

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘2kW 태양광 발전 기반의 융합형 슬라이드 자동개폐장치를 이용한 청정빗물집수장치 개발’(연구개발 기간 : 2015.06.23 ~ 2017.06.22) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2017. 06. .

주관연구기관명 : 동문이엔티(주) (대표자) 송 요 일 (인)
공동연구기관명 :
참 여 기 관 명 : 원광건설(주) (대표자) 조 성 제 (인)

주관연구기관책임자: 송 요 일
공동연구기관책임자:
참 여 기 관 책임자: 조 성 제

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	16CTAP-C0977 29-02	해당 단계 연구 기간	2015.06.23. ~ 2017.06.22.	단계구분	2/2 (해당단계)/(총단계)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	개발			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	2kW 태양광 발전 기반의 융합형 슬라이드 자동개폐장치를 이용한 청정빗물집수장치 개발			
연구책임자	전 속 례	해당단계 참여 연구원 수	총: 14 명 내부: 10 명 외부: 4 명	해당단계 연구개발비	정부:225,000천원 기업:150,000천원 정부 외: 천원 계:375,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 14 명 내부: 10 명 외부: 4 명	총 연구개발비	정부:450,000천원 기업:300,000천원 정부 외: 천원 계:750,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	동문이엔티(주) R&D센터			참여기업명 원광건설(주)	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 창원대학교			연구책임자: 이 택 순	
1. 청정빗물집수장치 개발 및 제작 완료(2 set) 2. 3kW 전력 생산이 가능한 태양광 모듈 시스템 개발 완료 3. 원격모니터링 시스템 개발 완료(1건) 4. 안드로이드 기반 스마트폰 어플리케이션 개발 완료(1건) 5. 현장 테스트베드 구축, 설치 및 시운전 완료(2건) 6. 특허 출원 및 등록 완료(1건) 7. 프로그램 등록 완료(2건) 8. 청정빗물집수장치 사용자 매뉴얼 제작 완료 9. 학회 논문 발표(1건) 및 학회지 게재(2건) 10. 조달청 물품등록 완료(1건) 11. 제11회 대한민국 녹색에너지 우수제품 및 기업 대상 수상(1건)				120 페이지	

<국문 요약문>

연구의 목적 및 내용	<연구 목적> 2kW 태양광 발전 기반의 융합형 슬라이드 자동개폐장치를 이용한 청정빗물집수장치를 개발하여 빗물을 효율적으로 집수하고, 저렴한 비용으로 집수장치를 보급하고자 함 <연구 내용> 1. 집수면 보호 개폐장치 개발 - 슬라이딩 방식의 전동개폐장치 개발 2. 집수면 수조 제작 - 빗물 집수를 위한 집수판 제작 3. 저전력 태양광 모듈 시스템 개발 - 최소 2kW 발전이 가능한 방오장치 및 구조 설계 4. 원격모니터링 시스템 개발 - 운영 프로그램 및 자동제어시스템 개발 - 안드로이드 기반 스마트폰 어플리케이션 개발 5. 테스트베드 구축 - 현장 적용성 및 성능 평가				
연구개발성과	1. 청정빗물집수장치 개발 및 제작 완료(2 set) 2. 3kW 전력 생산이 가능한 태양광 모듈 시스템 개발 완료 3. 원격모니터링 시스템 개발 완료(1건) 4. 안드로이드 기반 스마트폰 어플리케이션 개발 완료(1건) 5. 현장 테스트베드 구축, 설치 및 시운전 완료(2건) 6. 특허 출원 및 등록 완료(1건) 7. 프로그램 등록 완료(2건) 8. 청정빗물집수장치 사용자 매뉴얼 제작 완료 9. 학회 논문 발표(1건) 및 학회지 게재(2건) 10. 조달청 물품등록 완료(1건) 11. 제11회 대한민국 녹색에너지 우수제품 및 기업 대상 수상(1건)				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	1. 기존 빗물이용 및 집수시설들이 갖는 문제점인 초기우수처리기술 개선방안 마련 2. 공공 시설물에 확대 적용 가능한 에너지 절감형 경제적 빗물집수장치 및 운영 시스템 제공 3. 간이 상수도 시설이 없는 소단위 마을 및 도서지역 등지에서 활용 가능 4. 실시간 모니터링이 가능하여 설치 후 유지관리비 절감 5. 빗물재이용 분야 관련 제품생산, 시공, 모니터링 및 운영관리 분야의 고용확대 6. 가정용 생활용수 및 조경용수로 활용도 높음 7. 향후 태양광 설치사업 및 주거개선사업과 병행하여 추진시 효과가 클 것으로 기대				
핵심어 (5개 이내)	청정빗물집수	태양광 발전	슬라이드	자동개폐장치	원격모니터링

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	<Purpose> The purpose of this R&D project is the development of the clean rainwater catchment system using a slide-type automatic switchgear based on 2kW photovoltaic power generation as to collecting rainwater efficiently and to supply at a reasonable cost. <Contents> 1. Development of a switchgear to protection the rainwater catchment area - Development of sliding electric switchgear 2. The catchment plate production - The rainwater catchment plate production 3. Development of low power photovoltaic module systems - Possible to produce minimum 2kW/h power generation system with antifouling system and structural design 4. Development of remote monitoring system - Automatic control systems and operational programs development 5. Build a test bed - Field application and performance evaluation				
Results	1. The development and manufacturing of rainwater catchment system completed(2 set) 2. To make 3kW photovoltaic power generation module 3. Completed development of a remote monitoring system(1ea) 4. The development of Smart mobile phone application using android(1ea) 5. Field test-bed construction, installation and commissioning completed(2ea) 6. Patent registration completed(1ea) 7. Program registration completed(2ea) 8. User manual 9. Presentation a paper(1ea) and publishing a paper(2ea) 10. Public Procurement Service goods registration completed(1ea) 11. The 11th Korea Green Energy excellent product and company winning the grand prize(1ea)				
Expected Contribution	1. Improved the treatment technology of initial rainwater of the rainwater catchment and utilization facilities 2. Provide applicable economical energy-saving rainwater catchment devices and operating systems in public facilities 3. Utilized in the villages and islands without Simple waterworks 4. Real-time monitoring is possible to reduce maintenance expenses after installation 5. Employment expansion of rainwater recycling sectors related to the production, construction, management and monitoring 6. High utilization of water to home usages and Gardening 7. When the next promotion in parallel with the solar installation business is greater expected effect.				
Keywords	Clean rainwater catchment	Photovoltaic power generation	Slide-type	Automatic switchgear	Remote Monitoring

< CONTENTS >

1. Introduction	7
2. Present technologies	11
3. Research contents and achievements	30
4. Achievements for research goals and contributions	80
5. Plan for application	83
6. Technology information collected from abroad	86
7. Degree of security	114
8. Research facilities and equipments enrolled	115
9. Safety measures in the laboratory	116
10. Research products	117
11. Others	118
12. References	119

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	7
2. 국내외 기술 개발 현황	11
3. 연구 수행 내용 및 성과	30
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	80
5. 연구개발성과의 활용 계획	83
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	86
7. 연구개발성과의 보안등급	114
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	115
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	116
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	117
11. 기타 사항	118
12. 참고 문헌	119

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

우리나라의 경우 빗물이용 역사가 매우 짧고, 빗물이용 가능량을 파악하는데 도움이 될 자료 확보가 미비한 실정이다. 따라서 생활용수, 농업용수, 하천유지용수 중에서 빗물을 이용할 수 있는 용도를 생활용수로 한정하여 이용하는 것으로, 본 연구에서도 생활용수 중에서도 취사, 세면·수세, 목욕 등 인체와 접촉이 있는 용도를 제외한 세탁, 화장실용수, 세차, 살수용수 등 인체 비접촉 용수로 사용하는 것에 적용하고자 한다.

대부분의 사람들은 우리나라가 이용가능한 수자원 부족국가 중 하나라는 사실을 모르거나 알면서도 아직은 풍부하게 사용할 수 있다고 판단하는 경우가 많으나 실생활에서 느끼기 어려운 지하수의 고갈, 하천 유량의 감소 등 수자원 부족 현상은 갈수록 심각해짐으로서 대체 수자원으로 빗물을 활용할 필요성이 증가하고 있다.

이러한 상황에서 보다 효과적으로 수자원을 확보하고 활용할 수 있는 대안으로는 우천시 빗물을 모아 저장한 후 필요시 저장된 빗물을 이용하는 것으로, 다양한 생물들이 서식할 수 있도록 생태연못을 조성하거나 화장실, 정원 등에 사용하는 생활용수 및 청소용수로 활용하는 등 다양하게 활용할 수 있다.

빗물이용시설을 설치하여 빗물을 생활용수로 사용하고자 하는 경우, 초기 빗물은 대기 중의 오염물질을 씻어 내리며 지표면을 따라 흐르면서 각종 오염물질을 함유한 상태로 이동하므로 초기우수는 배제하여 사용하는 것이 바람직함으로 이에 대한 대책을 강구할 필요가 있다.

대부분의 빗물이용시설들의 운영 방식 중 초기우수를 배제하는 빗물집수장치는 관리자가 직접 밸브를 여닫는 구조로 이루어져 있어 사용에 많은 불편함이 있는 실정이며, 초기우수를 포함하여 집수하는 장치의 경우 빗물의 수질을 향상시키기 위한 별도의 처리시설을 설치함으로 운영·관리에 따른 운전비용이 과다한 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 초기우수를 운영시스템 자동화를 통하여 오염된 초기우수를 배제하고, 태양광 발전을 통하여 에너지 자립형 장치를 개발하고자 하였다.

본 연구 과제는 태양광 설치에 따른 하부 면적을 우수 집수에 활용하고, 동시에 초기우수를 제거하여, 집수된 양질의 물을 사용하는 것을 목적으로 하였다.

본 연구에서 개발하고자 하는 “2kW 태양광 발전 기반의 융합형 슬라이드 자동개폐장치를 이용한 청정빗물집수장치”는 우리나라 실정에 맞는 빗물이용 기술을 개발·보급함으로써 부족한 수자원을 확보하여 실생활에 이용하도록 하며, 또한 초기우수를 효율적으로 제어하여 별도의 전처리 시설 없이 양질의 수자원을 확보하고, 자동제어 가능한 청정빗물집수장치를 개발하여 공공 및 민간에 보급하고자 한다.

2. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면

현재 국내에 설치되어 운영 중인 빗물이용시설은 건물의 지붕면이나 옥상면을 집수면으로 이용하여 빗물을 집수하여 집수조에 저류시킨 후 사용한다. 그러나 이러한 장치들은 집수면이 외부에 노출되어 있어, 미생물(총대장균군, 분원성 대장균군 등), pH, 중금속 물질, 심미적 영향물질(색도, 탁도, 경도) 등에 오염된 상태로 빗물이 집수된다.

기존 빗물이용시설의 가장 큰 문제점인 초기우수 배제 방식과 전처리 시설설치에 따른 제품단가 상승 문제를 효과적으로 해결하기 위하여 초기 강우량과 장치 동작 지체 시간을 설정하여 초기 강우를 완벽하게 배제하고, 별도의 전처리시설 없이 양질의 수질을 확보하고, 운영인력이 필요없도록 자동제어가 가능해야 한다.

농어촌지역에서 우수의 이용은 강우가 발생하는 시기에 매우 제한적으로만 이루어지고 있고 갈수기에는 생활용수 공급에 어려움을 겪고 있어, 이에 대한 대체 수자원으로써 지속적인 우수의 생활용수 이용 필요성이 제기되고 있다. 도서·산간 및 해안 지역의 경우 상수도 시설은 지형·지질학적 조건상 설치 및 유지관리가 어렵기 때문에 이를 대체할 양질의 생활용수 확보가 필요하다.

따라서 본 장치는 이러한 지역의 단독주택 또는 마을단위에서 소규모 생활용수를 공급하는데 효율적인 빗물이용 시스템으로서 갈수기에도 안정적으로 용수를 공급받을 수 있어 물 부족에 따른 어려움을 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

나. 경제 산업적 측면

빗물을 효율적으로 이용하기 위해서는 오염되지 않은 청정한 빗물을 집수하거나, 별도로 설치된 빗물처리장치를 이용한 정화과정을 거쳐야 함으로 집수장치의 규모가 커지고 유지비용이 과다한 문제가 있다. 비용측면과 관리측면을 고려하였을 때 사후에 빗물을 처리하기 보다는 초기우수를 완벽히 차단하고 오염되지 않은 빗물을 집수하여 이용할 필요가 있다.

본 빗물집수장치를 도시 내 설치시, 새로운 수자원 확보가 가능하고, 하수처리비용절감 및 에너지 소비측면에서 보다 값싼 생활용수를 생산하여 제공할 수 있으며 분산형 빗물관리기술로써 홍수재해를 경감할 수 있다.

해수담수화 시설 등 대체 수자원 시설은 주로 농어촌지역이나 도서지역에 설치할 수 있으나 제주도, 우도, 추자도, 홍도 등의 도서지역은 대부분 관광지로서 국립공원이나 천연기념물 보호구역 등으로 지정되어 보호를 받고 있어 설치가 용이하지 않으므로 이에 대한 대안으로도 빗물집수 시설 설치 및 적용이 가능하다.

지붕 또는 옥상을 이용한 우수이용 방법은 도서 및 해안지역의 주거환경개선사업(주거계량사업)과 연계시킴으로써 경제적인 효과가 기대되며, 본 장치는 수자원이 절대적으로 부족한 도서지역에서 기존의 용수공급을 보조할 수 있을 뿐만 아니라 대체 수자원을 확보할 수 있는 대안이 될 수 있다.

다. 사회 문화적 측면

현재 이용 중인 빗물이용시설은 경상남도의 경우, 창원시 창원축구센터, 용지문화공원, 창원 YMCA회관, 통영 로즈힐 아파트 등이 있으며 집수면은 기존 옥상지붕을 이용하고 있다. 이외에도

서울대학교 기숙사, 스타시티 빌딩, 광진구청, 수원시청, 갈피중학교 등에서 운영 중인 빗물이용시설도 기존 지붕면을 집수면으로 이용하고 있다. 이 같은 시설들은 초기 강우시 지붕면 오염에 따른 수질 저하가 우려되므로 초기우수 배제와 집수면 재질에 대한 대책 마련이 필요하다.

본 빗물집수장치는 각 건물에서 우수를 집수하여 사용하므로 용수 수송이 필요 없고 태양광 발전 기반으로 운영되므로 전기 사용 비용이 필요 없으며, 우기 시 지표유출을 감소시킴으로써 홍수피해 저감에도 효과가 있다고 판단된다. 따라서 지역적으로는 강우발생패턴과 용수이용패턴을 고려한 최적의 빗물집수장치 개발이 필요하며, 우리나라 빗물이용 수질기준에 적합한 수량 및 수질측면에서 안정적인 빗물집수장치의 개발 및 보급이 절실히 요구되고 있다.

3. 연구개발 범위

가. 빗물 이용에 대한 국내외 자료 조사

- 빗물집수장치 관련 연구, 기술 및 특허 분석
- 국내외 빗물 이용시설 적용사례

나. 초기우수 배제가 가능한 저전력 청정빗물집수장치 개발

- 태양광을 이용한 자가 발전 시스템 설계 및 제작
- 슬라이딩 방식의 집수면 보호커버 및 전동개폐장치 설계 및 제작
- 빗물집수를 위한 집수관 설계 및 제작
- 2kW 발전이 가능한 태양광 모듈 시스템 개발
- 강우사상 계측시스템 설계 및 제작

다. 운영 및 유지관리를 위한 자동제어시스템 개발

- 프로세스 제어시스템 설계 및 개발

라. 원격모니터링시스템 개발

- 빗물관리를 위한 운영 프로그램 설계 및 제작
- 원격 관제 프로그램 설계 및 개발
- 안드로이드 기반 스마트폰 어플리케이션 개발

마. 빗물 수질특성 연구 및 평가

- 초기우수 및 집수된 빗물의 수질 특성 평가
- 청정빗물집수장치 집수 빗물의 세탁용수 활용성 평가
- 청정빗물집수장치 집수 빗물의 화장실용수 평가

바. 현장 적용 및 시험을 위한 Test-bed 구축

- 청정빗물집수장치 설치 현장 기상청 기상자료 분석
- 현장 Test-bed에 청정빗물집수장치 설치 및 운영

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과

가. 국가 연구개발사업 유사연구 실적

(1) 연구개발과제 조사 및 검토결과

기존 과제 및 연구결과는 주로 옥상면 전체를 이용한 집수시스템에 대한 연구로 초기우수의 오염 문제 해결을 위하여 별도 정수시스템이 필요한 경우가 다수이다.

또한 넓은 면적 및 높은 공사 비용이 요구되는 저류조 및 침투시설들에 대한 많은 연구가 이루어졌으나 본 연구와 같이 좁은 면적의 도시나 개별 건축물에 적합하고 저렴한 비용으로 설치 가능한 장치 및 시스템에 대한 연구는 미비하다.

표 2.1 국내 관련 연구개발과제 및 연구내용

No	과제명	연구내용	비 고
1	농어촌지역 우수의 생활용수 이용시스템 개발	- 기초자료 조사 - 우수이용시스템의 모형 개발 - 우수수질 조사 및 관리시스템 검토 - 우수이용의 계획 및 설계기법 연구 - 우수이용시스템의 유지관리 및 국내 우수이용 시스템의 확산방안 연구	- 농어촌 지역에 국한하여 제작 - 지붕을 이용하여 우수를 집수조에 저장 - 지붕 재질에 따라 오염발생
2	우수 저류 및 활용 기술 개발	- 우수 유출특성 및 오염물질 거동 분석기술 개발 - 우수 처리 및 활용 기술 개발 - 한국형 우수 저류/침투 기술 개발 - 우수저류침투기술 실규모 적용 연구 - 우수저류활용 시스템 가이드안 마련	- 유역 내 비점 오염원 제어 목적 - 우수 저류/침투에 처리 기술 개발
3	기후변화 대응형 도시빗물관리 시스템 연구	- 기후변화 대응형 빗물관리 평가모델 개발 - 수해 방지형 분산식 빗물관리시스템 개발 - 수질 개선형 분산식 빗물관리시스템 개발 - 공간유형별 물-에너지 순환시스템 개발	- 수해 방지용 분산식 시스템 개발 - 장치형 비점오염처리 시설 개발
4	빗물수집 및 활용기술에 관한 연구	- 빗물탱크의 제조 및 보급 - 빗물탱크 주변기기 개발 (초기우수 배제장치, 집수장치, 급수시스템 개발) - 빗물처리방법 연구 (집수면/저장조 내 빗물의 수질변화 파악) - 빗물탱크 설계기법 조사	- 빗물 집수탱크 개발에 중점 - 초기우수 배제에 한계
5	하수 처리수와 빗물의 스마트 재이용 시스템 개발	- 하수 처리수 및 빗물 재이용 플랜트 기술 검토 - 빗물 및 하수 처리수의 연계활용 설계 및 운영 기술 개발 - 스테인레스 스틸 소재 정밀여과형 금속막 시스템의 적용 및 나노튜브 내재 광감응형 TiO₂ 금속막 개발 - 하수처리 방류수 파일릿 플랜트 운영 및 성과 검증 - 연계운전을 위한 빗물저류시스템 성능평가 - 개발 기능성 금속막의 처리장 방류수 및 빗물 재이용을 위한 실증 시스템 적용	- 하수 처리수와 빗물을 연계하는 재이용 시스템 개발 - 수처리 중심의 시설 개발

(2) 기존 연구개발과제와의 차별화 방안

기존 빗물이용시설은 건물의 옥상이나 지붕면을 이용하여 빗물을 집수하는 방식으로 오염된 초기우수와 집수면에 침적된 오염물질에 의한 빗물의 2차 오염이 발생하는 문제가 있다. 또한 초기강우 배제 또는 집수단계나 사용 전 단계의 수질정화장치 부착 방식이 일반적이나 완전배제가 되지 않고 부가장치 부착에 따른 유지관리 및 비용증가 문제가 있다.

이에 따라 본 연구에서 개발하고자 하는 **2kW 태양광 발전 기반의 융합형 슬라이드 자동 개폐장치를 이용한 청정빗물집수장치 개발**은 기존 기술 및 제품과 비교하여 다음과 같이 차별화 할 수 있다.

- 슬라이딩 개폐부의 외부에 2kW 태양광 시스템을 부착하여 자체적으로 작동 및 운영 가능한 자가발전 기능 장착으로 에너지 절감
- 강우량계를 설치하여 초기우수 강우량을 체크하여 초기우수의 오염물질이 배제된 빗물을 집수
- 슬라이딩 자동개폐방식의 집수면 보호커버를 이용하여 초기우수나 집수면 오염에 의한 외부오염을 집수 이전 단계에서 제거
- 초기우수를 완벽히 배제하기 때문에 별도의 수질정화장치가 필요 없음
- IT 기술을 접목한 원격모니터링 시스템을 운영하므로 별도 현장 운영인력이 필요 없어 운전 및 유지관리 비용을 최소화

나. 관련분야의 국내외 연구동향 및 학술적 흐름 분석

(1) 국내 연구동향

- 우수(빗물) 자원 산업화기술 분야의 주요 연구진
 - 우수(빗물) 자원 산업화기술 분야의 논문을 발표한 29명의 연구자 중 2건 이상의 논문을 집필한 주요 연구진들은 3명(김영민, 김영진, 최계운)으로 나타났고, 우수(빗물) 자원 산업화기술 분야의 논문 발행은 2009년 까지 총 33건으로 저조하다.
 - 주요 특허 출원인들이 일본인인 것에 비해 논문 발표는 한국인인 것으로 보아 한국이 당 분야에 있어 기초연구 역량을 키워온 것으로 보이며, 특허 점유율에 있어서도 일본에 다음으로 높으며 한국특허의 출원을 증가 추이가 당 분야의 논문 증가율과 유사하여 우수(빗물) 자원 산업화기술 분야에서 한국의 성장 가능성이 큰 것으로 사료된다.
- 우수(빗물) 자원 산업화기술 분야의 주요 키워드
 - 우수(빗물) 자원 산업화기술 분야의 논문에 가장 많이 사용된 키워드를 살펴보면, 물수지, 물순환, 빗물, 빗물관리, 빗물이용시설, 인공강우장치, 침투, Rainwater, 건천화, R-Tree 등 빗물, 물 관련 키워드가 많은 것으로 나타났다.
- 우수(빗물) 자원 산업화기술 분야의 주요 논문 분석
 - 우수(빗물) 자원 산업화기술 분야의 논문을 가장 많이 발행한 학술지는 한국수자원학회 논문집으로 나타났다.

○ 우수(빗물) 자원 산업화기술 분야의 주요 논문 분석

표 2.2 우수(빗물)의 저장기술 분야

논문명	국문	공동주택단지에서의 빗물저수조 설치 및 활용방안 연구				
	영문	A study on the application and construction of a rainwater storage tank in apartment complex				
저자	성명	이원열 ¹ , 정상민 ¹ , 신덕 ¹ , 이철현 ¹ , 한무영 ²				
	소속	한진중공업 건설기술연구소 ¹ , 서울대학교 공학연구소 빗물연구센터 ²				
학술지명	국문	한국건축시공학회지				
	영문	Journal of the Korean institute of construction				
권호		5(4)	페이지	165-171	언어	국문
발행년도		2005	발행기관	한국건축시공학회		
키워드	국문	빗물이용시설, 지하 불용공간, 가설구조물, 빗물저수조				
	영문	Facility to use rainwater, unused unferground space, temporary structure, rainwater storage tank				

표 2.3 우수(빗물)의 이용기술 분야

논문명	국문	친환경 도시에서의 자원 활용에 관한 연구(빗물의 다목적 활용을 위한 빗물저장조의 운전방법)				
	영문	A study on the application and construction of a rainwater storage				
저자	성명	정용현				
	소속	부경대학교 환경공학과				
학술지명	국문	한국환경과학회지				
	영문	Journal of the Korean environmental science society				
권호		12(34)	페이지	359-366	언어	국문
발행년도		2003	발행기관	한국환경과학회		
키워드	국문	자원 순환, 우수, 에너지 절약, 물 절약, 우수 저장탱크				
	영문	Resource recycling, Rainwater, Energy saving, Water saving, Rain storage tank				

표 2.4 우수(빗물)이용 및 빗물집수장치 관련 주요 논문

번호	과제명	연구책임자	내용
1	효율적 우수이용을 위한 초기우수의 수질변화(2003년)	이창수	- 가로 1m, 세로 3m의 아크릴 재질의 우수 집수 장치를 설치하여 최초 강우 시부터 5mm까지 강우량 0.5mm당 수질 변화를 연구 - 초기강우에서 탁도와 색도가 음용수 기준을 초과하고, 건강상유해 유기 및 무기물질은 수질에 문제가 없는 것으로 판단
2	강우지속시간별 빗물수질특성분석(2003년)	독고석	- 전주우석대학교 옥상에 1×0.3×0.03m의 아크릴로 제작된 집수면을 이용하여 집수병 7개로 구성된 집수 장치에 빗물을 집수, 수질분석 - 집수면 재질에 따른 빗물의 수질을 알아보기 위하여 인공적 콘크리트 집수면과 페인트 집수면을 설치하여 내린 빗물의 수질변화 관찰 - 빗물의 저장일수 경과에 따른 수질변화를 관찰하기 위하여 모은 빗물을 60일 동안 상온에 방치한 후 부패정도를 실험한 결과 빗물을 장기간 보관해도 외부로부터 유기물 유입만을 방지한다면 부패의 우려가 없다고 결론
3	초기우수 수질 모니터링을 통한 저오염 집수방법의 연구(2003년)	김이호	- 소규모 실험을 위하여 가로 2m, 세로 1m 크기의 모형 집수면을 제작하여 시멘트층을 형성시킨 후 한쪽에는 광촉매층을 표면에 형성시키고 다른 쪽에는 처리하지 않은 상태에서 강우시 유출 특성 연구 - 양질의 우수를 얻기 위해서는 초기우수 제어의 중요성 확인 - 집수면을 TiO₂ 처리함으로써 오염물의 유출속도를 증가시켜 향상된 수질의 우수를 집수
4	용출실험을 통한 빗물 집수과정에서의 수질 영향인자 분석(2003년)	한명실	- 집수면 재질이 빗물의 수질에 미치는 영향을 알아보기 위해 서울대학교 공대 38동 옥상과 서쪽 후면에서 빗물을 집수하여 pH와 중금속을 분석 - 용출실험을 통한 집수면 재질의 용출 특성 분석을 위하여 신생 콘크리트(실제 건축현장의 압축강도 실험용 시편), 노후 콘크리트(서울대 38동 주변의 콘크리트 파편), 석면 슬라브(개축 공사현장의 슬라브 파편)의 세 시료에 대해 표준 용출 시험법에 근거하여 실험을 실시한 결과 pH와 Al농도가 높게 나타나는 것은 집수면 재질의 영향
5	지붕 집수면이 유출수의 수질에 미치는 영향(2002년)	한무영	- 서울대학교 공과대학 “가동”과 “나동” 건물에서 가동은 아크릴 재질의 집수관을 설치하여 강우를 받는 A, 강화프라스틱으로 강우를 받는 B, 콘크리트 옥상을 통해 유출이 발생토록 한 C 등 세 곳에서 빗물을 집수하였고, 나동은 콘크리트 옥상을 방수포로 포장된 집수면을 이용하여 집수하여 실험 - 지붕면 유출수의 주된 오염은 강우 자체에서 발생하기 보다는 주로 집수면을 거치는 과정에서 발생하며, 집수면 재질의 선택에 의해서 유출수의 오염을 저감
6	사용 중인 빗물이용시설에서의 수질인자 검토(2004년)	한무영	- pH 및 중금속에서 집수면 및 저장조의 조건이 다른 서울, 경기도, 강원도의 세 지역의 빗물이용시설을 대상으로 빗물의 수질특성에 관한 연구 - 콘크리트 집수면을 가진 서울대학교와 육군 노도부대의 Al값이 높게 나타났으며, 파형 강관 저장조가 설치된 갈피중학교의 Zn값이 높게 나타났다고 보고
7	빗물 전처리 장치가 필요 없는 청정 빗물 자동집수장치 개발(2014년)	이택순	- 빗물의 수질에 영향을 주지 않는 집수면 및 저류조 재질 선정하여 집수면 보호 커버 롤블라인더 수납 방식을 적용하여 개발 - 기존의 옥상면 집수장치 대비 수질 개선 효과가 있음을 연구

(2) 학술적 흐름 분석

○ 우수(빗물) 자원 산업화기술 분야 논문의 연도별 동향

- 빗물 자원 산업화기술 분야에서 발행된 논문의 연도별 동향을 살펴보면, 1994년 1건이 발행된 이후, 2000년대 들어 다소 발행건수가 증가하였으나 간헐적으로 발행되고 있으며, 연평균 2.2건의 논문이 발행되고 있다.
- 해당 분야의 논문 발행건수는 특허 출원건수에 비하여 상당히 미진한 경향을 보이고 있으며 대학, 연구기관 등의 기초연구는 상대적으로 떨어지나 기업들의 기술개발이 매우 활발한 것으로 사료된다. 또한 빗물 자원 산업화기술 개발에 있어 상위 출원인들이 기업인 것도 이와 같은 현상을 보여주고 있다.

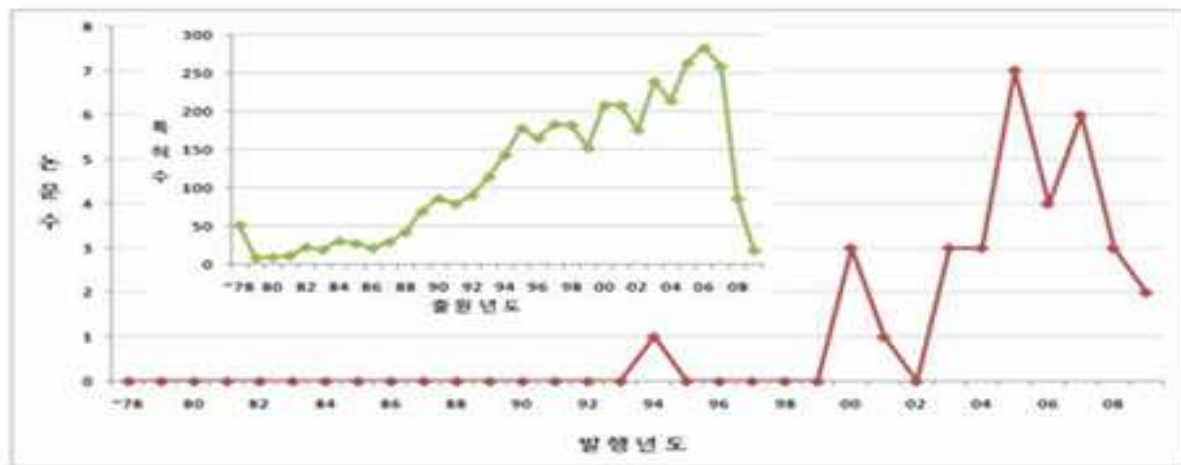


그림 2.1 빗물 자원 산업화기술 분야의 논문 동향
(자료 : 특허청, 2009, 저탄소 녹색성장기술 개발 특허 동향)

다. 국내외 빗물이용 관련 정책

(1) 국내의 빗물관리 제도

물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률(2015.3.27.시행)에 따른 빗물이용시설 설치의무 시설은 동법에서 정한 규정과 절차에 따라 빗물이용시설을 설치 및 관리하여야 한다.

- 법령 : 제8조 (빗물이용시설의 설치·관리)
- 시행령 : 제10조 (빗물이용시설의 설치대상·관리)
- 시행규칙 : 제3조 (빗물이용시설 설치신고),
제4조 (빗물이용시설의 시설기준·관리기준)

자연재해대책법에서 소방방재청에서는 태풍, 홍수 등 자연현상으로 인한 재난으로부터 국토를 보존하고 국민의 생명, 신체 및 재산과 주요기간시설을 보호하기 위하여 자연재해의 예방, 복구 그 밖의 대책에 관하여 필요한 사항을 제정하였다.

- 제19조 : 우수 유출저감 대책의 수립

서울시는 ‘서울특별시 물순환 회복 및 저영향개발 기본 조례 시행 규칙’을 제정하였으며, 이에 따라 2014년 9월 25일부터 공공시설 및 민간시설 보조금 지원을 통한 빗물관리시설 설치가 가능하다.

(2) 국외의 빗물관리 제도

(가) 독일

빗물관련 시설물을 설치할 때에는 건축법, 음용수 수질법, 지역공동체의 하수처리법 등을 고려해야 함. 빗물이용 시설물은 독일의 표준규격(DIN)에 적합하면 설치 및 운영이 가능하다.

보조금의 지급 관련하여: 과거에는 많은 시에서 빗물 이용시설의 확대를 위해 인센티브를 주거나 보조금을 지급하였으나, 현재는 하수도 비용을 하수량과 빗물 유출량으로 분리함으로써 빗물을 사용했을 경우 빗물 유출량에 대한 비용을 감소시킬 수 있도록 하였다.

(나) 일본

빗물이용에 직접 관련된 법규나 조례는 없으며, 잡용수로 이용하는 경우 급배수 설비에 준하는 형태로 관련법규의 적용을 받는다.

○ 건축물의 위생적 환경확보에 관한 법률 : 건축물 환경위생 관리기준

보조금의 지급 관련하여 일본의 빗물이용 보조 프로그램은 지역별로 차이가 있는데, 보통 빗물저장조 시스템, 빗물침투설비, 정화조를 빗물 집수조로 전환시켜 사용하는 시스템의 세가지 분야에 보조금을 지급하고 있다.

(다) 대만

건축기술규칙 내에 건축물 우수저류 이용설계기술규범을 정해두고 건축물에 우수저류시설을 설치할 때의 가이드라인을 제시하고 있다. 별도의 빗물이용시설에 대한 요건을 제시하고 있지는 않으며, 대만의 기후 및 강수특성을 건축물의 빗물이용시설 설계시 반영해야 하는 사항들을 기록하고, 이에 따라 빗물이용시설을 설치하고자 하는 건물에서는 가이드라인에 따라 빗물 이용시설의 설계가 가능하도록 제시하고 있다.

보조금의 지급 관련하여 빗물저장시설 추진 계획 집행 요점에서 요구하는 요건에 맞게 보조금을 지급한다.

(라) 미국

버뮤다와 버진군도에는 새로 개발되는 지역에는 빗물이용시스템을 설치할 것을 요구하고 있지만 이외의 주에서는 빗물이용에 대한 명확한 규정은 없다. 텍사스주의 경우 빗물이용시스템이 상수도 시스템과 연계 사용될 경우에는 교차 접속을 피하도록 상수도 관망과 빗물이용시스템 간 완충간격을 상수도 관경의 2배를 넘도록 규정하고 있다. 오하이오주의 경우 Department of Health Administrative Code에 의해 개인단위의 물 공급 체계에 대한 규정을 두어 빗물이용시설에 적용하고 있다.

보조금의 지급 관련하여 California Water Conservation Tax Law가 1980년에 통과되어 빗물, 중수 또는 두 가지의 혼합 형태의 사용에 대해 50%(최대 \$3,000)의 정부보조금을 지원하고 텍사스주 오스틴의 경우 빗물 집수시스템의 설치비용 30%(한도액 \$500) 보조하고 있다.

2. 국내외 관련 기술 특허 동향

가. 국내외 관련 기술 동향

(1) 연도별 특허 동향

우수(빛물) 자원 산업화기술 개발에 대한 연도별 특허출원동향을 살펴보면, 1980년대 초반부터 현재까지 연평균 130여건의 특허출원이 진행되고 있으며, 1980년대 초반부터 기술 권리화를 위한 노력이 진행되어 오고 있다.

1980년대 후반부터 출원 건수가 서서히 증가하기 시작하다가 1990년부터 급격히 증가, 최근까지 3660여 건이 넘는 관련 특허가 출원되고 있었으며, 특히 2006년에는 관련 기술에 대한 특허출원 빈도가 급격하게 증가한 것으로 나타나고 있다.

우수(빛물) 자원 산업화기술에 대하여, 2009년 7월까지 출원된 한국, 일본, 유럽 및 미국특허와 국제공개를 대상으로 국가별 특허출원 추이와 점유율 현황을 살펴보면 1978년부터 출원되기 시작하여 1990년대부터 급격히 증가하고 있다.

일본특허가 2,030건 55%로 가장 높아 일본이 우수(빛물) 자원 산업화기술 개발 및 시장에 관심이 큰 국가로 분석되었다. 다음으로 한국특허가 752건으로 전체 21%를 차지하였으며, 유럽 특허 및 미국특허가 각각 15% 및 5%를 차지하는 것으로 나타나고 있다.

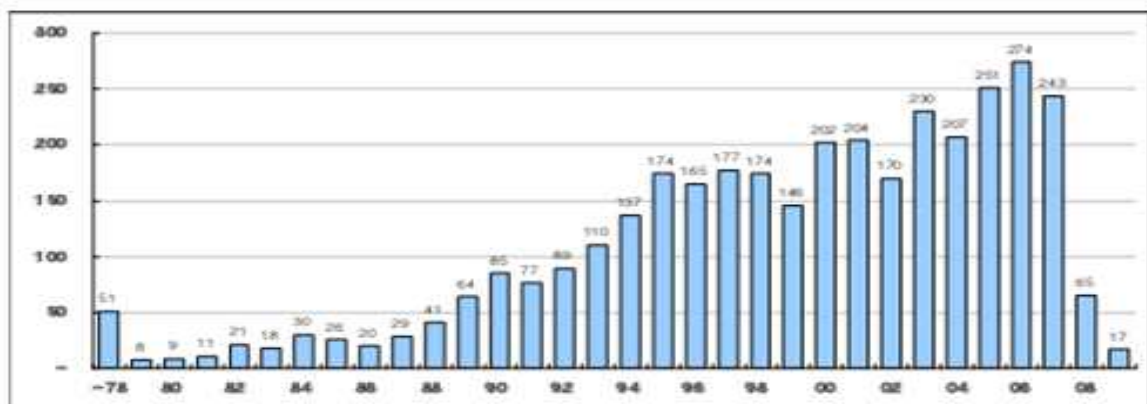


그림 2.2 우수(빛물) 자원 산업화기술 개발에 대한 연도별 출원 동향

(자료 : 특허청, 2009, 저탄소 녹색성장기술 개발 특허 동향)

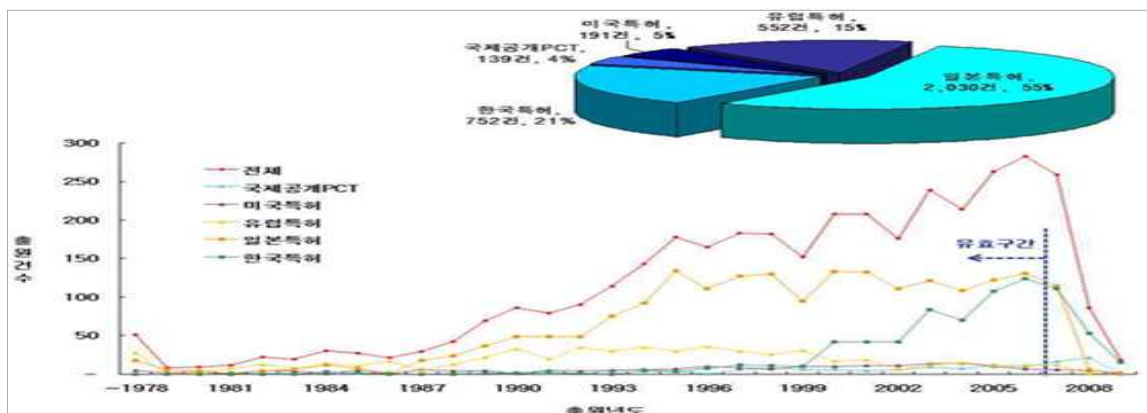


그림 2.3 우수(빛물) 자원 산업화기술의 국가별 특허출원 추이

(자료 : 특허청, 2009, 저탄소 녹색성장기술 개발 특허 동향)

(2) 주요 출원인별 특허동향

관련 분야 특허의 주요 출원인들은 SEKISU Chem Co. Ltd., MATSUSHITA electric Works Ltd., HAYASHI Shinichiro Takiron Co. Ltd., TOSHIBA Co., SEKISUI House Ltd., FURUKAWA Electric Co. Ltd., EBATA KK, TOYO Tire & Amp, RUBBER Co. Ltd., MITSUBISHI Plastics Ind. Ltd. 로 모두 일본 출원인인 것으로 나타났다.

핵심특허의 주요 출원인들은 대부분 세부기술 분야인 우수의 수집, 저장, 정화 및 이용의 개개 분야에 출원을 하는 것으로 분석되었다.

주요 출원인들은 우수(빗물) 자원 산업화기술 분야의 특허를 1990년대 초반부터 출원한 것으로 분석되었으며, 상기 주요 출원인들이 보유한 특허들의 평균 권리 잔존 기간은 약 10.4년인 것으로 분석되었다.

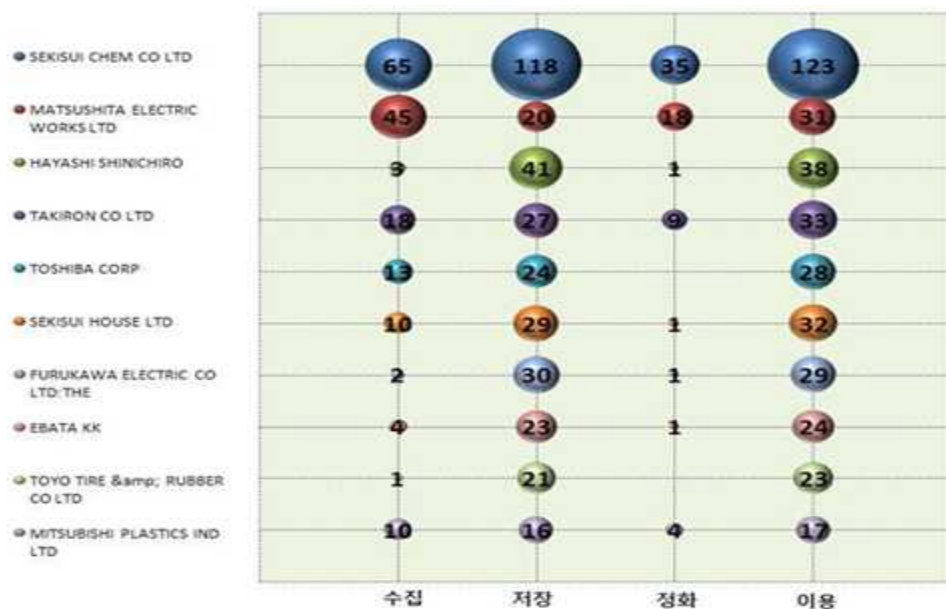


그림 2.4 우수(빗물) 자원 산업화기술 특허의 다출원인의 특허출원 현황
(자료 : 특허청, 2009, 저탄소 녹색성장기술 개발 특허 동향)

(3) 세부기술의 연도별 특허동향

우수(빗물) 자원 산업화기술 개발에 대한 세부분야별 특허 출원율을 살펴보면, 우수의 이용기술 분야가 33%로 가장 높은 출원율을 나타내며, 우수의 수집기술 분야가 27%, 우수의 저장기술 분야가 26%이며, 우수의 정화기술 분야는 가장 낮은 14%의 출원율을 보이는 것으로 나타났다.

우수(빗물) 자원 산업화기술 개발의 연도별 특허 출원동향을 살펴보면, 세부기술 분야 간의 출원동향 차이는 없으며, 1990년대 말에서 2000년대 초반에 걸쳐 일시적인 감소를 나타내었으나 이후 다소의 등락을 반복하면서 전체적으로는 증가 추세 보이고 있다.

우수(빗물) 자원 산업화기술 개발의 연도별 특허 출원동향이 세부기술분야별로 차이가 없는 것은 4가지 세부기술 분야가 서로 간에 유기적으로 연관되어 있어 분리될 수 없으며, 하나의 특허 내에 2가지 이상의 기술 요소가 공존하고 있기 때문으로 사료된다.

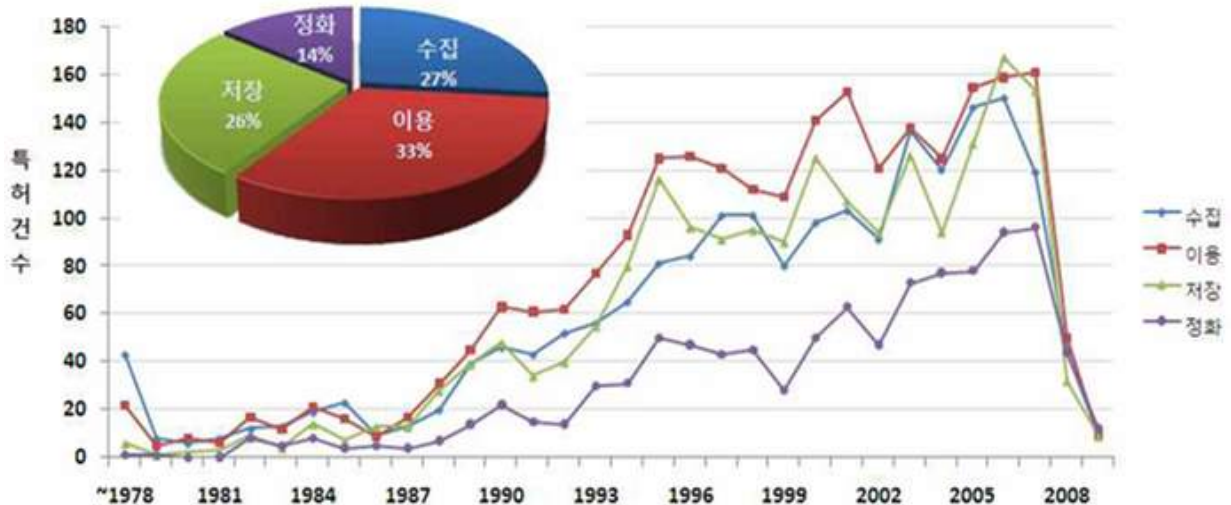


그림 2.5 우수(빗물) 자원 산업화기술의 세부기술 분야에 대한 연도별 출원 동향
(자료 : 특허청, 2009, 저탄소 녹색성장기술 개발 특허 동향)

나. 국내외 기술개발 현황 및 기술수준

(1) 국내 기술개발 현황

최근 들어, 향후 예상되는 물 부족에 대비하기 위해서 경기장, 학교 및 정부청사 등에 화장실 세정용수나 조경용수 등 잡용수로 이용하는 빗물이용시설 설치가 증가하고 있다. 현재까지 대부분의 시설이 이수 용도로 활용되고 있으나 향후 관련법령 및 지원체계가 마련되면 시설 적용사례가 급증할 것으로 예상되며, 이수적 측면에서 뿐만 아니라 호우시 빗물을 저류함으로써 도시 방재대책, 비점오염 저감 대책으로써 활용도가 높아질 것으로 기대된다.

우리나라의 빗물저류 및 침투기술에 대한 연구개발 수준은 현재 시작단계를 벗어나고 있는 시점이며, 연구용역 발주처인 정부 부처 및 지자체 별로 활발히 진행되고 있어 본격적인 도시 빗물관리 기술 확보에 박차를 가하고 있으나 제품 및 시스템의 규격화, 실용화가 미흡한 실정이다.

환경부에서는 물절약 및 비점오염원 관리 차원의 빗물 이용시설 확대를 추진하고 있으며, “빗물수집 및 활용기술(2004)” 연구과제를 통해서 빗물탱크 설계기법, 용량산정 프로그램, 모니터링 기법을 제시하였으며, 2015년에는 물 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률을 개정하고 공공청사까지 빗물이용시설 설치 의무화 대상을 확대하고 있다.

행정자치부에서는 주로 방재 측면에서 호우시 빗물 유출저감 대책으로서 관련 연구개발을 수행하고 있음. 논산, 문경, 문산 등 9개 시범지역에 침투봉을 설치하여 각 지점에서 빗물 유출저감효과를 지속적으로 모니터링하고 있다.

표 2.5 정부 부처 및 지자체별 연구용역 추진현황

발주처	연구용역명	비고
건설 교통부	우수 저류 및 활용기술 개발(1단계: 2001-2004)	과학기술부 공동지원
	우수 저류 및 활용기술 개발(2단계: 2004-2007)	
	우수 저류 및 활용기술 개발(3단계: 2007-2011)	
	효율적인 빗물관리에 관한 연구	
	친환경적 단지조성을 위한 우수관리기술 및 공법 개발연구(2001)	
환경부	생태도시·단지조성을 위한 핵심요소기술 개발 및 적용방안	
	빗물이용시설 보급확대를 위한 정책방안 연구	
	빗물 수집 및 활용 기술	
	비점오염원 저감을 위한 우수유출수 관리방안	
행정 자치부	빗물이용시설 등 설치·운영 의무화 확대방안 연구	
	우수유출저감시설 설치기법 연구(I~V: 1998~2002)	
	우수유출 저감시설의 적용을 위한 시범지역 운영방안	
서울시	대표시험유역과 저류·침투시설 운영을 통한 재해저감기법 개선	
	우수유출률 저감 대책	
	우수유출 저감시설 기준	
	빗물이용을 통한 도시침수 저감 및 수돗물 절약방안	
	서울시 물순환기본계획 연구	
인천시	지하우수저류시설의 운영 및 유지관리 방안 연구	
인천시	인천 도심내 빗물이용시설 설치 방안	
산업기술재단	친환경적 빗물이용시스템 및 기술개발 연구(2005)	

(자료 : 환경부, 2011, 빗물이용시설의 설계 및 운영관리기술 개발)

표 2.6 우수이용 관련 제품·기술별 국내외 현황

제품·기술명	선진국현황 (미국, 독일, 일본)	국내 현황	기술도입 가능성	기술료 수준	경제성
이용가능량 산정	집수가능 강우량 자료화	연구단계	상	자료활용	상
수질특성 분석	수질자료 확보	특성분석	하	없음	중
유출특성 분석	다양한 모델 개발	외국 모델 이용	중	S/W 구입	중
오염물질 거동	컴퓨터 프로그램화	외국 모델 이용	중	S/W 구입	중
집수면적 산정	상용화	연구단계	하	직접 수행	하
저류용량 산정	컴퓨터 프로그램화	연구단계	상	S/W 구입	상
스크린 장치	스크린 설치	부분적 기술보유	상	5% 이내	상
침전·여과기술	기술 사용중	기술보유	중	5% 이내	중
소독 기술	기술 사용중	기술보유	상	5% 이내	중
침투정, 침투트랜치	기술 사용중	연구단계	상	5% 이내	상
저류 침투지	기술 사용중	없음	중	5% 이내	하
투수성 포장	기술 사용중	연구단계	중	5% 이내	상
도로 배수처리	연구단계	적용중	하	5% 이상	상
우수-중수-지하수 연계활용	일본 적용, 미국, 독일 연구중	연구단계	하	2% 이내	상
옥상녹화, 생태주거단지조성	독일 상용화, 일본 적용단계	연구단계	상	5% 이상	상
물순환 통합관리 기술	독일 상용화, 일본 적용 단계	연구단계	하	5% 이상	하

(자료 : 환경부, 2011, 우수 저류 및 활용기술 개발)

(2) 국내 빗물이용시설 적용사례

서울대학교 기숙사에 설치된 빗물이용시설은 집수시설(2,098m²), 운반시설, 처리시설, 저류시설, 펌프시설, 모니터링시설과 수세변기로 구성되어 있다. 빗물 집수조는 철근콘크리트 구조로 유입부와 유출부 두 개의 조로 나누어져 있으며 200m² 규모이다. 빗물은 지붕에서 집수되며 관을 통해 지하 빗물 집수조에 저류되어 화장실용수, 정원용수, 기숙사 주변의 조경용수로 사용되고 있다.

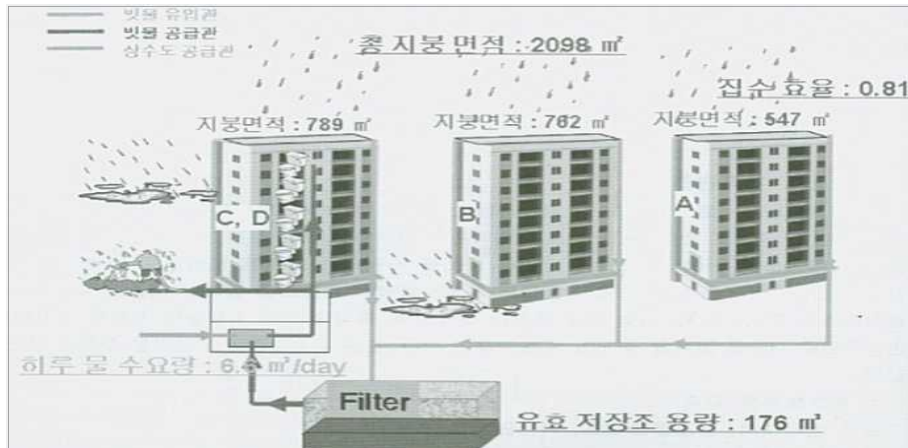


그림 2.6 서울대 대학원 기숙사 빗물저류시설

(자료 : 서울지역환경기술개발센터, 2008)

스타시티 부지는 62,500m²이지만 바닥(45,000m²)과 건물 옥상(6,200m²)에서 빗물을 모을 수 있는 면적은 51,200m²에 이르고 지하에는 옥상 빗물, 바닥면 빗물, 비상용수를 각각 저장하는 1,000t용 콘크리트 탱크 3개가 설치되어 있다. 탱크에 저장된 빗물은 중앙공원의 조경 용수, 분수 및 실개천과 공용화장실(지하 1층 및 지상 1층) 용수로 빗물을 쓰고 있다. 대부분의 아파트 단지에선 이런 용도로 수돗물을 쓰고 1년간 재활용한 빗물은 40,000t, 오피스텔 133가구를 포함해 1310가구에서 1년간 쓴 수돗물(200,000t, 1억 6천만원 상당)의 20%에 해당한다.

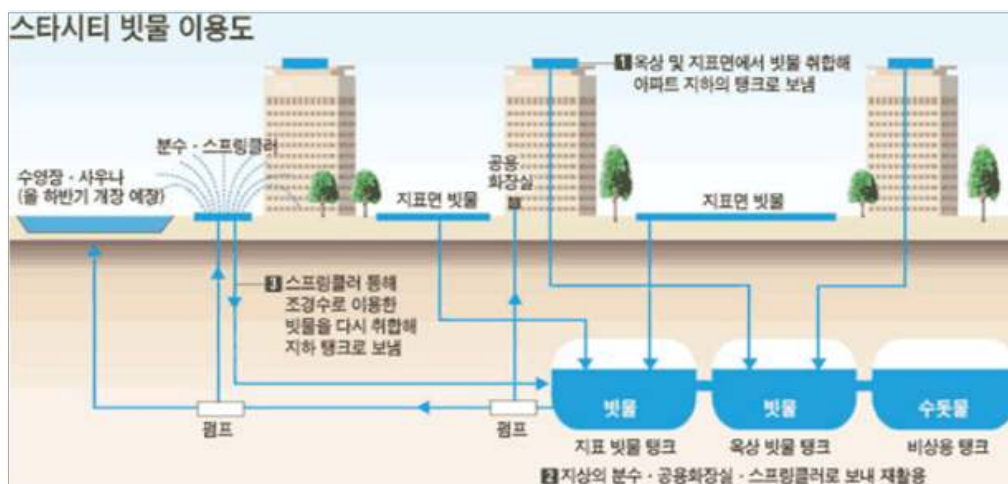


그림 2.7 스타시티 빗물 이용도

(자료 : 환경부, 2004)

(3) 국외 기술개발 현황

미국의 경우 최근 점차 증대되는 환경에 대한 관심과 기존 수자원 고갈이 관계 당국의 빗물이용에 대한 관심을 증가시켰고 많은 도시들이 빗물이용에 대한 기술을 적극적으로 개발하고 있다. 또한 미국의 군도인 팜, 카롤린군도, 마샬군도, 푸에르토리코 등의 섬 지역에서는 빗물을 이용하는 것이 일반적이며, 하와이의 경우 농업지역이나 상수관로 시스템을 도입하기 어려운 지역에서 빗물을 많이 사용하고 있다.

독일은 대부분의 도시가 지하수를 원수로 사용하고 있으나 현재는 가정용수나 그 밖의 용도로 빗물이용을 가장 적극적으로 추진하고 있다. 독일에서 빗물이용을 추진하는 주된 이유는 빗물사용으로 제한된 수자원인 지하수를 보존할 수 있기 때문이다. 현재 100여개의 빗물이용 관련설비 제조업자들이 빗물 관련 상품시장에서 경쟁하고 있다. 독일의 대표적 빗물이용 시설중 하나인 소니센터(Berlin Sony Center)는 저장된 빗물을 Potsdamer Platz 오피스 타워에서 화장실용수나 건물 외부의 조경용수로 사용하고 있다.



그림 2.8 독일 베를린 소니 센터
(자료 : 환경부, 2011)

일본은 주로 도심지역의 빗물이용에 많은 관심을 쏟고 있음. 도시 외 지역에서 빗물이용이 주로 용수공급을 목적으로 하고 있으나, 일본 도심에서는 용수공급 외에도 홍수제어 효율성 증대, 수자원 보전, 하천오염 감소, 지하수 함량, 배수관망 시스템 건설경비 절감 등의 효과를 목적으로 한다. 동경도에 있는 스미다시 시청은 일본에서 빗물을 이용하게 된 13번째 공동기관으로 5,000m² 면적의 집수면적과 저류용량 1,000m³에 달하는 지하저장탱크가 있고, 저류된 빗물은 주로 건물 내의 화장실 용수로 사용한다.



그림 2.9 일본 스미다시 시청
(자료 : 환경부, 2004)

호주는 기후가 건조하고 농업지역으로 주민이 많이 흩어져 있어 주로 빗물을 이용하고 있다. 호주 통계청에 따르면 약 100만 명의 농업지역 사람들이 빗물을 주수원으로 이용하고 있고, 최근에는 도시외곽지역에 취미생활로 농장을 운영하는 사람들이 증가함에 따라 도시외곽지역에서 빗물을 저렴한 수원으로 이용하고 있다.

영국은 1995년 심각한 물 부족을 겪고 물에 대한 인식 전환이 이루어지고 있다. 영국의 대표적인 빗물이용 시설은 밀레니엄 돔으로 10만 m^2 면적의 지붕에서 받은 빗물로 하루 500 m^3 의 화장실 용수 중 20%를 충당하고 있으며 유출수가 발생될 경우 적절한 처리를 거친 후 연못에 저장한다.



그림 2.10 영국 밀레니엄 돔
(자료 : 환경부, 2011)

태국은 가정용 빗물집수시스템을 1980년부터 개발해왔고 그 분야에 있어 큰 발전을 보여왔다. 특히 자(빗물저장단지) 프로그램(Jar Program)은 세계에서 가장 잘 알려진 가정용 빗물 집수저장조 설치프로젝트로 정부에 의해 주도되었는데, 1980년대 중반 이후 2m 부피의 철근콘크리트로 된 빗물저장조가 가정용으로 수백만 개나 건설되었고, 페로시멘트(Ferrocement) 빗물 저장탱크의 경우 매우 폭넓게 이용되어 태국의 북동부 지역에서 수천 개가 설치되어 있다.

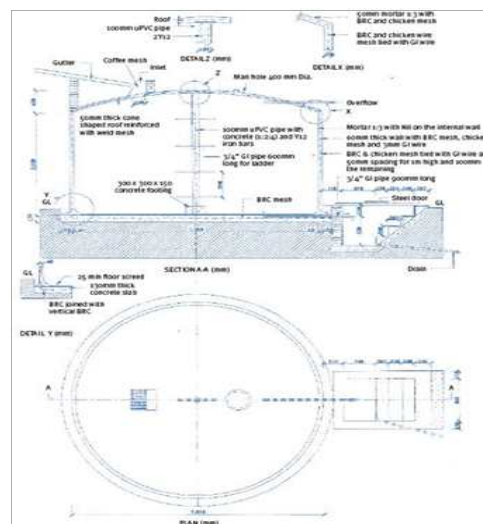


그림 2.11 태국의 페로시멘트 빗물저장탱크
(자료 : WCM, 2009)

국외에서 빗물이용시설은 물 부족을 해결하기 위한 용수공급과 도시형 홍수와 가뭄을 예방하기 위한 치수용 목적으로 사용하고 있다. 선진국의 경우 중앙공급식 급수체계가 잘 갖추어진 도심지역에서는 홍수제어 효율의 증대, 화재나 천재지변에 의한 비상용 용수의 급수, 지하수의 함량 등을 목적으로 빗물을 이용하고 있다. 또한, 빗물이용을 위한 법적, 제도적 지원을 함께 해나가고 있다.

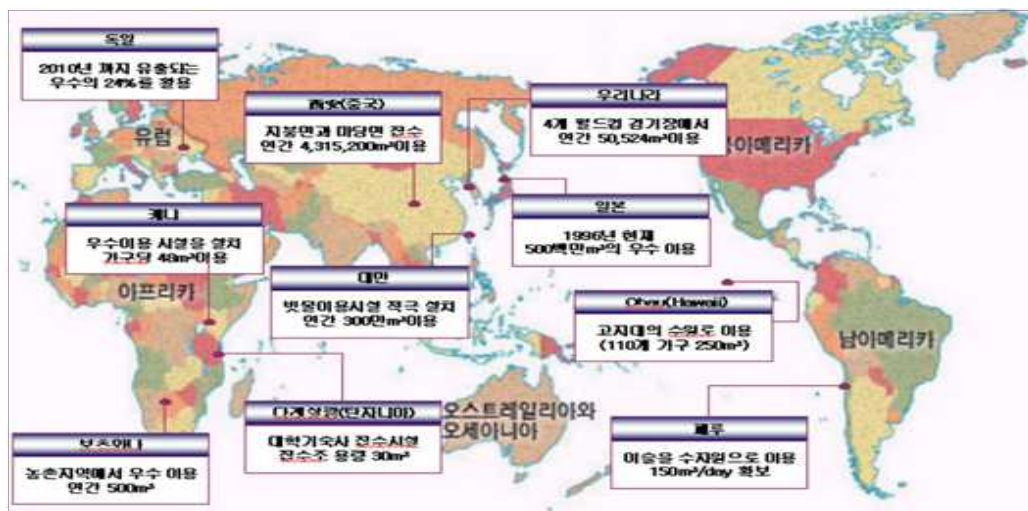


그림 2.12 세계의 빗물이용 사례

(자료 : <http://blog.naver.com/hanjabbu>)

표 2.7 외국의 지역별 빗물 이용 기술 특징

지역	지역적 특성 및 현황	빗물 이용 모델	적용된 기술	장점	단점
라틴아메리카와 카리브 연안	강수량이 특정 기간에 집중 담수 부족과 수 질문제 심각	Tajamare	지형적 침하 지역을 이용	노동력의 최소화 농업에 적합	경사가 5%이상 인 지역에서 유 용하지 못함
남부 및 동남아시아	강우의 불안정 성, 높은 인구 성장률로 국지 적 물기근 증가	Oorany	불투수성 토 질 위에 건설	건설에 필요한 장비와 기술을 자급가능	모기 서식지가 될 가능성이 있 음
동유럽 및 유럽 중앙부	도시화, 산업화 로 지표수 오염. 지하수의 과도한 이용으로 인한 호수의 건천화	Stera	지붕의 집수 면을 이용	유럽의 어느 지 역에서나 사용 가능	지붕면의 오염 시 유출수의 오 염가능성이 있 음
아프리카	장기간 극심한 가뭄에 의한 심 각한 물부족	지하저장 탱크	도로, 지붕을 집수면으로 이 용	지역사회의 지속 가능한 개발을 실현	지붕집수에 필 요한 금속제 지 붕이 필요함
서아시아	높은 인구 증가 와 도시화로 인 한 심각한 물 부족 사태 직면	온실	온실의 지붕 을 집수면으로 이용	집중호우의 피해 를 줄일 수 있음	건설비용 많이 소요됨

(자료 : 과학기술부, 2004)

3. 국내외 시장분석 및 산업동향

가. 국내외 주요 국가의 시장규모

(1) 국내 물 시장규모

국내 물산업 시장규모는 2015년 97억 달러이고, 2018년 106억 달러로 예상된다(GWI, 2013). 분야별 시장동향을 보면 상수(18억 달러)와 하수(30억 달러), 운영관리(42억 달러) 등으로 시장이 형성되어 있다.

국내 물산업 규모는 향후 10년간 연 5.5%씩 성장하여 2007년 8.9조원 시장규모에서 2016년 13.8조원 시장규모로 확대될 것으로 전망되며, 국내 산업용수 시장도 2016년에는 1조 3천억원에 달할 것으로 예상된다.

국내 물순환 도시조성 분야 시장규모는 2015년 5조원, 2020년 6조원이고, 환경부 등 비점오염관리, 물순환 도시조성, 홍수저감 사업 분야 투자규모는 약 7.4조원 정도이다(한국건설기술연구원, 2013).

환경부는 물 재이용 기본계획(2011~2020)에서 2020년까지 빗물이용시설 목표량을 산정하여 2008년 기준으로 과거년도 5년의 빗물이용시설용량의 변화추이를 분석하여 각 대상시설별 목표량을 산정하였다. 2020년까지 빗물이용시설의 집수조 용량은 총 459,894m³으로 집수조 용량 54,045m³ 대비 8.5배 증가하는 것으로 추정, 공장 및 상가의 빗물이용시설 용량은 184,541m³, 아파트 174,517m³, 체육시설 43,879m³, 학교시설 39,532m³, 공공청사 17,603m³으로 추정. 공장 및 상가가 전체 78%를 차지함. 2016년 268,102m³, 2020년까지 459,894m³으로 계속 증가하는 것으로 산정하였다.

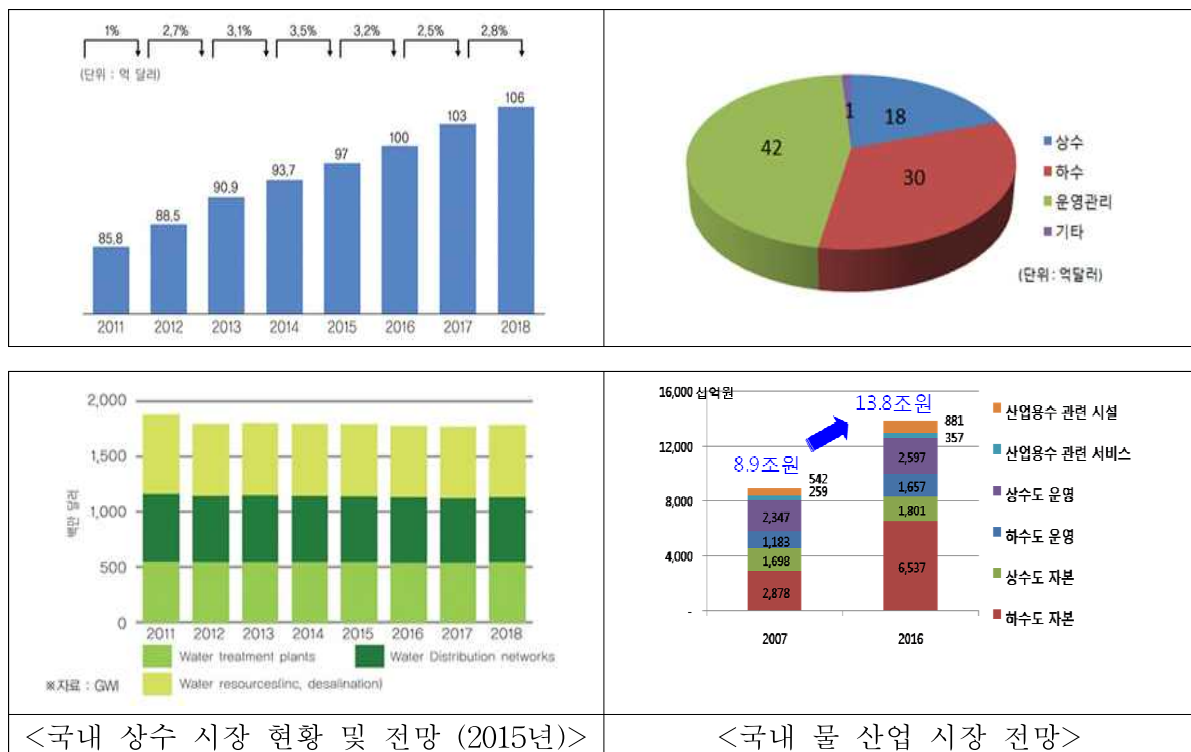


그림 2.13 국내 물 시장 현황 (2015년)

표 2.8 빗물이용시설 목표량 산정(2020년까지)

구 분	시설 규모		2008년 현재			2020년 목표			
	저류조 용량 (m³)	구성 비율 (%)	저류조 용량 (m³)	구성 비율 (%)	보급률 (%)	저류조 용량 (m³)	구성 비율 (%)	보급률 (%)	'08년대 비 증가율 (%)
공공청사	68,991	0.1	3,013	6	4.37	17,603	4	26	5.8
체육시설	4,974,553	9	5,427	10	0.11	43,879	10	0.9	8.1
공장 및 상가	13,471,626	25	21,439	40	0.16	184,542	40	1.4	8.6
아파트	25,102,317	46	19,534	36	0.08	174,517	38	0.7	8.9
학교시설	10,877,295	20	4,632	9	0.04	39,352	9	0.4	8.5
합 계	54,494,782	100	54,045	100	0.10	459,894	100	0.8	8.5

(자료 : 환경부, 2011, 물 재이용 기본계획(2011~2020))

표 2.9 연도별 빗물이용시설 목표량

(단위 : m³)

구분	공공청사	체육시설	공장 및 상가	아파트	학교시설	총계
2012년	5,118	12,757	53,654	50,739	11,441	133,709
2016년	10,262	25,580	107,582	101,738	22,941	268,102
2020년	17,603	43,879	184,542	174,517	39,352	459,894

(자료 : 환경부, 2011, 물 재이용 기본계획(2011~2020))

(2) 세계 물 시장규모

영국의 물전문 리서치기관인 GWI(Global Water Intelligence)에 따르면 2013년 세계 물시장 규모는 5,568억 달러이고, 2025년에는 8,650억 달러(1,038조원)까지 성장 전망되며, 특히 물의 재이용수 분야의 급성장으로 2007년 0.1백억 달러에서 2025년 2.1백억 달러로 21배 증가할 전망이다(GWI, 2013). 2013년 각국별 물시장 규모는 미국이 1,090억 달러로 가장 크고 일본(761억 달러), 중국(581억 달러) 순으로 시장규모를 형성하고 있음.

세계 물시장은 연평균 3.9% 성장하여 2018년에는 6,742억 달러에 도달할 전망이고 세계 물 소비가 인구증가와 도시화 가속, 신흥국의 경제성장 등으로 급증하면서 물시장 성장을 견인하고, 특히 지구 담수의 70%가 소비되는 아시아 지역의 물사용량이 기하급수적으로 증가할 전망이다.

표 2.10 분야별 세계 물시장 규모(2013년)

(단위 : 억 달러)

분야	전체	상수	하수	산업용수·폐수	해수담수화
시장규모 (%)	5,568 (100)	2,772 (50.9)	2,208 (39.6)	589 (9.5)	62 (5.8)

(자료 : GWI, 2013)

표 2.11 업종별 세계 물시장 규모(2013년)

(단위 : 억 달러, %)

구분(%)		금액	비중	취수	공급	재생
제조 (19.7)	설비	377	6.8	- 댐 등 수자원 취수시스템 관련 부품 - 송·배관 - 담수	- 정수처리부품 및 시스템 - 배관파이프	- 하수처리부품 및 시스템 - 배관파이프 - 고도수처리약품
	관망	190	3.4			
	펌프, 밸브	184	3.3			
	화학약품	196	3.5			
	기타	151	2.7			
건설 (18.4)	토목/플랜트	1,023	18.4	댐 건설 송배관 건설	정수처리시설 담수처리시설	하수처리시설
서비스 (61.9)	설계/운영/ 관리	3,334	61.9	수자원관리	정수처리장 운영 및 관리	하폐수처리장 운영 및 관리
합계		5,568	100.0			

(자료 : GWI, 2013)

표 2.12 국가별 물산업 규모(2013년)

(단위 : 억 달러)

구분	1위	2위	3위	4위	5위	6위	7위	8위	9위	10위
국가	미국	일본	중국	프랑스	독일	영국	브라질	호주	한국	이탈리아
규모	1,090	761	581	312	213	188	183	123	97	88

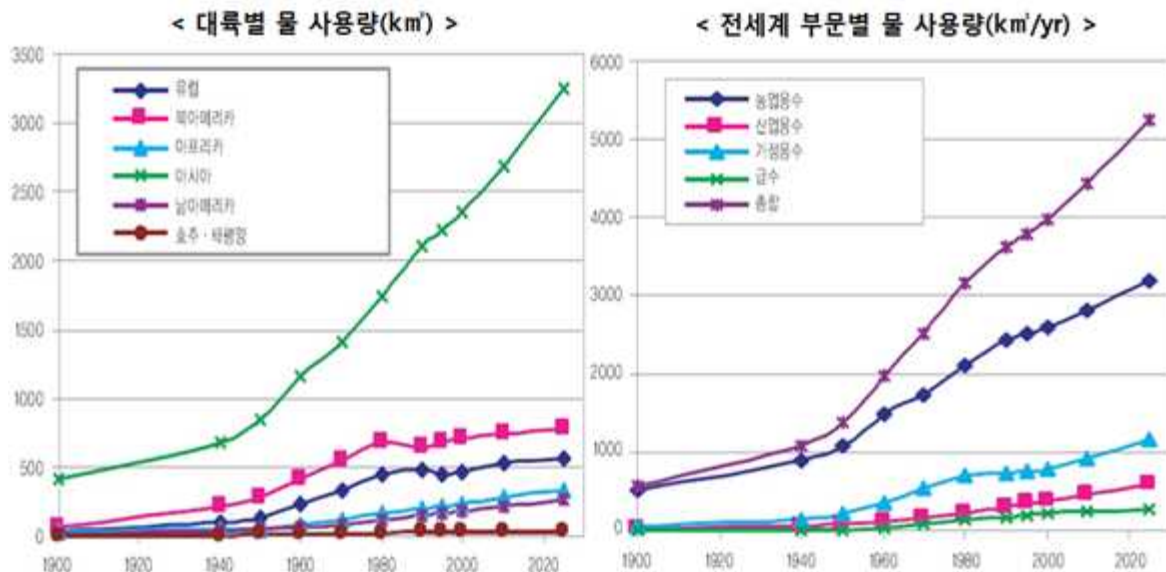


그림 2.14 전 세계 대륙별 및 부문별 물 사용량
(자료: 워터저널, 2013, 세계의 미래 물 시나리오)

나. 세계시장을 선도하는 주요 업체

(1) 국가별 전문 물기업 보유 현황

1999년 전세계 73여개의 물기업 수는 2012년 173개로 2배 이상 증가하고 있다. 특히 중국은 중진국으로 분류된 이후 물기업수가 대폭 증가하여 1999년 4개에서 2005년 19개, 2007년 31개로 급증, 2012년 이후 전세계에서 가장 많은 41개 물기업을 보유하고 있다.

미국과 영국은 물산업 강국으로 많은 물기업들이 활동하고 있다. BRICs 국가들도 기업들의 신규 진출이 활발하다. 국가별로 중국(41개), 미국(21개), 영국(18개), 말레이시아(11개), 브라질(8개), 싱가포르(8개), 인도(7개) 순으로 나타나고 있다.

(2) 글로벌 세계 물기업 현황

베올리아, 수에즈 등 주요 15개 기업이 세계 물시장의 51%인 약 4억 8,959명에게 물 서비스를 제공하고 있다. 베올리아, 수에즈 등 상위 5대 기업은 세계 물시장 점유율이 2001년 73%에 달했으나, 이후 지속적 감소하여 32.6%(2012년)까지 하락하고 있다.

Beijing Enterprises Water와 SABESP가 각각 3위와 5위를 기록하는 등 글로벌 물시장에서 중국과 브라질 기업이 급부상하고 있다. 그러나 이들 기업은 국영기업이 민영화되면서 내수 중심으로 자국민만을 대상으로 사업을 전개, 아직 해외사업 실적은 미약한 실정이다.

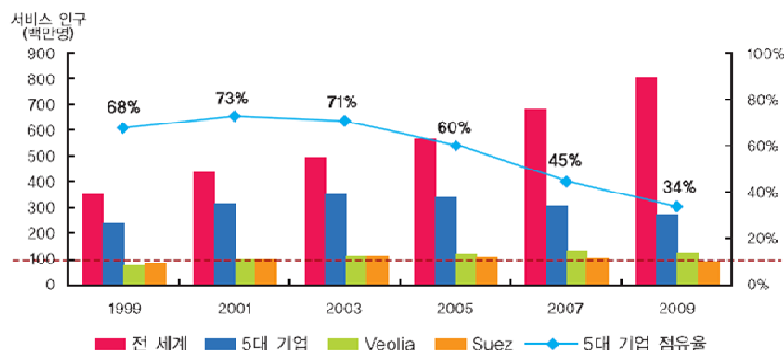


그림 2.15 글로벌 물기업의 시장점유율 변화
(자료 : Pinsent Masons Water Yearbook 2009-2010)>

표 2.13 세계 15대 물기업 현황(2012년)

순위	운영기업	국가	매출액 (백만)	서비스 인구 (만명)	해외사업 비중
1	Veolia Environment	프랑스	€ 29,647	13,126	82%
2	Suez Environment	프랑스	€ 14,830	11,735	90%
3	Beijing Enterprises Water Gp	중국(홍콩)	HK\$2,655	2,846	0%
4	FCC	스페인	€ 11,908	2,830	54%
5	SABESP	브라질	BRL 9,942	2,710	0%
6	RWE	독일	-	1,827	28%
7	ACEA Spa	이탈리아	€ 3,538	1,798	46%
8	Shanghai Industrial Holdings	중국(홍콩)	HK\$14,969	1,750	0%
9	NWS Holdings	중국(홍콩)	HK\$9,561	1,612	0%
10	American Water Works	미국	\$2,666	1,600	2%
11	Sound Global	싱가포르	CNY 2,288	1,560	0%
12	Chongqing Water Group	중국	CNY 3,738	1,500	0%
13	Thames Water	영국	£ 1,695	1,380	0%
14	COPASA	브라질	BRL 2,510	1,360	0%
15	Severn Trent	영국	£ 1,771	1,325	38%

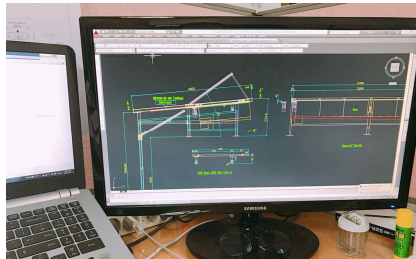
제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 초기우수 배제가 가능한 저전력 청정빗물집수장치 개발

가. 태양광을 이용한 자가 발전 시스템 설계 및 제작

청정빗물집수장치의 장치부의 제작 및 시험 공정은 다음과 같다.

- 제품 설계 : 초기우수 집수조 설계, 프레임 및 집수조 설계, 제품 외관 설계, 제어반 설계
- 자재 구입 : 태양광 모듈, 파이프, 철판, 보온재 등 구입
- 부품 제작 : 구동부 제작, 집수조 제작, 태양광발전 시스템 제작, 제어반 제작
- 조립 및 반제품 시험 : 배관 및 UV램프, 초기우수 측정부, 빗물집수조 조립 및 구동시험
- 완제품 시험 : 태양광 발전 시스템 및 빗물집수조, 초기우수 집수부 및 제어반 연결 및 현장 시험
 - 외관 치수검사, 제품동작시험



제품 설계

=>

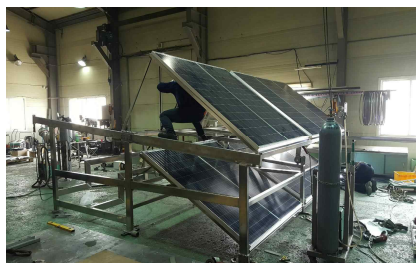


자재 구입

=>



부품제작



조립 및 반제품 시험

=>



완제품 시험 (외관치수검사) => 완제품시험 (제품동작시험)



그림 3.1 빗물집수장치 제작 및 시험과정

나. 세부 연구개발 목표별 연구 내용

(1) 슬라이딩 방식의 집수면 보호 커버 및 전동개폐장치 설계 및 제작

본 연구를 통하여 개발한 청정빗물집수장치는 초기우수 배제를 위하여 집수조 위에 보호커버(덮개)를 설계, 제작하였다. 상부의 태양광 패널부와 집수조 보호커버를 일체형으로 제작하였으며, 바람 등에 안전하도록 태양광 패널부와 집수조 보호커버 사이에 지지대들을 다수 설치하여 구조적 안정성을 확보하였다.

집수조 보호커버는 독성이 없으며 가볍고 견고한 특징을 지니고 있는 폴리카보네이트 재질로 제작하였다.

또한 집수면 보호커버는 방수성이 뛰어나며, 보호커버와 맞닿는 하부의 집수조 입구에는 고무 패킹을 띠모양으로 둘러 집수조 내로 먼지나 이물질이 들어가지 않도록 제작하였다.



집수면 보호커버 (닫힌 상태)



집수면 보호커버 (열린 상태)

그림 3.2 청정빗물집수장치 집수면 보호커버

집수면 보호커버의 전동개폐장치의 경우, 레일장치 및 감속기, 근접센서로 구성하였다.

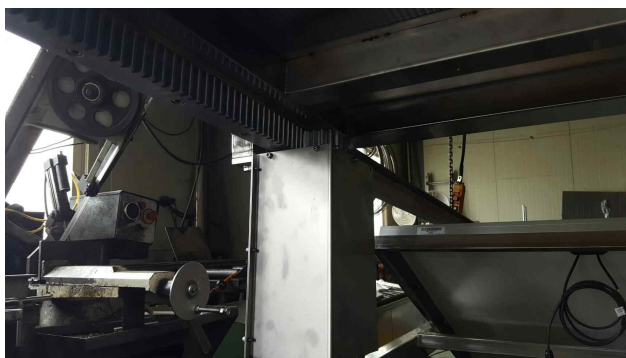
레일장치는 집수면 보호커버의 이동을 용이하게 하는 역할을 한다. 초기에는 타이밍벨트형 레일 적용을 고려하였으나, 내구성을 고려하여 레크기어형 레일을 적용하여 개발하였다.

추가적으로 집수면 보호커버의 중앙부에는 보호커버의 개폐가 더욱 용이하도록 2개의 바퀴를 장착하여 주었다.

또한 안전한 운영을 위하여 1차적으로 근접센서를 설치하여 레일 밖으로 집수면 보호커버가 떨어지는 사고를 방지할 수 있게 하였으며, 2차적으로 견고한 스테인리스 보호가드를 추가적으로 설치하여 안전을 확보하였다.

집수면 보호커버의 open 조건은 최초 강우 감지 후 20분 이내 강우가 추가 감지되고 초기 빗물 수위센서가 빗물량이 5L임을 감지하는 경우로, 감속기 모터가 움직여 보호커버를 열어주게 된다. 집수면 보호커버의 close 조건은 20분 동안 빗물감지가 안될 경우로, 감속기 모터가 움직여 보호커버를 닫아주게 된다.

집수면 보호커버의 개폐 작동시간을 현장 실험한 결과, 강우 감지시 1회에 열리는 시간이 평균 80초 정도였으며, 이는 목표한 성능 (100초 이내/1회 open)의 기준을 만족하였다.



전동개폐장치의 구동부 레일 및 모터부



집수조 보호커버 이동바퀴

그림 3.3 청정빗물집수장치 전동개폐장치

(2) 빗물집수를 위한 집수관 설계 및 제작

청정빗물집수장치의 집수면은 녹이 잘 슬지 않는 스테인리스 재질(STS304)로 제작하였다.

1차년도에는 집수면의 높이를 10cm로 제작하여, 집수된 빗물이 별도의 집수조로 집수되게 하는 구조로 개발하였으나, 현장적용 실험 결과 집수면의 높이가 낮아 강도 높은 강우 시 외부로 유실되는 빗물이 많아 집수 효율이 낮았다.

이를 보완하여 2차년도에는 집수면의 높이를 70cm로 깊게 설계하였으며, 별도의 집수조를 설치하지 않고 집수면과 집수조를 일체형으로 제작하여 공간 활용성을 높이고 집수 효율도 개선하였다.



그림 3.4 청정빗물집수장치 집수면 (좌: 1차년도, 우: 2차년도)

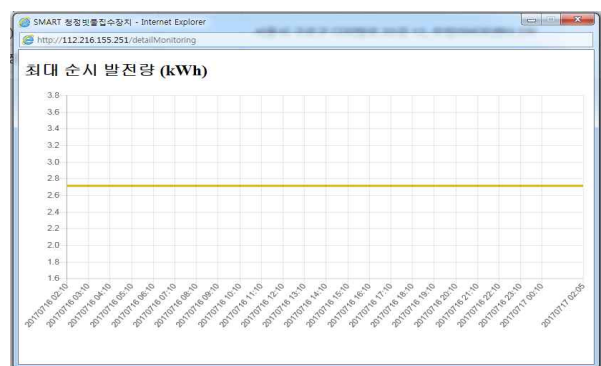
(3) 2kW 발전이 가능한 태양광 모듈 시스템 개발

개발 목표로 한 태양광 모듈 시스템의 발전량은 2kW로, 본 연구개발 결과 청정빗물집수장치의 태양광 모듈의 최대순시발전량이 2.71kWh 유지되어 개발 목표 발전량을 충족하였다.

먼지 등의 오염으로 인한 태양광 모듈의 발전 효율이 감소됨을 방지하기 위하여, 태양광 패널을 세척할 수 있는 스프링클러형 세정 장치를 설치하여 발전효율의 유지 및 향후 유지관리에 용이하게 하였다.



태양광 모듈 제작



최대순시발전량



태양광 모듈 시스템 현장설치 모습
그림 3.5 태양광 모듈 시스템

(4) 강우사상 계측시스템 개발 및 제작

청정빗물집수장치에서 초기우수 배제를 위해 강우사상 계측시스템을 개발, 제작하였다.

강우사상 계측시스템은 초기우수 집수관, 초기우수 집수조, 수위센서, 강우센서, 자동전동밸브(sampling, drain valve 2개)로 구성하였다.

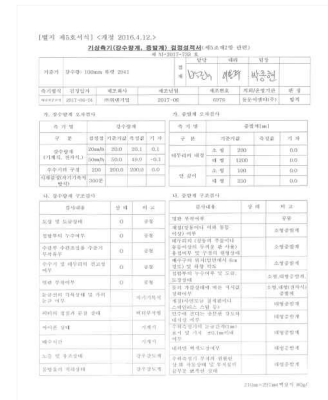
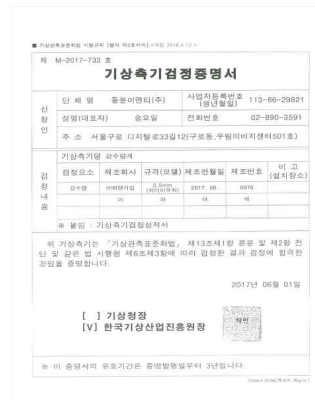
초기우수 집수판은 1600x625x50 mm 크기로 제작하였다.

초기우수 집수조는 5L 용량이며, 상부에 수위센서를 설치하여 수위를 측정할 수 있게 하였
고, 집수관 및 집수조 모두 내식성이 강한 스테인리스 STS304 재질로 제작하였다.

강우센서는 우수감지용으로 초기우수 집수관과 초기우수 집수조 사이에 설치하였으며, 역시 내식성이 강한 STS304 재질로 선정하였다. 강우센서에서 최초 강우 감지 후 20분 이내 강우가 추가 감지되고 초기우수 수위센서가 빗물량이 5L임을 감지하는 경우에 집수면 보호커버를 열어주게 된다. 강우센서에서 20분 동안 빗물감지가 안될 경우에는 집수면 보호커버를 닫아주게 된다.

강수량계는 한국기상산업진흥원의 기상측기(강수량계) 검정을 득하였으며, 오차범위는 $\pm 0.1\%$ 로 목표 성능 기준을 만족하였다.

집수조 OPEN 조건 만족시 SAMPLING VALVE를 OPEN하여 초기우수를 샘플링하여 수질 분석을 위한 시료 채취가 용이하게 하였다.



집수조 기상측기검정증명서 (강수량계)

그림 3.6 강우사상 계측시스템 및 성능검정 증명서

(5) 청정빗물집수시스템의 현장설치

○ 함안 현장 청정빗물집수시스템 설치

1차년도에는 함안 (주)산호포장공사 사무실 건물 옥상에 청정빗물집수장치를 설치하였다. 집수면 보호커버를 설치하여 집수면의 오염을 방지하였고 보호커버에 태양광 발전 패널을 부착하여 추가적인 전력소비 없이 발전된 전력으로 운영되도록 하였다.

초기우수는 wash out 현상으로 인해 대기 중의 오염물질을 함유하기 때문에 청정빗물을 집수하기 위해서는 배제하여야 한다. 초기우수를 배제하기 위해서 강우센서가 강우를 감지한 후 20분 이상의 시간이 경과하는 조건과 초기우수 5L 이상이 집수되어 배제되는 조건을 모두 만족한 경우에 집수면의 보호커버가 개방되어 집수면으로 청정빗물을 집수할 수 있도록 하였다.



그림 3.7 태양광발전 기반 청정빗물집수장치 (함안, (주)산호수출포장)

○ 창원 현장 청정빗물집수시스템 설치

2차년도에는 창원 덴소코리아일렉트로닉스(주) 기술사 건물 옥상에 청정빗물집수장치를 설치하였다. 함안의 산호수출포장에 설치된 청정빗물집수장치의 문제점들을 개선하여 개발한 빗물집수장치이다.

별도의 저수조를 설치하지 않고 집수면과 집수조를 일체화하였으며 집수조에 집수된 물이 지속적으로 저수조 내부를 순환하도록 하여 장기간 체류함으로써 야기되는 오염을 방지하도록 하였다. 뿐만 아니라 강우 이후 생성되는 태양광 패널의 물때로 인해 발전 효율이 감소하는 것을 방지하고자 태양광 패널에 스프링클러를 설치하여 세척이 가능하도록 하였다.

창원의 청정빗물집수장치는 도심의 협소한 건물의 옥상공간에도 효율적으로 설치 가능하여 건물 구조 자체에 별도의 빗물 저류조 공사를 하지 않아도 되는 장점이 있다.



집수조 Close



집수조 Open

그림 3.8 개량형 2kW 태양광발전 기반 청정빗물집수장치
(창원, 텐스코리아일렉트로닉스(주) 기숙사)

2. 운영 및 유지관리를 위한 자동제어시스템 개발

가. 제어반 개발 및 제작, 시험

청정빗물집수장치의 구동부를 제어하는 제어반 개발 공정은 다음과 같다.

- 제어반 구성 컨셉 및 장치 구동 알고리즘 설계, 입출력접점구성도 및 도면 설계
- 외함 제작 (STS304)
- 조립 및 배선
- 구성부품 조립 및 검사
- 시퀀스 분석 및 시험
- 공장 시운전
- 현장 설치 및 장치 구동 시험

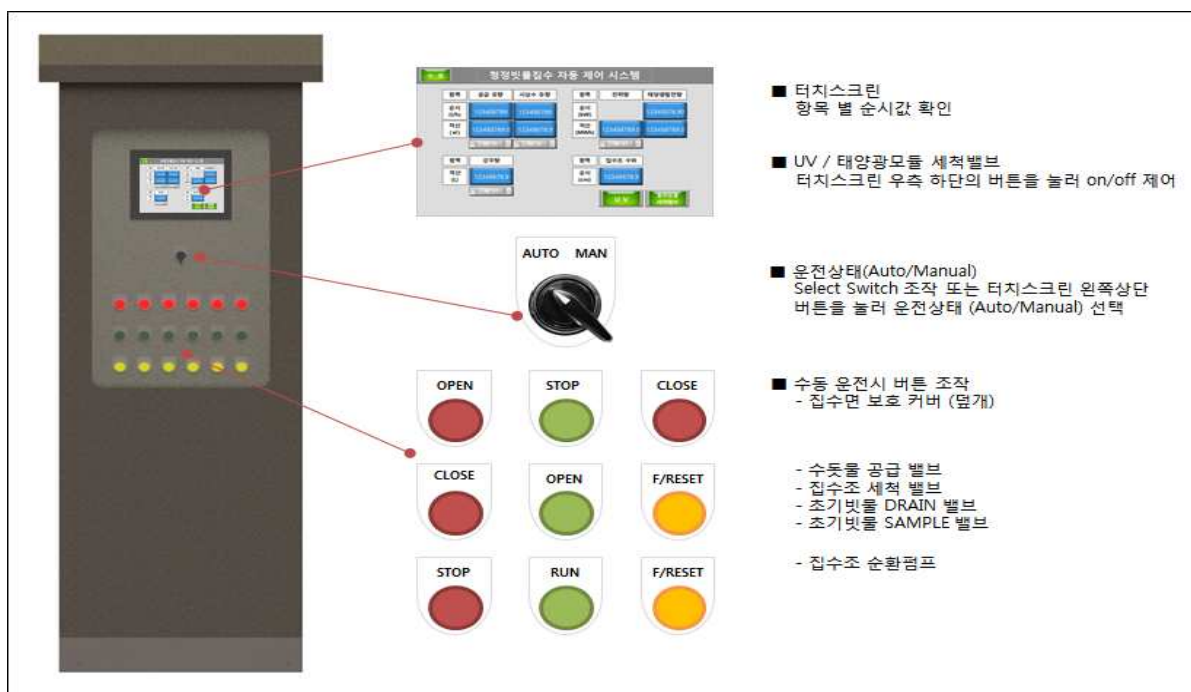


그림 3.9 제어반 구성도

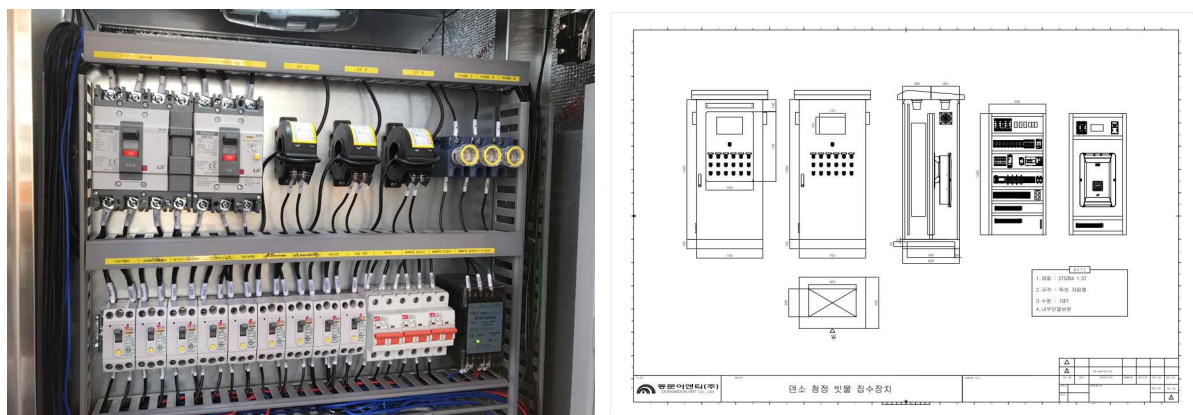


그림 3.10 제어반 내부 및 설계도

3. 원격모니터링시스템 개발

가. 빗물관리를 위한 운영 프로그램 설계 및 제작

청정빗물집수처리장치와 연결된 PLC 와 서버간의 데이터를 송/수신 및 제어할 수 있는 통신 프로토콜 드라이버 개발하였으며, 원격모니터링을 위한 PC 관제프로그램과 모바일 앱 프로그램을 개발하였다. 운영 및 관제, 앱 프로그램 구축환경 및 도출된 사용자 인터페이스 목록은 아래 표 3.1과 같다.



그림 3.11 원격모니터링 시스템 구성도

표 3.1 프로그램 구축 환경

구분	내역
개발 언어	앱 : 하이브리드(안드로이드용) 관제프로그램 : PHP 프로토콜 드라이버 : C
O/S	LINUX
데이터베이스	My-SQL

표 3.2 사용자 인터페이스 목록 (관제 프로그램)

화면 ID	화면명	관련프로그램 ID 그룹
WEB-LOG-V	로그인 화면	WEB-LOG
WEB-AMNT-V	빗물집수장치 관리자 모니터링	WEB-AMNT-V / WEB-AHED / WEB-FOT
WEB-HOM-V	장치모니터링	WEB-HOM / WEB-HED / WEB-FOT / WEB-CER
WEB-DTL-V	데이터 상세보기	WEB-DTL-V / WEB-HED / WEB-FOT
WEB-DSH-V	장치 상태 이력	WEB-DSH-V / WEB-HED / WEB-FOT
WEB-SCH-V	데이터 조회	WEB-SCH / WEB-HED / WEB-FOT
WEB-EST-V	설정	WEB-EST / WEB-HED / WEB-FOT
WEB-RPT-V	보고서	WEB-RPT / WEB-HED / WEB-FOT
WEB-SPT-V	현장 정보	WEB-SPT / WEB-HED / WEB-FOT
WEB-CAM-V	현장 카메라	WEB-CAM / WEB-HED / WEB-FOT
WEB-BBS-V	공지사항	WEB-BBS / WEB-HED / WEB-FOT
WEB-HED-V	헤더 부분	WEB-HED / WEB-CER
WEB-FOT-V	푸터 부분	WEB-FOT
WEB-CER-V	권한에 따른 메뉴 이용 제한	WEB-CER / WEB-LOG
WEB-CTL-01	사용자관리	WEB-CER / WEB-LOG
WEB-CTL-02	장치관리	WEB-CER / WEB-LOG
WEB-CTL-03	오류설정	WEB-CER / WEB-LOG
WEB-CTL-04	운영관리	WEB-CER / WEB-LOG
WEB-CTL-05	코드관리	WEB-CER / WEB-LOG
WEB-CTL-06	게시판관리	WEB-CER / WEB-LOG
WEB-CTL-07	설정관리	WEB-CER / WEB-LOG
WEB-CTL-08	게시판등록	WEB-CER / WEB-LOG
WEB-QWT-01	수리정비 정보	WEB-QWT / WEB-HED / WEB-FOT

나. 원격 관제프로그램 개발 및 시험

청정빗물집수장치의 원격 모니터링을 위해 관제프로그램을 개발하였다.

최고관리자, 장치관리자, 사용자의 권한 부여 차별화로 각 권한에 따른 효율적 활용이 가능하게 프로그램을 개발하였다.

개발언어로는 PHP(Hypertext Preprocessor)를 사용하였으며, 관제 프로그램의 개발 내용은 다음과 같다.

○ 로그인

- admin(최고관리자), manager(장치관리자), user(사용자)의 3가지 계정으로 사용자 관리
- 최고관리자의 경우, 사용자 권한부여 및 전체 장치 관리 가능
- Admin으로 로그인할 경우 빗물집수장치명이 리스트 되고 해당 장치를 선택해서 들어감.
- Manager는 장치관리 기능 부여
- User는 해당 장치 관리 기능 및 데이터 조회 기능 중심 부여

○ 장치상태

- 장치리스트를 제공하여 복수의 집수처리장치에 접속하여 관리 가능
- 장치 상태를 정상, 오류, 점검중으로 표시하고 3가지 컬러의 표시등으로 표시
- 장치상태 표시는 오류항목(태양광, 빗물)과 수질항목에서 1개의 오류라도 나오면 빨간색으로 표시. 1개의 오류도 없으면 초록색으로 표시됨. 단, 점검중(노란색) 신호가 점검중으로 표시

○ 모니터링 화면

- 날씨정보제공, 집수처리장치 이미지에 센서 상태등을 표시
- 집수조 지붕이 열리고 닫힐 때 애니메이션으로 표시
- 빗물집수장치, 태양광발전장치, 수질장치의 장치상태와 각 장치의 측정값 및 그래프 보기 (Zoom In/Out기능포함) 기능

○ 장치상태 이력

- 장치 상태에 대한 이력 및 복구 일시 표시
- 각 장치별 상태 표시

○ 데이터 조회

- 데이터 검색 설정하여 각 장치별로 데이터 조회 및 그래프 보기 기능
- 데이터 검색시 단축 날짜 기능 제공

○ 보고서

- 일보고서 및 월보고서 자동 작성 및 인쇄 기능 부여함.

○ 수리 정비 목록

- 장치에 대한 수리 정비 정보를 등록 관리 가능함.

○ 현장카메라

- 현장 CCD카메라 감시 화면 제공

○ 공지사항

- 청정빗물장치 사용자에게 프로그램 설치 정보 및 알림 정보 등 제공
- 첨부파일 다운로드 가능

○ 자료실

- 사용자 설치 프로그램 제공 등 자료 제공 및 자료 다운로드 기능 제공

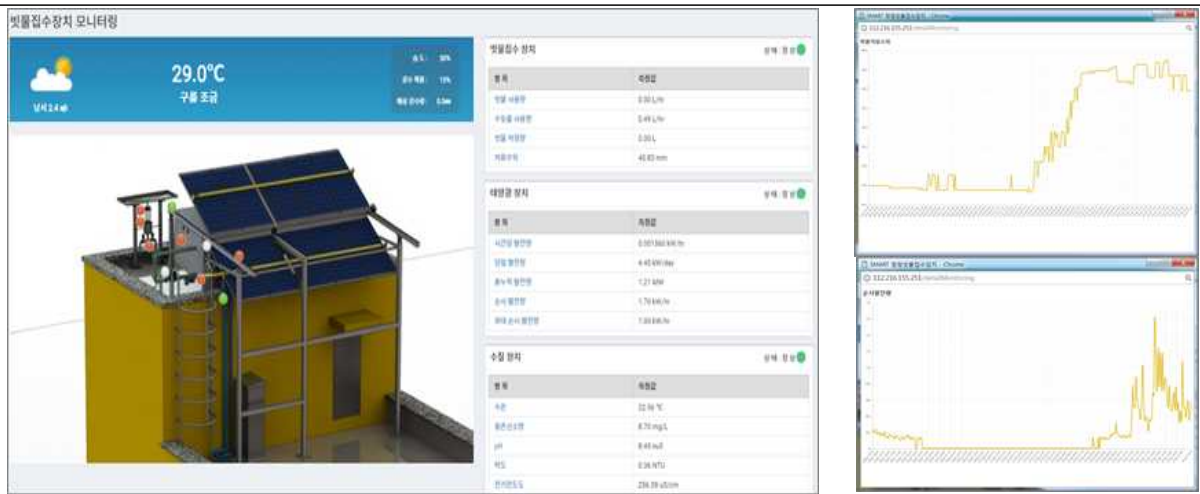


그림 3.12 모니터링 메인화면(좌) 및 실시간 그래프 (우)

표 3.3 관제 프로그램 메뉴 구성

로그인화면	로그인	관리자 로그인(초기 DB 세팅)
전체 상태 모니터링	상세보기	전체 청정빗물집수장치 모니터링 CODE list
메인	모니터링 화면	장치 작동상태 표시, 장치별 실시간 그래프 팝업기능
장치상태 이력	장치상태 장치상태 이력	각 장치별 장치상태 표시 및 장치상태 list 표시
데이터 조회	데이터 조회 결과 데이터 검색 설정	각 장치별 데이터 표 및 그래프 제공
설정	장치설정	장치 설정값 등록
	리셋설정	전력량 적산, 공급유량 적산, 수돗물 적산 항목 RESET
	오류설정	빗물장치, 태양광장치 오류 항목 설정
보고서	일보	엑셀 양식 출력
	월보	엑셀 양식 출력
수리정비 정보	관리현장 목록	관리현장 목록 제공
	수리정비 정보 등록	수리정비 정보 등록 기능
	수리정비 목록	수리정비 list 제공
현장카메라	현장카메라	현장 CCD 카메라 실시간 감시 화면 제공
데이터 조회	데이터 조회 결과	표와 그래프로 화면 표시
	데이터 검색 설정	빗물장치, 태양광장치, 수질장치 데이터 항목 선택
공지사항	공지사항	공지사항 확인, 첨부파일 다운로드 기능
	자료실	등록된 자료 확인, 첨부파일 다운로드 기능

다. 안드로이드 기반의 모바일 앱 프로그램 개발 및 시험

청정빗물집수장치의 원격 모니터링을 위해 앱프로그램을 개발하였다. 사용자가 모바일 환경에서 간단히 현장 데이터를 모니터링 할 수 있는 편의성을 제공하였다.

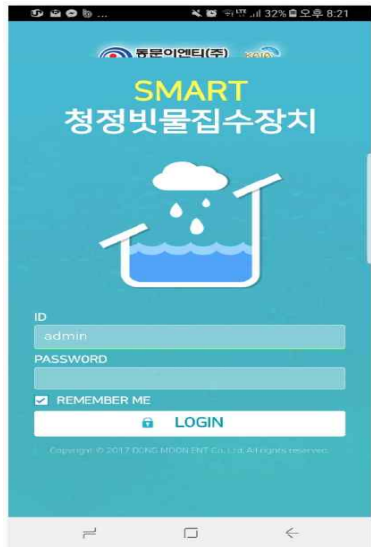
- 청정빗물집수장치에 대한 모니터링 안드로이드 스마트폰 앱 개발
 - 앱 내에서 직접 집수장치의 현장카메라 화면을 실시간 관찰가능
 - 홈화면 : 날씨정보 제공, 집수장치 및 현재 시간표시, 공지사항, 빗물장치, 태양광장치, 수질 정보 제공
 - 장치리스트 및 장치 상태 표시등 제공
 - 일/월/년으로 각 장치별 수치 및 그래프 제공(달력기능)
 - PC관제프로그램과 계정 연동

표 3.4 모바일 앱 프로그램 메뉴 구성

로그인화면	로그인	관제프로그램에서 계정 등록 : 정보 > 현장정보
홈화면	날씨정보	기상청 기상정보 연동 : 온도, 습도, 바람, 풍속, 강수량
	지역선택	설치된 청정빗물집수장치 지역 선택
	요약정보	빗물사용량, 수돗물사용량, 빗물저장량, 당일발전량, 총누적발전량, 장치상태
	공지사항	관제프로그램에서 공지사항 관리 : 정보 > 공지사항
장치화면	기간검색	일(당일 누적), 월(당월 누적), 년(당해년도 누적), 기간검색
	그래프	격은선 그래프
현장카메라	웹카메라	웹카메라 연동
	장치상태	장치 상태 표시

표 3.5 사용자 인터페이스 목록 (관제 프로그램)

화면 ID	화면명	관련프로그램 ID 그룹
AND-LOG-V	로그인 화면	AND-LOG
AND-ADM-V	최고관리자 전용 페이지	AND-ADM / AND-HED / AND-FOT
AND-HOM-V	홈 화면	AND-HOM / AND-HED / AND-FOT / AND-CER
AND-TMU-V	통합메뉴 화면	AND-TMU / AND-HED / AND-FOT
AND-RWR-V	빗물장치 데이터 조회 화면	AND-RWR / AND-HED / AND-FOT
AND-SOL-V	태양광발전 데이터 조회 화면	AND-SOL / AND-HED / AND-FOT
AND-QWT-V	수질 데이터 조회 화면	AND-QWT / AND-HED / AND-FOT
AND-CAM-V	현장카메라 화면	AND-CAM / AND-HED / AND-FOT
AND-HED-V	헤더 부분	AND-HED / AND-CER
AND-FOT-V	푸터 부분	AND-FOT
AND-CER-V	권한에 따른 메뉴 이용 제한	AND-CER / AND-LOG



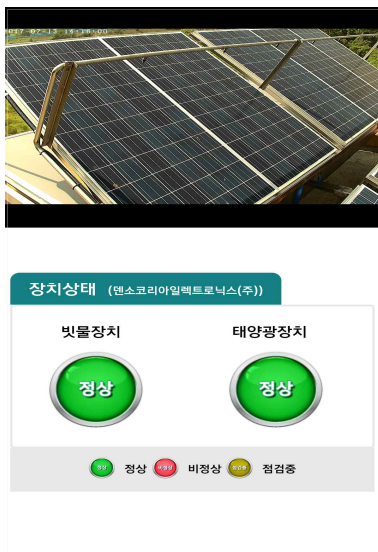
로그인 화면



통합 화면



메인 화면



현장카메라 화면



빗물 장치



태양광 발전



수질



펼침 메뉴 화면

그림 3.13 모바일 앱 (어플리케이션) 프로그램 화면

4. 빗물수질 특성 연구 및 평가

가. 집수 방식에 따른 빗물이용시설의 종류

현재 사용하고 있는 빗물집수방식은 크게 옥상면에서 집수된 빗물을 전처리 없이 직접 이용하는 ‘집수형 방식’, 빗물을 집수 단계에서 각종 필터 등을 이용하여 전처리 과정을 거친 후 이용하는 ‘전처리형 방식’, 그리고 최근 개발된 집수형태로 집수면 보호 커버를 적용하여 오염된 초기우수를 배제한 후 빗물을 집수하는 ‘청정 집수형 방식’ 이 3가지로 분류할 수 있다.

빗물은 지표면에서 증발한 후 대기 중에서 응축되어 내리는 물로 초기에 응축되어 내릴 때는 오염되지 않은 깨끗한 물이지만 내리는 과정에서 대기에 부유하고 있는 각종 오염물질들이 빗물에 함유되는 Wash Out 현상에 의해 수질이 악화된다.

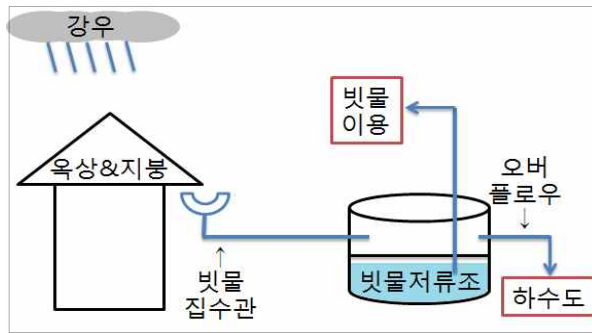
특히, 강우 초기에 대기 중에 부유하는 오염물질들이 많이 함유된다. 또한 빗물을 집수면을 통해 집수하여 이용하는 단계에서는 외부에 노출되어 있는 집수면에 오염물질들이 침적되어 있어 빗물을 오염시키는 문제가 있다(김이호 외, 2005; 하헌, 1991; 최문영, 2014; Rubio Maria Angelica 외, 2001; Shiv Kumar Pandey 외, 1999). 그림 3.14는 집수형 방식, 전처리형 방식, 청정 집수형 방식을 나타는 개략도이다.

집수형 방식은 옥상면과 지붕면을 집수면으로 이용하여 별다른 처리과정을 거치지 않고 저류조에 빗물을 저장하는 방식으로 가장 일반적으로 빗물을 집수하는 방식이다. 이 방식은 저류조만 설치하면 빗물을 저장하여 이용할 수 있어 설치비용이 저렴하고 이용이 간편하다는 장점이 있지만 집수면이 항상 외부에 노출되어 있어 집수면의 오염으로 인한 받은 빗물의 수질저하 우려가 있을 뿐만 아니라, 대기 오염으로 인해 오염된 초기강우도 함께 집수되므로 빗물에 대한 활용 범위가 제한적이다.

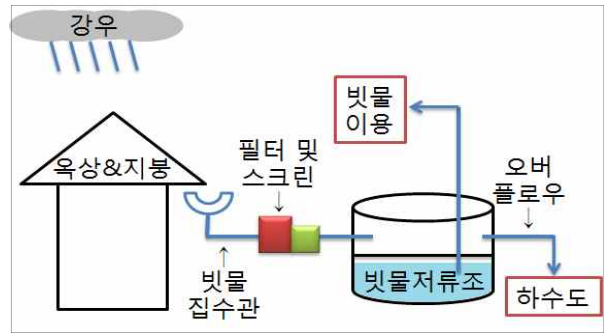
전처리형 방식은 집수형 방식과 집수 원리는 같으나 빗물이 빗물 집수단계에서 수처리 장치를 설치하여 오염된 빗물을 처리 후 저류조에 유입시키거나, 전처리 과정 없이 유입된 빗물을 이용 전 단계에서 수처리 과정을 거친 후 이용하는 방식을 말한다. 전처리형 방식의 장점은 빗물을 저류조에 저장되기 전이나, 활용하기 전에 수처리 시설을 거쳐서 빗물을 이용하기 때문에 집수형 방식보다는 수질이 우수하다. 단점으로는 전처리 시설을 잘 관리해주지 못할 경우 집수형 방식의 수질과 비슷하거나 더 좋지 못한 수질을 집수할 수 있으며 전처리 시설을 주기적으로 관리해줘야 하는 번거로움이 있다.

청정 집수형 방식은 최근 새로 개발된 빗물이용시설로서 기존의 집수면인 옥상과 지붕면을 이용하는 집수형 방식과 전처리형 방식과는 달리 임의로 집수면을 만들어 보호커버를 설치한 것으로 강우 시에만 집수면이 노출이 되고 무강우시에는 보호커버가 집수면을 보호하는 방식이다. 보호커버의 작동조건은 강우가 시작되었을 때 센서가 이를 감지하고 초기우수 5L를 배제하는 조건과 강우 지속시간이 20분 이상인 조건을 만족하는 것으로 두 조건이 모두 만족하면 집수면 보호커버가 OPEN이 된다.

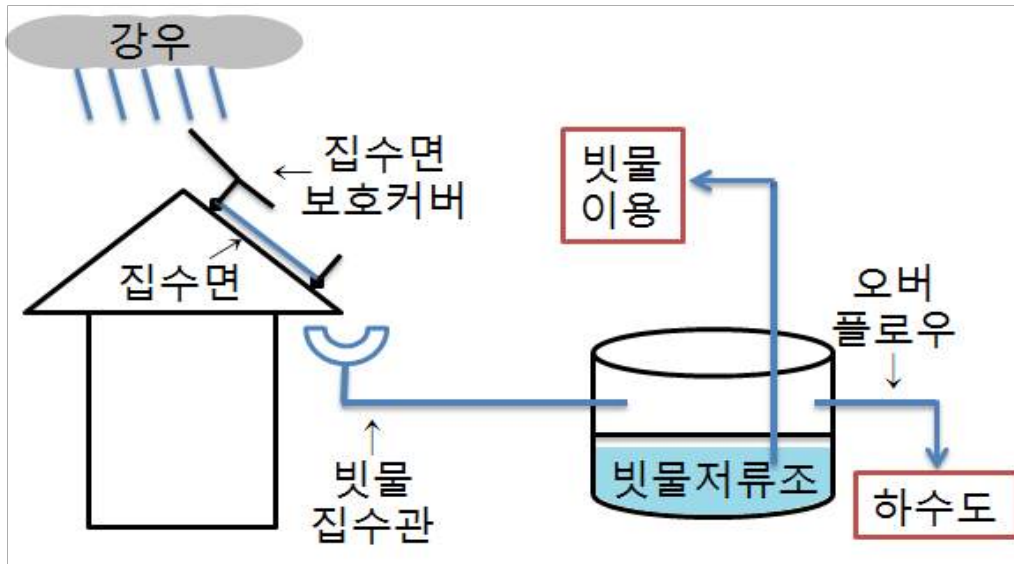
이러한 방식은 집수면의 항시 노출로 오염물질이 집수면에 침적되고 오염된 초기강우를 집수하는 집수형 방식의 문제점을 해결할 수 있다. 강우가 종료된 후 20분이 경과한 후에 보호커버가 CLOSE 되도록 하여 보호커버의 빈번한 작동을 방지할 수 있으며 CLOSE된 후에는 강우가 감지되고 OPEN조건을 만족할 때까지 보호커버가 집수면을 오염으로부터 보호한다



집수형 방식



전처리형 방식



청정 집수형 방식

그림 3.14 빗물집수 방식의 종류

나. 청정빗물집수장치 초기강우 배제 조건 확립

본 연구의 연구 대상으로 한 빗물집수장치는 청정 집수형 방식이다. 청정 집수형 방식을 연구 대상으로 선택한 이유는 별도의 수처리 장치가 필요하지 않아 필요 공간과 비용이 적고 초기우수를 배제하기 때문에 가장 손쉽게 깨끗한 빗물을 집수할 수 있을 것이라 보기 때문이다.

본 연구에 사용될 집수장치는 청정 집수형 방식을 기본으로 응용하여 새로운 집수장치를 개발하였다. 강우가 시작되면 장치에 설치된 센서가 감지하여 강우 시작 시부터 20분 후, 5L의 물을 집수하고 배제한 후 집수면을 덮고 있는 보호커버가 OPEN되어 집수면이 노출되어 빗물을 집수한다.

20분의 작동시간 간격을 주는 이유는 강우시간이 짧은 간격으로 반복될 경우 장치의 잦은 운전으로 내구성에 문제가 생기는 것을 방지하기 위함이며, 5L 빗물을 배제하는 것은 초기강우를 배제하기 위해서이다. 빗물집수장치는 자동으로 운전되도록 제작되었으며 장치 점검 및 비상시를 대비해 수동운전도 가능하도록 제작되었다.

장치의 운전에 필요한 전력의 공급과 집수장치의 활용도를 높이기 위해서 보호커버는 태양광 패널을 연결하여 이용하였다. 무강우 시 보호커버가 집수면의 덮고 있을 때, 태양광 발전을 할 수 있도록 한 것이다. 집수장치에 전력을 공급할 뿐 아니라 설치된 건물에도 전력을 공급할 수 있도록 하였다.

(1) 초기우수 배제 조건

청정 집수형의 방식의 가장 큰 장점이 초기우수의 배제라고 할 수 있다. 초기우수를 배제하는 이유는 Wash out현상으로 인한 오염된 빗물을 집수하지 않고 집수면을 외부의 오염으로부터 보호하여 오염되지 않은 청정한 빗물을 집수하기 위함이다. 이전 연구사례 분석을 통하여 초기강우의 수질 특성과 이후의 집수 빗물의 수질을 비교한 선행연구를 통해 초기우수의 배제 조건을 확립하였다.

한치북 외 ‘창원시 도심 지역의 내리는 빗물 수질분석’에서는 경상남도 창원시 상가 밀집 지역을 대상으로 2008년(4~7월)과 2011년(6~10월)에 초기 강우 3mm, 6mm, 9mm를 집수하여 음용수 수질기준 중 15개 항목을 비교·분석한 수질결과를 2008년, 2011년의 3mm, 6mm, 9mm 누적 강우량에서 먹는물 수질기준보다 초과하지 않은 항목은 색도 (Color), 아연(Zn), 구리(Cu), 알루미늄(Al), 철(Fe), 망간(Mn), 질산성질소(NO₃-N), 경도(Hardness), 염소이온(Cl⁻), 황산이온(SO₄²⁻), 총고형물(Total solids) 등으로 나타났다.

수질분석결과 초기우수 3mm가 6mm, 9mm보다 빗물의 수질이 양호하지 못하였으며 강우가 누적될수록 오염물질의 농도가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 대기 중의 오염물질로 인해 처음 받는 수질은 약 3mm까지는 양호하지 못하나, 강우가 지속될시 Wash out 현상으로 오염물질이 씻겨 내리고 희석되기 때문에 누적되는 강우량이 많아질수록 빗물의 수질이 점차 양호해지는 것이라 여겨진다.

그러므로 초기우수 4~6mm를 배제 한 후 빗물을 집수할 경우, 양호한 수질의 빗물만을 집수할 수 있다고 판단하였다. 본 연구에서는 초기강우 5mm 배제를 위해 설계 집수조 용량을 고려하여 5L의 초기우수를 최종 배제 용량으로 하였다.

표. 3.6 창원시 초기우수 수질분석

구분	2008년			2011년			먹는물 수질기준
	3mm	6mm	9mm	3mm	6mm	9mm	
pH	4.5	4.4	4.4	4.7	4.8	4.9	5.8~8.5
색도(도)	4	1	0	0	0	0	5
탁도(NTU)	4.12	1.15	0.52	0.63	0.46	0.32	1
Zn(mg/L)	0.207	0.083	0.039	0.065	0.029	0.038	3
Cu(mg/L)	0.054	0.034	0.014	0.099	0.079	0.002	1
Al(mg/L)	0.07	0.04	0.01	0.05	0.03	0.01	0.2
Fe(mg/L)	0.08	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01	0.3
Mn(mg/L)	0.024	0.007	0.003	0.006	0.002	0.004	0.3
NH ₄ -N(mg/L)	1.08	0.67	0.34	0.31	0.24	0.21	0.5
NO ₃ -N(mg/L)	1.1	0.7	0.4	0.5	0.2	0.1	10
경도(mg/L)	21	13	9	17	15	13	1000
KMnO ₄ (mg/L)	12.8	6.7	3.4	4.4	3.8	2.7	10
Cl ⁻ (mg/L)	1	0	0	2	1	0	250
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	5	2	1	3	2	1	200
Total solids (mg/L)	51	46	38	54	46	31	500

다. 초기우수 및 청정빗물집수장치 저류 빗물 수질분석

내린 빗물과 받은 빗물의 수질 차이를 알아보기 위해 창원시를 대상으로 연구 되었던 한치복 외(2014)의 ‘창원시 도심 지역의 내리는 빗물 수질 분석’ 연구 결과의 2008년과 2011년 초기강우 3 mm 내린 빗물과 본 연구에서 받은 빗물의 수질 항목을 비교·분석해 내린 빗물과 받은 빗물의 평균 수질 농도를 아래 표에 나타내었다.

전처리형, 집수형, 청정 집수형 빗물이용시설의 저장조에 모인 빗물의 수질을 상대적으로 비교하였을 때 청정 집수형 빗물이용시설의 수질이 가장 양호하다는 것을 알 수 있었다. 먹는물 수질기준으로 빗물이용시설들의 수질을 평가하였을 때는 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다. 이를 통해 청정 집수형 빗물이용시설이 빗물을 활용의 장애요인으로 꼽혔던 수질 불량의 문제점을 해소할 수 있는 것으로 분석되었다.

내린 빗물과 2008년 초기강우 3mm와 2011년 초기강우 3mm를 비교해 보았을 때 전체적으로 2011년 초기강우 3mm의 수질이 염소이온 한 가지 항목만을 제외하고는 모든 항목이 양호해진 것을 알 수 있었으며, pH의 경우 2008년과 2011년 모두 내린 빗물이기 때문에 각각 4.4, 4.7로 상당히 낮음을 확인 할 수 있었다.

2008년 초기우수 3 mm에서 탁도가 4.12 NTU로 먹는물 수질기준 1 NTU 보다 약 4배 초과가 되었으며, 암모니아성 질소는 1.08mg/ℓ로 먹는물 수질기준 0. mg/ℓ 보다 약 2배 초과가 된 것을 확인 할 수 있었다.

2008년 초기우수 3 mm와 받은 빗물인 전처리형, 집수형, 청정 집수형 빗물이용시설의 수질을 비교하였을 때 2008년 초기강우 3 mm에서 염소이온과 아연, 경도 등을 제외하고는 대부분의 모든 항목이 받은 빗물보다 높게 검출되었으나, 아연의 경우 전처리형 빗물이용시설에서만 2008년 초기강우 3 mm 보다 높게 검출되었다. 이는 전처리형 빗물이용시설의 집수조와 배관의 재질로 인하여 아연이 다량 검출된 것으로 판단되어진다.

2008년 초기우수 3 mm와 받은 빗물을 분석한 결과 암모니아성 질소, 질산성 질소, 황산이온, 과망간산칼륨 소비량, 색도, 탁도, 구리, 철, 알루미늄, 망간 등의 항목에서 받은 빗물의 수질이 더욱 우수한 것을 알 수 있었으며, 받은 빗물보다 내린 빗물의 수질이 좋지 못하다는 기존의 연구와 일치함을 보였다.

2011년 초기우수 3 mm와 받은 빗물의 수질을 비교하였을 때 색도와 경도, 과망간산칼륨 소비량, 아연 등이 받은 빗물에서 약간 높게 검출이 되었지만 모든 항목에서 전체적으로 큰 차이가 나타나지 않았다.

이전의 연구 분석 결과, 내린 빗물과 받은 빗물의 수질을 비교 시 기존의 집수면 노출형 빗물이용시설의 수질이 집수면을 보호하는 청정형 집수시설에 비하여 좋지 않다는 결과를 확인할 수 있었다. 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률이 본격적으로 시행됨으로 빗물이용시설의 설치요구가 많아질 것으로 예상되며 오염되지 않은 빗물의 집수가 가능한 청정형 집수장치의 수요도 증가할 것으로 판단된다.

표. 3.7 내린 빗물과 받은 빗물의 평균 수질 비교

구분	내린 빗물		받은 빗물		
	2008년 3 mm	2011년 3 mm	전처리형	집수형	청정 집수형
pH	4.5	4.7	5.6	5.7	5.5
색도(도)	4	0	4	2	2
탁도(NTU)	4.12	0.63	0.71	0.40	0.22
Zn(mg/L)	0.207	0.065	0.565	0.104	0.156
Cu(mg/L)	0.054	0.099	0.017	불검출	0.015
Al(mg/L)	0.07	0.05	불검출	불검출	불검출
Fe(mg/L)	0.08	0.03	불검출	0.06	불검출
Mn	0.024	0.006	불검출	불검출	불검출
NH ₄ -N(mg/L)	1.08	0.31	0.27	0.25	0.21
NO ₃ -N(mg/L)	1.1	0.5	0.5	0.4	0.3
경도(mg/L)	21	17	22	23	19
KMnO ₄ (mg/L)	12.8	4.4	6.4	6.0	6.1
Cl ⁻ (mg/L)	1	2	3	3	1
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	5	3	3	2	불검출

다. 태양광 발전 기반의 청정빗물집수장치의 집수 수질 특성 연구

(1) 고상염소소독장치의 적용

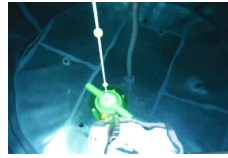
빗물집수장치의 집수조에 집수된 빗물의 일반세균을 먹는물 수질기준에 만족하도록 소독하기 위해서 UV소독기를 설치하였으나 집수조에서 관로로 이동하는 과정에서 생물학적 오염이 일어나 수질기준을 만족하기 어려운 문제점이 있었다. 이러한 문제점을 해결하고 청정빗물의 수질기준 만족을 위해서 염소소독 방법을 추가 적용하였다.

잔류염소농도를 안정적으로 유지할 수 있다는 장점 때문에 액상염소소독제를 이용한 정량 펌프식의 소독장치를 가장 일반적으로 사용하고 있다. 그러나 소독장치의 장기간 사용 시 각종 기계적인 문제들이 발견되면서 유지관리비가 증가하고 고가의 설치비로 소규모수도시설에서 사용하기에 부담스러운 점이 있다.

반면 확산 투입식의 고상염소소독장치는 설치비가 저렴하고 유지관리비용이 거의 없으며 조작이 쉬운 장점이 있지만 안정적인 잔류염소농도의 유지가 검증되지 않은 문제점이 있다. 경제성과 유리관리 및 안정성을 고려했을 때 확산 투입식의 고상염소소독장치를 사용하는 것이 가장 합리적이라고 판단하여 빗물집수장치에 적용하고자 하였다.

본 고상염소소독장치로 빗물집수장치의 집수조와 유사한 상황에서 적정 잔류염소농도의 유지에 관한 실험을 수행한 “고상염소 소독장치의 잔류염소 농도 변화에 관한 연구” 논문을 통해 빗물집수장치에도 고상염소소독장치의 적용이 가능하다고 판단하였고, 함안 현장에서는 2017년 3월부터, 창원 현장의 분석 시료는 2017년 6월부터 고상염소소독장치를 적용하여 소독을 실시하였다.

표. 3.8 염소소독장치 종류 비교

구 분	정량펌프식	직접투입식 (연동튜브 방식)	확산투입식 (필터여과 방식)	염소접촉식
사 진				
				
구동방식	송수 점점 시 정량펌프 가동, 전기가 필요하고 압력배관에 가압식으로 투입	송수관 또는 물탱크 에서 유입수와 연계된 수차의 회전력으로 튜브펌프 구동, 노즐 통한 물탱크 내부투입	필터내부 약품포화 용해 후 물 사용량에 따른 물탱크 내부 확산투입	원수유입 시 분기된 물이 용해조 하단 부의 약품과 접촉하여 노즐 통한 물탱크 내부투입
설치위치	관정 또는 물탱크	물탱크	물탱크	물탱크
약품형태	액상 (차아염소산 나트륨)	액상 (차아염소산 나트륨)	고상 또는 그레놀 (차아염소산칼슘)	고상 (차아염소산칼슘)
농도조절	가능	가능	가능	불가
조달청 규격인증	×	○	○	×
제품가격	200만원~250만원	350만원~450만원	100만원~120만원	250만원~300만원
약품가격	5%(20ℓ) → 9천원 12%(20ℓ) → 2만원	5%(20ℓ) → 9천원 12%(20ℓ) → 2만원	70%(1kg) → 5천원	70%(1kg) → 5천원
장점	-정량적인 약품투입 가능	-무동력으로 정량적인 약품투입 가능 -물 유입량이 많거나 사용량이 많은 시설에 적합	-무동력으로 고장이 없음 -설치가 간편하고, 약품 보충 등 누구나 관리가 가능	-무동력
단점	- 상하체크밸브에 스케일로 공회전 발생 - 다이어프램판 손상으로 약품투입 불가 (수명1년)	-고가임. -액상약품으로 운반, 관리가 힘들. -기기고장 시 비용증가 -주기적인 노즐교체 등 전문적인 관리 필요	-설치시설의 수질에 따라 스케일이 발생 -약품보충이나 필터 교체 시 청소 필요 -소규모수도시설에 적합	-농도조절이 어렵고 -빈번한 약품 막힘 -노즐 스케일 발생으로 약품투입이 안됨

(2) 청정빗물집수장치 수질 분석

○ 빗물이용시설에 대한 수질권고기준

본 연구에서는 청정빗물집수장치의 수질을 분석하기 위하여 채취한 시료는 신뢰성 있는 공공기관인 경남보건환경연구원에 의뢰하여 수질 검사성적서를 발급받았다.

빗물의 수질 특성을 비교하기 위하여 초기우수와 청정빗물집수장치의 집수조에 집수된 빗물의 수질을 비교 분석하였다.

환경부제정 ‘물재이용시설 설계 및 유지관리 가이드라인(2013, 한국상하수도협회)’에 따르면 빗물이용을 위한 수질기준은 중수도 수질기준과 하수처리수 재이용수 수질기준에 준용할 수 있다. 다만, 양호한 빗물의 양호한 수질을 확보할 수 있는 측면을 감안하여 심미적 영향물질(pH, 탁도)의 제거와 미생물학적 안전성(총대장균군)을 확보하도록 아래 표와 같이 수질기준을 권장하고 있다.

빗물의 수질 측정항목에 있어서 빗물이용시설 수질권고 기준에 준한 pH, 탁도, 총대장균군은 우선적으로 분석하였으며, 이외에 도서·산간 지역의 먹는물 활용 가능성을 검토하기 위하여 먹는물 수질기준 항목에 대해서도 분석하였다.

본 연구에서는 Test-bed 현장의 빗물이용이 모두 화장실 용수로 사용되고 있으므로 빗물이용시설수질권고기준 (비음용수) 중 인체접촉용수 기준으로 1차 분석 하였다.

분석 결과, pH는 2017년 5월 10일을 제외하고는 모두 수질 기준을 만족하였다. 집수조 수질의 경우는 염소소독제 투입에 따른 일시적인 pH변화에 따른 것으로 빗물 저장기간에 따라 개선될 것으로 보였다.

탁도의 경우, 집수조 빗물은 인체비접촉 용수 및 인체접촉 용수 기준에 모두 만족하였으나, 초기우수는 2017년 5월10일 2.08NTU로 인체접촉 용수로 부적합하였다.

총대장균군의 경우, 집수조 빗물은 염소소독제 투입전인 2016년 12월 22일과 용출염소량이 적었던 2017년 3월 27일에는 검출 되었으나, 적정 염소소독제가 투입된 이후에는 모두 불검출로 나타나 인체비접촉 용수 및 인체접촉 용수 수질기준을 모두 만족하였다. 그러나 초기우수의 경우는 모든 시료에서 총대장균군이 검출되어 인체접촉 용수로는 부적합한 것으로 분석되었다.

표. 3.9 빗물이용시설 수질권고 기준 (2013, 한국상하수도협회)

수질 항목	빗물이용시설 수질권고기준 (비음용수)	
	인체비접촉 용수*	인체접촉 용수**
pH	5.8~8.5	5.8~8.5
탁도 (NTU)	5 이하	2 이하
총대장균군 (개/100mL)	-	불검출
* 구강섭취 가능성이 없는 용수: ex. 화장실세정용수, 조경용수, 살수용수, 청소용수, 세탁용수, 농업용수, 공업용수, 하천유지용수 등		
** 구강섭취 가능성이 있는 용수: ex. 분수용수, 비산면지방지용수 등		

표. 3.10 청정빗물집수장치 집수조 빗물 및 초기우수 수질 비교

구분	pH		탁도 (NTU)		총대장균군 (개/100ml)	
	집수조 빗물	초기 우수	집수조 빗물	초기 우수	집수조 빗물	초기 우수
20160831	7.1		0.43		불검출	검출
20160906	7.3	7.1	0.11	0.44	불검출	검출
20161005	6.9	6.8	0.1	0.33	불검출	검출
20161222	7.3	7.1	0.33	0.74	검출	검출
20170327	6.1	6.4	0.41	1.22	검출	검출
20170510	4.5	5.6	0.28	2.08	불검출	검출
20170612					불검출	
20170626					불검출	
수질기준	5.8 ~ 8.5		5NTU 이하 (인체비접촉 용수) 2NTU 이하 (인체접촉 용수)		기준없음 (인체비접촉 용수) 불검출/100mL (인체접촉 용수)	
비 고	* 구강섭취 가능성이 없는 용수: ex. 화장실세정용수, 조경용수, 살수용수, 청소용수, 세탁용수, 농업용수, 공업용수, 하천유지용수 등 ** 구강섭취 가능성이 있는 용수: ex. 분수용수, 비산먼지방지용수 등					

표. 3.11 빗물이용시설 수질권고기준, 중수도 및 하수처리수 재이용 수질 기준

수질 항목	빗물이용시설 수질권고기준 (비음용수)		중수도 수질기준	하수처리수 재이용 수질기준		비 고 (먹는물 수질기준 중)
	인체비접촉 용수*	인체접 촉 용수**	도시 재이용수	친수용수	조경용수	
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
탁도 (NTU)	5 이하	2 이하	2 이하	2 이하	2 이하	1 이하
총대장균군 (개/100mL)	-	불검출	불검출	불검출	200 이하	불검출
BOD (mg/L)	-	-	5 이하	3 이하	5 이하	-
DO (mg/L)	-	-	-	2 이상	-	-
결합잔류염소 (mg/L)	-	-	0.2 이상	-	-	-
색도 (도)	-	-	20 이하	10 이하	-	5 이하
T-N (mg/L)	-	-	-	10 이하	-	10 이하
T-P (mg/L)	-	-	-	0.5 이하	-	
Fe (mg/L)	-	-		0.3 이하	-	0.3 이하
Cu (mg/L)	-	-		1 이하	-	1 이하
Zn (mg/L)	-	-		3 이하	-	3 이하
냄새	-	-	불쾌하지 않을 것	-	불쾌하지 않을 것	-
염화물 (mg/L)	-	-	-	-	250 이하	-

○ 2016년 7월 수질검사성적서 (집수조 빗물. 함안)

- ◆ 2016년 7월 26일 채수
- ◆ 스테인리스 채수구로 교체
- ◆ 채수구를 화염소독한 후 채수함
- ◆ 기존에 저류조에 집수되어 있던 빗물을 수질분석 했음 (장기간 채류된 빗물)
- ◆ 1차년도 미생물 항목의 수치가 높아 문제점을 개선한 후 수질 확인이 목적
- ◆ 개선항목
 - UV 램프 24시간 가동
 - 채수구(고무관→스테인레스 관) 교체
 - 채수구를 화염소독 후 채수하여 채수구의 오염 방지

표. 3.12 집수조 빗물 수질분석 결과 (2016. 07. 함안)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	160	24	벤젠	0.01mg/L이하	불검출
2	총대장균군	불검출/100mL	검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	불검출
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	불검출
4	납	0.01mg/L이하	불검출	27	크실렌	0.5mg/L이하	불검출
5	불소	1.5mg/L이하	불검출	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출
6	비소	0.01mg/L이하	불검출	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	불검출
7	셀레늄	0.01mg/L이하	불검출	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	불검출
8	수은	0.001mg/L이하	불검출	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	불검출
9	시안	0.01mg/L이하	불검출	32	경도	1000mg/L이하	11
10	크롬	0.05mg/L이하	불검출	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	0.3
11	암모니아성질소	0.5mg/L이하	0.41	34	냄새	무취	없음
12	질산성질소	10mg/L이하	0.3	35	맛	무미	없음
13	카드뮴	0.005mg/L이하	불검출	36	동	1mg/L이하	불검출
14	붕소	1.0mg/L이하	불검출	37	색도	5도이하	불검출
15	페놀	0.005mg/L이하	불검출	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	불검출
16	다이아지논	0.02mg/L이하	불검출	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	7.5
17	파라티온	0.06mg/L이하	불검출	40	아연	3mg/L이하	불검출
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	불검출	41	염소이온	250mg/L이하	3.8
19	카바릴	0.07mg/L이하	불검출	42	철	0.3mg/L이하	불검출
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	불검출	43	망간	0.3mg/L이하	불검출
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	불검출	44	탁도	1NTU이하	0.28
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출	45	황산이온	200mg/L이하	8
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	불검출	46	알루미늄	0.2mg/L이하	불검출

○ 2016년 7월 수질검사성적서 (집수조 내부 빗물, 함안)

- ◆ 집수조의 뚜껑을 개방한 후 채수
- ◆ 채수 도구를 이용하여 채수(채수 도구는 알코올 소독한 후 채수함)
- ◆ 집수조의 상부와 채수구의 수질차이가 있는지 확인하고자 분석함

표. 3.13 집수조 내부 빗물 수질분석 결과 (2016. 07. 함안)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	110	24	벤젠	0.01mg/L이하	-
2	총대장균군	불검출/100mL	불검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	-
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	-
4	납	0.01mg/L이하	-	27	크실렌	0.5mg/L이하	-
5	불소	1.5mg/L이하	-	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	-
6	비소	0.01mg/L이하	-	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	-
7	셀레늄	0.01mg/L이하	-	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	-
8	수은	0.001mg/L이하	-	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	-
9	시안	0.01mg/L이하	-	32	경도	1000mg/L이하	-
10	크롬	0.05mg/L이하	-	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	-
11	암모니아성질소	0.5mg/L이하	-	34	냄새	무취	-
12	질산성질소	10mg/L이하	-	35	맛	무미	-
13	카드뮴	0.005mg/L이하	-	36	동	1mg/L이하	-
14	붕소	1.0mg/L이하	-	37	색도	5도이하	-
15	페놀	0.005mg/L이하	-	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	-
16	다이아지논	0.02mg/L이하	-	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	-
17	파라티온	0.06mg/L이하	-	40	아연	3mg/L이하	-
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	-	41	염소이온	250mg/L이하	-
19	카바릴	0.07mg/L이하	-	42	철	0.3mg/L이하	-
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	-	43	망간	0.3mg/L이하	-
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	-	44	탁도	1NTU이하	-
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	-	45	황산이온	200mg/L이하	-
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	-	46	알루미늄	0.2mg/L이하	-

위의 표 3.12와 3.13은 집수된 빗물이 건물 내부로 공급되는 관로에 설치된 시료 채수구에서 채수한 시료를 수질 분석 결과와 저수조 상부의 뚜껑을 열어 직접 채수한 시료의 수질 분석 결과이다. 채수구에서 채수한 시료에서는 총대장균군이 검출되었지만 채수수가 아닌 집수조에서 직접 채수한 시료에서는 총대장균군이 불검출되었으며 일반세균의 수도 더 적은 것으로 수질 분석 결과가 나타났다. 이를 통해 채수구의 관로에서 생물학적 오염이 발생하는 것으로 판단하였다.

○ 2016년 8월 수질검사성적서 (집수조 빗물, 함안)

- ◆ 2016년 8월 31일 분석
- ◆ 채수구를 화염소독한 후 샘플을 채수했음
- ◆ 무강우 일수 : 약 26일
- ◆ 장기간 비가 오지 않아 우수의 오염도가 상대적으로 높을 것으로 생각됨

표. 3.14 집수조 빗물 수질분석 결과 (2016. 08. 함안)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	8,700	24	벤젠	0.01mg/L이하	불검출
2	총대장균군	불검출/100mL	불검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	불검출
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	불검출
4	납	0.01mg/L이하	불검출	27	크실렌	0.5mg/L이하	불검출
5	불소	1.5mg/L이하	불검출	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출
6	비소	0.01mg/L이하	불검출	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	불검출
7	셀레늄	0.01mg/L이하	불검출	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	불검출
8	수은	0.001mg/L이하	불검출	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	불검출
9	시안	0.01mg/L이하	불검출	32	경도	1000mg/L이하	21
10	크롬	0.05mg/L이하	불검출	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	3.7
11	암모니아성 질소	0.5mg/L이하	0.84	34	냄새	무취	없음
12	질산성 질소	10mg/L이하	0.4	35	맛	무미	없음
13	카드뮴	0.005mg/L이하	불검출	36	동	1mg/L이하	불검출
14	붕소	1.0mg/L이하	불검출	37	색도	5도이하	불검출
15	페놀	0.005mg/L이하	불검출	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	불검출
16	다이아지논	0.02mg/L이하	불검출	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	7.1
17	파라티온	0.06mg/L이하	불검출	40	아연	3mg/L이하	0.009
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	불검출	41	염소이온	250mg/L이하	5.4
19	카바릴	0.07mg/L이하	불검출	42	철	0.3mg/L이하	0.06
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	불검출	43	망간	0.3mg/L이하	불검출
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	불검출	44	탁도	1NTU이하	0.43
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출	45	황산이온	200mg/L이하	10
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	불검출	46	알루미늄	0.2mg/L이하	불검출

○ 2016년 8월 수질검사성적서 (초기우수, 함안)

- ◆ 2016년 8월 31일 분석
- ◆ 설치된 초기빗물 집수통으로 채수함
- ◆ 무강우 일수 : 약 26일
- ◆ 기준치 초과되는 미생물 항목을 분석하였음

표. 3.15 초기우수 수질분석 결과 (2016. 08. 함안)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	23,000	24	벤젠	0.01mg/L이하	-
2	총대장균군	불검출/100mL	검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	-
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	-
4	납	0.01mg/L이하	-	27	크실렌	0.5mg/L이하	-
5	불소	1.5mg/L이하	-	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	-
6	비소	0.01mg/L이하	-	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	-
7	셀레늄	0.01mg/L이하	-	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	-
8	수은	0.001mg/L이하	-	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	-
9	시안	0.01mg/L이하	-	32	경도	1000mg/L이하	-
10	크롬	0.05mg/L이하	-	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	-
11	암모니아성질소	0.5mg/L이하	-	34	냄새	무취	-
12	질산성질소	10mg/L이하	-	35	맛	무미	-
13	카드뮴	0.005mg/L이하	-	36	동	1mg/L이하	-
14	붕소	1.0mg/L이하	-	37	색도	5도이하	-
15	페놀	0.005mg/L이하	-	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	-
16	다이아지논	0.02mg/L이하	-	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	-
17	파라티온	0.06mg/L이하	-	40	아연	3mg/L이하	-
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	-	41	염소이온	250mg/L이하	-
19	카바틸	0.07mg/L이하	-	42	철	0.3mg/L이하	-
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	-	43	망간	0.3mg/L이하	-
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	-	44	탁도	1NTU이하	-
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	-	45	황산이온	200mg/L이하	-
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	-	46	알루미늄	0.2mg/L이하	-

위의 표 3.14과 3.15는 8월의 강우 이후 집수장치에서 집수된 빗물과 초기우수를 수질 분석한 결과이다. 7월의 수질 분석 결과에 비해 일반세균의 수가 매우 증가한 것을 볼 수 있다. 8월 초기우수는 일반세균이 23,000 CFU/mL, 총대장균군이 검출되어 오염의 정도가 높은 것으로 나타났고, 8월 청정집수장치를 통해 집수된 저류조 내 빗물은 일반세균이 8,700 CFU/mL로 감소하였지만 수질기준보다 현저히 높은 수치이다.

채수를 하기 전, 채수구를 화염소독하고 물을 방류하지 않고 바로 채수를 하여 관로의 정체된 물이 시료에 포함되어 일반세균의 수치가 높게 나타난 것으로 판단된다. 무강우 일수가 약 26일로 상당히 긴 시간동안 관로 내에 빗물이 체류되어 있었기 때문에 일반세균의 오염이 매우 높았던 것으로 판단된다.

○ 2016년 9월 수질검사성적서 (집수조 빗물, 함안)

- ◆ 2016년 9월 6일 분석
- ◆ 채수구를 화염소독한 후 샘플을 채수하였음
- ◆ 약 4L의 우수 방류 후 채수함(관로에 체류하던 우수 배제)
- ◆ 무강우 일수 : 약 5일
- ◆ 무강우 일수가 짧아 우수의 오염도가 높지 않은 것으로 판단됨

표. 3.16 집수조 빗물 수질분석 결과 (2016. 09. 함안)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	290	24	벤젠	0.01mg/L이하	불검출
2	총대장균군	불검출/100mL	불검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	불검출
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	불검출
4	납	0.01mg/L이하	불검출	27	크실렌	0.5mg/L이하	불검출
5	불소	1.5mg/L이하	불검출	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출
6	비소	0.01mg/L이하	불검출	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	불검출
7	셀레늄	0.01mg/L이하	불검출	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	불검출
8	수은	0.001mg/L이하	불검출	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	불검출
9	시안	0.01mg/L이하	불검출	32	경도	1000mg/L이하	7
10	크롬	0.05mg/L이하	불검출	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	1.3
11	암모니아성질소	0.5mg/L이하	0.36	34	냄새	무취	없음
12	질산성질소	10mg/L이하	0.1	35	맛	무미	없음
13	카드뮴	0.005mg/L이하	불검출	36	동	1mg/L이하	불검출
14	붕소	1.0mg/L이하	불검출	37	색도	5도이하	불검출
15	페놀	0.005mg/L이하	불검출	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	불검출
16	다이아지논	0.02mg/L이하	불검출	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	7.3
17	파라티온	0.06mg/L이하	불검출	40	아연	3mg/L이하	불검출
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	불검출	41	염소이온	250mg/L이하	2
19	카바릴	0.07mg/L이하	불검출	42	철	0.3mg/L이하	불검출
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	불검출	43	망간	0.3mg/L이하	불검출
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	불검출	44	탁도	1NTU이하	0.11
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출	45	황산이온	200mg/L이하	4
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	불검출	46	알루미늄	0.2mg/L이하	불검출

○ 2016년 9월 수질검사성적서 (초기우수, 함안)

- ◆ 2016년 9월 6일 분석
- ◆ 설치된 초기우수 집수통으로 채수하였음
- ◆ 무강우 일수 : 약 5일
- ◆ 초기우수의 오염도 있지만 집수통, 집수면 등의 오염가능성도 있음

표. 3.17 초기우수 수질분석 결과 (2016. 09. 함안)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	35,000	24	벤젠	0.01mg/L이하	불검출
2	총대장균군	불검출/100mL	검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	불검출
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	불검출
4	납	0.01mg/L이하	불검출	27	크실렌	0.5mg/L이하	불검출
5	불소	1.5mg/L이하	불검출	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출
6	비소	0.01mg/L이하	불검출	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	불검출
7	셀레늄	0.01mg/L이하	불검출	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	불검출
8	수은	0.001mg/L이하	불검출	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	불검출
9	시안	0.01mg/L이하	불검출	32	경도	1000mg/L이하	22
10	크롬	0.05mg/L이하	불검출	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	3.6
11	암모니아성질소	0.5mg/L이하	0.31	34	냄새	무취	없음
12	질산성질소	10mg/L이하	0.2	35	맛	무미	없음
13	카드뮴	0.005mg/L이하	불검출	36	동	1mg/L이하	불검출
14	붕소	1.0mg/L이하	불검출	37	색도	5도이하	불검출
15	페놀	0.005mg/L이하	불검출	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	불검출
16	다이아지논	0.02mg/L이하	불검출	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	7.1
17	파라티온	0.06mg/L이하	불검출	40	아연	3mg/L이하	0.008
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	불검출	41	염소이온	250mg/L이하	6.2
19	카바틸	0.07mg/L이하	불검출	42	철	0.3mg/L이하	불검출
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	불검출	43	망간	0.3mg/L이하	불검출
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	불검출	44	탁도	1NTU이하	0.44
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출	45	황산이온	200mg/L이하	12
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	불검출	46	알루미늄	0.2mg/L이하	불검출

위의 표 3.16과 3.17은 9월의 강우 이후 집수조 빗물과 초기우수를 수질 분석한 결과이다. 8월의 채수 이후 강우예보가 있어 무강우 일수 약 5일 후에 집수된 빗물을 채수하였다. 8월의 청정빗물에서 일반세균의 오염이 심각하여 9월 시료의 채수 시에는 채수구를 화염소독한 후에 채수하기 전, 약 4L의 물을 방류하여 채수구와 저수조 사이에 채류하고 있던 빗물을 배제하고 채수하였다. 9월 초기우수의 일반세균은 35,000 CFU/mL, 총대장균군이 검출되어 심한 오염을 보였으나 9월 청정빗물은 일반세균 290 CFU/mL으로 현저히 감소된 것을 알 수 있고 관로 내에 장기간 체류하던 빗물의 오염을 8, 9월의 수질분석결과 비교를 통해 알 수 있었다.

○ 2016년 10월 수질검사성적서 (집수조 빗물, 함안)

◆ 2016년 10월 5일 분석

◆ 채수구를 화염소독한 후 샘플을 채수했음

◆ 무강우 일수 : 약 4일

◆ 무강우 일수가 짧아 우수의 오염도가 높지 않은 것으로 판단됨

표. 3.18 청정빗물 먹는물 수질분석 결과 (2016. 10. 함안)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	180	24	벤젠	0.01mg/L이하	불검출
2	총대장균군	불검출/100mL	불검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	불검출
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	불검출
4	납	0.01mg/L이하	불검출	27	크실렌	0.5mg/L이하	불검출
5	불소	1.5mg/L이하	불검출	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출
6	비소	0.01mg/L이하	불검출	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	불검출
7	셀레늄	0.01mg/L이하	불검출	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	불검출
8	수은	0.001mg/L이하	불검출	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	불검출
9	시안	0.01mg/L이하	불검출	32	경도	1000mg/L이하	5
10	크롬	0.05mg/L이하	불검출	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	0.9
11	암모니아성질소	0.5mg/L이하	0.27	34	냄새	무취	없음
12	질산성질소	10mg/L이하	0.1	35	맛	무미	없음
13	카드뮴	0.005mg/L이하	불검출	36	동	1mg/L이하	불검출
14	붕소	1.0mg/L이하	불검출	37	색도	5도이하	불검출
15	페놀	0.005mg/L이하	불검출	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	불검출
16	다이아지논	0.02mg/L이하	불검출	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	6.9
17	파라티온	0.06mg/L이하	불검출	40	아연	3mg/L이하	불검출
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	불검출	41	염소이온	250mg/L이하	2
19	카바릴	0.07mg/L이하	불검출	42	철	0.3mg/L이하	불검출
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	불검출	43	망간	0.3mg/L이하	불검출
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	불검출	44	탁도	1NTU이하	0.10
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출	45	황산이온	200mg/L이하	3
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	불검출	46	알루미늄	0.2mg/L이하	불검출

○ 2016년 10월 수질검사성적서 (초기우수, 함안)

◆ 2016년 10월 5일 분석

◆ 채수구를 화염소독한 후 샘플을 채수했음

◆ 무강우 일수 : 약 4일

표. 3.19 초기우수 먹는물 수질분석 결과 (2016. 10. 함안)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	27,000	24	벤젠	0.01mg/L이하	불검출
2	총대장균군	불검출/100mL	검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	불검출
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	불검출
4	납	0.01mg/L이하	불검출	27	크실렌	0.5mg/L이하	불검출
5	불소	1.5mg/L이하	불검출	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출
6	비소	0.01mg/L이하	불검출	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	불검출
7	셀레늄	0.01mg/L이하	불검출	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	불검출
8	수은	0.001mg/L이하	불검출	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	불검출
9	시안	0.01mg/L이하	불검출	32	경도	1000mg/L이하	18
10	크롬	0.05mg/L이하	불검출	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	2.7
11	암모니아성질소	0.5mg/L이하	0.29	34	냄새	무취	없음
12	질산성질소	10mg/L이하	0.1	35	맛	무미	없음
13	카드뮴	0.005mg/L이하	불검출	36	동	1mg/L이하	불검출
14	붕소	1.0mg/L이하	불검출	37	색도	5도이하	불검출
15	페놀	0.005mg/L이하	불검출	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	불검출
16	다이아지논	0.02mg/L이하	불검출	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	6.8
17	파라티온	0.06mg/L이하	불검출	40	아연	3mg/L이하	불검출
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	불검출	41	염소이온	250mg/L이하	5.8
19	카바릴	0.07mg/L이하	불검출	42	철	0.3mg/L이하	불검출
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	불검출	43	망간	0.3mg/L이하	불검출
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	불검출	44	탁도	1NTU이하	0.33
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출	45	황산이온	200mg/L이하	9
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	불검출	46	알루미늄	0.2mg/L이하	불검출

위의 표 3.18과 3.19는 10월의 집수조 빗물과 초기우수를 수질 분석한 결과이다. 9월의 채수 방식과 마찬가지로 청정빗물 샘플을 채수하기 전에 채수구를 화염소독하고 4L이상의 물을 배제한 후 채수하였고 초기우수는 초기우수 집수통에서 채수하였다. 10월의 수질분석 결과, 일반세균이 180 CFU/mL으로 9월보다 다소 낮아졌지만 여전히 관로의 오염에 의해 일반세균이 먹는물 수질기준을 초과하여 검출되었다. 관로의 오염을 해결하지 않는 이상 수질기준을 만족하기 힘들 것으로 판단되며 염소를 이용한 관로의 세척이나 염소소독을 이용한 잔류염소 농도의 유지 등의 개선 방안을 고려하였다.

○ 2016년 12월 수질검사성적서 (집수조 빗물, 함안)

- ◆ 2016년 12월 22일 분석
- ◆ 채수구를 화염소독한 후 샘플을 채수했음
- ◆ 무강우 일수 : 약 32일
- ◆ 무강우 일수가 길어 관로의 생물학적 오염으로 인해 10월의 수질에 비해 일반세균의 수치가 높은 것으로 판단됨

표. 3.20 집수조 빗물 수질분석 결과 (2016. 12. 함안)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	2,500	24	벤젠	0.01mg/L이하	불검출
2	총대장균군	불검출/100mL	검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	불검출
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	불검출
4	납	0.01mg/L이하	불검출	27	크실렌	0.5mg/L이하	불검출
5	불소	1.5mg/L이하	불검출	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출
6	비소	0.01mg/L이하	불검출	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	불검출
7	셀레늄	0.01mg/L이하	불검출	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	불검출
8	수은	0.001mg/L이하	불검출	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	불검출
9	시안	0.01mg/L이하	불검출	32	경도	1000mg/L이하	42
10	크롬	0.05mg/L이하	불검출	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	5.1
11	암모니아성질소	0.5mg/L이하	0.39	34	냄새	무취	없음
12	질산성질소	10mg/L이하	2.1	35	맛	무미	없음
13	카드뮴	0.005mg/L이하	불검출	36	동	1mg/L이하	불검출
14	붕소	1.0mg/L이하	불검출	37	색도	5도이하	불검출
15	페놀	0.005mg/L이하	불검출	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	불검출
16	다이아지논	0.02mg/L이하	불검출	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	7.3
17	파라티온	0.06mg/L이하	불검출	40	아연	3mg/L이하	0.011
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	불검출	41	염소이온	250mg/L이하	9.2
19	카바릴	0.07mg/L이하	불검출	42	철	0.3mg/L이하	불검출
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	불검출	43	망간	0.3mg/L이하	불검출
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	불검출	44	탁도	1NTU이하	0.33
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출	45	황산이온	200mg/L이하	14
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	불검출	46	알루미늄	0.2mg/L이하	불검출

○ 2016년 12월 수질검사성적서 (초기우수, 함안)

◆ 2016년 12월 22일 분석

◆ 채수구를 화염소독한 후 샘플을 채수했음

◆ 무강우 일수 : 약 32일

표. 3.21 초기우수 수질분석 결과 (2016. 12. 함안)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	39,000	24	벤젠	0.01mg/L이하	불검출
2	총대장균군	불검출/100mL	검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	불검출
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	불검출
4	납	0.01mg/L이하	불검출	27	크실렌	0.5mg/L이하	불검출
5	불소	1.5mg/L이하	불검출	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출
6	비소	0.01mg/L이하	불검출	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	불검출
7	셀레늄	0.01mg/L이하	불검출	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	불검출
8	수은	0.001mg/L이하	불검출	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	불검출
9	시안	0.01mg/L이하	불검출	32	경도	1000mg/L이하	56
10	크롬	0.05mg/L이하	불검출	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	6.3
11	암모니아성질소	0.5mg/L이하	1.63	34	냄새	무취	없음
12	질산성질소	10mg/L이하	3.3	35	맛	무미	없음
13	카드뮴	0.005mg/L이하	불검출	36	동	1mg/L이하	불검출
14	붕소	1.0mg/L이하	불검출	37	색도	5도이하	2
15	페놀	0.005mg/L이하	불검출	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	불검출
16	다이아지논	0.02mg/L이하	불검출	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	7.1
17	파라티온	0.06mg/L이하	불검출	40	아연	3mg/L이하	0.009
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	불검출	41	염소이온	250mg/L이하	13.6
19	카바릴	0.07mg/L이하	불검출	42	철	0.3mg/L이하	0.006
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	불검출	43	망간	0.3mg/L이하	0.008
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	불검출	44	탁도	1NTU이하	0.74
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출	45	황산이온	200mg/L이하	26
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	불검출	46	알루미늄	0.2mg/L이하	0.007

위의 표 3.20와 3.21은 12월의 집수조 빗물과 초기우수를 수질 분석한 결과이다. 12월의 채수방식도 마찬가지로 청정빗물 샘플을 채수하기 전에 채수구를 화염소독하고 4L이상의 물을 배제한 후 채수하였고 초기우수는 초기우수 집수통에서 채수하였다. 12월의 수질분석 결과, 일반세균이 2,500 CFU/mL으로 10월보다 높게 나타났는데 이는 무강우 일수가 한 달 이상 지속되면서 관로에 체류한 빗물이 생물학적 오염을 일으켜 일반세균이 수질기준을 초과하였고 총대장균군이 검출되었다.

이전의 시료들에서는 중금속이 불검출 되었으나 12월의 초기우수의 수질에는 다른 시료들과 달리 중금속 성분이 미량 검출되었고 색도 및 탁도가 다소 높아진 것으로 보아 주변 공업지역의 배출가스에 의해 배출된 오염물질들이 대기 중에 존재하면서 집수면에 침착되고 wash out 현상으로 인해 초기우수에 녹아들어 간 것으로 판단된다.

○ 2017년 3월 수질검사성적서 (집수조 빗물, 함안)

◆ 2017년 3월 27일 분석

◆ 채수구를 화염소독한 후 샘플을 채수했음

◆ 무강우 일수 : 약 31일

표. 3.22 집수조 빗물 수질분석 결과 (2017. 03. 함안)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	840	24	벤젠	0.01mg/L이하	불검출
2	총대장균군	불검출/100mL	검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	불검출
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	불검출
4	납	0.01mg/L이하	불검출	27	크실렌	0.5mg/L이하	불검출
5	불소	1.5mg/L이하	불검출	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출
6	비소	0.01mg/L이하	불검출	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	불검출
7	셀레늄	0.01mg/L이하	불검출	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	불검출
8	수은	0.001mg/L이하	불검출	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	불검출
9	시안	0.01mg/L이하	불검출	32	경도	1000mg/L이하	52
10	크롬	0.05mg/L이하	불검출	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	4.7
11	암모니아성 질소	0.5mg/L이하	0.17	34	냄새	무취	없음
12	질산성 질소	10mg/L이하	0.8	35	맛	무미	없음
13	카드뮴	0.005mg/L이하	불검출	36	동	1mg/L이하	불검출
14	붕소	1.0mg/L이하	불검출	37	색도	5도이하	불검출
15	페놀	0.005mg/L이하	불검출	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	불검출
16	다이아지논	0.02mg/L이하	불검출	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	6.1
17	파라티온	0.06mg/L이하	불검출	40	아연	3mg/L이하	0.039
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	불검출	41	염소이온	250mg/L이하	6.7
19	카바틸	0.07mg/L이하	불검출	42	철	0.3mg/L이하	불검출
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	불검출	43	망간	0.3mg/L이하	불검출
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	불검출	44	탁도	1NTU이하	0.41
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출	45	황산이온	200mg/L이하	5
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	불검출	46	알루미늄	0.2mg/L이하	불검출

위의 표 3.22는 청정빗물집수장치에서 집수된 집수조 빗물을 수질 분석한 결과이다. 생물학적 오염을 개선하기 위하여 고상염소소독장치를 설치하였다. 잔류염소 농도가 약 0.1 mg/L일 때 채수하여 분석한 결과이다. 염소소독장치를 설치하여 완전한 소독이 이루어질 것으로 예상하였으나 잔류염소농도가 낮아 일반세균의 완전한 소독이 이루어지지 않은 것으로 판단된다. 강우 빈도가 낮아 관로의 빗물 체류시간이 길어짐에 따라 생물학적 오염의 증가로 총대장균군이 검출된 것으로 보이며, 이에 따라 염소농도의 조정이 필요함을 알 수 있었다..

○ 2017년 3월 수질검사성적서(초기우수, 함안)

◆ 2017년 3월 27일 분석

◆ 채수구를 화염소독한 후 샘플을 채수했음

◆ 무강우 일수 : 약 31일

표. 3.23 초기우수 수질분석 결과 (2017. 03. 함안)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	51,200	24	벤젠	0.01mg/L이하	불검출
2	총대장균군	불검출/100mL	검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	불검출
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	불검출
4	납	0.01mg/L이하	불검출	27	크실렌	0.5mg/L이하	불검출
5	불소	1.5mg/L이하	불검출	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출
6	비소	0.01mg/L이하	불검출	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	불검출
7	셀레늄	0.01mg/L이하	불검출	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	불검출
8	수은	0.001mg/L이하	불검출	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	불검출
9	시안	0.01mg/L이하	불검출	32	경도	1000mg/L이하	38
10	크롬	0.05mg/L이하	불검출	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	4.3
11	암모니아성 질소	0.5mg/L이하	0.84	34	냄새	무취	없음
12	질산성 질소	10mg/L이하	1.4	35	맛	무미	없음
13	카드뮴	0.005mg/L이하	불검출	36	동	1mg/L이하	불검출
14	붕소	1.0mg/L이하	불검출	37	색도	5도이하	2
15	페놀	0.005mg/L이하	불검출	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	불검출
16	다이아지논	0.02mg/L이하	불검출	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	6.4
17	파라티온	0.06mg/L이하	불검출	40	아연	3mg/L이하	0.043
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	불검출	41	염소이온	250mg/L이하	불검출
19	카바릴	0.07mg/L이하	불검출	42	철	0.3mg/L이하	0.007
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	불검출	43	망간	0.3mg/L이하	0.011
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	불검출	44	탁도	1NTU이하	1.22
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출	45	황산이온	200mg/L이하	9
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	불검출	46	알루미늄	0.2mg/L이하	0.01

위의 표 3.23은 3월 초기우수 시료를 수질 분석한 결과이다. 화분과 황사로 인해 대기오염이 심화되는 3월에 채수한 초기우수이기 때문에 wash out 현상에 의해 우수에 화분과 미세먼지가 다량 함유되어 일반세균, 총대장균군과 같은 생물학적 오염뿐만 아니라 암모니아성 질소, 탁도가 수질기준을 초과하였다.

○ 2017년 5월 수질검사성적서 (집수조 빗물, 함안)

◆ 2017년 5월 10일 분석

◆ 채수구를 화염소독한 후 샘플을 채수했음

◆ 무강우 일수 : 약 21일

표. 3.24 집수조 빗물 수질분석 결과(2017. 05. 함안)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	1,200	24	벤젠	0.01mg/L이하	불검출
2	총대장균군	불검출/100mL	불검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	불검출
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	불검출
4	납	0.01mg/L이하	불검출	27	크실렌	0.5mg/L이하	불검출
5	불소	1.5mg/L이하	불검출	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출
6	비소	0.01mg/L이하	불검출	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	불검출
7	셀레늄	0.01mg/L이하	불검출	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	불검출
8	수은	0.001mg/L이하	불검출	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	불검출
9	시안	0.01mg/L이하	불검출	32	경도	1000mg/L이하	91
10	크롬	0.05mg/L이하	불검출	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	8.9
11	암모니아성 질소	0.5mg/L이하	불검출	34	냄새	무취	불검출
12	질산성 질소	10mg/L이하	0.4	35	맛	무미	불검출
13	카드뮴	0.005mg/L이하	불검출	36	동	1mg/L이하	0.368
14	붕소	1.0mg/L이하	불검출	37	색도	5도이하	0
15	페놀	0.005mg/L이하	불검출	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	불검출
16	다이아지논	0.02mg/L이하	불검출	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	4.5
17	파라티온	0.06mg/L이하	불검출	40	아연	3mg/L이하	1.091
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	불검출	41	염소이온	250mg/L이하	65.5
19	카바릴	0.07mg/L이하	불검출	42	철	0.3mg/L이하	불검출
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	불검출	43	망간	0.3mg/L이하	0.014
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	불검출	44	탁도	1NTU이하	0.28
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출	45	황산이온	200mg/L이하	불검출
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	불검출	46	알루미늄	0.2mg/L이하	불검출

위의 표 3.24은 5월 채수한 청정빗물의 수질 분석 결과이다. 고상염소소독장치를 설치함으로써 염소소독을 실시하여 총대장균군은 불검출되어 수질기준에 만족시켰지만 일반세균의 기준을 만족시키지는 못하였다. 잔류염소농도가 0.11 mg/L로, 일반세균의 소독에는 농도가 다소 낮았던 것으로 판단된다. 또한 초기 집수된 빗물의 pH가 낮게 나타났으나, 빗물의 저류 기간에 따라 회복될 것으로 본다.

또한 겨울철을 지내며, 봄철 건조한 날씨로 인해 저류조 내 저장 빗물의 체류 시간이 길어짐에 따라 저류조 및 초기빗물 집수통의 생물학적 오염이 높아진 것으로 판단된다. 따라서 집수조 내 적정 수질을 유지하기 위하여 주기적인 (6개월마다) 집수조 및 집수통의 청소가 필요할 것으로 본다.

○ 2017년 5월 수질검사성적서 (초기우수, 함안)

◆ 2017년 5월 10일 분석

◆ 채수구를 화염소독한 후 샘플을 채수했음

◆ 무강우 일수 : 약 21일

표. 3.25 초기우수 수질분석 결과 (2017. 05. 함안)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	148,500	24	벤젠	0.01mg/L이하	불검출
2	총대장균군	불검출/100mL	검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	불검출
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	불검출
4	납	0.01mg/L이하	불검출	27	크실렌	0.5mg/L이하	불검출
5	불소	1.5mg/L이하	불검출	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출
6	비소	0.01mg/L이하	불검출	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	불검출
7	셀레늄	0.01mg/L이하	불검출	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	불검출
8	수은	0.001mg/L이하	불검출	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	불검출
9	시안	0.01mg/L이하	불검출	32	경도	1000mg/L이하	10
10	크롬	0.05mg/L이하	불검출	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	1.9
11	암모니아성 질소	0.5mg/L이하	0.09	34	냄새	무취	없음
12	질산성 질소	10mg/L이하	0.2	35	맛	무미	없음
13	카드뮴	0.005mg/L이하	불검출	36	동	1mg/L이하	불검출
14	붕소	1.0mg/L이하	불검출	37	색도	5도이하	2
15	페놀	0.005mg/L이하	불검출	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	불검출
16	다이아지논	0.02mg/L이하	불검출	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	5.6
17	파라티온	0.06mg/L이하	불검출	40	아연	3mg/L이하	0.099
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	불검출	41	염소이온	250mg/L이하	불검출
19	카바릴	0.07mg/L이하	불검출	42	철	0.3mg/L이하	불검출
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	불검출	43	망간	0.3mg/L이하	0.020
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	불검출	44	탁도	1NTU이하	2.08
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출	45	황산이온	200mg/L이하	불검출
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	불검출	46	알루미늄	0.2mg/L이하	0.03

위의 표 3.2는 5월 초기우수를 수질 분석한 결과이다. 무강우 일수가 길어 초기우수의 일반 세균이 높은 수치를 나타내었고, 봄철 건조한 날씨가 이어짐에 따라 대기 중 미세먼지 농도 및 주변 공단의 대기오염물질 농도가 높아져 내리는 빗물에 wash out 된 영향에 의하여 초기우수의 수소이온농도가 낮아지고, 탁도는 높게 나타난 것으로 보인다.

○ 2017년 5월 수질검사성적서(집수조 빗물, 창원)

◆ 2017년 5월 10일 분석

◆ 채수구를 화염소독한 후 샘플을 채수했음

◆ 무강우 일수 : 약 21일

표. 3.26 집수조 빗물 수질분석 결과 (2017. 05. 창원)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	1,290	24	벤젠	0.01mg/L이하	불검출
2	총대장균군	불검출/100mL	검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	불검출
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	불검출
4	납	0.01mg/L이하	불검출	27	크실렌	0.5mg/L이하	불검출
5	불소	1.5mg/L이하	불검출	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출
6	비소	0.01mg/L이하	불검출	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	불검출
7	셀레늄	0.01mg/L이하	불검출	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	불검출
8	수은	0.001mg/L이하	불검출	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	0.001
9	시안	0.01mg/L이하	불검출	32	경도	1000mg/L이하	107
10	크롬	0.05mg/L이하	불검출	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	1.2
11	암모니아성 질소	0.5mg/L이하	0.03	34	냄새	무취	없음
12	질산성 질소	10mg/L이하	2.6	35	맛	무미	없음
13	카드뮴	0.005mg/L이하	불검출	36	동	1mg/L이하	0.028
14	붕소	1.0mg/L이하	0.05	37	색도	5도이하	불검출
15	페놀	0.005mg/L이하	불검출	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	불검출
16	다이아지논	0.02mg/L이하	불검출	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	7.7
17	파라티온	0.06mg/L이하	불검출	40	아연	3mg/L이하	0.112
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	불검출	41	염소이온	250mg/L이하	44.2
19	카바틸	0.07mg/L이하	불검출	42	철	0.3mg/L이하	불검출
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	불검출	43	망간	0.3mg/L이하	0.008
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	불검출	44	탁도	1NTU이하	0.53
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출	45	황산이온	200mg/L이하	52
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	불검출	46	알루미늄	0.2mg/L이하	0.03

위의 표 3.26은 창원 덴소코리아일렉트로닉스(주) 기숙사 옥상에 새로 설치된 개선된 청정 빗물집수장치에서 집수된 빗물의 수질 분석 결과이다.

창원의 청정빗물집수장치는 함안의 1차 시제품에서 나타난 관로오염 문제를 개선하기 위하여 빗물 집수조를 일체형으로 개발하였다. 또한 빗물이 없을 경우, 관로에 수돗물이 지속적으로 공급되도록 하여 관로 오염을 최소화 하였다.

1차 수질 분석은 염소소독을 실시하지 않은 상태에서 분석을 실시하였다. 청정빗물집수장치의 집수조 내 빗물의 수질 분석 결과, 염소소독이 이루어지지 않아 총대장균군이 검출된 것을 제외하고는 양호한 수질을 나타내었다.

수질 기준치 이하 낮은 농도지만 일부 오염물질들이 소량 검출된 것은 제품 설치 후 가동 전 세척과정을 거치지 않아 저류조 내 잔류해 있던 물질의 영향이 남아 있는 것으로 생각되므로, 향후 제품 현장설치 후 가동 전에 필히 집수조 및 라인 세척을 실시할 필요성이 있다고 본다.

○ 2017년 5월 수질검사성적서 (초기우수, 창원)

◆ 2017년 5월 10일 분석

◆ 채수구를 화염소독한 후 샘플을 채수했음. 염소소독기 설치 안함.

◆ 무강우 일수 : 약 21일

표. 3.27 초기우수 수질분석 결과 (2017. 05. 창원)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	8,500	24	벤젠	0.01mg/L이하	불검출
2	총대장균군	불검출/100mL	검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	불검출
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	불검출
4	납	0.01mg/L이하	불검출	27	크실렌	0.5mg/L이하	불검출
5	불소	1.5mg/L이하	불검출	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출
6	비소	0.01mg/L이하	불검출	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	불검출
7	셀레늄	0.01mg/L이하	불검출	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	불검출
8	수은	0.001mg/L이하	불검출	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	불검출
9	시안	0.01mg/L이하	불검출	32	경도	1000mg/L이하	24
10	크롬	0.05mg/L이하	불검출	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	5.2
11	암모니아성질소	0.5mg/L이하	0.17	34	냄새	무취	없음
12	질산성질소	10mg/L이하	0.9	35	맛	무미	없음
13	카드뮴	0.005mg/L이하	불검출	36	동	1mg/L이하	0.051
14	붕소	1.0mg/L이하	0.05	37	색도	5도이하	3
15	페놀	0.005mg/L이하	불검출	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	불검출
16	다이아지논	0.02mg/L이하	불검출	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	6.5
17	파라티온	0.06mg/L이하	불검출	40	아연	3mg/L이하	0.046
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	불검출	41	염소이온	250mg/L이하	2.8
19	카바릴	0.07mg/L이하	불검출	42	철	0.3mg/L이하	불검출
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	불검출	43	망간	0.3mg/L이하	0.013
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	불검출	44	탁도	1NTU이하	1.24
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출	45	황산이온	200mg/L이하	3
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	불검출	46	알루미늄	0.2mg/L이하	불검출

위의 표 3.27은 새로 설치된 창원의 청정빗물집수장치의 초기우수 시료를 분석한 결과이다. 함안의 초기우수 시료와 마찬가지로 장치 설치 지역의 무강우 일수가 길어 초기우수의 일반세균 농도가 높게 나타났고, 봄철 건조한 날씨가 지속됨에 따른 대기 중 높은 미세먼지 농도는 이를 함유하고 있어 초기우수의 탁도를 높인 것으로 판단된다.

5월 31일 함안과 창원의 집수조 청소를 수행하였다. 저류조의 수질보다 초기우수의 오염물질의 유입이 나타날 수 있을 것으로, 앞으로도 주기적인 수질 관리가 필요할 것으로 본다.

○ 2017년 6월 수질검사성적서 (집수조 빗물, 함안)

◆ 2017년 6월 12일 분석 (1차)

◆ 채수구를 화염소독한 후 샘플을 채수했음, 염소소독기 설치

◆ 집수조 시료에 대해 생물학적 수질검사항목을 추가 분석함.

표. 3.28 6월 집수조 시료 수질분석 결과 (2017. 06. 12. 창원)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	270	24	벤젠	0.01mg/L이하	-
2	총대장균군	불검출/100mL	불검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	-
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	-
4	납	0.01mg/L이하	-	27	크실렌	0.5mg/L이하	-
5	불소	1.5mg/L이하	-	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	-
6	비소	0.01mg/L이하	-	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	-
7	셀레늄	0.01mg/L이하	-	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	-
8	수은	0.001mg/L이하	-	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	-
9	시안	0.01mg/L이하	-	32	경도	1000mg/L이하	-
10	크롬	0.05mg/L이하	-	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	-
11	암모니아성질소	0.5mg/L이하	-	34	냄새	무취	-
12	질산성질소	10mg/L이하	-	35	맛	무미	-
13	카드뮴	0.005mg/L이하	-	36	동	1mg/L이하	-
14	붕소	1.0mg/L이하	-	37	색도	5도이하	-
15	페놀	0.005mg/L이하	-	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	-
16	다이아지논	0.02mg/L이하	-	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	-
17	파라티온	0.06mg/L이하	-	40	아연	3mg/L이하	-
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	-	41	염소이온	250mg/L이하	-
19	카바릴	0.07mg/L이하	-	42	철	0.3mg/L이하	-
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	-	43	망간	0.3mg/L이하	-
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	-	44	탁도	1NTU이하	-
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	-	45	황산이온	200mg/L이하	-
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	-	46	알루미늄	0.2mg/L이하	-

위의 표 3.28은 함안의 청정빗물집수장치의 집수조 빗물 시료의 6월 생물학적 수질 검사항목의 분석 결과이다. 염소소독기를 설치하지 않았던 5월에 비해 염소소독기를 설치한 6월 일반세균의 농도가 1,200 CFU/mL에서 270 CFU/mL로 낮아졌으며, 총대장균군과 대장균/분원성대장균군은 모두 불검출로 나타나 소독 효과가 있는 것으로 나타났다.

잔류염소 농도는 0.11 mg/L로 5월과 유사한 농도를 유지하여, 고상염소소독제가 충분히 용출되지 않아 일반세균까지 소독 효과가 충분히 나타나지 않은 것으로 판단되었다. 이에 염소소독기 농도조절기를 조정하여 용출 속도를 증가시켰다.

○ 2017년 6월 수질검사성적서 (집수조 빗물, 창원)

◆ 2017년 6월 12일 분석 (1차)

◆ 채수구를 화염소독한 후 샘플을 채수했음, 염소소독기 설치

◆ 집수조 시료에 대해 생물학적 수질검사항목을 추가 분석함.

표. 3.29 6월 집수조 시료 수질분석 결과 (2017. 06. 12. 창원)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	0	24	벤젠	0.01mg/L이하	-
2	총대장균군	불검출/100mL	불검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	-
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	-
4	납	0.01mg/L이하	-	27	크실렌	0.5mg/L이하	-
5	불소	1.5mg/L이하	-	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	-
6	비소	0.01mg/L이하	-	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	-
7	셀레늄	0.01mg/L이하	-	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	-
8	수은	0.001mg/L이하	-	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	-
9	시안	0.01mg/L이하	-	32	경도	1000mg/L이하	-
10	크롬	0.05mg/L이하	-	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	-
11	암모니아성질소	0.5mg/L이하	-	34	냄새	무취	-
12	질산성질소	10mg/L이하	-	35	맛	무미	-
13	카드뮴	0.005mg/L이하	-	36	동	1mg/L이하	-
14	붕소	1.0mg/L이하	-	37	색도	5도이하	-
15	페놀	0.005mg/L이하	-	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	-
16	다이아지논	0.02mg/L이하	-	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	-
17	파라티온	0.06mg/L이하	-	40	아연	3mg/L이하	-
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	-	41	염소이온	250mg/L이하	-
19	카바릴	0.07mg/L이하	-	42	철	0.3mg/L이하	-
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	-	43	망간	0.3mg/L이하	-
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	-	44	탁도	1NTU이하	-
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	-	45	황산이온	200mg/L이하	-
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	-	46	알루미늄	0.2mg/L이하	-

위의 표 3.29는 창원의 청정빗물집수장치의 집수조 빗물 시료의 6월 생물학적 수질 검사항목의 분석 결과이다. 염소소독을 수행하지 않았던 5월에 비해 6월에는 염소소독을 실시하였으며, 그 결과 일반세균의 농도가 1,290 CFU/mL에서 0 CFU/mL로 검출되지 않았으며, 5월 검출되었던 총대장균군은 불검출로, 대장균/분원성대장균군도 불검출로 나타났다.

잔류염소 농도는 최종 2.62 mg/L로 함안보다 높은 농도를 유지하였으며, 고상염소소독제가 충분히 용출되어 소독 효과가 나타난 것으로 판단되었다. 함안과 창원 모두 고상염소소독제가 충분한 소독효과 있는 것을 확인후 소독부산물의 발생을 최소화하기 위하여 고상염소 용출속도를 줄여 최종 잔류염소 농도를 0.5 mg/L를 유지하도록 조정하였다.

○ 2017년 6월 수질검사성적서 (집수조 빗물, 함안)

- ◆ 2017년 6월 26일 분석 (2차),
- ◆ 채수구를 화염소독한 후 샘플을 채수했음, 염소소독기 설치
- ◆ 집수조 시료에 대해 생물학적 수질검사항목을 추가 분석함.
- ◆ 무강우 일수 : 약 69일

표. 3.30 6월 집수조 시료 수질분석 결과 (2017. 06. 26. 함안)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	0	24	벤젠	0.01mg/L이하	-
2	총대장균군	불검출/100mL	불검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	-
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	-
4	납	0.01mg/L이하	-	27	크실렌	0.5mg/L이하	-
5	불소	1.5mg/L이하	-	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	-
6	비소	0.01mg/L이하	-	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	-
7	셀레늄	0.01mg/L이하	-	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	-
8	수은	0.001mg/L이하	-	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	-
9	시안	0.01mg/L이하	-	32	경도	1000mg/L이하	-
10	크롬	0.05mg/L이하	-	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	-
11	암모니아성질소	0.5mg/L이하	-	34	냄새	무취	-
12	질산성질소	10mg/L이하	-	35	맛	무미	-
13	카드뮴	0.005mg/L이하	-	36	동	1mg/L이하	-
14	붕소	1.0mg/L이하	-	37	색도	5도이하	-
15	페놀	0.005mg/L이하	-	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	-
16	다이아지논	0.02mg/L이하	-	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	-
17	파라티온	0.06mg/L이하	-	40	아연	3mg/L이하	-
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	-	41	염소이온	250mg/L이하	-
19	카바릴	0.07mg/L이하	-	42	철	0.3mg/L이하	-
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	-	43	망간	0.3mg/L이하	-
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	-	44	탁도	1NTU이하	-
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	-	45	황산이온	200mg/L이하	-
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	-	46	알루미늄	0.2mg/L이하	-

위의 표 3.30은 함안의 청정빗물집수장치의 집수조 빗물 시료의 6월의 2차 생물학적 수질 검사항목의 분석 결과이다. 6월 1차 실험에서 270 CFU/mL로 나타났던 일반세균의 농도가 0 CFU/mL로 불검출 되었으며, 총대장균군과 대장균/분원성대장균군도 불검출로 나타나 소독 효과가 있는 것으로 나타났다. 잔류염소 농도는 0.54 mg/L로 고상염소소독제가 충분히 용출되어 소독 효과가 나타난 것으로 판단되었다.

○ 2017년 6월 수질검사성적서 (집수조 빗물, 창원)

◆ 2017년 6월 26일 분석 (2차)

◆ 채수구를 화염소독한 후 샘플을 채수했음, 염소소독기 설치

◆ 집수조 시료에 대해 생물학적 수질검사항목을 추가 분석함.

표. 3.31 6월 집수조 시료 수질분석 결과 (2017. 06. 26. 창원)

번호	검 사 항 목	수질기준	결과	번호	검 사 항 목	수질기준	결과
1	일반세균	100CFU/mL이하	0	24	벤젠	0.01mg/L이하	-
2	총대장균군	불검출/100mL	불검출	25	톨루엔	0.7mg/L이하	-
3	대장균/분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	26	에틸벤젠	0.3mg/L이하	-
4	납	0.01mg/L이하	-	27	크실렌	0.5mg/L이하	-
5	불소	1.5mg/L이하	-	28	1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	-
6	비소	0.01mg/L이하	-	29	사염화탄소	0.002mg/L이하	-
7	셀레늄	0.01mg/L이하	-	30	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L이하	-
8	수은	0.001mg/L이하	-	31	1,4-다이옥산	0.05mg/L이하	-
9	시안	0.01mg/L이하	-	32	경도	1000mg/L이하	-
10	크롬	0.05mg/L이하	-	33	과망간산칼륨소비량	10mg/L이하	-
11	암모니아성질소	0.5mg/L이하	-	34	냄새	무취	-
12	질산성질소	10mg/L이하	-	35	맛	무미	-
13	카드뮴	0.005mg/L이하	-	36	동	1mg/L이하	-
14	붕소	1.0mg/L이하	-	37	색도	5도이하	-
15	페놀	0.005mg/L이하	-	38	세제(음이온계면활성제)	0.5mg/L이하	-
16	다이아지논	0.02mg/L이하	-	39	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	-
17	파라티온	0.06mg/L이하	-	40	아연	3mg/L이하	-
18	페니트로티온	0.04mg/L이하	-	41	염소이온	250mg/L이하	-
19	카바릴	0.07mg/L이하	-	42	철	0.3mg/L이하	-
20	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/L이하	-	43	망간	0.3mg/L이하	-
21	테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	-	44	탁도	1NTU이하	-
22	트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	-	45	황산이온	200mg/L이하	-
23	디클로로메탄	0.02mg/L이하	-	46	알루미늄	0.2mg/L이하	-

위의 표 3.31은 창원의 청정빗물집수장치의 집수조 빗물 시료의 6월 2차 생물학적 수질 검사항목의 분석 결과이다. 6월에는 1차 염소소독을 실시하였을 때, 0 CFU/m로 검출되지 않았으며, 염소 농도를 줄여 소독을 실시한 2차 수질 분석에서도 일반세균, 총대장균군 및, 대장균/분원성대장균군이 모두 불검출로 나타나 소독 효과가 있는 것으로 나타났다.

잔류염소 농도는 1차 2.62 mg/L 보다 낮은 1.66 mg/L로 검출되어, 함안과 창원의 소독 결과를 참고하며 추후 저류조 내 잔류 염소 농도는 0.54~1.66 mg/L 의 농도에서도 충분히 효과가 있으므로, 소독부산물도 다량 발생하지 않도록 과다한 염소 투입이 되지 않게 염소투입 용량 및 고상염소의 용출 속도를 조절하여 0.5 mg/L 정도의 농도를 유지하도록 하였다.

라. 청정빗물집수장치 집수 빗물의 세탁용수 평가

청정빗물집수장치에서 초기우수가 배제된 빗물을 가지고 세탁용수로써의 활용 가능성을 연구하였다.

(1) 청정빗물집수장치 집수 빗물의 세탁용수 평가 방법

청정빗물집수장치 집수 빗물의 세탁용수 평가 방법으로는 색차계분석법을 이용하였다. 실험을 위한 재료 및 실험방법은 다음과 같다.

○ 세탁용수 실험을 위한 재료 준비

- 순면 100%의 흰색 천을 시편으로 사용하였다.
- 대조시편은 오염되지 않은 시편이고 오염물로 오렌지 주스, 토마토 주스, 포도 주스를 사용하였다.
- 일상 생활에서 묻히기 쉬운 오염물을 사용하고자 고추장, 초장, 과일음료, 먹물 등 다양한 오염물로 실험하였으나 고추장, 초장은 균일하게 오염되기 어려워 부분적인 오염도 차이가 커서 오염물로 사용하기 어려웠고 먹물은 실험에 사용한 jar test로는 세척이 미미하여 오염물로 사용하지 않았다.
- 오렌지 주스, 토마토 주스, 포도 주스는 색상이 다 다르지만 시편에 균일하게 오염되고 세척 전, 후의 차이가 뚜렷하기 때문에 실험에 적합하다고 판단하였다.
- 대조시편을 색차계로 분석하여 바탕 기준을 잡았고 세탁 전의 오염물 시편과 빗물에 세제를 투입하여 세척한 시편, 수돗물에 세제를 투입하여 세척한 시편을 분석하여 세척 전, 후를 비교하였고 수돗물과 빗물의 세척력 비교하였다.

○ 청정빗물집수장치 집수 빗물의 세탁용수 평가 방법

1. 시편의 크기는 10 X 10cm로 함.
2. 시편에 오염물을 골고루 도포한 후 24시간 자연건조함 (오염물 시편).
3. 자연건조한 후 500mL의 빗물과 수돗물에 각각 세제 5g을 투입한 후 2시간동안 2000RPM의 Jar test로 세척함.
4. 세척한 후의 시편은 24시간 동안 자연건조함 (빗물세탁, 수돗물세탁 시편).
5. 건조된 각 시편들을 색차계로 분석함 (3회 측정 평균값).

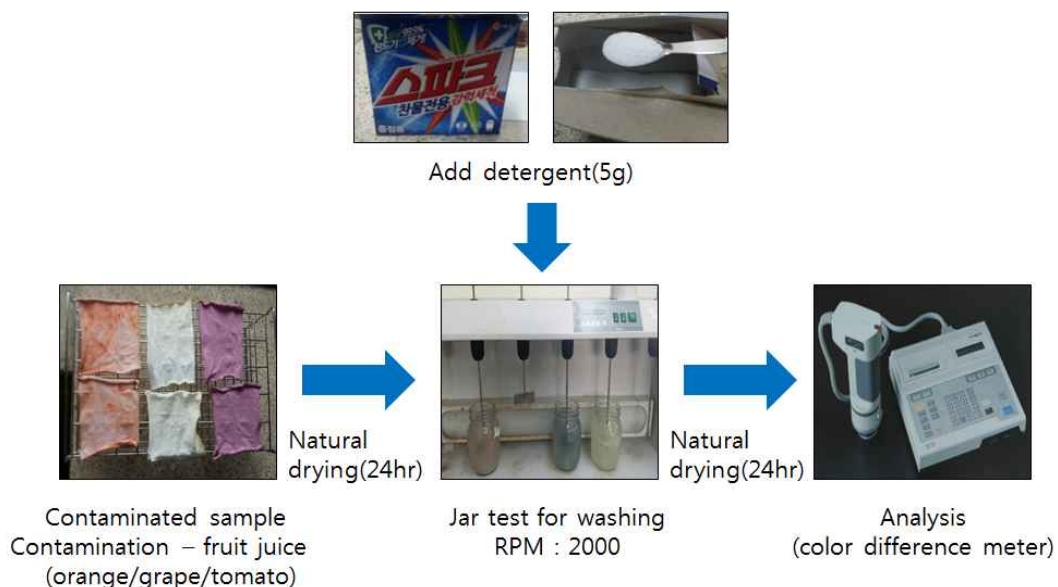


그림 3.15 빗물의 세탁용수 적용 평가 과정

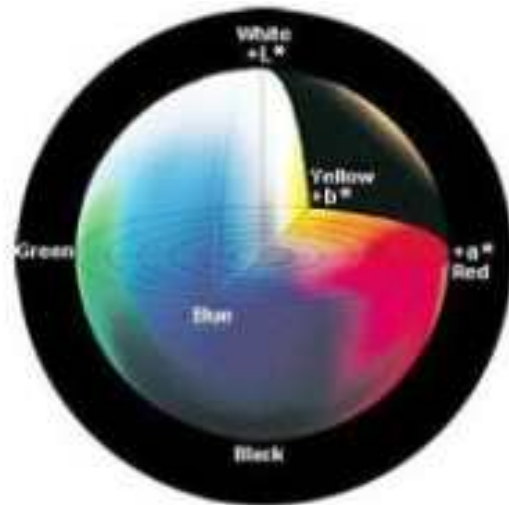


그림 3.16 색의 그래프

색차계는 일반적으로 $L^*a^*b^*$ 와 같은 색좌표라고 하는 단위로 값을 표시한다. 한 가지 색을 $L^*a^*b^*$ 와 같이 세 가지 값으로 표시하는 이유는 색의 3가지 특성인 명도, 채도, 색상을 표시하기 위함이다. 여기서 L^* 값이 명도를 나타내며 0~100까지 표시가 된다. 그리고 a^* , b^* 값은 일반적으로 x, y좌표계와 같은 평면 좌표계로써 가로축이 a^* 값, 세로축이 b^* 값이다. 그리고 +a쪽은 red, -a쪽은 green, +b쪽은 yellow, -b쪽은 blue를 나타낸다. 위의 그림은 색차계의 수치를 판단하는 색의 그래프이다.

표. 3.32 색차계 분석결과(2017년 1월 시료)

분석항목		L^*	a^*	b^*	ΔE
대조시편		94.84±0.17	2.86±0.03	-11.29±0.04	12.44±0.09
오염물 -오렌지 주스	오염물시편	90.07±0.21	-0.21±0.07	18.87±0.77	21.20±0.61
	빗물세탁	94.19±0.43	1.78±0.15	-7.55±0.66	9.31±0.35
	수돗물세탁	94.20±0.58	1.57±0.04	-7.84±0.48	9.53±0.07
오염물 -토마토 주스	오염물시편	73.09±2.05	19.89±1.17	22.95±1.96	40.36±2.90
	빗물세탁	93.25±0.33	2.66±0.02	-6.70±1.67	9.52±0.90
	수돗물세탁	92.82±0.65	3.07±0.27	-9.16±0.36	11.66±0.18
오염물 -포도 주스	오염물시편	59.39±1.69	19.25±0.24	-5.68±0.19	44.85±1.52
	빗물세탁	84.97±0.82	1.52±0.16	-6.17±0.32	15.77±0.75
	수돗물 세탁	86.10±0.81	1.90±0.01	-6.63±0.19	14.98±0.69

위의 표 3.32는 2017년 1월의 청정빗물 시료로 세탁용수 평가를 한 후 색차계로 분석한 값을 나타낸 표이다. 오염물시편은 대조시편에 오염물로 오염시켜 세탁을 하기 전 상태의 시편을 말하고 오염물시편을 빗물로 세탁한 시편과 수돗물로 세탁한 시편으로 구분하여 색차계로 분석하였다.

오염물시편의 명도와 채도를 보면 대조시편과 비교하였을 때 명확히 구분되는 것을 알 수 있다. 오염물은 오렌지, 토마토, 포도 주스를 사용하였으며 액체 오염물의 유동성으로 인한 분석오차를 최소화하기 위해 24시간 동안 자연건조를 한 후 분석하였다.

오염물시편의 분석 결과, 오렌지>토마토>포도 주스 순서로 명도가 밝게 나타났고 육안으로 관찰했을 때 노란색에 가까운 오렌지 주스는 a값이 -0.21 ± 0.07 , b값이 18.87 ± 0.77 으로 나와 노란색의 수치가 높게 나왔고 토마토 주스는 a값이 19.89 ± 1.17 , b값이 22.95 ± 1.96 으로 나와 노란색과 붉은색이 섞인 색으로 나타났으며 포도 주스는 a*값이 19.25 ± 0.24 , b*값이 -5.68 ± 0.19 으로 붉은색과 파란색이 섞인 색으로 나타났다.

오염물시편에 세제 5g을 넣고 빗물과 수돗물로 세척한 후에 분석한 결과를 보면 전체적으로 L^* 이 높아져 명도가 밝아진 것을 알 수 있고 채도를 나타내는 a^* , b^* 값이 무색을 나타내는 0에 가까워지는 것을 볼 수 있다. 하지만 수돗물과 빗물을 세탁용수로 사용했을 때의 차이는 크지 않았다.

오렌지 주스를 오염물로 사용한 경우에는 거의 유사한 수치의 명도와 채도를 나타냈고 토마토 주스를 오염물로 사용한 경우와 포도 주스를 오염물로 사용한 경우에는 빗물을 세탁용수로 사용했을 때보다 수돗물을 세탁용수로 사용했을 때 명도와 채도가 대조시편에 근사한 수치를 나타내어 상대적으로 높은 세탁효과를 나타냈다.

세탁에 사용된 세제는 일반적으로 연수에서 잘 용해되기 때문에 경도가 낮은 빗물에서 잘 용해되어 수돗물을 세탁용수로 사용한 경우와 유사한 세탁효과를 나타낸 것으로 판단된다. 상대적으로 수돗물의 세탁효과가 높지만 매우 근소한 차이이므로 빗물을 세탁용수로 사용하는 것은 적합한 것으로 판단된다.

표. 3.33 색차계 분석 결과(2017년 4월 시료)

분석항목		L^*	a^*	b^*	ΔE
대조시편		94.69 ± 0.03	2.10 ± 0.01	-11.58 ± 0.07	12.49 ± 0.06
오염물 -오렌지 주스	오염물시편	89.46 ± 0.33	1.76 ± 0.13	2.61 ± 0.21	10.28 ± 0.3
	빗물세탁	91.84 ± 0.53	2.12 ± 0.07	-7.75 ± 0.49	10.83 ± 0.11
	수돗물세탁	93.49 ± 0.36	2.08 ± 0.12	-9.37 ± 0.26	11.08 ± 0.04
오염물 -토마토 주스	오염물시편	66.03 ± 2.60	14.96 ± 1.00	18.20 ± 0.68	40.81 ± 2.29
	빗물세탁	92.15 ± 0.16	1.74 ± 0.15	-5.96 ± 0.31	9.32 ± 0.32
	수돗물세탁	92.32 ± 0.17	1.33 ± 0.40	-2.42 ± 1.96	7.55 ± 0.39
오염물 -포도 주스	오염물시편	55.72 ± 0.65	15.08 ± 0.08	-4.87 ± 0.23	46.29 ± 0.61
	빗물세탁	71.68 ± 1.05	1.34 ± 0.02	-3.43 ± 0.52	27.74 ± 0.98
	수돗물세탁	71.30 ± 1.61	1.90 ± 0.03	-4.86 ± 0.57	28.36 ± 1.49

위의 표 3.33는 2017년 4월의 청정빗물로 세탁용수 평가를 한 후 색차계 분석 결과를 나타낸 표이다. 오염물시편의 분석 결과, 1월에 분석한 오염물시편에 비해 오염물의 염색이 약하게 된 것을 알 수 있다. 명도를 나타내는 L^* 값이 1월에 분석한 오염물시편보다 다소 높게 나타났으며 색도를 나타내는 a^* , b^* 값도 1월의 시편에 비해 큰 차이를 나타내지 않았다.

4월의 오염물시편을 빗물과 수돗물로 각각 세탁하였을 때, 토마토 주스로 오염된 시편은 빗물을 세탁용수로 사용했을 때 세척력이 더 높게 나타났고 오렌지 주스와 포도 주스로 오염된 시편은 빗물과 수돗물의 세척력 차이가 미미하여 유사한 세척력을 나타내었다.

세척을 위해 투입한 5g의 계면활성제 세제는 경도에 따라 활성화 정도가 달라지는데 일반적으로 경도가 낮은 연수에서 잘 용해되어 높은 세척력을 가지는 것으로 알려져 있다. 수돗물과 빗물 모두 경도가 낮은 연수이기 때문에 세제가 잘 용해되어 유사한 세척력을 가지는 것으로 판단된다.

마. 청정빗물집수장치 집수 빗물의 화장실용수 평가

청정빗물집수장치 집수 빗물의 화장실용수 상용 적합성 평가를 위해 소변기의 검댕 생성 여부를 조사, 연구하였다.

검댕의 구성성분은 탄화수소로 연소의 과정에서 발생하는 검은 입자성 물질을 말한다. 일본 스미다구의 빗물집수장치에서 집수된 빗물의 화장실 용수 사용 시 발생한 사례를 바탕으로 본 집수장치의 빗물을 화장실 용수로 사용할 경우에도 동일한 현상이 발생하는지 확인하고자 화장실 용수 평가를 실시하였다.

(1) 청정빗물집수장치 집수 빗물의 화장실용수 평가

검댕을 명확하게 판별할 수 있는 분석법이 없어 장기간동안 빗물이 화장실 용수로 사용되는 화장실의 소변기를 육안으로 관찰하는 관능적 평가를 수행하였다.

청정빗물집수장치를 현장설치한 후 빗물을 화장실 용수로 사용하기 시작한 2016년 7월부터 2017년 5월까지 약 1년간 관찰한 결과에서는 육안으로 검댕으로 인한 얼룩의 형성을 관찰할 수 없었다.

검댕의 주요성분이 탄화수소임을 이용하여 LC-MS로 빗물에 탄화수소 성분이 존재하는지 분석해보았다.

아래 표 3.36은 LC-MS로 본 연구를 통해 개발되어 함안에 신규 설치된 청정빗물집수장치와 창원대학교 옥상에 설치되어 있는 집수형 빗물집수장치에서 2017년 4월 17일, 4월 28일에 채수한 시료를 분석한 결과이다.

창원대 옥상의 단순집수형 방식 집수장치에서 채수한 시료에는 Propoxur, Epitestosterone, Benzophenone, Apocodeine 등이 검출되었으며, 태양광 발전 기반의 초기우수 배제형 청정빗물집수장치의 빗물에서는 Tranexamic acid 만이 검출되었다. 창원대 옥상의 시료와 청정빗물에서 검출된 미량오염물질들은 모두 검댕의 성분으로 판단하기는 어려우며 농도가 매우 미량이라 실제 측정하기도 어렵기 때문에 검댕에 의한 얼룩의 형성 여부는 장기간의 육안에 의한 관찰이 필요하였다.

표. 3.34 LC-MS를 통한 빗물의 분석결과

Date Site	2017. 4. 17.	2017. 4. 27.
Catchment type	• Propoxur • Epitestosterone	• Benzophenone • Apocodeine
Clean rainwater harvesting system	• Tranexamic acid	

그림 3.17와 3.18에서 빗물집수장치를 설치한 2016. 6월부터 최근 2017. 5월까지 약 1년간 함안의 청정빗물집수장치에서 집수된 빗물을 화장실 용수로 사용한 소변기에서 검댕에 의한 얼룩이 관찰되지 않았으며, 검댕에 의한 착색이 진행되지 않고 깨끗하게 유지됨을 알 수 있었다.



그림 3.17 2016년 7월 소변기



그림 3.18 2017년 5월 소변기 (검댕에 의한 얼룩 형성 안 됨)

5. 현장적용 및 시험을 위한 Test-bed 구축

가. 청정빗물집수장치 설치현장 기상청 기상자료

창원시 지역은 연평균 기온은 지난 2006년부터 2016년 까지 10년 동안 15℃, 연평균 강수량은 1,505mm이며, 연간 최소 강수량은 1,020mm, 최고 강수량은 1,892mm이다. 안정적인 빗물이용 시스템의 설계 및 운영을 위하여 본 청정빗물집수장치의 용수공급원인 강우 발생 특성을 분석하였다.

청정빗물집수장치가 설치되어 있는 창원지역의 지난 10년간 기상청 자료를 분석하였다. 2006년부터 2016년 까지 10년 동안 월 강수량과 월 평균 강수량을 조사하였다. 창원시의 강우 패턴은 봄철에는 강우량이 적어 가뭄이 발생할 위험이 크고, 여름철에 6월~8월 사이 강우량이 증가하여 홍수 발생의 위험이 증가하고 있다. 따라서 청정빗물집수장치와 같은 빗물이용시설의 설치는 경제적인 효과뿐만 아니라 재해예방 차원에서도 효과적인 대안이 될 수 있다.

표 3.35 창원지역 10년간 월 강수량(2006~2016)

월 합계 강수량 (2006~2017)												(Unit: mm)
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
2006년	23.9	34.0	18.1	147.1	284.9	231.2	600.1	153.5	122.5	35.0	30.2	12.0
2007년	4.0	75.5	121.1	51.0	132.0	105.6	265.5	286.8	303.6	105.2	0	46.9
2008년	42.1	10.5	50.2	78.5	150.5	309.1	161.4	133.8	32.9	30.5	15.5	5.5
2009년	10.5	62.0	78.5	127.5	171.0	296.0	818.6	132.4	33.1	64.0	51.2	21.1
2010년	61.0	146.6	137.2	163	229.0	71.9	375.6	214.8	262.5	67.5	16.0	21.8
2011년	0	74.7	26.9	149.6	147.0	238.0	414.1	198.5	27.9	91.5	141.2	4.6
2012년	5.2	11.0	101.4	217.4	39.9	78.9	334.6	329.6	269.0	37.0	56.2	79.2
2013년	13.7	71.2	84.9	90.5	222.4	148.5	190.1	82.3	58.5	83.2	59.6	5.1
2014년	5.7	20.0	152.5	102.9	106.5	45.1	149.2	665.9	109.8	101.0	51.5	15.7
2015년	33.4	31.0	69.5	196.3	134.0	77.0	197.5	116.7	88.9	40.2	85.2	41.0
2016년	40.5	73.1	81.6	263.0	123.7	108.8	181.8	110.0	522.7	215.8	35.1	136.8
월 평균 합계	21.8	55.4	83.8	144.3	158.3	155.5	335.3	220.4	166.5	79.2	49.2	35.4

(자료: 기상청 홈페이지)

표 3.36 창원지역 10년간 월 평균 강수량(2006~2016)

월 평균 강수량 (2006~2017)												(Unit: mm)
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
2006년	4.8	3.4	3.0	12.3	20.4	19.3	26.1	15.4	13.6	8.8	5.0	2.4
2007년	0.7	15.1	11.0	7.3	14.7	7.0	17.7	15.1	16.9	10.5	0	5.9
2008년	6.0	5.3	5.6	8.7	16.7	17.2	12.4	13.4	3.0	10.2	2.2	1.1
2009년	1.5	5.2	8.7	11.6	19.0	29.6	40.9	14.7	2.8	16.0	8.5	3.5
2010년	15.3	14.7	9.8	11.6	28.6	8.0	20.9	16.5	21.9	11.3	16.0	3.6
2011년	0	9.3	6.7	15.0	11.3	21.6	25.9	14.2	5.6	13.1	11.8	1.2
2012년	0.9	1.6	9.2	19.8	3.1	9.9	23.9	20.6	24.5	18.5	7.0	7.9
2013년	3.4	8.9	10.6	9.1	31.8	14.9	14.6	7.5	7.3	13.9	6.6	1.0
2014년	1.4	2.5	13.9	11.4	10.7	3.0	7.5	30.3	12.2	16.8	7.4	1.4
2015년	3.0	5.2	11.6	12.3	14.9	5.5	12.3	10.6	7.4	13.4	4.7	3.7
2016년	5.8	10.5	7.4	18.8	9.5	7.8	14.0	10.0	29.0	14.4	3.9	19.5
월 평균 평균	3.9	7.4	8.9	12.5	16.4	13.1	19.7	15.3	13.1	13.3	6.7	4.7

(자료 : 기상청 홈페이지)

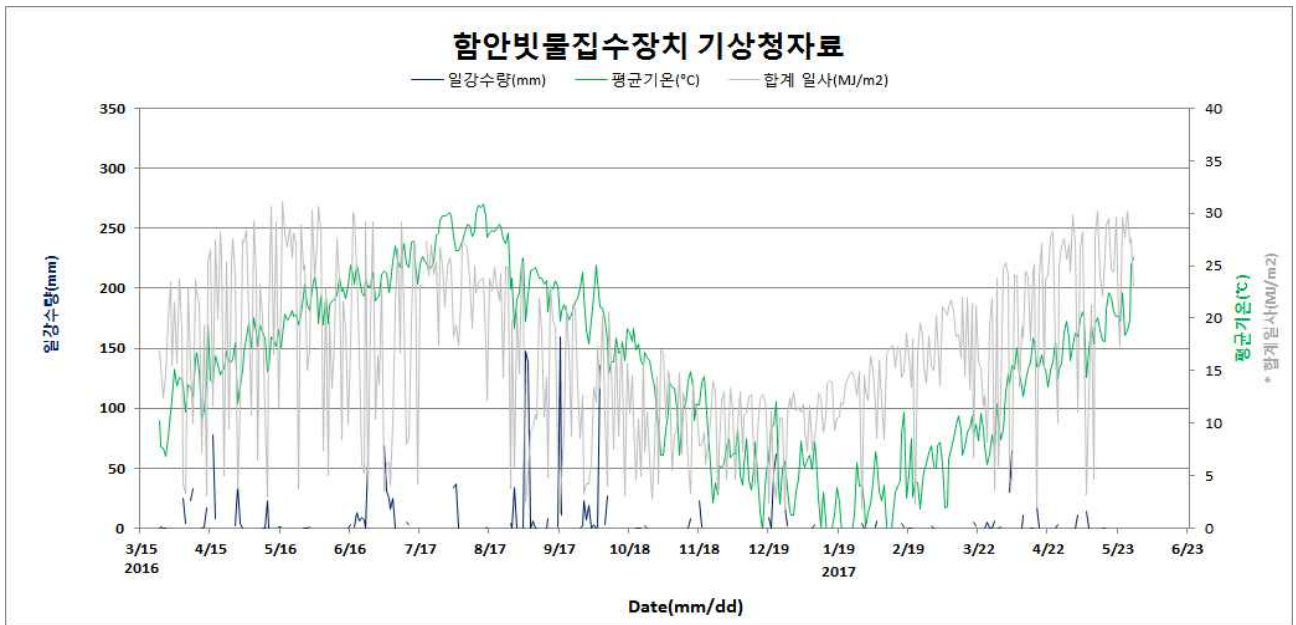


그림 3.19 창원시 기상청 자료 (2016.03~2017.06)

(자료 : 기상청 홈페이지)

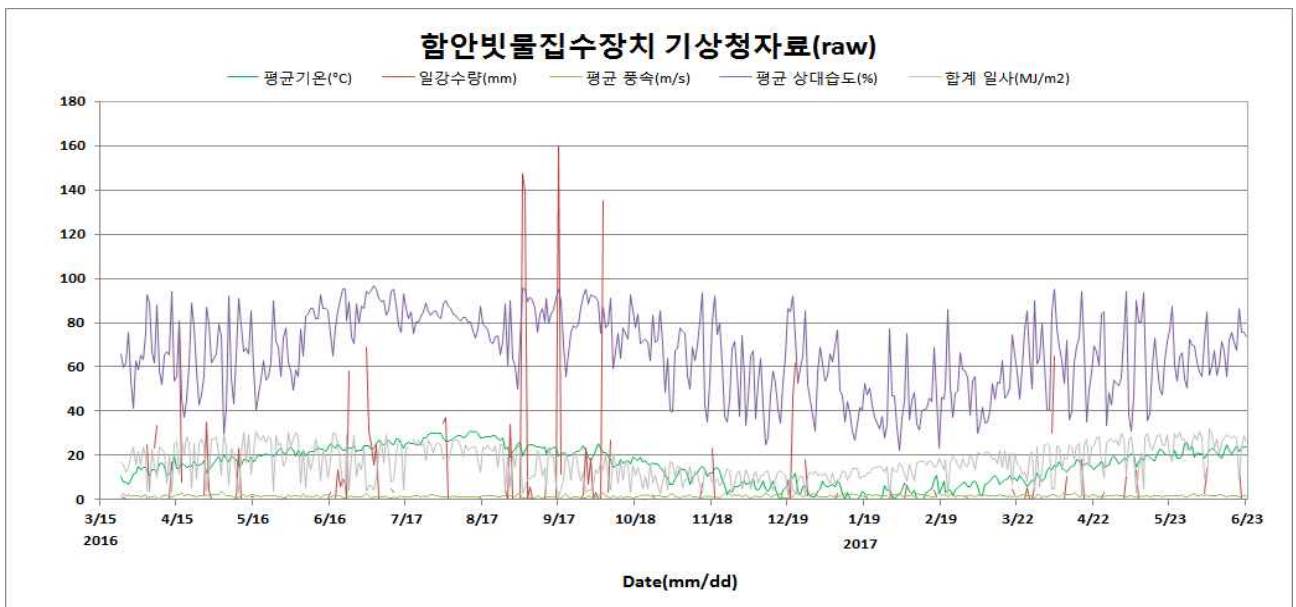


그림 3.20 창원시 기상청 기초 자료(2016.03~2017.06)

(자료 : 기상청 홈페이지)

창원지역에서 기상 관측된 자료를 이용하여 2016년 3월부터 2017년 6월까지의 기상자료 분석 결과를 그림 3.19와 그림 3.20에 나타내었다. 청정빗물집수장치가 운영된 지난 약 1년 3개월 간 창원시 강우의 특성을 분석한 결과, 월별 강우의 발생 횟수는 총 111회(일), 월 평균 7회(일)로 나타났다 그러나 실제 강우량을 분석한 결과, 총 1,666mm로 적은 양의 강우가 내린 것으로 분석되었다.

또한 계절별 강우 횟수를 분석한 결과, 봄(3~5월)에는 21회(일), 여름(6~8월) 27회(일), 가을(9~11월) 27회(일), 겨울(12~2월)에는 15회(일)로 나타났다. 또한 계절별 강우 평균을 분석한 결과, 봄(3~5월)에는 12.8mm, 여름(6~8월) 16.44mm, 가을(9~11월) 23.7mm, 겨울(12~2월)에는 10.8mm로 나타났다. 연구기간 동안 창원지역의 총 강우 횟수는 111회, 총 강우 평균은 14mm로 나타났다.

나. 청정빗물집수장치 현장 모니터링 데이터 분석

1년 이상 설치 운영한 함안의 청정빗물집수장치의 측정 데이터를 분석하여 현장 장기운동을 통한 설치, 운영 효과를 분석하였다.

데이터 분석 기간은 함안 청정빗물집수장치가 설치 완료된 2016년 3월 16일부터 과제종료 일인 2017년 6월 23일까지 운영 가동자료를 대상으로 하였으며, 이에 대한 경향은 아래의 그림 3.21에서 나타내었다.

모니터링 기간 동안의 태양광발전량을 분석한 결과 일평균 당일 발전량은 약 9kWh, 총 누적 발전량은 3,591kWh로 나타났다.

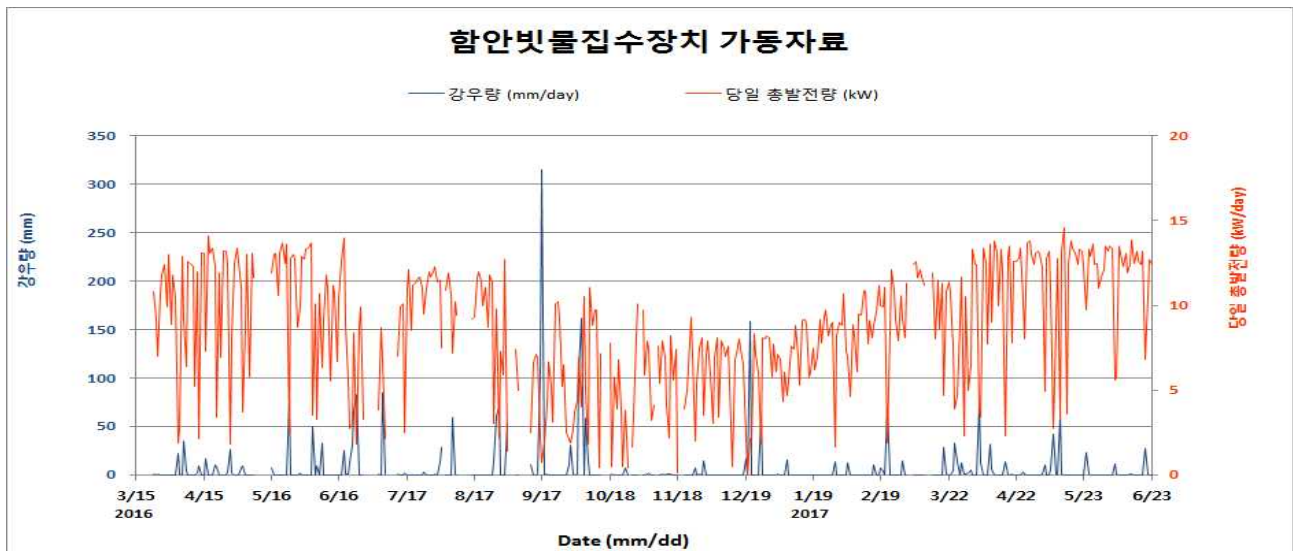


그림 3.21 함안빗물집수장치의 강우량, 당일 총발전량 가동자료(2016.03~2017.06)

운영기간 동안 총 강우량은 2,854mm이고 비가 온 날의 강우량을 기준으로 하여 분석한 결과, 일평균 강우량은 5.0mm로 나타났다. 기간 중 총 빗물사용량은 10,291L, 총 수도물사용량은 61,096L로 총 물사용량은 71,387L로 전체 물사용량 중에 빗물사용량이 14%, 수도물사용량이 86%로 수도물사용량의 절약 효과를 가져왔다.

빗물집수장치의 운영기간 동안 가동자료의 최대저류수위를 분석한 결과 최대저류수위 평균은 441mm/day였으며, 최대값은 1,490mm/day로 3ton 저류조 용량의 1/2 수준이었다.

청정빗물집수장치의 빗물 집수량을 산정한 결과, 일일 평균 집수량은 95.3L/day, 총 집수량은 10,765L/day로 나타났다.

표. 3.37 청정빗물집수장치 운영 결과

구분	분석 값	비 고
일평균 당일 발전량 (kW/day)	9	
총누적 발전량 (kW)	3,591	
총 빗물사용량 (L)	10,291	총 물사용량의 14%
총 수도물사용량 (L)	61,096	총 물사용량의 86%
총 물사용량 (L)	71,387	
평균 빗물저류수위 (mm/day)	441	
최대 빗물저류수위 (mm/day)	1,490	

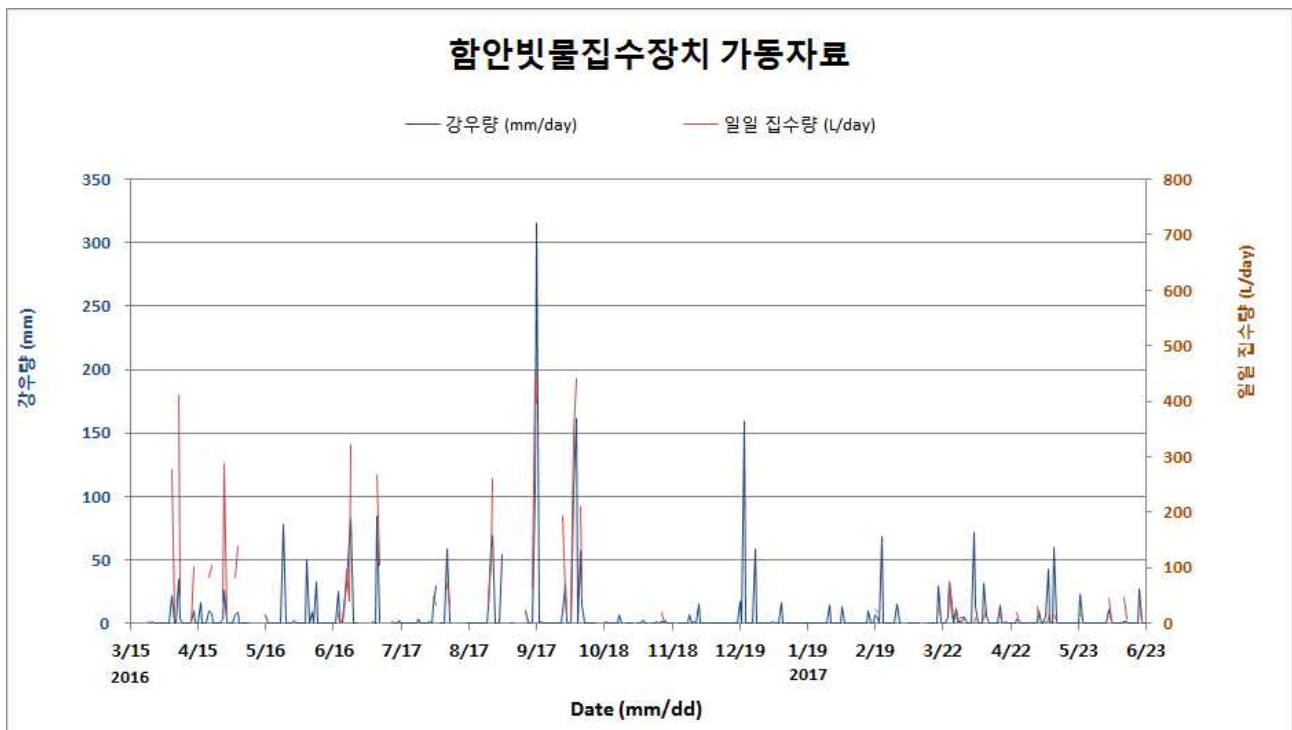


그림 3.22 강우량 및 함안빗물집수장치의 일일 집수량 가동자료(2016.03~2017.06)

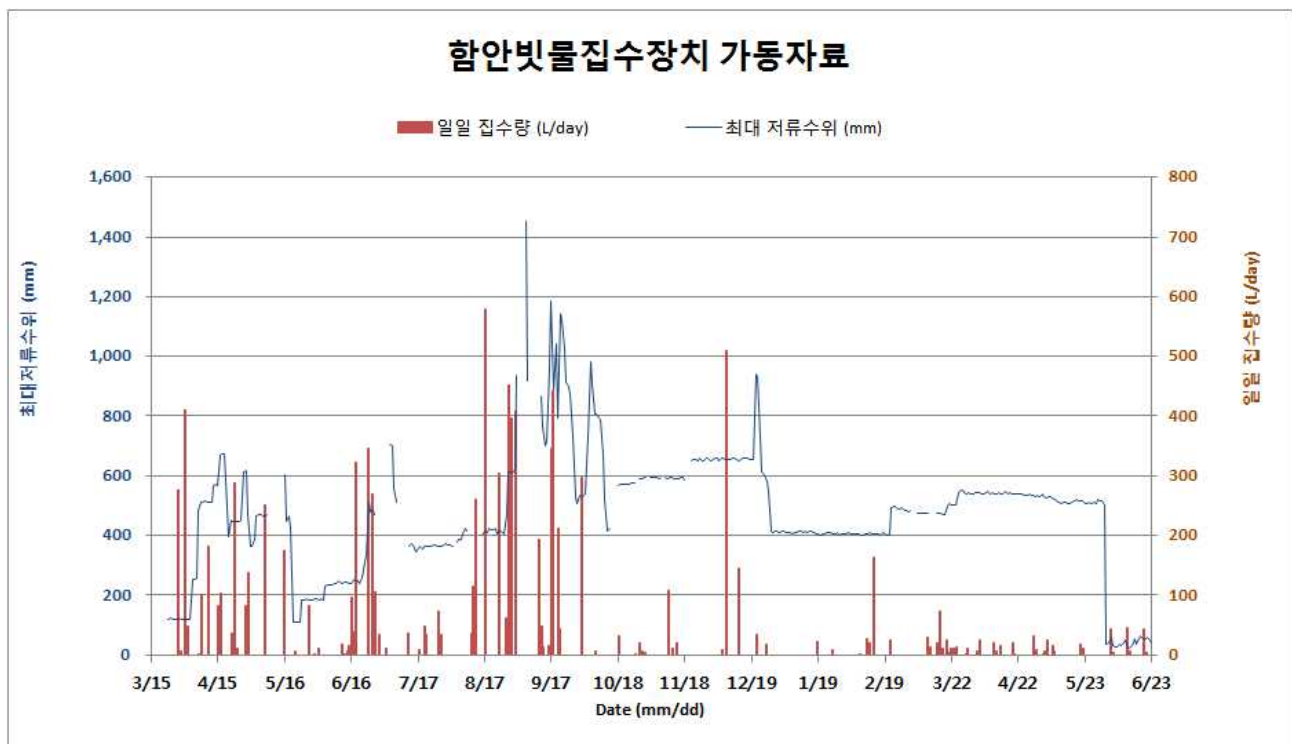


그림 3.23 함안빗물집수장치의 최대저류수위, 일일 집수량 가동자료(2016.03~2017.06)

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

연차	연구목표	주요 연구내용	달성도(%)
1차년도	초기우수 배제가 가능한 저전력 청정빗물집수장치 개발	관련 연구, 기술 및 특허 분석	100
		슬라이딩 방식의 집수면 보호 커버 및 전동개폐 장치 설계 및 제작	100
		빗물집수를 위한 집수면 제작	100
		2kW 발전이 가능한 태양광 모듈 시스템 개발	100
		강우사상 계측시스템 설계 및 제작	100
	운영 및 유지관리를 위한 자동제어시스템 개발	프로세스 제어시스템 설계 및 제작	100
	원격모니터링 시스템 개발	빗물관리를 위한 운영 프로그램 설계 및 제작	100
	적용성 평가를 위한 Test-bed 선정	Test-bed 협의 및 선정	100
		현장 설치, 시운전 및 운영	100
	빗물수질특성 연구 및 평가	초기우수 및 집수된 빗물의 수질특성 평가	100
		일반 세균 검출 여부, 고상 소독제를 이용한 살균력 실험	100
2차년도	현장적용 및 시험을 위한 Test-bed 구축	현장 Test-bed에 청정빗물집수장치 설치 및 운영	100
	자동제어시스템 보완	현장 적용성 평가를 통한 시스템 개선	100
	원격모니터링시스템 보완	운영 프로그램 보완 및 수정	100
		안드로이드 기반 스마트폰 어플리케이션 개발	100
	청정빗물집수장치의 집수 빗물의 화장실용수 및 세탁용수 수질평가	화장실 용수 수질분석 및 평가	100
		세탁용수 수질분석 및 평가	100
		검댕에 의한 소변 얼룩 발생여부 검토	100

2. 관련 분야 기여도

가. 학술지 게재 및 학술발표 실적

- 김성곤, 이택순, 김용철, 한치복, 2016, 빗물 집수방식 차이에 따른 받은 빗물 수질특성 분석, 한국수처리학회지, Vol.24, No2, pp.89-99.
- 김용철, 이택순, 한치복, 전숙례, 박주현, 2017, 태양광 발전 기반 초기빗물배제형 빗물집수 장치의 발전량 및 수질특성, Vol.25, No.2, pp.83-91.
- 김용철, 김성곤, 이택순, 한치복, 전숙례, 박주현, 2016, 태양광 발전 기반의 융합형 청정빗물집수장치의 수질특성, 한국물환경학회 포스터 초록.

나. 연구성과

항목	산업체 기술이전	지식재산권 출원		지식재산권 등록		학술지 게재				학술지 발표	
		국내	국외	국내	국외	국내		국외		국내	국외
						SCI	비SCI	SCI	비SCI		
건수		1		3			2			1	

○ 지식재산권 출원

- 태양광 모듈로 자가발전이 가능하고, 초기우수를 용이하게 배제할 수 있는 자동 제어 방식의 청정 우수 집수 시스템, 제10-2016-0038729호

○ 지식재산권 등록

- 태양광 모듈로 자가발전이 가능하고, 초기우수를 용이하게 배제할 수 있는 자동 제어 방식의 청정 우수 집수 시스템, 제10-1644515호
- 청정빗물집수장치 모니터링 프로그램, 제C-2016-008985호
- 스마트 청정빗물집수장치, 제C-2017-014351호

항목	기존제품 개선	신제품 개발	기존공정 개선	신공정 개발	지침(안)	데이터 베이스	매뉴얼	기타
건수		1					1	2

- 제품 개발 - 청정빗물집수장치 국산화 완료
- 매뉴얼 - 사용자 운영 매뉴얼 제작 완료
- 제11회 대한민국 녹색에너지 우수기업 대상 수상(2017. 05. 12.)
- 조달청 물품등록 - 계장제어장치 ECO WATCH DM-RWCS-01

○ 성과물 사양

장치명	청정빗물집수시스템
모 델	ECO::WATCH Clean Rainwater Collecting System
규 격	6,630(L) x 4,600(W) x 2,520(H)mm
태양광 전력 생산량	3.0 kW
강우 센서 시스템	초기우수시 10분 또는 3L 집수 후 청정한 빗물 집수
스마트폰 앱	기상정보, 수질일반항목 측정자료, 청정빗물집수장치 현장 구동상황 등을 실시간으로 스마트폰으로 확인할 수 있도록 구현
기능	- 별도 전처리 설비 필요 없음 - 외부환경에 내구성 강한 재질로 제작 - 자동화 시스템으로 별도의 유지관리 인력 필요 없음 - 총 전력생산량, 총 빗물 집수량, 총 빗물 사용량 등 모니 터링 가능
1차 시제품 (함안 설치/운영)	
2차 시제품 (창원 설치/운영)	

제5장. 연구개발성과의 활용계획

1. 활용방안

본 연구개발에서 제시하고 있는 태양광 발전 기반의 청정빗물집수장치 설계 및 운영관리기술은 빗물이용시설에 대한 체계적인 시설도입을 유도하여 대상시설을 확대하는데 일조할 수 있으며, 적용처에 특화된 빗물이용시설 공급을 위한 근거자료로 활용할 수 있다.

“물 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률”에 의거하여 시행될 국가 물 재이용 기본계획(10개년)에서 빗물이용, 중수, 하수처리수 재이용 분야에 대해 약 4조 이상의 예산이 반영될 예정이며, 본 연구결과가 빗물과 관련한 분야 발전에 일조할 것으로 판단된다. 또한 정부 및 지방자치단체 공공청사 등의 시설도입을 위한 설계, 유지관리 기준 및 적용 대상에 특화된 빗물이용시설 제품 개발을 위한 근거자료로 활용 가능하다.

제도적 개선을 통한 구체적 보급 방안이 필요하며, 현행 빗물이용시설 관련 제도 및 지침은 일정 규모, 면적 등에 따라 설치 및 지원하고 서울시에 비해 빗물이용시설의 규모가 더욱 영세한 기타 시·도의 경우에는 빗물이용시설에 의한 용수공급량의 기여도가 미미한 실정이다. 그러므로 도시 및 기타 시·도 지역에 보다 많은 빗물이용시설의 공급을 위하여 위 관련 법률 및 지침에서 언급한 일정 규모, 면적 등에 따라 지원하는 내용을 소형 빗물이용시설로 까지 확대 적용 및 지원할 수 있게 관련법 개선을 위한 입법 의견을 관련 유관기관 및 부처에 지속적으로 제안하여 본 연구개발의 성과물인 청정빗물집수장치의 전국적으로 보급이 될 수 있도록 하고자 한다. 또한 신재생 에너지 지원과 빗물이용 지원에 대한 지원제도를 적극 활용하여 판로 개척 및 보급이 될 수 있도록 할 예정이다.

청정빗물집수장치의 실용화 및 보급가능성을 높이기 위해 시설 설비 투자의 타당성 검토 및 수요 시장의 변화 분석을 통하여 최근 국내 경기 부진 및 건설 산업의 침체로 인하여 수요 시장 위축으로 주문 생산 방식의 특성을 가진 본 산업은 경기 및 건설 경기에 민감하게 반응한다. 따라서 초기 시장은 본 과제의 참여기업인 원광건설(주)의 신규 건설 건물에 우선적으로 공급하여 시장의 수요와 변화를 파악하여 시설 설비 투자를 할 계획에 있다.

본 연구진의 선행연구에서 장치 제작을 통한 축적된 경험과 기술을 기반으로 초기 제품생산에는 핵심기술부분인 전기, 전자 제어반은 자체 생산하고, 구동부 및 빗물집수조 등은 관련 분야의 실적과 제작 경험이 풍부하며 품질관리가 가능한 외주 협력 전문업체를 통해 제작하고, 빗물집수장치의 운영 프로그램은 원격제어 기능과 스마트폰에 연동하여 구동할 수 있는 시스템으로 자체 개발하여 생산설비·시설 투자 및 전문소프트웨어 구입에 드는 비용을 절감, 제품 단가를 낮추어 보급 가능성을 높이고 제품의 가격경쟁력과 매출이익을 증대시키고자 한다.

또한 본 주관기관은 장치 및 설비 생산이 가능한 자체 공장을 별도 보유하고 있어 향후 해외시장의 진출 가능성과 시장 확대에 따른 경제성 분석 후 공장에 관련 생산라인 확대 구축을 검토할 예정이다.

표 5.1 향후 적용될 기술 수요 및 적용처(공급처)

기술 수요	적용처
● 국내외 도시계획 설계 업체 ● 국내외 조경 설계 업체 ● 국내외 빗물처리 및 빗물이용시설 설치 기업 ● 국내외 환경 전문 기업 ● 국내외 건설 업체 ● 본 과제 참여기업(원광건설) ● 공공기관 ● 민간기관 ● 탄소포인트 제도를 시행하고 있는 전국 209개 지자체의 탄소포인트를 받는 개인	● 발생원 강우관리 ● 녹색 건설교통 설계 및 시공 ● 친환경 물순환 도시 조성 ● 빗물 활용시설 조성 ● 건물 생활용수 활용 ● 본 과제의 참여기업인 원광건설(주)이 건설하는 신규 빌딩에 설치 ● 학교, 관공서, 주민센터, 병원 등 ● 지자체 주거환경 개선사업과 연계하여 단독주택, 빌라, 아파트 등 ● 개인 단독주택 및 빌라 등

2. 기대효과

가. 기술적 측면

기존 빗물활용 개념은 강하 빗물을 단순 집수하여 별도의 정수과정을 거친 후 사용하는 방식이었으나, 본 시스템은 별도의 정수장치 없이 초기우수를 자동 강수 계측시스템으로 효율적 배제하여 청정빗물을 집수하여 사용이 가능하도록 하여, 국내 용수 및 건축물 특성에 적합한 기준을 마련하여 체계적인 빗물이용시설 도입 및 유도를 기대할 수 있다. 또한 운영 및 유지관리 세부지침을 통해 빗물이용 효율을 제고할 수 있을 것으로 기대한다.

나. 경제적·산업적 측면

기존 빗물집수장치는 초기강우의 오염물질 배제를 위한 빗물 전처리장치 설치로 제품의 판매단가가 높아지고, 운전 시에는 소모품 및 운전인력이 필요하여 과다한 유지관리 비용이 문제되었으나, 이러한 문제점을 해결하여 사용자가 접근성이 용이하다.

빗물이용을 통해 상수 등 대체용수 생산비용(댐 및 상하수도 시설 등) 절감, 빗물이용 수요를 확대함으로써 설계 용역 분야, 제품 생산 및 시공 분야, 모니터링 및 품질관리 분야의 고용확대가 예상된다. 또한 빗물이용은 대기업 보다는 중소기업 위주의 전문회사가 많기 때문에 산업기반 육성을 통한 일자리 창출 효과가 매우 클 것으로 판단된다.

다. 사회적 측면

빗물이용 대상시설 확대를 통해 물 절약을 유도하고, 보조 수자원을 확보하여 물 부족 해소에 기여하고, 호우 시 빗물 저장을 통해 통수 능력이 부족한 지역의 침수피해 방지할 수 있다.

생태용수 등 빗물 활용을 통해 증발산을 유도하여 도시 열섬현상 및 물순환 개선 유도가 가능하고 빗물이용을 통한 도시지역 환경성을 개선할 수 있을 것으로 기대한다.

3. 사업화 방안

가. 법적 제한 요소의 해결 방안 마련

Test-bed 설치 결과, 향후 복합 공종(토목, 전기, 건축, 기계 등)에 대한 특별한 법적 제한 요소는 없는 것으로 생각되나, 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」의 법 시행규칙 제4조 빗물이용시설의 시설기준·관리기준에 적합하게 설치하고, 환경부의 「물 재이용시설 설계 및 유지관리 가이드라인」(2013) 및 국토교통부의 「물 재이용시설 설치관리 통합가이드북」(2011)을 준용하여 법적인 규정에 적합하게 설계 및 제작, 설치, 관리하도록 할 것이다.

각 공종별 고려 사항은 다음과 같다.

표 5.2. 복합공정에 따른 각 공정별 고려 사항

구 분	각 공정별 고려 사항	비고
토목	.설계단계에서 적용하여 허가에 반영	
건축	.설계단계에서 적용하여 허가에 반영 .구조계산, 외부조형물 심의 등 사전심의	
전기	.설계 단계에서 적용하여 허가에 반영 .인터넷 등 원격에 따른 사전반영 (전용선) .한전과의 사전 협의 (태양광발전)	
기계	.설계단계에서 적용하여 허가에 반영 .상수도와의 내부 배관작업 연계	

나. 시장 확장성과 경제성 확보를 위한 전략적 방안

향후 국내외 사용처 발굴 및 시장 확장성은 단기 및 장기, 부문별 사업 전략으로 나누어 진행할 것이다. 경제성 확보를 위해서는 현장 맞춤형 시스템 제안으로 경쟁력을 확보할 것이다.

○ 단기전략

1) 신축건물 설치 : 건설 시장

- 참여기업간 역할 분담 :

동문이엔티(주): 제작, 공급, 설치

원광건설(주): 영업 및 공사 수주 시 item 반영

2) 국내외 엔지니어링 및 설계사 영업, 신규 설계시 설계단계에 반영

3) 조달청 제품 등록 공공 입찰 및 수주 : 조달청 제품등록 완료

○ 장기전략

1) 정책제안: 빗물이용시설의 인정 폭 확대

2) 주민센터 등 소규모 공공기관 신축 시장 공략

3) 공공주차장 태양광 시설 적용

4) 도서지방 등 물부족 지역 활용 제안

5) 환경 교육 연계 공공 제안사업

- 친환경 에너지교육, 옥상텃밭가꾸기 등 환경 생태교육과 연계, 교육청, 학교 등 공공시설에 환경 교육용 시스템 제안

○ 부문별 전략

1) 조달청 공공 입찰 : 조달청 제품등록 완료, 기술실시 계약 후 본격 영업

2) 공공기업, 교육청 : 지역사회의 제품 홍보 및 소개

기술실시계약 후 본격적 사업화

3) 대규모 유통시설 : 설치실적, 특허, 조달청 등록으로 사업화 개시

4) 민간 건축물 : 설치실적, 특허, 조달청 등록으로 사업화 개시

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

<방문지: 독일(하노버) >

- 독일 하노버 국제 산업 박람회
 - WATERKOTTE 업체 부스 방문 및 회의
 - Fachbereich Umwelt und Stadtgrun der Landeshauptstadt Hannover 방문 및 회의

<귀국보고 내용>

1. 독일 하노버 국제 산업 박람회 참관
 - 유럽(독일)의 빗물집수이용 시설 및 시스템 파악
 - 태양광을 이용한 빗물집수시스템 기술 및 시스템(WATERKOTTE)
2. 독일의 빗물관리 계획 및 전략
3. 독일 하노버 지역 빗물관리 센터 탐방
4. 기타 지역 탐방(The primary school, The community Centre)

<입수 자료>

1. Water Concept Kronsberg(Part of the EXPO project)
 - Ecological Optimisation Kronsberg
2. Nature Conservation, Recreation and Agriculture on the Urban Margins
3. Green Oval CD

□ 출장 목적

- 『2kW 태양광 발전 기반의 슬라이드 자동개폐장치를 이용한 청정빗물집수장치 개발』 과제의 1차년도 연구성과를 향상시키기 위하여 독일 하노버 국제 산업 박람회를 참관 및 독일 하노버 지역의 빗물관리 센터를 방문하여 유럽의 빗물집수장치 기술, 시스템 및 독일의 빗물관리 관련 정책 방향을 확인함.
- 이번 독일 방문에서는 국제 산업 박람회를 참관하여 독일을 포함한 유럽의 빗물관리 기술 동향 및 시스템 파악을 통하여 해외 실무 기술 중심으로 살펴봄으로써, 본 과제의 태양광을 이용한 청정빗물집수장치에 대한 연구목표 달성도를 높임.
- 또한 독일 하노버 지역의 빗물관리 센터를 방문하여 독일의 빗물관리 현황 및 정책 방향을 분석하여 청정빗물집수장치 개발에 적용가능한 방안을 모색하고자 하였음.

□ 출장 결과

1. 유럽(독일)의 빗물이용 기술 및 시스템 동향

- 선진국의 물관리 시스템이 다변화되고 있고, 에너지 사용량이 많은 집중형 시스템 대신 분산형 물공급 시스템을 도입하는 경우가 늘고 있음. 유럽 등지에서는 빗물을 재활용하는 시스템이 많이 보급되어 있음.
- 유럽은 집중형 시스템이 유발할 수 있는 각종 위험을 피하기 위해 빗물, 지하수 이용 등 수원을 다양화하고 있고, 수원의 다변화, 빗물 이용에 주목하고 있음.
- 영국
 - 영국의 빗물이용 물소비 절감률은 30% 정도에 달함.
 - 지속가능성을 강조해 물이용 시 빗물을 단독으로 이용하는 것이 아닌 중수와 결합해 공동주택 민간 분야에 활용되도록 적극 추진하고 있으며, 빗물관리의 일반화를 위해 노력중임.
 - 영국의 런던의 베드제드(BedZed) 단지는 영국 최초의 친환경 탄소중립 복합단지로 절수를 우선하며, 가뭄을 적극 이용해 저농도 오수 등과 연동함으로써 공동주택임에도 물재이용을 통한 조경, 화장실 용수를 90% 이상 공급하고 있다.
 - 같은 지역의 밀레니엄단지(Green-wich Millennium Village)는 새로 조성 중인 지역으로 태양열, 고단열 등 에너지 절감률이 약 50%이고, 절수, 빗물이용, 중수 등 물소비 절감률은 약 30%에 달해 투수블록과의 연계 과정에서 지속가능성 및 에너지 효율화 등의 시사점을 찾을 수 있음.



그림 6.1 영국 런던의 밀레니엄 단지

- 독일
 - 독일은 대부분의 도시가 지하수를 원수로 사용하고 있으나 현재는 가정용수나 그 밖의 용도로 빗물이용을 가장 적극적으로 추진하고 있음. 독일에서 빗물이용을 추진하는 주된 이유는 빗물사용으로 제한된 수자원인 지하수를 보존할 수 있기 때문임. 현재 100여개의 빗물이용 관련설비 제조업자들이 빗물 관련 상품시장에서 경쟁하고 있음. 독일의 대표적 빗물이용 시설중 하나인 소니센터(Berlin Sony Center)는 저장된 빗물을 Potsdamer Platz 오피스 타워에서 화장실용수나 건물 외부의 조경용수로 사용함.



그림 6.2 독일 베를린 소니 센터

- 환경지역으로 유명한 브리스톨(Bristol)은 대학 건립 시 일부 연구단지를 조성해 대규모 우수지를 형성을 추진했다가 방향을 바꿔 틈새 투수블록, 식생수로, 눈에 보이는 빗물관리 등 연계관리를 통한 물순환 인식을 시도하였음.
- 캠브리지 캠본(Cambridge Cam-bourne)의 Lamb Drive 주택단지는 옥상녹화를 이용한 식생 여과대, 저류지 및 우수지, 생태수로 등 다양한 시설에 SUDS(지속가능 도시배수체계) 연계관리를 도입하였음.
- 독일은 대기와 조류 등으로 인해 발생할 수 있는 집수면의 오염 때문에 빗물을 음용수로 사용하고 있지는 않지만 정원용수, 화장실 용수 등 일반용수로 이용하여 많은 경제적 이익을 얻고 있음. 또한 이러한 빗물 이용 시설을 침투정과 함께 사용함으로써 도시홍수의 예방과 지하수를 함양하는 이외에 홍수시의 배수나 하수 처리에 있어서의 부하를 감소라는 부수적인 효과도 얻고 있음.
- 독일은 현재 100여개가 넘는 빗물 이용 관련 설비 제조업자들이 빗물 관련 상품 시장에서 서로 경쟁하고 있음. 독일의 조립식 콘크리트 탱크 제조업체인 Mall-Beton GmbH에 따르면 과거 10년 동안 빗물 저류용으로 총 600,000m³의 용량에 해당하는 100,000개 이상의 저장 탱크를 독일 내에서 공급해 왔다고 함. 그리고 빗물의 이용은 학교, 세차장 또는 산업용으로 범위가 증가하고 있는 추세임.

1) 베를린의 소니센터

- 소니센터의 집수면을 통해 저장된 빗물은 화장실 용수나 건물 외부의 조경용수로 사용되며 오피스 타워에 화재가 발생할 경우에도 소방용수로 이 빗물을 사용함. 빗물저장조가 가득 차게 되면 넘친 물은 합류식 하수도로 유입하게 되고, 비가 오지 않을 경우에는 빗물 대신 수돗물이 채워지도록 되어 있음.
- 빗물 공급 라인은 모두 지하 저장조에 연결되어 있고, 오피스 타워에 있는 빗물 저장조는 많은 비가 오게 될 경우 균등조의 역할을 하게 되며, 수위를 조절할 때 이외에는 화재진압시스템과 빗물 이용 시스템은 독립적으로 운용됨.

2) 코블렌츠(Koblenz, Remagen)

- 빗물은 대부분 나무로 덮여 있는 5,500m² 면적의 지붕을 통해 모아짐. 이 지역의 연간 강수량은 700mm이며, 이 지붕은 유출계수가 0.3으로 내리는 빗물의 70%가 저장되거나 옥상정원에서 증발됨. 저류된 빗물은 화장실 용수, 조경용수로 사용되며 저류조 용량은 100m³임.

- 두 개의 공급라인은 저장조에 연결되어 있고, 각 저류조에는 나뭇잎, 이끼나 광물질이 유입되는 것을 막는 필터 스크린이 달려 있음. 저류조의 유입부는 T형으로 되어 있어 유입 불순물을 거르는 역할을 하게 됨.
- 옥상정원과 빗물 저장조는 침투 시스템의 부하를 감소시킬 수 있고, 현재 물 보호 구역은 지하침투를 고려하지 않고 있기 때문에 식물로 덮혀 있는 지역을 통해 유출수가 지반으로 침투되고 있음. 저장조로부터 나온 월류수는 80m 길이의 파이프라인 끝에 있는 도랑에 도달한 후 녹화된 지역으로 들어가게 됨. 이 때 지역의 바닥에 30cm 두께로 깔려 있는 표토는 생물학적 토양층으로 작용함.

3) 뮌헨 레오폴드 거리(Munich Leopold Street)

- Munich Reinsurance Company의 건물은 지붕을 통해 빗물을 집수하여 화장실 용수나 조경용수로 사용하고 있음. 건물 밖의 지하에 있는 빗물 저장조 내의 빗물은 화장실 용수 및 조경용수로 공급됨. 지붕의 옥상녹화 시설은 빗물을 함유하고 있다가 대기 중으로 증발을 통해 수분을 방출시킴.
- 두 개의 맨홀이 저장조의 상류부에 설치되어 있는데 하나는 흐름을 분기시키기 위한 것이고 다른 하나에는 필터가 설치되어 있어 각각의 맨홀은 월류가 발생할 경우 침투설비로 월류수를 내보낼 수 있게 되어 있음. 저장조에서 발생된 월류수 또한 침투를 통해 처리함.
- 이러한 빗물처리방식을 이용할 경우 기존의 하수시스템으로 빗물을 방류할 때 징수되는 1.3유로/m³의 비용을 절약할 수 있기 때문에 이 방식은 뮌헨에서 빗물을 이용하는 표준적인 방법이 되었음.

4) 포츠다머 플랏츠-다임러 벤츠사옥

- 포츠다머 플랏츠 내의 도시 수공간 프로젝트는 최근 도시건설에서 주요한 생태적 테마로 부상하는 빗물을 주요 요소로 현실화한 사업이며, 또한 인간과 물과의 친밀한 관계성을 생태적이며 심리적으로 접근하였음. 빗물이라는 개념의 근간에는 빗물을 그 지역 내에서 소화해 낸다는 개념으로 통합적인 빗물관리 차원에서 포츠다머 플랏츠에서는 아주 다양한 조치들이 적용되었음.
- 다임러 벤츠 사옥이 위치한 곳에 조성된 수공간은 총 1.2ha로서 전체체적이 약 12,000m³에 이르며 길이는 약 1.7km 이상으로 지붕 녹화, 빗물저장과 재이용, 저류 등을 통해 자원으로로서의 빗물을 도시공간에 형상화하였음. 총 지붕면적 50,000m³에 약 17,000m³이 녹화되어 지붕녹화를 통해 빗물의 약 80% 까지를 저류할 수 있게 조성하였음. 녹화되지 않은 지붕면은 빗물이 모아질 경우 수질에 전혀 해가 없도록 구리나 아연재료를 쓰지 못하도록 하였음.
- 녹화된 옥상에서 저류되지 않은 빗물은 총 용량이 2,600m³에 이르는 어둡고 시원한 다섯 개의 저장조에 모아짐. 이렇게 모아진 빗물은 외부공간에 조성된 수공간 조경용수, 화장실 용수로 재이용되며 그 양이 년 평균 7,700m³가 됨. 한편 비가 많이 올 경우 인근 지역의 관거로 유입되는 빗물의 속도를 늦추기 위하여 약 900m³ 크기의 저장조를 따로 설치하였음.

- 지붕에서부터 유입된 빗물이 저장조 내에서 일차적으로 걸러질 때 그곳에서 현탁 물질들은 침전됨. 이렇게 일차적으로 정화된 빗물은 생물학적 정화과정을 거쳐 수공간으로 보내짐. 또한 갈대가 김겨진 곳을 통과하여 물리적, 생화학적인 정화과정을 거침.



그림 6.3 베를린 포츠다머 플랏츠 빗물 이용 시설

5) 국제문화센터 우퍼파브릭, 베를린(Ufafabrik, Berlin)

- 베를린 남부에 위치한 우퍼파브릭은 1979년 당시 필름 생산 공장이었던 이곳이 철거 대신 새롭게 리노베이션 하여 전 유럽에서 유래가 없는 “국제 문화센터 우퍼파브릭 베를린”으로 탈바꿈하였음.
- 리노베이션의 주요 안에는 생태적인 지역에 대한 가족과 이웃 간의 커뮤니티 형성을 추구하는 새로운 개념을 계획에 적용하였음. 특히 생태적인 관점에서 이 지역에 대한 새로운 개발 개념을 적용하였는데, 에너지, 기후, 소음방지, 폐기물, 빗물, 공기, 역사 등 다양한 분야에서 접근하고 있음. 특히 빗물과 관련하여 우퍼파브릭에서는 화장실 용수와 조경용수로 연간 3000m³의 물을 사용하고 있으며, 빗물이용 시설을 설치하기 이전에는 상수도의 물로 충당하였고, 이러한 물은 먹는 물수준 정도로 정화되기 때문에 많은 비용을 필요로 하였음.
- 90년대 초반부터 빗물을 8000m³ 규모의 지붕면과 아스팔트 도로, 주차장으로부터 관거를 통해 이전에 필름제작에 사용했던 저장조에 집수하였음. 상수관은 제거하고 물의 증발과 침투를 막기 위해 벽을 설치하여 밀폐시켰음.
- 1997년과 98년 잡용수 용도로 빗물 저장조에 새롭게 덮개를 설치하였음. 연평균 강우량이 500mm일 경우 전체 집수면적 8000m³에서 연간 총 400m³를 집수하게 됨. 이는 우퍼파브릭에서 잡용수 목적으로 사용되는 물의 양을 충분히 소화하게 됨. 침전조에서는 먼지나 모래, 실트 등을 침전시키고 나뭇잎이나 종이, 나무껍질 같은 부유 물질을 다음의 두 번째 저장조로 월류시켜 이를 걸러냄. 일차적으로 정화된 물은 식물정화연못으로 흘러 들어가 그곳에서 다시 정화됨. 여기에서는 여러 크기의 자갈들에 의해 나머지 현탁 물질들이 정화되고 자갈아래 부분에서는 철성분 등이 인산염과 결합됨. 갈대나 골풀, 무랭합, 부들들의 뿌리 속에 있는 토양유기물들에 의해 생화학적인 정화과정을 거치고 이는 또한 식물들의 거름으로 섭취됨. 이러한 과정을 거쳐 빗물은 거의 먹는 물 수준의 수질로 정화됨. 이 정화연못 아래에 연결된 저장조에 정화된 빗물이 저장되고 펌프로 각 건물에 수송됨.

6) 에코하우스 프랑크푸르트(Oekohaus frankfurt/Main)

- 1990~1992년에 프랑크푸르트 베스트반호프(Frankfurt westbahnhof) 역사 앞에 약 2000m³ 대지에 세워진 에코하우스(Oekohaus arche)는 건물의 대부분을 빗물 관련 전문 업체, 생태관광 출판사, 여성단체 등으로 구성되어 있음.
- 건물의 중앙동은 6층의 장방형으로 남측면의 현관부분에 거대한 유리아케이드를 구성하였고, 내부에는 4층의 까지 접근이 가능한 계단실을 설치하였음. 중앙동의 북쪽에는 2층의 부속건물을 두고 연결부분에 유리아케이드를 설치하여 두 동을 연결하고 있음. 이 부속건물에는 관리실과 주택관리 사무소, 유치원 관련 사무실 등의 용도로 사용되고 있음. 남측면에 유리아케이드는 건물 각 공간을 연결하는 역할을 하고 사무공간의 실내 기후를 쾌적하게 유지하는 데에 도움을 주고 있음. 유리아케이드 전면에는 빗물 연못이 설치되어 있고 아케이드 내부는 그늘을 제공하기 위한 적극적 녹화와 빗물을 이용한 캐스케이드 등이 설치되어 실내온도를 높여주며, 아케이드는 사무공간의 온도 상승을 제어하는 역할을 하고 있음.
- 옥상 녹화부분과 연못은 빗물을 저류하는 역할을 하며 지붕과 테라스바닥 부분의 약 50% 정도는 잔디와 관목, 교목으로 식재되어 있음. 녹화된 지분면과 유리 함석지붕을 통하여 내려오는 빗물을 건물외곽을 따라 설치된 자갈이 깔린 처마홈통 들을 거쳐 갈대와 골풀이 심어져 있는 식물 여과조를 통과함으로서 지속적으로 수질 정화작용을 하여 연못 주위의 수조로 흐르게 됨.
- 건물 북측에 설치된 연못과 빗물저류용 수조는 서로 연결되어 연못의 수위를 일정하게 유지시켜주며, 건물 남측에 위치한 연못의 물이 넘칠 경우 북측의 수조로 흘러들도록 하여 수위조절이 되도록 하고 있음. 빗물저류용 수조의 물은 건물 전체의 화장실 세척용으로 사용하고 있으며 화장실 세척용수의 5분의 1(년간 2000m³) 정도는 이 수조의 빗물로 활용하고 있음. 수조의 빗물은 지붕 녹화부분에 관개수로로 사용하며 부족한 양은 도시 상수도로 공급하고 있음.
- 또한 건물 북측 면에 유리로 구성된 아케이드는 캐스케이드를 설치하여 빗물 저장통의 물을 사용하고 있으며, 이 캐스케이드는 건물 내부의 습도 조절기능을 하고 있음. 아케이드의 바깥부분은 목재창살을 이용하여 덮고 있으며, 바닥에는 물로 채워 캐스케이드의 물을 공급하는 역할을 하고 있음. 증발로 인한 수량의 감소는 자동적으로 빗물 저장통에서 공급하도록 하고 있음.
- 건물 북측에 위치한 연못물은 인접한 평지붕에 흘러 3단계의 식물 여과조를 단계적으로 순환하면서 정화되도록 하고 있음. 이 연못의 물은 건물 뒷동에 위치한 아이들의 물놀이를 하거나 수영을 할 수 있을 정도로 깨끗함을 유지하고 있음. 입체적으로 구성된 실개천과 캐스케이드를 흐르는 빗물은 시각적 뿐만 아니라 청각적으로도 자연을 느낄 수 있도록 고려하였고, 환경과 자연보호 이외에도 물과 의미 있는 체험공간이 되도록 조성하였음.

2. 태양광을 이용한 빗물집수시스템 기술 및 시스템(WATERKOTTE)

- 방문일시: 2016년 4월 26일(화)
- 방문업체: WATERKOTTE
- 면담자: Udo Krahe
- 기술내용:
 - 건물 옥상면에 태양열을 설치하여 전력생산
 - 빗물을 지붕면 아래 처마를 이용해 집수하여 히트 펌프를 이용하여 각 세대의 난방수로 공급함
 - 스마트폰 어플을 이용하여 원격으로 작동이 가능하고 모니터링 할 수 있음



그림 6.4 태양광을 이용하여 빗물을 집수하여 난방수로 재이용하는 시스템



그림 6.5 빗물을 집수하여 난방수로 재이용 하는 건물

3. Fachbereich Umwelt und Stadtgrun der Landeshauptstadt Hannover

- 방문일시: 2016년 4월 27일(수)
- 방문기관: Stadtentwässerung Hannover
- 면담자: Annergret Pfeiffer, Dipl.-Ing, Elisabeth Czorny
- 기관설명: 독일 하노버 지역에 위치하고 있는 지역 기관으로서 도시계획 및 설계를 하여 빗물을 관리하는 프로젝트 업무를 수행하고 있다. 또한 지역 단위의 공동체를 구성하여 환경교육 및 환경 보전을 위한 자원봉사 활동을 추진하고 있다.
- 주요업무:
 - 도시계획 및 도시설계
 - 빗물관리를 통한 프로젝트 추진
 - 자연보전, 활동 및 농업의 통합을 추진
 - 지역 공동체 참여 구성
- 방문 목적:
 - 독일 하노버 지역의 빗물 관리 사례 조사
 - 관련 자료 수집
- 회의 결과:
 - 1) Water Concept Kronsberg 소개
 - 1992년 브라질 리우 선언 “지속가능한 개발(Sustainable development)”을 통해 홍수 예방을 목적으로 복합건물, 도시계획, 배수를 고려하여 관리
 - 크론스베르그 도시 재설계를 통하여 자연보전 연방정부기관에서 프로젝트 추진
 - 도시 설계를 통해 자연보전, 활동 및 농업의 통합을 추진하는 것이 목적
 - EXPO 프로젝트의 일부로서 수행
 - 도시에 각 건물에 집수관을 설치하여 빗물이 건물 집수관을 통해 땅속으로 침투하게 하여 연못으로 모이게 설계하여 관리하고 있음
 - 하노버 Ost 지역에 초등학교 및 Community Centre에 빗물 이용 시설을 설치하여 환경교육 및 홍보 등 목적으로 활용하고 있음
 - 크론스베르그는 1990년대 중반까지는 독일 중부지방에서 흔히 볼 수 있는 밀, 사탕수수 밭이었으나 지난 2000년 하노버에서 개최된 EXPO 2000 프로그램의 구성요소로 생태마을의 컨셉을 갖고 새롭게 설계됨.
 - 오늘날 에너지 절약 박물관이라고 불릴 정도로 대표적인 생태마을로 변함
 - 마을 전체가 옥상녹화, 테라스 녹화, 벽면 녹화가 진행되었고 에너지 최적화, 빗물과 토양의 생태적 관리, 환경 커뮤니케이션이 주요한 생태적 접근 마을임.
 - 특히 에너지 최적화를 위해 패시브 하우스로 집들을 지어 태양 에너지 등을 최대한 이용하고 있는 점이 돋보이는 생태마을임.
 - 하노비스 크론스베르그(Hannover-Kronsberg)는 생태학적으로 토양을 관리하고 전기 절약 프로그램을 구축하고, 난방 시스템, 자연적인 빗물관리시스템과 식수 경제개념을 도입하여 설계한 마을임. 구조는 마을 사무소, 상가교회, 고효율주택 단지, 패시브(Passive) 주택단지(유리온실효과), 태양열 주택 단지, 이주민촌, 빗물이용시스템, 열병합발전소, 온수 저

장고, Agenda21 건물로 이루어져 있음.

- 하노버 엑스포 2000 전시장의 배후 주거단지로 개발
- 위치 : 독일 하노버시에서 15km 떨어진 농업지역의 신주거단지
- 면적 : 123ha
- 설계자 : 40여개의 건축 및 조경회사
- KUKA : 투자자, 개발자, 소유자, 임대자 간의 원활한 커뮤니케이션
- 생태기술과 정보 제공 및 크론스베르트 프로젝트 운영
- 목표 : 생태적인 크론스베르그, 정원으로서의 도시, 사회적 거주지로서의 도시

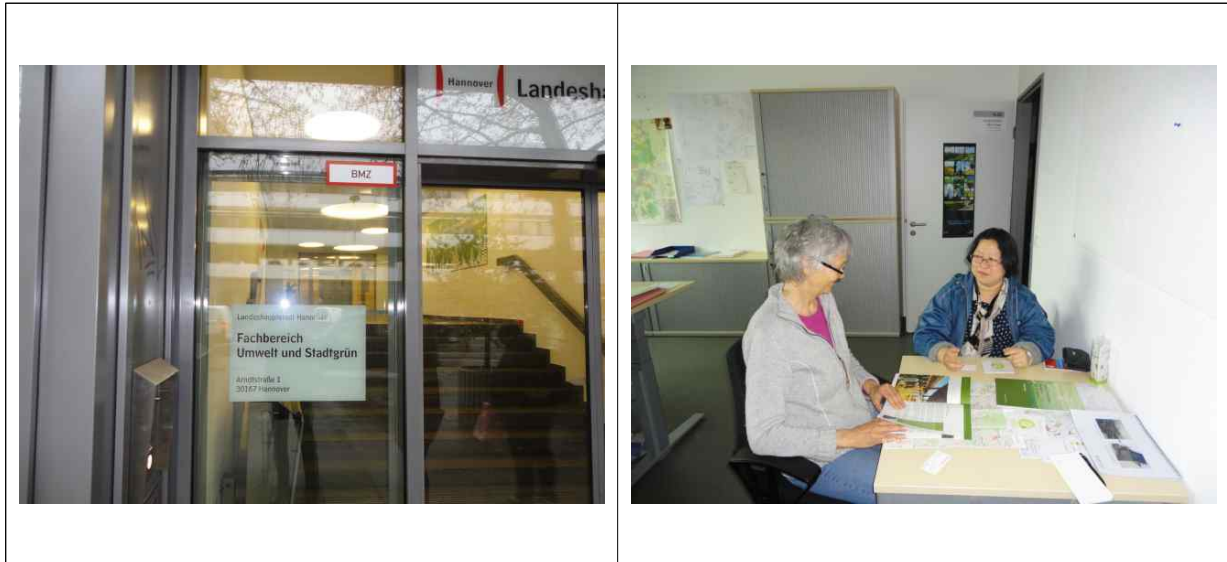


그림 6.6 Stadtentwässerung Hannover 방문 및 회의



그림 6.7 크론스베르그 생태주택단지 빗물 이용 시설



그림 6.8 홍수 예방을 위한 빗물 침투 시설



그림 6.9 초등학교 빗물 이용 시설



그림 6.10 Community Centre 빗물 이용 시설

<하노버의 엑스포 호수(Hannover Expo Lake)>

- Hannover Expo 박람회장의 지상 포장면을 거친 빗물은 빗물 시스템을 거친 후 방류됨. 이러한 포장면 유출수 중 1/3은 여과지에 의해 깨끗하게 처리된 후 저류지로 방류됨. 박람회장 내의 모든 지면이 포장되어 있기 때문에 빗물 시스템만 가지고는 폭우시 모든 빗물을 처리할 수 없게 되어 저류지가 설치되었음.
- 이 저류지는 빗물 배제 설비로써 뿐만이 아니라 조경계획의 일환으로 설계되어 있음. 이 저류지에 모인 물은 분수대와 약 1,200개의 나무를 가진 2헥타르의 위락시설에 물을 공급함. 또한 별도의 관망을 통해 30개의 화장실에도 물을 공급함. 이러한 빗물공급설비로 인해 5개월간의 박람회 기간동안 약 5,000m³의 수돗물을 절약할 수 있었음.
- 빗물을 공원의 조경용수로 사용할 경우 별도의 처리시설을 필요로 하지 않지만 화장실이나 분수대 공급용의 경우 급속여과지와 UV시스템에 의해 처리됨.
- Hannover Expo 2000 박람회장의 지상 포장면을 거친 빗물은 빗물 시스템을 거친 후 방류됨. 이러한 포장면 유출수중 1/3은 여과지에 의해 깨끗하게 처리된 후 저류지(池)나 저류호(湖)로 방류됨.
- 박람회장 내의 모든 지면이 포장되어 있기 때문에 빗물 시스템만 가지고는 폭우시 모든 빗물을 처리할 수 없게 되어 저류지가 필요하게 됨. 이 저류지는 빗물 배제 설비로써 뿐만이 아니라 조경계획의 일환으로써 설계되어 있으며(박람회장은 박람회 이후 문화시설로 사용되고 있음.) 저수지로도 사용되고 있음.



그림 6.11 하노버의 엑스포 호수

Water Concept Kronsberg

Part of the EXPO project

- Ecological Optimisation Kronsberg -



Hannover



A company owned by the municipality of Hanover

Kronsberg, Hannover

Nature Conservation, Recreation and Agriculture on the Urban Margins

A Model Project



첨부 3. 독일 하노버 방문 면담자



<방문지: 미국 뉴올리언스>

- 미국 뉴올리언스 2016 수질환경박람회(WEFTEC)
 - 수질환경전시 업체 부스 방문
 - 미국의 Stormwater에 대한 정책 및 활용방안 소개

<귀국보고 내용>

1. 미국 WEFTEC 수질환경 박람회 참관
 - 미국의 빗물집수이용 및 시스템 파악
 - 태양광을 이용한 빗물집수 사례 조사
2. WEFTEC 2016 conference luncheon meeting
3. 미국의 빗물관리 정책
4. 미국의 빗물집수 장치 및 시스템 설치 사례

<입수 자료>

1. RMS product brochure
2. Naiade product brochure
 - Performance Testing of Naiade UV Disinfection System
3. Stormwater congress

□ 출장 목적

- 『2kW 태양광 발전 기반의 슬라이드 자동개폐장치를 이용한 청정빗물집수장치 개발』 과제의 2차년도 연구성과 및 사업화를 위하여 미국 뉴올리언스 수질환경 국제 박람회를 참관 및 미국의 빗물관리, 정책, 설치 사례 등을 확인함.
- 이번 미국 방문에서는 수질환경 박람회를 참관하여 미국 등을 포함한 세계의 빗물관리 기술 동향 및 시스템 파악을 통하여 해외 실무 기술 중심으로 살펴봄으로써, 본 과제의 태양광을 이용한 청정빗물집수장치에 대한 연구목표 달성도를 높임.
- 또한 미국의 빗물관리 사례 등을 조사함으로써 미국의 빗물관리 현황 및 정책 방향을 분석하여 청정빗물집수장치 개발에 적용가능한 방안을 모색하고자 함.

□ 출장 결과

1. 미국 수질환경박람회(WEFTEC) 참관 및 업체 방문

1) RMS (Rainwater Management Solutions)

- 방문업체: RMS
- 국 가: 미국
- Website : www.rainwatermanagement.com
- 생산제품:
 - Rainwater Filters
 - Smoothing Inlets
 - Floating Filters
 - Overflow Devices
 - Packages
 - Pumps & Accessories
 - Filtration & Purification
 - Rainwater Controllers
- 제품내용:
 - 빗물집수를 하는데 이용되는 각종 장치를 판매하는 미국 회사
 - Rainwater Controllers : 빗물집수를 위한 제어 장치



- WISY 4-Step System
 - : 우수시 옥상 지붕면에서 내려오는 빗물을 집수하는 4단계 시스템
 - : 미국 가정에서는 저류조 탱크로 매설하여 빗물을 효율적으로 집수하여 생활용수로 많이 이용하는 장치

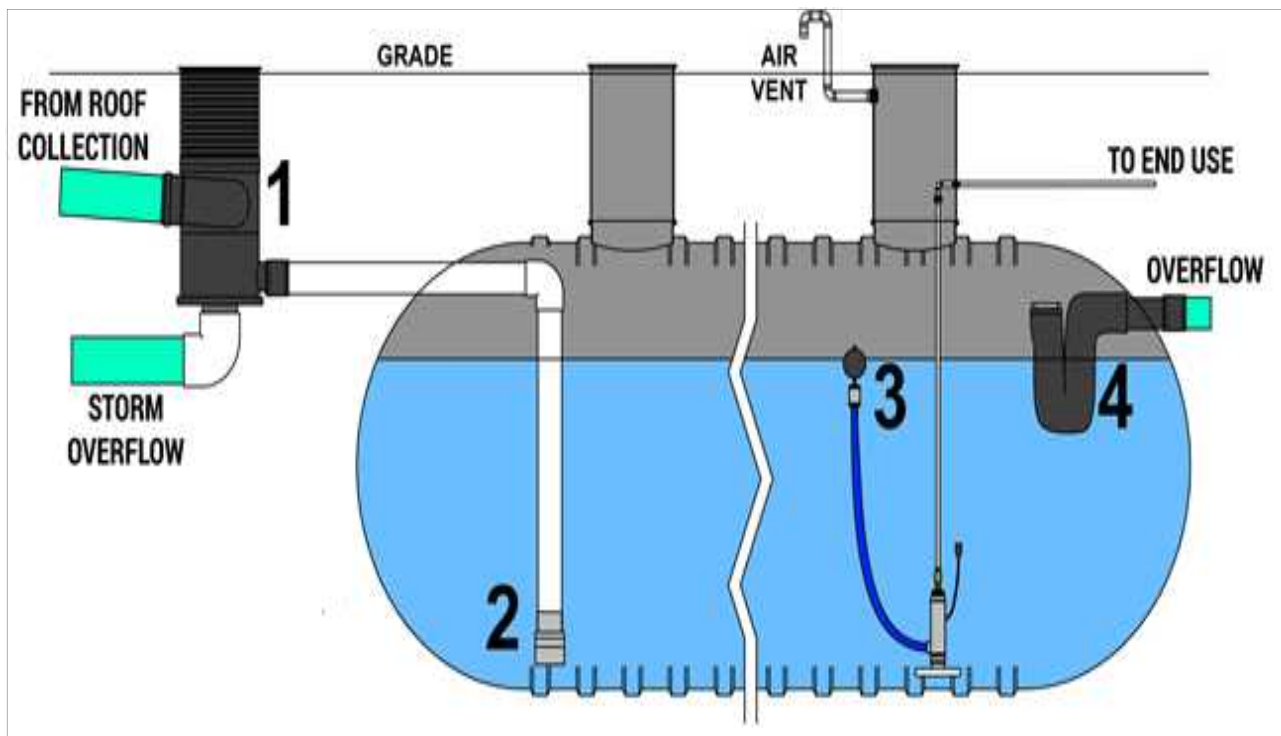


그림 6.12 WISY 4-STEP SYSTEM

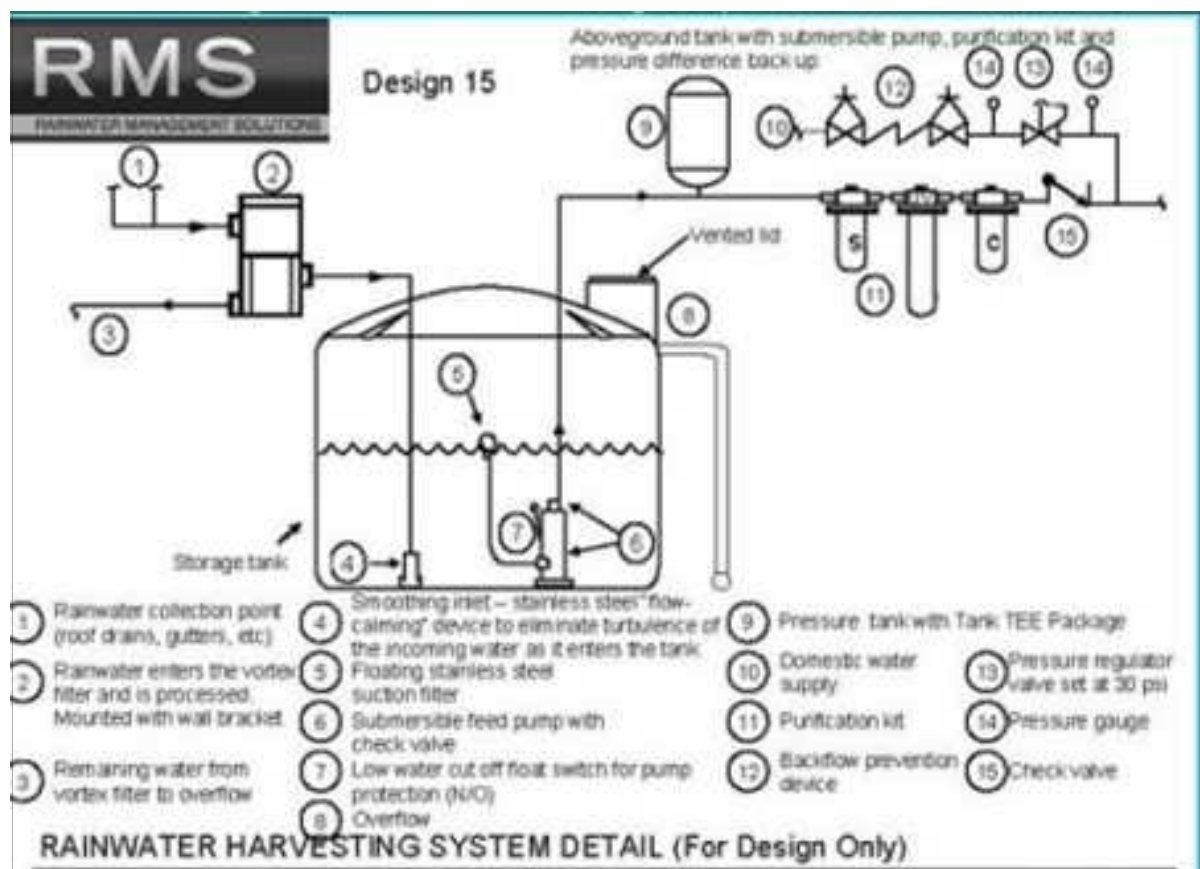


그림 6.13 Rainwater Harvesting System 상세도

- 1 Step : 옥상면으로부터 빗물을 수집하는 단계
 - 자가 세정 필터 장치



그림 6.14 Pre-Tank Filtration

- 2 Step : 빗물을 저류조로 이송하는 단계
 - 유입수로부터 혼탁액 유입 방지를 위한 inlet



그림 6.15 Smoothing Inlets

- 3 Step : 저류조 내의 floating 센서를 이용하여 세정하기 위해 이송하는 단계
 - 물의 지표면 아래로부터 띄어서 유입되는 물을 세정하는 필터



그림 6.16 Floating Filter

- 4 Step : 저류조 내 일정량 이상 수위가 되면 자동으로 overflow 되는 단계
- 지표수에 있는 미립자를 부양시키고 수질을 보호하는 장치



그림 6.17 Overflow Device

2) Naiade

- 방문업체: Naiade
- 국 가: 네덜란드
- Website : www.nedap-naide.com
- 생산제품: The Naiade Solution
 - Water Purification System

Solar panel
The solar panel measures 53.7*120.9 cm and has a capacity of 75W.

Plastic body
The Naiade is made of plastic and has a capacity of 100 liter.

Battery
It is possible to include a battery in the unit in order to store energy.

Ultraviolet Light
The ultraviolet light inside the Naiade makes any water safe to drink. Ultraviolet light inactivates bacteria, viruses and worm eggs. The light has a 20W capacity.

Pictograms
Pictograms on the outside of the Naiade demonstrates clearly how to operate the unit.

Filters
Mechanical filters clean the water of impurities. A sieve removes large particles. Two filters of 25 mu and 10 mu are able to remove even microscopic particles, including nematodes.

Technical data

Energy source	• Sunlight
Solar panel	• 75 watt
energy storage	• battery
Daily average capacity	• 3000 liters (up to 400 people)
Water prefilters	• bag filters 10 mu and 25 mu
UV disinfection lamp	• 20 watt
Water tank	• 100 liters
Dimension	• 54 x 75 x 140 cm
Weight	• 44 kg
Effective against	• viruses, bacteria, protozoa and worm eggs.

○ Naiade UV System

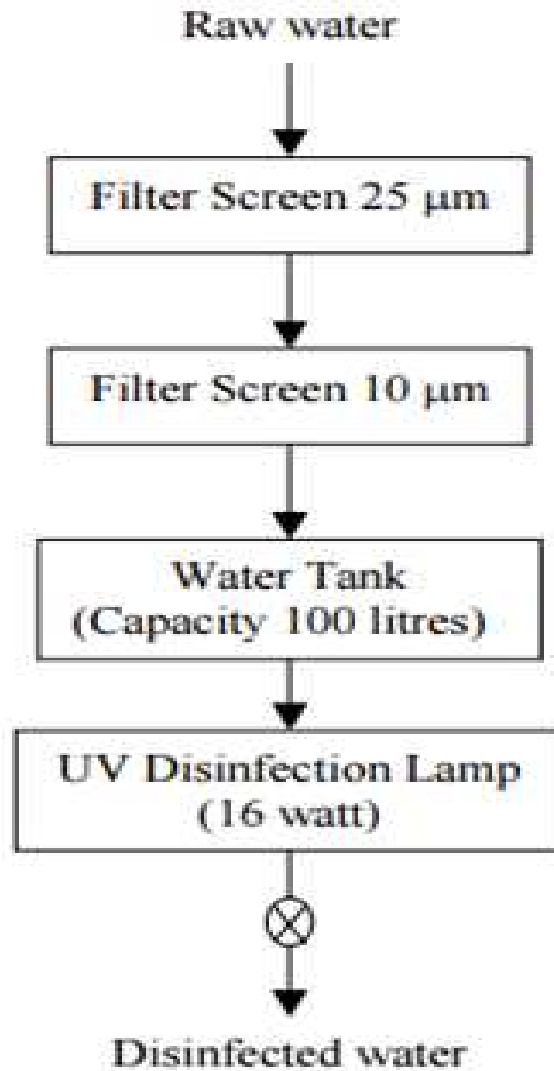


그림 6.18 UV system flow diagram

○ 시스템 구성

- Solar panel : 53.1~120.0cm 크기의 75W 전력 생산 능력
- 시스템 본체 : 플라스틱 재질로 100리터 용량의 물을 집수
- 배터리 : 전력사용 없이 태양광 에너지를 저장하여 사용
- UV 광원 : 집수된 우수를 UV를 이용하여 살균하여 먹는물로 사용
- 디스플레이 : Pictograms를 이용하여 손쉽게 운영 가능(화면에 작동 그림을 클릭하여 운영)
- 필터 : 스크린 필터 25, 10 μ m 필터를 사용하여 원수를 필터링

2. WEFTEC 2016 conference luncheon meeting

- 학회 및 물환경연맹 (WEF(Water Environment Federation) 관련 인사 소개
- 연방정부 및 주정부, 지자체 빗물관련 부처 소개
- National Municipal Stormwater and Green Infrastructure Awards Program 소개 및 시상 (WEF(Water Environment Federation)시행, EPA 협력) : 빗물관리 및 물관리 업적이 우수한 지자체 및 단체에 시상함.
- 빗물(Stormwater)이용관련 우수 사례 발표 : Detroit의 Viola Liuzzo Park Project 소개
 - 인권운동가인 Viola Liuzzo를 기념하여 어린이 놀이터 및 공원 조성 추진.
 - Viola Liuzzo Park Project는 주민들의 자발적 참여를 기반으로 디트로이트 상하수도국 (DWSD: Detroit Water and Sewerage Department)의 녹색인프라프로그램(GI (Green Infrastructure) program)의 일환으로 테트라테크(Tetra Tech)에서 설계 대행 수행. 테트라테크는 공원을 bioretention 지역 (빗물정원)으로 설계, 공원에 대한 지역사회의 비전과 복원 목적에 맞추어 조경 설계, 거리와 보도에 빗물침투 기능 부여하여 설계함.
 - 디트로이트 상하수도국은 녹색인프라 프로그램을 통하여 지역환경 개선 시 토양과 식물의 자연적인 작용을 모방한 현장 빗물 관리를 통해 디트로이트의 복합 하수 시스템에 들어가는 빗물의 양을 줄이는 것과 동시에 하폐수 처리비용 절감을 목표로 함.
 - Viola Liuzzo Park Project는 자발적인 주민참여 및 협의체(Viola Liuzzo 공원 협회 (VLPA)) 구성을 이끌어 내었으며, 빗물활용 및 생태 친화적인 새로운 Viola Liuzzo Park을 조성을 통하여 디트로이트의 과거를 존중하고 기후변화에 대응하며, 녹색 인프라의 선두 주자로 디트로이트 도시의 미래를 반영하고자하는 의지를 보임. National Municipal Stormwater and Green Infrastructure Awards 수상함.



그림 6.19 WEFTEC 2016 conference luncheon meeting

3. 미국의 빗물관리 정책(LA 지역 사례)

- LA 자치주 현황
 - 거주민 1000만명 이상 : 캘리포니아주 인구의 25%
 - 전체 면적 : 12,300 km²(서울 605km²)
 - 인구밀도 : 900 명/km²
 - 88개 도시
 - 평균 연간 강우량 : 381 mm

○ 캘리포니아 도시 폭우시 문제점

- 문제점 : 수질 악화, 물순환 붕괴, 서식지 파괴, 기후 변화
- 해결방안 : 법률 제정, 규제, 정책, 다수 혜택 솔루션

○ 수질오염 방지법

- 강과 항구 법률(1899)
- 수질오염규제법률(1948)
- 연방제 수질오염규제 법률(1956)
- 수질 법률(1965)
- 1972년 법 개정: 수질오염 방지법(1977) : 초기, 점오염원 초점

○ 빗물 최적관리방안(BMP)

- 구조적 BMP : 유출량 저감, 빗물 이용, 공교육
- 비구조적 BMP : 유출량 저감, 생물여과, 식생체류지, 지하침투
- BMP 형태 : LID형 BMP, 중앙집중형 BMP

○ 최근 미국의 물절약 정책 및 법규

- 저영향 개발 법령(지방 정부) : 수원 또는 근접한 곳에서 현장 BMP를 사용한 유출수 처리 (모든 공공 및 개인, 새로운 재개발에 적용)
- 물 사용 절감 지시(주정부) : 2020년 까지 20% 담수 사용 절감
- Net-zero 물 법령(지방 정부) : 모든 물 수요는 지역의 수자원에 의해 충족
 - 샌프란시스코 사례 : 모든 대체 수자원을 사용하여 물공급(화장실, 야외 관수, 대형건물)

4. 미국의 빗물집수장치 및 시스템 설치 사례

- 선진국의 물관리 시스템이 다변화되고 있고, 에너지 사용량이 많은 집중형 시스템 대신 분산형 물공급 시스템을 도입하는 경우가 늘고 있음. 미국 및 유럽 등지에서는 빗물을 재이용하는 시스템이 많이 보급되어 있음.
- 미국의 경우 최근 점차 증대되는 환경에 대한 관심과 기존 수자원 고갈이 관계 당국의 빗물이용에 대한 관심을 증가시켰고, 많은 도시들이 빗물이용에 대한 기술을 적극적으로 개발하고 있음.
 - 미국의 군도인 괌, 카롤린군도, 마셜군도, 푸에르토리코 등의 섬 지역에서는 빗물을 이용하는 것이 일반적임.
 - 하와이의 경우 농업지역이나 상수관로 시스템을 도입하기 어려운 지역에서 빗물을 많이 사용하고 있음.
- 미국의 경우는 빗물이용의 많은 방법 중 환경청(USEPA)에서는 녹색우수기반시설(Green Stormwater Infrastructure)을 저영향개발과 같은 개념으로, 개발이전 자연 상태의 수문 상태 회복을 목적으로 하는 물순환관리 시스템으로 정의함.

- 녹색우수기반시설은 침윤, 증발산, 우수 재활용 등을 이용해 유거수를 경감시키는 최적관리기법 등을 포함함
- 우수관리 이외에 반드시 녹지나 야생동물 서식처를 제공하는 기능이 제공되어야 하고 즉, 전통적인 하수관거 중심의 배수 시스템에 대한 대안적 방법이라고 볼 수 있음.



그림 6.20 미국의 녹색우수기반시설

- 미국에서는 공원을 조성할 때 산책로뿐만 아니라 운동장을 조합한 형태로 조성해 평상시에는 레크레이션이나 체육시설 등으로 활용하고 호우시에는 홍수조절용 저류지로 활용하는 사례가 많음.
- 예로, 유타주의 Sandy area에는 27여개의 공원이 조성되어 이 중 Storm Mountain park와 Wildflower park 등은 피크닉 장소로 이용되기도 하고 공원안의 축구장이나 야구장이 홍수시 저류지의 역할을 하기도 함.



공원 모습



축구장

그림 6.21 Storm Mountain park 적용 사례



공원 모습



야구장

그림 6.22 Wildflower park 적용 사례

- 시애틀의 공공도서관(Seattle Public Library)은 건물 전체를 그물망처럼 둘러싼 다이아몬드 형 창문을 통해 도서관 실내 어느 곳이나 자연광이 풍부하고 건물 외관의 경사진 면은 빛의 흡수율을 높이기 위한 것으로 도서관은 일반 건물에 비해 에너지 효율이 40% 이상 높음. 풍부한 햇빛으로 실내 정원을 가꾸어 리빙룸의 공기 정화에 이용하고, 옥상에 약 15만 리터의 빗물을 저장하는 탱크를 만들어 화장실 용수로 쓰면서 물을 절약하는 친환경 건물임.



그림 6.23 시애틀 공공도서관의 빗물이용 적용 사례

제7장. 연구개발성과의 보안등급

해당사항 없음

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

해당사항 없음

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

- 연구소 관리위험등급: B등급 (소량의 폐수발생실험실)
 □ 연구소명: 동문이엔티(주) R&D 센터
 □ 소속기관명 및 안전 점검 체계: 동문이엔티(주), 「연구소 안전환경 및 환경 관련 업무 일정」

< 연구소 안전환경 및 환경 관련 업무 >

구 분	단 계	이 행 사 항
관련 법령	안전점검 체계	연구소 안전환경 조성에 관한 법률
규정 제정	안전점검 체계	○ 규정명 : 연구소 안전환경 조성 규정 (제정일자 : 2017. 01. 10)
연구소 안전관리 시스템 교육 실시	안전 교육훈련	○ 일시: 9월 실시예정 ○ 대상: 연구소 R&D 연구원(10명) ○ 방법: 집합교육 실시 ○ 횟수: 1회 ○ 주요내용: 연구실 정보관리, MSDS관리, 시약관리, 폐수처리, 개발 및 제작 장비안전교육
안전교육 (온라인)	안전 교육훈련	○ 일시: 2016. 7. 1. ~ 2016. 12. 30 ○ 대상: 동문이엔티(주) R&D 연구원(2명) ○ 교육내용 : 실험실 안전 및 화학약품 관리, 전기, 소방, 기계, 산업위생 등 ○ 교육방법: 회사 내부 인트라넷 연구소 안전관리 오프/온라인 교육
건강검진 실시	추가 이행계획	○ 일시: 2016년 하반기 실시예정 ○ 대상: 건강검진 대상 물질을 취급하는 연구원 ○ 방법: 정기적 건강검진시 의뢰
연구소 안전환경 개선	추가 이행계획	○ 일시: 2016년 4월 ○ 내용: 연구소 안전환경 개선 ○ 목적: 사고에 대한 일차적인 응급대책 마련 및 피해 최소화 위한 리모델링 및 개선 ○ 개선항목: 연구실 안전 관련 장비(안전보호구, 보호장비, safety shower, 공기정화기) ○ 대상: 연구소 실험실
연구소 정기점검	정밀 안전진단	○ 일시: 2016년 8월 ○ 대상: 연구소 개발실 및 실험실 ○ 방법: 화학, 소방, 전기, 가스, 실험실안전, 산업위생 등에 대해 점검 (체크 리스트 작성 및 점검장비 사용)후 결과보고서 작성 등 ○ 점검자: 연구소 안전관리자
연구소 안전사고사례 분석 및 개선방안마련	안전점검 체계	○ 일시: 2016년 8월
연구소 안전공제 (보험) 가입	보험 가입현황	○ 가입기간: 2016. 6. 23. ~ 2017. 6. 22.(1년) ○ 가입목적: 연구활동중사자 사고발생시 피해보상 ○ 가입대상: 연구소 연구원
기타 사항	추가 이행계획	○ 연구소 안전시스템 상시 관리 ○ 폐수처리 등록 및 수거(1회/월) ○ 안전사고 공제처리(서류, 사고조사 등)(사고발생시) ○ 기타 안전장비, 시설 등(상시업무)
법 이행사항 보고	안전점검 체계	○ 온라인 보고(www.labs.or.kr)

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	한국수처리학회	창원 대학교	단독	한국수처리 학회지		2016.04.25	단독 사사	
2	논문	한국수처리학회	창원 대학교	공동	한국수처리 학회지		2017.04.25	단독 사사	
3	특허	태양광 모듈로 자가발전이 가능하고 초기우수를 용이하게 배제할 수 있는 자동 제어 방식의 청정 우수 집수시스템	동문 이엔티 (주)	단독	대한민국		2016.03.30	단독 사사	
4	기타	청정빗물집수장치 모니터링 프로그램	동문 이엔티 (주)	단독	대한민국		2016.04.11		
5	기타	스마트 청정빗물집수 장치	동문 이엔티 (주)	단독	대한민국		2017.06.21		

제11장. 기타 사항

해당사항 없음

제12장. 참고 문헌

- (1) 과학기술부, 2004, 우수저류 활용 기술개발
- (2) 국토부, 2013, 빗물저류조 급속시공기술 및 친환경 빗물처리시스템 개발
- (3) 국토교통부, 2014, 기후변화 대응형 도시 빗물관리시스템 연구
- (4) 김기영 외, 2014, 양도 초등학교 빗물이용시설의 수질 및 경제성 평가, 대한환경공학회지, 36(5), pp.333-341.
- (5) 김이호, 2009, 저탄소 녹색성장기술 개발 특허동향.
- (6) 김이호, 이정훈, 이상호, 정진우, 김영민, 2005, 초기우수처리장치를 이용한 초기우수의 중금속 및 영양염류의 제거도 평가, 한국물환경학회 추계학술발표회 논문집, pp.737-741.
- (7) 농림부, 2003, 농어촌지역 우수의 생활용수 이용시스템 개발.
- (8) 농촌진흥청, 2013, 빗물이용 시스템 실용화 및 현장 실증연구.
- (9) 도시주택연구원, 2012, LID 빗물관리시설 설치 해설집 작성 및 모니터링 연구(아산 탕정지구를 중심으로).
- (10) 방기웅, 2013, 빗물이용을 위한 지붕우수 유출수 처리 실험에 관한 연구, 한밭대학교 산업대학원 석사학위논문.
- (11) 서울지역환경기술개발센터, 2008, 분산형 빗물관리시스템의 설계 및 유지관리 가이드라인 개발.
- (12) 심재웅, 2013, 공공시설 빗물 이용 실태조사 및 발전방향, 전남대학교 대학원 토목공학과 석사학위논문.
- (13) 최문영, 2014, 산성비, 오존층, 온실효과에 대한 고등학생들의 개념 이해도 조사, 충북대학교 대학원 석사 학위논문.
- (14) 하현, 1991, 산성비란 무엇인가, 한국위생연구소, 1(1), 83-86.
- (15) 한국건설기술연구원, 2011, 빗물이용시설의 설계 및 운영관리기술 개발.
- (16) 한국건설기술연구원, 2013, 물순환 개선을 위한 빗물 관리 시스템.
- (17) 행정중심복합도시건설청, 2009, 행정중심복합도시 빗물관리 계획수립 연구.
- (18) 환경부, 2004, 빗물수집 및 활용기술
- (19) 환경부, 2004, 우수 저류 및 활용기술 개발.
- (20) 환경부, 2011, 빗물이용시설의 설계 및 운영관리기술 개발.
- (21) 환경부, 2011, 물 재이용 기본계획(2011~2020).
- (22) 환경부, 2012, 환경백서(2013).
- (23) 워터저널, 2013, 세계의 미래 물 시나리오.
- (24) GWI, 2013, Global Water Market 2014.
- (25) Manabu Sakai, 2002, Determination of pesyicidies and chronic test with daphnia magna for rainwater samples, J. Environron. SCI. Health, B37(3), pp.247-254.
- (26) Manabu Sakai, 2006, Acute toxic tests of rainwater samples using Daphnia magna, elsevier, pp.215-220.
- (27) Rubio Maria Angelica, Lissi Eduardo, Villena Guillermo, 2001, Nitrite in rain and dew in Santiago city, Chile. Its possible impact on the early morning start of the photochemical smog, Atmospheric environment, 36(2), pp.293-297.
- (28) Shiv Kumar Pandey, Abhay Kumar Singh, S. I. Hasnain, 1999, Weathering and Geochemical Processes Controlling Solute Acquisition in Ganga Headwater - Bhagirathi River, Garhwal Himalaya, India, Aquatic Geochemistry, 5(4), pp.357-379.
- (29) WCM, 2009, Technology notes (WaterAcid).

주 의

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