16TBIP-C1
11792-01

물부족 문제의 해결을 위한 건축물 단위의 저비용/저에너지 물수요 관리 기술

최종보고서

2018

국토교통과학기술진흥원

해성엔지니어링(주)

국토교통사업화 R&D Report

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개( ), 비공개( )

국토교통기술사업화 지원사업 제2차 연도 최종 보고서

R&D /
16TBIP-C111792-01

물부족 문제의 해결을 위한 건축물 단위의 저비용/저에너지 물수요 관리 기술 최종보고서

2018 . 04 . 20 .

주관연구기관 / 해성엔지니어링(주)
위탁연구기관 / 서울대학교 산학협력단

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘물부족 문제의 해결을 위한 건축물 단위의 저비용/저에너지 물수요 관리 기술’(연구개발 기간 : 2016. 04. 27 ~ 2018. 01. 26) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2018 . 04 . 20 .

주관연구기관명 : 해성엔지니어링(주) (대표자) 이 광 희 (인)
협동연구기관명 : 서울대학교 산학협력단 (대표자) 김 성 철 (인)
참여기관명 : (대표자) (인)

주관연구기관책임자: 이 광 희
협동연구기관책임자: 김 충 일
참여기관책임자:

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

3. 보고서 요약서

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>16TBIP
-C111792-01</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td>2017.02.27.-
2018.01.26.</td><td>단계구분</td><td>2차 연도 / 2차 연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">국토교통기술사업화 지원사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">물부족 문제의 해결을 위한 건축물 단위의 저비용/저에너지 물수요 관리 기술</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">이 광 희</td><td>해당단계
참여
연구원 수</td><td>총: 14 명
내부: 14 명
외부: 명</td><td>해당단계
연구개발비</td><td>정부:337,000천원
기업:226,000천원
정부 외: 천원
계:563,000천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여
연구원 수</td><td>총: 28 명
내부: 28 명
외부: 명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부:712,000천원
기업:476,000천원
정부 외: 천원
계:1,188,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속 부서명</td><td colspan="3">해성엔지니어링(주)</td><td colspan="2">참여기업명</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명: 서울대학교 산학협력단</td><td colspan="2">연구책임자:김 충 일</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약
건축물에서 발생하는 잡배수와 우수를 연계 차집, 처리하여 건축물의 화장실 변기 수세용수로 활용함으로써 개별 건축물 단위의 저비용/저에너지 물수요 관리 기술 개발을 목표로 한다.
1.건축물 단위 물수요 관리 기술 해외 사례 문헌 조사
2.건축물 유형별 물수지 분석을 통한 건축물 유형별 맞춤 물수요 관리 기술 개발
3.잡배수 및 우수 연계 처리 기술 개발을 통한 저비용/저에너지 물재이용 시스템 개발
4.미세기포를 활용한 저비용/저에너지 물재이용 시스템 개발
5.개별 건축물 단위 물재이용 시스템의 효율적 운영 방안 확립
6.물재이용 시스템의 경제성 분석
7.기존 변기세정수 사용량 15L를 4.5L로 절감시키는 초절수형 변기 개발</td><td colspan="2">보고서 면수</td></tr>
</table>

4. 국문 요약문

연구의 목적 및 내용	1.건축물 유형별 물수지 특성평가 2.실증지역의 재이용시스템 적용처 발굴 3.사용용도별 최적 중수도 재이용공정 도출 4.중수, 빗물 통합형 시스템 Set-up 및 성능평가 5.중수, 빗물 통합형 물재이용 시스템 구축 -유입수의 계절적 변화패턴, 건축물별 특성 분석 및 데이터 베이스 구축 -재이용 공정 Set-up을 위한 Critical 인자도출 -건축물 유형별 수지분석을 통한 재이용 필요량 산정 및 활용처 발굴 -건축물 유형별 적합한 재이용공정 도출 -중수처리수질 달성 -중수와 저류 빗물 연계방안 검토(시스템 타당성 평가) -통합형 물재이용시스템 설계 및 설치 -절수형 변기 개발				
연구개발성과	¤ 건축물 유형별 독립 물 순환 시스템 구현(중수-빗물 통합형) ¤ 중수-빗물 통합형 물재이용 자동제어시스템 도시형 대체수자원 확보 ¤ 빗물이용시설 규격화				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	¤ 개별 건축물 단위 물재이용을 통한 대체수자원 확보 ¤ 중수도시설 단독으로 운영하는 기숙사, 공공건물, 업무시설, 체육시설 ¤ 고도산화처리 운영시스템의 자동화 및 운영비절감 효과 ¤ 중수 생산단가 절감으로 상수비용 대비 경제적 효과				
핵심어 (5개 이내)	물재이용	물수지	절수변기	중수도	파인버블

5. 영문 요약문

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	1. Evaluation of water balance by building type 2. Identification of the water reuse system application in demonstration areas 3. Optimal sewage treatment process for each application 4. Set-up and performance evaluation of integrated water reuse system between graywater and rainwater 5. Construction of integrated water reuse system between graywater and rainwater -Analysis and database construction for the seasonal pattern of graywater influent by different building types - Deduction of critical factor for set-up of water reuse process - Water Demand analysis and plan for urban areas in Seoul -Implementation of water reuse process in multipurpose - Achievement assessment for the target of graywater effluent quality -Examination of linkage between graywater and stormwater -Design and installation for integrated water reuse system -Installation of the water-saving toilets				
Results	¤ Implementation of independent water circulation system by type of buildings (graywater - rainwater integrated type) ¤ Integrated water reuse system between graywater and rainwater in the automatic control for urban alternative water resources ¤ Standardization of rainwater utilization facilities				
Expected Contribution	¤ Application to industrial areas in water shortage ¤ Dormitories, public buildings, business facilities, athletic facilities where graywater reclamation facility installed ¤ Automation of the advanced oxidation treatment system and reduction of operation cost ¤ Economical effect in comparison with the service water fee				
Keywords	hydrological balance	water-saving toilets	fine bubble	graywater	green technology

6. 영문 목차

1. Outline of Research and Development Project ·····1
2. Domestic and overseas technology development status ·····6
3. Research performance and performance ·····24
4. Achievement of goals and contribution to related fields ·····114
5. Plan to utilize R & D achievements ·····118
6. Overseas Science and Technology Information ·····120
7. Security level of R & D achievement ·····127
8. Research facilities and equipment registered in the National Science and Technology Comprehensive Information System ·····127
9. Implementation of safety measures in laboratories based on R & D tasks 127
10. Representative Research Results of R & D Project ·····128
11. Others ·····128
12. References ·····129

7. 본문 목차

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ·····1
2. 국내외 기술 개발 현황 ·····6
3. 연구 수행 내용 및 성과 ·····24
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ·····114
5. 연구개발성과의 활용 계획 ·····118
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ·····120
7. 연구개발성과의 보안등급 ·····127
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황 ·····127
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ·····127
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ·····128
11. 기타 사항 ·····129
12. 참고 문헌 ·····159

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

건물 용도에 맞는 물수지 분석을 통하여 건물 용도에 적합한 물수지를 도출한다. 건축물의 물수지에 따라 빗물과 저농도 오수를 연계한 물재이용 기술을 사용하여 건축물 내에 재이용수를 공급하며 절수형 변기 개발을 통하여 물 사용량 절감한다. 이를 통하여 건축물 단위의 건전한 물 순환 시스템을 구축하여 물 부족 문제를 해결한다.

2. 연구개발의 필요성

도시의 증가하는 물 수요에 비해 한정된 수자원 기반시설은 대체 수자원 개발에 대한 필요성을 증가 시키고 있다. 현재 건축물에서 사용되는 모든 물은 음용수 수질이지만 실제로 20% 이상은 음용수 수질이 필요 없으며 대부분 변기 세정용수로 사용되고 있다. 따라서 건축물의 변기 세정용수로 중수도를 이용할 경우 도시의 물 수요를 10~20% 까지 줄일 수 있어 훌륭한 대체 수자원이 된다.

건물 용도별 물수지 특성은 물재이용 시설의 운영방식과 절수형 변기를 통한 물 사용량 절감에 미치는 영향이 크다. 생활형 건물과 업무형 건물, 체육시설형 건물에서의 물수지 특성은 매우 다르나 이에 대한 연구는 이루어지고 있지 않다. 건축물 유형별 물수지 특성이 파악되면 물재이용 시설의 용량 및 운영방식과 절수형 변기 설치량을 결정할 수 있어 효율적으로 건축물 내의 물수요를 관리할 수 있다.

건축물 내에서 중수도 사용을 활성화시키기 위해선 우선 심미적 거부감과 경제성을 해결 하여야 한다. MBR 공정과 오존 공정의 연계는 이용자가 만족할 수 있는 재이용수 수질을 얻을 수 있지만 경제성에서는 상당히 불리하다 이를 해결하기 위한 방법으로 빗물과 저농도 오수를 연계하여 처리하여 경제성을 높일 필요가 있다.

건축물 단위에서 물 사용량이 많은 것으로 알려진 변기에는 여러 가지 절수 제품들이 사용되고 있지만, 건물에 따른 실증 실험은 부족하기 때문에 절수효과에 대한 신뢰성 있는 평가는 이루어지지 않고 있다. 따라서 시판되는 다양한 절수변기의 성능이 공칭 유량과 일치하는지 측정하여 가장 절수성능이 좋은 초절수변기를 선정·설치하여 건축물 내에서 실제 물 사용량, 변기 사용 횟수를 실측하여 절수량을 계산해 볼 필요가 있다. 이를 통해 건축물 내에 절수형 변기를 설치하였을 때 절수효과를 확인하여야 한다.

- 국가적 차원에서 물 안보가 매우 중요하나, 우리나라의 경우 급격한 도시화에 따른 불투수면 증가로 물 순환계의 불균형 초래되고 있는 실정
- 정부의 지속가능한 환경복지에 부흥하는 녹색도시 건설을 위해서는 건전한 물순환 시스템의 구축이 필수적임
- 실증예정시설인 서울의 경우 집중호우로 인한 지하 침수 피해가 해마다 반복되고 있음
- 수질이 비교적 양호하고, 막대한 양을 지속적으로 확보 가능한 하수처리수를 청정한 빗물과 연계하여 재이용하는 하이브리드형 중수처리시스템 구축이 필요

21세기에 인류가 직면하고 있는 환경 재앙은 무수히 많지만 그 중에서도 가장 큰 문제는 바로 담수의 부족이다. 물은 인간을 포함한 모든 생명체와 생태계에 있어 가장 중요한 자원으로써 그동안 무한한 자원처럼 여겨져 왔다. 그러나 전 세계적인 기후변화와 인구증가, 환경오염 등에 의해서 물의 순환과정에 문제가 발생했으며, 세계은행 보고에 의하면 80개 국가가 물 부족 국가이며, 이는 사람들의 건강과 경제를 위협할 정도라고 한다. 또한 UN 산하기구인 'UN개발프로그램(UNDP)'에 의하면 전 세계 인구의 1/5에 해당하는 10억명 이상의 사람들이 안전한 물을 사용하지 못하고 있으며, 2050년에는 물 부족 인구가 전 세계 인구의 44.9%에 이를 것으로 전망하고 있다.

물을 풍족하게 사용하고 있다고 여겨지는 우리나라도 강수조건과 지형조건으로 물 관리 상태를 살펴보면 전 세계적으로 최악의 물 관리 여건을 가지고 있다. 우리나라의 연평균 강우량은 1,300 ㎜ 정도로서 많은 편에 속하지만, 분산치가 11,675 ㎜로써 세계에서 가장 큰 편에 속한다. 게다가 국토의 70%가 암반으로 이루어진 산악지형이므로, 내린 빗물이 땅속에 침투되지 않고 빨리 내려가 버리기 때문에 빗물을 땅에 보아두기가 매우 어려운 조건이다. 우리나라의 빗물관리조건은 세계에서 가장 열악함을 의미하므로, 우리는 최악의 물 관리 조건을 가지고 있음을 알 수 있다.

앞으로 물이 무기가 되는 물 부족시대가 도래할 것으로 예상되는 만큼 전 세계적으로 부족한 수자원을 확보하기 위한 대체수자원 확보 기술에 대한 중요성이 점차 높아지고 있다. 현재 물 공급은 약 99.3%를 하천수나 지하수에 의존하고 있으며, 중수재이용이나 빗물이용 등 대체수자원의 이용은 0.47%에 불과한 실정이나 꾸준히 증가될 것으로 전망하고 있다. 즉, 최근에는 대체수자원의 확보를 위한 중수재이용과 빗물이용에 대한 방법이 매우 큰 관심을 끌고 있다.

우선 대체수자원으로서의 중수처리수는 지역적으로 고루 분포되어 있으며, 고도처리공법의 도입에 따라 수질이 양호하고, 연간 66억 ㎥이라는 막대한 양이 발생하므로, 각종 용수로 재이용할 경우 물 수급의 지역적인 불균형을 완화할 수 있으며, 농업용수확보, 하천유지용수 공급으로 건천화된 도심하천의 생태계회복 및 상수도 미보급 지역의 용수확보가 가능하다. 또한 막대한 양의 중수처리수를 하천으로 직방류하지 않고 다양한 용도로 재이용할 경우, 유입부하량 감소로 하천의 수질개선을 도모할 수 있으며, 특히 수질오염총량관리제 시행지역에서는 가장 효과적인 오염부하량의 삭감수단이 될 수 있다. 또한 수돗물 사용량 및 댐 주변지역 지원비 절감 등의 사회적 편익과 저렴한 재이용수 공급으로 수요처의 비용을 절감시킬 수 있다는 점에서 사회경제적 효과가 있다.

빗물은 수자원의 근원으로 모든 지역에 고루 분포되어 있는 지구상에서 가장 깨끗한 수자원이다. 지역적 특성에 따라 계절적 편중이 존재할 수 있으나, 최단의 빗물관리기술과 도심지내 빗물저류조 등 다양한 시설을 이용하여 효과적으로 관리하면 매우 양호한 수질의 빗물을 양껏 확보할 수 있다. 예를 들어, 빗물지상조를 우리나라의 전 국토에 분산형으로 설치하여 내리는 빗물의 1%만 받아 보아도 연간 12만 5천 ㎥의 깨끗한 수자원을 확보할 수 있다. 특히, 내리는 비를 현장에서 직접하게 관리하여 수자원확보, 가뭄대비, 수돗물절약, 열섬현상 저감과 같은 다양한 목적으로 활용할 수 있다.

이렇듯 중수처리수와 빗물이용은 높은 효용성을 가진 대체수자원으로써 각각의 고유한 가치를 지니고 있으며, 수돗물 사용량 및 댐 주변지역에 대한 지원비 절감 및 하수처리장에 유입부하를 줄여 하수처리시설비용을 절감할 수 있고 또한 저렴한 재이용수 공급으로 수요처의 비용을 절감시킬 수 있다는 점에서 사회경제적 효과가 있다.

기존의 물 관리체계는 대규모 집중식 공급체계로써, 댐과 하천에서 원수를 취수하여 대규모

관망을 통해 각 수요처에 물을 공급하는 방식이나, 이러한 방법은 각종 수질 및 수량사고 발생시 안정적인 물 공급에 문제를 가져올 수 있다. 따라서 도시·지역 단위로 활용가능한 수자원을 파악하고, 이러한 지역 내 확보가능한 수자원을 활용할 수 있는 방안을 구체적으로 적용할 필요가 있다.

본 연구의 실증 적용도시인 서울의 경우 최근 단시간에 집중호우를 유발하는 게릴라성 폭우가 증가하고 있으며, 도시 내 빗물 저류조의 역할이 제대로 이루어지지 않음으로써 매해 계속적인 물 피해를 입고 있는 실정이다.

최근 재이용수를 대체수자원으로 인식하고 공업용수 등 구체적인 기능이 부여된 물로 이용하고자하는 정책이 수행되고 있고, 기술적으로는 음용수 수준까지 도달할 수 있음에도 불구하고 여전히 경쟁력 없는 처리비용과 중수처리수에 대한 심미적인 요인으로 인해 중수처리수의 재이용에 대한 전망이 불투명한 실정이다. 또한 빗물 재이용의 경우도 일부 지협적인 부분에서 접근되고는 있으나, 수량확보의 문제 등으로 소극적인 접근만이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 도시내 빗물저류조 및 중수시설 운영시스템 실증화 구축에 중요한 자원이 되는 중수처리수와 빗물의 특성을 이용한 하이브리드형 운영시스템을 개발하고자 한다. 중수처리수에 비해 청정하고 심미적인 거부감이 없는 빗물을 이용해 인체접촉용수를 생산하고, 연중 일정한 수량 및 수질확보가 가능한 중수처리수를 빗물과 통합해 실생활에서 가장 사용비율이 높은 화장실 용수 등을 생산할 수 있도록 빗물중수 하이브리드형 물재이용시스템을 구축함으로써, 도시의 물 수지를 개선하여 지속가능한 복지환경이라는 새로운 패러다임에 부응한 건전한 물 순환체계 구축에 활용하고자 한다.

3. 연구개발 범위

연구개발은 크게 3가지로 구성된다. 첫 번째는 건축물 단위별 물수지 분석이며 두 번째는 건축물 단위 물재이용 시스템 개발이다. 마지막은 초절수형 변기 개발이다.

첫 번째 물수지 분석은 서울대학교 내의 생활형 건물, 업무형 건물, 체육시설형 건물의 1인당 물 사용량 분석을 통하여 건물 용도별 물수지 특성을 파악 하는데 있다.

두 번째 건축물 단위 물재이용 시스템 개발은 서울대학교 내에 실증화 시설을 설치하여 빗물 및 저농도 오수의 특성 분석, 특성에 따른 재이용 공정 설계 인자 및 운영 방안 도출, 빗물과 저농도 오수의 효율적 연계 방안 연구를 통하여 건축물 단위에 적합한 물재이용 시스템 개발을 목표로 한다.

마지막 절수형 변기 개발은 기존 회당 15l의 물을 사용하던 것에서 4.5l까지 물 사용량을 줄이는 변기를 개발 한 뒤 실제 설치를 통한 검증과 설치 전과 후의 건축물의 물수지 변화를 관찰하는 것을 포함한다.

가. 중수, 빗물 하이브리드형 재이용 시스템 개발

○ 기존연구는 중수처리수의 처리를 통한 재이용 시스템과 분산형 빗물 이용시스템을 별개로 연구하고, 활용도에 대해서도 개별적으로 접근하여 통합 물순환시스템 구축이 어려움.
○ 본 연구는 수량의 안정적 확보가 가능한 중수처리수와 수질측면에서 안정적인 빗물을 연계하여 용도별로 대체수자원을 공급하는 하이브리드형 물재이용 시스템을 개발
○ 하이브리드형 물재이용 시스템을 통한 물 수지를 개선으로 지속가능한 발전을 실현하는 환경보전 물 순환시스템 기반 마련

국내의 경우 물 부족에 대한 우려와 물 안보에 대한 중요성이 강조되면서 중수처리수와 빗물을 대체 수자원으로 활용해야 한다는 인식이 확산되고 있으나, 두 수자원을 연계하여 하이브리드형 재이용시스템으로 접근한 사례는 없다. 즉 현재까지의 연구는 중수처리수의 경우 단순 재처리하여 하수처리장 상내용수, 농업용수, 하천유지 용수로 공급하는 방안과 최근 들어 정밀여과(MF), 한외여과(UF) 및 역삼투방식(RO)을 활용해 공업용수로 이용하는 기술이 주로 적용되고 있으며, 빗물의 경우는 집수면 관리, 침투 및 저장설계 기술, 오염물질 제어 및 공급방식 등에 대한 연구가 개별적으로 이루어져 왔다.

본 연구에서는 지속가능한 발전을 실현하는 환경복지 물 순환 시스템을 구축하기 위하여 중수처리수와 빗물이라는 두 수자원의 특성을 이용해 실제 상수를 대체할 수 있는 양질의 재이용수 생산을 위한 하이브리드형 물재이용시스템을 구축하고자 한다.

중수처리수는 연중 수량과 수질측면에서 안정적이고, 음용수 수준의 처리가 가능한 수준의 기술이 개발되어 있으나, 처리시 에너지 소비량이 높고, 심미적인 거부감으로 인해 접촉용도 및 간접음용수로의 활용은 불가능한 상황이므로 주로 고도환경용수 내지는 공업용수로의 활용에 국한되어 있다. 반면, 빗물의 경우는 집수면에 따라 달라지나 대체로 수질이 중수처리수에 비해 양호하여, 중수처리수 대비 간단한 처리만으로 고도의 수질확보가 가능하며, 인체접촉이나 음용에 대한 거부감이 적은 장점이 있는 반면, 강우분포가 일정치 않으므로 안정적인 수량확보 측면에서 제한적이다.

본 연구에서는 두 수자원의 상호보완적인 특성에 착안해, 중수처리수와 빗물을 연계한 하이브리드형 재이용 시스템을 개발함으로써, 빗물과 중수처리수를 이용하여 공업용수나 화장실 세척용수를 생산하는 등 다양한 용도의 대체수자원을 경제적으로 확보하는 방안을 제시한다.

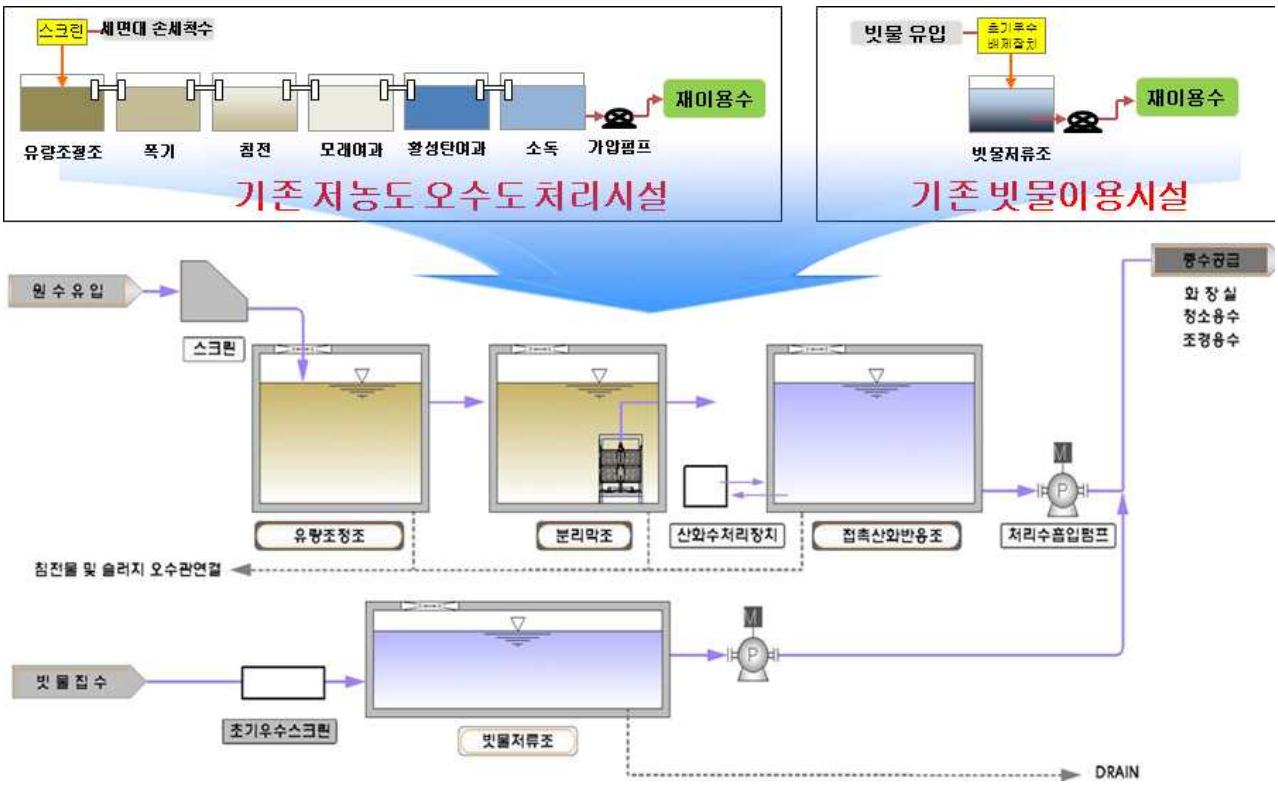


그림 1 빗물-중수 하이브리드형 시스템 개요도

나. 빗물이용시스템의 최적설계 및 운전

○ 3~5년간 실제 운전한 빗물이용시설의 운전자료를 바탕으로 최적의 설계조건 도출
○ 저비용-저에너지 입자분리기술과 소독기술을 적용한 중수·빗물 하이브리드형 시스템의 개발

국내외를 막론하고 기존에 거의 모든 빗물이용시스템들의 공통적인 한계점은 용량설계과정에서 단순 모델링에 의존하거나 5 ㎥ 이하의 규모 또는 짧은 운전기간에서 얻은 운전자료에 기초하여 그 용량이 결정되었다는 점이다. 따라서 상수대체율, 사용일수와 같은 주요한 운전인자들로 그 효율을 평가할 때, 그 결과가 당연히 저조하게 나온다. 이러한 한계를 극복하려면 30㎥이상의 실제 빗물이용시설에서 다년간 지속적으로 얻어진 운전 자료를 참고하여 빗물이용시스템의 용량을 산정해야한다. 서울대학교 빗물연구센터에서는 세계물협회 IWA에서 발행하는 잡지인 Water 21의 표지기사로 실린 서울시 광진구 스타시티 빗물이용시설(07년 5월~현재, 3,000㎥)과 서울대 대학원기숙사 빗물이용시설(04년 3월~현재, 200㎥)을 직접 설계하였고, 현재까지 운전하고 있다. 즉, 대규모의 실제 빗물이용시설의 설계경험과 장기간동안 얻은 운전자료에 기초하여 본 연구팀은 빗물이용시스템의 용량을 가장 최적의 값으로 설계할 수 있으며, 최적의 운전조건을 도출할 수 있다.

또한 기존의 빗물이용시스템은 양호한 수질의 빗물을 집수하기 위하여 대부분의 지붕면을 집수면으로 활용하였다. 즉, 집수가능한 빗물의 양이 매우 제한적이었고, 집수한 빗물의 활용처도 제한적이다. 빗물집수량을 증대시키려면 다양한 집수면의 활용이 필요하나 지붕이외의 집수면은 오염인자들이 많아 양호한 수질의 빗물을 집수하기 어렵다. 본 연구팀은 빗물이용시스템의 집수량을 극대화시키기 위하여 다양한 집수면으로부터 빗물을 집수하고, 침전, 여과와 같은 저비용-저에너지 수처리기법의 적용과 수처리시스템을 조합하여 사용목적에 맞는 물을 공급할 것이다. 특히, 빗물이용시설의 상심중의 하나인 비상용수 확보의 관점에서 세계최초로 빗물의 음용수화에 무산불이 없는 저비용 저에너지 소독기술을 적용할 것이다.

이렇게 본 연구팀은 대규모 빗물이용시설의 설계 및 다년간의 운전경험, 그리고 수처리에 대한 이론적 실험적 지식을 바탕으로 기존의 빗물이용시스템 설계와 운전에 있어 여러 한계점을 극복하고 빗물이용시스템의 최적설계 및 운전조건을 도출할 것이다.

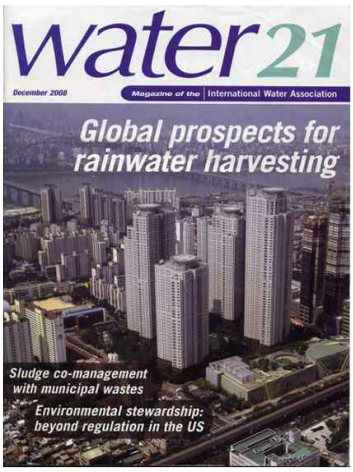


그림 2 스타시티 빗물이용시설

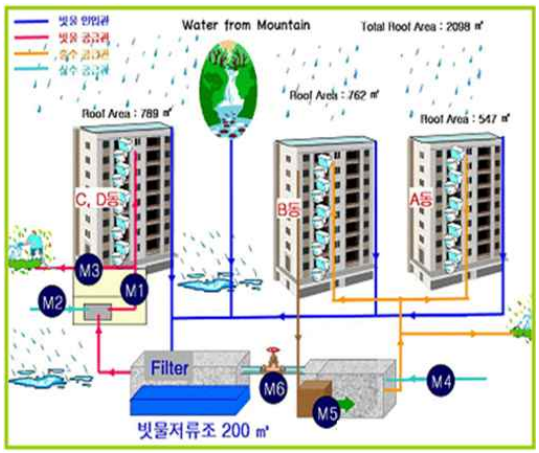


그림 3 서울대학교 대학원 기숙사 빗물이용시설

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 국내의 기술개발 동향

가. 하수처리 재이용 기술

○ 국내 하수처리수의 재이용 용도는 범용, 인체 비접촉, 고도환경용수, 공업용수 등 4개 분야로 구분됨.

○ 2007년 기준으로 하수처리수 재이용율은 9.9%로 증가추세에 있으나, 대부분 생태용수 및 농업용수, 하천유지용수 등의 용도에 국한되어 실질적인 상수대체 효과는 미비.

○ 심미적인 요인으로 인해 생활용수로의 활용은 어려운 실정이며, 공업용수로의 이용확대를 유도하는 정책적 지원으로 오산 등 공업용수생산 플랜트가 가동중인.

○ 공업용수로 중수처리수를 재이용하는 공정의 핵심은 고도산화처리 기술로 운영비 절감이 가능한 경쟁력 있는 재이용공정 도출이 관건임.

최근에 우리나라에서는 공공하수도에서는 하수처리수를 처리장내에서의 소독용수 등으로 일부 재이용하고 있으나, 처리장 외에서의 화장실세정용수 등으로 아직 재이용하는 곳은 없다.

그러나 대규모 하수처리장 건설 등의 원인에 의한 건천화된 하천을 살리기 위하여 광주광역시(광주천) 및 대구광역시(신천)에서는 하수처리수를 약 10㎞ 상류로 압송시켜 방류시키면서 하천생태계의 기능회복 및 친수환경을 도모하고 있다. 최근 기본, 실시설계 및 공사를 하고 있는 공공하수처리장에서는 하수처리수를 수경용수 및 농업용수 등으로 재이용하기 위해 설계 및 공사가 진행되고 있다. 한편 1998년 현재 전국 97개소에서 빌딩, 호텔 및 산업체에서 발생되는 오수를 처리하여 하루 661,537㎥을 화장실세정용수, 청소용수, 조경용수 등 중수도로써 재이용하고 있는 실정이다.

비교적 우리나라에서 빨리 도입한 중수도시설로서 서울시 롯데월드를 소개하면 다음과 같다. 2억2천3백만원(토목공사비 제외)을 투자하여 1989년에 준공한 롯데월드 중수도시설은 처리용량 1,850㎥/일이며, 사용용도로서는 화장실용수, 청소용수로 사용되고 있다. 중수원수는 세면, 샤워 등으로 사용된 오수로써 접촉포기조 등에 의하여 처리한 후 롯데월드 내, 호텔, 어드벤처, 백화점 등 모든 양변기에 중수로 100% 사용되고 있다. 현재까지 고객불편사항이 없었으며 수돗물과 중수의 구별이 안 될 정도이다. 배관 내 부식 및 막힘현상을 염려하였으나 강관내면에 어느 정도의 슬라임막이 형성된 후 더 이상 진행이 되지 않아 배관부식이나 막힘현상은 오히려 더 안정적인 것으로 평가되고 있다.

중수도 수질 관리기준 및 롯데월드 처리수질은 <표 1.2.1>와 같으며 중수도 수질기준과 비교하여 처리수질은 양호한 편이다.

1998년의 중수사용량은 총 346,824㎥/년으로서 하루 평균 950㎥이다. 일년간 사용된 유지관리비는 134,142천원으로서 ㎥당 생산단가는 387원이다. 경제성을 검토해보면 매년 절감액은 사용량×(상수도요금+하수도요금)-생산단가로서 나타내면 346,824㎥×[(1,240원/㎥+540원/㎥)-387원/㎥]=483,125,832원이다. 1990년부터 1998년까지 9년 동안 약 40억원을 절감시키고 있다.

한편 수돗물사용량은 중수도의 사용량이 증가됨에 따라 총 사용량의 80% 정도로써 롯데월드의 경우 20%의 상수도 사용량을 줄임으로써 수자원을 절약하고 있다.

표 1 중수도 수질관리 기준 및 치리수질

구분	도시 재이용수	조경용수	친수용수	하천 유지용수	습지용수	공업용수
총대장균군수 (개/100㎖)	불검출	200 이하	불검출	1000 이하	200 이하	200 이하
결합잔류염소 (mg/L)	0.2 이상	-	0.1 이상	-	-	-
탁도 (NTU)	2 이하	2 이하	2 이하	-	-	10 이하
부유물질 (SS)(mg/L)	-	-	-	6 이하	6 이하	-
생물화학적 산소요구량 (BOD)(mg/L)	5 이하	5 이하	3 이하	5 이하	5 이하	6 이하
냄새	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것
색도 (도)	20 이하	-	10 이하	20 이하	-	-
총질소 (T-N)(mg/L)	-	-	10 이하	10 이하	10 이하	-
총인 (T-P)(mg/L)	-	-	0.5 이하	0.5 이하	0.5 이하	-
수소이온농도 (pH)	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5
염화물 (mgCl/L)		250 이하			250 이하	

[비고]

1. 항목별 수질검사는 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조제1항제5호에 따른 수질오염물질 공정시험기준에 따라 검사하여야 한다.
2. 공업용수의 수질기준은 산업용수로 사용하는 경우에 적용하며, 다회순환냉각수, 공정수(工程水), 보일러용수 등은 수요처와 협의하여 수질을 정할 수 있다.

지난 10여 년 동안 하수처리를 위한 핵심기술로서 국내에서도 분리막 생물 반응기 관련 현상 연구가 활발히 진행되었으며, 기술보급에 큰 역할을 하였다. 해성엔지니어링은 기술실용화는 물론 분리막 생물 반응조 내 막오염 유발물질의 거동을 예측할 수 있는 모델을 개발하고 이를 바탕으로 막오염 제어를 지능형으로 할 수 있는 인공지능형 Smart 제어 시스템을 개발하였으며 오존과 미세기포를 이용한 오염물질에 대한 분해 및 살균 소독에 대한 연구개발을 완료하여 현장에 적용시키고 있다.

최근에는 '정삼투 막여과 기술을 이용한 재이용 하수처리' 연구가 주목되고 있다. 이는 해수담수화에 적용은 물론 하수처리에도 적용되어 각종 미량 유해물질에 대한 제거가 가능하기 때문이다. 새로운 공정으로써 통합형으로 하수와 해수를 동시에 처리하여 에너지 소모를 줄이는 공법이 개발될 수 있어 관심이 고조되고 있다. 정삼투법의 실용화를 위해서는 고효율의 유도용액과 그 경제적인 분리가 중요한데, 분리가 쉬운 철나노입자를 이용한 유도용액이 개발되고 있으며 막 증류법을 이용한 유도용액 회수 장치 연구도 활발히 진행되고 있다. 분리막 막오염 연구에 있어서도 분리막을 이용한 하수처리수 재이용시 발생하는 막오염 특성 및 메커니즘에 대해서 연구하고 이로 인해 막오염을 최소화하는 원천기술 개발을 하고 있다. 또한, 미생물에 의한 생물 막오염과 무기물에 의한 무기 막오염 현상을 다양한 분리막에서 연구하고 있다. 미량오염물질을 제거하는 기술도 나노입자인 실리렌, 탄소나노튜브 및 그래핀 등을 광촉매로 이용해 분해하는 광산화 기술에 대해 연구도 성과가 기대되고 있다. 정부는 하수처리시설을 에너지 소비 시설에서 재생산 시설로 전환하려 노력하고 있다. 이러한 배경으로 하수처리 시스템의 에너지 자립도를 향상하기 위한 연구개발이 최근 진행되고 있는데, 특히 미래지향형 하수처리기술은 하수 중의 유용자원을 회수하고, 처리과정에서 발생하는 부산물을 이용하여 에너지사용의 효율화를 추구하는 기술이다. 이 분야는 환경공학(Environmental Technology, ET)과 나노기술(NanoTechnology, NT), 생명공학(Bio Technology, BT), 정보기술(Information Technology, IT) 등 다양한 기술들을 융합하여, 기술개발의 파급효과가 크다.

나. 빗물관리기술의 국내현황

국내에서는 최근 분산형 빗물관리에 대한 관심이 매우 높아지고 있다. 2009년 9월 서울시, 수원시를 포함한 전국 23개 시군에서 빗물조례를 제정, 빗물 관리에 대한 수요가 도시 물관리의 차원을 넘어서서 도시 및 단지 계획, 건축분야에서도 점차 증대하고 있으며, 지구개발 및 건축의 친환경성을 평가하는 항목으로 빗물 관리 능력이 추가되면서 빗물 관리 기술에 대한 다양한 수요가 발생하고 있다. 더욱이 녹색뉴딜정책에서도 분산형 빗물관리를 중점사업으로 선정하고 추진하고 있다.

이에 응하여 발생한 빗물관리 기술은 초기에는 양질의 빗물을 이용하기 위한 빗물처리 기술 위주로 개발되었으나 최근에는 빗물저류 및 침투시설의 계획 및 설계기술, 시공 및 유지관리 기술이 중점적으로 개발되고 있다. 또한 관련 소프트웨어와 지침, 매뉴얼 등과 더불어 공동주택 및 유역 물순환 해석기술 등이 개발되고 있고 초기우수처리기술과 저오염 집수기술, 선형침투 및 녹지집수 기술 등의 요소기술이 개발되었다. 특히, 한국의 고유한 철학을 담아 세계적으로 성공적인 빗물 관리의 사례로 주목받는 스마시티 빗물 관리 시설이 설계되었고, 빗물관리 모형으로는 Rainstock과 Raincity 등이 있으며, 빗물저류침투 및 활용시설의 용량을 설계하고 효과를 분석하는 기능을 보유하고 있다. 그러나 이러한 기술들은 개별적이며, 특히 빗물이용시설의 용량설계과정에서 단순 모델링에 의존하거나 작은 규모 또는 짧은 운전기간에서 얻은 운전자료에 기초하여 그 용량을 결정한다는 한계점이 있다.

표 2 국내의 빗물관련 대표 연구현황

핵심 기술명	기관명	기관분류	연구자명	주요 연구 활동	보유기술의 spec
빗물관리 기술	서울대학교	대학교	한무영	빗물이용기술 연구	분산형 다목적 빗물관리시스템 설계 및 관리기술, 건축물 빗물이용 기술
	서울연구원	연	김영란	서울시 빗물관리 기본계획 수립	이치수 목적의 우수지류시설, 초기우수처리 대책 연구
	방재연구소	연	심재현	우수 침투를 통한 우수유출저감 연구	우수유출저감 시범 사업
	한국건설기술연구원	연	김이형	건축물, 공동주택단지 빗물관리기술 개발 및 적용	공동주택 빗물관리 의사결정지원 모형, 지오엄 십수, 선형침투기술, 금속막 처리기술 등 다수 보유

2. 해외의 기술개발동향

가. 중수처리수 재이용의 국외현황

- 미국, 일본 및 싱가포르, 이스라엘 등에서 하수처리수를 대체수자원으로 재이용하는 비율이 높음.
- 특히 고도산화처리공법을 조합하여 공업용수 및 간접음용수로 사용하는 등 과거 단순 기능 용수에서 최근에는 상수 대체기능으로 발전하고 있음.
- 미국의 Water Factory, 싱가포르 Bedok의 NeWater Plant 등이 대표적인 중수처리수 재이용 플랜트임.
- 중수처리기술의 고도화로 중수처리수를 공업용수로 활용하는 비중이 높아지고 있으며, 궁극적으로는 음용수, 인체접촉용수로 이용가능한 수준으로 기술개발이 이루어지고 있음.

중수처리수 재이용이 활발한 국가로는 일본, 미국, 싱가포르, 호주, 영국, 독일, 인도, 이스라엘, 튀니지, 사우디아라비아, 예멘 등을 들 수 있으며, 특히 절대 물 부족국가인 사우디아라비아와 예멘 등은 하수처리수를 음용수로 까지 활용하는 사례가 있다. 국외의 경우 물이 부족한 나라에서는 대부분 중수처리수를 재이용하고 있으며, 그 용도도 기존 수자원을 대체하여 생활용수, 농업용수, 공업용수 등으로 활용하기나 하천유지용수, 친수용수 등 공공성격을 띤 용도로 활용되고 있다. 특히 싱가포르는 상수원수의 75%를 말레이시아에서 수입함에 따라 국가생존 차원에서 재이용사업(NEW-WATER Project)을 추진하여 공업용수 및 간접음용수로 이용하고 있다.

표 3 각국의 물 재이용 현황

구분	일본	미국 Florida	미국 California	싱가포르	호주	이스라엘	쿠웨이트
재이용율	1.4% (54만㎥/일)	52% (220만㎥/일)	10% (170만㎥/일)	6.7% (9.1만㎥/일)	12%	10%	15%

(1) 일본

○ 일본의 중수도는 2009년말 현재 전국에서 2,486개소가 설치되어 있으며, 1일 사용수량은 446천㎥으로 추정되어 생활용수 사용량의 약 1%를 차지하고 있으며, 지역별로는 관동임해지역과 북구주지역에서 전체 시설의 2/3를 차지하며, 그중에 특히 동경도와 후쿠오카시에 이용이 집중되어 있다.

○ 건물용도별 중수도이용 시설은 업무용빌딩이 955개소로 38.4%를 차지하며, 다음으로 학교 391개소, 회관 188개소, 의료복지기관 132개소, 공원·녹지·골프장 129개소, 공장 103개소, 호텔 80개소 등의 순서를 보인다.

○ 빗물이용시설은 2009년말 현재 전국의 중수도 이용시설의 38%인 934개소에서 화장실 세정용수 등의 중수도로 이용하고 있으며, 그 양은 연간 약 700만㎥으로 추정된다. 빗물이용시설도 관동임해지역에 60%가 집중되어 있다.

○ 일본에서는 2009년도에 전국 1,494개소의 하수처리장에서 연간 126억㎥의 하수처리수가 발생하고 있으며, 농촌취락에서도 2010년도에 연간 2.4억㎥의 처리수가 발생하였다. 이러한 하수처리수중에서 과반수의 하수처리장이 처리공정에서 消泡水, 세정수 등 하수처리장의 내부에서 재이용하고 있으며, 하수처리장의 외부에서 처리수를 재이용하고 있는 처리장은 182개소이며, 이용수량은 연간 약 1.5억㎥이다. 일본의 재이용율은 2005년 1.4%(약 2억㎥/년)이며, 이중 59%가 조경용수, 친수용수, 하천유지용수로 가장 많은 양을 차지하고 있다. 하수처리수의 재이용은 도시생활용수의 수요증가에 대체하기 위한 대안이며, 동경도의 경우 주요용도는 대도시의 특성상 지역 내 수세식 화장실용수, 노면청소용수 및 비산먼지 살포 등이다.

표 4 일본의 하수처리수의 용도별 재이용 현황[10]

구 분	계	화장실 세정수	공업 용수	사업장 직접 급수	농업 용수	환경 용수	살수 용수	융설 용수	기타
처리장수	182	33	4	36	19	64	71	17	13
재이용량 (만㎥/년)	약1.5억㎥	646	672	943	1,925	7,561	29	2,607	174

○ 일본에서는 하수처리수를 잡용수로 이용하기 위해 처리시설 및 송수시설 설치, 하수처리수를 활용한 수변공간 조성 등에 대해서 국비보조사업을 추진하고 있으며, 농촌취락 배수시설의 처리수를 이용하기 위하여 농촌취락 배수처리수 이용보급사업도 국고보조사업으로 실시하고 있다.

○ 일본은 2009년말 현재 공업용수 이용량이 560억㎥에 달하나 공업용수 재이용량이 연간 436억㎥, 재이용률이 78.6%에 달하며, 공업용수 재이용율이 증가하면서 1974년 이후에는 공업용수 공급량이 정체되거나 오히려 감소되는 경향을 보이고 있다.

○ 공업용수 등의 재이용 사례

하수처리수가 가진 에너지의 유효이용법으로서 수량의 크기를 이용한 발전 시스템, 아주 작은 온도차를 축열하여 이용하는 열 에너지 시스템, 강설지역에서의 융설열원으로서 이용 등도 검토되고 있다. 처리수의 재이용 사례를 <표 1.2.6>에 나타내었다.

생활용수 중에서 하수처리수 재이용은 수세식변소용수가 가장 많이 이용되고 있으며, 잡용수 이용방식으로서는 <표 1.2.5>에서 보여주는 것처럼 개별순환방식, 지구순환방식 및 광역순환방식이 있다.

○ 건축 용도별로는 학교가 전체의 18%를 차지하고 사무실 빌딩이 16%, 청사·회관 및 공장이 각각 10%, 이하 의료·복지시설, 호텔, 슈퍼·백화점이 뒤따르고 있고 학교, 사무실, 청사, 공장 등은 재이용수를 이용할 수 있는 용도가 많을 것으로 추측된다. 재이용수의 이용용도로는 전체의 70% 정도가 화장실용수로 가장 많이 이용되고 있다. 그 외에 살수, 냉각·냉방용수, 청소용수 등이며 최근에는 환경·수경용수 등으로의 이용도 증가하고 있다.

표 5 잡용수 이용방식

방 식	개요 및 이용상황
개별순환방식	사무실 빌딩 등 개별 빌딩에 있어서 해당 건축물내에 처리·재이용 장치를 설치하여 水原으로 하는 방식(1,366건, 18만㎥/일)
지구순환방식	대규모 집합주택과 재개발지구 등의 복수 건축물을 대상으로 공동의 처리·재이용 시설을 설치하여 水原으로 이용하는 방식 (48개지구, 109건, 2만㎥/일)
광역순환방식	처리수와 공업용수를 水原으로 하여 광역적으로 대규모로 이용하는 방식(59개지구, 627건, 13만㎥/일)

[주] (　　)는 국토청 조사에 의한 1996년도말 상황

표 6 하수처리수의 재이용사례

채택 년도	都道府縣	市町村名	대상처리장	용도 및 수량	사용 년도
1986	치바현 효고현 오카야마현	치바현 코와베시 야마태村	印旛沼유역하수도 花見川종말처리장 東灘하수처리장 山手정화센터	수세변소용수 등(4,100㎥/일) 수세변소용수 등(4,200㎥/일) 수세변소용수 등(500㎥/일)	1989 1990 1987
1987	카가와현	타카마쯔시	福岡하수처리장	수세변소용수 등(1,200㎥/일)	1990
1988	아이치현	蒲郡市	蒲郡市정화센터	업무용수 등(700㎥/일)	1989
1989	도쿄도	區 部	臨海部, 有明처리장	수세변소용수 등 (30,000㎥/일)	1995
1990	도쿄도 시즈오카현	도쿄도 하마마츠시	다마뉴타운 공공하수도 館山寺정화센터	수세변소용수 등(1,700㎥/일) 수세변소용수 등(1,800㎥/일)	1993 1994
1991	시마네현	카시마町	惠曇처리장	수세변소용수 등(1,200㎥/일)	1995
1992	치바현 카가와현	치바현 牟礼町	印旛沼유역하수도 花見川제2종말처리장 牟礼町淨化苑	수세변소용수 등(7,500㎥/일) 수세변소용수 등(2,000㎥/일)	1997 1994
1993	도쿄도 효고현	區 部 코오베시	시바우라처리장 名谷종말처리장	수세변소용수 등(11,000㎥/일) 수세변소용수 등(12,000㎥/일)	1998 1997
1994	후쿠시마현 카나가와현 효고현	原町시 요코하마시 코오베시	原町제1하수처리장 港北하수처리장 (요코하마종합운동공원) Port Island	잡용수 등(10,000㎥/일) 잡용수 등(7,300㎥/일) 수세변소용수 등(8,000㎥/일)	1996 1996 1998
1995	사이타마현 도쿄도 카나가와현 효고현	사이타마현 多摩도시 요코하마시 淡路東浦組合	아라까와처리장(오오미야) 남다마처리장 北部제2하수처리장 淡路 · 東浦정화센터	잡용수 등(8,000㎥/일) 잡용수 등(15,500㎥/일) 잡용수 등(2,100㎥/일) 잡용수 등(2,205㎥/일)	1999 1998 1997 1997
1996	오오이타현 도쿄도 카가와현 나가사키현	쯔루미町 區 部 타카마쯔시 鄕ノ浦町	쯔루미정화센터 스나마치 수처리센터 高松市동부하수처리장 북부처리장	잡용수 등(74㎥/일) 수세변소용수 등(3,100㎥/일) 잡용수 등(5,000㎥/일) 수세변소용수 등(250㎥/일)	1996 1997 2000 1997
1997	기후현 후쿠오카현 미에현	기후현 후쿠오카시 伊賀町	名務原정화센터 동부처리센터 拓植정화센터	잡용수 등(1,000㎥/일) 잡용수 등(800㎥/일) 잡용수 등(1,200㎥/일)	2000 2003 1997
1998	오키나와현	오키나와현 · 나하시	중부유역나하 수처리센터	잡용수 등(2,130㎥/일)	2000

○ 재이용 시설의 방식은 하수도 처리구역 내인가, 구역외인가, 原水를 목욕, 세면기, 세탁 오수도 한정할 것인가, 부엌오수도 포함할 것인가, 화장실의 오수도 포함하여 전체를 재이용할 것인가 등에 따라서 다르다. 또한 그 실치에 있어서는 厚生省, 建設省에서 설비기준이 명시되어 있고 위생상의 배려, 색과 냄새 등 감각적인 혐오감의 제거, 배관과 급배수, 위생설비 기계로의 장해를 배제하는 등의 배려가 필요하다.

동시에 재이용의 수질기준으로서는「외관 및 악취가 불쾌하지 않을 것」으로 규정되어 있다.

구체적인 설계기준은, 建設省의「排水 재이용・빗물이용 시스템 건설기준」에 나타나 있으며, 처리방식별 비용비교 결과 건설비와 제조비용, 유지관리면에서는 생물처리가 좋으며, 설치면적과 유지관리측면에서는 막처리법이 좋은 것으로 나타났다.

하수처리수의 재이용은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

(가) 물수요의 핍박지역에 있어서 수돗물 사용량 감소에 의한 갈수를 완화시킴
(나) 지하수의 과잉 채수에 따른 지반침하방지
(다) 처리 공급시설과 건축물의 이중배관이 필요하게 되므로 비용이 듦
(라) 하수와 오염부하의 삭감에 따라 하수처리장의 부하경감

'③'의 비용부담경감책으로서는 빗물・하수재이용시설의 설치자에 대한 세제우대조치, 일본개발은행에 의한 정책금융(저리융자)이 조치되고 있다.

○ 유사시에 수자원으로서의 이용

중수처리수의 항구적인 이용에 추가해서 갈수시 등의 긴급이용도「유사시를 위한 준비」로서 유효할 것이다.「갈수에 의한 영향의 종합적 파악과 갈수대책의 확립에 관한 조사(1995~1996년도에 국토개발사업정비비에 의한 조사로서 건설성이 실시)」에 1994년도 갈수에서의 처리수의 긴급적 재이용 보고가 정리되어 있다. <표 1.2.7>에 갈수시에 중수처리수의 긴급이용상황에 대한 전국 5개 지역의 상황을 나타내었다. 즉, 민간사업자에게 공급한 공업용수(知多지역, 高松지역, 福岡지역)와 농업용수(高松지역, 松山지역, 福岡지역)가 있고 공공용도로서 공급한 것은 많은 처리장에서 살수용수로서의 긴급이용이 두드러지고 있다.

이러한 갈수 등의 비상시로의 대응은 지진화재시 대응의 관점으로도 검토되기 위한 것이고 많은 지역에서 문제의식을 가지고 있다고 생각되고 있다. 1996년도부터 실시되고 있는「하수도 갈수대책 시설정비사업」은 처리수 긴급이용을 위한 취수구와 송수시설에 대한 조성을 실시하는 것이지만 이미 50개소 이상에서 실시되고 있다.

표 7 갈수시의 처리수 긴급이용상황16)

(단위: 백만㎥)

지역 / 이용량	치다지역	히로시마 지역	다까마츠 지역	마쯔야마 지역	후꾸오카 지역
1994년도의 하수처리수량	424	65	41	64	238
1994년도의 처리수 유효 이용량	9.4	0.6	0.3	1.8	2.0
갈수 기간중 삼정식처리수 유효이용량	0.05	0.07	0.11	0.02	1.2
삼정식 유효이용 실시 예	東海市, 知多市 등에서 공상의 냉각용수 등으로서 이용되었다.	廣島市, 東廣島市 등에서 도로·공원 수목의 살수용으로 이용되었다.	高松시 등에서 공업용수에 사용되거나 살수용수로서 시민에게 분배되었다. 또한 농업용수로서 이용된 사례도 있다.	松山市 등에서 농업용수로서 이용되었다. 今治市 등에서는 살수용으로서 시민에게 분배되었다.	福岡시 등에서 공상용수로서 이용되었다. 또한 大牟田시에서 농업용수로서 이용되었다.

한편, 오까야마현 카사오카市(岡山縣 笠岡市)의 사례는 빗물간선의 체류수를 소화용수로서 이용할 수 있도록 한 것이며, 1998년 4월의 화재 발생시에도 사용되었다고 한다. 하수도의 존재감을 나타내는 의미에서도, 유사시에 도움이 되는 하수도에 대한 연구가 지속적으로 수행될 필요가 있다고 생각된다.

앞으로 이용용도가 확대되리라고 추측되지만 제조비용 경감을 위해서는 용도별 목표수질을 설정하여 각각에 따른 수처리기술을 개발할 필요가 있을 것이다.

(2) 미국

○ 미국에서는 1960년대 후반 재이용 시스템이 처음 시도되었으며 1992년을 기준으로 18개 주에서 재이용 관련 법령을, 18개주에서 재이용과 관련된 가이드라인을 두고 있다. 일부 주에서는 재이용 시스템 설치를 연방법에 의무화하였으며 대부분 간접적인 재이용 방식을 취하고 있다.

○ 미국에서 중수처리수 재이용은 수자원 보호, 용수의 효율적인 이용 및 새로운 용수원 확보의 관점에서 이미 수자원 계획의 중요한 부분으로 자리잡고 있으며, 중수처리수 재이용은 지역에 따라 차이가 있으나 용도별로 분류하면 크게 다음과 같이 6가지로 분류된다.

표 8 미국에서 용수재이용과 관련기준 법령의 변천4)

시 기	관 련 법 령
1960년대	- California legislation encourages wastewater reclamation, recycling and reuse Use of secondary effluent for crop irrigation in Israel - Research on direct potable reuse and maintain water quality
1970년대	- US Clean Water Act to restore and maintain water quality - Pomona Virus Study, Pomona, CA - Califonia Wastewater Reclamation Criteria (Title 22)
1980년대	- Health effects study by LA Country Sanitation Districts, CA Monterey Wastewater Reclamation Study for Agriculture, CA - WHO Guidelines for Agricultureal and Aquacultural Reuse
1990년대	- Total Resource Recovery Health Effects Study City of San Diegy, CA US EPA Guidelines for Water Reuse - Potable Water Reuse Demonstration Plant: Denver, Co. Final Report

(가) 농업용수 및 조경용수 : 농작물 관개용수, 학교정원, 식물원 용수, 그린벨트 지역내 살수용수, 집안 정원수

(나) 산업용수 : 냉각수, 보일러 용수, 공정수

(다) 지하수함양 : 지하수 보충수, 해수침입 방지수

(라) 레크레이션 : 호수, 연못 및 습지보충수, 하천유지용수

(마) 생활용수 : 소화용수, 수세식 화장실 용수

(바) 음용수 : 취수시 정수와 혼합, 상수와 혼합

○ 미국 처리수 재이용의 특징은 주로 하수처리장의 처리수를 고도처리하여 광역적으로 재이용하고 있다는 점과 보건위생상의 관점에서 하수처리수의 재이용은 주로 농업용수(관개용) 또는 공원과 골프장과 같은 비음용수로써의 재이용만을 고려하였다는 것이다. 미국에서 재이용수의 사용 용도는 주로 농업용수로 가장 많이 사용되고 있으며 다음으로 많이 사용되는 용도는 공장의 냉각용수나 공정용수, 지하수 함양 및 환경용수이다.

표 9 미국의 재이용관련 연구개발 사례4)

연 구 기 관	연구개발 내용	연구개발 결과	개발년도
County Sanitation Districts of Los Angeles (미국, 캘리포니아)	Whittier Narrows Groundwater Replenishment Project	지하수생산(10MGD) 지하수원수 16%에 해당	1962
Orange County Water District(미국, 캘리포니아)	Water Factory 21	지하수생산(15MGD) 상수공급량의 5%에해당	1976
Upper Occoquan Sewage Authority(미국, 버지니아)	UOSA Water Reclamation Plant	Occoquan 호수로 하수처리수 90%이상 유입(54MGD)	1978~ 2000
U.S. Army Corps (미국, 워싱턴D.C.)	Potomac Estuary Experimental Water Treatment Plant	하수재이용 공정평가 (0.1MGD)	1981
San Diego (미국, 캘리포니아)	San Diego Total Resource Recovery Project	Vicente로 처리수 유입 (20MGD)	1983
County Sanitation Districts of Los Angeles (미국, 캘리포니아)	Whittier Narrows Groundwater Replenishment Project	지하수생산(10MGD) 지하수원수 16%에 해당	1962
El Paso, Texas (미국, 텍사스)	Fred Hervey Water Reclamation Plant	지하수생산(10MGD) Hueco Bolson drinking water aquifer	1985
City of Tampa (미국, 플로리다)	Tampa Water Resource Recovery Project	지하수생산 계획 (20~50MGD)	1986
West Basin Municipal Water District (미국, 캘리포니아)	West Basin Water Recycling Program	지하수생산 (5~20MGD) L.A. Hyperion Treatment Plant 2차처리수	1990~ 1995
Reedy Creek Improvement District (미국, 플로리다)	Advanced Recycling Program	기존 정수처리공정을 UF/RO로 대체	1992
City of Scottsdale (미국, 아리조나)	Water Campus Project	MF/RO를 이용한 IPR (6.3~25MGD)	1994
City of San Diego (미국, 캘리포니아)	Water Repurification Project	MF/UF, RO, IE, O3 (20MGD)	

○ 콜로라도주의 덴버(Denver) 수도국은 미국에 있어 음료용수 재이용 계획의 필요성을 승인하고 있는 유일한 수도 사업체이다. 1960년대 후반부터 재이용 기술에 대한 연구를 시작하였으며 최근에는 하수 2차 처리수 혹은 다른 수질이 좋지 않은 물을 음용수로 처리하기 위한 pilot plant 연구를 행하였다. Pilot plant의 규모는 약 3,800㎥/day이며 처리공정은 응집·침전, 여과, 오존처리, 활성탄 흡착, 역삼투 및 이산화염소 소독의 단계를 거친다.

미국에서의 중수처리수 재이용 형태는 처리수를 직접식으로 공업용수, 관개용수 등으로 이용하는 직접저류형, 처리수를 인공호수에 저류하여 레크리에이션 등으로 이용하는 표면저류형, 처리수를 지하에 저류하여 지하수원의 보급수로 이용하는 지하저류형이 있다. 중수처리수의 직접이용형은 용도에 따라 목표수질까지 처리하기나 완전하게 3차 처리까지 하고 있다. 표면저류형은 수면이 적은 지역에 적합한 특유방식으로서 근린 주민의 연못이나 호수에 관개하여 낚시, 보트놀이 수영 등의 레크리에이션 공원을 위해서 재이용되고 있으며 일반적으로 고도의 처리수를 공급한다. 남California는 건조지대이기 때문에 표류수의 증·발산량이 많아서 귀중한 수자원을 유효하게 사용하기 위해서 종래부터 지하수층에 저류하여 사용하는 방법이 행해졌다. 현재 Orange County(郡)에는 Colorado강 각 수도에 의한 도수의 50% 이상을 지하에 주입하여, County 전체 물 사용량의 65%는 지하수에 의존하고 있다. 지하에 주입하는 경우에는 침투과정에서 토양이 가지고 있는 정화능력을 최대한 이용할 수 있는 이점이 있다. 이와 같은 형태의 재이용을 위한 시설을 현재 California 주 전 지역에 250여 개 정도이며, 계속 증가하고 있는 추세이다. 또한 1975년부터 처리수의 재이용은 식용되었으며, 재이용 총수량은 약 5.034 × 105㎥였다. 용도는 농업용수, 공업용수, 레크리에이션, 생활용수, 지하수함량 및 이류사육용이었다. 그 중 농업용수량이 2억9천만㎥/년, 공업용수가 2억1천만㎥/년, 생활용수로서는 아리조나주 그랜드캐년에서 중수처리수를 사용하여 1,164㎥/일 수세식변소용수 등으로 재이용되고 있다.

○ 각 용도별에 대한 재이용 사례를 살펴보면 공업용수는 California Dept. of Water Resource에서 Industrial Water Conservation Program을 운영하여 식품공업의 조리 및 다공정에서 배출되는 증기를 재이용하는 시스템을 도입하고 있으며, 또한 중수처리수를 냉각용수로 이용하는 경우가 많기 때문에 1993년에 Cheron Corp.의 Richimond 공장에서는 필요한 냉각용수의 절반을 중수처리수로 이용하는 시스템을 도입하였다.

또한 Arizona주에서는 Phoenix의 2차 처리수를 살수어상 등 付加的處理를 첨가하여 원자력발전소의 냉각수로 재이용하고 있다.

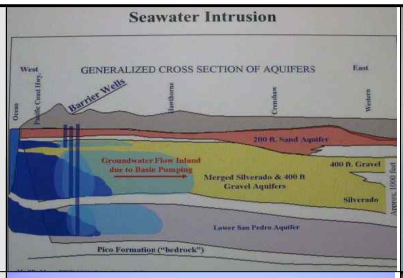
농업용수로서의 Florida주 하수처리장에서 3차 처리시설에 의한 처리수를 농업용수로 이용하고 있으며, 또한 St. Petersburg City 4개 하수처리장에서는 도시내에 관개용수로서 1977년부터 공급하고 있다.

○ 레크리에이션 용도로서는 로스엔젤레스 County 위생조합에서 중수처리수를 아폴로호수에 수영과 낚시를 위하여 공급하고 있다. 또한 남다호 공익사업조합에서는 하수를 3차 처리하여 남다호유역으로부터 처리수를 송수하여 인디안크리크저수지에서 낚시 등의 레크리에이션 용도로 재이용되고 있다.

○ 생활용수도시는 캔사스주 세누드, 아리조나주의 그랜드케년, 콜로라도주 바이크스파크 등에서 중수처리수를 수세식변소용수 등으로 재이용되고 있다.

한편, 지하수함양을 위하여 San Diago County 등에서는 중수처리수를 수개월동안 안정화지에서 안정화한 후 불투수층이 있는 지하층으로 유입시켜 재이용하는 방법을 도입하고 있다.

표 10 미국의 물 재이용수 형태

지하수 충진			처리수를 지하에 침투시켜 지하수원의 보급수로 이용
직접이용			하수처리수를 공장, 관개용수로 직접 이용
표면저류			처리수를 인공호수에 저류하여 레크레이션용으로 이용

(3) 싱가폴(Newater사업)

○ 싱가포르市는 면적이 225 ㎢이고 인구가 2.25백만인 도시로 인구밀도가 매우 높은 실정이다. 따라서 이러한 도시에서 부족한 용수를 확보하기 위한 방안으로 물의 재이용에 대해 일찍이 연구하게 되었다.

○ 싱가포르에서는 <그림 1.2.1>에 나타낸 바와 같이 하수의 간접적인 재이용에 의한 음용수로의 활용을 위하여 정밀/한외여과 처리와 역삼투, UV 소독 등을 조합한 기술을 개발하여 현장에 적용하여 운영하고 있고, 중국에서도 최근 MBR에 대한 관심이 높아지면서 관련기술에 대한 연구개발이 활발하게 추진되고 있다.

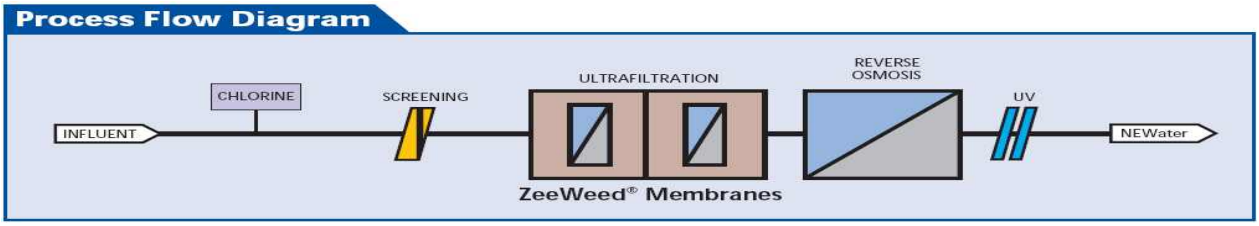


그림 4 싱가포르 Bedok, NeWater Plant공정도

○ 1915년에 이미 처리수를 화장실의 수세용수 및 화초재배, 정원용으로 사용하게 되었으며 1960년대 중반 제지 및 석유공장에서 냉각수나 세척수로서 재생수를 5.4MGD규모 사용하는 Jurong공업단지가 건설되기도 하였다. 이 때는 하수처리장 방류수를 전염소처리→복층여과→폭포식포기(Cascade Aeration)→후염소처리 공정을 거쳐 재이용하도록 하였다.

○ 1971년 6월 6층 높이의 아파트지구를 대상으로 이중배관 시스템을 도입하고 중수를 수세식변소용수로 사용하도록 계획하였다. 이 계획은 모형조사를 거쳐 4,000동의 아파트에 확산 적용하였다.

각 처리공정별 수질을 살펴보면 <표 1.2.11>과 같다. 즉, 하수처리장 방류수(Secondary Eff.)에 비교하여 고도처리(WT)한 처리수질이 상당히 향상된 것을 알 수 있다.

표 11 싱가포르 WT 데모시설 운영결과4)

Parameter	Secondary Eff. Range(mg/ℓ)	WT Eff. Range (mg/ℓ)	Werage Removal Range(%)
Alkalinity	190~340	30~116	80
Turbidity	3~750	0.5~4.8	93
SS	16~535	0.4~7.2	95
BOD	8~58	0.2~4.6	95
COD	47~645	2~29	89
TOC	9~170	2~24	80
PO4-P	2~15	0.01~1.65	92
TKN	16~46	0~6.4	93
NH3-N	15~44	0~5.6	94
NO2-N	0~0.35	0~0.8	85
LAS	0.14~1.9	0~0.78	85
Fe	0~1.64	0~0.09	95
Zn	0~1.6	0~0.16	90

(4) 영국

영국에서는 하수처리수를 공업용수로 활발히 재이용하고 있다. 공업용수 중에서 가장 많이 사용되고 있는 용도는 냉각용수로써 총 용수량의 2/3이상을 차지한다. 그 중에서 발전소와 석유정제소, 제철소, 제지공업 및 화학공업에서의 사용량이 많다. 하수처리수는 하구의 수원보다 용해성 물질과 현탁물질이 적을 때도 있어 냉각용수로 사용하는 데 별 문제점이 없는 것으로 알려져 있다.

하수처리수를 공업용수로 재이용하는 대표적인 사례는 <표 1.2.12>에 나타낸 바와 같이 Pudsey 보석공장과 Appleby-Frodingham제철소가 있다.

인구가 약 4만명인 Pudsey는 요크셔의 보석물 공업지대에 있다. 공장의 물사용량은 약 1,123㎥/일로써 물부족을 고려하여 하수처리수 재이용이 제안되었다. 보석물 공업은 고급수질의 물을 필요로 하는데 보석공업 연구협회의 연구결과, 탁도, 색, 현탁물질을 제외하고 하수처리수가 요구수질에 적합한 것으로 나타났다. 따라서 하수처리장내에 Pilot Plant를 설치하고 모래여과와 염소처리를 거친 처리수를 대상으로 실험한 결과 염색공정의 약 50% 정도가 하수처리수로 사용할 수 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 연구 결과에 기초해서 하수처리수를 직접 재이용하기 위해 공장내 전처리를 위해 처리공정을 개선하자는 의견이 제시되었다.

표 12 영국의 공업용수로 하수처리수 재이용 사례1)

구분	Pudsey 보석공장	Appleby-Frodingham제철소
생산품목	보석물	철
재이용량(㎥/일)	500	5,800
재이용율(%)	50	79
원수	하수처리수	하수처리수 및 하수를 함유한 하천수
재이용 용도	염색공정수	냉각수, 가스세정수, 코크스로 가스냉각 및 순환계통의 보급수
처리공정	모래여과-염소처리 (탁도, 색도, SS제거)	무처리 또는 석회연화처리
특기사항	공장단지의 물부족을 하수처리수로 해결	철 1㎥당 용수사용량 : 200㎥에서 5㎥으로 감소

표 13 외국의 대표적인 하수처리수 물재이용시설 현황1)

지 역	세 부 사 항
미국 캘리포니아, 로스엔젤레스 카운티	- 1962년부터 휘티어 재이용시설 운영 - 염소처리한 하수처리장 처리수와 하천수 또는 강우를 섞어서 지하대수층에 주입 - 생활용수로 사용 - 전체 폐수배출량의 36%인 하루 70만㎥을 재이용
미국 캘리포니아, 오렌지 카운티	- 1976년부터 'Water Factory 21'과 연계운영 - 하수처리장에서 배출된 처리수를 'Water Factory 21'(고도처리)에서 다시 한번 처리한 뒤 지하 심층수와 2:1로 혼합하고 염소처리하여 지하수에 주입 - 주입된 처리수의 50% 정도는 생활용수로 이용하고 나머지는 해수유입을 막는 용도로 이용
미국 아리조나, 투산시	2차 처리수와 3차 처리수를 지하대수층에 주입 (89년부터 운영) - 총 4개의 여과지 (깊이 : 3.05m, 면적 : 57,000㎡) 5일간 주입 후 7일간 건조 또는 2일간 주입 후 4일 건조 - 최대처리용량 : 하루 342,000㎥ - 연간 100일 주입시 투산시 연간 폐수배출량의 50% 정도 재이용 가능 - SAT 공정 후 염소소독하여 인근 골프장에 공급 - 2050년부터 전체 상수도의 6%를 재이용수로 확보계획
이스라엘 단 지역	1975년에 하수재이용사업 시작 - 고도폐수처리공정(3차처리)과 SAT로 구성 처음 2년 반(1977 1979) 동안 총 2천만 ㎥ 처리 - 현재 총 3억㎥의 하수 중 6천만㎥(20%)을 재이용수로 해안 대수층에 주입 - 농업관개용으로 사용 - 1일간 주입 후 2~3일 건조 방식
호주 아델레이드시	- '비지니아 파이프라인' 프로젝트 - 4년간의 준비기간 후에 1999년 처음 운전 - 볼리바 하수처리장에서 연간 4천만㎥의 하수 배출 시설용량 12만㎥/일의 DAF/F 공정으로 처리후 대수층에 주입 (연간 2천8백만㎥의 재이용수 생산, 70% 재이용) - 비용 : 송수관(U$ 2천3백만), 공정설비(U$ 3천4백만) - 재이용수가격 : U$ 120/천㎥ (연간 U$ 33만6천)

나. 빗물관리기술의 국외현황

- 기존 집중형 물관리 시스템의 보완방안으로 분산형 빗물관리기술이 많은 관심을 받음.
- 독일, 일본, 호주, 중국 등 주요 세계 국가들에서는 국가적 특성에 따라 빗물의 중요성에 관심을 가지고 적극적으로 개발하고 있으나, 소극적인 목적으로만 빗물을 관리하고 있음.
- 국내의 경우 최근 지자체들이 빗물에 관한 조례제정등 많은 관심을 가지고 접근하고 있으나, 요소 기술의 개발에 치중하는 경향이 있음.
- 빗물의 효용성을 높일 수 있는 실생활용수의 구축을 위한 최적화기술이 필요함.

(1) 독 일

독일에서는 자연적인 물 순환 시스템과 도시의 생태적 기능회복에 초점을 두고 환경보전에 힘쓰기 위하여, 기존의 자연조건을 충분히 검토하고 그 조건에 가장 적합한 빗물관리기술을 적용하고 있다. 특히, 여러 가지 빗물관리기술을 조합하여 그 효율을 극대화하고 있다. 이수용도의 빗물저장조를 침투블럭, 침투연못, Innodrain, Trough-Trench 시스템 등의 지표면 침투시설과 연계하여 물순환 건전화를 도모하고 있으며, 빗물을 이용하여 녹지 공간을 조성하고 이를 시민들에게 제공함으로써 자연·생태계 보전과 함께 교육에 대한 가치까지 고려하고 있다. 빗물관리시에는 경관계획에 따라 도시 미관을 향상시키고 있으며, Watergy 프로젝트와 같이 물 및 에너지 순환을 통해 냉난방 비용을 절감하는 방안도 연구되고 있다. 게다가 독일은 빗물에 대한 대중들의 관심도가 높고, 활용 가능한 국토면적이 넓어 외부공간에서 빗물관리시설의 적용과 활용이 활발하다.

(2) 일 본

일본은 빗물이용, 도시 홍수예방, 빗물유출량 저감기술의 개발을 중심적으로 수행하고 있으며, 지형조건에 따라 지상과 지하공간을 최대한 활용하여 빗물관리시설을 적용하고 있다. 도시 하천유역의 종합치수 대책으로서 지류침투시설(종합식인 치수대책(1977), 유역지류침투사업(1983))의 도입을 시작으로 하여 도심지에서의 빗물이용, 건전한 물순환 체계 확보를 위해 우수지류침투시설의 기능이 강화(특정도시하천침수피해대책법, 2003)되고 있다. 중앙정부 및 지자체는 우수유출억제시설 정비 추진사업, 물순환·재생하수도 보형화 사업 등 빗물 관련 시책을 통해 보조금 지원, 세제 지원 등을 수행하고 있으며, 우수저류침투기술협회 등은 제품, 계획·설계지침 등을 보급함으로써 빗물관리기술을 보급하고 있다.

(3) 호 주

호주에서는 건조한 기후에 풍부한 수원을 보유하지 못하여 국가적으로 심각한 물부족 현상을 경험하고 있는데, 이는 매우 적극적인 빗물관리를 유도하게 된다. 가능한 범위 안에서 최대한 빗물을 모아 활용하고 있으며, 특히 대기질이 매우 양호한 지역에서는 받아 모은 빗물을 소독시키지 않고 음용수로 사용하는 사례가 있다. 또한 eWater CRC에서는 빗물관리와 도시계획을 연계한 Urban Design 개념을 바탕으로 지속가능한 물순환관리 계획을 수립하고

있으며, Monash 대학을 비롯한 여러 대학교에서도 빗물저류 및 활용에 관한 활발한 연구를 바탕으로 개발한 여러 실용화 기술들을 보유하고 있다.

(4) 중 국

중국에서는 사회적 요구에 따라 빗물에 대한 연구방향이 결정된다. 조경용수로 수돗물의 사용을 금지하는 규제에 따라, 조경시설의 수요량이 많은 대도시에서는 조경용수의 확보를 위한 설계 및 운전기술의 개발이 주요한 연구대상이 된다. 강수량이 매우 적어 수원이 형성되지 못한 건조지역에서는 다양한 빗물집수기술 및 활용기술이 발달되어 있다. 그 외에 지역적 특성에 따라 치수목적 및 초기우수에서의 오염부하를 저감하기 위한 방향으로도 기술개발이 추진되고 있다.

표 14 국외의 빗물관련 대표 연구현황

핵심 기술명	국가명	기관명	기관 분류	주요 연구 활동	보유기술의 spec
빗물관리 기술	호주	eWater CRC	연	물순환 및 비점오염 관리 툴(tool)의 개발 및 보급	Modeling Tool-kit (MUSIC, TIME, CLASS 등)
	독일	DWA	협회	물, 하수, 폐기물 기술 개발 및 지원	ATV-DVWK 지침등
	일본	우수저류침투 기술협회	협회	우수저류 및 침투시설 및 기술평가	관련 기술지침, 민간 기술 인증기관
	중국	베이징대학교	대학교	빗물을 이용한 조경 시스템의 설계	관련 설계기술지침

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 건물 유형별 물수지

가. 건물 유형별 물수지 특성 분석 방법

(1) 유효면적에 의한 산정방법

일반적으로 신축 건축물에 대한 1일 물 사용량 산정 시 유효면적에 의한 방법을 적용하는 경우가 많다.

1일 물사용량(m^3/day)=건축연면적(m^2)×유효면적비(%)×유효면적당 사용인원×1일 평균 사용 수량(L)

건축물별 유효면적 및 1일 사용량에 대한 원단위는 (표 2.1.8)과 같다.

표 15 건물 종류별 1인당 급수량과 유효면적[1])

건축물종류	1일 평균 사용수량(L)	일평균	사용자	유효면적당 인원	유효면적/연면적 (%)
사무소	100~200	8	재근자 1인마다	0.2 인/㎡	임대사무소 60
관청·은행	100~120	8	직원 1인마다	0.2 인/㎡	일반 55~57
병원	고급 1,000이상	10	1병상마다 외래용 8L	1병상마다 3.5인	45~48
	중급 500이상		직원 120L		
	기타 250이상		보호자 160L		
사원·교회	10	2	1회 참석자		
극장	30	5	객석 1인마다		
영화관	10	3	연인원에 대해서	객석에 대해서	53~55
백화점	3	8	객 1인마다	1.5 인	
			점원 10L	1.0 인/㎡	55~60
점포	100	7	상주 160L		
소매시장	40	6	객 1인마다	1.16 인/㎡	
대중식당	15	7	객 1인마다	1.0 인/㎡	
요리점	30	5	객 1인마다	1.0 인/㎡	
수택	160~200	8~10	거주자 1인마다	0.16 인/㎡	50~53
저택	250	8~10	거주자 1인마다	0.16 인/㎡	42~45
아파트	160~250	8~10	거주자 1인마다	0.16 인/㎡	45~50
기숙사	120	8	거주자 1인마다	0.2 인/㎡	
호텔	250~300	10	객수마다	0.17 인/㎡	
여관	200	10	객수마다	0.24 인/㎡	
클럽하우스	150~200		내방자	15홈 150인	
초등·중학교	40~50	5~6	학생 1인마다	0.25~0.14 인/㎡	58~60
고등학교	80	6	학생 1인마다	0.1 인/㎡	
이상	(교사1인당 100)				
연구소		8	소원1인마다	0.06 인/㎡	
도서관	100~200	6	관람자 1인마다	0.4 인/㎡	
공장	25	8	1교대 1인마다	좌작업 0.3 인/㎡	
	60~140			입작업 0.1 인/㎡	
	(남80, 여100)		승강객수		
주차장	3	15			

(2) 1인 1일 용도별 사용수량 방법

상수도 시설기준의 활용용도의 종류는 대분류에 따라 생활용수, 업무 영업용수, 공업용수 및 기타로 구분하고 있다. 생활용수는 개인목적과 세대목적으로 크게 나눌 수 있다. 개인목적이란 개인단위로 사용되는 것으로 목욕탕용, 샤워용, 수세식 화장실용, 세면용 및 음용용 등이다. 세대목적이란 세대단위로 사용되는 것으로 목욕탕용, 세탁용, 주방용, 세차용 및 기타용(청소, 살수 등)이다. 용도별 사용수량을 결정 시에는 아래표의 사용목적별 기초수량과 세대구성 인원을 고려해서 산정하거나, 세대구성 인원별 1인 1일 사용수량에 사용목적별 구성비(%)를 곱하여 산정할 수 있다.

표 16 건물 종류별 물 사용량의 실측 평균치11)

건물용도	평균 1일 물 사용량	샘플수
관공서・사무소	8.05 L/(㎡·일)	102
	127 L/(인·일)	96
호 텔	24.2 L/(㎡·일)	32
	2002 L/(인·일)	25
병 원	22.4 L/(㎡·일)	46
	1290 L/(베드·일)	45
음식점	205 L/(㎡·일)	31
	57.8 L/(객·일)	14
사원식당	80.2 L/(㎡·일)	4
	27.2 L/(식·일)	3
백화점	21.8 L/(㎡·일)	46
영화관	13.1 L/(㎡·일)	33
	37 L/(좌석·일)	23

표 17 건물 종류별 연면적별 물 사용량11)

면 적 / 건물용도	10,000㎡	20,000㎡	30,000㎡	40,000㎡	50,000㎡	60,000㎡
관공서/사무소	80.5㎥/일	161㎥/일	241.5㎥/일	322㎥/일	402.5㎥/일	483㎥/일
호 텔	240.2㎥/일	480.4㎥/일	720.6㎥/일	960.8㎥/일	1,201㎥/일	1,441.2㎥/일
병 원	224㎥/일	448㎥/일	672㎥/일	896㎥/일	120㎥/일	1,344㎥/일
음 식 점	2,050㎥/일	4,100㎥/일	6,150㎥/일	8,200㎥/일	10,250㎥/일	12,300㎥/일
사원식당	802㎥/일	1604㎥/일	2,406㎥/일	3,208㎥/일	4,010㎥/일	4,812㎥/일
백 화 점	218㎥/일	436㎥/일	654㎥/일	872㎥/일	1,090㎥/일	1,308㎥/일
영 화 관	131㎥/일	262㎥/일	393㎥/일	524㎥/일	655㎥/일	786㎥/일

표 18 생활용수의 사용목적별 구성비(%)12)

도시	주방	세탁	목욕탕	세면	화장실	청소	기타	계	비고
K시	24	25	23	3	19	1	4	100	1997년
KT시	15	22	34	11	12	-	6	100	1996년
YK시	9	20	39	8	14		10	100	1993년
T시	22	20	26	-	24	-	8	100	1997년

용도별 물 사용량(1일 1인)은 세탁 및 욕실용수가 가장 크며, 다음으로 대변기 등 화장실 세정용수 순으로 나타난다. 용도별 1인 1일 물 사용량에 사용 인원수를 곱하여 산정하기나, 건축물의 종류에 따른 1일 평균사용량 건축종별 1일 평균 급수량을 참조하여 용도별 사용 수량을 계획한다.

표 19 용도별 물사용량 (1일 1인)11)

용도	수량(L)	용도	수량(L)
음료용	1	세탁용	15
요리용	5~10	대변기	30
식사준비용	3~6	소변기	20
세면장	20	청소용	10
욕실용	일식 50	잡용	10
	양식 76~300	합 계	164~422

(3). 사용기기별 단위 사용수량에 의한 방법

화장실 세정기기별 단위사용수량은 아래 식에 기구 1개당 단위수량에 시간당 사용회수, 건축물별 사용시간을 곱하여 산정한다.

1인 화장실세정수 사용수량(L/인/시간) = 화장실 사용빈도(회/시간/인) × 실유1회당 조작회수(회) × 조작시간 고려시 보수량(L/회)

표 20 기구 1개당 단위 사용수량11)

기구종류	1개당 소요량(L)	1시간당 사용회수	순간 최대수량(L)	1회 급수시간(sec)	급수관 점속지름
대변기(플럿밸브)	13.5~16.5	6~12	110~180	8.2	32
대변기(세정수조)	15	6~12	10	60	13
소변기(플럿밸브)	4~6	12~20	30	10	20
소변자동(세정수조)	9~18	12	1.8~3.6	300	10~15
(2~4인)					
(5~7인)	22.5~32.5	12	4.5~6.3	300	15
수세기	3	12~20	8	18	10~15
세면기	10	6~12	15	40	15
유촉류(15mmtn전)	15	6~12	15	60	15
유촉류(20mmtn전)	25	6~12	25	60	20
양식용조	125	3	30	250	20
샤워	24~60	3	12	120~300	15~20
도양식용조	크기에 따라		30		20

(4). 현장 조사에 의한 방법

- 건물별로 살펴보면 전체 물사용량의 36%를 단과대학에서, 16%를 기숙사에서, 나머지는 식당, 행정관, 도서관임
- 단과대학내에서는 실험 및 실습 위주의 공대나 자연대 등에서 80%이상을 소비하는 것으로 나타남
- 실험 및 실습 위주의 단과대학들의 일인당 하루 물사용량은 180~771LPCD로 나타남

▪ 단과대학에서는 주로 실험 위주의 단과대학들인 공과대학이 55%, 농업생명과학대학 12% 및 자연과학대학 9% 순으로 물사용량이 나타남

▪ 기숙사의 경우 전체 물사용량의 16%를 차지하고 있으며, 식당 9%, 행정동 5%및 도서관 2% 순으로 물사용특을 보임

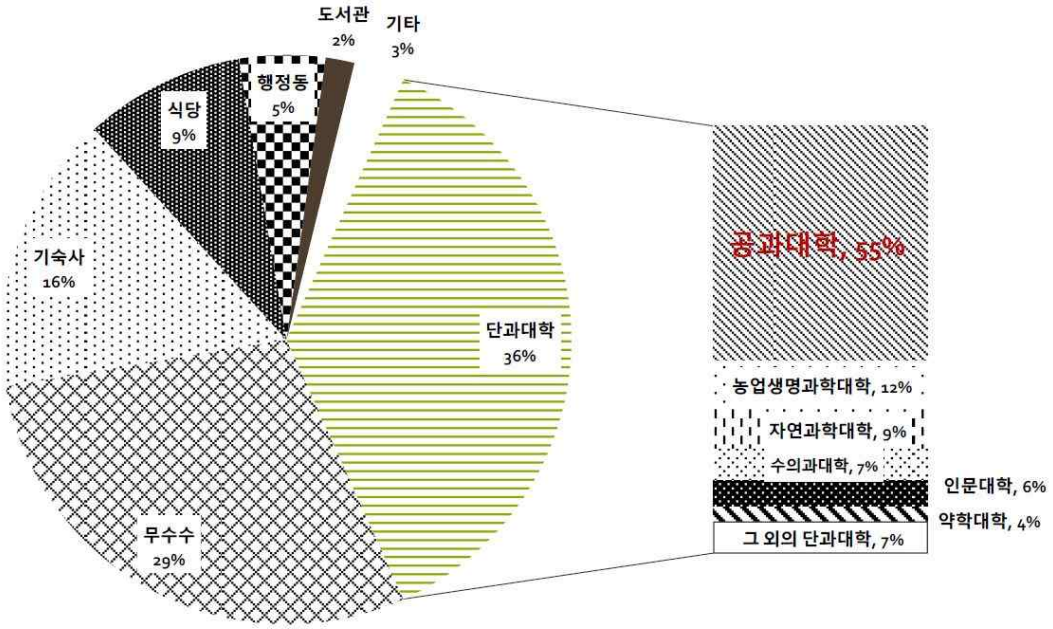


그림 5 건물용도별 물 사용량

▪ 아래 표는 건물기능별 물을 사용량을 분석 한 후 1위~3위 건물을 나열하였음

▪ 단과대학건물에서 가장 많은 물을 사용하고 있는 곳은 제1공학관으로 년간 84천톤의 물을 소비하고 있으며 다음으로 농업생명과학대학(66천톤)과 제2공학관(63천톤) 순으로 나타남

▪ 행정건물에서는 행정관이 14천톤으로 가장 높게 나타났으며, 대림국제교육관, 전산원이 순이있음

▪ 도서관 건물은 중앙도서관과 규장각 순으로 각각 32천톤, 5천토으로 나타남

▪ 식당 건물에서는 제3식당, 제1식당, 자하연 순으로 나타남

▪ 기숙사 건물에서는 919동(59천톤), 946동(55천톤) 및 918동(17천톤) 순이있음

표21 건물기능별 분야에서 많은 물을 사용하는 건물 순위

단과대학건물					
순위	건물	건물명	계(톤)	전체순위	기타
1	30 동	공학관 1	84,320	1	
2	200 동	농업생명과학대학	65,980	2	
3	302 동	제2공학관	63,176	3	
행정동					
1	60 동	행정관(60)	14,392	25	
2	137 2 동	대림국제교육관	8,342	46	개인 사업장 포함 (포베이 및 스쿨스토어)
3	102 동	전산원	4,755	51	
도서관					
1	62 동	중앙도서관(62)	32,019	12	매점 포함
2	103 동	규장각(103)	4,777	47	
도서관					
1	62 동	중앙도서관(62)	32,019	12	매점 포함
2	103 동	규장각(103)	4,777	47	
식당					
1	75-1 동	제3식당	59,517	9	두레미담 포함
2	63 동	제1식당	33,828	13	학생회관 및 개인사업장 (제과점 및 이발소)
3	109 동	자하연	14,674	34	
기숙사					
1	919 동	학부생 기숙사	58,926	4	
2	946 동	관악사(BK국제관)	54,651	5	
3	918 동	대학원 기숙사	17,450	21	

- 건물기능별로 분석했을 경우 가장 높은 물사용량을 나타낸 단과대학들의 LPCD를 비교하였을 때 공과대학이 180LPCD로 가장 높게 나타남
- 공과대학, 약학대학, 농업생명과학대학, 자연과학대학들이 일인당 물사용량에서 상위권에 위치하였으며 모두 실험실습중심대학이었음
- 그 외에 비실험실습 대학같은 경우, 대부분 50LPCD를 넘지 않음. 단, 비실험실습대학 중 인문대학과 사회과학대학교의 일인당 하루 물사용량이 가장 높게 나타남
- 이유는 교양과목을 수강하는 학생수가 많고, 여학생 비율이 높기 때문
- 따라서 실험실습에 대한 물절약 방안에 대한 연구가 필요함

	LPCD 순위	단과대학	년 물사용량 (톤)	학사 (명)	석사 (명)	박사 (명)	교직원수 (명)	총인원수 (명)	LPCD (L)	물 사용량 순위
실험 실습 대학	1	**공과대학**	445145	3805	1535	851	570	6761	180	1
	2	**약학대학**	29608	211	171	82	73	537	151	5
	3	**농업생명과학대학**	94534	1447	376	182	255	2260	115	2
	4	**자연과학대학**	73939	1285	584	368	410	2647	77	3
비실험 실습 대학	5	인문대학	49387	1560	303	194	713	2770	49	4
	6	법학대학	9958	231	239	137	25	632	43	7
	7	미술대학	8584	594	132	43	194	963	24	10
	8	경영대	7878	848	187	38	64	1137	19	11
	9	생활과학대학	9127	586	131	773	85	1575	16	8
	10	음악대학	4131	682	87	57	319	1145	10	12
	11	사범대학	9995	1635	540	245	480	2900	9	6
	12	사회과학대학	9005	2062	400	141	292	2895	9	9

그림 6 단과대학들별 LPCD 비교 및 순위

나. 건물 유형별 물수지 특성 분석 결과

(1). 주거형 건물의 물수지 분석

주거형 건물, 서울대학교 기숙사 1,000명이 거주하는 919동을 기준으로 물수지 분석을 하였다. 년간 85,775㎥의 상수가 급수되며, 용도별 배수량에 대해 적용한 유출계수는 주방은 0.8, 세면/샤워, 세탁/기타, 화장실 용수는 1.0으로 하였다. LPCD(1일 1인 물 사용량)는 235l.이며, 물 자급률(자체공급량/전체물사용량)은 0%이다.

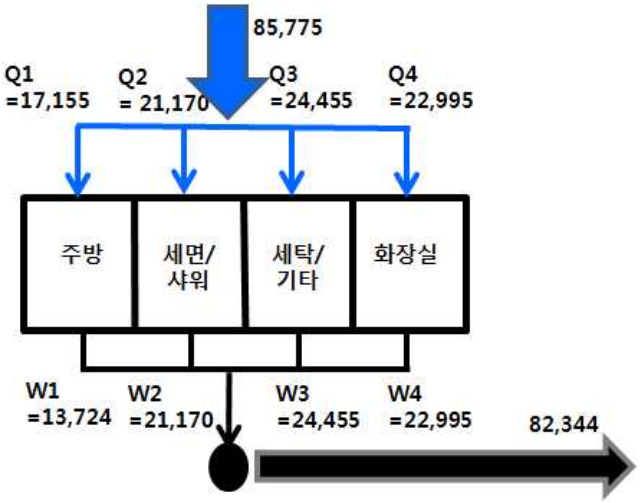


그림 7 주거형 건물의 용도별 물수지(서울대학교 기숙사/1,000명 기주)

(2). 오피스형 건물의 물수지 분석

오피스형 건물, 연면적 10,000㎡의 빌딩을 기준으로 물수지 분석을 하였다. 년간 43,800㎥의 상수가 급수되며, 용도별 배수량에 대해 적용한 유출계수는 주방은 0.8, 세면/샤워, 세탁/기타, 화장실 용수는 1.0으로 하였다. LPCD(1일 1인 물 사용량)는 일일 800명 상주시 150l.이며, 물 자급률(자체공급량/전체물사용량)은 0%이다.

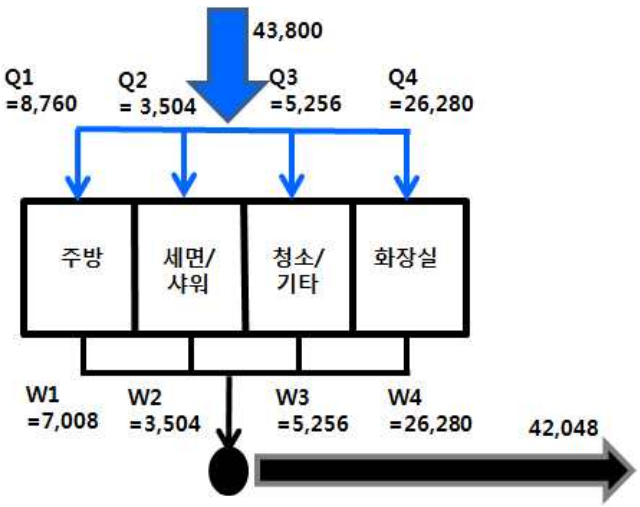


그림 8 업무형 건물의 용도별 물수지(면적 10,000㎡의 빌딩)

(3). 근린생활형 건물의 물수지 분석

근린생활형, 서울내 체육관을 예로 물수지 분석을 하였다. 년간 41,000㎥의 상수가 급수되며, 용도별 매수량에 대해 적용한 유출계수는 기타는 0.3, 세면/샤워, 화장실 용수는 1.0으로 하였다. LPCD(1일 1인 물 사용량)는 일일 800명 이용시 140l이며, 물 자급률(자체공급량/전체물사용량)은 0%이다.

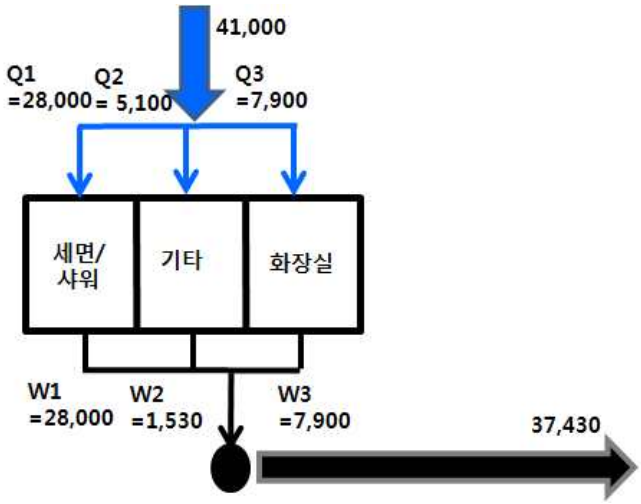


그림 9 체육관의 물수지(서울대학교 체육관)

다. 건물 유형별 물수지 특성 방안 방법

(1). 주거형 건물의 빗물·중수 하이브리드 시설 적용

주거형 건물은 단독주택, 공공주택, 기숙사·병영막사로 분류해 볼 수 있다. 기숙사·병영막사를 빗물·중수 하이브리드 시설을 최우선적으로 적용해야한다고 판단하였다. 지농도 오수인 세면·샤워 용수 발생량이 단독주택, 공공주택보다 많아 공급수량이 안정적이며, 빗물 집수면을 고려했을때 집수량이 많기 때문이다. 또한 공공 화장실, 세면장 사용으로 기존 시설에 배관 공사 및 시설 설치가 다른 시설들보다 용이하다.

앞서 물 수지를 분석한 서울대학교 기숙사에 빗물·중수 하이브리드 시스템을 적용시 물수지의 변화와 건물의 물 효율(LPCD, 물 자급률)의 변화에 대해서 분석하였다.

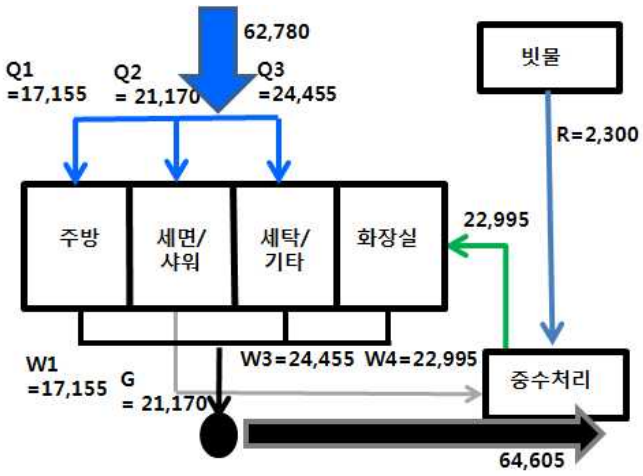


그림 10 주거형 건물의 빗물-중수 하이브리드형 시스템 설치 후 물수지

빗물·중수 하이브리드 시설 적용 전 상수 사용량은 85,775㎥에서 62,780㎥으로 지능도 오수(세면/샤워)와 빗물을 화장실 용수로 사용하여 상수도 사용량이 실감된다. LPCD는 235l에서 172l로, 물 자급율은 0%에서 26.8%로 향상되었다. 하이브리드 시설을 적용하면서 기숙사의 물 효율이 크게 향상되는 것을 볼 수 있다.

주거형 건물은 빗물 집수 면적이 좁지만 안정적인 지능도 오수의 유입으로 하이브리드 시설을 안정적으로 운영 가능하며, 지능도 오수와 빗물의 처리만으로도 화장실 용수로 공급하기에 충분하였다.

(2). 오피스형 건물의 빗물·중수 하이브리드 시설 적용

오피스형 건물은 공공청사, 학교, 일반 업무시설, 도서관 등으로 분류할 수 있다. 오피스형은 상주인구보다 이동인구가 많아 화장실 용수 사용이 많은 것이 특징이다. 학교 같은 경우는 방학 때 사용량이 줄어들기 때문에 이점을 감안하여 설계 및 운영을 해야한다. 서울대학교 39동의 경우 방학 기간과 학기 중의 월 사용량이 100 ~ 200㎥ 차이가 난다.

빗물·중수 하이브리드 시설 적용 전 상수 사용량은 43,800㎥에서 37,996㎥으로 지능도 오수(세면/샤워)와 빗물을 화장실 용수로 사용하여 상수도 사용량이 5804㎥ 실감된다. LPCD는 150l에서 130l로, 물 자급율은 0%에서 13.3%로 향상되었다. 물 재이용율이 낮아 건물의 물 효율은 주거형(기숙사)보다 향상되지 않았다.

오피스형 건물에서는 적은 양의 지능도 오수가 유입되다 보니 물 재이용양이 많지 않았다. 전체 급수량의 13%에 해당하는 양으로 실수 효과면에서는 충분하지 않다. 중수도 원수 확보량을 늘리기 위해서 세면 + 청소/기타 용수 + 주방용수를 처리하여 물의 재이용률을 높이는 것도 가능하다. 건물의 여건에 맞게 중수도 가용량을 설정하는 것이 필요하다.

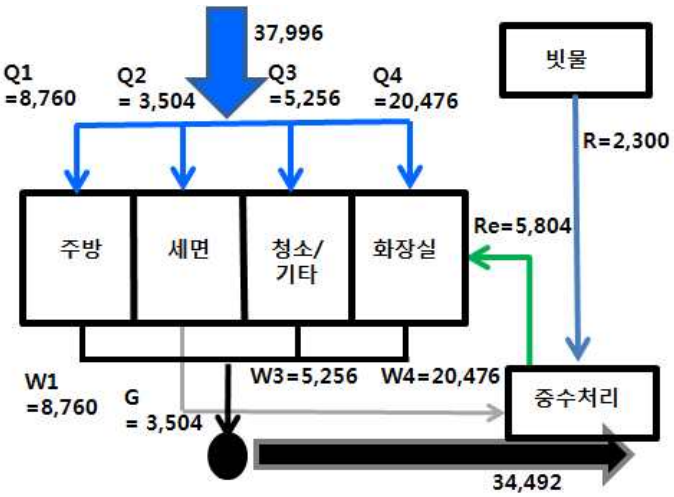


그림 11 오피스형 건물의 빗물-중수 하이브리드형 시스템 설치 후 물수지

(3) 근린생활형 건물의 빗물·중수 하이브리드 시설 적용

근린생활형 건물은 목욕 용수의 발생량이 많기 때문에 안정적인 운영이 가능하며 처리수에 대한 추가적인 활용방안이 필요하다.

빗물·중수 하이브리드 시설 적용 전 상수 사용량은 41,000㎥에서 33,100㎥으로 저농도 오수(세면/샤워)와 빗물을 화장실 용수로 사용하여 상수도 사용량이 7,900㎥ 절감된다. LPCD는 140L에서 113L로, 물 자급율은 0%에서 19.3%로 향상되었다. 근린생활형 건물 같은 경우 화장실 용수 수요량보다 빗물과 저농도 오수의 중수 생산량이 더 많다. 이와 같은 경우 정원용, 세차용, 청소용으로 다양하게 사용할 수 있다. 인접 건물과 연계하여 생산된 중수를 공급하여 물 사용 효율을 높일 수 있는 방안도 고려해 볼 수 있다.

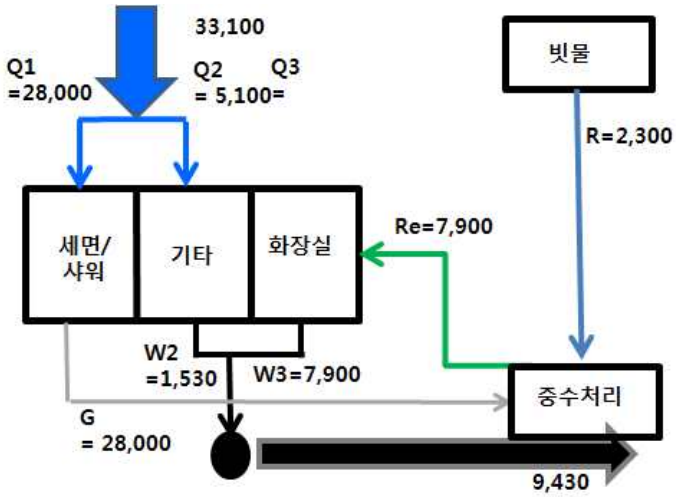


그림 12 근린생활형 건물의 빗물 중수 하이브리드형 시스템 설치 후 물수지

건물 유형별에 따른 원수 확보성과 절수 효과 및 하수의 저감효과를 정리하면 아래 표와 같다.

표 22 빗물-중수 하이브리드 시설 도입 후 절수효과 및 하수발생 저감효과

구 분	시설 설치 전			시설 설치 후		
	급수량 (㎥/년)	LPCD (L)	물 자급율 (%)	급수량 (㎥/년)	LPCD (L)	물 자급율 (%)
주거형	85,775	235	0	62,780	172	26.8
오피스형	43,800	150	0	37,996	130	13.3
근린생활형	41,000	140	0	33,100	113	19.3

(4) 물수지에 따른 건물 용도별 유형별 시설의 유지관리 가이드라인

빗물이용시설과 중수도시설을 연계하여 운영할 시 고려해야하는 필수적인 항목은 안정적인 수량과 수질의 물 확보인데, 빗물의 경우 '빗물이용시설 설치·관리 가이드북' 권고사항을 따라 오염도가 높은 초기우수를 배제하되 유출량을 최소화 해야 한다. 빗물을 중수도시설과 연계하여 처리하지 말고, 최종 처리된 중수와 빗물을 혼합하여 사용할 수 있다. 중수의 경우, 오염도가 높은 청소용수나 주방용수는 제외하고 세면대에서 사용한 허드렛물, 샤워실에서 사용된 물과 같은 비교적 원수의 수질과 수량이 안정적으로 확보되는 물을 중수의 원수로 사용하는 것이 처리비용도 적고 처리된 물의 수질도 '중수도의 용도별 수질기준'에 부합되는 깨끗한 물을 재생할 수 있기 때문이다.

빗물과 중수를 혼용해서 사용할 수 있는 하이브리드형 물재이용 시설의 유지관리는 빗물이용시설과 중수도시설을 개별적으로 관리해야 하며 관리 기준은 '빗물이용시설 설치·관리 가이드북'과 '물 재이용시설 설계 및 유지관리 가이드라인'을 기본으로 하되 다음과 같은 추가 가이드라인 필요할 것이다.

기존 가이드라인은 건축물 용도별과 유형별로 나누어 시설을 설치하도록 하였지만, 하이브리드형 물재이용 시스템을 적용 시 건축물 연면적을 기준으로 유동인구에 비례하여 설계용량을 반영해야 한다.

2. 중수·빗물 통합형 물재이용 시스템 구축

가. 빗물 특성

(1) pH 분석

빗물의 pH를 결정하는 주성분은 SO42-, NO3-, Cl- 등의 음이온과 Na+, K+, Ca2+, Mg2+, NH4+ 등의 양이온으로 이들 간의 이온 평형에 의해 강우의 산성도가 결정된다. 빗물의 산성도로 인하여 빗물 활용을 우려하는 경우도 있으나 빗물의 pH는 빗물이 유출되는 과정에서 집수면의 성상에 의해 충분히 제어될 수 있다. 내린 빗물의 pH가 산성에 가깝다 하더라도 집수면을 거쳐 저류조에 저장된 빗물의 pH는 중성에 가까우며, 저류조의 저장된 빗물을 이용하고자 할 경우 pH 7~8정도로 안정적인 pH의 빗물을 사용할 수 있다. 계절적인 영향이나 외부 흙 등의 유입으로 저류조 내부가 교란되어 pH가 일시적으로 올라가기나 내려갈 수 있으나 시간이 지나면서 안정화 되는 것이 일반적이다.

그린 3은 실증연구시설 빗물저류조와 기존 설치된 시설의 pH 값을 비교분석한 결과이다. A학교의 빗물저류조의 경우는 중수도 수질기준인 pH 5.8 ~ 8.5 사이에 포함되었지만, 연구시설의 경우는 pH 8.7로 기준치 범위를 조금 벗어나 있다. 연구시설의 집수면의 재질이 콘크리트로 되어있어 이로 인한 영향으로 판단되며 도색이나 방수처리 상태를 확인 할 필요가 있었다. 기준치를 크게 넘어서는 수준이 아니기 때문에 빗물을 활용하는 데에는 문제되지 않지만 관리부실로 인하여 '물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 시행규칙' 중수도수질기준 항목(제8조 제2항 관련)에서 사용처인 도시재이용수와 조경용수의 수질기준에 못 미칠 수 있다고 판단이 된다.

서울대 대학원 기숙사의 빗물이용시스템 모니터링 결과 산성비는 지붕면과 배관을 지나면서 pH가 증가하여 저장조에 유입되기 전 pH 범위는 6.5~9.0이고 저장조에 저장된 빗물의 pH 범위는 6.8~8.4이다. 빗물의 pH가 증가하여 주로 약알칼리성을 띄는 이유는 학교가 관악산에 위치하여 서울도심부보다 대기 중에 황산화물이나 질소산화물이 적고 대기중과 옥상면, 배관의 분진과 혼합되어 pH를 높일 뿐만 아니라 저장조에 유입되기 전 콘크리트 맨홀을 거치면서 콘크리트에서 CaCO3 성분이 용출되어 알칼리성으로 바뀌었기 때문이다. 이렇게 바뀐 약알칼리성 빗물은 저장조에 저장되고 시간이 지남에 따라 자연적으로 중성화가 되어 pH 7.0에 가까워진다.

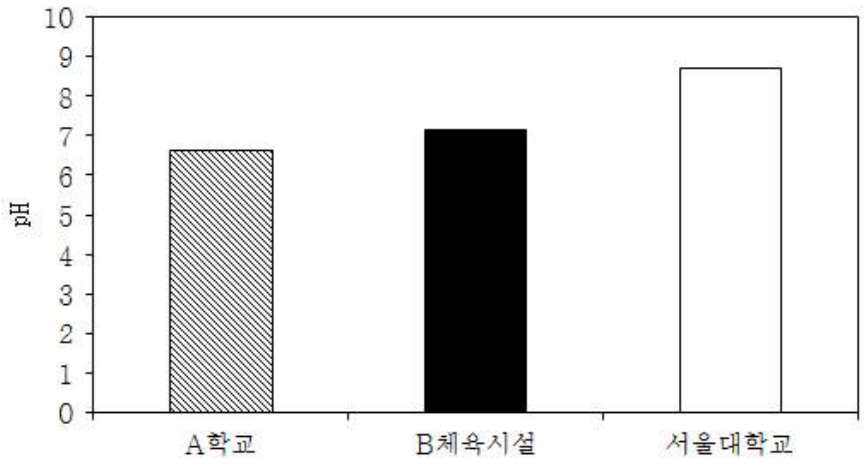


그림 13 빗물저류조 내 빗물 pH 값 비교

(2) 탁도 분석

빗물저류조의 수질을 판단하는 가장 일반적인 수질 항목으로서 탁도는 강우 유입에 대한 변화를 가장 용이하게 측정할 수 있다. 옥상 집수면에서 유출되는 빗물 내 존재하는 오염물질의 대부분이 부유물질이기 때문에 초기 탁도의 경우 강우 무강우일수 및 집수면의 상태와 주변 여건에 따라 큰 차이를 보일 수 있을 것이다. 저류조의 탁도는 강우의 유입 시 일시적으로 10~30 NTU이상으로 올라가기도 하지만 저류조 내의 침전효과로 인하여 대체로 안정적으로 유지된다. (그림 2.1.6)는 연구시설과 관내의 실치된 빗물 저류조의 탁도 분석 결과이다. 모두 5 NTU 이하의 양호한 수질로 나타났으나, 그중 A학교와 B체육시설은 지붕면 집수와 초기빗물처리장치를 적용하고 있는 신규시설이기 때문에 처리과정 없이 사용하여도 될 수준이 2 NTU이하로 측정되었다.

받은 빗물의 탁도는 10.6~207 NTU로 넓은 범위를 갖지만 저장조에 보아진 빗물의 경우 1.29~2.35 NTU로 일정한 범위로 나타났다. 5월 달 받은 빗물의 탁도가 높게 나타난 것은 꽃가루의 유입에서 기인된 것이며 나머지 달의 탁도는 분진과 황사의 영향을 나타내고 있다. 그러나 체류시간이 길기 때문에 대부분의 입자들은 시간이 지남에 따라 부상 및 침전을 통해 제거되는 것을 알 수 있다. 또한 소방용수 알람밸브의 고장으로 소방용수가 빗물 저장조에 유입되어 저장조 내의 빗물을 배수시키고 한 번의 강우로 많은 양의 빗물을 보았을 때 탁도 감소에 탁월한 효과가 있었다

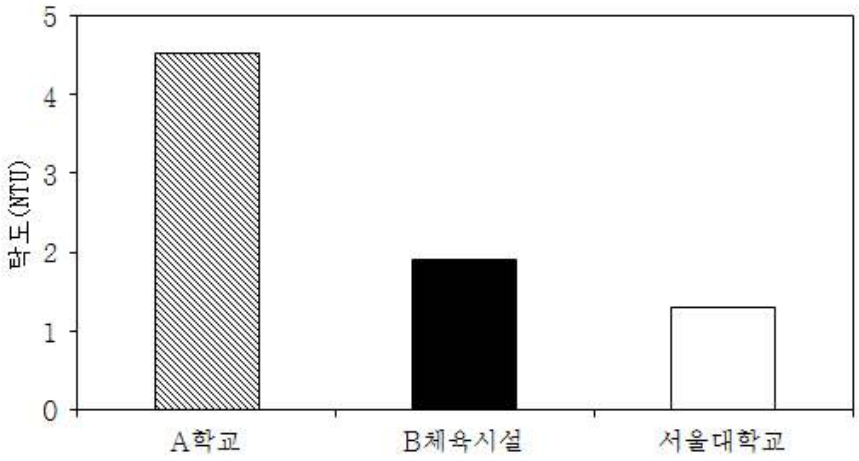


그림 14 빗물저류조 내 빗물 탁도 값 비교

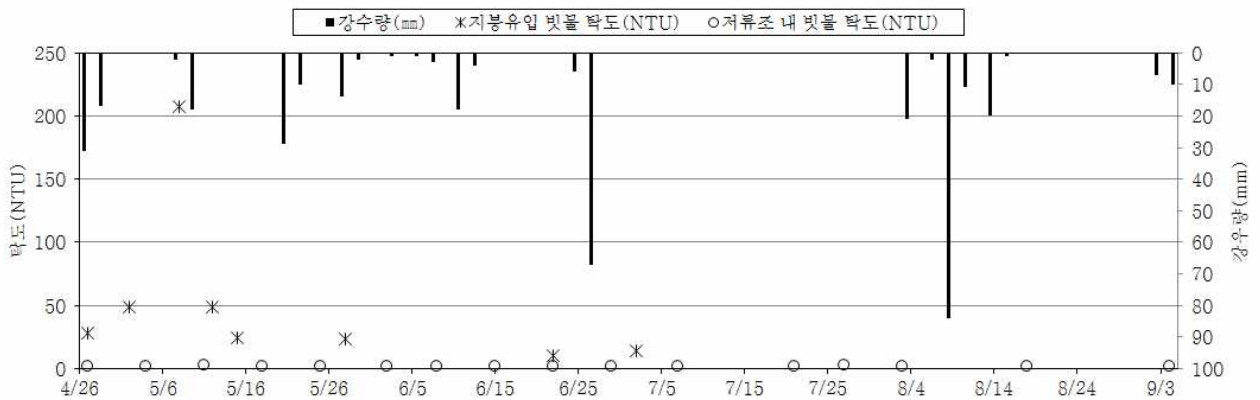


그림 15 A학교의 지붕유입 및 저류조 내 빗물 탁도 비교

(3) 총질소, 총인 분석

빗물을 중수도로 사용시 사용처에 따라 수질항목과 기준이 다른데, 총질소(T-N)와 총인(T-P)의 경우 도시재이용수, 조경용수와 공입용수를 제외한 친수용수, 하천유지용수와 습지용수의 수질기준에 적용이 됨으로 본 연구목표와는 관련성이 없는 것으로 사료된다. 단, (그림 2.1.8)과 (그림 2.1.9)에서 나타난 총질소와 총인 값을 수질기준을 필요로 하는 사용처에 참고자료로 활용할 수 있다.

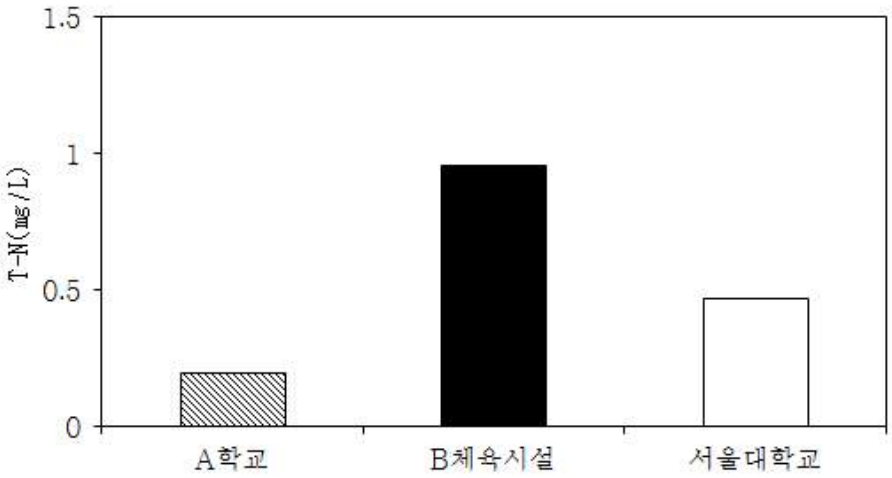


그림 16 빗물저류조 내 빗물 T-N 값 비교

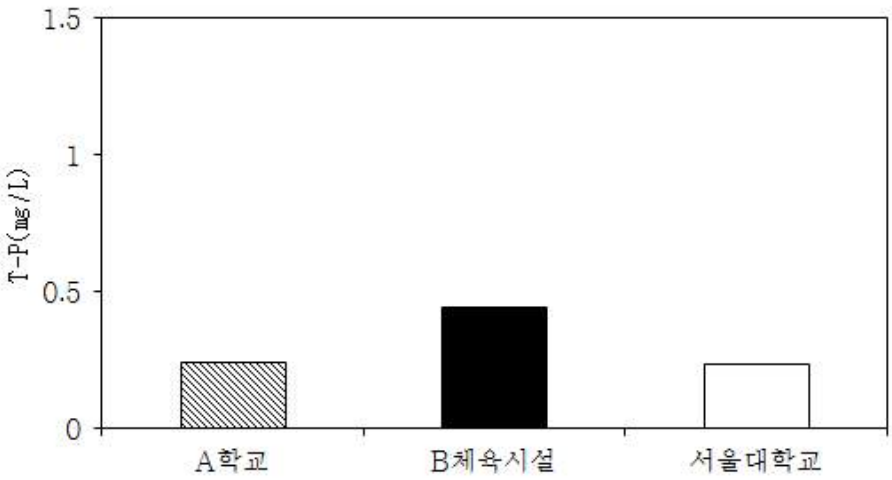


그림 17 빗물저류조 내 빗물 T-P 값 비교

(4) 중금속 분석 및 기타

지붕면에서 집수하는 빗물이용시설의 중금속 농도는 미미한 수준이며 음용수 수질기준 이하의 값을 나타내는 경우가 대부분이다. 중금속의 경우는 중수도 수질기준에는 관련 기준이 없고, 하수처리수 수질기준 상에는 농업용수의 사용 시에만 중금속 수질기준이 있다.

연구시설과 관내 설치된 빗물 저류조의 중금속 12항목의 분석 결과이다. 빗물에서 일반적으로 검출되는 Fe, Zn, Al 항목이 주로 검출되었으며 유해 중금속을 포함한 전 항목이 수질기준 이하로 양호한 수준인을 알 수 있다.

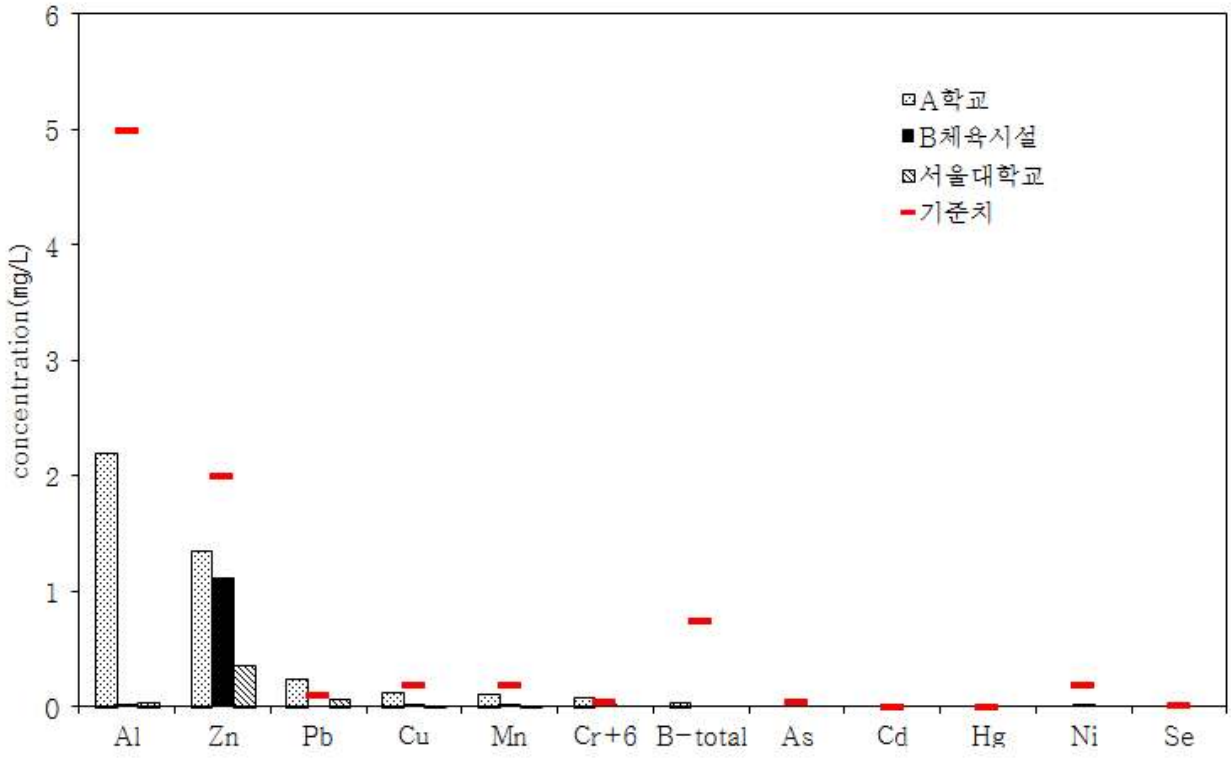


그림 18 빗물 저류조의 중금속 분석 결과

황사나 분진에는 알루미늄, 철, 칼륨, 나트륨, 아연 등의 성분이 함유되어 있고 대기 중과 옥상면에서 빗물과 만나 함께 지상조로 유입된다. 우선 빗물의 용도가 음용수가 아닌 화장실용수로 사용되기 때문에 인체에 영향을 미치지 않는다.

일반적으로 빗물저류조로 유입되는 불질은 매년 5~10월까지 약 6개월 동안 나타나는 꽃가루, 3~5월 사이 동안의 황사, 대기 중에 부유하면서 우기 시 빗물에 함유되어 떨어지는 분진이 있다. 특히 5월에 다량 유입되는 송홧가루는 지상조에 유입되자마자 수면으로 부상한다. 그러나 지상조 바닥면 부근에 위치한 취수구를 통해 공급되기 때문에 용수의 수질에 영향을 미치지 못한다. 또한 본 기숙사의 빗물지상조는 두 개의 지로 나누어져 있다. 한쪽에는 유입구, 다른 쪽에는 유출구가 있어 지상조 바닥면의 수중오리피스를 통해 유출구 쪽으로 빗물이 이동한다. 유입된 송홧가루는 부상하게 되고 수위가 오리피스의 높이보다 높아 부상된 송홧가루는 유출구 쪽으로 이동하지 못하고 유입구에만 머무르게 되어 두 개 지로 나누는 것은 송홧가루 확산 방지에 효과적인 역할을 한다. 그러나 시간의

경과에 따라 저장조 내 빗물의 수위 지하와 부상한 송홧가루의 침전을 고려하여 저장조 상부에 overflow 관을 설치하여 폭우 시 overflow되는 빗물과 함께 배수시킴으로써 빗물의 수질을 향상시킬 수 있다.

황사입자의 크기는 일반적으로 1~10 ㎛이고 분진은 0.01~100 ㎛이다. 황사와 분진의 경우 빗물과 함께 저장조로 유입되면 12 ㎛ 이상의 입자들은 침전을 통하여 빨리 제거되고 이하의 입자들은 저장조 내에 부유상태로 있는 것으로 나타났다. 또한 두 개지에서의 부유 상태 입자수를 비교해 볼 때 왼쪽지에 비해 오른쪽지에서 극히 감소하는 것으로부터 입자들이 부유 상태에 있기 때문에 바닥면에 위치한 오리피스를 쉽게 통과하지 못하는 것으로 판단된다.

빗물이용에 있어서 색과 냄새는 사용자들에게 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 가장 민감하고 가장 중요한 부분이다. 대관을 타고 내려오는 오염물질은 꽃가루, 황사, 분진 외에도 나뭇잎, 학생들이 옥상에서 버린 담배꽁초 등이 있지만 0.55 ㎜ 이상의 오염물질들은 저장조로 유입되기 전 필터를 통해 제거되기 때문에 이하의 입자들 즉, 꽃가루, 황사, 분진만이 저장조 안으로 유입된다.



그림 19 빗물저류조 내 수면에 부유된 송진가루 (5월)

(5) 서울대학교 기숙사 빗물 수질 분석 결과

서울대학교 기숙사 내에 설치된 빗물이용시설의 빗물과 처리수의 수질성상을 표 2와 같이 측정하였다. 기존 시스템 구성은 빗물저장조에 필터만을 설치하여 조경용수 및 화장실용수로 사용 중이었다. 기존의 빗물저장조에서 필터를 거쳐 공급되고 있는 공급라인을 처리반응조 및 처리수조에서 공급이 가능하게끔 배관구성 설비공사를 진행하였으며, 초기우수 배제장치를 설치하여 오염도가 높은 빗물이 그대로 저장조에 유입되는 것을 막았다.

아래표와 같이 화장실세정수의 용도로 사용되어 지고 있는 빗물의 수질이 도시재이용수의 수질기준에 부적합한 것으로 측정되었다. 본 빗물이용시설은 설치 후 운영이 정상적으로 가동되어지지 않았고 빗물이 장기간 동안 저류조에 체류함으로써 건물옥상에서 유입될 수 있는 오염된 유기물의 유입으로 수질이 악화된 것으로 보여진다.

표 23 서울대학교 기숙사 빗물 및 화장실용수 분석결과

항목	채수위치		중수도 수질기준	비고
	빗물 저장조	화장실		
총대장균군수	2,890	450	불검출	개/㎖
결합잔류염소	불검출	불검출	0.2이상	mg/L
외관	매우불쾌함	약간불쾌함	이용자가불쾌감을 느끼지 않을 것	-
탁도	7	4	2 이하	NTU
BOD	12.2	10.4	10 이하	mg/L
냄새	매우불쾌함	약간불쾌함	불쾌하지 않을것	-
수소이온농도	6.52	6.24	5.8 8.5	pH
색도	22	16	20 이하	도
CODmn	54	32	20 이하	mg/L

나. 저농도 오수

(1) 체육시설형 건물 (Y시 시민체육센터)

Y시 시민체육센터에서 사용하고 오수관로로 배출되는 손세척수와 샤워수인 저농도오수를 유량조정조와 분리막조에서 채수하여 중수도 수질항목을 기준으로 수질측정을 하였다.



분리막조 채수



유량조정조 채수



분리막조의 수면 오니상태

그림 20 Y시 시민체육센터 저농도오수 샘플 채수

측정 결과 거의 모든 항목에서 중수도 수질 기준을 조금 상회했고 목재이용시설의 용처가 화장실세정용수와 조경용수라는 것을 감안했을 때, 본 시설에서 사용되어지고 있는 MBR공법과 오존공법에 의해 간단하게 처리되어지고 있다.

표 24 Y시 시민체육센터 지농도오수 수질측정값

항목	COD(mg/L)	탁도(NTU)	부유물질 (mg/L)	T N(mg/L)	T P(mg/L)	pH
원수	120	23.1	14.1	8.1	0.49	7.4
처리수	3.4	0.6	0.2	4.63	0.16	7.6

원수확보는 충분하게 이루어지고 있었고, 화장실 손세척수는 일부분을 차지하고 대부분의 샤워수가 원수로 사용되고 있었다. 이는 체육센터라는 건물의 목적에 따라 방문객 수가 많고 목욕탕을 따로 운영하고 있는 점을 볼 때, 원수의 확보가 용이한 것으로 파악된다.

(2) K대학교 기숙사

유량조정조에서 지농도오수를 채수하였고, 원수 소스는 Y시 체육센터와 같은 손세척수와 샤워수입니다. 원수의 수질 성상은 (표 2.1.2)와 같이 나타났고, COD, 탁도와 부유물질이 Y시 체육센터보다 높게 나타났다. K대학교 기숙사는 공중목욕탕이 개별식으로 운영되지 않고, 기숙사 건물 각 층마다 샤워시설이 갖춰져 있었다. 또, 장애인 기숙사가 별도로 운영되고 있는 점을 볼 때, 샤워수에 오수가 섞이서 방류될 가능성이 크다. 이런 부분에서 COD가 Y시 체육센터보다 4배 정도 높은 것으로 사료된다. 따라서 건물별, 용도별 설계기준을 정할 때 동일한 건물이라도 목재이용 용처에 따라 원수의 성상이 다르기 때문에 이러한 데이터를 바탕으로 설계에 반영되어야 한다. 처리공정은 Y시 체육센터와 동일한 조건으로 설정되었지만, 운영조건이 약간 달랐다.

표 25 K대학교 기숙사 지농도오수 수질측정값

항목	COD(mg/L)	탁도(NTU)	부유물질 (mg/L)	T N(mg/L)	T P(mg/L)	pH
원수	457.1	41.5	20.5	14.1	0.89	7.1
처리수	2.6	0.4	1.8	3.5	0.24	7.1

(3) Y대학교 기숙사

Y대학교 기숙사는 시간당 500L의 중수를 재생할 수 있는 설비로 기숙사에서 배출되는 세탁수, 세수, 샤워수를 원수로 처리하여 화장실용수로 사용하고 있다. 표 5와 같이 다른 지역에 비해 오염도가 높게 나타났고, 노말핵산추출물과 음이온계면활성제가 검출이 되었다. 이는 세탁수에 함유되어 있는 세탁세제류에 포함되어 있는 성분이 검출된 것이다. 비교적 원수의 성상의 오염도가 다른 지역보다 높게 나타났지만, 처리효율은 우수하게 나타나고 있다.

표 26 Y대학교 기숙사 지능도우수 수질측정값

항목	COD(mg/L)	탁도(NTU)	부유물질 (mg/L)	노말핵산 추출물(mg/L)	음이온계면 활성제(mg/L)	pH
원수	627.2	64	32	132	0.11	6.5
처리수	5.5	0.58	5.1	0	불검출	7.3

다. 사용용도별 중수 재이용 시스템 설계 및 하이브리드형 시스템 구축

(1) 용도별 중수처리수 재이용 시스템 구상 및 기초 비교 실험 수행

(가) 기존 빗물이용시설과 중수도 시설의 특징

대부분 기존의 빗물이용시설은 조경용수로 사용되었다. 실제 빗물의 수질은 양호함에도 불구하고 심미적인 거부감으로 활용도가 높지 않았다. 또한 우리나라는 연간 강수량이 일정하지 않기 때문에 여름철의 경우에는 많은 양의 빗물을 오버플로우로 버리게 되고 겨울철의 경우에는 가동이 되지 않았다. 겨울철의 경우 가동이 중단되면서, 빗물 저류조 내부에서 고인 물이 상하기나 기계 설비류의 유지관리에도 문제가 생겼으며, 운영 상 많은 어려움이 있었다. 이런 이유로 대부분 빗물이용시설은 법령에 의해 강제된 대형 시설이나 공공건축물에서만 활용되기나 혹은, 담수 수자원이 적고 조경용수를 많이 사용하는 제주도의 일부 골프장 등에서만 제대로 운영되었다.

기존 빗물이용시설 혹은 저류조의 다른 문제점은 저류조의 수질이 제대로 관리가 안 되었다는 것이다. 빗물의 경우 하늘에서 떨어지는 빗물 자체의 수질은 깨끗하나 저류조로 유입되고, 저류조에서 저장되는 과정에서 오염되어 활용이 제대로 안 되는 경우가 많다. 저류조로 유입되는 과정에서 필터나 침전탱크, 초기우수 제거 등의 설비가 제대로 갖춰져야 깨끗한 수질의 빗물을 얻을 수 있다. 또한 빗물 저류조는 빗물 외에 다른 불질의 유입이 차단되어야 하며, 빛을 차단하여 세균 등의 증식을 막아야 한다. 이번 연구를 통하여 확인하였듯이 잘 관리된 빗물의 경우 먹는물 수질 기준을 모두 합격할 만큼 좋은 수질을 보였다. 빗물 저류조 내에서 침전이 잘 일어나도록 정류벽 등을 설치하기나, 바닥에 쌓인 슬러지 등을 청소 할 수 있도록 해야할 것이다.

우리나라의 경우 대규모 숙박시설, 공공기관, 녹이공원 등은 중수도 시설이 의무화 되어 있다. 따라서 이런 시설을 중심으로 연구와 적용이 되어왔다. 중수도에 유입되는 오수의 경우 오염물질이 다양하고 탁도와 유기물 등이 상존해 있다. 대부분 중수도 시설은 오수

를 처리할 때 기존에 많이 활용되어 온 생물학적 처리를 해왔다. 하지만 심심 고도화 된 처리의 수요가 늘어나고 부지 가격 상승, 기술 진보 등으로 개별 건물이나 소형 시설 등에서는 막 처리 비중이 늘어나게 되었다. 중수도의 경우 대규모 시설이 아니고, 공공기관 등에서 상주하며 관리하지 않으므로 설비가 복잡하지 않고 유지관리가 어려워서는 안 된다. 또한 국가의 지원을 받는다고 하여도 상수도 원가보다 중수도 생산비용이 높으면 개인 입장에서는 운영하지 않을 것이다. 많은 중수도 시설이 설치 이후 경제적인 이유로 가동을 중지한 것도 이 때문이다. 최근 많은 공공시설에 중수도 시설이 설치되고 있다. 하지만 많은 사람들은 심미적인 이유로 이런 시설 사용을 기피한다. 특히 기존 시설 중 색도 처리가 완벽하지 않아서 사람들에게 불쾌감을 주는 경우가 많았다. KTX S역사 화장실의 경우 중수도 시설이 설치되어 있지만 변기 세척수의 물이 노란색을 띄고 있어 많은 사람들이 사용을 기피한다고 하였다. 이런 문제도 기존 막 공정에 더하여 뛰어난 산화 혹은 색도 성분 분해 능력을 가진 새로운 처리 공정이 필요하다.

(나) 빗물-중수 하이브리드 시스템 처리 프로세스 도출

빗물과 중수는 각각의 장단점을 가지고 있다. 수자원 고갈과 물재이용 수요의 증가로 빗물과 중수를 함께 활용하는 방법이 필요하고 이 둘을 효과적으로 처리하여 공급해야 한다.

빗물의 경우 수질이 양호하고 특히 부유물질과 탁도 유발물질이 거의 없다. 하지만 조류의 분변 등 유기물이 다소 유입될 수 있으므로 이런 부분에 대한 처리가 어느 정도 필요하다. 지농도 오수의 경우 화장실 배수가 제외되어 질소와 인 그리고 고농도의 부유물질 오염 부하는 적은 편이지만, 앞선 연구 결과에서 보았듯이 건물 특성 등에 따라 성상이 달라진다. 중수도 시설에 유입되는 오염물질과 그 처리공정은 크게 나누어 아래와 같다.

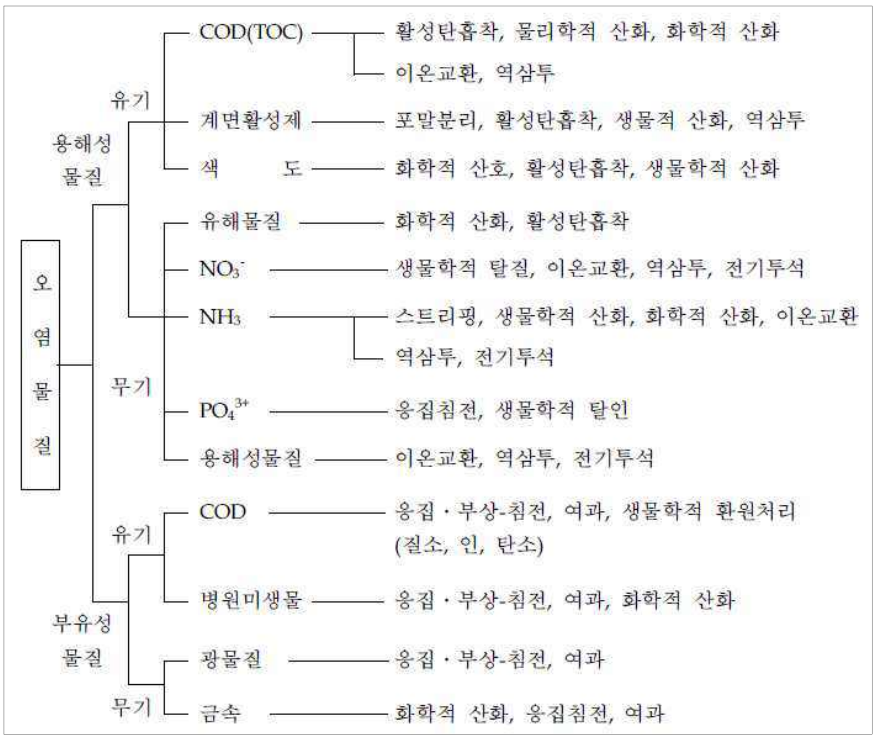


그림 21 중수도 시설의 유입 오염물 처리공정[8]

생물학적 처리의 경우 일부 대규모 시설에만 적합하며 유지관리가 어렵다는 단점이 있다. 또한 지속적인 부지가격 상승과 중수도의 특성 상 빠른 처리시간을 요구하기 때문에 최근 점점 사용도가 줄어드는 추세이다. 본 연구과제에서는 멤브레인과 오존산화처리를 연속적으로 사용하여 고도처리를 하였다. 생물막 반응조에서는 호기성 미생물에 의한 처리와 멤브레인에 의한 처리가 동시에 일어난다. 생물막 반응조에서 처리된 물은 오존산화 공정에 의해 2차 처리된다. 오존 산화 공정에서는 자체적으로 개발한 미세기포 발생기를 활용하여 미세한 마이크로 크기의 오존 기포를 주입하여 빠른 시간 안에 고도 산화 처리하여 색도와 유기물 등을 제거한다.

빗물 중수 하이브리드 시스템에서는 빗물을 어떻게 활용하느냐 하는 것이 중요하다. 빗물은 수질이 양호한 반면 그 수량이 일정하지 않기 때문이다. 지농도 오수의 경우 빗물에 비해 수질이 좋지 않지만 수량이 일정하다는 특징이 있다. 또한 특별한 경우를 제외하고 매일 발생하고, 변기 세척 역시 매일 발생하기 때문에 빗물 단독 시설의 경우와 같이 시설이 가동 중단되는 경우는 발생하지 않을 것이다. 빗물을 시설의 어느 단계로 공급하는 것을 결정해야 한다. 빗물을 유량조정조 혹은 생물막 반응조, 산화 접촉조로 공급할 수 있는 옵션이 있다. 또한 빗물 공급 탱크에 수위센서 조작을 통하여 빗물을 먼저 중수도로 공급할 것이지, 아니면 지농도 오수 처리수가 부족할 때에 중수도로 공급할 것인지 등에 대한 결정을 내려야 한다. 본 연구과제의 시설 설계개념도는 아래 그림 12과 같다.

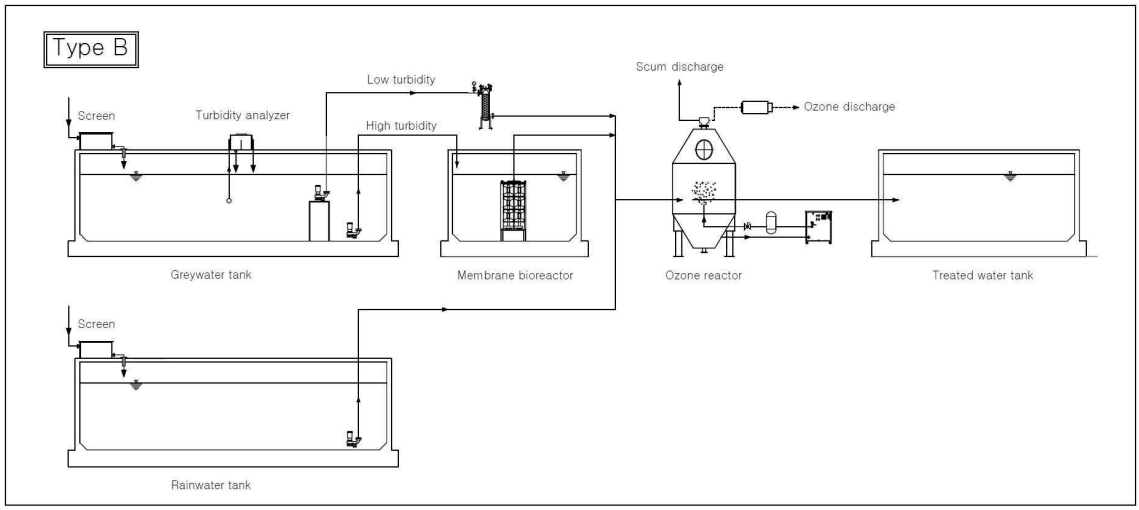


그림 22 빗물-중수 하이브리드 시스템 설계개념도

위 그림과 같이 빗물은 세 가지 탱크에 공급할 수 있는 옵션이 있다. 빗물을 처리 전단에 넣을수록 지농도 오수가 희석되어 처리 오염부하가 줄어드는 효과를 얻을 수 있다. 하지만 그럴 경우 깨끗한 수질의 원수를 잃게 되며 생물막 반응조의 처리 수량도 늘어나게 되어 멤브레인 교체 주기가 빨라지는 등의 문제가 있다. 반면 산화 접촉조에 바로 빗물을 공급할 경우 생물막 반응조에 부담을 덜 주게 되며, 빗물의 깨끗한 수질을 보존할 수 있다. 본 연구과제 실증시설의 경우 빗물의 수질이 매우 깨끗하고, 운동 시설이 있어 샤워실 물이 많이 발생하므로 빗물을 산화접촉조에 공급하는 것이 더 좋다고 판단된다. 하지만 저농도 오수의 특성과 계절에 따라 빗물을 공급하는 위치를 적절히 조절하면 더 효율적으로 운영할 수 있을 것이다.

빗물을 지농도 오수 처리수의 보충수로 사용할 것인지 아니면, 빗물을 먼저 공급한 뒤 지

농도 오수 처리수를 사용할 것인지에 대한 선택사항도 각각 상단실을 갖는다. 하지만 빗물을 보충수로 사용할 경우, 여름철에는 많은 양의 빗물을 활용하지 못하고 버리게 될 위험이 있으며, 시설의 처리 부하량이 더 높아지게 되므로 빗물을 먼저 공급한 뒤 빗물 저류조에 빗물이 없을 경우 저농도 오수를 처리하여 공급하는 것이 타당하다.

(2) 빗물-중수 하이브리드 시스템 Pilot 설계, 설치 및 운전평가

(가) 파일럿 test 수행 내용 및 결과

○맞춤형 오존기포기액혼합장치를 통한 오존기포크기 30um 생성

- lab test 운영결과 기액혼합장치 후단을 미세기포측정기로 분석한 결과 30um 구간에 피크치가 나타남

○초미세기포발생챔버를 통한 오존기포크기 15um 생성

- lab test 운영결과 미세기포측정기를 미세기포측정기로 분석한 결과 10um 구간에 피크치가 나타남

○접촉산화반응조 체류시간 30분

lab test 운영결과 접촉산화반응조 체류시간 30분일 시 색도, 냄새, COD 제거율 70% 이상으로 나타남

○에너지 절감 15%

- 가압방식이 아닌 초미세기포발생챔버의 전단력을 활용한 기포 쪼개기 방식으로 기포를 15um로 줄이고, 이를 바탕으로 인버터 제어를 통해 오존기포기액혼합장치를 유입조건(Pilot 조건은 탁도)에 따라 변환 운전을 실시함.
- 운전 제어 조건을 4단계로 구분, 각 단계별로 인버터 제어를 통한 속도를 조절하여 초미세기포의 발생 및 운전 조건(크기, 오존 용존량, 부상 및 제거율 등)을 검토.

○ 접촉산화반응조의 부상에 의한 오염물질 제거

- 인버터 제어를 통한 미세기포 발생 조건의 변화에 따라, 부상 정도가 변화하며, 이로 인해 제거되는 오염물질의 성상 및 제거

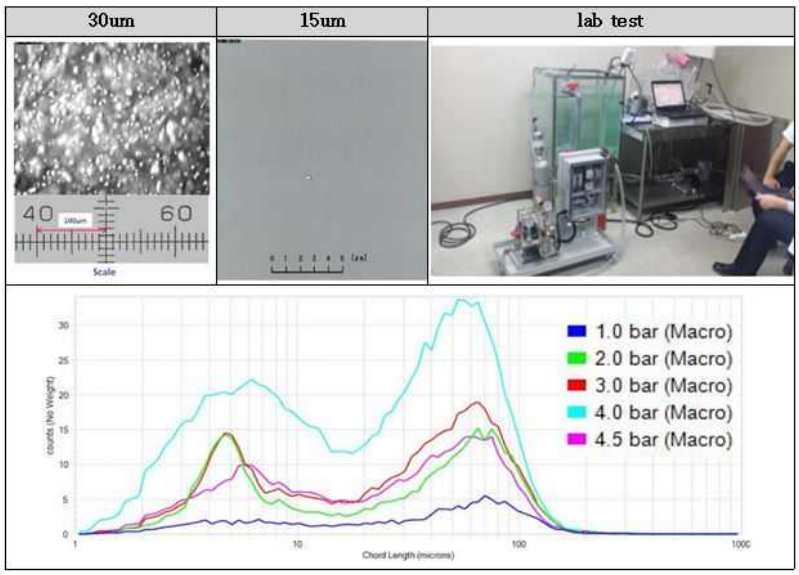


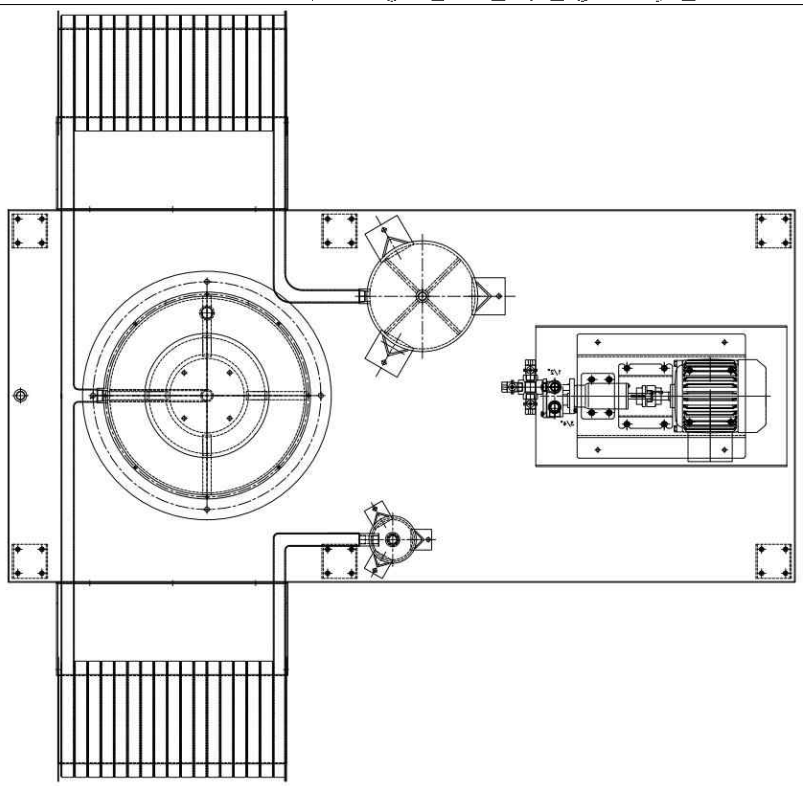
그림 23 pilot test 설비 및 결과

연 구 범 위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
기포크기 30㎛	PC3400을 활용한 기포크기 측정	펌프 내 블레이드 임펠러를 활용한 기포생산 방식을 활용, 입도 분석기를 활용하여 기포크기 통계를 분석 30㎛에서 가장 큰 피크값을 생성
기포크기 15㎛	PC3400을 활용한 기포크기 측정	접촉산화반응조로 들어가는 압력을 3.5bar로 유지시킨 후 믹싱챔버의 격벽 구조를 통하여 생성된 기포를 절단, 입도 분석기를 활용하여 기포크기 통계를 분석 15㎛에서 가장 큰 피크값을 생성
반응조 30분	DR6000을 활용한 COD, 색도 분석 TOC 측정기를 활용한 TOC 분석	서울대학교 관악학생생활관의 원수의 COD, 색도, TOC 값을 측정 후 접촉반응조에서 30분 체류 시켜 위의 항목 제거율 70% 이상 제거
에너지절감 15%	PC3400을 활용한 기포크기 변화 측정	전력 총량이 같은 상태에서 기포의 크기를 30㎛에서 15㎛로 축소 성공. 인버터 제어를 통해 오존기포기액혼합장치를 유입 조건에 따라 변환 운전을 실시함. 운전 제어 조건을 단계별로 구분, 초미세기포의 발생 및 운전 조건(크기, 오존 용존량, 부상 및 제거율 등)을 검토.
오염물질 부상	수질 분석 측정	미세기포 발생 조건의 변화에 따라, 부상성능에 의해 제거되는 오염물질의 성상 및 제거율 분석

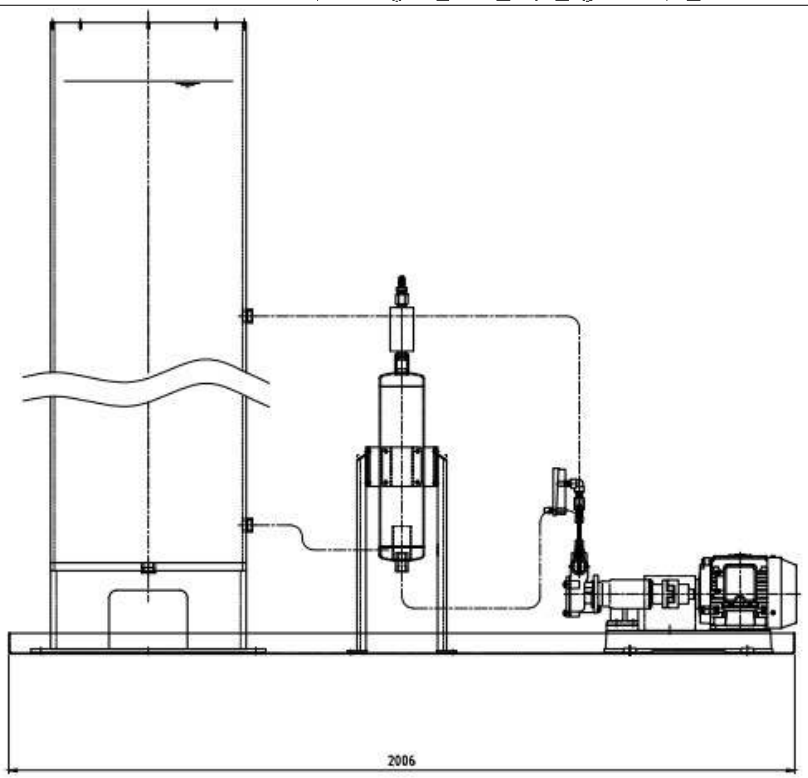
(나) 연구범위 및 연구수행 방법

(1) lab test 설계

설명	Lab 테스트용 접촉산화반응조(평면도)



설명	Lab 테스트용 접촉산화반응조(측면도)



(2) lab test 운전

설명	\부드 (오존믹싱탱크 제외 운전) Lab 테스트 실시
	
- 기포의 사이즈가 1,000 ~ 500 ㎛ 이상으로 신속한 부상공정이 필요한 경우 운전 조건으로 사용할 수 있음.	<운전조건> 유입 압력 : 0.5 bar -유출 압력 : 3.0 bar 기체 유입량 : 2.0 L/min

설명	B보드 (오존믹싱탱크 포함 운전) Lab 테스트 실시
	
기포의 사이즈가 30㎛전후로 유지되며, 파인버블과 오존(O3)이 수중에 체류하는 시간과 기체 표면적의 증가 효과로 신속한 용존 과정이 필요한 경우의 운전 조건으로 사용할 수 있음.	<운전조건> 유입 압력 : 0.3 bar -유출 압력 : 3.2 bar -기체 유입량 : 2.0 L/min

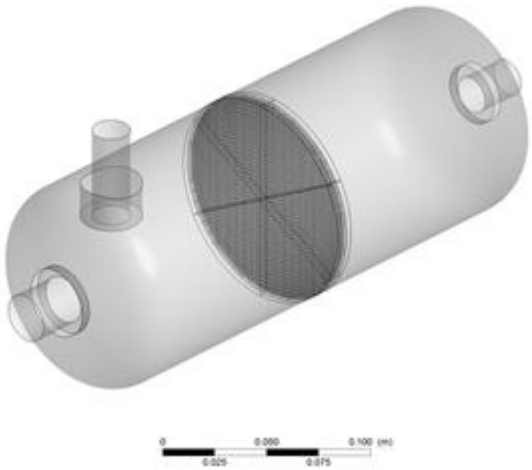
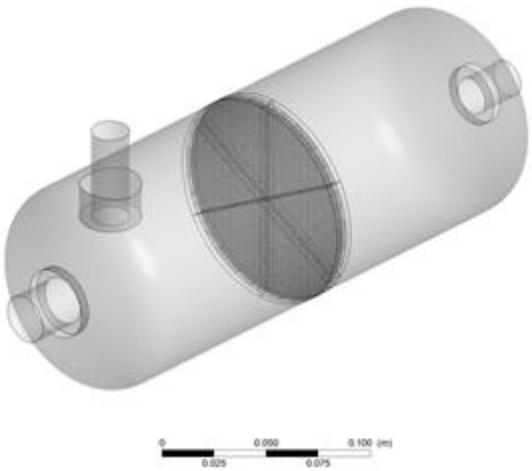
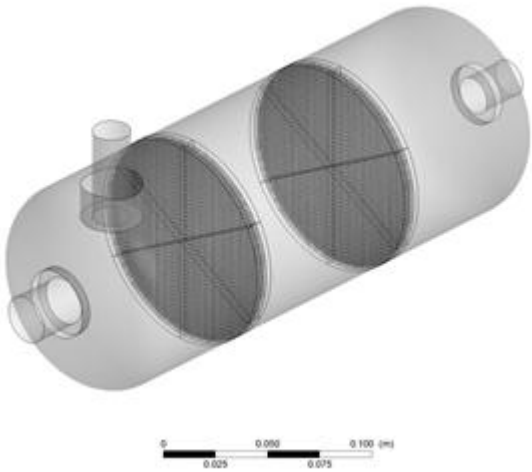
-접촉산화반응조 내부에서 주요 공정에 따른 기포 사이즈를 변화시키며, 원하는 공정에 적합한 기포 사이즈를 생산함.

-부상 공정이 필요한 경우, 즉, AOP에 의해 산화되지 않는 부유물질(Suspended solid)를 효과적으로 제거하기 위한 보드(편의상 A 보드로 명칭함)를 수행하여 접촉산화반응조 내에 잔류하는 SS를 부상시키며, 이를 상부 배출 System을 통해 배출함.

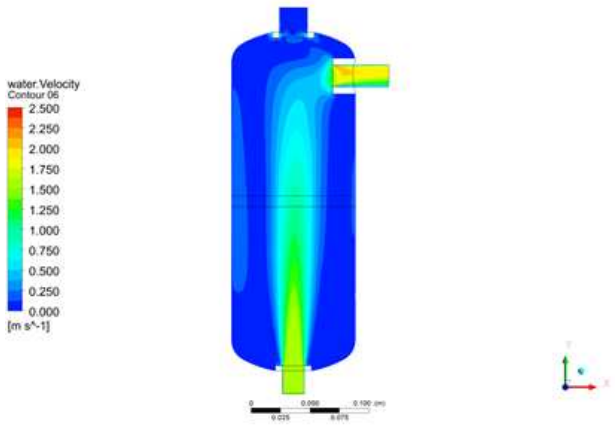
효율적인 AOP를 통한 잔배수의 산화 및 대장균 사멸을 위해 오존 Fine Bubble을 발생하여 접촉산화반응조로 유입시키는 보드(편의상 B 보드로 명칭함)로 잔배수의 이취미 원인 물질의 효과적인 제거를 하며, 재이용수로 적합한 수질을 유지할 수 있도록 함.

-본 공정의 운전 계획에서 A 보드(부상 공정), B 보드(AOP 공정)의 운전 시간, 운전 조건 및 운전 효율 등은 유입되는 하수처리수의 성상 및 운전 DATA의 축적에 의해 정하여질 것으로 판단됨.

(3) Mixing 챔버의 구조에 따른 모델링

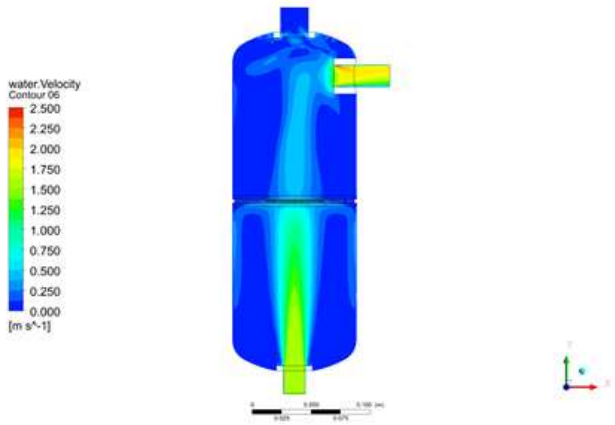
설명	Mixing 챔버 구조 형태 분류 모델링
	
CASE 1 Water : 20L/min Air : 2L/min 다공판 없음	CASE 2 Water : 20L/min Air : 2L/min 다공판 1개 다공면적 25%
	
CASE 3 Water : 20L/min Air : 2L/min 다공판 1개 다공면적 50%	CASE 4 Water : 20L/min Air : 2L/min 다공판 2개 다공면적 50%

실명	Mixing 챔버 구조에 따른 속도 변화 모델링



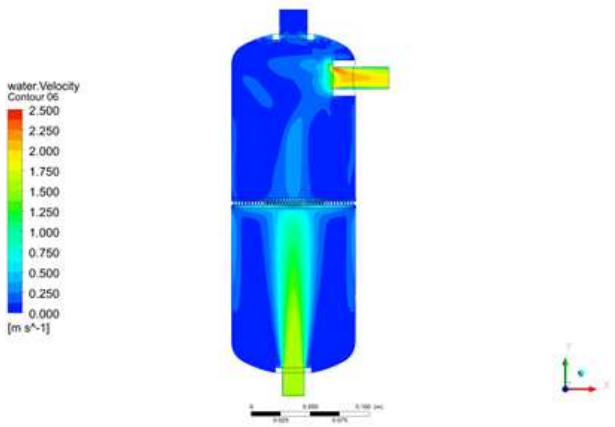
CASE 1

MAX : 2.28 m/s



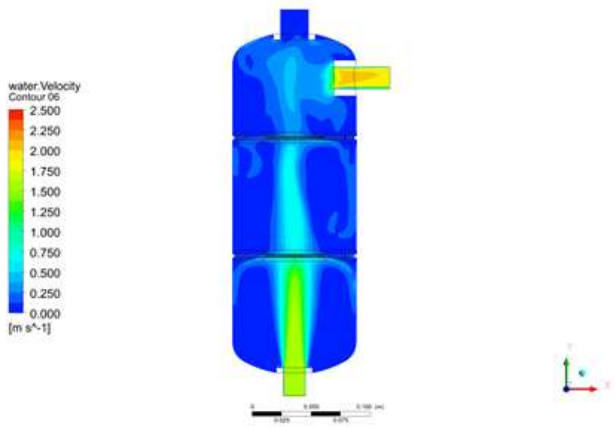
CASE 2

MAX : 2.55 m/s



CASE 3

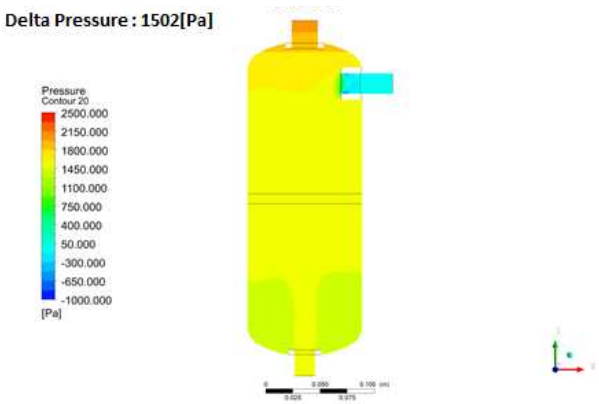
MAX : 2.34 m/s



CASE 4

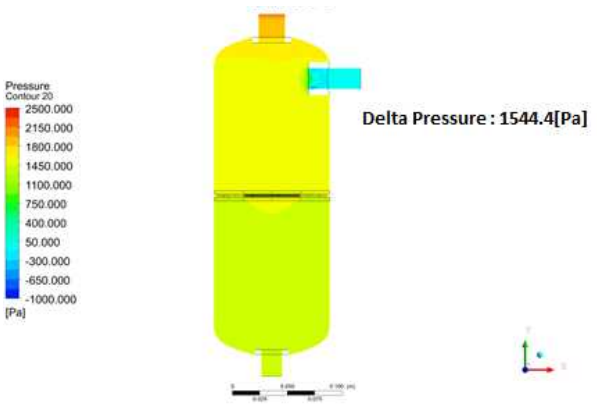
MAX : 2.1 m/s

설명	Mixing 챔버 구조에 따른 압력 변화 모델링



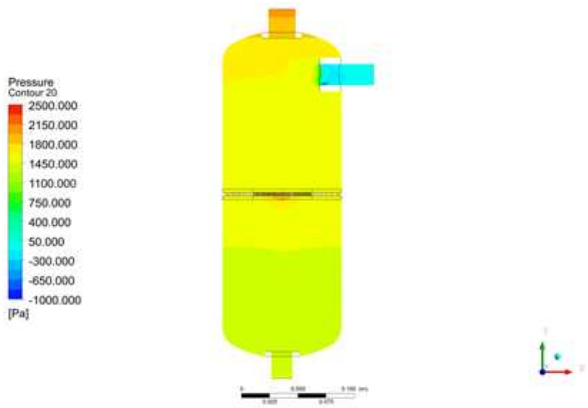
CASE 1

Delta pressure : 1502 Pa



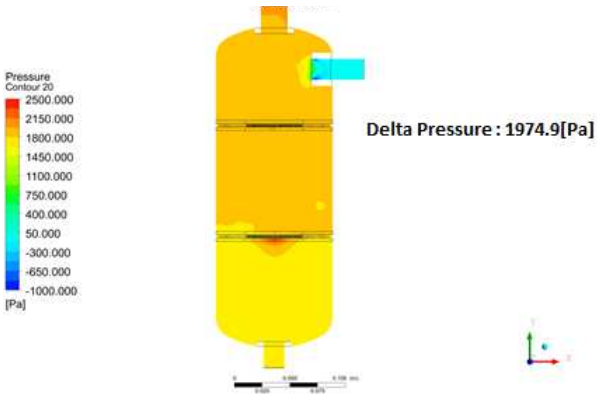
CASE 2

Delta pressure : 1544 Pa



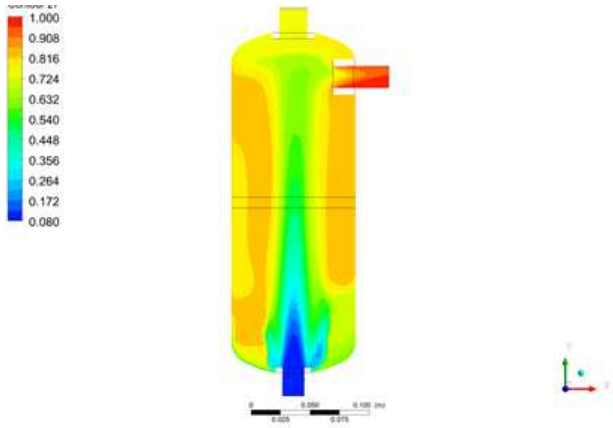
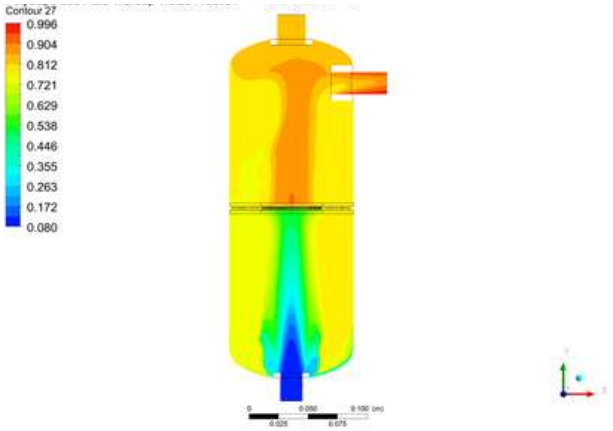
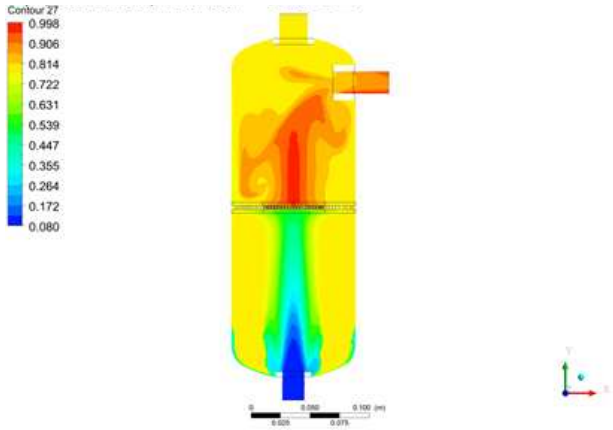
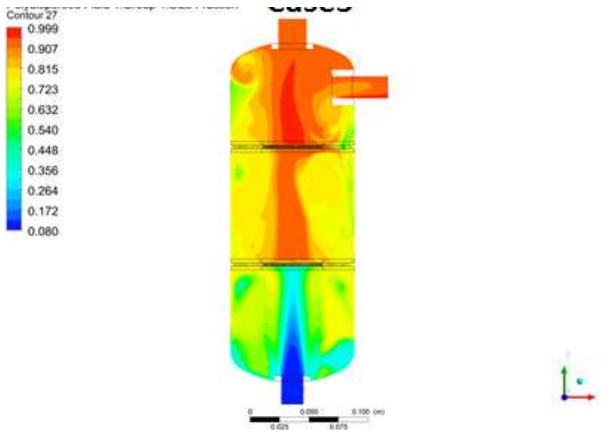
CASE 3

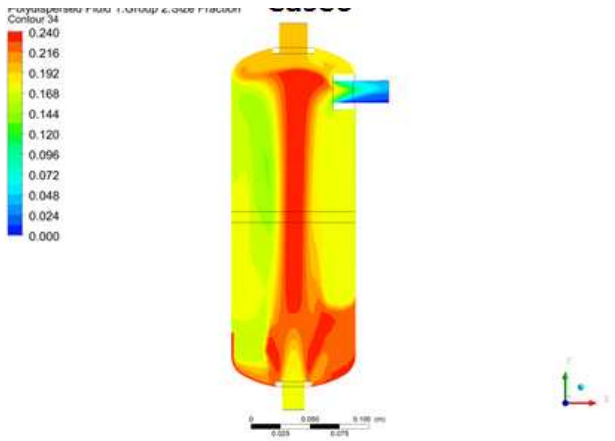
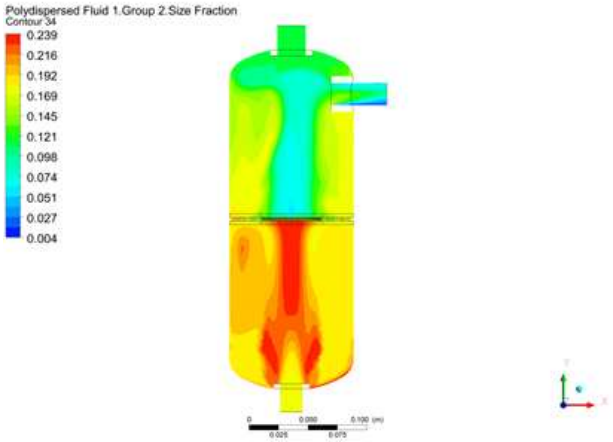
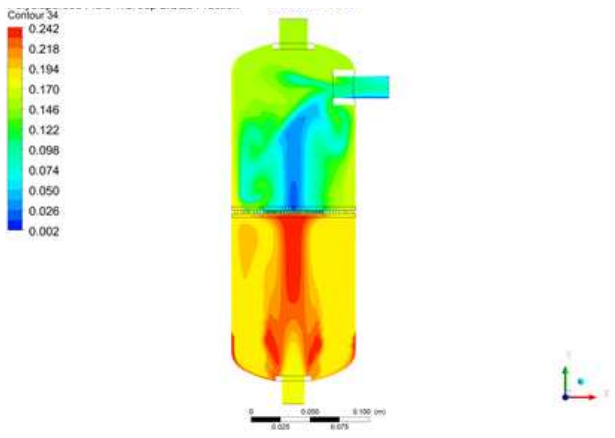
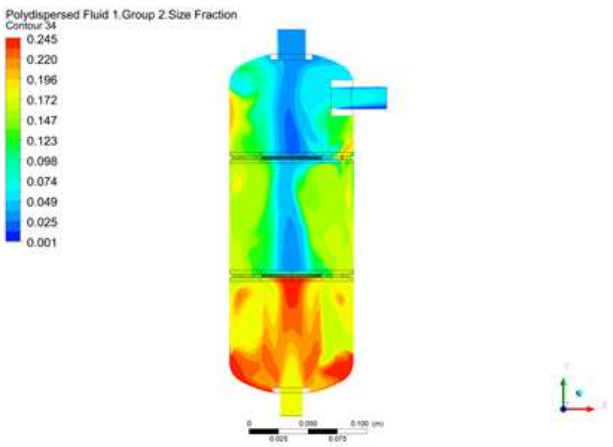
Delta pressure : 1650 Pa

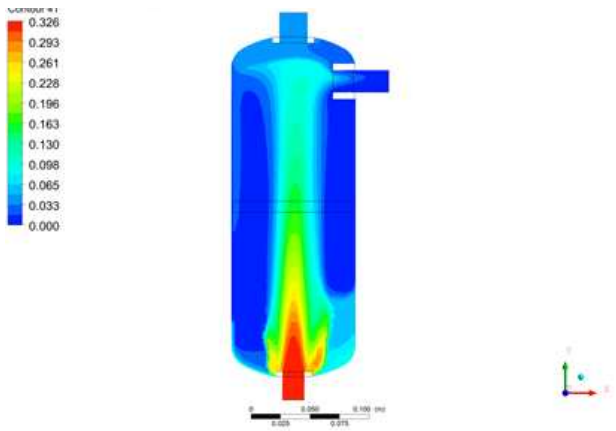
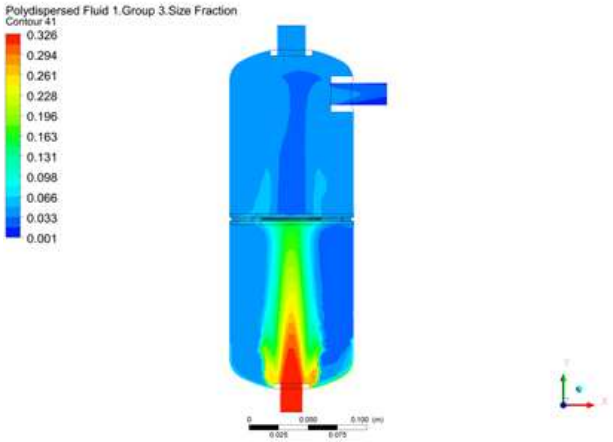
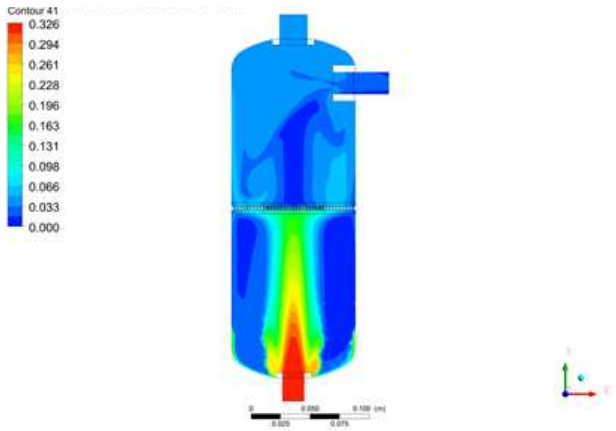
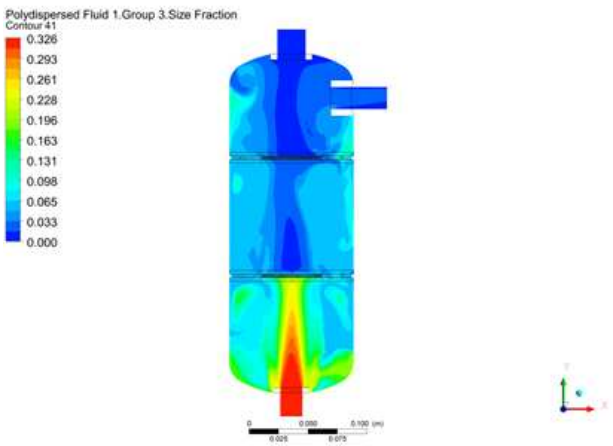


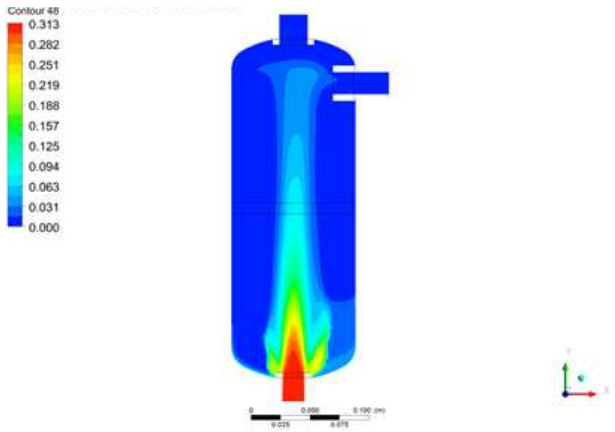
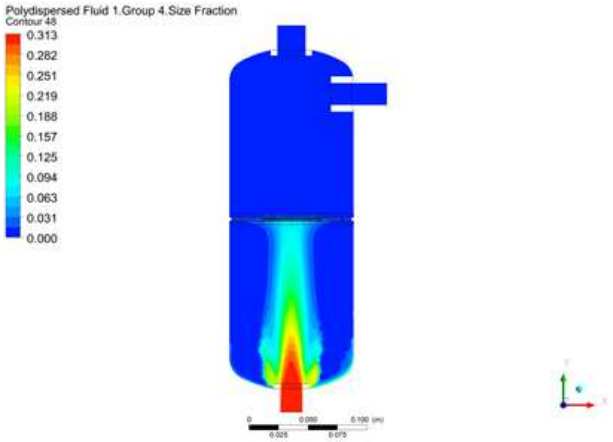
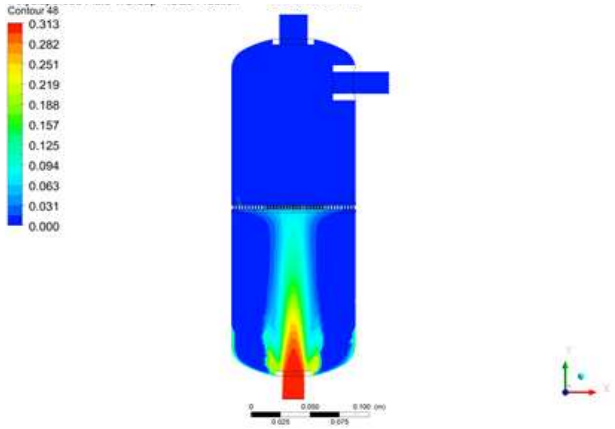
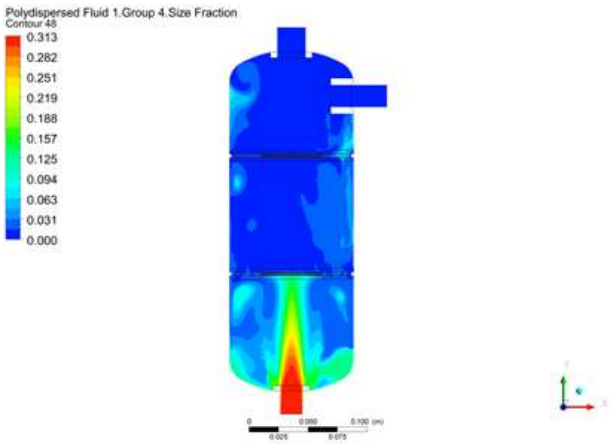
CASE 4

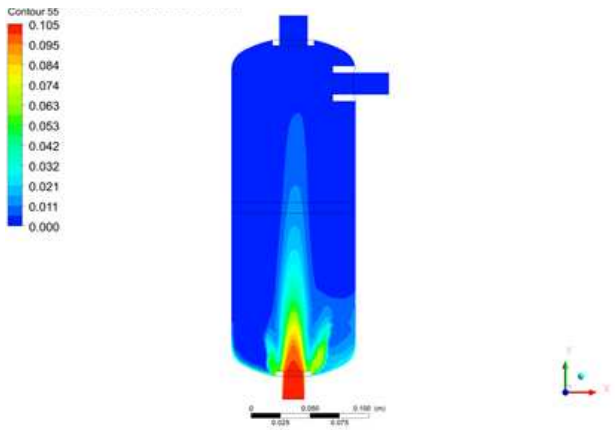
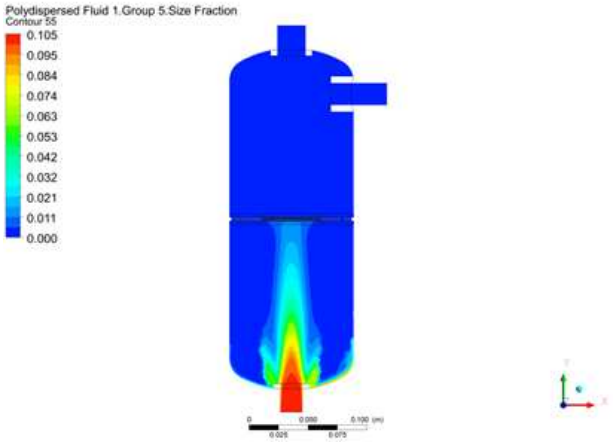
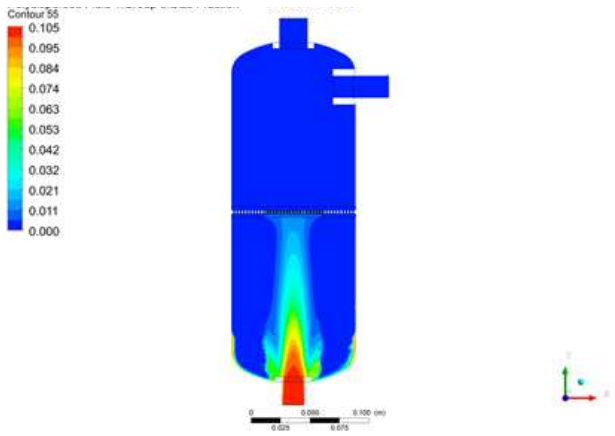
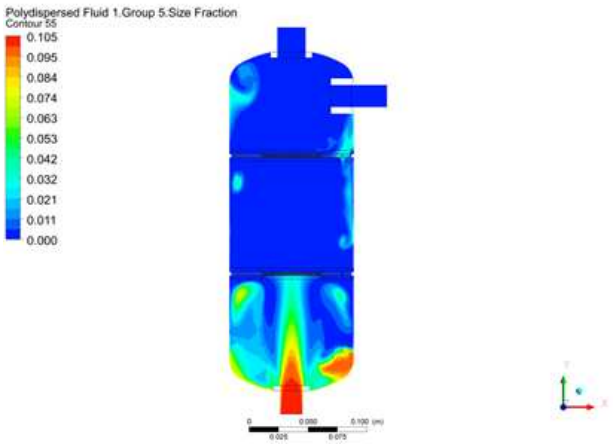
Delta pressure : 1975 Pa

설명	Mixing 챔버 구조에 따른 비늘 분포 변화 모델링 (0~10um 비늘 변화)
	
CASE 1	CASE 2
	
CASE 3	CASE 4

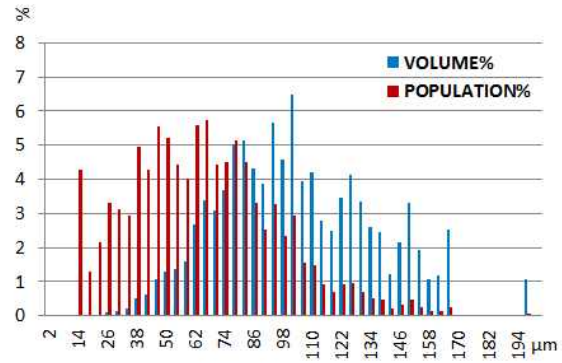
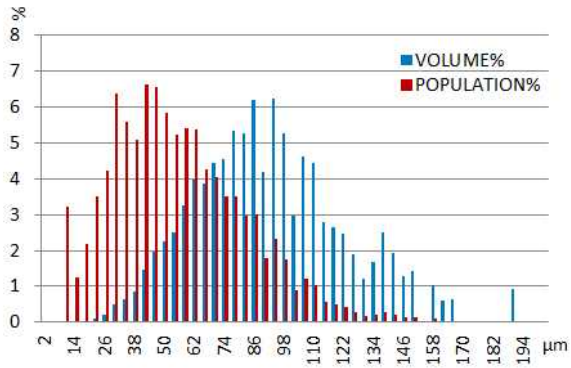
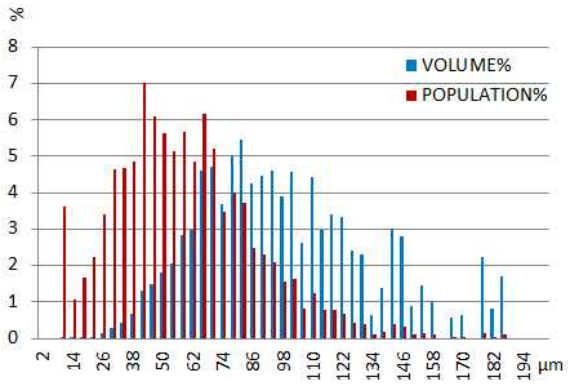
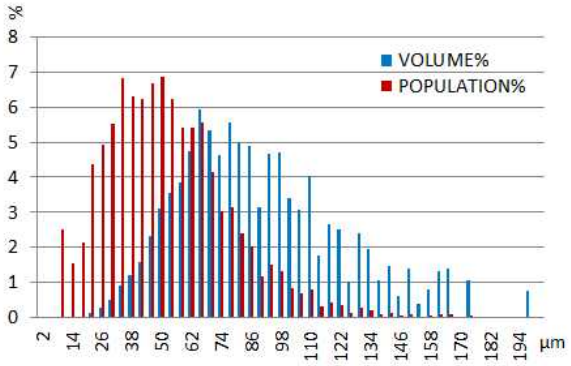
설명	Mixing 챔버 구조에 따른 비븨 분포 변화 모델링 (10~20um 비븨 변화)
	
CASE 1	CASE 2
	
CASE 3	CASE 4

설명	Mixing 챔버 구조에 따른 비븜 분포 변화 모델링 (20~30um 비븜 변화)
	
CASE 1	CASE 2
	
CASE 3	CASE 4

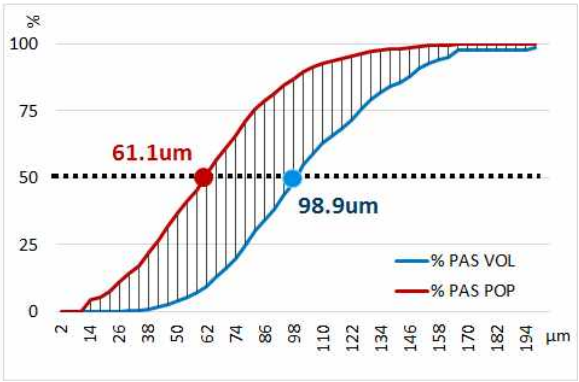
설명	Mixing 챔버 구조에 따른 비븨 분포 변화 모델링 (30~40um 비븨 변화)
	
CASE 1	CASE 2
	
CASE 3	CASE 4

설명	Mixing 챔버 구조에 따른 비늘 분포 변화 모델링 (40~50um 비늘 변화)
	
CASE 1	CASE 2
	
CASE 3	CASE 4

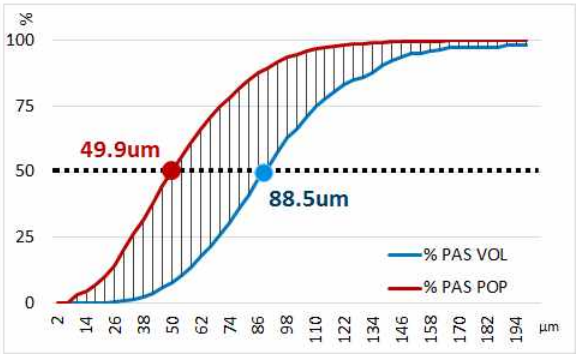
(4) Mixing 챔버의 구조에 따른 비늘 분포 측정

실명	Mixing 챔버 구조에 따른 비늘 분포 변화 측정
	
CASE 1	CASE 2
	
CASE 3	CASE 4

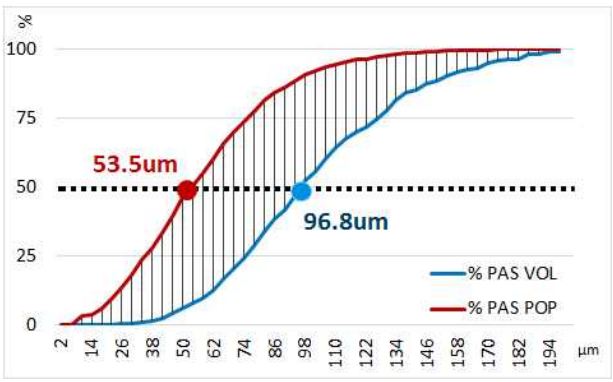
설명	Mixing 챔버 구조에 따른 비늄 분포 변화 측정



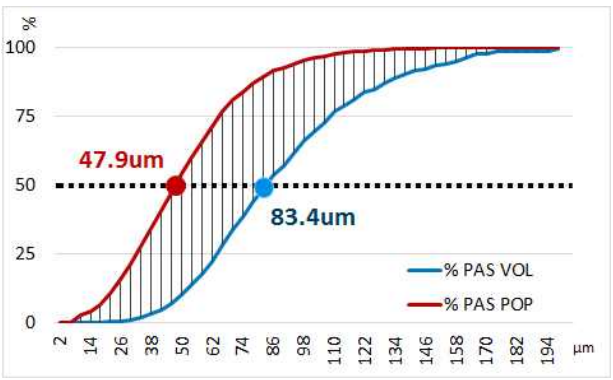
CASE 1



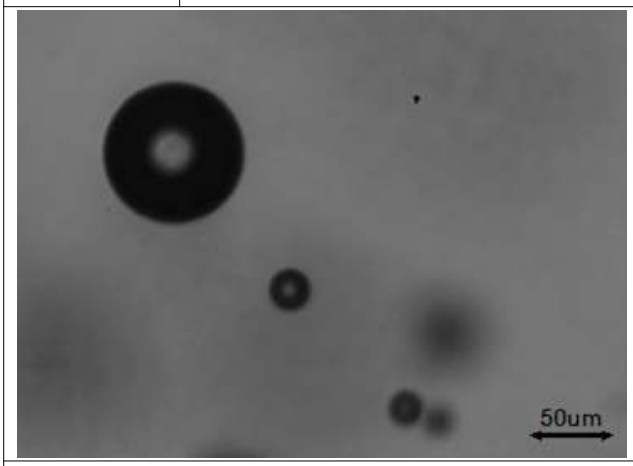
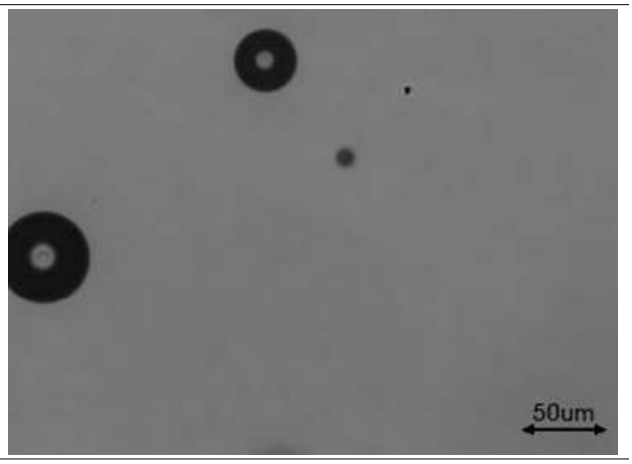
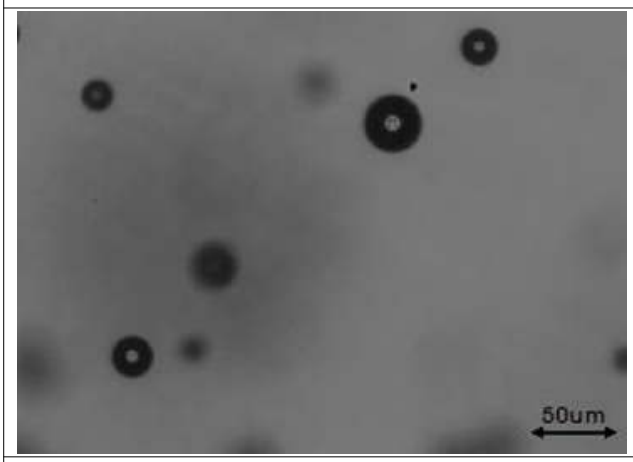
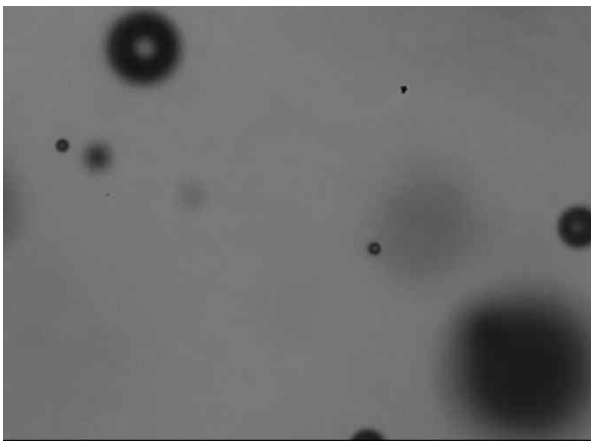
CASE 2



CASE 3



CASE 4

설명	Mixing 챔버 구조에 따른 버블 분포 촬영
	
CASE 1	CASE 2
	
CASE 3	CASE 4

오존믹싱탱크에 격벽을 설치하면 버블의 크기를 조절 할 수 있다.

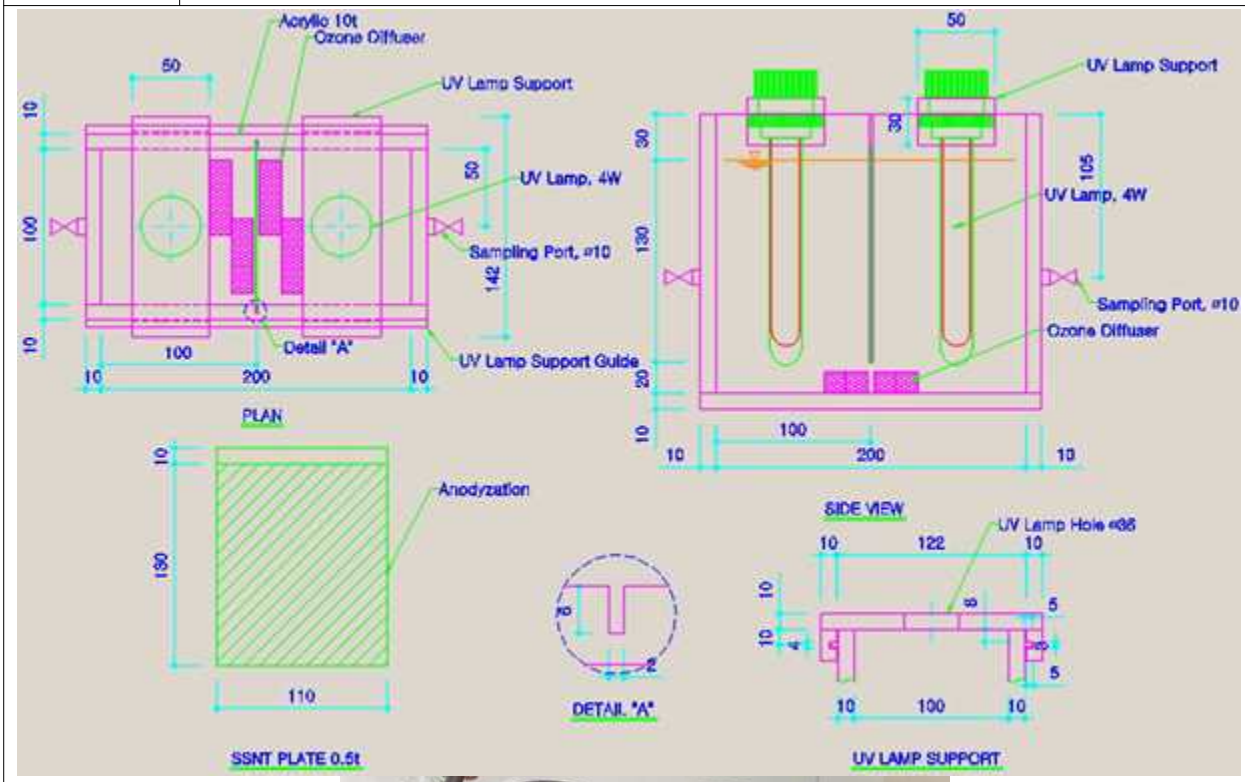
-격벽의 천공 크기, 격벽의 위치, 격벽의 개수에 따라 난류, 전단력, 압력의 변화를 일으켜 버블의 크기가 조절 된다.

-CASE1부터 CASE4까지 격벽의 구조를 변경해 본 결과 CASE2가 가장 적합한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 CASE2를 설치하여 미세기포를 만드는 방식과 오존믹싱탱크 없이 미세기포를 만드는 방식 두 가지로 구성하였다. 탁도계의 탁도값에 따라 자동으로 두 방식 중 하나를 선택하게 하여 수질에 따른 맞춤형 미세기포를 생산하였다.

(5) TiO2와 연계 운전

설명	TiO2 코팅된 금속판을 이용한 산화에 대한 Lab 테스트 1

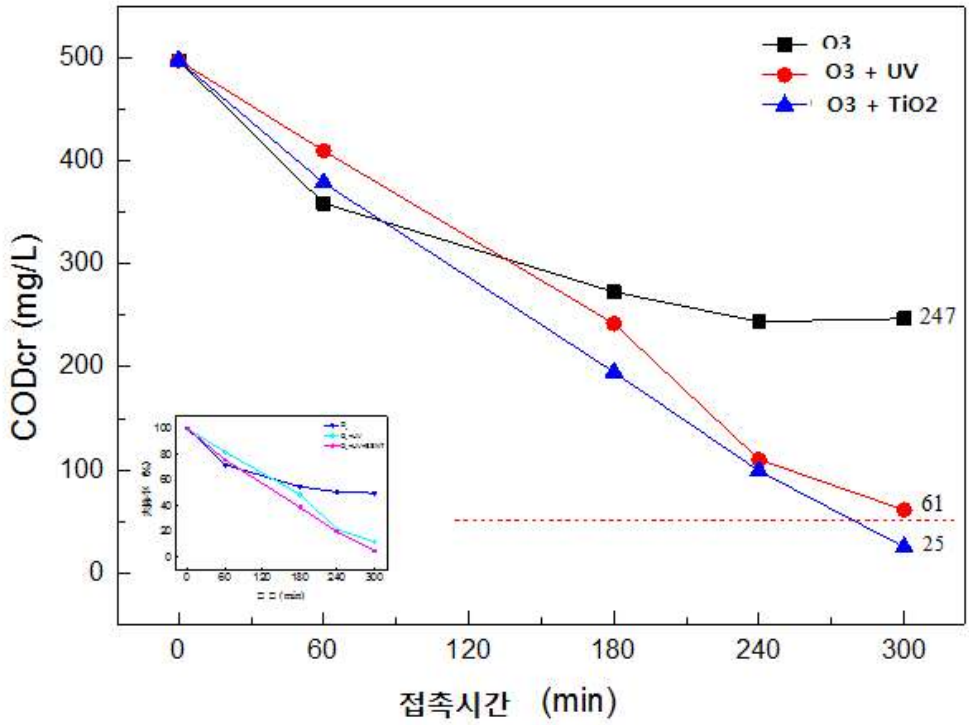




약 40l 크기의 Test 장비이며, AOP를 활성화하기 위한 다양한 조건의 실험을 실시함.	<실험조건> -오존 주입량 : 3.0g/Hr 오존주입은 Diffuser로 주입 -O3, UV, H2O2와 TiO2 코팅 금속판을 이용한 산화 실험

실명	TiO2 코팅된 금속판을 이용한 산화에 대한 Lab 테스트 결과1

O3 + UV - TiO2 코팅 금속판



CODcr 500ppm 이상의 오염물을 제거하는 실험으로 체류시간은 최종 5시간이 소요되며, 오존만 주입한 경우는 247ppm(제거율51%)이고, 오존+UV의 경우 61ppm(제거율 88%), 오존+UV+ TiO2의 경우 25ppm(95%)로 나타났다.

<결론>

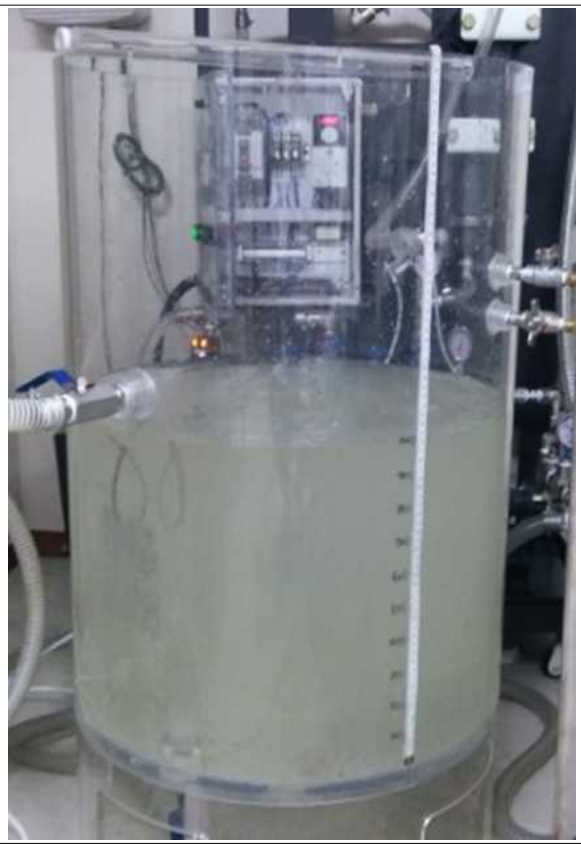
고농도의 오염물의 제거를 위한 산화법으로 오존-UV- TiO2의 공정으로 처리할 경우, 최대 95%의 비교적 높은 제거 효율을 나타낸다.

-이러한 효과를 기두기 위해 체류시간은 5시간이 필요하며, 저농도의 오염물을 제거하는 경우는 비교 실험을 실시하여 재검토 하여야 함.

실명	Ti02 코팅된 금속판을 이용한 산화에 대한 Lab 테스트 2

03 + Ti02 코팅 금속판



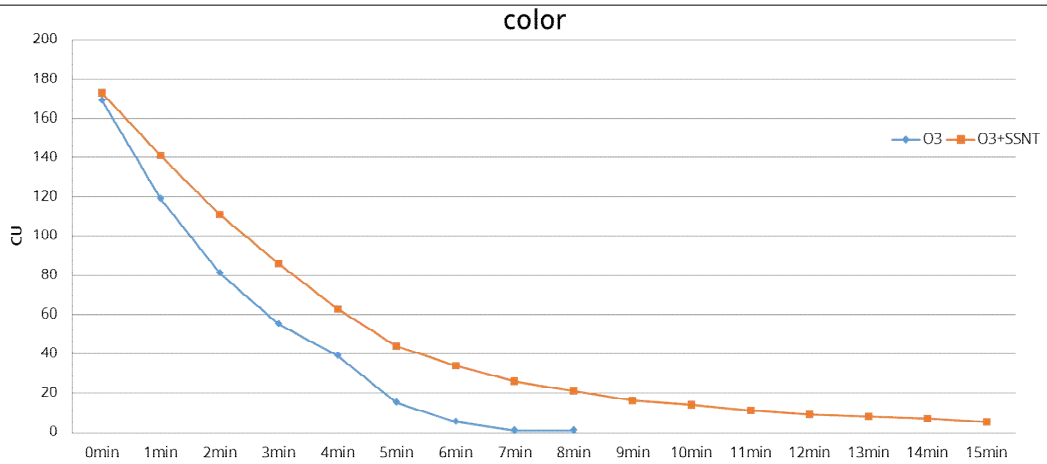


본 테스트는 염색폐수(제조 폐수)를 대상으로 진행하였으며, 색도를 AOP 공정으로 제거하는 실험을 실시함.

<실험조건>
-원수량 : 100l.
-오존주입량 : 16g/Hr
Ti02 코팅 금속판 : 0.092㎡, 10㎝간격 pH 7.1
-처리시간 : 30 min 미만
-샘플링 주기 : 1회/min
실험 완료 시점 : 색도 10 이하

실명	Ti02 코팅된 금속판을 이용한 산화에 대한 Lab 테스트 결과2

O3 + Ti02 코팅 금속판



색도 170 전·후의 연색 폐수를 AOP 공정으로 산화하는 비교 실험을 실시

비교적 저농도의 오염물을 제거하는 실험으로 짧은 체류시간(20 min 미만)에 색도 물질을 제거하는 실험임. 오존만 주입한 경우는 6분만에 중수 사용 가능한 수질 기준을 만족하였고, 오존-Ti02의 경우 15분이 지나서야 동등의 제거율이 나타났다.

Ti02의 촉매 작용에 의해 더욱 AOP 공정이 빠르게 일어날 것이라는 예상과는 다른 실험 결과가 나타남.

<결론>

-고농도의 오염물의 제거를 위한 산화법으로 오존-Ti02의 공정으로 처리할 경우, 최대 95%의 비교적 높은 제거 효율을 나타내었으나, 저농도의 경우 가시적인 효과는 없는 것으로 나타남.

-이러한 결과는 다음의 사항에 대한 문제점으로 보여짐.

1) 접촉 산화 반응조 내부의 순환 및 혼합의 방해

2) 미세기포(음전하)의 기포 전위에 따른 금속 표면(양전하)의 부착 현상

오존-Ti02의 공정은 고농도 오염물의 제거에서는 효과가 나타날 수 있으나, 체류시간의 확보(5시간 이상)가 필요하며, 저농도 오염물에 적용시에는 가시적인 효과가 나타나지 않음.

-접촉산화반응조 내부의 기작에서는 수중의 오염물과 산화제의 접촉 확률을 높여 산화 반응을 극대화 하는 것이 필요함. 즉, 수중에 분산된 초미세버블이 수류를 타고 이동하며 빠르게 혼합되어야, 오염물의 산화 반응이 빠르게 이루어 질 수 있음.

-수중의 오염물질과 산화제의 접촉 확률을 높이는 또 하나의 방법은 Fine Bubble을 발생시켜, 기포의 표면적과 수량을 증대시켜 용존량을 높이는 방법임. 또한 Fine Bubble의 특징은 조대 기포와는 다르게 부상 속도가 매우 느려서 수중에 체류하는 시간 또한 길어지게 됨. 따라서 동일한 양의 오존 기포가 수중에 혼합되어도 체류시간의 차이가 현저히 발생하며, 이로 인한 오염물과의 접촉시간이 길어져 AOP공정의 효율이 증대됨.

-본 공정의 운전 시 Ti02 금속판 표면에는 많은 기포가 부착되어 있었으며, 이러한 부착 현상에 의해 상기의 AOP 공정에 유리한 효과가 감소하게 됨.

(5) MBR 처리 수 대상 pilot 수질 결과

표 27 수질 결과

		Mean	Stdev.	Min.	Max.	Removal efficiency (%)
TOC (mg/L)	Treated sewage	8.30	1.99	5.10	11.70	-
	AOP	7.65	1.79	4.90	11.20	7.7
BOD_5 (mg/L)	Treated sewage	4.13	0.83	2.60	5.80	-
	AOP	4.41	1.00	2.60	6.70	6.8
CODcr (mg/L)	Treated sewage	16.76	4.49	10.40	26.50	-
	AOP	14.29	3.67	8.80	21.70	14.8
SS (mg/L)	Treated sewage	3.98	0.90	2.50	6.70	-
	AOP	2.95	0.68	1.80	4.80	25.9
T-N (mg/L)	Treated sewage	13.48	2.00	10.60	17.40	-
	AOP	12.67	2.89	8.20	18.30	6.0
T-P (mg/L)	Treated sewage	0.59	0.28	0.20	1.00	
	AOP	0.57	0.32	0.10	1.10	3.0
Turbidity (NTU)	Treated sewage	5.46	0.99	4.00	7.20	-
	AOP	1.09	0.22	0.70	1.50	80.1
Total coliforms (CFU/mL)	Treated sewage	1278.55	84.96	1100.00	1410.00	-
	AOP	40.43	6.54	31.00	61.00	96.8
Color (CU)	Treated sewage	18.78	3.93	13.00	26.00	-
	AOP	2.38	0.63	1.00	4.00	87.4

(2) 빗물-중수 하이브리드 시스템 실증화 시설 설계, 설치 및 운전평가

(가) 빗물-중수 하이브리드 시스템 설계

1차년도 연구내용 중 기존에 설치된 빗물저류조와 중수도시설의 수질 데이터값을 활용하여 빗물 중수 하이브리드 시스템 설계에 반영하였고, 그림 13과 같이 서울대학교 관악학생생활관 빗물집수면적, 저농도오수 발생지, 화장실세정용수 사용인원 등을 바탕으로 중수도시설 유량조정조, 막분리조, 유입반응조, 접촉산화반응조, 처리조 등의 수조 크기를 설정하였다.

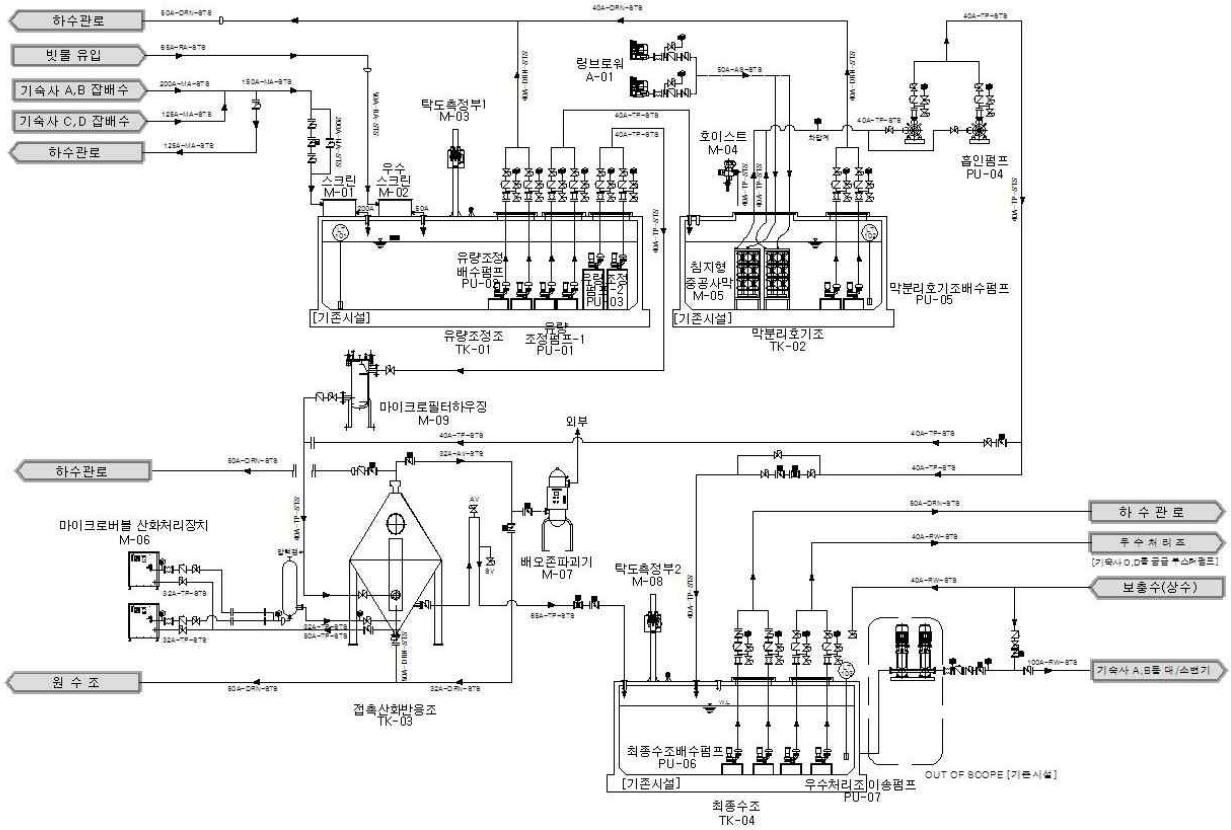
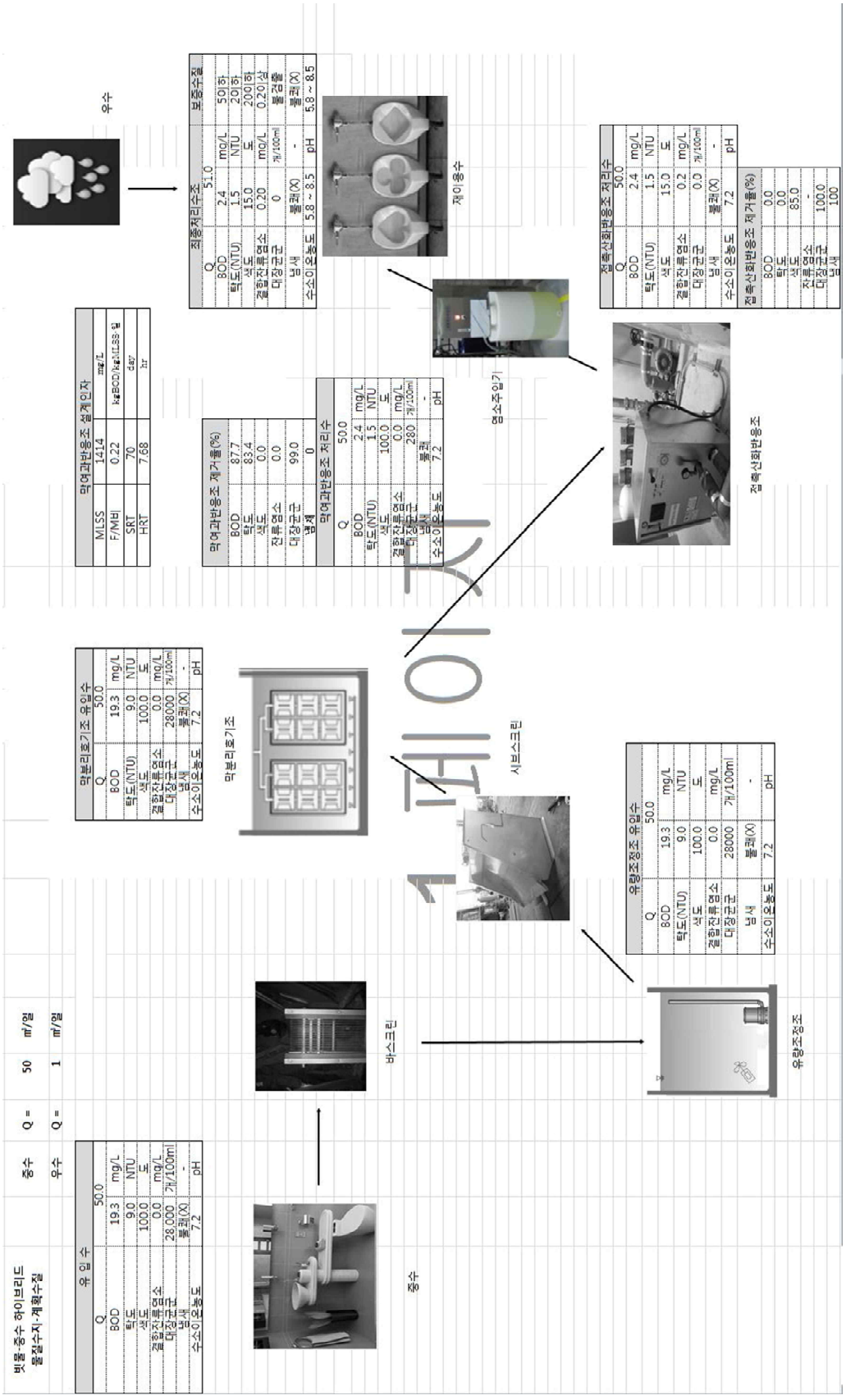


그림 24 빗물-중수 하이브리드 시스템 계통도

표 28 서울대학교 관악학생생활관 연구실증시설 설치 장소 및 개요

완공일	실계용량	빗물저장조	집수면적	사용인원	화장실 대변기	세면대	샤워기
2017.03	50 ㎥/day	200㎥	4,021㎡	1,002명	167개	334개	167개

1)목실수지도


빗물중수 하이브리드
물절수지·계획수질
중수
우수
Q = 50 ㎥/일
Q = 1 ㎥/일
유입수
Q 50.0
BOD 19.3 mg/L
탁도(NTU) 9.0 NTU
색도 100.0 도
잔류염소 0.0 mg/L
대장균군 28,000 개/100ml
냄새 -
수소이온농도 7.2 pH
바스크린
유량조정조
유량조정조 유입수
Q 50.0
BOD 19.3 mg/L
탁도(NTU) 9.0 NTU
색도 100.0 도
잔류염소 0.0 mg/L
대장균군 28000 개/100ml
냄새 -
수소이온농도 7.2 pH
서브스크린
막분리기조
막분리기조 유입수
Q 50.0
BOD 19.3 mg/L
탁도(NTU) 9.0 NTU
색도 100.0 도
잔류염소 0.0 mg/L
대장균군 28000 개/100ml
냄새 -
수소이온농도 7.2 pH
막여과반응조 설계인자
MLSS 1414 mg/L
F/M비 0.22 kgBOD/kgMLSS·일
SRT 70 day
HRT 7.68 hr
막여과반응조 제거율(%)
BOD 87.7
탁도 83.4
색도 0.0
잔류염소 0.0
대장균군 99.0
냄새 0
막여과반응조 처리수
Q 50.0
BOD 2.4 mg/L
탁도(NTU) 1.5 NTU
색도 100.0 도
잔류염소 0.0 mg/L
대장균군 280 개/100ml
냄새 -
수소이온농도 7.2 pH
염소주입기
재이용수
접촉산화반응조
접촉산화반응조 처리수
Q 50.0
BOD 2.4 mg/L
탁도(NTU) 1.5 NTU
색도 15.0 도
잔류염소 0.2 mg/L
대장균군 0.0 개/100ml
냄새 -
수소이온농도 7.2 pH
접촉산화반응조 제거율(%)
BOD 0.0
탁도 0.0
색도 65.0
잔류염소 -
대장균군 100.0
냄새 100
접촉조정조
Q 5.1.0
BOD 2.4 mg/L 50이하
탁도(NTU) 1.5 NTU 20이하
색도 15.0 도 200이하
잔류염소 0.20 mg/L 0.20이상
대장균군 0 개/100ml 불검출
냄새 - -
수소이온농도 5.8 ~ 8.5 pH 5.8 ~ 8.5
보충수질
우수
중수

1 페이지

2) 단위공정별 설계인자 및 운전인자

구분	단위	범위	설계적용	비고
k (최대기질소비율)	gbsCOD/gVSS · d	2~10	5	WastewaterEngineering treatmentandreuse METCALF&EDDY
KS (반포화기질농도)	mg/L BOD	25~100	60	WastewaterEngineering treatmentandreuse METCALF&EDDY
Y (활성미생물증식계수)	mg VSS/mg BOD	0.4~0.8	0.6	WastewaterEngineering treatmentandreuse METCALF&EDDY
Kd	gVSS/gVSS · d	0.06~0.15	0.1	WastewaterEngineering treatmentandreuse METCALF&EDDY
SRT	day		70	
X	mg/L	12,000 이하	1413	
fd		0.1 0.15	0.15	WastewaterEngineering treatmentandreuse METCALF&EDDY
F/Mratio		0.01 ~ 0.3	0.218	The MBR BOOK
오존 주입량	mg/L	10 ~ 20	2	불재이용시설 및유지관리가이드 -환경부-

빗물저류조 설계기준

구 분	기준항목	단위	설계기준	적용치	비고
우수조	저류용량	m³	건축면식 ×0.05	건축면식 ×0.05	

중수처리시설 설계기준

구 분		기준항목	단위	설계기준	적용치	비고
	유량조정조	체류시간	hr	8hr 이상	8.6 hr	
	막분리호기조	체류시간	hr	7.5hr 이상	7.6 hr	
	침촉산화반응조	체류시간	hr	5.5hr 이상	6 hr	

2) 시설용량

빗물저류조

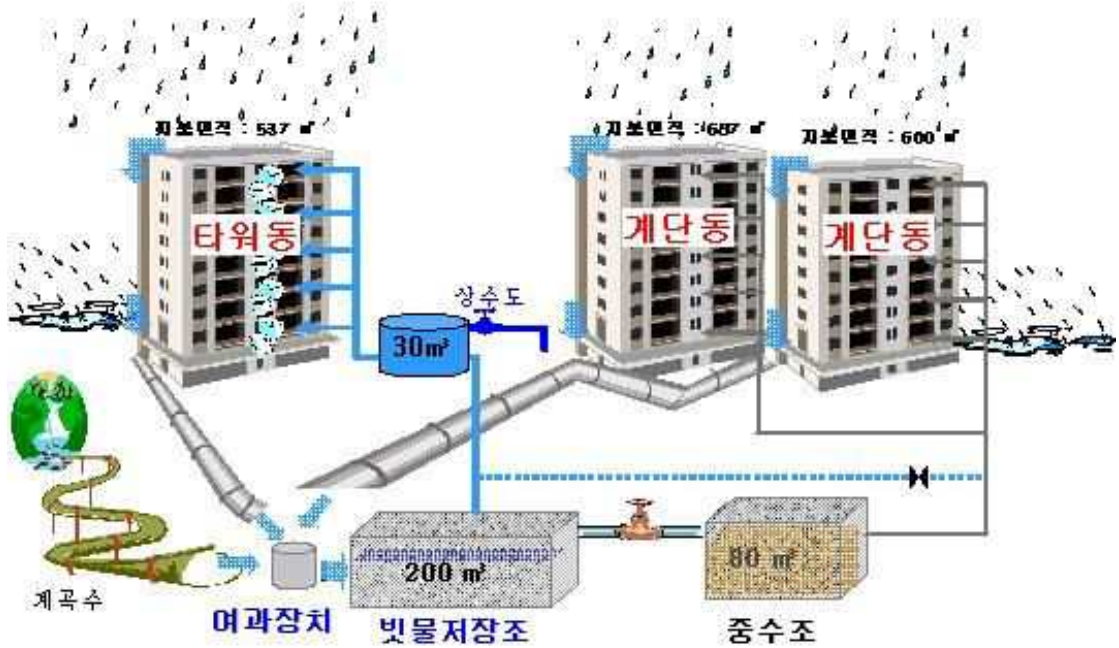
구 분	형식	규격	소요용량	적용용량	적정성검토
우수조	콘크리트	10W × 5mL × 4mH	200㎥	200㎥	적정

중수처리시설

구 분		형식	규격	소요용량	적용용량	적정성 검토
	유량조정조	콘크리트	4.5mW × 4mL × 1mHe	17㎥	18㎥	적정
	막분리호기조	콘크리트	4.5mW × 3.5mL × 1mHe	15.6㎥	15.75㎥	적정
	접촉산화반응조	콘크리트	4.5mW × 2.5mL × 1.1mHe	11.5㎥	12.4㎥	적정

① 빗물저류조

서울대학교 관악학생생활관에 설치된 빗물저류조는 조경용수와 화장실세정용수를 목적으로 빗물을 집수하는 용도로 사용된다. 집수면적은 3개 건축지붕면적을 합친 4,021㎡이고 학기 중에 하루 최대 유동인구가 약 1,000여명 정도 된다. 저류조 용량은 200㎥으로 '녹색건축인증제도'에 따라서 지붕면적(집수면적)의 5%을 반영하여 수조 크기를 결정하였다. 각 건물의 지붕에서 받아진 빗물은 여러구역으로 나뉘어진 홈통받이를 통하여 빗물저류조로 모아지는데, 이때 침전형과 와류형 초기우수배제장치를 통해 초기강우 시 지붕에서 유입되는 오염물질을 배출하게끔 설계되었다.



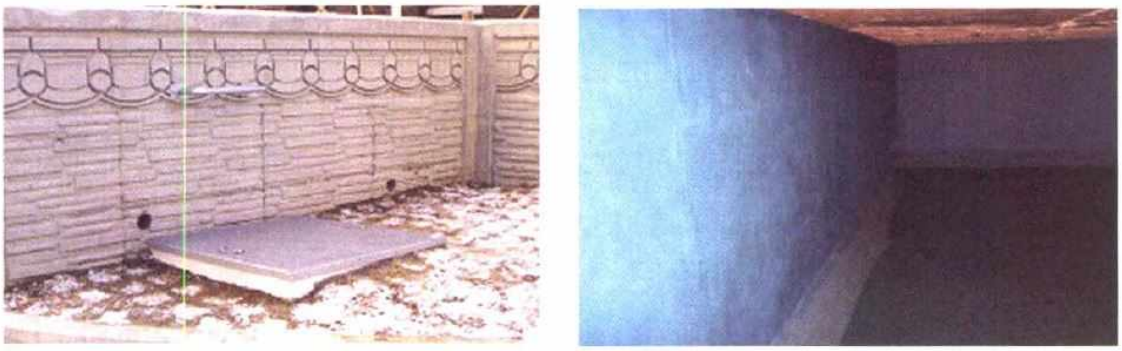


그림 25 서울대학교 관악학생생활관 빗물저류조

㉮ 집수시설

집수시설은 집수관, 루프드레인, 홈통받이 등 대상 집수면에 내리는 빗물을 보다 효과적으로 모으기 위해 활용하는 시설을 말한다. 집수기술에는 이용되는 설비뿐 아니라 대상 집수면의 종류, 면적 등에 따라 집수 가능량을 조절하고, 집수면에 경사를 두어 효율을 제고할 수 있으므로 집수면 자체에 대한 내용을 포함하도록 한다.

㈏ 초기빗물 처리시설

초기빗물 처리시설은 강우 초기 집수면으로부터 유출되는 오염도 높은 초기 빗물에 대한 것을 다룬다.

㈐ 저류시설

저류시설은 집수한 빗물을 활용 용도에 맞도록 적합한 용량으로 빗물을 저장하는 시설이다. 저류시설은 대상지역의 여건에 따라 재질 및 형식을 달리하며, 구조적 안정성을 확보하도록 한다.

㈑ 수처리시설

수처리시설은 빗물의 사용용도에 적합한 목표수질을 유지하기 위해 활용되는 여과, 소독 등의 방법으로 처리하는 시설이다. 저류된 빗물을 용도에 맞도록 처리하는 방법에 대하여 제시한다.

㈒ 송수.배수시설

송수.배수시설은 저장한 빗물을 활용처로 보내거나 안전상의 이유로 하천 및 공공하수도로 방류하는 시설을 말하며, 유지관리 시 편리성을 위하여 빗물이용시설의 계측 및 제어설비를 포함한다.

② 중수도 시설

㉮ 중수도 시설 공정 선정 기준

중수도 시설 설계는 '물 재이용시설 설계 및 유지관리 가이드라인(2013)'을 참고하여 실시하였고, 기존 중수도 시설에 비해 경제성과 처리효율이 높은 공정을 선정하였다. 중수의 처리공정은 상수나 하·폐수처리에서 사용되어지고 있는 처리방법을 응용하되 처리공정을 시설에 대한 설치 및 운영에 대한 경제성을 고려하여 최대한 간소화하였다. 다만, 특정한 오염물질의 제거와 병원성 미생물에 대한 비활성화를 위해 추가적인 처리공정이 필요하였고 이에 중수도의 용도별 수질기준에서 요구되는 목표수질에 따라 그 처리방법이 결정되었다. 본 연구과제는 빗물과 중수를 이용하여 도시재이용수(화장실세정용수, 조경용수 등)에 사용하는 것이 주목적이다. 본 연구시설에서 처리하는 오염물질은 주로 부유성 유기물, 용해성 유기물, 색도성분, 취기성분 및 대장균 등이고, 다음과 같은 조건을 고려하여 시설 설계하도록 하였다.

- 처리시설이 간단하고 설비 및 보수가 쉬울 것
- 운전관리가 쉽고, 무인관리가 가능할 것
- 원수의 수질 및 수량변동에 대한 대응성이 있을 것
- 작동을 멈추거나 가동하는 경우 문제가 없을 것
  슬러지의 발생이 적을 것
- 사용용처에 적합한 수질을 재생하되, 경제성을 고려하여할 것

표 29 제거대상물질별 적용 가능한 중수도 처리시스템

제거대상물질	처리시스템
주로 BOD, SS의 제거 (10mg/L 이하, 수질보전목적)	·활성슬러지법-급속모래여과
수세식화장실용수, 조경용수 이용	·활성슬러지법-급속모래여과+소독
친수용수이용 BOD COD, 색도의 제거 (BOD 3mg/L이하, COD 10mg/L이하, 색도 10도이하)	·활성슬러지법+급속모래여과(생물막여과)+활성탄흡착 ·활성슬러지법+급속모래여과(생물막여과)-오존산화 ·전처리(응집침전·모래여과, M/F막)-막분리(RO)
인제거(T-P 0.5~1mg/L)	·활성슬러지-정석탈인 ·응집제첨가활성슬러지법-급속모래여과 ·혐기호기활성슬러지법-급속모래여과
질소제거 (T-N 60~80% 제거)	·활성슬러지순환변형법-급속모래여과 ·회분식활성슬러지법+급속모래여과
질소, 인의 동시제거	·생물학적 질소, 인 동시제거법(인제거는 불안정) ·회분식 활성슬러지법(인제거는 불안정) ·활성슬러지순환변형법-호기조에 응집제첨가
용해성 연류까지 제거	·활성슬러지-응집침전+급속모래여과+역침투막 ·M/F막-역침투막
위생학적 안전	·활성슬러지-소독, 한외여과, 역침투
수돗물레벨 (미국 덴버 pilot plant 예)	·활성슬러지-석회응집침전-모래여과-선택적이온교화-활성탄흡착+오존처리+활성탄흡착-역침투+이산화염소소독

대상수인 손세척수와 샤워수의 수질성상이 1차년도 사전조사에서 하수 2차 처리수와 유사한 값을 나타냈다. 그 결과, 원수에 함유된 오염물질 중 유기물을 처리할 수 있는 공정을 우선적으로 선택했고, 물재이용의 용도가 도시재이용수(화장실세정용수)와 조경용수이므로 '중수도의 용도별 수질기준(제8조 제2항 관련)' 중 부유물질(SS), 총질소(T-N), 총인(T-P), 염화물을 제외한 미량성분의 제거를 두 번째로 고려하였다. 미량성분 제거기술로는 전기투석법, 막분리법, 소독법 등이 있는데, 이중 막분리법과 소독(MBLM-AOP)의 두 가지 공법을 선택하였으며 이는 기존 빗물 중수 시설 중에 양호하게 나타나는 공법으로 조사되었다. 막분리법에도 여러 가지가 있는데 그 중에서 원수 수질성상에 알맞은 기술인 정밀여과막(M/F)을 선정하였다. 한외여과막(U/F)도 가능한 공법이지만 과실계를 피하고 처리수량을 안정적으로 확보하기 위해서 M/F를 적용하였다.

총대장균군수는 일반적인 소독기술로 처리가 가능하지만, 색도처리를 고려하여 오존과 마이크로버블의 산화작용이 가능한 라인믹서 마이크로버블 오존처리(MBLM-OP) 기술을 선정하였고, 지농도우수 처리 시 활성슬러지의 플럭같은 부유물이 처리수에 남아 있게 되면 소독효과가 떨어지게 되므로 미생물 막여과처리(Membrane Bio Reactor)의 1차 처리를 거쳐 부유물을 제거한 후 소독을 하여 처리효율을 더 높일 수 있도록 설계하였다.

위 선정기술은 표 27과 같이 일반적으로 처리능력이 뛰어나고 생물막여과는 조작성, 운전비용이 우수하며 오존산화법은 슬러지발생량이 적어 슬러지처리에 대한 부담이 적다.

표 30 유기물 제거 기술표

주요제거 대상물질		관련수질항목	처리방법	대상수	처리능력	조작성	슬러지 발생량	운전비용	시설부지
유기물	부유성	SS	급속여과법	2차 처리수	◎	◎	○	◎	○
			응집침전법		○	○	△	○	△
			생물막법 (생물막여과)		◎	◎	○	◎	○
			막분리법 (한외여과)		◎	○	○	△	◎
	용해성	BOD COD	활성탄흡착법		◎	○	○	△	○
			오존산화법		◎	○	◎	△	○
			생물막법 (접촉산화)		○	○	○	○	△

범례 ◎: 좋거나 적다/작다, ○: 보통 또는 중정도, △: 나쁘거나 많다/크다

중수처리공법의 선정 기준에서 고려해야 할 부분은 처리기술적인 측면 뿐만 아니라 운영관리적인 측면에서 통합관리를 고려한 안정성, 유입하수량과 수질 대응성, 처리의 확실성과 안정된 처리효율, 건설비 및 유지관리에 대한 경제성, 지역특성과 조건에의 적합성, 운전기술의 확립여부, 운전조건 및 유지관리의 용이성을 검토하였다.

표 31 중수처리공법 선정 기준

항 목	검 토 사 항
통합관리를 고려한 안정성	·기존 건축물 및 기존제어설비와의 호환성 ·운전 및 유지관리의 용이성
유입하수량과 수질 대응성	·유량/수질 변동에 대한 대응성 ·유기물, 색도, 탁도 등의 고부하, 저부하 대응성 및 보증 범위 ·수온 및 pH에 대한 대응성 및 보증범위
처리의 확실성과 안정된 처리효율	·기술적인 신뢰성 및 처리효율의 안정성
건설비 및 유지관리에 대한 경제성	·경제적 공사비 ·동력비, 약품비, 슬러지처리비 등이 저렴한 공법
지역특성과 조건에의 적합성	·지역적 특성 및 기존건축물 공간과의 적합성
운전기술의 확립여부	·설계인자, 운전조건, 운영인자의 확립여부 ·기술이전의 용이성, 실비의 안정성
운전조건 및 유지관리 용이성	·시운전 기술지원정도를 포함한 공법선정 이후의 설계, 시공, 운전상의 지원 가능 여부 ·향후 유지관리에 필요한 공법 보유사 제공 기자재의 보증범위, 가격 안정성, 수급대책, 유사시 신속한 대처성 ·외적요인의 영향을 적게 받는 운전관리의 용이성

㉮ 중수도 시설 공정 개요 및 설치조건

ⓐ스크린조

스크린설비는 원수중에 부유하는 비교적 큰 물질을 제거하기 위해 설치하는데, 원수인 손세척수와 샤워수에 함유된 머리카락이나 고형물질을 여과시켜주는 스크린조로 원수관이 유량조정조로 연결되는 부분에 설치한다.

○ 구조 - 스크린 설비의 구조는 제거하고자 하는 물질의 성상을 고려하여 적적한 것으로 해야 한다.

○ 스크린 및 집근유속 - 스크린은 내식성 및 필요한 강도를 갖는 재질로 해야 한다. 스크린 눈금의 크기 및 집근유속은 제거대상물질의 성상 등을 감안하여 선정하여야 한다.

○ mesh 간격은 #1~2㎜

ⓑ유량조정조

유량조정조(원수조정조)에서 일정용량을 저장하여 오염부하를 일정하게 유지하고 간헐적으로 유입되는 원수를 일정시간 저장하여 지속적인 중수처리설비의 운영을 가능하게 한다. 유량조정조는 원수량과 처리량 간의 양적 균형을 유지하고 또한 원수의 수질을 균등화하기 위하여 설치한다.

○ 유효용량은 원수량과 처리량 간의 양적 균형이 유지될 수 있는 용량으로 해야 한다.

○ 원수의 수질을 균등화하기 위하여 원수 조정조를 설치하는 경우에는 원수수질의 시간적 변화를 충분히 조사한 후에 용량을 결정해야 한다.

○ 유량조정조 유입부에 스크린을 설치한다.

○ 부산소, 혐기성 상태를 유지하기 위해 별도의 공기교반장치를 설치하지 않는다.

○ 응집용 약품은 시운전 후, 처리효율에 따라 주입여부를 결정한다.

○ 유량조정조의 원수를 막분리조에 이송할 수 있도록 이송펌프를 설치한다.

○ 유량조정조의 재질은 유리섬유강화플라스틱(FRP)으로 하여 설치장소 구조에 알맞은 형태를 갖춘다.

○ 수조의 재질은 용량과 경제성을 고려하여 결정하되, FRP로 제작시에는 강도시험과 누수여부시험을 통과하거나 시험성적서 발급 후 설치한다.

○ 수조 최상단의 오버플로워(over-flow) 배관을 집수정과 연결한다.

ⓒ막분리조

여과막조에서 여과막(M/F)을 통해 부유물질 및 일부의 대장균을 제거하고 활성슬러지법으로 여과막조에 일정 MLSS를 유지하여 지농도오수의 생물학적 처리를 한다. 일정 MLSS를 유지하기 위하여 브로워를 설치하여 공기를 공급하여 준다.

○ 막의 용량은 하루 평균 유입되는 지농도오수량을 산정하여 가능 최대치를 결정한다.

○ 막분리조의 크기는 생물처리 시 필요한 알맞은 MLSS 값에 따른 체류시간에 따라 결정한다.

○ 브로워 작동시 막흡입펌프도 동시에 가동하도록 설치한다.

○ 막흡입펌프는 압력과 처리수량에 따라 규격을 결정한다.

○ M/F막은 침지형 분리막(Hollow Fiber Membrane) 중 기공이 0.4㎛의 Polyethylene 소재로 설계하는 것을 권장한다.

○ 브로워는 설치된 막 용량에 비례하는 규격을 선정한다.

○ 막분리조에서 접촉산화반응조로 이어지는 배관은 by pass 로 두 갈래로 나눠서 설치하는데 수동과 자동 운영이 가능하게끔 설계한다.

○ 수조의 재질은 용량과 경제성을 고려하여 결정하되, FRP로 제작시에는 강도시험과 누수여부시험을 통과하거나 시험성적서 발급 후 설치한다.

○ 수조 최상단의 오버플로워(over-flow) 배관을 집수정과 연결한다.

ⓓ산화반응조

접촉산화조에서 MBLM-OP공법은 마이크로버블과 오존을 직용시켜 이 때 발생하는 산화성 물질인 수산기(Hydroxyl Radical)를 이용하여 대장균, 색도, 냄새, 유기물 등을 제거한다. 접촉산화반응조는 막분리조에서 처리된 상등액이 막흡입펌프를 통해 유입되며, 접촉산화 공정인 MBLM-OP 기법을 적용하여 유입반응조와 접촉산화반응조 사이에 격벽을 설치하여 막처리수와 접촉산화반응처리수로 나뉘어진다.

○ MBLM-OP 기술을 집목한 오존산화수처리 장치인 H10-600(제조사: 해성엔지니어링) 설치를 고려하여 산화반응조의 격벽 위치나 사이즈를 결정한다.

○ H10-600의 흡입관은 막처리수가 유입되는 유입반응조에 연결시키고 토출관은 접촉산화반응조에 연결이 되도록 한다.

○ H10-600의 흡입관과 토출관의 위치는 최대한 수조의 낮은 부위에 연결하여 MBLM-OP 처리효율을 높인다.

○ 처리용량에 따라 H10-600 설치 개수를 결정한다.

○ 유입반응조와 접촉산화반응조 사이 격벽 하단에 수로를 만들되 막처리수가 접촉산화반응조로 역류하지 않도록 별도의 역류방지 시설설치를 권고한다.

○ 접촉산화반응조 높이 1/2 지점에 처리수조로 월류할 수 있는 수로를 설치하되 역류방지 시설설치를 권고한다.

○ 매오존처리장치를 별도로 설치하거나 산화반응조를 밀폐형으로 제작한다.

○ 수조의 재질은 용량과 경제성을 고려하여 결정하되, FRP로 제작시에는 강도시험과 누수여부시험을 통과하거나 시험성적서 발급 후 설치한다.

○ 수조 최상단의 오버플로워(over-flow) 배관을 집수정과 연결한다.

ⓔ처리수조

처리수조는 최종 처리된 중수도를 저장하고 필요시에 따라 빗물과 상수를 보충수로 화장실세정용수나 조경용수로 사용자가 필요시 공급해준다.

○ 처리수조는 심촉산화반응조에서 처리된 상등액과 빗물저류조의 빗물이 혼합되어 건물 내 화장실이나 조경수에 사용되도록 배관을 연결한다.

○ 일반적으로 공급용수의 수량이 사용자의 수요를 충족시켜주지 못할 상황을 고려하여 상수를 비상 시 보충수로 공급되도록 설계한다.

○ 수조의 재질은 용량과 경제성을 고려하여 결정하되, FRP로 제작시에는 강도시험과 누수여부시험을 통과하거나 시험성적서 발급 후 설치한다.

○ 수조 최상단의 오버플로워(over-flow) 배관을 집수정과 연결한다.

(3) 중수도 시설 용량산정

서울대학교 관악학생생활관의 1일 기구별 급수산출량은 표 29와 같이 급수량표에 대비하여 계산하였으며 실제로 각 건물별 층별 중 세면수와 샤워수를 집수하여 처리하는 것으로 설계에 반영하였다. 특히 주 공급용도인 화장실세정수 예상 공급량을 계산하여 빗물과 중수를 하이브리드형으로 연계하는 방안을 검토하였다.

표 32 1일 기구별 급수산출량

		학기중	방학중		비고
남: 소변 물량(양변기)		4,631	870	톤/yr	[illegible]
남: 대변 물량(양변기)		2,726	512	톤/yr	[illegible]
여: 소변(양변기)		4,315	670	톤/yr	[illegible]
여: 대변 (양변기)		1,123	355	톤/yr	[illegible]
남: 세면대 물량		1,592	299	톤/yr	[illegible]
여: 세면대 물량		1,936	300	톤/yr	[illegible]
남: 샤워기 물량		10,192	1,846	톤/yr	[illegible]
여: 샤워기 물량		5,373	779	톤/yr	[illegible]
합계	차집 원수량	19,093	3,224	22,317	0.59
	재이용량	12,796	2,406	15,202	0.41

표 33 중수도 시설 상비 리스트

번호	명칭	규격	수량	전력량(kWh)
TK-01	유량조정조	5.0mW * 4.7mL * 2.5mH 47.0m³		
TK-02	막분리호기조	4.7mW * 2.0mL * 2.5mH 18.8m³		
TK 03	접촉산화반응조	D1400mm * 2.5mH 1.18m³		
TK-04	최종수조	7.0mW * 4.7mL * 2.5mH 65.8m³		
PU-01	유량조정펌프-1	50A, 67LPM x 17mH	2	1.5
PU-02	유량조정 배수펌프	50A, 157LPM x 18mH	2	1.5
PU-03	유량조정펌프-2	50A, 67LPM x 17mH	2	1.5
PU-04	흡인펌프	50A, 67LPM x 17mH	2	0.95
PU 05	막분리호기조 배수펌프	50A, 63LPM x 18mH	2	1.5
PU 06	최종수조 배수펌프	50A, 220LPM x 18mH	2	2.2
PU-07	우수처리조 이송펌프	50A, 27LPM x 24mH	2	0.95
M-01	스크린	W750 x1.600 x H600	1	
M-02	우수스크린	W600 x1.800 x H600	1	
M 03	탁도측정부 1	D100 x 1605H	1	
M 04	호이스트	0.49Ton, 4M	1	0.8
M-05	침지형 중공사막	W650mm x L784mm x H1520mm 30m³/day	2	
M 06	마이크로버블산화처리장치	W570mm x L710mm x H880mm 100L/min	1	2.2
M-07	배오존파괴기	D185 x 640mm, 20Nm³/hr	1	3
M 08	탁도측정부 2	D100 x 1605H	1	
M-09	마이크로필터하우징	40A, 20m3/hr x D198 x 770mmH	1	
A-01	링브로아	50A, 1.19m³/min x 2500mmAq	2	2.6

(4) 빗물-중수 하이브리드 시스템 설치공사

(가) 빗물저류조

아래 그림과 같이 기존에 서울대학교 관악학생생활관에 설치되어 있는 빗물저류시설에서 공급수조로 빗물이 이동하는 관에서 T관으로 빗물-중수 하이브리드 시스템 처리수조에 연결하였다. 빗물저류조는 관악학생생활관 지하1층에 위치해 있어서 그 보다 아래쪽에 위치한 처리수조에 중력에 의한 자연압으로 처리수조에 이송이 가능하므로 별도의 이송펌프의 설치가 불필요했다. 각 건물 지붕집수면을 통해서 수집된 빗물은 처리시설인 우수배제처리장치를 통해서 지붕으로부터 유입된 오염성 고형물을 제거하고 이 때 처리되지 못한 미세한 물질들은 빗물저류조에 침전처리로 상등액만 최종 처리수조로 유입되도록 설치하였다. 전자유량계는 집수면에서 유입된 빗물유량을 측정할 수 있는 기존유량계와 빗물이송관과 처리수조 사이에 유량계를 추가 설치하여 비교할 수 있게 하였다 (그림 2.1.21).



그림 26 서울대학교 관악학생생활관 기존 빗물저류시설(용량: 250㎥)

(나) 중수도시설

① 물질수지도

중수도시설은 설계자료를 근거로 불필요한 공정을 제외하여 시스템을 간소화하였다. 원수처리 효율을 극대화할 수 있고, 중수도의 용도별 중에 도시재이용수와 조경용수의 적정한 수질기준을 만족하는 처리값을 계산하여 물질수지도를 예측해 보았다

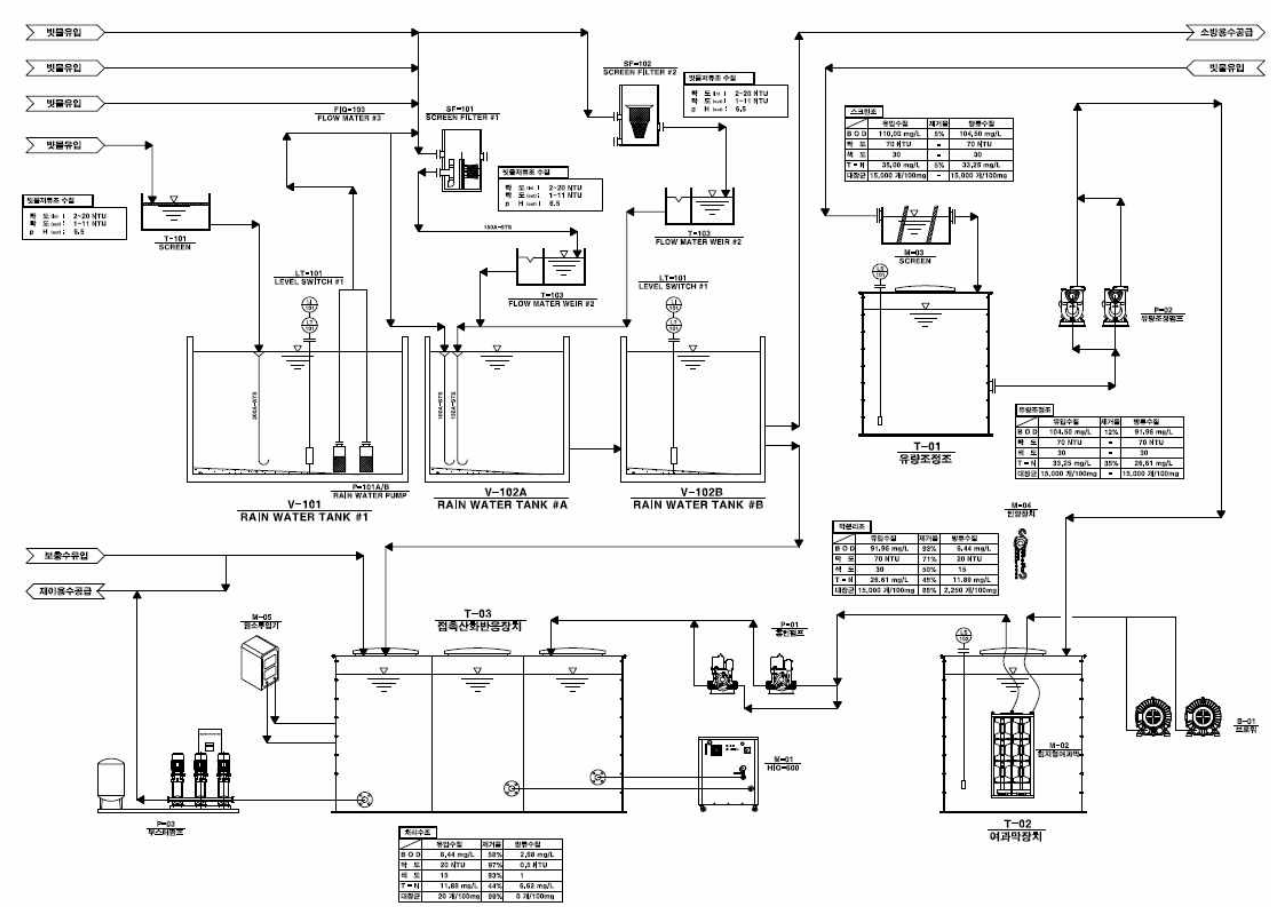


그림 27 빗물 중수 하이브리드 시스템 물질수지도

표 34 각 공정별 처리수질 및 효율 예측

구분	빗물유입수		원수유입수		막분리처리수		접촉산화처리수	
	예측값	처리효율	예측값	처리효율	예측값	처리효율	예측값	처리효율
BOD (mg/L)	-	-	110	-	6.44	94%	6.44	58%
pH	6.5	-	-	-	-	-	-	-
탁도 (NTU)	1~11	-	70	-	20	71%	0.5	97%
색도	-	-	30	-	15	50%	1	93%
T-N (mg/L)	-	-	35	-	11.89	66%	6.62	44%
대장균 (개/100㎖)		-	15,000	-	2,250	85%	0	99%

② 중수도 시설 설치공사

본 시스템 설치공사과정은 그림17과 같이 기초패드부터 수조 제작, 기자재 및 부속품, 주요 처리장치 설치하였다. 아래 그림과 같이 서울대학교 관악학생생활관 지하1층 기계실에 설치가 되있으며, 전체 시스템이 차지하는 면적이 작아서 공간적 이점이 컸다.

유량조정조, 막분리조, 반응조의 3개의 분리된 구조로 수조가 설치가 되있고, 공사완료 후 시운전 및 관리에 필요한 사다리를 각 수조에 설치하여 운영관리에 용이하게 하였다.

배관 및 기자재 장비 설치는 설계도면과 동일하게 설치를 하였고, 수질측정을 위한 채수 배관을 별도로 구비하여 테스트베드 위치를 접근이 용이한 처리수조 좌측에 설치하였다. 설계시에 명시되어있던 기존 테스트베드 공간은 스마트 자동제어 시설인 PLC(Programmable Logic Controller) HMI(Human Machine Interface)와 비교실험용 장치들의 설치공간으로 활용하였다.

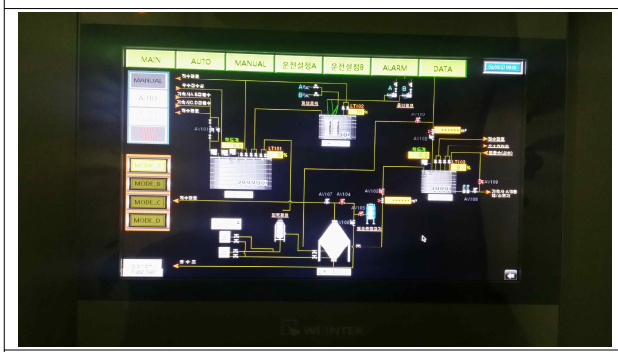
	
스크린	탈수계
	
유량조정조	막분리조
	
접촉산화반응조 및 용해탱크	마이크로버블생성장치 및 오존발생기
	
PLC	전체 전경

그림 28 바닥 방수공사 및 FRP 수조 제작

(3) 시운전 및 초기운전인자 설정

기존 빗물저류조 시설을 활용하여 중수시설을 갖추었기 때문에 운전인자는 중수시설 모듈에 따라 설정하였다. 실제 빗물저류조 내에 있는 빗물의 수질을 측정한 결과, 중수도 수질기준의 도시재이용수의 수질을 만족하므로 바로 사용자가 필요할 때 사용이 가능하다. 빗물에 대한 운전인자의 고려사항은 pH(5.8~8.5)와 충분한 체류시간인데, pH의 경우 산성비에 대한 안정화가 필요하고 체류시간의 경우 빗물 내 함유된 부유성 물질의 침전효과를 얻기 위한 운전인자이므로 필수적으로 고려해야 한다. 그 외에 간혹 건물 지붕 위에 존재하는 유기물이나 동물의 오물로 인한 대장균이 검출되는데, 이를 해결하기 위해 주기적인 수질측정이 중요하다. 특히, 대장균이 검출될 가능성을 배제시키기 위해서는 빗물이 모아지는 건물 지붕청소가 필요하다. 만약, 주기적인 지붕청소가 어려운 장소에서는 빗물을 유입반응조에 연결을 하여 처리 후 사용하도록 해야 한다.

중수시설의 경우, 여러 가지 운전인자가 아래 표와 같이 정해졌다. (그림 2.1.23)과 같이 빗물-중수 하이브리드 시스템 모듈은 5가지로 나뉜다. 첫째로 지농도오수(잡배수)인 손세척수와 샤워수가 일정한 간격의 그물 모양의 체(Sieve Screen)를 가진 스크린을 거쳐 고형물이나 머리카락 등을 제거한다. 두 번째로 유량조정조(Flow Control Reservior)는 협기조의 기능을 가짐과 동시에 빗물과 연동하여 중수로 공급됨으로 빗물 사용기간 동안 충분히 저농도오수를 집수하는 것이 주 목적이다. 또한, 일정한 체류시간을 두어 유입된 유기물을 섭취하며 협기성 미생물이 성장할 수 있는 조건을 만들어주는 것이 중요하다. 일반적으로 교반시설이 설치되는데 본 시스템에서는 별도의 교반기가 없다. 세 번째 모듈은 MBR로 많은 운전인자가 미생물-여과막 공정인 MBR과 연계가 되어있다. 본 시설에 유입되는 저농도오수의 수질상황이 일반 하폐수보다 훨씬 안정적이기 때문에 보통 BOD, T-N, T-P를 효율적으로 미생물처리가 가능하다. 운전인자로는 수온, 체류시간, 유기물, 호기성 미생물, 산소, 질소, 인의 안정적인 값이 중요하다. 특히, 호기성 미생물이 생존할 수 있는 조건을 만들기 위한 유기물과 산소가 가장 중요하다. 네 번째 모듈은 소독공정으로 MBLM-OP 공정이 사용이 되었는데 이 공정에서 가장 필요한 운전인자는 pH이고 소독과정을 마친 후 도시재이용수나 조경용수로 사용되어지는데, 오존처리는 일시적이기 때문에 처리 후 즉시 사용되도록 설정하는 게 중요하다. 마지막으로 빗물저류조에서 유입되는 빗물도 저농도오수 최종처리수와 혼합하여 바로 사용이 가능하다 (그림 2.1.27, 표 2.1.24).

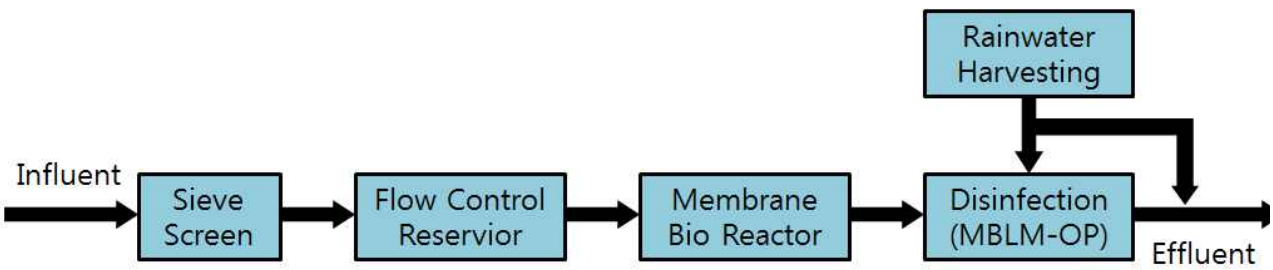


그림 29 빗물-중수 하이브리드 시스템 모듈

처음 설계에서는 유량조정조에 응집제를 주입하려고 하였으나, 유량조정조의 기능은 단순히 협기의 목적을 가짐으로써 응집처리는 고려하지 않았다.

표 35 빗물-중수 하이브리드 시스템 모듈에 따른 운전인자 설정

운전모듈 / 운전인자	빗물유입수	저농도오수	막처리수	접촉반응산화수	공급수
처리방법	여과, 침전	혐기성화	MBR	오존산화	blending
pH	◎	△	△	◎	◎
수온	△	◎	◎	○	-
체류시간	◎	○	◎	○	-
유기물	△	○	◎	△	-
미생물	△	◎ (혐기성)	◎ (호기성)	△	-
산소	△	△	◎	△	-
질소	△	◎	◎	△	-
인	△	△	◎	△	-

범례: ◎ 중요(필요함), ○ 고려사항(조금 필요), △ 중요하지 않음(필요하지 않음)

시운전에 필요한 막분리조의 MLSS(Mixed Liquer Suspended Solid)와 접촉산화반응조의 대장균(E. Coli) 유무에 대한 간이실험을 실시하였다.

MLSS 측정은 현장에서 간이실험을 하였는데, 막분리조의 폭기시 SVI(Sludge Volume Index)를 측정하여 MLSS 값을 예측하였다. SVI가 100을 기준으로 볼 때 1,000㎖의 메스실린더에 활성슬러지 혼합액을 30분간 침전시켜 밀도로 계산하였다. 침전율이 약 50~60% 정도로 측정되어 MLSS 값은 약 3,000 ~ 4,000 정도 예측되었다.14)

대장균 E. Coli 에 대한 채수 샘플 내 유무 확인은 Coli-test용 UV-Ramp(제조사: (주)휴마스)를 사용하여 (그림 2.1.28)와 같이 UV를 채수 샘플병에 조사하였을 때 푸른색 기둥이 나타나면 대장균이 존재하는 것이다. UV램프에 샘플병을 삽입하기 전에 Coli test용 Kit (제조사: (주)휴마스)를 넣어 충분히 흔들어 섞어준 후 자온배양기 25℃에서 24시간동안 대장균을 배양시켰다. 그림과 같이 대장균이 존재하는 샘플병의 색깔이 노란빛깔을 띄었다. 실험결과, 저농도오수(원수)와 막처리수에는 대장균이 존재하였고 최종 처리수에는 존재하지 않는 것으로 나타났다.



채수 샘플 | 대장균 有 | 대장균 無

그림 30 저농도오수, 막처리수와 접촉산화반응처리수의 대장균(E. Coli) 유무 확인

(4) 연계 운영 smart control 프로그램 개발

가. 핵심능동형 하이브리드 공정 제어 모식 개발

(가) 전동기제어반(Motor Control Center) 패널 제작

전동기제어반(MCC)는 전동밸브류, 펌프류, 링브로워, MBLM-OP 장치, 센서류 등 전력이 필요한 장치 및 기기류의 수동 및 자동 제어를 위한 제어반으로 시설관리자가 필요에 따라 운전방식을 변경할 수 있도록 되어있다. 펌프류의 경우, 2대 이상씩 설치하여 고장으로 인한 오작동 시 예비 펌프로 연동이 가능하게 설계되었다. 사용자 요구에 따라 자동제어가 가능하게 프로그램할 수 있으며, 일반적으로 자동으로 시설제어를 한다. 관리자나 사용자가 시설에 문제가 생기거나 비상사태가 발생 시 매뉴얼 버전으로 변경하여 작동할 수 있다. MCC 판넬 내에 사용자 매뉴얼을 갖추어 비상시에 누구나 쉽게 작동할 수 있도록 하였다. 또한, 실시간으로 사용 유효전력(적산값), 각 센서류의 센서값을 사용자나 관리자가 인식할 수 있도록 센서 미터를 설치하였다. 적산유량계는 빗물, 원수, 처리수, 상수 각각의 배관에 설치하여 추후 계절별 사용패턴과 물 재이용량을 계산하는데 활용하였다(그림 2.1.29, 30, 표 2.1.25).

표 36 전동기제어반 구성도

구 분	컨트롤 방식	기 능
원수전동밸브	On/Off 방식	원수 유입, 배수
빗물전동밸브	On/Off 방식	빗물 유입, 배수
하수전동밸브	On/Off 방식	하수 배수
상수전동밸브	On/Off 방식	상수 유입, 배수
유량조정펌프(V/B)	On/Off 방식, 스위치 방식	원수를 막분리조로 이송
막흡입펌프(V/B)	On/Off 방식, 스위치 방식	막처리수를 유입반응조로 이송
링브로워(V/B)	On/Off 방식, 스위치 방식	M/F 하단에 공기공급
MBLM-OP 장치	On/Off 방식	오존, 마이크로버블 공급
부스터 펌프(V/B/C)	자동컨트롤 방식(연동)	처리수 사용자에게 공급
비상배수펌프(V/B)	On/Off 방식, 스위치 방식	비상시 배수
자동/수동	스위치 방식	자동제어, 수동제어
비상 버저	On/Off 방식	고장이나 비상시 경고음
센서 미터 pH(3), 수온(3), 전기전도도(3), 탁도(3), 유량계(4)		



그림 31 전동기제어반 정면

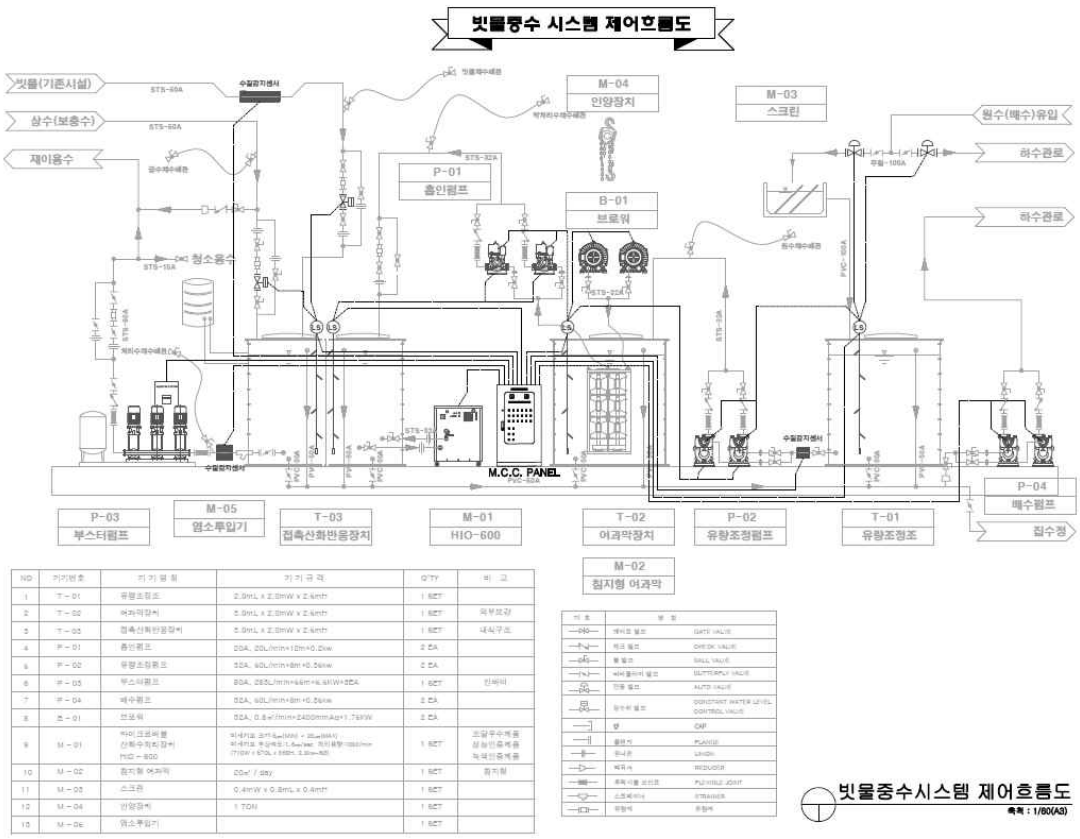


그림 32 빗물-중수 하이브리드 시스템 전기제어 흐름도

나. 수위계를 이용한 smart control 프로그램 개발

(가) 자동제어 smart control 프로그램

유동전위(Streaming potential) 값을 활용하여 응집제의 주입농도를 결정하는 smart control 프로그램 대신 각 수조에 설치된 수위계를 활용하여 프로그램을 만들었다. 응집제는 보통 고농도 탁도에서 사용하는 것이 효과적인데[5] 시운전을 통하여 수질측정을 한 결과 유량조정조에 유입되는 지농도우수의 탁도가 40 NTU 이하로 확인이 되어 응집제 사용이 불필요하다고 판단하였다. Streaming potential 값은 유동흐름전류계(Streaming current detector, 일명 SCD)로 측정을 하여 Alum 이나 PAC(polyaluminum chloride)와 같은 응집제의 최적 농도를 조절해준다. 하지만, 본 연구에서는 원수인 지농도우수의 오염도나 탁도, 인의 농도가 높지 않으므로 생략하기로 하였다.

기존 빗물저류조에 설치되어 있는 전자수위계와 유량조정조, 막분리조, 그리고 처리수조에 설치된 전자수위계에서 출력되는 값을 수집하여 smart control이 가능한 PLC(programable logic controller) 프로그램을 개발하였다 (그림 2.1.31). 또한, 각 센서류(pH, 수온, 전기전도도, 탁도)에서 출력되는 값을 실시간으로 수집하기 위해서 MCC에 통신카드를 설치하였고 MCC에서 데이터용 데스크탑으로 출력값이 오차없이 송출이 되도록 통신시설을 추가로 갖추었다.

PLC 프로그램은 LS전선 XGT시리즈 XG5000 PLC 프로그램을 사용하였고, PLC와 PC 간 통신은 ETHERNET 방식을 사용하였다. 빗물저류조 수위레벨값, 유량계값, 전력량과 7인치 터치스크린은 485통신으로 데이터값을 출력하였고 그 밖의 수조의 수위레벨, pH, 전기전도도는 아날로그 (4~20mA) 통신카드를 별도로 설치하여 값을 출력하였다.

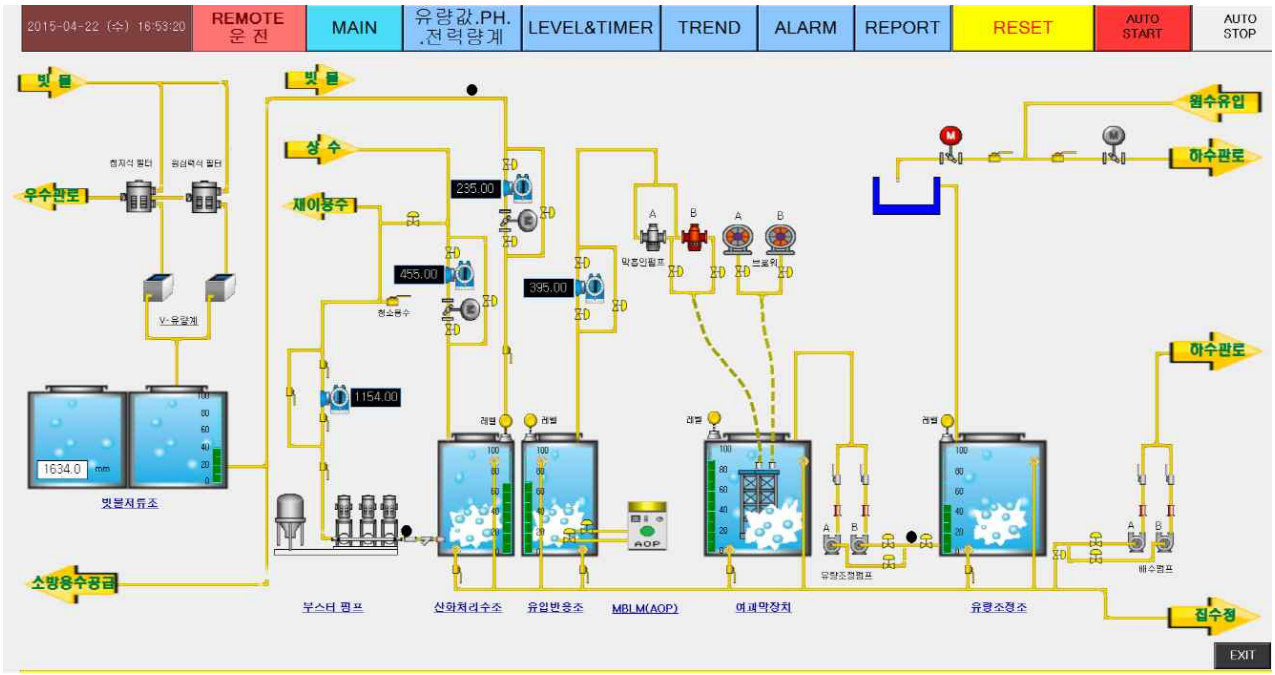


그림 33 빗물-중수 하이브리드 시스템 PLC 프로그램

(나) 운전방식에 따른 PLC 프로그램 운전인자 설정

PLC 프로그램(XG5000) 화면 상단에 매뉴얼 탭설정-MAN, 센서, 수조레벨, 그래프, 알람, 레포트, 리셋, 자동제어 ON/OFF-이 있고, 운전인자는 수조레벨 탭에서 각수조별, control 인자별로 운전설정이 가능하고 막흡입펌프, 링브로워, MBM-OP 가동시간 설정 옵션으로 나뉘어져 있다 (그림 2.1.32).

Smart control 프로그램은 (표 2.1.26, 27)과 같은 설정 값으로 설정이 시스템이 안정화가 되어 최종 처리수질이 중수도의 용도별 수질기준(도시재이용수, 조경용수)에 부합되었다. PLC 설정 값은 아래와 같이 순차적으로 설정을 하였다.

① 원수전동밸브와 하수전동밸브가 교차로 열리고 닫히게 설정을 하였다. 밸브의 Open/Closed 결과값은 유량조정조 수위에 따라 제어가 되었고, 수위가 90%(약 2.25 m) 되면 만수위로 인식이 되어 원수전동밸브가 닫히고 하수전동밸브가 열렸다. 수위가 반대로 가장 낮은 50%(약 1.25 m)가 되면 원수전동밸브가 열리고 하수전동밸브가 닫히면서 지농도오수(원수)가 유량조정조로 유입되도록 설정하였다.

② 유량조정펌프는 유량조정조의 수위를 조절하면서 분리막조의 수위를 알맞게 조절하는 기능을 가졌는데, 유량조정조의 최저 수위값을 50%로 설정하여 수위가 50% 이상이 되면 원수를 분리막조로 이송한다. 단, 필수조건이 분리막조의 수위가 65%(1.6 m)에서 90% 사이에 있어야 원수가 이송되며 그 외의 조건에서는 이송이 자동으로 중단된다. 분리막조가 만수위(90%)에서도 조정펌프가 정지되게 설정되어 있다.

③ 막흡입펌프의 작동여부는 분리막조와 처리수조의 수위가 모두 조건에 만족이 되어야 활성화가 된다. 막흡입펌프가 On 상태가 되려면 최소한 분리막조의 수위가 65% 이상이어야 하며, 처리수조의 수위가 70% (약 1.75 m) 이하이어야 한다. 그 이유는 빗물-중수 하이브리드 시설의 물사용 패턴이 빗물을 먼저 사용하고 빗물이 부족하면 중수를 사용하는 것이기 때문이다. 또한, 분리막조의 수위가 최소한 65% 이상이어야 하는 이유는 분리막조 내 설치된 MF 의 높이 이상으로 항상 수위를 조절해야 한다.

④ 빗물전동밸브는 처리수조와 빗물저류조 수위에 따라 작동하며 빗물저류조에 60% (약 2.4 m) 이상일 때 빗물이 유입된다. 빗물저류조의 수위가 40% (약 1.6 m)가 되면 자동으로 빗물전동밸브는 Closed 상태가 되고 다시 60% 이상이 될 때까지 열리지 않는다.

⑤ 상수전동밸브는 동시사용율을 빗물-중수 하이브리드 시설이 충족시켜주지 못 할 경우, 보충수의 기능으로 처리수조 레벨이 30% (약 0.75 m) 이하가 되면 열리고 45% 이상이 되면 닫힌다.

표 37 PLC 프로그램 수조레벨 설정 값

Control	Water Tank	Water Level (%)	
		High	Low
①원수/하수전동밸브	유량조정조	90	50
②유량조정펌프	유량조정조	(70)	50
	분리막조	90	(65)
③막흡입펌프	분리막조	(90)	65
	처리수조	70	(20)
④빗물전동밸브	처리수조	90	60
	빗물저류조	60	40
⑤상수전동밸브	처리수조	45	30

*( ) 안에 삽입된 값은 제어 오류를 방지하기 위한 설정값 일뿐 실제로 제어는 되지 않음.

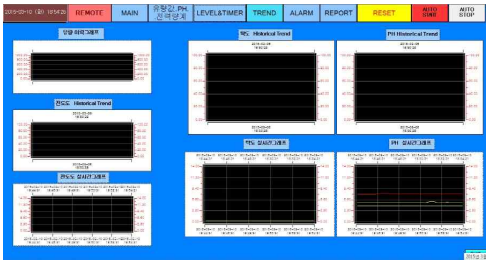
기기장치 타이머 설정이 중수 재생산량을 결정하는 지표가 된다. 특히 막흡입펌프는 가동시간이 많으면 많을수록 재생산량이 많아지는데, 막흡입펌프 사양에 따라 또 달라진다. 현재 가동시간 설정으로 약 24 ㎥/day 처리가 가능하도록 시간설정이 되어 있고, 링브로워는 흡입펌프 가동시 동시에 작동하도록 설정했다. MBLM-OP 장치의 경우, 하루에 48회 작동을 하며 약 8시간 가동되도록 설정되어있다 (표 2.1.27).

표 35 PLC 프로그램 기기장치 타이머 설정 값

구분 \ 기기장치	막흡입펌프(분)	링브로워(분)	MBLM-OP(분)
가동시간(On)	10	10	5
정지시간(Off)	2	2	120



운전인자 값 입력창



센서 값 출력창



비상알람 작동여부 확인창



데이터 값 출력창

그림 34 PLC 프로그램 메뉴얼 창

라. 하이브리드형 시스템 운영 결과

(1) 용도별 목표수질 달성 여부 평가

(가) 빗물·중수 하이브리드 시설의 수질 및 수량 분석

서울대학교 관악학생생활관 빗물·중수 하이브리드 시설은 실제 가동을 실시하여 화장실 세척수로 공급하고 있다. 6개월 동안의 수질 및 수량을 분석하였다. 수질은 수질감지센서 3개소를 설치하여 실시간으로 수질을 모니터링하였으며, 주 1회 실험실에서 중수도 수질 기준항목으로 실험을 하였으며, 정기적으로 공인시험분석기관에 수질 실험 의뢰하였다. 수량은 유량계 3개소를 설치하여 실시간으로 모니터링하였다. 수질 및 수량 분석 결과는 다음과 같다.

① 수량 분석 결과

유량계를 하이브리드 시설 중 유량조정조, 빗물저류조, 상수 3개소에 설치하여 실시간으로 수량 데이터를 모니터링하였다.

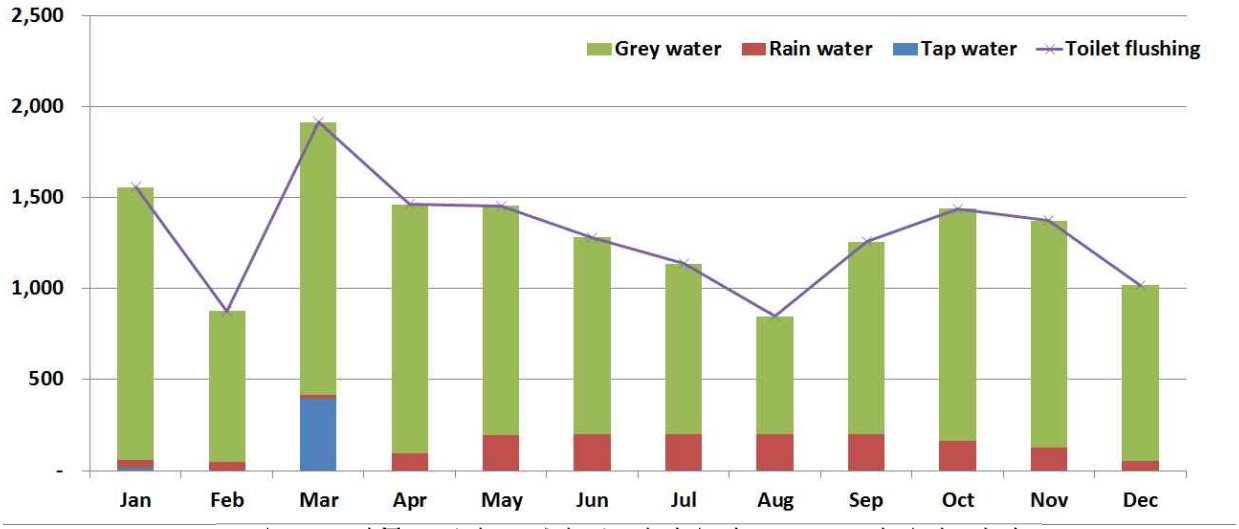


그림 35 빗물, 중수, 상수 누적사용량 data 모니터링 결과

② 수질 측정실험 결과

1~12월까지 1년간 수질 실험을 실시하였다. 실험 항목은 총 BOD5, CODcr, SS, T-N, T-P, Turbidity, Total coliforms, Color이다. 각 항목에 대한 실험결과는 다음과 같다.

표 38 수질 측정 결과

		Mean	Stdev.	Min.	Max.	Removal efficiency
BOD5 (mg/L)	Rain	1.6	0.66	1.0	2.6	
	Greywater	46.4	17.1	25.9	63.3	-
	MBR	1.2	0.4	1.0	1.9	97.5%
	Ozonation	2.1	1.0	1.3	3.7	95.4%
CODcr (mg/L)	Rain	1.6	0.23	1.4	2.0	
	Greywater	16.1	2.1	14.0	19.2	
	MBR	2.0	0.6	1.4	2.8	87.6%
	Ozonation	1.7	0.4	1.4	2.3	89.7%
SS (mg/L)	Rain	0.2	0.4	0	1.2	
	Greywater	32.1	6.0	22.0	36.0	-
	MBR	0.0	0.0	0.0	0.0	100%
	Ozonation	0.0	0.0	0.0	0.0	100%
T-N (mg/L)	Rain	1.7	0.69	0.92	2.98	
	Greywater	5.59	1.07	4.40	6.76	-
	MBR	5.07	0.55	4.36	5.78	9.3%
	Ozonation	3.84	0.87	2.96	5.05	31.2%
T-P (mg/L)	Rain	0.01	0.01	0	0.03	
	Greywater	0.21	0.10	0.06	0.33	-
	MBR	0.18	0.05	0.11	0.24	11.8%
	Ozonation	0.10	0.08	0.05	0.24	50.4%
Turbidity (NTU)	Rain	0.4	0.3	0.2	1.0	
	Greywater	27.4	8.1	21.3	41.4	-
	MBR	0.1	0.1	0.0	0.3	99.5%
	Ozonation	0.1	0.0	0.1	0.1	99.7%
Total coliforms (CFU/mL)	Rain	2.7	3.7	0	7.8	
	Greywater	5,900	4,807	400	13,000	
	MBR	0	0	0	0	100%
	Ozonation	0	0	0	0	100%
Color (CU)	Rain	3.9	2.0	1.0	7.0	
	Greywater	10.0	2.2	7.0	13.0	-
	MBR	2.2	1.1	1.0	3.0	78.0%
	Ozonation	1.0	0.0	1.0	1.0	90.0%

③ TOXICITY(독성) 측정실험 결과



그림 36 DR6000을 이용한 TOXICITY(독성) 분석

빗물에 대한 TOXICITY(독성) 측정실험을 DR600을 이용하여 20회 수행한 결과 Most likely not toxoc 결과를 얻었다. 따라서 빗물에는 TOXICITY(독성)이 없는 것으로 판단된다.

	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회
결과	-5%	5%	7%	8%	-4%	-7%	7%	-5%	-8%	5%
	11회	12회	13회	14회	15회	16회	17회	18회	19회	20회
결과	1%	5%	3%	-2%	-9%	7%	2%	5%	-5%	7%

삽매수에 대한 TOXICITY(독성) 측정실험을 DR600을 이용하여 20회 수행한 결과 May be slightly toxic 결과를 얻었다. 따라서 삽매수에는 TOXICITY(독성)이 약간 있을 수 있는 것으로 판단된다.

	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회
결과	-3%	-2%	-5%	-7%	-4%	-1%	3%	5%	-5%	-4%
	11회	12회	13회	14회	15회	16회	17회	18회	19회	20회
결과	-6%	8%	-9%	-5%	-7%	-3%	2%	-9%	5%	-5%

MBR처리수에 대한 TOXICITY(독성) 측정실험을 DR600을 이용하여 20회 수행한 결과 Most likely not toxoc 결과를 얻었다. 따라서 MBR처리수에는 TOXICITY(독성)이 없는 것으로 판단된다.

	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회
결과	5%	-3%	-2%	1%	-4%	-7%	3%	-4%	2%	7%
	11회	12회	13회	14회	15회	16회	17회	18회	19회	20회
결과	-4%	-1%	5%	5%	-7%	1%	-8%	3%	2%	2%

오존처리수에 대한 TOXICITY(독성) 측정실험을 DR600을 이용하여 20회 수행한 결과 Most likely not toxoc 결과를 얻었다. 따라서 오존처리수에는 TOXICITY(독성)이 없는 것으로 판단된다.

	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회
결과	-1%	5%	-2%	-1%	-1%	3%	-3%	7%	-5%	5%
	11회	12회	13회	14회	15회	16회	17회	18회	19회	20회
결과	1%	-8%	-1%	-7%	3%	7%	-3%	-5%	8%	2%

나. 경제성 평가

서울대학교 관악학생생활관 빗물-중수 하이브리드 시설에서 재생되는 빗물과 중수의 사용으로 인한 상수 대체율과 상수요금 절감에 대한 경제성을 분석하고, 빗물 강우에 따른 집수량 산정을 통해 월별 상수절감에 대해 분석하였다. 또한 중수도 시설의 유지관리비와 전력량에 대해 물 재생 비용을 상수도 사용비용과 비교·검토하여 빗물-중수 하이브리드 시설의 경제성을 분석하였다.

1) LCC 분석

경제성분석(LCC평가)

■ 시설명:	서울대학교 관악학생생활관		
■시설용량:	50 m³/일		
			(단위 : 백만원)
구 분		금 액	비 고
건설비	배관	43.4	
	토목	5.0	
	전기		
	기계	206.4	
	시운전비		
	계	254.9	총공사비기준
운영비	유지관리비 전력비	36.2	백만원/20년
	유지관리비 약품비	0.1	
	유지관리비 경상수선비	17.0	
	대수선비	113.2	
	계	212.0	
총LCC		467	
* 경제성 분석은 건설 후 20년간 분석			

운영비상세					
구분		산정내역			비고
인건비	• 년간 인건비		3,367,968	원/년	
	• 20년간 인건비		45,610,088	원	
전력요금	• 계약전력비	계약전력비단가:	5,270	원/kW	
	• 계약전력		11.5	kW	
	• 소요전력비	전력비단가:	70	원/KWh	
	• 상용전력량		76	kWh/일	
	• 년간소요전력비	계약전력요금	725,995	원/년	
		상용전력요금	1,943,654	원/년	
	• 년간 소요전력비		2,669,649	원/년	
	• 20년간 소요전력비		36,153,234	원	
약품비	• 년간 NaOCl 12% 약품비	세정용	4,362	원/년	
	• 년간옥살산 약품비		1,683	원/년	
	• 년간 NaOCl 12% 약품비	잔류염소용	4,015	원/년	
	• 년간 약품비		10,059	원/년	
	• 20년간 약품비		136,228	원	
대수선비	• 배관		2,171,788	원/년	
	• 도목			원/년	
	• 전기/계측		-	원/년	
	• 기계		10,321,419	원/년	
	• 년간 대수선비		12,493,207	원/년	
	• 20년간 대수선비		113,161,072	원	
경상 수선비	• 배관	공사비의 0.5%	217,179	원/년	
	• 도목	공사비의 0.1%	5,000	원/년	
	• 전기/계측	공사비의 0.5%		원/년	
	• 기계	공사비의 0.5%	1,032,142	원/년	
	• 년간 경상수선비		1,254,321	원/년	
	• 20년간 경상수선비		16,986,408	원	
총유지관리비	• 년간 유지관리비		19,795,204	원/년	
	• 20년간 유지관리비		212,047,030	원	

2) 현가법 분석

아래식과 같이 현가법으로 물재이용 시스템을 분석하였다. 할인율을 5%를 적용하였으며 비용과 편익은 아래 표와 같다.

$$NPV = B_0 - C_0 + \frac{B_1 - C_1}{1+r} + \cdots + \frac{B_{n-1} - C_{n-1}}{(1+r)^{(n-1)}}$$

구분	빗물		중수		하이브리드	
	편익	비용	편익	비용	편익	비용
1년	7,000,000	121,050,000	36,500,000	209,550,000	43,500,000	230,400,000
2년	7,000,000	1,050,000	36,500,000	9,550,000	43,500,000	10,400,000
3년	7,000,000	1,050,000	36,500,000	9,550,000	43,500,000	10,400,000
4년	7,000,000	1,050,000	36,500,000	9,550,000	43,500,000	10,400,000
5년	7,000,000	1,050,000	36,500,000	9,550,000	43,500,000	10,400,000
6년	7,000,000	1,050,000	36,500,000	9,550,000	43,500,000	10,400,000
7년	7,000,000	1,050,000	36,500,000	9,550,000	43,500,000	10,400,000
8년	7,000,000	1,050,000	36,500,000	9,550,000	43,500,000	10,400,000
9년	7,000,000	1,050,000	36,500,000	9,550,000	43,500,000	10,400,000
10년	7,000,000	1,050,000	36,500,000	9,550,000	43,500,000	10,400,000
11년	7,000,000	1,050,000	36,500,000	9,550,000	43,500,000	10,400,000
12년	7,000,000	1,050,000	36,500,000	9,550,000	43,500,000	10,400,000
13년	7,000,000	1,050,000	36,500,000	9,550,000	43,500,000	10,400,000
14년	7,000,000	1,050,000	36,500,000	9,550,000	43,500,000	10,400,000
15년	7,000,000	1,050,000	36,500,000	9,550,000	43,500,000	10,400,000
16년	7,000,000	1,050,000	36,500,000	9,550,000	43,500,000	10,400,000
17년	7,000,000	1,050,000	36,500,000	9,550,000	43,500,000	10,400,000
18년	7,000,000	1,050,000	36,500,000	9,550,000	43,500,000	10,400,000
19년	7,000,000	1,050,000	36,500,000	9,550,000	43,500,000	10,400,000
20년	7,000,000	1,050,000	36,500,000	9,550,000	43,500,000	10,400,000

현가계산법으로 비용과 편익을 계산해보면 하이브리드가 가장 경제적이며 중수, 우수 순으로 나타났다. 특히 우수 재이용시설의 경우 경제성이 전혀 없는 것으로 나타났다. 이는 재이용이 가능한 물의 양에 비해 공급 배관 비용이 크기 때문으로 판단된다.

구분	현재 가치
우수 이용시설	44,309,123 원
중수 이용시설	151,117,825 원
우수-중수 하이브리드 시설	208,946,421 원

표 39 서울대학교 상하수도 원가

구분	금액	구분	금액
상수도	830 원	물이용 부담금	170 원
하수도	1,000 원	상하수도 요금	2,000 원

(1) 상수도 편익

표 40 상수도 편익

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
빗물	44	55	25	106	200	200	200	200	200	178	142	58
중수	1,500	1,315	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,274	1,500	1,500	1,500	1,500
절감량	1,544	1,371	1,525	1,606	1,700	1,700	1,700	1,474	1,700	1,678	1,642	1,558
수도요금 (원)	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
절감비용 (천원/월)	1,698	1,507	1,677	1,766	1,870	1,870	1,870	1,621	1,870	1,846	1,806	1,713

표 41 전기요금

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
전력소모량 (kwh)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
사용시간 (hr)	720	631	720	720	720	720	720	611	720	720	720	720
전력단가 (원/kwh)	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8
추가비용 (천원/월)	294	258	294	294	294	294	294	250	294	294	294	294

표 42 유지관리 비용 (인건비, 경상수선비 포함)

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
추가비용 (천원/월)	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	4000

표 43 B/C Ratio

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Benefit (천원/월)	1,698	1,507	1,677	1,766	1,870	1,870	1,870	1,621	1,870	1,846	1,806	1,713
Cost (천원/월)	694	658	694	694	694	694	694	650	694	694	694	694
B/C	2.45	2.29	2.41	2.54	2.69	2.69	2.69	2.49	2.69	2.66	2.60	2.47

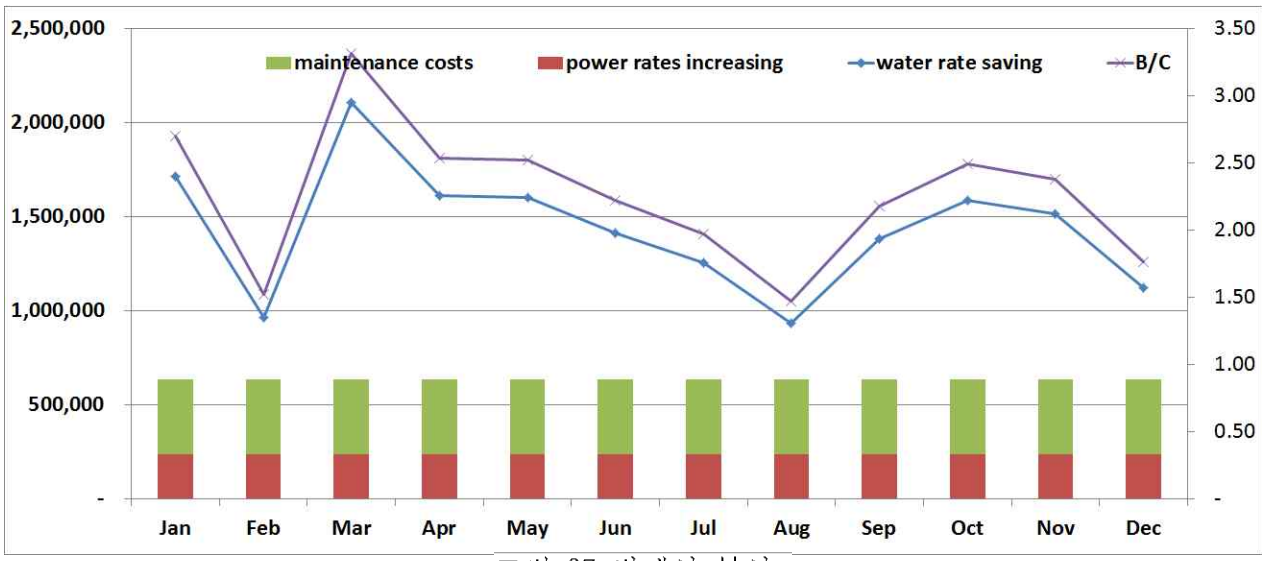


그림 37 경제성 분석

(2) 사회적 편익

여러 가지 사회적 편익 항목에 대하여 금전가치로 계량화한다는 것이 현실상 많은 제약사항이 따른다는 점과 계량화가 불가능한 항목이 존재한다는 점을 고려하여 아래 표와 같이 기존의 분석 자료를 활용하여 현재 가치로 산정하였다.

사회적 편익의 현재가치 계산은 연도별 생산자 물가지수(상수도)를 활용하여 현재시점(2018)의 물가수준(113.38)을 기준시점(1999)의 물가수준(57.72)으로 나눈 값에 사회적 편익을 곱하여 계산한다. 아래는 2014년의 생산자물가지수를 고려한 사회적 편익이다.

표 44 수자원 정책에 따른 사회적 편익 비교

(단위 : 원/㎥)

구 분	1999*년	2018년
상·하수도생산원가	667	1310.2
상·하수도총괄원가현실화	10.9	21.41
댐의 용수공급㎥당비용절감	12.85	25.24
댐주변 지역 및 상수원 보호지역 지원비용 감소	1.632	3.21
수변지역관리비용 절감	116.27	228.39
환경비용절감	5.05	9.92
계	813.702	1598.36

산정결과, 수자원 절약에 따른 사회적 편익의 현재가치는 1598.36원/㎥으로 나타났다. 서울대학교 관악학생생활관 하이브리드형 물재이용 시스템을 적용하여 가동하였을 때 1년 동안 4,000㎥을 절약할 수 있으며, 이를 사회적 편익 가치로 환산시 6,393천원/년으로 산출된다.

(가) 수질오염방지

하수처리시 보다 양질의 수처리로 중수사용량 만큼 하수 발생량이 감소하여 하천의 오염 및 고도처리에 의한 해양의 적조발생을 감소시킬 수 있다.

(나) 건물의 물 효율 향상

건물의 물 효율은 물자급률과 LPCD(1인 1일 물 사용량), 두 지표로 나타낼수 있다. 물 자급률이란 한 건물에서 사용하는 물의 양 중에서 중앙집중형 상수공급시스템에 의존하지 않고 자체적으로 조달하는 공급수량의 비율을 의미한다. 이때 자체 조달하는 수원은 지하수, 빗물이용, 중수 등으로 다양하다. 물 자급률은 자체공급량과 전체 물 사용량의 비율로 나타나기 때문에 자체 공급량이 동일하더라도 전체 물 사용량이 감소할 경우 물 자급률 향상 효과가 있다.

지하수, 하천수는 해당 지역의 특성에 크게 영향을 받는다. 그러나 빗물과 중수의 경우에는 지형적 특성에 상관없이 사용할 수 있다. 하이브리드형 물 재이용 시스템은 빗물과 중수를 활용하기에 물 자급률을 크게 향상시킬 수 있다.

LPCD는 건물 사용인원대비 1일 물 사용량을 나타내는데, 물 재이용 시스템으로 상수를 절약할 수 있어 LPCD가 절약된다.

다음은 하이브리드형 물 재이용시스템의 설치 전 후 물 자급률과 LPCD의 변화량을 나타내었다.

표 45 하이브리드 시설 도입 후 절수효과 하수발생 저감 효과

구 분	하이브리드 시설 설치 전			하이브리드 시설 설치 후		
	급수량 (㎥/년)	LPCD (L)	물 자급률 (%)	급수량 (㎥/년)	LPCD (L)	물 자급률 (%)
주거형	85,775	235	0	62,780	172	26.8
오피스형	43,800	150	0	37,996	130	13.3
근린생활형	41,000	140	0	33,100	113	19.3

(다) 침두유출량 감소효과

하이브리드형 물 재이용 시스템은 빗물 저류로 홍수 저감효과를 갖는다. 서울대학교 관악학생생활관은 년간 5,000㎥의 빗물을 저류할 수 있다. 각 건물의 소규모 빗물이용시설이 유역 내에 분산형으로 설치될 경우, 첨두유출량을 저감하여 홍수량을 감소시키는 효과가 있다. 분산형 빗물관리 시설은 집중형 저류조보다 침두유출량을 낮추는 것으로 나타났다.

다음은 서울대학교 캠퍼스 내 집중형 저류조와 분산형 빗물시설을 설치시 도림천 상류유역 첨두유출량 감소효과에 대해서 모의해본 결과이다.

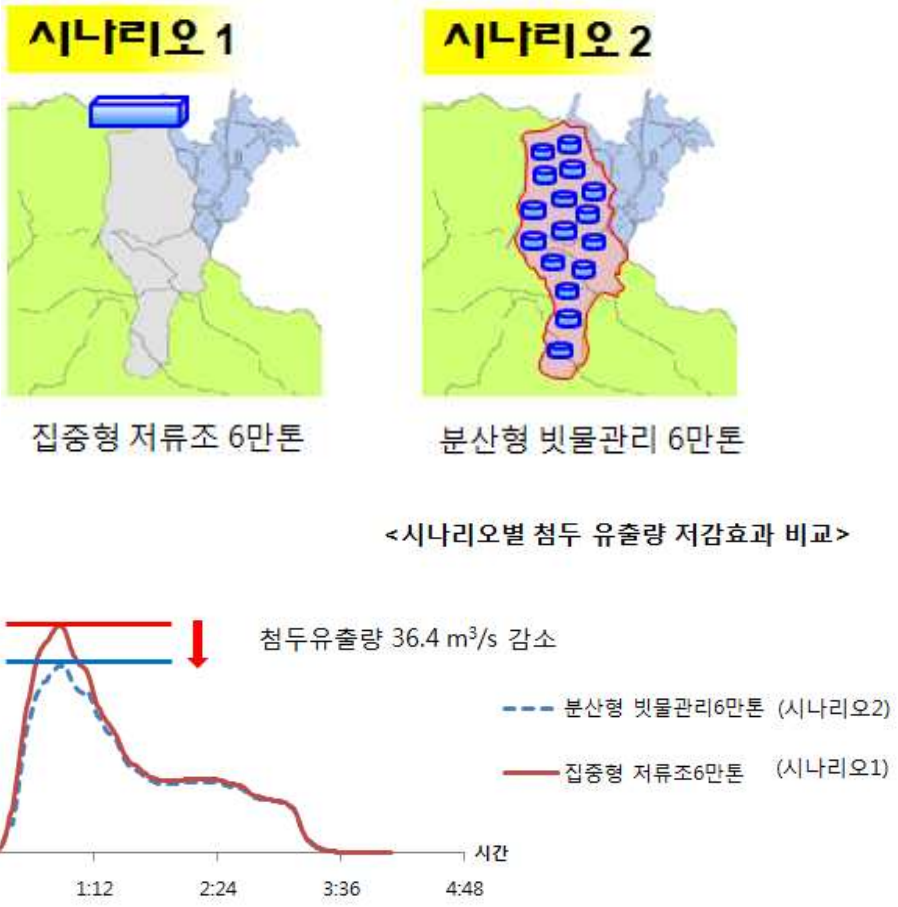


그림 98 집중형 저류조와 분산형 빗물관리시설의 비교

(다) 탄소 배출량 저감

지구온난화는 지속가능한 발전이라는 목표가 나오게 한 가장 큰 원인이다. 국제사회에서는 지구온난화의 속도를 늦추고 이에 대비하기 위해 협약을 맺고 함께 협력하고 있다. 지구온난화는 지구 대기의 온실효과가 심해져서 일어난다. 온실효과는 산업혁명 이후 급격하게 늘어난 인간의 사회경제 활동에서 배출된 온실기체가 비정상적으로 많아져 심해지고 있다. 탄소배출량이란 온실기체의 양을 이산화탄소 당량으로 환산하여 무게로 표시한 양으로 제품의 생산 사용 등 과정에서 발생하는 총량을 의미한다.

현재 전세계적으로 탄소배출량을 줄이려는 노력을 많이 하고 있다. 대표적으로 UN에서 도쿄의정서를 체결하여 선진국을 중심으로 탄소배출량 감축 목표를 설정하여 단계적으로 줄이려는 계획을 하고 있다. 또한 탄소거래제 제도를 도입하여 탄소배출량을 줄이는 기술 등을 통해 탄소배출을 줄일 경우 그 양만큼 탄소배출권을 거래 할 수 있게하여 인센티브를 주는 제도도 시행하고 있다.

상수도를 공급하는 과정은 많은 에너지를 소비한다. 정수 시설에서 원수를 처리하는 과정과 정수 시설에서 각 사용처로 물을 보내는 과정에서 많은 에너지가 필요하다. 또한 사용한 물을 하수처리하는 과정에서도 많은 에너지가 소비된다.

하이브리드형 물 재이용 시스템의 사용으로 상수량과 하수 발생량을 절약 할 수 있다. 하이브리드형 물 재이용 시스템에서 년간 4,000㎥의 상수를 절약할 수 있으며 이를 CO2 발생량으로 환산시 아래와 같이 산출된다.

표 46 하이브리드 목재이용 시스템 사용에 따른 탄소 배출량 저감

구 분	CO_2 발생량	식약량	CO_2 저감량
삼수생산	0.000332 $kgCO_2/kg$	4,000㎥	1,328㎥
하수처리	0.00128 $kgCO_2/kg$	4,000㎥	5.12㎥

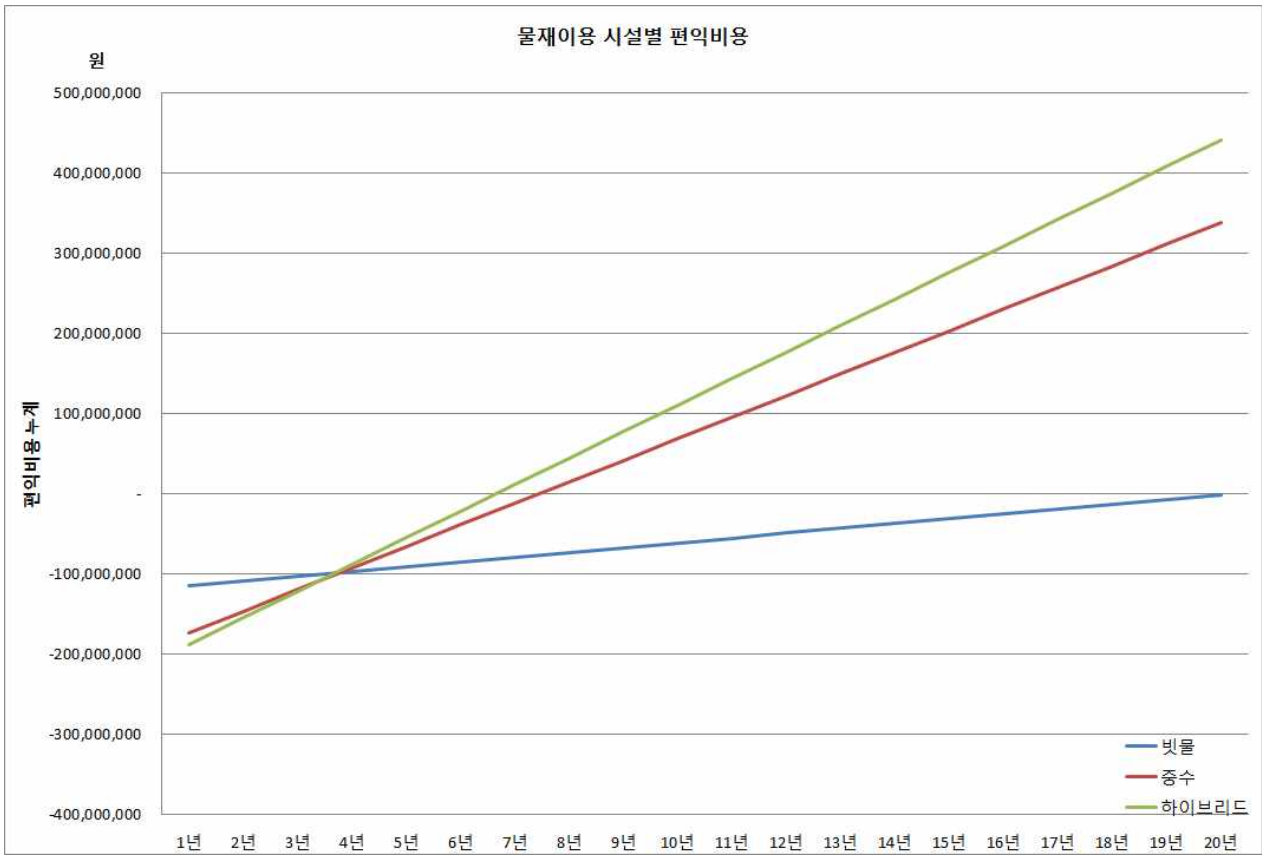
바. 빗물-중수 하이브리드를 활용한 지비용/지에너지 물 수요 관리 시스템 개발

서울대학교 관악학생생활관에 빗물이용시설을 단독으로 설치하였을 경우와 중수이용시설을 단독으로 설치하였을 경우 빗물-중수를 연계하여 하이브리드 시설로 설치하였을 경우의 건설비와 1년 유지관리비는 아래 표와 같았다.

구분	건설비		1년 유지관리비
	수처리 시설	공급 관로	
빗물이용시설	50,000,000 원	70,000,000 원	1,050,000 원
중수이용시설	130,000,000 원	70,000,000 원	9,550,000 원
빗물 중수 하이브리드시설	150,000,000 원	70,000,000 원	10,400,000 원

빗물 중수 하이브리드시설의 장점은 건설비 중 상당 부분을 차지하는 공급 관로 비용이 절감 된다는 것이다. 빗물 중수 하이브리드 시설은 단독으로 설치된 빗물이용시설이나 중수이용시설보다 같은 공급관로 비용으로 더 많은 재이용수를 보낼 수 있다는 것이 가장 큰 장점이다. 두 번째는 빗물이용시설과 중수이용시설에 공통적으로 필요한 소독공정을 공유할 수 있다는 점이다. 이는 빗물-중수 하이브리드시설이 빗물이용시설과 중수이용시설을 각각 설치하는 것에 비해 건설비가 절감되는 이유이다.

지붕면적이 4,000m2인 관악학생생활관은 빗물저류조 200톤 설치로 1년에 약 3,500톤의 물을 재이용수로 활용할 수 있었다. 시설용량 50톤/일인 중수도 시스템은 1년에 약 18,250톤의 물을 재이용수로 활용할 수 있었다. 마지막으로 빗물-중수 하이브리드시설은 1년에 약 21,750톤의 물을 재이용수로 활용할 수 있었다.



위의 그래프는 현재 서울대학교 수도요금인 1톤당 2,000원을 기준으로 20년간 시뮬레이션 한 결과이다.

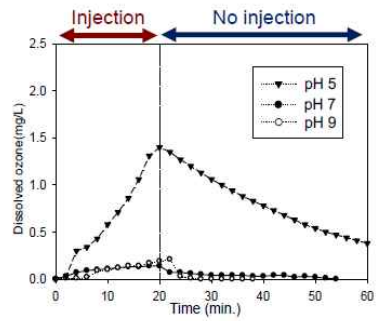
빗물이용시설의 경우 경제성이 없는 것으로 나타났으며 빗물-중수 하이브리드 시설이 중수시설을 4년 이후부터는 경제적으로 유리한 것으로 나타났다. 아래표는 20년간 편익비용을 나타낸다.

구분	빗물이용시설	중수이용시설	빗물-중수 하이브리드시설
1년	- 114,050,000	- 173,050,000	- 186,900,000
2년	- 108,100,000	- 146,100,000	- 153,800,000
3년	- 102,150,000	- 119,150,000	- 120,700,000
4년	- 96,200,000	- 92,200,000	- 87,600,000
5년	- 90,250,000	- 65,250,000	- 54,500,000
6년	- 84,300,000	- 38,300,000	- 21,400,000
7년	78,350,000	11,350,000	11,700,000
8년	- 72,400,000	15,600,000	44,800,000
9년	- 66,450,000	42,550,000	77,900,000
10년	- 60,500,000	69,500,000	111,000,000
11년	- 54,550,000	96,450,000	144,100,000
12년	48,600,000	123,400,000	177,200,000
13년	- 42,650,000	150,350,000	210,300,000
14년	- 36,700,000	177,300,000	243,400,000
15년	- 30,750,000	204,250,000	276,500,000
16년	24,800,000	231,200,000	309,600,000
17년	- 18,850,000	258,150,000	342,700,000
18년	- 12,900,000	285,100,000	375,800,000
19년	- 6,950,000	312,050,000	408,900,000
20년	- 1,000,000	339,000,000	442,000,000

바. 초미세기포를 활용한 저비용-저에너지 AOP 공정 개발

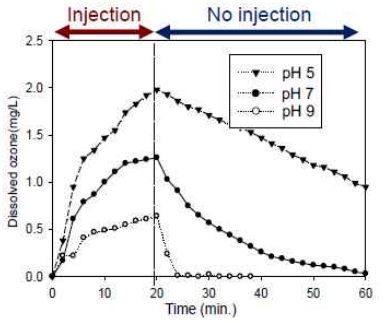
(1) pH에 따른 용존 오존 농도

pH가 5, 7, 9인 물에 오존을 20분간 주입한 후 40분간 방치하여 매크로 버블, 마이크로 버블, 서브마이크론버블의 pH에 따른 용존 오존 농도는 아래와 같다 (그림 2.1.33).



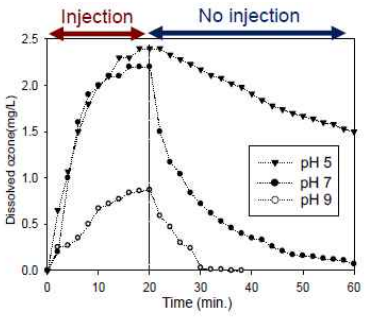
pH	5	7	9
Peak Dissolved Ozone (mg/L)	0.14	0.19	1.31

Macro bubble



pH	5	7	9
Peak Dissolved Ozone (mg/L)	1.98	1.26	0.64

Micro bubble



pH	5	7	9
Peak Dissolved Ozone (mg/L)	2.4	2.2	0.87

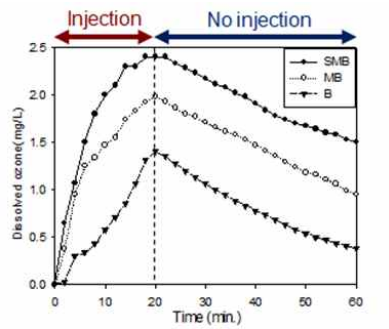
Sum-micron bubble

그림 39 오존주입 시 pH에 따른 용존 오존

세 가지 다른 크기의 기포에서 pH에 따른 용존 오존은 오존을 주입할 때에는 pH가 낮을수록 농도가 급격하게 높아졌고, 오존 주입을 중단하고 방치할 때에는 농도가 일정한 수준으로 떨어졌다. 이는 pH에 따른 오존의 자가분해와 밀접한 관련이 있는 것(Y. Bin, 2001, T. Mizuno, 2014)으로 판단된다.

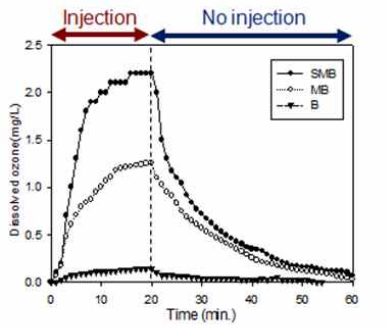
(2) 오존기포의 크기에 따른 용존 오존 농도

pH가 5, 7, 9인 물에 오존을 20분간 주입한 후 40분간 방치하여 매크로 버블, 마이크로 버블, 서브마이크론버블의 pH에 따른 용존 오존 농도는 아래와 같다.



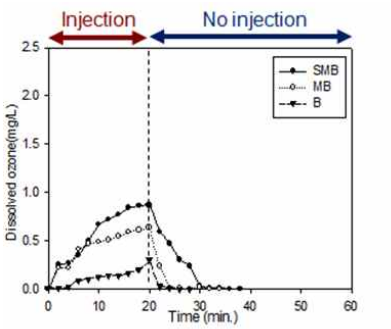
Type of Bubble	B	MB	SMB
Peak Dissolved Ozone (mg/L)	1.4	1.98	2.4

pH 5



Type of Bubble	B	MB	SMB
Peak Dissolved Ozone (mg/L)	0.14	1.26	2.2

pH 7



Type of Bubble	B	MB	SMB
Peak Dissolved Ozone (mg/L)	0.21	0.64	0.87

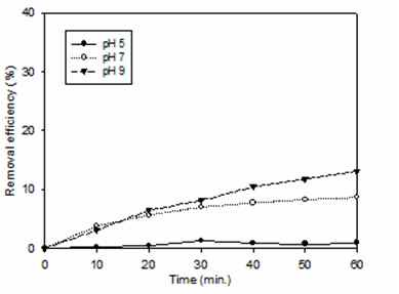
pH 9

그림 40 오존주입 시 기포 크기에 따른 용존 오존

pH에 관계없이 세 가지 기포 크기를 비교하였을 때, 서브마이크론 버블로 주입했을 때 용존 오존 농도가 가장 높이 올라갔다. 버블의 사이즈가 작을수록 오존농도의 피크점이 높고 오존 분해속도가 느리다. 이는 버블의 사이즈가 작을수록 물질전달 효율이 높기 때문이다.

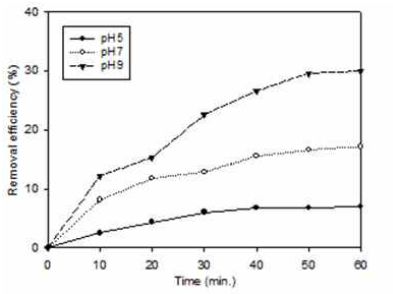
(3) pH에 따른 COD 제거 효율

세 가지 크기의 버블로 오존을 주입했을 때 모두 pH가 낮을수록 처리효율도 낮았고 pH가 높을수록 처리효율이 높았다. 대부분의 경우에서 오존 주입 후 약 20분의 시간에서 제거가 많이 되었다. 아래 실험결과를 통하여 pH차이에 따라 COD 제거 효율이 달라지는 것을 확인하였고, 이는 오존의 분해 속도 차이 때문인 것으로 판단된다. 오존의 분해속도가 높아지면 Hydroxyl radical이 높아지고 반응이 촉진된다 (그림 2.1.35).



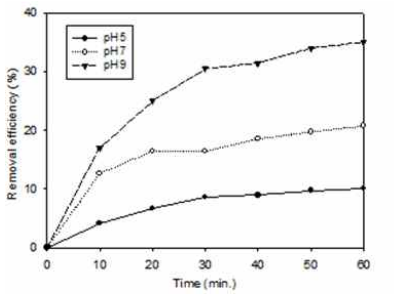
pH	5	7	9
Removal of COD(%)	0.9	10.0	14.8

Macro bubble



pH	5	7	9
Removal of COD(%)	7.1	17.7	29.5

Micro bubble



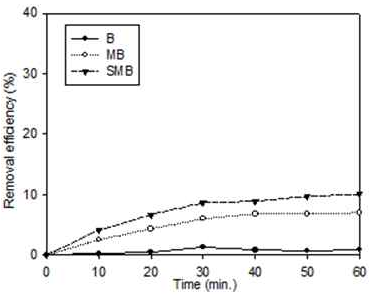
pH	5	7	9
Removal of COD(%)	9.6	30.6	36.2

Sub-micron bubble

그림 41 오존주입 시 pH에 따른 COD 제거 효율

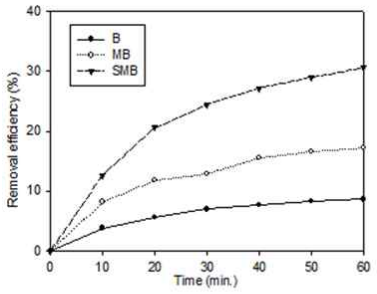
(4) 기포 크기에 따른 COD 제거 효율

모든 pH 조건에서 제거 효율은 기포 크기가 작을수록 높았다. 이는 기포 크기가 작을수록 물질전달 효율이 높고 기포가 용액 속에 오래 보존되어 기포 속의 오존이 물에 용해 될 수 있는 기회가 많아져서인 것으로 판단된다 (그림 2.1.36).



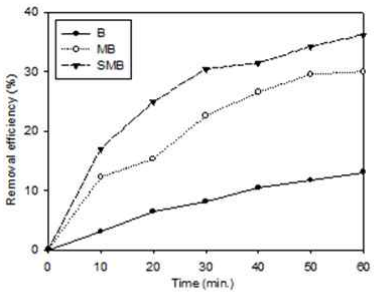
Type of Bubble	B	MB	SMB
Removal of COD (%)	0.9	7.1	9.6

pH 5



Type of Bubble	B	MB	SMB
Removal of COD (%)	10.0	17.7	30.6

pH 7



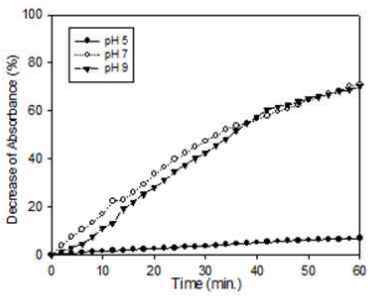
Type of Bubble	B	MB	SMB
Removal of COD (%)	14.8	29.5	36.2

pH 9

그림 42 오존주입 시 기포 크기에 따른 COD 제거 효율

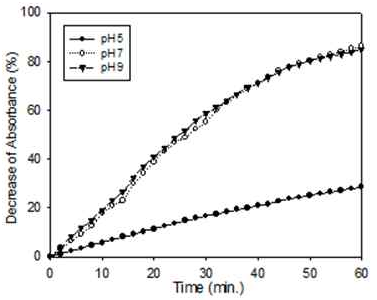
(5) pH에 따른 색도 제거 효율

본 실험에서는 물에 잉크를 녹인 후, 60분 간 오존을 주입하여 색도 제거 효율을 평가하였다. 색도 제거 실험 결과 처음의 물은 거의 검은색을 띄며 유리비커를 통하여 반대편이 보이지 않을 만큼 짙은 색을 띄었다. 하지만 60분간 오존을 주입한 후 물은 거의 투명한 색에 가까워졌다. 세 가지 크기의 버블로 오존을 주입했을 때 모두 pH가 낮을수록 처리효율도 낮았고 pH가 높을수록 처리효율이 높았다. 대부분의 경우에서 오존 주입 후 약 40분의 시간에서 제거가 많이 되었다. 흡광도는 COD에 비하여 제거 효율의 상승이 시간에 따라 완만한 기울기를 보였다 (그림 2.1.37).



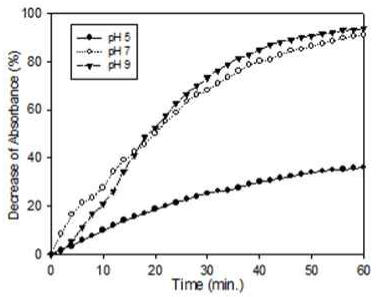
pH	5	7	9
Decrease of Absorbance (%)	6.7	71.0	70.1

Macro bubble



pH	5	7	9
Decrease of Absorbance (%)	28.5	86.2	84.8

Micro bubble



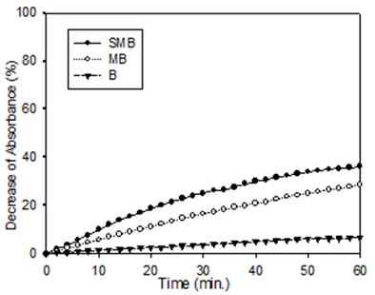
pH	5	7	9
Decrease of Absorbance (%)	36.2	91.2	93.7

Sub-micron bubble

그림 43 오존주입 시 pH에 따른 색도 제거 효율

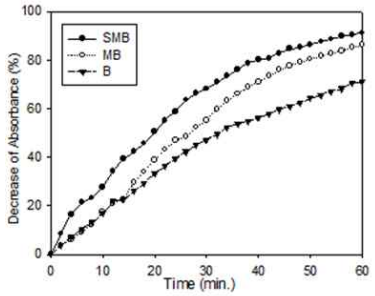
(6) 기포크기에 따른 색도 제거 효율

모든 pH조건에서 흡광도 감소 효율은 기포 크기가 작을수록 높았다 이는 기포크기가 작을수록 물질전달 효율이 높고 기포가 용액 속에 오래 보존되어 기포 속의 오존이 물에 용해될 수 있는 기회가 많아져서인 것으로 판단된다 (그림 2.1.38).



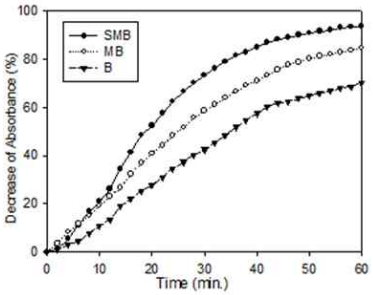
Type of Bubble	B	MB	SMB
Decrease of Absorbance (%)	6.7	28.5	36.2

pH 5



Type of Bubble	B	MB	SMB
Decrease of Absorbance (%)	71.0	86.2	91.2

pH 7



Type of Bubble	B	MB	SMB
Decrease of Absorbance (%)	70.1	84.8	93.7

pH 9

그림 44 오존주입 시 기포크기에 따른 색도 제거 효율

(7) 공기기포와 오존 기포와의 비교

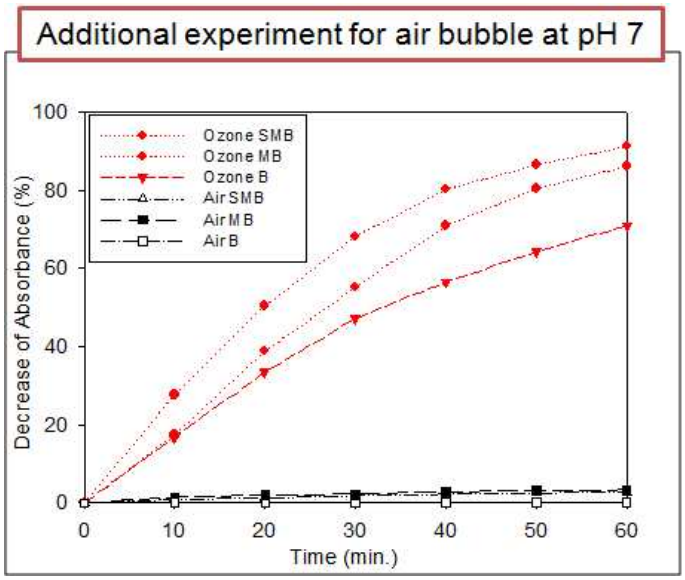
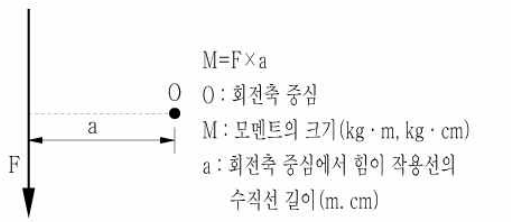


그림 45 공기기포 크기에 따른 공기와 오존 간의 산화 효율 비교

오존 기포의 산화력을 확인하기 위하여 공기 기포를 잉크를 녹인 물에 주입하여 실험을 수행하였다. 오존 기포를 주입한 것과 같은 방법으로 실험하였고 기포의 원료 기체만 오존대신 공기를 사용하였다. 공기 기포의 크기도 세 가지 기포를 사용하였다. 실험결과 공기 기포를 주입하였을 때 모든 버블에서 흡광도 감소율은 3%미만이었으며 흡광도 감소율에 유의미한 차이가 없었다. 본 실험을 통하여 오존 기포의 산화력을 확인할 수 있었다.

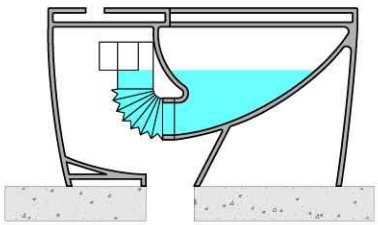
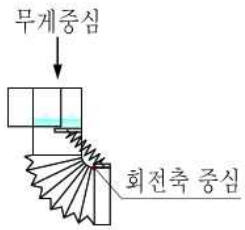
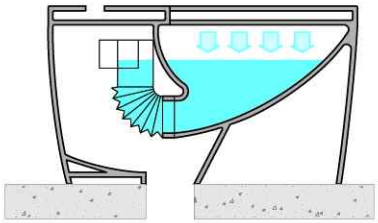
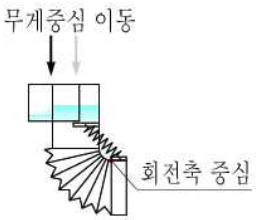
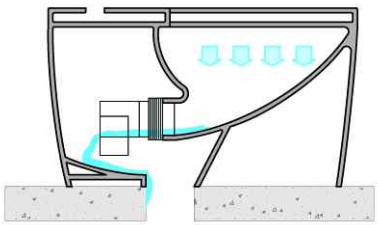
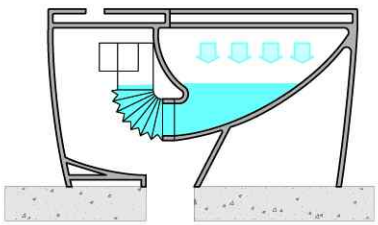
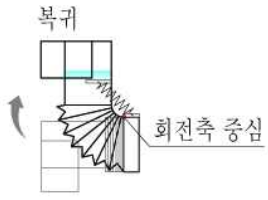
3. 절수형 변기 개발

가. 작동원리(모멘트의 정의)



- 모멘트(Moment) : 물체를 회전시키는 회전력
- 힘(F)이 증가하거나 작용선의 거리(a)가 증가하면 모멘트(M)은 증가한다.
- 같은 힘이라도 작용선의 거리(a)가 증가하면 모멘트(M)은 증가

나. 작동순서

작동순서	작동 원리	
		- 일반 사이펀 변기와 같이 트랩부가 물도 차있어 악취역류 방지 - 무게중심 이동전 대기상태에는 스프링에 인장력을 받지 않음
		- 보울부에 수위가 증가하면 가변제어컵으로 물 유입 - 무게중심 이동(a 증가) 및 물의 무게(F 증가)가 증가하여 모멘트(M) 증가
		- 모멘트가 증가하여 가변부 전도 후 보울부 내의 물도 배출 - 가변제어컵 안의 물이 배출될 때까지 하상상태 유지
		- 가변제어컵 내의 물 배출 후 고무주름관과 스프링의 복원력으로 대기상태로 복귀 - 대기상태로 복귀(악취역류 방지)하여 보울부에 물을 충수

다. 연구목표

▌분뇨 배출을 위한 가변부 전도상태 유지를 위한 가변부 내의 구멍의 크기 및 위치 분석

▌스프링의 특성(외경, 스프링 탄성, 권수 등)에 따른 가변부 전도 및 복귀에 미치는 영향

▌벅길이형 변기 설치기준 제시(적용하중, 안전율 등)

라. 가변식 배출구조를 적용한 양변기 시험

▌KS I. 1551

- 시험자 : 김충일 연구원
- 시험일자 : 2016년 11월 17일
- 시험방법 : 한국산업표준 위생도기 시험(KS I. 1551) 중 도기재질에 관한 시험을 제외한 세척 성능 시험
- 시험횟수 : 6회 (사용수량(6L, 5L, 4.5L) 별 2회)
- 시험결과

사용수량/시험항목	기준	6L	5L	4.5L
세척성능	화장지 뭉치 7개	0	0	0

· KS 규격의 화장지를 사용하였으며 길이 약 760m로 잘라낸 용지를 지름 약 50~75mm의 구형으로 둥글게 한 것을 7개 사용한다.

▌EL223

- 시험자 : 김충일 연구원
- 시험일자 : 2016년 11월 17일 ~ 2017년 12월 31일
- 시험방법 : 환경표지대상제품 인증기준 절수형양변기(EL223) 시험
- 시험횟수 : 볼/입자 배출시험, 대용오물/화상지 배출시험
- 시험결과

· 볼/입자 배출시험

시험항목	볼, 입자 배출시험	
	기준	시험 결과
사용수량	4.5L	-
볼 배출 시험-변기내 잔류 개수	0	0
볼 배출 시험-변기 통과 개수	75개 이상	99.5
입자 배출 시험-변기 내 잔류 개수	125개 이하	1

· 대용오물, 화상지 배출시험

시험을 5회 반복한 결과 대용오물(스펀지)과 화장지(두루마리 화장지)가 모두 오수관 밖으로 배출

라. 실치 시험

■실치장소 : 서울대학교 공학관 35동 4층, 5층 남녀 화장실

■실치대수 : 4대(남자 화장실 2대, 여자 화장실 2대)

■시험목적 : 일반 양변기와 절수양변기의 사용수량 분석

■시험장비 : 일반 수도용 유량계, 수위계와 연결된 카운터

■시험방법 : 아날로그 수도용 유량계의 사용수량을 카운터에 표시된 사용횟수로 나누어 1회 평균 사용수량 계산

■시험결과

구 분		일반양변기		절수양변기	
실치장소		5층 남자화장실	5층 여자화장실	4층 남자화장실	4층 여자화장실
유량계 수치 (단위: ㎥)	초기수량	0.453	1.562	0.325	0.415
	결과치	3.334	6.444	1.820	3.147
사용수량		2,881 l.	4,882 l.	1,495 l.	2,732 l.
사용횟수		251	419	325	621
1회 평균사용량(l.)		11.48	11.65	4.60	4.40

■실치사진



수위계



카운터



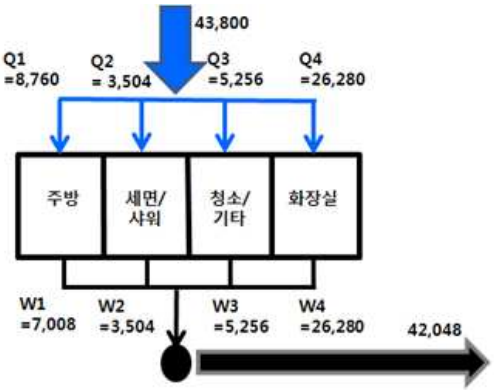
유량계실치



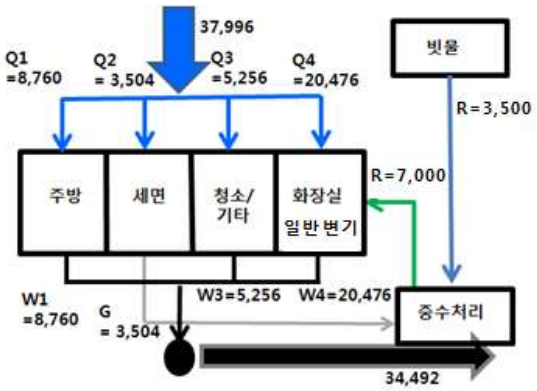
기존 양변기 비교 실치

나. 절수형 변기와 중수-빗물 하이브리드 물재이용 시설과의 연계 효과

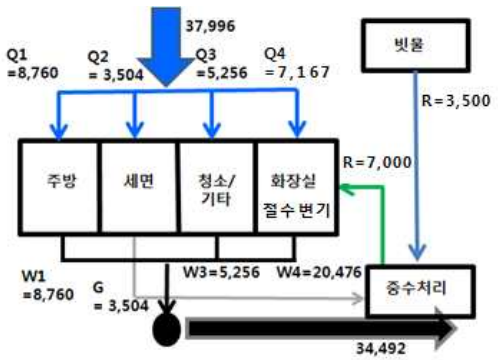
주거형 건축물, 업무형 건축물, 체육시설 건축물 중 절수형 변기와 중수-빗물 하이브리드 물재이용 시설과의 연계 효과가 가장 큰 건축물 유형은 업무형 건축물이다. 업무형 건축물은 특성상 화장실 변기 세척용수의 사용량이 전체 물 사용량의 54%로 다른 두 건축물 유형(주거형 27%, 체육시설 19%)에 비해 높으나 물 재이용을 위한 원수로 사용할 수 있는 수원은 전체 물 사용량의 9%(주거형 25%, 체육시설 68%)인 세면용수 뿐이다. 따라서 업무형 빌딩에서는 화장실 변기 세척용수의 사용량을 줄여야 건축물 단위의 물수요 관리가 가능하다. 업무형 빌딩인 공학관 35동에 35대의 절수형 변기를 설치하여 분석한 결과 물 사용량이 일반형 변기와 비교하여 65% 절감 되었다. 이를 바탕으로 시뮬레이션 해보면 기존 년간 20,476톤의 화장실 변기 세정용수가 7,167톤으로 줄게 된다. 7,167톤은 1년간 발생하는 3,504톤의 세면용수와 3,500톤의 빗물을 활용할 경우 개별 건축물 단위의 물수요 관리가 가능해진다.



기존 업무형 빌딩 물수지



빗물-중수 물재이용시설 설치 후 업무형 빌딩 물수지



빗물 중수 물재이용시설과 절수형 변기 연계 후 업무형 빌딩 물수지

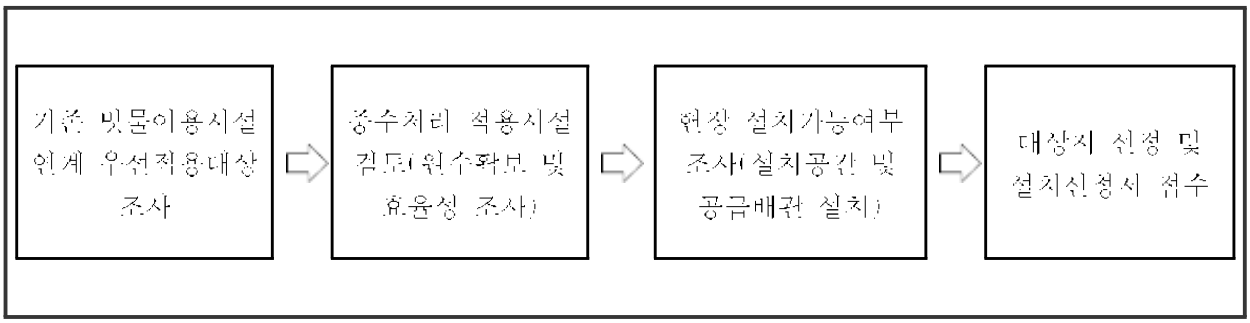
4. 사업대상 건축물 용도별 중수이용 설계용량 조사 및 검토

가. 건축물별 중수 사용처를 고려한 구분

- 국내 자료 및 설계기준 그리고 법적기준을 고려한 사업대상 건축물 용도별 중수이용 설계 용량 조사 및 검토를 실시함.

  수원시에서 진행한 레인 시티 사업을 국내 사례로 조사하였으며, 이를 토대로 건축물 용도별 중수이용 설계 자료 및 설계 기준을 마련할 수 있음.

<조사절차 및 중수처리시설 수요처 선정 절차>



<실제 운영중인 빗물/중수처리시설 현황>

구분	시설명	빗물이용시설	중수도시설	원수보유대상시설(환용대상)
학교시설	경기대학교 제2공학관	222㎥ (5㎥/인)	25㎥/일	기숙사 (세면, 실험실 세척대, 청소수)
	경기대학교 종합강의동	200㎥ (10㎥/인)	25㎥/일	강의동 및 기숙사 (세면, 실험실 세척대, 청소수)
	성균관 대학교	300㎥ (5㎥/인)	600㎥/일	오수처리시설 방류수, 빗물 (화장실)
업무용시설 (수영장포함)	장안구청	㎥ (㎥/인)	35㎥/일	수영장, 사워실 (화장실)
	수원시립 버드내 노인복지관	10㎥ (1㎥/인)	21㎥/일	수영장, 사워사용수 (화장실, 조경수)
	권선청소년수련관	8㎥ (1㎥/인)	8㎥/일	수영장, 사워사용수 (조경)
업무용시설	중소기업지원센터	40㎥ (1㎥/인)	51㎥/일	방재용 우수저류조 (화장실)
체육시설	수원월드컵경기장	20,000㎥ (75㎥/일)	75㎥/일	방재용 우수저류조 (조경)

(1) 건축물별 빗물/중수 하이브리드 시스템 운영평가

(가) 시설별 운영의 실제

○ 위의 표와 같이 빗물 저류조 및 이를 활용한 중수시설의 실계용량을 정리하였다. 실제 운영되는 내용을 조사한 결과, 학교시설의 경우, 기숙사를 포함하거나, 다수의 이용자가 사용하는 경우에는 중수시설로 유입되는 원수(세면, 샤워수)가 풍부하여 빗물 사용량이 많지 않았다.

○ 업무용 시설의 경우 2가지 사례로 나누어지는데, 일반적인 업무용도로시의 건축물의 경우, 중수시설로 유입되는 원수가 부족하게 되어, 상수로 전환하여 사용할 수 밖에 없거나, 빗물위주의 중수사용을 하게 된다. 하지만, 복지관, 수련관과 같이 수영장을 포함하는 건축물의 경우, 수영장, 샤워수 등에서 발생하는 풍부한 중수시설로 유입되는 원수로 인하여 빗물 사용량은 거의 없이 중수도시설 위주로 물재이용을 운영하고 있다.

○ 체육시설의 경우, 지역의 수해 방지를 위한 도심 속의 댐의 역할을 하는 방재용 빗물저류조가 설치되어 있으며(20,000㎥) 이곳에 저장된 빗물을 충분히 활용하여 중수시설을 운영하게 된다. 특히 천연잔디 등의 조경에 필요한 조경수를 매일 공급하여야 하는 상황에서 그 사용가치는 매우 높게 된다.

(2) 건축물의 기간별 사용 특성을 고려한 구분

(가) 기간별 운영의 실제

○ 건축물의 특성상 유휴기간이 존재하는 상황을 고려, 이러한 특성에 대한 대책 및 최적의 활용방안에 대하여 고찰함.

구분	연간공급량(㎥/년)	연간가동일수(일)	연간가동률(%)
성균관대학교	148,017	251	69
수원월드컵경기장	27,000	365	100
경기중소기업종합지원센터	12,965	251	69

○ 학교시설의 경우, 주말의 휴무와 여름, 겨울 방학 등 일정에 의해 중수시설로 유입되는 원수와 중수 사용량이 동시에 줄거나, 늘게 되며, 물수지 또한 동시에 늘기나 줄어들게 되어 중수시설의 사용에 크게 지장이 없는 것으로 파악됨.

○ 체육시설의 경우, 주말과 동절기를 제외한 경기가 있는 시즌에 이용객수가 집중되는 현상이 있으며, 화장실세정수의 물수지를 중수도시설 및 빗물이용시설로 맞추는 것은 한계가 있다. 따라서 빗물저류조를 활용한 조경수의 용도로 물재이용을 활용하는 것으로 설계 시공함.

○ 빗물의 특성은 하절기 6~9월에 집중하여 공급되는 것으로 파악됨.

○ 업무시설의 경우, 주말의 휴무와 여름 휴가철, 명절연휴 등에 의해 중수시설로 유입되는 원수와 중수 사용량이 동시에 줄거나, 늘게 되며, 물수지 또한 동시에 늘기나 줄어들게 되어 중수시설의 사용에 크게 지장이 없는 것으로 파악됨.

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

구분	연구개발의 목표	연구개발의 내용	달성(%)
1차년도	건물 유형별 물 수요 분석	- 건물 유형별 물 사용 패턴 조사 건물 물 사용 패턴에 따른 빗물 중수 이용시설의 용량 산정 방법 개발 - 건물 유형별 빗물-중수 이용 모델 정립	100
	초절수 양변기 개발	- 사이펀 방식의 양변기를 탈피한 직입식 방식의 초절수 양변기(4.5L) 개발 국내외 절수변기의 현황 조사 및 기존 변기 문제점 도출	100
	물수요 관리 시스템 1차 시공	물 수요 분석 및 초절수 양변기를 고려한 건물 물수지에 적합한 물 재이용 생산 시스템 구축	100
	물재이용 시설 설계를 위한 실험용 Pilot 구축	개별 건축물 단위에 가장 적정한 물재이용 시스템 구축을 위한 실험용 pilot 운전	100
2차년도	물수요 관리 시스템 2차 시공	-물 수요 분석 및 초절수 양변기를 고려한 건물 물수지에 적합한 물 재이용 공급 시스템 구축	100
	물수요 관리 시스템 통합 운영	-물 수요 관리 시스템 구축을 통한 효율적 운영 및 관리 유형 네뉴얼화	100
	초절수 양변기 시제품의 시험 및 평가	-건물 단위 초절수 양변기 설치 전/후 물 수지변화 분석 -직입식 초절수 양변기의 이론적 체계 확립 (사이펀 방식과 직입식 방식과의 비교) 초절수 양변기의 적용방안 모색 (설문조사, Case study, 홍보자료 제작 등)	100
	초미세기포 활용한 VOP 장치 개발	-1um이하 기포 발생 장치 개발 -기포 발생량 및 크기 측정 방법 개발 -오존의 살균력 및 잔류효과 조절이 가능한 저비용-고효율 오존처리 장치 개발 오존의 접촉방식 변경에 따라 기존 배오존 시설의 배제 타당성 조사 -오존의 접촉방식 변경에 따라 기존 배오존 시설의 배제 타당성 조사 현장 적용성 평가 및 모니터링 -기존 오존처리 장치와의 효율 비교 분석	100
	빗물·중수 이용시설의 수량 및 수질 모니터링	-빗물·중수 이용시설의 수질 및 수량 분석 시스템 성능 평가 및 운전조건 등 최적화 방안 도출 -수온 및 강우패턴 등 계절적 변화 대비 안정적 수질 및 수량 공급 여부 입증 시설 설치 전/후 물 수지 변화 분석 -재이용수의 사용처 다각화 방안 모색	100

2. 관련 분야 기여도

가. 기술적 측면

본 연구는 개별적으로 연구되어 왔던 중수의 재이용과 빗물 재이용 분야, 공정 자동화기술를 연계한 학제간 통합연구로서, 두 대체 수자원이 가지고 있는 특성을 바탕으로 연계 통합하는 기술을 개발함으로써 건전한 물 순환시스템의 구현이 가능하므로 도시내 빗물 지류조에 실제 적용 가능한 기술이다.

또한 중수를 대상으로 사용용도에 적합한 수질확보가 가능하도록 최적 공정을 Set-up함으로써 그동안 생내용수와 하천유지용수의 용도에 국한되었던 중수 재이용의 기술 수준을 한단계 업그레이드 할 뿐 아니라 실증시스템 검증을 통해 기술의 신뢰성을 확보할 수 있다.

또한 2000년대 들어 국내 고도산화처리기술의 발달로 국산화 된 산화처리장치을 이용한 수처리 기술의 개발이 활발히 이루어졌으나, 대부분 필터의 재질, 구조적 안정성, 조립기법등 하드웨어적인 부분에서의 접근이 주가 되었다. 본 연구에서는 고도산화처리의 운영시스템을 자동화하여 안정적인 처리효율 달성과 운영비를 절감할 수 있는 중수-빗물 하이브리드형 물재이용 자동제어시스템을 개발함으로써 중수 생산단가를 최소화하여 상수 대비 비용 경쟁력이 있는 대체수자원 확보기술을 제시할 수 있다.

또한 빗물 재이용의 측면에서는 사용목적별 빗물 이용시설의 설계기술이 확보되고, 실증시설 모니터링 자료를 통해 시범지역을 대상으로 구축된 데이터 베이스는 지극히 제한되어 있는 빗물 관련 연구에 귀중한 실증데이터로 활용될 수 있으며, 다양한 지역에 대한 빗물 집수방법의 개발, 다양한 저장탱크에 의한 효율성 검증, End User에 따른 빗물 이용시설 실증구현 등을 통해 궁극적으로 빗물 이용시설 운영 및 설치 가이드라인을 완성함으로써 빗물이용시설의 규격화 및 법제화에 기여할 수 있다.

나. 환경적 측면

연간 65억톤에 달하는 막대한 양의 중수와 빗물을 하이브리드형 물재이용하는 시스템을 개발함으로써, 한정된 수자원에 대한 대체 수자원의 확보가 가능하므로, 지역적인 물 부족의 해소가 가능하다. 특히 정부의 목표와 같이 공업용수로 연간 4.4억을 재이용하는 경우를 가정하면, 연간 용수공급량이 1.06억톤인 충남 보령댐 4개의 대체효과가 있다.

이를 에너지 소비 및 CO2발생량 저감의 측면에서 고려해 볼 경우, 공업용수로 공급되는 4.4억톤/년의 하수처리수 중 상수대체율은 0.437로 적용할 수 있으며, 상수 1톤을 생산하는데 0.248kW가 소비되므로 연간 4,800만 kW의 에너지 절감이 가능하다. 에너지 1kW 소비시 424g의 CO2가 발생하므로, 중수를 공업용수로 재이용함에 따라 연간 CO2가 발생량을 2만톤 절감시키는 효과를 유발하므로 정부의 지속가능한 복지환경 정책에 부흥하는 미래유망기술이라고 할 수 있다.

공업용수로 재이용시의 CO2저감량 계산
→ 4.4억㎥/년 X 상수대체율 0.437 X 0.248kw/물 1㎥ 생산 X CO2 424g발생/kw소비

또한 중수를 재이용하는 광역중수도 개념의 경우, 평균 생산에너지가 1.2kWh/ton소요되지만, 빗물의 경우는 0.012kwh/ton으로 상대적으로 매우 낮기 때문에 본 연구에서와 같이 중수와 빗물을 통합연계하여 재이용함으로써, 중수만을 재이용하는 방안에 비해 [표 13]에 나타낸 바와 같은 에너지 절감효과를 얻을 수 있다.

표 47 중수재이용과 빗물 이용률에 따른 에너지 절감효과의 비교

	빗물이용률 (중수처리수 이용률) (단위:%)				
	0 (100)	20 (80)	40 (60)	60 (40)	80 (20)
에너지 소비량(kwrh/ton)	1.2	0.96	0.72	0.48	0.24
에너지 절감효과(%)	0	20	40	60	80

※ 행정중신복합도시 빗물관리계획수립연구, 행정중신복합도시건설청(2009)

또한 종전 수역으로 방출되는 중수를 재이용함에 따라 수계측면에서는 오염부하량이 감소하는 효과를 얻을 수 있다. 2007년 기준 국내 하수처리장 방류수의 평균 BOD농도는 9.3 mg/l임을 감안할 때 연간 4.4억톤의 방류수를 재이용함으로써 BOD부하량이 연간 약 4,092톤 감소된다. 이는 국내 대표적인 석유화학단지인 울산 미포공단의 BOD배출량 645톤/년의 6배에 해당하는 양으로, 오염총량제에 의해 제한받는 개발용량 측면에서 볼 때는 미포공단의 6배 규모에 달하는 개발용량이 확보되는 셈이다.

따라서 본 연구에서 제시하는 중수 빗물 하이브리드형 물재이용시스템은 대체수자원의 개발에 따른 상수대체효과로 CO2저감 및 개발용량 증가효과 등을 통해 궁극적으로 저탄소 녹색성장의 주요 핵심이 되는 도시 및 지역의 물 자급율 및 건전한 물순환시스템 구축에 중추적인 역할을 할 것으로 기대된다.

다. 경제적·산업적 측면

본 연구에서 개발되는 중수와 빗물 하이브리드형 물재이용시스템은 궁극적으로 직접적인 상수 대체효과를 가져올 수 있는 수자원을 생산하는 기술로서, 직접적인 상수도 사용량 및 광역 상수도의 댐 주변지역의 지원비 절감등의 효과가 있으며, 이를 상수도 생산원가를 적용해 계산하면 연간 1,352억원의 상수도 생산비용 절감의 효과를 볼 수 있다.

[4.4억톤/년×0.437 (상수대체율)×톤당 상수생산원가(704원/톤)= 1,352억원/년]

산업적인 측면에서 가장 큰 시장은 중수를 공업용수로 재이용하기 위해 환경부가 민간투자사업으로 추진계획중인 사업으로 아래 표에 나타낸 바와 같이 총 19개소, 초기투자비용 1조 4천억원의 시장이다. 용수공급량이 부족하거나 물값이 비싼 산업단지 등에 중수를 공업용수로 공급함으로써 용수부족 문제의 해소와 생산성향상 및 지역경제발전에 기여하고자 하는 본 사업은 민간의 기술과 자본이 적극 활용될 계획에 있어 본 연구에서 개발될 경쟁력 있는 중수처리 재이용시스템은 경쟁력이 있는 대안이 될 것이다.

또한 2020년까지 조성예정인 600여개소의 지방소 녹색마을이나, 아산, 위례, 동탄, 인천김단 등과 같이 신도시 개발 등에 있어 친환경 물순환 시스템의 적용은 필수화 되어 있고, 현재 정부가 2020년까지 계획하고 있는 녹색다운 및 도시건설 사업의 규모도 약 9조원에 달하고 있어 이러한 개발 사업 등에 친환경 물순환 시스템이 적용될 수 있을 것이라 기대된다.

또한 빗물 저류 및 재이용시스템 단독으로는 공공건축물 및 일정규모 이상의 건축물에 대한 빗물이용시설 설치조례가 설치되어 있는 서울, 파주 등 19개 지자체의 소규모 건축사업에 요소기술로 적용이 가능하다.

표 48 국내 19개소의 하수처리수 재이용사업 추진 계획

단 계	지자체	하수처리장	수요처	하수처리시설 용량(천㎥/일)	재이용시설 용량(천㎥/일)	사업비 (억원)
	계	19개소		5,209	1,220	13,756
1단계 (5개소)	포항시	포항	포스코/철강공단	232	100	1,045
	대구시	북부	대구염색	170	100	985
	안산시	안산	안산반월	534	100	1,046
	양주시	신천	김준산업단지	70	30	481
	당진군	고대부곡	동부제철/고대산단	11.4	8	115
2단계 (14개소)	아산시	아산신도시	아산탕정1,2	48	32	454
	군산시	군산	군산, 군산국가,지방	240	80	900
	옥산시	용연	용연	250	100	1,102
	구미시	구미	구미	330	100	979
	동두천시	동두천	동두천	86	30	391
	인천시	승기	남동	240	50	617
	전주시	전주	전주1,2산단	403	50	617
	영암군	대불	대불/영암삼호	56	10	200
	시흥시	시흥	시흥 시화	279	100	1,054
	대전시	대전	대덕/대전12	900	100	1,054
	기타	4개소		1,360	230	2,716

※ 사업비는 비용함수식에 의하여 산출한 추정사업비임

이외에도 본 중수 및 빗물 하이브리드형 물재이용시스템은 자동화 및 최적화로 경쟁력 있는 기술을 개발함으로써 동남아시아나 중동지역, 북아프리카 지역 등 수자원 부족으로 어려움을 겪고 있는 지역에 수출가능한 기술이다.

라. 일자리 창출 측면

본 연구에서 개발하고자 하는 중수-빗물 하이브리드형 물재이용기술로 인한 일자리 창출 분야는 대략 중수처리 고도화에 따른 환경전문 운영인력의 소요, 빗물저류 시스템 구축을 위한 기술인, 통합 연계시스템 구축 및 운영 소프트웨어 관련 기술인 등으로 예상되며, 시장이 구체화된 중수의 공업용수 재이용 투자계획을 기준으로 수도산업의 취업계수 등을 고려해 수치화하여 아래 표에 나타내었다. 중수 재이용시장인 1조 4천억원을 기준으로 수도산업의 취업계수인 10억원당 7.11명, 간접취업유발인원 10억원당 3.6명을 적용할 경우 직·간접적으로 약 15만명의 고용창출 효과를 기대할 수 있을 것으로 예상할 수 있다.

표 49 개발기술의 고용창출효과 예측

재이용량 (억톤/년)	시장규모 (억원)	직접유발효과 (명)	간접유발효과 (명)	총 신규 고용 인원(명)
4.4	14,000	9,954	5,040	14,994

[적용근거 : 2005년 산업연관표 기준]

제5장. 연구개발성과의 활용계획

1. 사업화계획

구 분		사업화 연도		
		2018 년도	2019 년도	2020 년도
개발계획품목		중수-빗물 하이브리드형 물재이용시스템	통합형 재이용시스템의 운영제어 프로그램	도시내 빗물 지류조의 광역중수도 시스템 구성안 및 설계메뉴얼
투자계획	소요인원	3인	3인	5인
	제조시설	오존수산화장치	오존수산화장치	오존수산화장치
생산계획(톤)		빗물 250톤, 중수 30톤	2,000톤	2,000톤
판매계획 (억원)	내 수	100억원	200억원	200억원
	수 출	-	50억원	100억원
	계	100억원	250억원	300억원

2. 무역수지 개선효과

구 분	2018년도	2019년도	2020년도
수입대체효과(억원)	1,410	3,290	5,640
수 출 효 과(억원)	-	3,000	8,000

※ 수입대체효과 산출근거

- 2016년까지 하수처리수재이용 신규투자규모 1.4조원규모으로 2012년부터 매년 균등투자가정 2012년의 경우 전체 시장 4,700억원 시장 중 기술적용비율 30%적용, 이후 기술의 완성도 및 실적을 바탕으로 적용비율 증가계상(2015년의 경우 40%적용, 2016년의 경우 50% 적용)

※ 수출효과 산출근거

- 세계 수처리 시장규모 자료 중 동남아, 중동지역, 아프리카등 물부족국가를 수출시장으로 선정 → 이들 국가는 수출시 하수처리 MBR시스템과 연계하여 본 개발공법 적용이 가능하므로 전체 물시장중 하폐수가 차지하는 비율 46%를 감안해 대상지역 하폐수 시장규모산출 → 본 개발공법의 점유율을 2014년 2%, 2016년 5%로 확대되는 것으로 하여 수출효과 산출

가. 세계수처리시장규모(2000-2010)

(단위 : 억달러)

수처리 시장	북미	서유럽	일본	동남아	중국	인도	중남미	호주	중동 유럽	중동	아프리카	총계
2000	748	657	288	78	29	13	56	38	43	22	15	1,986
2010	912	726	348	146	66	23	91	54	86	36	24	2,152
연평균 성장율	2.0	1.0	1.9	6.5	8.6	6.0	5.0	3.7	7.2	5.0	4.6	2.4

(출처 : KOTRA, 2007.11)

나. 연도별 수출대상시장 규모 예측

(단위 : 억달러)

수처리시장	수처리 전체 시장 규모				하폐수 분야 시장규모			
	동남아	중동	아프리카	합계	동남아	중동	아프리카	합계
2012	165	40	26	231	76	18.4	12.0	106.4
2014	184	43	28	255	85	19.8	12.9	117.7
2016	203	47	31	281	93	21.6	14.3	128.9

(비고 : 시장규모예측시 상기 KOTRA의 연평균 성장률 적용)

3. 사업화가능성 SWOT 분석

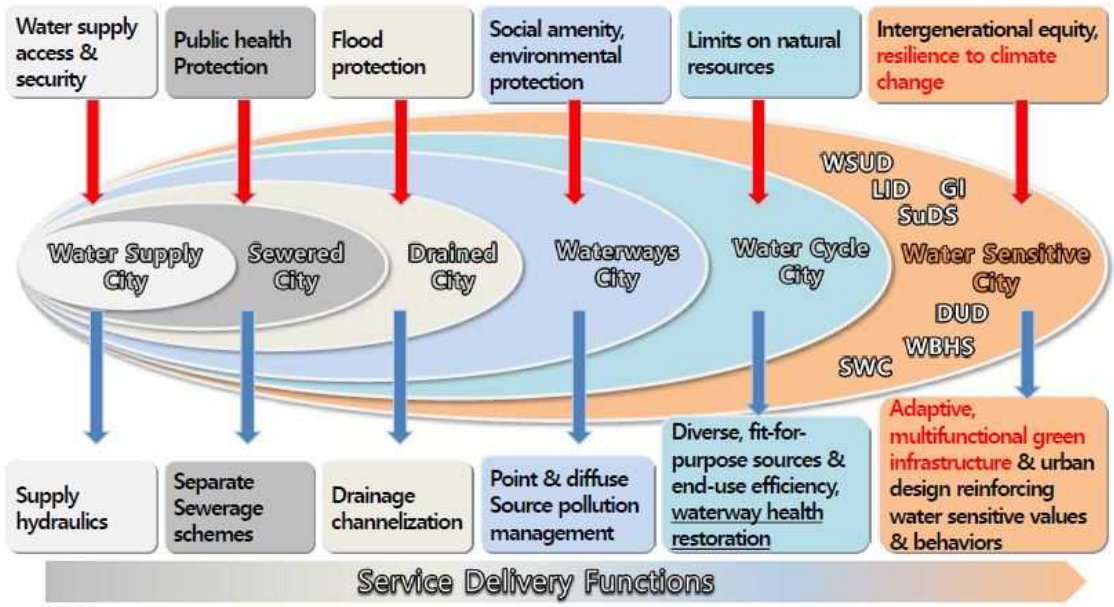
(강 점: Strength)	(약 점: Weakness)
국제공동연지지원사업, 빗물저류시스템연구등을 통해 기반 기술 축적 (당사 MOP기술, 중수처리시스템 개발) - 정부부처의 관심 및 적극적인 지원 - 국내 중수처리, 빗물관리 등 경험축적 - 당사 중수처리장 생활용수 재이용 플랜트 (50m³/일) 운영 데이터 활용가능 물재이용의 핵심요소기술인 산화처리장치에 대한 신기술 및 특허 다수 보유	- 수도요금 및 각종 용수 요금이 원가에도 미치지 못하고 있어 대체수자원 확대보급에 장애요인으로 작용함 - 요소 및 기반기술이 취약하여 국내 실정에 적합한 핵심기술의 부재 - 빗물과 중수 두 수자원을 통합한 연구전무
(위 기: Threat)	**(기 회: Opportunity)**
- 빗물의 경우 공공연구의 특성이 강함 시장개방에 따른 선진외국기술 유입 및 관련기술을 소유한 다국적 기업의 국내시장 진출 - 물을 자유재 및 공공재로서 생각하는 국민의식 중수 재이용수 및 빗물에 대한 부정적인 국민의식	- 대체수자원에 대한 국민의 관심 증대 및 이에 대한 요구 상승 - 전세계적인 물 부족 문제로 인한 물산업의 부가가치 및 시장성 증대 - 관련시장 성장으로 기술수요 증가 - 국내 산화처리장비의 안정적인 생산 및 적용기반 확보 - 북경지역 해외 수주 등과 함께 차세대 성장동력 산업분야로 인식됨

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1. 해외 물 부족 문제의 해결을 위한 건축물 단위의 물 관리 패러다임

❶ 물관리 패러다임의 변화

- 기후변화 적응 및 지속가능 도시: 물순환 인프라
- 단일기능 회색 인프라 ➡ 다기능 그린 인프라



❷ 각국의 물관리 패러다임

- 분산형 발생원 관리
- 도시 물순환 디자인

분류	독일	영국	미국	호주	일본
개념	분산형 도시설계 DUD (Decentralized Urban Design)	지속가능형 도시배수 시스템 SuDS (Sustainable Urban Drainage Systems)	저영향개발/ 그린인프라 LID/GI (Low Impact Development/ Green Infrastructure)	물 민감형 도시설계 WSUD (Water Sensitive Urban Design)	균형 있는 물순환 시스템 WBHS (Well-balanced Hydrological System)
특징	✓ Decentralized rainwater management ✓Management and using of stormwater runoff	✓Integrated design on quantity, quality & amenity ✓Site management (design, maintenance & education) ✓Management train technology	✓Management of pollution sources and rainwater management based on green land ✓BMPs/ WQCV ✓LID/GI ✓Smart water grid	✓Rainwater management adaptable to climate change ✓Management and using of stormwater runoff	✓Applied as one unit of river basin ✓ Well-balanced among flood control, water use and aqua-environment ✓ Promotion of rainwater storage and infiltration facilities

2. 해외 물 부족 문제의 해결을 위한 물 관리 기술(독일, 미국, 캐나다, 영국, 일본, 중국)

❷ 해외 6개국 물순환 관리 기술 적용 사례와 시사점

국가명	적용 지역	적용기술	관련 그림/사진	시사점
독일	프랑크푸르트 (건축물)	▪ 옥상녹화 ▪ 생태연못 ▪ 빗물 이용 ▪ 태양광 활용		▪ 옥상녹화, 생태연못 ▪ 실내 물 공간(습도조절, 소리 공간 창출) ▪ 물·에너지 효율성 강조
	베를린 (포츠다머플라츠: 상업지역)	▪ 옥상녹화 ▪ 빗물 저류 ▪ 조절지		▪ 침투시설 없이 옥상녹화, 빗물저류, 조절지로 99% 강우 유출 저감 구현
	베를린 (흄볼트 대학)	▪ 옥상녹화, 빗물저류, 식생수로, 빗물침투 ▪ 빗물 공조설비		▪ 벽면녹화, 수면 공간, 빗물 공조설비에 의한 에너지 절감 대책 ▪ 녹지, 저류, 침투 등으로 무방류 시스템 구현
	도르트문트 앰셔지역 (공동주택)	▪ 연석 식생지 ▪ 투수포장 ▪ 지하침투		▪ 기능과 경관의 조화 ▪ 지역 문화 반영

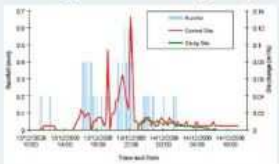
❷ 해외 6개국 물순환 관리 기술 적용 사례와 시사점

국가명	적용 지역	적용기술	관련 그림/사진	시사점
미국	포트 칼린즈 (주거·상업지역 /녹지)	▪ 녹지 저류 ▪ 식생수로 ▪ 연계 처리		▪ 오목형 녹지 ▪ 100년재현빈도의 강우관리 (수질, 수량, 수온 관리) ▪ 연계처리 기법
	보스턴 (MIT 공대)	▪ 경관 조절지 ▪ 빗물 저류		▪ 경관시설로 입체적 빗물관리 구현 (경관, 수질관리, 수량관리, 수자원 확보)
	필라델피아 (Villanova 대학 /도심 공원 등)	▪ 옥상녹화, 빗물정원, 식생수로, 인공습지 ▪ 투수포장 ▪ 수목여과박스		▪ 자체 유출저감 공간 확보 (개발로 인한 영향 최소화) ▪ 도심 체육시설·공원 물관리 공간으로 재정비
	시애틀 (High Point village 등)	▪ 연결차단, 빗물정원, 연석식생지 ▪ 투수포장 ▪ 유수지		▪ 적극적 발생원 관리 ▪ 다양한 식생 활용 ▪ 연계처리기법 적용

❷ 해외 6개국 물순환 관리 기술 적용 사례와 시사점

국가명	적용 지역	적용기술	관련 그림/사진	시사점
미국	퓨알럽, WA (워싱턴주립대: Puyallup)	▪ 빗물이용 ▪ 투수포장(주차장) ▪ 빗물정원	 	▪ 실규모 실증 설비 ▪ 다양한 토양/식생 특성 연구 추진
	리버사이드 (홍수관리 물보전 센터)	▪ 빗물정원 ▪ 통로화단 ▪ 투수포장 ▪ 저류지(침투)	 	▪ 실규모 실증 설비 ▪ 수질·수량 모니터링 노력
캐나다	밴쿠버 (주거지역, 스탠리공원)	▪ 옥상녹화, 빗물정원, 식생수로, 인공습지 ▪ 투수포장 ▪ 수목여과박스	 	▪ 띠녹지, 식생수로 등에 의해 저류, 여과, 침투, 증발산 등 유도 노력 ▪ 도시 농업 연계
	스쿼미쉬 (주거지역, 상업지역)	▪ 빗물홈통 연결차단, ▪ 식생여과대, 식생수로, 빗물정원 ▪ 생태조절지		▪ 발생원 관리 및 녹지 적극적 활용 ▪ 생태 공간 제공

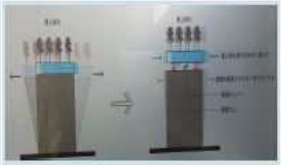
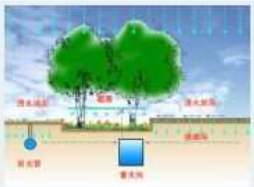
❷ 해외 6개국 물순환 관리 기술 적용 사례와 시사점

국가명	적용 지역	적용기술	관련 그림/사진	시사점
영국	런던 (베드제드 단지 : 영국최초친환경탄소중립복합단지)	▪ 옥상녹화 ▪ 빗물저류 ▪ 물재이용 ▪ 에너지 절감 연계		▪ 난방수요 일반주택의 10분의1 ▪ 중수 : 조경, 화장실용수의 90%이상 공급 ▪ 가구 평균 : 80L 소비
	런던 (밀레니엄 단지)	▪ 빗물저류 ▪ 절수 및 물재이용 ▪ 생태연못 ▪ 에너지 절감 연계		▪ 에너지 절감 : 50% (태양열, 고단열 등) ▪ 물소비 절감 : 30% (절수기, 빗물이용, 중수)
	브리스톨 (브리스톨 비즈니스 공원)	▪ 투수블록 ▪ 식생수로 ▪ 저류지 ▪ 유수지		▪ 투수면적 : 1.2ha ▪ 투수기층 : 350mm 기층 ▪ 연계관리(투수블록->식생수로-> 저류지 -> 유수지)
	캠브리지_캠본 (Lamb Drive_ 주택단지)	▪ 옥상녹화 ▪ 빗물통 ▪ 식생여과대 ▪ 투수성 포장 ▪ 생태수로 ▪ 저류지/유수지		▪ 35가구: SuDS 연계관리 

② 해외 6개국 물순환 관리 기술 적용 사례와 시사점

국가명	적용 지역	적용기술	관련 그림/사진	시사점
일본	사이타마현 (Urban 미래 히가시오미야: 택지개발지역)	▪ 상류 생태 유수지 ▪ 공원 및 학교 저류지		▪ 하천 부하 최소화 ▪ 생태기능의 조절지 상류에 조성 ▪ 공원과 학교 부지의 방재 기능화
	사이타마현 (월드컵경기장)	▪ 유수지 ▪ 주차장 저류지 ▪ 빗물이용 ▪ 생태블록		▪ 경기장 자체 유수지 ▪ 주차장을 조절지로 활용 ▪ 빗물 자원화 (비상식수 등)
	요코하마시 (신요코하마공원)	▪ 다목적 유수지 ▪ 빗물이용		▪ 공원(경기장) 전지역 유수지로 활용 ▪ 국토교통성과 요코하마시 협업
	후쿠시마현 (수와노 공원도시)	▪ 투수성 포장 ▪ 침투통 ▪ 침투트렌치		▪ 침투시설만으로 집중호우 대비 (310mm 연속강우 및 시간당 91mm : 전량 침투) ▪ 지하수 보전 및 활용

② 해외 6개국 물순환 관리 기술 적용 사례와 시사점

국가명	적용 지역	적용기술	관련 그림/사진	시사점
일본	도쿄도 코네가이시 (유역)	▪ 침투통 ▪ 침투트렌치		▪ 20여 년간 주민부담과 보조금으로 유역 물순환 추진
	요코하마시 (주거지역/ 상업지역)	▪ 대규모 조절지		▪ 뉴타운 조성 시 대규모 조절지 조성 (하천수 유입)으로 홍수 조절
	도쿄 (건축물;록본기 인근 건물)	▪ 옥상녹화		▪ 열섬현상 완화 목적 ▪ 옥상녹화의 대중량을 제진요소로 활용(그린 마스탄바 시스템)
중국	베이징 (올림픽 공원)	▪ 오목한 녹지 ▪ 침수 정원 ▪ 투수성 포장 ▪ 빗물 저류 ▪ 지하수 이용		▪ 풍수기 강수량 456mm 중 97.8%의 빗물을 침투 또는 이용함 ▪ 강수의 자원화(근거리 이용)

3. 해외 물 부족 문제의 해결을 위한 건축물 단위의 물 관리 기술(독일, 영국, 중국)

① 독일 : 빗물관리 시스템

● Frankfurt: Eco house, Germany



• 옥상녹화, 생태연못, 빗물이용





• 실내 벽면 녹화, 물 공간, 태양광 이용

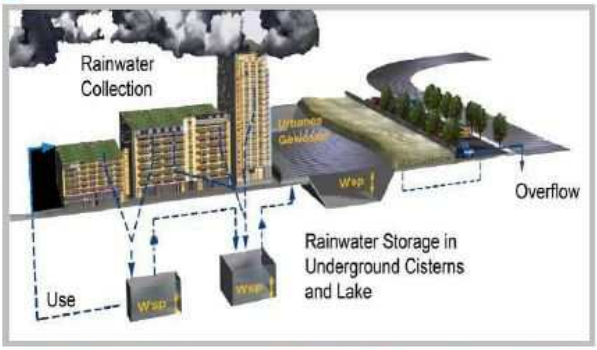
▌시사점 : 옥상녹화, 생태연못, 실내 물공간(습도조절, 소리공간), 자연광 이용

① 독일 : 빗물관리 시스템

● 포츠다머플라츠: 침투제한, 1% 유출 허용

면적 : 68,000 m^2
- Water surface area : 12,000m^2,
- Green roof surface area : 12,000m^2

99% 강우 유출 저감
(빗물저류 : 2,600m^3, 저수지 : 3,300m^3)
증발산 : 미기후 조절
하천 생태계 보전
커뮤니티 공간 제공











▌시사점 : 침투 없이 옥상녹화, 지하저류, 저수지 등으로 강우유출 99% 저감

④ 영국 : 빗물관리 시스템

- 베드제드 단지 (Beddington Zero Energy Development Village), London
  - 영국 최초의 친환경·탄소 중립 복합단지 (1인당 연간 6톤 가량의 CO_2 배출감소 효과)
  - 적용기술: 절수, 빗물이용, 중수, 옥상녹화, 식생수로 등











영국 평균 물소비 150L 대비 80L 소비



PSV(Passive Stack Ventilation)

▌시사점 : 물·에너지 자립도 향상 및 탄소중립 추진, 시민참여 유도

④ 영국 : 빗물관리 시스템

- 밀레니엄 단지 (Greenwich Millennium Village), London
  - 수변도시(보전지역 설정, 템즈강과 연계), 에코파크 등 오픈스페이스가 전체면적의 50%
  - 적용기술: 절수(스프레이형 수도꼭지), 빗물이용, 생태연못, 중수, 투수블록 등













▌시사점 : 적극적 물·에너지 자립 추진, 보전지역 설정, 종합적인 친환경 지속가능 단지

⑥ 중국 : 빗물관리 시스템

- 베이징(Beijing): Olympic Park, China
  - Olympic central public area
  - 면적 : 90 ha
  - 적용 원리 :
    - 주로 침투, 적절한 재이용
    - 침투 후 여과된 물을 차집하여 이용을 위해 저장
    - 모은 물은 가능한 가까운 곳에서 사용
    - 비용 절감









Source:
www.worldwaterweek.org/documents/WWW_PDF/2011/Tuesday/K23/Levers-of-Change-in-Peri-Urban-Water-Management/Storm-Water-Harvesting-and-Management-in-Beijing-Urban-Area.pdf

제7장. 연구개발성과의 보안등급

일반

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

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

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

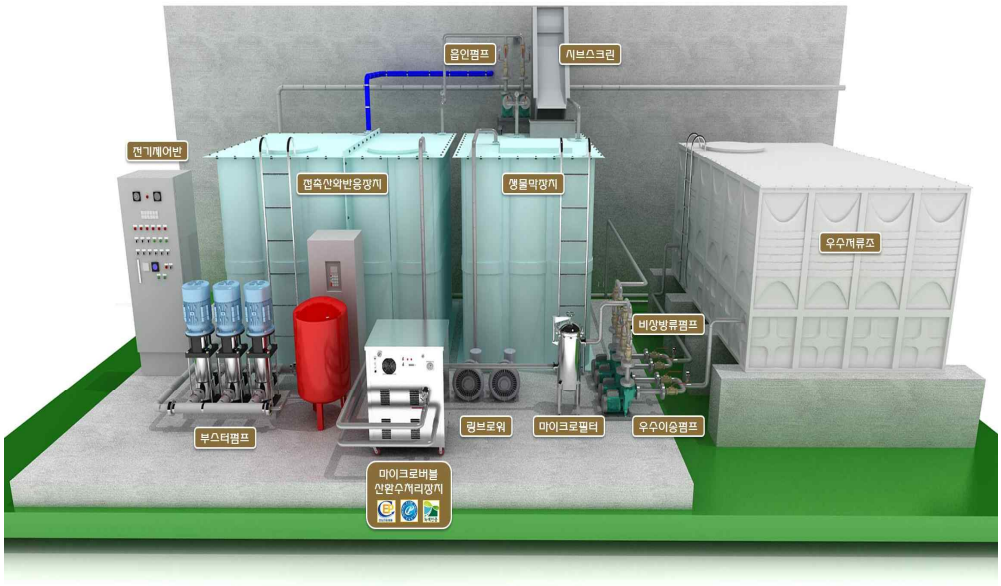
해당없음

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분(논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속기관명	역할	논문게재지/특허등록국가	영향력지수	논문 게재일/특허등록일	사사여부	특기사항
1	특허	빗물과 잡배수를 재이용하기 위한 재이용수 처리 장치	해성엔지니어링		대한민국		2016.10.26	단독 사사	등록
2	특허	압력유지 보조탱크를 이용한 가스용존 장치	해성엔지니어링		대한민국		2017.06.27	단독 사사	등록
3	논문	Importance of Bubble Rod Characteristics in Dissolved-air-flotation	서울대학교		대한민국	0.8	2017.06.20	중복 사사	SCI
4	논문	High Rate DAF를 위한 플록형성공정의 설계와 기포발생시스템의 운전조건 결정	서울대학교		대한민국	0.17	2017.10.25	중복 사사	KCI
5	논문	Development of Algae Removal Method Based on Positively Charged Bubbles	서울대학교		대한민국	0.8	2017.01.31	중복 사사	SCI
7	논문	빗물 이용을 위한 빗물 체험관 설계 및 효과분석	서울대학교		대한민국	0.17	2017.02.06	단독 사사	KCI
8	논문	서울대학교 내 초설수 변기 교체에 따른 절수효과 및 편익분석	서울대학교		대한민국	0.17	2017.02.06	단독 사사	KCI

제11장. 기타 사항

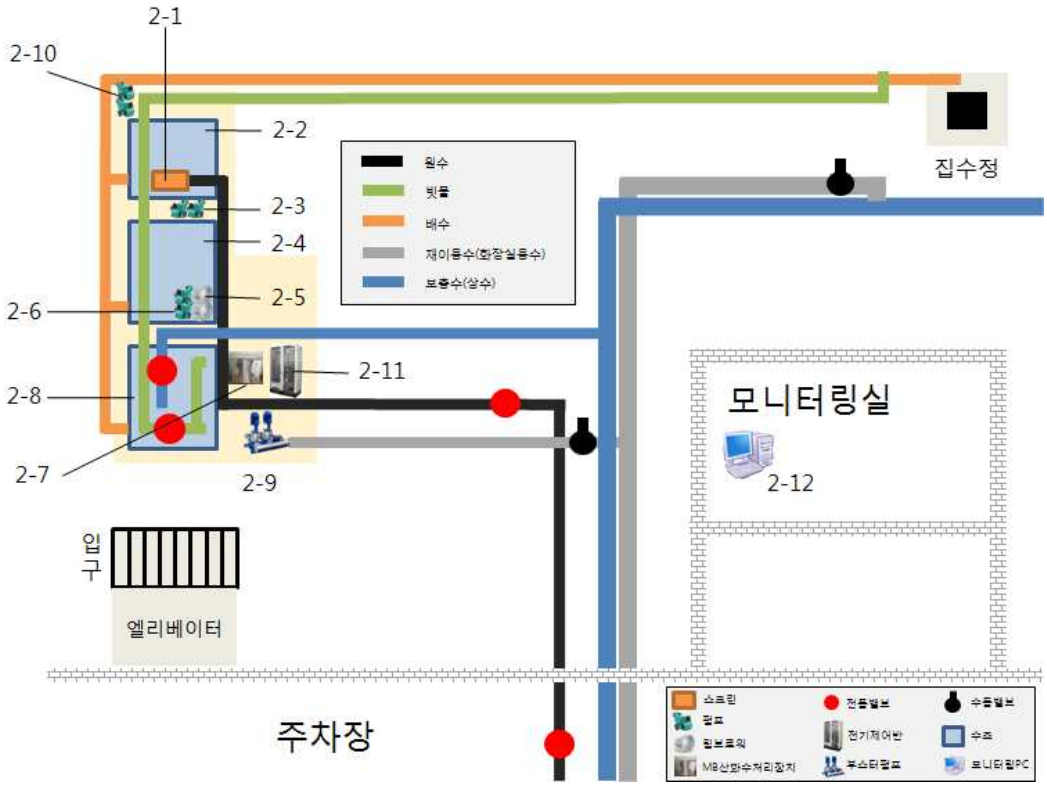
빗물·중수 하이브리드형 물재이용시설 운전 매뉴얼



해성엔지니어링(주)

1. 빗물·중수 하이브리드형 물재이용시설 구성

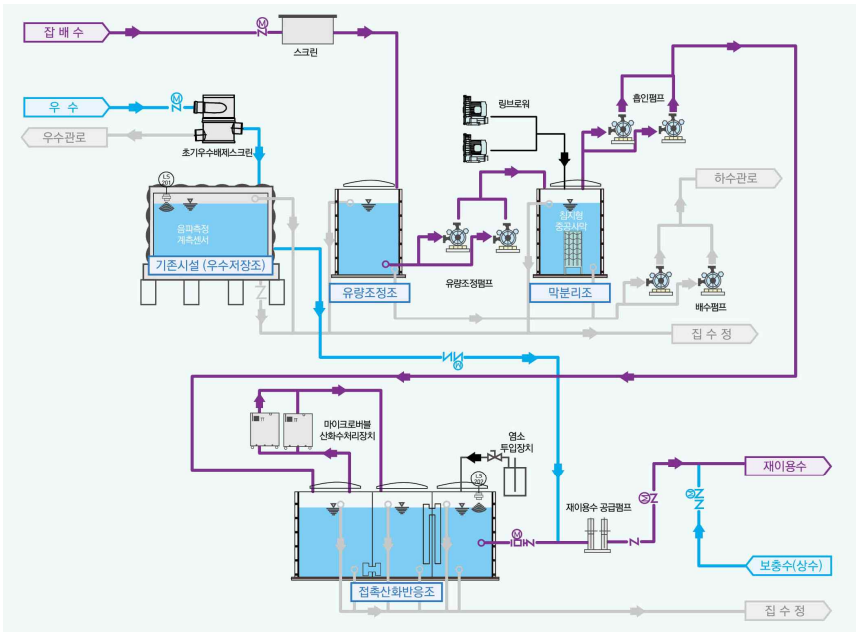
1	빗물저류시설	설 명
1-1	초기우수배제스크린	집수면의 오염물질이 빗물저류조로의 유입을 방지하기 위해 초기 유입빗물을 배제
1-2	우수저장조	오염된 초기 유입 빗물이 배제된 후, 빗물 내에 함유된 입자성 물질을 침전시켜 상등수를 저장
2	**중수도시설**	**설 명**
2-1	스크린	유량조정조로 유입되는 잡배수[1]의 고형물질이나 고형물질을 제거
2-2	유량조정조	스크린에서 여과된 원수를 일정시간동안 집수하는 혐기조
2-3	유량조정펌프	유량조정조에 집수된 원수를 막분리조로 이송
2-4	막분리조	유량조정조로부터 혐기화된 원수를 막여과 및 활성오니처리하는 수조
2-5	링브로워	막분리조 내 미생물을 활성화시키기 위해 공기를 수조내에 공급하는 장치
2-6	흡입펌프	막처리된 상등수를 접촉산화반응조 내 유입반응조로 이송
2-7	마이크로버블 산화수처리장치	막여과 처리된 상등수에 오존과 마이크로버블을 주입하여 소독, 대장균제거 및 색도 제거
2-8	접촉산화반응조	마이크로버블 산화수처리장치를 이용하여 막분리된 원수를 산화처리하는 반응조
2-9	재이용수 공급펌프	처리된 빗물과 중수를 화장실용수로 공급하는 펌프
2-10	배수펌프	각 수조 내 침전된 오니를 배출하거나 비상시에 수조내 원수를 배출하는 펌프
2-11	전기제어반	전동밸브, 펌프, 유량계, 수질센서, 수위계 등을 자동제어 및 데이터 값을 모니터링하는 제어반
2-12	모니터링PC	PLC 프로그램으로 자동제어가 가능하고 관리자나 운영자가 손쉽게 시설을 제어할 수 있음.



[기계실 모식도]



[빗물-중수 하이브리드형 물재이용시설 현장 전경]



[빗물-중수 하이브리드형 물재이용시설 계통도]

2. 주의사항에 따른 안내표기

시설의 운전 조작이나 사용 전 안전주의사항을 반드시 읽고 올바르게 조작하거나 대처해 주십시오. 표기된 사항들은 운전자나 관리자에게 위험요소나 장비의 고장으로 인한 침수, 화장실용수 공급 정지 등의 문제를 미연에 방지하기 위해서이다. 발생된 문제들의 위험 수위나 대체요령에 따라 **경고, 화학적 위험요소, 주의, 조작금지, 설명** 등으로 구분해서 표시하였다.
시설 관계자나 운영자는 안전의 확보나 문제의 신속한 조치를 위해 아래 사항에 대해 꼭 숙지해야 한다.

	**경 고**	'경고'가 표시된 부분을 무시할 경우, 시설물의 파괴 및 관리자나 운영자가 시설물 운영관리 시 신체적 부상으로 연결될 수 있다.
	**화학적 위험요소**	'화학적 위험요소'가 표시된 부분을 무시할 경우, 신체적으로 외상이나 내상을 입을 수 있으므로, 보호장구를 착용하거나 접촉을 피하고 필요에 따라 환기나 송풍을 해야 한다.
	**주 의**	'주의'가 표시된 부분을 무시할 경우, 시설물의 기기나 장치가 고장 및 파손될 수 있고, 오랫동안 방치할 경우 안전사고로 연결될 수 있다.
	**조작금지**	'조작금지'가 표시된 부분은 별도의 매뉴얼이나 숙련자 등의 운영관리자 입회 아래 행해져야 한다.
	**설명**	'설명'이 표시된 부분은 운영관리에 있어서 고장이나 비상시에 매뉴얼에 따라 대처해야한다.

3. 시설 및 기기장치 운전 및 조작법

3-1. 빗물저류시설

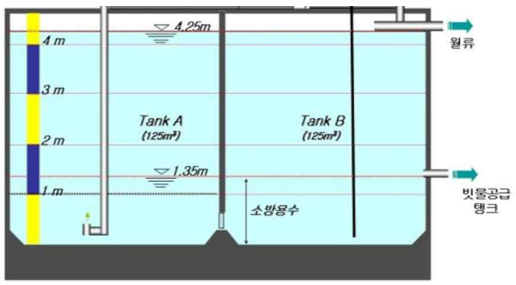
3-1-1. 초기우수배제스크린

	
정면도	초기우수배제스크린 내부

설명)
집수면적에서 각 우수관로로 유입되는 빗물을 원심력에 의해서 이물질을 걸러내는 장치. 장치 내부에 거름망이 있어 초기빗물에 함유한 고형물질, 낙엽, 담배 등을 여과하여 우수저장조로 저장된다.

권고사항)
6개월에 한번씩 또는 30㎜ 이상 강우가 2시간 이상 지속 시에 거름망을 분리하여 세척한다.

3-1-2. 우수저장조

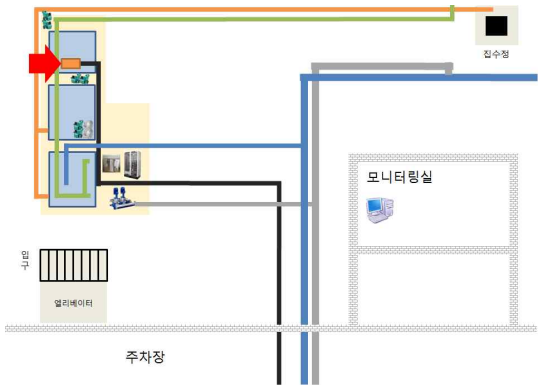
<table>
<tr>
<td>  </td>
<td> 

</td>
</tr>
<tr>
<td>빗물저류조 상부</td>
<td>빗물저류조 단면도</td>
</tr>
</table>

설명)
초기우수배제스크린을 통과한 빗물은 토목구조로 설치된 빗물저장조(250톤)에 저장되는데, 일부는 소방용수로 비상시에 사용하게끔 되어있고 높이 약1.3m 에 빗물공급 배관이 중수도 시설 처리수조로 연결되어 자연압으로 필요시에 자동 공급되어지고 있다.

권고사항)
빗물 수질상태에 따라 1년에 한번 이상 저장조 내부를 청소한다.

3-2. 중수도시설

3-2-1. 스크린



기계실 내 스크린 위치

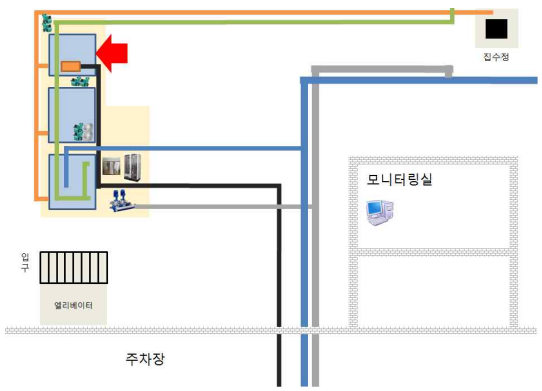


스크린 측면

설명)
중수의 원수인 잡배수(손세척수, 샤워수)가 원수배관을 통해 유량조정조로 집수되기 전에 크기 1㎜ 이상의 고형물질이나 머리카락 등을 스크린 망을 통해 걸러낸다. 스크린 내부에 망목 #1㎜의 철망 3개로 구성되었다.

권고사항)
1개월에 한번 이상 스크린 내 여과망을 세척해주고 이물질을 제거해준다.

3-2-2. 유량조정조



기계실 내 유량조정조 위치



유량조정조 전면

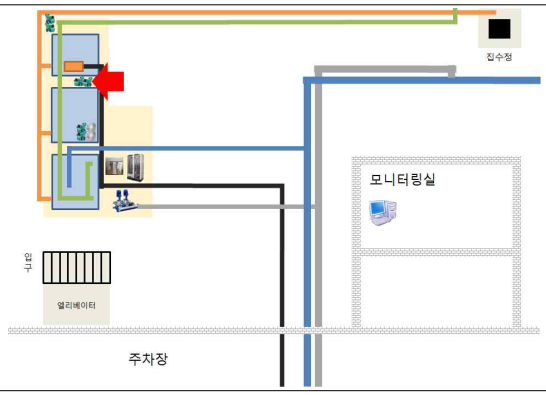
설명)
수조크기는 10톤(2m(L) × 2m(W) × 2.5m(H))로 FRP 수지로 두께 30㎜로 제작되었다. 상부에 뚜껑이 있어 유지관가 용이하고 높이 2.4m 후단에 배수관이 연결되어 있어 월류(overflow)가 되어 집수정으로 흘러들어가도록 하였다. 또, 수조 하단에 별도의 배수관(drain pipe)이 설치되어 수조 청소시 더러운 물을 배출시킬 수 있다.
유입수의 수량 부하를 용이하게 조절이 가능하여 빗물이용시 원수를 집수하고 최대 집수량 약 10톤 이상이 되면 배수되거나 하수관로로 이송된다. 수조 전면에 사다리가 있어서 상부에 설치된 스크린 청소나 유량조정조 청소 시 용이하다.

권고사항)
1-2년에 한번씩 청소를 해주고 필요시에 수조 하부에 쌓인 오니를 배출시킨다.

3-2-3. 유량조정펌프



유량조정펌프 전면



기계실 내 유량조정펌프 위치



유량조정펌프 후면

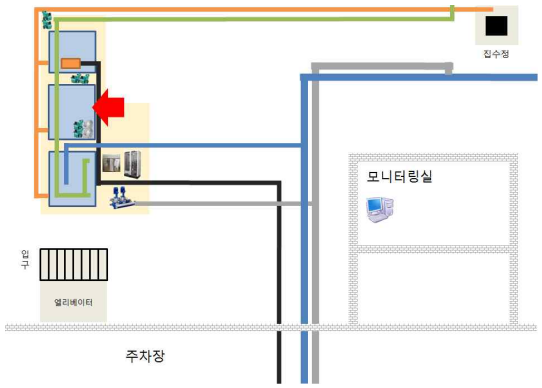
설명)

유량조정펌프는 관경 32A, 50L/min·8m의 기기규격으로 상시이용 1대와 비사용 1대로 설치되어 있다. 유량조정조에 저장된 원수가 막분리조로 이송되는데 시간당 필요전력량은 0.35kWh 이며, 유량조정조와 막분리조의 수위에 따라 자동운전된다.

권고사항)

고장 발생시 비상용으로 전환하여 사용하거나 유지관리자에게 보고한다.

3-2-4. 막분리조



기계실 내 막분리조 위치



막분리조 전면



막분리조 내부

설명)

수조크기는 15톤(3m(L) × 2m(W) × 2.5m(H))로 FRP 수지로 두께 30㎜로 제작되었다. 상부에 뚜껑이 있어 유지관가 용이하고 높이 2.4m 후단에 배수관이 연결되어 있어 월류(overflow)가 되어 집수정으로 흘러들어가도록 하였다. 또, 수조 하단에 별도의 배수관(drain pipe)이 설치되어 수조 청소시 더러운 물을 배출시킬 수 있다.

유입수의 수량 부하를 용이하게 조절이 가능하여 항상 내부에 설치된 여과막 전체가 잠길 정도로 유량이 확보되어야 한다. 유량조정조의 원수가 충분히 확보될 때 유량조정펌프에 의해서 막분리조에 원수가 유입되며 체류시간(HRT) 100분이상에서 미생물 처리 및 막여과처리 후 접촉산화반응조로 이송펌프에 의해 이송된다. 최대 집수량 약 15톤 이상이 되면 배수되거나 하수관로로 이송된다. 링브로워의 간헐적인 운전을 통해 적정 공기량을 주입하여 미생물의 수를 조절해준다.

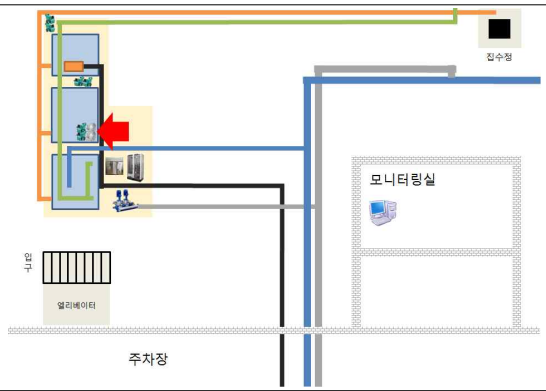
권고사항)

막분리조 내 슬러지 농도가 높을 때 슬러지를 배출하여 처리효율이 높은 적정 농도인 MLSS 3,000 ~ 7,000 ㎎/L 사이를 유지한다.

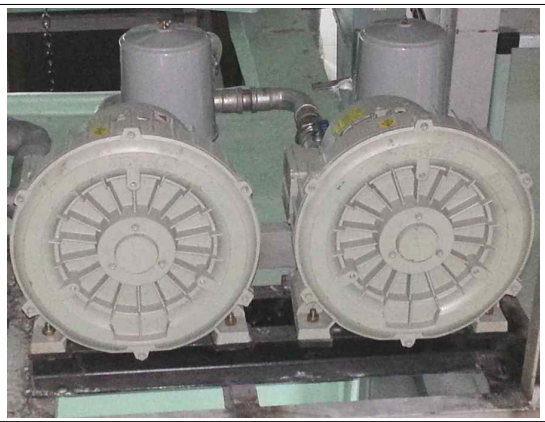
3-2-5. 링브로워



링브로워



기계실 내 링브로워 위치



링브로워 측면

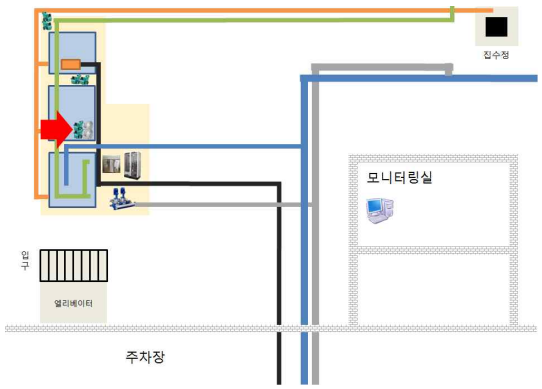
설명)

링브로워는 관경 32A, 0.8㎥/min*2,400㎜Aq의 기기규격으로 상시이용 1대와 비사용 1대로 설치되어 있다. 막분리조 내에 활성화된 미생물에 산소공급 또는 흡입펌프 작동 시 이송관 내 이물질의 끼임을 막기 위해 공기를 불어넣어 주는데 시간당 필요전력량은 1.75kWh이며, 흡입펌프 가동시 또는 설정된 시간만큼 간헐운전된다.

권고사항)

고장 발생시 비상용으로 전환하여 사용하거나 유지관리자에게 보고한다.

3-2-6. 흡입펌프



기계실 내 흡입펌프 위치

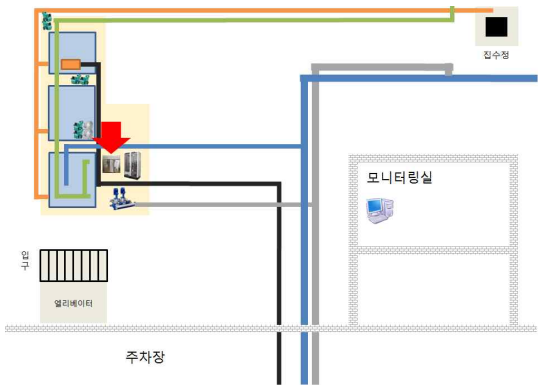


흡입펌프 측면

설명)
유량조정펌프는 관경 32A, 50L/min·8m의 기기규격으로 상시이용 1대와 비사용 1대로 설치되어 있다. 유량조정조에 저장된 원수가 막분리조로 이송되는데 시간당 필요전력량은 0.35kWh 이며, 유량조정조와 막분리조의 수위에 따라 자동운전된다.

권고사항)
고장 발생시 비상용으로 전환하여 사용하거나 유지관리자에게 보고한다.

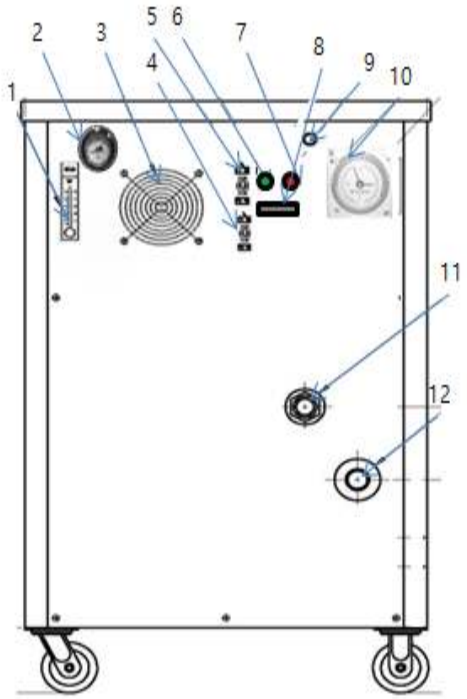
3-2-7. 마이크로버블 산화수처리장치

	
기계실 MB산화수처리장치 위치	장치 측면

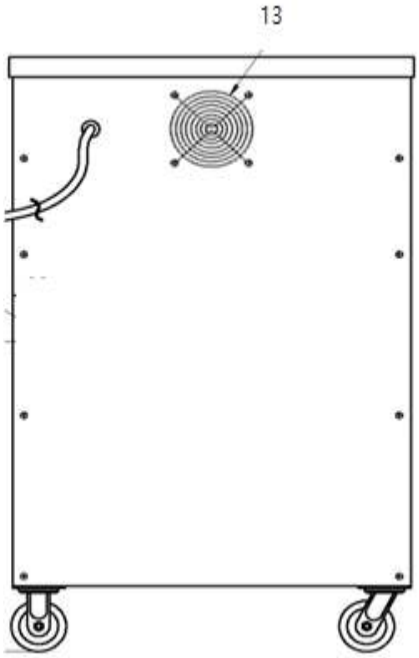
설명)
마이크로버블 산화수처리장치는 막분리조에서 처리된 원수가 마이크로버블과 오존을 라인 믹서 처리 후, 접촉산화반응조로 주입한다.

권고사항)
매월 고장여부 확인이 필요하며 필요시에 유지보수를 해야하며, 오존 가스의 유출 여부 확인은 유지보수 관계자의 검침이 필요하다.





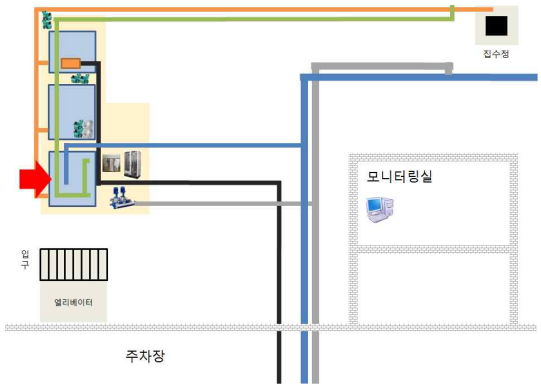
장치 전면



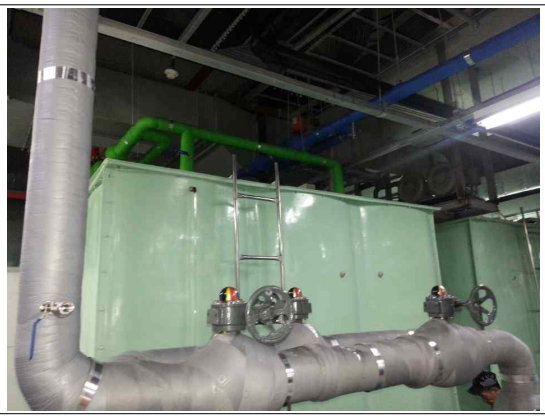
장치 후면

명 칭		설 명
①	산소유량계	산소발생기에서 생산 되어지는 산소의 양을 조절
②	오존압력계	내부배관호스의 압력을 확인
③	전면 냉각휀	고전압 발생에 의해 발생되는 열을 냉각시킴
④	전원스위치	장치 가동 ON/OFF 스위치
⑤	오존 가동스위치	오존 발생기 가동 ON/OFF 스위치
⑥	오존 램프	램프 점등 시 작동
⑦	전원램프	램프 점등 시 작동
⑧	적산계	순산소 발생량과 적산량 확인
⑨	압력조절밸브	산소의 발생압력을 조절
⑩	타이머	자동이나 수동으로 가동 시간 설정
⑪	토출관	오존과 마이크로버블이 섞인 처리수가 토출되는 부분
⑫	흡입관	막여과 처리수가 산화수처리장치로 유입되는 부분
⑬	후면냉각휀	전압기 발생하는 고열 냉각

3-2-8. 접촉산화반응조



기계실 내 접촉산화반응조 위치



접촉산화반응조 전면

설명)

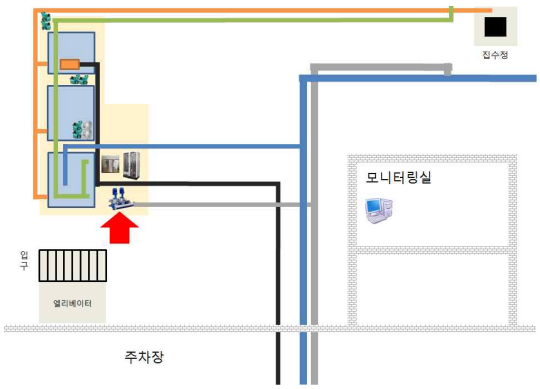
수조크기는 15톤(3m(L) × 2m(W) × 2.5m(H))로 FRP 수지로 두께 30㎜로 제작되었다. 상부에 뚜껑이 있어 유지관가 용이하고 높이 2.4m 후단에 배수관이 연결되어 있어 월류(overflow)가 되어 집수정으로 흘러들어가도록 하였다. 또, 수조 하단에 별도의 배수관(drain pipe)이 설치되어 수조 청소시 더러운 물을 배출시킬 수 있다.

접촉산화반응조는 3개의 공간으로 구성되어 있는데, 흡입펌프로 이송된 막여과 처리수가 유입반응조 내에 유입이 되어 MB산화수처리장치에 의해 처리된 물이 접촉반응조로 이송이 된다. 산화반응처리가 된 처리수는 최종처리조로 월류된다. 빗물저장조에서 빗물이송배관과 보충수의 개념의 상수관이 연결되어 처리수조의 수위값에 따라 자동 유입된다. 수조 전면에 사다리가 있어서 비상시에 관리자가 수조 상단의 밸브 조작이 가능하다.

권고사항)

1-2년에 한번씩 청소를 해주고 필요시에 수조 하부에 쌓인 침전물을 배출해준다.

3-2-9. 재이용수 공급펌프



기계실 내 공급펌프 위치



공급펌프 정면

설명)

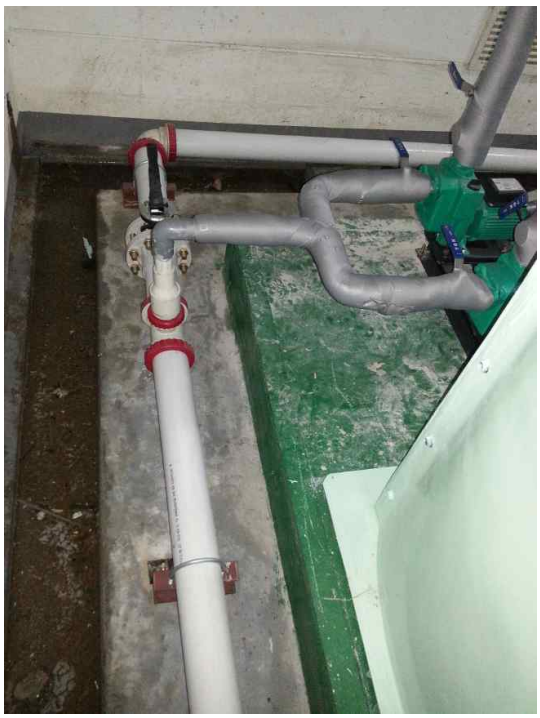
재이용수 공급펌프는 관경 80A, 283L/min·55m의 기기규격으로 3대가 설치되었고, 개당 소비전력량은 5.5kWh이다. 인버터 방식으로 자동제어반이 별도로 구성되어 있고 평상시 1대 또는 2대가 동시에 가동되어지도록 설정되어있다. 최종처리수조에 저장된 처리수, 빗물 및 보충수(상수)를 각 건물 화장실 소변기와 대변기 세정용수로 공급되어지고 있으며 압력탱크로 압력을 조절하여 공급하고 있다.

권고사항)

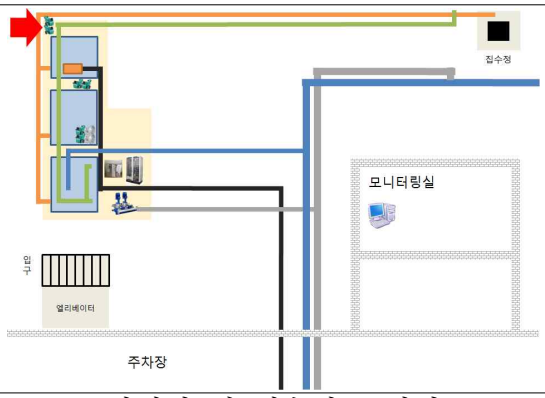
공급펌프 앞에 있는 자동제어반 내에 구비된 사용메뉴얼이나 본 운전메뉴얼의 유지관리지침에 따라 고장이나 비상시에 대처한다.



3-2-10. 배수펌프



배수펌프 연결부분



기계실 내 배수펌프 위치



배수펌프 정면

설명)

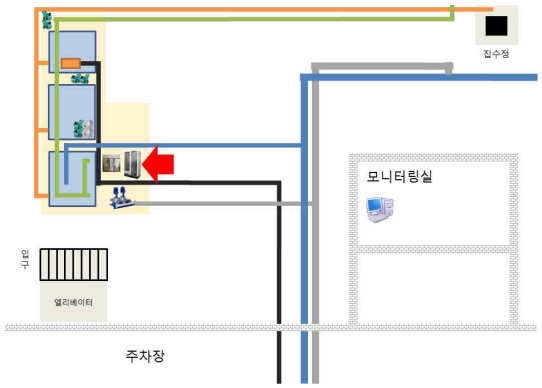
유량조정펌프는 관경 32A, 50L/min·8m의 기기규격으로 상시이용 1대와 비사용 1대로 설치되어 있다. 침수 발생이나 비상시에 사용하는데 시간당 필요전력량은 0.35kWh 이며, 매뉴얼 사용지침에 따라 사용한다.

권고사항)

운영관리지침을 충분히 숙지한 후 사용하거나 운영관리자 입회하에 작동한다.



3-2-11. 전기제어반



기계실 내 전기제어반 위치



전기제어반 정면

설명)

전기제어반은 본 시설에 연동되어 가동하는 자동밸브, 펌프, 브로워, MB산화수처리장치를 운전프로그램에 의해 자동제어 된다. 자동운전과 수동운전으로 구분되어지는데 평상시에 자동운전을 하고 필요시나 비상시에 수동운전으로 전환하여 제어하도록 되어있다.

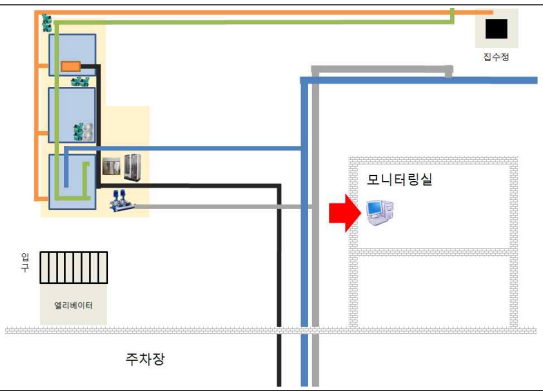
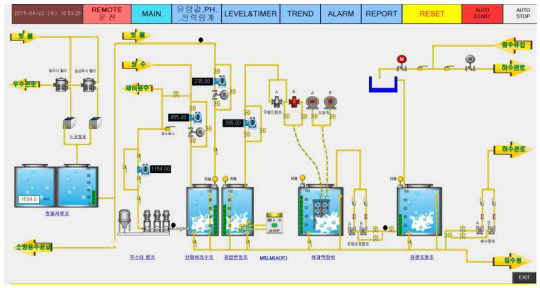
그 밖에 실시간 수질측정(pH, 탁도, 수온, 전기전도도, 유량 등)을 위해 전자센서류와 모니터링 화면이 설치되어 운영관리에 참고자료로 활용할 수 있으며, 측정된 수질 데이터는 모니터링실의 모니터링PC 내 데스크탑에 실시간으로 저장되어 진다.

권고사항)

제어반의 개폐용 열쇠는 운영관리자가 관리하며 비상열쇠는 제어반 위에 보관한다. 조작여부에 따라 시설물이 파손 및 고장이 발생하므로 전문적으로 전기제어반 조작법을 교육받거나 운영관리 매뉴얼을 충분히 숙지한 후에 조작한다. 단, 운영관리자 외에는 사용을 금지한다.



3-2-12. 모니터링PC

	
기계실 내 모니터링PC 위치	모니터링PC 화면

설명)

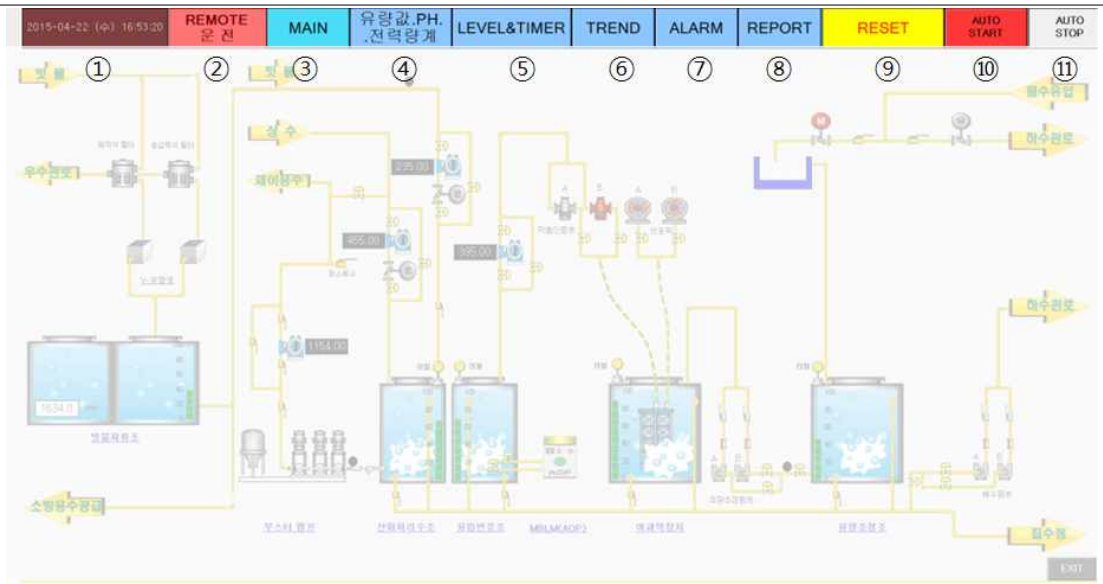
모니터링PC는 PLC 프로그램이 설치되어 있어 실시간으로 시설 운전여부, 기기장치 고장여부, 수질 데이터 및 그래프, 운전인자 및 타이머 설정, 자동운전 등을 손쉽게 조작하거나 모니터링할 수 있다. 단, 전기제어반과 마찬가지로 숙련되지 못한 운영관리자나 사용자는 사용을 금한다.

권고사항)

시설 기기장비가 고장나거나 비상시에는 반드시 모니터링PC에서 자동운전을 OFF 한 후에 전기제어반을 조작하고 조치가 끝난 후에는 자동운적을 ON한다. 단, 운전 프로그램이 구동되지 않거나 자동운전으로 설정이 되지 않을 때에는 전문업체에 즉시 연락하여 조치를 취하도록 한다.



모니터링PC 메인화면



① 날짜 / 요일 / 시간
② 운전모드 표시
③ 시스템 계통도 화면
④ 유량값, pH, 전력량계 표시
⑤ 기기장치 및 운전인자 설정⚠🚫
⑥ 수질측정값 실시간 그래프
⑦ 시스템 오류 및 고장에 대한 세부내역 확인
⑧ 수질측정값 data 로딩
⑨ ALARM 발생이나 운전인자 재설정 시 'RESET' 버튼을 눌러서 초기화
⑩ PLC 자동프로그램 운전인자에 따라 자동운전
⑪ 자동운전을 Off 하여 3-2-11 자동제어반에서 수동으로 시설 운전이 가능

유량 / pH / 전력량계



① 재이용수, 상수, 우수, 처리수에 대한 누적유량 표시
② 원수, 처리수, 우수에 대한 pH, 전기전도도, 탁도 값 표시
③ 시스템 소비전력량 세부사항 표시

LEVEL & TIMER



① 유량조정조 수위레벨에 따른 원수전동밸브와 하수전동밸브 작동여부 설정(수위HH:90% 조정밸브 Closed, 수위LL: 60% 조정밸브 Open)

② 유량조정조와 막조의 수위레벨에 따른 유량조정펌프 작동여부 설정(막조 수위HH:90% 조정펌프 Off, 유량조정조 수위LL: 45% 조정펌프 On)

③ 막조와 산화처리수조 수위레벨에 따른 막흡입펌프 작동여부 설정(산화처리수조 수위HH:75% 흡입펌프 Off, 막조 수위LL:65% 흡입펌프 On)

④ 산화처리수조와 빗물저류조 수위레벨에 따른 빗물전동밸브 작동여부 설정(빗물저류조 수위HH:70% and 접촉산화반응조 LL:70% 전동밸브 Open, 산화처리수조 수위HH: 90% 전동밸브 Closed)

⑤ 산화처리수조 수위레벨에 따른 상수전동밸브 작동여부 설정(수위HH:55% 전동밸브 Closed, 수위LL: 40% 전동밸브 Open)

⑥ 막흡입펌프의 간헐적 자동 운전설정(10분 가동 3분 미가동 반복)

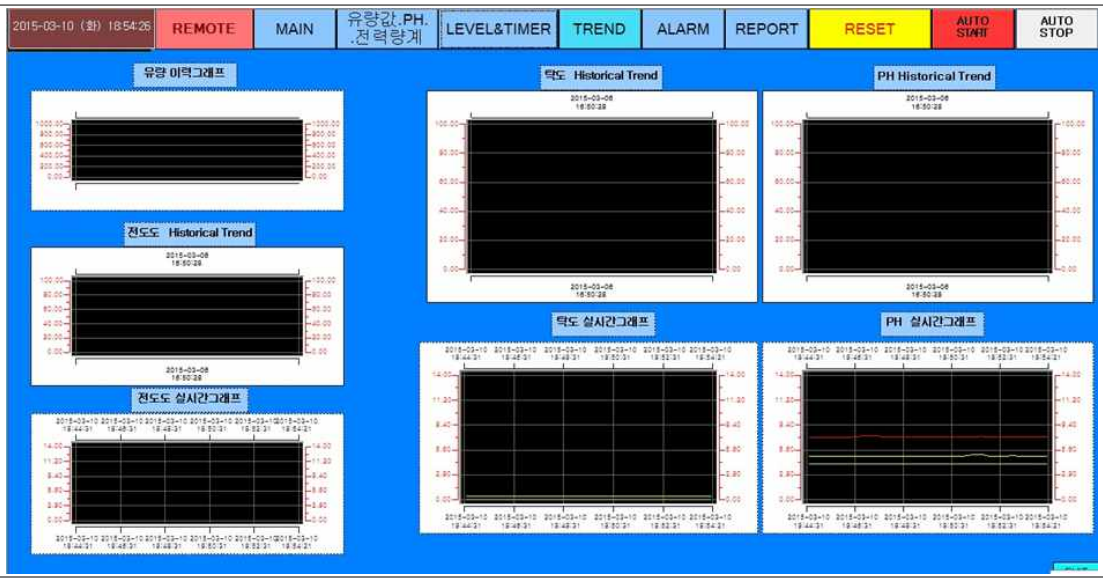
⑦ 공기공급기의 간헐적 자동 운전설정(1분 가동 15분 미가동 반복)

⑧ MBLM(AOP)의 간헐적 자동 운전설정(15분 가동 100분 미가동 반복)



※ 임의 설정은 절대 불가이며, 시스템 오류에 따른 운전인자 변경이 필요시에 전문 운전관리자에게 통보하여 조치를 취한다.

TREND



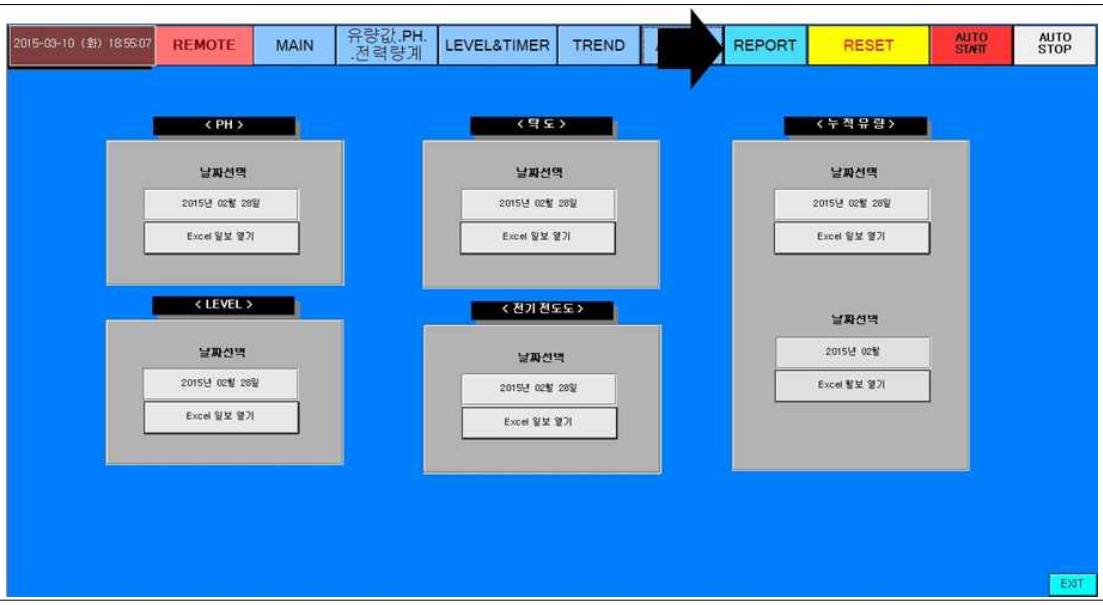
유량, 전기전도도, 탁도, pH에 대한 실시간 데이터값과 누적값을 그래프로 구현시킴으로써 시스템의 수질과 처리용량을 확인 할 수 있다.

ALARM



시설기기장치의 고장이나 오류, 정전, 침수 등에 따른 시스템 경보발생 시 발생시간, 원인인자 등의 세부사항들이 자동으로 표시가 된다.

REPORT



수질센서에서 실시간으로 측정된 측정값을 일일 또는 월별로 자동으로 저장되어 필요에 따라 운영관리자가 back-up 할 수 있다.

3-3. 운전 및 운영관리 방법

3-3-1. 마이크로버블 산화수처리장치

1) 운전방법

① 장비 중앙에 위치한 메인전원 스위치와 오존 스위치를 모두 off 위치로 놓는다.
- 산소압력게이지와 유량계게이지를 잠근다.(우측으로 끝까지 회전)
- 순환수 입/출 밸브가 완전히 열려 있는지를 확인 한다.

② 장비의 우측 메인 전원을 켠다.
- 전기 조작 순서에 따라 최초 펌프가 회전하고 이후 나머지 주변기기들이 거의 동시에 작동하게 된다.
- 이때 약 3~5초 후에는 펌프의 유입 쪽에서 물을 흡입하여 토출 부위로 배출되는 과정이 연속적으로 행하여지나 물과 장비의 유입, 유출간의 거리나 높이 정도에 따라 다소 시간이 소요 될 수 있다.(1~5분)
- 토출 쪽 밸브를 반복 조작하여 펌프 압력계이지의 눈금변화(변화가 있다면 흡입을 하고 있는 것이며 변화가 없다면 흡입하지 못하고 공회전을 하고 있는 것이다)를 관찰함으로서 펌프가 물을 정상 흡입 하고 있는지의 여부를 확인한다.

③ 물이 정상 흡입된다는 것이 확인되면 토출 쪽 압력계이지를 약 3kg·f/㎠로 맞춘다.

④ 펌프가 정상 흡입하고, 토출 압력이 조절이 되면 전원을 일단 off 시킨다.

⑤ 타이머의 시간을(눈금하나에 10min)으로 조작하고, 전원을 작동 하고, 펌프가 정상 흡입하면 오존 스위치도 작동시킨다. 오존이 투입되기 이전에는 다소 큰 펌프회전 소음이 발생하나 오존이 펌프로 유입됨과 동시에 소음이 준다.(오존스위치를 작동하고 난 후에 타이머의 좌측상단의 AUTO에 놓으면 눈금에 맞춰 작동하는 것이고 ON 에 놓으면 수동 작업으로서 바로 동작된다. 타이머에 맞춘 시간이 되거나 타이머 좌측 상단에 ON 으로 작동시킬 경우 표시등이 적색으로 켜진다.)

⑥ 타이머 표시등에 불이 들어오게 되면 이때부터 오존이 펌프로 유입될 수 있는 모든 준비가 완료된 상태이므로, 이때 펌프쪽 오존 압력계이지와 산소 압력게이지를 순차적으로 조작하여 오존압력계(0.05kg.f/㎠)와 산소 유량계의 수치 (1ℓ/min(±0.5ℓ))를 조작한다.

※ 장비 OFF시 주의사항

MAIN 전원을 OFF하기 전에 오존 전원을 먼저 차단 후 약 30초 후에 MAIN 전원을 OFF 시켜야 한다. (동시에 전원을 OFF시킬 경우 생성된 오존이 역류하여 산소 발생기 및 주변에 손상을 초래하게 된다.)

2) 유지관리방법

① 산소압력게이지 : 정상적인 운행시 압력계의 볼이 1.0L/min(±0.5L)을 표시
② 오존 압력 게이지 : 0.05kg.f/㎠(±0.025kg.f/㎠)의 운전압력조건
③ 토출쪽 펌프 압력게이지 : 3kg.f/㎠(±0.5kg.f/㎠)의 운전압력
④ 점검창 : Call filter 또는 Air filter라는 문자가 점검 창에 표시되면 필터를 교체



산소압력 게이지



오존압력게이지



토출쪽펌프압력게이지

⑤ 수시로 RUN LED 점등여부를 확인 : 점등되지 않는 경우 오존이 발생 안 됨.
⑥ 방전관을 5,000시간 주기로 Cleaning한다.
⑦ 오존발생기 내부의 알미늄 방열PIN은 12,000시간 주기로 먼지제거 한다.
(먼지가 다량인 장소에서 사용하는 경우 12개월에 1회)
⑧ 산소발생기 농도는 적산계를 확인하여 3,000시간 사용 후 산소농도 및 건조도를 확인한다.

3-3-2. 막분리조 분리막

1) 운전방법

초기 정상운전을 시작할 때에는 투과수량 및 압력을 서서히 올리면서 설계조건으로 운전하는 것이 분리막의 원활한 운전을 위해서 바람직하다. 정상운전 시 주의사항을 살펴보면 다음과 같다.

· 설계 및 지침에 제시된 내용을 준수하여 운전한다.
· 외부의 물리적인 충격이 초래되지 않도록 세심한 주의를 필요로 한다.
· 장치 운전 시 (10~25) cmHg 이상의 막간차압(TMP)으로 운전하여서는 안 됨.

ΔP(막간차압) = P2(게이지압력- P1(배관압력)

· 운전 중 기타 기기나 장치의 수리 및 분해 조립을 할 수 없다.
· 수리 및 정비는 장치의 가동정지 후 전원을 OFF한 상태에서 실시한다.
· 정비나 세정 후 재가동 할 경우에는 스위치 및 각 밸브의 개폐여부를 확인하고 수동 운전으로 운전을 확인 한 후 자동운전에 임한다.

2) 유지방법

분리막 시설 유지를 위해서는 차압계의 압력에 따른 세정이 필요합니다.

· 막간 차압이 가동시의 안정초기 차압보다 (10~25) ㎝Hg정도 상승했을 경우
· 정상적인 시스템 가동 시 1회/6개월(차압이 10~25㎝Hg 이하 일경우도 세정)
· 초기 정상운전시의 유량계의 수치가 변동이 있을 경우
· 펌프나 블로워 등의 기계장비 이상으로 막이 오염되었을 경우

3) 청소방법

① 원수조를 비우고 생물반응조 활성슬러지를 원수조로 옮긴다.
② 생물반응조에 NaOCl을 넣고 브로워를 가동해서 세정을 시작한다. 이때 원수조에 있는 활성슬러지들도 혐기성으로 바뀌지 않기 위해 브로워를 실시한다.
③ 세정을 종료하면, 세정수를 버리고 막에 붙어 있는 NaOCl을 제거 하기 위해서 청수를 넣고 브로워를 가동해준다.
④ 생물반응조에 Cl이 남아있지 않도록 하기위해 잔류염소를 측정해 보며 린스를 반복한다.
⑤ 모든 세정이 끝나면 분리막 상태를 확인하고 청수를 버린다. 그리고 원수조에 있던 활성슬러지를 다시 생물반응조로 옮기고 원수를 받기 시작하면서 서비스 정상화를 진행한다.
⑥ 약품에 의한 세정방법은 차염산방식을 권장한다.

3-3-3. 초기우수배제스크린 및 중수시설 스크린

1) 관리방법

· 초기우수배재 장치, 스크린은 빗물이 유입되었을 때 물리적으로 협잡물을 거르는 역할을 하므로 뚜껑을 열어 내부의 망을 확인 하여 청소 하여야 합니다. 유입에 따라 상시 확인 사항입니다.
· 스크린은 잡배수가 유입되었을 때 물리적으로 망을 통해 유입물질을 거르는 장치이므로 뚜껑을 열어 내부 망을 확인하여 청소 하여야 합니다. 유입에 따라서 수시 확인사항. 1주일에 1회 이상 권장합니다.

4. 오류발생 및 고장 시 대처방안

4-1. 화장실용수가 공급 안 될 시 (재이용수 공급펌프 이상)

문 제 점	증 상	대 처 방 안
시스템이 정지하거나 이상중상이 발생할 경우	접촉산화반응조 저수위로 인한 재이용수 공급펌프 내 공기의 유입	상수나 빗물을 수동으로 공급하여 접촉산화반응조 내 수위를 충분히 채운 후, 공급펌프에 Air토출밸브를 열어 Air를 토출시킨 후 정상 가동 시킨다.
	디스플레이가 깨지거나 화면에 이상생김	판넬 내부 차단기의 전원을 Off 하고 1분 후에 On으로 바꿔서 디스플레이 화면을 확인합니다. 복구가 안 될 시에는 비상시 직수 전환밸브 조작방법을 참고하시어 상수를 공급한 후 A/S를 요청합니다.

※ 경보발생 시



재이용수 공급펌프 자동제어판 '경보정지' 버튼을 누른 후, 판넬을 열어서 전원 스위치를 Off 한 후 5초 뒤에 On. 그 다음 위와 같은 방법을 따른다.



부스터펌프 자동제어판 뒤쪽에 있는 에어배출밸브를 30초간 열어준다.

4-2. 수질이 나쁠 때(처리수에 이취미가 발생할 경우)

문 제 점	증 상	대 처 방 안
수질이 나쁠 경우	접촉산화반응조에 이물질이 쌓임	정기적으로 1개월에 1회 정도 각 수조의 드레인 밸브를 열어 바닥에 쌓인 이물질을 배출한다. 드레인 밸브를 이용해 이물질 제거 시에는 먼저 수처리장치, 부스터 펌프의 가동을 중단 후, 중수공급/차단 밸브를 닫아 중수공급을 멈추고 상수 공급/차단 밸브를 열어 각 화장실에 상수가 공급되도록 한 후에 진행
		정기적으로 6개월에 1회 정도 각 수조에 드레인 밸브를 열어 완전히 물을 뺀 후, 청소용 상수공급밸브를 이용하여 수조 청소
색도나 탁도 기준치를 초과	육안으로 보기에 심미적인 영향을 줄 경우	장비 내에 소모품 및 장치이상으로 A/S를 요청
		마이크로버블 접촉산화반응장치의 운전인자를 재설정

4-3. 마이크로버블 산화수처리장치의 문제발생 조치방법

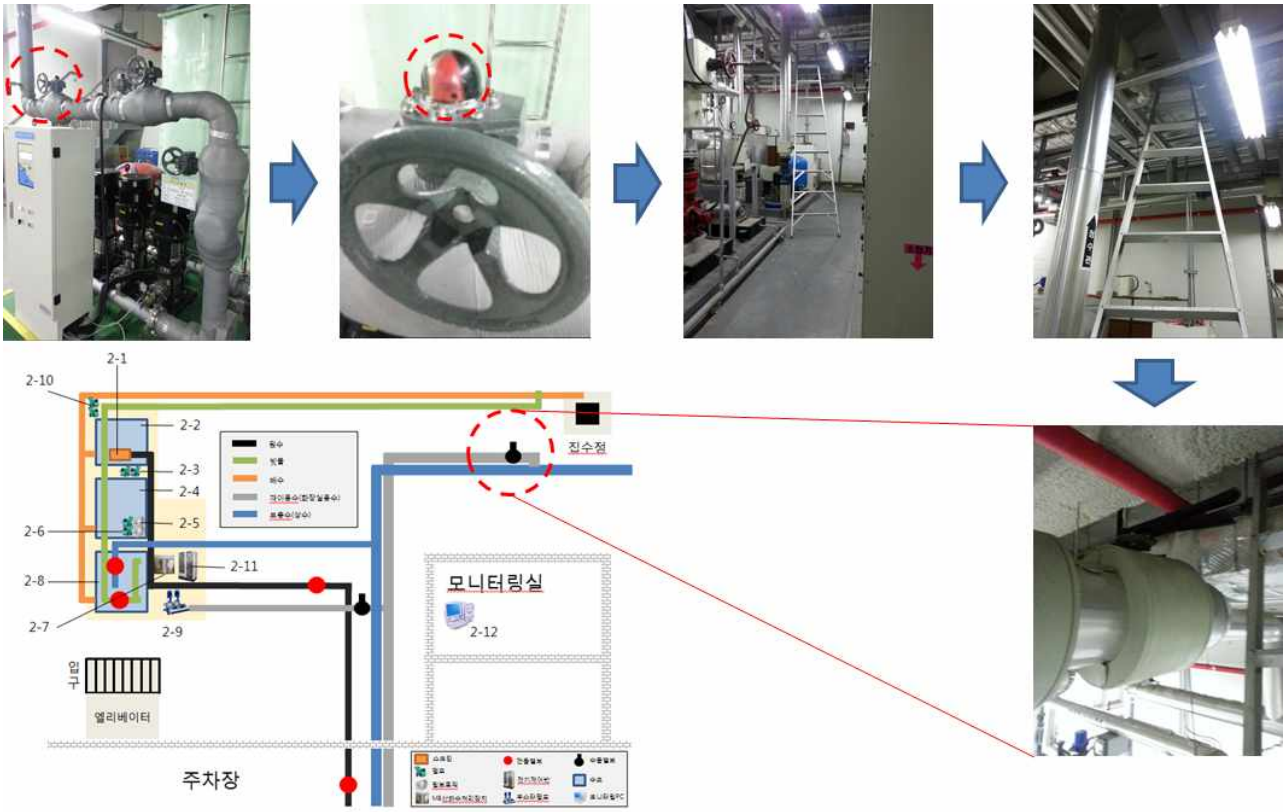
문 제 점	증 상	대 처 방 안	
오존냄새 (비린내)	배오존 과다발생	시스템을 정지하고 환기시킨 후, A/S를 요청	
장치 정지 및 이상작동	운전램프 불이 켜지지 않는 경우	전원이 들어와 있습니까?	전원을 확인
		과전류 차단기가 작동됨.	A/S 요청
	산소발생기 이상	전원과 전압을 확인해주세요.	A/S 요청
	믹싱 펌프 미작동	펌프가 동결 되지 않았습니까?	실온을 높여 얼음이 녹기까지 기다려 주십시요. 해동 후 본체밑으로 대량의 물이 나올경우 고장입니다. A/S 요청해주세요.
	믹싱 펌프가 물을 흡입하지 못함	흡입배관에 공기가 들어갑니다.	펌프 하단의 압력토출 밸브를 열었다 물이 나오는 것을 확인한후 잠궈주세요.
		토출 압력조절밸브가 잠겨져 있다?	토출밸브를 열어주세요.
		펌프 회전의 역순환	회전방향을 확인 후에 입력전원의 한선을 바꿔주세요. (메인선 외의 상을바꾸는선)

※ 조치가 안될 경우와 기타 수리 사항은 주요부품 또는 소모품의 파손발생 및 교체주기에 따른 교체미비로 인한 사항이므로 수리를 요구합니다.

4-4. 전기제어반 오류 및 고장 시

문 제	증 상	대 처 방 안
장치가 멈추거나 이상증상이 발생할 경우	전기 과부하나 합선으로 전원 공급 차단기의 고장 발생	전기시설 관리자가 문제된 차단기를 교체하거나 A/S를 요청
	정전	정전 원인을 파악한 후 후속조치
	비상 경고음	판넬 외부에 비상알람을 해제 하고 원인을 파악한 후에 A/S를 요청

※ A/S 요청 시 긴급 조치 방법



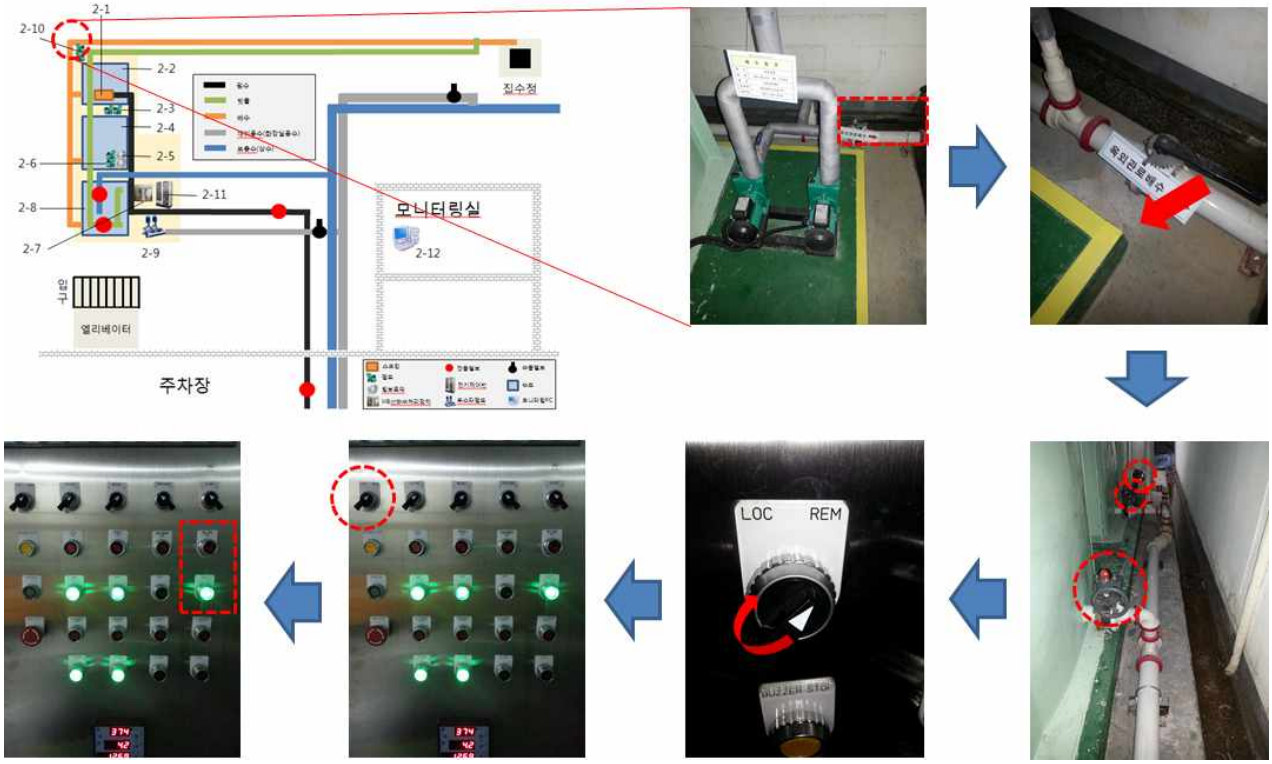
재이용수 부스터펌프 위쪽에 위치한 밸브를 완전히 닫은 후에 위 사진과 같이 집수정 근처로 이동한다. 사다리가 위치한 곳에서 기계실 천장쪽으로 이동하면 밸브가 보이는데 정수관과 이어지는 배관에 위치해 있다. 이를 열면 비상시에 상수가 정수관을 통과하여 건물 각 층 화장실 세정용수로 공급이 되는데 정전과 같은 비상사태에 이와 같은 조치를 취하도록 한다.

※ 경고음 발생 후, 기기장치에 문제 발생 시 조치사항



자동제어반 판넬 덮개를 열어서 'EMG STOP' 버튼을 눌러 경고음을 끈다. 판넬에 노란색 불이 들어온 장치를 확인 후 조치를 취하되 비상용 여분이 있는 펌프류나 브로워는 A/B 스위치를 조정하여 정상운전이 되도록 한다.

4-5. 범람이나 침수 발생 시 비상배수펌프 가동방법



기계실 유량조정조 뒤편에 있는 옥외관로배수 수동밸브를 닫은 후, 각 수조 뒤편하단에 있는 배수밸브를 연다. 그리고 자동제어반 판넬을 열어서 'REM모드'를 'LOC모드'로 변경한 후 판넬 오른편에 보이는 배수펌프 ON 스위치를 누른다. 사용을 마친 후 최초 상태로 초기화 시킨다.

제12장. 참고 문헌

1. 국내문헌

1) 건설부, "중수도 기술개발방안 연구" (1994)

2) 건설환경종합연구소, "도림천 상류 지류조 설치 및 빗물관리방안 연구" (2012).

3) 길상재, "마이크로나노버블-오존산화 및 막여과 시스템을 이용한 하수처리수 재이용에 관한 연구", 동아대학교 대학원 석사논문, pp.139 147 (2010).

4) 김갑수, "외국의 중수도 현황 및 처리수 재활용 방안, 환경오전, 3, 17 30 (1994)

5) 남승우, 조병일, 김원경, 조경덕, "유동흐름 전류계를 이용한 정수장 고탁도 유입수 응집제어 방법에 대한 연구", 한국환경보건학회지, 38(2), 128-135(2012).

6) 대전발전연구원, "중수도 및 빗물 이용에 따른 물순환체계 정립"(2011).

7) 정덕기, 안병주, 김재준, "벙영생활관에서의 수자원 재이용시설 도입을 위한 LCC분석", 대한건축학회, 28(4), 233 240 (2012).

8) 한국상하수도협회, "불 재이용시설 설계 및 유지관리 가이드라인"(2013).

9) 한국상하수도협회, "정수처리기준 해설서 작성 및 소독능 계산프로그램 개선 연구"(2013).

10) 환경부, "물순환 이용체계 개선에 관한 연구 - 제3상 물순환 이용촉진을 위한 제도"(2006).

11) 환경부, "빗물이용시설 설치·관리 가이드북" (2010)

12) 환경부, "중수도 이용확대를 위한 정책방안연구" (1999).

2. 국외문헌

13) 일본중수도연구회, "중수도 이론과 실제" (1997).

14) Simon Judd, "The MBR Book", Butterworth-Heinemann 2nd Edition (2011).

15) Yasar, A., Ahmad, N., Chaudhry, M. N., Rehman, M. S. U., Khan, A. A. A., "Ozone for Color and COD Removal of Raw and Anaerobically Biotreated Combined Industrial Wastewater", Polish J. of Environ. Stud., 16(2), 289-294(2007).

16) 日本の水資源(平成14年), "國土交通省 土地・水資源局水資源部編" (2002)

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.