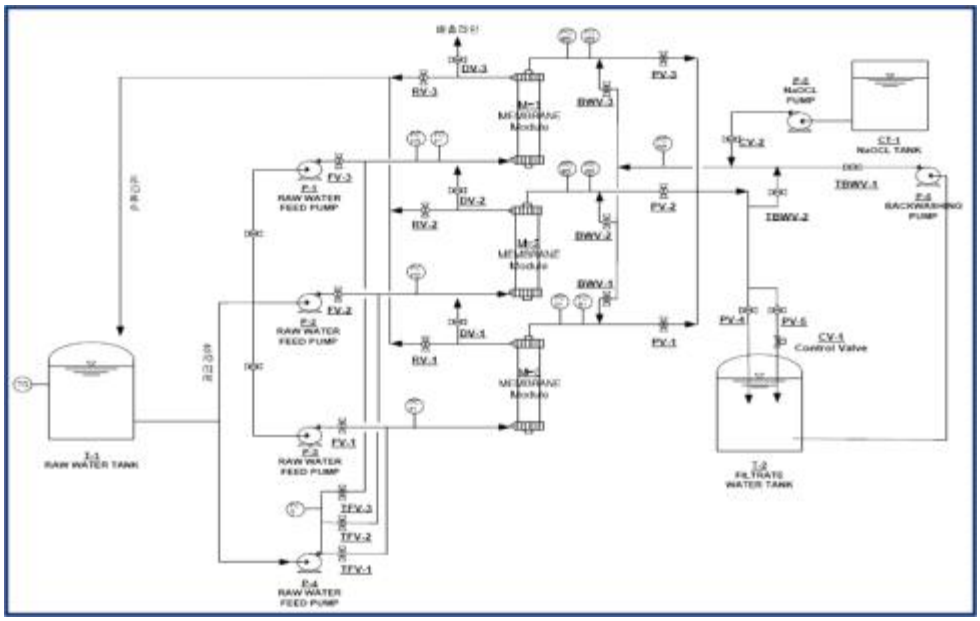
- 정수장 표준 공정 중 침전/여과지 제외
  (착수정 및 배출수 처리 시설 등 기반시설 포함)
- 막여과 공정은 용량별 엔지니어링 단가 조사 참고
- 고도처리 공정 (오존/활성탄 공정)은 과거에 실제 준공된 정수장 건설비를 참고

나. 수직형 정수처리 시설 적용기술

(1) Lab-Scale 테스트 장치 제작

▌Lab-scale 설비 개요

- 원수 공급량(막여과수) : 300L/일(일최대 600L/일)
- Lab-scale 설비 크기 : 1.3m (L) x 0.7m (W) x 1.8m (H)
- 설치위치 : 이동형으로 실험실내 위치



▌그림 2.54 자동화 lab-scale P&ID ▌

- Lab-scale 설비 : 다음과 같이 알루미늄 프레임으로 골격을 이루고 있으며 하단부에 처리수 및 역세용 펌프가 구성되어 있음

▌그림 2.55 자동화 lab-scale 장치 전경 ▌

▌ 공정 구성 변경 및 추가 고려사항

- 일반 운전과 탱크리스 역세공정을 모두 가능하게 하기 위해 15개의 공정 step을 두고 각 step 마다 사용자가 임으로 밸브 및 펌프를 세팅할 수 있도록 설정
- 여과 중 역세를 위한 개도밸브 가동의 경우 세팅시간이 걸리기 때문에 추가 처리수 라인을 두어 개도밸브 조절 시간을 최소화 함
- cross-flow 운전을 위한 구성 추가 : 초기 dead-end를 고려한 탱크리스 역세공정으로 cross-flow 운전을 고려하지 않았다가 분리막 평가에 있어 운전모드에 의한 영향을 최소화하기 위해 추가함
- 유량계 변경 : lab 장치의 경우 유량이 적어 유량계 선정에 어려움이 있음. 유량계의 경우 용량이 작을수록 정확도가 높지만 유량계 내 배관이 작아 유량계 자체만으로도 큰 부하가 생김

▌ Lab-scale 설비 : 유량계 및 압력계의 스케일 값을 조절하여 오차를 보정할 수 있음. 펌프의 경우 신호주기 및 변동폭을 조절하여 펌프의 안정성을 확보 할 수 있음

(2) Pilot 장치 제작

▌ Pilot 장치 개요

- 수직형 막여과 정수처리 공정을 테스트하기 위한 목적으로 수직형 막여과 정수처리 파일럿을 설계하여 시흥정수장에 설치하였음.
- 초기에 설계에서는 실증시설 최적 막모듈 선정 및 모듈별 공정평가를 최단시간에 진행하기 위해 단순히 각 모듈별로 개별 시스템을 구성하여 3계열로 파일럿을 설계하였으나, 3차에 걸친 설계 변경을 통해 새로이 제시된 탱크리스 공정을 위한 역세공정 테스트까지 가능하도록 제작되었음

▌표 2.35 수직형 정수처리 파일럿 설계변경 내용▐

구분		파일럿 구조	실험계획	비고
1	기본 설계(안)	1층 평면 구조 (모듈 비교테스트)	• 막 선정을 위한 2~3사 가압식 막 모듈 비교테스트 (Toray, Asahi, Kolon)	-기본 설계(안) 도출 -파일럿 제작용 재료 구매 (펌프, 계측기, 밸브류)
2	설계 수정	1층 평면 구조 (Crossflow모드추가)	• Crossflow운전모드 비교테스트 추가 - Asahi Kasei 막모듈 운전방식 참고 - 배관 및 설비 스펙 수정	-수지정수장 설치 추진/협의
3	2차 설계 수정	3층 복층 구조 (수직형 정수처리 구조 적용)	• 수직형 정수처리 형태 적용 - 복층구조 적용 - 각층 분리 가능 및 파일럿 구조 유동성 제고 (펌프실 위치 및 높이)	-수지정수장 내 설치 추진 실패 -시흥정수장 설치 추진 (K-water)
4	3차 설계 수정	2층 복층 구조 (컴팩트 구성)	• 공정 컴팩트화 및 배출수 최소화 실험 - 시설물 최소화 : 역세탱크 배제, 역세 공정 테스트 - 배출수 최소화 : 효율적 역세유량 조절 테스트	-시흥정수장 협의 -실증시설에 역세탱크 배제 적용협의

▌Pilot 장치 기본설계 안

- 실증시설 적용 막선정을 위한 막모듈 비교테스트 설비 설계
- 일반적인 Dead-end 방식의 가압식 막여과 공정을 수평구조로 배열함
- 3가지 가압식 막모듈을 동일 조건에서 테스트 할 수 있도록 3계열 시스템 설계
- 각 시스템에서 장착되는 막모듈 설치부는 다양한 모듈을 테스트 할 수 있도록 연결 배관을 유동적으로 설계
- 1차적으로 Toray, Asahi KASEI의 외산 막모듈 2종과 Kolon의 국산 막모듈 1종을 선정하여 테스트하고자 함

▌1차 설계 변경안

- Asahi KASEI사의 막모듈의 경우, 고탁도 원수 사용시 Crossflow 모드의 공정을 기본공정으로 제시하고 있음

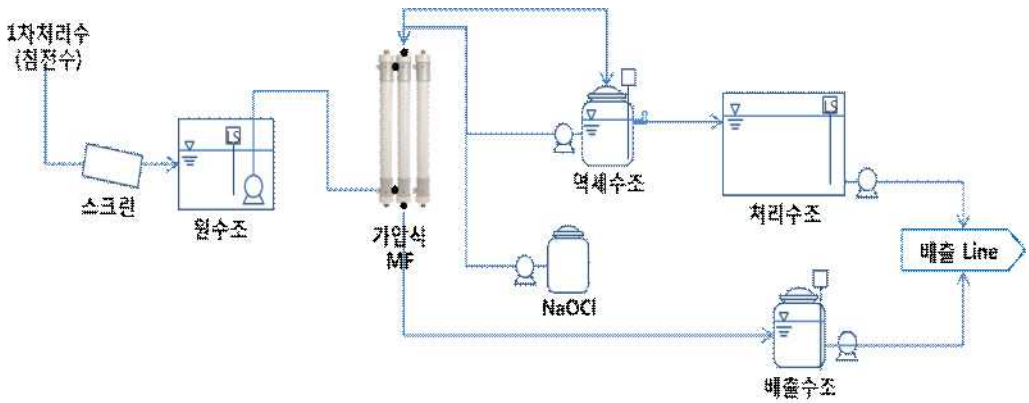
- 또한 다른 막모듈의 경우 원수 유입이 모듈 옆면을 통해 들어오는 반면, 원수 유입이 모듈 하부에서 이루어짐
- 모든 모듈을 동일 조건에서 각각의 제안공정을 테스트하기 위한 배관 및 밸브 구성

▌2차 설계 변경안

- 복층구조 컨테이너를 활용한 수직형 분리막 정수처리 구조 적용
- 수직형 막여과 정수처리 구조에 대한 문제점 파악
- 각 층별 분리가 가능토록 구성 및 위치변경 가능케 하여 파일럿 구조 유동성 제고
- 추후 펌프실 위치에 따른 에너지 비용 비교 테스트 가능

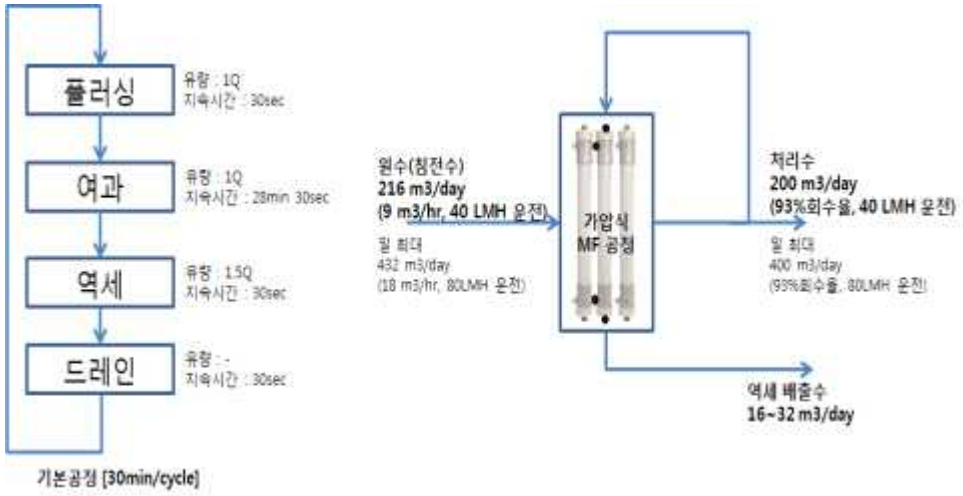
▌3차 설계 변경안

- 시설 컴팩트화를 고려한 효율적인 설비 배치로 기존 3층구조에서 2층구조로 변경
- 1세부 실증시설 공정으로 제안된 Tankless 시스템을 위한 탱크리스 역세공정 테스트 설계 적용
- 효율적 역세유량 제어를 통한 배출수 최소화 테스트를 위한 파일럿 공정제어 로직 및 시스템 보완



▌그림 2.56 수직형 정수처리 파일럿 흐름도▐

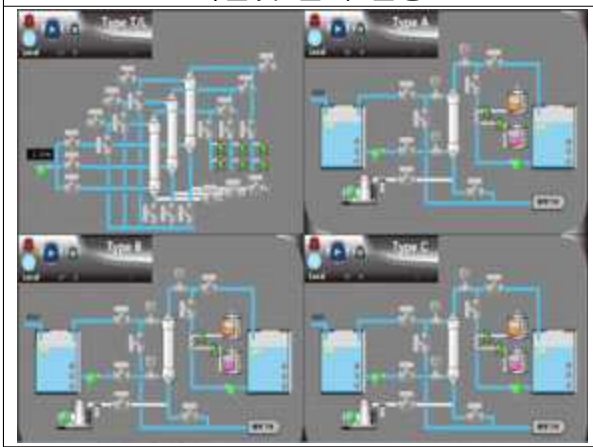
- 원수 공급량(막여과수) : 220 m^3/일 (생산수/배출수: 시흥정수장배출수지)
  (일최대 450 m^3/day)
- 파일럿(컨테이너) 크기: 8m (L) x 5m (W) x 6m (H)
  (2 층 컨테이너 구조물)
- 전기: 3상 380V, 50 kw 주 전원
- 설치위치: 시흥정수장 막여과 동 건물 왼편 외부 공터



▌그림 2.57 수직형 정수처리 파일럿 물질수지▐

< 파일럿 설치 전경>

<막모듈 설치부 (2층)>

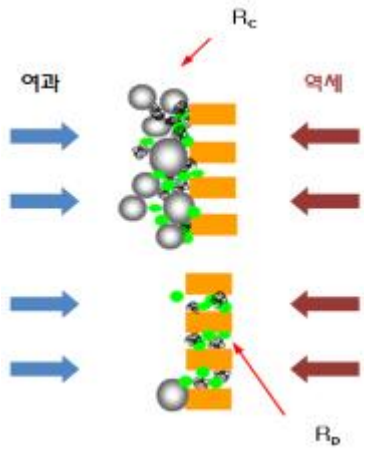


< 모니터링 화면>

<유입펌프 및 수조 (1층)>

▌그림 2.58 수직형 정수처리 파일럿 설치 전경▐

▌분리막 막오염에서 막오염의 구분



【막오염의 구분】

- R_m : 초기 분리막에 의한 여과저항
- R_C : 분리막 표면의 막오염 물질에 의한 여과저항
- R_P : 분리막 공극내 막힘에 의해 발생하는 여과저항
- 여과시 RC는 여과저항에 큰 영향을 주지만 역세시에는 원수유입 반대측에 위치함으로써 여과저항에 대한 영향이 미미함.

▪ 여과공정 : 분리막의 투과플럭스(J)는 아래와 같음

$$J = \frac{\triangle P}{\mu(R_m + R_p + R_c)}$$

▪ 역세공정 : 분리막의 투과플럭스(J′)는 아래와 같음

$$J' = \frac{\triangle P'}{\mu(R'_m + R'_p + R'_c)}$$

▪ 가정 : 여과 및 역세 운전 중 발생하는 분리막 초기 여과저항 및 공극막힘에 의한 여과저항의 값은 같음.

$$R_m = R'_m$$
$$R_p = R'_p$$

▌막여과 운전 중 막오염 fraction을 통한 분석

▪ 운전 중 막오염 fraction이 가능함.

▪ 원수 및 분리막의 특성이 막오염에 어떻게 영향을 주는지 확인가능

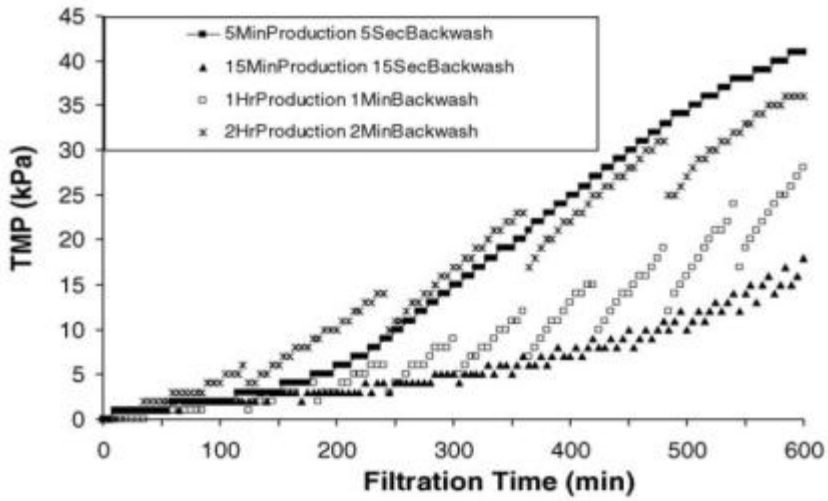
▪ 분리막의 화학세정 및 교체를 발생시키는 비가역적 막오염에 대하여 표면 및 내부여과저항의 분포를 확인함으로써 효과적인 운전이 가능할 것으로 판단

$$R_p = \frac{\triangle P'}{\mu J'} - R_m$$

$$R_c = \frac{\triangle P}{\mu J} - (R_m + R_p)$$

▌막여과 운전 최적화 방법론

- 고정된 여과:역세비(60:1)에서 최적 운전 조건 및 분석
- 아래 그림과 같이 고정된 여과 : 역세비에서 서로 다른 운전조건을 통하여 가장 효율적인 운전조건을 선택함.
- 선행논문을 통하여 역세시 제거 가능한 여과저항을 확인할 수 있었으며 이를 기반으로 파일럿 장치에 적용.
- 선행논문과 달리 실제 원수를 사용하며 실규모 모듈을 이용하기 때문에 다른 결과가 나올 것으로 판단됨.



▌그림 2.59 막여과 공정 운전 조건에 따른 TMP 상승 추이▐

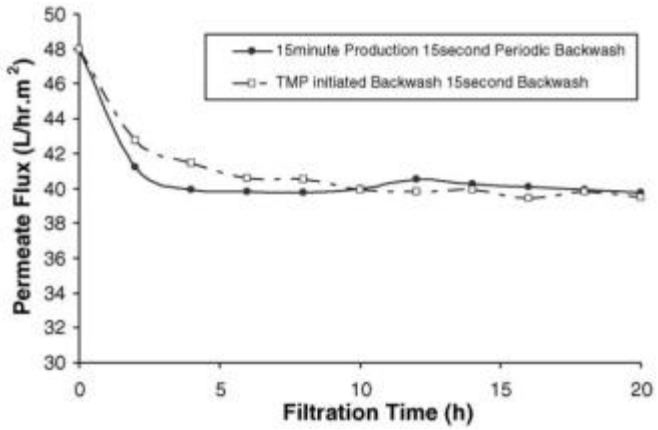
- 또한, 제막사에서 제공하는 운전방법에는 여과:역세비가 60:1 ~ 60:2로 서로 다르며 원수의 수질에 따라 운전시간을 다르게 권장하기도 함.

▌막여과 역세유량 최소화 방법론

- 선행논문의 경우 침지형으로 허용압력을 50kPa 두었을 때 물리적 역세로 효과적으로 제어되는 여과저항이 허용압력의 3%인 1.5kPa로 확인됨.
- 결국 1.5kPa내의 압력증가는 역세를 통해 효과적으로 제거되기 때문에 선행논문은

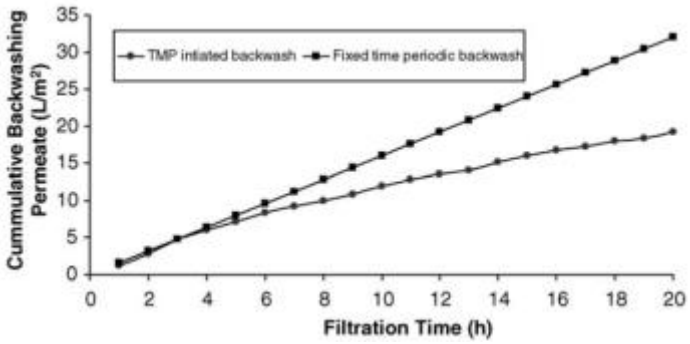
이를 지점으로 하여 역세를 적용하였으며 이때 TMP의 증가는 아래 그래프와 같음

- 15분 여과와 15초 역세의 주기적인 운전과 1.5kPa 증가시 15초 역세가 적용되는 운전비교는 아래 그래프와 같으며 초기 여과성능은 컨트롤 역세가 다소 빠르게 감소되지만 중후반부에는 동일한 성능을 보임



▌그림 2.60 조건별 초기운전 성능 비교▐

- 또한 이를 통해 역세를 통해 소비되는 처리수를 줄일 수 있으며 그 양은 아래 그래프와 같이 점진적으로 커짐



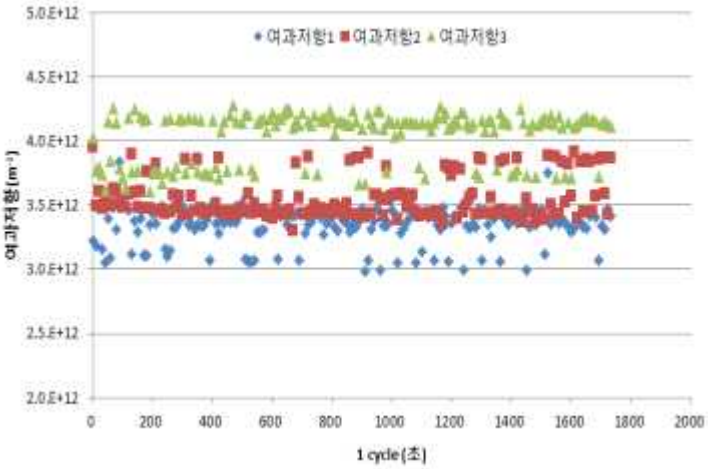
▌그림 2.61 조건별 역세유량▐

▌Lab 테스트 결과

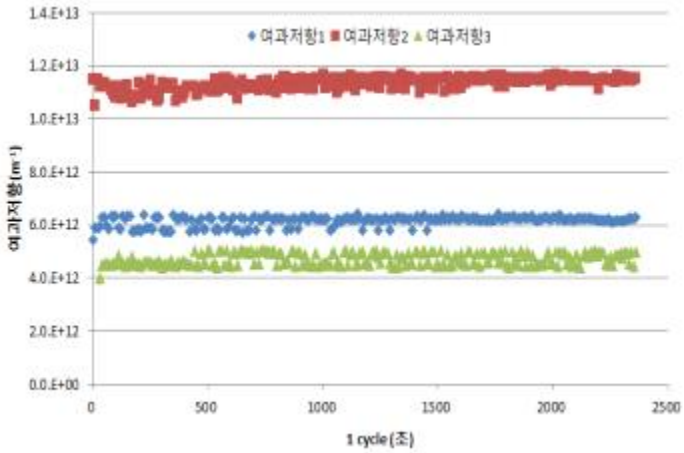
- 실험조건
  - 원수조건 : 휴믹 5 mg/L, 카올린 2 NTU
  - 운전모드 : 여과➡역세(30초)➡드레인➡충진
  - 운전변수 : 1계열(폭기), 2계열(역세), 3계열(폭기+역세)

➡ 단순 수역세 조건에서 막오염 구분을 위한 조건

- 3계열 여과초기저항은 4.04 × 1012(a)에서 1주일 뒤 4.66 × 1012(b)으로 상승 ➡ 분리막이 오염됨
- 3계열 역세저항(a)은 30초 동안 5.1 × 1012 ➡ 4.5 × 1012 ➡ 4.3 × 1012로 감소
- 3계열 역세저항(b)은 30초 동안 6.0 × 1012 ➡ 5.8 × 1012 ➡ 4.9 × 1012로 감소



(a) 초기 1 cycle 운전



(b) 1주일 뒤 1 cycle 운전

▌그림 2.62 Lab 테스트 결과▐

- 여과초기저항과 역세후반 여과저항과의 비율 변화가 비슷한 것으로 보아 분리막 표면 부착 막오염 중요하지 않음. 즉, 분리막 내부오염과 관계있음
- 하지만 역세공정 시 여과저항이 낮아지는 것으로 보아 막오염 물질의 제어가 이루어지는 것으로 판단됨
- 나머지 계열도 비슷한 경향을 보임 ➡ 카올린 농도를 높여서 확인 후 CEB 적용 평가

▌분리막에 대한 막오염 구분 및 모니터링

- 주기적인 역세공정을 통하여 막오염 물질이 제거되며 제거된 후 남을 물질의 경우 **분리막 표면에 부착**되어 있거나 **공극내부에 막힘/부착**의 형태로 존재함.
- 분리막 표면에 부착 ➡ 입자성 물질과 관련이 큼 ➡ 원수의 탁도와 관련 ➡ **막오염 제어를 위해 폭기 또는 플러싱 강도와 관련**
- 공극내부 막힘/부착 ➡ 콜로이드성/용존유기물 물질과 관련 ➡ **막오염 제어를 위해 역세 강도 또는 CEB 적용과 관련**
- 랩 실험에서 입자성 물질은 카올린 용존유기물은 휴믹 사용
- 여과 초기여과저항이 역세 후반여과저항보다 큼
  ➡ 분리막 표면에 부착된 막오염이 중요
- 여과 초기여과저항이 역세 후반여과저항과 차이가 없음
  ➡ 공극내부 막힘/부착된 막오염이 중요
- 여과플럭스 ➡ $J = \frac{\triangle P}{\mu(R_m + R_p + R_c)}$
- 역세플럭스 ➡ $J' = \frac{\triangle P'}{\mu(R'_m + R'_p + R'_c)}$
- 역세후반과 여과초기 ➡ $R_m = R'_m \qquad R_p = R'_p \qquad R'_c \approx 0$

다. 막역세배출수 처리시설 선정 및 평가

(1) 막역세배출수 처리 기본계획

▌일반적인 수처리 공정에서의 배출수 처리에는 침전법을 활용한 농축 및 탈수기를 통한 건조방법이 많이 쓰이고 있으나, 최근 도입되고 있는 막여과 공정의 역세배출수는 다음 두 가지 이유로 배출수를 처리하는데 어려움이 있으며, 각각의 이슈에 따른 대책을 아래와 같이 계획하였음

① 막여과 배출수 대량 발생으로 인한 대용량 공정 필요

- 일반적인 UF 막여과 공정의 회수율은 약 92~95%로 유입원수의 5~8%에 해당하는 용량의 배출수 처리공정 필요하여 많은 부지가 필요함
- 역세배출수의 TSS가 보통 100mg/L 미만으로 탈수기를 통한 건조방법을 사용하기

에는 지나치게 높은 에너지 비용 발생

☞ 역세배출수 최소화를 통한 배출수 처리시설 요구용량 저감

※ 막여과 공정 역세배출수 최소화 방안 연구 (위탁기관)

② 막여과 배출수의 침전 특성 불량

- 특히 장마철 고탁도 시기의 막여과 배출수는 침전 특성이 매우 불량함을 아래 와 같이 확인하였음
- 이러한 특성의 배출수를 침전법을 활용한 처리 공정은 매우 비효율적임

☞ 막여과 공정을 활용한 역세배출수 농축공정 선정

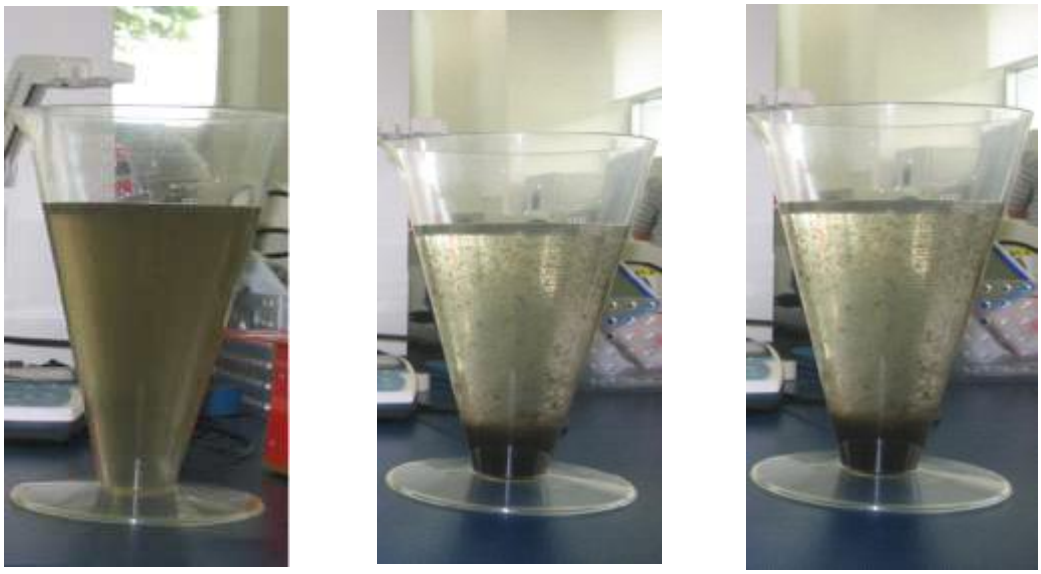
▌그림 2.63 공주정수장 배출수 침전관 실험 (2011.07, 장마철 고탁도 시기)▐

(2) 막역세배출수 성상

▌ 본 연구에서는 막역세 배출수 처리공정 선정을 위해 실규모 막 여과 공정 정수장을 대상으로 막 역세척수의 물리.화학적 특성을 조사하고자 하였음

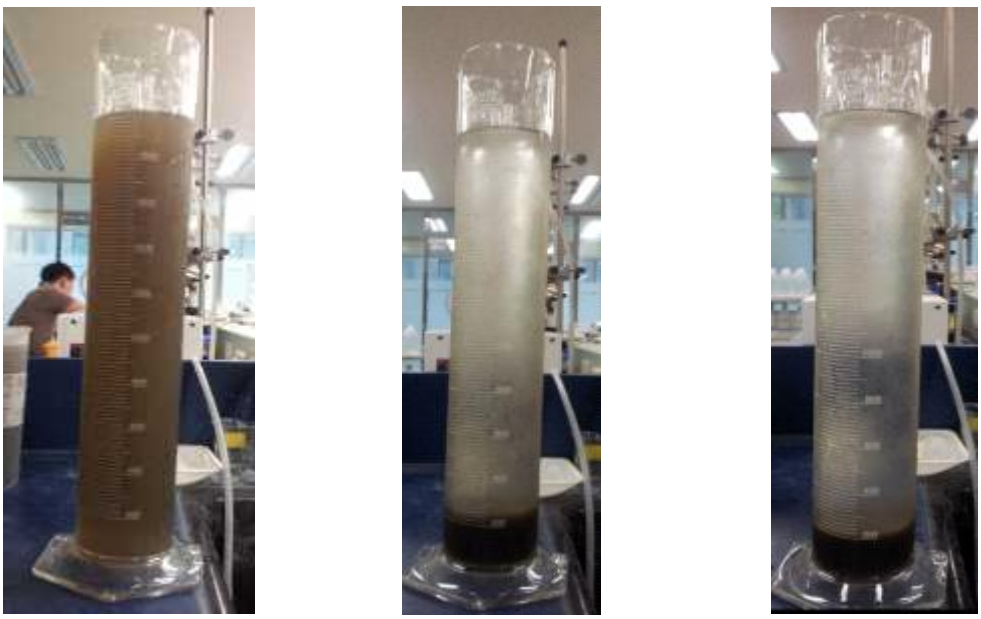
- 앞서 확인된 막 역세척수의 낮은 침강성은 모래여과 역세척수와 비교해 보았을 때, 더욱 확연히 확인할 수 있었음.
- 같은 원수를 사용하고 있는 G_정수장의 막 역세척수와 S_정수장의 모래여과 역세척수를 채취하여 시간대 별 침강특성을 육안 관측

- 실험 시 원수의 탁도는 동일하게 3.5 NTU이었으며, 전단 응집공정에서 응집제 주입량은 G_정수장의 경우에는 Al_2O_3가 11%인 알루미늄계 응집제(APAC) 14 mg/L로 주입하고 있었으며, S_정수장의 경우에는 Al_2O_3가 12%인 PAC 12 mg/L를 주입하고 있었음
- 실험 시 채취된 막 역세척수의 탁도는 42 NTU였으며, 모래여과 역세척수의 탁도는 100NTU가 넘었음



(a) 초기 (b) 15분후 (c)30분후

▌그림 2.64 막역세 배출수 침강성 관찰 (G-정수장)▐



(a) 초기 (b) 1분후 (c) 5분후

▌그림 2.65 모래여과 역세 배출수 침강성 관찰 (S-정수장)▐

▌위의 그림에서 확인할 수 있듯이 막 여과 역세척수의 경우 상대적으로 모래 여과 역세척수에 비해 침강성이 많이 떨어짐을 알 수 있었음

- 막 역세척수의 경우 30분마다 주기적으로 물리 역세를 수행함에 탁도는 모래 여과 역세척수에 비해 낮지만 30분이 지나도 가라앉지 않는 입자들이 육안으로 관측됨에 반해, 모래 여과 역세척수의 경우 5분 내로 대부분의 입자들이 침강하는 것이 관측되었음

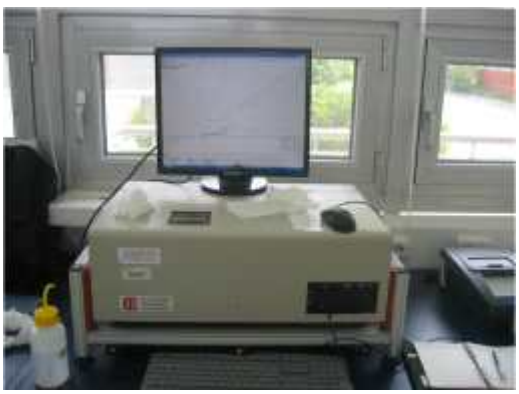
▌위에서 확인된 막역세척수와 모래여과 역세척수의 침강성 차이를 분석하기 위해 아래와 같은 방법을 사용해 분석해 보았음.

① 제타포텐셜 측정

▌분석장비 : Zeta PALS potential analyzer (Brrokhaven Instruments Corporation, USA)

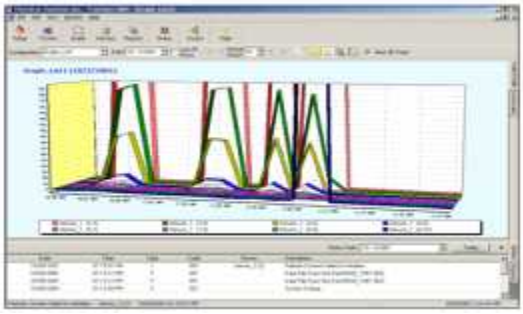
▌측정방법

- 제타포텐셜은 장비에 의해 측정된 mobility 값을 근거로 계산되는 데, 1 mobility unit은 전극간의 거리가 1cm, 가한 전압이 1 Volt 일 때, 1초 동안 입자가 1㎛를 이동하였을 때의 mobility를 의미함
- 전기 이동 mobility로부터 제타포텐셜을 구하는 공식은 다음과 같이 Smoluchoski에 의해 제안되었음
- $\mu_e = \frac{\epsilon}{\eta}\zeta$
  - μ_e : 전기 이동(electrophoretic) mobility ($m^2s^{-1}V^{-1}$)
  - ζ : 입자 표면의 제타포텐셜(Volt, V)
  - η : 액체의 동점성 계수(Pa·s)
  - ϵ : 액체의 유전도(dielectric permittivity)



▌그림 2.66 Zeta-potential Measurement Equipment (Zeta PALS potential analyzer)▌

② 입도분포 측정



▌그림 2.67 입자 계수기(particle counter) - Model PC 2400 PS(CHEMTRAC, USA)▐

▌ 분석장비 : 입자 계수기(particle counter), Model PC 2400 PS(CHEMTRAC, USA)

▌ 측정방법

- 유입된 액체 샘플에 있는 입자는 적외선 레이저를 통과하게 되고, 그에 의해 차단된 빛의 양은 입자의 크기에 비례함
- 입자의 개수와 크기는 전자적으로 측정되며, 데이터의 저장 및 그래프화가 가능함

③ 역세배출수 농축공정 선정

▌ 역세배출수 농축공정을 위한 막여과 공정의 후보군으로 아래에 나타낸 바와 같이 4가지 종류의 멤브레인을 검토하였음

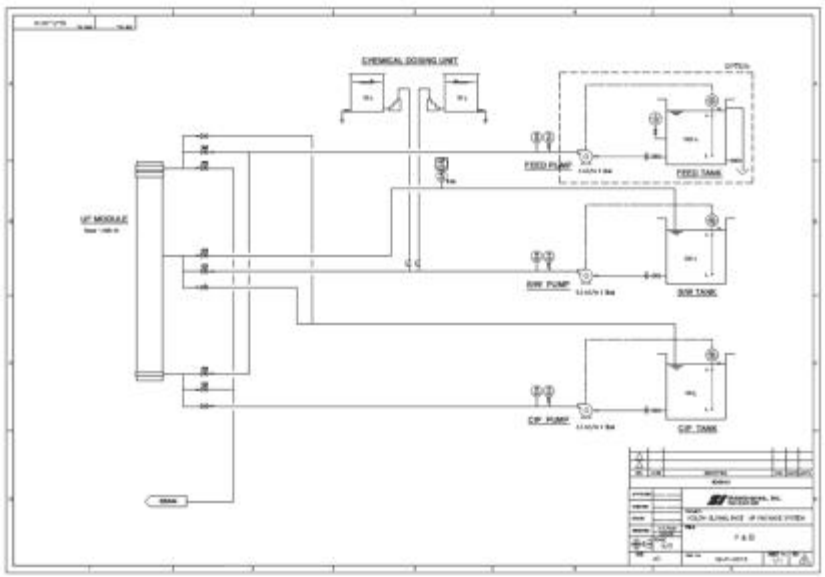
▌표 2.36 역세배출수 농축공정용 멤브레인 평가▐

구분		역세가능형 카트리지 필터	세라믹 막	튜블러 막	캐필러리형 내압막
그 림					
특 징		• 다공성 플라스틱 재질 • 역세가능, 소용량 공정에 유리	• 내구성, 내화학성 우수 • 매우 고가	• 농축특성이 매우 좋음 • 회수율이 매우 낮음	• 세라믹 막과 PVDF 막의 장점을 동시에 지님
평가항목	농축 효율	△	◎	◎	◎
	현장 적용성	×	△	△	◎
	경제성	○	×	○	○
※ 평가 (◎ : 매우좋음, ○ : 좋음, △ : 보통, × : 불량)					

- 역세가능형 카트리지 필터는 다공성 플라스틱 재질의 멤브레인으로서 공업폐수 처리에 적용된 사례가 있어 주목하였으나 소형 카트리지 제품으로 대형화가 어렵다는 단점이 있음
- 세라믹 막의 경우 내구성 및 내화학성이 매우 우수하여 역세를 통해 오염물질을 펠릿 형태로까지 농축할 수 있다는 장점이 있으나, 매우 고가이고 매우 무거운 재질로 유지관리가 어렵다는 단점이 있음
- 튜블러 막의 경우 회분식 공정을 활용하여 고효율의 농축이 가능하나 회수율이 낮아 설비가 매우 커질 수 있다는 단점이 있음
- 캐필러리형 내압막을 PVDF 재질로서 형태는 세라믹막과 유사한 형태이며, 중공사 형태에 비해 내구성이 매우 높다는 특징을 지님

▌위의 네가지 형태의 막에 대해 농축효율 및 현장적용성, 경제성을 평가한 결과 캐필러리형 내압막을 선정하였음

- 현재 상용되는 캐필러리형 내압막 중 한 제품은 독일에서 정수처리 공정에 상용되고 있었으며, 해당 회사와 기술협의를 진행하여 파일럿 제작 계획을 도출하였음



▌그림 2.68 막역세배출수 처리 파일럿 P&ID ▐

라. 기존 광역상수도와 연계한 분산형 용수공급시스템 구축

(1) 도/송/배/급수시스템 진단 및 평가 목적

▌ 송수 및 급/배수 시스템을 포함한 상수도 시스템의 주요 기능은 수돗물을 최종 수요처 가지 위생적이고 안전/안정적인 상태로 수송해야 하는 것임. 그러나, 관로의 노후화로 인한 누수나 파손, 부식 등에 의한 통수능력의 감소와 수질의 악화 등에 대한 위험이 상존함.

- 특히 관로의 내부는 수송능력 측면에서 보면 초기에는 순조롭지만, 시간이 경과함에 따라 녹(rust)이나 내부 부식으로 거칠어지고 통수단면적이 감소하게 됨.
- 관로의 노후화 및 부식 등에 대한 상태는 지역적 특성이 강하여 수리 및 수질 특성 그리고 관종 등에 따라 다양하므로 관종(재질)별, 지역특성별로 정확한 부식 및 노후상태를 파악하고 예측할 수 있는 방안에 대해 검토하여 효율적인 관료 개량 시기와 잔존관의 수명의 예측이 필요함.

▌ 기존 광역용수공급시스템 및 급/배수시스템과 수직형 정수처리 시설을 연계하기 위해서는 기존 관로의 노후상태 등에 대한 전반적인 평가가 필요함.

- 수직형 정수처리 시설이 도입된 분산형 용수공급 시스템이 도입되고자 할 경우, 기존 상수도 시스템의 연계를 위한 방안을 마련하고 효율적인 운영을 위해 기존의 관망에 대한 진단, 노후도 정도, 관로의 신설 또는 용수공급구역의 통•폐합, 물 수요량 예측에 의한 관로의 확장 검토, 상수 소비 패턴의 예측 기법들에 대한 전반적인 조사가 필요함.

(2) 기존 광역상수도 용수공급시스템의 비상용수 공급능력 평가

① 모델링 대상 지역현황

▌ 금회 연구를 위한 대상지역은 행정중심복합도시(이하, H도시)인 세종시로써 다음 표에 나타낸 바와 같이 평균 일일 용수공급량 기준으로 200,000m3 규모의 신도시임.

▌표 2.37 H도시 용수공급 현황 ▐

항목	단위	값
계획인구 (2030년 기준)	천인	500,000
단위급수량	lpcd	400 (상수도보급율 100%)
계획 용수수요량	천m3/d	200,000
블록(Block) 및 배수지	개	5 / 5
면적	km2	72.908

출처) 행정중심복합도시 용수공급시설 기본 및 실시설계 보고서, 대전광역시 상수도사업본부, 2008.04

출처) 행정중심복합도시 용수공급시설 기본 및 실시설계 보고서, 대전광역시 상수도사업본부, 2008.04

▌그림 2.69 H도시 조성 계획 및 용수공급 계획▐

▪ H도시 조성계획상 용수공급 방안은 다음 표에 나타낸 바와 같이 1,2단계 분리공급하는 것으로 계획되어 있으며, 1단계에서는 인근 W정수장에서 일일 60,000m3을 공급하며, 2단계에서는 S 정수장에서 일일 140,000m3 을 공급하는 것으로 계획되어 있음.

▌표 2.38 H도시 단계별 용수공급방안▐

항목	1단계 (2008 ~ 2010)	2단계 (2010 ~ 2015)
공급방법	1,2단계 분리공급	
공급정수장	W	S
용수공급량	60,000 m3/일	140,000 m3/일
송수관로	D = 800mm, L = 10.5km	D = 1,350mm, L = 12.5km
가압펌프장	1개소	1개소

출처) 행정중심복합도시 용수공급시설 기본 및 실시설계 보고서, 대전광역시 상수도사업본부, 2008.04

② 연계운영 모델링 목적

▌H도시는 총 5개의 블록으로 구성된 상수관망으로 계획되어 있으며, 각각의 블록은 외곽의 간선관로를 통하여 블록에 설치된 배수지로 용수가 공급되는 구조로 계획되어 있음.

▌상수관망에 연결된 배수지는 해당 블록에 용수를 공급하는 유일한 수원으로써 배수지가 기능을 상실하거나, 블록내의 상수관이 파괴, 공사 및 기타 불가항력적 사고 등으로 인하여 연결이 단절되는 경우 해당 블록의 용수공급능력을 상실하게 됨.

▌금회 연구에서는 각각의 블록에 대하여 개별 상수관망 별 단수를 가정하여, 어느 상수관이 용수공급에 영향을 많이 미치는지에 대하여 분석하고 블록간의 연계를 통해 가능한 일일 용수 공급의 변화를 다음과 같이 검토하였음.

- 블록간 연계 조건 없는 경우 관 파괴시 용수공급능력 평가
- 블록간 연계 조건에 따른 용수공급능력 평가
- 블록간 연계를 위한 연계블록 개수 평가
- 수직형 용수공급 처리시설 설치에 따른 용수공급능력 평가

③ 블록간 연계운영 검토를 위한 모델링 조건

▌H도시의 상수관망 계통도는 다음 표와 그림에 나타낸 바와 같으며, 정션(Junction,

Node) 734개 및 파이프(Pipe) 1008개로 구성되어 있다. 그림의 상수관망 계통도는 H도시 기본설계 자료를 토대로 하여 구성하였으며, 연구목적에 따라 일부 파이프의 관경을 조절하였으며, Junction의 고도(elevation) 자료는 전국 DEM(Digital Elevation Models) 자료를 토대로 하여 가장 근접한 값을 적용하였음.

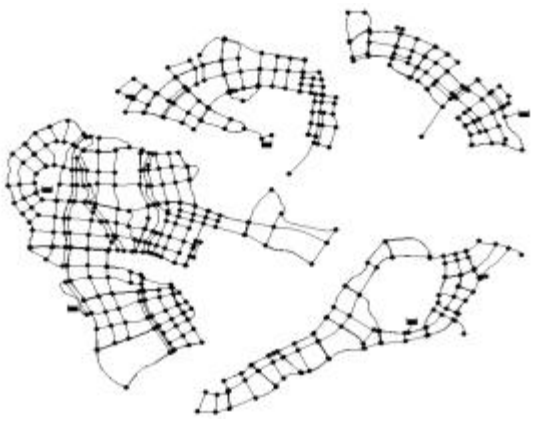
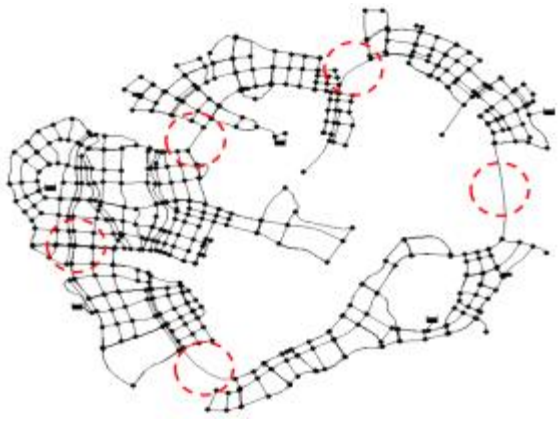
▌표 2.39 H도시 상수관망 현황▐

항목	단위	값
Number of Junctions	개소	734
Number of Tanks	개	5
Number of Pipes	개	1008
Number of Pumps	개	5

주) Pump : 가압펌프

▌ 검토 대상인 H도시의 경우 블록 간에 상수관이 연결되어 있지 않은 구조이며, 주요 상수관망 단절시 블록 간 용수공급을 위한 상수관망을 다음 그림과 같이 구성하였으며, 블록 간 연계를 위한 연결조건은 다음과 같음.

· 블록간 연계는 가장 가까운 거리의 노드를 연결
· 블록간 연계는 가능한 관경이 큰 관끼리 연결
· 용수공급을 위한 링(Ring)형 상수관으로 구성되어 있으므로 가능한 간선관에 의한 연결 (블록간 연결관의 관경은 약 250 ~ 350mm 적용)

기존 관망	수정 관망 (블록연계 후) : 붉은 원내
	

▌그림 2.70 H도시 상수관망 및 블록연계방안▐

▌ 기본 물수요량(Base water demand)은 다음 표에 나타난 바와 같이 일일 200,592m3로써 H도시 조성계획 지표와 동일한 수준으로 적용하였음.

▌표 2.40 H도시 기본 물수요량 ▐

블록	기본 물수요량(m3/h)	비고
1	2,100	
2	1,600	
3,4	2,000	단일 블록
5	655	
6	2,000	
합계	8,358	m3/h
	200,592	m3/d

주) H도시 조성계획 일일 용수공급량 : 200,000m3/d

▌ 블록간 연계를 위한 조건 설정시 비상시 용수공급 능력 기준은 재난방지에 관련한 조례를 기준으로 적용하였음. 즉, 개발 상수관 단절시 용수 공급율이 70%가 되지 않을 때의 상수관망을 검색하였음.

▌표 2.41 단수시 용수공급 기준▐

응급조치에 일시 사용할 장비 및 인력의 지정관리 기준(재난 및 안전관리기본법 시행령, 제43조의 2 관련 , 2010.12.29개정) → 정수장의 경우 1일 식용수 공급량의 70% 이상 공급능력 유지

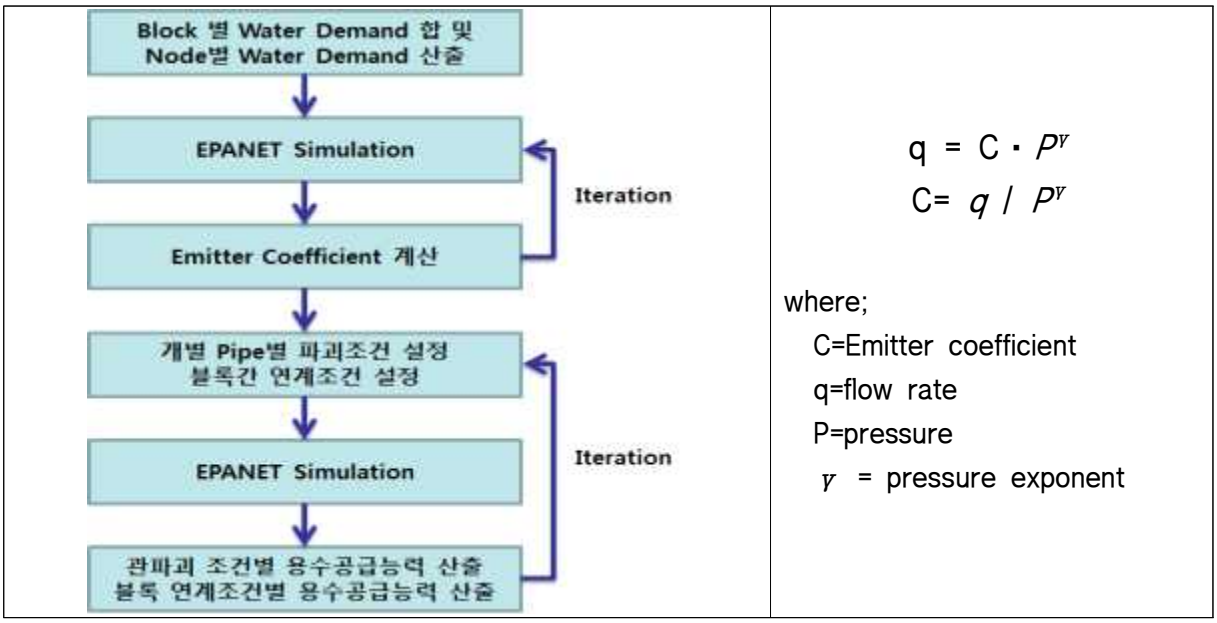
▌ 모델링 조건은 다음과 같이 미국 환경청의 EPANET2(이하 EPANET)를 이용하여 수리모델링을 수행하였으며, 블록간 연계를 위한 가상의 밸브를 Open/Close 하여 블록연계를 수행하였음.

- 블록연계가 되지 않은 상태로 각 관망을 Close하면서 상태변화를 저장
- 인접한 블록에 연결한 상태에서 각 관망을 Close하면서 상태변화를 저장
- 인접한 블록 모두를 연결한 상태에서 각 관망을 Close하면서 상태변화를 저장
- 만약 관망이 Close 됨으로써 물이 공급되지 않는 Node가 발견되면 수요량과 Emitter를 0으로 설정하고 분석

▌ 상수관망 단절시 용수공급능력 평가를 위하여 EPANET에 의한 상수관망해석을 실행하여 각 블록별 수요량 합산 값과, 절점별 물수요량를 산출하였으며, 상수관망 단절시 기본 물수요량의 변화는 없는 것으로 가정.

▌ EPANET에 의한 상수관망 수리해석을 통해 도출된 결과 중 수요량, 압력을 이용하여

각 절점의 Emitter값을 다음과 같은 방법을 이용하여 산출하였음.



출처) EPANET 2 USERS MANUAL(page26), US EPA September 2000

▌그림 2.71 상수관망의 중요도 분석 절차 및 Emitter Coefficient 산출식 ▐

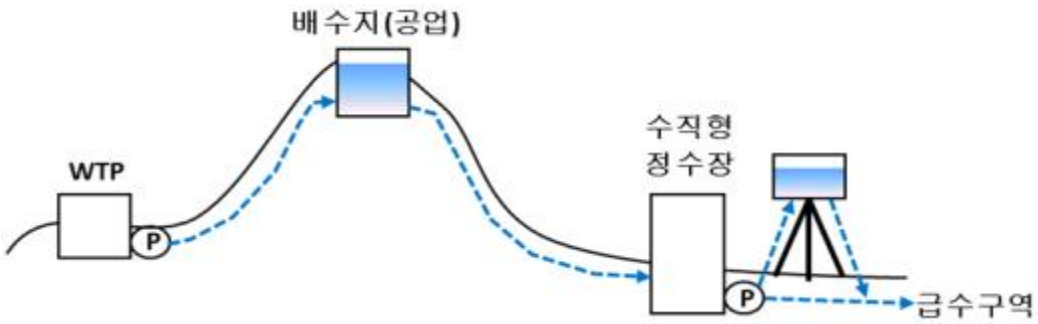
▌ 상기 식을 이용하여 각 절점별로 나온 Emitter 값을 입력하고 절점의 물수요는 0으로 설하고, 블록내의 상수관을 하나씩 상태를 Close 상태로 변경하면서 관망해석 수행. 기본상태의 물수요 합계와 관망이 단절된 상태의 물공급 합계의 비율을 계산하였으며, 비율이 낮을수록 파괴되었을 때 영향이 큰 관으로 가정

▌ 인접한 블록과의 연결관의 상태를 개방(Open)으로 설정하여 물 공급을 인접한 블록에서 제공 받았을 경우의 상태로 수리모델링을 실행하였음. 이 때 인접한 블록의 상태의 변화는 없는 것으로 가정하였음. 상수관망이 1008개, 노드가 734개 이므로 수작업에 의한 분석은 곤란하므로 EPANET 반복계산을 수행 할 수 있는 배치(Batch) 프로그램을 이용하여 수리모델링 수행.

(3) 분산형 용수공급시스템 맞춤형 급수방식 제안

▌ 분산형 용수공급시스템은 다음 그림에 나타낸 바와 같이 도시지역 내 수직형 정수처리시설을 건설하여 생산된 수돗물을 최단 경로로 공급하는 용수공급시스템임.

▌ 또한, 도시지역 내 블록단위로 수직형 정수처리시설을 건설함으로써 수도사고 발생시 위험 분산효과를 기대할 수 있음. 수직형 정수처리시설은 일일 2~3만톤 규모의 소규모 정수처리시설로 멤브레인(Membrane) 시스템을 이용한 정수처리공정 등을 도입함으로써, 응집침전 및 여과에 의존하는 기존 정수처리시스템에 비하여 높은 수준의 수질을 확보 할 수 있는 점이 특징임.

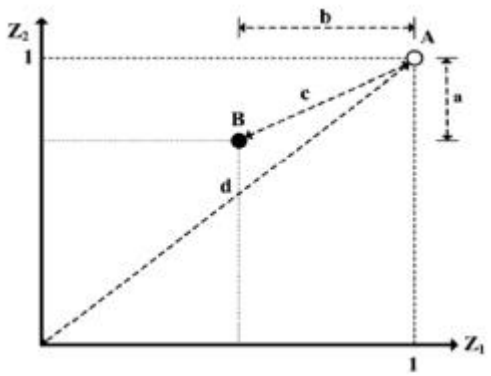


▌그림 2.72 HWSS(Hybrid Water Supply System) 개요 ▐

▌ 배수지에 의한 용수공급을 하는 경우 배수지 체류시간이 10~20시간인 점을 고려할 때 수돗물 최단 기간 공급이라는 측면에서 불리함. 반면, 멤브레인 시스템을 주로 이용하는 수직형 정수처리시설은 배수지에 의한 수두차를 이용한 용수공급 대신, 펌프에 의한 수돗물 직접 공급 시스템을 적용하고 있어 체류시간이 짧고 수질열화 가능성이 낮음. 반면, 펌핑(pumping) 에너지를 이용한 멤브레인 시스템의 경우 공정 특성상 단일 처리시설에서 생산 가능한 가변 운전범위가 기준용량 대비 상하 10~30%인 점을 감안할 때, 변화하는 물수요에 대응하기 어려움(일일 물수요 변동율은 통상 0.5~1.4 범위로 크게 변화함).

(4) 수직형 정수처리시설 최적 설치 위치 결정방법론

▌ 거리척도방법(Distance Measure Method)은 수직형 정수처리시설 최적 설치를 제안하기 위해 이상적인 수리, 수질 해석 결과를 가지는 위치(Utopian point)와 특정 절점의 수리, 수질 해석 결과에 해당하는 위치간의 거리 차를 척도로 하여 특정 절점에 대한 평가를 정량적으로 나타낼 수 있는 방법임. 거리를 척도하는 방법으로는 이상점(Utopian point)과의 거리를 최소화하는 Utopian approach가 대표적인데, Utopian approach는 각각 의사결정자들이 선택한 대안점(Decision maker's preferred alternatives or point)과 이상점(Utopian point)과의 거리를 비교하여 가장 거리가 짧은 대안을 그룹의 합의안으로 채택하는 방법임(백천우, 2007).



▌그림 2.73 거리척도법 개념도 ▐

▌ 본 연구에서는 Z_1, Z_2를 수직형 정수처리시설에 따른 각 절점의 평균압력 변화폭과 Waterage로 채택하였으며 이상점과 대안점간의 거리를 계산하는 방법으로 식(1)~식(3) 중 일반적으로 가장 많이 쓰이는 거리척도 계산법인 Euclidean distance를 선정하여 최적 설치 위치를 결정하였음. 식 (1)인 Euclidean distance 방법은 이상점 A와 대안점 B간의 대각거리이며 식 (2)인 City distance는 도시 구역에서 이동 거리 특성을 수식으로 표현한 것임. 식 (3)인 Tchebychef distance는 A점과 B점의 좌표간의 최단 Vector 거리를 나타낸 것임.

$$Euclidean\,distance\ :\ C = \sqrt{(a^2 + b^2)} \quad (1)$$

$$City\,distance\ :\ C = a + b \quad (2)$$

$$Tchebychef\,distance\ :\ C = Min\,(a, b) \quad (3)$$

(5) 수직형 정수처리시설 직접급수 타당성 검토

▌ 배수지를 건설하지 않고 배수지 위치에 수직형 정수처리시설을 건설하고, 해당 블록 1개소에 추가로 수직형 정수처리시설을 건설하는 시나리오임. 배수지를 건설하지 않고 수직형 정수처리시설만을 이용하여 용수를 공급하는 경우에는 배수지 체류시간을 최소화함으로써, 수질열화를 억제할 수 있는 장점이 있는 반면, 배수지의 유량 완충 효과를 기대 할 수 없는 단점도 있음.

▌ 즉, H도시의 일일 물 수요량 변동은 0.397 ~ 1.000의 범위로 변하므로, 배수지를 건설하지 않고 수직형 정수처리시설만으로 용수공급을 수행하는 경우에는 일최대 물수요 변화

를 완충 할 수 있는 충분한 수직형 정수처리시설의 용량이 확보되어야 함. 수직형 정수처리시설에 의한 직접급수만으로는 HWSS에 비하여 약 80,646m3/일의 추가적인 수직형 정수처리 용량이 필요하며, 이는 HWSS 대비 약 68% 이상 증가하는 것으로써, 수직형 정수처리시설 만에 의한 직접급수는 건설 비용측면에서 불리한 것으로 나타났음.

(6) 행복도시 용수공급시스템 현황 및 체계

▌H도시는 2005년 국가 정책에 의해 행정중심 복합도시로써의 기능을 수행하고자 계획되어 건설된 도시로써 인구 50 만명 주거할 수 있는 계획도시임. 상수도 시설로 총 6개의 블록으로 구분되어 있으며 총 20만톤/일 계획급수량을 대전광역시 월평 정수장으로부터 6만톤/일 및 신탄진 정수장으로부터 14만톤/일 공급받는 것으로 계획되어 있음.

▌H도시는 전형적인 Loop 형태의 특성을 가진 상수관망으로 용수를 공급받도록 계획된 도시임. 배수관의 구경은 80mm ~ 700mm로 설치되어 있으며 도시외곽을 통해 도시 내 위치한 배수지로 용수를 공급받는 형태로 설계되었음. 이러한 형태는 신도시의 원활한 용수공급이 이루어질 수 있도록 계획된 것으로 각 블록이 서로 분리되어 있어 분산형 용수공급시스템을 구축하여 운영할 수 있는 최적의 조건을 가지고 있다고 판단됨.

▌표 2.42 H도시 용수공급 현황 ▐

항목	단위	값
계획인구 (2030년 기준)	천인	500,000
단위급수량	lpcd	400 (상수도보급율 100%)
계획 용수수요량	천m3/d	200,000
블록(Block) 및 배수지	개	5 / 5
면적	km2	72.908

▌표 2.43 H도시 단계별 용수공급방안 ▐

항목	1단계 (2008 ~ 2010)	2단계 (2010 ~ 2015)
공급방법	1,2단계 분리공급	
공급정수장	H 정수장	S 정수장
용수공급량	60,000 m3/일	140,000 m3/일
송수관로	D = 800mm, L = 10.5km	D = 1,350mm, L = 12.5km
가압펌프장	1개소	1개소

▌중압집중형 용수공급시스템은 국내 급수율 향상을 위한 방안으로 도입되어 현재까지 각 지방 자치단체 및 수도권 대형 정수장을 기반으로 운영되고 있음. H도시의 용수공급체계도 중앙 집중형 용수공급시스템으로 설계되었음.

▌중앙집중형 용수공급방식은 단일 수원으로부터 도수된 원수가 정수장에서 모래여과 또는 막여과를 통해 송수되어 배수지에서 저류된 후 각 소비자에게 공급되는 방식으로 전반적인 시스템의 운영과 유지관리 면에서 경제적으로 효율적임이 증명되어 왔음. 하지만 단일 수원이 기능이 손상될 경우 원천적인 용수공급이 불가능해 진다는 점과 정수장에서 각 가정으로 용수가 공급되는 과정에서 관로의 길이가 길어짐에 따라 예측되지 않은 오염에 노출될 우려가 큼(박노석, 2011).

▌따라서, 상수도 서비스의 주체가 소비자로 이동되는 현 시점에 과거 중앙집중형 용수공급방식의 틀을 벗어난 새로운 용수공급방식의 도입이 기대되고 있음.

▌그림 2.74 현 H도시 용수공급시스템 체계도 ▐

3. 분산형 용수공급시스템 운영유지관리 기술 (3세부)

▌ 연구단의 제 3세부로서 설계-건설-운영관리가 세부 과제간 유기적 협조로 이루어지는 협업연구체계(Collective Intelligence) 구축

- 1세부에서는 설계가 이루어 졌으며, 설계시에는 2세부의 건설과 3세부의 운영관리 및 에너지 전문가가 동시에 참여하는 협업연구가 이루어졌음.
- 3세부에서는 개발기술의 검증이 이루어 졌으며, 검증된 결과는 1세부의 설계, 2세부의 시공분야에 feedback 되어 실 규모(20,000㎥/일) 수직형 정수처리 플랜트 설계에 반영토록 하였음

▌ 3세부 과제에서는 에너지 효율화율 증진을 목적으로 저에너지 기술개발 및 신재생에너지 생산기술 개발이 추진되었으며, 수직형 정수처리플랜트의 효율적 운영관리를 위해 운영관리시스템의 핵심모듈이 개발되었음.

- 1차년도에 사례조사 및 전략수립을 통해 개발 기술을 분류하고 개발방법을 설정하고 추진계획 수립
- 2차년도에는 국내외 사례조사 및 요소기술이 개발
- 3차년도에는 청주정수장 내 1,000㎥/일 실증시설에 개발기술이 설치되고 시운전되었으며
- 4차년도에는 기술은 청주정수장에 설치된 수직형 정수처리 실증플랜트(1,000㎥/일)에서 약 1년 정도 운영하면서 최종적으로 검증되고 개선방안은 1세부 및 2세부의 분산형 용수공급시스템 설계 및 건설기술에 반영되었음.

구분	주요내용
1차년도	개념정립 및 전력수립
2차년도	국내외사례조사, 요소기술개발 및 실증시설
3차년도	요소기술 개발 및 실증시설설치(청주정수장 내 1,000㎥/일 실증시설)
4차년도	개발기술 검증(청주정수장 내 1,000㎥/일 실증시설) 및 개선

▌ 수직형 정수처리 실증플랜트는 처리공정의 효율성 측면에서 수리적 안정성, 수질적 안전성, 에너지 효율성, 운영관리시스템의 안정성에 대해 1년 동안 검증되었음

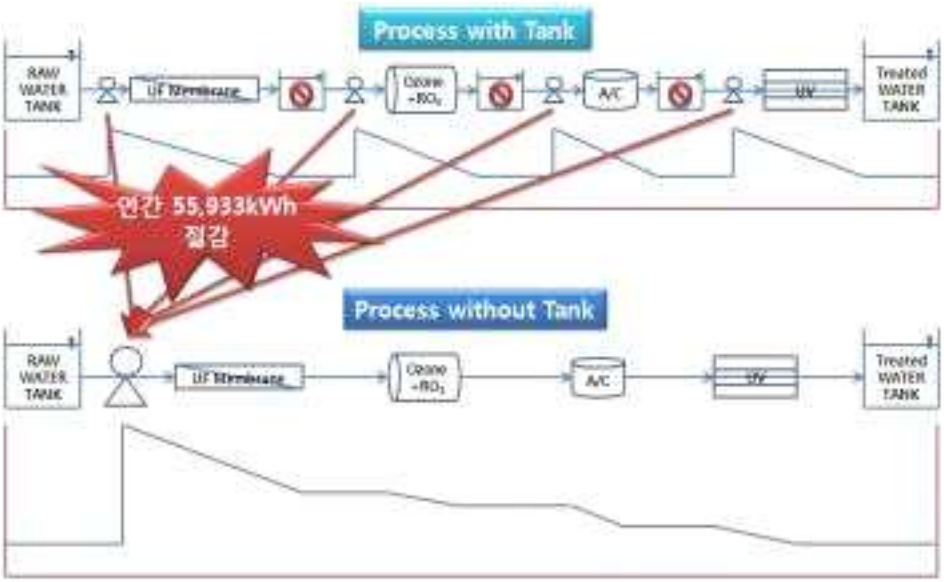
▌그림 2.75 수직형 정수처리 실증시설 운영 및 검증계획 ▐

▌ 에너지 측면에서는 저에너지설비의 도입 및 제어기술 개발(BLDC, USN, LED 제어, 수온차시스템 등)과 신재생에너지 생산설비(태양광, 소수력 등)의 개발이 이루어졌으며 효율성이 실증플랜트에서 약 1년 동안 검증되었음

- 당초 연구개발 지표인 『**에너지 자립도**』는 에너지 절감(고효율, 저에너지 설비 활용 및 공정개선)과 신재생에너지 생산이 포함된 것으로 국제적인 용어의 표준화를 위하여 과제의 특성에 맞게 『**소비에너지 효율화율**』**로 변경**
- 소비에너지 효율화율 산정은 수직형 정수처리 시스템에 적용된 신재생에너지 발전량과 에너지 효율화 기술에 의한 에너지 절감량을 고려하여 아래와 같이 계산하였음

$$\frac{\text{연간 신재생에너지 발전량(kWh)} + \text{연간 에너지 절감량(kWh)}}{\text{기존 시스템의 연간 전력사용량(kWh)}} \times 100 = \text{소비에너지 효율화율(\%)}$$

- 기존 시스템은 기존의 통상적인 기술을 활용하여 막여과 공정과 오존 및 활성탄으로 구성된 고도처리 공정을 수직형으로 공정을 구성하는 Tank type으로 하였으며, 본 연구에서 공정의 효율성 및 에너지 효율성을 증가시켜 개발한 Tankless type과 비교
- 저에너지 설비 및 제어시스템, 신재재생에너지 생산량등을 고려하여, 설비목록 및 실제운영에 근거하여 효율성을 비교평가
- 최종적으로 실 규모(20,000㎥/일) 수직형 정수처리시설에 대해 운영전력 원단위를 예측하였음.



▌그림 2.76 기존의 Tank type과 개발된 tankless type 공정 모식도 ▐

▌그림 2.77 에너지 효율화율 증진을 위한 주요 요소기술 ▐

- 연구의 범위 및 수행방법은 다음과 같음

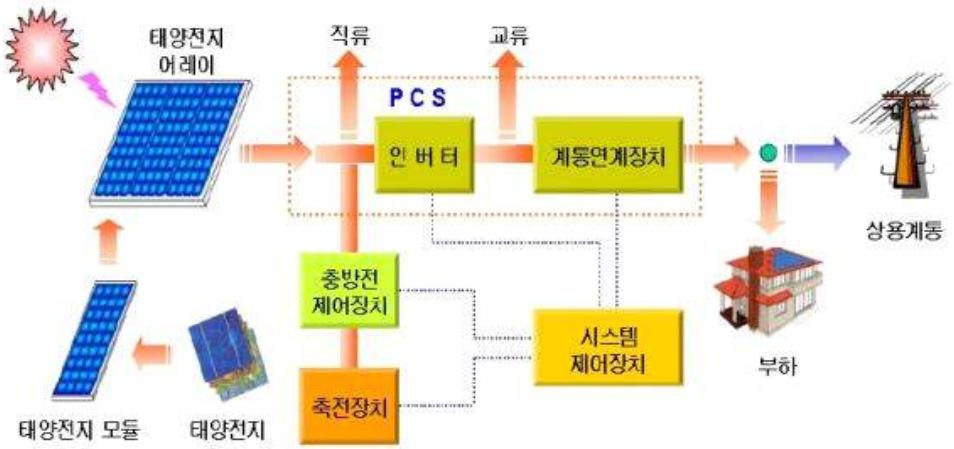
연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)
▪ 수직형 정수처리 플랜트 효율성 검증	- 수리적검토(운영압력 1-4.3kgf/㎠ 수준에서 압력 평가) - 수질적 검토(먹는물 수질기준에 의거 분석) - 에너지효율성(다양한 운영압력에서 각 단위공정별 및 총 소비전력량 분석) - Feed back : 실규모 설계(20,000㎥/일) 반영
▪ DC 효율성 분석	- MATLAB/Simulink 및 GUI를 이용한 효율분석 툴 개발 - 개발한 툴을 이용한 DC 배전 도입에 따른 적용효과 분석
▪ 신재생에너지 최적 구성 알고리즘 개발	- 신재생에너지원별 특성 분석 - 신재생에너지원별 특성을 고려한 최적 구성 알고리즘 개발 - MATLAB을 활용한 프로그래밍 및 모의
▪ 신재생에너지 계통연계시 영향 평가	- 다양한 신재생에너지원의 PSCAD모델링 - PSCAD모의계통 구성 - 전압 및 THD에 관한 모의
▪ 수직형 정수장 열원특성 분석 및 수학적 모델링	- 실험 : 기존 정수장 실측자료 활용 - 이론 : 비선형 곡선접합기법 활용하여 Trnsys모델에 적용
▪ 히트펌프 구성요소 및 열원 모델링 통합모델 개발	- 실험: 기존 정수장 실측자료 활용 - 이론: EES를 통한 요소기기 모델링, Trynsys를 통한 통합시스템 모델링
▪ 고효율 수온차 냉난방 시스템 설계 - 효율 250% (COP 2.5) 이상급 설계	- 표준설계자료 조사 - 이론적 타당성 분석 - 실증지역 환경조사 - 적용 타당성 및 효과 분석 - 고효율 설계분석 - 설계 타당성 및 실증효과 분석
▪ 히트펌프 시스템 형식 선정	- 고효율 설계 적용을 위한 타당성 및 효과분석으로 물-물 방식 선정
▪ LCC 및 용수공급 자산관리 시스템 설계 및 개발	- 요구사항 및 업무기능 및 개발 아키텍처 정의 - 논리DB 다이어그램 설계 - 화면 프로토타입 설계 - 프로그램 화면 간 내비게이션 정의 - 페이지 레이아웃 및 데이터베이스 설계 - 프로그램 개발 - 테스트 결과 매뉴얼 작성
▪ 에너지 관리 시스템 설계	- 요구사항 및 업무기능 및 개말 아키텍처 정의 - 논리DB 다이어그램 설계 - 화면 프로토타입설계 - 프로그램 화면 간 내비게이션 정의 - 페이지 레이아웃 및 데이터베이스 설계
▪ 수차 형식 선정	- CFD를 활용한 시뮬레이션 설계 - JIS 규격에 근거한 국제규격에 부합하는 설계 - 20,000(ton/day)용량에 맞춘 소수력 발전설비 제작 - 설계데이터에 부합하는 실물 사이즈의 소수력 발전설비 제작 - 모델시험절차(JIS B 8103)에 따른 성능평가 시행 - 정격조건(낙차, 유량, 회전수)등을 구현하여 성능테스트 시행
▪ 분산형 정수처리 시스템 중 막여과공정의 유량변동 영향분석	- 막여과 공정의 유량변동 영향에 대한 문헌조사 - 문헌조사, K-water연구원의 기존 실험데이터를 활용한 모델링 알고리즘 개발 - 연구실 규모의 실험(미니 막모듈 제공: LG전자 기술연구소)을 통한 시뮬레이션 알고리즘 최종 점검 및 업데이트

가. 신재생에너지 생산설비

(1) 태양광 발전(PV: Photovoltaic Generation)

▌정의) 태양광발전은 발전기의 도움 없이 태양 전지를 이용하여 태양빛을 직접 전기에너지로 변환시키는 발전 방식

▌개념도)



▌그림 2.78 태양광 발전설비 개념도 ▐

▌현재 세계에너지 소비의 80%는 석유, 석탄, 가스 등의 화석연료를 주로 사용하고 있으며 현대사회는 지나치게 화석연료에 의존하고 있음

- 화석연료의 편중현상은 앞으로 지속될 것으로 예상되며 이를 사용함으로 써 배출되는 이산화탄소에 의한 지구온난화 문제가 대두되고 있음

▌최근 정부에서는 2015년 까지 신재생에너지 5대강국 도약을 제시하고 있으며, 2012년부터 제도 도입으로 신규 태양광 시장 확대가 기대되고 있음

- 아직까지 신재생에너지는 기존 한전 전기공급 방식에 비하여 경제적이 효과가 미비한 것으로 보고되고 있으나 향후 전력요금 상승 및 신재생에너지 설비 단가의 하락 시에는 경제적 이점이 있을 것으로 예상됨

▌또한 공공기관의 신재생에너지 도입은 신재생 및 재생에너지 개발이용보급 촉진법 제12조에 따라 설치 의무가 있음에 따라 분산형 용수공급 시스템에서의 신재생에너지 적용 시 최적 구성에 관한 연구는 지속할 필요가 있음

▌분산형 용수공급 시스템에서는 소비 에너지 효율화 향상을 위하여 신재생에너지 시스템을 도입하였고, 생산된 신재생에너지는 자체 소비를 하는 시스템으로 설계하였음

- 신재생에너지를 자체 소비하는 시스템의 효과는 앞으로 다가올 전력요금 상승 등의 에너지 위기에 대비하고, 한전정전 시에도 안정적인 용수공급이 가능하며 독립된 용수공급시스템 구축 시에도 지속적인 에너지 공급이 가능케 하는 장점 있음

▌선진국 사례)

【아사카 정수장 (일본)】 【서울 송파 가든 5건물】

▌그림 2.79 태양광 발전설비 도입(예) ▌

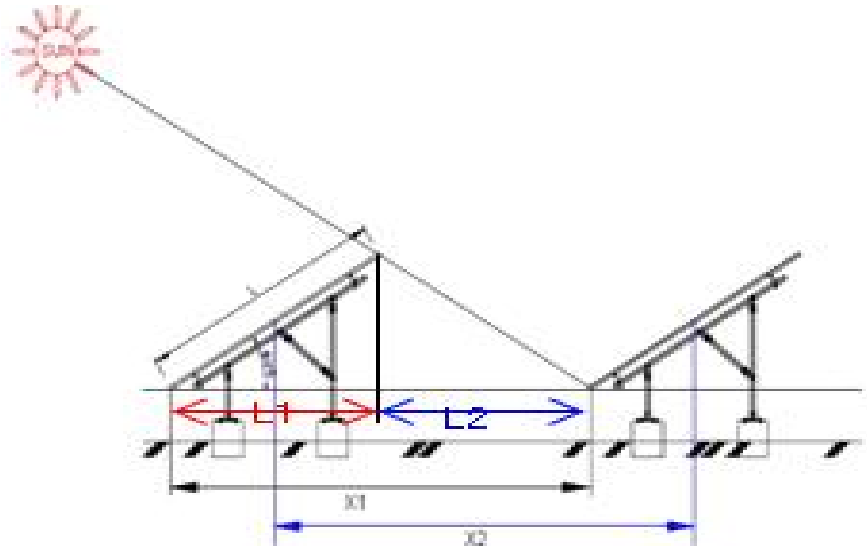
- 태양광 발전시스템 기술동향 분석
  - 동경 히가시무라야마 수처리장
  - 오사카 미시마 수처리장
  - 오사카 무라노 수처리장
  - 동경 상수도 사무국 수처리장
  - CERTS AEP 마이크로 그리드
  - Columbia Boulevard Wastewater Treatment Plant
  - Auburn’s Wastewater Treatment Plant
  - Atlantic County Utilities Authority Wastewater Treatment Facility
  - Aspen Water Treatment Pl
  - San Diego’s Alvarado Water Treatment Plant

▌ 태양광 발전시스템 구축 전략

- 염료감응 태양전지(DSSC: Dye Sensitized Solar Cell)
- 고효율 결정질 모듈 적용

▌태양광 발전시스템(결정질, BIPV) 용량 산정은 기본설계에서 작성된 옥상지붕 평면도 및 정면도를 근거로 산정

- 태양전지 어레이가 2열이상 설치되는 경우에는 전열의 어레이가 후열의 어레이에 그림자의 영향을 주지 않도록 설치하여야 하며, 이레이 이격거리를 고려하여 10kW급 설치시 필요면적은 10.2m(L)×9.46m(D)임



▌그림 2.80 태양광 어레이 이격거리를 고려한 총 필요면적 설계 개념 ▐

【어레이 이격 거리】

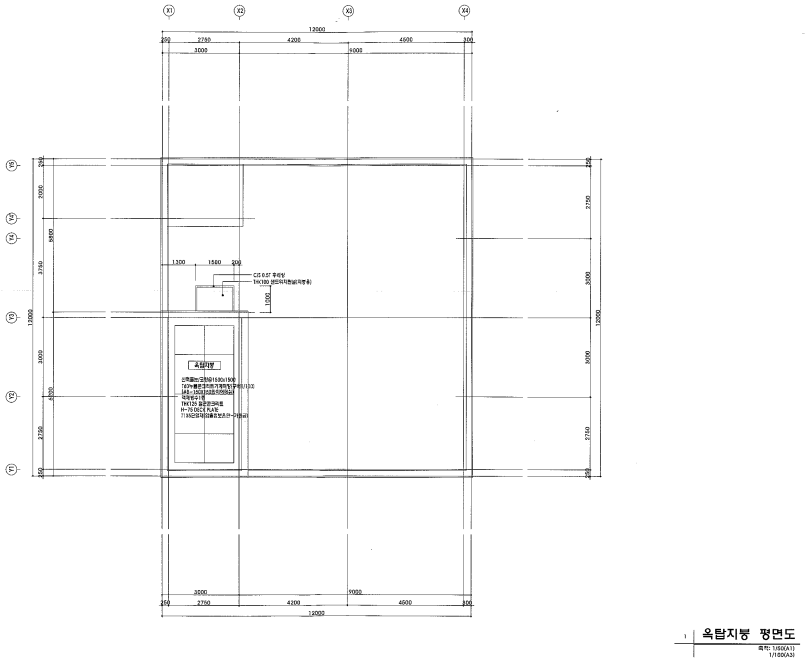
$$X_1 = L[\cos(tilt) + \sin(tilt) \times \tan(lat + 23.5°)]$$

여기서, X_1 : 어레이의 최소 이격거리, L : 어레이 길이(1.574m)
tilt : 어레이의 경사각(30°), lat : 설치지역의 위도(36°)

▌표 2.44 어레이 이격 거리를 고려한 총 필요면적 설계 ▐

구 분		설계
Module size	가로	0.782m
	세로	1.574m
어레이간 최소이격거리	1열 시작점 ~ 2열 시작점	2.699m
	1열 끝점 ~ 2열 시작점	1.336m
총 필요면적	가로	10.2m
	세로	9.46m

▌옥상지붕 평면도에서는 옥상의 면적이 12m(L)×12m(D)로 설계되었으며, 이를 토대로 10kWp급 결정질 태양광을 적용



▌그림 2.81 옥탑지붕 평면도 ▐

▌정면도에서는 18.75m(H)×12m(L)로 설계되었으며, 이를 토대로 건축 환경을 고려한 건물 일체형 태양광 시스템(BIPV) 5kWp급 박막형 태양광 적용

▌그림 2.82 실증시설 정면도 ▐

▌태양발전시스템에 그림자가 미치는 영향에 의해 연간 5~10%의 손실이 발생

- PV어레이는 음영이 없는 지역에 설치되어야하며, 음영에는 적설, 나뭇잎, 조류분비물 및 황사에 의한 오염 등 일시적으로 발생하는 것과 주변지역의 건물과 모듈 자체로 인한 그림자 등이 있음
- 우리나라는 동절기에 정오시의 태양고도는 29° ~ 30° 정도로 낮아짐으로 해가 뜨거나 질 때 태양광 발전소 위치 부근에 산, 건물 및 전면에 위치한 어레이에 의해 오후 2~3시부터 해가 지는 어두워 질 때까지나 해가 동쪽에서 떠오르면서 낮은 고도를 유지하면 음영이 발생할 수 있으며 이 때 음영의 패턴을 보면 구름의 이동에 의행 모듈의 일부 위치에서 음영이 생기는 경우와 장소의 제약으로 산 또는 건물에 의해서 해가 뜰 때에는 동쪽에서 서쪽으로 향하는 음영 패턴과 해가 질 때에는 서쪽에서 동쪽과 남쪽으로 늘어뜨리는 음영의 패턴이 나타남으로 설치장소에 의한 음영은 태양광 발전 어레이의 모든 음영을 감안하여야 함

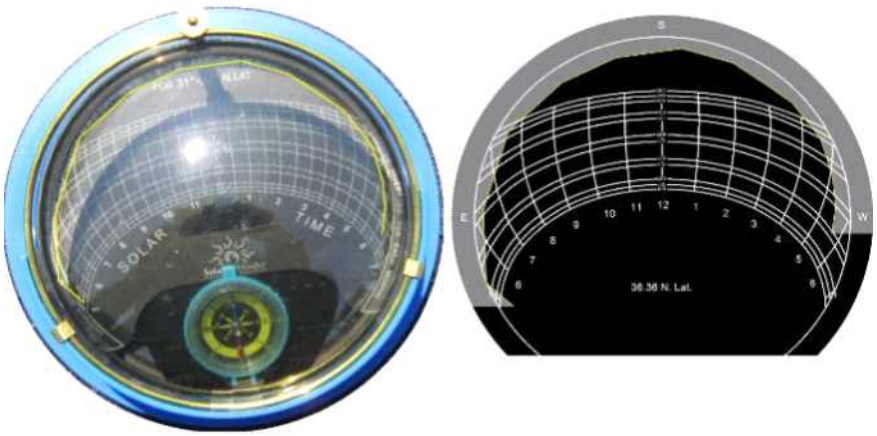
▌음영분석은 Solar Pathfinder를 이용하여 수직형 정수처리 시설 설치를 위한 예정지인 청주정수장내의 예정지를 분석함

▌그림 2.83 수직형 정수처리 실증시설 설치지역 위성사진 ▐

▌표 2.45 Solar Pathfinder 입력조건 ▐

위도	36.36°
경도	127.27°
방위	0° (정남향)
추적방식	고정형
전력 판매단가	400원/kWh (전력거래단가 180원, REC 판매단가 120원)
설치용량	10.26kW(옥상), 5.28kW(BIPV)
Inverter효율	96%

▪ 음영분석을 위한 음영윤곽 추적



▌그림 2.84 청주정수장 설치예정지 음영 윤곽 추적 ▐

▌표 2.46 Solar Pathfinder 분석결과 ▐

구 분	옥상	BIPV
연간예상 발전량(kWh)	8,534kWh	1,520kWh
연간예상 수익(원)	3,413,992원	608,281원

▌ 분산형 용수공급 시스템에 적용될 태양광 발전시스템(결정질, BIPV)에 대한 경제성 분석은 RETScreen (Renewable Energy Technology Screen)을 이용하여 분석함

▪ RETScreen은 나다에서 정부, 산업체, 학교의 수많은 전문가들의 기여를 통해 개발된 프로그램이며, 소프트웨어는 특정 신재생에너지 생산과 관련된 기상자료, 설비

특성, 투자비용, 기준가격 등의 입력 변수들을 이용하여 경제성 분석을 함

- RETScreen를 이용한 경제성 분석은 태양광 발전시스템에서 생산된 발전량을 판매하는 경우로 가정하여 분석함.

▌경제성 분석 결과, 옥상에 설치하는 태양광 발전시스템이 B/C가 1.64로 경제성이 있는 것으로 나타났으며, BIPV는 B/C가 0.7로 경제성이 없는 것으로 분석되었으나, BIPV의 경우 국내에 보급이 미비한 실정으로 아직까지는 설치단가가 높으나, 향후 BIPV가 확대 보급될 경우 설치단가가 하락하여 경제성이 있을 것으로 예상됨

▌표 2.47 RETScreen 입력조건 ▐

구 분	단 위	비 율	비 고
설치각도	도	30	위도:36.36° , 경도:127.27°
할인율	%	5.5	공기업 할인율(KDI)
물가상승률	%	3	공기업 물가상승률(KDI)
설비단가	천원/kW	4,972(옥상) 9,553(BIPV)	2012년 지식경제부고시
운영비	%	1.0	설비단가의 1%
기준가격	원/kW	510	(전력거래단가 180원, REC 판매단가 330원)
분석기간	년	20	내구수명

▌표 2.48 RETScreen 경제성 분석결과 ▐

항목	설비용량 (kW)	발전량 (kW/년)	발전금액 (천원/년)	B/C	IRR (%)	자본회수 (년)
옥상 (결정질)	10.26	15,316	7,895,325	1.64	12.4	7.3
BIPV	5.28	5,689	2,953,609	0.70	1.6	17.1

▌ 본 연구의 생산된 전기를 자체소비 경우와 기존 전기를 사용하는 경우의 경제성 평가는 아래와 같음. 자체 소비하는 경우에는 기존 전기사용에 비하여 경제성이 없는 것으로 분석되었으며, 발전단가 보다 전기사용 전력단가가 저렴한 요금체계 때문임.

구 분	분석기간	순현재가치(NPV)	비고
자체소비	20년	-21,790천원	한전 전기공급에 의한 요금 납부만 고려
기존전기사용	20년	-18,289천원	투자비 고려 REC판매 이득 고려

- 연간 신재생 발전량 : 15,316kWh + 5,689kWh = 21,055kWh
- 기존 전기공급시 전력요금 = 21,055kWh × 57원(평균 한전단가) = 1,200,135원
- 자체 소비할 경우 = 21,055kWh × 330원(REC판매단가) =6,948,150원

▌신재생에너지 최적 활용을 위한 합리적인 구성방안 알고리즘 개발을 위해 다양한 제약조건(구조적 제약, 신재생에너지 출력특성, 설치 및 운영비용 등)을 고려함

- 신재생에너지원은 발전출력량에 있어 불안정적인 특성(주로, 날씨에 따른 조건에 따른 변동이 심함)을 가지고, 신재생에너지원은 일반 발전모델과는 다른 제약조건들을 가지며, 이는 신재생에너지의 출력 특성이 외부 환경에 영향을 많이 받을 뿐만 아니라 수직형 정수처리시설 같은 특수한 장소에 설치 시 공간적 제약 및 용량제약을 받게 됨

▌이러한 제약조건들을 고려하고 각기 다른 신재생에너지원의 특성들을 어떻게 통합하고 운영할 것인지에 대한 사항들을 충분히 반영하여 설립 및 운영 계획을 세워야 하며, 앞서 언급한 사항들을 가지고 아래와 같이 목적함수를 구성하였음

- 목적함수의 구성 : kWh당 생산비용 최소화

$$COE = \frac{C^{cap} + C^{rep} + C^{o\&m} + C^{fuel} + C^{grid}}{production(kWh)}$$

▌설치하는 단계에서부터 교체비용, 운용 및 유지비용, 연료비용, 그리드 대체 비용에 이르기까지 모든 비용을 합산. 이를 단위 발전량으로 나눈 COE(Cost of Electricity)개념을 사용하여 목적함수의 최적화를 수행, 발전단가가 가장 낮은 때의 최적화된 신재생에너지 구성을 찾는 것을 목적으로 함

- Capital Cost

$$C^{cap} = CRF(r,n)\sum_{i}^{m} C_i^{cap} R_i$$

※ CRF(r,n) : 자본 회수 계수, r : 이자율, n : 프로젝트 기간, R_i : i 번째 컴포넌트의 정격용량, C_i^{cap} : i 번째 컴포넌트의 kW당 자본비

▌초기 투자비용을 자본회수계수 개념을 적용하여 전체의 프로젝트 기간에 대한 연간 투자비로 계산함

- Capital Recovery Factor(자본 회수 계수)

$$CRF(r,n) = \frac{r(r+1)^n}{(r+1)^n - 1}$$

▌신재생에너지의 초기 투자비용에 당초 투입한 자본을 연간 발전량으로 계산된 금액으로 회수한다고 했을 때, 당초 투입한 비용에 대한 회수율의 비율. 이를 수직정수처리장에 활용할 전체 프로젝트 기간 동안의 이자율과 복리를 감안하여 계산함

- Replacement Cost

$$C^{rep} = \sum_{i=1}^{m} R_i C_i^{rep} F_i^{rep} SFF(r, L_i^{DG}) - \sum_{i=1}^{m} S_i SFF(r, L_{proj})$$

▌신재생에너지원은 각기 다른 제한된 수명을 가지므로, 감채기금계수 개념을 도입하여 미래에 투자될 비용에 대한 현재의 가치와 신재생에너지원이 교체 투입될 시에 갖게 되는 잔존가치를 함께 고려해줌으로써 예상되는 교체비용을 현실적으로 바꿔 계산

- Sinking Fund Factor(감채기금계수)

$$SFF(r,n) = \frac{r}{(r+1)^n - 1}$$

▌n년 후에 투입된 원금을 얻기 위해 기말마다 얼마씩 적립해야 하는가 하는 문제의 계산식에 쓰이는 계수, 당초 신재생에너지원 설립과 교체에 있어 자본이 투입된 후 적립액수와 장래가치, 이자율 등을 고려하여 미래에 투입될 자본에 대한 현가를 고려해주기 위해 도입함

- 잔존가치

$$S_i = R_i C_i^{rep} \left[1 - \frac{L_{proj} - L_i^{rep}}{L_i^{DG}} \right]$$

▌각각의 신재생에너지원별로 미래의 잔존가치를 현가로 계산한 가격을 계산

- Annualized O&M cost

$$C^{o\&m} = \sum_{i=1}^{m} C_i^{o\&m} A_i 8760$$

▌연간 운영 및 유지 보수에 드는 비용을 산정

- Annualized Fuel Cost

$$C^{fuel} = \sum_{t=1}^{8760} P_{fuel}(t) C_{fuel}(t)$$

▌연료를 소모하는 신재생에너지의 연료비용을 사용시간에 따라 산정

- Annualized Grid Cost

$$C^{grid} = \sum_{t=1}^{8760} P_{grid}(t) C_{grid}(t)$$

▌신재생에너지의 전력량으로 소비에너지를 모두 감당할 수 없을 경우 계통으로부터 전력을 구입하는 비용을 산정

▌신재생에너지의 발전량 모델링

- **태양광 발전은** 단일 태양광 패널의 Input parameter(일사량, 온도 등)에 대한 출력 특성에 관한 모델을 먼저 수립한 후 이에 대해 직렬과 병렬로 연결된 태양광 패널의 개수를 고려하여 전체 태양광 단지의 출력량을 계산함. MPPT(Maximum Power Point Tracking)기법을 이용한 최적화된 point에 해당하는 V_{pv}와 I_{pv}를 도출하여 출력특성에 계산하여 반영함

  - 태양광 출력식을 다음과 같이 나타낼 수 있음

$$P_{PV} = \eta_{pv} N_{pv} A_m G_t [1 + \lambda (T_C - 25)]$$

  - 효율을 구하기 위해 필요한 태양광 셀 온도식은 다음과 같음

$$T_C = T_a + \left(\frac{NT - 20}{K_C} \right) \cdot S$$

※ η_{pv} : PV 참조효율, N_{pv} : 모듈 갯수, A_m : 단일 모듈면적, G_t : 시간별 일사량, λ : 최대 전력 온도계수 (-0.47%/° C), T_C : 셀 온도, T_a : 주변 온도, NT : 제조사에서 테스트 된 정상온도 값 , S : 단위 면적당 일사량 (kW/m^2), K_C : 테스트 데이터로부터 계산된 상수 값 (본 연구에서는 0.8로 설정)

- **풍력발전기**는 기본적으로 바람에너지를 전기에너지로 변환해주는 장치로서, 그 출력특성이 풍속에 의해 좌우된다고 할 수 있음. 그리고 이외에 풍력발전기 블레이드가 차지하는 면적과 공기밀도, 윈드 터빈의 전력계수와 효율, 발전기의 효율을 통해 출력을 계산함

$$\begin{cases} P_w(t) = 0, & v(t) < V_{ci}, v(t) > V_{co} \\ P_w(t) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_p \cdot v(t)^3, & V_{ci} < v(t) < V_{rat} \\ P_w(t) = P_{rat}, & V_{rat} < v(t) < V_{co} \end{cases}$$

※ V_{ci}, V_{rat}, V_{co} : cut-in, rated and cut-out speed
※ ρ : 공기 밀도 (kg/m^3)
※ A : 로터의 면적(m^2)
※ C_p : 풍력발전 효율

- **소수력 발전기**는 소수력 터빈의 효율, 물의 밀도, 중력가속도, 유효낙차의 곱으로 출력을 표현할 수 있음. 저수용량을 고려하면 최대 출력가능한 양을 산정할 수 있음.

$$P_h = \eta_h \times \rho_{water} \times g \times H_{net} \times Q$$

- **신재생에너지원 총 발전량**

$$P(t) = \sum_{h=1}^{n_h} P_h + \sum_{w=1}^{n_w} P_w + \sum_{s=1}^{n_s} P_s$$

▪ 신재생에너지원별 각 발전량을 시간 t에 대한 함수로 나타낸 뒤, 이를 합산하여 총 발전량을 계산.

▪ 배터리 충전과 방전

$$P_{bat}(t+1) = P_{bat}(t)\cdot(1-\sigma) + [\min(P_{res}(t) - P_L(t), P_{soc,\max} - P_{bat}(t), P_{Ch,\max})]\cdot\eta_{bat}$$

$$P_{bat}(t+1) = P_{bat}(t)\cdot(1-\sigma) - [\min(P_L - P_{res}(t), P_{bat}(t) - P_{soc,\min}, P_{Dis,\max})]\,\eta_{bat}$$

※ σ : 자기 방전 계수, P_L : 부하 수요량, $P_{soc,max}$: 배터리 최대 용량, $P_{Ch,max}$: 최대 충전 용량, η_{bat} : bi-directional 인버터 효율을 포함한 배터리 변환 효율, $P_{res}(t)$: 신재생에너지 발전원들의 단위시간 총 발전량, $P_{soc,min}$: 배터리의 최소 용량 설정 한계치, $P_{Dis,max}$: 최대 방전 용량

$$P_{res}(t) = P_{pv}(t)\cdot\eta_{inv} + P_{wt}(t)\cdot\eta_{con}\cdot\eta_{inv}$$

- 충전 시 : 배터리 용량을 시간 t에 대한 함수로 나타냄. 배터리가 충전 시에는 바로 이전 time interval 에서의 배터리 용량에서 배터리 특성에 따른 자기방전인자만큼 방전된 양을 현재의 순수 배터리 용량으로 취급. 신재생에너지가 수요량을 충족하고 남은 잉여전력을 배터리 충전에 이용. 결국, 배터리 충전량을 현재의 순수 배터리 용량에 더해줌으로써 time interval 이 한번 수행되고 난 후의 배터리 용량을 결정하게 됨. 이 때 충전량은 배터리의 충전변환효율을 반영

- 방전 시 : 현재의 순수 배터리 용량의 계산은 충전 시와 같음. 수요량이 신재생에너지의 발전량을 초과하므로 수요에 모자란 부분을 배터리에서 공급시켜 주어야 함. 이를 순수 배터리 용량에서 빼오게 됨. 이 때 방전량은 배터리의 방전변환효율을 반영

▌최적구성 알고리즘 제약조건

- 구조적인 제약조건(부지, 환경적인 영향 고려

$$P_{pv} \le P_{pv}^{\max} \qquad P_{wind} \le P_{wind}^{\max}$$

■ 수직형 정수처리 시설의 구조적인 제약에 따른 최대 설치 가능한 신재생에너지의 크기가 결정되고 이에 따라 최대 출력이 제한됨

- 필요 에너지 자립도에 따른 제약조건

$$\sum_{t=1}^{8760} \sum_{i=1}^{n} P_i^{DG}(t) = D_{total} * 0.3$$

■ 수직형 정수처리 시설에 들어갈 전체 신재생에너지 용량을 제한. 이는 목표하는 신재생에너지 자립도에 의해 정해짐

- 배터리의 기술적인 제약조건

$$SOC_{\max} = 100\%, \quad SOC_{\min} = 30\%$$

■ 배터리 수명이 급격하게 떨어지는 것을 방지하기 위한 대책으로 SOC(State Of Charge)개념을 도입, 배터리 모델의 특성에 따라 배터리 충전량의 상한, 하한 값을 제약조건으로 정해줌

- Overproduction

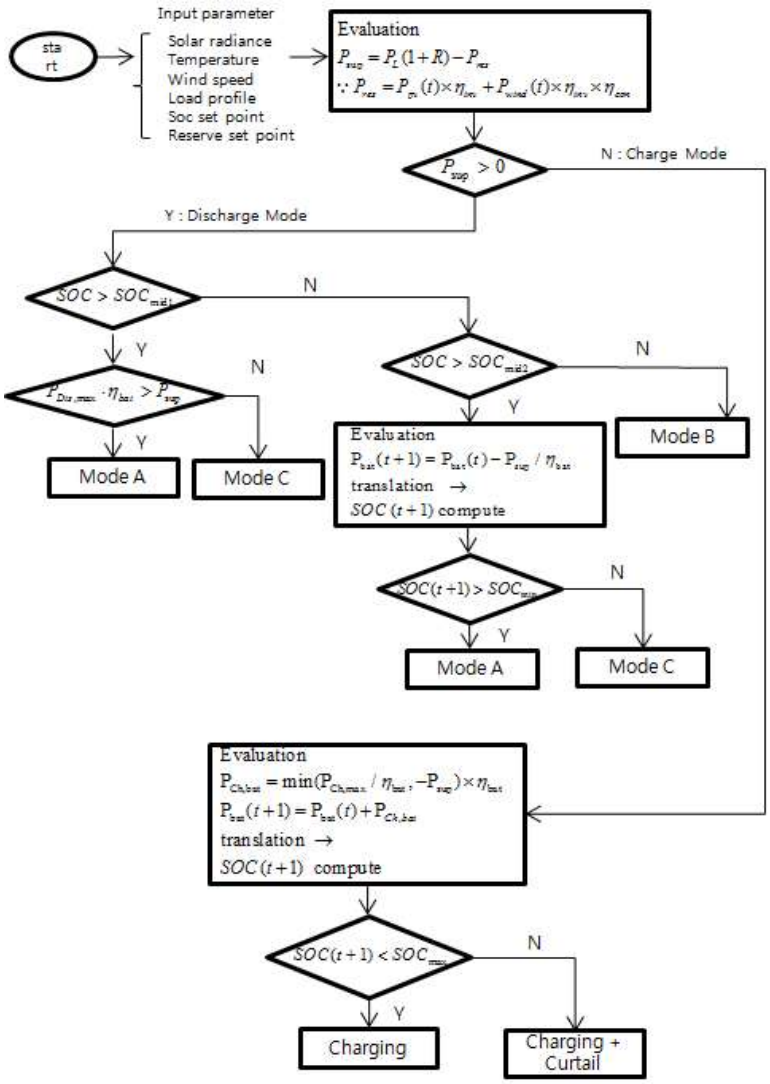
$$P_{bat}(t-1) + \min(P_{ch,\max}, P_{net}) = P_{bat}(t)$$

- 운영적인 측면을 고려한 에너지 저장장치 활용에 있어 배터리 특성에 따른 충전량에 대한 현실적인 고려. 배터리에 충전되는 충전량은 최대충전용량과 신재생에너지원 발전량에서 수요량을 뺀 값 사이에서 작은 양을 충전함. 이 때 배터리의 충전변환효율 또한 고려해 주어야 함(이미 배터리 충전 모델링에 반영)

- Overdemand

$$P_{bat}(t-1) - \min(P_{ch,\max}, P_{net}) = P_{bat}(t)$$

▌목적함수 및 제약조건 함수를 활용한 최적구성에 관한 Flow chart는 다음 그림과 같음

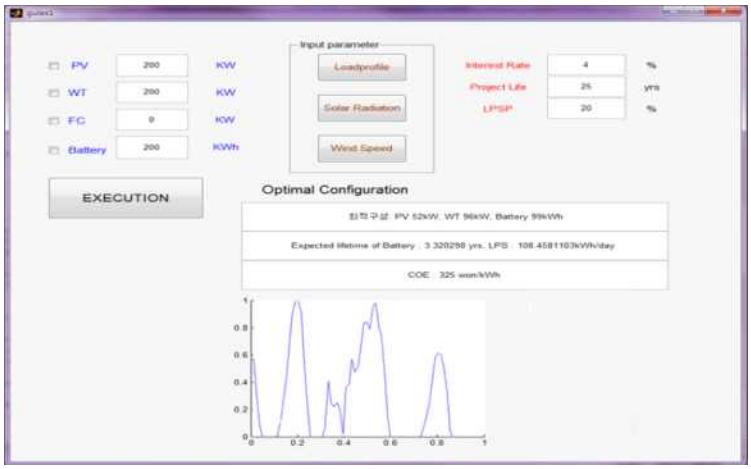


▌그림 2.85 최적구성 알고리즘의 흐름도 ▐

▌제안한 목적함수 및 제약조건을 MATLAB을 이용하여 신재생에너지 최적구성 알고리즘을 모의

- GUI의 왼쪽 상단에는 신재생에너지의 최대 설치 가능 량을 입력하고, load profile 및 기상 데이터를 입력 가능하게 하였음.
- 추가로 이자율, 프로젝트 기간 및 LPSP(Loss of Power Supply Probability)를 입력하고 실행하면 그 지역에 설치 가능한 최적 구성 및 kWh당 생산비용을 출력하게 됨 또한 GUI 하단에는 배터리의 충방전 상태 그래프가 출력 되도록 구성하였음
- 모의하기 위해 사용된 기상데이터는 모의 지역의 풍속, 일사량 및 온도 데이터(1년) 임. 풍속 및 태양광 일사량은 본토와 떨어져 있어 독립계통을 구성하고 있는 서해 도서지역 중 한 곳을 선정하여 1년간의 실측자료를 활용하였음. 독립형 모델을 모의

한 이유는 그리드 연계형보다 연계기준이 더욱 까다로우므로 최악의 경우에 해당하기 때문임. 부하의 경우 우리나라 계절별 요일별 전기수요 패턴을 분석한 자료를 바탕으로 1년간의 부하 데이터를 산정하였음. 이때 최대 부하는30kW 임. 모의에 사용된 제약조건 중 최대 설치 제약량은 PV 200kW, WT 200kW, Battery 200kWh 이고 이때 LPSP 제약은 0%로 산정. 최적구성은 PV 52kW, WT 96kW, Battery 99kWh를 나타내었고, 이때 전력 생산비용은 325won/kWh임. 태양광과 풍력은 어느 정도 서로 보완관계에 있어 출력변동을 완화해 주는 경향을 보였고 LPSP 0%의 기준에 의해 배터리의 용량이 결정됨. 최적구성의 경우 그 지역의 기상 자원에 따라 상이한 값을 보여주며, 최대 설치 용량 등 제약조건에 따라 조금씩 달라질 것임. 제안한 알고리즘의 경우 신재생에너지의 설치 전 경제적인 측면에서 용량을 선정 시 참고자료로 활용될 수 있을 것이라 사료됨



▌그림 2.86 신재생에너지 최적구성 알고리즘의 GUI ▐

▌수직 정수처리장에 설치될 PV 용량은 15kW로 예상됨.

- 태양광 발전방식은 자연환경의 입지조건에 영향을 덜 받으며 운전 및 유지보수가 용이하고, 태양전지 모듈화가 가능하여 용량의 신축성이 있으며 청정에너지인 태양에너지를 이용한다는 장점이 있는 반면, 일사량 조건에 의한 출력변동 등 기상의 영향을 받는 단점을 가지고 있음.
- 만약 급격한 출력변동이 일어나게 되면 계통과 연계 시 문제점이 발생할 수 있음. 대표적인 문제점으로는 첫째 계통전력 품질 문제로 전압변동의 증대, 불필요한 고조파 전류의 유입 등에 의한 계통전력 품질악화가 있음. 이는 태양광 발전시스템의 직, 교류 전력변환장치에 사용되는 전력반도체 스위칭 소자로 인하여 발생되고

있는 현상임.

- 둘째, 전력계통과 보호협조, 안정성 및 안전성으로 배전계통 보호 시스템에의 교란에 의한 공급 신뢰도의 영향, 태양광 발전시스템으로부터 역충전에 의한 선로 작업 시 안전성의 영향 등을 들 수 있음. 또한 태양광 발전의 급격한 출력 변동으로 인하여 계통 연계 지점의 전압 변동도 발생함.
- 아직까지 신재생에너지 계통 연계 기준은 마련되지 않은 상황이며 국내의 경우 '분산형 전원 배전계통 연계 기술기준'(배전건설처,(2010))을 따르고 있음. 대표적인 연계 기준은 아래 표와 같음

▌표 2.49 분산형 전원 배전계통 연계 기술기준 ▐

항목	동기화	직류 전류유입	역률	고조파 전류	단독운전 방지
연계기준	전압변동 ±4%	0.5% 이내	90% 이상	THD 5% 이내	0.5초 이내

※동기화: 교류발전기가 계통과 연결될 때 발전기와 계통의 주파수 동기를 맞추는 것을 뜻함
※역률: 교류회로에서 유효전력과 피상전력의 비 또는 전압과 전류의 위상차
※단독운전: 발전기가 계통과 분리된 상태에서 운전되는 상황

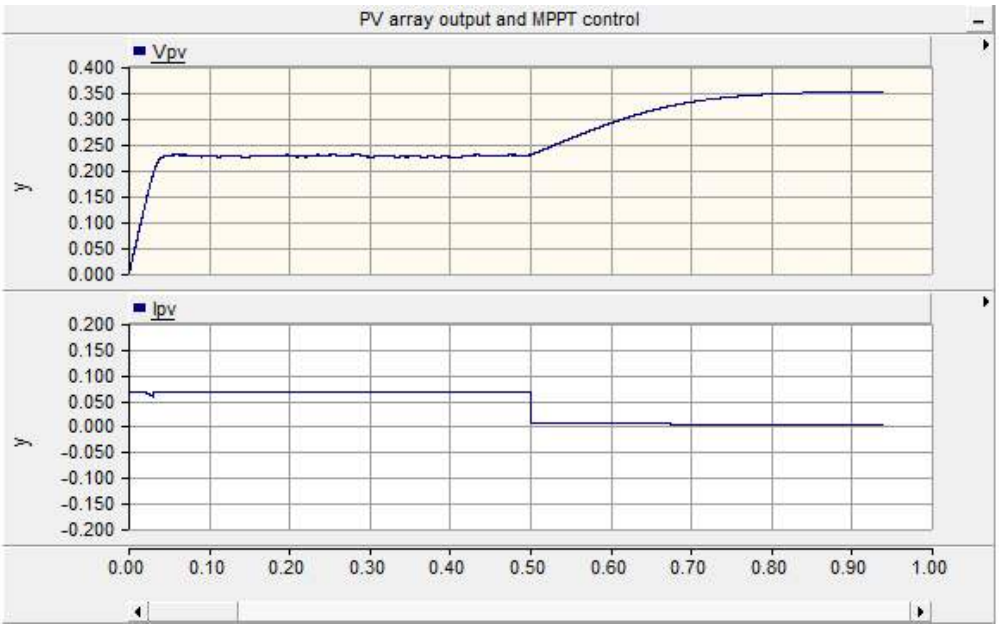
▌현재 수직형 정수처리 시설에 연계되는 태양광으로 인하여 문제될 소지가 있는 부분은 '전압변동'과 '고조파 전류' 부분임. 본 과제에서는 PSCAD/EMTDC를 활용하여 수직형 정수처리 시설의 태양광 연계에 따른 전압 변동 모의 및 고조파 전류를 모의 하여 계통연계 기준의 부합 여부를 확인 하는 것을 목표함

▌신재생에너지 계통연계 시 영향에 대한 모의 및 결과, 15kW의 PV 연계 시 일사량의 급 변화에 따른 계통의 전압변동에 대하여 모의하였음. 최악의 경우를 모의하기 위해서 일사량은 1000W/m^{2}에서 100W/m^{2}으로 급변하는 경우를 상정하였음.

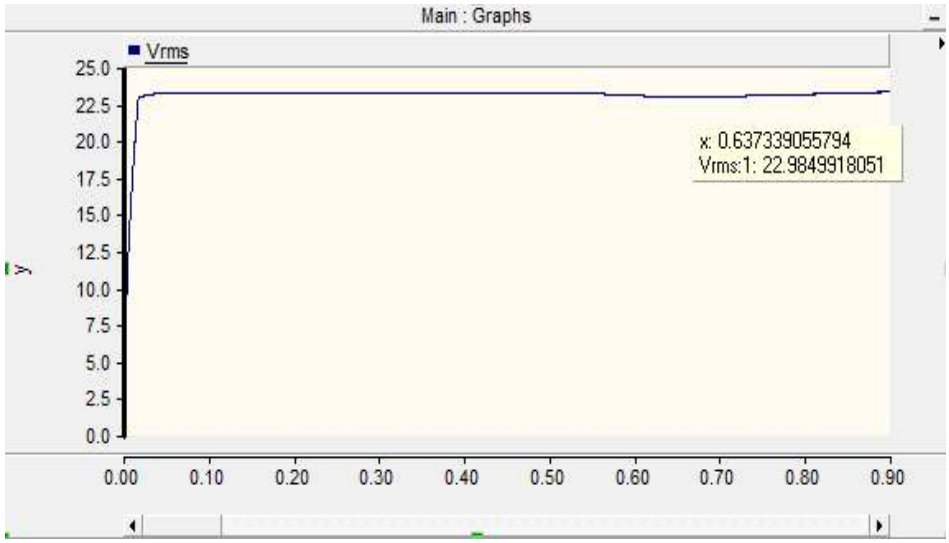
- 모의 시작 후 0.5초 때 1000W/m^{2}에서 100W/m^{2}으로 일사량이 급변하였고, 그에 따른 태양광 출력단의 전압 및 전류 변동을 그래프로 나타내었음. 전압의 경우 그림과 같이 227V에서 350V로 증가 하였고 전류의 경우 67A에서 3A로 급격하게 하락하였음.
- 최대 전력 추종 제어(MPPT)의 추종 간격이 0.5s 로 설정되어 있기 때문에 급격한 변화에 바로 적응하지 못하여 출력의 감소를 가져올 것임. 또한 이러한 출력의 급 변화는 계통연계지점(PCC)의 전압 변화를 가져올 것이고 이는 아래 그림과 같음. 초기

23.2kV의 전압에서 태양광의 급격한 출력 감소로 22.98kV의 전압변동을 가져옴.

- 결과적으로 15kW 태양광의 출력 변화로 계통 연계지점은 1%의 전압변동을 가져옴. 분산형 전원 배전계통 연계 기술기준의 분산형 전원 배전계통 연계 기술기준을 위반하지 않으며 결과적으로 15kW 용량의 태양광의 설치가 계통에 많은 영향을 주지 않는 것을 의미함. 하지만 설비 용량이 증가하게 되면 더 많은 영향을 미칠 수 있고 향 후 추가적인 모의가 필요할 것으로 사료됨



▌그림 2.87 PV의 전압과 전류 ▐



▌그림 2.88 PV의 전압과 전류 ▐

▌일반적으로 쓰이는 태양광발전의 출력예측방법에는 크게 두 가지가 있음

- 첫 번째 경우 기상자원의 예측(일사량, 온도)을 통하여 출력을 예상하는 방법으로, 최근 기상위성의 발전으로 구름의 이동을 통하여 일사량을 예측하는 기법들이 쓰이고 있음. 하지만 이런 방법들은 자료에 접근하기 어려울뿐더러 위성 지도가 낮은 해상도를 가질 경우 오차가 생길 확률이 크고 다양한 무작위 요소를 고려할 경우 계산 량이 많아져 실시간 예측에 적합하지 않음.
- 두 번째 경우 자료의 학습을 통하여 통계학적으로 접근하는 방법으로 태양광 발전의 경우, 태양광 패널의 온도, 일사량, 반사광, 패널의 효율 등 다양한 요소에 영향을 받음. 이런 다양한 변수를 통하여 출력을 예측할 수 있지만 이는 일반적으로 비선형 문제임. 이런 비선형 문제를 해결할 수 있는 알고리즘으로는 ANN(Artificial neural network), SVM(Support Vector Machine)등이 있음. SVM의 경우 ANN에 비하여 조정해야할 파라미터가 적고, 국부해에 빠지지 않는 반면 ANN과 비슷한 정확도를 가짐. 본 연구에서는 SVM을 이용하여 태양광 발전량 예측을 진행하였음

▌태양광 발전의 경우 간헐적인 출력특성을 보이며 이는 주로 일사량에 의해 결정됨.

- 일사량은 기상조건, 계절, 지역적인 요건에 따라 차이를 보임. 또한 태양광 발전은 온도에도 영향을 받음 일반적으로 실리콘 단결정의 경우 아래 그림과 같이 온도가 기준온도(25도)에서 1도 증가함에 따라 0.41%의 출력감소를 보임. 온도변화에 따른 변환효율은 다음의 식과 같이 나타낼 수 있음

$$\eta = \eta_0 \left[1 - \gamma \left(T_P - T_\gamma \right) \right] \tag{1}$$

η_0는 298k의 기준온도에서 변환효율, T_p는 기준온도, T_γ는 현재 온도이며 γ는 온도 계수로 일반적으로 0.003~0.005의 값을 가짐. 이를 이용하여 태양광 출력을 산출 할 수 있으며 다음의 식과 같음

$$P = I \times A \times \eta \tag{2}$$

▌ SVM 회귀 분석

- 태양광발전의 출력의 경우 0에서 정격출력까지 변화함. SVM의 경우 비선형 모델을 고차원으로 사상하여 선형적으로 만들기 때문에 만약 데이터의 범위가 넓은 경

우 부정확한 데이터 생성하여 정확도를 떨어뜨리는 원인이 됨. 그러므로 데이터를 작은 범위로 형성할 경우 정확도를 상승시킬 수 있음. 따라서 주어진 데이터를 범위를 0~1로 만드는 정규화 작업이 필요하며, 이를 다음의 식에 나타냄

$$P_n = \frac{p_n - p_{\min}}{p_{\max} - p_{\min}} \tag{3}$$

- 주어진 학습자료 P(x,y), P(x1,y1),....P(xn,yn)에 대하여 회귀 함수는 다음의 식과 같이 추정할 수 있음

$$F = f | f(x) = \omega^T \bullet x + b, \omega \in R^n \tag{4}$$

- f(x)의 값이 1,-1을 가진다고 할 때 두 식의 초평면은 f(x)=0이 되고 1,-1의 두 초평면의 거리는 2/‖ω‖로 나타낼 수 있음. 그러므로 마진이 최대의 값을 가지기 위해서는 ‖ω‖를 최소화하는 값을 찾으면 됨. 하지만 이러한 최적화 문제는 제곱근을 포함하는 ‖ω‖에 의존하기 때문에 문제를 풀기 쉽지 않음. 다행히 ‖ω‖을 $1/2 \| \omega \|^2$으로 대체할 수 있기 때문에 비선형 계획법을 이용하여 풀 수 있음. 이는 식(5)(6)와 같은 최적화 문제 임. 목적함수의 $C\sum_{i=1}^{l}\xi_i$의 경우 경계면을 깨끗하게 분리하지 못하는 경우 어느 정도 오차를 허용하는 가에 대한 문제이며 크기에 따라 복잡성과 정확도가 상충됨

$$\text{목적함수:} \min \frac{1}{2} \| \omega \|^2 + C\sum_{i=1}^{l}\xi_i \tag{5}$$

$$\text{제약조건:} y_i(\omega \bullet \phi(x_i) + b) \geq 1 - \xi_i, \xi_i \geq 0, i = 1....., \ C > 0 \tag{6}$$

- 차원 공간의 내적$\phi(x_i)$는 커널 함수를 통하여 사상됨. 비선형 계획법에 사용되는 두 가지 커널 함수는 식 (7)(8)과 같음

$$\text{radial basis function: } K(x, x_i) = \exp(-\gamma \| x - x_i \|^2) \tag{7}$$

$$\text{polynomial: } K(x, x_i) = 1(1 + x \bullet x_i)^d \tag{8}$$

- d의 경우 다항식 커널함수의 척도이고, γ는 RBF 커널의 넓이를 결정하는 상수임. 다양한 학습 머신에 따라 다양한 커널 함수가 적용되고 커널함수에 따라 예측 정확도에 약간의 영향을 미치기 때문에 커널함수의 선정은 중요함. 일반적으로 위에서 언급한 두 가지 커널 함수 이외에 시그모이드 함수까지 3가지가 많이 사용됨. 본 연구에서는 RBF 커널 함수를 이용하였음

▌SVM 회귀 분석을 위한 태양광 발전 모델

- SVM회귀 분석에서 자료의 정확한 분류는 예측의 정확도에 많은 영향을 미치기 때문에 계절 또는 날씨(맑은 정도)에 따라 자료의 분류가 이루어져야함. 전체적인 회귀분석의 흐름도는 그림과 같음

① 과거 측정 자료는 날씨에 따라 5가지로 분류되어 저장됨. 맑음, 구름 조금,구름 많음, 비, 안개

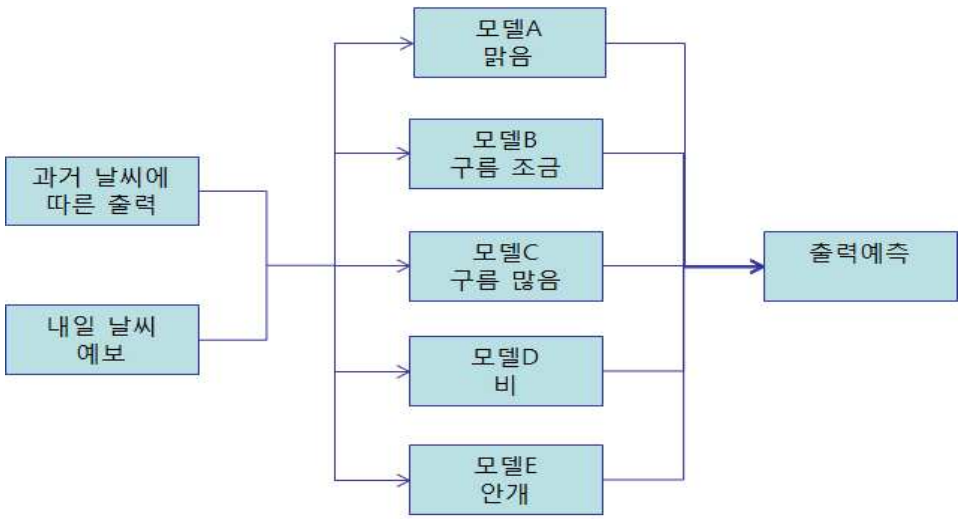
② 각 그룹의 자료는 정규화를 통하여 학습 자료로 활용

③ 내일의 기상자료를 기상청으로부터 얻음

④ SVM을 통하여 출력을 예측함

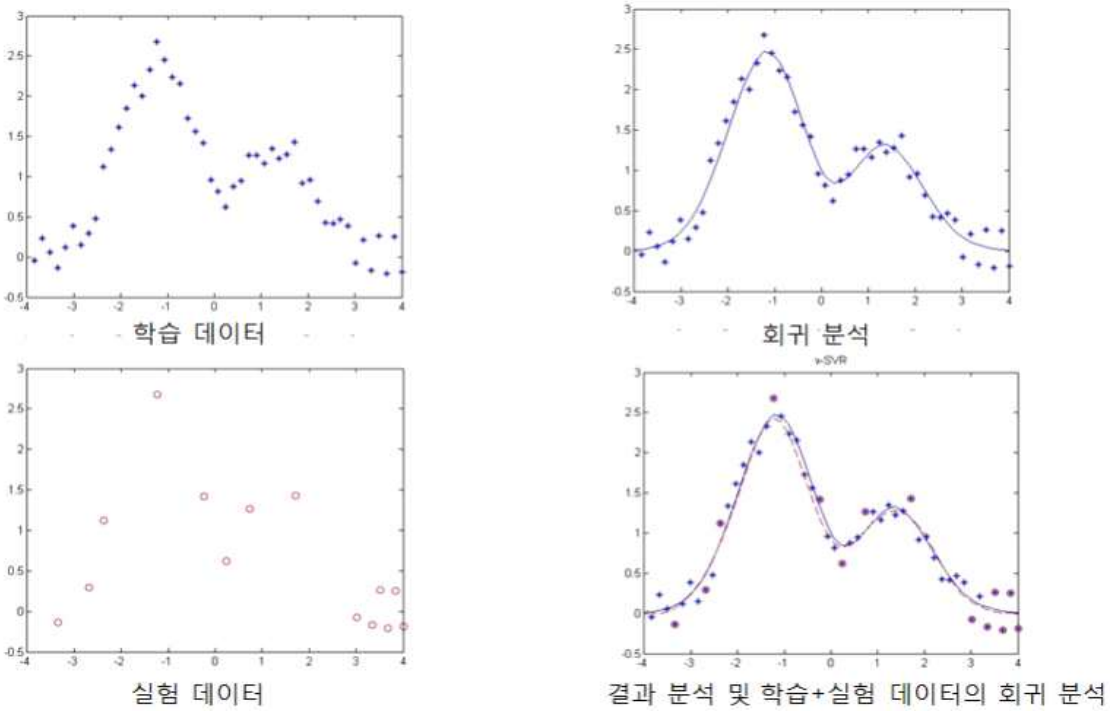
⑤ 다음날 실제 출력과 예측 값을 비교하고, 실제 출력 자료는 학습데이터로 들어감

⑥ 1-5 반복



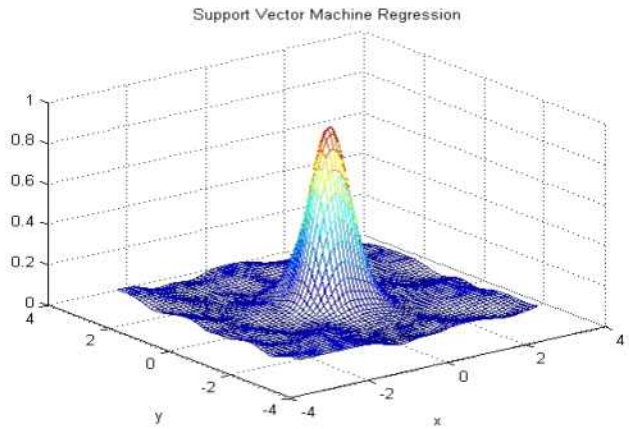
▌그림 2.89 태양광 출력 예측의 흐름도▐

▌사례 연구를 진행하기 위하여 MATLAB을 이용하여 SVM을 프로그래밍 함. 프로그램 검증을 위해 테스트 자료를 이용하여 검증함



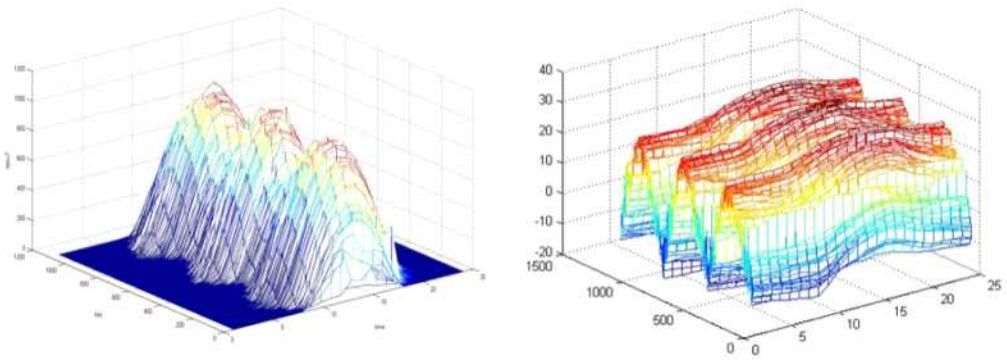
▌그림 2.90 1변수 SVM 회귀 분석▐

▌먼저 학습 자료를 활용하여 회귀 분석을 통한 그래프를 나타내고 실험 데이터를 투입하여 결과를 분석하였음. 마지막 그림처럼 정상적으로 동작하는 것을 확인 할 수 있음. 변수를 하나 추가하여 회귀 분석을 시행함



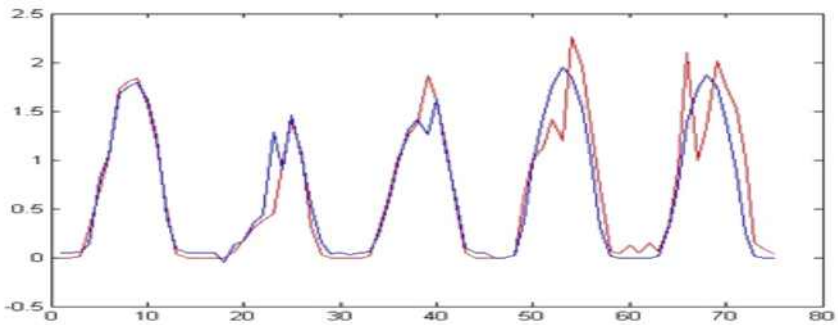
▌그림 2.91 2변수 SVM 회귀 분석▐

- 학습 자료의 경우 2009년 1월 1일부터 1년간 대전지역의 맑은 날의 일사량 및 온도를 이용하였음. 제안한 알고리즘의 예측 정확도를 평가하기 위하여 2010년, 2011년 자료 중 임의의 맑은 날을 선정하여 테스트 자료로 활용하였음. 측정된 자료 중 독립변수는 온도 및 시간이며 종속변수는 일사량임. 일사량이 예측되면 식 (1)(2)를 이용하여 태양광 발전의 출력량을 산출함. 학습 및 예측 자료에 활용된 데이터는 그림과 같음



▌그림 2.92 일사량 자료 및 온도자료▐

- 일사량 자료 그림의 경우 x축은 날짜, y축은 시간, z축은 크기의 3차원 그래프로 나타내었으며 온도도 같은 형식으로 나타내었음. 독립변수인 온도를 살펴보면 발전가능 시간인 06~20시 의 온도크기가 일사량과 연관관계가 있음을 확인할 수 있음. 마찬가지로 독립변수인 시간의 경우 태양의 일출 일몰 및 일사 각도와 연관이 있기 때문에 수평면 일사량과 연관관계가 큼. 온도와 시간을 독립변수로 결정하고 2변수 회귀 분석을 실시하였음. 정확도를 평가하기 위하여 2010년과 2011년의 맑은 날 중 5일을 임의 선정하였고 예측 결과와 실제 출력을 아래 그림에 나타내었음

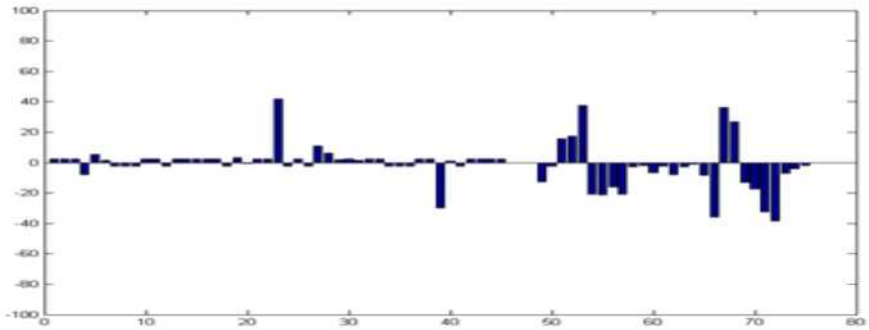


▌그림 2.93 태양광 발전의 예측 값과 실제 값▐

- 태양광 발전의 예측 값과 실제 값 그림의 붉은색 그래프는 실제 발전량이고 푸른색 그래프는 예측된 발전량임. 그림으로 보면 비슷한 추세를 확인 할 수 있음. 정확한 오차를 확인하기 위해서 순간오차와 평균상대오차를 산출하였음. 평균상대오차의 정의는 식(9)와 같음.

$$MRE = \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}\frac{W_{forecasting} - W_{True}}{W_{total}} \times 100\% \quad (9)$$

- 산출한 순간오차는 아래 그림과 같음.



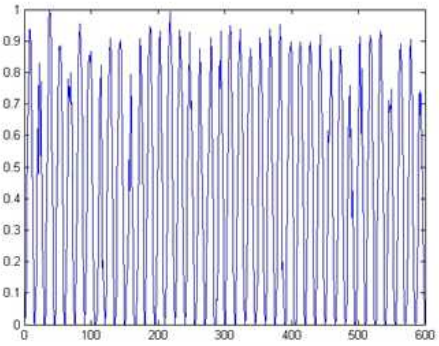
▌그림 2.94 태양광 발전의 예측의 순간 오차▐

- 그림을 보면 순간오차가 최대 40% 가량임을 확인할 수 있음. 식9를 활용하여 산출한 평균산출 오차는 8%를 기록하였음.
- 결론적으로 맑은 날의 태양광 출력예측의 경우 어느 정도 신뢰할 만한 출력예측값을 가지는 것을 확인하였음.
- 향후 오차 보정을 위하여 회귀 분석 시 변수의 수를 늘리는 방법이나 기울기 보정 등의 방법이 추가로 연구되어야 할 것임.

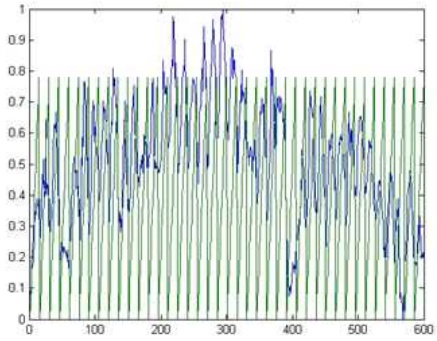
▌태양광 발전 예측 알고리즘 정확도 및 패턴 개선

- 목적함수 식(5)의 $C\sum_{i=1}^{l}\xi_i$ 값은 경계면을 깨끗하게 분리하지 못하는 경우 어느 정도 오차를 허용하는 가에 대한 문제임. 커널함수에서 γ는 커널함수 폭을 결정하며 이는 커널함수의 폭을 결정함.
- 이 두 개의 파라미터에 조정에 따라 예측의 정확도가 달라짐. 파라미터를 결정하는 해석적 방법은 없으며 예측하고자 하는 목적에 따라 경험적으로 결정됨.
- 본 연구에서는 두 파라미터를 변화시키면서 반복수행하여 오차가 최저로 나오는 지점을 산출하였음.

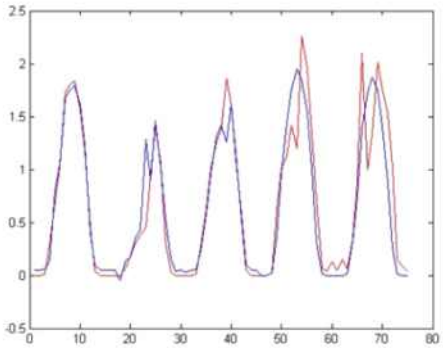
▪ 결과적으로 패턴의 개선은 물론 오차는 8%에서 7%로 1%가 감소하였음.



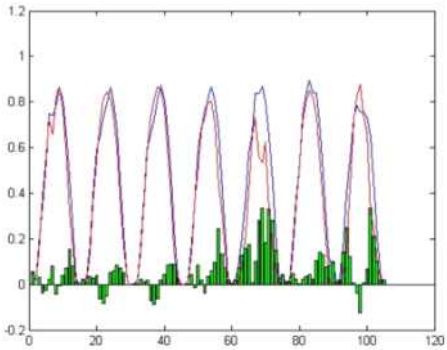
【시간에 따른 일사량(학습자료)】



【온도 및 시간(학습자료)】



【개선 전】



【개선 후】

▌그림 2.95 태양광 발전 예측 알고리즘 결과▐

▌수요반응을 활용한 최적운영 알고리즘 개발

▪ **(수요반응의 정의)** 2011년 9.15 순환 정전 이후 전력수요 증가로 인하여 연일 예비력 부족 사태가 발생하고 있음. 이를 해결하기 위하여 최근 절전규제를 통하여 170만kW의 전력 절감효과를 거두었지만, 전력 예비율은 여전히 불안한 현실임. 전력규제와 같은 강제적 조치를 통한 전력절감 효과는 한계가 있음. 또한 전력난을 해결하기 위한 발전소 증설은 비용이나 환경적인 문제를 야기하기 때문에 문제가 있음. 이러한 전력난을 해결하기 위한 방법 중 하나가 수요반응임. 수요반응은 가격이나 금전적인 보상 또는 전력회사의 지시에 반응하여 소비패턴을 바꾸는 것을 말함. 보통 소비자는 수요반응이 필요한 시간에 전력사용을 감축하거나 사용시간을 옮김. 결과적으로 수요반응을 통해서 피크시간의 전력소모를 감소시킴으로서 전력설비(발전, 송. 배전 모든 설비)의 투자를 줄일 수 있음. 소비자의 경우 인센티브를 통하여 금전적인 이득을 얻을 수 있음.

▌수요반응량의 측정 및 검증

- 수요반응량의 측정의 경우 고객기준부하-CBL(Customer Base Load)의 측정이 선행되고 고객기준부하와 실제 사용량의 차이만큼 수요반응량이 인정됨. 고객 기준부하의 경우 보통 수요반응 전 6일의 가중치 평균을 통하여 이루어짐

▌국내 현황

- 국내에서는 한국전력거래소와 한국전력에서 시행하고 있으며 현재 대형 부하를 가지는 일부 기업에만 적용하고 있지만 차차 적용범위를 확대할 예정에 있음. 현재 시행 중인 수요관리 제도는 표와 같음

▌표 2.50 한국전력거래소의 수요관리 제도 ▌

구분	하루전 시장	한시간전 시장
기간	부하감축일 **전일 15시** 공지	부하감축일 **개시 3시간전** 공지
지원 단가	·당일 시장가격(원/kWh)에 의해 결정 (통상 1,000원/kWh 내외로 결정)	·당일 시장가격(원/kWh)에 의해 결정 (통상 1,500원/kWh 내외로 결정)

▌표 2.51 한국전력의 수요관리 제도 ▌

구분	주간예고 수요조정	상시수요 관 리	지정기간 수요조정	비상절전	직접부하 제어
기간	연중 가변적	연중 가변적 (주간예고 시행시미시행)	8.10~12, 16~19, 23~25	전력수급 불균형 상황 시	
대상	전년도 7~9월 최대수요전력 300kW 이상	고압수전 고객 (한전 지점별 감축량 배분 계획에 의함)	전년도 7~9월 최대수요전력 300kW 이상	최대수요전력 300kW 이상	계약제어전력 300kW 이상
신청 기간	6.8~6.30	연중 신청	6.8~6.30	'10.6.1~6.30 (계약기간 2년)	매년 초 (계약기간 3년)
지원금 지급	고객기준부하보다 10%이상 감축 시	고객기준부하보다10 ~30% 감축 시	고객기준부하보다 30%이상 감축 시	기준평균전력 보다 20% 또는 1,000kW 이상 감축시	(기본금) 계약 제어전력 (제어금) 제어전력 실적
지원 단가	300원~480원/kW, 30분 단위	100원~200원/kW, 1시간 단위	640원~780원/kW, 1시간 단위	270원/kW, 30분 단위	(기본) 500원/kW (제어) 400~2,400원 1시간 단위

▌수요반응 제도의 선정

- 표와 같이 수요반응 제도의 경우 수요자의 종류와 반응특성 시간에 따라 다양하게 나누어져 있기 때문에 수요반응 알고리즘 개발 이전에 적용가능한 제도의 선정이 선행되어야함. 국내에서 시행하고 있는 수요반응제도를 살펴보면 한국전력의 경우 일정 기간 동안 수요반응량을 계약한 다음 수요반응시에 지령을 통하여 감축하는 형식임. 수직형 정수처리시설의 경우 현재까지 전력저장 시설이 없기 때문에 한국전력이 지시하는 시점에 원하는 양만큼 수요반응을 하지 못할 가능성이 큼. 반면에 한국전력거래소에서 시행하는 수요반응제도의 경우 입찰 형식으로 고객이 수요반응량과 시점을 결정할 수 있기 때문에 수직형 정수 처리 시설에 더 적합함. 하지만 입찰 시 높은 가격으로 입찰하면 유찰될 가능성이 있기 때문에 입찰 전략이 필요하다고 사료됨

▌수요반응 입찰 량 및 입찰 가능일 선정

- 하루 전 시장의 경우 감축일 전일 15시 한시간전시장의 경우 감축일 개시 3시간 전 입찰 통보함. 출력예측과 부하예측을 통하여 고객기준부하를 선정함. 고객기준부하의 경우 전 6일의 가중치 평균임. 이를 통하여 매일 다음날의 고객기준부하를 예측할 수 있음. 만약 다음날이 수요반응일이고 산출된 고객기준부하보다 사용량이 적을 경우 입찰 량=고객기준부하-사용예측 값만큼 입찰이 가능함. 이는 아래 표와 같음

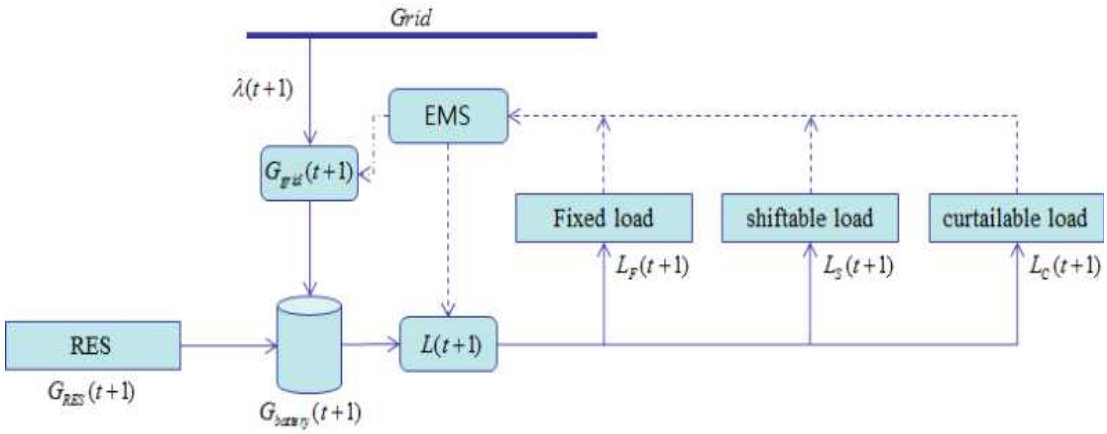
▌표 2.52 입찰 가능량 및 입찰 가능일의 선정 예시 ▌

일	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	D-0
전체부하	100	95	90	97	96	89	90
태양광	10	5	7	3	4	6	10
계량부하	90	90	83	94	92	83	80
CBL						88.66667	
입찰							8.7

▌수직형 정수처리시설 수요반응의 framework

- 수직형 정수처리시설의 부하는 크게 3가지로 나눌 수 있음. 첫 번째는 운영에 필수적인 전력으로 이는 바꿀 수 없음. 물 생산을 위한 설비, EMS구동 전력이 포함됨. 두 번째는 이동가능한 부하임. 이는 지금당장 쓰지 않아도 될 전력임. 만약 정수처

리시설에 물 저장탱크가 있다면 물 생산을 탱크의 저수 용량에 따라 지연이 가능함. 마지막은 항상 반응이 가능한 부하임. 조명, 난방 등이 이에 해당함. 반응 량의 계산은 EMS를 통하여 이루어짐. 먼저 예측 알고리즘을 활용하여 신재생에너지 발전량과 전력사용량이 예측됨. 그 후 고객기준부하와 전력사용량의 차이만큼 수요 반응에 참여가 가능해짐



▌그림 2.96 수직형 정수처리시설 수요반응 framework ▌

▌수요반응의 알고리즘(Modified Greedy Algorithm)

- 최적의 해를 구하기 위하여 매 순간 마다 가장 좋은 선택을 함. 미래의 값은 반영하지 못하기 때문에 전체적으로 봤을 때 최선의 선택이 아닐 수 있음. 이를 해결하기 위하여 미래의 값을 예측하여 현재의 선택에 반영함. 현재 계통의 전력가격 및 설비의 상태에 운영조건 결정

▌운영전략의 결정

- 표와 같이 운영전략은 다음시간의 예측된 상태에 의해 결정됨. 여기서는 8개의 운영전략과 3개의 상태로 나누어지고, 필요한 상태가 있으면 추가 가능함. 첫 번째 상태는 배터리의 충전상태로 완전충전 또는 완전방전 시 운영에 영향을 주기 때문에 도입함. 두 번째는 현재 전력가격으로 다음 시간의 전력가격이 평균 전력보다 크거나 작을 경우에 따라 배터리 운영이 달라짐. 세 번째는 이동가능한 부하와 그 시점에 대한 상태로 만약 이동가능한 부하가 수요 반응에 참여하여 얻는 이득이 이동 후 사용되는 전력가격과 비교하여 상태를 결정함. 삭감가능한 부하의 경우 수요반응에 참여하는 것이 이득이기 때문에 항상 수행함

▌표 2.53 최적 수요 반응 전략 ▐

	상태			결정		
	배터리상태	$\lambda(t+1) < \overline{\lambda}$	$\lambda_{DR}(t+1)L_s(t+1) < \lambda(t+a)L_s(t+a)$ a is timeshift	battery	Load curtail	Load shift
1	완충	Yes	Yes	대기	시행	미시행
2			No	대기	시행	시행
3		No	Yes	방전	시행	미시행
4			No	방전	시행	시행
5	완방	Yes	Yes	충전	시행	미시행
6			No	충전	시행	시행
7		No	Yes	대기	시행	미시행
8			No	대기	시행	시행

▌실시간 요금제에 따른 최적 운영 알고리즘

- 현재 산업용 요금제는 계절별 요금제로써 시간에 상관없이 계절에 따라 kWh당 요금이 부과됨. 향 후 실시간 요금제의 도입 혹은 시간별 요금제를 적용할 경우 전력요금 절감을 위한 운영 전략의 도입이 필요함. 2012년 1월 1일자로 적용된 300kW이상의 고객 중 요청 시 상기표와 같은 요금제를 사용할 수 있음.
- 경부하와 최대부하시의 전력요금은 3배 이상 차이가 발생하기 때문에 최대부하 시 전력사용을 줄이는 것이 바람직함. 이를 위해서는 예측된 태양광 발전을 바탕으로 저장장치를 활용하여 또한 요금이 낮을 때 충전하고 높을 때 방전하는 전략이 필요할 것임.
- 또한, 전력수요 제어를 통하여 피크 부하시의 에너지를 제어할 수 있음. 이는 목표 전력을 설정하고 전력 사용이력을 관찰하여 목표 전력을 초과할 것으로 예상될 때 중요도가 낮은 부하 순서로 정지시키는 방법으로 표와 같이 크게 2가지 방법이 있음. 결과적으로 최적 운영 알고리즘을 통하여 전력요금을 절감할 수 있음

▌표 2.54 산업용(을) 요금제 ▐

구분		기본요금	전력량 요금(원/kWh)			
		(원/kW)	시간대	여름철(7~8월)	봄,가을철 (3~6,9~10월)	겨울철(11~2월)
고압A	선택 I	6,880	경 부 하	52.3	52.3	57.7
			중간부하	98.4	72.5	96.8
			최대부하	167.9	98.3	144.4
	선택II	7,930	경 부 하	47	47	52.4
			중간부하	93.1	67.2	91.5
			최대부하	162.6	93	139.1
고압B	선택 I	6,330	경 부 하	50.8	50.8	56.1
			중간부하	96.2	70.8	94.6
			최대부하	164.8	96.1	141
	선택II	7,040	경 부 하	47.2	47.2	52.5
			중간부하	92.6	67.2	91
			최대부하	161.2	92.5	137.4
	선택III	7,810	경 부 하	45.7	45.7	51
			중간부하	91.1	65.7	89.5
			최대부하	159.7	91	135.9
고압C	선택 I	6,290	경 부 하	50.6	50.6	55.7
			중간부하	96.4	70.9	94.4
			최대부하	164.5	96.3	141.1
	선택II	7,180	경 부 하	46.1	46.1	51.2
			중간부하	91.9	66.4	89.9
			최대부하	160	91.8	136.6
	선택III	7,710	경 부 하	45	45	50.1
			중간부하	90.8	65.3	88.8
			최대부하	158.9	90.7	135.5

▌표 2.55 예측 제어법과 슬라이딩 윈도우법 ▐

방법	예측 제어법	슬라이딩 윈도우법
내용	한주기를 시작하고 6분이 경과하였을 때 계속 사용할 경우 목표치를 초과할 경우 초과가 예상되는 부하를 프로그램에 의해 정지	매 샘플주기를 kWh값으로 측정하여 그 값을 통하여 사전 수요 간격 내의 초전력량을 구하고 중요도가 낮은 부하는 정지시켜 제어

▌최적운영 알고리즘

- 최적운영은 전력비용의 최소화를 의미함 이를 위하여 선행된 태양광 발전예측 알고리즘을 통하여 태양광 발전량을 예측하고, 수직형 정수처리 시설의 전력 소모량을 예상하여 수요 반응에 참여함. 전력가격을 변수로 두어 실시간 요금제가 도입

될 경우를 대비하였음. 또한 전력저장장치가 도입될 경우를 대비하여 저장장치의 충 방전 알고리즘을 포함함

▌목적함수

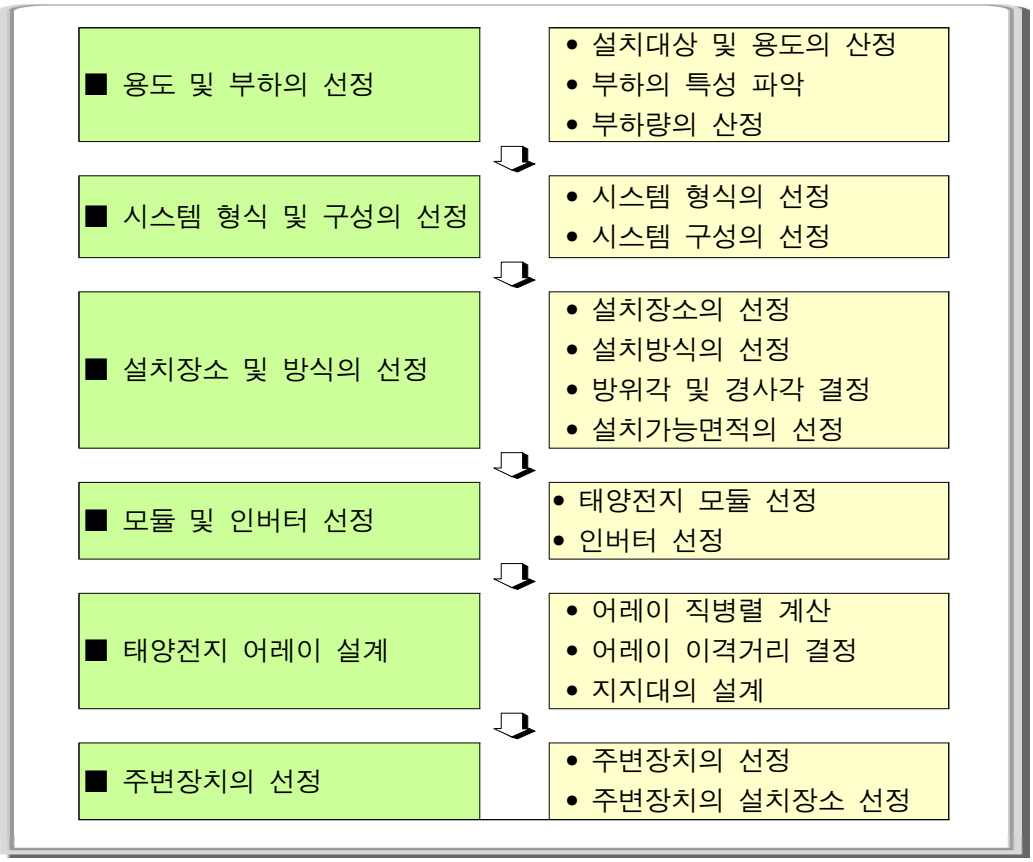
$$\min TC = \sum_{1}^{t} \lambda_{SMP}(t) L(t+1) - \lambda_{DR}(t+1) L_{DR}(t+1)$$
$$L(t+1) = L_F(t+1) + L_S(t+1) + L_C(t+1) - G_{RES}(t+1) - G_{battery}(t+1)$$
$$L_{DR}(t+1) = CBL - L(t+1)$$
λ_{DR} : 수요반응의 인센티브 ₩/KWh
L_{DR}: 수요반응 크기
CBL : 고객기준 부하

- 목적함수는 기준 기간 동안의 전력비용을 최소화함. 이는 전력사용에 대한 비용과 수요 반응에 대한 인센티브의 차가 됨. 수요 반응량은 고객기준부하(CBL)과 전력 전력사용 예정량의 차로 산출함.

▌제약조건

- 배터리 충전량은 배터리의 시간당 최대 충전량을 넘지 못함. 또한 완전충전과 완전방전 상태를 고려함.

$$G_{battery}(t+1) = G_{battery}(t) + G_{ramp}$$
$$G_{battery}(t+1) \le G_{battery}^{\max}$$
$$G_{battery}(t+1) \ge G_{battery}^{\min}$$



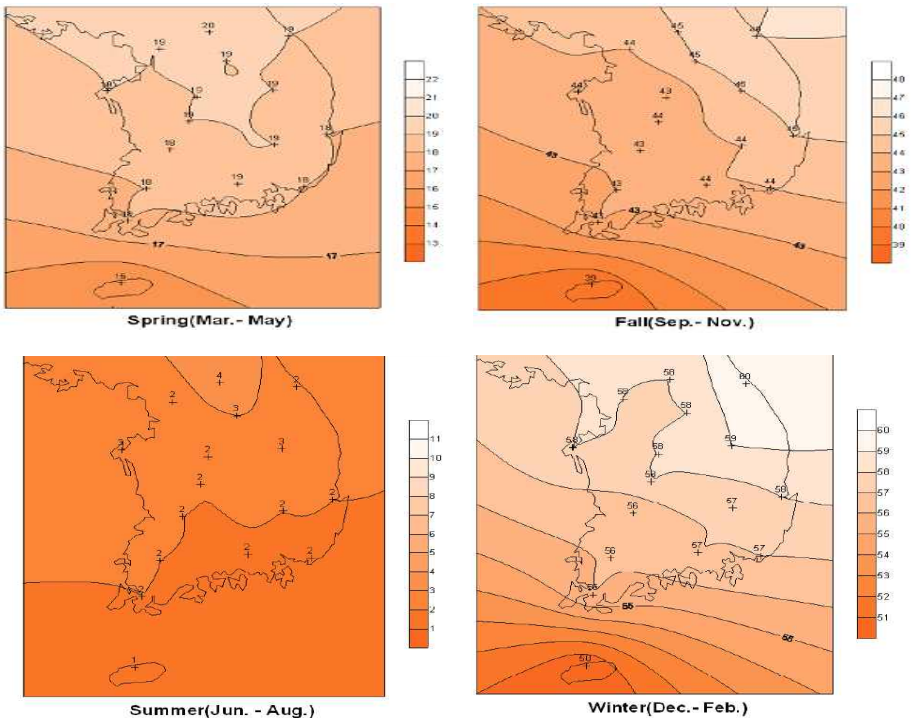
▌그림 2.97 태양광 발전 시스템 설계 Process ▐

▌태양광 발전시스템은 입지조건, 시스템형식, 용량 등을 종합적으로 고려하여 위와 같은 절차에 의해 설계함

▌한국에너지기술연구원의 연구자료("전문가시스템을 이용한 태양광어레이의 최적설치 각도에 관한 연구", 2007.3월 한국태양에너지 학회 논문)에 의하면 계절별 전국의 최적 태양광 어레이 설치 경사각은 계절별로 차이를 나타내고 있음

- 전국의 봄철 최적 태양광 어레이 설치 경사각은 15° ~ 20° 의 분포를 보이고 있으며, 대체적으로 고른 분포를 보이고 있으나 북쪽 지방일수록 최적 경사각도가 높아지는 경향을 보이고 있음
- 전국의 여름철 최적 태양광 어레이 설치 경사각은 1° ~ 5° 사이의 분포를 보이고 있으며, 대체적으로 고른 분포를 보이고 있음. 또한, 북쪽 지방일수록 최적 경사각도가 높아지는 경향을 보이고 있고 여름철의 최적 태양광 어레이 설치 경사각이 0° (수평면)에 가까운 경향을 보이고 있음. 이것은 여름철 태양의 고도가 천정과 수직에 가깝다는 것을 의미함

- 전국의 가을철 최적 태양광 어레이 설치 경사각은 39° ~ 46° 사이의 분포를 보이고 있으며, 강릉과 같은 동해 북구 해안지방으로 갈수록 최적 태양광 어레이 설치 경사각이 높아지는 경향을 보이고 있음
- 전국의 겨울철 최적 태양광 어레이 설치 경사각은 50° ~ 60° 사이의 분포를 보이고 있으며, 동해 북부 해안지방으로 갈수록 최적 태양광 어레이 설치 경사각이 높아지는 경향을 보이고 있음



▌그림 2.98 계절별 최적경사각(남향기준)▐

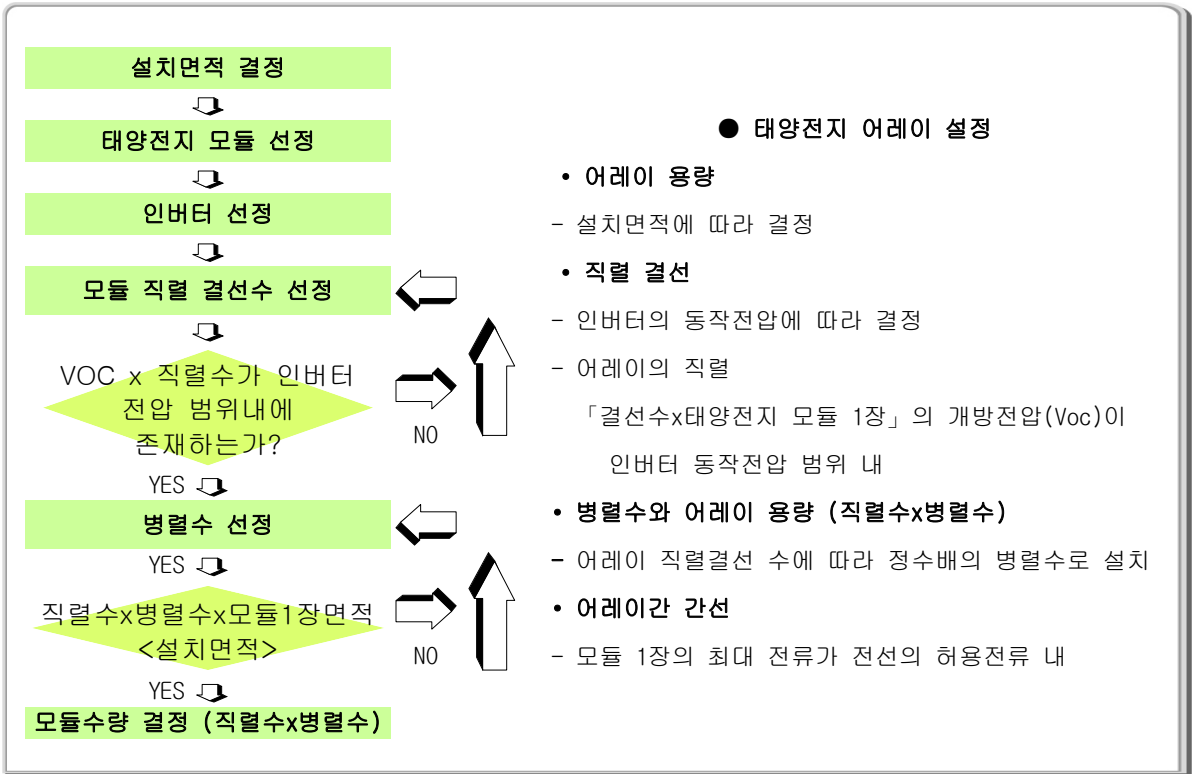
▌표 2.56 지역별 계절별 최적경사각 ▐

	최적경사각(도)				
	평균	봄	여름	가을	겨울
경기	33	19	3	43	57
강원	35	19	3	45	59
충북	33	19	2	43	57
충남	32	19	2	43	57
전북	31	18	2	43	55
전남	31	18	2	43	56
경북	32	18	2	43	56
경남	33	18	2	43	56
제주	24	15	0	39	49

* 출처 : 주택용 PV시스템 최적화를 위한 성능향상 기술개발(지식경제부, 2009)

▌한국에너지기술연구원의 연구자료 및 주택용 PV시스템 최적화를 위한 성능향상 기술개발(지식경제부(2009))』에 의거하여 개발지역의 계절별 경사각을 33°로 선정함

▌태양전지의 용량 결정은 모듈, 인버터, 직병렬 어레이배열에 의해 아래 표와 같은 흐름도에 의해 결정함



▌그림 2.99 태양광 시스템 용량결정 흐름도▐

▌태양전지 어레이 설계 절차에 의해 이미 앞에서 태양전지 모듈 및 인버터를 결정하였으며 그 결과는 다음과 같음

▌표 2.57 태양전지 모듈 및 인버터 사양(설계사양)▐

모듈		인버터	
용 량 [Wp]	190	용 량 [kW]	10
크 기 [mm]	1574*782*40	크 기 [mm]	650×1060×500
최대전압 [V_{MPP}]	35.31	입력전압 [V]	DC200~800
개방전압 [V_{OC}]	45.23	출력전압 [V]	AC380±38
최대전류 [I_{MPP}]	5.38	최대전류 [A]	600A
효 율 [%]	16.26	효 율 [%]	96% 이상

▌ 직렬 모듈 수 결정을 위하여 겨울과 여름의 최대전력전압 및 개방전압은 다음과 같음

▌PV 어레이에서 온도 변화에 따른 PV 모듈의 직-병렬 수를 계산하기 위해 모듈의 각 전압을 온도 변화에 따라 점검하여야 함.

▪ PV 모듈의 각 출력전압 및 전류는 온도 25° C에서 일사량 1000(W/㎡)일 때임. 주위온도가 지역에 따라 다르기도 하지만, 사업지역의 특성을 감안하여 겨울철의 최저 온도는 -15° C, 여름철의 모듈 표면 온도는 +70° C를 유지하는 조건을 고려하여 겨울철은 모듈 전압이 상승하고 여름철에는 전압이 낮아지는 조건을 고려함. 따라서 겨울과 여름의 최대전력 전압(VMPP)과 개방전압(VOC)은 다음 식을 이용함

$$\text{VMPP(T° C)} = V_{MPP} + \left\{ [25℃ - (T\ ℃)] (\frac{\text{V}}{℃}) \right\}$$

$$\text{VOC(T° C)} = V_{OC} + \left\{ [25℃ - (T\ ℃)] (\frac{\text{V}}{℃}) \right\}$$

- -15° C 일 때 $V_{MPP}(-15℃) = 35.31 + \{[25-(-15)] \times 0.11\} = 39.71(\text{V})$
- -15° C 일 때 $V_{OC}(-15℃) = 45.23 + \{[25-(-15)] \times 0.11\} = 49.63(\text{V})$
- 70° C 일 때 $V_{MPP}(70℃) = 35.31 + \{[25-(70)] \times 0.11\} = 30.36(\text{V})$
- 70° C 일 때 $V_{OC}(70℃) = 45.23 + \{[25-(70)] \times 0.11\} = 40.28(\text{V})$

▌ 겨울철 인버터 입력전압을 고려한 직렬 모듈 수 산정

▪ 겨울철의 기온이 하강할 때, 인버터의 최대 입력전압 범위 안에 동작하도록 모듈의 직렬연결 개수를 계산함. 인버터의 최대 입력한계 전압과 -15° C 모듈의 개방전압으로 다음과 같이 직렬연결 개수를 구함

$$n_{oc} = \frac{V_{\max(\text{inverter})}}{V_{OC(-15℃/\text{module})}} = \frac{800(\text{V})}{49.63(\text{V})} = 18.8(\text{개})$$

▪ 또한 -15° C 모듈의 최대 전력점에서 직렬연결 수(nmpp)를 구하기 위해, 인버터의 직류 입력전압 최대값 800 (V)에 -15° C 모듈의 최대 전력전압을 적용하여 직렬연결 개수(nmpp)를 구함

$$n_{mpp} = \frac{V_{input(\text{inverter})}}{V_{MPP(-15℃/\text{module})}} = \frac{800(\text{V})}{39.71(\text{V})} = 20.1(\text{개})$$

▌여름철 인버터 입력전압을 고려한 직렬 모듈 수 산정

▪ 기온이 상승하는 여름철에는 모듈의 최대 전력점이 감소하게 되므로 PV 어레이의 출력전압이 인버터의 최소 입력전압 범위를 벗어나지 않도록 모듈의 최소 직렬연결 개수를 다시 계산함. 따라서 인버터의 최소 입력 전압과 70° C 모듈의 최대 전력 전압으로 다음과 같이 최소 직렬연결 개수를 구함

$$n_{mpp}' = \frac{V_{\min(\text{inverter})}}{V_{MPP(+70℃/\text{module})}} = \frac{200(\text{V})}{30.36(\text{V})} = 6.6(\text{개})$$

▌직렬 모듈 수 결정

▪ 지금까지 과정에서 모듈의 직렬연결 개수 범위는 7개에서 18개 사이에 있음을 알 수 있음. 기온이 상승하는 여름에는 모듈의 출력 전압강하로 인한 인버터의 최소 입력전압 이상으로 설치하고, 기온이 하강하는 겨울에는 모듈의 출력 전압상승 때문에 인버터의 최대 입력전압 이하가 되도록 모듈의 개수를 결정함

▪ 모듈 13(개)를 직렬로 연결하는 경우에

70° C의 여름에 최대 전력 전압은

$$V_{MPP(70)} = \{V_{MPP}(+70℃)\} \times 13 = 30.36 \times 13 = 394.7(\text{V})$$

25° C의 상온에서 최대 전력 전압은

$$V_{MPP(25)}(+25℃) = 35.31 \times 13 = 459.03(\text{V})$$

15° C의 겨울일 때, 개방 전압은

$$V_{OC(-15)} = \{V_{OC}(-15℃)\} \times 13 = 49.63 \times 13 = 645.2(\text{V})$$

▪ 따라서 인버터의 직류 입력전압 범위는 200~800V이므로 모듈의 출력전압이 감소하는 여름에 모듈 13개를 직렬로 연결하면 모듈의 출력의 최소전압은 394.7V가 되고, 이 전압은 모듈의 표면온도가 70° C인 여름철에는 인버터 최소 입력전압

200V보다 높으므로 인버터의 동작에는 문제없음. 또한 모듈의 표면온도가 -15° C인 겨울철에는 모듈의 직렬회로의 출력전압이 645.2V이므로 인버터 입력의 최대전압 800V이내에 있으므로 문제가 없음

▌병렬 회로 개수는 사업지역의 면적, 어레이 설치 방식, 설치대상지의 여건 등을 종합적으로 고려하여 산정하여야 함. 따라서 종합적으로 분석한 결과 사업장별로 병렬회로 개수는 다음과 같음

▌표 2.58 모듈 직·병렬회로 개수 ▌

직렬 모듈 수	병렬 회로 수	모듈 수	용량 (㎾)
13	4	52	9.88

▌태양전지 어레이 설계 절차에 의해 이미 앞에서 태양전지 모듈 및 인버터를 결정하였으며 그 결과는 다음과 같음

▌표 2.59 태양전지 모듈 및 인버터 사양(설계사양) ▌

모듈		인버터	
용 량 [Wp]	116	용 량 [kW]	3
크 기 [mm]	1100*1300	크 기 [mm]	650×1060×500
최대전압 [V_{MPP}]	120	입력전압 [V]	DC100~500
개방전압 [V_{OC}]	149.5	출력전압 [V]	AC380±38
최대전류 [I_{MPP}]	1.148	최대전류 [A]	600A
효 율 [%]	6	효 율 [%]	96% 이상

▌PV 어레이에서 온도 변화에 따른 PV 모듈의 직-병렬 수를 계산하기 위해 모듈의 각 전압을 온도 변화에 따라 점검하여야 함.

- PV 모듈의 각 출력전압 및 전류는 온도 25° C에서 일사량 1000(W/㎡)일 때임. 주위온도가 지역에 따라 다르기도 하지만, 사업지역의 특성을 감안하여 겨울철의 최저 온도는 -15° C, 여름철의 모듈 표면 온도는 +70° C를 유지하는 조건을 고려하여 겨울철은 모듈 전압이 상승하고 여름철에는 전압이 낮아지는 조건을 고려함.

따라서 겨울과 여름의 최대전력 전압(VMPP)과 개방전압(VOC)은 다음 식을 이용함

$$\text{VMPP(T° C)} = V_{MPP} + \left\{ [25℃ - (T\ ℃)] (\frac{\text{V}}{℃}) \right\}$$

$$\text{VOC(T° C)} = V_{OC} + \left\{ [25℃ - (T\ ℃)] (\frac{\text{V}}{℃}) \right\}$$

- 15° C 일 때 $V_{MPP}(-15℃) = 120 + \{[25 - (-15)] \times 0.11\} = 124.4(\text{V})$
- 15° C 일 때 $V_{OC}(-15℃) = 149.5 + \{[25 - (-15)] \times 0.11\} = 153.9(\text{V})$
- 70° C 일 때 $V_{MPP}(70℃) = 120 + \{[25 - (70)] \times 0.11\} = 115.05(\text{V})$
- 70° C 일 때 $V_{OC}(70℃) = 149.5 + \{[25 - (70)] \times 0.11\} = 144.55(\text{V})$

▌겨울철의 기온이 하강할 때, 인버터의 최대 입력전압 범위 안에 동작하도록 모듈의 직렬연결 개수를 계산함. 인버터의 최대 입력한계 전압과 -15° C 모듈의 개방전압으로 다음과 같이 직렬연결 개수를 구함

$$n_{oc} = \frac{V_{\max(\text{inverter})}}{V_{OC(-15℃/\text{module})}} = \frac{500(\text{V})}{153.9(\text{V})} = 3.3(\text{개})$$

▪ 또한 -15° C 모듈의 최대 전력점에서 직렬연결 수(nmpp)를 구하기 위해, 인버터의 직류 입력전압 최대값 800 (V)에 -15° C 모듈의 최대 전력전압을 적용하여 직렬연결 개수(nmpp)를 구함

$$n_{mpp} = \frac{V_{input(\text{inverter})}}{V_{MPP(-15℃/\text{module})}} = \frac{500(\text{V})}{124.4(\text{V})} = 4(\text{개})$$

▌여름철 인버터 입력전압을 고려한 직렬 모듈 수 산정

▪ 기온이 상승하는 여름철에는 모듈의 최대 전력점이 감소하게 되므로 PV 어레이의 출력전압이 인버터의 최소 입력전압 범위를 벗어나지 않도록 모듈의 최소 직렬연결 개수를 다시 계산함. 따라서 인버터의 최소 입력 전압과 70° C 모듈의 최대 전력 전압으로 다음과 같이 최소 직렬연결 개수를 구함

$$n_{mpp}' = \frac{V_{\min(\text{inverter})}}{V_{MPP(+70℃/\text{module})}} = \frac{100(\text{V})}{115.05(\text{V})} = 0.9(\text{개})$$

④ 직렬 모듈 수 결정

▌지금까지 과정에서 모듈의 직렬연결 개수 범위는 1개에서 3개 사이에 있음을 알 수 있음.

- 기온이 상승하는 여름에는 모듈의 출력 전압강하로 인한 인버터의 최소 입력전압 이상으로 설치하고, 기온이 하강하는 겨울에는 모듈의 출력 전압상승 때문에 인버터의 최대 입력전압 이하가 되도록 모듈의 개수를 결정함. 특히 사업지의 공간적인 여건 및 배치를 고려하여 모듈을 결정하여야 함

- 모듈 2(개)를 직렬로 연결하는 경우에
  70° C의 여름에 최대 전력 전압은

$$V_{MPP(70)} = \{V_{MPP}(+70℃)\} \times 2 = 115.05 \times 2 = 230(\text{V})$$

  25° C의 상온에서 최대 전력 전압은

$$V_{MPP(25)}(+25℃) = 120 \times 2 = 240(\text{V})$$

  15° C의 겨울일 때, 개방 전압은

$$V_{OC(-15)} = \{V_{OC}(-15℃)\} \times 4 = 153.9 \times 2 = 308(\text{V})$$

- 따라서 인버터의 직류 입력전압 범위는 100~500V이므로 모듈의 출력전압이 감소하는 여름에 모듈 2개를 직렬로 연결하면 모듈의 출력의 최소전압은 230 V가 되고, 이 전압은 모듈의 표면온도가 70° C인 여름철에는 인버터 최소 입력전압 100V보다 높으므로 인버터의 동작에는 문제없음. 또한 모듈의 표면온도가 -15° C인 겨울철에는 모듈의 직렬회로의 출력전압이 308V이므로 인버터 입력의 최대전압 500V이내에 있으므로 문제없음

▌병렬 회로 개수는 사업지역의 면적, 어레이 설치 방식, 설치대상지의 여건 등을 종합적으로 고려하여 산정하여야 함. 따라서 종합적으로 분석한 결과 사업장별로 병렬회로 개수는 다음과 같음

▌표 2.60 모듈 직·병렬회로 개수▐

직렬 모듈 수	병렬 회로 수	모듈 수	용량 (㎾)
2	22	44	5.1

▌**태양전지 어레이를 설치되는 경우에는 전열의 어레이가 후열의 어레이에 그림자의 영향을 주지 않도록 설치하여야 함.** 따라서 연중 태양의 남중고도가 가장 낮은 동지일 때 그림자가 가장 길어지므로 동짓날을 기준으로 그림자의 영향을 주지 않도록 어레이 이격거리를 선정하여야 함

▌**따라서 어레이 이격거리는 이론적인 계산식에 의한 방법과 실제 디자인을 통한 시뮬레이션을 통해 최적의 이격거리를 선정하였음**

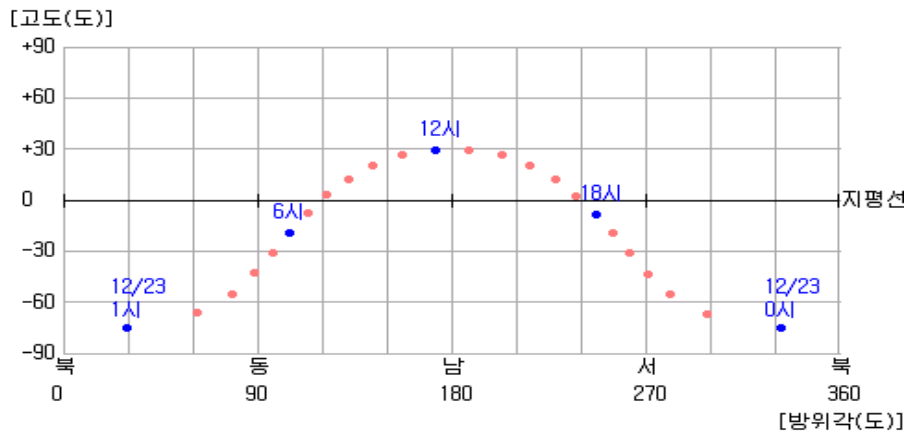
① 개발지역의 위도 및 남중고도

- 위도 : 36.37° (청주)
- 동지 때 남중고도

▪ 천체의 고도(高度)란 지평선에서 천체까지 잰 각을 말하는데 남중 고도란 천체가 남쪽 자오선에 위치할 때 고도를 뜻함

▪ 동지 때 남중고도(h)= 90° - ϕ - 23.5° (ϕ: 남중고도를 재는 지역의 위도)

$$h = 90° - 36.37° - 23.5° = 30.13°$$



▌그림 2.100 태양의 고도 및 방위각 변화(청주시, 2011.12.23)▐

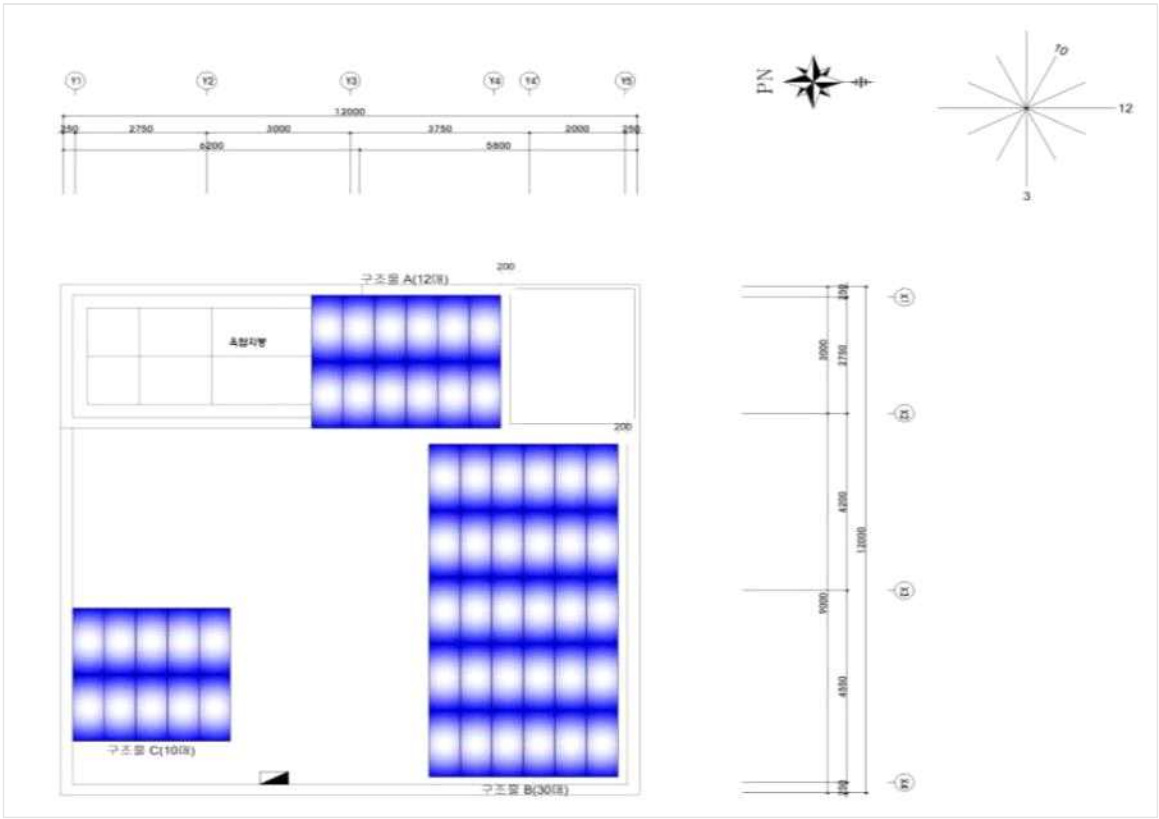
시간 (시)	방위각 (도 분 초)	고도 (도 분 초)	적경 (시 분 초)	적위 (도 분 초)
00	333 02 51.60	-75 26 35.5	18 01 45.32	-23 26 13.7
01	029 21 18.40	-75 10 00.7	18 01 56.56	-23 26 13.2
02	062 31 39.80	-66 19 03.4	18 02 07.80	-23 26 12.8
03	078 38 24.50	-54 57 15.9	18 02 19.02	-23 26 12.5
04	089 06 02.80	-43 00 04.4	18 02 30.22	-23 26 12.3
05	097 33 11.00	-31 00 02.6	18 02 41.40	-23 26 12.1
06	105 24 27.80	-19 13 06.0	18 02 52.54	-23 26 11.9
07	113 25 17.30	-7 52 34.0	18 03 03.64	-23 26 11.6
08	122 09 02.60	02 46 01.8	18 03 14.71	-23 26 11.3
09	132 05 53.60	12 21 54.0	18 03 25.75	-23 26 10.9
10	143 42 51.70	20 26 30.4	18 03 36.76	-23 26 10.4
11	157 14 32.20	26 23 11.6	18 03 47.75	-23 26 09.7
12	172 24 32.00	29 32 55.8	18 03 58.72	-23 26 08.8
13	188 13 26.30	29 28 56.6	18 04 09.69	-23 26 07.7
14	203 20 21.80	26 11 50.8	18 04 20.66	-23 26 06.4
15	216 47 29.10	20 09 15.2	18 04 31.65	-23 26 05.0
16	228 20 01.90	12 00 19.4	18 04 42.66	-23 26 03.4
17	238 13 24.60	02 21 26.6	18 04 53.70	-23 26 01.6
18	246 54 52.80	-8 19 11.7	18 05 04.77	-23 25 59.8
19	254 54 41.20	-19 41 03.5	18 05 15.87	-23 25 57.8
20	262 46 27.80	-31 28 46.5	18 05 27.02	-23 25 55.9
21	271 16 29.00	-43 29 01.7	18 05 38.19	-23 25 53.9
22	281 52 10.60	-55 25 36.0	18 05 49.39	-23 25 52.0
23	298 22 06.20	-66 44 32.2	18 06 00.62	-23 25 50.2

▌그림 2.101 청주시 방위 및 고도각 변화▐

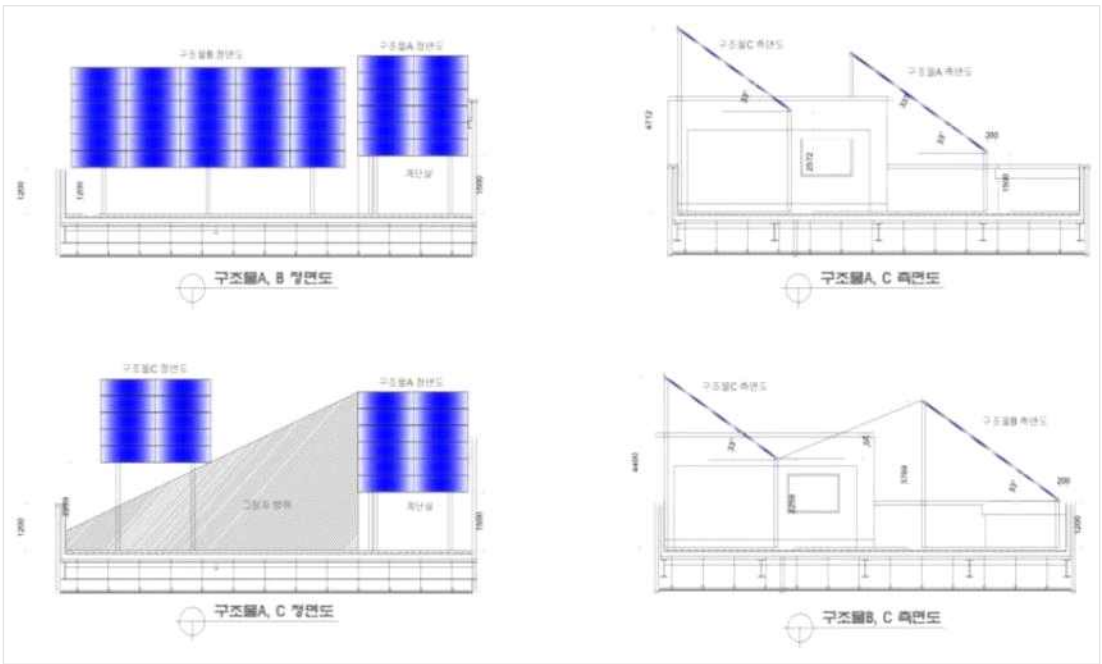
② 이격거리

- 개발지역(청주시) 최적경사각은 33° 이므로, 이때 어레이 간격을 시뮬레이션을 통해 산정하였으며, 설치공간이 협소하여 뒷열 어레이의 설치 구조물을 높여 그림자발생을 방지함

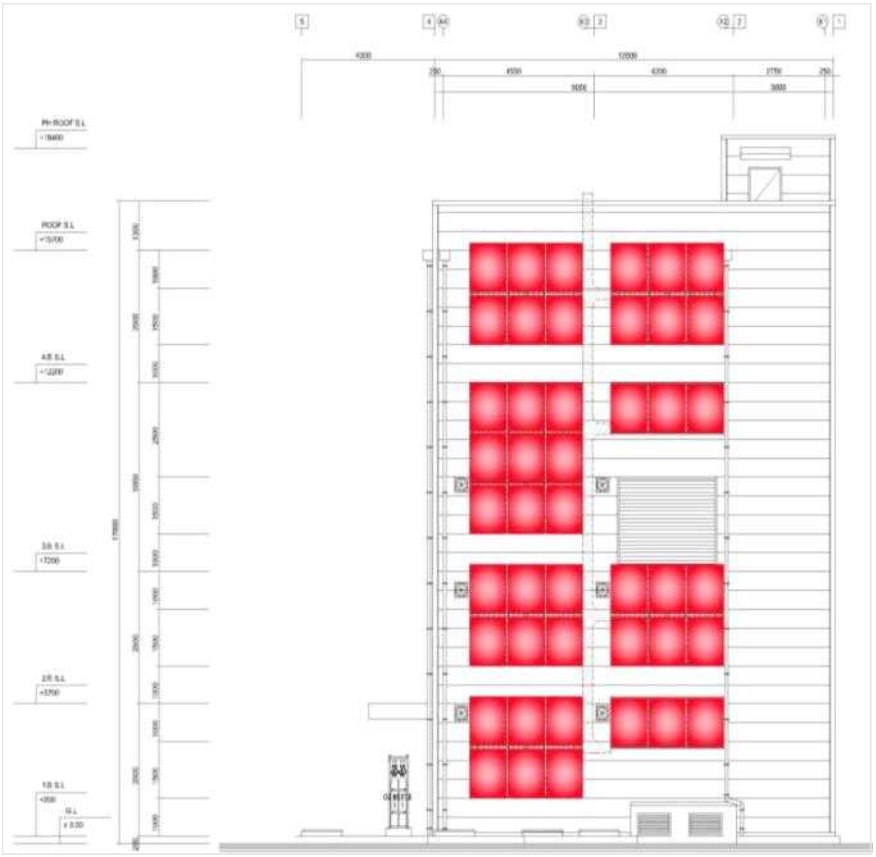
▌옥상설치 태양광발전은 13직렬 4병렬 회로를 구성하며, 어레이 설치간격은 아래와 같이 하여 그림자의 영향을 받지 않도록 함. 4개의 병렬회로로부터 나오는 2.47kW 의 1직렬 출력은 4CH의 접속함 1대에 입력되며, 9.88kW 접속함의 출력은 10kW 인버터로 입력됨. 그리고 어레이 경사각은 33°고정식으로 함. 태양광발전의 최대발전 조건인 정남방향의 33°경사각을 유지함.



▌그림 2.102 옥상태양광 설치평면도▐



▌그림 2.103 옥상태양광 설치 측면도▐



▌그림 2.104 BIPV 설치정면도▐

▌BIPV의 경우 2직렬 22병렬 회로로 구성되며, 옥상설치 태양광과 직렬수가 상이하여 하나의 인버터로 입력될 수 없어 별도의 인버터를 설치한다. BIPV의 출력은 5.1kW로써 5kW 인버터 1대 사용이 가능하나, 현재 시판되는 인버터는 3kW, 10kW이상으로 출시되어 3kW 인버터 2대를 사용함

▌옥상설치 태양광발전과 BIPV의 효율을 분석하기 위해 각각의 일사량계를 사용함.(옥상설치 태양광 – 경사면 일사량계, BIPV – 수직면 일사량계)

▌발전량 분석을 위해 모니터링시스템을 구축하여 태양광의 일, 월, 년 데이터를 분석할 수 있도록 함

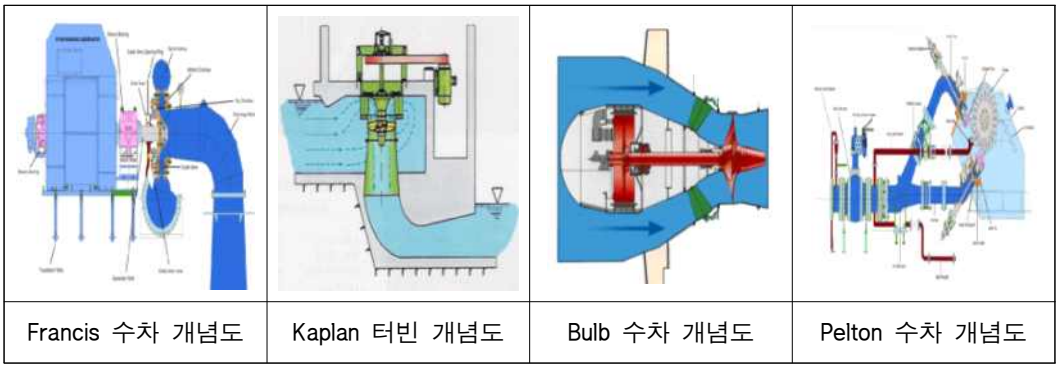
⑵ 소수력 발전설비(Small Hydro Generation)

▌정의) 물의 운동 및 위치에너지를 이용하여 전기를 생산하는 10,000kW이하 수력발전

으로 정의되어 왔으나, 2005년 설비용량이 삭제되어 신재생에너지의 연구개발 및 보급대상은 주로 10,000kW이하 또는 5,00kW이하의 수력발전 설비를 의미함

구 분	발전 용량
마이크로 수력 발전(Micro hydropower)	- 100 kW
미니수력 발전 (Mini hydropower)	100 - 1,000 kW
소수력 발전 (Small hydropower)	1,000 - 10,000 kW

▌개념도)



Francis 수차 개념도	Kaplan 터빈 개념도	Bulb 수차 개념도	Pelton 수차 개념도

▌그림 2.105 소수력 발전 수차 개념도▐

▌선진국 사례)

【도쿄 모리가사키 하수처리장(일본)】 【Nekar 소수력 발전소 (독일)】

▌그림 2.106 소수력 발전 수차 적용 사례▐

- 연구기관과 기업의 공동 실증연구를 통하여 시스템의 효율, 장기적인 신뢰성, 설치 현장에서의 문제점 해결 등 상업화에 필요한 제반사항들을 실증적으로 수행
- 유속 조건에 따른 최적 출력제어, 보호기능, 기기의 모니터링 시스템 구축 등 시스템의 최적화 설계에 주안점을 둠

▌소수력시스템 구축 전략

- 저낙차 Pico급 소수력발전설비 제작
- 잉여에너지의 최적 이용

▌(수차형식 선정 조건) 수차의 입지조건은 20,000ton/day 용량을 바탕으로 한 조건으로 설정하고 목표 발전량 5kW를 바탕으로 낙차조건 산정

【낙차 조건의 산정】

유량	낙차	목표 발전량	목표 효율
0.23 cms	3.2 m	5 kW	65 % 이상

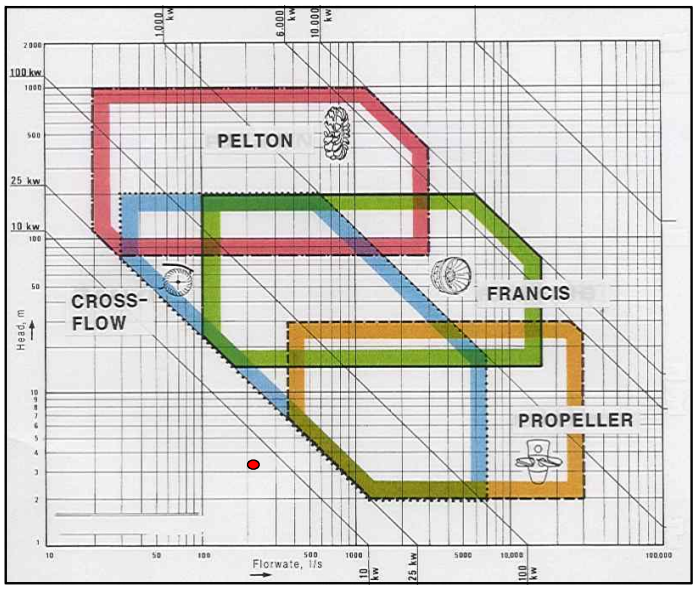
- 20,000ton/day = 0.23 cms(ton/sec)
- 시설용량 5kW = 유입량 × 낙차 × 중력가속도 × 효율
  = 0.23 × 낙차 × 9.8 × 0.65
- 위의 계산식에서 필요한 최소낙차를 계산하면 3.2m의 낙차가 필요함

▌해외 수차 제작사의 데이터를 활용한 산정

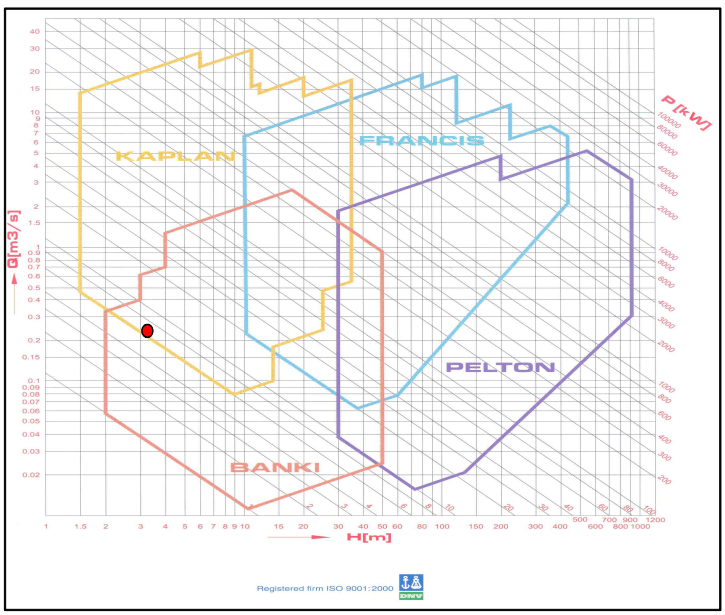
▌표 2.61 수차의 형식에 따른 특성 ▌

형 식	특 성
펠톤 (Pelton)	○ 물의 유속을 이용한 충동수차 ○ 비속도(Ns)가 낮아 250m 이상의 고낙차에 적합 ○ 주로 대용량 수차에 적용
크로스플로우 (Crossflow)	○ 수량변동이 심한지역에서 연간발전량이 많음 ○ 간단한 구조 가이드베인 1개 러너의 용접구조로 자체 청소기능과 정비수월 ○ 변동유량에도 출력(효율)이 일정 ○ 가이드베인 및 런너는 반영구적 ○ 오일유출이 없는 친환경터빈 ○ 0%~100%(첨두부하)까지 Cavitation이 없음
프란시스 (Francis)	○ 물의 압력에 의한 에너지를 이용 ○ 적용낙차는 약 50～500m로 광범위하게 채용됨 ○ 구조가 간단하며 중낙차로서 유량이 비교적 클 때 유리
프로펠러 (Propeller)	○ 물의 압력에 의한 에너지를 이용 ○ 비속도(Ns)가 높아 80m 이하의 저낙차에 적합 ○ 고정날개형 Propeller 수차는 구조가 간단하여 경제적이며 낙차와 부하가 일정할 경우 유리
카플란 (kaplan)	○ 가동날개를 가지고 있어 부분부하에서도 효율저하가 적음. ○ 변동부하와 변동낙차의 발전소에 적합
튜블러 (Tubular)	○ 효율이 높고 굴착이 적어 토목공사비가 적게 소요되므로 15m 이하와 같은 저낙차에 특히 유리. ○ 시공 및 운영유지가 용이.

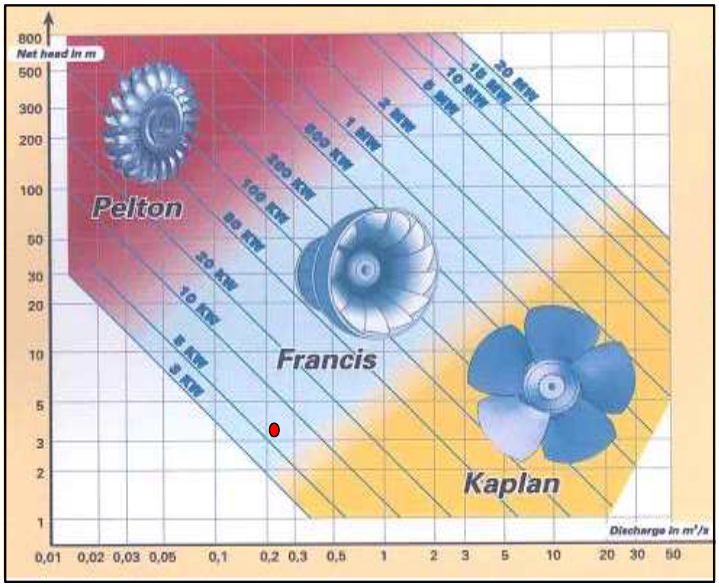
▪ 유량과 낙차에 따라 선정 가능한 수차의 형식이 달라지는데, 아래의 그림을 참고하여 볼 수 있음. 아래 그림은 해외 수차제작사의 유량-낙차별 수차 적용범위이고, 20,000ton/day 용량에 부합하는 낙차(3.2m)와 유량(0.23cms)를 적용하여 붉은점으로 표시하였음



▌그림 2.107 수차의 사용 범위(Andriz)▐



▌그림 2.108 수차의 사용 범위(Mavel)▐



▌그림 2.109 수차의 사용 범위(Gugler)▐

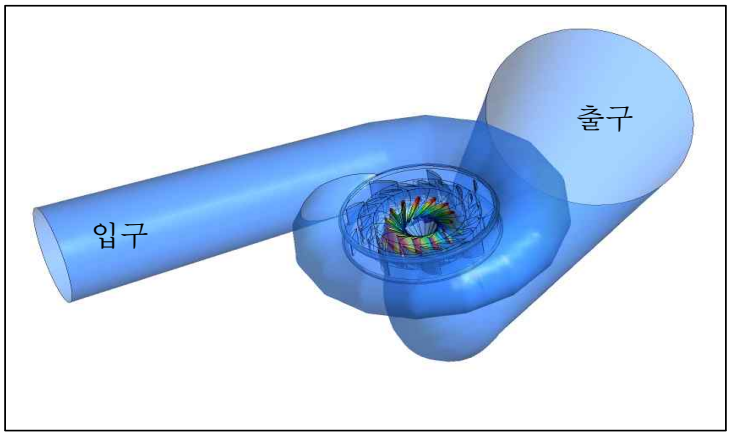
- 상기의 그림을 검토하면 본 연구에 적용할 수 있는 수차의 범위를 확인할 수 있음. 수차의 사용 범위(Andriz)에서는 본 연구에 적용할 수 없으며, 수차의 사용 범위(Mavel)에서는 BankiTurbine(Cross-Flow Turbine)과 Kaplan Turbine에 적용할 수 있고, 수차의 사용 범위(Gugler)에서는 Francis Turbine에 유량-낙차별 수차적용범위를 적용할 수 있음
- 유량-낙차별 수차적용범위에 해당하는 Banki Turbine(Crossflow Turbine)과 Propeller Turbine(Kaplan Turbine), Francis Turbine에 대하여 설계 검토를 실시하였음

▌(프란시스 수차검토) 유입량, 압력(낙차)조건 등의 설계조건에 맞춰 다음과 같이 경계 조건 설정하여 검토 수행

【낙차 조건의 산정】

입구압력 (낙차)	출구압력	수차 회전속도	런너 직경(D1)	가이드베인 높이(B1)
3.2 m	0 m	350 rpm	405.1 mm	107.3 mm
			383.1 mm	101.4 mm

- 같은 조건에서의 런너 직경을 달리하여 두 가지 안에 대해 해석을 실시
- 가이드베인 높이(B1)은 런너 직경에 대한 상사 값으로 런너 직경 변화에 따라 달리 적용



▌그림 2.110 해석 모델 전체 조견표▐

- 같은 모델에서 상사법칙을 통한 런너 직경(D1)의 변경으로 총 2가지 경우를 해석 시행
- 입구에서 출구를 거쳐 낙차 3.2m에 해당하는 압력을 설정하여 해석을 수행
- 가이드베인의 개도는 Full open과 Full close 사이의 60%로 고정

▌런너 Blade 형상은 상사법칙을 이용하여 크기변화에 따른 형상 상의 변화는 없음. 전체 압력 분포 상 특이점은 나타나지 않음

▌런너 Blade의 Span 압력분포

- Span : 런너의 허브에서 슈라우드까지의 거리를 1로 봤을 때, 슈라우드에서의 거리 비율
- 각 Span별 런너 Blade 주변에 대하여 압력 뭉침, 와류현상, 박리현상 등 특이현상 없음

▌가이드베인 형상해석에서 두 가이드베인에 대하여 형상에 대한 차이점은 없음. Span 0~1까지의 형상이 동일하므로 Span 05에 대한 값을 대표값으로 비교하고 박리현상 등의 특이점은 나타나지 않아 형상 상 문제는 없는 것으로 판단

▌관로의 형상검토에서 스파이럴케이싱 입구에서 런너 입구부분까지의 압력분포도를 검토한 결과, 전체적인 유동구조 상 특이사항 없음

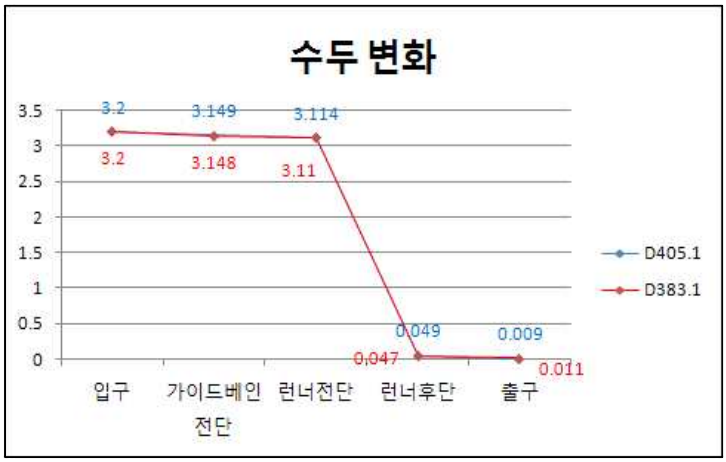
▌스테이베인에서 런너영역의 압력분포

- 스테이베인에서 런너에 이르는 영역의 압력분포
- 표시 영역 및 해석 상 Interface부분의 조건으로 인해 압력 변화가 거친 듯 보이나, 실제 압력 강하는 약 0.1m 수준으로 양호한 편

- 해당영역의 압력 변화는 표 1. 의 입구-런너 전단 부분에 해당

▌위치별 수두(Net Head)변화 그래프

- 입구에서 출구까지 영역의 위치별 수두변화 그래프



▌그림 2.111 위치별 수두변화 그래프▌

▌해석결과

- NetHead = 입구와 출구에서의 압력의 차이 값(낙차)
- 이론수력 = NetHead × 유량 × 중력가속도(9.8m/s^2)
- 예상 발전출력 = 발전기 효율을 80%로 가정했을 때의 출력 값
- 예상 발전출력이 산정한 5 kW에 못 미치는 결과를 보임
- 이는 낙차와 유량이 산정한 값에 못 미치게 나타난 것이 원인으로 판단됨
- 낙차에 해당하는 NetHead는 약 0.01 m의 차이(산정량 3.2m 대비 0.3%)로 설정 범위에서 크게 벗어나지 않음
- 유량은 산정한 0.23cms에 비해 0.022cms ~ 0.043cms 모자란 값을 보이며, 이는 산정한 값의 약 10~18%에 해당함

▌표 2.62 프란시스 수차의 직경에 따른 해석결과▐

런너직경 (‘D_1)	NetHead	유량	회전속도	이론수력	축동력	예상 발전출력
405.1 mm	3.191 m	0.208cms	350 rpm	6.521 kW	5.878 kW	4.702 kW
383.1 mm	3.189 m	0.187cms	350 rpm	5.852 kW	5.271 kW	4.217 kW

▌ 2차 해석결과

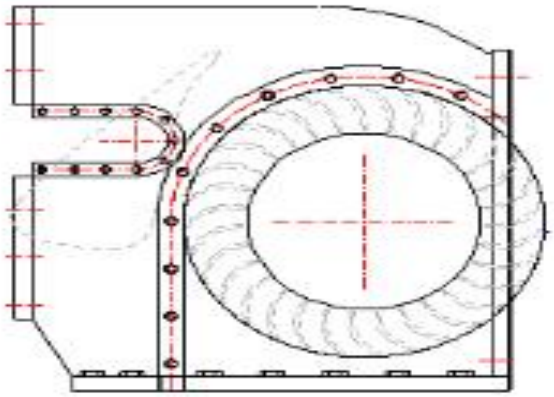
- rpm 변경을 통한 성능개선을 목표로 2차해석 실시
- 사용유량은 개선되었으나 NetHead의 저하가 나타남

▌표 2.63 프란시스 수차의 회전수에 따른 해석결과▐

런너직경 (D_1)	NetHead	유량	회전속도	이론수력	축동력	예상 발전출력
405.1 mm	3.191 m	0.208cms	350 rpm	6.521 kW	5.878 kW	4.702 kW
	3.169 m	0.215cms	720 rpm	6.678 kW	5.911 kW	4.723 kW
	3.143 m	0.237cms	1200rpm	7.23 kW	6.025 kW	4.820 kW

▌ (크로스플로우 수차 검토) 비속도 100 ~ 200m-kW의 영역에서 크로스 플로우 수차의 설계검토를 수행

- 대략적인 수차 대표치수를 결정
- 형식상 특징으로 인해 유동해석이 곤란하여 기존 설계 자료를 활용한 성능 예측 후 검토 수행



▌그림 2.112 크로스플로우 수차의 설계▐

rpm	H	Q
200	3.2	0.23

Ns	P1_kW	P1_kW	P1_kW
111	7.21	5.6	5

런너직경	런너폭	런너베인수량	가이드베인폭
0.4	0.465	31	0.455

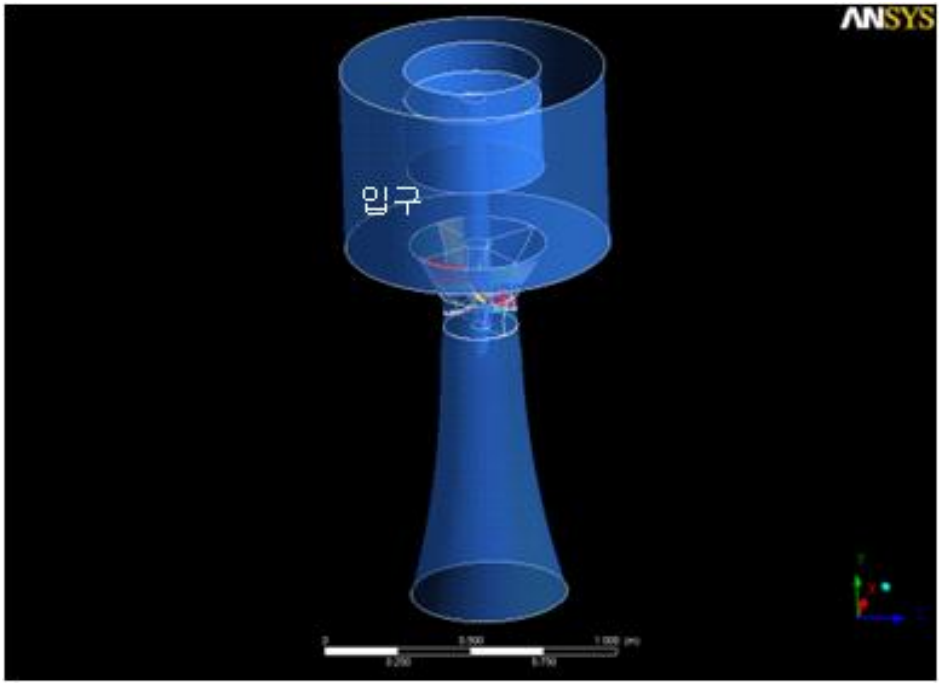
▌ 성능 예측 결과(최고 효율점)

- NetHead : 입구와 출구에서의 압력의 차이 값(낙차)
- 이론수력 : NetHead × 유량 × 중력가속도($9.8m/s^2$)
- 예상 발전출력 : 발전기 효율을 80%로 가정했을 때의 출력 값
- 설계 및 성능 상 문제는 없으나, 회전수 문제로 추가 증속기를 고려하여야 함

【크로스플로우 수차의 해석 결과】

런너직경 (D_1)	NetHead	유량	회전속도	이론수력	축동력	예상 발전출력
400 mm	3.2 m	0.23 cms	200 rpm	7.213 kW	5.5 kW	5 kW

▌(프로펠러 수차 검토) 모델 시험 실적이 있는 기본 형식에 대한 유동해석 검토를 실시

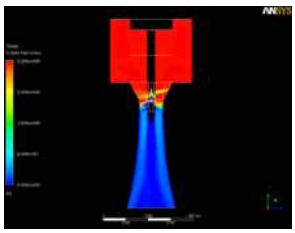
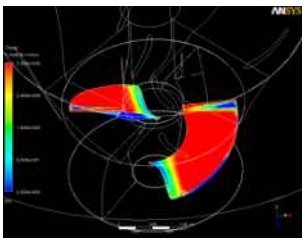
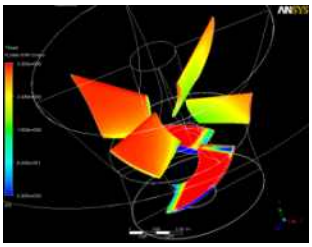
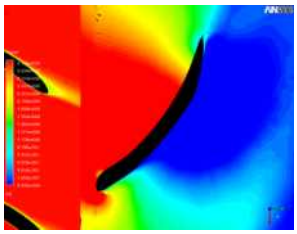
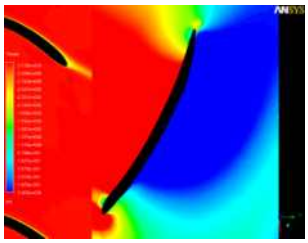
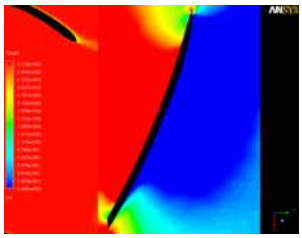


▌그림 2.113 프로펠러 수차 해석모델 전체 조건표▐

- NetHead : 입구와 출구에서의 압력의 차이 값(낙차)
- 이론수력 : NetHead × 유량 × 중력가속도($9.8m/s^2$)
- 예상 발전출력 : 발전기 효율을 80%로 가정했을 때의 출력 값
- 해석 상 NetHead의 부족으로 예상 발전출력이 5kW에 미달됨
- 런너 및 가이드베인 개선을 통한 Net Head 확보가 필요함

【프로펠러 수차의 해석결과】

런너직경 (D_1)	NetHead	유량	회전속도	이론수력	축동력	예상 발전출력
225.2 mm	3.031 m	0.225 cms	1070 rpm	6.675 kW	5.606 kW	4.485 kW

		
전체 유동영역 압분포	런너 Blade	GuideVane - 런너
		
허브 측	허브-슈라우드 중간	슈라우드 측

▌그림 2.114 프로펠러 수차 해석 결과▐

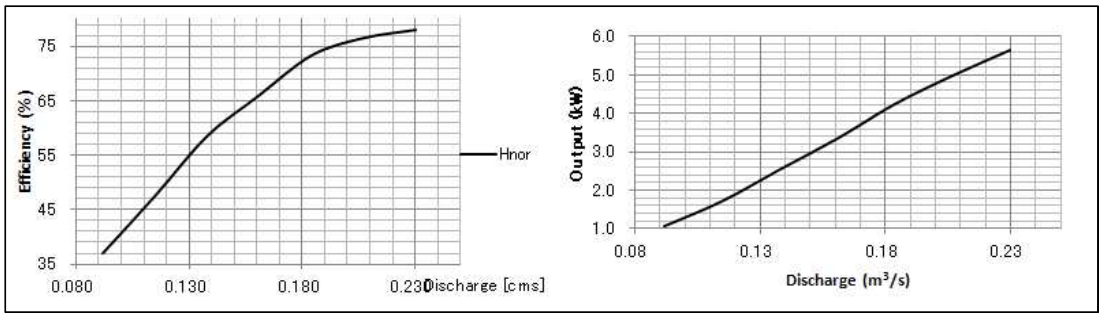
▌2차 해석결과

- NetHead : 입구와 출구에서의 압력의 차이 값(낙차)
- 이론수력 : NetHead × 유량 × 중력가속도($9.8m/s^2$)
- 예상 발전출력 : 발전기 효율을 80%로 가정했을 때의 출력 값

▌표 2.64 회전수에 따른 프로펠러 수차의 해석결과▐

런너직경 (D_1)	NetHead	유량	회전속도	이론수력	축동력	예상 발전출력
225.2 mm	3.031 m	0.225 cms	1070 rpm	6.675 kW	5.606 kW	4.485 kW
	3.07 m	0.234 cms	1200 rpm	7.04 kW	5.813 kW	4.65 kW
	3.05 m	0.241 cms	1800 rpm	7.298 kW	5.899 kW	4.719 kW

▌유량에 따른 효율 및 출력 곡선



▌그림 2.115 유량에 따른 효율 및 출력▐

▌프란시스 수차의 경우, 안정된 성능을 보이나 유량개선 과정에서 NetHead의 저하가 나타나며, 직경 및 런너 형상 변화 등 많은 부분에서의 개선이 필요하여 적용이 힘들 것으로 판단됨

▌크로스플로우 수차의 경우, 성능예측 상에선 모든 면에서 유리한 면을 보이나, 사용할 DC발전기의 특성상 고 RPM의 조건을 만족해야 하여 증속기의 사용이 필수로 판단되어 추가 손실의 계상 결과 적용이 힘들 것으로 판단됨

▌프로펠러 수차의 경우, 현 모델상에서 개선해야 할 부분이 있으나 그 수량이 상대적으로 적은 편이고, 기존 모델시험의 경험이 있는 모델이어서 설계의 보증 또한 가능하므로 **가장 적절하다고 판단됨**

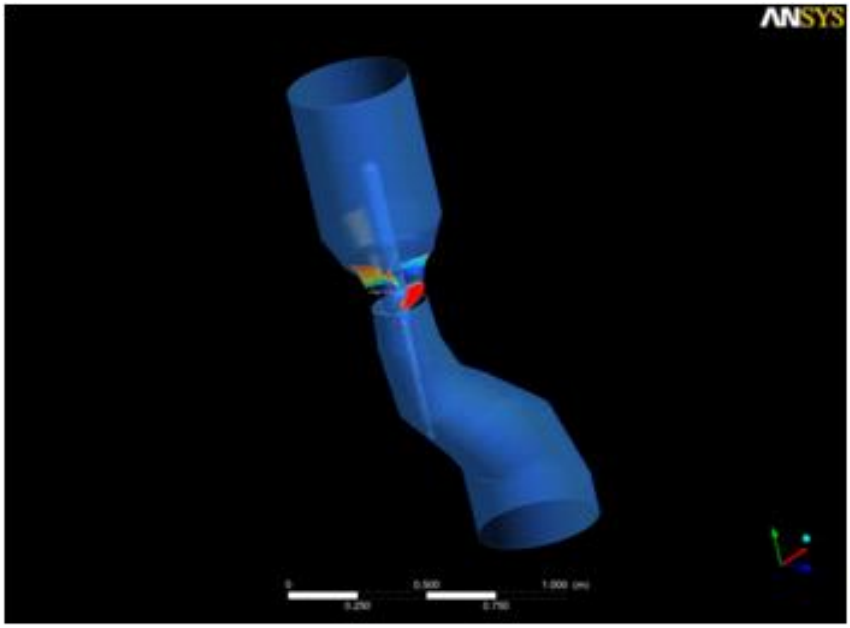
▌ 모델시험용 수차의 설계(20,000㎥/day 용량)

- **수차형식 : 프로펠러 수차**
- **드라프트 튜브형상 및 입구관 형상의 변경이 이루어짐**

- **해석경계 조건**

- 프로펠러 수차의 최적 설계

입구압력 (낙차)	출구압력	수차 회전속도	런너직경 (D_1)	런너 베인 개수
3.2	0 m	1,800 rpm	210 mm	2장



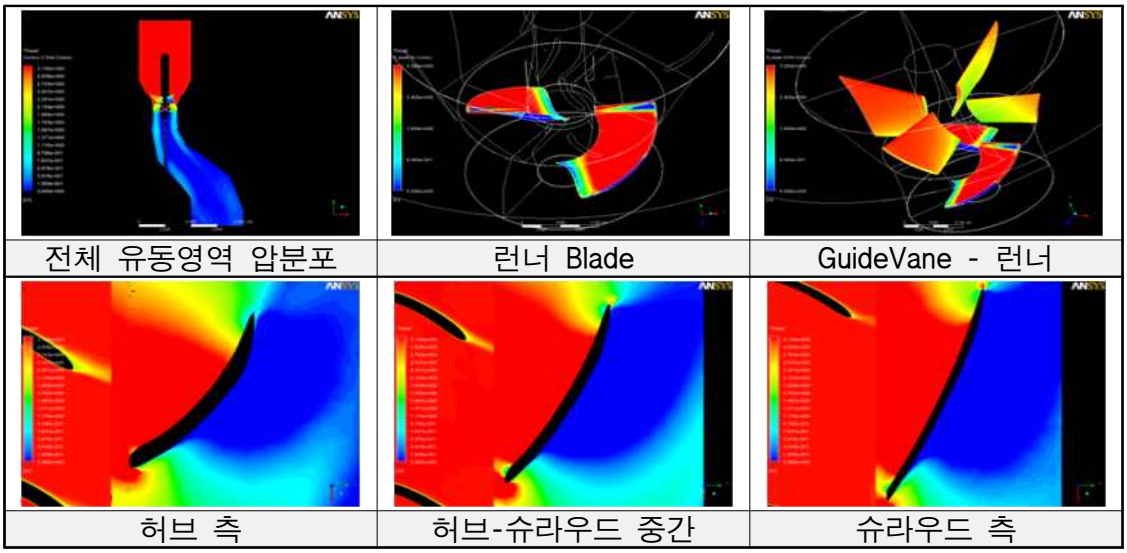
▌그림 2.116 해석모델 전체 조건표▐

- **해석결과**

  - Net Head : 입구와 출구에서의 압력의 차이 값(낙차)
  - 20,000ton/day = 0.23cms(ton/sec)
  - 이론수력 : Net Head × 유량 × 중력가속도($9.8m/s^2$)
  - 예상 발전출력 : 발전기 효율을 80%로 가정했을 때의 출력 값
  - Net Head는 감소하고 유량은 감소한 결과를 보임
  - 축동력은 미세하게 감소하나 예상 발전량은 목표치인 5kW를 만족

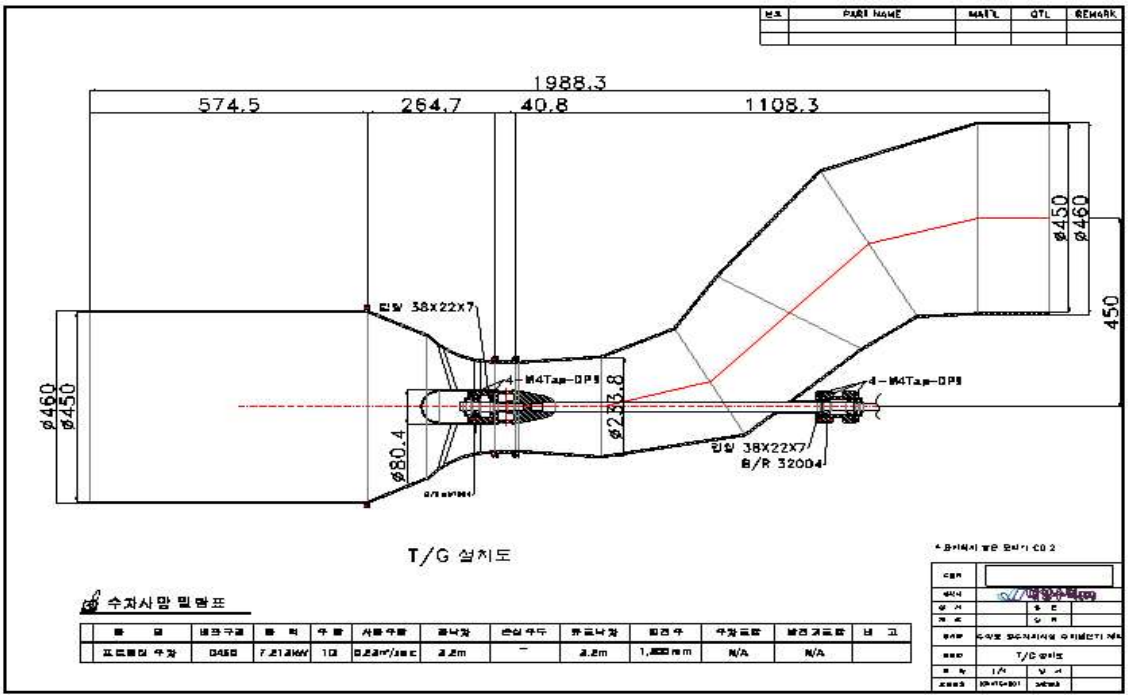
  - 프로펠러 수차의 최적 설계

런너직경 (D_1)	NetHead	유량	회전속도	이론 수력	축동력	예상 발전출력
210 mm	3.135 m	0.233 cms	1,800 rpm	7.18 kW	5.884 kW	5.001 kW



▌그림 2.117 프로펠러 수차의 해석 결과▐

▌모델시험용 수차 설계도면

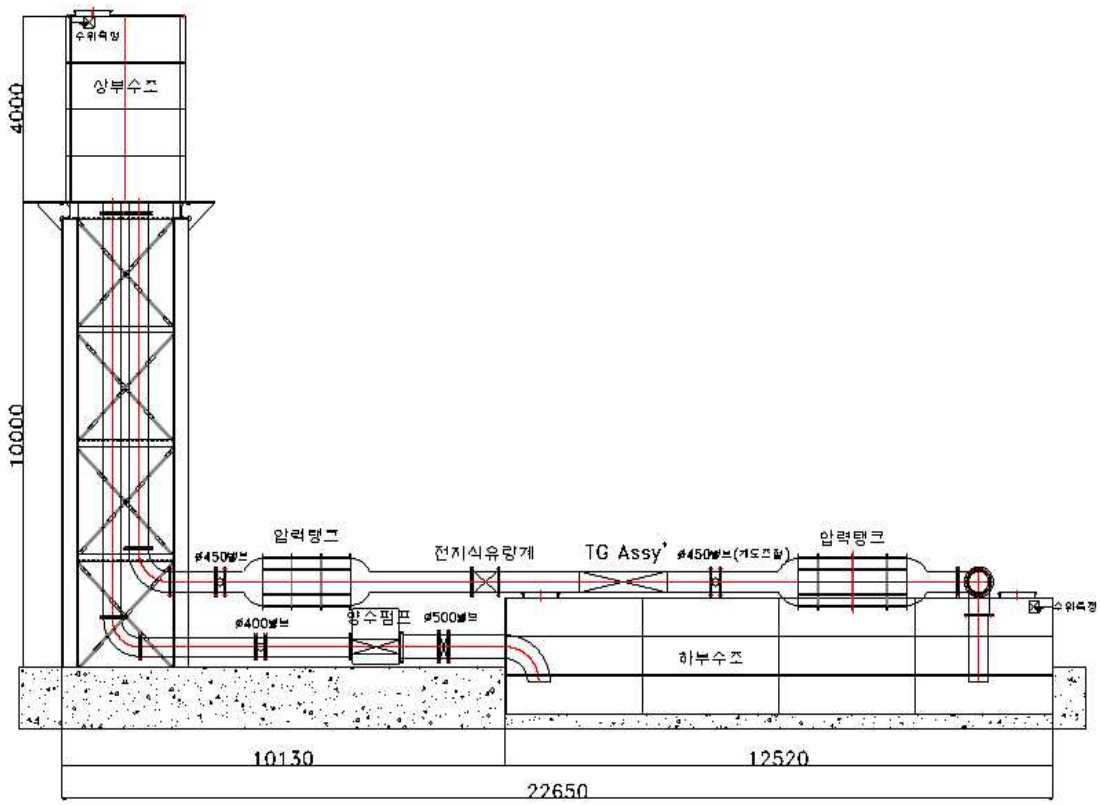


▌그림 2.118 프로펠러 수차 설계도면▐

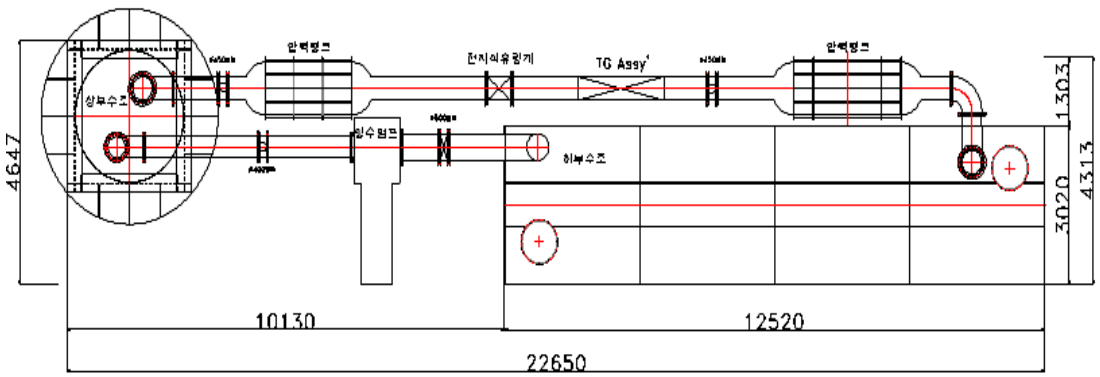
▌수차성능평가 시험 설비 설계

- 국제규격에 준하는 모델시험설비 설계도면 작성

▌수차성능평가 시험장비 설계도면



【모델시험설비(단면도)】



【모델시험설비(평면도)】

▌그림 2.119 모델 시험설비 평면도 및 단면도▐

▌실증시설용 수차발전기 상사 설계 및 유동해석

- 20,000㎥/day용량에 대한 수차를 1,000ton/day용량의 수차로 상사 설계를 행함
- 원형 수차 : 20,000ton/day 용량의 수차

- 20,000㎥/day물량에 대한 원형수차를 1,000㎥/day용량의 수차로 상사 설계에 적용할 사양표이다. 적용 낙차의 범위는 시설용량(5kW)에 맞춘 필요낙차 3.2m와 정수처리 시설 유입전의 예상 낙차(1~2m)에 대하여 상사 계산 및 유동해석을 실시하였음

【프로펠러 수차의 최적 설계】

항 목	회전속도	낙 차	유 량	이론출력	수차직경	비속도
원형수차 (모델시험용)	1,800 rpm	3.2 m	0.23 cms	7.213 kW	0.21 m	1129.5 m-kW

▌비에너지 E를 기본으로 하는 무차원상사변수로서 다음과 같은 변수가 정의됨

회전속도 팩터 $N_{ED} = \frac{nD}{E^{\frac{1}{2}}}$

유량 팩터 $Q_{ED} = \frac{Q}{D^2 E^{\frac{1}{2}}}$

출력 팩터 $P_{ED} = \frac{P}{\sigma D^2 E^{\frac{3}{2}}}$

n = 회전속도 [rpm], D = 수차직경 [m], E = 비에너지 [J/kg]
σ = 물의 밀도 [kg/m^3], P = 수차출력 [kW], Q = 유량 [ton/sec]

회전속도 팩터 $N_{ED} = \frac{nD}{E^{\frac{1}{2}}}$

유량 팩터 $Q_{ED} = \frac{Q}{D^2 E^{\frac{1}{2}}}$

출력 팩터 $P_{ED} = \frac{P}{\sigma D^2 E^{\frac{3}{2}}}$

π_1에 대해서 살펴보면 다음과 같이 기본단위에 대하여 풀어 쓸 수가 있음

$$\pi_1 = [L]^a[L^2T^{-2}]^b[L^{-3}M]^c[T^{-1}]$$
$$= L^{a+2b-3c}M^cT^{-2b-1}$$

π_1은 무차원 변수이므로 상기 기본단위들은 전부 0의 값을 갖음. 따라서

$$\pi_1 = L^{a+2b-3c}M^cT^{-2b-1} = L^0M^0T^0$$

상기 식에서 a, b, c에 대한 세 가지 수식을 얻을 수 있음

a+2b-3c = 0

c = 0

-2b-1 = 0

위 수식으로 부터 a = 1, b = -1/2, c = 0 임을 알 수 있음

각각의 값을 무차원 변수 π_1, π_2, π_3에 대입하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있음

회전속도 팩터 $N_{ED} = \dfrac{nD}{E^{\frac{1}{2}}}$

유량 팩터 $Q_{ED} = \dfrac{Q}{D^2E^{\frac{1}{2}}}$

출력 팩터 $P_{ED} = \dfrac{P}{\sigma D^2E^{\frac{3}{2}}}$

또한, 비에너지 E는 낙차에 의한 위치 에너지이므로 낙차 H, 물의 밀도 ρ로 교환 및 보정이 가능함

$$N_{ED} = \frac{nD}{E^{\frac{1}{2}}} = \frac{nD}{H^{\frac{1}{2}}}\left(\frac{g_0}{g}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_{ED} = \frac{Q}{D^2E^{\frac{1}{2}}} = \frac{Q}{D^2H^{\frac{1}{2}}}\left(\frac{g_0}{g}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$P_{ED} = \frac{P}{\sigma D^2 E^{\frac{3}{2}}} = \frac{P}{D^2 H^{\frac{3}{2}}} (\frac{\sigma_0}{\sigma})(\frac{g_0}{g})^{\frac{3}{2}}$$

σ_0= 물의 표준밀도, 1000 kg/m^3, g_0=표준 중력가속도, 9.80665 m/s^2

이 과정에서 각각의 변수는 무차원수가 아니게 됨

N_{ED} = 단위 회전수

Q_{ED} = 단위 유량

P_{ED} = 단위 출력

동일한 방법으로 주속도 u = πDn으로 유량계수 및 동력계수의 수식작성이 가능함

유량계수 $\pi_4 = \frac{Q}{D^3 n} = \frac{4Q}{\pi D^2 u}$

동력계수$\pi_5 = \frac{P}{\sigma D^5 n^3} = \frac{8P}{\sigma \pi D^2 u^3}$

또한, 비속도 Ns도 다음과 같이 작성이 가능함

$$N_s = n_0 \frac{P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}}$$

상기의 $\pi_1 \sim \pi_5$, Ns는 두 개의 수차가 상사관계에 놓여있을 경우, 동일한 값을 가짐

▌상사관계의 계산

- 분산형 수차발전기 관련하여 상사모델을 구하고자 하는 1,000ton/day의 경우, 낙차 H, 유량 Q, 출력 P가 주어져 있으므로 상사관계를 성립시키기 위해서는 회전속도 N, 수차직 경 D를 계산하면 됨. 단위 회전수와 단위 유량의 관계식 $\pi_{1,}\pi_2$를 이용하여 각각의 값을 구하는 수식을 세울 수 있음

$$\text{단위 회전속도 } N_{ED} = \frac{nD}{E^{\frac{1}{2}}} = \frac{nD}{H^{\frac{1}{2}}} (\frac{g_0}{g})^{\frac{1}{2}} \quad ①$$

$$\text{단위 유량} Q_{ED} = \frac{Q}{D^2 E^{\frac{1}{2}}} = \frac{Q}{D^2 H^{\frac{1}{2}}} \left(\frac{g_0}{g}\right)^{\frac{1}{2}} \quad ②$$

①과 ②의 수식은 상사관계인 두 개의 수차에서 동일한 값을 가지므로 다음과 같이 볼 수 있음

$$① = \frac{n_P D_p}{H_p^{\frac{1}{2}}} = \frac{n_m D_m}{H_p^{\frac{1}{2}}}$$

$$② = \frac{Q_p}{D_p^2 H_p^{\frac{1}{2}}} = \frac{Q_m}{D_m^2 H_p^{\frac{1}{2}}}$$

첨자 P는 상사의 원형이 되는 수차이고 첨자 m은 상사를 할 수차임
위 식을 D_m에 대하여 정리하면 다음과 같음

$$D_m = D_p \left(\frac{n_p}{n_m}\right)\left(\frac{H_m}{H_p}\right)^{\frac{1}{2}} \quad ③$$

$$D_m = D_p \sqrt{\left(\frac{Q_m}{Q_p}\right)\left(\frac{H_p}{H_m}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad ④$$

④의 수식에서 D_m을 구할 수 있음

③과 ④를 등치하여 D_p를 소거한 뒤 n_m에 대하여 정리하면 n_m을 구하는 다음의 수식을 구할 수 있음

$$n_m = n_p \sqrt{\left(\frac{Q_p}{Q_m}\right)\left(\frac{H_m}{H_p}\right)^{\frac{3}{2}}} \quad ⑤$$

따라서 상기 ④와 ⑤의 수식으로 축소 모델 수차의 회전속도와 직경을 구할 수 있음

▌상사계산 및 유동해석 적용 사양표(상사계산 결과)

- 20,000ton/day용량에 대한 수차를 1,000ton/day용량의 수차로 상사 설계를 행함
- 원형 수차 : 20,000ton/day 용량의 수차
- 축소 수차 : 1,000ton/day 용량의 수차

【축소모델의 상사 설계】

항 목	회전속도	낙 차	유 량	이론출력	수차직경	비속도
원형 수차	1,800 rpm	3.2 m	0.23 cms	7.213 kW	0.21 m	1129.5 m-kW
축소 수차	8025.5 rpm	3.2 m	0.0116 cms	0.363 kW	0.0471 m	1129.5 m-kW

▌계산 결과(상사계산의 검증)

- 유량계수를 제외한 각 검증식 0.001 단위 절사
- 중력가속도 및 밀도 보정 제외 계산값

▌표 2.65 상사 설계의 검증 ▌

항 목	원형 수차	축소 수차	계산식
회전속도	1,800 rpm	8,025.5 rpm	$n_m = n_p\sqrt{(\frac{Q_p}{Qm})(\frac{H_m}{H_p})^{\frac{3}{2}}}$
수차 직경	0.21 m	0.0471 m	$D_m = D_p\sqrt{(\frac{Q_m}{Q_p})(\frac{H_p}{H_m})^{\frac{1}{2}}}$
단위 회전속도	211.308	211.308	$N_{ED} = \frac{nD}{H^{\frac{1}{2}}}(\frac{g_0}{g})^{\frac{1}{2}}$
단위 유량	2.916	2.916	$Q_{ED} = \frac{Q}{D^2H^{\frac{1}{2}}}(\frac{g_0}{g})^{\frac{1}{2}}$
단위 출력	28.572	28.572	$P_{ED} = \frac{p}{D^2H^{\frac{3}{2}}}(\frac{\rho_0}{0})(\frac{g_0}{g})^{\frac{3}{2}}$
동력계수	2.487 × 10^{-10}	2.487× 10^{-10}	$\pi 4 = \frac{Q}{D^3n} = \frac{4Q}{\pi D^2u}$
유량계수	0.0056	0.0056	$\pi 5 = \frac{P}{\rho D^5n^3} = \frac{8P}{\rho\pi D^2u^3}$
비속도	1129.5m-kW	1129.5m-kW	$N_s = n_0\frac{P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}}$

▌계산 결과 검토

- 상기 계산 결과 및 검증 결과로 볼 때, 2.3.1.1 적용 사양표의 두 개의 수차는 회전속도 8,025.5 rpm, 수차직경 0.0471m일 때, 상사관계에 있음
- 상기 계산 결과 상사 축소 수차의 회전속도는 약 8,025.5rpm이 된다. 이러한 고 회전에 부합하는 DC발전기는 발열, 진동 등의 문제로 적용 시 내구성 등의 문제가

발생되므로 회전 속도를 1,800rpm으로 적용함

- 수차직경 D의 계산식은 회전속도에 대한 변수가 아니므로, 회전속도 n, 유량 Q, 낙차 H, 출력 P에 대한 단위 회전속도, 단위유량, 단위출력에 대한 수식을 이용함

$$\text{수식 1)}\ \frac{N_p D_p}{H_p^{\frac{1}{2}}} = \frac{n_m D_m}{H_m^{\frac{1}{2}}}$$

$$\text{수식2)}\ \frac{Q_P}{D_P^2 H_P^{\frac{1}{2}}} = \frac{Q_m}{D_m^2 H_m^{\frac{1}{2}}}$$

$$\text{수식3)}\ \frac{P_p}{D_p^2 H_p^{\frac{3}{2}}} = \frac{P_m}{D_m^2 H_m^{\frac{3}{2}}}$$

위의 수식을 수차직경(D_m)에 대하여 승수에 상관없이 정리하면 다음과 같음

$$D_m = D_p \left(\frac{n_p}{n_m}\right)\left(\frac{H_m}{H_p}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D_m^2 = D_p^2 \left(\frac{Q_m}{Q_p}\right)\left(\frac{H_p}{H_m}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D_m^2 = D_p^2 \left(\frac{P_m}{P_p}\right)\left(\frac{H_p}{H_m}\right)^{\frac{3}{2}}$$

위의 식을 곱하여 D_m에 대해 정리하면 다음과 같음

$$D_m = D_p\left[\left(\frac{Q_m}{Q_p}\right)\left(\frac{P_m}{P_p}\right)\left(\frac{n_p}{n_m}\right)\left(\frac{H_p}{H_m}\right)^{\frac{3}{2}}\right]^{\frac{1}{5}}$$

위 수식으로 모델 수차를 다시 계산하면 다음과 같음

▌표 2.66 회전수 보정에 따른 설계▐

항 목	회전속도	낙차	유량	이론출력	수차직경	비속도
원형 수차	1,800 rpm	3.2 m	0.23 cms	7.213 kW	0.21 m	1129.5 m-kW
축소 수차	1,800 rpm	3.2 m	0.0116 cms	0.363 kW	0.0635 m	253.33 m-kW
축소 수차	1,800 rpm	2 m	0.0116 cms	0.227 kW	0.0635 m	199.67 m-kW
축소 수차	1,800 rpm	1 m	0.0116 cms	0.114 kW	0.0635 m	141.19 m-kW

- 20,000 ㎥/day용량에 대한 수차를 1,000 ㎥/day용량의 수차로 상사 설계
- 원형 수차 : 20,000 ㎥/day 용량의 수차
- 축소 수차 : 1,000 ㎥/day 용량의 수차

▌해석 결과

- NetHead = 수차 입구관과 출구관의 압력수두 차[m]
- 이론출력 = NetHead × 유량 × 중력가속도(9.8) [kW]
- 사양치보다 낮은 NetHead(낙차)로 이론출력이 감소함
- 수차출력은 낙차 3.2m에 115W, 낙차 2.0m에 76W, 낙차 1.0m에 36W 수준으로 예상됨
- RPM이 상사치(8025.5RPM)과 상이하므로 비속도가 달라져 원형 수차 해석과 다른 경향을 보임

▌표 2.67 낙차에 따른 해석 결과(1,000㎥/day)▐

항 목	회전속도	NetHead	유량	이론출력	수차출력	비속도
축소 수차 해석 결과(낙차3.2m)	1,800rpm	2.766m	0.0112 cms	0.304kW	0.115kW	253.33 m-kW
축소 수차 해석 결과(낙차2.0m)	1,800rpm	1.992m	0.009 cms	0.161kW	0.076kW	199.67 m-kW
축소 수차 해석 결과(낙차1.0m)	1,800rpm	0.875m	0.007 cms	0.063kW	0.036kW	141.19 m-kW
원형 수차 해석 결과(낙차1.0m)	1,800rpm	3.135m	0.233 cms	7.18kW	5.884kW	1129.5 m-kW

▌수차형식의 선정(프로펠러 수차) 후 실증시설(1,000ton/day) 조건에 따른 축소 수차의 유동해석 검토 결과는 다음과 같음

▌표 2.68 원형수차와 축소수차의 출력 비교▐

◎ 원형 수차의 해석(20,000㎥/day) - 낙차 3.2 m

항목	회전속도	NetHead	유량	이론출력	수차출력	발전출력	비속도
해석 사양	1,800rpm	3.2 m	0.23cms	7.213 kW	-	-	1129.5 m-kW
해석 결과	1,800rpm	3.135m	0.233cms	7.18 kW	5.884 kW	5.001 kW	1129.5 m-kW

◎ 축소 수차 수차의 해석(1,000㎥/day) - 낙차 3.2 m

항목	회전속도	NetHead	유량	이론출력	수차출력	발전출력	비속도
해석 사양	1,800rpm	3.2m	0.0116cms	0.363 kW	-	-	253.33 m-kW
해석 결과	1,800rpm	2.766 m	0.0112cms	0.304 kW	0.115 kW	0.098 kW	253.33 m-kW

◎ 축소 수차 수차의 해석(1,000㎥/day) - 낙차 2 m

항목	회전속도	NetHead	유량	이론출력	수차출력	발전출력	비속도
해석 사양	1,800rpm	2m	0.0116cms	0.227 kW	-	-	199.67 m-kW
해석 결과	1,800rpm	1.992m	0.009cms	0.161 kW	0.076 kW	0.065 kW	199.67 m-kW

◎ 축소 수차 수차의 해석(1,000㎥/day) - 낙차 1 m

항목	회전속도	NetHead	유량	이론출력	수차출력	발전출력	비속도
해석 사양	1,800rpm	1m	0.0116cms	0.114 kW	-	-	141.19 m-kW
해석 결과	1,800rpm	0.875m	0.007cms	0.063 kW	0.036 kW	0.029 kW	141.19 m-kW

▌실증시설(1,000 ㎥/day)내 소수력 발전의 기여도 분석

- 실증시설(1,000 ㎥/day)의 적용낙차가 1~2m로 예상되고 발전기 예상효율을 85%로 가정했을 때의 예상발전량은 시스템 운용시의 예상소비전력과 큰 차이가 없거나 작아서 에너지 효율 및 경제성 측면에서의 효과가 크지 않을 것으로 판단됨.
- 따라서 실증시설(1,000 ㎥/day)의 적용을 배제하고, 실증플랜트(20,000 ㎥/day) 용량의 성능평가를 실시하여 수차의 목표효율(65% 이상)을 검증하는 방향으로 계획을 변경함

▌표 2.69 원형수차와 축소수차의 출력 비교▐

낙차	예상 발전량	예상 소비전력	발전 에너지
3.2m	98W	86W - 인버터, 충전컨트롤러, PLC, 전동식버터플라이벨브 등	12W
2.0m	65W		-21W
1.0m	29W		-57W

나. 에너지효율화 설비

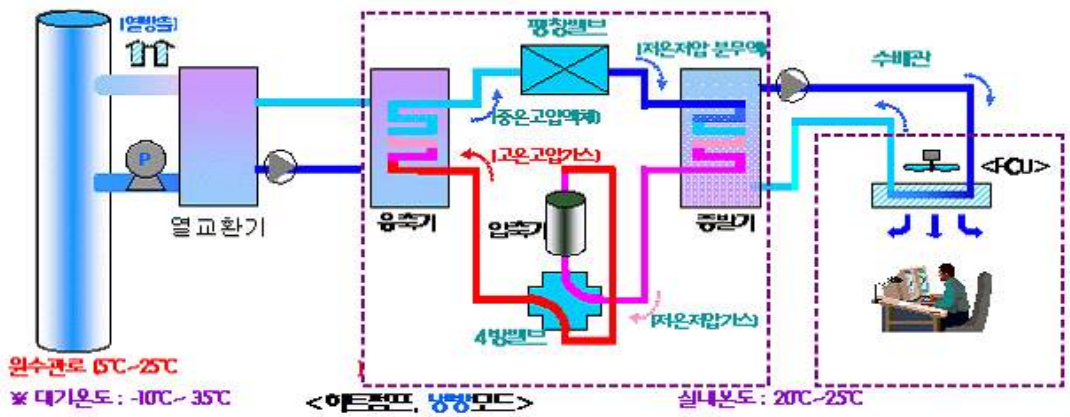
(1) 수온차 히트 펌프 시스템

(가) 수온차 히트 펌프 개요(Water Temperature Difference Heat Pump)

▌정의) 대기와의 온도차를 갖고 있는 물을 열원으로 하여 히트 펌프를 이용하여 열에너지를 취득 또는 방출하는 시스템

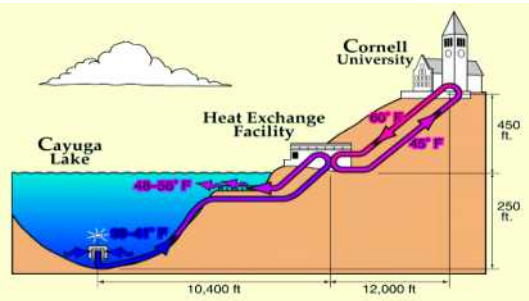
- Water pump : 낮은 위치의 물을 높은 위치로 파 올리는 장치
- Heat pump : 온도가 낮은 곳에 있는 열을 온도가 높은 곳으로 끌어올리는 장치

▌개념도)



▌그림 2.120 수온차 시스템 개념도▐

▌선진국 사례



<미국 코넬대 호수 냉방>

수 원	사 례
해수	스웨덴 스톡홀름, 롭스템, 262MW 스웨덴 스톡홀름, 린딩고, 14.7MW 노르웨이, 오렌스, 6MW
하천수	독일 돌스텐, 4.5MW 영국 도크랜드, 6MW 핀란드 헬싱키, 2,850MW 미국 뉴욕, 5,200MW 캐나다 하브리크위크, 145MW
지하수	프랑스 볼페니르, 1.5MW 프랑스 파리 교외, 0.5MW 캐나다 칼튼대학, 2MW

▌그림 2.121 수온차 시스템 사례▐

▌수온차 냉난방시스템 기술동향 분석

- 국내에 보급된 지열 및 수열원 냉난방시스템은 대부분 천부 지열을 이용하는 폐회로형(closed loop) 지열시스템이며, 상수 원수, 하천수, 지하수, 강변여과수 등의 수열원을 활용한 개방형(open loop) 시스템에 대한 연구는 거의 없는 실정임.
- 국내에 보급된 수온차 냉난방시스템은 상수 원수, 지하수, 강변여과수, 해수, 하수 등을 열원으로 사용하고 있음.
- 해외에 보급된 수온차 냉난방시스템은 다양한 열원의 대규모 개방형시스템이 개발되어 이용되고 있음.

▌수온차 냉난방시스템 구축 전략

- 수온차 냉난방시스템의 열원 및 히트싱크로 상수도 원수를 이용하며, 정수처리용량에 따라 시스템 용량의 한계가 결정됨.
- 수온차 냉난방시스템으로 획득하는 열에너지는 냉난방 및 필요시 정수처리공정에서의 열에너지 활용을 할 수 있도록 함.
- 수온차 냉난방시스템의 최종 구성안은 상수도 원수의 수온 및 수열원의 활용처 등을 검토하여 결정하고자 함.

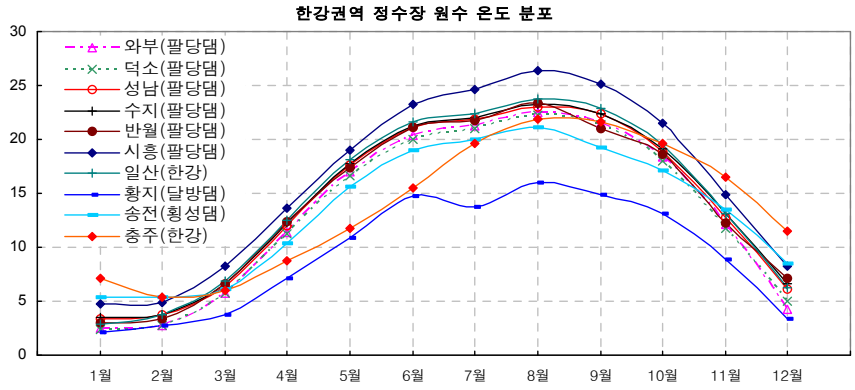
(나) 수온차 히트펌프 시스템 특성조사

▌원수열원의 특성에 대한 조사

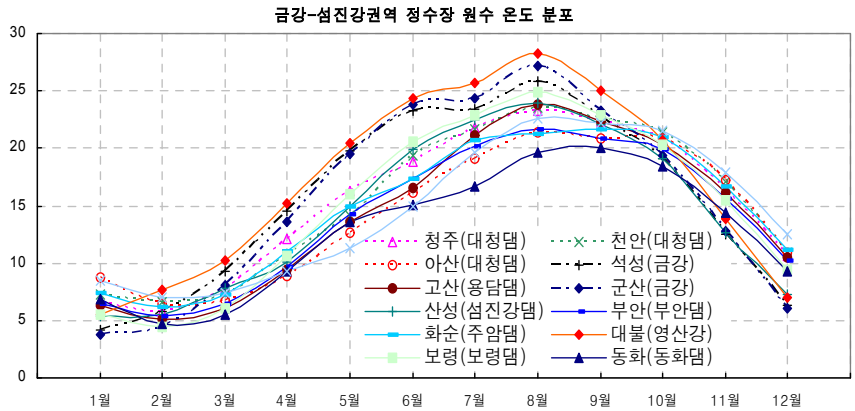
- 상수도 원수의 온도는 수원지와 댐 취수시 취수심에 따라 온도 특성이 다르게 나타나고 있음
- 그림 수계별 정수장 원수유입 평균온도(℃) 분포는 2004~2007년 각 수계별 정수장 유입원수 평균온도를 비교하여 나타내고 있으며, 수계별로 유사한 특성과 독특한 특성이 함께 나타나고 있음
- 한강수계의 경우 팔당댐을 취수원으로 하는 정수장이 많아 유입원수의 온도가 대체로 균일한 반면, 금강, 섬진강, 낙동강 수계의 경우 취수원이 다양하여 온도 변화가 다양하게 나타나고 있으나, 전반적으로 1~2월에 최저 수온을 나타내며, 8월에 최고 수온을 나타내고 있음
- 동절기 한강수계의 경우 최저 수온이 평균 4도 이하로 낮고 1~2월 평균 수온은 유사하지만 1월에 최저 수온을 나타낸 반면, 충청지방 이남지역은 최저 수온이 대부

분 5도 이상을 나타내고 있고 대체로 2월에 최저 수온을 나타내고 있음

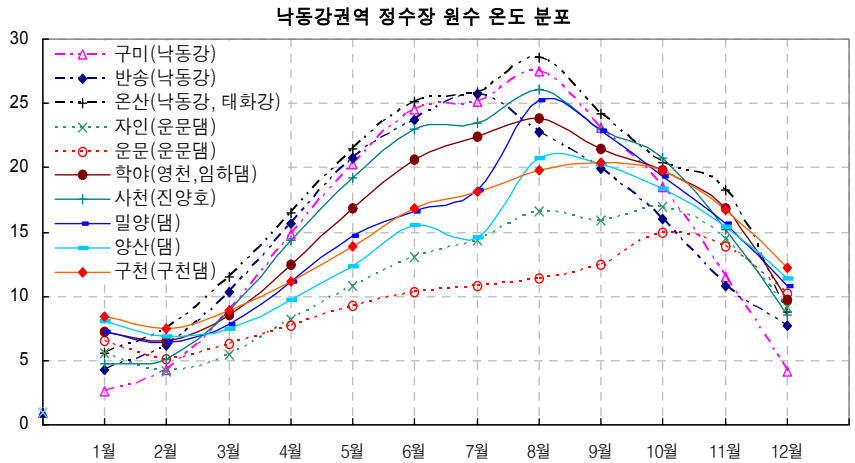
- 하절기 수온은 수계에 관계없이 대부분 8월에 최고 수온을 나타내며, 팔당댐에서 대부분 취수하는 한강수계 정수장은 최고 수온이 약 23도임
- 충청이남지역의 경우 수원지별로 온도 편차가 크게 나타나고 있으나, 크게 동절기 수온이 1월에 최저인 곳과 2월에 최저인 곳으로 분류할 수 있음
- 동절기 대기온도가 가장 낮은 1월에 최저 수온을 나타낸 대불, 군산, 석성, 구미, 온산 정수장 유입수는 대기의 영향을 직접적으로 받으며, 결국 하절기에도 대기의 영향을 많이 받아 8월 최고 수온이 25도 이상으로 높게 나타나고 있음
- 반면, 원수의 온도차 특성을 나타내는 원수는 동절기 2월에 최저 수온을 나타내며, 8월의 최고 수온도 25도를 넘지 않는 특성을 나타내고 있음



(a) 한강수계 정수장



(b) 금강·섬진강수계 정수장

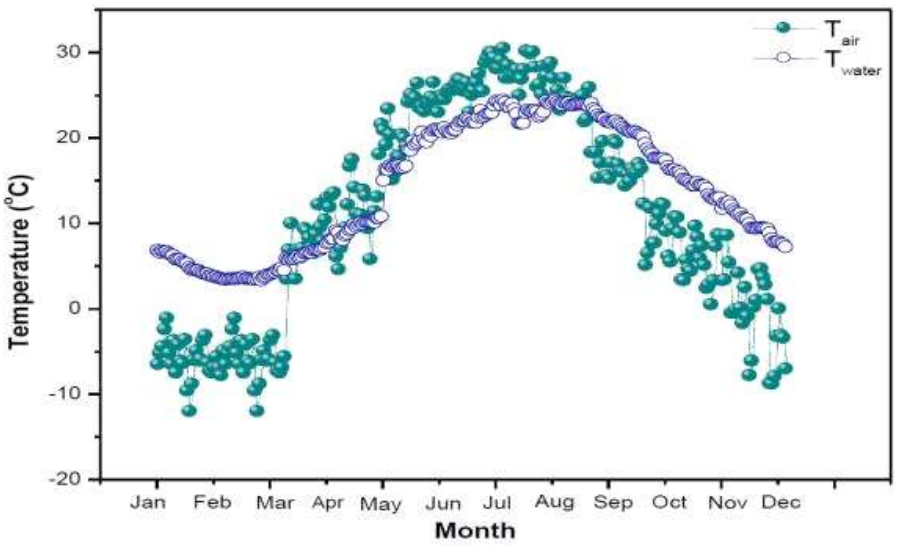


(c) 낙동강수계 정수장

▌그림 2.122 수계별 정수장 원수유입 평균온도(℃) 분포▐

▌상수도 원수와 대기 온도 변화 특성 조사

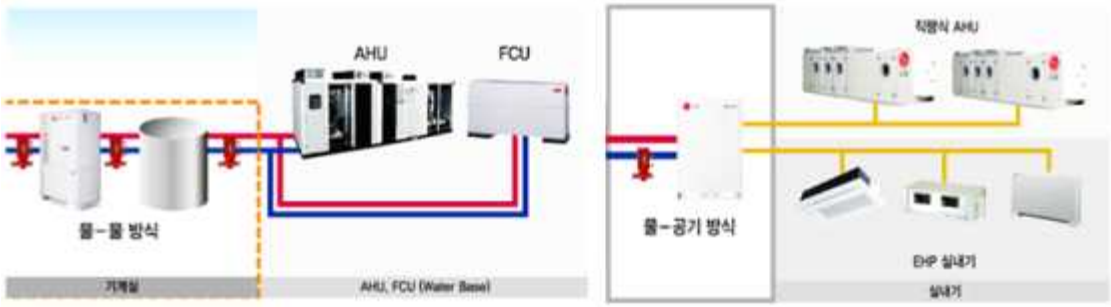
- 2010년 3월 16일부터 2011년 3월 15일까지 1년간 측정한 데이터로서 상수도 원수와 대기 온도와의 주요한 특성을 잘 나타내고 있음
- 2011년 1~2월에 강한 한파로 청주시 1~2월의 평균 대기온도는 영하 5도 이하로 나타나고 있으며, 일반적으로 대기온도는 1월에 가장 낮게 나타남
- 원수 온도는 2월에 가장 낮게 나타나며, 2011년 강한 한파로 약 4도까지 내려갔음. 한편, 하철기에는 7월에 대기온도가 가장 높고 30도까지 상승하지만, 원수는 8월에 가장 높고 23도까지 상승하고 있음
- 대기의 경우 동절기와 하절기 온도차가 35도 이상으로 크게 나타나고 있으나, 원수의 경우 20도 안팎으로 상대적으로 적게 나타나고 있는데, 이는 물의 열용량이 대기보다 크기 때문에 계절별 온도 변화의 폭이 작게 나타나고 있음
- 이로 인해 원수와 대기의 온도차는 동절기 약 10도의 온도차를 나타내고 있으며, 하절기에는 약 5도의 온도차를 나타내고 있으며, 또한, 수온의 변화는 대기보다 뒤늦게 나타나고 있어 원수의 최적, 최고온도의 시기는 대기보다 약 1달 뒤늦게 나타나고 있음



▌그림 2.123 청주(정) 유입수와 대기의 온도 변화▐

▌수온차 시스템 비교

- 물-물 방식은 물을 열원으로 하여 온수와 냉수를 생산하는 히트펌프로 온수와 냉수를 가지고 냉난방을 실시함
- 물-공기 방식은 물을 열원으로 하여 찬공기와 따뜻한 공기를 생산하는 히트펌프로 냉매에서 곧바로 냉난방을 실시함



(a) 물-물 방식 (b) 물-공기 방식

▌그림 2.124 물-물 방식과 물-공기 방식의 수온차 시스템 비교▐

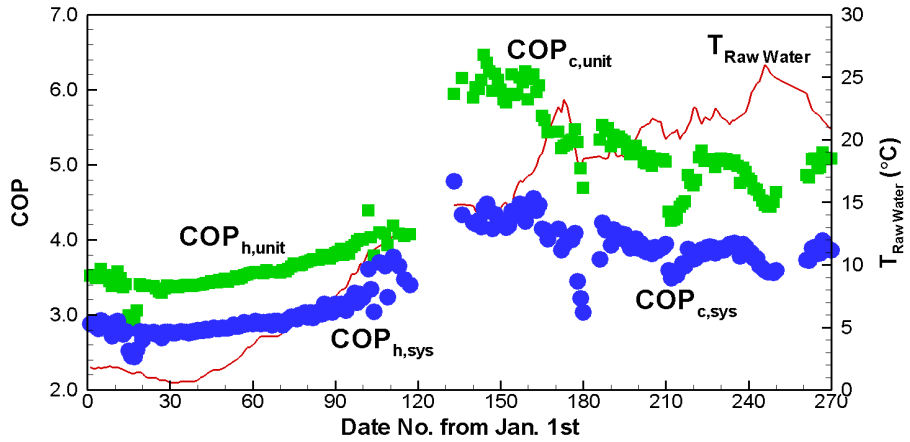
▌표 2.70 물-물 방식과 물-공기 방식의 장단점 비교▐

	물-물 방식	물-공기 방식
장점	● 축열조 사용으로 전부하 운전이 가능 ● 부분부하 대응이 효율적 ● 부하에 대한 빠른 대응 가능	● 축열조가 없어 상대적으로 설치비 저렴
단점	● 축열조가 필요하며, 구축으로 인해 비용 상승	● 부분부하 운전시 COP 저하
비고	● 온돌 난방, 온수 시스템 등 열에너지의 다양한 활용 가능 ● 대형 시스템에 주로 활용	● 인버터 제어로 효율 향상 ● 주로 소형 시스템에 활용

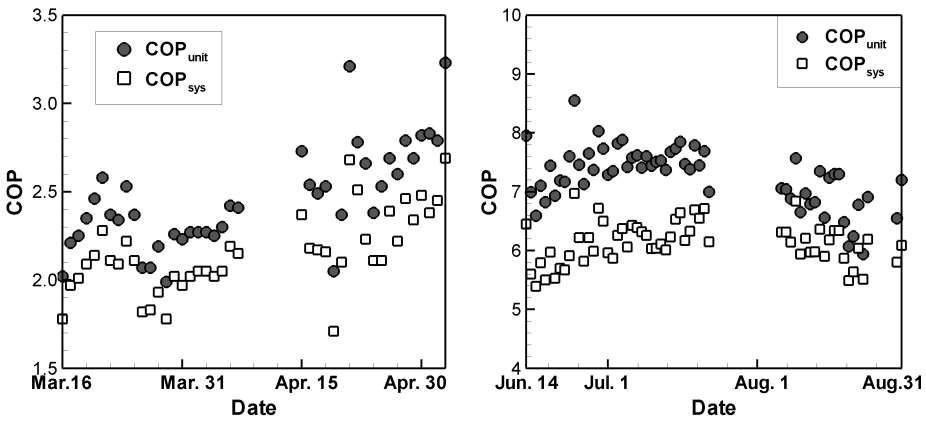
- 물-물 방식은 축열조를 구축하게 됨에 따라 비용이 상승하지만, 이로 인해 전부하 운전이 가능하고 부분부하에 대한 대응이 효율적이고, 갑작스런 부하에 대한 빠른 대응이 가능하며, 온돌 난방, 온수 시스템 등 열에너지의 다양한 활용이 가능함
- 물-공기 방식은 축열조가 없어 상대적으로 설치비가 저렴하지만, 부분부하 운전시 COP가 저하될 수 있음
- 하지만 최근 인버터 제어를 통해 고효율 운전이 가능하게 되었다. 물-공기 방식은 주로 소형 시스템에 활용이 되고 있으며, 물-물 방식은 대부분 대형 시스템과 열에너지를 다양하게 활용하는 시스템에서 활용되는 특징이 있음

▌성남정수장의 물-물 방식 히트펌프 시스템과 충청통합운영센터 물-공기 히트펌프 시스템의 성능 분석 결과

- 두 시스템 모두 난방보다는 냉방시에 보다 높은 COP를 나타내고 있음
- 물-물 방식은 축열조의 물을 뜨겁고 차갑게 만들고 전부하로 운전을 하게 되어 운전조건 변화에 따른 COP의 변화가 적은 편이고, 물-공기 방식은 주로 부분부하로 운전되며 인버터 제어를 통해 이를 대응하게 되므로 운전조건의 변화에 따른 COP 변화가 상대적으로 크게 나타나고 있음



▌그림 2.125 물-물 방식 히트펌프 시스템의 냉난방 성능 (성남정수장)▐



(a) 난방성능 (b) 냉방성능

▌그림 2.126 물-공기 방식 히트펌프 시스템의 냉난방 성능 (충청통합운영센터)▐

▌성남정수장의 물-물 방식과 충청통합운영센터의 물-공기 방식의 냉난방 성능 비교

- 유닛 COP 기준으로 물-물 방식은 난방시 41% 우수하고 냉방시 28% 부진하였으나, 시스템 COP 기준으로는 물-물 방식이 난방시 32% 우수하고, 냉방시 35% 부진한 것으로 나타남

- 난방과 냉방부하가 동일한 경우 실제 소비되는 전력은 필요한 부하량을 COP로 나눈 값으로 COP가 낮은 난방성능이 우수한 물-물 방식이 소폭 소비전력이 작거나 거의 동일할 것으로 예측됨
- 수직형 막여과 정수장에 적용되는 수온차 시스템은 냉난방의 경우 중앙조정실 등의 사무실 등은 냉방을 하지만, 막여과시설이 있는 정수처리 공간은 냉방을 하지 않음
- 반면, 동절기에는 중앙조정실은 물론 막여과 정수처리 공간은 동파방지를 해야하므로 난방부하가 크게 된다. 따라서 동절기 난방 COP가 높은 물-물 방식이 효율 측면에서 유리함
- 한편, 수온차 시스템은 냉난방 외에도 막여과 원수 및 역세수 가온과 CIP 가온 등 다양하게 열원을 활용할 수 있다. 물-공기 방식은 냉난방 외에는 활용이 어렵지만, 물-물 방식의 경우 냉수와 온수를 활용하여 다양한 분야에서 활용이 가능하게 됨. 따라서, 본 연구에서는 난방 COP가 높고 다양한 활용이 가능한 물-물 방식을 선정하여 수온차 냉난방시스템을 구축하고자 함

▌표 2.71 물-물 방식과 물-공기 방식의 냉난방 성능 비교▐

구분		물-물 방식 (성남정수장)	물-공기 방식 (충청통합운영센터)	비 고
난방	원수 온도 (℃)	4.71	7.6	
	COP_{unit}	3.46	2.46	41% ↑
	COP_{sys}	2.83	2.15	32% ↑
냉방	원수 온도 (℃)	19.97	21.8	
	COP_{unit}	5.25	7.25	28% ↓
	COP_{sys}	3.96	6.13	35% ↓

▌수온차 시스템을 구성하는 히트펌프, 축열조, 열교환기 등의 주요설비에 대한 용량 을 산정하였다. 먼저 수직형 막여과 정수장에 필요한 냉난방 부하를 공동연구기관인 (주)테크윈에서 아래와 같이 산정하였음

- 하절기 냉방부하 : 12,737 kcal/h
- 동절기 난방부하 : 41,004 kcal/h
- 동절기에는 막여과 정수처리 공간의 동파방지 난방을 수행해야 하므로 난방부하가 큰 반면, 하절기에는 중앙조정실 등의 사무실 공간만 냉방을 수행하므로 냉방부하

가 상대적으로 적음. 한편, 막여과 원수 및 역세수의 가온과 CIP 가온에 있어 난방 부하는 더 증가할 수 있음

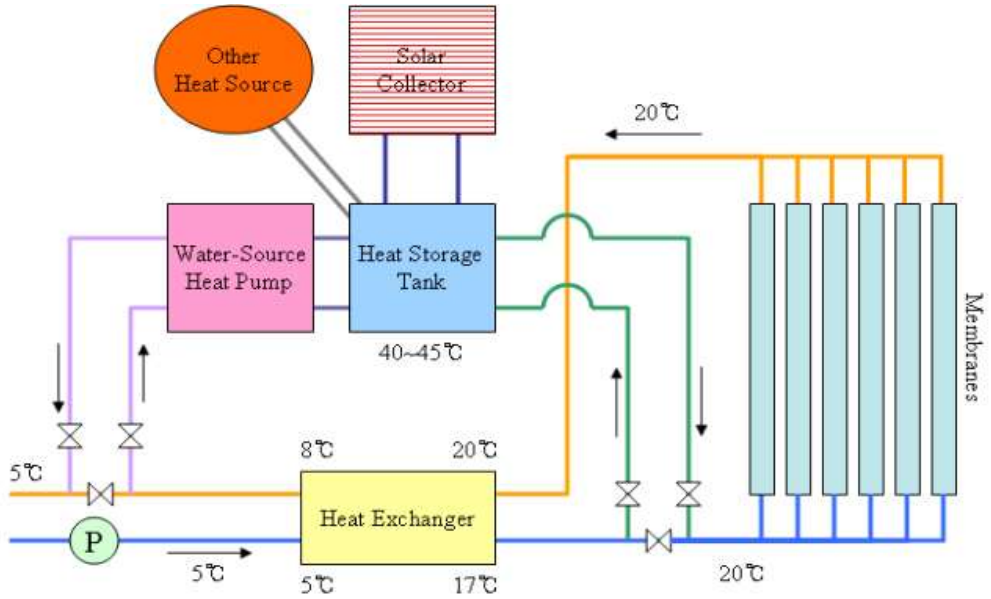
- CIP 가온을 수행하는 경우 필요한 부하를 검토해야하나, 그 시기가 연 1회, 1달 정도의 기간 내에 끝낼 수 있어 히트펌프의 난방부하 검토시 일부 여유를 둘 수 있도록 하였음
- 최종적으로 히트펌프는 20 RT급(70 kW급)으로 산정하였음
- 히트펌프에서 생산한 열을 저장하는 축열조의 경우 디퓨저 타입보다 경제성이 좋은 수평분리형 타입을 선정하였고, 10 m^3(3 m×2 m×2 m) 이상의 용량으로 산정하였음

▌열교환기 선정

- 열교환기의 경우 좁은 공간에 설치가 가능하고 효율이 뛰어난 판형 열교환기 타입으로 결정하고, 원수와 브라인의 열교환이 충분히 발생하여 히트펌프를 보다 고효율로 운전할 수 있도록 100,000 kcal/h의 용량으로 산정하였음
- 또한, 원수와 브라인이 충분한 유량을 최소한의 압력강하만으로 열교환 할 수 있도록 검토하였음
- 원수, 브라인, 냉온수를 이송하는 펌프들도 전력소비량이 많은 편이므로 고효율로 운전할 수 있는 펌프로 검토하였음
- 냉난방 열량을 전달해주는 실내기는 천정 카세트형과 바닥 상치형으로 구분하여 설치하고, 히트펌프에서 생산될 열량이 실내로 충분히 공급되도록 용량을 선정하였음

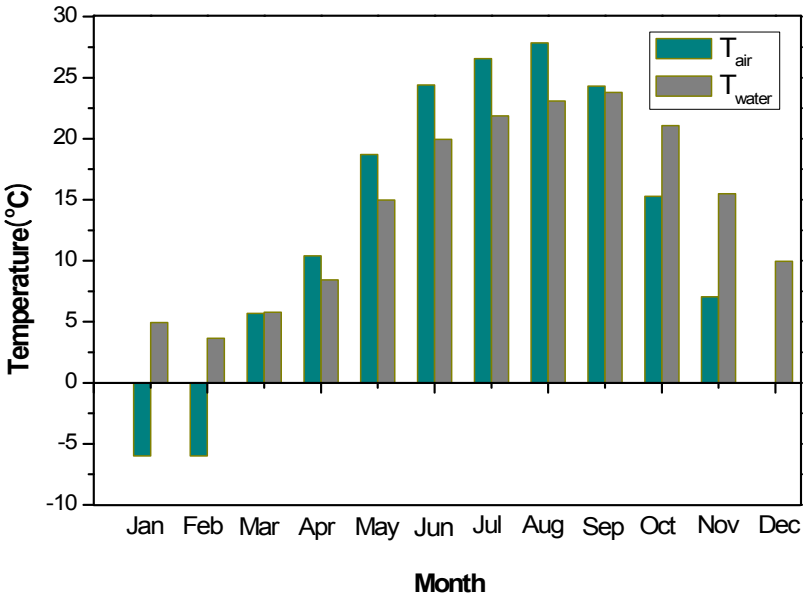
▌활용방안 검토

- 수온차 시스템에서 생산한 열은 1차적으로 축열조에 저장이 되고, 이를 냉난방 및 다양한 분야에 활용을 할 수 있음
- 본 연구에서는 막여과 공정 중 원수의 가온, 역세척수의 가온, CIP의 가온 3가지에 대하여 검토를 하였음
- 최종적으로 원수 및 역세척수의 가온은 현재의 시스템 상 옵션설비이므로 추가적인 비용을 들여 설치를 하지 않고, 필수설비인 CIP 가온에 적용하기로 결정하였음



▌그림 2.127 막여과 원수 가온시스템 공정도▐

- 수온차시스템에서 생산하는 열 외에 태양열 집열기 또는 다른 열원이 있는 경우 이를 활용하여 축열조에 열을 저장을 해놓게 됨
- 유입되는 원수를 막여과시 20도 정도로 승온을 해주기 위하여 약 5도로 유입되는 원수는 막여과공정을 마친 약 20도의 정수로부터 열교환을 하여 17도까지 상승시킨 후, 부족한 열은 축열조에 저장된 열로 보충하여 20도가 되도록 가온하고, 수온차시스템은 약 8도로 다음공정으로 이송되는 정수에서 열을 흡수하여 축열조에 저장을 하도록 돼 있음
- 역세척수의 가온시스템은 원수 가온시스템과 유사하지만, CIP 가온시스템은 가동회수가 연중 1회정도로 적기 때문에 축열조에 저장된 열을 직접 이용하는 것으로 고려함
- 막여과 원수 가온시스템과 관련하여 경제성에 대한 검토를 수행하였음
- 태양열 집열기 등 보조열원은 제외하고 수온차 시스템만 적용하였을 때를 기준으로 하였으며, 그림에 나타낸 청주정수장 유입원수를 기준으로 가동조건을 예측하였음



▌그림 2.128 청주정수장 유입원수 및 대기온도 (2010년 3월~2011년 2월) ▐

▌표 2.72 성남(정) 물-물 방식 원수 온도차시스템 성능분석 결과 ▐

구분	1월	2월	산정시 이용값
COP_{unit}	3.37	3.44	3.3
COP_{sys}	2.76	2.82	2.7

- 유입원수 온도를 20도로 유지하기 위해서는 11월부터 5월까지 7개월 동안 수온차 시스템의 가동이 필요하고, 유입원수를 15도로 유지하기 위해서는 12월~4월까지 5개월 동안의 가동이 필요하며, 본 연구에서는 20도를 기준으로 검토를 하였음
- 본 연구의 최초 검토시 막여과 공정원수를 1,000 m^3/day의 절반인 500 m^3/day을 승온하고, 절반은 승온을 하지 않아 서로 비교하는 것으로 검토를 하였음. 이러한 경우 시간당 필요열량은 87,000 kcal/h로서 약 101 kW에 해당하며, 하루 필요열량은 20시간 운전기준 2,020 kWh의 열량이 필요함
- 수온차 시스템에서 필요한 열량은 성남정수장에 설치하여 운영중인 물-물 방식의 수온차 시스템의 2011년 1월과 2월의 성능결과를 이용하여 산정하였음
- 성남(정) 시스템은 동파방지시스템이 작동중이었으나, 실제 Pilot Plant는 청주에 설치가 되는 점을 고려하여 동파방지시스템은 고려하지 않고 표 성남(정) 물-물 방식 원수 온도차시스템 성능분석 결과를 이용해 실제 소비전력량을 산정하였음. 히트펌프의 소비전력만을 고려했을 경우에는 COP가 3.3으로 높게 나타났으나, 펌프

등 전체 소비전력을 고려한 경우 2.7로 산정되었음

- 성남(정) 물-물 방식 원수 온도차시스템 성능분석 결과를 이용하여 1일과 1년 운전시 소비전력량과 전력요금을 예측하여 원수 가온시스템 소비전력량 및 전력요금 예측 값으로 나타내었으며, 연간 가동기간 7개월 중 1~3월을 제외하면 수온이 높아 수온차 시스템의 가동부하가 줄어듦에 따라 연간 소비전력 산정시에는 전부하로 4개월 운전하는 조건으로 소비전력과 전력요금을 산정하였음
- 히트펌프와 여러 펌프들의 동력을 합산한 경우 일 소비전력량은 750 kWh로 예측되며, 연간 소비전력량은 90,000 kWh로 예측되었음. 이를 2011년 하반기 기준 '산업용전력 (병) 고압C 선택Ⅱ' 기준 겨울철(11월-2월)의 기본요금 6,740원/kW을 적용하고, 시간대에 따른 요금변동으로 일 평균요금 78.14원/kWh을 적용하여 전력요금을 산정하였음. 예측한 전력요금은 일 58,605원이며, 연간 전력요금은 1천만원 정도로 예측되었음

▌표 2.73 원수 가온시스템 소비전력량 및 전력요금 예측 값▐

구분		H/P only	H/P + Pumps
1일	소비전력량	610 kWh	750 kWh
	전력요금 (기본요금 제외)	47,665원	58,605원
1년	소비전력량	73,200 kWh	90,000 kWh
	전력요금 (기본요금 제외)	5,720,000원	7,033,000원
	전력요금 (기본요금 포함)	8,955,000원	10,268,000원

※ 연간 소비전력은 전부하로 4개월(120일) 운전시 조건

※ 전력요금은 '산업용전력(병) 고압C 선택Ⅱ' 요금 겨울철(11~2월) 기준
기본요금 6,740원/kW, 부하별 평균요금 78.14원/kWh 적용

$$\left(78.14\text{원} = \frac{48.20\text{원} \times 10h + 84.70\text{원} \times 8h + 119.30\text{원} \times 6h}{24h}\right)$$

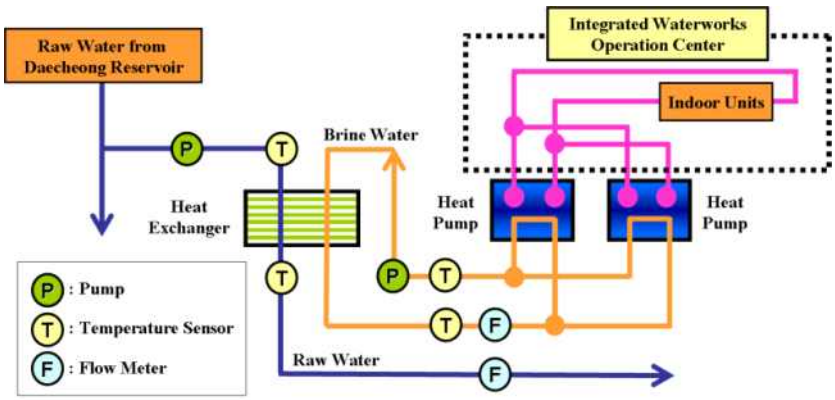
H/P + Pumps 전력 40kW 가정

- 원수 가온으로 인해 직접적인 이익으로는
  1) 막여과 유닛의 수명 연장 효과
  2) 화학적 역세비용 등 운영유지비 절감
  3) 설비용량 최적화를 통한 시스템 규모 절감
  4) 막여과 점성저항 감소로 인한 펌프 동력 절감 등이 있다.

- 1)~3)은 장기간 운영을 해본 후 편익을 산정해야하는데, 아직 이와 관련된 연구가 수행되지 않아 본 연구에서는 이에 대한 절감이익을 산정할 수 없었다. 4)항목인 펌프 동력절감은 막 차압 수두가 10 m 저감되는 경우에 대하여 아래와 같이 산정을 함

$$P_s = \frac{P_h}{\eta} = \frac{\rho g Q h}{\eta} = \frac{\frac{1000 \times 9.8 \times 25/3600 \times 10}{10^3}}{0.34} = 2.0 kW$$

- 일 20시간 가동시 펌프 동력 절감량은 40 kWh로 산정되며, 이는 H/P 소비전력량 대비 610 kWh 대비 6.6%, H/P+Pumps 소비전력량 750 kWh 대비 5.3%로 산정됨
- 막여과 유닛 수명 연장 등 1)~3) 항목은 산정이 어려워 수온차 시스템에 대한 경제성을 구분하기 힘들고, RO 막의 경우 원수 가온시스템이 대부분 적용되어 있으나 MF와 UF 막의 경우 일반적으로 적용하지 않고 있어 본 연구에서도 적용하지 않는 것으로 결론지음
- 역세척수의 가온시스템도 마찬가지로 적용을 하지 않는 것으로 결론지음
- 하지만, 2차년도 하반기에 검토를 시작한 CIP 가온시스템의 경우 대부분의 시스템에 가온시스템이 설치되고 있어, 본 연구에서는 기 설치된 수온차 시스템을 활용하여 적용하는 것으로 검토하였음



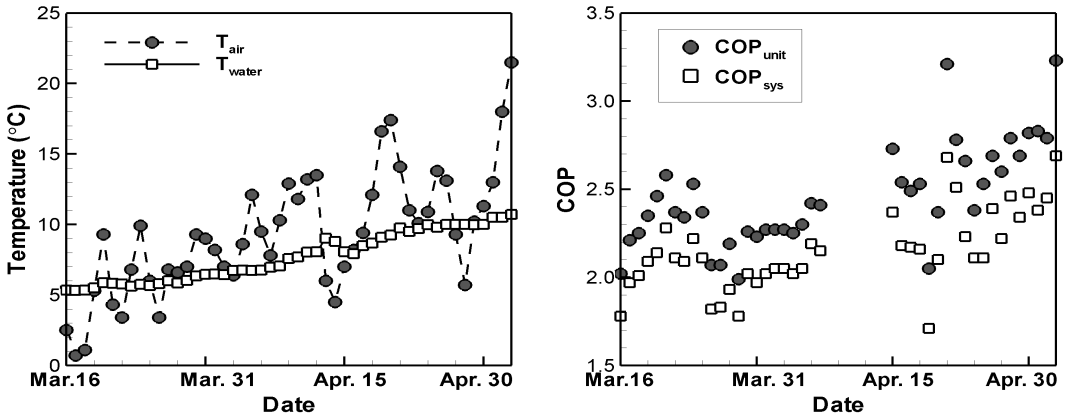
▌그림 2.129 충청통합운영센터 원수열원 냉난방시스템 구성도▐

- CIP 가온시스템은 그림 막여과 원수 가온시스템 공정도와 같이 복잡하지 않으며, 축열조와 CIP 탱크 사이에 열교환기를 설치하여 열교환하는 것으로 검토하였음. 다만, 냉방을 실시하는 하절기에 온수가 필요하는 CIP 가온시스템에 대하여 동시냉난방 또는 부가적인 축열조 등을 검토해야 되며, 제어요소가 많은 동시냉난방 보다는 작은 부가적인 축열조를 추가하여 CIP 가온을 하는 시스템으로 검토하고 있음

- 수온차 시스템을 Pilot Plant에 구축하기 전에 기존의 수온차 시스템에 대하여 성능 분석을 수행함
- Pilot Plant는 청주(정)에 설치될 예정이므로 청주(정) 유입 원수를 사용하는 충청통합운영센터에 설치된 물-공기 방식의 수온차 시스템과 유사하며, 효율과 다양한 활용을 위해 물-물 방식을 선정하여 성남(정) 중앙조정실 냉난방을 위해 설치된 물-물 방식의 수온차 시스템과 유사함. 따라서 두 시스템의 성능분석을 통해 Pilot Plant에 구축할 수온차 시스템의 고효율 설계와 성능분석 방법 등을 검토하고, 수온차 시스템의 성능계수(COP)를 예측해 보았음
- 청주(정) 유입원수를 활용하여 충청통합운영센터를 냉난방하는 수온차 시스템의 구성도를 그림 충청통합운영센터 원수열원 냉난방시스템 구성도에 나타내었음
- 대청댐 원수를 열원으로 이용하며, 15 RT의 물-공기 방식 히트펌프 2대가 설치되어 있으며, 수온차 시스템의 성능계수를 파악하기 위하여 히트펌프 열원수와 브라인의 열량을 측정할 수 있도록 온도센서와 유량계를 설치함

▌설비난방시 원수 유입조건과 성능분석 결과

- 난방시 원수의 온도는 3월 16일 5.3도에서부터 5월 3일 10.7도까지 49일간 5.4도만큼 천천히 증가하고 있는 반면, 대기의 온도는 최저 0.7도에서 최고 21.5도까지 20.8도만큼 증가하면서 큰 폭으로 상승했다가 떨어지는 패턴을 나타내고 있음
- 시스템 성능계수는 펌프의 소비전력을 포함하는 성능계수로서 1.04 kW의 순환수펌프의 소비전력을 포함하여 성능계수를 나타내었음
- 이로 인해 난방기간 평균 시스템 성능계수는 평균 유닛 성능계수에 비하여 0.31 낮게 예측되었음



(a) 원수와 대기온도 (b) 유닛 성능계수 및 시스템 성능계수

▌그림 2.130 난방시 원수 유입조건 및 성능분석 결과▐

▌원수 유입온도에 따른 평균 난방성능계수와 추세선

- 분포를 나타내는 R^2 값이 크지는 않으나 그림 4.4.9에서 원수 유입온도 상승에 따라 성능계수가 상승하는 분포를 확인할 수 있음
- 원수 유입온도가 5도인 경우 평균 유닛 성능계수는 2.16이었지만, 원수 유입온도가 11도로 상승한 경우 평균 유닛 성능계수는 2.95로 크게 상승하였음
- 시스템 성능계수는 원수 유입온도가 5도에서 11도로 증가할 때 성능계수가 1.92에서 2.51로 상승하였음
- 순환수 펌프 소비전력은 원수 유입온도에 관계없이 일정한 반면, 원수 수온이 상승함에 따라 히트펌프 소비전력은 감소하게 되어 시스템 소비전력에서 순환수 펌프가 차지하는 비중은 상대적으로 커지게 되고 이로 인해 원수 유입온도 상승에 따라 시스템 성능계수의 상승 폭은 유닛 성능계수에 비하여 작게 나타나게 됨

▌표 2.74 원수 유입온도에 따른 평균 난방성능계수 및 추세선▐

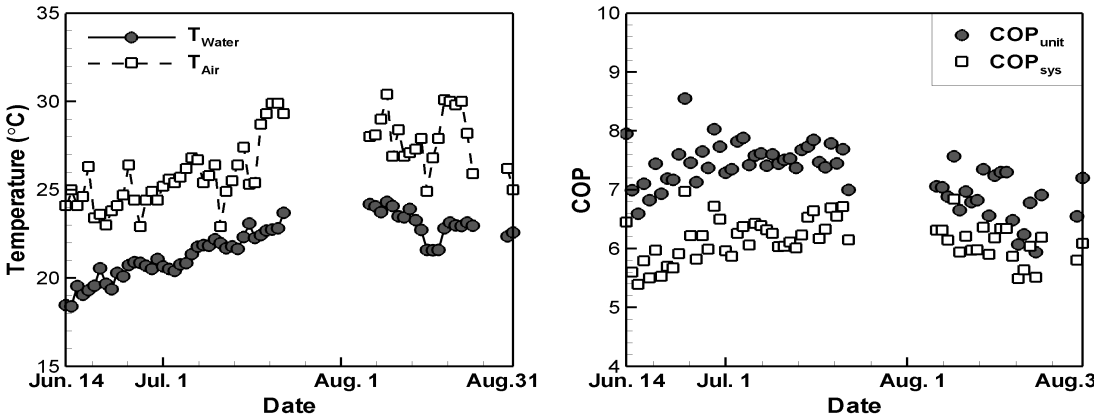
$T_{Water,in}$ (℃)	Averaged COP_{unit}	Averaged COP_{sys}
5	2.16	1.92
6	2.29	2.03
7	2.33	2.09
8	2.59	2.24
9	2.43	2.12
10	2.71	2.33
11	2.95	2.51
Trendline	$0.1103 \times T_{Water,in}+1.6128$	$0.08 \times T_{Water,in}+1.5404$
R^2	0.5229	0.4393

▌냉방시 원수 유입조건과 성능분석 결과

- 냉방운전기간 동안의 청주의 대기 온도와 원수 수온을 비교한 결과, 원수의 온도는 6월 15일 18.4도에서부터 8월 9일 24.31도까지 증가하였다가, 이후 비가 많이 와서 수온이 변동하기도 하였으나 점차 감소함
- 대기 온도는 6월부터 꾸준히 상승하여 8월초에 가장 높고 8월 이후 점차 감소하고 있는 패턴은 원수 수온과 일치하지만, 온도 변화의 폭이 크게 나타남
- 냉방기간 동안 최저온도는 6월이 아닌 7월 11일 22.9℃로 나타났으며, 최고온도는 원수 최고수온이 발생일과 동일한 8월 9일 30.4℃를 나타남
- 월별 평균온도의 경우 원수와 대기 온도 모두 6월에 가장 낮고 8월에 가장 높았으

며, 원수 수온은 대기 온도보다 6월에 4.5℃, 7월과 8월에는 4.7℃ 만큼씩 낮아 원수 온도차 냉방시스템의 효율을 높일 수 있는 좋은 조건임이 확인됨

- 냉방기간 동안의 성능계수의 변화 양상을 살펴보기 위한 유닛 성능계수와 시스템 성능계수를 살펴보면, 냉방 초기에는 유닛과 시스템 성능계수 모두 조금씩 상승하였으나, 냉방 후기에는 성능계수가 점차 줄어드는 경향을 나타내고 있음
- 또한, 냉방 초기에는 냉방 부하가 작아 히트펌프 소비전력이 적었기 때문에 상대적으로 순환수 펌프의 소비전력이 큰 영향을 미쳐 유닛 성능계수와 시스템 성능계수의 차이가 크게 나타나고 있으나, 냉방 후기에는 히트펌프 소비전력이 크게 증가하여 순환수 펌프의 소비전력이 유닛 성능계수와 시스템 성능계수에 큰 차이를 부여하지 못하고 있음



(a) 원수와 대기온도 (b) 유닛 성능계수 및 시스템 성능계수

▌그림 2.131 냉방시 원수 유입조건 및 성능분석 결과▐

▌원수 유입온도에 따른 평균 냉방성능계수를 유닛 성능계수와 시스템 성능계수로 구분

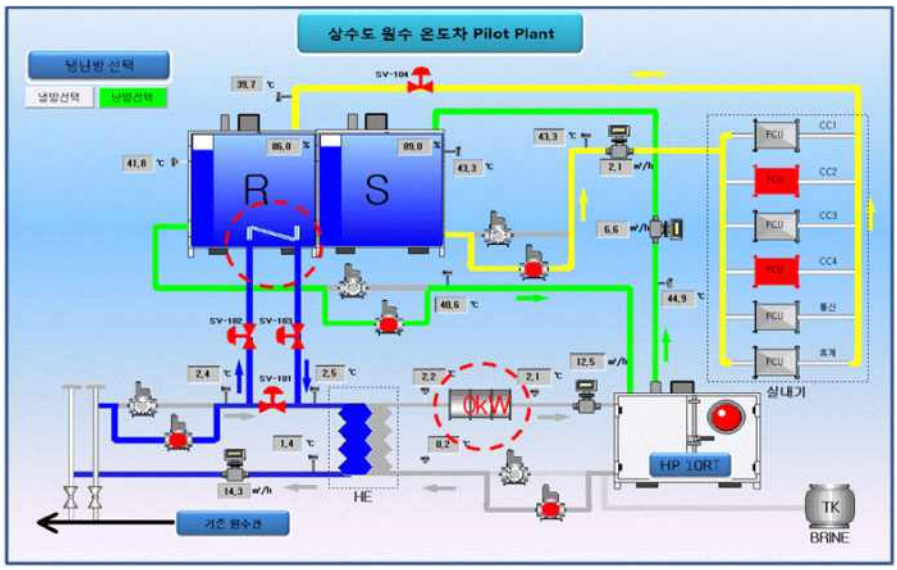
- 원수 온도 증가와 함께 냉방 부하도 증가하여 원수 온도의 영향으로 성능계수를 직접적으로 비교하기는 어려우나 계절적 변화의 관점에서 비교
- 냉방기간 동안 원수 유입 온도는 성능계수에 크게 영향을 미치지 않고 있음을 확인할 수 있음

▌표 2.75 원수 유입온도에 따른 평균 냉방성능계수▐

$T_{Water,in}$ (℃)	Averaged COP_{unit}	Averaged COP_{sys}
18	7.47	6.02
19	7.03	5.65
20	7.53	6.03
21	7.48	6.14
22	7.41	6.21
23	6.94	6.12
24	7.00	6.24

▌성남(정) 중앙조정실 냉난방을 위한 원수열원 냉난방시스템의 구성도

- 10 RT 용량의 물-물 방식 히트펌프와 10 m^3 용량의 축열조 등으로 구성되어 있으며, 한강수계의 원수를 이용함에 따라 동절기 동파방지를 위해 축열조와 전기히터를 이용한 동파방지시스템이 구축되어 있음
- 본 시스템의 성능분석을 위해 유입 원수와 브라인, 냉난방수 등에 대하여 유량과 온도, 전력량을 측정할 수 있도록 아래 그림과 같이 센서들을 설치하였음



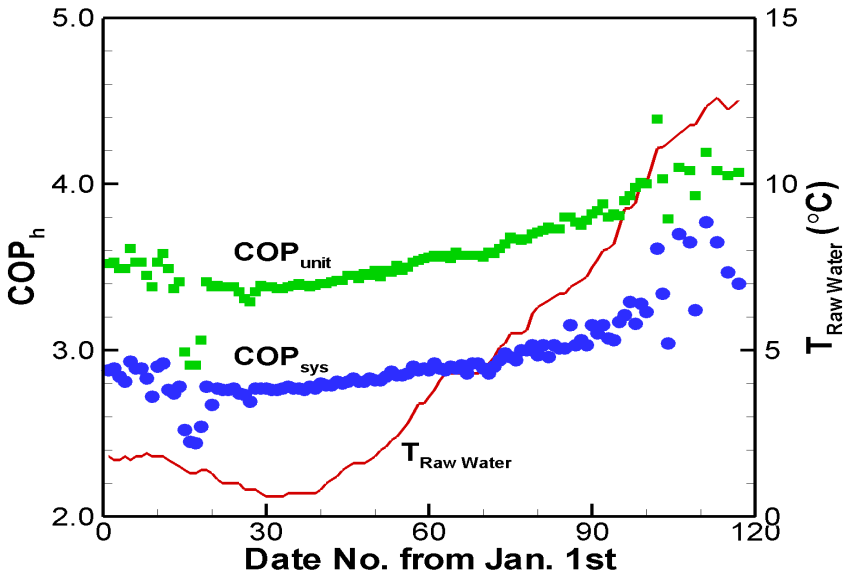
▌그림 2.132 성남(정) 원수열원 냉난방시스템 구성도▐

▌성남(정)에 설치된 물-물 방식 수온차 시스템의 유입원수 온도와 낸난방 성능계수

- 동절기 원수 유입온도는 최저 0.62도까지 강하하였으며, 그림 12에서 볼 수 있듯이 유닛 COP는 3.4 이상, 시스템 COP는 2.7 이상으로 운전되었음
- 원수 온도가 4.0도 이하인 1월부터 2월말까지는 주로 축열조를 활용한 동파방지시스템이

작동이 되었고, 안정적으로 난방이 잘 됨에 따라 동파방지시스템의 운전이 검증되었음

- 1월에는 시스템 안정화 및 동파방지 운전시험에 대한 여러 테스트를 진행하여 유닛 및 시스템 COP의 변동이 일부 발생하였고, 2월초부터 수온이 증가함에 따라 히트펌프 시스템의 COP도 상승을 하게 되었으며, 4월 중순 이후에는 실내 난방은 계속 진행이 되었으나, 따뜻한 날씨로 인해 히트펌프 가동이 1일 1회 가동하거나 1회도 가동하지 않은 경우도 있어 COP의 변동이 크게 나타났음



▌그림 2.133 동절기 유입원수 온도와 난방성능▐

▌월별 평균된 원수 온도와 유닛 및 시스템 COP

- 1월에 평균 원수 온도가 1.35도로 가장 낮고, COP도 유닛 COP 3.37과 시스템 COP 2.76으로 가장 낮게 나타났으며, 3월부터 원수 수온이 회복되면서 유닛 COP는 4.0에 근접한 3.98, 시스템 COP는 3.33으로 상승되었음
- 원수의 평균 온도는 7.6도이며, 유닛 COP와 시스템 COP는 2.46과 2.15임
- 성남정수장의 Pilot Plant는 한강수계의 원수를 이용하므로 수온이 더 낮으나, 충청통합운영센터에 설치된 물-공기 히트펌프 대비 유닛 COP는 41%, 시스템 COP는 32% 향상됨을 확인하였음. 공기열원 히트펌프의 동절기 평균 COP가 2.0인 수준을 감안하면, 수온차 시스템의 난방성능은 상당히 좋은 것으로 나타남
- 물-물 방식의 히트펌프와 물-공기 방식의 히트펌프는 각각의 장단점이 존재하게 되는데, 난방성능에 있어 물-물 방식 히트펌프가 더 우수한 COP를 나타내게 되었음. 즉, 물-공기 방식의 히트펌프는 낮은 부분부하운전과 잦은 on/off 조건으로 인

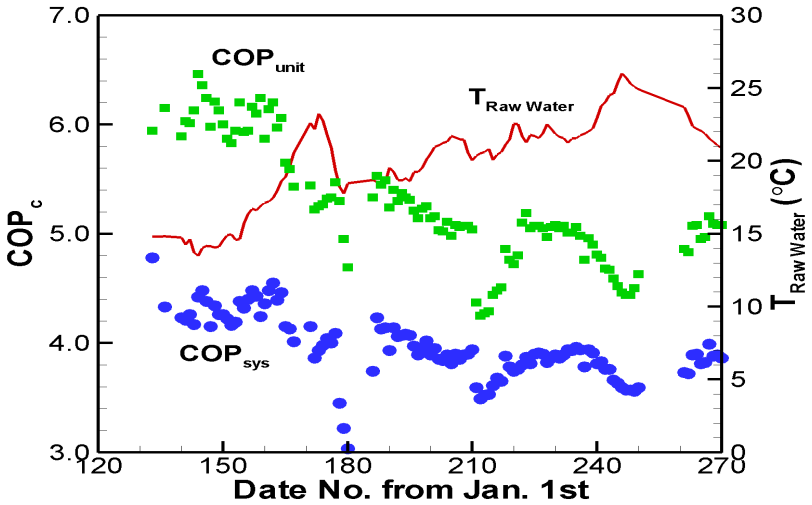
해 COP가 낮아진 반면, 물-물 방식의 경우 항상 전부하 운전을 하고, 축열조 사용으로 인해 on/off가 많이 이루어지지 않음으로서 COP가 향상된 것으로 판단됨

▌표 2.76 동절기 월별 난방 COP▐

	원수 온도 (℃)	COP_{unit}	COP_{sys}
1월	1.35	3.37	2.76
2월	1.59	3.44	2.82
3월	5.44	3.66	2.96
4월	10.95	3.98	3.33
평 균	4.71	**3.46**	**2.83**
충청통합운영센터	7.6	2.46	2.15

▌하절기 원수 유입온도와 유닛 COP, 시스템 COP

- 원수 유입온도는 6월초까지 15도 이하를 유지하다가 6월초부터 상승하였으며, 6월말에는 장마 폭우로 인해 23도의 수온이 18도로 급락하기도 하였음. 이후 잦은 비로 인해 수온 상승폭이 크지 않다가 9월초 26도까지 상승한 후 떨어지고 있음



▌그림 2.134 하절기 유입원수 온도와 난방성능▐

▌월별 평균된 원수 온도와 유닛 및 시스템 COP

- 5월에 평균 원수 온도가 14.32도로 가장 낮은 반면, COP는 유닛 COP 6.10과 시스템 COP 4.32로 가장 높게 나타났으나, 6월부터 원수 수온이 회복되면서 COP는 하강하였으며, 9월에 원수 수온이 22.92도로 가장 높은 반면, COP는 유닛 COP 4.85

와 시스템 COP 3.77로 가장 낮게 나타남

- 충청통합운영센터에 설치한 물-공기 방식의 원수 온도차 냉난방시스템에 대하여 6월 중순부터 8월말까지의 냉방성능 분석이 서술되어 있음. 원수의 평균 온도는 21.8도이며, 유닛 COP와 시스템 COP는 7.25와 6.13으로 매우 높음
- 성남정수장의 Pilot Plant는 한강수계의 원수를 이용하므로 수온이 조금 낮으나, 충청통합운영센터에 설치된 물-공기 히트펌프 대비 유닛 COP는 28%, 시스템 COP는 35% 하락됨을 확인하였음. 하지만, 공기열원 히트펌프에 비교하면, 수온차 냉난방 시스템의 냉방성능은 상당히 좋은 것으로 나타남
- 충청통합운영센터의 경우 원수 유입이 자연유하로 운영되기 때문에 펌프 동력을 줄일 수 있고, 물-물 방식이 펌프 동력이 많이 소요하게 되어 유닛 COP와 비교하여 시스템 COP가 더 크게 하락되는 것으로 판단됨

▌표 2.77 하절기 월별 냉방 COP ▐

	원수 온도 (℃)	COP_{unit}	COP_{sys}
5월	14.32	6.10	4.32
6월	18.51	5.67	4.11
7월	19.95	5.15	3.93
8월	21.85	4.86	3.81
9월	22.92	4.85	3.77
평 균	19.97	**5.25**	**3.96**
충청통합운영센터	21.8	7.25	6.13

▌결론적으로, 본 연구과제의 Pilot Plant는 성남(정)에 구축될 예정이므로 원수 유입온도 조건은 충청통합운영센터 수온차 시스템과 동일할 것으로 판단되나, 수직형 막여과 시스템의 냉난방 부하를 산정한 결과 냉방부하는 작고, 난방부하는 크기 때문에 앞서 기술한 바와 같이 난방시 성능이 뛰어난 물-물 방식을 선정하게 되었음

(다) 부하 방식 비교 분석 및 형식선정

▌부하예측

- 하절기 냉방 : 12,737Kcal/hr
- 동절기 난방 : 41,004Kcal/hr

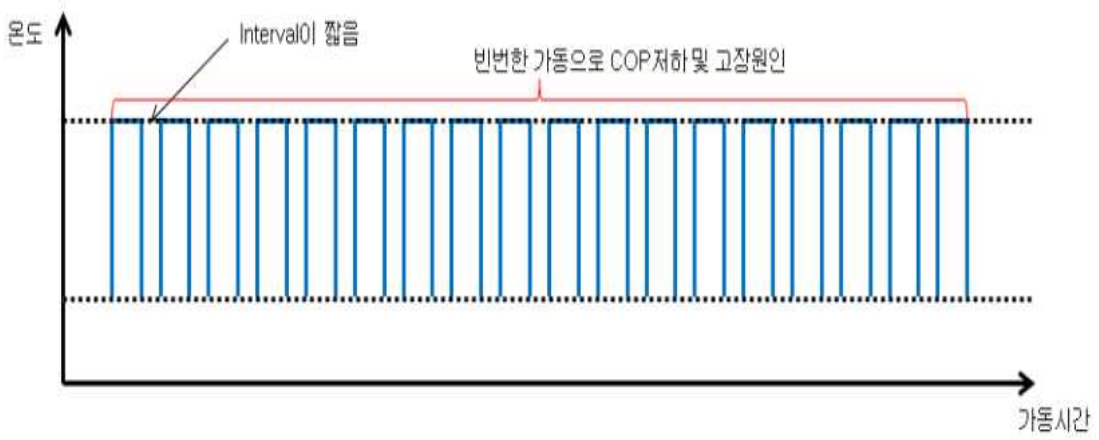
- 부하특성 : 난방부하 대비 하절기 냉방부하는 약 3% 정도로 냉방부하가 상대적으로 적음
- 히트펌프 용량산정은 부하가 큰 난방부하 적용

▌적용할 히트펌프 용량

- Cooling 69,118 kcal/hr
  - 원수온도 25℃,7℃ 냉수생산기준, 실제 적용 가능한 온도임
  - 따라서 히트펌프 제조사 제시냉방 용량은 실제 Cooling능력과 비슷함
- Heating:72,291kcal/hr
  - 원수온도 10℃ 정도 기준이며, 생산 온수온도 40℃를 기준으로 설정된 용량임
  - 따라서 실제 환경을 고려하면 : 원수온도 5℃ & 50℃ 실제 Heating능력은 히트펌프 제조사 제시 난방 용량 대비70%정도 수준임)

▌물-공기 방식 히트펌프

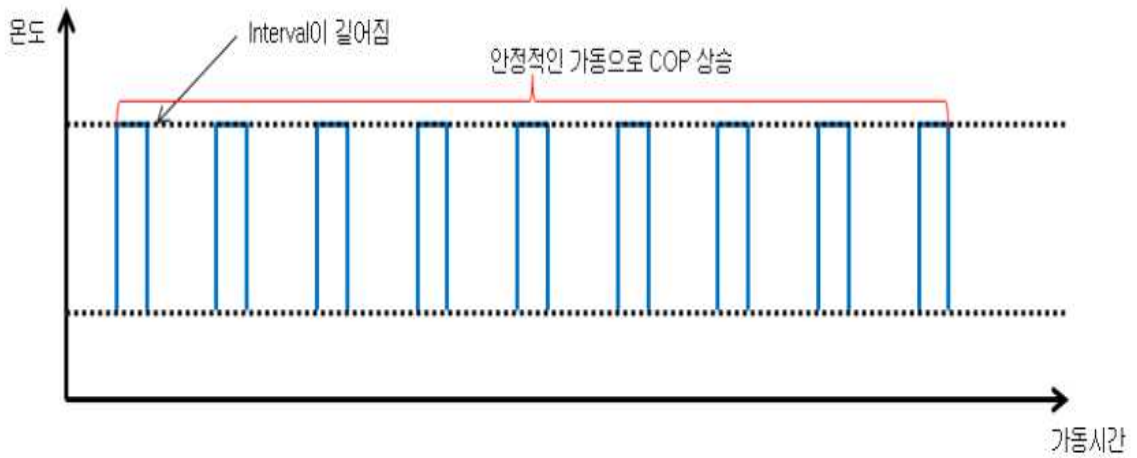
- 6월 하순부터 냉방을 위하여 히트펌프를 가동하는데, 냉방 가동초기에는 부하가 낮아서 Max부하의 30%정도를 가정하면, 실제 히트펌프 운전부하는 용량대비 5.2%정도임
- 이렇게 낮은 운전부하는 히트펌프의 가동-중지의 과정을 반복하는데, 각 과정의 time interval은 수분 단위이며 매우 반복적인 가동-중지로 인하여 히트펌프의 압축기와 원수펌프에 무리를 초래하여 고장의 원인이 되어 sustainable system operation이 불가능함(Bad System Design!)



▌그림 2.135 물-공기 방식 히트펌프의 문제점▐

▌물-물 방식의 히트펌프

- 낮은 냉방 부하에 비교적 큰 용량의 히트펌프가 직접 냉방 부하에 따 라 운전하기에 문제가 됨
- 따라서 실제 냉난방 부하가 적어도 히트펌프는 용량대비 30% 이상 운전이 가능하도록 시스템을 구성하는 것이 solution 임
- 물-물 Type 히트펌프 시스템을 적용하고, Buffer Tank를 설치하여 배관 시스템을 히트펌프 -Buffer Tank 와 Buffer Tank- 실내기로 분리하면 냉난방 부하와 히트펌프 운전부하의 직접적 관계를 최소화 시킬 수 있음
- 하절기 낮은 냉방 부하에서는 Return Part내 냉수는 온도가 느리게 상승하기에 히트펌프에 유입되는 return 냉수의 온도는 reference 온도(12℃)보다 조금 낮음 (냉방부하가 30%인 경우는 1.75℃ 정도이며, 히트펌프 운전 부하는 약5%정도이기에 히트펌프는 가동 중지됨)
- 히트펌프의 trouble을 방지하기 위하여 Return Part내 냉수 온도가 8~12℃ 사이에서 온도를 설정하여 설정치 이상의 온도에서 히트펌프를 가동시키고, Supply Part내 냉수 온도가 약 8 ℃ 이하일 때 히트펌프 가동을 중지시키면 히트펌프의 가동-중지의 time interval을 최대한 연장시켜 히트펌프 시스템의 안정적 운전이 가능하게 함



▌그림 2.136 물-물 방식 히트펌프의 장점▐

▌히트펌프 형식 선정

- Buffer Tank를 도입하고 물대물 Type의 히트펌프 시스템을 적용하는 것이 적용 site의 주 어진 냉난방부하를 만족시키고, 안정적인 히트펌프 시스템
- 운전이 가능하여 **물-물 방식으로 최종확정**

(라) 히트펌프 시스템 실시 설계

▌기본 방향

항목	설계기본방향	비고
1. 쾌적성	거주자에게 쾌적한 근무환경을 제공할 수 있도록 각 실별 용도 및 사용시간을 고려하여 적합한 실내 환경을 유지하도록 한다.	온도, 습도 등
2. 기능성	시스템의 신뢰성, 유지관리의 편리성, 사용기자재의 효율 성을 고려한다.	
3. 유지관리성	설비 전체시스템 및 장비의 유지관리성을 고려한다.	보수공간확보
4. 경제성	쾌적성, 기능성, 유지관리의 편리성을 도모하면서 초기투자비를 최적화 할 수 있도록 한다.	

▌건축개요

- 공사명 : 수직형 정수처리설비(PER:1,000 TON/DAY)
- 위 치 : 충청북도 청주시(청주정수장 내)
- 연면적 : 567.6m²

냉난방 외기 온습도 조건

지 명	여 름			겨 울		
	건구온도 (℃)	상대습도 (%)	절대습도 (kg/kg)	건구온도 (℃)	상대습도 (%)	절대습도 (kg/kg)
서울	31.2	63.6	0.0183	-11.3	63	0.00089
인천	30.1	66.4	0.0179	-10.4	58	0.00091
수원	31.2	63.6	0.0183	-12.4	70	0.00087
전주	32.4	59.5	0.0183	-8.7	82	0.00129
광주	31.8	63.5	0.0189	-6.6	70	0.00151
대구	33.3	55.4	0.0179	-7.6	61	0.0012
부산	30.7	70.4	0.0197	-5.3	46	0.00111
울산	32.2	65.9	0.0201	-7	70	0.00146
목포	31.1	68.8	0.0197	-4.7	75	0.0019
제주	30.9	70	0.0198	0.1	70	0.00266
속초	31.2	48.1	0.0146	-7.1	55.6	0.00113
춘천	31.6	60	0.0176	-14.7	77	0.00086
강릉	31.6	59.5	0.0175	-7.9	42	0.00081
울릉도	29.2	75.1	0.0195	-3.4	70.6	0.0018
서산	31.1	65.9	0.0188	-9.6	78	0.00129
청주	32.5	58.98	0.0183	-12.1	76	0.00101
대전	32.3	58.3	0.0178	-10.3	71	0.00099
추풍령	31.1	53.9	0.015	-9.3	65.8	0.0011
포항	32.5	60	0.0186	-6.4	41	0.0009
군산	30.8	49.7	0.0161	-6.5	72.3	0.00148
충무	30.6	61.3	0.017	-4	62.5	0.00169
여수	30.1	56.3	0.016	-4.4	61.7	0.00158
서귀포	30.1	61.2	0.0175	-0.3	67.2	0.00263
진주	31.6	66.2	0.0195	-8.4	76	0.0014

건축물의 에너지 절약 설계기준 (국토해양부 고시제2008 - 652호)

【냉난방 실내 온습도 조건】

구분	건구온도 (℃)	습구온도 (℃)	상대습도 (%)	절대습도 (kg/kg)	비 고
하절기	26	18.7	50	0.0105	4층 홍보관
동절기	10	4.56	40	0.00303	1~3층
	20	12.36	40	0.0058	4층 홍보관

【침입외기 환기회수 (건축설비포켓북)】

구분	환 기 횟 수					
	콘크리트조 (대규모)	콘크리트조 (소규모)	양식목조	일식목조	출입문 있는실 (맞바람)	출입문 있는실
냉방시	0.0	0.1~0.2	0.1~0.3	0.2~0.6	1.0~2.0	0.5~1.0
난방시	0.0~0.2	0.2~0.6	0.3~0.6	0.5~1.0	3.0~4.0	1.0~2.0

▌설계기준

방위계수[겨울철]:공조・위생 기술 데이터북 & 공조위생 설비실무 핸드북					
방 위	N	NE	E	SE	S
방위계수	1.20	1.15	1.10	1.05	1.00
방 위	SW	W	NW	지붕	
방위계수	1.05	1.10	1.15	1.20	

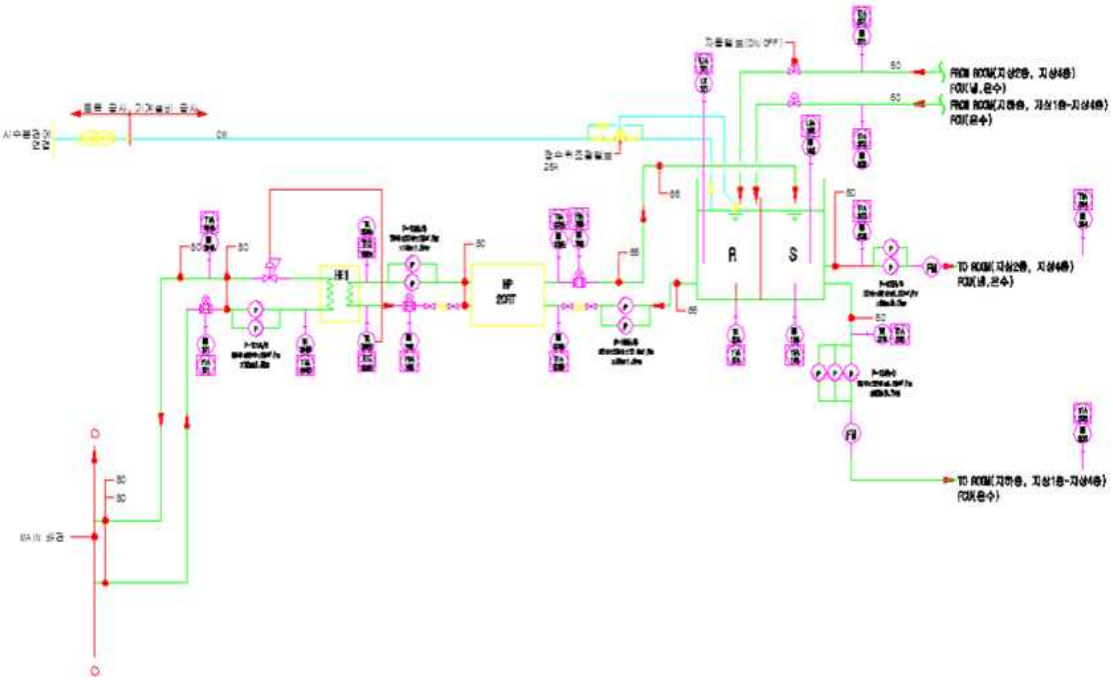
인체발생열량:공조・위생 기술 데이터북 (kcal/h)				
상 태	적용 예	현 열	잠 열	전열
정 좌	극장	53	35	88
경 작 업	학교	53	48	101
사무소 업무 (경보행)	업무시설	54	59	113
섰다,앉았다,보행	은행	55	71	126
앉은 작업	레스토랑	62	77	139
앉은 작업 (경작업)	공장	62	62	124
보통의 댄스	댄스 홀	69	127	196
보행 (4.8km/h) (중작업)	공장	83	169	252
보 울 링	볼링장	121	244	365

냉난방 지중온습도 조건							
구분	여름		겨울				
	지표면	1.0 m	지표면	1.0 m	1.5m	3.0m	5.0m
서울	27.4	24.5	-3	4.8	7.1	13.1	15.5
인천	27.3	23.9	-2.5	5.2	6.5	13.7	14.7
수원	27.2	22.9	-2.5	4.5	7.3	12.2	13.9
전주	29.8	23.3	-0.1	8	9.8	14.5	16
광주	29.9	24.7	0.8	7	2.5	2.8	4.4
대구	29.5	26.2	-1.3	6.6	10.3	13.1	15.8
부산	28.9	25	2.3	8.4	11	15.8	16.4
울산	29	24.2	1.5	7.8	10.1	11.4	15
목포	28.8	25.4	1.4	7.8	10.1	11.4	15
제주	31.1	28.3	4	5.1	5.9	6	7.1
속초	23.4	22.9	-1.85	4	7.5	11.7	14.9
춘천	26.2	25.2	-4.7	3.7	7.5	13.6	16.7
강릉	27	22.8	-0.62	6	8.1	13	14.9
울릉도	26.6	21.7	0.6	7.6	9.1	11.4	15
서산	25.7	23.6	-2.2	6.8	9.1	11.7	14.9
청주	27.9	24.6	-2.4	4.6	7.4	12.5	15.3
대전	27.1	24.3	-2	5	7.6	12.3	15.4
추풍령	27.3	23.9	-2	5.4	6.5	13.7	14.7
포항	29.5	24.2	-0.2	7.8	10.1	11.8	15
군산	27.7	23.3	-0.3	6.9	9.2	11.7	14.9
충무	27.6	24.8	2.6	10.7	13.3	15.7	16.7
여수	29.5	24.4	0.6	7.4	10.5	15.7	16.7
서귀포	30.7	24.7	6	13.5	15.7	15.8	16.9
진주	27.5	24.3	0.9	7.5	10.5	15.7	16.7

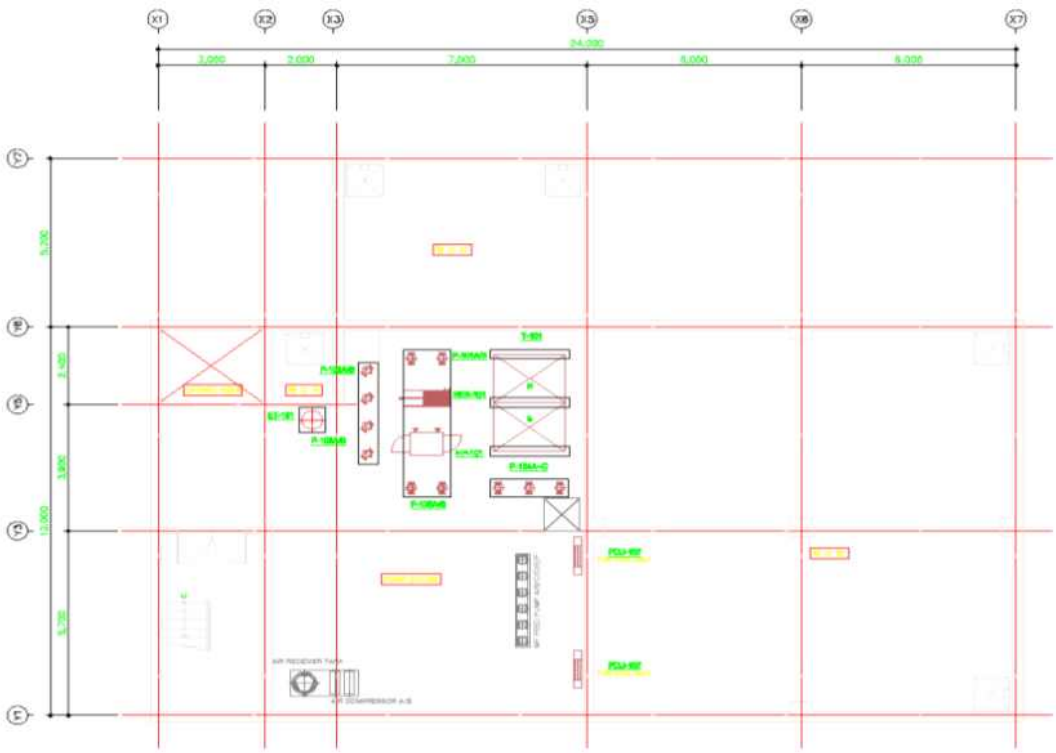
창및 문의 관류율 (Kcal/m / hr C)				
구 분 (창)	열관류율		구 분 (문)	열관류율
	공기 (6mm)	공기(12mm)		
복층창(아르곤주입+로이유리) -열교차단재 적용		2.06	일반문(단열두께20mm미만) -목재	2.06
삼중창(로이유리 하드코팅) -열교차단재 미적용		1.81	일반문(단열두께20mm이상) -열교차단재 미적용	1.55
삼중창(로이유리 하드코팅) -열교차단재 적용		1.81	일반문(단열두께20mm이상) -열교차단재 적용	1.46
삼중창(로이유리 소프트코팅) -열교차단재 미적용		1.98	일반문(단열두께20mm이상) -목재 또는 플라스틱	1.38
삼중창(로이유리 소프트코팅) -열교차단재 적용		1.72	방풍구조문	2.06
삼중창(아르곤주입+로이유리 하드코팅) -열교차단재 미적용		1.98		
삼중창(아르곤주입+로이유리 하드코팅) -열교차단재 적용		1.72		

면 적 계 산	
구 조 물	적 용 치 수
외 벽	높이 = 층 고 (해당층 바닥면에서 지상층 하단면)
내 벽	높이 = 천 정 고(해당층 바닥면에서 천정 하단면)
바 닥	벽의 중심 치수

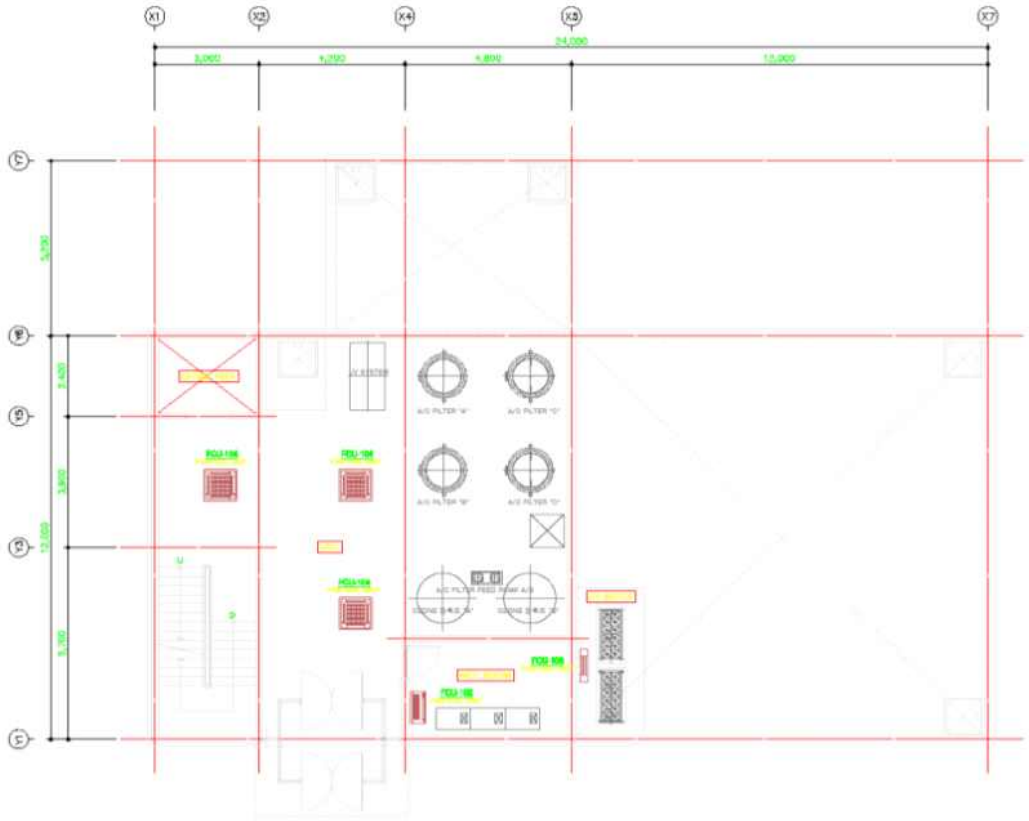
▌설계도면



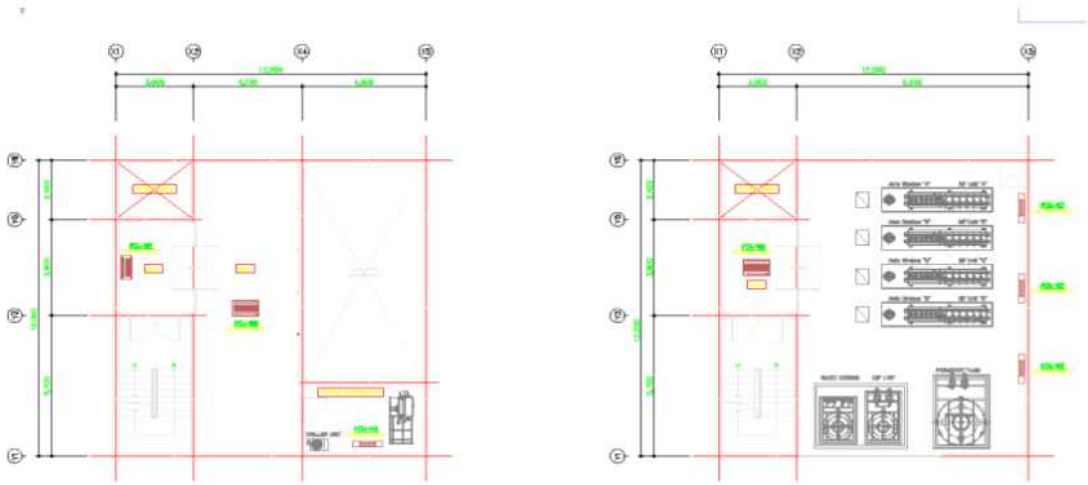
▌그림 2.137 수온차 시스템 P&ID ▌



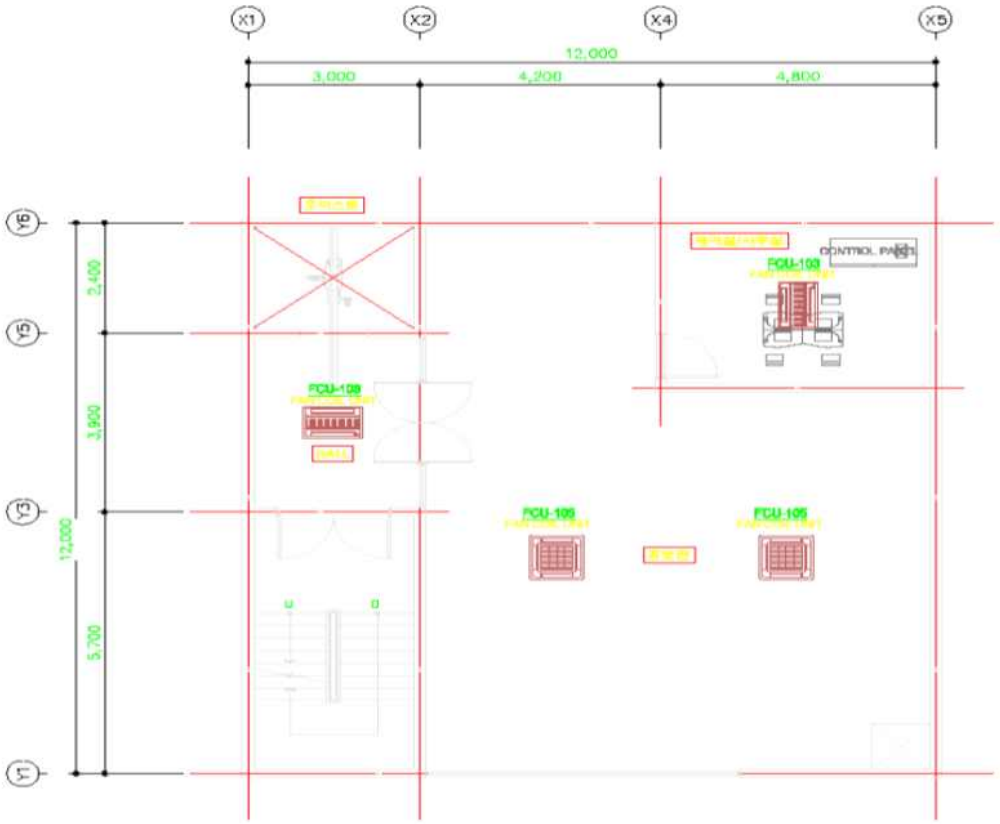
▌그림 2.138 수온차 시스템 지하층 배치도 ▌



▌그림 2.139 수온차 시스템 1층 배치도▐



▌그림 2.140 수온차 시스템 2,3층 배치도▐



▌그림 2.141 수온차 시스템 4층 배치도▐

- 용량산출
  - 실내기

		실내기 총 Capacity	실가동 Capacity	총 설계부하
Summary (지하층+1층+2층)	cooling(kcal/hr)	27,724	2,000	1,649
	heating(kcal/hr)	31,700	29,400	20,111
	실내기 총 댓수	10	10	

		실내기 총 Capacity	실가동 Capacity	총 설계부하
Summary (3층+4층)	cooling(kcal/hr)	27,000	12,000	11,088
	heating(kcal/hr)	31,300	31,300	20,893
	실내기 총 댓수	6	6	

■ Buffer TANK

- Buffer Tank 크기 산출
사이즈는 설계난방부하 20%를 기준으로 히트펌프를 4시간 정도 가동없이 부하를 감당하는 기준임
44,000 * 0.2 *4= 35,200 kcal
4시간동안 온수의 ⊿T를 8℃정도로 설정하면, 35200/8=약 4.5톤
즉, Buffer Tank의 supply part의 크기는 4.5톤
따라서 Tank 총 capapcity는 4.5*2 (return part 포함)=9톤
탱크 상단 여유 (overflow 및 센서 설치) 10%를 감안하면 tank크기는 10톤 또는 10㎥->2m * 2m *2.5m (height)

■ 히트펌프 사양 확정

cooling(kcal/hr)	69,118	모터출력(KW)	19KW
heating(kcal/hr)	72,291	브라인 연결구경(mm)	50
전력(kw, 380V, 3상)	18	브라인 유량(lpm)	296
Model	KRH-0210W	dimension(LxWxH, mm)	900x700x1,650
댓수	1	냉매	R-22
응축기 및 증발기 ⊿T	5℃	냉매 연결 배관경(mm)	40

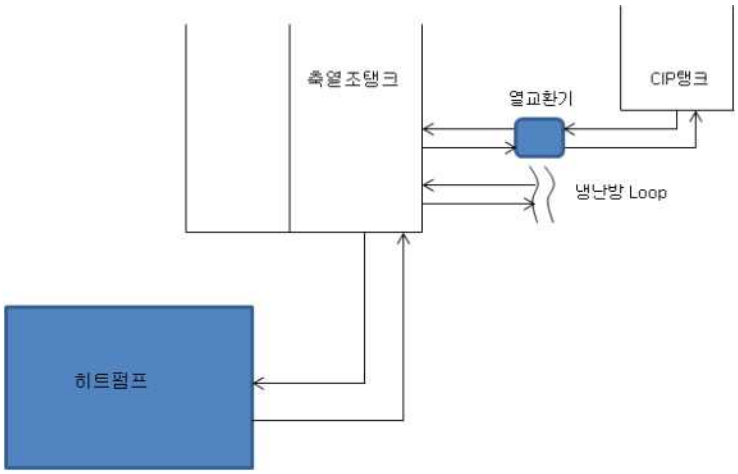
■ 열교환기

<table>
<tr><td colspan="2">Capacity: 100,000kcal/hr</td></tr>
<tr><td>1차측: 원수
7℃/2℃, 유량 20 ㎥/hr</td><td rowspan="2">원수공급펌프:
유량 20 ㎥/hr</td></tr>
<tr><td>2차측: 브라인 (에틸렌글리콜 20%)
1℃/6℃, 유량 21.5 ㎥/hr</td></tr>
<tr><td>** 실제 적용 가능한 capacity는 60,000 kcal/hr 정도이나 (히트펌프 설계 냉방 capacity 상으로는 70,000 kcal/hr) 원수의 온도가 5℃ 이하인 경우도 있기에 capacity를 상향시켰음)</td><td>** standby 펌프는 1대 포함</td></tr>
</table>

(마) 히트펌프 시스템 응용설계 방안

① CIP공정 연계

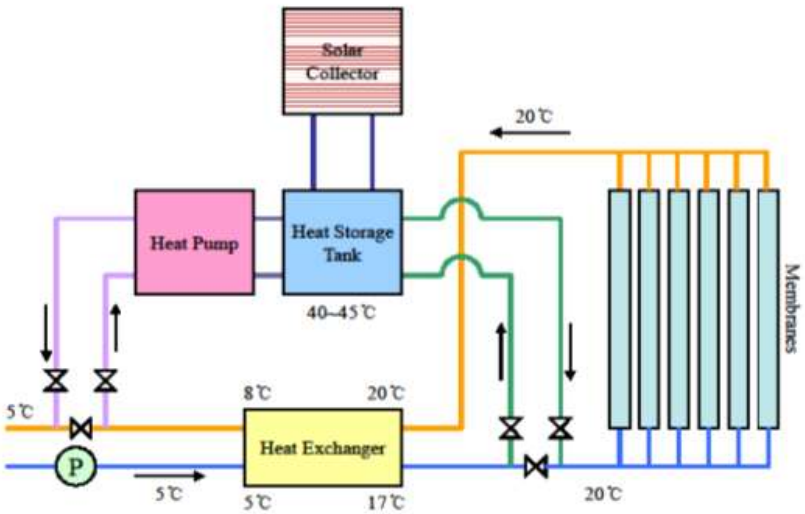
▌CIP탱크 가온을 히트펌프 시스템으로 적용하여 계약전력용량 하락 및 운영비 절감 효과를 가져옴



▌그림 2.142 CIP 공정 연계 방안▐

② 막여과공정 연계

▌히트펌프를 이용한 원수가온 및 역세척수 가온으로 막여과 장치 수명연장 효과를 가져옴



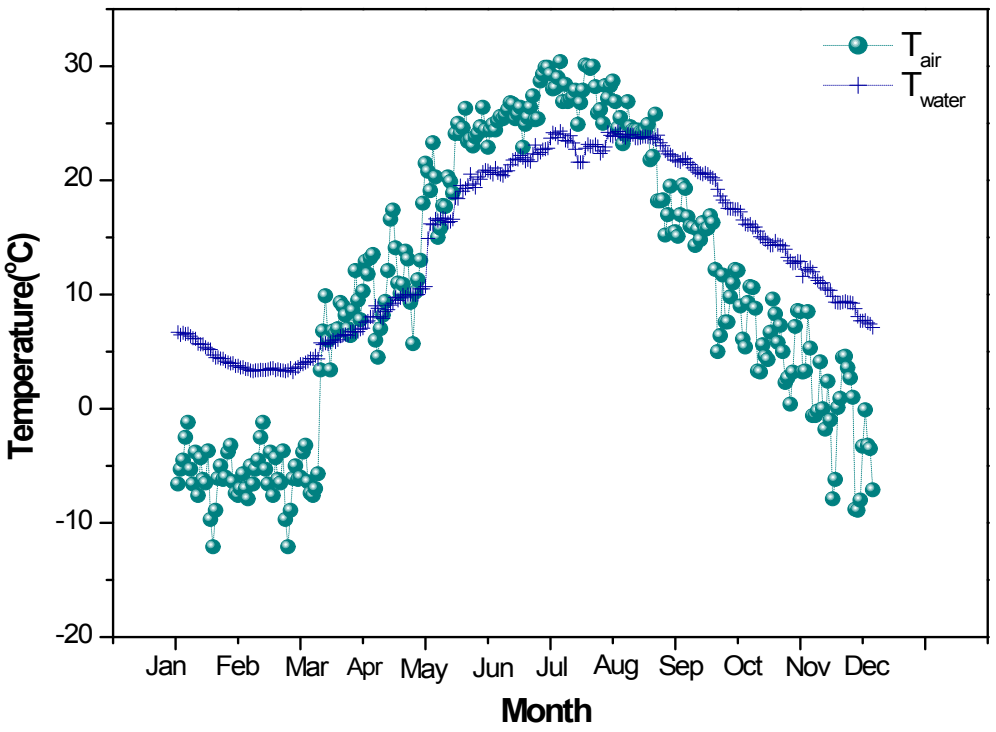
▌그림 2.143 막여과 공정 연계 방안▐

(바) 수온차 히트펌프 시뮬레이터 개발

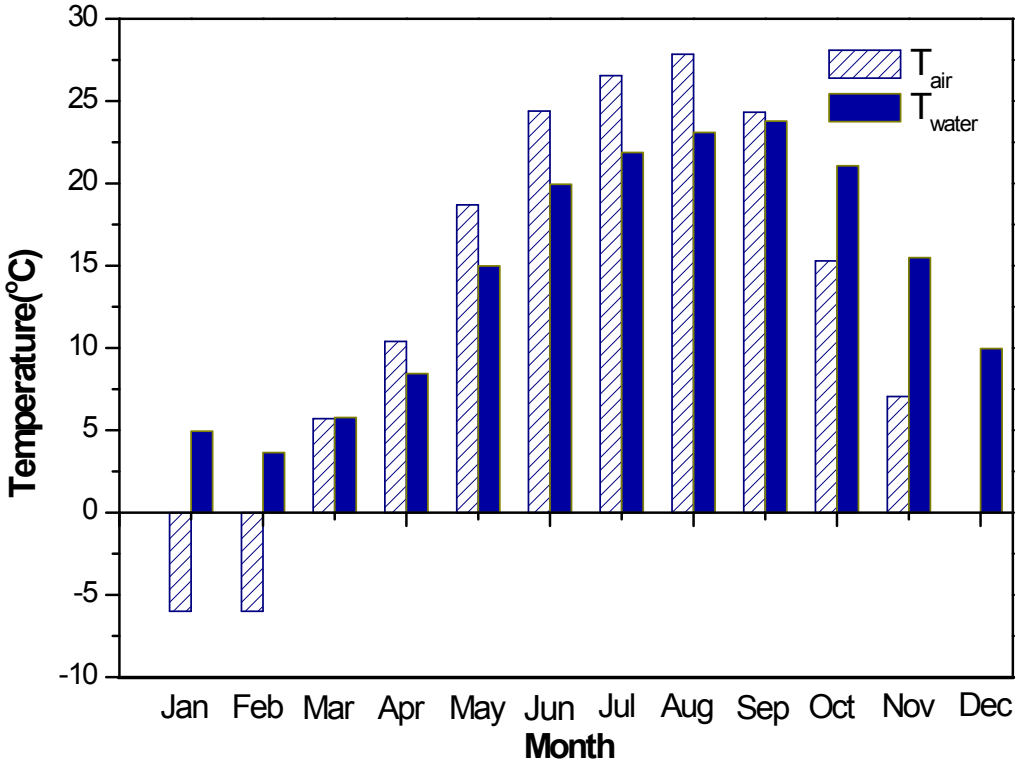
① 수직형 정수처리장 열원의 특성 분석 및 기존 히트펌프 설계자료 수집

▌한국수자원공사 K-water연구원에서 설치 운영하고 있는 정수장 내 수온차 히트펌프 성능을 분석하기 위해 1년 동안의 운전데이터가 확보되어 있는 청주정수장에 설치된 히트펌프의 운전 자료를 활용하였음.

- 수온차 열펌프가 설치된 청주정수장의 일별 운전 데이터를 수집하여 이로 인해 현재 운전되고 있는 시스템의 특성을 파악하고, 문제점을 분석하여 시뮬레이터 개발을 위한 기본 자료로 사용함.
- 원수의 열원은 판형 열교환기를 통해 히트펌프의 실외기에 전달하고, 물-공기 방식으로 실내에는 카세트형 실내기가 중앙조정실 천정에 설치되어 있음
- 청주 정수장에 설치된 주요 히트펌프의 사양은 히트펌프의 운전성능을 나타내는 대표적인 지표로서 유닛 COP를 살펴보면 난방 시에는 평균 COP 3.3, 냉방 시에는 7.2를 나타내고 있음



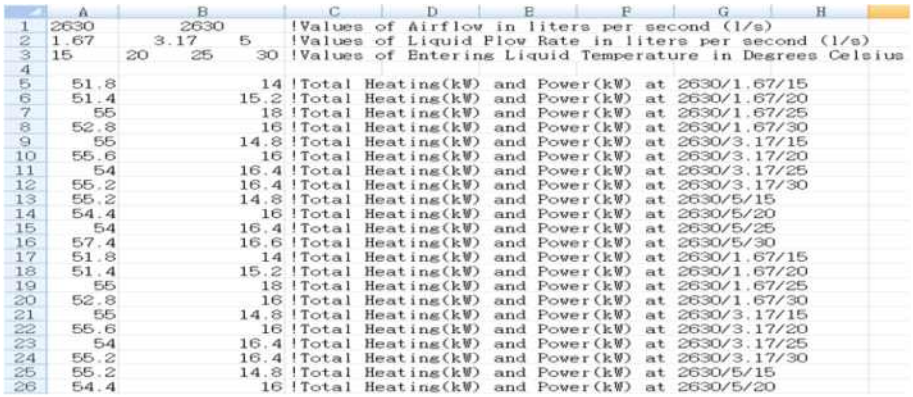
▌그림 2.144 일별 원수온도와 대기온도 비교▐



▌그림 2.145 월별 원수온도와 대기온도 비교▐

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	2630	2630		!Values of Airflow in liters per second (l/s)							
2	1.67	3.17	5	!Values of Liquid Flow Rate in liters per second (l/s)							
3	20	25 30	35	!Values of Entering Liquid Temperature in Degrees Celsius							
4											
5	40	5.13	6.6	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/1.67/20							
6	35.6	5.07	5.6	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/1.67/25							
7	35.6	4.75	6.4	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/1.67/20							
8	38.6	4.37	8	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/1.67/35							
9	37.2	5.19	6	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/3.17/20							
10	38.4	5.13	7.6	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/3.17/25							
11	38.4	4.81	6	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/3.17/30							
12	38.6	4.43	7.6	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/3.17/35							
13	37.8	5.19	5.8	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/5/20							
14	37.8	5.13	5.8	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/5/25							
15	38.8	4.81	6.4	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/5/30							
16	38.8	4.43	6.8	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/5/35							
17	40	5.13	6.6	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/1.67/20							
18	35.6	5.07	5.6	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/1.67/25							
19	35.6	4.75	6.4	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/1.67/20							
20	38.6	4.37	8	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/1.67/35							
21	37.2	5.19	6	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/3.17/20							
22	38.4	5.13	7.6	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/3.17/25							
23	38.4	4.81	6	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/3.17/30							
24	38.6	4.43	7.6	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/3.17/35							
25	37.8	5.19	5.8	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/5/20							
26	37.8	5.13	5.8	!Total Heating(kW) Sensible Cooling(kW) and Power(kW) at 2630/5/25							

▌그림 2.146 냉방일 때 히트펌프 성능데이터▐

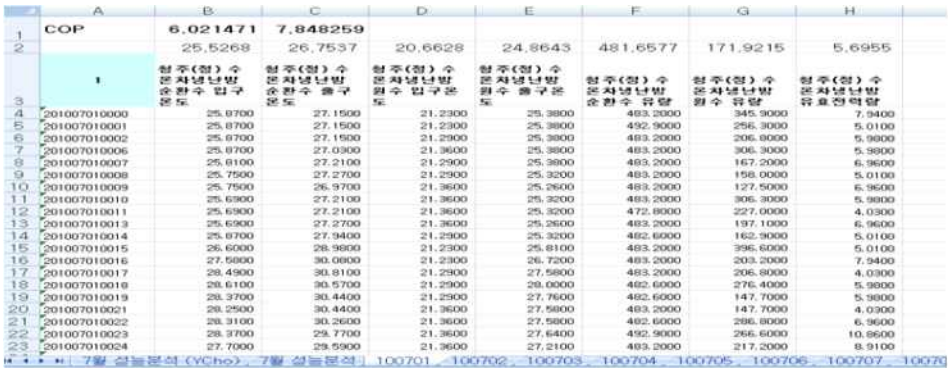


	A	B	C	D	E	F	G	H
1	2630	2630	!Values of Airflow in liters per second (l/s)					
2	1.67	3.17 5	!Values of Liquid Flow Rate in liters per second (l/s)					
3	15	20 25 30	!Values of Entering Liquid Temperature in Degrees Celsius					
4								
5	51.8	14	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/1.67/15					
6	51.4	15.2	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/1.67/20					
7	55	18	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/1.67/25					
8	52.8	16	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/1.67/30					
9	55	14.8	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/3.17/15					
10	55.6	16	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/3.17/20					
11	54	16.4	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/3.17/25					
12	55.2	16.4	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/3.17/30					
13	55.2	14.8	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/5/15					
14	54.4	16	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/5/20					
15	54	16.4	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/5/25					
16	57.4	16.6	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/5/30					
17	51.8	14	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/1.67/15					
18	51.4	15.2	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/1.67/20					
19	55	18	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/1.67/25					
20	52.8	16	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/1.67/30					
21	55	14.8	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/3.17/15					
22	55.6	16	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/3.17/20					
23	54	16.4	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/3.17/25					
24	55.2	16.4	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/3.17/30					
25	55.2	14.8	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/5/15					
26	54.4	16	!Total Heating(kW) and Power(kW) at 2630/5/20					

▌그림 2.147 난방일 때 히트펌프 성능데이터▐

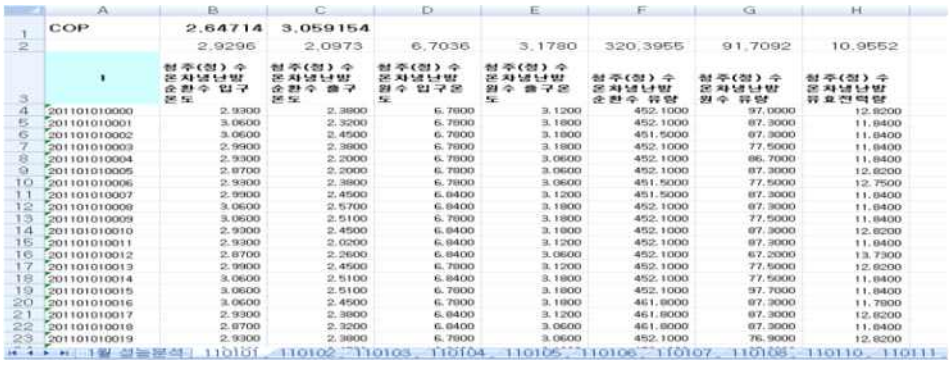
② 열원 부분의 수학적 모델링

- 열원 부분의 일별 원수자료 수집하여 냉방일 때 원수 온도차 데이터와 난방일 때 원수 온도차 데이터를 나타내었음
- 모델에 사용할 수 있도록 별 원수온도와 수학적 모델링과 분별 원수온도와 수학적 모델링과 같이 회귀분석을 수행함
- 밑의 식은 회귀분석결과 수식을 나타냄



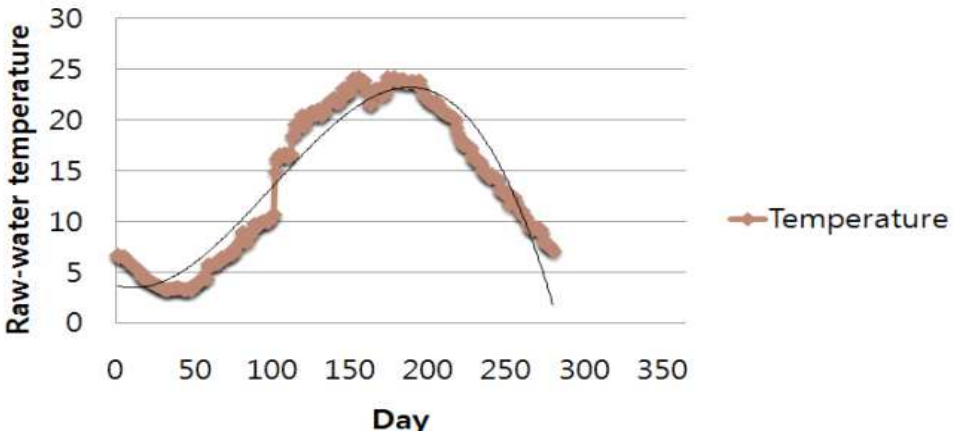
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	COP	6.021471	7.848259					
2		25.5268	26.7537	20.6628	24.8643	481.6577	171.9215	5.6955
3	I	청주(정)수온차냉난방 순환수 입구온도	청주(정)수온차냉난방 순환수 출구온도	청주(정)수온차냉난방 원수 입구온도	청주(정)수온차냉난방 원수 출구온도	청주(정)수온차냉난방 순환수 유량	청주(정)수온차냉난방 원수 유량	청주(정)수온차냉난방 유효전력량
4	2010070100000	25.8700	27.1500	21.2300	25.3800	493.2000	345.9000	7.9400
5	2010070100001	25.8700	27.1500	21.2300	25.3800	492.9000	256.3000	5.0100
6	2010070100002	25.8700	27.1500	21.2900	25.3800	493.2000	206.9000	5.9800
7	2010070100006	25.8700	27.0300	21.3600	25.3800	493.2000	306.3000	5.9800
8	2010070100007	25.8100	27.2100	21.2900	25.3800	493.2000	167.2000	6.9600
9	2010070100008	25.7500	27.2700	21.2900	25.3200	493.2000	158.0000	5.0100
10	2010070100009	25.7500	26.9700	21.3600	25.2600	493.2000	127.5000	6.9600
11	2010070100010	25.6900	27.2100	21.3600	25.3200	493.2000	306.3000	5.9800
12	2010070100011	25.6900	27.2100	21.3600	25.3200	472.8000	227.0000	4.0300
13	2010070100013	25.6900	27.2700	21.3600	25.2600	493.2000	197.1000	6.9600
14	2010070100014	25.8700	27.9400	21.2900	25.3200	492.6000	162.9000	5.0100
15	2010070100015	26.6000	28.9800	21.2300	25.8100	493.2000	396.6000	5.0100
16	2010070100016	27.5800	30.0800	21.2300	26.7200	493.2000	203.2000	7.9400
17	2010070100017	28.4900	30.8100	21.2900	27.5800	493.2000	206.8000	4.0300
18	2010070100018	28.6100	30.5700	21.2900	28.0000	492.6000	276.4000	5.9800
19	2010070100019	28.3700	30.4400	21.2900	27.7600	492.6000	147.7000	5.9800
20	2010070100021	28.2500	30.4400	21.3600	27.5800	493.2000	147.7000	4.0300
21	2010070100022	28.3100	30.2600	21.3600	27.5800	492.6000	286.8000	6.9600
22	2010070100023	28.3700	29.7700	21.3600	27.6400	492.9000	266.6000	10.8600
23	2010070100024	27.7000	29.5900	21.3600	27.2100	493.2000	217.2000	8.9100

▌그림 2.148 냉방일 때 원수 온도차 데이터▐



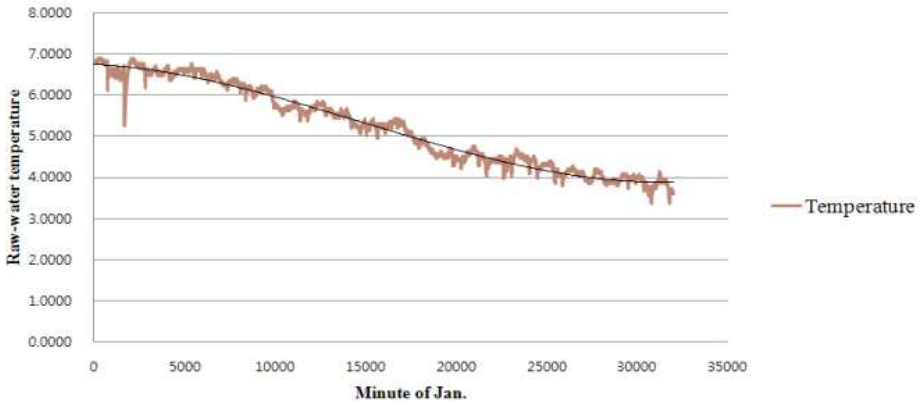
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	COP	2.64714	3.059154					
2		2.9296	2.0973	6.7036	3.1780	320.3955	91.7092	10.9552
3	I	청주(정)수온차냉난방 순환수 입구온도	청주(정)수온차냉난방 순환수 출구온도	청주(정)수온차냉난방 원수 입구온도	청주(정)수온차냉난방 원수 출구온도	청주(정)수온차냉난방 순환수 유량	청주(정)수온차냉난방 원수 유량	청주(정)수온차냉난방 유효전력량
4	2011010100000	2.9300	2.3800	6.7800	3.1200	452.1000	97.0000	12.8200
5	2011010100001	3.0600	2.3200	6.7800	3.1800	452.1000	87.3000	11.8400
6	2011010100002	3.0600	2.4500	6.7800	3.1800	451.5000	87.3000	11.8400
7	2011010100003	2.9900	2.3800	6.7800	3.1800	452.1000	77.5000	11.8400
8	2011010100004	2.9300	2.2000	6.7800	3.0600	452.1000	86.7000	11.8400
9	2011010100005	2.9700	2.2000	6.7800	3.0600	452.1000	87.3000	12.8200
10	2011010100006	2.9300	2.3800	6.7800	3.0600	451.5000	77.5000	12.7500
11	2011010100007	2.9900	2.4500	6.8400	3.1200	451.5000	87.3000	11.8400
12	2011010100009	3.0600	2.5700	6.8400	3.1800	452.1000	87.3000	11.8400
13	2011010100009	3.0600	2.5100	6.7800	3.1800	452.1000	77.5000	11.8400
14	2011010100010	2.9300	2.4500	6.8400	3.1800	452.1000	87.3000	12.8200
15	2011010100011	2.9300	2.6200	6.8400	3.1200	452.1000	87.3000	11.8400
16	2011010100012	2.8700	2.2600	6.8400	3.0600	452.1000	67.2000	13.7300
17	2011010100013	2.9900	2.4500	6.7800	3.1200	452.1000	77.5000	12.8200
18	2011010100014	3.0600	2.5100	6.8400	3.1800	452.1000	77.5000	11.8400
19	2011010100015	3.0600	2.5100	6.7800	3.1800	452.1000	97.7000	11.8400
20	2011010100016	3.0600	2.4500	6.7800	3.1800	461.8000	87.3000	11.7900
21	2011010100017	2.9300	2.3800	6.8400	3.1200	461.8000	87.3000	12.8200
22	2011010100018	2.8700	2.3200	6.8400	3.0600	461.8000	87.3000	11.8400
23	2011010100019	2.9300	2.3800	6.7800	3.0600	452.1000	76.9000	12.8200

▌그림 2.149 난방일 때 원수 온도차 데이터▐



▌그림 2.150 일별 원수온도와 수학적 모델링▐

$$y = -7\times10^{-6}x^3 + 0.0021x^2 - 0.0464x + 3.7025$$



▌그림 2.151 분별 원수온도와 수학적 모델링▐

$$y = 2\times10^{-13}x^3 - 7\times10^{-9}x^2 - 2\times10^{-5}x + 6.7379$$

③ 히트펌프 구성요소 모델링

▌EES(Engineering Equation Solver)를 통해 공기열원 히트펌프와 원수열원 히트펌프의 모델링을 수행함. 본 모델링을 통해 히트펌프 정상상태 운전 시 공기열원 히트펌프와 수열원 히트펌프의 운전특성, 부분부하 특성을 고찰하고자 함

▌공기열원 히트펌프

▪ 원수열원 히트펌프와의 비교 및 공기열원 히트펌프의 성능평가를 위해 EES를 통

한 공기열원 히트펌프 모델링을 함

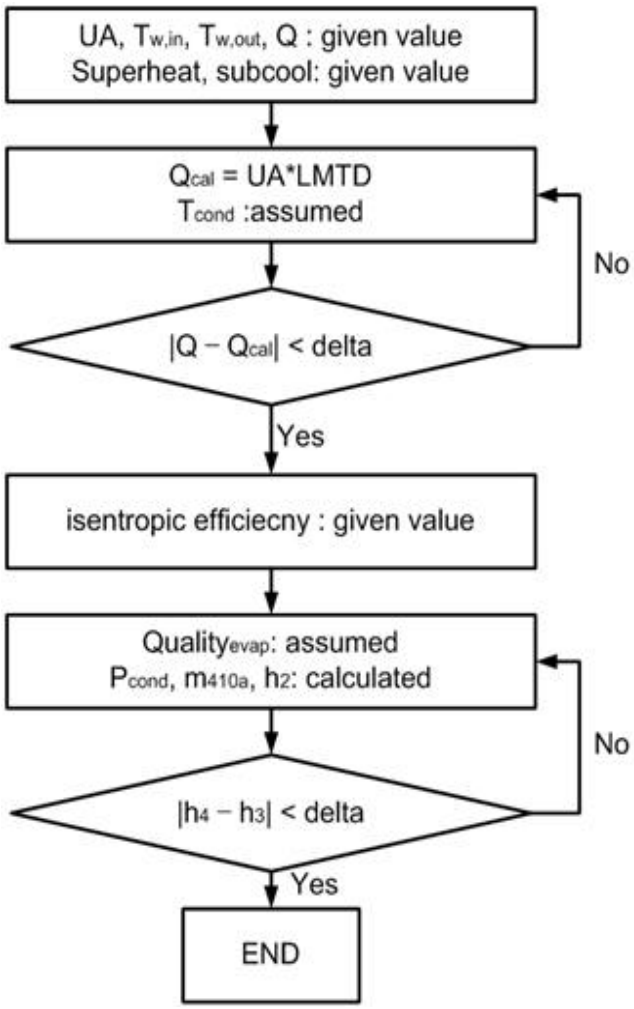
- 입력변수로는 UA, 열교환기 입구공기온도, 증발기 열량, 공기유량, 과열도와 과냉도 등
- 초기 증발온도를 가정한 후 주어진 증발기 열량과 계산된 값과 비교하여 증발온도를 결정함
- 압축기 동력 및 등엔트로피 효율은 제공함
- 증발기 입구 건도를 가정한 후 팽창장치 전·후의 등엔탈피 조건을 활용하여 냉매유량, 압축기 출구온도를 계산함

▌그림 2.152 EES를 통한 공기열원 히트펌프 모델링▐

▌수열원 히트펌프 모델링

- 수열원 히트펌프 모델링의 경우 공기열원과의 비교 및 부분분하 특성을 파악하기 위해 EES를 통한 수열원 히트험프 모델링을 수행함
- 전체적인 계산 순서는 공기열원 히트펌프 모델링과 유사함
- 부분부하 모델링 시 등엔트로피 효율은 0.5로 계산을 수행함

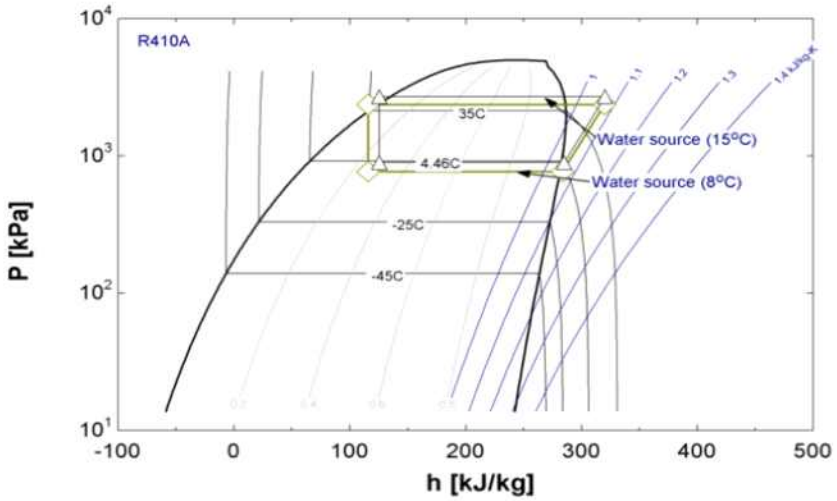
- 공기열원의 경우는 시뮬레이션의 Input values와 같이 난방 시(12월 제외) 대기 평균온도인 5.3℃로 수열원의 경우 4월과 11월의 원수 평균온도인 8℃와 15℃로 선정함
- UA(총괄열전달계수×열교환기 면적)값은 수열원 히트펌프의 경우 물측 열전달계수가 공기측 열전달계수보다 큼을 고려해 설정하였음
- 난방의 경우 응축압력(난방온도)는 일정 온도로 유지되어야 하기 때문에 공기열원과 수열원의 응축압력은 비슷하게 나타남
- 공기열원 히트펌프의 경우 UA값이 수열원보다 낮고 외기온도 또한 낮아서 보다 낮은 증발압력이 형성됨
- 압축기 효율 및 소비동력은 압축비에 비례하기 때문에 보다 압축비가 큰 공기열원의 경우 수열원 히트펌프에 비해 효율이 떨어짐
- 상기 수열원과 공기열원 히트펌프 난방 시 시뮬레이션은 난방시 원수 온도에 따른 시스템 운전 특성을 EES 툴을 사용하여 p-h선도를 나타냄
- 수열원 온도와 열교환기 UA값의 변화에 따른 냉난방 모델링 결과이고, COP와 압축기 소요동력 그리고 응축온도의 변화 값을 나타내고 있으며, 이를 통해 히트펌프 시스템의 운전성능 변화를 고찰할 수 있음
- 시뮬레이션에서의 전체부하 및 부분부하 운전 특성을 나타낸 p-h 선도임



▌그림 2.153 EES를 통한 수열원 히트펌프 모델링▐

▌표 2.78 시뮬레이션의 Input values▐

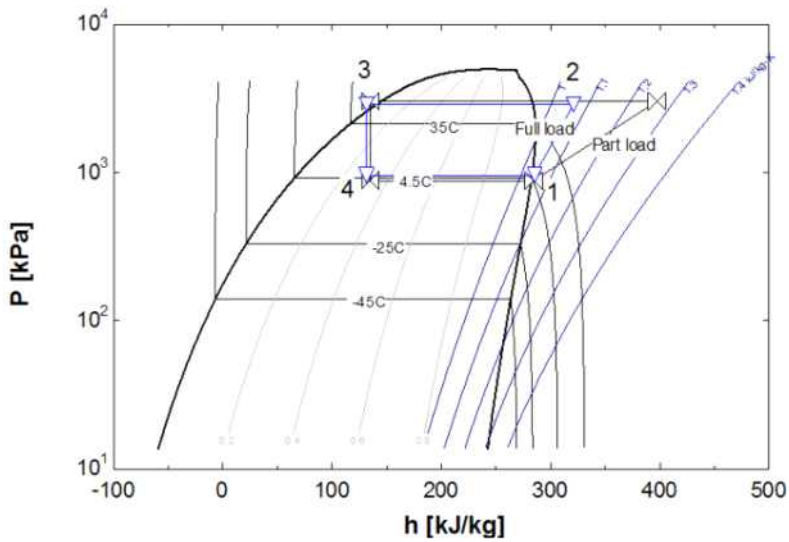
Input parameters	Water source HP
UA (kW/K)	13.0
Capacity (kW)	60
Temperature (oC)	8, 15
Air flow rate (CMM)	N/A



▌그림 2.154 수열원과 공기열원 히트펌프 난방 시 시뮬레이션▐

▌표 2.79 냉방 모델링 결과▐

수열원 온도	COP	W_comp	T_COND
23	6.3	9.6	33.4
20	7.2	8.6	30.4
17	8.2	7.6	27.4
UA	COP	W_comp	T_COND
9	6.18	9.7	34.0
10	6.3	9.6	33.4
11	6.46	9.3	32.9



▌그림 2.155 부분부하(시뮬레이션)▐

④ 열원 및 히트펌프 구성요소 모델링 통합개발

▌수온차 열펌프의 경우 최대 효율을 위해 1년 동안의 운전패턴이 매우 중요한데 이와 같은 열펌프의 동적 특성을 파악하고, 이를 최종 개발 시뮬레이터에 반영하기 위해서는 이 동적 특성을 해석하기 위한 최적화된 프로그램의 이용이 필요함.

- 본 연구에서는 TRNSYS라는 상용 툴을 활용해 시간별 연별 성능을 파악하였음. TRNSYS는 Transient System Simulation Tool의 약자로 1981년 미국위스콘신대학의 Solar Energy Laboratory에서 태양열 집열기를 해석하기 위한 프로그램으로 개발되어 현재 유럽을 비롯한 세계 각국에서 사용되고 있고, 시스템의 동작을 시뮬레이션 하는데 사용되는 매우 유연한 그래픽 환경을 기반으로 하는 소프트웨어임.
- 시뮬레이션의 대부분이 열 및 전기 에너지 시스템의 성능 평가에 초점이 있지만, TRNSYS는 동일한 생물학적 과정 또는 트래픽 흐름과 같은 다른 동적 시스템을 모델로 사용할 수 있으며, HVAC 분석 및 사이징, multizone 공기 분석, 전력 시뮬레이션, 태양열 설계, 열 성능 구축, 관리 제도의 분석을 위해 사용할 수 있음

▌TRNSYS는 사용자가 컴포넌트를 지정하게 하는 방법을 사용하는데, 컴포넌트는 시스템과 요소들이 연결되는 방법으로 구성되며, TRNSYS Library는 기상 데이터 혹은 시간 전달함수 등을 입력하는 요소, 시뮬레이션 결과를 출력하는 요소 그리고 열에너지 시스템에서 사용하는 일반적인 컴포넌트 요소를 포함하고 있고, 시스템 작동이 시간 변화에 의존하는 시스템을 상세히 분석하는데 적합함.

- 최근에는 사용자의 이용 편의성을 위해 GUI(Graphic User Interface)가 대폭 개선되었으며, 다소 취약한 부분이었던 건물 자체의 성능평가 부분도 TRNBuild를 통해 많이 개선되었음

▌TRNSYS는 다음과 같은 구성으로 이루어져 있음

- Simulation Atudio: 컴포넌트를 구성하고 컴포넌트 간의 링크 작업을 GuI로 수행하는 작업 공간
- TRNBuild: TYPE 56 Multiple Zone Building의 건물 사양과 운영 조건 등을 입력하는 프로그램으로 Simulation Studio 상에서 TYPE 56을 눌러도 실행됨
- TRNEdit: dck(txt 기반 명령어 수록) 파일 편집, trd(TRNSED 파일)실행할 수 있음
- TRNFlow: 공기 유동, 환기 해석 프로그램임
- TRNOpt: 최적화 프로그램. L0BNL(Lawrence Berkeley National Labortory)에서 작성한 최적화 알고리즘인 GENORP을 활용함

- TRNSed: 배포용 TRNSYS 프로그램을 생성함

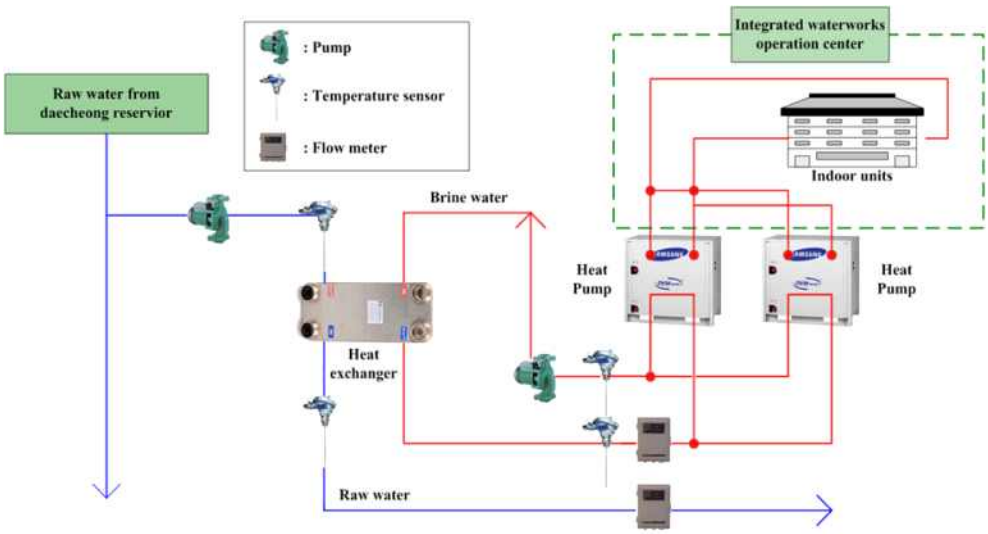
▌본 연구에서는 TRNSYS를 활용하여 실제 운전되는 청주 정수장 및 성남정수장 내 수온차 시스템을 모델링하고, 본 모델링을 검증하였음

▌청주정수장 물-공기 히트펌프

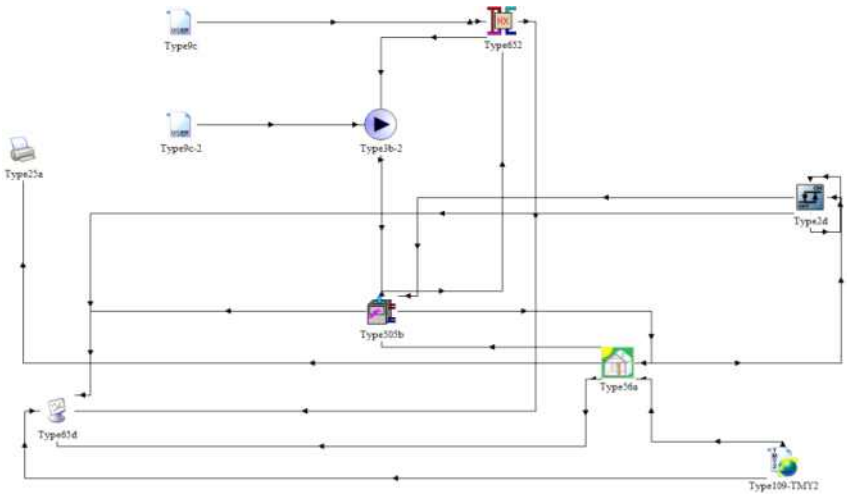
- 상기 청수정수장 내 수온차 시스템 개념도의 좌측에 위치해 있는 대청댐의 원수는 펌프를 지나 열교환기에서 냉매를 응축하여 히트펌프에 열을 공급한 뒤 밖으로 배출됨
- 더불어 열원으로 사용하는 원수에 탁수가 유입될 수도 있어 2차 냉각수로 20% 에틸렌글리콜 수용액을 사용한 브라인은 열교환기에서 온수와 열교환을 한 뒤 2대의 히트펌프로 유입되어 열이 대상건물의 공조공간으로 공급됨
- 충청통합운영센터에 설치된 15RT급 물-공기 히트펌프 2대를 여름철과 겨울철로 나누어 계절별로 분석하였음
- TRNSYS의 Simulation studio를 이용하여 청주정수장 수열원 TRNSYS 모델링에 나타낸 컴포넌트가 연결이 되며, 주로 사용한 컴포넌트에는 기상 데이터를 가지고 있는 TYPE109-TMY2와 부유 물질의 혼합의 동결 따른 히트펌프 성능 방지를 위하여 원수(TYPE9c)와 히트펌프 사이에 열교환기(TYPE652)가 사용되었고, 원수→열교환기 데이터를 입력하였음
- 기상데이터는 청주지역의 데이터 부재로 서울지역 데이터를 활용 하였음.
- 열교환기에는 순환(TYPE9c-2)을 위한 펌프(TYPE3b)와 유량 제어에 사용되고 있는 제어기(TYPE2d)도 연결됨
- 건물의 공조공간은 TYPE56a 멀티존 빌딩을 적용하였으며, 이는 히트펌프(TYPE505b)의 출구 공기 온도와 습도 비율에 영향을 받고, 히트펌프 또한 공조공간의 반환온도 영향을 받기 때문에 서로 상호작용 함
- 냉난방 대상건물의 규모는 약 260평(864m^2) 이며, 1곳의 공조 공간과 3곳의 룸으로 이루어진 4개의 존으로 나누어 모사 하였으며, 벽체는 상기 TRNBUILD 벽체 물성값 입력과 같이 모델링 함
- 공조 공간에는 환기(Ventilation)를 0.5(1/h)로 설정하였고, 그 이외의 룸에는 냉난방(Cooling/heating type)을 입력하여 온도가 일정하게 유지 되도록 설정함.
- 여기서 환기 횟수는 실내에 유입되는 공기의 양을 단위 환산하여 계산하였는데 일반적인 건설 기준에 따르면 환기 횟수는 0.7(1/h)이나, 청주정수장의 경우, 성능 데이터에서 나타나는 초당 유입되는 공기의 유량을 시간당 공조공간(부피)에 유입되

는 공기의 양($l/s \rightarrow m^3/h$)으로 계산하여 환기 횟수와 Inlet temperature 그리고 Inlet humidity와같이 입력하며 Cooling/Heating 조건을 입력함

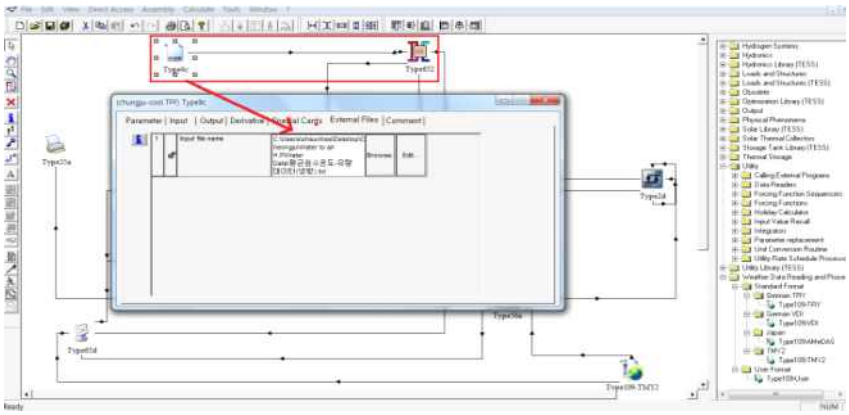
- 히트펌프(TYPE665-2)의 출력인 Outlet air temperature와 Outlet air humidity ratio는 공조공간(TYPE56a) 입력으로 연결됨.
- 수열원 히트펌프는 대체적으로 성능 데이터의 영향을 많이 받기 때문에 정확한 데이터를 요하며, 히트펌프 냉난방 능력표(모델명:RWXDHN200H1)를 토대로 히트펌프 능력과 소비전력을 입력함
- 능력표의 조합실내기율(50~100%)에서 TYPE25a로 산출한 건물부하 값을 조합실내기율과 비교하여 근사한 값을 나타내는 수열원 히트펌프 냉방 성능 데이터를 입력함
- 상기의 냉난방일 때 원수펌프와 순환수 펌프는 청주 수온차 데이터를 통하여 2010년 3~12월, 2011년 1~2월까지의 원수 온도 데이터와 순환수 온도 데이터를 바탕으로 냉방과 난방일 때 각각의 원수, 원수(유량), 순환수, 순환수(유량) 데이터를 입력함. 원수 입구 온도와 출구 온도, 순환수 입구 온도와 출구 온도 및 각각의 평균 온도와 원수/순환수 유량 그리고 수온차 냉난방 원수/순환수 유량을 데이터로 편집하고, TXT 파일로 변환하여 원수/순환수 펌프 Input file에 입력함



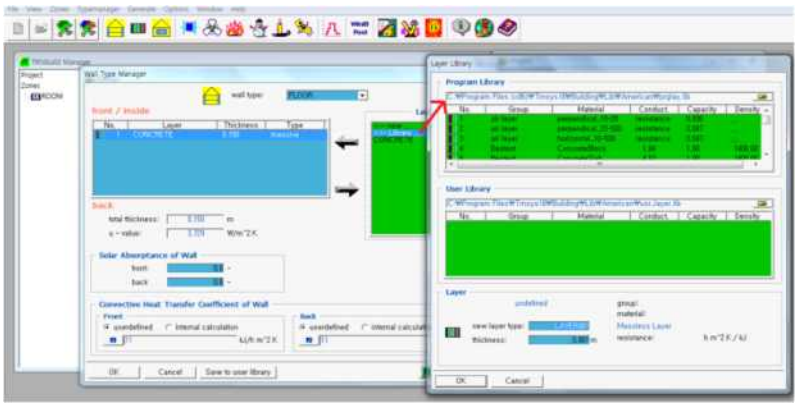
▌그림 2.156 청주 정수장 수온차 시스템 개념도▐



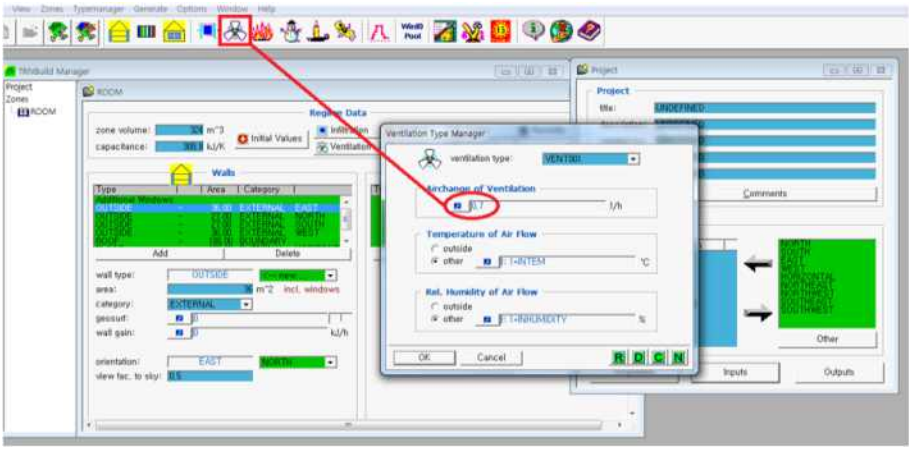
▌그림 2.157 청주정수장 수열원 TRNSYS 모델링▐



▌그림 2.158 원수→열교환기 데이터 입력▐

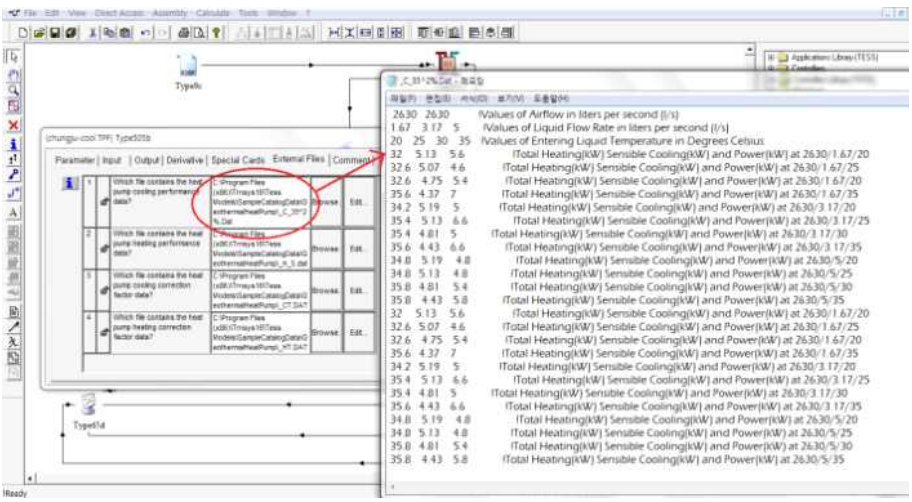


▌그림 2.159 TRNBUILD 벽체 물성값 입력▐

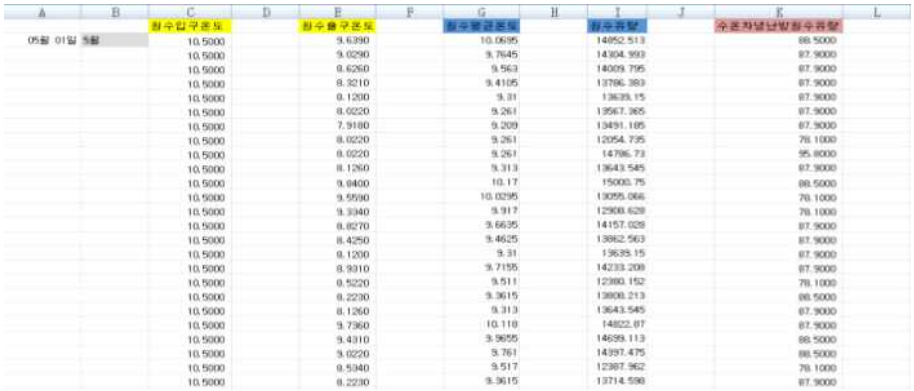


▌그림 2.160 환기 횟수와 Inlet temperature 그리고 Inlet humidity ▐

▌그림 2.161 Cooling/Heating 조건 입력 ▐



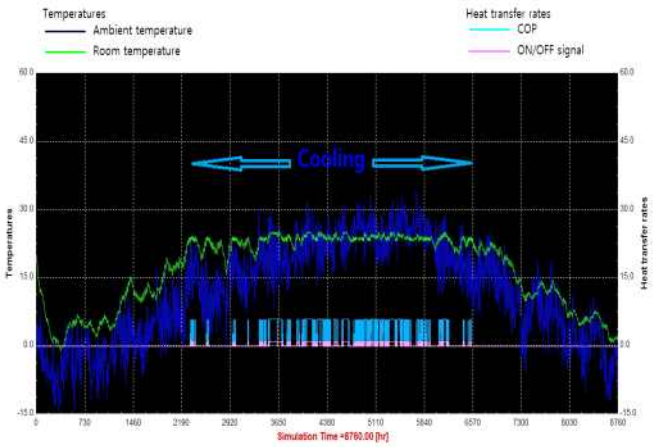
▌그림 2.162 수열원 히트펌프 냉방 성능 데이터 ▐



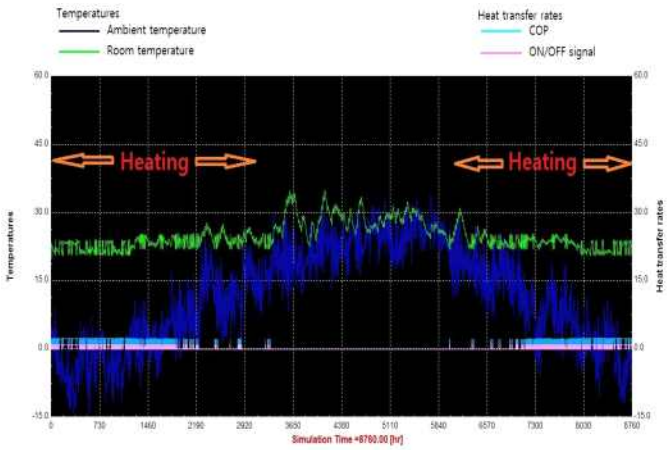
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
		원수입구온도		원수출구온도		원수평균온도		원수유량		수온차냉난방원수유량	
05월 01일	5월	10.5000		9.6390		10.0695		14852.513		88.5000	
		10.5000		9.0290		9.7645		14304.993		87.9000	
		10.5000		8.6260		9.563		14009.795		87.9000	
		10.5000		8.3210		9.4105		13786.383		87.9000	
		10.5000		8.1200		9.31		13635.15		87.9000	
		10.5000		8.0220		9.261		13567.365		87.9000	
		10.5000		7.9180		9.209		13491.105		87.9000	
		10.5000		8.0220		9.261		12054.735		78.1000	
		10.5000		8.0220		9.261		14786.73		95.8000	
		10.5000		8.1260		9.313		13643.545		87.9000	
		10.5000		9.8400		10.17		15000.75		88.5000	
		10.5000		9.5590		10.0295		13055.066		78.1000	
		10.5000		9.3340		9.917		12908.628		78.1000	
		10.5000		8.8270		9.6635		14157.029		87.9000	
		10.5000		8.4250		9.4625		13862.563		87.9000	
		10.5000		8.1200		9.31		13635.15		87.9000	
		10.5000		8.9310		9.7155		14233.208		87.9000	
		10.5000		8.5220		9.511		12380.152		78.1000	
		10.5000		8.2230		9.3615		13908.213		88.5000	
		10.5000		8.1260		9.313		13643.545		87.9000	
		10.5000		9.7360		10.118		14822.87		87.9000	
		10.5000		9.4310		9.9655		14699.113		88.5000	
		10.5000		9.0220		9.761		14397.475		88.5000	
		10.5000		8.5340		9.517		12387.962		78.1000	
		10.5000		8.2230		9.3615		13714.598		87.9000	

▌그림 2.163 냉방일 때 원수온도 데이터▐

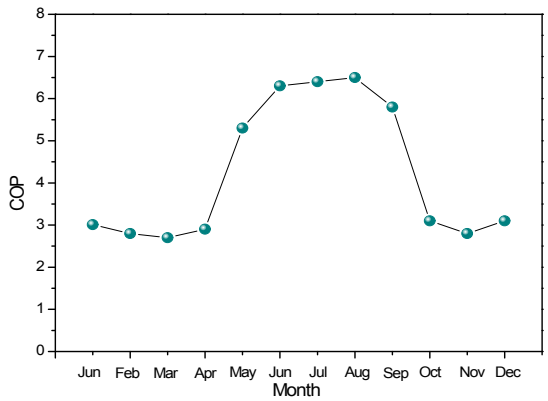
- 결과 값인 냉방일 때 수열원 히트펌프 시뮬레이션과 난방일 때 수열원 히트펌프 시뮬레이션 보면 냉방기간(5~9월)과 난방기간(10~4월)일 때의 룸 온도는 제어기의 신호를 통하여 22~25℃로 유지되고 있으며, 유닛 COP는 냉방과 난방일 때 평균 약 6.1, 2.92로 그림 과 같이 나타남
- TRNSYS를 통한 계절별 수열원 히트펌프 COP 변화는 계절별 수열원 히트펌프의 변화를 나타냄
- TRNSYS를 사용하여 시뮬레이션 한 모델링과 기존 실험 데이터를 토대로 기존 수열원 유닛 COP와 시스템 COP를 비교하여 본 모델링의 타당성을 확보할 수 있음. TRNSYS 시뮬레이션과 실험을 통한 유닛 COP 비교와 TRNSYS 시뮬레이션과 실험을 통한 시스템 COP 비교를 통한 유닛 COP와 실험을 통한 유닛 COP를 비교할 때, 실험결과 기준 평균 약 7%(하절기), 평균 11%(동절기)의 오차를 나타내고, 시스템 COP는 실험결과 기준으로 평균10%(하절기), 평균 14%의 오차를 나타냄. 유닛 COP는 시스템 COP에 비해 각각 유닛 COP기준 평균 약 4%(하절기), 평균 약 5%(동절기) 더 높게 나타남
- TRNSYS를 통한 수열원 히트펌프 소비동력은 1월과 2월에 가장 높고, 10월에 가장 낮은 수치를 보이고 있음.
- TRNSYS 시뮬레이션과 실험결과를 통한 유닛 소비동력 비교와 TRNSYS 시뮬레이션과 실험결과를 통한 시스템 소비동력 비교에서 기존 수열원 히트펌프의 유닛 및 시스템의 소비동력과 TRNSYS Simulation 소비동력을 나타냄. 시스템 소비동력이 유닛 소비동력보다 유닛 소비동력 기준으로 평균 약 14%(하절기), 평균 31%(동절기) 더 높게 나타남
- 계절별로 원수와 순환수 온도의 데이터를 입력하고, 이것의 영향으로 원수 유입 온도가 높아짐에 따라 성능계수가 증가하였으며, 히트펌프 성능은 난방시보다 냉방 시에 더 높게 나타나는 것을 알 수 있음



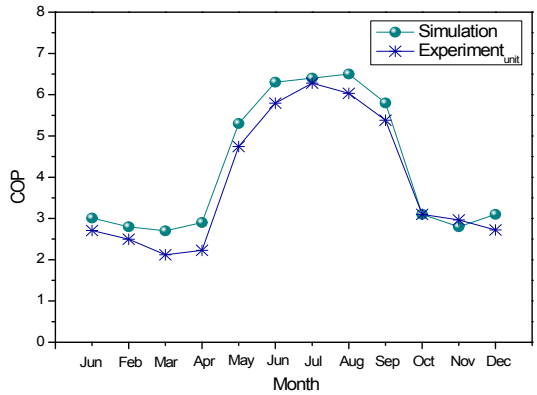
▌그림 2.164 냉방일 때 수열원 히트펌프 시뮬레이션▐



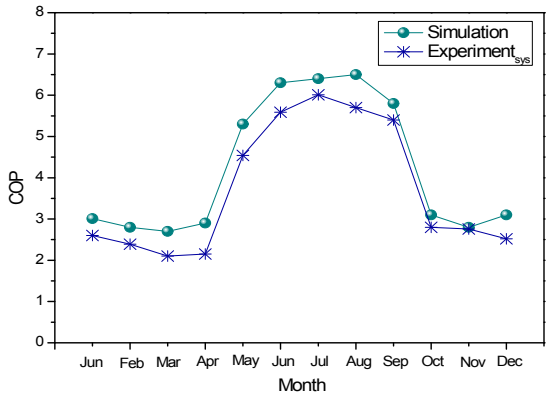
▌그림 2.165 난방일 때 수열원 히트펌프 시뮬레이션▐



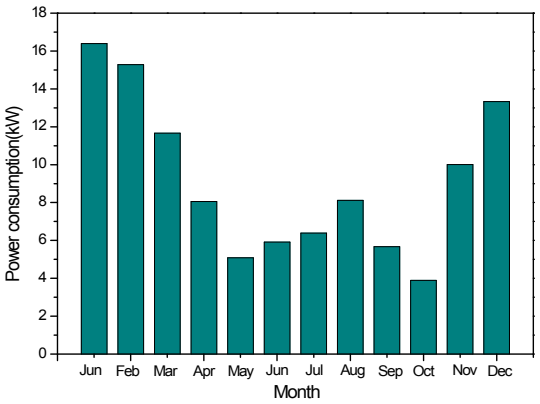
▌그림 2.166 TRNSYS를 통한 계절별
수열원 히트펌프 COP 변화▐



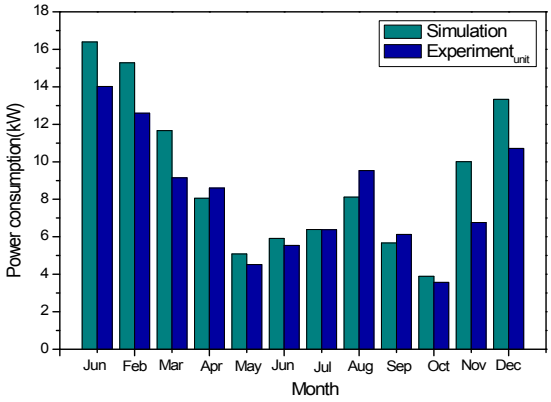
▌그림 2.167 TRNSYS 시뮬레이션과 실험을 통한 유닛 COP 비교▐



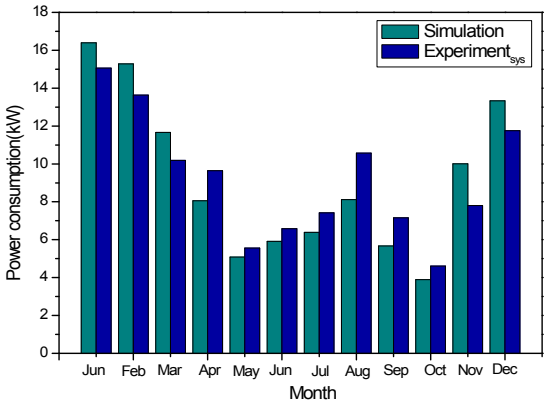
▌그림 2.168 TRNSYS 시뮬레이션과 실험을 통한 시스템 COP 비교▐



▌그림 2.169 TRNSYS를 통한 수열원 히트펌프 소비동력▐



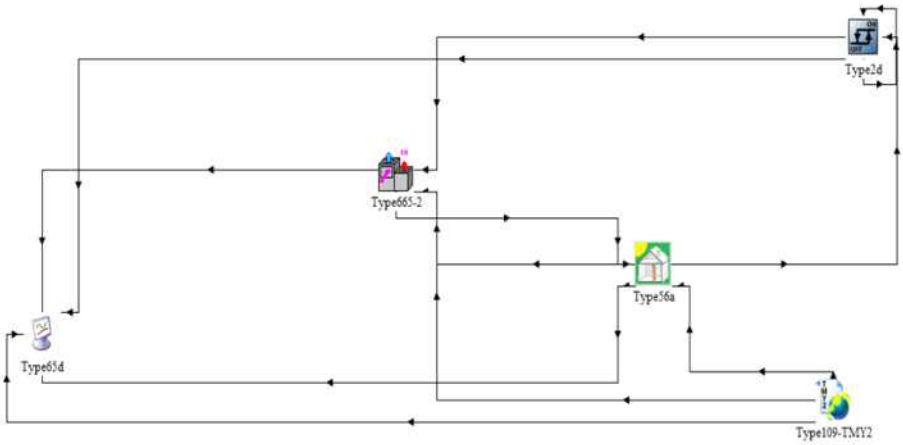
▌그림 2.170 TRNSYS 시뮬레이션과
실험결과를 통한 유닛 소비동력 비교▐



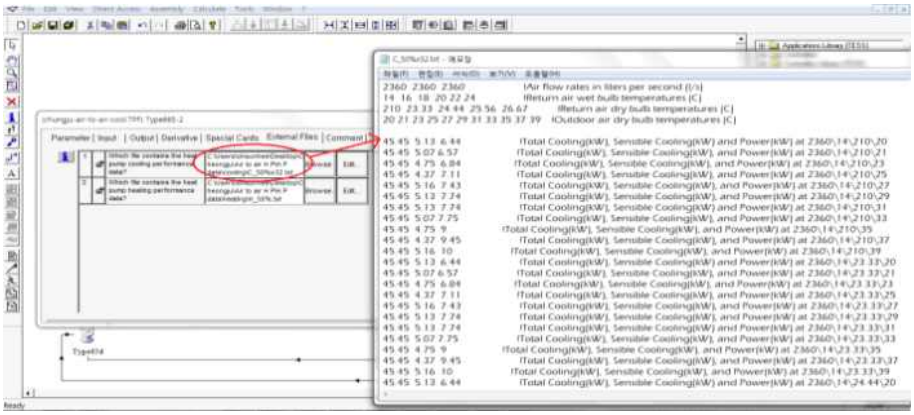
▌그림 2.171 TRNSYS 시뮬레이션과
실험을 통한 시스템 소비동력비교▐

▌시흥정수장 공기-공기 방식 모델링

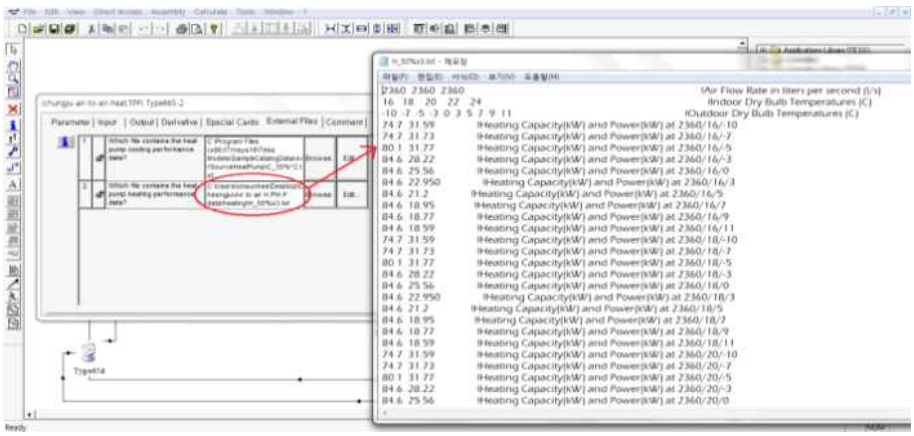
- 정수장 내 원수를 열원으로 하는 수열원 히트펌프의 성능 비교 분석을 위해 상기 공기열원 히트펌프 모델링 같이 시흥정수장을 모델링하였음
- 공기열원의 히트펌프인 Type665-2를 사용하여 수열원과 같은 방식으로 성능 데이터를 입력하여 TRNSYS 시뮬레이션을 수행함.
- 삼성 DVM PLUS IV 표준형 냉난방 능력 테이블을 토대로 공기열원 성능 데이터를 공기열원 히트펌프 냉방 성능 데이터와 공기열원 히트펌프 난방 성능 데이터 같이 작성함
- 공기를 열원으로 하기 때문에 수열원처럼 원수와 순환수 펌프가 사용되지 않음



▌그림 2.172 공기열원 히트펌프 모델링▐



▌그림 2.173 공기열원 히트펌프 냉방 성능 데이터▐

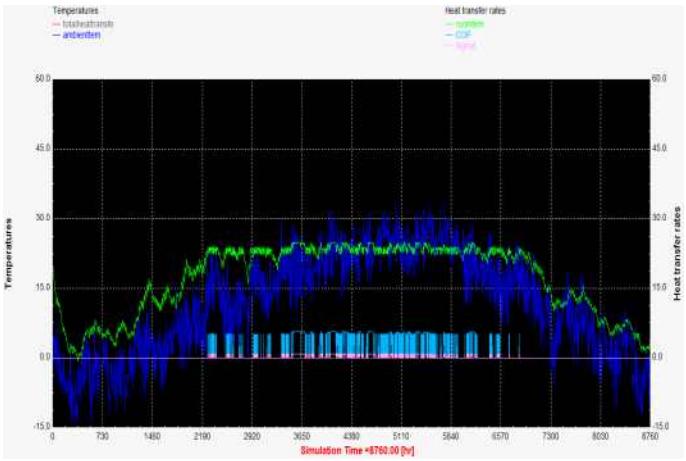


▌그림 2.174 공기열원 히트펌프 난방 성능 데이터▐

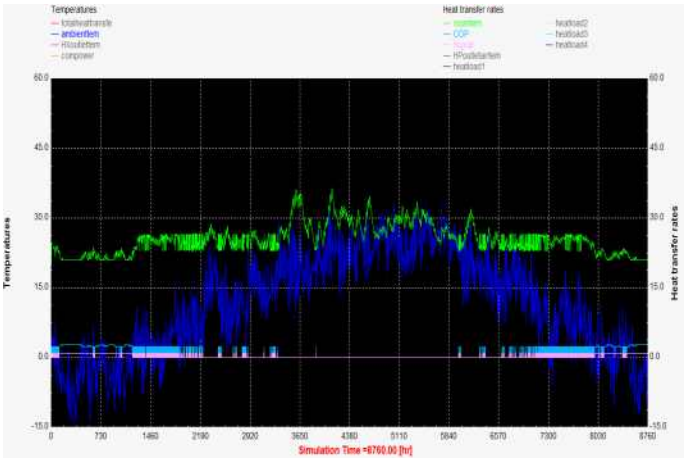
- 상기 냉방일 때 공기열원 히트펌프 시뮬레이션과 난방일 때 공기열원 히트펌프

시뮬레이션 결과에 나타낸 바와 같이 냉방기간(5~9월)과 난방기간(10~4월)일 때 실내 온도는 제어기의 신호를 통하여 22~25℃로 유지되고 있음을 볼 수 있음

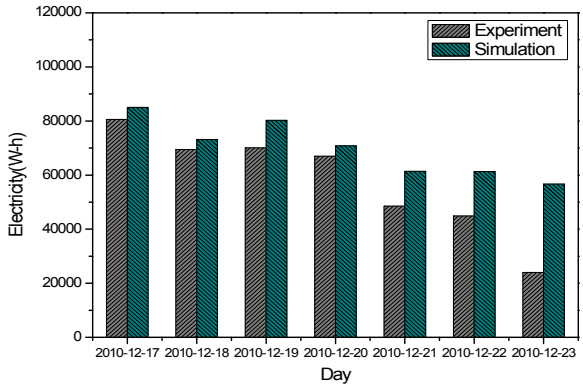
- 시흥정수장에는 냉난방 용량이 평균 약 10 kW인 공기열원 히트펌프 2대가 설치되어 있으며, 대상건물은 청주정수장에 비해 1/2 정도 작은 면적으로 약 118평(394 m^2)이고, 건물 내부의 인원과 기기 및 장비들이 많지 않기 때문에 청주정수장의 건물부하에 비하여 비교적 낮은 부하가 나타남
- 이를 바탕으로 모델링 한 시흥 정수장의 공기열원 히트펌프를 실제 정수장 내 설치된 히트펌프의 실측 데이터와 TRNSYS 시뮬레이션 결과 값을 비교
- TRNSYS 시뮬레이션과 기존 데이터 12월 부분 일별 비교는 12월 17일~ 12월 23일까지의 일주일간 전력량을 비교한 것으로 전력량의 경향은 비슷하나 대부분 일정하게 고른 시뮬레이션 결과 값에 비해 실측데이터의 전력량 변동이 큰 것을 볼 수 있음
- 이는 실제 시흥정수장에 설치되어 있는 히트펌프를 때에 따라 2대 모두를 가동하거나 1대 만을 가동하였기 때문에 전력량에 있어서 많은 차이가 나는 것을 알 수 있음
- 이 부분은 TRNSYS 시뮬레이션과 기존 데이터 부분 월별 전력량 비교에서 더 확연하게 나타나는데, 시뮬레이션 결과 값과 실측 데이터를 2월~6월과 12월, 월별로 비교
- 동절기인 2월과 3월 그리고 12월은 시뮬레이션 결과 값과 실측 데이터의 전력량의 차이가 많지 않으나, 간절기인 4월과 하절기인 5월과 6월의 전력량은 시뮬레이션 결과 값에 비해 실측 데이터가 현저하게 낮은 것을 알 수 있음
- 공기열원의 경우, 수열원과 다르게 외기온도의 영향을 받기 때문에 On/Off 제어가 자주 일어나며, 그로 인해 전력량이 높게 나타남



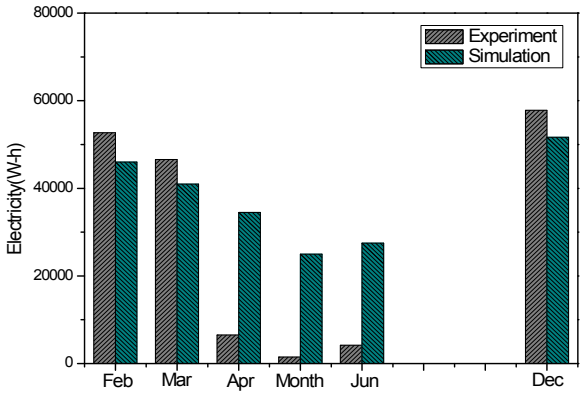
▌그림 2.175 냉방일 때 공기열원 히트펌프 시뮬레이션 ▐



▌그림 2.176 난방일 때 공기열원 히트펌프 시뮬레이션 ▐



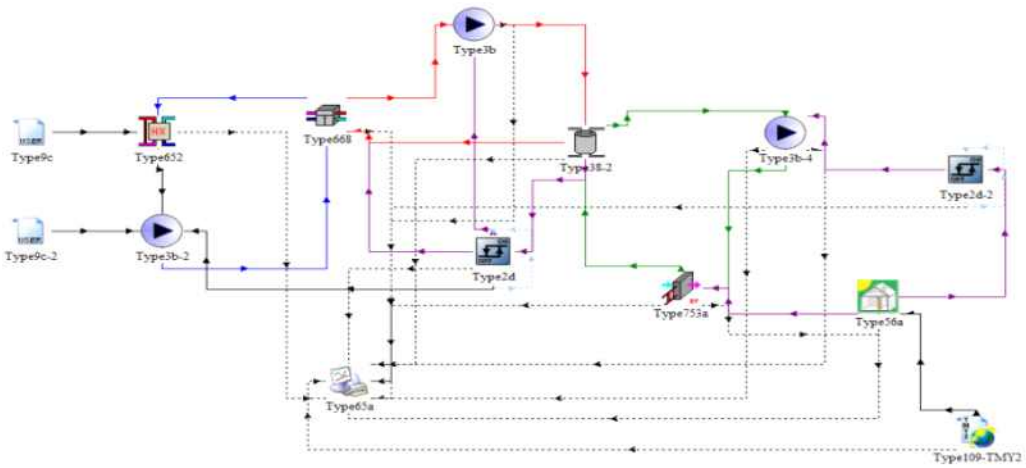
▌그림 2.177 TRNSYS 시뮬레이션과 기존 데이터 12월 부분 일별 비교 ▐



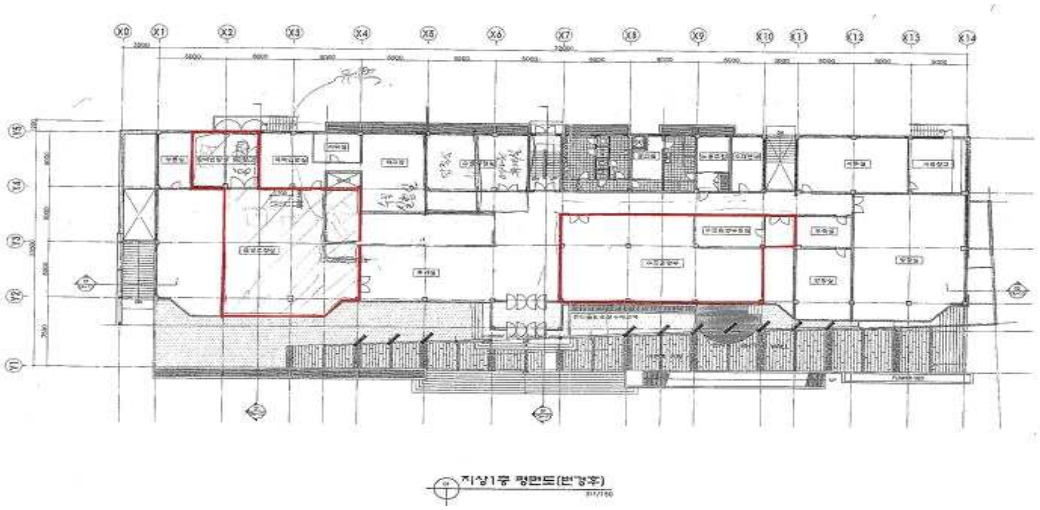
▌그림 2.178 TRNSYS 시뮬레이션과 기존 데이터 부분 월별 전력량 비교 ▐

▌수직형 정수장 설치 예정인 물-물 히트펌프 모델링 및 부하계산

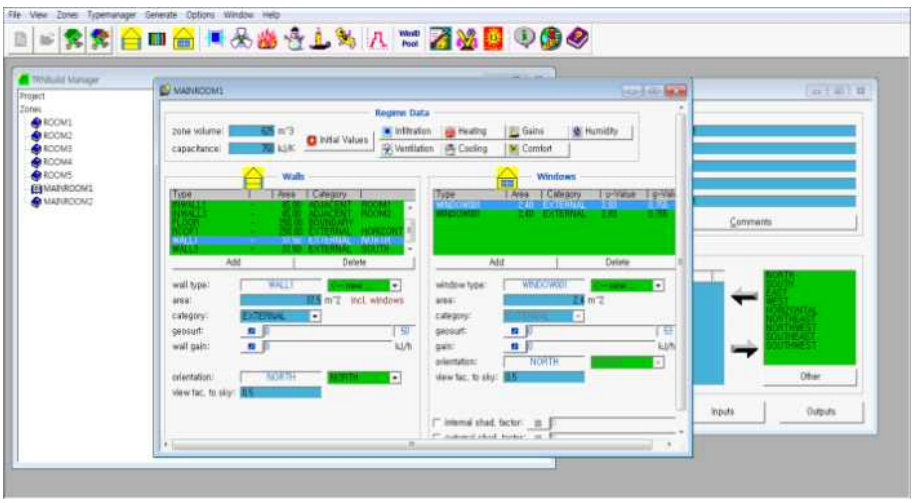
- 본 수직형 정수장에 설치 예정인 물-물 히트펌프에 대한 모델링을 성남정수장 내 자료를 바탕으로 수행
- 상기 청주 수직형 정수장 내 물-물 히트펌프 모델링은 청주 내 설치된 수직형 정수장의 축열조 도입 물-물 히트펌프 모델링 과정을 나타냄
- 물-공기 방식과는 다르게 축열조를 도입하여 대상건물로 열을 공급하며, 난방일 때 온도는 39~43℃, 냉방일 때 온도는 10~15℃임
- 물-물 히트펌프에 대한 모델링은 성남정수장 내 자료 바탕의 대상건물 도면 자료를 바탕으로 모델링함으로써 히트펌프는 현재 표시한 부분만을 냉난방(공조공간)하고 있으며, 온도는 25℃로 유지됨(나머지 룸들은 비공조공간)
- TRNBUILD를 이용한 대상건물 모델링에서 대상건물을 7개의 존으로 나누어 모델링한 것이며, 세부적인 물성 값은 TRNBUILD Library에 명시되어 있는 값들을 지정하여 TRNBUILD Library의 물성 값과 같이 입력
- 벽체 물성 값 및 환기횟수는 벽체의 물성 값과 환기횟수를 입력한 것이며, 공조공간의 대상건물 환기횟수와 같이 초당 유입되는 공기의 유량에서 시간당 공조공간(부피)에 유입되는 공기의 양으로 환산(l/s→m^3/h)하여 적용
- 공조공간은 축열조에서 공급되는 온도로 조절하고, 비공조공간은 TRNBUILD 내 냉난방 온도 입력에서 나타나듯 TRNBUILD 자체에서 냉난방을 설정함으로써 실내온도를 일정하게 유지시킴
- 물-물 히트펌프의 성능데이터는 정해진 양식의 형태로 가공하여 히트펌프 외부 파일에 물-물 히트펌프 성능데이터 입력과 같이 함
- 물-물 히트펌프 적용 대상건물 부하계산은 TRNBUILD로 모델링한 물-물 히트펌프 적용 대상건물의 부하계산을 나타냄



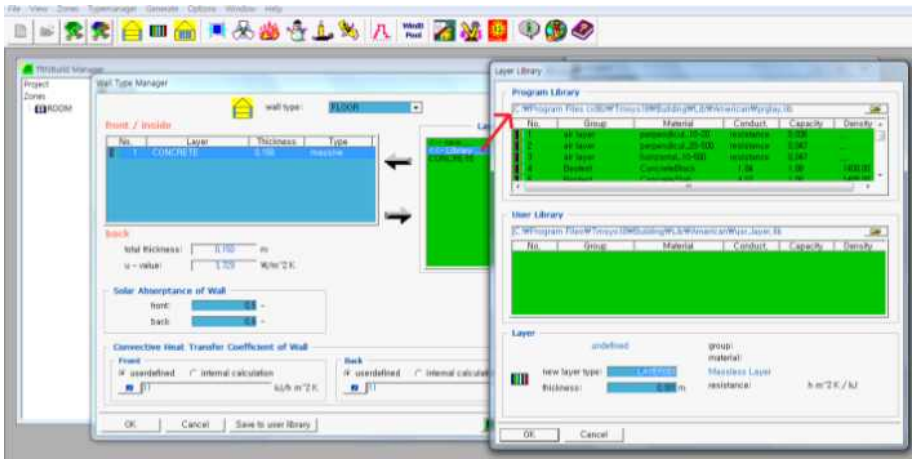
▌그림 2.179 청주 수직형 정수장 내 물 대 물 히트펌프 모델링 ▐



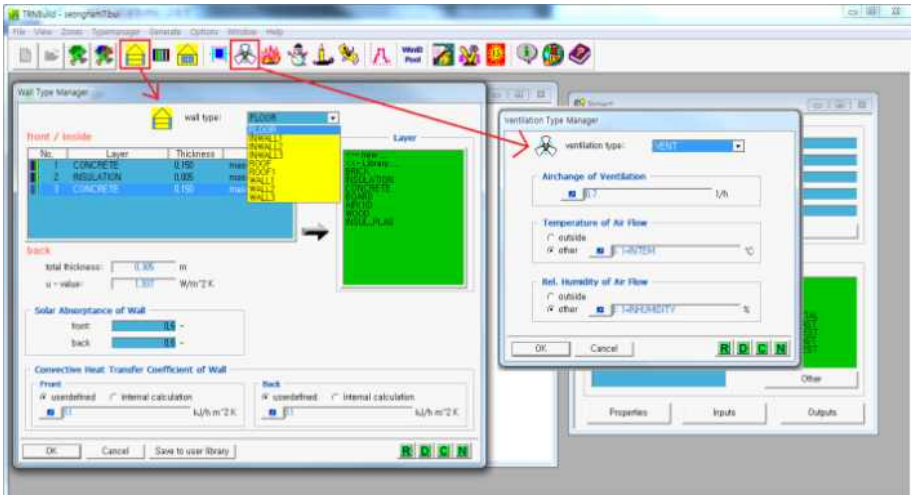
▌그림 2.180 성남정수장 내 자료 바탕의 대상건물 도면 ▐



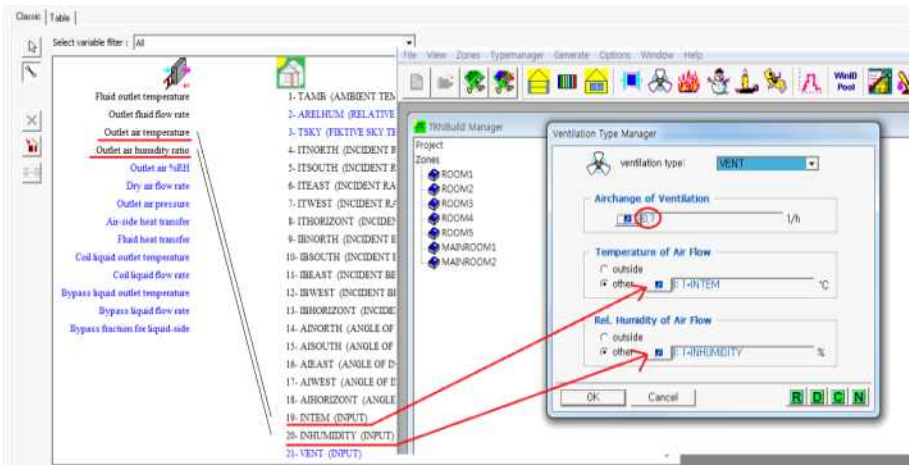
▌그림 2.181 TRNBUILD를 이용한 대상건물 모델링 ▐



▌그림 2.182 TRNBUILD Library의 물성 값 ▐

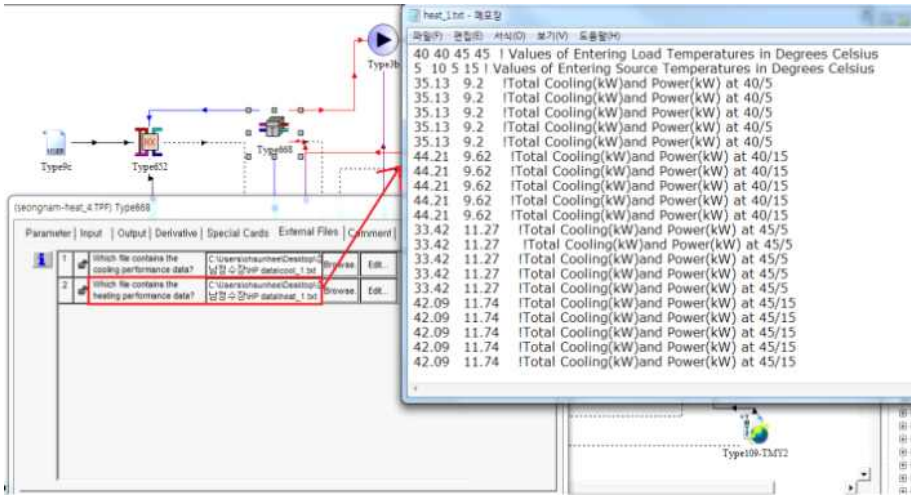


▌그림 2.183 벽체 물성 값 및 환기횟수 ▐



▌그림 2.184 대상건물 환기횟수 ▐

▌그림 2.185 TRNBUILD 내 냉난방 온도 입력 ▐



▌그림 2.186 물-물 히트펌프 성능데이터 입력 ▐

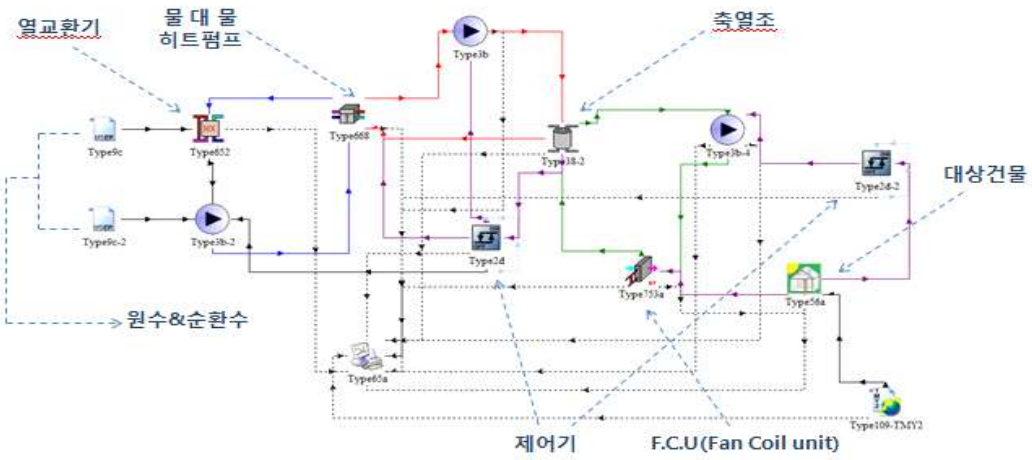
	A	B	D	P	H	J	L	N	P
1	TIME	TAMB	1_HEAT	2_HEAT	3_HEAT	4_HAET	5_HEAT	6_HEAT	7_HEAT
2	[HR]	[C]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]
3									
4	1	1.83	1.9	6.97	3.28	2.11	4.94	8.43	6.26
5	2	4.55	2.79	10.26	5.09	3.07	7.2	11.14	8.35
6	3	4.3	2.53	9.45	4.65	2.7	6.65	10.43	7.78
7	4	4.1	2.36	8.96	4.37	2.48	6.33	10	7.46
8	5	3.9	2.23	8.61	4.17	2.33	6.11	9.69	7.24
9	6	3.65	2.12	8.32	4	2.21	5.94	9.45	7.07
10	7	3.4	2.03	8.07	3.85	2.11	5.8	9.24	6.93
11	8	3.2	1.96	7.84	3.72	2.02	5.67	9.05	6.8
12	9	3.2	1.89	7.59	3.61	1.92	5.53	8.84	6.65
13	10	3.47	1.83	7.01	3.39		5.31	3.59	2.13
14	11	3.85	1.77	6.61	3.28		5.02	3.17	1.72
15	12	4.35	1.72	6.22	3.18		4.74	2.79	1.37
16	13	4.8	1.68	5.94	3.08		4.55	2.52	1.14
17	14	4.76	1.64	5.95	2.99		4.65	2.54	1.22
18	15	4.66	1.6	5.71	2.9		4.48	2.3	1.03
19	16	4.66	1.57	5.62	2.82		4.47	2.23	0.99
20	17	4.5	1.54	5.49	2.74		4.41	2.11	0.91
21	18	4.36	1.51	5.48	2.67		4.45	2.1	0.95
22	19	4.2	1.49	5.74	2.71	1.05	4.49	7.06	5.25
23	20	4	1.47	5.67	2.66	0	4.46	7.08	5.3
24	21	3.8	1.45	5.61	2.6	0.08	4.44	7.06	5.31
25	22	3.6	1.43	5.55	2.56	0	4.41	7.03	5.29
26	23	3.4	1.42	5.49	2.51	0.08	4.38	7	5.28

▌그림 2.187 물-물 히트펌프 적용 대상건물 부하계산 ▐

▌물-물 히트펌프 시뮬레이션 및 시간에 따른 열원 분석

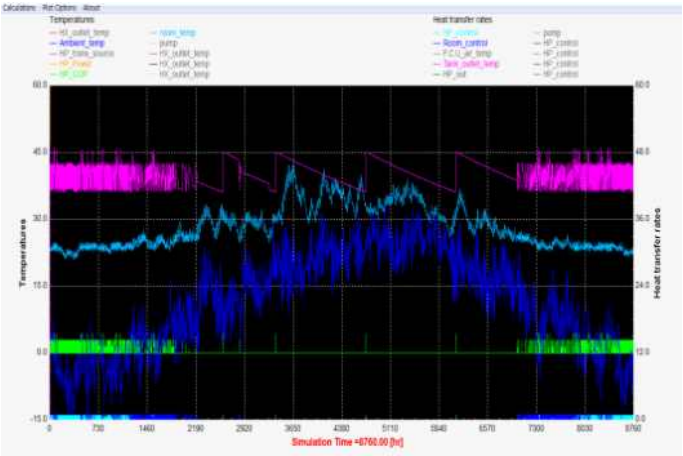
- 수직형 정수 처리장 물 대 물 히트펌프 모델링은 TRNSYS를 이용한 물-물 히트펌프모델링을 나타냄
- 축열조 도입하여 대상 건물로 열을 공급, 난방 온도 39~43℃, 냉방 온도 10~15℃ 유지함
- 대상건물을 7개의 존으로 모사하여 모델링, 세부적인 물성 값은 TRNBUILD Library에 명시되어 있는 값을 지정하여 입력함
- 물 대 물 히트펌프의 성능데이터는 정해진 양식의 형태로 가공하여 히트펌프 외부 파일에 적용함
- 공조공간은 축열조에서 공급되는 온도로 조절하고, 비공조공간은 TRNBUILD 자체에서 냉난방을 설정, 실내온도를 일정하게 유지함
- 공조공간의 환기는 초당 유입되는 공기의 유량에서 시간당 공조공간(부피)에 유입되는 공기의 양으로 환산(l/s→m^3/h)하여 적용함

- TRNBUILD로 모델링한 물-물 히트펌프 적용 대상건물의 부하를 계산함
- 데이터는 성남정수장 성능계수 자료를 바탕으로 입력함
- 상기 수직형 정수장 내 물-물 히트펌프 TRNSYS simulation 결과는 수직형 정수장 내 설치 예정인 물-물 히트펌프를 TRNSYS로 모델링한 시뮬레이션 결과 값이며, 성남정수장 내 자료 데이터와 비교함
- 기존 데이터와 TRNSYS simulation COP 비교와 기존 데이터와 TRNSYS simulation 소비전력 비교는 성남정수장 내 히트펌프의 기존 자료 데이터와 TRNSYS 시뮬레이션 결과 값의 비교를 나타내는 그래프로써 COP와 소비 전력량은 시뮬레이션 기준으로 각각 13%, 26%의 오차가 나타나는 등 비교적 비슷한 경향을 보임

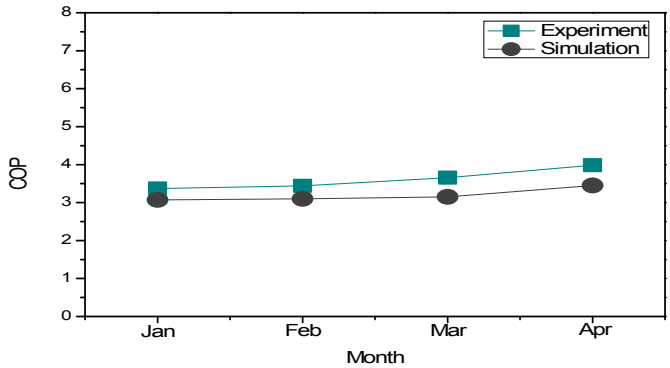


▌그림 2.188 수직형 정수 처리장 물-물 히트펌프 모델링 ▐

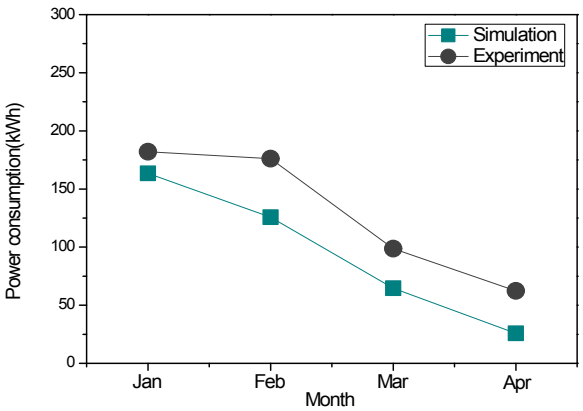
▌그림 2.189 성남정수장 성능계수 자료 ▐



▌그림 2.190 수직형 정수장 내 물-물 히트펌프 TRNSYS simulation 결과 ▐



▌그림 2.191 기존 데이터와 TRNSYS simulation COP 비교 ▐

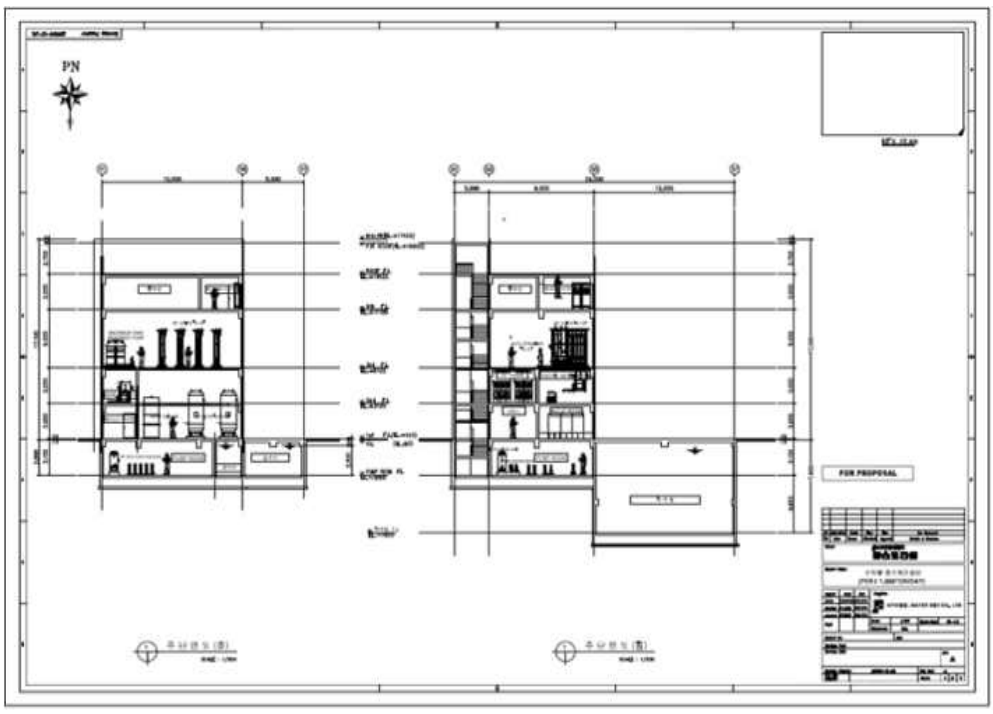


▌그림 2.192 기존 데이터와 TRNSYS simulation 소비전력 비교 ▐

⑤ 개발 통합모델을 활용한 히트펌프 및 열원부 장치 기본 설계자료 제공

▌청주 수직형 정수장 부하 계산

- 수직형 정수장 내 도면 일부에 제시된 정수처리시설의 도면과 온도제어조건에 따른 냉난방부하를 산출함
- 대상건물의 전체 면적은 144㎡로 총 4층으로 구성됨
- 지하층과 지상 1~2층은 난방 10℃로 유지하고, 지상 3층은 냉난방 25℃로 유지되며, 벽체는 콘크리트, 환기횟수는 0.7(회/h)로 설정함
- 상기 수직형 정수처리장 내 지하, 1층과 2층에서의 난방부하 계산결과는 난방부하를 월별로 나타냄
- 상기 수직형 정수장 내 3층 제어실에서의 냉난방 부하계산 결과는 수직형 정수처리장 내 제어실의 냉난방부하를 월별로 나타낸 결과로 난방부하는 최대 10kW, 냉방부하는 최대 4kW까지 나타냄



▌그림 2.193 수직형 정수장 내 도면 일부 ▐

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	TIME	TAMB		HEAT_1	HEAT_2	HEAT_3							
2	[HR]	[C]		[KW]	[KW]	[KW]				2P	1P	지하층	
3	0	0							1월	4.433038	4.793322	3.337813	
4	1	1.83							2월	3.527627	3.960118	2.665902	
5	2	4.55							3월	1.423065	1.647143	1.058142	
6	3	4.3							4월	0.792857	1.038571	0.486667	
7	4	4.1							10월	0.233333	0.364286	0.086667	
8	5	3.9							11월	2.010244	2.237051	1.501929	
9	6	3.65							12월	3.55118	3.925302	2.677863	
10	7	3.4											
11	8	3.2											
12	9	3.2											
13	10	3.47											
14	11	3.85											
15	12	4.35											
16	13	4.8											
17	14	4.76											
18	15	4.66											
19	16	4.66											
20	17	4.5											
21	18	4.36											
22	19	4.2											
23	20	4											
24	21	3.8											
25	22	3.6			0.1								
26	23	3.4		0.29	0.48								

▌그림 2.194 수직형 정수장 내 지하층, 지상 1,2층에서의 난방부하 계산결과 ▐

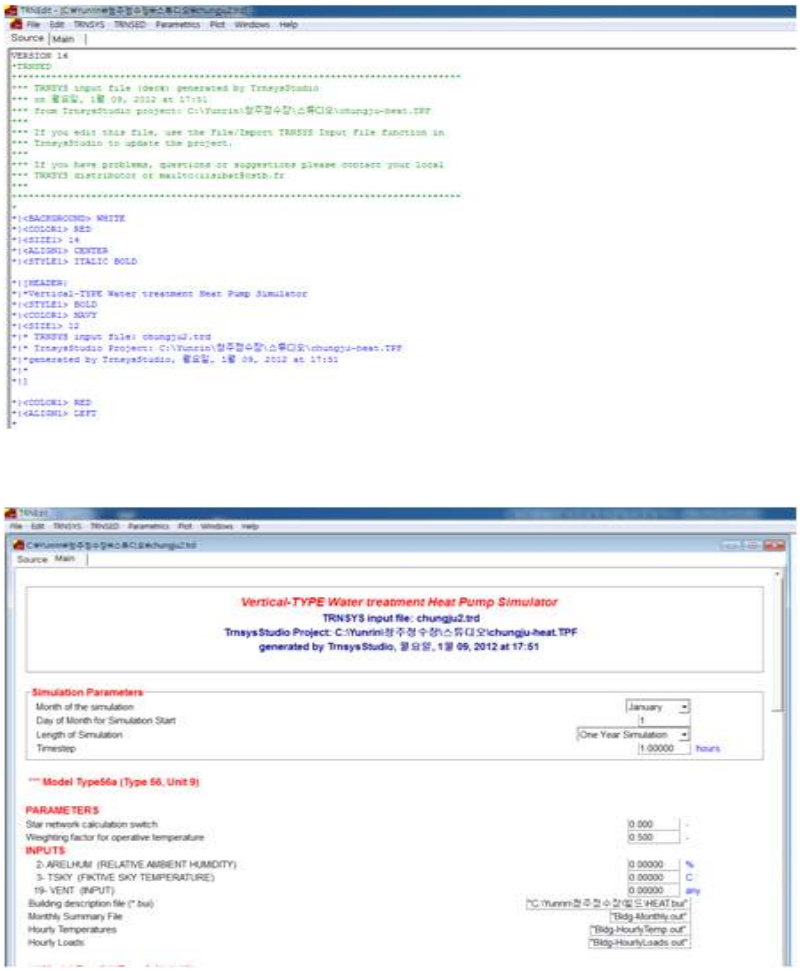
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	TIME	TAMB		1_HEAT							
2	[HR]	[C]		[KW]							
3	0	0						1월	10.95259		
4	1	1.83		4.59				2월	9.164777		
5	2	4.55		6.81				3월	6.466486		
6	3	4.3		7.08				4월	4.078412		
7	4	4.1		7.42				5월	3.155		
8	5	3.9		7.77				6월	2.524149		
9	6	3.65		8.11				7월	2.032712		
10	7	3.4		8.43				8월	1.779587		
11	8	3.2		8.73				9월	2.905498		
12	9	3.2		9.01				10월	4.472071		
13	10	3.47		9.24				11월	7.68251		
14	11	3.85		9.4				12월	10.51213		
15	12	4.35		9.45							
16	13	4.8		9.39							
17	14	4.76		9.33							
18	15	4.66		9.33							
19	16	4.66		9.35							
20	17	4.5		9.4							
21	18	4.36		9.49							
22	19	4.2		9.62							
23	20	4		9.78							
24	21	3.8		9.94							
25	22	3.6		10.1							
26	23	3.4		10.25							

▌그림 2.195 수직형 정수장 내 3층 제어실에서의 냉난방부하 계산결과 ▐

⑥ 설치 히트펌프 평가 장치 설계 및 구성

▌Trnedit 시뮬레이터 개발

- 본 연구에서는 TRNedit Version 1 모델링을 구축함으로써 수온차 열펌프 요소기기의 선정, 열펌프 시스템 성능 평가(COP 및 냉난방 열량) 그리고 제어로직 도출 열펌프 설계 모듈 등 다양한 기능들을 활용할 수 있음
- 상기 TRNedit 모델링의 일부를 나타냄



▌그림 2.196 TRNedit 모델링 ▐

▌시공기관인 테크윈과의 협력 내용

- 수직형 정수장 부하자료 테크윈 측에 제공
- 테크윈에서 제공한 수직형 정수장 부하자료 검토
- 열원기기 운전방식에 대한 시뮬레이션 수행 중 (항온탱크 40도 부근 운전과 20도 부근 운전함으로써 히트펌프의 기능을 최소화하여, 불필요한 전력을 감소할 수 있음)
- 테크윈으로부터 제공받은 수직형 정수장 물-물 방식 기기 자료 검토

(바) 수열원 히트펌프 냉난방 시스템 제작

① 축열조 운영별 성능 분석

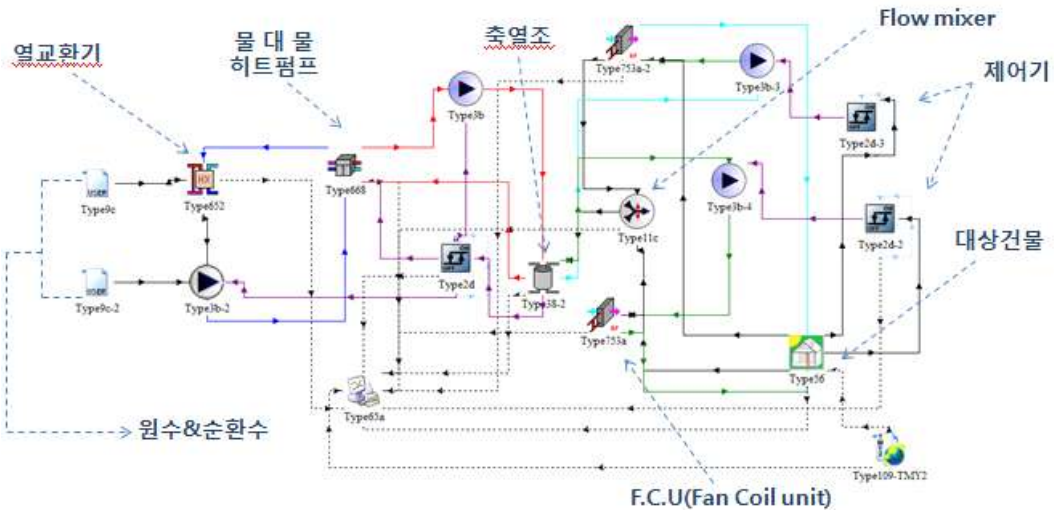
- 축동절기 기간 중 4층과 3층 이하의 난방온도가 각각 다르기 때문에 보다 효율적

인 에너지 절약을 위한 히트펌프 시스템을 구성함

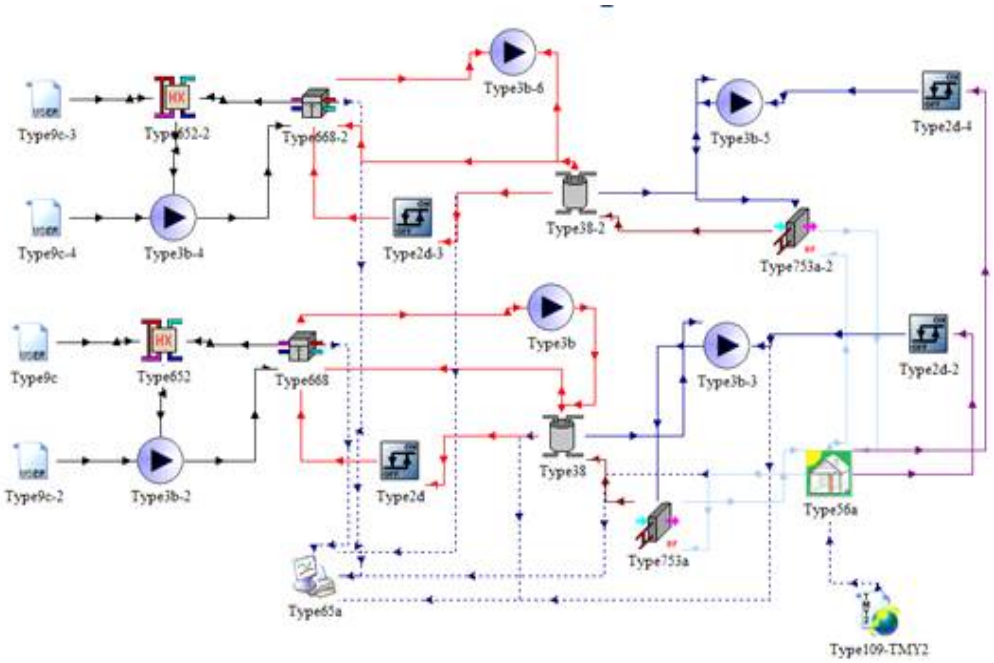
- 축열식 히트펌프 1대와 축열조 1대를 이용하여 4층과 3층 이하, 총 2개의 존을 각각 공조운전 하도록 모델링 함
- 축열식 히트펌프 2대와 축열조 2대를 이용하여 축열조 온도를 4층과 3층 이하 별로 각각 39~43℃, 10~15℃로 유지되도록 모델링 함
- 모델링(축열조1대/2대 운전 시) 한 시스템의 COP와 소비전력을 산출 및 비교하여 효율적인 축열조 운영 별 성능을 분석함

▌TRNSYS 모델링

- 아래 그림은 축열조와 물 대 물 히트펌프 1대 운전 시를 나타낸 모델링으로 두 대의 F.C.U에서 배출된 공기는 Flow mixer에 유입되며, 이 공기는 축열조의 Input으로 공급됨
- 건물은 두 개의 Zone으로 나누어 4F→TYPE753a/1F~3F→TYPE753a-2로 설정함
- 축열조와 물 대 물 히트펌프 각각 2대 운전 시를 나타낸 그림은 두 대의 Zone으로 나뉜 공조공간은 각각의 축열조(TYPE38/TYPE38-2)와 히트펌프(HP1/HP2)의 영향을 받아 제어됨
- 4F(냉난방 24~25℃) → F.C.U1(TYPE753a) → 축열조1(TYPE38) → 히트펌프1(TYPE 652) 순이며, 1F~3F(난방 15℃) → F.C.U2(TYPE753a-2) → 축열조2(TYPE38-2) → 히트펌프2(TYPE 652-2)순으로 제어됨



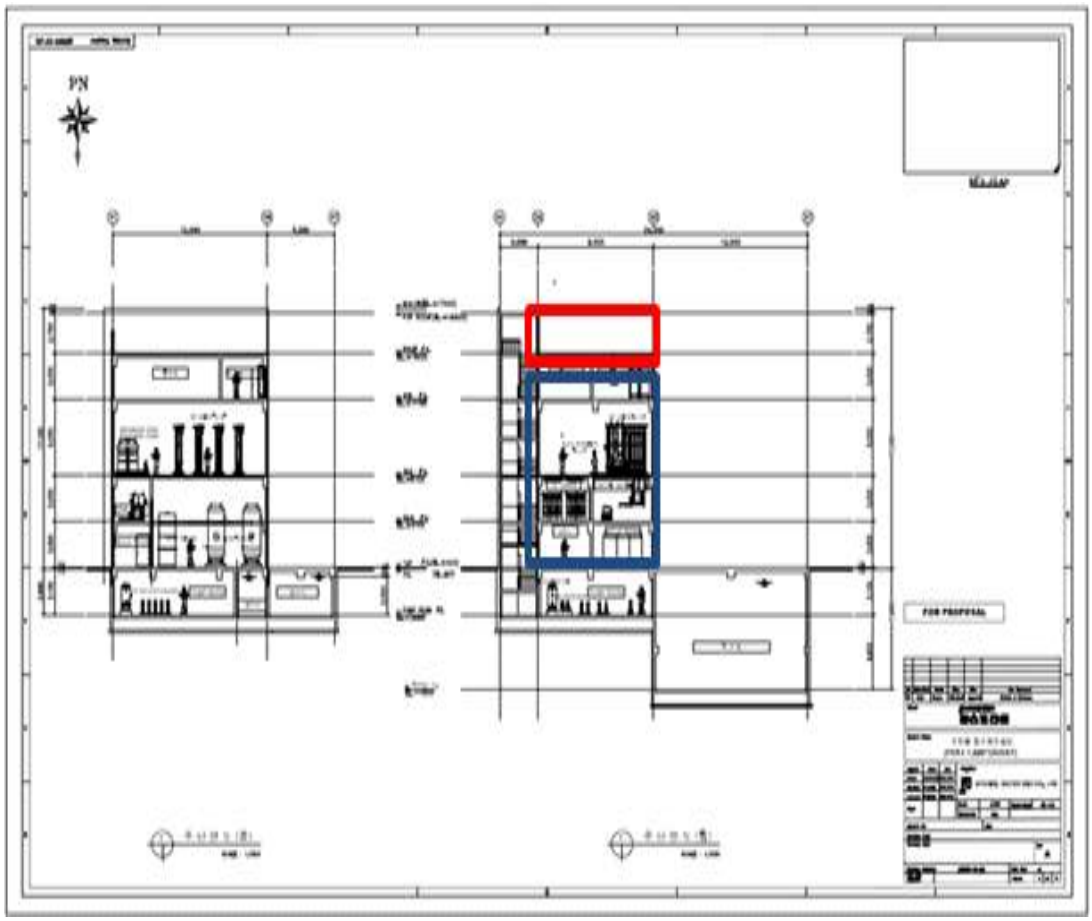
▌그림 2.197 축열조/히트펌프 1대 운전 시▐



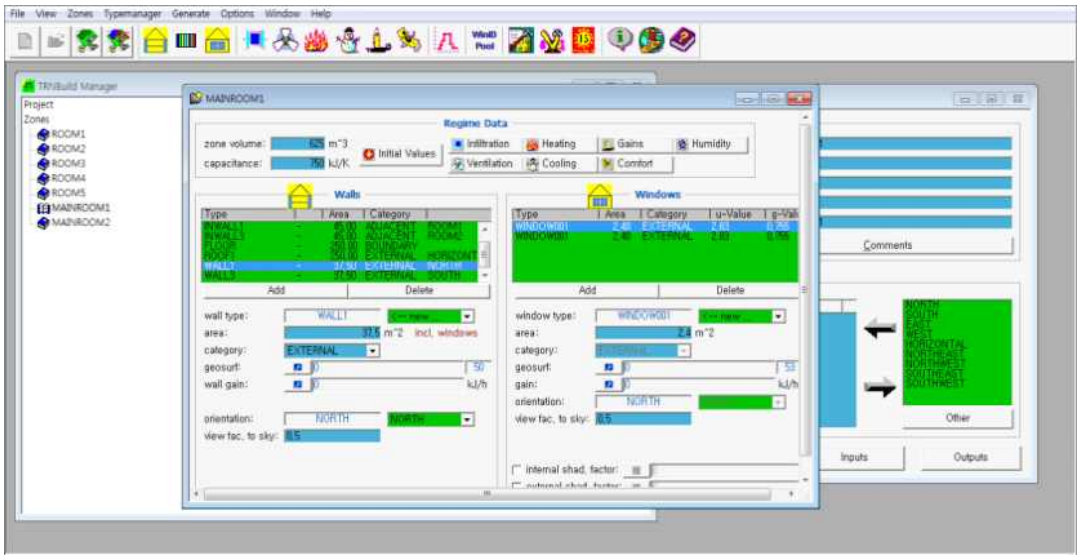
▌그림 2.198 축열조/히트펌프 2대 운전 시▐

▌대상건물 모델링

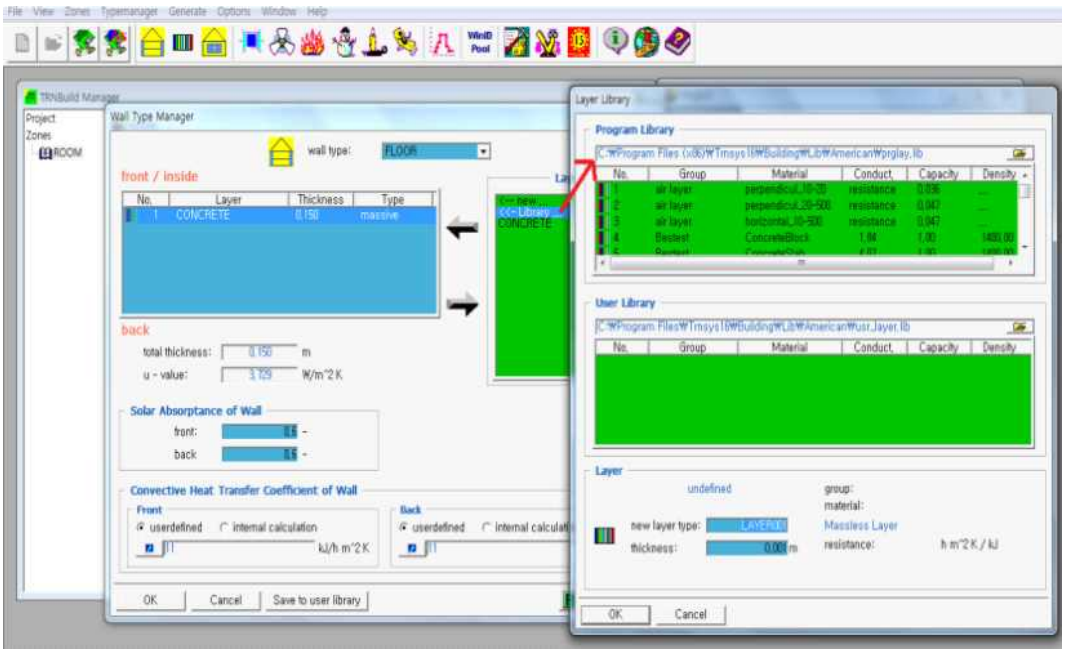
- 아래 그림은 물 대 물 히트펌프 시스템이 설치된 수직형 정수장으로 표시된 바와 같이 두 개의 존으로 나누어 모사함
- 빨간 표시 부분은 냉난방 제어가 모두 가능한 4F이며, 파란 표시 부분은 난방 제어만 가능한 1F~3F 공간임
- 대상건물은 TRNSYS 내 건물 모델링 프로그램인 TRNBuild를 이용하여 모델링 하였으며, 세부적인 물성 값은 TRNBUILD Library에 명시되어 있는 값들을 지정하여 입력함
- 벽체의 물성 값과 환기횟수 그림은 벽체의 물성 값과 환기횟수를 입력한 것이며, 공조공간의 환기는 초당 유입되는 공기의 유량에서 시간당 공조공간(부피)에 유입되는 공기의 양으로 환산(l/s→m3/h)하여 적용함
- 공조공간은 축열조에서 공급되는 온도로 조절하고, 비공조공간은 TRNBUILD 자체에서 냉난방을 설정함으로써 실내온도를 일정하게 유지시킴
- 물 대 물 히트펌프의 성능데이터는 정해진 양식의 형태로 가공하여 히트펌프 외부파일에 입력함



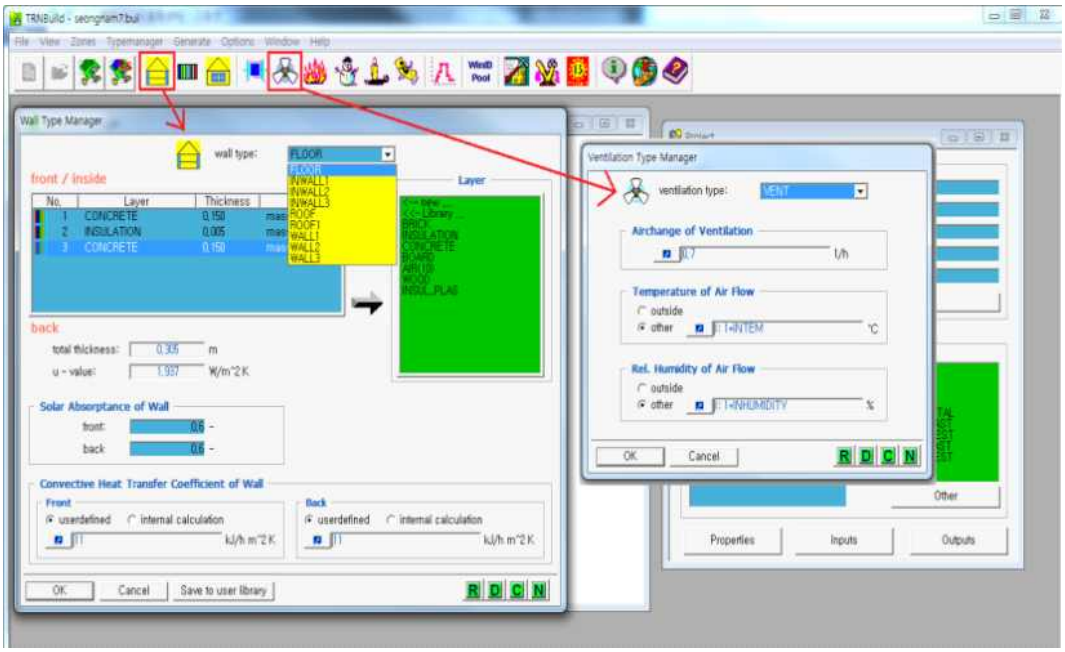
▌그림 2.199 수직형 정수처리시설 내 모델링▐



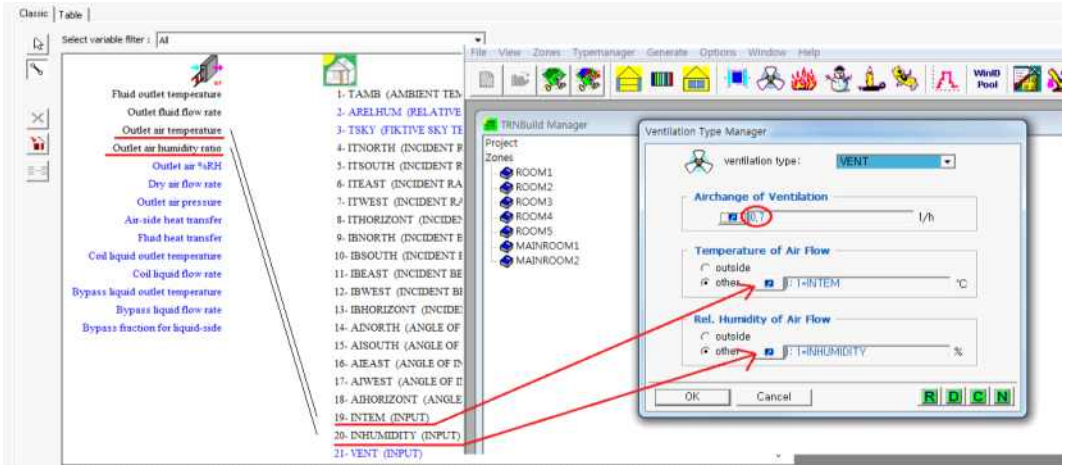
▌그림 2.200 TRNBUILD를 이용한 대상건물 모델링▐



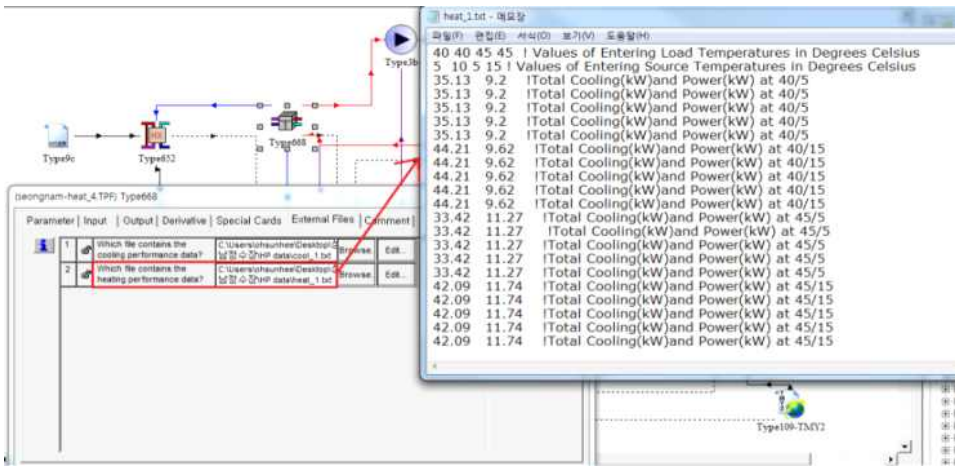
▌그림 2.201 TRNBUILD Library의 물성 값▐



▌그림 2.202 벽체 물성 값 및 환기횟수▐



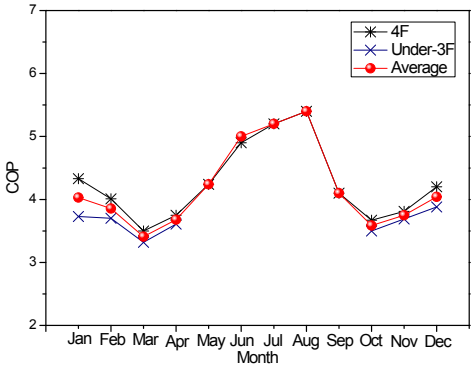
▌그림 2.203 대상건물 환기횟수▐



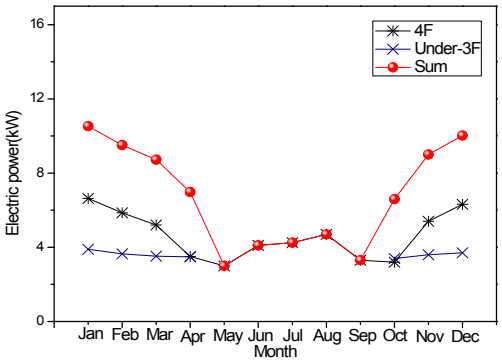
▌그림 2.204 물 대 물 히트펌프 성능데이터 입력▐

▌시뮬레이션 결과 및 비교

- 본 모델링을 시뮬레이션 시 시스템이 여러 번의 오류를 거치는 과정에서 가장 적합한 성능 선택을 하였기 때문에 1대 운전 시에는 50%, 2대 운전 시에는 4층과 3층 이하 각각 70 %,30 %의 성능을 입력함
- 1대 운전 시에는 4층과 3층 이하의 COP와 소비전력을 나타낸 것으로 COP의 경우 이들의 평균인 4.1, 소비전력의 경우 6.7 kW가 나타남
- 2대 운전 시에는 COP의 경우 이들의 평균인 3.9, 소비전력의 경우 7.54 kW가 나타남
- 결과를 미루어 볼 때 1대 운전 시의 COP가 4% 더 높은 수치를 보였고, 소비전력은 2대 운전시가 11% 더 많은 전력을 요하는 결과를 얻었음

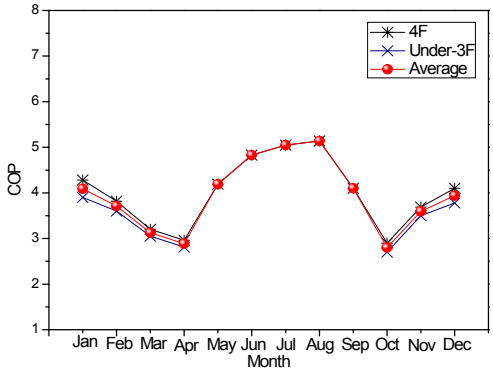


【축열조 1대 가동 시 COP 비교】

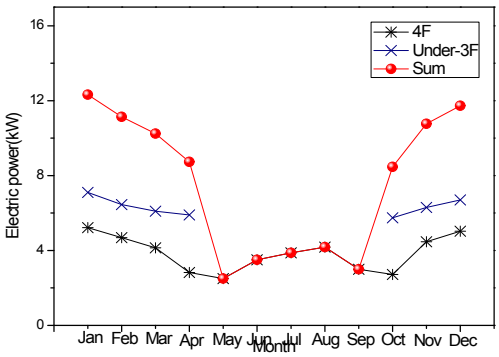


【축열조 1대 가동 시 소비전력 비교】

▌그림 2.205 축열조 1대 가동시 COP 및 소비전력▐



【축열조 2대 가동 시 COP 비교】



【축열조 2대 가동 시 소비전력 비교】

▌그림 2.206 축열조 2대 가동시 COP 및 소비전력▐

② 히트펌프 1대 운영 시 변화

▌ 공조공간별 공급열량 변화

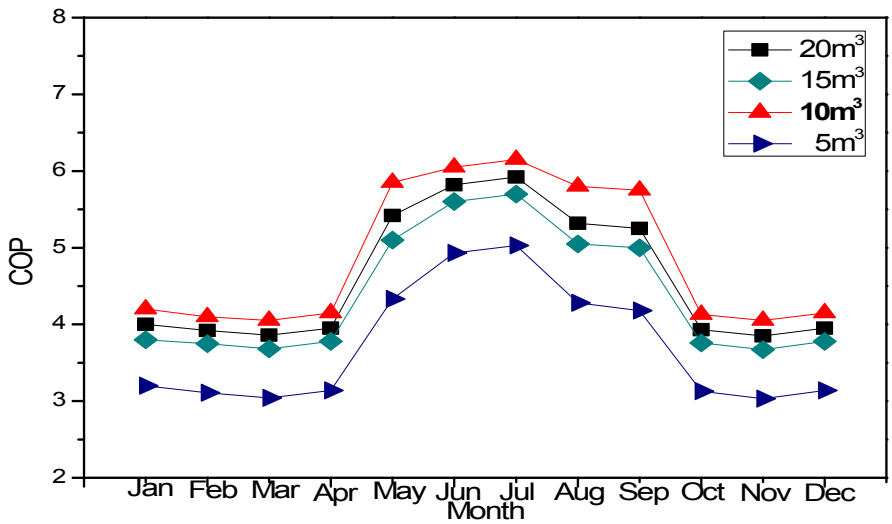
- 공조공간의 각 실로 공급되는 유량변동에 따른 히트펌프의 성능 변화를 분석하기 위해 펌프 내에 5,000 kg/hr, 8,000 kg/hr, 12,000 kg/hr, 15,000 kg/hr 네 가지의 다양한 입력 값을 줌
- 공급열량에 관하여 별다른 변화를 보이지 않았으며, 이는 소비전력량에도 영향을 미치지 않는 것으로 나타남
- 펌프동력에 있어서 차이가 날 것을 고려해 아래 표와 같이 유량의 변화를 주어 수행함
- 공급한 열량변화와 차이가 없었으며, 산출해 낸 펌프동력은 평균 0.023 kW임. 히트펌프 1대 운영 시 펌프동력을 포함한 소비동력은 평균 6.723 kW임

▌표 2.80 실별 공급유량 ▐

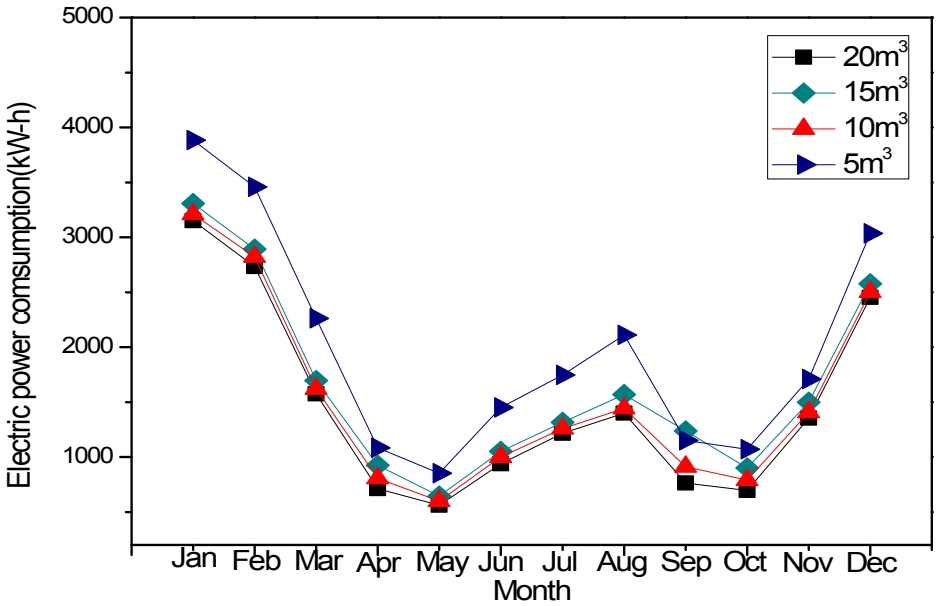
전체유량[kg/hr]	4층	3층 이하
8000	5000	3000
	4000	4000
	3000	5000

▌축열조 용량 변화

- 히트펌프 1대 운영 시 가장 최적의 축열조 용량을 도출하기 위해 5 ㎥, 10 ㎥, 15㎥, 20㎥으로 크기의 변화를 주어 그 성능을 분석함
- 축열조 용량에 따른 월별 COP를 비교한 것으로 10 ㎥일 때 가장 뛰어난 성능을 보였으며, 5 ㎥일 때 낮은 성능을 보임
- 그림은 소비전력량을 월별로 비교한 것으로, 성능과 반대로 5 ㎥일 때 가장 많은 소비전력량을 요하는 것으로 나타남
- 이는 앞선 분기의 성남정수장의 물-물 방식의 히트펌프 분석에서 나타나듯, COP는 실내 측 부하변동에 따른 축열조의 대응능력에 큰 영향을 받는 것으로 판단되며, 10 ㎥일 때 높은 수치의 COP를 가짐
- 용량이 5 ㎥일 때, ON/OFF 제어도 가장 빈번하게 발생하여 소비전력량에 영향을 미치는 것으로 생각됨



▌그림 2.207 히트펌프 1대 운영 시 축열조 용량에 따른 COP 비교▐

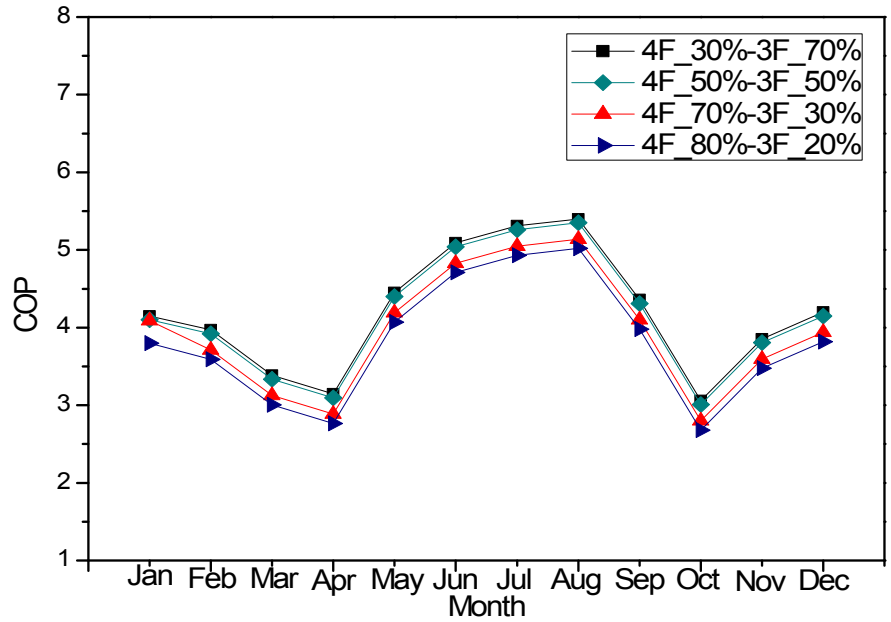


▌그림 2.208 히트펌프 1대 운영 시 축열조 용량에 따른 소비전력량 비교▐

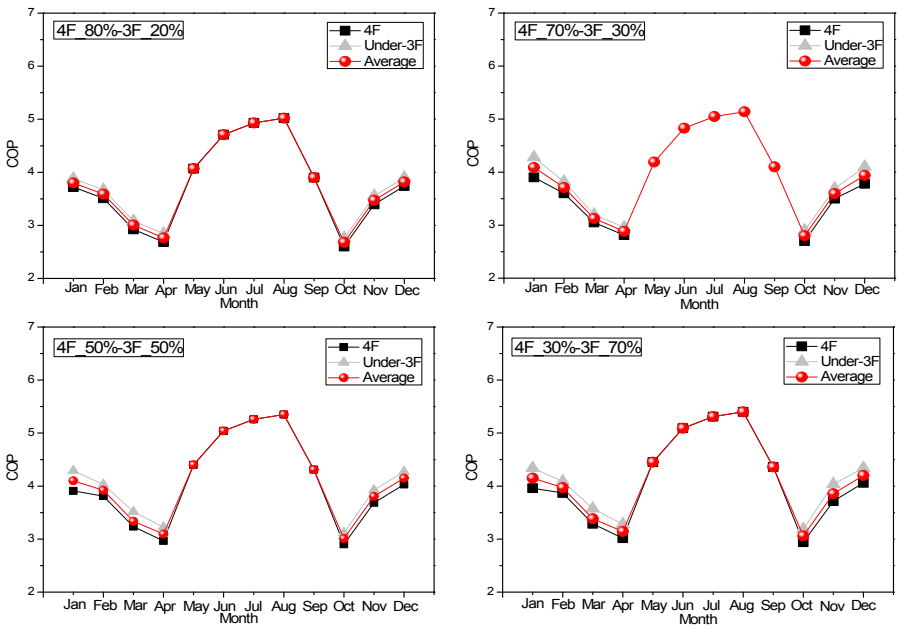
③ 히트펌프 2대 운영 시 변화

▌ 히트펌프별 용량 변화

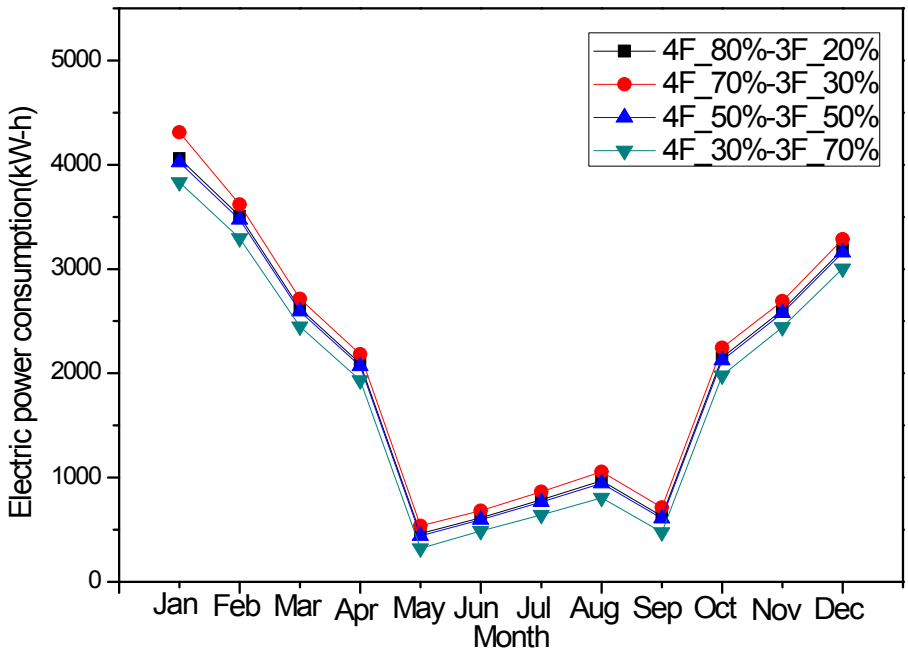
- 에너지 절감을 위해 불필요한 전력소비 없이 히트펌프가 가질 수 있는 최적의 성능을 분석하고자 2대 운전 시의 물-물 방식의 히트펌프 용량에 변화를 줌
- 10 ㎥ 용량을 가진 축열조가 설치되어 있다는 가정 하에, 총 15 RT급 용량을 4층과 3층 이하의 각 실로 80%-20%, 70%-30%, 50%-50%, 30%-70% 네 가지 방법으로 용량을 나누어 입력함. 그림은 히트펌프 용량별 COP를 나타낸 것임
- 4층과 3층 이하의 COP 변화를 알아보기 위해 각각의 COP를 비교한 결과 낮은 축열조 온도로 제어되는 3층 이하의 공간이 4층보다 더 높은 성능을 보임
- 히트펌프 용량별 소비전력량의 그림은 앞서 분석한 운전 성능의 용량과 달리 4층과 3층 이하 각 실로 30%-70%의 히트펌프 용량을 입력하였을 때 높은 COP와 낮은 소비전력량을 요하는 것을 볼 수가 있음
- 본 결과는 히트펌프 용량을 50%-50%로 입력하였을 때를 기점으로 COP가 상승하는 현상을 보였는데, 이는 4층의 제어실 보다 3층 이하의 실이 더 많은 전력량을 필요로 하는 것을 알 수 있음



▌그림 2.209 히트펌프별 용량 변화에 따른 COP 비교▐



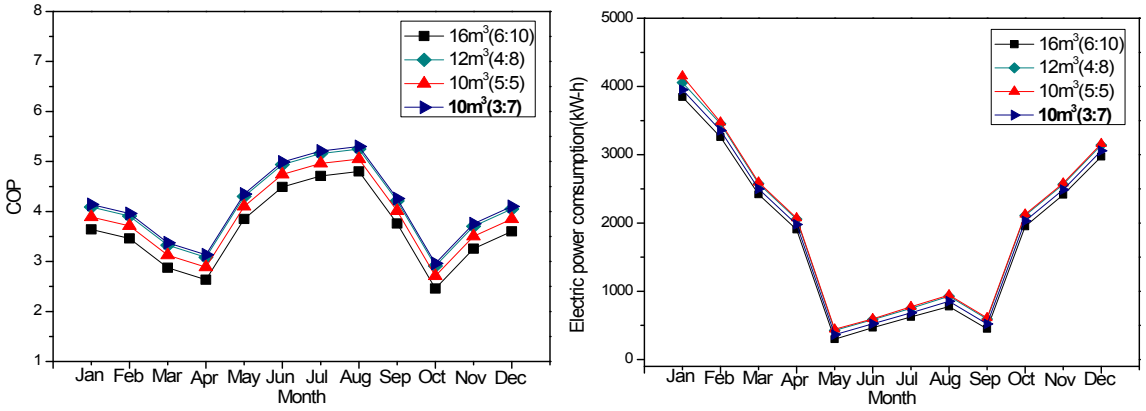
▌그림 2.210 히트펌프별 용량 변화에 따른 각각의 COP 비교▐



▌그림 2.211 히트펌프별 용량 변화에 따른 소비전력량 비교▐

▌축열조 용량 변화

- 앞서 최적의 성능을 가진 히트펌프의 용량을 도출하였으며, 30%-70%의 용량을 가진 히트펌프를 기반으로 축열조 용량에 변화를 줌으로써 이 시스템에 가장 적합하고, 최적의 성능을 보여줄 수 있는 용량을 찾아내고자 함
- 히트펌프 1대 운전 시와 달리 히트펌프 2대 운전 시에는 축열조 또한 2대가 운전되고 있기 때문에 이를 고려해 임의의 변수를 선정함
- 4층과 3층 이하의 각 실로 10 ㎥(5:5), 10 ㎥(3:7), 12 ㎥(4:8), 16 ㎥(6:10)의 네 가지 용량 별로 입력함
- 축열조 용량에 따른 월별 COP를 비교한 그림은 10 ㎥ (3:7)일 때 가장 뛰어난 성능을 보였으며, 16 ㎥(6:10)일 때 가장 낮은 성능을 보임
- 소비전력량을 월별로 비교한 그림은, 10 ㎥(5:5)일 때 가장 많은 소비전력량을 요하는 것으로 나타남
- 축열조의 용량은 히트펌프에 입력되는 용량 비율에 의해 영향을 받는 것으로 생각되며, 이에 따라 변화한다는 것을 알 수 있음



▌그림 2.212 축열조 용량 변화에 따른 COP(좌) 및 소비전력량(우) 비교▐

④ 수직형정수장 최적화

- 수직형정수장에 도입 될 히트펌프는 2대 운전 시보다 1대 운전 시에 더 높은 성능을 보이는 동시에 보다 낮은 소비전력을 요했으며, ON/OFF 제어의 시간도 2대 운전 시가 1대 운전 시보다 빈번하게 일어나 많은 소비전력량을 필요로 함
- 표와 같은 수직형정수장의 설계조건을 주어 산출한 결과 히트펌프 별 용량은 15 RT급 성능 중 4층과 3층 이하의 각 실에 30%-70%로 운전되는 것이 가장 좋은 성능을 보였고, 소비전력량에 있어서도 더 효율적으로 나타남
- 축열조 용량 변화에 따른 분석의 경우 히트펌프 1대 운전 시에는 10 ㎥일 때 가장 높은 성능을 보였고, 히트펌프 2대 운전 시(성능 30%-70%)에는 10 ㎥(3:7)일 때 가장 높은 성능을 보임
- 축열조는 히트펌프에 입력되는 용량 비율에 영향을 받는 것으로 생각되며, 이에 따라 변화한다는 것을 알 수 있음
- 도출해 낸 히트펌프 용량을 포함하여 가장 적합한 축열조의 용량은 히트펌프 1대 운영 시에는 10 ㎥, 히트펌프 2대 운영 시에는 10 ㎥ (3:7)로 본 시스템을 최적화 함
- 히트펌프 1대 운영 시의 평균 COP는 4.1, 평균 소비전력은 6.7 kW이고, 2대 운영 시의 평균 COP는 3.9, 평균 소비전력은 7.54 kW로 나타남
- 앞서 히트펌프 2대 운전 시가 1대 운영 시보다 높은 COP와 낮은 소비동력을 요할 것으로 예상했으나, 실험결과 히트펌프 1대 운영 시의 COP가 4% 더 상승하였으며, 히트펌프 2대 운영 시가 1대 운영 시보다 11% 더 높은 소비전력을 요하는 것으로 나타남
- 수직형정수장에 사용될 히트펌프는 원수 및 외기 온도 등 부수적인 요소의 영향을

받기 때문에 히트펌프 1대 운전 시가 가장 적합한 것으로 예측되며, 히트펌프 2대 운영은 대상 공조공간이 수직형정수장보다 커질 경우에 효율인 측면에서 더 유리할 것으로 판단됨

▌표 2.81 수직형 정수장 히트펌프 설계조건 ▐

	히트펌프 1대 운영	히트펌프 2대 운영
히트펌프 용량	15 RT	15 RT(4F: 30%-3F이하: 70%)
축열조 용량	10 ㎥	10 ㎥(4F: 3 ㎥-3F이하: 7 ㎥)

⑤ GUI 시뮬레이터 개발 (TRNedit 프로그램)

- TRNedit에서 TRNSYS 파일을 호환하면 시뮬레이션 스튜디오에서 구성되었던 그림과 같이 컴포넌트 별로 Source code가 만들어짐
- 빨간색으로 표시한 탭들로 생성할 수 있으며, 메뉴 네임은 Source code를 통해 변경이 가능함
- 시뮬레이터를 시뮬레이션 스튜디오 이미지로 구성하고, 각 컴포넌트 위에 마우스 버튼을 두면 도움말이 떠오르도록 사용자가 쉽게 조정할 수 있도록 구성함
- 컴포넌트들의 인풋변수와 아웃풋변수는 같이 구성된 탭들에 포함되며, 이곳에 변수를 입력함.(변수 갯수는 Source code에서 수정이 가능)
- 히트펌프 설정 온도 및 성능 입력 화면 그림은 물-물 히트펌프의 탭으로 히트펌프 설정 온도 및 변수의 입력이 가능함
- 히트펌프 성능의 경우, 성능데이터가 포함된 파일을 불러와 입력할 수 있음

⑥ 히트펌프 시스템 프로세스 확정

▌ 2개의 난방구역대(4층과 3층 이하: 25℃와 5℃) 조성에 따른 효율적인 에너지 절약 시스템 구축에 대한 검증을 진행하였으나 현재 생산되는 히트펌프 특성상 2Tank/2 Loop 방식의 시스템 구성은 가능하지 않으며 여유용량의 활용방안을 탐색하여 CIP 가온시스템에 적용하는 시스템으로 결정

▪ 프로세스 확정
- 보조 축열조를 운영하여 CIP가온 시스템을 구성하여 운영
- CIP 운전을 위한 프로세스 구성
- CIP 운전모드 추가 알고리즘 및 단독 / 냉난방 병행 운전모드 개발

▪ 확정 프로세스
- 기존 프로세스로도 운전 가능한 이점이 있으며 새로운 패턴(2TANK)의 알고리즘 개발 가능

⑦ 통합운영 시스템 연계

▌연계 구성 방법 확정

▪ FCU(Fan Coil Unit)의 관리
- FCU 컨트롤러는 중앙의 Gateway 또는 PLC등에서 가동상태, 설정온도 취득, 현재온도 등을 취득할 수 있고, 가동제어, 설정온도 설정 등의 원격제어가 가능한 모델로 설치
- 실증시설의 4층은 FCU 개별 컨트롤러를 설치하고, 나머지 층은 층별 1개의 컨트롤러를 설치(설치조건에 따라 변경이 가능)

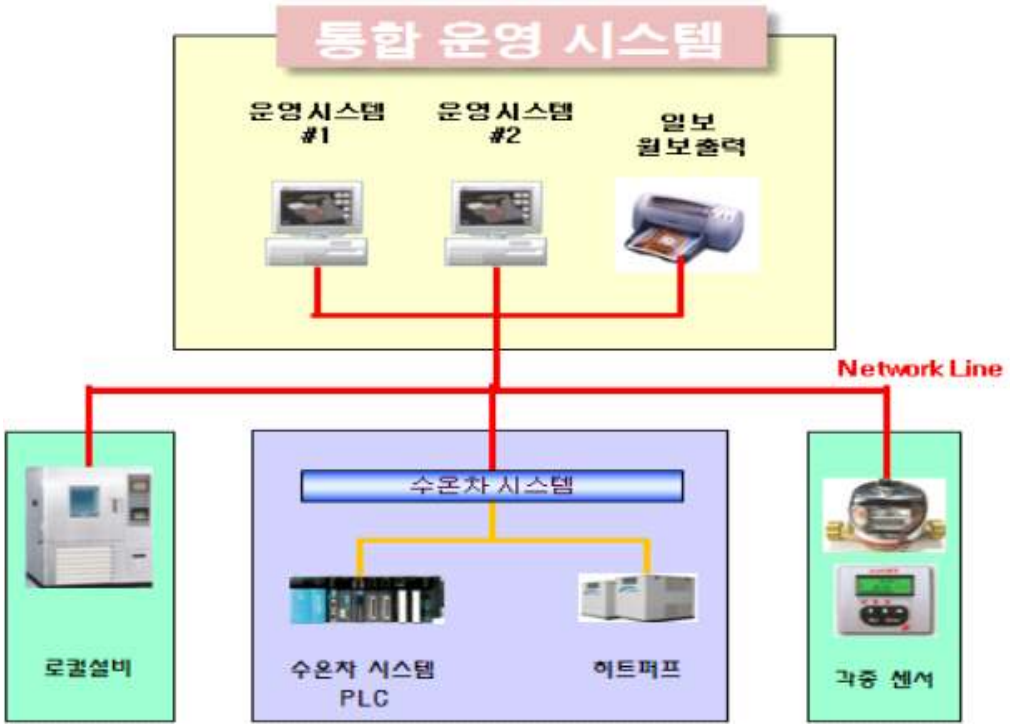
▪ COP(냉/난방 효율)의 산출
- 실증시설에 도입되는 COP의 기준은 2.5이며, 최대 3.0까지 예상
- COP는 운영시스템(HMI) 및 EMS에서 계산(코오롱베니트)
- COP 산정을 위한 계측데이터는 테크윈에서 코오롱베니트에 전송

▪ PLC ↔ HMI 간 연계
- PLC는 테크윈에서 수온차 시스템을 운전하기 위해 도입하며, LS산전 GM4 기종을 사용
- PLC의 메모리맵 및 I/O List는 코오롱베니트에서 HMI를 구성하기 위해, 테크윈에서 코오롱베니트로 제공
- 로컬제어반(LOP)는 MCC 및 제어화면으로 구성되며, 테크윈에서 설치
- 로컬과 운영시스템간의 중복제어를 방지하기 위해, Local / Remote기능을 상호 구현
- 비상상황을 대비하여 수온차 시스템을 제어할 수 있도록 운영시스템에서 On / Off 제어가 가능하도록 테크윈에서 기능제공

▪ 기타사항

- 운영상 발생하는 문제점은 추가로 협의하면서 프로세스 구축

▌통합운영 시스템 구성



▌그림 2.213 통합운영 시스템 구성▐

⑧ 히트펌프 시스템 응용설계 구축

▌히트펌프 설계특성상 여유 용량을 이용하여 최대의 운영 효율을 높이기 위해 냉난방 외 분야에 응용설계 구축

▪ 활용분야

- 원수가온 시스템
- 역세수 가온 시스템
- CIP 가온 시스템

▌CIP가온 시스템 검토

▪ CIP탱크 가온을 히트펌프 시스템으로 적용하여 계약전력용량 하락 및 운영비 절감

효과를 가져 옴

▌원수 및 역세수 가온 시스템 검토

▪ 히트펌프를 이용한 원수가온 및 역세척수 가온으로 막여과 장치 수명연장 효과를 가져 옴

⑨ 수온차 시스템 주요설비

▌히트펌프

- Water to Water : 20RT (70kW)
- 냉방부하 : 중앙조정실, 홍보실 등
- 난방부하 : 막여과동 포함 전체 시설
- 추가난방부하 : CIP가온 시스템

▌축열조

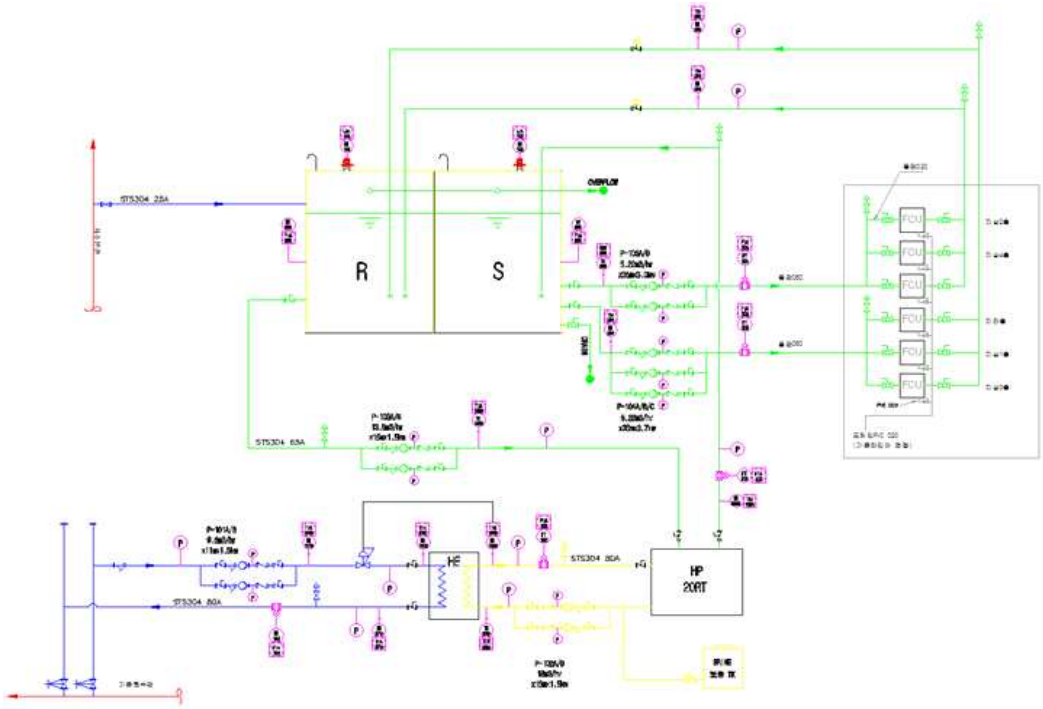
- 10㎥ (2.5m x 2m x 2m)
- 사각형 : 2.5m x 2m x 2m
- 수평분리형
- 축열조 분리 또는 CIP가온 공급 시스템 검토

▌열교환기

- 100,000kcal/h
- 압력강하량 : 원수(1차측) 0.268kg/cm2, 브라인(2차측) 0.348kg/cm2
- 유량 : 원수(1차측) 20kg/cm2, 브라인(2차측) 21.5kg/cm2

⑩ 실시설계 도면

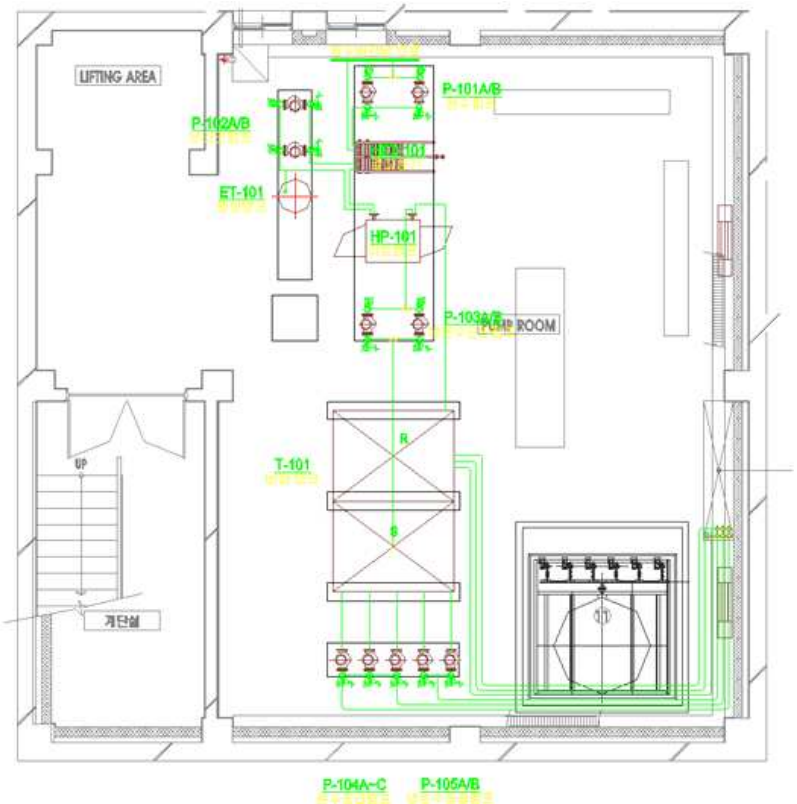
▌P&ID



▌그림 2.214 수온차 시스템 P&ID▐

- 위 그림은 축열조를 활용한 수열원 히트펌프 냉난방시스템의 P&ID를 나타냄
- 유입된 원수는 이물질이 있을 수 있어 히트펌프 증발기/응축기에 바로 활용하지 않고 중간에 열교환기를 두어 주기적으로 열교환기를 유지보수 할 수 있도록 구성함
- 히트펌프에서 생산된 온수/냉수는 축열조에 1차적으로 저장되며, 이를 활용하여 냉난방과 CIP에 활용
- 수열원 히트펌프 시스템의 냉난방 성능을 실증하기 위하여 온도계, 유량계, 전력량계 등 계측장비를 설치
- 계측의 정확도를 높이기 위하여 온도계는 Pt100Ω의 RTD온도계를 이용하고자 하며, 유량계는 직관거리를 충분히 확보할 수 있는 위치에 전자유량계를 설치하고자 함
- 전력량계는 순시값과 누적값을 동시에 측정할 수 있도록 구성하고자 함

▌설비배치도



▌그림 2.215 수온차 시스템 설비배치도 ▐

- 수열원 히트펌프 시스템, 축열조, 펌프시스템 등은 위 도면과 같이 설치 예정임
- 공간 구조와 유지보수의 편의성을 위해 각 기기 간 간격을 두고 있으며, 제어반 설비에서 시스템 운영이 될 수 있도록 구성될 예정임
- 1층~3층은 막여과 설비가 구성된 공간으로 동파방지를 위한 난방이 될 수 있도록 FCU 설치 위치를 결정함
- 4층은 중앙조정실과 홍보실로 구성되어 냉방과 난방이 이루어지며, 냉난방 용량에 맞는 FCU를 적절히 구성함

▌장비 일람표

히트펌프(Heat Pump)

장비번호	수량	형식	냉방용량 (kcal/h)	난방용량 (kcal/h)	압축기 TYPE	압축기 * MOTOR (kw)	응축기방열량 소비전력 (kw)	응축기방열량 유량 (L/M)	응축기방열량 기타	* 정격전압 (L x W x H)	전원 (PH-V-Hz)	* 소요전력 (kw)	냉매	비고	비고
HP-01	1	수냉식	61,110	72,201	스크롤	19	19	241	정동	830 x 765 x 1,950	3Φ380V	19	R-22	고효율 기종임	기타 요구사항에 따름

팬코일 유니트(Fan Coil Unit)

장비번호	수량	형식	냉방용량 (kcal/h)	난방용량 (kcal/h)	WATER TEMP. CHILLED (℃)	WATER TEMP. HOT (℃)	송풍기 형식	송풍기 풍량 (CMM)	모터 용량 (kW)	* 정격전압 (L x W x H)	* 소요전력 (kw)	전원 (PH-V-Hz)	비고	비고
FCU-01	1	천정 카세트형 1.0RV	1,600	1,720	7/12	45/60	SIROCCO	6.2	0.1	710 x 412 x 289	0.027	1Φ220V	2층 회의실	기타 요구사항에 따름
FCU-02	1	천정 카세트형 1.5RV	2,000	2,200	7/12	45/60	SIROCCO	8	0.2	710 x 412 x 289	0.033	1Φ220V	1층 MCC ROOM	기타 요구사항에 따름
FCU-03	4	천정 카세트형 2.0RV	3,000	3,300	7/12	45/60	SIROCCO	10.3	13	977 x 550 x 319	0.076	1Φ220V	2층 WALL(ZONE A), 3층 HALL(ZONE A), 4층 회의실(무설), 4층 HALL(ZONE A)	기타 요구사항에 따름
FCU-04	3	천정 카세트형 4.0RV	4,000	4,400	7/12	45/60	TURBO	15	18.5	830 x 830 x 333	0.089	1Φ220V	1층 HALL	기타 요구사항에 따름
FCU-05	2	천정 카세트형 4.0RV	6,000	7,000	7/12	45/60	TURBO	21	28	830 x 830 x 333	0.071	1Φ220V	4층 휴게실	기타 요구사항에 따름
FCU-06	2	매우 상징형	1,600	3,200	7/12	45/60	-	6.8	7.5	876 x 220 x 650	0.035	1Φ220V	2층 도곤 GENERATOR 실, CO Tank실	기타 요구사항에 따름
FCU-07	1	매우 상징형	3,400	4,700	7/12	45/60	-	11.3	14.25	1,177 x 220 x 650	0.042	1Φ220V	지하층 PUMP ROOM, 3층 MF UNIT ROOM	기타 요구사항에 따름

열교환기(Heat Exchanger)

장비 부호	수량 (3)	형식	전열용량 (kcal/h)	전열면적 (㎡)	설계압력 (kg/cm²)	설계 PRESSURE DROP (kg/cm²) 1차측	설계 PRESSURE DROP (kg/cm²) 2차측	1차측 수온(℃) 입출구 온도	1차측 수온(℃) 유량 (m³/hr)	2차측 수온(℃) 입출구 온도	2차측 수온(℃) 유량 (m³/hr)	* 안전 여유 10%추가(kcal/hr)	재질 PLATE	재질 GASKET	재질 FRAME	규격 (mm)	* 중량 (kg)	설치위치	비고
HEX-101	1	판 형	120,000	*	7	0.200	0.345	7/2	20	1/8	21.0	100	SUS304 (총 121 PLATES)	NBR	CARBON STEEL	496 x 1,706 x 1,200	720	지하층 기계실	스크류온 제품에준하고 20%(부대장비) 포함

펌프류(Pump)

장비 번호	수량 (3)	형 식	용 도	유량 (m³/hr)	양정 (m)	* 전동 출력 (kw) 출입	* 전동 출력 (kw) 출	전 동 기 * 정격 (kw)	전 동 기 전 원 (3Φ/1Φ/Hz)	재 질 IMPELLER	재 질 SHAFT	SEAL	설 치 위 치	비 고
P-101A/B	2	인라인 펌프	분수 공급 펌프	20	12	60	60	1.5	3Φ380V	GC200	SUS304	메카니컬 씰	지하1층 기계실	1대 대비, 기존 요구사항에 따름
P-102A/B	2	인라인 펌프	인라인 펌프	10	10	60	60	1.5	3Φ380V	GC200	SUS304	메카니컬 씰	지하1층 기계실	1대 대비, 기존 요구사항에 따름
P-103A/B	3	인라인 펌프	냉온수 순환펌프	13.8	10	60	60	1.5	3Φ380V	GC200	SUS304	메카니컬 씰	지하1층 기계실	1대 대비, 기존 요구사항에 따름
P-104A-C	2	인라인 펌프	온수 순환펌프	5.3	20	60	60	5.5	3Φ380V	GC200	SUS304	메카니컬 씰	지하1층 기계실	1대 대비, 기존 요구사항에 따름
P-105A/B	2	인라인 펌프	냉온수 순환펌프	5.2	30	60	60	5.5	3Φ380V	GC200	SUS304	메카니컬 씰	지하1층 기계실	1대 대비, 기존 요구사항에 따름

팽창탱크(Expansion Tank)

장비 부호	수량 (3)	형 식	탱크용량 (LIT)	최고사용온도 (℃)	최고사용압력 (kgcm²-g)	* 탱크규격(mm)	탱크 재질	부 속	* 중량 (kg)	* 접속관경 (mm) 흡입관	* 접속관경 (mm) 보급수관	* 압력계 위치 (m)	전 원 (3Φ/1Φ/Hz)	설치위치	비 고
ET-101	1	다이아프램 지압형	100	-	-	-	SS400	-	-	-	-	-	-	-	기타 요구사항에 따름 구비

▌그림 2.216 수온차 시스템 장비일람표 ▐

- 수열원 히트펌프 시스템 구성에 필요한 장비 일람표를 나타냄
- 수열원 히트펌프 1대, 열교환기 1대, 팽창탱크 1대가 구성됨
- 냉난방을 공급하는 FCU는 각 용량별로 대수가 결정되어 총 18대로 구성됨
- 펌프도 유량과 양정에 따라 구성되며, 총 11대로 구성됨

▌수온차 시스템 설계효율

㉮ 시스템 COP

$$\text{시스템COP} = \frac{\text{생산열량(kW)}}{\text{히트펌프 소비동력(kW)} + \text{순환펌프(원수+브라인) 소비동력}}$$

$$\text{난방COP} = \frac{71.508\text{kW}}{18.234\text{kW} + 0.75\text{kW} + 0.7\text{kW}} = 3.63$$

$$\text{냉방COP} = \frac{79.327\text{kW}}{14.399\text{kW}+0.75\text{kW}+0.7\text{kW}} = 5.0$$

*생산열량 및 히트펌프 소비동력은 제품 시험성적서 참조.
*순환펌프 소비동력은 펌프사양서 참조.
*냉방시 부하측 순환수 유입온도는 12 ℃, 원수 유입온도는 25℃
*난방시 부하측 순환수 유입온도는 40 ℃, 원수 유입온도는 5 ℃

- 전체 시스템의 COP를 위 식과 같이 생산열량을 히트펌프와 순환펌프 등의 소비동력의 합으로 나누어 계산함
- 난방 COP의 경우 총 생산열량이 71.508kW이며, 히트펌프, 원수 순환펌프, 브라인 순환펌프의 소비동력이 각각 18.234kW, 0.75kW, 0.7kW이므로 난방 COP는 3.63으로 계산됨
- 냉방 COP의 경우 총 생산열량이 79.327kW이고, 히트펌프의 소비동력은 14.399kW이며, 순환펌프의 소비동력은 난방과 동일함. 계산된 냉방 COP는 5.0임
- 연구과제의 최종목표인 냉난방 COP 2.5를 상회하는 것으로 판단됨

㉯ 히트펌프(유닛) COP

$$\text{히트펌프 평균 냉방 } COP = \frac{79.327kW}{14.399kW} = 5.52$$

$$\text{히트펌프 평균 난방 } COP = \frac{71.508kW}{18.234kW} = 3.93$$

- 히트펌프만의 성능을 평가하는 유닛 COP는 위 식과 같이 평가될 수 있음
- 시스템 COP 계산식과는 달리 원수와 브라인 순환펌프 소비동력을 제외하고 히트펌프 자체만의 소비동력에 대한 냉난방 생산열량을 평가하게 되므로 유닛 COP가 시스템 COP보다 높게 됨
- 냉방 유닛 COP의 경우 5.0에서 5.52로 상승하고 난방 유닛 COP의 경우 3.63에서 3.93으로 상승하게 됨

㉰ 총 부하 포함한 시스템 COP

$$\text{시스템COP} = \frac{\text{생산열량(kW)}}{\text{히트펌프}+\text{순환펌프(원수}+\text{브라인)}+\text{FCU 순환펌프 소비동력(kW)}}$$

$$\text{난방COP} = \frac{71.508\text{kW}}{18.234\text{kW} + 0.75\text{kW} + 0.7\text{kW} + 6.28\text{kW}} = 2.75$$

$$\text{냉방COP} = \frac{79.327\text{kW}}{14.399\text{kW} + 0.75\text{kW} + 0.7\text{kW} + 3.14\text{kW}} = 4.17$$

- 일반적으로 수열원 히트펌프 시스템은 축열조에 생산된 열량까지 시스템으로 구성될 수 있으나, 냉난방시스템으로 평가를 하는 경우 총 부하에 FCU 순환펌프까지 포함되어야 함
- 수열원 히트펌프 시스템이 지하에 설치되고 냉난방시스템은 1층부터 4층까지 이루어지기 때문에 FCU 순환펌프의 양정이 상당히 높게 되어 소비전력이 크게 증가하게 됨
- 이로 인해 난방시 FCU 순환펌프 소비동력은 6.28kW로 히트펌프 소비동력 18.234kW의 1/3까지 크게 상승함
- 하지만 이는 초기 운전을 위해 고양정 펌프가 필요하기에 소비동력이 높게 되고, 운전이 지속되는 경우에는 필요양정이 줄어들 수 있음
- 수열원 히트펌프 시스템을 4층에 구성하는 경우 고양정 펌프가 필요 없게 됨
- 모든 소비동력이 포함된 시스템 COP의 경우 최종적으로 난방 COP가 2.75, 냉방 COP가 4.17로 계산되어 연구과제 목표치 COP 2.5를 상회할 수 있도록 설계가 이루어짐
- 실제 운전시에는 원수 온도에 따라 히트펌프 소비동력이 변화하며, 운영 방식에 따라 순환수 펌프와 FCU 펌프의 소비동력은 변화할 수 있음
- 시스템이 구축된 후에는 각 기기의 소비전력과 생산열량을 측정하여 냉난방 COP를 산정해 보고자 함

▌수온차 시스템 주요설비

【히트펌프】 【열교환기】

▌그림 2.217 수온차 시스템 히트펌프 및 열교환기 ▐

- 수열원 히트펌프는 20RT(70kW) 용량의 물-물 히트펌프를 선정함
- 이를 활용하여 중앙조정실과 홍보실 등을 냉방할 예정이며, 난방의 경우 중앙조정실과 홍보실을 포함하여 막여과동 전체 시설에 대한 동파방지 난방을 수행하며, CIP 공정시 가온시스템으로 활용할 수 있도록 용량을 산정함
- 열교환기는 원수와 브라인 순환수 사이에서 열을 교환하고자 하며, 원수의 이물질이 히트펌프 증발기/응축기에 영향을 주지 않도록 열교환기를 설치하고 주기적으로 유지보수를 시행하고자 함
- 열교환기가 차지하는 공간을 줄이고 열 교환 효율을 높일 수 있는 판형 열교환기를 선정하였고, 수열원 히트펌프의 냉난방 열량을 충분히 교환할 수 있도록 100,000 kcal/h의 용량으로 선정함
- 원수와 브라인 측의 손실수두는 각각 2.7m와 3.5m로 예상되며, 손실수두가 클수록 펌프의 소비동력이 상승하게 됨

【펌프】 【제어반】

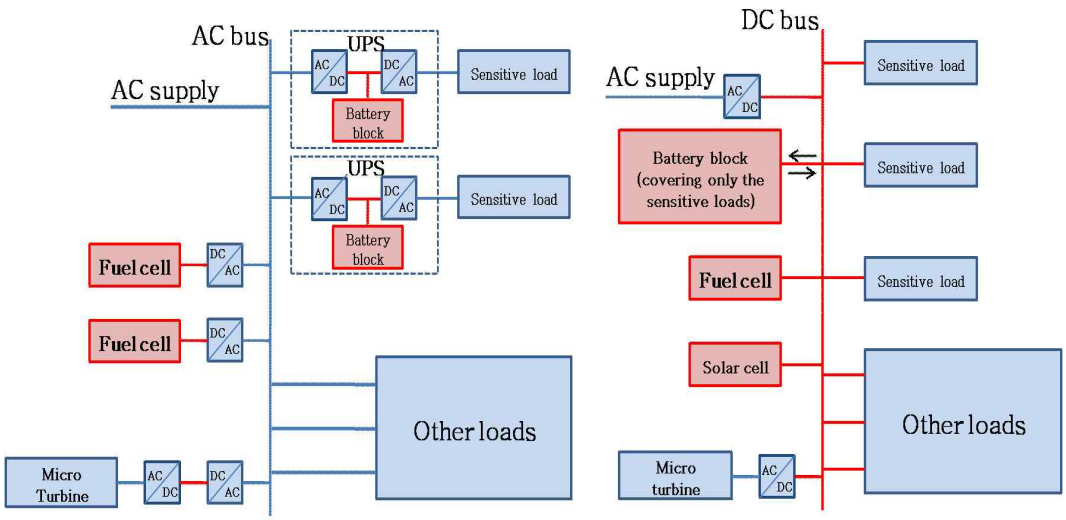
▌그림 2.218 수온차 시스템 펌프 및 제어반 ▐

- 펌프는 원수 공급펌프, 브라인 순환펌프, 냉온수 순환펌프, FCU 순환펌프가 있으며, 각 용도에 맞추어 양정과 유량을 산정하여 결정함
- 수열원 히트펌프의 자동제어가 이루어지는 제어반을 구축하고자 함
- 터치스크린 모니터를 통해 운전 상태를 파악하고 각 기기를 제어할 수 있으며, 실증 데이터가 분석될 수 있도록 데이터를 취합하게 됨
- 또한, 운전과 관련된 데이터는 모두 중앙조정실로 보내지도록 구성함

(2) DC 배전 시스템

(가) DC배전의 정의

▌각 기기에 AC로 전력을 공급해 기기마다 장착한 AC 어댑터 등의 AC/DC 컨버터를 이용하여 DC로 변환하는 기존의 방법에서 탈피하여 송전 전력을 고효율 AC/DC 컨버터를 사용하여, DC로 일괄 변환한 뒤 각 기기에 공급하는 시스템



【AC 배전 방식】 【DC 배전 방식】

▌그림 2.219 AC 배전 및 DC 배전 ▐

▌DC배전의 적용 사례

- 인터넷 데이터 센터(IDC)
  - 세계 소비전력의 0.8%, 연 20%의 증가 추세
  - DC 부하가 주를 이루고 있는 IDC에서의 DC 배전의 적용은 그 효과가 월등
  - 국내 대형 IDC 1개의 연간 전력 사용량은 약 6만MWh (1.8만 가구 규모)
- DC 배전의 IDC 적용 국내 사례
  - KT 남수원 IDC (48V의 DC 배전 사업화로 약 8~9%의 전력 소비가 향상)

▌DC 배전의 장점

- 신재생에너지와 연계

- ■ 최근 급증하는 신재생에너지의 출력은 대체로 DC
- ■ 변환 단계 생략으로 인한 손실 감소: 2.5 ~ 10% 효율 향상

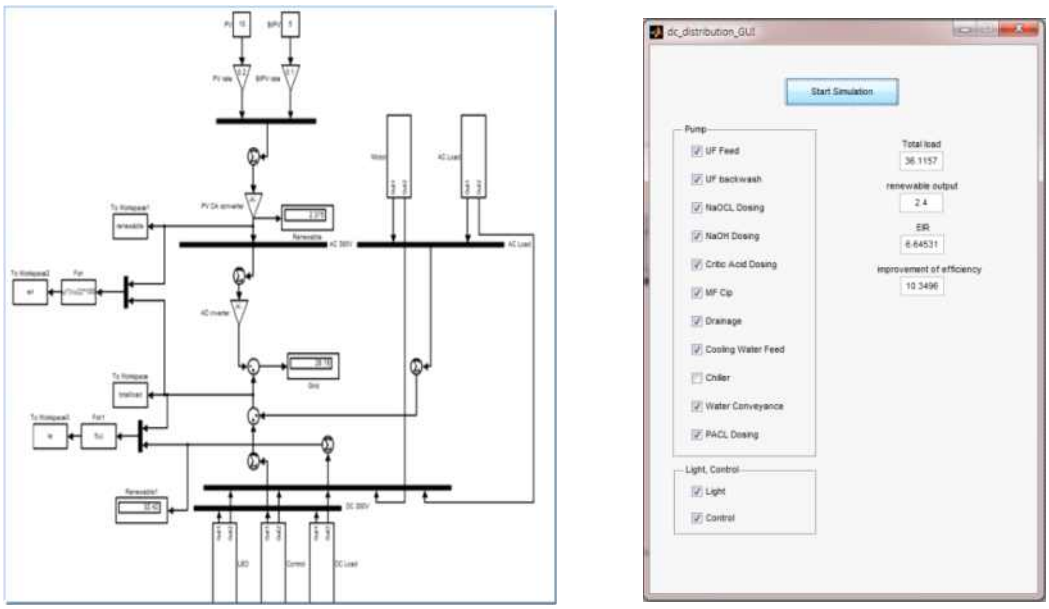
- 조명과 전자기기의 연계
  - ■ 형광등이나 LED 조명은 직류 이용 가능
  - ■ 가정 및 사무실 가전기기 등에 전원 공급
- 신뢰성과 무정전 공급
  - ■ 기존의 AC 전원 공급 중단을 대비하여 DC 전원 사용
  - ■ 원자력 발전소에서는 가장 신뢰성이 높은 전원인 안전등급 1급을 DC 전원으로 사용
- 전압 안정성
  - ■ AC와 DC가 공전하더라도, DC로 인해 전압 안정성이 경감되지 않음
  - ■ 전압 안정성을 위해 따로 무효전력을 공급할 수도 있음
  - ■ DC의 역률은 1이므로 안정적인 전력 공급이 가능
- 인체 안전
  - ■ 저압의 경우: DC가 AC보다 안전
- 전력품질
  - ■ AC 전원에 의한 DC 배전: 전력 변환기기로 인해 고조파 발생
  - ■ DC 전원을 사용: 역률 개선과 우수한 전력품질 유지

(나) DC배전 시스템 알고리즘개발 및 설계

▌수직형 정수처리 시스템에서는 기존의 AC 220V 배전시스템에서 DC 48V 배전시스템(LED, 제어실 등)을 도입할 예정이며, DC배전을 적용하고자 함

▌수직형 정수처리 시스템에 적용될 DC배전의 효과분석을 위하여 MATLAB/Simulink를 이용하여 Simulation 함.

- DC배전 구성도를 바탕으로 Motor, AC load, LED, Control, DC load 등을 세분화 하여 각 부하의 전력소모량, DC부하로 대체했을 때의 전력소모량 및 각종 변환 손실과 같은 데이터가 입력하여 분석한 결과 에너지 절감 효과가 발생할 것으로 예상되며, 아래 그림은 MATLAB/Simulink의 Block diagram과 분석 결과창을 보여줌. DC 전원 공급용 부하의 선정에 따라 에너지 절감효과가 달라지며, 그림에서는 10.3%의 절감을 보이고 있음



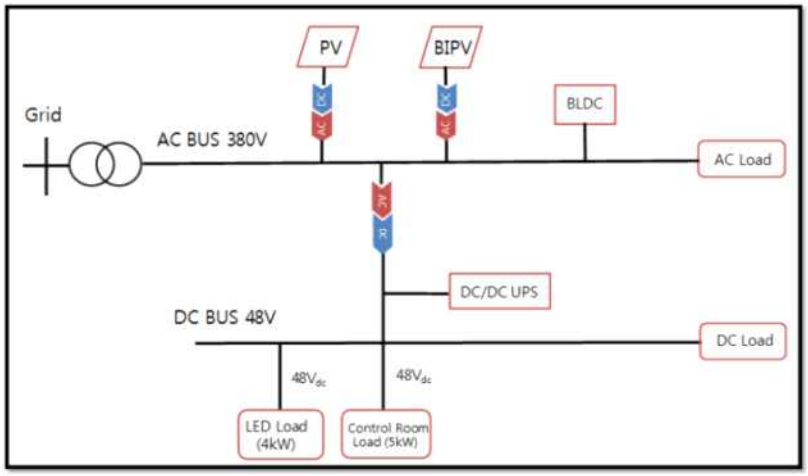
▌그림 2.220 MATLAB/Simulink의 Block diagram 및 시뮬레이션 결과화면 ▐

(다) DC배전구축에 따른 적용 효과분석

▌소비에너지 효율화율을 향상시키기 위한 방안 중 하나로 고효율 DC 장비의 도입을 고려해 볼 수 있음.

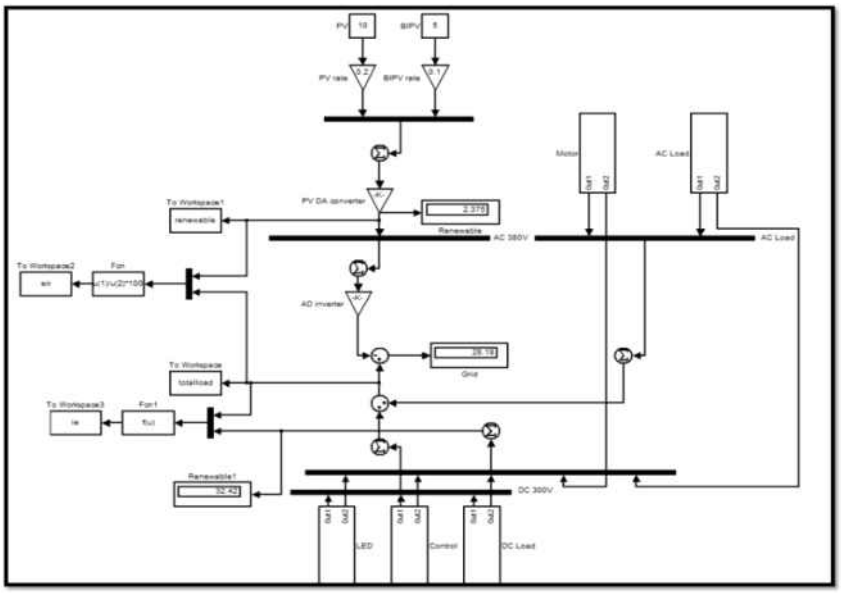
- 신재생에너지원 중 일부(태양광, 연료전지 등)은 그 출력이 직류이기 때문에 DC 배전을 도입함으로써 전력전자 소자에서 발생하는 추가적 손실을 줄 일수 있음. 몇 가지 DC 기기의 효율은 아래 표와 같음.
- 같은 조건의 경우 BLDC 모터 혹은 LED조명 같은 고효율 기기를 이용함으로써 에너지 소모량을 줄일 수 있음. 하지만 기존에는 AC전력을 DC로 변환하는 과정 또는 DC/DC컨버터를 이용하여 기기의 사용 전압을 맞추는 과정에서 추가적인 손실이 발생할 수 있음.
- 전체적인 전력 소모량은 감소 할 것으로 예상되지만 실제적인 효율성 증가 부분은 모의실험을 수행하여야만 정확한 평가가 이루어질 수 있음

▌ 모의실험이 수행된 계통은 DC 시스템 구성 그림과 같으며, 계통으로부터 AC 380V를 공급 받고 AC부하에 전원을 공급함. 또한 PV 및 BIPV는 AC 버스에 연계하여 수직형 정수 처리 시설 부하에 전력을 공급함. 계통으로부터 공급되는 전력 및 태양광이 발전하는 전력은 AC 버스의 부하 및 DC 버스의 부하에 전력을 공급하게 되고 DC 버스에 전력을 공급 시 AC/DC컨버터를 통하여 48V의 DC 전력을 공급함

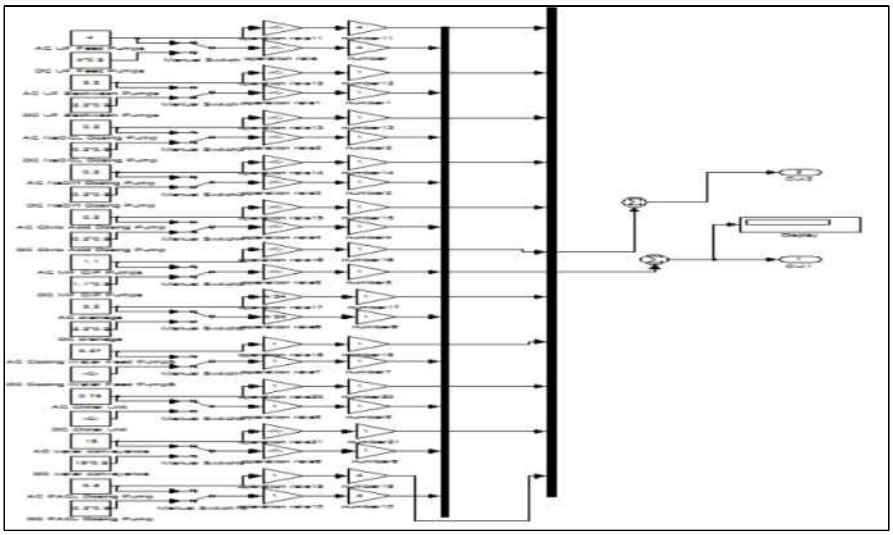


▌그림 2.221 DC 시스템 구성 ▐

▌ Simulink를 이용한 시스템 구성도 그림의 계통과 수직형 정수 처리 시설 설계 자료를 바탕으로 MATLAB/Simulink를 이용하여 효율 Subsystem을 구성함. 시스템의 Motor, AC load, LED, Control, DC load는 각각의 서브시스템을 가지고 있으며 이는 Subsystem 구성 그림과 같이 구성되어짐. 서브시스템에는 Motor, AC load, LED, Control, DC load 등을 세분화 하여 각 부하의 전력소모량, DC부하로 대체했을 때의 전력소모량 및 각종 변환 손실과 같은 데이터가 입력됨

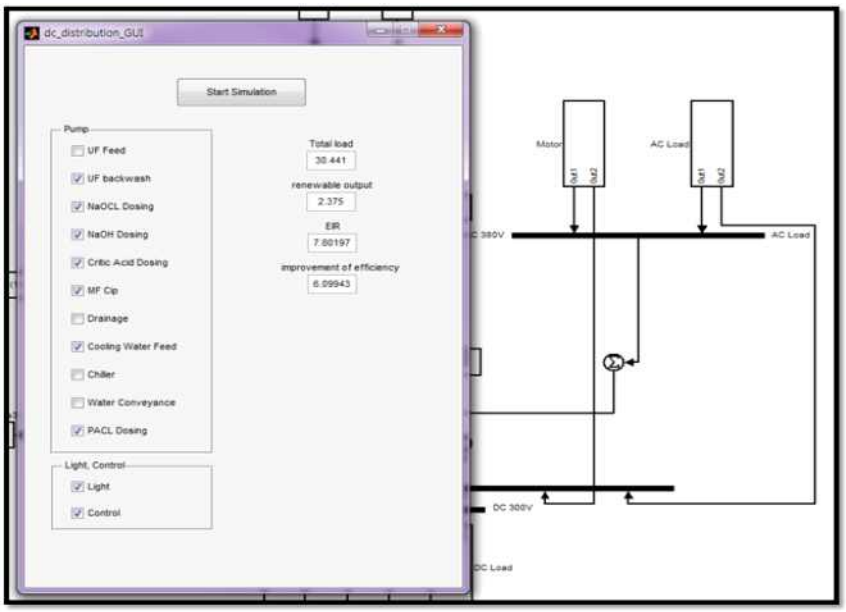


▌그림 2.222 Simulink를 이용한 시스템 구성 ▐



▌그림 2.223 Subsystem 구성 ▐

▌ MATLAB/Simulink를 통하여 구성된 계통은 사용자의 편이성 및 범용성을 고려하여 GUI와 연동할 수 있도록 프로그래밍 되었고 이는 아래 그림과 같음



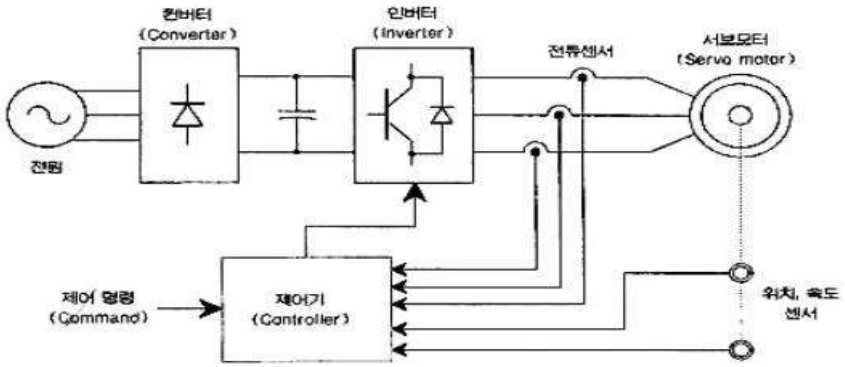
▌그림 2.224 GUI와 Simulink의 연동 ▐

▌ GUI 화면 왼쪽 DC Equipment Installation 박스의 각 부하에 체크를 하게 되면 DC 장비의 교체를 의미하고 체크 해제는 기존의 기기를 사용하는 것을 의미함. DC 장비 교체를 통하여 기존 대비 효율 향상 정도 및 소비에너지 효율화율 등을 산출할 수 있음

(라) 에너지 절감을 위한 수처리 용 BLDC모터 적용

▌BLDC 모터는 DC모터에서 브러시, 정류자 등 기계적인 접촉부를 없애고 이것을 전자적인 정류 기구를 설치한 직류 모터를 말함.

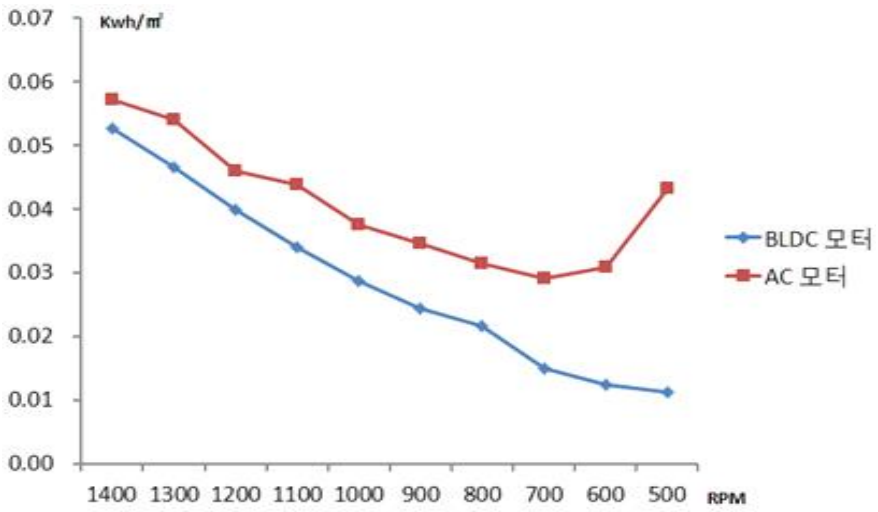
- 브러시가 없기 때문에 유지보수가 필요 없고, 소형 사이즈로 고출력, 높은 토크 밀도 특성이 가능
- 전 구간 속도 범위에서 일정한 토크 특성
- 정방향 및 역방향의 빠른 속도 전환이 가능
- 일반 DC, AC모터에 비해 절반 이하의 용량으로 적용 가능
- 발열이 없어 효율이 높음



▌그림 2.225 BLDC모터 시스템 개념 ▐

▌BLDC 펌프모터와 AC 펌프모터 실험시스템을 제작 후 원단위(kWh/m3) 비교시험 결과, 1400rpm에서 7%의 절감효과가 있으며, 저속도로 갈수록 절감효과가 커지는 것으로 분석되었음(1400~600rpm 속도에서 평균 25% 절감)

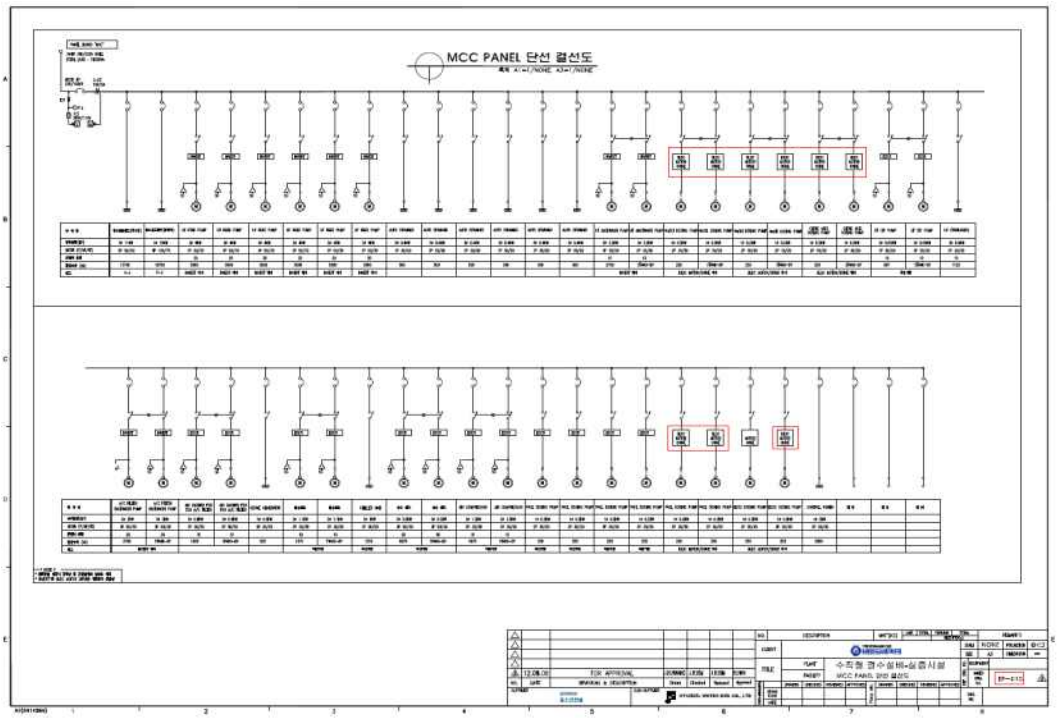
【비교시험 장치】	【비교시험 컨트롤부】



▌그림 2.226 BLDC 모터와 AC모터의 전력원단위(kWh/m3)비교 ▐

▌BLDC 모터 적용

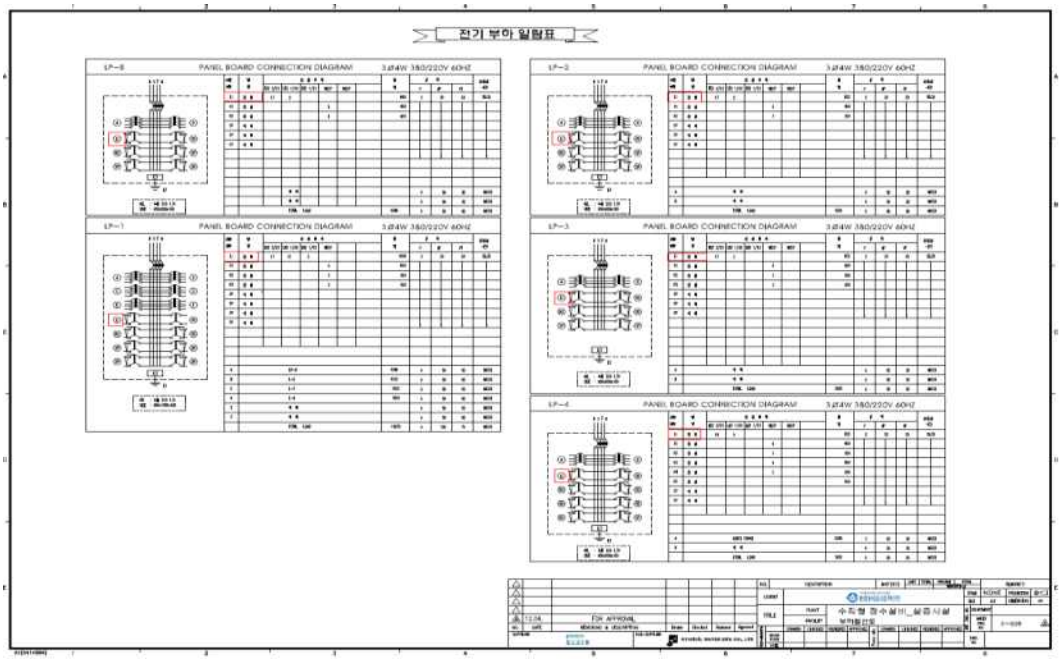
- 총 9대의 BLDC 반영
- 설계도서 : 전기도면(EP-010)



▌그림 2.227 BLDC 모터의 설계도서 반영 ▐

▌DC 전원을 사용한 LED 전원 공급

- 설계도서 : 건축도면-전기소방(E-005 ~ 012)
- DC 전원을 이용한 LED 조명 : 설계도서 : 건축도면-전기소방(E-005 ~ 012)



▌그림 2.228 DC 전원을 이용한 LED 조명▐

(3) LED 조명 제어 설비

(가) LED조명 기술 적용

▌기존의 전통적 조명은 어둠을 밝히는 단순 조명 제품으로만 인식되어 왔으나, 생활수준의 향상으로 조명의 양적인 측면이 아닌 질적인 측면(색온도, 균제도, 눈부심 등)의 중요성이 점차 증대되고 있음

- LED조명 시장은 지속적으로 발전하고 있으며 단순히 빛의 밝기만을 조절하여 에너지를 절감하는 차원에서 개인의 감성과 생활의 질을 증진시키는 사용자중심 자연광 구현을 위한 조명으로 급속히 확산되고 있음
- 현재 녹색 LED조명 보급 활성화 방안으로 2020년 까지 국가 전체 보급률 60% 달성을 목표로 하는 “LED조명 2060계획”이 실시
- LED조명은 백열전구, 할로겐 등 분야에서 보급 사업이 활발히 진행되고 있으며, 형광등, 가로등 등의 분야에서는 2012년부터 본격적으로 교체가 이루어 질 것으로 예상됨

▌소비전력기준 LED조명은 형광램프 대비 30%이상의 에너지 절감효과가 있으며, LED전원으로 DC48V를 사용함으로 써 10% 추가 절감효과 발생

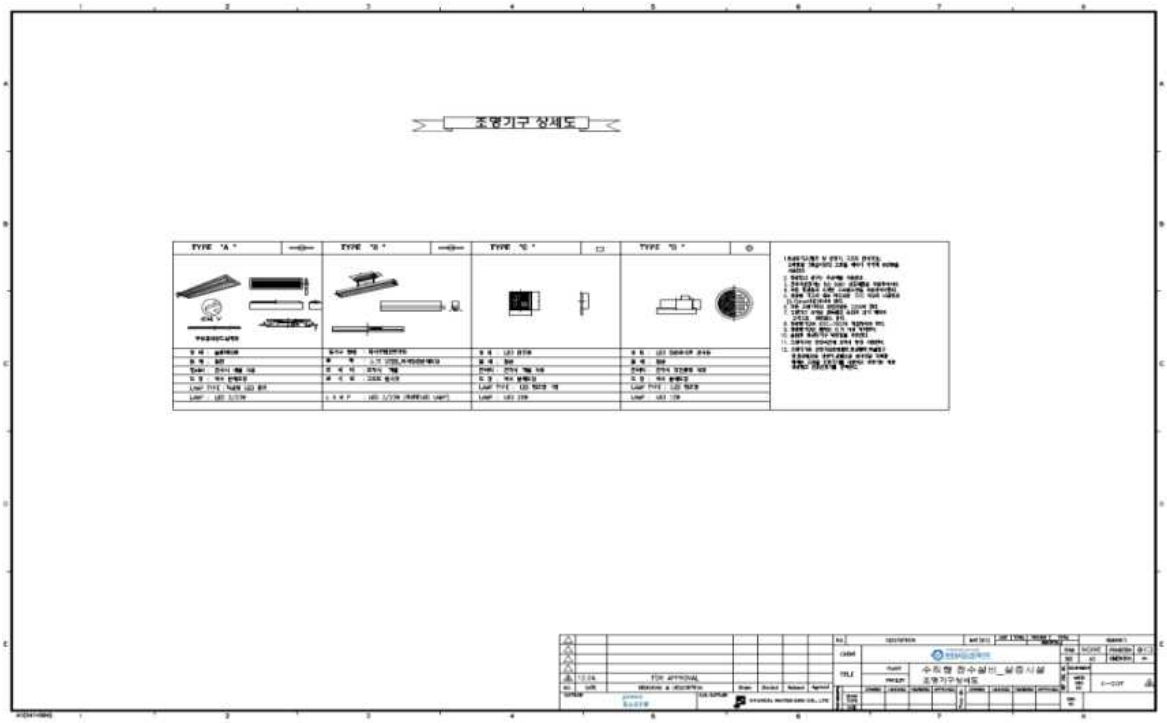
▌표 2.82 LED 조명과 형광램프 비교 ▐

구분	LED조명	형광램프
소비전력(W/EA)	23	32
효율(lm/W)	93이상	55이상
수명(시간)	50,000시간	9,000시간
색상연출	부드럽고 자연스러운 색연출	자연스러운 색연출
광량 유지율	반도체이므로 광량변화 적음	시간에 따라 저하됨 (빠름)
자외선	방출 적음 ⇒ 곤충 적게 모임	방출 많음 ⇒ 곤충 많이 모임
열적외선	피조물에 열적외선 전달 안 함	피조물에 열 적외선 전달(적음)
수은함량(환경오염)	X	30mg

(나) 설계서 반영 여부

▌LED 조명 반영

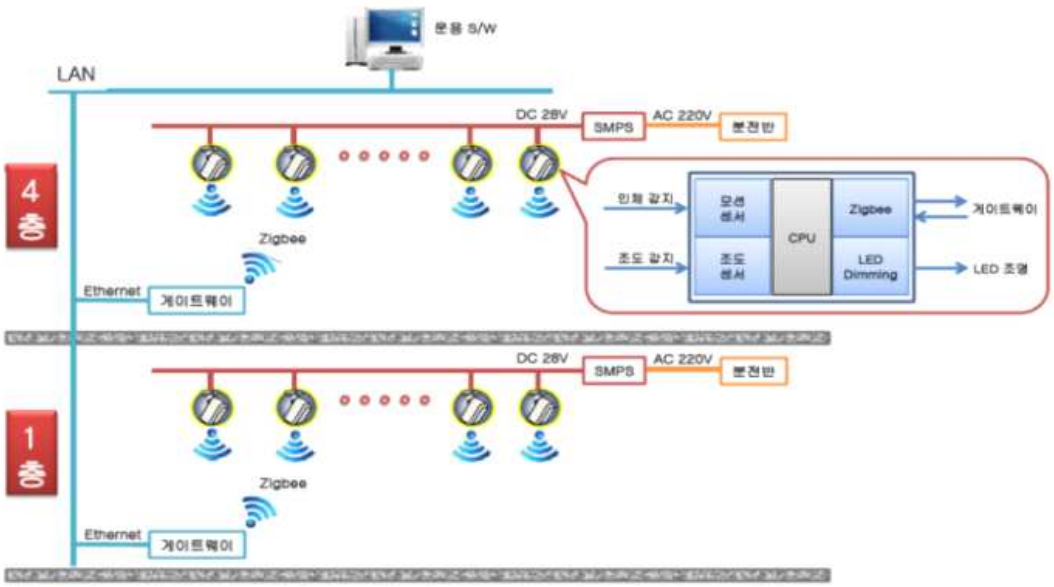
- 설계도서 : 건축도면-전기소방(E-007)



▌그림 2.229 LED 조명기구 상세도▐

▌"유비쿼터스 기반 센서네트워크 구축"의 일환으로 LED 조명제어에 무선센서노드 및 게이트웨이를 제작하여 설치함으로서, USN기반 통신망을 구축하여 분산형 용수공급체계의 선진화된 운영기틀을 마련하고자 함.

- 실시간 기기 상태정보를 보여주는 GUI프로그램을 탑재하여, 각 LED조명 모듈의 운전조건을 GUI를 통해 설정하고 해당기기에 게이트웨이를 통해 무선 송신할 수 있음.
- LED조명제어는 모션감지 센서신호, 조도 센서신호, 디밍제어 출력상태, 로컬스위치 상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있으며, 각 층의 게이트웨이와 이더넷통신을 통하여 실시간으로 정보를 송수신 함..
- LED조명제어의 운영환경은 개별적으로 설정 할 수 있으며 설정 데이터를 게이트웨이를 통해 LED조명제어 지그비 무선모듈에 즉각적으로 송신함.
- 또한, 모든 LED조명의 가동상태와 출력조건을 데이터베이스에 이력 저장하여 일/월/연 별로 예상전력량을 산출 및 트랜드로 확인 가능
- 이력데이터는 기기별, 층별, 기간별 조회가 가능하며 조회된 데이터는 CSV형태로 내보내기가 가능하고, 각 기기에 대한 알람상황을 이력저장 및 검색이 가능
- 개발된 프로그램은 실증시설의 HMI 운용 소프트웨어에서 실행 가능하도록 연계

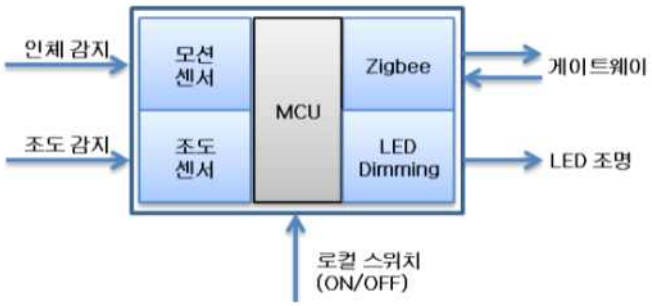


▌그림 2.230 조명제어 시스템 구성도▐

▌표 2.83 조명제어 시스템 현장 설정 상황 ▐

구분		제원	수량(개)	설정시간	총 통신시간
조명	1층	40 W	10	0.5 sec	5.0 sec
	4층	40 W	17	0.5 sec	8.5 sec
모션 센서	1층	DC 12V	3	-	-
	4층	DC 12V	7	-	-
디밍 센서	1층	DC 5V, 1uA/1Lux	10	-	-
	4층	DC 5V, 1uA/1Lux	17	-	-
SMPS		DC 24V	1	-	-

▌ LED조명제어용 Zigbee 센서노드



▌그림 2.231 통신모듈 블록도▐

- LED조명제어 모듈은 모션감지 센서, 조도센서의 신호를 수신하여 LED를 디밍제어하며 운영환경 설정은 지그비 기반의 무선통신에 의하여 원격 설정변경이 가능하고, 설정정보 변경 및 조회는 운용 S/W와 연계 운영이 가능하다.
- LED 디밍제어는 단계별 제어가 가능하다.
- 제어는 원격 지정제어/센서입력 제어/로컬스위치 제어 등의 기능이 가능하며 우선순위 사용자가 S/W에서 지정 할 수 있다.
- 네트워크 구성의 변경 시 변경 정보의 관리는 운영S/W와 연계가 가능하다.
- 운용S/W를 통해 기기의 구동상태를 실시간 모니터링이 가능하고, 실시간으로 상태데이터를 통신 지원한다.
- SMPS에서 LED로 공급되는 DC28V를 입력으로 사용하며 디밍제어에 적합한 전원을 LED에 공급한다.
- 지그비 센서노드는 다른 지그비 센서노드들과 메시망으로 연결되어 지그비 게이트

웨이를 통해 운영 소프트웨어로 정보를 전달한다.

- 각 층에 위치한 게이트웨이와 실시간으로 지그비 통신을 한다.
- 설정된 전송주기에 따라 상태데이터를 주기별로 서버로 전달할 수 있다.
  (데이터 전송 관리를 위한 Time Scheduling 기능 지원)
- 운영환경 설정 및 관리를 위한 원격 기기관리 기능을 지원한다.

▌게이트웨이

- 지그비 게이트웨이를 통해 송수신 되는 LED 조명제어 모듈 데이터를 모니터링하고 데이터베이스를 통해 이력관리 한다.
- 실증시설에 설치되는 지그비 무선 노드로부터 무선 송신되는 정보를 이더넷포트를 통해 운용 소프트웨어로 전달하도록 구성되었으며, 상위 PC와의 인터페이스를 위한 이더넷통신 프로토콜을 구성하였다.
- 게이트웨이의 네트워크 환경설정은 별도의 펌웨어 변경 없이 사용자가 Telnet 또는 전용 콘솔포트를 통해 접속하여 쉽게 변경이 가능하다.
- 현재 Link 상태 및 통신 상태를 LED를 통해 표시된다.
- 설정된 전송주기에 따라 상태데이터를 주기별로 서버로 전달할 수 있다.

게이트웨이			
항 목		설계 규격	
외관	Dimension	45x45x 18.5이내 (가로x세로x높이)	
	중량	20g 이하	
성능 사양	정격전압	DC 5V	
	소비전류	약 60mA	
	네트워크 인터페이스	10Base-T Ethernet, 고정 및 유동 IP체계지원	
	프로토콜	ARP, IP / CMP, TCP server / client, Telnet, DHCP client, PPPoE	
	시리얼 인터페이스	UART, 전송 속도 1200bps~115kbps	
	사용온도	-10~50℃	
	습기	90% 이하	
	대기전력	0.3W 이하	

▌LED 조명용 0.8 kW급 SMPS

0.8KW급 Power 모듈(SMPS)			
항 목		설계 규격	
성능 사양	입력전압	AC220V,60Hz	
	출력전압	DC 28V/28.5A	
	소비전력	40W 이하	
	효율	85% 이상	
	역율	0.95 이상	
	기판 코팅처리	에폭시	
	내부발열온도	45℃ 이하	
	주요기능	정전압제어 기능(LED CHIP V_f값 2.8V~3.3V) 전압, 전류를 동시 2중 제어 구조 방식, 소프트스타트 방식	
	수명시간	13만 시간 이상	

- 분전반으로부터 AC220V 전원을 입력받아 DC28V로 변환하여 LED 조명에 DC전원을 공급하는 SMPS를 제작함
- SMPS는 전압, 전류를 동시 제어하는 2중 제어 구조방식으로 제어됨
- SMPS는 초기 전원 투입 시 소프트스타트 방식으로 LED칩의 급격한 전류변환 방지 기능을 포함함

▌LED

LED 및 레이스기구 사양			
항 목		설계 규격	
성능 사양	LED칩 규격	52 x 52 1Chip 6,500K (150mA)	
	LED칩 수량	108개 (9개 직렬 x 12회로 병렬)	
	LED 소비전력	40 W	
	광속	3,888 (lm)	
	광 효율	95 (lm/w) 이상	
	기구 Body 재질	Aluminium Alloy Temper 6063-T5	
	기구 Cover 재질	Polycarbonate-LG DOW CALIBRE 303-7 UL	

▌모션제어 센서

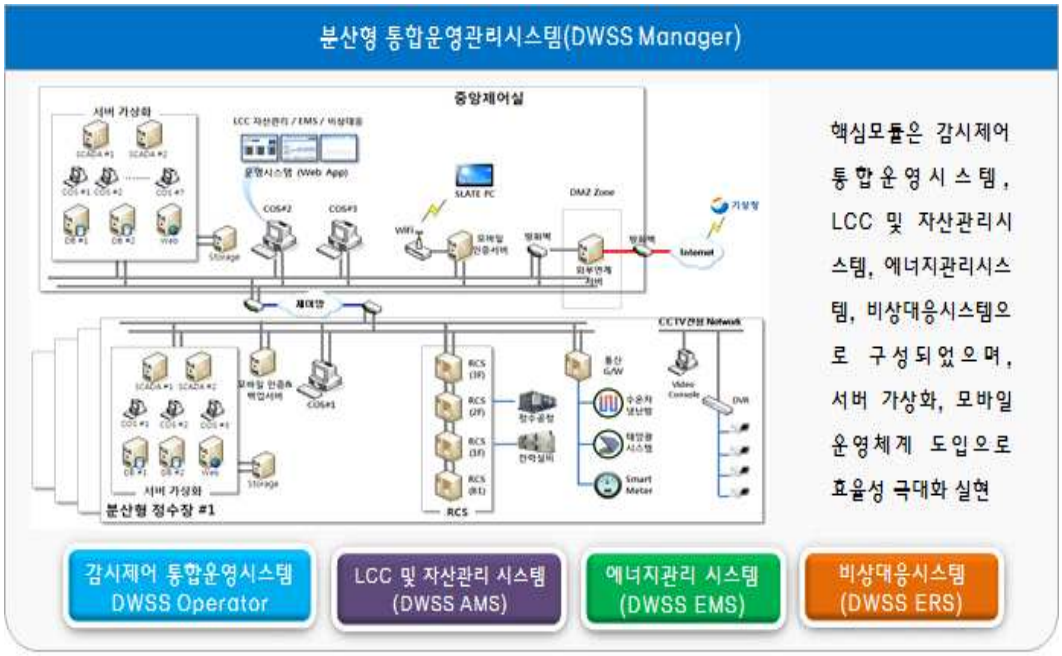
모션 감지 모듈			
항 목		설계 규격	
외관	Dimension	80 x 50 x 85이내 (가로x세로x높이)	
	중량	100g 이하	
성능 사양	정격전압	DC 12 ~ 24V	
	소비전류	약 55mA	
	출력방식	Open Collector	
	감지거리	5~20M	
	시간조절	1~10분	
	사용온도	-10~50℃	
	습기	50% 이하	
	대기전력	0.66W 이하	

▌디밍제어 센서

조도센서 모듈			
항 목		설계 규격	
외관	Dimension	50x 30x 45이내 (가로x세로x높이)	
	중량	100g 이하	
성능 사양	Angle of half sensitivity	±60°	
	Luminance	1000lux(Max)	
	Light current standard	50uA (100lux, VCE: 5V)	
	사용온도	-40~100℃	

다. 운영관리시스템(Operating System)

▌본 연구에서 개발한 운영관리시스템의 핵심모듈은 크게 4가지이며, 감시제어 통합운영 시스템, LCC 및 자산관리시스템, 에너지관리시스템, 비상대응시스템임.



▌그림 2.232 운영관리 시스템 구성도▐

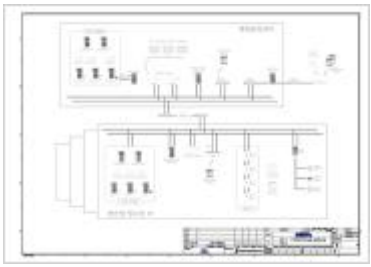
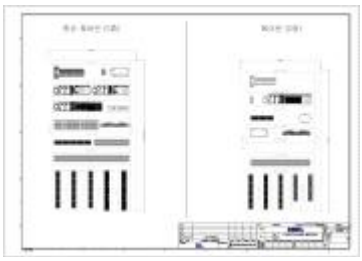
(1) SCADA 시스템 구축

▌ SCADA 시스템 개요

- SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)는 정수장 공정의 각종 센서 및 기계장치와 인터페이스하여 공정 운영자가 운영할 수 있는 GUI(Graphical User Interface) 환경을 제공하기 위한 설비이며, RCS와 HMI 등으로 구성 됨

▌ PLC 제어로직 개발

- 실증시설 3층에 위치한 PLC(Programmable Logic Controller)의 CPU 및 메모리 영역을 이용하여 현재 공정제어 로직 프로그램 개발 하였으며, 전체 정수처리 공정이 유기적으로 자동운전 되도록 설계 및 개발하였음
- 지하1층, 1층에는 3층에 설치한 CPU모듈의 확장모듈로 설치를 하여 각 층간에는 광케이블 설치를 통해 안정적인 통신이 가능하도록 했으며, CPU모듈 및 확장모듈 전체를 이중화 하여 24시간 연속운전이 가능함

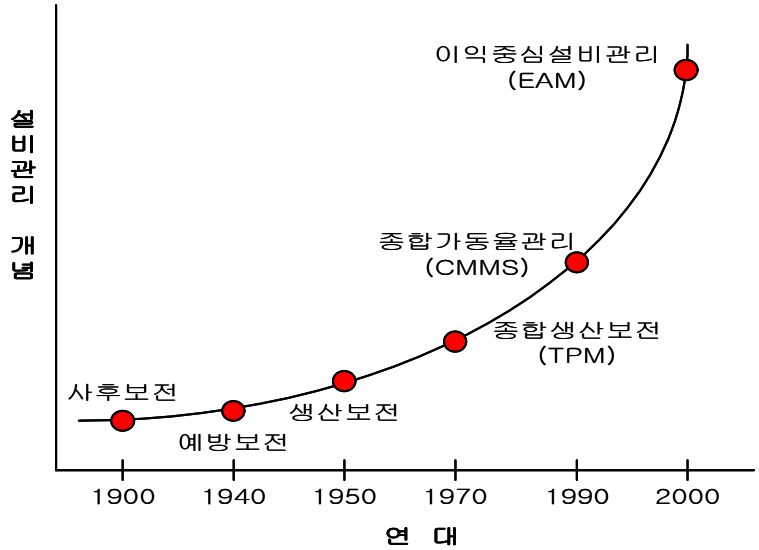
○ 감시제어 시스템 구성도 - RCS 및 Gateway ↔ Network ↔ Server ↔ COS를 인터페이스하여 공정 운영데이터를 운영자의 모니터링 장비를 통해 확인하기 위한 전체 구성을 작성 - 각종 서버 및 PC류, 네트워크 장비 등에 대해 구성도로 표현 함 - CCTV는 네트워크 트래픽 분산을 위해 별도의 네크워크로 구성	
○ PLC System Configuration - PLC는 산업용 PC의 일종으로 전원부, CPU, 네트워크, I/O Card 등으로 구성되어 있음 - PLC는 안정적인 정수장 운영을 위해 이중화하여 구성하였음 - I/O Card는 확장이 가능하도록 각 층별로 20% 정도의 여유를 둠 - PLC는 실증시설의 각 층별로 구성하여 불필요한 네트워크 케이블 포설을 최소화하였음	
○ RCS 판넬 구성 - RCS 판넬에는 PLC 및 Relay, 전원공급설비 등으로 구성됨 - 실증시설의 각 층에 별도로 설치하여 불필요한 네트워크 케이블 포설을 최소화하였음 - 층별 판넬의 규격은 차이가 있지만, 기본적으로 1600 x 1000 형태로 설계하였음	

(2) LCC 및 자산관리 시스템

▌LCC 및 자산관리란 초기투자비용(공사비, 설계비, 감리비, 보상비 등), 유지관리비용(점검 및 진단비, 관리비, 에너지비용, 보수비, 교체비, 보강비 등), 이용자비용, 사회/경제

적 손실비용, 해체/폐기비용, 잔존가치 등 시설물의 생애주기 동안 발생하는 모든 비용을 의미함

▌설비관리 시스템 발달과정



▌그림 2.233 설비관리 개념의 변천사▐

- 사후보전(BM, Breakdown Maintenance): 1,2차 세계대전 이전의 수공업 산업기반
- 예방보전(TBM, Time Based Maintenance): 2차 세계대전 이후, 통계적인 방법의 설비관리 개념
- 생산보전(PM, Productive Maintenance): 1950년대 미국의 GE사가 도입한 설비관리
- 종합생산보전(TPM, Total Productive Maintenance): 1971년 일본전장(日本電装)사에서 시작하였으며, 자동화를 통하여 생산현장에서의 고장 0, 불량 0, 재해 0를 달성한다는 목표를 가지고 있음
- 종합가동률 관리(CMMS, Computerized Maintenance Management System): 1990년부터 모든 설비의 설계부터 보전도(Maintainability, 설비의 고장부터 회복시점까지의 시간관리)를 고려한 설계가 이루어지기 시작하였음
- 이익중심 설비관리(EAM, Enterprise Asset Management): 1998년 가트너 그룹에서 도입한 개념으로 과거에는 경상비용 절감을 목표로 하였다면, EAM은 설비관리 활동은 설비에서 수익을 창출하는 개념을 추구하였음
- 2000년대부터 EAM은 설비관리 전산화 시스템을 운영하는데 기본적인 사상으로 자리 잡게 되었음

① 개발 방법론 적용

▌프로그램의 개발은 아래 표 "웹 개발 방법론 및 산출물"에 의거 개발되었으며, 적용된 방법론은 코오롱베니트에서 수년간의 민간 및 공공 소프트웨어통합 프로젝트를 수행하면서 축적된 노하우를 통해 최적의 웹 시스템 개발 방법론임

▌표 2.84 웹 개발 방법론 및 산출물 ▐

분석	→	설계	→	구현 및 테스트	→	전개
■ 110.요구사항 정의서 ■ 120.업무기능 분해도 ■ 130.논리DB다이어그램 ■ 150.프로토타이핑 구축		■ 210.내비게이션 정의서 ■ 220.페이지레이아웃 설계 ■ 230.데이터베이스 설계 ■ 240.데이터베이스 설명		■ 310.페이지 제작 ■ 320.단위테스트 결과서		■ 사용자 매뉴얼 ■ 사용자 교육 ■ 프로그램 설치 및 배포

② 업무 기능정의

▌요구사항의 요소별 정의 및 다양한 문헌조자를 통해 시스템의 기능을 도출하고 정의함

▌표 2.85 업무기능 정의 ▐

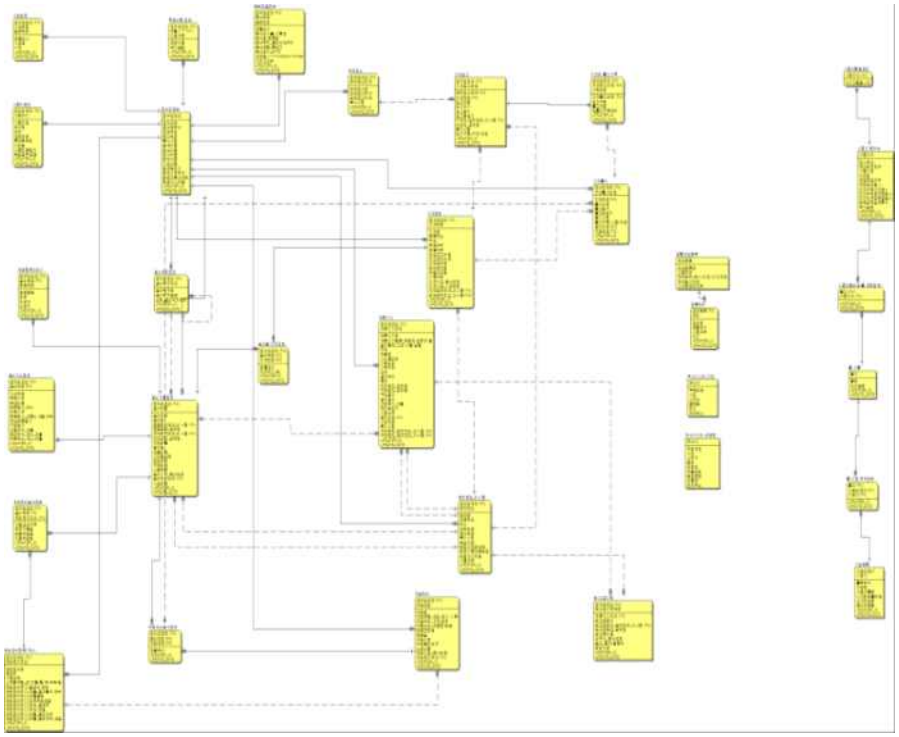
분류	업무	기능구성	설 명
설비 관리	설비 자산 관리	설비현황	▪ 설비의 현황을 조회
		설비기본정보	▪ 작업의 대상이 되는 설비에 대한 정의
		설비사양정보	▪ 설비의 규격 등 정보관리
		설비자산정보	▪ 취득가액기준으로상각방법에따른잔존가액자동계산표시 ▪ 구입일자기준으로경과연수및잔존연수자동계산
		주요자재	▪ 해당설비에서 사용하는 주요자재(부품,소모품등)정보관리 ▪ 윤활류의 주유 및 정기점검주기관리
		예방정비	▪ 점검항목을관리하고,각점검항목별로점검이력을관리 ▪ 점검주기(일,주,월,년,반영구),작업자,자동생성여부,사용여부,최초기준일,최종기준일,다음작업일,작업내용,안전사항 등 관리 ▪ 예방점검주기에따라자동으로작업목록에표시
		관련문서	▪ 도면, 매뉴얼, 안전, 이미지 등 자료관리
		작업이력	▪ 해당 설비와 관련된 작업현황을 조회
		설비선택	▪ 각 업무페이지에서 설비를 선택할 수 있는 기능
	설비 위치관리	설비위치관리	▪ 설비를 관리하는 위치를 정의 ▪ 설비위치의상위위치,위치유형,사용구분등관리
		설비위치선택	▪ 각 업무페이지에서 설비 설치위치를 선택할 수 있는 기능
	계측기관리	계측기기현황	▪ 계측기기의 현황을 조회
		계측기 관리	▪ 계측기 관리
		검/교정이력조회	▪ 계측기의 검정 및 교정이력을 조회
	업체관리	업체정보 현황	▪ 업체현황 조회
		업체정보 관리	▪ 협력업체, 구매업체 등의 업체에 대한 관리
		업체정보 선택	▪ 각 업무페이지에서 업체정보를 선택할 수 있는 기능
	자산평가	자산가치현황	▪ 설비자산의 상각방법에 따른 잔존가액 조회 및 현재/미래의 자산총액 예측
작업 관리	작업관리	작업현황	▪ 작업에 대한 현황을 일, 주, 월별로 조회
		작업관리	▪ 작업 결과에 대한 내용 기재
	소요비용 현황	소요비용 현황	▪ 작업 중 소요된 비용에 대해 년별(5년주기), 분기별(4분기), 월별(12개월)조회 ▪ 목록과 꺾은선 그래프로 조회
	월별 작업추이	작업추이현황	▪ 년별,분기별,월별작업건수및작업대상설비현황을조회 ▪ 목록과 꺾은선 그래프로 조회
	운영비용	운영비용현황	▪ 정수장의 건설, 작업/유지보수 비용을 제외한 모든 운영비용 조회
자재 관리	자재정보 관리	자재현황	▪ 자재현황을 조회
		자재정보관리	▪ 자재에 대한 마스터 정보 관리
		자재선택	▪ 각 업무페이지에서 자재를 선택 할 수 있는 기능
		자재사양정보	▪ 자재의 규격 등 정보관리
	자재입/출고 관리	자재입출고관리	▪ 입고와 출고 등록 및 트랜잭션 목록을 조회
		자재입고	▪ 자재의 구매에 따른 입고정보관리(재고+) ▪ 자재코드,자재명,수량,단가,입고일자,보관장소등관리
		자재출고	▪ 자재의 사용에 따른 출고정보관리(재고-) ▪ 선입선 출법에 의한 재고관리 ▪ 자재코드,자재명,수량,사용설비코드,이동장소,출고일등관리
		자재입출고현황	▪ 선택된 자재의 입출고 현황(입고수량, 출고수량, 재고수량 총합)을 조회
	재고관리	자재재고현황	▪ 자재의 재고현황 및 적정재고상태 등 내역조회 ▪ 재고조사를 통한 장부수량과 실수량차이 조정처리
		자재재고조정	▪ 보관 장소의 재고로 재고수량을 조정
	보관 장소관리	보관 장소현황	▪ 보관 장소의 현황을 조회하고, 각 보관 ▪ 소별 보관중인 자재 및 재고를 조회
		보관 장소관리	▪ 보관 장소별 재고 관리를 위한 보관 장소 정보 관리
		보관 장소선택	▪ 각 업무페이지에서 보관 장소를 선택 할 수 있는 기능
	교체주기	설비별 교체주기	▪ 설비별자재의 교체주기 현황 및 교체계획조회 ▪ 교체주기의 도래현황경고등표시

▌표 2.85 업무기능 정의(계속) ▐

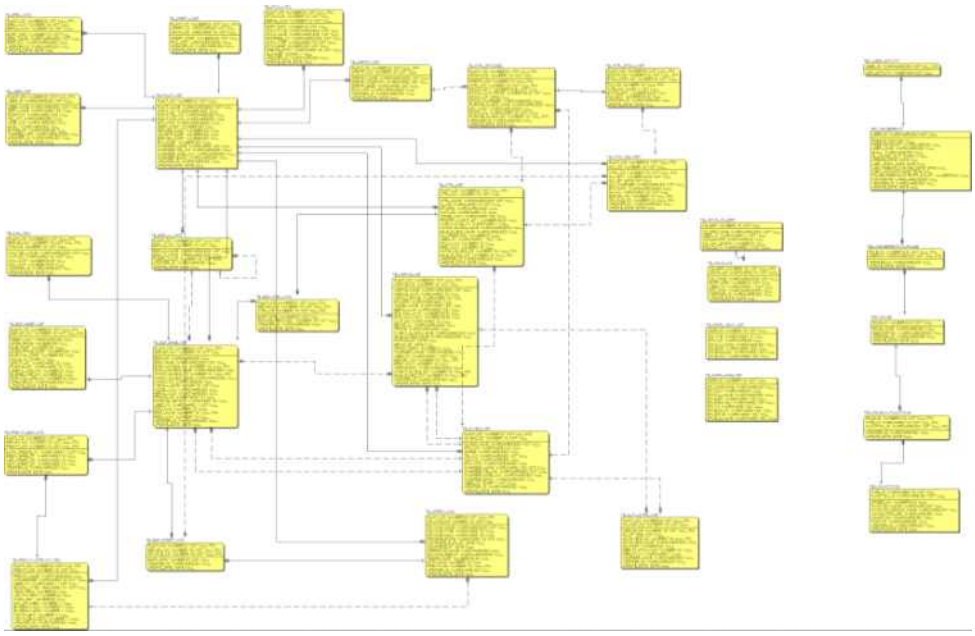
분류	업무	기능구성	설 명
기준 정보 관리	정수장관리	정수장정보현황	■정수장의 현황을 조회
		정수장정보 관리	■정수장 정보를 관리
	코드관리	공통코드 목록	■각 업무에서 사용하는 코드분류 및 코드목록 조회
	예방정비마스터	예방정비 현황	■예방정비의 현황을 조회
		예방정비 관리	■예방정비에서 데이터를 관리하기 위한 페이지
		예방정비 선택	■각 업무페이지에서 예방정비 항목을 선택할 수 있는 기능
관리자	사용자정보 관리	사용자조회	■사용자 현황을 조회
		사용자관리	■사용자 정보 관리 및 역할 연계
		사용자선택	■각 업무페이지에서 사용자정보를 선택할 수 있는 기능
	역할관리	역할조회	■권한집합을 가지는 사용자 Role 목록 조회
		역할관리	■사용자를 생성 및 기능 연계
		역할선택	■사용자를 선택
공통	업무공통	첨부파일 관리	■첨부파일을 등록하고 관리하는 페이지
		주소 찾기	■우편번호 정보에서 주소 찾기

③ 데이터베이스 설계

▌ 정의된 각 기능들에서 관리되어야 할 데이터들에 대해 정의하고, 정규화 프로세스에 의해 정규화 하였음.



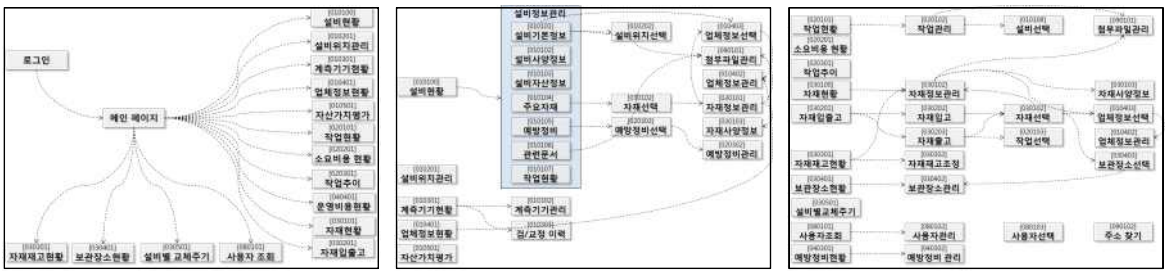
▌그림 2.234 LCC 및 자산관리 데이터베이스 개념설계 결과▐



▌그림 2.235 LCC 및 자산관리 데이터베이스 물리설계 결과▐

④ 내비게이션 정의

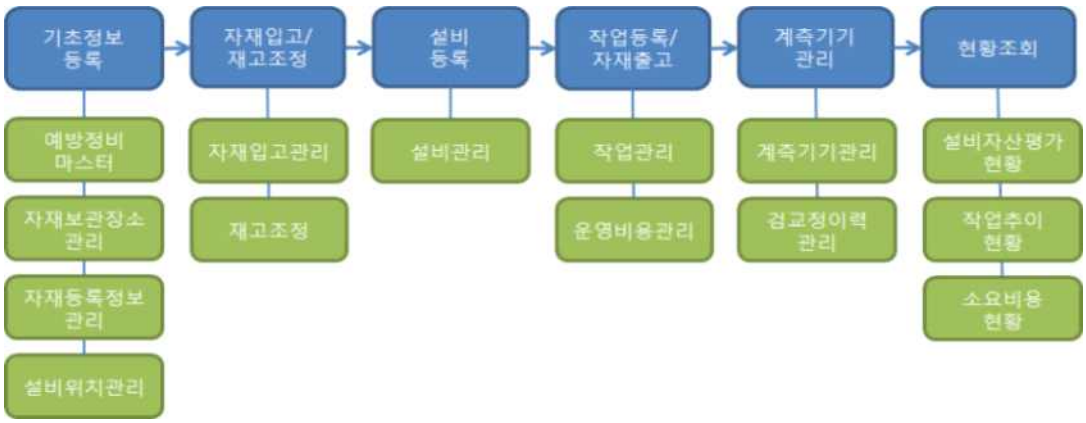
▌시스템을 사용하는 사용자가 프로그램을 처음 접근하여 각 업무를 처리하면서 링크(URL) 클릭 및 버튼 클릭 등을 이용할 수 있는 화면의 이동경로를 정의하였음.



▌그림 2.236 LCC 및 자산관리 내비게이션 흐름도▐

⑤ 프로그램 개발

▌LCC 및 자산관리프로그램은 정수장 설비의 수명주기 및 자산관리를 지원해주기 위한 웹 어플리케이션이다. LCC 및 자산관리프로그램은 사용자의 목적이나 의도에 맞게 다양하게 운용될 수 있으나 아래 그림과 같은 절차에 따라 사용하는 것을 권장함



▌그림 2.237 프로그램 사용을 위한 기본 시나리오▐

(3) 에너지 관리 프로그램 구축

▌에너지관리시스템(EMS, Energy Management System)은 국가적 차원에서 기후변화 대

응 및 에너지경영시스템의 국제 규격화 등의 국제적인 환경에 발 빠르게 대처하고, 기업차원에서 에너지 비용 증대 및 환경규제 등을 극복하기 위해 에너지경영시스템의 도입은 시급하다. 에너지 절약을 위해 정부차원에서 시행하는 각종 에너지효율화시책을 체계적으로 묶어 성과를 극대화할 수 있는 시스템을 구축하는 측면에서도 에너지경영시스템은 필수적이라 할 수 있음.

- 에너지경영시스템이란 「조직의 생산, 활동 및 서비스 과정에서 사용되는 각종 에너지의 효율성을 지속적으로 개선하기 위하여 조직 구성원 각 자가 절감하여야할 목표를 정하고 이를 달성하기 위한 인적·물적 자원 및 관리체제를 구축하는 활동」을 의미함.
- 즉, 조직이 원가절감을 위해 에너지효율향상 활동을 통합적이고 체계적인 경영전략으로 구축하여 전사적, 지속적으로 추진할 수 있는 기술측면과 경영측면의 조화된 에너지 관리시스템을 에너지경영시스템이라 함.

▌그림 2.238 에너지경영시스템의 구성▐

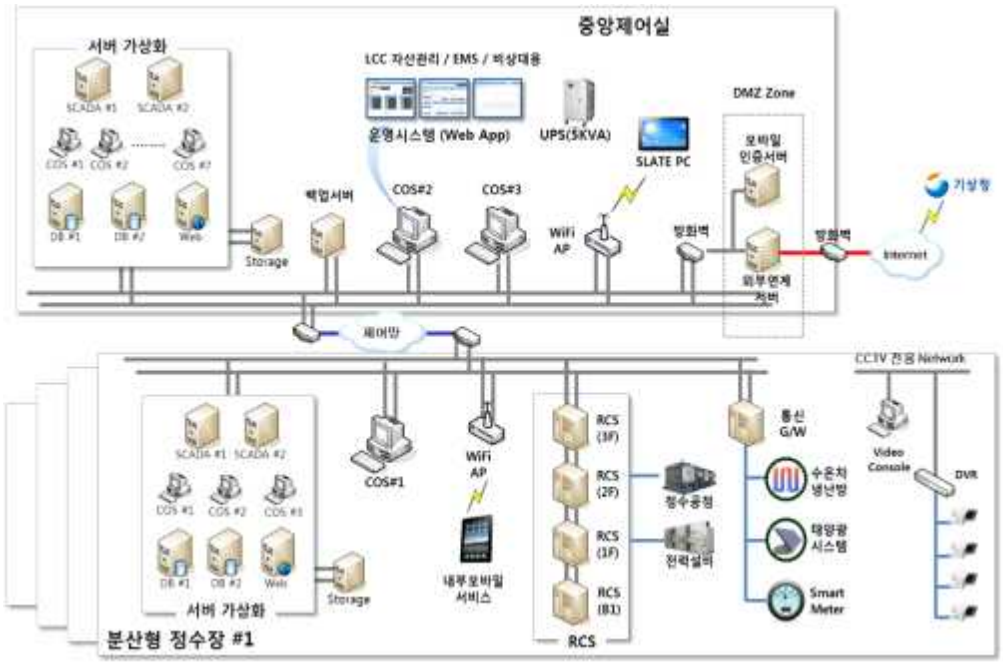
▌분산형 정수장에서 사용되고 생산되는 모든 에너지에 대해 통합 관리하는 시스템으로, 웹 어플리케이션으로 개발하였으며, 실증시설에 설치 및 운영하였음

① 에너지관리(EMS, Energy Management System) 개요

- 분산형 정수장에서 사용되고 생산되는 모든 에너지에 대해 통합 관리하는 시스템으로, 웹 어플리케이션으로 개발하였으며, 실증시설에 설치 및 운영하였음

② 시스템 아키텍처 구성

- 본 연구과제는 수직형 정수처리시설을 한 단위지역에 분산형으로 건설하여 용수공급의 안전성 및 안정적 확보를 위한 연구로서 여러 정수처리시설을 무인운전이 가능할 정도로 통합운영센터를 운영할 수 있는 환경으로 구성하였음



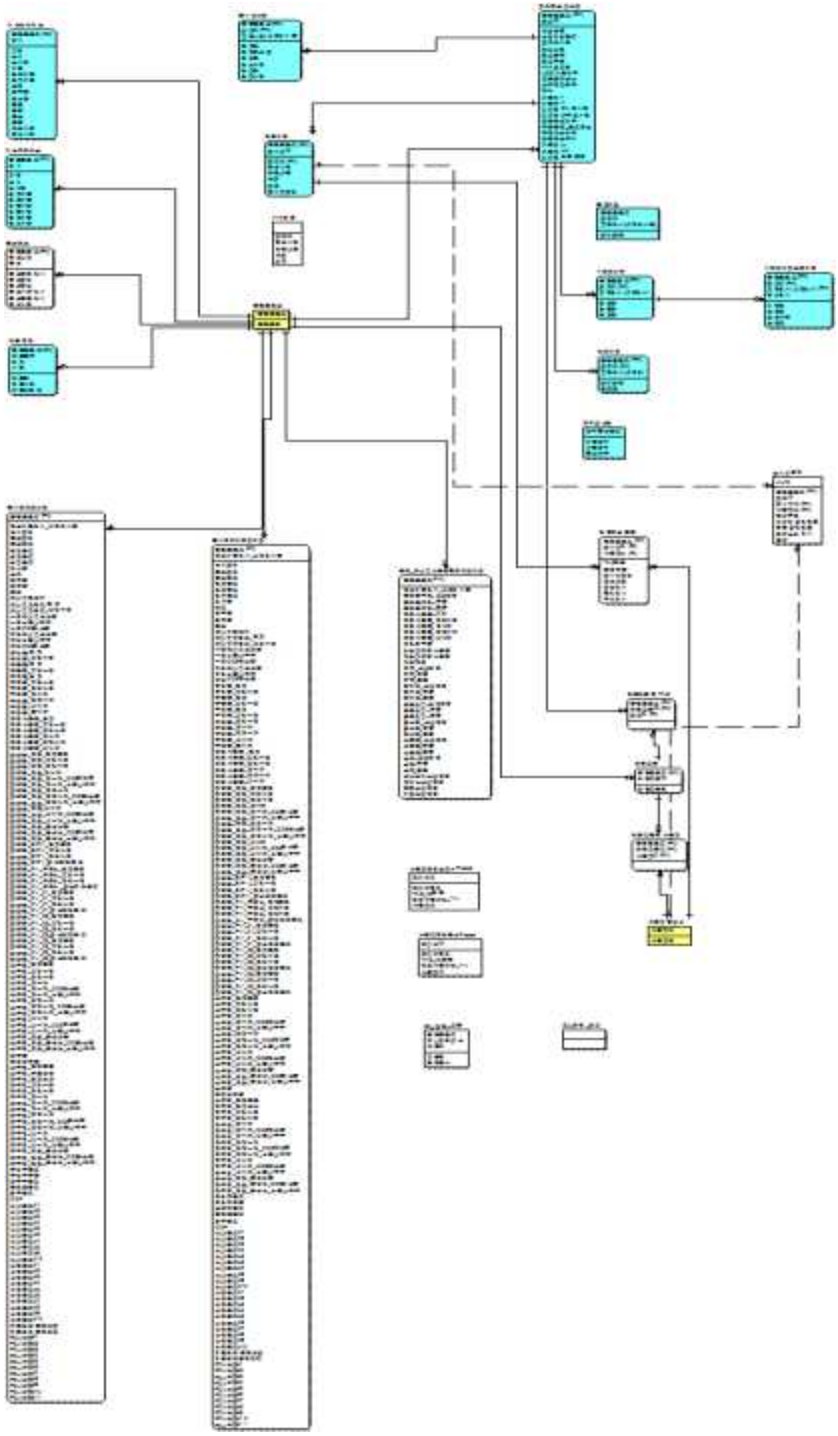
▌그림 2.239 에너지 관리시스템 아키텍처▐

③시스템 기능 정의

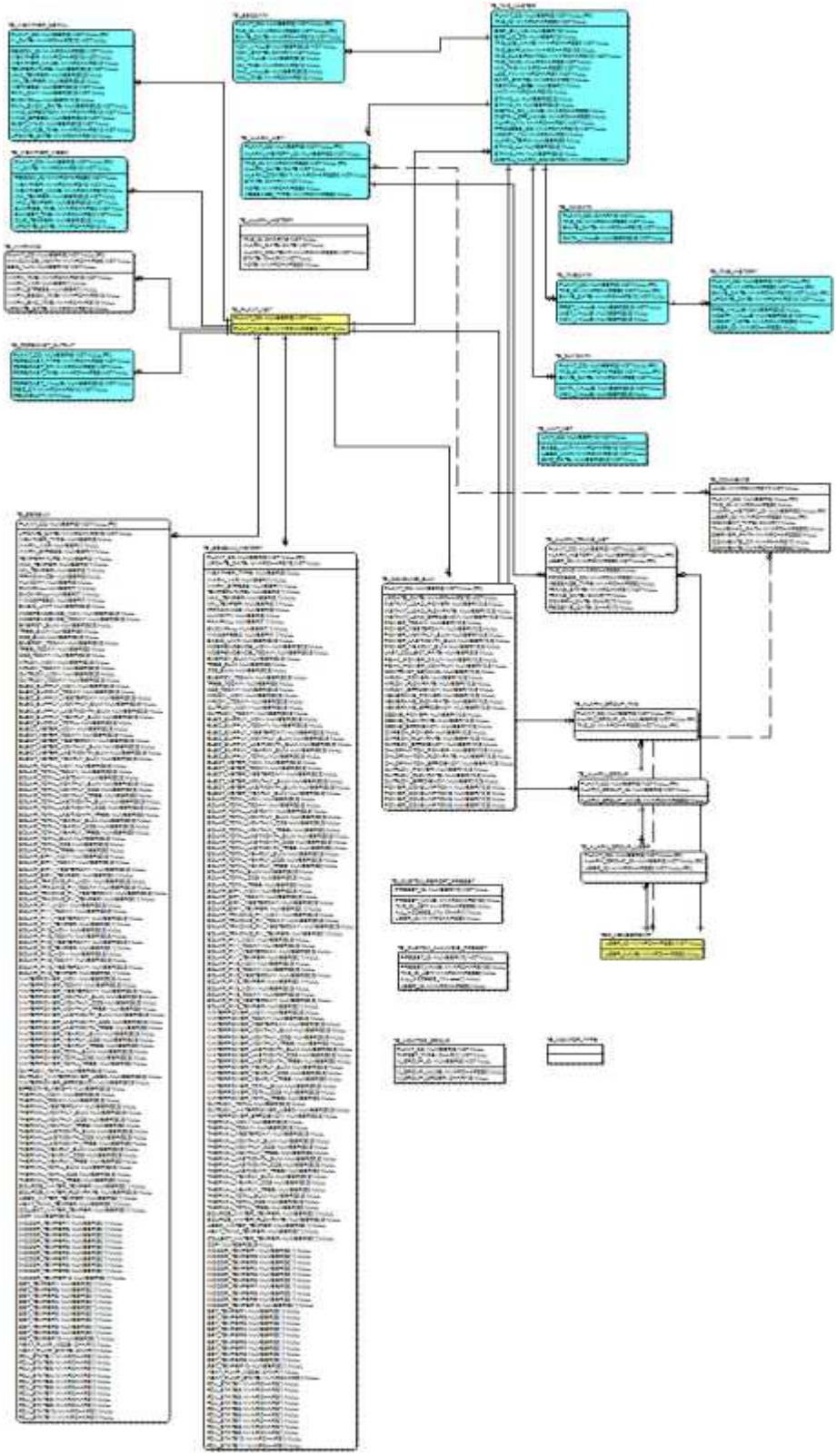
대기능	세부기능	기능설명
다종 에너지원 통합 모니터링	에너지 생산현황 Overview	하수처리장 전반의 에너지 관련 정보를 한눈에 보기 쉽게 대시보드 형태로 제공함. 태양광발전 및 소수력발전, 하수열 냉난방 등 신재생에너지 생산정보 및 전력 수전 및 사용량, 하수 유입/방류량, 주요 에너지 관련 알람발생정보, 현재 날씨, 에너지자립도, 에너지생산추이, 에너지원단위 등을 모니터링 할 수 있으며 과거 이력정보도 선택하여 조회 가능.
	태양광발전현황	현재 태양광 발전의 개소별/전체 출력 및 현재까지의 발전 현황, 패널별 온도, 발전 트렌드 모니터링.
	수온차생산현황	수온차 회수시스템의 생산 열량을 전력량(kW또는 kWh)로 환산하여 제공하며, COP등의 효율 정보, 원수와 축열조 온도, 실증시설 12개소의 FCU(Fan Coil Unit)의 운전/온도/설정 정보, 생산 트렌드 등을 실시간 모니터링.
	이벤트 현황	에너지 관리 설비 등에서 수집된 정보 중 사전에 '관리>태그정보관리' 기능에서 정의된 에너지 관련 정보 이벤트의 조회기능 제공.
다종 에너지원 운영현황 분석	에너지자립도	다종 에너지원을 통한 에너지 자립도를 월별, 일자별, 시간별로 조회할 수 있음. 별도로 금일, 전일, 월평균, 년평균, 년최대, 전년최대 자립도 정보도 제공하며 에너지자립도 계산 수식은 다음과 같다. $\text{자립도}(\%) = \frac{\text{태양광발전량} + \text{소수력발전량} + \text{하수열생산량}}{\text{하수처리장총전력사용량}} \times 100$
	신재생에너지 생산현황	다종 에너지원인 태양광, 수온차 생산량 정보를 트렌드그래프와 데이터 테이블 형태로 제공.
	태양광 발전현황	태양광 각 개소별 생산정보(옥상PV, 창호BIPV) 및 일사량(PV의 수평일사계 기준), 해당일시의 일기정보를 트렌드그래프와 데이터 테이블 형태로 제공.
	태양광 발전효율	태양광 각 개소별 전력 생산에 대한 발전 효율을 트렌드그래프와 테이블로 제공. 발전효율 계산방법은 다음과 같다. $\text{발전효율}(\%) = \frac{\text{현재발전출력}(kW)}{\text{패널최대발전용량}(kW)} \times 100$
	수온차 냉난방현황 및 효율	수온차 회수시스템의 시간별, 일별, 월별 평균 시스템COP 및 에너지생산량, 소비량 등의 에너지 정보와 외기온도, 원수온도, 사용한 원수유량 등을 트렌드그래프와 테이블로 제공. EMS에서의 COP 산정 단위는 열교환기, 히트펌프, 1사이클단위, 전체시스템 등 4가지이며, COP 계산방법은 다음과 같다. $COP = \frac{(\text{공급온도} - \text{회수온도}) \times \text{유량}}{\text{설비사용전력량}}$
	사용자정의 분석	설비 모니터링 항목을 기준으로 사용자가 원하는 태그를 선택하여(최대10개) 1분/5분/10분/30분/1시간/1일 단위로 원하는 정보를 트렌드그래프와 테이블로 조회하고 Excel로 저장할 수 있음.
보고서	에너지운전현황-일보	에너지 운전과 관련된 정보인 취수 유입/용수 방류량, 수전량, 다종에너지 생산량, 에너지자립도, 에너지원단위 등을 보고서 형태로 제공함
	에너지운전현황-월보	
	에너지운전현황-년보	
	사용자정의 보고서	설비 모니터링 항목을 기준으로 사용자가 원하는 태그를 선택하여(갯수제한없음) 1분/5분/10분/30분/1시간/1일 단위로 원하는 정보의 보고서를 조회하고 Excel로 저장할 수 있음
에너지절감 의사결정 지원기능	전체생산량 예측	일기예보 정보를 기준으로 금일기준 3일간은 시간단위, 7일간은 일단위로 다종에너지 생산량을 예측하여 제공함. 예측 방법은 통계적 알고리즘을 적용함.
	태양광 발전량 예측	날씨와 기온 등을 기준으로 태양광 전력 생산량과 일사량 등의 정보를 예측하여 제공함
	수온차 냉난방 생산량 예측	외기온도와 날씨를 기준으로 과거 해당 시간대의 수온차 생산량을 분석하여 원수수온, 축열조수온, 생산량 등을 예측하여 제공함.
	기상예보 현황	기상청에서 XML웹서비스로 제공받은 일기예보 정보를 조회함.
시스템 관리 (관리자용)	태그정보 관리	설비 모니터링 항목을 EMS의 관리대상으로 등록/관리 하는 기능. 각 태그별 Grouping 정보 및 부가설명, 구분, 알람발생 조건을 설정.
	측정데이터 보정	노이즈로 인해 발생하는 이상 측정값을 수정하기 위한 기능. 1시간단위 데이터를 대상으로 값을 수정할 수 있으며, 수정된 이력도 함께 관리됨.
	사용자 관리	시스템을 사용할 수 있는 사용자 정보를 관리하며 일반사용자/시스템관리자로 나누어 권한을 부여함.

④ 데이터베이스 설계

- 정의된 각 기능들에서 관리되어야 할 데이터들에 대해 정의하고, 정규화 프로세스에 의해 정규화 하였음



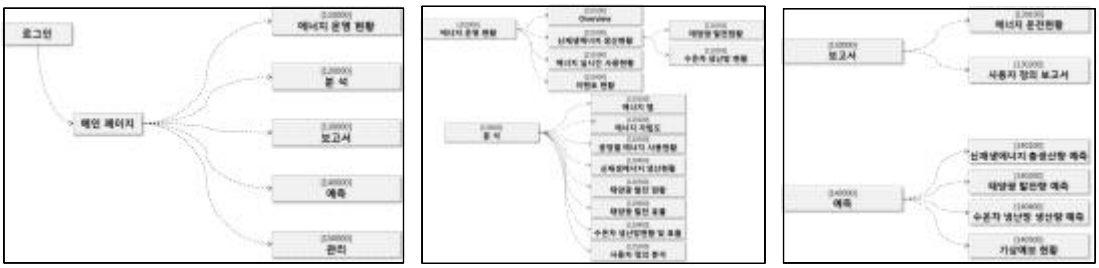
▌그림 2.240 에너지관리 데이터베이스 개념설계 결과▐



▌그림 2.241 에너지관리 데이터베이스 물리설계 결과▐

⑤ 네비게이션 정의

▪ 시스템을 사용하는 사용자가 프로그램을 처음 접근하여 각 업무를 처리하면서 링크(URL) 클릭 및 버튼 클릭 등을 이용할 수 있는 화면의 이동경로를 정의하였음



▌그림 2.242 에너지관리 내비게이션 흐름도▐

⑷ 비상대응 시스템

(가) 비상대응시스템의 정의 및 범위

▌정의) 용수공급에 있어서 비상대응시스템이라 함은 "인위적(수질오염사고, 테러 등) 또는 자연현상(가뭄, 지진 등)에 의해 발생하는 재난에 의한 비상상황에 대해 이를 사전 감지 하여 조치하고 사후 신속한 대처에 통해 원활한 용수공급이 이루어 질 수 있도록 하는 시스템"

【국가 비상대응관련 법안 및 지침】

재난 및 안전관리 기본법(개정 2010.6.8)

제3조(정의)
1. "재난"이란 국민의 생명·신체·재산과 국가에 피해를 주거나 줄 수 있는 것으로서 다음 각 목의 것을 말한다.
가. 태풍, 홍수, 호우(豪雨), 강풍, 풍랑, 해일(해일), 대설, 낙뢰, 가뭄, 지진, 황사(황사), 적조(적조), 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해
나. 화재, 붕괴, 폭발, 교통사고, 화생방사고, 환경오염사고, 그 밖에 이와 유사한 사고로 발생하는 대통령령으로 정하는 규모 이상의 피해
다. 에너지, 통신, 교통, 금융, 의료, 수도 등 국가기반체계의 마비와 전염병 확산 등으로 인한 피해

취·정수장 오염물질 유입시 행동 매뉴얼(환경부, 2009.11)

▪ **위기대응 목표**
시스템 붕괴사고 시에도 일상생활에 필요한 최소한의 용수를 공급하고 수도시스템의 안전성 및 안정성 확보를 목표
- 비상급수시스템 총 가동, 단수 피해 최소화 주력
- 유관기관 간 긴밀한 협조체계 가동
- 신속한 대응조치 및 응급복구, 주민피해 최소화
- 피해확산방지를 위한 긴급조치 및 상황전파

▪ **위기의 형태**

가뭄 등 용수부족	홍수·태풍·지진 등 시설/설비의 파괴	수질 악화/이상/오염	테러 발생	전산/시스템 운영 중단

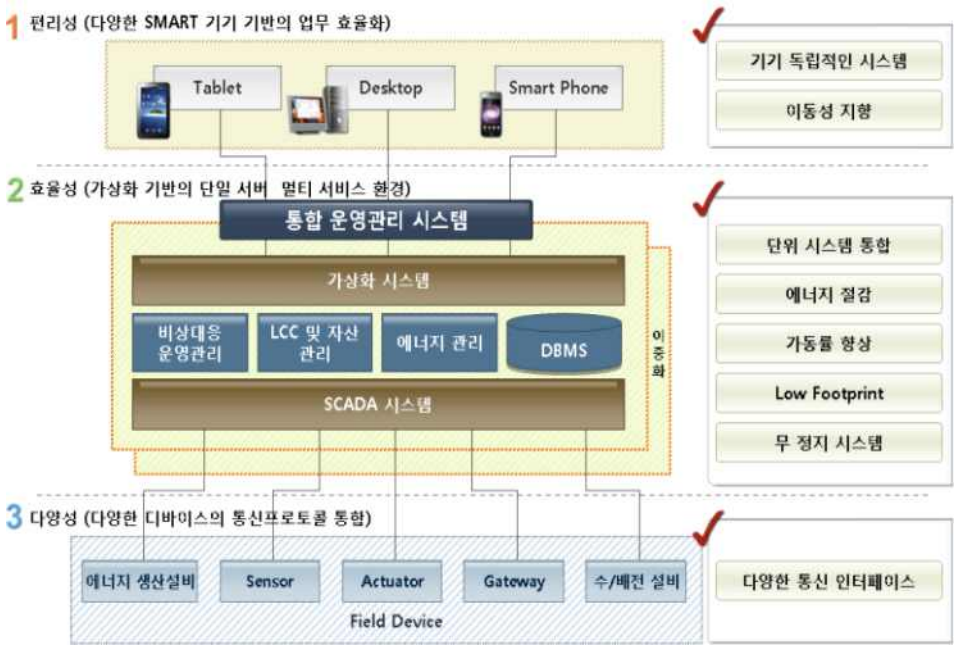
▌목표) 용수공급에 영향을 미치는 요인(인위적, 자연현상)의 사전감지 및 사후대처를 통해 원활한 용수공급이 이루어 질 수 있도록 하기 위함

▌범위) 본 연구에서 비상대응시스템의 구축범위는 원수의 이상수질, 시설물 테러 등 용수공급시스템에 영향을 미치는 인자의 모니터링 및 가뭄, 지진 등 국가 자연재해 경보와 연계한 위기감지 및 취수대응, 정수처리시스템 비상운영 및 저류시설 및 보조수원을 활용한 대응을 범위로 함

- 가뭄 등 용수부족 → 비상저류조 활용
- 홍수, 태풍, 지진 등에 의한 시설/설비의 파괴 → 비상 저류조 및 비상급수 활용
- 수질악화/이상/오염 → 오염물질 사전 감지 및 파단, 비상저류조 활용
- 테러 → 빌딩형 수처리시설의 도입에 따른 효과적인 경비/보안이 가능
- 전산/시스템 운영 중단 → 비상저류조 및 비상급수 활용

(나) 비상대응시스템 구축 전략

▌통합운영관리시스템의 구성에 있어서 비상대응시스템은 비상상황이 발생하는 경우에도 안전하고 안정적인 용수공급이 이루어질 수 있도록 대응하기 위한 시스템으로서 다음과 같은 전략으로 구축함



▌그림 2.243 통합운영관리시스템 구성 및 개발전략▐

▌비상대응시스템의 구성은 모니터링(monitoring), 감지(detection), 대응(Response) 3단계로 구분함

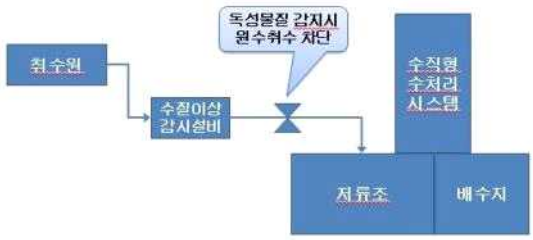
- 비상대응시스템은 수질 및 수량적 각종 센서에 의한 통상적인 모니터링을 설치하여 운영하는 모니터링 모듈과 통상적인 모니터링에서 사전에 설정된 데이터범위를 벗어난 상황을 감지하는 모듈, 이를 적절하게 해소하는 대응모듈 등 3단계로 구분하여 구성함

▌그림 2.244 비상대응시스템 구성 및 개발전략▐

- 비상대응 운영관리 시스템은 정수장 운영에 있어서 가장 중요한 안정적인 용수공급을 위해 구축되는 시스템으로 원수 취수부터 비상용수 관리상태, 정수장 수질운영 상황, 비상급수 체계, 비상상황 발생시의 대응 매뉴얼 등 정수장과 관련된 모든 사항을 포함 하며, 3세부과제 주관기관인 K-Water에서 비상대응과 관련된 알고리즘 설계 및 프로그램 개발 방안을 마련하여 실제 프로그램으로 개발하였음

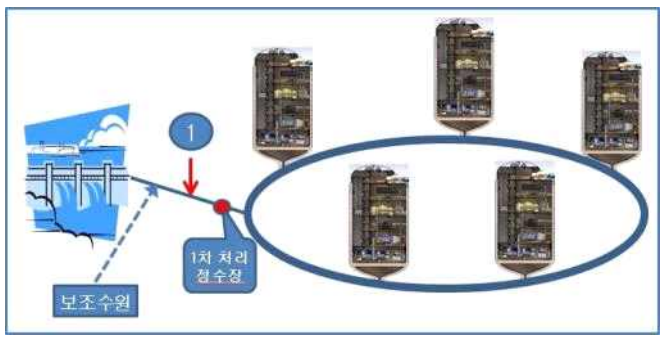
① 비상대응시스템 개념 및 시나리오별 대응 전략

▌해당 실증시설의 저류조 규모는 1세부과제 '비상용수 확보량 산정 방법론 개발'을 통해 산정된 비상용수량 산정 결과에 근거하여 결정



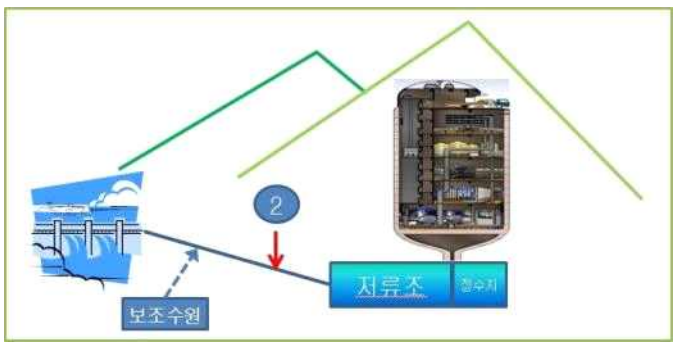
▌그림 2.245 비상대응시스템 개념도▐

- **시나리오 1)** 국내의 광역상수도 시스템과 유사하게 취수원으로부터 대구경 도수관로를 이용하여 원수를 공급받는 분산형 용수공급시스템에서의 수질모니터링 시스템의 배치는 아래와 같음 (신도시 또는 재개발 대상지역에 적합)



▌그림 2.246 수질모니터링 시스템 배치 1▐

- **시나리오 2)** 독자적으로 용수공급시스템이 구축된 지역에 분산형 용수공급시스템을 도입할 경우수질모니터링 시스템의 배치는 아래와 같음 (도서 및 산간 지역)

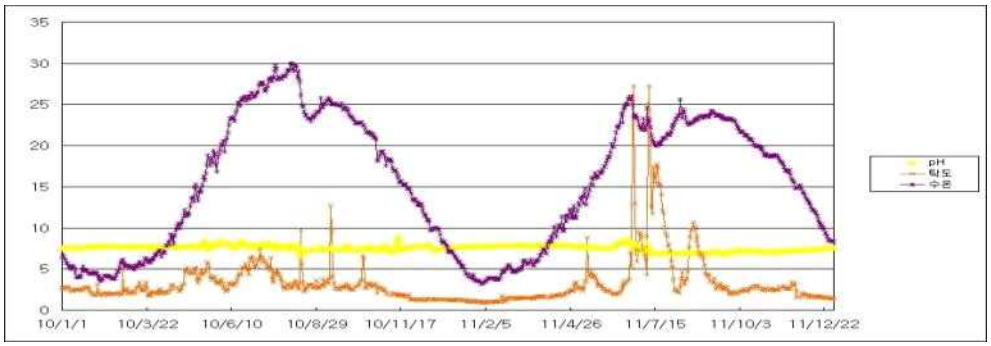


▌그림 2.247 수질모니터링 시스템 배치 2▐

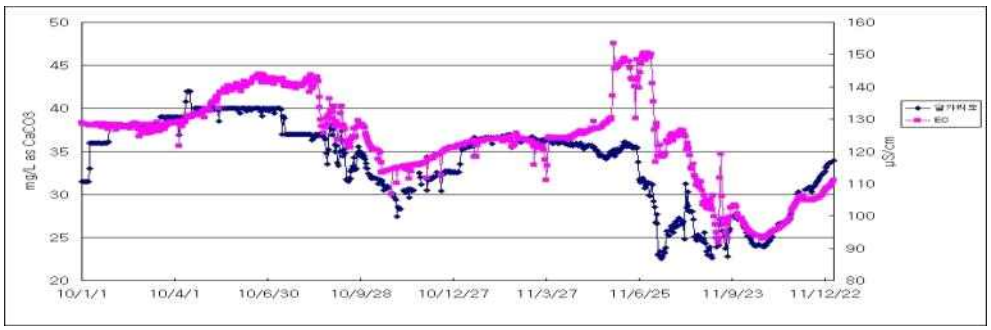
▌ 실증시설 설치 대상지역의 수질분석) 청주정수장 2010~2011

- 아래의 그래프는 실증시설의 설치 대상지역인 청주정수장의 2010년부터 2011년까지의 착수정에서의 원수수질을 나타낸 그래프임

- **pH)** 해당 원수의 수소이온 농도는 2010년 평균 7.69, 2011년 평균 7.47의 값을 보임 대체로 pH 6.59에서 9.02 범위이며 특별히 계절적 특성을 나타내지는 않음
- **수온)** 수온은 2010년 평균 16.01℃, 2011년 15.01℃이며 연중온도가 가장 낮은 2월에 수온 역시 최저 3℃를, 여름에 해당하는 7,8월에 최고 수온인 26~30℃를 기록하였으며, 또한 두해 모두 여름철 장마기간에 평시대비 약 5℃ 정도의 수온하강을 확인 할 수 있음
- **탁도)** 호소수를 원수로 이용하는 청주정수장은 하천수를 원수로 사용하는 다른 수계의 원수보다 비교적 깨끗한 수질을 나타냄. 따라서 평균 3.01~3.52 NTU, 여름철 장마기간에 2010년 12.77, 2011년 27.28 NTU의 최고탁도를 기록하였음. 또한 두해의 수질데이터를 비교해본 결과 2011년이 2010년에 비하여 최고수온이 낮은 반면 최고탁도가 높아 장마기간이 보다 길고 강우량이 많았음을 알 수 있음
- **전기전도도)** 2010년 106.81~144.03 μS/cm 의 범위이며 평균 129.28 μS/cm, 2011년 91.67~153.36 μS/cm 의 범위, 평균 117.78 μS/cm 의 값을 보임. 또한 여름 장마기간인 7~8월에 탁도와 함께 최대값을 보임
- **알칼리도)** 2010년 27.47~42.0 mg/l as $CaCO_3$ 의 범위이며 평균 36.48 mg/l as CaCO3, 2011년 22.56~37.05 mg/l as $CaCO_3$ 의 범위, 평균 31.49 mg/l as $CaCO_3$ 의 값을 나타냄



(a) pH, 탁도, 수온



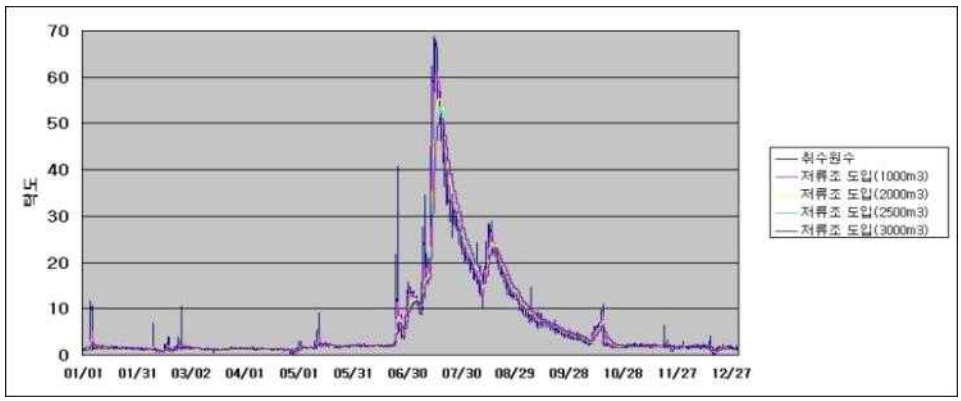
(b) 알칼리도, EC

▌그림 2.248 원수 수질현황 (청주정수장)▐

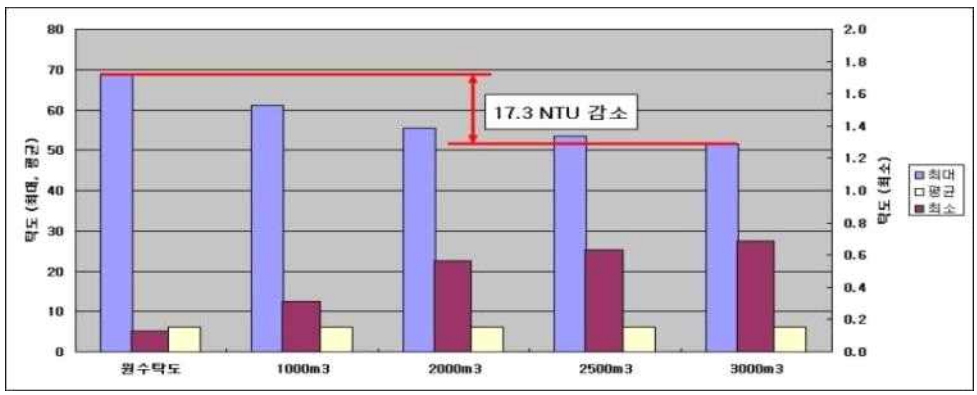
▌2011년 청주정수장의 시간별 원수데이터를 기준으로 원수 저류조를 1000㎥, 2000㎥, 2500㎥, 3000㎥ 규모로 설치 시 공정유입수 탁도를 모의

▌ 저류조 도입을 통하여 초기 취수원수 탁도 대비 최대 75% 정도의 공정유입 탁도의 저감 효과를 기대 (원수 탁도 최대 68.79 NTU → 저류조 3000㎥ 설치시 최대 51.5 NTU)

- 원수의 처리공정으로의 직접유입에 비하여 저류조 설치에 의한 설계탁도를 감소시킬 수 있어 기존 설비대비 시설의 규모를 축소할 수 있음
- 실증시설의 주처리 공정인 막여과공정에 오염물질의 유입부하량을 감소시켜 기존 대비 세정주기의 연장을 포함한 공정 운전상의 긍정적인 효과를 기대할 수 있음



▌그림 2.249 저류조 도입 시 유입수 탁도 모의 1. (청주정수장)▌



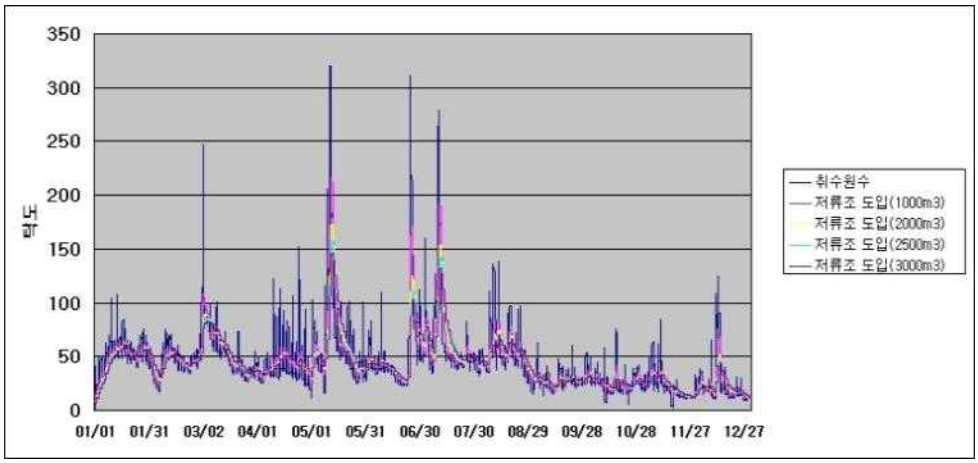
▌그림 2.250 저류조 도입 시 유입수 탁도 모의 2. (청주정수장)▌

▌ 고탁도 유입지역의 탁도 모의 예시 (구미정수장)

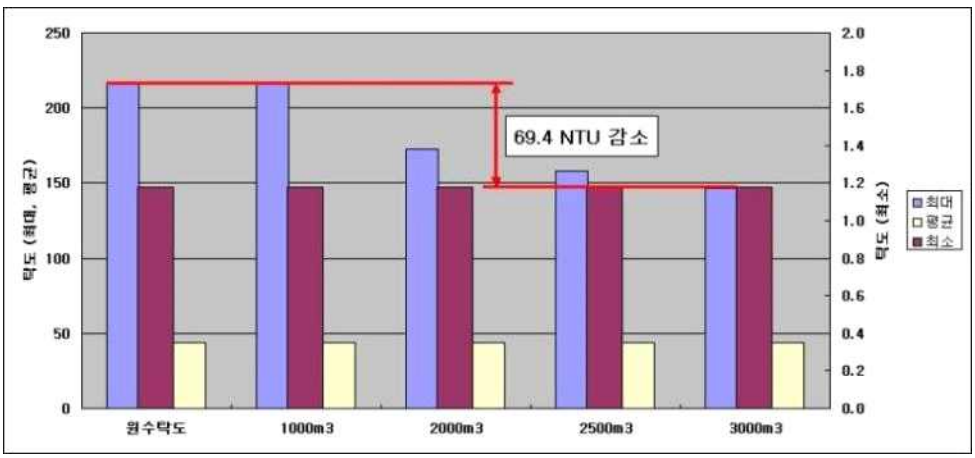
- 연중 수질변화가 급격한 낙동강수계의 2011년 구미정수장의 시간별 원수데이터를 기준으로 원수 저류조를 1000㎥, 2000㎥, 2500㎥, 3000㎥ 규모로 설치시 공정유입

수 탁도 모의

- 저류조 도입을 통하여 초기 취수원수 탁도 대비 최대 68% 정도의 공정유입 탁도의 저감 효과를 기대 (원수 탁도 최대 215.9 NTU → 저류조 3000㎥ 설치시 최대 146.5 NTU)
- 설계탁도의 감소로 설비규모의 축소, 막여과 설비의 세정주기 연장, 비교적 안정적인 투과플럭스를 유지할 수 있을 것으로 기대



▌그림 2.251 저류조 도입 시 유입수 탁도 모의 1. (구미정수장)▐



▌그림 2.252 저류조 도입 시 유입수 탁도 모의 2. (구미정수장)▐

② 비상대응 운영관리 시스템 구축전략 및 설계

- 비상대응 운영관리 시스템은 정수장 운영에 있어서 가장 중요한 안정적인 용수공급을 위해 구축되는 시스템으로 원수 취수부터 비상용수 관리상태, 정수장 수질운영 상황, 비상급수 체계, 비상상황 발생시의 대응 매뉴얼 등 정수장과 관련된 모

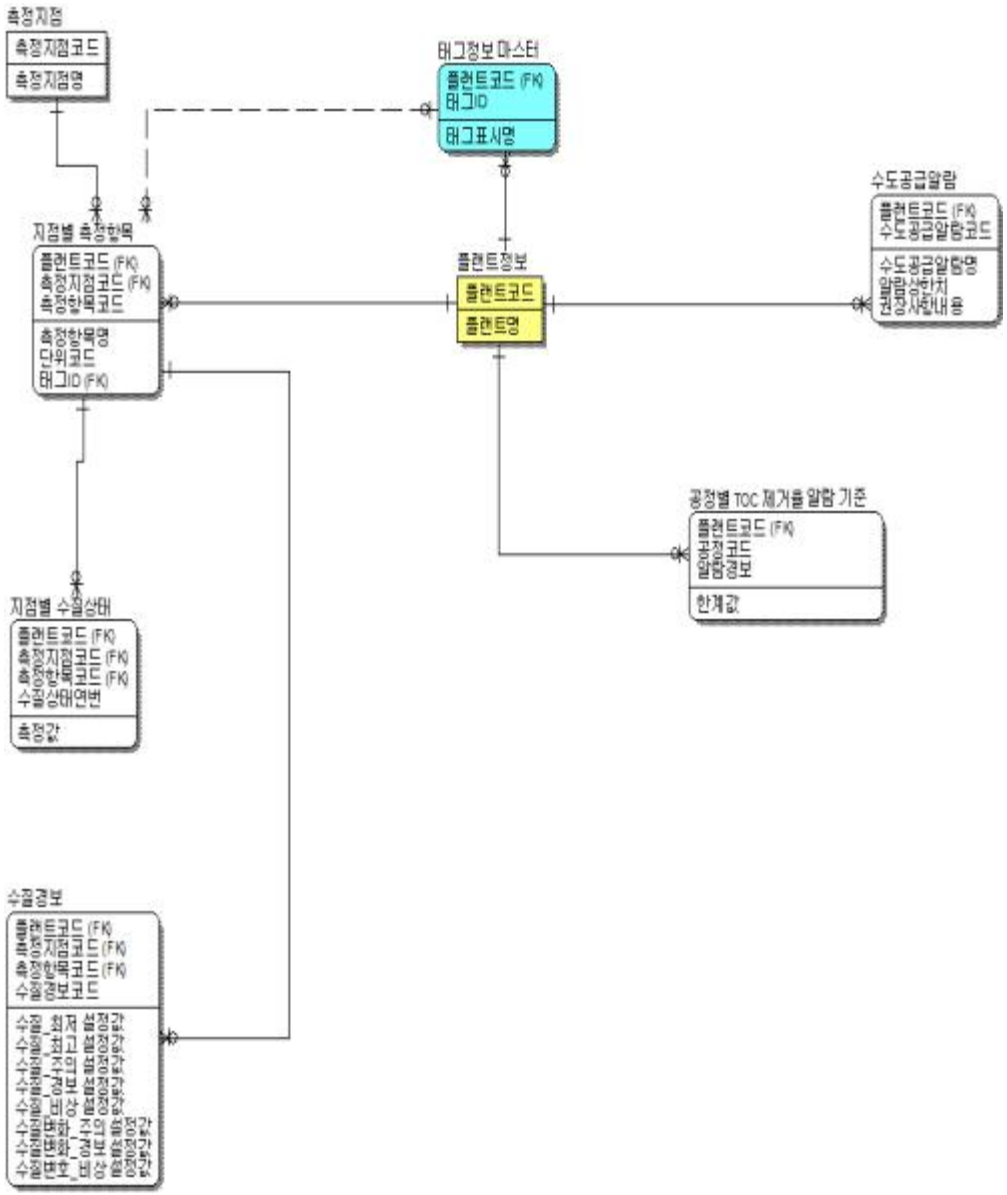
든 사항을 포함 하며, 3세부과제 주관기관인 K-Water에서 비상대응과 관련된 알고리즘 설계 및 프로그램 개발 방안을 마련하여 실제 프로그램으로 개발하였음

㉮ 시스템 기능 정의

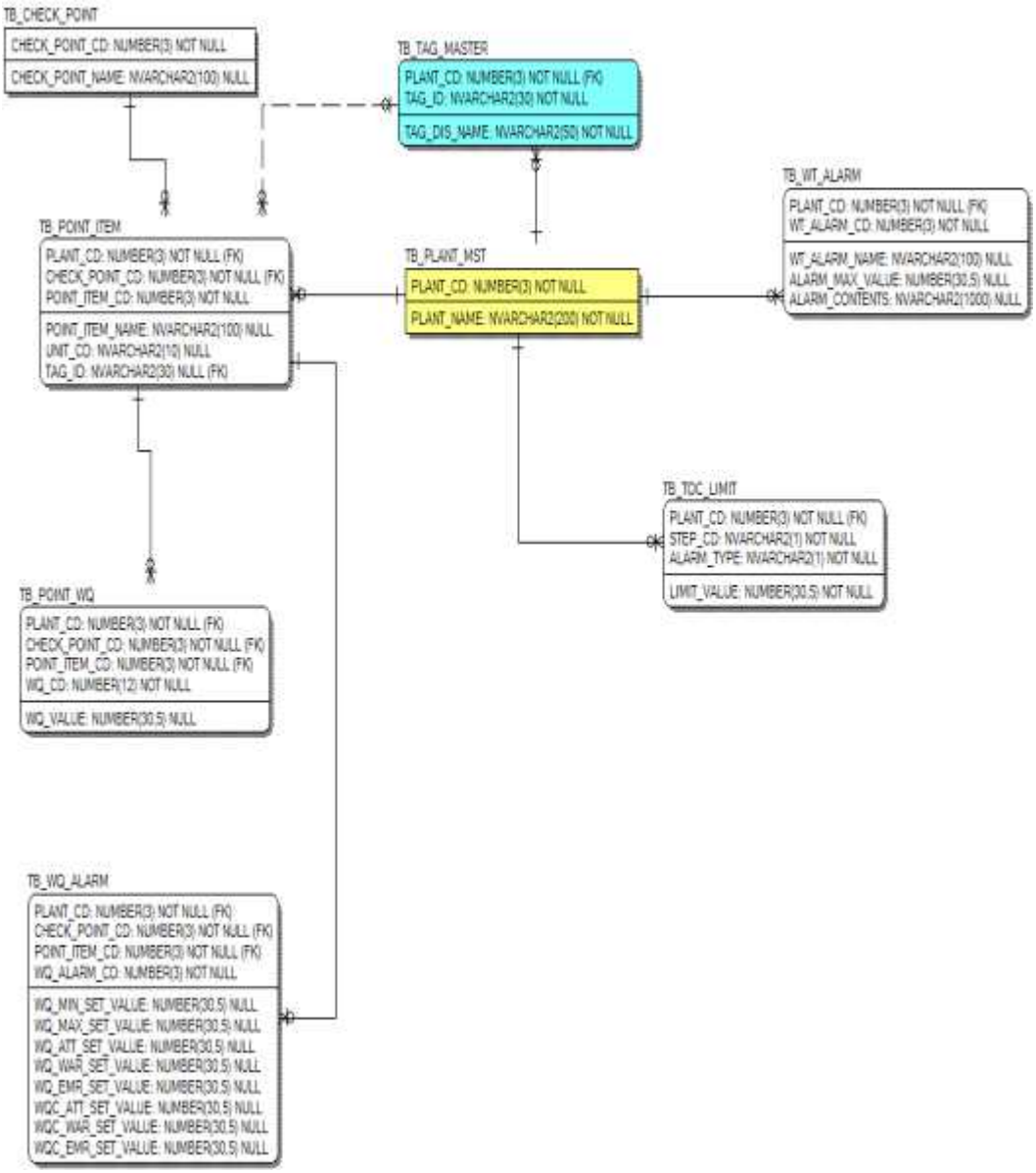
대기능	세부기능	기능설명
유역 종합 정보	유역종합정보	정수장 원수 취수지의 항공사진을 바탕으로 수질측정망 및 타 정수장 취수지 위치 등을 표시 하며, 각 수질측정망 및 취수지간의 거리 및 유량 이용시간 등을 기록관리 함 ※ 실제 프로그램으로는 구현하지 않으며, 이미지만 기록
	지점별 수질 상태	지도에서 선택한 지점의 수질상태를 차트로 팝업 조회하고 수질은 탁도, pH, TOC, 조류, EC를 표시
	지점별 강우 현황	지도에서 선택한 지점의 강우현황을 차트로 팝업 조회
	지점간 수질 현황	지도에 표시된 전체지점의 수질 상태 및 강우현황을 차트로 조회하고 수질은 탁도, pH, TOC, 조류, EC를 표시
이상수질 모니터링	이상수질 모니터링	측정 수질별 실시간 수질을 표시하고 알람로그 정보를 하단에 표시
비상용수량 모니터링	비상용수량 모니터링	비상용수의 저류 용량을 모니터링
공정 성능 분석	공정 성능 모니터링	고도처리 공정의 처리효율을 모니터링
	오존소모량 감시	오존 소모량을 차트로 팝업 표시
	오존 및 과산화수소 주입량 감시	최적 주입량 대비 실제 주입량을 차트에 표시하여 팝업 표시
	고도처리 공정 오염물질 제거 효율	공정별 TOC 및 공정별 TOC 제거량 및 제거율을 차트로 팝업 표시
수질상관관계분석	수질상관관계분석	측정 수질 2가지에 대해 상호 상관관계를 분포표 차트로 조회
수질이력	수질이력	기간별로 측정수질의 이력을 꺽은석 차트로 조회
기준정보 관리	수질경보 설정	수질별로 주의, 경보, 비상의 하한치 값을 관리하며, 수질 변화량의 주의, 경보, 비상의 하한치 값을 관리
	수도공급 알람	비상용수량의 알람을 관리하기 위해 비상용수의 공급가능 시간의 하한치 값을 관리

㉰ 데이터베이스 설계

- 정의된 각 기능들에서 관리되어야 할 데이터들에 대해 정의하고, 정규화 프로세스에 의해 정규화 하였음



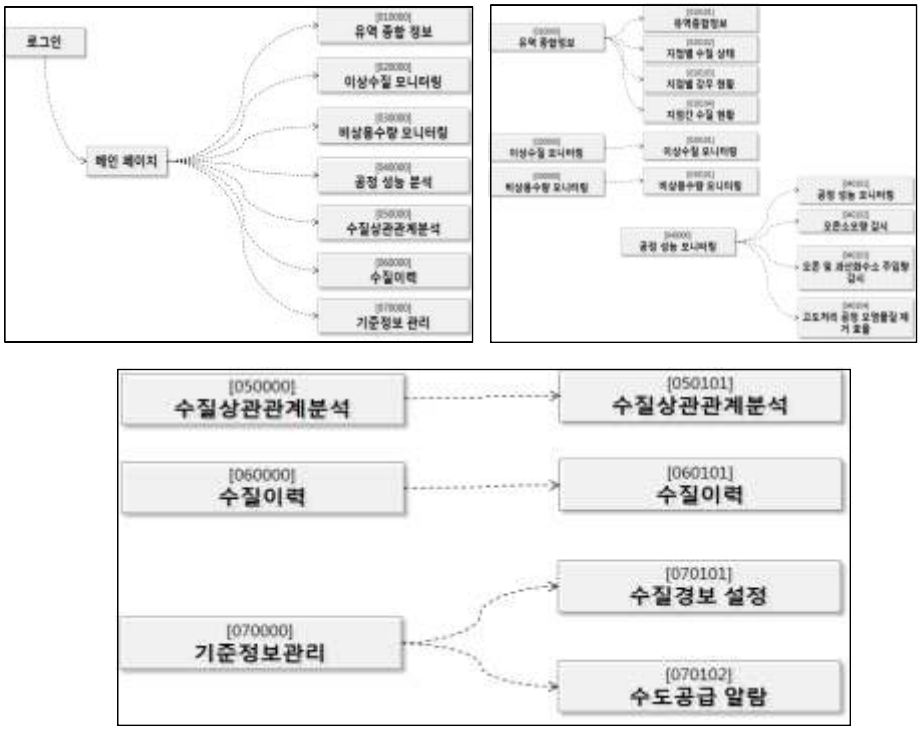
▌그림 2.253 비상대응 운영관리 데이터베이스 개념설계 결과▐



▌그림 2.254 비상대응 운영관리 데이터베이스 물리설계 결과▐

(3) 네비게이션 정의

- 시스템을 사용하는 사용자가 프로그램을 처음 접근하여 각 업무를 처리하면서 링크(URL) 클릭 및 버튼 클릭 등을 이용할 수 있는 화면의 이동경로를 정의하였음



▌그림 2.255 비상대응 운영관리 내비게이션 흐름도▐

(5) 막여과 유량변동 대응 시스템

(가) 연구개요 및 방법론

▌연구 개요) 막여과 및 연계 수처리 공정(응집 등)의 유량변동 영향 분석

- 막여과 공정의 유량변동과 연계한 분산형 용수공급시스템(정수처리 시스템) 운영 알고리즘(방법론) 개발

▌연구 내용

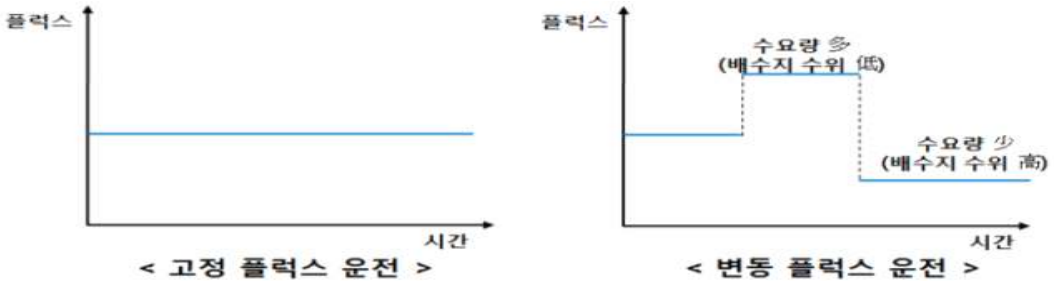
- 막여과 플럭스 변동에 의한 유량변동 상황을 고려: 분산형 용수공급시설의 최대 단점인 시설비 증가를 최소화하기 위함
- 막여과 플럭스를 변동시켰을 때, 막여과 공정의 영향을 분석하는 성능평가 알고리즘 개발

▌연구 방법론

- 막여과 운전 비교: 고정 플럭스 운전과 변동플럭스 운전을 비교
  - 고정 플럭스 운전: 일반적인 막여과 정수시스템에서 채용하는 방식으로 생산량

을 일정하게 유지하면서 운전

- 변동 플럭스 운전: 수요량, 계열별 세척주기 등 다양한 이유에 따라 플럭스를 변동하면서 운전



▌그림 2.256 막여과 운전 비교▐

▪ 평균 플럭스는 고정 플러스 실험과 동일한 조건

- 변동 한계: 2차년도에 개발 완료된 알고리즘을 이용하여 3차년도에 결정할 예정
- 실증시설과 연계 : 테스트베드의 계열별 유량변동 시나리오의 안정성 검토

→ 3차년도: 시뮬레이션을 이용한 검토, 4차년도: 테스트베드 운전결과 평가

(나) 막여과 공정의 생산유량 변동에 따른 성능변화 분석(문헌조사)

▌막여과 공정과 타 정수처리공정의 유량변동에 따른 생산수 수질 영향: 막여과 공정 외에는 유량변동이 수질변화에 악영향을 미침

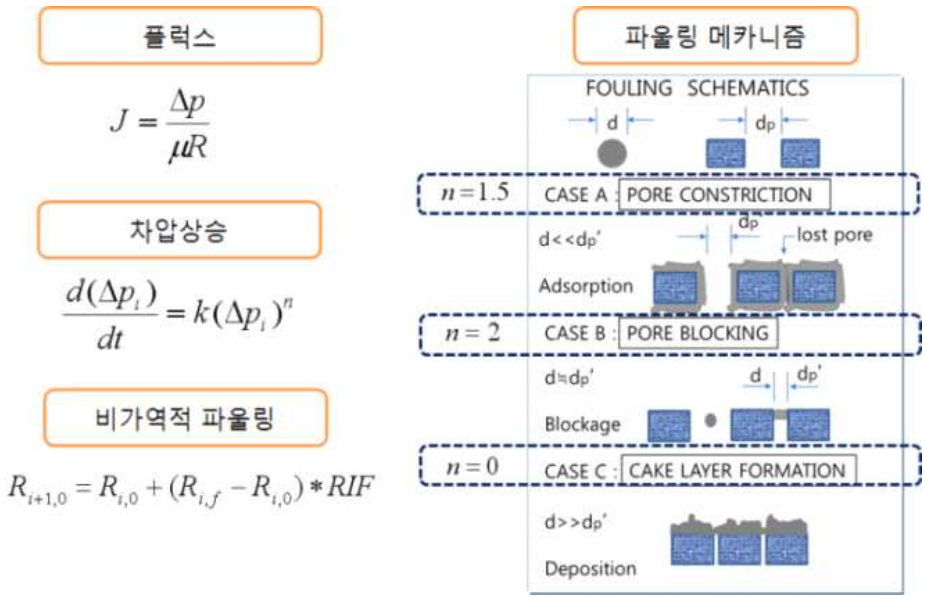
Unit Process	Q_p[1] > Q_d[2]	Q_p < Q_d
Coagulation/ Flocculaton	Coagulant underdosing, and non-optimized mixing condition → Lowering water quality	Coagulant overdosing, and non-optimized mixing condition → Lowering water quality
Sedimentation	Increased surface loading rate → Lowering water quality	Decreased surface loading rate → Raising water quality
Media Filtration	Increased hydraulic loading rate → Lowering water quality	Decreased hydraulic loading rate → Raising water quality
PAC[3]	PAC underdosing and decreased contact time → Lowering water quality	PAC overdosing and increased contact time → Raising water quality
GAC[4]	Decreased EBCT[5], and increased hydraulic loading rate → Lowering water quality	Increased EBCT[5], and decreased hydraulic loading rate → Raising water quality
Ozone	Ozone underdosing and decreased contact time → Lowering water quality	Ozone overdosing and increased contact time → Raising water quality
UV radiation	Decreased radiation efficiency and contact time → Lowering water quality	Increased radiation efficiency and contact time → Raising water quality
Membrane (MF[6]/UF[7])	Increased permeate flux → Negligible effect on water quality	Decreased permeate flux → Negligible effect on water quality

[1] Water production rate
[2] Designed water production rate
[3] Powdered activated carbon
[4] Granular activated carbon
[5] Empty bed contact time
[6] Microfiltration
[7] Ultrafiltration

▌그림 2.257 유량 변동에 따른 정수처리 공정의 생산 수질 변화▐

▌정유량 막여과의 파울링 모델

▪ 복잡한 현장 데이터 예측 및 모사가 가능하도록 가장 간단한 수식 적용

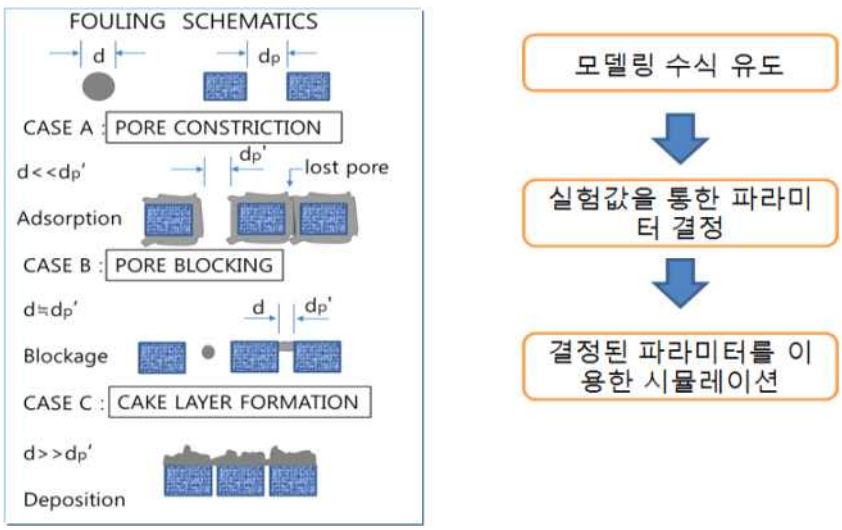


▌그림 2.258 정유량 막여과의 파울링 모델▐

(다) 막여과 공정의 생산유량 변동에 따른 성능변화 분석(모델링)

▌ 막여과 플럭스 변동에 따른 파울링 모델링 순서

- 관련 알고리즘 : Pore constriction, Pore blocking, Cake layer formation



▌그림 2.259 파울링 모델링 순서 ▐

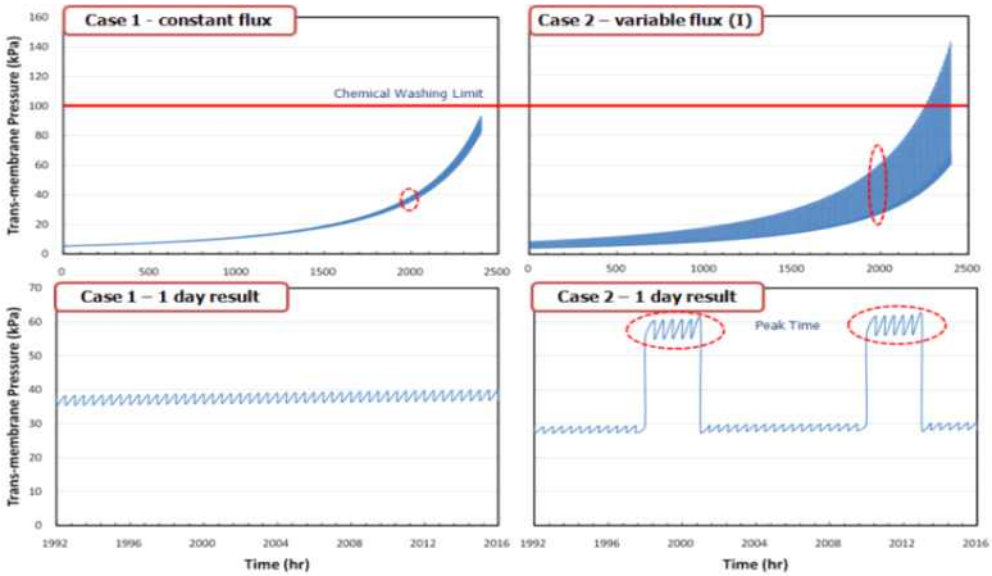
▌1차 시뮬레이션 (Ver. 0.7)

Simulation conditions for MF operation		
Flux model[1]		$J = \frac{\Delta p}{\mu R}$
Fouling model[2]		$\frac{d(\Delta p_i)}{dt} = k(\Delta p_i)^n$
Irreversible fouling[3]		$R_{i+1,0} = R_{i,0} + (R_{i,f} - R_{i,0}) * RIF$
Operation mode		29 minutes for filtration and 1 minute for backwash per each cycle
Simulation time		2400 h (100 days)
Boundary condition[4]		Q= 1,000 m^3/d, μ = 0.00089 Pa·s at 25°C, $R_{1,0}$= 5.0×10^{11}m^{-1}, n = 1.5 (pore constriction), k = 2.40×10^{-7} Pa$^{-0.5}$s^{-1} RIF = 0.01
Specific condition[5]	Case 1	J = 1.0 m/d, A = 1,000 m^2
	Case 2	J = 0.8 m/d for 18 hours a day, 1.6 m/d for 6 hours a day, A = 1,000 m^2

1 Darcy's Law; J: permeate flux (m/s), Δp: trans-membrane pressure (Pa), μ: the dynamic viscosity of water (Pa·s), and R: total resistance of membrane (m^{-1})
2 A generalized equation for constant flux MF operation [1, 2, 3]; Δp_i: trans-membrane pressure (Pa) at ith cycle, t: time (s), k: equation parameter (Pa^{1-n}/s), n: fouling characteristic parameter (n=0 for cake filtration, n=1.5 for pore constriction, and n=2 for complete blockage process
3 Irreversible fouling can be calculated by the increment of resistance which is not cleaned by backwash process; $R_{i,0}$: total resistance of membrane at the beginning of ith cycle, $R_{i,f}$: total resistance of membrane at the end of ith cycle, and RIF: ratio of irreversible fouling
4 Common simulation condition for all the cases; Q: Average water production rate (m^3/d)
5 Specific simulation condition for each case; A: Total area of the installed membranes (m^2)

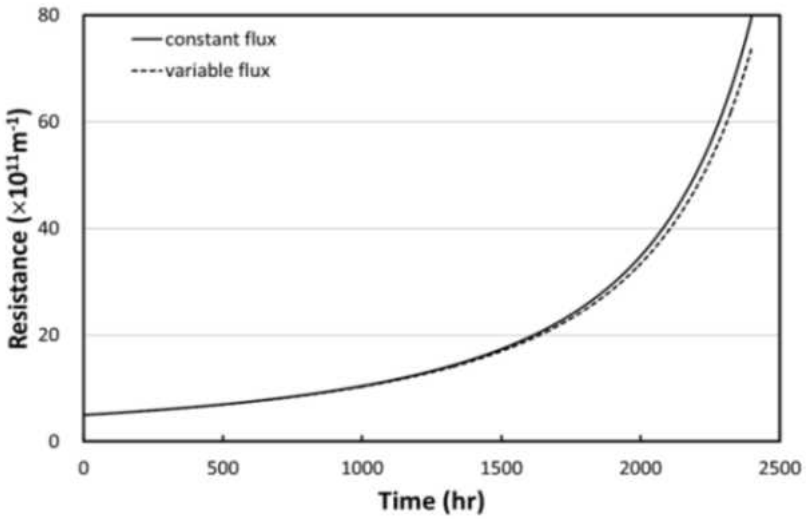
▌그림 2.260 1차 시뮬레이션 조건 ▐

- Case 1(고정 플럭스 운전) : 하루 종일 $J = 1.0 m/d$ 로 운전
- Case 2(변동 플럭스 운전) : 하루 중 18시간은 $J = 0.8 m/d$, 나머지 6시간은 $J = 1.6 m/d$로 운전



▌그림 2.261 1차 시뮬레이션 결과 ▐

- 1차 시뮬레이션 결과상으로는 플럭스 변동 시에 파울링 발생 정도의 차이가 크게 없는 것으로 나타남



▌그림 2.262 플럭스에 따른 막 저항값 ▐

▌ 막여과 공정의 생산유량 변동에 따른 성능변화 분석(검증실험 및 모델링 업데이트)
(2차 시뮬레이션 (Ver. 0.95)

- 1차 시뮬레이션에는 파라미터를 단순 가정하여 결정하였기 때문에 실제 막여과 공정을 정확하게 모사한다고 볼 수 없음
- 실제 공정을 모사할 수 있도록 파라미터를 추정할 수 방법론을 개발함

기본 수식 $J = \frac{\Delta p}{\mu R}$ $\frac{d(\Delta p_i)}{dt} = k(\Delta p_i)^n$

$R_{i+1,0} = R_{i,0} + (R_{i,f} - R_{i,0}) * RIF$

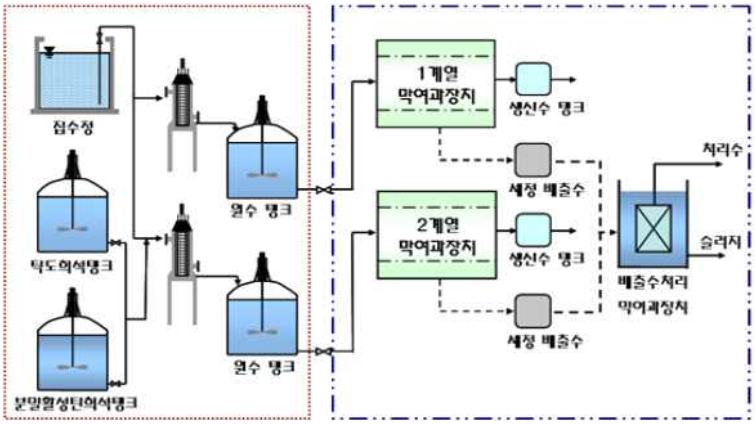
초기 파라미터 $n = 1.5$ $k = 2.4 \times 10^{-7}$ $RIF = 0.01$

수정 파라미터 $k \propto J$ $RIF \propto (R_{i,f} - R_{i,0})$

▌그림 2.263 모델링 파라미터 재설정 방법 ▐

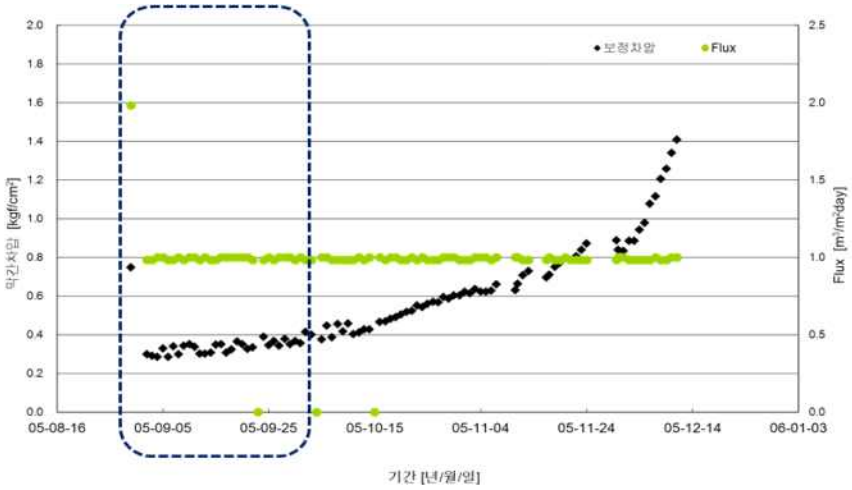
- 실제 운전 데이터: K-water 연구원 현도 파일럿플랜트의 05년 9월~12월의 실험결과를 사용

➢ K-water 연구원 현도 파일럿플랜트
- 규모: 500 m³/일(2개 계열)
- 설치 장소: 충북 청원군 현도면 현도취수장내
- 원수: 대청댐 발전 방류수 (공주정수장 원수)
- 운전기간: 2005년 3월 - 2008년 10월
- 설치목적: 공주정수장에 도입될 막시설의 최적운영기술개발
- 사용 막: 공경 0.05 ㎛의 정밀여과막(제조사: 일본 도레이)
- 운전형태: 정유량 제어(주 여과플러스 1.0 m/d)



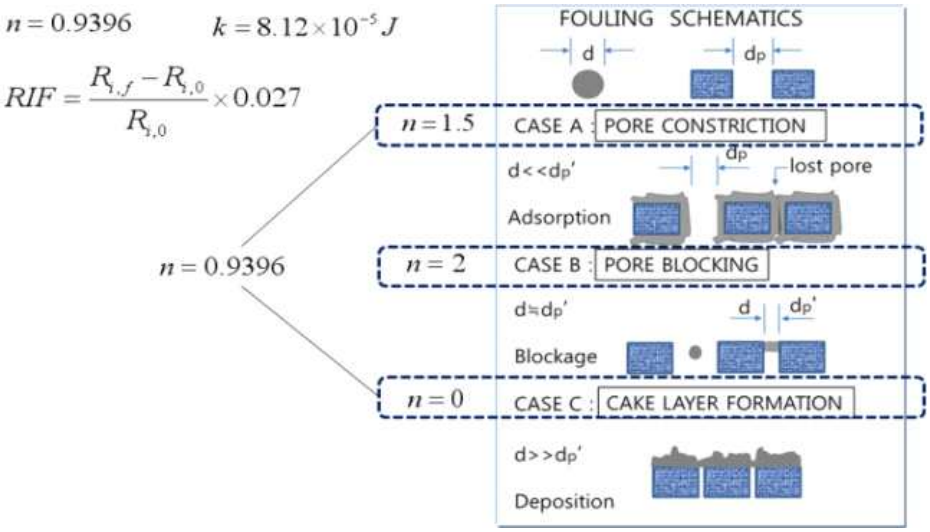
▌그림 2.264 현도 파일럿플랜트 개요 ▐

▪ 파라미터 산정을 위한 데이터 활용 범위



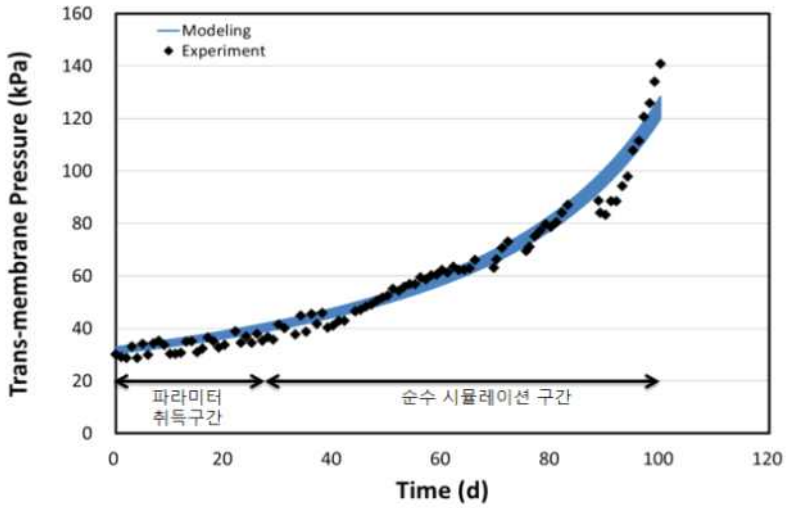
▌그림 2.265 현도 파일럿플랜트 데이터 활용 범위 ▐

- 파라미터 산정을 위해서는 플럭스가 다른 최소 2점의 자료가 필요하며, 점선으로 표시된 부분의 값을 사용함
- 파라미터 산정 결과, n=0.9396으로 파울링 메커니즘은 케이크층 형성과 공극 축소의 중간 단계로 볼 수 있음



▌그림 2.266 현도 파일럿플랜트 파라미터 산정 결과 ▐

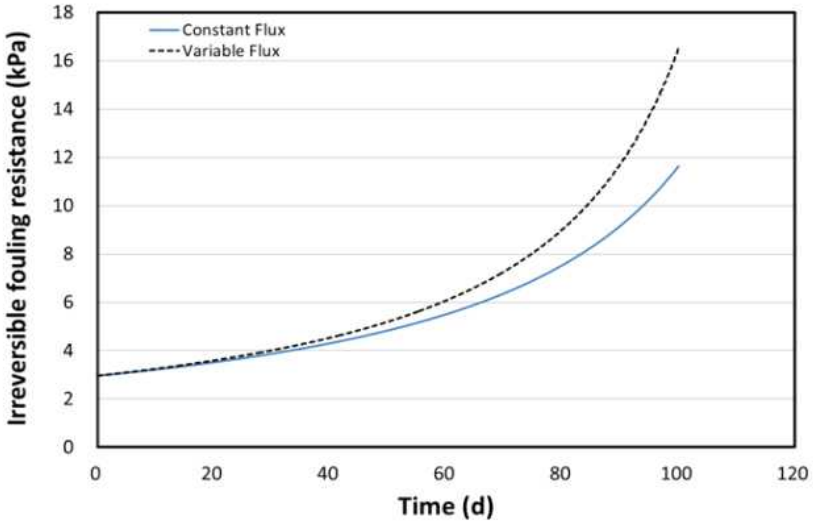
- 재설정된 파라미터를 이용하여 시뮬레이션 결과와 실제 운영 데이터를 비교



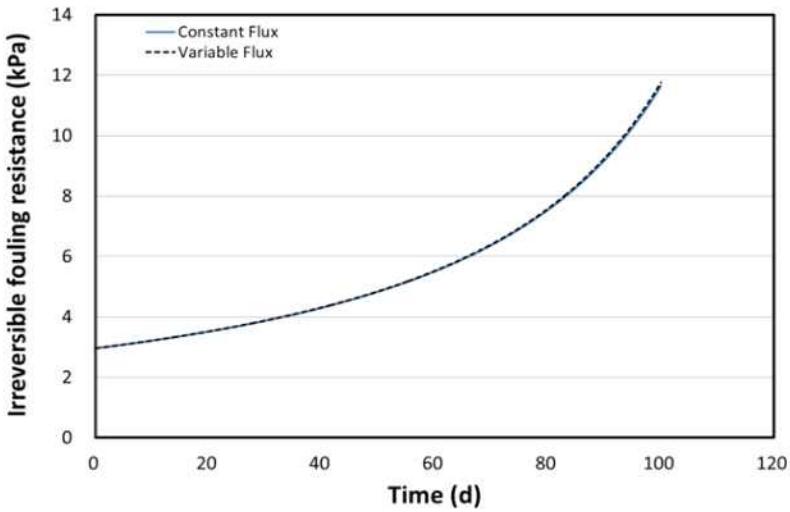
▌그림 2.267 시뮬레이션과 실제 운영 데이터 비교 ▐

- 0~20일 사이의 자료를 통해 파라미터를 재설정 하였으며, 이후 구간부터는 실제 운영데이터와 시뮬레이션 결과를 검증하는데 사용. 운전 초기에 파울링 특성을 나타내는 파라미터를 얻어내면, 향후 운전 결과를 상당한 정확도로 예측할 수 있음
- 개선된 시뮬레이션 알고리즘을 이용하여 변동 플럭스 시뮬레이션을 실시
  - Case 1 : 8m/day 75% + 1.6m/day 25% = 평균 플럭스 1.0m/day
  - Case 2 : 8m/day 75% + 1.45m/day 25% = 평균 플럭스 0.96m/day

  ※ 고정 플럭스는 1.0 m/day 사용



▌그림 2.268 플럭스에 따른 막 저항값(Case 1) ▐

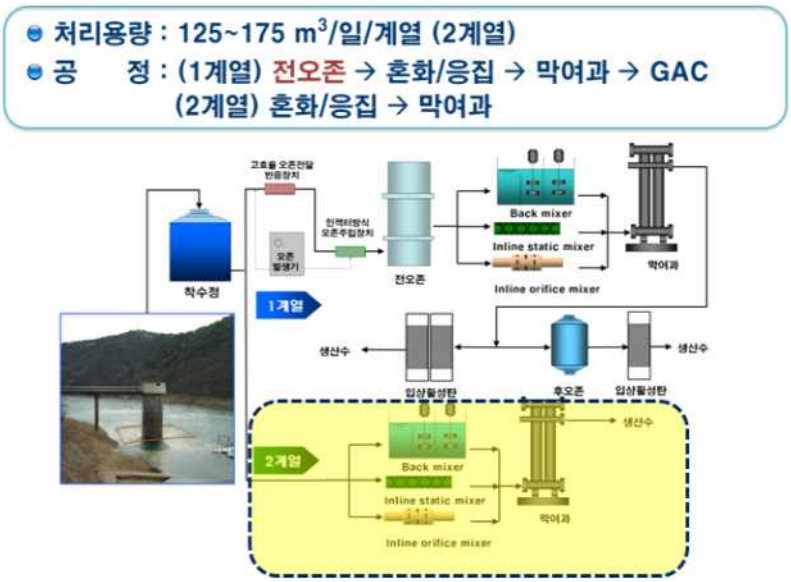


▌그림 2.269 플럭스에 따른 막 저항값(Case 2) ▐

- 플럭스 변동 운전의 경우 파울링 발생 정도가 커짐(Case 1).
- 분산형 정수처리 시스템과 같이 플럭스 변동이 불가피한 경우에는 변동폭을 줄이거나 평균 플럭스를 감소시켜서(Case 2) 파울링 발생 정도를 줄이는 전략 필요

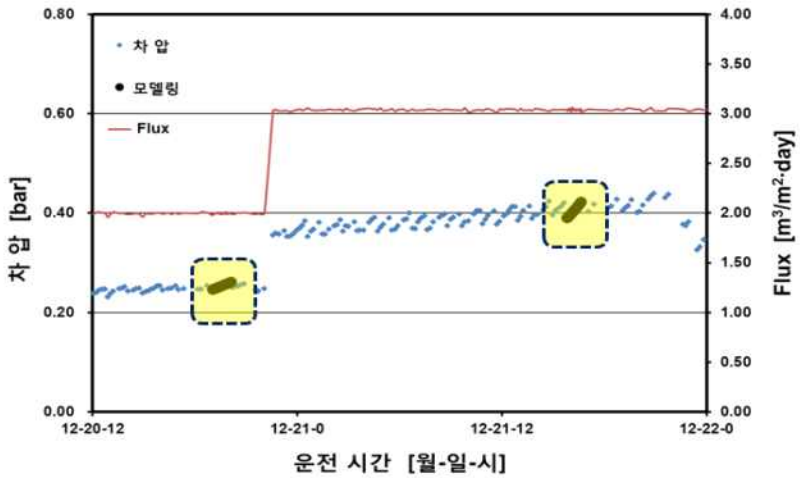
▌ 시뮬레이션 알고리즘 최종 점검(Ver. 1.00)

- K-water연구원 연초정수장 파일럿 플랜트 데이터 활용



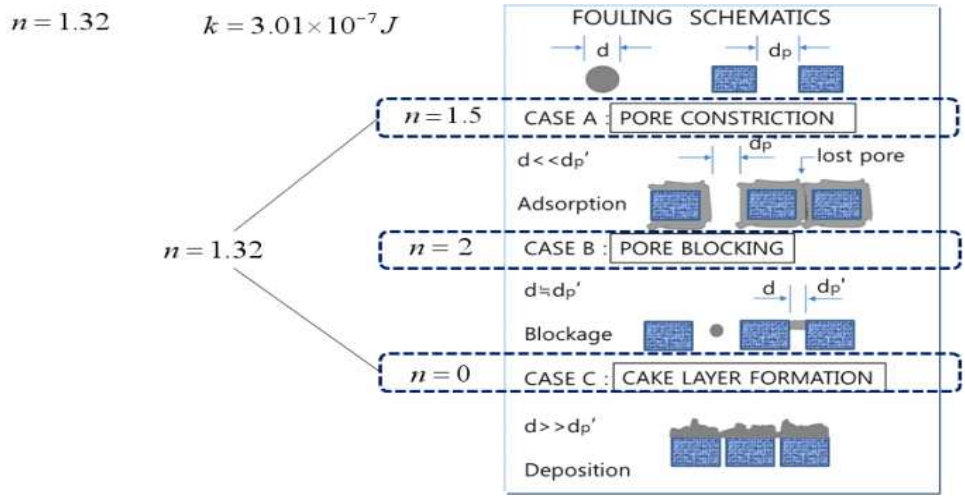
▌그림 2.270 연초정수장 파일럿플랜트 개요▐

▪ 파라미터 산정을 위해, 플럭스가 다른 두 시점의 데이터를 사용하였으며 음영으로 표시



▌그림 2.271 연초정수장 파일럿플랜트 데이터 활용 범위▐

▪ 파라미터 산정한 결과 n=1.32로 케이크층 형성과 공극 축소의 중간 단계인데, 현도 플랜트 데이터로 산정한 n(=0.9396)값과 비교 시 공극 축소에 더 가까운 것으로 판단됨



▌그림 2.272 연초정수장 파일럿플랜트 데이터 활용 파라미터 산정 결과▐

- 현도 파일럿플랜트에 비해 연초정수장 파일럿플랜트의 원수가 망간, 유기물 파울링 가능성이 높고, 사용된 막의 공극도 0.1㎛로 현도 파일럿플랜트의 막 공극(0.05 ㎛) 큰 것으로 조사된 바, 공극 축소의 가능성이 더 높음. 따라서, 본 연구에서 개발된 막여과 공정 시뮬레이션 기법의 현실을 잘 반영하고 있다는 사실을 검증할 수 있음

▌Lab-scale 실험을 이용한 최종 점검

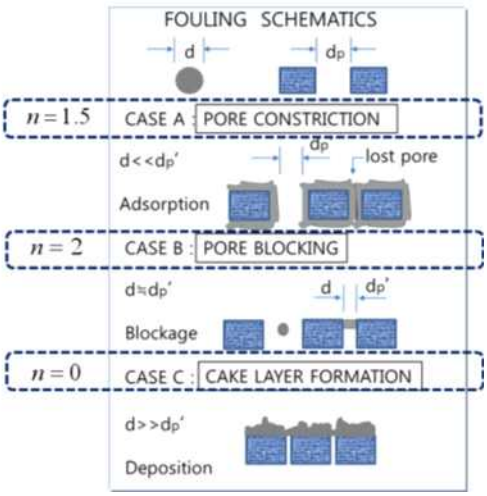
▌실험 개요

- **카올린**과 **휴믹산**을 이용하여 알고리즘의 타당성 검증 (3월 중 실험 완료 예정)

카올린 주입 시 n → 0
(케이크층 형성 메커니즘)

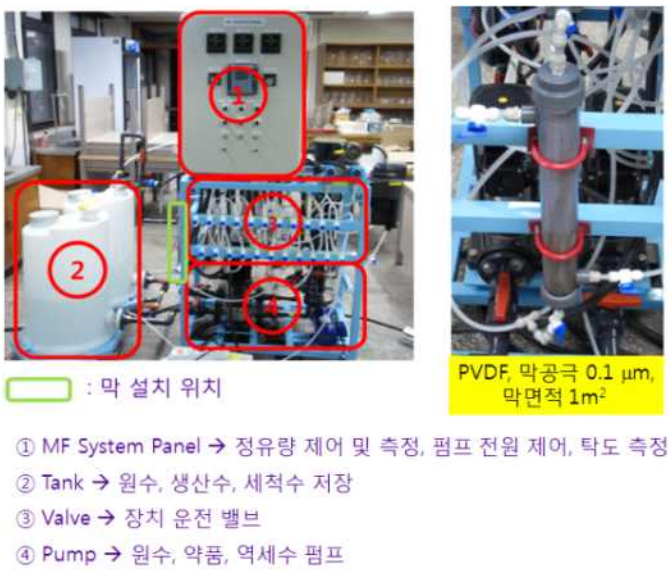
휴믹산 주입 시 n → 1.5, 2
(공극축소 혹은 공극폐색 메커니즘)

동시 주입 시 0 < n < 1.5
(케이크층 형성과 공극축소 현상 공존)



▌그림 2.273 Lab-scale 막여과 실험 개요▐

▌실험장치 개요

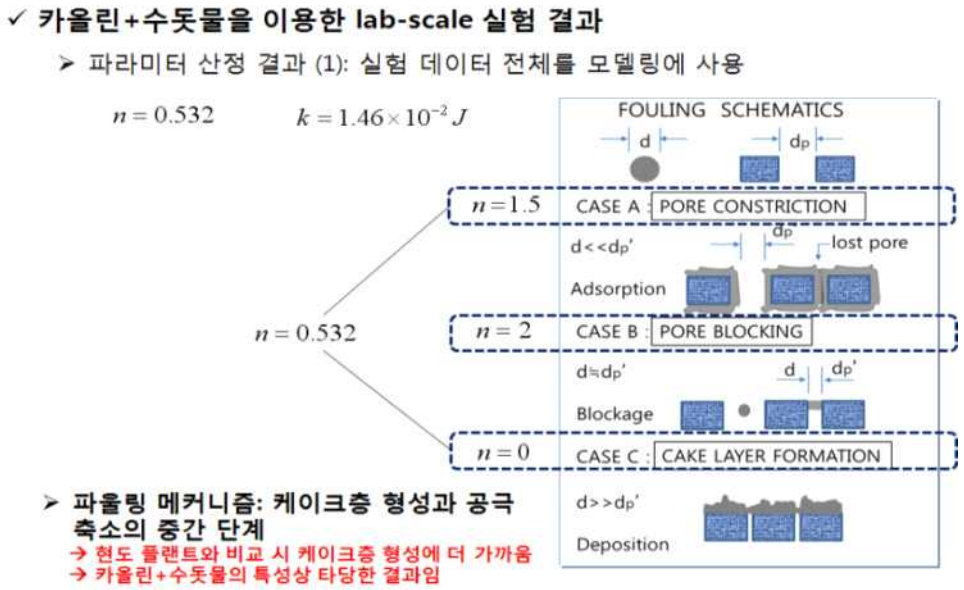


▌그림 2.274 Lab-scale 막여과 실험장치 개요▐

▌실험결과(카올린 파울링 실험)

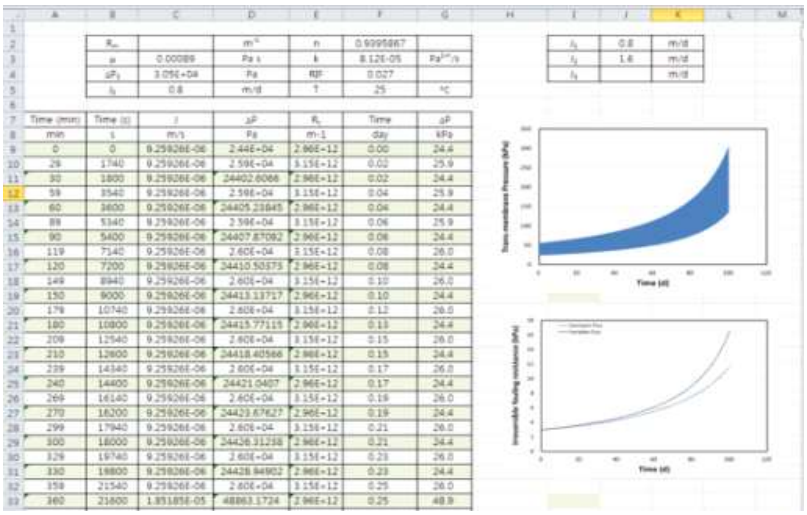
▪ 본 연구에서 개발된 모델링 기법을 활용하여 카올린+수돗물 실험의 파울링 주 원인은 케이크층 형성 메카니즘에 가깝다는 결과를 도출

※ 카올린 농도: 0.3 g/L(탁도 2000NTU 이상), 운전 플럭스: 1, 1.5, 2m/d



▌그림 2.275 Lab-scale 막여과 실험결과 (카올린)▐

- 막여과 공정 성능평가 알고리즘(플럭스 변동이 파울링 발생에 미치는 영향 정량화 가능): 스프레드 시트 형태의 모델



▌그림 2.276 스프레드 시트 형태의 막여과 공정 성능평가 모델▐

(6) USN 설비

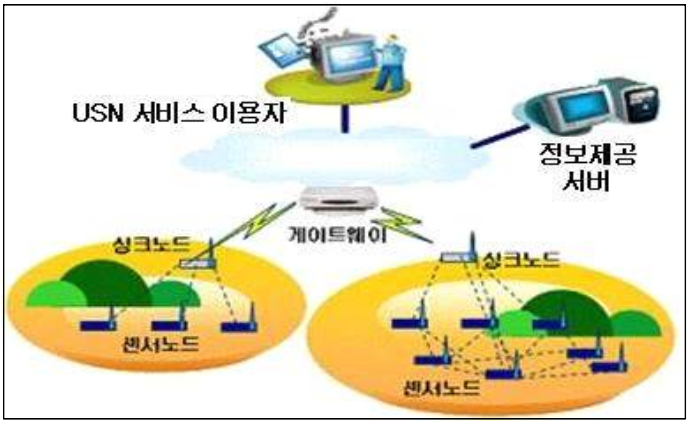
(가) 유비쿼터스 센서 네트워크 기술

▌**정의)** 유비쿼터스센서 네트워크(USN)란 어느 곳에나 부착된 태그와 센서로부터 사물 및 환경정보(온도, 습도 및 압력 등)를 감지/저장/가공/전달하여 이를 우리생활에 실시간으로 폭넓게 활용하는 네트워크로, 각종 센서에서 수집한 정보를 무선 센서 네트워크를 통해 실시간으로 수집해 활용하도록 구성된 기술

▌**목표 및 범위)** 「수직형 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템」 도입에 따른 저비용, 고효율의 USN기반 통신망을 구축함으로서, 통신망 성능분석 및 모바일기기를 활용한 정수시설 운영정보의 실시간 모니터링체계를 구현함으로서 IT산업에 대한 녹색기술융합으로 미래지향적으로 포괄적인 세부전략을 제시하기 위함

▌**구성요소)** 일반적으로 센서노드, 싱크노드, 게이트웨이로 구성되어 있으며, 센서노드는 센서를 통해 인간의 오감을 대신하여 물리계 또는 환경계의 현상을 정량적으로 측정하고, 측정된 값을 가공, 데이터화해 싱크노드에 전송함. 센서노드로부터 데이터를 수집한 싱크노드는 수집한 데이터를 게이트웨이를 통해 원격지에 위치한 서버나 사용자에

게 전달하여 데이터를 활용할 수 있게 함



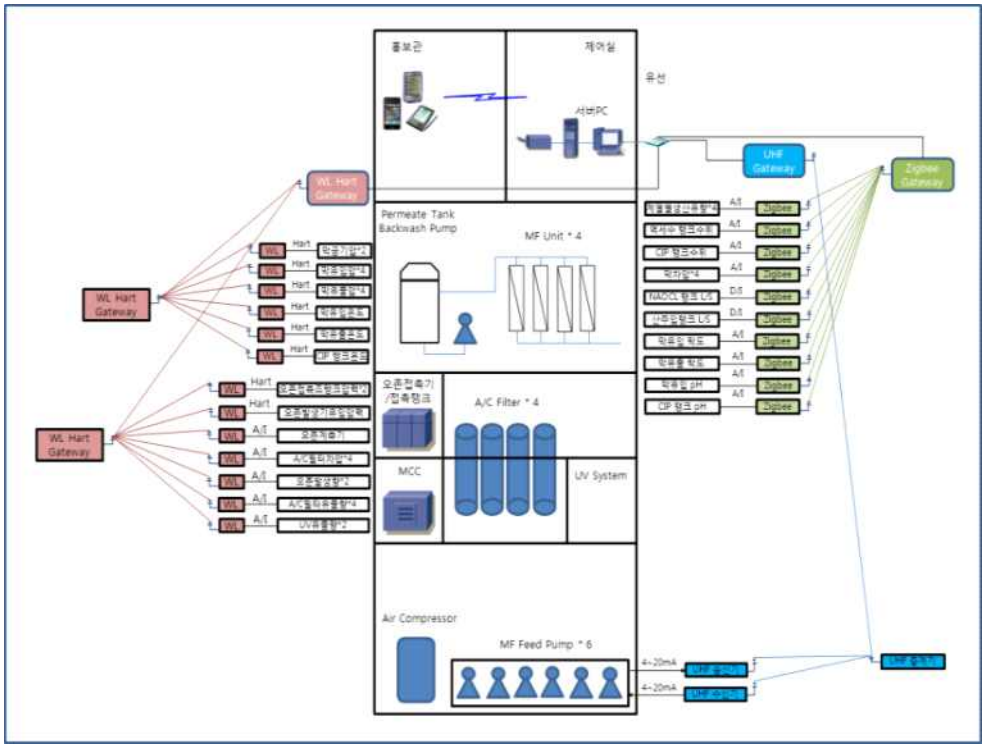
▌그림 2.277 유비쿼터스센서 네트워크 구성도▐

▌ **국가기술개발 부합성)** 유비쿼터스 기반의 센서, 네트워크 인터페이스 모듈 시험 및 검증을 통한 Smart 정수장 시범추진으로 유비쿼터스 기반 센서 및 네트워크의 전송기술기준을 정립하고 센서 및 네트워크장비 데이터 신뢰성을 검증 및 브랜드화 하여 녹색성장에 기여함

(나) USN 센서 적용대상 범위 및 구축전략

▌USN 기술은 환경과 생태계 감시, 재난방지, 홈네트워크 등과 같은 다양한 분야에 널리 활용되고 있으며 본「수직형 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템」도입에 따른 저비용, 고효율의 USN기반 통신망을 구축함으로서 IT산업에 대한 녹색기술융합으로 미래 지향적으로 포괄적인 세부전략을 제시하고자 함

▌분산형 용수공급시설에 구축하는 USN기술은 수직형 정수처리공정(1~4층) 설비를 효율적으로 운영하고자 현재 USN관련 Zigbee, WirelessHART등의 무선통신기술을 기반으로 센서들간의 자율적인 무선네트워크를 구성하고, 수량 및 수질에 관련된 대용량 센싱 데이터를 전송, 취합, 저장, 분석하여 사용자의 현재 상황에 맞는 정보를 적절히 제공해 줄 수 있는 기술을 접목하고자 함



▌그림 2.278 수직형 정수처리공정 무선네트워크 구성도▐

▪ 수직형 정수처리시설에 설치되어 있는 계측기술로 온도, 압력, 유량과 각종 pH, 탁도 수질측정기기 등 다양한 분야의 센서들의 정보를 4층 제어실에서 모니터링 할 수 있는 시스템을 구축하고자 함

- Zigbee(2.4 GHz 대역) 무선통신망 구축
- Wireless-HART기반(2.4 GHz 대역) 무선통신망 구축
- 시험전용 분석 장치(서버 PC, 모바일기기)

구 분	주 요 내 용
USN 시범망	o 수직형 정수처리시설(1층~4층) USN기반 시범망구축 - **Zigbee(2.4GHz), Wireless-HART UHF(424MHz)** 등의 다양한 USN망 구축을 통한 데이터감시 및 제어 o PC기반 모니터링 시스템구현(MMI, DB 등) o 모바일기기(스마트폰 등)를 활용한 원격 모니터링(웹연동)
감시 및 제어	o 4층(제어실) : PC기반 모니터링 시스템 o 3층(막여과) : 유량, 수위, 압력감시 등 12개항목 o 2층(오존, GAC) : 잔류오존농도, 유량, 압력감시 등 13개항목 o 1층(취송수) : 탁도, 유량, 수위감시 및 펌프제어 등 13개항목

(다) USN 센서 기술 통신방식별 비교분석

- USN 센서기술 통신방식별 비교

Zigbee	•Zigbee기반 센서노드 ✔ IEEE 802.15.4 표준 하드웨어 설계 ✔ 아날로그, 디지털 및 각종 통신방식지원 ✔ 암호화를 통한 보안 안전성 추구	
WirelessHART	•산업용 무선센서노드(어답터) ✔ IEEE 802.15.4 기반 메쉬네트워크 ✔ 산업분야 감시 및 제어분야에 활용 ✔ 센서정확도 및 저전력 네트워크 분석	
UHF	•ISM대역(424㎒) 무선모뎀 ✔ 아날로그, 디지털, 시리얼 인터페이스 ✔ 장거리전송가능(λ/4 다이폴안테나) ✔ 환경모니터링 및 펌프제어 등 활용	

▌IEEE 802.15.4 표준안이 수립되고, 이를 기반으로 지그비(Zigbee) 무선통신기술이 등장하면서 정수처리공정에서도 USN기술 활용에 대하여 검토하게 되었으며, WirelessHART통신은 HART를 통신을 기반으로 IEEE802.15.4-2006을 결합하여 USN과 같은 방식의 무선센서네트워크 구축이 가능하므로 수직형 정수처리시설에 도입하고자 함.

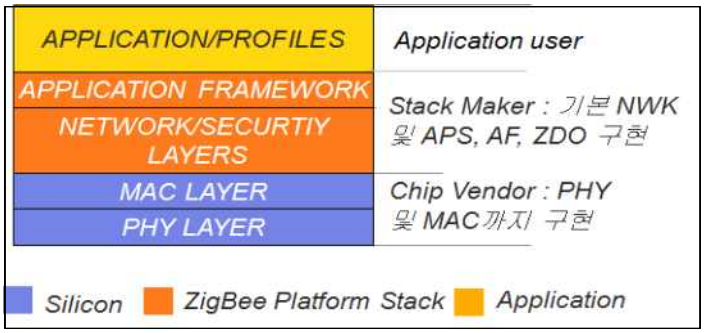
* 용어정의

구 분	Zigbee	WirelessHART	UHF
개 념	근거리 통신을 지원하는 IEEE 802.15.4 표준	802.15.4 무선기술 기반 산업분야 감시 및 제어	ISM(424㎒)대역을 사용하는 무선전송기술
규 격	・규격 : IEEE 802.15.4 ・주파수 : 2.4GHz ・대역폭 : 5MHz ・인터페이스 : Ethernet	・규격 : IEEE 802.15.4 ・주파수 : 2.4GHz ・대역폭 : 5MHz ・인터페이스 : HART	・규격 : EIA ・주파수 : 424MHz ・대역폭 : 6KHz ・인터페이스 : RS232C
용 도	・고속, 근거리(100~200m)	・고속, 중간거리(200~300m)	・저속, 장거리(1.5㎞)

(라) USN 센서 Prototype 제작 기초 설계방안

▌「수직형 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템」구축관련 Zigbee 및 WirelessHART등의 무선통신기술을 활용하여 USN 센서노드, 게이트웨이를 제작하여 현장에 구축함으로서 선진화된 운영기틀을 마련하고자 함.

① Zigbee Stack 구성



▌그림 2.279 Zigbee Stack 구성도▐

㉮ Application (APL) Layer
- 최상위 지그비 프로토콜 스택 레이어로 Application Framework, Zigbee Device Object(ZDO), Application Support(APS) Sublayer로 구성

㉯ Application Framework
- 지그비 스택위에 프로파일이 어떻게 올라가야 되는지에 대한 프레임워크를 제공하며, 프로파일을 위한 표준 데이터 타입의 범위, Service Discovery를 지원하기 위한 Descriptor, 전송 데이터의 프레임 포맷, 간단한 프로파일의 빠른 개발을 위한 Key Value Pair Construct등의 내용을 정의

㉰ Application Objects
- 지그비 장치를 제어하는 제일 끝단에 있는 소프트웨어. 한 개의 지그비 노드가 지원하는 어플리케이션 숫자는 240개(각각의 어플리케이션은 1부터 240까지 Endpoint가 할당됨. 0은 ZDO에게 Reserved됨)

㉱ ZigBee Device Object(ZDO)
- 네트워크 내에서 장치의 역할을 정의함(Coordinator, Router, End Device)
- Binding/Discovery Request를 초기화하거나 응답해줌
- 네트워크 장치 간 안전한 연결을 성립시킴
- 지그비, Commissioning에 사용되는 지그비 장치 프로파일에 정의되어 있는 많은 관리 명령을 제공함

㉮ ZDO Management Plane
- APS와 NWK Layer 간에 ZDO를 가지고 통신
- ZDO가 Application의 Network를 접근 요청을 다루고 또 ZDP(ZigBee Device Profile)를 이용한 보안기능을 사용

㉯ Application Support(APS) Sublayer
- Application과 ZigBee Profile에게 데이터 서비스를 제공
- 바인딩 테이블과 바인딩 링크를 관리하는 서비스를 제공

㉰ Security Service Provider(SSP)
- 보안 기능을 사용하는 레이어(NWK, APS)에 보안 메커니즘을 제공
- ZDO에 의해 초기화 되고 설정

㉱ MAC Layer
- 노드와 바로 인접한 노드 간의 신뢰성 있는 연결을 제공
- 데이터 패킷과 프레임을 assemble & decomposing

㉲ Physical(PHY) Layer
- 라디오와 같은 물리적 전송 장치에 대한 인터페이스 제공

② Zigbee 센서노드

㉮ 개요
- 초소형, 저전력, 저가격, 사용의 용이성을 대표하는 무선 센서 네트워크
- IEEE 802.15.4 - 2006 표준규격을 만족하며 PHY/MAC 층을 기반으로 상위 Protocol 및 Application을 규격화한 기술을 적용

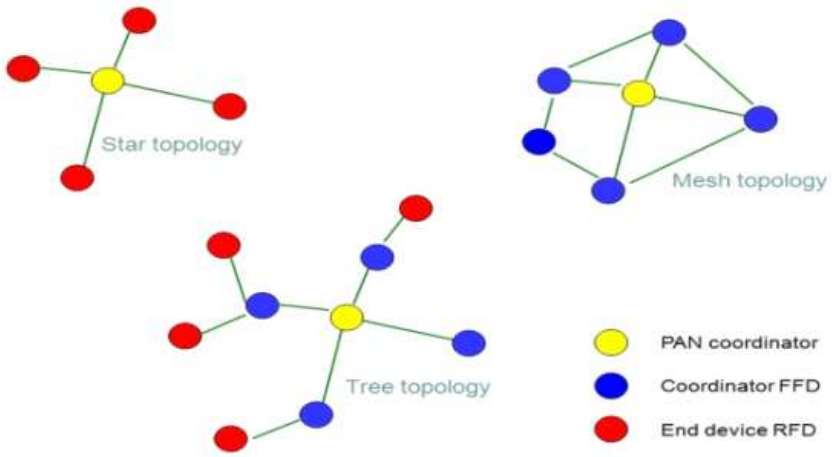
※ 표준규격 기준 범위 : 2400 to 24835 MHz 주파수 범위에 해당하는 관련 규격

▌표 2.86 Zigbee 설계규격 ▐

항 목		설계 규격
성능사양	주파수	2.4000 - 2.4835 GHz
	송신출력	10mW
	외함	ABS수지
	전원	12Vdc
	소모전류	송신모드 270 mA (@ 3.3 V) 수신모드 55 mA (@ 3.3 V)
	RF Data Rate	250 Kbps
	Receiver Sensitivity	-100 dBm
	Networking Topology	Peer-to-peer
	Spread Spectrum Type	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
	아날로그 입력	8채널, 4~20mA 입력, 16bit ADC
	안테나	0dBi 휩안테나

㉯ MAC Protocol

- CSMA/CA + GTS(Optional)
- Star 혹은 Peer to Peer Topology 지원
- Low Latency 장치 지원
- Dynamic Device Addressing
- 낮은 전원 소비
- 신뢰성 있는 통신을 위해 Handshaking Protocol
- Multi-Level Security 제공
- Data, Ack, MAC Command 및 Beacon의 4가지 Frame Type 정의
- 매우 낮은 튜티 사이클(< 0.1%)



▌그림 2.280 Star, Tree, Mesh Topology▐

㉰ Networking Topology : Mesh Routing

- sink node는 sensor node로부터 데이터를 취합하며, Gateway와 연결되어 서버로 데이터 전달
- 모든 네트워크 토폴로지는 one gateway to one sink node로 구성되며, 설치 장소에 따라 복수의 gateway가 설치될 수 있음

㉱ ZigBee Stack Protocol

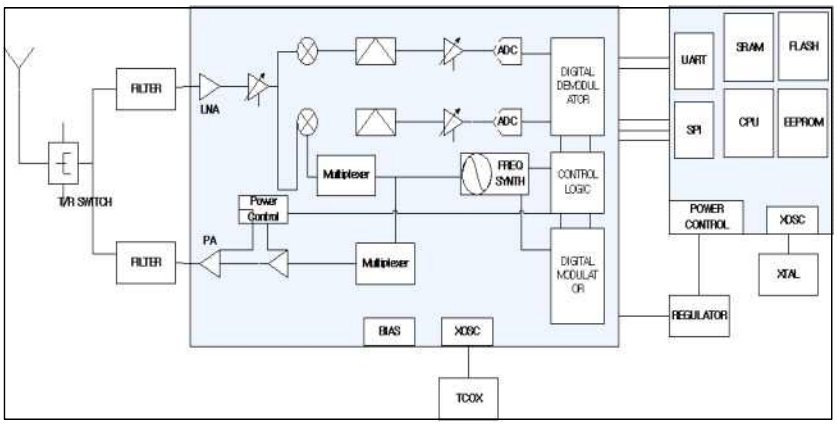
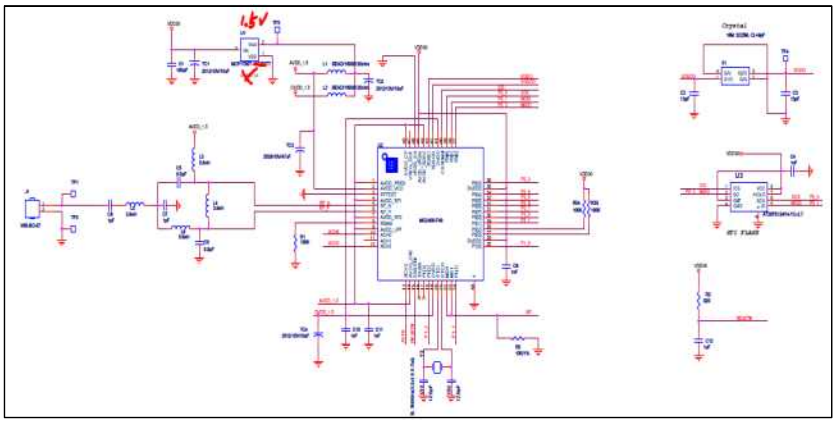
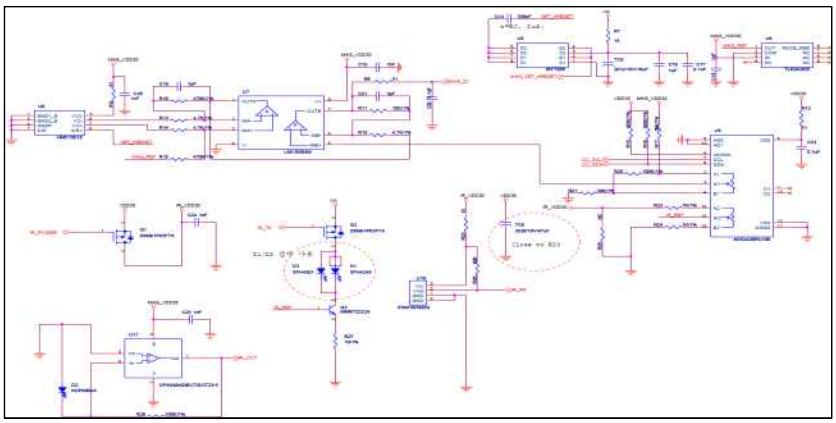
- 65535개의 노드로 확장 가능
- Mesh Topology 구현 가능
- 유니/브로드/멀티 캐스팅 지원(멀티 캐스팅은 2004에선 미지원)
- Route Cost Calculation Algorithm 탑재
- NWK 자가 복구 기능

- FFD(Full Function Device)는 네트워크 토폴로지 구성에 제약이 없고, 네트워크 코디네이터가 될 수 있으며, 네트워크 상 모든 장비와 통신이 가능
- RFD(Reduced Function Device)는 제한된 형태의 Star 토폴로지만 가능하며, 네트워크 코디네이터가 될 수 없고, 오직 부모 라우터와만 통신이 가능
- Device 종류에는 ZC(ZigBee Coordinator), ZR(ZigBee Router), ZED(ZigBee End Device)이 있으며, ZC는 PAN Coordinator로써 NW상에 하나만 존재하며 FFD로 구성되고, ZR은 Router로써 네트워크를 연결하는 가교 역할을 하며 FFD로 구성되어 있으며, ZED는 가장 하위의 Device로써 RFD로 구성되어 대부분 Battery 기반의 초소형, 저전력 Device로 사용

▌표 2.87 IEEE 802.15.4. 2.4 GHz 대역 11개 전 채널에 대한 기준 ▐

<table>
<tr><th>구분</th><th>기 준</th></tr>
<tr><td>Center Frequency</td><td>
<table>
<tr><td>중심주파수
최대 옵셋</td><td>2.4 GHz 대역에서의 송신중심주파수 옵셋</td></tr>
<tr><td>+/- 40ppm</td><td>+/- 96.2 kHz at 2405 MHz ~
+/-99.2kHzat2480MHz</td></tr>
</table>
동작대역내의 각 채널에 대한DUT의 송신주파수 변위가 +/- 40ppm의 범위내 있다.</td></tr>
<tr><td>EVM
(Error Vector Rate)</td><td>
<table>
<tr><td>특정 EVM</td><td>측정 기간</td></tr>
<tr><td>35%</td><td>1000 chips</td></tr>
</table>
동작대역내의 모든 채널의 EVM 값이 35%보다 작다.</td></tr>
<tr><td>PSD
(Power Spectrum Density)</td><td>
<table>
<tr><td>주파수</td><td>상대한계</td><td>절대한계</td></tr>
<tr><td>|f - fc|>3.5MHz</td><td>-20 dB</td><td>-30 dBm</td></tr>
</table>
대역내의 모든 채널에 대한 절대 파워 주파수밀도시험에서 모든 PSD 값이 해당 채널에 대한 파워기준 값보다 20 dB이상 낮다.</td></tr>
<tr><td>PER
(최소출력)</td><td>
<table>
<tr><td>대역 - PHY</td><td>특정 민감도 레벨</td></tr>
<tr><td>2.4 GHz O-QPSK</td><td>최소출력파워 -85 dBm</td></tr>
</table>
신호발생기의 모든 출력파워값에 대하여 동작대역내 각 채널에서 DUT의 PER 은 1%미만이어야 한다. 여기서 DUT에 입력되는 신호발생기의 파워는 최대값에서 1% 의 PER 민감도 파워레벨까지 내려가면서 조정된다. 그리고 여기서 1% 의 PER 민감도 파워레벨은 -85 dBm으로 정의한다.</td></tr>
<tr><td>PER
(최대출력)</td><td>
<table>
<tr><td>대역 - PHY</td><td>특정 민감도 레벨</td></tr>
<tr><td>2.4 GHz O-QPSK</td><td>최소출력파워 -20 dBm</td></tr>
</table>
각 채널상에서 DUT의 PER은 DUT입력단에서, 신호발생기의 출력이 -30 dBm 에서 최대 입력레벨까지의 모든 파워설정값에서 1% 미만의 PER이어야 하며, 최대 입력파워레벨 또는 -20 dBm 보다 큰 경우에도 1%미만의 PER를 가져야 한다.</td></tr>
</table>

▌표 2.88 Zigbee IC 구성 회로 및 인터페이스 회로도 ▐

설계명	제 작 예 시
센서 기능 블록도	
ZigBee IC 구성 회로	
ZigBee 센서 외부 인터페이스 회로	

③ Wireless-HART 센서노드

- 실시간성을 보장하기 위한 시간동기화 및 주파수호핑 프로토콜 구성
- 각각의 다른 이웃하는 현장의 계기들을 게이트웨이로 신호전달
- HART 프로토콜 전송계층 : 물리계층과 데이터 링크계층 및 네트워크계층 상위에 수용

- 응용계층 : HART 통신방식 수용

▌표 2.89 WirelessHART 설계규격 ▐

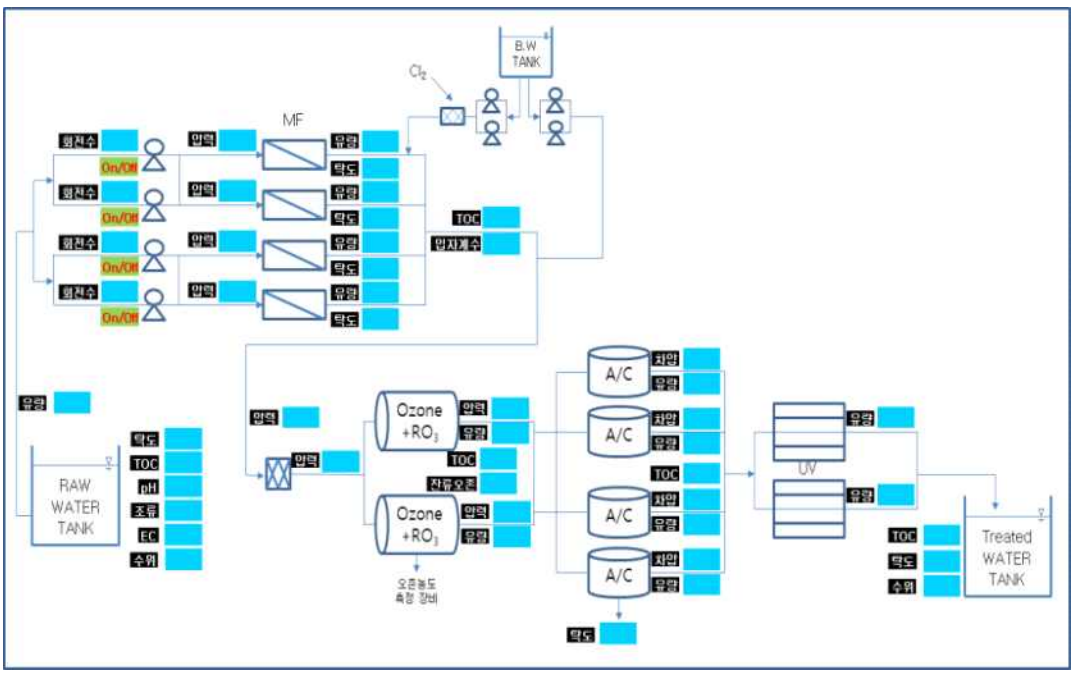
항 목		설계 규격
성능 사양	주파수	Standard IEEE 802.15.4 radios, 2.4Ghz(16채널)
	송신출력	10mW
	외함	알루미늄
	전원	10.5 ~ 30Vdc
	소모전류	Max. 125mA(@ 24V)
	수신주기별 최대 장치수	- 100 wireless devices @ 8 sec. - 50 wireless devices @ 4 sec. - 25 wireless devices @ 2 sec. - 12 wireless devices @ 1 sec.
	무선프로토콜	HART 7.0+
	송신신호 갱신주기	1, 2, 4, 8, 16, 32초 또는 1 - 60분(선택가능)
	Networking Topology	Mesh Topology
	Spread Spectrum Type	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
	인터페이스	- Host System Physical Connections - Dual Ethernet Ports - Optional Fiber Optical Ethernet Port - Isolated RS485 (half duplex)
	인터페이스 프로토콜	- OPC DA - Modbus TCP - Modbus RTU - HART Server for WirelessHART Instrument Data - DeltaV Ready - AMS Device Manager Ready - Other protocols available with external converter
	안테나	Integrated Omni-directional antenna

④ 감시제어화면구성

- Zigbee 게이트웨이 및 Wireless HART 게이트웨이를 통해 들어오는 각종 센서정보들을 모니터링 하고 DB에 저장함
- 현장에서 정보를 보여주는 GUI프로그램을 탑재함(감독원협의)
- 노트북 및 스마트폰에서 원격으로 현장정보를 볼 수 있도록 서버를 가동함

▌표 2.90 운영자용컴퓨터 설계규격 ▐

항 목		설계 규격
성능 사양	운영체제	Window 7
	CPU	INTEL 쿼드코어 i7-3820
	시스템메모리	4GB(1333Mhz/PC3 10600)
	그래픽포트	GeForce GTX560 Ti HV Dean D5 1GB
	저장장치	SEAGATE 7200 ST1000DM003 1TB (SATA3/7200rpm/64M)
	전원	FSP 700-80APN (ATX/700W)
	랜	유선랜 Gigabit LAN



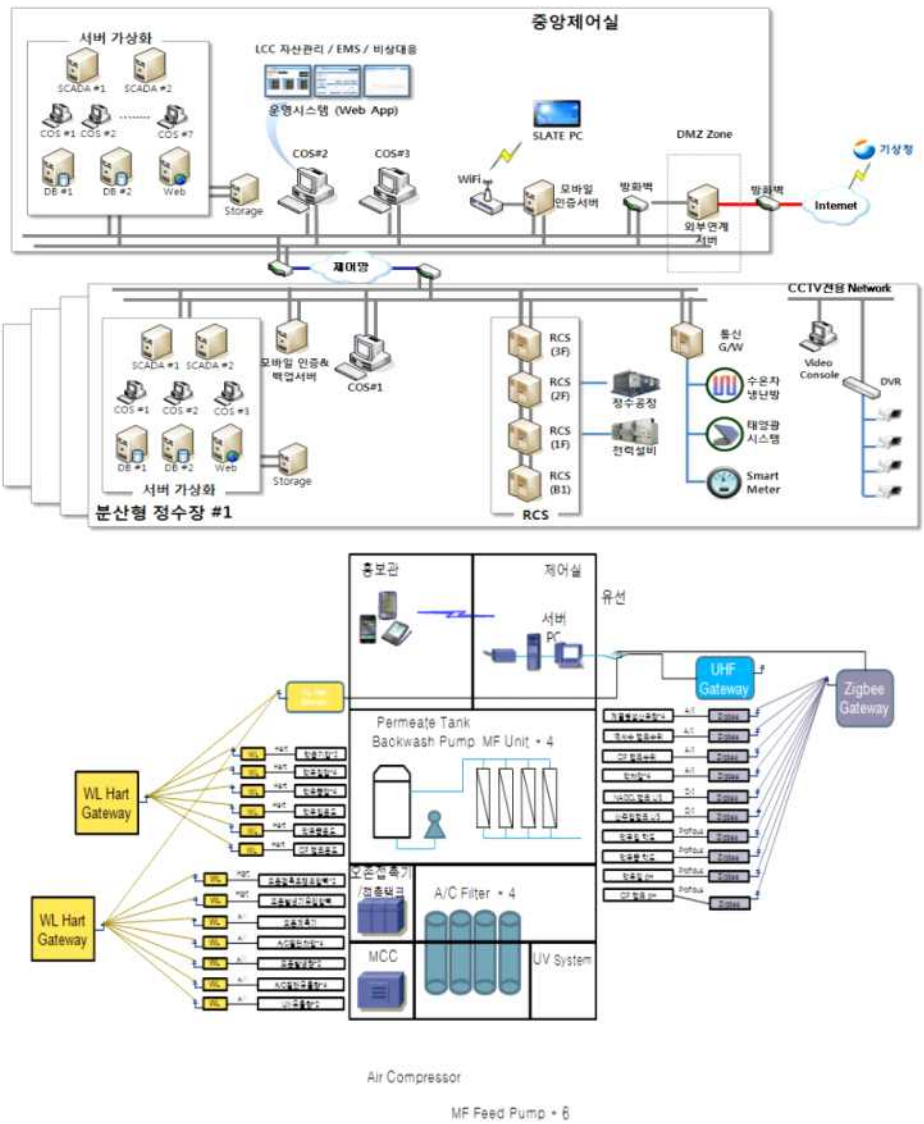
▌그림 2.281 감시제어화면 구성예시 ▐

(마) 무선센서네트워크 구축의 필요성

▌ 통신의 발달에 따라 통신매체의 다양화, 고속화가 되어가는 실정. 정보화 사회를 구축하는데 있어 가장 중요한 요소는 통신수단으로, 데이터 수집이나 분배 등의 다양한 서비스를 저렴하고 편리하게 제공되는 시스템 구현이 요구되고 있는 실정임

- 이러한 환경은 센서를 통해 정보를 습득하고 관리하는 네트워크인 유비쿼터스 센서 네트워크(USN: Ubiquitous Sensor Network)를 통해 구현이 가능함

- 또한, 정수장과 같은 산업현장에서는 펌프 및 밸브의 동작상태, 유량, 수온, 압력 등의 데이터는 정수처리 공정에 있어 매우 중요한 인자들로 유선망으로 포설하기에는 비용이 많이 드는 단점이 있음
- 유비쿼터스 기반의 무선장비를 이용하여 무선망을 구축하면 손쉽게 데이터를 취득할 수 있으며, 제어실에서의 모니터링 뿐 아니라 외부에서도 모니터링 및 제어를 통한 미래지향적인 수처리 기술이 될 수 있음
- 따라서 본 연구단 과제에서는 수직형 정수처리시설에 유비쿼터스 기반의 무선센서네트워크를 구축하여 무선망을 통한 온도 및 습도, 유량, 수위, 펌프 상태 등의 데이터 취득과 제어방법을 모색하고자 함



▌그림 2.282 무선센서네트워크 통신망 구성 개요도▐

(바) 유비쿼터스 센서 네트워크 기술 적용

▌K-water 연구원의 유량계 교정센터에 Zigbee, Hart 등의 USN 단말기를 이용하여 온도 및 습도, 유량, 수위, 압력, 펌프 상태 등의 데이터 취득을 통해 실제 청주정수장에 무선망이 구축되기에 앞서 기반의 틀을 마련하고자 함

- 각종센서로부터 취득된 데이터는 USN 망을 통하여 데이터 처리장치로 전송되어지고, 처리된 데이터는 원격 모니터링 감시체계를 구현함으로서 저비용, 고효율의 USN 기반 시범사업을 추진하고자 함
- 시범사업으로 무선센서노드가 설치된 유량계 교정센터는 “대구경 유량계의 교정검사를 통해 광역상수도 등에 사용되는 유량계의 정확도를 향상시킴으로써, 유수율 관리·정수장 공정관리·수도요금고지 등의 신뢰성을 증진시키고, 유체기기의 시험시설로도 활용할 수 있는 다목적의 교정시스템”으로 폭 30 m x 길이 75 m, 시험관경 50 ~ 800 mm, 최고측정능력(BMC) ±0.3 %, 유량측정 범위는 3 ~ 2,700 m^3/h로 국내 최대의 실내교정센터임
- 복합망에 설치된 통신장비 규격은 아래 표와 같고, 현장 설치 여건 등을 고려하여 6개 지점에 설치 된 센서노드의 위치를 나타냄

▌표 2.91 통신장비 규격 ▐

설 비 명	규 격	수량(대)
Zigbee A/I Node	2.4 GHz, Mesh Topology	6
Zigbee D/I Node	2.4 GHz, Mesh Topology	3
Zigbee Gateway	2.4 GHz, Ethernet Interface	1
Hart wireless battery	IEEE 802.15.4 radios, 2.4 GHz, Mesh Topology	1
Hart Gateway	IEEE 802.15.4 radios, 2.4 GHz, Mesh Topology	8
Server PC	Win. 7, 24″LCD	1
Notebook PC	Win. 7, 17.3″	1
Galaxy tap	Android 3.2, 10.1″	1

- 설치하는 게이트웨이의 네트워크 구조는 WIA 네트워크로 구성. 무선 게이트웨이는 WIA 네트워크 설정 및 관리를 담당하는 부분으로 내부는 AT91RM9200으로 구성되어 있으며, 이더넷 인터페이스는 RS-232, RS-485 이더넷 인터페이스로 구성되어 있음

- 유량계 교정센터 현장상황의 정압탱크, 유량, 수위 및 수온을 무선으로 측정하기 위해 아날로그 입/출력의 무선센서노드를 설치하였으며, 입/출력 채널은 각각 1채널로 이루어지고, 4-20 mA의 신호를 갖음
  - 디지털 입/출력 보드는 Zigbee 센서노드와 게이트웨이 사이의 무선통신을 위한 용도로, 복잡한 실내 환경과 장거리 송신에 따른 통신 물량을 방지하기 위해 고이득 안테나가 사용되었음

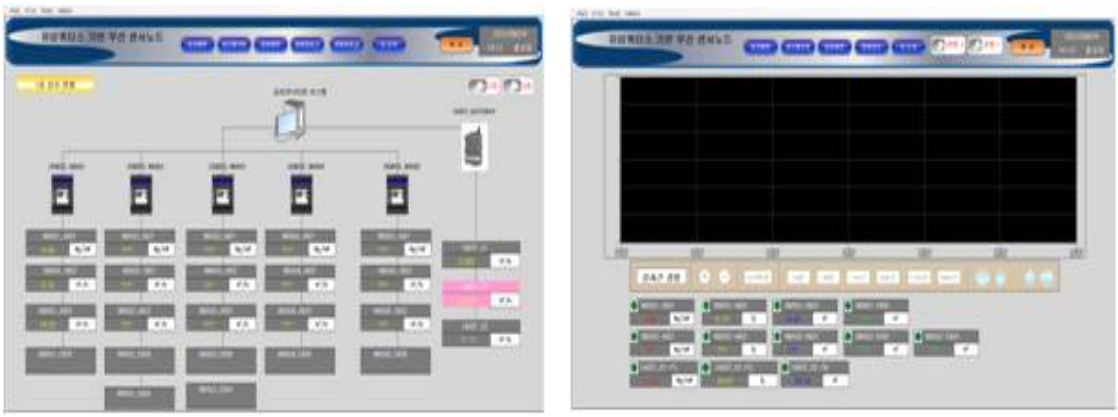
▌무선센서노드(A/I, D/I) 및 게이트웨이는 각각 아래와 같이 제작하였으며, 무선센서노드 하드웨어(프로그램 포함) 사용자설명서 및 매뉴얼을 작성하여 초보자도 접근하기 쉽도록 제작하였음

【A/I 노드】

【 D/I 보드 및 게이트웨이】

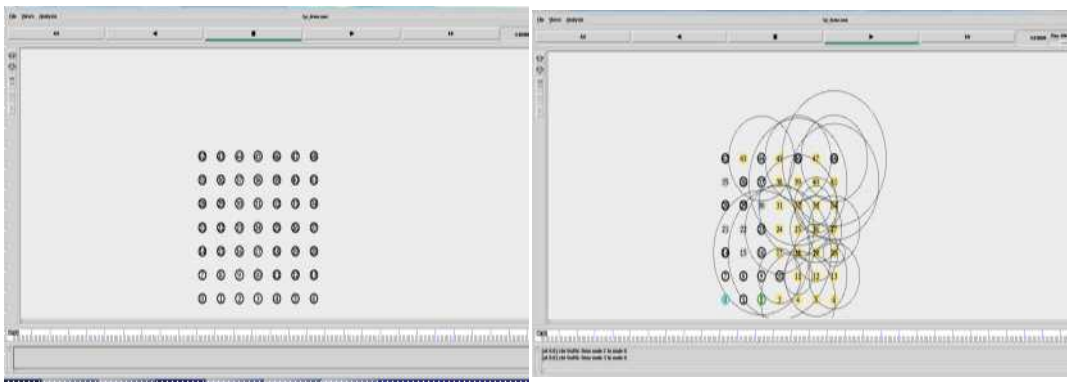
▌그림 2.283 무선센서노드 및 게이트웨이 사진 ▌

- USN 복합망의 데이터 처리는 운영관리용 PC 모니터링 프로그램을 구성하여 DB 구성 및 통신 함. 즉, 각각의 데이터를 통합 관리할 수 있는 감시제어화면(HMI: Human Machine Interface)를 구성함
- 센서노드는 K-water 연구원 유량계 교정센터 내에 설치되어 무선으로 데이터를 송・수신하며, 다른 센서노드들과 무선메쉬망으로 연결되어 Zigbee 게이트웨이를 통해 운영관리용 PC로 정보를 전달함
- Zigee 게이트웨이는 유량계 교정센터 내에 설치되는 센서노드로부터 무선으로 송신되는 정보를 시리얼포트를 통해 서버 PC로 전달하는 기능을 수행함



▌그림 2.284 감시제어화면(초기화면)▐

- USN 통신망은 무선메쉬망으로 구성하였고, 네트워크 시뮬레이션 툴인 NS2(Network Simulator 2)를 활용하여 실험 및 성능을 검증하여 최적 알고리즘을 도출하였음



▌그림 2.285 NS2를 활용한 최적 알고리즘 도출▐

(사) 유비쿼터스 센서 네트워크 복합망 구축

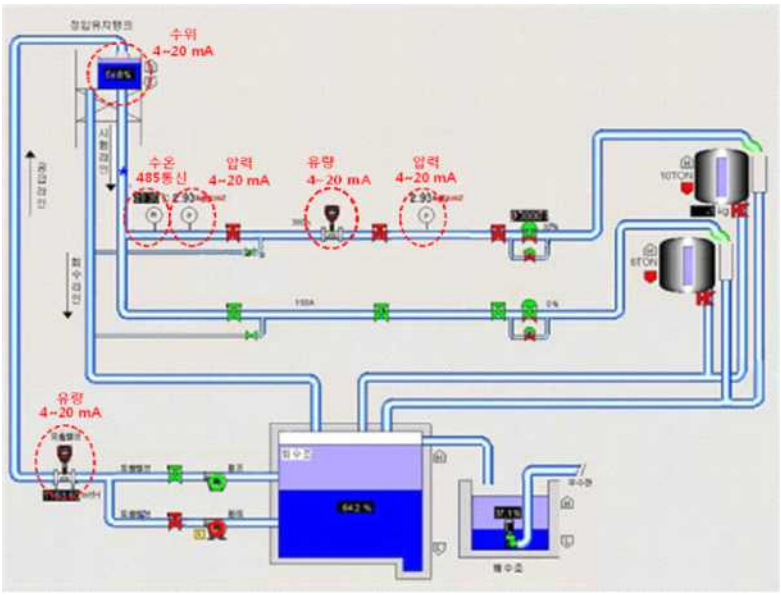
▌ 본 연구과제에서 수행하는 수직형 정수처리시설에 적합한 층별 센서노드 시작품 제작 및 프로그램 세팅에 앞서, K-water 연구원 유량계 교정센터를 활용하여 시작품 설치 및 시범시험으로 USN 통신망을 설계 및 구축, 구성 체계를 설계하였음

- 주관로의 수온은 RS-485 신호를 출력하며, 300 A의 유량은 4-20 mA의 신호를 출력함. 또한 센서노드 데이터 수집을 위한 Zigbee 게이트웨이가 운영관리용 PC와 RS-232로 연결됨
- 유량계 교정센터 내에 설치된 복합망의 통신형태는 표와 같으며, 교정동 내 설치

위치는 각각 아래 그림과 같음

▌표 2.92 데이터 계측 요소 ▐

통신형태	측정요소	수량(대)	통신방식	설치위치
Ziggbee (2.4 GHz 대역)	게이트웨이	1	RS-232	교정동 제어실
	유량계	1	4-20 mA	300 A 유량
	수위계	1	4-20 mA	정압탱크
	수온계	1	RS-485	주관로
	압력계	2	4-20 mA	주관로
	유량계	1	4-20 mA	지하펌프실 유량



▌그림 2.286 유량계 교정동 센서노드 위치▐

- 설치된 관측요소에 대해 수신되는 데이터는 아래 그림에서와 같이 운영관리용 PC의 전체화면에 나타나며, 데이터 전송 값, 데이터 요청시간 및 응답시간, 전송망, 전송경로, 데이터 경로 값 등을 확인할 수 있음
- 또한, 데이터 수신결과를 보면 1층 교정동 내와 지하 펌프실에 설치된 센서노드는 모두 거리에 상관없이 교정동 제어실에 있는 게이트웨이까지 양호한 데이터 수신율을 보임을 확인할 수 있었음

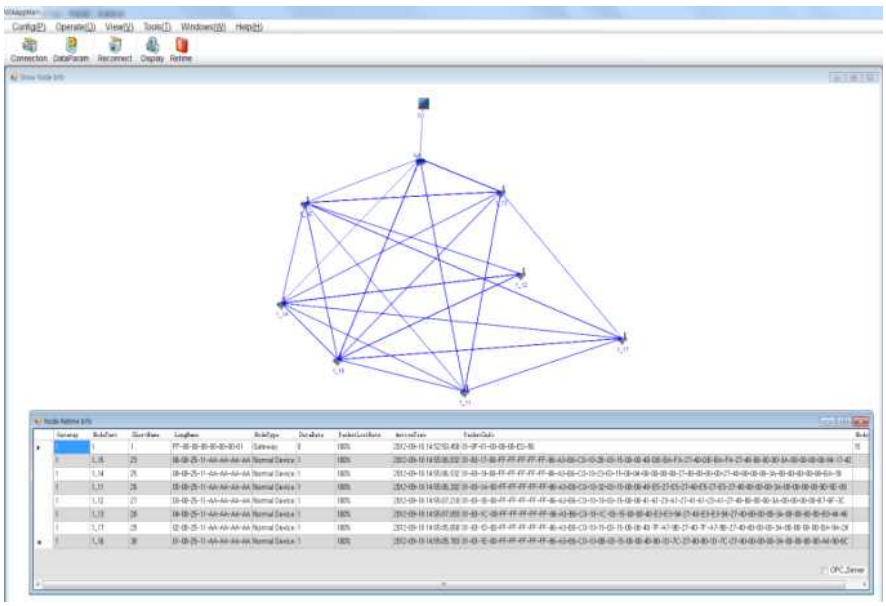
(a) 게이트웨이

(b) 정압탱크 수위계

(c) 주관로 수온 및 압력

(d) 지하펌프실 유량

▌그림 2.287 Zigbee 센서노드 설치 위치▐

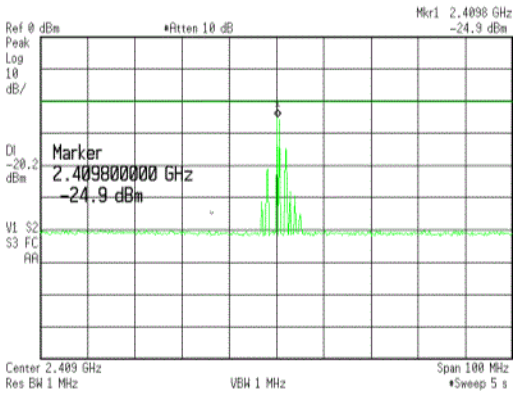


▌그림 2.288 데이터 수신 현황▐

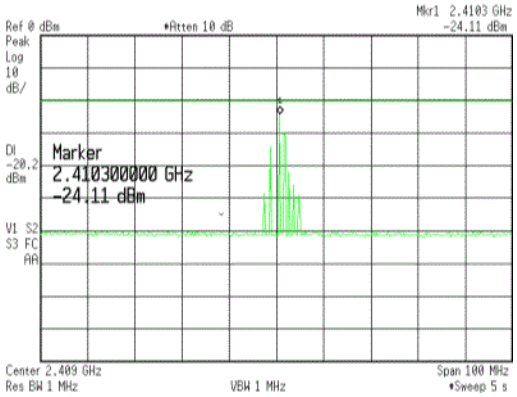
▌표 2.93 데이터 수신 결과 ▐

노드위치		수량(대)	송신위치	데이터 수신율
유량계	300A 유량	1	게이트웨이 (교정동 제어실)	양호
수위계	정압탱크	1		양호
수온계	주관로	1		양호
압력계	주관로	2		양호
유량계	지하펌프실 유량	1		양호

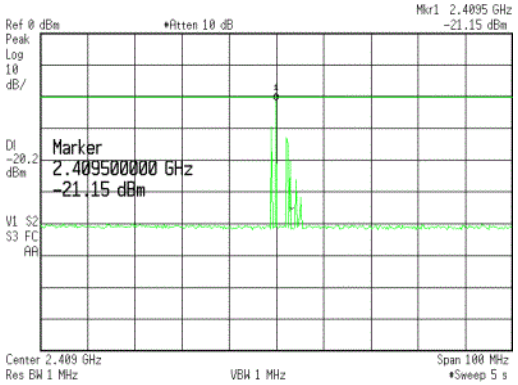
▌ **수신결과를 토대로 각 지점에 대한 요소별 수신강도를 스펙트럼 분석기(Spectrum Analyzer)를 사용하여 측정한 결과, Zigbee 신호에 대해 측정된 파형은 –21 ~ -25 dBm의 신호가 수신되는 것을 확인할 수 있었음**



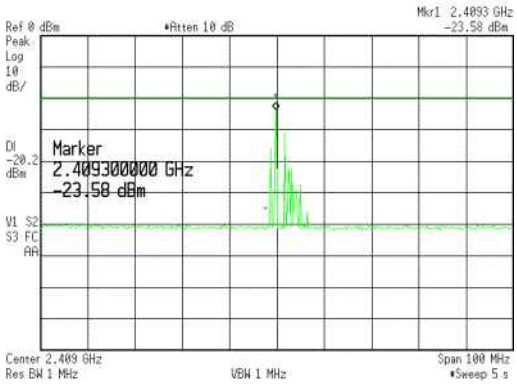
(a) 정압탱크 수위



(b) 300 A 유량



(c) 주관로 압력



(d) 주관로 수온

▌그림 2.289 Zigbee 수신레벨 ▐

제 3 절 연구 수행 결과 및 검증

1. 분산형 정수처리시설 설계기술 개발 및 Prototype 제작 (1세부)

가. 비상용수 용량기준

(1) 현황 및 필요성

▌ 국내의 경우 비상용수에 대한 명확한 정의 및 근거가 없음

- 민방위 기본법 「비상급수」에 대한 정의로서 「전쟁, 풍수해, 수원지파괴 등 민방위사태 발생으로 상수도 공급 중단시 최소한 음용수 및 생활용수를 안정정적으로 공급하기 위한 시설로 지하관정, 저수조, 자가발전기 및 정수기 등의 부대시설 일체를 포함한 비상급수시설」로 기술
- 상수도 시설기준에 따라 배수지의 유효용량은 6~12시간분의 시간변동조정용량과 배수지보다 상류측의 갈수, 수질사고, 시설사고 등의 비상대응수량 및 배수지 하류 측의 재해시 응급급수, 시설사고 등을 위한 비상대응 수량과 소화용수량을 감안하여 계획 1일 최대 급수량의 6~24시간분 정도 대비하는 것이 적정하다고 제시
- 「주택건설기준 등에 관한 규정」 제35조에 의거 세대당 1.5톤 이상 저수조를 의무설치하도록 규정(2014. 7. 24. 일부터 의무설치 규정 폐지)

▌ 선진국의 경우 비상용수 용량기준 수립을 통하여 용수공급의 안정성과 안전성에 대한 법적 근거를 마련하고 있으며, 이에 국내에서도 국내 수준을 고려한 장단기 적인 비상용수 공급시스템 구축에 대한 제도 마련이 요구됨

- 수도시스템은 주민 생활과 도시 기능 유지에 필수적인 기반시설로서, 수도 공급이 중단될 경우 도시의 기능이 마비되어 산업과 생활에 막대한 피해와 불편을 초래 할 수 있음, 빠르고 적절한 대처가 이루어지지 않을 경우 사회적 경제적 피해는 엄청나며, 복구에도 많은 시간과 비용이 소요됨
- 취·정수 시설 등 수도시스템 구조물 및 관로 파손, 화학물질 및 미생물에 의한 수질오염 등 자연재해 뿐 만 아니라 테러, 사고, 고장 등으로 인한 단수와 보건 문제야기 등의 피해 사례를 여러 곳에서 찾아 볼 수 있음
- 2011년 일본 동북부 지방의 대규모 지진 사태를 비롯한 용수공급시스템 인프라의 안정성을 위해하는 자연 및 인적 재해는 장기간의 용수공급 중단을 초래함과 동시

에 막대한 사회적, 경제적 손실을 가져옴

▌표 2.94 자연재해, 사고 등에 의한 용수공급 피해 사례 ▐ 출처: 워터저널

구분	피해 내용
정선, 태백 등(2009)	·매년 가뭄으로 용수공급 차질, 제한급수 실시
구미(2011. 5)	·가물막이 유실로 취수중단, 50만명 이상 5일간 단수
성남(2011. 2)	·관로 누수로 12만여명 48시간 단수
부산(2013. 1)	·사상구 상수도관(2,200㎜) 파열, 13만여 세대 14시간 단수
미국 웨스트버지니아(2014. 1)	·엘크강에 약 7500갤런(2만8400ℓ)의 화학물질 유출로 수돗물 오염, 약 30만명 식수, 생활용수 고통
마국 캘리포니아(2014. 7)	·LA지역 노후 상수관 파열, UCLA캠퍼스 등 침수, 3시간30분 동안 800만~1000만 갤런누출 추정
미국 허리케인 카트리나 (2005. 8)	· 1,000여개 이상 상수도시스템 피해, 2주 후 시설물 30% 복구(EPA) ·상수도기반시설 보수, 재설치에 약 3조 비용 소요 추산(AWWA)
일본 마야자키시(2005. 9)	·태풍, 강우로 정수시설 침수, 50일 후 1단계 복구, 6개월 후 완전 복구
프랑스(2000)	·황산 5,000ℓ Muese강에 폐기 먹는물 안전 공급 위협
홍성(1978. 10)	·홍성군청 반경 건물 118동 파손으로 인한 옥내배관 손상
울진(2004. 5), 오대산(2007. 1)	·진도 Ⅴ이상의 지진, 인프라의 손상 등의 피해는 보고되지 않음
일본 아키타현(1983)	·아키타현 22,187호(戶), 아오모리현 23,380호, 홋카이도 3,217호의 급수 중단, 복구시간 3주 소요
일본 효고현 남부(1995)	·니테코 저수조(수원)의 손상 ·공급관로 파손으로 고베시 11,800건의 피해 발생
일본 고베(1995년)	·상수원인 요도강 중앙관 파손 등 총체적 용수공급시스템 기능 상실, 1,500만명 주민 이주, 고베 지진 이후 응급 급수체계 수립
일본 토카치오키 (2003년)	·진앙지 동쪽 16,600명의 주민 단수 ·복구시간 8일, 내진 재료로 PE관 시험함
미국 캘리포니아 노스리지(1994)	·LA시 북쪽 정수장 입구 도수관(2,100㎜ 강관) 파열, 정수시설 단차 발생 및 배관/배선 손상, 복구시간 72시간, 설비복구 2개월 소요
미국 샌프란시스코 (1989)	·지진으로 정수시설 콘크리트 구조물 및 관로 균열 ·배급수관 100여개소 파손, 총 피해액 약 300만 달러
터키 코자엘리(1999)	·규모 7.2지진으로 지반변위에 의한 관로 파손, 관로 80㎞ 연장에 걸쳐 피해, 100만명이 7일 동안 단수, 복구시간 7일 소요
파키스탄(2005년)	·규모 7.6지진 NWFP(North West Frontier Province)지역 77,500세대 단수
인도네시아 수마트라 (2004)	·규모 8.9 초대형 지진으로 취수원 및 상수도관망 초토화

■ 유럽 및 미국의 경우 화학물질 오염, 홍수, 가뭄 등으로 인한 물공급 중단 사례가

발생하였고, 국내의 경우도 유해물질 유출, 취수시설 사고, 자연재해 등으로 인한 취수 및 급수 중단 사태를 경험

- 일본을 포함한 선진국 등 세계 물부족 관련 국가들은 재난으로 인해 용수공급시스템의 기능이 손상된 경우 소비자에게 지속적으로 용수를 공급하면서 복구절차를 수행해 나갈 수 있는「비상대응 시스템」구축에 노력하고 있음

(2) 비상용수 용량산정 방법론

(가) 상수도 현황조사

▌상수도 운영 현황은 광역상수도 및 지방상수도 사업자를 통한 공급을 통하여 상수도 보급률은 98.1%로서 OECD 국가와 비교할 때 선진국 수준임

- 전국 162개 지방상수도사업자(특·광역시 7, 특별자치시 1, 특별자치도 1, 시 73, 군 80) 및 1개 광역상수도사업자가 수돗물 공급
- 전국 상수도 보급율은 98.1%이며, 경제협력개발기구(OECD) 국가 중 호주 99.7%, 독일 99.3%, 일본 97.5%, 덴마크 97.2%등과 비교해도 손색없는 수준
- 지역별로 보면 7개 특·광역시 상수도 보급율 99.9%, 기타 시 지역 99.1%, 농어촌 지역 87.8%로 상대적으로 낮은 수준, 면단위 이하 지역 62.2%에 불과
- 국민 1인당 하루에 쓰는 수돗물의 양은 2012년 말 기준으로 278ℓ로 2003년 이후 지속적으로 증가 추세를 보였으나 2011년 279ℓ로 최고치로 조사된 이후 다소 주춤

▌연도별 상수도 급수 변동량 추이를 보면 실제 유수수량은 매년 지속적으로 증가하며, 용도별 물 사용량은 가정용이 가장 많은 것으로 나타남

- 2012년 상수도 통계에 의하면 국내에서 생산·공급한 수돗물 총량은 6,209백만㎥으로 누수량 등을 제외한 실제 유수수량은 5,063백만㎥으로 매년 지속적으로 증가
- 용도별 물사용량은 가정용 3,205백만㎥(63.8%)으로 가장 많고 영업용 1,314백만㎥(26.2%), 업무용 277백만㎥(5.5%), 공업용 118백만㎥(2.3%), 욕탕용 83백만㎥(1.7%), 기타 24백만㎥(0.5%) 순으로 나타남

▌연도별/업종별 물사용량 현황을 보면 전국 평균 332L 이며, 지역별로 다소간 편차가 나타남

- 2012년 말 지자체별 기준 1인1일당 급수량은, 전국 평균 332L이며 강원도(464L)가 가장

높고, 경상북도(442.8L), 세종특별자치시(425.6L), 충청북도(405.9L), 부산광역시(278.2L)순

▌ 국내 가정용수 총사용량 기준 원단위는 165.8 lpcd이며, 변기용수가 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 외국과 유사한 수준임

- 국내 가정용수의 총사용량 기준 원단위는 165.84 l pcd이며, 각 용도별 사용량은 변기용수 38.46 l pcd, 세탁기용수 30.76 l pcd, 싱크대용수 24.73 l pcd, 욕실용수 15.43 l pcd, 기타용수 13.50 l pcd 순으로 나타났으며, 개별용수와 총사용량의 차이발생은 미측정 수도꼭지, 옥내누수, 유량계 오차 등이 반영되어 약 13.4 l 의 차이가 발생함
- 미국 가정용수의 사용량과 높은 유사성을 보였으며, 영국의 경우 상대적으로 세탁용수의 사용량이 적고 변기용수의 사용량은 많은 것으로 나타남

▌표 2.95 상수도 보급 현황 ▐

상수도 보급 현황											
구분	단위	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
총 인구	천명	48,824	49,053	49,268	49,599	50,034	50,395	50,644	51,435	51,717	51,881
급수인구	천명	43,633	44,187	44,671	45,270	46,057	46,733	47,336	50,264	50,638	50,905
시설용량	천㎥/일	28,462	29,460	30,950	31,138	31,265	30,571	31,416	30,936	30,944	29,959
보급률	%	94.6	95.1	95.4	95.9	96.4	96.8	97.4	97.7	97.9	98.1
1인1일 물사용량	L	267	270	272	276	275	275	274	277	279	278
총급수량	백만㎥/년	5,723	5,909	6,002	5,749	5,747	5,804	5,760	5,910	6,021	6,029

※ 시설용량 자료는 공업용 정수시설 포함 출처: 환경부 상수도통계(2012)

▌표 2.96 연도별 상수도 총급수량 분석 추이 ▐ 환경부 상수도통계(2012)

연도별 상수도 총급수량 분석 추이										
구분	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
총급수량 (백만㎥)	5,723	5,909	6,002	5,749	5,747	5,804	5,760	5,910	6,021	6,029
유수수량 (백만㎥)	4,489	4,633	4,761	4,601	4,659	4,744	4,759	4,920	5,025	5,063
유수율(%)	78.4	78.4	79.3	80.0	81.1	81.7	82.6	83.2	83.5	84.0
누수량(백만㎥)	781	839	845	819	734	709	658	638	629	626
누수율(%)	13.6	14.2	14.1	14.2	12.8	12.2	11.4	10.8	10.4	10.4

▌표 2.97 전국 1인당 수돗물 사용량 추이▐ 환경부 상수도통계(2012)

전국 1인당 수돗물 사용량 추이(L/인/일)									
구 분	급수량	물 사용량	가정용	업무용	영업용 (일반용)	욕탕용	공업용	기타	유효무수수량 +무효수량
전 국	332	278	177	15	73	5	7	1	53

▌표 2.98 국내 가정용수 용도별 사용 현황▐

End-Use	Toilet	Laundry	Kitchen	Bathtub	Washbowl	etc	Total
lpcd	38.46	30.76	29.67	24.73	15.43	13.50	165.84
Ratio(%)	23.2	18.5	17.9	14.9	10.2	8.9	100.0

▌표 2.99 국가별 가정용수 사용량 비교▐

Use	U.K		U.S		Korea	
	l pcd	ratio(%)	l pcd	ratio(%)	l pcd	ratio(%)
Bathing	33	26	43	30	40	29
Toilet	44	34	30	21	39	28
Laundry	15	12	35	24	31	23
Kitchen	36	28	35	25	28	20
Total	128	100	143	100	138	100

출처: 합리적인 용수수요예측을 위한 생활용수추정 모델개발, 한국수자원공사(2007)

▌ 생활용수의 비상급수는 제한급수와 운반급수 방식에 의해 이루어지고 있음

▌표 2.100 전국 비상급수 현황(예)▐ (단위 : 세대, 명)

시도	시군	마을	합계		제한급수		운반급수	
			세대수	인원	세대수	인원	세대수	인원
합계	77	1,227	109,296	280,168	97,961	228,068	11,335	51,800
대구	2	5	137	694	57	142	80	252
경기	3	9	213	763	144	490	69	273
강원	8	117	29,694	75,537	27,119	68,489	2,575	7,048
충북	8	46	993	2,468	461	1,102	532	1,366
충남	4	41	2,592	7,037	1,666	4,668	926	2,369
전북	10	159	6,086	14,239	4,089	9,672	1,997	4,567
전남	16	286	23,305	48,419	21,732	44,561	1,573	3,858
경북	11	139	19,220	65,945	17,786	38,676	1,434	27,269
경남	15	425	27,056	65,066	24,907	60,268	2,149	4,798

출처: 2008~2009 가뭄극복추진 성과보고서, 소방방재청(2009)

(나) 국내 상수도 사고 현황

▌ 1980년 광역상수도 관리 이후 2009년까지 총 1,221건의 수도사고가 발생하였으며, 이중 86%인 1,057건의 관로사고 발생

- 관로사고 중 시설의 노후로 인한 사고가 총 251건으로 23.7%를 차지하고 있으며, 기간별 사고발생 현황에서 사업초기년도인 1980~1990년도 355건, 1991~2000년 270건
- 관로사고의 유형 중 발생빈도가 높은 사고유형을 보면 1순위부터 5순위까지 발생률이 23.7~9.5%로 노후, 외적요인, 수충압, 기타원인 및 타 공사 등 외적요인이 전체 사고의 76%인 804건으로 나타남.

▌표 2.101 광역상수도 사고 발생 현황 ▌

구 분	총 계	사고유형		
		관 로	설 비	수 질
사고이력 건수	1,221 (100%)	1,057 (86%)	93 (8%)	71 (6%)
1980년~2008년 (연평균 건수)	1,140 (42)	979 (36)	91 (3)	70 (2)
2009년	81	78	2	1
총관로연장 / 총관리시설개소	-	4,802㎞	140개소	-

출처: 관로시스템 재구축 기본조사 보고서, 한국수자원공사 2010

▌표 2.102 발생빈도가 높은 사고 유형 ▌

발생빈도가 높은 사고유형	사고건수(건)	발생률(%)
노후에 의한 관 부식	251	23.7
외적요인에 의한 원인	209	19.8
수충압 작용에 따른 접합부 이격	140	13.2
기타원인에 의한 사고	104	9.8
타공사 등 외적요인에 의한 관 파손	100	9.5
총 계	804	76.0

출처: 관로시스템 재구축 기본조사 보고서, 한국수자원공사 2010

▌표 2.103 연도별 광역상수도 관로 사고건수 ▌

구분	관로연장 (km)	연도별 관로 사고건수(단위:건)									2010년 발생율 (건/100km)
		계	'80~'90	'91~'00	'01~'05	'06	'07	'08	'09	'10	
계	4,887	1,162	355	270	163	70	52	69	78	104	2.13

출처: 이재범, 수돗물 공급 안정화를 위한 광역상수도 관로 안정화 타당성 연구(2014)

- 1980년부터 2010년까지 광역상수도에서 발생한 관로사고는 1,162건이며 매년 평균적으로 37.6건 발생하고 있으며, 최근 발생건수가 증가하고 있는 추세
- 단수사고로 인한 단수시간은 총 730.9시간으로 30일에 해당하며 평균 단수시간은 11.2시간

▌환경부 자료에 의하여 2012년에만 단수 및 누수사고가 2만 7천여건 발생함

- 환경부 자료에 따르면 2012년에만 전국적으로 단수와 누수사고가 2만7천여건이 발생, 공지단수 14천여건, 비공지단수 13천여건으로 하루에 76건이 이르는 단수사고가 발생

▌표 2.104 2012년 월별 단수건수 ▌ 환경부 상수도통계(2012)

자료명	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
공지단수(건)	1,076	1,224	1,213	1,128	1,256	1,272	1,085	1,120	1,081	1,291	1,138	1,184	14,068
비공지단수(건)	1,143	1,291	1,085	1,055	1,161	1,132	1,055	1,178	1,229	1,217	997	1,235	13,778

▌표 2.105 2012년 월별 단수시간 ▌ 환경부 상수도통계(2012)

자료명	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
공지단수(시간)	1,343	1,746	2,617	3,321	3,976	3,975	3,021	2,893	2,883	3,616	2,782	1,914	34,087
비공지단수(시간)	1,473	1,614	1,325	1,266	1,401	1,230	1,342	1,376	1,553	1,516	1,218	1,411	16,725

▌수질사고 발생은 매년 증가추세이며, 이중 관리부주의로 인한 사고가 가장 높은 비중을 차지하고 있음

- 2008~2012년까지 수질오염사고 발생현황, 2012년도 83건 발생 매년 증가 추세
- 관리부주의로 인한 사고가 가장 높은 비율인 179건(51.1%) 차지, 기타 80건(22.7%), 자연현상 70건(19.9%) 및 교통사고 21건(5.9%)에 의한 수질오염사고로 각각 나타남

▌표 2.106 수질오염 사고 발생 현황 분석 ▌ (단위:건)

연도별	합계	관리 부주의	교통사고	자연현상	기타
계	350	179	21	70	80
2012년	83	34	4	13	32
2011년	68	43	2	11	12
2010년	86	45	5	17	19
2009년	60	30	6	19	5
2008년	53	27	4	10	12

출처: 수질오염사고 발생현황 및 분석・평가, 환경부 수생태보전과(2012)

▌ 기후변화와 관련된 가뭄 등에 의한 제한급수 발생도 빈번하게 발생하고 있음

■ 관로사고 등 수자원 파괴에 의해 발생하는 단수사고 이외에도 최근 기후 변화와 관련하여 가뭄의 영향으로 인한 단수사례도 빈번하게 발생(2001년에는 가장 많은 86개 시·군지역에서 제한급수를 실시하였으며, 1996년에는 72만 여명의 인구가 급수의 제한을 받음)

▌표 2.107 연도별 제한급수 인구 추이 ▌

연도별	가뭄지역(시·군)	제한급수 인구수(명)
1996	25개	723,495
1997	12개	177,713
1999	15개	61,360
2000	20개	184,411
2001	86개	304,815
2002	23개	99,305
2008~2009	77개	228,068

출처: 2011물과미래, 수자원공사, 2011, p.75

▌ 다양한 원인에 의한 상수도 서비스 관련 민원은 년도별로 다소 차이를 보이고 있으며, 요금, 누수 등에 의한 민원이 대부분을 차지하고 있음

■ 2012년 상수도서비스 관련 민원 전년대비 319,147건(22.8%) 감소한 총 1,078,795건 발생

■ 요금 관련 민원 62.8%(677,877건), 누수 156,508건(14.5%), 기타 144,648건(13.4%) 순

▌표 2.108 연도별 민원 현황 ▌

종류별 민원현황(건)									
연 도	총 민원건수	민원의 유형							
		수질	출수 불량	과수압	단수	누수	요금	불친절	기타
2012	1,078,795 (100%)	14,596 (1.4%)	52,074 (4.8%)	1,891 (0.2%)	30,731 (2.8%)	156,508 (14.5%)	677,877 (62.8%)	470 (0.04%)	144,648 (13.4%)
2011	1,397,942	17,219	67,081	1,763	32,961	158,037	929,259	450	191,172
2010	1,209,705	16,393	52,854	1,433	23,560	143,086	846,484	480	125,415
2009	1,044,066	11,442	48,154	1,124	21,626	133,778	730,861	59	97,022
2008	593,852	11,042	50,889	539	21,763	113,489	318,000	64	78,066

출처: 환경부 상수도통계(2012)

(다) 급수시설 현황

▌민방위 기본법에 의한 비상급수 시설에서의 계획 확보량은 25 Liters/인.일 임

- 민방위기본법 제15조의 민방위 준비 명령에 따라 급수량은 1인 1일 25 Liters (식수 9Liter, 생활용수 16Liter) 기준으로, 해당지역 주민등록상의 도시인구를 기준으로 계획 확보량을 산정하고 있음
- 소요량 부족지역, 상습가뭄 등 식수난 우려지역을 설치대상으로 양수량 100톤/일 이상, 서해5도 대피시설 내 직수 관정시설 설치 또는 상수도 연결시 수용인원 대비 최소 3일 사용량(1인 1일 25ℓ 기준) 확보할 수 있는 급수탱크(저수조)시설 설치
- 총소요 : 1,164천톤/일(읍이상 거주 46,553천명 대상, 25L/1인 1일 기준)
  음용수 419천톤, 생활용수 745천톤
- 확 보 : 6,074개소, 1,140천톤(확보율 : 97.9%)

▌표 2.109 민방위 비상급수 시설 현황▐

구 분		계	정부지원	지자체	공공용지정
확보	개소	6,074	1,301	611	4,162
	규모	1,140	278	122	740

구 분		계	음용수	생활용수
소요량		1,164	419	745
확보	개소	6,074	2,778	3,296
	규모	1,140	544	596

출처: 소방방재 주요통계, 소방방재청, 2012

▌공공주택 비상급수 시설(주택건설기준등에관한규정 제35조)

- 공동주택을 건설하는 경우 주택단지에는 먹는물관리법 제5조의 규정에 의한 먹는물의 수질기준에 적합한 비상용수를 공급할 수 있는 지하양수시설 또는 지하저수조 시설을 설치
- 「주택법」의 주택건설사업계획 승인 대상지인 공동주택은 「주택건설기준 등에 관한 규정」 제35조에 의거 세대당 1.5톤 이상 저수조 설치가 의무화 되어 있음 (‘14.7.24. 지하수조 의무설치 규정 폐지)
- 저수조의 경우 지하저수조가 63,903 개소, 고가저수조가 114,682 개소 등 178,585 개소가 설치되어 있으며, 용량은 23,152천㎥으로 조사

▌표 2.110 전국 시·도별 비상급수시설 확보 현황▐ ['14.1.3일 기준]

시도	확보량 계		정부지원시설		지자체시설		공공용지정시설	
	개소	톤수	개소	톤수	개소	톤수	개소	톤수
합계	6,140	1,142,440	1,295	276,223	583	111,272	4,262	754,945
서울	1,289	178,231	102	22,444	60	8,172	1,127	147,615
부산	784	93,122	74	14,641	137	17,132	573	61,349
대구	212	73,330	59	26,073	22	7,852	131	39,405
인천	488	61,677	90	16,793	14	2,566	384	42,318
광주	166	42,043	61	19,925	2	220	103	21,898
대전	204	45,527	42	8,287	89	23,171	73	14,069
울산	171	28,509	25	4,340	5	1,350	141	22,819
세종	5	912	3	662	2	250	-	-
경기	1,266	293,787	287	49,984	123	22,191	856	221,612
강원	141	40,168	61	11,100	14	2,086	66	26,982
충북	193	35,435	71	13,715	12	1,830	110	19,890
충남	131	27,571	76	16,305	11	2,360	44	8,906
전북	296	39,612	62	10,395	5	820	229	28,397
전남	186	37,599	78	17,979	36	7,672	72	11,948
경북	185	43,624	120	26,957	39	9,190	26	7,477
경남	393	81,774	84	16,623	9	1,620	300	63,531
제주	30	19,519	-	-	3	2,790	27	16,729

※ 정부지원 시설 : 소방방재청에서 국비 지원하여 설치한 시설
※ 지 자 체 시설 : 지자체에서 관리하고 있는 시설
※ 공공용 지정시설 : 민간시설에 대하여 지정한 시설

▌표 2.111 공동주택 비상급수 시설 설치 기준▐

대 상		설치기준
특별시, 광역시, 수도권, 인구20만이상의 시·군	지하수 미개발	지하저수조 1.5톤(옥상물탱크 및 고가수조 포함) - 수동식 펌프 : 1대/50호
	지하수 개발	지하저수조 0.5톤(옥상물탱크 및 고가수조 미포함) 지하수 개발 0.2톤 - 비상전원 및 펌프설치
시·군	지하수 미개발	지하수조 1.0톤(옥상물탱크 및 고가수조 포함) - 수동식 펌프 1대/50호
	지하수 개발	지하수조 0.5톤(옥상물탱크 및 고가수조 미포함) 지하수 개발 0.1톤 - 비상전원 및 펌프설치

▌표 2.112 전국 저수조 현황▐ 상수도 통계(2012), 환경부

수도 사업자	저수조 용량											
	고가 저수조						지하 저수조					
	100㎥이하		101~300㎥		301㎥이상		100㎥이하		101~300㎥		301㎥이상	
	개소	㎥	개소	㎥	개소	㎥	개소	㎥	개소	㎥	개소	㎥
합계	86,610	2,093,544	15,173	1,209,263	12,899	1,737,759	27,330	1,366,453	16,601	5,219,022	19,972	11,526,105

구분	100㎥이하		101~300㎥		301㎥이상	
	개소	㎥	개소	㎥	개소	㎥
고가저수조	86,610	2,093,544	15,173	1,209,263	12,899	1,737,759
지하저수조	27,330	1,366,453	16,601	5,219,022	19,972	11,526,105
합 계	113,940	3,459,997	31,774	6,428,285	32,871	13,263,864

▌광역수도사업자인 K-water의 경우 상수도 시설기준에 준하는 정수지 용량을 확보하여 운영하고 있음

▌표 2.113 K-water 정수지 현황 ▐

구분	정수장명	용량(㎥)	설계 체류시간(hr)
수도권	반월정수장	3,254(2단계)/2,048(3단계), 5,760(통합)	1.04/1.10, 0.70
	시흥정수장	42,140(생활)/16,200(공업)	8.20/2.40
	성남정수장	23,100/22,050	2.60/2.90
	수지정수장	120,600	2.60
	덕소정수장	46,300(5)/47,418(6)	5.60/4.40
	와부정수장	11,636(3)/8,786(4)	2.20/2.50
	일산정수장	16,171	1.50
	고양정수장	22,688	1.60
	파주정수장	12,603	1.36
강원권	황지정수장	6,064	2.05
	송전정수장	25,554	6.13
충청권	충주정수장	22,000	2.16
	청주정수장	40,105(1단계)/11,643(2단계)	2.28/1.38
	석성정수장	10,883	2.50
	공주정수장	6,010	4.60
	천안정수장	34,476(생활)/3,112(공업)	2.36
	보령정수장	24,380	1.85
	금산정수장	4,230	3
전북권	고산정수장	35,657(구)/26,000(신)	2.14/2.08
	부안정수장	8,000	2.20
	산성정수장	6,200	1.65
	군산정수장	5,825	0.93
	동화정수장	6,400	2.95
광주 전남권	화순정수장	6,720	1.60
	별량정수장	2,177	1.20
	평림정수장	3,200	1.94
	덕정정수장	25,805	4.12
대구 경북권	구미정수장	20,060(1단계)/11,250(2단계), 3,792(공업)	3.80/1.40, 2.20
	해평정수장	1,676	2.10
	학야정수장	5,324	2.07
	자인정수장	6,636	3.98
	운문정수장	1,040	1.56
	고령정수장	1,345(생활)/2,842(공업)	1.79(생활)/1.97(공업)
경남 부산권	온산정수장	11,112(기존)/19,440(확장)	3.32
	반송정수장	15,803	4.00
	사천	11,460(1단계)/18,731(2단계)	2.27/2.20
	밀양정수장	7,116	2.30
	양산정수장	6,686	2.00
	구천정수장	2,394	2.20
	연초정수장	1,540	2.32
		837,496(생활)/25,946(공업)	

▌ 전국의 배수지는 1,856개소, 시설용량은 10,364 천㎥/일, 평균 체류시간 14.8 시간을 나타내고 있음

▌표 2.114 전국 배수지 현황 ▌ 환경부 상수도통계(2012)

수도사업자	배수지			
	개소수(개소)	시설용량(㎥)	배수량(㎥/일)	저류시간(hr)
서울특별시	101	2,379,820	3,159,095	18.1
부산광역시	68	488,605	1,179,224	9.9
대구광역시	29	421,200	769,101	13.1
인천광역시	23	495,000	706,300	16.8
광주광역시	16	239,700	523,022	11.0
대전광역시	37	393,690	497,352	19.0
울산광역시	22	191,200	253,792	18.1
세종특별자치시	7	16,893	16,893	24.0
경기도	251	2,574,083	4,114,372	15.0
강원도	151	336,721	552,980	14.6
충청북도	107	326,984	501,232	15.7
충청남도	113	392,941	587,404	16.1
전라북도	111	433,549	842,741	12.3
전라남도	194	415,576	608,917	16.4
경상북도	232	507,555	949,504	12.8
경상남도	214	605,243	1,273,512	11.4
제주도	180	145,510	291,020	12.0
합 계	1,856	10,364,270	16,826,461	14.8

▌ 전국 급수인구는 51.28백만명으로서 이중 미급수 인구는 2백만명 가량임

▌표 2.115 전국 급수 인구 현황 ▌ 환경부 상수도통계(2012)

수도사업자	총인구 합계	급수인구 합계	마을,소규모,전용상수도시설현황				미급수 인구 합계	행정구역 기준 보급율	
			마을 상수도	소규모 급수	전용 상수도	기타(우물,샘등)		일반 상수도	지방및광역 상수도
서울특별시	10,442,426	10,442,426	0	0	0	0	0	100	100
부산광역시	3,573,533	3,571,946	1,011	576	0	0	1,587	100	100
대구광역시	2,527,566	2,524,026	968	432	0	0	1,400	99.9	99.9
인천광역시	2,891,286	2,844,966	36,427	9,893	0	0	46,320	98.4	98.4
광주광역시	1,483,708	1,476,306	1,425	237	228	5,512	7,402	99.5	99.5
대전광역시	1,539,154	1,535,095	1,061	1,898	0	1,100	4,059	99.7	99.7
울산광역시	1,166,503	1,137,252	0	3,942	0	9,403	13,345	98.9	97.5

수도사업자	총인구 합계	급수인구 합계	마을,소규모,전용상수도시설현황				미급수 인구 합계	행정구역 기준 보급율	
			마을 상수도	소규모 급수	전용 상수도	기타(우물,샘등)		일반 상수도	지방및광역상수도
세종시	115,477	82,501	0	5,245	2,481	18,723	26,449	77.1	71.4
경기도	12,381,550	12,000,558	56,679	21,827	49,068	221,310	348,884	97.2	96.9
강원도	1,551,531	1,364,075	17,041	37,991	7,794	88,758	151,584	90.2	87.9
충청북도	1,590,458	1,393,785	23,832	69,941	21,171	30,741	145,685	90.8	87.6
충청남도	2,074,918	1,638,663	11,212	62,118	28,844	177,313	279,487	86.5	79
전라북도	1,895,371	1,757,789	31,474	34,444	9,453	44,314	119,685	93.7	92.7
전라남도	1,933,220	1,546,198	38,912	62,832	15,846	140,674	258,264	86.6	80
경상북도	2,738,420	2,386,603	123,491	111,528	18,303	54,780	308,102	88.7	87.2
경상남도	3,383,685	3,059,316	157,262	89,405	698	30,163	277,528	91.8	90.4
제주도	592,448	592,449	0	0	0	0	0	100	100
합계	51,288,806	48,761,505	500,795	512,309	153,886	822,791	1,989,781	96.2	95.1

▌전국 급수인구 대비 배수지 및 저수조 저수 용량 검토결과 1인당 1일 배수용량은 지역별로 다소 편차를 나타내며 급수인구 대비 205(세종시)~491(제주시)의 범위임

▌표 2.116 전국 급수인구 대비 배수지 및 저수조 용량▐

수도사업자	1인당 1일 배수용량(lpcd)		1인당 1일 저수용량(lpcd)	
	총인구 대비	급수인구 대비	총인구 대비	급수인구 대비
서울특별시	303	303	559	559
부산광역시	330	330	461	462
대구광역시	304	305	332	332
인천광역시	244	248	451	459
광주광역시	353	354	678	681
대전광역시	323	324	527	528
울산광역시	218	223	397	407
세종특별자치시	146	205	147	206
경기도	332	343	451	466
강원도	356	405	382	435
충청북도	315	360	210	239
충청남도	283	358	281	356
전라북도	445	479	383	413
전라남도	315	394	257	321
경상북도	347	398	408	468
경상남도	376	416	485	536
제주도	491	491	253	253
합계	328	345	451	475

(라) 비상시 급수대책

① 국내 비상시 급수대책

▌K-water의 경우 위기대응 실무매뉴얼에서는 각종 풍수해, 가뭄 등 재난으로 인한 제한 급수지역 발생에 대비하여 지역 실정에 따라 1단계(10% 감량공급) ~ 6단계(취수원 고갈)로 구분하여 단계별로 추진대책 수립·실시

▌표 2.117 비상시 급수대책 ▌

단계	기 준	내 용
Ⅰ	10%감량 공급시	고지대 및 급수불량지역 운반급수, 방송, 캠페인 등을 통한 절수, 홍보, 상수도 수질관리 강화(정수장 소독, 급수전 검사)
Ⅱ	10~30% 감량 공급시	시, 군 단위별로「비상급수대책 상황실」운영, 물 다량사용업소의 영업시간 단축, 자발적 유도, 수질관리 강화(정수장 소독, 급수전 검사), 공공건물, 대형빌딩 절수 확대, 공업용수 절약사용 및 재활용 확대, 각 가정 절수 적극 유도, 결일제 또는 3일제 제한급수 실시, 수영장, 세차장 등 영업시간단축 또는 임시휴업
Ⅲ	30~50%감량 공급시	목욕탕, 사우나 등 격일제 영업, 농업, 공업용수원을 상수원으로 전환, 수돗물 다량 사용 공장 조업 단축
Ⅳ	50~60%감량 공급시	실정에 따라 3~5일제 급수, 최소한의 생활용수만 공급, 개인관정, 전용상수도 공동 이용 확대
Ⅴ	60%이상 감량 공급시	최소한의 생활용수만 공급, 수돗물 다량 사용 공장 조업중단
Ⅵ	최수원 고갈기	인근 지자체에서 운반급수, 최소한의 식수 배급제 실시

출처: 「식・용수분야」위기대응 실무매뉴얼, 한국수자원공사(2014)

▌표 2.118 수질 이상 오염▐ (위기형태별 경보수준)

등 급	내 용
관 심 (Blue)	(상수원) 상수원 수질오염사고 징후 발생, 취수원이 있는 동일수계(상수원)에 수질오염사고 발생(직접적인 영향은 없음), 냄새물질 20ppt 초과 2일 이상 검출 시 (정수장) ·수돗물 수질기준 초과 징후 발생
주 의 (Yellow)	(상수원) 수질오염사고 발생(오염된 원수 취수장 유입 않았으나 유입될 가능성 상존) (정수장) 수질오염 상황판단기준 : Ⅱ급 상황, 주민들의 건강에 단기간 내 영향을 미치는 위급한 상황은 아니며, 수돗물 수질기준을 일시적으로 초과
경 계 (Orange)	(상수원) 수질오염사고로 오염된 원수의 취수장 유입 (정수장) 수질오염 상황판단기준 : Ⅰ급 상황, 수돗물 중 오염물질로 인해 급수대상 지역주민들의 건강에 단기간 내 위해 영향을 미칠 수 있는 위급한 상황
심 각 (Red)	(상수원) 수질오염사고로 인한 오염된 원수 유입으로 정수처리 곤란 (정수장) 수질오염 상황판단기준 : 급수중지, 경계 상황의 지속 및 건강상 유해영향 유·무기물질 등이 기준을 초과하여 주민들의 건강을 해 할 우려가 있는 상황

※ 주의 이하 단계 정부 주관기관(국토교통부, 환경부) 보고는 유선 시행

▌표 2.119 식용수 시설·설비 파괴▐ - 광역상수도-

등 급	내 용
관 심 (Blue)	·수도시설 및 설비 파괴 등으로 수도사고가 발생하였으나 실단수 발생 않은 경우 ·관로사고로 인한 2차사고(인명, 재산피해)의 우려가 있는 경우 ·작업자의 실수, 화학물질 보관 설비 등의 이상으로 화학물질 유출 가능성 발생 ·테러첩보의 접수
주 의 (Yellow)	·수도시설 및 설비 파괴 등으로 일부지역에서 일시적인 급수중단 발생 - 단, 단수인구 5만명 미만 or 단수시간 24시간 미만 경우는 반드시 포함 ·인근지역에 영향을 미치지 않을 정도의 경미한 화학물질 유출사고 발생
경 계 (Orange)	·수도시설 및 설비 파괴 등으로 일부지역에서 급수중단 지속 예상될 경우 단, 수도시설 파괴로 10%이상 급수중단, 단수인구 5만명 이상 or 단수시간 24시간 이상, 관로사고로 인한 2차사고 발생(인명, 재산피해) 경우는 반드시 포함 ·인근지역에 경미한 영향을 미치는 정도의 화학물질 유출사고 발생 - 화학물질이 사업장(정수장) 외부로 유출되어 인근지역에 직·간접적 영향미침
심 각 (Red)	·수도시설 및 설비 파괴 등으로 광범위한 지역 또는 다수의 급수인구에 급수중단이 지속될 것으로 예상될 경우 단, 수도시설 파괴로 30%이상 급수중단, 단수인구 100만명 이상 or 단수시간 48시간 이상 관로사고, 2차사고 발생(인명, 재산피해)으로 소송제기 경우는 반드시 포함 ·인근지역에 광범위한 영향을 미치는 정도의 화학물질 유출사고 발생

▌표 2.120 식용수 시설·설비 파괴▐ - 지방상수도-

등 급	내 용
관 심 (Blue)	·단수세대가 1,000세대 이상~2,000세대 미만 or 단수시간 6시간 이상~12시간 미만
주 의 (Yellow)	·수도시설 및 설비 파괴 등으로 일부지역에서 일시적인 급수중단 발생 단, 아래의 경우는 반드시 포함 - 단수세대가 2,000세대 이상~5,000세대 미만 or 단수시간 12시간 이상
경 계 (Orange)	·수도시설 및 설비 파괴 등으로 일부지역에서 급수중단 지속될 것으로 예상될 경우 단, 단수세대가 5,000세대 이상~10,000세대 미만 or 단수시간 24시간 이상, 관로사고로 인한 2차사고 발생(인명, 재산 피해)의 경우 반드시 포함
심 각 (Red)	·수도시설 및 설비 파괴 등으로 광범위한 지역 또는 다수의 급수인구에 급수중단이 지속될 것으로 예상될 경우 단, 단수세대가 10,000세대 이상 or 단수시간 48시간 이상인 관로사고, 관로사고로 인한 2차사고 발생(인명, 재산 피해)으로 소송제기 경우는 반드시 포함

출처: 「식·용수분야」위기대응 실무매뉴얼, 한국수자원공사(2014)

② 국외 비상시 급수대책

- WHO(World Health Organization)는 비상시 식수 및 개인위생에 관한 기술 정보를 통해 비상시 영향을 받는 사람에게 필요한 최소요구량에 대한 기준을 설정하여 지정 및 권장
- 사람들은 다양한 활동을 위해 물을 사용하며, 생존을 위해 필요한 최소한의 마시는 물의 중요성과 마찬가지로 각종 피부질환의 예방을 위한 개인위생이나 다른 생리적 요구를 충족을 위한 세척용수 또한 중요하게 작용

▌그림 2.290 비상시 필요 용수량▐

출처: Technical Notes for Emergencies-Minimum water quantity needed for domestic use in emergencies. Techical Note No.9, world health organization(2005)

▌표 2.121 생존을 위한 물 요구 사항▐

수요 형태	수 량	비 고
Survival(Drinking and food)	2.5 ~ 3 lpd	Depends on climate and individual physiology
Basic Hygiene practices	2 ~ 6 lpd	Depends on social and cultural norms
Basic cooking need	3 ~ 6 lpd	Depends on food type, social and cultural norms
합계	**7.5 ~ 15 lpd**	**lpd : Litres per day**

출처: Guidlines for drinking-water quality, World Health Organization(2011)

- 물의 사용용도에 대한 우선순위는 국가별, 지역별, 문화적인 특수성을 고려
- 일부 문화권에서는 위생수건을 세탁하거나 기도하기 전에 손발을 씻는 용도에 사용되는 물의 필요성이 다른 용도에 사용되는 물보다 우선순위에 있을 수 있으며, 성별에 따라 서로 다른 우선순위를 가질 수 있음
- 여성의 경우 생리중에 질병예방을 위한 개인위생에 더 큰 요구사항을 나타낼 수 있음
- 하루에 필요한 1인당 20L의 양은 건강과 위생을 위한 최소한의 필수수준을 실현하는데 필요한 안전한 물의 최소한의 양
- 비상사태에 제공하는 용수는 많은 다른 서비스 중 건강관리에 필수적이며, 종교와 농업 등 다른 용도에도 필수적으로 사용
- 공급자는 물 부족 공급장치를 사용하는 방법을 결정하며 수요자가 용수공급의 중요성에 우선순위를 둔다면 필요한 용수공급을 제공

▌표 2.122 비가정용수의 사용을 위한 최소한의 물 필요 용량에 대한 지침

용도(Use)	물 필요 용량 지침(Guideline quantity)
Health centres and hospitals	5litres/out-patient; 40-60litres/in-patient/day, Additional quantities may be needed for laundry equipment, flushing toiles, etc.
Cholrea cetres	60litres/patient/day; 15litres/carer/day
Therapeutic feeding centres	30lires/in-patient/day; 15litres/carer/day
Operating theatre/maternity	100litres/intervention
SARS isolation	100litres/isolation
viral Haemorrhagic Fever isolation	300-400litres/isolation
Schools	3litres/pupil/day for drinking and hand washing (use for toliets not included: see below)
Mosques	2-5litres/person/day for washing and drinking
Public toilets	1-2litres/user/day for hand washing; 2-8 litres/cubicle/day for toilet cleaning
All flushing toilets	20-40litres/user/day for conventional flushing toilets connected to a sewer; 3-5litres/user/day for pour-flush toilets
Livestock/day	cattle, horses, mules: 2-30litres per head; goats, sheep, pigs: 10-20litres per head, Chicken: 10-20litres per 100
Vegetable gardens	3-6litres per square metre per day

출처: world health organization, Technical Notes on Drinking-water, Sanitation and Hygiene in Emergencies “how much water is needed in emergencies”. Techical Note No.9.

- 미국의 비상시 대응은 국가대응체계(National Response Framework(NRF))하에 이루어지고 15개의 비상지원기능으로 나뉘어지며 임무, 절차, 조직 등에 대한 설명을 국가재난관리국(Federal Emergency Management Agency(FEMA))에서 하고 있음
- 병원, 보건의료시설 등은 저류조(storage tank)를 두고, 통상 긴급시 사용을 위해 적어도 1갤런/인, 3일치를 저장하기를 권고하고 있음
- FEMA에서는 웹사이트를 통해 재난 발생시 식수와 위생 시설용으로 매일 1인당 최소한 1갤런(약 3.76리터)의 물을 보관하고 최소한 3일분의 급수시설을 유지하도록 하며, 비상시 물 보관 및 공급 방법에 대해 설명하고 있음
- 영국은 Water Supply(Water Quality) Regulations(2010)등에 근거하고, 병물은행(Bottled Water Bank)을 운영하며, 비상시 저류 물탱크를 설치하고 있음
- 일본의 경우 「수도의 내진화 계획 등 책정지침」에서 비상용수량 산정기준을 재해일부터 단계를 나누어 응급 급수의 목표수량 및 공급범위 등을 명시
- 재해 발생으로부터 3일까지는 1km 이내의 내진성 저수조나 탱크차에 의해 1일 3L를 확보하도록 하고 있으며, 4~10일째까지는 250m 이내에 있는 배수관 간선 부군의 개설 급수전을 통해 1일 20L, 11~21까지는 100m이내에 1일 100L, 22일 이후부터는 250L를 공급하도록 명시

▌표 2.123 지진 재해시 응급급수 기준▐

지진 재해시 자립일수 기준별 응급 급수량 및 사용용도		
지진발생 이후	응급급수량(1인/day)	용 도
~ 3일	3L	생존을 위한 최소 수량
4 ~ 7일	3 ~ 20L	간단한 취사. 화장실 용수(1인 1회)
8 ~ 14일	20 ~ 100L	목욕(3일 1회 1인) 빨래, 화장실(1인 1일 1회)
15 ~ 21일	100 ~ 250L	지진 발생전 상황과 유사한 수준
22 ~ 28일	250L	지진 이전과 유사한 수량
29일 이상	250L	

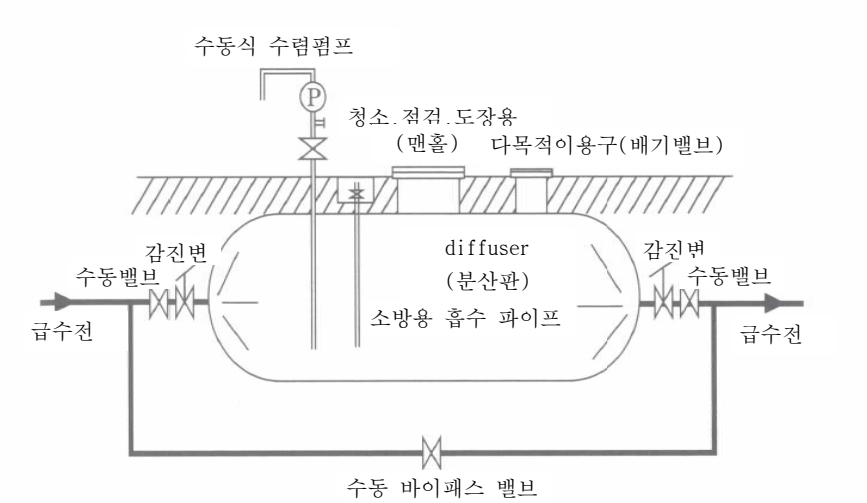
출처: 水道の耐震化計画等策定指針, 厚生労働省(2008)

- 동경의 경우에는 지진시 거주장소에서 2Km이내의 거리에 있는 정수장 급수장 및 응급 급수소 등을 급수거점으로 지진시에 필요한 최소한의 수량을 확보
- 비상급수거점은 도내 78개소에 설치, 확보수량은 107만m^3이며, 수도국에서는 1인 1일

3L를 기본수량으로 하여 도쿄도민 1300만의 약 3주 분량을 확보하고 있음

☞ 사람이 생명을 유지하기 위해 필요한 수량은 1일 2L~2.5L라고 함에 따라, 수도국에서는 이 양에 약간의 여유를 더한 3L를 기준하고 있음

- 50인 이상 거주하는 건물에는 상수도로부터 저장탱크에 8시간분, 옥상저류탱크에 2~3시간분, 17~25톤의 물이 저장되어 있어 화재 발생후 2~3시간 정도 물을 사용할 수 있으며, 만약 화재로 인해 물이 오염되지 않은 경우에는 2~3일 정도 식용수로 사용이 가능하며, 화재발생 3일 이상 지나거나 잔류염소가 없는 경우에는 정수처리장치를 이용하여 식수로 사용이 가능
- 상수도관에는 지진시 음용수의 저장을 위한 유수식 저장탱크가 설치되어 있어 감진변에 의한 설정 진도에 의해 자동 폐쇄되어 내부의 물을 확보



▌그림 2.291 비상용수 저장 탱크 -유수식 물탱크-▐

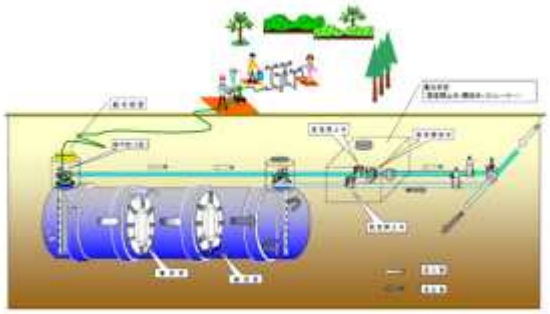
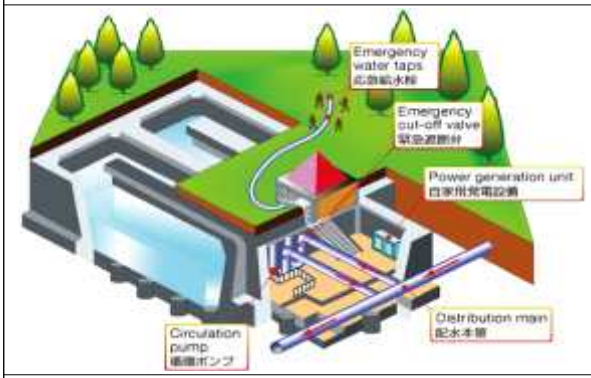
출처: 知っておきたい災害時の水対策ー水の確保から浄水技術まで(2008)

- 지진재해시의 전용시설인 응급급수조는 배수관과 접속하여 펌프에 의해 순환시켜 상시 깨끗한 용수를 저장하며 급수거점으로부터 2㎞ 이상의 거리의 대피소에는 차량수송으로 급수하고, 단수지역의 상황, 수도시설의 복구 상황을 고려하여 필요한 경우 가설급수전으로 응급급수 함
- 「재해대책 기본법 제2조」에 따라 병물, 워터팩 등 긴급상황에서 생명유지에 필요한 최소한의 음용수인 1인당 1일에 필요한 3L를 3일분 이상 비축하도록 규정

▌표 2.124 음용수 비축 방법과 비용(10,000명, 3L/人,日)▐

구분	비축방법		
	페트병	비상용 음용수 봉지	워터팩
단가/단위	300엔/1.5L	300엔/10L	15엔/1L
개수/일	20,000개/일	4,000봉지/일	30,000봉지/일
1일분 금액	6,000,000엔	1,200,000엔	450,000엔
3일분 금액	18,000,000엔	3,600,000엔	1,350,000엔
기타			6,300,000엔(장치비용)
1인당금액/3일	1,800엔	360엔	255엔
운전비용	1,000㎥ 창고료 연간 4,500,000엔		긴급용 발전기 준비비용 30만엔/대 장치유지비 연간 120,000엔
문제점	4년마다 처분비용 발생	거주인구 500인 이하 (추가인력 100명필요)	5,000명 이상의 시읍면

출처: 知っておきたい災害時の水対策—水の確保から浄水技術まで(2008)

<table>
<tr><td>
</td><td>  </td></tr>
<tr><td>비상급수 사례(일본)</td><td>비상급수 사례(일본)</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> </td></tr>
<tr><td>응급급수조 구조(일본)</td><td>대용량 송수관(일본 고베)</td></tr>
<tr><td>
</td><td> </td></tr>
<tr><td>비상급수탱크(영국)</td><td>비상급수 사례(병물, 물차)(미국)</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>비상급수용 저류 탱크(미국)</td><td>화물차 적재형 비상급수 탱크(미국)</td></tr>
</table>

▌그림 2.292 국외 비상용수 저장 및 비상급수 사례▐

(5) 설문조사 및 분석

▌지역별, 연령별, 전문성 등을 고려하여 연구기간 중 총 2,088명 대상 설문조사 실시

■ 설문조사는 설문지 배포를 통한 직접 설문조사 방식과 온라인 설문조사를 병행함

▌그림 2.293 온라인 설문조사 개요▐

▌**설문조사 대상자**

■ 성별 분포는 남성이 834명, 여성이 1,254명이며, 연령은 10대, 20대, 30대, 40대, 50대, 60대 이상이 각각 136명(6.5%), 1,277명(49.2%), 619명(29.6%), 219명(10.5%), 71명(3.4%), 16명(0.8%), 지역별로는 서울, 경기, 부산이 610명(29%), 463(22%), 273명(13%)으로 높게 나타남

▌표 2.125 설문조사 대상자 현황▐

구분	전공학과 대학생 및 교수	상하수도 관련업체	관공서(지자체,공기업,기관)	일반인(기타)	총합
10대	17(0.8%)	7(0.3%)	2(0.1%)	110(5.3%)	136(6.5%)
20대	65(3.1%)	96(4.6%)	57(2.7%)	809(38.7%)	1,027(49.2%)
30대	17(0.8%)	71(3.4%)	30(1.4%)	501(24.0%)	619(29.6%)
40대	7(0.3%)	18(0.9%)	5(0.2%)	189(9.1%)	219(10.5%)
50대	2(0.1%)	4(0.3%)	5(0.2%)	60(2.9%)	71(3.4%)
60대이상	1(0.0%)	1(0.0%)	0(0.0%)	14(0.7%)	16(0.8%)
합계	109(5.2%)	197(9.4%)	99(4.7%)	1,683(80.6%)	2,088(100.0%)

	강원	경기	경남	경북	광주	대구	대전	부산	서울	울산	인천	전남	전북	제주	충남	충북	합계
인원수	40 (2%)	463 (22%)	78 (4%)	54 (3%)	48 (2%)	105 (5%)	74 (4%)	273 (13%)	610 (29%)	58 (3%)	109 (5%)	23 (1%)	44 (2%)	13 (1%)	54 (3%)	42 (2%)	2,088 (100%)

▌지역별 단수시간 조사

- 지역별 단수시간을 조사한 결과 6시간 이내(35.5%)가 가장 높았으며, 12시간 이내(27.7%), 단수경험 없음(19.6%) 순으로 나타났으며, 12시간 이내 단수경험이 82.5%로 관로사고 발생시 12시간 이내에 수돗물이 재공급 되는 것으로 나타남
- 특·광역시의 경우 대부분 6시간 이내의 단수경험이 있는 것으로 조사되었으나, 도지역은 12시간 이내의 단수경험이 높게 나타남

▌표 2.126 단수 경험 현황▐

구분	단수경험 없음	6시간 이내	12시간 이내	18시간 이내	1일 이내	2일 이상	합계
강원	8(20.0%)	**11(27.5%)**	10(25.0%)	6(15.0%)	3(7.5%)	2(5.0%)	40(100.0%)
경기	107(23.3%)	**170(37.0%)**	109(23.7%)	11(2.4%)	51(11.1%)	12(2.6%)	460(100.0%)
경남	10(12.8%)	**29(37.2%)**	22(28.2%)	3(3.8%)	14(17.9%)	0(0.0%)	78(100.0%)
경북	9(16.7%)	13(24.1%)	**17(31.5%)**	1(1.9%)	11(20.4%)	3(5.6%)	54(100.0%)
광주	12(25.0%)	**19(39.6%)**	14(29.2%)	2(4.2%)	1(2.1%)	0(0.0%)	48(100.0%)
대구	21(20.0%)	37(35.2%)	**38(36.2%)**	2(1.9%)	6(5.7%)	1(1.0%)	105(100.0%)
대전	16(21.6%)	**35(47.6%)**	10(13.5%)	4(5.4%)	7(9.5%)	2(2.7%)	74(100.0%)
부산	43(15.8%)	**100(36.6%)**	77(28.2%)	18(6.6%)	31(11.4%)	4(1.5%)	273(100.0%)
서울	130(21.6%)	**207(33.9%)**	174(28.5%)	22(3.6%)	66(10.8%)	11(1.8%)	610(100.0%)
울산	10(17.2%)	**23(39.7%)**	19(32.8%)	0(0.0%)	5(8.6%)	1(1.7%)	58(100.0%)
인천	15(13.8%)	**37(33.9%)**	35(32.1%)	4(3.7%)	16(14.7%)	2(1.8%)	109(100.0%)
전남	2(8.7%)	9(39.1%)	**10(43.5%)**	1(4.3%)	1(4.3%)	0(0.0%)	23(100.0%)
전북	7(15.9%)	**16(36.4%)**	13(29.5%)	0(0.0%)	6(13.6%)	2(4.5%)	44(100.0%)
제주	**4(30.8%)**	3(23.1%)	**4(30.8%)**	1(7.7%)	1(7.7%)	0(0.0%)	13(100.0%)
충남	10(18.5%)	14(25.9%)	**18(33.3%)**	5(9.3%)	7(13.0%)	0(0.0%)	54(100.0%)
충북	5(11.9%)	**18(42.9%)**	8(19.0%)	2(4.8%)	8(19.0%)	1(2.4%)	42(100.0%)
합계	409(19.6%)	**741(35.5%)**	578(27.7%)	82(3.9%)	234(11.2%)	41(2.0%)	2085(100.0%)

▌재해의 인지도 조사

■ 비상용수를 산정하기 위한 재해의 범위에 대하여 조사한 결과 전문가, 일반인 모두 가뭄과 취수원 수질사고에 대하여 높게 평가하였으며, 홍수, 취수원 독극물 테러, 정수장 및 관로시설 파손, 지진 및 테러 등에 의한 수도시설 파손 순으로 나타남

▌표 2.127 재해별 인식 범위▐

구분	가뭄	홍수	취수원(댐과 하천) 수질사고	취수원 독극물 테러	정수장 및 관로시설 (설비)파손	지진,테러 등에 의한 수도시설 파손	기타	총합
전문가	**123(29.8%)**	63(15.3%)	**79(19.1%)**	54(13.1%)	58(14.0%)	22(5.3%)	14(3.4%)	413(100.0%)
일반인	**553(33.0%)**	226(13.5%)	**275(16.4%)**	238(14.2%)	264(15.8%)	75(4.5%)	45(2.7%)	1676(100.0%)
합계	**676(32.4%)**	289(13.8%)	**354(16.9%)**	292(14.0%)	322(15.4%)	97(4.6%)	59(2.8%)	2089(100.0%)

▌단수사고 발생시 물사용 용도별 우선순위 조사

■ 재해 발생시 용도별 용수공급에 대한 조사 결과 재난시 생명유지를 위해 필수적인 음용수와 조리용도의 용수공급이 우선순위

■ 샤워, 세면, 화장실 등 개인 위생과 세척, 설거지 등 싱크대용수의 요구량도 높음

▌표 2.128 단수사고 발생시 물사용 용도별 우선순위▐

구분	음용수 (Drinking)	조리용도 (Cooking)	개인위생 (목욕, 화장실 포함)	싱크대 용수 (세척, 설거지)	소방용수	세탁용수	공업용수	영업용수 (음식점포 함)	기타용수 (가내작업 원예 정원 등)
1순위	1535	155	101	61	61	52	42	33	41
2순위	157	752	453	283	157	113	87	52	27
3순위	201	512	572	297	203	148	79	46	23
4순위	41	143	249	539	350	298	254	165	42
5순위	90	340	297	272	406	315	195	117	49
6순위	17	44	105	200	434	545	346	290	100
7순위	15	69	154	192	205	266	603	420	156
8순위	8	49	124	183	214	272	343	752	136
9순위	4	9	21	54	55	75	132	214	1514
가중치평균	385	312	281	250	226	208	181	150	87

▌단수사고 발생시 비상용수 공급요구량 조사

■ 단수사고 발생시 비상용수 공급요구량에 대한 설문조사 결과 전문가와 일반인 패널 참여자 모두 평상시 40 ~ 60% 이상 물 공급 받기를 가장 선호

▌표 2.129 단수사고 발생시 비상용수 공급 요구량▌

구분	100%	80%이상	60%이상	40%이상	20%이상	20%이하	합계
전문가	25(6.2%)	49(12.1%)	144(35.6%)	**146(36.0%)**	36(8.9%)	5(1.2%)	405(100.0%)
일반인	44(2.6%)	148(8.8%)	615(36.5%)	**704(41.8%)**	137(8.1%)	36(2.1%)	1684(100.0%)
합계	69(3.3%)	197(9.4%)	759(36.3%)	**850(40.7%)**	173(8.3%)	41(2.0%)	2089(100.0%)

▌단수시간별 비상용수 공급요구량 조사

■ 단수시간별 비상용수 공급요구량 조사결과 12시간 이내의 단수경험이 있는 패널은 평상시 대비 40% 이상 물 공급을 요구

■ 18시간 이상 단수경험이 있는 패널은 평상시 대비 60% 이상 물 공급을 요구

▌표 2.130 단수 시간별 비상용수 공급 요구량▌

구분	100%	80%이상	60%이상	40%이상	20%이상	20%이하	합계
6시간이내	32(4.3%)	77(10.4%)	263(35.4%)	**289(38.9%)**	68(9.2%)	13(1.8%)	742(100.0%)
12시간이내	20(3.5%)	47(8.1%)	229(39.6%)	**238(41.2%)**	31(5.4%)	13(2.2%)	578(100.0%)
18시간이내	2(2.4%)	13(15.7%)	**37(44.6%)**	24(28.9%)	5(6.0%)	2(2.4%)	83(100.0%)
1일이내	4(1.7%)	24(10.3%)	64(27.5%)	**106(45.5%)**	30(12.9%)	5(2.1%)	233(100.0%)
2일이상	1(2.4%)	5(12.2%)	**17(41.5%)**	12(29.3%)	5(12.2%)	1(2.4%)	41(100.0%)
단수경험없음	10(2.4%)	31(7.5%)	148(36.0%)	**181(44.0%)**	34(8.3%)	7(1.7%)	411(100.0%)
합계	69(3.3%)	197(9.4%)	758(36.3%)	**850(40.7%)**	173(8.3%)	41(2.0%)	2088(100.0%)

▌단수사고 발생시 비상용수 공급일수 조사

■ 각종 재난에 대비한 비상용수 저장일수에 대한 설문조사 결과 전문가 패널은 1순위 3일 이하(25.7%), 2순위 7일 이하(19.8%)로 나타난 반면, 일반인 패널은 1순위 3일 이하(32.2%), 2순위 5일 이하(18.8%)로 전문가와 일반인 패널의 비상용수 공급일수에 대한 의견이 다르게 나타남

▌표 2.131 단수사고 발생시 비상용수 저장일수 우선순위▐

구분	1일 이하	3일 이하	5일 이하	7일 이하	14일 이하	21일 이하	28일 이하	28일 이상	합계
전문가	61(15.1%)	**104(25.7%)**	64(15.8%)	**80(19.8%)**	52(12.8%)	10(2.5%)	5(1.2%)	29(7.2%)	405(100.0%)
일반인	234(13.9%)	**543(32.2%)**	**317(18.8%)**	298(17.7%)	156(9.3%)	31(1.8%)	17(1.0%)	88(5.2%)	1684(100.0%)
합계	295(14.1%)	**647(31.0%)**	**381(18.2%)**	378(18.1%)	208(10.0%)	41(2.0%)	22(1.1%)	117(5.6%)	2089(100.0%)

▌ 단수시간별 비상용수 공급요구일수 조사

■ 설문조사 참여자의 단수경험 시간에 따른 비상용수 공급요구일수에 대한 설문조사 결과 12시간 이내의 단수경험이 있는 패널은 3일 이하의 비상용수를 공급하기를 요구한 반면 18시간 이상 단수경험이 있는 패널은 7일 이하의 비상용수를 공급을 요구

▌표 2.132 단수사고 발생시 비상용수 공급 요구 일수▐

구분	1일 이하	3일 이하	5일 이하	7일 이하	14일 이하	21일 이하	28일 이하	28일 이상	합계
단수경험없음	54(13.2%)	**107(26.2%)**	72(17.6%)	97(23.8%)	46(11.3%)	11(2.7%)	3(0.7%)	18(4.4%)	408(100.0%)
6시간이내	111(15.0%)	**256(34.5%)**	107(14.4%)	136(18.3%)	65(8.8%)	11(1.5%)	9(1.2%)	47(6.3%)	742(100.0%)
12시간이내	82(14.2%)	**197(34.1%)**	104(18.0%)	102(17.6%)	54(9.3%)	7(1.2%)	4(0.7%)	28(4.8%)	578(100.0%)
18시간이내	6(7.7%)	18(23.1%)	15(19.2%)	**22(28.2%)**	7(9.0%)	3(3.8%)	3(3.8%)	4(5.1%)	78(100.0%)
1일이내	36(15.4%)	**66(28.2%)**	31(13.2%)	**57(24.4%)**	23(9.8%)	5(2.1%)	3(1.3%)	13(5.6%)	234(100.0%)
2일이상	6(14.6%)	3(7.3%)	7(17.1%)	**9(22.0%)**	8(19.5%)	4(9.8%)	0(0.0%)	4(9.8%)	41(100.0%)
합계	295(14.2%)	**647(31.1%)**	336(16.1%)	423(20.3%)	203(9.8%)	41(2.0%)	22(1.1%)	114(5.5%)	2081(100.0%)

▌ 비상용수 공급방식 조사

■ 비상용수 공급방식에 대한 설문조사 결과 전문가 59.5%, 일반인 62.2%가 원수보다는 정수를 비상 용수로 공급 받음을 요구

▌표 2.133 비상용수 공급 방식 선호도▐

구분	정수	원수	원수 & 정수	합계
전문가	**241(59.5%)**	100(24.7%)	64(15.8%)	405(100.0%)
일반인	**1047(62.2%)**	335(19.9%)	302(17.9%)	1684(100.0%)
합계	**1288(61.7%)**	435(20.8%)	366(17.5%)	2089(100.0%)

▌비상용수 저류방식 조사

■ 비상용수 저류방식에 대한 설문조사 결과 1순위 정수지(42.1%), 2순위 원수 저류조(20.5%), 3순위 배수지(18.6%)를 선호

▌표 2.134 비상용수 저류방식 선호도▐

구분/답안	원수저류조 (정수처리하기 전 저장)	정수지 (정수처리된 물을 송수하기 전에 저장)	배수지 (정수처리된 수돗물을 배수계통 소비자 인근에 저장)	비상용수 저류조 (지역별 저류시설)	관로(대구경)	합계
전문가	83(20.5%)	172(42.5%)	67(16.5%)	76(18.8%)	7(1.7%)	405(100.0%)
일반인	345(20.5%)	708(42.0%)	322(19.1%)	286(17.0%)	23(1.4%)	1684(100.0%)
합계	428(20.5%)	880(42.1%)	389(18.6%)	362(17.3%)	30(1.4%)	2089(100.0%)

▌비상용수 공급 우선순위 조사

■ 시설 및 용도별 비상용수 공급 우선순위 조사에서 병원(73.9%), 요양원(12.5%), 산후조리원(5.0%) 순으로 나타남

▌표 2.135 비상용수 공급 시설별 우선순위 ▐

구분	병원	요양원	산후 조리원	연구 관련기관	학교	공중 화장실	소화전	축사	농지	기타	합계
전문가	255 (63.0%)	56 (13.8%)	31 (7.7%)	12 (3.0%)	12 (3.0%)	11 (2.7%)	3 (0.7%)	2 (0.5%)	11 (2.7%)	12 (3.0%)	405 (100.0%)
일반인	1289 (76.6%)	206 (12.2%)	73 (4.3%)	41 (2.4%)	14 (0.8%)	15 (0.9%)	5 (0.3%)	8 (0.5%)	12 (0.7%)	20 (1.2%)	1683 (100.0%)
합계	1544 (73.9%)	262 (12.5%)	104 (5.0%)	53 (2.5%)	26 (1.2%)	26 (1.2%)	8 (0.4%)	10 (0.5%)	23 (1.1%)	32 (1.5%)	2088 (100.0%)

구분	병원	요양원	산후 조리원	연구 관련기관	학교	공중 화장실	소화전	축사	농지	기타	합계
1순위	1544	262	104	53	26	26	8	10	23	32	2088
2순위	119	360	474	353	244	191	144	95	86	21	2087
3순위	139	561	506	282	187	143	115	98	43	12	2086
4순위	21	98	149	328	324	290	282	271	292	32	2087
5순위	71	248	239	363	433	265	184	180	89	15	2087
6순위	37	114	125	139	199	419	260	240	496	58	2087
7순위	95	264	223	221	227	256	426	212	139	24	2087
8순위	10	58	116	148	240	248	350	633	254	30	2087
9순위	36	95	135	184	187	236	286	319	562	47	2087
가중치	373	277	264	239	217	200	177	161	153	27	

▌최적 저류조 용량 검토

- 효율적인 비상용수 공급을 위하여 국내외 상수도시설물 재해 및 사고 사례 분석, 비상시 용수공급 방안, 비상급수시설 현황 등을 조사하고 소비자의 수요형태에 따른 비상용수 요구량을 설문조사를 통하여 파악함
- 국내 단수사고 이력을 조사한 결과 통상 24시간 이내로 발생하고 있으며, 광역상수도의 경우 평균 12시간 이내의 단수사고가 발생한 것으로 조사됨
- 비상용수 요구량 산정 설문조사 결과 각종 재난에 대비하여 평상시 대비 50% 수준의 용수공급과 3일 이하분의 정수 처리된 음용수의 저장을 원하는 것으로 나타남
- 생활용수 원단위는 2025 수도정비기본계획(국토해양부, 2009)에 제시된 일평균 원단위를 적용
- 비상용수에 대한 국내 용수량 산정기준이 명확하게 제시되어 있지 않아 설문조사의 교차분석 결과를 바탕으로 비상용수량을 산정하여 제시
- 저류조 설계용량 결정시에 비상시의 특수성을 감안하여 소비자의 편의 보다는 생존 및 생계를 위한 최소량의 용수저장의 목적을 고려하여 일최대 급수량이 아닌 일평균 급수량을 적용
- **일 평균 급수량 349 l pcd, 평시 대비 제한급수 50% 공급시를 기준으로 3일간 저류 경우 523.5 l 의 비상용수가 요구됨**

▌표 2.136 비상용수 확보량 산정 (일 평균 급수량 349 l pcd 적용시)▐

구분	계획년도		비고
	2020년까지	2021년 이후	
일평균	349 L/인・일	325 L/인・일	
일최대	457 L/인・일	426 L/인・일	

출처: 2025 수도정비기본계획(국토해양부, 2009)

▌표 2.137 비상용수 확보량 산정 (일 평균 급수량 349 l pcd 적용시)▐

구분	산정근거	비상용수량	비고
1순위	349 l pcd x 0.5 x 3d	523.5 l pcd	일평균급수량 적용
2순위	349 l pcd x 0.5 x 7d	1,221.5 l pcd	일평균급수량 적용
3순위	349 l pcd x 0.7 x 3d	732.9 l pcd	일평균급수량 적용

■ 국내 **가정용수 1인당 평균 소비량**(음용수 + 개인 위생 용수) 152.34 l pcd를 적용 할 경우, 평시 대비 50% 제한급수시 **3일 저류** 기준으로 **228.51 l** 의 비상용수가 요구되므로 1인당 약 76 l /일의 비상용수가 필요함

▌표 2.138 비상용수 확보량 산정 (가정용수 평균 소비량 152.34 l pcd 적용시) ▌

구분	산정근거	비상용수량	비고
1순위	152.34 l pcd x 0.5 x 3d	228.51 l pcd	가정용수소비량 적용
2순위	152.34 l pcd x 0.5 x 7d	533.19 l pcd	가정용수소비량 적용
3순위	152.34 l pcd x 0.7 x 3d	319.91 l pcd	가정용수소비량 적용

출처 : 한국수자원공사(2007), 합리적인 용수수요예측을 위한 생활용수 추정모델 개발

■ 자연재해, 사고 등에 따른 단수시 용수공급이 불가한 원인별, 용수공급 방법에 대한 체계적인 검토가 필요하며, 가뭄 등 자연 재해, 정수처리시설 및 관로 등의 공급시설 사고, 수원 및 공급계통에서의 수질오염 등으로 대별하여 대처방법을 정리할 필요가 있음

■ 비상용수 확보를 위해 원수 또는 정수를 저류하는 **지하저류조**를 우선 검토 할 수 있으며, **대심도·대구경 관로**에서 저류 하는 경우, **정수지 및 배수지 용량 확대**, 배수지 기능을 가진 저류조를 송배수 계통에 설치하는 경우, 배수관망에 비상 급수탱크를 설치하는 경우를 고려 할 수 있음

■ 비상시에도 안정적인 용수공급을 위해서는 수도시설 예비 능력 확보, 수도시설 및 지자체간 비상 연계, 관로 이중화 등 백업 기능 확충 필요함

■ 정수지·배수지 저수량 및 공급 가능 시간 확인, 저수조·물탱크 등 저수시설 현황, 물 수요 패턴 분석, 급수체계 전환, 광역~지방상수도 비상연계, 비상전원 공급을 통한 용수공급, 물차 지원, 병물 공급 방안 등 비상급수 공급 체계를 갖추어야 함

■ 비상상황별 피해범위, 지속기간 등을 고려하여 목표 수준을 설정하고 비상용수 확보량을 산정하는 것이 바람직하며 시나리오별 대응수준 및 비상용수 확보량 방안이 수립되어야 하며, 고 재난 국가 등 외국의 자연재해 사례와 비교하여 과대 산정의 우려가 없도록 현황에 적합한 비상용수 확보 방안 마련이 필요함

(6) 취수원 오염 모의(CE-QUAL-W2)

▌취수원 오염시 상수원에서 정수처리 시설까지의 확산시간을 CE-QUAL-W2 모델을 활용하여 모의함으로써 정수처리시설에서의 대처가능 시간을 확인하고자 함

▌모의 조건

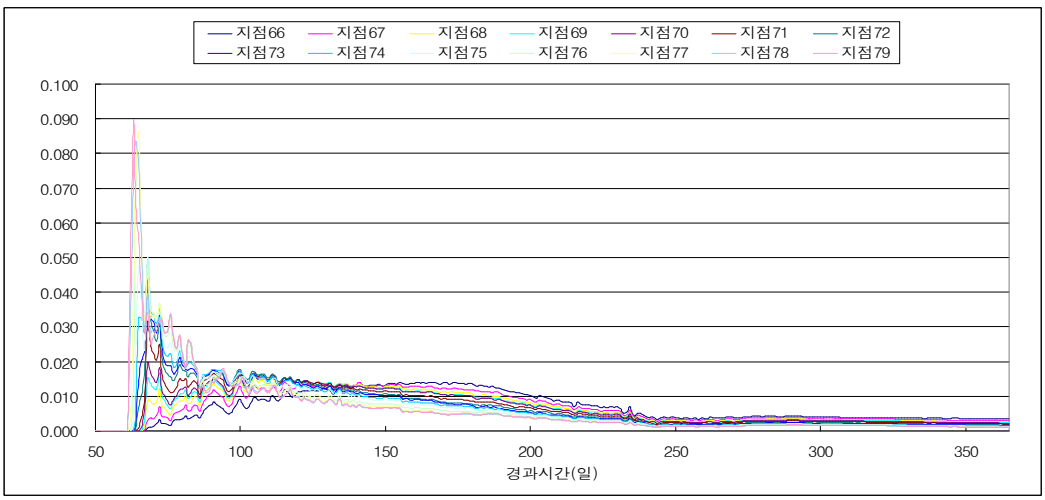
- 자연적, 인위적 혹은 고의적인 사고에 의하여 상수원의 오염 발생 시 대상수계를 취수원으로 하는 용수공급시스템에 미치는 직접적인 영향을 예상하기 위하여 임의의 대상지역에 대한 오염사고 발생 시 오염물질에 대한 취수지역까지의 도달시간 및 오염 해제까지의 경과시간을 CE-QUAL-W2 모델을 이용하여 모의실험 실시
- 대청호의 수질모델링을 위해 대청호의 6개 유입 하천을 금강본류(BR1)와 유입 지류(BR2-회인천, BR3-주원천, BR4-삼산천, BR5-품곡천)로 나누고, 소옥천은 지류로 구성하여 각각의 지류 경계부로 설정
- 모델 격자는 총 133개의 격자(상하류 방향)로 나누었으며, 수심방향으로 52개의 수층(Layer)으로 구성
- 구획의 길이는 평균 511m이며, 수층별 Layer는 0.5~2m 간격으로 구획하여 총 5,855개의 셀(cell)로 구성
- 수질 모델 입력데이터를 결정하기 위해 대상지역인 대청댐의 수문 현황을 조사한 결과, 총 강우량은 2004년이 1,381.3mm로 가장 많았고, 2008년이 782.4mm로 가장 적음
- 무 강수일을 제외한 연중 강우량의 평균값 역시 2004년이 가장 컸고 2008년이 가장 적음
- 본 연구에서는 최악의 조건에서의 비상용수량 산정을 위하여 강우량이 가장 적었던 2008년 1월부터 12월까지 수문 데이터를 기준으로 3월 1일 수문자료를 이용하여 15개 지점에 10,000ppm의 비반응성 오염물질이 0.1㎥/s의 유량으로 3시간 유출되었을 때 취수지점까지의 수계 오염 양상을 모의

지점 번호	취수지점 부터의 거리(m)
80	0
79	511
78	1022
77	1533
76	2044
75	2555
74	3066
73	3577
72	4088
71	4599
70	5110
69	5621
68	6132
67	6643
66	7154

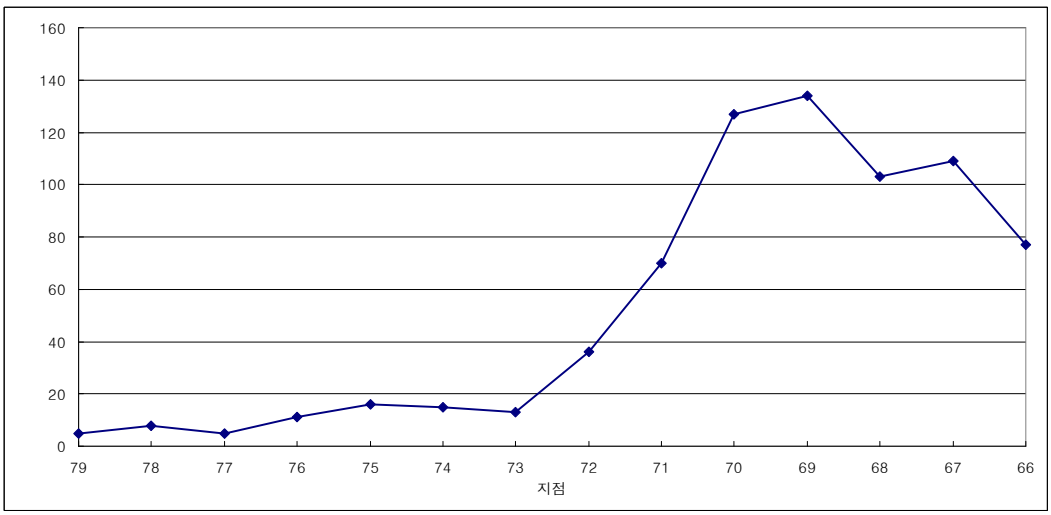
▌그림 2.294 CE-QUAL-W2 모델 격자 구성도▐

▌모의 결과

- 다음의 그림에서 확인할 수 있듯이 각 오염물질의 유입농도 변화에 비례하여 취수지점에서 감지되는 농도 값만 상이할 뿐 그 변화 양상은 모두 같다는 것을 확인
- 또한 오염물질의 투입 지점이 취수지점과 가까워질수록 최대 농도 도달까지 걸리는 시간이 짧아지는 것으로 모의
- 모의실험을 통해 최대 농도인 10,000ppm의 물질을 각 지점에 투입시 취수지점에서 검측할 수 있는 최대농도는 0.089ppm으로 나타남.
- 따라서, 보름정도의 짧은 기간 동안 하천의 wash out을 통하여 먹는 물 수질기준 허용치까지 도달할 수 있는 물질로는 크롬, 파라티온, 페니트로티온, 1,4-다이옥산 등
- 지점별 오염물질 투입 시 취수지점에서의 최대농도감지 시점을 기준으로 최대농도 대비 60%의 오염물 감소까지 걸리는 시간을 나타낸 그래프로써 최소 5일에서 최대 134일이 소요
- 취수지점부터 지점 76까지 약 2km 구간까지는 최대 16일 이내의 빠른 속도로 오염물질의 wash out이 이루어진다는 것을 확인
- 재해발생시의 예상 단수시간과 이를 회복하기 위한 소요시간을 예측하기 위한 모의실험결과 대상지역에서 오염물질 유입지점에 따라 최소 1일에서 최대 7일 이내에 취수지점까지 도달하는 것을 확인
- 또한 취수지점 전방 2km 유역 내에 오염물질 유입시 적정수준의 오염물질 해소까지 최소 5일에서 최대 16일이 소요



▌그림 2.295 오염물질 유입에 따른 지점별 농도 변화▐



▌그림 2.296 최대 유입농도 대비 제거율 60% 도달 시간▐

나. 분산형 용수공급시스템 도입을 위한 법/제도 검토 및 보완안

(1) 현행 수도법상 분산형 용수공급시스템 도입가능성 검토

▌현행 수도법상 분산형 수처리 시스템은 광역상수도, 공업용수도, 지방상수도 시설로 모두 도입 가능

▌한편, 수도법을 개정하여 기존 광역상수도.지방상수도와 별개인 새로운 수도사업으로 규정하는 방안도 검토할 필요가 있음

- 법률로 정한 국가책무(civil minimum) 보다 높은 기준의 고품질 수돗물을 공급하는 사업으로 수도법을 개정하여 지역 맞춤형 수도 사업으로 새롭게 규정 가능
- 이 경우 요금 지불의사(willingness to pay)가 상대적으로 높은 지역을 대상으로 민간 주도의 사업으로 시행하는 것이 바람직함

▌표 2.139 분산형 수처리 시스템의 도입가능성 검토▌

구분	검토 결과
광역상수도 시설	<u>도입 가능</u> • 2개 이상 지자체를 대상으로 하는 현행 광역상수도 공급체계에서도 정수장에 대해서는 특정 지자체 공급 전용으로 설치한 사례가 있음 ※ 사례 : 수도권 반월정수장(190천㎥/일), 금호강 운문정수장(10천㎥/일), 충남중부권 공주정수장(30천㎥/일) • 기존 정수장과 달리 최종 소비자에 가까이 배치되므로 기획재정부 「총사업비 관리지침」 상 광역상수도 설치 경계 재설정 검토 필요 • 또한, 기존 중앙집중형 정수장 공급 대비 늘어나는 원가를 반영하기 위해서는 별도의 요금 적용방안 검토 필요
공업용수도 시설	<u>도입 가능</u> • 광역상수도와 달리 1개 지자체에만 공급하는 시설의 설치도 가능
지방상수도 시설	<u>도입 가능</u> • 수도법 제43조(국가가 설치하는 수도의 특례)를 적용하여 지방상수도 시설이지만 광역상수도 시설과 통합적으로 설치·운영 가능 ※ 사례 : 일산신도시상수도 • 또는, 현행 수도법상 수도시설 운영관리 업무 위탁제도나 수공법상 지자체의 수도시설관리권 출자제도를 활용하여 통합 설치·운영 가능

(2) 물공급 안정성 강화방안 제시

▌ 국제사회의 지속적인 논의 끝에 2010. 7.28 UN 총회에서 '물인권(The right to water)' 결의를 채택하여 "인간다운 삶의 향유와 모든 인권들에 필수적인 인권"으로 승인

- 국제사회가 물인권을 모든 인권들에 필수적인 인권으로 채택함에 따라 국가와 지자체의 국민에 대한 물공급 보장의무는 더욱 강화되어야 하는 상황임
- 특히, 물인권 개념은 지불 가능성(적정 요금) 뿐만 아니라, 이용가능성, 수질, 용인성, 접근성 보장까지 포함하고 있어, 물인권 보장과 물공급 안정성 강화는 내용적으로 표리의 관계에 있다고 할 수 있음

[UN 총회의 물인권 승인(2010. 7.28)]
※ 표결결과 : 122개 국가 찬성(반대 없음, 기권 41개)

[UN 인권이사회의 물인권 개념]

☐ Availability(이용가능성)
- 충분하고 계속적인 공급 보장

☐ Quality(수질)
- 보건·위생상 안전한 수질 보장

☐ Acceptability(용인성)
- 이용시 프라이버시, 존엄성 등 보장

☐ Accessibility(접근성)
- 어디서나 쉽고 안전한 접근성 보장

☐ Affordability (지불가능성)
- 모든 사람이 지불가능한 가격 보장

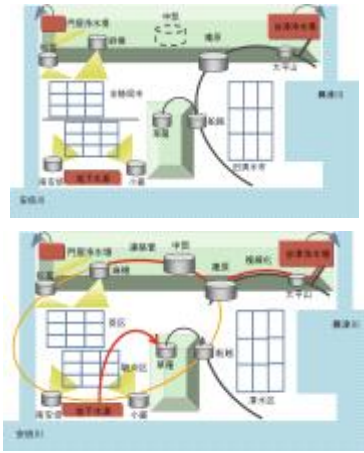
▌그림 2.297 UN 총회의 물인권 승인과 물인권 개념▐

▌ 이에 국제기구와 선진국을 중심으로 기후변화, 수질사고 등에 대비하여 국민에 대한 물공급 Security를 보장하기 위한 다양한 제도적 장치가 개발.도입되고 있음

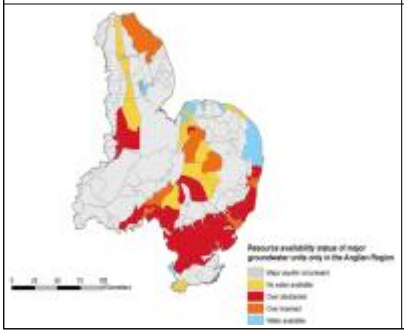
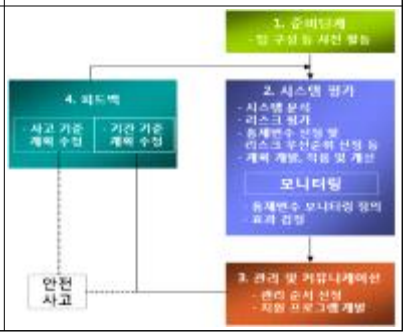
- 국제사회에서 물인권은 1990년대 후반부터 일부 국가를 중심으로 보편적 또는 개별적 복지 차원에서 필수 수돗물 무상공급, 사회적 요금 도입, 취약지역 시설 예산 지원 등의 형태로 제도화되어 오고 있음
- 영국은 기후변화의 영향으로 2006년 봄가뭄에 따른 수도권 일원 130만명 제한급수를 겪은 이후 각 수도사업자의 수원 안정성 평가 및 인증을 의무화
- 일본과 세계보건기구(WHO) 등도 안정적인 물공급을 보장하기 위한 「물안전 계획 수립 가이드라인」 제정
- 우리나라의 광역상수도에 해당하는 용수공급시설에 대해서도 물공급의 안전성을 높

이기 위한 시설의 복선화·환상화, Water Grid화, 스마트화 및 수원 다원화 등 다양한 인프라 정비 수단이 도입되고 있음

- 이와 함께, 수도사업 수원 안정성 평가, 물안전 계획 수립 가이드라인 제정 등 법·제도적 수단을 통해 물공급의 안정성을 높이기 위한 노력도 적극적으로 이루어지고 있음

복선화 및 환상화 (일본 시즈오카 광역상수도)	Water Grid 구축 (이스라엘 National Water Grid)	Smart Water Grid + 수원 다원화 (호주 SEQ Water Grid)
		

▌그림 2.298 용수공급시설의 물공급 안정성 강화▐

영국 수도사업 수원 안정성 평가 (영국 Environment Agency, 2009) (2007년 도입)	일본 물안전 계획 가이드라인 (일본 후생노동성, 2008) (2008년 발간)	WHO 물안전 계획 가이드라인 (WHO, 2009) (2009년 발간)
		

▌그림 2.299 물공급 Security 확보를 위한 제도▐

출처) 영국 Environment Agency(2009), Water resources strategy Regional action plan for Anglian Region, 일본 후생노동성(2008), 水安全計画策定ガイドライン, WHO(2009), Water Safety Plan Manual : Step-by-step risk management for drinking-water suppliers

▌분산형 용수공급시스템 연구단에서는 우리나라 물공급의 안정성을 강화하기 위하여 관련 수도법 개정(안) 및 물안전 계획 가이드라인(안) 제안

- 수도법 일부개정을 통해 각 수도사업자가 기후변화에 안전한 수원을 확보하도록 평가 및 인증제도 도입, 수도시설간 운영정보의 실시간 공유 의무화
- 수도법 일부개정을 통해 광역상수도 시설기준 및 비상용수 공급기준 등에 대한 법적 근거를 마련하고, 이를 바탕으로 물안전 계획 가이드라인 제정

▌표 2.140 용수공급 안정성 강화 수도법 개정(안)▌

제6조의 2(수원 안정성 평가 등) ① 수도사업자는 수자원의 효율적 이용 및 기후변화에 대비한 안정적인 수돗물 공급을 위하여 수원 안정성 평가를 실시하고 그 결과를 관할 홍수통제소장에게 제출하여 인증을 받아야 한다.

② 제1항에 따른 평가·인증 주기, 기준, 방법 및 절차 등에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

③ 인가관청은 제1항에 따른 평가·인증을 실시하지 아니한 수도사업자에 대하여는 그 수도사업자가 시행하려는 수도사업을 인가하지 아니할 수 있다.

④ 수도사업자는 제1항에 따라 시행한 평가·인증 결과를 인터넷 홈페이지 등을 통하여 공개하여야 한다. (신설)

제21조의 2(수도시설 운영정보의 실시간 공유) ① 일반수도사업자는 수자원의 효율적 활용과 수돗물공급·수도시설에 있어 비상·사고 등에 대비하기 위하여 실시간으로 수도시설 운영정보를 광역상수도사업자와 공유하여야 한다.

② 광역상수도사업자는 일반수도사업자에 대하여 필요한 수도시설 운영정보의 공유를 요청할 수 있다. 수도시설 운영정보 공유를 요청받은 일반수도사업자는 정당한 사유없이 이를 거절하지 못한다. (신설)

제47조의 4(광역상수도 시설기준) 광역상수도사업자는 원수(原水)의 질과 양, 지리적 조건 및 시설의 규모에 따라 대통령령으로 정하는 기준에 맞는 광역상수도 시설을 갖추어야 한다. 다만 광역상수도의 정수시설은 제18조제1항에 따른 시설기준을 따른다. (신설)

제47조의 6(비상용수 공급의무) ① 광역상수도사업자는 천재지변이나 그 밖의 비상시에 긴급히 수돗물 공급(이하 “비상용수 공급”이라 한다)이 가능하도록 대통령령으로 정하는 기준에 따라 광역상수도 시설을 갖추어야 한다.

② 국토해양부장관은 비상용수를 공급할 필요가 있다고 인정하면 광역상수도사업자에게 기간·수량 및 방법을 정하여 광역상수도 원수나 정수를 다른 수도사업자에게 공급하게 할 수 있다. (신설)

(3) 용수공급의 신재생에너지 이용 의무화

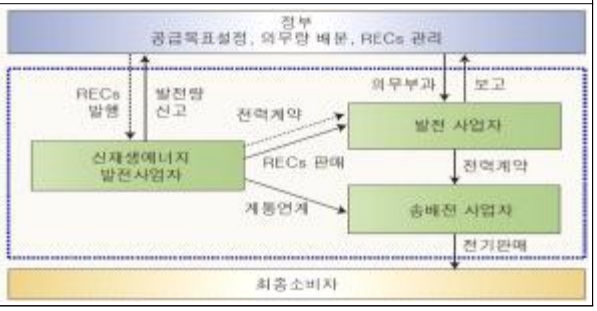
▌ 정부는 2009년 2.5%인 신재생에너지 의존율을 2030년 11%까지 높이기 위해 2012년 기존의 발전차액 지원제도(FIT)를 신재생에너지 의무할당제(RPS)로 전환

▪ 신재생에너지 의무할당제(RPS)는 전력 공급자(발전사업자)를 대상으로 1단계 도입·운영 중

FIT와 RPS 비교

구분	발전차액지원제도 (FIT)	신재생에너지의무할당제 (RPS)
메커니즘	- 생산전력을 정부가 정한 가격으로 구매 - 전력량은 사업자가 결정	- 생산물량 시장 설정 - 발전의무량을 부과하면 시장에서 가격 결정
보급목표	- 보급목표량이 유동적	- 의무할당으로 정책목표량 달성이 용이
전원선택	- 대상전원은 정부 구입의사 불확실 모두 구입해야함	- 전원별 보급 목표량 설정 가능
도입국가	- 독일, 스페인, 프랑스, 덴마크 등 34개국에서 실시	- 미국, 영국, 스웨덴, 캐나다 등 16개국 실시
장점	- 장기간 가격을 보장하여 투자의 확실성, 단순성 유지 - 안정적 투자유지로 기술개발과 산업성장 가능	- 신재생에너지 사업자간 경쟁을 촉진시켜 효율성 향상 가능 - 시간에서 가격이 결정됨으로써 정부의 재정부담 완화
단점	- 정부의 막대한 재정부담 초래 - 기업간의 경쟁이 부족하여 생산가격 낮추기 위한 유인 부족	- 경제성 위주의 특정 에너지원 편중될 가능성 - 제도 도입을 위한 인프라 구축이 전제되어야 함

RPS 제도의 개요



▌그림 2.300 신재생에너지 의무할당제(RPS) ▐

▌ 지식경제부는 전력 대규모 수요자(법인)에 대해 2단계 신재생에너지 자가 사용비율 의무화(RPS) 도입을 검토할 계획으로 있음

▌표 2.141 전력 대규모 수요자 대상 2단계 RPS 도입(지식경제부) ▐

☐ 전력 공급자를 대상으로 하는 1단계 RPS 성과분석을 토대로, **전력 대규모 수요자**를 **대상**으로 **2단계 RPS 도입 검토**

○ 신재생에너지 가격 경쟁력이 높아지는 시점에 **일정 전력량 이상을 소비**하는 **법인**에 대하여 **자가 사용비율 의무화 검토**

* 총전력의 약 10%를 사용하는 전력소비 10대 기업에 3년간('08 ~ ' 10년) 교차보조액은 1.48조원이나 신재생에너지 **자가 생산량은 거의 전무**

⇨ 전력 다소비 10대 기업에 0.5% 의무 부과시 642억원 내수시장이 창출 예상(태양광 기준)

○ **신재생에너지 의무비율, 적용대상, 준비기간 등**에 관한 **충분한 의견수렴**을 거쳐 2단계 RPS 도입 방안 수립

(제12차 녹색성장위원회 및 제2차 이행점검 결과 보고대회, 2011.10.30)

▌ 분산형 용수공급시스템 연구단에서는 저탄소 수돗물 공급체계 구축 촉진을 위하여 수도사업의 신재생에너지 자가 사용비율 의무할당제(RPS) 도입을 제안

▪ 수도법 일부개정을 통해 저탄소 수돗물 공급체계 구축의 근거를 마련하고, 수도사업의 신재생에너지 자가 사용비율 의무할당제를 도입

▌표 2.142 신재생에너지 이용의무화 수도법 개정(안) ▐

제1조(목적) 이 법은 수도(水道)에 관한 종합적인 계획을 수립하고 수도를 적정하고 합리적으로 설치·관리하여 수자원을 효율적으로 이용하고 공중위생을 향상시키는 동시에 생활환경을 개선하고 저탄소 사회를 구현하게 하는 것을 목적으로 한다. (개정)

제6조의 4(신·재생에너지 이용의무화 등) ① 환경부장관은 저탄소 수돗물 공급체계 구축을 위하여 필요하다고 인정하면 다음 각 호에 해당하는 자 중 대통령령으로 정하는 자(이하 "이용의무자"라 한다)에게 전력 이용량의 일정량 이상을 의무적으로 신·재생에너지를 이용하게 할 수 있다.

1. 지방상수도사업자
2. 광역상수도사업자

② 제1항에 따라 이용의무자가 의무적으로 신·재생에너지를 이용하여야 하는 전력량(이하 "의무이용량"이라 한다)의 합계는 총전력이용량의 50% 이내의 범위에서 연도별로 대통령령으로 정한다.

③ 이용의무자의 의무이용량은 환경부장관이 이용의무자의 의견을 들어 이용의무자별로 정하여 고시한다.

④ 환경부장관은 제1항에 따른 공급의무의 이행 여부를 확인하기 위하여 공급의무자에게 대통령령으로 정하는 바에 따라 필요한 자료의 제출을 요구할 수 있다. (신설)

(4) 외국의 용수공급시스템 발전 현황

▌외국에서도 분산형 수처리 시설의 확산 시도는 지속적으로 발생하고 있음

■ OECD에 따르면 전세계적으로 보편적인 용수공급시스템의 형태는 "단일 목적 용수를 공급하는 중앙집중형 인프라(centralized infrastructure and single water use)" 임 (OECD (2007), *Infrastructure to 2030 Volume 1, Volume 2*

■ 반면, 분산형 수처리시설은 전세계 농촌지역과 수도사업의 분절 정도가 심한 프랑스, 독일, 미국 등 일부 선진국을 중심으로 발전되어 왔음

- 프랑스의 경우 수돗물 공급의 법적 책무가 36,700여개에 달하는 commune에 있음. 소규모 commune간의 수도사업 통합이 활성화되어 있어 수도사업은 13,500여개로 줄어듬. 그러나, 여전히 수도사업의 분절이 극심한 상황이며, 전국 정수장 개소수는

15,250 여개로 집계되고 있음.

- 그러나, 1990년대 이후 수처리 시설의 분산화를 가능하게 해주는 멤브레인 기술(Membrane Technology)이 발달하면서 전세계적으로 분산형 용수공급시스템 도입이 확대 추세임 (EU TECHNEAU(2007), Minutes of the Workshop on "Decentralised Water Supply and Membrane Processes")
- 특히, 상수도 보급단계인 개발도상국을 중심으로 초기 시설 설치비가 상대적으로 저렴한 멤브레인을 활용한 분산형 용수공급시스템의 도입이 활발히 이루어지고 있음
- 멤브레인 기술은 거의 모든 수원과 오염물질에 적용이 가능하여 저에너지·고효율 기술이 상용화될 경우 기존 수처리 방식을 대체하는 와해성 기술(Disruptive Technology)로 자리 잡을 전망임

▌표 2.143 수처리 기술의 발전 추이 ▐

	1세대 (1800년대~현재)	2세대 (1920년대~현재)	3세대 (1990년대~현재)
기술	물리화학적 공정	생물학적 공정	멤브레인 공정
방법	약품을 사용하여 오염물질 응집, 침전 후 모래여과	호기성 및 혐기성 미생물을 이용하여 오염물질 분해	다양한 막을 통해 오염물질 분리, 여과
특징	· 대규모 시설로 초기투자 큼 · 화학약품 사용 · 다량의 슬러지 발생 · 비교적 깨끗한 수원에 적용	· 물리화학적 공정에 비해 2차 오염 감소 · 난분해성 물질 제거 불가 · 주로 하수처리에 활용	· 콤팩트한 설비로 설치비 및 공사기간 단축 가능 · 많은 에너지 소비 및 높은 유지관리비 · 거의 모든 수원에 적용 가능

▌ 본 연구단 개발 방향인 미래사회의 분산형 용수공급시스템 구축은 OECD가 검토한 내용과는 일부 차이가 있는 형태임

- 2007년 이후 OECD를 중심으로 기존 용수공급시스템의 대안으로 기존의 수원 또는 다원화된 수원을 활용하는 분산형 용수공급시스템 도입이 활발히 모색되고 있음 (OECD(2009), Alternative Ways of Providing Water : Emerging Options and Their Policy Implications)
- 현재 분산형 용수공급시스템 연구단의 연구개발 방향은 기존 중앙집중형 광역상수도 수원을 그대로 활용하면서 수처리만 소비자 가까이에 분산 배치하는 개념으로 OECD가 검토한 내용과는 일부 차이가 있음

▌표 2.144 용수공급 방식별 찬성 및 반대 논리 (OECD) ▐

구분	담수	대체 수원
중앙 집중형 인프라	찬성 논리 • 규모의 경제 • 안정적인 서비스 제공 • 지자체 차원의 재무 안정성	찬성 논리 • 환경 측면의 긍정적 외부효과 (자원, 하수처리수 방류) • 지자체 차원의 재무 안정성
	반대 논리 • 부정적 외부효과(환경, 재무) • 자본 집약적 및 민간자본 유치의 어려움	반대 논리 • 비용 과다 (관망 분산 설치) • 에너비 과다 사용
분산형 인프라	찬성 논리 • 관망의 누수저감 및 용수 운송에너지 저감 • 에너지 소모 저감 • 탄력적 운영 및 높은 복원성 • 투자비 이연 및 절감	찬성 논리 • 환경 측면의 긍정적 외부효과 (자원, 하수처리수 방류) • 에너지 소모 저감 • 탄력적 운영 및 높은 복원성 • 투자비 이연 및 절감 • 새로운 투자재원 활용 가능
	반대 논리 • 안정적인 수원 확보를 위해서는 추가적인 관망 연계 필요 • 동일 지자체 내의 서비스 품질 격차 발생 • 부적절한 모니터링 시스템	반대 논리 • 음용 재이용시 건강 안전성 문제 • 기존에 중앙집중형 인프라가 있는 경우 도입의 적절성 문제 • 규모의 비경제 • 동일 지자체 내의 서비스 품질 격차 발생 • 부적절한 모니터링 및 규제 시스템

※ 회색 영역이 새로운 용수공급 방식을 의미

(5) 분산형 수처리 시스템 도입 촉진방안

▌분산형 수처리시스템 도입 촉진을 위해서는 국가 차원의 지원이 필요함

- 분산형 수처리 시스템의 경우 기존의 정수시스템과는 다른 경제원리가 작동하므로 도입 초기단계의 활성화를 위한 국가 차원의 지원이 필요함
- 기존의 정수장은 토목 구조물 위주로 대단위 통합 설치 및 운영을 통한 규모의 경제 달성이 경제성 확보에 있어 가장 중요한 인자이나,
- 분산형 수처리 시스템의 경우 컴팩트한 기계장치 중심으로 단위 생산량 증가에 따른 학습효과 및 원가절감이 경제성 확보에 가장 중요
- 즉, 기존의 수처리 시설은 토목·건설업의 경제 패러다임이 작동했다면, 분산형 수처리 시스템은 제조업의 경제 패러다임이 작동한다고 할 수 있음
- 이러한 경제적 특성을 지닌 분산형 정수처리시스템의 도입을 활성화하기 위해서는

정부가 R&D 예산 지원, 실 도입 초기 예산 보조 등을 통해 일정 규모 이상의 생산 및 기술발전(학습효과 달성)이 이루어지도록 지원 필요

- 특히, 전 세계적인 물시장이 확대되고 있는 상황에서, 동 분산형 수처리 시스템이 와해성 신기술로 각광 받고 있음을 감안할 때 미래 성장동력 확보 및 육성 차원에서 정부의 보다 적극적인 역할이 요구됨

▌분산형 용수공급시스템과 집중형 시스템의 조화는 물 안보 측면에서 효율적인 방안임

- 분산형 시스템 및 hybrid system의 경우 최종 생산수를 소비자에게 운송하는 배·급수 관로의 파손이나 외부 간섭에 대해 더욱 안정적임
- 분산형 시스템 및 hybrid system의 경우 보조 수원 및 대체 수원의 확보를 통해 자원을 효율적으로 사용함에 있어 중앙 집중형 시스템에 비해 지속가능성이 높음
- 분산형 시스템 및 hybrid system의 경우 도시 내 구성요소에 문제가 발생하더라도 아주 작은 공간의 문제점으로 귀결되기 때문에 각 구성요소간의 연계 및 문제점에 대응하는 시스템만 잘 구축되어져 있다면 전체 도시 물관리 시스템의 휴지 및 단수 사고로 확대되지 않음
- 분산형 시스템의 경우 환경적인 영향(environmental impact)을 최소화할 수 있는 측면에서 중앙 집중형 시스템에 비해 우위에 있음.

▌분산형 용수공급시스템의 편익으로는 운영비 저감, 생활용수 개선 및 비상용수 확보, 온실가스 저감 등이 있음

▌분산형 용수공급시스템의 구축을 위한 사회적, 기술적 현안 사항이 존재함

- 사회적 현안으로는 사회적 수용성을 도출하고, 경제적 타당성을 제고시켜야 하며, 구축 및 운영 시 환경적 영향을 최소화하여야 함을 인식하여야 함
- 분산형 시스템 구성에 있어서 최적 공정으로 평가 받고 있는 막 공정을 대상으로 지속적으로 요구되고 있는 기술적 현안 및 문제점을 요약하면 첫째, 오염 물질의 특성에 따른 최적의 막 소재 개발, 둘째, 막 운전 효율을 증진시킬 수 있는 역세척 공정의 개발 및 역세척수 처리 방안의 연구 셋째, 대상 원수의 다양성에 따른 범용적 시스템과 막의 조합 방법론 제시, 네번째, 원수 내의 조류 확산에 대처 가능한 막 공정 근간의 “bioreactor”의 개발, 다섯째, 경제적 경쟁력 강화를 위한 분산화된 수처리 시스템의 조립식 플랜트 화 도모, 마지막으로 분산형 시스템에 선정된 막 공정 전·후 최적 공정 개발을 들 수 있으며, 이외에도 도시 내 물 관리 시스템에

서 수원의 다변화 및 대체 수자원과의 연계 기술, 하수 처리 및 관리와의 연계 기술, 또는 국내 특수성으로 인식되는 중앙 집중형 대규모 광역 상수도와의 연계 기술 개발 등은 기술적으로 해결해야할 숙제라고 할 수 있음.

▌표 2.145 분산형 수처리 시스템 구축 촉진에 관한 법률 제정(안) 골자 】

구 분	주요 내용
□ 제1장 총칙	목적, 정의, 정부 등의 책무, 다른 법률과의 관계 등 규정
□ 제2장 분산형 수처리 도입 계획 등	기본계획 및 시행계획의 수립·시행, 사전협의, 통계의 작성 및 공개, 분산형 수처리 전환계획의 수립 등
□ 제3장 분산형 수처리 기반 조성 및 이용 촉진	분산형 수처리 사업자 등록 및 등록 취소 등, 투자비용의 지원 등, 인증 및 인증기관, 표준화 추진, 거점지구 지정 등, 분산형수처리 산업진흥 지원기관의 지정 등, 분산형 수처리협회 설립 등
□ 제4장 분산형 수처리에 관한 연구조사 및 평가	분산형 수처리 시설 운영 현황 조사 및 평가, 연구개발의 지원, 국제협력의 추진 등
□ 제5장 분산형 수처리 정보의 수집, 활용 및 보호	정보의 수집·관리, 정보의 제공 및 공동 활용 등, 정보 보호조치 및 손해 배상 등
□ 제6장 보칙	자료제출 등, 수수료, 청문, 권한의 위임, 업무의 위탁, 벌칙 적용시 공무원 의제

▌ 분산형 수처리 시스템 도입 활성화를 위한 법제도 개선방향 제언

- 앞서 제안한 바와 같이 단순히 수도법 개정을 통해 법적으로 분산형 수처리 시스템의 도입을 가능하게 한다고 해서 기술개발 및 도입 활성화를 기대하기는 어려울 것으로 판단됨
- 분산형 수처리 시스템의 기술적, 경제적 특성상 국내 도입이 활성화되고 해외수출이 가능할 정도로 충분한 경제성이 확보되려면 신기술 개발 및 도입 초기의 정부 지원이 절대적으로 필요할 것으로 보여짐
- 우리 정부는 2011. 5.24 “지능형전력망의 구축 및 이용 촉진에 관한 법률”을 제정하여 전력산업 신기술인 스마트 Grid 기술 개발 및 도입을 지원하고 있으므로, 수도산업 신기술인 분산형 수처리 시스템에 대해서도 이에 준하는 법제도적 지원방안을 강구할 수 있음

▌ 분산형 수처리시스템은 현행 수도법상 광역상수도, 공업용수도, 지방상수도 시설로 모두 도입이 가능하나, 국내 도입 활성화 및 해외 수출이 가능할 정도의 경제성 확보를 위해서는 도입 초기 정부의 지원(시범사업 등)이 절대적으로 필요함

다. 분산형 용수공급시스템 기본계획

(1) 분산형 용수공급시스템 개념

▌분산형 용수공급시스템은 1990년대 말부터 중앙 집중형 대규모 용수공급시스템의 개념과 대분되는 여러 형태가 몇몇 연구자들에 의해 제시됨. 세 종류의 분산형 용수공급 시스템이 있으며, Point-of-use(POU) 시스템, Point-of entry(POE) 시스템 그리고 지역사회 소규모 시스템으로 구분할 수 있음

- 각 가정 수도전에서 또는 용수를 사용하기 바로 전에 가정용 정수기를 사용하는 경우와 같은 시스템인 “POU(Point-of-Use) system”으로서 일반적으로 이러한 시스템은 음용용도로 한정되는 경우가 대부분이며, 분산형 용수공급시스템의 한 종류로 그 규모가 가장 작은 형태임(Maryna, 2009). DeZuane은 그의 연구에서 1인당 하루 음용에 필요한 최소 용수는 약 2 L정도이며, 음용과 조리에 필요한 최대 용수 소요량은 약 8 L정도가 됨을 제시하였는데(DeZuane, 1997) 앞서 언급한 POU 시스템은 각 가정에서 설치되는 경우 약 8~32 L정도(4인 기준)의 처리 생산능을 가지게 되는 분산형 용수공급 시스템으로 정의될 수 있음
- POU 시스템보다 조금 규모가 큰 다른 형태의 분산형 용수공급시스템으로 각 가정에 공급되는 용수 모두를 처리하여 공급하는 “POE(Point of Entry) System”을 들 수 있음(Craun and Goodrich, 1999). POU 시스템이 음용수에 국한 것에 반해 POE 시스템은 음용수뿐만 아니라 가정에서 사용하는 모든 용수(1인당 하루 100~150 L 정도)를 처리하여 공급할 수 있음. 이는 산업화 국가(industrialized countries)에서 원수를 공급받거나 우리나라와 같이 침전수를 공급받아 용도에 맞는 수질의 공업용수를 자체적으로 생산하여 사용하는 경우에도 분류상 POE 시스템으로 구분 지을 수 있음
- 가장 규모가 큰 분산형 용수공급 시스템의 형태로 “지역사회 소규모 시스템(Small-Scale System)”을 들 수 있음. 우리나라의 마을 상수도와 같이 시골 지역에 산재된 몇몇 가정이나 작은 소규모 지역 및 마을이 소비할 용수를 자체적으로 확보하여 처리, 공급하는 시스템을 언급할 수 있음.
- 중앙 집중형과 분산형 용수공급 시스템이 혼재되어 나타나는 시스템을 각각 “dual water system” 또는 “hybrid system”으로 정의하고 있음(Maryna 등, 2009; Daigger and Crawford, 2007). 중앙집중형 용수공급시스템은 음용수를 제외한 일반 용수를 공급하고 분산형 용수공급시스템은 음용수를 공급하는 시나리오가 중국

Daquing시(인구 약 100만)에 제안되었으나 소요비용과 시간문제로 인해 추진되지 못함(Ma 등, 1998). 또한 Daigger와 Crawford가 제시한 “hybrid system”은 대도시에 이미 구축되어 있는 중앙집중형 용수공급시스템과 하수처리시스템을 근간(backbone)으로 운영하며, 제한된 지역-도시가 확장되면서 중앙 집중형 시스템으로부터 서비스 제공이 불가능한 지역-에 분산형 시스템을 설치, 운영하는 것으로 정의하고 있음. 개념상 반대되는 중앙 집중형 시스템과 분산형 시스템의 도시 내 혼재를 도시 성장에 있어서 자연스러운 현상으로 간주하는 추세임(Table 참조).

▌표 2.146 전 세계 하이브리드 시스템의 사례 ▌

City and Nation	Hybrid system outline
New York, U.S.	- Decentralized wastewater collection systems - 14 decentralized treatment plants
Orlando, U.S.	- Ground water sources; - Treated sewage water from several plants for several ground water recharge
Hampton Roads, U.S.	- Decentralized water supply and treatment system - Decentralized wastewater collection system and 9 treatment plants/reuse facilities
Washington D.C., U.S.	- Indirect wastewater reuse
South California, U.S.	- Surface source water transport from other regions - Using local ground water/Recharging treated sewage
Sydney, Australia	- Main water source is surface water - Alternatively supply for deficit by region
Singapore	- Using “Four National Taps” ① Local water Source ② Imported source water from Malaysia ③ Seawater desalination ④ Decentralized wastewater reuse facilities
Bangkok, Thailand	- Main water source is ground water - Operating locally decentralized wastewater reuse facilities

▌ 분산형 용수공급시스템은 소비자와 가까운 지역에서 정수처리 시설을 분산 배치하고, 분산화 된 처리시설에서 원수를 처리처리 하여 용수를 필요로 하는 수요처에 빠른 시간 내에 공급하는 용수공급 방식으로 공급의 안정성 및 안전성 확보할 수 있는 인프라를 구축하는 것을 의미함

- 통합 형태의 분산형 용수공급시스템은 공급지역의 사고에 대비한 비상용수 공급 대책 및 보조 수원확보를 통한 예비율 확보의 패러다임을 가지고 있으며, 정수처리시설 내 소비에너지 효율화 제고, 수질사고 및 재해 대비, 용수와 에너지를 통합한 시스템을 구축하는 것에 목적이 있음
- 분산형 용수공급시스템은 기존의 배수지를 중심으로 한 개의 수원(Water Source)이 해당 급수구역에 모든 용수를 공급하는 중앙집중형 시스템(Centralized Water Supply System)에서 한 개의 급수구역 내에 두 개 이상의 수원 또는 용수공급 시설을 확보하여 용수를 공급하는 새로운 용수공급 시스템임
- 현재까지 국내·외 용수공급시스템을 살펴본 결과 완전한 형태의 분산형 용수공급시스템을 채택하여 운영하고 있는 도시는 없었으며 기존 중앙집중형 시스템의 운영에 있어 심각한 문제로 대두되고 있는 관 파괴에 따른 단수 및 단일 수원지의 사고로 인한 용수공급 불능상태에 대비한 비상용수 확보 방안의 해결책으로 일부 사업을 진행하였던 것으로 조사되었음
- 대표적인 해외 사례로서 영국 런던의 경우 상수관망의 누수율이 30%가 넘어서 누수가 사회적인 심각한 문제로 대두됨에 따라 대심도 환형 송수간선(water ring main)을 1994년에 완공하여 송수관로의 누수 문제를 해결했으며, 이스라엘의 경우 단일 수원으로 인한 용수공급의 안정성 문제를 해결하고자 국가 전역에 분포하는 수자원을 하나로 모아 송수관망으로 유입 시킨 후 NWC(National Water Career) 통제 하에 각 수요처에 공급하고 있음(2009, 동아닷컴)
- 완전한 의미의 분산형 용수공급시스템은 다중수원 확보를 통한 비상시 용수공급의 안정성을 확보하고 도시 내 저류조 및 분산 설치되어 있는 정수처리시설을 통해 단수 피해에 대한 다중방어 시스템을 구축하는 것과 정수처리시설이 도시 내 위치하여 수질 신뢰성 확보를 통해 음용률을 제고하는데 목적이 있음(국토해양부, 2012)

(2) 비상용수 용량 적용 분산형 용수공급시스템 기본계획 (H 도시)

▌ 물안보 측면을 고려한 비상용수 용량산정 결과를 적용한 분산형 용수공급시스템 구축 기본계획 수행을 위하여 국내 H 도시를 대상으로 대심도 터널 방식과 기존 용수공급라인을 활용한 2가지 형태의 인프라 구축 방향에 대한 기본계획을 구상함

▌ H도시 용수공급시스템 현황

- H도시는 2005년 국가정책에 의해 행정중심 복합도시로서의 기능을 수행하고자 계획되

어 건설된 도시로서 인구 50만명이 주거할 수 있는 계획도시임. 상수도 시설로 총 6개의 블록으로 구분되어 있으며 총 20만톤/일 계획급수량을 대전광역시 월평정수장으로부터 6만톤/일 및 신탄진정수장으로부터 14만톤/일 공급받는 것으로 계획되어 있음

- H도시는 전형적인 Loop 형태의 특성을 가진 상수관망으로 용수를 공급받도록 계획된 도시임. 배수관의 구경은 80mm ~ 700mm로 설치되어 있으며 도시외곽을 통해 도시 내 위치한 배수지로 용수를 공급받는 형태로 설계되었음. 이러한 형태는 신도시의 원활한 용수공급이 이루어질 수 있도록 계획된 것으로 각 블록이 서로 분리되어 있어 분산형 용수공급시스템을 구축하여 운영할 수 있는 최적의 조건을 가지고 있다고 판단됨

▌표 2.147 H도시 용수공급 현황 ▐

항 목	단 위	값
계획인구 (2030년 기준)	인	500,000
단위급수량	lpcd	400 (상수도보급율 100%)
계획 용수수요량	㎥/d	200,000
블록(Block) 및 배수지	개	5 / 5
면적	㎢	72.908

▌표 2.148 H도시 단계별 용수공급방안 ▐

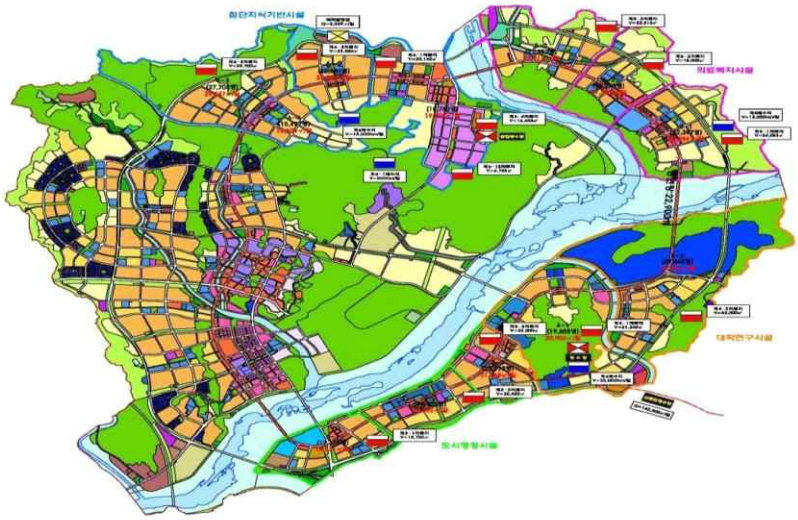
항목	1단계 (2008 ~ 2010)	2단계 (2010 ~ 2015)
공급 방법	1,2단계 분리공급	
공급 정수장	H 정수장	S 정수장
용수 공급량	60,000 ㎥/일	140,000 ㎥/일
송수 관로	D = 800mm, L = 10.5km	D = 1,350mm, L = 12.5km
가압 펌프장	1개소	1개소

▌ H도시 용수공급시스템 체계

- 중앙집중형 용수공급시스템은 국내 급수율 향상을 위한 방안으로 도입되어 현재까지 각 지방 자치단체 및 수도권 대형 정수장을 기반으로 운영되고 있음. H도시의 용수공급체계도 중앙집중형 용수공급시스템으로 설계되었음
- 중앙집중형 용수공급방식은 단일수원으로부터 도수된 원수가 정수장에서 모래여과 또는 막여과를 통해 송수되어 배수지에서 저류된 후 각 소비자에게 공급되는 방식으로 전반적인 시스템의 운영과 유지관리 면에서 경제적으로 효율적임이 증명되어 왔음. 하지만 단일 수원 기능이 손상될 경우 원천적인 용수공급이 불가능해 진다는 점과 정수장에서 각 가정으로 용수가 공급되는 과정에서 관로의 길이가 길어짐에 따라 예측되

지 않은 오염에 노출될 우려가 큼(박노석, 2011)

- 따라서, 상수도 서비스의 주체가 소비자로 이동되는 현 시점에 과거 중앙집중형 용수공급방식의 틀을 벗어난 새로운 용수공급방식의 도입이 기대되고 있음



▌그림 2.301 H도시 조성 계획 및 용수공급 계획▐

출처) 행정중심복합도시 용수공급시설 기본 및 실시설계 보고서, 대전광역시 상수도사업본부, 2008.04

▌그림 2.302 현 H도시 용수공급시스템 체계도▐

▌H도시 분산형 용수공급시스템 구축 기본계획 수립 방향

- 본 연구에서는 H도시를 대상으로 분산형 용수공급시스템 구축을 위한 시나리오 별 기본계획을 수립하였음. 분산형 용수공급시스템 기본계획 수립을 위해 H도시 내 용수공급을 위한 원수 공급 체계를 2가지로 가정하여 연구를 수행함. 본 절의 연구내용은 4차년도에 수행한 사업화 대상지역의 분산형 용수공급시스템 구축을 위한 기본

계획 수립을 위한 용수공급 시나리오별 기본계획 안을 도출하는데 그 의의가 있음

- 현 용수공급시스템 상 H도시는 분산형 용수공급시스템을 구축하기 위한 용수공급 인프라 라인이 별도로 설치되어 있지 않을 뿐 만 아니라, 현 용수공급라인을 활용할 수 없는 실정임. 따라서, 본 절에서는 H도시의 지형여건과 용수공급을 위한 수원현황 등 다양한 환경적 여건에서의 모델지역으로서 분산형 용수공급시스템 구축을 위한 원수공급 방안을 최대한 현실 가능한 시나리오로 제시하였음
- 첫째, H도시를 환산형으로 통과하는 대심도로부터 블록 내 위치한 수직형 정수처리시설로 용수를 공급하는 형태의 시나리오를 수립함. 본 시나리오에서 대심도의 크기 및 위치는 H도시의 토지이용도 및 기본 수치지도를 바탕으로 노선을 결정하였으며 대심도의 저류용량은 H도시 내 거주인구가 14일간 별도의 수원으로부터 원수를 공급받지 않고 기본적인 생활을 영위해 나갈 수 있는 비상용수량과 일일 계획용수량이 합산된 용량을 바탕으로 결정하였음
- 둘째, 현 중앙집중형 용수공급시스템의 송수관로 노선을 활용한 시나리오로써 H도시로 용수공급을 위한 월평 정수장과 신탄진 정수장에서 1차 처리(침전)된 용수를 H도시내 각 블록에 위치한 수직형 정수처리시설의 저류지로 이송하는 형태임. 각 저류지의 위치 및 크기는 앞에서 언급한 각 블록 내 비상용수량과 계획용수량을 합산한 용량을 기초로 저류지의 크기를 산정하였으며, 위치는 수직형 정수처리시설의 지하에 설치하여 원만한 정수처리 공정이 수행될 수 있도록 계획하였음

(가) 대심도 용수공급라인을 이용한 분산형 용수공급시스템 계획

▌본 절에서는 모델지역으로서 H도시를 대상으로 대심도 터널 방식에 의한 분산형 용수공급시스템 구축 기본계획을 수립하여 제시함

- 본 설계는 대심도 터널 방식에 대한 기본적인 계획안을 바탕으로 수행되었으며, H도시의 거주인구와 산업용도 필요 용수사용량을 기준으로 설계되었음
- 대심도 터널로 공급되는 원수는 S 정수장에서 공급되는 1차 처리수로 가정하였으며 H도시의 계획용수량 및 비상용수량을 저장할 수 있는 관경과 길이를 설계 요소로 고려하였음
- 대심도 터널에서 공급되는 원수는 수직형 정수처리 시설로 도수관로를 통해 연결되며 처리된 정수는 직결급수를 기본으로 각 구역별로 공급된다고 가정함

▌저류용량 결정

- 대심도 터널에 저류할 용수는 H도시의 계획 용수량과 비상 용수를 참조하여 설정하

였으며 계획용수량은 거주 인구 일인당 하루 365L를 소비한다고 설정하였음

- 비상용수는 거주민이 기본적으로 생활에 필요한 양을 정리하여 1일이 14일 동안 사용하는 양을 기준으로 비상용수를 설정하였음. 아래 표는 H도시의 계획 용수 및 비상용수를 산정한 결과를 나타낸 표임
- 대심도 터널은 자유 수면을 가지는 형태를 채택하였으며, 대단위 구경은 압력을 통한 흐름을 채택하는데 있어 매우 불리하며 가압을 할 수 없는 기술적 제한이 있음. 따라서, 일정한 기울기를 가지도록 터널을 설계하여 유량 흐름에 대한 에너지 사용을 최소로 가지는 시스템으로 기본계획 안을 결정하였음

▌표 2.149 H도시 비상용수 및 계획용수량 산정▐

구 분		급수인구 (인)	비상용수 원단위 (L/capita)	비상용수량 (㎥)	계획용수량 (㎥/일)	비상+ 계획용수량 (㎥)
계				292,699	123,431	416,130
도시행정 시설	소 계	66,401		70,809	24,462	95,271
	3-1	17,368	1,066.38	18,521	7,058	25,579
	3-2	19,055	1,066.38	20,320	7,327	27,647
	3-3	29,978	1,066.38	31,968	10,077	42,045
대학연구 시설	소 계	49,050		52,306	22,845	75,151
	4-1	19,605	1,066.38	20,906	7,938	28,844
	4-2	29,445	1,066.38	31,400	14,907	46,307
의료복지 시설	소계	60,087		64,076	21,467	85,543
	5-1	22,397	1,066.38	23,884	6,551	30,435
	5-2	16,298	1,066.38	17,380	6,319	23,699
	5-3	21,392	1,066.38	22,812	8,597	31,409
첨단지식 기반시설	소 계	98,941		105,509	46,127	151,636
	6-1	18,750	1,066.38	19,995	9,316	29,311
	6-1(S)	6,205	1,066.38	6,617	11,456	18,073
	6-2	30,801	1,066.38	32,846	9,537	42,383
	6-3	27,708	1,066.38	29,547	10,749	40,296
	6-4	15,477	1,066.38	16,504	5,069	21,573
북측열병합 발전소	소 계				8,530	8,530
					8,530	8,530

▌관경 및 길이 결정

- 대심도 터널의 길이는 H도시를 RING 형태로 순환하는 구조로 설계하여 결정 하였으며 결정된 관 길이는 총 22.5km로 계획 함. 이에 따른 관경은 다음의 계산 과정을 거쳐 산정되었음

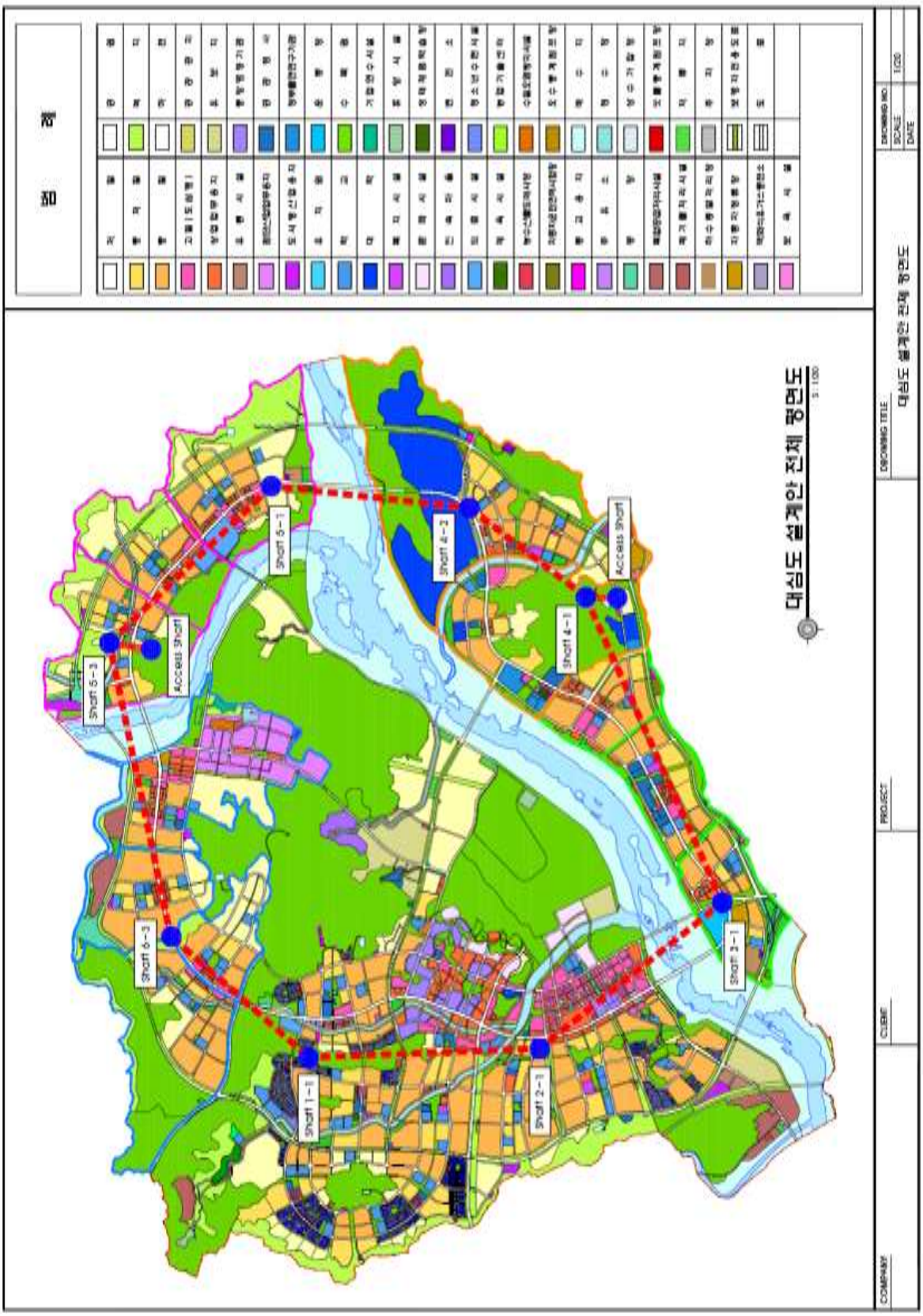
▌표 2.150 대심도 관로 연장 및 관경 결정▐

구 분	산 정 결 과
관로 연장	22.5km (평면도 참조)
계획 관경	$416{,}130\,m^3 = A \times 22{,}500\,m$ $A = 18.5\,m^2$ $18.5\,m^2 = \frac{\pi}{4} \times D^2$ $D = 4.8m\,(5.0m\text{채택})$
저류 용량 재 산정	441,800㎥

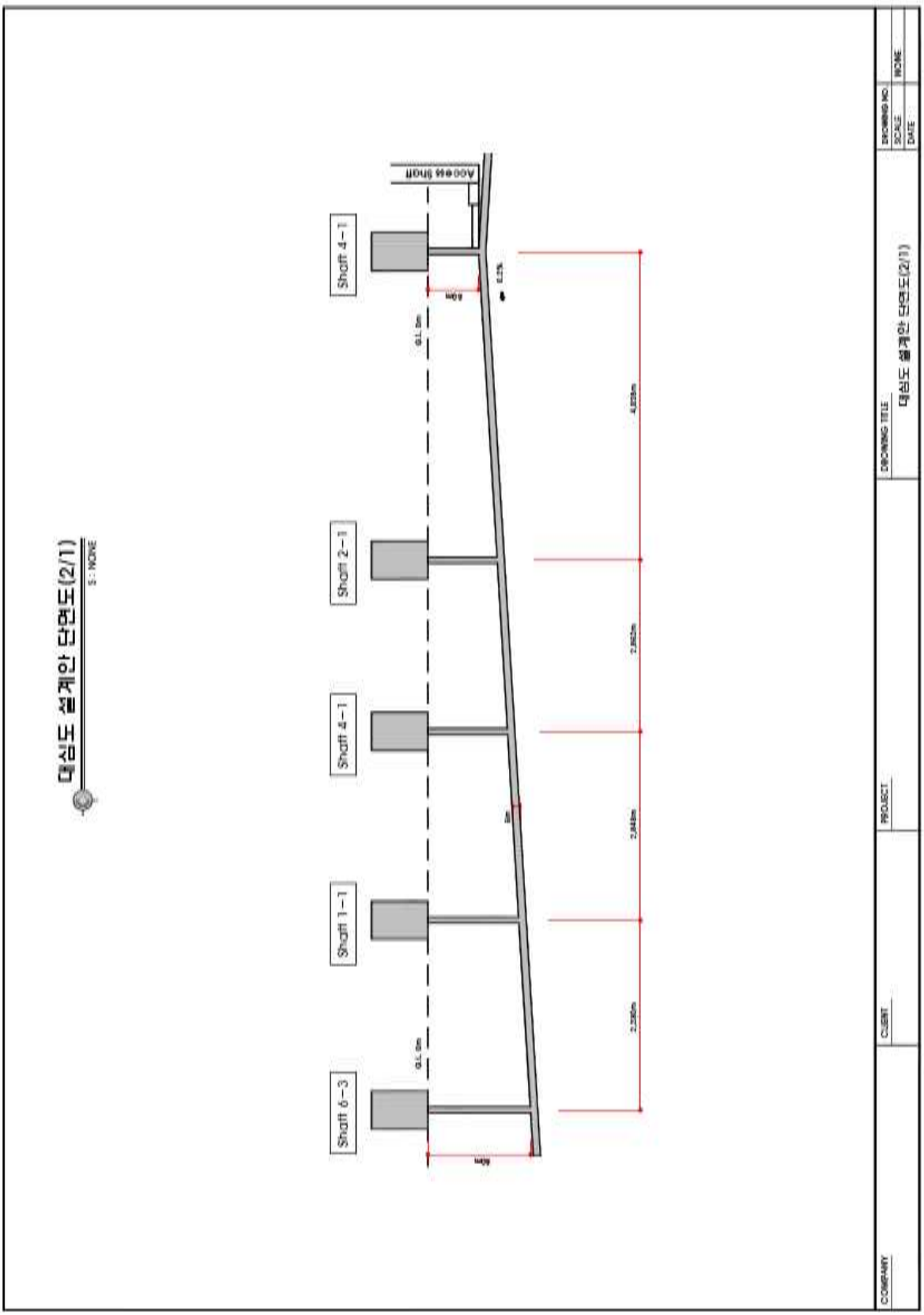
▌설계유의 조건

- 대심도 터널의 유지 관리를 위해 전체 관로에 0.2%의 일정한 경사를 두었으며 관리용 Shaft를 10km 당 1개를 별도로 두어 누수나 파괴에 따른 비상 상황에 터널에 접근이 용이 할 수 있도록 계획하였음
- 대심도 터널을 환산형으로 설계시 유입점을 기준으로 Y형 형태로 노선을 분개시켜 시공하는 것이 터널이 무한정 깊어지는 것을 방지 할 수 있으며 터널의 구조적인 문제가 발생하였을 시 해당 지점에 쉽게 접근할 수 있는 장점을 가지고 있음
- 대심도 터널에 저장되어 있는 용수를 Pumping하기 위한 Shaft는 총 8개로 각 대 블록별 2개를 설치하였으며 양정고는 50m에서 80m까지 각 Shaft에 따라 다양하다고 가정함. 양정고는 관로의 경사에 직접적인 영향을 받는 것으로 현 도시의 지장물 위치에 따라 변동될 수 있는 사항임.

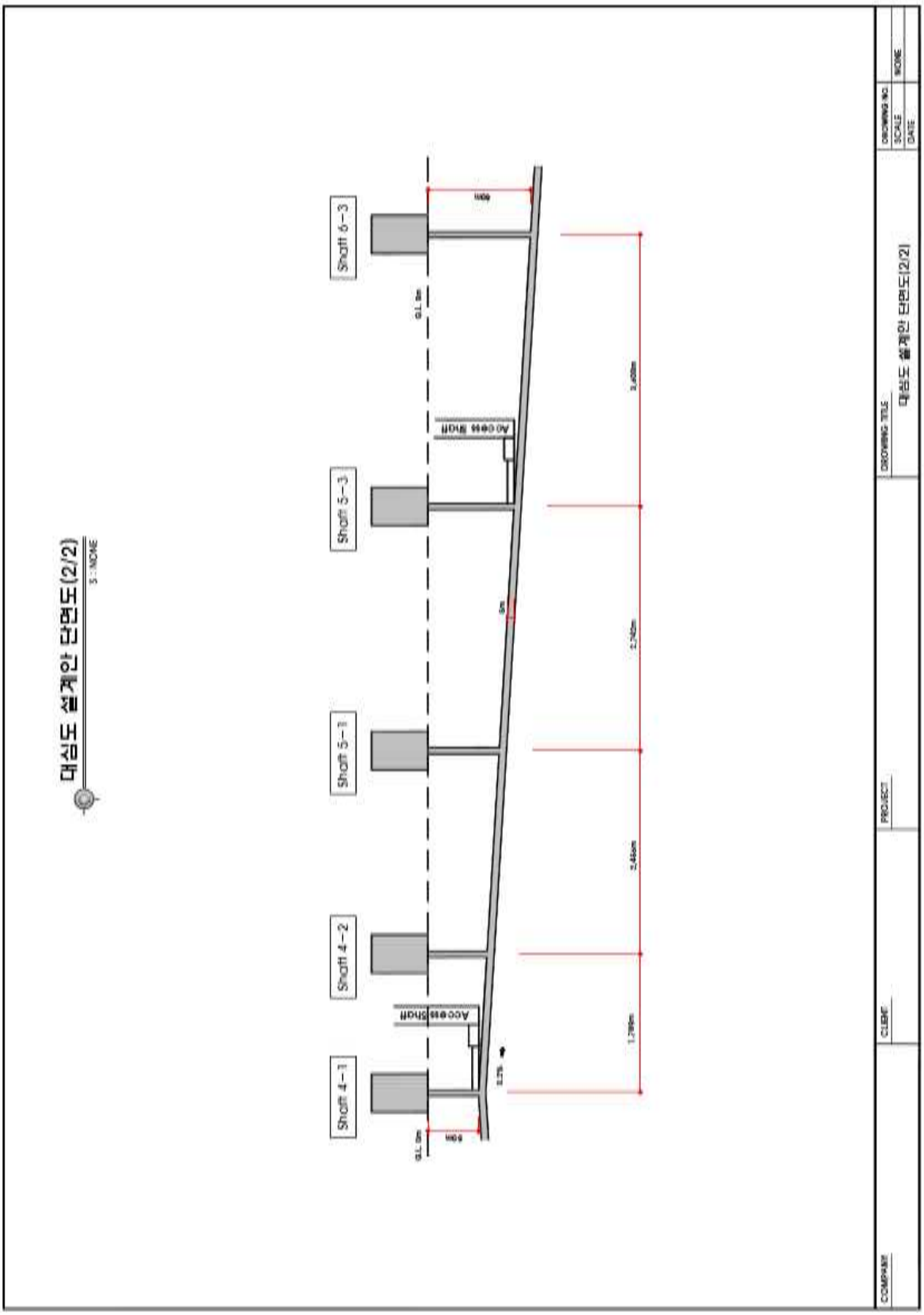
▌본 절의 H 도시 대상 분산형 용수공급시스템 기본계획의 상세한 내용은 2세부과제 내 공동연구 수행기관(대림산업)에서 수행된 "기존 광역용수공급 및 급/배수시스템 연계기술개발"과제에서 본 절의 기본계획 수립을 토대로 좀 더 상세히 논의될 것임



▌그림 2.303 현 H도시 대심도 용수공급라인 계획 설계 안▐



▌그림 2.304 H도시 대심도 터널 단면 설계 Ⅰ ▐



▌그림 2.305 H도시 대심도 터널 단면 설계 Ⅱ ▐

(2) 기존 용수공급라인을 이용한 분산형 용수공급시스템 계획

▌본 절에서는 앞 절에서와 마찬가지로 모델지역으로서 동일한 H도시를 대상으로 기존 용수공급라인을 이용하면서 저류조 기반의 분산형 용수공급시스템 구축 기본계획을 수립하여 제시함

- 저류조를 이용한 용수공급 안은 각 소블록에 1인이 14일 동안 비상시 사용할 수 있는 용수를 저장하여 수직형 정수처리시설에 의해 소비자에게 전달하는 용수공급 방식임. H도시에 계획된 저류지의 총 개수는 시공비용, 현장여건, 유지관리에 따라 달라질 수 있는 사항임
- 본 1세부 연구에서는 H도시를 각 소블록 단위로 관리하는 것을 우선적으로 고려하였으며 2세부에서는 수직형 정수처리시설의 규모 및 최적 설치 위치, 시스템 연계 등에 대한 방안을 정량적 지표로 비교/분석하기 위해 6개 중블록 단위로 평가하였음
- H시의 분산형 용수공급시스템 1차 기본 계획안으로 소블록 단위로 분산형 용수공급시스템을 구축하는 것을 제안하였으며, 이때 저류지 크기 및 위치는 북측 열병합 발전소 저류지를 포함한 14개로 각 소블록에 골고루 분포할 수 있도록 계획되었음
- 저류조의 저장된 원수는 수직형 정수처리시설로 공급되고 해당 블록에 직결급수 방식으로 공급되며 저류조의 위치는 기본적으로 공원용지 및 녹지 생활공간과 학교 운동장을 사용하는 것이 바람직하다고 판단됨에 따라 각 소블록의 토지이용도를 활용하여 최대한 시공 및 민원이 발생하지 않을 지역을 설정하였음
- 저류지로 공급되는 용수는 기본적으로 정수장에서 고액분리 된 용수로 수직형 정수처리시설에서 고도 처리되어 수요자에게 용수를 공급하는 안을 기본으로 함. 일부 직접급수가 불가능한 지역에 설치가 고려될 배수지는 수직형 정수처리시설에서 처리된 용수가 주 유입원이 되며 각 소블록에 위치수두를 최대한 활용하여 용수를 공급할 수 있도록 기존 배수지 활용을 전제로 함

▌다음 표는 각 소블록에 설치될 저류조의 용량 및 크기를 결정한 것임.

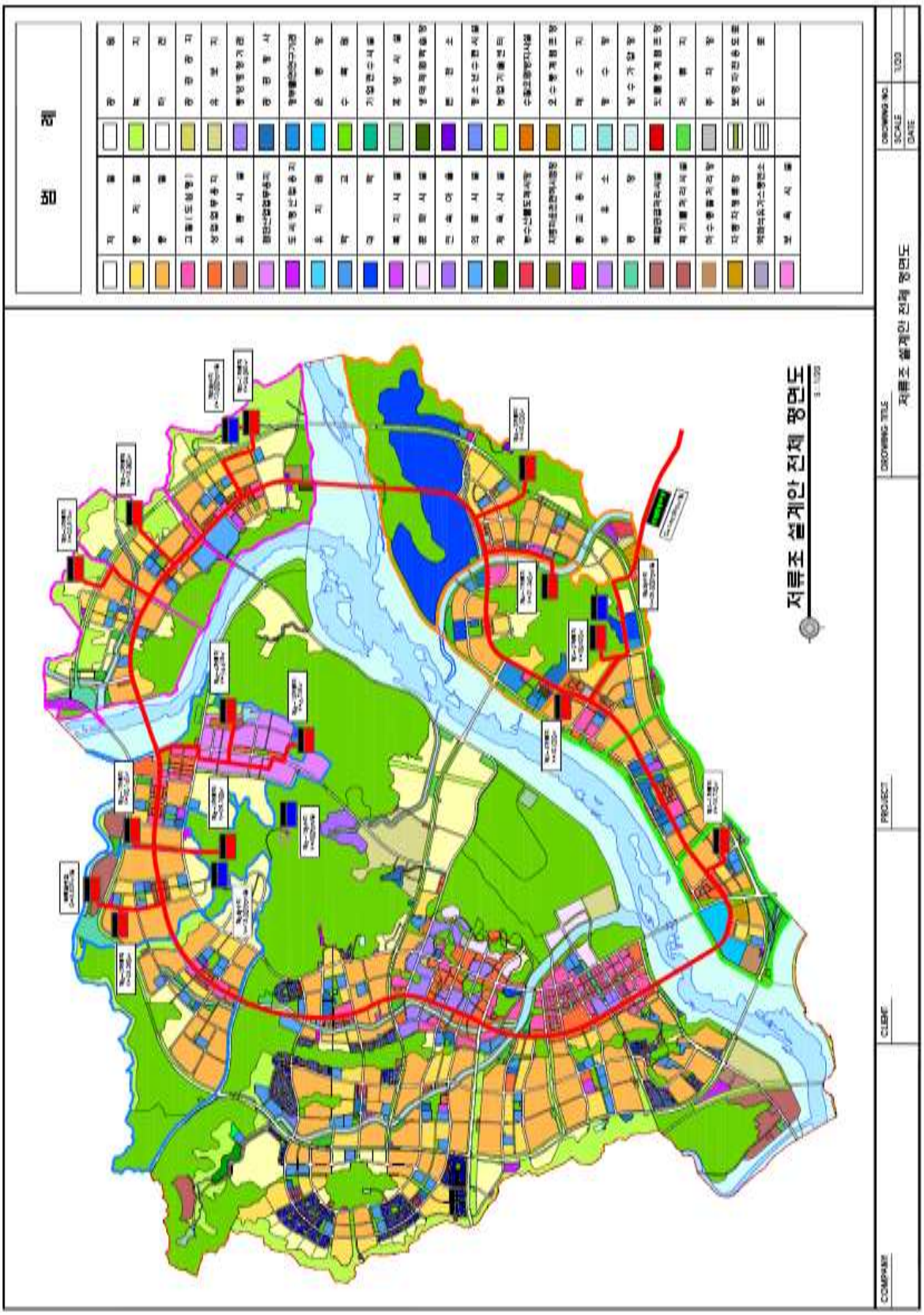
- 저류조는 일반적으로 사각형의 형태를 띠며 깊이는 최대 6m를 넘지 않도록 설계되었음. 각 저류지에 공급되는 용수는 기존 송수관로를 이용하는 것으로 계획하였으며 기존 송수관로에서 각 저류지로 분기하여 유량이 공급된다고 설계함

▌표 2.151 H도시 저류지 용량 및 크기 결정▐

구 분		비상용수량	저류지 규격			저류지 용량
		(㎥)	W (m)	L (m)	H (m)	(㎥)
계		301,229	-	-	-	304,533
도시행정 시설	소 계	70,809	-	-	-	71,240
	3-1	18,521	60.0	60.0	5.2	18,720
	3-2	20,320	60.0	60.0	5.7	20,520
	3-3	31,968	80.0	80.0	5.0	32,000
대학연구시설	소 계	52,306	-	-	-	53,240
	4-1	20,906	60.0	60.0	5.9	21,240
	4-2	31,400	80.0	80.0	5.0	32,000
의료복지 시설	소계	64,076	-	-	-	64,898
	5-1	23,884	65.0	65.0	5.7	24,083
	5-2	17,380	60.0	60.0	5.0	18,000
	5-3	22,812	65.0	65.0	5.4	22,815
첨단지식 기반시설	소 계	105,509	-	-	-	106,515
	6-1	19,995	60.0	60.0	5.6	20,160
	6-1(S)	6,617	35.0	35.0	5.5	6,738
	6-2	32,846	80.0	80.0	5.2	33,280
	6-3	29,547	75.0	75.0	5.5	29,700
	6-4	16,504	55.0	55.0	5.5	16,638
북측열병합 발전소	소 계	8,530	-	-	-	8,640
		8,530	40.0	40.0	5.4	8,640

▌표 2.152 H도시 저류지 연결 인입/배출 관로 관경 설계 안▐

구 분		저류지용량 (㎥)	계획 용수량 (㎥)	관경(mm)		길이(m)		마찰계수 (H-W)
				In	Out	In	Out	
도시행정 시설	3-1	18,720	7,058	300	300	373	50	100
	3-2	20,520	7,327	500	500	357	50	100
	3-3	32,000	10,077	300	300	24	50	100
대학연구 시설	4-1	21,240	7,938	400	400	1018	150	100
	4-2	32,000	14,907	300	250	833	150	100
의료복지 시설	5-1	24,083	6,551	500	500	1125	150	100
	5-2	18,000	6,319	300	300	647	50	100
	5-3	22,815	8,597	300	300	1093	245	100
첨단지식 기반시설	6-1	20,160	9,316	250	200	273	10	100
	6-1(S)	6,738	11,456	400	400	1100	50	100
	6-2	33,280	9,537	250	250	584	50	100
	6-3	29,700	10,749	800	800	802	50	100
	6-4	16,638	5,069	400	400	1538	50	100
북측열병합 발전소	-	8,640	8,530	250	250	1467	50	100



▌그림 2.306 H도시 저류조를 통한 용수공급 계획 설계 안▐

(3) 사업화 대상지역 분산형 용수공급시스템 기본계획 (새만금 개발지역)

▌본 절에서는 분산형 용수공급시스템 적용이 가능한 사업화 대상지역을 선정하여 기본계획을 수립 제시함으로써 기존 용수공급시스템과의 장단점 비교 및 경제성 분석 등을 통해 분산형 용수공급 체계의 구축에 따른 효과를 간접적으로 평가하고자 하였음

▌앞 절에서의 비상용수 용량 기준을 적용한 대심도 터널을 활용한 방식과 기존 용수공급라인을 활용한 방식을 적용한 분산형 용수공급시스템 기본계획을 제시한 H 도시의 경우 분산형 용수공급시스템의 적용은 실질적으로 어려운 상황임. 따라서, 국내 신규 개발지역을 대상으로 분산형 용수공급시스템 적용이 가능한 지역을 조사하였음

- 2025년까지 경기도 화성시 송산면 일원에 계획중인 반월특수 지역중 시화지구개발사업(**송산 그린시티**)에 소요되는 생활 및 공업용수 용수공급시설 설치사업의 경우 기존 수도권 광역상수도를 활용한 송배수 관로 건설공사만 포함되어 있어 수직형 정수처리시설의 설치가 불가능한 것으로 판단됨에 따라 본 사업화 대상지역으로의 선정에서 제외하였음(계획 변경시 추후 검토)
- 2018년까지 부산 강서구 강동동 일원에 계획중인 수변문화 레저도시, 자연감성 생태도시 및 글로벌 미래 첨단도시를 표명하는 **부산 에코델타시티 조성사업**의 경우 부산시 상수도사업본부와의 과제 개발성과의 설명을 통한 사업화 대상지역으로의 가능성에 대한 협의 결과, 기존 부산시 덕산정수장에서 관로 설치를 통한 공급계획에 의해 본 수직형 정수처리시설을 근간으로 하는 분산형 용수공급시스템 구축 대상지역으로서의 사업화 가능성이 적어 대상지역에서 제외하였음
- 기존 용수공급 체계와의 연계가 가능한 상기 지역과는 차별적으로 새만금 개발지역은 국책사업으로서 새로이 조성이 예정된 지역으로서 현재 확정된 용수공급 계획이 없는 상황임에 따라 **본 연구단에서는 새만금 개발지역을 사업화 대상지역으로 선정하여 기본계획을 수립하였음**

▌새만금 개발지역 개요 및 대상지역 한정

- 새만금 개발 사업은 군산, 김제, 부안군 일원을 조성하는 국책사업으로 1단계로 2020년까지 72.7%(산업용지, 농업용지 중심)을 조성하고, 이후 나머지 용지의 조성 및 개발 계획을 가지고 있음
- 워터프론트, 수로, 생태습지 등을 이용한 다양한 친수활동을 유치함과 동시에 체계적 호소 관리로 깨끗한 물을 확보한다는 개념을 포함하고 있음
- 분산형 용수공급시스템 사업화 대상지역으로서 새만금 개발지역 전체에 적용하기에는 기존 개발중인 시설이 존재함에 따라 적절하지 않다고 판단하고, **개발 예정지역인 복합도시 용지 북측지역을 분산형 용수공급시스템 기본계획 수립을 위한 대상지역으로 한정하여 연구를 수행**하였음
- 복합도시 용지는 약 67.3㎢로 전체면적의 약 23.8%이고, 주거용지, 산업용지, 상업 및 업무, 관광레저 등 지속적이고 고품질의 수돗물을 요구하는 수요처가 집중되어 있음
- 새만금 복합도시의 경우 당초 새만금 개발계획(MP)에서는 필요한 공업용수와 생활용수를 광역상수도에서 공급받는 것으로 기본계획이 수립되어 있음

▌그림 2.307 새만금 개발지역 내 복합도시 용지 위치▐

▌표 2.153 새만금 종합개발계획 용도 및 소관기관 ▐

구분	계(㎢)	1단계(2020년까지) (㎢,%)	2단계(2021년이후) (㎢,%)	소관기관
복합도시용지	67.3	36.9(54.8)	30.4(45.2)	국토부, 지경부, 문화부, 환경부, 전북도
농업용지	85.7	85.7(100.0)	-	농식품부
산업용지(FEZ)	18.7	18.7(100.0)	-	지경부, 전북도
과학연구용지	23.0	-	23.0(100.0)	교과부, 지경부, 국토부
신재생에너지용지	20.3	8.8(43.3)	11.5(56.7)	농식품부, 지경부
농촌도시용지	4.6	4.6(100.0)	-	농식품부
배후도시용지	10.0	-	10.0(100.0)	국토부
신시~야미 관광레저용지	2.0	2.0(100.0)	-	농식품부
생태 및 환경용지	42.4	40.2(94.8)	2.2(5.2)	환경부, 농식품부
방수시설물등	8.9	8.9(100.0)	-	농식품부
계	282.9	205.8(72.7)	77.1(27.3)	-

▌표 2.154 복합도시 용지 토지이용계획 ▐

구분		계(㎢)		북측지구	남측지구	
		(㎢)	(%)	(㎢)	관광용지	경제자유구역
계		67.30	100	35.68	21.73	9.90
도시용지	주거	4.66	7.0	2.72	1.69	248
	산업	8.24	12.2	8.24	-	-
	상업・업무	2.51	3.7	1.97	0.28	262
	관광・레저	14.89	22.1	0.90	7.23	6.76
	기반시설	19.90	29.6	11.95	5.33	2.63
생태・환경용지		17.10	25.4	9.90	7.20	-

▌ 새만금 복합도시 북측지역 대상 분산형 용수공급시스템 기본계획 수립

■ 다양한 시나리오 및 급수방식 검토를 통해 비상시 단수피해 최소화 뿐 아니라 고품질 수돗물 공급 및 용수공급의 안정성을 극대화 한 소비자 중심의 미래형 분산형 용수공급시스템 기본계획 수립을 새만금 복합도시 북측지역을 대상으로 추진

- 사업화 대상지역 분산형 용수공급시스템 기본계획 방향은 기존 공급계획인 중앙집중형 공급체계와 새로운 개념의 분산형 용수공급 체계의 수리/수질/경제성 평가를 통해 새만금 북측지역 분산형 용수공급시스템 도입 타당성을 검토함
- 기존 새만금 종합개발계획(MP)의 중앙집중형 용수공급 계획은 옥산 계획 배수지 통해 생활용수는 전주권 광역, 공업용수는 금강광역에서 공급이 계획되어 있음
- 새만금 복합도시 북측지역은 새만금 담수호와 소하천 및 녹지 등 지역을 기준으로 6개 구역으로 분할할 수 있으며, 각 급수구역은 4,346㎥/일~ 6,883㎥/일의 용수수요가 예측됨

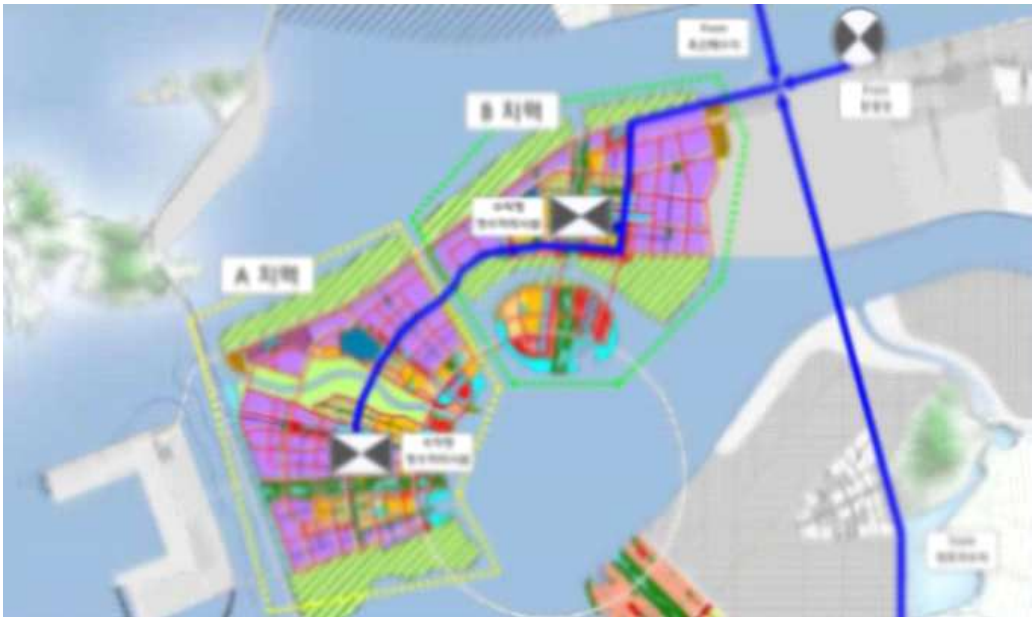
▌그림 2.308 새만금 사업화 대상지역 내 구획 분할▐

▌ 수직형 정수처리시설 2개소 설치를 통한 새만금 복합도시 북측지역 대상 분산형 용수공급시스템 기본계획 수립을 진행

- 대상지역 내 분산형 용수공급체계 구축 기본 방향으로 기존 계획되어 있는 공업용수 배수관로를 활용한 금강광역 공업용수를 분산형 정수처리시설 원수로 활용하고, 수직형 정수처리 시설 설치를 통한 소비자 근거리에서 용수공급 체계 구축과 지역 내 보조수원 연계를 통한 안정성 제고하기 위한 계획 수립
- 복합도시 북측 분산형 용수공급시스템 **기본계획**

  - 급수구역 분할 : 2개 지역(A+B+C, D+E+F)

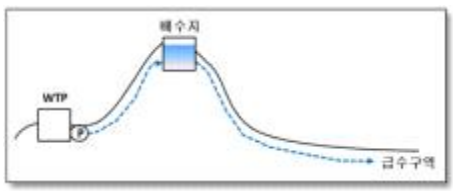
- 분산형 정수처리 시설(수직형 정수처리시설) : 20,000㎥/일 지역별 1기 (총 2개)



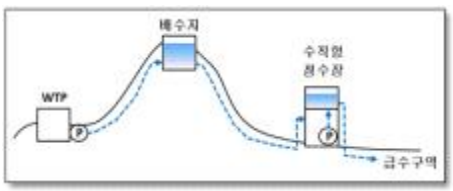
▌그림 2.309 새만금 사업화 대상지역 내 수직형 정수처리시설 설치 계획▐

■ 4개의 급수방식(①기존 MP의 옥산계획 배수지 통한 간접급수, ②수직형시설+직접급수, ③수직형시설+간접급수, ④수직형시설+하이브리드 방식)별 수리(수압), 개량공사비 등 검토 수행

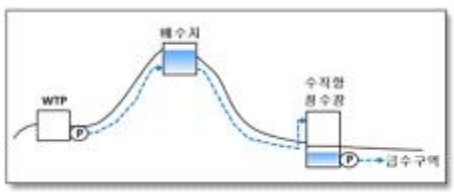
① 기존 옥산배수지를 활용한 간접급수 (MP)
② 수직형 정수시설에서 송수펌프에 의한 압송 방식의 공급체계
③ 수직형 정수시설 후단에 배수지 설치를 통한 간접급수
④ 수직형 정수시설 후단에 펌프압송과 간접급수를 혼합한 방식



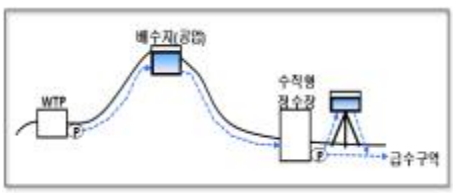
① 간접급수



③ 수직형시설+간접급수



② 수직형시설+직접급수



④ 수직형시설+하이브리드 방식

▌그림 2.310 새만금 사업화 대상지역 내 분산형 용수공급시스템 급수방식▐

▌ 본 절의 새만금 개발지역을 대상으로한 분산형 용수공급시스템 기본계획의 상세한 내용은 2세부과제 내 공동연구 수행기관(대림산업)에서 수행된 "기존 광역용수공급 및 급/배

수시스템 연계기술개발"과제에서 본 절의 기본계획 수립에 관련된 상세한 내용을 검토하여 분산형 용수공급시스템 기본계획을 제시하였음

- 복합도시 북측지역 분산형 용수공급시스템 **기본계획 수립 결과** 기존 MP의 중앙집중형 시스템에 비해 분산형 시스템의 공급방식은 관로 내 수압변동폭, 잔류염소의 평활화, 약품 및 전력사용량 뿐 아니라 관로공사비 측면에서 경제성 또한 우수한 것으로 예측됨
- 급수방식은 펌프 최적 조합운영을 통한 직접급수 방식이 우수할 것으로 예측되나, 현장 여건과 펌프에 의한 직접급수 방식 구현시 설비 안정성 측면에서의 면밀한 검토 필요함.
- 새만금 복합도시 북측지역을 대상으로 분산형 용수공급시스템 기본계획을 검토한 결과 현재 MP의 공급 방식에 비해 우수한 대안시스템으로 판단되며, 이를 통해 '워터프론트' 개발을 표방하고 있는 새만금 지역의 안정적이면서 높은 음용률을 달성할 수 있는 용수공급 구현이 가능하리라 판단됨

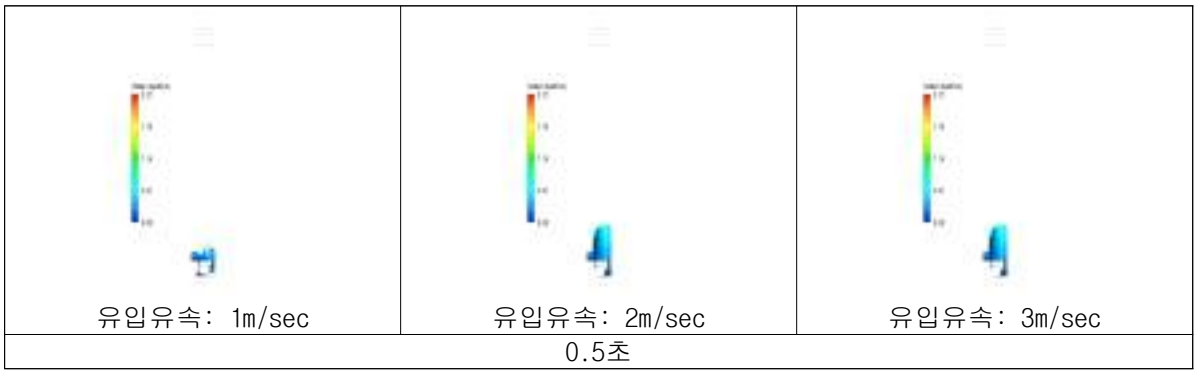
라. 수직형 정수처리시설 유동모의 및 Lab 실험

(1) 막여과 시스템 유동모의 및 분석

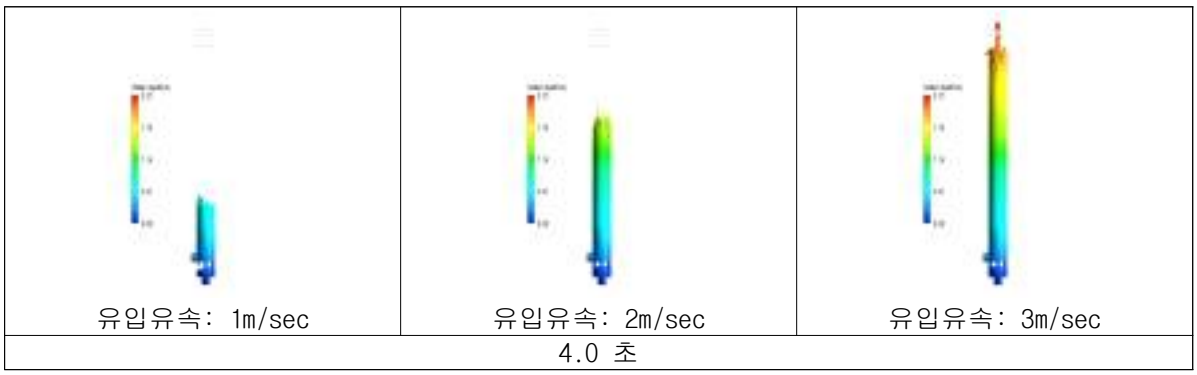
(가) 단일 막여과 시스템 내에서의 유동모의

① 유입유속에 따른 유동변화

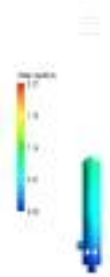
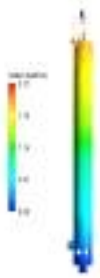
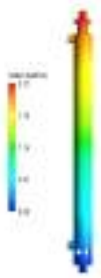
- 유입유속 1m/sec의 경우 약 14초가 경과할 때 유출관으로부터 유출이 시작되는 반면 2m/sec와 3m/sec의 경우 각각 약 6초와 4초에서 유출이 시작되는 것으로 나타남
- 모의결과 유입유속의 증가에 따라 유출관으로부터 유출시작시간은 다소 비선형으로 감소하는 경향을 나타내는 것으로 나타남



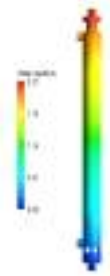
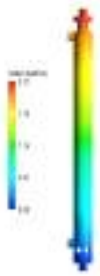
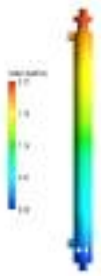
▌그림 2.311 모의시간 0.5초에서의 유입유속에 따른 유동변화▐



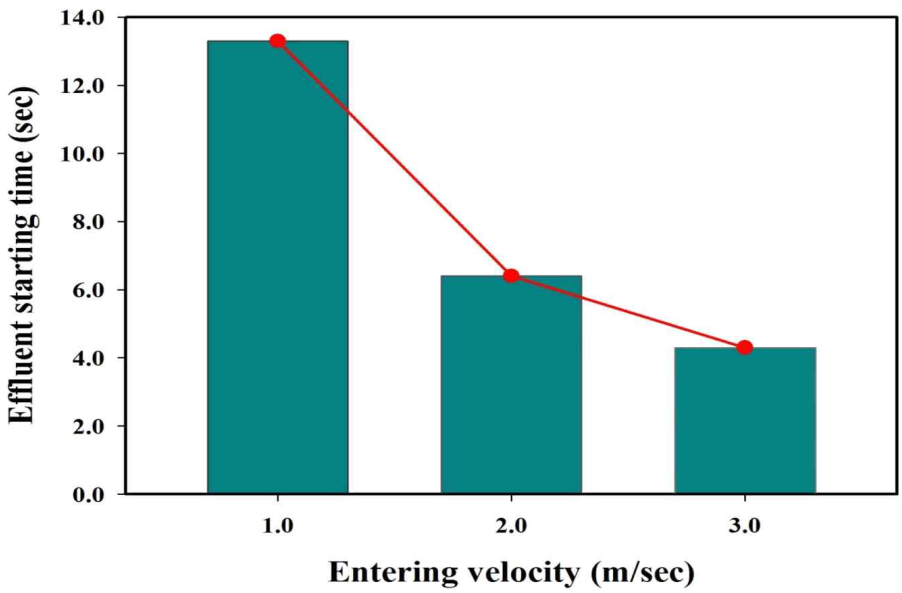
▌그림 2.312 모의시간 4초에서의 유입유속에 따른 유동변화▐

		
유입유속: 1m/sec	유입유속: 2m/sec	유입유속: 3m/sec
6.0 초		

▌그림 2.313 모의시간 6초에서의 유입유속에 따른 유동변화▐

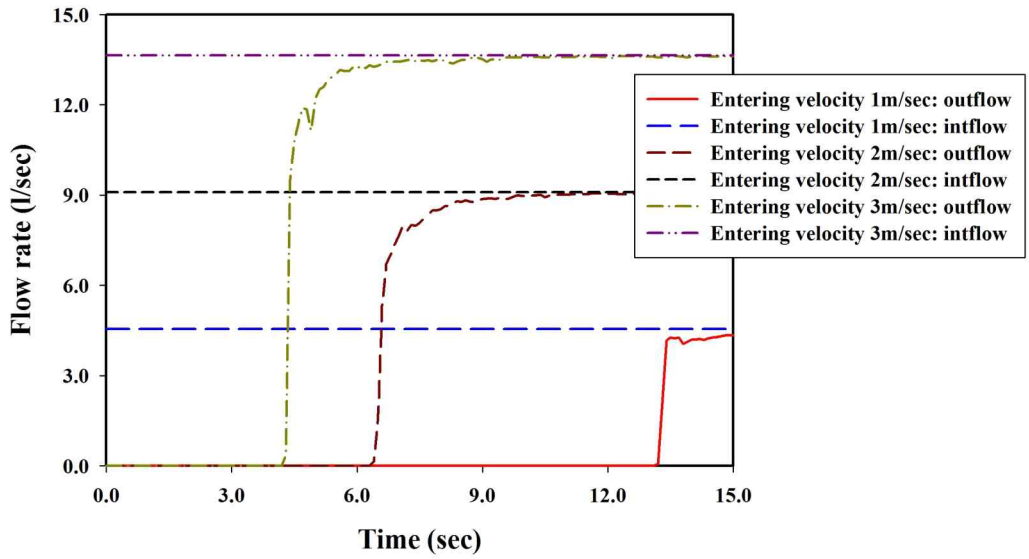
		
유입유속: 1m/sec	유입유속: 2m/sec	유입유속: 3m/sec
20.0 초		

▌그림 2.314 모의시간 20초에서의 유입유속에 따른 유동변화▐



▌그림 2.315 유입유속에 따른 유출관으로부터 유출시작 시간 ▐

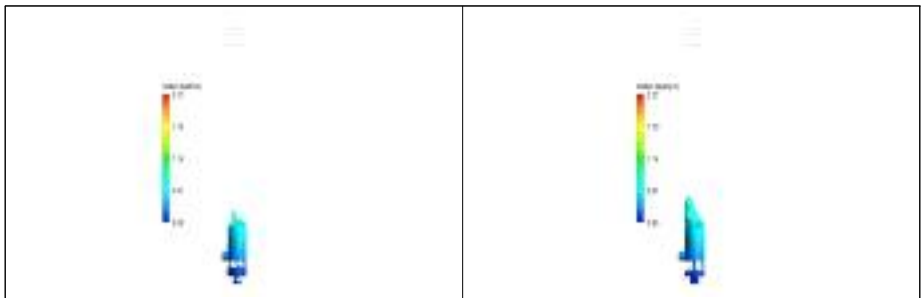
▌유입유속에 따른 정유량 도달시간을 산정한 결과 세 가지 유입유속 1m/sec, 2m/sec 그리고 3m/sec에 대해 정유량에 도달되는 시간은 각각 15초, 13초 그리고 10초가 걸리는 것으로 나타남.



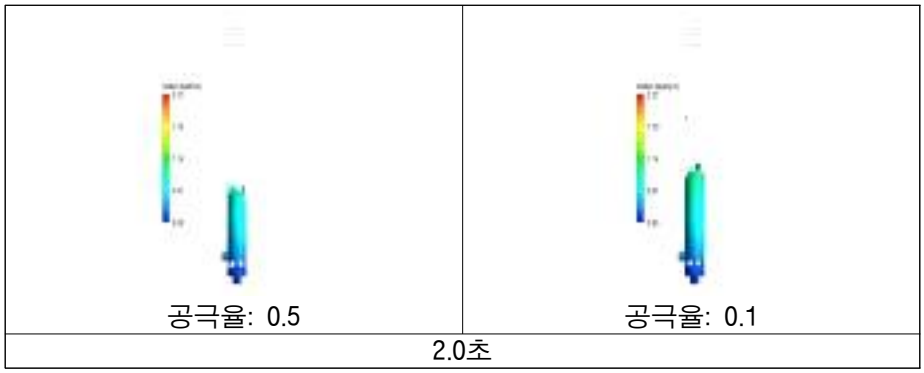
▌그림 2.316 유입유속에 따른 정유량 도달시간▐

② 멤브레인 공극율에 따른 유동변화

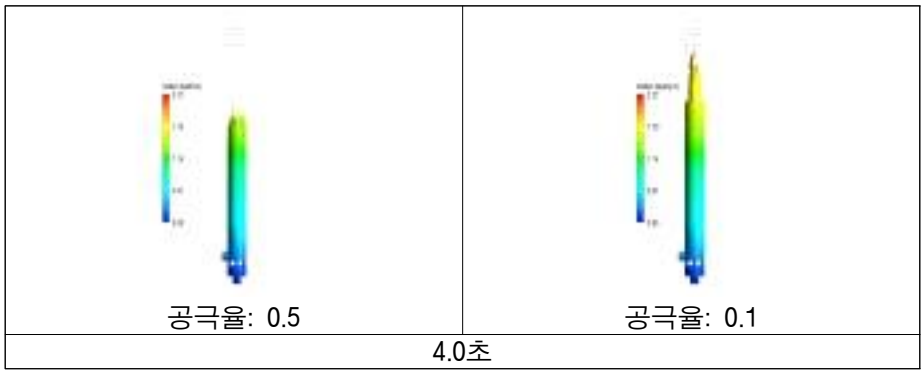
- 약 2초 모의시간까지는 공극율의 크기에 따라 유동변화 양상은 거의 비슷한 것으로 나타났으나, 이 이후부터 공극율 0.1의 경우가 0.5에 비해 보다 빠르게 물이 이동하는 것을 알 수 있음. 이는 공극율 0.5에 비해 0.1의 경우가 멤브레인 내 침투속도를 증가되기 때문임



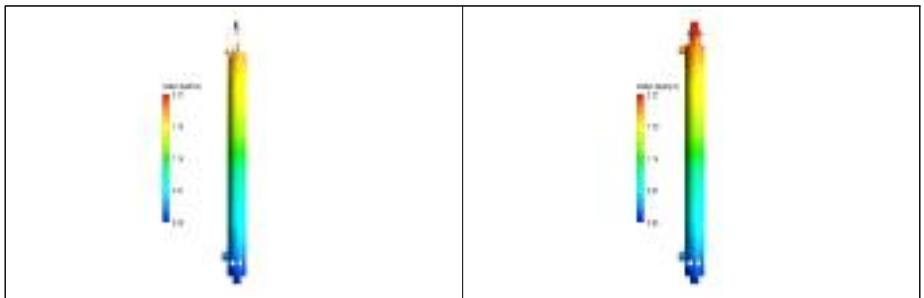
▌그림 2.317 모의시간 1초에서의 유입유속에 따른 유동변화▐



▌그림 2.318 모의시간 2초에서의 유입유속에 따른 유동변화 ▐

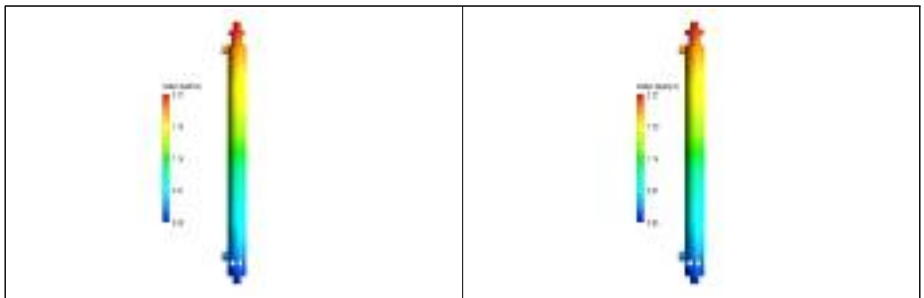


▌그림 2.319 모의시간 4초에서의 유입유속에 따른 유동변화▐



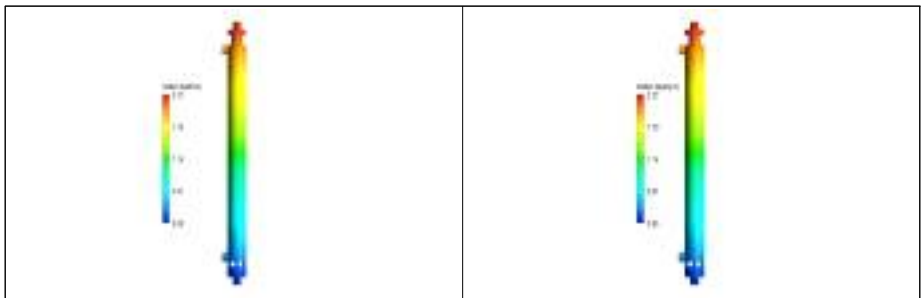
공극율: 0.5	공극율: 0.1
6.0초	

▌그림 2.320 모의시간 6초에서의 유입유속에 따른 유동변화 ▐



공극율: 0.5	공극율: 0.1
8.0초	

▌그림 2.321 8초에서의 유입유속에 따른 유동변화▐

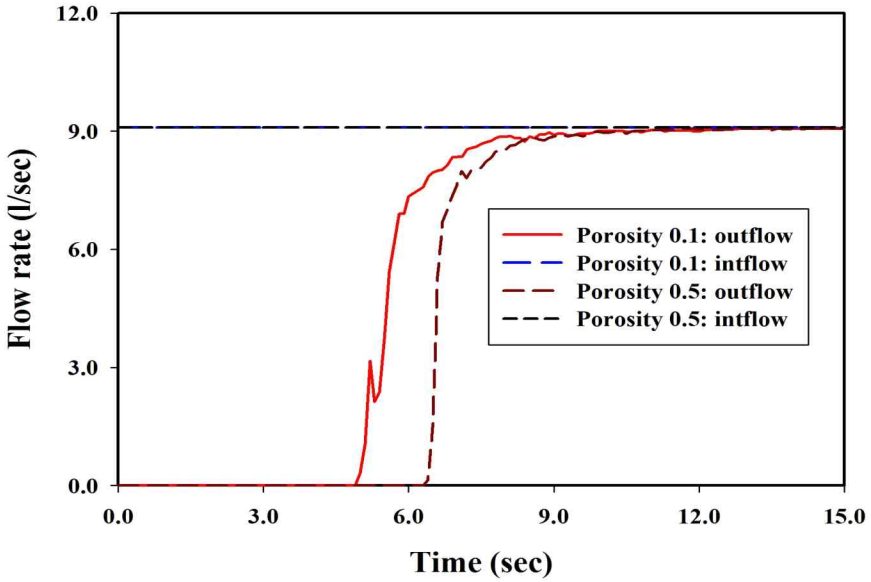


공극율: 0.5	공극율: 0.1
10.0초	

▌그림 2.322 모의시간 10초에서의 유입유속에 따른 유동변화▐

▌유입유속에 따른 정유량 도달시간에서 공극율 0.1인 경우 유출시작시간은 5.0초이며, 0.5의 경우는 6.4초로 본 모의에서는 공극율 0.5의 경우가 0.1에 비해 1.4초 빨리 유출이 시작되는 것으로 나타났음

- 그러나 정유량 도달시간은 공극율 0.1의 경우 12.8초 그리고 0.5의 경우 13초로 거의 비슷한 시간에 도달되는 것으로 나타났음
- 이는 상대적으로 작은 공극율을 가진 멤브레인 내에서의 유동이 보다 빠르게 이동하나 유출관과 연결된 MF 시스템의 상단부에 있는 관의 직경이 작아 지체현상이 발생하였기 때문인 것으로 판단됨
- 이러한 지체현상은 공극율이 0.1인 경우가 더욱 현저한 것으로 판단됨

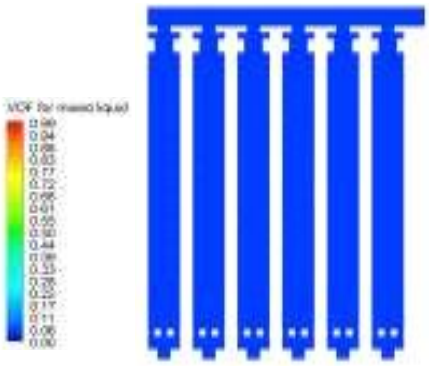
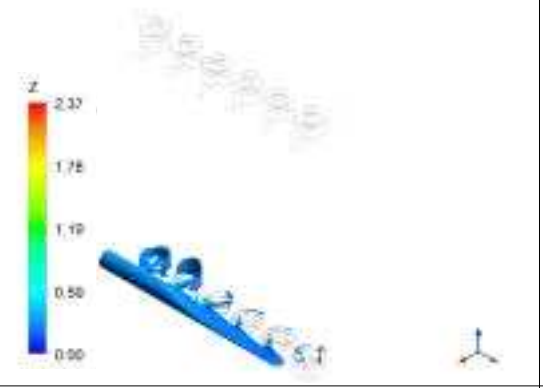
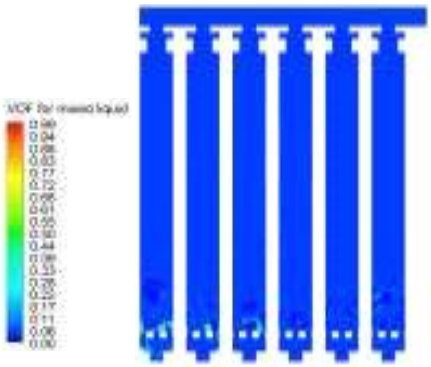
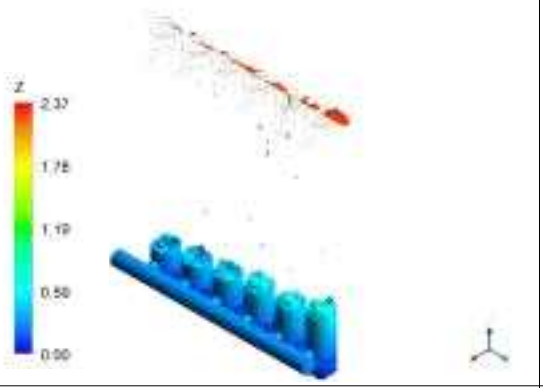
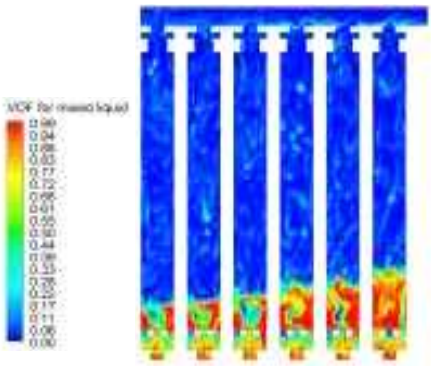
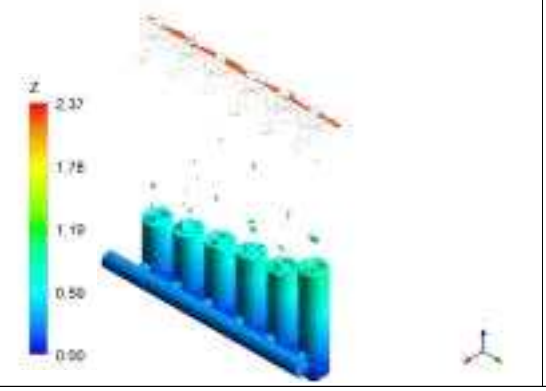
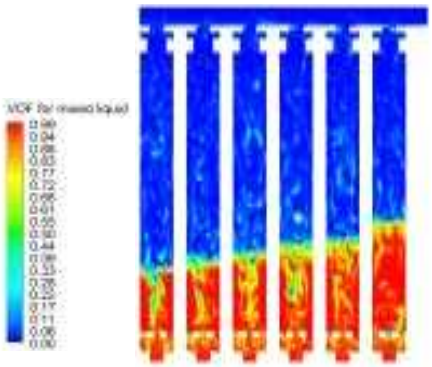


▌그림 2.323 유입유속에 따른 정유량 도달시간▐

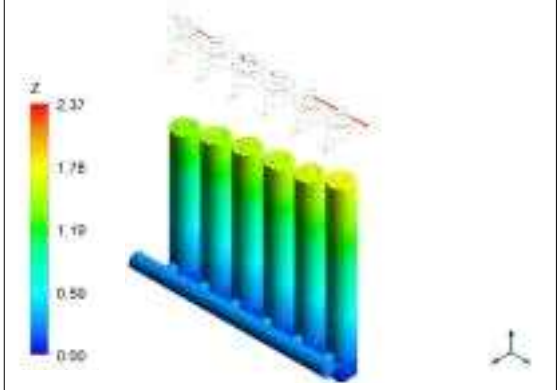
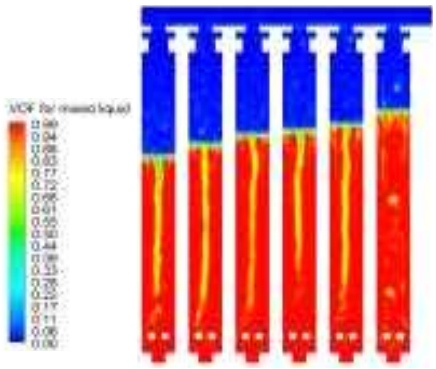
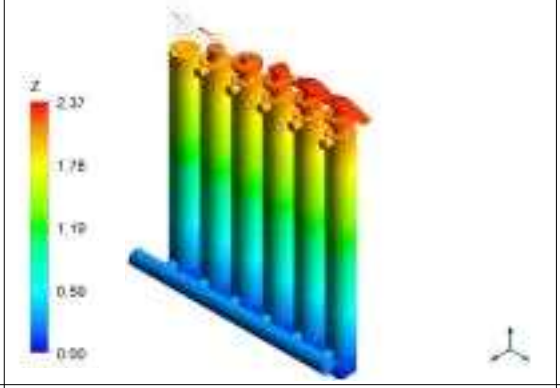
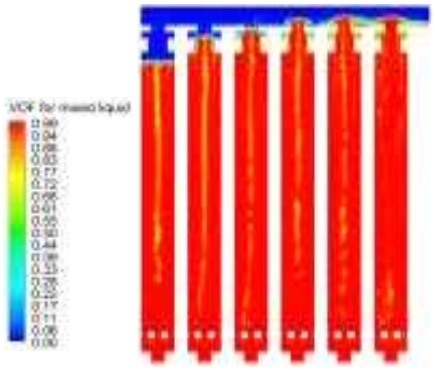
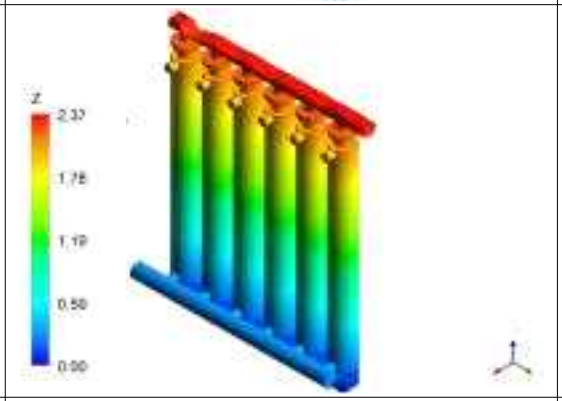
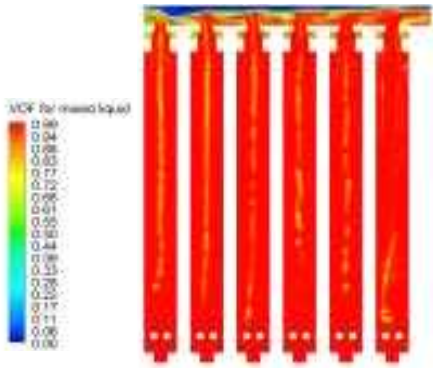
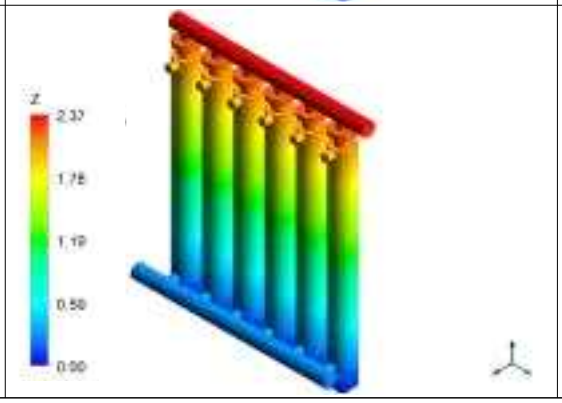
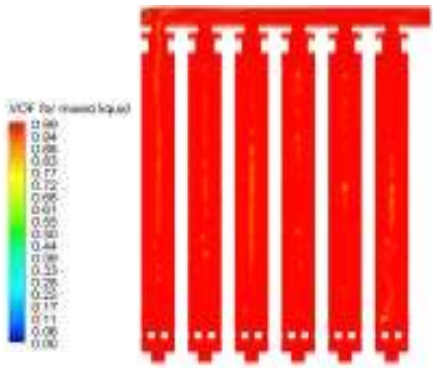
(나) 다중 막여과 시스템 내에서의 유동모의

▌시간에 따른 다중 막여과 시스템 내에서의 유동변화를 나타낸 그림에서 좌측은 분배관로를 통해 각각의 분리막 모듈로 유입된 물이 다공성 매질로 가정된 멤브레인을 통해 유출관으로 이동하는 현상을 3차원으로 나타낸 것이며, 우측은 멤브레인 단면을 따라 물과 공기의 volume fraction을 나타낸 것임.

- 멤브레인 내로 유입된 물의 흐름은 유입유속에 의해 교란된 상태로 상부방향으로 진행함
- 15초까지는 물과 공기가 혼재하는 현상을 나타냈으나 20초부터는 거의 물의 흐름만이 존재함
- 6개의 멤브레인 모듈 중에서 분배관로의 유입부분에서 가장 먼 모듈에서 가장 빠르게 물이 상승하는 것으로 나타났으며, 가장 가까이 있는 모듈이 가장 느리게 상승하는 것으로 나타났음

시간	3D	2D
0.0		
0.6		
3.0		
5.0		

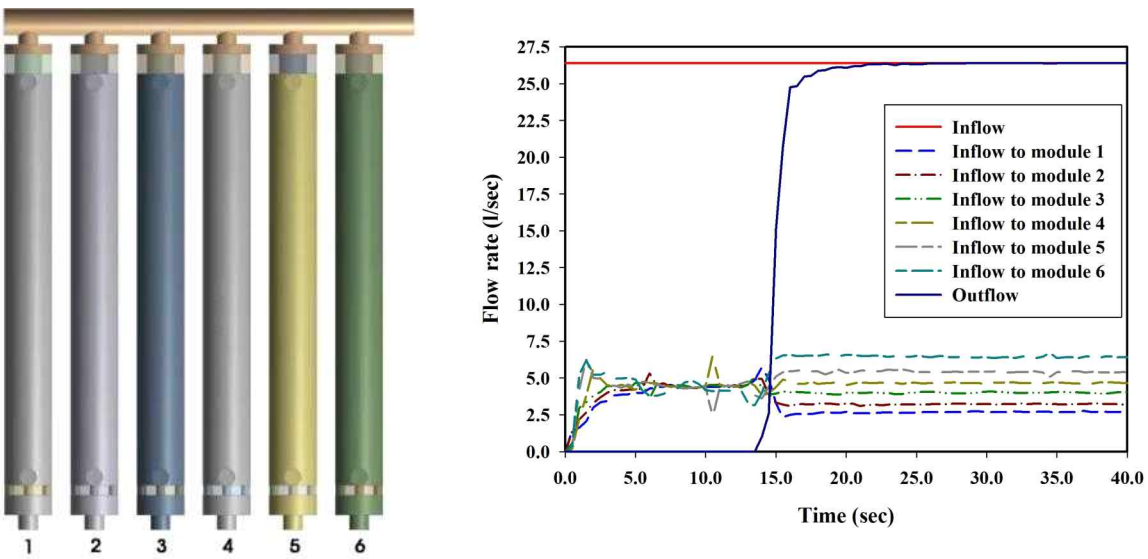
▌그림 2.324 시간에 따른 다중 막여과 시스템 내 유동변화▐

10.0		
14.0		
15.0		
20.0		

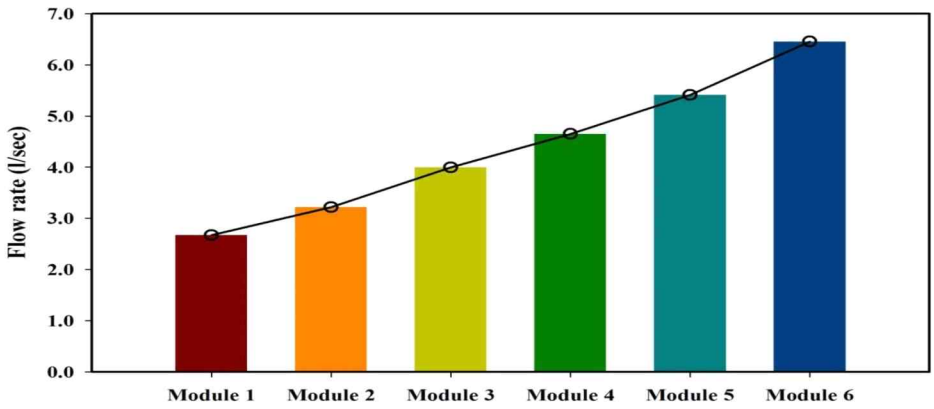
▌그림 2.324 시간에 따른 다중 막여과 시스템 내 유동변화 (계속)▐

▌멤브레인 모듈별 위치와 분배된 유량의 시간적 변화에서 분배관로를 통해 각각의 멤브레인 모듈로 분배되는 유량의 시간적 변화를 나타낸 것임

- 각 모듈로 유입되는 유량은 약 4초 정도까지 큰 편차로 유입되다가 그 이후부터는 다소 균일하게 유입되는 경향을 나타내었음
- 그러나 모듈 상부에 설치된 유출관으로부터 유량이 발생된는 시점인 약 14초부터 모듈별로 거의 일정한 유량으로 유입되는 경향을 나타내었음
- 14초 이후에 각 모듈로 유입되는 유량은 모듈의 위치에 따라 편차를 나타내었음
- 분배관로의 유입단면에 가장 가까운 모듈 1이 14초부터 40초까지 평균유입량은 2.67l/sec이며, 모듈 2는 3.21l/sec, 모듈 3은 4.00l/sec, 모듈 4는 4.65l/sec, 모듈 5는 5.41l/sec 그리고 가장 먼 모듈 6은 6.45l/sec임. 모듈 1과 6에서의 유량 차이는 거의 2.42배가 되었음
- 멤브레인 모듈별 유량배분의 결과는 그림 5.7.24에 나타나 있음
- 다중 막여과 시스템 내로 유량을 균등하게 배분하는 것은 막여과 처리공정에 있어 경제적인 측면으로볼 때 중요함. 이는 균등하게 배분되지 않는 경우 유입유량이 상대적으로 크게 공급되는 모듈보다 적게 공급되는 모듈에 비해 fouling과 같은 부정적인 영향이 크게 미쳐 다중 막여과 시스템의 사용기한을 단축시킬 수 있음
- 만약 보다 균등하게 유량배분이 된다면 사용기한을 연장시킬 수 있으며, 이를 통해 교체시기를 연장시켜 보다 경제적으로 운영시킬 수 있을 것으로 판단됨



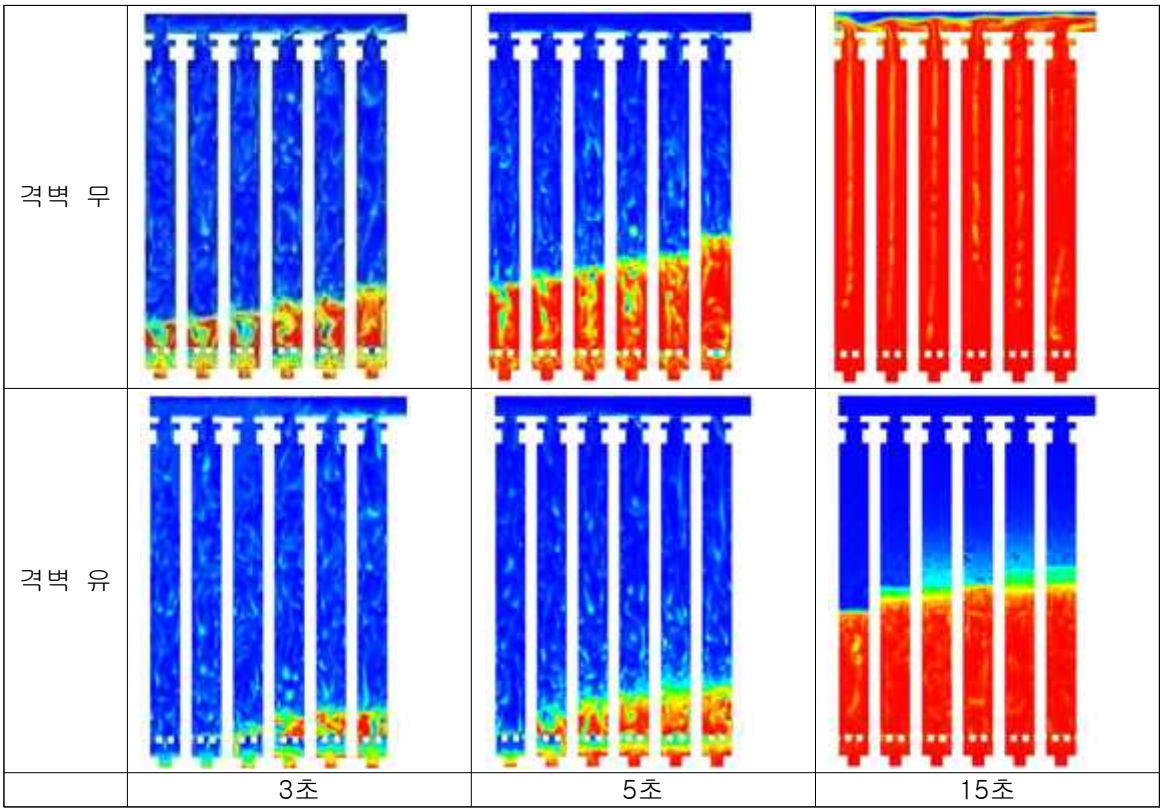
▌그림 2.325 멤브레인 모듈별 위치와 분배된 유량의 시간적 변화▐



▌그림 2.326 멤브레인 모듈별 유량배분 결과▐

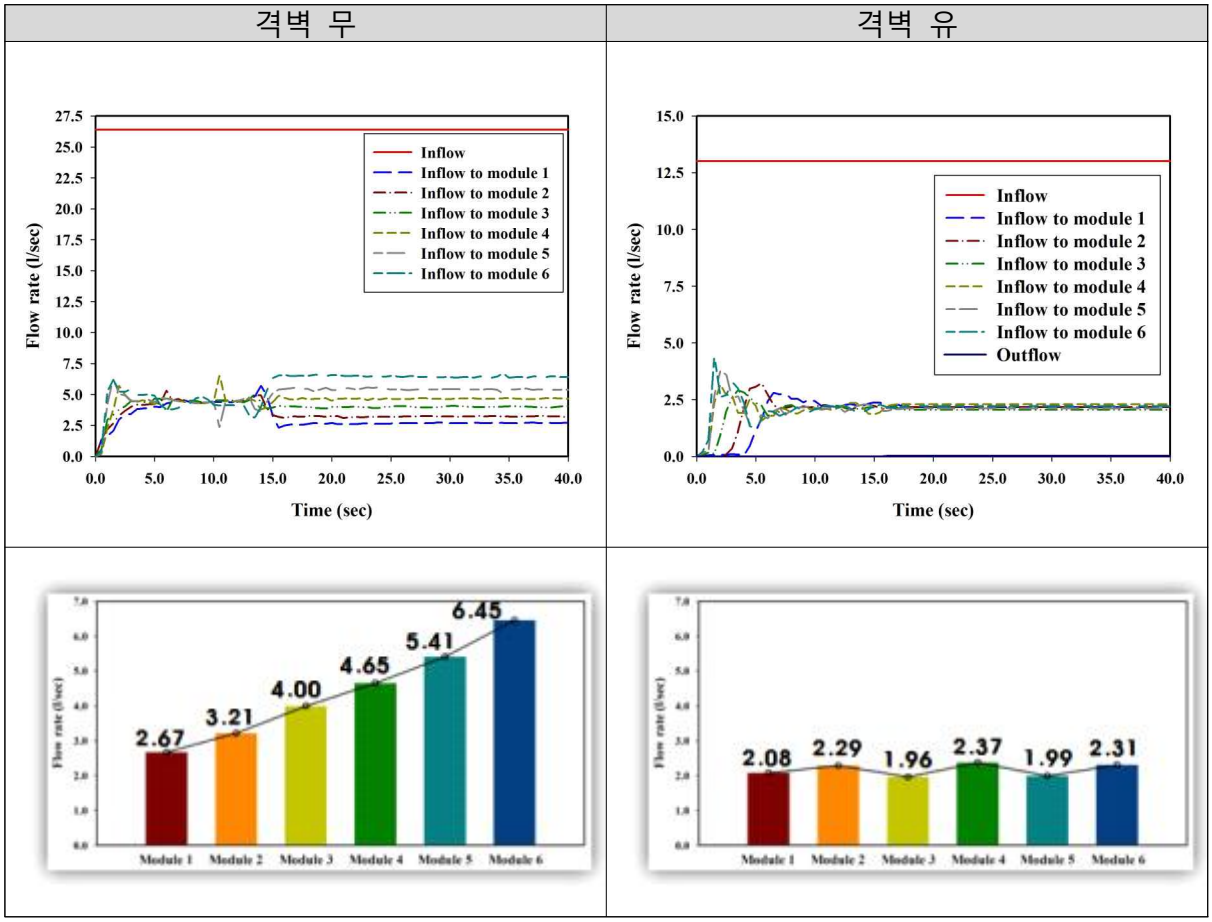
(2) 막여과 시스템 유량 분배 개선

▌분배관로 내에 격벽의 존재여부에 따른 유동변화를 나타낸 그림서 격벽이 있는 경우가 없는 경우에 비해 각 모듈별로 다소 균등하게 유량이 분배되는 것을 볼 수 있음



▌그림 2.327 분배관로 내에 격벽의 존재여부에 따른 유동변화▐

▌격벽유무에 따라 분배관로를 통한 유량배분에 대한 결과에서 격벽이 있는 경우가 없는 경우에 비해 각 모듈별로 다소 균등하게 유량이 분배되는 것을 볼 수 있으며, 분배관로 내 격벽이 없는 경우 최대유량과 최소유량과의 차이는 약 2.4배인 반면, 격벽이 있는 경우 약 1.2배로 약 50% 개선효과가 나타남



▌그림 2.328 분배관로를 통한 유량배분 결과▐

(3) 직결식 시스템 수리모형 실험 및 수치모의

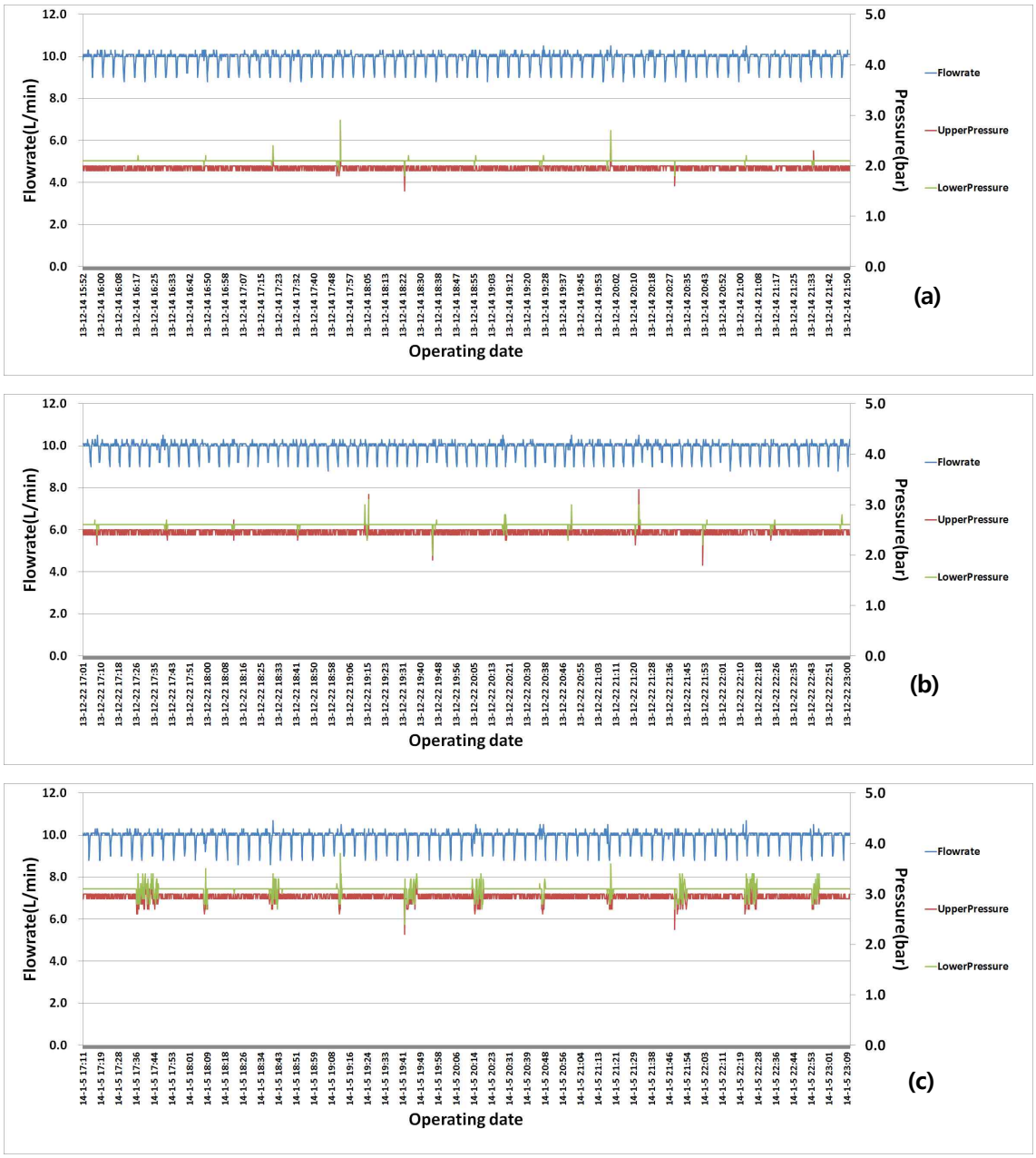
(가) Case 1

▌ 설정압력은 2.0, 2.5 그리고 3.0 bar로 변화되나 설정유량은 10 l/min로 변화가 없을 때 대표적인 운전 기간 동안 유량과 압력의 시간적 변화를 나타낸 것임.

■ 시간에 따라 유량의 경우 다소 불안정한 상태로 변화되나 설정압력의 증가에 따라

큰 변화가 없는 것으로 나타났으나, 압력의 경우 매우 불안정한 상태로 변화되며, 설정압력이 증가함에 따라 이러한 불안정적인 변화는 더욱 커짐을 알 수 있음.

- 이러한 결과는 설정유량이 설정압력을 제대로 반영할 정도로 크지 않기 때문인 것으로 판단됨.



▌그림 2.329 유량과 압력의 시간적 변화 (Case 1) : (a) Case 1-1, (b) Case 1-2, (c) Case 1-3 ▐

▌ Case 1-1, 1-2 그리고 1-3 모두에서 유량은 설정압력의 증가에 따라 거의 동일한 수준

의 최대값과 최소값을 나타내며, 평균값은 설정유량과 동일하게 유지되었음.

- 압력의 경우 유량의 경우와 거의 비슷한 양상을 나타내었으나 막여과 장치 유입부에서 측정된 압력이 유출부에서 측정된 압력보다 평균적으로 0.1에서 0.2 bar 정도 높게 측정되었음.
- 이는 막여과 장치의 상부가 완전히 열려진 상태라 할지라도 압력손실을 일으키는 흐름의 장애역할을 하는 것으로 판단됨.

▌표 2.155 유량과 압력의 통계학적 결과 (Case 1)▐

Case	Flow rate (l/min)			Pressure (bar)*			Pressure (bar)**			Pressure loss (bar) (①-②)
	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean ①	Max.	Min.	Mean ②	
1-1	10.5	8.8	9.9	2.9	1.8	2.1	2.7	1.5	2.0	0.1
1-2	10.5	8.8	9.9	3.1	2.0	2.6	3.3	1.8	2.5	0.1
1-3	10.7	8.6	9.9	3.8	2.4	3.1	3.6	2.2	2.9	0.2

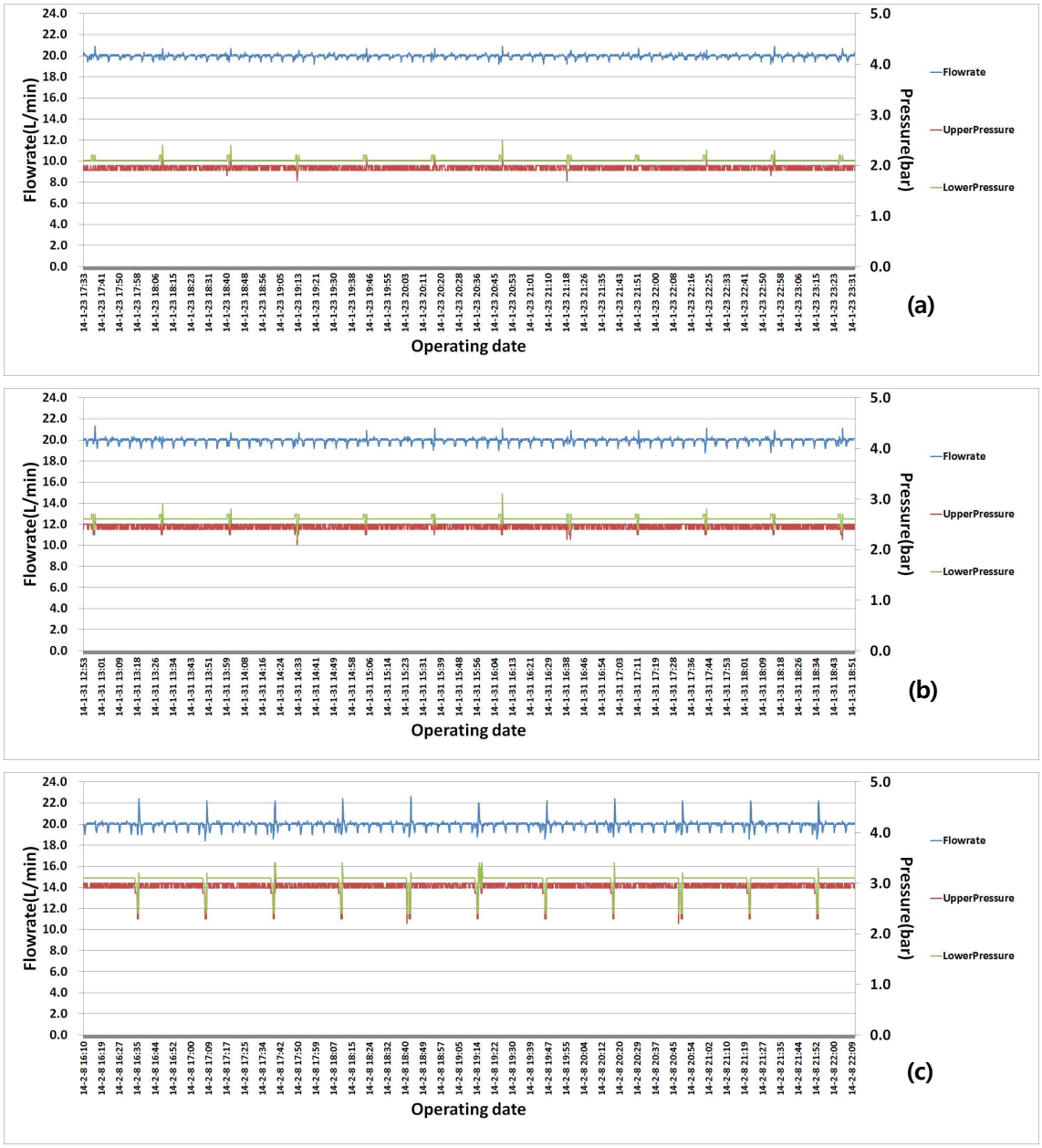
* Pressure measured at lowerpressure gauge

** Pressure measured at upperpressure gauge

(나) Case 2

▌ 설정압력의 변화는 case 1과 동일하나 설정유량은 20 l/min로 고정되었을 때 유량과 압력의 시간적 변화를 나타낸 것임. 시간에 따라 유량과 압력의 경우 case 1에 비해 다소 안정된 상태로 변화되는 것으로 나타났음.

- 그러나 그림 2.5(c)의 경우 여전히 유량과 압력이 큰 폭으로 불안정한 상태로 변화되나 전반적으로 유량과 압력이 큰 폭으로 변화되는 양상은 case 1에 비해 다소 주기적인 경향을 나타내는 것을 볼 수 있음.
- 따라서 설정유량 20 l/min의 경우 설정압력 2.0과 2.5 bar를 유지하기 위해서는 비교적 충분한 것으로 고려될 수 있으나 3.0 bar를 유지하기 위해서는 충분하지 못한 것으로 판단됨.



▌그림 2.330 유량과 압력의 시간적 변화 (Case 2) : (a) Case 2-1, (b) Case 2-2, (c) Case 2-3 ▐

▌ 유량은 case 1과는 다소 달리 설정압력의 증가에 따라 최대값이 증가되는 경향을 나타내나 최소값은 거의 동일한 수준을 나타냄.

- 평균값은 case 1과 마찬가지로 case 2-1, 2-2 그리고 2-3 모두에서 설정유량과 동일하게 유지되었음.
- 압력의 경우 case 1과 마찬가지로 막여과 장치 유입부에서 측정된 압력이 유출부에서 측정된 압력보다 평균적으로 0.1에서 0.2 bar 정도 높게 측정되었음.

▌표 2.156 유량과 압력의 통계학적 결과 (Case 2)▐

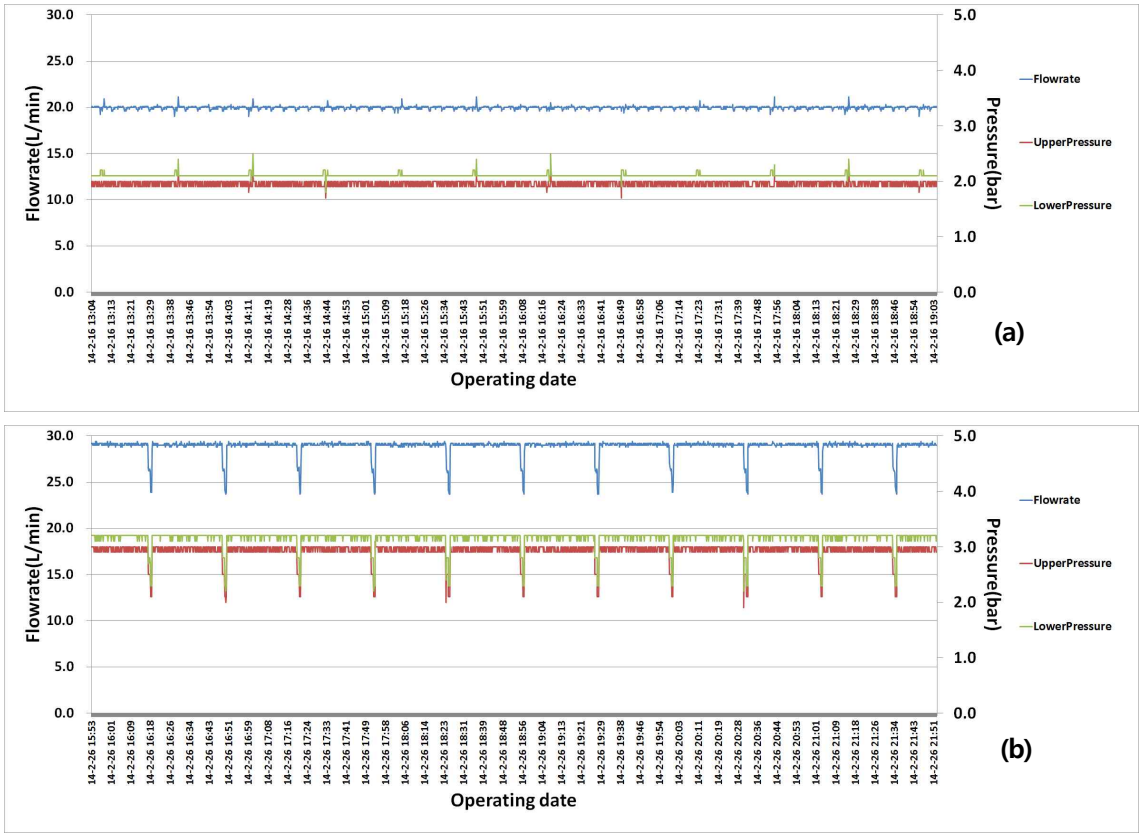
Case	Flow rate (l/min)			Pressure (bar)*			Pressure (bar)**			Pressure loss (bar) (①-②)
	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean ①	Max.	Min.	Mean ②	
2-1	20.9	19.2	20.0	2.5	1.9	2.1	2.4	1.7	1.9	0.2
2-2	21.3	18.8	20.0	3.1	2.2	2.6	2.8	2.1	2.5	0.1
2-3	22.6	18.4	20.0	3.4	2.4	3.1	3.3	2.2	2.9	0.2

* Pressure measured at lowerpressure gauge
** Pressure measured at upperpressure gauge

(다) Case 3

▌**Case 3의 경우는 막여과 장치 상부에 설치된 밸브를 완전 열림에 대해 25 % 잠겨 있을 때를 설정한 것임. 본 실험에서는 설정유량 20.0 l/min과 설정압력 2.0 bar 그리고 설정유량 30.0 l/min과 설정압력 3.0 bar와 같이 두 가지 경우에 대해 실험을 수행하였음.**

- 유량과 압력의 변화 양상은 case 2-2의 경우(그림 2.5(b))와 매우 비슷한 것을 알 수 있으며, 이는 유량과 압력이 동일한 크기로 설정되어 있을 경우 밸브가 완전히 열려 있을 때와 25 % 정도 잠겨 있는 때 유량과 압력의 변화 차이가 거의 없음을 알 수 있음.
- 그러나 설정유량과 설정압력이 각각 30.0 l/min과 3.0 bar로 증가시켰을 경우 유량과 압력의 변화 양상이 큰 차이가 있음을 알 수 있음.
- 이러한 결과는 막여과 장치 내의 유동 양상의 차이 때문인 것으로 판단됨. 즉, 설정유량 20.0 l/min과 설정압력 2.0 bar에 비해 보다 큰 유속이 발생하며, 이로 인해 여과에서 역세척 그리고 방류 순으로 공정이 바뀔 때 순간적으로 압력변화의 양상이 보다 크게 나타나기 때문인 것으로 판단됨.



▌그림 2.331 유량과 압력의 시간적 변화 (Case 3) : (a) Case 3-1, (b) Case 3-2 ▐

▌ Case 3-1의 경우 평균유량은 설정유량과 동일하게 유지되는 반면 case 3-2의 경우 설정유량에 비해 1.1 l/min 정도 작은 유량을 유지하는 것으로 나타났음.

- 이는 case 3-1의 경우에 비해 case 3-2의 경우 공정이 바뀜에 따라 유량이 감소하는 폭이 크기 때문인 것으로 판단됨.
- 압력의 경우 case 3-1과 3-2 모두에서 막여과 장치 유입부와 유출부 사이의 압력의 차이는 평균적으로 0.2 bar로 측정되었음.

▌표 2.157 유량과 압력의 통계학적 결과 (Case 3)▐

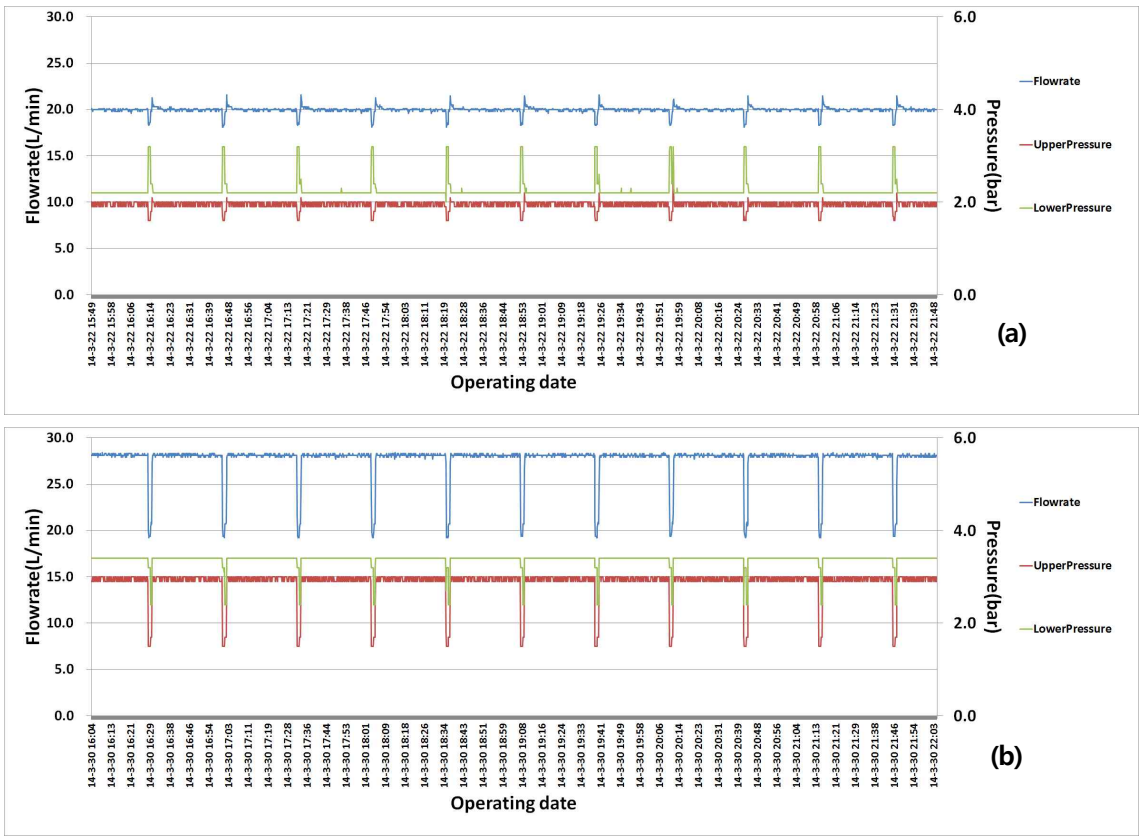
Case	Flow rate (l/min)			Pressure (bar)*			Pressure (bar)**			Pressure loss (bar) (①-②)
	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean ①	Max.	Min.	Mean ②	
3-1	21.1	19.0	20.0	2.5	1.8	2.1	2.3	1.7	1.9	0.2
3-2	29.4	23.7	28.9	3.2	2.2	3.1	3.1	1.9	2.9	0.2

* Pressure measured at lowerpressure gauge
** Pressure measured at upperpressure gauge

(라) Case 4

▌**Case 4의 경우는 막여과 장치 상부에 설치된 밸브를 완전 열림에 대해 75 % 잠겨 있을 때를 설정한 것으로 설정유량과 설정압력은 case 3과 동일함.**

- 설정유량과 설정압력이 각각 20.0 l/min과 2.0 bar인 경우, case 3-1에 비해 공정의 바뀜에 따라 유량과 압력의 변동폭이 훨씬 큰 것을 알 수 있음.
- 그러나 여과 과정이 진행되는 기간 동안 유량의 변화는 보다 안정적으로 유지되는 것을 볼 수 있음.
- 설정유량과 설정압력이 각각 30.0 l/min과 3.0 bar인 경우, case 3-2에 비해 유량과 압력의 감소폭이 훨씬 크게 나타났음. 이는 3.3절에서 기술한 바와 같이 공정이 바뀔 때 순간적으로 유속과 압력변화의 양상이 보다 크게 나타나기 때문인 것으로 판단됨.



▌그림 2.332 유량과 압력의 시간적 변화 (Case 4) : (a) Case 4-1, (b) Case 4-2 ▐

▌**Case 4-1의 경우 평균유량은 설정유량과 동일하게 유지되는 반면 case 4-2의 경우 설정유량에 비해 3.3 l/min 정도 작은 유량을 유지하는 것으로 나타났음.**

- 이는 case 3-2의 경우에 비해 case 4-2의 경우 공정이 바뀜에 따라 유량이 감소하

는 폭이 보다 크기 때문인 것으로 판단됨.

- 압력의 경우 case 4-1에서는 막여과 장치 유입부와 유출부 사이의 압력차가 평균적으로 0.3 bar인 반면 case 4-2에서는 0.5 bar임.
- 따라서 밸브의 잠긴 정도가 동일하다 할지라고 유량과 유압이 크게 설정될수록 막여과 장치의 유입부와 유출부의 압력손실이 커지는 것을 알 수 있음.

▌표 2.158 유량과 압력의 통계학적 결과 (Case 4)▐

Case	Flow rate (l/min)			Pressure (bar)*			Pressure (bar)**			Pressure loss (bar) (①-②)
	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean ①	Max.	Min.	Mean ②	
4-1	21.6	18.1	20.0	3.2	2.0	2.2	3.0	1.6	1.9	0.3
4-2	28.4	19.2	27.7	3.4	2.4	3.4	3.0	1.5	2.9	0.5

* Pressure measured at lowerpressure gauge
** Pressure measured at upperpressure gauge

(마) 결 론

▌ 본 연구에서는 tankless 정수처리시스템에서의 수리학적 안정성을 평가하기 위해 수리모형실험을 통해 설정유량 및 설정압력 시나리오에 따른 유량과 압력 그리고 dummy 막여과 장치 유입부와 유출부에서의 압력손실의 변화를 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였음.

- Case 1(설정유량: 10 l/min, 설정압력: 2,0, 2.5, 3.0 bar)의 경우 시간에 따라 시스템 내의 유량은 다소 불안정한 상태로 변화되나 설정압력의 증가에 따라 유량은 큰 변화가 없는 것으로 나타났음. 그러나 압력의 경우 매우 불안정한 상태로 변화되며, 설정압력이 증가함에 따라 이러한 불안정적인 변화는 더욱 커짐을 알 수 있음.
- Case 2(설정유량: 20 l/min, 설정압력: 2,0, 2.5, 3.0 bar)의 경우 설정압력 2.0과 2.5 bar의 경우 유량과 압력은 Case 1에 비해 다소 안정된 상태로 변화되는 것으로 나타났음. 3.0 bar의 유량과 압력이 큰 폭으로 변화되며, 다소 불안정한 상태인 것으로 나타났으나 case 1에 비해 다소 주기적인 경향을 나타내었음. 따라서 설정유량 20 l/min의 경우 설정압력 2.0과 2.5 bar를 유지하기 위해서는 비교적 충분한 것으로 고려될 수 있으나 3.0 bar를 유지하기 위해서는 충분하지 못한 것으로 판단됨.
- Case 3의 경우(설정유량 20.0 l/min과 설정압력 2.0 bar 그리고 설정유량 30.0 l/min과 설정압력 3.0 bar)는 막여과 장치 상부에 설치된 밸브를 완전 열림에 대해 25 % 잠

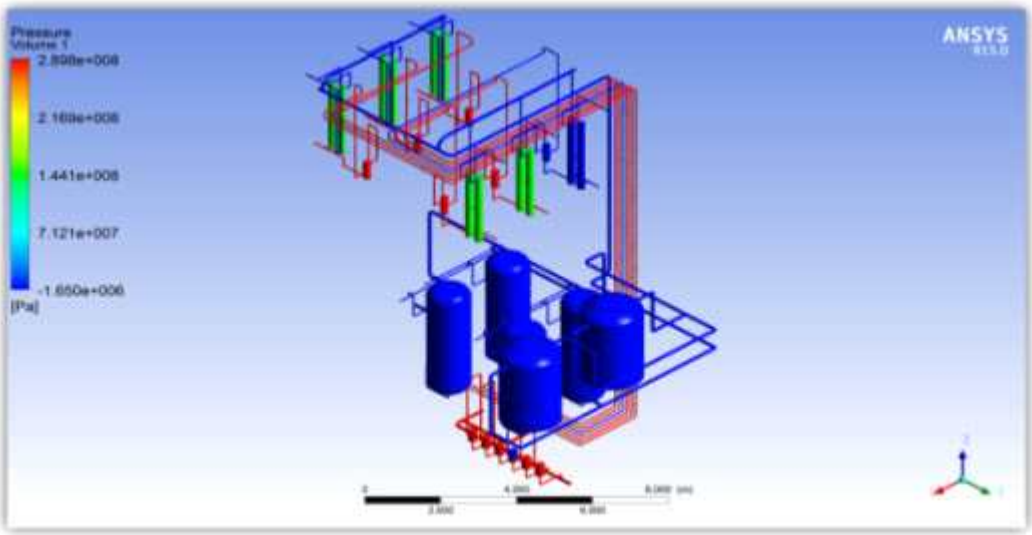
겨 있을 때를 설정한 것임. 유량과 압력의 변화 양상은 Case 2의 설정압력 2.0 bar와 매우 유사하며, 이는 유량과 압력이 동일한 크기로 설정되어 있을 경우 밸브가 완전히 열려 있을 때와 25 % 정도 잠겨 있는 때 유량과 압력의 변화 차이가 거의 없음을 알 수 있음. 그러나 설정유량과 설정압력이 각각 30.0 l/min과 3.0 bar로 증가시켰을 경우 유량과 압력의 변화 양상에 큰 차이가 있으며, 이는 설정유량 20.0 l/min과 설정압력 2.0 bar에 비해 보다 큰 유속이 발생하며, 이로 인해 여과에서 역세척 그리고 방류 순으로 공정이 바뀔 때 순간적으로 압력변화의 양상이 보다 크게 나타나기 때문인 것으로 판단됨.

- Case 4의 경우 Case 3의 설정유량과 설정압력에 대해 막여과 장치 상부에 설치된 밸브를 75 % 잠겨 있을 때를 설정한 것으로 설정유량과 설정유압이 각각 20.0 l/min와 2.0 bar일 때 Case 3에서 동일한 설정유량과 설정압력 조건에 비해 공정의 바뀜에 따라 유량과 압력의 변동폭이 훨씬 큰 것을 알 수 있음. 그러나 여과 과정이 진행되는 기간 동안 유량의 변화는 보다 안정적으로 유지되는 것을 볼 수 있음. 설정유량과 설정압력이 각각 30.0 l/min과 3.0 bar일 때 Case 3의 동일한 조건에 비해 유량과 압력의 감소폭이 훨씬 크게 나타났으며, 이는 공정이 바뀔 때 순간적으로 유속과 압력변화의 양상이 보다 크게 나타나기 때문인 것으로 판단됨.
- 막여과 장치는 완전히 열려진 상태라 할지라도 압력손실을 일으키는 흐름의 장애역할을 하는 것으로 판단됨. 또는 막여과 장치 상부 밸브의 잠긴 정도가 동일하다 할지라고 유량과 유압이 크게 설정될수록 막여과 장치의 유입부와 유출부의 압력손실이 커지는 것을 알 수 있음.

(4) 실증시설 수치모의

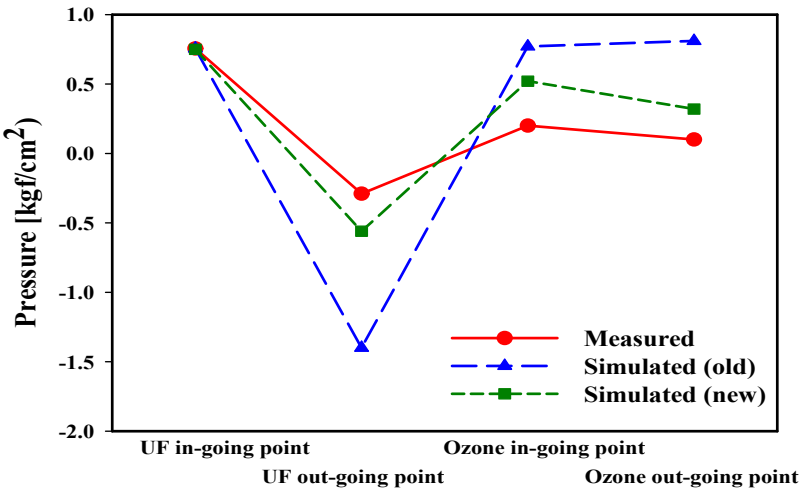
▌표 2.159 2013년 11월 27일 실증시설 시험 결과▐

▌수직형 정수처리 시스템의 실증시설에 대한 모의 결과 중 압력의 변화를 분석한 결과, 하부의 펌프를 통해 상승하는 유체는 막여과 시스템에 유입되면서 압력은 저감되며, 막여과 시스템으로부터 유출된 유체의 압력은 부(-)압력을 나타냄.



▌그림 2.333 유동모의를 위해 설정된 경계조건 ▐

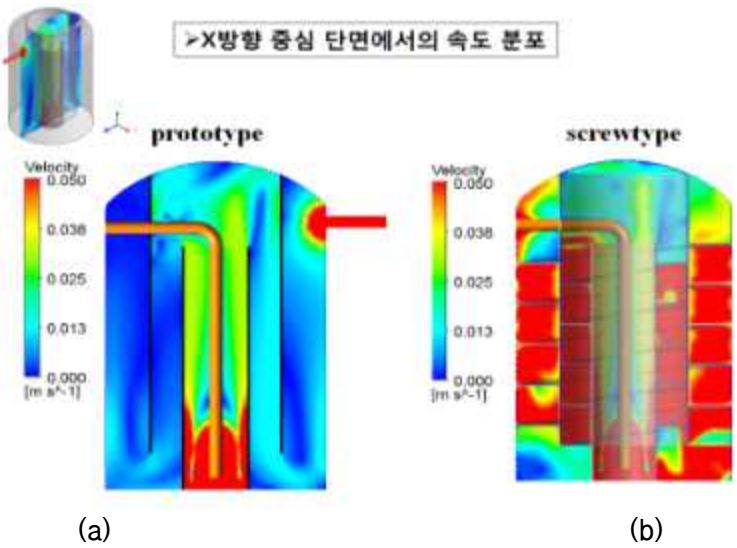
▌공정별 압력의 변화를 측정한 결과와 비교적 유사한 결과(new)를 나타내고 있음.



▌그림 2.334 실증시설 공정별 모의된 압력과 측정된 압력의 비교 ▐

(5) 오존접촉조 내부 유동해석 및 개선안 도출

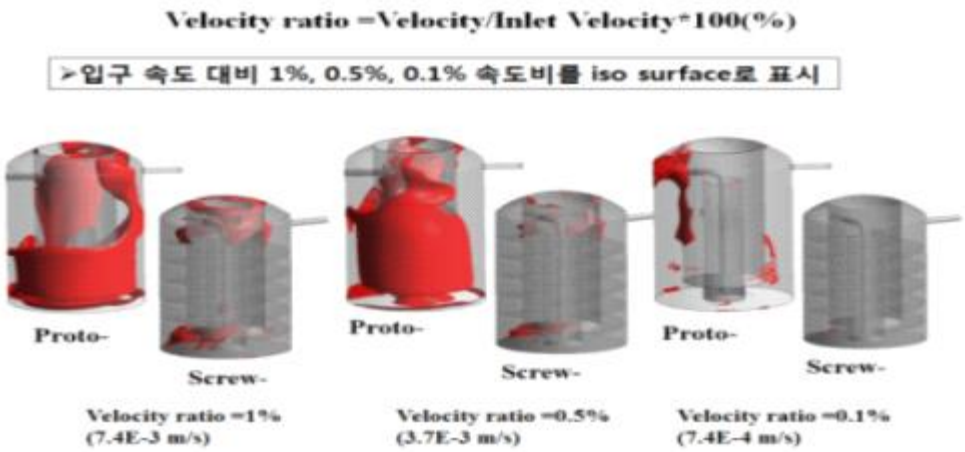
▌**x 방향 중심 단면에서의 속도 분포를 나타낸 것으로 개선된 screw 형태 내에서의 속도 분포가 보다 균질하며, 접촉을 더욱 향상 시킬 수 있는 난류의 형성 조건에 대한 속도도 보다 높게 산정되었음.**



(a) (b)

▌그림 2.335 기존의 오존 접촉 탱크 (a) 및 개선된 오존 접촉 탱크 (b) 내에서의 속도 분포▐

▌**유입구 속도 대비 1%, 0.5% 그리고 0.1% 속도비를 iso-surface로 표시한 것으로 개선된 screw 형태의 오존 접촉 탱크에서의 속도비의 분포가 보다 균질한 것으로 나타남.**



▌그림 2.336 기존의 오존 접촉 탱크와 개선된 오존 접촉 탱크 내에서의 속도비▐

마. 수직형 정수처리 실증시설 설계

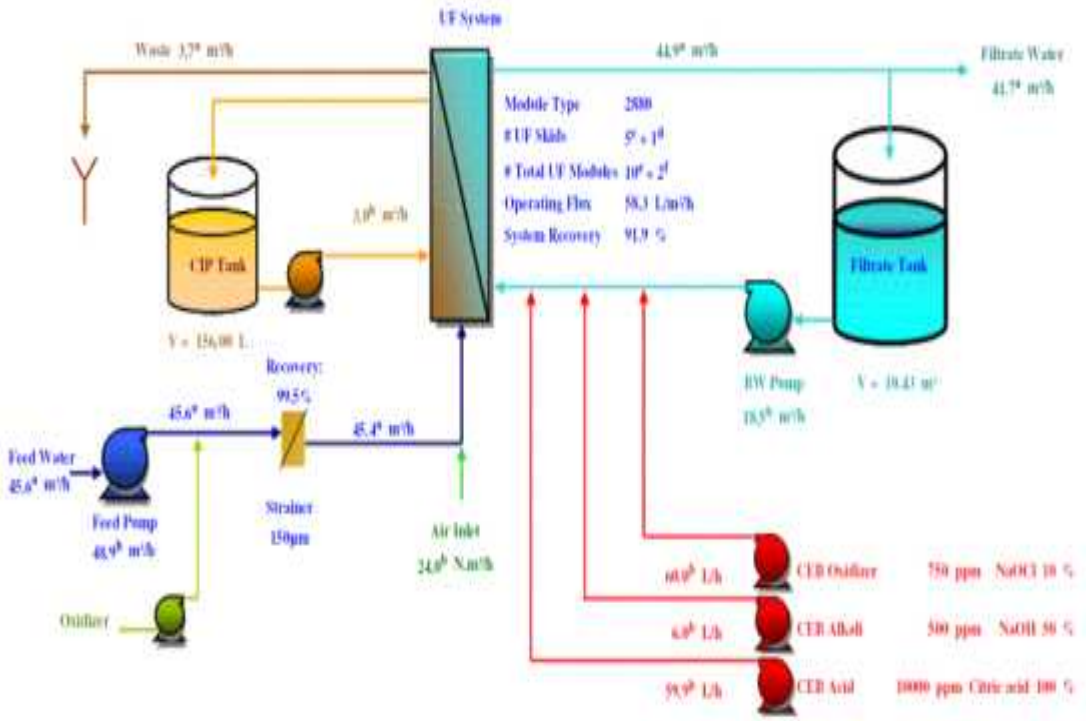
(1) 단위공정 설계

(가) 막여과공정

- 수직형 정수처리 실증시설은 계층형 시설로서 지하에 있는 착수정으로부터 3층에 있는 막여과설비로 원수가 공급되어 1, 2층에 설치된 오존공정, 활성탄공정, 자외선소독공정을 중간저류조가 없는 직결형태로 거치며 처리됨
- 즉 착수정으로부터 막여과공정으로 원수를 공급하는 구동력을 최종처리수를 얻기까지 소실시키지 않고 이용하는 방법을 이용하기 위한 것으로 유량제어를 위한 저류조가 중간에 없기 때문에 막여과공정 여과수의 순간유량을 일정하게 유지하는 것이 중요함
- 이를 위해 막여과공정을 다계열로 설계하면서 휴지기간에도 총생산유량을 일정하게 유지하기 위해 가변플럭스와 고정플럭스 설계의 중간 형태인 standby 설계안을 적용하였음
- 설치 계열수는 향후 5,000~20,000 m^3/일 용량으로 예상되는 실규모 수직형 정수처리시설 설계를 고려하여 6계열로 하였으며 총 소요모듈수는 12개로 계열당 2개의 모듈을 설치함
- [5+1계열 standby] 설계에 따라 분리막 투과플럭스는 운전조건에 따라 변화 없이 일정하게 유지되는 고정플럭스로 58.3 L/m2/hr로 설계되었음
- standby 설계에서도 총생산유량이 감소되는 부분이 발생되는데, 이는 [역세]때 발생하는 현상으로, [수세/공세]와 같이 여과수 생산만이 중단되는 경우에는 standby 계열 운전을 통해 총생산유량을 일정하게 유지할 수 있지만 [역세] 단계에서는 여과수 생산의 중단뿐만 아니라 일부 여과수가 역세수로 사용됨에 따라 총생산유량에서 감소가 발생하게 됨
- 이는 본 실증시설 설계에 적용한 tankless 설계안에 기인하는 것으로 중여과수 저류를 위한 중간저류조가 설치되지 않기 때문이며 이를 보완하기 위해 약 3 m^3/일 규모의 역세수조를 설계에 반영하여 여과유량을 일정하게 유지하도록 하였음

▌표 2.160 막여과 공정 제원 ▐

구 분	시 설 계 획	비 고
Membrane	•형 식 : SFD2880 •통수 방식 : 외압식 •구동 방식 : 가압식 •크 기 : 200mm x 2360mm •여과면적 : 77 m2 •Flux : 58.3 L/m2/h •운전방식 : Dead-End	



▌그림 2.337 막여과 공정 설계 용량계산 ▐

▌표 2.161 막여과 운전조건 및 설정시간 ▐

구 분		운영조건 및 설정시간
Backwash Frequency		Once every 20 to 60 minutes (water source or pilot test results)
Backwash Duration		40 to 120 seconds
Backwash Flux		100 to 150 l/m2•h (60 - 90 gfd)
Air Scour	Maximum Inlet Pressure	2.5 bar (36 psi)
	Air Flow per Module	5 to 12 Nm³/h (3 - 7 scfm)
	Duration	20 to 60 seconds per cycle
	Air-Water Mix Entrance Pressure	≤ 1.0 bar (14 psi)
	Air Quality	Non-oil compressed air
Chemically Enhanced Backwash	Frequency	As needed
	Duration	Backwash Time plus soak 5 to 20 minutes
	Cleaning Solutions	0.1 % HCl, 2% Citric, 2% Oxalic, 0.1% NaOCl, 0.05% NaOH
Clean In Place	Frequency	When TMP exceeds 1.0bar above starting TMP(at same temp.)
	Duration	120 minutes (recycle and soak) or longer
	Cleaning Solutions	0.2% HCl, 2% Citric, 2% Oxalic, 0.1%NaOH +0.2% NaOCl
	Cleaning Flux per Module	1.0 - 1.5 m³/h (6.6 - 8.8 gpm)
	Temperature Range	10 to 40 ℃

(나) 오존접촉공정

- 오존설비는 2계열로 구성하였고, 원수유량, 오존주입량 변화에 대한 조작 융통성이 우수하고, 유지관리 및 에너지 소비량이 적은 side stream 방식을 적용하였으며 오존주입량은 잔류오존농도를 기준으로 조절하도록 설계하였음 (대기오존농도 0.12 ppm 이상일 경우 비상정지)
- 오존접촉시간은 15분으로 하였으며 원료가스의 동력비와 오존 발생효율을 고려하여 오존접촉조 유효수심을 2.3 m로 계획하였음

▌표 2.162 오존 공정 제원 ▐

구 분	시설계획	비 고
오존접촉설비 (가압식)	•규격 : 5.5㎥ •체류시간 : 15 min •오존주입농도 : 2ppm •수량 : 2 Sets	

▌표 2.163 오존 공정 설비 구성 ▐

구 분		사 양
액체산소탱크	용량	160L
오존발생기	형식	수냉식, 무성방전식
	용량	140 gO_3/hr 이상
	농도	10wt%
	동력	약 1.4kW
	규격	W77 x D60 x H 120 cm
인젝터	오존주입률	2 g O_3/m^3
	흡입량	16LPM,4.3bar
	토출압력	4.3bar
접촉탱크	크기	D1.7 x H2.3,원형
	수량	2
배오존 파괴기	운전온도	45~65℃
	처리효율	0.1ppm 이하
	동력	약 0.03kWh
모티브펌프	흡입용량,	16LPM,4.3bar
	형식	벤츄리식

- 활성탄설비는 각각 독립적으로 운영이 가능한 4계열로 구상하였으며 각 장비는 직경 50 mm 유출배관에서 차집된 후, 100 mm 배관을 통해 자외선소독고정을 거쳐 정수지로 유입되도록 하였음
- 역세척은 물/공기 병용방식으로 역세척수는 정수지로부터 공급되도록 하였으며 역세척펌프의 유량제어는 밸브 제어에 의해 계획하였으나 현장 운영자의 운영 경험상 적정한 유량 제어가 용이하지 않아 인버터에 의한 변속운전으로 계획함

▌표 2.164 활성탄 공정 제원 ▐

구 분	시설계획	비 고
활성탄설비 (가압식)	•재질 : 석탄계 •입경 : 12×40mesh (유효경 : 0.6~0.7mm, 균등계수 : 1.6 이하) •GAC 여층두께 : 2.3m •규격 : D1.2m × H3.79m •EBCT : 15 min •수량 : 4 Sets	

▌표 2.165 활성탄 공정 운전조건 ▐

단 계	설 정 시 간
Filtration	720 hrs.
Cleaning	1800초 (lowering 0~300sec, aeration 301~600sec, backwash 601~1500sec, rinse 1501~1800sec)
Filling	300 sec.
Remarks	•Cleaning 전환시간 5분(A계열 역세 끝난 뒤 B계열 역세로 전환되는 시간) •역세펌프 운전시간 : 900초/1회 •Blower 운전시간 : 300초/1회

▌표 2.166 자외선 소독공정 제원 ▐

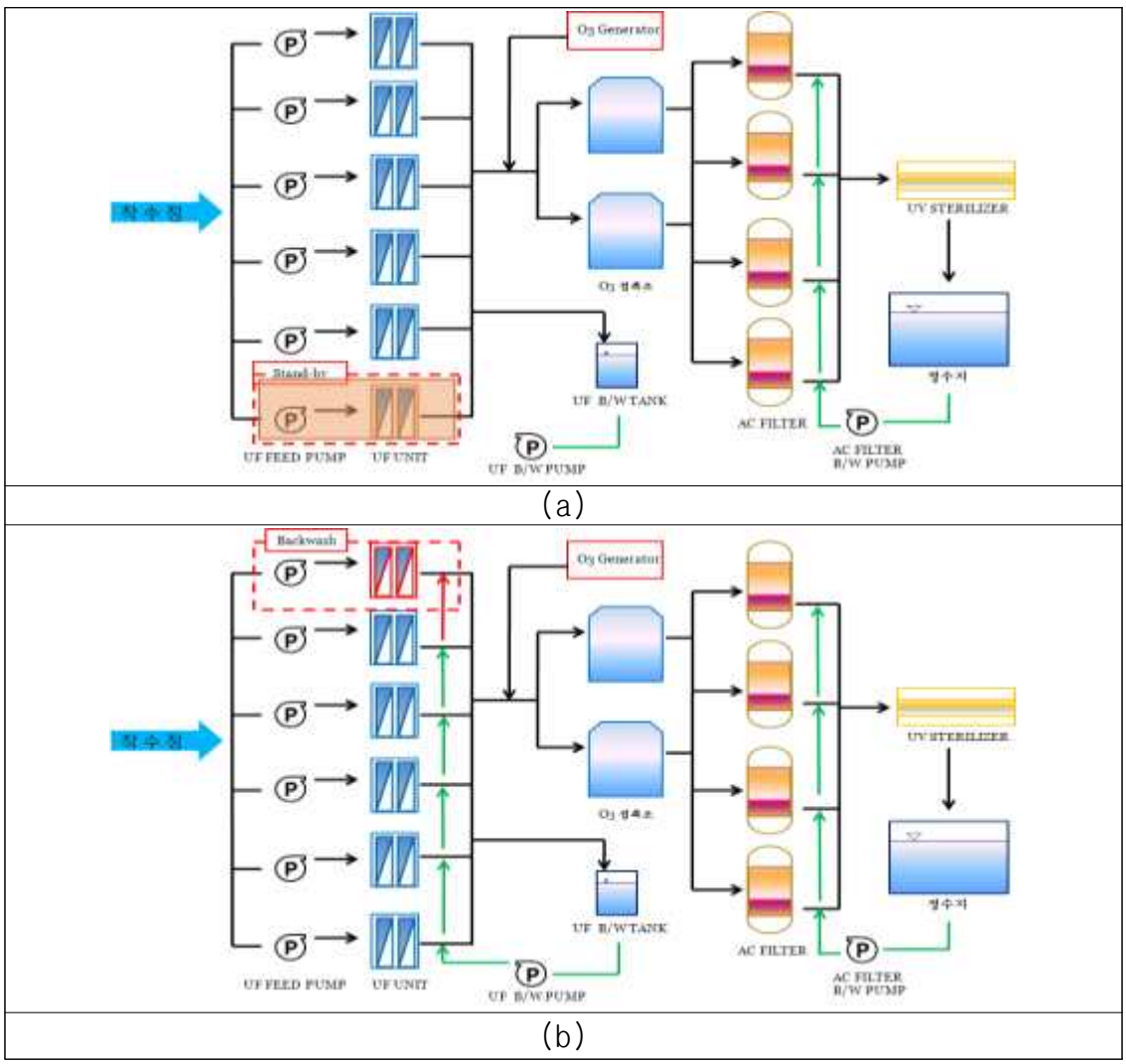
구 분	시설계획	비 고
자외선 소독설비	•형 식 : 관로형 •용 량 : 42.0 ㎥/hr •체류시간 : 7.7 sec •수 량 : 1대 •자외선투과율 : 70%이상 •자외선조사량 : 45,775 uW-sec/cm^2	

(2) 공정 운영방안

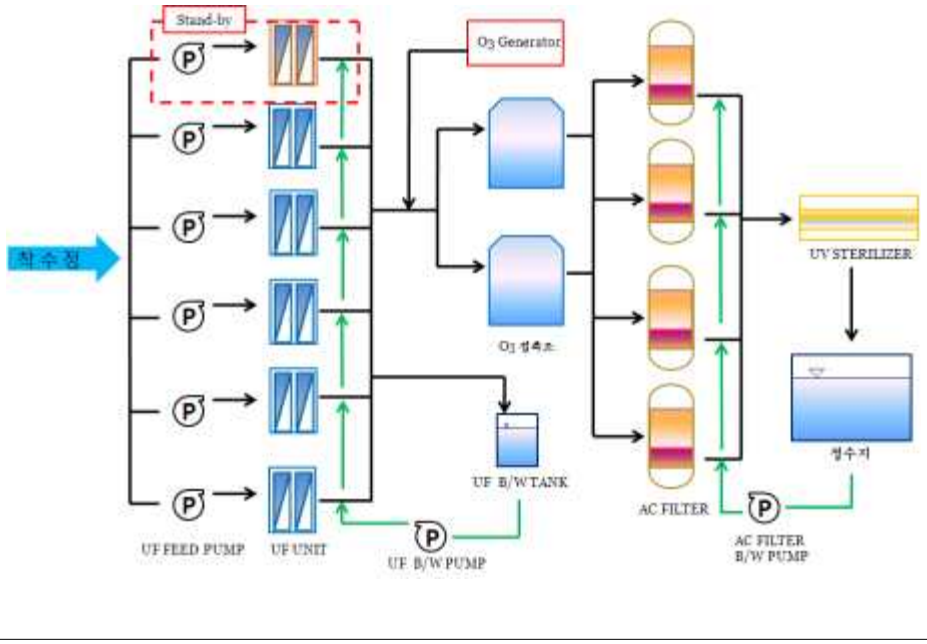
- 막여과공정은 [5+1 standby]에 따라 6계열이 설치되고 5계열이 상시운전 되며 1계열이 대기하다가 1계열이 역세될 때, 대기하고 있던 계열이 운전을 시작하여 후단 오존공정으로의 공급유량을 일정하게 유지함
- 이 때, 상시운전 계열에서의 여과유량의 일부가 역세수조로 이송되었다가 역세수로

사용되기 때문에 총생산유량의 변화를 최소화 할 수 있음

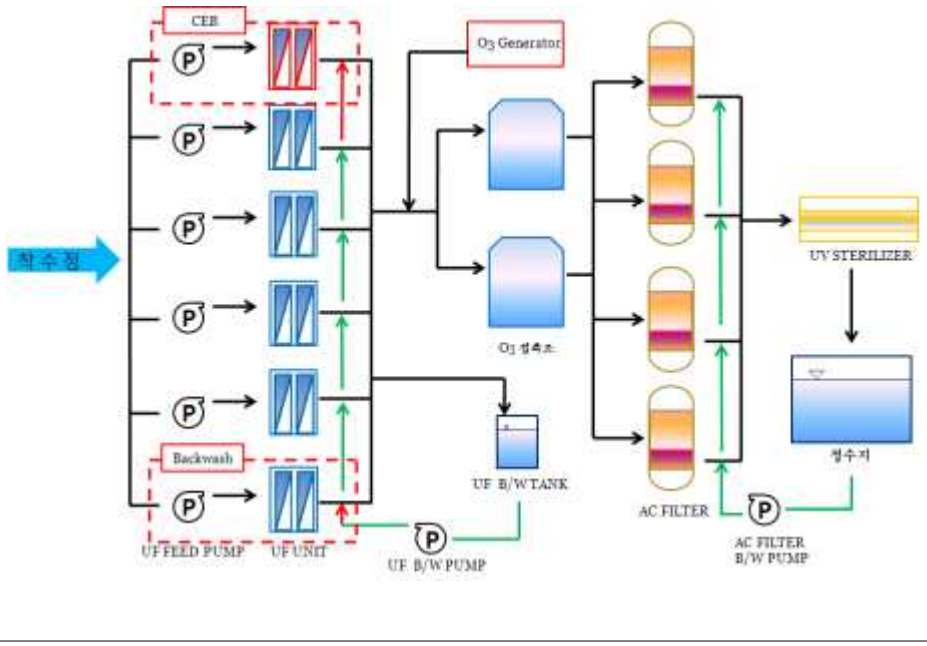
- 휴지단계 (수세/공세/역세)가 끝난 계열은 standby 계열로 편입되어 대기하다가 다른 계열이 휴지단계로 진입하면 운전계열로 편입됨
- 역세와 유지화학세정 단계가 동시에 적용되는 경우에는 상시운전 계열이 4계열로 감소하게 되고, 이 경우는 비정상 운영단계로 총생산유량은 감소하게 됨
- 1계열 정지상황은 정상운영 단계로 standby 운전을 통한 총생산유량을 유지하지만 2계열이 동시에 정지하는 경우에는 4계열 운전에 따른 총생산유량 감소로 인한 비정상 운전 단계로 분류됨



▌그림 2.338 수직형 정수처리 실증시설 운영방안▐

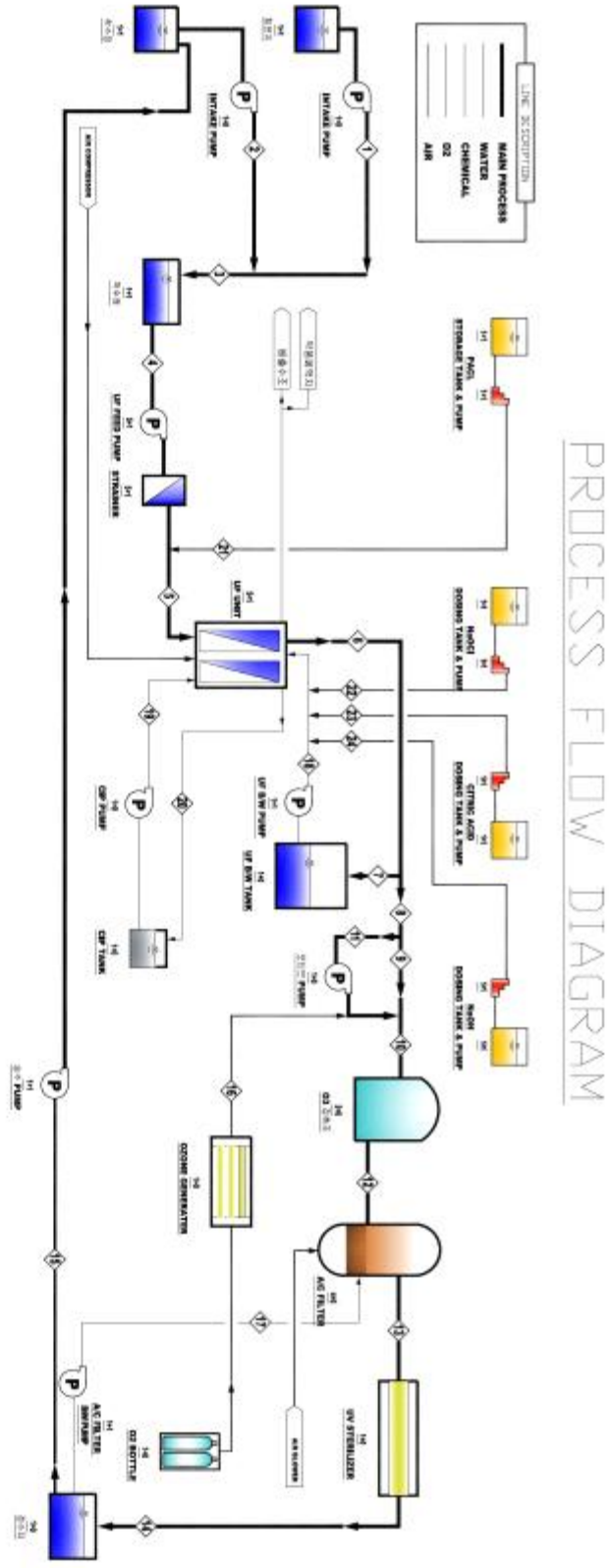


(c)



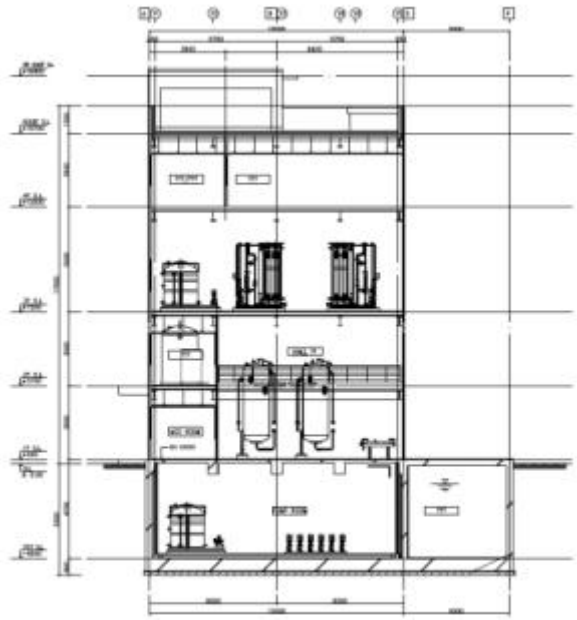
(d)

▌그림 2.338 수직형 정수처리 실증시설 운영방안(계속)▐

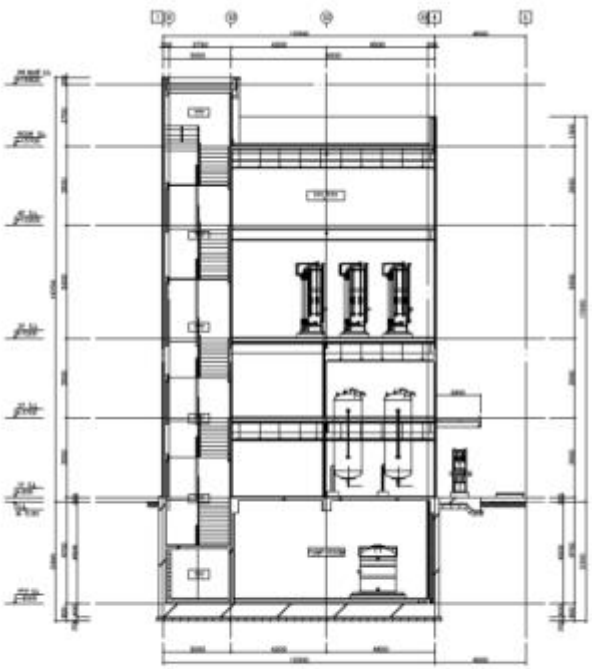


Stream No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Fluid Name	Item	원수원 Inlet	원수원 Inlet	원수원 Inlet	UF Feed Pump Suc.	UF Unit Inlet to Strainer	UF Unit Permeate Outlet	UF Unit BW Tank Inlet	UF Unit Permeate Water	UF Unit Permeate Water	O3원수조 Inlet	Blending Water	AC Filter Inlet	UV Sterilizer Inlet	UV Sterilizer Outlet to 정수지	정수장 정수원 Inlet	Ozone Generator Outlet	AC Filter BW Water Inlet	UF Unit BW Water Inlet	CIP Inlet to UF Unit	UF Unit CIP Water Outlet
Flow Rate	m^3/day(L/day)	10844	10844	10844	10844	9380	10704	660	13008	9268	10008	72	10008	10008	10008	10008	2976	-	-	-	-
Flow Rate(Continue)	m^3/hr(L/hr)	452	452	452	452	45	446	28	417	387	417	3.0	417	417	417	417	84	-	-	-	-
Flow Rate(Intermittent)	m^3/hr(L/hr)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26.26	18.5	3.0	3.0
Pressure	Appl.Bar	1.0	1.0	1.0	0.5	4.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	0.5	0.5	0.5	2.0	2.0	2.0

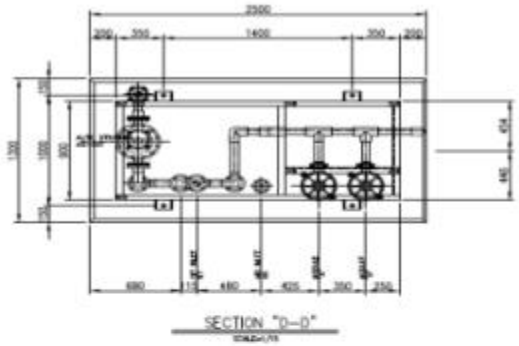
Stream No.		21	22	23	24	25	26
Fluid Name	Item	PAC Dosing	NaOCl Dosing	Citric Acid Dosing	NaOH Dosing	Air Inlet to MF Unit	Air Inlet to AC Filter
Flow Rate	m^3/day(L/day)	-	-	-	-	-	-
Flow Rate(Continue)	m^3/hr(L/hr)	-	-	-	-	-	-
Flow Rate(Intermittent)	m^3/hr(L/hr)	-	(60.0)	(58.9)	(6.0)	24	57.65
Pressure	Appl.Bar	4.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

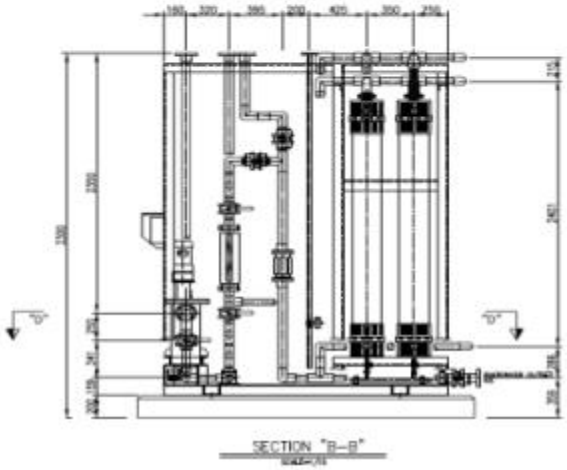


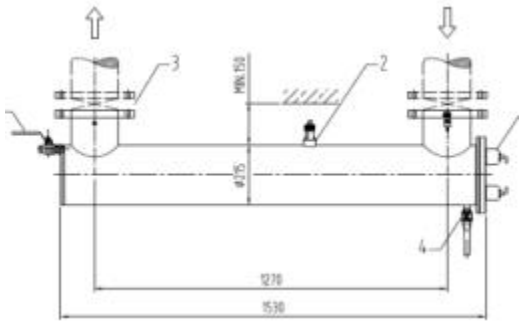
① 주단면도(종)
SCALE : 1/120

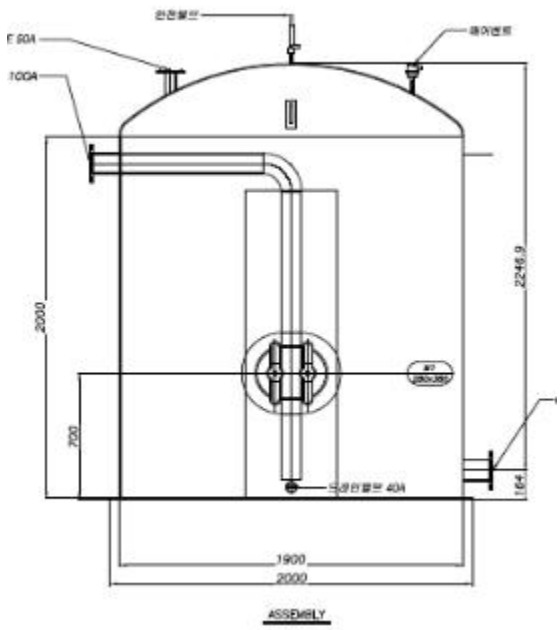


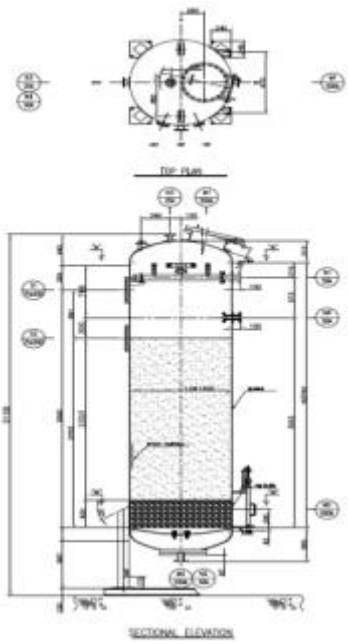
① 주단면도(횡)
SCALE : 1/120


SECTION "D-D"


SECTION "B-B"


3
2
4
1270
1530


2246.9
2000
700
1900
2000
ASSEMBLY


TOP PLAN
SECTIONAL ELEVATION

바. 수직형 정수처리 실증시설 Prototype 제작

(1) Prototype 모형 개요

▪ Prototype 모형 (원형모형)이란 사용자의 요구 사항을 정확히 파악하기 위해 시제품을 만들어 최종 결과물을 예측 하는 모형으로 본 분산형 용수공급시스템 구축 연구단에서는 분산형 용수공급시스템에 도입될 수직형 정수처리시설의 실증시설 시공에 앞서 시제품 모형을 제작함으로써 구축될 실증시설을 시각적으로 평가하고, 시공성을 평가하기 위한 목적으로 상사성을 반영한 모형을 제작하였음

▌그림 2.339 분산형 용수공급시스템 및 수직형 정수처리시설 개념도▐

(2) Prototype 모형 상세

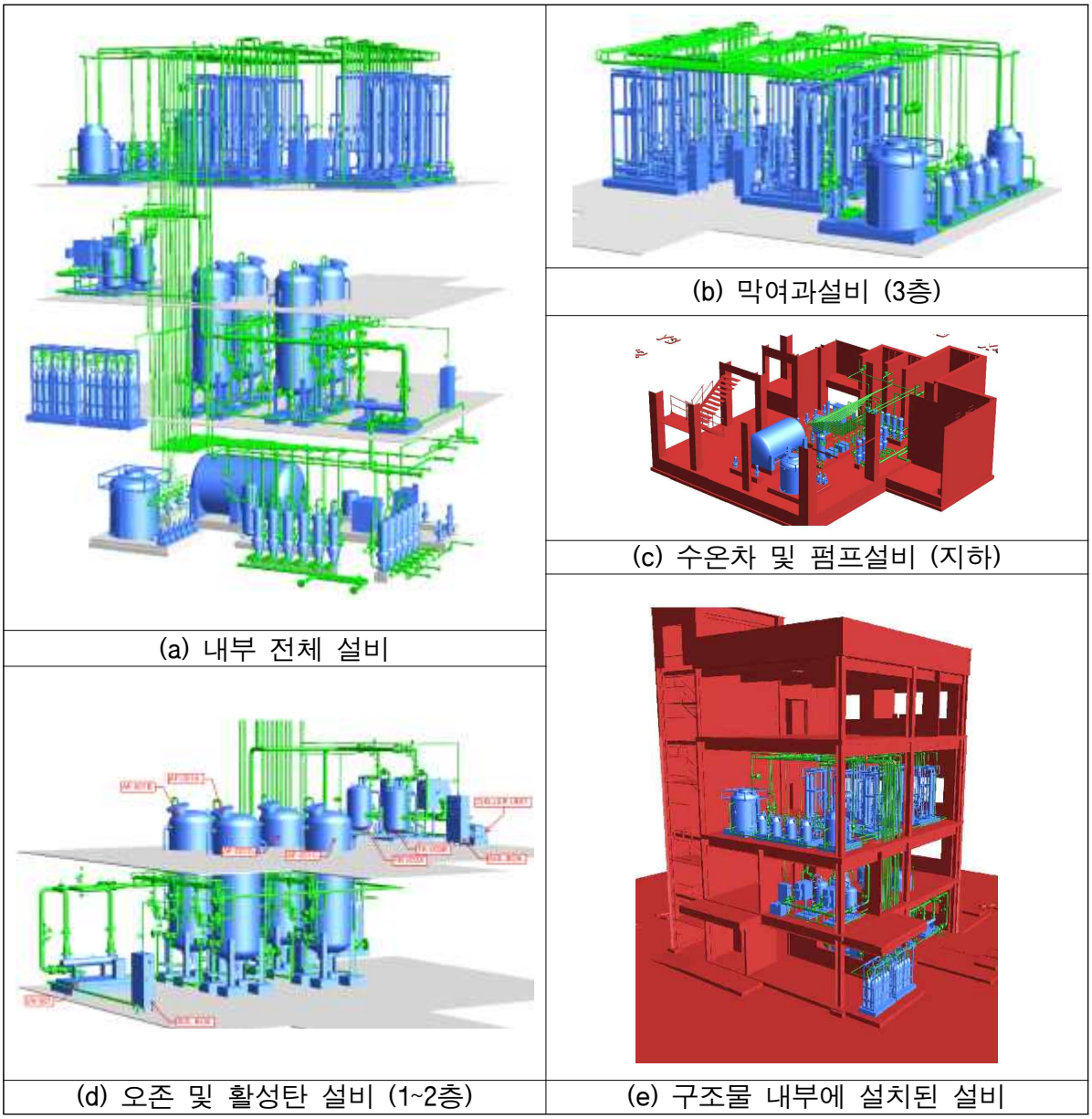
▪ 상사성 (Similarity)에는 기하학적 상사성 (Geometry Similarity), 운동학적 상사성 (Kinematic Similarity)와 역학적 상사성 (Dynamic Similarity)으루 구분되며 본 수직형 정수처리 실증시설 prototype 모형은 1,000 m^3/일 규모 실증시설의 기하학적 상사성을 반영한 축소 모형임

▪ 수직형 정수처리 실증시설 prototype 모형의 축척은 실규모 설비의 1/20 축소 형태로 상세설계 내용을 반영하여 착수정, 막여과설비, 오존설비, 활성탄여과설비, 자외선소독설비, 정수지와 태양광 판넬 및 수온차 냉난방설비, 소수력발전 설비를 포함하여 제작되었음

▪ 부분 절개 형태로 제작하여 계층형 정수처리시설 내부의 단위공정 및 각 세부 설비를 포함한 내부 설비까지 관찰 가능한 구조로 제작하였으며 LED 램프를 통해 수처리

공정 및 신재생에너지의 흐름을 표현하였음

- Prototype 모형에서는 정수처리 계통과 신재생에너지 계통, 통합운영시스템 계통으로 구분되는데, 본 수직형 정수처리 실증시설 prototype 모형에서는 정수처리 계통 (착수정 → 막여과설비 → 오존설비 → 활성탄설비 → UV)
- 수직형 정수처리 실증시설 prototype 모형 제작에 앞서 실증시설의 3차원 도면을 제작하여 모형제작에 앞서 내부 기계설비들의 3차원적 배치를 검토하였으며 이는 수직형 정수처리 실증시설의 시공 과정에서도 활용됨



(a) 내부 전체 설비

(b) 막여과설비 (3층)

(c) 수온차 및 펌프설비 (지하)

(d) 오존 및 활성탄 설비 (1~2층)

(e) 구조물 내부에 설치된 설비

▌그림 2.340 수직형 정수처리 실증시설 3D 도면▐

▌그림 2.341 수직형 정수처리 실증시설 Prototype 모형 상세▐

- 버튼동작 제어반은 정수처와 신재생에너지의 2가지 계통으로 구성하였으며 정수처리 계통은 지하 (착수정)→ 3층 (UF) → 1~2층 (활성탄) → 2층 (오존) → 1층 (UV) → 지하 (정수지)로 파란색 LED로 흐름 표현함
- 신재생에너지 계통에서 태양광 (옥상, 남측창문)과 소수력설비 (지하)는 각층의 조명설비 및 지하 약품펌프의 구동 에너지를 공급하고, 수온차설비 (지하)는 각 층의 냉난방 설비의 구동력을 공급는 것으로 빨란색 LED로 흐름을 표현함

사. 수직형 정수처리 설계 개선

▌본 과제에서 개발된 설계기술을 반영한 수직형 정수처리 실증시설은 2세부 (코오롱글로벌)에서 건설하여 시운전 후, 3세부 (K-water)에서 운영을 시작함

▌수직형 정수처리시설 설계는 실증시설의 설계, 시공, 운영 단계에서 각 세부기관과의 협업을 통해 지속적으로 개선되었음

- 설계단계에서는 2세부의 시공측면과 3세부의 운영측면에서 단위공정의 선정, 계층형 배치 및 운영로직 등이 지속적인 설계회의를 통해 수정되었음
- 시공단계에서는 시운전을 통해 설비 및 운전계획 면에서의 개선사항이 도출되었으며 이를 반영하여 수정하였음
- 실증시설의 운영을 통해 설계인자를 검증하였으며 특히 직결식 시스템 설계안의 적용성을 평가 하였으며 실규모 수직형 정수처리시설 설계인자를 도출하였음

▌수직형 정수처리시설 설계는 유동안정성, 공간효율성, 모듈화를 고려하여 개선되었음

- 직결식 시스템이 적용되는 수직형 정수처리 실증시설은 막여과공정에서 후단공정으로 유량과 압력이 일정하게 전달되어야 안정적으로 운영될 수 있음
- 사용자 최근거리에 위치하는 수직형 정수처리시설은 부지면적 최소화를 위해 계층형으로 설계되며 공간효율성을 고려한 공간배치가 고려되어야 함
- 압력식 단위공정으로 구성되는 수직형 정수처리시설은 시스템의 상용화를 위해 단위공정의 모듈화가 필요함

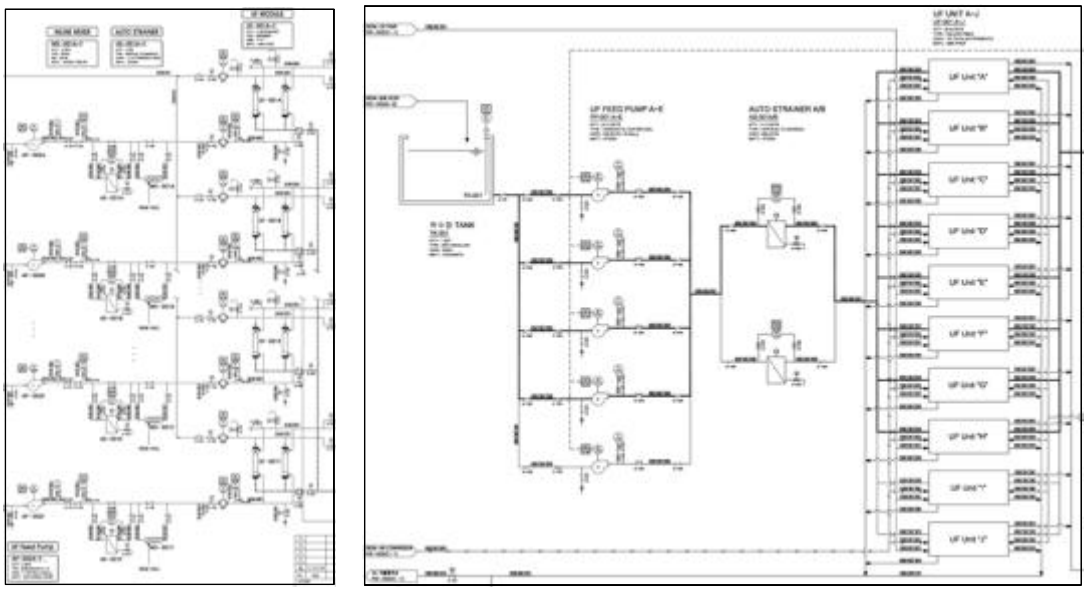
(1) 단위공정 설계 개선

(가) 막여과공정

▌막여과공정은 실증시설 설계에서 계열당 구동펌프를 구성하였으나 실규모 설계에서는 통합 구동펌프와 수세(Flushing)펌프로 변경하여 설계함

- 계열당 구동펌프는 정유량 생산 면에서는 운전이 용이하지만 실규모 설계에서는 경제성 면에서 효율적이지 못함
- 직결식 시스템 특성상 분리막의 모든 운전 sequence에서도 정유량 생산이 유지되어야 하는데, 통합펌프 구성시에는 별도의 수세펌프를 구성하게 되면 후단공정으로의 압력

전달 면에서 안정성을 확보할 수 있음

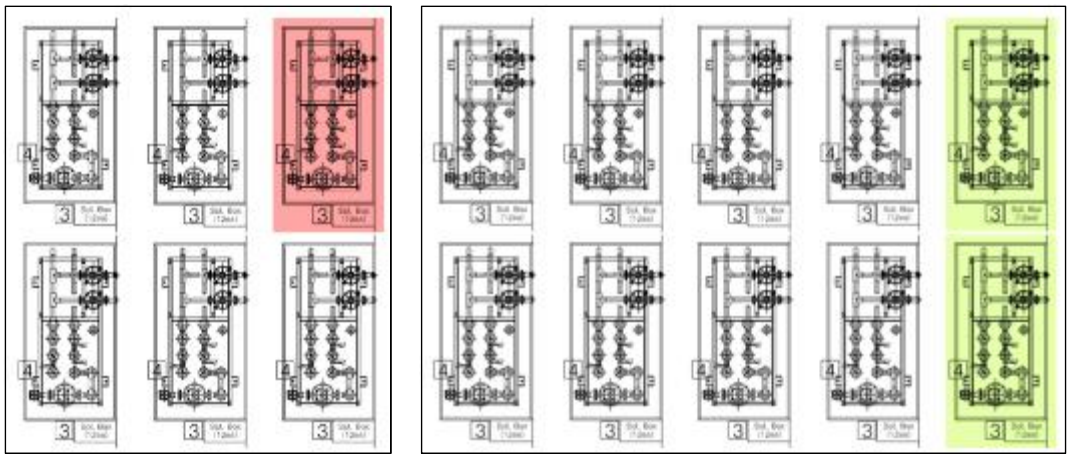


(a) 기존설계 (b) 변경설계

▌그림 2.342 막여과 공정 구동펌프 구성 설계 개선▐

▌실증시설에서는 계열 구성을 [5+1] standby mode로 하였으나 실규모 설계에서는 [8+2] standby mode로 변경하여 설계함

- 실증시설에서는 상시운전 5계열의 고정 투과유속에 1계열 역세시 순차 대기로 정유량을 유지하도록 설계함
- 이 경우 역세와 유지세정, 회복세정과 같이 운전이 정지되는 상황 중 2경우가 동시에 도래하게 되면 여과유량을 감소시키거나 운전을 정지해야 함
- 실규모 시설 설계에서는 이 부분을 개선하여 10계열을 설치하여 8계열을 상시운전 하며 2계열이 순차대기 하도록 계열설계를 변경함
- 통상적인 막여과공정의 설계에서는 8~10계열 설계가 로직구성이 용이하며 2계열 동시 정지시까지 정유량 생산을 유지할 수 있음



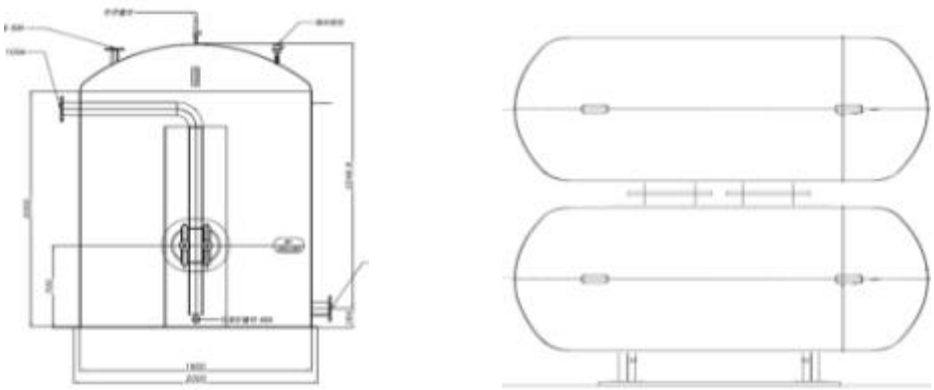
(a) 기존설계 (b) 변경설계

▌그림 2.343 막여과 공정 계열설계 개선▐

(나) 오존접촉공정

▌오존접촉공정은 시설의 층고를 고려하여 수평형 탱크 방식으로 설계를 변경함

▪ 기존의 오존접촉조는 수직형 탱크 방식으로 시설 용량에 따라 접촉탱크의 높이가 증가하게 되어 시설의 층고를 높이는 원인이 되므로 이를 수평형으로 하여 층고를 낮추고자 하였음



(a) 기존설계 (b) 변경설계

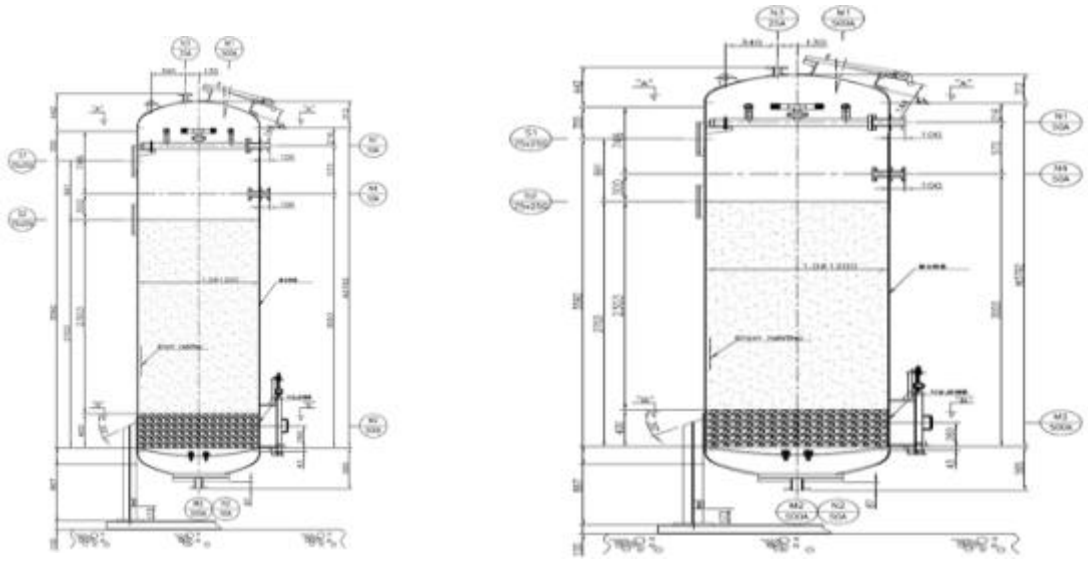
▌그림 2.344 오존접촉조 형식 개선▐

(다) 활성탄흡착공정

▌활성탄흡착공정은 시설의 층고를 고려하여 탱크의 높이/직경비를 감소시킴

▪ 기존 실증시설 설계에서 활성탄흡착탱크의 높이/직경비는 약 4 정도였는데, 이 또한

시설 용량이 증가함에 따라 층고를 높이는 원인이 되기 때문에 이 비율을 1~2까지 감소시킴으로써 층고를 낮추고자 하였음



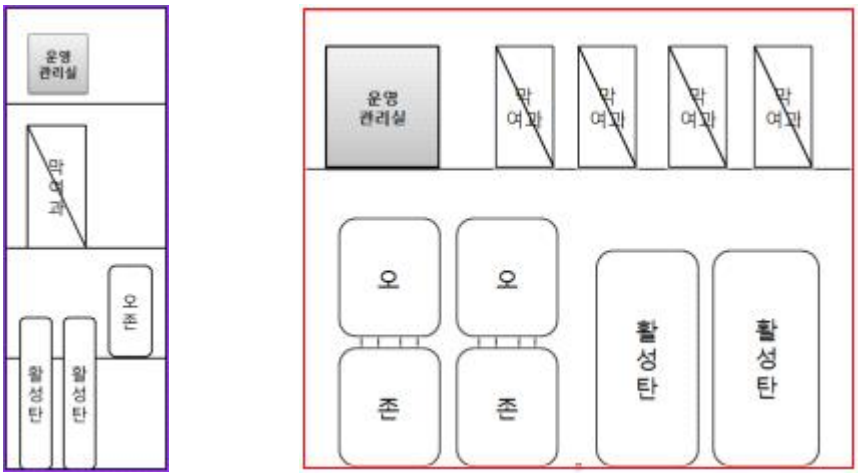
(a) 기존설계 (b) 변경설계

▌그림 2.345 활성탄 흡착탱크 높이/직경비 감소▐

(2) 공간효율성 개선

▌공간효율성을 고려하여 단위공정 배치를 개선함

- 기존 실증시설 설계에서는 단위공정을 4층 운영실, 3층 막여과공정, 2층 오존접촉공정, 1층 활성탄흡착공정, UV소독공정으로 단순하게 계층형으로 배치하였는데 이 경우 공정 특성에 따라 사공간이 많이 존재하였음
- 또한, 시설의 높이가 높을수록 최상단 공정인 막여과공정의 구동에너지가 많이 소요되기 때문에 층고가 높아지는 것을 방지하고 부지면적 또한 최소화 하기 위해 공정의 배치를 조정하였음
- 실규모 설계에서는 2층 구조로 하여 2층에는 운영실과 막여과공정을 배치하고 1층에는 오존, 활성탄, UV공정을 배치하여 공간활용도를 개선하였음



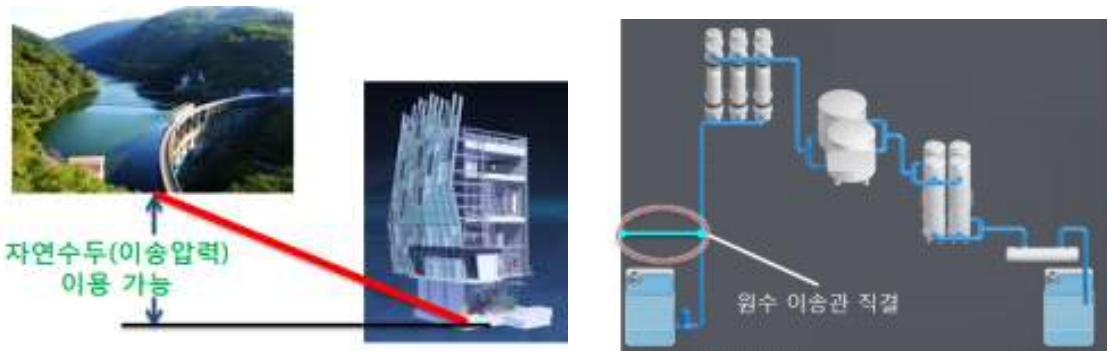
(a) 기존설계 (b) 변경설계

▌그림 2.346 시설 공간활용도 개선▐

(3) 운영방법 개선

▌직결식 시스템의 장점을 극대화 하기 위하여 시설로 이송되는 원수의 위치수두를 이용할 수 있도록 원수공급측 설계를 개선함

- 기존 실증시설 설계에서는 지하의 착수정에 원수를 저류시킨 뒤, 막여과공정 구동펌프를 통해 수직형 정수처리시설을 운전하였음
- 수직형 정수처리시설은 막여과공정 구동력으로 전공정을 운영할 수 있는 직결식 시스템이 적용되어 기존 방식에 비해 설비비와 운영비를 절감할 수 있는 장점이 있지만 이를 더욱 극대화 하기 위해 착수정으로 유입되는 원수의 에너지를 시설의 구동력으로 직접 이용할 수 있도록 원수 이송관까지 직결식으로 구성하도록 설계를 개선하였음

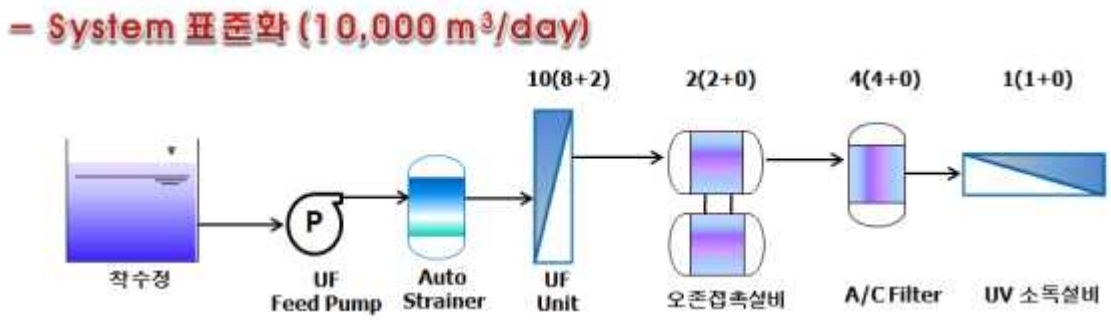


▌그림 2.347 구동에너지 절감 직결식 설계 개선▐

아. 수직형 정수처리 설계 모듈화

▌수직형 정수처리시설의 단위공정을 모듈화 함으로써 향후 상용화 시설 건설 단계에서 품질수준을 높고 균일하게 하고, 부지면적, 건설비 및 운영비 예측을 정확하고 용이하게 수행하기 위한 목적으로 공정설계 모듈화 수행

- 모듈화 조건은 후단 공정으로의 안정적인 유량, 압력 전달과 각 단위공정의 규격화에 있음
- 이를 위해 막여과 공정은 다계열 구성하며 제어로직의 안정성을 고려하였음
- 또한 계층형/빌딩형 정수처리시설의 특성상 압력식 공정으로 구성되어 기계설비공사 비중이 높기 때문에 Shop에서 제작하여 이송후 현장에서 설치 (Precast and in situ installation) 되도록 이송가능 규격을 고려하였음
- 시스템의 모듈화 용량은 10,000 m^3/일로 하였으며 막여과공정은 10계열 (8+2) 순차대기 운전, 오존접촉설비는 2계열, 활성탄흡착설비는 4계열, UV소독설비는 1계열 단위로 모듈화 하였음



▌그림 2.348 수직형 정수처리시설 모듈화 개요도▐

(1) 막여과공정

- 막여과공정은 순차대기 (stand-by) 운전모드로 상시운전 unit n개와 2개의 순차대기 unit으로 구성
- 운전모드 상세
  - 8 units(상시운전) + 2 units(순차대기)
  - 상시운전unitdms 고정 투과유속으로 운전
  - 1개 unit 운전정지(역세)시 대기 Unit이 운전 unit으로 편입
  - 2개 unit 운전정지(역세+유지세정)시 대기 unit 운전 unit 편입

- 유량제어
  - 2개 Unit 동시 정지시까지설계유량 100%로 운영
  - 3개 Unit 동시 정지시 설계유량 87.5%로 감소 또는 투과유속 증가를 통해 100%로 선택 운영

(2) 오존접촉공정

■ 오존접촉조는 부지면적 절감 및 층고를 고려하여 단위용량 21.5 m^3 접촉조의 수평형 2단 적층구조를 단위 unit으로 하여 2 units으로 모듈화

(3) 활성탄흡착공정

■ 활성탄흡착탱크는 층고를 고려하여 높이/직경비를 1.17로 규격화
■ 4개 탱크/(10,000 ㎥/일 용량기준) 단위로 모듈화 탱크의 운송을 고려

(4) UV소독공정

■ 자외선소독설비는 관로형으로 10,000 ㎥/일 용량기준 1기를 단위 unit으로 모듈화

▌표 2.167 막여과 공정 모듈화 ▌

분리막	UF membrane
운전모드	Constant flux & Stand-by mode
설계투과유속	63.0 $L/m^2/hr$
회수율	94.5%
용량	112.8 $m^3/hr/unit$
계열	10 units - Const. oper. 8 units - Stand-by 2 units
구성	220 modules (22 modules/unit)

▌표 2.168 오존접촉공정 모듈화▐

Contact time	15 min
Operating type	Sidestream
Install type	Horizontal Cylindrical
Capacity	(D) 3,200 X (H) 4400
Unit	21.5 m^3/Vessel
Standard	4 Vessels (2 Vessels/unit)
Standard	2 units (10,000 m3/day)

▌표 2.169 활성탄흡착공정 모듈화▐

EBCT	15 min
Operation type	Pressurized downstream
Vessel Size	(D) 3,600 X (H) 4200
Capacity	105 m3/hr/Vessel
Unit	4 Vessel
Standard	1 unit (10,000 m^3/day)

▌표 2.170 UV소독공정 모듈화▐

Install type	Channel
Oper. Type	Horizontal
Capacity	420 m3/hr
Standard	1 unit (10,000 m^3/day)

자. 사업화 대상지역 실규모 수직형 정수처리시설 설계

(1) 개요

▌인간이 생활함에 있어 필수요소 중 하나는 안정된 상수도를 공급 받는 것으로 안정된 상수도의 공급은 소비자에게 상수도 시설기준에서 제시한 수질과 관망 내에 충분한 압력이 확보된 상태에서 소비자가 요구로 하는 유량을 제공할 수 있음

▌과거의 상수도 사업은 산업화로 인해 인구가 도시로 집중됨에 따라 상수도의 공급 확대에 초점을 두어 진행하여 왔으며 공급자 위주의 상수도 운영 한계로 인해 소비자들의 불편사항을 일부 묵인하며 운영해 왔음

▌이러한 상수도 운영 방식은 각 지자체 및 광역도시에서 100%에 가까운 급수율(환경부, 2010)을 자랑하고 있는 현 시점에는 더 이상 적합하지 않다고 판단됨

▌소비자 중심의 상수도 시스템을 구축하는 방법으로 고품질 수돗물의 생산이 가능하며, 사고 시 단수피해를 최소화하여 안정적인 용수공급이 가능한 분산형 용수공급시스템에 대한 관심이 높아지고 있음

▌분산형 용수공급시스템은 기존의 배수지를 중심으로 한 개의 수원(Water Source)이 해당 급수구역에 모든 용수를 공급하는 중앙집중형 시스템(Centralized Water Supply System)에서 한 개의 급수구역내에 두 개 이상의 수원 확보가 가능한 새로운 용수공급시스템으로 완전한 의미의 분산형 용수공급시스템은 다중수원 확보를 통한 비상시 용수공급의 안정성을 확보하고 도시 내 저류조 및 분산 설치되어 있는 정수처리시설을 통해 단수 피해에 대한 다중 방어 시스템을 구축하는 것과 정수처리시설이 도시 내 위치하여 수질 신뢰성 확보를 통해 음용율을 제고하는데 목적이 있음 (국토해양부, 2012).

⑵ 대상지역 용수수급 전망

▌ 분산형 용수공급시스템의 급수가능지역은 새만금 담수호와 소하천 및 녹지 등 지역을 기준으로 다음과 같이 6개 구역으로 분할

▌그림 2.349 새만금 복합도시 북측지역 급수구역 분할도▐

▌과업기간 중 현지조사 및 관계기관 협의결과 본 분산형 정수장의 급수지역인 새만금 지역은 인근에 타수원 개발 적지가 전무하여 당초 기본계획시 선정된 급수대상지역을 본 계획 최종 급수대상지역으로 선정

■『새만금용수공급기본구상(한국수자원공사, 2011.11)』에 따르면, 새만금지역의 공업용수 용수수요는 2013년부터 부족이 발생하는 것으로 예측되었는데 초기에는 군산공업용수도로 공급하되 부족분은 전주권광역상수도로 임시 우선공급하고 장기적으로는 금강광역상수도 체계조정(170천㎥/일)으로 대응하며, 그럼에도 불구하고 발생하는 초과수요는 군산시 하수재이용사업(68천㎥/일)의 추진상황 등을 고려하여 향후 계획하는 것으로 하였음

▌표 2.171 공업용수 용수수요(새만금용수공급기본구상, 2011)▐

구 분	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'25
용수수요	124.7	155.1	176.8	204.1	219.8	247.4	277.2	309.9	358.1
공급능력	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0
과 부 족 (군산시)	5.3 (11.5)	△25.1 (△13.8)	△46.8 (△31.6)	△74.1 (△56.4)	△89.8 (△70.1)	△117.4 (△96.1)	△147.2 (△124.5)	△179.9 (△155.7)	△228.1 (△197.8)
공급방안	군산공업(전주권 광역, 생활용수 우선공급)					군산+금강(체계조정)		군산+금강+신규개발	

(3) 정수장 위치

▌분산형 정수처리시설을 설치하기 위한 후보지 대안을 다음 그림과 같이 선정하였으며 후보지 대안은 다음과 같은 기준으로 적합한 지역을 선정함

- 주 도로에 인접하여 위치할 것(관로 부설 단축)
- 가능한 녹지지역에 위치할 것(토지이용계획상 다른 용지를 침해하지 않기 위함)
- 가능한 급수구역의 중간부분에 위치할 것(Water Age 최소화)

▌그림 2.350 수직형 정수장 설치 후보지역 선정▐

⑷ 정수처리 기본계획

▌소비자 최근거리에서 정수처리 하여 소비자에게 수돗물을 공급함으로써 수질의 안전성과 수량의 안정성을 확보하고자 하는 분산형 용수공급시스템에 적합한 정수처리시설은 기존의 대규모 평면형 정수처리시설과는 달리 비교적 소규모의 정수처리시설이 도심지 내에 위치하게 되므로 부지면적의 최소화가 우선적으로 요구됨

■ 따라서 형태적 특성은 기존의 개방형태가 아닌 건물형 (빌딩형)이어야 하며, 단위공정이 계층식으로 배치되어야 할 필요가 있음

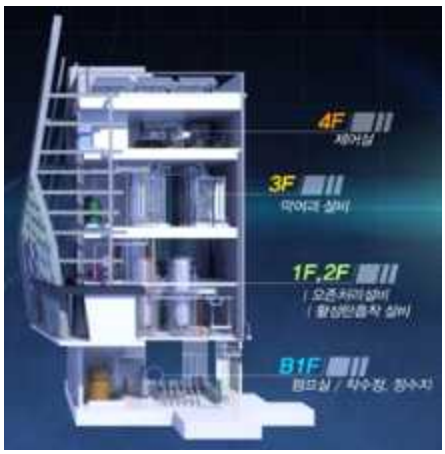
▌수직형 정수처리시설에서는 단위공정 설계 특성 또한 기존 정수처리시설과는 차이를 보이는데, 기존 정수처리시설이 토목구조물 위주의 설계방식이라면 수직형 정수처리시설은 건물 내부에 단위공정들이 배치되어야하기 때문에 플랜트 개념의 설계 방식으로 접근해야 할 필요가 있음

■ 따라서 시공성과 부지면적 등을 고려하였을 때, 모든 단위공정은 압력식으로 설계되며, 수직형 정수처리시설은 막여과-오존접촉-활성탄흡착-자외선소독을 표준공정으로 구성하되, 대상 원수 및 생산수 요구조건에 따라 by-pass 또는 특정 오염물질 제거를 위한 공정 교체/추가가 가능함

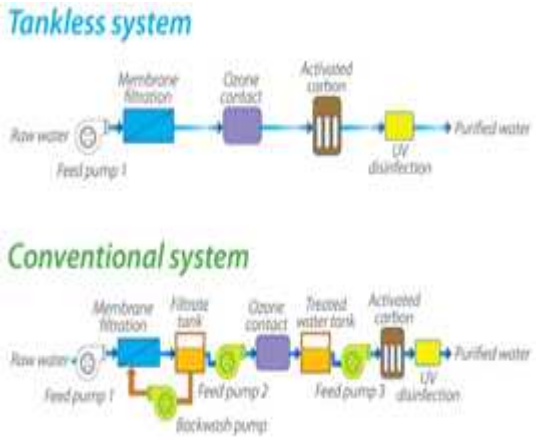
▌압력식으로 구성되는 공정에서 각 단위공정사이의 중간저류조와 중간구동펌프를 제거하여 최초 공정인 막여과 설비의 구동펌프 유입압력을 활용하여 전체 공정을 운전하는 직결식 시스템 설계기술 (Tankless system)이 적용되었음

■ 이 설계안은 중간저류조 공사비 및 구동펌프 설비비를 절감할 수 있으며 압력소실 방지를 통한 에너지 비용 절감과 동시에 처리수의 정체에 의에 발생될 수 있는 2차오염을 방지할 수 있는 장점이 있음

▌원수 공급라인과 정수처리시설 사이에 잔류압력 및 수두차가 존재할 경우, 해당 조건을 활용하여 막여과 정수처리시설 운전 및 소수력 발전에 활용이 가능함



▌그림 2.351 수직형 정수처리시설▐



▌그림 2.352 직결식 시스템 (Tankless system)▐

▌그림 2.353 미래도시 소비자 인근 수직형 정수처리시설 설치 전경(예시)▐

(5) 정수처리공정 선정

(가) 공정선정 검토

▌정수처리공정에서의 제거 대상 물질은 입자성 성분과 용해성 성분으로 구분할 수 있으며 이를 다시 세분하여 공정을 검토함

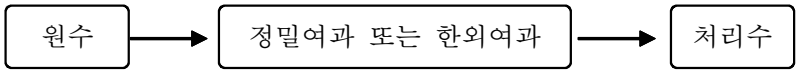
- 입자성 성분은 다시 탁도물질, 조류, 미생물로 구분할 수 있으며 이에 해당하는 기술은 완속여과, 응집침전, 부상분리, 급속직접여과, 막여과 등이 있음
- 용해성 성분은 맛·냄새물질, 색도, 유기물, 소독부산물 및 무기물이 있으며 이를 처리하는 기술로는 완속여과, 생물처리, 오존, 활성탄, 나노여과, 산화, 소독 등이 있음

① 탁질제거 공정

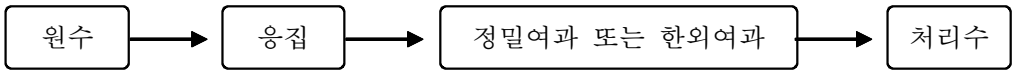
- 정수처리공정의 선정에서 기본이 되는 탁질 성분 제거를 위해서는 완속여과, 급속여과 및 막여과공정의 도입이 가능하며, 특히 막여과공정은 중소규모시설에, 넓은 탁도범위에 도입이 가능한 기술로 기존 모래여과공정과 비교하여 응집제 주입량절감, 자동운전에 의한 유지관리의 편리성, 용지절감 등의 장점을 고려하여 최근에 도입실적이 증가하고 있음
- 본 과업에서도 처리수질의 안정성, 신기술의 적용, 수도기술의 선도, 막여과 시범사업 결과의 확대보급 등을 고려하여 탁질 제거공정으로 급속모래여과공정 대신에 **막여과공정**을 선정하였음
- 정수처리에 사용되는 막의 종류에는 일반적으로 정밀여과막, 한외여과막, 나노여과막 등의 3종류가 있으나, 한외여과 및 정밀여과막은 탁질성분, 나노여과막은 미량오염물질의 제거에 사용됨
- 특히 탁질제거용의 한외여과 및 정밀여과막은 단독공정 혹은 막오염 방지 및 물질의 제거를 위하여 응집제, 염소 등을 주입하는 약품주입공정과 연계함
- 정밀여과 및 한외여과막은 기본적으로 원수수질변동의 영향이 적고, 또 응집침전처리에서 보이는 혼화부족·응집불량 등의 문제없이 안전한 처리가 가능하므로 정수설비의 운전제어가 매우 간단하여, 소규모정수장에서의 적용성이 뛰어남
- 원수수질에 따라서는 원수에 응집제를 주입하여 미세현탁물질의 플록화에 의한 막층 내부로의 침입억제, 막면에서의 막오염의 경감, 여과저항의 저하, 물리세정시 탈리성의 향상도 되기 때문에 투과유속의 증가를 얻을 수 있음
- 응집침전에서는 플록이 크고 밀도가 높은 것이 유리하지만 막여과에서는 미세플록이

라도 충분하기 때문에 막여과에서 사용하는 응집제의 주입율은 종래의 응집침전·급속여과에 비해 1/3 정도이면 충분한 것으로 알려져 있음

- 막여과공정은 기 언급한 바와 같이 탁질 제거용 막여과공정과, 미량오염물질의 제거공정 등의 조합공정 (Hybrid공정) 선택이 가능함
- 원수의 수질이 탁도 및 미생물을 제외하고는 먹는물 수질기준을 만족하는 경우 정밀여과 또는 한외여과공정을 도입함



- 원수의 수질이 유기물(색도, THMFP) 등이 높은 경우, 응집에 의한 전처리와 정밀여과 또는 한외여과를 조합한 처리공정을 도입함



- 응집제의 첨가량은 응집·침전처리의 경우와 같은 큰 플록이 아닌 미세플록이 생길 정도가 적당하므로, 응집제를 지나치게 첨가하면 막파울링의 원인이 되는 경우가 있으므로 주의가 필요함

② 맛·냄새물질 및 용존유기물질 제거공정

- 탁질성분외에 정수공정에서 제거대상물질인 미량용존물질의 제거공정으로는 흡착, 산화공정 혹은 조합공정이 사용되나, 특히 본 과업에서 제거대상물질인 맛·냄새를 제거하기 위해서는 맛·냄새 유발물질의 농도범위, 발생시기 등에 따라 오존·활성탄공정, 활성탄 단독공정 등을 비교하였음
- 활성탄공정에는 입상활성탄 및 분말활성탄 공정이 있으나, 일반적으로 흡착대상물질의 농도가 높거나 원수 중에 발생시기가 장기간인 경우에는 입상활성탄 공정을 도입
- 입상활성탄 공정은 접촉조 및 세정설비 및 재생설비, 분말활성탄은 접촉조, 주입설비 등이 필요함
- 기존공정에서 분말활성탄 처리는 별도의 접촉조 없이 응급대책으로서 도입되는 경우가 많지만, 신설의 정수처리시설에서는 접촉조를 도입하기도 함

▌표 2.172 맛·냄새 제거 대응기술▐

항 목	오존·활성탄처리			활성탄처리					
				분말활성탄			입상활성탄		
정수량 규모	대	중	소	대	중	소	대	중	소
전처리	응집침전·급속여과 또는 직접여과						응집침전, 응집침전·급속여과 또는 직접여과		
대응농도 (2-MIB)	고 100 ng/L 이상			저 50 ng/L 미만			중 100ng/L 미만		
처리특징	고농도의 맛·냄새에는 오존이 유효하고, 오존과 활성탄처리에 의해 맛·냄새는 거의 완전히 제거할 수 있다. 전염소처리의 유무에 따라 활성탄의 수명이 달라진다.			활성탄과의 접촉시간이 20분이상 필요하다. 원수농도가 고농도일 경우, 분말활성탄공정은 활성탄의 주입율이 상당히 높게되어 효과적인 공정이라고 할 수는 없다.			전염소처리의 유무에 따라 활성탄의 수명이 달라진다.		
설치 면적	가장 크다.			제일 작다.			크 다.		
유지관리	오존설비의 관리 활성탄의 재생			활성탄의 용해시의 작업환경에 배려한다.			활성탄의 재생		
선정기준	고농도물질의 제거 및 수질의 안정성확보가 필요하다.			-			-		
	고농도물질의 제거에 관해서는 오존·활성탄처리가 필요하게 된다.								

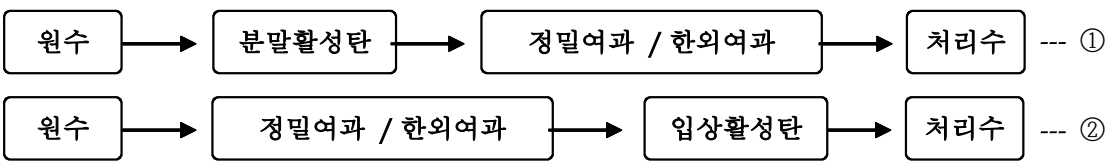
■ 분말활성탄 처리는 입상활성탄 처리와 비교할 경우, 간헐적인 맛·냄새 또는 소독부산물의 문제 발생 시 가장 경제적인 방법이나, 분말활성탄의 주입율의 한계, 슬러지 발생량 증가 등의 단점을 가지고 있음

■ 또한 분말활성탄의 주입율을 증가시키면 제거효율이 높아지지만 주입기간이 장기간인 경우에는 입상활성탄 처리 보다 많은 비용이 소요되어 비경제적인 처리방안으로 간주됨

▌표 2.173 활성탄공정의 장단점 비교▐

구 분	분말활성탄	입상활성탄
시 설	접촉조, 주입설비, 제거설비	접촉조, 세정설비, 재생설비
장점	•간헐적 맛냄새 또는 소독부산물 문제시 가장 경제적인 대안임 •기존정수장의 시설 및 설비로 사용가능 •Silo 형태의 저장 및 투입설비를 갖출 경우 자동화 운전가능	•초기 투자비가 다른 대안에 비해 높으나 오존+입상활성탄 보다는 작음 •장기적인 맛·냄새, 소독부산물 등의 미량오염물질의 제어에 효과적 •운영관리 용이
단점	•급속모래여과지에서의 누출 가능성으로 최대 주입률 30 ㎎/L정도로 한계가 있으며 충분한 맛·냄새 제거는 곤란 •운영 및 유지관리가 불편 •슬러지 발생량 많음 •연중 사용기간이 길 경우 활성탄 흡착지가 더 경제적일 수 있음	•초기투자비가 높으며, 추가적인 부지가 소요됨 •주기적으로 활성탄을 교체 또는 재생하여야 함 •활성탄 흡착지 접촉을 위해 추가적인 수두를 확보하여야 함

■ 탁질 제거를 위한 막여과공정과 미량오염물질을 제거하기 위한 처리공정의 조합공정(Hybrid공정)들을 검토한 결과, 활성탄공정을 정수처리시스템에 도입하는 경우, 분말활성탄공정은 막여과공정의 전단에, 입상활성탄공정은 막여과공정의 후단에 적용함



▌표 2.174 정수처리공정 선정▐

막여과 (MF, UF)와 접촉여과의 조합							입자성분				용존성분						유지관리		
기호		적용가		적용가: 제한 있음		적용불가: 제거대상외	탁도			조류	색도	철·망간	맛·냄새	암모니아성질소	DBPFP	농약	Ⅰ류	Ⅱ류	Ⅲ류
	◎	처리효과가 아주 높음	○	처리효과 높음	□	처리효과에 제한이 있음	고	중	저										
공정1: 분말활성탄+(전염소)+막여과											○		□		□	□			
공정2: 막여과+오존활성탄											○		○		□	□			
공정3: 입상활성탄+(전염소)+막여과											○	□	○	□	○	○			

개요	공정1: 용해성 성분의 제거용으로서 분말활성탄을 사용하고, 탁질제거에 막여과를 사용한다. 공정2: 전단의 막여과에서 탁질을 제거하고, 후단의 활성탄에서 용해성 성분을 제거한다. 공정3: 전단의 활성탄에서 용해성 성분의 제거하고, 후단의 막여과에서 탁질제거와 활성탄에서의 누출미생물을 제거한다.
공정	공정1 분말활성탄, (전염소) ↓ → [막여과] → 공정2 → [막여과] → [오존활성탄] → 공정3 (전염소) ↓ → [입상활성탄] → [막여과] →
수질	공정1: 비교적 단기간, 용해성 유기물농도가 높고, 암모니아성질소의 농도가 낮은 원수에 적합하다. 공정2: 색도, 맛·냄새, 를 제거대상으로 하는 원수에 적합하다. 공정3: 저탁도로 색도, 맛·냄새, DBP 전구물질 및 저농도의 암모니아성 질소를 제거대상으로 하는 원수에 적합하다.
운전관리	막약품세정: 정기적으로 막의 약품세정이 필요. 세정약품은 막오염물질에 따라 다르다. 막교환: 정기적으로 막의 교환이 필요. 교환빈도는 막재질, 투과유속, 약품세정 빈도 등에 따라 다르다. 전염소: 막재질에 따라서 막의 생물분해를 방지하기 위해, 막전단에 염소주입이 필요하게 된다. 소독제로서 이산화염소를 사용하는 것보다 염소 DBPs의 저감이 가능. 단, 내약품성의 확인이 요구된다.
비고	원수탁도 고: 100 NTU이상의 고탁도가 있을 경우, 중: 100 NTU미만의 통상의 탁도 변동 저: 상시 10 NTU미만 유지관리 Ⅰ류: 정수처리에 대한 특별한 기술이 없어도 운전매뉴얼만으로 운전가능한 공정 Ⅱ류: 원수수질의 변동에 따라 제어 등의 관리가 가능한 지식을 요구하는 공정 Ⅲ류: 전문적인 지식과 경험을 요구하는 공정

■ 처리공정①은 분말활성탄 접촉조를 설치하던가 막여과설비 내에서 분말활성탄과 접촉시켜, 맛·냄새물질, DBPFP, 색도성분 등을 분말활성탄에 흡착시킨 후, 분말활성탄을 정밀여과 또는 한외여과로 제거하는 방법으로 막모듈의 물리세정배수에 분말활성탄이 포함되므로 배수처리설비에 대한 배려가 필요함

■ 처리공정 ②는 정밀여과 또는 한외여과로 탁질을 제거한 뒤, 후단의 오존활성탄으로 맛·냄새물질, 색도성분 등을 흡착제거 하는 방법으로 색도, 맛·냄새를 제거대상으로 하는 원수에 적합함

- 분말활성탄-정밀여과/한외여과

막여과공정 전단에 분말활성탄을 첨가함으로서 활성탄흡착성의 용존유기물을 흡착제거하고, 후단에서 정밀여과 또는 한외여과에 의해 막의 분리공경 이상의 크기를 가진 탁질·콜로이드 및 세균 등의 미생물을 제거함과 동시에, 첨가한 분말활성탄의 분리농축을 기하는 처리방식이다. 분말활성탄의 접촉조를 설치하는 경우와, 정밀여과 또는 한외여과의 설비내에서 분말활성탄을 접촉시키는 경우가 있다. 또한 분말활성탄을 연속적으로 주입하는 방법과 간헐적으로 주입하는 방법이 있다. 분말활성탄의 주입량이나 접촉시간에 따라 소독부산물의 전구물질, 농약, 음이온계면활성제, 맛·냄새, 색도 등의 제거를 기대할 수 있다. 이 가운데, 농약, 음이온계면활성제, 맛·냄새 등의 미량유기성분은 분말활성탄의 주입량이 적어도 제거하기 쉬우나, 소독부산물 전구물질과 색도를 제거하기 위해서는 다량의 분말활성탄을 필요로 한다. 분말활성탄이 장시간 체류하는 방식의 경우에는 분말활성탄 표면에 부착·증식한 미생물에 의한 생분해성 유기물의 제거작용도 기대할 수 있다. 암모니아성 질소농도가 낮고, 농약, 맛·냄새 이외의 유기물농도가 그다지 높지 않은 원수에 적합하다.

- 정밀여과/한외여과-오존활성탄

정밀여과 또는 한외여과에 의해 막의 분리공경 이상의 크기를 가진 탁질·콜로이드 및 세균 등의 미생물을 제거하고, 후단에서 입상활성탄 처리에 의해 활성탄 흡착성의 용존유기물을 흡착 제거하는 처리방식이다. 입상활성탄 처리에 의해 소독부산물의 전구물질, 농약, 음이온계면활성제, 맛·냄새, 색도 등의 제거를 기대할 수 있으나, 입상활성탄의 사용일수나 흡착능력에 의해 각 제거대상물질의 제거성능은 달라진다. 고정상 방식의 경우에는 입상활성탄 표면에 세균 등의 미생물이 증식하여 생물분해성 유기물의 제거작용도 생기나, 미생물의 누출을 피하기 위해서는 입상활성탄을 정기적으로 세정하여 과도한 미생물 증식을 억제할 필요가 있다. 암모니아성질소 농도가 낮고 유기물농도가 높은 원수에 적합하다.

■ 분산형 용수공급 정수장의 경우, 소비자 중심의 상수도 시스템을 구축하는 방법으로 고품질 수돗물의 생산, 안정적인 용수공급을 목표로 지향하므로 본 과업에서는 고농

도 용수의 처리를 대비하여 **오존활성탄공정**을 계획함

③ 약품투입공정

- 탁질을 제거하기 위한 막여과공정은 기본적으로 무약품주입운전이 가능하나, 응집제, 염소 등을 전처리로 주입하기도 함
- 특히 응집은 유기물의 제거나 고탁도에 대비하여 주입하며, 염소는 철/망간의 제거 및 막오염을 방지하기 위하여 선택적으로 주입한다. 본 과업에서는 금강광역상수도를 원수로 사용하기 때문에 응집 및 전염소 설비는 계획되어 있지 않으며, 수돗물의 미생물에 대한 오염을 방지하기 위해서 염소만 정수지전단에 주입함
- 응집설비를 계획할 경우, 막여과설비 전단에 주입하는 응집제는 알루미늄이온 등이 석출되지 않도록 충분한 혼화설비를 설치하여야 하는데, 이때 막여과공정의 전처리 설비로서 혼화/응집공정의 도입여부는 파일롯 실험을 통해 검토되어져야 함
- 또한 막여과설비에 균등한 유량을 공급하기 위한 원수저장조는 설비의 특성에 따라 도입유무를 결정하여야 하며 막여과공정에서 약품주입 전처리에 따른 영향은 설계 및 유지관리시에 충분히 고려되어야 함
- 일반적으로 PAC(분말활성탄) 주입에 의해 맛·냄새 등의 용존유기물이 제거되며, 막여과 성능도 높아지나, 막세공과 비슷한 크기의 미분탄이 다량으로 존재하면 막 폐색의 원인이 되므로 분말활성탄의 입도분포를 파악하여 둘 필요가 있음
- 응집제 주입은 미세입자의 응집으로 플록이 생성되어 탁질의 제거 및 유기물의 제거율의 향상을 기대할 수 있음
- 응집제 주입으로 제거율이 향상되는 분자량은 3,000~10,000Da 전후의 물질로 2,000Da (Dalton) 이하의 물질은 거의 응집하지 않는 것으로 알려져 있고, 전체적인 응집효율은 원수중에 존재하는 물질의 분자량 분포에 의존되며, 막여과와 응집을 병용하는 경우 한외여과와 정밀여과에 의한 수질차이는 크지 않음
- 또한 응집조작을 막여과와 병용하면 막차압의 상승이 억제되어 여과효율이 높아지는 것으로 알려져 있지만 미반응된 응집제가 막을 통과하는 경우 막세공에서 응집이 일어나 막 폐색의 원인이 될 수 있으므로, 과잉주입이 일어나지 않도록 주의하며, 가능한 응집반응이 충분히 일어날 수 있도록 하는 것이 바람직함
- 염소나 오존 등의 산화제를 전처리로 사용하는 경우, 유기물 및 조류에 의한 막오염을 줄일 수 있어 막여과공정에 유리한 면이 있으나, 막이 산화제에 의해 장기간 노출될 경우 화학적열화가 일어나 막의 성능이 저하될 우려가 있으므로, 막은 내화학성이 높은 재질을 사용하여야 함

▌표 2.175 막여과 시설의 수질대책에 따른 주입약품의 종류▐

항 목	산/알카리제	염 소	응 집 제	PAC(분말활성탄)
고탁도시	-	-	●	-
맛·냄새발생시	-	●	-	●
유기물농도대	-	-	●	-
철/망간농도소	-	●	-	-
pH 7.0 ~ 8.5이외	●	-	-	-

※ 주 : 약품주입은 원수특성, 목표수질, 막공정선정에 따라 차이가 있음

④ 소독공정 (정수지)

- 소독에서 정수지는 여과수량과 송수량의 변동조절 및 염소와 접촉시간을 확보하는 역할을 하며, 용량은 수량의 변동조절 보다는 소독제와 접촉시간의 확보에 중점을 두고 결정함
- 소독에 영향을 미치는 주요한 인자는 소독제의 종류와 농도, 미생물의 종류, 소독제와 미생물의 접촉시간, pH 및 수온 등으로 본 검토에서는 염소 (유리염소)를 사용할 경우 “정수처리에관한기준 (환경부, 2002. 7. 5)” 에 소독공정에서 확보하여야 할 CT값 (소독능)의 산출근거를 제시하였으며, 소독제 주입장치의 검토는 제외함
- 특히 소독과 관련하여서는 상수도시설기준에 위생적인 수질관리를 위하여 관말에서 유리잔류염소 0.2㎎/L이상, 최대잔류염소농도는 4㎎/L이하 (먹는물 수질기준)로 규정하고 있는데, “정수처리에관한기준(환경부, 2002.7.5)에 바이러스는 정수공정에서 99.99% 제거하거나 불활성화를 요구하며, 급속, 직접, 완속여과공정에서 각각 99%, 90%, 99%의 제거율을 인정함
- 또한 지아디아포낭은 정수공정에서 99.9%의 제거 및 불활성화를 요구하며, 급속, 직접, 완속여과에서 각각 99.68%, 99%, 99%의 제거율을 인정하고 있음
- 소독공정에서 불활성화 시켜야 할 불활성화율은 바이러스가 지아디아보다 크나 CT값이 지아디아가 크기 때문에 지아디아의 불활성화율만 만족하면 바이러스는 충분히 불활성화가 되는데, 특히 CT값은 소독공정에 사용되는 잔류소독제의 농도(C)와 소독제와 물의 접촉시간(T)의 곱을 의미하며, 소독능은 잔류소독제의 농도, 접촉시간, 소독제의 종류, pH, 온도에 따라 달라짐

CT = 잔류소독제 농도(㎎/ l) × 소독제 접촉시간(분)

■ 수리학적 특성에 따라 소독제와의 실제 접촉시간은 이론적 체류시간보다 작은 경우가 많기 때문에 CT값을 적용할 경우, 정수의 90% 이상이 체류하는 시간 (T10)을 기준으로 적용하도록 권장하고 있음

■ 완전혼합흐름의 경우 90% 체류시간이란 10% 물이 빠져나가는 시간을 의미하며 T10값의 결정은 실제 추적자 시험에서 얻어지거나 정수지내 도류벽정도에 따라 이론적으로 산출

■ 일반적으로 도류벽이 설치되어 있지 않은 정수지의 경우, T10과 이론적 체류시간 T와의 비(T10/T)는 0.1 ~ 0.3 범위에 존재하고, 도류벽이 설치되어 있는 정수지의 경우 0.3 ~ 0.6의 값을 가진다. T10/T값은 정수지의 길이와 폭의 비, 조(지)내의 도류벽 설치 유무, 유입구 도류벽과 유출 방향의 웨어 배열의 효과 등이 영향을 미치기 때문에 정수지의 체류시간은 CT요구값을 만족시키는 이론적 체류시간을 기준으로 설계되어야 함

■ 한편 현재 “한국상하수도협회에서 추진하고 있는 기타여과 (활성탄, 막 등 다공성여재 이용 정수처리)방식 인증업무 운영지침 잠정안”에서는 정밀여과(MF)와 한외여과(UF)에 의한 막여과시 바이러스 및 지아디아포낭에 대한 인정제거율은 각각 0% (0log)와 96.68% (2.5log)로서 이를 수용할 경우, 소독공정에서 99.99% (4log)의 바이러스와 68.38% (0.5log)의 지아디아포낭에 대한 추가 불활성화 필요

▌표 2.176 바이러스 및 지아디아 낭의 제거 및 불활성화율(상하수도협회잠정안) ▐

정수공정에서 총 요구되는 제거 또는 불활성화		여과공정(MF 혹은 UF)에서 인정되는 제거율		소독공정에서 요구되는 불활성화율	
바이러스	지아디아	바이러스	지아디아	바이러스	지아디아
99.99%(4log)	99.9%(3log)	0%(0log)	96.68%(2.5log)	99.99%(4log)	68.38%(0.5log)

■ 2002년도부터 2009년말까지 고산정수장 원수의 수온과 pH를 분석한 결과, 동절기의 경우 최저 4.0 ℃이었으며, pH는 가장 높았을 때가 7.5였으며 2025 수도정비기본계획(광역 및 공업용수도(2009. 12, 국토해양부)상의 잔류염소기준 0.8 ㎎/L이하로 본 과업에서는 상하수도협회 기준으로 지아디아포낭의 제거율을 급속여과와 동일하게 고려할 경우 수온 0.5 ℃, pH 7.5, 유리잔류염소 0.8 ㎎/L조건에서 CT_{10}값은 61㎎·min/L, 체류시간은 61분으로 조사되었음

■ 통상 관말에서 잔류염소농도 0.2㎎/ l 를 유지하도록 되어 있지만, 정수장과 최초 수용가까지의 거리가 먼 경우에는 정수지 유출지점에서 잔류염소 1㎎/ l 가 유지되더라도 관로 중간에 재염소를 투입하는 경우도 있고, 정수장과 최초 수용가까지의 거리가 가까운 경우에는 정수지 유출 잔류염소농도가 높으면 염소취로 인한 민원문제가 발생하

기 때문에 정수지에서 유출되는 잔류염소농도를 낮춰서 운영하는 경우도 있음

- 공주시 정수장의 경우 정수장과 최초 수용가까지의 거리가 짧은 것을 감안하여 정수지 유출수의 최대 잔류염소농도를 0.4㎎/L로 설정할 경우에 CT_{10}값이 55㎎·min/L (즉, 정수공급시간 및 수돗물중의 염소냄새를 고려하여 정수지 잔류염소농도를 0.4㎎/L으로 설정할 경우의 수온 0.5℃, pH 8.5에서 CT_{10}값)로 감소함
- 현재 지아디아와 바이러스에 대한 국내 정수처리기준은 정수처리에 관한 규정(환경부고시 제 2008-60호)을 따른 것으로 지아디아와 바이러스에 대하여 각각 99.9 (3 log)와 99.99% (4 log)의 제거 또는 불활성화를 요구하고 있음

▌표 2.177 정수처리에 관한 규정 (환경부고시 제 2006-60호)▐

Membrane 종류	여과공정 제거율	
	Viruses	Giardia Cysts
정밀여과(MF)	68.38%(0.5-Log)	99.68%(2.5-Log)
한외여과(UF)	99.90%(3.0-Log)	99.68%(2.5-Log)

• 소독 공정을 제외한 Membrane Filtration에서의 제거율 : 2.5-Log

Membrane 종류	여과공정 제거율	
	Viruses	Giardia Cysts
정밀여과(MF)	99.97%(3.5-Log)	68.38%(0.5-Log)
한외여과(UF)	99.00%(1.0-Log)	68.38%(0.5-Log)

• 여과공정에서의 제거율에 따라 후속공정인 소독공정에서 요구되는 Viruses 및 Giardia Cysts 제거율

▌표 2.178 제거대상물질별 단위공정▐

원수수질성분			수질대응기술	단위공정
불용해성 성분	주요 제거대상성분			
	탁도	저탁도	탁도대응기술	응집침전 / 완속여과/ 직접여과 급속여과 / 막여과(MF/UF)
		고탁도/ 중탁도		응집침전 / 급속여과 / 막여과(MF/UF)
	조류	규조류, 남조류	조류대응기술	부상분리 / 막여과(MF/UF) 마이크로 스트레이너
	병원성 미생물	일반세균, 대장균, 크립토스포리디움등	미생물대응기술	응집침전 / 직접여과 / 급속여과 막여과(MF/UF) / 산화, 소독
용해성 성분	이취미	이취미원인물질	이취미대응기술	오존 / 활성탄/ 나노여과(NF)
	유기물	색도	색도대응기술	오존 / 활성탄 / 나노여과(NF) 응집침전 / 급속여과 / 직접여과
		일반유기화학물질 THM등 전구물질	유기물대응기술	
		휘발성물질		에어 스크러빙/ 활성탄
	소독 부산물	THM HAA	소독부산물대응기술	활성탄 / 나노여과(NF) 역삼투(RO) / 산화, 소독제 변경
	무기물	철, 망간	무기물대응기술	응집침전 / 망간접촉여과 / 생물처리
		암모니아성질소		생물처리 / 불연속점염소처리
		질산성질소 아질산성질소		역삼투(RO) / 이온교환 전기투석(ED) / 나노여과(NF)
		비소		흡착 / 응집침전/ 나노여과(NF)
		불소		흡착 / 나노여과(NF) / 역삼투(RO
		경도		역삼투(RO) / 이온교환 / 전기투석(ED) 정석 / 석탄연화 / 나노여과
		부식성물질		pH조정 / 후알칼리/ 에어 스크러빙

▌표 2.179 제거대상물질별 공정구성안 ▌

제거대상성분								정수처리시스템의 구성						
불용성		용해성						완속여과방식		급속여과방식			막여과방식	
탁도	조류	색도	철, 망간	이취미	암모니아성질소	THMFP	농약	정수장규모		정수장규모			정수장규모	
								중	소	대	중	소	중	소
저	무	□								직접여과			응집+막여과	
			□	□	□			완속여과						
		□	□	□	□			전처리+완속여과						
			○							망간접촉여과			망간접촉여과+막여과	
		○		□		□	□			직접여과+입상활성탄			분말탄+막여과	
		○		○		○	○						(직접여과)+나노여과	
		○	□	○	□	○	○						입상활성탄+막여과	
		◎	○	◎	□	○	◎			직접여과+오존+입상활성탄			오존+입상활성탄+막여과	
	유	□				□				부상분리+급속여과				
		□	○										응집+막여과+망간접촉여과	
		○		□		□	□						분말탄+막여과	
		○	□	○	○	○	○			생물처리+응집침전+급속여과 +입상활성탄			생물처리+막여과+입상활성탄	
중·고	무												막여과	
		□								응집침전+급속여과			응집침전+막여과	
		○		□		□	□			분말탄+응집침전+중간염소+급속여과			분말탄+막여과	
		○		□		□	□			응집침전+급속여과+입상활성탄			막여과+입상활성탄	
		◎	○	◎	□	○	◎			응집침전+오존+입상활성탄+급속여과				
	유	□	○										막여과+망간접촉여과	
		○		○		○	○						막여과+나노여과	
		○	□	○	□	○	○			응집침전+입상활성탄+급속여과			막여과+입상활성탄	
		◎	○	◎	□	○	◎			응집침전+오존+입상활성탄 +급속여과			막여과+오존+입상활성탄	

원수탁도: 고(100NTU 이상의 고탁도가 있는 경우), 중(100NTU 미만의 통상적인 탁도변화, 저(상시 10NTU 미만)
처리성기호: ◎(처리효과가 상당히 높음), ○(처리효과가 높음), □(처리효과에 제한이 있음), 공란(처리효과 없음)

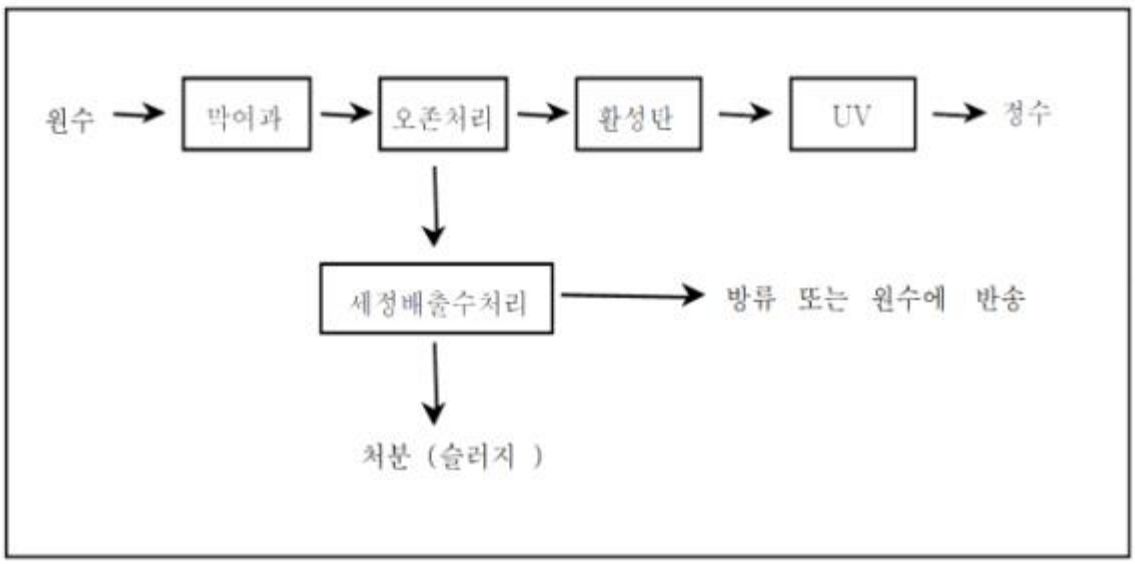
(나) 공정구성

▌본 과업에서 원수 수질특성을 고려하고 목표수질을 달성하기 위한 정수장의 정수처리시스템은 탁질 제거를 위한 막여과공정(정밀여과 또는 한외여과)과 발생 가능한 맛·냄새물질을 처리하기 위한 오존접촉공정, 활성탄흡착공정, 소독을 위한 UV공정으로 선정함

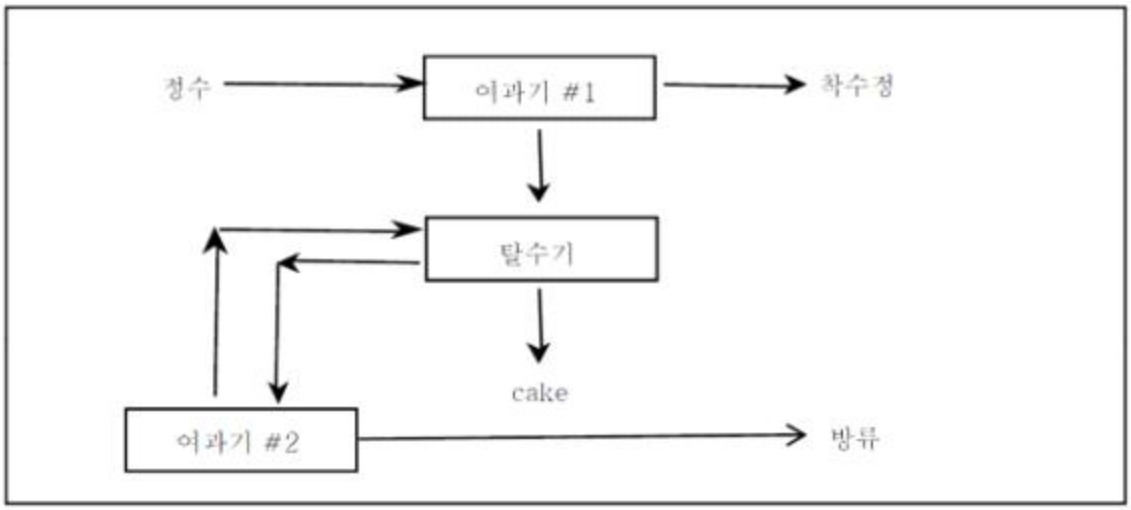
- 막여과시설을 기본으로 하고 후단에 오존활성탄공정, UV공정(고도정수처리)을 도입하고, 후단에는 적정 CT값 만족을 위한 정수지를 도입하는 것으로 함
- 정수장은 석성정수장의 침전수가 유입되는 것으로 되어 있으며, 여름철 강우시 고탁도가 예상되고, 낮은 DOC농도로 인하여 소독부산물은 수질기준이하로 나타날 것이며, 맛·냄새는 낮은 조류 개체수, 저수온 등으로 인하여 계절에 따라 일시적으로 저농도의 맛·냄새가 발생될 것으로 예상됨
- 이에 따라 처리목표수질은 원수의 수질특성(호소수)과 현재의 우리나라 수질기준, 한국수자원공사 자체기준, 외국의 강화된 기준을 고려하여 우리나라의 먹는물 수질기준 55개 항목을 기본으로 하고, 탁도는 “한국수자원공사의 정수장 운영기준”인 0.1 NTU이하(95%이하, 최고 0.3 NTU, 평균 0.05 NTU이하), THM 0.08㎎/L이하, 망간 0.05 ㎎/L이하, pH 7 ~ 8.5, 냄새 3 TON이하, Geosmin·2-MIB 15ng/L이하, 잔류염소 1 ㎎/L이하 등 미국, 일본, 한국수자원공사 등의 강화된 기준을 적용
- 본 과업에서 도입하는 고도정수처리공정은 전단에서 정밀여과 또는 한외여과에 의해 막의 분리공경 이상의 크기를 가진 탁질·콜로이드 및 세균 등의 미생물을 제거하고, 후단에서 오존-활성탄을 공정을 통이용하여 맛·냄새물질 및 용존유기물질을 흡착제거 함
- 약품으로는 염소, 산/알카리제 등이 시기에 따라 선택적으로 사용되며, 막여과공정은 10계열, 오존-활성탄공정은 수리학적 체류시간 15분을 확보할 수 있는 접촉조, 복수계열의 UV설비를 도입함

▌공정에서 밸생된 배출수는 막여과공정에서의 역세배출수와 유지세정 및 회복세정 폐액, 그리고 활성탄흡착공정의 역세배출수가 있으며 이를 회수 및 처분하기 위한 공정을 구성함

- 배출수처리시스템은 여과와 탈수를 기본공정으로 함
- 막여과공정의 배출수는 1차적으로 여과공정을 통해 착수정으로 회수함
- 1차 여과공정의 농축수는 탈수기로 이송하여 슬러지로 처분되며 여기서 회수된 처리수는 다시 2차 여과공정을 통해 방류함



▌그림 2.354 정수처리시스템 공정 구성도▐



▌그림 2.355 배출수 처리시스템 공정 구성도▐

(6) 정수처리공정 설계방향

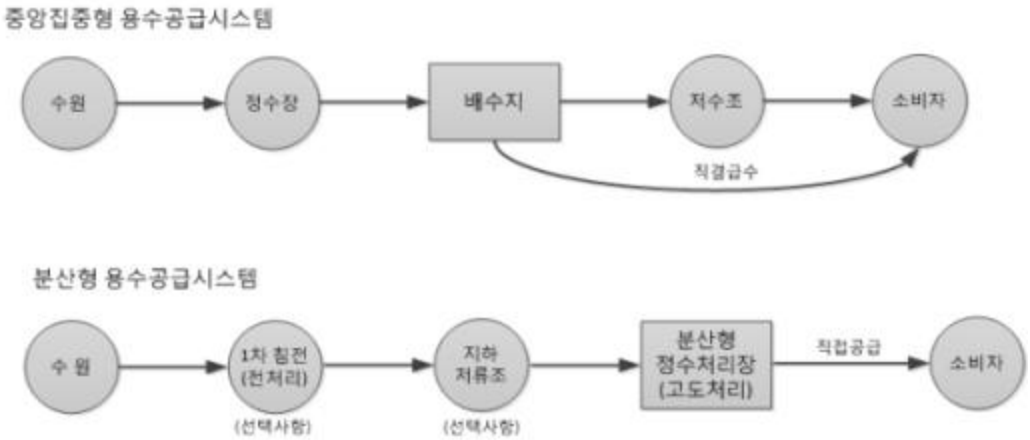
(가) 정수처리시설 기준

▌정수처리시설 기본계획은 시설전체로서의 합리성, 안전성 및 처리의 확실성을 가지는 동시에 유지관리를 배려하는 것이 필요하며 원수수질의 동향과 처리목표수질, 처리방식, 처리조건, 계획정수량 등의 조사검토와 공사비 및 유지관리비의 산출이 필요함

■ 분산형 정수장 시스템은 막여과공정(탁도제거)을 기본으로 하고, 맛·냄새물질 및 소독

부산물 전구물질 등 미량유기물질의 제거공정을 부가함

- 탁도제거공정은 수처리 효율성, 크립토스포리디움 등 원생동물로부터의 안전성 확보, 장래 강화되는 수질기준에 만족여부, 신기술도입 등 여러 가지 요인을 검토하여 막여과공정을 정수처리시스템에 도입하는 것으로 계획하였음
- 특히 막여과공정은 정수시설의 목표수질기준 달성 외에 막여과공정의 안정적인 운영을 고려하여 단위공정의 선정 등에 중점을 두고 정수시스템을 구성하여야 함
- 정수장의 규모는 공급수량기준 20,000㎥/일로 건설하며, 취수량 및 막여과공정의 규모는 회수율 등을 고려하여 결정하여야 하는데, 정수시스템의 설계에서 목표수질은 원수의 수질특성을 고려하여 국내, 국외 및 한국수자원공사의 강화된 기준을 수용하였음
- 분산형 정수장은 기존의 정수장처럼 한 개의 정수장이 해당 급수구역에 모든 용수를 공급하는 중압집중형 시스템과는 달리 한 개의 급수구역내에 두 개 이상의 수원 확보가 가능한 새로운 용수공급 시스템으로 기존의 정수장이 외곽지역에 위치하고, 배수지를 통해서 소비자에게 공급되는 형식과 달리 분산형 정수장은 도심 속에 빌딩형 정수장으로 설계하였으며, 정수장에서 소비자에 집적 급수 하는 방법으로 설계하였음



- 분산형 정수장의 특징에 맞도록 부지 면적을 최소화 하기 위해서 공정간의 불필요한 중간 저류조의 설치를 하지 않았으며, 각 공정에 필요한 양정은 막여과공정에 공급되는 양정 또는 배수지에서 공급되는 양정으로, 전체 공정이 운전되도록 직결식 시스템 설계안이 적용되었음
- 위와 같은 분산형 정수장의 특성을 고려하여 단위 공정의 설계 시 설치 면적을 최소화하기 위해서 모든 공정 구성을 압력식으로 구성하였으며, 제품의 품질 향상을 위하여 공정설비별로 Shop에서 제작, 운송 할 수 있도록 구성하였음

(나) 시설용량 기준

▌실규모 수직형 정수처리시설의 표준 시설 용량은 일일 생산량 10,000 m^3/일로 설계하였으며, 금번 설계한 분산형 정수장의 경우 일일 생산량 20,000 m^3/일이므로, 일일 생산량 10,000 m^3/일 기준 설계를 2 개의 Unit으로 구분 할 수 있음

① 막여과공정

- 막여과 정수시설에서 시설능력은 계획정수량을 적정하게 처리할 수 있는 능력, 개량, 갱신 또는 재해, 사고시에도 대처할 수 있는 예비력을 가져야 함
- 특히 예비력은 예비계열 또는 예비모듈의 설치나 막여과유속의 조정 등에 따라 확보하는 방법이 일반적이나, 본 과업에서는 2계열 정지시에도 막여과유속의 조정없이 계획정수량의 94%이상의 능력을 가지도록 10계열로 구성하며, 막여과유속의 조정으로 나머지 6%의 예비력을 확보할 수 있도록 하였음
- 또한 막여과공정의 회수율은 물리세정빈도에 크게 영향을 받고, 물리세정빈도는 원수수질 및 막투과유속에 영향을 받는 것으로 일반적으로 물리세정빈도가 많으면 회수율은 저하하므로 여기서는 용량의 결정에 있어서, 막여과설비의 회수율은 94%이상으로 하며, 작업용수(막모듈의 물리세정수, 청소용수, 약품의 용해수, 염소주입용 압력수, 기기의 냉각수, 수질측정용수, 시설내급수, 시설내청소용수, 분수 등)로 사용하는 물은 용도마다 요구수질을 고려하여 결정하나, 시설전체로 볼 때 손실이 되는 작업용수의 수량은 회수율, 원수로의 반송 등을 고려하여 계획일일 최대급수량의 10%정도를 기준으로 함
- 정수시스템 전체회수율은 배출수를 회수하는 경우 작업용수도 함께 회수하는 것으로 하여 99%의 회수율로 설정하며, 회수하지 않는 경우 작업용수의 방류를 감안하여 전체회수율은 90% 정도로 설정하였음
- 분산형 정수장의 특징으로 막여과 공정의 처리 후 잔여 양정으로 후단공정까지 처리하여야 하므로, 막여과 공정에서 1-2계열 정지시에도 후단에 안정적으로 유량 및 압력을 공급 할 수 있도록 10계열로 구성을 하고, 표준 용량인 10,000 m^3/일을 초과하는 용량에 대해서 계열수는 10계열로 유지를 하고, 각 계열에 막모듈의 수량만 증가하여 일일 생상용량을 20,000 m^3/일로 설계하였음

② 오존접촉공정

- 오존접촉공정 설비는 접속 시간 15분을 고려하여 용량을 선정하였으며, 표준 설계 용

량인 10,000 m^3/일 기준으로 접촉조 2 Set (Set 당 2개의 접촉탱크로 구성)이며,이번 설계에는 용량이 20,000 m^3/일 이므로 오존 접촉조는 4 Set 로 구성되어 있음

- 각각의 접촉 탱크는 외부에서 제작하여 현장에 설치만 할 수 있도록, 운송이 가능한 사이즈로 선정하여 현장에서 설치만 할 수 있도록 구성 하였음

③ 활성탄흡착공정

- 입상 활성탄 설비는 활성탄 접촉시간 15분을 고려하여 용량을 선정하였으며, 표준 설계 용량인 10,000 m^3/일 기준으로 접촉조 4 Set 이며, 이번 설계에는 용량이 20,000 m^3/일 이므로 입상 활성탄 각각의 접촉 탱크는 외부에서 제작하여 현장에 설치만 할 수 있도록, 운송이 가능한 사이즈로 선정하여 현장에서 설치만 할 수 있도록 구성 하였음

④ 자외선소독공정

- 자외선 소독 설비는 관로형 자외선 설비로 구성하였으며, 표준 설계 용량인 일일 생산량 10,000 m^3/일 기준으로 1 Set로 설계 되었으나, 상하수도 기본법에 따라서 복수계열로 시설을 설계 하였다. 본 설계에서는 20,000 m^3/일 기준으로 3 Set (상용 운전 2기, 1기 예비)로 구성하였음

(다) 단위공정별 시설계획

막여과공정	
분리막	UF membrane
운전모드	Constant flux & Stand-by mode
설계 투과유속	63.0 L/m^2/hr
회수율	94.5%
용량	112.8 m^3/hr/unit
계열	10 units -Const. oper. 8 units - Stand-by 2 units
구성	220 modules (22 modules/unit)

오존접촉공정	
오존주입농도	2.0 mg/L
오존발생방식	액체산소법
오존접촉방식	Side stream
Contact time	15 min
설치형식	수평형적층식
규격 (vessel)	(D) 3,200 X (H) 4400
용량	52.8 m3
계열	4 units - 2 vessel (2단적층) * 4 untis - Total8 vessels
배오존파괴기	열촉매식(28 Nm^3/hr)

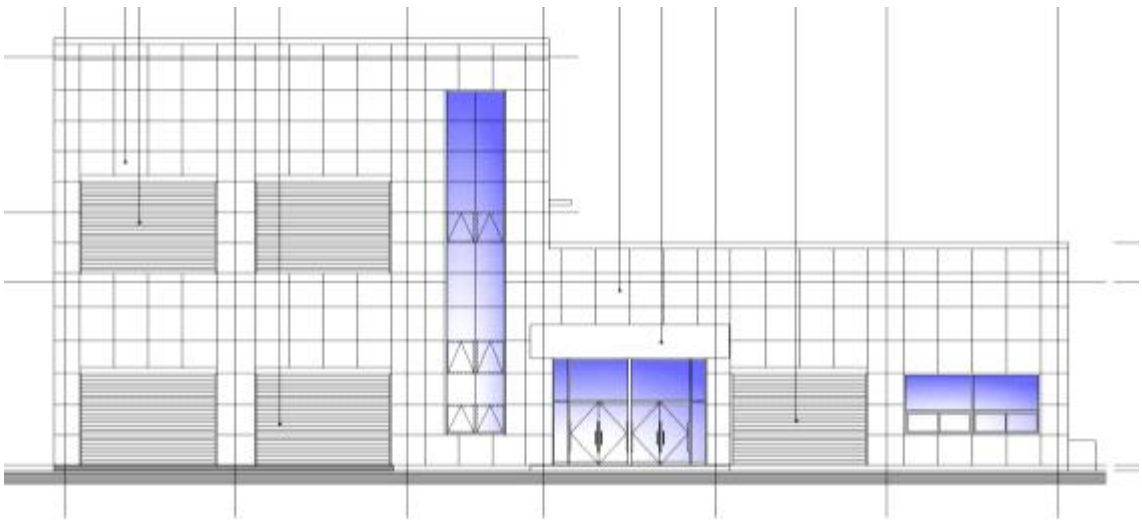
활성탄흡착공정	
EBCT	15 min
운전모드	압력식하향류
규격 (Vessel)	(D) 3,600 X (H) 4200
용량	105 m^3/hr/Vessel
계열	2 unit - 4 vessels / unit - Total 8 vessels
활성탄규격	12*40 mesh (1.68~0.42mm)

자외선소독공정	
설치형식	관로형
용량	420 m3/hr
자외선조사량	25,000 ㎼-sec/cm2
계열	3 unit

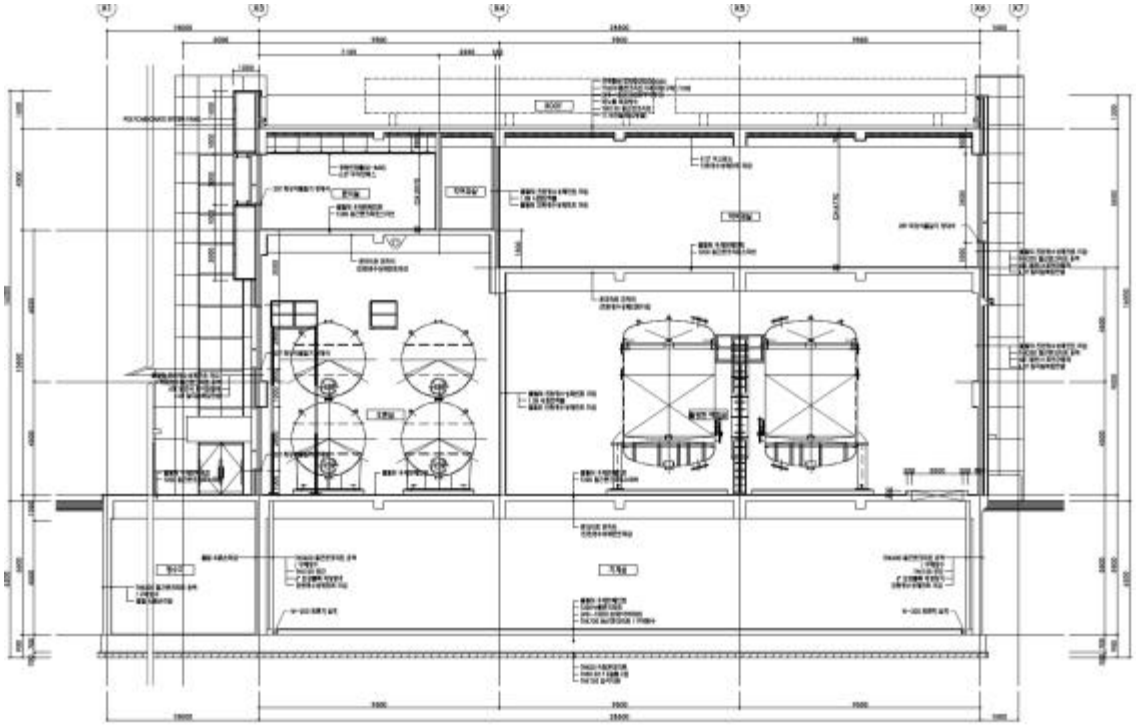
배출수처리공정	
단위공정구성	1stMetal filter (농축) 2nd Metal filter (농축) Decanter (탈수)
용량	1stMetal filter : 80~90 m3/hr 2nd Metal filter : 22.5 m3/hr Decanter : 20 m3/hr
규격	1stMetal filter : (D) 1,165 X (H) 1,638 2nd Metal filter : (D) 699 X (H) 800 Decanter : 20 m3/hr : (L)4,700 X (W 4,200 X (H)1,900

지하저류조	
착수정	250 m^3 (체류시간 30 min)
정수지	20,000 m^3 (체류시간 24 hr)
배출수지	200 m^3 (체류시간 30 min)
약품폐액지	100 m^3
1st폐수저류조	500 m^3 (체류시간 24 hr)
2nd폐수저류조	80 m^3 (체류시간 24 hr)
슬러자저류조	80 m^3 (체류시간 24 hr)

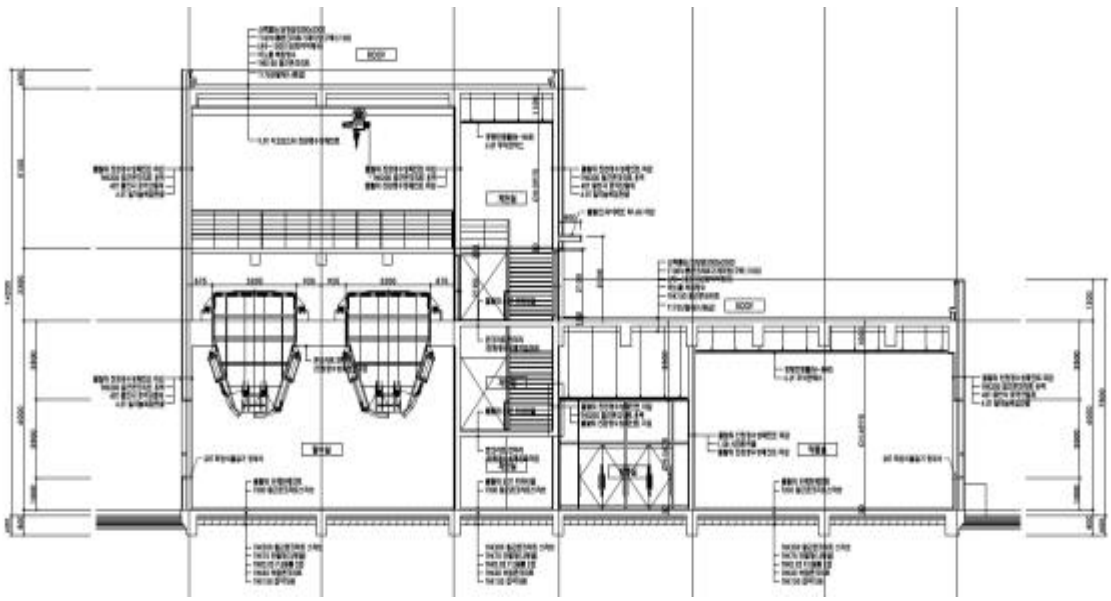
▌그림 2.356 정면도 (건축) - 정수처리동▐



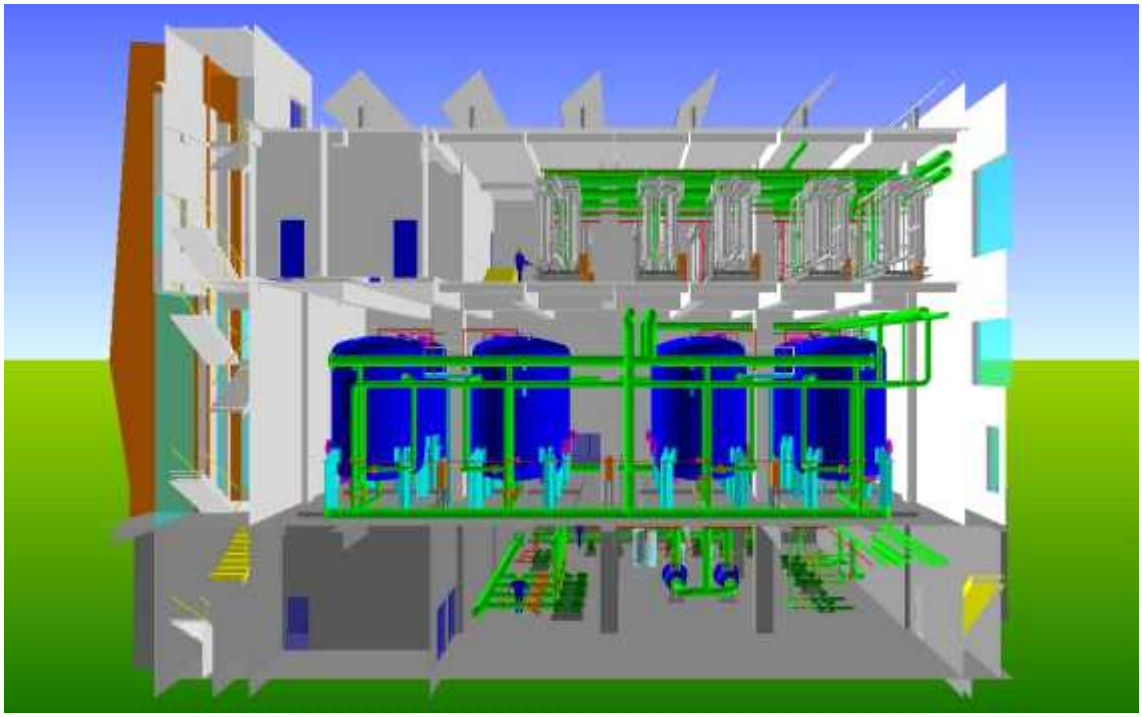
▌그림 2.357 정면도 (건축)- 배출수처리동▐

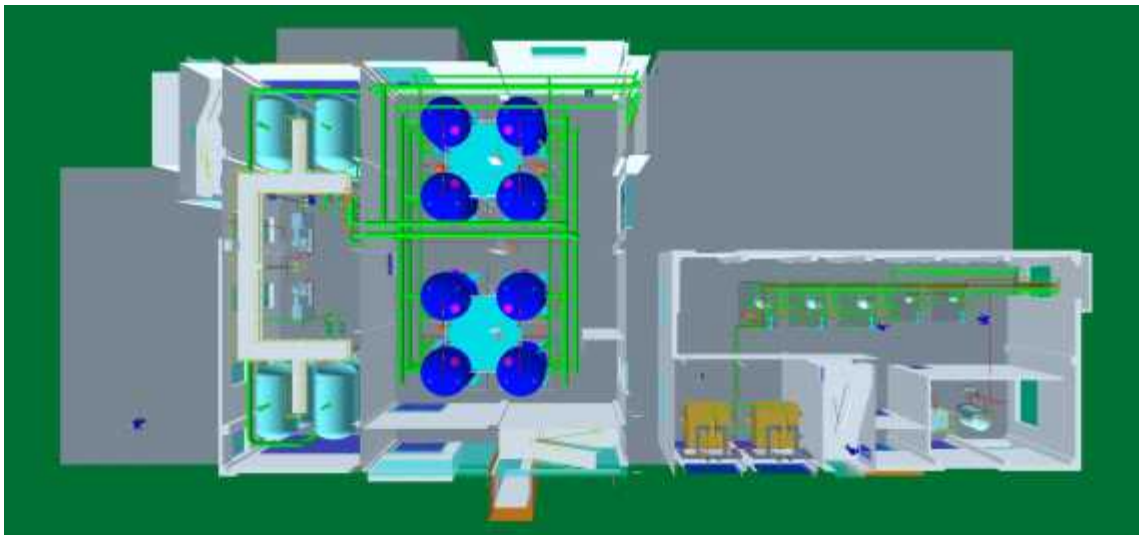


▌그림 2.358 횡단면도 (기계) - 정수처리동 ▐

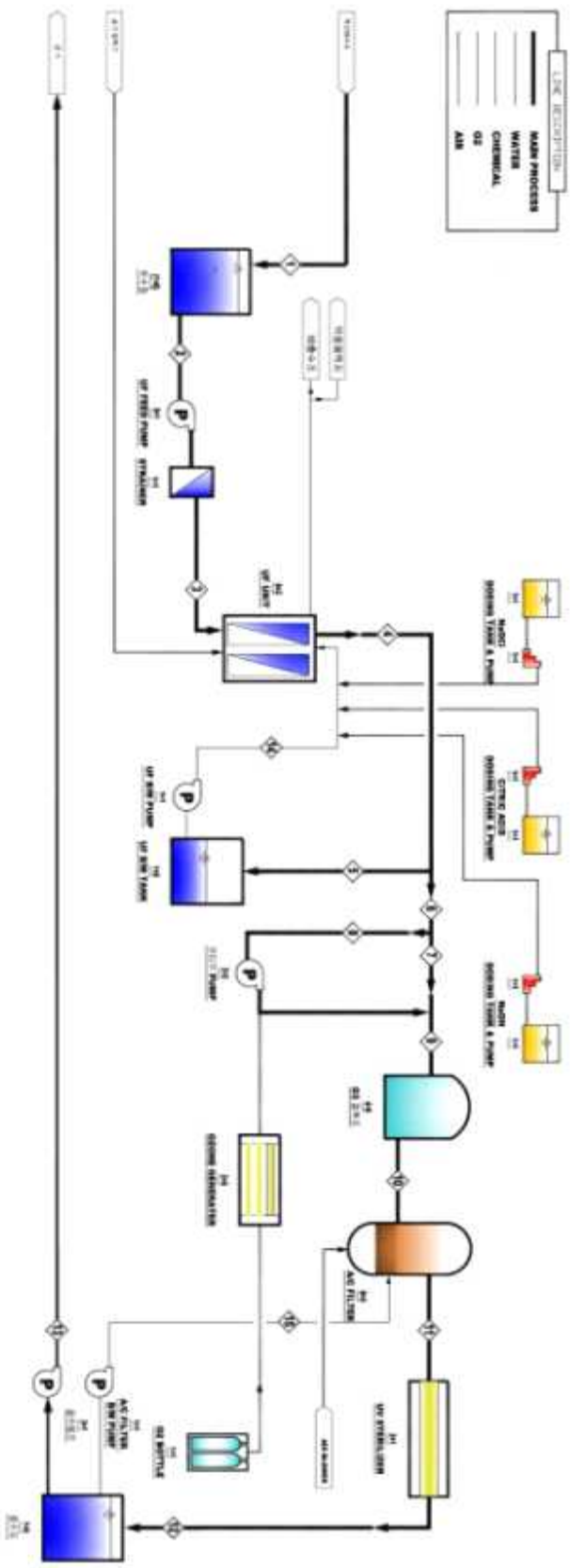


▌그림 2.359 횡단면도 (기계) - 배출수처리동 ▐





▌그림 2.360 3D 도면▐



Stream No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Fluid Name	Item	원수정 Inlet	UF Feed Pump Suc.	UF Unit Inlet	UF Unit Permeate Outlet	UF Unit B/W Tank Inlet	UF Unit Permeate Water	UF Unit Permeate Water	모르브 Pump Suc.	O3접촉조 Inlet	A/C Filter Inlet	UV Sterilizer Inlet	UV Sterilizer Outlet to 정수지	송수 Pump Dis.	UF Unit B/W Water	A/C Filter B/W Water
Flow Rate	m^3/day(L/day)	21,155	21,155	21,155	21,155	-	20,000	19984	1008	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	-	-
Flow Rate(Continue)	m^3/hr(L/hr)	881	881	881	881	-	833	791	42	833	833	833	833	833	-	-
Flow Rate(Intermittent)	m^3/hr(L/hr)	-	-	-	-	221	-	-	-	-	-	-	-	-	221	176
Pressure	App. Bar	3.5	0.5	4.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	0.5	2.0	2.0

▌그림 2.361 Process Flow Diagram▐

▌그림 2.362 조감도▐

(7) 개략공사비 비교 분석

▌수직형 정수처리시설의 도입의 타당성을 평가하기 위하여 기존 정수처리시설 대비 수직형 정수처리시설의 공사비를 비교 분석하였음

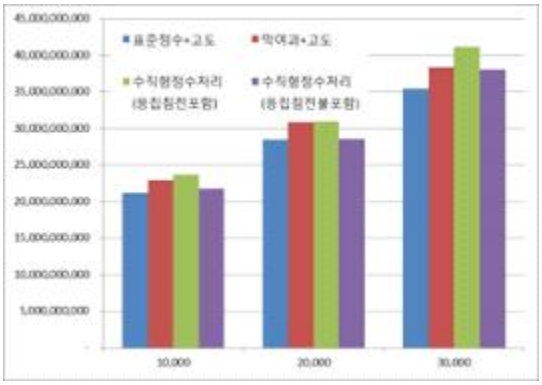
- 기존 정수처리공정은 표준정수처리공정 (혼화/응집-침전-모래여과)에 오존접촉공정과 활성탄흡착공정이 조합된 표준고도정수처리공정과 막여과공정 (혼화-막여과) 후단에 오존접촉공정과 활성탄흡착공정이 조합된 막여과고도정수처리공정을 대상으로 하였음
- 기존 정수처리공정의 고도처리공정인 오존접촉공정과 활성탄흡착공정은 콘크리트 접촉조에 중력식의 설비임
- 수직형 정수처리시설은 [막여과-오존-활성탄-UV]로 구성되며 압력식 용기 형태로 단위공정이 계층형태인 빌딩형 정수처리시설이 특징임
- 공사비 산출은 엔지니어링사의 정수처리시설 용량별 개략공사비 산출 내역서를 기준으로 하여 공종별 공사비 산출하여 비교하였음
- 막여과정수처리공정은 표준정수처리공정 공사비 내역에서 침전-여과 부분을 배제하고 막여과 부분을 추가 삽입하였음
- 고도처리공정 (오존/활성탄)은 엔지니어링사 용량별 공사비 산출자료 및 논문자료에서 용량별 공사비 산출 근거를 적용하였음
- 수직형 정수처리시설 공사비는 응집/침전수를 사용하는 경우를 고려하여 공사비 산출시 (응집/침전) 공사비를 포함하는 경우와 불포함 하는 경우를 모두 산정하여 비교하였음
- 표준정수처리공정과 막여과정수처리공정의 배출수처리공정은 농축조와 탈수기 (밸트프레스)이고, 수직형 정수치리시설에서는 금속필터와 Decanter (농축/탈수기)를 적용하여 공사비를 산출하였음

▌표 2.180 용량별 개략공사비 비교▐ 단위: 원

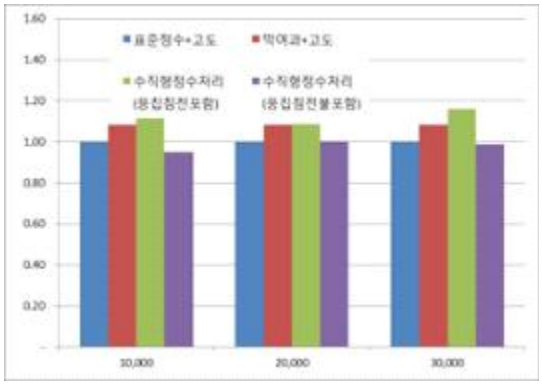
개략공사비 (금액,원)	표준정수+고도	막여과+고도	수직형정수처리 (응집침전포함)	수직형정수처리 (응집침전불포함)
10,000	21,174,928,217	22,939,929,241	23,652,373,996	21,772,383,081
20,000	**28,474,139,531**	**30,866,932,524**	**30,981,952,874**	**28,561,838,612**
30,000	35,423,647,227	38,399,840,958	41,168,757,675	38,024,596,654

▌표 2.181 용량별 개략공사비 비율 비교▐

개략공사비 (비율)	표준정수+고도	막여과+고도	수직형정수처리 (응집침전포함)	수직형정수처리 (응집침전불포함)
10,000	1.00	1.083	1.117	0.9491
20,000	**1.00**	**1.084**	**1.088**	**1.003**
30,000	1.00	1.084	1.162	0.990

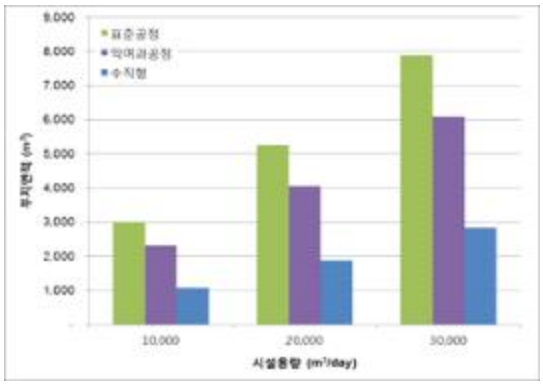


▌그림 2.363 용량별 개략공사비 비교▐



▌그림 2.364 용량별 개략공사비 비율 비교▐

부지면적 (m^2)	표준정수	막여과	수직형
10,000	3,005	2,319	1,079
20,000	**5,259**	**4,059**	**1,888**
30,000	7,888	6,088	2,832



▌그림 2.365 부지면적 비교▐

■ 수직형 정수처리시설의 개략공사비는 표준고도정수처리공정 대비 100~108%, 막여과고도정수처리공정 대비 92.5~100% 수준으로 기존 정수처리시설에 비해 유사한 수준으로 분석되었음

■ 수직형 정수처리시설의 부지면적은 표준고도정수처리공정 대비 36%, 막여과고도정수처리공정 대비 47%로 계층형 공정배치에 따른 부지면적 절감 효과가 크게 나타남

차. 분산형 정수처리시설 BAT matrix tool 개발

(1) 해외 각국의 원수 수질 특성

(가) 동남아시아

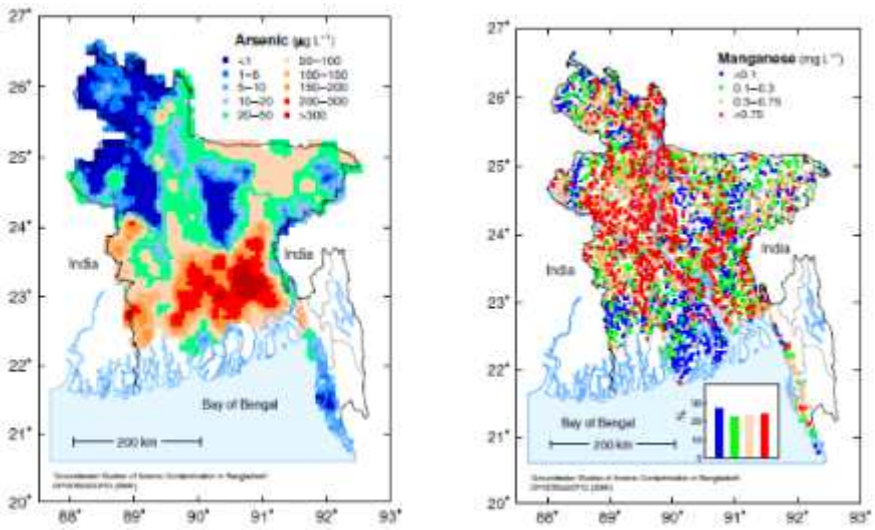
▌수돗물에서 병원성 미생물에 의한 오염과 최근의 과도한 개발에 따른 상수원 오염이 심각한 상황. 대부분의 개도국의 주요 상수원은 지하수이며 지역특성에 따른 지하수의 중금속(비소, 망간 등) 오염이 심각

① 방글라데시

- 농촌인구의 97%가 음용하는 지하수에서 천연 비소의 농도가 비정상적으로 높음
- 약 7천만의 주민이 WHO의 기준(10 ㎍/L)을 초과하는 지하수를 음용
- 약 3천만의 주민이 방글라데시의 비소 기준(50 ㎍/L)을 초과하는 지하수를 음용

② 캄보디아

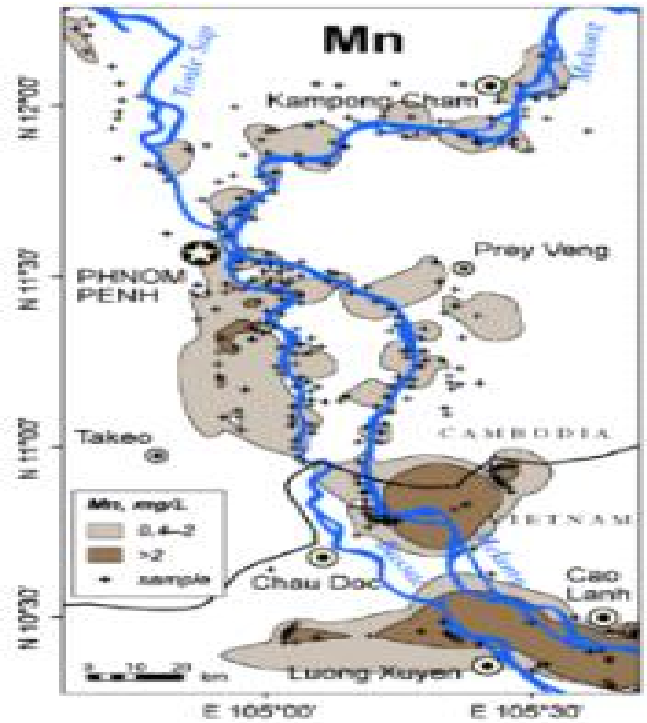
- 수인성 전염병에 취약 ; 상수에서 수인성 병원균 소독 기술 필요
- 일부 지표수에서 질삼염이 고농도로 검출
- 일부 지하수에서 철과 비소가 주요 문제가 됨



▌그림 2.366 Variation in arsenic and manganese concentrations in the Bangladesh ▌

③ 베트남

- 북부지역 지하수에서 고농도 비소 발견됨
- 캄보디아와 인접한 Mekong Delta 지역의 지하수에서 망간과 비소 문제가 심각함



▌그림 2.367 Maps of the Mekong Delta in-depth study area showing contour plots of Mn ▌

(나) 중동 사하라 이북 아프리카 지역

▌ 하수처리시설이 미비하고 개발에 따른 오염원의 유입에 취약함. 지역의 고온 기후 특성에 따른 수인성 전염병 문제 심각.

① 이집트

- 나일강이 중요한 상수원이지만 하수처리율이 낮아(35%) 오염이 심각함
- 염도(Salinity)가 높음 (130 ~ 250 mg/L)
- 비료의 남용으로 질산염 농도가 높음
- 처리장에서 수인성 병원균의 처리가 부적절한 경우가 많음

▌표 2.182 Concentration of heavy metals in ppm from Ismailia canal ▐

Element	Zn	Pb	Cu	Ni	Co	Mn	Cr	Cd
Conc. (ppm)	1.90	2.00	0.20	1.00	1.90	0.90	1.89	1.19
Standard (ppm)	2.00	0.10	0.05	0.03	1.00	0.05	0.05	0.01

② 리비아

- 지하수에서 구리에 의한 오염이 심각함 : Susa (0.262ppm)와 Rasal-Hilal (0.089ppm) 지역이 법적 한계치인 0.05ppm 초과함

(다) 사하라 이남 아프리카 지역

▌ 수인성 병원균의 살균이 체계적으로 이루어지지 않고 수돗물에 타닌 성분이 많음. 철, 망간, 비소의 농도가 높음.

- 주요 수원은 지하수이나 농업 비료와 폐기물 등으로 인한 오염에 취약
- 나이지리아 남부지역의 수돗물과 지하수의 수질조사 결과 일부 중금속이 계절 변화에 영향을 받음

▌표 2.183 Summary of selected trace-element data for groundwaters from Nigeria ▐

Element	Min	Max	Mean	Guidline Value (WHO)
Al	22	270	94	200
As	0.40	6.9	1.9	10
Ba	9.48	1150	420	700
Cd	0.06	1.1	0.27	3
Cr	0.18	9.1	1.1	50
Cu	0.23	54	9.3	2000
Pb	0.61	14	2.8	10
Mn	1.4	290	55	500
Mo	0.90	30	4.1	70
Ni	0.80	37	5.2	20
Se	2.3	22	7.1	10
Zn	8.6	1700	100	3000

(라) 유럽지역

▌ 비소, 방사성 물질, 불소, 크롬, 납 등이 문제가 되고 있으며, 농경 지역은 질산염 문제

가 심각.

■ 일부 지하수에서 높은 농도의 Hg, Cu, As, Pb 등이 검출되어 있음

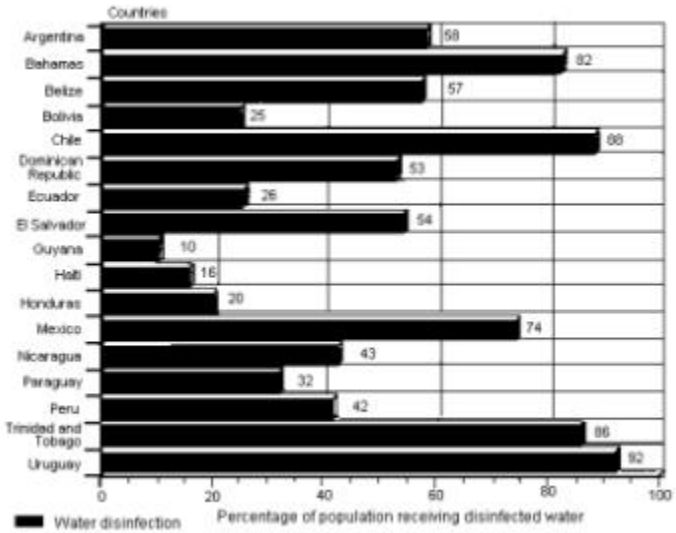
▌표 2.184 Stockholm 지하수의 중금속 농도(ng/L, Hg는 예외적으로 μg/L)▐

Vari -able	min	p10	p25	Median		p75	p90	max	n	mean		CV
As	0.3	0.3	s	0.54	-0.12	1.09	2.48	11.7	59	1.03	-0.23	163
Cd	0.02	0.02	0.02	0.052	-0.027	0.107	0.178	1.06	70	0.086	-0.038	156
Co	0.09	0.47	0.8	1.27	-0.21	2.26	3.66	59	70	2.49	-1.29	273
Cr	0.2	0.21	0.51	0.79	-0.22	1.13	1.73	7.83	67	1.06	-0.5	115
Cu	0.2	1.8	3.81	8.63	-0.84	15.1	24.3	92.9	70	12.6	-3.79	122
Hg	0.26	3.65	10.6	15.6	2.0	57.4	146	4566	69	121	16.5	435
Ni	1.05	1.95	3.71	7.03	-2.19	11.6	17.6	89.6	70	9.59	-6.61	122
Pb	0.1	0.18	0.26	0.56	-0.18	1.12	1.74	5.52	70	0.85	-0.36	109
Zn	1.07	5.44	13.5	30.7	-17	57.7	167	369	70	56.1	-33.4	125
pH	6.4	7.02	7.4	7.5	-6.4	7.7	7.9	8.8	53	7.47	(-)	6
TOC	3.5	4.83	7.35	9.75	-3.4	14.1	23.4	69.2	52	12.8	(-)	87

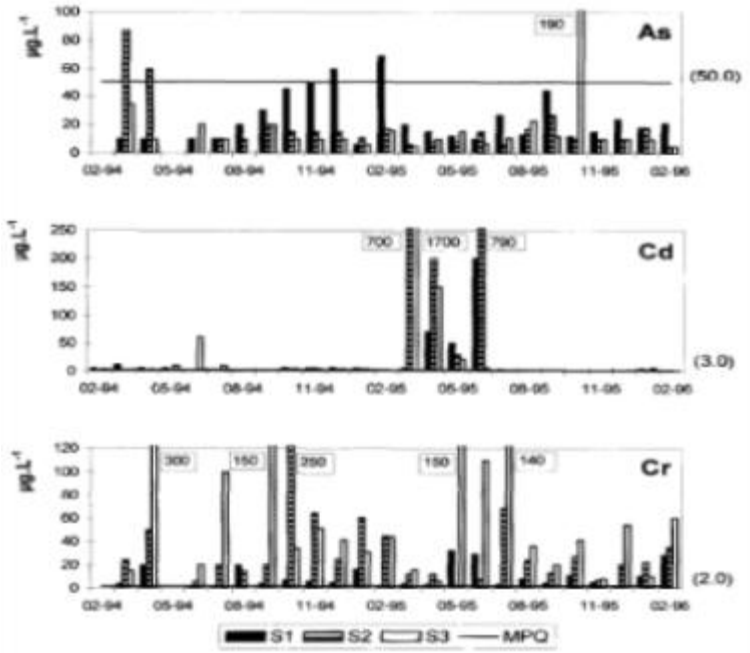
(마) 남아메리카

▌ 상수도 보급률이 매우 낮으며, 대부분 지하수에 의존함. 소독이 안 된채로 사용되고 있으며, 자연적으로 상수원에 비소의 농도가 높게 존재함.

■ Reconquista 강의 As, Pb, Cd, Cr 등의 중금속 농도는 MPQ(maximum permissible quantities) 보다 높은 농도임



▌그림 2.368 중남미 상수도 소독 비율▐



▌그림 2.369 Reconquista 강에서 As, Cd, Cr 의 농도▐

(바) CIS(Commonwealth of Independent States) 지역

▌ 주요 오염원이 러시아 등의 타국에서 유입됨. 중금속 오염원이 강 하류의 실트 등과 함께 퇴적되어 있음.

① Southwestern Turkey

- 주변 화력발전소의 폐기물로 인해 수원이 오염되어 있음
- 물과 퇴적물에서 Cd, Cr, Cu, Pb, Zn 등의 중금속이 높은 농드로 측정됨

② 아제르바이잔

- 오염원의 70%가 러시아, 아르메니아 등의 타국에서 유입됨
- 여러 항목 중 페놀의 농도가 높으며 산업 폐기물의 유입이 원인

▌표 2.185 Kura 강의 수질 지표▐

수질항목	Kura	기준	수질현황 비교
DO	8.7	6	
BOD	2.8	3	
Phenol	0.005	0.001	
Cu	0.0045	1	
Oil product	0.052	0.05	
NH_4^+	0.18	0.5	

(2) 해외 수질 조사에 따른 시사점

▌전략적 해외진출대상 지역의 수질에 대한 사전 검토 필요

- 국내와는 상이한 지역적 수질 특성을 미리 인지하여야 함. 비소, 질산염, 중금속, 유기물 등에 의한 오염 상태가 심각하며 Target 물질에 대한 처리기술 필요

▌Target 오염물질을 처리하기 위한 공정 필요

- 비소, 질산염, 중금속, 탁도, 유기물질 등의 오염 물질을 Target으로한 연구가 필요함. 진출국 환경에 적합한 최적 공정(BAT) 도출이 필요

▌그림 2.370 상수 및 원수가 비소에 영향을 받는 국가의 지도▐

(3) 특정오염 물질 현황

(가) 비소오염

① 국가별 비소오염 현황

▌음용수 내 비소의 최대허용농도는 국가마다 상이한 기준을 적용하고 있으며, 비소 제어 기술 또는 오염정도에 따라 규제기준이 다름.

▌표 2.186 Countries affected by arsenic pollutionfor drinking water▐

Country	Maximum permissible limits (㎍g/L)	Citation
Argentina	50	Smedley et. al., 2002
Bangladesh	50	Anawar et. al., 2003
China	50	Xia and Liu, 2004
Chile	50	
India	10	
Mexico	50	Meza et al., 2004
Nepal	50	
New Zealand	10	
Taiwan	10	
USA	10	
Vietnam	10	

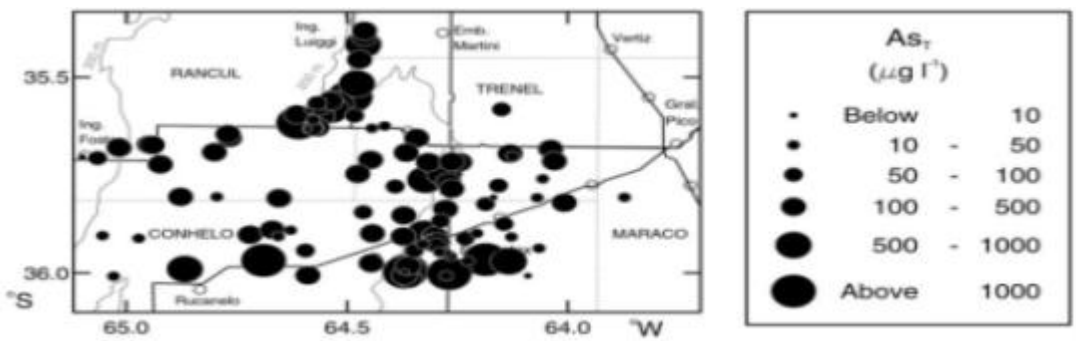
▌ **상수원수 중의 비소는 국가적 차원의 문제로 대두되고 있으며, 최근 USA, China, Chile, Bangladesh 및 India 등 세계 각국에서 비소오염에 대한 연구결과가 지속적으로 보고되고 있음. 특히 Bangladesh와 India (West Bengal)에서 지하수 내 비소오염에 대한 문제가 가장 심각한 것으로 보고됨.**

▌표 2.187 국가별 지하수 내 비소농도 분포▐

Location	Sampling period	Arsenic source	Concentration (μg/L)[a]
Hungary	N.S	Deep ground water	68(1-174)
South-west Finland	1993-1994	Well waters	17-980(range)
New Jersey, USA	1997-1979	Well waters	1(median)
			1160(maximum)
Western USA	N.S	Geochemical environments	48,000 (maximum)
South-west USA	1970-	Alluvial aquifers	16-62(range)
Southern Iowa and western Missouri, USA	N.S	Natural origin	34-490(range)
Northeastern Ohio, USA	N.S	Natural origin	<1-100(range)
Lahunera region, northern Mexico	N.S	Well waters	8-624(range)
Cordoba, Argentina			>100
Chile			470-700(range)
Pampa, Cordoba, Argentina	N.S	2-15m, 61° 45' -63° W; 32° 20' -35° 00' S	100-3810(range)
Kuitun-Usum, Xinjiang, PR China	1983	Well waters	0.05-850(range)
Shanxi, PR China	1988	Well waters	0.03-1.41(range)
Hsinchu, Taiwan	N.S	Well waters	<0.7
West Bengal, India	1989-1996	Arsenic rich sediment	0.003-3700(range)
Calcutta, India	1990-1997	Near pesticide production plant	<50-23,080(range)
Bangladesh	1996-1997	Well waters	<10->1000(range)
Nakhon Si Thammarat Province, Thailand	1994	Shallow ground water; mining activity	503.5(1.25-5114)
Fukuoka, Japan	1994	Deep ground water; mining activity	95.2(1.22-1032)
	1994	Natural origin	0.001-0.293(range)
Hanoi, Vietnam	1999-2000	Arsenic rich sediment	159(1-3050)

② 국외의 비소 문제

- Argentina 중심의 서부지역에서 As의 최대허용농도를 만족하는 지역은 4곳이며, 평균 1182.5 μg/L로서 오염이 심각한 상황임



▌그림 2.371 Map of northern La Pampa showing distribution of As concentrations▐

■ 방글라데시 주요 취수원의 비소 농도는 WHO의 최대허용농도(10㎍/L)와 비교하여, 약 290-520배 높으며, 평균 농도 0.52±0.24mg/L로서 오염이 심각함

▌표 2.188 Arsenic concentrations in various groundwater samples (mg/L) ▐

No. of sample	S1-S5	S6-S10	S11-S15	S16-S20	S21-S24	SS1-SS5	SS6-SS11
Ave.	0.52	0.45	0.41	0.47	0.44	0.38	0.29
Stdev.	0.24	0.17	0.17	0.26	0.24	0.19	0.12
n	5	5	5	5	4	5	6

■ 방글라데시 주요 취수원의 비소 농도는 WHO의 최대허용농도(10㎍/L)와 비교하여, 약 290-520배 높으며, 평균 농도 0.52±0.24mg/L로서 오염이 심각함

(나) 망간오염

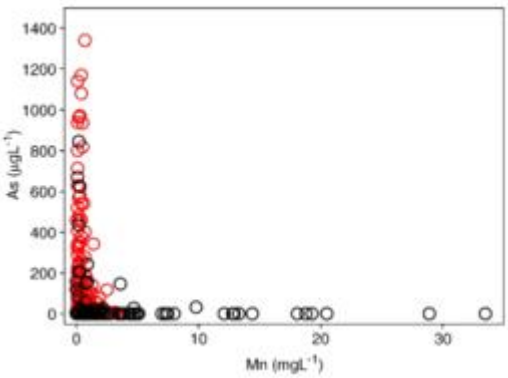
① 망간오염 특성

▌ 지리적 특성 및 지하수나 지표수의 오염으로 망간이 검출되는 물은 맛과 수질의 변색, 흑수 등의 문제가 발생함. 또한 0.1mg/L 이상 존재할 경우 불쾌한 금속 취를 일으키고, 0.02mg/L 이상의 농도에서도 박테리아에 의한 이취미가 발생함.

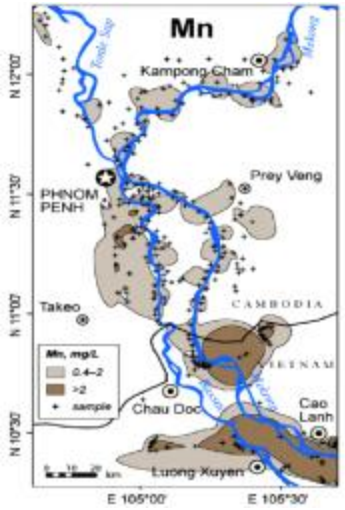
② 국외의 망간 문제

■ 망간은 Mekong Delta 지역에서 비소 다음으로 가장 심각한 지하수 오염물질임

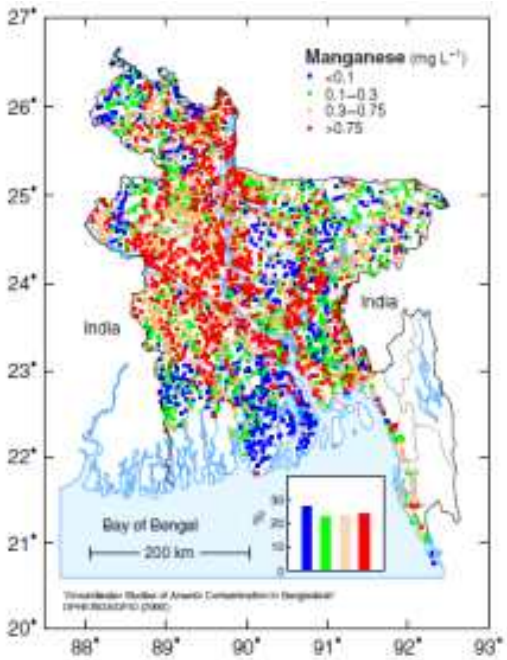
■ 베트남 남부지역과 강의 서쪽지역이 매우 심하게 오염되어 있으며, 일부 지하수만이 오염되지 않은 상태



▌그림 2.372 Arsenic versus manganese concentration in Vietnam (back o) and Cambodia ▌



▌그림 2.373 Maps of the Mekong Delta in-depth study area showing contour plots of Mn ▌



▌그림 2.374 Distribution of manganese in ground waters ▌

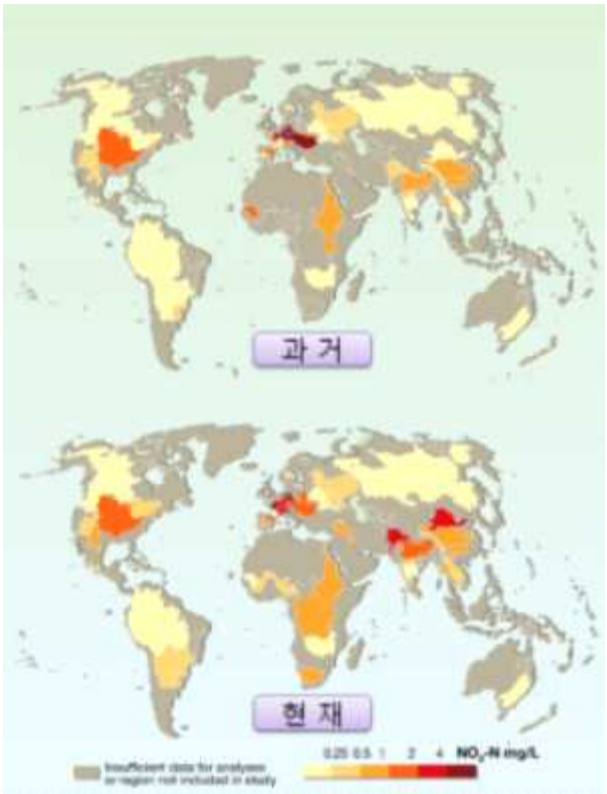
- 지하수의 4분의 3 정도가 망간의 허용한계농도(0.1mg/L)를 초과함
- 비소와 망간의 검출 특성은 비슷한 경향을 보이며, 망간에 대해서는 추가적인 측정 필요함

(다) 질산염, 용존유기탄소 (DOC)

① 질산염, 용존유기탄소 (DOC)

▌사업화 대상지역의 상수원수 오염은 선진국의 경우 과도한 개발과 산업지역의 오염물질 유출로 인해 상수원이 되는 지하수와 지표수의 질산염 및 DOC 오염이 심각한 수준임

- 개발도상국의 경우 무분별한 농약 및 화학약품의 사용 및 농축산폐수 및 생활하수의 무단방류 등으로 주요 상수원인 지하수의 질산염과 DOC 오염이 심각한 수준이고, 체계적인 정수시설이 갖춰지지 않음



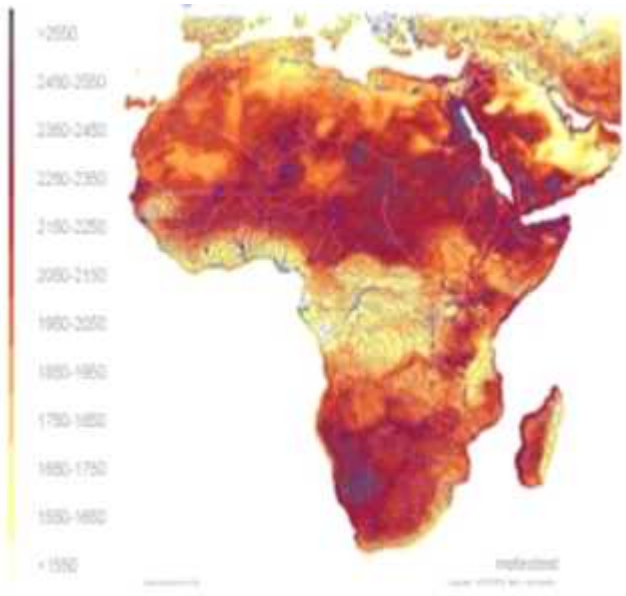
▌그림 2.375 질산염 오염 지역의 증가▌

- 전세계적으로 선진국과 개발도상국의 구분 없이 먹는물 질산염 오염이 심화되는 것을 확인할 수 있음. 따라서 사업화 대상지역의 질산염 오염에 대비해야함

② 중금속

- 사업화 대상국가의 개발상태에 따른 오염원의 유입과 특성 지역의 지질 암석 구성

에 따라 상수원수의 중금속 농도가 높게 나타나고, 특히 주요 상수원인 지하수에서 자연적인 방사선 물질과 중금속이 발견되는 지역이 상당함



▌그림 2.376 아프리카 지역 방사선 농도▐

■ 물에 대한 분석 기술이 개발되면서 중금속, 방사선 및 미량 유기물질에 대하여 분석하고 문제가 제기되고 있음. 따라서 이에 대한 처리방안을 마련해야 함

■ 북미지역 중 농업지역 및 공업단지 지역에서 조사된 지하수의 일부에서 기준치를 초과하는 질산염 농도가 검출됨

▌표 2.189 미국의 질산염 오염 현황▐

지역		토지 이용	질산염 농도(평균) (단위:mg/L)	수질기준 초과 샘플 (단위:%)
캘리포니아	Tulare Lake Basin	농업지역	0.9-49 (23)	41
	Salinas Valley	공업단지	1.3-43 (21)	29
에리조나	Salt River Valley	농업지역	0.1-24 (14)	13
	Lake Havasu city	농업지역	0.1-16 (12)	7
	Bullhead city	도시지역	0.1-26 (9)	8
플로리다	Suwannee County (low flow)	농업지역	0.2-23 (7)	24
	Suwannee County (high flow)	농업지역	0.2-31 (14)	60
켄터키	Kentucky river basins	농업지역	0.1-23 (6)	12

■ 캘리포니아의 지하수 중 약 1/3 이상이 질산염 수질 기준을 초과하고 에리조나는 전

체 지역의 9% 이상이 5mg/L 이상으로 측정됨. 켄터키는 조사 지역의 지하수 약 260곳에서 WHO 기준치(10mg/L)를 초과하는 질산염 농도가 검출됨

▌표 2.190 캐나다 남부 Dissolved organic carbon 오염 현황▐

지역		측정날짜	Site	DOC 평균농도 (단위:mg/L)
캐나다	Salem Creek	6. 18	upper	17.915
			lower	19.393
		7. 12	upper	9.943
			lower	15.713
		8.15	upper	12.837
			lower	12.508
	Canagagigue Creek	7. 12	upper	10.815
			lower	10.946
		8. 17	upper	8.550
			lower	7.268
		10. 5	upper	8.172
			lower	14.621

- 캐나다 남부 Ontario Grand 강의 지류인 이 지역은 19세기 농업지역으로 이용되다가 20세기에 화학 및 기계를 이용하는 산업단지가 됨
- Salem Creek의 하천수 평균 DOC 농도는 최소 5.428 mg/L에서 최대 19.393 mg/L 까지 검출되었으며, Canagagigue Creek의 하천수 평균 DOC 농도는 최소 6.945 mg/L에서 최대 14.621 mg/L 까지 검출됨

▌표 2.191 캘리포니아 Marstow 지역 Dissolved organic carbon 오염 현황▐

지역	Depth (단위:feet)	DOC 농도 (단위:mg/L)	COD (단위:mg/L)
캘리포니아	114	1.2	2.00
	55	4.6	15.0
	101	1.6	12.0
	51	4.7	11.0
	225	3.1	5.0
	53	2.3	5.0
	25	6.3	17.0
	131	1.3	3.0
	58	6.3	18.0
	105	1.1	6.00

- Marstow 지역의 지하수 분석 결과를 통해 샘플링 깊이별 DOC 농도는 최소 0.6mg/L에서 최대 6.3mg/L 까지 넓은 범위로 분포하며 취수 깊이가 깊어질수록 농도가 낮아짐
- 아시아 지역 중 필리핀, 태국, 베트남 등 농업 활동이 많고 지속적으로 개발이 이루어지고 있는 국가들의 일부 지역에서 질산염 오염은 심각한 수준임
- 필리핀에서 농촌지역 및 주거지역으로 이용되는 Benguet 지역과 Bulacan 지역의 지표수 샘플 분석 결과는 <표 2.2.4>, 지하수 샘플 분석 결과는 <표 2.2.5>에서 확인할 수 있으며, 7개 지하수에서 30mg/L 이상 검출됨
- 지표수 보다 지하수의 질산염 오염 정도가 심각함

▌표 2.192 필리핀 지표수 질산염 농도▐

지역	Sample	Water source	질산염 농도 (단위:mg/L)
Benguet	AT3	Creek	9.8
	AT4	Creek	32.2
	AT6	Creek	19.9
	BU1	Creek	4.3
	BU2	Creek	2.8
	BU3	Creek	2.9
	BU4	Creek	2.2
	BU12	River	13.2
	LT3	River	11.2

▌표 2.193 필리핀 지하수 질산염 농도▐

지역	Sample	토지 이용	질산염 농도 (단위:mg/L)
Benguet	AT1	농업지역	18.6
	AT2	농업지역	21.4
	AT5	농업지역	21.5
	BU5	농업지역	73.6
	BU6	농업지역	42.0
	BU7	농업지역	32.4
	BU8	농업지역	28.8
	BU11	농업지역	59.2
	LT1	주거지역	21.0
	LT2	주거지역	24.2
	LT4	주거지역	10.5
	LT5	주거지역	19.1
Bulacan	AN1	농업지역	109.2
	AN2	농업지역	50.2
	AN3	농업지역	24.8
	AN4	농업지역	59.7

▌표 2.194 태국 지하수 질산염 농도▐

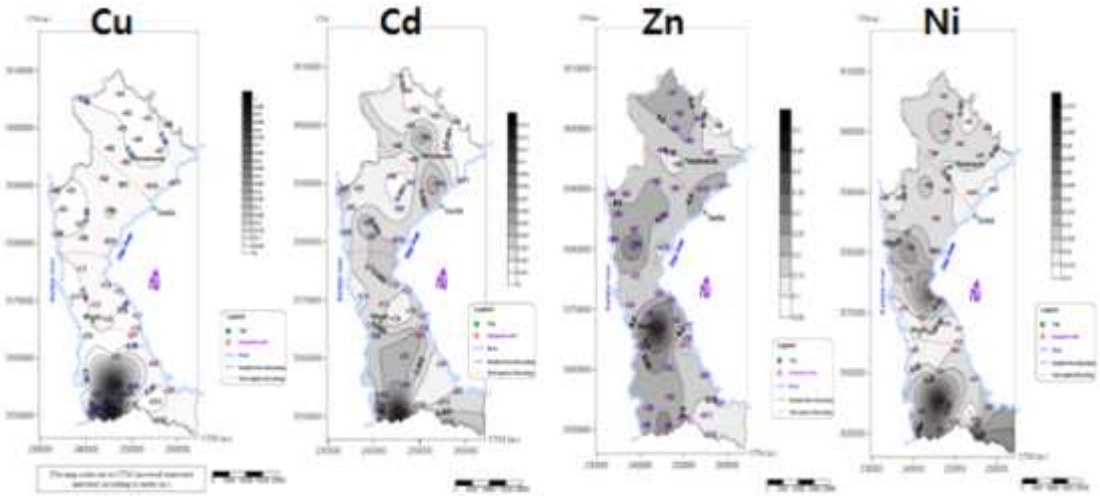
지역	Sample	토지 이용	질산염 농도 (단위:mg/L)	깊이
Kanchanaburi	CM12	농업지역	8.1	7
	CM15	농업지역	2.4	50
	KNB6	농업지역	38.3	10
	KNB7	농업지역	10.7	10
	KNB8	농업지역	55.1	
	KNB9	농업지역	38.0	12
	KNB10	농업지역	22.2	10
	KNB11	농업지역	47.8	10
	KNB12	농업지역	152.0	8
	KNB14	농업지역	46.7	
	KNB15	농업지역	54.6	
	KNB16	농업지역	143.8	8
Suphanburi	SPB1	농업지역	15.0	80
	SPB3	농업지역	11.6	20
	SPB5	농업지역	55.6	40

■ 방글라데시 지하수 분석 결과 중금속 기준치(WHO, Bangladesh stadard)를 초과하는 지점의 비율을 <표 2.2.7>에 나타남. 초과항목중 B는 비교적 일부 지역만 나타났지만 As와 Mn이 오염정도가 심각함

▌표 2.195 방글라데시의 지하수 중 중금속 수질기준 초과 비율▐

항목	WHO 기준 (mg/L)	방글라데시 기준 (mg/L)	WHO 기준 초과 지역(%)	방글라데시 기준 초과지역(%)
As	0.01	0.05	46	27
Ba	0.7	0.1	0.2	28
B	0.5	1.0	2.8	0.4
Cd	0.003	0.005	-	-
Cr	0.05	0.05	0.2	0.2
Cu	2	1	0	0
Pb	0.01	0.05	-	-
Mn	0.5	0.1	39	79
Ni	0.02	0.1	6	0.1
Mo	0.07	-	-	-
Al	0.2	0.2	1.7	1.7
Fe	0.3	0.3~1.0	68	55
K	10	12	10	8
Na	200	200	8.5	8.5
Zn	3	5	0	0

■ 파키스탄 Shush and Andimeshk 지역의 A, B, C, D 지역별 지하수 중금속 농도를 보여주며 각 항목별 농도를 지도에 나타냄



▌그림 2.377 Shush and Andimeshk aquifer 의 중금속 측정 항목별 분포▐

▌표 2.196 파키스탄 Shush Andimeshk 지역 지하수 중금속 분석 결과▐

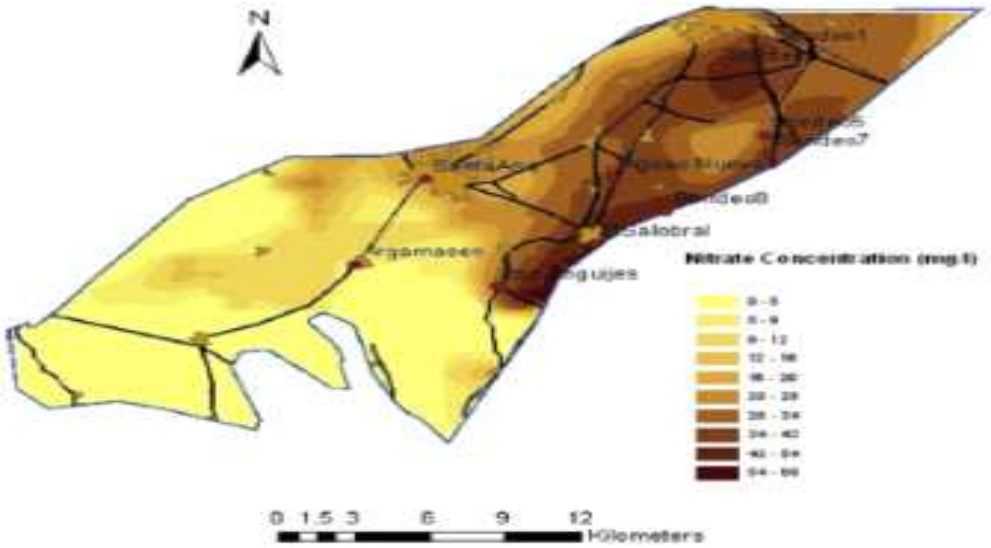
Well code	Depth(m)	Cu(mg/L)	Cd(mg/L)	Ni(mg/L	Zn(mg/L)
A_1	130	0.015	0.001	0.022	0.23
A_3	130	0.01	0.001	0.017	0.21
A_4	150	0.075	0.001	0.022	0.072
A_5	100	0.065	-	0.031	0.203
A_6	100	0.01	0.005	0.021	0.206
A_8	120	0.1	0.003	0.019	0.149
A_{10}	120	0.08	0.005	0.018	0.206
A_{11}	90	0.1	-	0.012	0.239
B_4	120	0.086	0.005	0.019	0.169
B_6	80	0.108	0.001	0.021	0.206
B_7	80	0.012	0.004	0.024	0.2
B_9	100	0.079	0.003	0.041	0.336
B_{10}	70	0.081	0.003	0.0.025	0.132
C_1	80	0.051	0.003	0.026	0.187
C_2	80	0.099	0.003	0.049	0.166
C_3	100	0.094	0.002	0.029	0.249
C_5	42	0.058	0.003	0.019	0.232
C_6	7	0.045	0.001	0.016	0.246
C_8	10	0.095	0.001	0.021	0.494
C_9	45	0.012	0.001	0.017	0.162
D_2	100	0.019	0.004	0.014	0.214
D_3	60	0.045	0.005	0.02	0.247
D_6	80	0.976	0.005	0.074	0.231
D_8	100	0.084	0.002	0.038	0.205
D_9	16	1.09	0.014	0.049	0.272
D_{10}	100	0.01	0.001	0.024	0.228
D_{11}	120	0.011	0.002	0.011	0.108
D_{12}	100	0.089	0.004	0.047	0.123

- Irap의 Kurdistan 고원 지역은 지질 암석들이 자연적으로 우라늄, 라듐, 라돈과 같은 방사선을 방출함. Erbil City는 Kurdistan 고원으로부터 지하수와 지표수가 유입되어 Erbil 전 지역의 수원에 영향을 줌
- Erbil city의 방사선 농도 측정 결과 U-238의 농도는 2.12 - 7.19 pCi/L 까지 나타났으며, Ra-226 농도는 1.52 - 7.15 pCi/L, Cs-137은 검출되지 않거나 매우 낮은 농도가 검출됨. 대부분 자연에서 발생하는 Ra-226 과 U-238은 다른 지역의 지하수 우물보다 더 많이 Erbil 의 먹는 물에서 높은 농도가 검출됨

▌표 2.197 Erbil의 먹는물 방사선 농도(pCi/L) ▐

Location	U-238	Ra-226	Cs-137
Shorsh 12	6.38±0.0191	6.33±0.0192	Low Detection Limit
Kwestan 2	5.94±0.0197	5.76±0.0200	Low Detection Limit
Kwestan 3	6.99±0.0184	6.87±0.0185	Low Detection Limit
Qanzad 1	6.41±0.0191	6.39±0.0191	Low Detection Limit
Qanzad 4	5.63±0.0202	5.56±0.0203	Low Detection Limit
Kirkuk St.	5.62±0.0200	5.53±0.0203	Low Detection Limit
Almahandseen 1	6.81±0.0186	6.79±0.0186	Low Detection Limit
Zanco 1	5.72±0.0201	5.64±0.0202	Low Detection Limit
Zanco 2	4.93±0.0214	4.83±0.0215	Low Detection Limit
Engendering College 2	3.02±0.0259	1.85±0.0308	0.01±0.000
Science College 1	2.97±0.0261	1.52±0.0328	0.02±0.0020
North cemetery	2.48±0.0279	1.90±0.0305	0.02±0.000
Youth Center	5.75±0.0200	3.26±0.0252	0.01±0.000
Popular army center 2	3.45±0.0246	2.20±0.0291	0.02±0.000
Popular army center 3	2.75±0.0268	2.15±0.0293	0.01±0.000
High building project	4.15±0.0229	4.63±0.0219	Low Detection Limit
Kurdistan 2	4.44±0.0223	4.37±0.0224	0.02±0.00

- 유럽지역의 지하수 및 지표수가 질산염으로 오염된 지역은 대부분 농업지역이지만 일부 산업단지 지역도 심각한 상황임



▌그림 2.378 스페인 El Salobral-Los Llanos 지역의 질산염 농도 분포▐

- 스페인 El Salobral-Los Llanos에서 질산염 농도는 산업단지 지역은 71.7mg/L, 농업 지역은 66.7mg/L 까지 검출됨

▌표 2.198 모로코 Essaouira 지하수 질산염 농도별 분포▐

질산염 농도 (단위:mg/L)	Number	Percentage (%)	Cumulative (%)
0-50	9	23.08	23.08
50-100	19	48.72	71.79
100-150	4	10.26	82.05
150-200	4	10.26	92.31
200-250	0	0.00	92.31
250-300	1	2.56	94.87
300-350	1	2.56	97.44
350-400	1	2.56	100.00
400-450	0	0.00	100.00
Total	39	100%	-

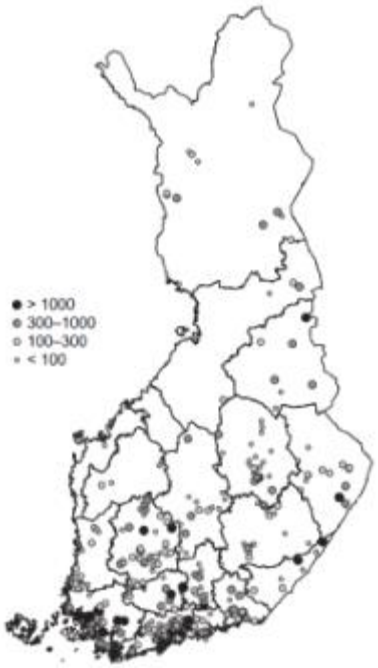
- 모로코 Essaouira 지역은 작은 마을단위의 주거지역으로 주로 이용되며 하수는 마을단위 처리시설로 처리됨. <표 2.2.10>에서 질산염 농도 측정 결과 취수 샘플 39개 중에 40mg/L를 초과하는 샘플이 71.8%로 질산염 오염이 상당함
- 유럽지역 다른 국가들의 평균적인 방사능 농도는 France; 4.4-930Bq/L, Germany;

0.4-600Bq/L, Italy; 0.5-130Bq/L, Romania; 0.4-37Bq/L, Switzerland; 0-1000Bq/L, Spain; 3.7-4.4Bq/L, Finland;0.5-150000Bq/L 로 검출됨

▌표 2.199 그리스 주요 호수의 방사능 물질 검출 결과 (Bq/L)▐

호수	Avergae ^{238}U	Range of ^{238}U	Avergae ^{234}U	Range of ^{234}U
Yliki	9.02±0.18	5.79-17.27	11.53±0.21	7.60-22.01
Marathonas	2.22±0.09	0.91-3.62	3.80±0.11	2.13-5.02
Mornos	1.63±0.09	1.15-2.12	3.08±0.12	2.28-3.90

- Greece Yliki 호수와 Marathonas, Momos 저수지의 방사능 물질 측정 결과임. 238U은 0.91Bq/L에서 17.27Bq/L의 농도 범위가 검출되었고, 234U은 2.13Bq/L에서 22.01Bq/L의 농도 범위가 검출됨. 3개의 호수에서 우라늄 농도는 최소 0.07μg/L에서 최대 1.40μ/L 까지 측정



▌그림 2.379 핀란드의
222Rn 의 지역적 분포▐

- 222Rn 농도는 Finland 남부 지역에서 매우 높은 농도가 나타난 것을 확인 할 수 있으며, 이는 Finland 남부 지역은 자연 암석에서 방사능을 다량 포함하는 지리적 특성이 지하수 방사능 농도에 영향을 끼친다는 것을 알 수 있고, 234U와 238U의 농도는 222Rn 의 분포와 비슷한 경향을 보이며, 226Ra은 Finland 연안 지역에서

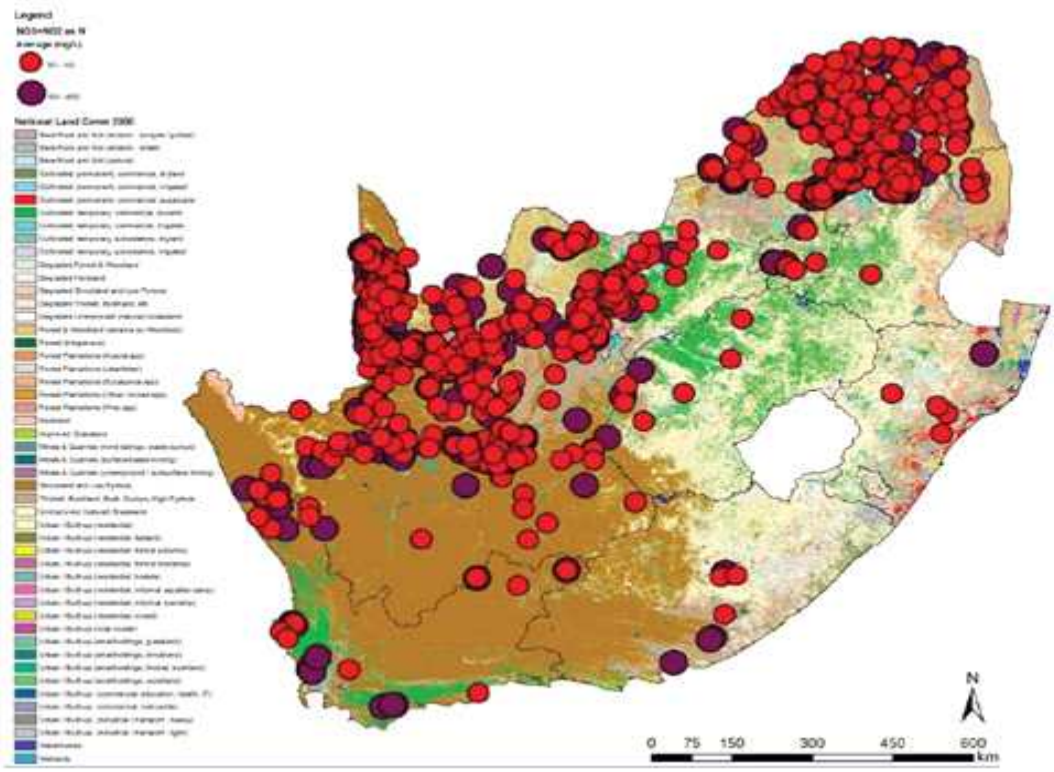
높은 농도가 검출되었다.

▌표 2.200 그리스 주요 호수의 방사능 물질 검출 결과 (Bq/L)▐

Water source	^{222}Rn	Gross alpha	^{238}U	^{234}U	^{226}Ra	^{228}Ra	^{210}Pb	^{210}Po
Drilled-well water	460	0.61	20.9	0.35	0.05	0.034	0.040	0.048
Dug-well water	50	0.05	1.2	0.02	0.02	-	0.013	0.007
waterworks	27	0.04	1.2	0.02	0.003	-	0.003	0.003

- 필란드 주요 식수원에 따른 자연 방사능 물질 측정 결과에서, 222Rn 농도는 drilled well의 약 10%가 1000 Bq/L를 초과하였고, dug well에서는 먹는물 수질기준을 초과한 샘플은 없음. drilled well의 약 59% 이상이 100 Bq/L의 222Rn 농도를 초과함. 238U 농도 100 μg/L를 초과하는 샘플은 5%, 238U 농도 10 μg/L를 초과하는 샘플은 15% 검출됨

- 아프리카지역은 수원의 지하수가 차지하는 비중이 매우 높으며, 질산염과 중금속 등의 오염에 취약하고 처리가 이루어지지 않고 있음



▌그림 2.380 South Africa 지하수에서 NO3+NO2 농도가 50 mg/L를 초과하는 지역▐

- 남아프리카 공화국의 지역별 질산염 오염 정도를 나타낸 지도에서 작은 원의 경우 지하수 질산염 농도가 50mg/L에서 100mg/L 사이이고 큰원의 경우 100mg/L 이상 측정된 지점. 도시지역과 농촌지역의 질산염 오염 정도가 심함
- 나이지리아 남부 지역 Ewekoro 지역과 Shagmu 지역의 먹는물과 지하수에 대한 중금속 농도를 분석한 결과, 분석 대상 지역의 주변에는 시멘트 공장과 산업단지가 조성되었다 총 250개의 샘플을 분석하였고 Ba, Pb, Ni, Se의 경우 기준치를 초과하는 샘플이 다수 발견됨

▌표 2.201 남부 나이지리아 지하수의 중금속 농도 (㎍g/l)▐

항목	Min	Max	Mean	Guidline Value
Al	22	270	94	200
As	0.40	6.9	1.9	10
Ba	9.48	1150	420	700
Br	41	210	95	-
Cd	0.06	1.1	0.27	3
Cs	0.09	3.7	0.61	-
Cr	0.18	9.1	1.1	50
Co	0.09	6.1	0.60	-
Cu	0.23	54	9.3	2000
Pb	0.61	14	2.8	10
Mn	1.4	290	55	500
Mo	0.90	30	4.1	70
Ni	0.80	37	5.2	20
Rb	1.8	530	68	-
Se	2.3	22	7.1	10
Sn	0.23	1.5	0.59	-
Sr	23	150	76	-
V	0.27	2.8	1.2	-
Zn	8.6	1700	100	3000

(4) 오염물질별 처리방안

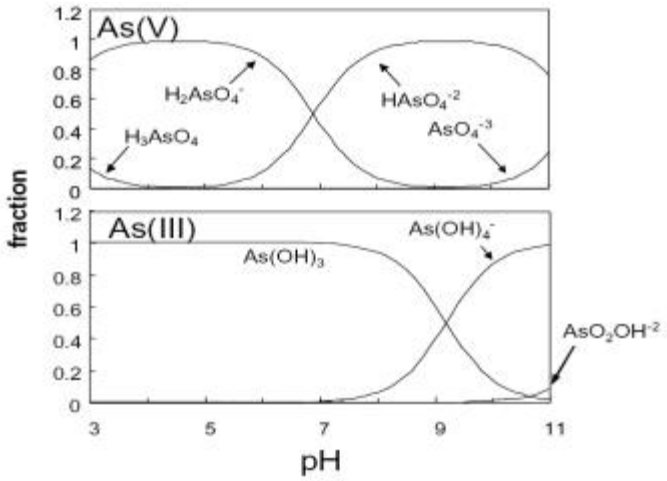
(가) 비소 처리 기술

▌ 경제적인 기술로써 제 3세계와 같은 저개발국가에서 사용 가능한 비소 제거 기술은 크게 3가지 : 흡착(adsorption), 석출(precipitation), 공침(coprecipitation)

- 흡착은 무기계 흡수제 또는 염화철 등을 흡착제로 사용하며, 석출은 비소를 불용화하여 제거, 공침은 용존 비소성분이 금속수산화석출물의 생성 단계에서부터 함께 석출물을 형성하여 수중에서 제거되는 방법

▌ 비소이온종의 분포를 결정하는 가장 중요한 요소는 pH와 산화환원전위(redox potential).

- pH에 따른 5가 비소이온의 종분포는 pH diagram에서 확인할 수 있으며 산소와 결합하는 다른 음이온들과 같이 비소도 중성 부근의 pH에서도 높은 용존성을 보이며, 이는 지하수내의 비소오염과 밀접한 관계가 있음



▌그림 2.381 pH diagram for As0+▐

▌ 비소의 산화상태는 03, 0, +3, 그리고 +5가 네 가지로 존재하지만, 자연수계에서는 주로 3가와 5가로 존재함.

▌표 2.202 Stability of arsenic conditions▐

Reducing conditions		Oxidizing condtions	
pH	As(III)	pH	As(V)
0-9	H_3AsO_3	0-2	H_3AsO_4
10-12	$H_2AsO_3^-$	3-6	$H_2AsO_4^-$
13	$HAsO_3^{2-}$	7-11	$HAsO_4^{2-}$
14	AsO_3^{3-}	12-14	AsO_4^{3-}

- 3가의 arsenite의 독성이 5가의 asenate에 비해 60배 가까이 큼. 수용액상의 존재형

태로 보면 3가의 arsenite는 중성부근에서 전하를 띄지 않는 H_3AsO_3로 존재하고, 5가의 arsenate는 중성부근에서 H_2AsO^{4-} 이거나 $HAsO_4^{2-}$ 형태를 가지며, pH 변화에 민감하게 둘 사이의 존재비율이 변함.

▌알럼과 염화철이나 황산철을 이용한 혼화응집공정은 경제성 있는 비소제거 공정. 5가 비소이온 제거에 효과적 ; 3가 이온을 5가 이온으로 산화시키는 전처리 공정이 필요

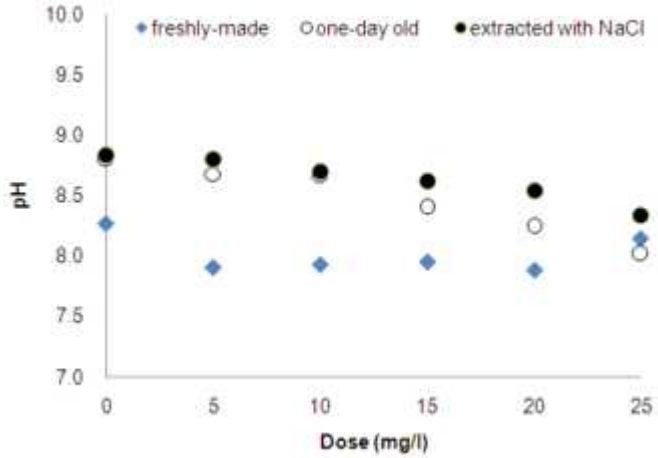
- 영가철은 환경화학적인 처리에 많이 응용되는 물질. Chlorinated hydrocarbon이나 크롬산과 같은 무기오염물질을 처리하는 데 효과적. 독성이 없고 비싸지 않지만 인산이온(phosphate ions)이 존재하는 경우에는 기대했던 효과를 얻을 수 없음

▌자연에서 유래하는 물질을 고려해 다양한 종류의 식물유래 응집제, Moringa Oleifera, Jatrophacurcas, Guar gum, Cactus, tannin, Strychnospotatorum, Hibiscus sabdariffa and Clidemiaan gustrifolia등을 정수처리에 이용

(a) (b) (c)

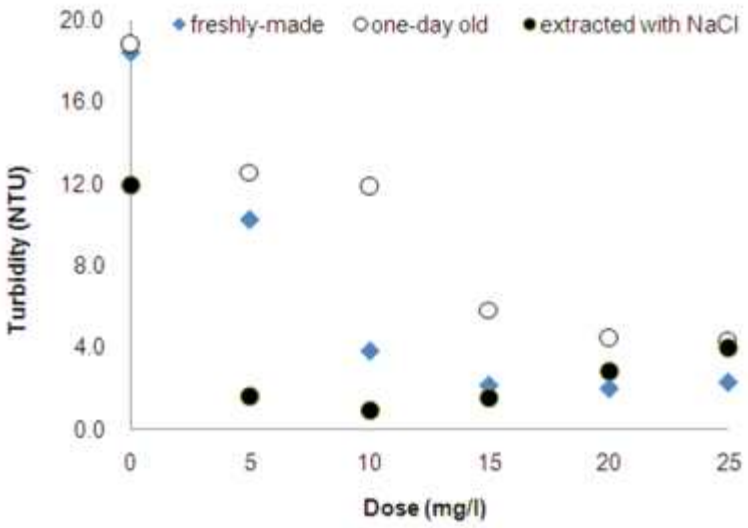
▌그림 2.382 Parts of M. Oleifera (a) fruits (b) seeds and (c) kernels ▌

- Moringa Oleifera는 미얀마에서 흔히 볼 수 있는 식물의 열매. 미얀마 Mandalay 지역에서 수집하여 분말상태로 만들어 응집제로 사용함.
- Moringa Oleifera의 씨앗은 가루로 분쇄되어 0.85mm의 체로 거른 후 사용함. 모링가 분말 2그램을 100mL의 비이커에 넣고 증류수로 30분간 교반 후 필터로 거른 후 freshly made 응집제로 활용. 이 용액을 하루정도 정치한 후 사용했으며, one-day old 응집제로 명명. 증류수에 용출하는 대신 NaCl 용액을 사용한 경우에는 11.68g의 NaCl 용액을 2g의 모링가분말과 함께 녹여 사용함.
- 응집은 Jar-tester를 사용하였으며 1L 크기의 jar를 사용함. 급속교반 2분, 완속교반 30분, 그리고 30분간의 침전시간을 가진 후 sodium arsenate ($Na_2HAsO_4.7H_2O$)를 이용하여 200g As/L로 초기 비소농도를 설정함.



▌그림 2.383 Changes in pH with increasing coagulants doses ▌

■ Changes in pH with increasing coagulants doses 그림을 보면, pH는 응집제 주입량이 커질수록 낮아지는 것을 알 수 있음. 또한 alum이나 염화철 등에 비해 상대적으로 높은 pH를 유지함을 알 수 있음.



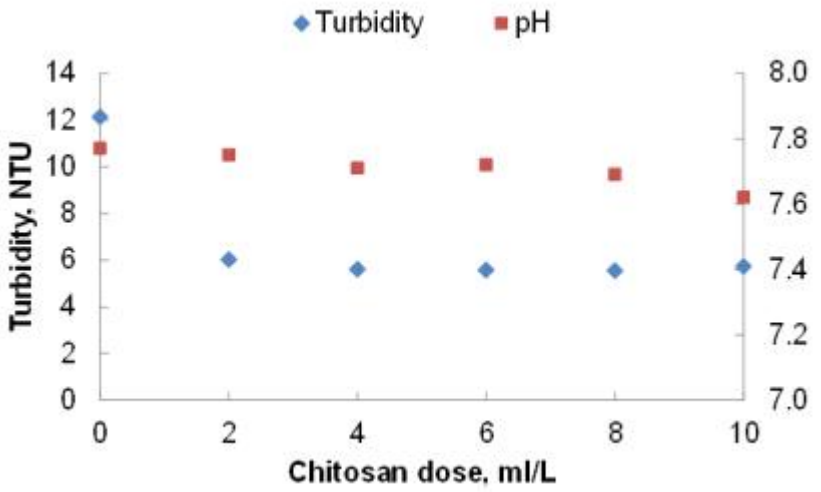
▌그림 2.384 Changes in turbidity with increasing coagulants doses ▌

▪ 탁도 제거율은 응집제 주입량이 높아질수록 낮아짐을 알 수 있음. 특히 하루지난 응집제에 비해 신선하게 만들어진 응집제의 효율이 좀 더 좋은 것을 확인할 수 있음.

▪ 키토산은 패조류에서 유래한 물질로 응집보조제로 사용되고 있는 물질. 키토산을 응집

제로 사용하여 L호수물을 처리하고 그 효과를 확인함.

▪ 키토산의 주입률이 높아질수록 탁도가 내려가고 pH 역시 낮아지는 것을 확인할 수 있음. 하지만, 주입량이 2mL을 초과하고 나서의 응집효율 향상효과는 미미하였으며 pH는 계속 하강하는 것을 확인. 또한 2mL의 주입률에서 거의 50%의 제거율을 보인 반면 그 이후의 주입량에서도 더 이상의 탁도제거 효과는 나타나지 않음.



▌그림 2.385 Changes in turbidity and pH with increasing coagulants (Chitosan) doses ▐

(나) 망간 처리 기술

■ 공기산화법 : 공기중의 산소를 이용. 처리수에 공기를 포기시켜 산화시키는 방법으로 철에 비해서 산화속도가 늦고 pH조절이 필요함.

■ 산화제를 이용한 산화법 : 과망간산칼륨, 염소, 오존 등의 산화제를 이용하여 망간을 고형망간으로 처리.

■ 이온교환수지는 미세한 3차원 구조의 고분자 기체에 이온교환기 (functional group)를 결합시킨 것. 망간은 pH 로서는 산화되지 아니하므로 철에 비하여 이온교환법으로 쉽게 제거 가능.

▌그림 2.386 철에 오염된 이온교환수지▐

- 이온교환수지를 사용할 경우 망간을 산화하는 철박테리아가 수중에 존재하면 망간이 침전을 일으켜 이온교환수지를 오염시키므로 이온교환수지 통과 전에 공기와 접촉을 피하여야 함.

■ 망간을 포함한 원수에 전염소처리를 하고 망간사를 여재로서 급속여과해서 접촉산화에 의해 제거를 하는 것

- 수중의 망간이온은 유리 잔류염소가 존재하면 산화물로 되어 망간사 표면에 접촉, 고정되며 이때 망간사의 피막은 불활성으로 되고 접촉 산화력을 잃지만 유리잔류염소에 의해 바로 부활되어 망간 제거능력을 연속적으로 유지 가능함.

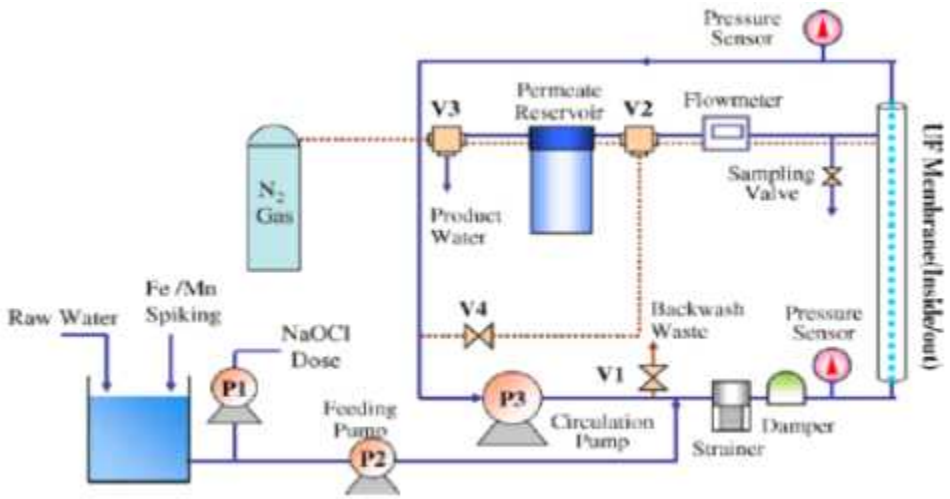
■ $Mn^{2+} + MnO_2 \cdot H_2O + H_2O \rightarrow MnO_2 \cdot MnO \cdot H_2O + 2H^+$

망간사의 피막 망간사의 불활성 피막

$MnO_2 \cdot MnO \cdot H_2O + Cl_2 + H_2O \rightarrow 2MnO_2 \cdot H_2O + 2H^+ + 2Cl^-$

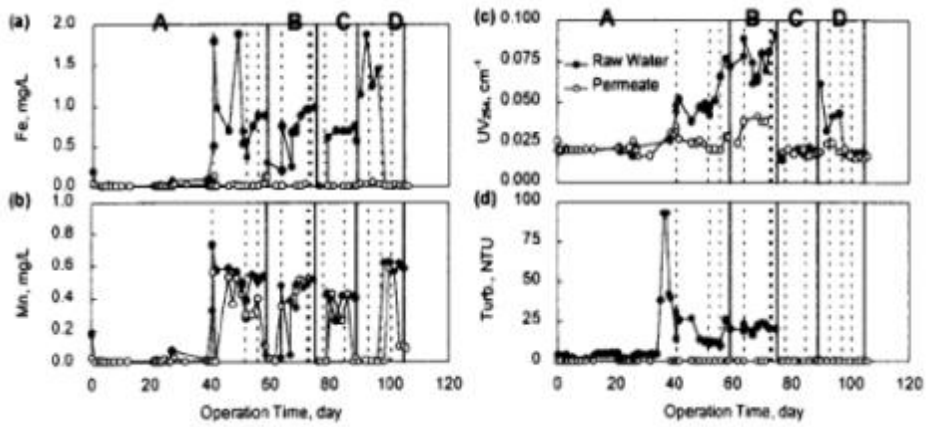
망간사의 불활성 피막 망간사의 활성피막

- 멤브레인을 이용한 정수처리에서, UF 멤브레인은 맛과 색에 있어서 수질을 악화시키는 철과 망간과 같은 용해된 무기성분 요소를 충분 제거할 수 없으며, 금속 산화물은 멤브레인 파울링에 큰 영향 줌.



▌그림 2.387 Bench-scale UF 시스템 정수처리에 있어서 염소의 투입▐

▪ 전염소 처리와 Dead-End UF 멤브레인을 이용. 염소 산화에 의해 여과수내 철과 망간의 제거율은 각각 98%, 93%이상을 유지함.



▌그림 2.388 염소투입과 철과 망간의 제거율 비교▐

(5) 적정 처리 설계 Matrix

(가) 비소 제거를 위한 설계 matrix

▪ 이온교환 공정: 이온교환 레진을 이용하여 비소를 제거. 다른 이온들과의 경쟁으로 비소제거에 한정적

▪ 흡착 공정: Metal oxide 등 (예, Ferric hydroxide, Activated Alumina)의 흡착제를 이

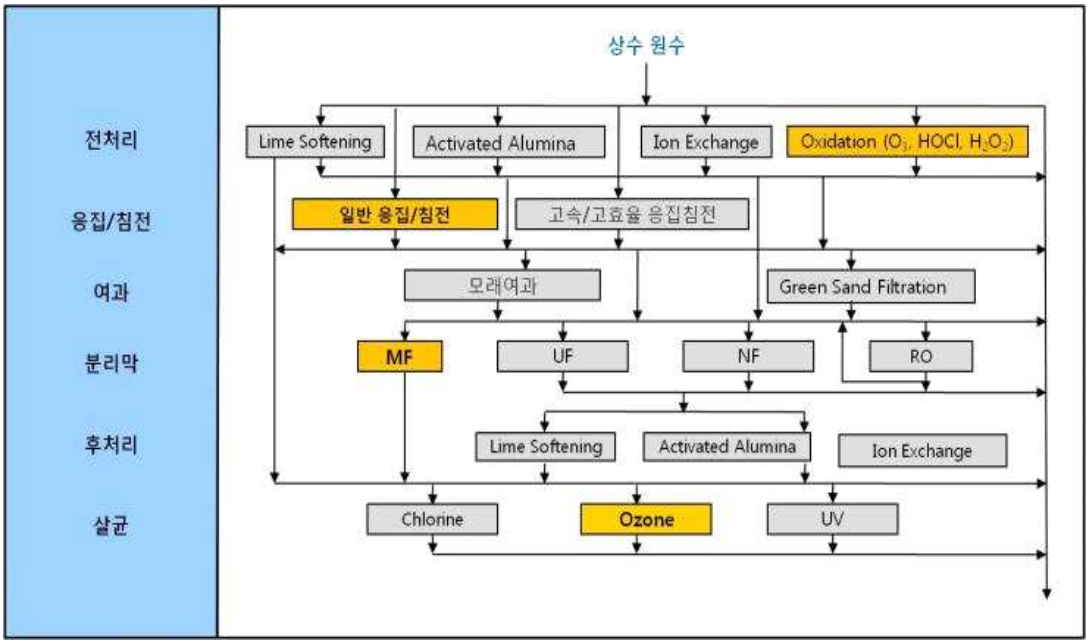
용하여 비소를 제거. 저비용 고효율

- 막여과 공정: EDR, NF 혹은 RO막을 이용하여 비소 제거. 효과적이나 비용 문제
- 화학적 응집/침전(coagulation / precipitation) 공정: Fe(III) 혹은 Al(III)를 이용하여 응집 침전시킴. 이 후 공정으로 여과 공정이 따라오는 경우가 많음. 저비용 고효율
- Lime-softening: 연수화를 위해 투입하는 Lime에 의해 상당한 양의 비소가 제거됨.

▌표 2.203 주요 비소제거 공정 정리 및 처리효율▐

Technology	Removal Efficiency		비고
	As(III)	As(V)	
철염을 이용한 응집	★★	★★★	저렴한 비용. 대규모 처리장에서 사용됨. 비소 함유 슬러지 발생. 인산이나 Silicate가 있는 경우 효과 절감
알럼을 이용한 응집	-	★★★	저렴한 비용. 대규모 처리장에서 사용됨. 비소 함유 슬러지 발생. 인산이나 Silicate가 있는 경우 효과 절감
Lime softening	★	★★★	높은 pH가 필요하고 폐액이 발생. 비교적 저렴하나 철염이나 알럼을 이용한 응집보다는 비쌈.
Ion exchange	-	★★★	선진국에서 주로 사용하는 공정임. Sulfate와 TDS가 높은 경우 효과 떨어짐. 철이나 망간의 농도가 높은 원수는 전처리가 필요. 재생과정에서 비소농도가 높은 폐액 발생
Activated Alumina	★ ~ ★★	★★★	선진국 및 개도국에서 모두 사용됨. 재생을 위해 강한 산과 염기가 필요. 비소 함유량이 높은 폐액 발생. 가격이 약간 높음. 망간이나 철염으 농도가 높은 물은 폐색을 막기 위해 전처리 필요.
Membrane	- ~ ★★★	★★★	선진국에서 활용됨. 고압막을 이용하는 경우 운영비가 비쌈.
Fe 및 Mn oxidation	?	★ ~ ★★★	실험실 레벨에서 연구가 많이 되었으나 실제 적용 예는 많지 않음. 비용 저렴
Porous media sorbents (iron oxide coated sand, green sand)	★ ~ ★★	★★ ~ ★★★	선진국에서 실험실 규모에서 성공적으로 제거할 수 있는 가능성을 보임. 현장에서 향후 증명되어야 할 기술임. 여재의 가공정도에 따라 가격이 달라짐.
In situ immobilization	★★	★★★	아직 관련 분야의 경험이 적음. 장기적인 안정성이나 약품 사용에 대한 영향은 분석되지 않음. 폐액 발생이 없다는 것은 장점이나 대수층 폐색의 우려 있음. 가격이 더 떨어져애 함.

- : 30% 이하 제거 ★ : 30 ~ 60%
★★ : 60 ~ 90% ★★★ : 90% 이상 제거가능



▌그림 2.389 As 처리를 위한 BAT Matrix▐

(나) 망간 제거를 위한 설계 matrix

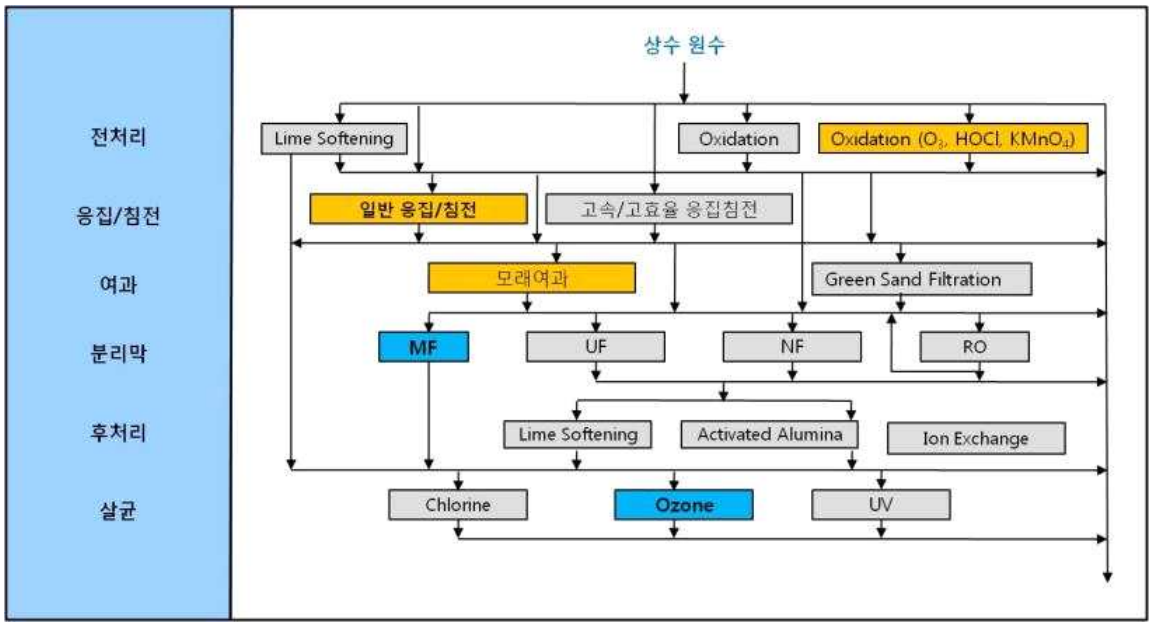
- 산화처리
  - 산화제(과망간산칼륨)를 이용한 산화법
  - 염소를 이용한 산화법: 전염소, 중염소 처리와 함께 망간사를 이용한 제거
  - 오존산화법 : 오존을 과다 주입할 경우 과망간산 이온이 생성
- 이온교환법
  - 이온교환수지 : 용액 중의 이온성 불순물을 교환, 정제하여 주는 고분자 물질
  - 망간을 산화하는 철박테리아가 존재할 경우 이온교환수지 오염
- 망간사에 의한 제거
  - 망간을 포함한 원수에 전염소 처리를 하고 망간사를 여재로서 급속여과하여 접촉산화에 의해 제거

▌표 2.204 주요 망간제거 공정 정리 및 처리효율▐

공정		처리효율	비고
전처리	$KMnO_4$	★ ★ ★	$Mn^{2+} \rightarrow Mn^{4+}$
	응집/침전	★ ★ ★	
	여과	★ ★	
응집/침전	응집/침전	★ ★ ★	MnO_2
여과	Sand Filter	★ ★	
	Greensand filter	★ ★ ★	Glauconite
기타	Biological Treatment	★ ★ ★	

- : 30% 이하 제거 ★ : 30 ~ 60%

★ ★ : 60 ~ 90% ★ ★ ★ : 90% 이상 제거가능



▌그림 2.390 Mn 처리를 위한 BAT Matrix▐

(6) BAT Matrix Tool 개발

▌ BAT Matrix Tool은 국가별 오염물질 현황 및 적정 처리기술에 대한 설정과 비용절감 효과 등의 효율적인 처리 Matrix를 비교할 수 있게 개발된 프로그램임

- 원수성상별 오염 대상 물질 현황 데이터 정립 및 프로그램에서 열람할 수 있도록 파일화 하고 추가적인 데이터와 현황의 업데이트는 pdf 파일로 변환하여 각 폴더에 저장하여 최신화 가능함
- 동남아시아, 중동, 아프리카 지역에서 문제시 되는 비소, 망간에 대한 수질 현황과 BAT Matrix는 2차년도에 연구됨

- 질산염, Dissolved organic carbon, 중금속, 방사선에 대한 수질현황 및 처리법에 대한 추가 조사가 3차년도에 이루어졌으며 2차년도 3차년도 조사를 토대로 프로그램 데이터 구축

▌표 2.205 BAT Matrix 메뉴기능 요약▐

메뉴	구성	기능
국가별 오염물질 현황	수질특성	지역별, 나라별 수질특성을 확인
	처리 대상물질	처리 대상물질 확인
	처리기술	대상물질별 처리기술 확인
	BAT	각 국가별 BAT Matrix 확인
BAT Matrix Score 설정	Score 설정	BAT Matrix를 기반으로 각 국가별 Score 설정

- 프로그램을 실행 메인 화면은 <그림 2.391>에서와 같이 각 지역별, 국가별 조사 지역 Map으로 구성됨
- 국가를 선택할 경우 다른 지역의 국가는 표시되지 않고, 대상 국가의 수질특성, 처리 대상물질, 처리기술, BAT 메뉴가 표시됨
- 수질특성 메뉴는 대상 물질을 중점으로 지역별 국가의 먹는 물 수원의 수질 검사 결과와 오염현황에 대해 확인할 수 있음

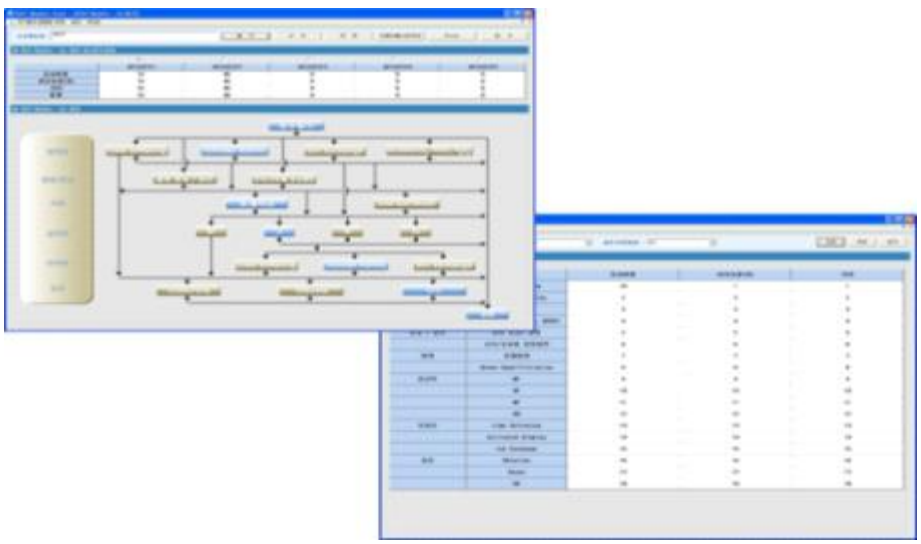
▌그림 2.391 프로그램 메인화면 - 국가별 오염물질 현황▐

- 처리 대상물질 및 처리기술은 중점 오염물질과 처리기술에 대한 내용을 확인할 수 있음
- 수질특성과 처리기술 메뉴의 데이터는 각 항목별 폴더에 pdf 파일로 저장하여 프로

그램에 추가적으로 내용을 업데이트 할 수 있음

▌그림 2.392 처리 대상물질 클릭 화면▐

- 처리 대상물질 메뉴를 클릭하였을 때 나타나는는 화면임. 비소, 망간, 질산염, Dissolved organic carbon (DOC), 중금속과 방사선 항목에 대한 처리기술과 BAT Matrix를 확인할 수 있음
- 비소에 대한 BAT Matrix 화면에서는 각 처리과정에 대하여 적정 기술을 클릭하고 완료하 시나리오로 저장할 수 있음. 각 시나리오는 Score 설정 메뉴에서 저장된 점수로 공사비용 및 처리효율 등에 대해 확인할 수 있음
- 저장 및 수정이 가능하며 처리과정 및 결과를 Ecxel 파일로 출력이 가능함



▌그림 2.393 비소의 BAT Matrix 화면과 BAT Matrix Score 설정화면▐

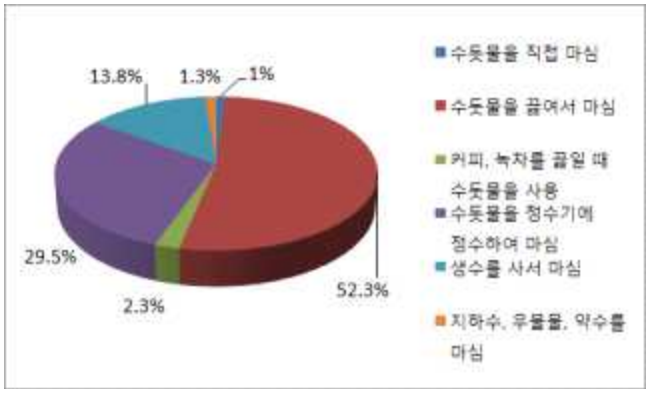
- 개발된 프로그램의 BAT Matrix Score 설정 메뉴화면에서는 대륙, 국가, 처리 대상물질을 선택하고 조회하면 각 국가의 대상물질에 대한 처리 기술에 대해서 공사비용과 처리효율 및 기타에 대한 Score를 입력할 수 있음
- 전처리 및 후처리 기술과 응집, 침전, 여과의 일반적 프로세스와 분리막 및 살균에 대한 기술 등을 BAT Matrix로 구성함
- 비소, 망간, 질산염, Dissolved organic carbon(DOC), 중금속, 방사선 항목에 대한 대륙별 국가들의 오염 현황을 기반으로 각 물질의 처리 공정을 정리하여 BAT를 구성함
- 개발된 BAT Matrix Tool Software는 각 지역의 오염물질 현황을 pdf 파일 저장하여 업데이트 할 수 있으며, 대상 대상물질에 대한 처리공정 특성을 조사하여 처리효율 및 비용 등을 Score화 할수 있음
- 해외시장 진출에 대비하여 상수원수의 수질 현황과 주요 이슈 오염물질에 대해서 조사한 결과 대상 국가의 개발 정도에 따라 대상 물질이 차이를 보이고 있음
- 따라서 동남아시아, 아프리카 등의 개발도상국의 경제 사정과 지역의 수리, 지질학적 특성을 고려하여 대상물질을 선정하여 대상 오염물질에 대하여 고비용 저비용 처리공법을 조사할 필요가 있음
- 개발된 BAT Matrix Tool을 이용하여 처리효율과 비용을 체계적으로 점수화 하여 사업화 시 적용할 수 있음

카. 분산형 용수공급시스템 편익산정 및 경제성 분석, 실용화 및 사업화 방안

(1) 분산형 용수공급시스템 편익 산정

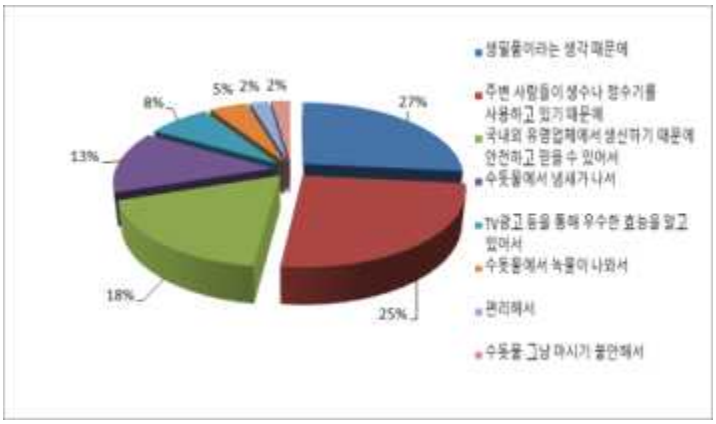
(가) 설문조사 결과

- 물 음용형태에 대한 질문에 응답자의 52.3%가 수돗물을 끓여서 마시고 있다고 응답하였고, 다음으로 정수기에 정수하여 마신다는 응답자가 29.5%, 생수를 사서 마신다는 응답자가 13.8%순으로 나타남. 수돗물을 직접 마신다는 응답자는 1%에 불과함



▌그림 2.394 물 음용형태▐

- 정수기 또는 생수를 이용하여 음용하고 있다고 대답한 응답자들에게 이유를 설문한 결과, 「생필품이라는 생각 때문에」가 가장 많은 27%를 차지하였고, 다음으로 「주변 사람들이 생수나 정수기를 사용하고 있기 때문에」가 25%,「국내외 유명업체에서 생산하기 때문에 안전하고 믿을수 있어서」가 18%로 나타남

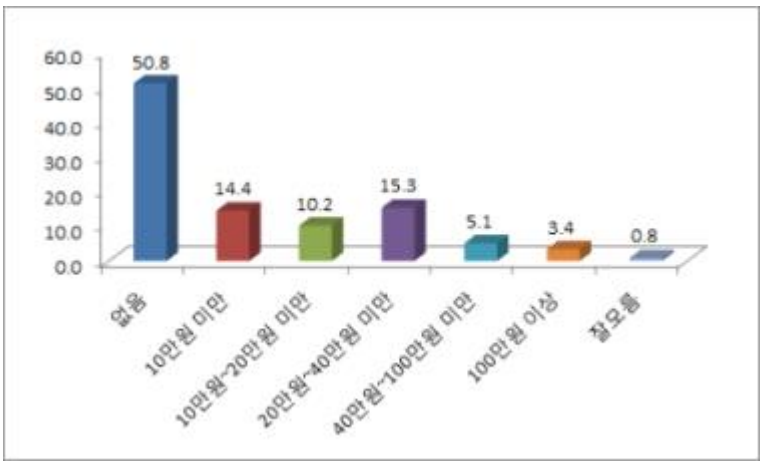


▌그림 2.395 정수기 및 생수 사용이유▐

■ 정수기 및 생수의 물 맛에 대한 만족도는 만족한다는 응답자가 40.5%로 나타났고, 조금 만족, 매우만족을 포함한 긍정적인 응답이 69.9%로 나타나 대체로 정수기 및 생수의 물 맛에 만족하는 것으로 나타남

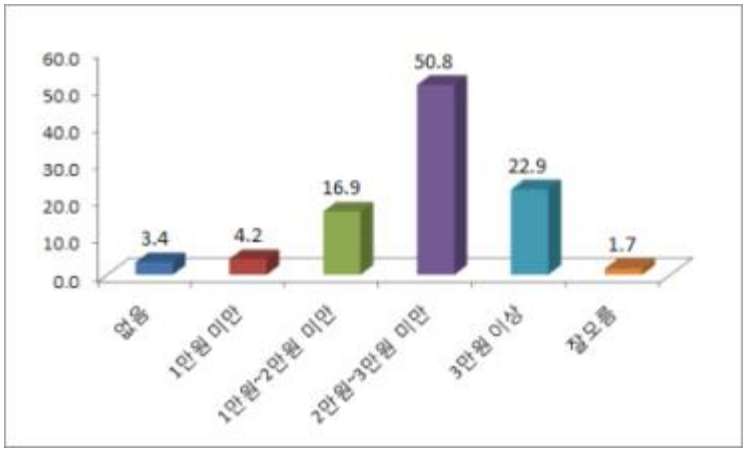
▌그림 2.396 정수기 및 생수의 물 맛에 대한 만족도 ▐

■ 정수기의 초기 구입비의 경우 50.8%가 초기 구입비가 없다 라고 응답했으며, 다음으로 20만원~40만원이 15.3%, 10만원 미만이 14.4%로 나타남. 즉, 대부분의 시민들은 정수기 구입시 일시불이 아닌 할부로 구입하는 것으로 나타남



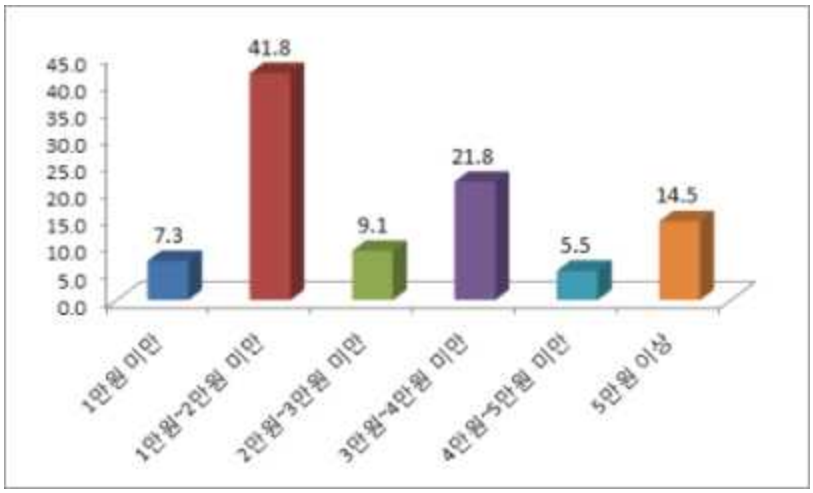
▌그림 2.397 정수기 초기 구입비 ▐

■ 정수기 구매 후 매월 유지비용에 대한 질문에 2만원~3만원이 가장 많은 50.8%를 차지했으며, 다음으로 3만원 이상이 22.9%, 1만원~2만원미만이 16.9%를 차지하였음. 각 구간별 중간값을 이용한 평균금액을 추정하면 매월 정수기 유지비용으로 약 23,980원을 지출하는 것으로 추정됨



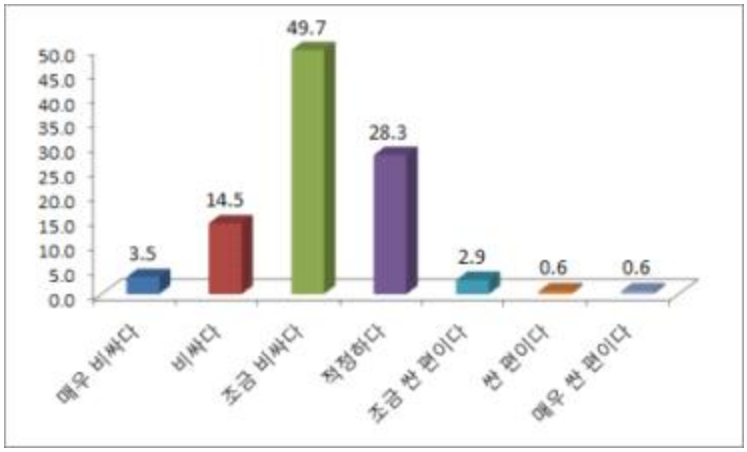
▌그림 2.398 매월 정수기 유지비용▐

■ 생수를 구입하는데 매월 유지비용이 얼마인지에 대한 질문에 1만원~2만원이 가장 많은 41.8%를 차지했으며, 다음으로 3만원~4만원 21.8%, 5만원이상이 14.5%순으로 나타남. 각 구간별 중간값을 이용한 평균금액을 추정하면 매월 생수 구입비용으로 약 25,618원을 지출하는 것으로 추정됨



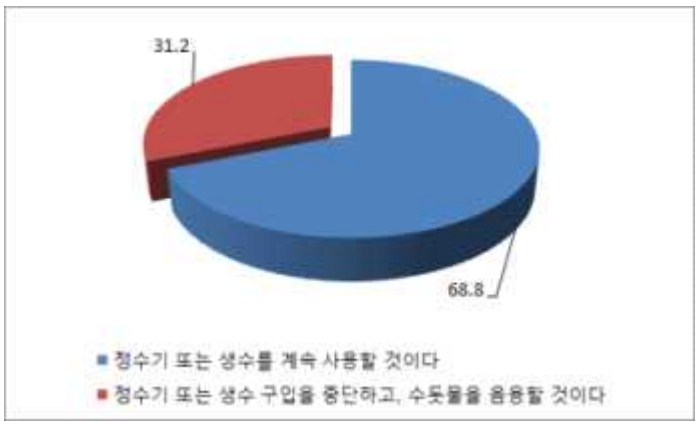
▌그림 2.399 매월 생수 구입비용▐

■ 정수기 또는 생수의 구입 및 유지비용에 대한 만족도를 설문한 결과 「조금 비싸다」라고 생각하는 응답자는 49.7%로 가장 많았고, 「매우 비싸다」, 「비싸다」로 구입 및 유지비용이 전반적으로 비싸다라고 생각하는 응답자는 전체 응답자의 67.6%를 차지하여 대다수 시민들이 정수기 또는 생수 구입비용이 비싸다고 느끼는 것으로 나타남



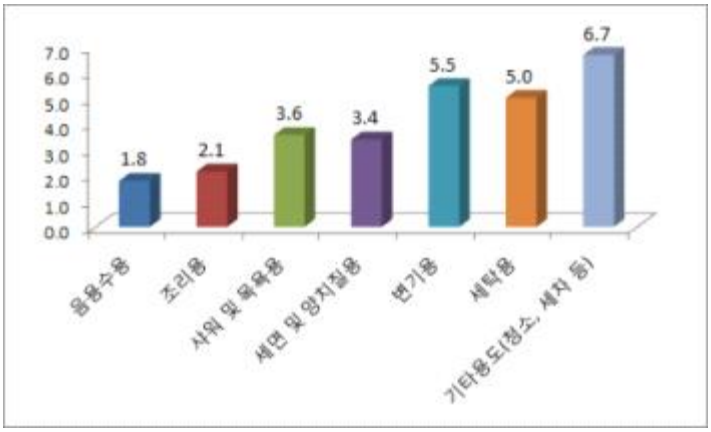
▌그림 2.400 정수기 또는 생수 지출비용 만족도▐

■ 정수기 또는 생수를 이용하고 있는 응답자를 대상으로 향후 수돗물의 품질이 보장된다면 정수기 및 생수 구입을 중단하고 수돗물을 음용할 의사가 있는지에 대한 질문에 68.8%는 그럼에도 불구하고 현재대로 정수기 또는 생수를 계속 음용할 것이라고 응답하였고, 나머지 31.2%만이 수돗물을 음용할 것이라고 응답함. 즉, 실제 수돗물의 품질을 높여도 약 30%만이 수돗물을 음용할 의사가 있는 것으로 판단됨.



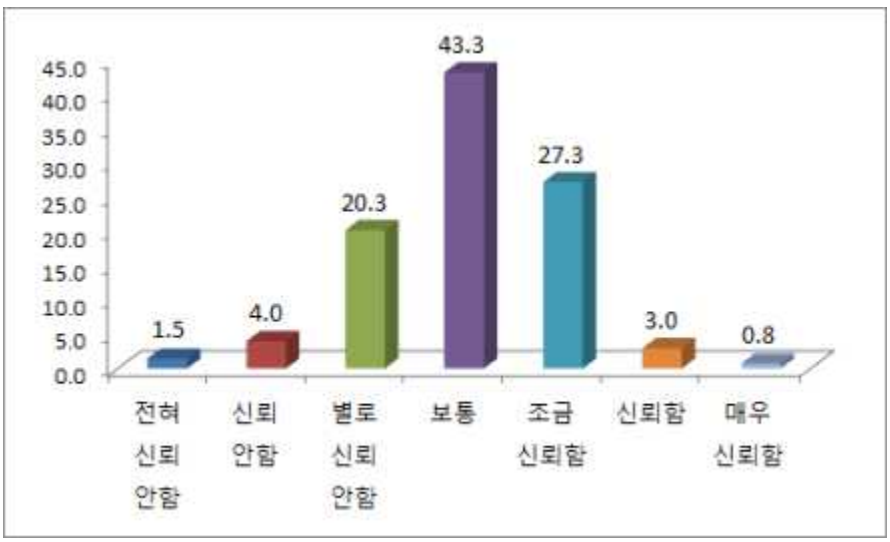
▌그림 2.401 수돗물 품질 보증시 수돗물 음용여부▐

■ 수돗물의 용도별 중요성에 대한 순위를 1위~7위 순으로 질문한 결과, 음용수용이 가장 높은 1순위로 나타났으며, 다음으로 조리용이 2순위, 세면 및양치질용이 3순위, 샤워 및 목욕용이 4순위, 세탁용이 5순위, 변기용이 6순위, 기타용도(청소, 세차 등)이 7순위로 나타남. 이러한 결과로 유추할 수 있는 점은 응답자들이 수질에 민감하게 반응하여 음용수, 조리용, 세면 및 양치질용에 높은 점수를 준 것으로 판단됨.



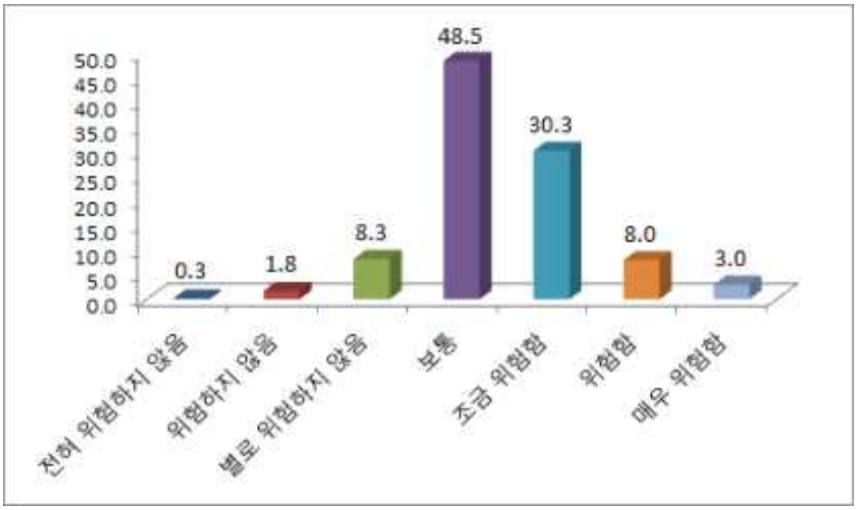
▌그림 2.402 수돗물 용도의 중요도 순위▐

■ 현재 공급되고 있는 수돗물의 안전성에 대한 신뢰도를 설문한 결과, 보통이라고 응답한 경우가 43.3%로 가장 높고, 다음으로 「조금 신뢰함」, 「신뢰함」, 「매우 신뢰함」 등 신뢰한다는 긍정적인 답변이 약 31%로 부정적인 응답보다는 높은 것으로 나타남.



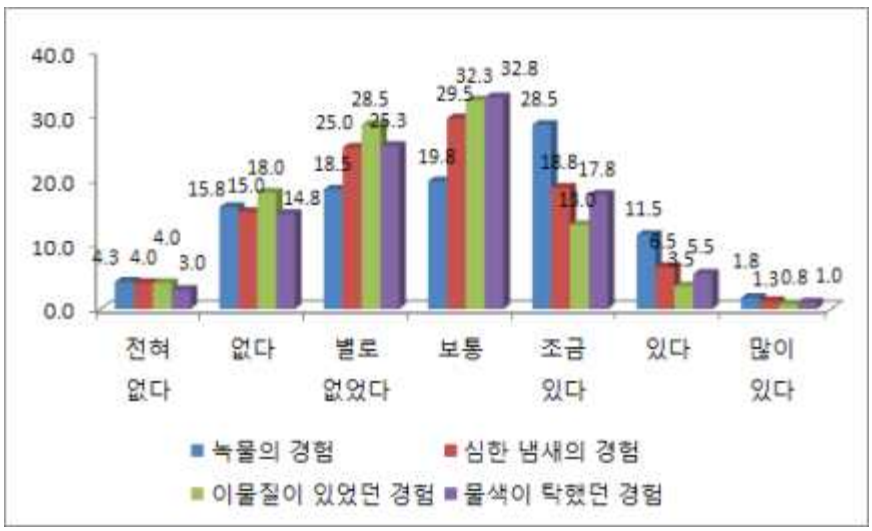
▌그림 2.403 수돗물 안전성에 대한 신뢰도▐

■ 수돗물을 지속적으로 직접 음용했을 경우에 대한 의견을 설문한 결과 「보통」이 48.5%로 가장 높았으나, 「조금 위험함」, 「위험함」, 「매우 위험함」이라고 부정적인 의견을 나타낸 응답자가 약 41.3%로 나타나, 직접 음용하는 것에 대한 거부감이 높은 것으로 판단됨



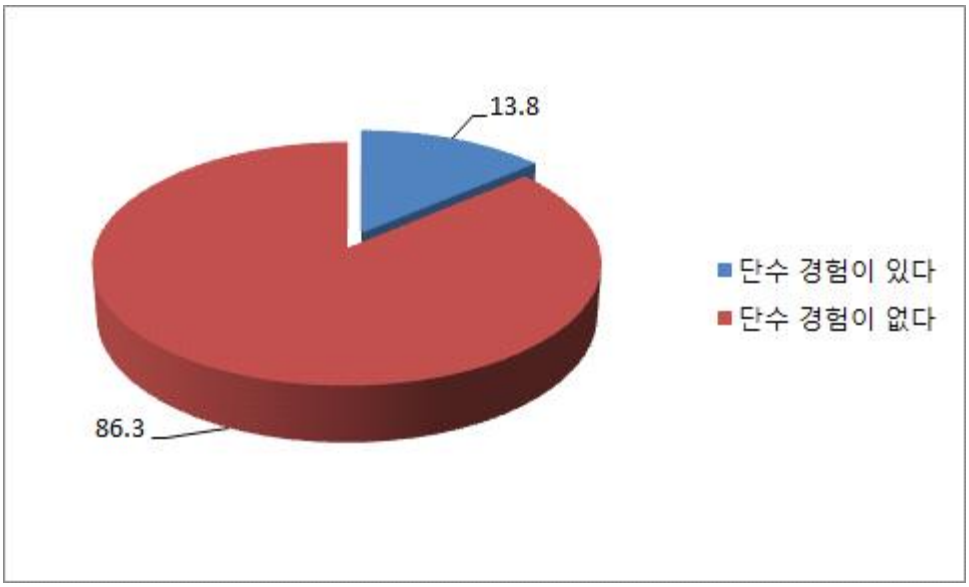
▌그림 2.404 수돗물을 지속적으로 음용할 경우에 대한 의견 ▐

■ 최근 3년간 수돗물 오염(녹물의 경험, 심한 냄새의 경험, 이물질이 있었던 경험, 물색이 탁했던 경험)에 대한 경험여부를 질문한 결과, 녹물의 경우 「조금 있다」, 「있다」, 「많이 있다」라고 경험을 했다는 응답이 41.8%로 부정적인 응답보다 높았음. 하지만 냄새의 경험, 이물질 경험, 물색이 탁했던 경험의 경우 「전혀 없다」. 「없다」, 「별로 없었다」라고 경험을 하지 않았다는 응답이 경험을 했다는 응답보다는 높았음.



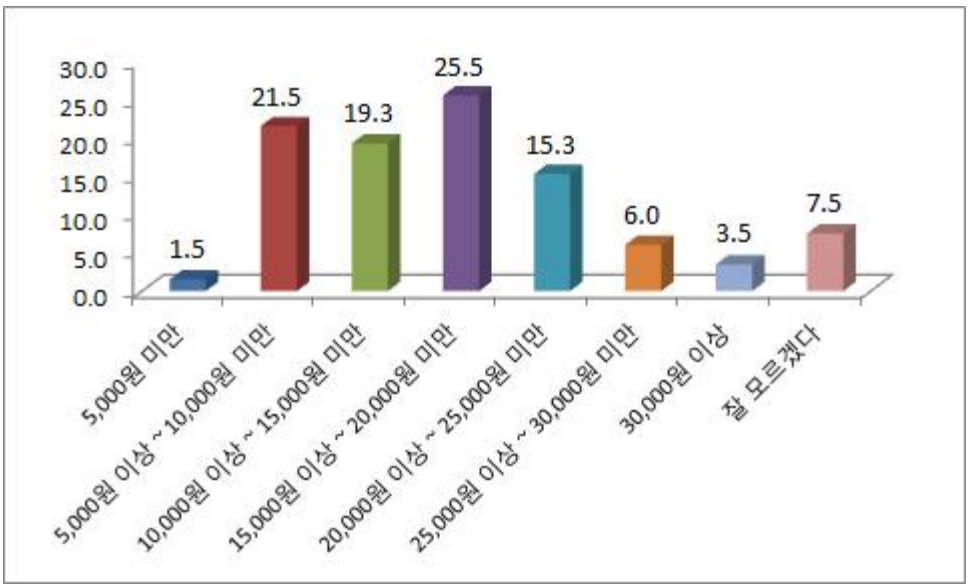
▌그림 2.405 최근 3년간 수돗물 오염 경험 여부 ▐

■ 최근 3년간 수돗물 단수 또는 급수제한 경험 여부에 전체 응답자의 86.3%가 「단수 경험이 없다」라고 응답하였으며, 13.8%는 단수 경험이 있었던 것으로 나타남



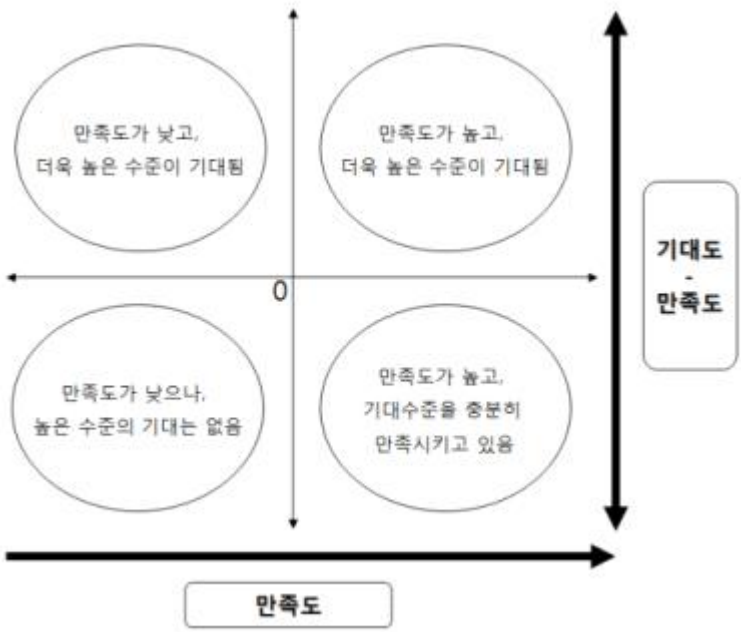
▌그림 2.406 최근 3년간 단수나 급수제한 경험 여부▐

■ 현재 가정에서 지불하고 있는 한달 평균 수도요금에 대한 질문에 15,000원~20,000미만이 가장 많은 25.5%를 차지하였고, 다음으로 5,000원~10,000원이 21.5%, 10,000원~15,000원이 19.3%로 나타남



▌그림 2.407 가구당 월평균 수도요금▐

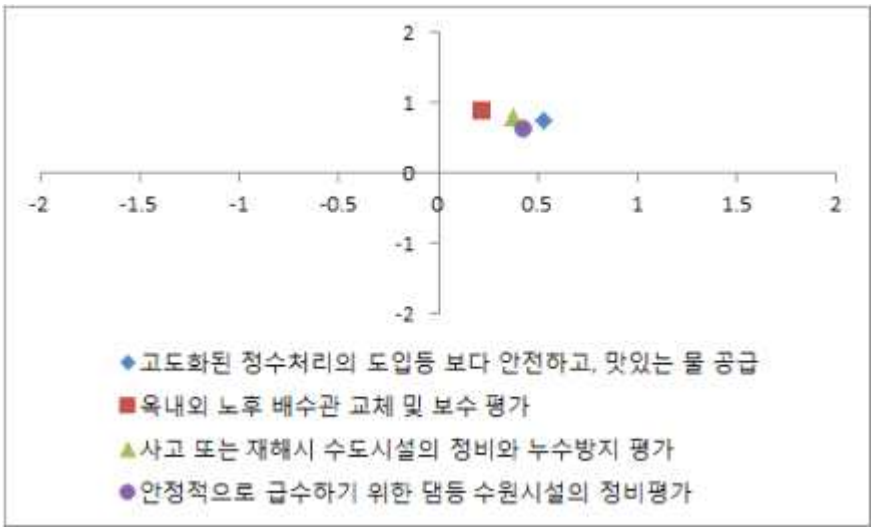
■ 정부 정책에 대한 Mapping분석을 다음과 같이 실시함. 본 조사에서는 대부분의 문항을 리커드 7점방식으로 물어보았기 때문에 기대도와 만족도의 차이는 -6～+6의 수치가 됨. 예를 들어, 기대도가 5이고, 만족도가 1인 경우 기대도와 만족도의 차이는 4가 되는 것임. 이 수치가 클수록 현재의 만족도가 기대하고 있는 수준에서 멀다는 것을 의미함. 반대로 수치가 작을수록 현재의 만족도가 기대수준에 가깝다는 것이 되며, 0이하라면 기대이상의 만족도를 느끼고 있는 것이라 할 수 있음. 또한, 좌표에 '만족도'와 '기대도-만족도'의 측정치를 이용한 Mapping을 통해 수돗물을 현재 사용함에 있어서의 만족도와 기대도의 관계를 알아볼 수 있음. 즉, 현재 여러가지 수돗물에 대한 만족수준이 요구수준의 어느 정도의 위치에 있는지, 또한 수돗물 이용에 대해 어떤 점을 개선하기 원하는 지를 파악 할 수 있음



▌그림 2.408 Mapping분석 좌표 설명▐

■ 정부 정책 중「고도화된 정수처리의 도입등 보다 안전하고 맛있는 물 공급」정책,「옥내외 노후 배수관 교체 및 보수 평가」,「사고 또는 재해시 수도시설의 정비와 누수방지 평가」,「안정적으로 급수하기 위한 댐등 수원시설의 정비 평가」등에 대해 현재 각 항목별로 어느정도 만족하고 있고, 향후 어느정도 기대하고 있는 지에 대해 응답자료를 바탕으로 평가를 하였음. 결과로 4가지 정책 모두 1사분면에 분포하고 있어 대체적으로 현재 만족하고 있는 것으로 평가되었으며, 향후에도 더욱 높은

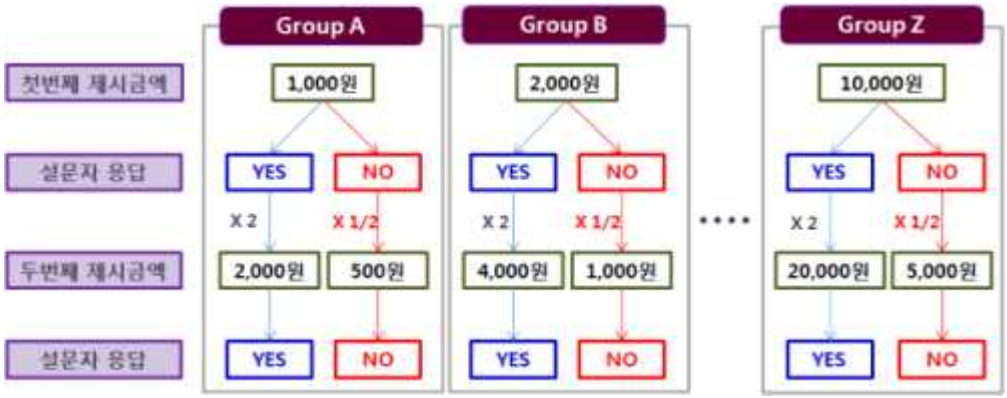
수준을 기대하고 있음. 특히, 수질측면(고도정수처리)에서 다른 정책보다 더욱 높은 기대를 하고 있는 것으로 나타남.



▌그림 2.409 정부정책에 대한 Mapping 분석▐

(나) 가상가치평가법 (CVM)을 통한 분산형 용수공급시스템의 지불의사금액 추정

- 가상가치평가법을 적용한 소비자의 지불의사금액(Willingness to Pay)를 도출하기 위해서 응답자에게 분산형 용수공급시스템을 설명하기 위한 설명카드를 제시하여 본 사업효과를 자세히 설명함
- 지불의사 추정방법은 이중경계 양분선택형 (Double-bounded dichotomous choice : DBDC)을 적용하였고, 초기 제시금액은 사전설문조사를 통해 1,000원~10,000원으로 설정하여 지불의사금액을 추정함. 이중경계 양분선택형의 모형은 다음과 같음



▌그림 2.410 이중양분선택형 모형▐

- H도시와 7대 광역시를 포함한 전체 표본에서 분산형 용수공급시스템 설치 부담금을 향후 5년간 매달 지불할 의향이 있는 응답자는 총 표본수 400명 중 109명으로 27.3%, 지불할 의향이 없는 응답자는 총 표본수 400명 중 291명으로 72.8%임
- 지불의향이 있는 응답자 중 최초비용의 2배를 지불할 의사가 있는 응답자는 전체 표본에서 7%이다. 지불의사는 있으나 2배의 가격을 지불할 의사는 없는 경우는 전체 표본 상에서는 20.3%임. 지불할 의향이 없다고 한 응답자 중에서 제시금액의 1/2 가격인 경우 지불할 의사가 있는 경우는 전체 표본 중에서는 22.3%, 전혀 지불의사가 없는 경우는 전체 표본 중에서는 50.5% 임
- 즉, 응답자 중 지불의사가 전혀 없는 응답자가 50.5%로 가장 많음.
- 이를 7대 광역시와 H도시로 구분하여 살펴보면, 7대광역시의 표본 상으로는 각 응답에 큰 차이는 없음. 2배가격인 경우에는 지불의사가 없으나 기본적으로 지불의사는 있다는 응답이 32%로 가장 높음. 반면, H도시의 경우에는 지불의사가 전혀 없다는 응답이 71.5%로 확연히 높음.

▌표 2.206 전체 WTP 응답현황 ▐

초기제시금액		최초지불의사(Yes)				최초지불의사(No)				합계
		Yes		No		Yes		No		
		빈도	비율	빈도	비율	빈도	비율	빈도	비율	
지불금액	1,000원	10	2.50	4	1.00	7	1.75	19	4.75	40
	2,000원	0	0.00	11	2.75	12	3.00	17	4.25	40
	3,000원	0	0.00	11	2.75	10	2.50	19	4.75	40
	4,000원	2	0.50	7	1.75	13	3.25	18	4.50	40
	5,000원	3	0.75	9	2.25	5	1.25	23	5.75	40
	6,000원	3	0.75	8	2.00	8	2.00	21	5.25	40
	7,000원	4	1.00	9	2.25	8	2.00	19	4.75	40
	8,000원	3	0.75	10	2.50	7	1.75	20	5.00	40
	9,000원	1	0.25	7	1.75	7	1.75	25	6.25	40
	10,000원	2	0.50	5	1.25	12	3.00	21	5.25	40
합계		**28**	**7.00**	**81**	**20.30**	**89**	**22.30**	**202**	**50.50**	**400**

- 이중양분선택형 모형은 Hanemann(1984)과 Carson(1985)이 제안한 모형을 이용함. 즉 최초 질문에 따라 두 번째 질문을 하여 응답자에게 ‘Yes’와 ‘No’로 응답하게 하는 방법임. 먼저 A라는 첫 번째 제시금액을 제안하고, 첫 번째 제시금액에 대한 i 번째 응답자의 반응에 따라 두 번째 제시금액의 크기를 정하게 됨. 즉, 첫 번째 제

시금액 A에 대해 응답자가 ‘No’라고 대답한다면, 두 번째 제시금액 첫 번째 제시금액보다 작은 $A_i^d < A_i$가 되고, ‘Yes’라고 응답을 한다면 첫 번째 제시금액보다 큰 $A_i^u > A_i$가 된다. 따라서, 다음 네가지 상황이 발생함

- (a) 모두 ‘Yes’라고 하는 경우, (b) 모두 ‘No’라고 하는 경우, (c) 처음에는 ‘Yes’, 두 번째는 ‘No’라고 하는 경우, (d) 처음에는 ‘No’, 두 번째는 ‘Yes’라고 하는 경우임
- WTP분포 $G_c(\bullet)$를 확률변수 C의 누적분포함수라 한다면, 각각의 응답에 대한 확률은 다음과 같음

$$\Pr\{yes/yes\} \equiv P_i^{yy} \equiv \Pr\left\{A_i^u \le \max WTP\right\} \equiv 1 - G_c(A_i^u;\theta)$$

$$\Pr\{no/no\} \equiv P_i^{nn} \equiv \Pr\left\{A_i > \max\ WTP \text{ and } A_i^d > \max\ WTP\right\} \equiv G_c(A_i^d;\theta)$$

$$\Pr\{yes/no\} \equiv P_i^{yn} \equiv \Pr\left\{A_i \le \max\ WTP \le A_i^u\right\} \equiv G_c(A_i^u;\theta) - G_c(A_i;\theta)$$

$$\Pr\{no/yes\} \equiv P_i^{ny} \equiv \Pr\left\{A_i \ge \max\ WTP \ge A_i^d\right\} \equiv G_c(A_i;\theta) - G_c(A_i^d;\theta)$$

- 위의 주어진 조건을 이용하여 이중양분선택 모형의 log-likelihood 함수는 다음과 같음

$$\ln L(\theta) = \sum_{i=1}^{n} \left[I_i^{yy} \ln P_i^{yy} + I_i^{yn} \ln P_i^{yn} + I_i^{ny} \ln P_i^{ny} + I_i^{nn} \ln P_i^{nn} \right]$$

- 여기서, I^{xz}는 지불의사 응답여부에 대한 두 가지 반응 xz에 대한 지시함수이고, 이 지시함수는 두가지 반응이 xz라면 1이고, 아니면 0임
- 공변량을 제외한 WTP 추정금액은 가구당 1,681원으로 추정됨. 실제 설문조사의 WTP추정금액이 기존 연구보다 낮은 이유는 세금에 대한 조세저항, 현재의 수도시스템에 대한 만족등의 원인임

(2) 분산형 용수공급시스템 경제성 분석

(가) H도시의 분산형 용수공급시스템 적용시 경제성 평가

① H도시의 현황과 수도정비기본계획상의 용수공급계획

㉮ H도시 지역의 상수도 계획급수량 산정

▌H도시는 신규개발지역으로 상수도 공급계획의 세부내용은 H도시 수도정비기본계획서상에 계획되어 있고, 중요 내용은 다음과 같음

- H도시의 수도정비기본계획서에서 계획 1인당1일평균급수량, 계획 1인당 1일 최대급수량, 공업용수량, 기타수량을 고려한 H도시 예정지역 및 주변지역의 생활용수 및 공업용수 수요량은 다음 표와 같음. H도시는 2030년까지 장기적으로 개발됨으로 이에 따른 단계별 용수공급계획이 필요한 상황임[3]
- 이에 따라 상수도공급시설은 1단계로 2015년까지 6만톤/일의 공급량이 필요하고 최종 3단계인 2030년까지 총 20만톤/일의 시설이 필요한 것으로 나타남

㉯ H도시 수도정비기본계획에 따른 상수도 용수공급방안

- H도시의 상수도공급방안은 2015년까지 1단계는 대전시에서 공급받는 것으로 이미 결정이 되었음. 다만 이후 2016년부터 2~3단계 시설인 14만톤/일에 대한 시설이 결정되지 않은 상태임
- 현재 수도정비기본계획상에는 2가지 방안만 제시되어 있음. 첫째는 대전시에서 1단계에 이어 추가적으로 받은 방안이며 둘째는 광역상수도를 통한 정수공급방안임. 현재 분산형정수시스템을 통한 공급방안은 설정되지 않은 상황이며 향후 분산형 용수공급시스템이 완성되면 분산형 용수공급시스템만의 세부공급계획을 설정하여 제시할 필요성이 있음
- 대전시에서 물을 공급받아 H도시 공급계통을 단계별로 분리(1단계 월평정수장, 2단계 신탄진 정수장) → 초기투자비 절감, 장시간 물 체류로 인한 수질오염 우려 방지할 수 있음

[3] 현재 월산공단의 공업용수정수시설은 28,000톤/일, 생활용수 2,000톤/일 기준시설이 가동 중. 이러한 용수공급시설을 공업용수도로 전환하여 열병합발전소의 냉각수 및 월산공단의 생활 및 공업용수로 공급하는 것으로 계획

▌표 2.207 H도시 지역의 단계별 급수인구와 용수 수요량▐

지역	용수 구분	일평균/ 일최대	용도별	2010년	2015년	2020년	2025년	2030년
H 시 예정 지역	급수인구			6,500	150,000	300,000	426,628	500,000
	생활 용수 (톤/일)	일평균 급수량 (톤/일)	가정용수	1,400	33,000	66,000	93,900	110,000
			비가정용수	700	16,500	33,000	46,900	55,000
			소계	2,100	49,500	99,000	140,800	165,000
		일최대 급수량 (톤/일)	가정용수	1,800	41,300	82,500	117,300	137,500
			비가정용수	900	20,600	41,300	58,700	68,800
			소계	2,700	61,900	123,800	176,000	206,300
	공업 용수 (톤/일)	월산 공단	업종전환전	3,200	-	-	-	-
			업종전환후	-	-	10,900	11,100	11,400
		열병합발전소		25	12,900	24,300	24,400	24,400
		소계		3,200	12,900	35,200	35,500	35,800
주변 지역	급수인구			10,700	12,900	14,200	15,400	16,500
	생활 용수	일평균급수량(톤/일)		3,800	4,300	4,700	5,100	5,500
		일최대급수량(톤/일)		5,000	5,700	6,200	6,700	7,200
합계	생활 용수	일평균급수량(톤/일)		6,000	53,800	103,700	145,600	170,500
		일최대급수량(톤/일)		7,600	67,500	129,900	182,700	213,500
	공업용수			3,200	12,900	35,200	35,500	35,800

㉰ H도시 수도정비기본계획에 따른 상수도 용수공급방안

- H도시의 상수도공급방안은 2015년까지 1단계는 대전시에서 공급받는 것으로 이미 결정이 되었음. 다만 이후 2016년부터 2~3단계 시설인 14만톤/일에 대한 시설이 결정되지 않은 상태임
- 현재 수도정비기본계획상에는 2가지 방안만 제시되어 있음. 첫째는 대전시에서 1단계에 이어 추가적으로 받은 방안이며 둘째는 광역상수도를 통한 정수공급방안임. 현재 분산형정수시스템을 통한 공급방안은 설정되지 않은 상황이며 향후 분산형 용수공급시스템이 완성되면 분산형 용수공급시스템만의 세부공급계획을 설정하여 제시할 필요성이 있음
- 대전시에서 물을 공급받아 H도시 공급계통을 단계별로 분리(1단계 월평정수장, 2단계 신탄진 정수장) → 초기투자비 절감, 장시간 물 체류로 인한 수질오염 우려 방지할 수 있음
- 사업시행자가 건설할 예정지역내 배수지 및 송수관로를 대전시 부담으로 건설을 제안하고 있음. 용수수요량 산출은 인구 및 1인1일 평균급수량(LPCD)[4]등의 변동이 있고 근거자료가 다소 부정확하나 용수공급에는 문제가 없을 것으로 판단됨. 2개 취수원

[4] Liter Per Capita per Day

및 4개 정수장 간에 네트워크화 및 유입관로의 이원화로 유사시에도 안정적인 물공급이 가능함. 신탄진 정수장의 추가증설(30만톤/일) 인가를 받은 상태로서 향후 인구 및 LPCD등에 변동이 있어도 적절히 대응이 가능함

- 대전시를 통한 물공급시 사업현황은 2단계인 2020년까지 신탄진 정수장을 이용하여 14만톤/일 규모로 공급이 되며 사업비는 325억원 소요됨. 물공급단가는 ㎥당 375.14원이며 계약기간은 30년을 기준으로 하였음

▌표 2.208 대전시를 통한 물공급시 사업현황▐

구분		대전시안
사업 내용	1단계(~2015년)	・월평정수장 이용 : 6만톤/일 ・도시 내외 송수관로 배수지 등
	2단계(~2020년)	・신탄진 정수장 이용 : 14만톤/일 ・도시내외 송수관로 배수지 등
	3단계(~2030년)	・2단계로 시설은 완료됨
사업비 (억원)	1단계	1,007
	2단계	325
	3단계	
	합계	1,332
사업비부담	대전시	
물공급가	375.14원/㎥	
최초공급시기	2010년 4월	
물값 책정기준	・생산원가(402.51원/톤)에서 기존시설 활용 절감액(27.37원/톤 감액)	
협약체결방법	・계약기간 : 30년 ・의회 사전설명, 동의	

주) 신탄진 정수장은 고도처리시설 보유

- 다음은 대전시에서 H도시로 공급되는 계통도를 나타낸 것임. 1단계의 경우 월평정수장에서 H도시로 공급이 진행중이며, 2단계의 경우 신탄진정수장에서 H도시로 공급이 계획중임

1단계 (월평정수장 계통 공급)

대청댐 추동취수탑 ⇒ 중리취수장 ⇒ 월평정수장 ⇒ 송수관로(D=800mm, L=10.5km) ⇒ H도시

2단계(신탄진정수장 계통 공급)

대청댐 역조정지 ⇒ 삼정취수장 ⇒ 신탄진정수장 ⇒ 송수관로(D=1350mm, L=12.5km 및 중간가압장 Q=140,000톤/일) ⇒ H도시

- 수도정비기본계획에 따르면 광역상수도를 통한 H도시의 2단계 공급계획은 송수관로 및 배수지는 전체 시설 중 개발계획에 맞게 단계별로 시설계획을 반영하였으며 대전시에서 용수공급 시 송수관로는 광역상수도 사업에 포함하여 추진하는 것으로 하였음
- 또한 정수시설은 장기적으로 향후 수질여건을 고려하여 고도정수처리를 설치하는 것으로 하되, 현재 계획에서는 제외하였으며, 수용가 공급을 위한 급배수관망 사업은 도시개발사업에 포함하여 추진하는 것으로 계획하였음.
- 용수공급계획은 인근의 광역상수도 또는 대전시의 기존 정수장을 연계 이용한 복합공급방안을 검토하였으며 전략 수자원공사의 광역상수도를 공급하는 1안과 인근의 대전시 여유물량을 활용하는 2안을 제시하고 있음.
- 1안 : 대청댐 광역 및 충남 중부권 광역의 시설을 최대 활용하여 단계별로 용수공급시설을 설치하는 방안 - 광역상수도 200천톤/일
- 2안 : 대청댐광역, 충남중부권 및 인근의 대전시 여유물량을 활용하여 단계별로 설치하는 방안 -광역상수도 60천톤/일, 대전시 이용 또는 광역개발 140천톤/일
- 제1안은 충남중부권 광역상수도 도수관로에서 분기하여 정수장 설치하고 송수관로로 배수지까지 송수시설을 설치하고 1단계 사업은 우선적으로 2011년가지 시범단지 및 인근지역(금남면)의 소요용수가 필요함으로 우선적으로 1차사업으로 15천톤/일의 정수장을 설치하여 공급하고, 2015년까지 2차사업으로 45천톤/일을 설치하여 공급하는 것으로 계획하였음. 이후에 대청댐하류의 현도 취수장을 증설하고 도수관로를 부설하고, 정수장 확장 후 2020년까지 수요 120천톤/일을 공급하되, 단지 내까지의 송수관로 및 배수지 추가 시행하는 것으로 계획하였음. 마지막으로 정수장 확대 후 2030년까지의 수요 200천톤/일을 공급할 수 있도록 정수장 80천톤/일을 확장하는 것으로 계획하였음
- 우선안인 2안의 경우 H도시 시범단지 용수 및 인근지자체에서 요청한 소방용수를 포함하여 2015년까지의 소요용수를 1안과 동일하게 충남 중부권 광역상수도의 도수관로를 이용하여 공급하고 2015년 이후는 대전시 및 인근 충청권의 유발인구를 고려하여 기존 정수장 이용 또는 광역에 의한 공급방안으로 추진하는 것으로 계획하였음

▌표 2.209 수자원공사 공급방안 안별 비교▐

구분			제1안(광역공급)	제2안(광역+기존시설)
1. 시설개요				
1단계	1차	도수시설	D=800mm, L=53km	
		정수시설	Q=15천톤/일	
		급배수 시설	- 배수지이전 단지 내 관로 : D700, L=20km 가압장 : 1개소 배수지 : 2개소(V=40천톤×2EA)	
	2차	정수시설	Q=45천톤/일 증설	
2단계		취수시설	현도취수장: Q=200천톤/일 증설	(대전시 시설이용)
		도수시설	D=1,350mm, L=25.3km증설	(대전시 신탄진정수장이용)
		정수시설	Q=60천톤/일	Q=140천톤/일
		송수시설	배수지이전 단지내관로 : D=700mm, L=30km	-정수장~배수지 관로 : D1350mm, L=14.7 가압장 1개소 배수지이전 단지내관로 D700, L=30km
		급배수시설	배수지2소(V=40천톤×2EA)	
3단계		정수시설	Q=80천톤/일	-

- 우선 충남 중부권 광역상수도 도수관로에서 분기하여 정수장을 설치하고 송수관로로 배수지까지 송수하고 1단계 사업으로 15천톤/일의 정수장을 설치하고 2차사업으로 45천톤/일을 설치하여 공급함. 이후의 최종 공급방안은 대전시 및 충청권의 유발인구를 고려하여 결정하되, 단지 내까지의 송수관로 및 배수지는 추가 시행하는 것으로 계획함
- 수자원공사의 세부 공급방안을 살펴보면 다음 표와 같음. 각 단계별로 정수장을 건설하여 총 20만톤(1단계 6만톤, 2단계 6만톤, 3단계 8만톤) 규모의 정수장을 통하여 공급계획을 설정하였으며 총설치 비용으로 1,933억원을 산정하였음. 물공급가는 394원이며 전국적으로 동일한 광역상수도 요금을 책정하고 있음

▌표 2.210 수자원공사를 통한 물공급시 사업현황▐

구분		수자원공사	
		제1안	제2안(우선안)
사업 내용	1단계 (~2015년)	정수장 : 6만톤/일 1차:1.5만톤/일 2차: 4.5만톤/일 도시 내 송수관로 등	정수장 : 6만톤/일 1차:1.5만톤/일 2차: 4.5만톤/일 도시 내 송수관로 등
	2단계 (~2020년)	정수장 증설 : 6만톤/일 도시내외 송수관로, 배수지 취수장 등	신탄진 정수장 이용 : 14만톤/일 도시내외 송수관로, 배수지 등
	3단계 (~2030년)	정수장 8만톤/일	(2단계 건설로 완료)
사업비 (억원)	1단계	644(정수장317 포함)	644(정수장317 포함)
	2단계	982(정수장232 포함)	593
	3단계	307(전액 정수장)	-
	합계	1,933	1,237
사업비부담	국비 11억원(설계비) 나머지 수자원공사		국비 11억원(설계비) 나머지 수자원공사
물공급가	394원/톤		
최초공급시기	2010.4		
물값책정기준	전국적으로 동일		
협약체결방법	계약기간 : 영구적, 상호준수사항 : 협약		

■ 수도정비기본계획서에는 수자원공사의 원수공급을 전제로 하여 H도시의 물공급이 이루어질 경우 정수장 설치의 여러조건을 토대로 다음과 같이 정수장을 설치를 제시하고 있으며 정수장 설치사업비는 64,823백만원 정도를 제시하고 있음[5]

▌표 2.211 정수장 설치현황▐

구분	검토내용
1. 위치	
2. 표고	60
3. 용량	155,000톤/일 (80,000톤 + 75,000톤)
4. 지형특성	・부지옆으로 골짜기가 있음 ・부지옆 골짜기를 성토하여 부지확보 ・반곡리 마을이 있어 진입도로 개설용이
5. 종합의견	・최수장에서 최대한 가까운 곳으로 선정하였음 ・골짜기 성토로 토공량 우려 ・정수장에서 배수지까지의 가압시설이 필요 ・정수장표고 : 60, 배수지 표고 100

[5] 설치사업비의 경우 감리설계비와 부가세는 제외된 금액이며, 정수장내 송수펌프장은 포함한 비용임

▌표 2.212 정수장 설치사업비 (광역원수 공급시, 단위 : 백만원)▐

년도	2010년	2015년	2020년	2025년	2030년
계획 정수장 사업비 (백만원)	-	80,000톤/일(신설) 1. 토목: 14,579 2. 건축: 8,593 3. 기계: 4,610 4. 전기: 3,367 5. 계장: 3,213 합계: 34,362	-	75,000톤/일(증설) 1. 토목: 14,194 2. 건축: 5,456 3. 기계: 4,415 4. 전기: 3,293 5. 계장: 3,101 합계: 30,461	-

■ 최초의 사업비단가는 양 기관이 공통사항에 대해 사업비 단가에 차이가 있어 평균값으로 재산정하면 다음과 같이 나타남. 대전시안과 수공의 공급안을 비교하면 관로 및 배수시설 등 공통부분을 제외하고 수공안이 대전시보다 312억원 ~ 1,024억원이 많은 것으로 나타남.

▌표 2.213 대전시안과 수자원공사의 경제성 비교▐

구분	대전시안	수자원공사	
		제1안	제2안(우선안)
내부송수관로	791억원	791억원	791억원
외부 송배수관로 등	370억원	537억원	365억원
정수장	-	856억원	317억원
합계	1,161억원	2,184억원	1,473억원

■ 2015년 이후 2단계이상의 상수도 공급계획은 중장기적인 계획으로 H도시의 신지자체 출범 후 자체적으로 결정할 예정임. 2015년 이전에는 우선 대전시 상수도를 활용하는 것으로 결정하였음

■ 이에 따라 1단계로 대전시 월평정수장의 여유분을 공급(6만톤/일) 받는 것으로 결정하였음. 이는 수도공급의 안정성에 문제가 없고 경제성에서도 우수하며 정부의 물관리 정책방향과 부합됨으로 판단하였기 때문임

■ H도시와 대선광역시는 2007년 3월 22일 공급협약을 체결하였으며 협약에 따르면 대전광역시는 행정도시 예정지역 경계까지 수도법 18조(수질기준)에 적합한 수돗물을 공급하기로 하였음. 대전광역시는 행정도시 예정지역 경계까지 수도시설의 설치를 부담하며 시설규모는 계획공급량에 첨두율을 고려한 규모로 하였음. 또한 한국토지공사가 설치하는 배수지까지 원활하게 공급되도록 수압을 유지하기로 하였음. 공급일은 2010년 3월부터이며 1일 평균 6만톤으로 함

② H도시의 비용 분석

- 용수공급시스템의 설치 및 운용비용은 지역의 특성과 공급환경에 따라 좌우되기 때문에 특정지역에 실제 설치되는 시설을 기준으로 산정될 필요가 있음.
- 이에 특정지역은 H도시(인구 50만)를 기준으로 분산형 용수공급시스템의 설치비용과 운영비를 합산하여 산출하고자 함.

- 인구 : 2030년까지 50만 규모 예상
- 1인당1일급수량 : 0.3396톤
- 년간 급수량 : 2030년 이후 43,383,900톤

㉮ 사업비 비교 분석

- H도시는 현재 인근 타지자체로부터 하루 6만톤 규모로 상수도를 공급받고 있으나 2015년 이후 자체적으로 14만톤의 시설을 설치할 예정임.
- 추가적인 시설 14만톤의 건설비는 H도시 수도정비기본계획을 통해 이미 산출되어 있는데 이는 수자원공사에서 광역원수를 받아 집중형정수장을 설치하는 방식으로 산출된 것임. 즉, H도시 수도정비기본계획에 따르면 향후 2단계 14만톤에 대한 공사비를 약 539억원으로 산정하고 있음.
- 분산형 용수공급시스템의 공사비는 다음 표와 같이 10,000㎥~30,000㎥ 규모별 표준정수처리 및 고도정수처리시설의 개략공사비, 막여과 및 고도정수처리 개략공사비, 수직형 정수처리시설(응집침전 포함 및 불포함)의 개략공사비를 산출하여 이를 기준으로 공사비를 적용하고자 함

▌표 2.214 규모별 정수처리시설에 대한 공사비 ▌ 단위 : 원, 배

규모(㎥)	표준정수+고도 (A)	막여과+고도(B)	수직형정수처리(C) (응집침전포함)	수직형정수처리(D) (응집침전불포함)
10,000 (배수)	21,174,928,217	22,939,929,241	23,652,373,996	21,772,383,081
	1	1.083	1.1170	0.9491
20,000 (배수)	28,474,139,531	30,866,932,524	30,981,952,874	28,561,838,612
	1	1.084	1.088	1.003
30,000 (배수)	35,423,647,227	38,399,840,958	41,168,757,675	38,024,596,654
	1	1.084	1.1162	0.990

- 기존 집중형 용수공급시스템은 표준정수+고도정수처리(A)이고, 수직형 정수처리시설이 포함된 분산형 용수공급시스템은 응집침전시설의 포함 여부에 따라 C 또는 D와 같음. 공사비를 비교하면 기존 집중형 용수공급시스템은 1이라 하면, 응집침전을 포함한 수직형 정수처리시설은 약 1.0~1.11배, 응집침전시설을 포함하지 않을 경우 0.94~1배로 거의 비슷하거나 조금 높은 수준임.
- 분산형 용수공급시스템 중 수직형 정수장 공사비는 표준정수처리시설의 약 1.11배를 적용하여 총 598억원으로 추정함
- 예비타당성 표준지침에 따르면, 토목 및 건축은 내용연수를 45년으로 하고, 기계 및 전기의 경우 내용연수가 15년임. 따라서 경제성 평가를 45년 기준으로 할 경우 기계 및 전기시설의 경우 2번의 재투자가 필요함
- 30,000톤 기준시 표준정수처리시설과 수직형 정수처리시설의 기계 및 전기시설의 비중을 보면 다음과 같음

▌표 2.215 정수처리시설별 항목별 비율(30,000톤 가정)▐

구분	표준정수		막여과		수직형	
	공사비 (천원)	비율(%)	공사비 (천원)	비율(%)	공사비 (천원)	비율(%)
토목시설	11,238,648	32%	9,209,202	24%	6,408,110	16%
건축시설	7,836,832	22%	7,828,535	20%	12,053,346	29%
기계장치	4,238,490	12%	9,252,426	24%	18,593,276	45%
전기장치	1,730,715	5%	1,730,715	5%	2,431,942	6%
계장	1,682,084	5%	1,682,084	4%	1,682,084	4%
고도시설	8,696,879	25%	8,696,879	23%		
합계	35,423,647	100%	38,399,841	100%	41,168,758	100%

- 결론적으로 표준정수처리시설의 경우 총 공사비의 약 17%를 재투자비용으로 산정하였고, 수직형 정수처리시설의 경우 총 공사비의 약 51%를 재투자비용으로 산정하여 적용하였음

㉰ 운영유지비 비교 분석

- H도시에 집중형 용수공급시스템과 분산형 용수공급시스템을 설치함에 따라 발생되는 운영유지비를 산정하여 비교하였음
- 운영유지비는 인건비, 동력비, 약품비, 수선유지비만 가정하였음

- 인건비 : 집중형의 경우 향후 500,000톤을 운영해야 하므로, 25명으로 가정했고, 분산형의 경우 정수장의 무인화가 가능하나 최소한의 인원을 고려하여 10명으로 가정하였음. 인건비 단가는 2011년 안전행정부의 공기업 결산평가의 평균값인 49,303천원으로 적용함
- 동력비 : 집중형의 경우 2011년 안전행정부의 공기업 결산평가의 평균값인 톤당 37.7원을 적용하였으나, 분산형의 경우 톤당 0.1kW만 소비되는 것으로 나타나 이를 하루 전력량으로 계산한후 한국전력공사의 산업용 전기요금으로 환산하여 적용하였음
- 약품비 : 집중형의 경우 2011년 안전행정부의 공기업 결산평가를 기준으로 평균값인 톤당 7.7원을 적용하였으나, 분산형의 경우 일반 수용가에 가까이에 설치되기 때문에 약품비의 절감이 예상되고, 이는 실험결과 톤당 3.59원이 소요되는 것으로 나타나 이를 적용하였음.
- 수선유지비의 경우 2011년도 안전행정부의 공기업 결산평가를 기준으로 집중형과 분산형 동일하게 톤당 74.2원을 적용함

㉱ 전체 공사비 비교

■ H도시에 집중형 용수공급시스템과 분산형 용수공급시스템의 비용을 산정한 결과 집중형 용수공급시스템이 총 2,219억원으로 산정되었고, 분산형 용수공급시스템은 총 2,328억원으로 산정되었음

■ 분산형 용수공급시스템은 집중형 용수공급시스템에 비교하여 정수장 건설비와 재투자비용이 높으나, 운영비가 집중형 용수공급시스템에 비해 상대적으로 낮기 때문에 전체적으로는 약 4.9%의 비용이 높은 것으로 나타남

▌표 2.216 H도시의 집중형 용수공급시스템과 분산형 용수공급시스템의 비용비교▐

구분		집중형 용수공급	분산형 용수공급
급수인구		2015년 이후 350,000명 기준	
1인1일 사용량(LPCD)		0.3396톤	
공사비 산출	도시내외 송수관로, 배수지, 취수장 등	750억원	750억원
	정수장	539억원	598억원
	정수장 기계전기 재투자비용 (15년, 30년차에 각각 전액갱신)	91억원	305억원
운영비 산출	45년간 운영비 합계 (인력비+동력비+약품비+수선유지비)	839억	675억
합계		2,219억	2,328억

③ H도시의 편익 분석

㉮ 편익이전에 따른 편익 산정

- 생활용수 개선 편익은 실제 소비자들이 상수도에 부여하고 있는 경제적 가치로 2008년 KDI의 예비타당성 조사 중 「구미시Ⅲ단계 광역상수도사업」에서 구미시를 대상으로 CVM방법론을 적용한 생활용수 개선편익을 편익이전 하였음
- 「구미시Ⅲ단계 광역상수도사업」의 생활용수 개선편익 ㎥당 453.39원(가정용수 평균요금 419원/㎥ 포함)을 H도시로 편익이전하기 위해서는 소비자물가지수를 이용하여 보정한 지불의사금액(37.8원)과 2011년 기준 가정용수 평균요금 447.6원/㎥을 합한 금액인 ㎥당 485.4원으로 산정함

▌표 2.217 H도시의 생활용수 개선 편익 보정값▐

소득 보정	구분	2011년 소비자물가지수 (A)	2008년 소비자물가지수 (B)	물가지수 보정값 (A/B)
	단위	104.0	94.52	1.278
지불금액보정	**(생활용수 지불의사 × 물가지수 보정) + 2011년 가정용수 평균요금 = ㎥당 H도시 생활용수 공급편익 (34.39원 ×1.1) + 447.6 = 485.4원**			

- H도시의 생활용수 개선 편익을 사회적 할인율로 현재가치화 할 경우 45년간 총편익의 규모는 약 2,835백만원 수준으로 추정됨
- 분산형 용수공급시스템은 단수 저감을 위해 지하저류조에 비상용수 저감시설을 계획하고 있고, 이에 따른 편익이 발생하게 됨
- 2009년 「한강하류권 2차 급수체계 조정사업의 예비타당성」 보고서에 따르면, 단수 저감에 따른 추가적인 지불의사는 ㎥당 175.4원으로 나타났음. 이 자료를 기준으로 H도시 지역에 적용하였음
- H도시로 편익을 이전하기 위해 지불의사금액을 보정하면, ㎥당 단가는 약 187.8원 수준임

▌표 2.218 H도시의 비상용수 확보 편익 보정값▐

소득 보정	구분	2011년 소비자물가 지수(A)	2009년 소비자물가 지수(B)	물가지수 보정값 (A/B)
	단위	104.0	97.1	1.07
지불금액보정	**단수지불의사 × 물가지수 보정 = H도시 단수지불의사 175.4원 ×1.07 = 187.8원**			

- H도시의 단수저감 편익 사회적 할인율로 현재가치화 할 경우 45년간 총 편익의 규모는 1,097백만원 수준으로 추정됨
- H도시의 생활용수 개선 편익을 사회적 할인율로 현재가치화 할 경우 총편익의 규모는 약 389,950백만원 수준으로 추정됨
- H도시의 급수량 산정은 H도시의 수도정비기본계획 상의 년도별 추정인구를 기준으로 하였음. H도시의 최종 상주인구는 50만명을 기준을 목표로 하고 있으며 총시설용량은 1일 20만톤 규모로 설정하고 있음. 다만 1단계인 2015년까지 6만톤은 이미 대전시에서 공급하기로 하였으며 해당급수인구는 15만명 수준임. 나머지 2~3단계를 시설을 통해 공급받는 급수인구는 최대 35만명으로 산정하였음.

▌표 2.219 H도시의 연도별 급수인구 추정 및 1인1일급수량 산정▐

구분	2010년	2015년	2020년	2025년	2030년
급수인구	6,500	150,000	300,000	426,628	500,000

구분	2010년
1인1일급수량(LPCD)	0.3396톤

자료 : 상수도통계, 2010, 환경부

- H도시의 1인1일물사용량(LPCD)는 H도시의 근접 유사지역인 대전시를 기준으로 2010년 상수도통계의 1인1일 급수량 기준인 0.3396톤으로 하였음. H도시의 최종 급수량은 급수인구와 1인1일 요금사용량을 곱하고 365일을 곱하여 년도별 급수량을 산정하였음.

■ 산정된 급수량에 단수저감지불의사금액을 곱하여 단수저감편익을 구하여 미래의 단수저감편익을 다음 표와 같이 사회적 할인율을 적용하여 현재가치[6]화 하였음

▌표 2.220 H도시의 분석기간 사회적 할인율▐

경제성 분석 대상기간(N)	2016~2060년(45년)
사회적 할인율(r)	「예비타당성조사 일반지침」에 의거하여 시설 운영 후 30년 동안은 5.5%, 30년 이후부터는 4.5%

■ 전체적으로 편익이전에 따른 용수공급에 따른 편익은 45년간 생활용수 공급편익이 약 2,835억원, 비상용수확보편익이 약 1,097억원으로 추정됨

㉰ 가상가치평가법(CVM)에 따른 용수공급 편익 산정

■ 설문조사를 통한 가상가치평가법(CVM) 방법론으로 추정한 H도시의 생활용수 개선편익은 45년간 약 2,975억원으로 추정됨.

㉱ 온실가스 저감 편익 산정

■ 향후 H도시에 수직형 정수처리시설을 14개가량 설치할 계획이고, 이에 따라 1,000㎥ 정수장에 100kWh가 소요된다고 가정하여 H도시에 14,000kWh의 전력소비량이 발생할 것으로 가정함

■ 이 중 30%를 저감한다고 하면 시간당 약 4,200kW를 저감하는 것이고, 하루 약 100.8MkW, 연간 약 36,792MkW정도 저감할 것으로 추정됨.

■ 신재생에너지 설치에 따라서 연간 약 36,792MkW를 저감할 경우, 온실가스인 CO_2배출량은 에너지원별 온실가스배출량 계수를 적용해야 하고 자세한 에너지원별 사용단위당 온실가스배출량은 다음 표와 같음

[6] 현재가치의 기본 공식은 다음과 같음

현재가치(Present Value) $= \sum_{n=1}^{N} \frac{B_n}{(1+r)^n}$

▌표 2.221 에너지원별 사용단위당 온실가스배출량▐ (단위 : kg.CO2)

석 유					석 탄(1㎏당)		도시가스 (1N㎥당)	전기 (1kWh당)	지역난방 (온수 1Gcal당)
휘발유 (1ℓ 당)	경유 (1ℓ 당)	프로판 (1㎏당)	등유 (보일러) (1ℓ 당)	중유 (B-C) (1ℓ 당)	국내 무연탄	유연탄 (연료용)			
2.1㎏	2.6㎏	2.9㎏	2.5㎏	3.0㎏	1.9㎏	2.3㎏	2.2㎏	0.469㎏	186㎏

자료 : 에너지관리공단 홈페이지

- 환산계수를 적용한 연간 온실가스 저감량은 약 17,255ton CO_2/year으로 추정됨.
- 이를 환경부의 배출권거래제 시범사업의 평균가격 27,041원/톤(1안)과 한국전력거래소 시뮬레이션 결과인 9,254원/톤(2안)의 2개 시나리오를 적용하여 추정한 결과값은 다음과 같음

▌표 2.222 시나리오별 온실가스 저감에 따른 경제적 효과 추정▐

구분	환경부 배출권거래제 시범사업 평균가격 적용시(1안)	전력거래소 시뮬레이션 결과값 적용시(2안)
탄소배출권 거래가격	27,041원/CO_2-ton	9,254원/CO_2-ton
기술수명기간	10년	10년
10년간 총 편익	410백만원	140백만원

- 결국, 신재생에너지를 설치한 분산형 용수공급시스템을 H도시에 적용할 경우 온실저감효과로 인한 화폐가치는 최저 140백만원에서 410백만원의 간접적인 효과가 발생할 것으로 추정됨
- 단, 본 추정값은 한국과학기술기획평가원(KISTEP)의 예비타당성 자료를 이용하여 R&D사업화 성공률과 R&D기여율을 적용하였음. 따라서 기존 온실가스저감 추정치보다 상대적으로 낮은 매우 보수적인 값임

㈑ 전체 편익규모 산정

- 전체적인 H도시에 대한 분산형 용수공급시스템의 편익은 편익이전방법론으로 가정했을 경우(1안) 45년간 최소 3,933억원에서 최대 3,936억원으로 추정되고, 설문조사를 통한 WTP를 추정한 결과를 적용하였을 경우(2안)에는 약4,074억원~4,076억원으로 추정됨

▌표 2.223 전체 편익규모 산정▐

구분	편익이전방법론(1안)	설문조사를 통한 WTP추정(2안)
생활용수 공급편익	2,835억원	2,975억원
단수저감편익	1,097억원	
온실가스저감편익	1.4억원(전력거래소)~4.1억원(시범사업)	
총계	3,933억원~3,936억원	4,074억원~4,076억원

④ H도시의 비용-편익분석

- 앞서 도출된 비용분석자료와 추정된 편익 값을 통해 편익이전 방법론으로 추정했을 경우 비용-편익분석(1안)과 설문조사를 통한 WTP값 추정에 의한 비용-편익분석(2안)은 다음과 같음
- 편익이전 방법론을 적용한 비용편익 분석의 경우에는 집중형 용수공급시스템의 순현재가치(NPV)가 244억원, B/C ratio는 1.12로 나타났고, 분산형 용수공급시스템의 순현재가치(NPV)는 1,376억원, B/C ratio는 1.67로 분석되었음

▌표 2.224 편익이전 방법론을 가정할 경우비용-편익분석(1안)▐ 단위 : 억원

구분	총비용의 현재가치 (A)	총편익의 현재가치 (B)	순현재가치 (NPV)	B/C ratio (B/A)
집중형 용수공급시스템	1,995	2,240	244	1.12
분산형 용수공급시스템	2,068	3,444	1,376	1.67

- 설문조사를 통한 가상가치평가법(CVM)을 이용한 비용편익분석의 경우 분산형 용수공급시스템의 편익이 편익이전보다 높게 나타나 B/C ratio가 1.73으로 추정됨

▌표 2.225 가상가치평가법(CVM)을 가정할 경우 비용-편익분석(2안)▐ 단위 : 억원

구분	총비용의 현재가치 (A)	총편익의 현재가치 (B)	순현재가치 (NPV)	B/C ratio (B/A)
집중형 용수공급시스템	1,995	2,240	244	1.12
분산형 용수공급시스템	2,068	3,567	1,499	1.73

⑤ 대심도 관로시설 유·무에 따른 경제성 분석

㉮ 대심도 관로시설 경제성 평가의 기본개념

- 분산형 용수공급시스템을 설치함에 있어 기존 광역용수 공급시스템을 적용하는 것 외에 지하 50m이하에 대심도 관로시설을 설치할 경우 경제성 분석을 실시하고자 함
- H시를 대상으로 대심도의 총 저류용량은 441,800㎥, 관로길이는 총 22.5㎞, 관경은 5.0m로 결정하여 이를 기준으로 분석함. 대심도 설치에 따른 경제성 분석을 함에 있어 기본적인 지침은 분산형 용수공급시스템 경제성분석과 동일함

㉯ 대심도 관로시설의 비용분석

- 현재 국내에서는 대심도를 이용한 관로시설이 전무하여 비용을 추정하기가 어려움. 다만, 최근 서울특별시는 '2012 서울 수해안전 대책'을 발표하였고, 주요 사업 중 하나인 신월동에 대심도터널 건설계획을 이용하고자 함
- 신월동 대심도터널은 관경 7.5m이고, 관로길이는 3.38㎞임. 총 공사비는 1,435억원을 책정하여, m당 공사단가는 약 42.5백만원임
- 따라서, 서울특별시 신월동 대심도터널의 m당 공사단가를 적용하면, H도시의 총 공사단가는 약 956,250백만원임
- 환경부 "하수도 보조금 편성 집행관리실무요령(2011)" 에 의거 시설부대경비(기본설계비, 실시설계비, 공사감리비, 시설부대비)의 요율을 적용하면 총 62,634백만원의 시설부대경비가 산출되며, 따라서 총 사업비는 약 1,018,884백만원으로 추정됨

▌표 2.226 대심도 관로시설 비용 추정 ▐

구분		금액(백만원)	비고
공사비(A)		956,250	m당 42.5백만원 적용
시설부대경비 (B)	기본설계비	10,806	공사비의 1.13%
	실시설계비	21,707	공사비의 2.27%
	공사감리비	28,496	공사비의 2.98%
	시설부대비	1,626	공사비의 0.17%
	소계	62,634	
합계(A+B)		1,018,884	

㉰ 대심도 관로시설의 편익분석

- 대심도 관로시설을 설치함에 따른 편익은 다양하게 존재함. 이 중 화폐가치로 계량화가 가능한 편익은 다음 그림과 같이 혼잡비용 저감 편익, 용지보상비 저감 편익, 토지가치 증가 편익, 소비자 지불의사금액으로 구분할 수 있음
- 기존의 관로의 경우 누수복구 및 관로교체를 위해서는 대부분의 관로가 도로 밑에 있기 때문에 교통통제를 하게 되고, 이로 인한 혼잡비용이 발생하게 됨
- 혼잡비용은 대도시의 경우 매년 교통량이 증가하고, 이에 따른 교통혼잡으로 인해 발생하는 사회적인 비용을 한국교통연구원에서 “전국 교통혼잡비용 추정과 추이분석”을 통해 발표하고 있음
- 이 자료에 따르면 2008년 7대도시의 경우 17조 217억원의 혼잡비용이 발생하는 것으로 추정하고 있음. 따라서, 2008년 교통연구원에서 발간한 자료를 근거로 1인당 혼잡비용 발생액이 연간 70만원으로 추정하였고, 이를 근거로 H도시의 추계인구자료에 곱하면 총 H도시의 연간 혼잡비용이 추정됨

▌그림 2.411 대심도 관로설치시 발생 편익▐

- 교통연구원에서 추정한 혼잡비용은 매일 발생하는 혼잡비용을 가정한 것인 반면, 관로 교체 및 복구로 인한 혼잡비용은 상시 발생하는 것이 아님. 또한, 대심도의 경우 송수관로에 가깝기 때문에 송수관로의 대체율을 적용해야 할 것임
- 한편, 2010년도 상수도통계에 따르면, 전국평균 송수관로 교체율은 0.7%이고, H시 광역송수관 길이는 12.38㎞임. 즉, 매년 86.72m를 교체한다고 가정함
- 하루 10m를 교체한다고 가정했을 경우, 일년에 약 9일(≒8.6일)은 혼잡비용이 발생할 것이고, 하루 혼잡비용 약 959백만원이므로, 전체 혼잡비용은 연간 8,315백만원이 발생할 것으로 추정됨
- 대심도터널의 경우 지하 50m이하에 설치하는 것이기 때문에 용지보상 불필요

- H시 광역송수관 길이는 12.38㎞, 평균 구경은 375㎜임
- 한편 KDI자료에 의거 용지보상배율은 수도권외 시부의 경우 다음과 같이 평균값 1.86배를 적용함

▌표 2.227 수도권외 시부 지목별 보상배율▐

구분	보상배율
전	1.75
답	1.75
대지	1.65
임야	2.3
평균	1.86

자료 : 수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정보완연구(제4판), 한국개발연구원

- H도시의 경우 용지보상면적은 수자원공사 기준 관경 600mm이하인 경우 6m를 적용하고, 총 길이가 12.38㎞이므로, 총 면적은 약 74,334㎡임.
- 연기군 남면 평균 공시지가 133,643원/㎡ 적용하면, 총 보상가액은 약 185억원이고, 이 중 사적지 30%만을 보상한다고 가정했을 경우 약 55억원으로 추정됨. 따라서, 대심도 설치에 따라 용지보상비 약 55억원을 절감할 수 있을 것으로 추정됨
- 기존 사유지의 경우 수도시설(관로)를 설치함에 따라 토지용도가 수도용지로 변경됨. 이는 지상권을 행사할 수 없다는 제약이 발생하기 때문에 토지의 공시지가는 다른 용도에 비해 자산의 가치 하락이 발생하게 됨
- 결국, 대심도 관로의 설치는 지상권의 문제가 발생하지 않기 때문에 이에 따른 편익이 발생하게 되고, 이는 토지가격의 차이를 계량화하여 편익을 추정하고자 함
- 연기군의 2010년 자산평가서를 살펴보면 수도용지의 m당 공시지가는 약 49,413원으로 나타났고, 국토해양부의 부동산공시가격에 따르면 2010년 연기군 남면의 전, 답등 ㎡당 공시지가는 133,643원으로 수도용지와 일반용지의 차이는 ㎡당 약 84,230원으로 나타남
- 결국, 총 면적 중 사유지 30%를 가정한 보상면적에 수도용지와 일반용지의 공시지가 차이액을 곱하면 연간 약 18억원이 발생하고, 이는 대심도 설치에 따라 지상권을 확보함으로써 토지가치가 하락하지 않는 편익이라 할 수 있음
- 대심도 관로시설 설치에 따른 소비자들의 지불의사금액을 알아보기 위해 7대광역시 200명과 H도시 200명을 대상으로 설문조사를 실시함[7]
- 지불의사금액 조사방법은 응답자가 개방형으로 지불의사금액을 나타낼 수 있도록

[7] 대심도 관로 설치에 따른 설문조사는 예산의 제약으로 인해 분산형 용수공급시스템 설문조사와 같이 병행하여 조사함. 따라서, 분산형 용수공급시스템은 이중양분형방법을 이용하였기 때문에 대심도 역시 이중양분형으로 하기에는 응답자의 응답거부가 높았기 때문에 이를 보완하고자 개방형 응답으로 변경함. 따라서, 응답자 지불의사의 편차가 높게 나타나는 개방형 응답의 편이(bias)가 발생하였음

하였고, 전체 응답자 중 37.7%인 151명이 지불의사금액을 나타냈으며, 최소금액은 100원, 최대금액은 30,000원으로 나타남

- 평균 WTP는 가구당 약 4,936원으로 추정되며,H도시를 대상으로 45년간 총 편익은 약 33,750백만원으로 추정됨
- 대심도 관로시설 설치에 따른 45년간 전체 편익은 혼잡비용 저감으로 인해 약 3,883억원, 용지보상비 저감으로 인해 약 55억원, 토지가치 하락 방지에 따라 약 810억원, 소비자 지불의사금액으로 인해 337억원이 발생하여 총 5,086억원이 발생하는 것으로 추정됨

▌표 2.228 대심도 시설 설치에 따른 편익 추정 값▐

편익 종류	내용	자료	추정값
혼잡비용 저감	기존의 관로 복구 및 교체로 인해 발생되는 교통혼잡비용을 추정	"전국 교통혼잡비용 추정과 추이분석", 한국교통연구원	**3,883억원(45년간)**
용지보상비 저감	기존 관로설치시 발생하는 용지보상비 저감	"수자원부문사업의 예비타당성 조사 표준지침", KDI	**55억원(한해만 적용)**
용도변경에 따른 편익 (토지가치 편익)	기존 수도용지로 변경되어 토지가치 하락을 방지	"2010년 연기군 자산평가보고서", 연기군청	**810억원(45년간)**
소비자 지불의사금액	대심도 설치로 인한 편익에 대한 소비자의 가치 추정	7대광역시 및 H도시를 대상으로 설문조사	**337억원(45년간)**
합계			**5,086억원**

㉱ 대심도 설치에 따른 경제성 분석

- 대심도 설치에 따른 경제성 분석을 할 경우 B/C ratio는 0.2가 넘지 않음. 이는 1조원이 넘는 사업비가 너무 높기 때문에 다양한 편익을 산출하여도 경제성이 있지 않음. 따라서, 향후 기술력이 발전하여 대심도 사업비가 현재보다 현격히 낮아지기 전에는 대심도 사업에 대한 경제적 타당성을 확보하기 어려울 것으로 판단됨

(나) 새만금지역의 분산형 용수공급시스템 적용시 경제성 평가

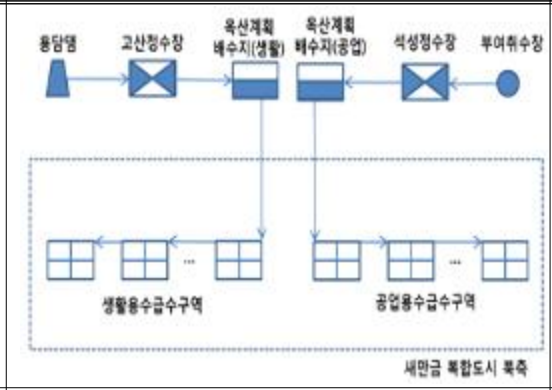
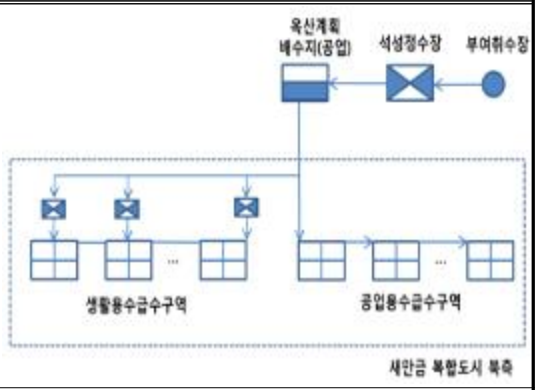
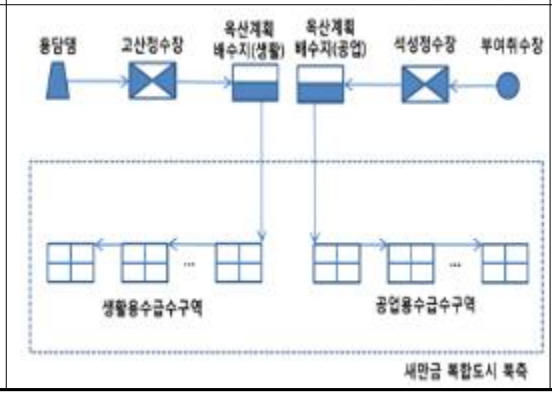
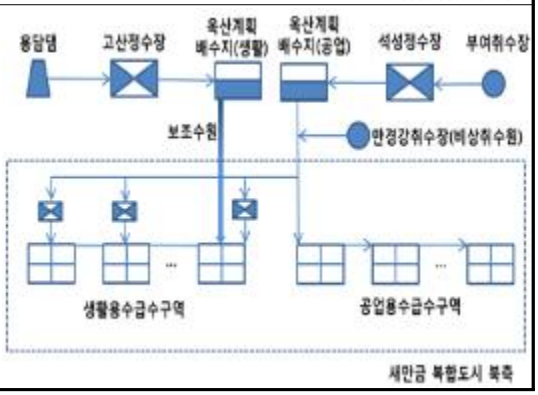
① 새만금지역의 용수공급 기본계획

㉮ 용수공급시나리오 수립

- 분산형용수공급시스템은 금강공업용수도의 침전수를 공급받아 분산형으로 정수처리

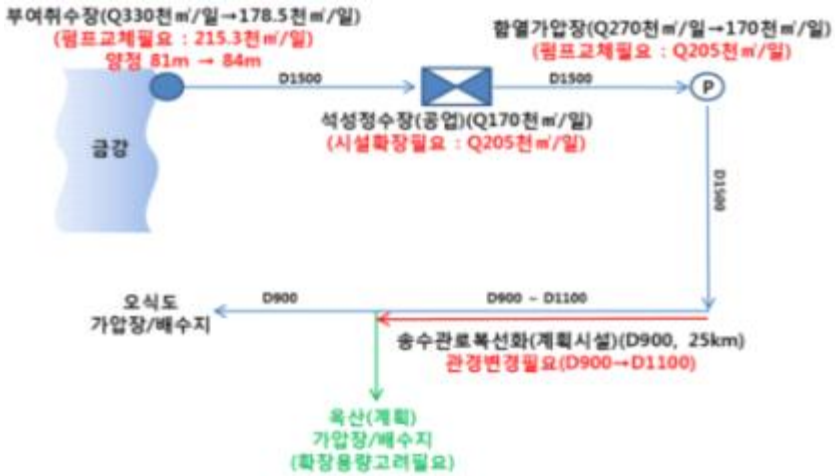
하여 생활용수로 공급하는 것으로 계획함. 분산형 용수공급시스템 구축을 위한 용수공급시나리오는 아래 그림과 같음

▌표 2.229 새만금 지역의 분산형용수공급시스템 적용 시나리오▐

구분	기존 중앙집중형 시스템(마스터플랜)	분산형 용수공급시스템
평상시		
비상시		

㉰ 용수공급을 위한 기반시설 교체 및 변경안 수립

- 새만금 마스터플랜에 수록된 용수수요예측 및 시설계획에 따르면 분산형 용수공급시스템의 원수로 사용하기 위해 필요한 수량(35천㎥/일)을 공급할 여유용량은 없는 것으로 검토됨. 그러나 개별 시설의 운영현황을 고려할 때, 부여취수장 및 함열가압장의 경우에는 당초용량기준으로는 충분한 용량을 확보하고 있는 것으로 조사됨. 단, 35천㎥/일 유량을 추가공급하기 위해서는 펌프 교체가 필요함. 석성정수장의 경우에는 현재 170천㎥/일의 침전수를 생산함. 새만금 지구의 35천㎥/일을 추가 생산할 수 있도록 추가개량 필요함.
- 35천㎥/일을 추가 송수하기 위해서는 당초 계획되어 있는 D900mm관로를 D1100mm로 확장시켜야 오식도배수지로의 공급이 저하되지 않을 것으로 검토됨.



▌그림 2.412 새만금 지구 용수공급 계획▐

㉰ 수직형 정수처리시설 용량 및 설치 위치

■ 분산형 용수공급시스템의 구축을 위한 검토 대상지역로 새만금 복합도시 북측지역을 채택함. 해당 지역은 새만금 담수호와 소하천 및 녹지 등 지역을 기준으로 다음과 같이 6개 구역으로 분할할 수 있음. 각 급수구역은 4,346㎥/일~ 6,883㎥/일의 용수수요가 예측됨. 본 기본계획에서는 해당지역에 20천㎥/일 규모의 수직형 정수처리시설을 2개 설치하는 것을 제안함. A, B, C 급수구역을 통합 1구역으로 D, E, F 급수구역을 통합 2구역으로 재조정함.

▌그림 2.413 새만금 지구 정수처리시설 설치 계획▐

② 새만금 지역의 비용 분석

■ 새만금 지역 중 남측 복합도시의 경우 약 11만명정도의 인구가 진입할 것으로 예상하고 있음. 이에 따라 20,000㎥/일 규모의 수직형 정수처리시설을 설치하는 것으로 가정하였음.

㉮ 사업비 비교 분석

■ 수직형 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템의 장점 중의 하나는 모듈화가 가능하다는 것임. 즉, 수요자의 요구에 따라 표준정수처리공정(응집, 침전, 여과, 소독)에 따라 생산을 할 수도 있고, 오존 또는 막여과 시설을 도입한 고도정수처리시설의 도입도 가능함. 따라서, 다양한 수요계층의 요구에 따라 사업비의 편차가 생길 것으로 예상됨.
■ 새만금 실증지역에 적용할 경우 기존 시스템의 경우 정수장이 기설치 되어있기 때문에 사업비가 발생하지 않으나, 관로 및 가압장을 설치할 경우 분산형 용수공급시스템보다 사업비가 높게 산정되어 전체적으로는 기존 시스템이 분산형 용수공급시스템에 비해 약 95억정도 낮게 추정됨. 그러나, 기존 시스템의 경우 표준정수처리 공정을 이용한 수질이고, 분산형 용수공급시스템은 막여과, 오존, 활성탄을 이용한 고도정수처리를 하였기 때문에 수질의 차이가 발생함. 따라서, 기존 시스템을 고도정수처리시설을 도입한다면 추가적인 사업비가 발생할 것임
■ 기존 시스템의 경우 도수관로와 가압장을 고려한 약 900억원의 사업비가 발생할 것으로 예상되고, 분산형 용수공급시스템의 경우 2만톤 규모의 수직형 정수장을 건설을 해야 하기 때문에 총 1,353억원의 사업비가 발생할 것으로 예상됨

▌표 2.230 새만금지역의 공사비 비교▐ 단위 : 백만원

구분	집중형 용수공급시스템	분산형 용수공급시스템
정수장(2만톤X2)	-	57,123
도수관로 및 가압장	90,000	78,200
합계	90,000	135,323

㉯ 정수장 재 투자비

- 예비타당성 표준지침에 따르면, 토목 및 건축은 내용연수를 45년으로 하고, 기계 및 전기의 경우 내용연수가 15년임. 따라서 경제성 평가를 45년 기준으로 할 경우 기계 및 전기시설의 경우 2번의 재투자가 필요함
- 앞서 H도시의 재투자비 비율을 동일하게 적용하기로 함. 즉, 표준정수처리시설의 경우 총 공사비의 17%, 수직형 정수처리시설의 경우 총 공사비의 약 51%를 재투자 비용으로 산정하여 적용함. 단,

㉰ 운영유지비 비교 분석

- 새만금 지역에 집중형 용수공급시스템과 분산형 용수공급시스템을 설치함에 따라 발생되는 운영유지비를 산정하여 비교하였음
- 운영유지비는 인건비, 동력비, 약품비, 수선유지비만 가정하였고, 각각의 산정근거는 다음과 같음

- 인건비 : 집중형의 경우 향후 40,000㎥/일을 운영해야 하므로, 15명으로 가정했고, 분산형의 경우 정수장의 무인화가 가능하나 최소한의 인원을 고려하여 6명으로 가정하였음. 인건비 단가는 2011년 안전행정부의 공기업 결산평가의 평균값인 49,303천원으로 적용함
- 동력비 : 집중형의 경우 2011년 안전행정부의 공기업 결산평가의 평균값인 톤당 37.7원을 적용하였으나, 분산형의 경우 톤당 0.1kW만 소비되는 것으로 나타나 이를 하루 전력량으로 계산한후 한국전력공사의 산업용 전기요금으로 환산하여 적용하였음
- 약품비 : 집중형의 경우 2011년 안전행정부의 공기업 결산평가를 기준으로 평균값인 톤당 7.7원을 적용하였으나, 분산형의 경우 일반 수용가에 가까이에 설치되기 때문에 약품비의 절감이 예상되고, 이는 실험결과 톤당 3.59원이 소요되는 것으로 나타나 이를 적용하였음.
- 수선유지비의 경우 2011년도 안전행정부의 공기업 결산평가를 기준으로 집중형과 분산형 동일하게 톤당 74.2원을 적용함

- 분석 결과 집중형 시스템의 경우 연간 약 24억원의 운영유지비가 소요되는 반면, 분산형 용수공급시스템은 약 18억원으로 집중형 시스템에 비해 연간 약 6억원의 절감효과가 있는 것으로 나타남

▌표 2.231 새만금지역의 운영유지비 비교▐ 단위 : 백만원

구분	집중형 용수공급시스템	분산형 용수공급시스템	비고
인건비	739,545	246,515	기존 :15명, 분산형 : 5명
동력비	550,420	411,121	
약품비	112,420	52,414	
수선유지비	1,083,320	1,083,320	
합계	2,485,705	1,793,370	
㎥당 단가	170.3원	122.8원	

㉮ 전체 공사비 비교

- 새만금 지역에 집중형 용수공급시스템과 분산형 용수공급시스템의 비용을 산정한 결과 집중형 용수공급시스템이 총 2,211억원으로 산정되었고, 분산형 용수공급시스템은 총 4,488억원으로 산정되었음
- 분산형 용수공급시스템은 집중형 용수공급시스템에 비교하여 정수장 건설비와 재투자비용이 높으나, 운영비가 집중형 용수공급시스템에 비해 상대적으로 낮기 때문에 전체적으로는 약 2배정도 비용이 높은 것으로 나타남

▌표 2.232 H도시의 집중형 용수공급시스템과 분산형 용수공급시스템의 비용비교▐

구분		집중형 용수공급	분산형 용수공급
급수인구		약 105,786명	
1인1일 사용량(LPCD)		0.3396톤	
공사비 산출	도수관로부문	900억원	782억원
	정수장	-	571억원
	정수장 기계전기 재투자비용 (15년, 30년차에 각각 전액갱신)	193억원	582억원
운영비 산출	45년간 운영비 합계 (인력비+동력비+약품비+수선유지비)	1,118억원	807억원
합계		2,211억원	4,488억원

③ 새만금 지역의 편익 분석

㉮ 생활용수 개선 편익 추정

- 생활용수 개선 편익은 실제 소비자들이 상수도에 부여하고 있는 경제적 가치로 7대 광역시 및 H도시를 대상으로 설문조사를 통한 가상가치평가법(CVM)을 적용한 편익을 추정함
- 가정용수의 수도요금은 2011년 기준 전라북도 가정용 요금 평균값인 715.1원을 적용함. 이에 설문조사를 통해 산정된 지불의사금액(WTP) 값인 61.93원을 더한 값이 생활용수 개선 편익으로 산정함
- H도시의 생활용수 개선 편익을 사회적 할인율로 현재가치화 할 경우 45년간 총편익의 규모는 약 1,867억원 수준으로 추정됨

㉯ 비상용수 확보 편익 추정

- 분산형 용수공급시스템은 단수 저감을 위해 지하저류조에 비상용수 저감시설을 계획하고 있고, 이에 따른 편익이 발생하게 됨

- 2009년 「한강하류권 2차 급수체계 조정사업의 예비타당성」 보고서에 따르면, 단수저감에 따른 추가적인 지불의사는 ㎥당 175.4원으로 나타났음. 이 자료를 기준으로 새만금 지역에 적용하였음
- 새만금 지역으로 편익을 이전하기 위해 지불의사금액을 보정하면, ㎥당 단가는 약 187.8원 수준임

▌표 2.233 H도시의 비상용수 확보 편익 보정 값▐

소득 보정	구분	2011년 소비자물가지수(A)	2009년 소비자물가지수(B)	물가지수 보정값 (A/B)
	단위	104.0	97.1	1.07
지불금액보정	**단수지불의사 × 물가지수 보정 = H도시 단수지불의사 175.4원 ×1.07 = 187.8원**			

- 새만금지역의 단수저감편익 사회적 할인율로 현재가치화 할 경우 45년간 총 편익의 규모는 451억원 수준으로 추정됨

㉰ 온실가스 저감 편익 산정

■ 온실가스 저감 편익은 그 값이 크지 않기 때문에 H도시의 산정한 값을 그대로 적용함. 즉 연간 14백만원의 편익을 10년동안 적용함.

㉱ 전체 편익 규모 산정

■ 생활용수개선 편익, 비상용수 확보편익, 온실가스 저감 편익을 추정한 결과 45년간 불변가격으로는 5,694억원이고, 현재가치로는 약 2,017억원으로 추정됨

④ 새만금 지역의 비용-편익분석

■ 앞서 도출된 비용분석자료와 추정된 편익 값을 통해 편익이전 방법론으로 추정했을 경우 비용-편익분석은 다음과 같음
■ 집중형 용수공급시스템의 순현재가치(NPV)가 135억원, B/C ratio는 1.10로 나타났고, 분산형 용수공급시스템의 순현재가치(NPV)는 259억원, B/C ratio는 1.15로 분석되었음

▌표 2.234 새만금 지역의 비용-편익분석 ▐ 단위 :억원

구분	총비용의 현재가치 (A)	총편익의 현재가치 (B)	순현재가치 (NPV)	B/C ratio (B/A)
집중형 용수공급시스템	1300	1435	135	1.10
분산형 용수공급시스템	1758	2017	259	1.15

(다) 분산형 용수공급시스템 경제성 분석에 대한 소결

■ 분산형 용수공급시스템은 기본적으로 집중형 용수공급시스템에 비해 사업비가 약 1.1배 정도 높고, 재투자비용 즉, 기계와 전기시설에 대한 재투자비가 상대적으로 높아 사업비가 상대적으로 높음
■ 하지만, 신재생에너지를 설치하여 동력비등 운영비용이 낮고, 자동화시스템 및 운영효율화를 통한 인력절감으로 운영유지비가 낮은 장점이 있음
■ 또한, 수용가에 가까운 곳에 정수장을 설치하기 때문에 Water age가 줄어들어 소비자의 만족도가 높고 이로 인해 소비자가 기꺼이 지불할 수 있는 금액의 발생으로

편익이 기존 집중형 용수공급시스템에 비해 높음

- 따라서, H도시와 새만금 지역을 대상으로 경제성 평가를 실시한 결과 두 곳 모두 분산형 용수공급시스템이 집중형 용수공급시스템에 비해 경제적으로 유리한 것으로 분석됨.
- 이러한 결과를 토대로 향후 분산형 용수공급시스템의 사업화 및 실용화에 보다 적극적으로 나서야 할 것임

(3) 분산형 용수공급시스템 사업화 및 실용화 방안

(가) 국내 사업화 및 실용화 방안

① 정수장 노후도 및 신증설을 고려한 대상지역

▌국내의 사업화 대상지역을 선정하기 위한 기준은 분산형 용수공급시스템의 특징에 맞는 다음과 같은 5가지 기준을 설정하여 대상지역을 평가하였음.

㉮ 정수장의 노후도

- 정수장의 노후도는 「지방공기업법 시행규칙 별표2 (건축물등의 내용연수표)」에 의거 정수장의 내용연수를 30년으로 가정하여, 각 지자체 정수장별 점수를 부여하여, 다음과 같은 정수장의 노후도 평가를 실시하였음

▌표 2.235 정수장 노후도 평가▐

준공연도	빈도(개소)
1983년 이후(30년 이전)	371
1973년~1982년(30년~40년)	93
1963년~1972년(40년~50년)	27
1953년~1962년(50년~60년)	4
1952년 이전(60년 이상)	0

㉯ 정수장 증설계획

- 전국 지자체별 향후 수요량 증가 또는 기존 정수장 폐쇄에 따른 정수장 증설 및 신설계획이 있는지에 대한 평가임. 이는 환경부 및 환경공단에서 작성한 “급수체계 조정방안 구축사업 기본계획”의 자료를 바탕으로 2015년이후 각 지자체별 증설계획을 조사하였음.

▌표 2.236 정수장 증설계획▐

증설계획(건)	지자체수
1	19
2	12
3	4
4	2
5	1
6	1
합계	39

㉰ 지자체별 단수건수

- 환경부의 상수도통계(2009~2011)의 비공지단수 평균값을 이용하여 평가한 결과 상위 5개지역은 성남시, 김해시, 부산광역시, 통영시, 대전시로 나타났고, 이들 지역의 경우 연간 약 648~2,040건의 단수가 사전에 통지되지 않고 발생하는 것으로 나타났음

▌표 2.237 지자체별 단수건수▐

순위	지자체명	단수건수(비공지)
1	성남시	2,040
2	김해시	988
3	부산광역시	842
4	통영시	732
5	대전시	648

㉱ 지자체별 민원건수

- 각 지자체별 민원은 수질, 출수불량, 과수압, 단수, 누수, 요금, 불친절등 다양하게 존재함. 이 중 분산형 용수공급시스템과 관련된 민원 종류는 수질과 단수로 판단되어 이 두 가지 민원이 많은 지역을 조사하였음
- 민원은 급수인구가 많을수록 상대적으로 높기 때문에 각 급수인구대비 민원을 나누워 민원이 많은 지역을 조사하였음
- 먼저, 수질부문에 대한 민원건수 경우 함평군이 139명당 1건으로 가장 빈도가 높은 것으로 나타났고, 다음으로 사천시, 서산시, 정읍시, 남해군 순으로 수질에 대한 민원건수 빈도가 높은 것으로 나타났음. 단수에 대한 민원건수는 수질과 마찬가지로

함평군이 58명당 1건으로 가장 빈도가 높았고, 다음으로 금산군, 함양군, 거창군, 청송군 순으로 민원 빈도가 높았음

▌표 2.238 지자체별 민원건수 ▐

순위	수질부문		단수부문	
	지자체명	인구당 민원건수	지자체명	인구당 민원건수
1	함평군	139	함평군	58
2	사천시	156	금산군	86
3	서산시	171	함양군	96
4	정읍시	175	거창군	117
5	남해군	486	청송군	127

㈐ 지자체별 지가총액

- 분산형 용수공급시스템의 경우 수직형 정수처리시스템을 이용하기 때문에 기존의 중앙집중형 용수공급시스템에 비해 차지하는 면적이 더 낮을 것으로 예상됨. 이는 도시에 밀집되어 있거나 토지지가가 높은 지자체에 적용하는 것이 기존 방법에 비해 더 높은 효용을 얻을 수 있을 것이라 예상되므로, 국토해양부에서 발표한 2013년도 시도별 평균지가를 이용하여 지가가 높은 지자체를 조사하였음
- 평균지가가 높은 지역은 서울특별시, 인천광역시, 부산광역시, 대전광역시, 대구광역시 순으로 나타났으며, 가장 낮은 지역으로는 강원지역으로 ㎡당 5,603원으로 나타남.

▌표 2.239 지자체별 평균지가 ▐

순위	지자체명	평균지가(원/㎡)
1	서울특별시	2,062,001
2	인천광역시	226,898
3	부산광역시	225,523
4	대전광역시	157,792
5	대구광역시	146,156

㉮ 신증설 및 노후도를 고려한 국내 사업화 대상지역 평가

■ 분산형 용수공급시스템을 국내지역 중 대상지역을 평가하기 위해서 앞선 기준을 근거로 각각의 점수를 부여하여 평가를 통해 대상지역을 선정하였음

▌표 2.240 신증설 및 노후도를 고려한 국내 사업화 대상지역 평가▐

순위	지자체명	평가점수
1	경주시	30
2	평창군	27
3	포항시	26
4	여수시	23
5	홍천군	22

■ 경주시의 경우 총 7개의 정수장이 있으나 대부분 1970년대에 건설되어 노후화가 심각한 상태이고, 이로 인해 2011년의 경우 수질에 대한 민원건수가 79건에 이르고 있다. 다만, 향후 정수장 증설 또는 신설계획이 없으나, 정수장이 대부분 노후화되어 조만간 정수장 신설이 필요할 것으로 판단됨

■ 경주시에 문의결과, 탑동정수장(30,000㎥/일)의 경우 노후화로 인해 폐쇄후 신설이 필요하나, 본 수직형 정수처리시설의 높이가 약 5층 높이라면, 경주시 문화재로 인해 고도제한에 영향을 미쳐 설치하기 어려울 것이라는 답변이 있어 고도제한에 관한 문제는 향후 검토가 필요함

■ 평창군의 경우 경주시와 마찬가지로 정수장의 노후화가 심각한 편이고, 이를 위해 2015년경에 시설폐쇄 및 증설을 계획하고 있음. 다만, 평창군의 경우 광역상수도가 공급되지 않는 지역이고, 정수장의 대부분이 완속여과로 원수의 수질이 깨끗한 편이기 때문에 본 수직형 정수처리시스템의 설치가 쉽지 않을 것으로 예상됨

■ 포항시의 경우 8개의 정수장이 있으나 대부분 노후화되어 이중 3개 정수장은 2015년도에 폐쇄계획이 있고, 이를 보완하기 위해 2개 기존 정수장의 증설이 계획되어 있음. 포항시에 문의한 결과 병포, 약성, 택전정수장의 경우 향후 폐쇄 후 신설에 대한 계획이 있으나, 이들 정수장이 위치한 지역이 모두 시외지역이고, 따라서 땅값 등에 대한 부담이 없기 때문에 기존방식(평면형)으로 건설하기 원하는 실정임

② 국내 산업단지 지역

㉮ 개요

- 국내 산업단지는 일반적으로 국가산업단지, 일반산업단지, 도시첨단산업단지, 농공단지등 총 4가지 유형으로 나누어짐. 일반적으로 국가산업단지가 가장 크고 업체수도 많은 반면, 도시첨단단지나 농공단자의 경우 가동업체가 적고, 고용인구도 작은 편임
- 국가산업단지의 경우 대부분 공업용수와 생활용수가 공급되고 있는 반면, 도시첨단단지, 농공단지 또는 일부 일반산업단지의 경우 공업용수만 공급되어 이를 재처리하여 생활용수로 사용하고 있거나, 지하수를 이용하여 생활용수로 사용되고 있는 실정임
- 따라서, 이러한 생활용수가 공급되지 않고 있는 산업단지를 대상으로 분산형 용수공급시스템 중 수직형 정수처리시설을 설치한다면 부지면적이 작고 운영비가 절감되기 때문에 충분한 진출대상이 될 수 있을 것임. 전국 993개 산업단지를 대상으로 생활용수가 공급되고 있지 않은 지역을 조사하였음

㉯ 전국산업단지 현황

- 전국의 산업단지는 총 993개의 단지로 이중 41개 단지는 국가산업단지이고, 497개 단지는 일반산업단지임. 그 밖에 도시첨단단지는 11개 단지, 농공단지는 444개 단지로 조사되었음
- 전국 산업단지의 면적 중 지정된 면적은 약 1,359백만㎡이고, 이중 실제 관리되고 있는 면적은 약 1,135백만㎡임. 또한 총 가동업체는 67,895업체이고, 이 업체에 고용된 인구는 총 1,878천명임.

▌표 2.241 전국 산업단지 현황 ▐ 단위 : 개, 천㎡, 개사, 명

단지유형	단지수	지정면적	관리면적	가동업체	고용
국가	41	792,287	576,764	42,303	1,072,277
일반	497	493,984	486,136	19,987	664,681
도시첨단	11	2,271	2,269	130	1,444
농공	444	70,963	70,542	5,475	139,706
총합	993	1,359,505	1,135,711	67,895	1,878,108

㈐ 산업단지의 용수공급 현황

■ 전국 993개 산업단지 중 산업단지관리공단에서 직접 관리하고 있는 단지는 총 51개 단지임. 이 중 실제 산업단지 기본계획 중 용수현황이 나타나 있는 지역을 중심으로 다음 표와 같이 용수공급현황을 조사하였음.

▌표 2.242 산업단지의 용수공급 현황▐

지역	산단명	용수공급현황	비고
부산광역시	부산진해경제자유구역 화전지구	공업용수10.2천톤/일 생활용수3.4천톤/일	
부산광역시	명지 녹산국가산업단지	공업용수78천톤/일 생활용수41천톤/일	
부산광역시	기룡일반산업단지	지하수237.6톤/일 시상수367.4톤/일	
부산광역시	장안일반산업단지	공업용수2.9톤/일 생활용수1.0톤/일	
부산광역시	부산과학일반산업단지	공업용수7.7천톤/일 생활용수8.5천톤/일	
부산광역시	신평 장림일반산업단지	30,000톤/일	
부산광역시	신호일반산업단지	공업용수10,879톤/일 생활용수17633톤/일	
부산광역시	정관농공단지	공업용수 400톤/일	
부산광역시	정관일반산업단지	공업용수3천톤/일 생활용수600톤/일	
인천광역시	남동국가산업단지	공급능력126천톤/일 사용량17천톤/일	
인천광역시	한국수출(부평,주안)국가산업단지	공업용수384천톤/일 생활용수250천톤/일	
대구광역시	대구달성2차지방산업단지	공업용수14천톤/일 생활용수8,456톤/일	
대구광역시	대구달성외국인투자지역	-	
대구광역시	대구사이언스파크 산업단지	공업용수44천톤/일 생활용수5천톤/일	
광주광역시	평동외국인투자지역	-	
광주광역시	광주첨단과학국가산업단지	공업용수77천톤/일 생활용수54천톤/일	
울산광역시	온산국가산업단지	생활,공업용수 432천톤/일	
울산광역시	울산 미포국가산업단지	공업용수 705천톤/일	
울산광역시	울산 온산국가산업단지	공업용수 705천톤/일	
경기도	이천 장호원일반산업단지	공업용수343.3톤/일 생활용수41.4톤/일	
경기도	반월국가산업단지	공업용수223천톤/일 생활용수452.2천톤/일	

지역	산단명	용수공급현황	비고
경기도	시화국가산업단지	공업용수146천톤/일 생활용수93천톤/일	
경기도	시화멀티테크노밸리(확장단지)	65천톤/일	
경기도	양주 홍죽일반산업단지	공업용수3047톤/일 생활용수419톤/일	
경기도	이천 대월일반산업단지	공업용수206톤/일 생활용수107톤/일	
경기도	파주출판문화정보국가산업단지	공업용수2963톤/일 생활용수3862톤/일	
경기도	파주탄현중소기업전용국가산업단지	공업용수297톤/일 생활용수29톤/일	
강원도	북평지방산업단지	공업용수20천톤/일 생활용수20천톤/일	
강원도	원주문막반계일반산업단지	생활,공업용수 2,758톤/일	
강원도	북평국가산업단지	공업용수20천톤/일 생활용수20천톤/일	
충청북도	천안외국인투자지역	-	
충청북도	오창외국인투자지역	-	
충청북도	오송생명과학단지	공업용수25천톤/일 생활용수14.2천톤/일	
충청남도	인주외국인투자지역	-	
충청남도	석문국가산업단지	공업용수 32,000톤/일	
충청남도	아산국가산업단지	공업용수113천톤/일 생활용수41천톤/일	
전라북도	군산국가산업단지	공업용수13만톤/일 생활용수33천톤/일	
전라북도	익산국가산업단지	95천톤/일	
전라북도	군산2국가산업단지	공업용수13만톤/일 생활용수33천톤/일	
전라남도	장성군 동화농공단지	지하수 300톤/일	
전라남도	장성군 삼계농공단지	지하수 400톤/일	
전라남도	대불외국인투자지역	-	
전라남도	대불국가산업단지	생활,공업용수 115천톤/일	
전라남도	광양국가산업단지	공업용수 4,700톤/일	
전라남도	여수국가산업단지	540천톤/일	
경상북도	구미외국인투자지역	-	
경상남도	사천임대전용산업단지	공업용수 25.6천톤/일	
경상남도	사천외국인투자지역	-	
경상남도	창원국가산업단지	생활,공업용수12만톤/일 (취수시설20만톤/일,정수시설12만톤/일)	
경상남도	김해일반산업단지	생활용수8,500톤/일 (공업용수별도없음)	
경상남도	안정국가산업단지	공업용수 6,500톤/일	

- 위 51개 산업단지 중 충청남도 석문국가산업단지, 전라남도 광양국가산업단지, 경상남도 사천임대전용산업단지, 안정국가산업단지 등이 기본계획상 공업용수만 공급되는 것으로 나타났으나, 실질적으로 각 지역에 직접 확인이 필요한 사항임
- 현재 산업단지관리공단에서 관리하고 있지 않고 각 지자체에서 관리 감독하고 있는 산업단지 총 농공단지를 제외한 569개의 국가, 일반, 도시첨단 산업단지의 용수공급 현황을 조사한 결과 모두 생활용수를 공급하고 있는 것으로 나타남. 하지만, 향후 산업단지내 정수 수요량이 많은 지역에 대해서는 수직형 정수처리시설을 설치하는 것을 고려해 볼 필요가 있음.

③ 고도정수처리시설 필요 지자체

㉮ 개요

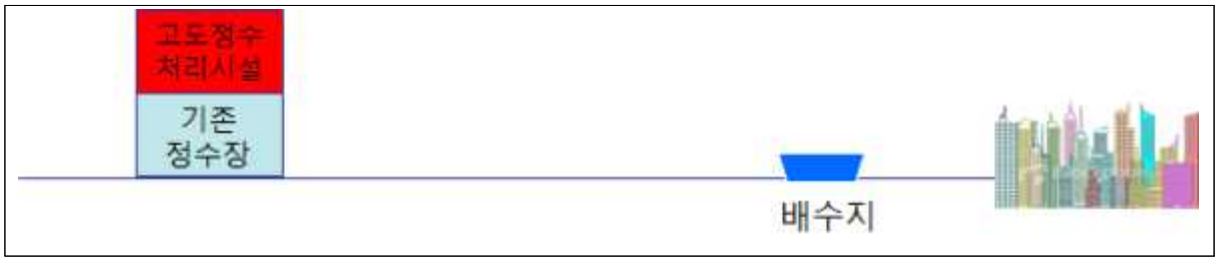
- 고도정수처리시설은 '94. 1. 15 국무총리실 주관하에 관계부처 합동으로 수립한 「수질관리 개선대책」에 따라 원수 수질이 나쁜 전국 주요 정수장에 고도정수처리시설 도입하여 설치하는 사업으로 하천 수질의 악화로 기존의 정수처리공정으로는 처리가 어려운 오염물질을 추가 정수함으로써 국내 정수처리수준 향상 및 국민이 안심하고 마실 수 있는 수돗물 공급을 하고자 함
- 현재 7대광역시 및 대규모 도시에서 활발히 진행되고 있는 사업으로, 고도정수처리시설에 포함될 경우 사업비의 50%를 국고 지원하고 있음

㉯ 검토대상 지역

- 환경부의 "고도정수처리시설 도입 및 평가지침" (2005.7)의 제4조 검토대상에 따르면, 고도정수처리시설의 검토대상은 다음과 같음

1. 원수의 연평균 수질이 3급수인 경우(소독부산물 생성이 높은 경우를 포함한다) 또는 수돗물의 맛·냄새로 인한 민원이 발생하는 경우
2. 현재 고도정수처리시설이 도입되어 있는 정수장과 같은 수계에 있으면서, 당해 고도정수처리시설이 도입되어 있는 정수장에서 발생한 문제점과 유사한 문제점이 예상되는 경우
3. 원수의 연평균 수질이 2급수 이상인 경우에도 일반정수처리방법으로는 처리가 곤란한 인체 유해물질이 원수에 유입되는 경우
4. 일반정수처리방법으로는 먹는물 수질기준 확보가 사실상 어려운 경우
5. 제10조제1항의 규정에 의하여 환경부장관이 고도정수처리시설 도입 검토를 요청한 경우

- 위 경우 중 1번 항목인 수돗물의 맛 또는 냄새로 민원이 발생하는 지자체는 2011년도 상수도통계 기준 인구당 수질에 대한 민원건수가 가장 많은 함평군, 사천시, 서산시 등이 이에 해당할 것으로 판단됨
- 또한, 기존 정수장에 고도처리시설을 설치하는 경우 비용부담이 많이 발생하기 때문에, 기존 정수장은 그대로 두고, 배수지 상부에 수직형 정수처리시스템을 설치하여 고도화된 수돗물을 공급하는 방안도 적절할 것으로 판단됨



▌그림 2.414 기존 형태의 고도정수처리시설 운영방안▐

▌그림 2.415 수직형 정수처리시설이 도입된 고도정수처리시설 운영방안▐

④ 소규모 정수장 리모델링 사업 대상지자체

㉮ 개요

- 상수원의 수질기준이 지속적으로 강화되고[8], 정수장의 처리능력이 한계에 도달하고 있어, 이를 개선하고자 소규모 정수장에 대한 리모델링 사업을 환경부에서 추진하고 있음
- 특히, 과거('70~'80년대) 예산부족으로 불가피하게 도입된 기계식 원통형 침전·여과시설이 2009년 기준 24%(124개소)를 차지하고 있고, 특히 이중 군지역에 77%(95개)가 있으며, 시설노후화가 급속히 진행되어 정수처리 성능저하, 특히 병원성미생물 제거

[8] 먹는물 수질기준 항목이 '63년에 29개 항목이었으나 '11년에는 58개항목으로 항목수가 2배 증가
※ '63년 29개 → '90년 45개 → '02년 55개 → '09년 57개 → '11년 58개

불능인 상태로 운영되고 있음

- 따라서, 환경부에서는 소규모 정수자에 대해서 다음과 같은 추진방향으로 정수장을 개선하고자 함.

○ 리모델링 대상 정수시설에 대하여 원수수질 분석 및 장래수질예측, 정수처리공정별 정밀기술진단 시행
○ 수질분석 및 예측결과 인근지역의 개발로 인해 유해물질 유입이 불가피한 경우에는 통폐합 적극 검토
○ 정밀기술진단 결과에 따라 일부 시설 및 공정개선, 정수처리공정 전면변경, 시설물 교·대체 등 시설별로 구분 시행
○ 농어촌지역에 산재되어 있는 점을 고려, 첨단 IT기술 등을 활용한 자동화 및 정보화, 통합관리 계획 수립

㉰ 검토대상 지역

- 기존 처리시설 공정 중 기계식 침전여과시설에 대해 수직형 정수처리시설을 도입이 가능할 것으로 판단됨
- 환경부에서는 다음과 같이 기계식 침전여과시설에 대한 리모델링 계획을 나타내고 있음

기계식 침전·여과시설

10년이상 경과시설

① 시설관리상 구조적으로 문제 있는 시설은 전면 대체 검토
② 처리성능저하로 정수수질기준 만족 곤란시 추가공정검토
③ 부지 협소시 운전자동화가 가능한 막여과 시설 등으로 교체

- 현재 상수도통계상 기계식 침전여과시설에 대한 현황은 자세하게 나타나고 있지 않으나, 2012년 기준 5,000㎥/일 미만 급속여과방식의 정수장은 총 108개로 나타나, 기계식 침전여과시설이 많은 지자체에서 가동되고 있는 것으로 파악됨

㉰ 환경부 지원현황

- 현재 환경부에서는 소규모 정수장 개선사업에 국고 70%를 지원하고 있어, 지자체의 재원조달 어려움에 큰 기여를 하고 있음
- 2014년도 현재 전국적으로 약 780억원이 소규모 수도시설 개량사업에 투입되고 있으며, 이중 약 547억원이 국고이고, 234억원이 지자체 예산임

⑤ 새만금사업 대상지역

㉮ 개요

- 새만금 사업은 군산, 김제, 부안군 일원을 조성하는 국책사업으로 1단계로 2020년까지 72.7%(산업용지, 농업용지 중심)을 조성하고 이후 나머지를 조성 및 계발한다는 계획임
- 특히, 만경강과 동진강 하구에 방조제를 축조하여 조성되는 토지이기 때문에, 이 토지에 건설되는 도시는 새만금의 특성인 물과 대규모 평지를 이용한 특색 있는 이미지를 창출하고자 하는 비전을 가지고 있음. 즉, 워터프론트, 수로, 생태습지 등을 이용한 다양한 친수활동을 유치함과 동시에 체계적 호소관리로 깨끗한 물을 확보한다는 것임

㉯ 새만금종합개발계획(MP)

- 새만금종합개발계획은 새만금 내부개발 기본구상 및 종합실천계획(’ 10.1.28)에서 제시된 새만금 개발비전 및 용지별 토지이용계획, 주요 기반시설계획등을 구체화하고, 새만금을 둘러싼 여건 및 환경변화에 맞추어 기존 계획내용을 보완하는 “새만금종합개발계획(MP)” 를 국무총리실 및 관계기관 합동으로 설계된 것임
- 각 용도별 추진단계 및 소관기관은 다음 표와 같음

▌표 2.243 새만금종합개발계획 용도 및 소관기관▐

구분	계(㎢)	1단계(2020년까지) (㎢,%)	2단계(2021년이후) (㎢,%)	소관기관
복합도시용지	67.3	36.9(54.8)	30.4(45.2)	국토부, 지경부, 문화부, 환경부, 전북도
농업용지	85.7	85.7(100.0)	-	농식품부
산업용지(FEZ)	18.7	18.7(100.0)	-	지경부, 전북도
과학연구용지	23.0	-	23.0(100.0)	교과부, 지경부, 국토부
신재생에너지용지	20.3	8.8(43.3)	11.5(56.7)	농식품부, 지경부
농촌도시용지	4.6	4.6(100.0)	-	농식품부
배후도시용지	10.0	-	10.0(100.0)	국토부
신사~야미 관광레저용지	2.0	2.0(100.0)	-	농식품부
생태 및 환경용지	42.4	40.2(94.8)	2.2(5.2)	환경부, 농식품부
방수시설물등	8.9	8.9(100.0)	-	농식품부
계	282.9	205.8(72.7)	77.1(27.3)	-

㉰ 분산형 용수공급시스템 적용가능 예상지역

- 분산형 용수공급시스템이 새만금지역에 적용하기 위해 가능한 지역은 복합도시용지가 가장 가능성이 높을 것으로 판단됨
- 복합도시용지는 약 67.3㎢로 전체면적의 약 23.8%이고, 주거용지, 산업용지, 상업 및 업무, 관광레저등 지속적이고 고품질의 수돗물을 요구하는 수요처가 집중되어 있음

▌표 2.244 복합도시용지 토지이용계획▐

구분		계(㎢)		북측지구	남측지구	
		(㎢)	(%)	(㎢)	관광용지	경제자유구역
계		67.30	100	35.68	21.73	9.90
도시용지	주거	4.66	7.0	2.72	1.69	248
	산업	8.24	12.2	8.24	-	-
	상업・업무	2.51	3.7	1.97	0.28	262
	관광・레저	14.89	22.1	0.90	7.23	6.76
	기반시설	19.90	29.6	11.95	5.33	2.63
생태・환경용지		17.10	25.4	9.90	7.20	-

- 복합도시용지에 공급시 상수도 공급라인의 경우 인근 군산과 김제시의 경우 광역상

수도라인이 복합도시용지와 멀리 떨어져 있으나, 부안군의 경우 광역상수도라인이 인근에 근접하고 있어 이를 이용한다면 용수공급이 원활할 것으로 예상됨

⑥ 대규모 국제행사 개최지역

㉮ 개요

- 대규모 국제행사라 하면, 크게 올림픽, 아시안게임, 월드컵, EXPO등 세계 각 지역에서 참가하기 위해 모이는 행사를 말함
- 이 중 대규모 국제행사를 개최하기 위해 새로운 신도시를 건설하는 경우에 수직형 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템을 적용하여 전 세계에서 방문하는 관계자들에게 고품질의 수돗물을 공급함과 동시에 국제행사가 끝난 후에도 새롭게 건설된 신도시에 물을 공급하고자 함

㉯ 검토대상 지역

- 대규모 국제행사를 개최하여도 신도시를 신설하기도 하고, 기존 시설을 이용하는 경우도 있음
- 특히, 올림픽 또는 아시안게임, 유니버시아드 게임등 아마추어 행사인 경우 대규모 선수들이 한 지역에 거주하여 대회기간동안 머무르게 됨. 반면에 월드컵과 같은 행사는 선수촌등이 건설되지 않으며, 기존 숙소등을 활용하게 되며, EXPO와 같은 문화행사도 기존 시설을 이용하게 됨
- 현재 국내에서 개최가 확정된 국제행사는 다음 표와 같음

▌표 2.245 국내지역의 국제행사 계최계획 ▐

대회명	기간	참가규모	개최지역
하계아시안게임	2014.09.19.~2014.10.04	45개국 약 50,000여명	인천광역시
하계유니버시아드	2015.07.03.~2015.7.14	170여개국 약 20,000여명	광주광역시
동계올림픽	2018.02.09.~2018.02.25	100여개국 약 50,000여명	평창군, 강릉시등

- 위 국제행사 중 인천 하계아시안게임과 광주 하계유니버시아드게임의 경우 신규 선

수촌 및 미디어센터 등의 완공이 거의 되었고, 이에 따라 용수공급계획도 이미 설계 및 시설이 완공되었음. 다만, 평창 동계올림픽의 경우 아직 선수촌 및 미디어센터에 대한 용수공급계획 및 시설 착공이 이루어지지 않아 이 지역에 대한 수직형 정수처리시설에 대한 적용방안 검토가 이루어질 필요가 있음[9]

- 만일 평창 동계올림픽 선수촌 및 미디어센터에 수직형 정수처리시스템이 설치된다면, 대회기간은 16일이지만 대회 한 달전부터 대회가 끝나는 날까지 전 세계 미디어의 중심이 되기 때문에, 수직형 정수처리시설의 홍보효과가 매우 클 것으로 판단됨
- 또한, 국내에서도 수직형 정수처리시설에 대한 많은 수요창출 효과가 발생할 것으로 예상되기 때문에 평창 동계올림픽 뿐만 아니라 향후 신규 국제행사시 발생하는 신도시 개발에 수직형 정수처시설의 설치를 적극적으로 검토해야 할 것임

⑦ 국내 사업대상지역 검토에 따른 시사점

- 국내 사업대상지역 또는 Test-bed지역을 원활히 선정하기 위해서는 우선적으로 다음과 같은 사항이 선행되어야 함
- 첫째, 중앙정부의 적극적 지원임. 수직형 정수처리시설은 정수장의 한 형태이므로 정수장 인허가를 관할하는 환경부의 적극적 도움이 절실함. 따라서, 본 과제가 국토부 소관의 과제이지만, 향후 환경부와 함께 파트너쉽을 구축하여 분산형 용수공급시스템의 국내외 도입에 적극적 검토가 이루어져야 할 것임
- 둘째, 지자체장 및 관계자에 대한 교육 및 홍보가 필요함. 실질적으로 분산형 용수공급시스템은 지자체에 설치되므로, 지자체의 수도사업자인 지자체장에 대한 분산형 용수공급시스템의 교육 및 홍보가 이루어져야 할 것임. 특히, 162개 지자체장에 대한 교육 및 홍보가 쉽지 않다면, 각종 세미나, 전시회등을 통해 관련 관계자들에게 대한 1차적인 교육이 필요함. 이를 위해서는 수자원교육원 또는 도에서 이루어지는 공무원 교육에 분산형 용수공급시스템에 대한 소개를 함으로써 담당 공무원에 대한 분산형 용수공급시스템의 이해 및 도입 필요성을 일깨워 줄 필요가 있음
- 마지막으로 분산형 용수공급시스템에 대한 방송 및 언론 홍보가 필요함. 2014년 1월 6일에 청주정수장에 준공된 수직형 정수처리시스템은 각종 언론 및 인터넷 포털사이트에 많은 기사가 개제되었으나, 이후 후속보도 및 이에 대한 탐사보도가 전무한 실정임. 따라서, 일반 국민을 대상으로 한 언론 및 방송매체에 대한 꾸준한 홍보가 있어야 할 것임. 이러한 홍보효과는 최종소비자인 일반국민이 분산형 용수공급시스템

[9] 2014년 환경부 예산 중 평창군에 대한 식수전용저수지 개발사업에 60억원을 지원하고 있음. 따라서 현재(2014.4)까지 올림픽시설에 대한 수도공급계획이 확정되지 않은 것으로 판단됨.

또는 수직형 정수처리시설의 Needs를 발굴하여 기존의 정수장 설치시에 상향식의 Top-down방식에서 Bottom-up방식으로 변화된 수요가 발생할 것으로 예상됨

▌그림 2.416 국내 사업대상지역 검토에 따른 시사점▐

(나) 분산형 용수공급시스템의 해외진출 방안

① 개요

- 2010년 기준 세계 물산업은 약 4,829억달러 규모로, 향후 물산업 성장세는 더욱 높아져 2025년 약 1조달러 규모의 물시장을 형성할 것으로 전망되고 있음
- 이 중 민간이 담당하는 상하수도 운영관리 시장의 규모는 482억달러로 전체 시장의 약 10% 수준을 차지하고 있으며, 기후변화 등의 요인으로 물산업은 물순환 체계 전 과정을 포괄하는 범위로 확장되어 그 규모가 더욱 확대될 전망임
- 그러나 지금까지의 물산업 육성은 주로 상하수도 분야의 중심으로 이루어져 기후변화에 대응한 새로운 시장 진출기회를 상실하고 있으며, 기존의 상하수도 중심의 물산업 역시 이미 선진국의 주요 물기업들이 선점하여 치열한 경쟁이 벌어지고 있음. 이 가운데 우리나라가 새로운 물산업의 강국으로 부상하기 위해서는 우리가 가진 장점을 바탕으로 물산업의 새로운 영역을 개척해 나가야 하며, 시장성장 한계에 도달해 있는 국내를 벗어나 해외시장에 진출할 필요가 있음
- 특히 분산형 용수공급시스템과 같이 해외시장에 본격적으로 진출하기 위해서는 우리 기업들이 국내 시장참여를 통한 비즈니스 모델 검증이 필요하며, 모델 추진과정에서 축적된 경험과 노하우, 한계 극복방안을 발굴하여 진출하고자 하는 국가에서 성공할 수 있는 비즈니스 모델을 도출할 필요가 있음
- 따라서, 분산형 용수공급시스템이 해외진출하기 위해서 경제여건과 기업의 사업추진 가능성을 고려하여 해당 시장에 성공적으로 진출할 수 있도록 시장별 세분화에 따른 맞춤형 사업모델을 제시하고자 함

② 물산업 해외진출 현황

㉮ 국내 물기업의 해외진출 현황

- 국내 물산업의 해외진출 특성을 살펴보면 물산업 분야의 대규모 해외사업 진출 가운데 토목 분야 비중이 수주금액 기준 63.2% 대부분을 차지하고 있으며, 반면 운영관리 분야의 해외진출은 아직 미흡한 실정임
- 한국의 물산업은 전통적으로 경쟁력을 갖춘 건설 분야를 중심으로 해외 진출이 활발하게 이루어져 왔음. 특히 세계 물시장에서 중공업, 화학, 엔지니어링, 건설업체를 중심으로 시설 및 건설분야의 대규모 공사, 오랜 경험 등의 경쟁력을 갖고 있음

■ 한국의 해외 건설사업중 물관련 사업비중을 살펴보면, 1965년 처음 진출한 이래, 2013년까지 약 390억불의 외화를 수주한 것으로 나타나고 있음

㉯ 진출 애로요인

■ 해외에 진출하는 우리기업의 수주가 지역별로 중동(39.7%), 아시아(30.9%), 공종별로 플랜트(71.9%)에 편중되어 우리 기업간 경쟁하는 상황이 초래하고 있음. 따라서, 우리 기업간의 경쟁심화에 따른 저가수주등으로 해외 사업에 대한 수익성이 악화되고, 진입장벽이 낮은 단순 도급에 취중함으로써 저가 중국업체와 경쟁이 심화되고 있음
■ 다음으로 프로젝트의 원활한 업무 수행을 위해 최소한으로 요구되는 업무역량·경험을 가진 전문인력이 매우 부족한 형편임. 이는 체계적이고 장기적인 인력양성 체계의 부실화에 기초하고 있음. 전문화된 인력이 없으므로 인해 해외시장 현황, 위탁관리 방식절차, 관련 법규 등 해외시장 진출에 필요한 정보 수집 및 지원이 거의 전무한 실정임.
■ 특히 일부 중소기업은 해외사업 진출을 위한 국가별 수주정보, 해외입찰제도 등에 대한 정보가 부족하여 입찰 참여에 애로를 겪거나, 아예 시도조차 하지 않고 있음
■ 상하수도 및 해수담수화 등의 상용화 · 실용화 위주의 기술개발 주도에 따른 기초기술개발이 부족함에 따라 물산업 소재 · 기자재 및 고도 수처리기술의 핵심 원천기술을 선진국에 독점적으로 의존하고 있는 실정임. 특히 해외 사업 낙찰자 선정에서 가장 중요한 요소는 가격임에 틀림이 없으나, 경우에 따라서는 기술력의 확보가 중요한 요소로 작용하기도 함
■ 따라서, 우리기업이 주요 발주처의 응찰대상자에 선정되었지만, PQ(Pre-Qualification, 사전자격심사)에서 탈락하는 사례가 발생하므로 자체 기술력 확보가 필수 선행과제임

▌표 2.246 물산업 해외수주 실적 ▐ (단위: 백만불)

공종/연도			누계(1965-2011)		2012		2013.9.30	
1차 공종	2차공종	3차 공종	건수	금액	건수	금액	건수	금액
토목	상수도	-	199	15,640	5	379	1	25
	하수도	-	142	5,256	1	13	4	40
	댐	-	83	3,463	2	30	4	121
	소계		424	24,360	8	422	9	185
산업설비	발전소	수력	12	2,623	0	58	1	90
	담수화	담수화	56	10,416	1	1,023	1	125
	환경설비	상수처리	1	10	0	0	0	5
		하수처리	8	595	2	239	0	0
		폐수처리	14	452	2	109	2	12
	소계		91	14,096	5	1,429	4	232
용역	종합	상하수도	9	44	5	1.5	7	2
	계획	상하수도	0	0	1	0.4	1	1
	설계	상하수도	16	21	2	3	2	5
	감리	상하수도	3	3	3	4	4	5
	조달	상하수도	0	0	0	0	0	0
	시운전	상하수도	2	0.2	0	0	0	0
	조사	상하수도	7	1	1	0.5	2	2
	기술지원	상하수도	1	0.3	0	0	2	0.07
	기타	상하수도	1	0.01	0	0	0	0
	소계		39	69	12	9	18	14
총 합 계			554	38,525	25	1,859	31	431

자료 : “해외건설분야 물산업 진출방안 및 지원제도”, 물산업수출화전략 세미나(2013.10.11.) 자료

▌표 2.247 2012년 해외 상하수도 프로젝트 계약 현황 ▐

국가	업체	프로젝트	금액(백만불)
베트남	금호산업	하이퐁 하수처리장	26.6
탄자니아	한일건설	도도마시 상수도 개선사업	17.6
우즈베키스탄	신동에너콤	떼르메즈시 하수처리시스템 개선공사	12.6
적도기니아	현대엔지니어링	적도기니 아니속시 상하수도시설 공사	8.3
적도기니아	현대엔지니어링	적도기니 에비나용시 산호세 및 외곽도로 상하수도 시설 공사	8.2
러시아	롯데건설	롯데제과공장 폐수처리장 보완공사	6.2
말련	한백종합건설	베트남 호아빈성 상수도 건설사업	5.9
베트남	일성건설	HFI 팜유 폐수 및 추출부산물 처리 플랜트	5.1
베트남	삼환기업	베트남 하이퐁시 하수도 공사	3.1
베트남	건화	롱수옌 하수처리시설 및 관로 입찰서 작성, 실시설계 및 감리	2.9
베트남	그레넥스	베트남 호아빈성 상수도건설사업	2.7
베트남	그린엔텍	베트남 호아빈성 상수도건설사업	2.1
카타르	동아지질	바르와 주변도로 건설공사중 하수관로공사	1.1
인도네시아	동양종합건설	일관제철소 건립공사 - 수처리시설	0.5
인도네시아	포스코건설	일관제철소 건립공사- 배수종말 및 재이용설비	-0.04
사우디아라비아	효정건설	젯다시 북부 하수처리시설 3500mm 터널공사	-6.9
탄자니아	코오롱글로벌	도도마시 상수도 개선사업	-17.6
합 계(17건)			79.0

자료 : “해외건설분야 물산업 진출방안 및 지원제도”, 물산업수출화전략 세미나(2013.10.11.) 자료

- 해외진출시 중소기업 및 대기업간의 협력체계가 미약하고 물산업 중소·벤처기업을 육성하고 해외진출을 주도할 물산업 전문 앵커기업이 부재하여 해외 시장 확대가 어려운 형편임. 해외시장 진출은 조사·설계, 시공, 플랜트 등 특정 분야에 국한되어 있고, 관련 기업의 공동참여를 위한 관리체계가 미흡함
- 따라서, 지역 내 기업간 및 산학연 연계를 강화시키고 국내외 연구 및 생산협력 네트워크를 형성시킬 수 있는 지역 중심 기반 클러스터 단지를 개발할 필요가 있음
- 국내 물기업들은 자금력이 취약하고, 대외신인도가 낮아 해외 투자시 보증서발급 등 금융부분에서 큰 애로점이 있음. 특히 플랜트 등의 건설부분에 있어 어느 정도 자본력을 갖춘 대기업의 경우에는 보증 등에 있어 큰 어려움이 없으나, 중소·중견기업들의 경우에는 금융지원 및 보증을 받을 수 있는 공급처가 한정되어 있어 낙찰이 되고도 어려움을 겪는 경우가 많은 실정임. 현행 수출입은행과 수출입보험공사를 통해 해외진출 보증 및 자금지원을 제공하지만, 연대보증 및 기업신용등급 조건 등이 까다로워 해외진출을 고민하는 기업들에게 현실적으로 제한되어 있는 실정임
- 또한 보증규모의 경우에 있어서도 절대적으로 부족하여 일부 기업들은 이행성 보증을 발급받지 못해 해외사업을 포기하는 경우도 발생하고 있음
- 따라서, 최근 해외진출 사업으로 고려되고 있는 투자개발형 사업의 경우 사업자체의 위험성이 높은 경우가 많아 지분투자에 연기금·보험사 등 민간 금융기관의 진출이 쉽지 않고, 민간금융기관이 독자적으로 부담하기에는 규모 및 리스크가 너무 크고 수익도 장기에 걸쳐 발생하는 경우가 일반적임

③ 국내 물기업의 해외진출 지원제도 및 방안

㉮ 해외진출 지원제도 현황

- 해외건설 활성화를 위해 리스크 부담이 큰 신시장 개척시 투입되는 비용의 일부를 지원함으로써 적극적인 시장개척을 유도하고 이를 통해 시장다변화 및 수주 극대화를 도모하기 위함임
- (대상) 해외건설촉진법상의 해외건설업 신고를 필한 기업
- (대상사업) 해외건설촉진법상의 해외공사로 '시장개척지원사업 관리지침'이 정하는 바에 따라 '시장개척사업 범위'에 해당되는 사업
- 시장개척사업의 지원범위는 미진출 국가나 최근 5년간 수주실적인 4억불 미만인 국가의 프로젝트, 중점협력국 등 국토교통부장관이 전략적 참여가 필요하다고 인정하는 프로젝트에 대해 지원이 이루어지고 있음

- 지원대상은 해외건설사업 수주와 관련된 프로젝트 타당성조사사업, 발주처 인사 및 엔지니어 방안 시찰 또는 연수(초청), 현지 수주교섭 및 조사활동, 기타 업계 공동의 이익이 되는 시장개척 차원의 지원사업에 대해 일정부분 지원하고 있음
- 지원사업의 건당 한도액은 2억원 이내이며, 대기업일 경우 총 사업소요비용의 60% 이내, 중소기업일 경우에는 총 사업소요비용의 최대 80%까지 지원해주고 있고, 또한 기업간 상생협력을 고려하여 단독진출보다는 공동 진출일 경우 지원비율이 높음
- 2003년부터 운영되어 온 시장개척사업은 2012년까지 그 지원규모가 약 225억으로 미미했음에도 불구하고 지원사업의 수주실적이 32개사 54건 45억불이라는 놀라운 성과를 이루어냈음

▌표 2.248 해외건설협회 자금지원 세부내용▐

구분	세부내용
지원 금액 범위	• 지원사업의 건당 한도액 2억원 이내 • 중소기업은 총 사업소요비용의 최대 80%이내(대기업은 60%이내)
단독진출일 경우	• 대기업 단독 : 미지원 • 중견기업 단독 : 50%이내 • 중소기업 단독 : 80%이내
공동진출일 경우	• 대기업과 중견기업 공동 : 대기업은 30%이내, 중견기업은 50%이내 • 대기업과 중소기업 공동 : 대기업은 30%이내, 중소기업은 80%이내 • 중견기업과 중소기업 공동 : 중견기업은 50%, 중소기업은 80%이내 • 대기업간 공동 : 미지원 • 중견기업간 공동 : 50%이내 • 중소기업간 공동 : 80%이내
기타	• 공기업 : 미지원 • 타당성 조사사업 : 중견기업 70%이내, 중소기업 80%이내

▌표 2.249 해외건설협회 자금 연도별 지원현황▐

구분	합계 '03~13년	'06년	'07년	'08년	'09년	'10년	'11년	'12년	'13년
업체수	317	41	61	58	68	87	72	85	116
지원예산 (억원)	225	9.5	19.5	20	23	23	21.8	30.1	55.1
지원건수	621	40	60	58	64	82	69	75	110
국가수	96	25	32	31	35	45	39	36	44

※ 지원사업 수주실적 : 32개사 54건 4,483,280천불, 자료 : 해외건설협회 홈페이지

- 공적개발원조(ODA: Official Development Assistance)란 해외 인프라 개발사업에 이용되는 자금으로 공여국 정부가 개도국의 경제개발 및 복리증진을 위하여 개도국 정부 또는 국제기구에 제공하는 원조자금임
- ODA는 공여국이 수원국에게 자금, 물자, 기술협력 등을 직접 지원하는 양자간 원조(Bilateral Aid)와 국제개발기구 등을 통해 간접 지원하는 다자간 원조(Multilateral Aid)로 구분되며, 양자간 원조는 상환의무 유무에 따라 무상원조(grant)와 유상원조(loan)으로 구분됨
- 무상원조는 무상자금협력과 기술협력이 있으며, 유상원조는 대외경제협력기금(EDCF)가 있음. 이중 기술협력은 한국국제협력단(KOICA)이 담당하며, EDCF는 한국수출입은행이 집행을 담당하고 있음
- 공적개발원조는 본래의 취지가 개발도상국의 경제개발 및 복지증진에 기여하는 것을 목적으로 하기 때문에 물산업 관련 지원과 관련성이 없지만, 물산업의 해외진출에 있어 중요한 자금원으로 활용되고 있으며, 특히 물기업이 개발도상국에 초기에 진출할 수 있는 기회를 제공한다는 측면에서 중요함
- KOICA(Korea International Cooperation Agency)는 정부차원의 대외무상협력 전담 실시기관으로 1991년에 설립되었고, 시행 중인 사업 중 물분야에 대해서는 프로젝트형 사업이 해당되고 있음
- 프로젝트사업은 개도국의 교육, 훈련, 보건의료, IT분야 지원 등 특정 개발 목표달성을 위해 건물, 시설물 및 기자재 등의 물적협력수단과 전문가파견 및 연수생초청 등의 인적 협력수단을 결합하여 다년간(통상 2년~5년) 지원하는 사업으로서 사업의 발굴, 계획, 실시, 심사 및 평가에 이르는 전 과정을 체계적으로 추진하는 협력사업 수단임
- 프로젝트 사업중 물분야에 대한 지원사업으로 산업에너지 분야중 수자원 관리가 이에 해당되며, 이는 개도국의 상하수도 시설 인프라 구축지원 및 수자원 종합개발에 기여할 수 있도록 타당성 조사, 마스터플랜 수립, 기본 및 실시설계 등 기술용역과

시설건설 등을 제공하는 사업임

- 2011년~2013년 현재 물분야에 대해서는 20개의 프로젝트형 사업이 추진되었으며, 총 195억원의 사업 집행액이 지원되었음

▌표 2.250 KOICA 분야별 지원실적 누계▐ (단위 : 억원)

구분	합계	보건	교육	공공 행정	농림 수산	산업 에너지	긴급 구호	기타	행정 비용
1991년 ~2012년	36,690	6,042	8,466	7,549	3,247	3,789	1,971	5,626	3,868
비율	100%	16%	23%	21%	9%	10%	5%	15%	-

- 대외경제협력기금(EDCF)은 개발도상국의 발전을 지원하고 이들 국가와의 경제교류를 증진하기 위해 1987년 설치된 정책기금이며, EDCF 재원은 정부출연금, 공공자금관리기금차입금, EDCF운용수입 등 공공재원으로 조달됨
- EDCF가 제공하는 자금은 일반적으로 개도국 정부 또는 법인에 대한 차관으로 개발사업차관, 기자재차관, 기금전대차관, 물자차관, 민자사업차관 등이 있음
- 2012년까지 EDCF는 총 294개 사업에 약 9조 601억원이 승인되었으며, 지역별로는 아시아 지역이 67.9%로 가장 많았고, 그 다음으로 아프리카, 중남미, 유럽, 대양주 순임
- EDCF 자금의 분야별 지원실적을 보면 경제 인프라 부문이 52%, 사회인프라 부문이 40.3%를 차지하는데, 그 중 물과 관련된 수자원분야의 자금 승인실적은 2012년말 기준 15.6%를 차지, 전체 승인액중 교통인프라 다음으로 가장 큰 비중을 차지하고 있음

▌표 2.251 지역별 EDCF 승인실적(2012.12.31. 기준)▐ (단위 : 백만원)

지역	건수	승인액	비율	건수	승인액	비율
아시아・중동	12	836,714	69.5%	205	6,153,164	67.9%
서남아시아, 중앙아시아	5	232,732	19.3%	58	1,704,569	18.8%
극동아시아3)	6	572,723	47.6%	138	4,150,749	45.8%
중동	1	31,259	2.6%	9	297,846	3.3%
아프리카	4	241,890	20.1%	49	1,767,116	19.5%
사하라 이북지역	-	-	0.0%	1	26,854	0.3%
사하라 이남지역	4	241,890	20.1%	48	1,740,262	19.2%
유럽	-	-	0.0%	13	425,043	4.7%
대양주	-	-	-	2	15,922	0.2%
중남미	2	125,465	10.4%	25	698,815	7.7%
중앙아메리카	1	51,927	4.3%	16	371,119	4.1%
남아메리카	1	73,538	6.1%	9	327,696	3.6%
합 계	18	1,204,069	100.0%	294	9,060,060	100.0%

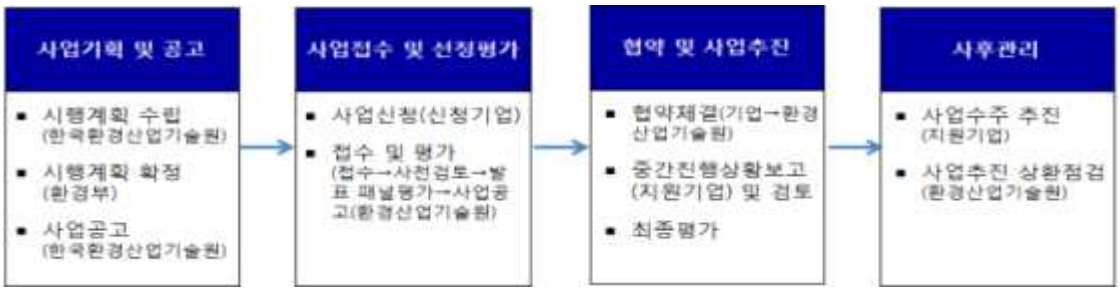
자료 : 수출입은행, 연차보고서(2012년)

▌표 2.252 분야별 EDCF 승인실적(2012.12.31. 기준)▐ (단위 : 백만원)

연 도 / 분 야	2012			누계		
	건수	승인액	비율	건수	승인액	비율
사회 인프라	9	476,317	39.6%	125	3,649,131	40.3%
교육	-	-	0.0%	29	703,260	7.8%
보건	2	140,659	11.7%	35	950,982	10.5%
수자원・위생	4	176,864	14.7%	43	1,411,833	15.6%
공공행정	3	158,794	13.2%	18	583,056	6.4%
경제 인프라	7	469,656	39.0%	142	4,714,263	52.0%
교통	5	334,430	27.8%	81	3,086,219	34.1%
통신	1	83,299	6.9%	31	694,037	7.7%
에너지	1	51,927	4.3%	30	934,007	10.3%
생산 분야	1	224,887	18.7%	13	506,540	5.6%
농수임	1	224,887	18.7%	13	506,540	5.6%
다부문	1	33,209	2.8%	4	55,769	0.6%
비배분	-	-	0.0%	10	134,357	1.5%
합계	18	1,204,069	100.0%	294	9,060,060	100.0%

- 환경산업을 새로운 성장 동력으로 집중 육성하여 새롭게 열리고 있는 세계 환경시장을 개척하고 선점하기 위하여, 국내 환경산업의 국제경쟁력을 강화시키고 해외진출기반을 조성하도록 지원함으로써 환경산업의 해외진출 전략화를 실현시키고자 함
- 해외 유망 환경플랜트 개발 초기단계에 국내 환경산업체의 참여를 지원함으로써 수익성 높은 해외 환경프로젝트의 수주기회 확대 및 해외진출을 촉진하고, 타당성 조사 지원을 통해 우리기업의 해외사업 참여에 따른 경제적 부담완화 및 ODA 등 대외원조 사업과의 연계효과를 창출하고자 함
- 수의계약 또는 공개입찰 참여를 추진중이거나 예정인 프로젝트 중 타당성조사를 수행할 경우 수주가능성이 현저히 높은 해외 환경 프로젝트가 대상으로 함
- 지원금액 : 프로젝트당 최대 2억원 이내, 사업비의 50~70%이내
  - 중소기업은 70%이내
  - 대기업은 50% 이내
  - 중소기업과 대기업이 공동으로 추진하는 경우 70% 지원

▌그림 2.417 사업 추진체계▐



▌그림 2.418 사업 추진절차▐

- 기업·컨소시엄을 대상으로 해외 유망 프로젝트 수주 또는 개발을 위해 해당 프로젝트에 대한 타당성조사(F/S)를 지원하고 있음
- 여기서 타당성 조사함은 프로젝트에 대한 기술성, 경제성, 재무상태 등 수익성 검토와 국내기업의 진출가능성 등을 사전 조사·분석하는 것을 말함. 참여기업의 책임성을 확보하기 위하여 프로젝트당 최대 1억원이내에서 총 타당성 조사 사업비용의 70%까지 지원, 30%는 지원기업이 부담하도록 하고 있음
- 기업·컨소시엄을 대상으로 현지 시장·정책·법률 조사, 프로젝트 제도, 발주처·파트너와의 계약체결, 법인설립(SPC), 기술자문, 인증획득 등 프로젝트 수주·개발에 관련된 제반 사항에 대한 컨설팅 지원하고 있음
- 프로젝트당 최대 3천만원까지 지원하며, 총 비용의 70%는 정부가, 30%는 지원기업이 부담하도록 하고 있음
- (목적) 글로벌인프라펀드의 안정적 투자를 위한 투자대상사업을 발굴하고 우리기업의 해외 투자개발형 사업 진출 지원
- (지원근거) 『해외건설촉진법』(제17조의3) 및 『글로벌인프라펀드 투자대상사업 발굴 및 관리에 관한 지침』(훈령 252호)
- (지원금액) 사업당 5억원 이내
- (지원규모) '14년까지 총 100억원을 타당성조사 비용으로 책정

※ ‘09년 10억원, ’ 10년 10억원, ‘11년 4억원, ’ 12년 12억원, ‘13년 24억원

■ (지원 구분) 사업 추진 가능성을 반영할 수 있도록 예비타당성조사와 본타당성조사(투자F/S포함)로 구분하여 지원

■ (기간) 6개월 이내, 1회 3개월 연장가능

■ 우리기업이 사업주로서 개발, 건설 또는 운영관리에 참여하는 다음 어느 하나에 해당하는 해외 투자개발형 사업으로 사업타당성조사 또는 글로벌인프라펀드의 투자(자본금 또는 대출)가 필요한 사업이 해당됨

- 도로, 철도, 공항, 댐, 발전소, 수도, 신도시건설, 신재생에너지, 물류시설, 관광단지, 공공시설, 환경시설, 산업플랜트 및 본 사업의 투자비 보전 등을 위하여 연계되어 추진되는 주택건설, 택지개발, 도시개발, 산업단지개발, 복합단지개발사업
- 기타 사회기반시설에 대한 민간투자법 제2조 제1호 및 제21조 제1항에서 정하는 사업의 종류 등

④ 분산형 용수공급시스템의 해외진출 방안

㉮ 해외진출 유형

■ 기업의 해외진출 유형은 해외직접투자・전략적 제휴・M&A・Joint Venture(합작법인 설립) 등이 있으며, 이들 방식이 상호간 복잡하게 얽혀 있어 경계가 분명치 않은 측면이 있으나 크게 해외진출유형은 해외직접투자(FDI: Foreign Direct Investment)와 전략적 제휴(Strategic Alliance)로 구분할 수 있음

■ 해외직접투자로는 그린 필드 투자(단독 또는 합작에 의한 신규 법인 설립)・JV(합작법인 설립)・M&A(기존기업의 인수 및 합병) 등이 포함되며, JV의 경우 일정 투자를 동반해 파트너 기업과 신규 법인을 설립한다는 측면에서 전략적 제휴의 범주에 포함되기도 함. 단, 모든 JV가 전략적 제휴로 간주되는 것은 아니며, 그러기 위해서는 참여 기업간 지속적, 적극적 협력 관계 유지가 전제되어야 함.

■ 전략적 제휴는 두 개 이상의 기업이 공동의 전략적 목적을 위해 협력하는 것으로 자산투자를 동반하는 Equity-based Strategic Alliance와 자산투자 없이 협력을 수행하는 Non-equity-based Strategic Alliance로 구분할 수 있음. 자산기반 투자의 경우 FDI 요건(투자기업의 지분 10% 이상 보유, 경영참여) 충족 시 FDI로도 분류됨. 그러나 M&A 방식이 사업부 합병을 통한 JV 설립을 동반하거나, 일부 JV는 전략적 제휴에 포함되기도 하는 등 이 같은 구분이 절대적인 것은 아님

▌그림 2.419 해외 투자 종류▐

▌표 2.253 해외진출 세부 유형별 내용▐

유 형	내 용
FDI(Foreign Direct Investment,해외직접투자)	• 현지에 법인을 설립(단독 or 합작)하거나 현지의 기존 기업을 인수하는 방식, 현지 기업에 대한 투자 10% 이상 지분 보유(IMF 정의) • ※ M&A, 그린필드형(합작투자, 단독투자) 투자로 구분 가능
M&A(인수합병)	• 기존 기업의 지분확보를 통한 경영권 인수, 합병 방식
Greenfield Investment	• 신규 법인 설립 방식의 직접투자 ※ 합작투자(JointVenture),단독투자(Wholly-owned subsidiary)
JV(합작투자)	• 공동투자를 통한 합작법인 설립. 단, 모든 JV가 전략적 제휴로 간주되지는 않음 • ※ JV가 전략적 제휴로 간주되기 위해서는 지속적이며 적극적인 협력 관계가 유지 되어야 함 • JV 설립을 통한 투자이익에만 관심을 갖는 수동적인 파트너십은 전략적 제휴로 인정되지 않음 • 예시) Fuji-Xerox의 50:50 지분 투자를 통한 JV 설립 후 Fuji는 지분을 통한 투자이익에만 관심. 동 JV는 마치 Xerox의 자회사처럼 운영되었음
Strategic Alliance (전략적 제휴)	• 2개 이상의 기업이 공동의 전략적 목표(기술개발, 생산, 판매, 자본 조달 등)를 달성하기 위해 협력하는 것. M&A와 달리 양 법 인의 독립성은 유지 • ※ 자본투자를 병행하는(JV, FDI 등 중소 자본투자) Equity based 제휴와 자본 투자없이 계약에 의해 양방의 책임과 제휴방법 등을 명시하는 Non-equity based(contractual) 제휴방식으로 구분

㉰ 해외진출 유형별 장단점 비교

■ 단독투자의 경우 자회사에 대한 통제가 용이하다는 점과 불필요한 통합비용이 들지 않는다는 장점이 있는 반면, 단도진출이기 때문에 시장 적응력이 떨어진다는 점과

시행착오로 인한 리스크가 증가된다는 점임

- M&A의 경우 신규시장에 대한 빠른 습득력이 있다는 점과 회사의 자원과 역량이 향상된다는 점이 장점이나 통합에 따른 비용이 발생한다는 점과 문화적 이질감에 따른 기업역량이 저하될 우려가 있음

▌표 2.254 단독투자와 M&A의 비교▐

구 분	단독투자	M&A
장 점	자회사에 대한 통제 용이 불필요한 통합비용 방지	스피드 (신규시장 적응성) 경쟁사의 제거 회사의 자원과 역량 향상
단 점	단독진출에 따른 시장 적응력 저하 시행착오 위험 증가	통합에 따른 적응 비용 발생 문화적 이질감에서 오는 기업 역량 저하

- 전략적 제휴를 M&A와 비교를 하면, M&A와 같이 신규시장에 대한 적응성이 높고, 모기업의 독립성은 그대로 유지한채 파트너의 변경이 용이하다는점과 경쟁자의 제거가 가능하다는 점, 부족한 경영자원을 확보할 수 있다는 장점이 있으나, 중요한 문제를 해결하기 위한 공동의사 결정이 필요하다는 점과 핵심 역량이 유출될 우려가 있다는 단점이 있음

▌표 2.255 전략적 제휴와 M&A의 비교▐

구 분	전략적 제휴	M&A
장 점	스피드 (신규시장 적응성) 모기업 독립성은 그대로 유지 파트너 변경의 용이성 경쟁자의 제거 부족한 경영자원 확보 (기술, 노하우, 브랜드) 불요불급한 투자 방지	스피드 (신규시장 적응성) 파트너 기업 자산에 대한 높은 통제력 경쟁자의 제거 부족한 경영자원 확보
단 점	낮은 통제력(공동 의사결정 필요) 핵심 역량(기술, 노하우 등) 유출 우려	인수합병 비용(프리미엄 발생 가능) 양사 문화, 직원간 충돌 가능성 불필요한 통합 노력 필요

⑤ 해외진출 관련 국내절차(신고제도) 및 검토사항[10]

㉮ 해외 직접투자 신고

- 신규 사업신고(외국환거래규정 제9-5조 제1항)
  - 해외직접투자를 신규로 하고자 하는 경우
  - 기존 해외사업에 대한 증액투자신고도 신규 사업 신고에 준함
- 내용변경신고(외국환거래규정 제9-5조 제2항)
  - 투자금액, 투자업종, 투자비율, 투자방법 등 기존 신고내용을 변경하는 경우 (현지법인의 자회사 및 손회사 설립 포함)
- 회수신고
  - 대부투자 원리금을 회수하였을 경우
- 청산보고(외국환거래규정 제9-6조)
  - 현지법인 청산시 분배잔여재산을 회수하는 경우
- 신고대상
  - 외화증권 취득
  - 외화대부채권 취득
  - 외국에서 영업소를 설치 및 확장, 운영하거나 해외사업 활동을 영위하기 위하여 행하는 자금의 지급 등
- 해외직접투자 신고기관
  - 금융위원회(금융기관의 해외진출에 관한 규정 제3조제1항) : 금융기관이 금융·보험업에 대한 해외직접투자(증액투자포함)시
  - 금융감독원(금융기관의 해외진출에 관한 규정 제3조제1항) : 금융기관이 금융업 이외의 업종에 대한 해외직접투자(증액투자포함)시
  - 한국은행총재
    - 거주자의 역외금융회사 등에 대한 해외직접투자의 경우(금융기관외의 해외직접투자 관련업무)(외국환거래규정 제9-15조의2 제1항)
    - 거주자의 현지법인, 그 자회사, 손회사 또는 해외지점의 역외금융회사 등에 대한 해외직접투자의 경우(금융기관외의 해외직접투자 관련업무)(외국환거래규정 제9-15조의2 제3항)

[10] 자료 : 2011 해외진출 종합가이드, KOTRA 해외진출지원센터

▌그림 2.420 단계별 해외진출 순서(예시)▐

- 외국환은행장(외국환거래규정 제9-5조 제1항)
  • 주채권은행 : 주 채무계열 소송기업체
  • 여신최다은행 : 주 채무계열에 소속기업체가 아닌 경우

・거주자가 지정하는 은행 : 그 밖의 경우

■ 해외직접투자 신고시 제출서류(외국환거래규정 제9장 제1절 제1관)

- 해외직접투자신고서(규정서식 제9-1호)
- 사업계획서(지침서식 제9-1호)
- 투자자 확인서류
  ・법인인 경우 : 사업자등록증 사본, 납세증명서
  ・개인사업자인 경우 : 사업자등록증 사본, 주민등록등본, 납세증명서
  ・개인인 경우 : 주민등록등본, 납세증명서

■ 추가제출서류

- 대부투자시 금전대차계약서
- 합작투자시 합작계약서
- 현물투자시 현물투자명세표 2부
- 주식을 통한 직접투자시 공인회계사법에 의한 회계법인의 주식평가에 관한 의견서
- 관계기관으로부터 제재를 받은 후 사후신고를 하는 경우, 제재조치에 대한 관련 서류
- 취득예정인 현지법인 주식 또는 지분의 액면가액과 취득가액이 상이한 해외직접투자의 경우 차액의 적정성을 확인받기 위한 전문평가기관, 공인회계사 등의 평가서 또는 의견서
- 해외직접투자 관련 매 송금시 납세증명서 1부

■ 보완서류

- 신용불량자 여부 확인서류 : 투자기업체 및 기업체 대표자, 개인에 대한 납세증명서 및 신용정보확인서
- 해외자원개발사업 : 해외자원이 광물인 경우 산업통상자원부 장관, 농축산물인 경우 농림축산식품부 장관, 수산물인 경우에는 해양수산부 장관, 임산물인 경우 산림청장 신고필을 확인하는 서류
- 건설업에 대한 해외직접투자 : 국토교통부장관 신고필을 확인하는 서류
- 기타 외국환은행의 장이 필요하다고 인정하는 서류 등

㉯ 해외진출을 위한 검토사항

■ 해외진출 시 체크리스트 작성 필요성

- 해외투자는 국내 투자와는 달리 지리적으로 멀고, 경제여건, 산업발달 정도, 문화, 언어 등과 같은 투자환경이 우리나라와 다르고 현지정보 입수도 제한적일 수밖에 없어서 국내투자에 비하여 투자리스크가 매우 클 뿐만 아니라 실제 투자과정에서

예측할 수 없었던 문제가 자주 발생함

- 일단 해외투자가 결정되고 실행단계에 접어들게 되면 쉽사리 투자계획을 취소하기도 힘들고 취소하더라도 이미 투입된 비용과 계약된 내용에 따른 손실을 감수해야 하기 때문에 투자실행 이전에 투자여건을 철저히 조사하고 확인해 두지 않으면 성공할 가능성은 그만큼 낮아짐
- 따라서, 해외투자는 계획단계에서 무엇을 조사할 것인지 체크리스트를 만들어 빠짐없이 조사하여 사업계획에 반영한 후 사업성이 있다고 판단될 때에 투자결정을 내려야 함
- 결국, 투자를 실행하다보면 크고 작은 문제가 발생하여 사업계획을 변경해야 하거나 일정이 지연되고 심지어는 계획을 취소해야 하는 경우도 있으므로, 사전에 치밀한 조사를 통해 사업계획을 수립한 기업이라면 문제점이 적거나 문제가 있더라도 조기에 해결책을 찾아 정상화가 가능함

▌표 2.256 해외진출시 조사항목 체크리스트▐

구분	1단계 시장조사	2단계 사업계획 수립	3단계 사업성분석(3~5年)
투자환경	• 투자국의 지리적 이점 • 사업여건 및 경제동향 • 경제성장률 및 환율 전망 • 정부의 투자정책 및 외국인우대 정책 • 정부의 외자기업에 대한 열의 및 지원 • 세관, 세무, 노동관청의 행정투명도	• 투자배경, 타당성 검증	•
진출사업환경	• 전체 시장규모 및 향후 성장전망 • 지역별 시장규모 • 과거 시장가 변동추이 및 전망 • 시장경쟁 정도 • 동종사업 참여업체의 사업현황 • 외국 업체 진출사례 • 연관 산업 발달정도	• 투자배경, 타당성 검증 • 중장기 사업목표 수립 (시장점유율 등)	• 판매 및 매출계획 수립
판매	• 소비자 성향, 관습, 구매 선호도 • 상위권 동종업체 마케팅 전략 - 4P(제품, 가격, 유통, 판촉) • 히트상품 조사 및 분석 • 제품규제(규격, 인증 등)	• 4P(제품, 유통, 판촉, 가격) 계획 수립 - 제품 : 현지 특화 제품(Product) 도입계획 - 가격 : 경쟁사와 가격 Price Positioning - 유통 : 진출유통 및 유통마진 계획 PLACE	• 모델별 판가 산출 • 광고/판촉비 산출
유통	• 유통구조 • 유통채널별 특성 및 유통마진 • 유통채널별 매출채권 회수(여신기한)		

구분	1단계 시장조사	2단계 사업계획 수립	3단계 사업성분석(3~5年)
	• 판가결정 체계(Cost Structure)	- 판촉 : 경쟁사와 차별화 계획 Promotion	
물류	• 주요 산업단지와 주력 시장간 물류 도로사정, 운송 수단/거리/기간/비용 운송회수, 운송회사 • 주요 산업단지와 항구간 물류(수출입) 도로사정, 운송 수단/거리/기간/비용 운송회수, 운송회사	• 물류창고 운영계획 수립(제품/부품) • 공장입지와 시장 접근성 고려	• 물류비 산출(제품/부품)
공장입지	• 주요 산업단지 현황 • 산업단지별 투자 혜택(Incentive) • 산업단지별 입주기업 동종업체 및 관련 산업 업체 • 산업단지별 인프라 전력 등 에너지, 통신, 용수, 도로/시장 접근성, 지반 견고성, 인력수급 • 토지구입가 및 공장건물 임차 가능성	• 공장입지 결정	
투자	• 공해 및 환경오염 규제정도, 소방법, 환경보호 대책과 기업의 부담비용 • 건축법규 및 건축인허가 사항 • 건축회사 및 건축기간 • 토지/건축 직접투자비 및 건물 임차비 • 현지에서 구입 가능한 고정자산 • 제조설비 수입규제 여부 • 설비별 수입관세 및 면세여부 • 일부 제조공정의 아웃소싱 가능성 • 고정자산 감가상각 기준	• 투자금액 결정 • 공장건물 투자여부 (직접투자/임차) • 공장 Lay-out • 생산능력 및 라인수 • 자체 생산 공정 및 아웃소싱 • 공장가동 목표일	• 투자금액 및 감가상각비 산출 • 직접투자와 임차시 비교 분석 • 고정자산 유지보수 비용 산출
부품	• 부품별 현지화 가능성 업체, 생산능력(Capa), 품질수준, 납기 • 부품별 수입관세 및 수출시 환급 여부 • 수입부품의 구입처(글로벌소싱) • 소싱국가별 운송 기간, 비용, 운송회수	• 부품 수급계획 수립 수입 및 현지화부품	• 재료비 산출 • 부품현지화율 산출
노무	• 노동법 법정근로시간, 노동조합, 직원 채용 및 해고, 잔업/교대근무 가능성 및 급여, 정규/비정규 인력운영 • 인력확보 용이성 및 채용방법 • 인력의 자질 및 노동관행 • 직급별 임금수준 및 복리후생기준 의료보험, 사회보장보험 등	• 조직 운영계획 수립 • 조직도, 인력규모 • 인력 수급계획 수립 • 주재원 파견 • 정규직 및 계약직 운영 • 핵심인력 양성	• 인건비 및 복리 후생비 산출

구분	1단계 시장조사	2단계 사업계획 수립	3단계 사업성분석(3~5年)
제조	• 동종업체 생산방식 • 유틸리티 수급 및 비용 전기, 공업용수, Gas 등 • 생산소모품 가격	• 라인 운영계획 수립 생산방식, 라인 Lay-out, 교대운영	• 제조경비 산출 • 유틸리티 소요량 및 금액 • 소모품비 등
운전자금	• 매출채권 회수기간(제품) • 매입채무 지불기한(부품) • 제품 제조기간 및 부품 구매기간	• 운전자금 조달계획 수립	• 운전자금 산출 • 운전자금 회전주기 산출
금융	• 현지금융 이용 편의성 • 은행 거래조건 조사 차입조건, 차입액, 상환조건, 차입이자(단기/장기) 등 • 현지은행-외국은행간 차입조건 비교	• 자금 운영계획 수립 • 자본금, 차입(장기/단기) 규모 • 거래은행 결정	• 자본금 및 차입금 규모 산출 • 지급이자 산출
조세제도	• 세금 종류, 세율 및 납세방법 법인세, 개인소득세, 부가가치세, 특별소비세 등 • 과실송금의 보장 • 이중과세방지, 사회보장세면제 협정 등	• 절세방안 수립	• 경상이익 및 순이익 산출 • 수익률 분석
법인형태	• 법인형태, 설립절차, 비용, 해당관청 • 법인형태별 장단점 분석 • 세제, 설립용이성 등 • 국내 법인설립 신고절차 • 법인 철수절차	• 법인형태 결정	
일반환경	• 인구수, 인구구성, 상주외국인 규모 • 한국기업 진출현황 • 진출업체의 성공 및 실패사례 • 상관습 및 거래 시 유의사항 • 비즈니스 에티켓 • 비자 취득절차 등 회계·회계연도 및 회계기준		

㉰ 분산형 용수공급시스템의 해외진출 사업전략

■ 신흥국 시장은 선진국들에 비해 빠른 속도로 경제성장이 이루어지거나, 이루어질 것으로 예상되는 지역을 말하는데, 이러한 신흥국 시장은 풍부한 잠재시장 및 활발한 인프라 구축계획, 우수한 인적자원, 풍부한 지하자원 보유와 같은 성장요인들 중 적어도 한 가지 이상 보유하고 있다는 특징을 지니고 있음

- 특히 신흥국의 급속한 경제발전과 함께 도시화, 민간참여 증가는 인프라 수요를 지속적으로 증대시키고 있음
- 우리나라의 경우는 인프라 설비제작 및 시공부문을 중심으로 신흥국 시장을 적극적으로 공략하고 있지만, 인프라 운영·관리나 컨설팅 등의 서비스 분야에 대한 진출은 다소 미흡한 가운데에 있기 때문에 신흥국 시장확대를 기회로 활용하여 인프라 산업을 수출동력화하는 전략을 적극적으로 전개할 필요가 있음
- 현재 인프라시장은 유럽이나 아메리카 기업들이 주도하고 있기 때문에 선진국 시장 진출은 쉽지 않은 상황에 있으나, 한국이 압축성장 과정에서 축적한 경험과 노하우는 신흥국 시장에서 선진기업과의 경쟁을 가능하게 하는 차별화된 경쟁력임을 인식해야 할 것임
- 우리나라 물산업 시장확대를 위해 국제사회에서 경제 성장잠재력이 있다고 평가받고 있는 유망 신흥시장(Emerging Market)과의 경제적 교류 활성화가 필요함
- 현재 우리나라와 경제교류가 활발한 국가들이며, 국제사회의 주요 신흥시장 분류기준에 언급되고 있는 지역들은 다음과 같음
- 신흥국 시장 중 분산형 용수공급시스템의 특성상 아프리카 및 후진국의 경우 공적개발원조(ODA) 자금을 이용할 수 있다는 장점이 있으나, 대부분 기본 수질기준에만 맞추길 원하고 있으며, 고품질의 수돗물 생산에는 비용 증가로 꺼리는 형편임. 또한, 이러한 국가의 경우 인건비가 매우 저렴하기 때문에 인건비를 줄이는 자동화설비도 대부분 원하지 않고 있음
- 또한, 중국의 경우 현지 EPC기업들이 시장을 주도하고 있어, 외국기업 참여가 곤란한 사정이 있는 것으로 파악됨
- 따라서, 중남미지역 중 OECD[11]에 가입된 멕시코와 칠레에 대해 시장진입 가능성 조사함. 현재 환경부에서도 멕시코, 콜롬비아등 중남미 하수도 개선사업에 국내기업을 참여시키기 위한 정부 지원을 확대하고 있는 중임

[11] OECD가입국(총 34개국) : 오스트레일리아, 오스트리아, 벨기에, 캐나다, 칠레, 체코, 덴마크, 에스토니아, 핀란드, 프랑스, 독일, 그리스, 헝가리, 아이슬란드, 아일랜드, 이스라엘, 이탈리아, 일본, 한국, 룩셈부르크, 멕시코, 네덜란드, 뉴질랜드, 노르웨이, 폴란드, 포르투갈, 슬로바키아, 슬로베니아, 스페인, 스웨덴, 스위스, 터키, 영국, 미국

▌표 2.257 주요 신흥국의 국제적 분류▐

지칭용어	해당국가(국가수)	제안자(연도)
BRICs	브라질, 러시아, 인도, 중국(4개국)	골드만삭스(2001)
BEM	남아공, 멕시코, 브라질, 아르헨티나, 아세안, 인도, 중국, 터키, 폴란드, 한국(10개국)	미국 상무부(2005)
NEXT-11	방글라데시, 이집트, 인도네시아, 이란, 멕시코, 나이지리아, 파키스탄, 필리핀, 한국, 터키, 베트남(11개국)	골드만삭스(2005)
VISTA	베트남, 인도네시아, 남아공, 터키, 아르헨티나(5개국)	일본 브릭스경제연구소(2006)
Volume Zone	대만, 말레이시아, 베트남, 싱가포르, 인도, 인도네시아, 중국, 태국, 필리핀, 홍콩(10개국)	일본 경제산업성(2008)
CIVETS	콜롬비아, 인도네시아, 베트남, 이집트, 터키, 남아공(6개국)	EIU(2009) HSBC(2011)
MIKT	멕시코, 인도네시아, 한국, 터키(4개국)	골드만삭스(2010)
MAVINS	멕시코, 호주, 베트남, 인도네시아, 나이지리아, 남아공(6개국)	미국 Business Insider(2010)
EM	남아공, 대만, 러시아, 말레이시아, 멕시코, 모로코, 브라질, 이집트, 인도, 인도네시아, 중국, 체코, 칠레, 콜롬비아, 페루, 폴란드, 필리핀, 태국, 터키, 한국, 헝가리(21개국)	MSCI(2010)
KEM	중국, 인도, 인도네시아, 말레이시아, 파키스탄, 태국, 베트남, 카자흐스탄, 미얀마, 방글라데시, 우즈베키스탄, 러시아, 터키, 폴란드, 루마니아, 우크라이나, 헝가리, 브라질, 멕시코, 아르헨티나, 칠레, UAE, 사우디, 이란, 이라크, 레바논, 남아공, 나이지리아, 이집트, 모로코(30개국)	삼성경제연구소(2010)
주요 투자 시장	중국, 베트남, 인도네시아, 필리핀, 러시아, 인도, 폴란드(7개국)	KOTRA(OIS)

자료 : 수출입은행

㉮ 멕시코

■ 멕시코 남부 지방은 인구가 적은 편이기 때문에 수자원이 다른 지역에 비해 풍부하나, 인구 밀도가 높은 북부와 중부 지방은 수자원이 부족하며 가뭄이 빈번하게 발생하고 강수량 또한 일정하지 않음. 멕시코의 수자원은 대부분 강이나 호수등의 지표수를 끌어오거나 대수층에서 채수하여 대수층이 과잉 개발됨. 한편 멕시코 국민들의 수자원에 대한 높은 수요와 인구 증가로 인해 물 부족이 사회적 이슈가 되

고 있는 실정임

- 멕시코수자원공사(CONAGUA)는 2011년 3월 멕시코의 지속 가능한 수자원 정책을 통합하는 '2030 수자원 아젠다'를 발표함. 이는 특히 민간 부문의 투자를 장려하고 유치하기 위해 수자원 분야의 필요성을 강조하고 법적인 틀을 개선하는데 중점을 두고 있음

▌그림 2.421 멕시코의 SWAT분석▐

- 멕시코 수자원에 대한 높은 수요와 인구증가로 인해 지역별 물부족 현상이 사회적 이슈로 떠오르고 있음
- 이에 따라 정부는 민간 부문의 수자원 산업 부문 투자 증대를 위한 아젠다를 수립하는 등의 노력을 기울이고 있음
- 멕시코 수자원공사는 오는 2013년 10월에 1억 9300만 달러 규모의 수도관 입찰 공고를 실시하였고, 또한, 페냐 니에토 정부 임기 기간 중 총 43개의 대형 프로젝트를 발주할 계획을 갖고 있음

㉮ 칠레

- 칠레는 전체 수자원 양은 충분하나 지역별로 수자원의 수급이 불균형한 상태임. 북부지역은 사막으로 물 공급은 부족하지만 광산과 제련소가 많아 용수 수요는 높고, 남부지역은 물 공급은 충분하나 용수 수요가 적고 수자원의 4%만이 댐으로 관리되는 실정임
- 칠레 수도가격은 우리나라의 약 3배이고, 2010년 OECD 회원국 중 8번째로 높으나, 비싼 가격에도 수처리 인프라의 낙후로 수질은 낮은 상황임
- 칠레 상하수도관리청(SISS)은 앞으로 10년간 공공부문 수처리 인프라 개선에 10억

달러 투자할 계획임

- 투자액 중 5억 달러는 수도 수질 개선에 투입되고, 나머지는 해수담수화와 상하수처리 시스템에 투자할 예정임

▌그림 2.422 칠레 수처리 투자 현황▐

- 칠레 정부는 투자환경 개선 및 경쟁력 강화 계획 20개 의제(Agenda Pro inversion competitividad)에 수자원분야를 포함해 투자확대를 꾀하고, 민간기업들도 수자원 시설에 대한 투자를 진행하고 있음
- 또한, 칠레는 브라질이나 멕시코에 비해 시장규모가 작지만 중남미에서 브라질에 이어 2012년 외국인 직접투자 유치 2위를 차지하고 있다. 이는 칠레정부의 투명한 정책, 시장경쟁성을 고려한 투자협정 네트워크, 이중과세방지 협약 체결을 통한 투자안정성뿐만 아니라 투자기회 및 칠레 경제성장 가능성을 높게 평가하고 있음
- 최근 친환경사업, 스마트시티 등 도시개발 붐이 일어나고 있어, 도시개발과 관련된 시장을 면밀히 조사할 필요가 있을 것으로 판단됨

㉮ 대규모 국제행사 계획예정지역

- 대규모 국제행사라 하면 올림픽게임, 아시안게임, 유니버시아드게임, 월드컵등의 스포츠행사와 EXPO등의 문화행사로 구분할 수 있음
- 올림픽게임, 아시안게임, 유니버시아드게임 등은 아마추어를 위주로 한 행사이므로 이 기간 동안에는 선수촌을 개발하여 이곳에서 선수들이 집단으로 모여 숙식을 해야 함. 따라서, 이러한 국제행사기간이 펼쳐지는 국가에서는 소규모의 신도시를 개

발해야만 함.

- 예를 들어 우리나라의 경우에도 올림픽 및 아시안게임을 개최하면서 과거에 잠실 지역 선수촌 아파트를 신설하였으며, 현재 평창동계올림픽을 개최하면서 평창군 및 강릉시에 대규모 선수촌 및 미디어센터등의 시설을 신설하고 있음
- 향후 이러한 개최가 확정된 국가를 대상으로 국제행사 지역에 수직형 정수처리시설이 적용된다면 고품질의 수돗물을 공급할 수 있으며, 이러한 수직형 정수처리시설은 대회가 끝난 후에도 지역주민들에게 공급될 수 있음
- 또한, 장기간 동안 해외언론에 대해 홍보효과가 매우 클 것으로 예상되며, 이러한 홍보효과를 통해 타 지역에 진입하기에 매우 용이할 것으로 판단됨

▌표 2.258 해외지역의 국제행사 계최계획▐

대회명	기간	지역	비고
하계올림픽게임	2016.08.05.~2016.08.21	브라질(리우데자네이루)	제31회
	2020.07.24.~2020.08.09	일본(도쿄)	제32회
하계아시안게임	2014.09.19.~2014.10.04	인천광역시	제17회
	2019(개최일자 미정)	베트남(하노이)	제18회
하계유니버시아드	2015.07.03.~2015.7.14	광주광역시	제28회
	2017년(개최일자 미정)	대만(타이페이)	제29회
	2019년(개최일자 미정)	브라질(브라질리아)	제30회
동계올림픽게임	2018.02.09.~2018.02.25	평창군, 강릉시등	제23회
	2022년	개최국 미정	제24회

2. 분산형 용수공급시스템 실증시설 구축 (2세부)

가. 수직형 정수처리 실증시설 시공

(1) 감성설계가 고려된 미적 시공기준

(가) 공모전 시행 및 기본안 도출

① 공모전 시행

▌수처리 공정 연구자들의 좁은 시야가 아닌, 실제 건축 디자인에 관련된 일반인들의 정수장을 바라보는 다양한 시각을 수용하고자 실증시설 외피 디자인 공모전을 실시하였음

- 본 공모전을 통해 제출 받은 외피디자인 공모안 중 총 8작품의 수상이 이루어 졌으며, 분석을 통해 최종디자인 도출에 활용되었음

▌표 2.259 실증시설 외피디자인 공모전 당선작▐

당선작 디자인	디자인명	디자인 컨셉
	Water Wave 금상	• 물에 대한 이미지를 활용하여 상징적, 심미적, 친환경적인 성격의 건축물 계획 • 우수정화 시스템, BIPV, 경제적인 모듈의 입면구성, 옥상녹화&루버, 투영, 열린입면 • 한국 전통 처마, 문살, 포석정 이미지화
	Eco Cube 은상	• 친환경적 요소 부각 (Eco Cube 입면) • Eco Cube 활용 : BIPV 설치, 벽면녹화용 식생, 공기순환 및 공기정화 수행 • 두 입면이 정수시설을 감싸는 형상은 깨끗한 물을 지키는 두 손의 형태를 표현
	Urban Aqua Screen 동상	• 수벽(스크린)으로 이루어진 정면의 파사드 • 현대기술을 이미지화한 친환경적 장치 • 몬드리안 작품을 연상시키는 육면체 조합 • 4층 제어실까지 이어지는 보행로 구성

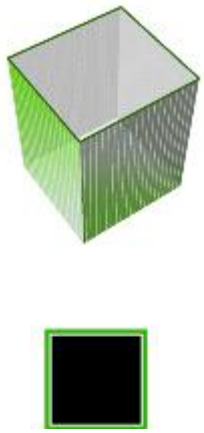
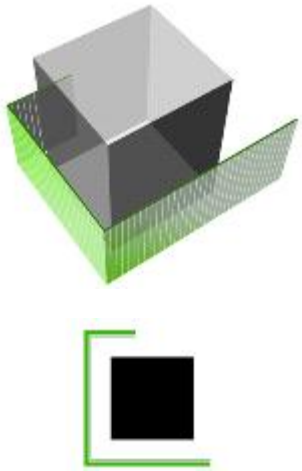
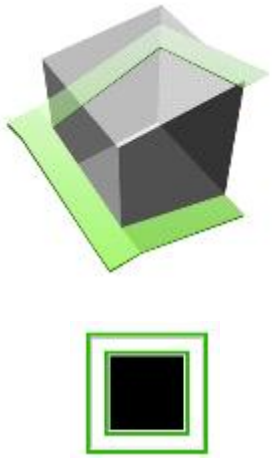
<계 속>

당선작 디자인	디자인명	디자인 컨셉
	Pot Cube 동상	• 공원에 정수탑으로 형성되는 이미지를 한 그루의 나무로 이해 • 유리의 투명성과 깨끗함, 안정성 강조 • 나뭇잎으로 치환되는 다양한 모듈의 Cube • 입면 Cube에 화분 및 계단 (체험 및 휴식)
	Skinless 장려상	• 수돗물에 대한 인식개선을 위해 전시장으로 계획 • 외부공간 램프 구성으로 관람객의 동선 및 체험장으로 활용 • 소비자 일상에 동화되는 Skinless를 계획
	The Pot of Nature 장려상	• 주변 환경과 경계를 허물고 자연과 소통 • 입면은 자연을 투과하거나 반사 • 투명판, 반투명판, 불투명판의 다양성부여 • 슬라브, 내벽, 입면 세가지 요소의 간결한 형태
	Green Cushion 장려상	• Glass System → Punching Metal → Duble Skin → Volume Slice → Missing Each other • Duble Skin 사이에 식재 (변화 대상 인지) • Punching Metal을 통해 다양하게 변화하는 물입자 표현 (물의 순환)
	A Groove of Bamboos 장려상	• 자연적인 재료(대나무)를 입힌 친근한 이미지 • 대나무 숲의 청아한 모습을 상징 • 현대적인 느낌과 전통적인 느낌을 가미 • 중간에 실제 식재 삽입, 정수시스템 상징

② 공모전 당선작 디자인 분석

▌ **실증시설 건물 기본계획에서 도출한 Boundary Condition을 바탕으로 공모전을 실시하였으며, 총 8개 당선작의 디자인 분석한 결과는 아래와 같음**

▌표 2.260 외피디자인 공모전 당선작 디자인 경향분석

구분	입면 디자인 Facade	외피 디자인 Envelope	동선디자인 Circulation
디자인 방법	평면은 변경하지 않고 입면만 디자인한 사례	외부공간 및 가벽등 새로운 외피를 디자인한 사례	램프 및 계단등으로 외피와 동선을 디자인한 사례
디자인 이미지			
디자인 제안	기존 입면을 변경하여 새로운 재료와 디자인 제안	기존 입면을 그대로 둔 상태에서 가벽과 외부공간 디자인 제안	4층 제어실까지의 동선을 연결하면서 외피루버디자인 제안
디자인 전략	일반적으로 적용 가능한 건물의 입면을 다루는 디자인 전략	본건물의 기능과 상징성을 동시에 만족시키는 디자인 전략	개념적으로 가장 적극적인 디자인 전략

▌ **공모전 출품작의 경향 분석 결과 디자인 방법에 따라 입면디자인 (Facade Design), 외피 디자인 (Envelope Design), 동선디자인 (Circulation Design)으로 크게 세 가지 분류로 나뉨**

▪ Facade Design의 경우, 기존 평면은 그대로 두고 입면만 디자인한 사례로 기존 입면을 변경하여 새로운 재료와 디자인을 제안하였으며, 일반적으로 적용 가능한 입면을 다루는 디자인 전략으로 접근할 수 있음

■ Envelope Design의 경우 외부 공간 및 가벽 등을 활용하여 새로운 외피를 디자인한 사례로 기존 입면을 그대로 둔 상태에서 외부 공간의 디자인을 제안 하였으며, 본건물 기본설계의 기능성을 살린 채로 외부 디자인을 통해 상징성까지 동시에 만족시키는 디자인 전략의 구사가 가능함

■ Circulation Design의 경우, 램프 및 계단 등으로 외피뿐 아니라 동선까지 고려하여 디자인한 사례로 4층 제어실까지의 동선을 연결하면서 외피루버디자인을 제안하였으며, 개념적으로 가장 적극적인 디자인 전략이 가능함

■ 이밖에도, 디자인 요소적인 측면에서 실제 식생을 활용한 친환경적 요소, Cube를 활용한 입면디자인, 투명/불투명판 등을 활용한 외피 디자인 등이 공통적으로 나타났음.

③ 실증시설 외피디자인 기본안 도출

▌앞서 진행한 디자인 경향분석을 통해 나뉘어진 세 가지 디자인 방법에 따라 각각의 디자인 기본안을 도출하였음

㉮ ALT_01 입면디자인 타입 (Facade Design Type)

▌그림 2.423 입면디자인(Facade Design) 기본안▐

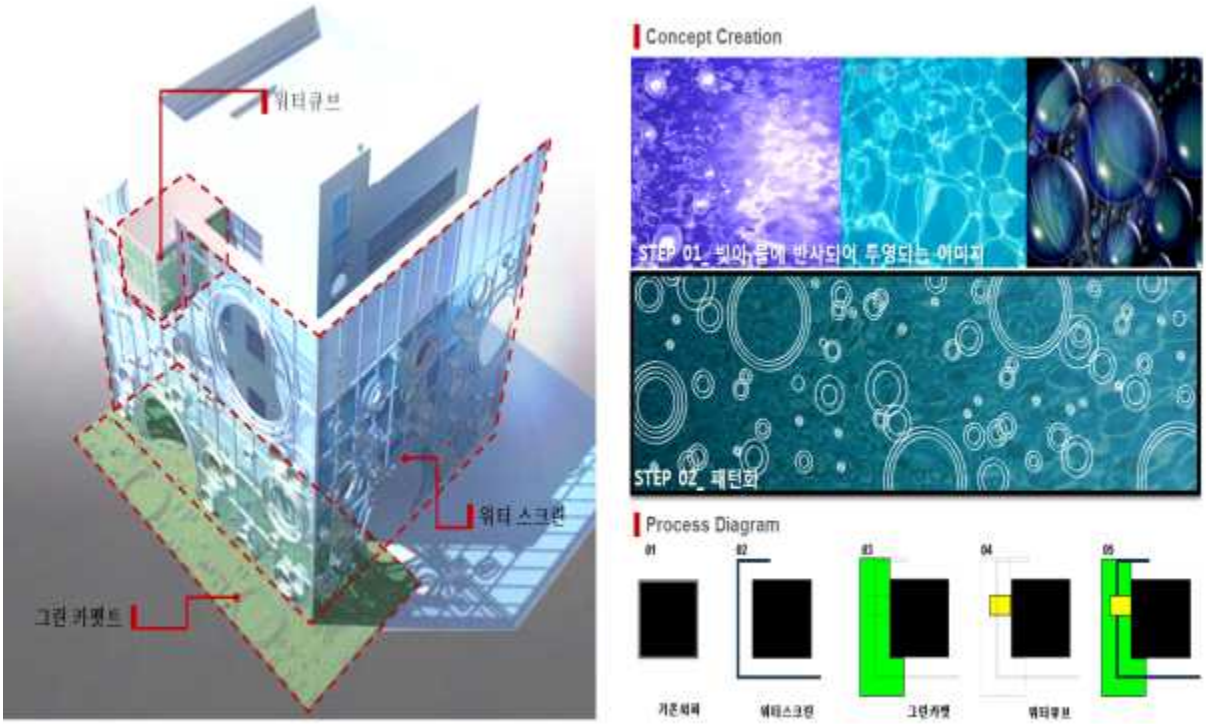
▌새로운 재료를 사용하여 입면을 디자인한 가장 일반적인 건물 디자인 방법이라 할 수 있음

■ 단조로운 입면을 탈피하고자 수직형 정수처리시설을 폭포이미지로 재해석하여 건물의 상부에서 하부로 물이 흐르는 듯한 디자인을 적용하였음

■ 열린 공간에 폴리카보네이트를 적용함으로써 적극적인 채광유입을 도모하는 동시에 수려한 미관을 이끌어내고자 함

■ 야간에는 LED경관조명을 활용하여 도심에 물이 흐르는 효과를 표현하고자 하였음

㉰ ALT_02 외피 디자인 타입 (Envelope Design Type)



▌그림 2.424 외피디자인(Envelope Design) 기본안 ▐

▌기능에 충실한 본건물 기본 설계안을 그대로 유지한 상태에서 외부 공간 일부에 가벽 등을 세워 외피를 특색 있게 표현한 방법으로 1세부에서 진행한 건물 기본 설계안에 대한 변동을 최소한으로 가져가면서 효과적으로 건물을 디자인 할 수 있다는 장점이 있음

■ 본 안의 경우 가벽 부분에 빛이 물에 반사되어 투영되는 이미지를 패턴화 하여 표현함으로써 수처리 시설의 이미지를 대변함

■ 최상층에 유리박스 등을 사용하여 전망공간을 제공하였으며, 1층 하부에는 그린 카페트를 적용하여 자연친화적 요소를 가미하였음.

㉰ ALT_03 동선 디자인 타입 (Circulation Design Type)

▌내부 기본 골조와 외피사이 공간에 램프 및 계단을 설치하여 동선의 기능성을 추가로 갖게 하는 타입임

- 설치된 동선을 따라 올라가면서 BIPV가 부착된 커튼월을 통해 내부의 정수시설이 어떻게 작동하는지 볼 수 있으며, 최종적으로 4층 제어실 관람을 마치고 내부계단을 통해 밖으로 이동할 수 있음.
- 램프를 둘러싼 외피 구조물은 난간 역할과 동시에 홍보전시벽으로 사용될 수 있음.
- 새로운 기능성을 부여하는 가장 공격적인 디자인 전략과 함께 자유로운 건물 디자인이 가능한 반면, 구조체를 지지하기 위해 건물 기본설계안에서 구조를 보강하는 과정이 필요함

▌그림 2.425 동선디자인(Circulation Design) 기본안 ▌

(나) 실증시설 감성설계 디자인 도출

▌ 수직형 정수처리시설의 기능성 및 상징성, 경제성을 고려하여 아래 그림과 같은 디자인을 도출하였음

■ 실증시설이라는 목적에 맞게 기능성을 최우선으로 생각함과 동시에 실제 수처리 공정에 크게 영향을 미치지 않는 외피라는 점에서 경제성을 고려하여, 1세부에서 진행한 건물 기본 설계안에 대한 변동을 최소화함으로써 기본설계의 기능성을 그대로 가져가면서 효과적으로 건물을 디자인

▌수직형 정수처리시설이라는 상징성을 강하게 부각시키고자, 입면디자인에서 적용하였던 수직형 정수처리시설을 재해석한 폭포(Waterfall)를 더욱 구체화하여 전면 외피 구조물에 적용하였음

■ 수직형 정수처리시설을 폭포수의 수직적인 흐름으로 형상화하고, 물을 여과하는 정수과정을 재해석한 새로운 오브제를 물의 흐름 속에 삽입하여 픽셀로 형상화 함

■ 픽셀로 형상화된 오브제는 다공판 재질로서 식생을 통한 벽면녹화가 가능하며, 오브제 이외의 부분은 투명재질의 폴리카보네이트를 적용하여 물이 흐르는 형상을 효과적으로 표현하였음

▌도심형 정수처리시설의 고급화 이미지를 위해 기본 설계안에 적용되었던 샌드위치 판넬을 동일한 설치방법으로 동일한 성능을 보이면서 더욱 고급스러운 이미지를 낼 수 있는 메탈 판넬 재료로 변경하였음

▌분산형 용수공급시스템 실증시설 외피 감성설계 완료 후 실제 크기의 1/50 Scale의 모형을 제작하여 최종 디자인 검토와 함께 옥상과 벽면에 설치될 예정인 PV 및 BIPV 태양광 발전의 효율까지 검토 완료하였음

(a) 실증시설 감성설계 디자인 이미지

(b) 실증시설 감성설계 모형제작

▌그림 2.426 실증시설 감성설계 디자인 도출안 ▐

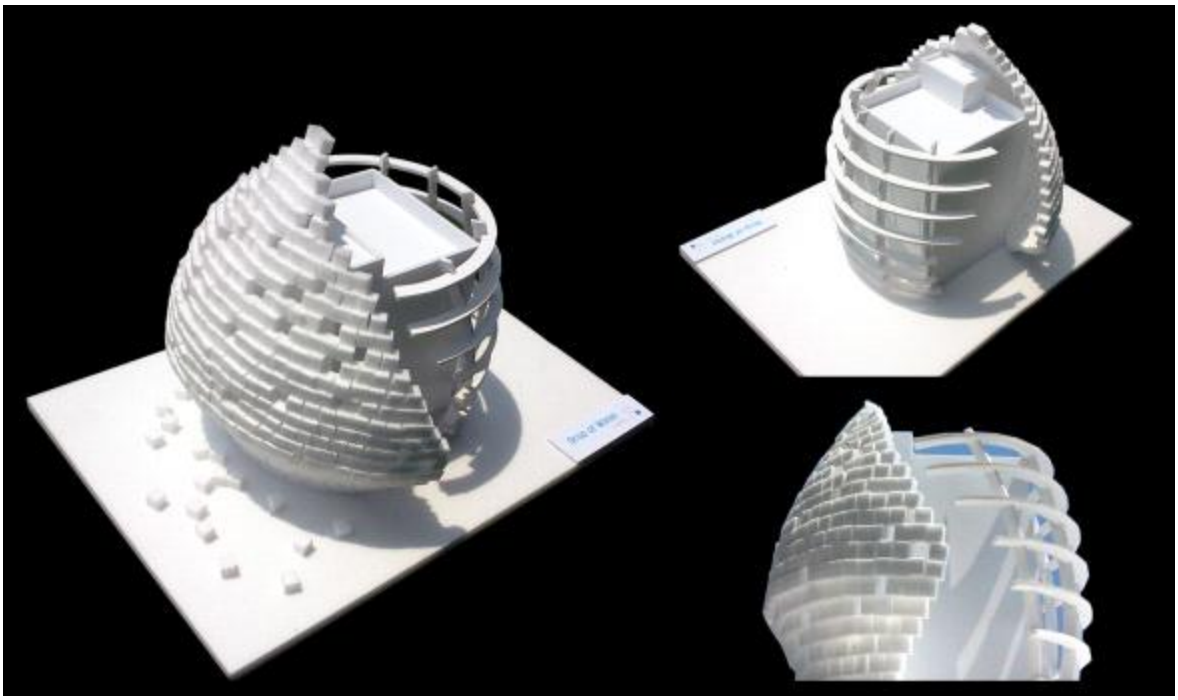
(다) 실증시설 감성설계 대안 디자인 도출

▌도심형 정수처리시설 감성설계의 다양성을 위해 앞서 분석한 세 가지 디자인 유형 중 가장 적극적인 디자인이지만 경제성 및 구조적인 문제로 채택되지 못한 동선 디자인에 대해 두 가지 대안디자인을 도출하였음

① Drop of Water

(a) Drop of Water 디자인 이미지

(b) Drop of Water 디자인 설명



(c) Drop of Water 모형제작

▌그림 2.427 실증시설 감성설계 대안디자인1 - Drop of Water

▌첫 번째 대안디자인인 Drop of Water는 정수처리 시설의 이미지를 상징하기 위해 이미지에서 바로 느껴지듯이 물방울의 이미지를 그대로 차용하였음

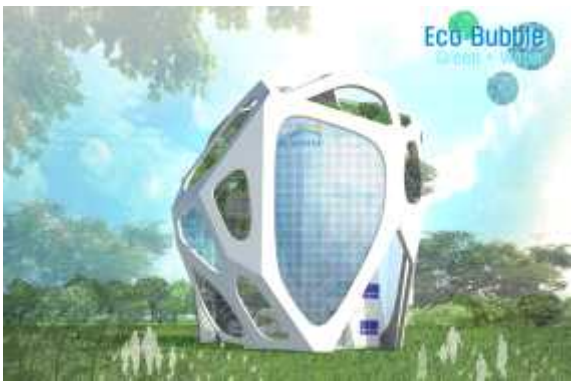
- 이러한 직접적인 이미지의 차용은 가장 단순하면서도 상징이라는 측면에서 가장 강력한 디자인 방법론이라고 할 수 있음
- 외부 입면은 디자인 공모전 출품작에서 사용됐던 에코큐브를 적극 활용하였으며, 에코큐브는 재료에 따라 다양한 색상의 연출이 가능하며, 식생을 통한 벽면녹화의 용도로도 활용이 가능함
- 후면의 BIPV 설치부분은 태양광을 최대로 수용할 수 있는 곡선형으로 계획하였으며, 전체적인 물방울 이미지에 잘 어우러지도록 프레임을 구성하였음
- 물방울 형태의 외피 입면이 수처리 시설이 자리하는 내부 건물을 둘러싸고 있는 형태로 내부 시설의 격리를 통해 시설의 안전성 도모가 가능하며, 건물과 외피사이에 램프 및 계단을 활용한 동선을 배치함으로써 관람로 구성이 가능함

▌Drop of Water 디자인을 실제 적용하기 위해서는 건물의 높이 이상으로 에코큐브를 쌓아올리기 위해 구조적인 부분에 대한 스터디가 더 필요하며, 전체적인 이미지 검토를 위해 실제 건물의 1/100 Scale의 모형제작까지 진행하였음

② Eco Bubble

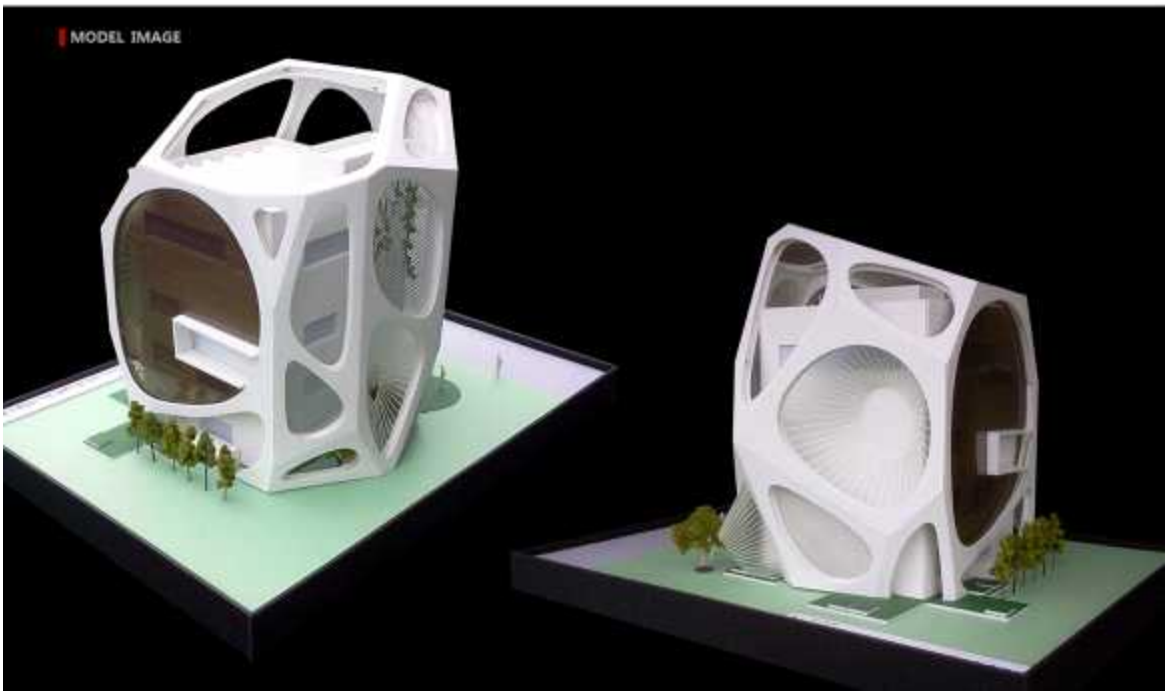
▌두 번째 대안디자인인 Eco Bubble은 물속에 생긴 기포(Bubble)를 개념적으로 해석하여 신비로운 이미지로 표현함

- 물을 정화할 때 쓰이는 기포(공기)를 개념적으로 해석하여 외피를 가리는 오브제를 만드는 것이 아니라 배경이 되는 프레임을 만들고, 그 속에 비워진 Hole(구멍)에 오브제 요소를 유연하게 상황에 따라 배치하여 점차적으로 변화하는 새로운 개념의 입면을 제시하였음
- 정해진 형태의 기포가 없듯이 본 디자인 역시 설계에 따라 비슷한 느낌으로 매우 다양한 형태의 디자인이 가능하다는 장점이 있음
- 정형화 되지 않은 Hole은 또다시 다양한 재료의 오브제 요소를 배치함으로써 무한대의 다른 디자인 연출이 가능함
- 각각의 홀은 다공성 판에 식재를 통한 벽면 녹화가 가능하고, 직접적인 수목의 식재도 가능하며, 투명 또는 불투명 재질의 판을 활용해 다양한 연출이 가능함
- 태양광 발전 효율에 대한 부분역시 약간의 구조적인 스터디와 Hole의 위치 및 크기 변경을 통해 다양하게 적용이 가능함



(a) Eco Bubble 디자인 이미지

(b) Eco Bubble 디자인 설명



(c) Eco Bubble 모형제작

▌그림 2.428 실증시설 감성설계 대안 디자인2 - Eco Bubble ▌

(라) 외피 재료 검토

① 외피 구조물 재료

▌외피 구조물 재료 선정을 위해 아래와 같이 본건물 기본안으로 선정된 일반 샌드위치 판넬과 함께 노출콘크리트형 샌드위치 판넬, 메탈판넬, FRP 성형판넬을 검토하였음

■ FRP 성형판넬의 경우, 고광택의 재질로 자유로운 형태가 가능하여 디자인의 의도를 잘 표현할 수 있고, 가벼운 소재로서 구조적인 부담이 적다는 장점이 있어 놀이공원

의 시설물, 예식장 등의 외관 리모델링에 주로 사용되는 고품질의 재료이지만, 소규모로 주문생산하게 되면 제작단가가 지나치게 높아져 본 실증시설에 적용하기에는 어려울 것으로 판단됨

▌검토 결과 기본안으로 적용되어 있는 샌드위치 판넬과 비교하여 큰 설계변경없이 디자인 변경이 가능하며, 유사한 단열성능을 가짐과 동시에 비용대비 가장 경제적으로 수려한 미관을 낼 수 있는 메탈 판넬을 선정하였음

▌표 2.261 외피 구조물 재료 선정▐

구분	샌드위치 판넬 (일반)	샌드위치 판넬 (노출콘크리트형)	메탈판넬	FRP 성형판넬
사진				
특징	• 저렴한 가격 • 줄눈, 이음매가 노출되어 디자인에 부적합 • 주변 건물과의 이질감 • 일반건물에 많이 쓰임	• 다양한 재료 선택이 가능 • 큰 설계변경 없이 디자인 변경	• 미관이 수려하고 하자가 없음 • 큰 설계변경 없이 디자인 변경	• 고광택, 자유로운 형태 가능 • 가벼운 소재로 구조적 부담이 적음 • 소규모 주문생산은 제작 단가가 높음
선정여부	×	×	○	×

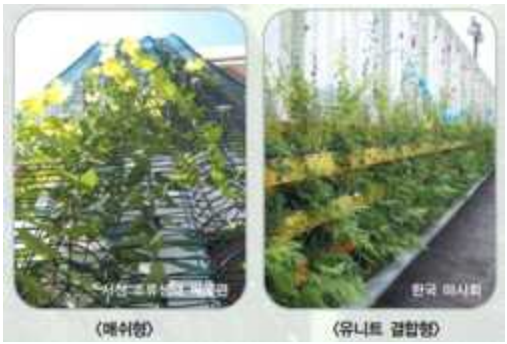
② 벽면녹화재료

▌벽면녹화재료 선정을 위해 Unit형 전면녹화와 와이어/메쉬를 이용한 덩굴형 녹화 두 가지 재료를 검토하여 아래 표에 나타내었음

■ 벽면녹화의 경우, 와이어/메쉬를 이용한 덩굴형 녹화를 선정하였으며, 본 실증시설에서는 전면 구조물에 적용된 다공성 판을 활용하여 덩굴형 녹화가 진행될 수 있으나 식물이 자랄때까지 시간이 필요하다는 단점이 있어 운영기간이 짧은 본 실증시설의

경우 큰 효과를 기대하기는 어려움

▌표 2.262 벽면녹화 재료 선정▐

구분	Unit 형 전면녹화	와이어/메쉬를 이용한 덩굴형 녹화
사진		
특징	• 벽면전체를 녹화하여 Green의 느낌을 잘 살릴 수 있음 • 관수시스템이 필요하며 높은 제작비 • 국내 설치 사례가 거의 없음	• 비교적 제작이 용이함 • 식물이 자랄때까지 시간이 필요함 • 일반적인 벽면 녹화용으로 많이 쓰임
선정여부	×	○

③ 표면재료

▌본 실증시설 시공에 있어 전면부 외피 구조물에서 철골 사이에 배치되는 표면재료로서 투명재질의 판은 단파론과 유사한 성능을 보이면서 경제성을 갖는 폴리카보네이트를 선정하였으며, 픽셀 이미지를 대변하는 다공성 판으로 금속제 유공판넬(펀칭메탈)을 선정하였음

■ 특히, 철골 사이에 배치되는 투명재질의 판은 동절기와 하절기의 온도변화로 인한 철골의 변형으로 인해 유리재질을 사용하기에 큰 부담을 가지고 있어, 안전상의 문제로 많은 검토를 진행하였음

■ 폴리카보네이트는 열가소성 플라스틱 수지 제품으로 기존 강화유리의 150배 이상, 아크릴의 30배가 되는 내충격성을 가지고 있으며, 내열성, 내후성, 자기소화성, 투명성이 우수하여 본 실증시설의 투면 판 재질로서 적합함

■ 비중이 유리의 1/2정도의 경량으로 취급이 용이하고 시공성이 좋아 건축분야에서 다양한 형태와 용도로 사용되며 우수한 단열성과 자외선 차단 효과를 지님

■ 폴리카보네이트의 건축분야 용도로서 천장, 캐노피, 건축물의 연결통로, 채광판 및 지분재, 고층 아파트의 창호 및 안전유리 등 매우 다양함

▌표 2.263 표면 재료 선정▐

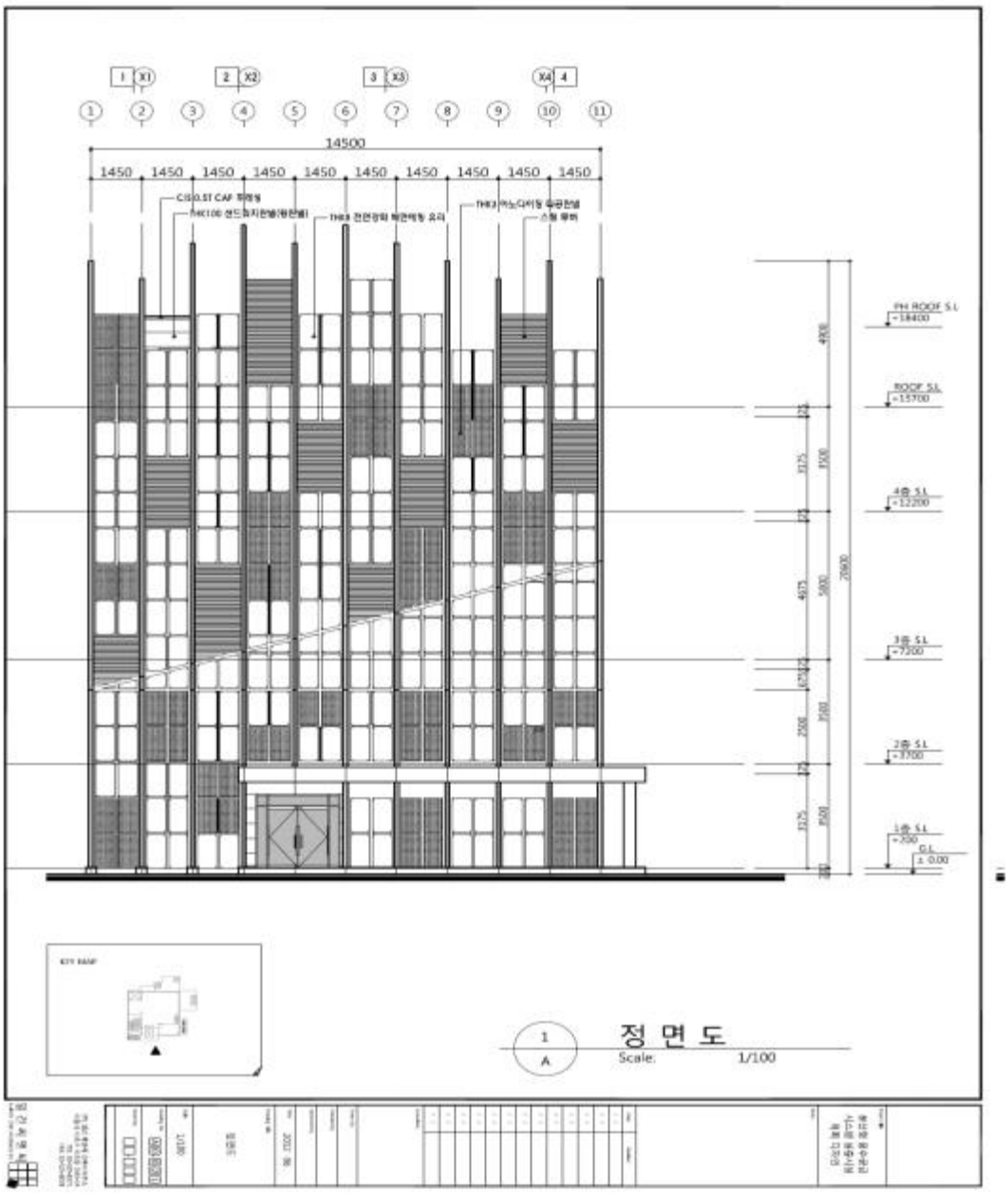
구분	폴리카보네이트	단파론	메탈패브릭
사진			
특징	• 저렴하게 비교적 자유로운 형태구현 • 온도변화에 영향을 받을 수 있음 • 지하철 입구등 유리대용으로 사용	• 다양한 색상 • 경량이면서 내충격성이 우수 • 조립식으로 시공성이 우수 • 폴리카보네이트에 비해 고가	• 곡면형태등을 자유롭게 표현 • 조명과합께 극적인 장면 연출 가능 • 매우 고가 • 문화 예술 시설에 많이 사용
선정여부	○	×	×
구분	**금속제 유공판넬 (펀칭메탈)**	**고밀도 목제패널**	**U-Glass**
사진			
특징	• 자유로운 문양 구현 가능 • 변색, 변질이 적음 • 온도변화에 영향을 받을 수 있음 • 상업건물의 포인트로 많이 사용	• 친환경 소재 • 표면처리로 외부영향이 적고, 변색, 뒤틀림이 없음 • 일반목재에 비해 고가	• 우리보다 강도가 높고 투광성, 단열성이 뛰어남 • 고가이며 무게가 많이 나감 • 문화, 예술, 전시시설에 많이 사용
선정여부	○	×	×

(마) 수직형 정수처리 실증시설 미적 시공 기준 수립

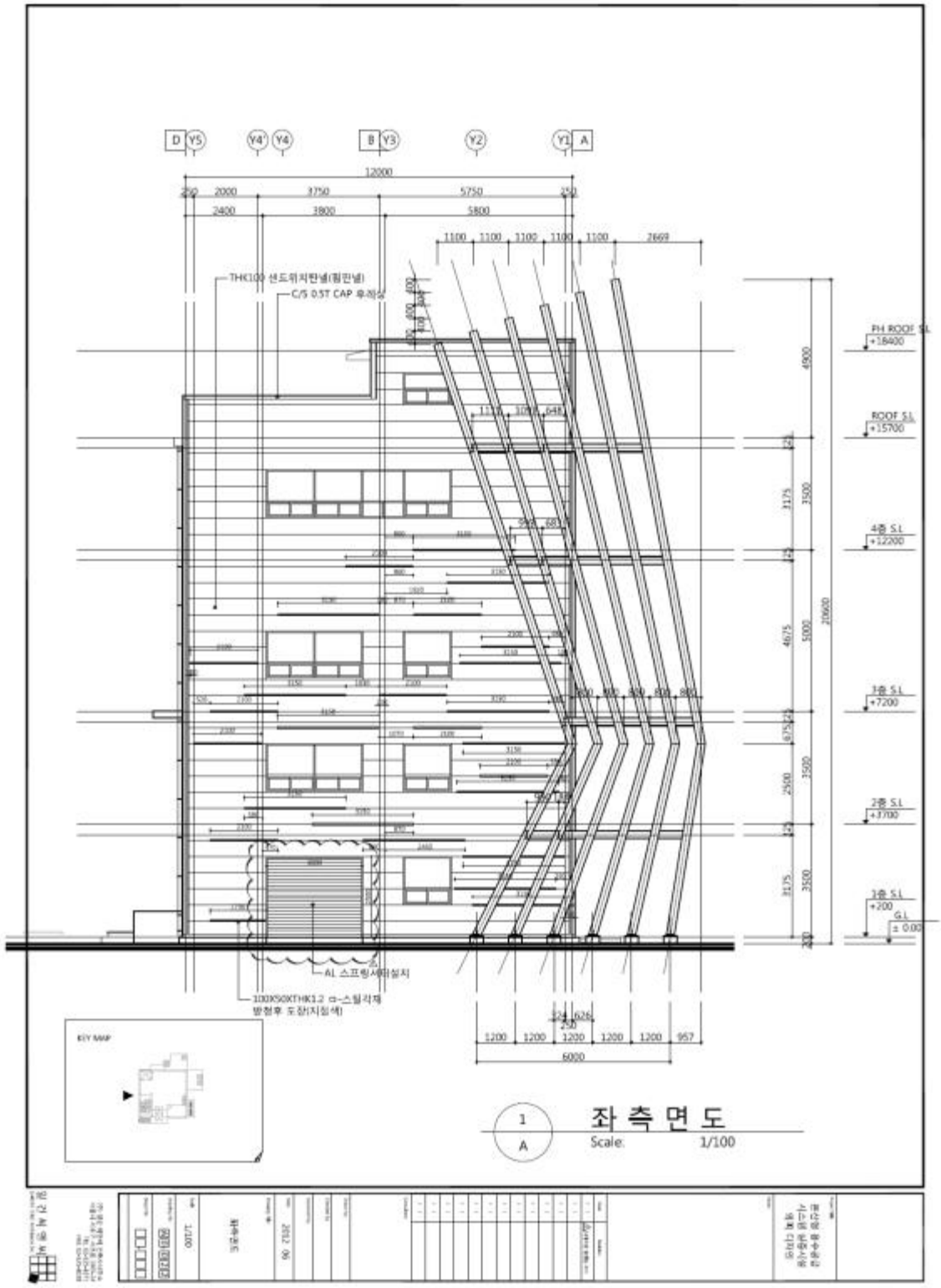
▌ 앞서 디자인한 분산형 용수공급시스템 실증시설 감성설계안(Waterfall)에 대한 실제 건축 및 구조설계를 진행하였음

※ 본 보고서에는 간략한 도면만 삽입하였으며 세부 내용은 세부과제 부록 참조

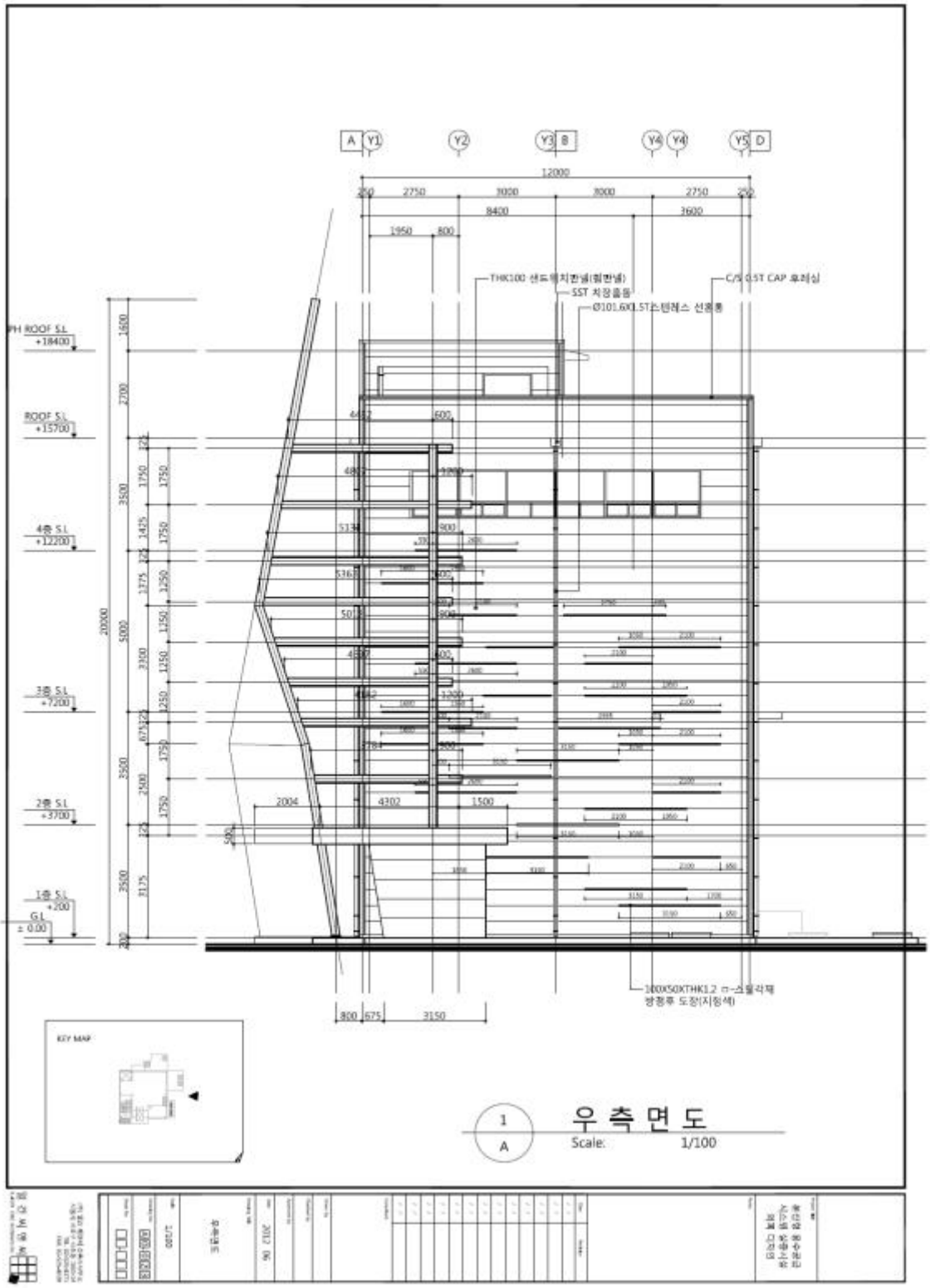
(가) 정면도



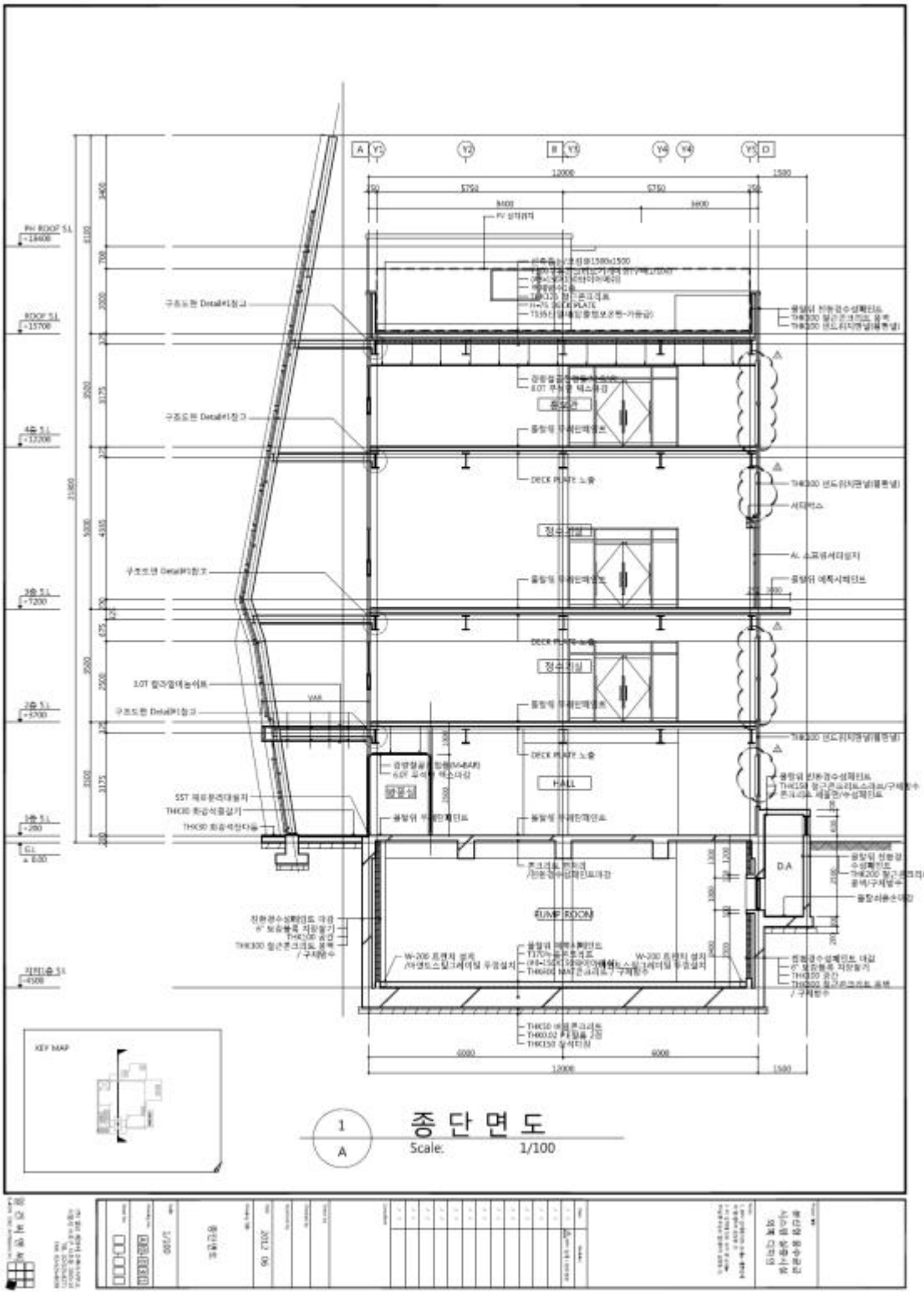
(나) 좌측면도



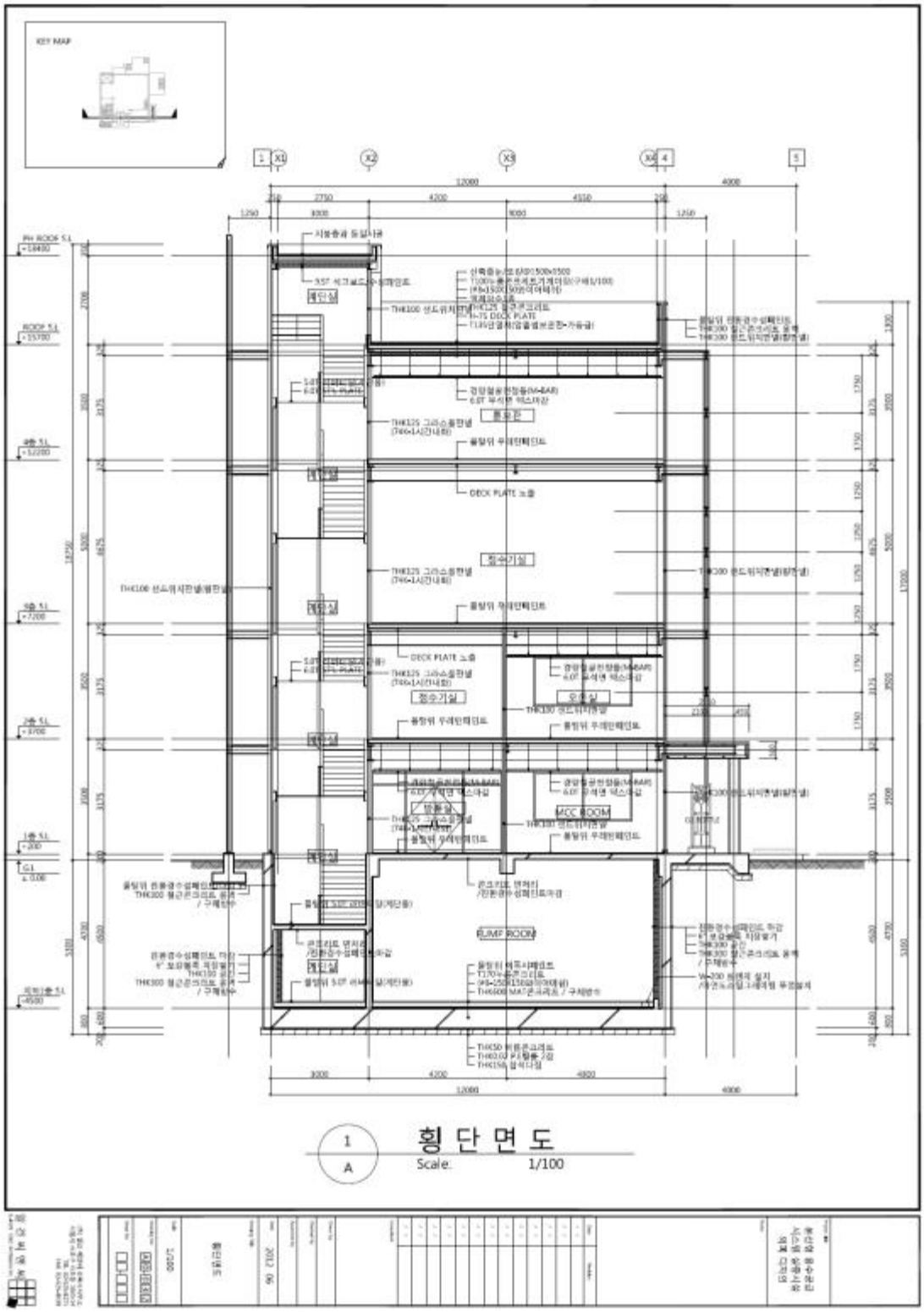
(다) 우측면도



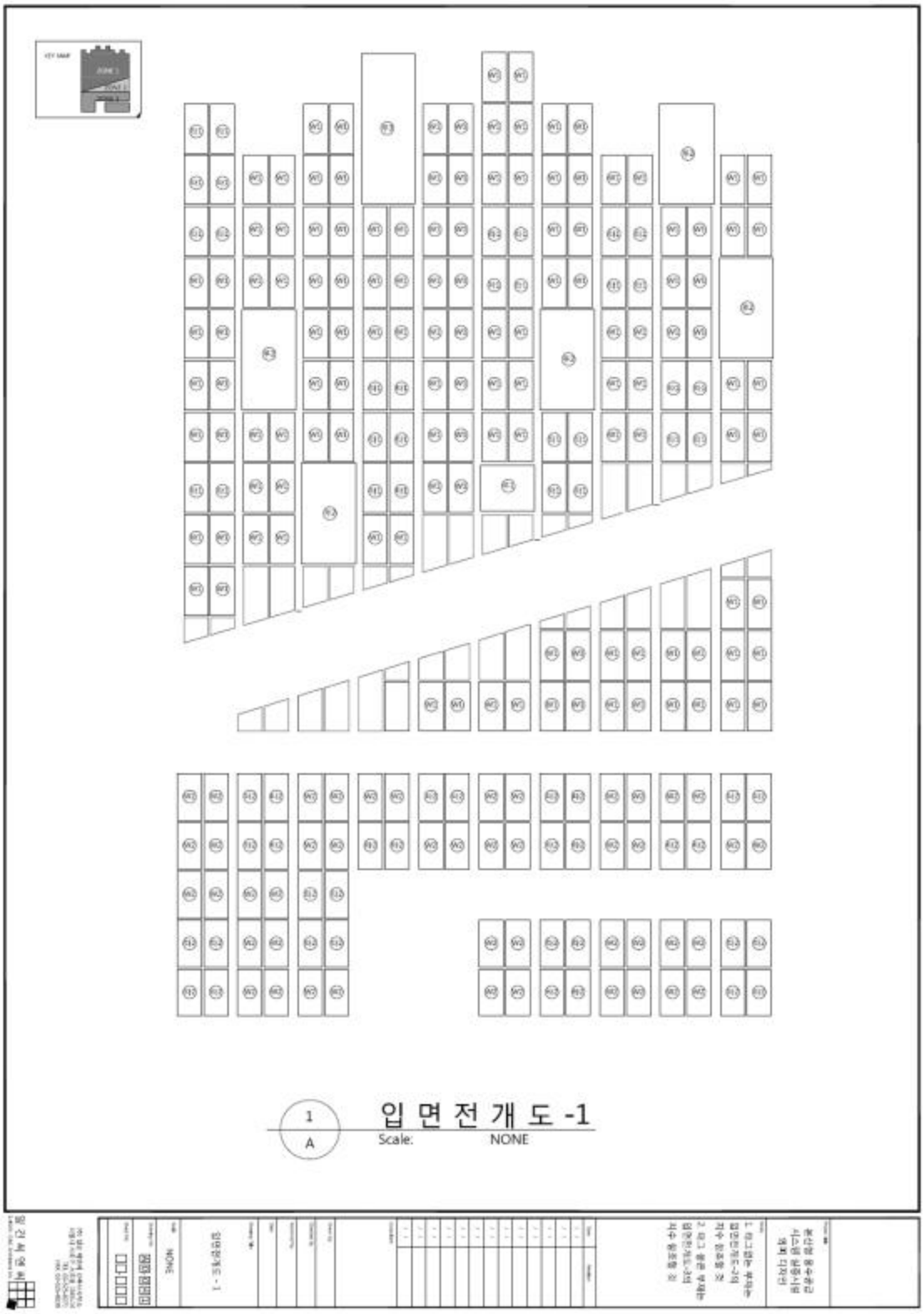
(라) 종단면도



(마) 횡단면도



(바) 입면전개도



(2) 수직형 정수처리 실증시설 시공

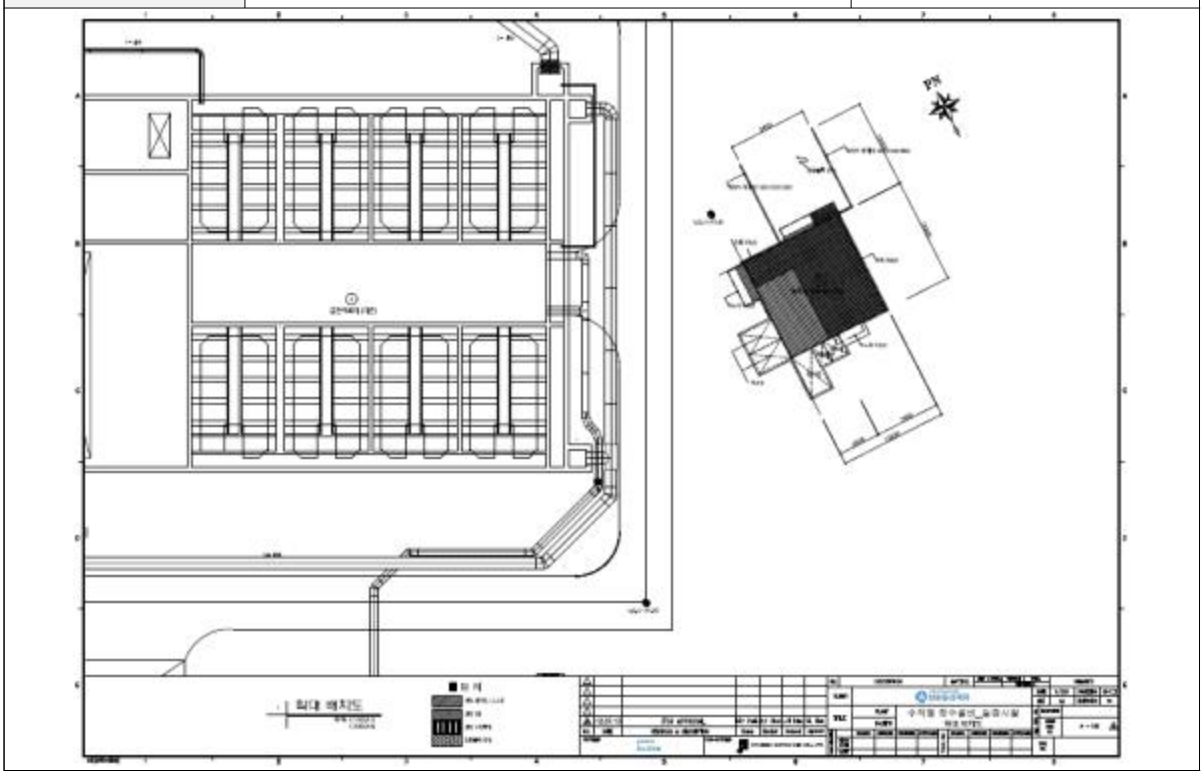
(가) 분산형 용수공급시스템 실증시설 부지선정

▌분산형 용수공급시스템 실증시설이 설치될 부지는 대전에 위치한 연구단에서 가까우면서 협조가 가능하고, 수직형 정수처리시설의 유입수로써 원수 및 침전수의 취수가 용이한 청주정수장내 부지로 선정하였으며, 본 실증시설의 부지위치는 아래에 나타내었음

▌그림 2.429 분산형 용수공급시스템 부지 ▌

- 청주정수장은 1988년부터 운영중인 대청1단계와 2002년에 준공되어 운영중인 대청 2단계로 나뉘어져 있고, 총 시설용량 596,000 m^3/일 (대청일단계 : 193,000 m^3/일, 대청2단계 : 152,720 m^3/일)로 청주시 및 청원군, 연기군에 생활·공업용수를 공급하고 있음
- 본 실증시설의 위치는 청주정수장 내 대청2단계 근처 여유부지에 구축하여 대청2단계로 들어오는 원수 및 1차 침전수를 실증시설의 유입수로 사용하여 실증실험을 진행하는 것으로 계획하였음
- 공정부지는 충청북도 청주시 흥덕구 제2 순환로 1571 (성화동 286번지) 75필지 내 150.30 m^2의 공간에 배치했으며 「건축법」 제 29조의 규정에 따라 허가를 받았음

대지위치	충청북도 청주시 흥덕구 성화동 286번지 75필지	
주 용 도	제 1종 근린생활시설(정수장)	
대지면적	토지대장에 의거	263,071 m^2
건축면적	16,266.27(기존) + 150.30(증축)	16,416.57 m^2
연 면 적	24,054.57(기존) + 677.28(증축)	24,731.85 m^2
건 폐 율	16,416.57 / 263,071 × 100	6.24 %
용 적 율	24,731.85 / 263,071 × 100	9.40 %



▌그림 2.430 분산형 용수공급시스템 실증시설 건축물 개요▐

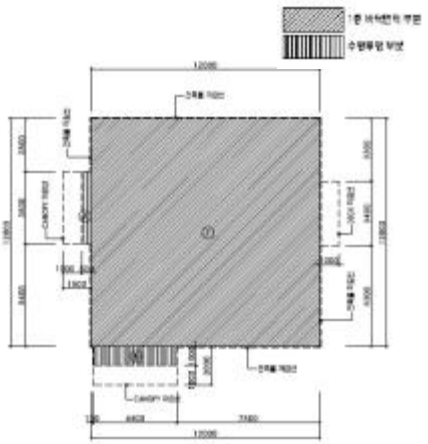
(나) 분산형 용수공급시스템 실증시설 건축물 개요

▌본 실증설비는 수직형 정수처리 목적에 따라 지하 1층, 지상 4층 구조로 각 공정을 배치하고, 지하층 및 수조들을 구성하는 콘크리트 구조물 및 공정설비를 보호할 수 있는 철골 구조물로 구성하였음

■ 소음 및 진동을 유발할 수 있는 펌프실은 지하에 배치되었고, 1층에 배치된 활성탄 공정 설비의 높이를 고려하여 2층의 일부분을 사용함으로써 공간 활용을 극대화하였음

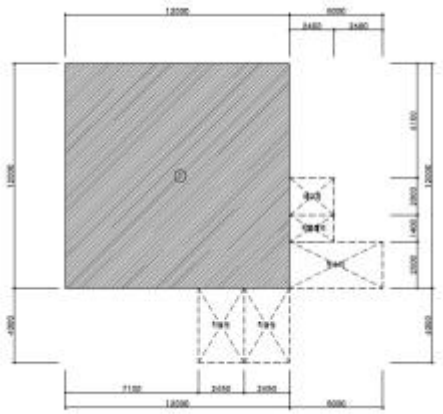
건물개요	용도	면적 (m^2)	구조	비고
지 하 층	펌프실, 수온차시스템	144.00	콘크리트	바닥제외면적 (40.26 m^2)
지상 1층	활성탄 공정, UV 공정	144.00	철골조	
지상 2층	오존 공정	101.28	철골조	
지상 3층	막여과 공정	144.00	철골조	
지상 4층	제어실	144.00	철골조	
계		677.28		

총 건축면적



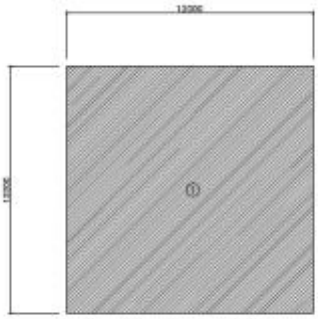
구분	산출식	면적
①	12.00 × 12.00	144.00
투영부분	Ⓐ(1.90) + Ⓑ(4.40)	6.30
Ⓐ	0.50 × 3.80 = 1.90	
Ⓑ	4.40 × 1.00 = 4.40	
계		150.30

지하층 바닥



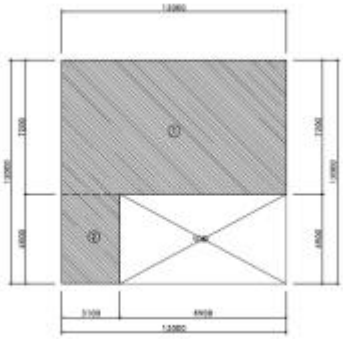
구분	산출식	면적
①	12.00 × 12.00	144.00
배수지	2.40 × 2.00 = 4.80	바닥제외
약품폐액	2.40 × 1.40 = 3.36	바닥제외
정수지	5.00 × 2.50 = 12.50	바닥제외
착수정	2.45 × 4.00 × 2EA = 19.60	바닥제외
계		144.00

지상 1,3,4층 바닥



구분	산출식	면적
①	12.00 × 12.00	144.00
계		144.00

지상 2층 바닥

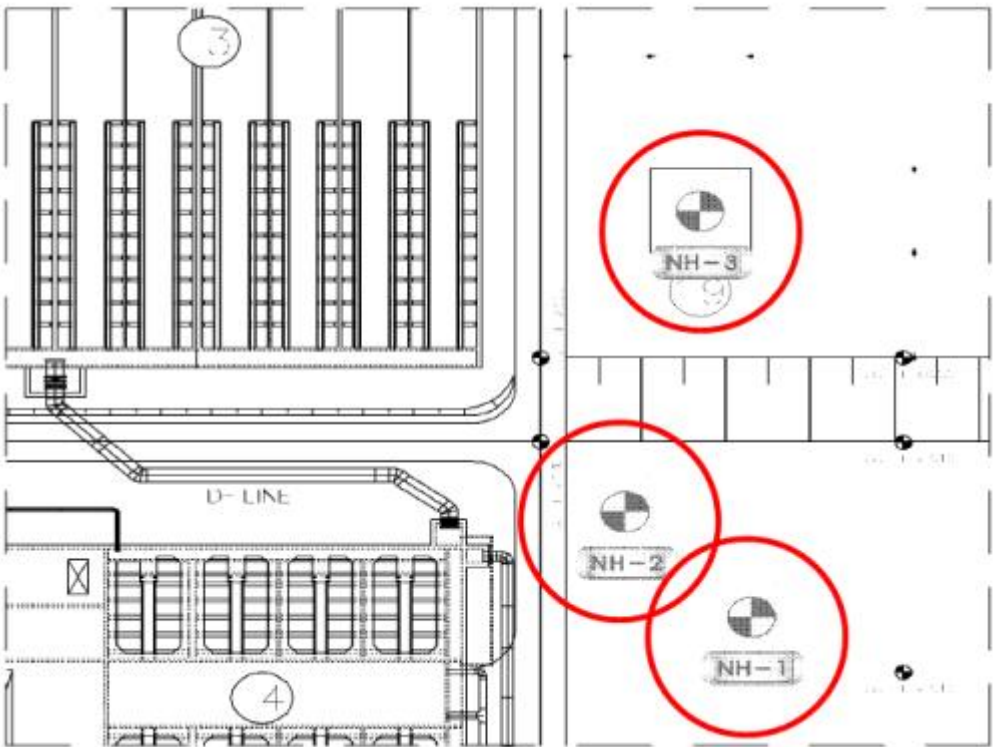


구분	산출식	면적
①	12.00 × 7.20	86.40
②	3.10 × 4.80	14.88
계		101.28

▌그림 2.431 건축물 상세구성 및 건축평면도▐

(다) 실증시설 예상부지 지반조사 실시

▌본 실증시설의 착공에 앞서 예상부지에서 건물 기초공사 계획을 위한 자료를 얻기 위해 시추조사를 실시하여 지층 현황을 파악하였음



(a) 지반조사 위치도

(b) 시추장비

(c) 코어 샘플

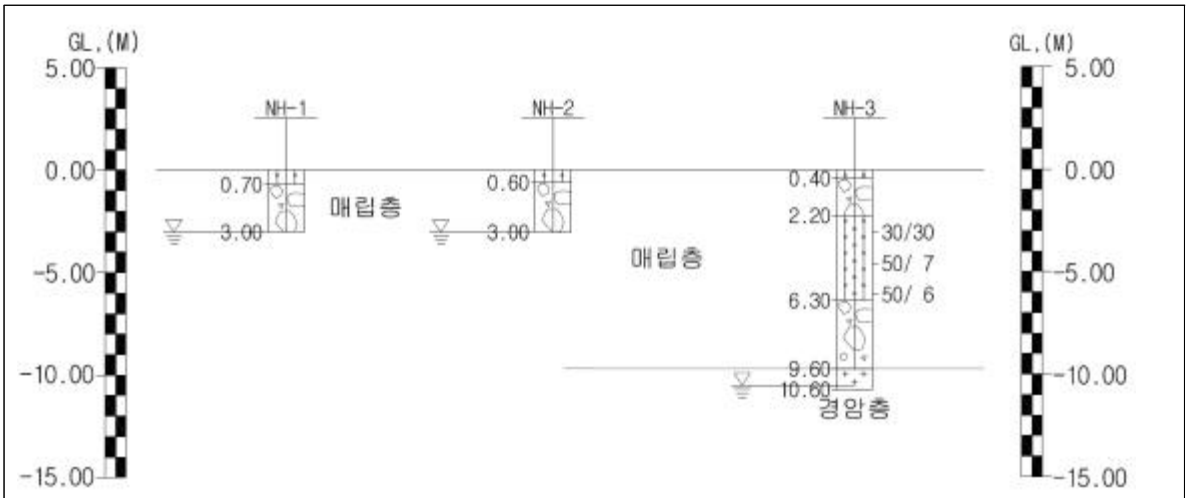
▌그림 2.432 실증시설 예상부지 지반조사 실시▐

■ 시추조사는 대상구간에서 채취되는 시료와 암석코어 등을 분석함으로써 지층의 층후를 파악함과 동시에 실내 시험을 통해 시공에 필요한 자료를 제공하는데 그 목적이 있으며, 본 조사에서는 회전수세식(Rotary Wash Type) 시추기 1대를 투입하여 NX규격(Ø76.2 mm)으로 위의 그림에 나타난 3개소에 대하여 조사를 실시하였음

■ 조사를 실시한 3개소에 대한 결과는 아래 <표 2.3.3>과 같고 지하층이 계획되어 있는 실증시설에 적합한 부지로서 심도 9.6m에 경암층이 있는NH-3번 위치를 선정하였음

■ 지질조사 결과 본 대상부지는 대부분 매립층으로 구성되어 있고, NH-3의 N치(30~50)로 추정해 볼 때 잘 다져져 있는 것으로 판단되며 기초 규모를 최소화 할 수 있는 기초 형식 적용이 가능한 것으로 판단됨

■ 본 실증시설 시공에서는 수직형 정수처리시설이라는 특이성에 대한 안전성을 확보하기 위해 말뚝기초를 적용하기로 함



공번	지층	심도(m)	두께(m)	구성상태	N치	비고
NH-1	매립층	0.0 ~ 0.7	0.7	모래섞인 실드질 자갈	-	
		0.7 ~ 3.0	2.3	자갈, 전석	-	
NH-2	매립층	0.0 ~ 0.6	0.6	모래섞인 실드질 자갈	-	
		0.6 ~ 3.0	2.4	자갈, 전석	-	
NH-3	매립층	0.0 ~ 0.4	0.4	모래섞인 실드질 자갈	-	
		0.4 ~ 2.2	1.8	자갈, 전석	-	
		2.2 ~ 6.3	4.1	자갈섞인 실드질 모래	30/30 ~ 50/6	
		6.3 ~ 9.6	3.3	자갈, 전석	-	
	경암층	9.6 ~ 10.6	1.0	-	-	

▌그림 2.433 지반조사 결과▐

(라) 기초 토목공사 실시

▌건물 안전성 확보의 이유로 말뚝기초를 계획하였으나 지하터파기 과정 중 대형 암석들이 대량으로 나와 말뚝기초을 진행하기에 어려움이 있어 평판재하시험을 통한 지반재조사를 실시하였음

▌그림 2.434 실증시설 기초 토목공사▐

(a) 현장 사진 (b) 평판재하시험 성적서

▌그림 2.435 평판재하시험 실시▐

▌표 2.264 평판재하시험 결과 요약▐

시험 위치	극한 하중 (tonf/m²)	항복 하중 (tonf/m²)	최종 침하량 (mm)	최대 재하하중 (tonf/m²)	안전율 (F.S)	허용 지지력		설계하중		판정
						tonf/m²	kN/m²	tonf/m²	kN/m²	
실증시설 기초	-	-	7.285	84.9	3.0 (최대하중)	28.3 이상	277.34 이상	20.4	200	O.K

- 평판재하시험은 대석 및 호박돌이 조밀하게 형성된 사질토 지반에서 시험을 실시하였고, 시험 시 최대하중 84.9 ton/m², 최대하중 재하시 침하량은 7.285 mm로 나타났음
- 평판재하시험 결과 현장 여건상 극한하중 및 항복하중이 발생되지 않아 최대하중 안전율을 3.0으로 적용하여 허용지지력을 결정한 결과 28.3 ton/m²으로 측정되었음
- 허용 지지력 상으로 설계하중인 20.4 ton/m²을 한참 초과하는 것으로 나타나 일반적인 기초에도 문제가 없는 것으로 판단되었음
- 위의 결과를 바탕으로 기존에 계획한 말뚝기초를 다시 일반기초로 변경하였으며, 안전성 확보를 위하여 바닥 콘크리트 타설 두께를 기존대비 20cm 증가하여 실시하기로 하였음

(a) 현장 및 시험 사진

레미콘사외부성적서

(b) 기초 콘크리트 강도시험 성적서

▌그림 2.436 기초 콘크리트 강도시험▐

▌실증시설 기초 공사가 온도가 낮은 겨울철에 실시됨에 따라 기초 콘크리트 타설 후 양생에 문제가 발생되지 않도록 현장을 비닐로 덮고 내부에 열풍기를 가동하여 내부 온도 10℃를 유지하였으며, 시험체를 만들어 콘크리트 강도 시험을 실시하였음

■ 콘크리트 압축강도 28일 측정결과 평균 29.5 MPa로 합격판정을 받아 기초 콘크리트 양생에 문제가 없음을 확인하였음

(마) 철근콘크리트/철골 공사

▌실증시설 지하층 철근콘크리트 공사 및 지상층 철골 공사를 진행하였으며, 기초 바닥 콘크리트와 마찬가지로 콘크리트 양생 시 열풍기를 가동하여 영상 10℃를 유지하였으며, 시험체를 만들어 콘크리트 강도시험을 실시하여 정상여부를 판단하였음

▌그림 2.437 실증시설 철근 콘크리트/철골 공사 ▌

(a) 현장 및 시험 사진 (b) 콘크리트 강도시험 성적서

▌그림 2.438 건물 콘크리트 강도시험 ▌

■ 콘크리트 타설 후 양생 현장 사진 및 시험체 시험결과를 나타내었으며, 시험체 콘크리트 압축강도 28일 측정결과 평균 28.8 MPa로 합격판정을 받아 기초 콘크리트 양생에 문제가 없음을 확인하였음

(바) 도장공사

▌실증시설 지하층 방수 및 각 층별 도장공사를 아래와 같은 순서로 진행하였음

■ 지하층의 경우 결로현상이 예상됨에 따라 지하층 외벽에 구체방수를 실시하였고, 지하층 벽면은 결로가 흐를 수 있는 공간을 두고 격벽을 세우고 내부에서 흘러내린 결로가 배수로를 통해 배출 될 수 있도록 함

■ 지하층에 설비가 결로에 노출되는 것을 사전에 차단함으로써 결로에 의해 설비 부식의 가능성을 미연에 방지하였음

■ 지하층에 위치한 콘크리트 구조물의 수조 내부는 기존 설계상에 계획된 기본적인 액체방수를 시공하였고, 누수 방지 및 안전성 확보를 위해 PE 방수를 추가로 실시하였음

■ 각 층별 설계상의 배수계획은 남측 모서리 부분에 배수로를 구성하여 구배를 통한 자연 배수로 계획되어 있고, 각 층 바닥에 유체가 흘렀을 경우 자연적으로 잘 배수될 수 있도록 우레탄 방수 시공과 함께 경사를 주었으며, 각 설비에 영향을 주시 않도록 설비 바닥에는 콘크리트 패드를 시공하였음

▌그림 2.439 실증시설 도장 및 방수공사 ▌

(사) 설비 설치공사

▌건물 내부에 각 구역별로 해당 공정 설비 및 전기계장 공사 실시

▌그림 2.440 실증시설 전기 계장공사▐

▌그림 2.441 실증시설 설비 설치공사▐

(아) 제어시스템 구축

▌실증시설 전체 공정도 및 주 배관의 연결을 확인하고 각 공정별 주요 확인데이터 표시하여 직관적으로 공정 진행현황을 파악할 수 있도록 하였다.

- 각 공정별 세부화면으로 이동하여 각 공정별로 모니터링 되는 세부정보 및 설정값들의 확인이 가능
- 막여과 공정과 활성탄 공정의 경우, 유량/세정주기 등등의 세부 운전인자를 입력하여 직접 운전조건을 변경이 가능. 오존 공정과 UV 공정의 경우에는, 제조사의 패키지 형태로 구매 및 설치가 되었으며, 제어시스템에서는 현재 상황에 대한 모니터링 및 On/off 기능만 가능토록 구성. 모니터링 되는 상태값과 시스템에 입력된 로직을 바탕으로 자동운전 이 가능

▌그림 2.442 제어시스템 HMI 화면▐

(3) 수직형 정수처리 실증시설 시설개요 및 준공

▌시설명 : 수직형 정수처리 실증시설

▌위치 : 충북 청주시 흥덕구 제2순환로 1571 청주정수장 내 부지

▌건축규모 : 지하1층, 지상4층 (건축면적 150.3m^2, 연면적 677.28m^2)

▌시설용도 : 분산형/수직형 정수처리시설 실증실험(1,000m^3/일 급 정수시설)

▌그림 2.443 수직형 정수처리 실증시설 전경▐

(가) 지하 1층 (동력기기)

(a)지하층 제어반

(b) 막여과 유입펌프

(c)배출/처리수 이송펌프
활성탄 역세펌프

(d) Air Blower, Air receiver 탱크,
컴프레셔

(e) 응집제 탱크,
응집제 주이펌프

(f)원수수질 계측기
(온도/pH/전도도/탁도)

▌그림 2.444 지하층 동력기기▐

(나) 지상층 Tankless 공정 (막여과/오존/활성탄/UV 공정)

(a) 막여과 공정 (3층)

(b) 오존공정 (2층)

(c) 활성탄공정 (1층)

(d) UV 공정

▌그림 2.445 실증시설 내부 Tankless 공정 (막/오존/활성탄/UV 공정)▐

(다) 실증시설 구축 설계 변경 사항

▌막여과 공정 약품 주입펌프 BLDC 펌프로 교체

■ DC 전원 사용을 통한 에너지효율화도 고려

▌막여과 공정 약품 사용 구역 격벽 설치

■ 유사시 약품 누출 사고 방지

▌오존 모니터링 장치 추가 설치

■ 오존 주입량 제어를 위한 기체오존 모니터링

▌오존/활성탄 탱크 육안확인용 수위계 설치

■ 오존 탱크 내 수위 확인

▌배오존 파괴기 배관 트랩 설치

■ 배오존 파괴기로 액체 유입 방지

(라) 실증시설 준공 및 준공행사 실시

▌ 일시 : 2014년 01월 07일 화요일 오전 10:30

▌ 장소 : 한국수장원공사 충청지역본부 청주정수장 실증시설 내

▌ 주최 : 분산형 용수공급시스템 구축 연구단

▌ 주관/후원 : 코오롱글로벌(주)/국토교통부, 국토교통과학기술진흥원

▌그림 2.446 수직형 정수처리 실증시설 준공행사 ▌

⑷ 수직형 정수처리 실증시설 시운전

(가) 막여과 공정 시운전

▌막모듈 PDT 테스트 실시

- 모듈내 1bar의 압력을 발생시킨 상태에서 2분간 압력 변화량을 측정하였을 때 전계열에서 2분간 압력변화 2% 미만으로 정상조건 충족함

▌막여과 공정 제어 시운전

- 막여과 공정 운전시 배관내 여압으로 인한 서징현상으로 밸브동작시 충격음이 발생하여 펌프/밸브 동장 딜레이 타임을 7초이상 적용하여 완화시킴
- 드레인 공정에서 막모듈 내 풀드레인 시간이 부족한 것으로 판단되어 기존 20초에서 25초로 수정함

▌막 배출수 처리 파일럿 설치에 따른 막여과 공정 제어 일부 수정

- 배출수조로 내려가는 실증시설 막여과 공정 드레인 배관 중간에서 3-Way 밸브를 적용하여 막여과 배출수 처리 파일럿 원수조로 연결
- 막여과 배출수 처리 파일럿 원수조로 연결된 배관 및 밸브가 저항체로 작용하여 막여과 공정 드레인 시 밴트밸브로 모듈 내 물이 튀어 나오고, 드레인이 충분히 되지 못하는 현상 발생
- 막여과 공정 드레인 시 밸브 조작 지연시간 적용 및 드레인 시간 조정하여 문제 해결함
- 실증시설 막여과 공정은 5+1계열 운전으로, 역세 후 대기시간을 활용하여 전체 공정상으로 변화되는 부분은 없음.

(나) 오존/활성탄 공정 시운전

▌오존 활성탄 탱크 내 수위측정 불가로 인한 불안정한 운전발생

- 육안 확인용 수위계를 추가하여 수동운전을 통한 초기 운전 조건 분석
- 오존 탱크 내 수위계 설치를 통한 자동운전 제어 방안 제시

(다) Tankless 운전시 공정 내 음압발생

▌최종처리수 배관 풀 오픈 운전 시 사이펀 현상에 의한 공정 내 음압발생에 의한 불안

정 운전 발생

- 공정내 음압발생시 막여과 공정 역세탱크 보충이 안되어 막여과 공정 운전이 불가능하며 샘플링 계측 불가능으로 인한 오존 주입량 제어가 어려워 공정을 안정적으로 운전하기 어려움
- UV 전단에 설치된 계도제어 밸브를 통해 공정내 양압조건을 유지시키는 제어로직 추가

(5) 수직형 정수처리 실증시설 보완사항

(가) 실증시설 설비 보완사항

▌Air 공급계통 점검

- 배관내 Air 누출로 의심되는 Air 계통 설비의 간헐적인 문제 발생
- 공압밸브 작동 오류 및 컴프레셔 과다운전으로 인한 고장
- 컴프레셔 교체 진행 및 Air 배관 점검 진행 중

▌외부배관 보완

- 동절기 온도차에 의한 배관 수축으로 배관 파손 문제 발생
- 장거리 배관부의 일부를 플렉서블 배관으로 교체하여 보완 실시함

▌배출수 이송배관 수정

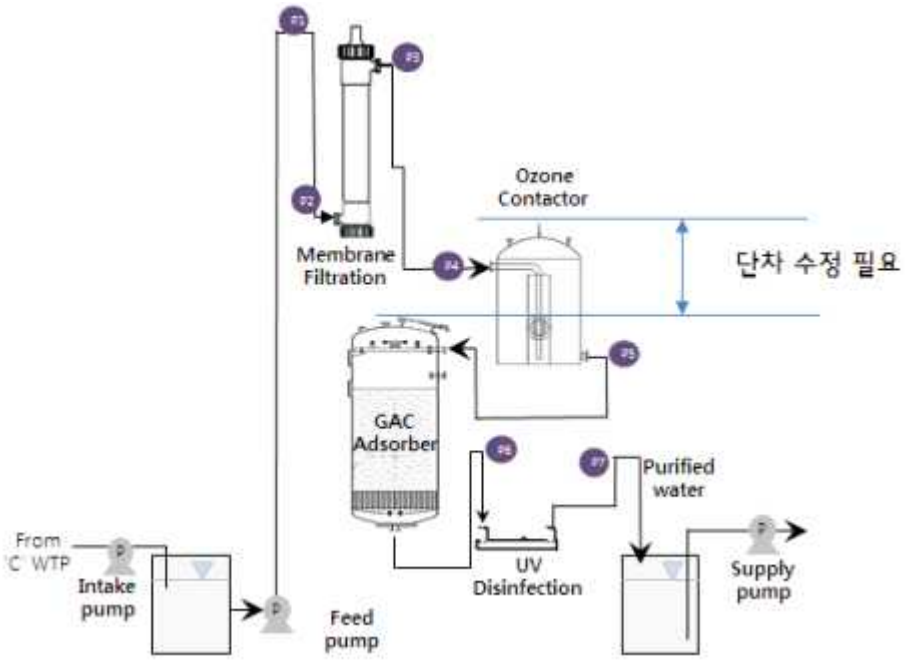
- 실증시설 배출수가 이송되는 정수장 농축조의 효율저하 문제 발생
- 배출수 이송배관 토출구를 회수조로 이동함

(나) 오존/활성탄 공정 설비 가이드라인 제시

▌오존 접촉조 및 활성탄 공정의 상단 높이를 동일하게 배치 할 것을 제시함

- 현재 설계 구성상 활성탄 공정이 오존공정보다 하단에 위치함
- 안전상 밴트 구성이 어려운 오존공정의 특성 및 중간 저류조가 없다는 탱크리스 공정의 특성상, 현재 배치로는 오존 접촉 탱크를 100% 활용하기 어려움

- 운전 중에는 활성탄 후단에서 압력제어를 통해 오존 접촉조를 인위적으로 만수위 운전이 가능하지만, 초기 운전 시 또는 압력제어 실패시 사이펀 현상으로 인해 만수운전이 매우 어려움
- 초기운전 시작시 오존 접촉조 만수시까지 버려지는 물량 상당부분 발생
- 오존/활성탄 공정의 수위 제어 포인트 증가



▌그림 2.447 오존/활성탄 공정 가이드라인 제시▐

(6) 기존 수평형 대비 수직형 정수처리시설 건설비 비교

(가) 건설비 비교를 위한 기초자료 산정

- 수직형 정수처리 실증시설(1,000톤/일) 건설비 원가계산서 작성
- 동일한 공정을 사용한다는 가정하에 설비/전기/계장비용은 동일하다고 가정 후 수평형 정수처리시설 건설 시 토목/건축비용 산출
  (유사한 공정을 가진 정수장 건설비 중 톤당 토목/건축비를 산출)
- 1세부의 10,000 ~ 30,000톤/일 급 수직형 정수처리시설 설계예상가 참고
- 유사한 공정의 수직형 정수처리시설 동일용량의 건설비를 추산하여 비교

① 수직형 정수처리 실증시설(1,000톤/일급) 원가계산서 작성

Ⅳ. 공사원가계산서

건명 : 수직형 정수처리 실증시설 및 평면형 정수처리시설 공사비 단위 : 원

구분 / 비목		금 액	구성비(%)	비 고
재료비	직접재료비	1,456,699,552		<표 : 1> 참조
	간접재료비			
	소 계	1,456,699,552	62.0	
노무비	직접노무비	415,078,434		<표 : 1> 참조
	간접노무비	31,961,039		직접노무비 × 7.7%
	소 계	447,039,473	19.0	
경비	기계경비	4,204,169		<표 : 1> 참조
	산재보험료	16,987,499		노무비 × 3.8%
	고용보험료	3,889,243		노무비 × 0.87%
	건강보험료	7,056,333		직접노무비 × 1.7%
	노인장기요양보험료	462,189		건강보험료 × 6.55%
	연금보험료	10,335,453		직접노무비 × 2.49%
	퇴직공제부금비	9,646,803		직접노무비 × 2.3%
	산업안전보건관리비	40,162,210		(재료비+직접노무비)×1.86% +기초액(5,349,000원)
	기타경비	108,907,188		(재료비+노무비) × 5.721%
	소 계	201,651,087	8.6	
순공사원가		2,105,190,112	89.6	재료비+노무비+경비
일반관리비 (6%)		126,311,406	5.4	순공사원가 × 6%
이윤 (15%)		116,235,294	5.0	(노무비+경비+일.관) × 15%
총원가		2,347,736,812	100.0	순공사원가+일반관리비+이윤
부가가치세 (10%)		234,773,681		총원가 × 10%
합계		2,582,510,493		총원가 + 부가가치세

▌그림 2.448 수직형 정수처리실증시설 원가계산서▐

▌본 과제에서 구축한 수직형 정수처리시설 내역서를 바탕으로 2014년 기준으로 원가계산서를 작성한 결과 실증시설 공사원가는 약 25.83억으로 조사됨

② 기존 수평형 대비 수직형 정수처리시설 톤당 건설비 비교 (1,000톤/일 급)

순번	구 분	단위	수직형정수설비 (청주정수장)					수평형정수설비 (연초정수장)					비율 (%)	비고
			수량	직접 재료비	직접 노무비	기계 경비	합 계	수량	직접 재료비	직접 노무비	기계 경비	합 계		
				주 1)	주 2)	주 3)			주 4)	주 5)	주 6)		주 7)	
1	건축/토목 부문	식	1	419,049	338,560	4,204	761,813	1	152,208	111,962	20,570	284,740		
2	기계 설비 부문	식	1	603,300			603,300	1	603,300			603,300		주 8)
3	전기 부문	식	1	434,250	76,518		510,768	1	434,250	76,518		510,768		주 9)
4	조경 부문	식	1					1	10,652	2,613	112	13,377		
	계			1,456,599	415,078	4,204	1,875,881		1,200,410	191,093	20,682	1,412,185	132.83%	

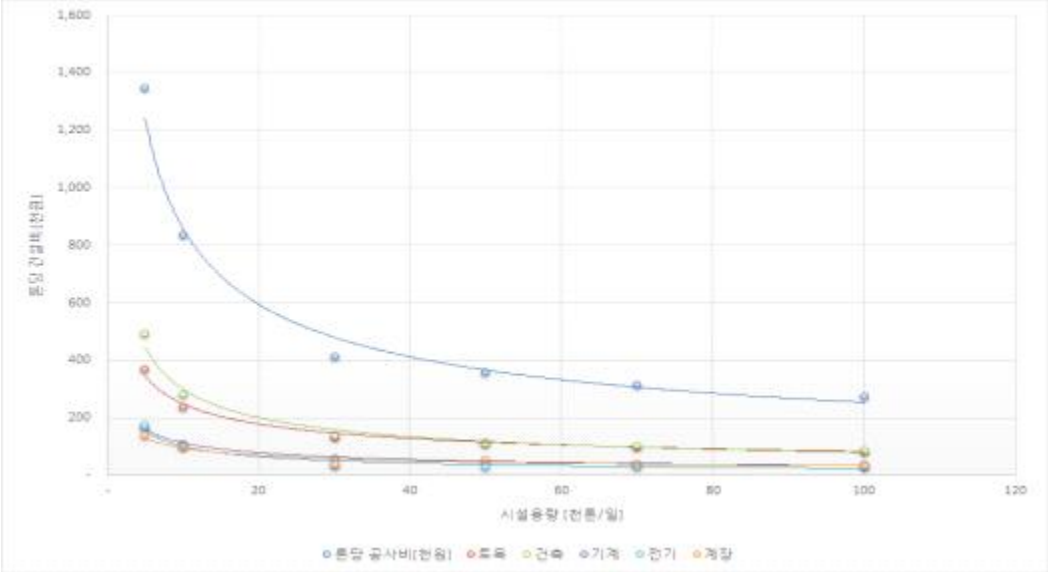
주 1) 직접재료비 : 내역집계표 참조
2) 직접노무비 : 내역집계표 참조
3) 기계경비 : 내역집계표 참조
4) 직접재료비 : 연초정수장 시설개량사업 시설공사 준공내역서 참조(소비자물가지수 2012년11월 ~2014년10월 변동폭 102.38% 적용하였음)
5) 직접노무비 : 연초정수장 시설개량사업 시설공사 준공내역서 참조(대한건설협회발간 시중노임단가 일반공사직종 2012년 하반기 ~ 2014년 하반기 변동폭 112.43% 적용)
6) 기계경비 : 연초정수장 시설개량사업 시설공사 준공내역서 참조(소비자물가지수 2012년)
7) 비율(%) : "&"수직형정수설비 합계액÷ 수평형정수설비 합계액 "
8) 기계설비 부문 : 수직형정수설비와 동일하게 산정 "
9) 전기부문 : 연초정수장 내역에 전기부문이 누락되어있으므로 수직형정수설비와 동일하게 산정 "

③ 표준 정수처리공정(응집/침전, 여과지 제외) 공사비 산출

※ 표준정수처리 공정 엔지니어링 단가표를 참고하여 산출하였으며, 세부내용은 부록 참고

▌수직형 정수처리시설에 적용된 막여과 + 고도처리공정에서 미적용된 응집/침전 설비 및 기적용된 여과지 등의 비용을 제외한 나머지 공사비를 산출

■ 위에서 조사된 원가계산서의 내역에는 실증시설에 구현하지 못한 배출수 처리시설, 슬러지처리시설, 변전소 등의 부대공사는 미 포함된 내역이므로 대용량 비교에서는 표준 정수처리공정에서 응집/침전, 여과지 등 구현된 내역을 제외한 나머지의 엔지니어링 단가를 추산하여 적용하였음.



▌그림 2.449 표준 정수처리공정(응집/침전 제외) 톤당 건설비▐

■ 응집/침전 및 정수지 등을 제외한 표준 정수처리공정의 엔지니어링 단가를 바탕으로 한 통계학적인 기법을 적용하여 도출한 개략적인 톤당 건설비 산정식은 아래와 같음

- $Y = a \times X^b$

Y : 톤당 단가 (천원/톤)

X : 시설용량 (천톤/일)

구분	a	b
총계	2915.3	-0.531
토목	750.9	-0.48
건축	1137.4	-0.58
기계	370.77	-0.519
전기	421.41	-0.625
계장	268.1	-0.455

④ 막여과 공정 공사비 산출

▌막여과 공정의 경우 실제 건설된 정수장의 경우가 매우 적고, 자료가 충분치 않아 2008년 조사된 용량별 엔지니어링 단가를 참고하여 물가상승율을 적용해 산출하였음

■ 각 공종별 비율은 비교적 최근에 대용량으로 건설된 영등포 정수장의 막여과 공정의 공종별 구성비를 참고하여 모두 동일하다고 가정하였으며, 구성비율은 토목(5.1%), 건축(22.8%), 기계(55.9%), 전기 (6.8%), 계장 (9.4%)로 조사되었음

▌표 2.265 막여과 고도정수처리시설 건설 단가▐

시설규모	평균건설비 (천원)	건설비범위 (천원)	소비자물가상승률적용(천원)	비 고
10,000㎥/일 미만	782	604 ~ 999	890.69	설계비는 공사비의 5%임
10,000㎥/일 ~ 50,000㎥/일 미만	490	433 ~ 530	558.11	
50,000㎥/일 ~ 100,000㎥/일 미만	259	220 ~ 290	295.00	
100,000㎥/일 이상	211	170 ~ 280	240.32	

* 산출근거 : 5개 건설사 및 엔지니어링사 등의 T/F팀 운영결과(2개월)에 따라 산정한 것임('08.2)

⑤ 고도처리공정 (오존+활성탄) 공사비 산출

▌ 고도처리 공정 건설비의 경우 실제 과거에 실제 건설되었던 고도처리 공정의 공사비를 참고하여 물가상승율을 적용해 톤당 건설비용 산출식을 도출하였음

■ 각 공종별 비율은 군산 제2 정수장 건설 보고서에 명시된 구성비율을 참고하여 모두 동일하다고 가정하였으며, 구성비율은 토목(46.0%), 건축(16.5%), 기계(22.7%), 전기(5.0%), 계장 9.8%) 였음

▌표 2.266 고도정수처리시설(오존+활성탄) 건설 단가▐

정수장	준공년도	시설규모 (㎥/일)	총 건설비	사용 년수	소비자 물가 상승률	예상건설비	톤당예상 건설비 (천원)
대구 문산	2005	400,000	43,400,000,000	9	124.99%	54,245,660,000	135
파주 문산	2003	96,000	17,380,000,000	11	133.05%	23,124,090,000	240
부산 덕산	2002	1,555,000	114,500,000,000	12	137.72%	157,689,400,000	101
울산 선암	2002	60,000	4,028,000,000	12	137.72%	5,547,361,600	92
김해 명동	2001	210,000	29,810,000,000	13	141.53%	42,190,093,000	200
양산 웅상	2001	55,000	11,400,000,000	13	141.53%	16,134,420,000	293
원주제2	2000	85,000	9,247,000,000	14	147.28%	13,618,981,600	160
김해 삼계	2000	165,000	18,040,000,000	14	147.28%	26,569,312,000	161
부산명장	1999	277,000	22,166,000,000	15	150.61%	33,384,212,600	120
울산 회야	1999	270,000	23,780,000,000	15	150.61%	35,815,058,000	132
진해 석동	1999	70,000	10,274,000,000	15	150.61%	15,473,671,400	221
양산 범어	1999	37,500	7,068,000,000	15	150.61%	10,645,114,800	283
군산제2	1999	38,000	6,028,000,000	15	150.61%	9,078,770,800	238
대구매곡	1998	800,000	63,800,000,000	16	151.83%	96,867,540,000	121
동두천	1998	60,000	6,701,000,000	16	151.83%	10,174,128,300	169
공주 옥룡	1998	28,000	8,904,000,000	16	151.83%	13,518,943,200	482
마산 칠서	1998	400,000	33,520,000,000	16	151.83%	50,893,416,000	127
대구 두류	1997	310,000	27,400,000,000	17	163.24%	44,727,760,000	144
경산하양	1996	10,000	980,000,000	18	170.49%	1,670,802,000	167

▌위에서 조사된 고도처리 공정의 건설비를 바탕으로 통계학적인 기법을 적용하여 도출한 개략적인 톤당 건설비 산정식은 아래와 같다.

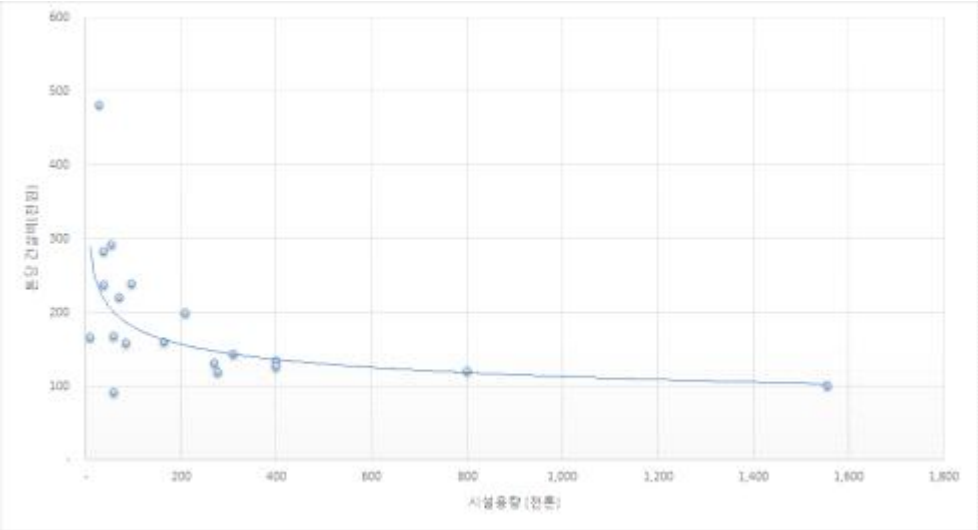
- $Y = a \times X^b$

Y : 톤당 단가 (천원/톤)

X : 시설용량 (천톤/일)

a : 460.53

b : -0.204



▌그림 2.450 고도처리공정(오존+활성탄) 톤당 건설비▐

(나) 기존 수평형 대비 수직형 정수처리시설 총 건설비 비교

구분		수평형		수직형		수평형 대비 수직형 비율	비고
		비용	비율	비용	비율		
1,000 ㎥/일	토목	1,008,484	23%	928,815	17%	129%	수직형 정수처리 실증시설 공사비 + 표준공정
	건축	1,417,174	33%	2,008,297	36%		
	기계	972,521	23%	1,199,816	22%		
	전기	504,577	12%	715,154	13%		
	계장	396,644	9%	676,154	12%		
	총계	**4,299,399**	**100%**	**5,528,236**	**100%**		
10,000 ㎥/일	토목	4,107,191	24%	2,590,546	12%	128%	
	건축	4,749,090	28%	6,842,788	31%		
	기계	4,905,538	29%	9,466,402	43%		
	전기	1,533,411	9%	1,401,872	6%		
	계장	1,755,136	10%	1,470,776	7%		
	총계	**17,050,367**	**100%**	**21,772,384**	**100%**		
20,000 ㎥/일	토목	6,457,334	23%	3,991,565	14%	102%	
	건축	7,389,527	26%	7,647,211	27%		
	기계	8,961,519	32%	13,422,347	47%		
	전기	2,323,262	8%	1,910,413	7%		
	계장	2,928,114	10%	1,590,302	6%		
	총계	**28,059,756**	**100%**	**28,561,838**	**100%**		
30,000 ㎥/일	토목	8,465,390	22%	4,950,675	13%	100%	
	건축	9,725,448	26%	11,577,449	30%		
	기계	12,861,046	34%	17,382,448	46%		
	전기	3,016,923	8%	2,431,942	6%		
	계장	3,987,136	10%	1,682,084	4%		
	총계	**38,055,943**	**100%**	**38,024,598**	**100%**		

▌본 연구 과제를 통해 시공된 수직형 정수처리시설의 내역 및 1세부의 실규모 설계 예정가를 바탕으로 기존의 수평형 방식과 건설비 비교를 진행하였음

■ 적용 공정 : 막-오존-활성탄-소독 공정 외 착수정 및 배출수 처리 시설 등 기반시설 일체

▌수평형 정수장의 경우에는 소독공정 및 배출수 처리 시설 등 기반시설 일체를 포함한 표준정수처리공정과 주공정인 막여과 공정, 고도처리공정(오존+활성탄)을 혼합하여 건설된다는 가정 하에 각각의 건설비용을 공종별로 추산하였음

▌1,000 ~ 30,000㎥/일 규모에서 추산된 총 건설비 비교 결과 수직형 정수처리시설의

건설비가 본 과제의 목표인 기존 수평형 대비 140%이내를 만족하였음

- 1,000 ~ 10,000㎥/일 규모에서 수평형 대비 수직형의 건설비는 약 130% 이내로 나타났음
- 20,000 ~ 30,000㎥/일 규모에서 수평형 대비 수직형의 건설비는 약 100% 내외로 나타났음
- 본 수직형 정수처리 공정에서 적용한 설계안은 20,000㎥/일 규모에서 가장 효율적인 배치를 나타내며, 이는 비용 효율화로 이어져 20,000㎥/일 규모에서는 기존 수평형 정수장 건설비용과 비슷한 비용으로 건설이 가능할 것으로 판단됨.

▌그림 2.451 용량별 수직형/수평형 건설비▐

(다) 실규모 플랜트 공종별 공사비 비교

▌1세부에서 진행한 실규모 (10,000~30,000 ㎥/일급) 플랜트 건설시 공종별 공사비 비교를 진행하였음.

- 전체 공사를 크게 토목/건축/기계/전기/계장 5개 공종으로 나누어 비교하였음

▌토목 공사비

- 토목 공사비의 경우 넓은 면적을 필요로 하는 수평형 정수장에서 차지하는 비율이 월등히 높았고, 비용으로 비교하였을 때 수평형 정수장의 토목비용이 수평형 정수장의 토목비용 보다 50% 정도 높음을 알 수 있음

▌그림 2.452 수평형/수직형 실규모 플랜트 공종별 공사비 구성 비율▐

▌건축 공사비

- 건축공사비의 경우 수평형/수직형 모두 연면적은 큰 차이가 없기 때문에 공사비율에 있어 거의 차이가 나지 않는 것으로 나타남
- 비용으로 비교해보면 수직형으로 올라가는 건축비용이 다소 높은 것으로 나타났지만, 가장 효율적인 배치를 나타내는 20,000㎥/일 규모에서는 거의 차이가 없는 것으로 나타남

▌기계 공사비

- 기계공사비의 경우 수직형/탱크리스 공정의 특성상 고효율의 설비를 사용한 수직형 정수처리시설이 수평형 보다 월등히 높은 비율을 나타내었음
- 비용으로 비교했을 때 역시 수직형 비용이 수평형 비용보다 35~90%가량 높게 나왔으며, 이는 용량이 커질수록 비용의 갭은 확연히 줄어 들었음

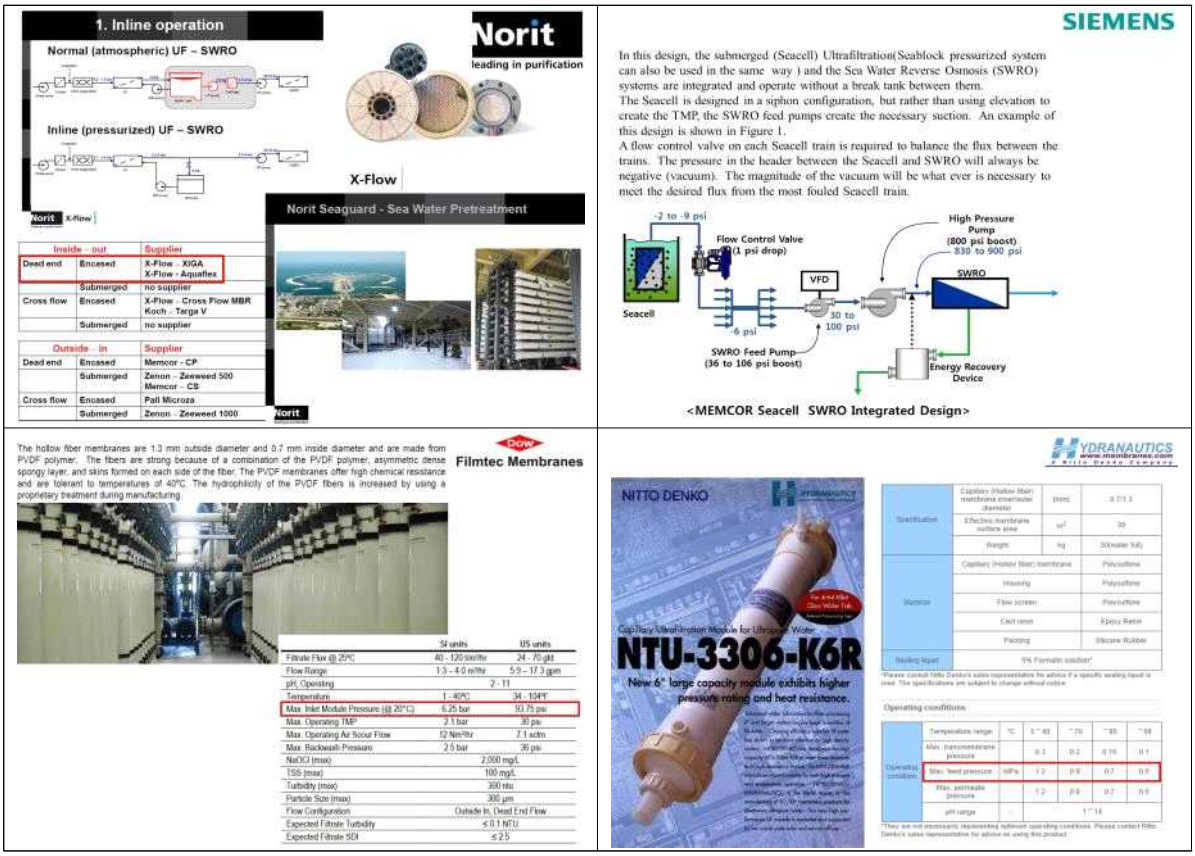
▌전기/계장 공사비

- 전기/계장 공사의 경우 효율적인 배치가 가능한 수직형 정수처리시설에서 비율이나 비용 모두 수평형보다 낮게 나타났음

나. 수직형 정수처리 시설 적용기술 검토

(1) 분리막 재료 선정

▌분리막 재료선정을 위해 우선 본 실증시설에 적용될 예정인 Tankless 공정에 필요한 5 kgf/cm^2 이상의 압력조건에서 견딜 수 있는 막 모듈이 양산되고 있는 분리막 제조사들의 자료를 수집하여 분석하였음



▌그림 2.453 탱크리스 공정 적용 가능한 외산막 검토 ▐

▌탱크리스 시스템에 적용 가능한 외산막들(Norit, Siemens, Hydranautics, Dow)을 검토한 결과를 아래 표에 나타내었음.

▌표 2.267 실증시설 탱크리스 공정에 적용가능한 외산막 검토 결과 ▐

제조사	Norit	Siemens	Hydranautics	DOW	비고
Type	가압식	침지식	가압식	가압식	
여과방식	In-Out	Out-In	Out-In	Out-In	
재료	PolySulfone	PVDF	PolySulfone	PVDF	
적용성 (실증시설)	△	×	○	○	가압식 /Out-In
공정적합성 (Tankless system)	△	×	○	◎	Out-In /가압식
국산화 가능성 (대체 or 벤치마킹)	△	○	○	◎	Out-In /PVDF
종합평가	△	×	○	◎	

(◎ 아주좋음, ○ 좋음, △ 보통, × 나쁨)

▌평가에 사용된 지표는 크게 세가지로 1세부에서 설계중인 실증시설에의 적용성, 탱크리스 공정에의 적합성, 마지막으로 국산화 노력을 위해 대체가능성 또는 벤치마킹 용의성 등을 평가하였음.

▌1세부에서 설계중인 실증시설은 가압식막을 적용하였고, 기본적으로 Out-In 여과 방식을 적되었으며, 탱크리스 공정 역시 이에 맞추어 설계가 진행됨.

▌현재 국내 담수용 정수막 제조사 대부분은 PVDF 막을 사용하고 있으며, Out-In 여과 방식을 채택하고 있으며, 포팅부 및 케이싱의 고압에 대한 내구성만 보완한다면 탱크리스 공정에도 충분히 적용이 가능할 것으로 보임

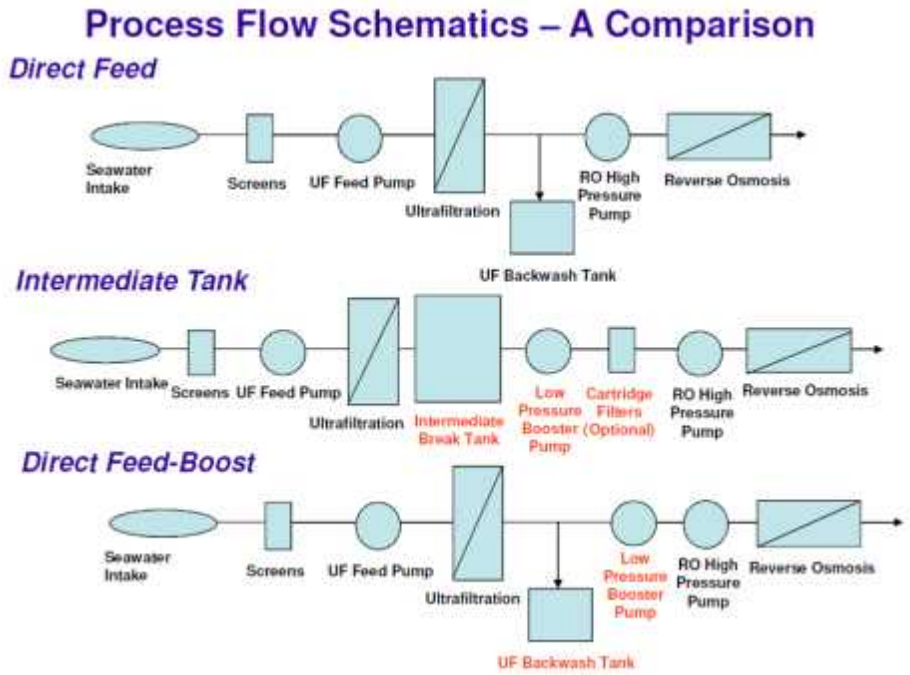
▌이를 바탕으로 검토된 Norit사의 멤브레인의 경우 여과방식을 In-Out방식을 택하고 있어 적용성이 떨어졌고, Siemens사의 멤브레인의 경우 침지식 막으로 역시 본 연구단에서 설계중인 실증시설에 부적합한 것으로 평가함

▌Hydranautics사와 DOW사의 모듈의 경우 두가지 모두 본 실증시설의 조건에 충족하였으나 PVDF막이 적용되었다는 점과, 모듈 형태가 국내에서 생산되는 모듈과 비슷하므로 국산막 개발시 약간의 변경만으로 바로 본시설에 적용해 볼 수 있다는 점, 그리고 본 과제의 탱크리스 공정과 매우 유사한 시스템(Direct Feed System)에 직접 적용된 사례가 많이 있는 DOW사의 막 모듈이 우세하였음.

▌이에 추후 국내에서 벤치마킹을 통해 개선된 모듈이 나올 시에 본 연구에 적용해 볼 수 있도록 실증시설에 적용된 외압식 가압모듈 형식이면서 국내 상용화 되고 있는 PVDF막을 사용한 Dow社의 막을 선정하였음.

▌외국 사례 검토 (DOW社, Direct Feed System)

■ Direct Feed System은 주로 역삼투막 공정의 전처리로서 UF막여과 공정이 적용된 경우, 역삼투막 공정과 UF막여과 공정 사이의 저류조를 배제하여 부지 효율성을 높이고자 개발되었지만, 역세를 위한 역세수조를 기존대로 적용하였고, 안정성을 위하여 저류조 및 부스터펌프를 적용하기도 함



▌그림 2.454 Direct Feed System (DOW社)▐

■ 역삼투막 공정에서는 고압의 일정한 유입유량이 요구되는 반면, 전처리 공정인 UF막여과 공정에서는 주기적인 역세공정으로 인하여 연속적으로 일정한 유량을 보내기 어렵기 때문에 역삼투막 공정의 유입 유량/압력 변동에 세심한 주의가 필요함

■ 이러한 문제점 때문에 UF막여과 공정에서 역세 시 유량의 안정성을 위해 전처리 공정에서는 다중계열 디자인이 요구 되며, 세심한 공정제어가 요구됨

■ Direct Feed System의 사례를 보면 현재의 국산막을 사용하는 경우에도 부스터 펌프를 적용할 시, 실증시설의 Tankless 공정에 당장 적용이 가능할 것으로 판단됨

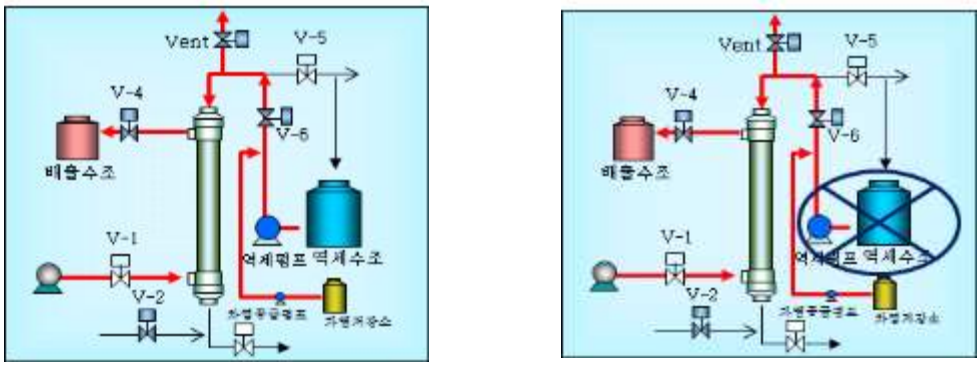
(2) 탱크리스 역세 공정 평가

(가) 연구목적

▌정수처리 분리막에서 일반적인 역세공정은 아래 그림과 같이 역세수조(처리수조)의 깨끗한 물을 역세펌프를 이용하여 일정량의 유량으로 파이버의 처리수 측에서 원수 측으로 공급함.

■ 이때 폭기를 같이 주입함으로써 분리막 표면 또는 공극내부에 흡착/공극 막힘을 일으킨 막오염 물질을 제거하거나 느슨하게 하게 하는 작용을 함.

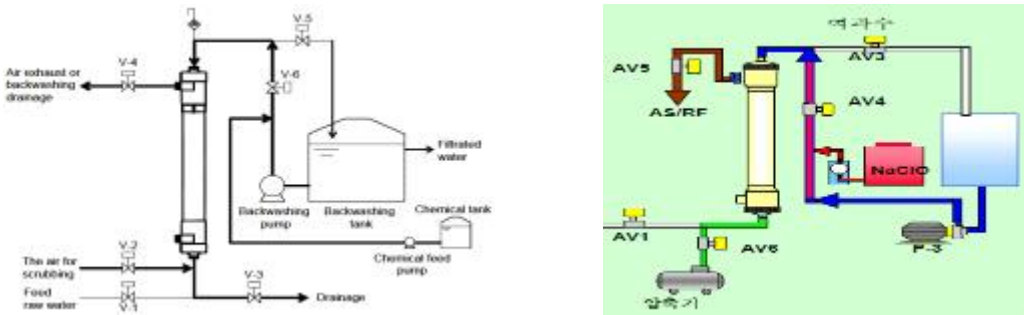
▌본 연구에서는 역세수조와 역세펌프 없이 이와 동일한 효과를 낼 수 있는 정수처리 공정을 평가함.



- 일반공정의 역세 - - 탱크리스 공정의 역세 -

▌그림 2.455 탱크리스 역세 공정 개념▌

▌일반적인 역세 방법 : 아래 그림은 다양한 제막사에서 제공하는 역세공정에 대한 모식도로써 역세공정을 하기 위해서는 역세수를 담을 수 있는 저장탱크와 역세수 공급을 위한 역세펌프가 필요함.

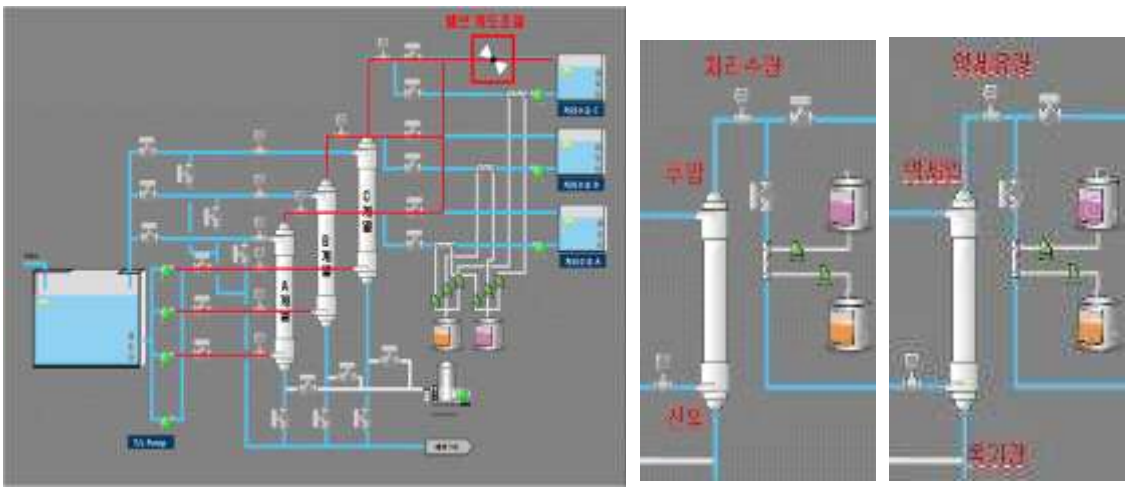


▌그림 2.456 일반적인 역세방법▌

(나) 실험장치 및 방법

① 역세유량 조절

■ 아래그림과 같이 각 모듈의 처리수는 최종적으로 한 배관으로 모이게 되어있고 이 최종 배관 후단에서 밸브의 계폐정도를 조절하여 역세유량을 조절함.
■ 초기 저항이 없을 경우 모든 처리수는 처리수조로 배출되지만 밸브의 계도율을 줄이면 줄일수록 저항에 의한 역세압이 발생하고 처리수의 일부가 역세공정으로 사용됨.

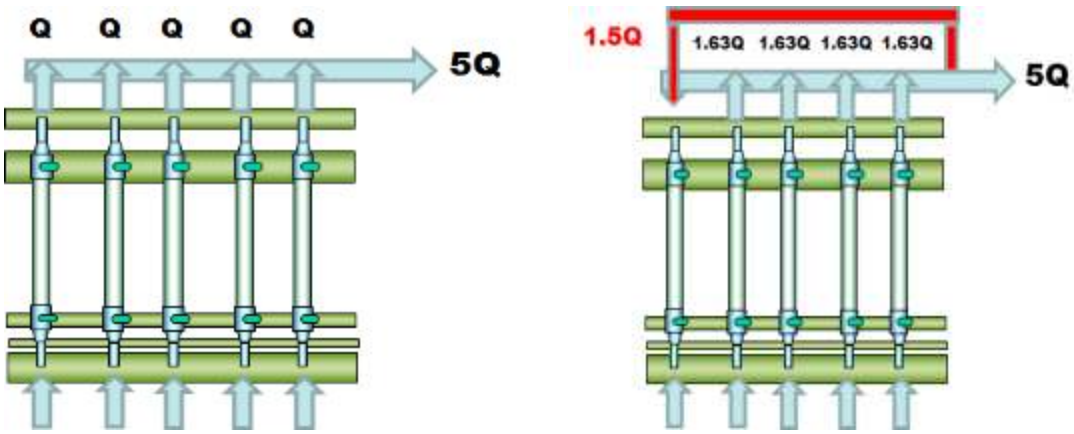


▌그림 2.457 본 연구장치 시스템 및 모니터링 지점▐

② 여과 및 역세 분리막 측정

■ 탱크리스 공정을 통한 역세의 경우 역세공정시 여과공정 중인 다른 분리막의 경우 밸브 계도 조절을 통한 역세압력 발생으로 압력과 처리수량에 변화가 발생함.
■ 또한 역세수량을 확보하기 위해 여과공정의 분리막은 평상시보다 더 많은 처리수를 생산해야 하며 이때 밸브의 계도 조절에 따른 분리막의 전/후압력의 변화확인 및 적용성을 판단함.
■ 탱크리스 공정에서 역세공정시 역세유량 및 역세압을 확인하여 원활한 역세가 이루어지는지 확인하며 폭기를 병행한 역세공정시 역세유량 및 역세압의 변화를 모니터링 함.
■ 파일럿 공정은 3계열로 구성되어 있지만 일반적으로 분리막 시스템은 4계열 이상으로 구성되어 있기 때문에 5계열 구성을 가정하고 탱크리스 공정을 적용함.
■ 5계열 모두 여과시 각 분리막은 Q의 여과유량으로 여과가 이루어지며 역세공정 시 최종 처리수량을 일정하게 유지하기 위해 그림 2.4.4와 같이 약 1.63Q의 유량으로 여

과가 이루어 져야함.

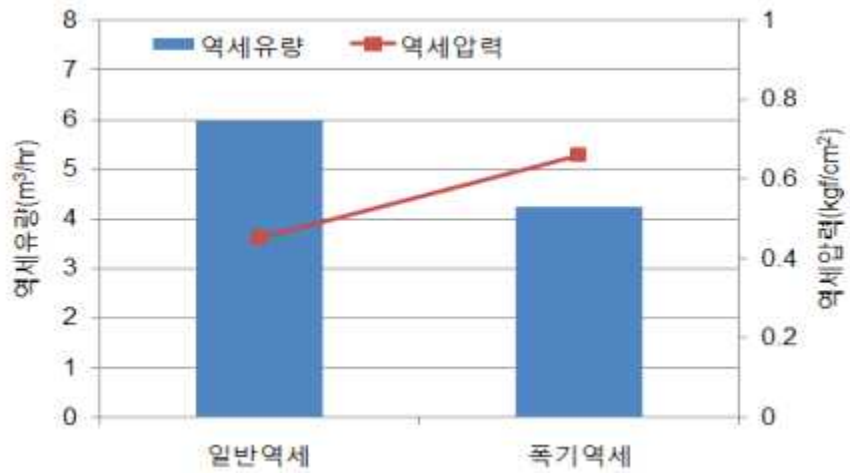


▌그림 2.458 탱크리스 공정 개념도▐

(다) 탱크리스 역세 적용성 평가

① 분리막 A

- 분리막 A는 초기 대비 여과저항이 약 68%로 증가한 상태에서 역세가 이루어졌으며 역세유량이 여과유량 대비 1.39Q로 운전되었을 때 필요한 역세압력은 0.45 kgf/cm^2 임.
- 역세시 분리막 제조사가 제공하는 공기유량(6 Nm^3/hr)으로 공기를 주입하였을 때 역세압력과 반하는 압력이 발생하고 이로 인하여 역세압력은 46.7% 상승한 0.66 kgf/cm^{2}를 나타내지만 역세유량은 28.9% 떨어진 0.99Q를 나타냄.
- 역세유량에 따른 역세효율을 고려하였을 때 최대 0.7 kgf/cm^{2}의 역세압력 조건에서 역세가 가능할 것으로 판단됨.



▌그림 2.459 역세 분리막(A)의 유량 및 압력변화▐

■ 일반 여과 공정시 분리막 B와 C는 각각 악 4.3 m^3/hr, 3.0 m^3/hr의 유량으로 여과되지만 역세공정시 처리수량과 역세수량을 확보하기 위해 아래와 같이 각각 6.81 m^3/hr, 4.77 m^3/hr의 유량으로 운전되어야 함.

■ 이때 처리수 배관의 밸브 계도에 의해 필요이상의 압력이 필요하게 되는데 각각 역세압력과 비슷한 값인 0.46 kgf/cm^2과 0.45 kgf/cm^2의 증가를 보임.

■ 계속적인 처리수 확보를 위한 여과(1.6Q)에서 분리막 B와 C는 각각 0.66 kgf/cm^2과 0.64 kgf/cm^2의 증가를 보임.

■ 또한 이때 분리막 모듈이 받는 압력은 1.31kgf/cm^2, 1.76 kgf/cm^2로써 예상보다 낮은 값을 나타냈으며 폭기역세를 하였을 경우 약간 증가한 1.46 kgf/cm^2, 1.76 kgf/cm^2를 나타냄

▌표 2.268 여과 분리막(B,C)의 유량 및 압력변화 ▌

공 정	분리막 B			분리막 C		
	유 량 (m^3/hr)	전 압 (kgf/cm^2)	후 압 (kgf/cm^2)	유 량 (m^3/hr)	전 압 (kgf/cm^2)	후 압 (kgf/cm^2)
여 과	4.26	0.60	0.04	2.99	0.85	0.07
역 세	6.81	1.31	0.50	4.77	1.76	0.52
폭기역세	6.47	1.46	0.70	4.39	1.88	0.71

② 분리막 B

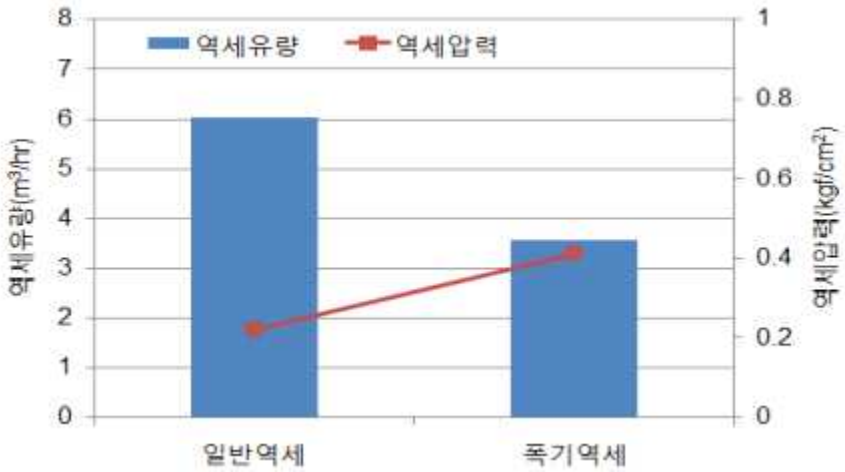
■ 분리막 B는 3개의 분리막중 막오염이 가장 적게 일어났으며 초기 대비 여과저항이 약 31%로 증가한 상태에서 역세가 이루어짐.

■ 역세유량이 여과유량 대비 1.4Q로 운전되었을 때 필요한 역세압력은 0.22 kgf/cm^2 으로 분리막 A에 비해 1/2의 크기였으며 이런 차이는 분리막의 오염정도에 따른 영향으로 판단되며 추후 탱크리스 공정에서 역세유량 및 조건을 정할 때 고려해야 될 부분임.

■ 역세시 공기유량(6 Nm^3/hr)으로 공기를 주입하였을 때 이는 역세압력과 반하는 압력이 발생하고 이로 인하여 역세압력은 86.4% 상승한 0.41 kgf/cm^2를 나타내지만 역세유량은 40.8% 떨어진 0.83Q를 나타남.

■ 역세압력 의 경우 분리막 A에 비해 높은 비율로 높아지고 역세유량 역시 높은 비율로 떨어졌으며 이는 상대적으로 높은 압력에서 여과가 될 경우 상대적으로 폭기에 의한 영향이 적기 때문임.

■ 역세유량에 따른 역세효율을 고려하였을 때 최대 0.41 kgf/cm^{2}의 역세압력 조건에서 역세가 가능할 것으로 판단됨.



▌그림 2.460 역세 분리막(B)의 유량 및 압력변화▐

■ 일반 여과 공정시 분리막 A와 C는 각각 악 4.3 m^3/hr, 3.0 m^3/hr의 유량으로 여과되지만 역세공정시 처리수량과 역세수량을 확보하기 위해 아래와 같이 각각 6.99 m^3/hr, 4.81 m^3/hr의 유량으로 운전되어야 함.

■ 이때 처리수 배관의 밸브 계도에 의해 필요이상의 압력이 필요하게 되는데 각각 역세압력과 비슷한 값인 0.21 kgf/cm^{2}과 0.19 kgf/cm^{2}의 증가를 보임.

■ 계속적인 처리수 확보를 위한 여과(1.6Q)에서 분리막 A와 C는 각각 0.38 kgf/cm^{2}과 0.37 kgf/cm^{2}의 증가를 보임.

■ 또한 이때 분리막 모듈이 받는 압력은 1.44 kgf/cm^2, 1.52 kgf/cm^2 로써 예상보다 낮은 값을 나타냈으며 폭기역세를 하였을 경우 약간 증가한 1.58 kgf/cm^2, 1.61 kgf/cm^{2}를 나타냈다.

▌표 2.269 여과 분리막(A,C)의 유량 및 압력변화 ▐

공 정	분리막 A			분리막 C		
	유 량 (m^3/hr)	전 압 (kgf/cm^2)	후 압 (kgf/cm^2)	유 량 (m^3/hr)	전 압 (kgf/cm^2)	후 압 (kgf/cm^2)
여 과	4.30	0.79	0.02	3.04	0.87	0.07
역 세	6.99	1.44	0.23	4.81	1.52	0.26
폭기역세	6.72	1.58	0.4	4.46	1.61	0.44

③ 분리막 C

- 분리막 C는 초기 대비 여과저항이 약 60%로 증가한 상태에서 역세가 이루어졌으며 역세유량이 여과유량 대비 1.23Q로 운전되었을 때 필요한 역세압력은 0.43 kgf/cm^2 임.
- 역세시 분리막 제조사가 제공하는 공기유량(6 Nm^3/hr)으로 공기를 주입하였을 때 이는 역세압력과 반하는 압력이 발생하고 이로 인하여 역세압력은 23.3% 상승한 0.53 kgf/cm^{2}를 나타내지만 역세유량은 45% 떨어진 0.68Q를 나타냄.
- 역세유량에 따른 역세효율을 고려하였을 때 최대 0.7 kgf/cm^{2}의 역세압 조건에서 역세가 가능할 것으로 판단됨.
- 일반 여과 공정시 분리막 A와 B는 각각 약 4.25 m^3/hr, 4.21 m^3/hr의 유량으로 여과되지만 역세공정시 처리수량과 역세수량을 확보하기 위해 아래와 같이 각각 6.91 m^3/hr, 6.73 m^3/hr의 유량으로 운전되어야 함.

▌그림 2.461 역세 분리막(C)의 유량 및 압력변화▐

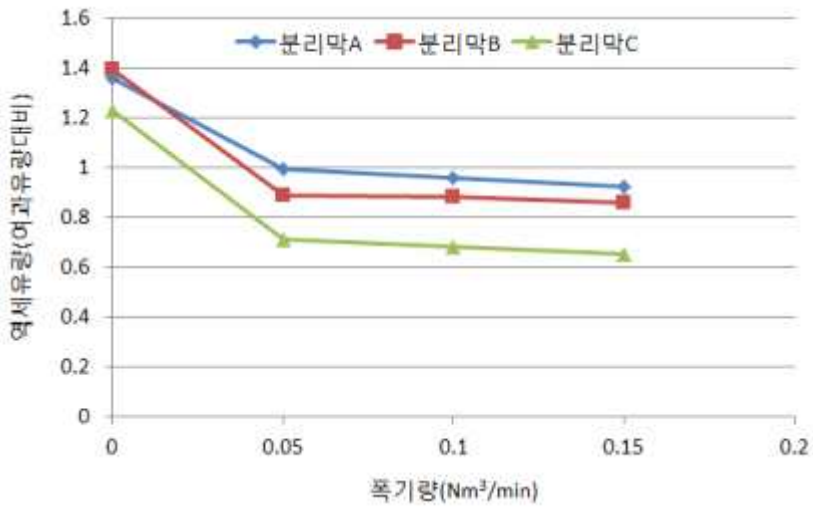
- 이때 처리수 배관의 밸브 계도에 의해 필요이상의 압력이 필요하게 되는데 각각 역세압력과 같은 0.38 kgf/cm^{2}의 증가를 보임.
- 계속적인 처리수 확보를 위한 여과(1.6Q)에서 분리막 B와 C는 각각 0.49 kgf/cm^{2}과 0.48 kgf/cm^{2}의 증가를 보임.
- 또한 이때 분리막 모듈이 받는 압력은 1.62kgf/cm^2, 1.23 kgf/cm^{2}로써 예상보다 낮은 값을 나타냈으며 폭기역세를 하였을 경우 약간 증가한 1.7 kgf/cm^2, 1.31 kgf/cm^{2}를 나타냈다.

▌표 2.270 여과 분리막(A,B)의 유량 및 압력변화 ▐

공 정	분리막 A			분리막 B		
	유 량 (m^3/hr)	전 압 (kgf/cm^2)	후 압 (kgf/cm^2)	유 량 (m^3/hr)	전 압 (kgf/cm^2)	후 압 (kgf/cm^2)
여 과	4.25	0.82	0.04	4.21	0.60	0.06
역 세	6.91	1.62	0.42	6.73	1.23	0.44
폭기역세	6.75	1.7	0.53	6.56	1.31	0.54

(라) 탱크리스 역세시 폭기량에 따른 영향

- 분리막 A와 B는 약 1.4Q, 분리막 C는 약 1.2Q의 유량으로 역세를 실시하고 0.05 Nm^3/min의 폭기를 추가하였을 때 분리막 A는 약 28%, 분리막 B는 36%, 분리막 C는 43%의 감소를 보임.
- 하지만 이후 폭기량을 증가하여도 역세유량은 거의 변하지 않음.
- 즉, 탱크리스 역세공정시 폭기의 유무가 영향을 미치며 그 양은 중요하지 않음.

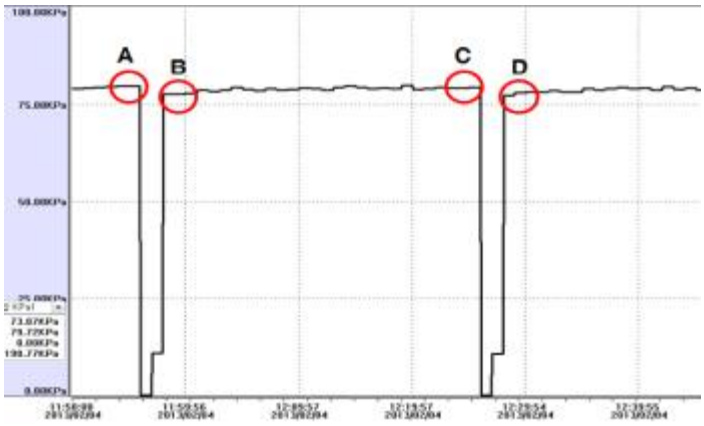


▌그림 2.462 폭기량에 따른 역세유량의 변화 ▐

(마) 탱크리스 역세와 일반역세 효율비교

- 일반적으로 분리막 공정에서 역세효율을 평가하는 방법으로는 역세전후 차압의 비교, 역세공정 시 발생하는 배출수의 수질 비교, 분리막의 직접적인 관측 및 분석 등이 있음.

■ 본 연구에서는 플랜트의 현장성을 고려하여 역세전후 비교를 하는 방법을 선택하였으며 차압 대신에 여과유량과 물의 점성을 모두 고려한 여과저항 값을 이용하여 비교하였음.

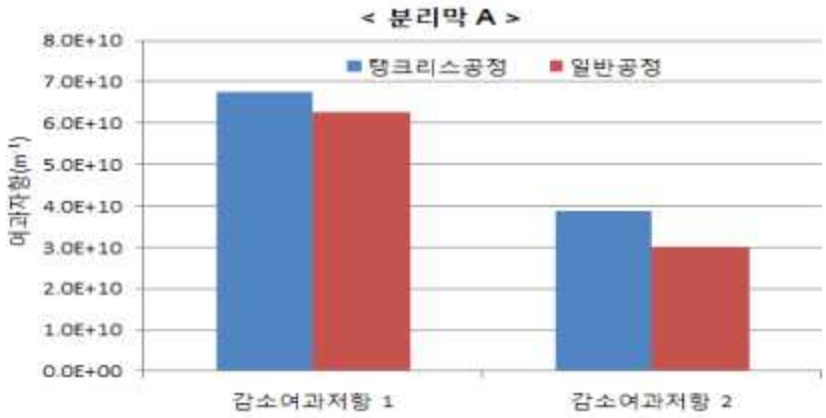


▌그림 2.463 역세효율 비교▐

■ 일정 주기적인 분리막 운전에서 탱크리스 공정과 일반 공정의 임의의 지점 역세전후 (A와 B, C와 D)의 여과저항 값 비교를 통해 역세효율을 비교함.

① 분리막 A

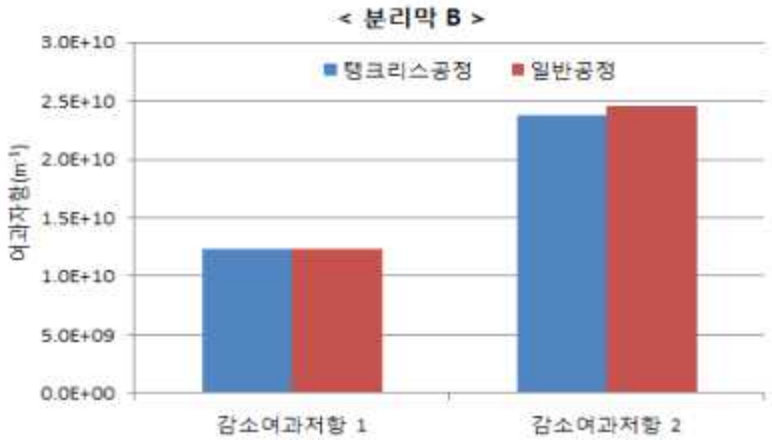
■ 분리막 A의 경우 3개의 분리막 중 막오염이 가장 많이 일어났던 분리막으로 총 여과저항의 값은 약 $2.9\times10^{12}m^{-1}$임. 일반공정과 탱크리스 공정 적용 시 총 여과저항의 값은 약간의 차이는 있지만 역세 전후 제거된 여과저항의 값은 탱크리스 공정다소 높게 나타났지만 큰 차이는 없음. 아래 그림은 임의의 두 지점을 잡아서 분석한 결과로써 압력계의 감도 및 배관에 의한 손실수두 등의 다양한 영향으로 역세를 통해 제거되는 여과저항의 값이 다소 차이를 보임.



▌그림 2.464 탱크리스공정과 일반공정 효율비교(분리막A)▐

② 분리막 B

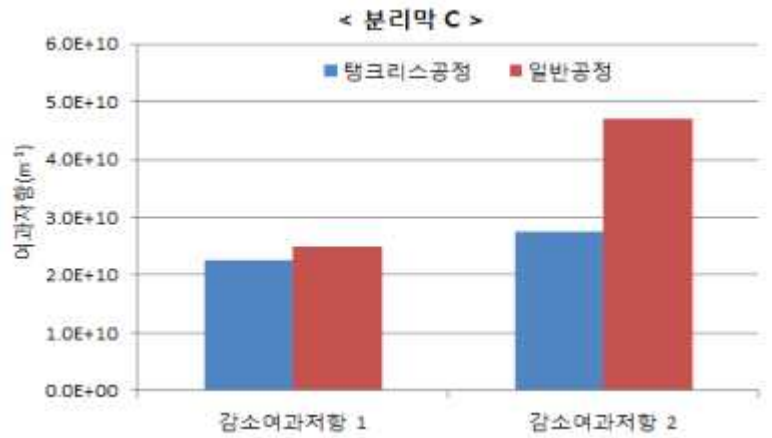
■ 분리막 B는 3개의 분리막중 막오염이 가장 적게 일어난 분리막으로 역세공정을 통해 제거되는 값 역시 1.2~2.5 $\times 10^{-10}m^{-1}$으로 가장 적었으며 분리막 A와 같이 탱크리스와 일반공정 사이에 차이를 보이지 않음.



▌그림 2.465 탱크리스공정과 일반공정 효율비교(분리막B)▐

③ 분리막 C

■ 분리막 C의 경우 다른 분리막과 다르게 탱크리스와 일반공정 역세공정에 있어 효율의 차이를 보이는 것처럼 보임. 하지만 기본적으로 여과저항의 값은 그 수치가 크기 때문에 작은 압력 차이에도 아래 그래프와 같이 큰 차이를 보이는 것처럼 보임. 이런 점을 고려하였을 때 분리막 C 역시 탱크리스와 일반공정에서 역세효율의 차이는 없는 것으로 판단됨.



▌그림 2.466 탱크리스공정과 일반공정 효율비교(분리막C)▐

(3) 막여과 공정 역세배출수 최소화 방안

(가) 연구목적

▌분리막 제조사들은 역세유량을 포함하여 분리막에 적절한 운전조건(전처리, 여과시간, 공기세척 및 역세척, 수세, 온도 등)을 제시하고 있지만 대부분 원수의 조건을 고려하지 않고 그 기준이 일정하며 일반적으로 제공되는 역세유량의 여과유량의 1.5배 정도임.

▌경우에 따라서 역세유량의 조건이 조금씩 다른 경우도 있지만 지표수를 응집 침전시킨 상등수에 대해 분리막의 여과성능을 유지시키면서 최소한으로 할 수 있는 역세유량을 제시하는 것은 쉽지 않음.

▌따라서 본 연구에서는 국내 정수처리에서 충분한 성능검증을 확인한 3개의 분리막에 대하여 제막사 제시 조건과 이외의 역세조건에서의 운전성능 비교를 통하여 배출수량을 최소화 할 수 있는 값을 도출하려고 함.

(나) 실험장치 및 방법

① 실험 개요

▌실험에 사용한 pilot plant는 총 시설용량 약 260m^3/일(가압식 3계열)규모의 시설로서 경기도 시흥시에 위치한 시흥정수장 모형플랜트 옆에 컨테이너 형으로 설치됨.

■ 대상원수로는 시흥정수장에 공급되고 있는 하천수를 정수장내에서 약품을 이용한 침전 후 그 상등수를 사용하고 있음.

■ 따라서 전처리공정 없이 처리 공정은 “원수(침전상등수) - 막여과” 이며 역세시 약품을 사용하지 않고 순수 수역세만 실시함.

② 처리공정 및 실험장치

▌파일럿 플랜트 처리공정은 그림에서와 같이 1차 약품 침전을 거친 상등원수는 플랜트 내 원수조로 유입되고 특별한 전처리 없이 분리막을 통해 바로 여과됨.

■ 장치는 제조사가 다른 3개의 분리막으로 3계열을 이루고 있으며 각각 개별적으로 운

전된다. 처리수는 계열별 처리수조에 저장된 후 외부로 배출됨.

③ 분리막 사양

▌실험에 사용된 분리막은 모두 3개이며 재질은 모두 PVDF로 동일하며 모두 전량여과 및 정유량제어를 통하여 운전되며 A와 C계열은 MF 외압식 중공사이며 B계열은 UF 외압식 중공사임.

▌동일한 조건에서의 비교를 위해 3개의 분리막 모두 1.5$m^3/m^2/day$로 운전하였으며 초기 운전 성능 테스트 후 역세유량의 변화를 주며 운전 성능을 TMP 모니터링을 통하여 평가함

▌표 2.271 분리막 사양▐

구 분	A계열	B계열	C계열
막 면 적	75 m^2	72 m^2	50 m^2
재 질	PVDF	PVDF	PVDF
막 모 듈	MF 외압식 중공사	UF 외압식 중공사	MF 외압식 중공사
여 과 방 식	전량여과	전량여과	전량여과
유 량 제 어	정유량제어	정유량제어	정유량제어
허 용 압 력	-	300kPa	300kPa
공 극 크 기	-	150,000 Da	0.1 ㎛
플 럭 스	1.5 $m^3/m^2/day$	1.5 $m^3/m^2/day$	1.5 $m^3/m^2/day$
역 세 유 량	1.5Q	1.5Q	1.2Q

④ 운전 조건

▌ 분리막의 운전은 아래 그림과 같이 급수(플러싱), 여과, 역세, 배수(드레인) 총 4단계로 구성되어있으며 각 공정은 제막사 권장하는 기준치로 설정하여 급수와 배수가 시간 내에 충분이 일어날 수 있는 조건임.

▌표 2.272 플랜트 운전조건▐

구분	A 계열	B 계열	C 계열
운전모드	여과 ➡ 역세 ➡ 드레인 ➡원수충진		
여과방식	전량 여과		
유량제어	정유량 제어 (회전수제어)		
계열수	1 module/계열 × 1계열		
여과유속	1.5 (m^3/m^2·일)	1.5 (m^3/m^2·일)	1.5 (m^3/m^2·일)
여과시간	28.3분	25분	28.5분
역세시간	40초	45초	60초
역세유속	여과유속의 1.5배 1.2 / 0.9 / 0.7 배	여과유속의 1.5배 1.2 / 0.9 / 0.7 배	여과유속의 1.2배 1.0 / 0.8 / 0.6 배
공기량	0.1 Nm^3/min	0.1 Nm^3/min	0.1 Nm^3/min

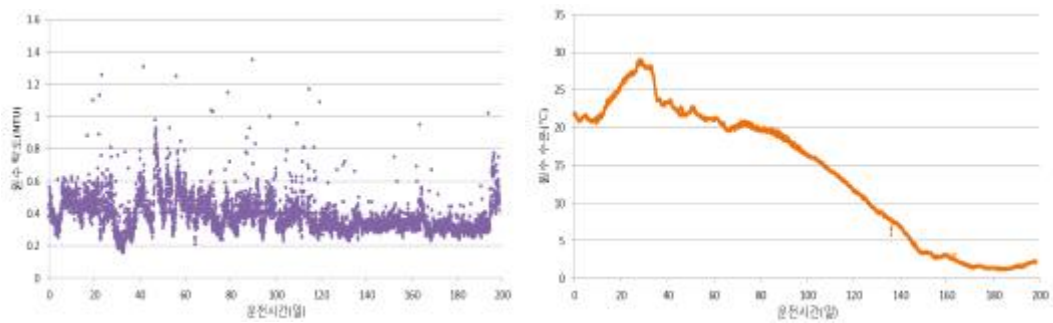
(다) 원수 수질 특성

▌ 시흥정수장 파일럿 플랜트 내에 유입되는 원수(1차 침전 상등수)에 대한 약 200일간의 탁도 및 수온은 다음과 같으며 조사 시기는 7월부터 1월까지로 여름에서 가을 및 겨울로 넘어가는 계절적 변화를 나타냄.

- 수온은 최대 29.04℃ 최저 1.04℃의 경향을 나타내며 가동 28일 (8/8)부터 수온이 지속적으로 감소함.
- 원수 탁도는 평균 0.39 NTU 이며 1차 침전을 거친 유입수로 최대 탁도는 1.35 NTU로 매우 낮음.

▌표 2.273 원수수질 특성▐

항 목	최 대	최 소	평 균
원수탁도 (NTU)	1.35	0.16	0.39
원수수온 (℃)	29.04	1.04	14.00



▌그림 2.467 운전기간 중 탁도 및 수온변화▐

(라) 여과유속의 1.5 / 1.2배 역세를 하였을 경우(7/11~10/14, 약 90일)

① 분리막 A

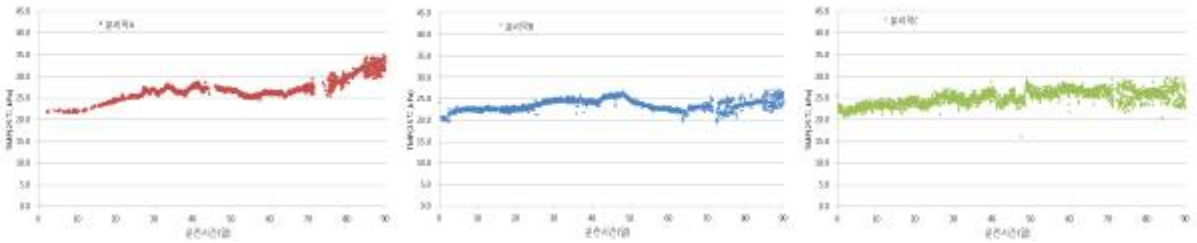
▌ 운전 막차압은 최대 33.6 kPa, 최소 21.8 kPa의 범위를 나타내며 안정적인 운전이 가능함.
▌ 하지만 다른 두 분리막과 비교해 높은 차압 상승을 보였으며 차압 상승속도는 0~40일, 74~89일 기간 동안 0.167 kPa/day, 0.108 kPa/day를 보임.

② 분리막 B

▌ 운전 막차압은 최대 26.2 kPa, 최소 20.7kPa의 범위를 나타내었으며 3개의 분리막중 가장 안정적인 운전을 보임.
▌운전 중 최대/최소 차압의 차이를 보이지만 전체적으로 증가하는 경향을 보이지 않고 초기 차압의 경우도 가장 낮은 값을 나타냄.

③ 분리막 C

▌ 급격한 막오염을 보이지 않지만 0.061 kPa/day의 느린 속도로 차압변화를 통해 지속적인 막오염을 보여주고 있으며 막차압은 최대 29.2kPa, 최소 21.4kPa의 범위를 나타내었으며 3개의 분리막중 중간정도의 안정성을 보임.
▌ 하지만 침전 상등수를 원수로 사용하기 하는 공정에서 차압의 증가가 크지 않고, 차압도 낮게 유지되어 운전의 안정성에 문제가 있지는 않음.



▌그림 2.468 운전기간 차압변화(1.5 / 1.2Q 역세)▌

(마) 여과유속의 1.2 / 1.0배 역세를 하였을 경우(10/15~10/30, 약 15일)

▌ 여과유속의 1.2배 유속으로 역세한 분리막 A,B와 1.0배의 유속으로 역세한 분리막 C 모두 해당기간동안 차압의 증가를 보이지 않았음.

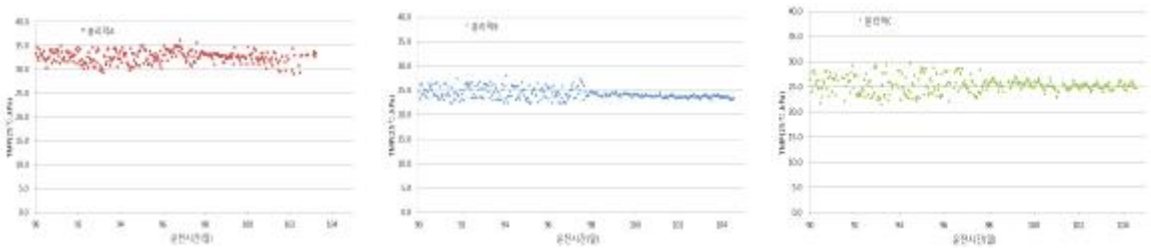
▌ 분리막 A의 경우 차압이 증가하지 않았지만 초기운전의 영향으로 평균차압이

32.6kPa로 가장 높았으며 분리막 B가 24.3 kPa로 가장 낮은 평균차압을 보임.

▌ 분리막 A, B, C 각각의 평균 여과저항은 2.08 $\times 10^{12} m^{-1}$, 1.55 $\times 10^{12} m^{-1}$, 1.66 $\times 10^{12} m^{-1}$으로 분리막 A가 다른 분리막에 비해 1.34배 정도 높은 값을 나타냄.

▌표 2.274 차압 및 여과저항 (1.2 / 1.0Q 역세)▌

	분리막 A	분리막 B	분리막 C
최대차압(kPa)	36.1	28.1	29.6
최소차압(kPa)	29.1	22.6	21.4
평균차압(kPa)	32.6	24.3	25.3
평균 여과저항(m^{-1})	2.08 × 10^{12}	1.55 × 10^{12}	1.61 × 10^{12}



▌그림 2.469 운전기간 차압변화(1.2 / 1.0Q 역세)▌

(바) 여과유속의 0.9 / 0.8배 역세를 하였을 경우(10/31~11/15, 약 16일)

▌ 여과유속의 0.9배 유속으로 역세한 분리막 A,B는 크지는 않지만 서로 다른 결과를 나타냄.

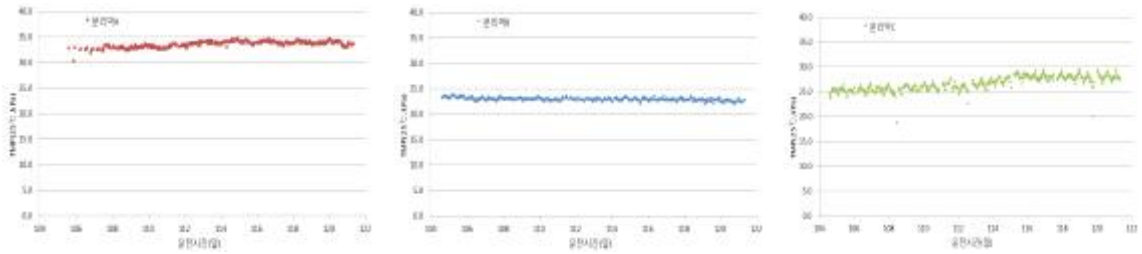
▌ 분리막 A는 0.094 kPa/day의 속도로 계속적으로 차압이 증가한 반면 분리막 B의 경우 오히려 차압이 낮아지는 결과를 보였지만 이는 실질적으로 분리막의 막오염이 향상 되었다 보다는 유입원수의 수온이 낮아져서 나타난 것으로 판단됨.

- 여과유속의 0.8배 유속으로 역세한 분리막 C의 경우 전반적인 차압은 분리막 A보다 낮게 유지되었지만 0.22 kPa/day의 속도로 차압이 증가함.
- 본 조건에서는 분리막 A와 C가 상승하는 경향을 보였으며 각각 33.6 kPa, 26.6 kPa의 평균차압을 보였으며 분리막 B는 차압의 증가 없음.

▌ 분리막 A, B, C 각각의 평균 여과저항은 2.14 $\times 10^{12} m^{-1}$, 1.46 $\times 10^{12} m^{-1}$, 1.69 $\times 10^{12} m^{-1}$으로 분리막 B가 가장 낮은 값을 나타냄

▌표 2.275 차압 및 여과저항 (0.9 / 0.8Q 역세▐

	분리막 A	분리막 B	분리막 C
최대차압(kPa)	34.2	23.2	29.4
최소차압(kPa)	31.9	22.4	24.3
평균차압(kPa)	33.6	23.0	26.6
평균 여과저항(m^{-1})	2.14×10^{12}	1.46×10^{12}	1.69×10^{12}



▌그림 2.470 운전기간 차압변화(0.9 / 0.8Q 역세)▐

(사) 여과유속의 0.7 / 0.6배 역세를 하였을 경우(11/16~12/5, 약 20일)

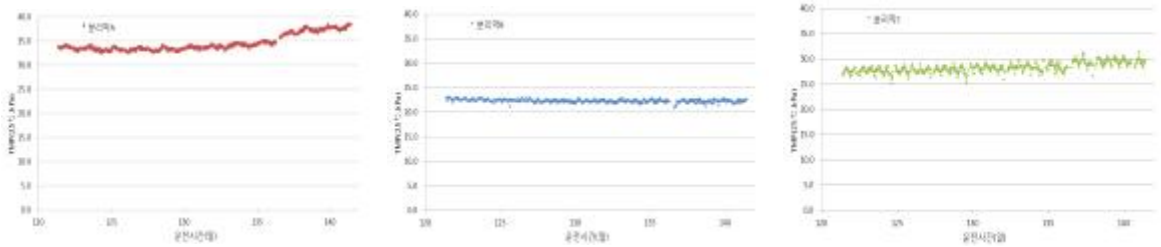
▌ 여과유속의 0.7배 유속으로 역세한 분리막 A의 경우 차압의 증가 속도가 0.24 kPa/day를 나타내었으며 0.9배 역세를 하였을 경우에 비해 2.5배 이상의 차압 증가속도를 보임.

▌ 분리막 B의 경우 다른 분리막과 다르게 차압의 증가를 전혀 나타내지 않았으며 분리막 C는 분리막 A에 비해 50%의 차압 증가속도(0.11 kPa/day)를 보였지만 차압의 안정화를 보이지는 않음.

▌ 계속적인 차압 증가를 보인 분리막 A, C의 평균 차압은 34.5 kPa, 28.2 kPa로 나타났으며 분리막 B는 22.4 kPa로 차압의 증가없이 안정적인 값을 유지함.

▌표 2.276 차압 및 여과저항 (0.7 / 0.6Q 역세▐

	분리막 A	분리막 B	분리막 C
최대차압(kPa)	38.2	23.1	31.3
최소차압(kPa)	33.4	22.6	25.1
평균차압(kPa)	34.5	22.4	28.2
평균 여과저항(m^{-1})	2.20×10^{12}	1.42×10^{12}	1.80×10^{12}



▌그림 2.471 운전기간 차압변화(0.7 / 0.6Q 역세)▐

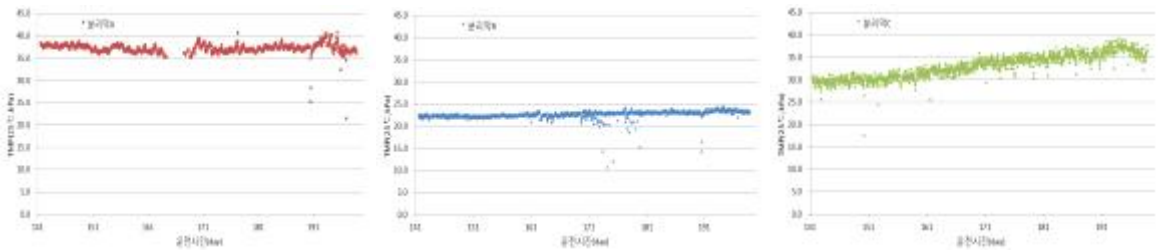
(아) 여과유속의 1.5 / 1.2배 역세를 하였을 경우(12/6~1/31, 약 50일)

▌ 분리막 A의 경우 20일간의 0.7배 역세조건에서 후반부에서 차압이 증가하는 현상을 보였지만 50일간의 1.5배 역세를 하였을 경우 초반 20일 동안 0.074 kPa/day의 속도로 감소하는 모습을 보임.

- 역세유량의 초기화(여과유속의 1.5배 역세)를 통하여 일정 부분 막오염이 회복된 것을 확인할 수 있었음.
- 분리막 B의 경우 이전 낮은 역세유량에서는 차압의 증가를 보이지 않다가 이번에는 느리지만 0.023 kPa/day의 속도로 증가하였지만 이것은 역세유량과의 관계라기보다는 오랜 여과를 통한 막오염의 생성으로 판단됨.
- 분리막 C는 역세유량의 증가 후 바로 차압의 저하를 보이지는 않았지만 0.152 kPa/day의 속도로 증가한 후 차압의 증가없이 안정적인 운전을 나타냄.

▌표 2.277 차압 및 여과저항 (1.5 / 1.2Q 역세) ▐

	분리막 A	분리막 B	분리막 C
최대차압(kPa)	39.9	23.9	39.2
최소차압(kPa)	34.9	21.8	28.9
평균차압(kPa)	37.2	22.6	32.9
평균 여과저항(m^{-1})	2.37×10^{12}	1.44×10^{12}	2.10×10^{12}

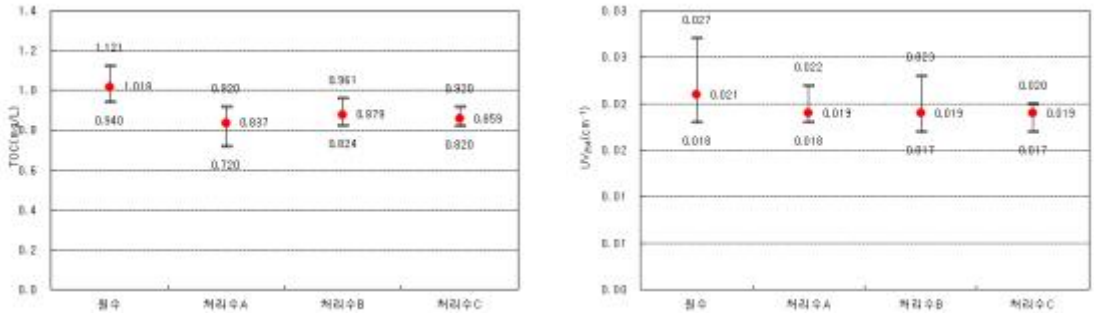


▌그림 2.472 운전기간 차압변화(1.5 / 1.2Q 역세)▐

(자) 원수 및 처리수 수질 (TOC, UV_{254})

▌본 공정의 원수는 침전 상등수로서 평균 TOC는 1.018 mg/L를 나타내었고 막여과 처리수의 경우 각각 0.837 mg/L, 0.879 mg/L, 0.859 mg/L로 약 16%의 제거율을 보임.

▌트리할로메탄 전구물질에 대한 간접지표인 UV_{254}는 원수의 경우 평균 0.021 cm^{-1}를 나타내었고 처리수는 평균 0.021 cm^{-1}로 비슷한 값을 보임.



▌그림 2.473 TOC, UV_{254} (원수 및 처리수)▐

(4) 막여과 배출수 탈수성을 고려한 CEB 조건

(가) 연구목적

▌표준정수처리시설에서 발생하는 배출수의 양은 원수특성, 응집제 사용량, 정수처리공정의 성능 그리고 역세척 빈도 등에 따라 달라지며, 배출수의 특성 또한 정수장 마다 상이한 차이를 보임

▌90년대 초반부터 현재까지 소규모 시설에서 2008년 공산정수장 40,000m^3/일, 2014년 둔덕/학용정수장 98,000m^3/일으로 대규모시설이 늘어나고 있는 추세임.

▌하지만 막여과 공정 개량시설은 배출수처리시설(2nd stage)을 배제한 채 이루어지고 있기 때문에 기존의 모래여과시설에서 발생되는 배출수량과 수질특성은 막여과 시설의 배출수량과 수질특성과 다름.

▌따라서 기존의 배출수지와 연계 처리가 가능하도록 막여과 배출수의 성상 파악이 매우 중요함. 또한 막오염 제어를 위하여 유지화학세정을 대부분 막여과 시설에서 적용하고 있기 때문에 유지화학세정에 사용되고 있는 약품종류와 농도에 따라서 침강성과 탈수성을 파악하고자 함.

(나) 국외 막여와 배출수 처리 현황

① 일본의 막여과 배출수 처리 현황

▌ 일본 이마이찌 정수장의 막여과 공정 배출수 처리시설은 저류조, 약품침전 농축조로 운영하고 있으며, 일반적인 정수장의 슬러지처리방식에 약품침전을 추가한 형태로 적용되고 있음.

▌ 체류시간은 4시간 수준으로 하여 농축조의 용량을 산정하였음. 특히 탈수기 가동빈도가 초기계획은 3회/주였으나, 2006년부터 운용은 1회/6개월로 하는 것이 탈수기로 유입되는 슬러지의 농도가 초기 계획값은 1%였으나, 현재운용값은 6~11%로 유입되는 슬러지의 양이 11배나 차이가 있음.

② 미국의 막여과 배출수 처리 현황

▌ AWWA(Committee Report; Residuals Management for Low-Pressure Membranes, 2003)에 의하면 막여과 공정 배출수 처분과 처리방법은 하천 및 하수처리장 방류, 라군, 토양 살포, 착수정으로의 회수 및 건조상 등의 방법으로 처리하고 있음. 주로 하천 방류를 하고 있음.

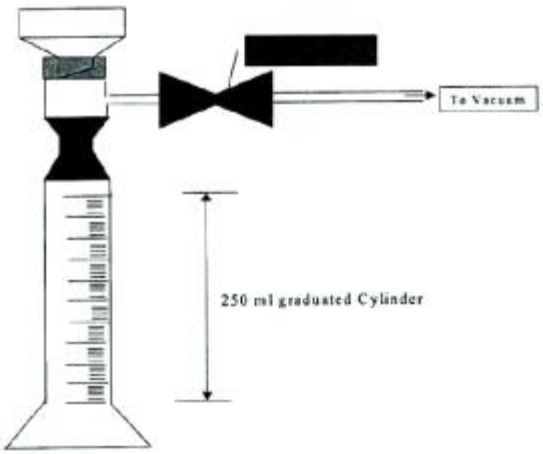
▌ 하천방류는 폐수와 폐수배출지역의 수질에 의해 달라지는 미국의 National Pollutant Discharge Elimination System(NPDES)의 규정에 의해 방류됨. 이에 3가지 방법으로 라군으로 부유물질을 제거하여 방류하는 방법과 원수의 수질이 좋아 분리막 세척수의 부유물질이 낮아 방류하는 방법, 그리고 pH가 높거나 낮을 때 중화시켜 방류하는 방법 등이 있음. 하수처리장 방류로 막여과 공정 배출수는 시설규모에 관계없이 처리할 수 있음.

▌ 착수정으로의 회수는 높은 농도의 미생물(크립토스포리디움 등) 등이 다량 함유되어 있을 경우 1차 처리를 요하며, 고액분리된 막여과 세척수를 재순환하는 것은 회수율을 높이고, 경제적으로도 유리함. 건조상은 건조기수인 경우 적합하며, 여러해 동안 막여과 배출수를 축적할 수 있기 때문에 충분한 공간을 확보할 수 있다는 장점이 있다고 제시함.

(다) 실험장치 및 방법

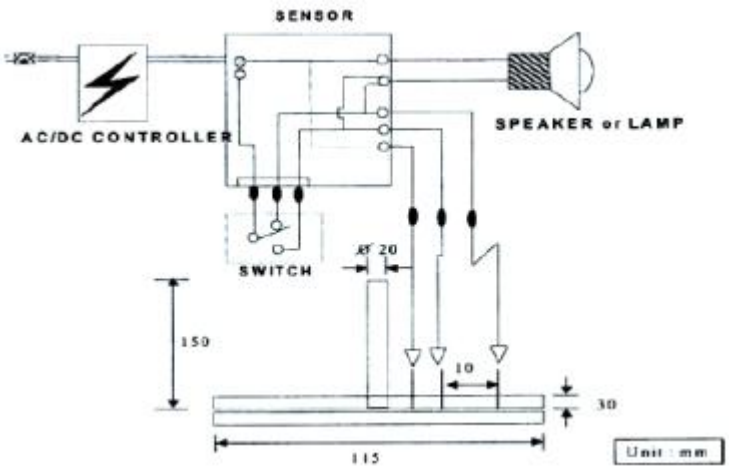
▌ 막여과 시설의 역세배출수의 탈수특성을 파악하기 위하여 여과시간(TTF)과 모세관 흡입시간(CST) 측정을 통하여 비교평가 함.

▌ 여과시간(TTF)측정은 비저항 시험을 보다 단순화시킨 시험방법으로 TTF는 전체 여과량의 1/2에 해당하는 여과시간으로 정의됨.



▌그림 2.474 TTF equipment with side arm adaptor ▌

▌ 모세관 흡인시간(CST)측정은 모세관을 통해 수분이 퍼져나가는 현상을 응용하여 수분이 일정구간을 통과하는데 걸리는 시간을 측정함으로써 슬러지의 탈수성을 측정하고 이를 CST(Capillary Suction Time)이라 명명함.



▌그림 2.475 CST equipment used in this study ▌

(라) 실험결과 및 고찰

▌ 막여과 공정이 수처리시설에 도입된 후 막오염 제어를 위한 유지세정방안이 수행되

고 있음. 대표적으로 비가역적 오염 영역의 변곡점이 발생되기 전 CEB를 수행하여 그 변곡점 시기를 지연하는 효과를 얻을 수 있음.

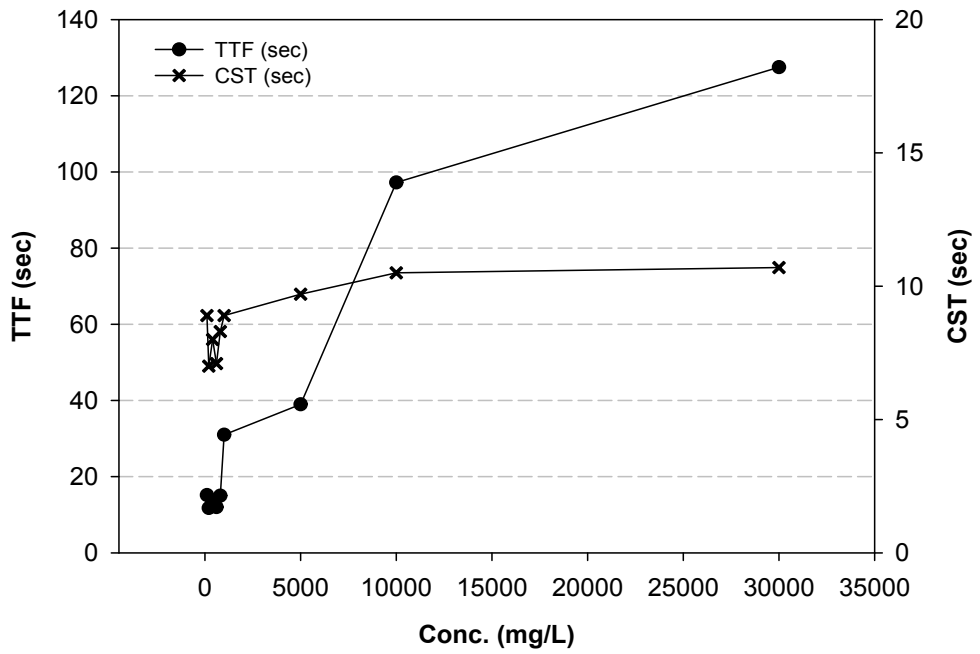
▌ 따라서 막여과 역세배출수의 탈수성을 평가하기 위하여 CEB를 수행하면서 약품의 종류와 농도에 따른 탈수성을 실험한 결과임.

▌ CEB 약품종류는 H_2SO_4와 NaOCl을 적용하였으며, 농도는 각각 100~30,000mg/L, 100~10,000mg/L으로 TTF와 CST 측정 결과를 나타내었음.

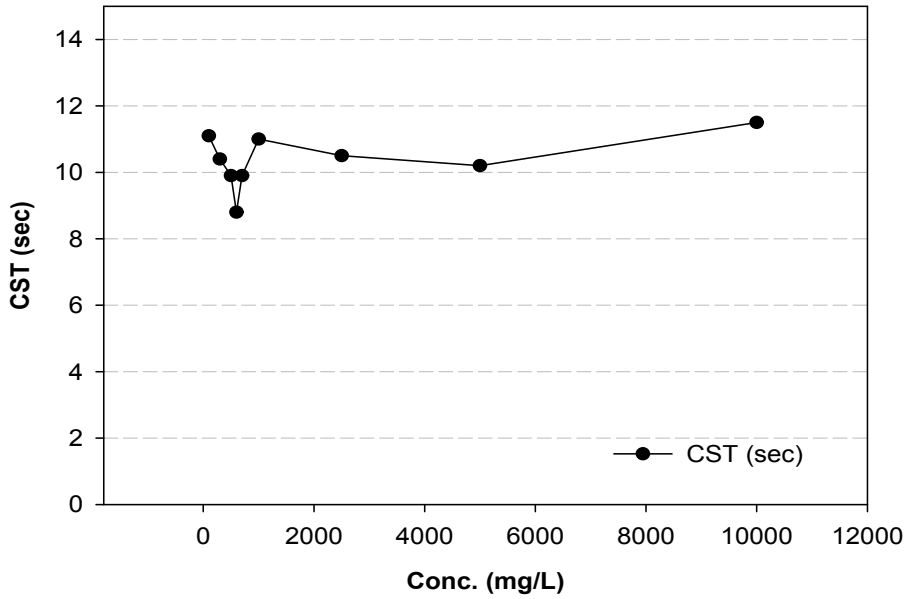
▌ 황산의 경우 주입농도가 높을수록 TFF와 CST가 높아지는 결과를 얻을 수 있었는데 이는 황산 주입으로 pH의 저하로 유기물과 응집이 되었었던 $Al(OH)_{(x)}$에서 Al이온이 다시 용출되어 floc size가 커지는 결과를 확인할 수 있었음.

▌ 차아염소산나트륨의 경우 주입자체로 TFF는 측정이 불가하였으며, CST는 높은 수치에서 유지한 결과를 확인할 수 있었음.

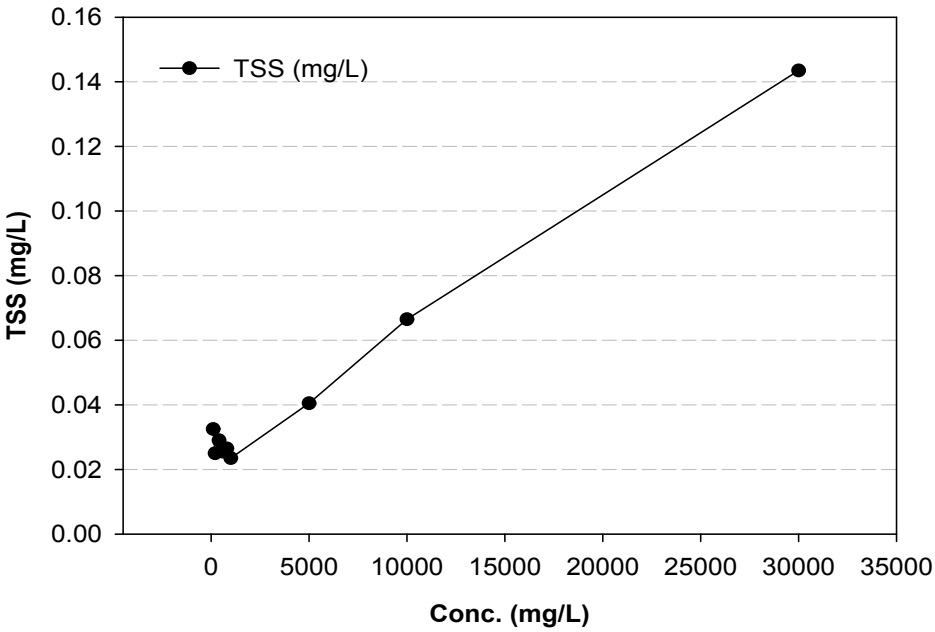
▌ 이는 유기물의 산화로 탈수성이 나빠지는 결과를 초래하였음. 따라서 막오염을 제어하기 위한 유지화학세정 공정은 필수나 배출수의 탈수성 개선을 위하여 농도와 접촉시간을 최적화할 필요가 있음.



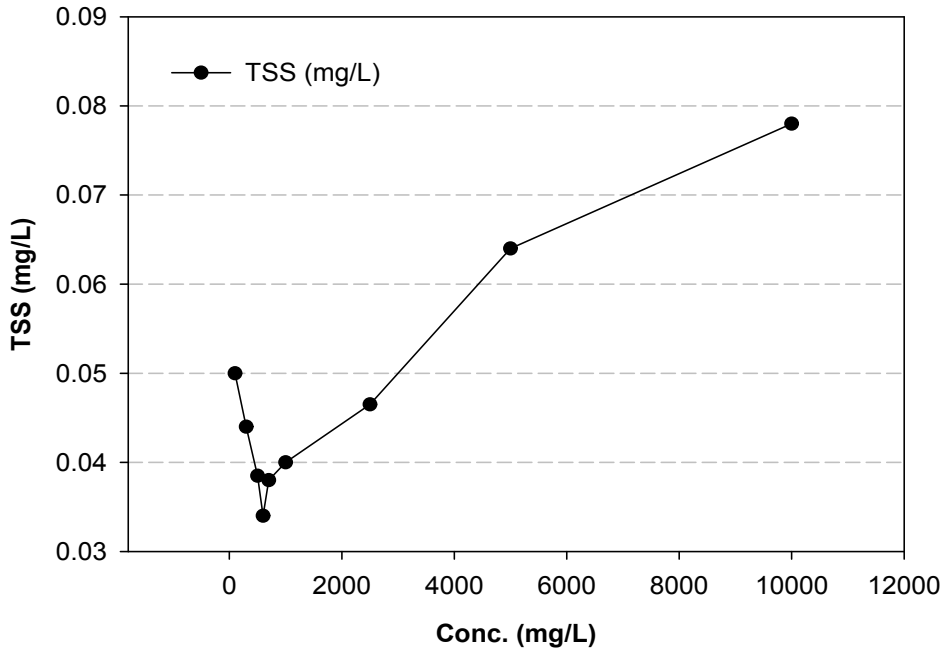
▌그림 2.476 H_2SO_4 주입농도에 따른 TSS와 CST의 변화 결과▐



▌그림 2.477 NaOCl 주입농도에 따른 TSS와 CST의 변화 결과▐



▌그림 2.478 H_2SO_4 주입농도에 따른 TSS 결과▐



▌그림 2.479 NaOCl 주입농도에 따른 TSS 결과▐

(5) 막여과 공정 CEB 조건 도출

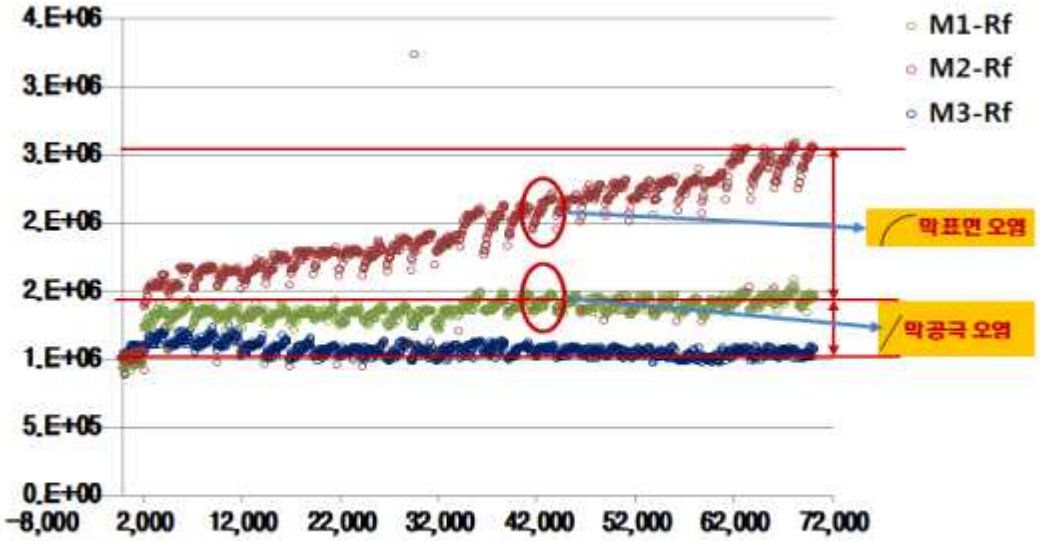
(가) 막 운전에 따른 오염 구분 및 모니터링 결과

① 실험 조건

▌ 원수조건 : TOC 2.3 mg/L (Humic 8.8 mg/L), 탁도 2 NTU (카올린 5 mg/L)
▌ 분리막 : 도레이
▌ 운전모드 : 여과(29min)➡역세(0.5 min)➡드레인(0.5min)➡충진(0.5min)
▌ 운전변수(역세 조건 변화)

	Mode 1	Mode 2	Mode 3
역세 방법	Air scouring	Back washing	Air scouring + Back washing
역세 시간	30 sec		

② 운전 결과



▌그림 2.480 Mode 1 운전 결과 (초)▐

▌ 본 실험에서 Mode 1은 막 공극 오염시 운전 저항 값, Mode 2의 경우 막표면 오염시 운전 저항값 마지막으로 Mode 3의 경우 초기 운전과 비교한 비가역적 막오염을 가정하여 실험을 진행함. 운전결과 막 표면에서의 오염이 공극에서의 오염보다 운전 차압(TMP) 상승에 영향이 큰 것으로 판단되며, 또한 운전 저항 Mode 2의 경우 초기 저항은 Mode 2, 3와 동일선상에서 진행되지만, 차후 막여과 진행시 역세 시 제거되지 않은 막 표면 오염 물질이 압축되어 가파르게 여과저항이 올라감을 나타냄

▌ 이에 막 공정 운전 시 여과 시간동의 TMP를 분석하여 Air scouring 및 Backwashing 의 역세조건 변화를 통해 막 오염을 효과적으로 대응할 수 있다고 판단됨

(나) 저농도 CEB를 통한 회복율 실험 결과

① 실험 조건

▌ 원수조건

■ 저농도 : TOC : 2.3 mg/L(Humic : 8.8 mg/L), 탁도 : 2 NTU(카올린 : 5 mg/L)

■ 고농도 : TOC : 30 mg/L(Humic : 30 mg/L), 탁도 : 50 NTU(Kaolin : 73 mg/L)

▌ 운전모드

■ 여과➡역세(30초)➡드레인➡충진

▌ 운전변수(일일 CEB 농도)

	Mode 1	Mode 2	Mode 3
CEB 농도 (mg/L as NaOCl)	5	15	30
CEB 주기	24 hr		
CEB 방법	Back washing으로 약품 주입후 20분 정치 이후 Flushing 후 운전 재개		

② 고농도 원수에서의 운전 결과

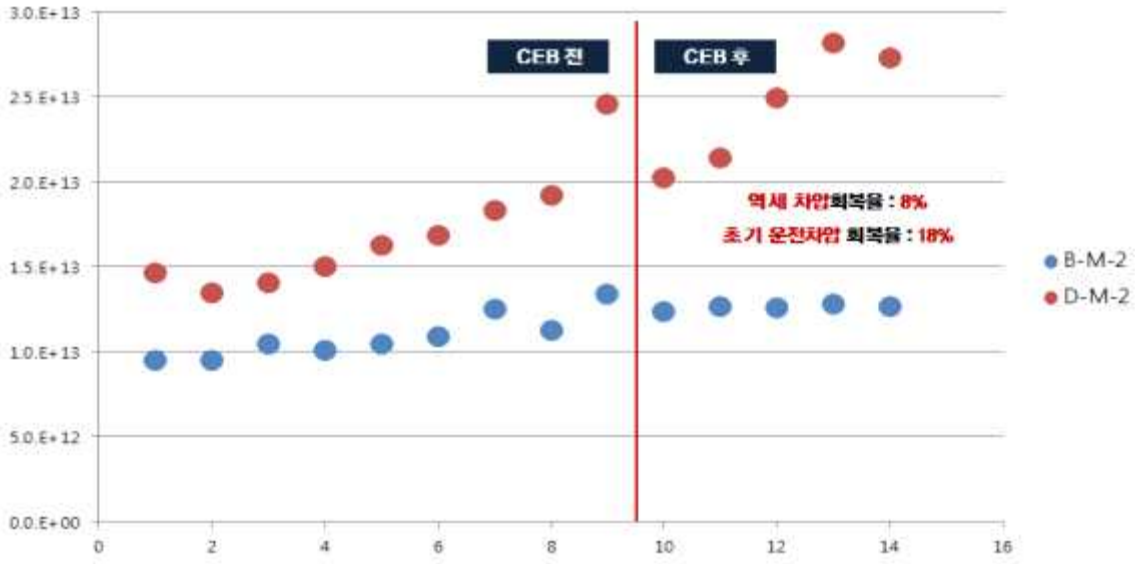
▌ Mode 1 (CEB 농도 : 5 mg/L)

■ 유입원수 고농도 조건에서의 CEB 농도 5 mg/L 세정결과 역세 차압회복율은 13% 초기 운전차압의 경우 4%의 회복율을 나타냄

▌그림 2.481 Mode 1 운전 결과 (일)▐

▌ Mode 2 (CEB 농도 : 15 mg/L)

■ 유입원수 고농도 조건에서의 CEB 농도 15 mg/L 세정결과 역세 차압회복율은 8% 초기 운전차압의 경우 18%의 회복율을 나타냄



▌그림 2.482 Mode 2 운전 결과 (일)▐

▌ Mode 3 (CEB 농도 : 30 mg/L)

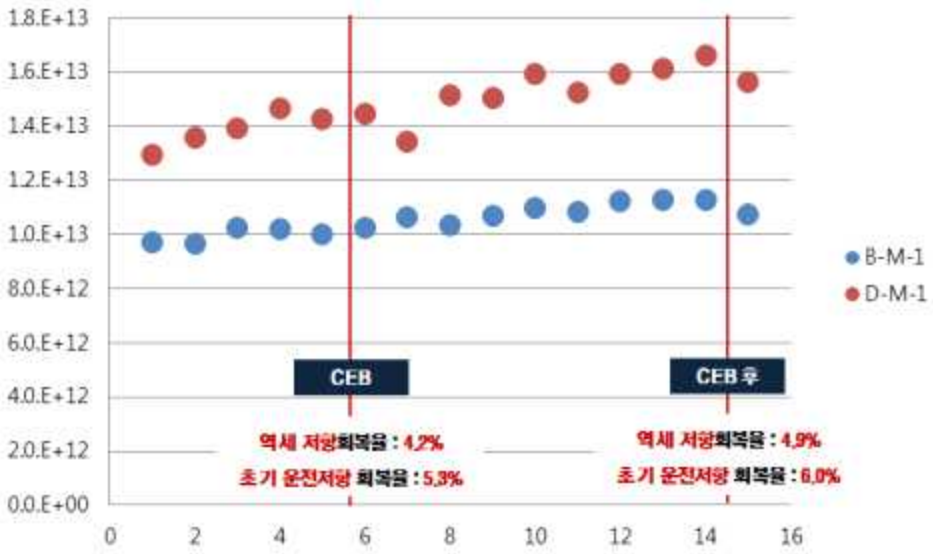
■ 유입원수 고농도 조건에서의 CEB 농도 30 mg/L 세정결과 역세 차압회복율은 7% 초기 운전차압의 경우 12%의 회복율을 나타냄

▌그림 2.483 Mode 3 운전 결과 (일)▐

③ 저농도 원수에서의 운전 결과

▌ Mode 1 (CEB 농도 : 5 mg/L)

■ 유입원수 고농도 조건에서의 CEB 농도 5 mg/L 세정결과 역세저항 회복율은 각각 4.2, 4.9% 초기 운전저항의 경우 각각 5.3, 6.0%의 회복율을 나타냄.



▌그림 2.484 Mode 1 운전 결과 (일)▐

▌ Mode 2 (CEB 농도 : 15 mg/L)

■ 유입원수 고농도 조건에서의 CEB 농도 15 mg/L 세정결과 역세저항 회복율은 각각 2.0, 3.5% 초기 운전저항의 경우 각각 3.8, 8.3%의 회복율을 나타냄.

▌그림 2.485 Mode 2 운전 결과 (일)▐

▌ Mode 3 (CEB 농도 : 30 mg/L)

■ 유입원수 고농도 조건에서의 CEB 농도 30 mg/L 세정결과 역세저항 회복율은 각각 4.1, 0.4% 초기 운전저항의 경우 각각 2.4, 6.1%의 회복율을 나타냄.

▌그림 2.486 Mode 3 운전 결과 (일)▐

▌ 저농도 CEB 실험에서 막 공극 오염 제거에는 Mode 1(5 mg/L as NaOCl)이 Mode2, Mode3 와 비교하여 가장 높은 회복율을 나타냈으며, 막 표면 제거는 Mode2(10 mg/L as NaOCl)이 가장 높은 회복율을 나타냄. 또한 일일 저농도 CEB 가 진행될수록 초기 운전 차압의 회복율의 경우 높아지는 경향을 나타냈으며, 이러한 실험 결과를 토대로 막 오염특성에 따른 적용 가능성 여부를 판단해야 할 것으로 판단됨

(다) CEB 농도 변화에 따른 회복율 실험 결과

① 실험 조건

▌ 원수조건

■ TOC : 2.3 mg/L(Humic : 8.8 mg/L), 탁도 : 2 NTU(카올린 : 5 mg/L)

▌ 운전모드

■ 여과➡역세(30초)➡드레인➡충진

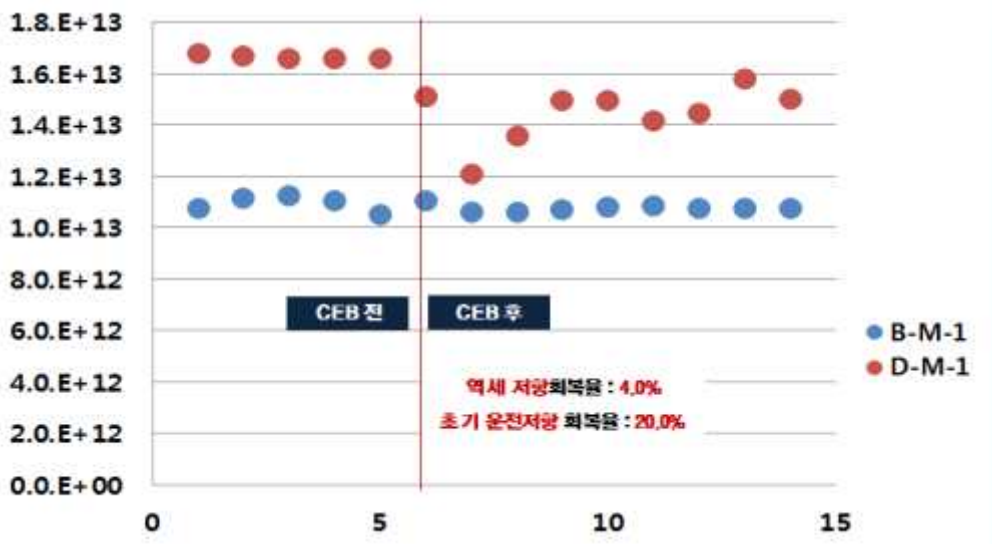
▌ 운전변수(일일 CEB 농도)

	Mode 1	Mode 2	Mode 3
CEB 농도 (mg/L as NaOCl)	100	300	500
CEB 주기	24 hr		
CEB 방법	Back washing으로 약품 주입후 20분 정치 이후 Flushing 후 운전 재개		

② CEB 농도 변화에 따른 회복율 운전 결과

▌ Mode 1 (CEB 농도 : 100 mg/L)

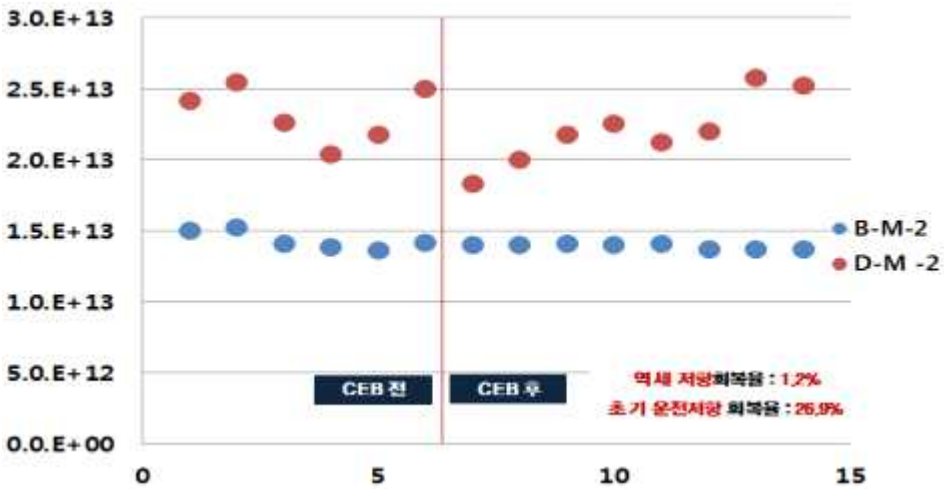
▪ 유입원수 고농도 조건에서의 CEB 농도 100 mg/L 세정결과 역세저항은 초기운전저항은 각각 4.0, 20.0%의 회복율을 나타냄



▌그림 2.487 Mode 1 운전 결과 (일)▐

▌ Mode 2 (CEB 농도 : 300 mg/L)

▪ 유입원수 고농도 조건에서의 CEB 농도 300 mg/L 세정결과 역세저항은 초기운전저항은 각각 1.2, 26.9%의 회복율을 나타냄.



▌그림 2.488 Mode 2 운전 결과 (일)▐

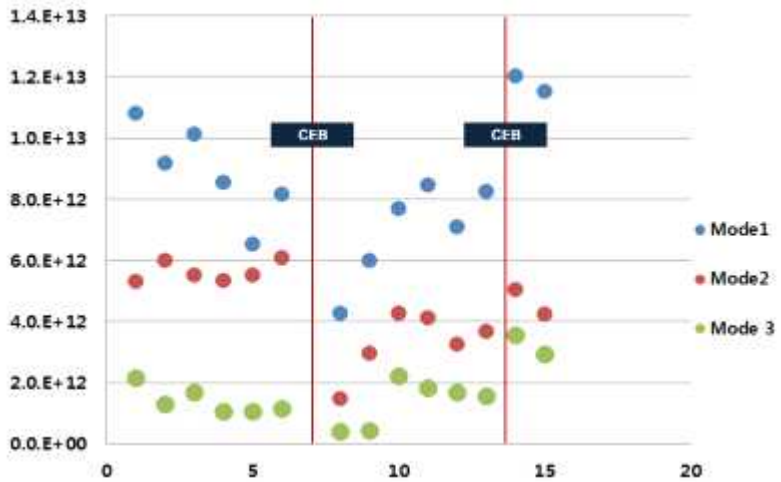
▌Mode 3 (CEB 농도 : 500 mg/L)

■ 유입원수 고농도 조건에서의 CEB 농도 300 mg/L 세정결과 역세저항은 초기운전저항은 각각 2.1, 19.7%의 회복율을 나타냄.

▌그림 2.489 Mode 3 운전 결과 (일)▐

▌CEB 농도에 따른 실험에서 막 공극 오염 제거에는 Mode 1(100 mg/L as NaOCl)이 Mode2, Mode3 와 비교하여 높은 회복율을 나타냈으며, 막 표면 제거는 Mode2(300 mg/L as NaOCl)이 높은 회복율을 나타냄

■ 또한 CEB 농도가 높을수록 운전 저항과 역세저항의 차이(운전저항-역세저항)가 낮았으며, 이는 CEB 농도는 막 공극 오염보다 막 표면 오염에 대한 제거효율이 높다고 판단됨.



▌그림 2.490 운전차압-역세저항 비교 (일)▐

다. 막 역세 배출수 처리시설 선정 및 평가

(1) 막역세배출수 성상분석

(가) 제타포텐셜 측정 결과

▌다음 그림은 실험 수행 시 막여과 공정을 사용하는 G_정수장과 모래여과 공정을 사용하는 S_정수장의 각 공정별 시료를 채취하여 제타포텐셜을 측정한 결과임

▌G_정수장의 경우 막 여과 공정 전단 응집 공정의 유입구와 유출부에서 각각 혼화수를 채취하여 측정한 결과 제타포텐셜이 약 3 mV 증가함

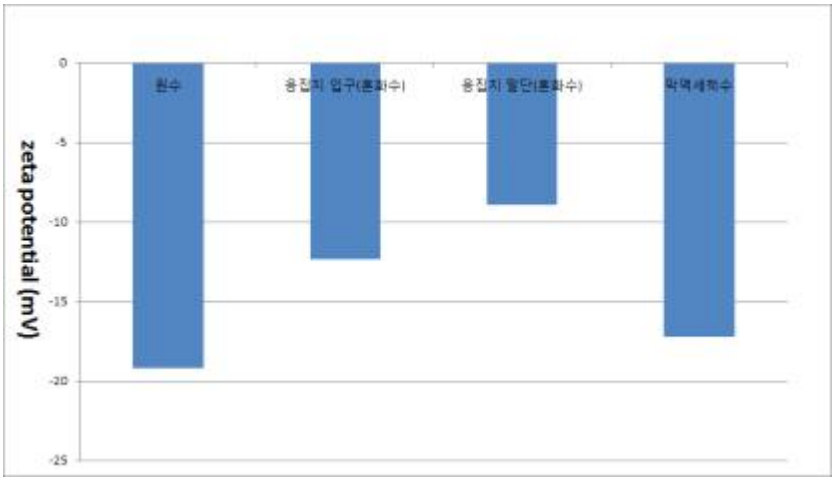
- 일반적으로 제타포텐셜이 -3~+3 mV 부근일 때 전하 중화 조건으로 운전되고 있는 것으로 인식되는데 연구 대상이 된 G_정수장에서 운전되는 응집공정의 경우 전하 중화 조건으로 운전됨을 유추할 수 있음
- 원수, 혼화수 및 막 역세척수의 제타포텐셜 측정 결과 막 역세척수의 경우 원수와 유사한 수준(약 -16 mV 이상)으로 제타포텐셜 값이 환원되는 결과를 나타났음.

▌이에 반해 모래 여과공정을 운전하고 있는 S_정수장의 경우에는 침전수가 약 -1.4 mV, 그리고 모래 여과 역세척수는 약 -4.3 mV로 제타포텐셜이 측정됨

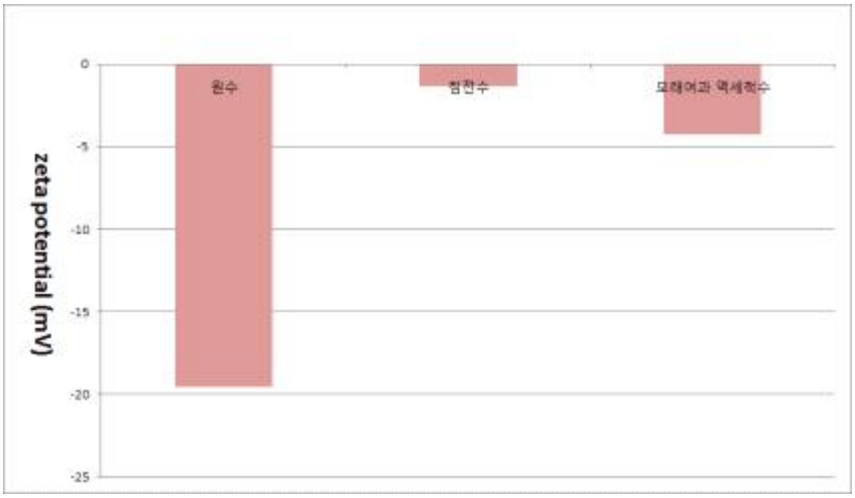
▌이러한 차이점에서 앞서 관측된 막 공정 역세척수가 상대적으로 침강성이 좋지 않았던 이유가 되었음을 유추할 수 있음

▌일반적으로 모래 여과 공정은 자유 수면을 가지므로 공기 병용 역세시 산소의 용존 속도가 낮지만, 케이싱 수납형 중공사막의 경우 자유수면이 없는 closed system의 형태라 역세를 위해 주입되는 공기가 물 속에 전달될 가능성이 높음

- 역세를 통해 주입된 공기 내의 산소는 SiO_2나 Al_2O_3, 또는 앞서 언급한 바와 같이 산소를 중심으로 양(+)이온이 대칭적으로 결합된 형태의 화합물을 형성함으로써 제터포텐셜이 환원되어 감소하는 현상이 발생함을 유추해볼 수 있음.



▌그림 2.491 G 정수장의 제타포텐셜 측정결과(막여과 공정)▐



▌그림 2.492 S 정수장의 제타포텐셜 측정결과(모래여과 공정)▐

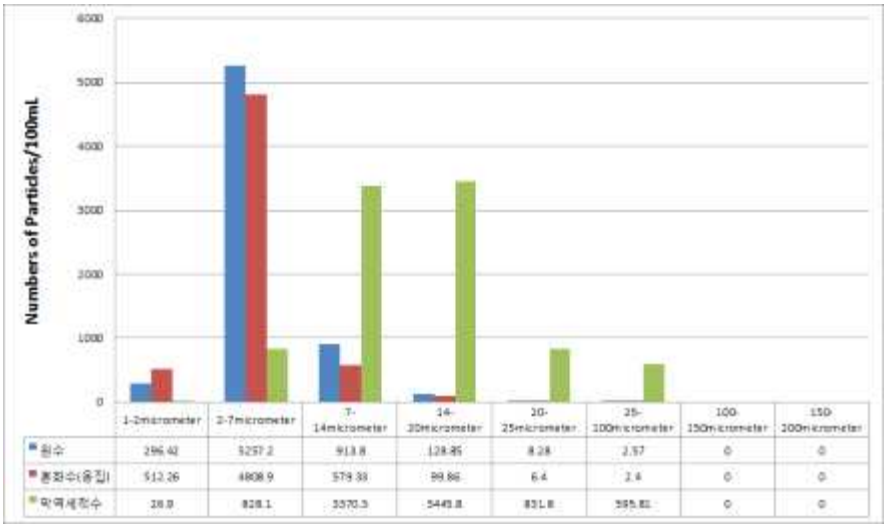
(나) 입도분석 결과

▌ 다음 그림은 G_정수장과 S_정수장의 각 공정별 시료를 채취하여 입도 분석을 수행한 결과를 나타내었음.

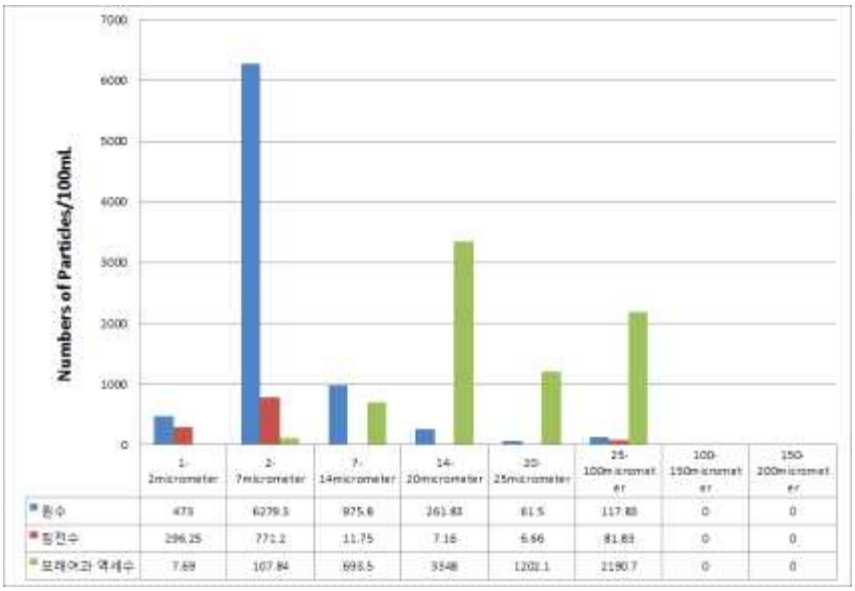
▌ 동일한 원수를 사용한 관계로 원수에서는 2~7 ㎛크기의 입자가 가장 많이 측정된 것을 알 수 있었으며, 막 여과공정 역세척수의 경우에는 7~20 ㎛ 크기의 입자가 지배적으로 많은 데에 반해, 모래 여과 역세척수의 경우에는 14㎛ 이상의 입자가 가장 많은 것으로 관측되었음

- 이는 여과 주기가 긴 모래 여과에서 여재에 쌓인 플록이 성장하는 시간 상대적으로 길기 때문에 막 여과 역세척수에 비해 입자가 큰 오염물이 측정된 것으로 판단됨

■ 선행연구에서 2~5 ㎛ 크기의 입자가 더 작은 입자보다 침전이 잘 안되는 것으로 제안된 사례가 있으며, 본 연구에서도 S_정수장 침전수에 상대적으로 2~7㎛ 범위의 입자가 지배적인 것이 관측되었음



▌그림 2.493 G 정수장의 입도분석 결과(막여과 공정)▐



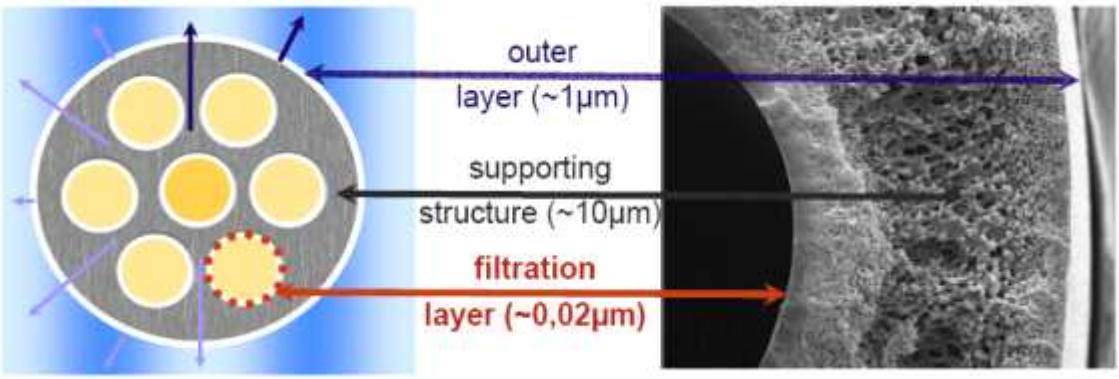
▌그림 2.494 S 정수장의 입도분석 결과(모래여과 공정)▐

(2) 막 역세배출수 처리공정 파일럿 설계 및 제작

▌ 침전성능이 불량한 막여과 배출수의 특성상 고액분리를 위해 MultiBore형 멤브레인을 채택하여 막여과 배출수 처리를 위한 파일럿 설계 보완 및 실증시설 내 적용하였음

▌MultiBore형 막의 특징

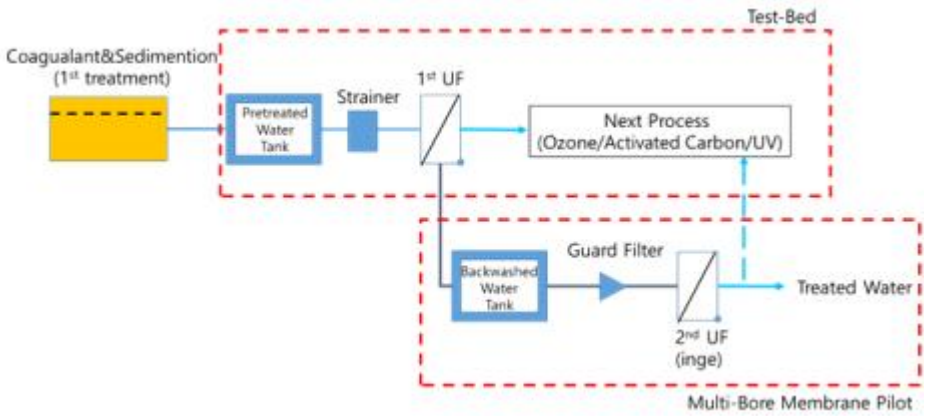
- 방식 : 가압식 내압막
- 재질 : modified Polyethersulfon (친수성)
- Pore size : 0.02 um (MWCO 100kD)
- 내화학성 우수 (pH range 1-13), chlorine tolerant 200,000ppm



▌그림 2.495 Multibore 내압막▐

▌파일럿 개요

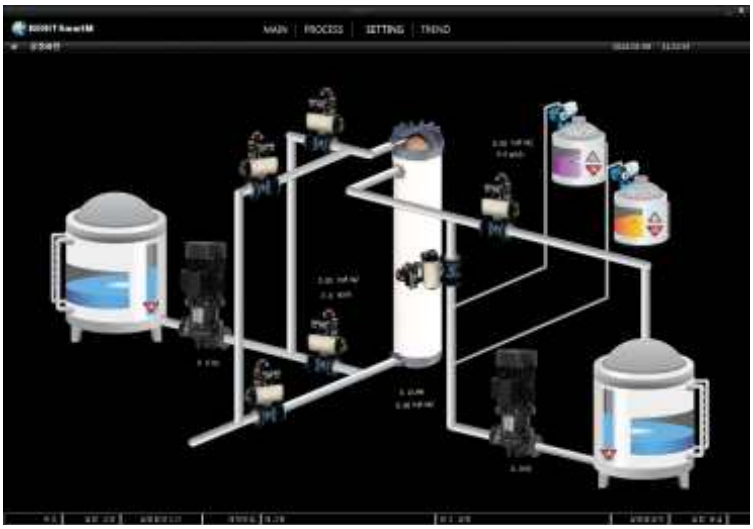
- Capacity : 50 m^3/d
- Membrane area : 40 m^2 (dizzer XL 1.5 MB 40)
- Net Flux : 60 LMH



▌그림 2.496 2단 막여과 계획▐

▌배출수 파일럿에 적용된 막은 본 설비에 적용된 막과 동일한 UF grade의 멤브레인이므로 2단 막여과를 통한 회수율 증대 방안을 고려해 보았음

▌ 파일럿은 수직형 정수처리 실증시설 지하층에 위치하고 있으며, 본설비에 적용된 막여과 공정의 실제 역세배출수를 탱크에 모아 처리할 수 있도록 구성하였음



▌그림 2.497 막배출수 처리 파일럿 HMI 화면▐

▌그림 2.498 막배출수 처리 파일럿 현장 설치 사진▐

(3) 막 역세배출수 처리공정 파일럿 시운전

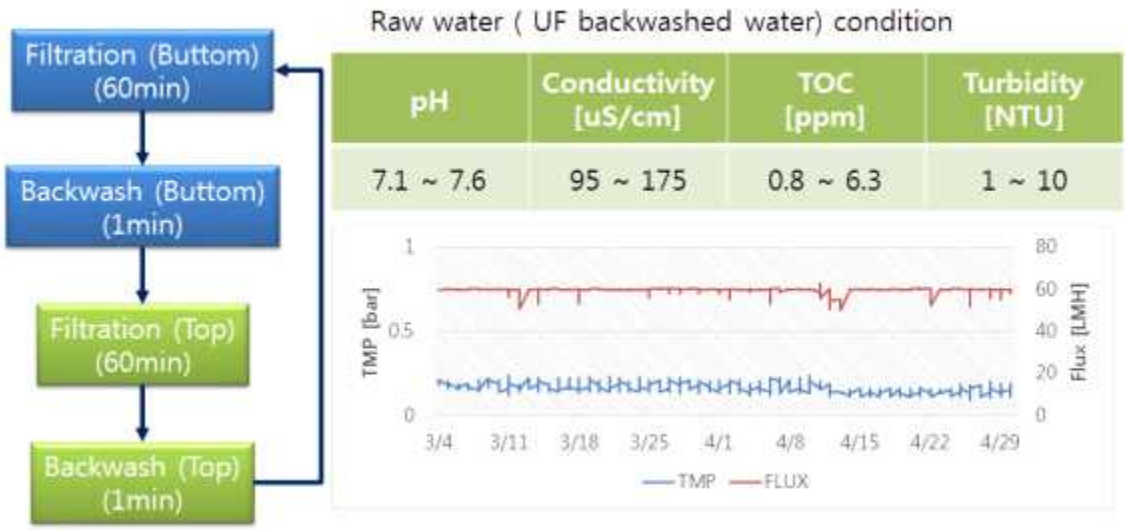
▌막역세척수 배출수 파일럿은 수직형 정수처리 실증시설에서 배출되는 실제 막여과 배출수를 원수로 활용하여 테스트를 진행하였음

▌본 설비에서 원수로 침전수를 사용할 때, 유입되는 막역세 배출수의 수질은 탁도기준으로 10NTU 미만으로 평균 약 3NTU정도되는 매우 양호한 수질을 보임.

▌공정로직은 적용된 막의 특성상 모듈의 상부로 Feed를 유입시켜 여과하는 Top 공정과 모듈의 하부로 Feed를 유입시켜 여과하는 Bottom 공정이 반복해서 진행되는 방식이고, 각 공정당 여과시간은 1시간, 역세시간은 1분으로 설정하였음.

▌Feed의 수질이 매우 양호하여 차압의 상승이 거의 없어 CEB 약품세정은 생략하였음.

▌시운전 결과 해당 Feed 조건에서 Flux 60LMH 운전은 안정적으로 진행할 수 있었고, TMP는 약 0.3bar 수준에서 안정적으로 운전되었음



▌그림 2.499 막역세척수 처리공정 파일럿 시운전 결과▐

(4) 막 역세배출수 처리공정 파일럿 운전 평가 결과

▌막여과 배출수 파일럿의 유입 전단에 멤브레인을 보호하기 위한 가드필터를 설치하

였으나, Feed로 활용하는 공정의 특성상 수중에 포함된 탁질의 입도가 크게 분포하기 때문에 가드필터가 쉽게 막히는 문제가 발생하였음

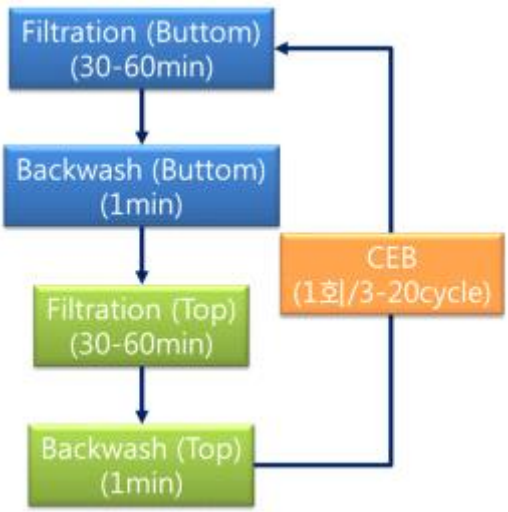
▌가드필터를 제거하고 운전하기에는 입도가 큰 탁질들이 맴브레인의 기공을 막을 확률이 커지고 내압막의 특성상 장기적으로는 유입구의 폐색까지 유발할 수 있으므로, 가드필터를 dual로 설치하여 수동으로 세척하여 사용하였음.

▌수직형 정수처리 실증시설 본 설비에서 Feed를 침전수로 사용할 때 막여과 배출수의 평균 탁도는 약 1~10 NTU 이내로 설치된 가드필터가 약 1~2일 정도는 사용이 가능하였으나, 본설비의 Feed를 원수로 변경한 후 막역세 배출수의 탁도는 약 60~100NTU 정도로 배출되었으며, 우천시에는 180NTU이상으로 올라가는 경우도 있어 가드필터가 1~2시간도 사용이 불가능하였음

▌이에 파일럿의 연속적인 운전평가를 위해 오토스트레이너를 설치하여 연속평가를 진행하고자 하였음

▌그림 2.500 막역세척수 처리공정 파일럿 전처리 장치 보완▐

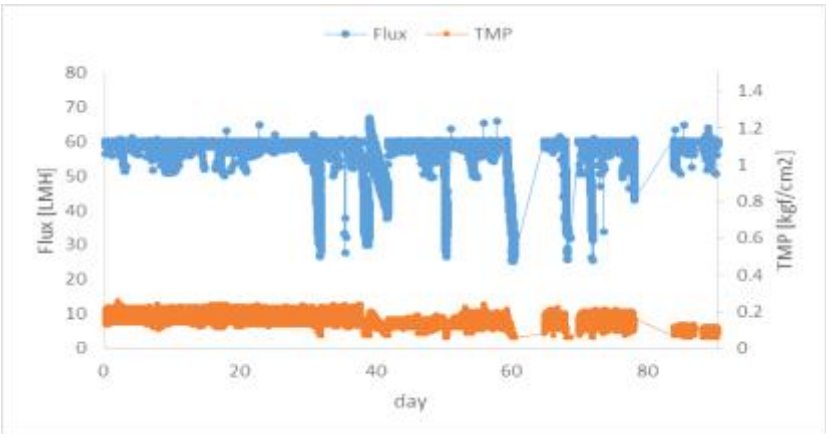
▌막역세척수 처리 공정 파일럿은 본설비의 Feed 조건에 따라 침전수와 원수 두가지 조건으로 평가를 진행하였고, 앞서 언급된 이유로 보완된 전처리장치인 오토스트레이너를 추가하여 CEB 주기를 늘림으로써 회수율 증대방안을 모색하였음.



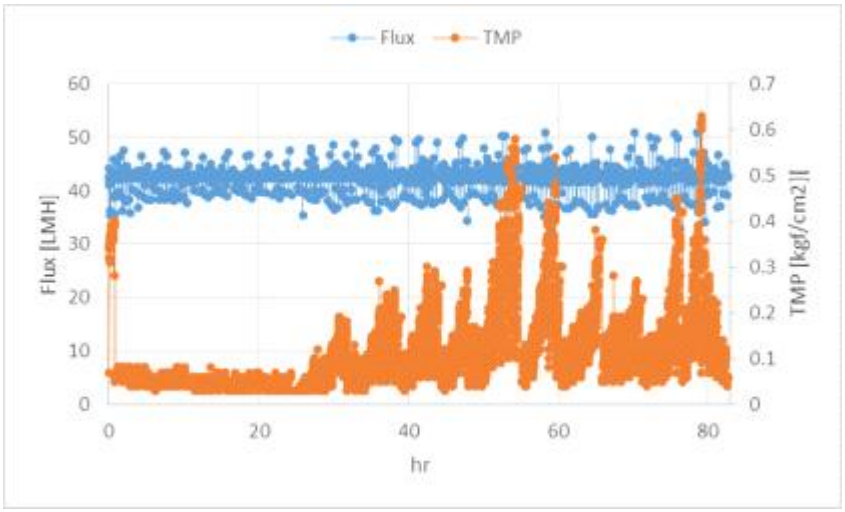
▌그림 2.501 막역세척수 처리공정 파일럿 운전로직▐

▌표 2.278 막역세척수 처리공정 파일럿 운전조건▐

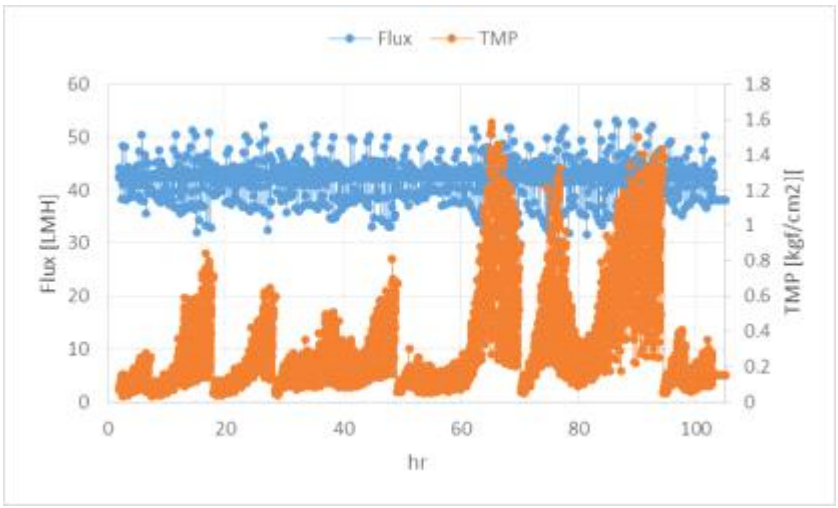
구분		배출수 탁도	운전조건		회수율
①	침전수 운전 (여과 60min/역세 0.5min)	0-10 NTU	Flux	60 LMH	97%
			TMP	0.3 미만 kgf/cm2	
			CEB	없음	
②	원수 운전 (여과 30min/역세 1min)	60-120 NTU [우천시 150NTU 이상]	Flux	40 LMH	80%
			TMP	0.1-0.7 kgf/cm2	
			CEB	1회/3cycle	
③	원수 + 전처리 추가 (여과 30min/역세 1min)	60-120 NTU [우천시 150NTU 이상	Flux	40 LMH	87%
			TMP	0.1-1.2 kgf/cm2	
			CEB	1회/20cycle	



▌그림 2.502 막역세척수 처리공정 파일럿 침전수 운전결과▐



▌그림 2.503 막역세척수 처리공정 파일럿 원수 운전결과▐



▌그림 2.504 막역세척수 처리공정 파일럿 전처리 추가 후 운전결과▐

라. 기존 광역상수도와 연계한 분산형 용수공급시스템 구축

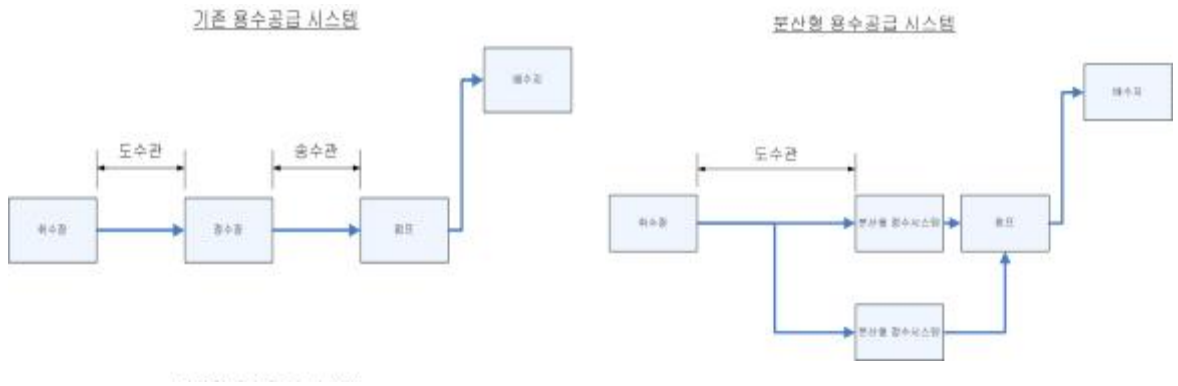
(1) 도/송/배/급수시스템 진단 및 평가

(가) 급/배수 시스템 진단 및 평가의 특성

▌시스템의 진단 및 평가는 분산형 정수시스템을 기존 관망 시스템과 함께 활용할 경우에 중요한 척도가 됨. 특히 무단수와 유수율 제고 및 깨끗한 수질 확보를 위해서는 개별관로의 안정성을 확보해야 함.

▌분산형 정수시스템에서 정수된 물의 안정적인 공급과 수질 보존을 위해서는 관 파괴, 관 누수, 관내 스케일 축적 등을 예방해야 하며 개별 관로의 진단과 평가를 통해서 유지보수가 필수적임.

- 분산형 정수시스템에 정수된 용수의 공급을 위해서는 기존 배수/급수 관망을 활용해야 하며 이때 기존 배수/급수 관망이 노후화나 구조적/수리학적 문제점을 가지고 있으면 실질적인 분산형 정수시스템의 효과를 볼 수 없게 될 수 있음. 즉, 관망의 노후화가 진행될 경우 누수량의 증가를 가져오고 관 내벽에 존재하는 미생물에 의해서 관내 수질악화 발생 가능성이 커지게 된다. 또한 충분한 양의 원수가 확보되어 있고 분산형 시스템에서 충분한 용수가 생산되어도 최종적으로 소비자 까지 수량과 수질을 유지하면서 공급하기가 어려워짐. 배수관망에서 관파괴가 발생할 경우에는 이러한 문제가 직접적으로 나타나서 소비자 불편 및 상수관망의 신뢰성 저하를 가져옴.
- 도/송수 시스템의 경우 분산형 정수시스템이 적용되게 되면 취수장의 원수를 직접 분산형 정수시스템에 공급하게 되기 때문에 송수관로가 없어지고 기존의 도/송수관이 도수관으로 통합되게 되며 이에 따라 도수관로만의 시스템 진단 및 평가가 됨. 그러나, 기본적으로 도수 시스템과 송수 시스템은 운반되는 물의 수질 차이만 있을 뿐 수지형 관망이며 대구경의 관으로 이루어져 있기 때문에 같은 척도로 평가를 하면 될 것임. 하지만 도/송수 시스템과 배수 및 급수 관망은 기본적인 특성이 다르기 때문에 별도의 지표로 평가하는 것이 타당하다 판단됨.



▌그림 2.505 기존 시스템과 분산형 용수공급 시스템의 도수/송수 시스템 비교 ▐

▌표 2.279 도수/송수 시스템과 배수/급수 시스템의 비교 ▐

항목	도수/송수 시스템	배수/급수 시스템
관망 구조	수지형 (Branch System)	폐합형 (Loop System)
관경	600mm 이상	20mm - 300mm
관종	강관 위주	주철관/강관/PE/PVC 관
유지보수	■ 도시외 지역에 주로 위치 ■ 구조적으로 단순 ■ 대구경관으로 위치파악이 용이	■ 도시 전 지역에 분포 ■ 구조적으로 복잡 ■ 정확한 위치 파악이 쉽지 않음
파괴시 영향	■ 수지형이며 대량의 용수를 송수하기 때문에 파괴시 피해가 큼	■ 폐합형이어서 일부 관의 파괴시 계속적인 용수 공급가능 ■ 구경에 따라 다르나 관파괴에 따른 피해가 제한적이라고 할 수 있음
관리주체	수자원 공사	지방 자치단체 (상수도 사업소)

▌표 2.280 폐합형 관망과 수지형 관망의 비교 ▐

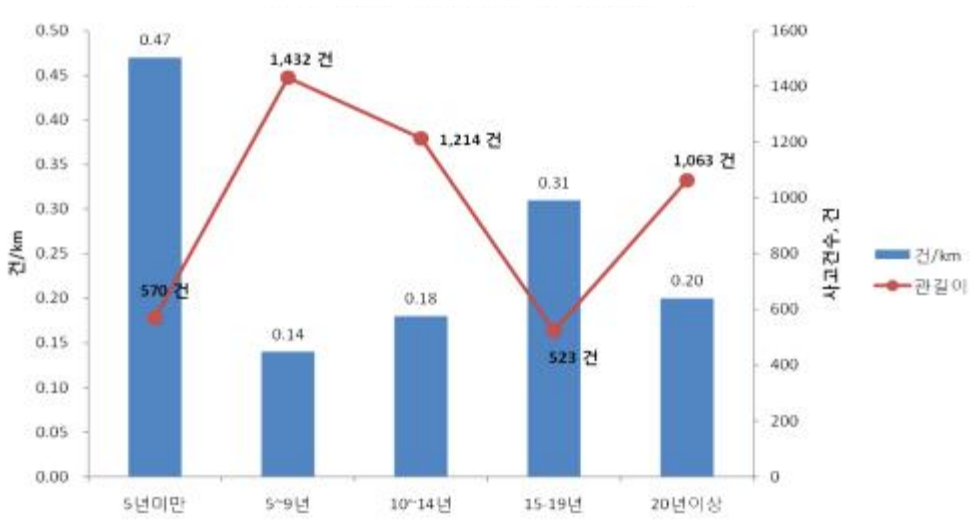
수지형 관망	폐합형 관망
관망내에 Loop가 전혀 없음 각 관내에 유량을 알 수 있음 흐름의 방향이 바뀌지 않음	최소한 1개의 Loop가 존재 각 관내 유량을 알 수 없음 흐름의 방향이 바뀜

(나) 급/배수 시스템 진단 및 평가 방안

▌ 급/배수 시스템의 현황을 파악하기 위한 자료중에서 대표적인 자료는 환경부에서 발행하는 상수도 통계이나 관경별 자료등의 미비로 구체적인 현황 파악이 어려움. 이러한 이유로 서울시 자료(서울시 상수도사업본부, 2007)를 기준으로 하여 국내의 배수/급수 시스템의 현황을 분석하였음. 상수관망의 사고 및 누수는 는 관경이 작은 급/배수 관망에서 대부분이 발생하는 것으로 조사되었으며 700mm이상의 도/송수관에 비해 km당 50배 이상 사고가 더 발생하는 것으로 통계 자료를 통해 확인하였음. 이를 통해 도/송수 시스템 보다 급/배수 시스템에 관파괴에 따른 단수피해 최소화를 이룰 수 있는 PI 추가 당위성에 대한 뒷받침을 가짐.

▌표 2.281 관경별 사고현황 ▐

관경	총길이(km)	단위길이당 사고건수 (건/km)
50mm 이하	4,556	24.0
75-100mm	8,738	2.28
200-300mm		
400-600mm		
700mm 이상	852	0.53



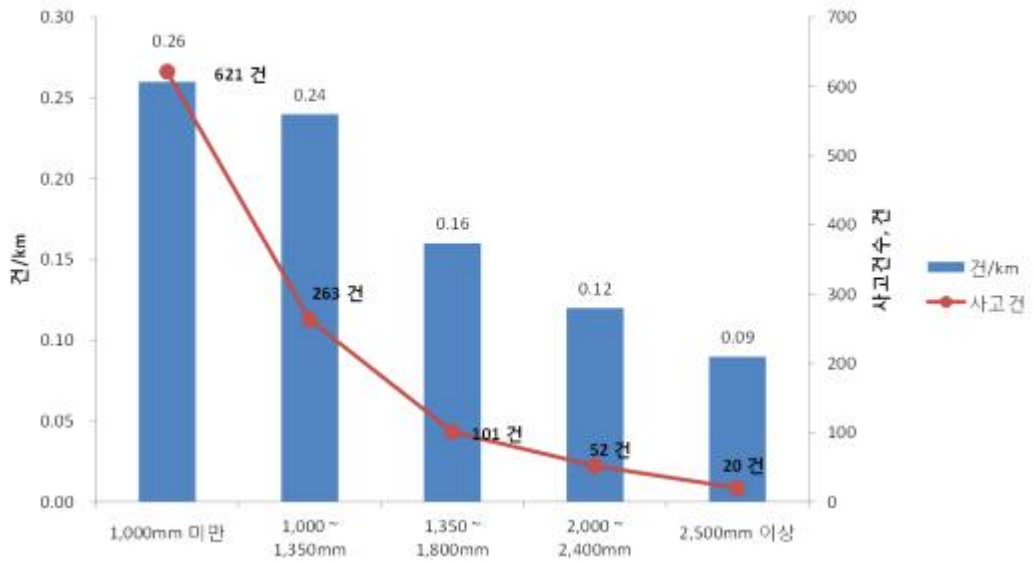
▌그림 2.506 상수관망 경과년수별 사고건수 ▐

▌표 2.282 관경별 누수현황 ▐

관경	2002	2003	2004	2005	2006	Total	Ratio
50mm 이하	28,372	24,696	23,108	22,771	10,583	109,530	84.3%
75-100mm	4,026	3,414	3,667	3,395	1,186	15,688	12.1%
200-300mm	840	697	821	879	309	3546	2.7%
400-600mm	148	131	184	146	64	673	0.5%
700mm 이상	89	102	99	104	60	454	0.3%

▌표 2.283 누수원인 ▐

관경	2002	2003	2004	2005	2006	Total	Ratio
관 노후	23,200	20,496	19,861	19,890	12,202	95,649	73.2%
충격진동	7,973	6,522	6,443	6,219	5,413	32,570	24.9%
시공자재 불량 /부등침하 등	228	491	471	562	762	2,514	1.9%



▌그림 2.507 상수관망 관경별 사고건수 ▐

(다) 급/배수 시스템의 PI

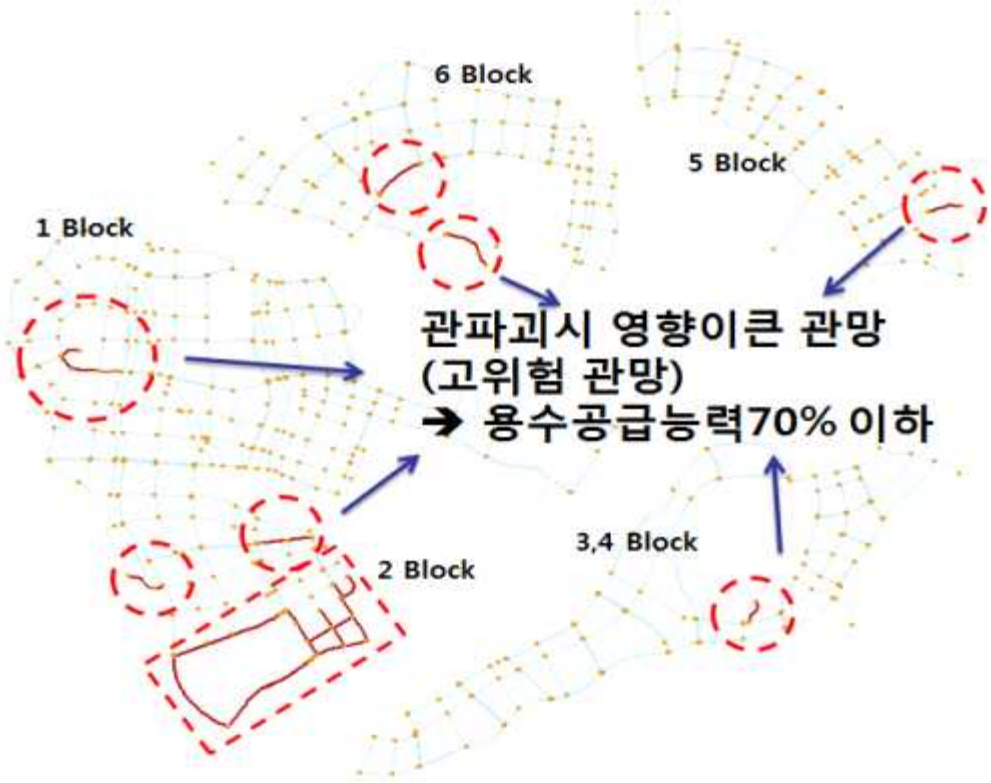
▌ 배수 및 급수 시스템에서의 PI는 IWA, 한국수자원공사 및 국내 연구결과(전환돈 등)를 이용하여 산정하였음. 특히, Segment 격리를 위한 평균 밸브, 밸브고장으로 인한 영향 등 관 파괴가 발생하였을 경우 단수피해를 최소화하기 위한 지수를 도입하였음.

▌표 2.284 도/송/배/급수 시스템 PI ▐

대분류	항목	선정이유
Personnel Indicators (IWA)	■Pe2- Number of full time equivalent employees per unit volume of water produced. ■Pe8- Planning & construction personnel (%) ■Pe9- Operations & maintenance personnel (%) 외 5개	■충분한 수의 관리인원 확보 유무 ■상수관망을 직접적으로 운영하는 운영주체의 능력 평가 등
Physical Indicators (IWA)	■Ph3- Treated water storage capacity (days) ■Ph4- Pumping utilisation (%) ■Ph8- Valve density (No./km) 외 3개	■충분한 펌프 용량 확보 ■밸브의 적절한 배치와 개수 ■자동화 시스템에 의한 즉각적인 현황 파악 및 대처 가능성등
Operational Indicators (IWA)	■Op1- Pumping inspection(-/year) ■Op2- Storage tank cleaning(-/year) 외 20개	■펌프 및 관망의 실사 ■누수 관리 및 보수공사 ■수질오염방지를 위한 배수지/탱크 청소
Quality of Service Indicators (IWA)	■QS10- Pressure of supply adequacy (%) ■QS16- Population experiencing restrictions to water service (%)	■용수사용성 확보를 위한 적정 압력 ■단수 피해 평가
수리적 진단 척도 (한국수자원공사)	■압력 변동 ■유속	■압력변동은은 관 파괴의 주된 원인 ■누수량 증가
수질적 진단 척도 (한국수자원공사)	■미생물 ■부식지수	■수질 항목에 대한 적정 범위 유지
구조적 진단 척도 (한국수자원공사)	■토양 부식성 ■관두께	■토양의 부식성은 관 두께 감소의 핵심적 역할
관파괴에 영향 척도 (전환돈 등)	■관 당 평균 밸브 개수 ■Segment 격리를 위한 평균 밸브 수 ■밸브고장으로 인한 영향	■관 파괴가 발생하였을 경우 단수피해를 최소화 하기 위한 지수

(2) 블록 간 연계운영 검토 모델링 결과

▌ 다음 표와 그림은 시나리오별 용수공급능력 평가결과를 나타내고 있으며, 블록 연계 전 상수관 파괴시 용수공급능력이 70% 이하가 되는 상수관망은 블록별로 차이가 있으나 배수지 연결관 및 배수지 인근 주요 상수관이 중요도가 높은 관으로 분석됨.



▌그림 2.508 관 파괴시 용수공급능력 70% 이하인 상수관 ▐

▌ 다음 표는 중요 상수관 단절시 블록연계를 통하여 공급가능한 일일 용수량을 산출한 결과를 타나내고 있으며, 표에서 보는 바와 같이 해당 블록을 중심으로 하여 좌우의 1개 혹은 2개 블록을 연계하는 경우 위험관망 개수가 일부 블록을 제외하고는 대체로 감소하는 것으로 나타났음.

▌ 3,4 블록의 경우 인근 2개 블록을 연계하는 경우에도 위험관망(중요관망) 감소는 없는 것으로 나타났음. 이러한 결과는 3, 4블록 중요관망 단절시 블록연계만으로는 비상시 충분한 용수 공급이 어려운 것을 의미하며, 수직형 정수처리시설과 같은 분산형 용수 공급시스템을 이용하여 위험도를 감소시켜야 함을 의미하고 있음.

▌표 2.285 블록연계 전후의 위험관망 개수 변화 분석결과 ▐

블록명	위험관망(개수)				위험관망 감 소 율 (최적조건시)
	연계없음	블록연계시(블록)			
		1개블록 연계시	1개블록 연계시	2개블록 연계시	
1	3	1 (6)	3 (2)	1 (6,2)	67%
2	21	23 (1)	106 (3)	6 (1,3)	71%
3,4	1	1 (2)	1 (5)	1 (2,5)	0%
5	1	1 (3)	0 (6)	0 (3,6)	100%
6	9	2 (5)	9 (1)	2 (5,1)	578%

조건) 블록당 배수지 1개 설치, 수직형 정수처리시설 미설치시

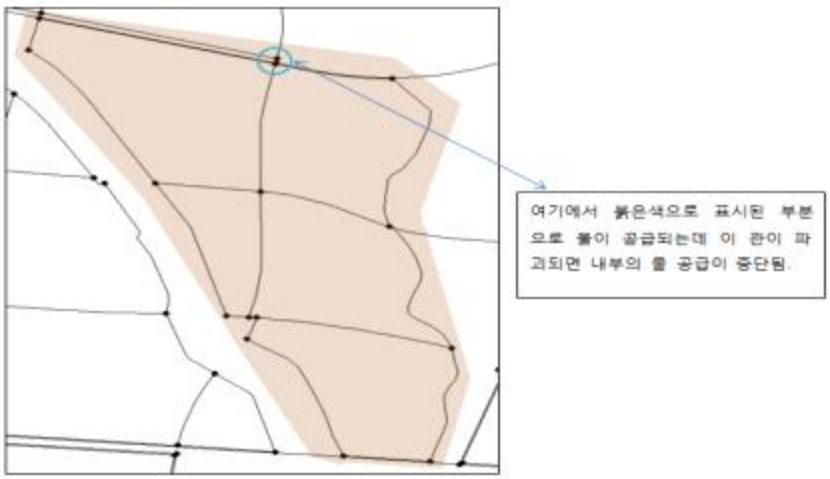
▌ 다음 표는 주요 상수관망 단절시 블록별 연계에 따른 일일 용수공급능력을 나타내고 있으며, 비상시 25%에서 최대 95% 까지 용수 공급이 가능한 것으로 분석되었음.

▌ 블록간의 연계를 수행하는 경우에도 5구역을 제외하고는 최소 용수공급기준 달성이 어려운 것으로 나타났는데, 이는 해당블록에서 사용하는 수요량이 많거나 지형이나 압력이 낮은 경우(배수지의 높이가 낮은 경우) 에는 블록간 연계 효과가 미미한 것으로 분석됨. 반대로, 연계된 배수지의 위치가 고지대 이거나 연계된 블록내의 물 공급량이 적은 경우에는 간선파괴나 단수 시 영향이 큰 것으로 분석됨.

▌표 2.286 비상시 블록연계에 따른 용수공급 가능량 비교 ▐

블록	배수지 연결관	용수공급가능 비율, %				분석결과
		연계없음	블록연계(블록)			최소용수공급 기준 달성여부 (기준 : 70%이상)
			1개블록 연계시	1개블록 연계시	2개블록 연계시	
1	LK1_477	0	47 (6)	18 (2)	54 (6,2)	No
2	LK2_785	0	43 (1)	34 (3)	63 (1,3)	No
3,4	LK3_669	0	26 (2)	35 (5)	51 (2,5)	No
5	LK5_263	0	64 (3)	79 (6)	97 (3,6)	Yes
6	LK6_19	0	24 (5)	43 (1)	52 (5,1)	No

▌ 이러한 결과는 H도시 상수관망 특성에 기인하는데, H시 상수관망의 형태는 주변부로 간선관이 둘러져 있는 “링(Ring)” 형태로 되어 있어 아래의 그림과 같이 간선관에 연결된 상수관이 파괴되었을 경우에는 블록간 연계효과가 미미한 것으로 분석됨.



▌그림 2.509 H도시 상수관망과 이에 따른 물 공급 특성 ▐

▌ 모델링 결과를 요약하면 다음 표와 같이, 배수지 및 주요 상수관망 기능 손실시 1개 블록만으로는 비상시 충분한 용수공급이 곤란하며, 최소 2개 이상의 블록 연계 혹은 분산형 용수공급 시스템 도입이 필요한 것으로 분석됨

▌표 2.287 비상시 블록연계 모델링 결과 요약 ▐

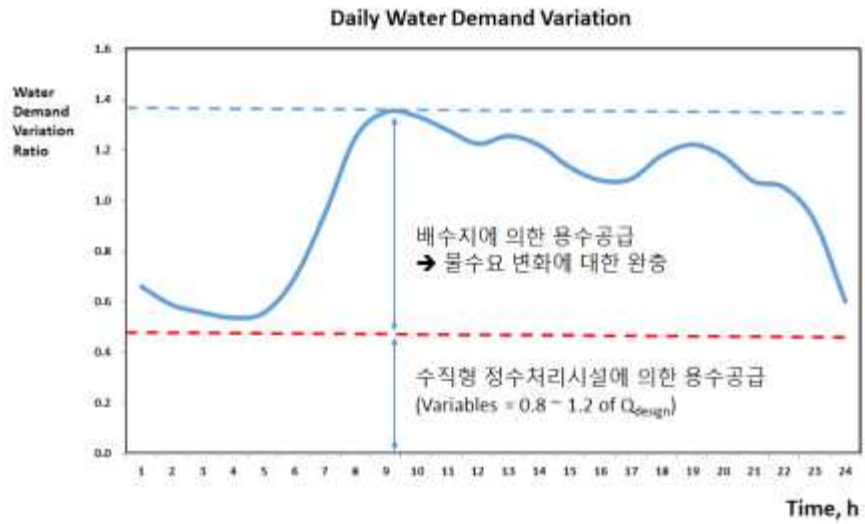
○ 블록 연계시 1개 블록 연계만으로는 비상시 충분한 용수공급이 어려운 경우 발생 할 수 있음 ○ 연결관로 건설공사비 등 경제성을 고려하여 최소 2개 이상의 블록연계 필요 ○ 2개 이상의 블록 연계 시에도 물수요 및 상수관망의 특성에 따라 비상시 70% 이상의 물 공급 어려운 경우 발생 할 수 있음 ○ 비상시 안정적인 용수공급을 위하여 블록당 2개 이상의 배수지 혹은 분산형 (수직형) 용수공급처리시설 계획 필요

(3) 분산형 용수공급시스템 맞춤형 급수방식 제안

▌ 수직형 정수처리시설에 의한 분산형 용수공급시스템의 단점을 보완하고 장점을 극대

화하기 위해서는 물수요 변화에 대한 완충능력이 우수한 배수지에 의한 용수공급시스템과 소규모로 고도 정수처리가 가능한 수직형 정수처리시설에 의한 용수공급시스템을 조합한 HWSS(Hybrid Water Supply System) 시스템을 도입하는 것이 유리함.

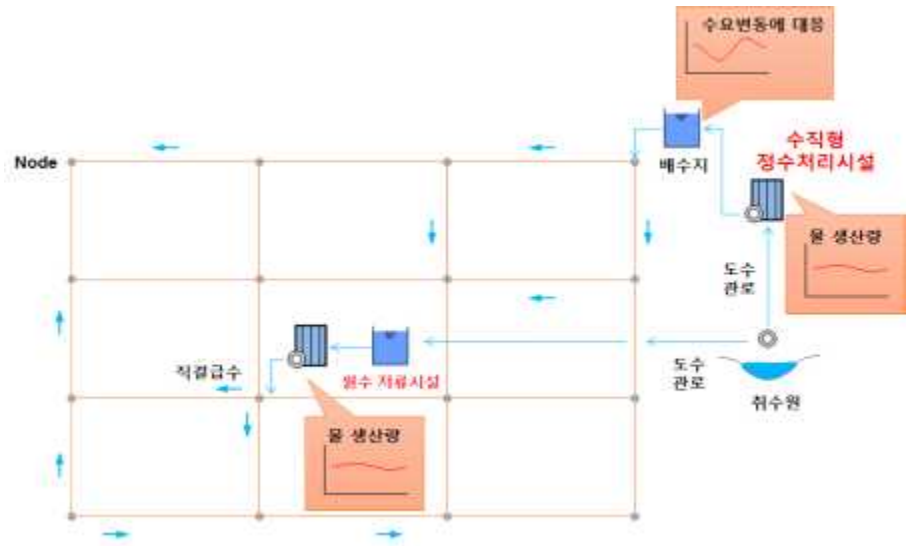
▌ 즉, 다음 그림과 같이 일일 물수요 변화는 평균 대비 0.5~1.4 정도로 크게 변화하는 경우가 많으며, 전통적인 용수공급 시스템에서는 물수요 변화를 완충하기 위하여 배수지 체류시간을 약 10~20시간 이상 확보하여 대응함. HWSS는 다음 그림과 같이 일일 물수요 중 수요변화의 하한치에 해당하는 0.4~0.5Q 정도를 수직형 정수처리시설에 의하여 일정하고 용수를 공급하고, 배수지에 의하여 변화하는 물 수요에 대한 수리학적 완충을 하는 용수공급 시스템임.



▌그림 2.510 일일 물수요 변화를 고려한 용수공급 계획 ▐

▌ HWSS를 이용하여 신도시 용수공급시스템 뿐만 아니라, 기 구축된 기존 상수관망에도 적용가능하다는 장점이 있음. 다음 그림은 HWSS의 원리에 설명하고 있는 그림으로써 배수지에 의한 용수공급과 도시에 직접급수로 용수를 공급하는 수직형 정수처리시설에 대하여 설명하고 있음.

▌ 그림에서 배수지 전단에 위치하고 있는 수직형 정수처리시설 대신 기존 정수장에서 생산한 수돗물을 공급하는 전통적인 용수공급방식으로도 구성 할 수 있기 때문에, 용수공급 운영조건에 따라 다양한 조합으로 시스템을 계획 할 수 있음.



▌그림 2.511 HWSS 개념도 ▐

▌HWSS는 도입된 사례가 없는 새로운 개념으로써, 이를 성공적으로 적용하기 위해서는 다음과 같은 사항을 검토하고 설계시 반영하여야 할 것임.

- 배수지 및 수직형 정수처리시설의 적정 위치 선정
- 수직형 정수처리시설의 용량 검토
- 수직형 정수처리시설에 의한 직접급수에 따른 인근 상수관망 관경 조절
- 수직형 정수처리시설 운영에 필요한 펌핑(pumping) 에너지 및 에너지 절감방안 분석
- 수직형 정수처리시설에서의 염소 소독에 따른 염소주입량 절감방안 검토
- 수도사고 등에 따른 용수공급능력 저하시 블록간 연계 및 용수공급방안 검토

(4) 수직형 정수처리시설 최적 설치 위치 결정방법론

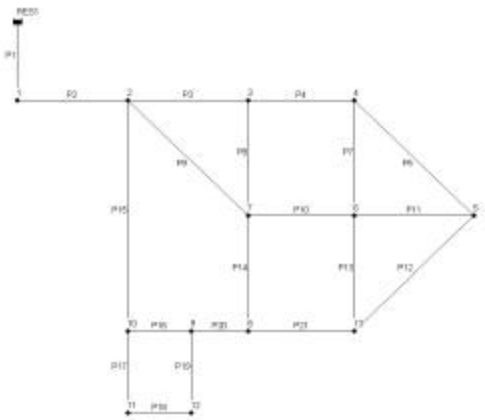
(가) 가상 관망 적용

▌현재까지 국내·외 용수공급시스템을 살펴본 결과 완전한 형태의 분산형 용수공급시스템을 채택하여 운영하고 있는 도시는 없기에 분산형 정수처리시설이 설치된 상수관망을 대상으로 모의를 수행하는데 어려움이 있음.

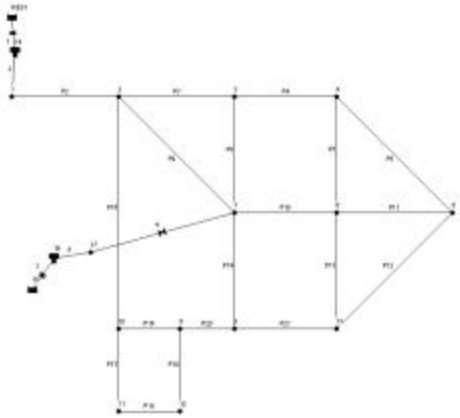
▌따라서 일반적 도시 내 상수관망도의 특징을 가지고 있으며 간단한 구조 구성된 가상관망에 대해서 적용성을 평가 해 보기로 하였음. 여기 사용된 관망은 Ozger(2003)가 Semi-PDA 모형의 적용성 평가를 위해 사용했던 관망을 분산형 정수처리시설 최적 설

치 위치 제안을 위해 변형한 것으로 1개의 저수지와 13개의 절점, 그리고 21개의 관으로 구성되어 있음.

▌아래 그림은 수직형 정수처리시시설이 설치되기 전 가상 관망과 임의 절점에 정수처리시설이 설치 된 가상 관망을 나타낸 것임. 가상 관망의 절점 및 관거 제원은 다음 표와 같음.



▌그림 2.512 가상관망 ▐



▌그림 2.513 수직형 정수처리시설이 설치된 가상 관망 ▐

▌표 2.288 가상관망 절점수요량 ▐

ID	Elevation (m)	Demand (CMH)	Type
1	27.43	0.0	Junction
2	33.53	212.4	Junction
3	28.96	212.4	Junction
4	32.00	640.8	Junction
5	30.48	212.4	Junction
6	31.39	684.0	Junction
7	29.56	640.8	Junction
8	31.39	327.6	Junction
9	32.61	0.0	Junction
10	34.14	0.0	Junction
11	35.05	108.0	Junction
12	36.58	108.0	Junction
13	33.53	0.0	Junction
20	60.96	-	Reservoir

▌표 2.289 가상관망 관경 및 기타제원 ▐

ID	Start Node	End Node	Length (m)	Diameter(mm)	C (H-W)
P1	20	1	609.6	762	130
P2	1	2	243.8	762	128
P3	2	3	1524.0	609	126
P4	3	4	1127.8	609	124
P5	4	5	1188.7	406	122
P7	4	6	762.0	254	118
P8	3	7	944.9	254	116
P9	2	7	1676.4	381	114
P10	7	6	883.9	305	112
P11	6	5	883.9	305	110
P12	13	5	1371.6	381	108
P13	6	13	762.0	254	106
P14	7	8	822.9	254	104
P15	2	10	944.9	305	102
P16	10	9	579	305	100
P17	10	11	487.7	203	98
P18	11	12	457.2	152	96
P19	9	12	502.9	203	94
P20	9	8	883.9	203	92
P21	8	13	944.9	305	90

(나) 가상 관망 결과

▌가상 관망에 분산형 정수처리시설이 설치될 위치는 수리해석 결과 13번 절점으로 다른 절점에 설치했을 경우에 비해 직결급수 방식에 따라 초기 가압에 의한 관 누수 및 파괴를 최소화 시킬 수 있도록 각 절점의 시간에 따라 변동하는 압력의 변화를 최소화 시킬 수 있었으며, 수질해석 결과로는 12번 절점에 분산형 정수처리시설을 설치했을 시 각 절점에 가장 짧은 Waterage로 각 절점에 수돗물을 공급할 수 있는 것으로 나타났음.

▌두 차원이 다른 해석 결과를 하나의 통합 결과로 도출하기 위해 다기준 의사결정법 중 하나인 거리척도법을 사용하여 대상 관망의 분산형 정수처리시설의 최적 설치 위치를 산정한 결과 12번 절점이 13번 절점과 12번 절점이 결합한 좌표 (1.00, 1.00)의 이상점(Utopian point)으로부터 최단 거리에 위치하고 있음을 확인할 수 있었음. 12번 절점은 수리적, 수질적 장점 둘 모두를 가지는 최적의 수직형 정수처리시설 설치 위치로 판단 할 수 있음.

▌수직형 정수처리시설을 설치하는데 있어 본 연구에서 제안한 연구 방법에 의해 최상의 결과를 제공할 수 있는 절점 주변에 해당 시설을 설치하는 것이 용수공급시스템 운영에 있어 바람직하나 여러 제약조건에 의해 차선의 선택을 해야 할 경우 결과를 상위 결과 내에서 의사결정을 진행할 필요가 있을 것으로 사료됨.

▌본 연구 결과에서 볼 수 있듯이 12번 절점의 좌표는 (0.96, 1.00)로 이상점과의 거리 0.04, 두 번째로 우수한 결과를 도출한 7번 절점은 이상점과의 거리가 0.14로 두 절점의 차이는 0.1에 불과함.

▌따라서, 본 연구에서 반영하지 못한 수리 및 수질해석 결과에 대한 비중 부분과 설치 비용 및 대상지역 토지이용 계획 등 다각도의 관점에 의해 분산형 정수처리시설의 설치 위치를 결정하는 것이 보다 현실적인 결정법이라 판단됨

▌표 2.290 가상관망의 수직형 정수처리시설 최적 설치 위치 결정 결과 ▐

Node ID	$\Delta \mathrm{Pressure}$ (m)	Waterage (hr)	Normalization of ΔP(m)	Normalization of Waterage(hr)	Distance from Utopian point	Rank
2	51.70	0.66	0.00	0.62	1.07	12
3	49.37	0.74	0.20	0.34	1.04	11
4	47.93	0.67	0.32	0.59	0.80	7
5	40.79	0.84	0.92	0.00	1.00	10
6	45.23	0.71	0.55	0.45	0.71	6
7	40.90	0.58	0.91	0.90	0.14	2
8	43.96	0.63	0.65	0.72	0.44	5
9	43.45	0.61	0.70	0.79	0.37	4
10	48.88	0.69	0.24	0.52	0.90	8
11	49.07	0.70	0.22	0.48	0.93	9
12	40.31	**0.55**	0.96	**1.00**	**0.04**	**1**
13	**39.84**	0.65	**1.00**	0.66	0.34	3

▌표 2.291 25% 결과를 기준으로 한 수직형 정수처리시설 설치 위치 제안 ▐

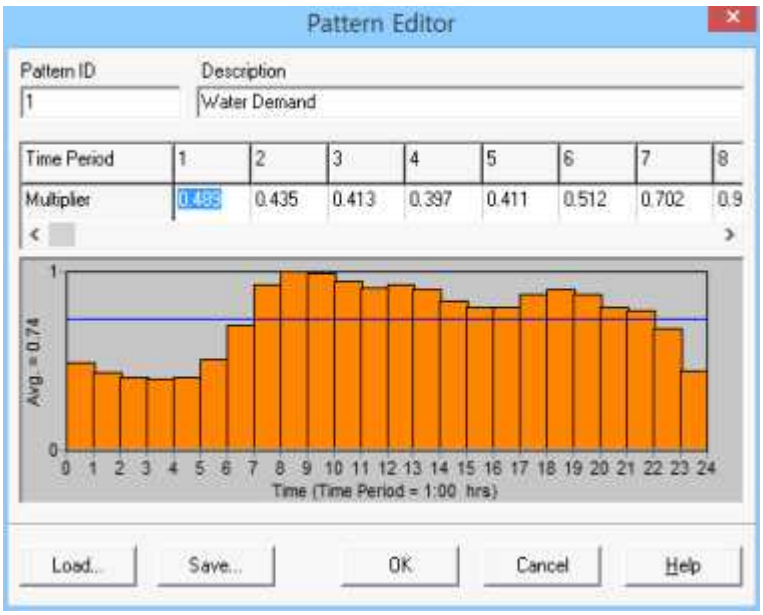
Grade	Node ID	The distances of each nodes	Scope(%)
1	12, 7	0.04, 0.14	0 ~ 25
2	13, 9, 8	0.34, 0.37, 0.44	25 ~ 50
3	6	0.71	50 ~ 75
4	4, 10, 11, 5, 3, 2	0.80, 0.90, 0.93, 1.00, 1.04, 1.07	75 ~ 100

(5) 기존 광역상수도와 연계한 분산형 용수공급시스템 구축

(가) 상수수요 예측모델 개발

① 물수요(Water Demand) 패턴 및 수리모델링 기간

▌ 물수요 패턴은 각각의 시나리오에 공통적으로 적용되는 조건으로써 물수요 패턴분석 자료는 2차년도 연구결과를 활용하였으며, EPANET에 적용한 패턴은 다음과 같음.



▌그림 2.514 물수요 패턴 적용화면 ▐

▌ 다음 표와 같이 물수요 패턴은 최대값을 1로 하였을 때의 비율을 산출하였으며, 최소값은 0.397로 시간대별 최대/최소 비율은 약 2.5배임. 모델링 기간은 120시간(5일)을 적용하였으며, 48시간부터 120시간까지의 결과를 이용하여 분석하였음. 이는 잔류염소 모델링을 위해서는 모델링 시작 후 초기 약 48시간 정도는 정상상태(Steady-State)에 도달하는 시간으로 고려하기 때문임.

▌ 일일 변화하는 물수요 패턴은 기준 일을 중심으로 요일별로 동일한 패턴으로 가정하였음.

▌표 2.292 25% 결과를 기준으로 한 수직형 정수처리시설 설치 위치 제안 ▐

Times	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Value	0.489	0.435	0.413	0.397	0.411	0.512	0.702	0.925	1.000	0.998	0.947	0.907
Times	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
Value	0.930	0.902	0.838	0.799	0.804	0.872	0.904	0.871	0.797	0.779	0.680	0.445

▌표 2.293 25% 모델링에 사용된 수리학적 조건 ▐

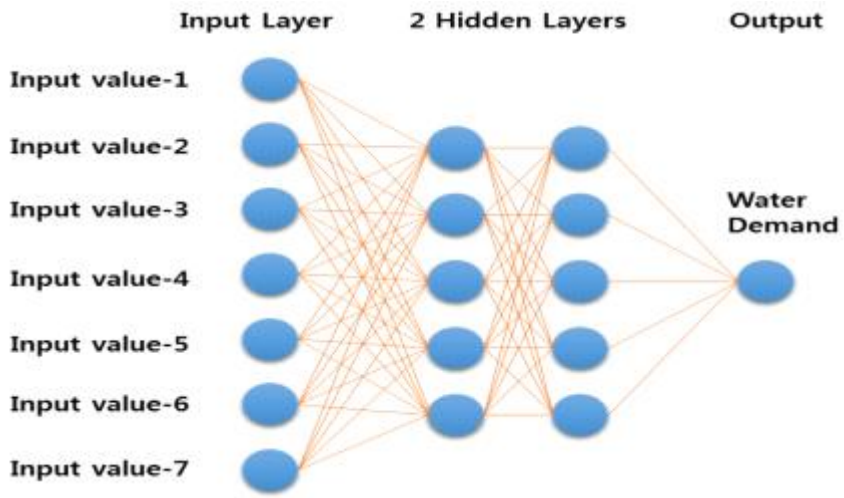
- Total duration	120 hr	- Quality time stamp	5 min
- Hydraulic time stamp	1 hr	- Report start time	48 hr

② 물수요(Water Demand) 예측

㉮ 일별 물수요 예측

▌ 2차년도 연구에서는 군집분석(Cluster Analysis)을 이용한 다변수 회귀분석을 수행하였으나, Peak 조건에서의 물수요 예측에 한계가 나타났음. 3차년도에서는 다변수 회귀분석의 한계를 보완하고자 인공신경망(Artificial Neural Network)에 의한 물수요 예측을 수행하였음. 적용한 인공신경망은 다음 그림에 나타낸 바와 같이 총 7개의 Input Layer와 5개의 Hidden Layer 2개를 적용하였으며, 결과 값으로는 일일 물수요량을 예측하였음.

▌ Input Layer는 요일, 일평균 기온, 일최저 기온, 일최대 기온, 일조시간, 평균풍속 및 과거 물수요량을 적용하였음. 대상지역인 H시의 경우 도시건설 단계이므로 유사한 규모의 경기도 U시의 배수지의 일일 배수지 유출량 자료를 대상으로 하여 모델링 작업을 수행하였음.



▌그림 2.515 물수요 예측을 위한 인공신경망 모델 구조 ▐

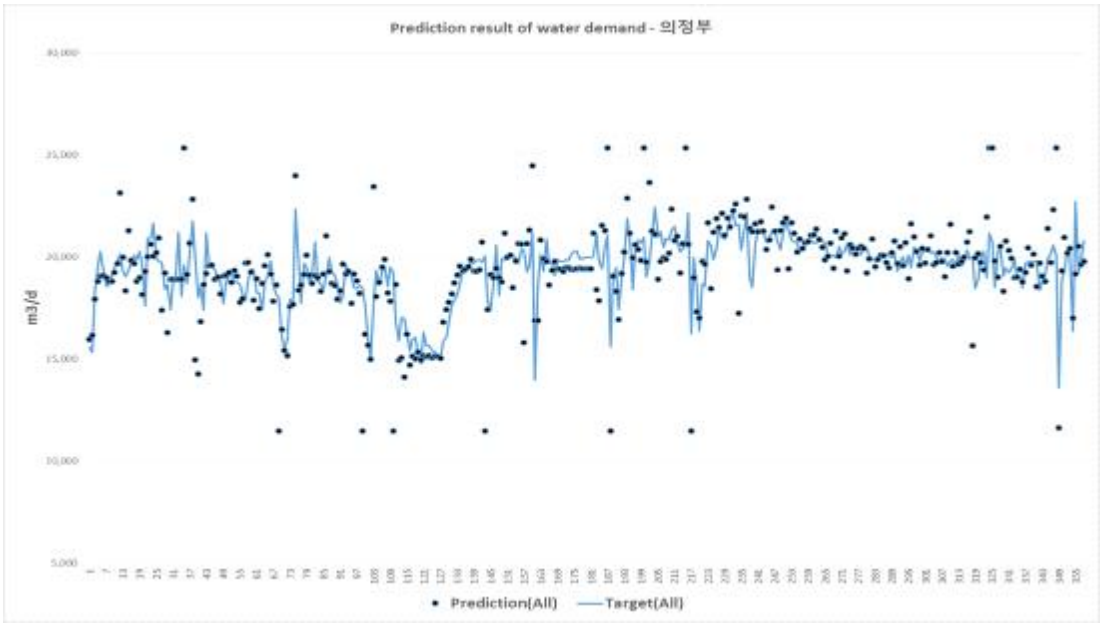
▌표 2.294 25% 일일 물수요 예측을 위한 인공신경망 모델 조건 및 결과 ▐

- Target city	U city
- Prediction method	Artificial Neural Network
	2 Hidden layers
	Number of hidden layer is 5
- Input layer	Daily average temperature
	Daily maximum temperature
	Daily minimum temperature
	Relavtive humidity
	7 Previous data
- Training method	Levenberg Marquardt Method
- Data filtering	95% confidence interval
- Training Data	358
- R^2	0.483 (predicted)

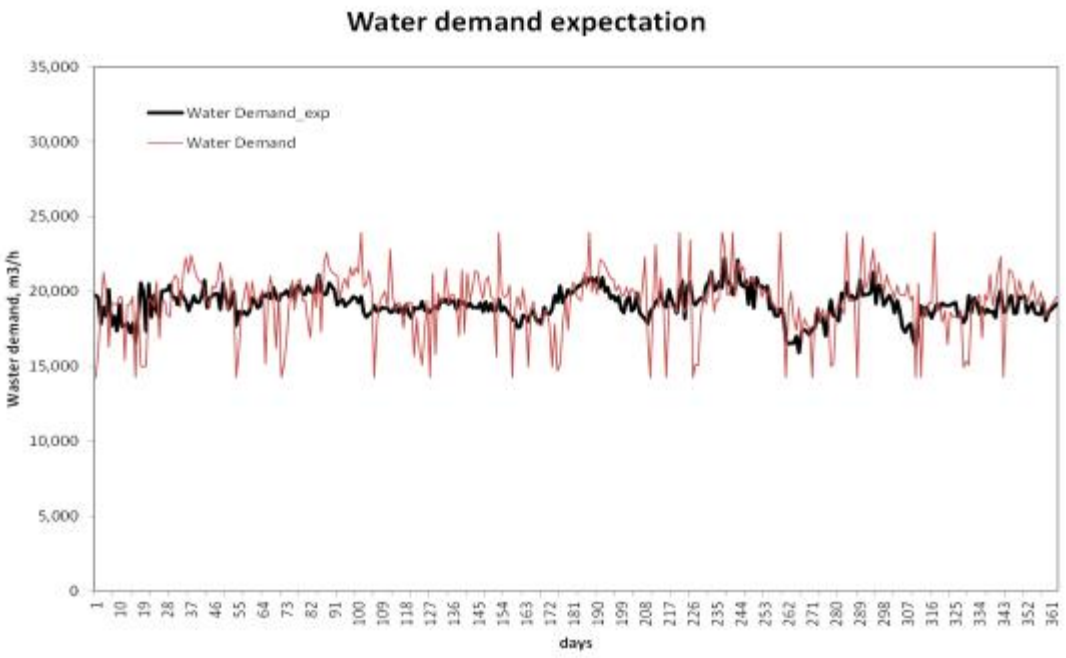
▌ 물수요 예측을 위한 인공신경망 모델은 Input Layer와 Hidden Layer의 수를 변경하면서 물수요 예측을 수행하였음. 물수요 예측결과 대체적으로 일일 물수요 패턴을 잘 모의하고 있는 것으로 나타났으나(R^0.483). 일부 시기에서의 최대 물 수요예측에는 한계를 보이고 있음.

▌ 이러한 결과는 모의대상지역의 일일 물수요 자료가 약 1년간의 자료 밖에 확보하지 못하였고, 이에 따른 학습 데이터 부족에 따른 예측 신뢰도 저하인 것으로 사료됨. 이는 인공신경망 모델의 특성상 미래에 유사한 패턴의 물수요가 발생하는 경우 과거 학습 자료의 양에 따라 예측 신뢰도 향상되기 때문임.

▌ 결론적으로 단기 물수요 예측에는 다변수 회귀분석에 의한 방법보다는, 인공신경망 모델에 의한 예측이 보다 우수한 결과를 얻을 수 있었으며, 향후에는 보다 많은 배수지 물수요 자료를 활용하여 학습수준을 향상시킨 인공신경망 모델을 적용할 필요가 있음.



3차년도 결과 (인공신경망 모델)



2차년도 결과 (다변수 회귀분석)

▌그림 2.516 UJ지역 일일 물수요 예측 결과 ▐

㉰ 시간대별 물수요 예측

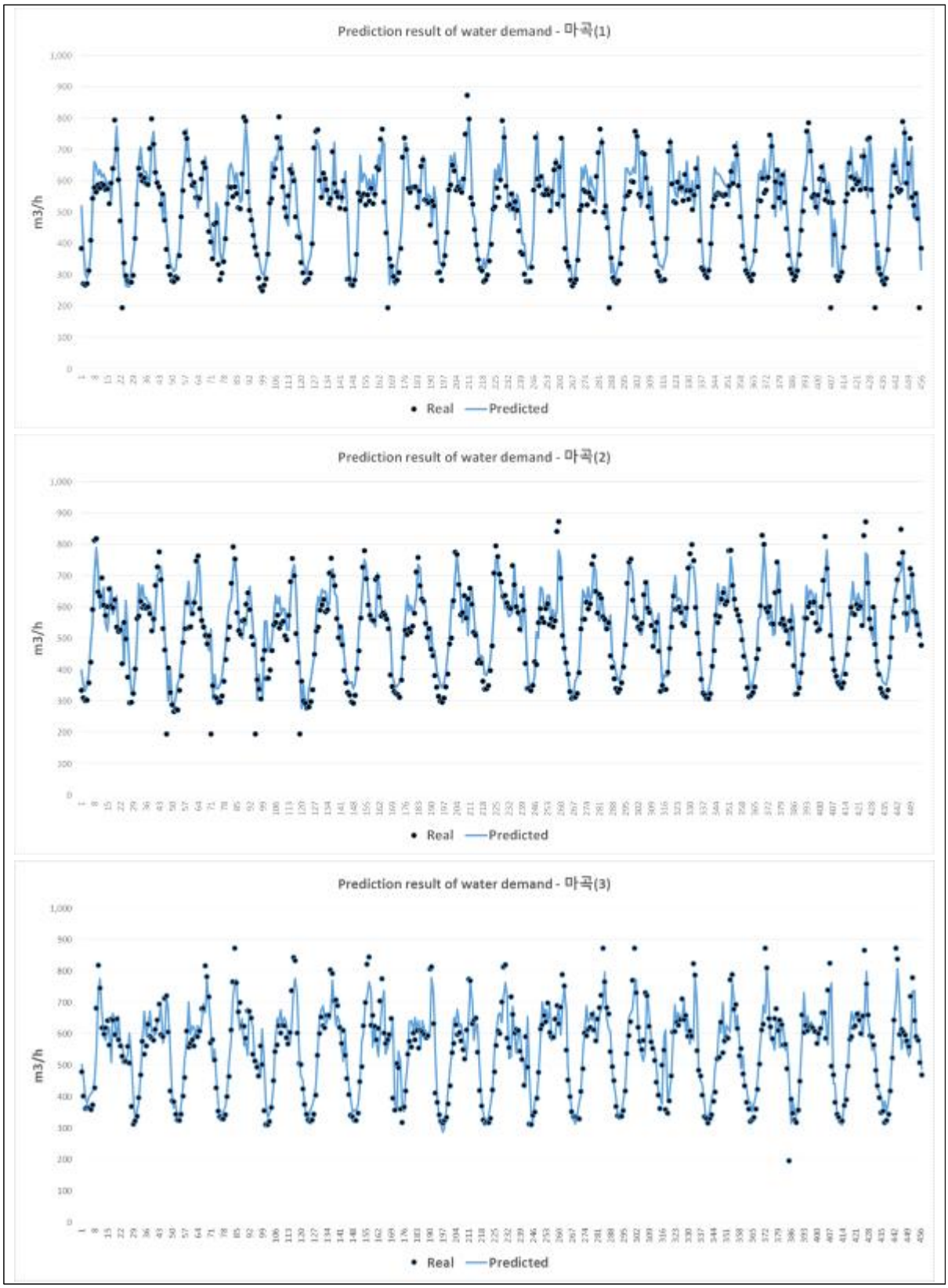
▌시간대별 물수요 예측결과는 국내 M-city를 대상으로 하였으며, M-city의 경우에는 기상자료를 사용하지 않고 최근 7시간 전의 물수요 자료만을 이용하여 예측하였음.

▌모델링 결과는 물수요 상한치와 하한치를 잘 모의하고 있는 것으로 나타났으며(Rˆ2 0.764), 일일 물수요 예측결과에 비하여 양호한 결과를 얻을 수 있었는데 이는 시간대별 물수요 예측을 위하여 사용한 데이터의 시간대별 변화 패턴이 일일 자료에 비하여 상대적으로 일정하였기 때문이라고 사료됨. 특히, 시간대별 모델링에 사용한 물수요 자료의 경우 95% 신뢰구간을 벗어나는 자료의 수가 일일 물수요 예측에 사용된 자료에 비하여 현저히 적었고, 이는 시간대별 물수요 자료의 변동 및 이상치 데이터의 수가 적다는 것을 의미함.

▌결론적으로, 시간대별 물수요 예측의 경우 과거 수요 패턴이 비교적 일정한 경우 기상자료 없이 과거 물수요 자료만으로도 높은 수준의 단기 물수요 예측이 가능하다고 사료됨. 금회 적용한 대상지역 이외에 보다 다양한 사례 적용을 통하여 인공신경망 모델에 의한 물수요 예측기법을 적용하고 실무에 활용하는 방안을 추가로 연구할 필요가 있음.

▌표 2.295 25% 시간대별 물수요 예측을 위한 Artificial neural network 조건 및 결과▐

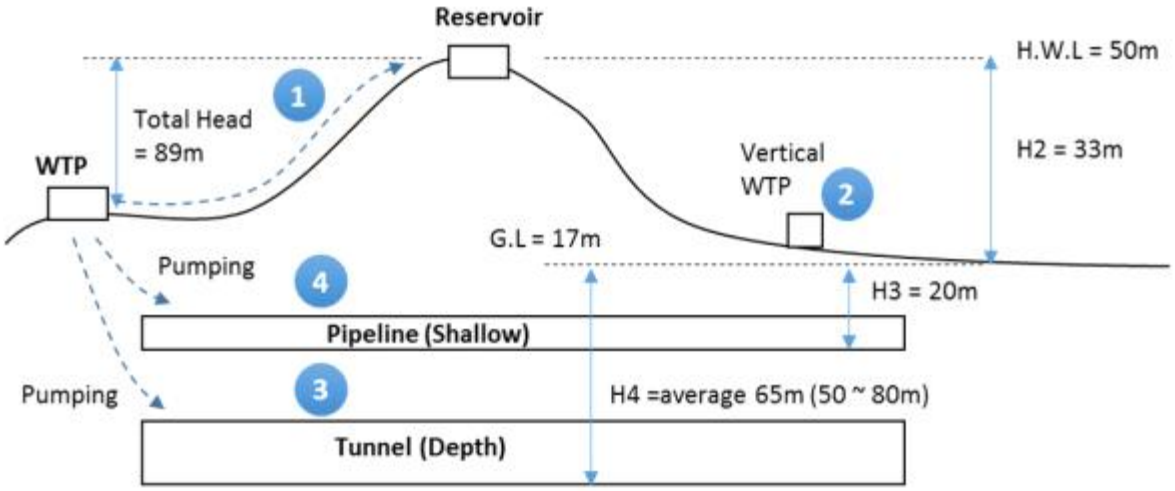
- Target city	M city
- Prediction method	Artificial Neural Network
	2 Hidden layers
	Number of hidden layer is 5
- Input layer	7 Previous data
- Training method	Levenberg Marquardt Method
- Data filtering	95% confidence interval
- Training Data	3186
- Rˆ2	0.764 (predicted)



▌그림 2.517 M지역 일일 물수요 예측 결과 ▐

(나) 송수펌프 최적운전(배수지 연계) 조건 도출

▌펌프 운전조건은 시나리오별로 달리 적용하였으며, 다음 그림에 나타난 바와 같이 시나리오에 따라 펌핑에 소요되는 전양정(Total head)이 달라지게 됨. 펌프 운전에 필요한 조건은 수직형 정수처리시설 운영에 필요한 자체 펌프는 제외하였으며, 수송에너지 산출에 필요한 펌프들에 대해서만 적용하였음.



Note)

Scenario-1	WTP(Water Treatment Plant) : 월평 및 신탄진 정수장에서의 용수공급
	Total Head : 행정중심복합도시 용수공급시설 기본 및 실시설계 보고서(손실수두가 고려된 총수두)
Scenario-2	수직형 정수처리시설은 블록 중심지에 1개소 및 기존 배수지에 1개소 설치
	배수지 대신 수직형 정수처리시설 원수 저류를 위한 체류시간 약 1.2 ~ 1.5시간 규모의 처리수조 고려
Scenario-3	정수장으로부터 1차 처리된 용수를 대심도 터널로 이송 한 후 대심도 터널에서 배수지 및 수직형 정수처리시설로 용수공급(대심도 깊이는 평균 65m로 가정)
Scenario-4	대심도 대신 평균 깊이 20m의 천심도 관망에서 용수 공급

▌그림 2.518 Scenario별 펌프 전양정 계산을 위한 모식도 ▐

▌시나리오-1의 경우에는 신탄진 및 월평 정수장에서 용수를 공급하는 경우로써 “행정중심복합도시 용수공급시설 기본 및 실시설계”에 제시된 바와 같이 배수지 까지 손실수두가 고려된 전양정 약 89m를 적용하였음. 시나리오-2의 경우에는 수직형 정수처

리시설에서 직접급수하는 경우로써, 수직형 정수처리시설의 원수는 대심도에서 공급하는 것으로 가정하였음. 이에 따른 양정은 약 65m이며, 펌핑에 따른 손실수두를 고려한 전양정은 95.7 ~ 127.6m를 적용하였으며, 산출식은 다음과 같음.

$$Total\,head = H_E + H_s + H_f + H_w$$

여기서; $Total\,head$ = 수직형 정수처리시설까지 펌핑하기 위한 전양정

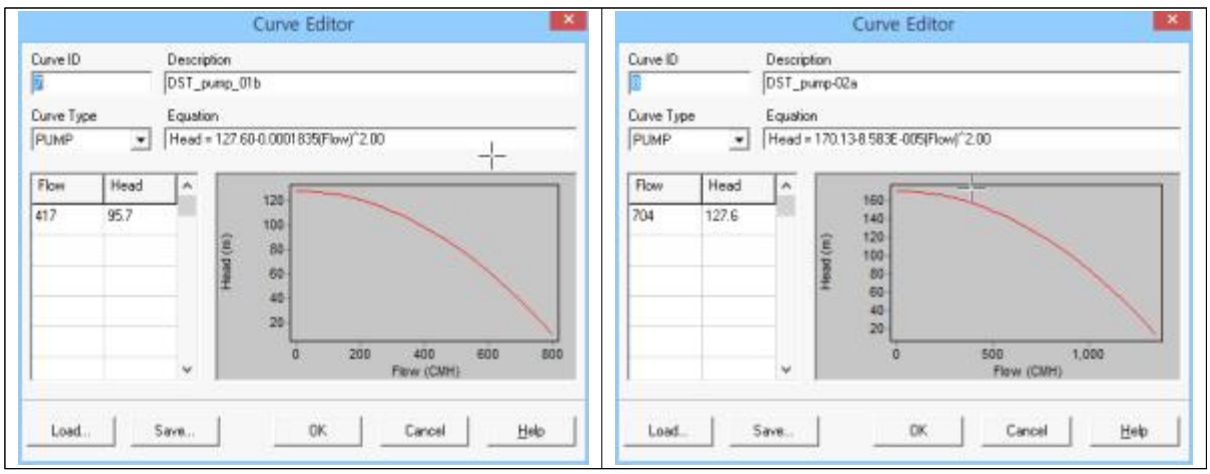
H_E = 수직형 정수처리시설이 위치한 해발표고, m

H_S = 대심도 혹은 천심도 터널로 펌핑을 위한 표고차, m

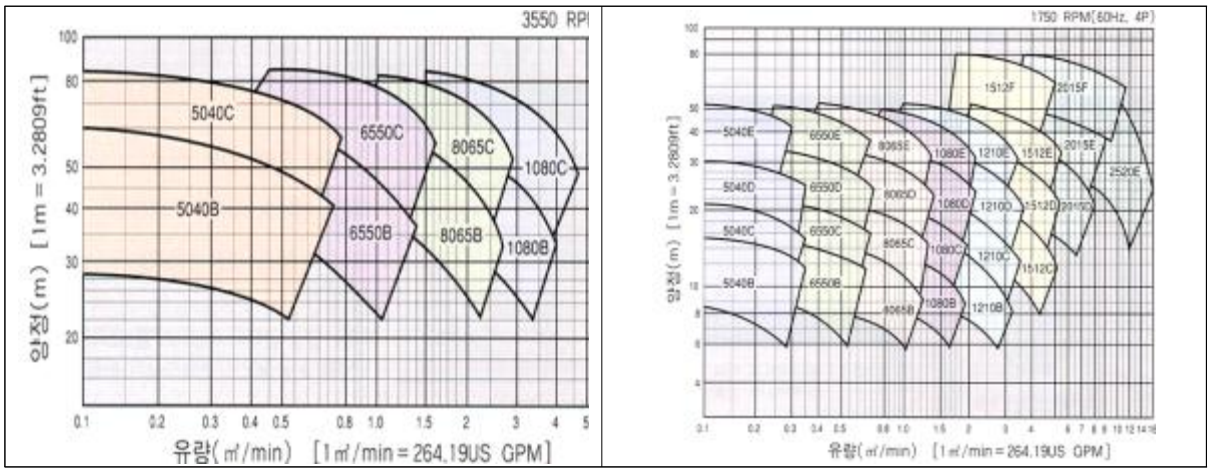
H_f = 대심도 혹은 천심도 터널에서 수직형 정수처리시설까지 펌핑에 필요한 손실수두, m

H_w = 정수장에서 대심도 혹은 천심도 터널로 용수를 이송하는데 소요되는 전양정, m

▌ 시나리오-3의 경우 전양정은 시나리오-2와 동일하며, 시나리오-4의 경우에는 천심도에서 펌핑하게 되므로 총양정이 55.4 ~ 82.4m로 시나리오-3에 비하여 다소 감소함. EPANET 모델에 적용하는 펌프는 공업용 펌프의 사양서를 참조로 하여 선정하였나, 펌프의 종류와 특성은 제조사에 따라 달라 질 수 있으므로, 적용한 펌프 특성곡선은 시나리오 상호간 비교를 상대적 참고자료로 보는 것이 적절함. 다음 그림은 모델링에 적용한 주요 펌프의 특성곡선 및 펌프제조사의 펌프 선정표를 나타내고 있음.



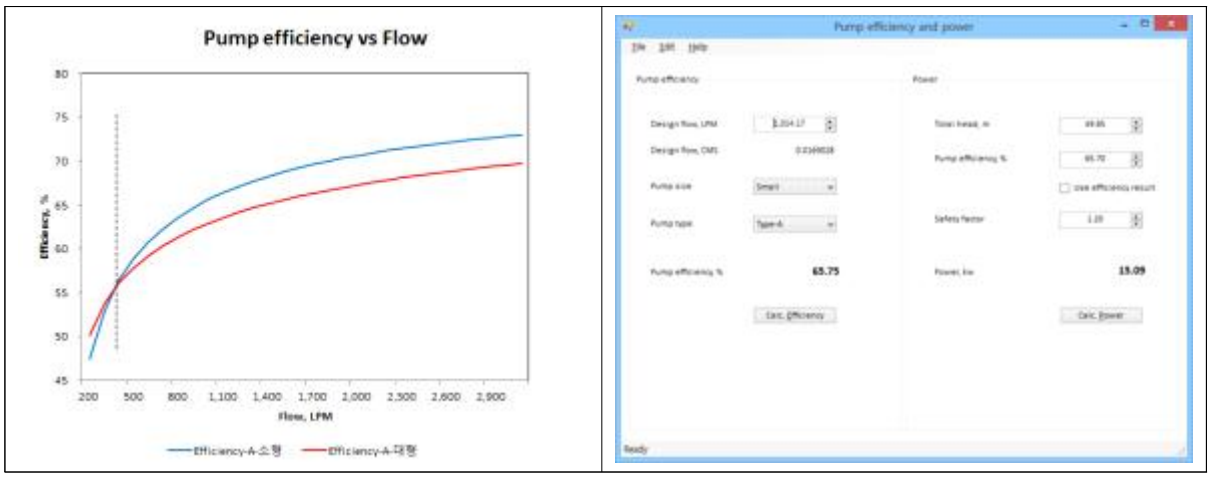
▌그림 2.519 펌프 특성 곡선 ▐



▌그림 2.520 펌프 선정표 ▐

▌ 용수공급 펌프는 용량 및 형식에 따라 펌프효율이 변하며, 다음 그림과 같은 특성을 나타내고 있음. EPANET 프로그램에 펌프 용량에 따른 펌프 효율 곡선식을 산출하여 적용하였음. EPANET의 경우 펌프 효율계산 기능이 포함되어 있지 않으므로, 본 연구에서는 펌프용량 및 형식에 따른 펌프효율 산출 프로그램을 개발하여 EPANET curve를 작성 후 수리 모델링에 적용하였음.

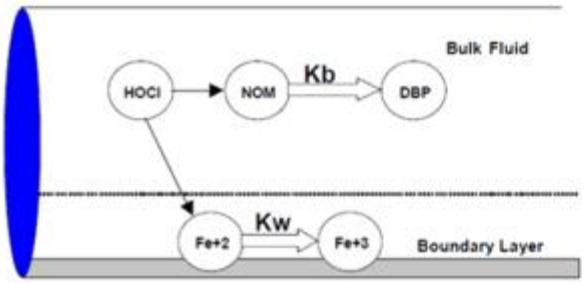
▌ 펌프효율 계산 프로그램은 설계유량, 펌프형식, 전양정, 안전율 등을 이용하여 펌프 축동력 및 펌프효율을 산정하는 기능을 제공하고 있으며, 마이크로소프트 Visual Studio.NET을 이용하여 개발하였음.



▌그림 2.521 펌프 효율곡선 및 프로그램 ▐

(다) 수질(잔류염소) 모델링

▌상수관망내 잔류염소 모델링은 EPANET 2.0의 수질모델링 기능을 이용하였으며, 정상상태에 도달하는데 소요되는 약 48시간 이후의 결과를 이용하였음. 모델링 결과 약 30시간 이후부터는 정상상태에 도달 하였으나, 일일 시작시간을 0시로 가정하였기 때문에 새로운 날짜가 시작되는 시간을 추가로 고려하여 약 18시간을 더 모델링 한 이후의 결과를 적용하였음. EPANET 프로그램에서는 상수관망내 잔류염소 해석을 위해서는 Extended period simulation을 수행하여야 하며, 수리모델링 이후에 수질모델링 단계를 수행하며, 적용한 모델은 다음 그림과 같음.



$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -u_i \frac{\partial C_i}{\partial x} + r(C_i)$$

NOM : Natural Organic Matter
DBP : Disinfection By-Products

Bulk Reactions, $R = K_b C^n$

Wall Reactions , $R = (A / V) K_w C^n$

Where;

K_b = bulk reaction rate coefficient, -2.1 적용(문헌 평균값)

(-2.00 /d, Joo et. al, 1998)

(-2.18 /d @ summer, Chung et. al, 2006)

K_w = wall reaction rate coefficient, -0.075 적용 (문헌 평균값)

(-0.1, -0.05 m/d, Joo et. al, 1998)

C = Residual chlorine concentration, mass/volume

A / V = surface area per unit volume within a pipe

Bulk and Wall Reaction Order = 1

▌그림 2.522 잔류염소 모델링에 사용된 EPANET 2.0 적용 계수들 ▐

▌수질모델링은 wall 및 bulk 상태에서의 잔류염소 감소가 발생한다는 가정 하에 모델링을 수행하였으며, decay coefficient가 동일한 조건에서는 잔류염소 감소는 water age에 비례하여 감소한다는 가정으로 모델링하였음.

▌Wall 및 bulk coefficient는 상수관망의 특성 및 운전조건에 따라 달라지며 전형적인 값의 범위 또한 그 차이가 크게 발생하는 특성이 있음. 금회 연구에서는 Wall 및 bulk coefficient를 Joo 등의 연구결과를 참조하여 문헌 평균값 Kb(bulk reaction rate coefficient)는 -2.1을 적용하였고, Kw(wall reaction rate coefficient)는 -0.075를 적용하였음. 잔류염소 모델링을 위한 시나리오별 조건은 다음과 같이 상수관망 말단에서의 잔류염소 농도를 0.2~0.4mg/L를 유지 할 수 있도록 배수지 및 수직형 정수처리시설에 염소를 투입하는 것으로 가정하였음(관망해석 및 배급수관로의 최적관리방안 연구, 2005). 잔류염소 주입조건 및 제어조건은 다음 표에 나타낸 바와 같이 set-point booster를 적용하였으며, 잔류염소 주입 농도 패턴은 일정하게 주입하는 것으로 가정하였음.

▌표 2.296 잔류염소 모델링을 위한 염소 주입 조건 ▐

시나리오		조건	제어조건
1	간접급수	- 배수지 잔류염소 농도 0.5 ~ 0.6mg/L	Set-point booster
2	직접급수	- 배수지 및 수직형 정수처리시설 잔류염소 농도 0.40 ~ 0.45mg/L	상동
3	HWSS(대심도)	- 시나리오-2와 동일	상동
4	HWSS(천심도)	- 시나리오-2와 동일	상동

(라) 수송에너지(전력비) 분석

▌수송에너지 분석을 위한 전력요금은 다음 표와 같이 한국전력에서 제공하고 있는 산업용(을) 고압A 전력을 기준으로 하여 적용하였음.

▌다음은 모델링에 적용한 계절별, 시간대별 한국전력 전력요금 산정표로써, 금회 모델링에서는 잔류염소가 감소하고 물수요가 증가하는 하절기 기준을 적용하였음.

▌표 2.297 전력요금(산업용을) ▐

기본요금 (원/kW)	전력량 요금(원/kW)			
	시간대	여름철 (7~8월)	봄,가을철 (3~6, 9~10월)	겨울철 (11~12월)
7,400	경 부 하	56.00	56.00	61.80
	중간부하	105.70	77.80	104.00
	최대부하	181.00	105.90	155.70

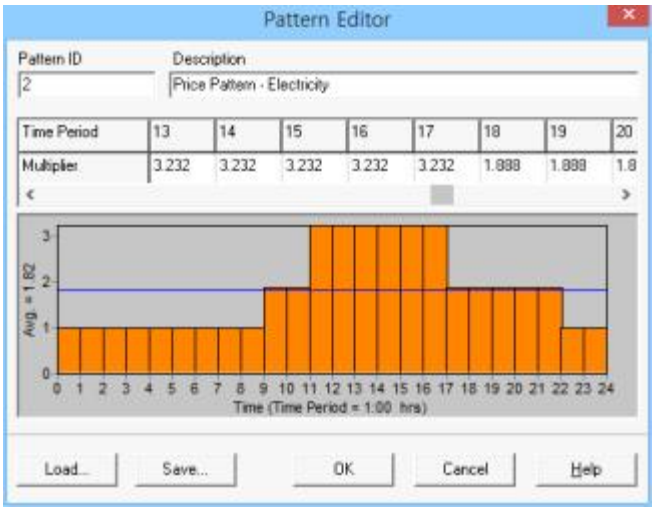
자료) 한국전력 웹사이트 (http://www.kepco.co.kr)

▌표 2.298 산업용(을) 계절별 시간대별 구분 ▐

구 분	여름, 봄, 가을철 (7~8월, 3~6월, 9~10월)	겨울철 11월~익년 2월
경부하 시간대	23:00 ~ 09:00	23:00 ~ 09:00
중간부하 시간대	09:00 ~ 11:00 12:00 ~ 13:00 17:00 ~ 23:00	09:00 ~ 10:00 12:00 ~ 17:00 20:00 ~ 22:00
최대부하 시간대	11:00 ~ 12:00 13:00 ~ 17:00	10:00 ~ 12:00 17:00 ~ 20:00 22:00 ~ 23:00

자료) 한국전력

▌ 다음은 EPANET 모델링시 적용한 전력요금 패턴을 나타낸 그림으로써, 한국전력 하절기 시간대별 전력요금 기준을 패턴으로 환산하여 적용한 결과이며, 11:00~17:00 시간대가 최대부하 시간대로서 경부하 시간대 대비 최대 3.2배 이상 높은 전력요금이 부과되며, 중간부하 시간대는 경부하 시간대 대비 1.888배가 적용됨.



▌그림 2.523 전기요금 패턴 적용 화면 ▐

(마) 배수지 및 수직형 정수처리시설 정수지 규모

▌ 배수지의 규격은 상수도 시설기준(환경부, 2010)에 따라 유효수심을 3~6m로 적용하였으며, 하류 측의 비상대응 수량(재해시 응급급수, 시설사고 등)과 소화용수량을 감안하여 계획1일 최대 급수량의 약 12시간 용량을 확보하는 것으로 계획하였음(상수도 시설기준 6~24시간분 확보 권장).

▌ 수직형 정수처리시설은 상수관망 내부에 설치하는 경우에는 직접급수하는 것으로 가

정하였으며, 기존 배수지 위치에 계획하는 경우에는 수직형 정수처리시설 후단에 체류시간 약 1시간 정도의 정수지를 설치하는 것으로 가정하였음.

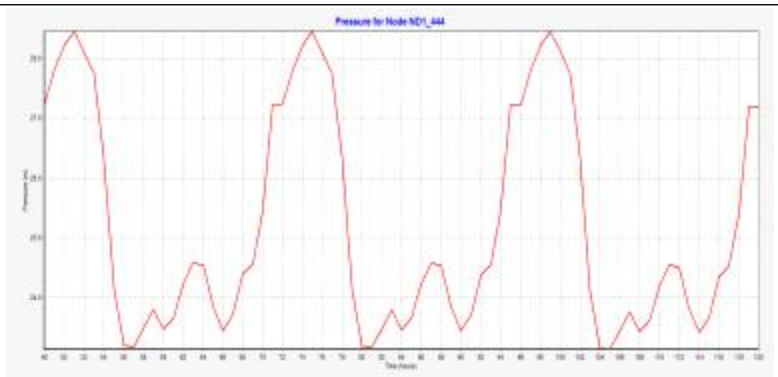
(바) 시나리오별 모델링 결과

① 압력 분포

▌EPANET에 의한 수리모델링은 앞서 선정한 4가지의 시나리오에 대하여 수행하였음. 상수관망 각 절점에서의 압력 변화는 물수요 변화에 따라 시간대별로 변화하게 되나, 직접급수 혹은 HWSS에 의한 시나리오 2~4는 수리학적으로 동일한 조건이므로 동일한 압력모의 결과를 얻을 수 있었음.

▌이러한 결과는 배수지만에 의하여 용수를 공급하는 시나리오-1의 경우와는 달리, 시나리오 2~4는 펌프로 용수를 공급하기 때문에 상수관망에 작용하는 압력이 동일하므로 수리학적 특성 또한 거의 동일한 결과를 얻을 수 있었기 때문이며, 시나리오-2의 경우에도 배수지 대신 수직형 정수처리시설로 대체 하였으나 기존 배수지 위치에 수직형 정수처리시설을 설치하고 자연유하로 용수를 공급하게 되므로 시나리오 3,4와 동일한 수리학적 특성이 발생함.

▌따라서, 시나리오별 상수관망내 압력분포는 시나리오-1과 시나리오-3에 대한 결과만을 비교하였음. 다음 그림은 대표 지점 중 하나인 Node ND1_444의 시간대별 residual pressure를 나타내고 있으며, 그림에서와 같이 약 56 ~ 58시간에 가장 낮은 압력을 나타내고 있으며, 약 50 ~ 52시간에 가장 높은 압력을 나타냄.



▌그림 2.524 시간대별 residual pressure 변화 추이 (Node : ND1_444) ▐

▌ 따라서, 블록간의 압력변화 비교는 압력이 가장 낮아지는 시간대(약 56:00)를 기준으로 하여 다음 표와 같이 비교분석하였음. 표에서 보는 바와 같이 시나리오-1의 경우 전체 블록의 평균 압력(Residual pressure)은 34.2m 이었으며, 표준편차 3.8m로 분석되었고, 시나리오-3의 경우 평균압력 32.0m, 표준편차 4.0m로 분석되었음. 시나리오-1의 경우 평균압력은 시나리오-3에 비하여 약 2.2m 높게 유지되었으나, 전체 블록에서의 압력 표준편차는 3.0m와 4.0m로 대동소이한 수준으로 분석됨.

▌ 시나리오-1의 평균압력이 높은 이유는 HWSS인 시나리오-3에 비하여 관 말단의 압력을 약 15m 이상 유지하기 위하여 높은 배수지 수위를 유지하기 위하여 높은 배수지 수위를 선정하여야 하기 때문이며, HWSS의 경우에는 수직형 정수처리 시설에서 직접 급수를 통하여 용수공급을 수행하므로 관 말단에서의 압력 확보가 용이하기 때문임.

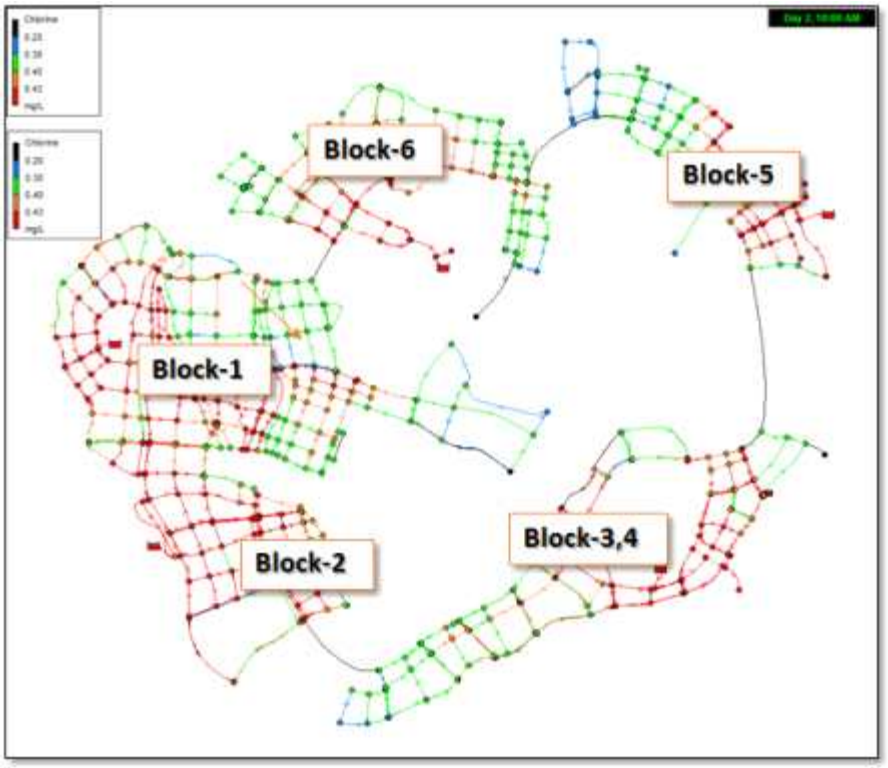
▌표 2.299 블록별 압력변화 분석결과 : 시나리오-1 @ 56:00 ▐

Block	Residual pressure, m					
	Average	Maximum	Minimum	STDEV	Quartile-1	Quartile-3
1	27.9	33.8	16.3	2.9	25.9	29.9
2	30.5	34.5	24.0	2.5	28.9	32.8
3,4	31.5	35.8	20.9	2.8	30.1	33.3
5	30.1	35.9	23.8	2.7	28.6	32.0
6	28.9	36.4	21.3	3.4	26.5	31.5
Total	29.5	36.4	16.3	3.2	27.4	32.1

Note) STDEV : 표준편차, Quartile-1, Quartile-3 : 1사분위수 및 3사분위수

▌표 2.300 블록별 압력변화 분석결과 : 시나리오-3 @ 56:00 ▐

Block	Residual pressure, m					
	Average	Maximum	Minimum	STDEV	Quartile-1	Quartile-3
1	26.3	32.5	15.1	2.8	24.4	28.3
2	30.7	39.2	23.3	3.8	27.3	34.3
3,4	30.4	34.9	19.0	3.2	28.7	32.8
5	29.1	34.7	22.6	2.8	27.4	31.5
6	26.8	34.7	18.8	3.7	24.1	29.3
Total	28.3	39.2	15.1	3.7	25.7	31.3

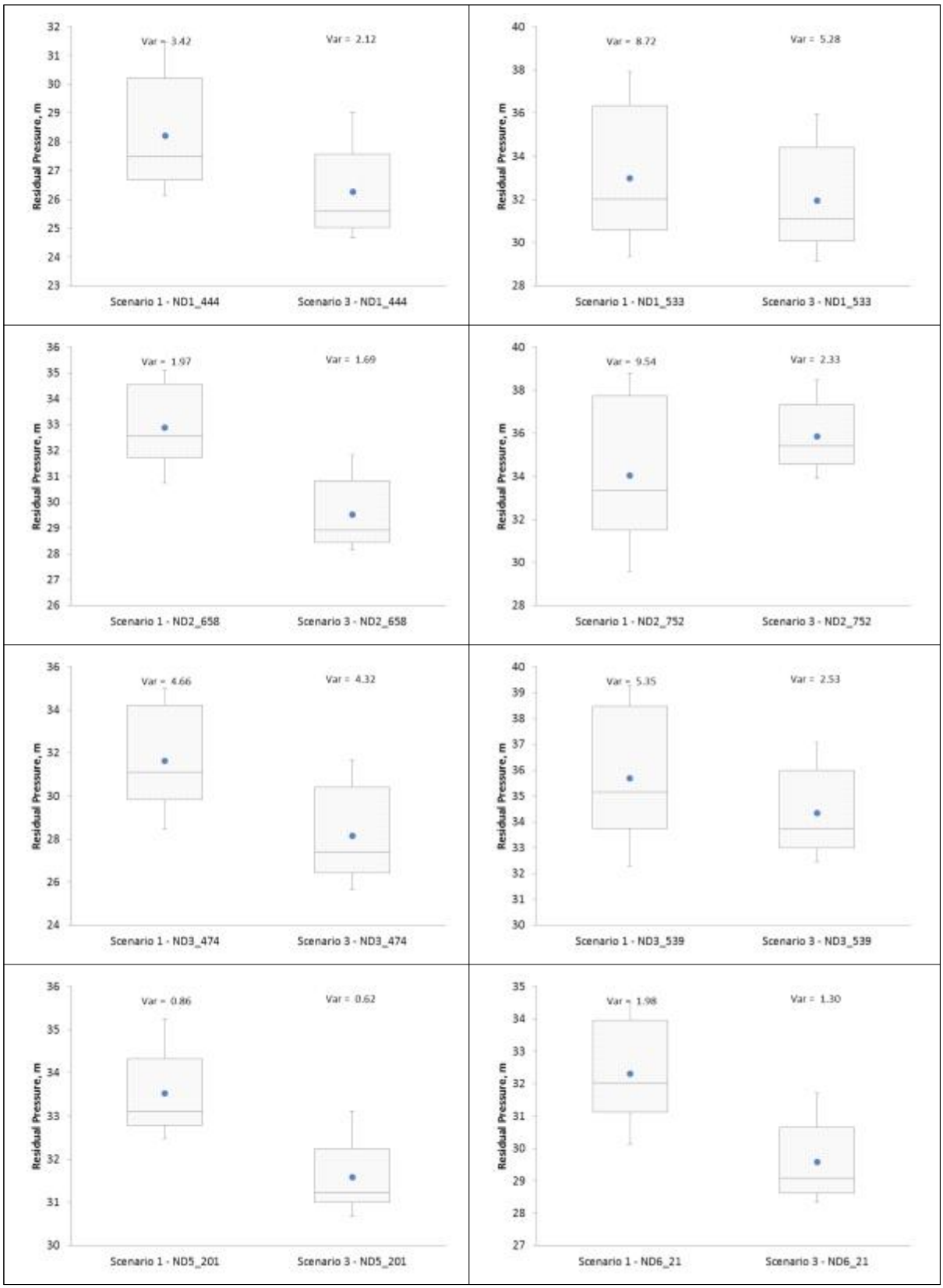


▌그림 2.525 H도시 블록 구성도 ▐

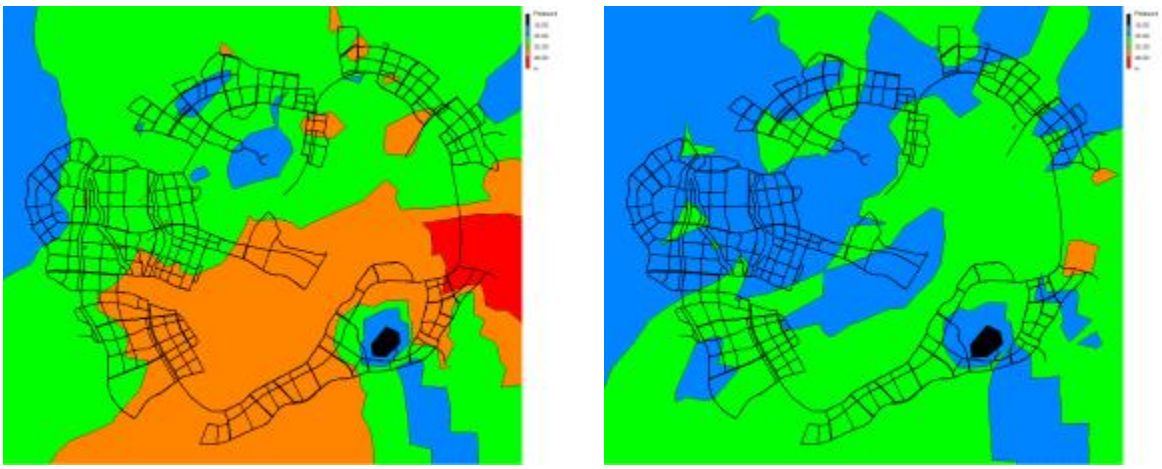
▌ 주요 상수관에서의 시간대별 압력변화를 다음 표와 그림에 나타내었음. 상수관에서의 수충격(Water Hammer)은 수도시설 노후 및 파손의 원인이 될 수 있으며, 수충격은 관내 수속의 급격한 변경 등으로 인하여 발생하므로, 수충격을 최소화하기 위해서는 상수관망내 압력변화가 최소화 되는 것이 유리함.

▌ 다음은 H도시 주요 상수관망 8개소의 시간대별 압력변화를 분석한 결과로써, 시나리오-1의 경우 전반적으로 압력변화 폭이 통계학적 분산(Variance)값 기준으로 0.86 ~ 9.54m로 크게 발생하였으나, HWSS를 적용한 시나리오-3의 경우에는 압력변화 폭이 0.62 ~ 5.28m로 상대적으로 적게 발생하였음.

▌ 시나리오간 최대 압력변화 차이는 0.24 ~ 4.26m로써, 압력변화로 인한 수충격 발생 가능성을 구분할 수는 없으나, HWSS를 적용한 상수관망에서 압력변화 폭이 상대적으로 낮게 발생한다는 점은 장기적인 사용시 발생할 수 있는 상수관 열화 억제 측면에서 장점으로 작용할 수 있음.

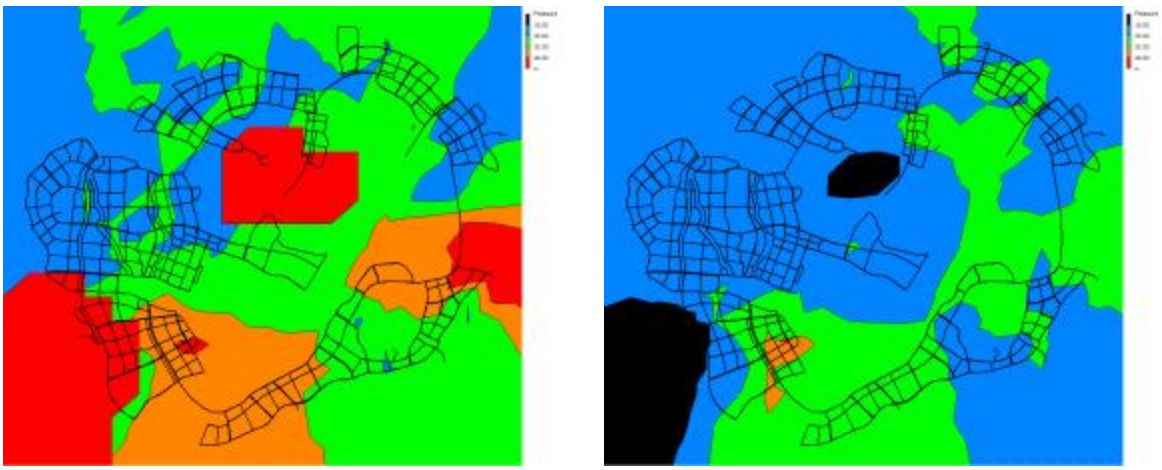


▌그림 2.526 시나리오별 시간대별 압력분포 분석결과 ▐



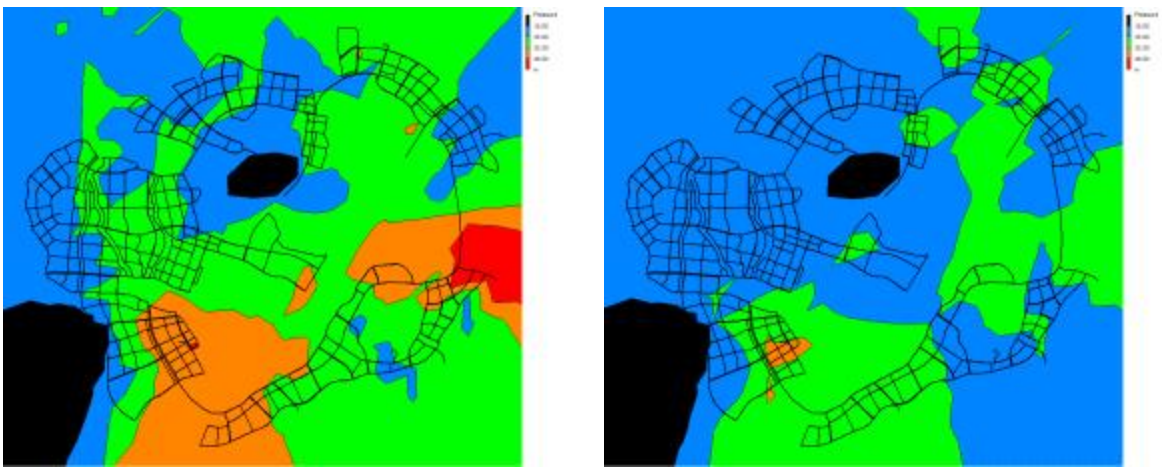
Time 50:00 Time 58:00

▌그림 2.527 모델링 결과- residual pressure - Scenario-1 ▐



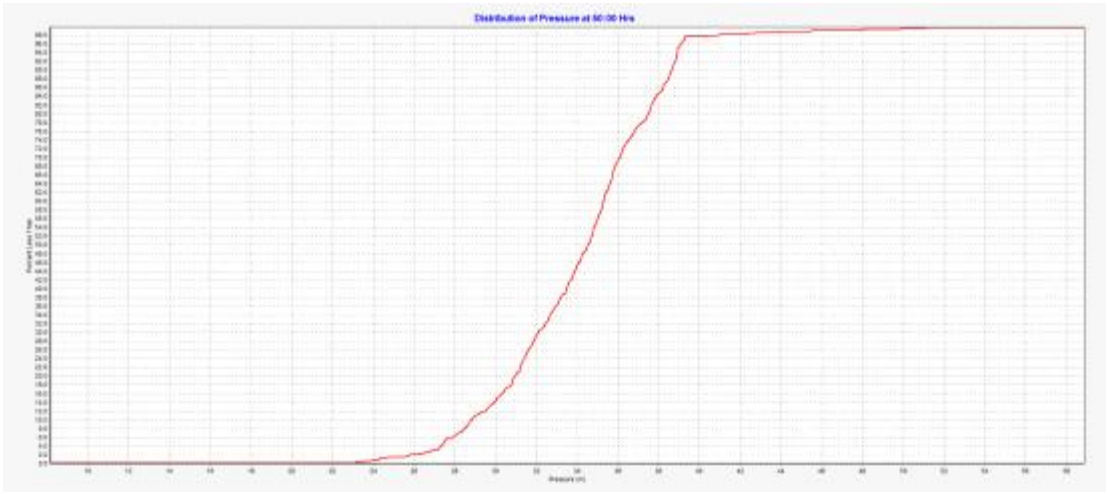
Time 50:00 Time 58:00

▌그림 2.528 모델링 결과- residual pressure - Scenario-2 ▐



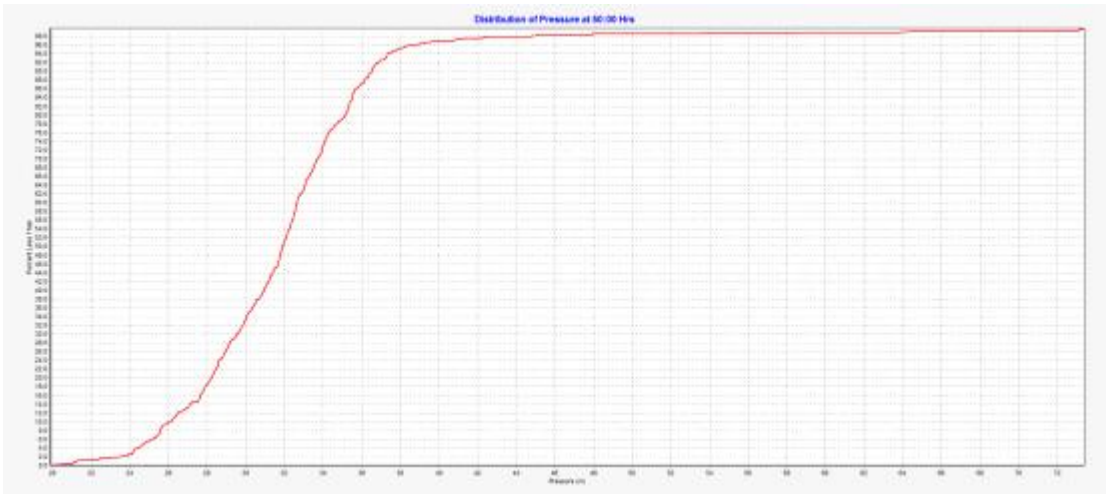
Time 50:00 Time 58:00

▌그림 2.529 모델링 결과- residual pressure - Scenario-3-4 ▐



▌그림 2.530 모델링 결과- distribution of residual pressure @50:00 - Scenario-1 ▐

▌그림 2.531 모델링 결과- distribution of residual pressure @50:00 - Scenario-2 ▐



▌그림 2.532 모델링 결과- distribution of residual pressure @50:00 – Scenario-3,4 ▐

② 잔류염소 검토

▌다음 표와 그림은 블록별 및 시간대별 잔류염소 농도를 분석한 결과임. 배수지만에 의한 용수공급을 수행하는 시나리오-1의 경우 56:00 시간대의 평균 잔류염소 농도는 0.41mg/L로써, 시나리오-3의 0.31mg/L에 비하여 약 1.0mg/L 이상 높게 유지되었음. 블록-1과 5에서의 최소 잔류염소농도가 다소 낮은 이유는 일부 지점에서 발생하는 일시적인 현상으로써, 대부분의 시간대에서 잔류염소 농도는 0.2mg/L 이상을 유지할 수 있는 조건으로 시뮬레이션 하였음.

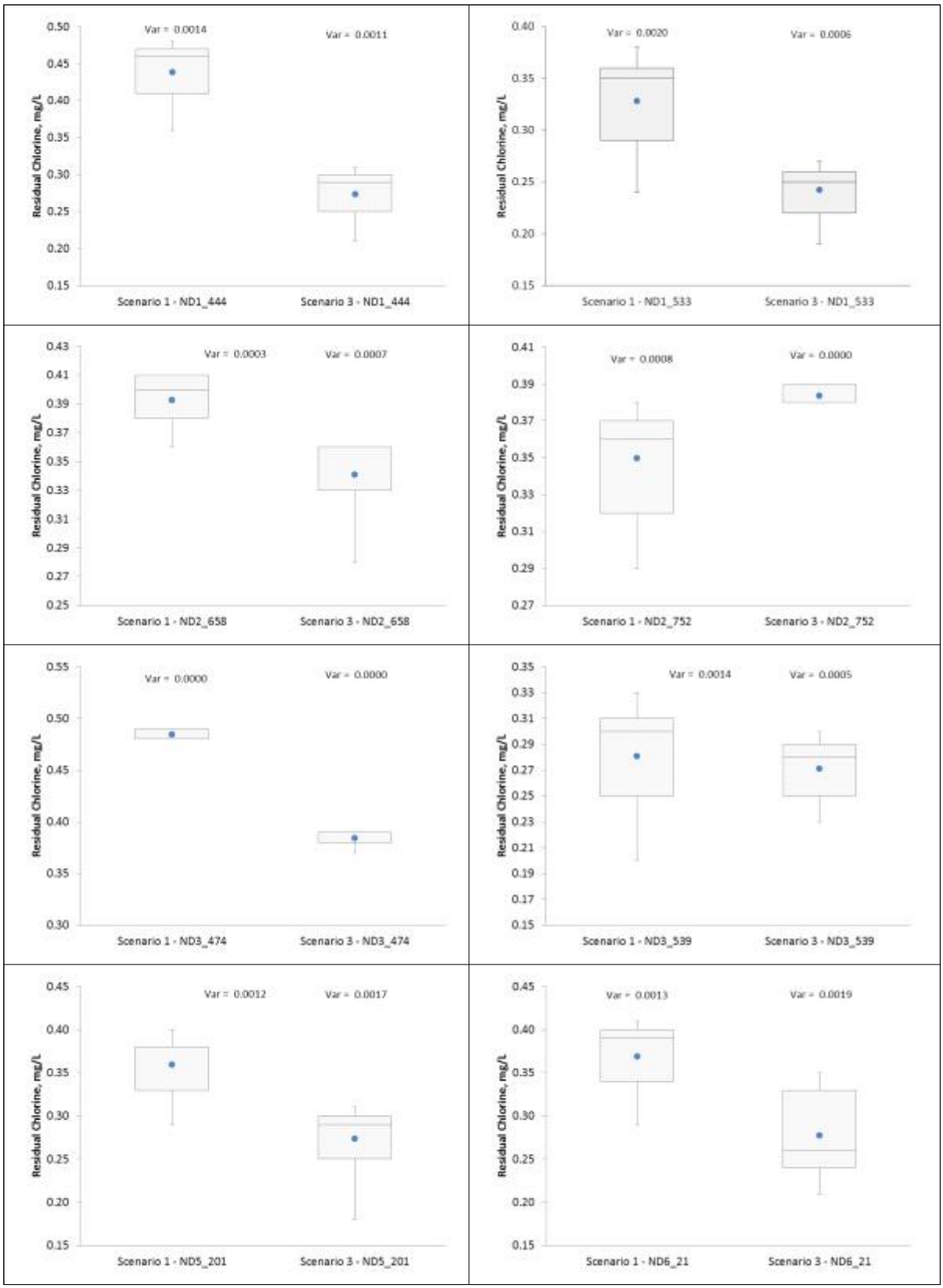
▌시나리오-1이 잔류염소 농도가 높게 유지되어야 하는 이유는 시나리오-1이 시나리오-3에 비하여 Water Age가 길게 유지됨에 따른 잔류염소 감소량이 증가하였기 때문임. 높은 잔류염소 농도를 유지하기 위해서는 보다 많은 염소를 투입하여야 하므로, 유지관리비가 증가하게 되며, DBPs(Disinfection By-Products) 발생 가능성이 증가하게 되므로 수질 측면에서도 불리하게 됨. 따라서, 시나리오-3의 HWSS가 잔류염소 주입 측면에서 보다 유리한 대안으로 분석됨.

▌표 2.301 블록별 잔류염소 분석결과 : 시나리오-1 @ 56:00 ▐

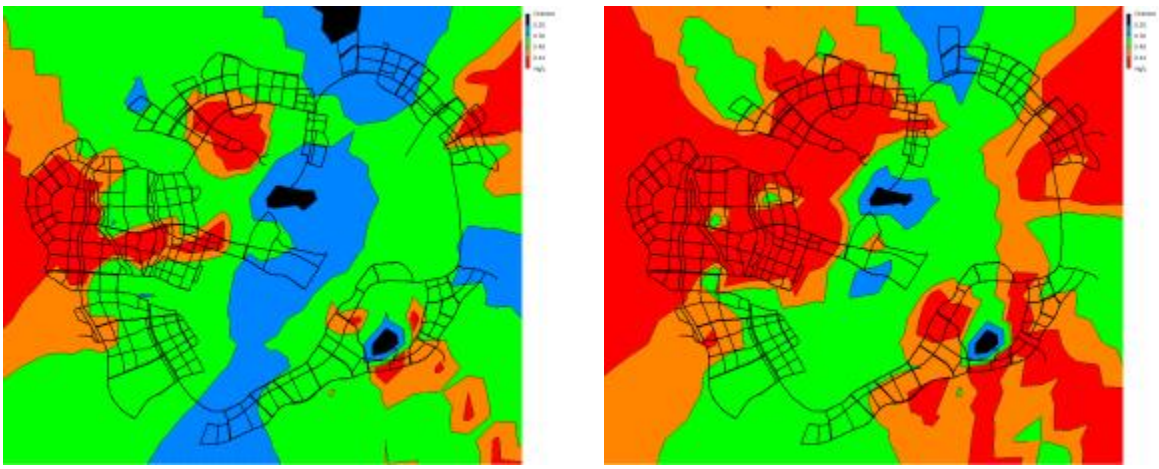
Block	Residual pressure, m					
	Average	Maximum	Minimum	STDEV	Quartile-1	Quartile-3
1	0.47	0.60	0.03	0.09	0.42	0.53
2	0.38	0.45	0.13	0.05	0.36	0.41
3,4	0.39	0.50	0.16	0.08	0.35	0.45
5	0.36	0.50	0.16	0.09	0.29	0.44
6	0.41	0.55	0.10	0.07	0.37	0.47
Total	**0.41**	**0.60**	**0.03**	**0.09**	**0.36**	**0.48**

▌표 2.302 블록별 잔류염소 분석결과 : 시나리오-3 @ 56:00 ▐

Block	Residual pressure, m					
	Average	Maximum	Minimum	STDEV	Quartile-1	Quartile-3
1	0.30	0.40	0.02	0.07	0.26	0.36
2	0.33	0.40	0.12	0.05	0.31	0.37
3,4	0.32	0.42	0.10	0.06	0.30	0.36
5	0.30	0.40	0.07	0.07	0.27	0.35
6	0.29	0.42	0.09	0.07	0.26	0.34
Total	**0.31**	**0.42**	**0.02**	**0.07**	**0.27**	**0.36**

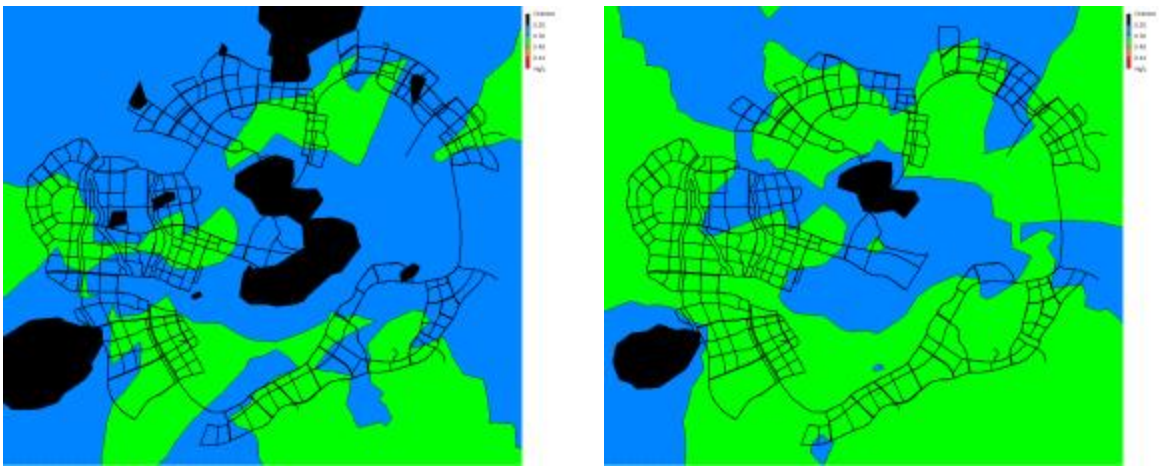


▌그림 2.533 시나리오별 시간대별 잔류염소 분포 분석결과 ▐



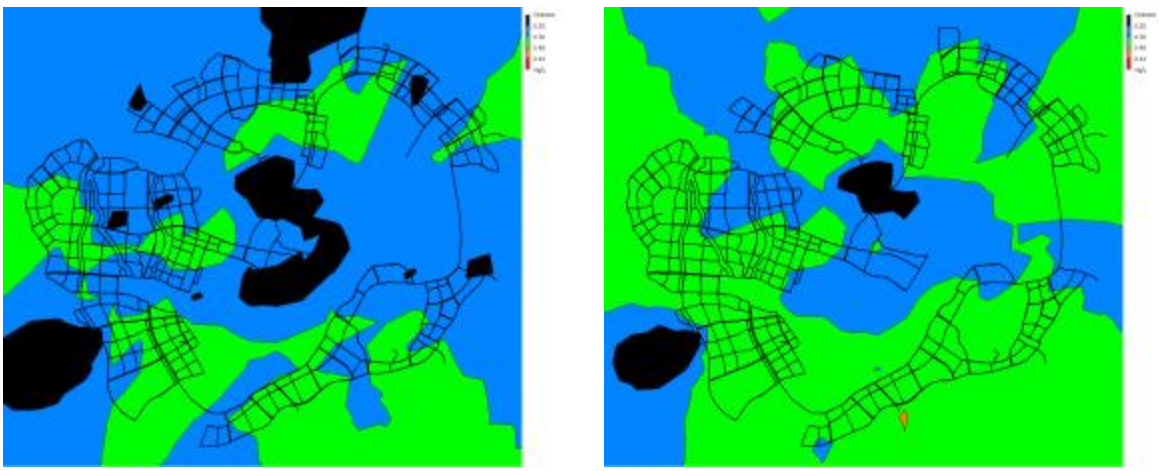
Time 50:00 Time 58:00

▌그림 2.534 모델링 결과- residual chlorine - Scenario-1 ▐



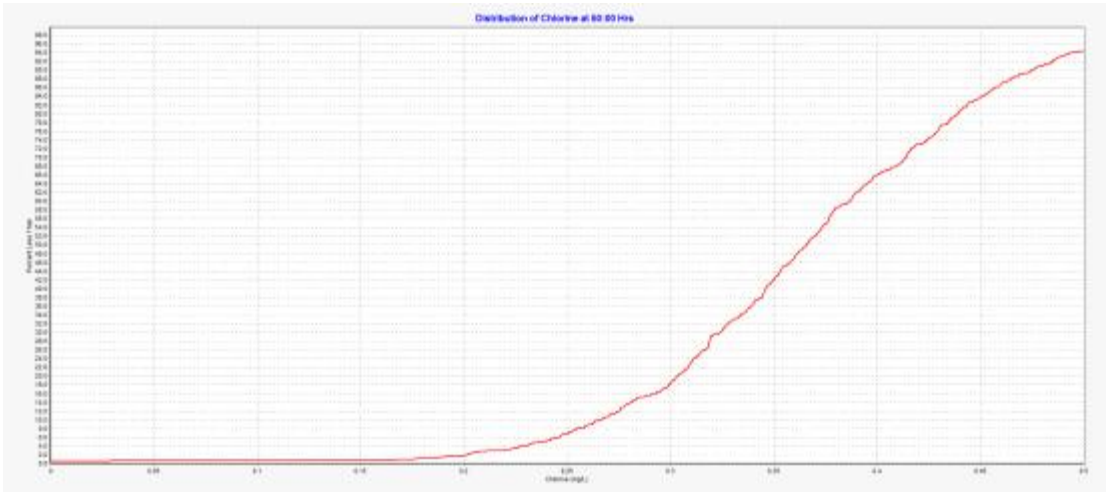
Time 50:00 Time 58:00

▌그림 2.535 모델링 결과- residual chlorine - Scenario-2 ▐

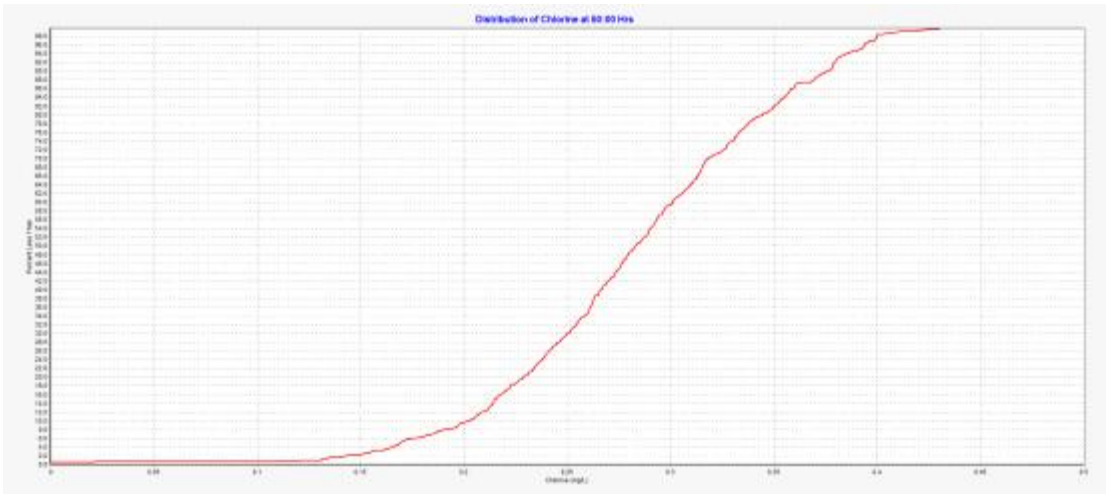


Time 50:00 Time 58:00

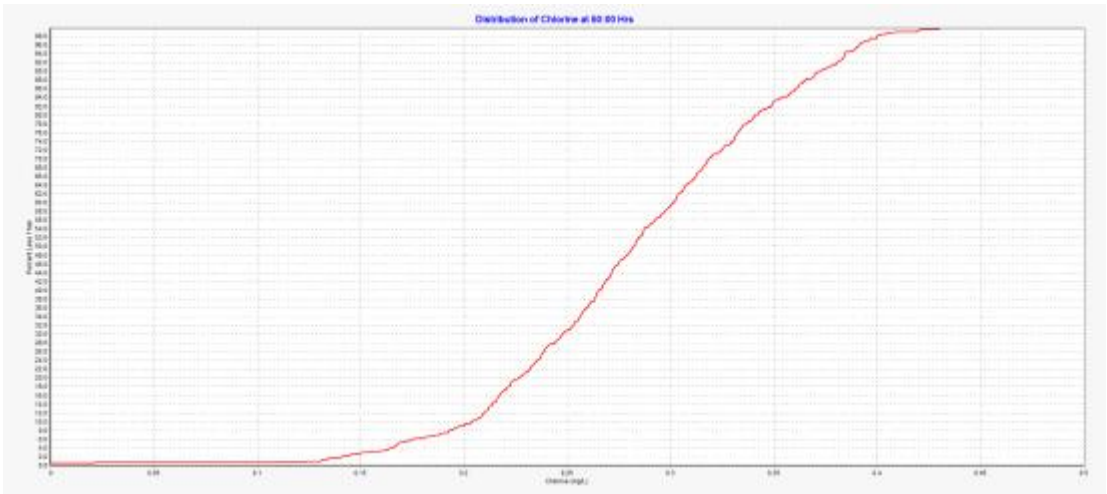
▌그림 2.536 모델링 결과- residual chlorine - Scenario-3,4 ▐



▌그림 2.537 모델링 결과- distribution of residual pressure @50:00 - Scenario-1 ▐



▌그림 2.538 모델링 결과- distribution of residual pressure @50:00 - Scenario-2 ▐



▌그림 2.539 모델링 결과- distribution of residual pressure @50:00 – Scenario-3,4 ▐

▌ 시간대별 잔류염소 변화량은 압력변화에 비하여 큰 차이를 나타내지 않았는데(분산(Variance) 기준으로 0.001mg/L 이하), 이는 잔류염소의 경우 시나리오별로 주입량을 달리 적용하였고, 수온이 동일한 조건이므로 상대적인 잔류염소 농도 감소속도는 시나리오 별로 큰 차이가 발생하지 않았기 때문인 것으로 사료됨.

▌ 다음 표는 시나리오별 염소 주입량을 건조중량 및 약품비용으로 환산한 결과로써, 시나리오-1의 경우 년간 소요되는 차아염소산나트륨(NaOCl) 비용은 약 50,992,426원이며, 시나리오-3의 경우에는 38,653,795원으로 시나리오-1의 76% 수준으로 보다 경제적인 것으로 분석되었음.

▌ 약품비를 정수처리 톤당 비용으로 환산하면 각각 약 0.89원/톤 및 0.67원/톤으로 나타났으며, 년간 약품비 차이는 12,338,631원으로써 큰 차이를 보이고 있지는 않으나, 염소 주입량 감소에 따른 냄새 및 DBPs 감소의 효과를 얻을 수 있다는 측면이 있음.

▌표 2.303 시나리오별 차아염소산나트륨 비용 비교 ▐

Items		Scenario-1			Scenario-3		
		유량, m3/d	주입농도, mg/L	약품비, 원/일	유량, m3/d	주입농도, mg/L	약품비, 원/일
배수지-1		46,646	0.60	46,646	36,638	0.40	24,425
배수지-2		26,773	0.45	20,080	16,765	0.40	11,177
배수지-3,4		34,598	0.50	28,832	24,590	0.40	16,393
배수지-5		15,641	0.50	13,034	10,649	0.40	7,099
배수지-6		33,942	0.55	31,114	23,934	0.40	15,956
수직형-1		0	0	0	10,008	0.40	6,672
수직형-2		0	0	0	10,008	0.40	6,672
수직형-3,4		0	0	0	10,008	0.42	7,006
수직형-5		0	0	0	4,992	0.40	3,328
수직형-6		0	0	0	10,008	0.43	7,172
합계	**일일**	**157,600**	**-**	**139,705**	**157,600**	**-**	**105,901**
	년간	**57,524,077**	**-**	**50,992,426**	**57,524,077**	**-**	**38,653,795**

주) 차아염소산나트륨(NaOCl) 단가 : 200원/kg (순도 12%) 적용

유량) EPANET simulation을 결과를 통하여 산출된 시간대별 유량 적산값 적용

③ 수송에너지 검토

▌다음 표는 각 시나리오별 펌프 운영에 따른 년간 전력비를 분석한 결과이며, 표에서 보는 바와 같이 배수지만을 이용하는 중앙집중형 용수공급시스템인 시나리오-1의 경우에는 전력비가 년간 2,005백만원이 소요되는 것으로 분석되었음. 톤(㎥)당 수돗물 생산단가로 환산하면 약 34.1원/㎥으로써, 생산원가를 340원으로 가정할 때 약 10%에 해당하는 수준임.

▌시나리오-2의 경우에는 소요 전력비가 년간 3,121백만원으로 시나리오-1 대비 1.56배 높은 수준이며, 이는 수직형 정수처리시설 용량 증가 및 대심도 터널에서 용수를 이송하는데 소요되는 전력비가 증가하였기 때문임.

▌시나리오-3의 경우에는 HWSS를 적용한 결과로, 시나리오-1 대비 약 1.38배 높은 년간 2,764백만원이 소요되는 것으로 분석되었음. 톤당 비용으로 환산하면 약 46.9원/㎥으로써 수도요금 생산원가의 약 13.8%에 해당되는 수준임. 시나리오-3의 경우 지하 65m에 위치한 대심도로부터 용수를 공급하기 위하여 많은 동력이 소모되고 있음을 알 수 있으며, 대심도 터널을 이용한 용수 확보시 유지관리비 상승분을 고려한 수돗물 생산원가를 설정하여야 하는 것이 적절할 것으로 사료됨.

▌시나리오-4의 경우에는 HWSS에 천심도를 적용한 경우로써 년간 1,744백만원으로 시나리오-1의 약 87% 수준의 전력비로 용수공급이 가능한 것으로 분석되었음. 시나리오-4가 가장 낮은 전력비가 소요될 것으로 분석된 것은, 천심도가 지하 약 20m에 위치하고 있어 원격지로부터 원수 수송에 따른 전양정(Total Head)이 높지 않기 때문인 것으로 분석됨.

▌표 2.304 시나리오별 수송에너지 비교 ▐

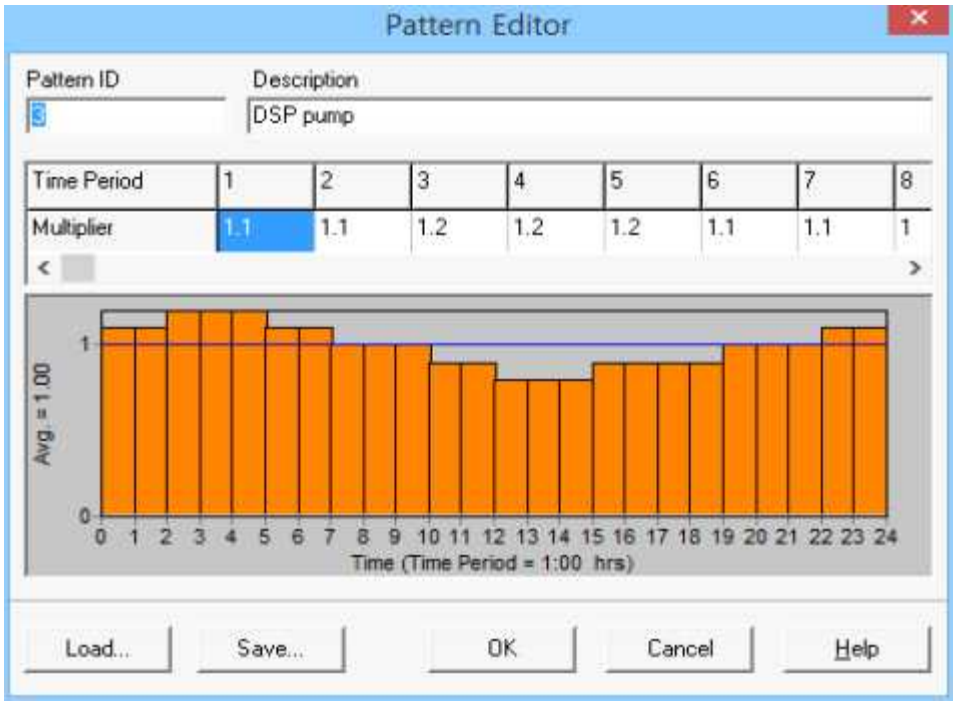
Scenario	일일 전력비, 백만원	년간 전력비, 백만원	상대적 비율
1	5.49	2,005	1.00
2	8.55	3,121	1.56
3	7.57	2,764	1.38
4	4.78	1,744	0.87

주) 상대적 비율 : 시나리오-1을 기준으로 한 비율

④ 송수펌프 최적운전방안 검토

▌앞서 살펴본 바와 같이 한국전력 산업용(을) 전력의 경우 하절기 낮시간대에 약 3배 이상 높은 전력 단가가 적용되고 있으므로, 용수수요가 감소하고 전력비가 저렴한 야간시간대에 배수지에 용수를 확보함으로써 전력비용을 절감 할 수 있음.

▌야간시간대 펌프 운전조건 및 수직형 정수처리시설의 가변운전범위(일최대 용량기준 상하 20% 가변운전)을 고려하여 다음과 같은 펌프 운전패턴을 EPANET에 적용하여 모델링을 수행하였음.



▌그림 2.540 펌프 운전 패턴 적용 화면▐

▌다음은 HWSS를 적용한 시나리오 3과 4에 대하여 펌프운전조건을 변경하는 경우 절감 가능한 전력비를 산출한 결과임. 시나리오-1의 경우에는 광역 혹은 외부에서 용수를 공급받는 조건이며, 시나리오-2의 경우에는 배수지를 적용하지 않았기 때문에 시뮬레이션 대상에서 제외하였음.

▌펌프 운전조건을 변경하여 적용한 결과 시나리오-3 및 시나리오-4 각각 약 13%의 전력비용 절감효과가 예상되었으며, 이를 년간 전력비용 절감량으로 환산하면 각각 약

346백만원 및 219백만원으로써 약품주입량 절감비에 비하여 상대적으로 높은 유지관리비 절감이 가능할 것으로 분석되었음.

▌표 2.305 펌프 운전 변경에 따른 에너지 비용 절감 효과 분석 ▐

시나리오	일일 전력비, 백만원	년간 전력비, 백만원	절감효과
3	6.62	2,418	13%
4	4.18	1,525	13%

주) 절감효과 : 각 시나리오별 펌프운전 조건 변경 전 후 기준

▌ 펌프 운전조건 변경에 따른 전력비용 절감은 수직형 정수처리시설 가변 운전범위 및 변화하는 물수요를 예측하면서 자동제어 하여야 하므로 운전제어가 용이하지 않으나, 적절한 운전제어가 수행된다면 많은 유지관리비를 절감할 수 있으므로 지속적인 연구를 통하여 관련기술을 개발할 필요가 있음.

⑤ 결론

▌ 시나리오별 시뮬레이션 결과를 요약하면 전통적인 중앙집중형 용수공급 시스템인 시나리오-1의 경우 수리학적 측면에서 만족할 만한 성능을 나타내고 있으나, HWSS에 비하여 다소 높은 압력 변화를 보이고 있음, 이는 HWSS의 압력변화 조절 능력이 우수하기 때문이며 HWSS를 이용한 용수공급 시스템 구성시 수충격 및 상수관망 노후도 억제 측면에서 다소 유리할 것으로 예상됨.

▌ 평균 잔류염소 농도는 HWSS 시스템에서 평균 0.1mg/L 농도 낮게 유지 할 수 있었으며, 이를 통하여 년간 약 12.34백만원을 절감 할 수 있을 것으로 분석됨. 잔류염소 주입량이 감소하는 경우 비용측면에서 뿐만 아니라, 냄새 및 DBPs 발생 억제 측면에서 유리하므로 HWSS가 유리한 용수공급 시스템인 것으로 나타남.

▌ 전력비의 경우 대심도를 적용한 HWSS가 약 1.38배 높게 산출되었으나, HWSS에 천심도를 적용한 경우 0.87배로 산출되어 다소 경제적인 것으로 분석되었음. 전력비는 송수관로의 지형적 특성이 보다 세밀하게 고려되어야 하며, 펌프의 종류 및 운전조건에 따라 비용이 달라질 수 있으므로 상세 설계 시에는 보다 면밀한 검토를 하여야 할 것을 제안함.

▌HWSS 시스템이 수직형 정수처리시설에 비하여 수돗물 수송을 위한 전력비가 다소 높은 측면이 있으나, 전력요금이 높은 낮 시간대를 피하고, 전력요금이 저렴한 야간시간대를 이용하여 배수지에 용수를 공급하는 경우 약 13%의 전력요금 절감효과를 기대할 수 있었고, 보다 효율적인 운전과 보다 많은 전력비 절감을 위해서는 수직형 정수처리시설의 자동제어 시스템 및 설계방법을 발전시켜야 할 것을 제안함.

▌결론적으로, 수직형 정수처리시설과 배수지 등 기존 용수공급 시스템을 활용한 HWSS는 수리학적 및 수질 측면에서 보다 효과적인 용수공급 시스템의 대안인 것으로 분석되었음. 수송에너지 측면에서는 기존 용수공급 방식에 비하여 경제적인 용수공급이 가능할 수 있으며, 자동제어 방안을 적절히 적용한다면 장기적으로 유지관리비를 더욱 절감 할 수 있을 것으로 사료됨.

▌표 2.306 시나리오 별 결과 요약정리 ▐

구분	시나리오-1	시나리오-2	시나리오-3	시나리오-4
개요	배수지에 의한 용수공급시스템	수직형 정수처리시설에 의한 직접급수	HWSS + 대심도	HWSS + 천심도
평균압력, m	29.5	28.3		
압력변화, m	0.86~9.54	0.24~4.26		
평균 잔류염소 농도, mg/L	0.41 (1.00)	0.31 (0.76)		
NaOCl 비용, 백만원/년	50.99 (1.00)	38.65 (0.76)		
전력비, 백만원/년	2,005 (1.00)	3,121 (1.56)	2,764 (1.38)	1,744 (0.87)

주) 괄호 안은 시나리오-1을 기준으로 한 비율임

주) 압력변화 : 주요 8개 노드에 대한 시간대별 평균 압력변화

(6) 행복도시 대상 분산형 용수공급시스템 구축 설계

▌본 연구에서는 H도시를 대상으로 분산형 용수공급시스템 구축을 위한 시나리오 별 기본 설계를 수행하였음. 분산형 용수공급시스템 설계를 위해 H도시 내 용수공급을 위한 원수 공급체계를 2 가지로 가정하여 연구를 수행함. 3차년도는 4차년도에 수행할 실증화 지역의 분산형 용수공급시스템 구축을 위한 기본설계를 수행하기 위한 용수공급 시나리오별 기본 설계 안을 도출하는데 그 의의가 있음을 밝힘.

▌현 시스템 상, 분산형 용수공급시스템을 구축하기 위한 용수공급라인이 별도로 설치되어 있지 않을 뿐 만 아니라, 현 용수공급라인을 활용할 수 없는 실정임. 따라서, 3차년도에서는 H도시의 분산형 용수공급시스템을 구축을 위한 원수 공급방안은 최대 현실 가능한 시나리오로 제시하였음.

▌첫째, H도시를 환산형으로 통과하는 대심도로부터 블록내 위치한 수직형 정수처리시설로 용수를 공급하는 형태의 시나리오를 수립함. 이때, 대심도의 크기 및 위치는 H도시의 토지이용도 및 기본 수치지도를 바탕으로 노선을 결정하였으며 대심도의 저류용량은 H도시 내 거주인구가 14일간 별도의 수원으로부터 원수를 공급받지 않고 기본적인 생활을 영위해 나갈 수 있는 비상용수량과 일일 계획 용수량이 합산된 용량을 바탕으로 결정하였음.

▌둘째, 현 중앙집중형 용수공급시스템의 송수관로 노선을 활용한 시나리오로써 H도시로 용수공급을 위한 월평 정수장과 신탄정수장에서 1차 처리(침전)된 용수를 H도시내 각 블록에 위치한 수직형 정수처리시설의 저류지로 이송하는 형태임. 각 저류지의 위치 및 크기는 앞에서 언급한 각 블록내 비상용수량과 계획용수량을 합산한 용량을 기초로 저류지의 크기를 산정하였으며 위치는 수직형 정수처리시설의 지하에 설치하여 원만한 정수처리공정이 수행될 수 있도록 계획하였음.

(가) 대심도 용수공급라인을 이용한 분산형 용수공급시스템 설계

▌본 설계는 현 상수도 공급체계의 대안으로 검토되고 있는 대심도 터널 방식에 대한 기본적인 계획안을 바탕으로 수행되었으며 H도시의 거주인구와 산업용도 필요 용수사용량을 기준으로 설계되었음.

▌대심도 터널로 공급되는 원수는 S 정수장에서 공급되는 1차 처리수로 가정하였으며 H

도시의 계획용수량 및 비상용수량을 저장할 수 있는 관경과 길이를 설계 요소로 고려하였음. 대심도 터널에서 공급되는 원수는 수직형 정수처리시설로 도수관로를 통해 연결되며 처리된 정수는 직결급수를 기본으로 각 구역별로 공급된다고 가정함.

① 저류용량 결정

▌대심도 터널에 저류할 용수는 H도시의 계획 용수량과 비상 용수를 참조하여 설정하였으며 계획 용수량은 거주 인구 일인당 하루 365L를 소비한다고 설정하여 추정하였음.

▌비상용수는 거주민이 기본적으로 생활에 필요한 양을 정리하여 1일이 14일 동안 사용하는 양을 기준으로 비상용수를 설정하였음. 아래 표는 H도시의 계획 용수 및 비상용수를 산정한 결과 표임.

▌대심도 터널은 자유 수면을 가지는 형태를 채택하였음. 대단위 구경은 압력을 통한 흐름을 채택하는데 있어 매우 불리하며 가압을 할 수 없는 기술적 제한이 있음. 일정한 기울기를 가지도록 터널을 설계하여 유량 흐름에 대한 에너지 사용을 최소로 가지는 시스템으로 기본계획 안을 결정하였음.

② 관경 및 길이 결정

▌대심도 터널의 길이는 H도시를 RING 형태로 순환하는 구조로 설계하여 결정 하였으며 결정된 관 길이는 총 22.5km로 계획 함. 이에 따른 관경은 다음의 계산 과정을 거쳐 산정되었음.

▌표 2.307 H도시 비상용수 및 계획용수량 산정 ▐

구 분		급수인구 (인)	비상용수 원단위 (l /capital)	비상용수량 (㎥)	계획용수량 (㎥/일)	비상+ 계획용수량 (㎥)
계				292,699	123,431	416,130
도시행정 시설	소 계	66,401		70,809	24,462	95,271
	3-1	17,368	1,066.38	18,521	7,058	25,579
	3-2	19,055	1,066.38	20,320	7,327	27,647
	3-3	29,978	1,066.38	31,968	10,077	42,045
대학연구 시설	소 계	49,050		52,306	22,845	75,151
	4-1	19,605	1,066.38	20,906	7,938	28,844
	4-2	29,445	1,066.38	31,400	14,907	46,307
의료복지 시설	소계	60,087		64,076	21,467	85,543
	5-1	22,397	1,066.38	23,884	6,551	30,435
	5-2	16,298	1,066.38	17,380	6,319	23,699
	5-3	21,392	1,066.38	22,812	8,597	31,409
첨단지식 기반시설	소 계	98,941		105,509	46,127	151,636
	6-1	18,750	1,066.38	19,995	9,316	29,311
	6-1(S)	6,205	1,066.38	6,617	11,456	18,073
	6-2	30,801	1,066.38	32,846	9,537	42,383
	6-3	27,708	1,066.38	29,547	10,749	40,296
	6-4	15,477	1,066.38	16,504	5,069	21,573
북측 열병합 발전소	소 계				8,530	8,530
					8,530	8,530

▌표 2.308 대심도 관로 연장 및 관경 결정 ▐

구 분	산정 결과
관로 연장	22.5km (평면도 참조)
계획 관경	$416{,}130\,m^3 = A \times 22{,}500\,m$ $A = 18.5\,m^2$ $18.5\,m^2 = \frac{\pi}{4} \times D^2$ $D = 4.8m\ (5.0m\text{채택})$
저류 용량 재 산정	441,800㎥

③ 설계 유의 조건

▌대심도 터널의 유지 관리를 위해 전체 관로에 0.2%의 일정한 경사를 두었으며 관리용 Shaft를 10km 당 1개를 별도로 두어 누수나 파괴에 따른 비상 상황에 터널에 접근이 용이 할 수 있도록 계획하였음.

▌대심도 터널을 환산형으로 설계시 유입점을 기준으로 Y형 형태로 노선을 분개시켜 시공하는 것이 터널이 무한정 깊어지는 것을 방지 할 수 있으며 터널의 구조적인 문제가 발생하였을 시 해당 지점에 쉽게 접근할 수 있는 장점을 가지고 있음. 대심도 터널에 저장되어 있는 용수를 Pumping하기 위한 Shaft는 총 8개로 각 대 블록별 2개를 설치하였으며 양정고는 50m에서 80m까지 각 Shaft에 따라 다양하다고 가정함. 양정고는 관로의 경사에 직접적인 영향을 받는 것으로 현 도시의 지장물 위치에 따라 변동될 수 있는 사항임.

(나) 저류조를 이용한 분산형 용수공급시스템 설계

▌저류조를 이용한 용수공급 안은 각 소블록에 1인이 14일 동안 비상 시 사용할 수 있는 용수를 저장하여 수직형 정수처리시설에 의해 소비자에게 전달하는 용수공급 방식임. H도시에 계획된 저류지의 총 개수는 시공비용, 현장여건, 유지관리에 따라 달라질 수 있는 사항임.

▌최적의 분산형 용수공급시스템 구축에 대한 패러다임은 2세부 “기존 광역용수공급 및 급/배수시스템 연계기술개발” 과제에서 깊게 논의될 것임. H시의 분산형 용수공급시스템 1차 기본 계획안으로 소블록 단위로 분산형 용수공급시스템을 구축하는 것을 제안하였으며, 이때 저류지 크기 및 위치는 북측 열병합 발전소 저류지를 포함한 14개로 각 소블록에 골고루 분포할 수 있도록 계획되었음.

▌저류조의 저장된 원수는 수직형 정수처리시설로 공급되고 해당 블록에 직결급수 방식으로 공급되며 저류조의 위치는 기본적으로 공원용지 및 녹지 생활공간과 학교 운동장을 사용하는 것이 바람직하다고 판단됨에 따라 각 소블록의 토지이용도를 활용하여 최대한 시공 및 민원이 발생하지 않을 지역을 설정하였음.

▌저류지로 공급되는 용수는 기본적으로 정수장에서 고액분리 된 용수로 수직형 정수처

리시설에서 고도 처리되어 수요자에게 용수를 공급하는 안을 기본으로 함. 일부 직접 급수가 불가능한 지역에 설치가 고려될 배수지는 수직형 정수처리시설에서 처리된 용수가 주 유입원이 되며 각 소블록에 위치수두를 최대한 활용하여 용수를 공급할 수 있도록 기존 배수지 활용을 전제로 함.

▌다음 표는 각 소블록에 설치될 저류조의 용량 및 크기를 결정한 것임. 저류조는 일반적으로 사각형의 형태를 띄며 깊이는 최대 6m를 넘지 않도록 설계되었음. 각 저류지에 공급되는 용수는 기존 송수관로를 이용하는 것으로 계획하였으며 기존 송수관로에서 각 저류지로 분기하여 유량이 공급된다고 설계함.

▌표 2.309 H도시 저류지 용량 및 크기 결정 ▐

구 분		비상용수량 (㎥)	저류지 규격			저류지 용량 (㎥)
			W (m)	L (m)	H (m)	
계		301,229	-	-	-	304,533
도시행정 시설	소 계	70,809	-	-	-	71,240
	3-1	18,521	60.0	60.0	5.2	18,720
	3-2	20,320	60.0	60.0	5.7	20,520
	3-3	31,968	80.0	80.0	5.0	32,000
대학연구시설	소 계	52,306	-	-	-	53,240
	4-1	20,906	60.0	60.0	5.9	21,240
	4-2	31,400	80.0	80.0	5.0	32,000
의료복지 시설	소계	64,076	-	-	-	64,898
	5-1	23,884	65.0	65.0	5.7	24,083
	5-2	17,380	60.0	60.0	5.0	18,000
	5-3	22,812	65.0	65.0	5.4	22,815
첨단지식 기반시설	소 계	105,509	-	-	-	106,515
	6-1	19,995	60.0	60.0	5.6	20,160
	6-1(S)	6,617	35.0	35.0	5.5	6,738
	6-2	32,846	80.0	80.0	5.2	33,280
	6-3	29,547	75.0	75.0	5.5	29,700
	6-4	16,504	55.0	55.0	5.5	16,638
북측열병합 발전소	소 계	8,530	-	-	-	8,640
		8,530	40.0	40.0	5.4	8,640

▌표 2.310 H도시 저류지 연결 인입/배출 관로 관경 설계 안 ▐

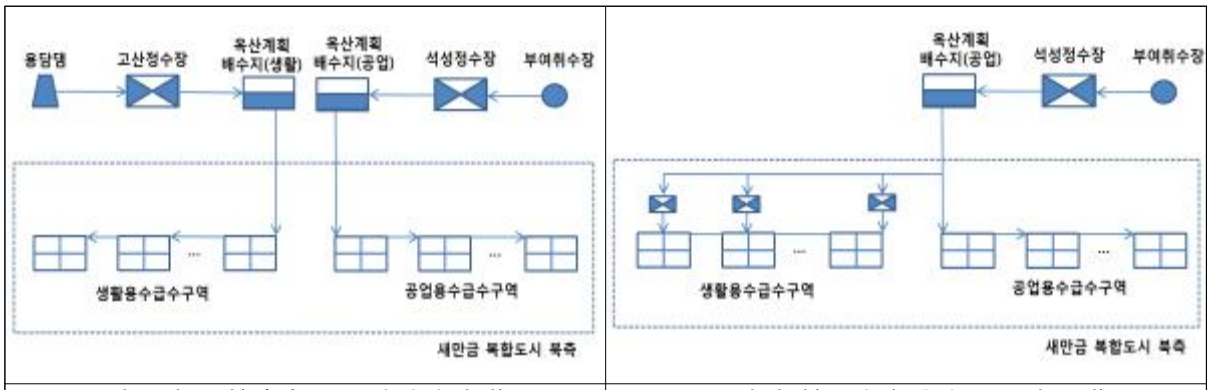
구 분		저류지 용량 (㎥)	계획 용수량 (㎥)	관경(mm)		길이(m)		마찰계수 (H-W)
				In	Out	In	Out	
도시행정 시설	3-1	18,720	7,058	300	300	373	50	100
	3-2	20,520	7,327	500	500	357	50	100
	3-3	32,000	10,077	300	300	24	50	100
대학연구 시설	4-1	21,240	7,938	400	400	1018	150	100
	4-2	32,000	14,907	300	250	833	150	100
의료복지 시설	5-1	24,083	6,551	500	500	1125	150	100
	5-2	18,000	6,319	300	300	647	50	100
	5-3	22,815	8,597	300	300	1093	245	100
첨단지식 기반시설	6-1	20,160	9,316	250	200	273	10	100
	6-1(S)	6,738	11,456	400	400	1100	50	100
	6-2	33,280	9,537	250	250	584	50	100
	6-3	29,700	10,749	800	800	802	50	100
	6-4	16,638	5,069	400	400	1538	50	100
북측열병합 발전소	-	8,640	8,530	250	250	1467	50	100

(7) 새만금 실증지역 대상 분산형 용수공급시스템 구축 기본계획 수립

(가) 계획급수구역 용수공급시나리오

① 주수원 연계 시나리오

▌ 분산형 용수공급시스템은 금강공업용수도의 침전수를 공급 받아 분산형으로 정수처리하여 생활용수로 공급하는 것으로 계획하였음. 기존시스템과 금회 분산형 용수공급시스템의 주수원 연계 시나리오를 도식화하면 다음 그림과 같음.

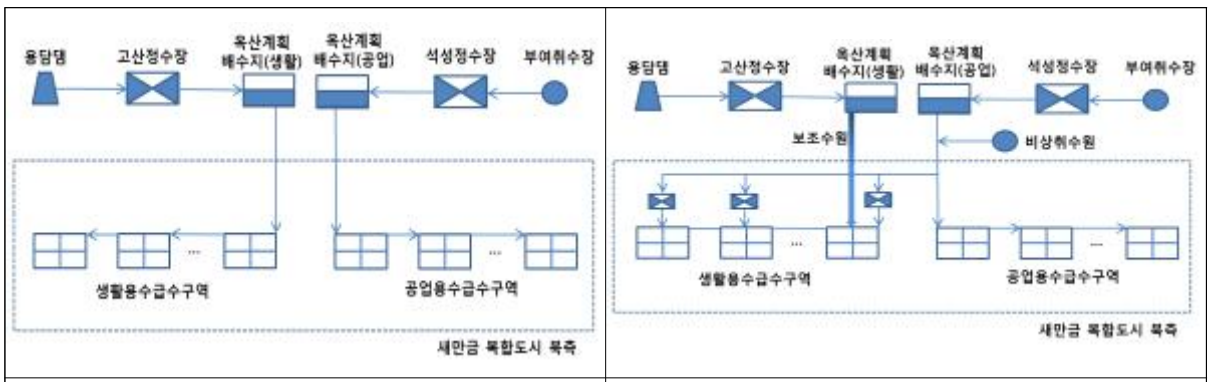


기존시스템(새만금 종합개발계획)	금회계획(분산형 용수공급시스템)

▌그림 2.541 주수원 연계 시나리오(기존시스템 vs 분산형 용수공급시스템▐

② 주수원 및 보조수원 혼합 연계 시나리오

▌ 보조수원은 주수원(금강공업용수도 침전수, 석성정수장에서 생산한 침전수)이 사고 등의 발생으로 사용이 어려운 경우에 사용할 수 있는 수원임. 앞서 언급한 바와 같이 보조수원은 전주권광역상수도의 생활용수(고산정수장에서 생산한 정수)를 급수지역에 직접 공급하는 것으로 계획하였음. 주수원과 보조수원, 비상취수원의 연계 시나리오를 도식화하면 다음 그림과 같음.



기존시스템(보조수원 없음)	금회계획(분산형 용수공급시스템)

▌그림 2.542 주수원 및 보조수원 연계 시나리오(기존시스템 vs 분산형 용수공급시스템)▐

③ 급수구역별 용수공급계획

㉮ 분산형 정수처리시설 설치 개수

▌ 금회 분산형 용수공급시스템의 구축을 위한 검토 대상지역인 새만금 복합도시 북측지역은 새만금 담수호와 소하천 및 녹지 등 지역을 기준으로 다음과 같이 6개 구역으로 분할할 수 있으며, 각 급수구역은 4,346㎥/일~ 6,883㎥/일의 용수수요가 예측됨. 각 지역을 분산형 정수처리시설의 설치 갯수에 대한 조합은 다음의 표와 같이 정리할 수

있음. 각 조합에 대한 세부적인 검토는 「3.3 계획급수구역 분산형 용수공급시스템 구축」에서 수행하였음.

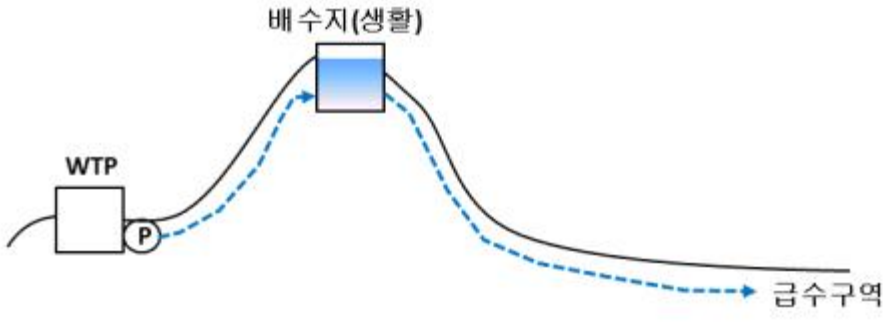
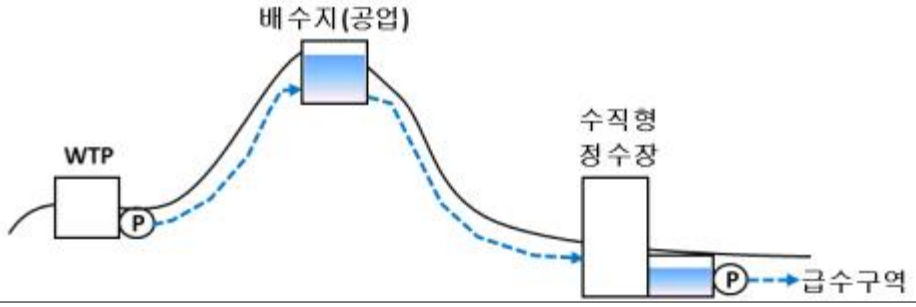
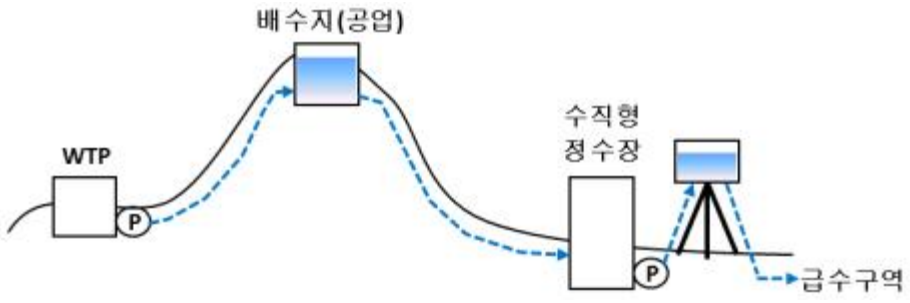
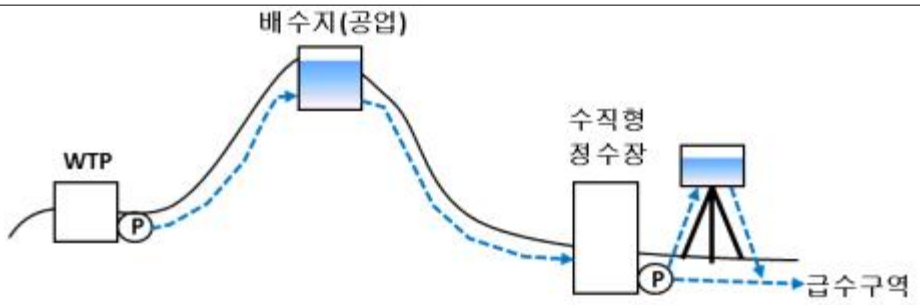
▌표 2.311 급수구역의 용수공급계획 비교 ▐

기존시스템	분산형용수공급시스템 설치조합
A+B+C+D+E+F (정수시설 없음)	A+B+C+D+E+F(정수시설 1개)
	A+B+C, D+E+F(정수시설 2개)
	A+B, C+E, D+F(정수시설 3개)
	A, B, C, E, D, F(정수시설 6개)

▌그림 2.543 급수구역별 용수수요 ▐

㉮ 급수방식

▌ 새만금 복합도시 북측지역은 계획 옥산배수지를 통하여 간접급수방식으로 공급계획이 수립되어있음. 금회 계획하는 분산형 용수공급시스템은 간접급수방식, 직접급수방식, 하이브리드 방식으로 계획하였음. 하이브리드 방식은 직접급수방식으로 공급하되 일최대급수량 미만의 수요가 발생할 경우 배수지에 정수를 저장했다가 일최대급수량을 초과하는 수요 발생시 배수지에서 용수를 공급하는 방식임. 급수방식별 모식도는 다음 그림과 같음.

기존시스템	
분산형 용수공급시스템 (직접급수)	
분산형 용수공급시스템 (간접급수)	
분산형 용수공급시스템 (하이브리드)	

▌그림 2.544 기존시스템과 분산형 용수공급시스템의 직압식과 가압식의 비교▐

(나) 계획급수구역 분산형 용수공급시스템 구축

① 수직형 정수처리시설 설치지역선정

▌ 수직형 정수처리시설을 설치하기 위한 후보지 대안을 다음 그림과 같이 선정하였음. 후보지 대안은 다음과 같은 기준으로 적합한 지역을 선정.

- 주 도로에 인접하여 위치할 것(관로 부설 단축)

- 가능한 녹지지역에 위치할 것
- 가능한 급수구역의 중간부분에 위치할 것(Water Age 최소화)

▌분산형 정수처리시설의 설치 개수 중 A,B,C 급수구역에 공급하는 정수시설 1개소, D,E,F 급수구역을 정수시설 1개소 설치하여 2개소의 수직형 정수시설을 설치하는 것에 대하여 검토를 수행하였음. 이중 급수구역의 중심에 설치하는 위치 조합(나, 마), 도수관로에서 가장 가까운 위치조합(다, 사), 도수관로에서 가장 먼 위치조합(가, 라)의 3가지 조합에 대해서 비교 하였음.

▌그림 2.545 수직형 정수장 설치 후보지역 선정▐

② 급수방식별 정량적 결과 평가

▌급수방식별 정량적 결과를 비교하면 다음의 그림과 표와 같음. 분산형용수공급시스템이 기존시스템에 비해 수압, 수질, 경제성 측면에서 우수한 것으로 나타났음. 분산형 시스템 중에서는 평균 waterage 측면에서 직접급수방식이 가장 우수한 것으로 나타났으나 차이는 크지 않음. 전력비의 경우에 도송수관로의 원거리 수송에 의한 전력소모가 크기 때문에 분산형 용수공급시스템 송·배수 펌프 전력소모에 의한 영향은 미미하였으나, 부여취수장의 수위(LWL 1.78m)가 용담댐(LWL78.6m)보다 낮아 도·송수를 위한 전력소모가 높아 분산형 용수공급시스템이 더 전력소모가 높게 나타났음.

▌표 2.312 시스템별 정량적 결과 비교 ▐

구분			급수구역 일간평균 수압변동 (kg/㎠)	수질		경제성		
				평균 waterage (hr)	격점간 잔류염소편차 (mg/L)	관로 공사비 (억원)	운영비 (억원/년)	
							전력	염소
기존시스템			3.8	20.5 (46.5)*	0.34	900.2	15.36	0.25
분산형 용수 공급 시스템	정수시설 중심위치 (나, 마)	간접급수	0.5, 0.6	4.8	0.11	729.1	19.10	0.04
		직접급수	0.5, 0.4	4.0	0.10	729.1	19.16	0.04
		하이브리드	0.5, 0.5	4.8	0.10	729.4	19.10	0.05
	정수시설 인입위치 (다, 사)	간접급수	0.8, 0.7	4.6	0.15	727.9	19.40	0.05
		직접급수	0.8, 0.7	3.8	0.16	727.9	19.54	0.05
		하이브리드	0.8, 0.7	4.7	0.17	728.3	19.39	0.05
	정수시설 원격위치 (가, 라)	간접급수	1.1, 0.7	4.1	0.16	733.4	19.42	0.05
		직접급수	1.6, 0.6	3.4	0.16	733.4	19.57	0.05
		하이브리드	1.1, 0.7	4.1	0.15	733.	19.39	0.05

주. 고산정수장에서 옥산배수지까지 이송시간(14hr) 및 배수지체류시간(12hr) 포함시

③ 계획급수구역의 급수방식 결정

▌간접급수방식은 시간별 수요변동에 대응을 위한 펌프의 제어가 필요 없으므로 직접급수방식에 비해 운영적인 측면에서 유리할 것으로 예상됨. 그러나 waterage나 잔류염소농도 등 수질적인 측면에서는 직접급수방식이 유리한 것으로 판단되며, 직접급수방식은 고가수조의 설치가 필요 없다는 장점이 있음. 금회 연구과제의 목표가 수질이 우수한 수돗물을 공급하는 것을 고려할 때, 계획급수구역의 급수방식은 직접급수방식이 바람직한 것으로 판단됨.

④ 수직형 정수처리시설의 적정규모 결정

▌수직형 정수처리시설의 적정규모는 적용대상지의 용수수요에 따라 달라질 것임. 수직형 정수처리시설의 적정규모는 용량별 경제성을 평가하여 결정하는 것이 타당할 것으로 사료됨. 금회 새만금 실증지역의 수직형 정수처리시설의 규모는 2만톤/일로 결정함.

⑤ 수직형 정수처리시설 최적 설치위치 결정

▌경제성, 수압의 변동폭, 잔류염소농도의 변동폭, waterage 등을 종합적으로 고려할 때 수직형 정수처리시설의 최적 설치 위치는 급수구역의 중심에 가까이 위치하는 것이 유리한 것으로 나타났음.

⑥ 최적 펌프조합 및 운영계획

㉮ 개요

▌분산형 용수공급시스템 중 직접급수방식인 경우에 대하여 검토하였음. 직접급수방식일 경우에는 펌프운전이 수용가의 유량변동을 실시간으로 대응 하여야 하기 때문임. 최적 펌프조합 및 운영계획을 검토하여야 하기 위해서 시간계수에 따른 시간 변동에 따른 적정펌프조합을 검토하였으며, 개발시기 등 중장기적인 용수수요의 증가 및 계절별 용수수요의 변동 등 불확실성에 대한 사항은 검토대상에서 제외하였음.

㉯ 펌프조합 및 운영검토

▌금회 계획하는 분산형 용수공급시스템의 일최대급수량은 A급수지역 18,109㎥/일, B급수지역은 16,939㎥/일 수요가 발생하는 것으로 계획되어 있음. 시간최대 피크는 1.35로 가정하였을 때, 급수구역에 직접급수하기 위한 펌프시설의 용량은 A급수지역 24,500㎥/일(18,108×1.35), B급수지역 22,900㎥/일(16,939×1.35)로 계획

▌당 급수량은 중소규모의 급수량이므로 일반적으로 펌프시설을 동일한 규격으로 계획하였으며, 또한 급수구역에 발생하는 수요변동에 대하여 수압을 안정적으로 유지하기 위해서는 펌프를 비례제어하는 것으로 계획하였음.

▌표 2.313 최적펌프조합 검토를 위한 시간별 유량 변동 ▐

시간	시간계수	용수수요(㎥)	
		a급수지역	b급수지역
1hr	0.66	498	466
2hr	0.59	445	416
3hr	0.56	423	395
4hr	0.54	407	381
5hr	0.56	423	395
6hr	0.69	521	487
7hr	0.95	717	671
8hr	1.25	943	882
9hr	1.35	1,019	953
10hr	1.33	1,004	939
11hr	1.28	966	903
12hr	1.22	921	861
13hr	1.26	951	889
14hr	1.22	921	861
15hr	1.13	853	798
16hr	1.08	815	762
17hr	1.09	822	769
18hr	1.18	890	833
19hr	1.22	921	861
20hr	1.18	890	833
21hr	1.08	815	762
22hr	1.05	792	741
23hr	0.92	694	649
24hr	0.63	458	432
계		18,109	16,939

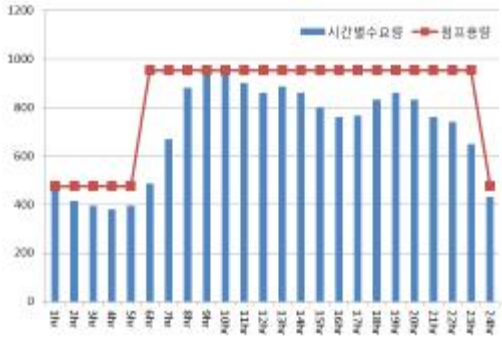
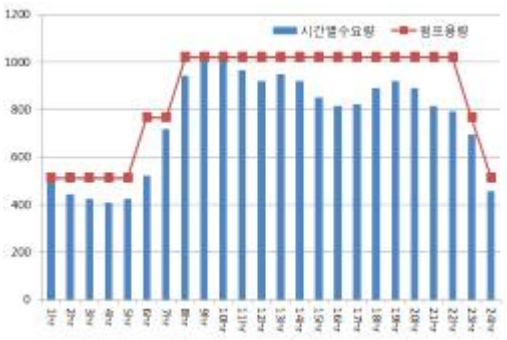
▌ 같은 규격의 펌프를 2대, 3대, 4대 사용할 경우(예비 제외)의 사양을 비교한 결과를 요약하면 다음의 표와 같음. 2대를 사용할 경우 예비율이 50%, 3대를 사용할 경우 예비율이 33.3%, 4대를 사용할 경우 예비율이 25%로 예비율은 상용2대 및 예비1대로 구성한 것이 높은 것으로 나타났음. 예상효율의 경우에는 비슷하게 나타났는데 기성 펌프의 규격과 유량에 따라 달라 질 수 있음.

▌표 2.314 최적펌프조합 검토를 위한 시간별 유량 변동 ▐

구분	단위	A급수지역			B급수지역		
		1안	2안	3안	1안	2안	3안
시설용량	㎥/일	24,500	24,500	24,500	22,900	22,900	22,900
펌프유량	㎥/일	12,250	8,167	6,125	11,450	7,633	5,725
	㎥/hr	510	340	255	477	318	239
	㎥/min	8.51	5.67	4.25	7.95	5.30	3.98
펌프양정	m	22	22	22	26	26	26
예상효율	%	78	78	80	81	80	79
모터정격	kW	55	37	30	55	37	37
설치대수	(상용)	2	3	4	2	3	4
	(예비)	1	1	1	1	1	1
	계	3	4	5	3	4	5
운전방식	-	인버터제어	인버터제어	인버터제어	인버터제어	인버터제어	인버터제어
전압	-	380V	380V	380V	380V	380V	380V
예비율	-	50.0%	33.3%	25.0%	50.0%	33.3%	25.0%

▌ 운영펌프의 대수를 2대, 3대, 4대로 구분하였을 경우의 펌프 운전대수와 펌프용량, 실제수요량을 비교한 그래프는 다음과 같다. 유량제어범위는 작은 값을 나타낼수록 운영에 유리한데 평균유량제어범위는 3안, 1안, 2안의 순서로 작게 나타났으며, 유량제어범위(최소~최대)는 3안, 2안, 1안의 순서로 나타났다. 즉 유량제어범위는 설치대수를 증가할수록 좁아지므로 시간별로 변동되는 수요량에 대응이 우수한 것으로 나타났다. 한편 댓수를 증가시킬수록 유량제어범위는 줄어드는 경향을 나타내나 시간별 유량변동조건 및 설치대수의 특성에 따라 평균 유량제어범위는 오히려 적은 대수에서도 우수할 수 있는 것으로 나타났다(금회의 경우 2안보다 1안의 평균 제어범위 값이 작은 것으로 나타남).

▌표 2.315 펌프조합 대안별 유량제어범위 ▐

구분	A급수지역	B급수지역
1안 (2대)	 유량제어범위 : 0.2% ~ 49.0% (평균 15.3%)	 유량제어범위 : 0.1% ~ 49.0% (평균 15.2%)
2안 (3대)	 유량제어범위 : 0.2% ~ 40.2% (평균 19.6%)	 유량제어범위 : 0.1% ~ 40.1% (평균 19.5%)
3안 (4대)	 유량제어범위 : 0.2% ~ 32.0% (평균 12.6%)	 유량제어범위 : 0.1% ~ 31.9% (평균 12.5%)

㉰ 펌프조합에 따른 경제성 검토

▌ 펌프조합에 따른 경제성을 검토한 결과는 다음표와 같다. 대안별로 전력비 및 유지관리는 유사한 수준이나 펌프의 개수가 증가할수록 설치비(초기투자비)가 증가하여 펌프개수를 증가시키는 대안이 경제적으로 불리한 것으로 나타났다.

▌표 2.316 최적펌프조합 검토를 위한 시간별 유량 변동 ▐

구분			단위	A급수지역			B급수지역		
				1안	2안	3안	1안	2안	3안
시설현황	시설용량		㎥/일	24,500	24,500	24,500	22,900	22,900	22,900
	펌프유량		㎥/일	12,250	8,167	6,125	11,450	7,633	5,725
	펌프양정		m	22	22	22	26	26	26
	예상효율		%	78	78	80	81	80	79
	모터정격		kW	55	37	30	55	37	37
	설치대수		(상용)	2	3	4	2	3	4
			(예비)	1	1	1	1	1	1
			계	3	4	5	3	4	5
경제성	설치비		백만원	211 (100.0%)	231 (109.6%)	287 (136.1%)	191 (100.0%)	235 (123.1%)	283 (148.6%)
	운영비	전력	백만원/년	67.9	68.3	67.0	72.8	73.2	74.6
		유지보수	백만원/년	3.7	4.0	5.0	3.3	4.1	4.9
		소계	백만원/년	71.6	72.3	72.0	76.1	77.3	79.5
		15년운영*	백만원	716 (100.0%)	723 (101.0%)	720 (100.6%)	761 (100.0%)	773 (101.6%)	795 (104.4%)
	총비용		백만원	927 (100.0%)	954 (102.9%)	1,007 (108.6%)	952 (100.0%)	1,008 (105.9%)	1,078 (113.2%)

주. 할인율 5.5% 기준 15년 비용 합계에 대한 현가 계수인 10.0 적용

⑦ 결 론

▌ 펌프의 설치대수가 증가할수록 유량변동에 대한 펌프의 제어 폭이 감소하기 때문에 운영에 유리하고 유량변동에 대한 대응성이 우수한데 비해, 경제성은 오히려 감소하게 됨.

▌ 금회에는 일간 유량변동에 대해서만 검토하였으나 실제로는 중장기적인 용수수요의 변동 또한 발생하므로 연차별 용수수요 및 시간별 용수수요 변동을 모두 고려하여 수요 변동에 대한 펌프의 대응이 가능한 최소한의 대수의 펌프를 선정하는 것이 운영 안정성 및 경제성을 확보하는 방안으로 판단됨.

▌ 분산형 용수공급시스템의 직접급수방식은 시간별 용수수요에 대하여 실시간 대응이 필요하므로 펌프를 인버터 등의 제어 설비를 구비하여야 함.

3. 분산형 용수공급시스템 운영유지관리 기술 (3세부)

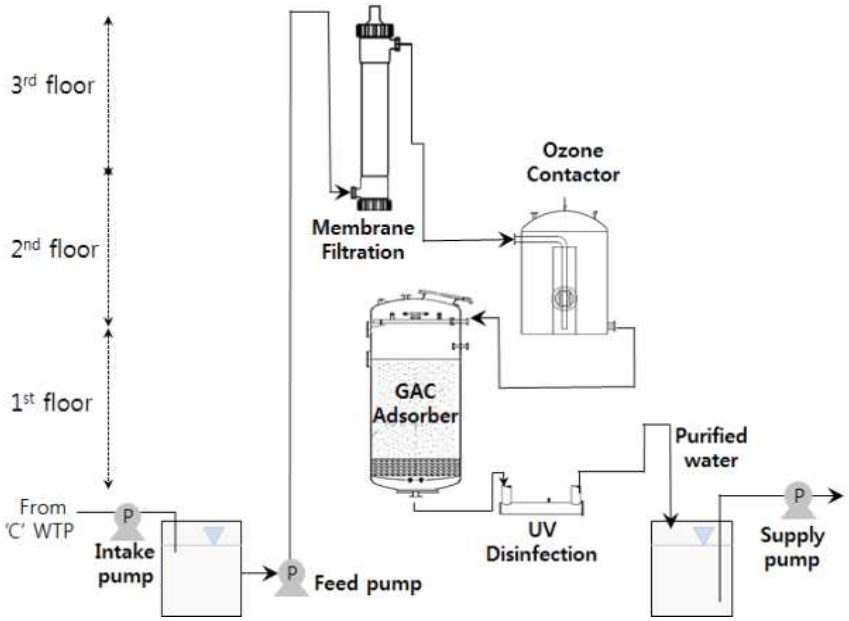
가. 수직형 정수처리 플랜트 효율성 검증

(1) 목 적

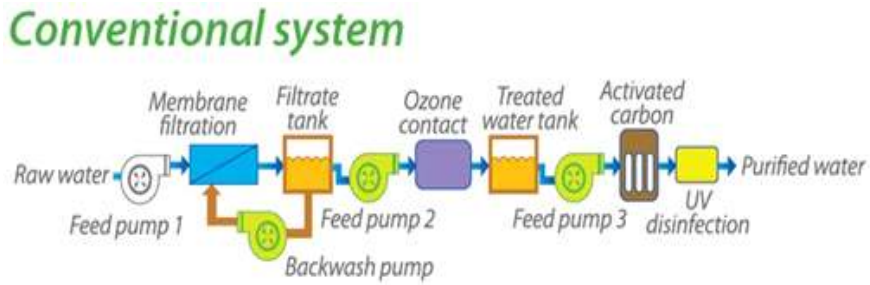
▌**본 시설은 기존의 평면형(Horizontal) 정수처리공정 배열을 수직형(Vertical)으로 배열하고, 단위공정간의 연계에 있어서도 기존의 중간저류조(storage tank) 및 펌프를 모두 설치하지 않고 직결(Direct coupled)로 구성한 정수처리 플랜트이다. 따라서, 기존의 공정구성에서 수처리 효율성을 주로 검토하는 방식에 추가로 압력식에 적합한 압력분포 특성 등 수리적 검토를 추가 하였으며, 또한, 수직형 구성에 따른 에너지 효율성을 검토하였다. 또한, 본 공정구성은 처음으로 시도되는 것으로 단위공정의 운영에 있어서 비효율적 요소를 개선하고자 하였음.**

(2) 시설제원

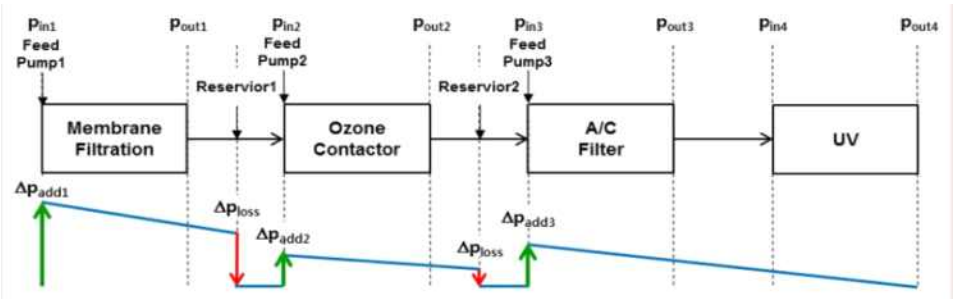
- 수직형 정수처리 플랜트는 C정수장 내에 시설용량 1,000㎥/day 규모로 지하 1층, 지상 4층으로 건설하고 C정수장의 원수 및 침전수를 이용하여 운영하였다.
- 공정 배치에 있어서 막여과 공정을 3층에 배치하고 이후 공정인 오존 및 입상활성탄을 순차적으로 하향류 형태로 배치하였다. 구조적인 측면에서 오존 및 입상활성탄 공정처럼 일정 체류시간을 확보하는 공정은 반응조 및 용수의 중량 등을 고려하여 활성탄을 1층에 배치하였다.
- 통상적으로 자연유하 방식의 일반적인 정수처리 방식에서는 동수경사선에 의하여 용수가 후단 공정으로 이동되나, 수직형 구조의 경우에는 펌프에 의한 공급이 요구되어 지며, 펌프 공급 방식의 경우에는 안정적인 공급을 위하여 단위공정별로 저류를 위한 저류공간을 필요로 하게 됨.
- 본 플랜트 구성에 있어서는 이러한 저류공간을 없애기 위한 용수공급 방식을 구현하기 위해 공정간 중간 저류조가 없는 직결시스템(direct coupled system)을 적용하였다. 즉, 막여과 공정에서 용수를 공급하는 공급펌프의 압력을 이용하여 최종 공정까지 활용하는 방식을 도입하였음.



▌그림 2.546 Schematics of direct coupled multi-stories WTP ▐

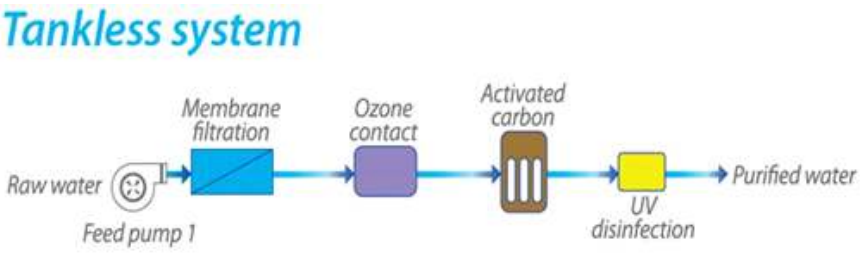


(a) Process Diagram

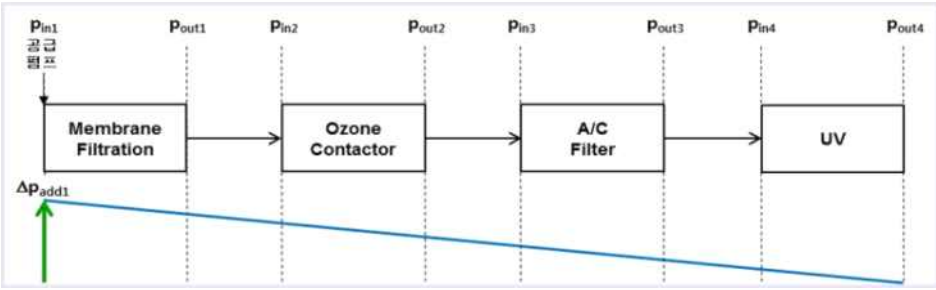


(b) Pressure profile

▌그림 2.547 Schematics of conventional system with inter-reservoir ▐



(a) Process Diagram



(b) Pressure profile

▌그림 2.548 Schematics of direct coupled system without inter-reservoir ▐

- 막여과 공정은 2개의 모듈을 1계열로 총 6계열을 구성하고 상시 5계열이 운영되었으며, 막여과 유입펌프는 각 계열별로 6개가 설치되고 인버터 제어를 통해 운영
- 오존산화 공정은 압력식 구조의 반응조를 2계열로 구성하여 막여과에서 생산되는 유량을 2개의 오존접촉조로 분리 공급하고 오존 주입방식은 Side stream 방식으로 운영.
- 또한, 입상활성탄 공정은 압력식 구조의 4개의 접촉조를 유량제어 방식으로 구성하였으며, 활성탄흡착조는 공상접촉시간(EBCT)은 15분을 확보할 수 있도록 2.3m의 여재를 포설
- 자외선 소독설비는 자외선 램프 8개를 단일 반응조에 설치
- 각 공정별 제원과 운전조건은 아래 표에 나타냄.

▌표 2.317 막여과 공정 제원 ▐

구 분	시설계획	비 고
Membrane	•형 식 : SFD2880 •통수 방식 : 외압식 •구동 방식 : 가압식 •크 기 : 200mm x 2360mm •여과면적 : 77 m2 •Flux : 58.3 L/m2/h •운전방식 : Dead-End	

▌표 2.318 막여과 운전조건 및 설정시간▐

구 분		운영조건 및 설정시간
Backwash Frequency		Once every 20 to 60 minutes (water source or pilot test results)
Backwash Duration		40 to 120 seconds
Backwash Flux		100 to 150 l/m2•h (60 - 90 gfd)
Air Scour	Maximum Inlet Pressure	2.5 bar (36 psi)
	Air Flow per Module	5 to 12 Nm³/h (3 - 7 scfm)
	Duration	20 to 60 seconds per cycle
	Air-Water Mix Entrance Pressure	≤ 1.0 bar (14 psi)
	Air Quality	Non-oil compressed air
Chemically Enhanced Backwash	Frequency	As needed
	Duration	Backwash Time plus soak 5 to 20 minutes
	Cleaning Solutions	0.1 % HCl, 2% Citric, 2% Oxalic, 0.1% NaOCl, 0.05% NaOH
Clean In Place	Frequency	When TMP exceeds 1.0bar above starting TMP(at same temp.)
	Duration	120 minutes (recycle and soak) or longer
	Cleaning Solutions	0.2% HCl, 2% Citric, 2% Oxalic, 0.1%NaOH +0.2% NaOCl
	Cleaning Flux per Module	1.0 - 1.5 m³/h (6.6 - 8.8 gpm)
	Temperature Range	10 to 40 ℃

▌표 2.319 오존 공정 제원▐

구 분	시설계획	비 고
오존접촉설비 (가압식)	•규격 : 5.5㎥ •체류시간 : 15 min •오존주입농도 : 2ppm •수량 : 2 Sets	

▌표 2.320 오존 공정 설비구성▐

구 분		사 양
액체산소탱크	용량	160L
오존발생기	형식	수냉식, 무성방전식
	용량	140 gO_3/hr 이상
	농도	10wt%
	동력	약 1.4kW
	규격	W77 x D60 x H 120 cm
인젝터	오존주입률	2 g O_3/m^3
	흡입량	16LPM,4.3bar
	토출압력	4.3bar
접촉탱크	크기	D1.7 x H2.3,원형
	수량	2
배오존 파괴기	운전온도	45~65℃
	처리효율	0.1ppm 이하
	동력	약 0.03kWh
모티브펌프	흡입용량,	16LPM,4.3bar
	형식	벤츄리식

▌표 2.321 활성탄 공정 제원▐

구 분	시설계획	비 고
활성탄설비 (가압식)	•재질 : 석탄계 •입경 : 12×40mesh (유효경 : 0.6~0.7mm, 균등계수 : 1.6 이하) •GAC 여층두께 : 2.3m •규격 : D1.2m × H3.79m •EBCT : 15 min •수량 : 4 Sets	

▌표 2.322 활성탄 공정 운전조건▐

단 계	설 정 시 간
Filtration	720 hrs.
Cleaning	1800초 (lowering 0~300sec, aeration 301~600sec, backwash 601~1500sec, rinse 1501~1800sec)
Filling	300 sec.
Remarks	•Cleaning 전환시간 5분(A계열 역세 끝난 뒤 B계열 역세로 전환되는 시간) •역세펌프 운전시간 : 900초/1회 •Blower 운전시간 : 300초/1회

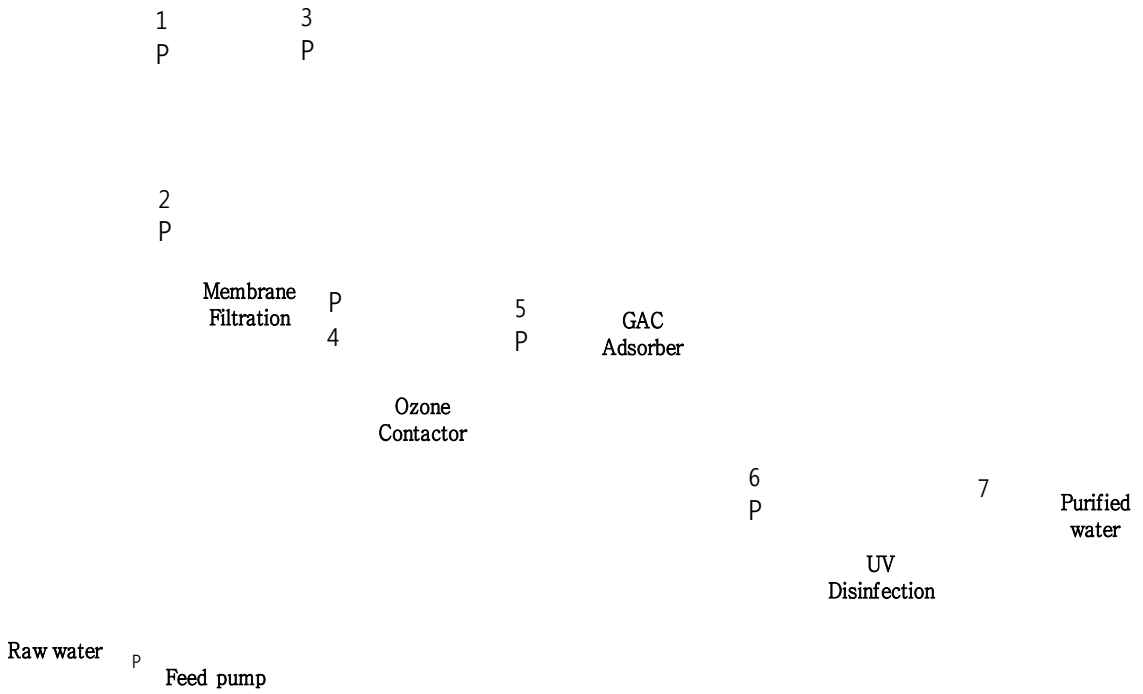
▌표 2.323 자외선 소독 공정 제원▐

구 분	시설계획	비 고
자외선 소독설비	•형 식 : 관로형 •용 량 : 42.0 ㎥/hr •체류시간 : 7.7 sec •수 량 : 1대 •자외선투과율 : 70%이상 •자외선조사량 : 45,775 uW-sec/cm^2	

(3) 수직형정수처리 실증플랜트 효율평가 결과

□ 유입압력에 따른 압력변화 등 수리적 평가

- 수직형 정수처리 시설에는 평면형 정수처리시설보다 높은 압력으로 운전 될 것으로 예상되어 실증시설의 운전 압력에 따른 효율을 평가하기 위해 압력실험을 실시함.
- 압력조건의 변화에 따른 공정별 압력변화 특성을 확인하기 위해 공정의 최후말단인 UV후단의 수동밸브(7)의 개도율을 임의적으로 조절하여 운전압력의 변화에 따른 결과를 알아보기 위해 실험을 하였으며, UV 후단 밸브외의 설치된 모든 밸브의 개도율은 100%로 동일한 조건에서 실험함.



▌그림 2.549 Process diagram of vertical type WTP ▐

([1] : Feed pump pressure gauge, [2] : UF Inlet pressure gauge, [3] : UF Outlet pressure gauge, [4] : Ozone Inlet pressure gauge, 수 : Ozone Outlet pressure gauge, [6] : GAC Outlet pressure gauge, [7] : UV Outlet valve)

▌표 2.324 압력실험 운전조건 - 침전수▐

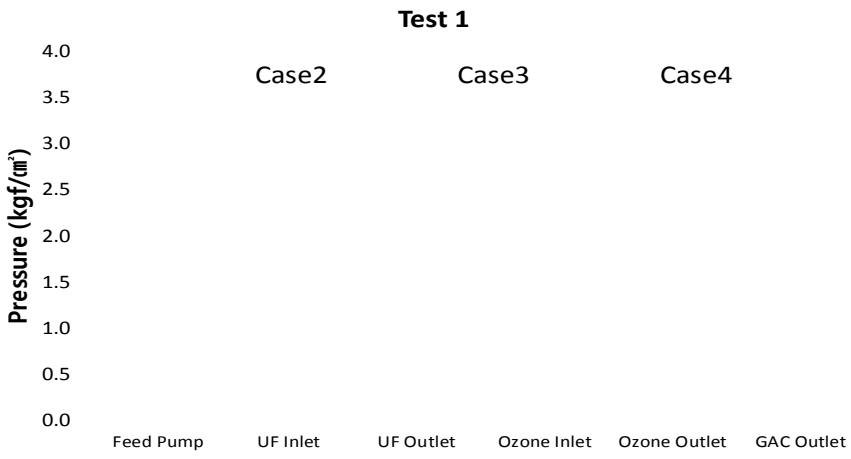
Parameter	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5	Test6
TMP (kgf/㎠)	0.50	0.60	0.65	0.75	0.85	0.90
활성탄 차압 (kgf/㎠)	0.19	0.28	0.46	0.71	0.15	0.1
오존 주입농도 (ppm)	-	2	-	-	-	-

- 실험은 운전압력을 5단계로 조절하여 실험을 함(Case1~5).
- Case 1 : 모든 밸브 개도율 100%(not controlled)
- Case 2~5 : UV 후단 밸브 개도율을 조절하여 압력제어.

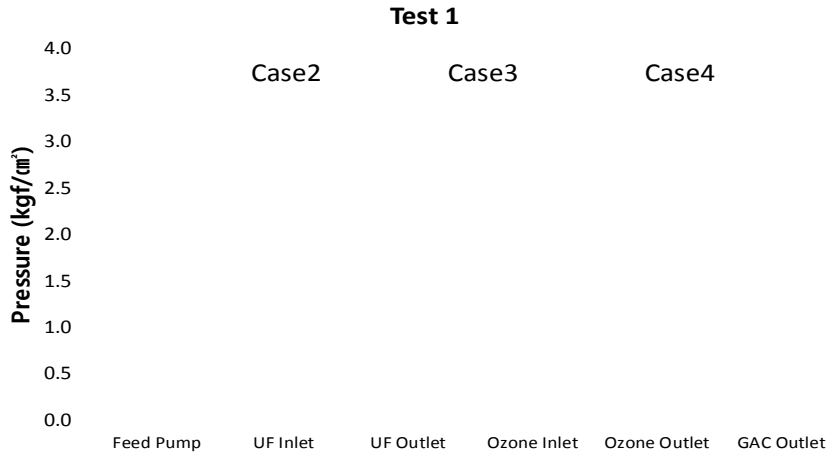
▌표 2.325 압력실험 운전조건 - 원수▐

Parameter	Test7	Test8	Test9	Test10	Test11	Test12
TMP (kgf/㎠)	0.72	1.17	0.48	0.95	0.77	0.69
활성탄 차압 (kgf/㎠)	0.18	0.16	0.20	0.16	0.16	0.17
오존 주입농도 (ppm)	-	-	-	-	-	-

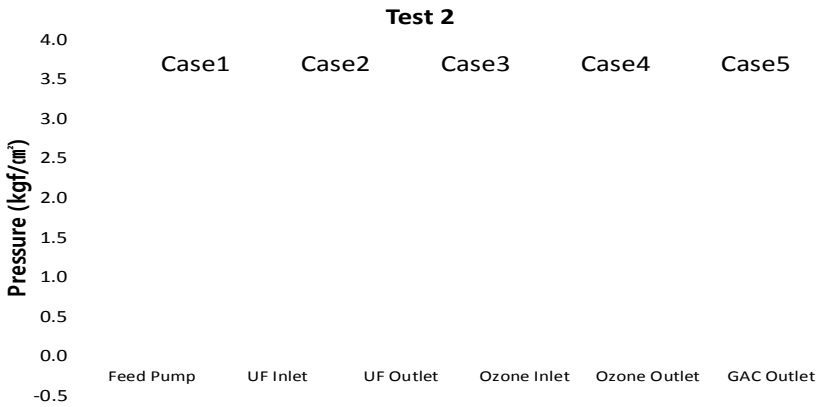
- 실험은 운전압력을 5단계로 조절하여 실험을 함(Case1~5).
- Case 1 : 모든 밸브 개도율 100%(not controlled)
- Case 2~5 : UV 후단 밸브 개도율을 조절하여 압력제어.



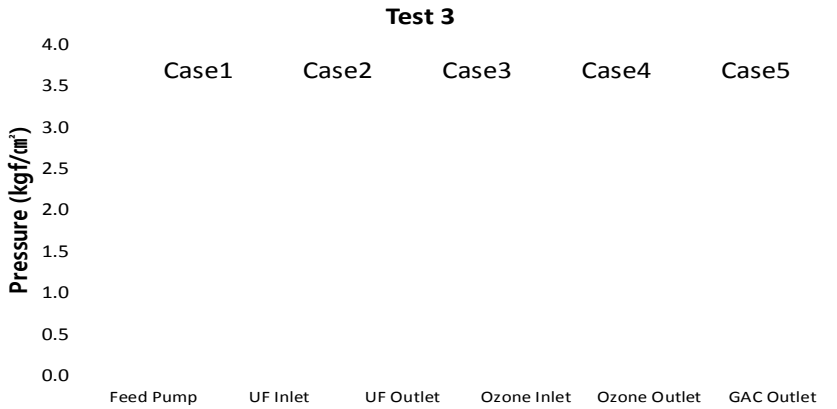
▌그림 2.550 Test1의 각 단위공정에서의 압력실험 결과 ▐



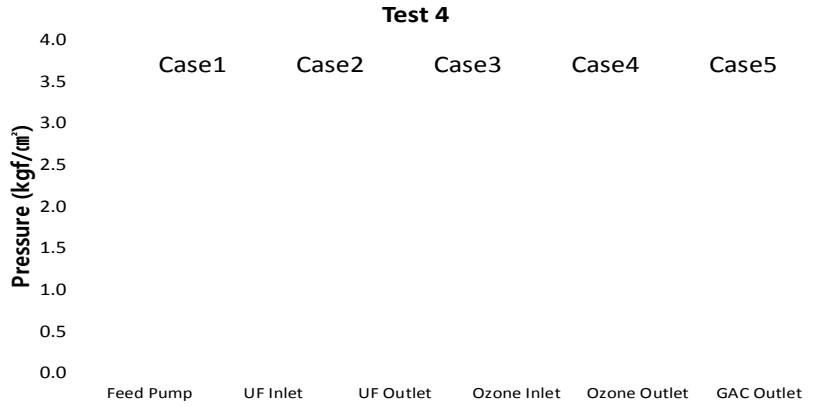
▌그림 2.551 Test1의 각 단위공정에서의 압력실험 결과 ▐



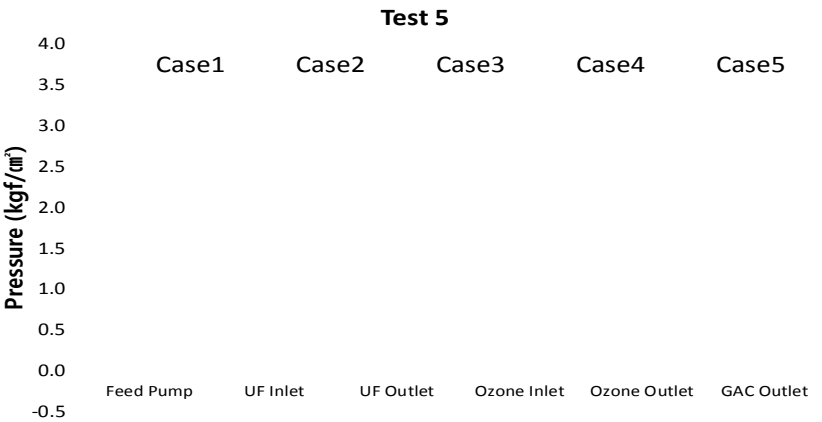
▌그림 2.552 Test2의 각 단위공정에서의 압력실험 결과 ▐



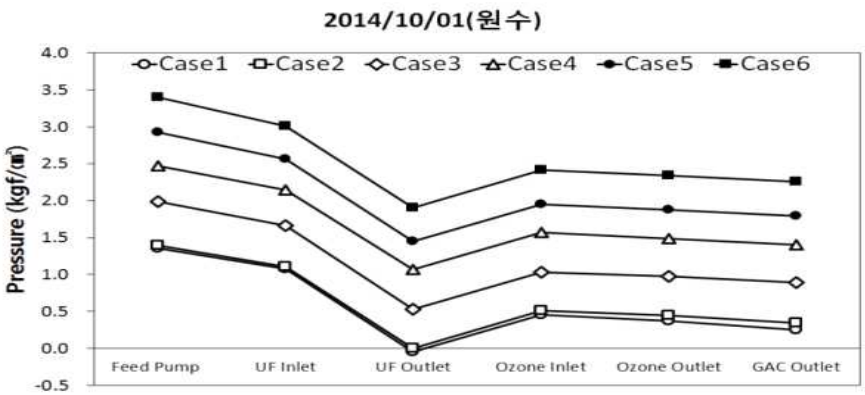
▌그림 2.553 Test3의 각 단위공정에서의 압력실험 결과 ▐



▌그림 2.554 Test4의 각 단위공정에서의 압력실험 결과▐



▌그림 2.555 Test5의 각 단위공정에서의 압력실험 결과▐



▌그림 2.556 Test7의 각 단위공정에서의 압력실험 결과▐

▌표 2.326 압력실험 결과 - 침전수▐

Parameter		Case1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Test1	P_1	1.39	3.89	-	-	-
	P_2	1.28	3.65	-	-	-
	P_3	0.12	2.56	-	-	-
	P_4	0.56	3.06	-	-	-
	P_5	0.45	2.96	-	-	-
	P_6	0.35	2.88	-	-	-
Test2	P_1	1.25	1.58	1.82	2.87	4.08
	P_2	1.13	1.44	1.67	2.65	3.82
	P_3	-0.11	0.22	0.46	1.47	2.61
	P_4	0.39	0.72	0.96	1.97	3.12
	P_5	0.30	0.61	0.84	1.85	3.02
	P_6	0.08	0.40	0.62	1.65	2.86
Test3	P_1	1.44	1.74	1.97	2.59	3.02
	P_2	1.31	1.59	1.81	2.39	2.79
	P_3	0.06	0.38	0.57	1.20	1.65
	P_4	0.56	0.88	1.07	1.70	2.15
	P_5	0.47	0.79	0.98	1.61	2.05
	P_6	0.08	0.41	0.60	1.22	1.66
Test4	P_1	1.81	2.23	2.46	2.99	3.55
	P_2	1.69	1.97	2.31	2.81	3.36
	P_3	0.43	0.79	1.06	1.51	2.12
	P_4	0.93	1.28	1.55	2.00	2.62
	P_5	0.81	1.17	1.44	1.90	2.51
	P_6	0.11	0.45	0.74	1.23	1.83
Test5	P_1	1.48	1.62	1.87	2.44	3.11
	P_2	1.33	1.49	1.69	2.26	2.88
	P_3	-0.05	0.13	0.33	0.92	1.52
	P_4	0.40	0.62	0.83	1.41	2.02
	P_5	0.27	0.52	0.73	1.31	1.91
	P_6	0.13	0.43	0.65	1.23	1.83
Test6	P_1	1.63	-	-	-	-
	P_2	1.40	-	-	-	-
	P_3	0.08	-	-	-	-
	P_4	.057	-	-	-	-
	P_5	0.47	-	-	-	-
	P_6	0.40	-	-	-	-

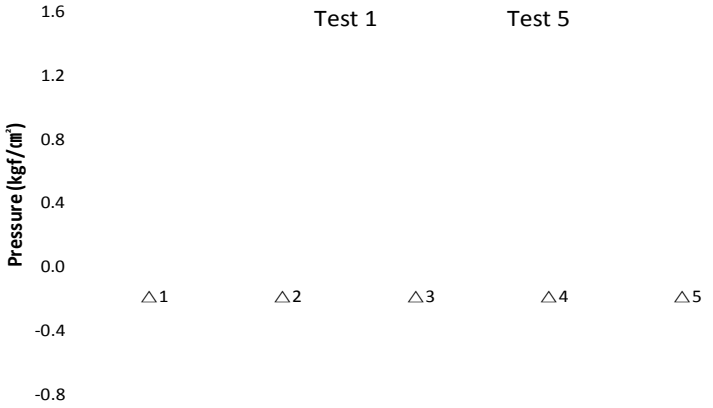
P_1 : Feed pump pressure, P_2 : UF inlet pressure, P_3 : UF outlet pressure,
P_4 : Ozone inlet pressure, P_5 : Ozone outlet pressure, P_6 : GAC outlet pressure

▌표 2.327 압력실험 결과 - 원수▐

Parameter		Case1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6
Test7	P_1	1.36	1.39	1.99	2.47	2.93	3.40
	P_2	1.08	1.11	1.66	2.15	2.56	3.01
	P_3	-0.04	0.00	0.53	1.07	1.45	1.91
	P_4	0.46	0.51	1.04	1.57	1.96	2.41
	P_5	0.37	0.44	0.97	1.49	1.88	2.34
	P_6	0.25	0.35	0.89	1.40	1.79	2.26
Test8	P_1	-	1.81	-	-	-	-
	P_2	-	1.52	-	-	-	-
	P_3	-	0.04	-	-	-	-
	P_4	-	0.55	-	-	-	-
	P_5	-	0.49	-	-	-	-
	P_6	-	0.40	-	-	-	-
Test9	P_1	-	1.42	-	-	-	-
	P_2	-	0.96	-	-	-	-
	P_3	-	0.09	-	-	-	-
	P_4	-	0.59	-	-	-	-
	P_5	-	0.53	-	-	-	-
	P_6	-	0.40	-	-	-	-
Test10	P_1	-	1.62	-	-	-	-
	P_2	-	1.33	-	-	-	-
	P_3	-	0.04	-	-	-	-
	P_4	-	0.54	-	-	-	-
	P_5	-	0.49	-	-	-	-
	P_6	-	0.40	-	-	-	-
Test11	P_1	-	1.49	-	-	-	-
	P_2	-	1.20	-	-	-	-
	P_3	-	0.07	-	-	-	-
	P_4	-	0.57	-	-	-	-
	P_5	-	0.51	-	-	-	-
	P_6	-	0.41	-	-	-	-
Test12	P_1	-	1.55	-	-	-	-
	P_2	-	1.12	-	-	-	-
	P_3	-	0.06	-	-	-	-
	P_4	-	0.56	-	-	-	-
	P_5	-	0.50	-	-	-	-
	P_6	-	0.40	-	-	-	-

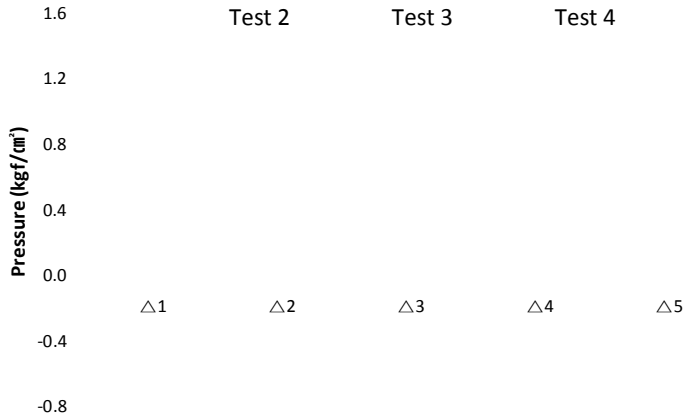
P_1 : Feed pump pressure(공정 최상단), P_2 : UF inlet pressure, P_3 : UF outlet pressure,
P_4 : Ozone inlet pressure, P_5 : Ozone outlet pressure, P_6 : GAC outlet pressure

- 막여과 공정의 차압에 대한 공정별 압력 영향 분석에서 UF의 후단에서 압력차가 크게 발생하며, 이는 유입압의 증가로 이어짐으로 TMP 제어가 막여과 공정의 운전과 수직형 정수처리시설의 압력제어에 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있음



▌그림 2.557 Average of differential value in Case2 (△1 : P_1 - P_2, △2 : P_2 - P_3, △3 : P_3 - P_4, △4 : P_4 - P_5, △5 : P_5 - P_6) ▐

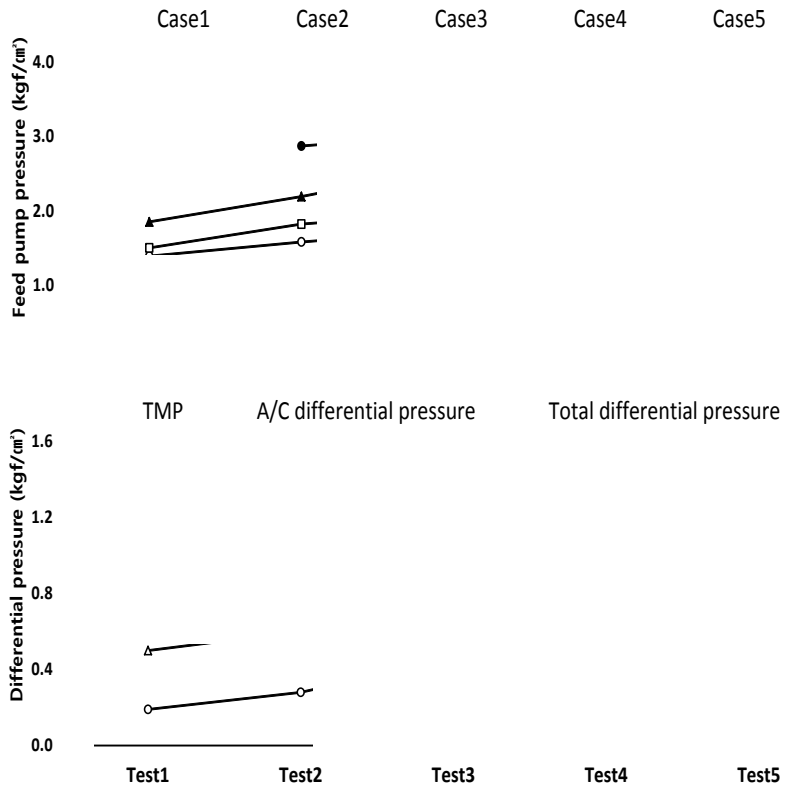
- 활성탄 공정의 차압에 대한 공정별 압력 영향 분석에서, 활성탄의 운전 차압에 따라 수직형 정수시설의 압력변동 원인이 되므로 활성탄 공정의 철저한 차압관리가 필요.



▌그림 2.558 Average of differential value of in Case3 (△1 : P_1 - P_2, △2 : P_2 - P_3, △3 : P_3 - P_4, △4 : P_4 - P_5, △5 : P_5 – P_6) ▐

- 차압이 원수 유입펌프에 미치는 영향 분석에서, 총 차압(Total differential pressure)은 막여과 공정과 활성탄 공정의 차압의 합을 나타낸 것이며, 이 총 차압

과 비례하여 원수유입펌프의 압력은 증가함을 알 수 있다. 이것은 수직형구조의 특징으로 하부층의 압력이 UF 유입공급펌프인 원수유입펌프의 압력으로 귀결되어 발생하는 현상으로 판단됨.



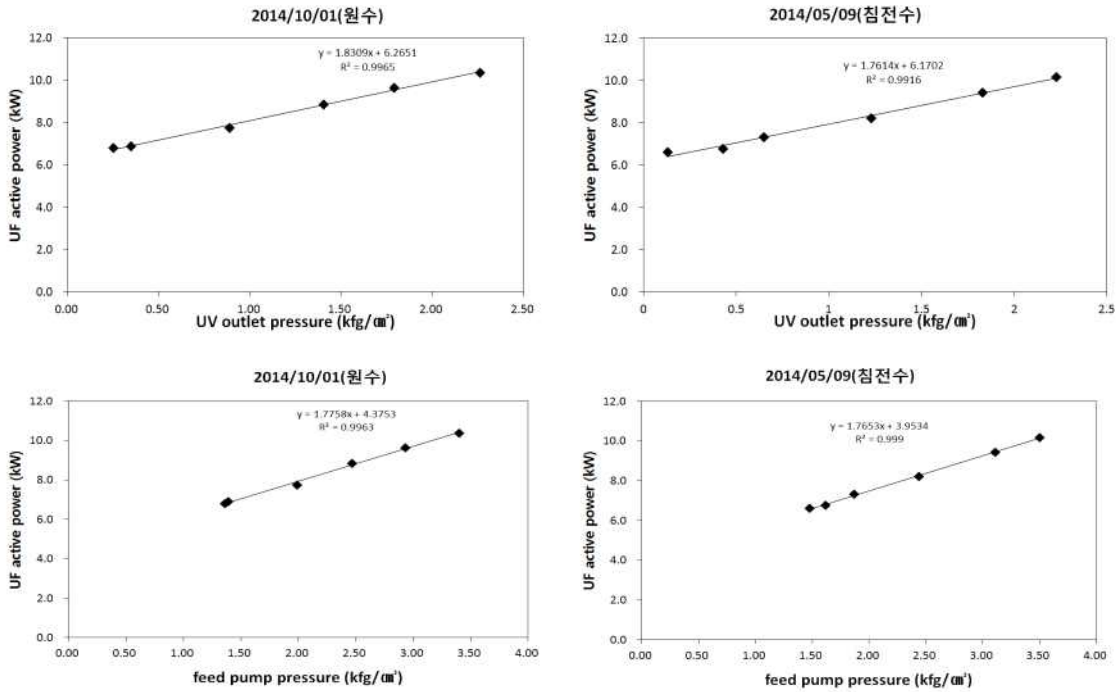
▌그림 2.559 Effect of differential pressure by feed pump pressure ▌

- 차압 및 운전압력이 전력사용에 미치는 영향을 분석한 결과, 오존, 활성탄, UV 공정의 유효전력은 압력조건이 변하여도 항상 일정하게 나타나지만, 운전압력이 높아질수록 막여과 공정의 유효전력이 높아지는 것을 알 수 있다. 운전압력이 높아질수록 원수유입펌프의 압력도 높아지며, 이것은 UF 유효전력에 영향을 미침을 알 수 있음

▌표 2.328 Result of active power in each unit(Test2) ▐

Process		UF	Ozone	GAC	UV
Active power (kW)	Case1	6.03	6.10	0.57	1.24
	Case2	6.58	6.03	0.56	1.22
	Case3	6.85	6.18	0.59	1.25
	Case4	7.68	6.35	0.59	1.25
	Case5	8.97	6.12	0.57	1.25

▪ 또한, 원수와 침전수를 이용 시 막여과 공정에 소비되는 전력량을 비교분석한 결과, 침전수를 이용시보다 원수를 이용시 막여과에 소비되는 유효전력이 높음을 알 수 있으며, 이는 원수의 탁도가 침전수 탁도보다 상대적으로 높음에 기인하는 것으로 판단됨.



【원수, 침전수 이용 시 UF 의 유효전력 비교】

상기의 결과를 종합하면, 다음과 같다.

▌**단시간에 수행된 고압실험에서, 약 3.5 kgf/㎠ 까지 UF 유입압을 증가한 경우에도 UF의 성능에는 전혀 문제가 없음.**

▌**Full open 상태인 모든 밸브를 100% 개도하고 운영 시 가장 낮은 운전압력 및 전력소모를 나타내었으며, 이때, 일정구간(막여과 유출부)에서 부압이 발생하였다. 부압의 발생은 후속의 활성탄 접촉조의 차압이 낮은 경우 부압이 가장 크게 발생하였으며, 부압이 가장 크게 발생하는 위치는 UF 후단이다. 또한, UF 후단에서 압력이 가장 높은 위치는 오존 전단으로 나타났다. 따라서, UF 후단은 부압관리, 오존 전단은 양압관리에 주의하여야 한다. 다만 양압의 경우에는 UF 유입압보다 크지 않기 때문에 큰 문제가 발생할 소지는 낮 은 것을 판단됨.**

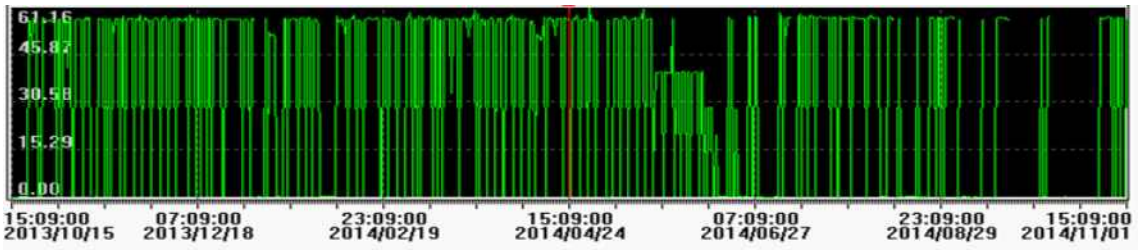
▌**낮은 압력조건(UF 유입압 1.2~1.5kgf/㎠) 에서 운영시에도 정수생산에는 큰 문제점이 없었으며, 경제적인 측면에서 유리하다. 다만, 부압이 발생하는 경우, UF 역세척수의 관리 및 수질측정용 시료의 채수에 대한 충분한 고려가 필요**

▌**막여과 TMP와 활성탄 차압이 높을수록 각 공정별 운전 압력이 높음을 알 수 있음.**

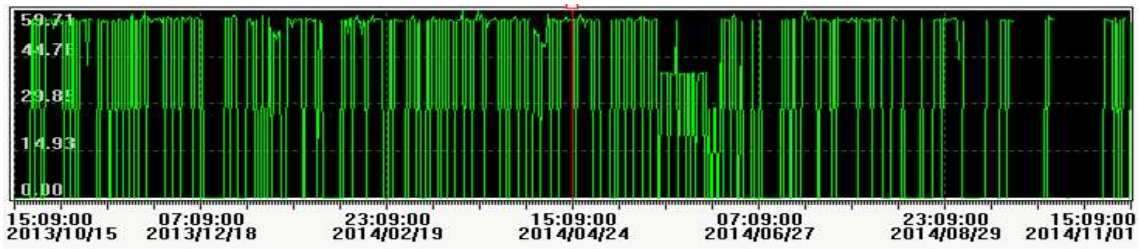
▌**전체공정을 운영함에 있어 차압은 UF 공정과 활성탄 공정에서만 발달되며, 각각의 차압을 관리하는 것보다 통합 차압으로 관리하는 것이 바람직하며, 수직형 정수처리 프랜트 운영자 입장에서 효율적인 관리를 위해서는 일정구간의 부압발생 운영보다는 전체공정의 양압 관리가 바람직함.**

□ 막여과 공정 운영평가

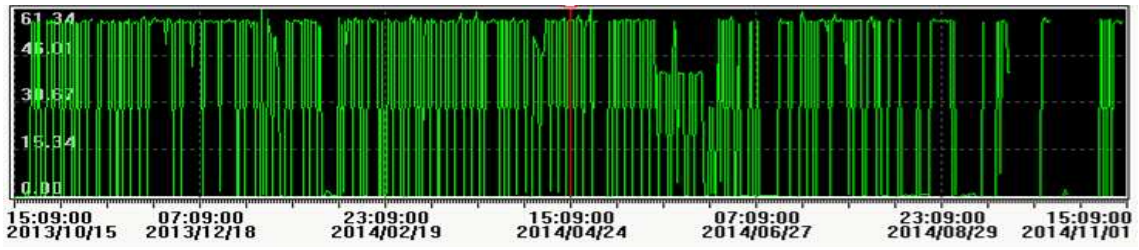
- 2013년11월 ~2014년 11월까지의 플럭스와 막간차압을 분석함.
- 2014년 5월 29일까지는 CEB를 전혀 하지 않은 조건에서 물+공기 역세만 실시하여 막간차압이 서서히 증가하는 것을 알 수 있음.
- 청주정수장 침전수 유입조건에서 CEB를 전혀 하지 않은 조건에서 물+공기 역세만 실시한 경우 CIP가 필요한 시기까지 약 6 ~ 7개월 정도 운영이 가능한 것으로 평가됨.
- 2014년 5월경부터 막간차압이 급격하게 증가함에 따라 5월 29일 CIP(화학세정) 실시



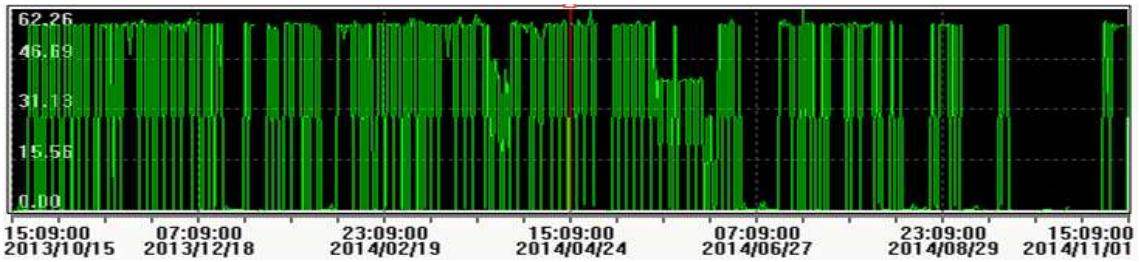
【A계열 플럭스】



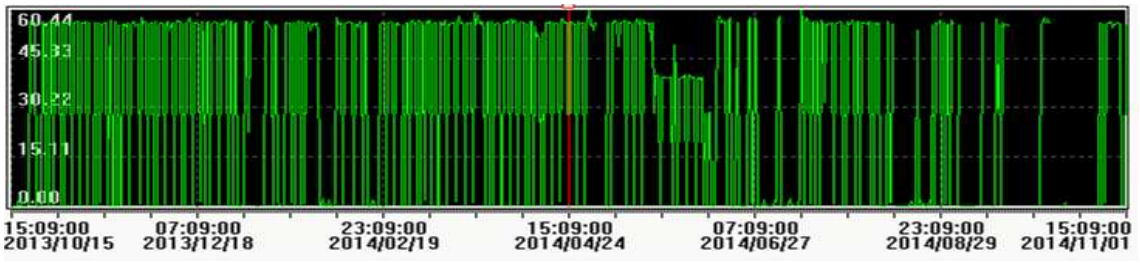
【B계열 플럭스】



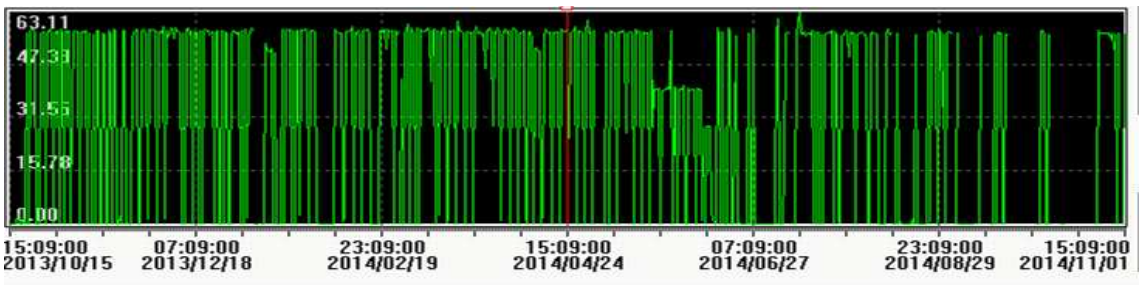
【C계열 플럭스】



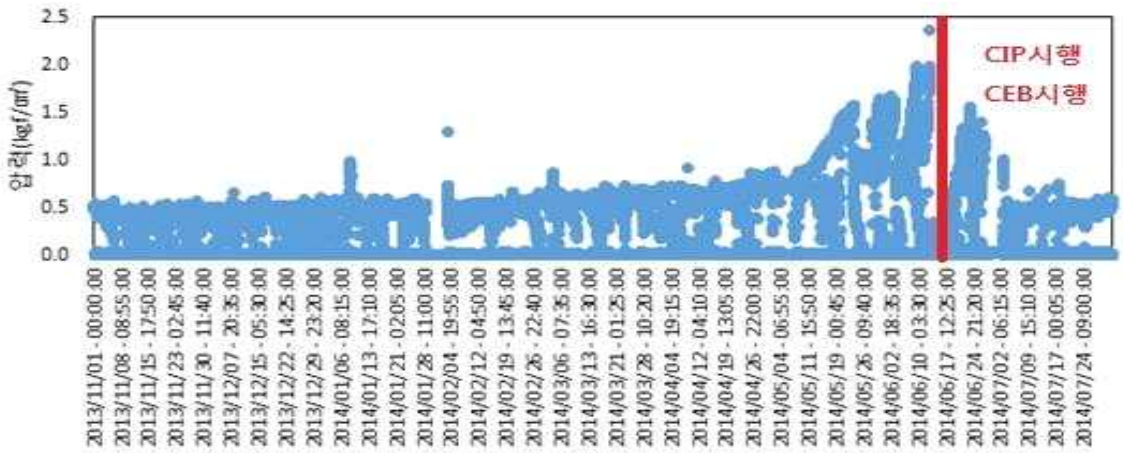
【D계열 플럭스】



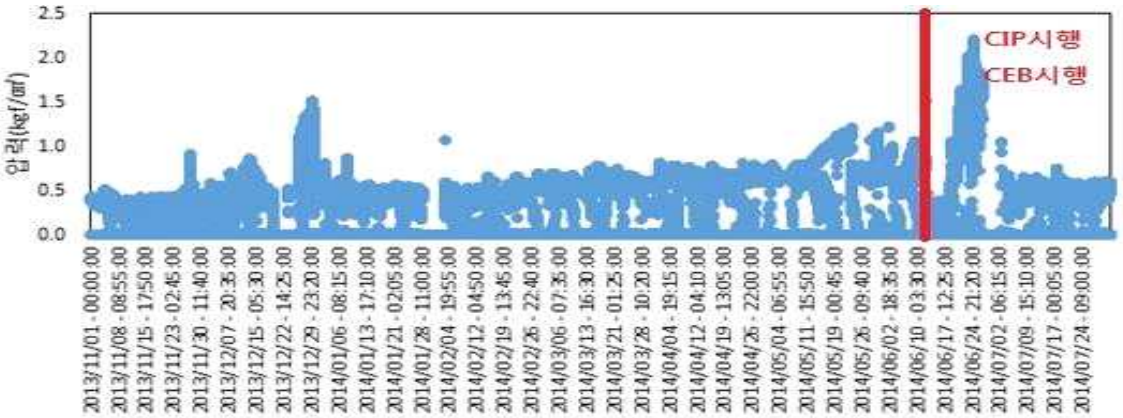
【E계열 플럭스】



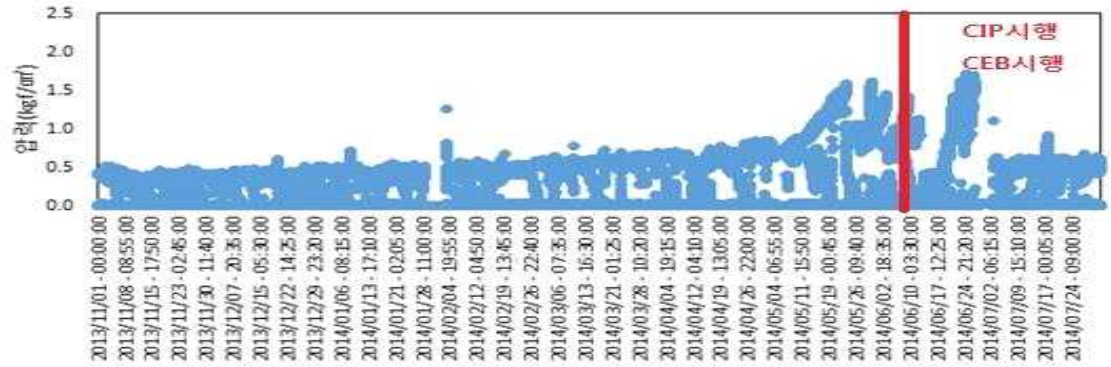
【F계열 플럭스】



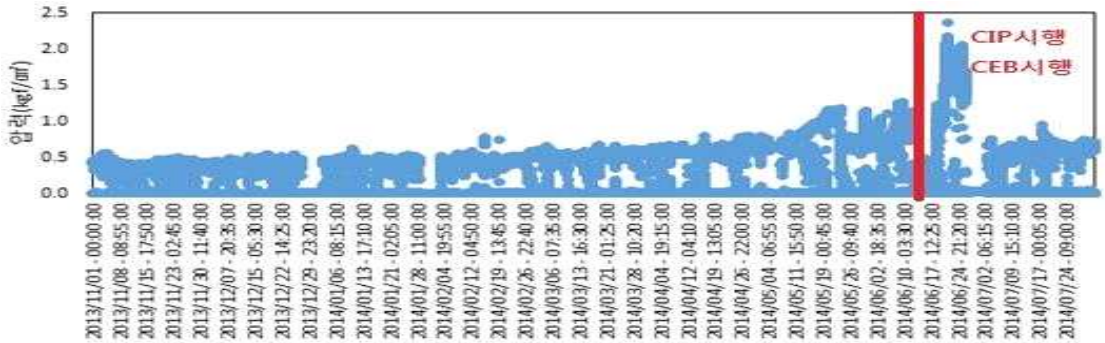
【A계열 보정차압】



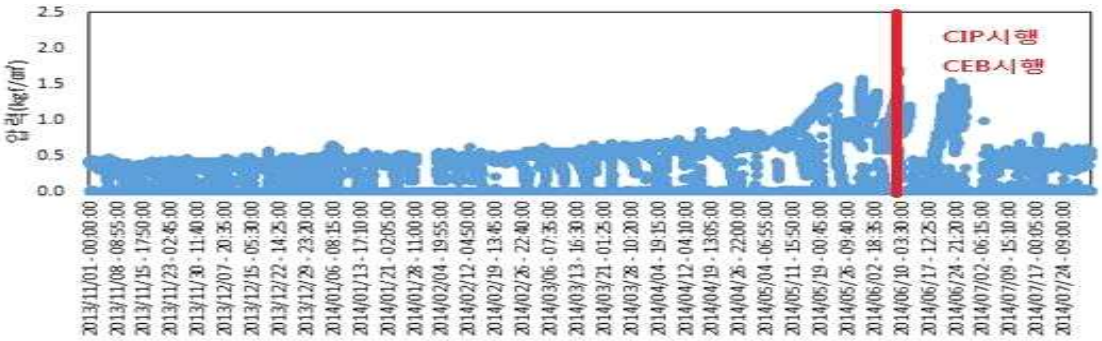
【B계열 보정차압】



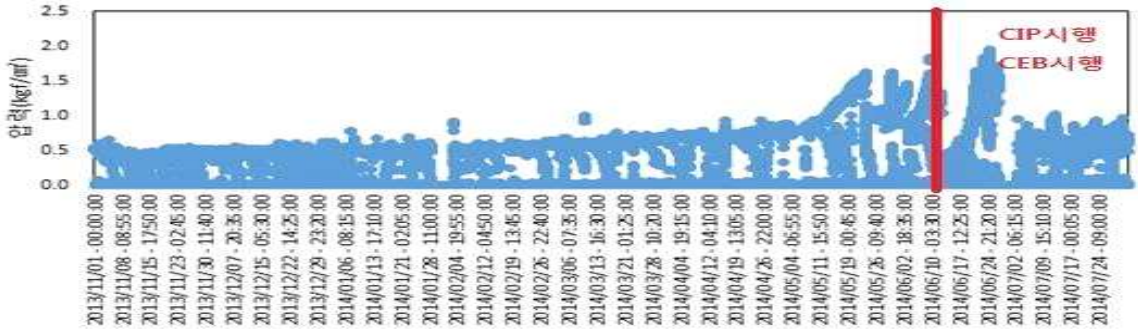
【C계열 보정차압】



【D계열 보정차압】



【E계열 보정차압】



【F계열 보정차압】

▪ 수직형 정수처리 실증시설의 막여과 공정은 운영개시 후 약 7개월이 경과한 14년 5월부터 막 차압이 지속적으로 증가하여 화학세정을 실시함.

▌표 2.329 화학세정 운전조건 ▐

항 목	알칼리 세정	산 세정
세척방식	계열별 순환운전방식	
세척기준	막차압 1.8 kg_f/cm^2 이상 (한계 막차압 2.1 $kg_f/cm^{2)}$	
세척온도	가온수 사용 (35~40℃)	
사용약품 원액농도	NaOCl 12% NaOH 25%	Citric acid 100% H_2SO_4 98%
약품주입 조건	NaOCl 1,000~3000ppm + NaOH (pH 12.5이상)	Citric acid 20,000ppm + H_2SO_4 (pH 1.5이하)
필요약품 제조량	약 800L (40L/모듈, 배관여유율고려 300L)	
소요시간	• 약품세척 : 순환(5분)-공세(20초)-침적(6~24시간) • 수세척: 배수(1분)-린스(5~30분)-상부역세(30초)-하부역세(30초) **※린스시 원수사용, 역세시 여과수 사용**	

▪ 화학세정은 5월 29일부터 염기세정 4회, 산 세정 1회를 실시함.

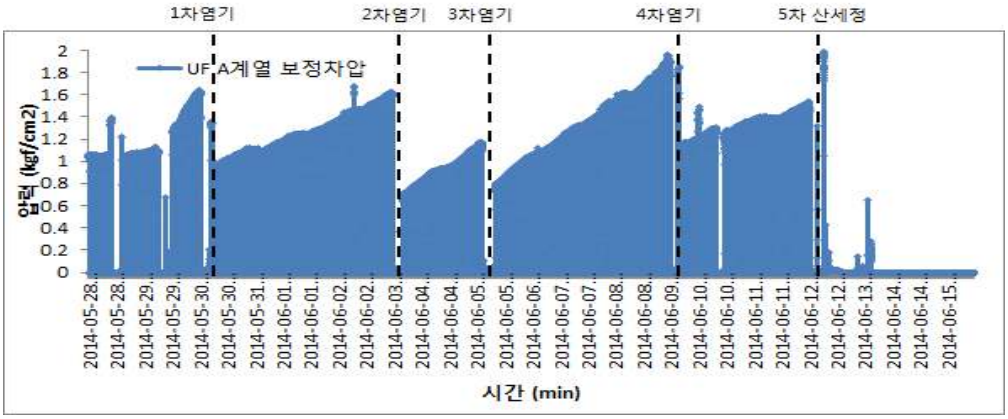
▪ 화학세정 결과 최종적으로 산 세정이 종료된 후 막 차압은 0.36 kgf/㎠로 회복되었으며, 막 초기 차압과 비교하였을 때 염기 세정시 약 40 %, 산 세정시 약 97 %의 회복율이 나타남.

▪ 산 세정시 높은 회복율이 나타나는 것으로 보아, 유기물보다는 무기물에 의해 막이 오염되어 차압이 증가한 것으로 판단됨

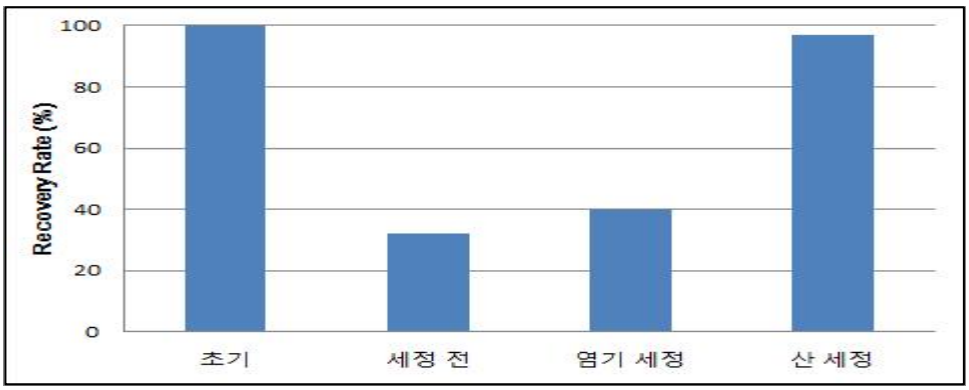
▌표 2.330 화학세정 결과▐

항 목	차 압 (kg_f/cm^2)	계열별유량 (m^3/hr)	플럭스 (LMH)	△회복율 (%)	비 고
막 초기	0.35	8.85	57	-	-
세정 전 (동일유량)	1.18	8.91	57	32	-
세정 전 (생산유량 감소)	0.76	6.12	40	-	-
1차 염기세정 (5/29, 목)	0.71	6.10	40	-	-
2차 염기세정 (5/30, 금)	0.94	8.8	56	37	-
3차 염기세정 (6/3, 화)	0.48	6.10	40	-	-
4차 염기세정 (6/5, 목)	0.52	6.10	40	-	-
5차 산 세정 (6/12~13, 목,금)	0.36	8.7	57	97	가온수 사용

※ 회복율 : (초기운전보정 TMP / 세척후보정여과 TMP) × 100%



▌그림 2.560 화학세정 전 후 보정 차압의 변화▐



▌그림 2.561 화학세정 전 후 회복율▐

▪ 수직형 정수처리 플랜트 운영에 있어서, 막여과 공정 전단부의 응집제 투여(원수 유입 시 적용), 막여과 운영의 CIP 및 CEB 에 소요되는 각종 약품의 소비량을 정확하게 평가한 결과, PAC는 침전수 적용 시 에는 주입의 필요성이 없는 반면, 원수 주입 시, 막여과 공정의 효율적인 운영을 위해서는 3 ~ 4 ppm(v/v) 수준의 응집제가 투입되는 것이 바람직할 것으로 판단됨. 또한, 막여과 공정의 CIP에는 알칼리 세정에 NaOCl과 산세정에 H_2SO_4 이 사용되며, 설정차압 이상의 상황에서 CIP를 실시하며, 12개의 모듈을 기준으로 NaOCl은 5.56 L, H_2SO_4 은 1.14 L가 사용되며, CEB는 알칼리- 알칼리-산세정의 순서로 진행하며, 상세한 약품 사용량은 아래와 같음

▌표 2.331 막여과 운영의 CIP 및 CEB 에 소요되는 각종 약품의 소비량▐

항 목		주입농도(ppm)	약품소비량(1,000㎥/d 기준)
응집제	PAC (17 % as Al_2O_3)	3 ~ 4	3 ~ 4 L / 일
항 목		알칼리 세정	산 세정
CIP (1,000㎥/일, 12개 모듈, 1회 CIP 기준)	사용약품 원액농도	NaOCl 12 % NaOH 25 %	H_2SO_4 98 % (citric acid, 필요시)
	약품주입 조건	NaOCl 750 ppm, pH 12.5 이상	H_2SO_4 1.5 이하 Citric acid 750 ~ 800 ppm
	세정액	800 L (40 L/모듈, 배관 여유율 고려 300L)	800 L (40 L/모듈, 배관 여유율 고려 300L)
	약품 사용량	NaOCl : 5.56 L / 800 L NaOH : 0.64 L/ 800 L	H_2SO_4 : 1.44 L / 800 L (citric acid 16 kg / 800 L)
항 목		알칼리 세정	산 세정
CEB	사용약품 원액농도	NaOCl 12 %	H_2SO_4 98 %
	주기	2회 / 3일	1회 / 3일
	약품주입 조건	NaOCl 750 ppm	H_2SO_4 750 ~ 800 ppm
	필요약품 제조량	약 116.7 L (역세펌프 Q=14 m^3/hr, CEB 운전시간 30초)	
	약품 사용량	7,284 ㎖ / 3일 기준 (72.84 L / 1개월)	300 ㎖ / 3일 기준 (3.0 L / 1개월)

□ 오존 공정의 운영평가

▌ **오존주입은 Side stream system 방식이며, 오존발생기에서의 발생량은 140 g-O_3/m^3 이상이며, 설계 오존 주입 농도는 2 ppm 이므로 오존 접촉조 처리수의 용해율은 반감기를 감안하여 1 ppm 수준으로 측정되어야하나, 실제 오존 용해율은 모배관 개도율 100 %일 시 0.5 ppm 수준으로 설계치에 미치치 못하여 용해율을 올리기 위해 오존 유입 모배관의 개도를 조절하여 사이드스트림 배관으로 가는 유량을 증가시켜주는 실험을 수행하였으며, 이때 용해율, 사용전력 등을 측정하여 현장 조건에 맞는 운전조건을 검토함.**

오존모배관 수동밸브

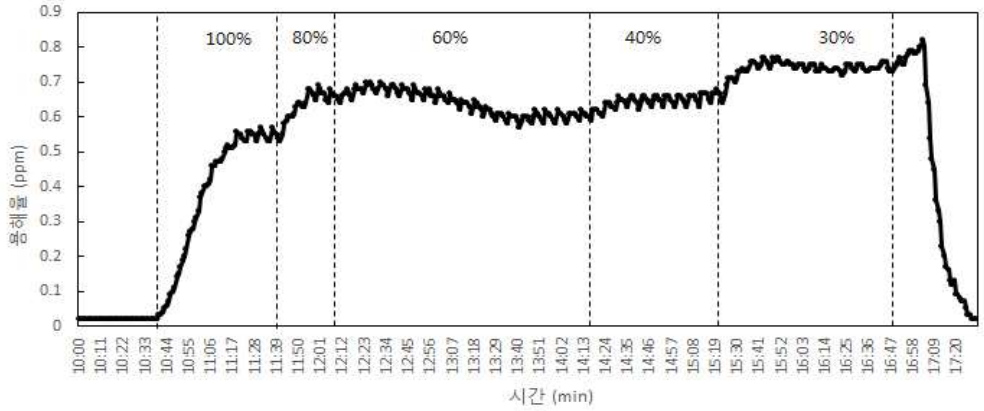
오존용해율

오존 발생량(gas)

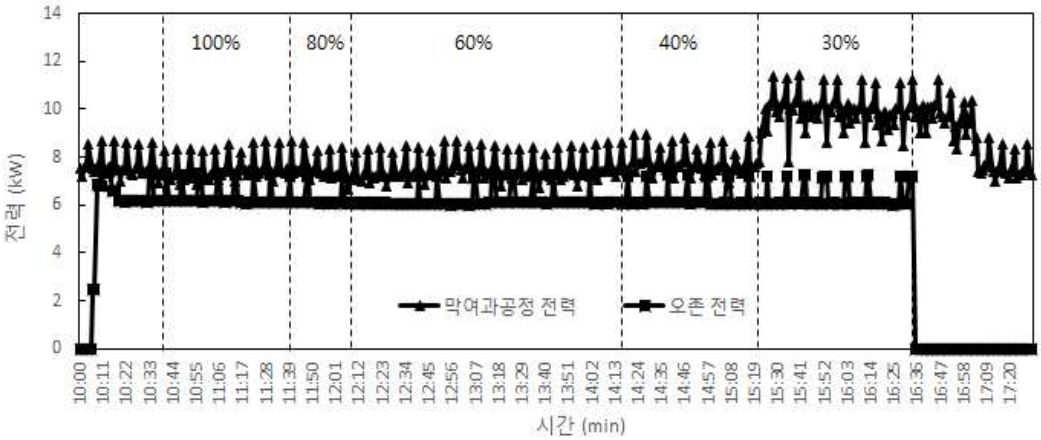
【오존측정장치】

▌표 2.332 오존 용해율 실험 결과▐

시간	개도율 (총 10클릿)	오존용해율 (ppm)	오존발생량
10:40	0 (100% 열림)	0.551	160.8
11:40	2 (80% 열림)	0.641	154.1
12:10	4 (60% 열림)	0.610	155.0
14:20	6 (40% 열림)	0.655	156.0
15:20	7 (30% 열림)	0.781	149.1



▌그림 2.562 모배관 개도율 조절에 따른 오존 용해율 변화▐



▌그림 2.563 개도율 조절에 따른 막여과 공정과 오존 공정의 전력 사용량 변화▐

▌ **실험결과 모배관 개도율이 낮아질수록(side stream 유량 증가 할수록) 오존용해율은 증가하는 것으로 나타났으며, 개도율 30 %에서 오존용해율은 0.8 ppm 수준으로 측정되어 설계치에 근접하였으나, 개도율 감소에 비례하여 막여과 공정의 전력이 6~10 kW 수준까지 증가하는 것으로 나타났으며, 모배관 개도율 30%에서 전력이 급격히 상승함.**

▌ **본 시설(in-line mixer 미설치)에서는 개도율 40% 이내에서 가동하는 것이 전력사용 측면에서 유리한 것으로 나타남.**

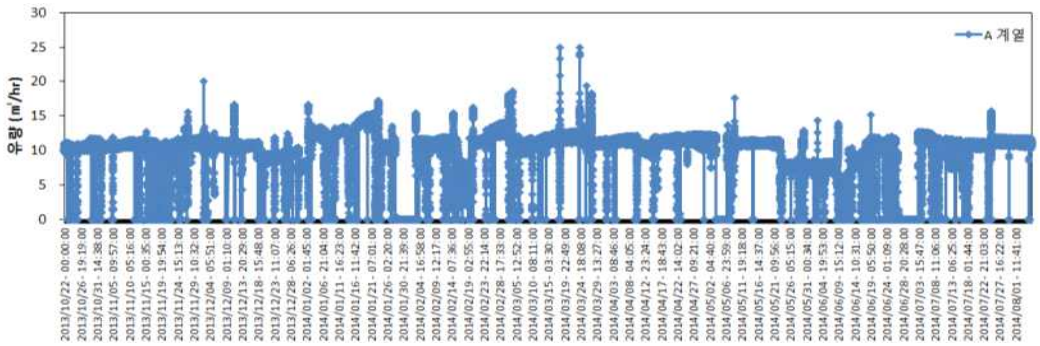
▌ **향후 설계 시에는 반드시 배관에 in-line mixer가 설치되어야 하며, 압력계와 유량계가 설치되어야 함.**

□ 활성탄 공정의 운영평가

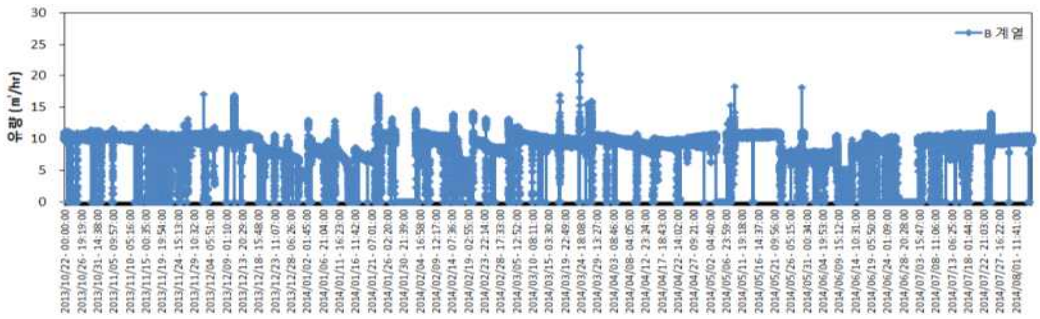
- A, C계열은 Norit 社, B, D계열은 한일그린텍 社 활성탄 충진.

구 분	활성탄 제조사	균등계수
A계열	Norit	1.67
B계열	한일그린텍	2.13
C계열	Norit	1.47
D계열	한일그린텍	2.06

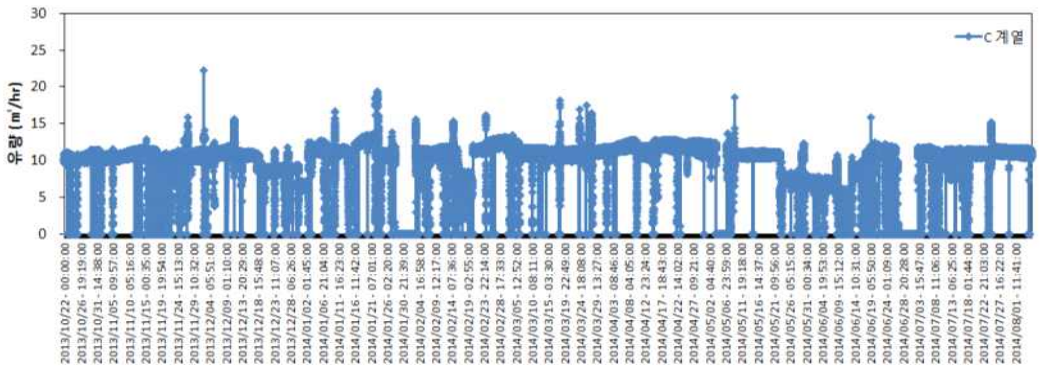
- 활성탄 각 계열별로 생산유량은 각각 약 10 ㎥/hr이며, 활성탄 공정에서 생산하는 총 유량은 약 42㎥/hr 임



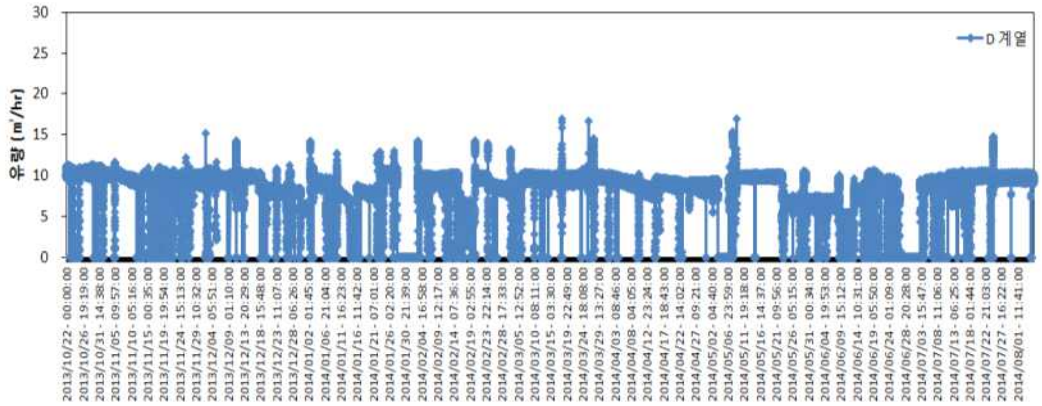
【A계열 생산유량】



【B계열 생산유량】



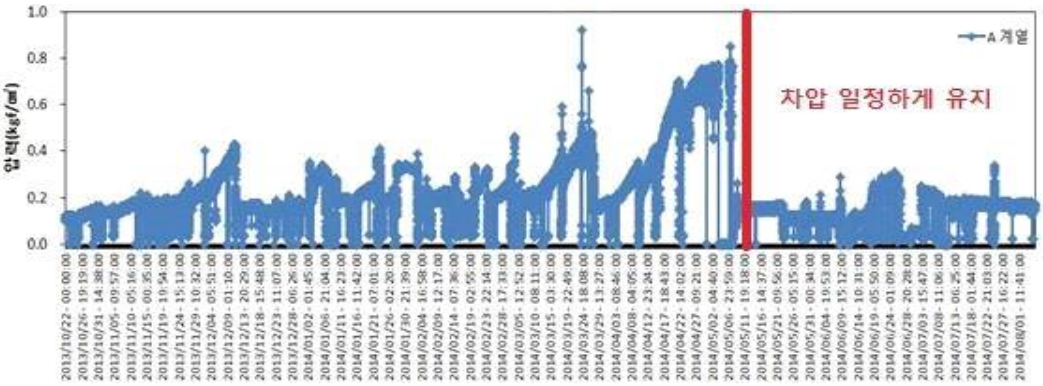
【C계열 생산유량】



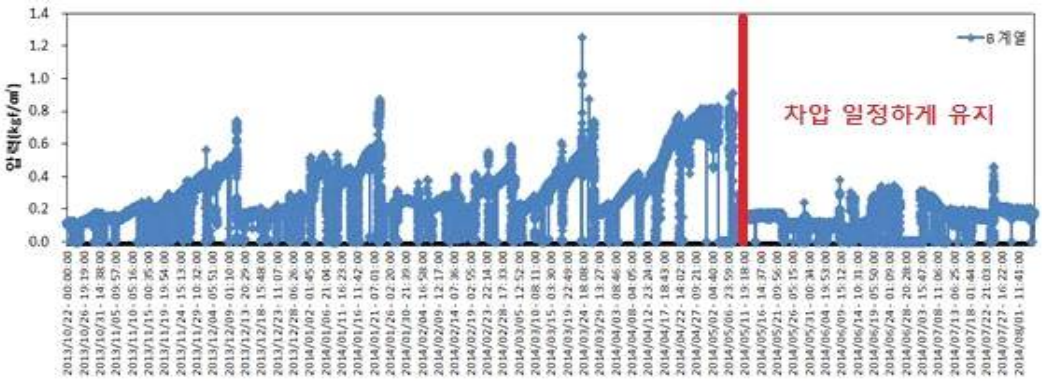
【D계열 생산유량】

▌그림 2.564 활성탄 계열별 유량 ▐

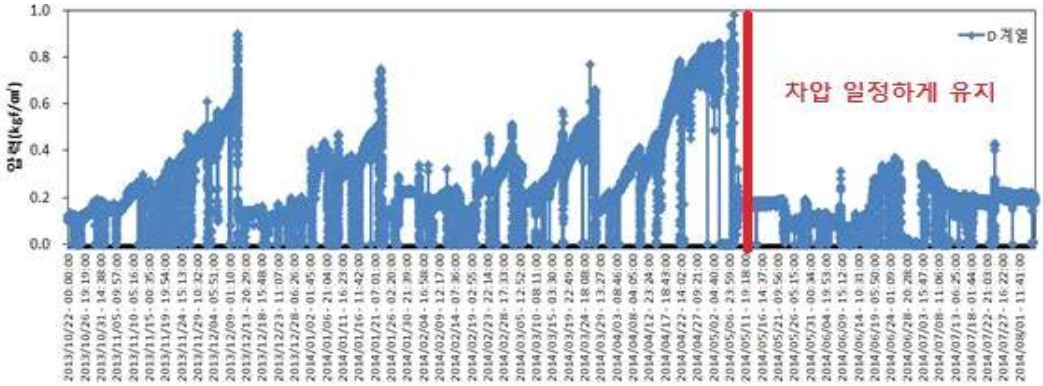
▪ 운전기간 동안의 차압 변동을 검토한 결과, 약 4월경 까지 활성탄 역세운전에 분제가 발생하여 차압이 급격히 높아지는 현상이 발생하고 5월 초에 활성탄 역세운전 조건을 변경하여 운전한 결과 현재까지 차압변동이 미미하게 나타남.



【A계열 차압】



【B계열 차압】



【D계열 차압】

▌그림 2.565 활성탄 차압 유량 ▐

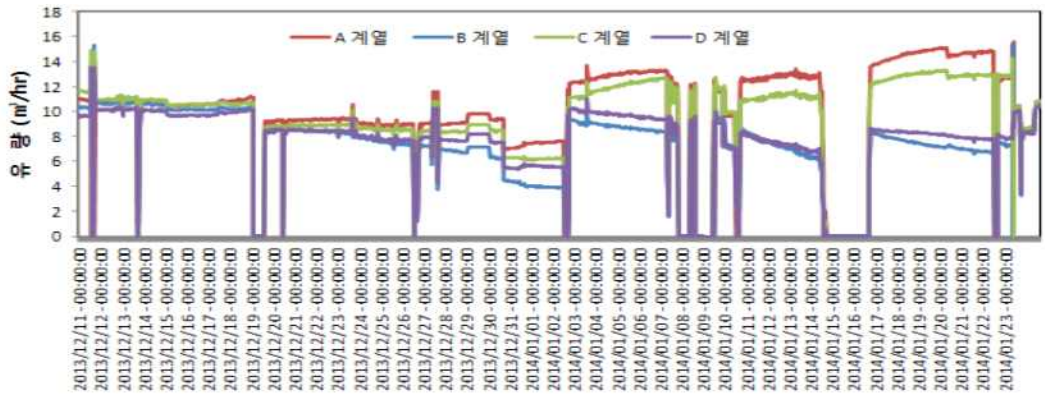
- 운영초기에 활성탄의 사용시간이 지날수록 계열별로 처리유량과 차압의 차이가 나타났으며, 차압증가로 인한 역세척 수행 후에도 차압이 감소되지 않는 문제 발견됨.

역세척 불량 발생현황

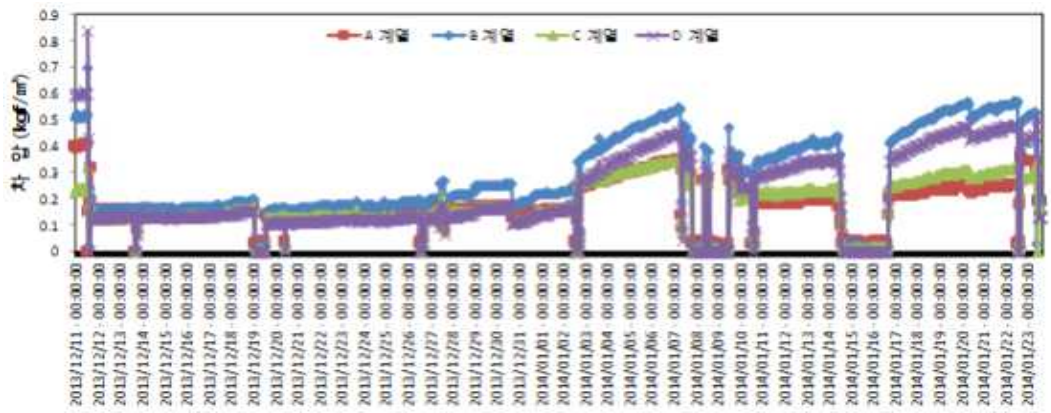
Backwash를 할 때 900초 동안 55Hz로 28 m^3/hr의 유량으로 운전설정이 되어있으나, 실제 backwash를 할 때 역세유량이 순간 29 m^3/hr까지는 나오지만 backwash 운전시간인 15분 동안 지속적으로는 유량이 나오지 않고 역새척수 유입압력이 급격하게 상승하나 유출압력은 매우 낮은 현상이 발생한다. 역세척 진행 중 역세 유량이 문제가 생기면 다시 filtration을 하여 유체흐름을 반대로 변경시켜 스트레이너의 이물질을 제거 한 뒤 역세척을 다시 시도 하면 초기에는 역세유량이 나오다 시간이 지나면 다시 역세 유량이 발생하지 않는 현상이 반복적으로 발생함.

Backwash 조건

역세 유입압력 3.4 kgf/cm^2, 유출압력 0.03 kgf/cm^2, 역세펌프, 밸브 모두 정상작동상태, 실제로 펌프는 15분동안 55Hz로 운전 상태



【활성탄 계열별 처리유량】



【활성탄 계열별 차압】

▪ 활성탄 역세 불량 원인규명 및 개선

① 역세펌프 회전수 변경 : 30Hz로 조정 후, 초기에 순간적으로 9.8㎥/hr로 역세유량이 나오지만 바로유량 감소함. 역세펌프의 회전수를 20Hz으로 한 결과 역세유량이 0㎥/h으로 실험이 불가하였으며, 25Hz로 운전한 경우 약 1㎥/hr로 초기 3분 동안 지속함.

② 활성탄 반응조 개방에 의한 원인규명 : 활성탄 흡착조를 상부에서 개방하여 반응조 내의 스트레이너에 미분탄이 침적되어 있는 것을 확인하였으며, 이로인해 역세유량이 급격하게 줄어드는 것으로 판단되며 활성탄 미분탄을 충분히 제거 후 재 실험 실시.

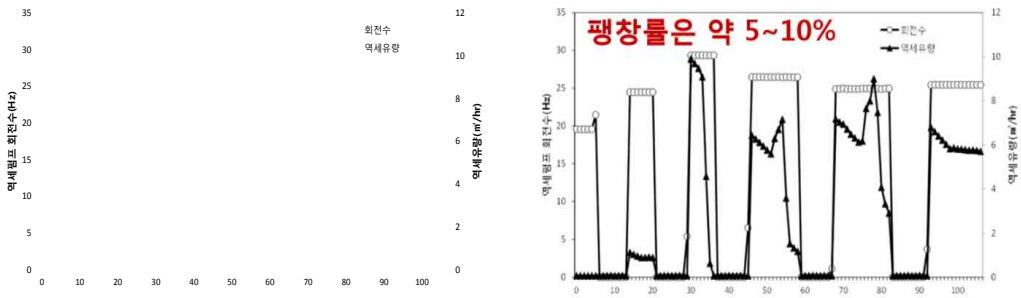
[역세척 후 활성탄 침적]

[역세척 시 스트레이너 활성탄 침적]

▌표 2.333 활성탄 A계열 역세척시 DATA SHEET 및 그래프▐

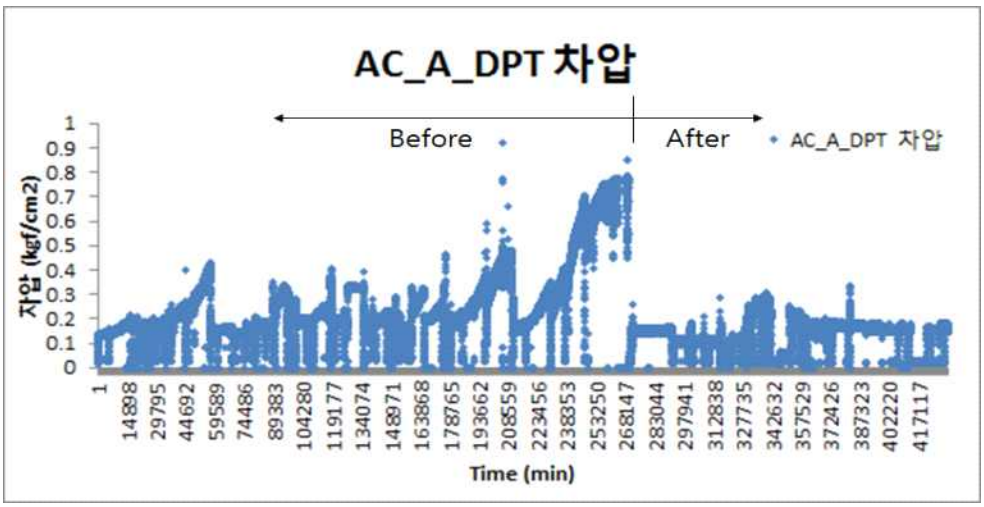
시간	운전조건 (kgf/cm²)	유입압력 (kgf/cm²)	유출압력 (kgf/cm²)	blower압력 (kgf/cm²)	역세수 압력 (kgf/cm²)	역세유량 (m³/hr)
2014/02/03 - 15:47:00	lowering	0.3	0.26	0.02	0.42	0.08
2014/02/03 - 15:48:00	lowering	0.3	0.25	0.02	0.42	0.08
2014/02/03 - 15:49:00	lowering	0.29	0.25	0.02	0.42	0.08
2014/02/03 - 15:50:00	lowering	0.28	0.25	0.02	0.42	0.08
2014/02/03 - 15:51:00	lowering	0.27	0.25	0.02	0.42	0.08
2014/02/03 - 15:52:00	aeration	0.3	0.27	0.63	0.42	0.08
2014/02/03 - 15:53:00	aeration	0.28	0.27	0.62	0.41	0.08
2014/02/03 - 15:54:00	aeration	0.28	0.27	0.62	0.42	0.08
2014/02/03 - 15:55:00	aeration	0.28	0.27	0.62	0.42	0.08
2014/02/03 - 15:56:00	aeration	0.28	0.27	0.61	0.42	0.08
2014/02/03 - 15:57:00	backwash	0.41	0.03	0.02	0.97	8.56
2014/02/03 - 15:58:00	backwash	0.46	0.03	0.02	1.56	29.26
2014/02/03 - 15:59:00	backwash	3.36	0	0.02	3.75	3.48
2014/02/03 - 16:00:00	backwash	3.4	0	0.02	3.76	0.85
2014/02/03 - 16:01:00	backwash	3.4	0	0.02	3.77	0.08
2014/02/03 - 16:02:00	backwash	3.41	0.03	0.02	3.78	0.08
2014/02/03 - 16:03:00	backwash	3.42	0.03	0.02	3.78	0.08
2014/02/03 - 16:04:00	backwash	3.42	0.03	0.02	3.79	0.08
2014/02/03 - 16:05:00	backwash	3.43	0.03	0.02	3.81	0.08
2014/02/03 - 16:06:00	backwash	3.43	0.03	0.02	3.8	0.08
2014/02/03 - 16:07:00	backwash	3.44	0.03	0.02	3.81	0.08
2014/02/03 - 16:08:00	backwash	3.45	0.03	0.02	3.82	0.08
2014/02/03 - 16:09:00	backwash	3.46	0.03	0.02	3.83	0.08
2014/02/03 - 16:10:00	backwash	3.46	0.03	0.02	3.83	0.08
2014/02/03 - 16:11:00	backwash	3.47	0.03	0.02	3.83	0.08
2014/02/03 - 16:12:00	backwash	0.05	0.35	0.02	3.05	0.08
2014/02/03 - 16:13:00	rinse	0	0.26	0.02	2.53	0.08
2014/02/03 - 16:14:00	rinse	0	0.21	0.02	2.18	0.08
2014/02/03 - 16:15:00	rinse	0	0.2	0.02	1.93	0.08
2014/02/03 - 16:16:00	rinse	0	0.22	0.02	1.75	0.08
2014/02/03 - 16:17:00	rinse	0.32	0.31	0.02	1.61	0.08

③ 역세 운전 시간 설정 변경 : lowering 5분, aeration 5분, standby 5분, backwash 15분으로 기존 역세조건에서 운전조건을 변경하여 실험함(aeration 후 활성탄 분리를 위해 standby 추가). 운전조건을 변경하여 실험한 결과, 30 Hz로 운전할 경우, 9 ㎥/hr로 약 4분간 유지 후 6분쯤 역세유량 0㎥/hr으로 급격히 감소하였고, 27Hz일 경우, 6.4 ㎥/hr로 약 9분유지 후 13분경 역세유량 0㎥/hr 으로 감소, 26 Hz인 경우, 약 7 ㎥/hr로 약 15분간 유지함으로써, 역세청 기능 원활하게 개선됨. 이때, 역세펌프의 회전수가 28Hz로 활성탄 역세 실험 시 활성탄 팽창률 약 10% 이었음.



개선> 펌프유량 : 26-28 Hz, lowering 5분, aeration 5분, standby 5분(추가), backwash 15분

④ 개선 효과 확인: 스트레이너 청소 전에는 효율적으로 미분탄 및 이물질이 효과적으로 역세척 과정에서 효율적으로 배출되지 않아 역세척 후 차압이 일시적으로 감소하였다가 다시 급격하게 발달되는 양상을 나타내넜으나, 스트레이너 청소 후에는 차압발달이 크게 개선된 것으로 확인할 수 있음.

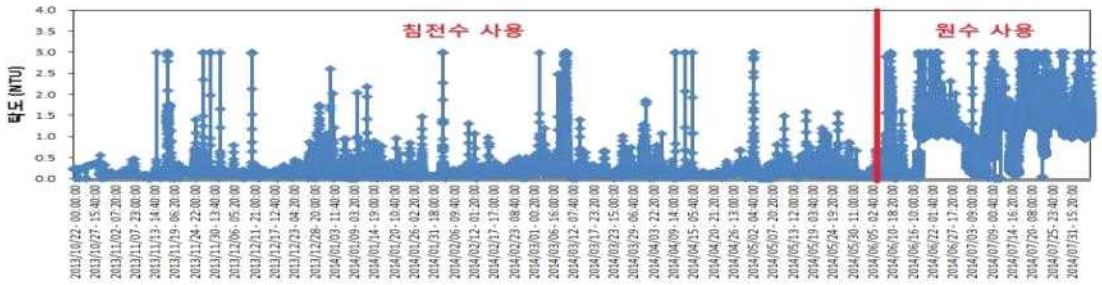


▌그림 2.566 스트레이너 청소 전 후 활성탄 A계열 차압▐

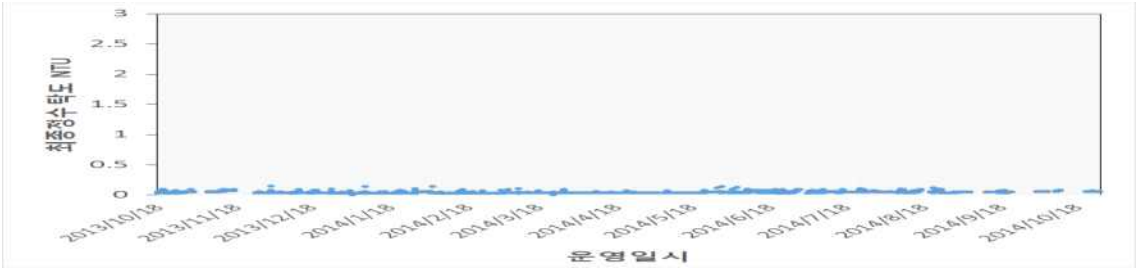
▌청주 정수장 수직형 정수처리 실증시설에 적용된 GAC 는 설치 후 스트레이너의 기능상의 문제, 역세펌프의 과도, sequence의 오류 등으로 역세척에 큰 장애가 있었으나, 역세펌프의 적절한 범위 재설정, sequence의 재설정(Idle time 추가 등) 등의 조치로 원활한 운전이 가능할 것으로 판단되나, 향후 운전에서도 스트레이너의 영향이 지속적으로 발생할 가능성이 있기 때문에, 향후 설계에 있어서는 스트레이너 적용을 신중하게 검토하여야 하며, 가능한 상황에서는 스트레이너 적용을 최대한 지양하는 것이 바람직함.

□ 공정 운영의 효율성 평가(수질적 측면)

- 수직형 정수처리 시설의 유입수는 2013년 10월 ~ 2014년 05월경까지는 정수장 침전수를 사용하였으며, 2014년 06월부터 정수장 원수를 사용하여 운전하였음.
- 원수의 탁도는 침전수 사용 시 0.1 NTU, 원수사용 시 1.23 NTU로 나타났으며, 최종 생산수의 평균 탁도는 0.06 NTU로 나타남.

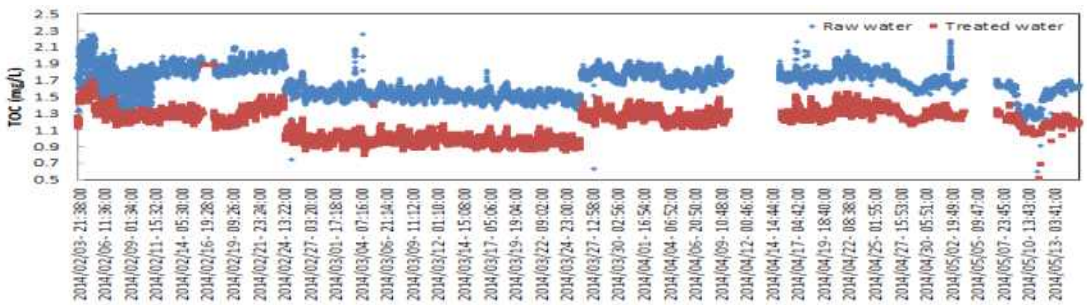


▌그림 2.567 원수 유입 탁도▐



【정수 탁도】

- 원수의 평균 TOC는 1.630 mg/L이며, 최종 생산수의 평균 TOC는 1.030 mg/L로 나타남.



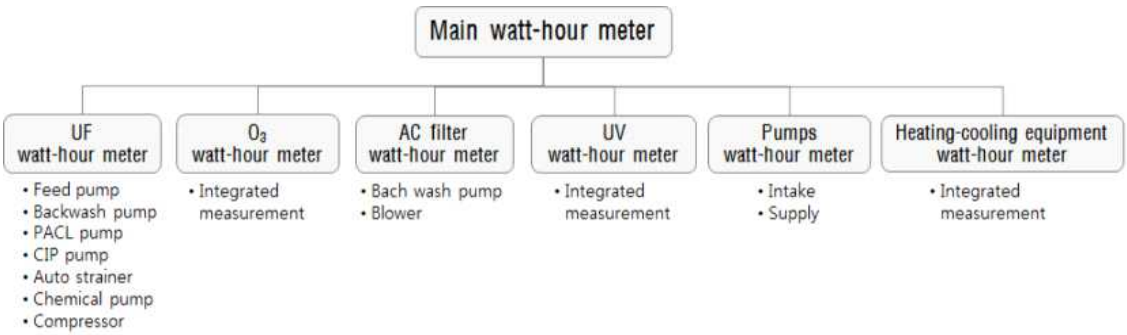
▌그림 2.568 원수 및 최종 생산수 TOC 농도▐

▌ 공인인증기관인(K water 수질분석센터)에 의뢰하여 수질을 분석한 결과, 먹는 물 수질 기준에 적합한 것으로 나타남.

□ 공정 운영의 효율성 평가(전력사용량 측면, 침전수 조건, 신재생에너지 미고려)

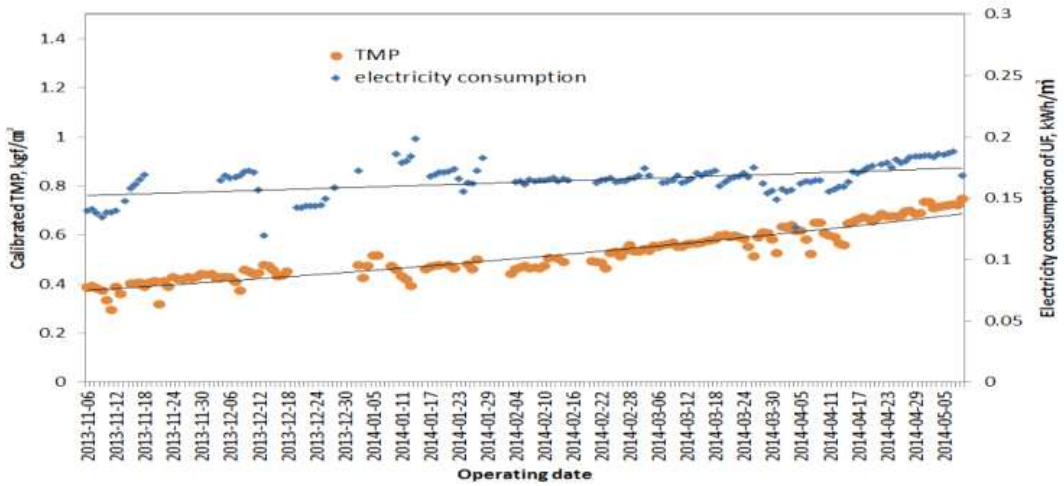
▌본 시설의 운영에 있어서 소비되는 전력을 정확하게 모니터링하기 위해 막여과, 오존, 활성탄, 자외선소독, 취송수 펌프 등 각 단위공정별로 소비전력을 그룹화 하여 모니터링 함.

- 수직형 플랜트는 막여과-오존-활성탄-자외선소독 공정이 직결(direct coupled)로 연결되어 있어 막 여과 및 후속의 활성탄 공정 등의 모든 압력 상승요인이 UF 유입수 공급펌프에 부하됨.



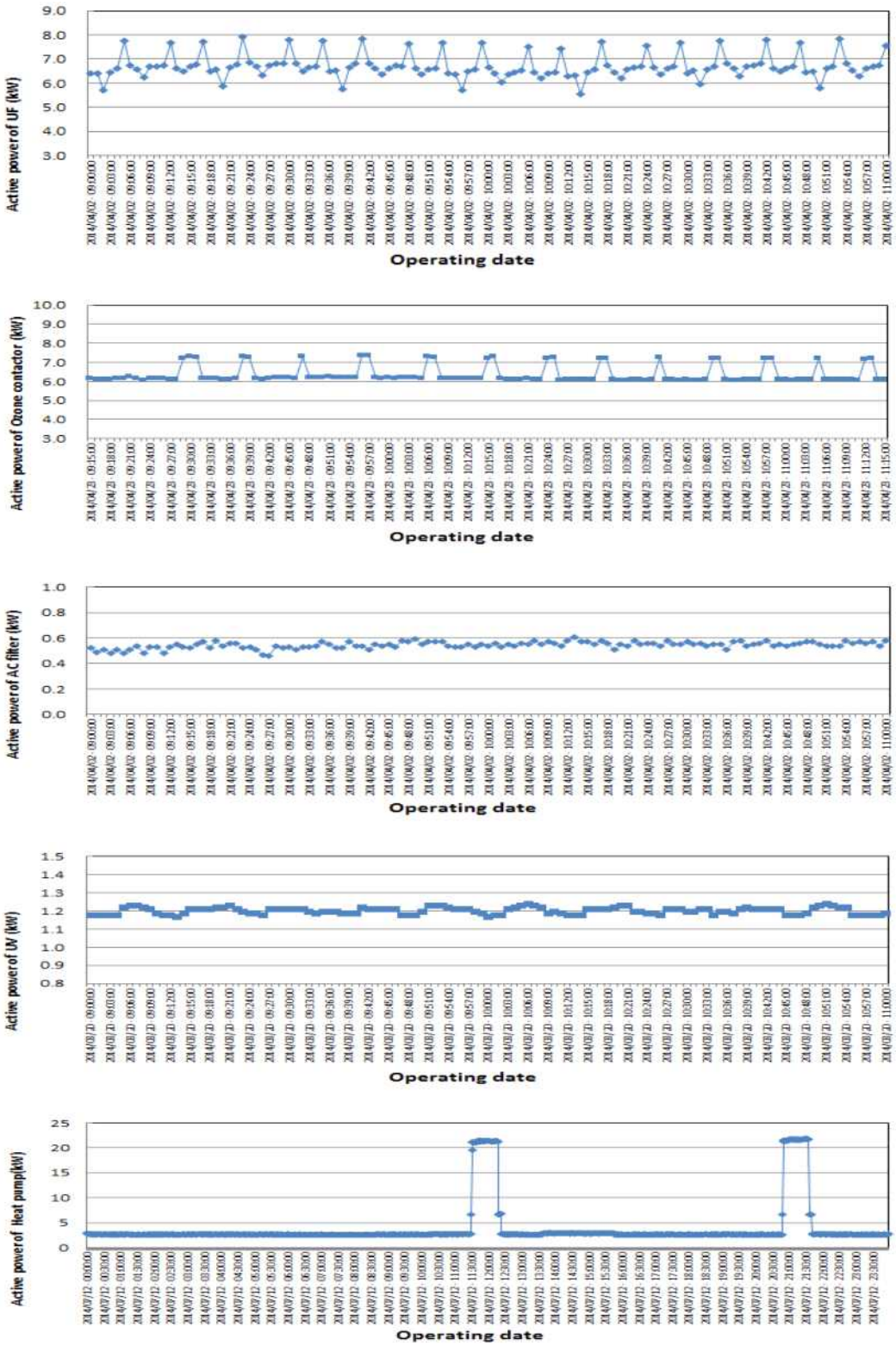
▌그림 2.569 전력 사용량 분석을 위한 설비 그룹화 ▌

- UF 공정의 평균 유효전력은 초기 차압조건인 0.4 kgf/㎠에서는 6.13 kW 이었으며, 차압 0.7 kgf/㎠에서는 평균 유효전력은 7.66 kW로 차압이 증가함에 따라 점진적으로 소비전력이 증가하였고, UF 후단의 모든 차압(활성탄 등)을 모두 고려한 UF 공정의 전력 원단위는 평균 0.156 ~ 0.166 kWh/㎥으로 나타남.



▌그림 2.570 막간 차압 상승에 따른 막여과 공정 전력사용량 변화 ▌

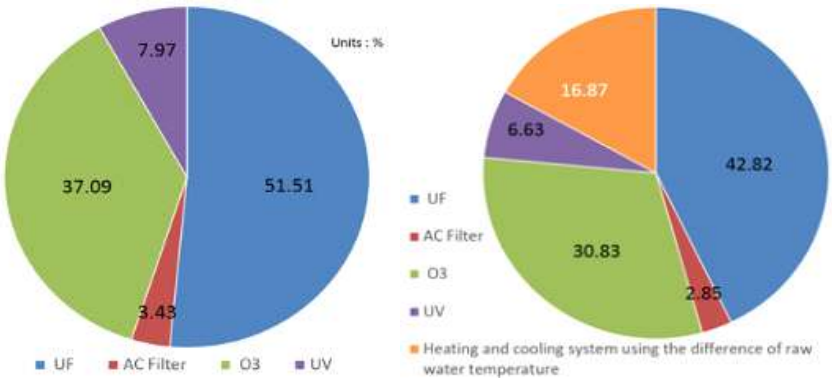
- 오존 공정의 평균 유효전력은 6.65 kW 수준으로 측정되었으며, 전력원 단위는 약 0.144 kWh/㎥ 으로 나타났으며, 향후 처리용량이 증가할 경우 감소할 것으로 판단됨. 또한, 오존공정의 경우, 맛냄새 물질의 제거에 효과적인 공정으로 국내의 경우, 1년 내내 발생하는 것이 아닌 4개월 가량 적용되는 공정으로 이를 감안하여 운영비 산정이 이루어져야 할 것으로 판단됨(4개월 운영고려시 전력원단위는 0.048 kWh/㎥).
- 활성탄 공정의 전력원 단위는 0.013 kWh/㎥ 으로 나타났으며, 활성탄 여과에서 발생하는 차압이 중력에 의해 상쇄되며, 전단의 막여과 유입펌프로 부하가 걸려 전력 소모량이 낮게 나온 것으로 판단됨
- 자외선소독 공정의 소비전력량 원단위는 0.029 kWh/㎥ 수준으로 처리용량이 증가할 경우 소비전력량 원단위는 감소할 것으로 판단됨.



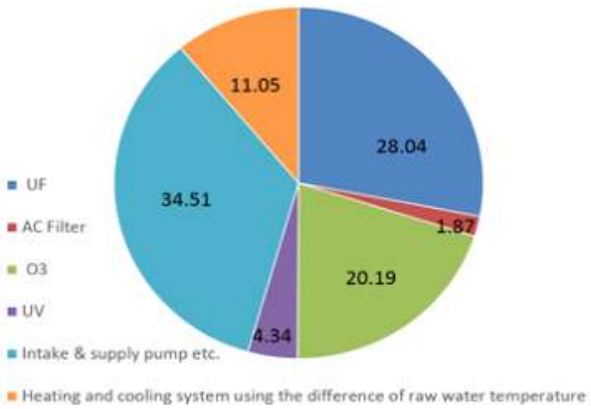
▌그림 2.571 각 단위공정별 소비전력량 변화특성▐

▌정수생산량 1,000 ㎥/d 규모의 수직형 정수처리 플랜트를 운영한 결과,

- 취·송수펌프, 처리공정, 사무실 운영, 수온차 설비등 모든 설비를 포함한 경우, 약 0.6 ~ 0.65 kWh/㎥의 전력 소비 원단위를 나타내었으며, 취·송수펌프를 제외한 모든 설비의 운영에 있어서는 신재생에너지를 배제하고 실제로 사용된 전기에너지는 0.409 kWh/㎥ 수준의 전력소비 원단위를 나타냄.
- 본 실증플랜트 운영에서 얻은 전력소비 원단위는 신재생에너지를 배제하고 실제로 설비에 의해 소비되는 전기에너지만을 검토한 것이며, 향후 현재 실증플랜트에서 실험적인 설비로서의 비효율적 요소(수온차시스템의 과다, UF 6계열-6개의 UF 유입펌프설치 등)를 효율화시키고 신재생에너지의 추가(소수력발전 등)하면 기존의 막여과 공정에서의 전력소비 수준과 유사할 것으로 판단됨.
- 수직형 정수처리 플랜트의 전력소비량은 취송수 펌프 34.51%, 막여과 공정 28.04%, 오존공정 20.19%, 수온차 냉난방 시스템 11.05%, 자외선소독 공정 4.34%, 활성탄여과 공정 1.87%로 에너지 소비는 취송수펌프 > 막여과 > 오존 > 수온차 > 자외선소독 > 활성탄 여과 순으로 나타남.



【수처리 공정별 소비전력 분포】 【수처리 공정별(수온차 포함) 소비전력 분포】



【플랜트 총 소비전력 분포】

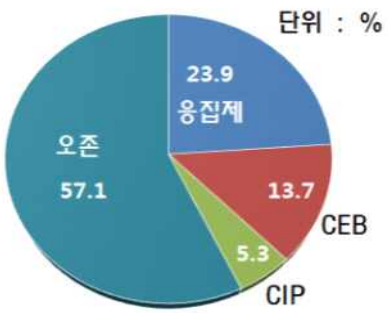
▌그림 2.572 소비전력 분포▐

□ 공정 운영의 효율성 평가(연간 약품주입 비용)

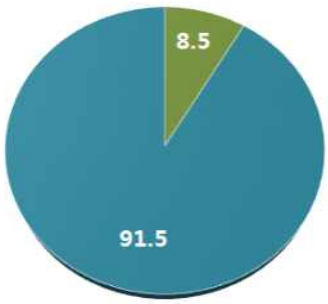
- 수직형 정수처리 플랜트의 약품주입량을 산출한 결과, 오존공정의 산소 구입비용이 가장 크며, 응집제, CEB, CIP 순으로 나타났다. 침전수 유입조건 (응집제 미주입, CIP 2회/년 조건)에서는 연간 약품비용이 1,849,272 원/년 수준이며 원단위로는 3.16 원/㎥ 이다. 원수를 유입하는 경우(응집제 주입, CIP 4회/년 조건)에는 연간 약품비용이 1,849,272 원/년 이며, 5.07 원/㎥ 인 것으로 분석됨.

▌표 2.334 약품주입비용▐

항 목	투입량	비 용
응집제	• 원수 조건 시 적용, 4 ppm (v/v) • PAC(17%) 4L/일 x 365일 = 1.46㎥/년	1.46㎥/년 x 303,000원/㎥ = 442,380 원/년
CEB	• NaOCl(12%) 72.84L/1개월 x 12개월 = 0.875 ㎥/년 • H_2SO_4(98%) 3.0L / 1개월 x 12개월 = 36 L ㎥/년	• NaOCl(12%) 0.875 ㎥/년 x 1.19x 235,000/ton = 244,694 원/년 • H_2SO_4(98%) 36 L ㎥/년 x 1.84 x 3,700원/30kg = 8,170 원/년
CIP (침전수 기준, 2회/년)	알칼리세정 • NaOCl : 5.56 L x 2회 = 11.12 L/년 • NaOH : 0.64 L x 2회 = 1.28L/년 산세정 • H_2SO_4 : 1.44 L x 2회 = 2.888L/년 • citric acid : 16 kg x 2회 = 32kg /년	알칼리세정 • NaOCl : 11.12 L/년 x 1.19x 235,000/ton = 3,110 원/년 • NaOH : 1.28L/년 x 1.268 x 210원/kg = 341 원/년 산세정 • H_2SO_4 : 2.88 x 1.84 = 5.32kg/년 x 3,700원/30kg = 763 원/년 • citric acid : 32kg /년 x 1,400원/kg = 44,800 원/년
산소 (오존공정)	• 오존 주입량 2 mg / L, 4개월 주입조건 • 160L 리콘용기시 10일 사용 = 16L/일	• 16 L/일 x 120일(4개월) x 550원/L = 1,056,000 원/년
합계	• 침전수 유입조건 (응집제 미주입, CIP 2회/년 조건) : 1,154,028 원/년, 3.16 원/㎥ CIP 98,028 원/년 + 오존 1,056,000 원/년 • 원수 유입조건 (응집제 주입, CIP 4회/년 조건) : 1,849,272 원/년, 5.07 원/㎥ **응집제 442,380 원/년** + CEB 252,864 원/년 + CIP 98,028 원/년 + 오존 1,056,000 원/년	



【원수 유입 조건 시 각 공정별 연간 약품비 비율】



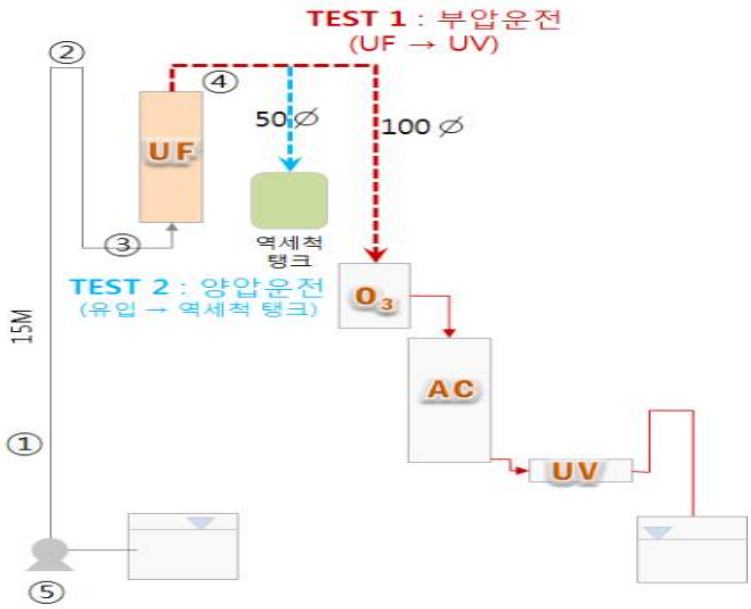
【침전수 유입조건 시 각 공정별 연간 약품비 비율】

□ 공정 운영의 효율성 평가(부압운전의 효과분석)

▌ 수직형 정수처리 플랜트에서 양압운전과 부압운전(정상운전)에 대한 효과비교평가 함.

1. **부압운전** : UF 후속의 오존반응조로 흐름을 정상적으로 유지하여 운영하는 조건
2. **양압운전** : UF 후속의 오존반응조로의 흐름을 차단하고 역세척 탱크로 흐름을 변경하여 대기압에 노출토록 운전
3. **유량조건** : 1,000 ㎥/일, 500 ㎥/일, 250 ㎥/알

- 부압운전중 에너지소비량을 측정하고, 양압으로 운전하여 에너지 효율을 측정한 후, 부압운전중 축적된 UF 유입 압력에 따른 전기사용량과 비교평가 하였으며, 양압운전의 조건은 UF 유출압이 0 kgf/㎠을 기준으로 비교평가 하였음.



▌그림 2.573 수직형 정수처리 플랜트 내 유량, 압력 측정위치 ▌

- 침전수를 유입한 운영에서 부압운전에 대한 효율 평가결과, 1,000㎥/일의 정수를 생산 시, 부압운전 중 소비되는 에너지는 UF feed 펌프 기준으로 유효전력이 6.17 kW 이었으며, 양압운전에 의한 에너지소비량은 UF feed 펌프 기준으로 유효전력이 8.3 kW 이었다. 양압운전에 의한 에너지소비량을 UF 유출압이 0 kgf/㎠인 조건으로 환산하면 6.32kW 인 것으로 나타남. 부압운전에 의한 효과분석 결과, 단순히 UF 유입펌프의 전기사용량을 비교한 결과에서는 2.4% 정도 부압에 의해 절약되는 것으로 나타남.
- 역세수조의 관경이 50 mm로 작아 마찰이 클 것으로 예상되어 500㎥/일의 정수를 생산 시 상기 실험을 다시 수행하였으며, 실험결과, 약 26.5 %의 효율증가가 나타난 것으로 분석되었으며, 250 ㎥/일의 정수를 생산 시에는 약 17.9 %의 효율증가가 나타남.

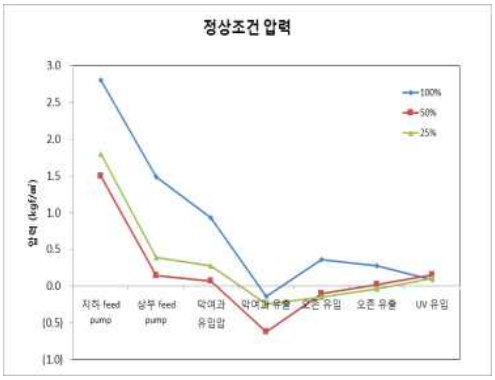
▪ 원수를 유입한 운영에서 부압운전에 대한 효율 평가결과에서도 부압운영에 의한 효율증진의 효과는 동일하게 발생되었으며, 막여과 유출압이 약 0.25 kgf/㎠ 정도 발생시에는 약 10%의 에너지효율 증진효과가 있음.

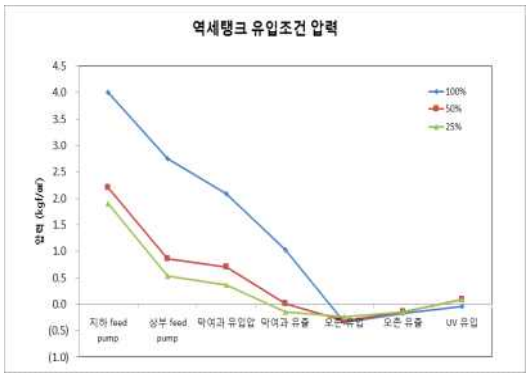
▌표 2.335 부압효과분석▐

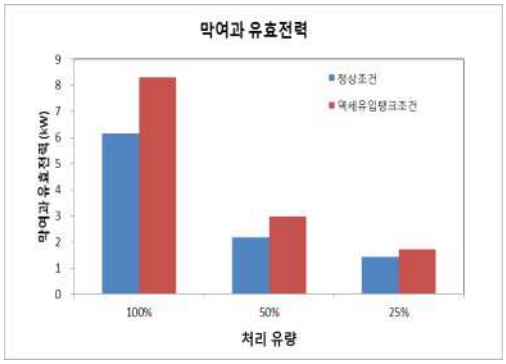
구분		① 유량 (㎥/일)	②UF 상부유입압 (kgf/㎠)	③UF 유입압 (kgf/㎠)	④UF 유출압 (kgf/㎠)	⑤UF feed pump 유효전력 (kgf/㎠)	보정 유효 전력 (kgf/㎠)	효율 증가 (%)
침전수	부압	1,000	1.14	0.93	-0.13	6.17	6.17	2.4
	양압		2.23	2.09	1.03	8.3	6.32 *	
	부압	500	0.03	0.11	-0.63	2.18	2.18	26.5
	양압		0.59	0.72	0.01	2.97	2.97	
	부압	250	0.11	0.28	-0.24	1.42	1.42	17.9
	양압		0.22	0.38	-0.14	1.73	1.73	
원수	부압	1,000	0.83	0.81	-0.22	6.76	6.17	8.9
	양압		1.88	1.86	0.83	8.25	6.776	
	부압	500	-	-	-0.76	1.43	1.43	55.0
	양압		-	-	0.02	3.18	3.18	
	부압	250	-	-	-0.66	1.1	1.1	13.4
	양압		0.12	0.36	-0.13	1.27	1.27	

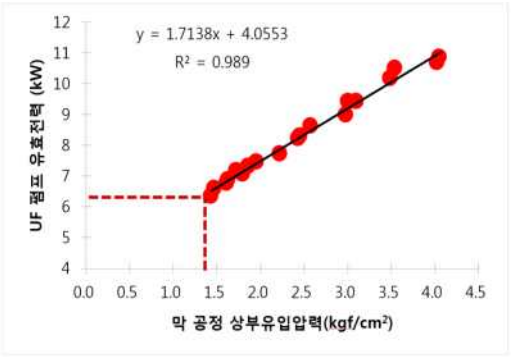
* 보정유효전력

▌**상기의 실험을 종합하면, 부압조건에서 운영함으로써, 단순히 수두가 높은것에 의한 에너지손실만 발생하는 것이 아니고 싸이폰 등의 효과로 인하여 에너지에 대한 20% 수준의 절감 효과도 발생하는 것으로 나타나는 것으로 확인되었다. 또한, 양압운전 시 후속의 저류조 및 펌프가 설치되고 운영하는 것으로 고려하면, 효과는 더욱 커질 것으로 판단됨.**

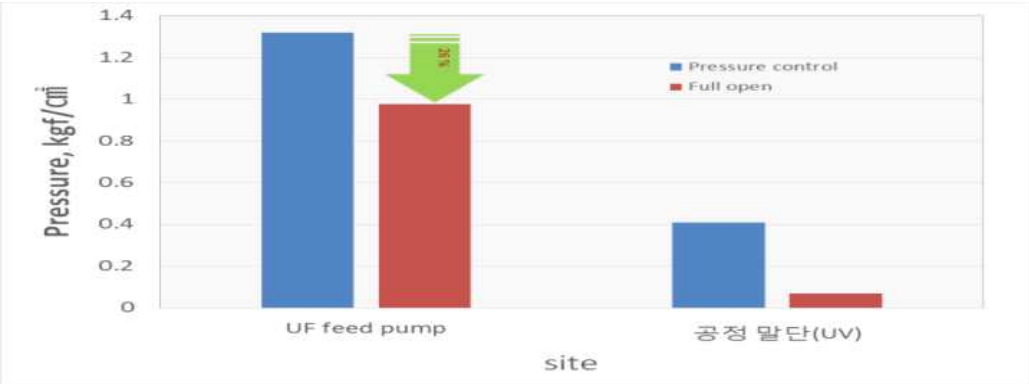








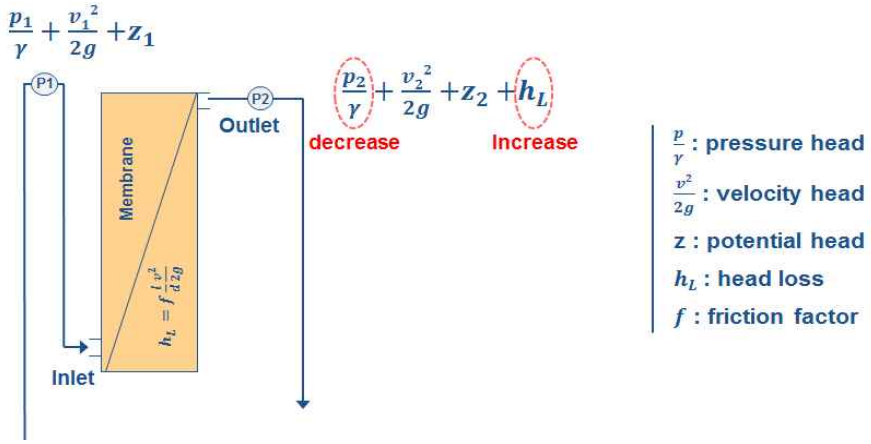
- 또한, 본 연구에서는 직결형태로 운영시에도 부압운전의 효과가 어느정도인지 정확하게 파악하기 위해 공정의 최종말단부 압력제어의 여부에 따라 UF feed pump의 동력을 비교평가 하였다. **분석결과, 최종말단부의 밸브를 full open 상태로 운전시 약 26%의 에너지 절감이 가능한 것으로 평가됨.**



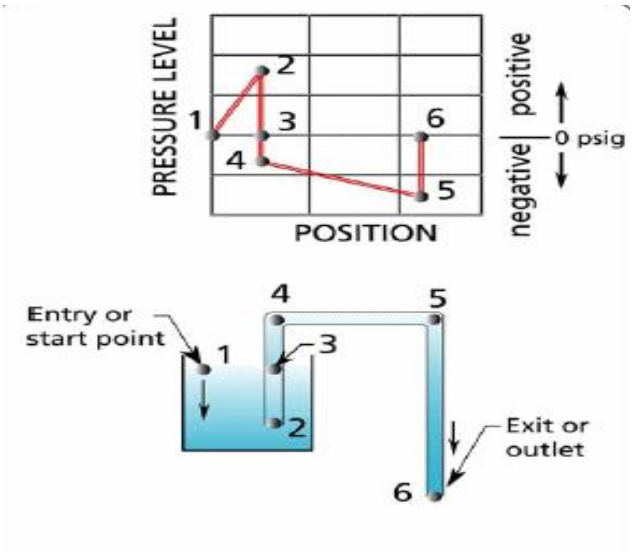
▌그림 2.574 수직형 플랜트 부압여부에 따른 에너지 소비량 비교평가▐

▌**부압의 원인은 수직형 플랜트의 최상부에 위치한 막여과 공정에서의 급격한 압력손실이 발생하는 상태에서 하향으로 향하는 유체에 의해 상부에서의 suction potential이 발생하는 싸이폰 effect에 의한 것으로 판단됨. 막여과 후단 단위공정(GAC 등)의 차압이 작은 경우 부압 potential 이 큼.**

- 막여과 공정은 비교적 큰 손실수두를 수반하기 때문에 유입과 유출압의 큰 차이를 나타내며, 이는 차압으로 표현됨.



- 싸이폰 현상이 발생하는 경우, 관로의 토출부에는 대기압 상태가 되며, 관로내 최상부에서는 부압이 발생하게 됨.



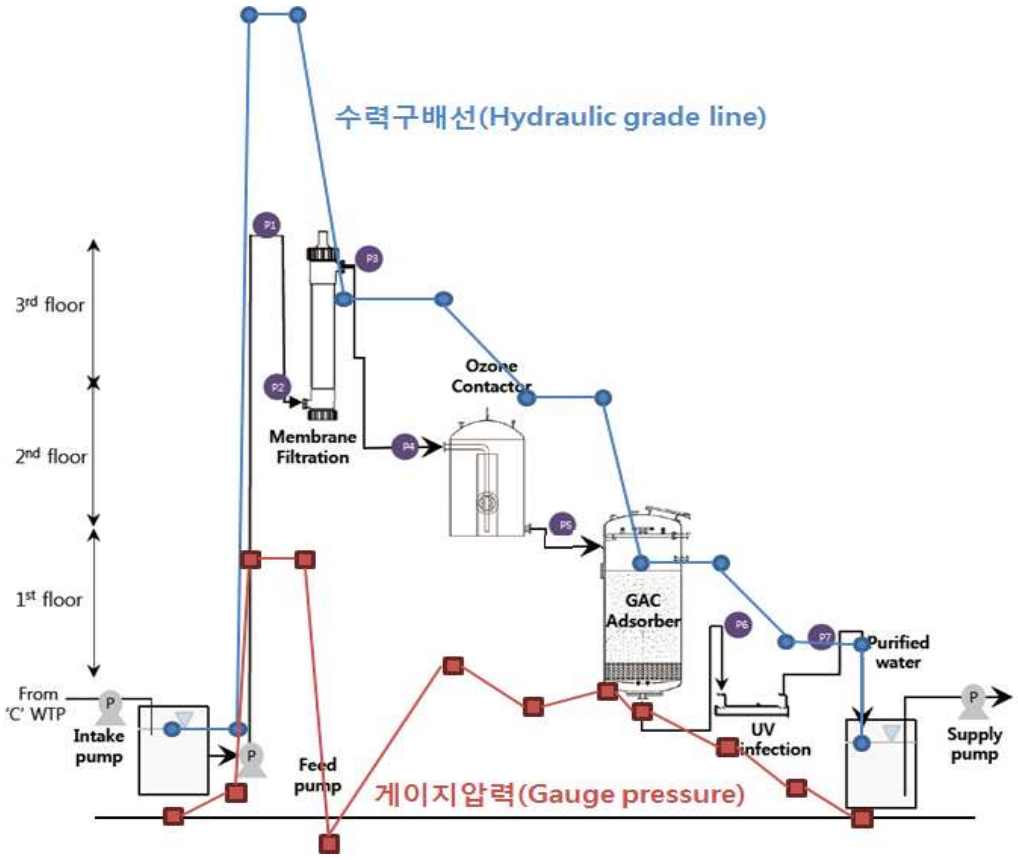
【싸이폰에 의한 압력】

(자료 : THE INNER WORKINGS OF A SIPHON, Jacques Chaurette, www.lightmypump.com, January 2003)

- 아래 그림은 수직형 막여과설비에서의 수력구배선과 게이지압력을 나타내며, 수력구배선(hydraulic grade level)은 관로 중심선에서 압력수두만큼 수직방향으로 위쪽으로 나타낸 선으로 물이 갖고 있는 에너지를 나타내며, 아래와 같은 식으로 표현됨.

수력구배선 = 막여과 설비의 설치 높이(관로 중심선) + 압력수두(게이지압력)

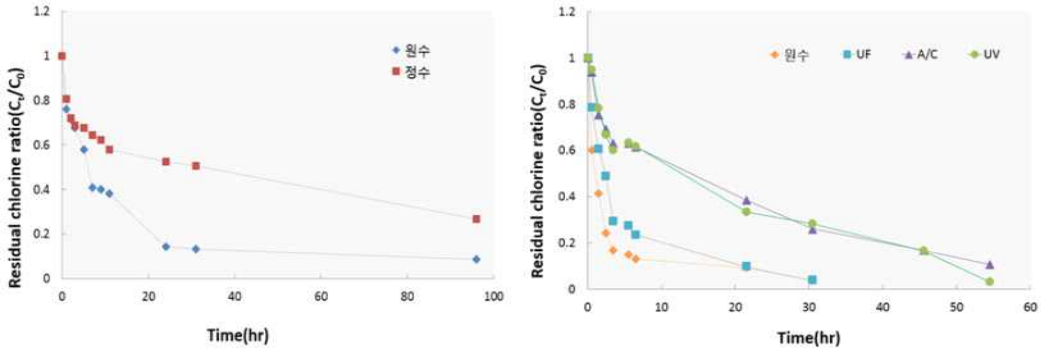
- Feed pump의 압력 상승으로 인해 막여과 전단에서는 수력구배선이 막여과 설비의 설치 높이보다 높아 관로 내에서 양압이 걸리는 반면, **막여과 후단에서의 수력구배선은 관로 보다 조금 낮은 경우 부압이 나타날 수도 있게 됨.**
- 시간이 지남에 따라 GAC설비의 차압이 증가했을 때의 수력구배선과 게이지압력 표현에서 GAC의 차압이 증가하는 경우 GAC 전단부의 압력이 차압 증가분만큼 상승하게 되며, 이로 인해 막여과 후단에서의 압력은 부압에서 양압으로 변경되게 됨.
- 막여과 후단에서 부압이 발생하는 것은 후단에서 물을 뽑아내는 효과가 발생하는 것으로 feed pump의 에너지를 줄일 수 있게 됨.



【수직형 막여과설비에서의 수력구배선과 게이지압력 (부압이 발생할 경우)】

□ 공정 운영의 효율성 평가(염소요구량 평가)

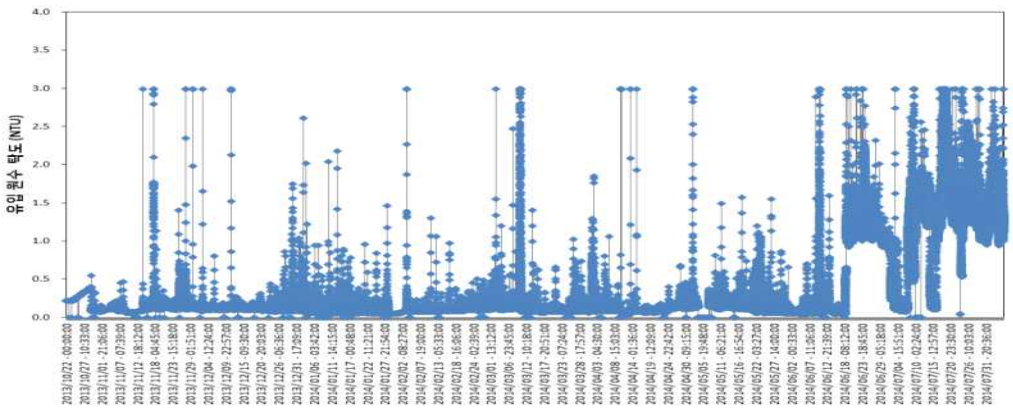
- 실증플랜트의 운영에 있어서, 각 단위공정별로 염소소비량을 분석하였음.
- 원수에서 입자상 물질을 제거한 UF처리 후에도 염소요구량은 크게 감소되지 않았음.
- 활성탄 처리 후(오존주입 미실시) 크게 감소 하였으며, 이는 청주정수장 원수 탁도가 높지 않고 UF에서 염소 소비를 유할 수 있는 입자상물질 및 미생물을 제거하고 또한 활성탄에서 DOC 제거를 효과적으로 한 것으로 판단됨.

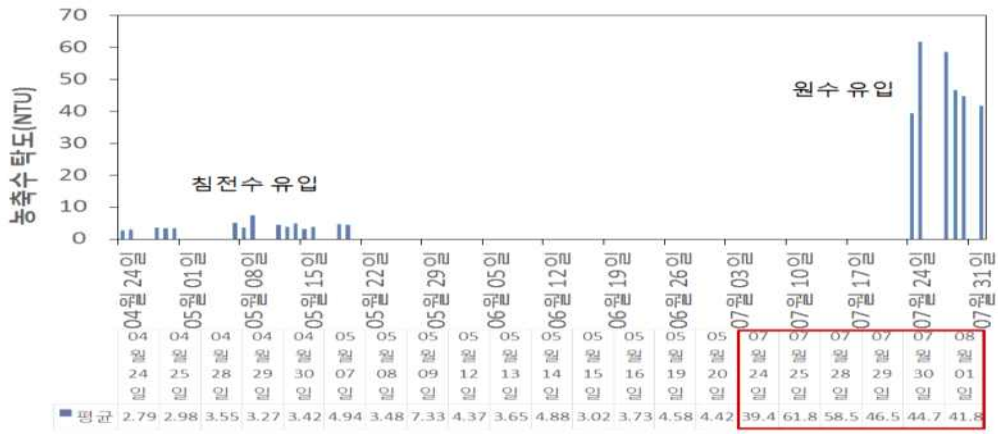


▌그림 2.575 수직형 플랜트 염소소비량 변화 1차 및 2차실험 ▐

□ 공정 운영의 효율성 평가(농축수 발생특성 분석)

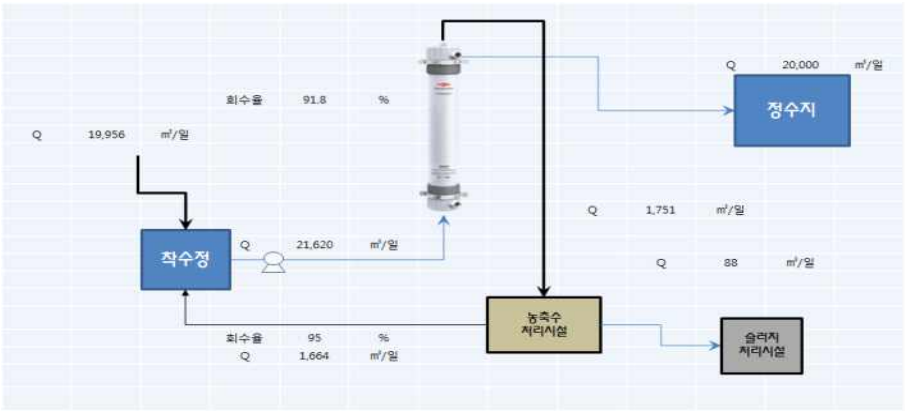
- 수직형 정수처리 플랜트에서 청주정수장 침전수와 원수를 유입하여 농축수의 발생특성을 분석
- 농축수 발생특성 분석결과, 청주정수장 침전수의 탁도는 일시적으로 증가하는 경우가 발생하나 대략 0.5 NTU 이하로 유입되었으며, 이때 농축수는 약 5 NTU의 범위로 배출되는 것으로 나타났다. 또한, 청주정수장 원수를 이용시에는 탁도는 증가하였으며, 탁도계의 특성상 고탁도를 측정하는 것은 불가하였으나, 농축수의 농도를 휴대용 탁도계로 분석한 결과, 약 40 ~ 50 NTU 수준의 농축수가 발생하는 것으로 나타남.





▌그림 2.576 수직형 플랜트 원수 및 농축수 탁도 변화 ▐

- 농축수 처리방안 수립에 있어서, 침전수를 원수로 사용하는 경우에는 농축수를 적극적으로 원수로 회수가 가능하며, 이로인해 전체공정에서 99% 이상의 회수율 확보가 가능하며, 이는 원수비용을 7% 절감시키는 효과까지 가져올 수 있음.



▌그림 2.577 농축수의 회수율의 계산 예 ▐

- 농축수 처리계획 수립에 있어서, 향후, 수직형 정수처리 플랜트 설계 및 운영에 있어서, 침전수를 유입원수로 적용하는 경우에는 특별한 배출수 처리가 필요없이 방류가 가능한 것으로 검토되었으며, 간단한 여과설비를 이용하여 농축수를 원수로 회수하는 것도 가능할 것으로 판단된다. 그러나, 원수로 회수하는 경우, 발생하는 농축수의 농도가 높아지기 때문에 이에 적합한 농축수 처리시설의 구비가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 원수로 적용하는 경우, 농축 및 탈수설비가 구비되어야 하며, 이때, 농축설비의 설계에 있어서는 막여과 농축수의 중력에 의한 침전성이 매우 취약한 점을 충분히 고려하여 설계하여야 함.

(4) 개선방안 및 실 규모 플랜트 적용 방안

▌현재 구성된 UF-오존-활성탄-UV 공정으로 효율성(수질적 측면)이 충분하다. 공정구성은 유입수 수질에 따라 변경이 가능하며, 원수 수질에 의해 일부 공정의 생략(오존 등)이 가능하다. 국내에 실규모 플랜트를 적용 시에는 국내 정수시설의 필수 단위공정인 염소소독이 추가되어야 함.

▌원수로 침전수를 이용 시에는 농축수 설비 미설치 또는 최소화가 가능하며, 이때, 원수로 회수하는 경우에는 적절한 설비(여과 등)가 보완되어야 하며, 추가로 슬러지 처리시설이 검토되어야 함.

▌멤브레인(UF)의 설계에 있어서, 국내외 멤브레인의 특성(길이, 두께 등)이 상이하여 멤브레인 모듈을 개대체시 선택성이 협소해지는 단점이 있는 바, 본 수직형 정수처리 플랜트 UF 공정구성에 있어서는 초기 건설 시에는 다소 비용이 증가하나 상용화된 많은 모듈을 개대체 시 비용적, 효율적 측면에서 선택적으로 검토할 수 있도록 UNIVERSAL DESIGN 을 적용하는 것이 바람직함.

Universal Design [普遍的 設計, 보편적 설계] : "Barrier-Free" concept
제품과 환경을 개조하거나 또는 추가적인 특별한 설계 없이도 모든 사람이 최대한 편리하게 사용할 수 있도록 설계하는 공학적 개념이다. 이 개념은 건축학에서 비롯된 것으로 무장애 설계, 통합 설계, 혹은 모든 사람을 위한 설계라고도 한다. 장애인이건 비장애인이건 모든 사람의 다원적인 요구와 변화하는 유동적 요구를 포용할 수 있는 공통 설계요인을 최대한 반영하여야 한다.

▌활성탄 여과의 경우, 역세척 유출부에 스트레이너의 적용을 지양하고 탁질이 원활하게 배출될 수 있는 구조로 개선이 필요.

▌오존공정의 경우, side stream을 적용 시 반드시 in-line mixer 의 배치 및 유량계의 설치가 반드시 필요.

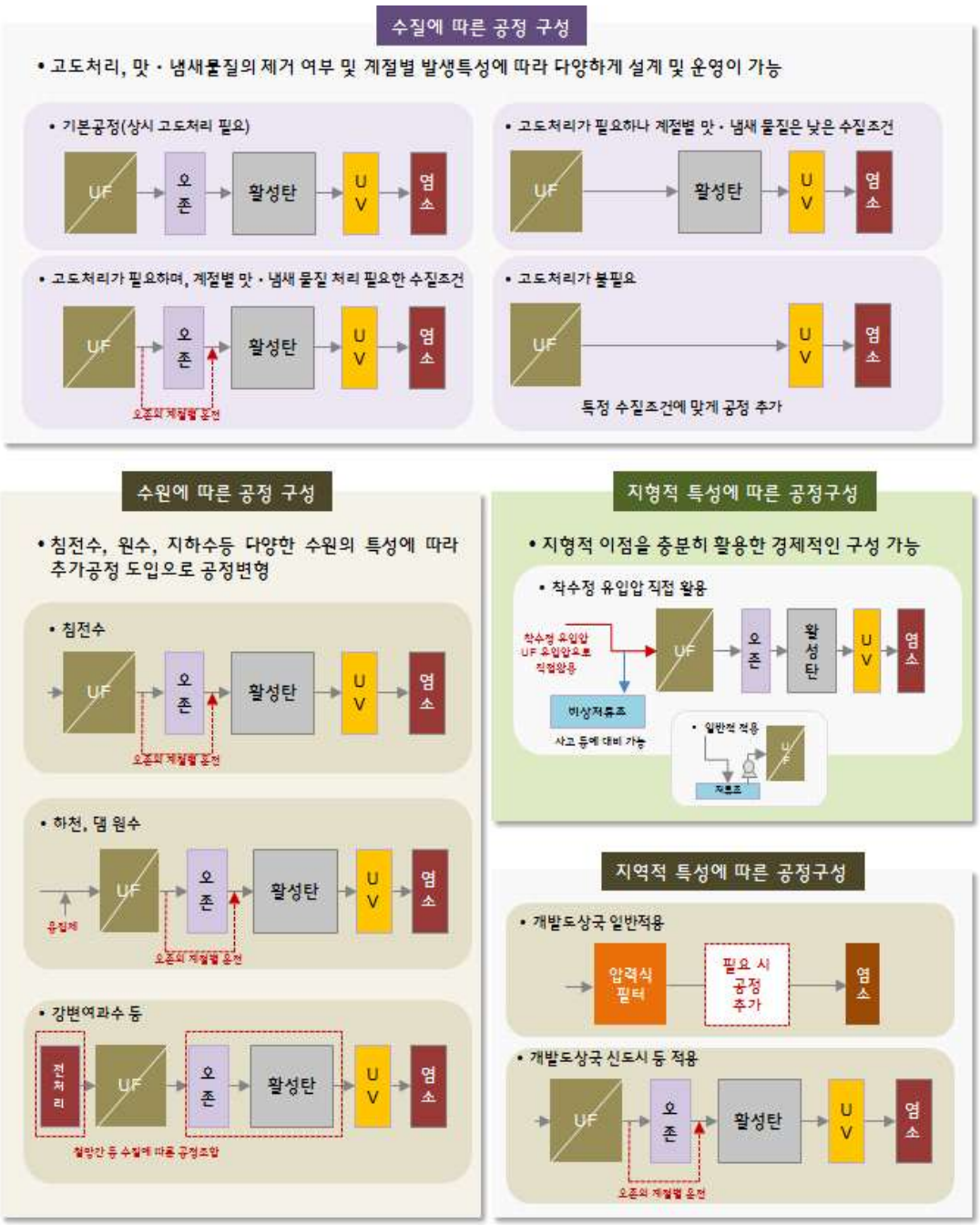
▌역세수(탱크)의 운영에 있어서, 공정 내 UF 및 활성탄내의 차압발생이 적은 경우 부압발생이 되는 바, 이를 고려하여 적절한 위치에서 역세수를 취수할 수 있도록 배관구성이 필요.

▌공정 운영방식에 있어서, UF 및 활성탄의 차압이 낮은 상태에서 공정 내 부압이 발생하며, 이로 인해 에너지 측면에서 효율성이 증대된다. 다만, 이 경우에 있어서는 역세척수 및 수질측정기의 취수계통의 위치변경 및 관리가 가전에 필요하다. 다만, 최종말단에 소수력 발전설비를 설치하는 경우에 있어서는 상기의 부압발생 해소 뿐만 아니라, 전기에너지 획득이 가능하기 때문에 반영이 필요.

▌UF 운영에 있어서, UF 후단의 많은 밸브의 수시적 ON/OFF에 의해 수충격이 발생할 가능성이 크기 때문에 밸브의 ON/OFF 방식을 개선하여야 함.

(5) 공정구성에 대한 검토

▌수직형 플랜트의 기본적인 구성은 막여과-오존-활성탄-자외선소독 공정의 직결(direct coupled) 연결이며, 대상지역의 지리적인 여건, 수원의 종류 및 수질에 따라 공정의 변경 및 운영방법의 변경 가능



나. 신재생에너지 생산설비

(1) 태양광 발전설비

(가) 목적

▌ 수직형 정수처리 건축물의 옥상과 외벽에 결정질 모듈을 이용한 옥상 경사고정형 태양광설비(PVIB : Photovoltaic in Building)와 박막형 모듈을 이용한 BIPV(Building Integrated Photovoltaic System)가 융합된 건물일체형 태양광발전을 설계.시공하여 수직형 정수처리 건축물의 에너지 자립도를 향상시키고자 함.

(나) 시설제원

▌ 옥상 태양광설비 제원

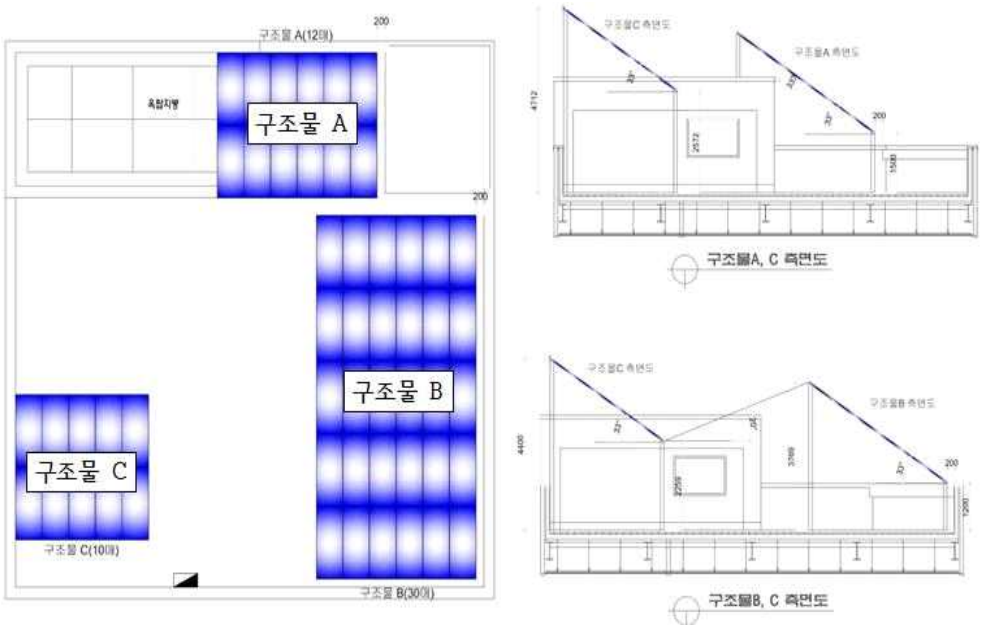
▌표 2.336 태양전지 모듈 및 인버터 사양(설계사양)▌

모듈		인버터	
용 량 [Wp]	190	용 량 [kW]	10
크 기 [mm]	1574×782×40	크 기 [mm]	650×1060×500
최대전압 [VMPP]	35.31	입력전압 [V]	DC200~800
개방전압 [VOC]	45.23	출력전압 [V]	AC380±38
최대전류 [IMPP]	5.38	최대전류 [A]	600A
효 율 [%]	16.26	효 율 [%]	96% 이상

▌표 2.337 모듈 직·병렬회로 개수 ▌

직렬 모듈 수	병렬 회로 수	모듈 수	용량 (㎾)
13	4	52	9.88

- 어레이 경사각은 33° 고정식이며 4개의 병렬회로로부터 나오는 2.47kW 의 1직렬 출력은 4CH의 접속함 1대에 입력되며, 9.88kW 접속함의 출력은 10kW 인버터로 입력.



▌그림 2.578 옥상태양광 구조물 도면▐

▌그림 2.579 옥상 태양광발전의 시공▐

▌ 건물일체형 태양광 발전설비(BIPV)

▪ BIPV의 경우 3직렬 14병렬 회로이며 모듈 42매와 더미모듈 3매로 구성.

- 옥상설치 태양광과 직렬수가 상이하여 하나의 인버터로 입력될 수 없어 별도의 인버터를 설치하였다.
- BIPV의 출력은 4.9kW로써 5kW 인버터 1대 사용이 가능하나, 현재 시판되는 인버터는 3kW, 10kW이상으로 출시되어 3kW 인버터 2대를 사용하였다.

▌표 2.338 태양전지 모듈 및 인버터 사양(설계사양)▐

모듈		인버터	
용 량 [Wp]	116	용 량 [kW]	3
크 기 [mm]	1100×1300	크 기 [mm]	650×1060×500
최대전압 [VMPP]	120	입력전압 [V]	DC100~500
개방전압 [VOC]	149.5	출력전압 [V]	AC380±38
최대전류 [IMPP]	1.148	최대전류 [A]	600A
효 율 [%]	6	효 율 [%]	96% 이상

▌표 2.339 모듈 직·병렬회로 개수▐

직렬 모듈 수	병렬 회로 수	모듈 수	용량 (㎾)
3	14	42	5.1

▌그림 2.580 BIPV 설치정면도▐

▌그림 2.581 BIPV 시공▐

(다) 효율평가(월별, 일별 등)

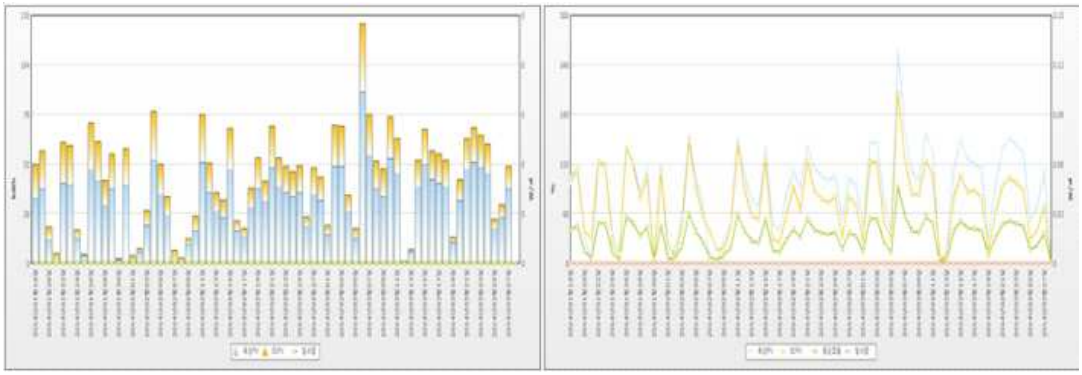
▌ 운영기간

- 2013. 11 ~ 2014. 12 (13개월)

▌ 분석방법

▪ 발전량 분석을 위해 운영관리시스템 내에 실시간 모니터링시스템을 구축하여 태양광의 일, 월, 년 데이터를 분석

▌그림 2.582 태양광발전시스템 모니터링 화면구축▐



▌그림 2.583 태양광발전시스템 발전현황 모니터링 화면▐

▌ 목표 발전량

▪ 옥상설치 태양광발전과 BIPV 목표 발전량은 아래와 같다.

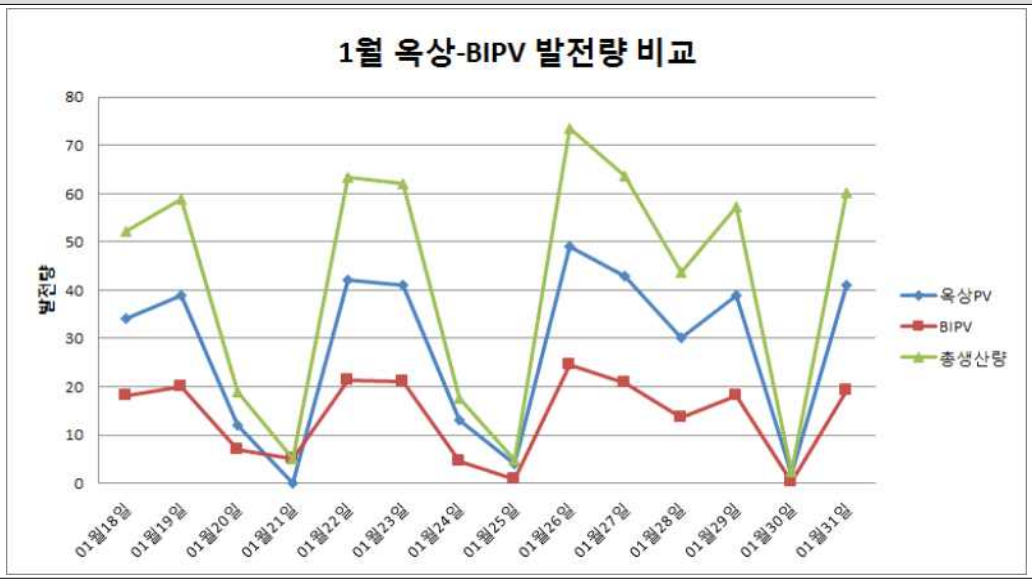
구분	설비용량(kW)	연간이용률	연간발전량(kWh)
옥상태양광	9.88	15%	12,982
BIPV	4.872	5%	2,137
계	14.752	-	15,120

▌ 운영실적 분석

구분	1월		2월		3월		4월		5월	
	발전량	이용률	발전량	이용률	발전량	이용률	발전량	이용률	발전량	이용률
PVIB	389	11.6	776	11.5	1027	15.8	1124	15.6	1425	19.2
BIPV	195	11.6	323	9.6	372	11.5	315.1	8.8	306.6	8.2
PVIB + BIPV	584	11.6	1,099	10.9	1399	14.4	1439.1	13.3	1731.6	15.5

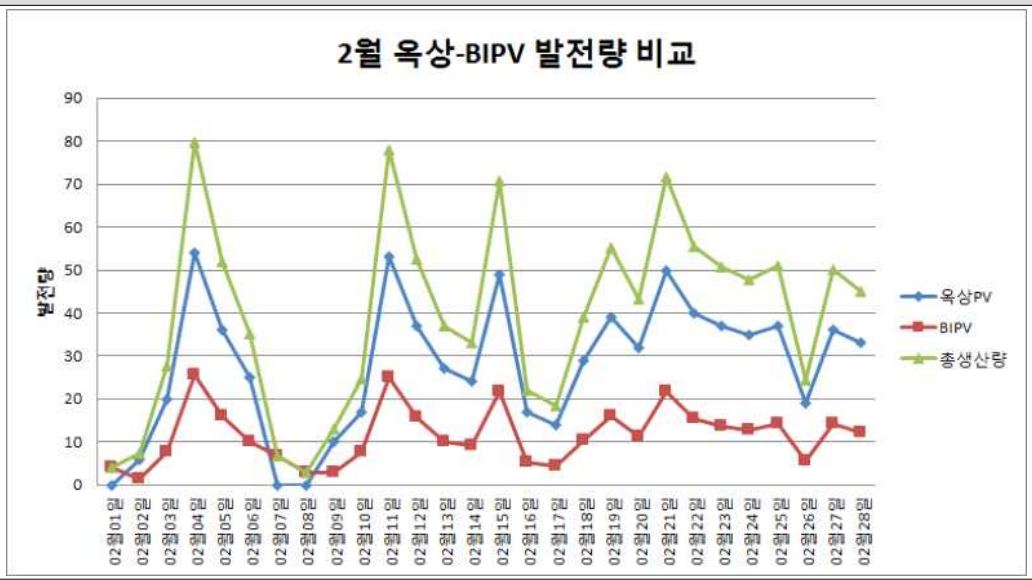
구분	6월		7월		8월		9월		10월	
	발전량	이용률	발전량	이용률	발전량	이용률	발전량	이용률	발전량	이용률
PVIB	752	13.6	894	12.4	430	10.5	556	12.2	1039	14.4
BIPV	174	6.3	225	6.3	111	5.4	194	8.5	465	12.9
PVIB + BIPV	926	11.2	1,119	10.4	541	8.8	750	11	1504	13.9

1월 운영실적(1월 18일~31일, 14일간)



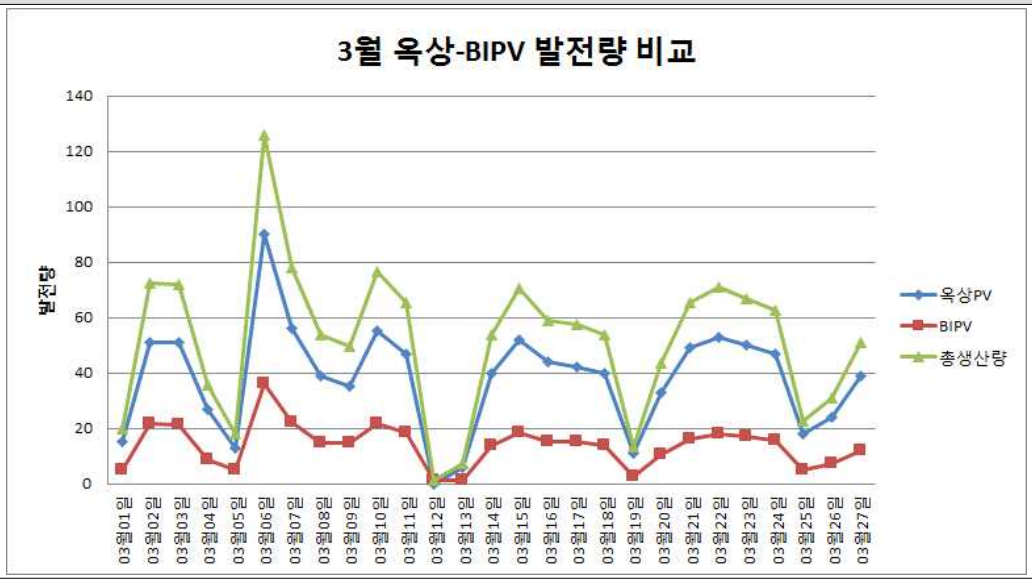
- 옥상태양광(발전량 : 389kWh,이용률 : 11.6%)
- B I P V (발전량 : 195kWh,이용률 : 11.6%)
- 옥상 + BIPV(발전량 : 584kWh,이용률 : 11.6%)

2월 운영실적(2월 1일~28일, 28일간)



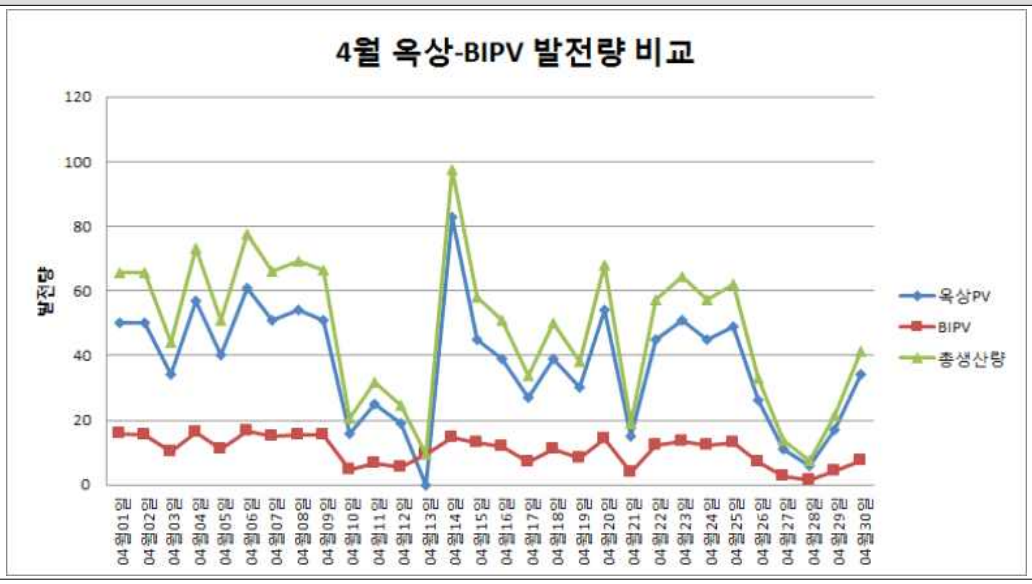
- 옥상태양광(발전량 : 776kWh,이용률 : 11.5%)
- B I P V (발전량 : 323.5kWh,이용률 : 9.6%)
- 옥상 + BIPV(발전량 : 1,099.5kWh,이용률 : 10.9%)

3월 운영실적(3월 1일~27일, 27일간)



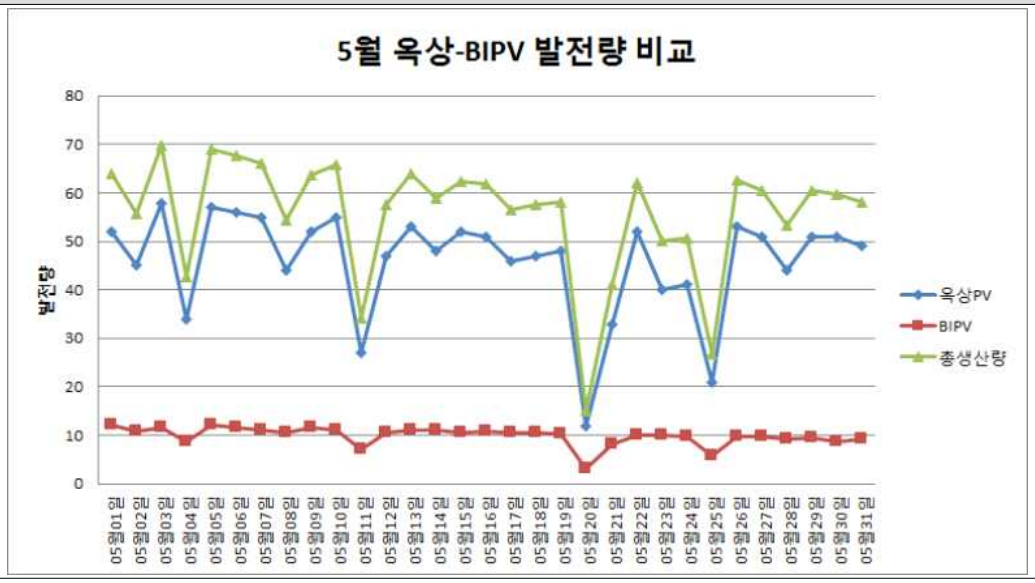
- 옥상태양광(발전량 : 1027kWh,이용률 : 15.8%)
- B I P V (발전량 : 372kWh,이용률 : 11.5%)
- 옥상 + BIPV(발전량 : 1399kWh,이용률 : 14.4%)

4월 운영실적(4월 1일~30일, 30일간)



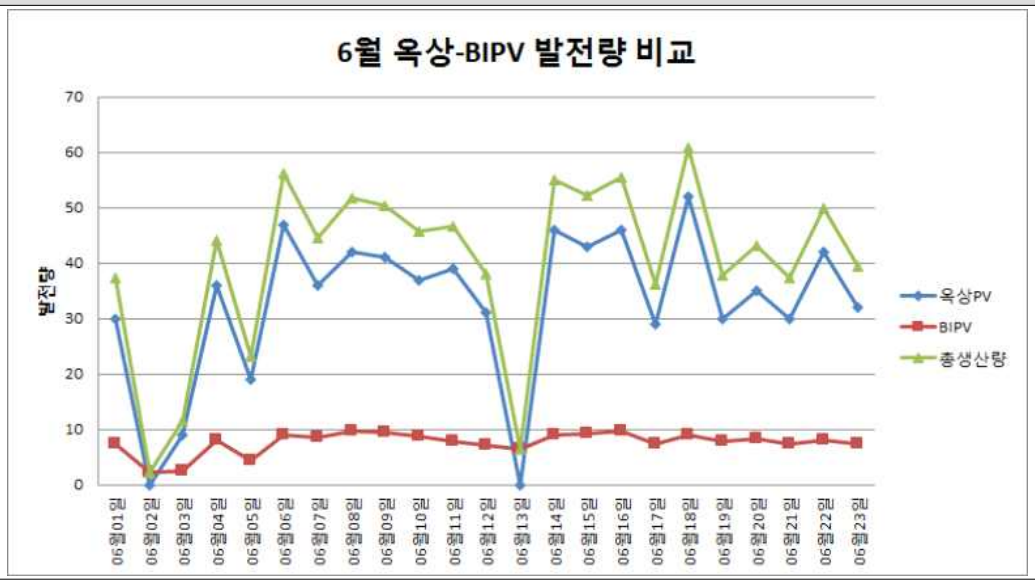
- 옥상태양광(발전량 : 1124kWh,이용률 : 15.6%)
- B I P V (발전량 : 315.1kWh,이용률 : 8.8%)
- 옥상 + BIPV(발전량 : 1439.1kWh,이용률 : 13.3%)

5월 운영실적(5월 1일~31일, 31일간)



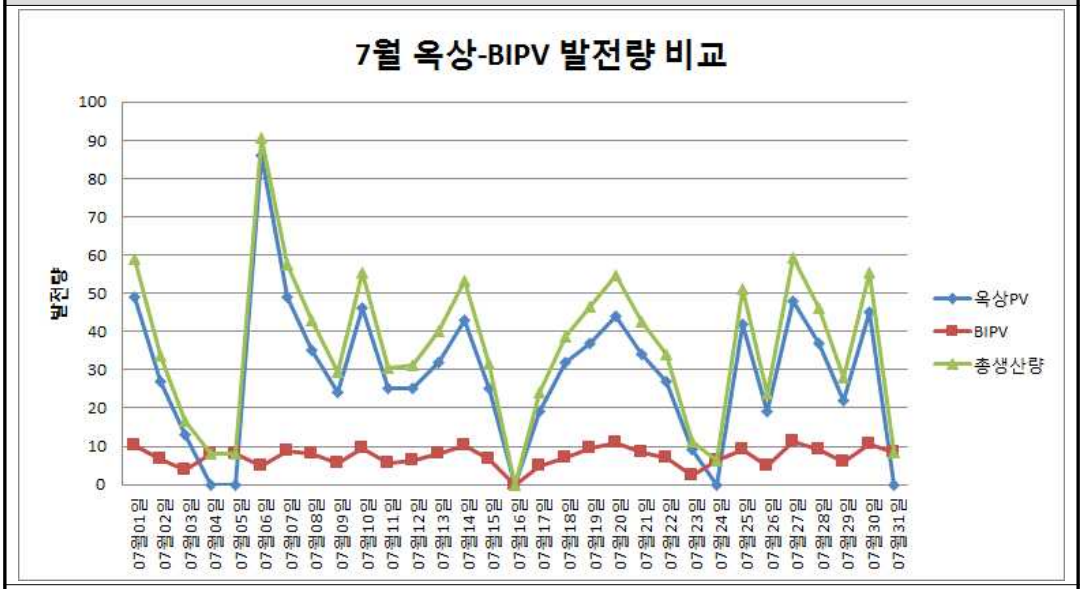
- 옥상태양광(발전량 : 1425kWh,이용률 : 19.2%)
- B I P V (발전량 : 306.6kWh,이용률 : 8.2%)
- 옥상 + BIPV(발전량 : 1731.6kWh,이용률 : 15.5%)

6월 운영실적(6월 1일~23일, 23일간)



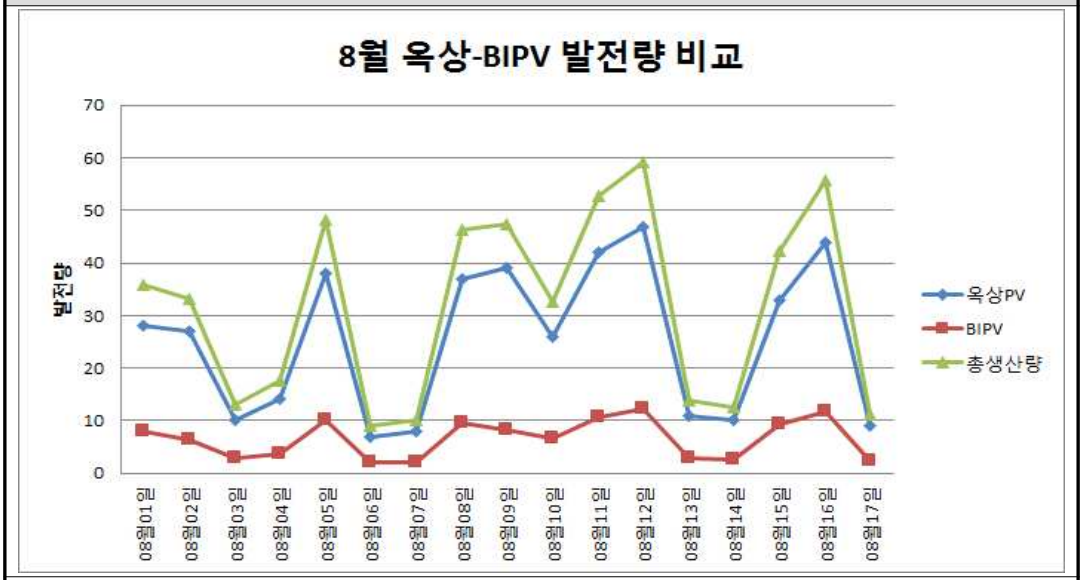
- 옥상태양광(발전량 : 752kWh,이용률 : 13.6%)
- B I P V (발전량 : 174kWh,이용률 : 6.3%)
- 옥상 + BIPV(발전량 : 926.3kWh,이용률 : 11.2%)

7월 운영실적(7월 1일~31일, 30일간)



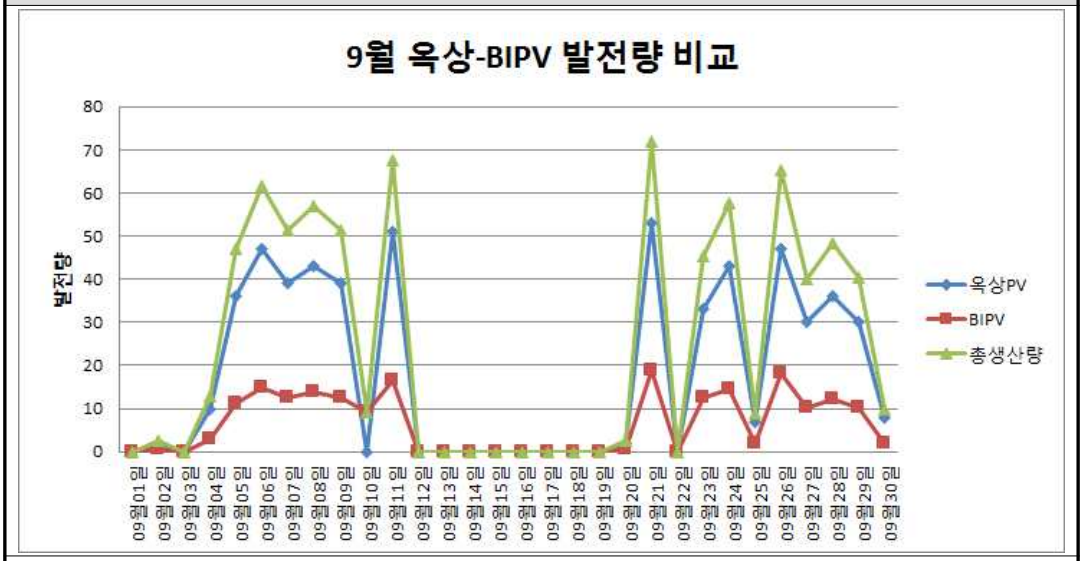
- 옥상태양광(발전량 : 894kWh,이용률 : 12.4%)
- B I P V (발전량 : 225.1kWh,이용률 : 6.3%)
- 옥상 + BIPV(발전량 : 1119.1kWh,이용률 : 10.4%)

8월 운영실적(8월 1일~17일, 17일간)



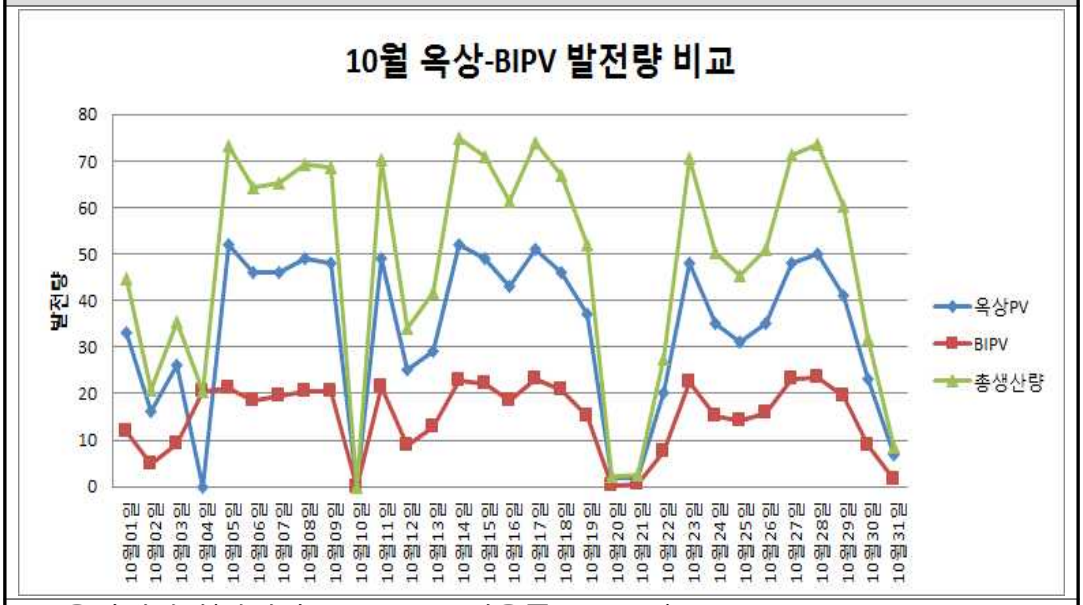
- 옥상태양광(발전량 : 430kWh,이용률 : 10.5%)
- B I P V (발전량 : 111.1kWh,이용률 : 5.4%)
- 옥상 + BIPV(발전량 : 541.1kWh,이용률 : 8.8%)

9월 운영실적(9월 1일~30일, 19일간)



- 옥상태양광(발전량 : 556kWh,이용률 : 12.2%)
- B I P V (발전량 : 194.2kWh,이용률 : 8.5%)
- 옥상 + BIPV(발전량 : 750.2kWh,이용률 : 11%)

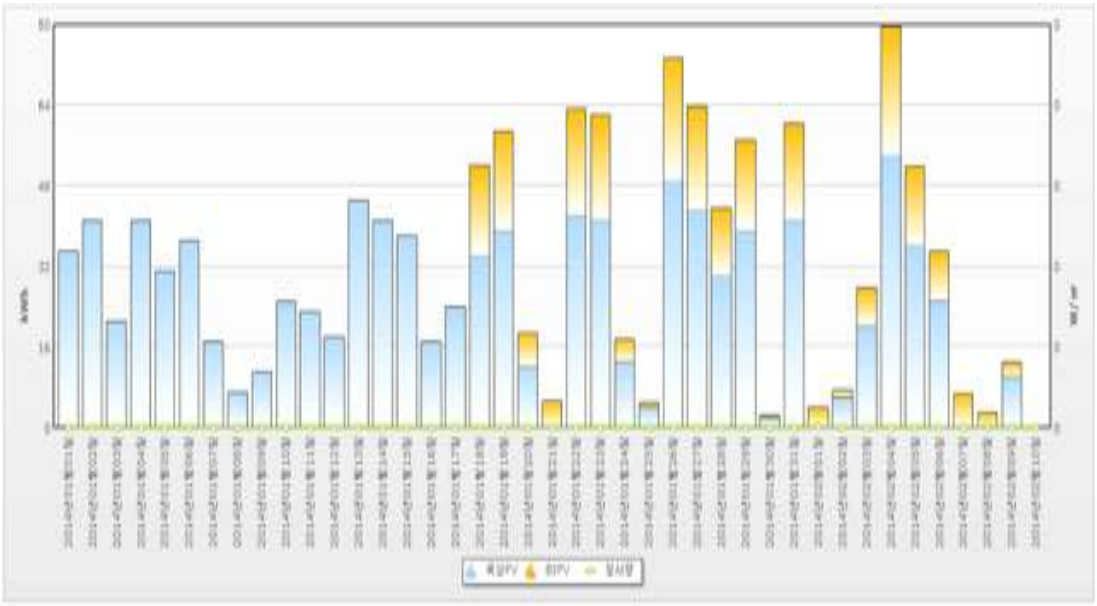
10월 운영실적(10월 1일~31일, 30일간)



- 옥상태양광(발전량 : 1039kWh,이용률 : 14.4%)
- B I P V (발전량 : 464.7kWh,이용률 : 12.9%)
- 옥상 + BIPV(발전량 : 1503.7kWh,이용률 : 13.9%)

▪ **태양광 발전의 현황 분석 결과,** 실증시설에 설치된 10kW PV설비와 5 kW BIPV설비의 발전현황을 2014년 1월과 2월 데이터로 비교분석 했을 때, 맑은 날 기준 효

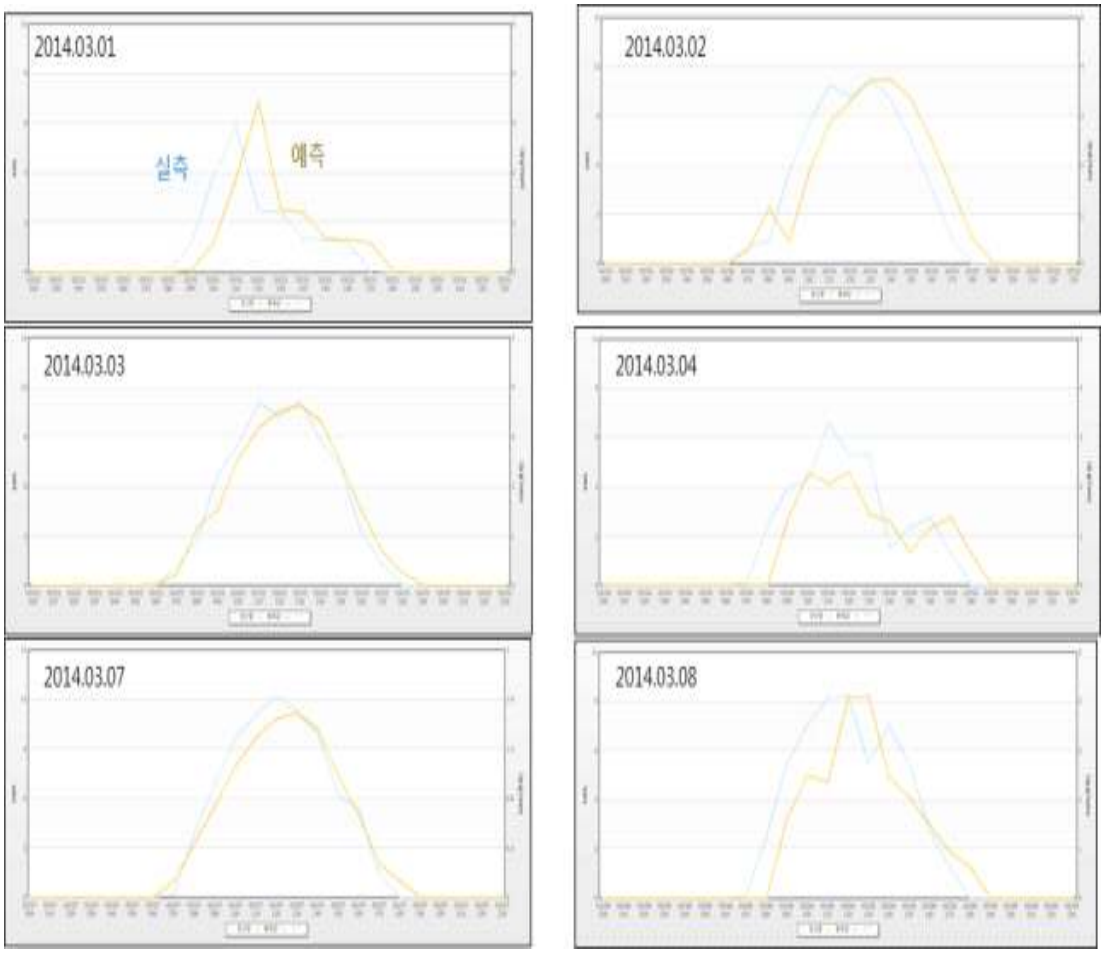
율이 90%까지 분석됨.



구분	01월01일	01월02일	01월03일	01월04일	01월05일	01월06일	01월07일	01월08일	01월09일	01월10일	01월11일	01월12일	01월13일	01월14일	01월15일	01월16일	01월17일	01월18일	01월19일	01월20일	01월21일	01월22일	01월23일	01월24일	01월25일	01월26일	01월27일	01월28일	01월29일	01월30일	01월31일	02월01일	02월02일	02월03일	02월04일	02월05일	02월06일	02월07일	02월08일	02월09일	02월10일
옥상PV	35	41	21	41	31	37	17	7	11	25	23	18	45	41	38	17	24	34	39	12	0	42	41	13	4	49	43	30	39	2	41	0	6	20	54	36	25	0	0	10	0
BIPV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18.16	19.89	6.86	5.19	21.47	20.98	4.5	0.95	24.44	20.79	13.64	18.18	0.35	19.26	4.01	1.43	7.64	25.69	15.91	10.1	6.68	2.91	2.95	0
일사량	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
최대기온	9.3	7.3	9	5.7	4.9	6.6	5.2	5	0	0	2.2	3.5	0	2.4	3.3	4	5.5	2.9	2.1	2.9	0	2.6	5.1	7.7	6.7	6.7	3.9	5.5	8.6	6.5	8.4	7.1	7.3	3.6	0	0.7	5.5	8.3	3.6	1.8	4.6
날씨	구름많음	맑음	구름많음	구름조금	구름많음	맑음	구름많음	비/눈	맑음	구름조금	구름많음	구름많음	맑음	구름많음	구름조금	구름많음	맑음	구름많음	구름조금	비/눈	구름많음	맑음	구름조금	구름많음	비	맑음	맑음	흐림	맑음	비	맑음	비	비	구름조금	맑음	구름많음	구름많음	구름많음	눈	눈	구름많음

▌ 태양광 발전량 예측

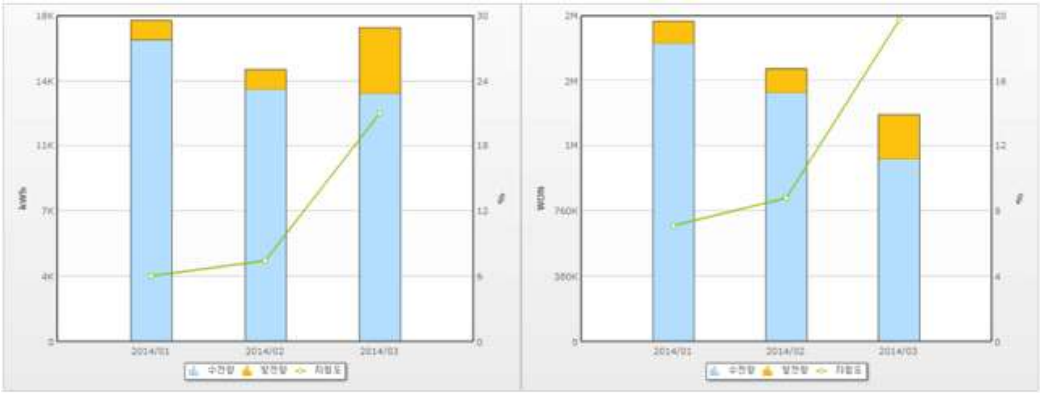
- **예측방법** : 통계학적 접근방법 사용(온도, 일사량, 반사광, 패널의 효율 등 다양한 요소를 고려한 출력예측)하고, 비선형 문제 해결을 위해 SVM(Support Vector Machine) 알고리즘 적용
- **예측결과** : 기상청의 기상예보 정보를 실시간으로 수신하여 태양광 발전설비의 발전량 예측을 하였으며, 대체적으로 80% 이상의 정확도 나타냄



(라) 경제성 분석

▌ 태양광 발전의 발전량과 발전금액 비교분석

- 태양광 발전설비의 전체 발전량을 기준으로 2014년 1월 ~ 3월 데이터를 기준으로 한국전력(청주정수장) 수전량과 전력단가(산업용전력(을) 고압A 선택2)를 기준으로 했을 때의 현황을 비교분석 하였다.
- 에너지 수전 및 발전량(금액)을 단순하게 분석했을 때, 자립도가 금액으로 환산했을 때 높게 나타났다.
- 금액으로 환산했을 때, 자립도가 높게 나타나는 것은 전력계약 단가가 낮 시간이 밤 시간에 비해 높으나, 일반적으로 정수공정은 24시간 운영되면서 나타나는 현상으로 판단된다.



구분	1월		2월		3월	
	kWh	원	kWh	원	kWh	원
수전량	16,670.17	1,738,148	13,928.92	1,451,401	13,703.47	1,064,116
발전량	1,069.77	133,156	1,119.97	140,424	3,643.27	261,473
합계	17,739.94	1,871,304	15,048.89	1,591,825	17,346.74	1,325,588
자립도(%)	**6.03**	**7.12**	**7.44**	**8.82**	**21**	**19.73**

시간	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
태양광 평균	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.91	3.05	4.27	5.97
수전 평균	23.93	22.96	24.06	23.33	24.39	24.48	22.94	23.27	22.50	23.45	22.82	20.30
전력 단가	63.1	63.1	63.1	63.1	63.1	63.1	63.1	63.1	63.1	109.2	166.7	166.7
시간	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
태양광 평균	6.25	6.21	4.62	3.18	1.52	0.21	0	0	0	0	0	0
수전 평균	19.26	22.02	20.49	20.85	23.81	22.96	23.85	23.40	22.50	23.56	22.39	23.28
전력 단가	109.2	109.2	109.2	109.2	109.2	166.7	166.7	166.7	109.2	109.2	166.7	63.1

▌Payback 또는 ROI(Return On Investment)를 통한 경제성 분석

▪ 편 익

연간수익은 6개월 운영실적(‘14.1 ~ ‘14.6)을 바탕으로 연간발전량을 추정 산정하여 발전수익을 산출하였고, 할인율을 적용하여 20년간의 편익을 산정하였다.

- 공급인증서(REC : Renewable Eenergy Certificate)
  REC는 발전개시 후 245.6475원/kWh로 적용하였다(건축물 상부 태양광 REC가중치 1.5 적용 → 163.645원/kWh×1.5 = 245.6475원/kWh).
- 계통한계가격(SMP : System Marginal Price)
  SMP는 최근 K-water 판매단가 및 SMP 변동추이를 고려하여 상업개시 후 20년간 114.79원/kWh을 적용함

▪ 사업비(집행실적) : 총액 91,920,650원

- 피뢰 및 접지 : 5,940,000원
- 옥상태양양광발전 설치공사 : 28,565,970원
- BIPV 기자재 구매설치 : 17,160,000원
- BIPV모듈 구매 : 40,254,680원
  ☞ kW당 설치단가 : 6,210,854원/kW
  → 높은 BIPV 자재단가로 인해 전체 설치단가 상승 함

▪ **경제성 분석**

- 용량 및 발전실적 : 14.8kW, 1,835kWh/년 (915.5kWh/6개월[실적]×2)
- 발전원가(고정비원가 + 연료비원가) 360.2575원/kWh
- 고정비원가

$$= \frac{\text{총건설비(원)} \times \text{연간고정비율(\%)}}{\text{설비용량}(kW) \times 8{,}760(h) \times \text{이용률(\%)} \times (1 - \text{소내전력률})}$$

$$= \frac{91{,}920\text{천원} \times 10.84\%}{14.8kW \times 8{,}760h \times 13.1 \times (1-1\%)} = 592.61\text{원/kWh}$$

- 연간고정비율(10.84%) = 자본환원계수(9.44%)+운전유지비율(1.4%)

① 자본환원계수 $= \frac{i\ (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{7\%\ (1+7\%)^{20}}{(1+7\%)^{20} - 1} = 9.44\%$

여기서, i : 할인율※=7%, n : 내구연한=20년

※ [신재생에너지 발전차액지원제도 개선 및 RPS제도와 연계방안(최종보고서)], 산업자원부 '06.03

※ [신재생에너지 의무할당제(RPS) 국내 운영방안수립], 지식경제부, '09

② 운전유지비율=운전유지·수선비율(1.0%)+법인세율(0.2%)+보험료(0.2%)

- 평균 판매단가를 기준으로 발전원가를 비용(COST), 구입전력요금을 편익(Benefit)으로 하였을 때 발전원가에 의한 B/C = 360.2575/592.61 = 0.52 임

• 옥상태양광의 경제성 검토

: BIPV가 경제성 저하에 원인이 되어 옥상태양광 9.88kW의 경제성 검토을 한 결과 B/C = 360.2575/248.9 = 1.45 임.(옥상태양광 평균이용률 14.52 적용시)

(2) 소수력 발전설비

(가) 피코급 소수력 발전설비 시제품 제작

① 모델시험용 수차의 제작

▌표 2.340 모델수차의 제작 사양▐

수차 형식	횡축 프로펠러수차
수차 수량	1set
정격 낙차	3.2 m
사용 수량	0.23cms
회전수	1,200rpm
런너 매수	4
런너 직경	280 mm

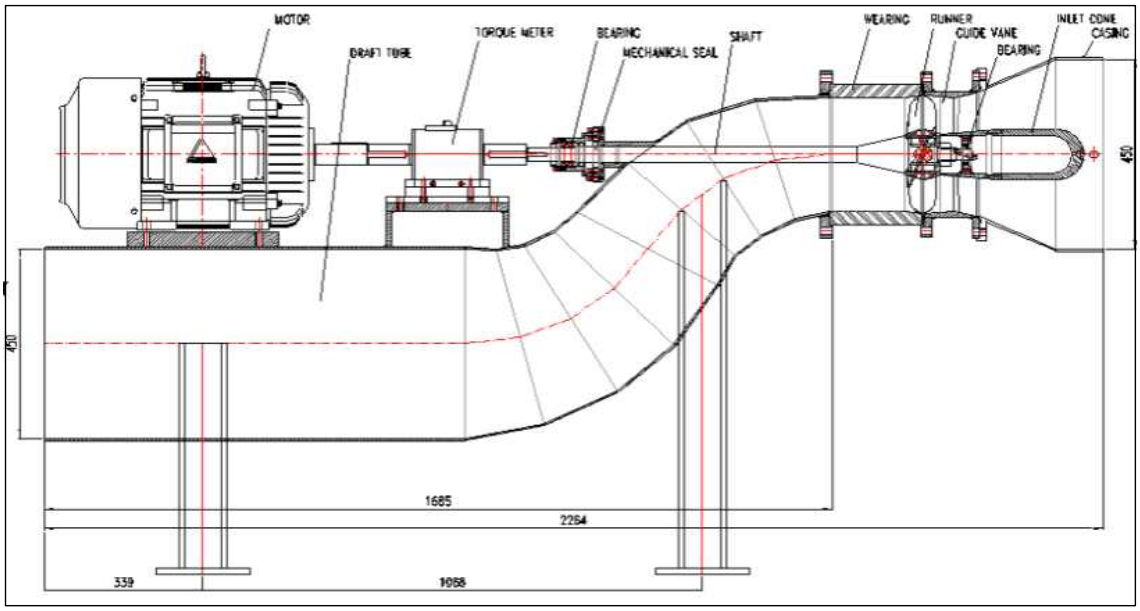
- 개발하고자 하는 수차는 약 5 kW급의 횡축 프로펠러 수차로서 정격 낙차는 3.2 m, 사용수량은 0.23 ㎥/s임

- 러너 블레이드의 개수는 4개이며, 직경은 280 mm이고 1,200 rpm으로 회전하도록 제작하고자 함

▌표 2.341 모델시험용 수차의 제작 사양서▐

품명	수량	단위	제작 상세 시방
수차 형식 및 정격	1	식	- 수차는 최대수위 및 유량에서 연속운전을 할때도 과도한 진동이나 소음 및 마모나 부식이 발생하지 않아야 하며 안전하고 원활하게 운전되어야 함. - 횡축 프로펠러 수차
회전속도			-모든 회전부는 최대 무구속 속도에서 2분간 안전하게 견딤 -정격회전속도 : 1,200rpm 최대 무구속 속도 : 2,400rpm
런너			- 재질: AL - 캐비테이션에 견디고 수류에 노출부위는 가공 및 연마 - 런너는 완전히 평형을 이루어야 함
수차축			- 재 질: 적절히 열처리된 탄소강(SM45C)으로 제작 - 편심이 일어나지 않도록 동적 평형이 이루어져야 함
베어링			- 윤활방식: 자기 윤활방식 - 내부표면은 고품질의 바벳트 메탈을 입힌 강판이상의 재질로 제작
흡출관			- 용접강판(SS400)으로 제작 - 내부는 매끄럽고 가혹한 운전에 견디도록 설계

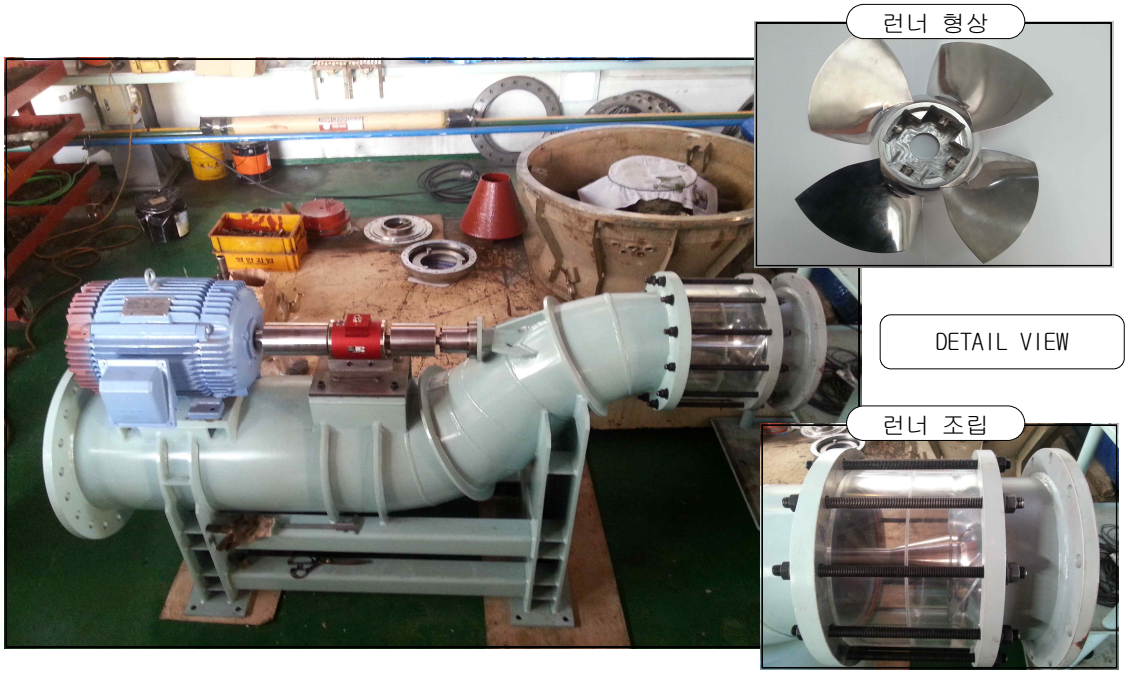
- 안전한 상태로 수차가 운전할 수 있도록 진동 측면에서 안전하여야 하며, 마모나 부식 등 기계적인 손실이 발생하지 않도록 함
- 정격 회전속도는 1,200 rpm이며, 무구속속도는 2,400 rpm이 되도록 하고자 함. 무고속 속도시험을 통해 무구속 속도를 확인해야 하며, 최대 무구속 속도에서 2분동안 안전하게 운전할 수 있도록 제작함
- 러너 블레이드는 캐비테이션에 견디고 가공 및 연마가 용이하도록 재질을 알루미늄으로 선정함
- 수차 회전축은 편심이 발생하지 않도록 동적평형이 이루어져야 하며, 강도를 유지하기 위하여 열처리된 탄소강(SM45C)를 이용하여 제작 함
- 자기 윤활방식의 베어링을 사용하고자 하며, 흡출관은 용접강판(SS400)으로 제작하여 내부 표면은 매끄럽게 제작하고 운동에너지가 압력에너지로 적절히 변환될 수 있도록 제작함



▌그림 2.584 프로펠러 수차 설계도면▐

- 개발한 수차의 설계도면을 나타내었으며, 횡축 프로펠러 수차를 인라인 관에 배치하기 위하여 S자 형태의 관을 만들어 수차 중심축을 관 외부로 배치토록 구성함
- 유입유동의 안정화를 위해 콘 형태의 케이싱을 두고 있으며, 수차 축이 길어지게 되어 베어링을 축 양쪽에 구성함
- 또한, 수차 축을 통한 누수를 막기위해 기계적인 실링방법을 채용함
- 수차의 회전속도는 인버터 모터를 통해 강제로 회전속도를 제어하고자 하며, 모터의 크기가 커서 수차의 내부에 배치가 불가능하여 외부에 배치를 하고, 수차 축동력을 측정하기 위하여 수차 축과 모터 사이에 토크측정기를 설치함

- 러너 후단에서는 압력이 최저로 떨어져 캐비테이션 발생 가능성이 높으며, 이를 가시화하기 위하여 웨어링은 투명한 아크릴로 제작하여 설치함
- 러너 블레이드는 수차의 효율을 최대화하기 위하여 날개각도를 가변할 수 있도록 제작함



▌그림 2.585 조립된 모델시험용 수차▐

- 모델시험용 수차의 제작사진

【드라프트 튜브 제작사진 】

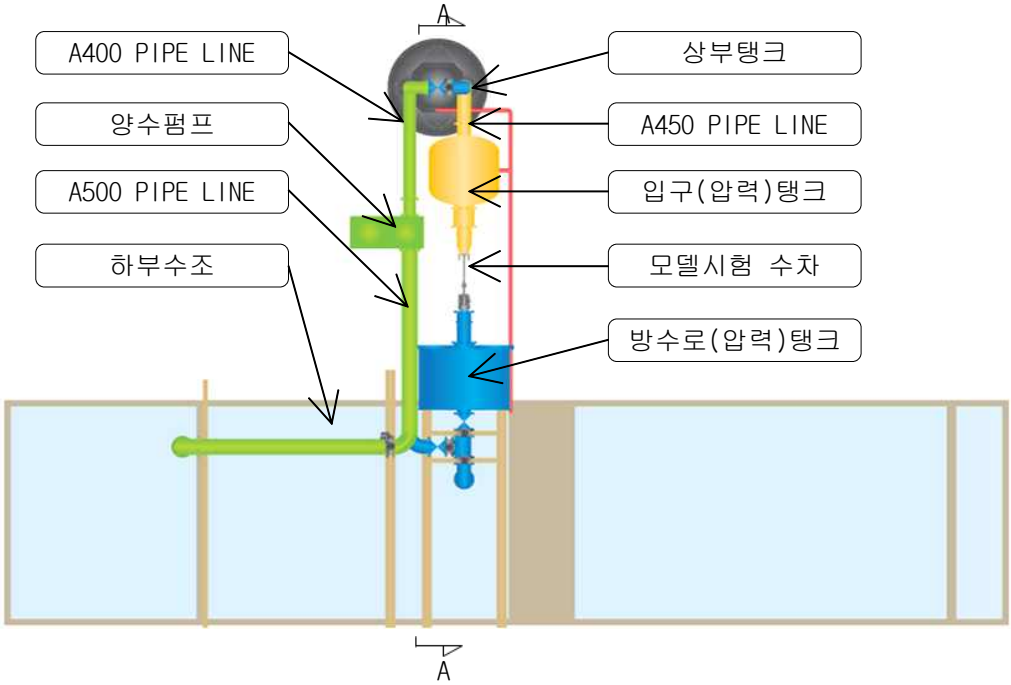
【 드라프트 튜브 베이스 제작사진】

【드라프트 튜브 제작사진】

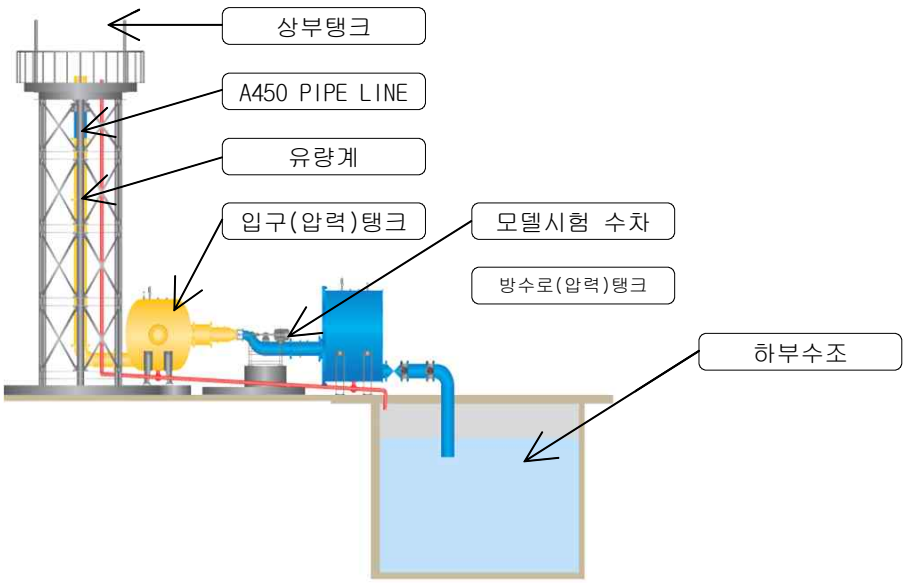
- 드래프트 튜브로 불리는 흡출관은 수차 출구에서 남아있는 운동에너지를 압력에너지로 변환하여 수차의 효율을 올리기 위한 장치임
- 대형 수차에서는 흡출관 단면형상이 원형에서 사각형으로 변화하지만, 본 개발 수차는 인라인 관에 배치하므로 원형 단면형상을 유지해야 함
- 단면형상은 원형을 유지하면서 운동에너지가 압력에너지가 적절히 변환될 수 있도록 단면적이 점진적으로 커지도록 제작함

▪ S자 형태의 관에 단면적도 변화하기 때문에 제작이 쉽지 않으며, 원형 관을 잘개 쪼개어 제작함

② 모델시험설비의 구축



▌그림 2.586 모델시험설비 레이아웃▐



▌그림 2.587 모델시험설비 레이아웃(SECTION A-A)▐

▪ 모델시험은 위의 레이아웃과 같이 상부탱크에서 대형 하부수조로 연결되는 수로

중간에 수차를 설치하고 물을 방류하는 방식으로, 실제 수차가 작동하는 상황과 유사한 상태에서 수차의 성능을 계측함

- 하부수조는 가로7.4m 세로 32.4m 높이 5.9m로 제작하였고, 방류후 물을 다시 상부탱크로 물을 채울 수 있도록 개회로형으로 펌프를 설치함
- 펌프로 퍼올려진 물은 상부탱크로 이송되어 일정한 수두를 유지할 수 있도록 되며, 450 mm 파이프를 타고 내려오는 중간에 전자유량계를 설치하여 유량을 측정함
- 수차 성능시험 수행 시 모델 수차 전후단에는 압력탱크를 설치하였으며, 압력탱크는 수차 전후단에서의 유동안정화에 기여함
- 수차 전단탱크에서 안정된 유동은 수차로 흘러들어오며 수차에서 토출된 유동은 후단탱크로 들어가서 출구 유동이 안정화 됨
- 수차 전후단에서는 평균압력을 측정하여 차압으로 수차의 낙차를 측정하게 됨
- 후단탱크에서 나온 물은 하부수조로 흘러들어가며, 다시 양수펌프를 통해 하부수조의 물이 상부탱크로 순환됨
- 수차의 성능평가시 모터를 이용하여, 수차의 속도를 일정하게 유지시켜 토크 및 회전수를 측정하고, 실제로 수차가 작동하는 방식과 동일한 상태로 시험을 하기 때문에 시험결과에 대한 신뢰도가 높을 것으로 판단됨
- 모델시험설비의 시험범위는 아래와 같고 실제적으로 적용되는 조건(낙차 :3.2m, 유량 0.23cms)은 충족됨

- 모델시험설비의 시험 범위

  낙차 : 3 ~ 40m
  유량 : 0.2 ~ 0.5㎥/s
  회전수 : 514 ~ 1,800rpm
  비속도 : 50 ~ 1,100m-kW

- 각 위치(상부탱크, 입구탱크, 방수로탱크)에서의 양정을 계측하기 위해 각 단면별로 압력센서를 설치하였으며, 수차의 입구측 및 출구측에 4개의 압력을 측정하여 평균압력을 계측하고자 함

▪ 모델시험설비 제작 사진

【상부탱크 제작(탱크용량: 19.1㎥, 사이즈:Ø 3.1 × 3.0m)】

▪ 상부탱크는 하부수조에서 양수된 물이 원활하게 유입되고 정압이 안정되게 유지될 수 있도록 내부에 정류장치가 설치되었고, 수위변화를 측정할 수 있도록 수위측정기도 설치됨

▪ 상부탱크는 가장 높은 위치에 설치되며, 설치 위치에 따라 수차 성능시험을 할 수 있는 최고낙차를 좌우할 수 있게 됨

【입구(압력)탱크 제작(탱크용량: 7.8㎥, 사이즈: Ø 2.3 × 2.3m)】

▪ 상부탱크에서 내려온 물이 수차에 유입되기 전에 입구 압력탱크에 유입되어 안정화를 이루게 됨

▪ 유수의 흐름이 입구 압력탱크에서 안정화를 이루게 되며, 탱크 유입유동이 유출유동에 직접적으로 영향을 주지 않도록 설계됨

【방수로(압력)탱크 제작(탱크용량: 13.9㎥, 사이즈: Ø 2.9 × 2.0m)】

- 방수로 압력탱크는 수차 후단유동을 안정화시키고 체류시간을 높여 수중 기포를 제거하거나, 캐비테이션 시험시 수차 후단의 압력을 조절할 수 있도록 사용됨
- 성능평가시 모델수차의 압력변화를 최소화하기 위해 입구(압력)탱크와 방수로(압력탱크)를 설치하였고, 압력센서와 온도센서를 설치함

▌모델시험설비 구축 사진

【모델시험설비 구축 장소】
(설계된 모델시험설비의 계략도)

【하부수조 터파기 공사】
(사이즈: W7.4m × D32.4m × H5.9m)

- 위 그림은 모델수차 성능시험설비의 개략도를 현장 사진에 구성하여 향후 구축될 시험설비를 가늠해 볼 수 있도록 나타냄
- 하부수조는 지하에 위치할 수 있도록 터파기 공사를 진행한 후 콘크리트로 수조를 구성토록 함

【모델시험설비 구축 - 1】【모델시험설비 구축 - 2】

- 위 그림은 상부수조 탱크와 수차 전후단의 압력탱크 등이 설치된 모습을 나타내며, 하부수조의 콘크리트 공사가 진행 중인 모습을 보여줌
- 하부수조에 대한 콘크리트 공사가 완료되면 펌프와 주요관로 공사를 마무리하고 충수를 하여 성능시험을 진행할 예정임

(다) 모니터링 시스템 제작

【모니터링 시스템】

- 모니터링 시스템을 통한 계측요소는 수위, 압력, 토크, 밸브개도는 4~20mA의 신호로 출력하고, 유량 및 회전수는 RS-485 신호로 계측됨

▪ 제어요소는 원격으로 통합제어가 가능하도록 구성되었으며, 설치위치는 아래 표와 같음

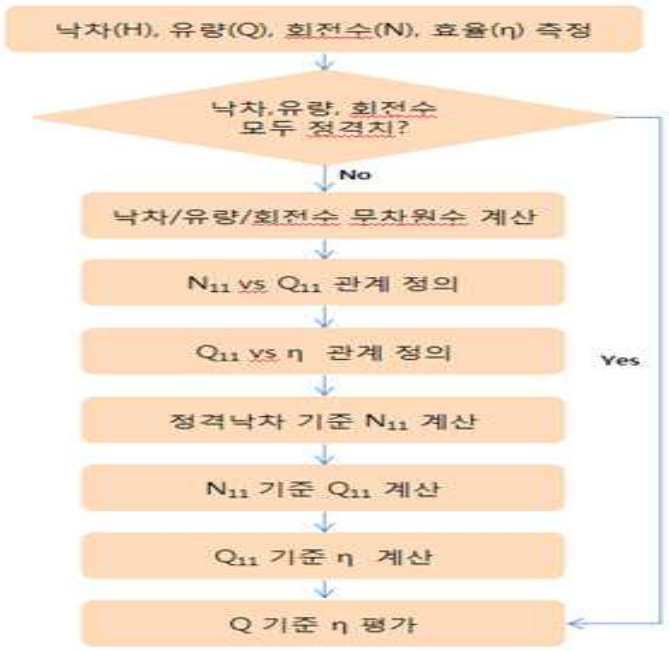
▌표 2.342 제어요소 측정위치▐

측정요소	설치위치	수량(대)	통신방식
수위측정	상부탱크	1	4~20mA
압력측정	입구(압력)탱크	1	4~20mA
	수차 전단 직관부	4	4~20mA
	수차 드라프트튜브 후단부	4	4~20mA
	방수로(압력)탱크	1	4~20mA
유량측정	상부탱크 아래(직관부)	1	RS-485
토크측정	수차	1	4~20mA
개도측정	방수로(압력)탱크 후단부	1	4~20mA
온도측정	입구(압력)탱크	1	PT100Ω
	방수로(압력)탱크	1	PT100Ω
유량측정	하부수조	1	월류량 측정

▪ 여러 센서들에서 수집된 데이터는 모니터링 시스템에서 취합되어 수차 성능을 나타내는 데이터로 변환되어 저장됨

(2) 피코급 소수력 발전설비 모델시험 절차

▪ 다음과 같이 주요 변수를 정의할 때 유량에 따른 효율 시험 결과 평가 절차는 아래와 같음

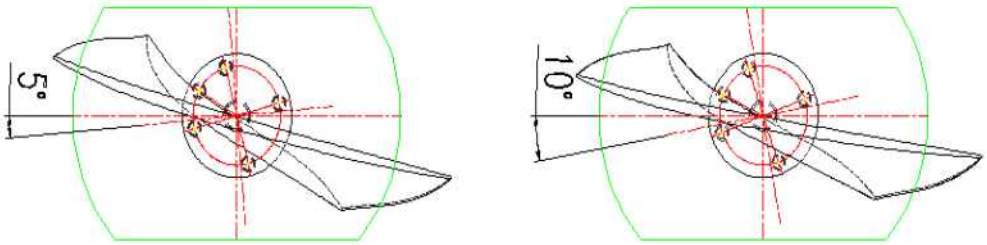


▌그림 2.588 정격낙차에서 유량별 효율 평가 절차▐

- 낙차 (m) : H
- 회전수 (rpm) : N
- 효율 (%) : η
- 낙차계수 $N_{11}=(N*D)/H^{0.5}$
- 유량계수 $Q_{11}=Q/(D^2*H^{0.5})$

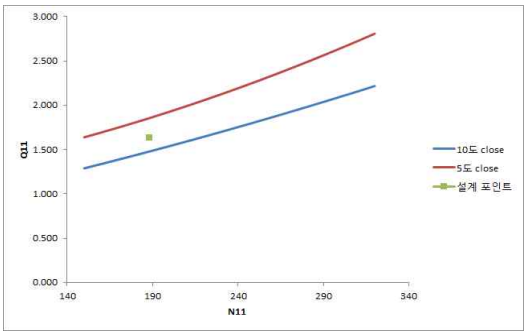
(3) 피코급 소수력 발전설비 효율 시험결과

- 정격유량을 사용하는 러너 개도를 확인하기 위하여 다음과 같이 러너 개도를 조정하여 시험실시

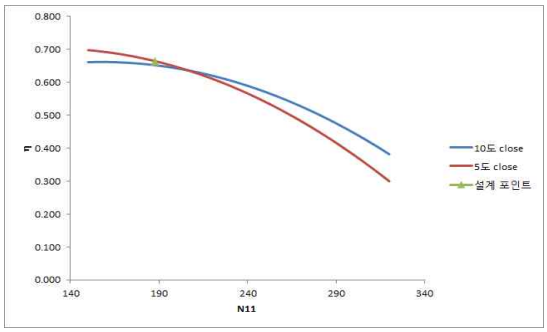


▌그림 2.589 모델 시험 러너 각도▐

- 러너 개도별 낙차별 유량은 다음과 같다. 정격유량을 사용하는 러너 각도는 약 7도 Close이고 나머지 각도에서는 정격유량보다 적거나 많은 유량을 사용

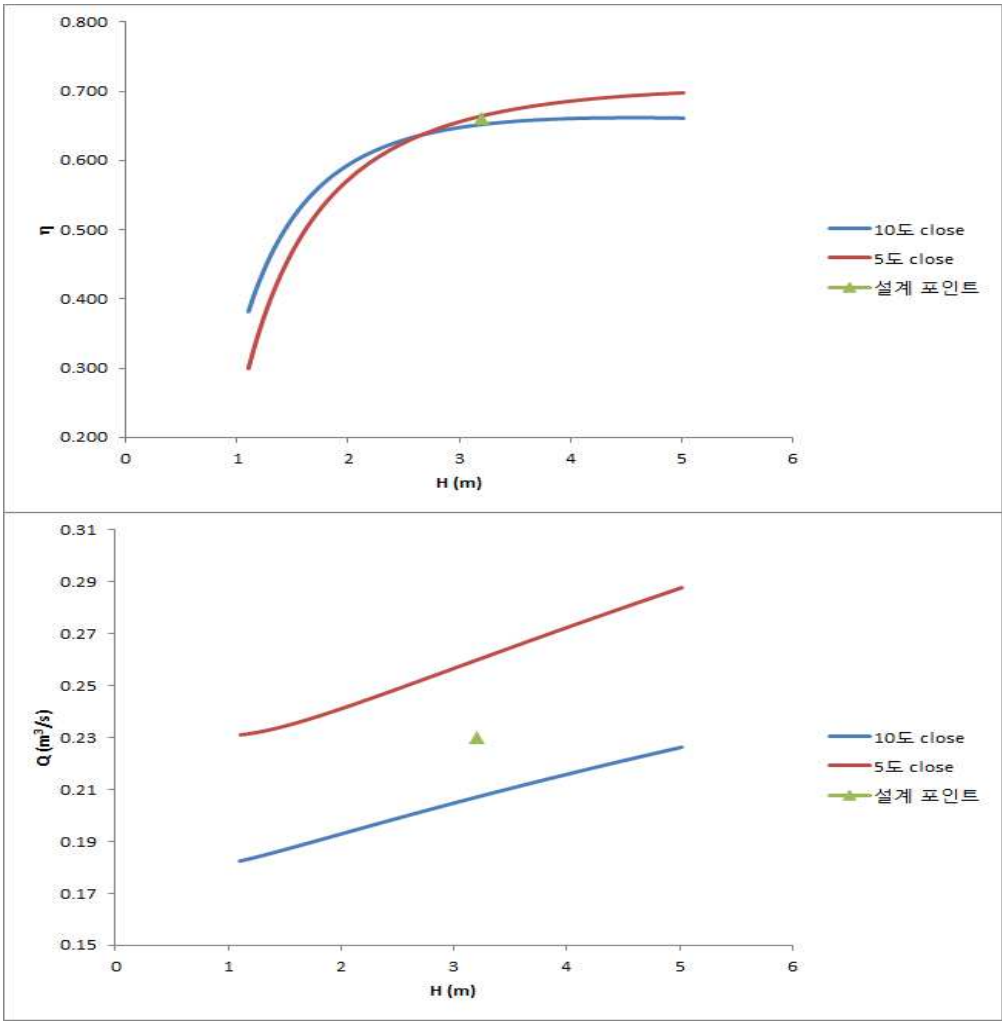


▌그림 2.590 런너 개도별 N_{11} 및 Q_{11} 상관관계▐



▌그림 2.591 런너 개도별 N_{11} 및 효율 상관관계▐

▌ 정격낙차 3.2m에 해당하는 N_{11}은 187.8이고 정격 유량 0.23m^3/s에 해당하는 Q_{11}은 1.64이다. 이 값을 만족하는 러너 각도는 약 7도 Close이다. 5도 Close와 10도 Close시에는 약 67%의 효율을 얻었고 정격조건을 만족하는 러너 개도 7도 Close에서는 약 66%의 효율 획득함.



▌그림 2.592 런너 개도별 낙차, 유량 및 효율 상관관계▐

- 수직형 정수처리시설에서의 위치에너지를 이용한 저낙차, 저유량 조건에서 설계된 피코급 수차의 성능을 평가하기 위한 모델 시험을 수행함.
- **IEC 60193 등의 국제 규격을 만족하는 조건에서 수행된 모델 시험결과, 효율 목표치는 65%이고 실험치를 가지고 정격기준에서의 효율을 환산한 결과 설계된 수차는 약 66%의 효율을 달성하였으므로 과제 목표를 달성.**

▌표 2.343 피코급 소수력 발전시설 평가결과 요약▐

구분	목 표	성 과	달성여부
효 율 성	효율 65%	효율 66%	**달성**
검증방법	IEC 60193 등의 국제 규격 만족 조건		
설치조건	낙차 3.2m, 유량 0.23 ㎥/s		

(3) 경제성평가

▌투자비 : 소수력 발전 설비 제작비

• 설비 제작비 : ₩45,000,000 (소내 전력용 자가 발전기준)

- 수차 : ₩19,000,000
- 발전기 : ₩3,000,000
- 제어반 : ₩18,000,000
- 입구밸브 등 부속설비 : ₩5,000,000

(유지관리비 연간 제작비의 3% : ₩1,350,000)

▌연간 발전량

• 발전출력 : 5kW

1) 이용률 : 50%로 가정(실제 발전기 운영비율로 최소한으로 산정)

2) 연간발전량 : 5 x 24 x 365 * 0.5 = 21,900kWh

3) 금액 환산 기준 : 270원 / 1kWh

(적용단가는 2013년 평균 : SMP 151원/kWh + REC 119원/kWh)

4) 연간예상 전력판매금액 : ₩5,913,000

5) 투자자금 회수 예상기간 : 11년 (발전설비 수명 : 20년)

(유지관리비 연간 제작비의 3% : ₩1,350,000)

다. 에너지 효율화 설비

(1) 수온차 시스템

(가) 목적

▌수직형 정수처리 플랜트 원수의 열원을 활용하여 수온차 냉난방 설비를 적용함으로써 기존 전기에너지 이용 냉난방 설비 대비 플랜트 내 에너지 효율화율 향상에 기여하고, 또한, 막여과공정의 CIP 공정 등 플랜트 내에서 필요로 하는 열원을 연계 공급함으로써 플랜트 운영의 효율성 향상을 위하여 수온차 냉난방설비를 도입

(나) 시설제원

▌표 2.344 수온차 시스템▐

항목		제원
명칭		수온차 시스템
형식		물-물 열 교환 방식
전원(ph/V/Hz)		3/380/60
소비전력(Kw)	난방	36
COP	난방	2.9
위치		지하층 기계실

▌표 2.345 Heat Pump▐

항목		DHGW 20-C4
장비번호		HP-101
수량		1
형식		수냉식
냉방열량(W)		79,327
난방열량(W)		71,508
압축기	TYPE	스크롤
	MOTOR(Kw)	18.24
응축기/증발기	소비전력(Kw)	18.24
	유량(LPM)	241
	형식	판형
장비치수(L x W x H)		1,200x 1,200 x 1251
전원(ph/V/Hz)		3/380/60
소비전력(Kw)		18.24
냉매		R-410A
위치		지하층 기계실

▌표 2.346 Fan Coil Unit 규격▐

항목	규격	규격
장비번호	FCU-101	FCU-102
수량	1	1
형식	천정 카세트형 1WAY	천정 카세트형 1WAY
소비전력(Kw)	0.027	0.033
위치	2층 홀(X1-X2)	1층 MCC ROOM

항목	규격	규격
장비번호	FCU-103	FCU-104
수량	4	3
형식	천정 카세트형 2WAY	천정 카세트형 4WAY
소비전력(Kw)	0.036	0.058
위치	2층 HALL(X2-X4), 3층 HALL(X1-X2), 4층 제어실/사무실, 4층 HALL(X1-X2)	1층 HALL

항목	규격	규격
장비번호	FCU-105	FCU-106
수량	2	2
형식	천정 카세트형 4WAY	바닥 상치형
소비전력(Kw)	0.071	0.025
위치	4층 홍보관	2층 오존 GENERATOR실, O2 Tank실

항목	규격
장비번호	FCU-107
수량	5
형식	바닥 상치형
소비전력(Kw)	0.042
위치	지하층 PUMP ROOM, 3층 MF UNIT ROOM

▌표 2.347 Heat Exchanger 규격▐

항목		규격
장비번호		HEX-101
수량		1
형식		판형
전열용량(kcal/hr)		100,000
설계압력(kg/cm²)		7
설계 PRESSURE DROP(kg/cm²)	1차측	0.268
	2차측	0.348
원수	입출구 온도(° C)	7/12
	유량(m³/hr)	20
브라인	입출구 온도(° C)	1/6
	유량(m³/hr)	21.5
연결배관 1/2차측(mm)		100
재질	PLATE	SUS304(총 121 PLATES)
	GASKET	NBR
	FRAME	CARBON STEEL
규격(mm)		495 x 1,705 x 1,280
중량(Kg)		729
위치		지하층 기계실

▌표 2.348 Pumps 규격▐

항 목		규 격				
장비번호		P-101A/B	P-102A/B	P-103A/B	P-104A/B	P-105A/B
수량		2	2	2	2	2
형식		인라인 펌프	인라인 펌프	인라인 펌프	인라인 펌프	인라인 펌프
유량(m^3 /hr)		20	18	13.8	5.2	5.2
양정(m)		12	15	15	35	35
연결 관경	흡입	65	65	65	50	50
	토출	65	65	65	50	50
전동기	동력(kw)	1.5	1.5	1.5	5.5	5.5
	전원 (ph/V/Hz)	3/380/60	3/380/60	3/380/60	3/380/60	3/380/60
재질	IMPELLER	GC200	GC200	GC200	GC200	GC200
	SHAFT	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304
SEAL		메커니컬 실	메커니컬 실	메커니컬 실	메커니컬 실	메커니컬 실
용도		원수공급펌프	브라인공급펌프	냉•온수 순환 펌프	온수 공급 펌프	냉•온수 순환 펌프
위치		지하층 기계실	지하층 기계실	지하층 기계실	지하층 기계실	지하층 기계실

▌표 2.349 Expansion Tank 규격▐

항 목	규 격
장비번호	ET-101
수량	1
형식	다이아프럼 저압용
탱크용량(LIT)	100
재질	SS400
위치	지하층 기계실

(다) 성능계수(COP)의 재정의

▌실질적인 에너지 사용에 대한 성능계수 정의의 필요성

- Unit COP : 히트펌프 운전 시 소모되는 전력소모량 대비 생산열량

$$\text{UNIT COP} = \frac{\text{생산열량(KW)}}{\text{히트펌프 소비동력(KW)} + \text{순환펌프(원수+브라인) 소비동력}}$$

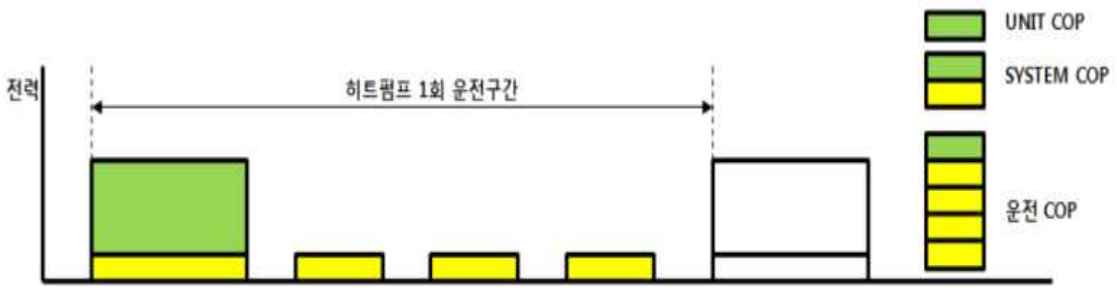
- System COP : 히트펌프 운전 시 소모되는 시스템내의 총 전력소모량 대비 생산열량

$$\text{시스템 COP} = \frac{\text{생산열량(KW)}}{\text{히트펌프 소비동력(KW)} + \text{순환펌프(원수+브라인) 소비동력} + \text{FCU순환펌프}}$$

- 운전 COP : 히트펌프 가동과 다음가동사이의 총 전력소모량 대비 생산열량

$$\text{시스템 COP} = \frac{\text{생산열량(KW)}}{\text{히트펌프 소비동력(KW)} + \text{순환펌프(원수+브라인) 소비동력} + \text{FCU순환펌프}}$$

- System COP와 운전 COP의 비교



- 본 연구과제에서는 실질적인 운전 COP를 SYSTEM COP로 적용함

(라) 효율평가

▌ 난방효율

▪ 1차 공정개선 : **순환펌프-FCU연동 후 운전 데이터 및 성능계수**

운전성능계수	SYSTEM 성능계수	운전동력	생산열량
1.77	2.19	108.02	143.00

구분		운전 시간	상수도 원수			COP1	브라인			COP2	히트펌프 (H/P - 축열조)			FCU (축열조 - FCU)			소비전력량			성능계수		운전 성능 계수
			원수이용유량	원수이용열량			브라인 유량	브라인 열량			생산열량			냉난방 열량			H/P	Total	Pump	Unit COP	System COP	SYSTEM
시작시간	시작시간		(m³)	(kWh)	(kcal)		(m³)	(kWh)	(kcal)		(kWh)	(kcal)	(RT)	(kWh)	(kcal)	(RT)	(kW)	(kW)	(kW)			(kW)
13-12-20 06:48	13-12-20 17:21	10.55	20.8	1,042.5	896,547	3.4	19.7	1,353.3	1,163,822	3.9	127.4	109,570	36.2	87.9	75,631	25.0	20.5	81.1	60.6	3.3	2.3	1.57
13-12-20 17:23	13-12-22 09:14	39.85	24.2	1,063.1	914,305	3.5	22.3	1,342.0	1,154,103	3.9	143.3	123,211	40.7	33.0	28,405	9.4	23.1	237.8	214.7	3.5	2.4	0.60
13-12-22 09:17	13-12-23 11:25	26.13	22.1	999.3	859,409	3.3	20.3	1,321.3	1,136,356	3.9	149.2	128,316	42.4	43.2	37,128	12.3	21.9	239.7	217.8	3.3	2.3	0.62
13-12-23 11:27	13-12-24 09:37	22.17	25.0	1,083.0	931,389	3.5	23.3	1,308.8	1,125,576	3.9	164.9	141,785	46.9	91.7	78,821	26.1	24.9	243.2	218.3	3.5	2.4	0.68
13-12-24 19:58	13-12-25 07:48	11.83	25.8	1,023.3	880,010	3.4	24.0	1,337.8	1,150,520	3.9	176.1	151,409	50.1	90.4	77,707	25.7	25.0	148.3	123.3	3.4	2.4	1.19
13-12-25 07:51	13-12-26 11:02	27.18	22.9	1,011.1	869,550	21.5	21.3	1,325.6	1,140,004	20.0	154.5	132,859	43.9	-18.9	-16,252	-5.4	22.1	170.6	148.5	3.3	2.3	0.91
13-12-26 11:04	13-12-26 21:46	10.70	25.4	995.5	856,121	3.3	23.6	1,254.1	1,078,542	3.7	165.0	141,905	46.9	117.7	101,200	33.5	24.5	87.1	62.6	3.5	2.4	1.90
13-12-26 21:49	13-12-27 11:22	13.55	22.8	1,059.3	911,017	3.5	21.0	1,305.2	1,122,485	3.8	149.9	128,951	42.6	84.6	72,792	24.1	21.8	97.8	76.0	3.5	2.4	1.53
14-01-19 23:33	14-01-20 12:59	13.43	22.6	979.4	842,316	3.3	22.3	1,182.1	1,016,634	3.6	143.8	123,660	40.9	84.2	72,392	23.9	22.9	98.8	75.9	2.7	1.8	1.46
14-01-20 13:01	14-01-21 04:03	15.03	23.2	970.1	834,295	3.3	22.9	1,214.3	1,044,268	3.7	142.1	122,167	40.4	113.9	97,942	32.4	23.5	107.8	84.3	2.8	1.9	1.32
14-01-21 04:05	14-01-21 12:21	8.27	23.5	964.1	829,127	3.3	23.2	1,180.4	1,015,181	3.6	167.5	144,018	47.6	99.9	85,922	28.4	23.8	72.6	48.8	2.7	1.9	2.31
14-01-21 12:24	14-01-21 22:45	10.35	24.2	955.3	821,586	3.3	23.9	1,212.2	1,042,482	3.7	148.2	127,413	42.1	117.1	100,679	33.3	24.6	85.1	60.5	2.8	1.9	1.74
14-01-21 22:48	14-01-22 11:04	12.27	23.4	849.9	730,919	3.0	22.9	1,124.9	967,383	3.5	145.8	125,363	41.5	94.8	81,509	27.0	23.5	91.2	67.7	2.8	2.5	1.60
14-01-22 11:07	14-01-23 01:05	13.97	25.2	950.2	817,210	3.3	24.5	1,194.2	1,026,976	3.6	158.7	136,519	45.1	167.1	143,734	47.5	25.2	77.7	52.4	2.8	1.9	2.04
14-01-23 01:07	14-01-23 09:51	8.73	22.1	934.5	803,631	3.2	21.6	1,166.8	1,003,422	3.6	133.9	115,128	38.1	492.9	423,920	140.2	22.1	46.3	24.2	2.6	2.1	2.89
14-01-23 09:53	14-01-23 21:01	11.13	25.1	913.8	785,850	3.2	24.5	1,196.2	1,028,771	3.6	154.4	132,793	43.9	170.5	146,650	48.5	25.2	34.7	9.5	2.7	1.9	4.46
14-01-23 21:03	14-01-24 09:30	12.45	21.7	927.3	797,467	3.2	21.2	1,182.3	1,016,738	3.6	131.6	113,179	37.4	146.3	125,810	41.6	21.8	70.0	48.1	2.7	2.1	1.88
14-01-24 09:33	14-01-25 13:26	27.88	23.6	929.6	799,415	3.2	23.5	1,195.3	1,027,920	3.6	146.0	125,572	41.5	1,643.9	1,413,782	467.5	24.2	153.9	129.7	2.7	1.9	0.95
14-01-25 13:29	14-01-27 21:07	55.63	26.0	935.5	804,511	3.2	25.6	1,202.2	1,033,915	3.7	191.8	164,947	54.5	433.9	373,168	123.4	26.1	275.5	249.4	2.7	2.1	0.70
14-01-28 09:15	14-01-28 16:27	7.20	14.9	869.0	747,352	3.0	14.6	1,110.2	954,790	3.4	43.7	37,618	12.4	239.2	205,728	68.0	15.3	46.6	31.3	2.4	1.7	0.94
14-01-28 16:29	14-01-28 23:59	7.50	9.6	913.7	785,789	3.2	10.0	1,170.7	1,006,786	3.6	38.0	32,710	10.8	1.5	1,321	0.4	10.0	11.2	1.3	2.7	3.0	3.39
14-02-04 09:51	14-02-04 15:38	5.78	27.0	952.3	819,015	3.3	26.5	1,199.3	1,031,372	3.7	174.5	150,074	49.6	95.5	82,150	27.2	27.2	61.8	34.6	2.7	2.0	2.82
14-02-04 15:40	14-02-04 22:31	6.85	21.8	851.7	732,452	3.0	21.5	1,102.8	948,439	3.4	139.2	119,680	39.6	105.4	90,626	30.0	22.2	58.2	36.0	2.8	2.4	2.39
14-02-04 22:34	14-02-05 07:42	9.13	22.8	932.0	801,530	3.2	22.5	1,174.3	1,009,875	3.6	142.0	122,119	40.4	137.7	118,422	39.2	23.2	77.0	53.8	2.6	1.8	1.84
14-02-05 07:45	14-02-05 13:27	5.70	25.3	854.2	734,590	3.0	24.8	1,126.9	969,104	3.5	158.4	136,182	45.0	91.8	78,908	26.1	25.6	57.9	32.3	2.9	3.0	2.74
14-02-05 13:30	14-02-06 00:58	11.47	20.4	924.8	795,333	3.2	20.2	1,168.5	1,004,921	3.6	128.3	110,326	36.5	428.1	368,169	121.7	20.8	76.7	55.8	2.6	1.8	1.67

▪ 2차 공정개선 : 순환펌프 교체(5.5kw→3.7kw)

운전성능계수	SYSTEM 성능계수	운전동력	생산열량
2.67	2.88	57.57	143.99

구분		운전시간	상수도 원수				브라인				히트펌프 (H/P - 축열조)			FCU (축열조 - FCU)			소비전력량			성능계수		운전 성능계수
			원수이용유량	원수이용 열량		COP1	브라인 유량	브라인 열량		COP2	생산열량			냉난방 열량			H/P	Total	Pump	Unit COP	System COP	SYSTEM
시작시간	시작시간		(m³)	(kWh)	(kcal)		(m³)	(kWh)	(kcal)		(kWh)	(kcal)	(RT)	(kWh)	(kcal)	(RT)	(kW)	(kW)	(kW)			(kW)
14-02-20 09:14	14-02-21 00:35	15.35	38.9	942.0	810,145	3.3	38.7	1,207.3	1,038,237	3.7	281.4	242,045	80.0	359.6	309,291	102.3	39.3	77.4	38.1	3.4	2.4	3.63
14-02-21 00:37	14-02-21 10:31	9.90	23.3	938.9	807,480	3.2	23.2	1,168.2	1,004,677	3.6	152.8	131,427	43.5	86.9	74,718	24.7	23.9	37.8	13.9	3.3	3.6	4.04
14-02-21 10:34	14-02-22 02:26	15.87	20.3	877.3	754,458	3.1	20.2	1,138.2	978,871	3.5	128.7	110,706	36.6	499.5	429,532	142.0	20.9	51.9	30.9	3.5	4.9	2.48
14-02-22 02:29	14-02-22 23:03	20.57	22.3	844.8	726,527	3.0	21.9	1,091.0	938,276	3.4	153.1	131,709	43.6	486.9	418,729	138.5	22.5	51.0	28.5	3.3	3.5	3.00
14-02-22 23:06	14-02-23 16:34	17.47	23.3	945.6	813,210	3.2	22.8	1,183.4	1,017,766	3.6	157.1	135,139	44.7	667.6	574,178	189.9	23.5	60.4	36.9	3.3	2.4	2.60
14-02-23 16:36	14-02-24 08:52	16.27	21.4	915.7	787,545	3.2	21.2	1,187.3	1,021,063	3.6	135.7	116,673	38.6	1,092.5	939,548	310.7	21.9	67.9	46.0	3.3	3.6	2.00
14-02-24 08:54	14-02-25 02:54	18.00	25.0	948.2	815,414	3.2	24.9	1,194.2	1,026,975	3.6	166.5	143,169	47.3	626.3	538,625	178.1	25.5	59.9	34.3	3.3	2.4	2.78
14-02-25 02:57	14-02-25 14:32	11.58	22.7	946.2	813,741	3.2	22.2	1,224.0	1,052,644	3.7	152.4	131,062	43.3	826.3	710,606	235.0	22.9	58.9	36.0	3.3	2.4	2.59
14-02-25 14:35	14-02-26 09:40	19.08	21.0	903.0	776,610	3.1	20.6	1,200.5	1,032,391	3.6	135.5	116,532	38.5	605.9	521,053	172.3	21.3	44.3	23.1	3.6	4.7	3.06
14-02-26 09:43	14-02-27 02:24	16.68	21.7	935.9	804,843	3.2	21.2	1,197.7	1,030,013	3.6	140.2	120,546	39.9	704.9	606,208	200.5	21.9	51.1	29.2	3.3	2.4	2.74
14-02-27 02:26	14-02-27 19:17	16.85	20.7	942.1	810,245	3.2	20.6	1,200.5	1,032,391	3.6	147.2	126,586	41.9	1,138.0	978,641	323.6	21.2	63.4	42.3	3.2	2.7	2.32
14-02-27 19:19	14-02-28 13:00	17.68	21.3	956.9	822,893	3.3	21.2	1,221.5	1,050,521	3.7	142.3	122,407	40.5	1,260.8	1,084,315	358.6	21.9	70.6	48.7	3.4	2.5	2.02
14-02-28 13:03	14-03-01 14:59	25.93	21.5	966.5	831,201	3.3	21.2	1,243.6	1,069,478	3.7	142.0	122,160	40.4	1,188.4	1,022,027	338.0	22.0	69.4	47.4	3.3	2.6	2.05
14-03-01 15:02	14-03-02 14:17	23.25	21.3	966.9	831,530	3.3	21.3	1,251.1	1,075,943	3.7	142.3	122,395	40.5	1,606.4	1,381,522	456.9	22.0	85.2	63.3	3.4	2.5	1.67
14-03-02 14:19	14-03-03 09:33	19.23	21.3	968.6	833,000	3.3	21.2	1,229.5	1,057,349	3.7	144.7	124,462	41.2	937.7	806,406	266.7	21.9	61.4	39.5	3.3	2.6	2.36
14-03-03 09:36	14-03-04 05:29	19.88	23.0	948.1	815,369	3.2	22.5	1,225.8	1,054,173	3.7	145.6	125,216	41.4	804.6	691,946	228.8	23.4	60.8	37.4	3.2	2.3	2.40
14-03-04 05:32	14-03-05 02:25	20.88	21.6	976.5	839,749	3.3	21.5	1,244.8	1,070,543	3.7	152.8	131,370	43.4	679.4	584,319	193.2	22.2	53.5	31.2	3.2	2.7	2.86
14-03-05 02:27	14-03-07 02:52	48.42	21.2	938.9	807,440	3.2	21.2	1,206.4	1,037,516	3.7	142.7	122,692	40.6	877.1	754,288	249.4	21.9	59.7	37.9	3.2	2.6	2.39
14-03-07 02:55	14-03-07 14:02	11.12	21.7	947.3	814,700	3.2	21.6	1,232.4	1,059,826	3.7	149.1	128,255	42.4	517.1	444,699	147.1	22.2	45.4	23.2	3.3	2.7	3.29
14-03-07 14:05	14-03-08 11:43	21.63	20.8	910.2	782,761	3.1	20.6	1,179.9	1,014,751	3.6	132.5	113,933	37.7	749.7	644,702	213.2	21.3	54.6	33.3	3.3	2.4	2.43
14-03-08 11:46	14-03-09 09:12	21.43	21.1	0.0	0	3.2	21.2	0.0	0	3.7	142.9	122,902	40.6	1,042.5	896,570	296.5	21.9	64.0	42.0	3.3	2.4	2.23
14-03-09 09:15	14-03-10 07:16	22.02	21.1	883.3	759,625	3.1	20.9	1,197.2	1,029,594	3.6	131.2	112,833	37.3	713.9	613,988	203.0	21.6	48.2	26.6	3.4	3.9	2.72
14-03-10 07:19	14-03-12 11:20	52.02	5.3	768.2	660,663	2.9	5.6	1,125.0	967,537	3.7	10.4	8,987	3.0	-439.7	-378,120	-125.0	5.4	131.3	125.9	2.7	1.9	0.08
14-03-12 13:28	14-03-13 09:18	19.83	21.6	1,040.1	894,481	3.4	21.2	1,283.1	1,103,454	3.8	140.5	120,863	40.0	1,053.2	905,738	299.5	22.1	64.3	42.2	3.7	2.8	2.19
14-03-13 09:23	14-03-13 20:53	11.50	23.9	951.3	818,105	3.2	23.8	1,218.4	1,047,790	3.7	156.2	134,331	44.4	621.2	534,203	176.7	24.6	54.1	29.6	3.5	3.5	2.89
14-03-13 20:55	14-03-14 12:42	15.78	20.7	968.7	833,115	3.3	20.8	1,217.4	1,046,979	3.7	142.7	122,695	40.6	622.4	535,269	177.0	21.6	48.1	26.5	3.3	2.5	2.97
14-03-14 12:44	14-03-15 06:54	18.17	21.5	958.7	824,462	3.3	21.2	1,205.2	1,036,492	3.7	144.7	124,475	41.2	485.6	417,584	138.1	21.9	45.5	23.6	3.3	2.4	3.18
14-03-15 06:57	14-03-16 09:50	26.88	21.9	966.1	830,889	3.3	21.9	1,239.3	1,065,829	3.7	149.5	128,611	42.5	521.5	448,508	148.3	22.5	49.8	27.3	3.3	2.6	3.00
14-03-16 09:52	14-03-17 14:47	28.92	21.5	982.4	844,859	3.3	21.2	1,233.4	1,060,712	3.7	149.1	128,232	42.4	454.4	390,773	129.2	21.9	44.3	22.4	3.4	2.6	3.37
14-03-17 14:50	14-03-18 17:44	26.90	20.3	1,026.0	882,331	3.4	20.0	1,290.4	1,109,744	3.8	128.9	110,884	36.7	547.5	470,854	155.7	20.7	47.3	26.6	3.4	2.9	2.72
14-03-18 17:46	14-03-19 15:47	22.02	20.7	1,018.0	875,495	3.4	20.6	1,281.4	1,101,996	3.8	146.3	125,791	41.6	527.8	453,866	150.1	21.4	52.1	30.7	3.5	2.8	2.81
14-03-19 15:50	14-03-20 16:50	25.00	20.3	1,046.6	900,113	3.4	20.3	1,302.5	1,120,132	3.8	136.2	117,127	38.7	671.1	577,185	190.9	21.1	54.4	33.3	3.5	2.6	2.50
14-03-20 16:53	14-03-21 14:35	21.70	20.9	1,001.6	861,411	3.4	20.6	1,271.1	1,093,134	3.8	142.6	122,595	40.5	766.6	659,283	218.0	21.3	54.1	32.8	3.4	2.7	2.63
14-03-21 14:37	14-03-22 16:20	25.72	20.6	998.1	858,395	3.3	20.6	1,259.8	1,083,441	3.8	138.9	119,411	39.5	460.4	395,940	130.9	21.3	40.7	19.4	3.4	2.6	3.41
14-03-22 16:23	14-03-23 20:14	27.85	19.8	970.0	834,187	3.3	19.9	1,248.9	1,074,086	3.7	129.0	110,901	36.7	743.5	639,390	211.4	20.8	49.8	29.1	3.4	3.6	2.59
14-03-23 20:17	14-03-24 23:46	27.48	20.4	897.3	771,669	3.1	20.6	1,181.3	1,015,903	3.6	146.7	126,173	41.7	398.2	342,411	113.2	21.4	39.8	18.4	3.5	3.7	3.69
14-03-24 23:49	14-03-26 04:00	28.18	19.9	1,015.7	873,499	3.4	19.9	1,285.1	1,105,174	3.8	139.8	120,267	39.8	639.5	549,991	181.9	20.7	48.2	27.5	3.4	2.8	2.90
14-03-26 04:02	14-03-27 19:24	39.37	21.6	1,022.8	879,622	3.4	21.3	1,278.8	1,099,808	3.8	155.1	133,424	44.1	1,222.7	1,051,550	347.7	22.0	86.5	64.5	3.5	2.9	1.79
14-03-27 19:29	14-03-28 09:14	13.75	20.1	1,081.4	929,977	3.5	20.3	1,332.5	1,145,932	3.9	140.0	120,414	39.8	286.8	246,652	81.6	21.1	38.2	17.1	3.5	2.9	3.67

▪ 3차 공정개선 : 인버터 설치

운전성능계수	SYSTEM 성능계수	운전동력	생산열량
2.98	3.14	50.15	145.24

구분		운전 시간	상수도 원수				브라인				히트펌프 (H/P - 축열조)			FCU (축열조 - FCU)			소비전력량			성능계수		운전 성능계수
			원수이용유량	원수이용열량		COP1	브라인 유량	브라인 열량		COP2	생산열량			냉난방 열량			H/P	Total	Pump	Unit COP	System COP	SYSTEM
시작시간	시작시간		(m³)	(kWh)	(kcal)		(m³)	(kWh)	(kcal)		(kWh)	(kcal)	(RT)	(kWh)	(kcal)	(RT)	(kW)	(kW)	(kW)			(kW)
14-04-04 07:16	14-04-05 14:32	31.27	24.4	1,023.6	880,335	3.4	24.3	1,312.1	1,128,403	3.9	181.4	155,975	51.6	273.8	235,464	77.9	25.0	45.8	20.9	3.5	2.8	3.96
14-04-05 14:34	14-04-06 06:54	16.33	21.2	907.2	780,190	3.1	20.9	1,197.7	1,030,030	3.6	138.6	119,204	39.4	367.2	315,811	104.4	21.7	51.2	29.5	3.4	4.2	2.71
14-04-06 06:56	14-04-07 01:36	18.67	20.5	983.3	845,613	3.3	20.2	1,250.2	1,075,196	3.7	132.7	114,118	37.7	771.8	663,745	219.5	21.0	62.0	41.0	3.4	2.8	2.14
14-04-07 01:39	14-04-08 05:48	28.15	20.4	985.1	847,149	3.3	20.6	1,265.6	1,088,441	3.8	138.4	119,056	39.4	503.1	432,697	143.1	21.5	48.0	26.5	3.4	3.5	2.89
14-04-08 05:51	14-04-09 08:20	26.48	21.9	1,014.0	872,080	3.4	21.9	1,296.4	1,114,869	3.8	149.2	128,285	42.4	355.9	306,073	101.2	22.7	44.8	22.1	3.5	2.9	3.33
14-04-09 08:23	14-04-12 11:50	75.45	21.4	1,006.5	865,621	3.4	21.6	1,291.1	1,110,337	3.8	149.2	128,344	42.4	693.7	596,550	197.3	22.4	68.4	46.0	3.4	2.8	2.18
14-04-15 18:23	14-04-17 04:41	34.30	20.4	993.6	854,465	3.3	20.3	1,318.2	1,133,652	3.9	139.7	120,153	39.7	340.0	292,432	96.7	21.2	40.0	18.9	3.9	3.1	3.49
14-04-17 04:44	14-04-18 11:42	30.97	20.5	967.7	832,211	3.3	20.3	1,333.4	1,146,761	3.9	144.0	123,836	41.0	455.5	391,773	129.6	21.2	48.8	27.6	3.5	2.8	2.95
14-04-18 11:45	14-04-19 14:36	26.85	21.2	931.6	801,168	3.2	21.3	1,334.6	1,147,741	3.9	154.6	132,962	44.0	534.3	459,504	152.0	22.1	51.6	29.5	3.6	2.9	2.99
14-04-19 14:39	14-04-20 13:14	22.58	20.2	920.8	791,877	3.1	20.0	1,322.0	1,136,954	3.9	136.3	117,189	38.8	817.8	703,307	232.6	20.9	60.4	39.4	3.6	2.8	2.26
14-04-20 13:16	14-04-21 21:02	31.77	19.6	918.4	789,836	3.1	19.4	1,349.0	1,160,171	3.9	133.7	114,975	38.0	538.1	462,772	153.0	20.2	49.2	29.0	3.7	3.0	2.72
14-04-21 21:04	14-04-23 04:30	31.43	21.1	897.5	771,824	3.1	21.3	1,313.6	1,129,660	3.8	155.1	133,371	44.1	372.8	320,623	106.0	22.2	42.1	20.0	3.7	4.2	3.68
14-04-23 04:32	14-04-25 16:14	59.70	45.2	1,497.3	1,287,669	2.6	20.4	1,301.4	1,119,198	3.8	135.3	116,330	38.5	322.2	277,087	91.6	20.9	39.6	18.7	3.6	3.0	3.41

▌냉방효율

운전성능계수	SYSTEM 성능계수	운전동력	생산열량
3.53	1.33	38.81	134.72

구분		운전 시간	상수도 원수				브라인				히트펌프 (H/P - 축열조)			FCU (축열조 - FCU)			소비전력량			성능계수		운전 성능계수
			원수이용유량	원수이용열량		COP	브라인 유량	브라인 열량		COP2	생산열량			냉난방 열량			H/P	Total	Pump	Unit COP	System COP	SYSTEM
시작시간	시작시간		(m³)	(kWh)	(kcal)		(m³)	(kWh)	(kcal)		(kWh)	(kcal)	(RT)	(kWh)	(kcal)	(RT)	(kW)	(kW)	(kW)			(kW)
14-06-19 00:18	14-06-19 11:24	11.10	16.9	1,740.2	1,496,539	5.0	18.1	1,813.9	1,559,984	4.9	151.5	130,300	43.1	2.0	1,757	0.6	12.4	47.7	35.3	2.7	1.8	3.18
14-06-19 11:26	14-06-19 19:44	8.30	18.3	1,817.1	1,562,673	5.4	19.4	1,874.5	1,612,100	5.3	165.1	142,002	47.0	1.3	1,147	0.4	13.0	47.5	34.6	2.9	1.9	3.47
14-06-19 19:46	14-06-20 13:22	17.60	18.1	1,826.0	1,570,339	5.4	18.1	1,894.2	1,628,998	5.3	156.8	134,820	44.6	0.0	0	0.0	12.2	37.5	25.3	2.8	1.9	4.18
14-06-20 13:25	14-06-20 20:52	7.45	19.5	1,837.5	1,580,221	5.4	20.2	1,902.5	1,636,147	5.2	168.8	145,209	48.0	86.6	74,436	24.6	13.7	48.6	34.9	2.7	1.8	3.48
14-06-20 20:54	14-06-21 06:12	9.30	18.9	1,794.0	1,542,803	5.2	19.6	1,892.7	1,627,687	5.1	168.6	144,993	47.9	16.8	14,407	4.8	13.4	60.4	47.0	2.8	1.7	2.79
14-06-26 19:00	14-06-27 10:49	15.82	18.1	1,720.7	1,479,763	4.7	18.9	1,813.3	1,559,434	4.7	162.4	139,637	46.2	4.4	3,787	1.3	13.3	55.6	42.3	2.2	1.5	2.92
14-06-27 10:50	14-06-27 13:07	2.28	52.0	3,714.5	3,194,488	4.1	19.5	1,778.9	1,529,836	4.6	324.7	279,274	92.4	4.6	3,926	1.3	13.8	62.0	48.3	2.2	1.5	5.23
14-06-27 13:09	14-06-27 23:58	10.82	16.5	1,584.6	1,362,768	4.4	17.4	1,634.0	1,405,264	4.2	150.4	129,318	42.8	67.2	57,796	19.1	12.1	37.0	24.9	2.3	1.7	4.06
14-06-28 00:00	14-06-28 18:04	18.07	18.0	1,737.0	1,493,789	4.9	17.8	1,827.4	1,571,605	4.8	153.8	132,281	43.7	1.5	1,269	0.4	12.3	44.4	32.0	2.2	1.5	3.47
14-06-28 18:06	14-06-29 12:33	18.45	17.3	1,604.6	1,379,970	4.4	17.8	1,623.5	1,396,192	4.2	153.5	131,991	43.6	-20.7	-17,793	-5.9	12.4	41.4	28.9	2.3	1.6	3.71
14-06-29 12:35	14-06-30 06:12	17.62	16.9	1,775.9	1,527,253	4.9	17.8	1,871.1	1,609,180	4.8	174.1	149,709	49.5	-21.4	-18,367	-6.1	12.6	42.2	29.6	2.1	1.5	4.12
14-06-30 06:14	14-06-30 14:47	8.55	17.1	1,674.7	1,440,211	4.3	18.2	1,784.6	1,534,784	4.3	156.2	134,322	44.4	0.0	0	0.0	13.5	30.5	17.0	2.0	1.4	5.12
14-01-22 11:07	14-01-23 01:05	13.97	25.2	950.2	817,210	3.3	24.5	1,194.2	1,026,976	3.6	158.7	136,519	45.1	167.1	143,734	47.5	25.2	77.7	52.4	2.8	1.9	2.04
14-06-30 14:49	14-07-01 04:51	14.03	19.0	1,658.7	1,426,514	4.0	20.3	1,877.9	1,614,968	4.4	153.2	131,738	43.6	-4.5	-3,854	-1.3	15.6	36.6	21.0	1.9	1.4	4.19
14-07-01 04:53	14-07-01 14:48	9.92	18.1	1,602.6	1,378,241	3.7	19.4	1,856.2	1,596,304	4.1	165.1	142,010	47.0	30.7	26,403	8.7	15.4	33.1	17.7	1.6	1.2	4.98
14-07-01 14:50	14-07-02 09:09	18.32	21.3	1,562.5	1,343,724	3.4	22.8	1,836.8	1,579,639	3.9	192.1	165,227	54.6	12.9	11,063	3.7	18.9	40.6	21.7	1.6	1.2	4.73
14-07-07 16:05	14-07-08 04:57	12.87	16.1	1,763.9	1,516,918	4.8	16.9	1,877.1	1,614,336	4.8	118.7	102,062	33.8	114.5	98,472	32.6	12.0	42.2	30.2	2.3	1.6	2.81
14-07-08 04:59	14-07-08 12:24	7.42	15.1	1,757.8	1,511,700	4.8	15.8	1,854.6	1,594,945	4.7	113.9	97,981	32.4	42.7	36,691	12.1	11.3	31.9	20.6	2.1	1.5	3.57
14-07-08 18:21	14-07-09 06:19	11.97	15.4	1,754.7	1,509,037	4.7	16.2	1,869.8	1,607,993	4.8	116.1	99,814	33.0	98.8	84,980	28.1	11.6	45.4	33.8	2.0	1.4	2.56
14-07-09 06:21	14-07-09 11:49	5.47	16.1	1,783.5	1,533,842	5.0	15.8	1,889.0	1,624,515	5.0	113.5	97,642	32.3	29.5	25,330	8.4	11.1	28.6	17.5	2.0	1.4	3.98
14-07-09 17:11	14-07-10 05:02	11.85	16.6	1,767.8	1,520,334	4.9	17.1	1,840.2	1,582,543	4.8	123.2	105,993	35.1	200.7	172,561	57.1	12.1	45.4	33.4	2.2	1.5	2.71
14-07-10 05:05	14-07-10 11:09	6.07	16.2	1,749.1	1,504,258	4.8	15.7	1,841.9	1,584,020	4.8	113.8	97,894	32.4	70.0	60,190	19.9	11.2	31.4	20.3	2.0	1.4	3.62
14-07-10 11:11	14-07-10 16:06	4.92	17.7	1,748.9	1,504,066	4.7	18.1	1,872.1	1,610,045	4.8	128.0	110,107	36.4	31.1	26,715	8.8	13.0	30.0	17.0	2.2	1.5	4.27
14-07-10 16:08	14-07-11 02:26	10.30	16.4	1,740.3	1,496,639	4.6	17.5	1,864.8	1,603,757	4.7	123.3	106,076	35.1	26.6	22,868	7.6	12.6	42.7	30.1	2.1	1.4	2.89
14-07-11 02:28	14-07-11 11:11	8.72	15.4	1,529.6	1,315,438	4.0	16.1	1,601.1	1,376,923	3.9	116.3	99,988	33.1	11.6	10,000	3.3	11.7	35.7	24.1	1.9	1.3	3.25
14-07-11 11:15	14-07-11 16:57	5.70	17.0	1,680.3	1,445,072	4.6	18.1	1,783.6	1,533,935	4.6	130.5	112,223	37.1	21.6	18,533	6.1	12.7	31.5	18.8	1.7	1.2	4.14
14-07-11 17:01	14-07-11 22:44	5.72	16.6	1,753.5	1,508,020	4.7	17.5	1,854.8	1,595,085	4.7	121.0	104,055	34.4	18.4	15,797	5.2	12.7	32.2	19.5	2.0	1.4	3.76
14-07-11 22:48	14-07-12 11:26	12.63	16.1	1,766.8	1,519,429	4.7	16.8	1,858.2	1,598,019	4.6	123.3	106,012	35.1	-4.9	-4,232	-1.4	12.2	48.4	36.1	1.9	1.3	2.55
14-07-12 11:31	14-07-12 20:44	9.22	15.6	1,670.6	1,436,739	4.4	16.5	1,739.9	1,496,329	4.3	114.0	98,031	32.4	7.5	6,441	2.1	11.9	38.6	26.8	1.8	1.3	2.95
14-07-12 20:50	14-07-13 09:43	12.88	15.5	1,744.5	1,500,261	4.6	16.1	1,845.4	1,587,084	4.6	115.8	99,615	32.9	0.0	0	0.0	11.7	48.4	36.7	1.8	1.3	2.39
14-07-13 09:49	14-07-13 21:57	12.13	15.2	1,740.4	1,496,741	4.6	16.1	1,844.1	1,585,929	4.6	116.1	99,841	33.0	-2.4	-2,042	-0.7	11.7	46.1	34.5	1.9	1.3	2.52
14-07-13 22:04	14-07-14 12:02	13.97	15.4	1,761.8	1,515,158	4.7	16.1	1,848.4	1,589,621	4.6	116.3	100,032	33.1	119.2	102,479	33.9	11.7	34.6	22.9	1.9	1.3	3.37
14-07-14 12:09	14-07-14 17:46	5.62	16.4	1,745.8	1,501,354	4.6	17.6	1,865.4	1,604,276	4.7	123.6	106,289	35.1	123.6	106,268	35.1	12.7	31.4	18.7	1.8	1.3	3.94
14-07-14 17:54	14-07-15 07:07	13.22	16.3	1,747.2	1,502,587	4.6	17.2	1,843.8	1,585,708	4.6	118.6	102,028	33.7	265.2	228,032	75.4	12.5	42.1	29.6	1.9	1.3	2.82
14-07-15 07:16	14-07-15 15:33	8.28	14.9	1,760.0	1,513,577	4.7	15.8	1,865.1	1,604,007	4.7	108.5	93,271	30.8	226.4	194,742	64.4	11.4	30.5	19.1	1.7	1.2	3.56
14-07-15 15:42	14-07-16 02:17	10.58	16.7	1,733.9	1,491,164	4.6	17.5	1,848.8	1,589,928	4.6	118.4	101,841	33.7	151.9	130,636	43.2	12.7	43.7	31.0	1.9	1.3	2.71
14-07-16 02:27	14-07-16 12:46	10.32	15.7	1,561.8	1,343,175	4.1	16.5	1,613.5	1,387,586	3.9	113.2	97,323	32.2	37.0	31,820	10.5	11.9	40.1	28.3	1.9	1.4	2.82
14-07-16 12:57	14-07-16 18:41	5.73	19.4	1,523.7	1,310,133	3.9	20.5	1,591.9	1,369,011	3.9	120.9	104,013	34.4	25.7	22,967	7.6	14.8	31.4	16.6	1.8	1.3	3.85
14-07-16 18:53	14-07-17 01:00	6.12	15.8	1,759.0	1,512,772	4.7	16.8	1,866.5	1,605,182	4.7	106.2	91,290	30.2	20.2	17,409	5.8	12.2	32.4	20.1	2.0	1.4	3.28
14-07-17 01:13	14-07-17 08:36	7.38	15.9	1,727.0	1,485,180	4.6	16.8	1,858.1	1,597,955	4.7	104.0	89,441	29.6	14.2	12,194	4.0	12.2	35.2	23.0	1.9	1.3	2.95
14-07-17 08:49	14-07-17 14:36	5.78	16.1	1,739.9	1,496,306	4.7	16.8	1,864.2	1,603,201	4.7	104.1	89,509	29.6	16.2	13,958	4.6	12.1	30.6	18.5	2.0	1.4	3.40
14-07-17 14:49	14-07-17 20:52	6.05	17.0	1,791.6	1,540,747	4.9	17.5	1,881.8	1,618,387	4.8	108.5	93,302	30.9	18.2	15,667	5.2	12.5	32.2	19.7	2.0	1.4	3.37
14-07-17 20:54	14-07-18 05:13	8.32	15.8	1,753.3	1,507,799	4.7	16.9	1,863.9	1,602,934	4.7	123.3	106,047	35.1	13.8	11,887	3.9	12.2	37.2	25.1	1.9	1.3	3.31
14-07-18 05:15	14-07-18 14:25	9.17	15.8	1,607.5	1,382,458	4.2	16.8	1,653.6	1,422,078	4.0	118.5	101,875	33.7	8.5	7,337	2.4	12.2	37.7	25.5	1.8	1.3	3.14
14-07-18 14:29	14-07-18 21:25	6.93	16.3	1,748.4	1,503,613	4.7	16.8	1,864.3	1,603,306	4.7	116.3	100,011	33.1	16.4	14,081	4.7	12.2	33.9	21.7	1.9	1.3	3.43
14-07-18 21:29	14-07-19 07:01	9.53	16.0	1,757.5	1,511,418	4.7	16.5	1,842.2	1,584,299	4.6	116.1	99,812	33.0	12.6	10,805	3.6	11.9	39.6	27.7	1.8	1.3	2.93
14-07-19 07:06	14-07-19 14:48	7.70	15.5	1,649.2	1,418,284	4.3	16.5	1,747.4	1,502,755	4.3	120.7	103,833	34.3	13.3	11,454	3.8	12.0	34.6	22.6	1.8	1.3	3.49
14-07-19 14:53	14-07-19 22:04	7.18	16.0	1,723.3	1,482,074	4.5	17.2	1,847.4	1,588,799	4.6	121.0	104,057	34.4	13.5	11,597	3.8	12.6	34.7	22.1	1.8	1.3	3.48
14-07-19 22:10	14-07-20 06:55	8.75	15.9	1,544.6	1,328,385	3.9	16.5	1,600.0	1,376,015	3.8	113.9	97,939	32.4	8.6	7,392	2.4	12.0	36.9	24.9	1.9	1.3	3.08
14-07-20 07:01	14-07-20 14:37	7.60	15.6	1,749.8	1,504,653	4.6	16.4	1,841.9	1,584,061	4.6	118.3	101,735	33.6	9.8	8,465	2.8	12.1	35.4	23.3	1.6	1.1	3.34
14-07-20 14:43	14-07-20 20:55	6.20	16.8	1,747.8	1,503,087	4.6	17.9	1,847.2	1,588,554	4.5	127.9	110,016	36.4	15.8	13,566	4.5	13.2	33.2	20.0	1.7	1.2	3.86
14-07-20 21:02	14-07-21 05:45	8.72	15.8	1,748.7	1,503,866	4.6	16.5	1,842.4	1,584,451	4.6	118.2	101,683	33.6	7.9	6,755	2.2	12.1	38.3	26.3	1.7	1.2	3.09
14-07-21 05:52	14-07-21 12:01	6.15	15.8	1,731.4	1,489,030	4.5	16.5	1,837.3	1,580,107	4.5	118.6	101,978	33.7	12.7	10,927	3.6	12.1	31.9	19.8	1.7	1.2	3.71
14-07-21 12:08	14-07-21 16:43	4.58	16.7	1,601.4	1,377,202	4.0	17.9	1,696.8	1,459,249	4.1	125.4	107,875	35.7	19.7	16,976	5.6	13.2	28.4	15.2	1.8	1.2	4.41
14-07-21 16:50	14-07-22 04:25	11.58	17.6	1,744.1	1,499,951	4.6	18.6	1,830.0	1,573,784	4.5	130.6	112,332	37.1	277.8	238,889	79.0	13.6	40.1	26.4	1.8	1.2	3.26
14-07-22 04:33	14-07-22 12:07	7.57	14.4	1,746.9	1,502,347	4.6	15.5	1,823.8	1,568,457	4.5	112.5	96,778	32.0	221.1	190,136	62.9	11.3	29.3	18.1	1.6	1.2	3.84
14-07-22 12:17	14-07-22 17:23	5.10	16.6	1,684.3	1,448,474	4.4	17.8	1,727.1	1,485,348	4.2	118.4	101,799	33.7	119.7	102,920	34.0	13.1	31.0	17.9	1.7	1.2	3.81
14-07-22 17:32	14-07-23 05:15	11.72	16.0	1,752.5	1,507,191	4.6	16.5	1,830.8	1,574,492	4.5	113.4	97,547	32.3	95.0	81,675	27.0	12.1	45.5	33.4	1.7	1.2	2.49
14-07-23 05:25	14-07-23 12:36	7.18	16.1	1,739.4	1,495,881	4.6	16.5	1,830.1	1,573,885	4.5	111.0	95,452	31.6	27.8	23,866	7.9	12.1	34.9	22.8	1.6	1.1	3.18
14-07-23 12:47	14-07-23 18:26	5.65	16.8	1,759.1	1,512,790	4.7	17.5	1,830.6	1,574,332	4.5	115.9	99,667	33.0	23.6	20,293	6.7	12.8	31.3	18.6	1.8	1.2	3.70
14-07-23 18:37	14-07-24 01:20	6.72	16.5	1,737.6	1,494,358	4.5	17.5	1,818.9	1,564,218	4.4	113.5	97,571	32.3	20.3	17,465	5.8	12.9	34.1	21.2	1.7	1.2	3.33
14-07-24 01:21	14-07-24 08:54	7.55	50.7	3,923.7	3,374,395	3.9	18.2	1,779.5	1,530,361	4.4	226.9	195,142	64.5	28.6	24,587	8.1	13.4	55.4	42.1	1.7	1.2	4.09
14-07-24 09:07	14-07-24 15:21	6.23	15.3	1,671.5	1,609,526	5.1	15.8	1,944.2	1,671,988	5.0	96.4	82,870	27.4	41.1	35,360	11.7	11.4	30.8	19.4	2.2	1.5	3.13
14-07-24 15:34	14-07-24 20:00	4.43	24.1	1,781.7	1,532,220	4.7	25.7	1,878.0	1,615,097	4.6	205.9	177,111	58.6	117.8	101,324	33.5	16.9	39.3	20.4	2.0	1.4	5.24
14-07-24 20:02	14-07-25 01:51	5.82	19.9	1,747.3	1,502,719	4.6	20.6	1,836.0	1,578,929	4.6	145.1	124,766	41.3	93.3	80,225	26.5	15.0	37.6	22.6	1.9	1.3	3.86
14-07-25 01:53	14-07-25 09:14	7.35	15.9	1,730.1	1,487,845	4.6	16.8	1,850.1	1,591,088	4.6	118.7	102,079	33.8	33.8	29,107	9.6	12.3	36.4	24.1	1.8	1.2	3.26
14-07-25 09:17	14-07-25 12:36	3.32	22.9	1,648.3	1,417,573	4.3	24.3	1,733.6	1,490,893	4.3	171.6	147,568	48.8	107.1	92,086	30.5	17.8	33.4	15.6	2.0	1.3	5.14
14-07-25 12:40	14-07-25 15:51	3.18	24.8	1,753.7	1,508,218	4.6	26.5	1,860.4	1,599,943	4.6	182.2	156,676	51.8	97.6	83,958	27.8	19.5	37.4	17.9	2.0	1.3	4.87
14-07-25 15:55	14-07-25 22:06	6.18	25.5	1,750.2	1,505,168	4.5	27.1	1,848.3	1,589,570	4.5	187.1	160,937	53.2	86.9	74,740	24.7	20.3	45.3	25.0	1.9	1.3	4.13
14-07-25 22:10	14-07-26 08:53	10.72	16.1	1,735.4	1,492,427	4.6	16.5	1,819.2	1,564,544	4.5	118.5	101,891	33.7	25.5	21,921	7.2	12.1	41.4	29.3	1.6	1.1	2.86
14-07-26 08:58	14-07-26 20:29	11.52	15.6	1,732.7	1,490,087	4.5	16.6	1,842.9	1,584,856	4.5	120.5	103,647	34.3	14.6	12,544	4.1	12.2	43.8	31.7	1.5	1.1	2.75
14-07-27 09:11	14-07-27 18:43	9.53	15.4	1,704.2	1,465,577	4.5	16.2	1,819.4	1,564,663	4.5	115.9	99,694	33.0	8.3	7,166	2.4	11.8	38.7	26.9	1.6	1.1	3.00
14-07-27 18:49	14-07-28 06:48	11.98	16.2	1,725.3	1,483,742	4.5	16.8	1,823.9	1,568,531	4.5	120.8	103,864	34.3	4.6	3,980	1.3	12.4	45.5	33.1	1.7	1.2	2.65
14-07-28 06:55	14-07-28 13:00	6.08	15.5	1,761.5	1,514,907	4.7	16.1	-1,847.9	-1,589,213	4.6	115.8	99,623	32.9	13.0	11,202	3.7	11.8	30.7	19.0	1.7	1.2	3.77
14-07-28 13:07	14-07-28 19:27	6.33	19.3	1,756.5	1,510,600	4.5	20.7	-1,868.3	-1,606,709	4.6	150.5	129,437	42.8	52.3	44,998	14.9	15.3	36.3	21.1	1.7	1.2	4.14
14-07-28 19:35	14-07-29 07:53	12.30	15.5	1,748.8	1,503,998	4.6	16.1	-1,833.4	-1,576,726	4.5	113.4	97,555	32.3	24.6	21,134	7.0	11.8	45.7	33.9	1.7	1.2	2.48
14-07-29 08:01	14-07-29 14:03	6.03	15.1	1,750.4	1,505,340	4.6	16.1	-1,833.2	-1,576,591	4.5	115.8	99,580	32.9	24.7	21,242	7.0	11.8	30.8	19.0	1.6	1.2	3.76
14-07-29 14:12	14-07-29 21:15	7.05	17.0	1,741.1	1,497,340	4.6	17.5	-1,838.1	-1,580,737	4.5	118.3	101,747	33.6	39.1	33,593	11.1	12.8	35.3	22.5	1.6	1.1	3.35
14-07-29 21:24	14-07-30 08:53	11.48	16.1	1,632.6	1,404,080	4.2	16.5	-1,695.2	-1,457,872	4.1	113.8	97,868	32.4	13.9	11,995	4.0	12.0	44.3	32.2	1.7	1.2	2.57
14-07-30 09:04	14-07-30 12:47	3.72	17.7	1,756.9	1,510,942	4.6	18.5	-1,821.9	-1,566,824	4.5	120.8	103,895	34.4	49.0	42,160	13.9	13.6	29.4	15.8	1.7	1.2	4.12
14-07-30 12:58	14-07-30 16:35	3.62	21.0	1,728.2	1,494,843	4.5	21.9	-1,833.5	-1,576,778	4.5	142.3	122,361	40.5	87.5	75,220	24.9	16.3	34.1	17.8	1.9	1.2	4.17
14-07-30 16:46	14-07-30 21:44	4.97	21.2	1,741.6	1,497,774	4.5	22.0	-1,829.1	-1,573,061	4.4	142.8	122,770	40.6	83.6	71,919	23.8	16.4	38.1	21.7	1.8	1.2	3.75
14-07-30 21:56	14-07-31 08:26	10.50	16.1	1,759.6	1,513,232	4.6	16.6	-1,862.7	-1,601,935	4.6	108.3	93,108	30.8	23.6	20,316	6.7	12.2	41.4	29.2	1.7	1.2	2.62
14-07-31 08:39	14-07-31 11:13	2.57	16.7	1,733.8	1,490,231	4.5	17.5	-1,852.4	-1,593,033	4.6	106.5	91,606	30.3	39.0	33,542	11.1	12.9	23.8	10.9	1.6	1.2	4.47
14-07-31 11:26	14-07-31 14:26	3.00	28.6	1,728.6	1,486,588	4.4	29.9	-1,822.0	-1,566,898	4.4	188.3	161,927	53.5	95.9	82,504	27.3	22.5	40.2	17.8	2.0	1.3	4.68
14-07-31 14:39	14-07-31 18:02	3.38	27.2	1,756.3	1,510,436	4.4	28.5	-1,847.9	-1,589,151	4.4	184.7	158,865	52.5	92.2	79,268	26.2	21.6	41.0	19.4	1.9	1.2	4.51

▌본 연구과제에서는 성능효율 평가를 운전 COP로 적용하여 성능을 검증한 결과, 냉난방 효율 모두 COP 2.5 이상 달성하였음.

- 난방 효율개선을 위한 작업을 완료한 후 난방기간 (2014.4~)동안 일평균 50.15kW의 소비전력으로 145.24kW의 열량을 생산하여 2.98의 성능효율을 달성함.
- 냉방 기간 (2014.5~7)동안 일평균 38.81kW의 소비전력으로 134.72kW의 열량을 생산하여 3.53의 성능효율을 달성함.

성과목표	성과지표	측정방법	검증 방법	냉난방 효율	목표치 설정 근거
고효율 수온차 냉난방 시스템 냉난방 효율 검증	효율 250% (COP 2.5) 이상	온도 및 전력량 측정	현장 시연	3.53 / 2.98	최저 한랭지 기후 표준조건

(마) 경제성 평가

▌시스템 비교

항목		수온차	EHP
1.시스템 개요		지하수, 저수지등의 대용량 수열원을 이용하여 냉난방기의 응축, 증발열에 보조하여 냉난방 효율 증대 및 절전 효과를 구성하는 시스템	전기를 이용하여 압축기를 구동하여 냉매 사이클을 변경하여 냉난방을 동시에 하는 시스템
2. 시스템 구성		조합형 실외기 + 실내기 + 수온차 열원	조합형 실외기 + 실내기
3. 시스템 특성	장점	- 유지비가 저렴 - 열원기기의 수전 설비 감소 - 부하 변동에 대한 대응이 용이(유연성) - 정격운전에 의한 열원기기의 효율상승	- 초기 투자비 저렴 - 별도의 기계실 불필요 - 별도의 기계실 불필요
	단점	- 초기투자비가 크다 - 별도의 수배관설비가 필요	- 외기온도 -10도 이하에서 작동성능 급격한 저하 발생 - 유지관리비가 크다 - 운전소음이 크다 - 배관 설비가 복잡하다
4. 투자비 (20RT 기준)		120,000,000원	74,000,000원

▌동력집계 및 운전시간 산출

항목			수온차		EHP
			20RT		
동력집계	냉방	실외기	14.04(kw)	1.17(kw/h)	28.92(kw/h)
		실내기	0.79(kw/h)		1.33(kw/h)
		수온차 순환펌프	9.70(kw)	6.2(kw) | 0.81(kw/h) 3.0(kw/h)	
	합계		24.53(kw)	5.77(kw/h)	30.25(kw/h)
	난방	실외기	18.24(kw)	1.51(kw/h)	28.62(kw/h)
		실내기	0.79(kw/h)		1.33(kw/h)
		수온차 순환펌프	9.70(kw)	6.2(kw) | 0.49(kw/h) 3.8(kw/h)	
	합계		28.73(kw)	6.66(kw/h)	29.94(kw/h)
년간운전시간	냉방	여름	31 x 2 x 16 = 992시간		
		봄/가을	30 x 2 x 12 = 720시간		
	소계		1,712 시간		
	난방	겨울	732 + 1,920 = 2,652시간		
	소계		2,652 시간		
총계			4,364 시간		
년간 운전시간 산출방법			- 냉방 여름철 : 7,8월 16시간/일 - 냉방 봄, 가을철 : 6,9월 12시간/일 - 난방 겨울철 : 10,3월 12시간/일, 11~2월 16시간/일		

▌EHP시스템 대비 효과

항목			수온차	EHP
			20RT	
동력집계	냉방	실외기	1.17	28.92
		실내기	0.79	1.33
		수온차 순환펌프	0.81 3.0	
	합계		5.77	30.25
	난방	실외기	1.52	28.62
		실내기	0.79	1.33
		수온차 순환펌프	0.49 3.8	
	합계		6.6	29.94
년간 운전시간	냉방	여름	992	
		봄/가을	720	
	소계		1,712	
	난방	겨울	2,652	
	소계		2,652	
총계			4,364	

운전요금	전기요금	기본요금	6.6kW x 6,300원/kwh x 12개월 = 498,960원	30.25kw x 6,300원 x 12개월 = 2,368,900원
		사용요금 (여름/봄/가을)	5.77kw x 100원/kwh x 1,712H/년 = 987,824원	30.25kw x 100원 x 1,712H/년 = 5,178,800원
		사용요금(겨울)	6.6kw x 100원/kwh x 2,652H/년 = 1,750,320원	29.94kw x 100원 x 2,652H/년 = 7,940,088원
		소계	2,738,144원/년	10,308,988원/년
	합계		3,237,104원/년	12,677,888원/년
총계			3,237,104원/년	12,677,888원/년
투자비			120,000,000원	74,000,000원
연간운전비 절감액(EHP기준)			9,440,784 원/년	
투자회수기간(EHP기준)			46,000,000/9,440,784 = 4.87년	

▌CIP 시스템 경제성 검토

- CIP 시스템 Tank Size : 1㎥
- 요구 온도 조건 : 40℃
- CIP Water 평상시 온도 : 10℃(겨울 5℃, 여름 15℃, 봄/가을 10℃) 추정
- CIP 시스템 운전 횟수 : 2회/월
- 소요 전력 : 상승온도 30℃ x 가온수 용량 1㎥ = 30,000kcal ≒ 35kW
- 수온차 시스템 용량 : 7℃ x 16,000㎥ = 112,000kcal ≒ 21kW
- 수온차 시스템 대체 효과 : (30,000kcal x 21kW) / 112,000kcal ≒ 5.6kW
- 절감효과 : 1) Peak 전력 감소
  2) 전력비 절감 : 30kw x 78원/kw x 2회/월 x 12월 = 56,160원

(2) DC배전 시스템

(가) DC배전구축에 따른 적용 효과분석 모의 및 결과

▌**태양광발전 설비의 발전량의 경우 연간 이용률을 기반으로 평균출력량을 계산함. 기존 연구된 결과를 바탕으로 PV의 경우 최대 20%, BIPV의 경우 최대 10%의 이용률을 적용하여 발전량을 계산함. 결과적으로 컨버터의 손실까지 고려한 태양광 발전의 평균발전량은 2.375kW를 나타냄**

▌효율분석에 사용된 부하 리스트는 표와 같음.

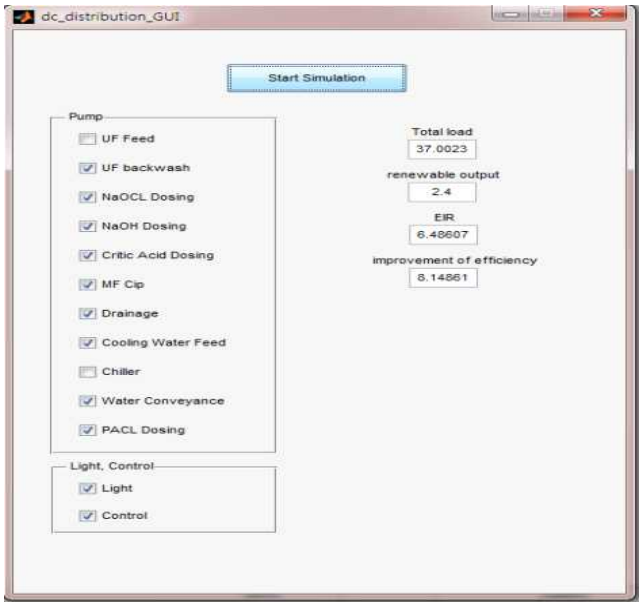
▌표 2.350 수직형 정수처리설비 전기 설비 리스트▌

NO	EQUIPMENT	Q'TY			MOTOR		Operation Time (hr/day)
		Q'TY	C	SB	POWER (V)	RATED (KW)	
1	UF Feed Pumps	6	6		380	4.0	22.3
2	Auto Strainer	6	6		380	0.4	0.5
3	UF Backwash Pumps	2	1	1	380	2.2	2.2
4	NaOCl Dosing Pump	2	1	1	380	0.2	0.016
5	NaOH Dosing Pump	2	1	1	380	0.2	0.016
6	Citric Acid Dosing Pump	2	1	1	380	0.2	0.005
7	MF CIP Pumps	2	1	1	380	1.1	0.03
9	U.V Sterilizers	2	1	1	380	1.5	24
10	Ozone Generator	1	1	—	380/220	0.5	24
11	배수 펌프	2	1	1	380	2.2	4
12	Cooling Water Feed PumpS	2	1	1	380	0.37	24
13	Chiller Unit	1	1	-	380	0.75	24
14	송수 펌프	2	1	1	380	15	12
15	Air Compressor	2	1	1	380	1.5	1
16	PACL Dosing Pump	5	4	1	380	0.2	24
17	조명설비	140	140	0	220	0.032	12
18	소방설비	25	25	0	6	0.006	24
19	CCTV	10	10	0	12	0.003	24
20	냉난방설비	5	5	0	380	11	-
21	Control Power	1	1	0	220	3	24

▌ 다음은 시뮬레이션 설정조건 및 부하리스트 변경에 다른 효율을 시뮬레이션 한 결과임

(가) 설정조건 1

- LED로 인한 효율상승: 30%
- 컨버터 효율: 96%
- 감시제어설비 효율상승: 30%
- BLDC로 인한 효율상승: 10%
- 선정부하: UF Backwash Pumps, NaOCl Dosing Pump, NaOH Dosing Pump, Citric Acid Dosing Pump, MF CIP Pumps, Cooling Water Feed PumpS, PACL Dosing Pumps와 송수펌프 2대, 배수펌프 2대, LED, Control Power
- 결과: 8.1% 효율향상
- 그 외 같은 조건에서 UF Fedd Pump를 제외하고 다른 전력부하를 추가하여 시뮬레이션 하여도 10%를 넘지 않음. 모터부하 중 UF Feed Pump가 전력 사용량이 가장 많고 그 다음이 송수 펌프 나머지는 가동 시간이 적거나 모터의 용량이 작아서 에너지 효율에 대한 영향이 미미하기 때문임

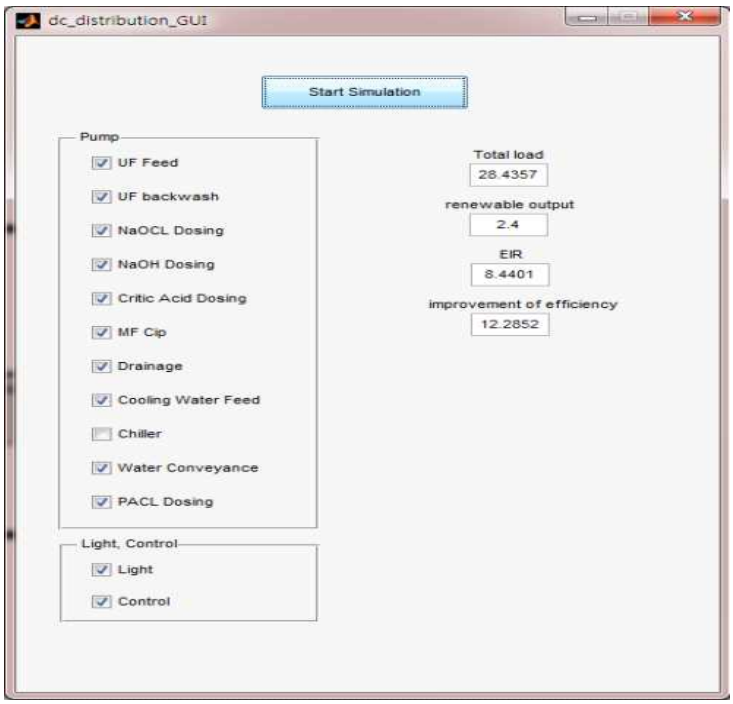


▌그림 2.593 설정조건 1 시뮬레이션 결과▐

(나) 설정조건 2

- LED로 인한 효율상승: 30%
- 컨버터 효율: 96%

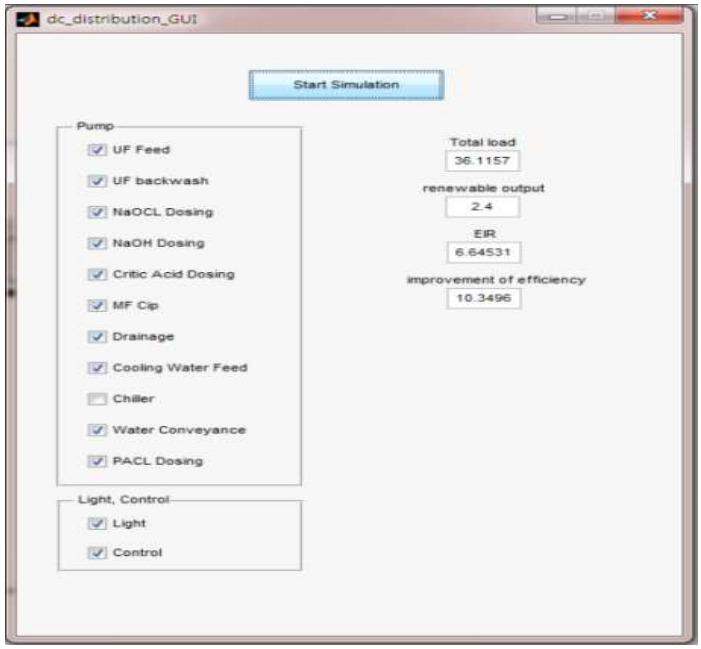
- 감시제어설비 효율상승: 30%
- BLDC로 인한 효율상승: 10%
- 선정부하: UF Backwash Pumps, NaOCl Dosing Pump, NaOH Dosing Pump, Citric Acid Dosing Pump, MF CIP Pumps, Cooling Water Feed PumpS, PACL Dosing Pumps와 UF Feed Pumps 4대, 송수펌프 1대, 배수펌프 1대, LED, Control Power
- 결과: 12.2% 효율향상



▌그림 2.594 설정조건 2 시뮬레이션 결과▐

(다) 설정조건 3

- LED로 인한 효율상승: 30%
- 컨버터 효율: 96%
- 감시제어설비 효율상승: 10%
- BLDC로 인한 효율상승: 10%
- 선정부하: UF Backwash Pumps, NaOCl Dosing Pump, NaOH Dosing Pump, Citric Acid Dosing Pump, MF CIP Pumps, Cooling Water Feed PumpS, PACL Dosing Pumps와 UF Feed Pumps 4대, 송수펌프 1대, 배수펌프 1대, LED, Control Power
- 결과: 10.3% 효율향상



▌그림 2.595 설정조건 3 시뮬레이션 결과▐

▌ 표의 부하 리스트 중 UF Backwash Pumps, NaOCl Dosing Pump, NaOH Dosing Pump, Citric Acid Dosing Pump, MF CIP Pumps, Cooling Water Feed PumpS, PACL Dosing Pumps와 UF Feed Pumps, 송수펌프, 배수펌프를 기존 AC 모터 대신 BLDC모터를 적용하였고 조명설비는 LED로 대체, Control Power는 직류 전류를 공급한다고 상정함. 개발한 시뮬레이터를 활용하여 분석한 결과 에너지 절감률은 10.3%를 달성함. 송/배수펌프 등 부하가 큰 설비의 모든 펌프호기를 DC화하고, 감시제어설비의 효율이 30%의 최고값을 적용할 경우 12.3% 이상의 효율 상승도 기대됨. 다만, 현재 BLDC 펌프는 경제적인 문제로 주로 약품주입펌프등 규모가 적은 펌프류가 주로 상용화되어 있어, 향후 대용량 펌프의 BLDC 펌프의 상용화로 효과는 현실화 될 것으로 기대됨.

(3) LED 조명제어 설비

(가) 효율성 평가

▌LED 효율성 평가는 모션제어와 디밍제어를 동시에 적용할 경우, 모션제어만 적용할 경우, 그리고 모션과 디밍제어를 적용시키지 않은 경우 등 총 3가지 경우에 대한 전력 소비량 시험을 실시함.

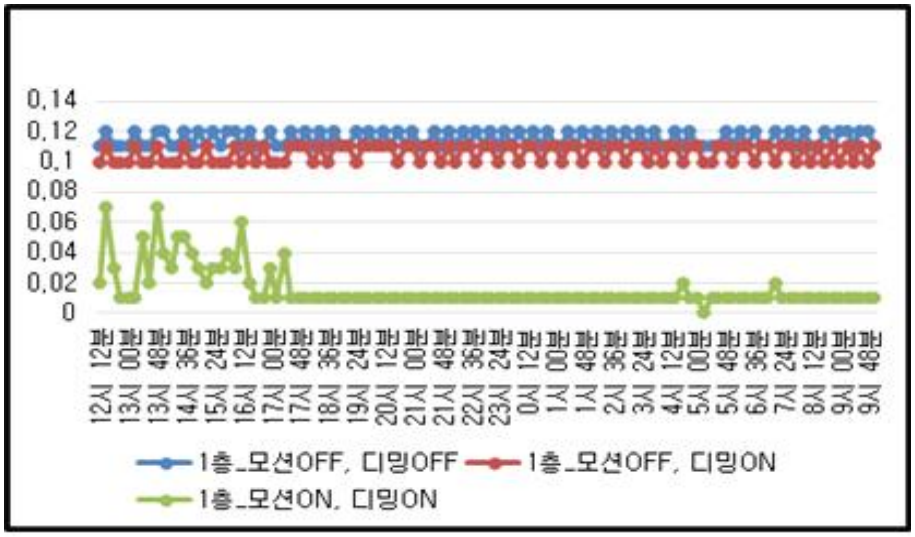
▌시험 결과, 모션제어만 적용했을 경우는 모션과 디밍제어를 적용시키지 않았을 경우와 대비하여 1층에서의 소비전력은 7.9%, 그리고 4층에서의 소비전력은 20.6% 감소되었다. 또한, 모션과 디밍제어를 모두 적용시킬 경우에는 1층과 4층에서 각각 86.8%, 80.7%의 소비전력이 감소됨.

▌**종합적으로 평가하면, 모션제어만 적용 했을 때 13.1%, 모션제어와 디밍제어 두 가지를 다 적용 했을 때는 84.3%의 소비전력이 감소됨.**

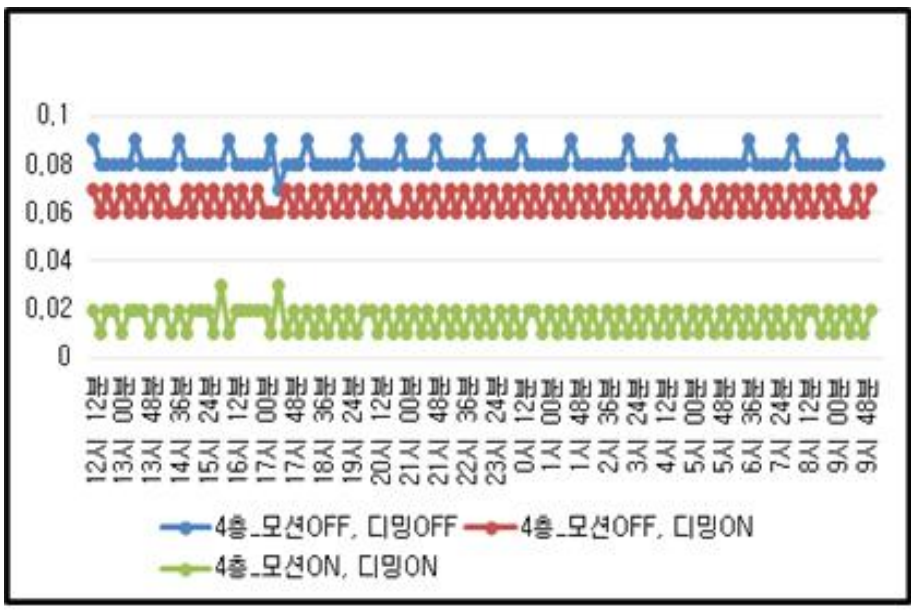
▌표 2.351 LED조명 소비 전력량▐

구 분	모션설정	디밍설정	소비전력(kWh)	감소율(%)
1 층	OFF	OFF	13.74	-
	OFF	ON	12.66	7.9
	ON	ON	1.81	86.8
4 층	OFF	OFF	9.77	-
	OFF	ON	7.76	20.6
	ON	ON	1.89	80.7
1, 4 층	OFF	OFF	23.51	-
	OFF	ON	20.42	13.1
	ON	ON	3.7	84.3

▌아래 그림은 소비전력량을 그래프로 나타낸 것으로, 시간별 전력 소비 패턴을 나타내며 12분 간격으로 샘플링 하였음



▌그림 2.596 1층 LED조명설비의 전력소비 패턴▐



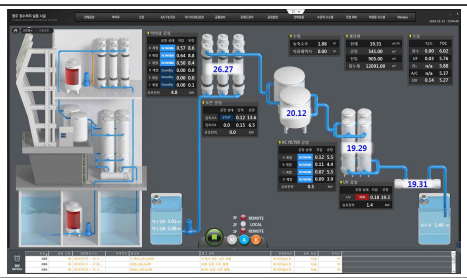
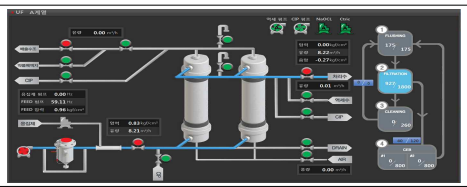
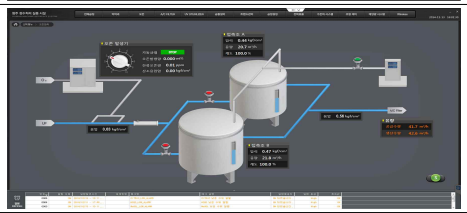
▌그림 2.597 4층 LED조명설비의 전력소비 패턴▐

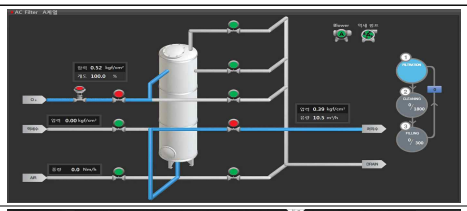
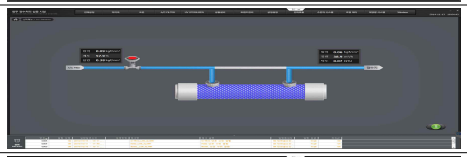
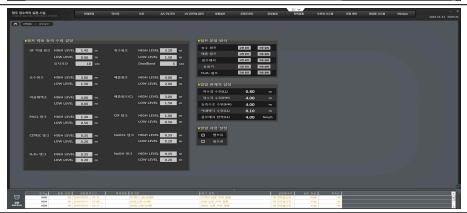
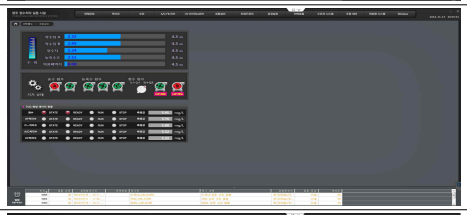
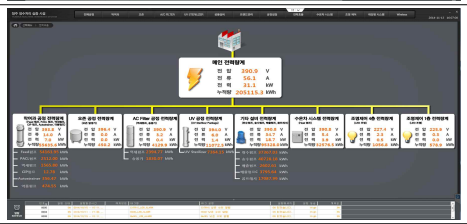
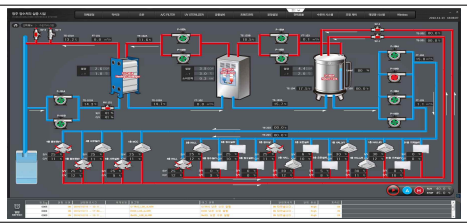
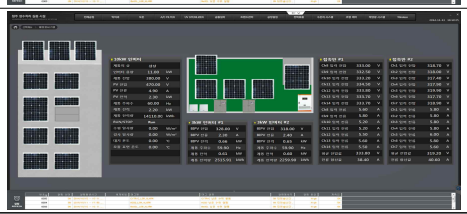
라. 운영관리시스템(Operating System) 구축 및 효율성 평가

(1) 통합운영관리시스템 구성

(가) 감시제어 HMI

- HMI(Human Machine Interface) S/W를 이용하여 운영자를 위한 공정모니터링 및 원격 제어 프로그램을 제작하였으며, 이는 PLC 프로그램과 상호 연동되어 Play 버튼과 Stop 버튼으로 전체 정수처리공정이 자동운전 되도록 개발되었음
- 또한, 현장 운영자 및 연구자들이 확인 및 체크해야 하는 데이터로 화면에 표시하여 운영의 편리성을 향상함

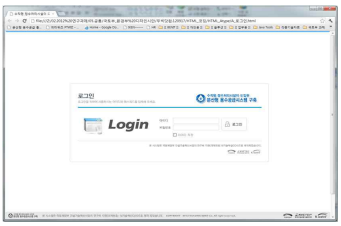
○ **메인화면** - 실증시설 전체의 조감도 및 주 배관의 연결을 확인하고 각 공정별 주요 확인데이터 표시 - 각 공정별 세부화면으로 이동하여 세부정보 확인 가능 - 모든 공정은 Play(▶), Stop(■) 버튼으로 자동운전 됨	
○ **막여과 공정** - 막여과 공정과 관련된 각종 센서데이터(압력, 유량, 약품, 수질, 수위, 각종 펌프상태)를 한 화면에서 모니터링할 수 있도록 구성 - 자동운전 기술 적용	
○ **막여과 공정 상세** - 6계열 각각의 세부 운전상황을 모니터링 - Time 스케쥴에 의한 경과시간 표시	
○ **오존공정** - 막여과 처리수의 오존접촉 공정의 처리현황을 확인 - 오존공정은 패키지 형태로 제조사에서 제공	
○ **A/C Filter 공정** - A/C 필터 4계열에 대한 전체적인 운전현황 모니터링 - 여과시간 및 세정시간, 수질, 수위, 유량, 기기상태 등을 모니터링	

○ **A/C Filter 공정 상세** - A/C 필터 4계역 각각에 대한 세부정보를 확인	
○ **UV 공정** - 생산된 용수의 마지막 UV소독을 위한 공정 모니터링	
○ **공정 설정** - 자동운전을 위한 각 공정별 설정값을 관리함 - 설정된 값은 PLC에 기록되어짐	
○ **공통설비 감시** - 각공정에서 사용하는 공통설비들에 대한 상태값을 시각적으로 확인이 가능 - 각 공정별 TOC 변화값을 모니터링	
○ **전력효율 모니터링** - 각 공정별 전력사용량을 트랜드로 모니터링 하도록 하여 에너지 절감을 위한 기초자료 활용	
○ **트랜드 관리** - 운영자 및 연구자가 연구 및 관리 목적으로 여러 측정값 및 상태를 복합적으로 비교 검토하기 위한 멀티 이력 모니터링 - 과거데이터 및 실시간 데이터 모니터링 가능	
○ **수온차 시스템** - 수온차 시스템의 전체 운전현황을 모니터링 - 각 층에 설치된 FCU에 대한 개별 제어(온도설정, On/Off)	
○ **태양광 시스템** - 태양광의 발전현황을 모니터링 - 태양광 각 셀 및 장비의 상태를 모니터링	

(나) LCC 및 자산관리 프로그램 개발 결과 및 테스트

○ 웹 어플리케이션

- 운영자가 쉽게 접근 할 수 있도록 웹 어플리케이션으로 개발 하였으며, PC 및 모바일을 통해서 접근이 가능하도록 하였음
- 웹 어플리케이션의 특성상 웹 페이지를 통한 해킹 공격에 대비하여, 다양한 방어기술을 적용하였음

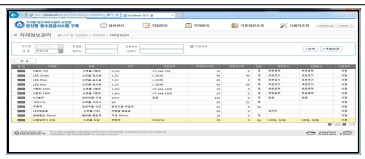


○ 보관장소 관리

- 자재의 보관장소 기초정보를 관리
- 보관장소 목록에서 해당 보관장소에 저장된 자재 및 재고수량 정보를 함께 조회
- 자재 보관장소 정보는 자재 입고 시 사용

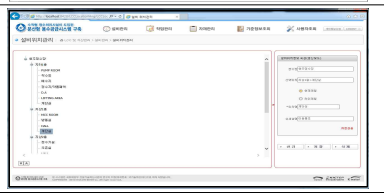
○ 자재정보 관리

- 설비 유지보수 작업 등에 사용
- 재고관리의 대상이 되는 자재의 기초정보를 관리
- 여기서 적정 재고수량을 함께 설정하면, '재고관리' 기능에서 재고부족 자재를 쉽게 구분할 수 있음



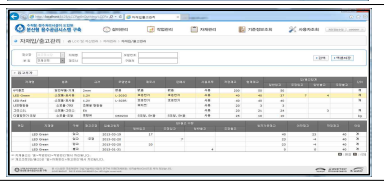
○ 설비 위치관리

- 설비의 위치 기초정보를 관리
- 설비위치 정보는 설비관리의 필수 입력사항 이므로 반드시 관리해 주어야 함



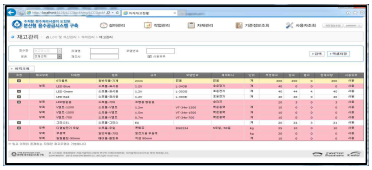
○ 자재 입/출고 관리

- '자재정보관리'에 등록된 자재의 입고처리 뿐만 아니라 입/출고 및 재고조정 이력 조회 기능을 제공



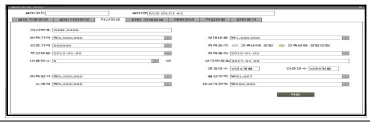
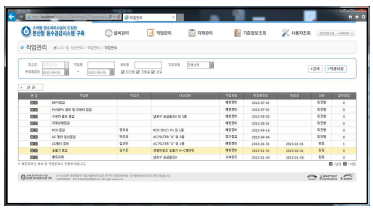
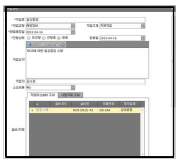
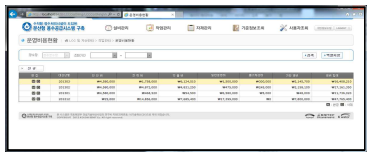
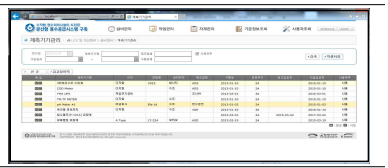
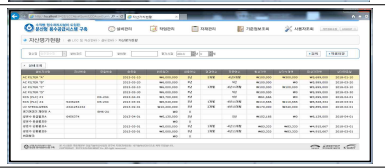
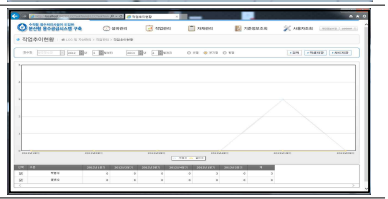
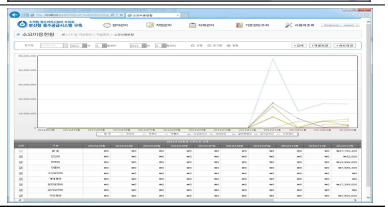
○ 재고 조정

- 등록된 입/출고 정보와 실제 재고수량의 불일치가 발생될 경우 재고조정을 통해 재고정보를 현행화 하는 기능
- 이때 목록에서 재고가 부족한 자재는 붉은색으로 표시되어 추가 입고 필요여부 정보를 제공
- 재고조정을 위해서는 반드시 과거 자재입고 이력이 존재해야 하는데, 그 이유는 재고조정의 기준단가는 해당 자재의 최근 입고이력 정보를 참조하기 때문



○ 설비정보 관리

- 시스템에서 관리되는 설비를 조회, 등록, 관리 함
- 이때, 설비의 사양정보, 자산등록정보, (설비유지보수를 위한)관련 자재정보, (예방정비작업 자동등록 위

한)예방정비정보, 작업현황, 관련문서 정보를 함께 관리 됨	 
○ **작업 관리** - 설비 보전을 위한 일상점검 및 예방/유지보수 점검 작업을 관리 - ‘설비관리’ 기능에서 등록된 예방정비정보와 함께 사용자가 직접 작성한 사후작업이 함께 표시되며. 작업 완료 후에도 본 기능(작업내용 변경)을 통해 작업결과를 등록 할 수 있음 - 작업관리 등록 시 관련설비 및 자재정보, 관련문서정보를 함께 등록할 수 있다. 작업관리에서 사용된 자재는 자동으로 출고 처리됨	 
○ **운영비용 현황** - 시설운영에 사용되는 경비를 매월 등록 관리 - 등록된 내역은 작업비용 및 계측기기 검교정비용과 함께 ‘소요비용현황’의 기초자료로 활용 됨	
○ **계측기기 관리** - 정수장에 사용되는 각종 계측기기와 교정주기를 관리	
○ **자산평가 현황** - ‘설비관리’ 기능에서 등록한 ‘자산등록정보’를 기반으로 설비의 내용연수 및 상각액 등 자산관리 측면에서의 설비 생애주기 비용을 조회	
○ **작업추이 현황** - 운영관리자에 의해 작업이 진행된 작업건수 및 작업설비수의 변화 추이를 년도별, 분기별, 월별로 조회	
○ **소요비용 현황** - ‘작업관리’, ‘운영비용관리’, ‘계측기기관리‘ 등에서 수집된 정수장 운영비용 정보를 합산하여 년도별, 분기별, 월별로 그 트렌드를 조회	

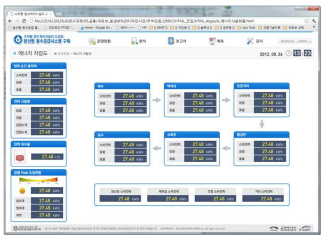
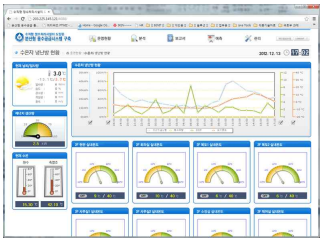
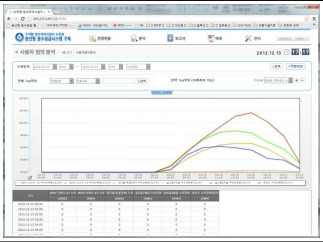
- LCC 및 자산관리프로그램 개발 이후 단위테스트 점검 항목표를 작성하여 단위테스트를 진행하였음

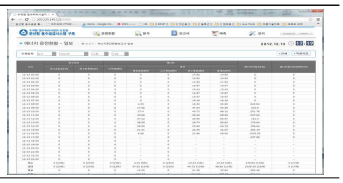
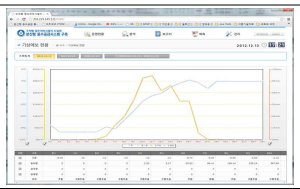
단위테스트 항목				기능																					테스트수		
분류	항목	테스트ID	테스트 내용	설비관리	설비위치관리	계측기기관리	자산평가현황	작업관리	운영비용현황	작업주이현황	소요비용현황	자재정보관리	자재입/출고관리	재고관리	보관장소관리	교체주기현황	정수장조회	공통코드조회	예방정비마스터	사용자관리	권한그룹조회	메뉴별권한조회	디바이스승인정보관리	정상	오류	오류율(%)
화면일반	UI 일반	UT-001	UI 설계 시 협의된 화면 구성과 동일한가? 예) 화면 Layout,입력필드, List, Button	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
	필드정렬	UT-002	화면의 각 필드가 제대로 정렬되어 있는가? 예)Text는 중앙 정렬, Description은 왼쪽 정렬, 단가, Usage, 금액은 오른쪽 정렬 , 테이블 컬럼명의 중앙 정렬 여부 확인	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	18	2	10.0
	일반Code	UT-003	각 필드별 데이터가 적절하게 나타나는가? 예) Code성 데이터를 나타내는 Combo Box에는 Code와 Description이 모두 포함되어 있는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
	입력/수정 창	UT-004	입력/ 수정이 가능한 필드가 제대로 화면에 나타나는가? 불필요한 데이터가 나타나지 않는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
	숫자 필드	UT-005	숫자 필드 보여줄 때 Formatting이 지정된 대로 제대로 나타나는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
	날짜 필드	UT-006	날짜 필드 값이 지정된 대로 제대로 나타나는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
화면 Navigation	Link	UT-007	화면에 나타난 Link 가 제대로 동작하는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	19	1	5.0
	Navigation	UT-008	Menu 및 Button을 통한 Navigation이 제대로 동작하는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
데이터 처리	Null입력	UT-009	Null 값을 입력 시 지정된 대로 데이터가 처리되는가? 예) Null 값 입력 시 DB에 Space나 0으로 입력한다.	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
	필수입력 필드	UT-010	필수 입력 필드에 대한 검사가 제대로 이루어지는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
	Form Validation	UT-011	최대, 최소 길이, 입력 값의 Type 검사가 제대로 이루어지는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
	채 번	UT-012	채번은 규칙에 따라 처리 됩니까?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
	Page 이동처리	UT-013	조회시 리스트의 Page 이동 기능이 정확히 동작하는가?, 검색조건 있을시 고려	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
	한글 데이터 처리	UT-014	한글 데이터 입력 시 DB 에 데이터가 제대로 입력되는가? 지정된 길이 보다 초과 입력 시 제대로 처리되는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
기능 수행	기본 기능	UT-015	UI 설계서 상에 정의된 처리 요건이 제대로 구현되어져 있는가?	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	19	1	5.0
	조회	UT-016	현황 조회 시 조회조건에 맞는 데이터가 제대로 출력되는가? Next 조회 및 Page Navigation 기능이 제대로 구현되어져 있는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
	입력/수정 창	UT-017	여러 건을 연속적으로 입력해야 하는 요건인 경우 입력 수정 창이 제대로 구현되어져 있는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
	작업결과	UT-018	입력/ 수정 후에 결과가 제대로 반영되어 나타나는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
	Multi Row 처리	UT-019	Multi Row에 대한 입력/수정/삭제 처리가 제대로 이루어지는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
	데이터 처리	UT-020	지정된 Logic에 따라 데이터를 처리해야 하는 경우 해당하는 처리 로직이 제대로 수행되는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	18	2	10.0
	Session Data 처리	UT-021	Session에 대한 데이터 처리가 제대로 이루어 지는가? 예) Login 후에 Session 정보 표시 여부 확인	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
메시지 처리	성공 처리	UT-022	작업이 성공적으로 이루어 졌을 때 성공 메세지가 제대로 나타나는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
	표준 준수	UT-023	메시지 종류별 멘트 및 표준을 준수하였습니까?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
	에러 처리	UT-024	작업 수행 시 에러 발생 했을 때 오류에 정확한 에러 메세지가 제대로 나타나는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
권한 처리	권한 검사	UT-025	프로그램 Type별로 권한을 제대로 확인하여 작업이 수행되도록 하는가? 사용자 Type별로 권한을 제대로 확인하여 작업이 수행되도록 하는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
표준 준수	표준 준수	UT-026	프로그램 지침, 화면 설계 지침, 명명 표준 등을 준수하였는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	20	0	0.0
테스트수			정상	25	26	26	26	25	26	26	26	26	24	24	26	26	26	26	26	26	26	26	26			
			오류	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	514	6	1.2
			오류율(%)	3.8	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			

1 페이지

- 모든 기능들에 대해 26항목에 대해 테스트를 진행하여 전체 520개 테스트 항목에서 정상 514개, 오류 6개가 결과로 나왔음
- 오류율 산정결과 1.2%의 오류율로 나타났음 (오류율(%) = 오류수 / 전체테스트수 * 100)

(다) 에너지관리 프로그램 구축 결과 및 테스트

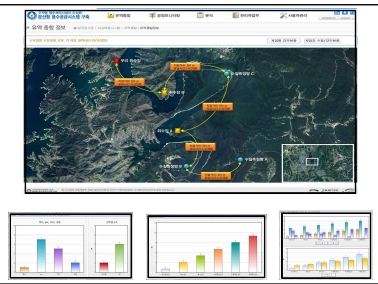
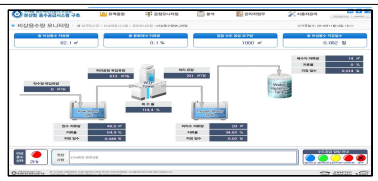
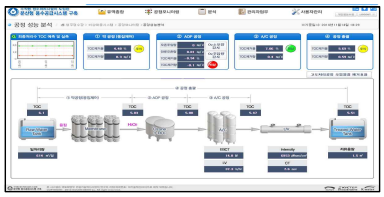
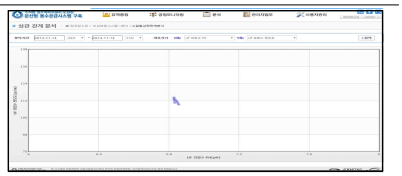
○ **웹 어플리케이션** - 운영자가 쉽게 접근 할 수 있도록 웹 어플리케이션으로 개발하였으며, PC 및 모바일을 통해서 접근이 가능하도록 하였음 - 웹 어플리케이션의 특성상 웹 페이지를 통한 해킹 공격에 대비하여, 다양한 방어기술을 적용하였음	
○ **메인화면** - 에너지관리시스템의 초기 화면으로, 정수장 운영을 위한 에너지의 생산 및 소비현황, 공급용수 생산현황 등을 모니터링 할 수 있음 - 본 화면만으로도 정수장 운영의 전반적인 에너지 흐름을 파악 할 수 있음 - 과거 에너지 흐름 이력을 확인 할 수 있도록 하여, 운영자 편의성을 향상하였음	
○ **화면 배색 및 데이터 표시방법** - 이외 화면 구성은 흰색, 청색, 회색의 색 조화로 오랫동안 시스템을 바라보고 있어도 피로감을 적게 느끼게 하였음 - 상단에는 메뉴를 배치하고, 하단에는 연구과제 정보를 기록하였으며, - 가운데 부분은 현재 페이지의 위치 및 실제 업무 영역으로 배치하여, 운영자의 업무 불편을 최소화 하는데 초점을 두어 설계하였음	
○ **태양광 발전 현황 모니터링** - 날씨정보 및 현재 발전량, 과거 발전량 통계를 표시하여 한 화면에서 태양광 발전 현황을 전체적으로 파악할 수 있음 - 현재시간을 기준으로 과거 24시간 동안의 발전 추이를 그래프로 표시하였음 - 실증시설 벽면 BIPV 및 옥상 PV에 대한 발전량을 표시하였음	
○ **수온차 냉난방 현황 모니터링** - 날씨정보 및 현재 에너지 환산 생산량, 원수 및 축열조의 수온을 표시하여 한 화면에서 수온차 냉난방 현황을 전체적으로 파악할 수 있음 - 현재시간을 기준으로 과거 24시간 동안의 발전 추이를 그래프로 표시하였음 - 각 층별 FCU(Fan Coil Unit)의 가동상태, 설정온도, 현재온도 등을 표시하였음	
○ **사용자 정의 분석** - 본 연구과제는 많은 참여연구기관 및 위탁기관이 공동으로 연구하고 있어, 연구목적의 데이터베이스 데이터 추출에 차이가 많으므로 연구자가 필요로 하는 데이터를 임의 설정으로 추출 할 수 있도록 기능을 개발하였음 - 조회한 데이터를 차트와 표로 조회가 되며, 차트는 이미지로 저장하고, 표는 액셀시트로 변환이 가능하다.	

○ 일/월/년 보고서 - 에너지 관점의 전력 생산량, 전력 수전량, 전력 사용량을 조회하고 시간대별, 일별, 월별 자립도를 조회할 수 있도록 하였음 - 조회된 결과는 인쇄 기능을 이용해 보고서로 활용 할 수 있음	
○ 발전량 예측 - 기상청의 기상예보 정보 수신에 따른 발전량을 예측하는 기능을 두어 사업화 되었을 때, 에너지 저장장치의 활용 극대화를 꾀할 수 있게 하였음 - 오늘 이후 3일간 시간대별 발전량 예측 - 4일부터 7일간의 일별 발전량 예측	
○ 기상예보 현황 - 기상청 기상예보 시스템과 연계하여 기상예보의 날씨, 기온, 최저기온, 최고기온, 강설량, 강우량, 풍속, 습도, 일출시간, 일몰시간 등의 정보를 연계하여 1시간 주기로 취득하도록 구현하였음 - 이상기후에 대비한 정수장의 안전관리에 사용 될 수 있음	

- 에너지관리 프로그램 개발 이후 단위테스트 점검 항목표를 작성하여 단위테스트를 진행하였음
- 모든 기능들에 대해 26항목에 대해 테스트를 진행하여 전체 910개 테스트 항목에서 정상 896개, 오류 14개가 결과로 나왔음
- 오류율 산정결과 1.5%의 오류율로 나타났음 (오류율(%) = 오류수 / 전체테스트수 * 100)

단위테스트 항목				기능																																								테스트수		
분류	항목	테스트ID	테스트 내용	Overview	태양광발전현황	수온자냉난방현황	에너지실시간사용현황	이벤트현황	이벤트메시지전송이력	에너지맵	에너지자립도	공정별에너지사용현황	신재생에너지생산현황	태양광발전분석	태양광발전효율	수온자냉난방현황및효율	사용자정의분석	에너지운전현황-일보	에너지운전현황-월보	에너지운전현황-년보	실증시설운영현황일보	무선데이터적합성검증	에너지년간트랜드	사용자정의보고서	신재생에너지생산량예측	태양광발전량예측	수온자냉난방생산량예측	예측결과분석	기상예보현황	정수장현황	공동코드관리	태그정보관리	알람그룹관리	측정데이터보정	사용자조회	권한그룹관리	메뉴별권한관리	디바이스승인관리	정상	오류	오류율(%)
화면일반	UI 일반	UT-001	UI 설계 시 협의된 화면 구성과 동일한가? 예) 화면 Layout,입력필드, List, Button	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
	필드정렬	UT-002	화면의 각 필드가 제대로 정렬되어 있는가? 예)Text는 중앙 정렬, Description은 왼쪽 정렬, 단가, Usage, 금액은 오른쪽 정렬 , 테이블 컬럼명의 중앙 정렬 여부 확인	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
	일반Code	UT-003	각 필드별 데이터가 적절하게 나타나는가? 예) Code성 데이터를 나타내는 Combo Box에는 Code와 Description이 모두 포함되어 있는가?	O	X	O	O	O	O	X	O	O	O	X	O	O	O	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	29	6	17.1
	입력/수정 창	UT-004	입력/ 수정이 가능한 필드가 제대로 화면에 나타나는가? 불필요한 데이터가 나타나지 않는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
	숫자 필드	UT-005	숫자 필드 보여줄 때 Formatting이 지정된 대로 제대로 나타나는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
	날짜 필드	UT-006	날짜 필드 값이 지정된 대로 제대로 나타나는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
화면 Navigation	Link	UT-007	화면에 나타난 Link 가 제대로 동작하는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
	Navigation	UT-008	Menu 및 Button을 통한 Navigation이 제대로 동작하는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
데이터 처리	Null입력	UT-009	Null 값을 입력 시 지정된 대로 데이터가 처리되는가? 예) Null 값 입력 시 DB에 Space나 0으로 입력한다.	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
	필수입력 필드	UT-010	필수 입력 필드에 대한 검사가 제대로 이루어지는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
	Form Validation	UT-011	최대, 최소 길이, 입력 값의 Type 검사가 제대로 이루어지는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
	재 번	UT-012	재번은 규칙에 따라 처리 됩니까?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
	Page 이동처리	UT-013	조회시 리스트의 Page 이동 기능이 정확히 동작하는가?, 검색조건 있을시 고려	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
	한글 데이터 처리	UT-014	한글 데이터 입력 시 DB 에 데이터가 제대로 입력되는가? 지정된 길이 보다 초과 입력 시 제대로 처리되는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
기능 수행	기본 기능	UT-015	UI 설계서 상에 정의된 처리 요건이 제대로 구현되어져 있는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
	조회	UT-016	현황 조회 시 조회조건에 맞는 데이터가 제대로 출력되는가? Next 조회 및 Page Navigation 기능이 제대로 구현되어져 있는가?	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	X	O	O	O	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	30	5	14.3
	입력/수정 창	UT-017	여러 건을 연속적으로 입력해야 하는 요건인 경우 입력 수정 창이 제대로 구현되어져 있는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
	작업결과	UT-018	입력/ 수정 후에 결과가 제대로 반영되어 나타나는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
	Multi Row 처리	UT-019	Multi Row에 대한 입력/수정/삭제 처리가 제대로 이루어지는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
	데이터 처리	UT-020	지정된 Logic에 따라 데이터를 처리해야 하는 경우 해당하는 처리 로직이 제대로 수행되는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	32	3	8.6
	Session Data 처리	UT-021	Session에 대한 데이터 처리가 제대로 이루어 지는가? 예) Login 후에 Session 정보 표시 여부 확인	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
메시지 처리	성공 처리	UT-022	작업이 성공적으로 이루어 졌을 때 성공 메세지가 제대로 나타나는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
	표준 준수	UT-023	메시지 종류별 멘트 및 표준을 준수하였습니까?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
	에러 처리	UT-024	작업 수행 시 에러 발생 했을 때 오류에 정확한 에러 메세지가 제대로 나타나는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
권한 처리	권한 검사	UT-025	프로그램 Type별로 권한을 제대로 확인하여 작업이 수행되도록 하는가? 사용자 Type별로 권한을 제대로 확인하여 작업이 수행되도록 하는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
표준 준수	표준 준수	UT-026	프로그램 지침, 화면 설계 지침, 명명 표준 등을 준수하였는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	35	0	0.0
테스트수			정상	26	25	26	26	26	26	24	26	26	26	24	26	26	26	25	25	23	25	26	26	26	26	25	26	25	26	26	26	26	26	25	26	26	26	26	26	896	14	1.5
			오류	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	1	1	3	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0			
			오류율(%)	0.0	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7	0.0	0.0	0.0	7.7	0.0	0.0	0.0	3.8	3.8	11.5	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			

(라) 비상대응 운영관리 프로그램 구축 결과 및 테스트

○ **유역 종합 정보** - 정수장이 취수하는 댐, 강 등 유역에 대해 모니터링 함 - 전체현황, 지점별 수질상태, 지점별 강우 현황, 지점별 수질 현황 등의 상세 데이터를 모니터링 할 수 있음 - 본 실증시설에서는 실제 데이터와는 인터페이스 할 수 없음	
○ **이상수질 모니터링** - 분산형 정수장에 공급되는 원수의 수질 상황을 모니터링 - 탁도, pH, 전기전도도, TOC, 조류 등의 항목을 실시간으로 모니터링 할 수 있음 - 각 수질별 이력 및 수질변화 추이를 그래프 및 아이콘으로 배치하여 직관적으로 모니터링 할 수 있음 - 수질 관련 알람(이벤트) 발생시 화면 하단에 표시하여, 비상시 손쉽게 대처 할 수 있도록 하였음	
○ **비상용수량 모니터링** - 정수를 위한 원수의 수질 상태 등에 따라 비상용수의 관리상태를 모니터링 하도록 구성하였음	
○ **공정성능 분석** - 각 정수처리 공정과 공정간의 수질(TOC) 변화 추이를 모니터링하고, 제거량 및 제거율 등을 표시	
○ **수질별 상관관계 분석** - 모니터링 되는 각 수질별 상관관계를 분포도로 조회하여, 이상상황에 적극적으로 대처 할 수 있도록 하였음 - 각종 비상대응 매뉴얼 작성을 위한 기초자료로 활용 가능	
○ **수질 이력** - 모니터링 되는 각 수질별 과거 이력을 차트로 조회 할 수 있게 하여, 이상상황 발생시 과거 데이터와 손쉽게 비교 하도록 하였음 - 비상대응 매뉴얼의 내용과 비교 검토할 수 있는 자료로 활용	
○ **기준정보 관리** - 각종 알람을 위한 한계값 설정을 할 수 있음 - 운영자 및 현장의 환경에 따라 별도로 관리하게 하여 운영의 편리성을 향상 함	

▪ 에너지관리 프로그램 개발 이후 단위테스트 점검 항목표를 작성하여 단위테스트를

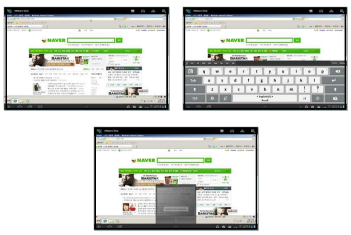
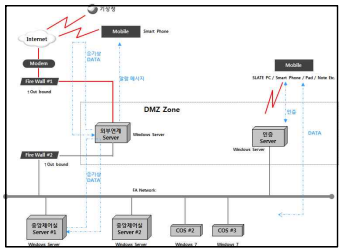
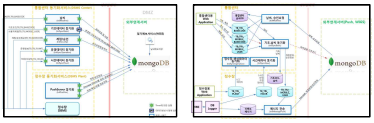
진행하였음

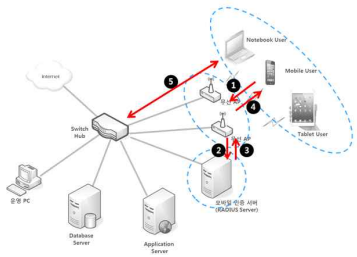
- 모든 기능들에 대해 26항목에 대해 테스트를 진행하여 전체 338개 테스트 항목에서 정상 334개, 오류 4개가 결과로 나왔음
- 오류율 산정결과 1.2%의 오류율로 나타났음 (오류율(%) = 오류수 / 전체테스트수 * 100)

단위테스트 항목				기능													테스트수		
분류	항목	테스트ID	테스트 내용	유역종합정보	이상수질모니터링	비상용수량모니터링	공정성능분석	수질별상관관계분석	수질이력	기준정보관리	정수장조회	공통코드조회	사용자조회	권한그룹조회	메뉴별권한조회	디비이스승인정보관리	정상	오류	오류율(%)
화면일반	UI 일반	UT-001	UI 설계 시 협의된 화면 구성과 동일한가? 예) 화면 Layout,입력필드, List, Button	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
	필드정렬	UT-002	화면의 각 필드가 제대로 정렬되어 있는가? 예)Text는 중앙 정렬, Description은 왼쪽 정렬, 단가, Usage, 금액은 오른쪽 정렬 , 테이블 컬럼명의 중앙 정렬 여부 확인	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
	일반Code	UT-003	각 필드별 데이터가 적절하게 나타나는가? 예) Code성 데이터를 나타내는 Combo Box에는 Code와 Description이 모두 포함되어 있는가?	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	11	2	15.4
	입력/수정 창	UT-004	입력/ 수정이 가능한 필드가 제대로 화면에 나타나는가? 불필요한 데이터가 나타나지 않는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
	숫자 필드	UT-005	숫자 필드 보여줄 때 Formatting이 지정된 대로 제대로 나타나는가?	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	12	1	7.7
	날짜 필드	UT-006	날짜 필드 값이 지정된 대로 제대로 나타나는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
화면 Navigation	Link	UT-007	화면에 나타난 Link 가 제대로 동작하는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
	Navigation	UT-008	Menu 및 Button을 통한 Navigation이 제대로 동작하는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
데이터 처리	Null입력	UT-009	Null 값을 입력 시 지정된 대로 데이터가 처리되는가? 예) Null 값 입력 시 DB에 Space나 0으로 입력한다.	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
	필수입력 필드	UT-010	필수 입력 필드에 대한 검사가 제대로 이루어지는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
	Form Validation	UT-011	최대, 최소 길이, 입력 값의 Type 검사가 제대로 이루어지는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
	채 번	UT-012	채번은 규칙에 따라 처리 됩니까?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
	Page 이동처리	UT-013	조회시 리스트의 Page 이동 기능이 정확히 동작하는가?, 검색조건 있을시 고려	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
	한글 데이터 처리	UT-014	한글 데이터 입력 시 DB 에 데이터가 제대로 입력되는가? 지정된 길이 보다 초과 입력 시 제대로 처리되는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
기능 수행	기본 기능	UT-015	UI 설계서 상에 정의된 처리 요건이 제대로 구현되어져 있는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
	조회	UT-016	현황 조회 시 조회조건에 맞는 데이터가 제대로 출력되는가? Next 조회 및 Page Navigation 기능이 제대로 구현되어져 있는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
	입력/수정 창	UT-017	여러 건을 연속적으로 입력해야 하는 요건인 경우 입력 수정 창이 제대로 구현되어져 있는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
	작업결과	UT-018	입력/ 수정 후에 결과가 제대로 반영되어 나타나는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
	Multi Row 처리	UT-019	Multi Row에 대한 입력/수정/삭제 처리가 제대로 이루어지는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
	데이터 처리	UT-020	지정된 Logic에 따라 데이터를 처리해야 하는 경우 해당하는 처리 로직이 제대로 수행되는가?	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	12	1	7.7
	Session Data 처리	UT-021	Session에 대한 데이터 처리가 제대로 이루어 지는가? 예) Login 후에 Session 정보 표시 여부 확인	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
메시지 처리	성공 처리	UT-022	작업이 성공적으로 이루어 졌을 때 성공 메세지가 제대로 나타나는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
	표준 준수	UT-023	메시지 종류별 멘트 및 표준을 준수하였습니까?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
	에러 처리	UT-024	작업 수행 시 에러 발생 했을 때 오류에 정확한 에러 메세지가 제대로 나타나는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
권한 처리	권한 검사	UT-025	프로그램 Type별로 권한을 제대로 확인하여 작업이 수행되도록 하는가? 사용자 Type별로 권한을 제대로 확인하여 작업이 수행되도록 하는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
표준 준수	표준 준수	UT-026	프로그램 지침, 화면 설계 지침, 명명 표준 등을 준수하였는가?	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	13	0	0.0
테스트수			정상	26	26	25	24	26	26	25	26	26	26	26	26	26			
			오류	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	334	4	1.2
			오류율(%)	0.0	0.0	3.8	7.7	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			

(2) 시스템 통합 설치

- 본 연구과제의 전산시스템의 서버는 가상화 기술을 이용하여 구축하였으며, 가상화 기술은 한 대의 서버를 이용하여 논리적으로 여러대의 서버로 구성하는 방법으로 하드웨어 기술의 발달로 새롭게 대두되는 기술임
- 가상화 기술을 도입하면, 보통 정수장에서 사용하는 서버를 7~10대 가량 도입하지만 가상화 기술은 2대 정도로 서버 10대 이상의 역할을 할 수 있어, 에너지 절감 및 운영실 공간 확보가 가능함

○ 시스템 통합설치 테스트 - 설비관리, 에너지관리, 비상대응시스템 프로그램을 테스트 서버에 설치함 - 서버는 Windows 기반 시스템으로 하였으며, IIS 웹서버를 이용하였음 - Database는 실제 적용되는 동일한 ORACLE 11g로 설치 하였음 - 테스트 완료 이후, 라이센스 정책 등의 이유로 초기화 함	
○ 모바일 환경 테스트 - 모바일 환경에서의 개발 프로그램에 접근 가능성에 대해 테스트를 진행 하였음 - Galaxy Tab과 iPad를 통해 테스트가 진행 되었으며, 동일한 결과를 얻었음 - 터치패드 없이 화면 터치로 마우스를 대체 할 수 있으며, 화면 확대 및 축소가 가능하였음	
○ 네트워크 보안성 검토 - 정수장의 특성상 외부로부터의 통신을 이용한 침입에 대비 하여야 함 - 네트워크 보안에 대한 계획을 바탕으로 주관기관인 K-Water 정보보안 담당부서 및 국정원에 보안성 검토를 의뢰하여, 실증시설에 한하여 최소한의 구성으로 운영할 수 있도록 확인 함 - 청주 정수장의 네크워크와는 차단된 별도의 네트워크망을 사용하도록 하였음	
○ 데이터 동기화 - 여러 시설의 분산형 정수장과 통합센터간의 데이터 동기화 방법과 각 정수장 및 통합센터에서 모바일 장비와의 데이터 동기화 방법에 대한 아키텍처를 수립하고 관련 프로그램을 개발 함 - 외부 연계서버는 mongoDB 어플리케이션을 사용하여 대용량 데이터 처리에 유연하게 하였음	

○ **모바일 메시지 관리** - 정수장을 운영하면서 발생되는 이상 알람에 대해 통합 관리할 수 있는 스마트폰 전용 앱(프로그램) 구축 - 기존 방식은 메시지 발송에 대한 비용이 1건에 15원~30원 정도가 소요되어 운영비용 상승의 원인이 된다. 이러한 비용 상승을 해결하고자 스마트폰 전용 앱(프로그램)을 만들어 사용하도록 구성하였음	
○ **모바일 인증서버 구성** - 모바일 장비를 이용해 정수장 내부를 이동하면서 무선환경이 끊임없이 업무를 지속할 수 있어야 함 - RADIUS방식 인증을 통해 무선 AP간의 자동 연결 절체가 가능한 구조로 구성하였으며, 무선 네트워크의 사용 인증도 단일 관리체계로 유지 할 수 있어 안정성 및 효율성이 뛰어남	

(3) 웹 보안성 점검

- 한국인터넷진흥원(KISA)의 2010년 1월 안내서의 웹서버 구축 보안점검 체크표를 기준으로 체크 실시 함
- 실증시설 설치 후 체크할 수 있는 항목을 포함하여, 전체 61개 항목에 대해 체크한 결과 모두 정상으로 결과 나옴

▌표 2.352 보안점검 체크표 및 결과▐

구분	연번	점검항목	O	X	비고
호스트OS 보안 점검항목	1	OS에 대한 최신 패치를 적용하였는가?	O		완료(인터넷 연결 가능서버)
	2	OS 취약점 점검을 실시하였는가?	O		완료
	3	웹 서버 전용 호스트로 구성하였는가?	O		완료
	4	서버에 대한 접근 제어설정을 하였는가?	O		완료(방화벽 구성)
	5	서버가 DMZ 영역에 위치하는가?	O		완료(DMZ 또는 폐쇄망)
	6	관리자 계정은 8자 이상(특수문자 사용) 패스워드를 사용하는가?	O		완료(현재 10자리로 관리)
	7	관리자 계정의 패스워드를 주기적으로 변경하는가?	O		완료
	8	파일 접근권한을 설정하였는가?	O		완료(기본, 완전통제)
웹서버설치 보안 점검항목	1	소스코드 형태의 배포본으로 설치하였는가?	O		완료
	2	설치 시 네트워크 접속 차단을 하였는가?	O		완료
	3	웹 프로세스의 권한 제한을 설정하였는가?	O		완료

구분	연번	점검항목	O	X	비고
	4	로그 파일 보호설정을 하였는가?	O		완료
	5	웹 서비스 영역을 분리하였는가?	O		완료 (서버분리)
	6	서버의 다른 디렉토리로의 심볼릭 링크를 제거하였는가?	O		완료
	7	디렉토리 리스팅 기능을 사용중지 하였는가?	O		완료
	8	기본 문서(index 파일) 설정을 하였는가?	O		완료
	9	샘플 파일, 메뉴얼 파일, 임시 파일을 제거하였는가?	O		완료
	10	웹 서버에 대한 불필요한 정보 노출을 방지하였는가?	O		완료
	11	불필요한 파일의 업로드를 제한하였는가?	O		완료 (100MB 제한)
	12	웹 서버에서 인증과 접근제어 기능을 사용하였는가?	O		완료
	13	패스워드 설정 정책은 수립하여 운영하였는가?	O		완료
	14	동적 컨텐츠 실행에 대한 보안 대책은 수립하였는가?	O		완료
	15	웹 서버 설치 후 패치를 수행하였는가?	O		완료
	16	설정 파일을 백업하였는가?	O		완료
	17	SSL/TLS을 사용하였는가?	O		해당 없음
네트워크 취약점 점검항목	1	네트워크 장비의 원격 접근 제한 설정을 하였는가?	O		완료
	2	SNMP 기능을 사용하였는가?	O		완료
	3-1	네트워크장비의 디폴트 아이디/패스워드 사용금지 -community문자열을재설정하였는가?	O		완료
	3-2	- SNMP 암호화 기능을 사용하였는가?	O		완료
	4	네트워크 장비의 디폴트 아이디/패스워드를 변경하였는가?	O		완료
	5	네트워크 장비의 불필요한 서비스를 중단하였는가?	O		완료
	6	설정을 통해 장비의 로그인 시간을 제한하였는가?	O		해당 없음
	7	네트워크 장비의 로그를 관리하고 있는가?	O		완료
DB취약점 점검항목 (ORACLE)	1	Oracle 설치 시 최소 설치를 하였는가?	O		완료 (자동증가 처리)
	2	디폴트 아이디의 사용제한 또는 패스워드를 변경하였는가?	O		완료
	3	Data Dictionary 보호를 위해 파라미터 내용을 수정하였는가?	O		완료
	4	사용자에게 최소한의 권한만을 부여하였는가?	O		완료
	5	클라이언트 인증을 통한 원격인증을 제한하였는가?	O		완료
	6	DB 시스템의 사용자 수를 제한하였는가?	O		완료
	7	원격에서의 오라클 리스너 설정변경을	O		완료

구분	연번	점검항목	O	X	비고
		제한하였는가?			
	8	원격접속을 허용할 IP 대역을 설정하였는가?	O		완료
	9	DB 서버에서 불필요한 서비스를 제거하였는가?	O		완료
	10	Oracle의 취신 보안패치를 설치하였는가?	O		해당 없음
	11	DB 서버의 최신 보안패치를 설치하였는가?	O		해당 없음 (인터넷 연결 불가능)
웹 어플리케이션 보안점검항목 (SQLInjection)	1	로그인 폼에 대해 점검하였는가?	O		완료
	2	게시판 글 조회 란에 대해 점검하였는가?	O		완료
	3	게시판 URL 조작에 대해 점검하였는가?	O		완료
	4	회원가입 페이지 ID 조회 란에 대해 점검하였는가?	O		완료
	5	우편번호 조회 란에 대해 점검하였는가?	O		해당 없음
웹어플리케이션 보안점검항목(XSS)	1	게시판의 입력란 (제목, 작성자, 메일주소, 글 입력란)에 대해 점검 하였는가?	O		완료
	2	홈페이지의 조회 란에 대해 점검하였는가?	O		완료
	3	홈페이지 URL 조작에 대해 점검하였는가?	O		완료
웹 어플리케이션 보안점검 항목 (파일 업로드)	1	게시판에 업로드 되는 파일의 확장자를 체크하는가?	O		완료
	2	변경된 첨부파일의 확장자를 인식할 수 있는가?	O		완료
웹 어플리케이션 보안점검 항목 (쿠키 변조)	1	쿠키 내의 id 값을 변경 시 인식할 수 있는가?	O		완료
	2	쿠키 내의 코드 값 변경 시 인식할 수 있는가?	O		완료
웹 어플리케이션 보안점검 항목 (다운로드 취약점)	1	다운로드 URL에 대한 유효성 여부를 체크하였는가?	O		완료
	2	웹 서버에서 다운로드 가능한 확장자를 등록하였는가?	O		완료
	3	디렉토리 리스팅이 발생하지 않도록 설정하였는가?	O		완료
웹 패키지 S/W 관리	1	사용 중인 웹 패키지 S/W를 파악하고 있는가?	O		완료
	2	주기적인 취약점 및 패치를 실시하고 있는가?	O		완료

참조: 방송통신위원회 / 한국인터넷진흥원(KISA) 2010년 1월 안내서 기준

(4) 사용자 매뉴얼 제작

- 사용자가 본 시스템을 사용하기 위한 방법을 상세하게 설명하여, 운영시 사용할 수 있도록 그림과 설명을 적절히 삽입하여 매뉴얼을 제작하였음
- 실제 책(제본)은 연구과제가 최종 완료된 이후, 타 업무의 사용자 매뉴얼과 합본하여 제작

(5) Cloud computing system 효율평가

▌운영관리시스템의 효율성 제고를 위해 도입한 cloud computing system의 적용효과를 분석, 현장에 cloud computing system이 설치되어 있기 때문에, 직접적인 비교가 불가하여, 통상적으로 설계되는 운영관리시스템과 비교하여 분석

▪ 기존 설계방식(가상화 無 조건)에서의 전기를 소비하는 서버 H/W 기준으로 나열

▌표 2.353 기존 통합운영시스템 설비 현황▐

번호	용도	설치 OS	규격	수량	비고
1	모바일 서버	Windows 2008 R2	- CPU: 2vCPU - 메모리: 4GB - HDD: 200GB	1	550W
2	통합센터 Web	Windows 2008 R2	- CPU: 8vCPU - 메모리: 12GB - HDD: 500GB	2	1100W
3	통합센터 DB	Windows 2008 R2	- CPU: 8vCPU - 메모리: 16GB - HDD: 600GB	2	1100W
4	통합센터 SCADA	Windows 2008 R2	- CPU: 4vCPU - 메모리: 6GB - HDD: 300GB	2	1100W
5	통합센터 SCADA Web	Windows 2008 R2	- CPU: 4vCPU - 메모리: 8GB - HDD: 100GB	1	550W
6	정수장 Web	Windows 2008 R2	- CPU: 8vCPU - 메모리: 12GB - HDD: 500GB	2	1100W
7	정수장 DB	Windows 2008 R2	- CPU: 8vCPU - 메모리: 16GB - HDD: 600GB	2	1100W
8	정수장 SCADA	Windows 2008 R2	- CPU: 4vCPU - 메모리: 6GB - HDD: 300GB	2	1100W
9	정수장 SCADA Web	Windows 2008 R2	- CPU: 4vCPU - 메모리: 8GB - HDD: 100GB	1	550W
10	백업서버	Windows 2008 R2	- CPU: 2vCPU - 메모리: 4GB - HDD: 100GB	1	550W
계				16	8800W

▪ 연구를 위한 실증에 설치된 실제 전기를 소비하는 서버 H/W 기준으로 나열

▌표 2.354 실증시설 통합운영시스템 설비 현황▐

용도	모델명	규격	수량	비고
가상화 서버	IBM System x3650 M4	- CPU: 6C 2.0GHz Intel Xeon 2EA - 메모리: 24DIMMs 96GB - HDD: 2.5" SATA 1TB 2EA - Power: 2x 550W	4	2200W
백업 서버	IBM System x3650 M4	- CPU: 4C 2.4GHz Intel Xeon 1EA - 메모리: 24DIMMs 16GB - HDD: 2.5" SATA 1TB 2EA - Power: 2x 550W	1	550W
계			5	2750W

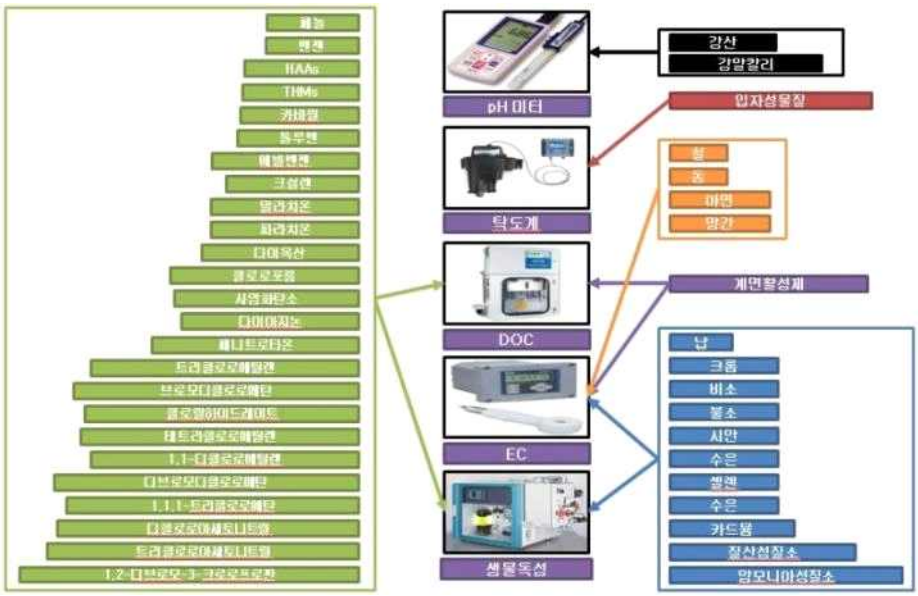
▌표 2.355 에너지 효율화 추정내역▐

효율화 이전			효율화(가상화) 이후		
용량 (kW)	운영시간 (hr/day)	연간전력량 (kWh)	유효전력 (kW)	운영시간 (hr/day)	연간전력량 (kWh)
8.8	24	77,088	2.75	24	24,090
비고	**H/W 16대 → 5대 (약 70 % 축소), 연간전력량 약 70% 감소**				

마. 유입수 수질모니터링 및 비상대응 타당성

(1) 계측기 선정

▌**국내 55개 수질 검사 항목에 포함되는 물질들을 그 특성에 따라 6가지로 구분하여 종류에 따른 계측기 감지 가능 항목을 다음과 같이 나타냄**



▌그림 2.598 유입 원수 주요 감시대상 물질에 대한 수질 계측 항목▐

- 위의 그림과 같이 생물 독성 감시 장치를 포함한 수질 자동 분석 장치의 설치와, 실시간 모니터링 결과를 바탕으로 유입 원수에 대한 독성과 비독성 판단, 이온성 유기물과 비이온성 유기물 또한 무기물 등과 같은 유입 물질의 대략적인 특성파악 및 후속공정의 대응조치가 가능한 시스템 구축이 가능할 것임

▌**따라서 분산형 용수공급시스템의 원수 수질 모니터링을 위해서는 다음과 같이 pH, 탁도, 용존유기탄소, 전기전도도, 생물 독성 감시 장치와 함께 적절한 공정 운영을 위한 수온 계측기의 설치가 요구됨. 다만, 현재 국내외에서 적용되는 온라인 생물독성 측정장치에 대한 신뢰도가 부족한 상태로 기본개념에는 생물독성 장치를 포함하되, 3차년도의 실증 시설에는 미설치 하며, 신뢰도가 확보되는 시점에서 적용을 평가하는 것으로 계획**

- **pH 미터)** pH의 모니터링을 통한 막여과 성능 및 세정주기에 영향을 미치는 조류의 이상 번식을 예측, 산업폐수 유입에 의한 갑작스런 pH 변화 감시
- **탁도)** 기본 수질 감시 항목, 주처리 공정인 막여과 공정에서 정상운전, 비상운전 등의 여부를 판단하는 주요 항목

- **용존유기탄소(DOC))** 용존 유기 탄소의 검출, 원수내 유기물량을 측정할 수 있는 지표로써 원수내 대부분의 입자성 물질은 막여과 공정에서 제거되며 유기물의 제거는 후속공정인 오존, 활성탄 공정에 의존하기 때문에 총유기탄소 (TOC)보다는 용존유기탄소(DOC)의 감시가 보다 효과적
- **전기전도도(EC))** 전기전도도의 측정을 통해서 원수내의 무기물 또는 이온성 유기물량의 변화를 감지, 또한 중금속 및 기타 독성물질의 유입을 감시하기 위해 필요함

(2) 수질계측 결과 대응방안

▌**원수 유입 모니터링을 위해 선정된 2가지 계측기를 통하여 대상원수의 pH, 탁도, 용존유기탄소, 전기전도도 등 실시간 감시가능.**

- 감시결과를 이용하여 데이터베이스를 구축, 아래와 같이 원수 유입물질을 독성, 비독성, 이온성 유기물, 비이온성 유기물, 무기물로의 분류가 가능하며 그 성상에 따른 적정한 대응이 가능함

▌그림 2.599 수질감시 장치를 통한 원수성상 분석 ▌

▌**원수 독성 판단)** 분산형 용수공급시스템으로 유입되는 원수에 대해서는 1차적으로 생물모니터링 장치를 통하여 원수의 독성물질 유입여부를 감시함. 독성이 감지되면 신속히 대상원수에 대한 샘플링, 정량 및 정성분석이 요구된다. 분석결과를 토대로 오염물질에 대한 용수공급시스템의 처리능력을 평가하여 취수정지, 비상운전 또는 정상운전을 결정함(실증플랜트 미설치, 향후 추가연구 필요)

▌**원수 유입 물질에 따른 대응)** 독성물질 유입 모니터링 결과 용수공급시스템의 정

상운전 또는 비상운전이 가능하다고 판단되면 유입 물질의 성상에 따른 적절한 공정 운영이 필요함

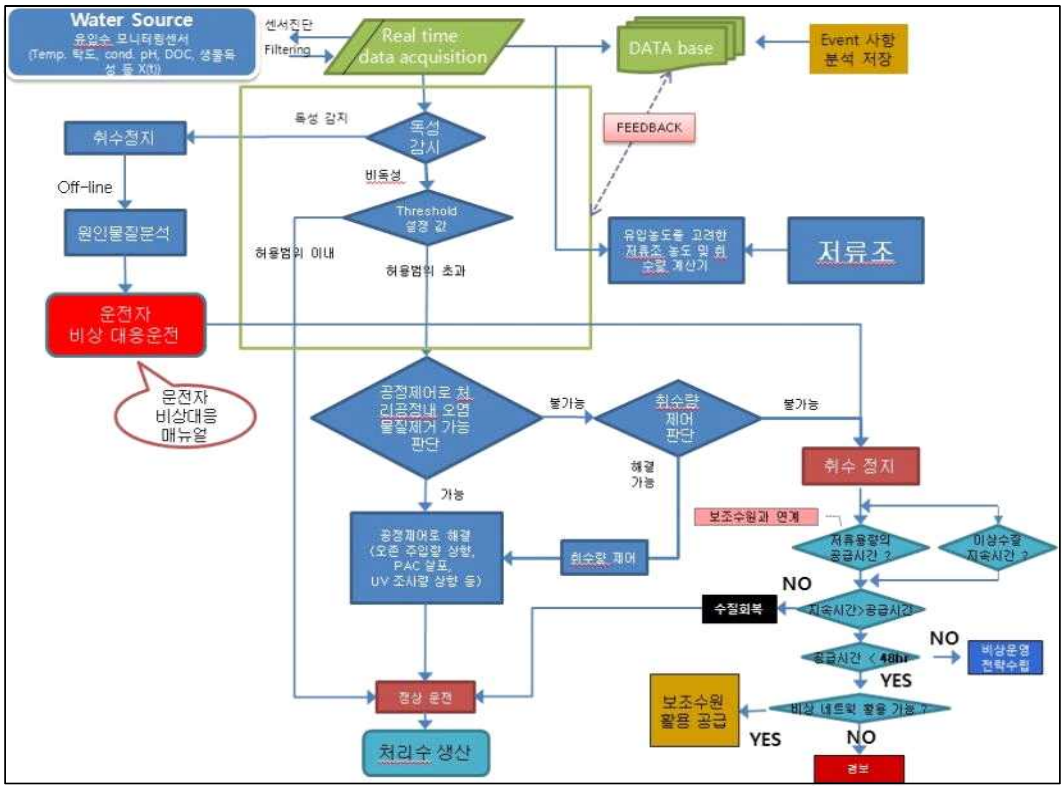
- 첫째 : 막여과 전단에 저류조를 확보함으로서 해당원수의 부분취수 및 저류조에서의 희석을 통한 유입수 농도 저감
- 둘째 : 막여과-오존-활성탄-UV살균의 연속공정에서의 각 공정의 운영방법의 단위조작을 통하여 제거효율 향상을 기대할 수 있음

▌**탁도 모니터링)** 분산형 용수공급시스템의 주처리 공정인 막여과공정의 주요제거대상이 원수 내 입자성 물질이기 때문에 유입원수의 탁도는 막여과 처리수의 생산량, 막오염 속도를 결정하는 주요 인자임. 따라서 대상 막에 대한 유입원수의 정상운전, 비상운전, 운전 불가능한 탁도 범위를 인지하여 지속적인 탁도 모니터링을 통한 적절한 운전대응 방안이 필요함. 특히 탁도의 증가로 정상운전이 불가능할 경우, 원수 취수량 제어를 통한 저류조에서의 탁도 저감, 막여과 Flux 제어, 역세주기 변경을 통한 막오염 속도를 늦출 수 있는 적절한 대응이 이루어져야 함

(3) 비상대응 알고리즘

▌**선정된 수질계측기 설비를 포함한 유입수 모니터링과 비상대응 절차 수립**

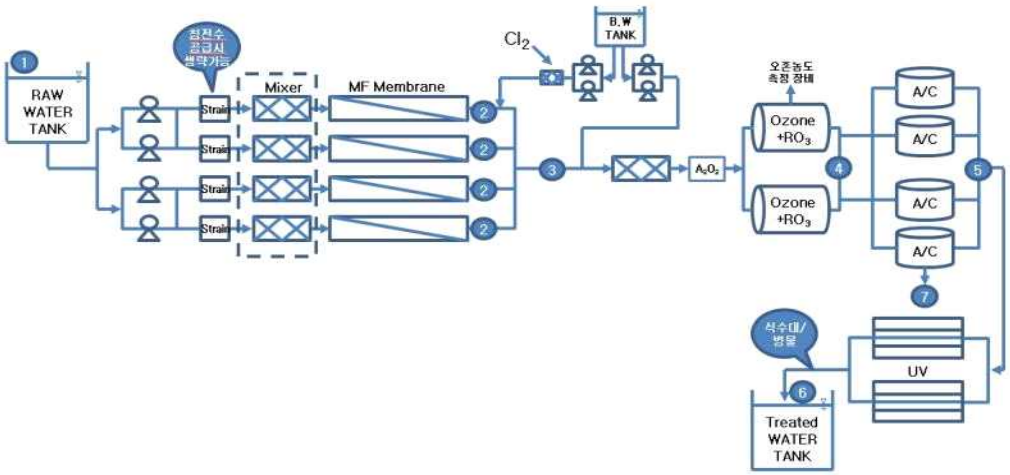
- 착수정으로 유입되는 대상원수에 대한 실시간 수질 모니터링단계에서 독성오염물질에 대한 감시가 함께 이루어져 독성물질이 존재하지 않을 경우 자동화된 절차에 따라 운전대응이 이루어짐
- 반면, 독성이 감지되었을 경우 취수정지 후 원인 물질 분석 및 대응이 운전자 비상 대응 매뉴얼의 절차에 따라 진행됨



▌그림 2.600 비상대응 알고리즘▐

(4) 단위공정별 계측기 위치 선정

▌ 청주정수장에 설치되는 실증시설은 막여과-오존산화-활성탄흡착-UV살균의 공정으로 구성되며 수질이상 모니터링 및 비상대응체제에 부합되도록 각 공정에 필요한 센서들을 아래와 같이 선정하였음



▌그림 2.601 실증시설 단위공정 배치▐

▌표 2.356 단위공정별 계측기 위치선정 ▐

	계측기 위치	온라인 계측 항목
1	착수정	탁도, TOC, pH, EC
2	막여과 공정 후단 (계열별)	탁도
3	막여과 공정 후단 (통합)	TOC
4	오존주입공정 후단	TOC, 잔류오존측정기
5	활성탄공정 후단	TOC
6	생산수	탁도, TOC
7	활성탄 역세척수	탁도

(5) 오염물질별 수질계측항목 민감도 분석

▌ 원수에 유입되는 오염물질의 농도에 따른 영향을 알아보기 위해 오염물질을 단계적으로 희석하여 pH, E.C, TOC에 관해 분석하였음.

- 오염물질은 무기산 3종, 유기산 1종, 중금속 2종, 유기물 1종으로 총 7가지 물질에 대해 pH, E.C(Electric Conductivity)를 분석하였으며, 탄소를 포함하고 있는 시료인 유기산과 유기물은 TOC를 추가적으로 분석

▌표 2.357 수질오염물질 분석 실험 조건 ▐

분 류	항 목	기준농도	희석배수
무기산	염산, 질산, 황산	1N	1, 2, 10, 20, 100, 200, 1000, 2000
유기산	아세트산	0.0001N	10000, 20000, 40000, 80000, 100000
중금속	망간, 크롬	100ppm	1, 2, 10, 20, 100, 200, 1000, 2000
유기물	페놀	0.0001N	10000, 20000, 40000, 80000, 100000

- 오염물질은 산 3종, 유기산 1종, 중금속 2종, 유기물 1종으로 총 7가지의 농도별상관도 결과는 다음과 같음.

▌표 2.358 산 농도별 희석실험결과 ▐

N	희석 배수	HCl		HNO_3		H_2SO_4	
		pH	E.C(mS/cm)	pH	E.C(mS/cm)	pH	E.C(mS/cm)
1	1	0.47	327.00	0.63	332.00	0.70	213.30
0.5	2	0.67	178.50	0.78	181.20	0.86	111.40
0.1	10	1.29	38.70	1.41	39.30	1.33	25.15
0.05	20	1.55	20.16	1.60	20.18	1.54	13.73
0.01	100	2.15	4.08	2.14	4.22	2.06	3.38
0.005	200	2.50	2.13	2.39	0.21	2.56	1.93
0.001	1000	3.08	0.430	2.84	0.431	2.95	0.420
0.0005	2000	3.35	0.215	3.22	0.215	3.23	0.214

▌표 2.359 유기산 농도별 희석실험 결과▐

N	희석배수	CH_3COOH (아세트산)		
		pH	E.C (μs/cm)	TOC (mg/L)
0.0001	10000	4.54	13.93	2.439
0.00005	20000	4.70	9.11	1.339
0.000025	40000	4.95	5.54	0.725
0.0000125	80000	5.20	3.49	0.409
0.00001	100000	5.24	3.13	0.387

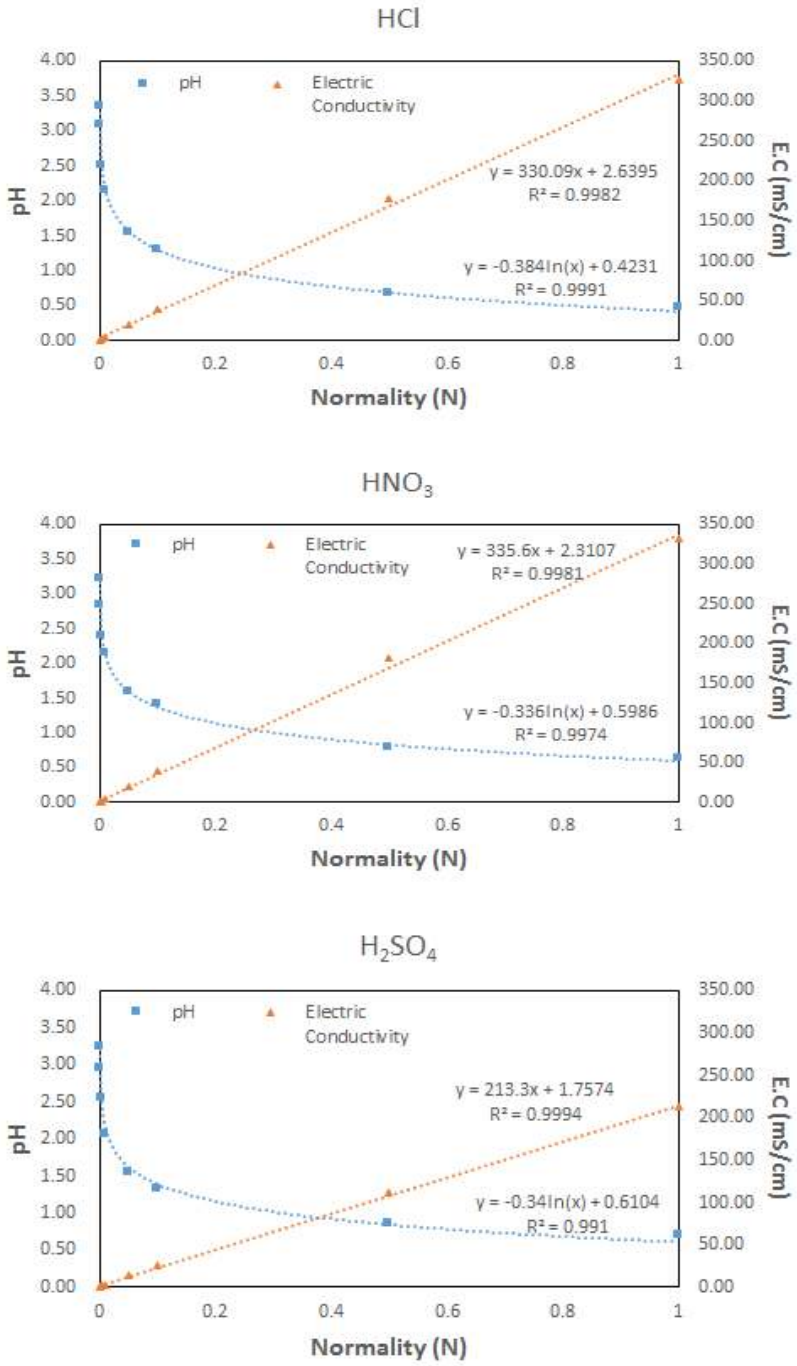
▌표 2.360 중금속 농도별 희석실험결과▐

ppm	희석배수	Mn		Cr	
		pH	E.C (mS/cm)	pH	E.C (mS/cm)
100	1	2.09	4.76	1.54	16.69
50	2	2.37	2.32	1.79	8.35
10	10	3.04	0.48	2.41	1.76
5	20	3.34	0.24	2.72	0.88
1	100	4.05	0.05	3.41	0.18
0.5	200	4.36	0.03	3.73	0.09
0.1	1000	4.48	0.02	4.41	0.02
0.05	2000	4.62	0.01	4.65	0.01

▌표 2.361 유기물질 농도별 희석실험결과▐

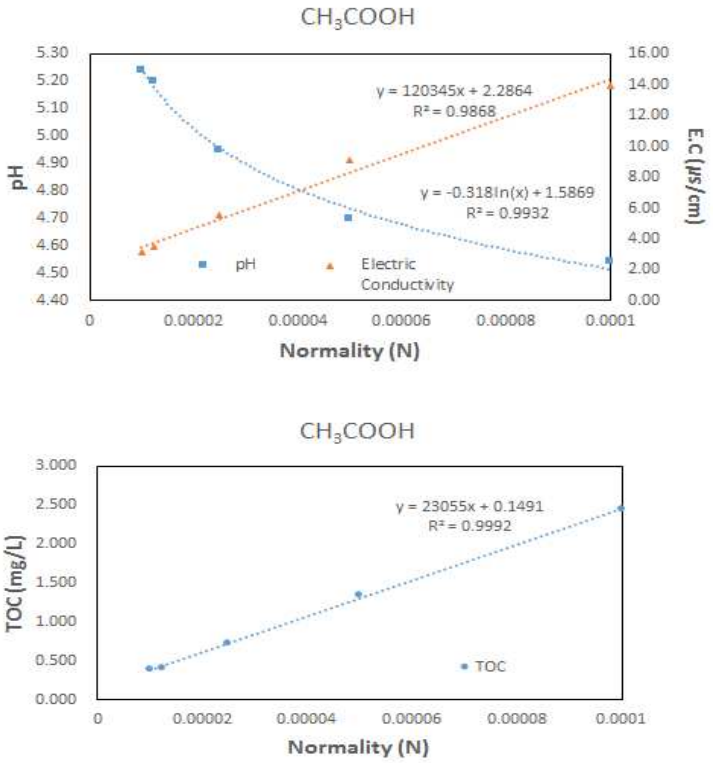
N	희석배수	C_6H_5OH (페놀)		
		pH	E.C (μs/cm)	TOC (mg/L)
0.0001	10000	7.39	0.71	3.619
0.00005	20000	7.03	0.66	2.006
0.000025	40000	6.74	0.62	1.207
0.0000125	80000	6.50	0.56	0.698
0.000001	100000	6.25	0.54	0.675

- **이온성 무기물질**의 예로 염산, 질산 및 황산 등 공장에서 사고로 배출될 수 물질에 대해 검토하였으며, 모두 이온성이기 때문에 전기전도도에는 매우 양호한 직선의 상관관계를 보였으나, pH에는 log의 상관관계를 보였음

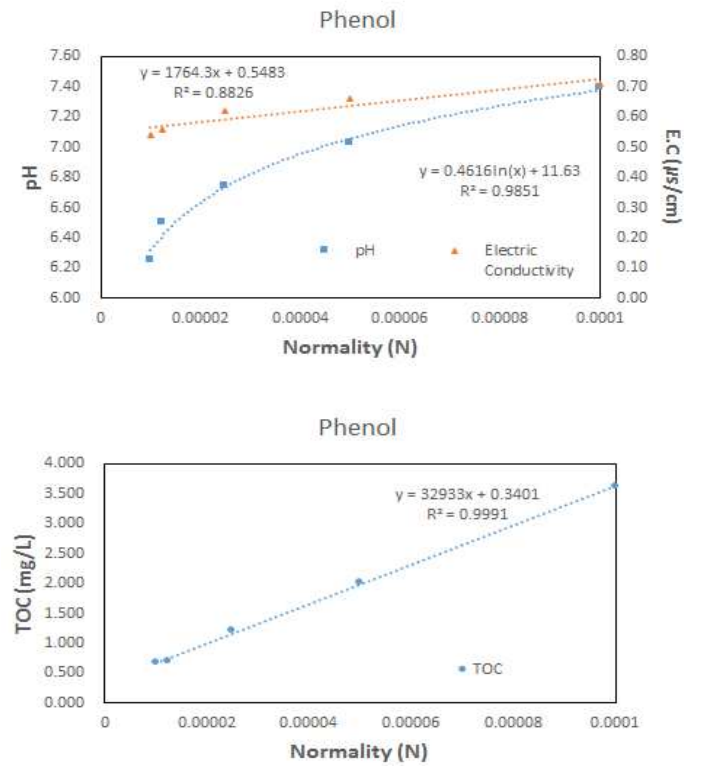


▌그림 2.602 무기산 물질의 농도별 pH 및 E.C ▐

- **유기물질**의 예로 이온성인 아세트산과 비 이온성인 페놀을 검토하였으며, 모두 TOC에 대해서는 매우 양호한 상관관계를 보였으나, 전기전도도에 대해서는 이온성인 아세트산은 양호한 반면, 비이온성인 페놀은 큰 차이를 나타내지 않았음.

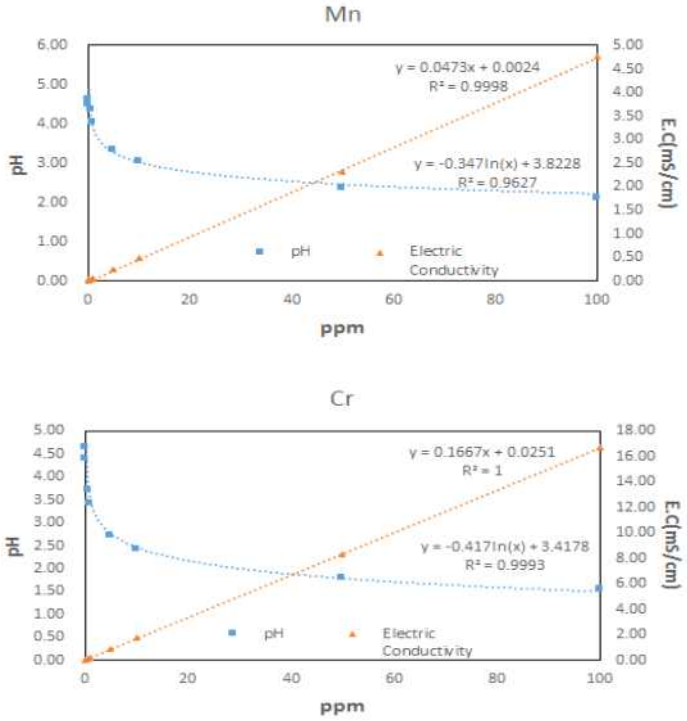


▌그림 2.603 유기산(아세트산) 농도별 pH, E.C, TOC ▐



▌그림 2.604 유기물(페놀) 농도별 pH, E.C, TOC ▐

▪ **중금속**의 예로 망간과 크롬을 검토하였으며, 모두 전기전도도에 대해서는 양호한 직선의 상관관계를 보였음



▌그림 2.605 중금속 물질의 농도별 pH, E.C ▐

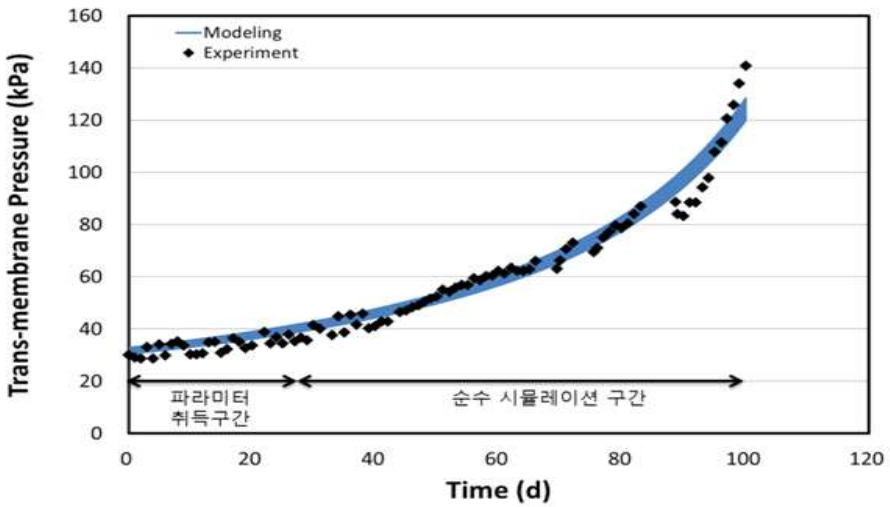
▌ **결과적으로, 다양한 화학약품의 상수원 수질사고로 인한 정수장 유입을 원천적으로 차단할 수 있는 인자로서 pH, 전기전도도, TOC, 탁도 등은 적용가능성이 있는 것으로 판단되며, 설치의 필요성이 있다. 다만, 오염원의 발생이 다양한 오염물질이 복합적으로 발생하게 되는 특성을 통상 지닐 수 있기 때문에 이에 대해서는 장기적으로 추가적인 연구가 많이 필요할 것으로 판단됨.**

바. 분산형 정수처리시스템의 유량변동 대응기술 개발

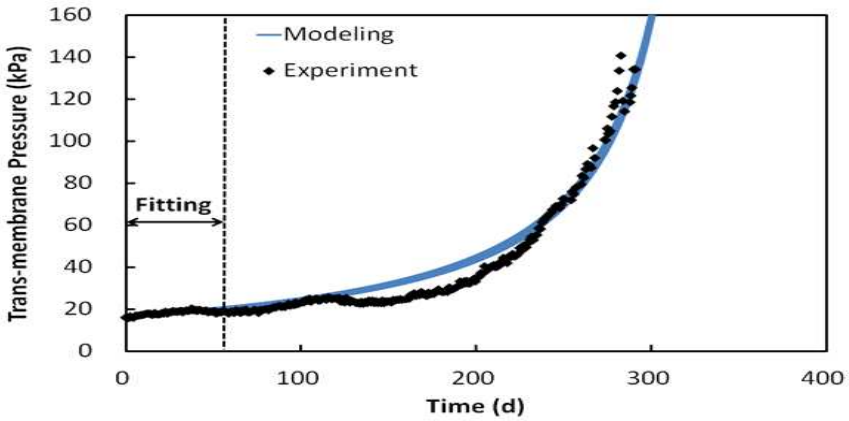
(1) 정유량 파울링 모델 알고리즘 검증

▌다른 현장 데이터를 이용하여 2차년도 알고리즘 minor update 및 추가검증

- 현장 데이터의 0~60일 사이의 자료를 통해 파라미터를 재설정 하였으며, 이후 구간 부터는 실제 운영데이터와 시뮬레이션 결과를 검증하는데 사용(<그림> 시뮬레이션과 실제 운영 데이터 비교(2차년도), <그림> 시뮬레이션과 실제 운영 데이터 비교(3차년도) 참조)
- 2차년도 시뮬레이션에 비해 장기 데이터를 이용하여 검증. 검증초기(60~120일 사이)에는 높은 정확도를 보였으며, 120~240일 사이에는 현장 데이터에 비해 시뮬레이션 결과가 과대평가 되었으나, 240일 이후 큰 차이를 보이지 않음
- 2차년도 시뮬레이션 검증 결과와 동일하게 막여과 공정의 운전 초기에 파울링 특성을 나타내는 파라미터를 얻어내면, 향후 운전 결과를 상당한 정확도로 예측할 수 있음



▌그림 2.606 시뮬레이션과 실제 운영 데이터 비교(2차년도)▐



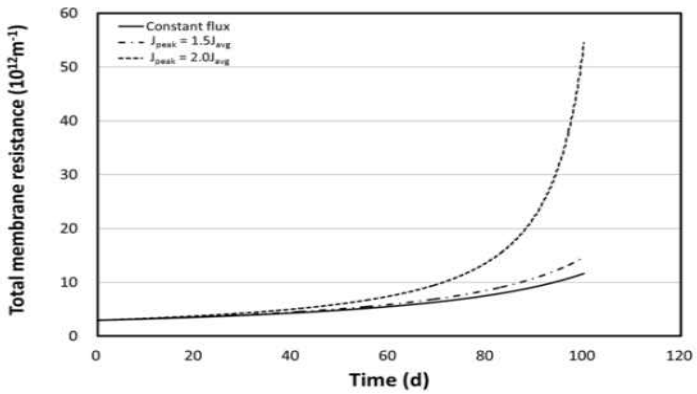
▌그림 2.607 시뮬레이션과 실제 운영 데이터 비교(3차년도)▐

(2) 막여과 공정의 유량변동 최대범위 도출

▌ 업데이트 된 3차년도 알고리즘 이용하여 적용 가능한 최대 플럭스 범위 및 가능한 플럭스 변동 횟수를 확인하기 위한 시뮬레이션을 실시

(가) 최대 플럭스 범위

- 고정플럭스는 1.0 m/day 이며, 최대 플럭스를 평균 플럭스의 1.5배, 2.0 배로 시뮬레이션 실시

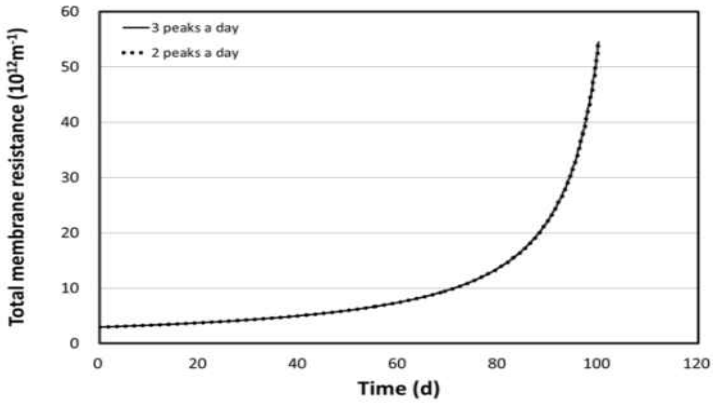


▌그림 2.608 최대 플럭스에 따른 막 저항 값▐

- 최대 플럭스가 평균 플럭스의 1.5배 이상이 되는 경우 파울링 발생 정도가 커짐 따라서 최대 플럭스는 평균 플럭스의 1.5배 이하로 감소시켜 파울링 발생 정도를 줄이는 전략 필요

(나) 플럭스 변동 횟수

▌ **플럭스 변동 횟수 차이의 영향을 알아보기 위해 1일 2회, 3회의 플럭스 변동에 따른 시뮬레이션 실시한 결과, 평균 플럭스가 동일하다면 플럭스 변동 빈도는 파울링에 큰 영향을 주지 않음**



▌그림 2.609 유량변동 빈도에 따른 막저항 값▐

(3) 연구단 실증시설의 유량변동 가능범위 도출

(가) 실험 개요

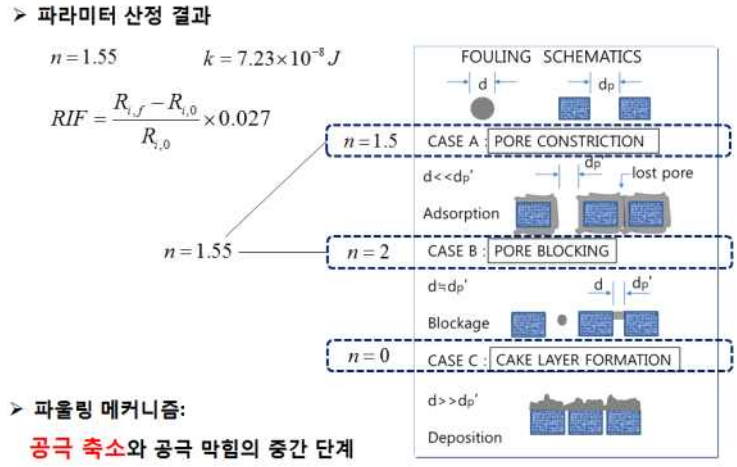
▌ **부산지역 상수원수와 실증시설의 원수(침전수)와 실증시설에 사용되는 막과 동일한 제품을 사용하여 Lab-scale 실험을 실시하여 실증시설에 적합한 파라미터(n,k,RIF) 도출**

(나) 실험장치 개요

▌그림 2.610 Lab-scale 막여과 실험장치 개요▐

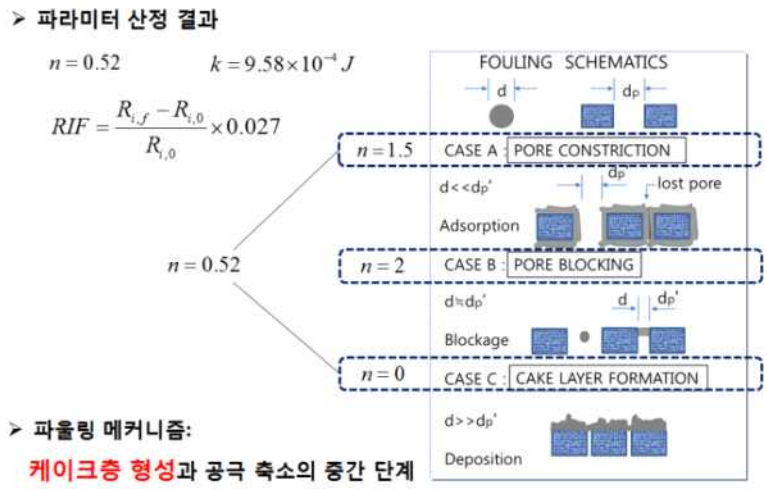
(다) 실험결과

- 부산지역 상수원수의 파라미터 산정 결과 n=1.55로 공극 축소와 공극 막힘의 중간 단계이며 공극 축소에 가까운 파울링 메카니즘을 보임



▌그림 2.611 파라미터 산정결과(부산지역 상수원수)▐

- 실증시설 원수(청주정수장 침전수)의 파라미터 산정 결과 n=0.52로 케이크층 형성과 공극 축소의 중간 단계이며, 케이크층 형성에 가까운 파울링 메카니즘을 보임



▌그림 2.612 파라미터 산정결과(실증시설 원수)▐

▌ 실험에 이용된 원수 수질 및 파울링 메카니즘을 종합적으로 비교하면, 실증시설 원수의 경우 부산 원수와는 달리 응집, 침전 등의 과정을 거쳐서 수질이 양호하기에

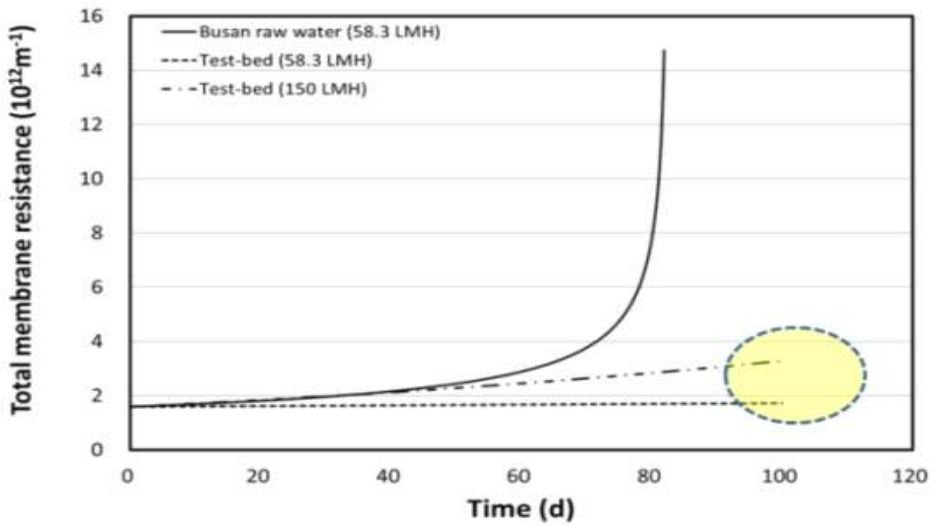
공극 축소 및 막힘과 같은 심각한 파울링 발생 가능성 낮음

▌표 2.362 실험에 이용된 원수 수질 및 파울링 메카니즘 비교▐

부산지역 상수원수	VS.	실증시설 원수 (청주정수장 침전수)
1.40 – 1.49	탁도 (NTU)	0.26 – 0.46
0.046	UV_{254} (cm^{-1})	0.026
1.55	n 값	0.52
공극 축소와 공극 막힘의 중간 단계	파울링 메카니즘	케이크층 형성과 공극 축소의 중간 단계

(라) 연구단 실증시설의 설계 플럭스의 적절성 평가

- 연구단 실증시설의 운전유량은 58.3 LMH, 회수율은 91.9 % 이며, 이 설계 플럭스가 적절한지에 대해 시뮬레이션 실시

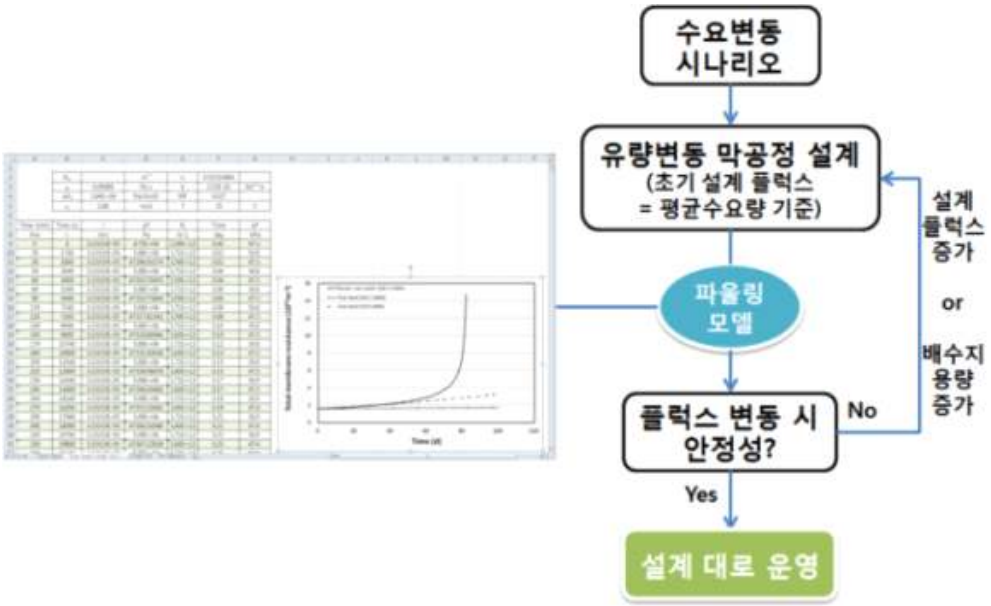


▌그림 2.613 시뮬레이션 결과▐

- RIF(비가역적 파울링 지수)의 경우, 파일럿 테스트 실험결과가 필요. 위 시뮬레이션 결과는 K-water의 타 파일럿 플랜트의 운전결과로부터 도출한 0.027을 사용하여 얻음
- **설계 플럭스를 58.3 LMH로 사용했을 때 파울링 위협이 거의 없고, 플럭스를 150 LMH로 운전하여도 심각한 파울링이 발생하지 않는다(100일 운전 기준)는 결론을 얻음**

(4) 정수처리시스템 유량변동 범위를 고려한 분산형 용수공급시스템 운영 알고리즘(방법론) 개발

▌ **유량변동 범위를 고려한 분산형 용수공급 시스템 최적운영 알고리즘 구축 완료하여 향후, 수직형 정수처리플랜트 막여과설비의 유량변동에 대한 안정성 확보**



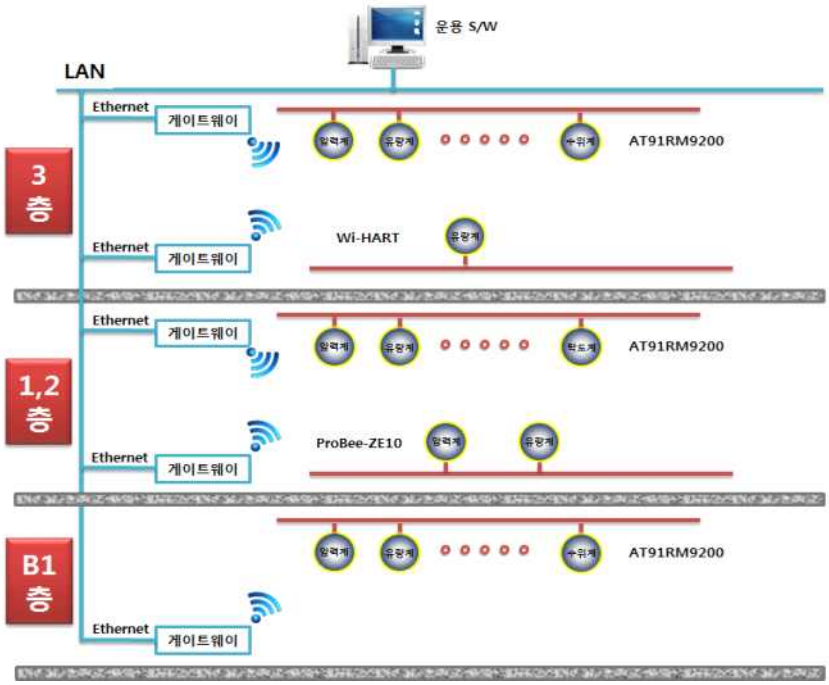
▌그림 2.614 분산형 용수공급 시스템 최적운영 알고리즘▐

사. USN 설비

(1) 현장설치

▌수직형 정수처리 플랜트의 상태 데이터들은 근거리 취득을 목적으로 함.

- 정수장 데이터 송수신에 적합하고 저용량, 근거리에 적합하며 저비용으로 추가 장비에 대한 설치가 용이한 2.4GHz 대역의 지그비 방식과 Wireless-HART 방식의 무선통신 방법 적용
- 수직형 정수처리 플랜트에 게이트웨이 및 각 계측기 별로 센서노드를 설치한 후, 게이트웨이마다 적합한 IP 주소를 할당하여 센서노드와 통신 가능하도록 설정



▌그림 2.615 USN 구성도▐

- Zigbee AT91RM9200 통신모듈은 지하층의 원수 탁도 등 8개소, 1층 UV 유입압력 등 8개소, 그리고 3층 UF 역세 탱크수위 등 11개소 총 27개소에 각각 적용
- Zigbee ProBee-ZE10 통신모듈은 1층의 유입압력 등 3개소에 적용
- Wireless-HART 통신모듈은 3층 UF 유입유량 등 8개소에 적용

▌표 2.363 USN 설치 현황▐

구분			설치 개소	
Zigbee	AT91RM9200	3층	- UF #A Feed 압력 - UF #A 유입압력 - UF #A 유출압력 - UF #A 유입유량 - UF #A 유출유량	- UF 통합 역세수유량 - UF 통합 농축수유량 - UF 공기 유입압력 - UF Citric 탱크수위 - UF NaOCL 탱크수위 - UF 역세 탱크수위
		1층	- A/C #A 유입압력 - A/C #A 유출압력 - A/C #A 유출유량 - 오존 잔류오존계	- UV 유입압력 - UV 유출압력 - UV 유출유량 - UV 처리수 탁도계
		지하	- A/C 필터 역세유량 - A/C 필터 역세압력 - PACL 수위계 - PACL 주입량	- 원수 탁도 - 원수 pH - 원수 전도도 - 블로워 압력계
	ProBee-ZE10	1층	- A/C #B 유입압력 - A/C #B 유출압력	- A/C #B 유출유량
Wi-HART	Emerson	3층	- UF #C 유입유량 - UF #C 유출유량 - UF #D 유입유량 - UF #D 유출유량	- UF #E 유입유량 - UF #E 유출유량 - UF #F 유입유량 - UF #F 유출유량

【AT91RM9200】

【ProBee-ZE10】

【Wi-HART】

(가) Zigbee(AT91RM9200)

▌게이트웨이

- 게이트웨이는 네트워크와 다른 네트워크를 상호 연결하는 역할을 하며, 센서노드에서 측정된 데이터가 운영관리용 PC로 수집하기 위해 필요
- AT91RM9200 게이트웨이는 전체 네트워크의 설정 및 관리를 담당하고, 최대 100개의 센서노드를 관리 할 수 있으며, 이더넷을 통해 대규모의 복잡한 네트워크에 연결 가능
- 게이트웨이 내부는 AT91RM9200으로 구성되어 있고, 32MB Data Flash, 128MB SDRAM과 4M SRAM로 확대 할 수 있으며, 이더넷 인터페이스, RS232 인터페이스, RS485 인터페이스, 전원 인터페이스를 제공.
- PC의 직렬 포트 또는 이더넷 인터페이스를 통해 무선 게이트웨이를 설정하고, 명령 및 데이터 전송 수행 가능
- 모니터 및 주변 장치를 제어하기 위해 간단하고 신뢰할 수 있는 방법을 제공하고 이중 및 다중 점프 네트워크 방식을 사용함으로써 각 단말장치의 소비를 줄여줌

【게이트웨이】

▌ **센서노드**

- 현장에서 운영 중인 계측데이터의 무선통신을 위해 AT91RM9200의 아날로그 센서와 디지털 센서 등 두 가지 유형 제작.
- 아날로그 센서는 유량계, 압력계, 탁도계, 수위계 등의 계측기기에 설치되어 4 ~ 20 mA의 아날로그 신호를 받아 각 센서의 변동 값을 연속적으로 모니터링 가능
- 디지털 센서는 DC 24 V의 출력 값을 전송하는 각종 펌프 및 밸브에 설치되어 동작 상태 확인가능

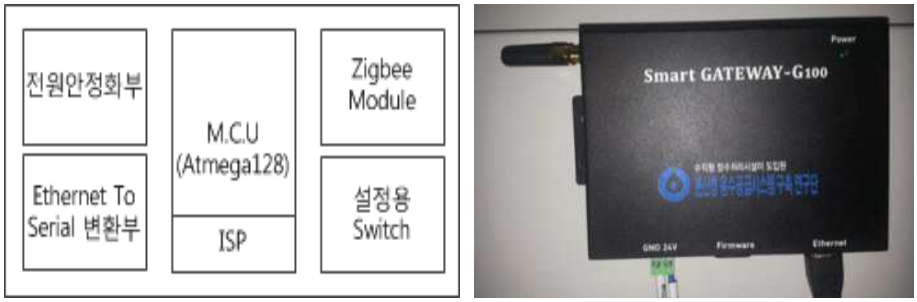
▌ **안테나(WIAPA-M1800)**

- RF 안테나는 무선데이터 전송을 위해 AT91RM9200 모듈에 연결
- 전 방향 이득을 갖는 WIA-M1800을 사용하여 복잡한 실내 환경과 장거리 송신에 따른 통신 불량을 해소하였음.

(나) Zigbee(ProBee-ZE10)

▌ **게이트웨이**

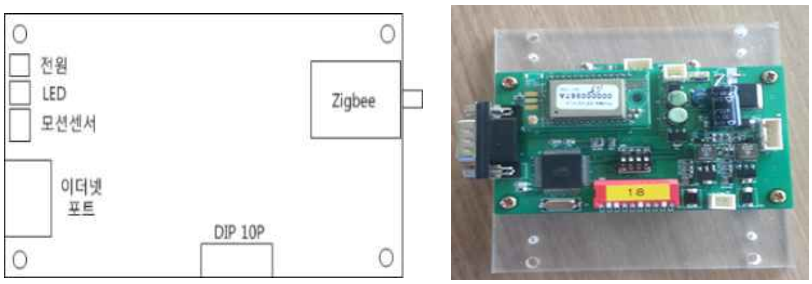
- ProBee-ZE10은 지그비 코어(Ember EM250), 안테나 회로가 결합된 지그비 모듈로, 최대 호환성에 대한 최신 지그비 프로 2007의 인증을 받았으며, 250 kbps의 속도로, 최대 1.6 km까지 데이터 전송
- 실증시설에 설치되는 지그비 무선 노드로부터 무선 송신되는 정보를 이더넷포트를 통해 운용 소프트웨어로 전달하도록 구성
- 상위 PC와의 인터페이스를 위한 이더넷통신 프로토콜을 구성하고, 게이트웨이의 네트워크 환경설정은 별도의 펌웨어 변경 없이 사용자가 Telnet 또는 전용 콘솔포트를 통해 접속하여 쉽게 변경 가능



▌그림 2.616 게이트웨이 세부구성▐

▌ 센서노드

- 무선데이터 수집을 위한 ProBee-ZE10 아날로그 센서는 1층 B계열 유량계 및 압력계에 설치하여 데이터 변동 값을 연속적으로 모니터링 가능토록 구성



▌그림 2.617 센서노드 세부구성▐

(3) Wi-HART

▌ 게이트웨이

- Wi-HART 게이트웨이는 직렬 및 이더넷 연결을 통한 제어 시스템과 데이터 애플리케이션에 손쉬운 통합이 가능하고, 직접 시퀀스 확산 스펙트럼(DSSS)기술로 99%가 넘는 무선 데이터 신뢰성을 가져 실시간 공정 정보 입수 가능
- 자동 고장 탐지를 통한 무선 네트워크의 단절을 방지하며, 게이트웨이는 단일 시스템으로 기능하여 중복 호스트 통합을 미연에 방지
- 자가 구성, Mesh 라우팅으로, 최상의 통신 경로를 자동 검색.
- 표준 IEEE 802.15.4 라디오와 15개의 무선 채널로 분할되는 2.4GHz ISM 밴드를 사용하여, 다른 무선의 간섭을 피하고 신뢰성을 향상시키기 위해 시간 동기화된 채널 호핑 가능
- 네트워크를 안전하게 지켜주는 계층형 보안으로 데이터 전송이 스마트 무선 게이트웨이에 의해서만 수신되도록 보장.

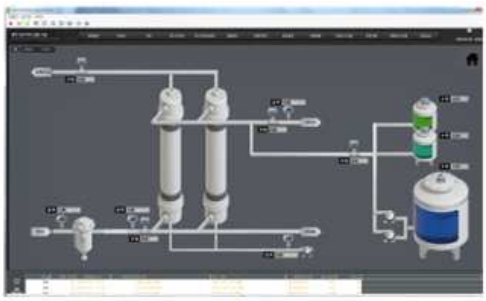
▌센서노드(스마트 무선 THUM^{TM} 어댑터)

- 무선데이터 수집을 위한 아날로그 센서는 3층 막여과 B ~ E계열 유량계에 설치하여 유입유량 및 유출유량의 데이터 변동 값을 연속적으로 모니터링 가능
- Wi-HART 센서노드는 2 또는 4선식 HART 장치로 대부분의 응용 분야에 적용가능하며, 채널 호핑이 가능한 표준 IEEE 802.15.4 무선의 16 개의 무선 채널로 분할되는 2.4 GHz ISM밴드 사용
- 자가 구성, 자가 복구 네트워크가 모든 기존 장치에 대해 다중 통신 경로를 관리하여 네트워크가 차단되어도 이미 다른 경로가 구성되어 있으므로 데이터 흐름은 계속됨
- 네트워크가 경로의 성능 저하 여부를 지속적으로 모니터링하고 자체적으로 수리하며, Star 및 Mesh 토폴로지 모두 지원
- 간섭을 피하고 신뢰성을 향상시키기 위해 지속적으로 채널을 호핑(Hop)하여 AMS 장치 관리자, 공급 압력 및 전자적 상태를 이용해 이동 편차와 같은 경고 모니터링이 가능하며, 실제 밸브 위치 추세를 확인가능
- 모든 HART 장치를 새로운 무선 측정 포인트로 구성하여 레벨, 유량, 밸브, 액체 및 가스 분석, 압력, 온도 등의 데이터 수집 가능

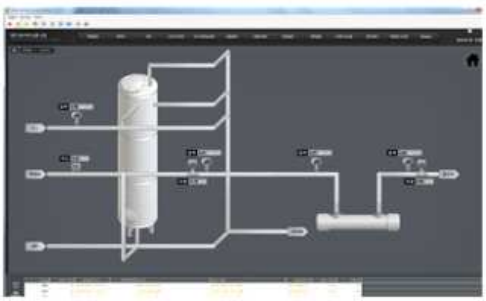
(2) 효율성 평가

- 수직형 정수처리 시설에 설치된 USN 센서의 무선통신에 대한 효율성을 확인하기 위해 전송속도 시험과 신뢰도 분석을 실시하였음.
- 수처리공정 감시제어를 위한 감시제어화면(HMI: Human Machine Interface) 중, 무선통신 데이터와 유선통신 데이터를 실시간으로 확인하기 위한 화면을 구성하였음
- 이를 이용하여 감시제어화면에서 실시간 데이터를 확인하고 유선과 무선데이터를 비교할 수 있도록 구성하였으며, 또한, 각각의 데이터들은 웹 브라우저(http://192.168.10.100:5000)에서 일별 혹은 월별 데이터를 확인

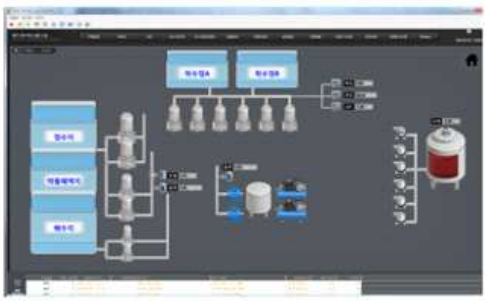
메인화면



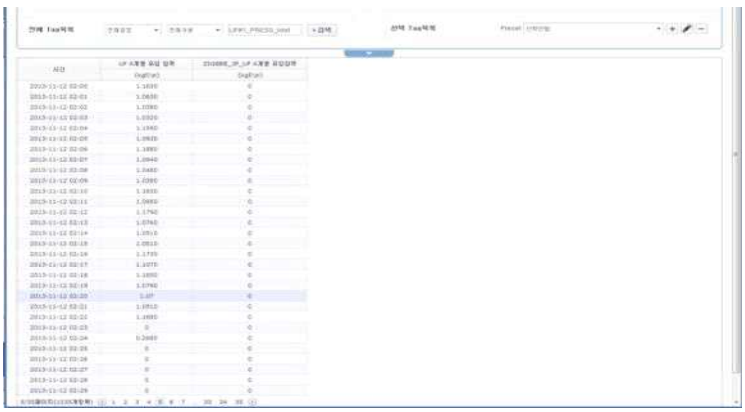
3층



2층



지하 1층

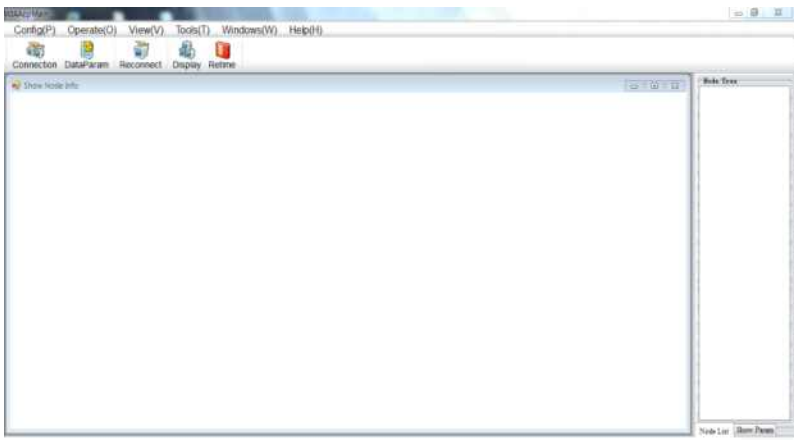


【DB 구축】

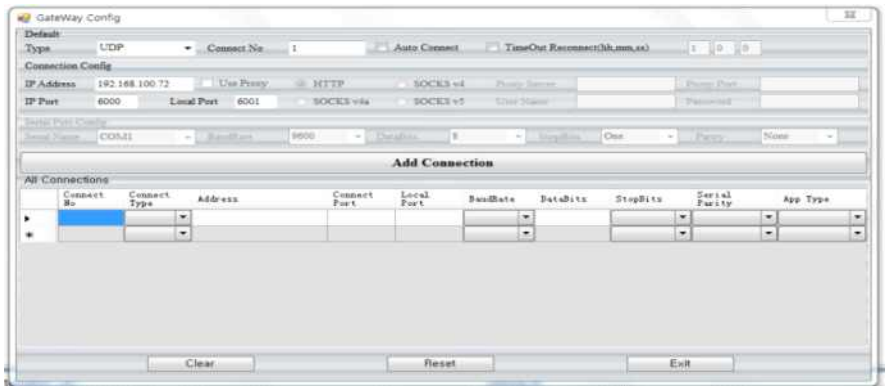
(가) Zigbee(AT91RM9200)

▌ 통신망 확인

▪ 실증시설 내 설치된 지그비 AT91RM9200 통신모듈의 전송시험 전에 네트워크의 안정적 구성이 이루어졌는지 먼저 확인한 후 AT91RM9200에 대한 통신망은 아래 그림과 같이 WIA Console을 통해 아래의 절차와 같이 확인



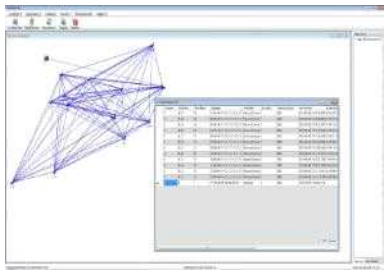
▪ 먼저, WIA Console 창을 더블클릭하여 들어가면 메인 창이 뜨는데, 왼쪽상단의 Connection을 클릭하면 아래와 같은 창을 확인



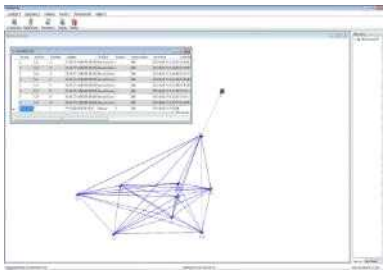
▪ 위 화면에서 게이트웨이의 IP주소 값을 입력하면, 게이트웨이와 전체 노드 간의 통

신 상태를 아래와 같이 확인

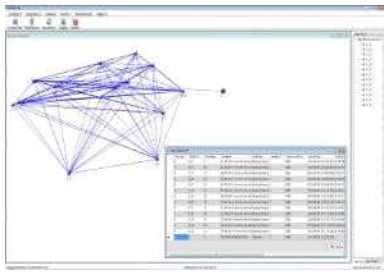
통신상태 감시화면



3층(192.168.100.72)



1층(192.168.100.71)

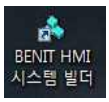


지하층(192.168.100.70)

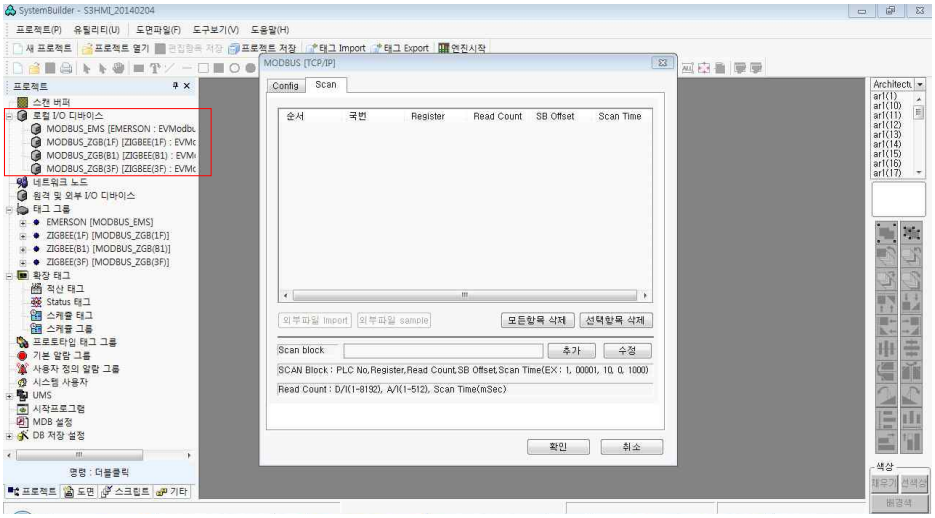
- 위 그림에서와 같이 통신망 시험결과, 지하층, 1층, 3층 모두 무선메시망으로 게이트웨이와 센서노드가 정상적으로 동작하는 것을 확인함.
- 이는, 상황에 따라 최적의 라우팅 경로를 자동으로 찾아 효율적으로 동작할 수 있어 신뢰도를 더욱 높이게 됨.

▌전송속도 시험

- 실증시설 내 설치된 Zigbee AT91RM9200 통신모듈의 각 센서노드가 게이트웨이를 거쳐 감시제어시스템으로 전송되는 속도 시험
- 전송속도 시험절차는 아래와 같음.
  - [BENIT HMI 시스템 빌더] 더블클릭.



  - [로컬 I/O 디바이스]에서 현재 연결된 노드들을 확인할 수 있다.
  - 이 중 실험대상 노드를 더블클릭하여 속성으로 들어가면, [HMI Scan Time] 변경가능.



- 전송속도 확인을 위해 HMI 요청응답시간은 실시간 단위인 10 msec로 설정

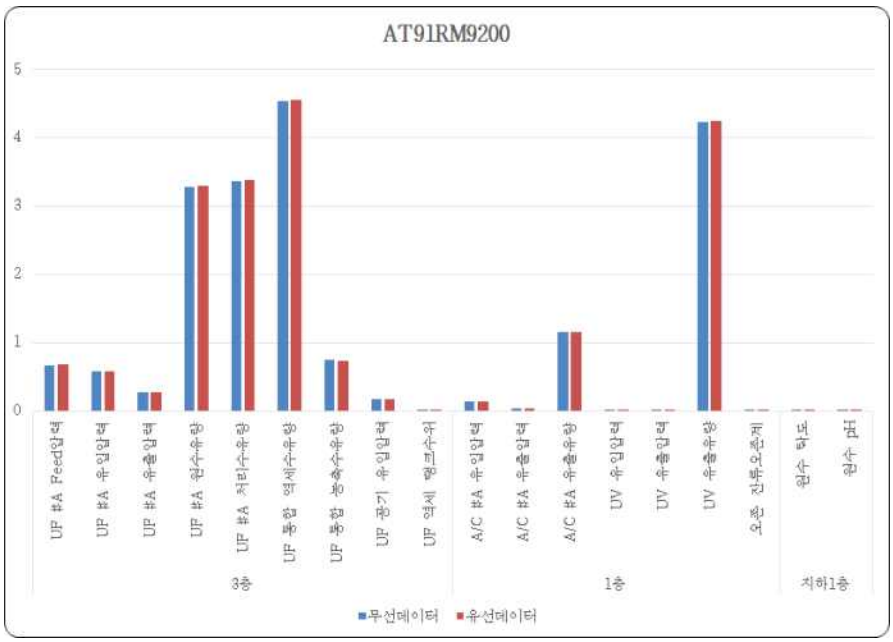
▌표 2.364 Zigbee AT91RM9200 통신모듈 전송 속도▐

3층(11개소)			1층(8개소)			지하층(8개소)		
노드	전송시간 (sec)	평균시간 (sec)	노드	전송시간 (sec)	평균시간 (sec)	노드	전송시간 (sec)	평균시간 (sec)
1	2.8		1	2.1		1	2.7	
2	2.6		2	2.2		2	2.2	
3	2.4		3	1.7		3	2.2	
4	1.9		4	3.7		4	2.7	
5	1.9		5	2.2		5	3.9	
6	1.7	2.4	6	2.0	2.3	6	2.7	2.6
7	2.1		7	2.2		7	2.2	
8	2.6		8	1.9		8	2.2	
9	3.5							
10	2.1							
11	2.6							

- **전송속도 시험결과, 지그비 AT91RM9200 통신모듈 중 가장 전송속도가 빠른 노드는 1.7sec 이고, 가장 속도가 느린 노드는 3.9sec, 그리고 평균적인 전송속도는 2.4 ~ 2.6sec인 것을 확인**

▌신뢰도 분석

- 지그비 AT91RM9200 통신모듈의 데이터 신뢰도 분석은 2014년 4월 10일 하루치 데이터로 첫째, 분 단위 데이터의 결측을 분석하고, 둘째, 유선데이터와의 상관성을 분석하여 전체 데이터 신뢰도 확인



▌그림 2.618 지그비 AT91RM9200 유/무선 표준편차▐

▌표 2.365 지그비 AT91RM9200 유/무선 상관성▐

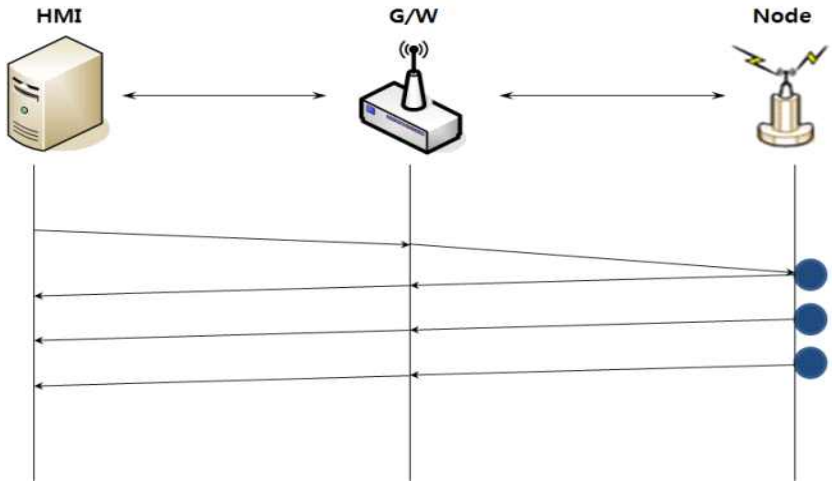
	설치 계측기 명	무선데이터 표준편차	유선데이터 표준편차	상관성(%)	비고
3층	UF #A Feed압력	0.67	0.68	99.81	
	UF #A 유입압력	0.58	0.59	99.42	
	UF #A 유출압력	0.28	0.28	97.33	
	UF #A 원수유량	3.28	3.29	98.88	
	UF #A 처리수유량	3.37	3.38	99.43	
	UF 통합 역세수유량	4.53	4.55	97.65	
	UF 통합 농축수유량	0.75	0.74	97.99	
	UF 공기 유입압력	0.18	0.18	99.79	
	UF NaOCL 탱크수위	X	X	X	사용예정
	UF Citric 탱크수위	X	X	X	사용예정
	UF 역세 탱크수위	0.01	0.01	99.56	
1층	A/C #A 유입압력	0.14	0.14	99.95	
	A/C #A 유출압력	0.04	0.04	99.58	
	A/C #A 유출유량	1.16	1.16	99.77	
	UV 처리수 탁도계	-	-	-	위치변경
	UV 유입압력	0.03	0.03	98.03	
	UV 유출압력	0.03	0.03	99.52	
	UV 유출유량	4.23	4.24	99.88	
	오존 잔류오존계	0.01	0.01	99.88	
지하층	A/C 필터 역세유량	-	-	-	역세시 사용
	A/C 필터 역세압력	-	-	-	역세시 사용
	PACL 수위계	X	X	X	사용예정
	PACL 수입량	X	X	X	사용예정
	원수 탁도	0.02	0.02	99.67	
	원수 pH	0.01	0.01	99.99	
	원수 전도도	39.39	40.01	100	
	블로워 압력계	-	-	-	역세시 사용

- **무선데이터와 유선데이터의 표준편차를 기준으로 상관성을 비교해 봤을 때, 전체적으로 97% 이상의 신뢰도를 확인하였으며, 또한, 누락되는 데이터 없이 모든 데이터의 수신률이 100%로 안정적인 데이터 송수신이 이루어지는 것을 확인하였음.**

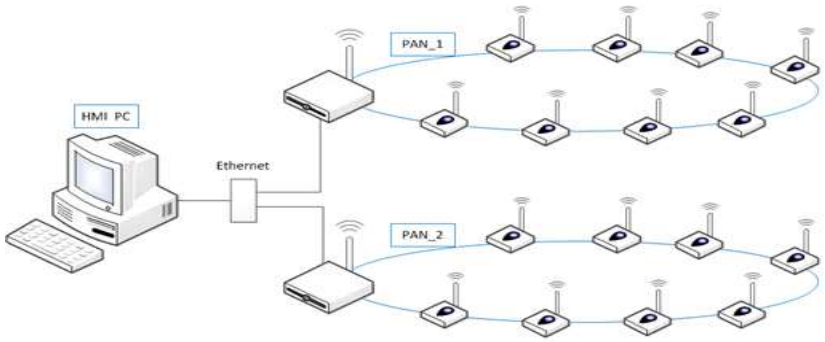
(나) Zigbee(ProBee-ZE10)

▌ 통신망 확인

▪ 수직형 정수처리 시설에 설치된 ProBee-ZE10 모듈은 유니캐스트 통신



【통신방법】



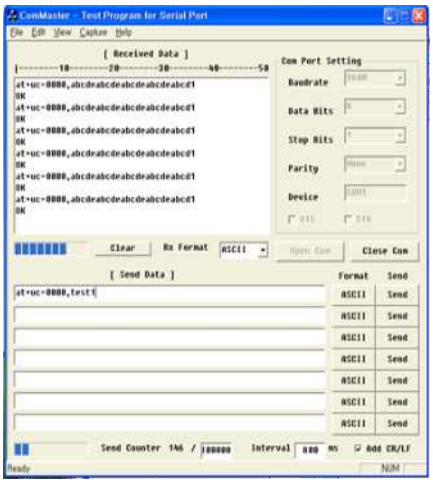
▌ 전송속도 시험

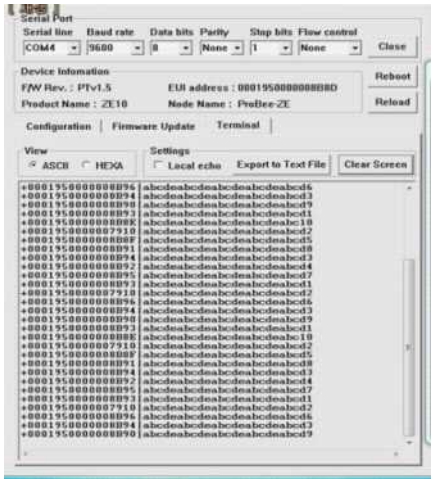
▪ 수직형 정수처리시설에 센서노드를 설치하기에 앞서, 최적의 상황을 위한 통신테스트 진행

▪ 통신테스트는 유량계 및 압력계에 설치된 3대의 노드에 대해 안정적으로 송수신이 가능하도록 진행

▪ 환경은 현장조건과 동일하게 설정하였으며, 실험용 모듈로 실험 진행

【통신테스트 진행】





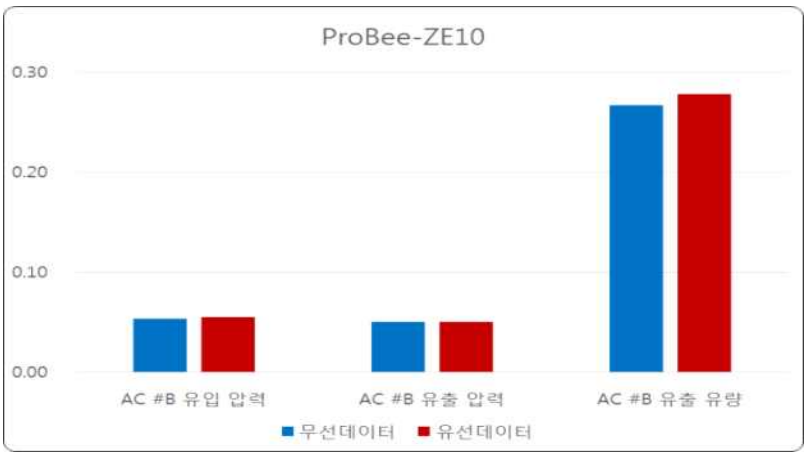
▌표 2.366 Zigbee(ProBee-ZE10) 실험 결과▐

		노드 1	노드 2	노드 3
데이터 값	실험 1	0.503	0.428	0.568
	실험 2	0.501	0.561	0.553
	실험 3	0.499	0.524	0.563

- 통신테스트 실험을 바탕으로 수직형 정수처리 시설에 적용한 결과, ProBee-ZE10의 전송속도는 초 단위로 게이트웨이에 데이터를 전송하는 것을 확인

▌신뢰도 분석

▪ ProBee-ZE10에 대한 신뢰도 분석을 진행하였으며, 데이터는 분 단위로 쌓인 2014년 10월 30일 한 시간 데이터를 사용하였고, 유/무선 데이터의 표준편차를 구한 후, 그에 따른 상관성 분석



▌그림 2.619 ProBee-ZE10 유/무선 표준편차▐

▌표 2.367 Zigbee(ProBee-ZE10) 유/무선 상관성▐

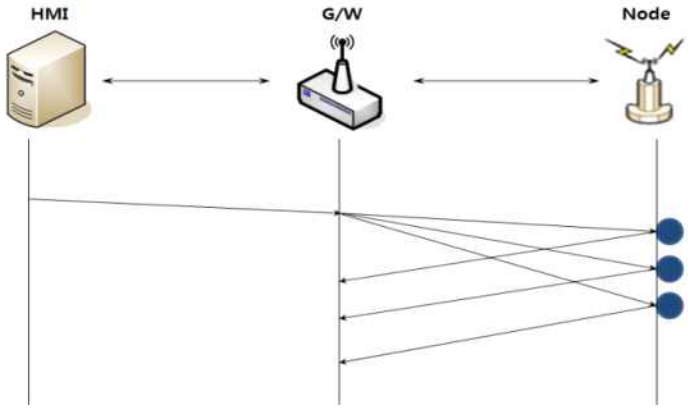
설치 계측기 명	무선데이터 표준편차	유선데이터 표준편차	상관성(%)	데이터 송수신율(%)
A/C #B 유입압력	0.055	0.054	99.52	100
A/C #B 유출압력	0.050	0.051	99.50	100
A/C #B 유출유량	0.278	0.267	99.27	100

▪ **무선데이터와 유선데이터의 표준편차를 기준으로 상관성을 비교해 봤을 때, 전체적으로 99% 이상의 신뢰도를 확인할 수 있었으며, 또한, 누락되는 데이터 없이 모든 데이터의 수신률이 100%로 안정적인 데이터 송수신이 이루어지는 것을 확인함.**

(3) Wi-HART

▌통신망 확인

▪ 수직형 정수처리 플랜트에 설치된 Wi-HART는 브로드캐스트통신



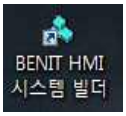
【통신방법】

▌전송속도 시험

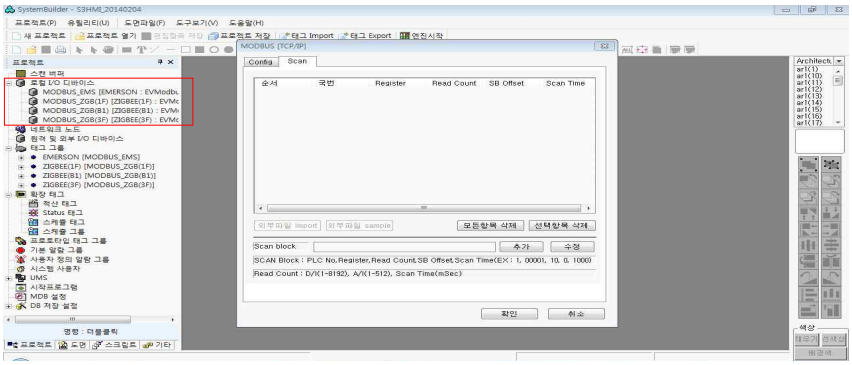
▪ 실증시설 내 설치된 Wi-HART에 대한 전송속도 시험 진행

▪ 전송속도 시험절차는 아래와 같음

- [BENIT HMI 시스템 빌더] 더블클릭



- [로컬 I/O 디바이스]에 현재 연결된 노드들을 확인
- 이 중 실험대상 노드를 더블클릭하여 속성으로 들어가면, [HMI Scan Time]을 변경가능



▪ 전송속도 확인을 위한 실험진행은 실시간 단위인 10msec로 HMI 요청응답시간 설정

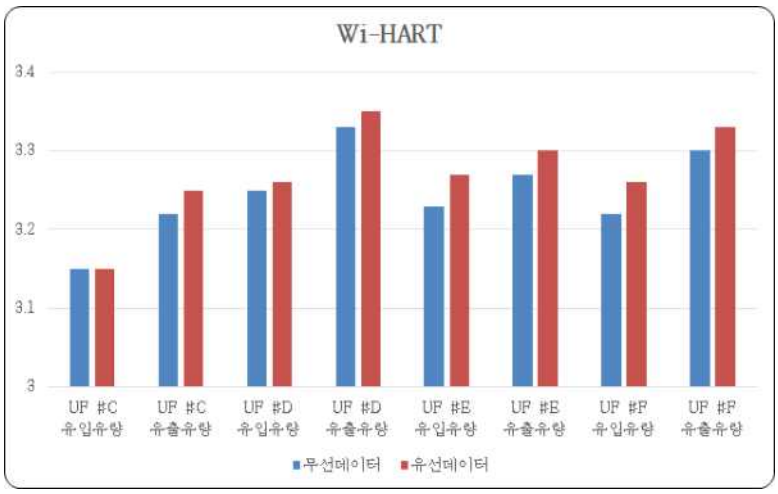
▌표 2.368 Wi-HART 전송 속도▐

3층 (8개소)		
노드	전송시간 (sec)	평균시간 (sec)
1	5.1	4.3
2	3.2	
3	3.5	
4	4.3	
5	3.0	
6	6.0	
7	5.2	
8	4.2	

- **실험결과, Wi-HART의 평균속도는 4.3sec 이었음.**

▌ 신뢰도 분석

- Wi-HART에 대한 무선데이터 신뢰도 분석 진행
- 데이터는 분 단위로 쌓인 2014년 4월 10일 하루치 데이터를 사용하였고, 유/무선 데이터의 표준편차를 구한 후 그에 따른 상관성 분석



▌그림 2.620 Wi-HART 유/무선 표준편차▐

▌표 2.369 Wi-HART 유/무선 상관성▐

설치 계측기 명	무선데이터 표준편차	유선데이터 표준편차	상관성(%)	데이터 송수신율(%)
막여과 #C 유입유량	3.15	3.15	98.48	100
막여과 #C 유출유량	3.22	3.25	99.36	100
막여과 #D 유입유량	3.25	3.26	98.79	100
막여과 #D 유출유량	3.33	3.35	99.41	100
막여과 #E 유입유량	3.23	3.27	98.77	100
막여과 #E 유출유량	3.27	3.30	99.23	100
막여과 #F 유입유량	3.22	3.26	98.52	100
막여과 #F 유출유량	3.30	3.33	99.65	100

- **무선데이터와 유선데이터의 표준편차를 기준으로 상관성을 비교해 봤을 때, 전체적으로 98% 이상의 신뢰도를 확인하였으며, 또한, 누락되는 데이터 없이 모든 데이터의 수신률이 100%로 안정적인 데이터 송수신이 이루어지는 것을 확인함.**

아. 에너지 효율화율 평가

(1) 목적

▌ 최종적으로 분산형 용수공급시스템의 수직형 정수처리 실증플랜트에서의 에너지 자립화율은 약 30% 수준. 현재 청주정수장에 설치되어 검증된 실증플랜트 시설 내에 본 연구에서 계획한 모든 신재생에너지 및 에너지 효율화 설비 및 기술이 반영되지는 못하였으나, 당초 계획된 설계안과 검증이 완료된 기술을 비교평가하고 적용 가능한 기술을 최대한 실 규모 플랜트 설계에 반영하여 자립화율 증진에 기여하고자 함.

(2) 효율화율 평가방법

- 수직형 정수처리 실증플랜트의 에너지 효율화율은 아래와 같이 정의하였음.

에너지 효율화율(%) = (에너지 생산량 + 절감량) / 총에너지 사용량

- 비교대상은 기존방식(TANK TYPE)과 본연구에서 개발한 직결형(TANKLESS, direct coupling) 방식을 비교하였음.
- 절차로는 설계상의 전기에너지 사용량을 상호 비교하고, 실제 운영에 근거하여 에너지 효율화율을 수정보완 산출하였음.
- 에너지 효율화율 산출에 있어서, 실증시설(1,000 ㎥/일)의 운영결과와, 본 연구에서 개발한 소수력발전 등의 신재생에너지 생산설비 및 정네너지설비를 모두 반영하여 실규모 플랜트(20,000 ㎥/일)의 에너지 효율성을 검토하였음

(3) 설계(안)의 예상 전력소비량

□ 설비 목록(Equipment List) 및 전력소비량 - 대조설비(tank type)

수직형정수처리설비(EQUIPMENTLIST)-대조군설비(Tanktype)										
NO	EQUIPMENT		Q'TY			MOTOR		용량 산정 (kW)	Opt. Time (hr/day)	연간 전력량 (kWh)
			Q'TY	C	SB	POWER (V)	RATED (KW)			
취송수 펌프	원수공급펌프		1	1	0	380	7.5	7.5	14	38,325
	배수펌프	배수펌프	2	1	1	380	2.2	2.2	15	12,045
		수중펌프	1	1	0	-	1.1	1.1	15	6,023
	송수펌프		2	1	1	380	7.5	7.5	16	43,800
막여과 설비	UF Feed Pumps		6	5	1	380	2.5	12.5	24	109,500
	PACL Dosing Pump		6	5	1	220	0.2	1.0	24	8,760
	Auto Strainer		6	5	1	380	0.4	2.0	0.25	183
	UF Backwash Pumps		2	1	1	380	3.0	3.0	4	4,380
	UF여과수송수 PUMP		2	1	1	380	3.0	3.0	24	26,280
	NaOCl Dosing Pump		2	1	1	220	0.2	0.2	0.5	37
	NaOH Dosing Pump		2	1	1	220	0.2	0.2	0.5	37
	Citric Acid Dosing Pump		2	1	1	220	0.2	0.2	0.5	37
	UF CIP Pumps		1	1	0	380	0.8	0.8	0.02	6
	Air Compressor		3	2	1	380	1.5	3.0	12	13,140
	Electric Heater for CIP Tank		1	1	0	380	5.0	5.0	0.02	37
오존 설비	산소발생기		2	2	0	220	0.4	0.7	24	2,161
	Ozone Generator		1	1	0	380/220	2.3	2.3	24	6,716
	부스터펌프		1	1	0		1.1	1.1	24	3,212
	Chiller Unit		1	1	0	220	2.2	2.2	24	6,278
	H2O2 Dosing Pump		2	1	1	220	0.2	0.2	24	584
	배오존파과기		1	1	0		1.1	1.1	24	3,212
활성탄 설비	A/C Filter Backwash Pump		2	1	1	380	3.7	3.7	0.08	108
	Air Blower For A/C Filter		2	1	1	380	3.7	3.7	0.03	41
UV	U.V Sterilizers		1	1	0	380	0.9	0.9	24	7,884
운영관리 시스템	Control Power		1	1	0	48	8.8	8.8	24	77,088
조명	조명	지하1층	20	20	0		0.07	1.440	2	1,051.2
		1층	17	17	0		0.07	1.224	12	5,361.1
		2층	10	10	0		0.07	0.720	3	788.4
		3층	20	20	0		0.07	1.440	3	1,576.8
		4층	17	17	0		0.07	1.224	12	5,361.1
냉난방	냉난방설비		2	1	1		30.0	30.0	6	43,800
소화	소화설비		42	42		220	0.0	0.3	24	2,208
Total								110.2		430,016

오존공정은 4개월/년 운영조건임
냉난방은 8개월/년 운영조건임

□ 설비 목록(Equipment List) 및 전력소비량- Direct coupled 설계

단위공정	EQUIPMENT	Q'TY			MOTOR		용량산정(kW)	플랜트 운영 유효전력(kW)	Opt. Time (hr/day	연간 전력량 (kWh)
		Q'TY	C	SB	POWER (V)	RATED (KW)				
취송수펌프	원수공급펌프(침전지1대)	1	1	0	380	7.50	7.50	7.50	14	38,325
	배수펌프 배수펌프	2	1	1	380	1.10	1.10	1.10	15	6,023
	배수펌프 수중펌프	1	1	0		2.20	2.20	2.20	15	12,045
	송수펌프	2	1	1	380	7.50	7.50	7.50	16	43,800
막여과설비	UF Feed Pumps	6	5	1	380	3.00	15.00	1.30	24	105,120
	PACL Dosing Pump	6	5	1	220	0.20	1.00	0.00	24	6,570
	Auto Strainer	6	5	1	380	0.40	2.00	0.05	0.25	137
	UF Backwash Pumps	2	1	1	380	3.00	3.00	2.00	4	3,285
	NaOCl Dosing Pump	2	1	1	220	0.20	0.20	0.20	0.5	27
	NaOH Dosing Pump	2	1	1	220	0.20	0.20	0.20	0.5	27
	Citric Acid Dosing Pump	2	1	1	220	0.20	0.20	0.20	0.5	27
	UF CIP Pumps	1	1	0	380	0.75	0.75	0.61	0.02	4
	Air Compressor	3	2	1	380	1.50	3.00	1.50	12	13,140
오존설비	Ozone Generator	1	1	0	380/220	2.30	2.30	2.30	24	6,716
	부스터펌프	1	1	0		1.10	1.10	1.10	24	3,212
	Chiller Unit	1	1	0	220	2.15	2.15	2.15	24	6,278
	배오존파괴기	1	1	0		1.10	1.10	1.10	24	3,212
	H_2O_2DosingPump	2	1	1	220	0.20	0.20	0.20	24	438
활성탄설비	A/C Filter Backwash Pump	2	1	1	380	3.70	3.70	3.70	0.08	86
	Air Blower For A/C Filter	2	1	1	380	3.70	3.70	3.60	0.03	41
UV	U.V Sterilizers	1	1	0	380	0.90	0.90	1.40	24	7,884
운영관리시스템	Control Power	1	1	0	48	2.75	2.75		24	24,090
조명설비	지하	20	20	0		0.07	1.440		2	1,051.2
	1층	17	17	0		0.035	0.595	0.033	12	521.2
	2층	10	10	0		0.070	0.700		3	766
	3층	20	20	0		0.070	1.400		3	1,533
	4층	17	17	0		0.035	0.595	0.033	12	521.2
난방설비(겨울)	원수펌프	2	1	1		1.50	1.50	1.50	1	365
	브라인펌프	2	1	1		1.50	1.50	1.50	1	365
	축열조펌프	2	1	1		1.50	1.50	1.50	1	365
	냉온수펌프	4	1	3		5.50	5.50	2.50	6	6,424
	히트펌프	1	1	0		15.60	15.60	21.00	1	3,796
냉방설비(여름)	원수펌프	2	1	1		1.50	1.50	1.50	1	365
	브라인펌프	2	1	1		1.50	1.50	1.50	1	365
	축열조펌프	2	1	1		1.50	1.50	1.50	1	365
	냉온수펌프	4	1	3		3.70	3.70	2.50	6	4,322
	히트펌프	1	1	0		14.40	14.40	13.10	1	3,504
소화설비		42	42		220	0.01	0.25		24	2,208
Total							114.7			307,321

* 오존공정은4개월/년운영조건임, 냉난방은8개월/년운영조건임

□ 실증설비 운영결과 전력소비량(설비목록 근거)

단위 공정	EQUIPMENT	Q'TY			MOTOR		용량 산정 (kW)	플랜트 운영 유효전력(kW)	Opt.Time (hr/day)	플랜트연간 전력량 (kWh)
		Q'TY	C	SB	POWER (V)	RATED (KW)				
취송수 펌프	원수공급펌프 (침전지1대)	1	1	0	380	7.50	7.50	7.50	14	38,325.0
	배수펌프 배수펌프	2	1	1	380	1.10	1.10	1.10	15	6,022.5
	배수펌프 수중펌프	1	1	0		2.20	2.20	2.20	15	12,045.0
	송수펌프	2	1	1	380	7.50	7.50	7.50	16	43,800.0
막여과 설비	UF Feed Pumps	6	5	1	380	3.00	15.00	1.30	24	56,940.0
	PACL Dosing Pump	6	5	1	220	0.20	1.00	0.00	24	0.0
	Auto Strainer	6	5	1	380	0.40	2.00	0.05	0.25	22.8
	UF Backwash Pumps	2	1	1	380	3.00	3.00	2.00	4	2,920.0
	NaOCl Dosing Pump	2	1	1	220	0.20	0.20	0.20	0.5	27.0
	NaOH Dosing Pump	2	1	1	220	0.20	0.20	0.20	0.5	27.0
	Citric Acid Dosing Pump	2	1	1	220	0.20	0.20	0.20	0.5	27.0
	UF CIP Pumps	1	1	0	380	0.75	0.75	0.61	0.02	4.5
	Air Compressor	3	2	1	380	1.50	3.00	1.50	12	13,140.0
오존 설비	Ozone Generator	1	1	0	380/220	2.30	2.30	2.30	24	6,716.0
	부스터펌프	1	1	0		1.10	1.10	1.10	24	3,212.0
	Chiller Unit	1	1	0	220	2.15	2.15	2.15	24	6,278.0
	배오존파괴기	1	1	0		1.10	1.10	1.10	24	3,212.0
활성탄 설비	H_2O_2DosingPump	2	1	1	220	0.20	0.20	0.20	24	438.0
	A/C Filter Backwash Pump	2	1	1	380	3.70	3.70	3.70	0.08	86.4
	Air Blower For A/C Filter	2	1	1	380	3.70	3.70	3.60	0.03	39.4
UV	U.V Sterilizers	1	1	0	380	0.90	0.90	1.40	24	12,264.0
운영관리 시스템	Control Power	1	1	0	48	2.75	2.75		24	24,090.0
조명 설비	지하	20	20	0		0.07	1.440		2	1,051.2
	1층	17	17	0		0.035	0.595	0.033	12	491.4
	2층	10	10	0		0.070	0.700		3	766.5
	3층	20	20	0		0.070	1.400		3	1,533.0
	4층	17	17	0		0.035	0.595	0.033	12	491.4
난방 설비 (겨울)	원수펌프	2	1	1		1.50	1.50	1.50	1	365.0
	브라인펌프	2	1	1		1.50	1.50	1.50	1	365.0
	축열조펌프	2	1	1		1.50	1.50	1.50	1	365.0
	냉온수펌프	4	1	3		5.50	5.50	2.50	6	3,650.0
	히트펌프	1	1	0		15.60	15.60	21.00	1	5,110.0
냉방 설비 (여름)	원수펌프	2	1	1		1.50	1.50	1.50	1	365.0
	브라인펌프	2	1	1		1.50	1.50	1.50	1	365.0
	축열조펌프	2	1	1		1.50	1.50	1.50	1	365.0
	냉온수펌프	4	1	3		3.70	3.70	2.50	6	3,650.0
	히트펌프	1	1	0		14.40	14.40	13.10	1	3,187.7
소화설비		42	42		220	0.01	0.25		24	2,207.5
Total							114.7			253,965

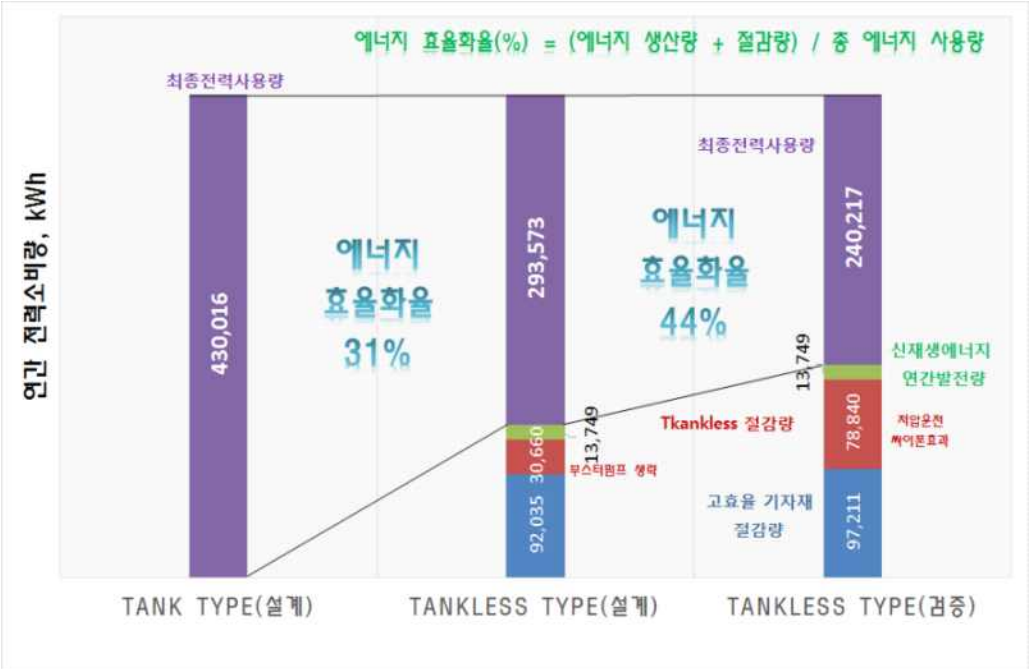
(4) 전력 소비량 및 에너지 효율화율 분석

▌ 본 연구에서 기준으로 삼았던 tank type 공정의 전력소비량은 연간 전력소비량 430,016 kWh 인 것으로 설계 및 예상되었으며, 결론적으로 본 연구에서 구현한 직결-수직형 정수처리플랜트의 연간전력소비량은 240,217 kWh 로 나타나 설계상으로는 31%, 운영근거로는 44%까지 효율화율을 획득하였음.

- 실증 플랜트 검증결과 설비에 의해 소비되는 연간 총 전력소비량은 253,966 kWh 이었으나 태양광발전에 의해 13,749 kWh40 kWh/일수준의 발전('14. 1 - 6월 평균) 생산되어 절감되었으며, 이로 인해 실질적으로 실증플랜트 총 전력소비량은 240,217kWh
- 또한, 당초 고압으로 설계된 UF 유입압을 저압으로 개선하는 등 공정최적화를 통해 78,840 kWh 절감
- BLDC 및 인버터 펌프 적용, 클라우드 컴퓨팅 적용, LED 및 제어설비 적용, 수온차 적용 및 설비 최적화 (인버터 등)를 통해 97,211 kWh 절감.

▌그림 2.621 설계 및 운영에 근거한 연간 전력소비량 비교▐

▌그림 2.622 설계 및 운영에 근거한 각 단위공정의 연간 전력소비량 비교▐



▌그림 2.623 설계 및 운영에 근거한 에너지 효율화율 비교▐

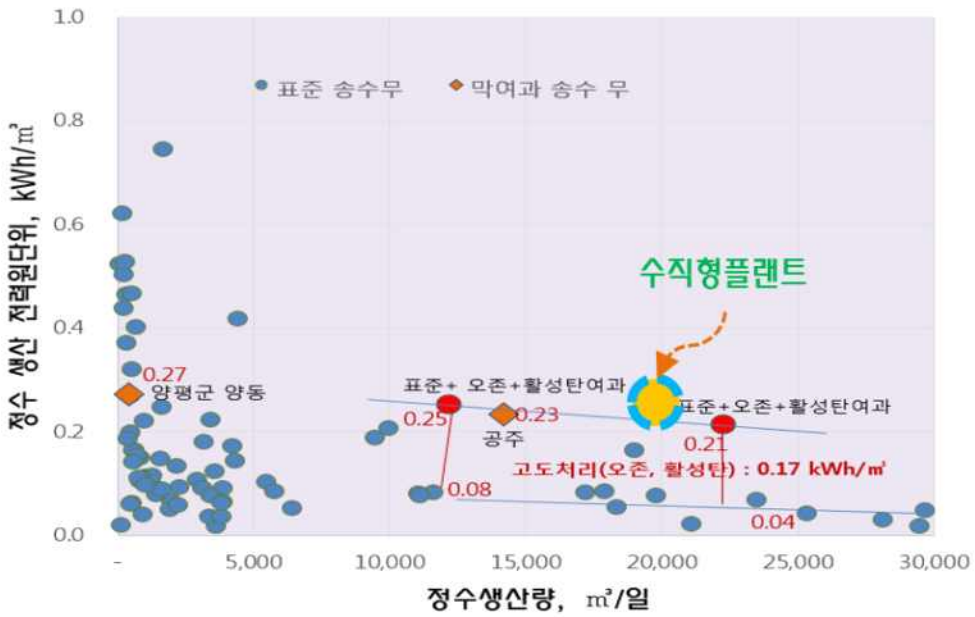
▌ 설계에 있어서, 대조 플랜트인 Tank type의 정수생산 전력원단위는 0.904 kWh/㎥ 이었으며, 본 연구에서 개발한 tank type(direct coupled)은 0.526 kWh/㎥

▌ 본 연구에서 개발한 직결-수직형 실증플랜트(1,000㎥/일)를 운영한 결과, 전력원단위

는 0.384 kWh/㎥로 **설계대비 26% 감소한 수준.**

▌실증플랜트는 6계열로 구성되고 각각을 별도운영 가능토록 설비의 최적화가 미흡한 상태이며, 오존, 수온차 등 규모의 증대로 인한 효율성이 증대될 수 있는 요소들이 많음. 따라서, 20,000 ㎥/일 정수생산량 기준으로 설계한 결과, 전력원단위는 0.29 kWh/㎥ 수준으로 설계되고 **실제운영에서는 0.215 kWh/㎥ 수준으로 예상되어 기존 막여과 공정의 전력사용량 수준과 동일한 수준이 될 것으로 판단됨.**

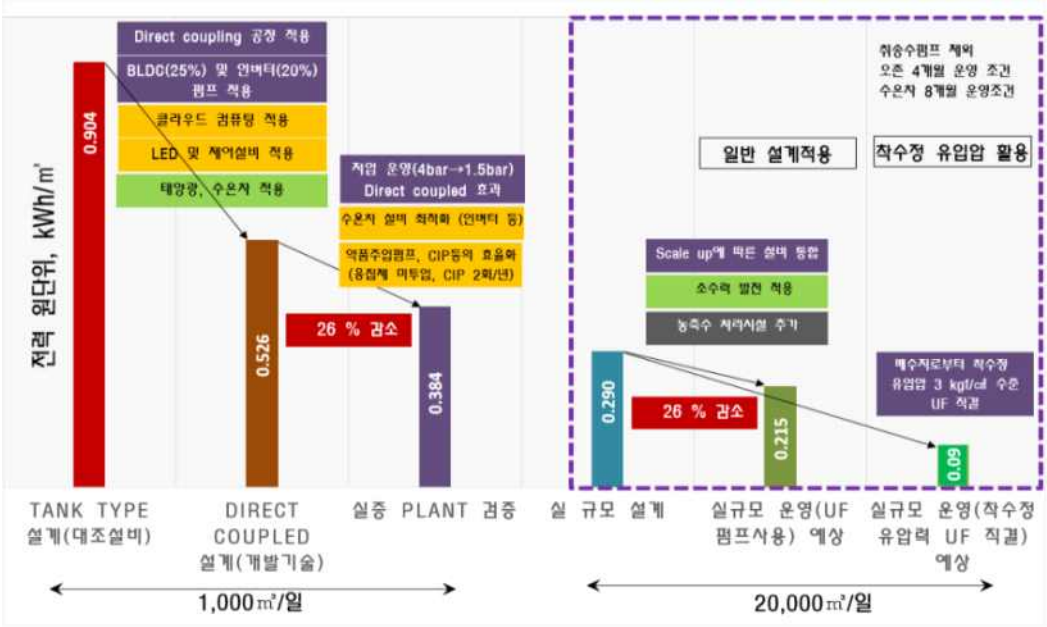
▌**상수도통계연보(2013)를 활용한 비교분석 실시한 결과, 취송수 펌프를 배제한 자료만 대상으로 비교분석하였으며 기존 막여과 시스템은 0.2~0.25 kwh/㎥ 수준이며, 고도처리(오존-활성탄)는 0.17 kWh/㎥ 수준임. 본 기술은 막여과, 고도처리(오존, 활성탄) 공정으로 20,000㎥/일 기준 0.25 kWh/㎥ 이하로서 경제적인 장점이 있는 것으로 판단되며, 운영비 측면에서 기존 막여과 공정의 전력사용량 수준과 동일 수준으로 판단되나, 본 기술은 오존과 활성탄, UV 등을 포함한 기술임을 고려할 때, 경제적인 측면(부지면적, 운영비 등)에서 충분히 장점이 있음.**



▌그림 2.624 기존 정수장과 정수생산 전력원단위 비교▐

▌**연구에서 개발한 직결-수직형 정수처리 공정은 직결식이기 때문에 지리적인 여건을 충분히 고려할 수 있는 가능성이 큰 장점을 지니고 있으며, 특히 분산형 정수장으로 채택시 착수정 유입압을 막여과 유입압으로 그대로 활용할 수 있으며, 착수정**

유입압이 3 kgf/㎠ 수준인 경우에는 전력원단위를 0.1 kWh/㎥ 이하 수준까지도 달성 가능할 것으로 판단됨.



▌그림 2.625 정수생산 전력원단위 비교▐

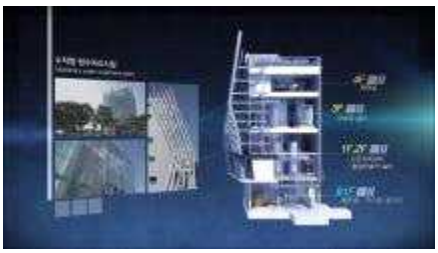
제 3 장 최종 연구성과 및 적용 실적

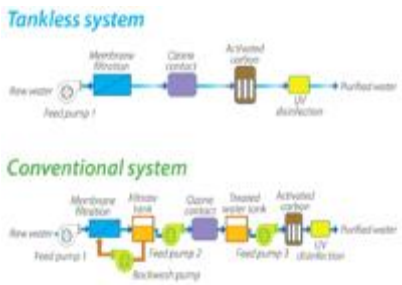
제 1 절 주요 연구성과

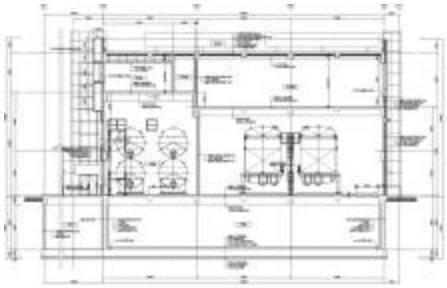
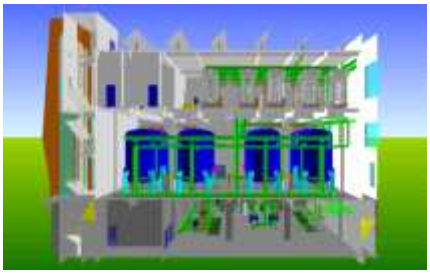
1. 비상용수 용량기준 및 분산형 용수공급시스템 기본계획

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="7"> </td></tr>
<tr><td colspan="2">정의</td><td colspan="7">물안보 및 비상용수 확보측면에서의 용량기준 수립 방법론 설정과 용량기준 제시, 용량기준을 적용한 분산형 용수공급시스템 기본계획 수립 제시</td></tr>
<tr><td colspan="2">목적</td><td colspan="7">현재 국내 용수공급 체계에서 제시되지 않고 있는 비상용수 용량 확보 기준에 대한 산정 방법론 개발과 그에 따른 용량 기준 수립 제시, 분산형 용수공급시스템 대상지역 선정 후 기본계획 수립에 이를 반영</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="7">(기존기술 수준) 기준 없음
(개발기술 수준) 기준 수립 및 반영한 기본계획 제시</td></tr>
<tr><td rowspan="12">핵심성과</td><td rowspan="3">달성 확인 방법</td><td>2차년도</td><td colspan="6">비상용수 용량 산정 방법론 제시 및 전문가 자문(자문회의 등)</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="6">비상용수 확보 용량 기준 및 전문가 자문(논문 투고)
H도시 분산형 용수공급시스템 기본계획</td></tr>
<tr><td>4차년도</td><td colspan="6">새만금 개발지역 분산형 용수공급시스템 기본계획</td></tr>
<tr><td rowspan="6">양적 성과</td><td rowspan="2">2차 년도</td><td>특허 출원</td><td>특허등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>국내1
(기고문)</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3차 년도</td><td>특허 출원</td><td>특허등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>국내1
(논문게재)</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">4차 년도</td><td>특허 출원</td><td>특허등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">질적 성과</td><td>2차 년도</td><td colspan="6">• 비상용수 확보의 필요성 기고문 1편 게재
• 전문가 자문위원회 1회 개최</td></tr>
<tr><td>3차 년도</td><td colspan="6">• 비상용수 확보용량 기준 수립 및 논문 1편 게재
• H 도시 분산형 용수공급시스템 기본계획</td></tr>
<tr><td>4차 년도</td><td colspan="6">• 사업화 대상지역 분산형 용수공급시스템 기본계획 반영
• 새만금 개발지역 분산형 용수공급시스템 기본계획</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과 활용계획</td><td colspan="7">국가 비상용수 용량 확보 기준 마련에 해당 결과 반영</td></tr>
</table>

2. 수직형 정수처리시설 설계기술 개발 및 Prototype 제작

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td> 



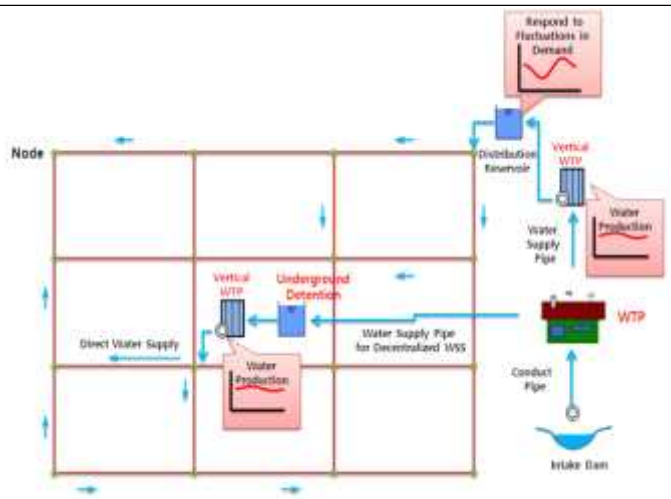


</td></tr>
<tr><td>정의</td><td>수직형 정수처리시설 설계안 및 설계도면, 상사성 반영 prototype모형</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>수량의 안정성 및 수질의 안정성 확보를 위한 수직형 (계층형) 정수처리시설의 설계안 도출 및 검증을 위한 수직형 정수처리시설의 설계도면 제작</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td>(기존기술 수준) 단위공정들이 평면으로 배치되어 넓은 부지를 차지하는 정수처리시설
(개발기술 수준) 단위공정들이 수직형 (계층형)으로 배치되어 기존 평면형 정수처리시설에 비해 부지면적 30% 이상 감소</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td>윤희철 (포스코건설)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td>’ 10.12 ~ ’ 14.11 (3년11개월, 4년차)</td></tr>
<tr><td>핵 달성</td><td>1차년도 - 국내외 정수처리시설 설계자료 확보 및 분석 여부</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="12">심
성
과</td><td rowspan="4">확인
방법</td><td></td><td colspan="6">- 실증시설 대상지 선정 검토 여부
- 수직형 정수처리시설 단위공정 선정 및 공정배열안 검토 여부</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="6">- 장치용량 10 m^3/일 이상 Lab test 시작품 제작 여부
- 평면형 정수처리시설 대비 부지면적 30% 이상 절감 수직형 정수처리시설 설계안 도출 여부</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="6">- 시설용량 1,000 m^3/일 실증시설 설계도면 제작 여부
- 실증시설 상사성 반영 1/50 규모 이상 Prototype 모형 제작 여부</td></tr>
<tr><td>4차년도</td><td colspan="6">- 시설용량 5,000 m^3/일 이상 실규모시설 설계도면 제작 여부</td></tr>
<tr><td rowspan="8">양적
성과</td><td rowspan="2">1차년도</td><td>특허출원</td><td>특허등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>1</td><td></td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 0 국외 0</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2차년도</td><td>특허출원</td><td>특허등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>1</td><td></td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 3, 국외 0</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3차년도</td><td>특허출원</td><td>특허등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 3, 국외 0</td><td>1</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">4차년도</td><td>특허출원</td><td>특허등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 3, 국외 0</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">질적
성과</td><td>1차년도</td><td colspan="6">- 수직형 정수처리시설 대상지 기준 선정</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="6">- 장치용량 10 m^3/일 이상 Lab test 시작품 제작
- 처리용량 1,000 m^3/일 규모 실증시설 설계안 도출
(평면형 정수처리시설 대비 부지절감율 50% 이상)
- 막여과설비 분배관로 유량균등배분율 87.% 개선</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="6">- 시설용량 1,000 m^3/일 실증시설 설계도면 제작
- 실증시설 상사성 반영 1/20 규모 Prototype모형 제작</td></tr>
<tr><td>4차년도</td><td colspan="6">- 시설용량 20,000 m^3/일 규모 실규모 시설 설계도면 제작
- 유동모의 및 분석을 통한 실증시설 설계 개선안 도출</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과
활용계획</td><td colspan="6">국내/외 도시개발 용수공급인프라 구축사업의 정수처리시설 설계에 활용</td></tr>
</table>

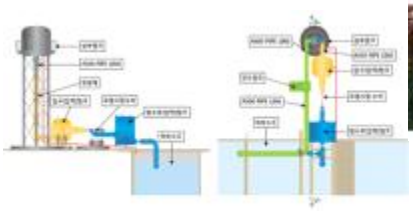
3. 수직형 정수처리 시공기술 개발

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td colspan="2">정의</td><td colspan="2">분산형 용수공급시스템에서의 수직형 정수처리 실증시설 구축 및 시공 시방서 도출</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="2">분산형 용수공급시스템 구축에 있어 수직형 정수처리시설에 대한 실증 및 추후 사업화/실용화를 위한 기초자료(시공시방서) 도출</td></tr>
<tr><td colspan="2">목적</td><td colspan="2">감성설계/미적시공이 포함된 수직형 고도정수처리시설의 실증 및 시공시방서 도출</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="2">(기존기술 수준) 건물형/수직형 정수처리시설에 대한 명확한 정의 및 용도가 불분명
(개발기술 수준) 실증시설을 통한 건물형/수직형 정수처리시설의 정의 및 시공 가이드라인 제시
(개발기술 수준 설정근거) 수직형 정수처리시설 구축 연구 및 적용의 개척</td></tr>
<tr><td rowspan="5">핵심 성과</td><td rowspan="4">달성 확인방법</td><td>1차년도</td><td>건물형/수직형 정수처리기술 자료조사</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td>수직형 정수처리시설 설계검토 및 시공계획 수립</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td>수직형 정수처리 실증시설 시공시방서 도출</td></tr>
<tr><td>4차년도</td><td>수직형 정수처리 실증시설 구축 및 검증</td></tr>
<tr><td>양적성과</td><td colspan="2">- 특허 출원 7건, 등록 2건
- 논문 2건
- 감성설계 외피 디자인 아이디어
- 실증시설 외피 설계도안
- 수직형 정수처리 실증시설 구축 1건 (1,000㎥/일 급)
- 배출수 농축공정 선정 및 성능평가</td></tr>
</table>

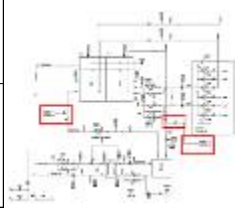
4. 기존 광역용수 공급시스템 및 급/배수 시스템 최적 연계기술 개발 (분산형 용수공급시스템 구축 요소기술)

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">정의</td><td colspan="2">* 용수공급의 안정성 및 안전성을 확보 할 수 있는 최적의 분산형 용수공급시스템 구축</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="2">* 분산형 용수공급시스템의 기존 광역용수공급시스템 및 급/배수시스템 최적 연개기술 개발 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">목적</td><td colspan="2">* 고도 정수처리시설 도입에 따른 수돗물 수질 향상 및 수도 서비스 신뢰도 향상 및 비상시 용수공급의 안정성을 보장할 수 있는 용수공급시스템 구축</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="2">(기존기술 수준) 현재 완전한 의미의 용수공급시스템 구축 전무
(개발기술 수준) 실증지역을 대상으로 한 분산형 용수공급시스템 구축 가이드라인 제공</td></tr>
<tr><td rowspan="5">핵심성과</td><td rowspan="4">달성 확인 방법</td><td>1차년도</td><td>급/배수 관망을 대상으로 한 구조적 PI 추가 도출</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td>분산형 용수공급시스템 구축을 위한 용수공급방식별 시나리오</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td>분산형 용수공급시스템 최적 용수공급방식 제안</td></tr>
<tr><td>4차년도</td><td>실증지역을 대상으로 한 분산형 용수공급시스템 구축 기본설계</td></tr>
<tr><td>양적 성과</td><td colspan="2">- 특허출원 1건
- 논문 1건
- 상수관망 진단평가 PI 추가
- 상수 소비 패턴 예측 프로그램 개발
- 직접급수 시스템 알고리즘
- 수직형 정수처리시설 최적 위치 제안
- 구역통합화 시나리오 (새만금 실증지역 대상)</td></tr>
</table>

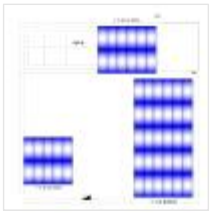
5. 피코급 소수력 발전설비 및 수차 시험설비 개발

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="2">  【 모델 수차 설비】 【모델수차 시험설비】</td></tr>
<tr><td colspan="2">정의</td><td colspan="2">* 피코급 소수력 발전설비의 제작 및 성능평가</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="2">* 초저낙차, 초저유량 조건에 부합하는 수차의 설계개발기술 향상 도모</td></tr>
<tr><td colspan="2">목적</td><td colspan="2">* 피코급 소수력 발전설비의 개발의 기본바탕이 되는 기술을 정립함으로써 생기는 시장 경쟁력 확대, 기술의 국산화</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="2">(기존기술 수준) 피코급 수차의 표준화 기술개발이 미흡한 상태
(개발기술 수준) 피코급 수차의 기술개발을 통한 설계기술향상
(개발기술 수준 설정근거) 본 연구를 통해 초저낙차, 초저유량 수차의 설계기술개발 및 검증을 통한 신뢰성 확보</td></tr>
<tr><td rowspan="6">핵심성과</td><td rowspan="4">달성 확인 방법</td><td>1차년도</td><td>설계인자의 분석 및 수차의 선정</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td>수차의 최적 설계도면</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td>실물수차의 제작</td></tr>
<tr><td>4차년도</td><td>수차성능평가</td></tr>
<tr><td rowspan="2">양적 성과</td><td colspan="2">• 5kW 급 프로펠러형 수차 실물 1식
• 수차모델시험설비 실물 1식(낙차 3-40m, 유량 0.2-0.5㎥/s)
• 특허 출원 제 20-2014-0000468호 수차 모델 테스트 장치
• 효율평가 보고서 1식
• 운영관리 매뉴얼 1식
• 20,000㎥/일 규모 수차 설계서/도면</td></tr>
<tr><td colspan="2">
<table>
<tr><td>구분</td><td>목 표</td><td>성 과</td><td>달성여부</td></tr>
<tr><td>효 율 성</td><td>효율 65%</td><td>효율 66%</td><td>달성</td></tr>
<tr><td>검증방법</td><td colspan="3">IEC 60193 등의 국제 규격 만족 조건</td></tr>
<tr><td>설치조건</td><td colspan="3">낙차 3.2m, 유량 0.23㎥/s</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

6. 수온차 냉난방 시스템 효율증진 및 연계기술개발

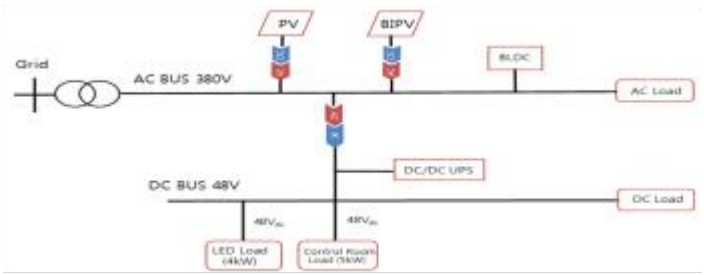
<table>
<tr><td colspan="2">정의</td><td colspan="2">원수를 이용한 효율 250%(COP 2.5)이상의 수온차 냉난방 시스템을 개발/구축</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="2">수온차 시스템의 효율은 기존 COP2.0 정도의 수준으로 수직형 용수공급 시스템 에서 효율을 COP2.5이상으로 향상 시킴으로서 정수장의 미활용 에너지원인 원수를 이용한 냉난방 및 다양한 열원 설비를 대체하고 에너지 절감효과를 기대할 수 있음</td></tr>
<tr><td colspan="2">목적</td><td colspan="2">수직형 정수시설에 적합한 고효율의 원수를 이용한 수온차 냉난방 시스템을 구축하여 에너지 자립도를 향상 및 수온차 시스템에 대한 표준설계 지침 제시</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="2">기존기술 수준 : 효율 200%(COP2.0) 수준
개발기술 수준 : 효율 250%(COP2.5) 이상 구현/각종 공정에 응용하여 적용
ex) CIP공정 가온적용, 원수가온 적용, 막여과역세수 가온 적용등 효율 극대화</td></tr>
<tr><td rowspan="5">핵심성과</td><td rowspan="4">달성 확인 방법</td><td>1차년도</td><td>사례조사 보고서</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td>실증설비 설계서</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td>실증설비</td></tr>
<tr><td>4차년도</td><td>실증설비 효율 검증 및 표준설계 지침</td></tr>
<tr><td>양적 성과</td><td colspan="2">• 특허 제 10-1188964 호 : 수열원 히트펌프의 열교환기 동파방지 제어시스템
• 특허 제 1012801160000호 : 막여과 공정의 원수 가온 시스템
• 수직형정수장 내 수온차히트펌프 냉난방 성능예측 프로그램 Ver. 2 (제 14-029939호)
• 기술이전(2)
• 1,000㎥/일 수직형 정수장 수온차 실증설비, 설계서/도면/운영매뉴얼/장비일람 1식
• 효율평가 보고서 1식
• 운영관리 매뉴얼 1식
• 20,000㎥/일 급 수직형 정수장 설계서/도면/장비일람표</td></tr>
<tr><td colspan="2">
<table>
<tr><td>성과 지표</td><td>측정 방법</td><td>검증 방법</td><td>냉난방 효율</td><td>목표치 설정 근거</td></tr>
<tr><td>효율 250% (COP 2.5) 이상</td><td>온도 및 전력량 측정</td><td>현장 검증</td><td>냉방 3.53 / 난방 2.98</td><td>최저 한랭지 기후 표준조건</td></tr>
</table>
 </td></tr>
</table>

7. 태양광 시스템 시공 및 검증

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="2"> 
< 옥상태양광 >

< BIPV ></td></tr>
<tr><td colspan="2">정의</td><td colspan="2">10kW 옥상태양광(경사고정형)과 5kW 건물일체형 태양광발전 설치 및 발전</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="2">신재생에너지를 활용하여 자체적으로 전력을 생산함으로써 건축물 소비전력 절감</td></tr>
<tr><td colspan="2">목적</td><td colspan="2">수직형 용수공급시스템의 면적에 맞는 최적태양광발전 시공 및 최대발전량 생산</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="2">(기존기술 수준) 건물의 설치환경이 다양하여 태양광의 경사각 방위각에 따른 최적배치가 어려움
(개발기술 수준) 수직형 정수처리시설 건물에 최적의 태양광배치 및 시공을 통한 최대전력량 발생기대
(개발기술 수준 설정근거) 방위각 정남배치, 경사각 33도의 최적경사각으로 설계 시공함</td></tr>
<tr><td rowspan="6">핵심성과</td><td rowspan="4">달성확인방법</td><td>1차년도</td><td>에너지자립 전략 수립에 대한 보고서 확인</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td>신재생에너지 조합기술 개발 및 일사량측정 및 음영측정 데이터에 대한 보고서 확인</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td>10kW 옥상태양광과 5kW 건물일체형 태양광발전 설계 보고서 확인</td></tr>
<tr><td>4차년도</td><td>현장 설치확인 및 발전략 현장시연</td></tr>
<tr><td rowspan="2">양적성과</td><td colspan="2">• 1,000㎥/일 수직형 정수장 내 실증설비 1식
• 효율평가 보고서 1식
• 운영관리 매뉴얼 1식
• 20,000㎥/일 급 수직형 정수장 설계서/도면</td></tr>
<tr><td colspan="2"> </td></tr>
</table>

8. DC배전 시스템 구현

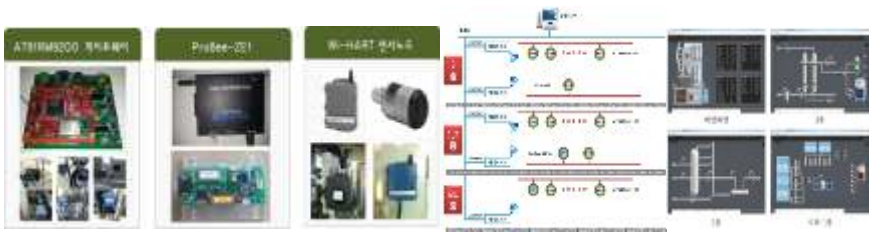
<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">정의</td><td colspan="2">DC배전 시스템 구축으로 에너지 절감 10% 달성</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="2">DC배전을 통해 에너지 변환 시 소비되는 전력을 저감하여 에너지 절감 달성</td></tr>
<tr><td colspan="2">목적</td><td colspan="2">신재생에너지로부터 생산되는 DC를 전력기기에서 사용하기 위해 AC로 변환(AC배전)시 발생하는 손실을 절감하기 위해 DC배전 구축</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="2">(기존기술 수준) DC부하에 전원공급을 위해 전력기기 개별 AC/DC 변환으로 에너지 손실발생
(개발기술 수준) AC/DC 일괄변환을 통한 DC배전을 통해 에너지 손실저감
(개발기술 수준 설정근거) DC는 AC에 비해 전력손실이 적으며, 전력기기는 단위용량이 커질수록 손실이 적어지는 Scale Merit 이 있음</td></tr>
<tr><td rowspan="6">핵심성과</td><td rowspan="4">달성 확인방법</td><td>1차년도</td><td>에너지자립 전략 수립에 대한 보고서 확인</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td>DC 모터펌프 전력량 비교시험장치 구축 보고서 확인</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td>DC배전 시뮬레이션을 통한 에너지절감 10% 달성 보고서 확인</td></tr>
<tr><td>4차년도</td><td>현장 설치확인 및 현장시연</td></tr>
<tr><td rowspan="2">양적성과</td><td colspan="2">• 실증설비(1) : 1,000㎥/일 수직형 정수장 내 실증설비 1식
• 효율평가 보고서 1식
• 운영관리 매뉴얼 1식
• 20,000㎥/일 급 수직형 정수장 설계서/도면</td></tr>
<tr><td colspan="2">
【약품펌프 BLDC】

【LED용 SMPS】

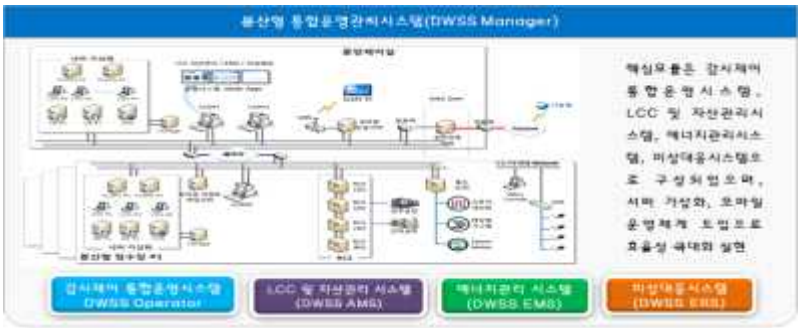
【LED 조명】

【층별 전자식 전력량계】</td></tr>
</table>

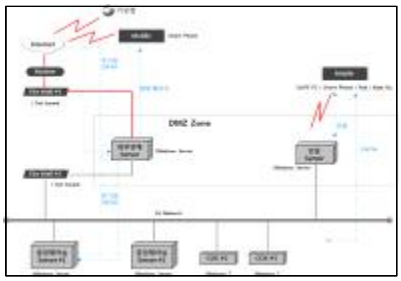
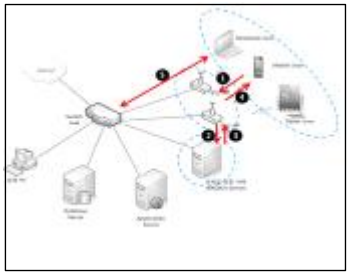
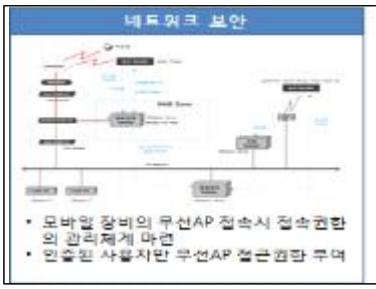
9. USN기반 데이터 취득 시스템 구현

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td colspan="2">정의</td><td colspan="2">USN 센서노드 제작 및 설치를 통한 데이터 취득</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="2">무선 센서노드를 통한 손쉬운 데이터 취득 및 제어 가능</td></tr>
<tr><td colspan="2">목적</td><td colspan="2">K-water 연구원 내 유량계 교정센터에 USN 기반 시범사업을 추진하여, 온, 습도, 유량, 수위, 압력, 펌프 상태 등 데이터 취득을 통해 무선장비를 이용한 손쉬운 데이터 취득과 모니터링 및 제어를 통한 수처리 기술 활용</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="2">(기존기술 수준) 수처리공정에서의 제어는 유선으로 처리 됨
(개발기술 수준) 센서노드를 이용하여 무선으로 데이터를 감시 및 제어
(개발기술 수준 설정근거) 무선노드를 이용하여 기존 유선에서 처리할 때 보다 손쉬운 데이터 취득, 감시 및 제어 가능</td></tr>
<tr><td rowspan="6">핵심성과</td><td rowspan="4">달성 확인 방법</td><td>1차년도</td><td>운영방식 시스템 제작방식 선정</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td>USN 설계기술 개발 및 단말 하드웨어 제작에 따른 설계도면</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td>현장시연을 통한 송수신 데이터 확인 (송수신율 90% 이상)</td></tr>
<tr><td>4차년도</td><td>센서노드 데이터 시스템 구현 및 감시데이터 취득</td></tr>
<tr><td rowspan="2">양적 성과</td><td colspan="2">데이터 신뢰도 최소 97% 이상, 수신률 100% 획득
• 실증설비(1) : 1,000㎥/일 수직형 정수장 내 실증설비 1식
• 효율평가 보고서 1식
• 운영관리 매뉴얼 1식
• 20,000㎥/일 급 수직형 정수장 설계서/도면</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td></tr>
</table>

10. 운영관리시스템 프로그램 개발 및 오류 허용 오차

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td colspan="2">정의</td><td colspan="2">정수장의 설비 자산 및 에너지, 비상대응을 위한 운영 프로그램</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="2">서버 및 운영 PC의 가상화를 통한 에너지절감 및 웹 브라우저를 이용한 제어 및 관리 가능</td></tr>
<tr><td colspan="2">목적</td><td colspan="2">* 서버 및 운영 PC의 가상화를 통한 에너지절감
* 정수장 설비자산의 관리 및 에너지 생산/소비에 대한 모니터링 및 예측, 수질 상태에 따른 비상대응 매뉴얼 제공</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="2">(기존기술 수준)
- 정수장별 Web서버 2대, DB서버 2대, SCADA서버 2대, 운영PC 3대 이용
- 설비 위치별 관리 및 설비 자산에 대한 관리 부재
- 프로그램 설치에 의한 정수장 운영 관리
(개발기술 수준)
- 서버 2대를 가상화하여 9대 ~ 15대까지 사용 가능 (기존대비 에너지 75%절감)
- 웹 브라우저를 이용한 공정제어, 설비자산관리, 에너지관리 등 가능</td></tr>
<tr><td rowspan="5">핵심성과</td><td rowspan="4">달성 확인방법</td><td>1차년도</td><td>요구사항 및 아키텍처 정의 및 정리</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td>프로토타입 상세 구축 및 프로그램 설계</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td>프로그램 모듈개발 및 단위 기능 테스트</td></tr>
<tr><td>4차년도</td><td>- 1차 ~ 3차년도 개발된 응용 프로그램 실증시설 적용
- 공정 운영 및 정수장 운영데이터의 데이터베이스 관리
- 웹을 이용한 설비자산관리, 에너지관리, 비상대응 시스템 운영</td></tr>
<tr><td>양적성과</td><td colspan="2">운영 핵심 프로그램 개발 및 프로그램 허용오차 1.4 % 획득
클라우드 도입에 따른 소비전력 80% 절감, 서버 H/W 리소스 70% 이상 활용 가능(가상화 이전 10% 미만)
• 실증설비 운영시스템(1) : 1,000㎥/일 수직형 정수장 내 실증설비 1식
• 효율평가 보고서 1식, 운영관리 매뉴얼 1식
• 20,000㎥/일 분산형 정수장 운영시스템 구축방안</td></tr>
<tr><td colspan="3">감시제어 통합운영 프로그램(DWSS operator), 실시간 에너지관리 프로그램(DWSS EMS), LCC 및 자산관리 프로그램(DWSS AMS), 비상대응 프로그램(DWSS ERS), 유무선 계측제어 프로그램, 유비쿼터스기반 LED 조명제어 프로그램, 막여과 공정 유량변동 대응 최적운영 프로그램 등
  </td></tr>
</table>

11. 해킹건수

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="2">   </td></tr>
<tr><td colspan="2">정의</td><td colspan="2">정수장 운영시스템의 내/외부로부터 침입(해킹)에 대비한 사전 대응체계 마련</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="2">네크워크를 이용한 해커침입 차단 및 프로그램 오류를 이용한 불법 프로그램 배포 차단을 위해서</td></tr>
<tr><td colspan="2">목적</td><td colspan="2">* 네트워크(유선/무선)를 이용한 내/외부 해커에 의한 침입 차단
* 정수장 운영 시스템의 프로그램 버그(오류)를 이용한 불법 프로그램 배포 차단</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="2">(기존기술 수준)
- 기존 FA망과 인터넷망은 차단되어 있으나, 점차 인터넷망을 이용한 운영관리의 필요성 증대
- 설치용 프로그램을 이용한 불법 프로그램의 배포 가능
(개발기술 수준)
- DMZ영역을 이용한 안전한 FA망과 인터넷망을 연결 가능
- 사용자는 웹 브라우저를 이용한 보안이 적용된 환경으로 프로그램 설치 불가능</td></tr>
<tr><td rowspan="6">핵심성과</td><td rowspan="4">달성 확인방법</td><td>1차년도</td><td>계획수립</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td>테스트 시나리오 정의</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td>기능 통합시험 및 결함 추적</td></tr>
<tr><td>4차년도</td><td>- 1차 ~ 3차년도 개발된 응용 프로그램 실증시설 적용
- 네트워크 및 운영 시스템을 통한 해킹의 발생 Zero</td></tr>
<tr><td rowspan="2">양적성과</td><td colspan="2"><table><tr><th>구 분</th><th>점검항목 수</th><th>정상</th><th>이상</th></tr><tr><td>웹 보안성 점검</td><td>61</td><td>61</td><td>0</td></tr></table>※ 한국인터넷진흥원(KISA)의 웹서버 구축 보안점검 체크표를 기준</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 

3단계 인증절차
- 1단계: 무선AP 접속 계정의 관리자에 의한 인증서버 등록
- 2단계: 등록된 계정만 무선AP 접속
- 3단계: 전용앱 사용을 위한 MAC Address 필터링</td></tr>
</table>

제 2 절 연구성과 적용(예정) 실적

연번	성과명	적용실적 및 예정	비고
1	비상용수 용량기준 및 분산형 용수공급시스템 기본계획	◦ 비상용수 용량기준은 향후 국내 비상용수 용량 기준 수립에 활용(정책) ◦ 분산형 용수공급시스템 기본계획은 새만금 개발지역 시범사업 추진을 위해 관련 기관 및 용수공급 수행기관과의 협의를 추진중에 있음	제도/기준
2	수직형 정수처리시설 설계기술 개발 및 Prototype 제작	◦ 수직형 정수처리 실증시설 구축을 통한 운영 및 검증 완료 ◦ 새만금 개발지역 시범 사업 추진시 반영추진 ◦ 노후 정수장 개량사업시 반영 추진을 위한 환경부 담당공무원 기술 소개 및 협의추진	수직형 정수 시설 설계 도면
3	수직형 정수처리 시공기술 개발	◦ 수직형 정수처리 실증시설 구축 ◦ 감성설계 미적시공 기술 개발 ◦ 수직형 정수처리시설 도입시 활용	시공 가이드라인
4	기존 광역용수 공급시스템 및 급/배수 시스템 최적 연계기술 개발)	◦ 분산형 용수공급시스템 구축 요소기술로서 수리/수질/에너지 측면에서의 최적 위치 결정방법론 등 개발 ◦ 새만금 개발지역 대상 분산형 용수공급시스템 기본계획 제시를 통한 시범사업 추진	새만금 기본계획
5	피코급 소수력 발전설비 및 수차 시험설비 개발	◦ 피코급 소수력 발전설비 개발 ◦ 수차시험설비 구축을 통한 개발제품 검증 ◦ 수직형 정수처리시설 도입시 활용 ◦ 기존 및 신규 용수공급 인프라에 적정 용량 및 적용 조건에 따라 적용 추진	수차 장치/시험 설비
6	수온차 냉난방 시스템 효율증진 및 연계기술개발	◦ 수직형 정수처리 실증시설 적용을 통한 검증 ◦ 타 용수 공급 및 처리 시설에 적용 예정	시스템
7	태양광 시스템 시공 및 검증	◦ 수직형 정수처리 실증시설 적용을 통한 검증 ◦ 현재 용수공급 및 처리시설에 기 적용진행 ◦ 기존 시설에 추가 적용시 해당 기술 적용예정	시스템
8	DC배전 시스템 구현	◦ 수직형 정수처리 실증시설 적용을 통한 검증 ◦ 태양광 발전설비 도입시 활용 추진예정	시스템
9	USN기반 데이터 취득 시스템 구현	◦ 수직형 정수처리 실증시설 적용을 통한 검증 ◦ 기존 시설 계측기 추가시 해당기술 적용예정	장치/시스템
10	운영관리시스템 프로그램 개발 및 오류 허용 오차 11. 해킹건수	◦ 수직형 정수처리 실증시설 적용을 통한 용수 및 에너지 통합운영관리시스템 개발 적용 ◦ 오차 및 해킹건수를 통한 검증 완료 ◦ 수직형 정수처리기술 적용시 동반 활용예정	프로그램

제 4 장 연구목표 달성 및 효과

제 1 절 연구개발 최종목표 달성도

1. 핵심기술별 연구개발 최종목표(정량적)의 달성도

(가) 연구단 총괄

성과목표	최종 성능목표	성과 지표	목표 수준	측정 방법	검증 방법	검증결과
수직형 정수처리시설 및 설계기술 개발 및 Prototype 제작	사업화 대상지역 수직형 정수처리시설 설계	수직형 정수처리시설 규모	5,000㎥/d 이상	설계 용수공급량	설계 보고서 확인	20,000 ㎥/일 규모 수직형 정수처리시설 설계 및 용량별 개략공사비 산정
	사업화 대상지역 분산형 용수공급시스템 비상용수 확보계획 수립	분산형 용수공급시스템 기본계획	비상용수 확보계획 반영 보고서	분산형 용수공급시스템 기본계획보고서	보고서 확인	H도시 및 새만금 개발지역 분산형 용수공급시스템 기본계획 반영
분산형 용수공급시스템 실증시설 구축	실증시설 구축 및 시공기준 수립	실증시설 최적화 및 시공기준 표준화	시공도면 1건	최종수정 도면	시방서 (개선사항)	시공시방서 및 수정도면
	기존 광역용수공급시스템 및 급배수시스템 최적연계기술 개발	Hybrid 용수공급 시스템 설계 알고리즘	1건 이상	보고서	전문가 검증	용수공급시스템 알고리즘 및 분산형 용수공급시스템 기본계획 반영
분산형 용수공급시스템 운영 유지관리 기술 개발	신재생에너지 및 에너지 효율화 기술로 소비에너지 효율화율 30% 달성	소비에너지 효율화율 30% 이상 달성		설계 및 실증시설 운영근거 자료제시	검증평가 보고서	에너지 효율화율 44% 달성 (20,000 ㎥/일 정수생산량 기준, 0.215 kWh/㎥ 예상)
	통합운영관리시스템 구축 및 검증	USN 데이터 취득시스템 구현 및 클라우드 컴퓨팅 기반 통합운영관리 시스템 구축	데이터 취득, 프로그램 오차 5% 이내 및 해킹건수 0건	감시데이터 송수신 상태점검 및 프로그램 오류체크리스트	현장시연 검증 보고서	데이터 신뢰도 최소 97% 이상, 수신률 100%, H/W 16대 → 5대 , 연간전력량 약 70% 감소, 오차 1.4% 및 해킹건수 0건

(나) 1세부 과제

성과목표	최종 성능목표	성과 지표	목표 수준	측정 방법	검증 방법	검증결과
분산형 용수공급시스템 설계기술 개발 및 법/제도 연계방안 수립	비상용수 용량기준 수립 및 제시	비상용수 용량기준	수직형 정수처리시설 비상용수 확보	기본계획 보고서	전문가 검증 보고서 확인	비상용수 용량기준 수립 방법론 전문가 검증 및 논문 투고를 통한 검증 완료, 비상용수 용량기준 반영 분산형 용수공급 기본계획 수립
	분산형 용수공급 시스템 기본계획 시 용량기준 적용	최적 시나리오 선정 및 상세 설계	반영여부	전문가 평가	전문가 평가	H도시 및 새만금 개발지역 분산형 용수공급시스템 기본계획 반영
수직형 정수처리시설 설계기술 개발 및 Prototype 제작	Tankless 설계안이 적용된 1,000 m^3/일 규모 실증시설 상세설계 도면	처리용량	1000 m^3/d	실증시설 처리용량	설계 보고서 확인	실증시설 상세설계 수행 및 2세부 시공 및 3세부 운영에 반영
	Tankless 설계안 적용성 평가 및 설계최적화 방안 도출을 위한 Lab test 장치	평가 장치 용량	10m^3/d 이상	현장 확인	현장 시연	직결식 시스템 평가를 위한 Lab test 실험장치 제작 및 운전을 통한 안정성 평가 및 설계 개선안 도출
	수직형 정수처리 실증시설 상사성을 반영한 Prototype모형 제작	시제품 제작	1/50 이상	실증시설 상사성 반영 축소비율 측정	현장 확인	수직형 정수처리 실증시설 설계 상사성을 반영한 1/20 규모 Prototype 모형 제작
	사업화 대상지 적용 실규모 수직형 정수처리시설 설계 도면	수직형 정수처리시설 규모	5,000m^3/d 이상	설계 용수공급량	설계 보고서 확인	20,000 m^3/일 규모 수직형 정수처리 시설 설계 및 용량별 개략공사비 산정

(다) 2세부 과제

성과목표	최종 성능목표	성과 지표	목표 수준	측정 방법	검증 방법	검증결과
수직형 정수처리 시공기술 개발	수직형 고도정수처리 시공기술 개발	외피 설계도안	1건 이상	설계도	도안확인	외피 설계도 1건 및 실증시설 적용완료
		실증시설	1,000m3/d 이상	현장확인	현장시연 및 3개월 이상 정상 운전 데이터	1,000 톤/일 실증시설 구축 완료 및 약 1년간의 운전 데이터 축적
		실증시설 최적화 및 시공기준 표준화	시공도면 1건	최종수정 도면	시방서 (개선사항)	시공시방서 및 수정도면
	Pilot 테스트를 통한 분리막 공정 평가	無탱크 역세수량 확보 (보조펌프 및 라인 필요성 확인)	역세수량 기존대비 100%	Lab.테스트	보고서 (데이터)	무탱크 역세공정 테스트 실시 및 역세수량 기존대비 100%확인 (단 자동제어 시스템적인 보완 기술 개발 필요)
		無탱크 역세공정 차압 회복율	기존역세공정대비 100%	Pilot 테스트	보고서 (데이터)	기존 역세공정 대비 회복율 97.8~100%이상의 회복율 확인
		배출수 처리시설 선정 및 성능평가 (막여과 역세배출수 최소화 및 농축)	전체 회수율 95%이상	Pilot 테스트	보고서 (데이터)	배출수 파일럿 회수율 80~97% 운전확인, 본공정 회수율이 93%일 때 전체 회수율은 96~99%까지 가능
분산형 용수공급 시스템의 기존 광역용수공급시스템 및 급/배수시스템 최적 연계기술 개발	기존 광역 용수공급시스템 및 급배수시스템의 최적연계 기술 개발	상수관망 진단 평가 PI 추가	1건 이상	보고서	보고서	상수관망 진단 PI 추가 완료
		직결급수 시스템 알고리즘	1건 이상	보고서	전문가 검증	직결급수 시스템 알고리즘 완료
	기존 광역 상수도 연계를 위한 기반기술 확보	상수소비 패턴 예측 프로그램	1건	프로그램 등록	보고서	상수소비 패턴 예측 프로그램 개발 완료
		분산형용수공급 시스템 기본설계 (용수공급편)	1건	보고서	전문가 검증	새만금 실증지역 대상 구역 통합화 시나리오 완료

(라) 3세부 과제

성과목표	최종 성능목표	성과 지표	목표 수준	측정 방법	검증 방법	검증결과
신재생 에너지 활용 및 에너지 효율화 기술 개발로 소비 에너지 효율화율 30% 달성	소수력 발전설비	피코급 소수력 발전설비 성능평가	10 kW 이하급 제작 및 터빈 효율 65% 이상	터빈효율 측정	시험설비 성능검증 (검증위원회)	5kW, 효율 66 %
	고효율 수온차 냉난방 시스템	수온차 시스템 냉난방효율 검증	효율 250% (COP 2.5)이상	온도 및 전력량 측정	실증플랜트검증	난방 COP : 2.98 냉방 COP : 3.53
	태양광 발전 용량(15kW)	태양광시스템 시공 및 검증	15 kW	전력량 측정	실증플랜트검증	평균이용율 12.1%
	DC 배전 시스템	DC 배전 시스템 구현	Energy Saving 10% 내외	MATLAB/Simulink 이용 Simulation	실증플랜트검증	10.3%
	LED 조명제어 시스템	LED 조명제어	-	전력량 측정	실증플랜트검증	모션, 디밍제어 두 가지 다 적용 시 84.3% 소비전력 감소
	에너지효율화율 30% 달성	에너지효율화율 30%		설계 및 실증시설 운영근거 자료제시	검증평가 보고서	에너지 효율화율 44% 달성 (20,000 ㎥/일 정수생산량 기준, 0.215 kWh/㎥ 예상)
용수/에너지 통합운영 관리 시스템 구축	USN 센서노드를 이용한 데이터 취득	센서노드 데이터 취득 시스템 구현	감시데이터 취득 여부	감시 데이터 송수신 상태	실증플랜트검증	데이터 신뢰도 최소 97% 이상, 수신률 100%
	클라우드 컴퓨팅 기반 통합운영 시스템	수직형 정수처리 실증시설 운영시스템 구축	프로그램 개발 및 설치	실증시설 설치	현장검증	SCADA 시스템, 에너지관리 시스템, 자산관리시스템, 비상대응 시스템 구축 운영
		프로그램 오류 허용오차	전체기능대비 5% 이내	프로그램 오류 점검 체크표	보고서	1.4 %
		해킹 건수	0건	홈페이지개발 보안 가이드라인 체크리스트	보고서	0건
		클라우드 컴퓨팅 효율성 확보	-	소비 전력량	실증플랜트검증	H/W 16대 → 5대 , 연간전력량 약 70% 감소
수직형 정수처리 시설 운영기술 확보		운영최적화	실증시설 효율평가	효율평가 보고서 및 메뉴얼	보고서	효율평가 보고서 및 운영관리 메뉴얼

2. 연차별 연구개발 최종목표의 달성도

(가) 1세부 과제

연차	연구목표	달성도 (%)	내 용
1차 년도	분산형 용수공급시스템의 기본설계	100	■ 국내외 사례조사 및 실증시설 대상지역 선정
	수직형 정수처리시설 기본계획 수립	100	■ 공정 선정 및 공정 배열 계획 수립
	물안보 및 비상용수 기준 수립	100	■ 비상용수 사례조사 및 개념 정립
2차 년도	분산형 용수공급시스템 기본설계	100	■ 모델도시 분산형 용수공급시스템 기본설계
	수직형 정수처리시설 기본/상세설계	100	■ 실증시설 수직형 정수처리시설 기본/상세설계 ■ 시나리오별 수직형 정수처리시설 공정 선정
	법/제도 보완안 수립	100	■ 물안보/비상용수 기준 수립 및 법제화 검토 ■ 전문가 자문회의 등을 통한 방법론 검증
3차 년도	사업화 대상지역 분산형 용수공급시스템 기본설계	100	■ 사업화 대상지역 조사 및 선정 ■ 용수공급시스템 시나리오 작성 ■ 분산형 정수처리시설 BAT tool 제작 ■ 분산형 용수공급시스템 경제성 평가
	수직형 정수처리시설 설계 최적화	100	■ 수직형 정수처리 실증시설 전산유체해석 및 유량 분배 해석 ■ 수직형 정수처리시설 설계안 최적화 ■ 수직형 정수처리시설 설계 상사성 반영 Prototype 제작
	분산형 용수공급시스템 법/제도 검토	100	■ 분산형 용수공급시스템 도입의 법적 가능성 검토 ■ 수도사업의 에너지 자립화를 위한 법제도 개선방향 도출
4차 년도	사업화 대상(모델)지역 분산형 용수공급시스템 기본계획	100	■ 대상지역 분산형 용수공급 기본계획 수립 ■ 대상지역 용수공급 시나리오 작성
	수직형 정수처리시설 설계 보완 및 사업화 대상지 규모 시설 설계	100	■ 수직형 정수처리시설 실증 운영결과 등을 활용한 공정별 설계보완 ■ 사업화 대상지역 적용 5,000~20,000㎥/일 규모 수직형 정수처리시설 설계 ■ 공정별 유동모의 및 개선방안 도출
	사업화 및 실용화 전략 수립	100	■ 사업화 Road-map 및 사업모델 도출 ■ 물산업 진출에 따른 파급효과 산정

(나) 2세부 과제

목 표		달성도 (%)	내 용
1 차 년 도	수직형 고도정수처리시설 시공계획 수립	100	- 실증시설 시공을 위한 기본검토 - 선행기술조사 (특허분석) - 해외수처리 플랜트 방문/자료수집
	감성설계가 고려된 미적 시공 자료 수집 (해외 플랜트)	100	- 친환경건축 등 자료수집/검토 - 해외수처리 플랜트 방문/자료수집
	기존 도/송/급/배수 시스템 진단 및 평가	100	- 기존 연구된 도/송/급/배수 시스템 진단기법 조사
	저류조 및 비상용수 확보능 평가	100	- 국내외 저류 시스템(지하저류시설) 구축현황 조사
	상수 소비량 예측 기법 조사	100	- 상수소비패턴 예측, 원단위 산정, 총 사용량 예측
	기존 용수공급 시스템 운영 및 유지관리 평가기술 및 기존정수장 활용방안 수립	100	- 관망관련 노후도 평가/수도시설 종합적 진단평가 방법 관련 선진기법 조사
2 차 년 도	감성설계가 고려된 미적시공기술 개발	100	- 실증시설 외피 설계 Boundary 도출 - 외피 디자인 공모전 실시 - 실증시설 외피 디자인 설계
	공정별 시공기술 개발 및 재료선정	100	- 공정조합/구성 최적화 설계참여 (1세부 공동) - 실증시설 시공시방서 작성
	수직형 정수처리시설을 위한 분리막 평가/선정	100	- 최적 분리막 선정 - 막모듈 및 공정 평가용 파일럿 설계 및 제작 - 역세펌프 및 탱크가 없는 탱크리스 적용성 평가
	도/송/급/배수 시스템 진단 및 평가	100	- 도/송수 시스템과 배수/급수 시스템의 진단 및 평가 방법 수립 및 관련 자료 검토 - 상수관망의 관 파괴와 같은 사고에 대한 운영상의 안정성 평가 PI 추가 - PDA분석을 위한 HOR관계식 유도 모의 상수관망 장치 설치
	펌프조합 및 직결급수 시스템 타당성 검토	100	- 수요변화 대응, 시설운영 등에 대하여 직결급수 타당성 및 불안정성 검토 - 수직형 정수처리시설에 의한 직결급수 타당성 검토 및 대안 제시
	수송에너지 분석 및 정량화 기술 평가	100	- 수두차에 의한 펌프의 용량, 댓수 및 효율에 대한 검토 수행
	배수지 규모/위치 및 예비율 평가	100	- 상수관망 및 배수지 구성에 따른 수리해석 및 배수지 위치 평가/제시
	상수소비패턴 및 소요량 예측	100	- 기 개발된 상수 소요량 예측 모델 조사 및 H시 상수 소요량 예측 분석 - 상수소비패턴 예측 프로그램 개발
	기존 용수공급 시스템 운영 및 유지관리 평가기술 및 기존 정수장 활용방안 수립	100	- 수직형 처리시설 및 배수지시설 위치선정 기준 및 HWSS의 배수지 연계 방안을 제시 - 상수관망 및 배수지 구성에 따른 시나리오 구성 - 시나리오별 extended period simulation 수행

목 표		달성도 (%)	내 용
3 차년도	실증시설 구축	100	- 시공시방서 검토 - 실증시설 건물 구축 - 파일럿 플랜트를 이용한 탱크리스 공정 평가
	배출수 처리시설 선정 및 성능평가	100	- 가변적 역세유량을 통한 분리막 평가 - 배출수 처리방안 조사 및 분리막 선정 - 배출수 처리공정 파일럿 계획
	펌프조합 및 직결급수시스템 기술 개발	100	- 모의상수관망 실험을 통한 PDA의 HOR 관계식 유도 - 수질, 잔류염소 등에 대하여 직결급수 타당성 검토 - 급수방식에 따른 펌프 제어방식 선정 - HWSS를 수질해석을 통한 우수성을 입증 및 기존 용수 공급체계와 연계방안 모색 - 펌프조합 및 관망 구성에 따른 수송에너지 분석 및 직결급수 시스템 타당성 검토
	급/배수시스템 연계를 위한 Guideline 설정	100	- 배수지 규모/위치 및 예비율 평가(규모/위치) - 상수소비 패턴 사용량 예측(사업화 대상지역) - 분산형 용수공급 시스템 연계 guideline 작성
4 차년도	시공기준 수립 및 시방서 작성	100	- 실증시설 준공 및 보완 - 성능 평가 실시
	배출수 처리(농축)공정 선정 및 평가	100	- 배출수 처리(농축)공정 파일럿 제작 및 설치 - 배출수 처리(농축)공정 파일럿 운전 및 평가
	단일 분리막 정수처리의 회수율 최대화	100	- 막여과 배출수 최소화를 위한 역세유량 최적화 테스트 - 배출수 탈수율 증대를 고려한 CEB 조건 도출 방법 제시
	공급 구역 통합화 시나리오 작성	100	- 새만금 실증지역을 대상으로 한 공급구역 통합화 시나리오 및 분산형 용수공급시스템 기본설계 - 분산형 정수처리시설 최적 설치 위치 제안

(다) 3세부 과제

목 표		달성도 (%)	내 용
1차년도	신재생에너지 활용 및 에너지 효율화 기술 개발	100	- 대상지역내 에너지 자립도 30% 이상 달성을 위한 전략 수립
	용수 및 에너지 통합 운영관리시스템 구축	100	- 운영관리 전략 수립
	Pico급 소수력 발전설비 설계	100	- 소수력 에너지 활용 및 적용방안 수립
	수온차 시스템 설계	100	- 수온차 시스템 활용 및 적용방안 수립
2차년도 / 3차년도	신재생에너지 활용 및 에너지효율화 기술 개발	100	- DC배전 도입에 따른 적용 효과 분석 ·MATLAB/Simulink 및 GUI를 이용한 효율 분석 툴 개발 ·개발한 툴을 이용한 DC 배전 도입에 따른 적용효과 분석 - 신재생에너지 최적 구설 알고리즘 개발 ·날씨효과에 따른 태양광 및 풍력발전 특성에 관한 연구 ·수직형 정수처리시설의 구조적 특성에 따른 신재생에너지원별 설치가능 용량 산정 ·신재생에너지원별 특성을 고려한 최적구성 알고리즘 개발 - 신재생에너지원별 계통연계시 영향 평가 ·신재생에너지 모델링을 활용한 수직형 정수처리시설의 모의계통 구성 ·수직형 정수 처리시설 내 신재생에너지 연계 시 전압변동에 대한 모의 및 평가
	용수 및 에너지 통합운영관리 시스템 구축	100	- 프로그램오류 허용 오차 ·전체 51개 기능에 대해 각 26개 항목을 대상으로 테스트를 실시하여 전체 989개건에 대해 테스트를 실시하여 정상 963건, 오류 26건을 기록하여 2.6%의 오류율로 나타났음 ·별첨. 단위테스트 결과서 참조
		100	- 해킹건수 ·한국인터넷진흥원(KISA)의 2010년 1월 안내서의 웹서버 구축 보안점검 체크표를 기준으로 체크하였으며, 실증시설 설치 후 체크할 수 있는 항목을 포함하여, 전체 61개 항목에 대해 체크한 결과 파일업로드 항목에서 불합격으로 판정되었음 ·별첨. 웹 서버 구축 보안점검 체크표 참조
	Pico급 소수력 발전설비 설계	100	- Pico급 소수력 발전기의 유체설계 - Pico급 소수력 발전기 및 모델시험 설비의 기계설계
	수온차 시스템 설계	100	- 고효율 수온차 냉난방 시스템 설계 (효율 250%(COP2.5)이상급 설계) ·설계서 작성을 위한 자료 수집 (아산(정), 성남(정), 금산(정)) ·설계참고 자료 수집 ·히트펌프 방식 최종확정 (물대물 방식) ·설계서 작성 설계계산서 / 설계도면(PID/Lay-Out) 표준 시방서 / Data Sheet 장비리스트 ·Part도면, 제어로직 F/C 작성

목 표		달성도 (%)	내 용
4 차 년 도	신재생에너지 활용 및 에너지효율화 기술 개발	100 %	- 신재생에너지설계 및 설치 - 신재생에너지 출력 예측 - EMS 최적 운영 알고리즘 개발 - 수직형 정수처리장의 수온차 열원 부분의 수학적 모델링 - 히트펌프 구성요소 모델링 - 열원 및 히트펌프 구성요소 모델링 통합모델 개발 - 개발 통합모델을 활용한 히트펌프 및 열원부 장치 기본설계 자료 제공 - 설치 히트펌프 평가 장치 설계 및 구성 - USN, DC시스템 설치 및 분석 - 센서노드 최적제어 알고리즘 개발
	용수 및 에너지 통합운영관리 시스템 구축	100 %	- 용수&에너지 운영관리시스템 실증시설 설치에 따른 하드웨어 및 알고리즘 점검 및 보완 - 막여과 공정의 유량변동 최대범위 도출 - 막 정수처리시스템 유량변동 범위를 고려한 분산형 용수공급시스템 최적운영 알고리즘 개발 - SCADA 시스템 구축 - 에너지관리 시스템 설계 - 시스템 통합 설치 - 비상대응 알고리즘 작성
	Pico급 소수력 발전설비 제작	100 %	- Pico급 소수력 발전설비 제작 (사업화 대상지역의 적용성을 고려하여 발전설비의 실물 사이즈 제작) - Pico급 소수력 발전설비 성능평가
	수온차 시스템 구축	100 %	- 효율 250% (COP2.5) 이상 설비제작 및 설계기준, 표준지침, 시방서 작성 - 용수공급 인프라와 관련한 시설을 활용한 신재생에너지원 생산(수온차 시스템) 및 활용기술 확립

제 2 절 연구개발 성과의 기술적 효과 분석

▌분산형 용수공급시스템의 기술적 성과는 국제적인 물 전문학회인 국제물학회(IWA)에서 주관하는 프로젝트 혁신상(PIA, project innovation award)의 소규모 프로젝트 분야 “Honour Award”를 수상(2014. 06(동아시아지역), 2014. 09(글로벌지역)) 함으로써 **전 세계적으로 기술의 우수성 인정받아 국가의 위상 제고**

▌**물안보 및 비상용수 확보를 고려한 모델도시 분산형 용수공급시스템 기본계획 제시를 통한 미래사회 안전하고 안정적인 용수공급 체계 구축의 롤 모델을 제시함으로써 향후 다양한 IT, NT, ET 등 융.복합 기술 적용을 통해 새로운 기술영역 창출이 가능할 것으로 예상됨**

- 지하저류조 및 대심도 터널 등 다양한 방식의 비상용수 확보를 고려한 분산화 수처리 시스템 구축시 의사결정 수단으로 활용할 수 있음
- 기존 광역 및 지방상수도 수처리 시설과의 연계뿐 아니라 보조수원 등을 활용한 분산형 용수공급시스템 구축 방향 제시를 통하여 수원의 다변화 연구 성과를 적용할 수 있으며, 물을 이용한 테러 및 원수와 공급 관로의 사고 대처능력을 확보할 수 있음
- 물안보 및 비상용수 기준 마련을 통해 미래도시 재해에 강한 중단 없는 용수공급 인프라 계획의 기초를 마련하게 됨

▌**신개념 수직형 구조의 수처리 설계 기술은 컴팩트한 구조의 소요부지 저감 특성과 안전하고 안정적인 수처리가 가능함에 따라 다양한 용수처리 필요 분야에 활용이 가능함**

- 공업용수 및 고품질 산업용수 처리 및 공급 인프라 구축에 다양한 형태의 분산형 용수공급 체계를 활용할 수 있으며, 관련 인프라 관련 물 산업 또한 동반성장 할 수 있는 기반을 마련함

▌**수직형 정수처리기술은 플랜트 기술로 발전되고 있으며, 최초로 설계/건설/검증된 기술로서, 본 연구에서 확보된 운영관리 기술은 향후 본 시설의 실용화 시 설계에 유용하게 활용될 것으로 예상됨.**

- 수직형 정수처리 플랜트는 정수처리 공정분야에서 세계 최초로 직결-수직형으로 개발되었으며 실증플랜트(1,000㎥/일)에서 직접 검증되어 경험을 축적함.
- 수직형 정수처리 플랜트의 최적 운영압력의 도출 및 각 단위공정의 운영방법, 공정간의 결합, 계열수 등 향후 설계에 유용하게 활용될 수 있는 운영관리 요소기술 확보
- 수직형 정수처리 플랜트의 성능 검증으로 정수처리기술의 새로운 방안 제시

▌수직형 정수처리시설 시공기술 개발의 경우 소요부지 면적을 최소화하는 도심에 위치하는 구조물의 시공이 가능하게 되어, 친환경적인 새로운 환경신기술의 도출이 가능할 것으로 예상됨. 또한 공간 배치를 최적화하는 고도정수처리 공정 조합을 도출하여 수 처리 효율 향상 및 수질의 안정성을 확보할 수 있을 것으로 판단됨.

▌수직형 정수처리 시설이 도입될 경우, 현재의 급/배수 시스템과 연계해야 함에 따라 기존 급/배수 관망의 활용 및 통합이 가능하게 되어 불필요한 관망의 재구축 등이 불필요 할 것으로 판단되며, 수송에너지의 절감 및 펌프 효율의 극대화로 인해 에너지 활용 측면에서 경제성이 확보 가능 할 수 있을 것으로 판단됨.

▌분산형 용수공급시스템 사업의 경우 IT, NT, ET 등 융.복합을 통한 기술개발로 인하여 각 기술 분야간 연계를 통한 기술 영역 창출이 가능할 것으로 예상됨

- 지하저류조 및 분산화 수처리 시스템 내 수리 및 수질을 예측/감시하고 운영 및 유지관리에 요구되는 의사결정지원시스템을 구축할 수 있음
- 시스템을 이용한 비상용수 시설의 원수로서 이용될 수원의 다변화 연구성과를 확보할 수 있으며, 물을 이용한 테러 및 원수와 공급 관로의 사고 대처능력을 확보할 수 있음
- 또한, 재생에너지원별 효율의 극대화로 에너지원의 효용가치를 높여 고부가가치의 기술로 국가주도의 기술개발이 가능하며, 지하저류조를 이용한 소수력발전, 수온차, 및 지열에너지의 연계 활용이 가능

▌신재생에너지 활용 및 에너지 효율화 기술개발을 통한 수직형 정수처리 플랜트의 에너지 효율화율을 30% 이상 확보함으로써 용수공급과 융합된 신재생에너지 및 저에너지 설비기술의 요소기술 확보 및 기술적 융합 및 설계기술 확보

- 태양광시스템, 소수력발전시스템 및 수온차시스템 등 신재생에너지 기술을 개발하고, DC배전 구축을 비롯한 클라우드 컴퓨팅과 LED 조명제어등 에너지 효율화 기술을 개발함은 물론, 정수공정의 최적 운영압력 제어기술 등을 적용하여 에너지 효율화율 44% 달성
- 고효율 수온차 냉난방 시스템의 설계 및 제작을 통하여 난방운전시 운전 COP 2.98 그리고 냉방운전시 운전 COP 3.53을 실제 운전을 통하여 검증 기술을 확보함으로써 수직형 정수퍼리 플랜트 내의 활용(냉난방, 막여과 CIP 가온 수 공급 등) 뿐만아니라 용수 내의 온도를 이용하는 응용분야(건축물, 하폐수 등) 등 으로 확대 활용 가능토록 기술적 진보 달성

▪ 신재생에너지 연계 활용으로 에너지원의 효용 가치를 높여 에너지 다소비 구조의 수직형정수시설의 운영에 따른 비용 문제를 최적화함으로써 향후 분산형 용수공급시스템 설계적용 및 정수장, 하폐수처리장 확대 적용

▌국내 최초 피코급 소수력 발전설비 개발로 기술적 격차 해소 및 수차시험설비 구축으로 수차기술 발전 가속화 체계 마련

▪ 수직형 정수시설의 저낙차와 저유량 환경에 적합한 피코급 소수력 발전시스템을 자체 설계·제작·검증하여 효율 66%의 모델 수차기술 확보
▪ 저낙차, 저유량 조건에 부합하는 국산수차 설계 기술 향상
▪ 국내 최초 5kW급 프로펠라형 국산 수차개발
▪ 외국에 주로 의존하던 수차시험설비의 구축으로 수차 개발의 발전 기여

▌수직형 정수처리 플랜트의 브랜드화된 운영관리시스템 기술 확보로 운영관리 기술의 진보 달성

▪ SCADA 시스템 뿐만 아니라 에너지 관리, 자산관리, 위기관리 등 다양한 운영관리 핵심 프로그램을 개발함으로써 운영관리 기술의 효율성 제고
▪ 분산화 수처리 시스템 내 수리 및 수질을 예측/감시하고 운영 및 유지관리에 요구되는 의사결정 지원시스템을 구축
▪ 막여과 기반의 분산형 정수처리시스템의 생산유량 변동 시 안정적인 운영관리 기술 확보
▪ 통합운영관리시스템의 프로그램 에러율과 해킹건수 제로화로 안정적인 통합운영이 가능하도록 기술 개발되었으며, 이는 물을 이용한 테러 및 원수와 공급관로의 사고대처능력 확보 등 물 안보를 확보하게 됨은 물론, 분산된 수처리시스템간의 운영 및 유지관리를 효율적으로 할 수 있는 클라우드기반의 의사결정지원시스템을 확보

제 3 절 연구개발 성과의 경제적 효과분석

▌상하수도 관련 건설 사업의 매출 증가를 가져오며, 국내 브랜드의 대규모 설계/운영 소프트웨어 및 용수공급시설 개량 기술의 적용을 통해 해외 기업의 국내로의 진출을 대처할 수 있음 (개량 및 건설시장의 창출 기대)

- 수처리/신재생에너지 플랜트산업부문 매출증가 및 고용증진
- 수처리/신재생에너지 융합플랜트의 저에너지 고부가가치 기술 개발을 통한 저개발국가 수출 및 기술경쟁력 확보
  - ※ Veolia : 현대 석유화학, 하이닉스 반도체 각각 20년, 12년 위탁 운영
  - ※ Suez : 서울시 전체 수도시설의 20% 설계, 부산시 전체 수도시설의 80% 설계
- 세계 탄소시장에 수처리 산업이 진입할 수 있는 기반기술 개발로 기업경쟁력 강화
- 수도시설 소요부지 최소화를 통한 생태계 파괴 최소화
- 노후화 된 용수공급 시설의 개량(시공한지 20년 이상 된 시설물)을 통한 매출증가 및 고용증진
- 분산형 용수공급시스템 마케팅 전략구축으로 민간/공공부문의 해외시장 공동 진출에 활용
- 국내 건설회사의 해외 신도시 건설시장 진출에 브랜드화 된 용수공급시스템 구축기술의 동반 진출로 국익창출
- 해외 신도시의 특성에 적합하도록 테일러 메이드형 용수공급시스템의 설계 및 적용
- 과학적이고 체계적인 선진 운영관리 핵심 요소기술의 확보로 해외 운영관리시장의 진출 및 주도

▌용수공급 노후시설의 개량 및 신규 건설시장의 창출에 따른 매출증가 및 고용 증진, 해외 시장 진출기회 증가, 기술경쟁력 제고 등의 효과를 얻을 수 있음

▌해외의존 설비 및 핵심기술의 국산화로 수입대체효과 및 수출 기대

- 저낙차, 저유량 조건의 수차 원천기술 개발로 국내에서 계속 시장이 확대되어가고 있는 Pico급 소수력발전설비의 국내외 시장점유를 기대
- 용수공급분야에서 ICT 융합 운영관리 기술(USN, 운영관리시스템)의 선도

▌국내.외 상하수도 관련 사업수행에 있어서 수직형 정수처리 플랜트의 최적 설계 및 운영지침의 마련을 통한 과다/과소 설계 조감 등 기술 혁신을 통한 비용의 감소를 가져올 수 있음

- 해외시장 진출시 국내 기업의 기술 위상 제고 : 설계, 건설 및 운영기술 노하우

▌소수력, 수열원 히트펌프 기술의 확보로 용수공급의 에너지 효율화율 증진, 비용의 절감에 기여하고 연관 산업에 확대적용 함으로써 경제적인 가치 증대

- 수열원 히트펌프 시스템을 활용한 용수공급 시스템 내 에너지 자립도 향상 및 유지관리비 절감
- 에너지 효율화율이 증진된 용수공급플랜트 기술의 브랜드화를 통한 해외진출 모색
- 1차 에너지(전기에너지)의 비용이 높은 국가에서 경쟁력 강화
- 열에너지를 이용하는 연관산업 및 공정에 확대 적용하여 부대설비 비용절감 및 에너지 비용절감으로 경제성 향상

▌분산형 용수공급시스템의 구축은 기술집약적 물산업의 일환으로 이제 까지 물산업관련 하드웨어의 설계, 제작, 건설, 운전 및 유지관리를 위하여 다양한 산업 발전에 기여할 수 있음

- 수직형 정수처리시설에서는 막 생산업체, 고도처리(활성탄, 오존 및 UV 등) 시스템 업체뿐만 아니라 수질모니터링 장치, 펌프, 배관, 밸브, 측정 장비 등 대부분이 국내 기업들이 물산업의 활성화를 위해 추구하고 있는 아이템들이므로 본 연구과제를 통해 국내 막 산업, 펌프 등의 기계, 측정 장비 및 계기류 등의 산업 발전에 기여
- 용수공급시스템의 운전 및 유지관리 기술 확보를 통한 운영 효율 증대효과는 용수공급시스템의 분산화에 내재된 경제적인 측면에서의 경쟁력 약화를 신재생에너지 활용으로 보완하고자함으로 태양력, 소수력, 지열 및 수온차 등 국내 신재생에너지 시스템 구축 업체의 동반 발전을 가져올 수 있을 것으로 기대됨.

▌막여과 공정의 유량변동 대응기술을 활용하여, 막여과 정수장의 건설단가 절감

- (기존 막여과 정수장 설계 개념) 수요량이 일시적인 최대치일 경우에 초점을 맞춰 규모를 결정 → (새로운 설계 개념) 평균 수요량에 맞춰 규모를 결정하고, 수요량이 평균값보다 높아질 때는 일시적으로 막여과 플럭스를 높여 수요를 만족시키는 방식.
- 기존 설계 개념 대비 정수장 규모가 축소되므로 건설비가 절감됨

▌국민의 안전 및 건강생활 증진 및 국토의 균형적 발전을 위한 수자원의 균등분배 달성이 가능함

- 용수공급에 대한 신뢰성 회복 및 비용 절감
- 유해물질 사고 및 대테러 국가 비상대응 시스템 구축을 통한 국민의 신뢰성 제고 및 안전성 확보

- 노후화 된 용수공급 시설의 개량(시공한지 20년 이상 된 시설물)을 통한 양질의 용수공급
- 국가 위상제고 및 안전보장을 위한 기반 마련

▌용수공급에 대한 국민적 편의 증대 등의 파급효과는 비용절감 및 부가가치 창출 외에도 국민의 행복감 또는 생활만족도에 대한 효과 발생이 가능함

▌**R&D 투자의 경제사회적 파급효과 중 생산유발효과 및 고용촉진효과는 한국은행의 2006년 산업연관표(2010년 기준 가장 최신 연도에 발표된 산업 연관표) 활용하여 분석 실시**

- 고용유발효과 분석결과 2011~2014년 기간 동안 R&D 투자지출 중 간접비를 제외한 약 310.11억 원의 투입으로 동기간 총투자지출액(357.15억 원)의 약 12.88배인 4.599.88억 원의 고용유발효과가 있는 것으로 나타남
- 또한, 같은 방법으로 생산유발효과를 분석한 결과 총투자지출액의 약 1.75배인 626.38억 원의 생산유발효과가 있는 것으로 분석됨

제 4 절 연구개발 성과의 정책적 효과분석

▌본 연구는 소비자에게 가장 안전한 물을 가장 가까운 거리에서 공급하는 분산형 용수공급시스템 개발에 관한 것으로 1차적으로는 용수공급에 대한 신뢰성 회복하는 효과가 있어 **국민들의 수돗물 음용율 향상을 기대**할 수 있으며, 또한, 사고 등에 의한 단수의 최소화로 인한 **국민의 행복감 또는 생활만족도의 증진 효과로 국가 용수공급 정책에 기여**

- 본 연구과제에 추구하는 분산형 용수공급시스템의 구축은 기술집약적 물산업의 일환으로 이제 까지 물 산업 관련 하드웨어의 설계, 제작, 건설, 운전 및 유지관리를 위하여 다양한 산업 발전에 기여할 수 있음
- 정부에서는 최근 물 산업을 육성하기 위한 정책을 마련하고 있으며, 이를 위하여 정부 조직 내 관련부서를 신설하여, 물 산업 발전에 도모하고 있음. 정부가 구상하고 있는 관련 부서의 주요 추진 업무로는 세계적인 수준의 물 산업 강국을 구현하기 위하여 2015년까지 물산업 규모를 현재의 2배인 20조원 규모로 확대하고, 글로벌 수준의 세계 10위권 기업을 2개 이상 육성할 계획임
- 이를 위하여, 용수공급관련 법/제도 개선을 통하여 공정한 경쟁 환경을 조성하고, 낙후된 용수공급 서비스업의 구조개편을 통하여 경쟁력 있는 전문 기업을 육성할 계획임
- 특히, 수직형 정수처리 시설에는 막 생산업체, 고도처리(활성탄, 오존 및 UV 등) 시스템 업체뿐만 아니라 수질모니터링 장치, 펌프, 배관, 밸브, 측정 장비 등 대부분이 국내 기업들이 물산업의 활성화를 위해 추구하고 있는 아이템들이므로 본 연구 과제를 통해 국내 막 산업, 펌프 등의 기계, 측정 장비 및 계측기기류 등의 산업 발전에 기여할 것으로 예상됨

▌용수공급에 있어서 신재생에너지 기술의 개발 및 저에너지 설비의 적극적인 도입 및 기술의 발전으로 국가의 용수공급 및 에너지기술의 융합발전에 기여함으로써 **국가 에너지 정책에 기여**

▌해외의존 설비 및 핵심기술의 국산화로 수입대체효과 및 수출 기대 할 수 있으며, 용수공급시스템의 해외진출 모색 등으로 **국내외 물 시장 활성화 정책에 기여**

제 5 장 연구성과 활용 및 추가연구 필요성

제 1 절 연구성과 향후 활용방안

▌미래형 용수공급 체계인 분산형 용수공급시스템의 국가적 도입 및 운영전략 수립에 활용

▌분산형 용수공급시스템 구축을 위한 법률/기술적 타당성 평가에 활용

- 분산형 용수공급시스템 개발 및 적용을 위한 법, 제도 정비의 기반 마련

▌비상용수 확보 및 공급 개념의 정립으로 가뭄이나 지진 등 재난 시 국가 비상용수 공급 체계구축에 활용

- 지하 저류공간을 확보하여 비상시 대응능력을 키우고, 물 공급의 안정성을 확보

▌해외 도시건설시장에 용수공급시스템 구축 브랜드화 기술의 동반 진출

- 분산형 용수공급시스템 사업화 전략구축으로 민간/공공부문의 해외시장 공동 진출에 활용
- 국내 건설업체의 해외 신도시 건설시장 진출시 브랜드화 된 용수공급시스템 구축기술의 동반 진출로 국익창출
- 해외 신도시의 특성에 적합하도록 customized형 용수공급시스템의 설계 및 적용
- 과학적이고 체계적인 운영관리 핵심 요소기술의 확보로 해외 운영관리시장 진출 및 주도, 공적개발원조(ODA) 사업과 연계하여 물산업 해외진출의 일환으로 분산형 시스템의 기술 수출

▌국내 신도시의 Smart Water Main System 구축에 활용

- 개발되는 신도시의 특성에 가장 적합하도록 customized형 용수공급시스템의 설계 및 적용

▌국제적 기술 홍보로 국가 위상 확립 수단으로 활용

- '14년 국제물협회(IWA) 기술혁신상(Project Innovation Award) 수상을 기반으로 사업화를 추진하고 효과 분석 등 성과를 정리하여 기술적, 학술적으로 국제적 인증을 받도록 함으로써 기술력 홍보 및 위상 제고

▌개발된 원천기술을 활용한 확대적용 기술 발전

- 분산형 용수공급시스템 구축 기술과 기 개발된 연관기술을 연계하여 국가개발기술의 조기 상용화 및 중복 투자 방지
- 소수력 발전설비의 연관사업장 실용화 및 수차시험설비의 수차개발 주요 인프라로 지속적 활용
- 수온차 시스템은 원수가 풍부한 정수장 뿐 만 아니라 물 사용량이 많은 대형 건축물에 사용할 수 있으며 원수 외에 폐수를 이용한 시스템도 가능함으로 대형 건축물, 하폐수처리장 등 연관사업장에 실용화
- USN 기술의 연관 사업장 실용화

▌확보된 기술을 활용한 적용 및 시범사업

- 새만금 개발지역 등 신도시 개발시 수직형 정수처리시설을 적용한 분산형 용수공급 시스템 구축 시범사업 추진
- 공업용수 공급과 연계한 산업용수 처리시설 및 지역 생활용수 공급 시설 적용, 공업용수(침전수) 공급 관로 및 지역 보조수원을 활용·연계하여 용수 공급 안정성 제고
- 국내외 용수수요 발생지역의 정수처리 공급시설, 대규모 국제행사 지역의 용수공급 시설, 친수구역 조성시 생활용수 공급시설 적용
- 국내 고도정수처리시설 도입이 필요한 지방상수도 정수처리 시설 개량 및 신·증설
- 중소규모 정수장 신규 및 개량사업에 시범사업 추진
- 광역 및 지방상수도와 네트워크로 연결되지 않은 지역의 용수공급시설
- 소수력 발전설비의 연관사업장 실용화 및 수차시험설비의 수차개발 주요 인프라로 지속적 활용

▌실증시설 활용

- 장기운전을 통한 O&M 안정성 확보, trouble shooting 및 운영 최적화 수행
- 후속 연계사업 추진시 시설, 장치, 설비 등 적극 활용
- 설비, 장치 국산화 및 검인증 수행
- 효율적인 사업화를 위한 신기술(건설, 환경) 인증 추진

제 2 절 추가연구 필요성

▌수직형 정수처리 플랜트 핵심설비의 국산화 및 기술검증 필요

- 본 연구는 분산형 용수공급시스템 구축의 핵심기술인 수직형 정수처리플랜트 설계기술, 수직형 정수처리 플랜트의 운영기술 및 에너지 효율화 기술개발을 목적으로 추진됨.
- 운영관리기술은 수직형 정수처리 플랜트 건설 후 본격적인 연구가 4차년도에 1년여간 추진되었으므로, 장기 운전을 통한 시스템의 안정성 확보 필요
- 직결-수직형 정수처리 플랜트의 안정성 및 효율성 평가는 완료하였으나, 플랜트 내 핵심시설인 막여과 설비 등은 당초 설비의 안정성 측면(고압의 운영 특성)에서 외국산이 채택된 바, 향후 수직형 정수처리 플랜트의 실용화 및 해외진출을 위해서는 국산 장치 및 설비의 검증이 반드시 필요하므로 이에 대한 후속 연구 필요

▌직결식 시스템 설계안에 대한 설계기준(표준화) 및 지침 개발 필요

- 직결식 시스템 설계안이 적용된 계층형 정수처리시설은 세계 최초의 기술로서 이 기술이 향후 상용화되기 위해서는 해당 설계기준 및 지침이 필요하며 본 기술이 적용된 시설에 대한 장기적인 운영결과 분석을 통해 개선안을 도출하여 최종적으로 기술의 완성도를 높이기 위한 향후 연구가 필요함
- 상수도시설기준 개정 검토, 수도정비기본계획 등 관련 상위 법·제도 검토 개선 필요

▌수직형 정수처리 시스템 및 분산형 용수공급시스템의 사업화를 위하여 후속 보완 사업 추진으로 기술경쟁력의 확보가 반드시 필요함

- 기술의 확대 적용을 위해 다양한 취수원(수질)별 검토 및 BAT 공정 최적화 필요
- 기 수행 연구 성과에 대비하여 보다 높은 경제적 타당성 확보를 위해 공사비 및 운영유지관리비 절감 대책 제시 필요
- 해외시장 진출을 위한 customized형 컴팩트/패키지화 기술 개발 필요
- 설비, 기자재 국산화 추진으로 국내기업과 동반성장 활성화
- 신기술 인증 추진으로 원활한 사업화 및 기술경쟁력 확보
- 장기적 검증에 의한 기술 안정성 확보와 해외 시장개척형 기술을 확보하여 국내외 물시장, 학계, 산업기술계에 기술력 홍보 등 적극적 사업화 전략 추진 필요

- 설계기법 보완 및 water ring main 등 관로시스템 연계 구축 기술 확보 필요
- 환경부, 지자체와 협의하여 노후화된 기존 정수시설 개량, 고도정수처리시설의 도입이 필요한 경우, 용수공급 수요 확대로 시설 신·증설 경우 등에 대한 사업화 전략 및 시범사업 추진 필요

▌수직형 정수처리 플랜트 내 농축수 처리기술 확보 필요

- 최근 막여과 정수장 농축수의 침전성 불량으로 인해 처리의 어려움이 발생하여 이에 대한 연구가 시급하므로, 효율적인 시설 운영 및 실용화를 위해서는 농축수 처리기술에 대한 추가 연구가 반드시 필요

참고문헌

1. 국무총리실 기후변화대책기획단, 기후변화 대응 종합기본계획, 2008
2. 국토해양부, 지경부, 환경부, 물산업 육성방안, 2006. 2
3. 국토해양부, 한국건설교통기술평가원 “차세대 용수공급시스템 기획연구보고서”,2010.10
4. 김기석, 류시옥, 박노국 (2009) “신 재생 에너지” 영남대학교출판사
5. 김수한 (2003) “Polydispersity 조건에서 Crossflow 방식 정밀여과의 형성 특성 및 제어 방안에 관한 연구” 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 박사학위논문
6. 김충환 등 (2006) “정수막” 동화기술
7. 김한승 등 (2006) “수도막” 동화기술
8. 남상엽, 박래만 (2009) “신재생과 IT기반의 유비쿼터스 에너지” 상학당
9. 녹색성장위원회(2011.10.30), “모두가 체감하고, 함께 가는 신재생에너지 - 신재생에너지, 도전을 기회로 -”
10. 마이크 셰마 (2011) “웹 공격과 방어(해킹 초보를 위한)(에이콘 해킹 보안 시리즈 27)” 에이콘출판
11. 박노석, 임성은, 김성수, 황준식, 정남정 (2008) “일 유입유량 변동과 공정내 표면파 전파속도 상관성 분석” 상하수도학회지, Vol. 22, No. 2, pp.239-243.
12. 박동학, 박노석, 김성수, 배철호, 정남정, 최승일 (2007) “일유량 변동에 따른 여과수질 악화에 대처하기 위한 최적 여재 구성에 관한 연구” 상하수도학회지, Vol. 21, No. 4, pp.1-7.
13. 박률(2003) 교육용 건축물의 히트펌프 냉난방시스템에 대한 경제성 분석, 설비공학논문집 제15권 제10호, pp. 879 ~ 887
14. 박한영, 김용열, 우민규, 길준표, 김택수 (2007) “펌프장설계(양장본 HardCover)“ 홍릉과학출판사
15. 배전건설처 (2010) “분산형전원 배전계통연계기술기준”
16. 산업자원부 (1999) “카플란 수차 설계기술 및 국산화 개발”
17. 산업자원부(2006) The Study on the Development of the High EfficientGround Source Heat Pump System.
18. 산업자원부(2007), 신재생에너지 지열분야 기술 및 시장 동향분석 보고서
19. 손학식 (2010) “신재생 설비 전력시스템: 분산형전원 온실가스 감축” 한국에너지정보센터.
20. 수자원연구원(2007), 수온차 냉난방시스템의 에너지절감효과 분석 기술지원보고서.
21. 에너지관리공단 신 재생에너지센터 (2008) “지열(신 재생에너지 RD & D 전략2030

시리즈 8)” 북스힐
22. 에너지관리공단 신 재생에너지센터 (2008) “태양광(신 재생에너지 RD & D 전략2030 시리즈 9)” 북스힐
23. 윌로펌프 (2012) “펌프기술 총서(양장본 HardCover)“ 윌로펌프
24. 윤성문, 박찬용, 신혜수, 엄태준, 원동준 (2010) “신재생 에너지와 DC부하를 고려한 24. DC배전의 효율 검토” 대한전기학회 제 41회 하계학술대회, pp.2245-2246.
25. 이동혁, 진심원 (2008) “수열원 히트펌프의 사이클 설계 및 제어기술” 대한 설비공학회 2008 하계학술발표대회 논문집
26. 이정인, “대심도 지하공간의 이용 및 관련기술의 현황과 전망”, 대한상하수도학회 학술발표 및 세미나, 1997
27. 이재근(2007), 지열히트펌프시스템의 냉방운전에 따른 성능연구, 대한 설비공학회, 2007 동계, pp.441~446
28. 일본 후생노동성(2008), 水安全計画策定ガイドライン
29. 전북경제사회연구원(2001), 하수처리장 미활용에너지 이용타당성 연구.
30. 정범진, 목형수, 주재훈, 손성용 (2010) “분산전원 연계형 DC배전 기반 주거공간에서의 계통운용효율 고찰” 대한전기학회 제 41회 하계학술대회, pp.430-432.
31. 조동욱 (2007) “ADVANCED OWI INTERNALS AND PERFORMANCE IN ORACLE 10G RAC“ 엑셈
32. 최동진, 분산형수도시스템, 2008
33. 피터 모빌, 루이스 로젠펠드 (2011) “인포메이션 아키텍처: 효율적인 웹사이트 구축을 위한 정보설계 지침서” 인사이트
34. 한국산업마케팅연구소 (2011) “신재생에너지 산업 동향과 비즈니스(사업)전략” 한국산업마케팅연구소
35. 한국수자원공사, 행정복합도시 친환경 물공급관리, 2006
36. 한국수자원공사, “수도권 도심지역 심층공간 활용에 의한 광역급수체계 구축방안”, 1997
37. 한국수자원공사, UNEP, Guidelines for sanitation management in Asia and Africa, 2006
38. 한국에너지기술연구원(2005) Development of High Performance Heat Pump System using River Water as a Heat Source.
39. 한국에너지기술연구원(2007) 하이브리드형 지열 히트펌프 냉난방기 성능평가
40. 한국에너지기술연구원, 지열냉난방시스템 성능측정 용역보고서, 2003
41. 한혁상(2005) 지열펌프 냉난방 시스템
42. 현인환, 박희경, 박중현, “대심도 급수체계의 기본구상”, 대한상하수도학회 학술발표회 및 세미나, 1997

43. 환경부, 물환경관리 기본계획, 2006
44. ターボ機械協会 (1991) “ハイドロタービン” JSME-S008-1999 “수차 및 펌프 수차의 성능 환산법 “
45. 先端建設技術センタ, “大深度地下使用技術指針(案)·同解說”, 2000. 6
46. 渥美雅裸, “都市河川と雨水排水對策,” 下水道協會誌, Vol.34, No.418, 1997
47. 日刊工業新聞社, “日本のインフラストラクチヤ-”, 1983
48. Alina I. Racoviceanu, Bryan W. Karney, Chritoper A. Kennedy and Adrew F. Colombo, “Life-Cycle Energy Use and Greenhouse Gas Emissions Inventory for Water Treatment Systems“, ASCE, Journal of Infrastructure Systems, Vol. 13, No. 4, 2007
49. A. Nordmark(2002), “Overview on survey of water installations underground: underground water-conveyance and storage facilities”
50. Arora, H.; M.W. LeChevallier(1998). Energy management opportunities Journal of American Water Works Association: Vol. 90; Issue : 2
51. AwwaRF(2008). Evaluation of dynamic energy consumption of advanced water and wastewater treatment technologies.
52. Basile N., Fuamba M., Barbeau B., “Optimization of water tanks size and location on networks“ ASCE, Pipeline 2008.
53. Bevan Griffiths-Sattenspiel and Wendy Wilson(2009). The Carbon Footprint of Water. River Network. http://www.rivernetwork.org/resource-library/carbon-footprint-water
54. BIR RESERCH GROUP (2011) “그린IT 클라우드 컴퓨팅의 시장현황과 미래전략 “ BIR
55. Cheng-Liang Chen, Szu-Wen Hung, Jui-Yuan Lee (2010) “Design of inter-plant water network with central and decentralized water mains“, Computers and Chemical Engineering 34: 1522-1531.
56. Chia-Chi Ho, Andrew L. Zydney (2002) “Transmembrane pressure profiles during constant flux microfiltration of bovine serum albumin“, Journal of Membrane Science 209: 363-377.
57. Dharmesh M. Kanani, Xinghua Sun, Raja Ghosh (2008) “Reversible and irreversible membrane fouling during in-line microfiltration of concentrated protein solutions“, Journal of Membrane Science 315: 1-10.
58. EBI, Water view report : water and wastewater market, 2005
59. EPRI(2002). Water and sustainability(Volume 4): U.S. Electricity Consumption for water supply and treatment - The Next Half Century. EPRI Report

#00000000001006787, Palo Alto, Calif.:EPRI

60. Environment Agency(2009), Water resources strategy Regional action plan for Anglian Region
61. EU TECHNEAU(2007), “Decentralised Water Supply and Membrane Processes” Workshop
62. Global Water Intelligence, Annual Report, 2004
63. Gustaf Olsson(2012). Water and Energy : Threats and opportunities, IWA publishing
64. J.H. Ahn, J.H. Lee, H.J. Kim, D.H. Han(2009). Potential consequences to climate change and water management strategy I, Korea Environment Institute, pp. 87-89
65. I˙lyas Eker, Tolgay Kara(2003). Operation and control of a water supply system, The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 42,pp.461-473.
66. Javier Martinez-Solano, Pedro L. Iglesias-Rey, Rafael Perez-Garcia and P. Amparo Lopez-Jimenez, “Hydraulic Analysis of peak demand in looped water distribution network“, ASCE, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 134, No. 6, 2008
67. Jentgen, L. (2004) “Implementing a Prototype Energy and Water Quality Management System“ Awwart
68. J.M. Arnal, B. García-Fayos, M. Sancho, G. Verdú, J. Lora (2010) “Design and installation of a decentralized drinking water system based on ultrafiltration in Mozambique“, Desalination 250: 613-617.
69. Keisuke Hanaki, “Greenhouse gas emission reduction in wastewater management“ 2008
70. Korea Agency for infrastructure Technology Advancement(2012). “Develpment of design technology prototype model for DWSS” Intermediate Report.
71. Korea Agency for infrastructure Technology Advancement(2012). “Development of Test-bed for DWSS” Intermediate Report.
72. Kuo-Jen Hwang, Chih-Sheng Chan, Kuo-Lun Tung (2009) “Effect of backwash on the performance of submerged membrane filtration“, Journal of Membrane Science 330: 349-356.
73. KWWA(2010), “Korean standard of water treatment facilities”
74. KONETIC web site(http://www.konetic.or.kr/ infodb/planbuild_view.asp?cate=1&sort=A&sort2=A1&gotopage=2&unique_num=4032), Osaka Murano Water Treatment Plant.
75. Lee Kyung-Hyuk, Shin Heung-Sup, Ahn Hyo-Won, Chae Sun-Ha, Lim Jae-Lim(2008). Cost evaluation of advanced treatment processes for drinking water, J. of Korea Society of Water and Wastewater, Vol. 22, No.5, pp. 511-516

76. Levermore Geoff, Levermore, G. J. (2000) “Building Energy Maganement Systems“ Routledge
77. LG, LG Business Insight Report, 2008
78. Linsten A., Lundkvist M., Hellström D., and Balmér P.(2008). Description of Current energy Use in Water and Wastewater System in Sweden. The Swedish Water & Wastewater Association, SWWA, Stockholm, Sweden. svensktvatten.se
79. Mackey, E. D., R. S. Cushing, and G. F. Crozes(2001). Practical Aspects of UV disinfection, AwwaRF: Denver Colo.
80. Maryna Peter-Varbanets, Chris Zurbrugg, Chris Swartz, Wouter Pronk (2009) “Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology“, WATER RESEARCH 43: 245-265.
81. Matthias Wissner (2011) “The Smart Grid - A saucerful of secrets?“, Applied Energy 88: 2509-2518.
82. Ministry of Environment(2013). 2012 Statistics of waterworks
83. Ministry of Land, Korea Agency for infrastructure Technology Advancement(2010).
84. No-Suk Park, Seong-Su Kim, Seon-Ha Chae, Seoktae Kang, Jong-Oh Kim, Suhan Kim* “The effect of fluctuation in flow rate on the product water quality of conventional and membrane water treatment for smart water grid“ Desalination and Water Treatment, accepted for publication
85. No-Suk Park, Seong-Su Kim, Seon-Ha Chae, Suhan Kim* (2011) “Water quality deterioration due to variation in the production rate of advanced water treatment plant for smart water grid” The fourth conference on the Challenges in Environmental Science and Engineering, Tainan City, Taiwan, 25 - 30 September
86. N.S.Park, S.H.Chae, J.H.Kim(2011). Introduction of Decentralized Water Supply System, Journul of Korean Society of Water and wastewater, 25(2), pp.133-138.
87. N.S.Park, S.H.Chae, J.H.Kim, W.C.Jeong(2011). “Establishment od decentralized water supply system” Research Group, Korea Water Resources Association, 44(4), pp.62-67.
88. Mohammad Karamouz F., Hamed Tavakoli far, Sara Nazif, Kabir Rasouli, “Development of an Algorithm for Evaluation of a Water Treatment Plant Performance“, World Environmental and Water Resources Congress 2008 Ahupua’s
89. OECD (2007), Infrastructure to 2030 Volume 1, Volume 2
90. OECD (2009), “Alternative Ways of Providing Water : Emerging Options and Their

Policy Implications"
91. Planning Research & Feasibility Study of New Water Supply System for Next Generation.
92. Peter Kovalsky, Graeme Bushell, T. David Waite (2009) "Prediction of transmembrane pressure build-up in constant flux microfiltration of compressible materials in the absence and presence of shear", Journal of Membrane Science 344: 204-210.
93. Peter Bakker(2013). Pathways to Improved Water Security - Reflections, Aquatic Procedia 1, pp. 172-177.
94. Petros Gikas, George Tchobanoglous (2009) "The role of satellite and decentralized strategies in water resources management", Journal of Environmental Management 90: 144-152.
95. P.J. Remize, C. Guigui, C. Cabassud (2010) "Evaluation of backwash efficiency, definition of remaining fouling and characterisation of its contribution in irreversible fouling: Case of drinking water production by air-assisted ultra-filtration", Journal of Membrane Science 355: 104-111.
96. S. Kennedy (2005) "Wind power planning: Assessing long term costs and benefits" Energy Policy, Vol. 33, pp.1661-1675.
97. Shankararaman Chellam, Wendong Xu (2006) "Blocking laws analysis of dead-end constant flux microfiltration of compressible cakes", Journal of Colloid and Interface Science 301: 248-257.
98. Shankararaman Chellam, N.G. Cogan (2011) "Colloidal and bacterial fouling during constant flux microfiltration: Comparison of classical blocking laws with a unified model combining pore blocking and EPS secretion", Journal of Membrane Science 382: 148-157.
99. T. Ackermann (2005) "Wind Power in Power Systems" 1st ed. New York: Wiley
100. S. Kucukali and S. Cokgor, "Energy Concept for Predicting Hydraulic Jump Aeration Efficiency", ASCE, Journal of Environmental Engineering, Vol. 135, No. 2, 2009
101. S.S.Kim, S.H.Chae, J.W.Choi, J.H.Kim, S.W.Tak, K.Y.Kim(2013). Design of vertical type water treatment plant for required area reduction, The Korean Society of Mechanical Engineers Conference, pp.2445.
102. UNESCO-IHE, External Evaluation UNESCO-IHE, 2007
103. UK. Environment Agency(2009), A Low Carbon Water Industry by 2050

104. VEWIN(2010), Reflections on performance 2009; Benchmarking in the Dutch drinking water industry
105. WEF, 2005 annual report, 2005
106. WHO(2009), Water Safety Plan Manual : Step-by-step risk management for drinking-water suppliers
107. WHO/UNICEF, Global water supply and sanitation assessment, 2000
108. Wips, www2.wips.co.kr (Homepage)
109. Xinghua Sun, Dharmesh M. Kanani, Raja Ghosh (2008) “Characterization and theoretical analysis of protein fouling of cellulose acetate membrane during constant flux dead-end microfiltration“, Journal of Membrane Science 320: 372-380.

부 록

부록 1. 연구성과 목록

가. 논문 게재 실적

나. 학술발표 실적

다. 특허, 프로그램 실적

부록 2. 해외조사(출장보고서)

부록 3. 실규모 수직형 정수처리시설 설계도서 (별책)

부록 4. 새만금 개발지역 분산형 용수공급시스템 기본계획 (별책)

부록 5. 수직형 정수처리 실증시설 운영유지관리 매뉴얼 (별책)

부록 6. 수직형 정수처리 실증시설 효율성 평가보고서 (별책)

부록 7. 수차 효율 검증 보고서 (별책)

부록 1. 연구성과

가. 논문게재 성과

	게재연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
			주저자	교신저자	공동저자				
2차년도	2011	난류모델이 완전혼합반응조 수치해석에 미치는 영향 연구	임영택	박노석	김성수 이법희	상하수도 학회지	25(3)	국내	비SCI
	2011	분산형 용수공급시스템의 소개	박노석	박노석	채선하, 김정현	상하수도 학회지	25(2)	국내	비SCI
	2011	용수공급에 있어서 비상대응 시스템 구축의 필요성	서인석	서인석	박노석, 김성수	상하수도 학회지	25(3)	국내	비SCI
	2012	End-use Analysis of Household Water by Metering: The Case Study in Korea	Lee, Doo-Jin	Jeong,Woo chang	Park, No-Suk	Water and Environmental Journal	26(4)	국외	SCI
	2012	엔트로피 이론과 유전자 알고리즘을 결합한 상수관망의 최적 압력 계측위치 결정	장동일	강기훈	하금률 전환돈	상하수도 학회지	26(1)	국내	비SCI
	2012	A water source heat pump air-conditioning system	조용	윤린	-	Energy and Building	43	국외	SCIE
	2012	Grid Parity를 고려한 DC 전원 공급율에 따른 신재생에너지 계통 연계의 경제성 평가	김성열	김성열	이성훈 김진오	대한전기학회논문지	Vol.61 (No.1)	국내	비SCI
	2012	원수열원의 특성 및 냉난방시스템의 성능분석	조용	조용	이등근	한국지열에너지	Vol.8 (No.1)	국내	비SCI
3차년도	2012	국내 비상용수 확보량 산정 방법론에 관한 연구	이태국	박노석	채선하 김성수 서인석 김정현	상하수도 학회지	26(3)	국내	비SCI
	2012	이중 수로 구조의 분배수로 내 다지점 유출 유량의 균등성 평가에 관한 연구	김성수	김성수	박노석 정우창 왕창근	상하수도 학회지	26(3)	국내	비SCI
	2012	CFD에 의한 와류방지장치(AVD)가 설치된 흡수정내 펌프의 성능평가에 관한 연구	최종웅	이영호	박노석 김성수 박상수	상하수도 학회지	26(3)	국내	비SCI
	2012	CFD에 의한 Axial Reactor Type 자외선 유수살균장치의 출구 위치에 따른 UV Dose 예측	최종웅	최종웅	김성수 박노석 이영주 채선하	상하수도 학회지	26(4)	국내	비SCI
	2012	EFDC를 이용한 대청댐내 보존성 오염물질 확산 모델링에 관한 연구	박노석	박노석	김성수, 정선아, 김종오, 김도환, 강문선	상하수도학회지	26(5)	국내	비SCI
	2013	분산형 용수공급시스템 구축을 위한 정수처리시설 최적 위치 결정	장동일	강기훈	하금률 전환돈 김정현	상하수도학회지	27(1)	국내	비SCI
	2013	The effect of re-aggregated floc by additional coagulant on membrane	김재훈	장암, 김형수	이창하, 이의종, 이강훈, 권순범, 박현성	Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers	44(5)	국외	SCIE
	2013	Influence of sodium hypochlorite used for chemical enhanced backwashing on biophysical treatment in MBR	이의종	장암 김형수	권진섭 박현성 지원현	Desalination	316	국외	SCI
	2012	The effect of fluctuation in flow rate on the performance of conventional and membrane water treatment for a smart water grid	박노석	김수한	김성수 채선하	Desalination and Water Treatment	Vol.47 (No.1-3)	국외	SCIE
	2012	CFD에 의한 Axial Reactor Type 자외선 유수살균장치의 출구 위치에 따른 UV Dose 예측	최종웅	최종웅	김성수 박노석 이영주 채선하	상하수도 학회지	26(4)	국내	비SCI
	2012	정전비용을 고려한 신재생에너지원의 최적 연계 용량 및 연계 위치 결정에 관한 연구	김성열	김진오	이성훈	대한전기학회논문지	60 (No.10)	국내	비SCI

	게재연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
			주저자	교신저자	공동저자				
4차년도	2014	물안보 및 지속가능성 제고를 위한 분산형 용수공급시스템의 도입 타당성에 관한 연구	김관엽	박노석	김성수	상하수도 학회지	28(1)	국내	비SCI
	2014	CFD를 이용한 우류식 응집지 수리해석에 관한 연구	김성수	박노석	최종웅 김관엽	상하수도 학회지	28(2)	국내	비SCI
	2014	CFD에 의한 수직형 정수처리 실증시설 내 압력식 오존접촉조 성능개선에 관한 연구	최종웅	최종웅	김성수 김정현 김관엽	상하수도 학회지	28(4)	국내	비SCI
	2014	CFD를 이용한 병열 배열형 상향류식 침전지 수리해석에 관한 연구(II) - 침전지 내 유입유량 균등성 향상을 위한 유입 분배수로 개선 -	박노석	김성수	최종웅 왕창근	상하수도 학회지	28(2)	국내	비SCI
	2014	상수도시스템의 비상용수 확보량 산정에 관한 연구	박상수	김정현	채선하 서인석	한국수처리 학회지	22(5)	국내	비SCI
	2013	전산유체해석(CFD)을 이용한 밸브의 급폐쇄에 따른 다중배관 수격 현상에 관한 연구	박노석	최종웅	김성수, 강문선	상하수도학회지	27(4)	국내	비SCI
	2013	Evaluation of chemical cleaning efficiency of organic fouled SWRO membrane by analyzing filtration resistance	남종우	장암, 김형수	홍성호, 박준영, 박현성	Desalination and water treatment	51(33)	국외	SCIE
	2014	막여과 공정 유지 세정시 발생되는 세정폐액의 기존 배출수 처리시설 타당성 평가	최병현	이용수	김재훈, 김형수	상하수도학회지	투고	국내	비SCI
	2014	막 완결성 시험에서 막 손상 감지 인덱스 개발 및 신뢰성 평가	이용수	김형수	정창훈, 정후영, 최유화	대한환경공학회지	투고	국내	비SCI
	2014	막여과 정수처리 공정에서 in-line 응집에 대한 플럭 깨짐이 막 오염에 미치는 영향 평가	이창하	이용수	안태범, 김형수	상하수도학회지	투고	국내	비SCI
	2014	막 손상 감지를 위한 압력손실 시험에서 감도 영향 인자 도출	이용수	김형수	전민정, 장암	대한환경공학회지	투고	국내	비SCI
	2013	Raw-water source heat pump for a vertical water treatment building	오선희	윤린	조용	Energy and Buildings	Vol.68	국외	SCIE
	2014	Effect of flux fluctuation on the fouling in membrane water treatment system for smart water grid	김수한	김수한	임재림 박종열 김종오	Desalination and Water Treatment	Vol.52	국외	SCIE
	2013	The effects of GAC adsorption on DOM structure and size distribution changes with time	채선하	박노석	김성수 문지영 정우창	Desalination and Water Treatment		국외	SCIE
	2014	Verification of wireless environment network simulation and reliability	신강욱	최영관	홍성택 이안규 박혜미 이승환	Desalination and Water Treatment		국외	SCIE
	2013	정수장 내 축열조 설치 원수열원 히트펌프의 성능분석	오선희	윤린	조용	대한기계학회논문집	Vol.37 (No.5)	국내	비SCI
	2013	정수장 내 원수열원 및 공기열원 히트펌프의 냉난방 운전 특성	오선희	윤린	조용	대한설비학회논문집	Vol.25 (No.7)	국내	비SCI
	2013	CFD를 이용한 병열 배열형 상향류식 침전지 수리해석에 관한 연구(1)	박노석	박노석	김성수 최종웅 성열붕 강문선	대한상하수도학회	Vol.27 (No.4)	국내	비SCI
	2013	USN 기반 수직형 정수처리시설 데이터 최적관리 및 신뢰성 검증연구	장상복	장상복	신강욱 홍성택 이안규 전명근	한국정보통신학회논문지	Vol.17 (No,2)	국내	비SCI
	2014	직결-수직형 정수처리플랜트에서 전력사용량 분석에 관한 연구	서인석	서인석	김성수 채선하 김정현	한국수처리학회지	Vol.22 (No.4)	국내	비SCI
	2014	수직형 정수처리시설의 압력조건에 따른 운영관리 평가	김남경	서인석	김성수 채선하	한국수처리학회지	Vol.22 (No.4)	국내	비SCI

나. 학술대회 발표 성과

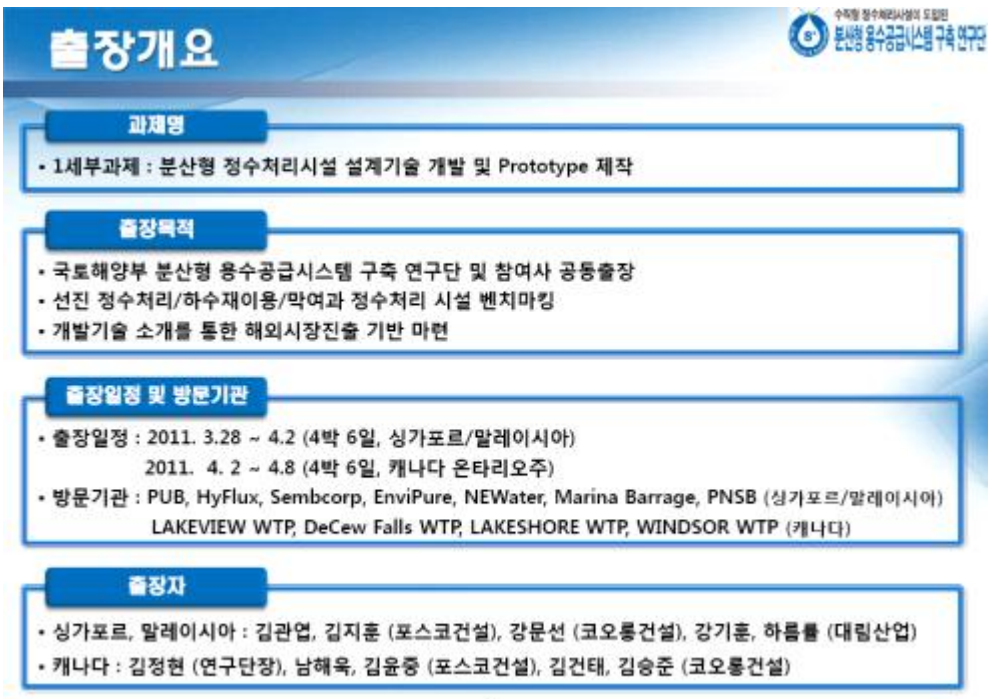
발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2011	비상용수 용량산정을 위한 연구	이태국,서인석 김정현,채선하	환경공학회	국내
2011	분산형 정수처리시설의 도입 타당성 연구	박상수,채선하 박노석	환경공학회	국내
2011	Axial Dispersion Reactor Model을 이용한 C.parvum oocyst 불활성화 실시간 예측 및 오존주입 최적화 기법 개발	김두일,김관엽 남해욱	대한상하수도학회 물환경학회	국내
2011	C.parvum oocyst log Inactivation을 고려한 오존접촉조 설계시 수리학적 특성에 관한 연구	김두일,김관엽 남해욱	대한상하수도학회 환경공학회	국내
2012	Preparation of and eco-friendly coagulant by Moringa Oleifera for arsenic removal	Chit KoKo 권지향,김두일	Singapore International Water Week	국외
2012	Decentralized water supply system with multistory water treatment faility	김관엽	IWA World Water Congress & Exhibition	국외
2012	주입유량과 공극율의 변화에 따른 단일 막여과 모듈 내 유동모의에 관한 연구	정우창,김관엽 남해욱,김성수 박노석	2012 대한토목학회 정기학술대회	국내
2012	다중 막 여과 시스템에서의 유동 모의 및 분석에 관한 연구	정우창,김관엽 남해욱,김성수 박노석	2012 대한토목학회 정기학술대회	국내
2012	수직형 정수처리시설 최적 설치 위치 결정	장동일,하금률 전환돈,강기훈	한국물환경학회/대한상하수도학회 2012 공동학술발표회	국내
2012	Determination of the Optimal Locations for Water Treatment Plants in the Decentralized Water Supply System	Chang, Dong-Eil, Kang, Ki-Hoon	IWA World water congress and exhibition, Busan 2012	국외
2012	도시내 분산형 용수공급시스템의 최적 설치 위치 검토	장동일,하금률 강기훈	대한환경공학회 학술발표대회	국내
2012	Implementation and traffic analysis of site diversity system for Ku bands	홍성택	IST/ISA	국외
2012	정수장 내 축열조 설치 수열원 히트펌프 모델링과 검증	조용	대한기계학회	국내
2012	원수 열원 히트펌프 시스템의 활용	조용	대한설비공학회	국내
2012	DETERMINING ECONOMIC LIFE CYCLE FOR POWER TRANSFORMER BASED ON LIFE CYCLE COST ANALYSIS	이안규	IPMHVC 2012	국외
2012	Renewable energy and energy efficiency for the small and decentralized water supply system	홍성택	CESE	국외
2012	INTRODUCTION OF DECENTRALIZED WATER SUPPLY SYSTEM IN KOREA	홍성택	CESE	국외
2012	Analysis and application of Specific power of BLDC motor with AC motor	홍성택	CESE	국외
2012	Heat Pump Cooling and Heating System using Raw Water	조용	ISFMFE2012	국외
2012	Reliability Evaluation of wind farm with battery bank	김욱원,신제석, 김진오	PMAPS2012	국외
2012	에너지 저장장치가 도입된 풍력단지의 신뢰도 평가 기법에 대한 연구	김욱원,우상민, 이상선,김진오	대한전기학회 하계학술대회	국내
2012	Effect of flux fluctuation on the fouling in a real-scale membrane water treatment system for smart water grid	김수한,김민재, 임재림,박종율	The fifth annual conference on the Challenges in environmental Science and Enginerring	국외
2012	수직형 정수장 내 히트펌프 최적설계	오선희, 윤린, 조용	대한설비공학회	국내

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2013	수직형 정수처리시설 설계기술 개발	김관엽,남해욱 윤희철	2013 물환경학회・상하수도학회 공동학술발표회	국내
2013	Design of compact water treatment plant suitable for decentralized water supply system	김관엽,남해욱 김윤중,윤희철 김현배,김성수	Smart Water Grid International Conference 2013	국외
2013	수직형 정수처리시설에서의 유비쿼터스 센서 네트워크 적용에 관한 연구	이안규,박혜미 홍성택,신강욱	한국통신학회	국내
2013	공정제어를 위한 무선센서 네트워크 적용성 분석	박혜미,이안규 홍성택,신강욱	한국정보통신학회	국내
2013	수직형 정수처리 시스템의 에너지 효율화 연구	최영관,이남형 황수정	대한전기학회	국내
2013	유비쿼터스 센서 네트워크 기반 LED 조명제어시스템 적용에 관한 연구	이안규,박병돈 길준표,신강욱 박혜미	한국정보통신학회	국내
2013	USN-based Water Treatment Plant Facilities Data Management Techniques and Reliability Verification Research	이안규,박혜미 홍성택,신강욱 이승환	kaknfl	국외
2013	A study on Implementing Integrated Operation & Management System (IOMS) into the Decentered Water Supply System	정상용,박동을 노정민,신강욱 홍성택,이안규	CESE	국외
2013	Optimization for operating of a raw-water source heat pump ofr a vertical water treatment building	오선희,윤린	SAREK	국외
2013	Effect of temperature on membrane and cake layer resistances in field application	김민재,김수한	CESE	국외
2014	직결식 정수처리 공정에서 막여과 공정 정유량 제어방안에 관한 연구	김관엽,윤희철 남해욱,김윤중	2014 물환경학회・상하수도학회 공동학술발표회	국내
2014	막여과 정수처리공정에서 계층형 배치에 의한 압력특성 평가	김관엽,윤희철 남해욱	2014 한국막학회 추계 학술발표회	국내
2014	Design and operation diagnosis of membrane water treatment plant using a constant flux fouling model	김수한	AMTA	국외
2014	수직형 정수처리시설내 각 단위공정에서의 수질 변화특성	이도헌,김남경 박상수,채선하 서인석	상하수도학회	국내
2014	수직형 정수처리시설의 압력변화 특성에 관한 연구	김남경,이도헌 김성수,서인석	상하수도학회	국내

다. 특허 및 프로그램 성과

출원의 경우				등록의 경우			
출원 연도	특허명	출원국	출원번호	등록 연도	특허명	등록국	등록번호
2011	선회류식 오존 접촉조	대한민국	10-2011-0040353	2012	수열원 히트펌프의 열교환기 동파방지 제어시스템	대한 민국	10-1188964
2011	정수장치의 필터간 수압 분배 구조	대한민국	10-2011-0067564	2013	선회류식 오존 접촉조	대한민국	10-1275123
2011	수처리장치	대한민국	10-2011-0147650	2013	정수장치의 필터간 수압 분배 구조	대한민국	10-1282133
2011	카세트형 활성탄 여과기용 필터	대한민국	10-2011-0147775	2013	저류조가 없는 정수처리장치 및 이를 이용한 정수처리방법	대한 민국	10-1334651
2011	카세트형 활성탄 여과기용 필터의 운전방법	대한민국	10-2011-0147780	2013	막여과 공정의 원수 가온 시스템	대한 민국	1012801160000
2011	수처리 시스템 및 수처리 시스템에서 여과재를 제거하는 방법	대한민국	10-2011-0147646	2014	연속유동 수처리장치 및 이를 이용한 수처리방법	대한민국	10-1400921
2011	여과재 제거장치 및 이를 포함하는 수처리 시스템	대한민국	10-2011-0147651	2014	리볼버타입의 막여과용 전처리 장치	대한민국	10-1408399
2011	수열원 히트펌프의 열교환기 동파방지 제어시스템	대한민국	1020110075522	2014	막여과 공정용 전처리 장치	대한민국	10-1372101
2011	막여과 공정의 원수 가온 시스템	대한민국	1020110071035				
2012	저류조가 없는 정수처리장치 및 이를 이용한 정수처리방법	대한민국	10-2012-0088677				
2012	연속유동 수처리장치 및 이를 이용한 수처리방법	대한민국	10-2012-0094140				
2012	리볼버타입의 막여과용 전처리장치	대한민국	10-2012-0152817	프로그램 등록			
2012	막여과 공정용 전처리장치	대한민국	10-2012-0150884	2012	상수수요 예측프로그램(대림산업)	대한 민국	C-2012-007327
2012	하이브리드용수공급 시스템	대한민국	10-2012-0030755	2013	BAT Matrix Tool(오염물질 제거 최적공정 도출)	대한 민국	C-2013-013682
2014	수차 모델 테스트 장치	대한 민국	20-2014-0000468	2014	수직형정수장내 수온차히트펌프 냉난방 성능예측 프로그램 Ver. 2	대한 민국	14-029939호
2014	2단 막여과장치 및 이를 이용한 수처리방법	대한민국	10-2014-0001991				

부록 2. 해외조사 (출장보고서)



3

출장일정

수직형 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템 구축 연구단

싱가포르/말레이시아

일자	방문지	면담자	비고
3/28(월)	-	-	인천→싱가포르
3/29(화)	PUB Bedok NEWater Factory	Puah Aik Num (Deputy Director, Technology Office) 물 재이용 플랜트 및 홍보관	싱가포르
3/30(수)	Hyflux Marina Barrage	Dr. G. Venkidachalam (Vice President) 해수담수화 대체수자원 시설	싱가포르
3/31(목)	Sembcorp Industries EnviPure	Ling Khing Hooi (Assistant Vice President) Vicent Wong (CEO)	싱가포르 →말레이시아
4/1(금)	PNSB	Mohd Hafiz b. Md Yunos (Regional Manager)	말레이시아
4/2(토)	-	-	말레이시아→인천

- PUB (Public Utilities Board) : 싱가포르 국영 물관리 기업 (수자원공사)
- Bedok NEWater Factory : 음용수 수준의 막여과 물 재이용 플랜트 및 홍보관
- Hyflux : 싱가포르 최대 막여과 수처리 물기업, 분리막 제조사
- Marina Barrage : 취수원 및 홍수방제 목적의 물막이 하구둑 (댐)
- Sembcorp Industries : 상하수도 설계/엔지니어링 업체 (NEWater project 참여)
- EnviPure : 수처리 및 악취방제 엔지니어링/설비 업체
- PNSB (Puncak Niaga SDN BHD) : 말레이시아 최대 민영 물기업

4

PUB (Public Utilities Board)

방문개요

- 방문일시 : 10:00 a.m, 03/29/2011
- 면 담 자 : Puah Aik Num (puah_aik_num@pub.gov.sg)
  Deputy Director, Technology & Water Quality Office
- 주 소 : 40 Scotts Road Environment Building, Singapore 228231
- U R L : www.pub.gov.sg

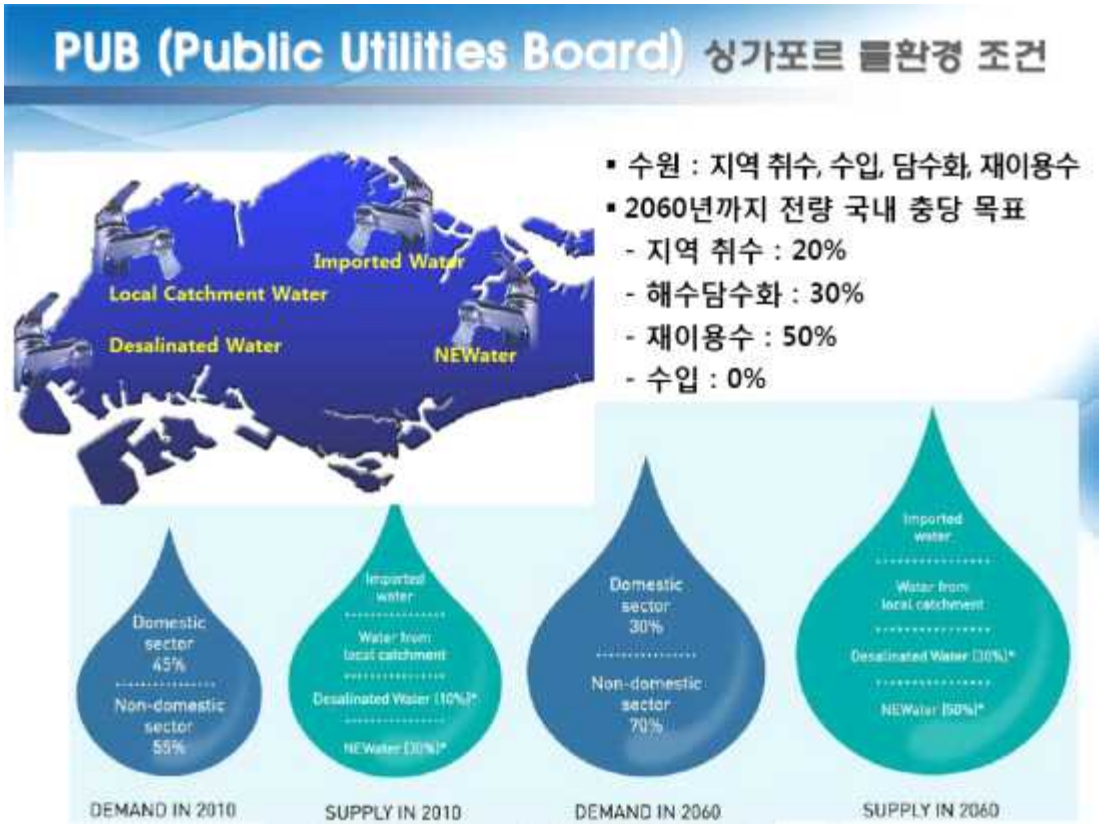
방문내용

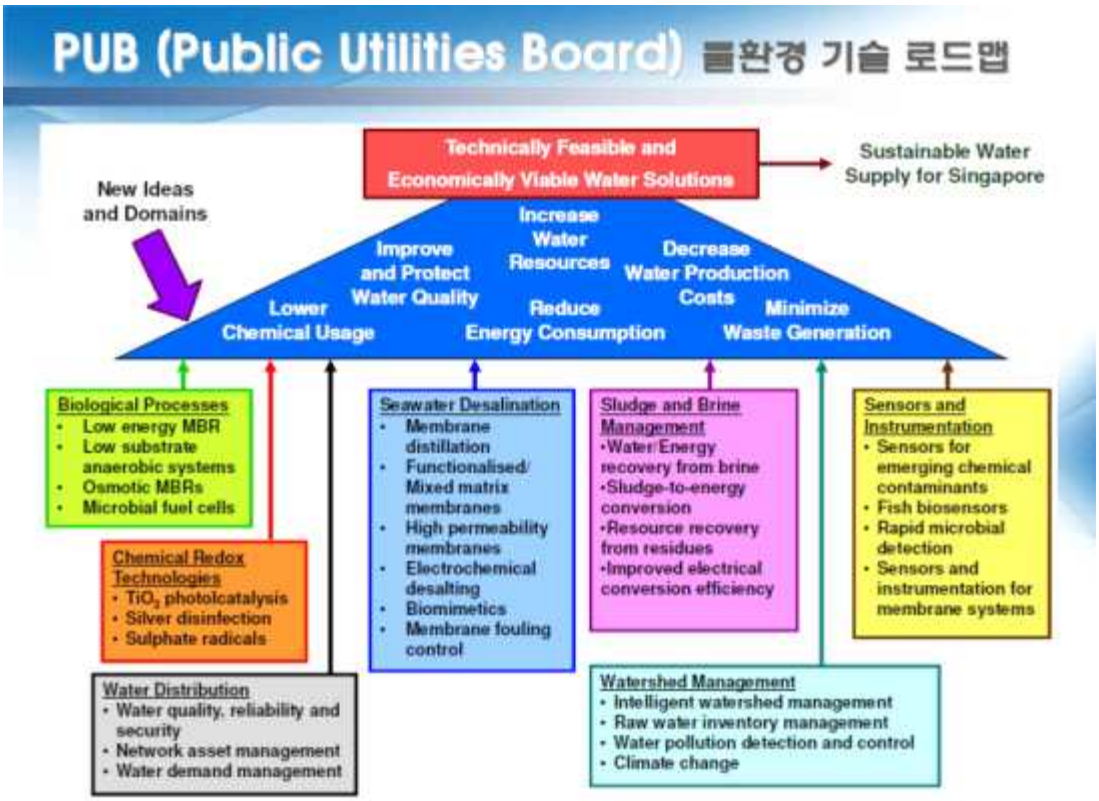
- 회사소개 및 토의
  - ① 싱가포르 용수공급 현황
  - ② R&D 현황
  - ③ Water Technology Roadmap
    - Watershed Management
    - Water Distribution
    - Seawater Desalination
    - Sludge and Brine Management
    - Sensors and Instrumentation

5

PUB (Public Utilities Board) 싱가포르 물환경 조건

- Land Area 710 km^2
- Population 4.99 mil
- Average Annual Rainfall 2,400 mm
- Average Water Demand 1.6 mil m^3/day
- Catchment areas: 66%


PUB (Public Utilities Board) 싱가포르 물환경 조건
▪ 수원 : 지역 취수, 수입, 담수화, 재이용수
▪ 2060년까지 전량 국내 충당 목표
- 지역 취수 : 20%
- 해수담수화 : 30%
- 재이용수 : 50%
- 수입 : 0%
Imported Water
Local Catchment Water
Desalinated Water
NEWater
Domestic sector 45%
Non-domestic sector 55%
Imported water
Water from local catchment
Desalinated Water (10%)*
NEWater (30%)*
Domestic sector 30%
Non-domestic sector 70%
Imported water
Water from local catchment
Desalinated Water (20%)*
NEWater (50%)*
DEMAND IN 2010
SUPPLY IN 2010
DEMAND IN 2060
SUPPLY IN 2060


PUB (Public Utilities Board) 물환경 기술 로드맵
Technically Feasible and Economically Viable Water Solutions
Sustainable Water Supply for Singapore
New Ideas and Domains
Increase Water Resources
Improve and Protect Water Quality
Decrease Water Production Costs
Lower Chemical Usage
Reduce Energy Consumption
Minimize Waste Generation
Biological Processes
• Low energy MBR
• Low substrate anaerobic systems
• Osmotic MBRs
• Microbial fuel cells
Chemical Redox Technologies
• TiO2 photolcatalysis
• Silver disinfection
• Sulphate radicals
Water Distribution
• Water quality, reliability and security
• Network asset management
• Water demand management
Seawater Desalination
• Membrane distillation
• Functionalised/ Mixed matrix membranes
• High permeability membranes
• Electrochemical desalting
• Biomimetics
• Membrane fouling control
Sludge and Brine Management
•Water/Energy recovery from brine
•Sludge-to-energy conversion
•Resource recovery from residues
•Improved electrical conversion efficiency
Watershed Management
• Intelligent watershed management
• Raw water inventory management
• Water pollution detection and control
• Climate change
Sensors and Instrumentation
• Sensors for emerging chemical contaminants
• Fish biosensors
• Rapid microbial detection
• Sensors and instrumentation for membrane systems

PUB (Public Utilities Board) 저에너지 담수화 기술

▪ Low Energy Seawater Desalination

Current 3.5 kWh/m³

– Variable Salinity Process : 1.7 kWh/m³
– Memstill (with waste heat): 1.0 kWh/m³
– Electrochemical Desalting: 1.5 kWh/m³

Short-term < 1.5 kWh/m³

Breakthrough R&D

Long- term < 0.75 kWh/m³

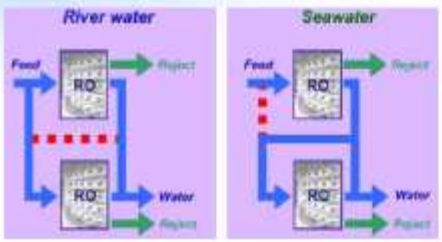
Biomimetic Membranes / Biomimicry of Natural Desalination Processes

- 2060년 싱가포르 전체 물수요량의 30%를 해수담수화로 충당
- 연구개발 사업을 통해 장기적으로 생산에너지 저감 목표

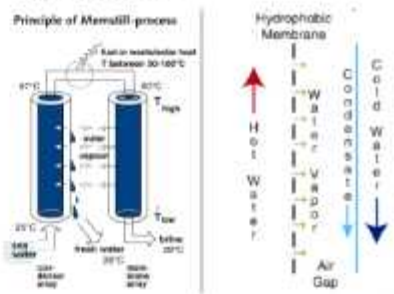
9

PUB (Public Utilities Board) 저에너지 담수화 기술

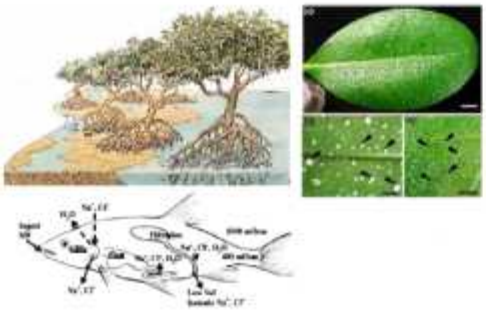
▪ Variable salinity process



▪ MEMSTILL®



▪ 동식물의 담수화 원리 이용



▪ Biomimetic Membranes

Potential Applications:
- Seawater desalination membrane
  : 3.5 kWh/m³ → 0.75 kWh/m³
- RO membrane for NEWater production
  : 0.8 kWh/m³ → 0.3 kWh/m³

10

PUB (Public Utilities Board) 수질감시
Camera
Tiger Barb
Transgenic Fish
▪ 물고기의 체색 변화를 관찰하여
수질오염 감시 및 평가
Fish Tank
Bioluminescent zebrafish
Fish Activity Monitoring System
▪ 물고기의 활성도를 관찰하여
수질오염 감시 및 평가
Camera
Collaborative Project between PUB (TWOO and WSN) and I2R
Fish Tank

PUB (Public Utilities Board) 정수처리시설
▪ Chestnut Avenue Waterworks
Stage 1
Stage 2
Stage 1
Stage 2

NEWater Factory

방문개요

- 방문일시 : 14:00 p.m, 03/29/2011
- 주 소 : 20 Koh Sek Lim Road, Singapore 486593
- U R L : www.pub.gov.sg/water/newater

방문내용

- 싱가포르 용수공급 현황
  - ① 싱가포르 수자원 현황
  - ② 물재이용 및 담수화를 통한 수원 다변화의 필요성
- 물재이용 플랜트 적용 기술
  - ① MF/UF (순환식, 침지식) – Asahi-Kasei, GE Zenon
  - ② BWRO – Hydranautics, Grahamtek, DOW chemical
  - ③ UV Disinfection
- 시사점 : 대체 수자원 확보 및 수처리 기술 선진화에 주력
  재이용수 수질 우수성에 대한 국가적 홍보

13

NEWater Factory NEWater Network

14

NEWater Factory 단위공정설비
P-type membrane
P-type membrane
S-type membrane
RO membrane(DOW)
RO membrane(Grahamtek)
Disinfection UV
RO vessel and train

Hyflux
방문개요
• 방문일시 : 10:00 a.m, 03/30/2011
• 면 담 자 : Dr. G. Venkidachalam (venki@hyflux.com)
Vice President, Technolgy Explotation & Commercialisation
• 주 소 : Hyflux Building 202 Kallang Bahru, Singapore 339339
• U R L : www.hyflux.com
Hyflux
방문내용
• 회사소개 및 토의
① Hyflux 소개
② Membrane 제품군
- Stainless Membrane : 석유화학
- Ceramic Membrane : Milk 농축
- Polymer Membrane : 정수/하수처리
③ 분산형 용수공급시스템에 대한 의견
- Source Water 확보방안 고려
- 투자비/운전비 절감 방안 고려

16

Hyflux 시장진출현황

- **Hyflux Marmon**
  - 2007년 세계 최대 주거/상업용 수처리 시스템 제조사인 Marmon Water LLC와 공동 연구센터 설립
- **Research Collaboration with STW)**
  - 2009년 6월, 네덜란드 기술재단 (STW)와 MOU를 체결하여 고도 막분리 기술에 관한 공동연구 프로그램 수행하였으며 기술의 상업화에 있어 독점적인 권리를 가짐
- **Hyflux MENA**
  - 알제리 Tlemcen에 200,000 m^3/day 역삼투 해수담수화 플랜트를 건설함으로써 중동 및 북아프리카 (MENA)에 진출하였으며 이를 기반으로 하여 2008년 10월, 세계 최대 막여과 해수담수화 플랜트인 Magtaa 역삼투 해수담수화 플랜트 건설에 참여함 (AEC와 합작투자)
  - MENA는 향후 7년 동안 해수담수화 시장이 가장 빠르게 성장할 것으로 예상
- **Hyflux India**
  - 2006년부터 인도 시장 진출 시도
  - 지역 산업 분야에서 분리막 및 막여과 기술의 판매를 중심으로 진출하였으나 현재는 해수담수화 및 하폐수 재이용 분야로 영역을 확장하고 있음
- **Hyflux China**
  - 1994년부터 중국 물시장에 가장 먼저 진출하였기 때문에 중국의 지역 특성과 정부 정책 및 규제에 대해 깊은 지식이 있으며 31개 주요 도시 중 26곳에 진출함
- **Hyflux SEA**
  - Bedok, Seletar NEWater plant 프로젝트에 참여
  - SingSpring 해수담수화 플랜트 설계, 시공, 운영 담당

17

Hyflux 적용 플랜트

Seletar NEWater Plant (싱가포르)

- 처리용량 : 24,000 m^3/day, 재이용수
- Hyflux UF 분리막 최초 사용

Tianjin Dagang SWRO Plant (중국)

- 처리용량 : 100,000 m^3/day, 해수담수화
- 중국 최대 막여과 해수담수화 플랜트

Magtaa SWRO Plant (알제리)

- 처리용량 : 500,000 m^3/day, 해수담수화
- 세계 최대 SWRO (2011년 완공 예정)

Singspring SWRO Plant (싱가포르)

- 처리용량 : 136,380 m^3/day, 해수담수화
- 싱가포르 최초 해수담수화 플랜트

18

Hyflux 적용 플랜트 (세계)

Country	Industry	Membrane
Sweden	Chemical Industry	InoCep®
Netherlands	Drinking Water	Kristal®
	Food & Beverage	InoCep®
	Drinking Water	InoCep®
	Oil Recycling	InoCep®
	Wastewater treatment	InoCep®
Algeria	Seawater Desalination	Kristal®
Dubai	Seawater Desalination	Kristal®
Germany	Wastewater treatment	InoCep®
	Dairy & Milk	InoCep®
	Feed & Beverage	InoCep®
Belgium	Feed & Beverage	InoCep®

Country	Industry	Membrane
Switzerland	Dairy & Milk	InoCep®
Thailand	Wastewater Reclamation	Kristal®
	Chemical Industry	FerroCep®
Vietnam	Waste Oil Recovery	FerroCep®
Malaysia	River water treatment	Kristal®
	Brine Regenerant Recovery	Kristal®
Singapore	Industrial Water Reclamation	Kristal®
	Petroleum Wastewater	Kristal®
	Sewage treatment	Kristal®
	Seawater Desalination	Kristal®
Indonesia	River water treatment	Kristal®

19

Hyflux 적용 플랜트 (중국)

Province	Industry	Membrane
Xinjiang	Pharma ceutical	FerroCep®
Inner Mongolia	Pharma ceutical	FerroCep®
Ningxia	Pharma ceutical	FerroCep®
	Biodegradable Materials	PoroCep®
Beijing	Ultra-pure Water	Kristal®
Liaoning	Pharma ceutical	FerroCep®
	Lactic-Acid	PoroCep®
Hebei	Pharma ceutical	FerroCep®
Tianjin	Seawater Desalination	Kristal®
Shanxi	Pharma ceutical	FerroCep®
Shandong	Pharma ceutical	FerroCep®
Henan	Pharma ceutical	FerroCep®

Province	Industry	Membrane
Jiangsu	Industrial Wastewater	FerroCep®
	Lube-Oil Purification	PoroCep®
Anhui	Pharma ceutical	FerroCep®
Sichuan	Pharma ceutical	FerroCep®
Shanghai	Pharma ceutical	FerroCep®
Hubei	Pharma ceutical	FerroCep®
Zhejiang	Pharma ceutical	FerroCep®
Guangxi	Pharma ceutical	FerroCep®
Guangdong	Pharma ceutical	FerroCep®
	Desalination & Wastewater	Kristal®
Shenzhen	Pharma ceutical	FerroCep®

20

Marina Barrage

방문개요

- 방문일시 : 14:00 p.m, 03/30/2011
- 주 소 : 8 Marina Gardens Drive, Singapore 018951
- U R L : www.pub.gov.sg/Marina

방문내용

- Marina Barrage 기능
  - ① 취수원 및 홍수방제 목적의 물막이 하구둑
    - 30 m 길이의 steel crest gate 설치
    - 초당 40m^{3}의 방류용량의 펌프 7대로 구성
    - 조수 및 홍수 등의 조건에 따라 변동 운영
  - ② (신재생) 에너지
    - Green roof 설치
    - 태양광 패널을 통한 전력 생산
  - ③ 물관련 인프라에 대한 국민 홍보 기능

21

Marina Barrage

- MARINA RESERVOIR RECIRCULATION SCHEME

Sembcorp Industries

방문개요

- 방문일시 : 10:00 a.m, 03/31/2011
- 면 담 자 : Ling Khing Hooi (ling.khinghooi@sembcorp.com)
  Assistant Vice President, Group Business Development
- 주 소 : 30 Hill Street #05-04, Singapore 179360
- U R L : www.sembcorp.com

sembcorp

방문내용

- 회사소개 및 토의
  - ① Sembcorp 소개
  - ② 사업분야
    - Power/Water/Energy
    - Conventional Water Treatment
  - ③ 분산형 용수공급시스템에 대한 의견
    - Storage Tank에 대한 고려 필요 : Source Water 공급이 Key-Point
    - 분산형 시설의 경우 Power공급도 고려필요
    - Cost(Construction/Operation) is Challenge

23

Sembcorp Industries

물관련 분야 사업 영역

- Water service provider
- 싱가포르 최대 물 운영관리 회사
- 산업폐수, 물 재이용, 담수화 및 음용수 및 공정수 공급시설 운영 관리
- 세계 약 5백만 명 대상, 약 6억 m^3/day 이상의 정수 및 하폐수 처리시설 운영

폐수처리시설 (Zhangjiagang, 중국)

하이브리드 담수화 시설 (Fujairah, UAE)

Changi NEWater Plant

24

Sembcorp Industries

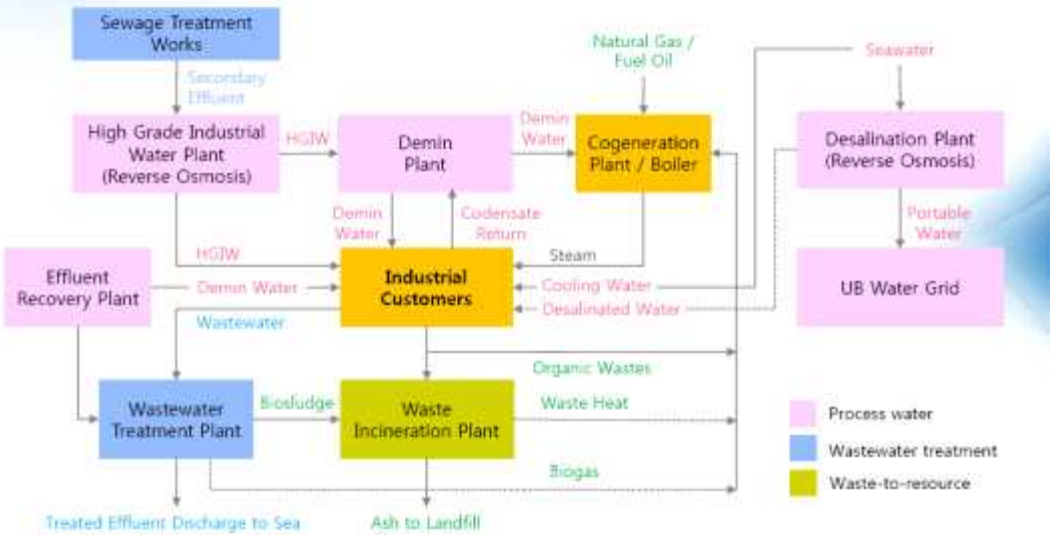
▪ 물관련 분야 적용 실적

Key Products and Services /Geography		ASEAN			중국	중동 및 아프리카			영국	아메리카			총합
		싱가포르	인도네시아	필리핀		오만	UAE	남아프리카		안티구아	칠레	파나마	
산업용수	해수처리 (m³/day)	17,568			115,200								132,768
	공정수 (m³/day)	2,716,232			168,080				174,000		10,300		3,068,612
산업용수총용량 (m³/day)		2,733,800			283,280				174,000		10,300		3,201,380
생활용수	하수처리 (m³/day)			10,200				63,400					186,500
	정수처리 (m³/day)		256,000	81,000	940,000			89,500	270,000				1,789,500
생활용수총용량 (m³/day)			256,000	91,200	940,000			152,900	270,000				1,976,000
재이용수(m³/day)		268,000			4,000								272,000
담수화(m³/day)						68,000	591,800			18,000			678,800
총용량(m³/day)		3,001,800	256,000	91,200	1,227,280	68,000	591,800		444,000	18,000	200,200	76,000	6,128,180

25

Sembcorp Industries

▪ Integrated Water and Wastewater Management Model



26

EnviPure

방문개요

- 방문일시 : 14:00 p.m, 03/31/2011
- 면 담 자 : Vincent Wong (vincent.wong@envipure.com)
  Chief Executive Officer
- 주 소 : No. 2 Woodlands Sector 1, #03-16 Woodlands Spectrum 1, Singapore 738068
- U R L : www.envipure.com

방문내용

- 회사소개 및 토의
  - ① Envipure 소개 프레젠테이션
  - ② 사업분야
    - Air Pollution Control/Odor Control
    - Ultrapure Water
    - Compact Water System (< 10,000㎥/d)
  - ③ Compact System
    - 분리막 : 평막(Toray), 중공사(Asai-Kasei)
    - footprint가 가장 중요 → Chemical Scrubber사용

27

EnviPure

물관련 분야 사업 영역

- 산업, 도시/인프라 및 해양산업 영역에서 정수, 하폐수 및 물재이용 분야의 공정 및 엔지니어링 solution 제공
- 공정설계, 공급, 시스템의 설치, 검정 및 운전자 교육

Project Reference

- 제약폐수 처리 플랜트 (2기, 싱가포르)
- 태양에너지 산업폐수 처리시스템 (2기, 필리핀)
- 식용유 제조사 폐수처리 플랜트 (중국)
- 음료수 산업용 음용수 시스템 (베트남, 캄보디아)
- 컨테이너형 SWRO 및 패키지 시스템 (싱가포르, 인도네시아)
- 패키지형 정수 및 하폐수 처리 시스템 (UN)

식음료 산업
음용수 시스템

태양에너지 산업
폐수처리시스템

SWRO 패키지 시스템
(Offshore industry)

컨테이너형 SWRO 시스템
(Marine industry)

Kill Drain Treatment Package
(제약폐수 처리시스템)

28

PNSB (Puncak Niaga SDN BHD)

방문개요

- 방문일시 : 08:00 a.m, 04/01/2011
- 면 담 자 : Aminuddin Ismail, Manager (aminuddin@puncakniaga,com.my)
  Mangager
- 주 소 : No. 4 Persiaran Sukan, Seksyen 13, 40100 shah alam, Selangor
- U R L : www.puncakniaga.com

PUNCAK NIAGA (M) SDN BHD

방문내용

- 회사소개 및 토의
  - ① PNSB 소개 프레젠테이션
  - ② 사업분야
    - Water Treatment Plant O&M
    - DAM Operation
    - Oversea Project
  - ③ 정수처리 주요 적용 기술
    - Actiflo
    - DAF
    - Ultrafiltration

PNSB (Puncak Niaga SDN BHD)

- 말레이시아 최대 물기업 중 하나인 PNSB 방문
- ① 말레이시아 물산업과 관련한 운영에 관한 내용 briefing
- ② 연중 평균탁도는 100 ~ 600 NTU 정도로 매우 불리한 원수 조건을 가짐.
- ③ 현재 the Sungai Selangor Phase 2 WTP 를 운영중
  - 27년간 운영권 보장
  - 물값은 톤당 600원 수준으로 한국과 비슷

PNSB (Puncak Niaga SDN BHD)

④ 연중 고탁도 원수에 효율적으로 대응하기 위해 Veolia社의 Actiflo 공법 적용
- 우리나라의 평균 탁도 10NTU에 비해 매우 높은 수준으로 원수수질이 유지되며, 특히 우기의 경우, 6,000NTU 이상이 유입되기도 한다고 함.
- microsand를 통해 효율적으로 응집 / 침전을 유도하고, micro sand를 회수
- 별도의 고도처리 공정(오존/활성탄 등)을 고려하진 않음.
- 처리수에 염소와 더불어 불소의 주입이 병행되고 있었으며, 1mg/L 이하의 낮은 농도로 유지

⑤ 원수에 일정농도의 암모니아가 유입 되기 때문에 폭기를 하여 질산화 유도하고 있었으며, 때때로 고농도의 암모니아 유입으로 시스템의 Shut down이 발생

PNSB (Puncak Niaga SDN BHD)

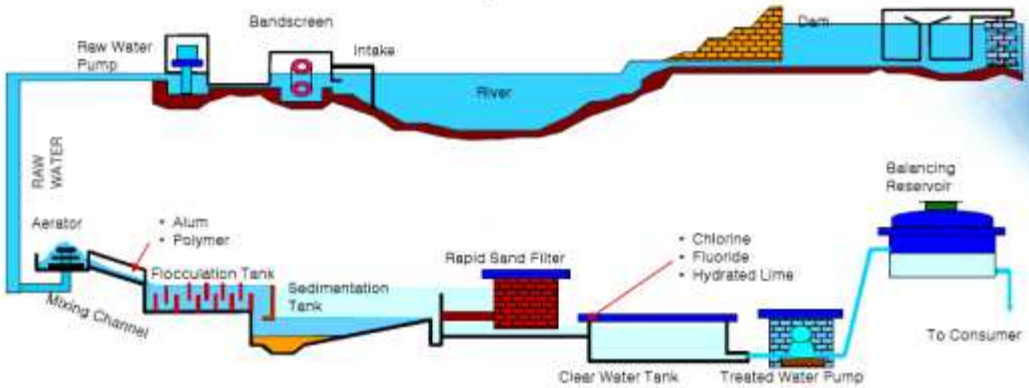
▪Puncak Niaga에서 운영하고 있는 대부분의 정수처리시설의 대부분은 기존 처리공정이 적용

▪ 소수의 정수장에서 다음과 같은 고도처리기술이 적용됨

–Advance clarification using the Actiflo process

–Advanced clarification using the dissolved air floatation (DAF) process

–Advanced ultrafiltration membrane system



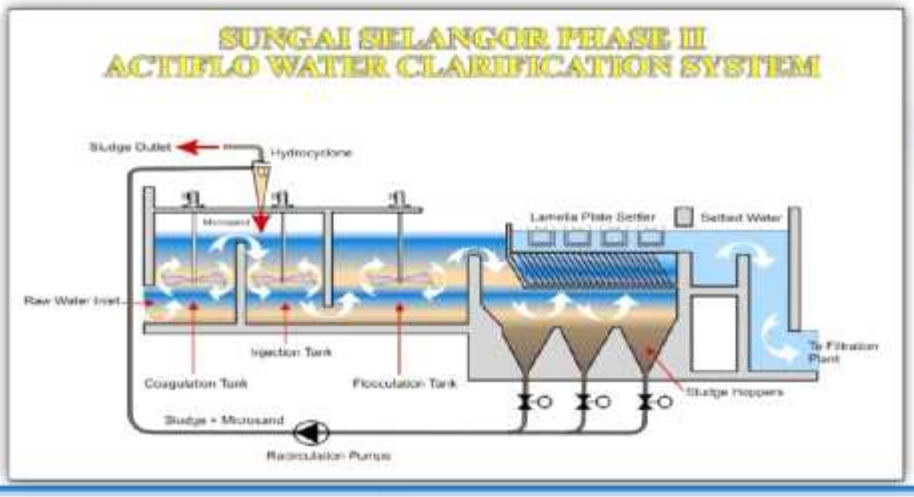
SCHEMATIC DIAGRAM OF FULL CONVENTIONAL WATER TREATMENT PROCESS

32

PNSB (Puncak Niaga SDN BHD)

Actiflo System

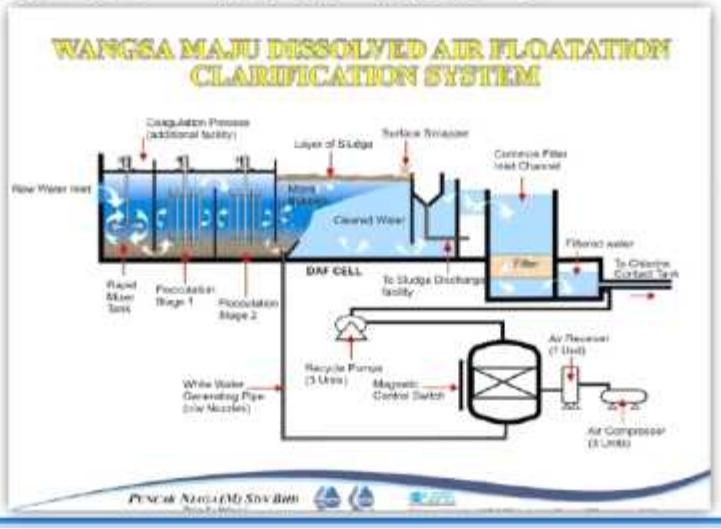
- High speed microsand settling process
- Full conventional treatment with compact state of the art water clarification system
- Sungai Selangor Phase 2 WTP (950 MLD, 말레이시아 최대 정수장)
- Short retention time (less than 30 minutes), High settling rate
- 원수 수질 변화에 관계없이 안정된 처리수질 유지



PNSB (Puncak Niaga SDN BHD)

DAF System

- Wangsa Maju WTP (45 MLD)
- Small footprint
- System effective for removal of high organic matters.
- 호소수 (댐)를 원수로 사용하므로 조류, 색도 및 탁도 제거를 위해 도입



PNSB (Puncak Niaga SDN BHD)
Membrane System
• Kepong and Sungai Rumput WTP since October 2007.
• 막여과 시스템이 도입된 이후로 원수 수질 문제로 인한 시설 운전 정지 사례가 없었음
Sungai Rumput WTP
Ultra Filtration Membrane Modules

35

면담자 명함
sembcorp
LING Khing Hooi
Hyflux
PUB
Puah Aik Num
PUNCAK NIAGA (M) SDN BHD
Ir Tan Hai Kuan
Johari Pawanchh
Muhammad Khalidi Rasdi
Aminuddin Ismail

36

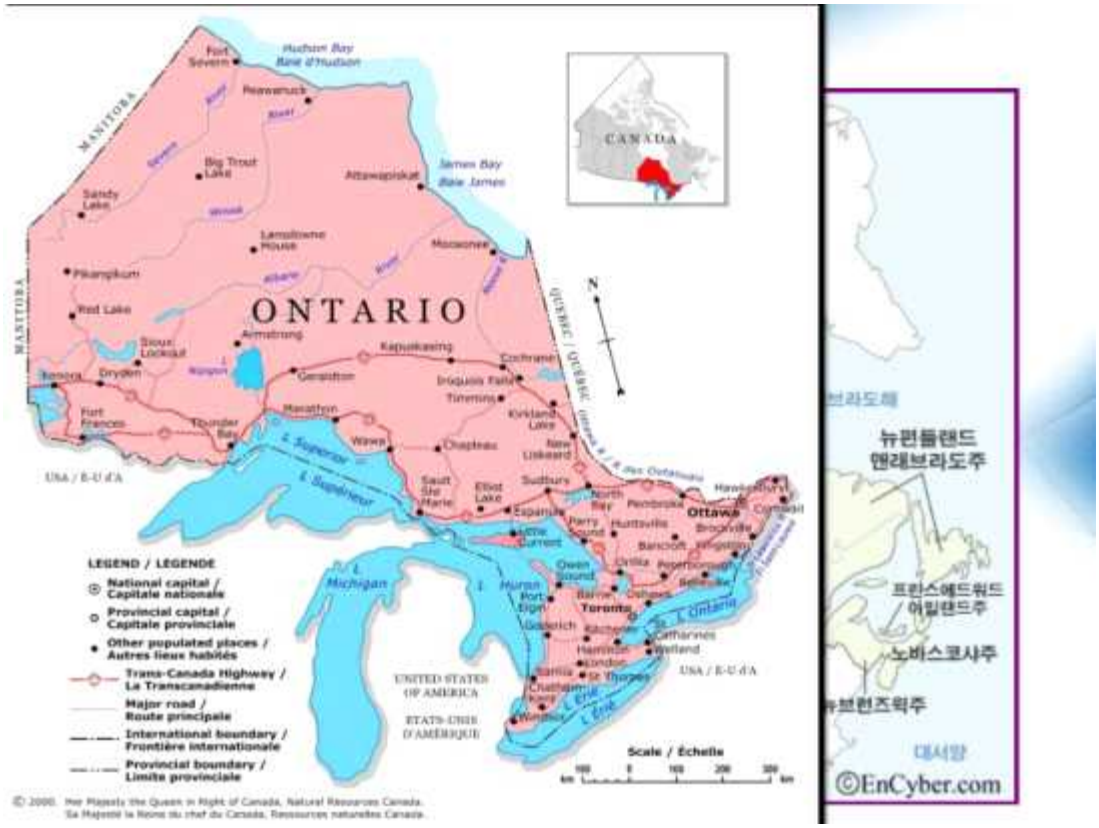
37

출장일정

캐나다

일자	방문지	주요 면담자	비고
4/3 (일)	출국 (10:00)	KE073편	인천→캐나다
4/4 (월)	LakeView WTP	H. Patrick Buchanan (Operations Manager, Ontario Clean Water Agency)	Mississauga
4/5 (화)	Decew Falls WTP	John Macpherson (Water Operations Manager, Area 3 Water & Wastewater Services, Niagara Region)	St. Catherines
4/6 (수)	Lakeshore WTP	John Kehoe (P. Engineer) John Merritt (Working Foreman, ORO)	Town of Lakeshore
	Windsor WTP	Glen Bondy (Supervisor Water Production) Garry Rossi (P.Engineer, Director of Water Production) John W, Stuart (Chief Operating Officer)	Windsor City
4/7 (목)	캐나다 출발 (12:00)	KE074편	캐나다→인천
4/8 (금)	귀국 (15:00)	-	

38


ONTARIO
CANADA
LEGEND / LEGENDE
National capital / Capitale nationale
Provincial capital / Capitale provinciale
Other populated places / Autres lieux habités
Trans-Canada Highway / La Transcanadienne
Major road / Route principale
International boundary / Frontière internationale
Provincial boundary / Limite provinciale
Scale / Échelle
뉴펀들랜드 앤레브라도주
프린스에드워드 아일랜드주
노바스코샤주
©EnCyber.com

Lakeview WTP
방문개요
• 방문일시 : 10:00 a.m, 4/4/2011
• 면담자 : H. Patrick Buchanan, Operations Manager, Ontario Clean Water Agency
(pbuchanan@ocwa.com)
• 장 소 : 920 East Avenue, Mississauga, Ontario, Canada L5E IW6
• U R L : www.ocwa.com
Ontario Clean Water Agency
Agence Ontarienne Des Eaux
방문내용
① Region of Peel의 용수공급망 계획
- 30년 동안 급격한 인구증가
(300,000에서 1,000,000 이상으로)
② Lakeview WTP의 공정 구성
- Conventional vs. Membrane process
(560,000t/d) (380,000t/d)
③ 주요 운전 특징 및 수질 관심인자
- 원수의 낮은 탁도 (1 NTU 미만), no oil
- Geosmin & 2-MIB 제거, 병원성 원생동물 제거

40

Lakeview WTP 막분리 공정

- Ozone+BAC+Immersed UF (건설비 $15M)
- Zenon社의 침지식 중공사 한외여과막 (ZeeWeed hollow-fiber ultrafiltration)
- 막여과의 주 목적은 병원성 원생동물 (Cryptosporidium and Giardia) 제거
- 낮은 압력, 많은 유량 (세계 최대 시설 중 하나): 380,000 t/d

DeCew Falls WTP

방문개요

- 방문일시 : 10:30 a.m, 4/5/2011
- 면 담 자 : john Macpherson, Operations Manager, Water & Wastewater Services
  (john.macpherson@niagararegion.ca)
- 주 소 : 2700 DeCew Road, St. Catharines, Ontario, Canada L2R 6P7
- U R L : www.niagararegion.ca

Niagara Region PUBLIC WORKS

방문내용

① Niagara 지역에서 가장 오래된 정수장
② Conventional Treatment
- 전통적 혼화응집침전+GAC여과+UV
- 용량: 227,000 t/d (급수인구 220,000명)
- 연간 운전비 $2.5M

③ 특이사항
- 원수 수질 양호 (탁도 1NTU 미만)
- 근방에 위치한 폭포를 이용한 소수력 발전 이용
- 운전 건물 지하에 정수지 배치 및 관찰 우물로 처리수 확인

42

DeCew Falls WTP

- 송수 및 정수장 공정에 자연유하를 이용 낮은 에너지 비용
- geosmin & 2MIB 측정하지만 문제되지는 않음 (원수 탁도 1 NTU)
- 최근 UV 소독 도입 (오랜된 정수장이나 계속 개보수 중)
- 상주 운영인원 : 4명

정수장 단면도

배수지 송수관망

실시간수질감시

UV 소독 (Trojan)

이중관 (충파방지)

관측정

43

Lakeshore WTP

방문개요

- 방문일시 : 09:30 a.m, 4/6/2011
- 면 담 자 : john Kehoe, P. Eng, Waterworks Engineer
  (jkehoe@lakeshore.ca)
- 주 소 : 419 Notre Dame St. Belle River, Ontario, Canada L0R 1A0
- U R L : www.lakeshore.ca

방문내용

① Lakeahore WTP 소개
- 계층형 구조설계 배경 및 노하우

② 공간절약을 위한 compact process
- 고속응집침전+GAC여과+UV : 36,400 t/d

③ 특이사항
- 계층형/건물형 정수장
- 역세척수 처리에 DAF 공정 적용
- 초청 기술 세미나 등 지속적 교류 예정

44

Lakeshore WTP 층별 배치

- Control room
- 고속응집침전지
- 여과지 (GAC 3m + sand filter 1m)
- 침전지와 여과지는 2층까지 관통
- manager office
- laboratory

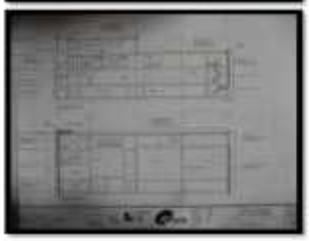
- Raw water 유입관
- 역세수처리 DAF 공정
- 스태프 라운지
- 회의실

- 전기실
- mechanical room
- chlorine scrubber room
- carbon storage room
- filter effluent pipe gallery

- UV pipe gallery
- janitors room
- ALUM room
- PAC feeder room

45

Lakeshore WTP 건물설계도



Windsor WTP

방문개요

- 방문일시 : 12:30 p.m, 4/6/2011
- 면 담 자 : Garry Rossi, P. Eng, Director of Water Production
  (grossi@enwin.com)
- 주 소 : Stn. 'A' 3665 Wyandotte St.E. Windsor, Ontario, Canada N9A 5T7
- U R L : www.Wuc.on.ca

WINDSOR UTILITIES COMMISSION

방문내용

① Windsor WTP 소개
- 위치 및 설비 용량, 정수장 특징

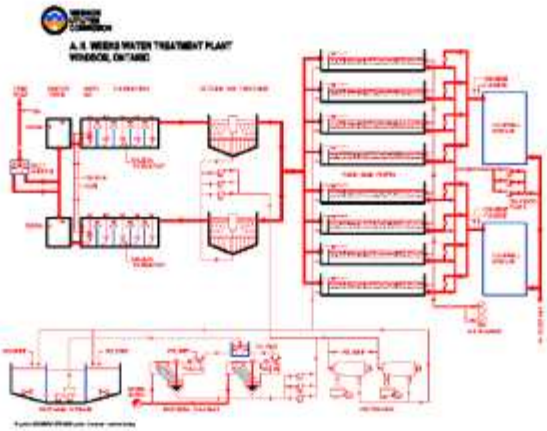
② 적용 공정
- Conventional Treatment : 20,000 t/d
  (Ozone+응집+급속 모래여과)

③ 특이사항
- 전통적 처리시설을 모두 건물 내에 수납
- pilot 규모 Smart Grid 중 : 배수지 펌프 원격 조작 등
- Tablet PC를 활용한 원격 운전 및 데이터 수집

47

Windsor WTP 수처리 공정

- 유입-전오존-CO_2퍼징-혼화-응집-침전-여과-소독
- 건물內 전통적 수처리공정수납
- 공간활용도 낮음



48

면담자 명함
Niagara Region
PUBLIC WORKS
www.niagararegion.ca
Town of Lakeshore
John Merritt
Water Treatment
Working Foreman (ORO)
TOWN OF LAKESHORE
LAKESHORE
John Kehoe, P.Eng
Waterworks Engineer
WINDSOR UTILITIES COMMISSION
Garry Rossi, P.Eng.
WINDSOR UTILITIES COMMISSION
John W. Stuart, B.Sc., P.Eng.
Chief Operating Officer
Ontario Clean Water Agency
WINDSOR UTILITIES COMMISSION
Glen Bondy
WINDSOR UTILITIES COMMISSION
Garry Rossi, P.Eng.

49

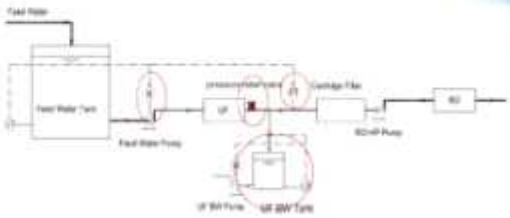
국토해양부 KICTEP 한국건설교통기술평가원 분산형 용수공급시스템 구축 연구단

해외출장 보고서

수직형 정수처리시설 설계기술 현황 조사 (중국)

1세부과제

분산형 정수처리시설 설계기술 개발 및 Prototype 제작



출장개요

분산형 용수공급시스템 구축 연구단

과제명

- 1세부과제 : 분산형 정수처리시설 설계기술 개발 및 Prototype 제작

출장목적

- 수직형 정수처리시설 Tankless 설계안 협의
- Direct Feed Design 적용 plant 조사 및 실무자 면담

출장일정 및 방문기관

- 출장일정 : 2011. 2.26 ~ 2.29 (3박 4일, 중국-상하이,베이징)
- 방문기관 : Shanghai Dow Center (상하이)
  Yanshan Refinery Plant (베이징)

출장자

- 김관엽 (포스코건설)

2

출장일정

중국 (상하이/베이징)

일자	방문지	면담자	비고
2/26(일)	상하이 도착	-	인천→상하이
2/27(월)	Shanghai Dow Center	Iris Chen (Dow, Global Engineering Center, Engineer) Eric Shao (Dow, Field Market Specialist, Korea)	상하이→베이징
2/28(화)	Water Reclamation Plant (SINOPEC Beijing Yanshan Company)	Helen Yu (Dow, Marketing Manager) Huang Zhicheng (SINOPEC Beijing Yanshan Company, Project Manager)	베이징
2/29(수)	인천 도착	-	베이징→인천

- Shanghai Dow Center : Dow Chemical사 연구소 및 아시아 지역 마케팅 사무소
- Yanshan Water Reclamation Plant : Dow chemical사 UF/RO 수처리 시스템 적용 (Direct Feed Design 적용)

3

1 Chapter Tankless 설계안 협의

4

SDC (Shanghai Dow Center)

방문개요

- 방문일시 : 10:00 a.m, 02/27/2012
- 면 담 자 : Iris Chen (ychen@dow.com)
  Global Engineering Center, Engineer)
  Eric Shao (shao3@dow.com)
  Field Market Specialist, Korea)
- 주 소 : No.936, Zhangheng Road, Zhangjiang Hi-Tech Park
- Shanghai 201203, P.R.C.
- U R L : www.dowwatersolutions.com

방문내용

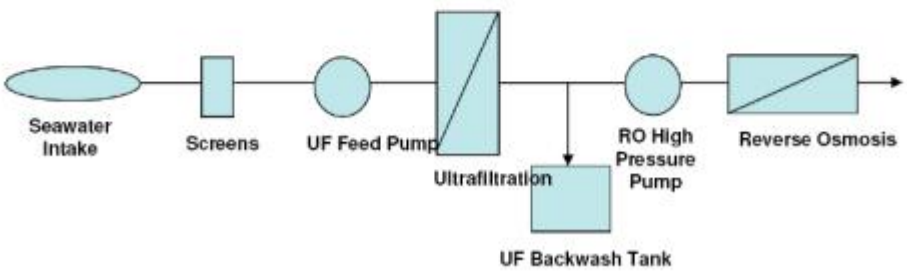
- 수직형 정수처리시설 설계안 협의
  ① Direct Feed Design Concept
  ② Direct Feed Design Considerations
  ③ Case Study for Direct Feed Design
  ④ Design Projection for Testing Bed

5

Direct Feed Design Concept

- Direct Feed of UF and downstream systems
  – 중간저류조 (또는 완충조) 제거
- UF 처리수 흐름 :
  – 후처리공정 (역삼투, 고도처리공정 등)
- UF 역세수 흐름은 FCV를 통해 역세수조로 전환
- 새로운 설계 개념 (현재 저압막-고압막 담수화 시스템에 도입)

*FCV : 유량제어밸브

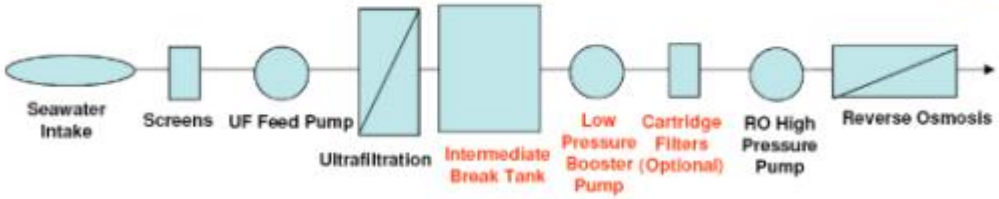


6

Alternatives to Direct Feed

Intermediate Tank

- UF와 후처리공정 사이에 중간저류조 설치
- UF 처리수 흐름 :
  - 중간저류조로 이송
  - 가압펌프 등을 통해 후처리 공정으로 공급
  - 기존 설계 방식

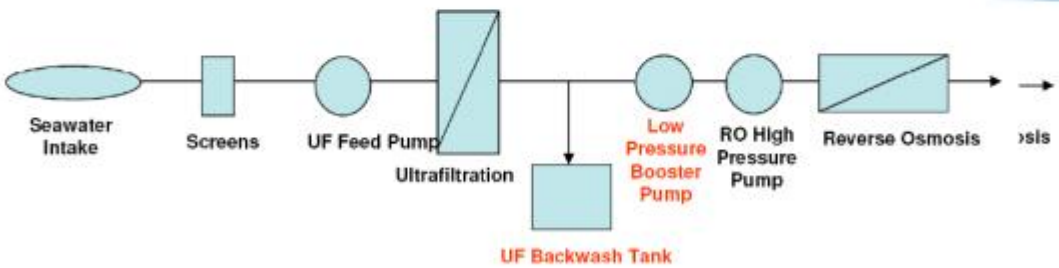


7

Process Flow Schematics

Direct Feed - Boost

- 중간저류조 제거
- 저압가압펌프를 통해 2.0 bar 수준까지 승압
- UF 처리수 흐름 :
  - 저압가압펌프로 1차승압 후
  - 고압펌프로 2차가압 (후단 역삼투 공정 결합)



8

Pros and Cons of Direct Feed

Advantage

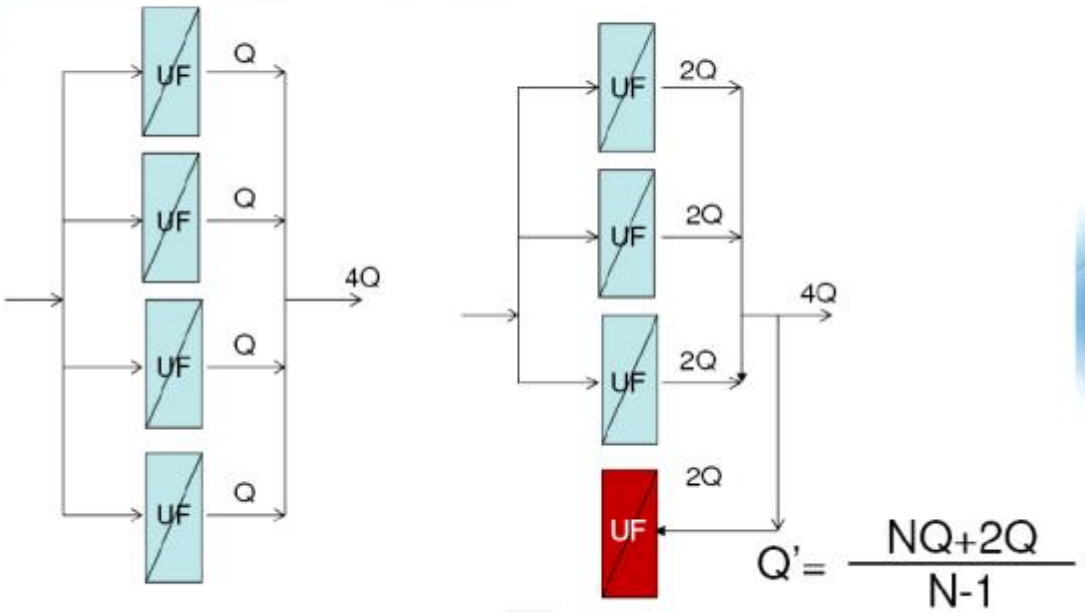
- CAPEX OPEX 절감
  - 중간저류조 제거
  - 저압가압펌프 제거
  - 카트리지필터 제거
  - 구동장비 비용 감소
- 소요 부지 절감 (compact design)
- 외부 오염물질 유입 또는 생물학적인 오염 저감
  - 중간저류조에서 2차오염 발생
  - 역세수조는 필요
  - UF-RO 시스템에서 구현이 용이

Disadvantage

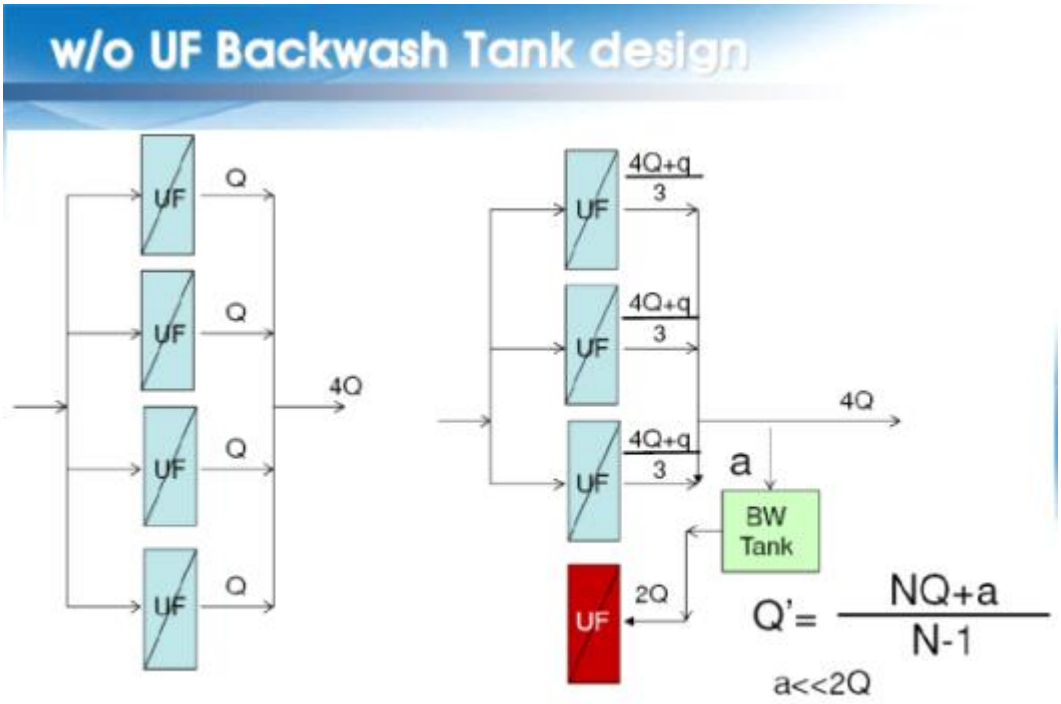
- UF와 후처리공정 사이의 완충 부재
  - 시스템 상 문제 발생시 연쇄적인 영향
- 제어 프로그램 복잡
  - 가동, 정지, 역세시 압력 충격 현상
  - UF 역세수조의 흐름 제어 필요
- 장비 및 제어장치 비용 증가
  - 압력/유량 제어 장비 비용 증가
- 안전장치 필요
  - 수충격 방지 조치 필요
- 장기 운전 기록 부재
  - 적용 사례 적음

9

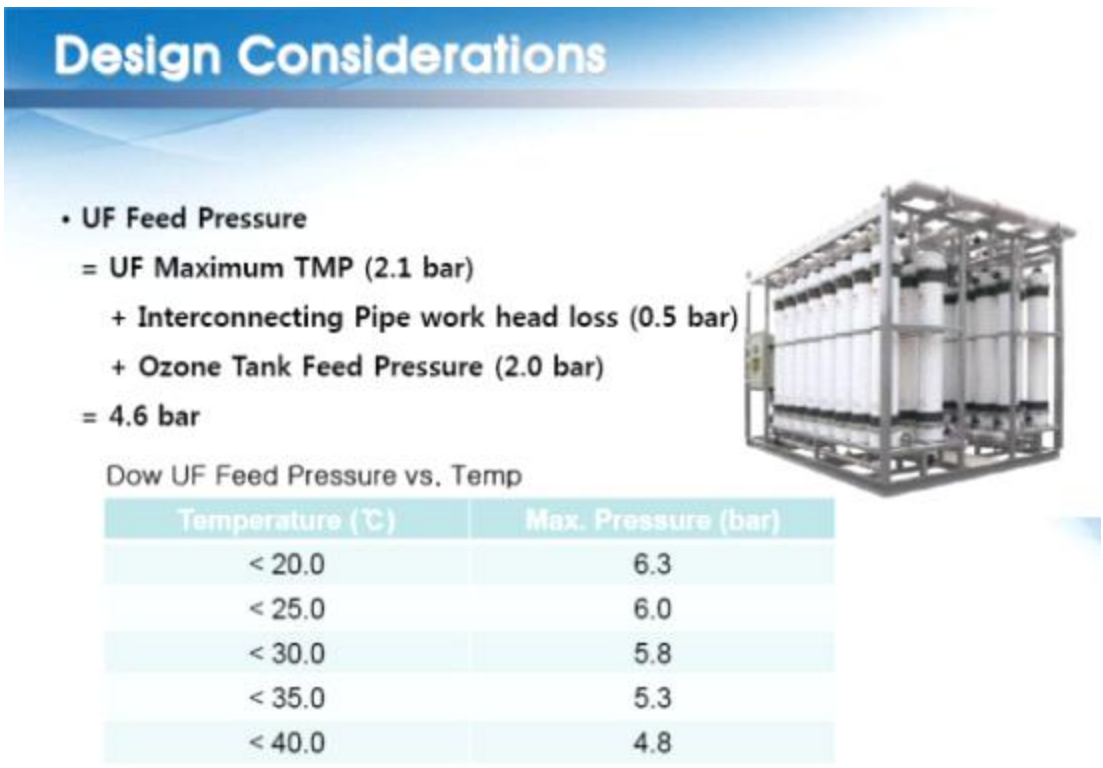
w/o UF Backwash Tank design



10


w/o UF Backwash Tank design
UF
Q
4Q
4Q+q
3
a
BW
Tank
2Q
Q'= NQ+a / N-1
a<<2Q

11


Design Considerations
• UF Feed Pressure
= UF Maximum TMP (2.1 bar)
+ Interconnecting Pipe work head loss (0.5 bar)
+ Ozone Tank Feed Pressure (2.0 bar)
= 4.6 bar
Dow UF Feed Pressure vs. Temp
Temperature (℃) | Max. Pressure (bar)
< 20.0 | 6.3
< 25.0 | 6.0
< 30.0 | 5.8
< 35.0 | 5.3
< 40.0 | 4.8

12

Design Considerations

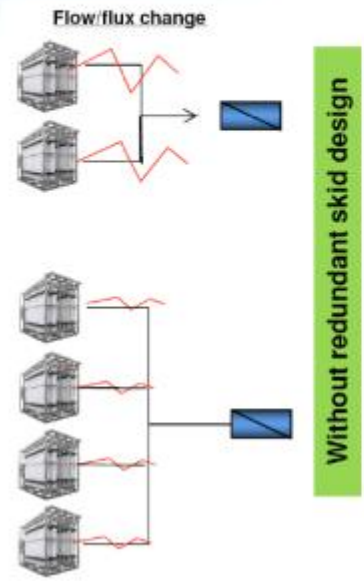
• 불균일한 유량/압력
- UF 유량 및 압력의 변화는 후단공정에 영향을 미침
- 후단공정의 처리성능 유지를 위해 UF 공정 처리수측 유량/압력을 일정하게 제어할 수 있는 설계 필요

• 설계 고려사항
- 다계열 설계 : 유량변동에 대응
- 안전설계 : 예비계열 반영 또는 안정적인 플럭스 설정
- 안전 (pressure relief) 밸브 : 압력변동에 대응, 분리막 모듈 보호
- 인버터 또는 유량제어밸브 : UF 공급측에 설치
- UF 역세수조 설치 추천
- 공정 제어 프로그램 (유량/압력 제어)

13

Design Considerations UF Skid Design

Multiple skid design : 운전 중 불균일한 유량의 완충 목적



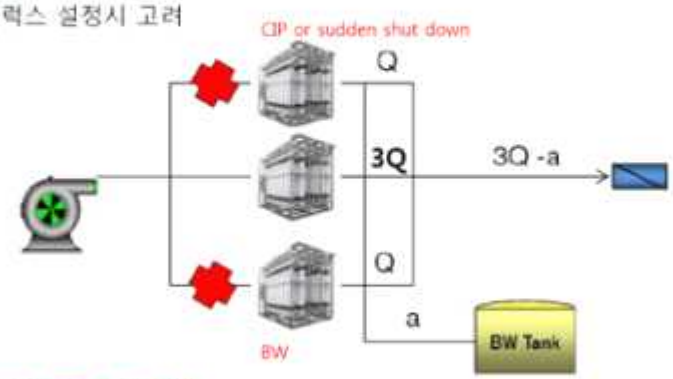
Example
Case 1 :
UF 용량 : 100 m³/h
UF 계열수 : 2
설계플럭스 : 각 계열당 60 LMH
1계열 역세시, 나머지 계열 플럭스 : 120 LMH
→ 플럭스의 급격한 변화로 인한 fouling 문제 발생 잠재성

Example
Case 2 :
UF 용량 : 100 m³/h
UF 계열수 : 4
설계플럭스 : 각 계열당 60 LMH
1계열 역세시, 나머지 계열 플럭스 : 80 LMH

14

Design Considerations UF Skid Design

- UF 시스템은 역세 또는 CEB에 의한 1계열이 정지되는 경우에도 일정한 생산수량을 유지하도록 충분한 계열로 구성되어야 함.
- 1계열 정지시 일정한 생산수량을 유지하기 위해 나머지 계열 플럭스 증가
  → 설계플럭스 설정시 고려



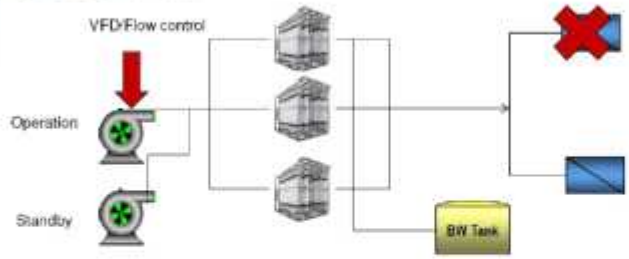
안전설계 필요 (standby+BW)

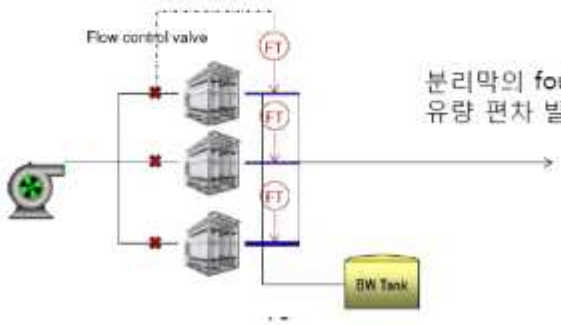
- 실제 시스템 운전시, 역세와 같은 단기정지와 CIP 등 장기정지의 동시발생을 반영하여 최대 2계열 정지를 고려하여 설계해야 함.

15

Design Considerations VFD/Flow control

- UF 공급측에 인버터 또는 유량제어밸브 설치 추천
- 후단공정 유량변동에 대응





분리막의 fouling 정도에 따라 유량 편차 발생

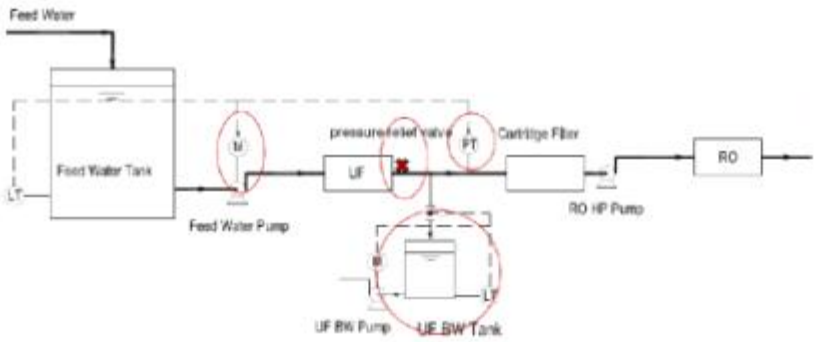
Design Considerations Instruments/Program

Instruments :

- Pressure transmitter (UF 공급유량 제어)
- Safety Valve / Pressure Relief Valve / Rupture Discs
- UF 역세수조 유량제어장치

Control programming :

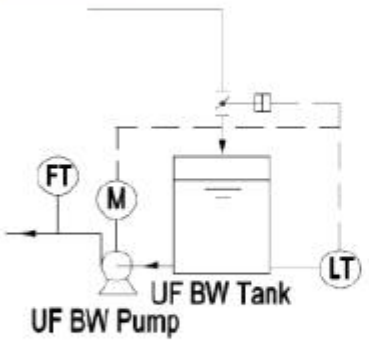
- 역세/CEB 프로그램
- 긴급정지 프로그램

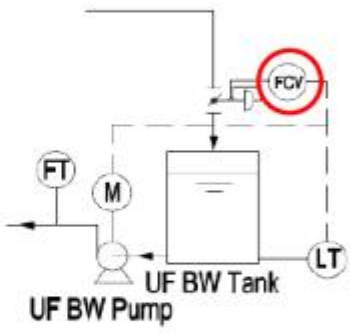


17

Design Considerations Instruments/Program

PID control of BW Tank Feed Valve





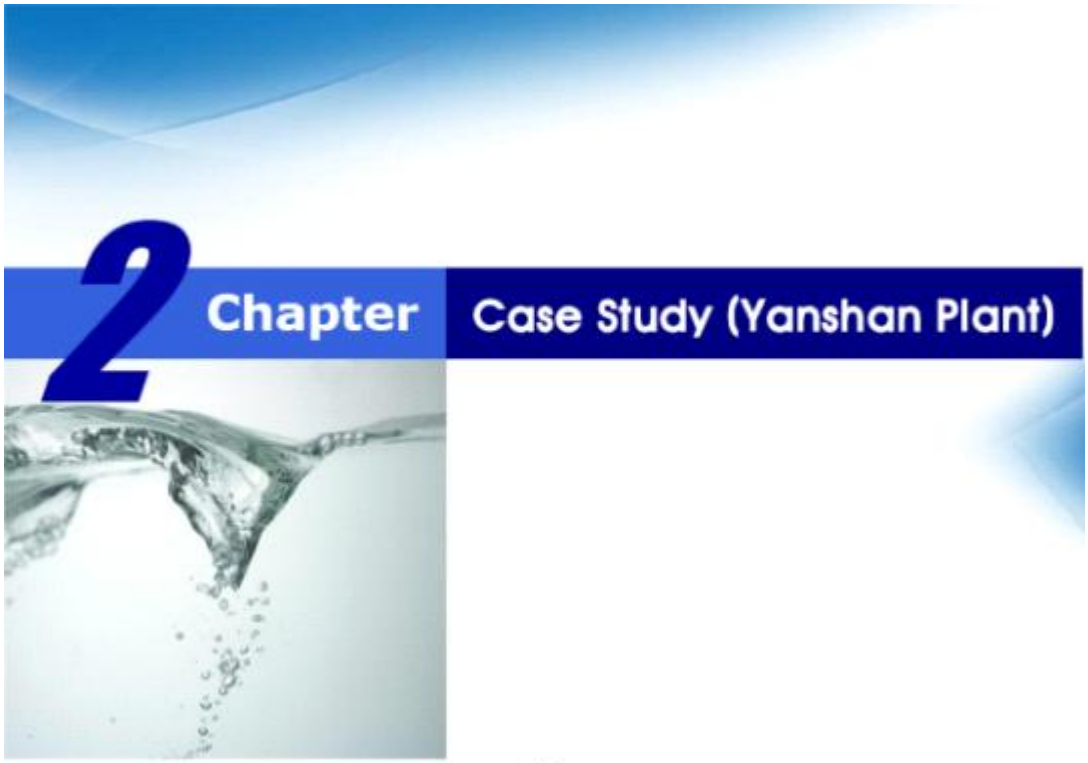
Open/Close Valve

Feed flow = Backwash flow

PID 유량제어밸브

공급유량 : 지속적으로 변동

18



19

Yanshan Plant (Case Study)

방문개요

- 방문일시 : 10:00 a.m, 02/28/2012
- 면 담 자 : Huang Zhicheng
  Project Manager
  SINOPEC Beijing Yanshan Company
- 주 소 : No.1 Gangnan Road Fangshan District, Beijing, China
- U R L : www.sinopec.com

방문내용

- Direct Feed UF-RO Reference
  - ① 시스템 공정 구성
  - ② P&ID 도면
  - ③ 운전인자
  - ④ 운전성능
  - ⑤ 현장 사진

20

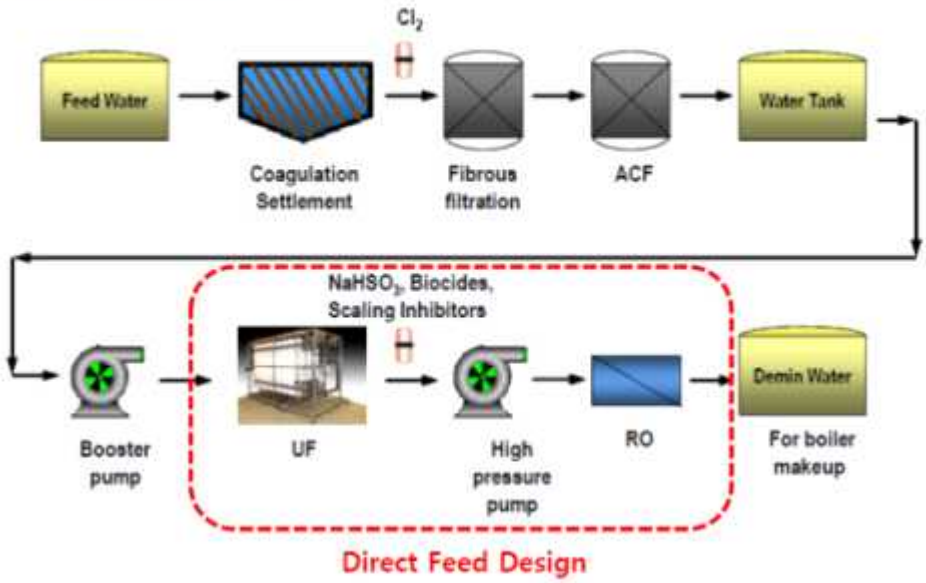
Site Information

- Source: Petrochemical plant wastewater
- Purpose : Pretreat oil-refining waste water prior to RO system
- Capacity: 560 m^3/h
- Location: Yanshan Refinery Beijing, China
- Running Time: Since 2005
- Process : Pretreatment → DOW™ UF → FILMTEC™ RO

Feed Water Quality

pH	7.0~8.4	Temp.(℃)	25~38
CODcr (mg/L)	20~50	Turbidity (NTU)	1~6
NH_3-N (mg/L)	0~10	Cl^- (mg/L)	150~400
TDS (mg/L)	900~1400	SO_4^{2-} (mg/L)	150~260
Hardness (mg/L)	300~500	Silica (mg/L)	8~11
Ca^{2+} (mg/L)	200~360	Oil (mg/L)	0~1.2
Alkalinity (mg/L)	50~150	Bacteria	103~105
Conductivity (μs/cm)	1,400~1,900	Fe (mg/L)	0.5

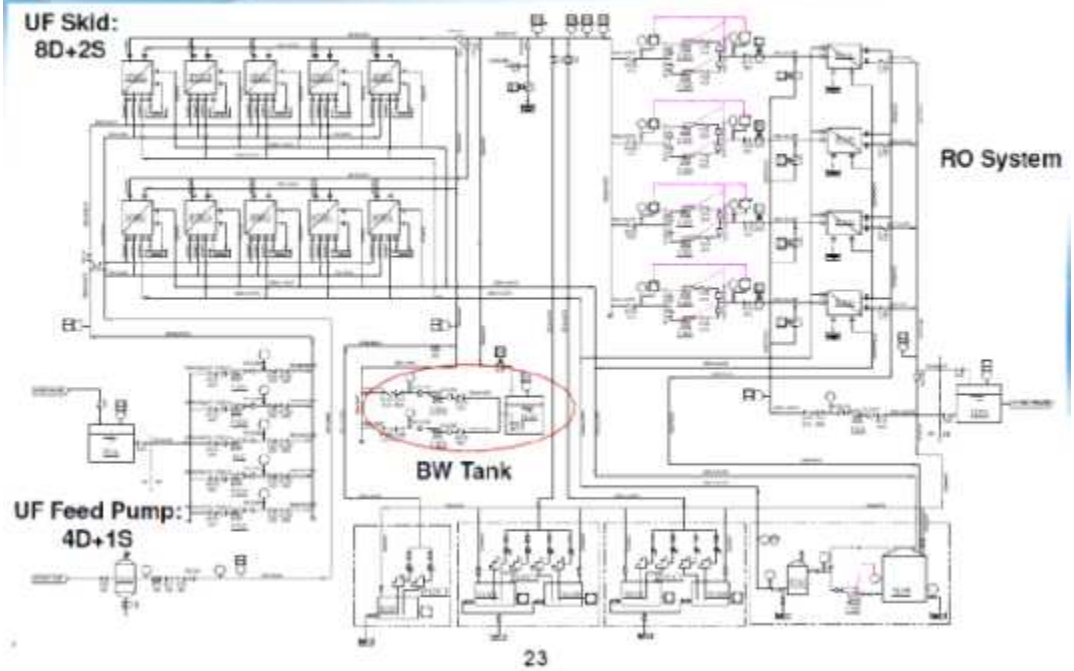
System Process



Direct Feed Design

22

P&ID Drawing



23

UF Plant Operation

다중계열설계

1계열 역세
1계열 CIP, 유지관리

Module Model	DOW™ UF SFP 2660
Total Capacity (m^3/h)	560 (max. 700)
Skid Number	10 (8+2)
Number of Module per Skid (pcs)	60
Total Number of Module (pcs)	600
Capacity per Skid (m^3/h)	70
Recovery	91%
Flux (LMH)	37.2

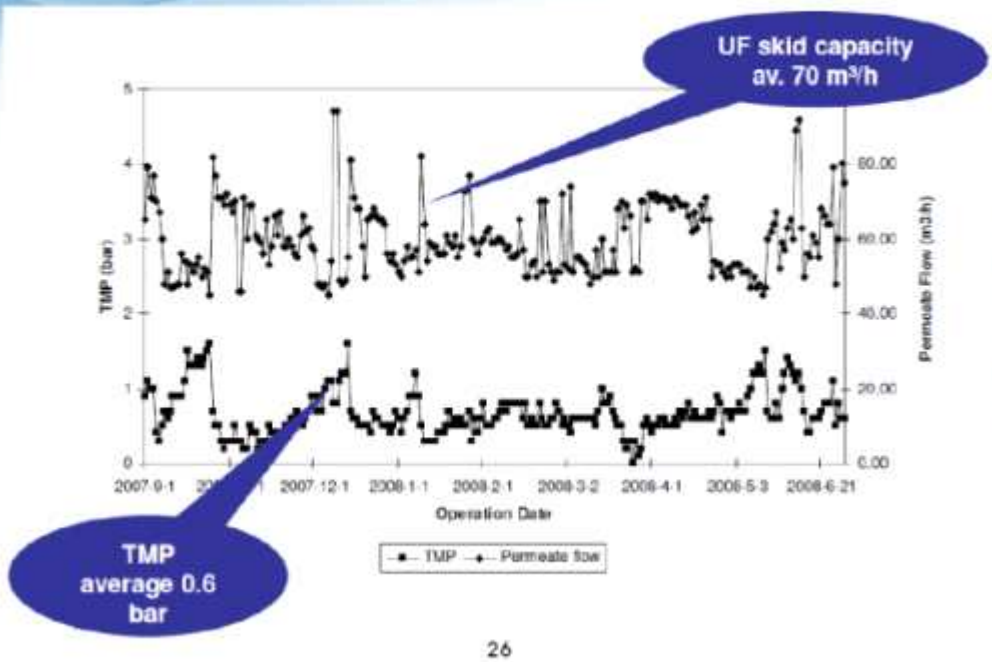
24

UF Operation

	Filtration	Air Scrub.	Back Wash	Forward Flush	CEB	CIP
Frequency	30 min		30 min		No	2~5 months
Duration	30 min	60 s	60 s	60 s	No	8 hrs
Consumption			10~15 ppm NaOCl			0.05% NaOH
						0.2% NaClO
						2% Citric acid
						0.36% HCl
						2% Oxalic acid

25

UF Performance



26

UF Plant Operation

- UF+RO 직접 결합 설계 (Direct Feed Design)
- 7년간 심각한 정지 없이 운전 지속
- 10(8+2) 계열 : 동시 정지 2계열 고려
  - 평상시 10계열 운전 (1 cycle : 30분 여과, 3분 정지)
  - 휴지 없는 순차역세 (역세펌프 지속 운전 가능)
- 중간저류조 제거, 역세수조는 설치
  - 역세수조 저수위시, 처리수 라인에 연결된 역세수조 공급라인 밸브 개방
  - 역세수조 충수방식은 FCV type이 아닌 on/off type
  - on/off type의 수충격 발생 가능성이 있으므로 FCV type 추천

27

Plant pictures

Plant 전경 (2층)
- 우측 : UF 2단 (상하 각 5 skids)
- 좌측 : RO (4 skids)

UF-RO 공정도 (Direct Feed)

펌프실 (1층)
- 우측 : UF 공급펌프 (2 skid당 1대)
- 좌측 : RO 고압펌프 (1 skid당 1대)

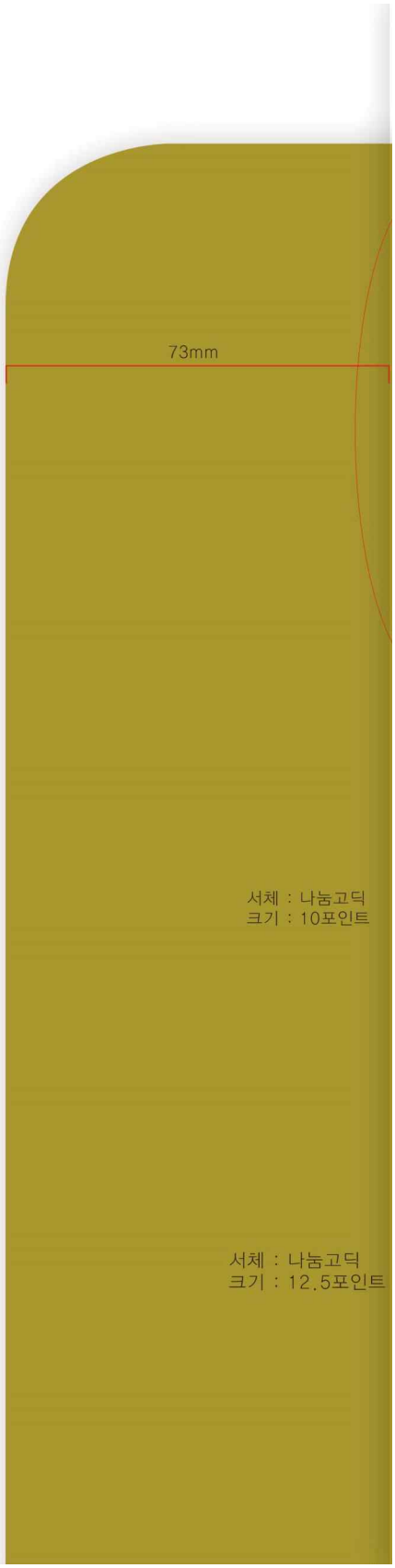
28

UF Plant Operation
UF 모듈
UF 모듈
상부
(처리수측)
UF 모듈
하부
(공급수측)
29

UF Plant Operation
UF 공급펌프
(압력 : 4 bar)
UF 모듈 압력
- 공급압력 : 1.8 bar
- 유출압력 : 1.4 bar
30

면담자 명함
IRIS CHEN
Global Engineering Center, Engineer
Dow Water & Process Solutions
Dow Chemical (China) Company Limited
2A21 / No.936 Zhangheng Road
Zhangjiang Hi-Tech Park
Shanghai 201203, P.R.C
ychen6@dow.com
Tel: 86-21-3851-2546
Fax: 86-21-5895-4458
Mobile: 86-136-3632-1748
www.dow.com
www.dow.com/liquidseps
Helen Yu
Marketing Manager
Dow Water & Process Solutions
www.omexwater.com
www.dowwaterandprocess.com
ERIC SHAO
Field Market Specialist
Korea, SEA and ANZ
Dow Water & Process Solutions
Dow Chemical (China) Company Limited
No.936, Zhangheng Road
Zhangjiang Hi-Tech Park
Shanghai 201203, P.R.C.
www.dowwatersolutions.com
Tel: 0086-21-3851 3086
Fax: 0086-21-5895 5200
Mobile: 0086-13816712951
shao3@dow.com
Huang Zhicheng
Project Manager
中国石油化工股份有限公司
CHINA PETROLEUM & CHEMICAL CORPORATION

31



주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술 연구개발사업의 최종보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.