

기후변화를 고려한 빗물이용 활성화 방안 연구
- 주거단지를 중심으로 -

연구지원 2020-120

기후변화를 고려한 빗물이용 활성화 방안 연구: 주거단지를 중심으로

지은이 최종수, 이정민, 강명수, 임수현

발행인 황희연

발행처 한국토지주택공사 토지주택연구원

주소 (우)305-731 대전광역시 유성구 엑스포로 539번길 99

전화/전송 042) 866-8651 / 866-8472

전자우편 jongsoo@lh.or.kr

홈페이지 <http://lhi.lh.or.kr>

- 이 출판물은 우리 공사의 업무상 필요에 의하여 연구·검토한 기초자료로서 공사나 정부의 공식적인 견해와 관계가 없습니다.
- 우리 공사의 승인 없이 연구내용의 일부 또는 전부를 다른 목적으로 이용할 수 없습니다.

연구지원 2020-120

기후변화를 고려한 빗물이용 활성화 방안 연구:
주거단지를 중심으로

A Study on the Promoting Rainwater Utilization in Apartments

참여연구진

연구총괄

최종수 LH 토지주택연구원 연구위원

공동 연구진

이정민 LH 토지주택연구원 단장

강명수 LH 토지주택연구원 수석연구원

임수현 LH 토지주택연구원 연구원

연구용역 수행기관

(사)한국물환경학회

연구심의위원 및 자문위원(가나다순, 자문 당시 소속 및 직위)

김미경 연구교수 / 서울대학교

김상래 수석연구원 / 한국건설생활환경시험연구원

박상수 사무관 / 환경부

방종대 선임연구위원 / LH 토지주택연구원

성남준 사무관 / 환경부

윤은주 수석연구원 / LH 토지주택연구원

이규인 교수 / 아주대학교

이동기 대표 / (주)점보탱크코리아

이은수 대표 / 노원도시농업네트워크

이은엽 센터장 / LH 토지주택연구원

정환도 선임연구위원 / 대전세종연구원

최정주 본부장 / 이에이엔테크놀로지

홍의전 팀장 / 에스코알티에스

연구 요약

1. 연구과제의 개요

- ① 연구과제명 : 기후변화를 고려한 빗물이용 활성화 방안 연구
- 주거단지를 중심으로
- ② 연구기간 : '19.04~'20.07 (15개월)
- ③ 연구진 : 연구위원 최종수(연구책임), 단장 이정민,
수석연구원 강명수, 연구원 임수현
- ④ 연구비 : 365,000천원
- ⑤ 연구의 목적 : 공동주택에 설치되는 빗물이용시설에 관한 연구로 제도개선 방안, 설계 및 시공 시 고려사항, 빗물 이용용도 및 이용 효과 등 빗물이용 활성화를 위한 전반적인 대안을 도출하고자 하였음

2. 주요 연구결과

2.1 관련 제도 검토 및 빗물이용시설 운영현황 분석

- ① (수질 기준) 빗물이용에 관한 수질기준이 마련되어야 하며, 기존 중수도 수질기준을 준용하되, 수원별이 아닌 이용 용도별 기준을 수립할 것을 제안함
- ② (타 수원과 연계) 계절적 편중이 큰 빗물의 수량 안정성을 확보하기 위해 상수, 중수, 또는 지하수 등 연중 안정적으로 공급되는 수원을 빗물과 연계하여 운영하여야 함
- ③ (설치 지원 → 이용 지원) 기존 빗물이용 관련 제도는 시설 설치를 독려하는데 방점이 있으므로, 빗물이용을 활성화하기 위해서는 이용에 대한 의무조항 및 인센티브 방안 마련이 필요함

- ④ (빗물이용시설 현황) 국내에는 '18년말 기준 2,650개의 시설을 통해 연간 7,993,872 m³이 이용되고 있으나, 이용량의 85 %를 골프장이 차지하고 있어 빗물이용 제도의 당초 취지를 고려하여 시설의 다변화가 필요함
- ⑤ (빗물의 경제성) 설치비와 운영비를 고려한 빗물이용시설의 빗물 톤당 단가는 2,596원으로 상수도보다 비싸 경제성을 확보할 수 없으므로 빗물이용시설에 설치비용에 대한 정부지원 정책은 계속 유지되어야 함

2.2 빗물이용시설의 설계, 설치, 운영과정의 개선방안

① 설계, 시공 및 유지관리 단계별 한계 및 개선방안

구분	한계	개선방안
계획 및 설계	<ul style="list-style-type: none"> • 저장조 설치 공간 확보의 어려움 • 저장조 용량의 과소 • 집수면 제약에 따른 집수량 부족 • 인허가 설계도서에 상세 설계 부족 	<ul style="list-style-type: none"> • 공간 확보 가능 여부 우선 검토 • 지자체 지원 대상 규모 상향 조정 • 지붕 외에 대지 등으로 집수면 확대 • 인허가 시 상세 설계도서 요구
시공 및 설치	<ul style="list-style-type: none"> • 이용 및 유지관리 관련 기기 미설치 • 관련 공종 간 업무분장 모호 • 기존 매설물(우수관 등)과의 간섭 • 집수배관 및 이용배관의 오접 	<ul style="list-style-type: none"> • 해당 기기 설치 의무화 • 관련 공종 간 업무분장 구분 • 공종 담당자 간 사전 논의 • 시공 전 공종 담당자 간 사전협의
운영 및 유지관리	<ul style="list-style-type: none"> • 빗물이용의 경제성 부족 • 잦은 고장 등 유지관리 어려움 • 안정적인 수량공급의 한계 • 빈번한 점검 및 청소주기 	<ul style="list-style-type: none"> • 환경개선 효과 등 부가적인 효과 제시 • 지자체가 전문 관리업체를 지정하여 유지관리 지원 • 빗물 저장조를 상수, 중수, 지하수 등 안정적인 수원과 연계하여 운영 • 점검 및 청소주기는 사용자에게 일임

② 빗물이용시설 설치의 공종 구분

공종	세 부 내 용
건축	• 건축물 내 집수배관
토목	• 건축선 경계선 바깥쪽부터 저류조까지의 이송 배관 • 설계유량 이상의 빗물을 배제하기 위한 우수관까지의 월류 배관 (건축선 바깥쪽에서 우수관까지)
기계	• 여과장치 등 수질처리 시설 • 빗물 저장조 • 빗물이용을 위한 펌프 및 배관 (건축선 안쪽까지)
조경	• 빗물이용을 위한 배관 (건축선 바깥쪽에서 최종 사용장소까지)

2.3 빗물이용을 위한 집수방안

- ① (처리 대상 초기빗물) 강우 초기에 유출되는 최소 5 mm
- ② (건축물 지붕 유출수 수질) 살수용수, 조경용수로 이용할 경우 초기빗물 처리시설만으로도 관련 기준에 부합하는 수질확보가 가능함
- ③ (노면살수 유출수 수질) 수질 및 수량을 고려할 때 노면살수 유출수를 저장조에 집수한 후 노면살수 용수로 재이용하는 것은 불가함
- ④ (분산식 저장조 필요) 현재의 대규모 중앙 집중식 저장조 설치를 소규모 분산식 저장조 설치로 유도할 필요가 있음

2.4 빗물저장 방안

- ① (저장시설 적정 용량) 집수면적 (m²) × 0.05 m
- ② (안정적 수량 확보) 계절적 편중이 큰 빗물을 안정적으로 공급하기 위해서는 상수, 중수, 그리고 지하수 등의 수원과 연계하여 운영할 필요가 있음

2.5 주거단지에서의 빗물이용 방안 및 효과

- ① (노면살수로 폭염 저감) 노면살수로 노면온도는 15℃ 가량 낮아지며 2시간 이상 지속됨
- ② (노면살수로 미세먼지 저감) 노면살수를 시행하면 미세먼지 저감효과가 있으며, 투수성 포장에서 그 효과가 크게 나타남
- ③ (우선 적용 대상) 노면살수로 폭염 및 미세먼지 저감이 가능하며 일반 아스팔트 포장에 비해 투수성 포장이 효과적인 것으로 나타나 투수성 포장 지역에 우선 적용할 것을 제안함
- ④ (미스트 분사로 온도 저감) 미스트 분사로 온도 저감이 가능하며, 노즐은 1.5m 간격으로 설치하고 미스트는 10분 간격으로 분사하는 것이 적절함

3. 연구결과의 활용방안

3.1 정부의 제도개선 제안 시 활용

- ① (빗물 수질 기준) 빗물이용에 관한 수질기준 마련 제안 시 활용하며, 기준은 기존 중수도 수질기준을 준용하되 수원별이 아닌 이용 용도별로 결정하면 됨
- ② (빗물 이용 지원제도) 빗물이용을 활성화하기 위해 이용에 관한 의무조항 및 인센티브 방안 마련을 제안 시 활용함
- ③ (시설 설치 지원) 빗물 톤당 단가는 2,596원으로 상수도보다 비싸 경제성을 확보할 수 없으므로 빗물이용시설에 대한 정부지원은 필요함

3.2 내의 관련 공종 구분 및 지침 개정 시 활용

- ① (관련 공종 업무분장 등) 빗물이용시설 설치와 관련된 건축, 토목, 기계, 조정 공종의 업무분장을 명확히 하고 연구결과를 토대로 관련 지침 개정을 제안함

3.3 빗물이용시설 설계 및 이용유지관리 시 활용

- ① (설계 활용) 빗물이용시설의 수질 및 수량 확보 방안을 제시함으로써 향후 관련 시설 설계 시 활용함
- ② (이용 활용) 노면살수를 통한 폭염 및 미세먼지 저감효과 뿐만 아니라, 도심 텃밭의 관수로 활용하는 방안을 제시한 바, 향후 공동주택 단지에서의 유용한 빗물이용 방안이 될 것으로 기대함
- ③ (유지관리 활용) 빗물이용시설의 유지관리 체크리스트를 제시함으로써 담당자가 정기·수시 점검 시 활용 가능함

차 례

제1장 서론	1
1. 연구과제의 개요	3
2. 연구내용별 세부 수행방법	6
3. 기존 연구사례 및 차별성	8
4. 용어 정의	11
5. 보고서의 구성	12
6. 일러두기	13
제2장 관련 제도 검토 및 빗물이용시설 운영현황 분석	15
1. 빗물이용 관련 제도 및 한계	17
2. 빗물이용시설 설계 및 설치 관련 제도	40
3. 빗물이용시설 현황 및 운영	44
4. 제도의 한계 및 개선방안	66
5. 빗물이용시설의 공종 구분	73
6. 소결	75
제3장 빗물이용을 위한 집수방안	77
1. 수집확보를 위한 초기빗물 배제	79
2. 빗물 집수시설의 현장 적용성 검증	81
3. 집수시설 설치 시 고려사항	92
4. 소결	94

제4장 빗물저장 방안 95

1. 빗물 저장시설의 적정 저장용량 산정 97
2. 빗물 저장조 설치를 위한 공간 확보 97
3. 빗물저장시설의 수질 99
4. 빗물저장시설의 수질 확보 방안 121
5. 빗물저장시설의 안정적 수량 확보 방안 126
6. 소결 127

제5장 주거단지에서의 빗물이용 방안 및 효과 129

1. 노면살수를 통한 폭염 저감 효과 131
2. 노면살수를 통한 미세먼지 저감 효과 134
3. 미스트 분사를 통한 온도저감 효과 141
4. 노면살수를 위한 배관 및 노즐 설계 147
5. 사례를 통한 빗물의 도시농업 적용성 검토 158
6. 빗물이용시설 운영 및 관리 165
7. 소결 172

제6장 결 론 175

1. 관련 제도 검토 및 빗물이용시설 운영현황 분석 177
2. 빗물이용을 위한 집수방안 179
3. 빗물저장 방안 180
4. 주거단지에서의 빗물이용 방안 및 효과 181

참고문헌 183

표 차례

[표 1-1] 기존 유사 연구사례의 키워드 검색 결과	9
[표 1-2] 기존 유사 연구와 본 연구와의 차별성	10
[표 2-1] 빗물이용시설 설치 대상 시설물 (물재이용법 시행령 제10조)	19
[표 2-2] 빗물이용시설 시설기준 및 관리기준 (시행규칙 제4조)	21
[표 2-3] 중수도의 용도별 수질기준 (물재이용법 시행규칙 별표1)	24
[표 2-4] 서울특별시 빗물이용시설 설치 보조금 지원대상 및 지원금액	32
[표 2-5] 건축물 에너지 효율 등급 및 녹색건축 인증에 따른 건축기준 완화 비율 ..	34
[표 2-6] 녹색건축 인증제도의 신축 주거용 건축물 인증심사기준	35
[표 2-7] 빗물관리 항목의 세부 평가항목	37
[표 2-8] 빗물 및 유출 지하수 이용 항목의 세부 평가항목	38
[표 2-9] 빗물이용시설 설치 및 운영현황	45
[표 2-10] 우리나라 빗물이용시설 설치 및 운영 현황	45
[표 2-11] 우리나라 빗물이용시설 설치 및 운영비용 분석	46
[표 2-12] 국내 주요 빗물이용시설의 설치비 환수기간 (설치비 환수기간 순)	48
[표 2-13] 빗물이용시설 연도별 설치현황 (전주시)(단위:개소)	49
[표 2-14] 빗물이용시설 설치 건물의 유형별 현황 (전주시)(단위:개소)	50
[표 2-15] 빗물이용시설 규모별 설치현황 (전주시)(단위:개소)	50
[표 2-16] 빗물이용시설 빗물사용 현황 (전주시)	50
[표 2-17] 빗물이용시설 유형별 사용현황 (전주시)	51
[표 2-18] 빗물이용에 따른 수도요금 감면 신청 절차 (전주시)	52
[표 2-19] 상·하수도 요금 감면 고지내역 (전주시)	52
[표 2-20] 세종시 행복도시 6-4생활권 공동주택 개발사업의 개요	53
[표 2-21] 행복도시 6-4생활권 블록별 빗물이용시설 내역	55
[표 2-22] 스타시티 빗물이용시설의 수도요금 절감효과 (환경부, 2014.07.17)	59

[표 2-23] 공동주택의 빗물이용시설 설치 시 공종 구분	73
[표 3-1] 빗물이용시설 현장 적용의 테스트베드 개요	81
[표 4-1] 국내 주요 빗물이용시설의 수질과 본 연구의 수질분석 결과 비교	102
[표 4-2] 도로 테스트베드의 모니터링을 위한 노면살수 개요	106
[표 4-3] 노면살수 이전과 노면살수 이후의 저장조 내 수질변화	120
[표 5-1] 미스트 분사 시스템의 실내실험에 사용된 장비	143
[표 5-2] 표지병 노즐의 종류 및 특성	149
[표 5-3] 중앙분리대 노즐의 종류 및 특성	150
[표 5-4] 노면살수를 위한 배관 및 노즐 설계 시 주요 고려사항	152
[표 5-5] 주요 지자체에 설치된 노면살수 시설 설치 사례	156
[표 5-6] 빗물이용시설의 유지관리 점검 내용 및 점검주기	167

그림 차례

[그림 1-1] 우리나라 빗물이용시설의 개수	4
[그림 1-2] 관련 유사 연구수행 건수의 경년변화	9
[그림 2-1] 빗물이용시설별 집수구역 및 연결배관의 계통도 예시	28
[그림 2-2] 건축물의 집수배관 계통도 예시	28
[그림 2-3] 빗물이용시설 계통도 예시	29
[그림 2-4] 빗물이용시설의 조경 수전 설치 계획도 예시	30
[그림 2-5] 빗물이용시설의 빗물이용 계획 및 조경용수 예상 필요량 산정 예시	30
[그림 2-6] 건축심의 단계에서의 빗물이용시설에 대한 의견 및 조치계획 예시	42
[그림 2-7] 행복도시 6-4생활권 공동주택 LID 기법 도입 프로세스	54
[그림 2-8] 행복도시 6-4생활권 공동주택 빗물이용시설 계통도	55
[그림 2-9] 행복도시 6-4생활권 공동주택 빗물이용시설 집수 계획도(L1 블록)	56
[그림 2-10] 행복도시 6-4생활권 공동주택 빗물이용시설 집수 계획도(M1 블록)	57
[그림 2-11] 스타시티 빗물이용시설 개념도 (중앙일보, 2008.04.15.)	58
[그림 2-12] 서울대 기숙사 빗물이용시설 개요도	60
[그림 2-13] 경기 안산시 휴면시아 9단지 내 노면살수 시스템 평면도	61
[그림 2-14] 노면살수에 따른 노면상태 및 열화상카메라 영상 (LH, 2011)	61
[그림 2-15] 수원시 종합운동장의 부지 파복도 및 빗물이용시설 기본계획도	62
[그림 2-16] 수원시 종합운동장 빗물이용 및 침투시설 실시설계도	63
[그림 2-17] 수원시 종합운동장 빗물이용시설 시공 장면 (자료: 수원시 e-홍보팀)	63
[그림 2-18] 빗물을 이용한 노면 살수 및 용설 시스템 (뉴시스, 2013.11.07)	65
[그림 2-19] 공동주택 빗물이용시설의 공중 구분	74
[그림 3-1] 다양한 초기빗물 배제방법	80
[그림 3-2] 건축물 대상 테스트베드의 집수면적	82
[그림 3-3] 건축물 테스트베드에 적용된 초기빗물 처리시설 및 추가 침전시설	83

[그림 3-4] 건축물 지붕에서 유출되는 빗물의 걸보기 농도	84
[그림 3-5] 건축물 지붕에서 유출되는 빗물의 수질특성	85
[그림 3-6] 도로 테스트베드 설치 위치도	88
[그림 3-7] 도로 테스트베드의 노면살수 및 유출수 재이용 개념도	89
[그림 3-8] 도로 테스트베드의 아스팔트 포장과 투수성 포장의 유출수 수질비교	91
[그림 3-9] 벽체 매립된 공동주택 우수배관의 집수배관 연결 가능 구간	93
[그림 4-1] 빗물 저장조의 경관성 개선을 위한 벽면녹화	98
[그림 4-2] 빗물집수장소 및 용도별 빗물처리방식	99
[그림 4-3] 건축물 대상 테스트베드의 빗물저장시설 설계도	100
[그림 4-4] 건축물 테스트베드에 적용된 빗물이용시설의 수질처리	100
[그림 4-5] 건축물 테스트베드 빗물저장시설 내 시간에 따른 수질변화	103
[그림 4-6] 도로 테스트베드의 모니터링 대상 구간	107
[그림 4-7] 도로 테스트베드의 모니터링	107
[그림 4-8] 도로 테스트베드 아스팔트 포장 구간의 노면 유출수 수질 특성	109
[그림 4-9] 도로 테스트베드의 투수성 포장 구간의 노면 유출수 수질유출 특성	113
[그림 4-10] 아스팔트 포장과 투수성 포장 구간 유출수의 수질 비교	116
[그림 4-11] 투수성 포장 구간의 노면 유출수 회수율	119
[그림 4-12] 빗물저장시설의 수질 확보 방안	121
[그림 4-13] 집수면으로부터 유입되는 혐잡물 거름장치	122
[그림 4-14] 초기빗물 처리시설의 개요도	123
[그림 4-15] 초기빗물 처리시설의 작동 과정	123
[그림 4-16] 저장조 내 수류 교란 방지용 J자형 유입관	124
[그림 4-17] 부유형 취수관에 의한 상등수 취수	125
[그림 5-1] 노면살수에 따른 노면상태 및 열화상카메라 영상	132
[그림 5-2] 노면살수 시간변화에 따른 온도변화	133
[그림 5-3] 도로 테스트베드의 노면살수 및 미스트 분사 시스템 구성	134
[그림 5-4] 도로 테스트베드 구간의 모니터링 시스템 구성	135

[그림 5-5] 도로 테스트베드의 구축 현황 (대조군)	136
[그림 5-6] 도로 테스트베드의 구축 현황 (실증1구간)	136
[그림 5-7] 도로 테스트베드의 구축 현황 (실증2구간)	137
[그림 5-8] 도로 테스트베드의 구축 현황 (실증3구간)	137
[그림 5-9] 도로 테스트베드의 공사 과정	138
[그림 5-10] 아스팔트 포장과 투수성 포장의 미세먼지 농도 비교	140
[그림 5-11] 아스팔트 포장과 투수성 포장의 노면살수에 따른 미세먼지 농도변화 ·	140
[그림 5-12] 미스트 분사 효과분석을 위한 실내실험장 전경	141
[그림 5-13] 미스트 분사 시스템의 효과분석을 위한 실내실험 구성	142
[그림 5-14] 실내 실험을 통한 미스트 분사와 온습도 측정	144
[그림 5-15] 미스트 분사에 따른 주변 온도 변화에 대한 열화상 카메라 촬영	145
[그림 5-16] 미스트 분사에 따른 온도 및 습도 변화	146
[그림 5-17] 노면살수를 위한 분사노즐의 종류	148
[그림 5-18] 노면살수를 위한 배관 및 노즐 설계 흐름도	151
[그림 5-19] 노면살수 배관 및 노즐 시공 방법	153
[그림 5-20] 동절기 동파 방지를 위한 퇴수배관 설치 및 운영 방법	155
[그림 5-21] 빗물과 음식물쓰레기를 활용한 자원순환형 생태텃밭의 개념도	158
[그림 5-22] 서울 강북구 번동3단지 텃밭 및 빗물이용시설 대상 부지 현황	159
[그림 5-23] 서울 강북구 번동3단지 빗물이용시설 설치 계획	160
[그림 5-24] 텃밭 빗물 유출수 집수를 위한 침투도랑 설계도서 및 시공과정	161
[그림 5-25] 서울 강북구 번동3단지 빗물이용시설 설계도	162
[그림 5-26] 번동3단지 텃밭을 매개로 한 다양한 커뮤니티 활동	163
[그림 5-27] 빗물이용시설 수시점검 체크리스트	168
[그림 5-28] 빗물이용시설 정기 점검 체크리스트 (집수시설, 초기빗물 처리시설) ·	169
[그림 5-29] 빗물이용시설 정기 점검 체크리스트 (저장시설)	170
[그림 5-30] 빗물이용시설 정기 점검 체크리스트 (처리시설 및 이용시설)	171

제 1 장 서론

1. 연구과제의 개요

1.1 연구과제의 개요

- 연구과제명 : 기후변화를 고려한 빗물이용 활성화 방안 연구(주거단지를 중심으로)¹⁾
- 연구기간 : '19.04~'20.07 (15개월)
- 연구진 : 연구위원 최종수(연구책임), 단장 이정민, 수석연구원 강명수, 연구원 임수현
- 연구비 : 365,000천원
- 주요 연구내용 : 공동주택에 설치되는 빗물이용시설의 이용을 활성화하기 위한 방안을 모색하는 연구로 빗물의 다양한 이용용도 모색, 관련 제도 개선방안 등을 도출하고자 하였음

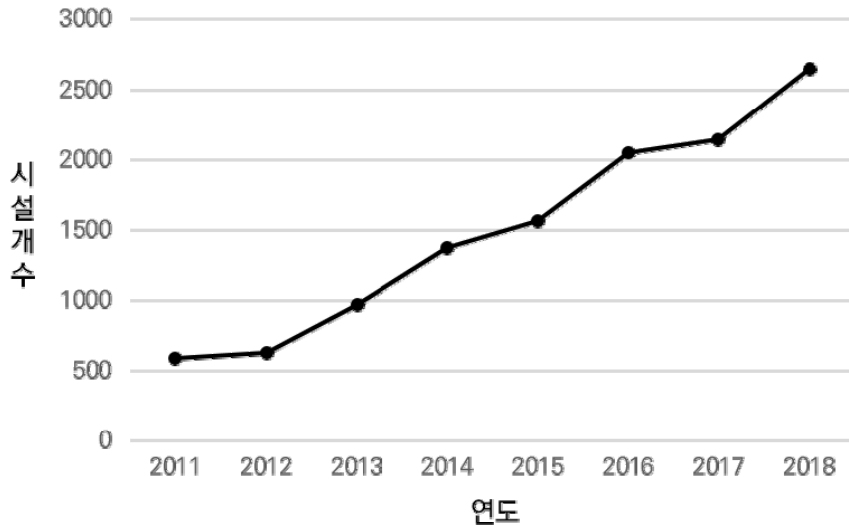
1.2 연구수행의 배경

빗물이용시설은 강우 시에는 강우의 유출저감을 통해 도시홍수를 저감하고, 조경용수 등으로 이용할 경우 투수면을 통한 침투로 물순환을 개선하며, 청소용수 및 노면살수 용수로 이용할 경우 도시 내 쾌적한 환경을 조성하는 등 많은 긍정적 효과를 기대할 수 있다.

2018년 하수도 통계(환경부, 2019)에 따르면 우리나라는 전국적으로 2,650개소,

1) 당초 연구과제명은 「물부족 대응 및 수자원의 효율적 활용을 위한 공동주택 빗물활용 방안 연구」이었으나, 연구내용을 공동주택의 빗물이용 활성화 방안을 중심으로 수행할 필요가 있다는 의견이 제기되어 연구과제명을 변경함

4,794,609.9 m³ 규모의 저류조가 설치되어 매년 7,993,872 m³의 빗물을 이용하고 있으며, 시설 개수도 매년 꾸준히 증가하고 있다[그림 1-1].



[그림 1-1] 우리나라 빗물이용시설의 개수

하지만, 빗물이용에 대한 국민적 관심과 관련 제도, 설치 시설개수의 증가에 비해 빗물이용시설의 운영관리는 미흡한 실정이다. 2018년 환경부 국감자료에 의하면 시설의 이용실태 파악을 위한 계측자료가 제대로 파악되는 시설은 약 7%(152 개소)에 불과한 것으로 나타났다(이투데이, 2018, 대한민국 정부, 2019).

빗물이용시설 설치를 의무화하는 법률²⁾이 마련된 지 10여년이 지났고, 건축물 신축과정에서 빗물이용시설 설치는 이제 일반적인 사항이 되었다. 하지만 빗물을 집수하여 이용하는 기술과 인식은 크게 개선되지 않았다.

빗물이용시설 시공과 유지관리에 있어서는 여전히 시행착오와 어려움을 겪고 있는 실정이다. 시공과정에서는 각 공종 간 업무분장이 불분명하여 현장에서 혼선이 발생하는 경우가 있으며, 유지관리 과정에서는 적절한 이용용도가 한정되어 있고

2) 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 (국가법령정보센터, 2020)

관련 설비의 잦은 고장으로 빗물이용이 제한되는 경우가 자주 발생한다.

상기한 바와 같이 빗물이용에 대한 국민적 관심과 제도에 비해 현장에서의 실질적인 빗물이용은 한계가 있어 빗물이용을 활성화하기 위한 제도개선 방안 및 빗물의 다양한 이용용도를 고민할 필요가 있다.

1.3 연구수행의 목적

우리나라는 빗물이용을 활성화하기 위해 다양한 제도와 인센티브가 마련되고 있어 빗물이용시설의 설치는 어느 정도 정책단계에 접어들고 있지만, 이용현황은 여전히 지지부진한 실정이다.

LHD 녹색건축인증 제도와 관련하여 공동주택 등의 건축물에 빗물을 모아서 이용하기 위한 시설을 설치하고 있지만, 이용방안에 대한 적절한 대안이 없어 실질적인 이용실적이 미흡한 실정으로 이에 대한 이용방안 마련이 필요한 실정이다.

환경부가 제시한 자료(환경부, 2015)에 따르면 우리나라에서 빗물이용시설이 적절하게 관리·운영되지 못하는 이유는 첫째, 저렴한 상수도 요금에 따른 경제성 확보의 어려움, 둘째, 강우의 계절적인 편중으로 연중 안정적인 공급의 한계, 셋째, 적절한 빗물의 이용용도를 찾는 데 한계, 그리고 넷째, 빗물에 대한 이해 부족과 막연한 부정적 인식 등이다.

빗물이용이 활성화 되지 못하는 원인은 명백하지만 이에 대한 대안을 마련하기는 쉽지 않다. 저렴한 상수도 요금에 대한 대안으로 요금을 인상하는 것도 현실적인 한계가 있고, 강우의 계절적인 편중에 대안은 사실상 불가능하기 때문이다. 따라서, 빗물의 이용용도 확대와 주민들의 인식 개선이 빗물이용을 활성화할 수 있는 가장 현실적인 방안이 될 수 있다.

본 연구에서는 빗물의 이용용도를 조경용수 등에 국한하지 않고 폭염과 미세먼지 저감을 위한 노면살수, 도시농업의 관수 등 다양한 용도로 이용하는 방안을 검토하였다. 빗물을 도로 노면에 살수함으로써 여름에는 폭염을 저감하고, 겨울에는 미세먼지 재비산을 방지하는 효과를 기대할 수 있다.

빗물이용을 늘리기 위해서는 이용 및 유지관리에 대한 인센티브 부여가 필요하다. 물론, 상하수도 요금 감면이 이용에 대한 인센티브로 작용할 수도 있지만, 상하수도 요금이 워낙 낮아 사용자가 요금 감면에 따른 인센티브를 체감하기에는 한계가 있다. 따라서, 빗물이용에 따른 상하수도 요금 절감 등의 경제적이고 계량화할 수 있는 인센티브보다는 빗물이용에 따른 환경개선 등의 비계량적인 효과를 제시할 수 있는 방안을 검토하였다.

2. 연구내용별 세부 수행방법

본 연구는 빗물을 이용하기 위한 과정인 빗물의 집수, 저장, 그리고 이용의 3단계로 구분하여 연구를 수행하였다. 그 외에 빗물이용시설의 운영현황을 분석하였으며, 아울러 국내 빗물이용 관련 제도의 한계와 개선방안을 제시하였다.

각 항목별 세부 연구수행 방법은 아래와 같다.

2.1 빗물이용시설의 운영현황 분석

국내 빗물이용시설의 현황은 하수도 통계(환경부, 2019)에 제시된 자료를 토대로 분석하였다. 해당 자료에는 빗물이용시설의 현황은 상세히 기술되어 있으나, 실질적인 운영실태에 대한 자료는 부족하여 지자체의 빗물이용시설 지도점검 결과를 참고하였다.

빗물이용시설의 운영실태에 대한 정확한 자료를 구득하는 방법은 빗물이용시설 사용자를 대상으로 시설에 대한 운영실태 모니터링과 인터뷰이지만, 빗물이용시설 사용자가 관련 자료의 대외 공개를 꺼려 해당 방법의 수행은 곤란하였다.

따라서, 지자체가 관내 빗물이용시설을 대상으로 지도 점검한 결과를 토대로 운영실태를 분석하였다. 본 연구에서는 전북 전주시가 비교적 지도 점검에 관한 상세한 자료를 가지고 있어 해당 지자체의 협조를 얻어 빗물이용시설의 운영실태를 분석하였다.

2.2 관련 제도 검토 및 개선방안 도출

빗물이용과 관련된 국내 법률 및 지자체 조례, 가이드라인 등을 검토하였다. 검토 대상 관련 법률은 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」, 「녹색건축물 조성 지원법」, 「물환경보전법」, 「물관리기본법」, 「하수도법」 등이었으며, 지자체 조례로는 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례」, 「물순환 개선 조례」 등이었다. 이 외에도 녹색건축물 인증과 관련된 「녹색건축물 인증기준 해설서(한국건설기술연구원, 2019)」을 검토하였으며, LH의 관련 공종의 설계지침을 참고하였다.

상기의 관련 제도 분석을 토대로 빗물이용 활성화를 위한 제도개선 방안을 제시하였을 뿐만 아니라, 현장의 시공과정에서 발생할 수 있는 문제점과 대안에 대해서도 관련 전문가 의견을 구하여 제시하였다.

2.3 빗물 집수방안

빗물을 집수하는 과정과 관련하여 집수방법, 초기빗물 처리방법, 대상 집수면, 집수대상 빗물의 양 등을 검토 대상으로 하였다. 빗물의 집수면을 확대하는 방안으로 도로에서 유출되는 빗물을 투수성 포장을 통해 여과한 후 순환하여 사용하는 방안을 검토하였다. 초기빗물 처리시설 검토를 통해 적절한 초기빗물 처리방법을 제시하였다.

집수의 집수와 초기빗물 처리, 그리고 빗물의 순환 이용 등의 현장 적용성을 검토하기 위해 건축물과 도로를 대상으로 테스트베드를 구축하여 실험을 수행하였다. 건축물 테스트베드는 대전 유성구에 위치한 LH 토지주택연구원을 대상으로 하였으며, 도로 테스트베드는 경기 부천시 오정로 일원을 선정하였다.

2.4 빗물 저장방안

빗물저장을 위한 저장조 용량을 산정하는 것이 가장 중요하지만, 빗물이용시설과 관련된 기준은 거의 모두 지붕면적 (m^2) \times 0.05 (m)로 규정하고 있어 본 연구에서는 별도의 검토없이 해당 기준을 따랐다.

저장조의 설치 위치를 조사하였으며, 테스트베드 2곳을 대상으로 저장조에 저장된 빗물의 수질을 분석하였으며, 이용목적에 맞는 수질을 확보하기 위한 수질처리 방법을 검토하였다.

2.5 빗물 이용방안

기존의 전통적인 빗물이용 용도인 조경용수, 청소용수 외에 도로 노면살수 용수, 도시농업의 관수 등 다양한 용도를 검토하였다. 아울러 해당 목적으로 빗물 이용에 따른 효과를 분석하였다. 노면살수에 따른 폭염저감 및 미세먼지 저감효과는 수치로 제시하였으며, 도시농업의 관수 활용에 따른 효과는 입주민 만족도 등 비계량 효과로 대체하였다.

빗물을 이용한 노면살수 시설 설치에 필요한 배관 설계 및 동계기간 동파 방지 계획 등을 제시하였다.

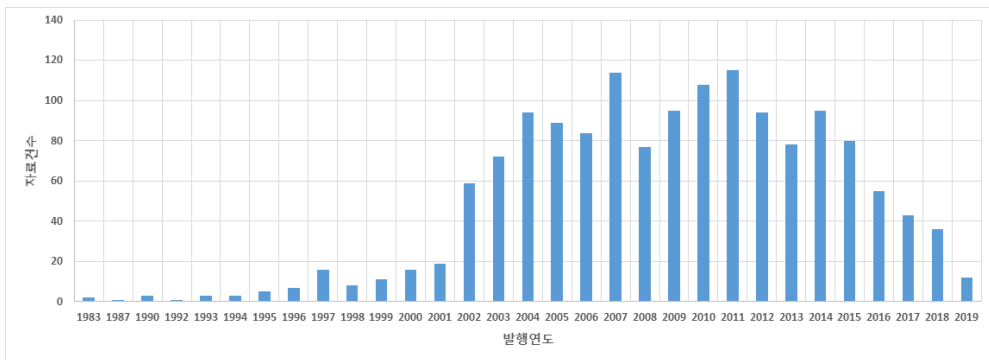
3. 기존 연구사례 및 차별성

3.1 선행 연구사례 분석방법

NAVER 학술정보 서비스를 이용해 다양한 키워드로 학술자료를 검색하였다. 자료의 발행년도는 2014~2019을 대상으로 하였으며, 검색 키워드는 빗물, 이용, 처리, 수질, 규모, 활성화 등이었다.

3.2 선행 연구사례 분석결과

'빛물' + '이용'의 키워드로 자료건수를 검색한 결과, 전체 321건이 검색되었으며 1983년부터 나타난 연구 사례는 2010년 초반에 정점을 기록한 이후 매년 자료건수가 감소하고 있었다[그림 1-2].



[그림 1-2] 관련 유사 연구수행 건수의 경년변화

기존 연구사례 분석 결과, 빛물을 이용하기 위한 적정 수질, 처리방안 등에 관한 자료가 대부분이었으며, 제도개선 방안 및 이용 활성화의 대안 제시는 제한적이었다[표 1-1].

[표 1-1] 기존 유사 연구사례의 키워드 검색 결과

검색 키워드	검색 건수	검색 키워드	검색 건수
빛물	581	빛물 + 수질	137
빛물 + 이용	321	빛물 + 규모	83
빛물 + 처리	161	빛물 + 활성화	36

3.3 선행 연구와의 차별성

빗물과 관련된 기존 연구는 대부분 빗물의 수질 분석, 수질확보를 위한 수질처리 방법, 적정 용량 산정 방법 등이었다.

본 연구는 빗물이용 활성화 방안으로 국내 제도 검토와 개선방안, 집수·저장이 용과정의 한계 및 개선방안을 제시하였다. 아울러 노면살수 및 도시농업 관수 등 기존의 전통적인 용도 외에 새로운 용도로 빗물을 이용하고 현장 모니터링을 통해 그 효과를 제시하였다[표 1-2]

[표 1-2] 기존 유사 연구와 본 연구와의 차별성

구분		기존 연구	본 연구
제도적 검토		제도개선 방안에 대한 충분한 검토가 부족함	법률, 지자체 조례, 시방서 및 설계기준 등의 방대한 내용을 검토하여 개선방안을 제시함
기술적 검토	집수면	건축물 지붕으로 한정됨	충분한 집수량 확보를 위해 지붕면 외에 도로, 녹지, 공원 등 다양한 지표면을 대상으로 함
	초기빗물 처리	여과시설 등 동력소요가 큰 처리시설이 설치됨	무동력의 초기빗물 처리시설만으로 용도에 부합하는 수질확보가 가능한지의 여부를 검토함
	저장공간	저장조 용량 위주로 검토함	용량 검토는 기존 연구사례를 따르며, 저장조의 설치위치, 설치 시 타 시설물과의 간섭, 공중 구분 등을 검토함
	용도	조경용수, 화장실 용수	기존 용도 외에 폭염 및 미세먼지 저감을 위한 노면살수 용수, 도시농업의 관수로 용도를 확장함
	순환사용 여부	저장된 빗물의 일회성 이용	이용 후 다시 집수하는 순환방식을 적용하여 한정된 빗물로 최대한의 효과를 거둘 수 있는 방안을 검토함

4. 용어 정의

본 보고서에서 사용된 용어는 환경부(2010)를 따랐으며, 세부 내용은 다음과 같다.

- ① 집수시설은 집수관, 루프드레인, 홈통받이 등 대상 집수면에 내리는 빗물보다 효과적으로 모으기 위해 활용하는 시설을 말한다. 집수기술에는 이용되는 설비뿐 아니라 대상 집수면의 종류, 면적 등에 따라 집수 가능량을 조절하고, 집수면에 경사를 두어 효율을 제고할 수 있으므로 집수면 자체에 대한 내용을 포함하도록 한다.
- ② 초기빗물 처리시설은 강우 초기 집수면으로부터 유출되는 오염도 높은 초기 빗물에 대한 것을 다룬다³⁾.
- ③ 저류시설은 집수한 빗물을 활용 용도에 맞도록 적합한 용량으로 빗물을 저장하는 시설이다. 저류시설은 대상지역의 여건에 따라 재질 및 형식을 달리하며, 구조적 안전성을 확보하도록 한다⁴⁾.
- ④ 수처리시설은 빗물의 사용용도에 적합한 목표수질을 유지하기 위해 활용되는 여과, 소독 등의 방법으로 처리하는 시설이다. 저류된 빗물을 용도에 맞도록 처리하는 방법에 대하여 제시한다.
- ⑤ 송수배수시설은 저장한 빗물을 활용처로 보내거나 안전상의 이유로 하천 및 공공 하수도로 방류하는 시설을 말하며, 유지관리 시 편리성을 위하여 빗물이 용시설의 계측 및 제어설비를 포함한다⁵⁾.

3) 본 보고서는 초기우수 처리장치, 초기우수 배제시설, 초기빗물 처리장치, 초기빗물 배제시설 등의 표현을 초기빗물 처리시설로 통일함

4) 본 보고서는 빗물을 저장, 저류, 보관 등 일체의 표현을 저류로 통일하는 것을 원칙으로 하였으나, 일부 문맥의 흐름을 위해 저장 또는 보관으로 표현하였음

5) 상하수도 공학에서 사용되는 송배수의 의미와의 다소 상이함. 상하수도 공학에서 송수(送水)시설은 정수된 물을 배수지까지 보내는 시설을 의미하며, 배수(配水)시설은 배수지로부터 배수관까지의 시설을 의미함

5. 보고서의 구성

본 보고서는 총 6장으로 구성되어 있다.

제1장은 서론으로 연구과제의 개요, 세부 수행방법, 기존 연구사례와의 차별성, 본 연구에 사용된 용어의 정의 등을 기술하고 있다.

제2장은 관련 제도 검토 및 빗물이용시설의 운영현황을 분석하였다. 관련 법률을 비롯한 지자체 조례, 지침서 및 설계기준 등을 검토하고 개선방안을 도출하였다. 아울러, 하수도 통계와 지자체의 빗물이용시설 운영실태 점검 결과를 토대로 국내 빗물이용시설의 운영실태를 분석하였다. 관련 분야 공무원을 비롯하여 빗물이용시설의 제도를 운영하는 실무자에게 참고가 될 수 있는 내용이다.

제3장은 빗물이용을 위한 집수에 관한 내용을 다루고 있다. 초기빗물의 처리방법, 집수시설의 현장 설치 시 고려사항 등을 언급하고 있어 현장에서 빗물이용시설을 설치하는 실무자에게 참고가 될 만한 내용이다.

제4장은 집수된 빗물을 저장하는 저장시설에 대한 설명이다. 빗물 저장조 내 수질 및 적정 수질처리방안, 안정적인 수량 확보를 위한 대안 등을 제시하고 있다. 본 장은 빗물이용시설을 설치하는 실무자와 빗물이용시설의 사용자가 참고할 수 있는 내용을 담고 있다. 특히, 빗물이용시설의 수질확보 방안과 관련하여 동력소요를 최소화할 수 방안을 제시하여 실무자가 참고할 수 있도록 하였다.

제5장은 저장된 빗물을 이용할 수 있는 다양한 용도를 제시하고 빗물이용에 따른 효과를 분석하여 제시하였다. 본 연구에서는 기존의 전통적인 빗물이용 용도 외에 새로운 접근으로 폭염 및 미세먼지 저감을 위한 노면살수, 도시 커뮤니티 형성을 위한 도시농업의 관수 등에 대한 적용 효과를 다루었다. 아울러, 노면살수를 위한 배관 설계 등 이용시설의 설계에 관한 내용도 담고 있다. 본 장의 내용은 빗물이용시설의 사용자 및 커뮤니티 활동을 수행하는 시민단체 활동가가 참고할 만한 내용이다.

마지막 제6장은 결론 부분으로 본 연구를 통해 얻어진 성과를 종합적으로 정리하여 제시하였다.

6. 일러두기

6.1 공동주택 빗물이용시설에 한정

본 연구는 연구과제명에 언급된 바와 같이 공동주택에 설치되는 빗물이용시설을 대상으로 하였다. 따라서, 공동주택 외의 건축물에 설치되는 빗물이용시설은 본 연구에서 고려하지 않았다.

6.2 빗물이용은 기존 용도가 아닌 새로운 용도 위주로 접근

빗물의 대표적인 용도는 조경용수, 화장실 용수이지만 본 연구에서는 이에 대해서는 검토하지 않았다. 연구의 수행 배경이 기존 용도만으로는 빗물이용에 한계가 있어 기존 용도 이외의 용도가 필요했기 때문에 본 연구에서는 폭염 및 미세먼지 저감을 위한 노면살수의 적용성 검토, 도시농업의 관수 등의 용도에 대한 검토를 위주로 하였다.

6.3 기록적인 장마로 폭염저감 효과 모니터링의 한계

2020년 여름은 기상관측 이래 가장 긴 54일간의 장마를 기록했다. 긴 장마로 인해 하계기간 중 노면살수를 통한 폭염저감 효과에 대한 충분한 현장실험을 수행하지 못하였다.

실험 횟수는 많지 않았지만, 노면살수에 따른 온도저감 효과, 일반 아스팔트 포장과 투수성 포장 등 노면조건에 따른 효과 비교 등 노면살수의 효과를 평가할 수 있는 결과는 도출하였다.

6.4 빗물이용시설 운영 실태에 대한 모니터링 한계

국내 주요 빗물이용시설의 유지관리 및 운영 실태를 분석을 위해 빗물이용시설을 대상으로 현장 모니터링 등을 수행하고자 하였으나, 시설의 운영 관리자가 수질, 이용 유량 등의 운영 실태에 대한 자료의 대외 공개를 꺼려 본 연구에서는 충분한 현장 모니터링이 수행되지 못하였다.

이에 대한 대안으로 전북 전주시가 관내의 빗물이용시설을 대상으로 지도 점검한 결과⁶⁾를 분석하여 운영현황으로 제시하였다.

6) 빗물이용시설 운영실태 지도점검 결과 (전주시, 2017.03)

제2장 관련 제도 검토 및 빗물이용시설 운영현황 분석

1. 빗물이용 관련 제도 및 한계

1.1 빗물이용 관련 제도의 개요

우리나라의 수자원 개발은 1960년대 후반부터 시작된 도시화를 계기로 1970년부터 본격화되기 시작했다. 이때 물관리는 주로 중앙집중식 홍수 및 가뭄관리 중심이었다. 1990년대에 들어 각종 수질오염 사고가 발생하면서 기존 물관리 방식의 한계점을 인식하게 되었고, 기후변화에 대한 우려가 증가됨에 따라 2000년대에는 기존 중앙집중식 물관리 정책에서 벗어나서 분산식 물관리 방식에 대한 관심을 갖기 시작하였다.

빗물이용에 대한 새로운 패러다임을 제시한 『수도법』이 2001년에 제정되고, 『자연재해대책법』이 2004년에 우수유출 저감방법과 관련 시설에 대한 내용을 포함했다. 2007년에는 『수질 및 수생태계 보전에 관한 법률』에 비점오염원 관리 및 수질오염물질 총량제에 관한 내용을 반영하였다. 『물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률』이 2010년 제정되면서 빗물이용, 중수도, 하수 및 폐수처리수 재이용에 대한 구체적인 내용이 반영되었다.

2013년에 『도시·군사계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙』이 개정되면서 강우유출 최소화를 위한 규정을 법제화함으로써 지속가능한 물순환 방식에 대한 보편적인 기반을 마련하게 되었다. 특히, 『물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률』의 개정을 통해 빗물이용시설의 설치, 운영대상을 공동주택, 학교, 골프장, 대규모 점포 등을 추가하여 빗물이용을 확대하게 되었다.

2018년에는 물관리기본법이 제정되면서 물관리 일원화를 통해 환경부와 국토교통부가 각각 수질과 수량으로 나누어 관리하던 물관리 업무를 환경부가 통합 관리하게 되었다.

1.2 빗물이용 관련 법률

빗물이용의 근거 법률은 『물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률(이하 ‘물재이용법’)], 『물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 시행령(이하 ‘물재이용법 시행령’)], 『물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 시행규칙(이하 ‘물재이용법 시행규칙’)]이다.

해당 법률은 빗물뿐만 아니라, 중수(中水) 등 물의 재이용에 관한 전반적인 내용을 다루고 있기 때문에 관련 법률 조문 중 빗물이용과 관련된 내용만 별도 발췌하여 아래에 기술하였다.

1.2.1 개요

(1) 법의 목적(물재이용법 제1조)

이 법은 물의 재이용을 촉진하여 물 자원을 효율적으로 활용하고 수질에 미치는 해로운 영향을 줄임으로써 물 자원의 지속 가능한 이용을 도모하고 국민의 삶의 질을 높이는 것을 목적으로 한다.

(2) 정의(물재이용법 제2조)

- ① 물의 재이용 : 빗물, 오수(汚水), 하수처리수, 폐수처리수 및 발전소 온배수를 물 재이용시설을 이용하여 처리하고, 그 처리된 물(이하 “처리수”)을 생활, 공업, 농업, 조경, 하천 유지 등의 용도로 이용하는 것을 말한다.
- ② 물 재이용시설 : 빗물이용시설, 중수도, 하·폐수처리수 재이용시설 및 온배수 재이용시설을 말한다.
- ③ 빗물이용시설 : 건축물의 지붕면 등에 내린 빗물을 모아 이용할 수 있도록 처리하는 시설을 말한다.
- ④ 중수도 : 개별 시설물이나 개발사업 등으로 조성되는 지역에서 발생하는 오수를 공공하수도로 배출하지 아니하고 재이용할 수 있도록 개별적 또는 지역적으로 처리하는 시설을 말한다⁷⁾.

7) 중수도의 용어 정의에 근거할 때 빗물이용시설은 중수도 시설에 포함되지 않으며, 빗물 또한 중수가 아님

1.2.2 빗물이용시설의 설치 및 관리

(1) 빗물이용시설 설치 대상 및 설치 기준 (물재이용법 제8조)

물재이용법 법 제8조에 근거하여 대통령령으로 정하는 일정 규모 이상의 시설물을 신축 또는 증축·개축 또는 재축하는 경우에는 빗물이용시설을 설치·운영하도록 하고 있다[표 2-1].

[표 2-1] 빗물이용시설 설치 대상 시설물 (물재이용법 시행령 제10조)

대상 시설물	신축	증축·개축 또는 재축
운동장(지붕이 있는 경우로 한정) 또는 체육관 ⁸⁾ , 공공업무시설(군사·국방시설은 제외) ⁹⁾ , 공공기관의 청사 ¹⁰⁾	지붕면적 1,000 m ² 이상인 시설물	<ul style="list-style-type: none"> ○ 증축으로 누적된 지붕면적이 1,000 m² 이상 ○ 개축·재축한 지붕면적이 1,000 m² 이상
아파트, 연립주택, 다세대주택 및 기숙사 ¹¹⁾	건축면적 10,000 m ² 이상인 공동주택	<ul style="list-style-type: none"> ○ 증축으로 누적된 건축면적이 10,000 m² 이상 ○ 개축·재축한 건축면적이 10,000 m² 이상
초등학교, 중학교, 고등학교, 전문대학, 대학 및 대학교 ¹²⁾	건축면적 5,000 m ² 이상인 학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 증축으로 누적된 건축면적이 5,000 m² 이상 ○ 개축·재축한 건축면적이 5,000 m² 이상
골프장 ¹³⁾	부지면적 100,000 m ² 이상인 골프장	<ul style="list-style-type: none"> ○ 증축으로 누적된 부지면적이 100,000 m² 이상 ○ 개축·재축한 부지면적이 100,000 m² 이상
대규모 점포 ¹⁴⁾	매장면적의 합계가 3,000 m ² 이상	<ul style="list-style-type: none"> ○ 증축으로 누적된 매장면적이 3,000 m² 이상 ○ 개축·재축한 매장면적이 3,000 m² 이상

8) 「체육시설의 설치·이용에 관한 법률 시행령」 별표 1

9) 「건축법 시행령」 별표 1 제14호 가목

10) 「공공기관의 운영에 관한 법률」 제4조제1항

11) 「건축법 시행령」 별표 1 제2호

12) 「건축법 시행령」 별표 1 제10호가목

13) 「체육시설의 설치·이용에 관한 법률 시행령」 별표 1

14) 「유통산업발전법」 제2조제3호

빗물이용시설을 설치한 자는 환경부령으로 정하는 바에 따라 설치 결과를 특별자치시장·특별자치도지사·시장·군수·구청장에게 신고하여야 한다(법 제8조제1항). 빗물이용시설 설치 결과를 신고하려는 자는 빗물이용시설의 설치공사를 마친 후 30일 이내에 관련 서식의 설치신고서를 특별자치시장·특별자치도지사·시장·군수·구청장에게 제출하여야 한다¹⁵⁾.

특별자치시장·특별자치도지사·시장·군수·구청장은 빗물이용시설 설치 신고서를 제출받은 경우에는 그 빗물이용시설이 시설기준 및 관리기준에 적합한지를 확인한 후 별지 빗물이용시설 설치확인서¹⁶⁾를 발급하여야 한다.

(2) 관련 시설 기준의 문제점 및 개선방안

[표 2-2]에 제시된 빗물이용시설 시설기준을 보면 빗물의 집수, 저장, 이용하는 과정에서 집수면, 수질처리, 이용용도 등을 제한하는 표현이 존재하므로 이에 대한 개선이 필요할 것으로 판단된다.

예를 들면, 물재이용법 제2조의 빗물이용시설 정의는 ‘건축물의 지붕면 등에 내린 빗물을 모아 이용할 수 있도록 처리하는 시설을 말한다’로 정의하고 있어, 빗물이용시설의 집수면을 건축물의 지붕에 한정하는 듯한 표현을 담고 있다.

오염도가 높은 초기빗물에 대한 처리방법에 있어서도 ‘이물질 제거할 수 있는 여과장치 등 처리시설’로 언급하여 빗물이용시설 설치 시 수질처리를 위해 여과장치가 반드시 설치해야 하는 듯한 오해를 야기할 수 있다. 이로 인해 일정 규모 이상의 빗물이용시설은 대부분은 수질 확보를 위해 저류조 전단에 여과장치를 설치하고 있다.

빗물 이용에 있어서도 ‘처리한 빗물을 화장실 등 사용장소로 운반할 수 있는 펌프·송수관·배수관 등 송수시설 및 배수시설’로 언급하여 빗물의 주된 이용용도를 한정하는 듯한 느낌을 줄 수 있다.

15) 「물재이용법 시행규칙」 별지 제1호 서식 빗물이용시설 설치 신고서

16) 「물재이용법 시행규칙」 별지 제2호 서식 빗물이용시설 설치 확인서

따라서, 향후 제도개선 과정에서 빗물의 집수면, 초기빗물 처리방법, 그리고 빗물의 이용용도를 한정하는 듯한 표현은 수정할 필요가 있다고 판단된다.

[표 2-2] 빗물이용시설 시설기준 및 관리기준 (시행규칙 제4조)

구분	세부 기준
시설기준	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 지붕(골프장의 경우에는 부지를 말한다)에 떨어지는 빗물을 모을 수 있는 집수시설(集水施設) ◦ 처음 내린 빗물을 배제할 수 있는 장치나 빗물에 섞여 있는 이물질 제거할 수 있는 여과장치 등 처리시설 ◦ 처리시설에서 처리한 빗물을 일정 기간 저장할 수 있는 다음의 요건을 갖춘 빗물 저류조(貯溜槽) <ul style="list-style-type: none"> - 지붕의 빗물 집수 면적에 0.05미터를 곱한 규모 이상의 용량(골프장의 경우 해당 골프장에 집수된 빗물로 연간 물사용량의 40퍼센트 이상을 사용할 수 있는 용량을 말한다)일 것 - 물이 증발되거나 이물질이 섞이지 아니하고 햇빛을 막을 수 있는 구조일 것 - 내부를 청소하기에 적합한 구조일 것 ◦ 처리한 빗물을 화장실 등 사용장소로 운반할 수 있는 펌프·송수관·배수관 등 송수시설 및 배수시설
관리기준	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 음용(飲用) 등 다른 용도에 사용되지 아니하도록 배관의 색을 다르게 하는 등 빗물이용시설임을 분명히 표시할 것 ◦ 연 2회 이상 주기적으로 제1항 각 호의 시설에 대한 위생·안전 상태를 점검하고 이물질을 제거하는 등 청소를 할 것 ◦ 빗물사용량, 누수 및 정상가동 점검결과, 청소일시 등에 관한 자료를 기록하고 3년간 보존할 것(전자적 방법으로 기록·보존할 수 있다)

빗물이용 관련 법률을 검토한 결과 빗물이용시설의 설치에 대해서는 구체적이고 계량화된 기준이 제시되어 있으나, 관리기준 및 이용에 대해서는 구체적인 기준이 다소 부족한 것으로 판단된다.

빗물이용시설의 유지관리 기준에는 연 2회 이상 주기적인 청소와 빗물사용량 등에 관한 자료를 기록하는 것으로만 규정하고 있어 빗물을 수자원으로 상시 이용하도록 하는 기능은 부족한 것으로 판단된다. 따라서, 빗물이용을 활성화하기 위해서는 일정량 이상의 빗물을 이용하도록 강제하는 규정도 관리기준에 포함되어야 할 것으로 판단된다.

한편, 중수도의 시설관리기준을 보면 수량 부족에 대비하여 수돗물 등에 의한 보급이 가능하고, 처리한 물과 수돗물 등이 섞이지 않는 구조로 된 저류조를 두도록 규정하고 있다. 이는 안정적인 수량 공급이 다소 어려운 중수도의 특성을 고려한 것으로 수돗물 공급을 통해 안정적인 수량을 확보하기 위한 것으로 판단된다.

마찬가지로 빗물이용시설도 수돗물 공급이 가능하도록 하여 수자원으로서의 안정성을 확보할 수 있어야 한다. 빗물이용시설이 안정적인 공급이 전제되지 않으면 수자원으로 인식하기 어려워지고 이로 인해 빗물이용에 대한 인식도 낮아지게 된다.

1.2.3 수질기준 (시행규칙 제8조)

우리나라는 빗물이용과 관련된 별도의 수질기준은 아직 마련되어 있지 않으며, 중수도 수질기준을 준용하고 있다. 중수도 수질기준은 다음의 6가지 용도로 구분하여 수질기준을 정하고 있는데 세부적인 기준은 [표 2-3]과 같다.

- ① 청소·화장실 용수 : 건물 내부 청소 또는 화장실 사용을 위한 용수
- ② 세척·살수 용수 : 도로, 건물 외부 등의 세척 또는 살수(撒水) 용수
- ③ 조경 용수 : 가로수, 잔디 등 도로·공원·체육시설 등의 식물 식재(植栽) 용수
- ④ 친수 용수 : 하천 또는 인공적으로 건설된 실개천 등의 물놀이 등 수변 휴양을 위하여 공급되는 용수
- ⑤ 하천 등 유지용수 : 하천, 저수지 및 소류지(小溜池), 습지 등의 수량 유지를 위하여 공급되는 용수
- ⑥ 공업 용수 : 냉각용수, 보일러 용수 및 생산공정에 공급되는 산업용수

물재이용법 제2조의 용어 정의에서 중수도는 ‘개별 시설물이나 개발사업 등으로 조성되는 지역에서 발생하는 오수를 공공하수도로 배출하지 아니하고 재이용할 수 있도록 개별적 또는 지역적으로 처리하는 시설’로 정의하고 있다. 중수는 오수를 처리한 것으로 법적 용어 정의에 근거할 때 빗물은 중수에 포함되지 않기 때문에 빗물이용에 필요한 수질기준을 중수도의 수질기준을 준용한다는 것은 법적 모순이

제기될 우려가 있다.

물재이용법의 목적 및 제정 취지가 물의 재이용을 촉진하여 물 자원을 효율적으로 활용하고자 함을 고려할 때 수원(水源)에 따른 수질기준보다는 사용 용도에 따른 수질기준 설정이 적절한 것으로 판단된다.

따라서, 빗물이용에 필요한 별도의 수질기준을 마련하기보다는 기존의 중수도 수질기준을 준용하되, 수질기준은 수원에 따라 결정하는 것이 아니라, 물의 이용 용도별로 결정하면 될 것으로 판단된다.

[표 2-3] 중수도의 용도별 수질기준 (물재이용법 시행규칙 별표1)

구분	청소화장실 용수	세척살수 용수	조경용수	친수용수	하천 등 유지용수	공업용수
총대장균군수 (개/100ml)	불검출	1,000이하	1,000이하	불검출	1,000 이하	수요자와 공급자간 협의에 따라 정하되, 비고 2의 기준을 따를 것
결합잔류염소 (mg/L)	0.2이상	-	-	0.1 이상	-	
탁도 (NTU)	2 이하	2 이하	2 이하	2 이하	-	
생물화학적 산소요구량 (BOD) (mg/L)	5 이하	5 이하	5 이하	3 이하	5 이하	
냄새	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	
색도 (도)	20 이하	-	-	10 이하	-	
총질소(T-N) (mg/L)	-	-	-	10 이하	20 이하	
총인(T-P) (mg/L)	-	-	-	0.5 이하	0.5 이하	
수소이온농도 (pH)	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	
염화물 (mgCl/L)	-	-	250 이하	-	-	

1.3 지자체 조례 및 빗물이용시설 설치 지원

우리나라 대부분의 지자체는 빗물이용 또는 물순환에 대한 조례를 운영하고 있다¹⁷⁾. 조례명은 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례」, 「빗물관리에 관한 조례」, 「물순환 기본 조례」 등으로 다양하지만, 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」과 같은 법 시행령 및 시행규칙에서 위임된 사항과 그 시행에 필요한 사항을 규정하고 있기 때문에 대부분 유사한 내용으로 구성되어 있다.

본 연구에서는 지자체의 관련 조례 중 서울시의 조례를 대표적으로 인용하여 기술하였다.

1.3.1 서울시의 빗물이용시설 관련 조례

서울특별시의 빗물이용시설과 관련된 조례는 「서울특별시 물순환 회복 및 저영향개발 기본조례」와 「서울특별시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례」의 두 가지이다. 각 조례에 대한 세부내용은 아래와 같다.

(1) 서울특별시 물순환 회복 및 저영향개발 기본조례

해당 조례는 「자연재해대책법」, 「환경정책기본법」, 「지하수법」 등 관계법령에 근거하여 빗물의 자연 침투능력을 보전하고, 빗물의 표면유출 억제를 위한 정책을 종합적이고 체계적으로 추진하기 위한 사항을 규정하며, 개발로 인하여 발생하는 지하수의 유출을 최소화하여 도시화로 악화된 자연 물순환 회복과 물환경 보전을 위한 저영향개발의 기본방향을 제시함을 목적으로 하고 있다¹⁸⁾.

빗물의 침투·저류를 통한 표면유출 억제에 방점이 있는 조례로 물순환 회복을 위한 저영향개발 기법에 관한 내용을 위주로 다루고 있다.

빗물이용시설에 대해서는 제18조 (빗물의 이용), 제19조 (물 재이용시설의 연계

17) 자치법규정보시스템 (<http://www.elis.go.kr>)

18) 「서울특별시 물순환 회복 및 저영향개발 기본조례」 제1조 (목적)

등), 제20조 (물 재이용시설의 설치 및 지원 등)에서 다루고 있으나, ‘빗물이용을 우선 고려하여야 한다’는 등의 원칙적인 내용만 기술하고 있다. 구체적인 내용은 「서울특별시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례」에 따르도록 하고 있다.

서울시의 저영향개발 사전협의 제도는 빗물관리 기본계획에서 제시된 저영향개발 관련 산정식을 이용하여 토지용도별 빗물분담량에 따른 필요 대책량을 산정하도록 하고 있다. 그리고, 계획된 저영향개발 시설들의 유출 저감량을 산정, 합산하여 설치 대책량을 산출하고, 산출값과 계획된 빗물관리시설의 적정성을 검토한다.

대지면적 10,000 m² 이상의 개발사업은 물순환위원회의 자문회의를 통해 저영향개발 계획, 적용시설의 적합성, 배치의 적절성 등 용량뿐만 아니라 저영향개발 계획의 전과정을 평가하여 저영향개발 시설들이 적절히 적용될 수 있도록 하고 있다.

서울시의 저영향개발 사전협의 제도에서 빗물이용시설을 검토하는 내용은 다음과 같다.

① 집수구역 설정의 적정성

집수구역 설정의 적정성의 검토는 유입되는 빗물의 오염도를 최소화하여 모인 빗물의 활용이 용이하도록 하고, 정화시설에 소요되는 비용과 에너지를 최소화하는데 중점을 두고 있다. 따라서 집수구역은 옥상녹화구역을 제외한 옥상면이 우선적으로 적용되었는지 검토한다. 다만 옥상면이 빗물을 집수할 수 없는 형태이거나, 옥상정원의 면적이 넓어 부득이하게 보도면 등이 집수면으로 포함될 경우 초기빗물 처리시설 또는 정화장치가 적정한 용량으로 설치되는지를 검토하고, 차도에서의 집수는 지양하도록 하고 있다.

② 집수구역 대비 빗물이용시설의 용량의 적정성

집수구역 대비 빗물이용시설 용량의 적정성을 검토하기 위해 서울시는 설계량 산출 자료를 제공하고 있으며, 집수면적(대상면적) 대비 저장용량의 값이 저장계수 0.05를 넘지 않도록 하고 있다. 저장계수 0.05는 50 mm 강우에 대비하기 위한 값

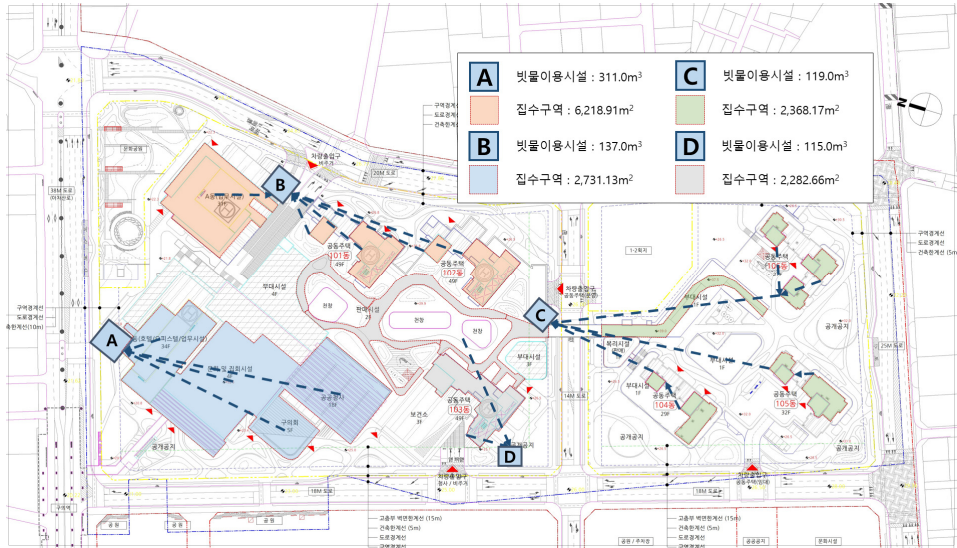
으로, “물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률”에서 제시하는 값과 동일하다. 서울시의 강우사상을 검토하면 50 mm 이하의 강우가 전체 강우일수의 95퍼센타일을 초과하기 때문에, 이보다 더 큰 용량으로 설계하는 것은 과설계로 이어질 수 있어 빗물이용시설의 저장계수를 0.05로 제한하고 있다.

③ 개별 집수구역과 빗물이용시설을 연결하는 별도 배관의 유무

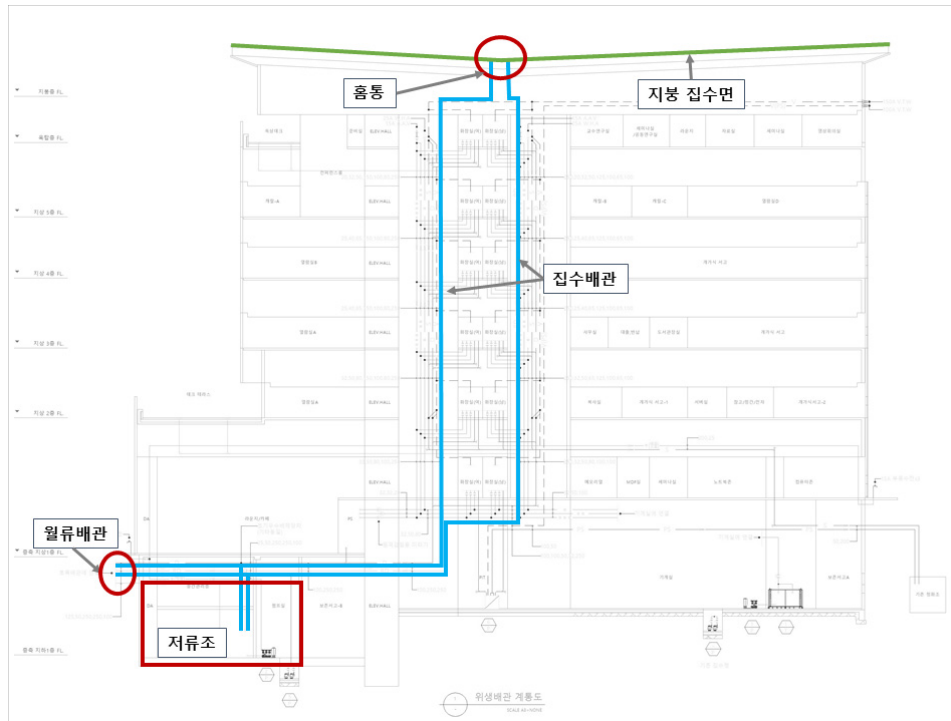
개별 집수구역과 빗물이용시설을 연결하는 별도 배관의 유무를 판단하기 위해 집수연결 배관 도서를 제출하도록 하고 있다. 제출하는 도면은 [그림 2-1]의 대상지 전체를 볼 수 있는 배치도에 표현한 연결배관의 계통도와 [그림 2-2]에 제시된 건축물의 입면에 표현하는 집수배관 설치 계통도이다.

계통도의 경우 정밀한 설계도라기보다는 개념도에 가까운 형태이며, 이를 구체적으로 설계하기 위해서는 세부 공종별 논의를 통해 복잡한 배관들의 정리가 필요하다. 건축물 내에서는 상수, 우수, 가스, 환기, 난방, 소방 배관 등과 간섭이 없도록 검토해야 하며, 건축물 외부에서는 상수, 하수, 우수 배관과의 간섭과 빗물을 자연유하 방식으로 집수하기 위한 구배 검토가 필요하다.

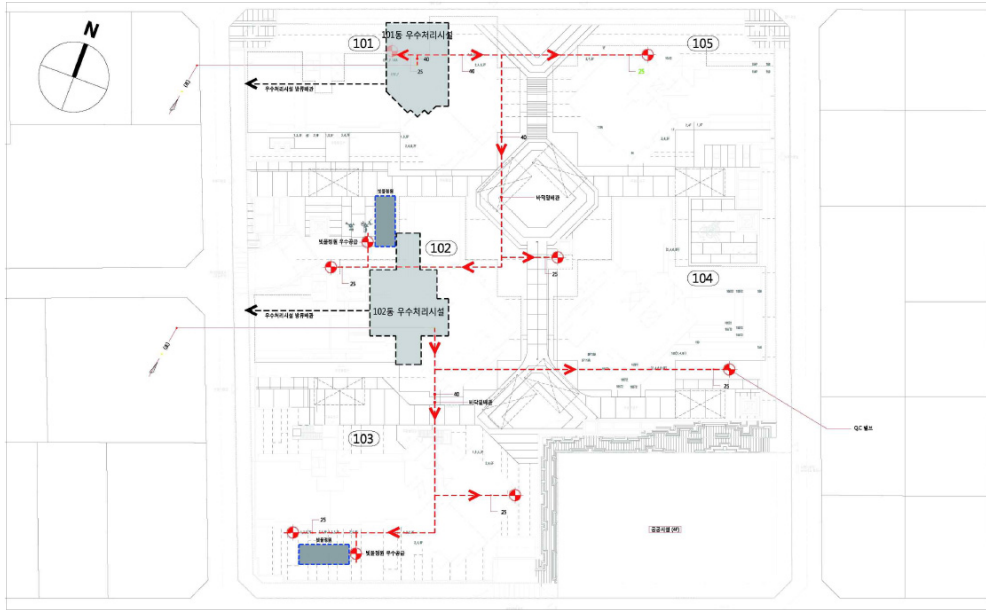
상기의 내용은 인허가 절차에서 필수로 요구하는 사항은 아니다. 또한 해당 내용을 전부 설계하기에는 상당한 시간과 비용이 들고, 현장여건에 따라 변수가 많기 때문에 저영향개발 사전협의 단계에서는 상세 설계를 요구하지는 않는다.



[그림 2-1] 빗물이용시설별 집수구역 및 연결배관의 계통도 예시



[그림 2-2] 건축물의 집수배관 계통도 예시



[그림 2-4] 빗물이용시설의 조경 수전 설치 계획도 예시

- 1) 사업지구에서 집수된 빗물은 조경용수 및 예비용수로 이용할 계획이다.
- 2) 조경용수 예상필요량은 「(사)한국조경학회, 조경설계기준, 2002」의 수목(잔디, 초화류, 관목류, 교목류 등)을 유지하기 위한 1일 수분 소요량(7mm 적용)을 적용하여, 주 2회 관수하는 것으로 계획하여 조경용수의 예상필요량을 산정하였다.

[표 9] 조경용수 예상필요량

구 분	조경면적(m ²)	1일 수분 소요량(mm)	관수횟수 (회/월)	월조경용수량 (m ³ /월)	일조경용수량 (m ³ /일)
조경용수	4,218.75	7	8	236.25	29.53

주) 1일 수분 소요량 잔디류의 중간값인 7mm 적용

[그림 2-5] 빗물이용시설의 빗물이용 계획 및 조경용수 예상 필요량 산정 예시

(2) 서울특별시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례

해당 조례는 서울특별시의 물 재이용 촉진과 관련하여 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」과 같은 법 시행령 및 시행규칙에서 위임된 사항과 그 시행에 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.

빗물이용시설의 설치·관리에 관한 내용은 제5조에서 다루고 있으며, 시장은 지붕 면적 1,000㎡ 이상인 건축물을 설치하는 자에게 빗물이용시설의 설치·운영을 권장할 수 있도록 하고 있다. 빗물이용시설의 설치(변경) 신고는 빗물이용시설의 소유자나 관리자가 구청장에게 하도록 하고 있으며, 관련 기준 및 서식은 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 시행규칙」을 따르고 있다.

빗물이용시설 재정지원에 관한 사항은 제44조 규정하고 있으며, 시장은 빗물이용시설을 신규로 설치하는 자에게 그 설치에 필요한 비용의 일부 또는 전부를 예산 범위에서 지원할 수 있다. 설치비 지원 대상, 지원금액 등 보조금의 지급에 필요한 사항은 규칙으로 정하도록 하고 있다.

「서울특별시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례 시행규칙」에 언급된 서울특별시 빗물이용시설 설치 보조금 지원대상 및 지원금액의 세부사항은 [표 2-4]에 제시된 바와 같다.

[표 2-4] 서울특별시 빗물이용시설 설치 보조금 지원대상 및 지원금액

구분	세부내용
빗물이용시설 설치 보조금 지원대상 (조례 시행규칙 제27조)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지붕면적 1천제곱미터 미만인 건축물을 신축하려는 자 또는 기존 건축물에 빗물이용시설을 설치하는 자 ○ 기존의 공동주택, 학교에 빗물이용시설을 설치하는 자¹⁹⁾ ○ 자치구 및 서울시 투자·출연기관에서 빗물이용시설을 설치하는 경우 ○ 그 밖에 시장이 공익성, 교육용, 홍보 및 전사용 등 빗물이용시설 설치가 필요하다고 판단되는 경우
보조금 지원금액 (조례 시행규칙 제28조)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지붕면적 1천제곱미터 미만인 건축물을 신축하려는 자 또는 기존 건축물에 빗물이용시설을 설치하는 자 <ul style="list-style-type: none"> - 시설용량 2세제곱미터 이하인 소규모 빗물이용시설의 기준 설치비 100분의 90 이하 ○ 기존의 공동주택, 학교에 빗물이용시설을 설치하는 자 <ul style="list-style-type: none"> - 설치비의 최대 2천만원까지 100분의 90 이하 ○ 자치구 및 서울시 투자·출연기관에서 빗물이용시설을 설치하는 경우 <ul style="list-style-type: none"> - 설치비의 100분의 50 이하 ○ 그 밖에 시장이 공익성, 교육용, 홍보 및 전사용 등 빗물이용시설 설치가 필요하다고 판단되는 경우 <ul style="list-style-type: none"> - 설치비의 일부 또는 전액 <p>※ 기준 설치비는 매년 개정하여 사업 시행 전 공지하여야 함</p>

1.4 녹색건축 인증을 통한 빗물이용시설 설치

1.4.1 제도의 개요

녹색건축 인증제도는 건축물의 자재 생산단계, 설계, 건설, 유지관리, 폐기에 걸친 건축의 전 과정에서 발생할 수 있는 에너지와 자원의 사용 및 오염물질 배출과 같은 환경 부담을 줄이고, 쾌적한 환경을 조성하기 위한 목적으로 건축물의 환경친화 정도를 평가하여 인증하는 제도이다.

19) 공동주택은 「건축법 시행령」 제3조의4 별표 1의 공동주택 중 50세대 이상인 아파트와 연립주택을, 학교는 「초·중등교육법」 제2조의 학교를 말함

녹색건축 인증제도는 「녹색건축물 조성 지원법」에 근거를 두고 건축물에 대한 친환경성을 종합적으로 평가하는 시스템이다.

「녹색건축물 조성 지원법」 시행(‘13.02.23)으로 「친환경건축물 인증제」의 근거 법령이 「건축법」 제65조에서 「녹색건축물 조성 지원법」 제16조로 변경되고, 「친환경건축물 인증제」와 「주택성능 등급 인정제」를 통합하여 「녹색건축 인증제」로 새로이 시행하게 되었다.

1.4.2 녹색건축 인증대상 건축물

「녹색건축물 조성 지원법」 제16조에 의거하여 국토교통부장관은 지속 가능한 개발의 실현과 자원 절약형이고 자연 친화적인 건축물의 건축을 유도하기 위하여 녹색건축 인증제를 시행하도록 하고 있다. 인증 대상 건축물의 종류, 인증기준 및 인증절차 등 녹색건축 인증제의 운영과 관련된 세부사항은 국토교통부와 환경부의 공동부령으로 정하도록 하고 있다.

「녹색건축물 조성 지원법」 제16조제7항은 대통령령으로 정하는 건축물을 건축 또는 리모델링하는 건축주는 해당 건축물에 대하여 녹색건축의 인증을 받아 그 결과를 표시하도록 규정하고 있다.

인증방식은 의무적 인증제와 자율적 인증제로 구분할 수 있는데, 본 연구의 공간적 범위인 공동주택은 500세대 이상인 경우 녹색건축 의무 인증 대상 건축물이며²⁰⁾, 연면적 3,000m² 이상의 공공 건축물은 일반(그린4등급) 등급이 요구되고 있다.

「건축물의 에너지 절약 설계기준」의 [별표 9]에 근거하여 건축주 또는 사업주체가 「녹색건축 인증에 관한 규칙」에 따른 녹색건축 인증과 「건축물 에너지효율등급 및 제로에너지건축물 인증에 관한 규칙」에 따른 건축물 에너지효율등급 인증을 별도로 획득한 경우 [표 2-5]의 기준에 따라 건축기준 완화를 신청할 수 있다.

20) 주택건설기준 등에 관한 규정 제58조 (공동주택의 성능등급의 표시)

[표 2-5] 건축물 에너지 효율 등급 및 녹색건축 인증에 따른 건축기준 완화 비율

건축물 에너지효율 인증 등급	녹색건축 인증 등급	최대완화비율
1+	최우수	9%
1+	우수	6%
1	최우수	6%
1	우수	3%

「건축물의 에너지 절약 설계기준」의 [별표 9]

완화기준의 적용은 당해 용도구역 및 용도지역에 지방자치단체 조례에서 정한 최대 용적률의 제한기준, 건축물 최대높이의 제한 기준에 대하여 다음의 방법에 따라 적용한다.²¹⁾

① 용적률 적용방법

- 「법 및 조례에서 정하는 기준 용적률」 × [1 + 완화기준]

② 건축물 높이제한 적용방법

- 「법 및 조례에서 정하는 건축물의 최고높이」 × [1 + 완화기준]

신축 주거용 건축물의 전문 분야별 인증심사 기준은 [표 2-6]과 같으며(한국건설기술연구원 등, 2019), 빗물이용시설은 ‘4. 물순환 관리’ 분야 중 ‘4.2 빗물 및 유출 지하수 이용’에 해당한다. 전체 115점 중 배점은 4점을 차지한다.

21) 「건축물의 에너지 절약 설계기준」 제17조 (완화기준의 적용방법)

[표 2-6] 녹색건축 인증제도의 신축 주거용 건축물 인증심사기준

전문분야	평가내용	구분	배점	일반주택	공동주택
1. 토지이용 및 교통	1.1 기존 대지의 생태학적 가치	평가항목	2	●	●
	1.2 과도한 지하개발 지양	평가항목	3	●	●
	1.3 토공사 절성도량 최소화	평가항목	2	●	●
	1.4 일조권 간섭방지 대책의 타당성	평가항목	2	●	●
	1.5 단지 내 보행자 전용도로 조성과 외부 보행자 전용도로와의 연결	평가항목	2		●
	1.6 대중교통의 근접성	평가항목	2	●	●
	1.7 자전거 주차장 및 자전거 도로의 적합성	평가항목	2	●	●
	1.8 생활편의시설의 접근성	평가항목	1	●	●
2. 에너지 및 환경오염	2.1 에너지 성능	필수항목	12	●	●
	2.2 에너지 모니터링 및 관리지원 장치	평가항목	2	●	●
	2.3 신재생 에너지 이용	평가항목	3	●	●
	2.4 저탄소 에너지원 기술의 적용	평가항목	1		●
	2.5 오존층 보호를 위한 특정물질의 사용 금지	평가항목	2	●	●
3. 재료 및 자원	3.1 환경성 선언 제품(EPD)의 사용	평가항목	4	●	●
	3.2 저탄소 자재의 사용	평가항목	2	●	●
	3.3 자원순환 자재의 사용	평가항목	2	●	●
	3.4 유해물질 저감 자재의 사용	평가항목	2	●	●
	3.5 녹색건축 자재의 적용 비율	평가항목	4	●	●
	3.6 재활용 가능 자원의 보관시설 설치	필수항목	1	●	●
4. 물순환 관리	4.1 빗물관리	평가항목	5	●	●
	4.2 빗물 및 유출 지하수 이용	평가항목	4	●	●
	4.3 절수형 기기 사용	필수항목	3	●	●
	4.4 물 사용량 모니터링	평가항목	2	●	●
5. 유지관리	5.1 건설현장의 환경관리 계획	평가항목	2	●	●
	5.2 운영유지관리 문서 및 매뉴얼 제공	필수항목	2	●	●
	5.3 사용자 매뉴얼 제공	평가항목	2	●	●
	5.4 녹색건축 인증 관련 정보 제공	평가항목	3	●	●
6. 생태환경	6.1 연계된 녹지축 조성	평가항목	2		●
	6.2 자연지반 녹지율	평가항목	4	●	●
	6.3 생태면적률	필수항목	10	●	●
	6.4 비오톱 조성	평가항목	4		●
7. 실내환경	7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용	필수항목	6	●	●
	7.2 자연 환기성능 확보	평가항목	2	●	●
	7.3 단위세대 환기성능 확보	평가항목	2	●	●
	7.4 자동온도조절장치 설치 수준	평가항목	1	●	●
	7.5 경량 충격음 차단 성능	평가항목	2	●	●
	7.6 중량 충격음 차단 성능	평가항목	2	●	●
	7.7 세대 간 경계벽의 차음 성능	평가항목	2	●	●
	7.8 교통소음(도로, 철도)에 대한 실내외 소음도	평가항목	2	●	●
	7.9 화장실 급배수 소음	평가항목	2	●	●

8. 주택성능 분야	8.1 내구성	-	-		●	
	8.2 가변성	-	-		●	
	8.3 단위세대의 사회적 약자배려	-	-		●	
	8.4 공용공간의 사회적 약자배려	-	-		●	
	8.5 커뮤니티 센터 및 시설공간의 조성 수준	-	-		●	
	8.6 세대 내 일조 확보율	-	-		●	
	8.7 홈네트워크 종합시스템	-	-		●	
	8.8 방법안전 컨텐츠	-	-		●	
	8.9 감지 및 경보설비	-	-		●	
	8.10 제연설비	-	-		●	
	8.11 내화성능	-	-		●	
	8.12 수평 피난거리	-	-		●	
	8.13 복도 및 계단 유효너비	-	-		●	
	8.14 피난설비	-	-		●	
	8.15 수리 용이성 전용 부분	-	-		●	
	8.16 수리 용이성 공용 부분	-	-		●	
ID 혁신적인 설계	1. 토지이용 및 교통	대안적 교통 관련 시설의 설치	가산항목	1	●	●
	2. 에너지 및 환경오염	제로에너지 건축물	가산항목	3	●	●
		외피 열교 방지	가산항목	1	●	●
	3. 재료 및 자원	건축물 전과정평가 수행	가산항목	2	●	●
		기존 건축물의 주요 구조부 재사용	가산항목	5	●	●
	4. 물순환 관리	중수도 및 하·폐수처리수 재이용	가산항목	1	●	●
	5. 유지관리	녹색 건설현장 환경관리 수행	가산항목	1	●	●
	6. 생태환경	표토 재활용 비율	가산항목	1	●	●
	녹색건축 전문가	녹색건축 전문가의 설계 참여	가산항목	1	●	●
혁신적인 녹색건축 계획 및 설계	녹색건축 계획설계 심의를 통해 평가	가산항목	3	●	●	

1.4.3 저영향개발 기법에 의한 빗물관리

저영향개발(LID) 기법 또는 그린인프라(GI)²²⁾시설을 활용하여 빗물을 관리함으로써, 도시 홍수와 수질오염의 저감 및 개발로 인한 물순환 왜곡의 최소화를 유도할 수 있다.

빗물 유출수의 저감은 하수도 인프라 등의 건설비와 유지관리비를 절감할 뿐만 아니라 지하수 보전, 토양 생태계 유지 및 미기후 개선 등의 효과를 얻을 수 있다.

22) 저영향개발(LID) : Low Impact Development, 그린인프라(GI) : Green Infrastructure

평가방법은 빗물 유출량을 저감·관리하는 시설의 설치 정도로 평가하며, 배점은 5점이다. 세부 평가방법 및 평점은 [표 2-7]에 제시된 바와 같다.

[표 2-7] 빗물관리 항목의 세부 평가항목

구분	빗물관리 용량을 저감·관리하는 시설 설치	가중치
1급	빗물관리 면적(m^2) ²³⁾ ×0.03m 이상의 용량(m^3)을 관리할 수 있는 저영향개발(LID) 기법 또는 그린인프라(GI) 시설 설치 및 전체 불투수면 80% 이상의 면적이 연계된 경우	1.0
2급	빗물관리 면적(m^2)×0.02m 이상의 용량(m^3)을 관리할 수 있는 저영향개발(LID) 기법 또는 그린인프라(GI) 시설 설치 및 전체 불투수면 80% 이상의 면적이 연계된 경우	0.8
3급	빗물관리 면적(m^2)×0.01m 이상의 용량(m^3)을 관리할 수 있는 저영향개발(LID) 기법 또는 그린인프라(GI) 시설 설치 및 전체 불투수면 50% 이상의 면적이 연계된 경우	0.6
4급	빗물관리 면적(m^2)×0.005m 이상의 용량(m^3)을 관리할 수 있는 저영향개발(LID) 기법 또는 그린인프라(GI) 시설 설치 및 전체 불투수면 50% 이상의 면적이 연계된 경우	0.4

녹색건축 인증을 위해 제출해야 할 서류는 아래와 같다.

① 예비인증 시 제출서류

- 빗물관리계획 또는 물순환계획 관련 도면
- 빗물관리 면적 및 빗물관리용량 산출서
- 저영향개발(LID) 기법 또는 그린인프라(GI) 시설별 설계 내역서·설명서
- 저영향개발(LID) 기법 또는 그린인프라(GI) 시설별 연계면적 설명서

② 본인증 시 제출서류

- 예비인증 시와 동일
- 시설의 유지관리 계획서
- 단계별 시공과정 및 설치 사진

23) 빗물관리 면적: 대지 전체 면적에서 자연지반 면적을 제외한 면적을 말함

1.4.4 빗물 및 유출 지하수 이용

빗물과 유출 지하수를 대체 수자원으로서 효율적으로 이용하는 것은 상수 사용량 절감 및 우수유출 억제를 유도할 수 있다. 대체 수자원의 적극적 활용으로 물 공급에 요구되는 에너지를 절감하는 효과도 기대할 수 있다.

평가방법은 빗물 및 유출 지하수를 이용하는 시설의 설치 정도로 평가하며, 배점은 4점이다. 세부 평가방법 및 평점은 [표 2-8]에 제시된 바와 같다.

[표 2-8] 빗물 및 유출 지하수 이용 항목의 세부 평가항목

구분	빗물, 유출지하수 저수조 용량 및 직접이용 시설 설치	가중치
1급	건축면적(m ²)×0.03m 이상의 빗물·유출 지하수의 저수조 ²⁴⁾ 설치 또는 직접 이용시설 ²⁵⁾ 을 계획할 경우	1.0
2급	건축면적(m ²)×0.02m 이상의 빗물·유출 지하수의 저수조 설치 또는 직접 이용시설을 계획할 경우	0.8
3급	건축면적(m ²)×0.01m 이상의 빗물·유출 지하수의 저수조 설치 또는 직접 이용시설을 계획할 경우	0.6
4급	건축면적(m ²)×0.005m 이상의 빗물·유출 지하수의 저수조 설치 또는 직접 이용시설을 계획할 경우	0.4

산출기준에 건축면적을 기준으로 하고 있으므로 모든 건축면적을 대상으로 하는 것을 기본으로 한다.

녹색건축 인증을 위해 제출해야 할 서류는 아래와 같다.

① 예비인증 시 제출서류

- 빗물·유출 지하수 저수조 관련 도면 및 용량 산출서

24) 빗물·유출 지하수의 저수조: 빗물과 유출 지하수를 저류하기 위한 저수조 또는 저류지를 대지 또는 건축물에 설치하여 살수용수, 조경용수, 화장실 세정용수, 청소용수 등으로 사용하는 경우를 말함

25) 직접이용시설: 옥상녹화시설 또는 빗물함통의 조경녹지 연결시설 등 건축면에 발생하는 빗물이 저수조 등을 거치지 않고 조경용수 등으로 직접 이용하는 구조를 갖춘 시설을 말함

- 빗물 처리 계통도, 빗물 저수조, 빗물유입 및 관련 배관 평면도
- 빗물 집수를 위한 대상 건축면적 및 저수조로 이송하는 연결관 설치 계획 등 관련 도면
- 빗물의 직접이용을 설명하는 도면 (직접 이용시설의 경우)

② 본인증 시 제출서류

- 예비인증 시와 동일
- 설치 사진

2. 빗물이용시설 설계 및 설치 관련 제도

관련 법규에 의한 의무 설치대상 및 관련 인증을 위한 임의 설치대상 시설의 설계 및 설치 절차를 검토하였다. 빗물이용시설 설치의 의무 또는 임의 대상 시설로는 다양한 시설이 있지만 본 연구에서는 공동주택으로 한정하였다.

건축물 건축과정에서 빗물이용시설의 설치와 관련한 절차는 관련 법규 검토, 계획 설계, 건축 심의, 인허가, 그리고 시공으로 구분할 수 있다.

2.1 관련 법규 검토 단계

사업자가 최초로 건축 사업을 계획할 때 가장 먼저 법규의 검토를 진행한다. 빗물이용시설의 설치 의무사항과 인센티브를 위한 설치 규모를 고려하며, 규모의 설정은 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 시행규칙」 제4조제1항에 따라 지붕의 빗물집수구역에 0.05미터를 곱한 규모 이상이다. 빗물집수구역은 옥상녹화 등 빗물 집수가 불가능한 면적을 제외하도록 하고 있다.

2.2 계획 설계 단계

계획·설계 단계에서는 빗물이용시설의 구체적인 용량을 산정하고 설치 위치를 결정한다. 빗물이용시설의 용량 산정 시기는 사업별로 차이는 있으나, 대부분 건축 심의 이전 설계 단계에서 이루어지고 있다.

빗물이용시설의 유효용량은 건축면적(m^2) \times 0.05(m)의 값과 여유율 10%를 합하여 법률 또는 인증에서 요구하는 용량의 110%로 산정하고 있다. 또한 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 시행규칙」 제4조제1항에 따라 초기빗물 처리 시설 또는 여과장치를 설치하고자 할 경우 각 장치들을 운영하기 위한 별도의 빗물처리조를 두는 경우가 있는데, 해당 시설은 빗물이용시설 유효용량의 10~15% 규모로 계획한다.

상기와 같이 산정된 빗물이용시설을 관리할 수 있는 관리실, 기계설비 공간, 빗물저류조 청소를 위한 진입공간 등을 합하여 빗물이용시설 및 부대시설 공간의 규모를 산정한다.

빗물이용시설의 저장탱크를 설치하기 위한 위치는 빗물을 자연유하 방식으로 모을 수 있는 지하공간이 일반적이지만, 지하공간은 배관 등 타 시설물과의 간섭이 많아 위치 선정과정에서 어려움을 겪는 경우가 많다. 빗물이용시설의 위치 선정 순위가 타 시설에 비해 후순위이기 때문에 근생시설, 부대시설, 주차장, 관리실, 기계실, MDF실 등의 위치가 설정된 후 빗물이용시설의 위치를 결정되기 때문에 공간 활용도가 가장 낮은 구역에 설치되는 경향이 있다.

2.3 건축심의 단계

건축심의 단계의 경우 빗물이용시설에 대해 심의의견은 [그림 2-6]의 예시로 제시된 바와 같이 관련 법률에서 언급한 기준을 준수할 것을 요구하는 수준이며, 조치계획 또한 ‘이행하겠음’으로 마무리되고 있다. 빗물이용시설에 구체적인 심의와 검토가 수행되지 않는 이유이다.

건축심의 완료는 설계도서 대부분이 확정되었다는 것을 의미하기 때문에 추후 설계도서의 변경은 상당히 제한적이며, 일정 수준 이상의 변경이 발생할 경우 건축심의를 다시 받아야 하기 때문에 건축심의 완료 이후 빗물이용시설의 개선 등에 대한 검토와 변경은 거의 불가능하다.

따라서, 건축심의 과정에 관련 분야 전문가가 참여하여 빗물이용시설에 관해 보다 구체적인 의견을 제시하고 조치계획을 제출할 수 있도록 하여야 한다.

연번	부서명 (기관명)	보완내용	조치계획	반영 여부	비고
		○ 물재이용분야 - “물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률” 제8조에 해당하는 경우 빗물이용시설을 설치하고, - “물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률” 제9조 및 “서울특별시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례” 제6조에 해당하는 경우 중수도를 설치할 것	이행하겠음	○	
		○ 수질분야			

[그림 2-6] 건축심의 단계에서의 빗물이용시설에 대한 의견 및 조치계획 예시

2.4 인허가 단계

인허가 단계의 경우 지자체별로 저영향개발 관련 조례, 지구단위계획에서의 저영향개발 관련 내용의 유무에 따라 빗물이용시설에 대한 검토 수준이 달라진다.

지자체의 조례 및 관련 사업지구의 지구단위계획에 특별한 언급이 없는 경우 [그림 2-6]에 예시로 제시된 것처럼 간단한 의견만 제시되는 경우가 대부분이며, 이 경우 사업시행자는 빗물이용시설 설계계산서 및 설계도서를 제시하면 협의가 완료된다.

저영향개발 기법에 관한 지자체 조례 또는 지구단위계획이 있는 경우에는 빗물이용시설을 관련 조례 및 지구단위계획에 근거하여 빗물이용시설을 평가한다.

예로, 서울시의 경우 2013년 「서울특별시 빗물관리 기본계획(보완)」 및 「서울특별시 빗물관리 기본계획(보완) -가이드라인-」 등 빗물관리 기본계획을 수립하였으며, 2014년부터 「서울특별시 물순환 회복 및 저영향개발 기본 조례」를 통해 저영향개발 사전협의 제도를 시행하고 있다.

2.5 시공 단계

건축에 관한 인허가 완료 이후 착공하기까지 설계도서에는 많은 변화가 있게 된다. 시설의 배치가 변경되거나, 교통계획의 변경과 같이 대상지의 모양이 크게 변하는 경우 인허가 또는 건축심의까지 다시 받아야 하는 경우가 발생한다. 하지만, 빗물관리 계획은 대부분 경미한 수준의 변경으로 보기 때문에 관련 부서와 협의 정도로 완료되는 경우도 있다.

시공 단계에서 발생할 수 있는 하자는 기존의 계획과 달라진 배관 계획으로 빗물이용시설과 연결되는 배관이 설계와는 다르게 연결되거나 최악의 경우에는 배관이 설치되지 않는 경우도 발생할 수 있다는 것이다.

구체적인 빗물이용시설 배관설계가 이루어지지 않았다면 정확한 시공도 어렵고 감리자가 제대로 시공이 되었는지를 검토하기가 어렵다.

한편, 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」에 의해 의무적으로 설치된 빗물이용시설은 설치 신고서를 제출하는데, 시공과정의 사진도 함께 제출하도록 함으로써 어느 정도 시공상의 하자는 예방할 수 있다. 임의적으로 설치하는 빗물이용시설도 이와 비슷한 서류제출을 요구함으로써 이에 대한 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 빗물이용시설 현황 및 운영

3.1 빗물이용시설 설치 및 운영 현황

2018 하수도 통계(환경부, 2019)를 대상으로 우리나라 빗물이용시설 설치 및 운영현황을 분석하였다. 2018년말 기준으로 우리나라에는 총 2,650개의 시설에 4,794,610 m³의 빗물이용시설이 운영되고 있다. 연간 사용량은 7,993,872 m³으로 각 저류시설이 연 1.7회 정도 이용되는 것으로 나타났다[표 2-9].

참고로, 중수도 시설의 경우 701개소의 시설에서 1일 984,557.5 m³의 처리수가 이용되고 있다. 연간 이용량으로 환산하여 빗물 이용량과 비교하면 빗물에 비해 45배 정도 많은 양이 이용되고 있어 빗물이 중수도에 비해 대체 수자원으로 평가 되기에는 한계가 있다고 할 수 있다.

빗물의 이용용도를 보면 연간 사용량의 95% 이상이 조경용수로 저장된 빗물의 대부분이 조경용 관수로 이용되고 있음을 알 수 있다. 이유는 빗물 이용량의 대부분이 골프장으로 44개소의 시설에서 이용되는 빗물의 양은 연간 6,771,797 m³으로 전체의 85%를 차지하고 있기 때문이다.

연간 운영비는 하수도 통계에 따를 경우 2018년 기준 115억원으로 2017년의 19억원에 비해 100억원 가까이 증액된 금액이 제시되었으나, 자료 취합과정에서 발생한 오류로 판단되어 빗물의 톤당 단가 산출 등 자료 활용에서는 2018년 자료를 제외하고 2017년 자료를 최근 자료로 하였다[표 2-10].

[표 2-9] 빗물이용시설 설치 및 운영현황

년 도	갯수 (개)	설치비 (억원)	집수면적 (천㎡)	저류조 용량 (천㎡)	연간 사용량 (천㎡/년)								운영비 (백만원/년)
					총계	청소 회장실	세척 살수	조경	친수	농업	공업	기타	
'10	334	112	1,109	3,851	4,203	.	.	.	.	.	.	.	2,849
'11	587	202	3,471	4,119	7,784	.	.	.	.	.	.	.	59
'12	630	190	36,301	4,175	8,295	.	.	.	.	.	.	.	48
'13	965	440	37,178	4,221	9,204	.	.	.	.	.	.	.	702
'14	1,369	400	39,639	4,357	7,137	.	.	.	.	.	.	.	799
'15	1,560	584	39,828	4,563	7,019	.	.	.	.	.	.	.	895
'16	2,043	850	41,647	4,684	7,402	.	.	.	.	.	.	.	1,699
'17	2,140	1,942	42,638	4,814	8,223	51.4	8.2	7,913	0.2	9.5	43.8	43.8	1,929
'18	2,650	2,394	-	4,795	7,994	126.5	14.8	7,630	1.0	4.4	152.0	37.7	11,510

(자료: 하수도통계 2018)

[표 2-10] 우리나라 빗물이용시설 설치 및 운영 현황

년도	개소수	설치비 (백만원)	저류조 용량 (㎡)	연간 사용량 (㎡/년)	연간 운영비 (백만원/년)
2011	587	20,185	4,119,297	7,783,611	59
2012	630	19,007	4,174,687	8,295,258	48
2013	965	44,031	4,221,223	9,204,372	702
2014	1,369	40,009	4,356,786	7,137,179	799
2015	1,560	58,458	4,562,835	7,018,852	895
2016	2,043	85,036	4,684,347	7,402,382	1,699
2017	2,140	194,217	4,813,778	8,223,338	1,929
2018	2,650	239,374	4,794,610	7,993,872	11,510

(자료: 하수도통계 2018)

[표 2-11]에 제시된 단가는 연간 운영비를 연간 사용량으로 나눈 것으로 수돗물 사용과의 경제성을 비교하기 위한 것이었다. 2017년 기준 설치비를 포함한 빗물의 톤당 단가는 2,596원/m³이며, 설치비를 제외할 경우 단가는 235원/m³ 수준이었다.

수돗물의 톤당 단가 736.92원²⁶⁾을 고려할 때 빗물이용시설의 설치비를 포함할 경우 빗물이용의 경제성을 확보할 수 없으며, 설치비를 포함하지 않고 운영비만 고려할 경우 어느 정도의 경제성 확보가 가능할 것으로 판단된다.

빗물이용의 설치와 이용에 따른 경제성이 전혀 확보되지 않는 상황에서 정부의 재정지원 없이는 건축업체 및 시민의 자발적인 빗물이용을 기대할 수 없기 때문에 빗물이용시설 설치에 대한 재정지원 및 인센티브는 반드시 필요하다.

[표 2-11] 우리나라 빗물이용시설 설치 및 운영비용 분석

년도	설치비용 단가 ²⁷⁾ (원/m ³)	운영비용 단가 ²⁸⁾ (원/m ³)	빗물 생산단가(원/m ³) (설치비+운영비용 기준 ²⁹⁾)	빗물 생산단가(원/m ³) (운영비용 기준)
2011	4,900	14	267	8
2012	4,553	11	235	6
2013	10,431	166	555	76
2014	9,183	183	673	112
2015	12,812	196	960	128
2016	18,153	363	1,378	230
2017	40,346	401	2,596	235
2018	49,926	2,401	4,434	1,440

26) 상수도 통계 2018 (환경부, 2019)

27) 설치단가 = 설치비/저류조 용량

28) 운영비용 단가 = 연간 운영비/저류조 용량

29) 단가(설치비 포함) = [설치비/10년+연간 운영비]/연간 사용량
(빗물이용시설의 내구년한은 10년으로 가정)

빗물을 집수하는 집수면은 골프장을 제외할 경우 대부분 건축물의 지붕으로 나타났다. 골프장을 제외 시 집수면적이 가장 넓은 시설물은 서울 중구에 위치한 동대문디자인플라자로 24,710 m²의 집수면적에 1,300 m³의 저류조가 운영되고 있다. 저류조 용량이 가장 큰 시설물은 충남 서천군에 위치한 국립생태원(에코리움관)으로 1,500 m³의 저류조가 설치되어 있다.

하수도 통계에 제시된 빗물이용시설의 세부적인 운영현황을 분석한 결과 가장 많은 이용횟수를 기록한 빗물이용시설은 400회에 이르며, 이용한 강우량은 약 7,000 mm에 이른다.

우리나라의 연 평균 강수량은 지역별로 약간의 차이는 있지만, 전국 평균 1,274 mm이다. 즉, 일년 동안 총 이용할 수 있는 강우량이 1,274 mm를 초과할 수 없다는 의미이다. 따라서, 이용 강우량이 2,000 mm 이상인 빗물이용시설은 자료의 신빙성이 결여되었다고 판단하고 분석에서 제외하였다.

자료의 신빙성이 결여되었다고 판단되는 시설을 제외한 후 설치비 환수기간을 산출한 결과는 [표 2-12]에 제시된 바와 같다. 대부분 빗물이용시설의 설치비 환수기간은 10년을 초과하는 것으로 나타났으며, 단지 3곳의 시설만 10년 미만의 환수기간을 나타내었다. 3곳의 시설은 집수면적이 큰 상위 3개 시설로 집수면적이 클수록 환수기간이 짧아 경제성이 확보되는 것으로 나타났다.

[표 2-12] 국내 주요 빗물이용시설의 설치비 환수기간 (설치비 환수기간 순)

행정구역	시설명	설치 년도	설치비 (백만원)	집수면적 (m ²)	저류조 용량 (m ³)	이용량 (m ³)	이용 횟수	상수도 요금 절감액 (백만원 /년)	설치비 환수 기간 (년)
경북 경주시	월성원자력본부	2015	13.0	2,136	148.0	3,600	24.3	2.88	4.5
경북 경주시	월성원자력본부 본사	2016	110.0	17,738	892.1	26,035	29.2	20.83	5.3
전남 광양시	광양시청	2009	30.0	4,960	110.0	4,500	40.9	3.60	8.3
경기 광주시	광주시청	2009	19.0	1,848	200.0	2,022	10.1	1.62	11.7
전남 목포시	바이오테크	2012	15.0	1,485	6.0	1,485	247.5	1.19	12.6
충북 청주시	한국전력공사	2016	19.0	1,708	124.0	1,825	14.7	1.46	13.0
전북 장수군	소형빗물 이용시설	2016	5.0	500	2.0	400	200.0	0.32	15.6
충남 태안군	가의도	2016	80.0	3,000	50.0	5,000	100.0	4.00	20.0
서울 동대문구	경희대 행복기숙사A	2017	45.0	1,936	101.0	1,825	18.1	1.46	30.8
세종시	고운동 복합커뮤니티센터	2016	115.0	3,413	250.8	2,835	11.3	2.27	50.7
경기 광주시	태전동효성해링 턴플레이스	2018	21.0	184	36.0	363	10.1	0.29	72.3
대전 유성구	LG화학기술연 구원	2015	18.0	160	8.0	274	34.3	0.22	82.1
경남 거제시	농업개발원	2013	15.0	123	5.0	142	28.4	0.11	132.0
경남 거제시	농업개발원	2013	15.0	131	5.5	129	23.5	0.10	145.3
서울 영등포구	히라스호텔	2016	10.0	64	4.0	72	18.0	0.06	173.6
광주 동구	동명동 주민커뮤니티센터	2013	49.0	150	17.0	202	11.9	0.16	303.2

3.2 지자체 빗물이용시설 운영현황 분석

빗물이용시설의 운영현황은 빗물이용시설 운영에 관한 구체적인 자료를 외부에 공개하기를 꺼리는 건물주 또는 빗물이용시설 운영 주체의 특성으로 인해 세부적인 운영실태를 조사하는데 한계가 있었다. 이로 인해 기존 설치된 빗물이용시설의 운영현황은 2017년 전주시가 수행한 운영 점검 결과를 근간으로 하되, 최근의 2019년 자료는 관련 공무원 인터뷰를 통해 보완하였다³⁰⁾.

전주시(전주시, 2017)는 빗물이용시설 운영실태 전반에 대한 현장 지도점검 결과를 분석하고 문제점에 대한 개선대책을 추진하여 시설물의 효율적인 유지관리를 통한 지속적·정상적 사용과 빗물이용 활성화 및 시설 확충을 도모하고자 145개의 빗물이용시설을 대상으로 운영실태를 점검하였다.

3.2.1 빗물이용시설 설치현황

전주시에는 2019년 기준으로 232개의 빗물이용시설이 설치되어 있으며, 이 시설의 대부분은 일반 주택(39%), 공동주택(27%), 그리고 교육기관(23%)에 설치되어 있다[표 2-13] [표 2-14].

빗물이용시설의 규모(빗물 저장용량)별 설치현황은 5톤 이하의 중소규모가 2/3 가량으로 대부분을 차지하고 있다[표 2-15].

[표 2-13] 빗물이용시설 연도별 설치현황 (전주시)

(단위:개소)

연도	계	'09 이전	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19
개수	232	3	7	5	9	44	40	23	23	24	48	6

30) 시설개수는 2017년 기준 145개소, 2019년 기준 232 개소

[표 2-14] 빗물이용시설 설치 건물의 유형별 현황 (전주시)

(단위:개소)

구분	계	공공기관	교육기관	공동주택	일반주택	기 타
개소 (비율)	232	17 (7%)	52 (23%)	63 (27%)	90 (39%)	10 (4%)

※ 시설구분 : 공공기관(동주민센터, 경기장, 공사체 등), 교육기관(학교, 유치원, 어린이집), 일반주택(단독주택, 원룸, 상가), 기타(복지시설, 교회, 공장, 운수시설 등)

[표 2-15] 빗물이용시설 규모별 설치현황 (전주시)

(단위:개소)

구분	계	1~2톤	3~5톤	6~15톤	30~60톤	70~100톤	101~300톤	301~1천톤미만	1천톤 이상
개소	232	110 (47%)	43 (19%)	15 (6%)	8 (3%)	7 (3%)	18 (8%)	29 (13%)	2 (1%)

3.2.2 빗물이용시설 운영현황

전주시는 관내에 설치된 빗물이용시설을 대상으로 운영현황을 분석한 결과 시설의 90%에 해당하는 대부분의 시설이 정상적으로 운영되고 있다고 보고하였다. 이는 전국 지자체 빗물이용시설의 평균 사용률인 50%를 훨씬 상회하는 수치이다.

사용하지 않는 시설에 대한 미사용 사유는 집수시설(배관) 고장·파손, 시설미비, 시설 폐쇄, 공사 등으로 조사되었다.

빗물이용시설의 총 저장용량은 7,841 m³이며 빗물의 연평균 사용량은 7,368 m³으로 연간 약 1회 정도 이용되는 것으로 나타났다[표 2-16].

[표 2-16] 빗물이용시설 빗물사용 현황 (전주시)

구 분	사용량(m ³)	비 고
시설의 저장용량	7,841	
총 사용량	30,481	시설 설치 후 2017.03까지의 사용량 누계
연평균 사용량	7,368	조사기간: 2016.3~2017.3

빗물의 총 누계 사용량 30,481 m³를 빗물이용시설이 설치된 건축물의 유형별 사용량을 구분해 보면 공동주택과 공공기관이 90%를 차지함으로써 사용되는 빗물의 대부분이 이 두 종류의 시설물에서 이뤄지고 있음을 알 수 있었다[표 2-17].

[표 2-17] 빗물이용시설 유형별 사용현황 (전주시)

구분	계	공공기관	교육기관	공동주택	일반주택	기타
톤 (비율)	4,599 (100%)	968 (21.0%)	170 (3.7%)	3,232 (70.3%)	190 (4.1%)	39 (0.9%)

2019년 상반기 사용량 4,599 톤 기준

빗물의 사용량을 확인할 수 있는 계량기 설치 여부를 확인한 결과 전체 빗물이용시설 145개소 중 68%인 98개소에 계량기가 설치되어 있었다. 계량기가 설치되어 있지 않은 건축물은 2013년 이전에 설치된 시설이 대부분이었다.

빗물이용시설의 수질확보를 위한 여과장치 설치 여부를 조사한 결과 여과장치를 설치한 시설은 전체 시설의 31%인 45개소 수준이었다.

전주시의 빗물이용시설 이용현황이 타 지자체에 비해 높은 것은 전주시가 빗물이용을 촉진하기 위해 빗물이용시설을 설치하여 사용할 경우 상하수도 요금 30% 감면 규정을 지자체 조례에 담고 있기 때문인 것으로 판단된다.³¹⁾

감면기준은 월간 빗물사용량의 30%이며, 세부적인 감면 신청 절차는 [표 2-18]에 제시된 바와 같다.

제도가 시행된 2017년 이후 상하수도 요금 감면고지를 받은 빗물이용시설은 57개소로 감면금액은 상수도 3,454,390원, 하수도 1,571,930원으로 총 5,026,320원이다[표 2-19].

31) 「전주시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례」 제9조(수도요금 감면)
 - 빗물이용시설 소유자에게 수도요금을 감면할 수 있음
 「전주시 상수도 급수조례」 제37조(요금의 감면)
 - 빗물이용시설을 설치한 때(빗물이용시설 최고 30% 감면)
 「전주시 하수도 사용조례」 제19조(감면 등)
 - 빗물이용시설을 설치하여 사용하는 자(30% 감면)

[표 2-18] 빗물이용에 따른 수도요금 감면 신청 절차 (전주시)

단계		세부사항
1	수도요금 감면신청서 다운로드	홈페이지에서 다운로드
2	신청서 작성	수용가 및 빗물이용시설 관련 사항 기재
3	신청서 제출	전주시 맑은물사업본부 하수와 지하수관리팀에 제출
4	자가검침 결과 등록	매월 25일, 자가검침 내역 등록

[표 2-19] 상하수도 요금 감면 고지내역 (전주시)

구분	고지기간		합계
	'17.04~'18.12	'19.01~'19.06	
상수도	3,079,490	374,900	3,454,390
하수도	1,281,090	290,840	1,571,930

3.3 공동주택 빗물이용시설 설치 사례 (행복도시 6-4생활권)

3.3.1 개발사업의 개요

세종특별자치시의 행복도시 6-4생활권은 국내 최초로 공동주택 단지에 LID 기법이 전면 적용된 곳이다.

도시의 건전한 물순환에 대한 대안으로 검토되고 있는 LID 기법의 확대 적용을 위해 환경부와 행정중심복합도시건설청(이하 '행복청')은 2015년 3월 행복도시의 특화방안으로 LID 기법을 도입하기 위한 업무협약을 체결했다(환경부, 2015).

LID 기법 적용을 통해 도시에서 유출되는 빗물의 양을 줄이고 지하침투를 촉진시켜 도시의 건전한 물순환 체계 구축에 기여한다는 목적을 가지고 있었다.

해당 업무협약을 토대로 LID 기법 도입에 필요한 실무협력 체계 구축을 위해 환경부, 행복청, LH, 한국환경공단 등 관계기관으로 구성된 실무협의회와 정책협

의회가 구축되었다. 관계기관 실무·정책협의회를 통해 행복도시 6생활권을 대상으로 LID 기법을 전면 도입하기로 하였으며, 사업 시행자인 LH가 주도적으로 LID 기법을 도입하되 관계기관이 실무·정책협의회를 통해 공동으로 검토하기로 하였다.

LID 기법 도입을 위해 6-4생활권을 대상으로 빗물관리 목표량을 설정하고 지구단위계획 지침에 LID 기법을 반영하였으며 빗물관리 목표량과 토지이용계획별 지구단위계획을 토대로 LID 기법 상세설계를 수행하였다.

행복도시 6-4생활권 공동주택 사업지구의 개요는 [표 2-20]에 제시된 바와 같다(현대건설 등, 2020).

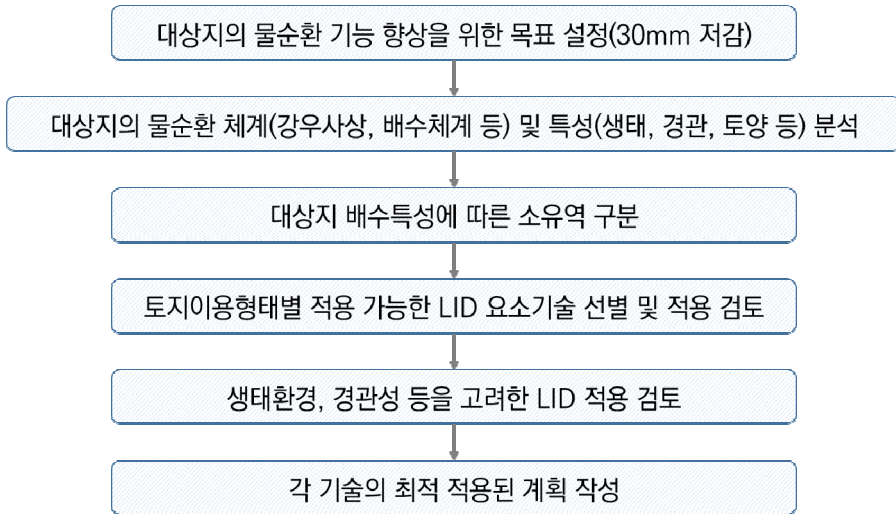
[표 2-20] 세종시 행복도시 6-4생활권 공동주택 개발사업의 개요

구분	L1 블록	M1 블록
위치	세종특별자치시 연기면 해밀리	
사업시행자	현대건설, 태영건설, 한림건설	
대지면적	144,360.20 m ²	89,976.76 m ²
건축면적	26,378.97 m ²	15,769.56 m ²
건폐율	18.26 %	17.50 %
용적률	143.81 %	153.55 %
세대수	1,990 세대	1,110 세대
규모	지하 2층 ~ 지상 25층	지하 2층 ~ 지상 25층

3.3.2 LID 기법 도입 계획

해당 단지의 LID 기법은 도시생태환경 개선, 도시 물순환 기능 향상, 기후변화 대응 등의 목적으로 30 mm의 강우에 대한 유출저감을 목표로 하였다.

LID 기법의 도입 절차는 [그림 2-7]에 도시된 바와 같다.



[그림 2-7] 행복도시 6-4생활권 공동주택 LID 기법 도입 프로세스
(자료: 행정중심복합도시 6-4생활권 L1, M1 블록 저영향개발 계획, 2020.07)

대상지에 적용된 LID 기법은 투수성 포장, 식생체류지(빗물정원), 옥상녹화, 빗물이용시설 등이다. 본 보고서에는 해당 LID 기법 중 빗물이용시설에 대한 내용만 발췌하여 인용하였다.

빗물이용시설의 개략적인 설치 계통도는 [그림 2-8]과 같으며, 블록별 세부 설치내역은 [표 2-21]에 제시된 바와 같다.



[그림 2-9] 행복도시 6-4생활권 공동주택 빗물이용시설 집수 계획도(L1 블록)



[그림 2-10] 행복도시 6-4생활권 공동주택 빗물이용시설 집수 계획도(M1 블록)

빗물이용시설의 규모는 집수면적(m²)×설계 강우량(mm)로 산정하였고, 설계 강우량은 50 mm를 대상으로 하였으며, 이는 녹색건축인증 기준에 따른 것이다.

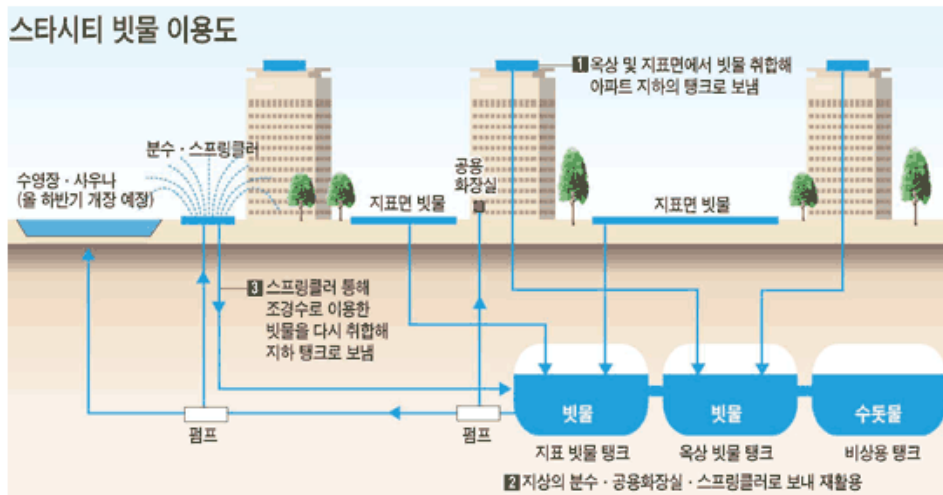
블록별 건축면적에 대한 집수면적의 비율은 L1 블록과 M1 블록이 각각 75.7%, 69.2%로 나타났다.

3.4 기타 빗물이용시설 설치 운영 사례

3.4.1 서울 광진구 스타시티

스타시티는 서울 광진구에 위치한 주상복합 단지로, 집수면적은 51,200 m²이며, 집수면은 지붕면과 조경지역을 포함하는 대지면으로 구성되었다. 스타시티의 부지면적은 62,500 m² 중 건물 옥상 면적 6,200 m²과 대지 면적 45,000 m²이 집수면에 포함되었다.

설계 강우량은 100 mm로 단지 내 내린 빗물이 주변 우수관에 영향을 주지 않는 범위로 설계되었다. 빗물 저장을 위해 1,000톤 규모의 빗물 저장조 3개(총 3,000톤 규모)가 지하에 설치되어 있으며, 저장된 빗물은 조경용수, 화장실용수로 사용되고 있다[그림 2-11].



[그림 2-11] 스타시티 빗물이용시설 개념도 (중앙일보, 2008.04.15.)

첫 번째 저장조는 지붕면에서 모아진 빗물을 저장하고, 두 번째 저장조는 단지 내 대지면에서 모아진 빗물을 저장하여 침수 예방 및 상수도를 대체하는 수자원으로 이용하고 있으며, 세 번째 저장조는 비상용으로 사용하고 있다. 이용률은 66%

로 일반 공공 건축물에 설치된 빗물이용시설의 이용률 27%에 비해 높은 편이다.

빗물이용시설 설치를 위해 4억6천만원의 예산이 추가로 소요되었으나, ‘녹색건축 인증제도’의 에 따라 3%의 추가 용적률을 인센티브로 부여받아 추가 비용을 대체하는 효과가 있었다. 서울시는 빗물이용시설을 설치하면 4% 이내에서 용적률 인센티브를 제공하고 있다.

환경부 보도자료(환경부, 2014)에 의하면, 스타시티는 빗물이용시설 설치하여 시설 운영비를 제외하고 연간 수도요금을 404만원을 절감한 사례도 있다. 이는 기존 빗물이용시설 사례에 비해 수자원 확보, 친환경 도시건설을 위한 기술 수요를 충족시키는 중요한 사례라고 할 수 있다[표 2-22].

[표 2-22] 스타시티 빗물이용시설의 수도요금 절감효과 (환경부, 2014.07.17)

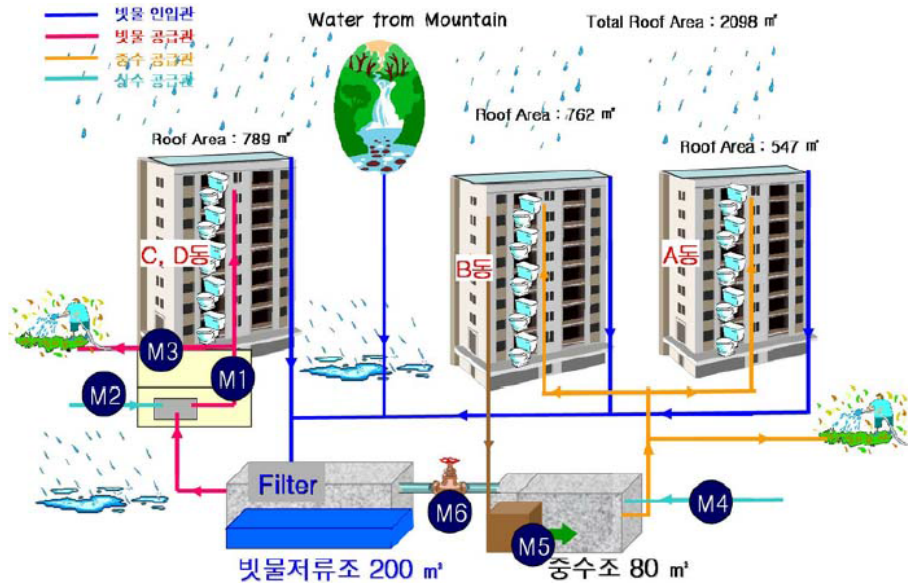
구분	금액(원/년)	산출근거
상수공급 시	7,679,100	11,814m ³ /연(평균) × 650원/톤(상수요금 단가)
빗물시설 운영비	3,633,000	유지관리비, 전기사용료, 인건비 포함
절감액	4,046,100	운영비 기준 상수공급 대비 53% 절감

3.4.2 서울대학교 기숙사

2003년 11월에 준공한 빗물이용시설로 국내에서 최초로 화장실 용수와 조경용수에 빗물을 활용한 사례이다. 11,468 m²의 부지에 건축면적은 4,021 m²으로 지하 1층, 지상 9층 규모로 건축되었다.

설계 당시에는 중수도를 계획하여 화장실 용수로 공급하고자 하였으나 빗물이용시설을 도입하는 과정에서 시공 중 설계를 변경하여 건물 4동 중 2동은 빗물을 이용하고, 나머지 2동은 중수를 이용하는 것으로 하였다[그림 2-12].

서울대학교 기숙사 빗물이용시스템은 상수 사용량 절감, 홍수방지, 교육, 비상시 대체 수자원 등의 좋은 사례로 여겨지고 있으며, 2018년에는 중수시스템을 모두 빗물이용시설로 교체하여 사용하고 있다.



[그림 2-12] 서울대 기숙사 빗물이용시설 개요도

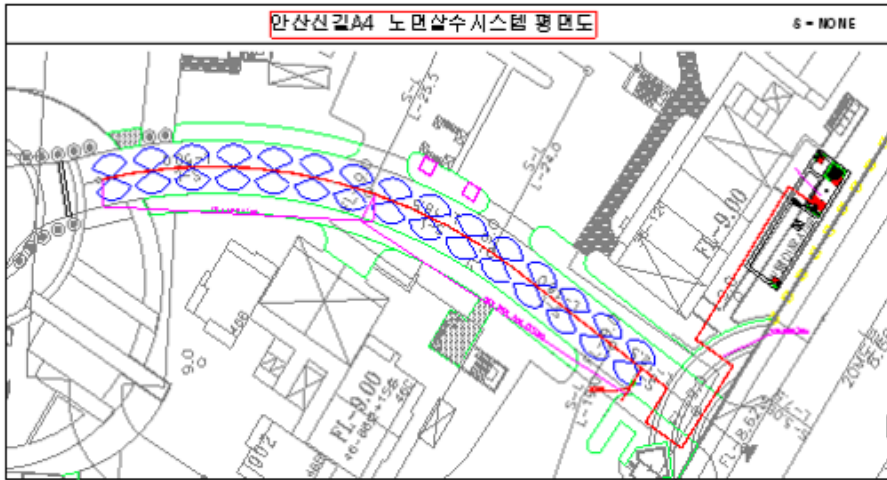
출처 : 대한상하수도학회 (2004)

3.4.3 경기 안산시 휴면시아 9단지

대상 공동주택 단지는 경기도 안산시에 위치한 휴면시아 9단지이며, 477세대 (59.74 m²)로 부지면적은 18,848 m²의 규모이다. 빗물이용시설의 집수면은 공동주택 옥상으로 면적은 820 m², 저류조 용량은 115 m³이며 저장된 빗물은 폭염저감을 위한 노면살수 용도로 이용되었다.

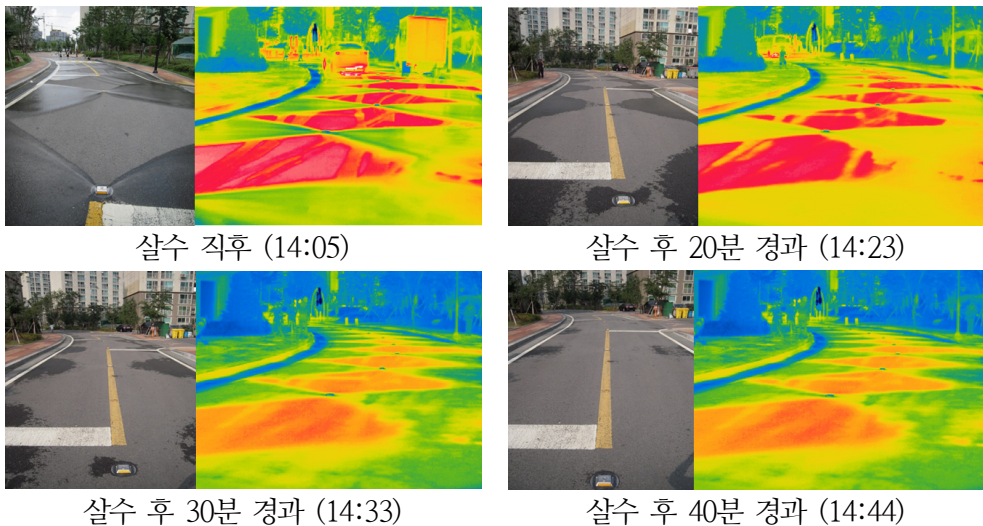
빗물을 이용한 노면살수 시스템은 단지 내 도로 약 100 m 구간에 15개소의 노즐을 5 m 간격으로 설치하여 분당 20L/분개의 유량으로 살수하였다[그림 2-13]. 빗물이용시설과 노면살수 시스템 설치 공사비는 약 60,000천원이었으며, 수질처리 는 이동상 상향류식 사여과기를 이용하였다.

도로 노면의 온도변화는 열화상 카메라를 이용하여 10분 간격으로 측정하였고, 대기온도 등 미기후 측정을 위해 기상 스테이션을 설치하였다. 실측일은 2011년 8월 5일로 최고기온 33°C의 맑고 쾌청한 날씨였다.



[그림 2-13] 경기 안산시 휴먼시아 9단지 내 노면살수 시스템 평면도

살수 전 도로 노면의 최고 온도는 약 50°C 전후로 상당한 고온이었으나, 살수 이후 빗물이 살수된 노면은 20°C 정도 낮아진 34°C로 나타났고, 직접적으로 살수가 되지 않는 노면도 5°C 정도의 온도 저감효과가 있었다[그림 2-14].

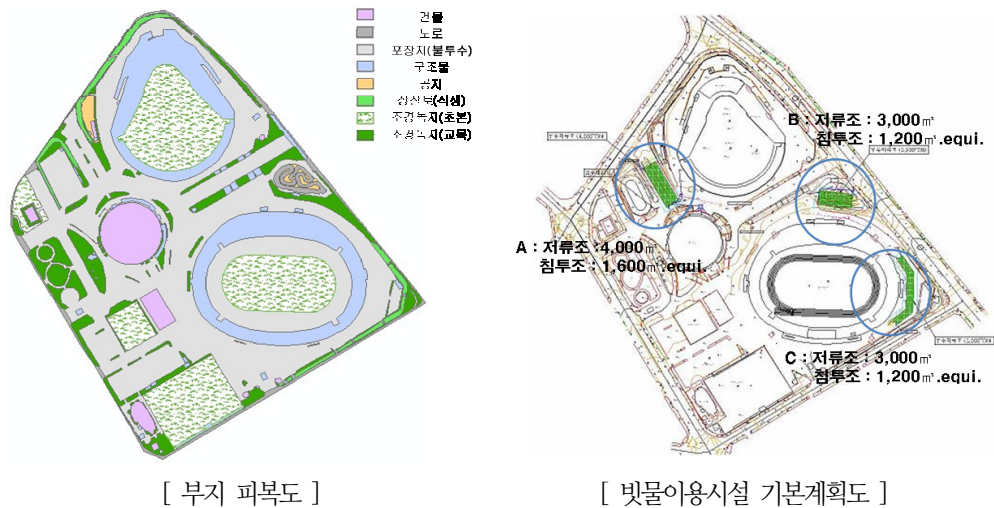


[그림 2-14] 노면살수에 따른 노면상태 및 열화상카메라 영상 (LH, 2011)

살수 후 40분이 경과한 시점에서는 살수면적의 대부분이 건조된 상태였으나, 노면온도는 살수 이전에 비해 살수면은 16°C, 살수가 되지 않은 부분은 8°C 정도의 온도저감 효과를 확인할 수 있었다(LH, 2011).

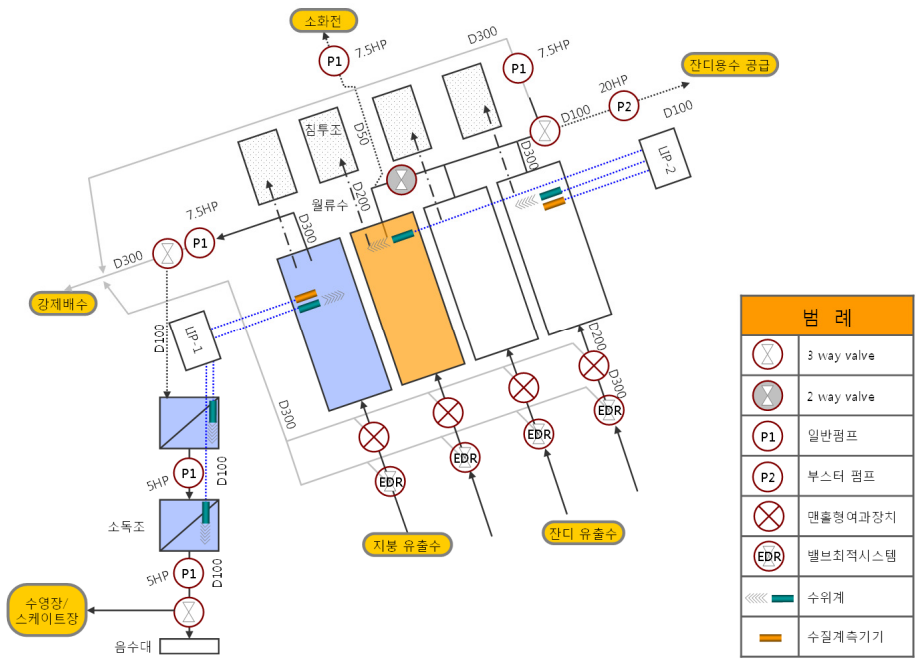
3.4.4 수원시 종합운동장

수원시 종합운동장 빗물이용시설은 수원시에서 '레인시티' 사업을 시작하면서 처음으로 조성된 빗물이용 및 침투시설이다. 불투수면으로 인해 왜곡된 물순환을 개선하기 위해 빗물이용시설 시범사업 부지로 선정되었다[그림 2-15].



[그림 2-15] 수원시 종합운동장의 부지 피복도 및 빗물이용시설 기본계획도

해당 빗물이용시설은 종합운동장 부지 내 각종 용수로 사용할 수 있는 용수를 확보하는 한편 인근 지역의 침수 피해를 막는 목적으로 조성되었다. 빗물 이용을 위한 10,000 m³ 규모의 저류시설과 빗물을 토양에 유입시킬 수 있는 4,000 m³ 규모의 빗물 침투시설이 설치되었다. 이 시설은 국비와 도비, 시비를 합쳐 62억원이 투입되어 2010년 완공되었다[그림 2-16][그림 2-17].



[그림 2-16] 수원시 종합운동장 빗물이용 및 침투시설 실시설계도



[그림 2-17] 수원시 종합운동장 빗물이용시설 시공 장면 (자료: 수원시 e-홍보팀)

저장된 빗물은 주변 경기장 잔디의 조경용수, 청소용수, 노면 청소용수 등으로 사용하고 있다. 필요에 따라 살수차가 저장된 빗물을 받아 화단 조경수 및 도로 청소용수로 사용하고 있다. 이와 더불어 시설 설치 이후 상습 침수 지역인 송죽동 일대에 침수 피해가 발생하지 않는 재해 방지 효과도 거둘 수 있었다.

3.4.5 광교 신도시

광교 신도시는 2005년부터 수원시와 용인시를 걸쳐서 진행된 광교지구 택지개발사업을 통해 조성된 대규모 신도시이다. 이 지구를 개발함에 있어 가장 주안점을 두었던 것 중 하나가 지구 내 물순환이다. 지구 내 하천과 호수를 연결하는 물순환 구조를 만들기 위해 저수지와 저류조 등의 물을 상류지역 실개천으로 압송하여 도심 지역의 물순환 시스템을 구축하였다. 한편, 갈수기 때를 대비하여 용량 17,490 m³ 규모의 총 7개 빗물이용시설을 설치하였다.

저장된 빗물은 하천 유지용수 뿐만 아니라 청소 및 조경 용수로도 사용되고 있다. 저장된 빗물은 도로의 자동 노면살수 및 용설 시스템에도 이용된다. 수원시는 2013년 6월 광교중학교 사거리에서 풍뎅이 다리(열림공원 옆)까지 300 m 구간의 도로에 빗물을 이용한 도로 노면 살수 및 용설 시스템을 설치하여 운영하고 있다 [그림 2-18].

이 시설은 동절기와 우기를 제외한 매일 새벽 시간에 원격제어로 가동되고 있으며, 겨울에는 미세먼지의 재비산을 방지해 대기질을 개선하고, 여름철에는 폭염을 저감하는 효과를 기대할 수 있다. 또한, 겨울철 노면에 눈이 쌓이면 영하 40도에서도 기능을 발휘하는 친환경 액상 제설제를 분사해 쌓인 눈을 제거할 수 있는 시스템도 갖추었다.



[그림 2-18] 빗물을 이용한 노면 살수 및 용설 시스템 (뉴시스, 2013.11.07)

4. 제도의 한계 및 개선방안

빗물이용시설이 설치되어 이용되기까지의 과정은 계획 및 설계 단계, 시공 및 설치 단계, 그리고 이용 및 유지관리 단계로 구분할 수 있다. 따라서 제도의 한계 및 개선방안도 이와 같은 세가지 단계로 구분하여 검토하였다.

4.1 계획 및 설계 단계

4.1.1 설치 공간 확보의 어려움

- ① 한계 : 빗물이용시설 중 저류조를 설치할 공간을 확보하기 어려운 경우이다. 이는 신규 건축물에 빗물이용시설을 설치하는 경우보다 기존 건축물에 빗물이용시설을 설치하는 경우 자주 발생하는 문제이다. 설치 공간의 제약으로 일정 수준의 저장용량을 확보하지 못하게 됨에 따라 용량 부족으로 빗물 이용도 제한을 받게 된다.
- ② 개선방안 : 공간 제약으로 일정 규모 이상의 저장조 용량을 확보하지 못하는 경우 빗물이용시설 설치지원 대상에서 제외하는 방안을 제안한다. 다만, 이 방안은 의무적 설치 대상이 아닌 자율적 설치 대상에 한한다.

4.1.2 저장조 용량 과소

- ① 한계 : 지자체의 예산지원으로 설치되는 빗물이용시설은 지원금액의 제한으로 저장조 용량이 대부분 5톤 미만이다. 이로 인해 빗물이 단기간에 소진되고 갈 수기에 대비한 충분한 비상용수를 확보할 수 없어 용량 부족에 따라 이용빈도가 감소하고 빗물을 대체 수자원으로 인식하지 못하는 한계가 있다.
- ② 개선방안 : 지자체의 예산 지원 대상 빗물이용시설 규모를 확대하고 이와 아울러 지원비용 기준도 상향 조정할 필요가 있다.

4.1.3 집수면 제약에 따른 집수량 부족

- ① 한계 : 빗물을 집수하기 위한 집수면은 건축물의 지붕으로 한정되어 빗물의 집수량이 제한되는 경우가 많다.
- ② 개선방안 : 오염도가 낮은 빗물이 유출되는 녹지공간, 투수블록을 통과한 하부 유출수 등을 집수할 수 있도록 집수면을 확대할 필요가 있다. 우리나라 대표적인 빗물이용시설인 서울 광진구 스타시티의 경우 전체 집수면적 51,200 m² 중 건물 옥상 6,200 m²과 대지 45,000 m²로 구성되어 전체 집수면적의 90% 가량이 옥상 이외의 면적이다.

4.1.4 건축심의 과정에서 관련 전문가 참여 및 구체적 의견 제시

- ① 한계 : 건축심의 과정에서 빗물이용과 관련하여 제시되는 의견은 단순히 관련 법규에 정한 기준을 준수하라는 식의 원칙적인 의견만 제시되고 있어 빗물이용시설의 설치 및 이용이 형식에 그치는 한계가 있다.
- ② 개선방안 : 건축심의 과정에 빗물 관련 전문가를 자문위원으로 참여시켜 빗물 이용시설 설치 및 이용방안 등에 대한 구체적인 의견이 제시될 수 있도록 한다

4.1.5 인허가 설계도서에 빗물이용시설에 대한 상세 설계 미반영

- ① 한계 : 건축심의를 위한 인허가 설계도서에 빗물이용시설에 대한 상세 설계가 미반영되어 시공과정에서 시행착오 및 설계변경이 자주 발생하고 있다.
- ② 개선방안 : 인허가 단계의 제출 도면에 빗물이용시설의 집수면, 집수배관, 이용 배관 등 관련 도면 제출을 의무화한다면 빗물이용시설의 정밀한 시공이 가능할 것으로 판단된다. 필요한 경우 인허가 담당자의 전문성을 강화하기 위한 교육 프로그램도 마련되어야 한다.

4.1.6 빗물저장조의 용량 및 위치 선정

- ① 한계 : 녹색건축 인증제도 등의 인센티브를 고려하여 용량을 산정할 경우 실제로 집수할 수 있는 빗물 용량에 비해 저장조 규모가 과다하게 계획되는 경우가 많다. 이로 인해 건축물 설계과정에서 적절한 위치 선정이 곤란한 경우가 있다.
- ② 개선방안 : 용량산정 시 단순하게 지붕면적과 계획 강수량 만을 고려하여 산정할 것이 아니라, 구배 등을 고려할 때 실제로 해당 유량이 유입될 수 있는지의 여부를 구체적으로 검토할 필요가 있다.

4.2 시공 및 설치 단계

4.2.1. 이용 및 유지관리를 확인할 수 있는 기기 미설치

- ① 문제점 : 이용 및 유지관리를 확인할 수 있는 유량계, 수질센서 등이 설치되지 않아 이용자는 빗물이용을 꺼리는 경우가 많고, 지자체 등 관리자 입장에서는 적정 유지관리 여부를 확인하기 어려운 한계가 있다. 유량계가 설치되지 않은 경우 빗물이용에 따라 상·하수도 감면혜택을 부여하는 인센티브 방안도 시행하기 곤란한 문제가 있다.
- ② 대안 : 신규 설치되는 시설의 경우 유량계, 수질센서 등을 설치하도록 하고, 기존에 설치된 시설은 필요한 경우 지자체가 설치 비용을 지원하는 방안을 검토할 필요가 있다.

4.2.2 펌프 등 동력장치 미설치

- ① 문제점 : 저장용량 1톤 이하의 소형 빗물이용시설은 동력장치(모터) 미설치로 수압부족에 따라 빗물이용을 꺼리는 경우가 많다.
- ② 대안 : 사용량이 많은 다량 사용자에게 한해 동력장치 설치비용 일부를 예산 지원하는 방안을 검토할 필요가 있다.

4.2.3 불명확한 공종 구분

- ① 문제점 : 빗물이용시설 설치 및 이용과 관련된 공종은 건축, 토목, 기계, 조정 공종이나, 시공 단계에서 공종구분이 명확하지 않아 공종 간 갈등 및 부실시공 우려가 있다.
- ② 대안 : 관련 공종의 업무분장을 구분되어야 한다. 본 연구에서는 빗물이용시설 설치와 이용에 관한 공종을 구분하여 본 장의 후단에 제안하였다. 공종별 구분 및 업무분장도 필요하지만, 보다 중요한 것은 현장에서 시공을 담당하는 공종 담당자 간에 배관 등에 대해 사전에 논의하는 것이 더욱 중요하다.

4.2.4 관로의 오접

- ① 문제점 : 지상부에서 집수배관의 흔한 실수는 잘못된 관 접합으로, 대개의 경우 건축물로부터 나온 배관을 가장 가까운 집수정에 접합하여 빗물을 저장조로 유입시키지 않고 우수관으로 배제하는 경우이다³²⁾. 이용 배관의 시공과정에서도 상기한 집수배관과 유사한 검토가 필요하다. 특히, 수전의 경우 통상적으로 건축물에 붙여 설치하는 경우가 있는데, 이 경우 빗물이용 배관이 아닌 상수배관에 접합하는 경우가 자주 발생한다.
- ② 대안 : 배관 오접의 문제해결을 위해 시공 전 건축물 공종 담당자, 지상 공종 담당자, 감리자, 감독자 등이 빗물이용시설 배관 관련 도면을 함께 검토하는 절차를 마련할 필요가 있다. 준공 이후에는 확인이 불가능에 가깝기 때문에 시공 중 명확히 검토하는 것이 필요하다.

32) 이유로는 세부 연결에 관한 설계도서가 없거나, 도서에 있더라도 지장물 유무 또는 구배 확보를 위해 또는 통상적인 방식의 시공으로 인해 발생함

4.3 운영 및 유지관리

4.3.1 빗물이용의 경제성 부족

- ① 문제점 : 톤당 800원 미만의 저렴한 상수도 요금으로 인해 빗물이용의 필요성을 느끼지 못하는 경우가 많다.
- ② 대안 : 저렴한 상수도 요금은 빗물을 비롯한 대체 수자원 개발이 한계에 부딪히는 가장 큰 요인이다. 하지만, 상수도 요금 인상은 현실적으로 어려움이 있기 때문에 상수도 요금 절감효과 외에 환경 개선 효과 등 부가적인 효과를 강조할 필요가 있다. 전주시가 시행 중인 빗물이용에 따른 상·하수도 요금 감면제도도 확대 시행할 필요가 있을 것으로 판단된다.

4.3.2 잦은 고장

- ① 문제점 : 집수시설 및 빗물이용을 위한 펌프 등의 고장이 잦아 사용자가 비용을 부담하여 수리해야 하지만, 빗물이용의 경제성이 확보되지 않는 상황에서 이를 기대하기는 어렵다. 따라서, 빗물이용시설의 이용과정에서 고장 발생 시 수리보다는 방지하는 경우가 대부분이다.
- ② 대안 : 고장에 대비하여 빗물집수 및 이용과정에 필요한 동력소요 및 구동부를 최소화하여야 한다. 빗물이용시설의 설치뿐만 아니라 운영 및 유지관리에 대한 지원방안도 마련되어야 한다. 지자체가 전문업체를 선정하여 빗물이용시설에 대한 유지관리를 대행해 주는 방법도 가능할 것으로 판단된다. 이를 통해 빗물이용시설에 대한 모니터링 및 유지관리가 가능해진다.

4.3.3 이용용도에 부합하는 수량 부족

- ① 문제점 : 조경용수 및 도시농업의 관수용수 등 안정적인 용도로 이용하기 위해서는 안정적인 수량이 확보되어야 하나, 강수량의 계절적인 편중과 저장용량의 한계로 인해 안정적인 수량을 확보하지 못해 대체 수자원으로서 인식되지 못하는 경우가 많다.

- ② 대안 : 집수면 확대, 저장용량 확대 등을 통해 수량을 추가로 확보하는 방안도 가능하지만, 현장 여건에 따라 적용하기 곤란한 경우도 있을 것으로 판단된다. 따라서 안정적인 수량 확보를 위한 대안은 상수도, 지하수 등과 같은 상시 수원과 연계하는 운영하는 방안이 필요하다.

4.3.4 빈번한 점검 및 청소주기

- ① 문제점 : 관련 기준에 따르면 빗물이용시설의 유지관리를 위해 상하반기 또는 분기별로 저장조를 청소해야 한다. 하지만, 저장조의 청소주기는 현장의 여건과 이용가의 이용목적에 따라 달라질 수 있기 때문에 관련 기준에 청소주기를 규정하는 것은 의미가 부족하다.
- ② 대안 : 점검주기 및 청소주기를 별도 규정하지 않는다. 빗물의 수질 및 저장조의 청소주기는 빗물을 이용하는 사용자가 빗물의 이용용도 등을 고려하여 판단할 사항이기 때문에 관련 기준에 별도로 언급할 필요는 없다.

4.4 관련 제도 전반

4.4.1 관련 제도의 전반적인 고려사항

환경부는 지속 가능한 물관리를 위하여 일정 규모 이상의 실내 체육관, 공공청사, 공동주택, 학교 등은 의무적으로 빗물이용시설을 설치하도록 하고 있다. 대부분의 지자체는 빗물이용시설 설치비용을 지원하고 있으며, 빗물을 이용할 경우 수도요금을 감면해 주는 다양한 인센티브 제도도 운영하고 있다. 뿐만 아니라 개별 건축물 신축 시 일정 규모 이상의 빗물저류시설을 설치하면 세제 혜택 및 용적률을 완화해 주는 녹색건축 인증제도도 운영되고 있다.

상기한 바와 같이 빗물이용시설 설치 및 이용과 관련하여 의무 제도 및 인센티브와 지원제도가 있음에도 빗물이용이 가시적인 효과를 거두지 못하는 이유 중의 하나는 제도가 빗물이용시설의 설치에 초점을 두고 있다는 것이다.

대부분의 제도가 설치를 의무화하거나, 설치 여부에 따라 인센티브 또는 지원금을 부여하고 있으며, 이용에 대해서는 의무로 규정하거나 인센티브를 부여하는 제도는 미비한 실정이다. 설치된 빗물이용시설의 이용이 제한적인 이유는 원가에 미치지 못하는 상수도 요금³³⁾으로 인해 빗물을 이용하는 경제성이 확보되지 않기 때문이다. 빗물이용에 따른 사회적 편익은 존재하지만, 개인이 체감할 수 있는 사회적 편익은 크지 않기 때문에 빗물이용이 한계에 직면할 수 밖에 없다.

4.4.2 빗물이용시설의 이용에 대한 인센티브 제공

빗물이용시설 설치뿐만 아니라 이용에 따른 인센티브를 부여해야 한다. 일정 규모 이상의 빗물이용시설을 설치하여 실질적인 이용과 효과를 기대할 수 있는 공동주택의 경우 빗물이용시설 설치에 따른 인센티브는 상당한 모순을 가지고 있다. 빗물이용시설 설치에 따른 용적률 등의 인센티브는 건축주가 받고, 빗물이용의 경제성이 부족한 여건에서 빗물이용시설의 유지관리는 입주민의 몫으로 전가되고 있기 때문이다.

이에 대한 대안으로는 빗물의 이용에 따라 상하수도 요금 감면 등의 제도를 도입하여 경제적 측면으로 접근하거나, 빗물을 이용한 환경개선 등으로 환경적 측면의 개선효과를 제시할 수 있어야 한다.

4.4.3 빗물이용에 대한 인식 전환 및 홍보

빗물이용 활성화를 위해서는 빗물에 대한 선입견 해소와 인식개선이 필요하다. 즉 빗물이용은 도시 수자원 문제와 환경문제를 종합적으로 해결하는 방법이라는 것을 인식해야 한다. 빗물이용 활성화를 위한 시책 발굴 및 관련 포럼개최, 시민 참여 행사 등을 통해 빗물이 단순히 버리는 것이 아닌 모아서 사용해야 할 소중한 자원이라고 인식할 수 있는 계기가 마련되어야 한다.

33) 2019 상수도 통계에 근거할 때, 전국 평균 상수도 요금은 760원/톤으로 생산원가의 80% 수준임

5. 빗물이용시설의 공종 구분

빗물이용시설의 설계 및 시공과정에 대한 명확한 공종 구분이 없어 시공과정에 시행착오 및 부실시공의 우려가 있어 이에 대한 공종 구분 방안을 제시하였다.

빗물이용시설 시공과 관련된 공종은 건축, 토목, 기계, 조경 공종이다. 빗물을 집수, 저장, 이용하는 과정으로 나누어 공종을 적용하면 빗물을 집수하기 위한 우수관은 건축 공종, 건축물 외벽라인을 벗어나 저장시설까지의 배관은 토목 공종, 그리고, 저장조 설치와 관련된 것은 기계 공종으로 구분하였다. 그리고, 빗물을 조경용수 등으로 이용하기 위한 배관설치 담당은 조경 공종이다.

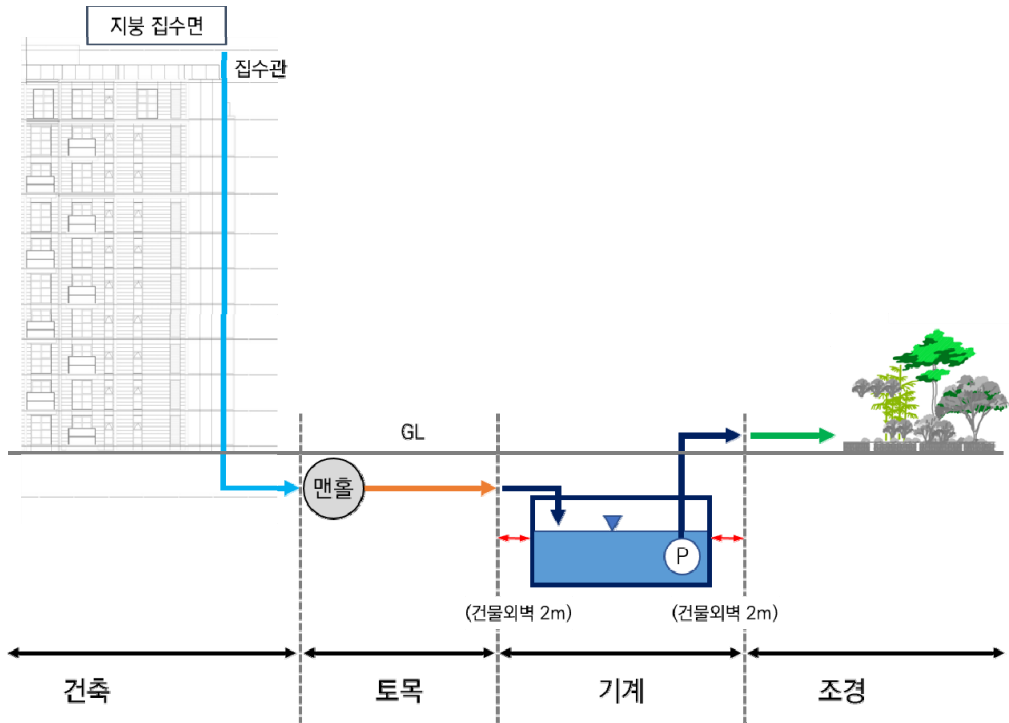
빗물을 이용하기 위한 배관은 조경공종이 담당하되, 조경용 수전을 설치하는 지점까지의 배관 설치와 압송을 위한 펌프설치는 기계공종이 설치하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

설계량 이상의 빗물이 유입될 때 우수관으로 빗물을 배제하기 위한 월류관은 토목공종이 담당하여야 한다.

보다 구체적인 내용은 [표 2-23]와 [그림 2-19]에 제시하였다.

[표 2-23] 공동주택의 빗물이용시설 설치 시 공종 구분

구분	세 부 내 용
건축	• 건축물 내 집수배관
토목	• 건축선 경계선 바깥쪽부터 저류조까지의 이송 배관 • 설계유량 이상의 빗물을 배제하기 위한 우수관까지의 월류 배관 (건축선 바깥쪽에서 우수관까지)
기계	• 여과장치 등 수질처리 시설 • 빗물 저장조 • 빗물이용을 위한 펌프 및 배관 (건축선 안쪽까지)
조경	• 빗물이용을 위한 배관 (건축선 바깥쪽에서 최종 사용장소까지)



[그림 2-19] 공동주택 빗물이용시설의 공중 구분

6. 소결

6.1 관련 제도의 한계 및 개선방안

- ① 빗물이용에 관한 수질기준 마련
 - 빗물이용에 관한 수질기준을 마련하여야 하며 기존의 중수도 수질기준을 준용하되, 수질기준은 수원별이 아닌 이용 용도별로 결정할 필요가 있음
- ② 타 수원과 연계함으로써 빗물의 수량 안정성 확보
 - 계절적 편중이 큰 빗물의 수량 안정성을 확보하기 위해 상수, 중수, 또는 지하수 등 연중 안정적으로 공급되는 수원을 빗물과 연계하여 운영하여야 함
- ③ 빗물이용 활성화를 위한 제도 개선방안
 - 빗물이용 관련 제도가 시설 설치 중심으로 되어 있어 이용에 대한 의무조항 및 인센티브 방안 마련이 필요함

6.2 빗물이용시설 운영현황

- ① 설치 및 운영현황
 - 우리나라에는 2,650개의 빗물이용시설이 설치되어 있으며, 연간 이용량은 7,993,872 m³임 (2018년말 기준)
 - 연간 빗물 이용량의 85%인 6,771,797 m³는 44개소의 골프장이 차지하고 있고, 이로 인해 저장된 빗물의 95% 이상이 조경용수로 이용되고 있어 빗물이용의 당초 취지를 고려할 때 빗물이용시설의 다양화가 필요함
- ② 빗물이용시설의 빗물 단가
 - 설치비와 운영비를 고려한 빗물이용시설의 빗물 톤당 단가는 2,596원이며, 설치비를 제외할 경우 235원/m³ 수준으로 설치비를 포함할 경우 상수도보다 비싸져 경제성을 확보할 수 없으므로 빗물이용시설에 설치비용에 대한 정부지원 정책은 계속 유지되어야 함

6.3 빗물이용시설의 설계, 설치, 운영과정의 개선방안

① 설계, 시공 및 유지관리 단계별 한계 및 개선방안

구분	한계	개선방안
계획 및 설계	<ul style="list-style-type: none"> • 저장조 설치 공간 확보의 어려움 • 저장조 용량의 과소 • 집수면 제약에 따른 집수량 부족 • 인허가 설계도서에 상세 설계 부족 	<ul style="list-style-type: none"> • 공간 확보 가능 여부 우선 검토 • 지자체 지원 대상 규모 상향 조정 • 지붕 외에 대지 등으로 집수면 확대 • 인허가 시 상세 설계도서 요구
시공 및 설치	<ul style="list-style-type: none"> • 이용 및 유지관리 관련 기기 미설치 • 관련 공종 간 업무분장 모호 • 기존 매설물(우수관 등)과의 간섭 • 집수배관 및 이용배관의 오접 	<ul style="list-style-type: none"> • 해당 기기 설치 의무화 • 관련 공종 간 업무분장 구분 • 공종 담당자 간 사전 논의 • 시공 전 공종 담당자 간 사전협의
운영 및 유지관리	<ul style="list-style-type: none"> • 빗물이용의 경제성 부족 • 잦은 고장 등 유지관리 어려움 • 안정적인 수량공급의 한계 • 빈번한 점검 및 청소주기 	<ul style="list-style-type: none"> • 환경개선 효과 등 부가적인 효과 제시 • 지자체가 전문 관리업체를 지정하여 유지관리 지원 • 빗물 저장조를 상수, 중수, 지하수 등 안정적인 수원과 연계하여 운영 • 점검 및 청소주기는 사용자에 일임

② 빗물이용시설 설치와 관련된 공종 구분

공종	세 부 내 용
건축	<ul style="list-style-type: none"> • 건축물 내 집수배관
토목	<ul style="list-style-type: none"> • 건축선 경계선 바깥쪽부터 저류조까지의 이송 배관 • 설계유량 이상의 빗물을 배제하기 위한 우수관까지의 월류 배관 (건축선 바깥쪽에서 우수관까지)
기계	<ul style="list-style-type: none"> • 여과장치 등 수질처리 시설 • 빗물 저장조 • 빗물이용을 위한 펌프 및 배관 (건축선 안쪽까지)
조경	<ul style="list-style-type: none"> • 빗물이용을 위한 배관 (건축선 바깥쪽에서 최종 사용장소까지)

제 3 장 빗물이용을 위한 집수방안

1. 수질확보를 위한 초기빗물 배제

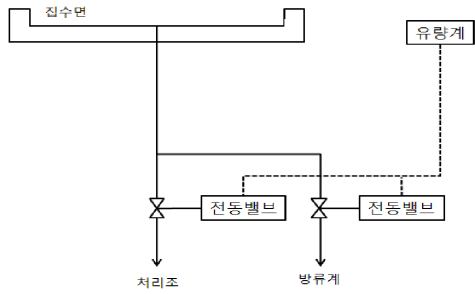
빗물 집수과정은 지붕 등 집수면에서 유출되는 빗물을 저장조까지 모으는 과정을 말한다. 이 과정에서 고려할 사항은 넓은 집수면을 확보하는 것과 양질의 빗물을 모으기 위해 오염도가 높은 초기빗물의 처리하는 것이다.

초기빗물은 강우 초기에 유출되는 최소 5 mm 이상의 강우량으로, 초기빗물의 배제방식은 유량계, 분리장치, 부표를 이용하는 방법이 제시되고 있다(환경부, 2010).

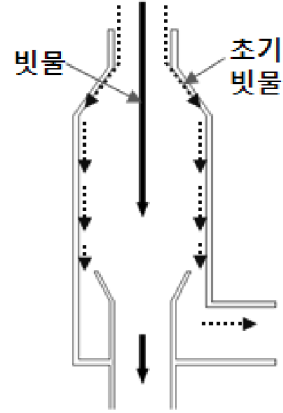
유량계를 이용하는 방법은 유량계와 자동밸브를 연결하여 초기빗물은 초기빗물 처리시설 또는 일반 우수관거로 배제하고, 이후의 비교적 깨끗한 빗물을 저장조로 이송하는 방식이다. 유량계와 자동 밸브에 의해 조작됨으로써 정확한 초기빗물의 배제가 가능하지만, 고장의 우려와 동력이 소요되는 단점이 있다[그림 3-1(a)].

분리장치를 이용하는 방법은 강우 초기에 적은 유량의 빗물은 홈통의 중심부로 흘러내리지 않고 관 내벽을 타고 흘러내리는 특성을 이용한 것이다. 홈통의 벽면을 타고 내리는 빗물은 초기빗물 처리시설 또는 우수관거로 배제하고, 강우량이 증가하여 유량이 많아지면 관의 중심부를 통해 흘러나오는 빗물을 저장조로 집수하는 방식이다[그림 3-1(b)].

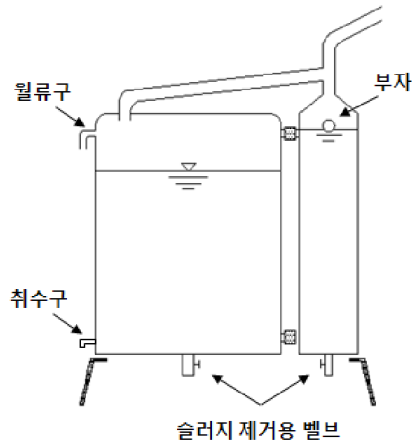
부표를 이용하는 방법은 저장조 전단부에 초기빗물 배제관을 설치하여 초기빗물에 해당하는 일정량의 빗물은 배제관으로 유입시켜 제거하는 방법이다. 배제되는 유량 및 배제관의 규모는 집수면적에 따라 결정된다. 배제관으로 흘러든 초기빗물로 인해 부표가 떠올라 배제관 입구를 막게 되면 그 이후의 빗물은 저장조로 이송된다. 배제관 내부의 초기빗물은 주기적으로 하단의 밸브를 열어 제거하는 방식과 일정량이 상시 흘러나가도록 하는 방식이 가능하다. 제작 및 설치가 쉽고 구동부가 없으며 동력을 필요하지 않기 때문에 고장의 염려가 없다.



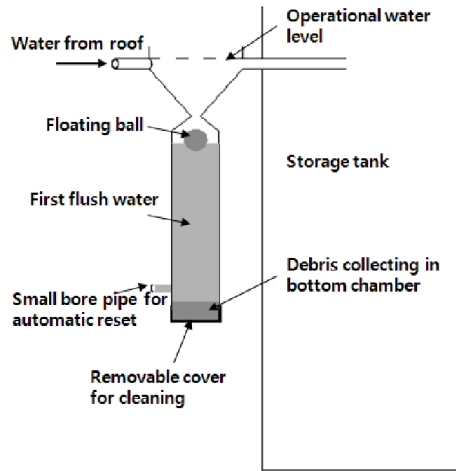
[(a) 유량계를 이용한 초기빗물 배제]



[(b) 흡통을 이용한 초기빗물 배제]



[(c) 부표를 이용한 초기빗물 배제]



[그림 3-1] 다양한 초기빗물 배제방법

2. 빗물 집수시설의 현장 적용성 검증

빗물이용시설의 현장 적용성 검증을 위한 테스트베드로 건축물 1개소와 도로 1개소를 선정하였다. 건축물 대상 테스트베드는 지붕에서 유출되는 빗물의 초기빗물 배제방법 및 그에 따른 수질분석이 목적이었으며, 도로 대상 테스트베드는 노면살수를 통한 미세먼지 저감효과와 아울러 도로에서 유출되는 빗물을 저장 후 순환하여 재이용하는 방안을 검토하기 위한 것이었다.

건축물과 도로를 대상으로 한 테스트베드의 개요는 [표 3-1]에 제시하였다.

[표 3-1] 빗물이용시설 현장 적용의 테스트베드 개요

구분	위치	집수면	저장조 용량	용도	운영 목적
건축물	대전 유성구 (토지주택연구원)	건축물 지붕 또는 캐노피	3m ³	조경용수, 노면살수	<ul style="list-style-type: none"> 초기빗물 배제효과 수질 분석 노면살수의 폭염저감 효과
도로	경기도 부천시 오정로 일원	도로	5m ³	노면살수	<ul style="list-style-type: none"> 노면살수의 미세먼지 저감효과 도로 유출 빗물의 순환 이용 가능 여부

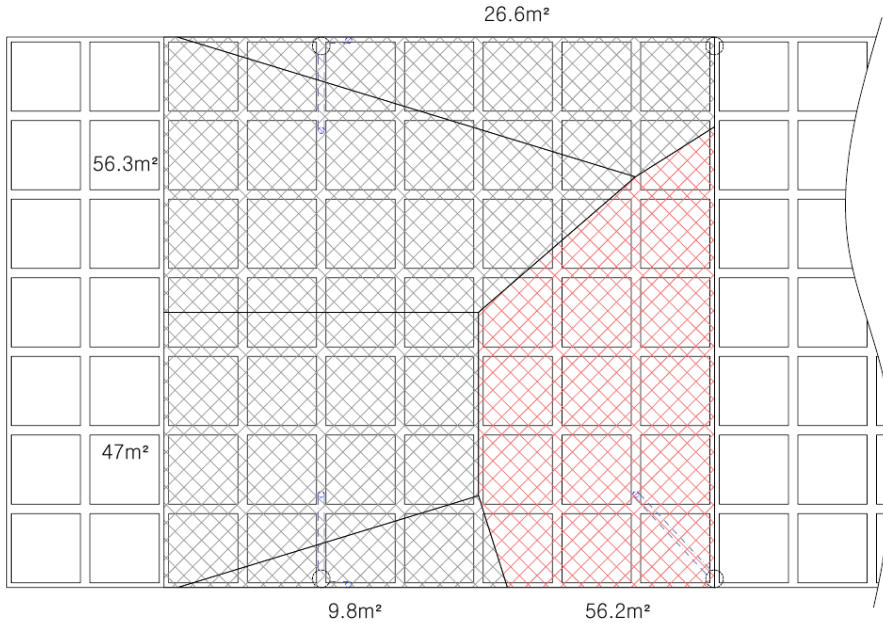
2.1 건축물 대상 테스트베드 운영

2.1.1 테스트베드의 개요


빗물이용시설을 설치할 때 중요하게 고려되어야 할 부분은 집수면적과 그에 따른 저장조의 용량을 결정하는 것이다. 해당 테스트베드는 대전 유성구에 소재한 LH 토지주택연구원이며, 집수면은 다울관과 해울관 사이에 설치된 캐노피이다.

캐노피의 집수면적은 56.2 m²으로 산정되었으며, 50 mm의 강우량을 집수 대상으로 하여 저장조의 용량은 3 m³으로 산정하였다[그림 3-2].

본 테스트베드의 운영 목적은 초기빗물 처리방식, 초기빗물 배제 이후의 수질 분석, 그리고 저장된 빗물을 도로, 주차장 노면에 살수할 경우 폭염저감 효과를 분석하기 위한 것이었다.

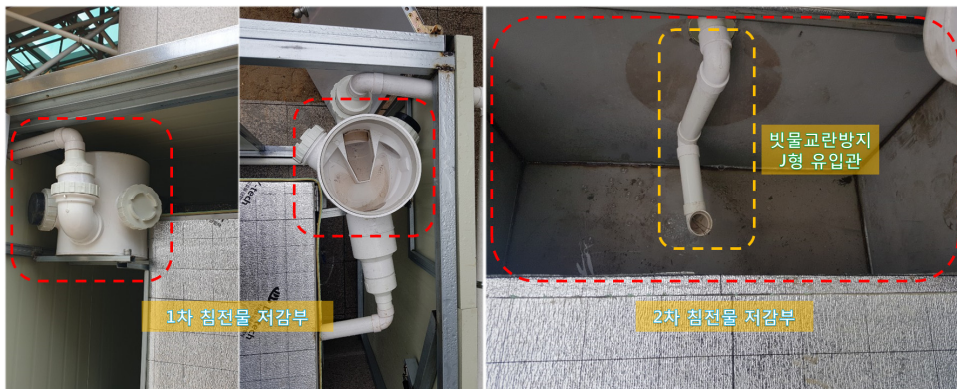


[그림 3-2] 건축물 대상 테스트베드의 집수면적

-  : 빗물이용시설에 해당하는 집수면
- 빗물저장시설의 설치용량(m³) : 집수면(m²) × 50mm → $56.2\text{m}^2 \times 0.05\text{m} = 2.81\text{m}^3$

2.1.2 초기빗물 배제

집수면인 캐노피에서 유출되는 빗물을 집수하기 위해 집수관 등을 설치하였다. 강우 초기에 캐노피에서 유출된 오염물질이 저장조로 유입되지 않도록 부표 방식의 초기빗물 처리시설을 설치하였다. 오염물질의 저장조 유입을 최소화하기 위해 저장조 전단에 소규모 침전시설을 추가로 설치하였으며, 유입되는 빗물은 J자형 유입관을 통해 유입되도록 함으로써 조내의 침전물이 유입되는 수류의 흐름에 의해 재부유하는 현상을 방지할 수 있도록 하였다. [그림 3-3].



[그림 3-3] 건축물 테스트베드에 적용된 초기빗물 처리시설 및 추가 침전시설

2.1.3 빗물의 수질

집수면에서 유출되는 빗물의 걸보기 농도는 [그림 3-4]와 같으며, 시간이 경과함에 따라 걸보기 농도가 점점 깨끗해짐을 알 수 있다. 해당 걸보기 농도는 초기 빗물 처리시설을 통해 오염도가 높은 초기빗물은 배제한 조건이다.



[그림 3-4] 건축물 지붕에서 유출되는 빗물의 걸보기 농도
(좌측이 강우초기 수질이며 우측으로 갈수록 시간 경과를 의미)

초기빗물을 배제한 빗물의 수질특성은 [그림 3-5]에 도시하였다. 빗물의 수질은 집수면의 오염물질 축적 정도, 선행 건기일수, 강우강도 등 다양한 요인에 따라 달라진다. 따라서, 본 연구에서 측정된 수질농도를 타 연구와 비교하는 것은 큰 의미가 없을 것으로 판단되어 기존 유사 연구사례와 비교하지는 않았다.

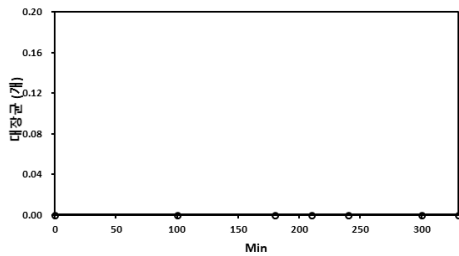
본 연구에서 빗물 수질에 대한 모니터링 목적은 초기빗물 배제로 이용용도에 부합하는 수질을 확보할 수 있는지의 여부, 시간경과에 따른 수질변화 등이다.

본 연구에서의 고려한 빗물의 주된 이용용도는 폭염 및 미세먼지 저감을 위한 노면 살수용수 및 조경용수이었기 때문에 물재이용법 시행규칙 별표1에서 규정하고 있는 관련 기준에 부합하는지를 검토하였다. 세척·살수용수의 수질기준은 총대장균군수 1,000 이하, 탁도(NTU) 2 이하, BOD 5 이하, pH 5.8~8.5의 범위이다. 조경용수의 수질기준도 이와 동일하며, 염화물 농도 250 mg Cl/L가 추가된다.

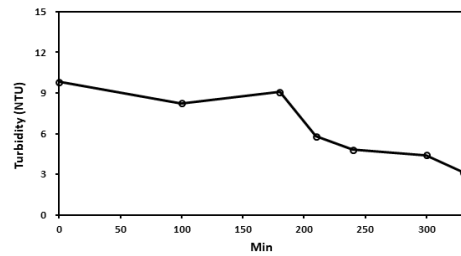
살수용수 또는 조경용수로 이용하기 위한 수질항목 중 기준치를 초과하는 항목은 탁도로 나타났으며, 나머지 항목은 기준치 이하로 조사되었다. 특히 대장균군 항목은 검출되지 않아 빗물을 신체와 접촉되는 용도로 이용하는 것도 가능할 것으로 판단된다.

탁도항목이 기준치를 초과하는 것으로 나타났으나, 해당 수질은 빗물을 집수하는 과정에서 측정된 것으로 빗물 이용 전까지 저장조에서의 침전에 의한 추가 처리효과를 기대할 수 있어 살수용수, 조경용수로 이용하는 데는 무리가 없는 것으로 판단되었다. 본 보고서의 제4장에서 다루고 있는 건축물 지붕 유출수의 저장조 내에서의 탁도는 기준 이하로 나타났다.

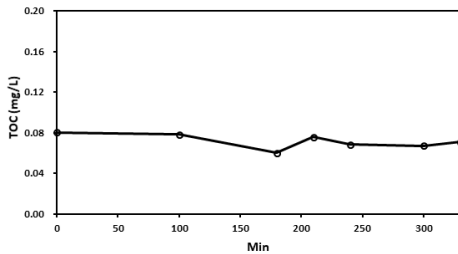
상기한 분석 결과를 고려할 때 건축물의 지붕에서 유출되는 빗물을 집수하여 살수용수 또는 조경용수로 이용할 경우 초기빗물 처리시설만 설치하여도 관련 기준에 부합하는 수질확보가 가능하다.



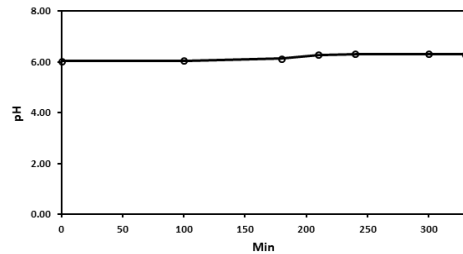
(a) 총대장균군수



(b) 탁도(NTU)

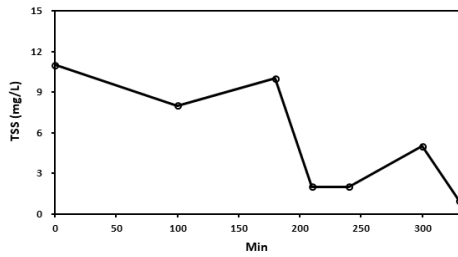


(c) TOC

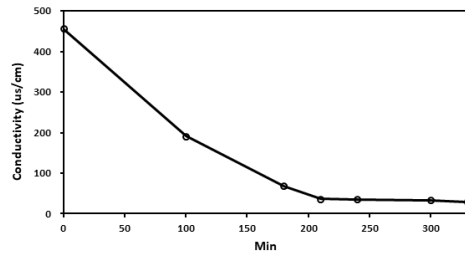


(d) pH

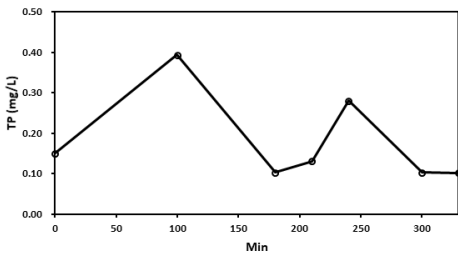
[그림 3-5] 건축물 지붕에서 유출되는 빗물의 수질특성



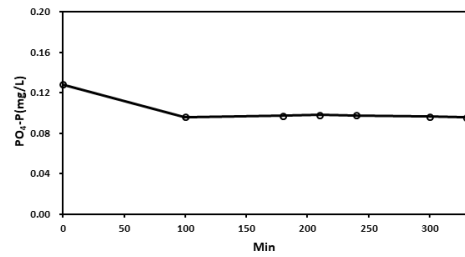
(e) TSS



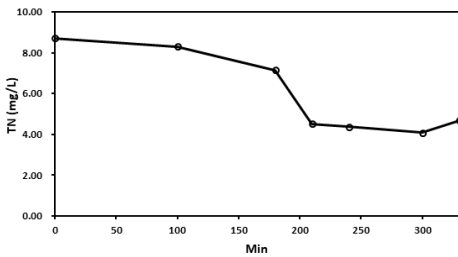
(f) Conductivity



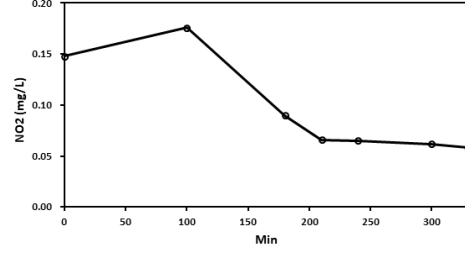
(g) TP



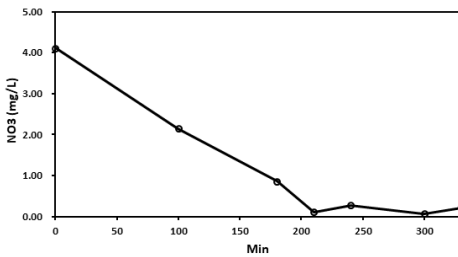
(h) PO₄-P



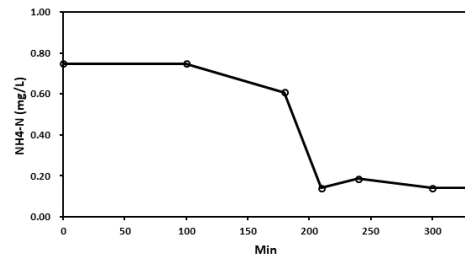
(i) TN



(j) NO₂

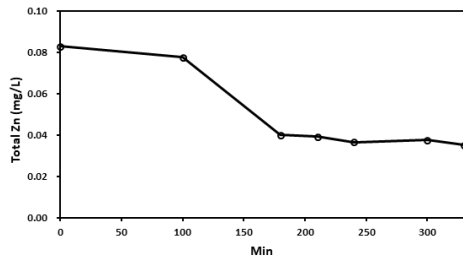


(k) NO₃

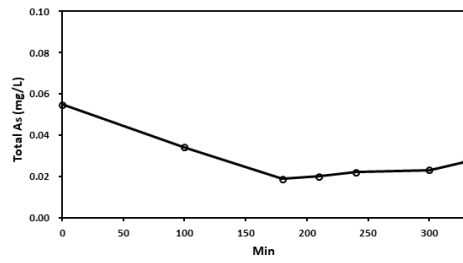


(l) NH₄-N

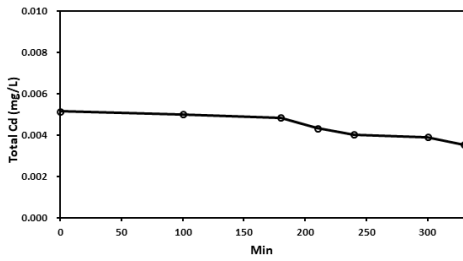
[그림 3-5] 계속



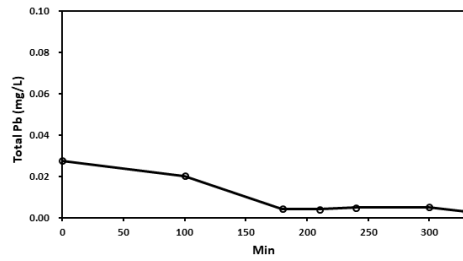
(m) Total Zn



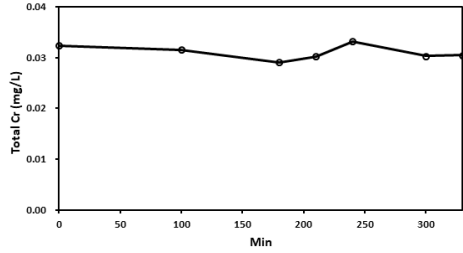
(n) Total As



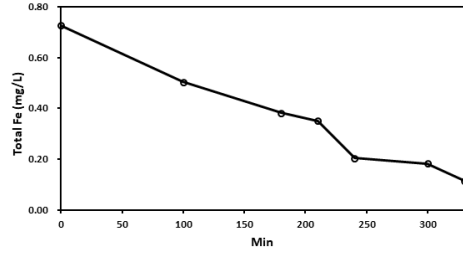
(o) Total Cd



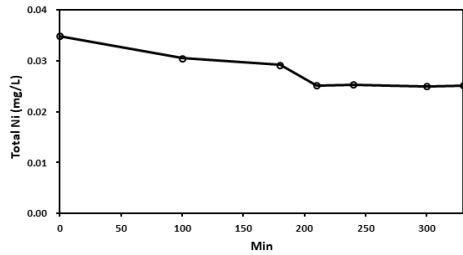
(p) Total Pb



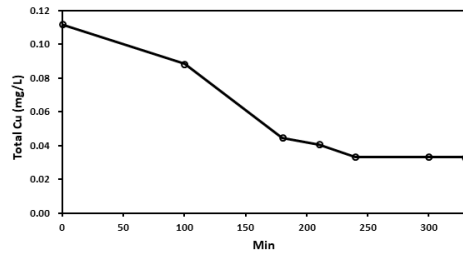
(q) Total Cr



(r) Total Fe



(s) Total Ni



(t) Total Cu

[그림 3-5] 계속

2.2 도로 대상 테스트베드 운영

2.2.1 테스트베드의 개요

도로 대상 테스트베드는 도로에서 유출되는 빗물을 저장하여 노면살수 용수로 이용하기 위한 것으로 건축물의 지붕에 한정된 빗물 집수면을 도로 등으로 확대할 수 있는지의 여부를 검토하기 위한 것이었다[그림 3-6].

테스트베드는 경기도 부천시 오정로 일원에 설치되었으며, 본 지역을 선정한 이유는 주변에 레미콘 공장이 밀집하여 미세먼지 농도가 매우 높은 수준을 유지하고 있는 지역이었기 때문이다. 테스트베드 주변에는 레미콘 공장 6곳, 아스콘 공장 1곳, 금속가공 공장 다수가 밀집되어 있다.



[그림 3-6] 도로 테스트베드 설치 위치도

테스트베드의 구축 목적은 투수성 포장과 노면살수를 이용하여 미세먼지의 주요 발생원 중 하나인 도로의 재비산 먼지를 저감하는 것이었다. 아울러 빗물의 효율적인 이용을 위하여 도로 노면살수 후 유출되는 빗물을 집수 후 재이용할 수 있는지의 여부를 검토하고자 하였다.

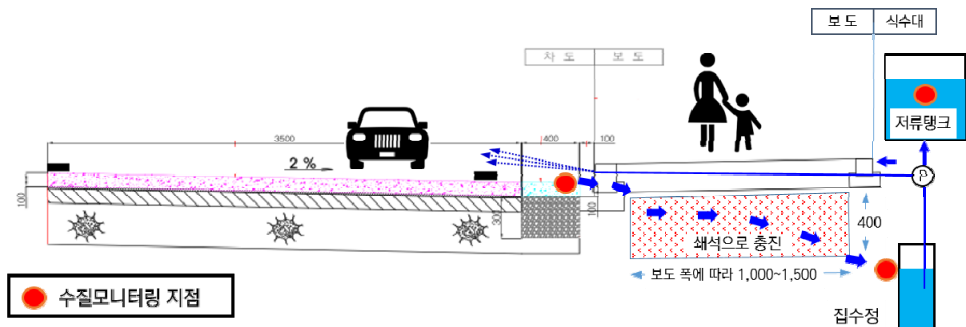
도로 노면살수는 동계기간에는 미세먼지의 재비산을 억제할 수 있지만, 하계기간에는 폭염 저감효과도 기대할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 노면살수에 따른 미세먼지 저감효과와 아울러 온도저감 효과도 분석하였다.

노면살수가 미세먼지 재비산 억제와 폭염을 저감하는 긍정적인 효과가 있지만, 블랙아이스와 물튀김 등 부정적인 우려도 제기되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 상기한 우려를 없애고자 노면살수를 실시하는 대상 구간은 투수성 포장으로 시공하였다.

2.2.2 노면살수 유출수의 재이용을 위한 순환 시스템 구축

도로 노면에서 유출된 빗물을 간이 여과시스템을 이용해 저장조에 저장한 후 노면살수 용수로 재이용함으로써 빗물의 이용률을 높이고자 하였다. 투수성 포장이 간이 여과시스템의 기능을 수행하여 일정 수준의 오염물질 처리가 가능할 것으로 기대하였으며, 투수성 포장을 통과한 노면 유출수는 집수정을 통해 저장탱크에 담아 다시 살수용수로 재이용할 수 있도록 하였다[그림 3-7].

해당 도로 구간의 테스트베드는 2019년 11월 말 집수시설 및 투수성 포장의 시공이 완료되어, 2019년 12월부터 모니터링을 수행하였다.



[그림 3-7] 도로 테스트베드의 노면살수 및 유출수 재이용 개념도

2.2.3 노면살수 유출수의 수질분석을 통한 재이용 가능 여부 분석

하수도 통계에 따르면 빗물이용시설의 집수면은 대부분 건축물 지붕이다. 하지만, 공동주택의 경우 건폐율³⁴⁾은 대부분 20% 이하이기 때문에 집수할 수 있는

34) 대지면적에 대한 건축면적의 비율을 말함

빗물의 양은 전체 대지면적의 20% 이내에 불과하다. 집수되는 빗물의 양을 늘리기 위해서는 집수면적을 지붕에 국한하지 않고 녹지, 도로 등의 공간으로 확대할 필요가 있다.

본 연구의 도로 테스트베드는 도로에서 유출되는 빗물을 투수성 포장에 의해 간이 여과처리한 후 재이용할 수 있는지의 여부를 판단하기 위한 것이다. 즉, 노면 살수를 위한 빗물의 집수면으로 도로가 가능한지의 여부를 판단하고자 하였다. 이를 위해 아스팔트 포장과 투수성 포장에서 유출되는 노면 유출수의 수량과 수질에 대한 모니터링을 수행하였다.

[그림 3-8]은 테스트베드에서의 4회(E3~E6)에 걸친 노면살수를 통해 유출된 강우 유출수의 걸보기 농도를 나타내고 있다. 아스팔트 포장과 투수성 포장 모두 유출수는 강우 초기에 오염도가 높았다가 시간이 지나면서 오염농도가 감소하는 초기세척효과가 뚜렷하게 나타났다. 또한, 아스팔트 포장의 유출수가 투수성 포장에 비해 초기 걸보기 농도가 상당히 높은 것으로 나타났다.

걸보기 농도로 판단할 때 아스팔트 포장과 투수성 포장에서 유출되는 유출수를 저장조에 집수한 후 노면살수 용도로 재이용하는 것은 불가할 것으로 판단된다. 당초 투수성 포장의 경우 간이 여과처리가 가능해 일정 수준의 수질확보가 가능할 것으로 예상하였으나, 현장에서의 분석 결과 도로에서의 유출수는 재이용이 불가할 것으로 판단된다.

빗물의 집수면으로 확대할 수 있는 공간은 도로, 일반 공지, 녹지 등이 가능하나, 본 테스트베드에서의 분석 결과 도로는 집수면으로 고려하기 곤란하다는 판단이다.

집수면적을 지붕이 아닌 일반 공지, 녹지 등으로 확대한다는 것은 저장조 내 수질 저하와 직결된다. 지붕에서 유출되는 빗물은 초기빗물 배제만으로도 조정용수, 살수용수로 사용할 수 있는 수질을 확보할 수 있지만, 일반 공지 등에서 유출되는 빗물은 초기빗물 배제 이외에 별도의 수처리 시설을 설치하여야 한다.



[아스팔트 포장 유출수]



[투수성 포장 유출수]

E-3



[아스팔트 포장 유출수]



[투수성 포장 유출수]

E-4



[아스팔트 포장 유출수]



[투수성 포장 유출수]

E-5



[아스팔트 포장 유출수]



[투수성 포장 유출수]

E-6

[그림 3-8] 도로 테스트베드의 아스팔트 포장과 투수성 포장의 유출수 수질비교

3. 집수시설 설치 시 고려사항

3.1 생활하수의 혼입

빗물이용시설로 유입되는 옥상 빗물은 각 층의 세대별 앞 베란다를 통해서 우수 배관이 설치되는 경우가 대부분이다. 공동주택의 경우 간혹 세탁기를 앞 베란다에 설치하는 세대가 있어 이 경우 세탁기의 배수가 베란다를 통해 우수배관에 혼입되는 경우가 있다. 이는 설계와 시공과정의 문제점은 아니며 입주민에 대한 홍보와 협조가 필요한 사항이다.

3.2 우수배관의 벽체 매립에 따른 집수배관 연결의 어려움

공동주택에 설치된 우수배관의 대부분은 건물 내부(베란다) 또는 외벽 속에 매립되어 있어 빗물이용시설로 이송하기 위한 집수배관 연결이 곤란한 경우가 종종 발생한다. 이는 기존 공동주택에 빗물이용시설을 신규 설치하는 경우에 발생하는 문제로 공동주택 신축과 동시에 빗물이용시설을 설치하는 경우에는 문제가 되지 않는다.

건물 벽체에 매립되어 있는 경우 1층 베란다 하부와 지면 사이의 0.5~1.0 m 공간에 우수배관이 노출되기 때문에 이 공간을 이용하여 빗물이용시설과 연결배관을 설치하는 것이 가능하다[그림 3-9].



[그림 3-9] 벽체 매립된 공동주택 우수배관의 집수배관 연결 가능 구간

3.3 타 배관 및 시설물과의 간섭

빗물이용시설 중 저장조는 자연유하에 의한 집수, 저장공간의 확보 등을 위해 지하에 설치되는 것이 대부분인데, 이로 인해 집수배관 설치과정에서 여러 가지 어려움이 노출된다.

빗물 저장조의 위치는 대부분 건축설계 과정에서 후순위로 검토되어 지하 3~7층의 깊이에 위치하는 등 집수 및 이용 배관 설계가 복잡해지고 현장에서의 시공 또한 어려운 경우가 빈번하다. 시공 과정에서는 도로 노면 등 지상부에서 유출되는 빗물을 배제하기 위한 우수관과 간섭이 발생하는 경우도 잦다.

대부분의 빗물 저장조는 설치 및 유지관리의 편리를 위해 각 동마다 빗물이용시설을 설치하지 않고 여러 동에서 유출되는 빗물을 하나의 대규모 저장조에 유입되도록 하고 있다. 이로 인해 집수배관 및 이용배관 설치가 복잡하게 된다. 따라서 공동주택에 설치되는 빗물이용시설의 경우 빗물의 집수와 이용 측면을 고려하여 중앙 집중식 빗물 저장조보다는 1~2개 동마다 빗물 저장조를 분산하여 설치하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

4. 소결

4.1 수질확보를 위한 초기빗물 배제

- ① 수질확보를 위한 초기빗물
 - 강우 초기에 유출되는 최소 5 mm 이상의 강우량
- ② 초기빗물 배제방식
 - 유량계를 이용하는 방식, 분리장치를 이용하는 방식, 부표를 이용하는 방법이 제시되고 있으나, 설치의 용이성 및 동력 소요 여부, 고장 가능성 등을 고려할 때 부표를 이용하는 방법을 적절한 것으로 제안함

4.2 이용용도에 부합하는 목표수질 확보 방안

- ① 건축물 지붕 유출수의 목표수질 확보 여부
 - 건축물 지붕에서 유출되는 빗물을 집수하여 살수용수, 조경용수로 이용할 경우 초기빗물 처리시설만으로도 관련 기준에 부합하는 수질확보가 가능함
- ② 도로 노면살수 유출수의 재이용 가능 여부
 - 수질을 고려할 때 노면살수 유출수를 저장조에 집수한 후 노면살수 용도로 재이용하는 것은 불가함

4.3 집수시설 설치 시 고려사항

- ① 벽체 매립된 우수배관과 집수배관 연결의 어려움
 - 공동주택의 경우 벽체 매립된 우수배관이 노출되는 1층 베란다 하부 공간에서 집수배관과 연결함
- ② 대규모 중앙 집중식 저장조 → 소규모 분산식 저장조 설치
 - 중앙 집중식 대규모 빗물 저장조보다 소규모 저장조를 분산식으로 설치하는 방안으로 유도할 필요가 있음

제4장 빗물저장 방안

빗물저장을 위해 고려할 항목은 적정 저장용량 산정방법, 저장조 설치를 위한 공간확보 방안, 그리고 이용용도에 적합한 수질확보 방안이다.

따라서, 본 장에서는 저장용량 산정, 저장조 설치 공간 확보 방안, 그리고 수질 검토의 순서로 내용을 기술하였다.

1. 빗물 저장시설의 적정 저장용량 산정

빗물저장시설은 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」, 「녹색건축 인증제도」 등에서 집수면적의 50 mm를 기준으로 하고 있기 때문에 빗물저장시설의 용량 산정 시 이에 근거하면 적절할 것으로 판단된다.

2. 빗물 저장조 설치를 위한 공간 확보

2.1 고려사항

빗물저장시설은 지상 공간 확보의 어려움과 자연유하에 의한 집수를 위해 대부분 지하에 설치되는 것이 선호되어 왔다. 하지만, 규모가 작거나 기존 건축물에 신규로 빗물이용시설을 설치하고자 할 경우는 지하에 설치하는 것이 곤란하기 때문에 지상에 설치하는 방안도 검토할 필요가 있다.

빗물저장시설을 지상에 설치할 경우 동파방지와 경관적인 요소에 대한 고려가 필요하므로, 저장시설 외부에 동파방지용 판넬을 설치하고, 경관적 요소를 위해 벽면 녹화 등을 적용할 수 있다[그림 4-1].



[그림 4-1] 빗물 저장조의 경관성 개선을 위한 벽면녹화

벽면녹화는 식물이 가지는 심미적 기능 향상, 대기질 개선 등의 부가적인 효과를 가지며, 저장조의 빗물을 관수로 이용할 수 있는 장점이 있다. 벽면녹화는 빗물 저장조의 유지관리 및 모니터링을 위한 출입문을 제외한 삼면(정면, 좌우측)에 설치하였으며, 타이머 설정을 통한 자동 살수가 가능하도록 하였다. 벽면녹화는 식생 교체 및 보식이 용이하도록 모듈형 공법을 적용하였다.

3. 빗물저장시설의 수질

3.1 저장조 내 수질확보를 위한 수질처리 방안

환경부(2010)는 집수장소와 이용 용도 간의 관계를 고려하여 [그림 4-2]의 빗물 처리방식을 제안하였다. 처리방식은 침전, 여과, 소독으로 구분할 수 있다.

침전은 중력 침전에 의해 빗물에 포함된 침전 가능한 고형물질을 제거하는 공정으로 침전조로 유입되는 빗물의 교란 억제, 주기적인 퇴적물 관리로 빗물저장시설 내 수질 개선이 가능하다.

여과시설은 빗물 내 포함된 먼지나 동물의 배설물, 토양입자, 비료성분 등의 제거를 위한 공정으로 집수면의 종류와 시설의 경제성 등을 고려하여 모래 등의 여재, 분리막, 스크린 등의 설치가 필요하다.

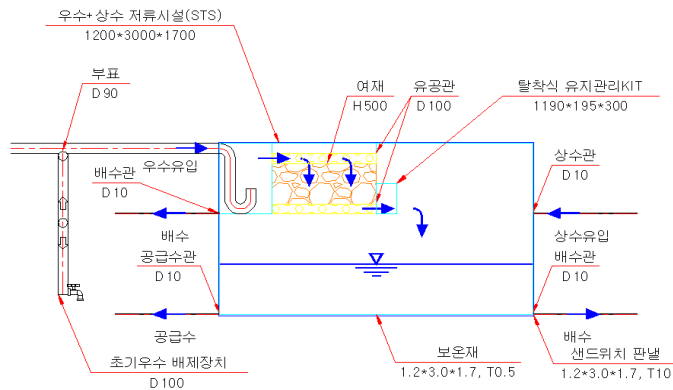
소독장치는 수중의 유해한 세균류를 제거하고 위생적이고 안전한 용수의 공급을 목적으로 설치하며, 화장실 용수 등 잔류염소를 필요로 할 경우 염소소독이 사용되며 조경용수, 하천유지용수, 공업용수 등 총 대장균군수를 제어할 경우에는 자외선(UV) 소독 설비도 설치 가능하다.

이용용도 집수장소		살수용수	냉각탑 보급수	조경용수 (친수용수)	화장실 세정용수
지붕, 옥상면	공원 잔디 흙	자연침전 정도의 것, 수질 따라 소독 필요	자연침전 정도의 간단한 것		
주차장					
도로	자연침전 + 모래여과 정도의 것, 수질 따라 소독 필요				
인공지반 (침투여과)	자연침전 정도의 것, 수질 따라 소독 필요	자연침전 정도의 간단한 것			

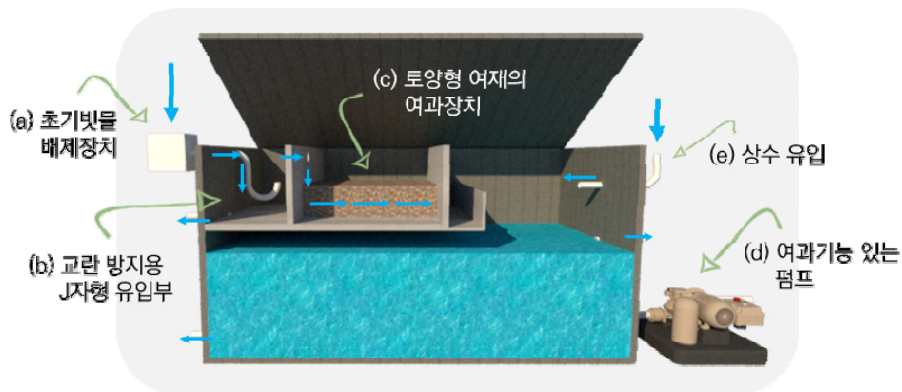
[그림 4-2] 빗물집수장소 및 용도별 빗물처리방식

[그림 4-3]은 건축물 테스트베드인 LH 토지주택연구원에 설치된 빗물저장시설의 설계도이며, [그림 4-4]는 구체적인 수질처리 방안을 도시하고 있다. 양질의 빗물 저장 및 공급을 위해 초기빗물 처리시설(a)을 설치하였으며, 유입수의 수류흐름에 의한 퇴적물의 재부유를 최소화하기 위해 J자형 유입부(b)를 설치하였다.

집수된 빗물은 저장조로 유입되기 전에 토양형 여재로 충전된 여과시설(c)을 거치도록 하였다. 빗물 이용을 위한 펌프설비는 여과기능이 있는 펌프(d)를 설치함으로써 충분한 수질처리 효과를 기하고자 하였다. 또한, 수자원으로서의 안정성 확보를 위해 상수를 보조수원으로 연결하여 빗물이용시설의 지속적 활용이 가능하도록 하였다.



[그림 4-3] 건축물 대상 테스트베드의 빗물저장시설 설계도



[그림 4-4] 건축물 테스트베드에 적용된 빗물이용시설의 수질처리

3.2 건축물 테스트베드의 빗물 저장조 수질

빗물 저장조에 저류된 빗물은 조경용수, 청소용수 등으로 다양하게 이용될 수 있기 때문에 주기적인 수질관리 및 유지관리가 필요하다. 저류된 빗물은 오염도가 높은 초기빗물은 배제하였지만, 다양한 목적으로 이용하기 위해서는 저장시설 내 수질에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다.

건축물 테스트베드인 LH 토지주택연구원에 설치된 빗물 저장조의 항목별 수질 농도는 국내 주요 빗물이용시설의 수질농도와 비교하여 [표 4-1]에 제시하였다. 제시된 본 연구의 수질분석 결과는 저장조 내 수질이 안정화 된 시점으로 판단되는 4일 경과 시점의 수질을 대상으로 하였다.

빗물의 수질은 집수면의 오염물질 축적 정도, 선행 건기일수, 강우강도 등 다양한 요인에 따라 달라지기 때문에 빗물이용시설별로 수질의 높고 낮음을 비교하는 것은 의미가 없다. 다만, 이 자료에서 우리가 주목할 사항은 본 연구를 비롯한 대부분의 빗물이용시설의 관련 기준을 만족하는가의 여부이다. 제시된 바와 같이 기존 연구사례 및 본 연구의 분석 결과 살수용수와 조경용수로 활용하기에는 무리가 없다.

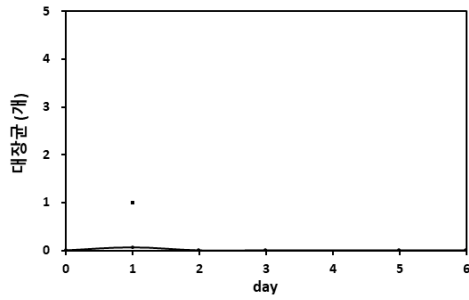
상기한 분석 결과를 고려할 때 건축물의 지붕에서 유출되는 빗물을 집수하여 살수용수 또는 조경용수로 이용할 경우 초기빗물 처리시설만 설치하여도 관련 기준에 부합하는 수질확보가 가능할 것으로 판단된다.

건축물 테스트베드에 적용된 빗물 저장조의 항목별 수질분석 결과는 [그림 4-5]에 상세히 제시하였다.

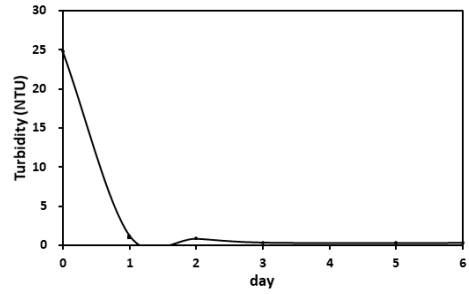
[표 4-1] 국내 주요 빗물이용시설의 수질과 본 연구의 수질분석 결과 비교

수질항목	중수도 수질기준		서울 S중학교	고양 J초등학교	고양 K연구원	강릉 K건축물	서울 S복합빌딩	본 연구
	세척살수	조경용수						
총대장균군 (개/100ml)	1,000 이하	1,000 이하	불검출	불검출	불검출	불검출	검출	불검출
결합진류염소 (mg/L)	-	-	막여과	막여과	0.34			-
탁도 (NTU)	2 이하	2 이하	0.43	0.129	0.68		0.85	0.5
BOD (mg/L)	5 이하	5 이하					0.7	2.9
T-N (mg/L)	-	-	0.73	0.2	1.1	2.2		1.9
T-P (mg/L)	-	-	0.43	0.35	0.24	0.02		0.05
pH	5.8~8.5	5.8~8.5	7.6	6.19	7.23	5.3	7.9	7.5
SS (mg/L)	-	-	3.5	2.3	1.4			0.7
COD (mg/L)	-	-	3.7	1.1	8		4.6	12.0
DO (mg/L)	-	-						-
색도 (도)	-	-	5	7	5		3	-
전기전도도 (μ S/cm)	-	-	97.8	40.7	141.3	30.0		80.0
Fe (mg/L)	먹는물 수질기준 0.3 이하		0.03	0.042	0.028			0.18
Cu (mg/L)	먹는물 수질기준 1 이하		0.015	0.083	0.072	0.035		0.087
Zn (mg/L)	먹는물 수질기준 3 이하		0.75	1.093	0.269	0.060		0.037

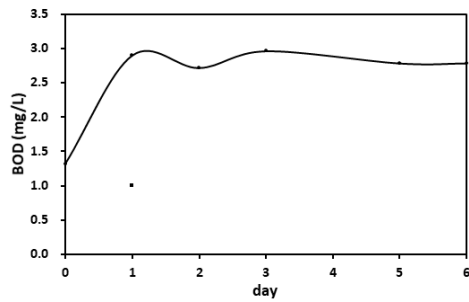
* 본 연구 외 빗물이용시설 수질농도는 「물 재이용시설 설계 및 유지관리 가이드라인 (환경부, 2013)」 참조



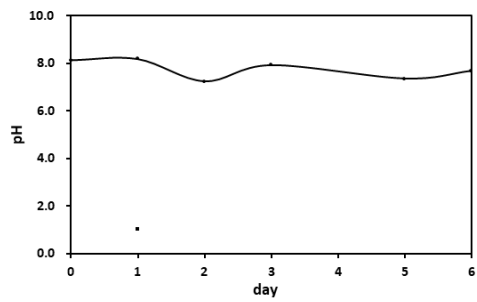
(a) 총대장균군



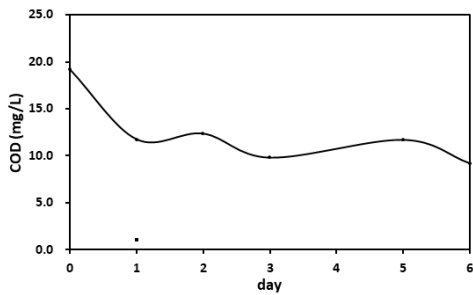
(b) 탁도(NTU)



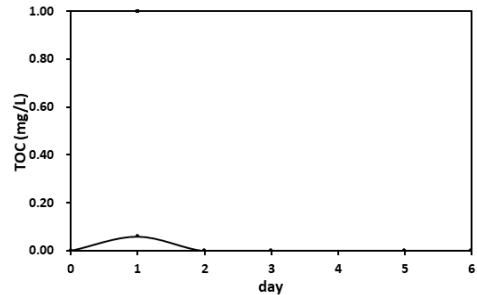
(c) BOD



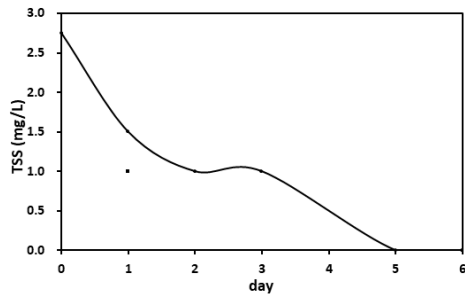
(d) pH



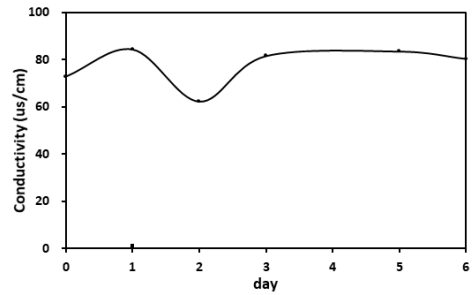
(e) COD



(f) TOC

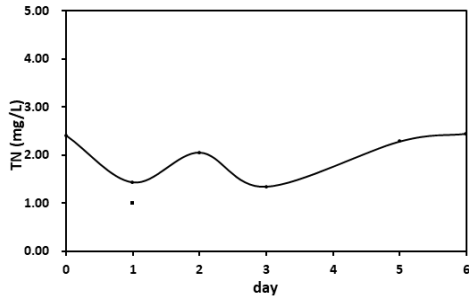


(g) TSS

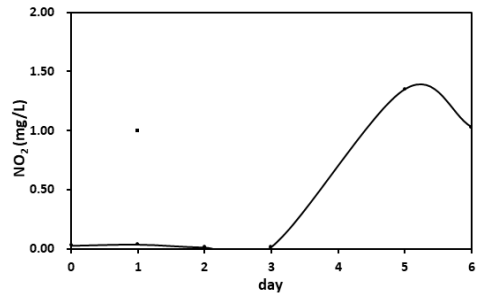


(h) 전기전도도

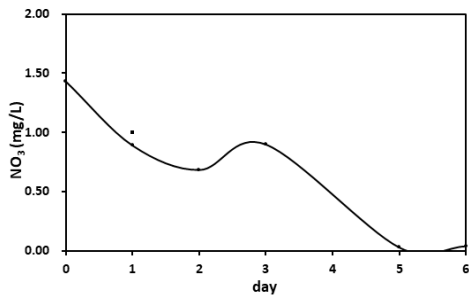
[그림 4-5] 건축물 테스트베드 빗물저장시설 내 시간에 따른 수질변화



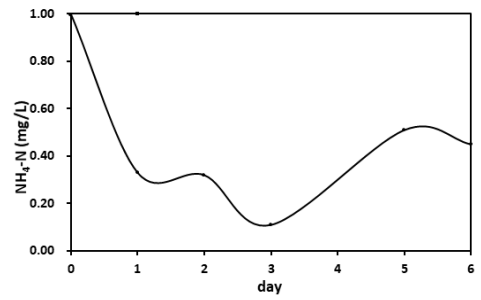
(i) TN



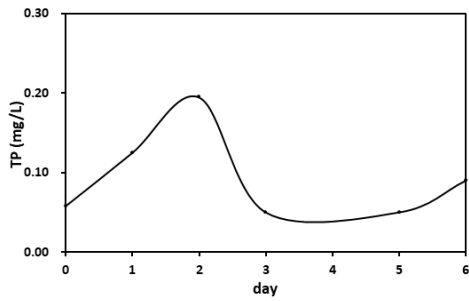
(j) NO₂-N



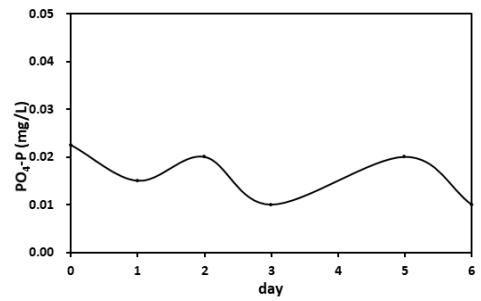
(k) NO₃-N



(l) NH₄-N

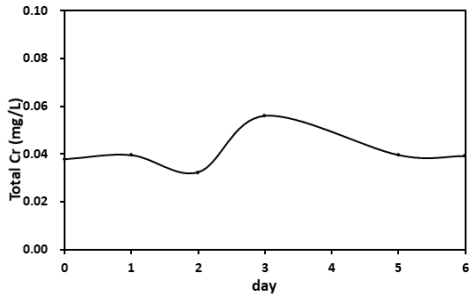


(m) TP

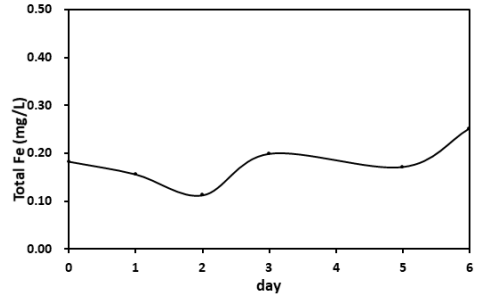


(n) PO₄-P

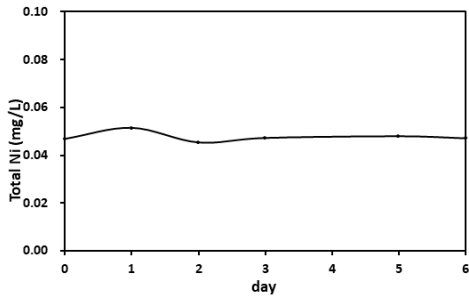
[그림 4-5] 계속



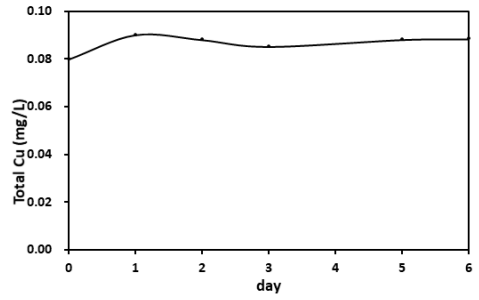
(o) Total Cr



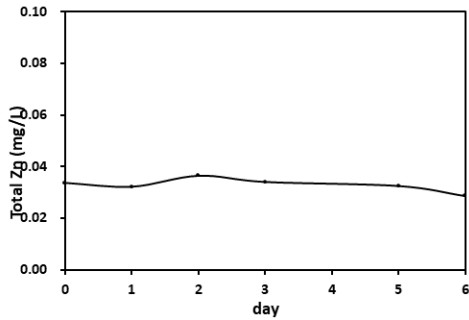
(p) Total Fe



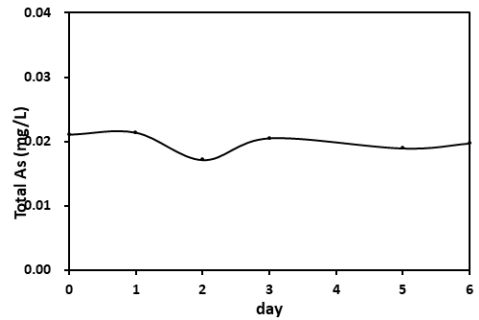
(q) Total Ni



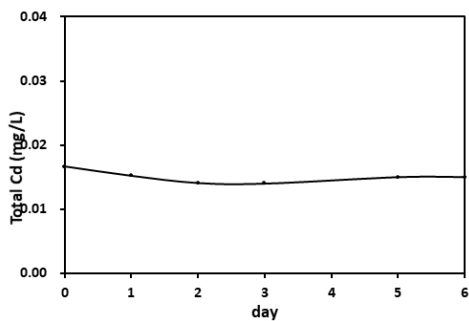
(r) Total Cu



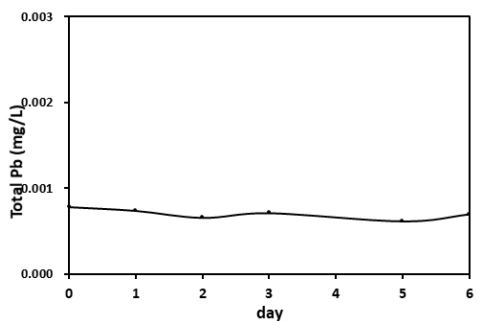
(s) Total Zn



(t) Total As



(u) Total Cd



(v) Total Pb

[그림 4-5] 계속

3.3 도로 테스트베드의 빗물 저장조 수질

3.3.1 모니터링 개요

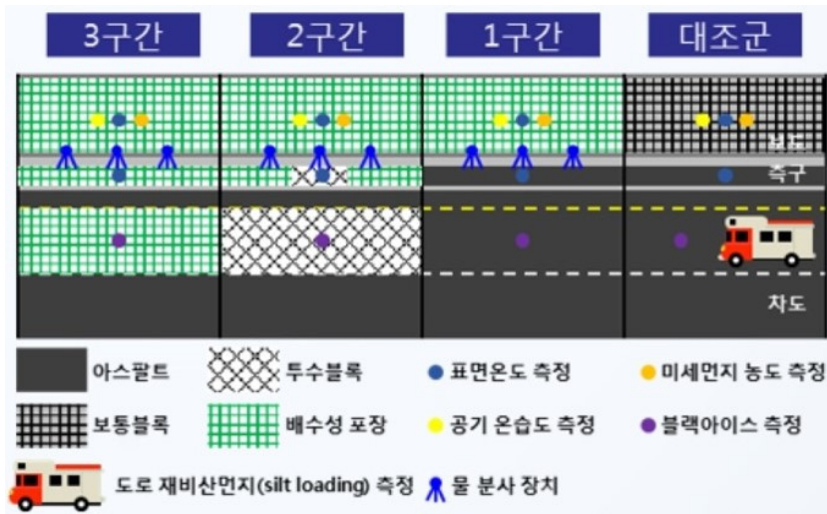
부천 오정로 테스트베드를 대상으로 수질 및 수량에 대한 모니터링을 수행하였다. 2020년 1월부터 2020년 4월까지 총 6회 수행되었으며, 세부적인 사항은 [표 4-2]에 제시된 바와 같다.

[표 4-2] 도로 테스트베드의 모니터링을 위한 노면살수 개요

모니터링 번호 (일자)	실험 전후 저장조 용량 변화 (아스팔트 포장, 1구간)			실험 전후 저장조 용량 변화 (투수성 포장, 3구간)				선행건 기일수 (일)
	노면 살수 전(L)	노면 살수 후(L)	노면 살수량 (L)	노면 살수 전(L)	노면 살수 후(L)	노면 살수량(L) 0-10분	노면 살수량(L) 10-70분	
E-3 (20.03.17)	5,000	2,247	655	3,090	983	903	1,806	7.1
E-4 (20.03.19)	5,000	2,247	655	1,545	843	271	542	1.7
E-5 (20.03.23)	5,000	843	990	5,000	843	903	4,424	3.6
E-6 (20.04.24)	5,000	2,107	689	5,000	871	903	4,154	0.8

노면살수를 통한 수질 및 수량변화에 대한 모니터링은 아스팔트 포장이 적용된 1구간과 투수성 포장이 적용된 3구간을 대상으로 하였다[그림 4-6][그림 4-7]. 동계기간으로 강우가 부족하여 저장시설에 저류된 상수를 이용하여 노면에 살수한 후 저장시설로 유입되는 수량과 수질을 분석하였다. 선행건기일수³⁵⁾는 0.8~7.1일 범위였다.

35) 선행건기일수(ADD) : antecedent dry days



[그림 4-6] 도로 테스트베드의 모니터링 대상 구간



[E3]



[E4]



[E5]



[E6]

[그림 4-7] 도로 테스트베드의 모니터링

3.3.2 노면 유출수의 수질

아스팔트 포장과 투수성 포장에서 유출되는 노면 유출수의 수량과 수질 모니터링을 수행한 결과, 아스팔트 포장과 투수성 포장 모두 강우 초기에 오염도가 높았다가 시간이 지나면서 오염농도가 감소하는 초기세척효과가 뚜렷하게 나타났다. 노면 유출수의 수질특성은 아스팔트 포장 구간과 투수성 포장 구간으로 구분하여 기술하였으며, 세부적인 사항은 다음과 같다.

(1) 아스팔트 포장 구간의 노면 유출수 수질 특성

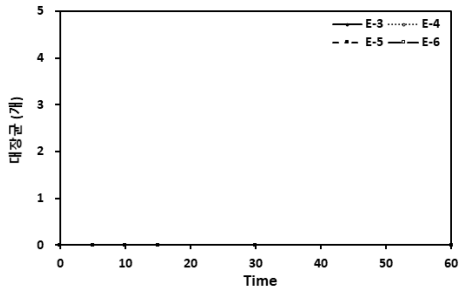
모든 오염물질 농도는 강우 초기에 높은 값을 보였으며, 유출 시작 후 10분 동안의 농도는 모니터링 종료 시점의 농도에 비해 약 1.4~3.2배 높게 나타났다[그림 4-8].

TSS의 경우 유출 시작 후 10분 동안 약 210 mg/L의 농도를 나타냈으나, 모니터링 종료 시점에서는 약 67 mg/L로 낮아져 강우 초기의 농도가 3배 이상 높은 것으로 조사되었다[그림 4-8(g)].

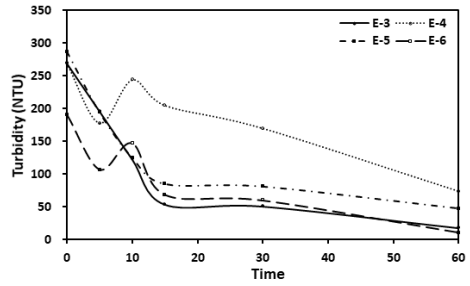
COD와 TP 항목도 강우 초기의 농도가 강우 종료 시점에 비해 각각 2.6배, 2.7배 높은 것으로 나타났다[그림 4-8(e), (m)].

TN, NO₂, NO₃ 등과 같이 입자성 오염물질과 관련성이 낮은 항목은 시간에 따른 농도변화가 크지 않았다[그림 4-8(i)~(l)].

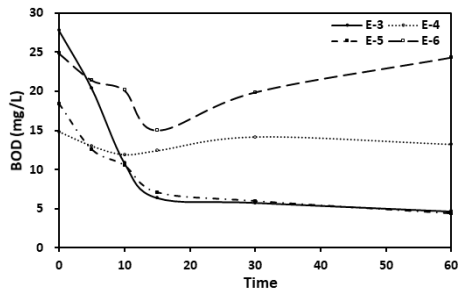
입자성 오염물질에 부착하는 특성을 갖는 중금속의 경우 강우 초기에 농도가 높은 초기세척효과가 뚜렷하게 나타났으며, Total Fe > Total Cu > Total Zn > Total Pb > Total As > Total Cr > Total Cd 순서로 유출농도가 높게 나타났다 [그림 4-8(o)~(v)].



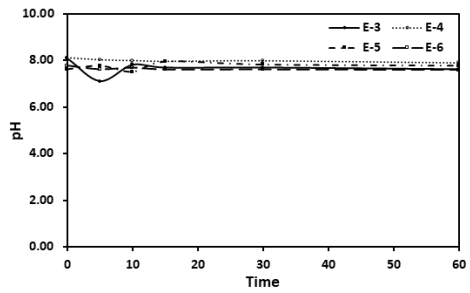
(a) 총대장균군



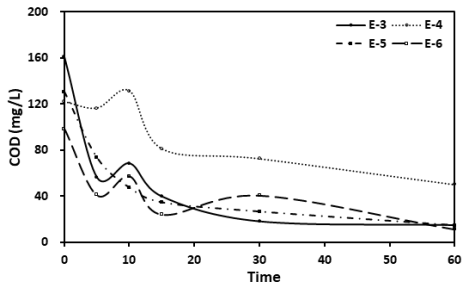
(b) 탁도(NTU)



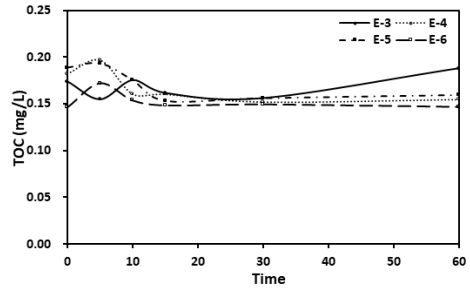
(c) BOD



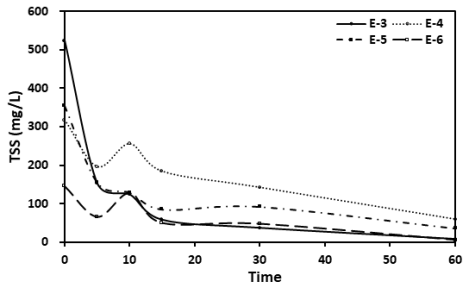
(d) pH



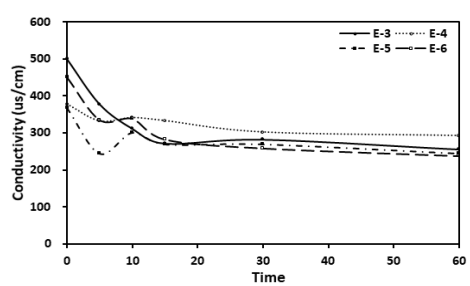
(e) COD



(f) TOC

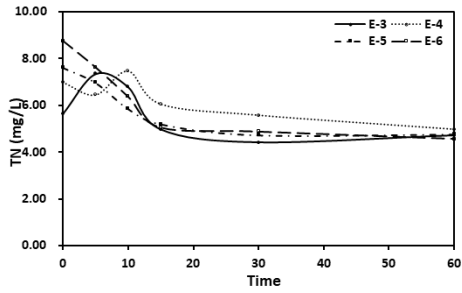


(g) TSS

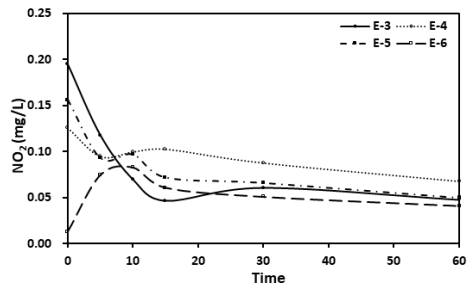


(h) 전기전도도

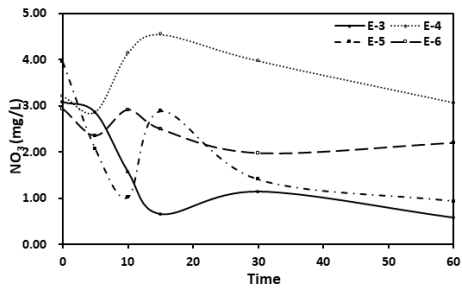
[그림 4-8] 도로 테스트베드 아스팔트 포장 구간의 노면 유출수 수질 특성



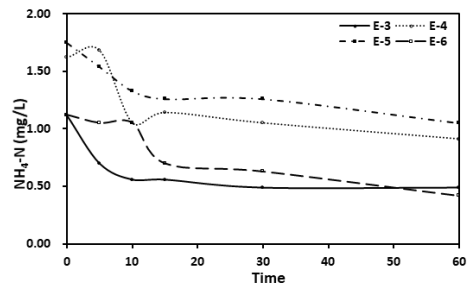
(i) TN



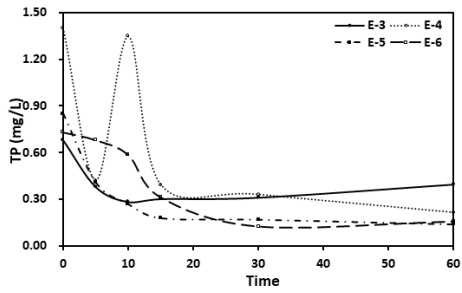
(j) NO₂-N



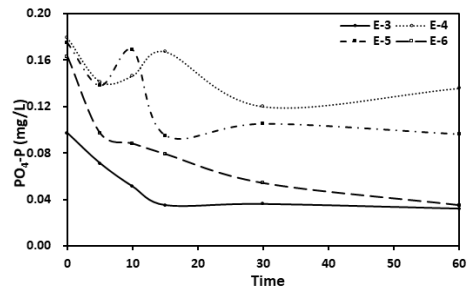
(k) NO₃-N



(l) NH₄-N

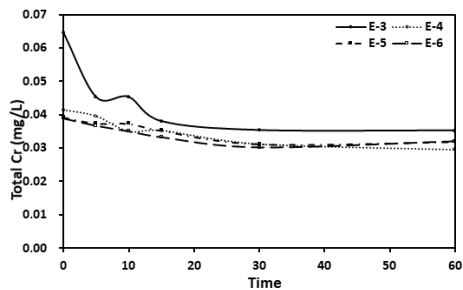


(m) TP

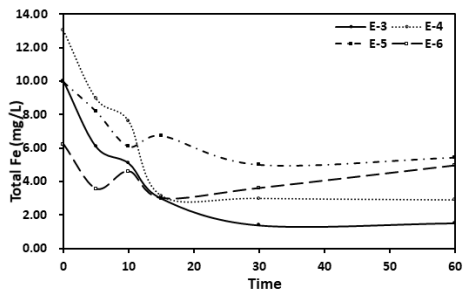


(n) PO₄-P

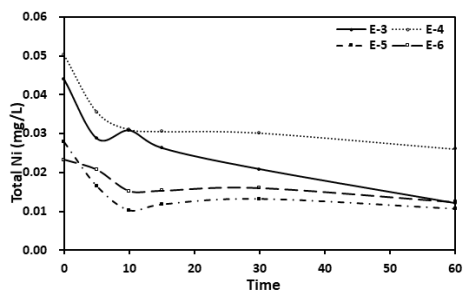
[그림 4-8] 계속



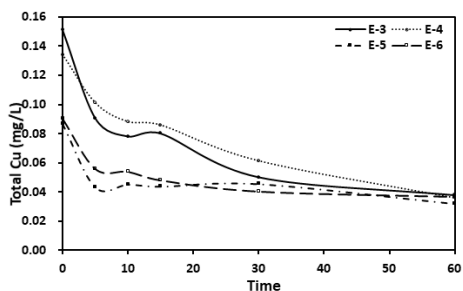
(o) Total Cr



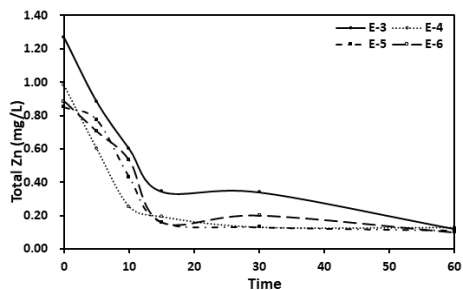
(p) Total Fe



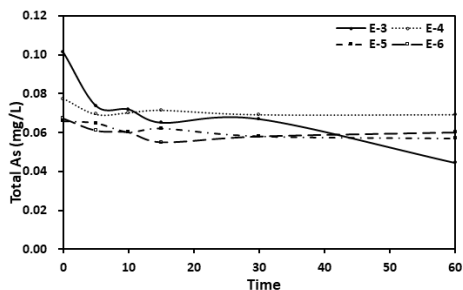
(q) Total Ni



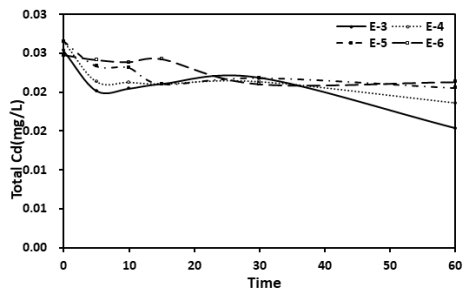
(r) Total Cu



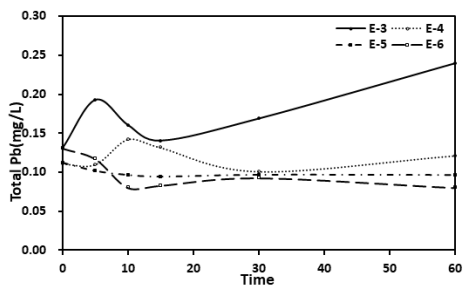
(s) Total Zn



(t) Total As



(u) Total Cd



(v) Total Pb

[그림 4-8] 계속

(2) 투수성 포장 구간의 노면 유출수 수질 특성

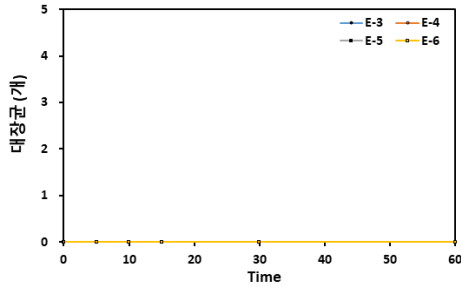
[그림 4-9]은 투수성 포장의 노면 유출수에 대한 수질 모니터링 결과를 보여주고 있다. 투수성 포장의 노면살수는 살수 후 약 10분 경과 후 유출이 발생하였으며, 아스팔트 포장과 동일하게 초기세척효과가 나타났지만 그 정도는 아스팔트 포장에 비해 작았다.

TSS의 경우 유출 시작 후 10분 동안 421 mg/L의 농도를 나타냈으나, 모니터링 종료 시점에서는 71 mg/L로 낮아져 강우 초기의 농도가 6배 이상 높은 것으로 조사되었다[그림 4-9(g)].

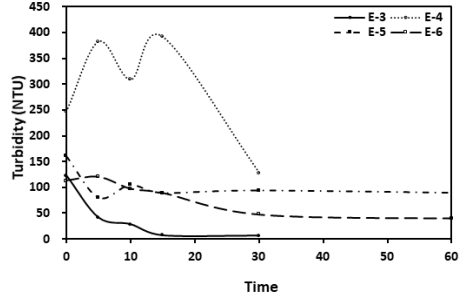
COD와 TP 항목도 강우 초기의 농도가 강우 종료 시점에 비해 2~3배 높은 것으로 나타났다[그림 4-9(e), (m)].

입자성 오염물질에 부착하는 특성을 갖는 중금속의 경우 강우 초기에 농도가 높은 초기세척효과가 뚜렷하게 나타났으며, Total Fe > Total Cu > Total Zn > Total Pb > Total As > Total Cr > Total Cd 순서로 유출농도가 높았다[그림 4-9(o)~(v)].

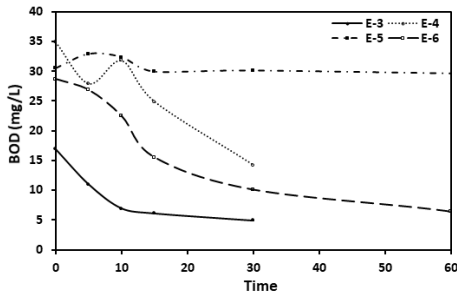
투수성 포장 노면 유출수의 수질특성을 분석한 결과, 아스팔트 포장에 비해 전반적으로 낮은 농도를 나타냈다. 이는 투수성 포장의 여과 기능에 기인한 것으로 아스팔트 포장과 투수성 포장과 상세한 수질 비교는 다음 항목에서 다루었다.



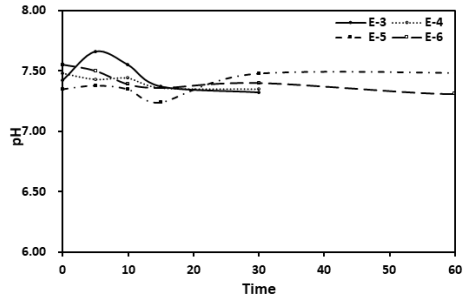
(a) 총대장균군



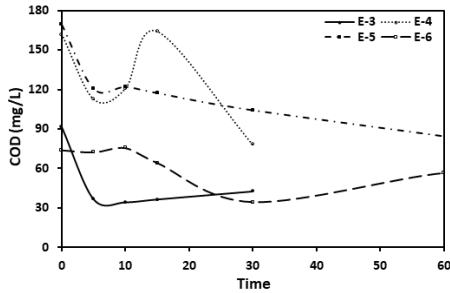
(b) 탁도(NTU)



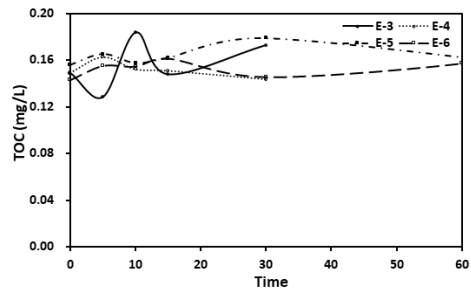
(c) BOD



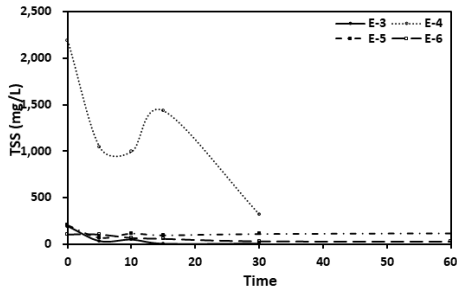
(d) pH



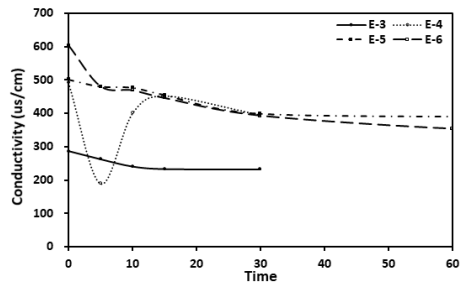
(e) COD



(f) TOC

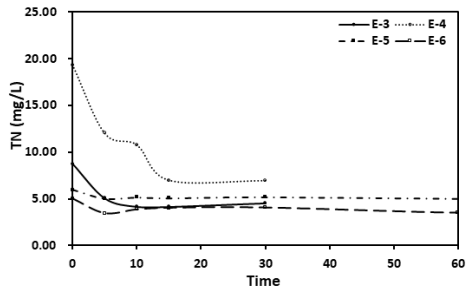


(g) TSS

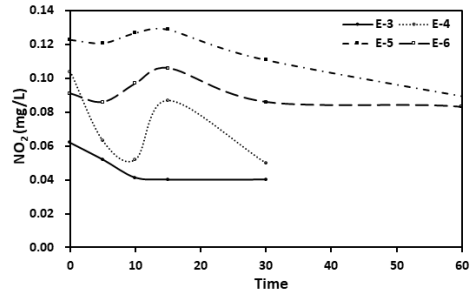


(h) 전기전도도

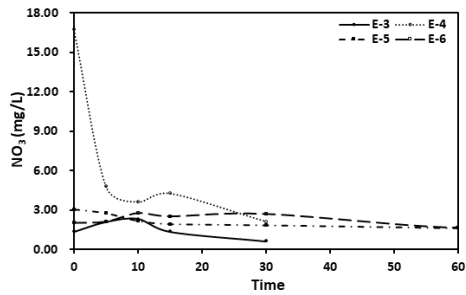
[그림 4-9] 도로 테스트베드의 투수성 포장 구간의 노면 유출수 수질유출 특성



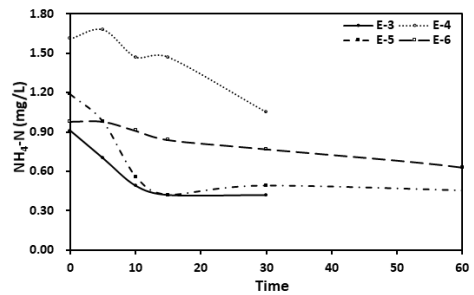
(i) TN



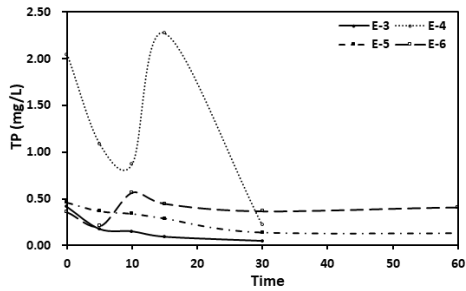
(j) NO₂-N



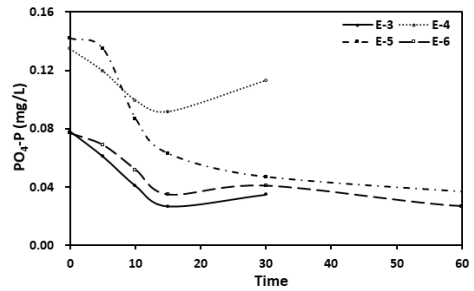
(k) NO₃-N



(l) NH₄-N

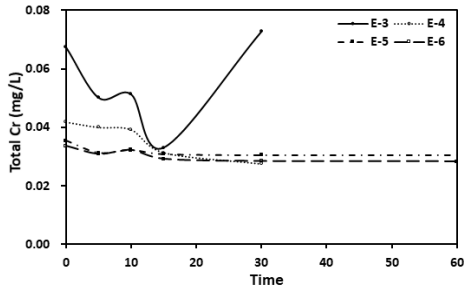


(m) TP

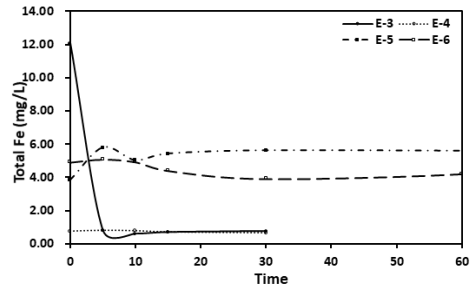


(n) PO₄-P

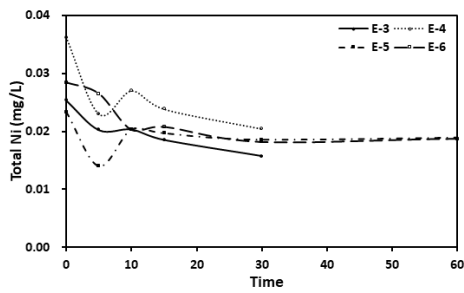
[그림 4-9] 계속



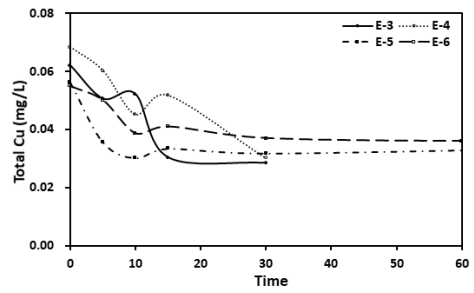
(o) Total Cr



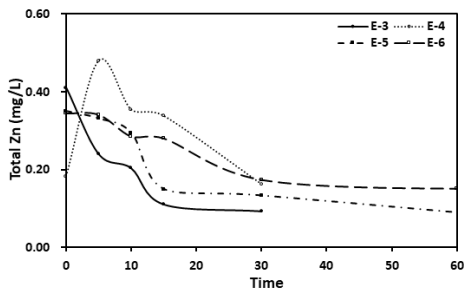
(p) Total Fe



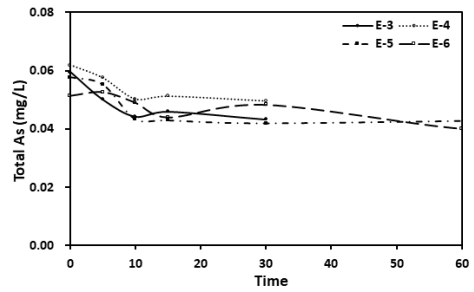
(q) Total Ni



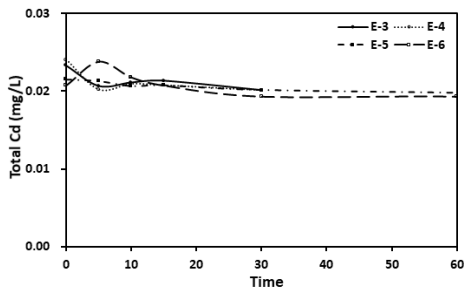
(r) Total Cu



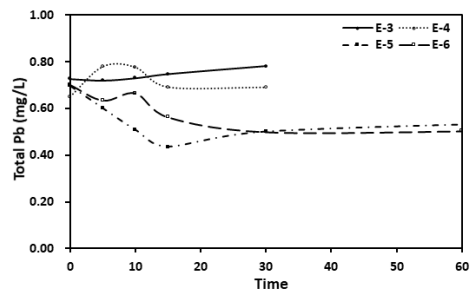
(s) Total Zn



(t) Total As



(u) Total Cd



(v) Total Pb

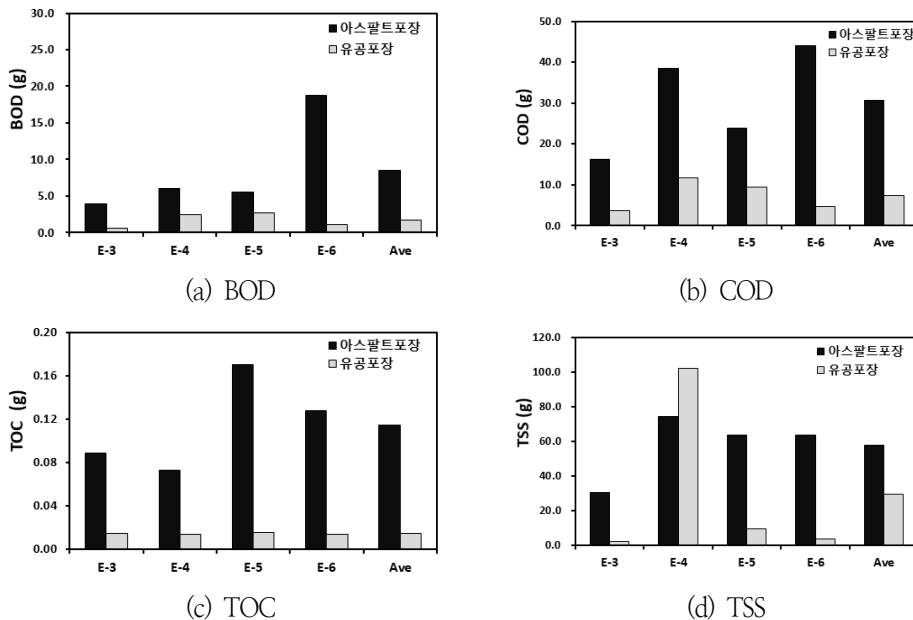
[그림 4-9] 계속

3.3.3 투수성 포장의 여과에 의한 오염물질 저감 효과

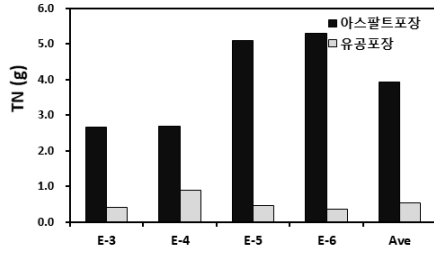
아스팔트 포장과 투수성 포장의 노면 유출수를 대상으로 수질을 분석하여 비교하였다. 비교 분석의 이유는 투수성 포장의 여과기능에 의해 투수성 포장의 유출수 농도가 아스팔트 포장의 유출수에 비해 낮을 것으로 예상하였기 때문이다.

두 유출수를 비교 분석한 결과, 투수성 포장 구간의 유출수가 아스팔트 포장 구간의 유출수에 비해 낮은 수질을 나타내어 여과에 의한 오염물질 저감효과가 있는 확실하게 관찰되었다[그림 4-10]. 모든 수질항목에서 정도의 차이는 있지만, 투수성 포장에 의한 오염물질 저감효과는 분명하게 나타났으며, 용존성 형태를 갖는 $PO_4\text{-P}$, $NO_2\text{-N}$, $NO_3\text{-N}$, $NH_4\text{-N}$ 의 항목에서 동일한 저감효과가 있었다.

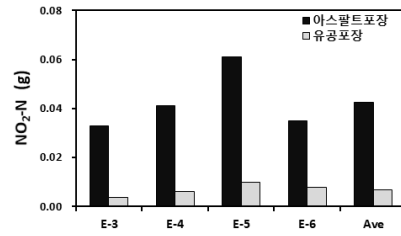
하지만, 투수성 포장을 통과한 유출수의 농도도 비교적 높은 농도를 나타내고 있어, 투수성 포장에 의한 간이 여과처리만으로 노면살수 용수로 재이용하기에는 한계가 있을 것으로 판단된다.



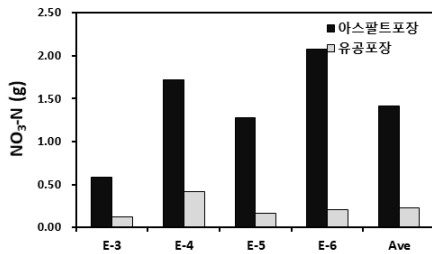
[그림 4-10] 아스팔트 포장과 투수성 포장 구간 유출수의 수질 비교



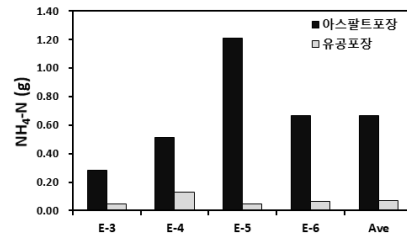
(e) TN



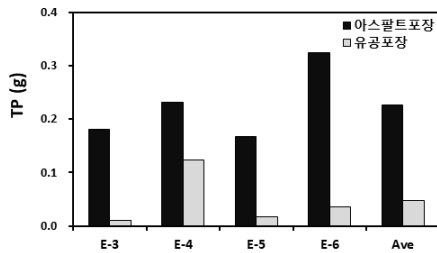
(f) NO₂-N



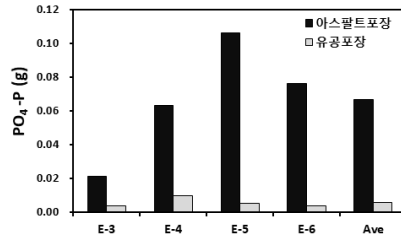
(g) NO₃-N



(h) NH₄-N

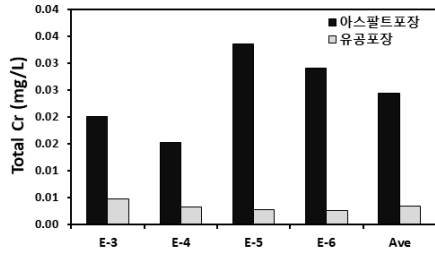


(i) TP

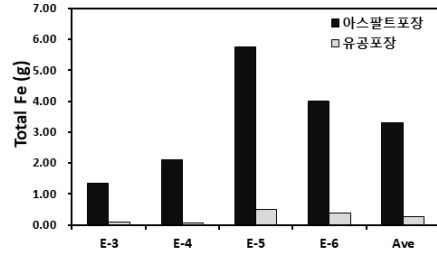


(j) PO₄-P

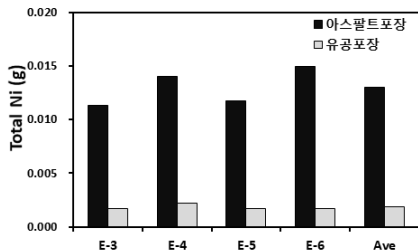
[그림 4-10] 계속



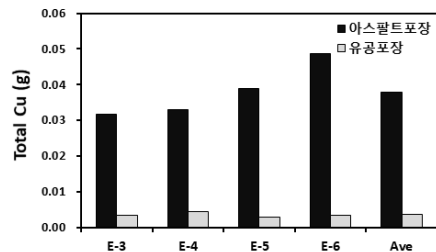
(k) Total Cr



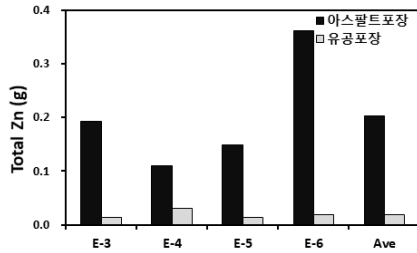
(l) Total Fe



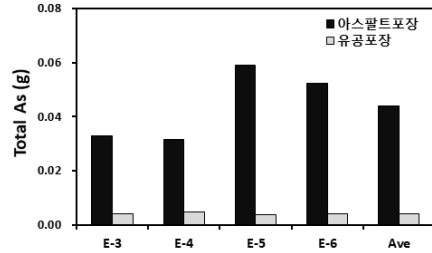
(m) Total Ni



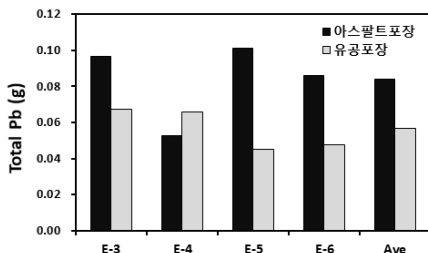
(n) Total Cu



(o) Total Zn



(p) Total As



(q) Total Pb

[그림 4-10] 계속

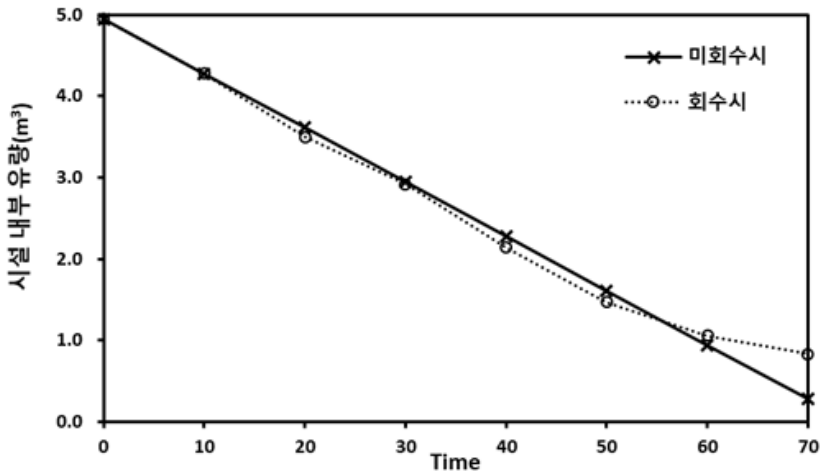
3.3.4 투수성 포장 유출수의 노면살수 용수 재이용 여부 검토

투수성 포장의 오염물질 저감효과를 토대로 투수성 포장의 유출수를 저장한 후 노면살수 용수로 재이용할 수 있는지의 여부를 검토하였다. 이를 위해 투수성 포장 구간의 노면에 물을 살수한 후 저장시설로 회수되는 수량과 수질을 모니터링하였다.

(1) 수량 측면의 검토

저장조 내의 물을 살수하기 시작할 때부터 살수가 종료될 때까지의 저장조 유량 변화를 모니터링하여 [그림 4-11]에 제시하였다. 노면살수 후 10분 가량이 경과한 이후부터 유출수가 저장조로 회수되기 시작하였으나, 살수량에 비해 회수량이 매우 적었다. 살수 시작 후 60분이 경과하였을 때 저류시설 내 수량 부족으로 노면 살수를 중단하였다. 이 때 저장조에 남아 있는 물의 양은 1 m^3 미만으로 회수율은 19% 정도로 추정하였다.

회수되는 수량을 고려할 때 노면살수 후 유출수를 저장조로 회수하여 노면살수 용수로 재이용하는 것은 불가능한 것으로 판단된다.



[그림 4-11] 투수성 포장 구간의 노면 유출수 회수율

(2) 수질 측면의 검토

노면살수 유출수가 노면살수 이전에 비해 어느 정도 수질이 증가하는지를 분석하기 위해 노면살수 이전과 노면살수 이후 저장조로 회수되는 유출수의 수질변화를 모니터링하였다.

[표 4-3]은 노면에 살수하기 이전의 저장조 내 수질과 살수 이후 저장시설로 회수된 유출수의 수질을 비교하여 제시하고 있다. 대부분의 항목이 노면살수 이후 증가하는 것으로 나타났으며, 노면살수와 회수가 지속될수록 저장조 내 수질항목의 농도는 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다.

따라서, 수질 측면을 고려할 때 노면살수 후 유출되는 수량을 저장조에 저장하여 노면살수 용수로 재이용하는 것은 불가한 것으로 판단된다.

[표 4-3] 노면살수 이전과 노면살수 이후의 저장조 내 수질변화

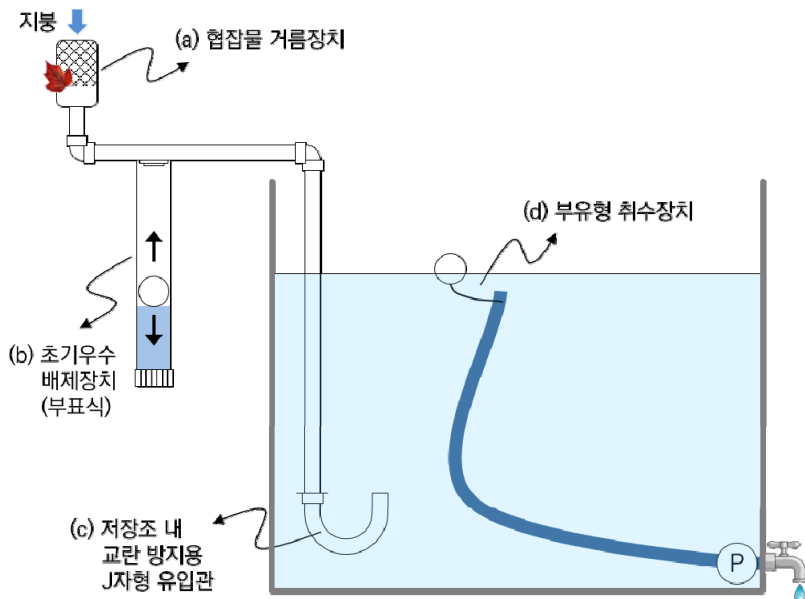
수질항목		노면살수 이전	노면살수 이후
Conductivity	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	226.7	252.1
TSS	(mg/L)	2.7	20.3
Turbidity	(NTU)	1.8	17.3
BOD	(mg/L)	7.6	6.6
COD		17.5	25.1
TOC		0.15	0.16
TN		3.97	4.21
NO ₂		0.04	0.04
NO ₃		1.38	1.49
NH ₄ -N		0.42	0.54
TP		0.03	0.05
PO ₄ P		0.01	0.024
Total Cr		(mg/L)	0.0296	0.027
Total Fe	0.6001		1.6814
Total Ni	0.0197		0.0109
Total Cu	0.0318		0.0282
Total Zn	0.1359		0.1198
Total As	0.0501		0.0469
Total Cd	0.017		0.0172
Total Pb	0.5459		0.3937

4. 빗물저장시설의 수질 확보 방안

빗물을 이용목적에 부합하게 이용하기 위해서는 안정적인 수량과 관련 기준에 적합한 수질이 확보되어야 한다. 빗물저장시설의 수질확보를 위해 일반적으로 적용되는 방법은 여재를 이용한 여과시설이다. 이 시설은 목적하는 수질을 쉽게 할 수 있지만, 설치비 뿐만 아니라 유지관리비가 증가하는 단점이 있다.

본 연구에서는 건축물 테스트베드 운영 결과를 토대로 초기빗물 처리시설만으로도 살수조경용수의 수질확보가 가능하다는 분석 결과를 토대로 동력소요를 최소한으로 하는 빗물저장시설의 수질 확보 방안을 제시하였다.

빗물 저장조의 수질을 확보하기 위한 구체적인 방법으로 낙엽 등의 혐잡물을 제거하기 위한 거름장치[그림 4-12(a)], 초기빗물 처리시설[그림 4-12(b)], 저장조 내 유입 시 수류의 교란을 최소화하는 J자형 유입관[그림 4-12(c)], 저장조 내 a 맑은 표면수 취수를 위한 부유형 취수장치[그림 4-12(d)] 등을 제안하였다.

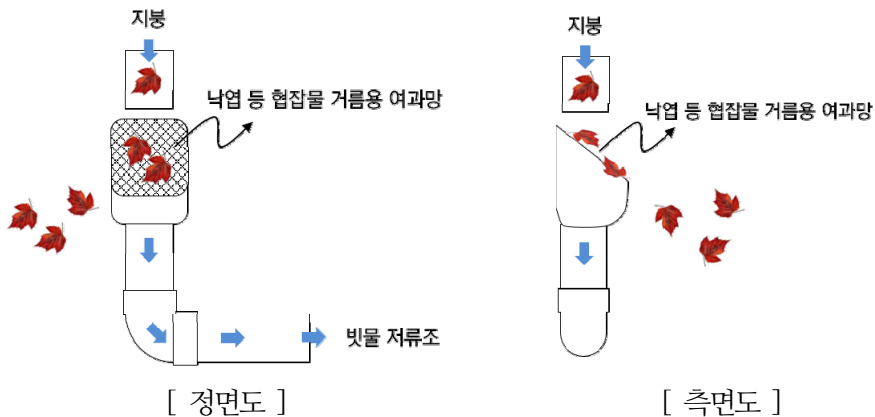


[그림 4-12] 빗물저장시설의 수질 확보 방안

4.1 협잡물 거름장치

지붕 등 집수면에서 흘러 내리는 빗물에 포함된 낙엽 등 협잡물을 제거하기 위한 시설이며 집수면과 초기빗물 처리시설 사이에 위치한다.

기본적인 기작은 초기빗물 처리시설로 유입되는 관로에 스크린 등 거름망을 두어 협잡물을 관로에서 배제하는 것이다. 협잡물의 외부 배제를 위해 집수면에서 유입되는 관로와 초기빗물 처리시설 연결 관로는 일정 간격 이격되어 설치된다 [그림 4-13].

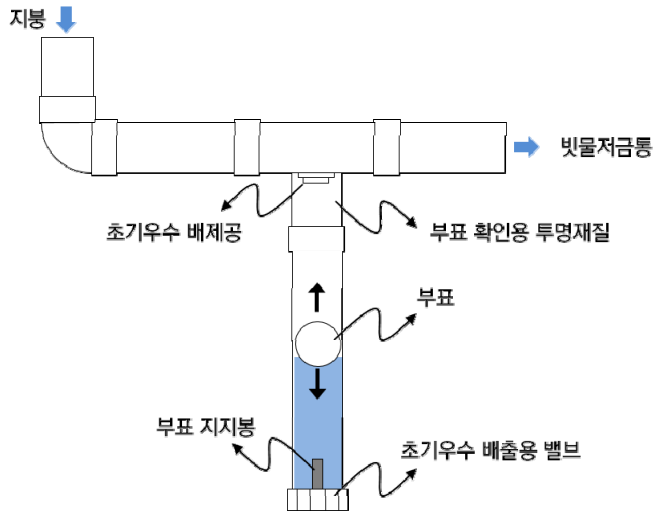


[그림 4-13] 집수면으로부터 유입되는 협잡물 거름장치

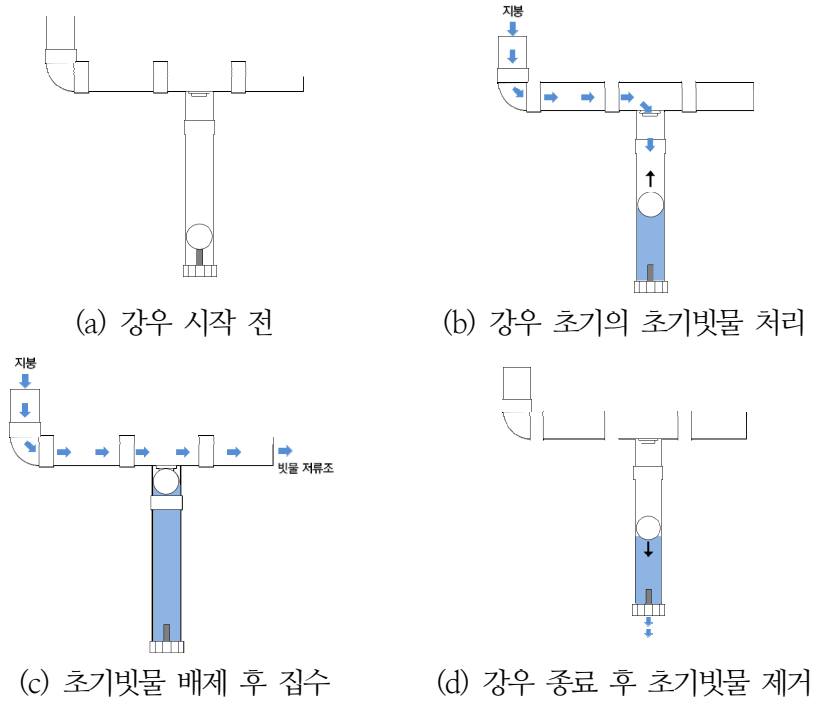
4.2 초기빗물 처리시설

초기빗물 처리시설은 유량계를 이용하는 방법, 관을 이용하는 방법, 부표를 이용하는 방법 등이 있다. 각 방법의 장단점은 제3장에서 전술한 바와 같으며, 본 연구에서는 부표를 이용하는 방법을 제안하였다.

부표를 이용한 초기빗물 제거장치의 개요는 [그림 4-14]과 같으며, 강우 시 해당 장치의 초기빗물 처리과정은 [그림 4-15]에 도시한 바와 같다.



[그림 4-14] 초기빗물 처리시설의 개요도

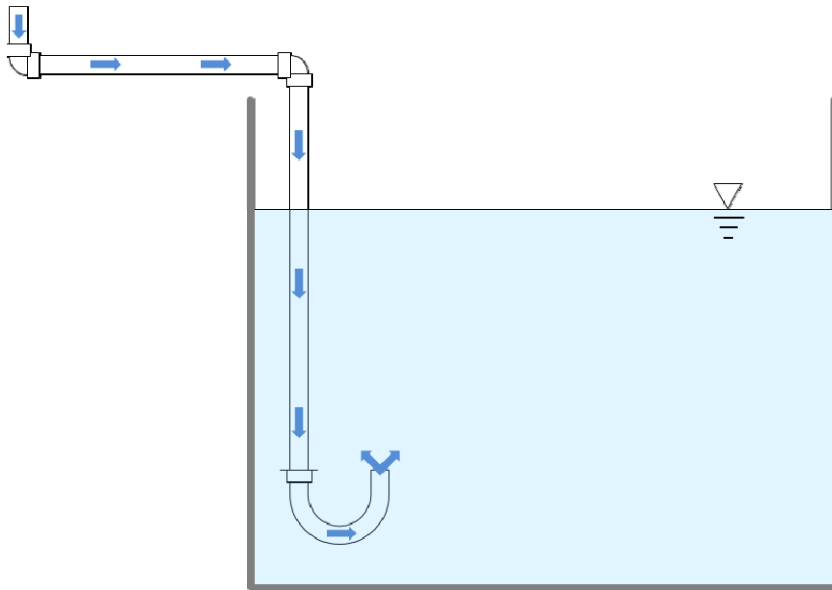


[그림 4-15] 초기빗물 처리시설의 작동 과정

4.3 저장조 내 교란을 최소화하는 J자형 유입장치

집수된 빗물이 저장조에 유입될 때 유속과 낙차에 의해 저장조 수체가 교란될 수 있다. 이 경우 바닥에 침전되어 있던 오염물질이 재부유하여 저장조 전체의 수질을 악화시킬 우려가 있다.

이에 대안으로 빗물이 유입되는 저장조 내에 상향류 형태로 유입될 수 있도록 J자형 유입관을 설치할 필요가 있다.

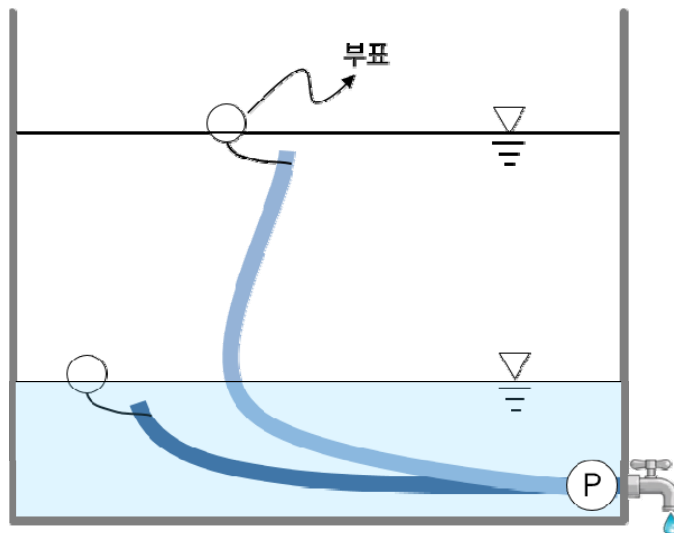


[그림 4-16] 저장조 내 수류 교란 방지용 J자형 유입관

4.4 부유형 취수관 유입부

일반적으로 저장조의 빗물을 이용하기 위한 취수관은 저장조 바닥 높이에 설치된다. 이는 수위 변화를 고려하여 저장조의 수위가 바닥까지 낮아졌을 때도 취수가 가능하게 하기 위한 것이다. 하지만, 이와 같은 취수관의 배관 위치는 바닥 층에 침전된 오염물질을 유출시켜 이용하는 빗물의 수질 저하를 유발할 우려가 있다.

본 연구에서는 부유형 취수관을 제안하였다. 저장조 내 설치하는 취수관은 유연성을 갖는 재질의 호스를 이용하고 끝단에는 부표를 부착하여 부유하도록 한다 [그림 4-17]. 취수관의 입구는 부표에 의해 항상 수표면 바로 아래에 위치하기 때문에 수위와 무관하게 수표면 근처의 비교적 양호한 수질의 빗물을 취수할 수 있다.



[그림 4-17] 부유형 취수관에 의한 상등수 취수

5. 빗물저장시설의 안정적 수량 확보 방안

빗물은 계절적 편중으로 인해 안정적인 공급에 한계가 있다. 이로 인해 빗물은 상시 안정적인 공급이 전제되어야 하는 수자원으로 인식되지 못하고 있다. 빗물 저장조는 강우 시에 채워졌다가 일정 기간 강우가 없으면 비워지게 된다.

저장시설이 비어 있는 일수가 증가하면 빗물을 이용하는 측면에서는 안정적인 공급이 어렵다는 인식을 갖게 되고, 이는 수자원으로서의 빗물에 대한 신뢰도를 저하시키는 결과를 가져온다.

이에 대한 해법은 빗물 저장조가 비었을 때도 안정적으로 물을 공급할 수 있는 주수원이 확보되어야 한다. 상수, 중수, 그리고 지하수 등이 그 대안이 될 수 있으며, 이들 수원을 빗물이용시설과 연계하여 운영하여야 한다. 특히, 건축물 지하에서 지하수가 발생하는 경우 지하수는 훌륭한 대안이 될 수 있다.

최근 건축되는 공동주택의 경우 최소 지하 2~3층의 지하 주차장을 설치하고 있는데, 지하심도가 깊어짐에 따라 지하수 발생이 증가하고 있다. 서울 양천구의 250세대 공동주택의 경우 일일 약 300톤의 지하수가 발생하고 이를 방류하는 과정에서 매월 300만원 가량의 배출부과금을 부담하고 있다.

이 지하수를 빗물이용시설과 연계하여 운영할 경우 안정적인 수량 확보도 가능할 뿐만 아니라 지하수 방류에 따른 부담금도 경감할 수 있을 것이라 판단된다. 또한, 이 지하수는 다양한 수경시설에 활용할 수 있어 부담금 경감과 아울러 친환경성도 제고할 수 있을 것으로 판단된다.

참고로, 공동주택 외에 대규모 건축물인 경우 에어컨의 응축수도 빗물의 부족한 수량을 채워줄 수 있는 대안이 될 수 있다.

6. 소결

6.1 빗물 저장시설의 적정 저장용량

- ① 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」, 「녹색건축 인증제도」에 근거
 - 저장조 용량 = 집수면적 (m²) × 0.05 m

6.2 빗물 저장시설의 수질

- ① 건축물 지붕 유출수의 살수조경용수 이용 가능 여부
 - 기존 유사 연구사례와 본 연구의 모니터링 결과에 근거할 때 지붕 유출수는 초기빗물을 배제할 경우 살수용수와 조경용수의 수질기준에 부합함
- ② 투수성 포장 노면 유출수의 재이용 가능 여부
 - (수량 측면) 노면살수 후 저장조로 회수되는 유량이 19% 정도로 낮아 노면 살수 후 유출수를 저장조로 회수하여 노면살수 용수로 재이용하는 것은 불가능한 것으로 판단됨
 - (수질 측면) 투수성 포장 구간의 유출수가 투수성 포장의 여과에 의해 아스팔트 포장 구간의 유출수에 비해 낮은 수질농도를 나타냈으나, 노면살수 용수로 재이용하기는 곤란한 수준으로 판단됨

6.3 빗물저장시설의 안정적 수량 확보 방안

- ① 안정적 공급이 가능한 수원과 연계
 - 계절적 편중이 큰 빗물을 상시 안정적으로 공급하기 위해서는 상수, 중수, 그리고 지하수 등의 안정적 공급이 가능한 수원과 연계하여 운영하여야 함
 - 건축물 지하에서 지하수가 발생하는 경우는 연계방안을 적극적으로 검토할 필요가 있음

제 5 장

주거단지에서의 빗물이용 방안 및 효과

LANDSITING
HOUSTING

&

제5장 주거단지에서의 빗물이용 방안 및 효과

1. 노면살수를 통한 폭염 저감 효과

1.1 도로 노면살수의 온도저감 효과

1.1.1 개요

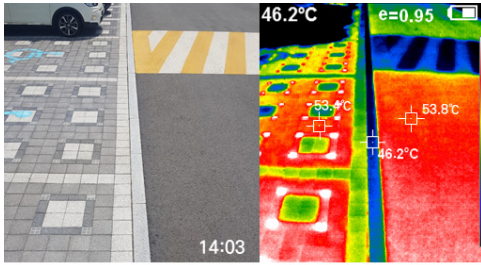
토지주택연구원 주차장 노면에 물을 뿌린 후 온도변화를 분석하였다. 주차장 노면은 아스팔트 포장면과 투수성 포장면으로 구분하여 온도변화를 모니터링하였다. 이는 투수성 포장면과 아스팔트 포장면의 온도저감 효과와 지속시간을 비교하기 위한 것이었다.

실험은 2020년 7월 8일, 오후 2시부터 수행되었으며, 물은 소방호스를 이용해 노면이 충분히 젖을 정도의 양을 살수하였다.

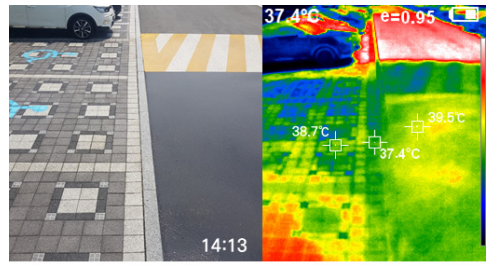
1.1.2 결과

노면살수 후 시간에 따른 온도변화는 [그림 5-1]에 나타난 바와 같다. 실험 시작 시 주차장 노면의 온도는 아스팔트 포장과 투수성 포장이 각각 53.8℃ 53.4℃였으며, 노면살수 즉시 39.5℃와 38.7℃로 15℃ 가량 급격하게 낮아졌다.

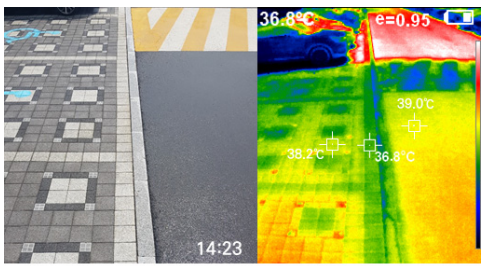
40℃ 이하로 낮아진 노면 온도는 2시간 이상 지속되어 실험이 종료되는 16시 45분까지 40℃를 조금 상회하는 수준이었다. 실험이 종료되는 시점까지 투수성 포장의 노면 온도가 아스팔트 포장에 비해 3℃ 정도 낮게 나타났다[그림 5-2]. 이는 투수성 포장의 투수능에 의한 함습효과로 온도저감이 오래 유지되었기 때문인 것으로 판단된다.



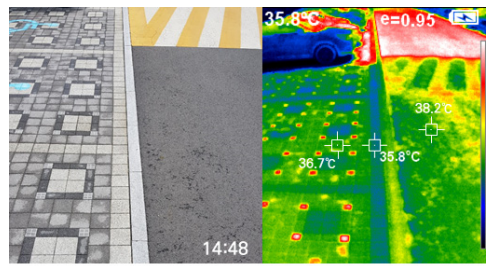
살수 직전 (14:03)



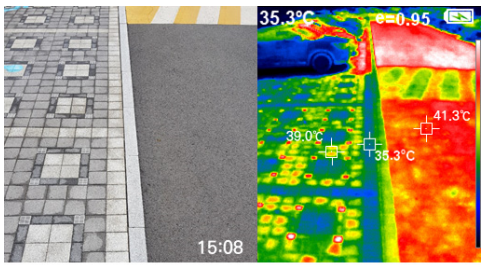
살수 직후 (14:13)



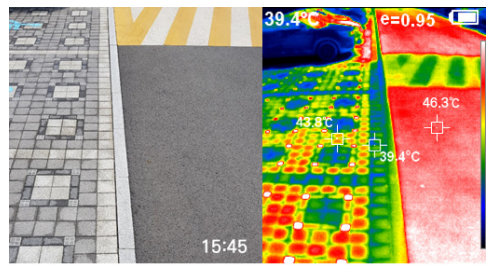
살수 후 20분 경과 (14:23)



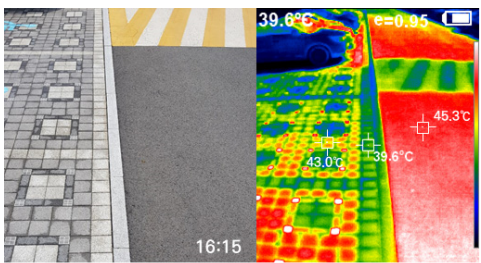
살수 후 40분 경과 (14:48)



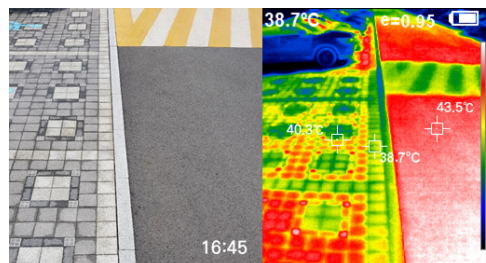
살수 후 1시간 경과 (15:08)



살수 후 1시간 30분 경과 (15:45)

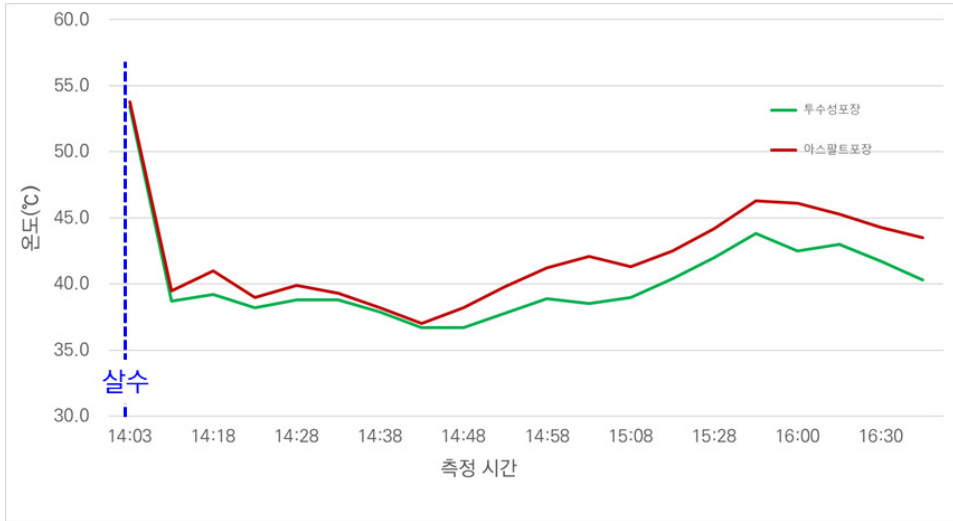


살수 후 2시간 경과 (16:15)



살수 후 2시간 30분 경과 (16:45)

[그림 5-1] 노면살수에 따른 노면상태 및 열화상카메라 영상



[그림 5-2] 노면살수 시간변화에 따른 온도변화

1.1.3 향후 확대 적용방안

도로 노면살수에 따른 온도저감 효과는 기존 유사한 연구사례를 통해 보고된 바 있다(LH, 2011). 하지만, 본 연구에서는 기존 연구와 달리 일반 아스팔트 포장과 투수성 포장에서의 온도저감 효과를 비교 분석함으로써 투수성 포장을 통한 온도저감 효과를 극대화하고자 하였다.

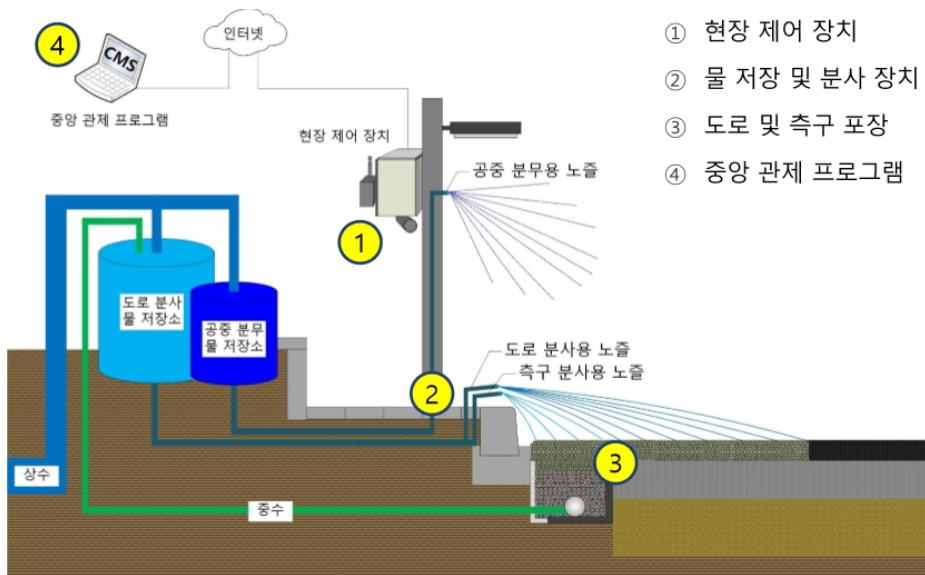
모니터링 결과 일반 아스팔트 포장에 비해 투수성 포장이 온도저감에 효과적인 나타났는데, 이는 투수성 포장의 함습에 기인하는 것으로 판단된다. 향후 폭염저감을 목적으로 노면살수를 수행할 경우에는 투수성 포장에 우선 적용하는 것이 효과적인 것으로 판단된다. 폭염저감을 위해 상시 노면살수가 필요한 지역은 투수성 포장으로 변경하는 방안도 검토할 필요가 있다.

일반 아스팔트는 노면살수 시 살수된 물이 노면에 스며들지 못하고 측구를 통해 우수관으로 유출되거나, 적절하게 배수되지 못할 경우 자동차 통행 시 물튀김 현상을 야기해 운전자 및 보행자 모두에게 불편을 주게 된다. 따라서, 노면살수 대상 도로에 투수성 포장에 적용할 경우 물튀김 현상 억제와 효과적인 온도저감 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 노면살수를 통한 미세먼지 저감 효과

2.1 테스트베드 구축

경기 부천시 오정로 일원의 테스트베드를 대상으로 노면살수에 따른 미세먼지 저감효과를 분석하였다. 노면살수 시스템의 구성도는 [그림 5-3]과 같으며, 현장 제어장치, 물 저장 및 분사장치, 도로 및 측구 포장, 중앙관제 프로그램으로 구성되어 있다.

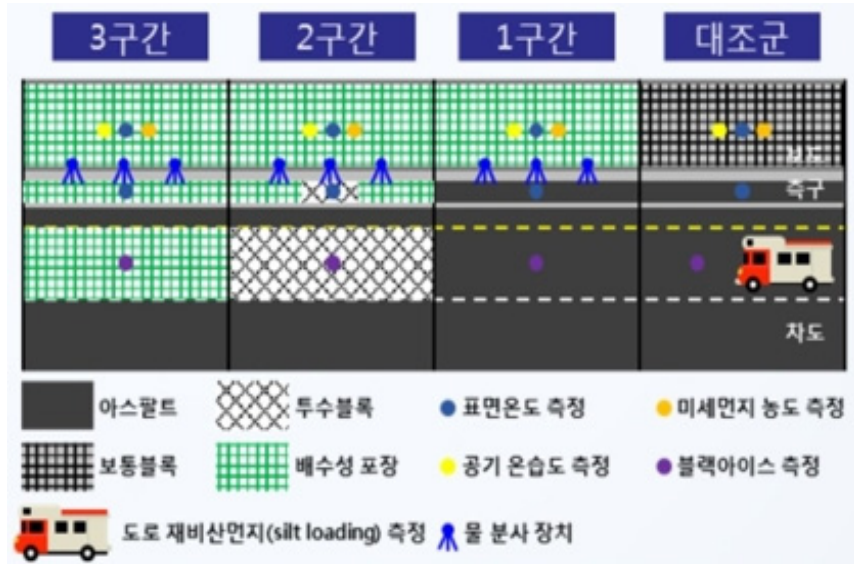


[그림 5-3] 도로 테스트베드의 노면살수 및 미스트 분사 시스템 구성

테스트베드는 4개의 구간으로 구성되었으며, 세부적인 모니터링 계획은 [그림 5-4]에 도시된 바와 같다. 테스트베드 4개 구간은 다음과 같다.

- ① 대조군 : 기존 불투수성 차도 및 불투수성 측구, 현장제어장치
- ② 실증 1구간 : 기존 불투수성 차도 및 불투수성 측구, 물 분사장치, 현장제어장치

- ③ 실증 2구간 : 배수성 차도(투수블럭) 및 투수성 측구, 물 분사장치, 현장제어 장치
- ④ 실증 3구간 : 배수성 차도(다공성포장) 및 투수성 측구, 물 분사장치, 현장제어 장치



- 재비산먼지 : 보도(미세먼지 센서: 베타선법), 차도(도로 재비산먼지 이동측정차량)
- 온도 : 보도(공기 온·습도 센서, 표면온도 센서), 차도(표면온도 센서, 열화상카메라)

[그림 5-4] 도로 테스트베드 구간의 모니터링 시스템 구성

모니터링을 위해 각 구간별 미세먼지 센서 1개(보도), 표면온도 센서 2개(차도 및 보도 각 1개)를 설치하였으며, 각 구간별 세부 모니터링 시스템 구축현황은 [그림 5-5]~[그림 5-9]과 같다.

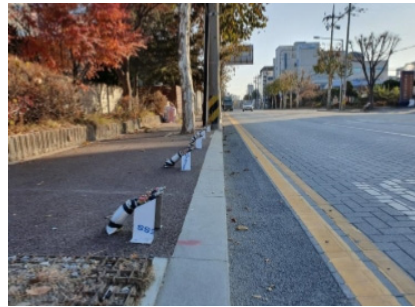
현장제어장치 및 중앙관제프로그램을 이용하여 실시간 모니터링 및 물분사장치 수동제어, 물 분사장치 작동 시나리오 설정 및 자동 동작이 가능하며 미세먼지와 온도 데이터를 확보할 수 있는 시스템을 구축하였다.



[그림 5-5] 도로 테스트베드의 구축 현황 (대조군)



[그림 5-6] 도로 테스트베드의 구축 현황 (실증1구간)



[그림 5-7] 도로 테스트베드의 구축 현황 (실증2구간)



[그림 5-8] 도로 테스트베드의 구축 현황 (실증3구간)



[그림 5-9] 도로 테스트베드의 공사 과정

도로 노면살수는 도로에서의 미세먼지 재비산을 억제함으로써 전반적인 미세먼지 저감효과가 있다. 하지만, 배수가 불량할 경우 노면에 고인 물이 결빙되어 블랙아이스를 형성하여 사고를 유발하거나, 물튀김 현상으로 보행자 및 운전자에게 불편을 주는 경우가 빈번하다.

따라서, 본 연구에서는 테스트베드의 원활한 물 배수를 위해 바이오폴리머 콘크리트와 배수성 차도 블록을 이용하여 투수성 포장으로 시공하였다. 이를 통해 노

면살수에 의해 포집된 미세먼지가 투수성 포장 공극을 통해 지하로 유입됨으로써 재비산되지 않도록 하였다.

2.2 미세먼지 저감 효과

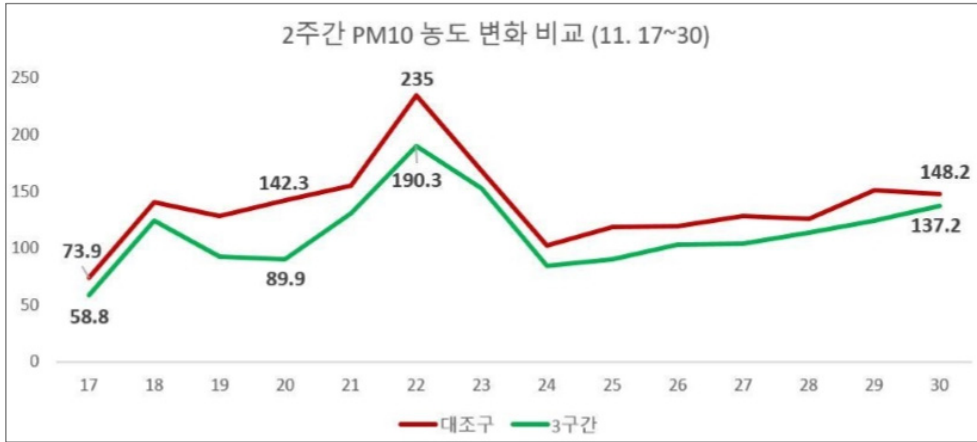
테스트베드를 대상으로 노면살수에 따른 미세먼지 저감효과를 분석하였다. 테스트베드에 구축된 현장 제어장치 및 중앙관제 프로그램을 이용하여 노면살수를 시행하고 미세먼지 농도에 대한 실시간 모니터링을 수행하였다. 모니터링은 2019년 11월과 2020년 6월에 수행되었다.

동계기간 미세먼지의 일변화 분석결과는 [그림 5-10]에 제시된 바와 같으며, 투수성 포장 구간의 미세먼지 농도가 일반 아스팔트 포장 구간에 비해 낮게 나타났다. 해당 결과는 노면살수를 시행하지 않은 상태의 미세먼지 농도로 투수성 포장 구간이 노면살수를 하지 않아도 아스팔트 포장 구간에 비해 재비산하는 먼지의 농도가 낮다는 것을 보여준다.

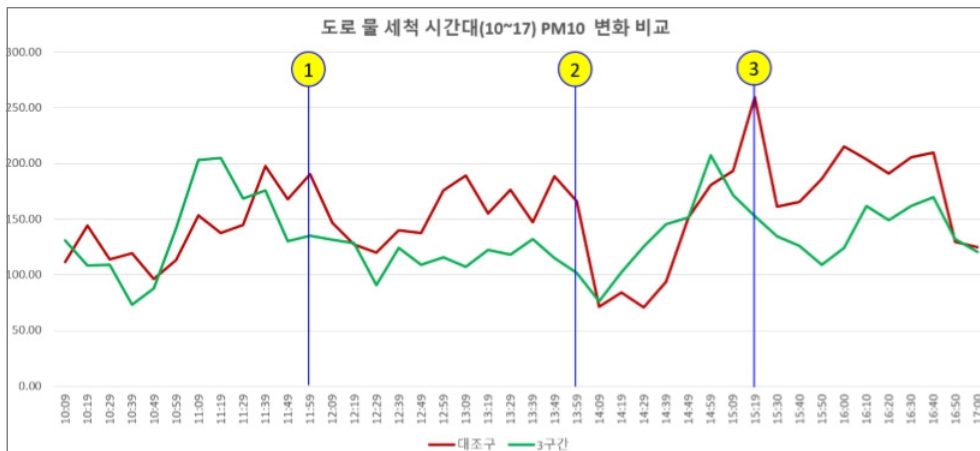
노면살수에 따른 미세먼지의 농도변화는 [그림 5-11]에 도시하였다. 해당 도로는 레미콘 차량 등 미세먼지의 발생을 유발하는 차량통행이 매우 빈번한 곳으로 하루 3회 비교적 자주 노면살수를 통한 물청소를 실시한다. 그림에서 ①, ②, ③으로 표시된 구간은 노면살수를 시행한 시점이다.

그림에서 빨간색 선과 녹색 선은 각각 아스팔트 포장의 미세먼지 농도와 투수성 포장의 미세먼지 농도를 나타낸다. 노면살수를 시행하면 일반 아스팔트 포장과 투수성 포장 모두 일시적으로 미세먼지 농도가 낮아지지만, 일정 시간이 경과하여 노면이 건조된 이후의 농도변화는 상이한 결과를 보였다.

일반 아스팔트 포장의 경우 노면이 마르고 나면 측구에 모여 있던 미세먼지가 재비산하여 살수 이전의 농도 수준으로 증가하지만, 투수성 포장의 경우 그 증가 폭은 미미했다. 이는 투수성 포장 노면에 살수된 물이 투수성 포장을 통해 스며드는 과정에서 미세먼지도 함께 지표면 아래로 이동하기 때문인 것으로 판단된다.



[그림 5-10] 아스팔트 포장과 투수성 포장의 미세먼지 농도 비교 ('19.11.17~11.30)



[그림 5-11] 아스팔트 포장과 투수성 포장의 노면살수에 따른 미세먼지 농도변화
(- 아스팔트 포장 구간, - 투수성 포장 구간, ①, ②, ③ : 살수시점)

3. 미스트 분사를 통한 온도저감 효과

저장된 빗물을 미스트 형태로 분사할 때 대기온도 저감효과를 분석하고자 하였다. 하지만, 빗물을 미스트로 분사할 경우 수질과 무관하게 보행자의 불만이 제기될 수 있어 빗물을 미스트 형태로 분사하는 경우는 흔치 않기 때문에 본 연구에서는 건물의 옥상, 벽면, 식수대의 바닥 등 인체에 직접 접촉하지 않는 공간에 제한적으로 분사하는 것을 전제하고 온도 저감효과를 분석한 것이다.

3.1 온도저감 효과 분석

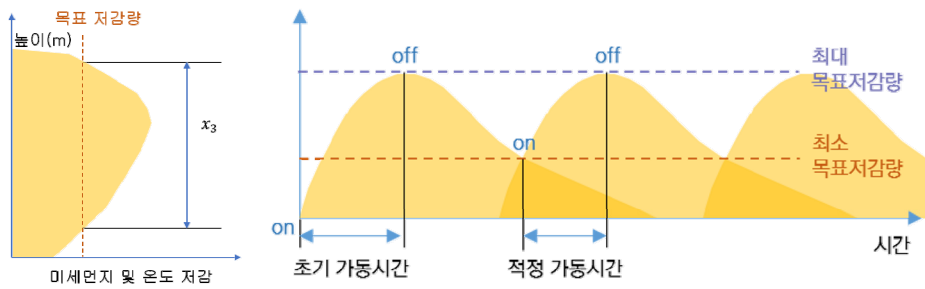
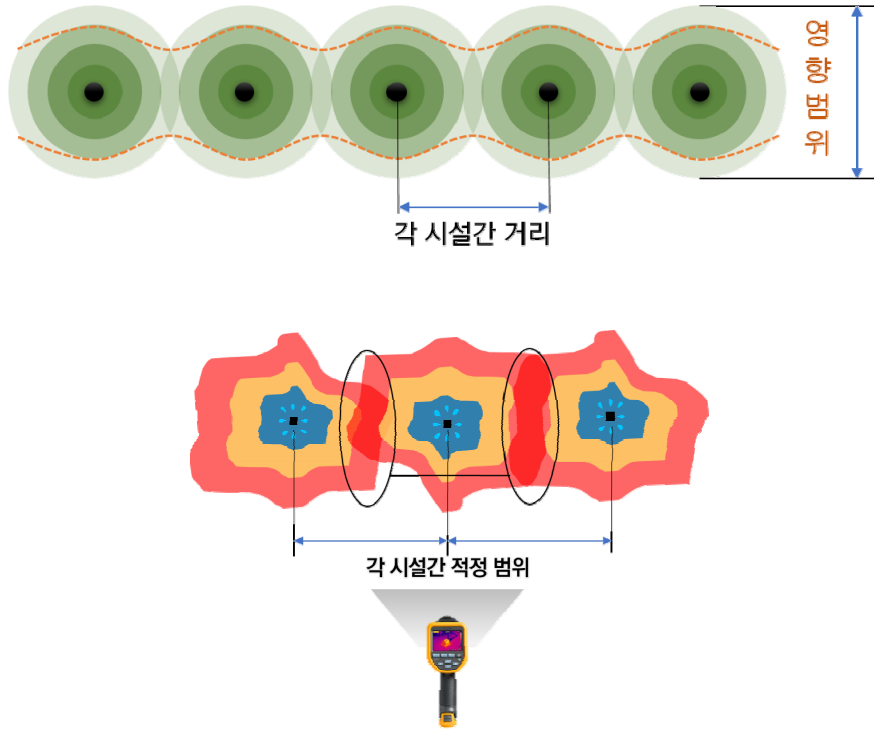
3.1.1 개요

미스트 분사에 따른 온도저감 효과를 분석하고자 하였으나, 실외에서의 실험은 바람 등의 영향으로 정확한 결과를 도출하기 곤란해 실내 실험장을 구축하여 온도 변화 모니터링을 수행하였다[그림 5-12].



[그림 5-12] 미스트 분사 효과분석을 위한 실내실험장 전경
(경남 산청군 산청읍 소재)

본 실험의 목적은 미스트 분사에 따른 온도저감 효과와 이를 위한 분사장치(노즐)의 영향범위와 분사 노즐 간 적정거리를 알아보고자 함이었다[그림 5-13].



[그림 5-13] 미스트 분사 시스템의 효과분석을 위한 실내실험 구성

3.1.2 온도저감 효과 측정방법

(1) 측정장비

온도저감 효과 측정을 위해 디지털 온·습도계를 사용하였고 분사장치(노즐)의 영향 범위를 측정하기 위해 열화상 카메라를 사용하였으며, 각 장비의 제원은 [표 5-1]에 제시된 바와 같다.

[표 5-1] 미스트 분사 시스템의 실내실험에 사용된 장비

디지털 온·습도계		열화상 카메라	
			
측정온도/습도 범위	-10~50 °C / 5%~98%	적외선이미지 해상도	320×240 (76,800픽셀)
최소눈금	0.1 °C, 1%	영상이미지 해상도	0.3 메가픽셀
오차범위	± 1 °C, ± 3%	필드앵글/초점거리	27° × 35° / 4.0mm
전원	9V, 1EA	열 감도	0.07 °C
크기(mm)	207 × 70 × 29	온도측정범위	-20°C ~ +300°C
형식	센서고정형	온도측정 정확도	±2% 또는 ± 2°C
		방사율	0.1~1.0 조정가능
		열영상 프레임속도	9 Hz
		파장범위	8~14 μm

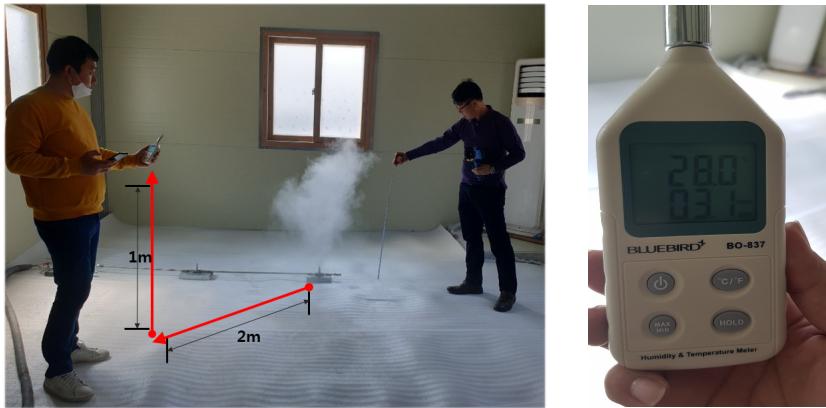
(2) 실험조건

- 외생변수를 최대한 차단한 상태의 실내 실험실 내부 온도는 28 °C임
- 분사장치(노즐)의 분사량 : 108 ml/min
- 총 10분 동안 1분 간격으로 열화상 카메라로 측정함

(3) 미스트 분사에 따른 온·습도 측정

미스트 분사에 따른 온습도 변화를 측정하고 미스트 분사의 적정 시간 간격과 노즐의 설치 간격을 도출하기 위해 온습도계를 이용하여 실내실험을 수행하였다.

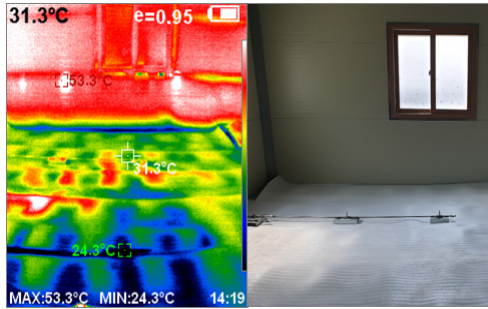
대기온도 영향 분석을 위해 분사장치(노즐)로부터 높이 1m, 수평으로 2m의 일정한 거리에서 매분 단위로 온습도를 측정하였다[그림 5-14].



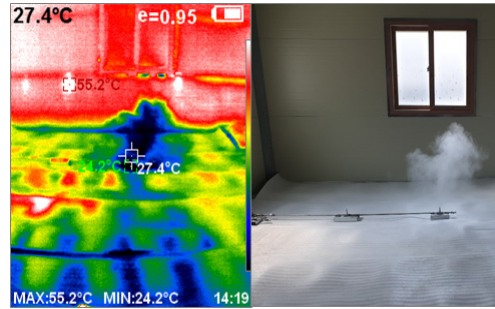
[그림 5-14] 실내 실험을 통한 미스트 분사와 온습도 측정

(4) 미스트 분사 후 열화상 카메라를 이용한 영향 범위 분석

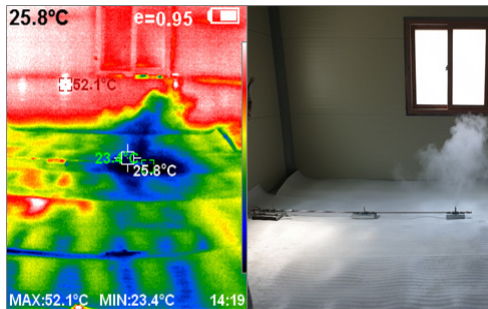
노즐을 통해 미스트를 분사하고 열화상 촬영을 진행하였다. 미스트 분사 후 1분 간격으로 열화상 카메라와 일반 카메라로 동시에 촬영한 후 각각의 이미지를 비교 분석하여 미스트의 영향범위를 분석하였다[그림 5-15]. 미스트의 영향범위를 분석 결과를 토대로 노즐 간 적정거리를 도출하고자 하였다.



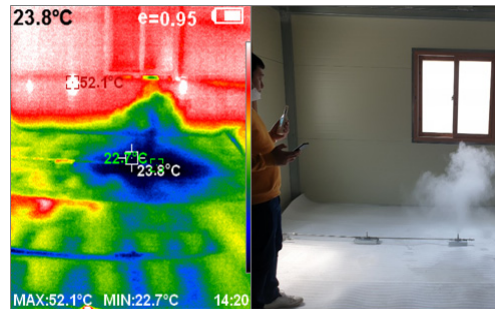
[측정온도 31.3°C]



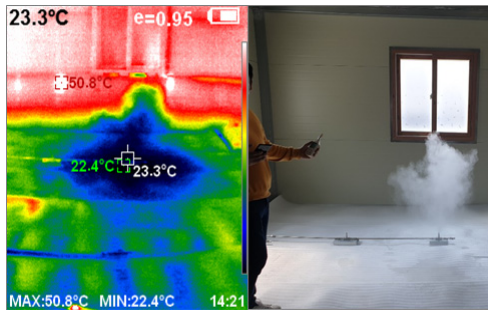
[측정온도 27.4°C]



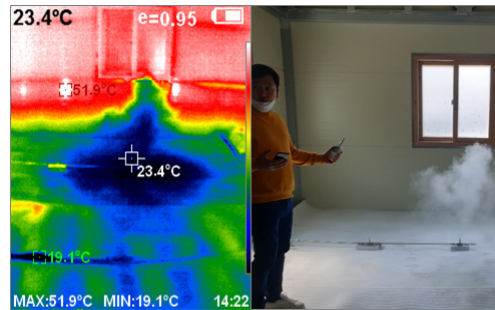
[측정온도 25.8°C]



[측정온도 23.8°C]



[측정온도 23.3°C]



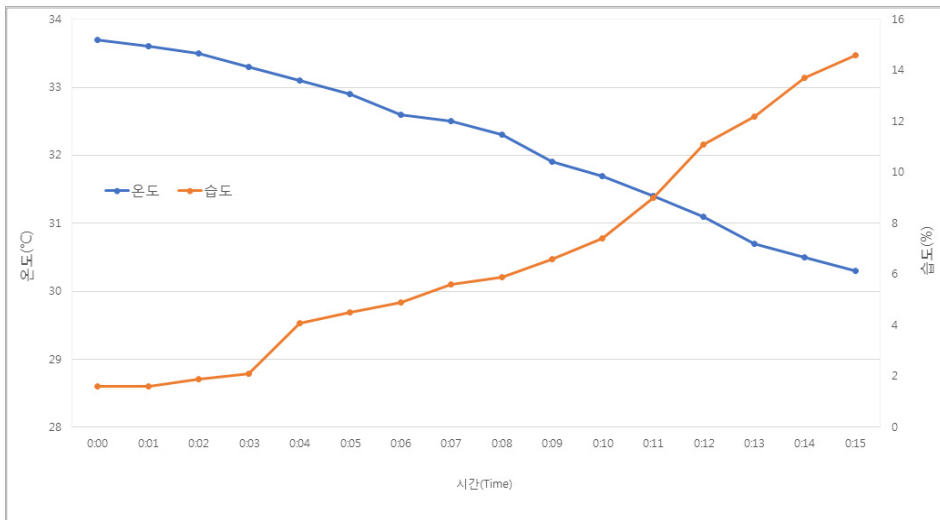
[측정온도 23.4°C]

[그림 5-15] 미스트 분사에 따른 주변 온도 변화에 대한 열화상 카메라 촬영

3.1.3 온·습도 측정 결과

미스트를 분사하기 전 33.7℃의 온도는 미스트 분사 6분 경과 후 1℃, 10분 경과 후에는 2℃의 온도저감 효과를 보였다. 미스트 분사 후 15분 동안 지속적으로 온도가 감소하였고 15분간 총 3.4℃의 온도 감소 효과가 나타났다[그림 5-16].

미스트 분사 후 1분 간격으로 열화상 카메라와 일반 카메라로 동시에 촬영한 후 촬영 시간별로 각각의 이미지를 비교분석 하였다. 이는 촬영된 이미지로 미스트 분사 노즐의 영향 범위를 파악하여, 미스트 분사노즐의 적정거리를 도출하기 위한 것이었다.



[그림 5-16] 미스트 분사에 따른 온도 및 습도 변화

3.1.4 미스트 분사 주기 및 노즐 간 간격

미스트의 수직 영향 범위는 1.4 m, 수평 영향 범위는 1.5 m로 분석되어 미스트 분사를 위한 노즐 설치 간격은 1.5 m가 적정한 것으로 판단된다. 미스트 분사 이후 10분 경과 시점에 2℃ 정도의 온도저감 효과가 나타나 미스트 분사 시간 간격은 10분 정도가 적당할 것으로 제안한다.

4. 노면살수를 위한 배관 및 노즐 설계

노면살수를 위해 필요한 배관 및 노즐 설계와 시공에 대한 사항을 기술하였다. 설계와 시공 시 고려사항 및 동절기 동파방지 대책 등의 언급하고 있으며, 세부적인 내용은 다음과 같다.

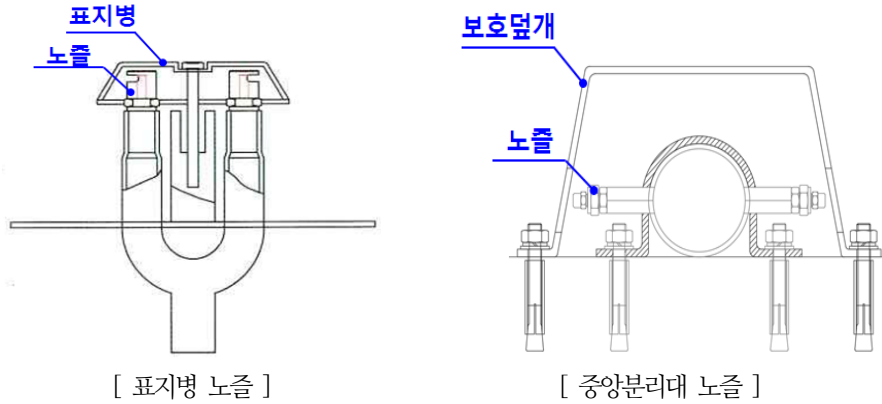
4.1 노면살수 시설의 설계 및 시공

노면살수 시설은 노즐, 살수용수 이송 배관, 펌프, 계측기(유량계, 압력계), 밸브(분사밸브, 드레인밸브, 체크밸브), 맨홀(점검맨홀, 제수변), 제어장치 등으로 구성된다. 또한 현장 여건과 운영 방식에 따라 기후(대기 및 노면 온도, 미세먼지 등) 측정장치, 무선 통신장비, 중앙처리장치, 전광판, CCTV, 기타 도로안전시설 시설물 등을 선택적으로 설치·운영할 수 있다.

4.1.1 분사노즐의 종류 및 특성

분사노즐은 형상 및 규격에 따라 살수 방향과 각도에 차이가 있으며, 노즐 종류에 따라 노면살수 시설의 설계·시공·운전 및 유지관리 방법이 상이하다. 국내에 시공된 노면살수 시설을 검토한 결과 노즐의 형태 및 시공 방법에 따라 표지병³⁶⁾ 노즐과 중앙분리대 노즐로 구분되며, 각각의 노즐 형태는 [그림 5-17]와 같다.

36) 표지병(標識紙) : 야간 주행 시, 자동차 불빛이 반사될 수 있도록 도로에 박아 놓은 표지물



[그림 5-17] 노면살수를 위한 분사노즐의 종류



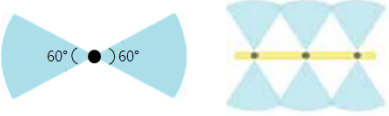
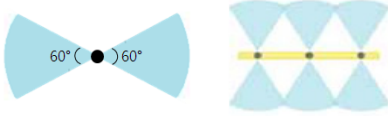
(1) 표지병 노즐

표지병 노즐은 살수 대상지역 도로의 중앙 분리선 부근 포장면과 기층을 일정 깊이까지 굴착하여 살수용수 이송 배관을 매설한 후 수직 방향으로 별도의 배관을 분기시켜 노즐과 연결하는 형태이다. 이때 분사노즐은 외부 충격에 의한 손상을 방지하기 위해 표지병 모양의 몸체 내부에 설치된다.

표지병 노즐은 표지병의 형태에 따라 사각과 원형 표지병으로 구분할 수 있으며 세부적인 사항은 [표 5-2]에 제시된 바와 같다.

표지병 노즐은 중앙분리대 노즐에 비해 외부로 노출되는 설비의 크기가 상대적으로 작은 장점이 있으며 표지병 노즐의 소형 맨홀 상부 덮개를 개폐 후 점검 및 수리가 가능하다. 하지만 시공 시 포장면 굴착, 폐기물 처리, 굴착 구간 재포장이 필요하므로 시공비용 상승 요인을 포함하고 있으며, 차량 통행 불편과 안전한 주행환경 조성을 위해 도심지에서 굴착과 포장 작업이 대부분 야간에 실시되기 때문에 공사 기간이 증가한다. 또한, 도로 재포장 시 건설 중장비에 의한 파손 우려가 존재하고 덧씌우기 시 표지병이 매몰될 가능성이 높으며, 살수용수 이송 배관이 막히거나 파손될 경우 포장면을 모두 굴착하여 점검해야 하는 번거로움이 있다.

[표 5-2] 표지병 노즐의 종류 및 특성

구분	사각 표지병	원형 표지병
형상		
분사각도 및 형태		
분사방향	고정형 분사방식	상, 하, 좌, 우
특징	<ul style="list-style-type: none"> · 표지병 내부 공간이 비어 있어 파손 및 이물질로 인한 막힘현상 가능성 높음 · 분사 높이 및 방향 조절 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> · 외부 충격에 의한 파손 위험 적음 · 다른 표지병으로 변경 설치 가능

(2) 중앙분리대 노즐

중앙분리대 노즐은 도로 중앙 분리선 사이에 보호덮개와 함께 설치되는 형태로 도로 포장면 굴착과 분기배관 연결이 필요없다. 중앙 분리선 사이 포장면에 분사 노즐이 직접 연결된 살수용수 이송 배관을 앵커로 고정시키는 형태이다.

중앙분리대 노즐은 바다 노즐, 중앙분리대형 노즐, 블럭형 노즐로 구분할 수 있으며 세부적인 사항은 [표 5-3]에 제시된 바와 같다.

중앙분리대 노즐은 대형 차량 및 제설 작업 차량의 삽날에 의한 파손을 방지하기 위해 충분한 내구성을 갖춘 보호덮개 설치가 반드시 필요하다. 하지만, 표지병 노즐에 비해 살수용수 이송 배관을 설치하기 위한 별도의 굴착 및 채포장 작업이 없기 때문에 시공비를 절감할 수 있다. 또한 양호한 시공성을 바탕으로 공사기간을 단축시켜 차량통행 방해 및 민원 발생 우려를 줄일 수 있다.

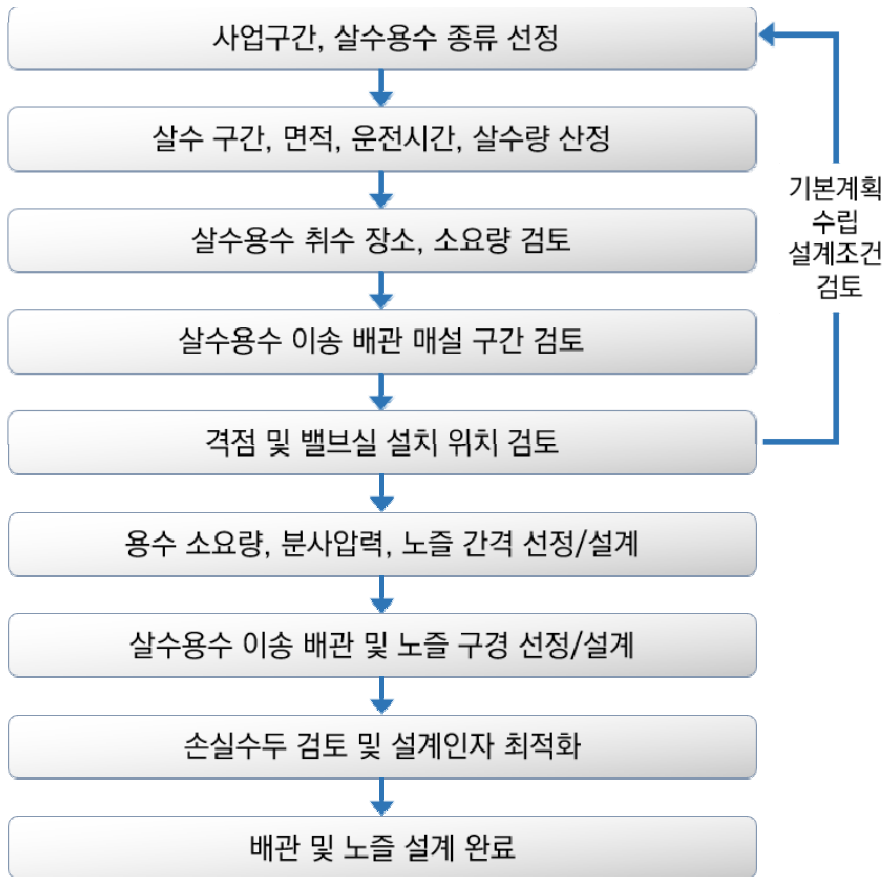
[표 5-3] 중앙분리대 노즐의 종류 및 특성

구분	특 성	중앙분리대형	블럭형
형상			
분사각도 및 형태			
분사방향	6~8 방향 원형분사	상, 하, 좌, 우	상, 하, 좌, 우
특징	<ul style="list-style-type: none"> 외부 충격 및 환경에 의한 파손 위험 	<ul style="list-style-type: none"> 설치가 간편한 노즐커버(GT) 및 내구성 확보 분사각도를 차등하여 균등 및 원거리 분사 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 별도의 블럭 설치가 필요하지만 설치 간편 보호덮개 상단에 시선유도봉 활용 가능

4.1.2 배관 및 노즐 설계 시 고려사항

노면살수 시설의 기본 및 실시설계 단계에서 배관 및 노즐 설계 시 개략적인 설계 순서 및 고려사항은 [그림 5-18]과 [표 5-4]에 도시된 바와 같다. 사업구간 중 실제 살수가 가능한 노선에서의 운영 조건을 선정된 후 살수용수 취수 장소와 소요량을 검토하고 저장조와 살수용수 이송 배관과의 거리를 고려한 매설 구간을 검토한다. 상기 검토 결과에 따라 살수구간이 선정되면 노즐 간격, 살수량, 분사압력을 선정하고 살수용수 이송 시 발생하는 손실수두를 검토하여 배관과 노즐의 세

부 제원을 선정해야 한다. 살수용수 이송 배관과 살수구간이 길어질 경우 손실수두가 증가하고 분사압력이 감소하여 살수효과가 저하된다. 따라서 살수 구간을 다수의 구역으로 분할하는 격점을 선정하고 각각의 격점에 밸브실을 설치하여 구간별로 자동 교차 운전이 가능하도록 설계해야 한다.



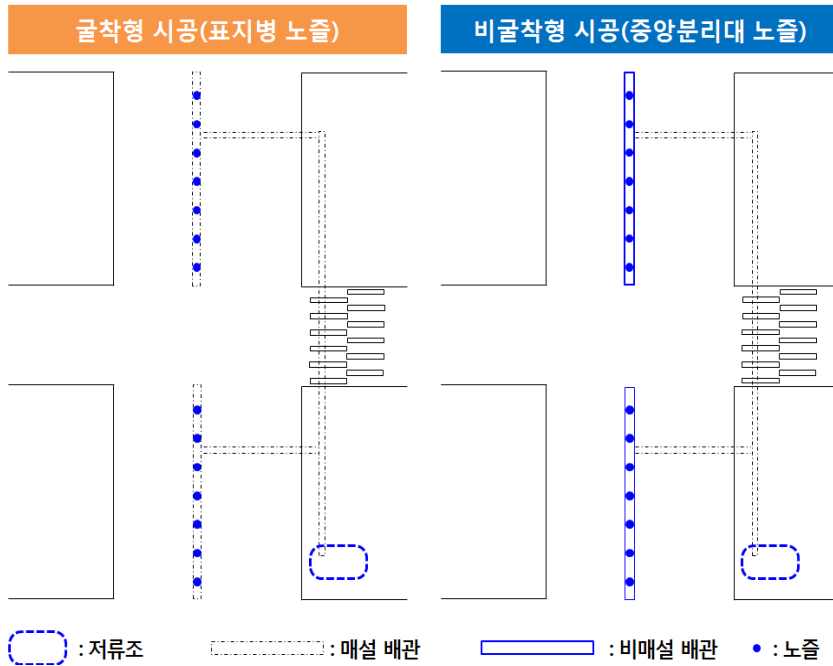
[그림 5-18] 노면살수를 위한 배관 및 노즐 설계 흐름도

[표 5-4] 노면살수를 위한 배관 및 노즐 설계 시 주요 고려사항

구 분	고 려 사 항
살수 용수 수량 및 수질	<ul style="list-style-type: none"> 안정적인 수량 및 수질 확보가 가능한 용수 선정 수질분석을 통해 위생, 심미적 거부감, 설비 막힘 가능성 검토 필요시 전처리 또는 소독 시설 설치 필요
살수용수 취수·집수 장소	<ul style="list-style-type: none"> 경제성 및 시공성 측면에서 용수 취수 및 집수 장소 선정 필요시 별도의 저류조 설치
살수 구간	<ul style="list-style-type: none"> 물튀김에 의한 민원 발생이 우려되는 구간 검토 및 제외 살수 소요량 최적화 및 시공 가능하도록 구간 선정
운전시간, 살수량, 분사압력	<ul style="list-style-type: none"> 살수효과와 민원 발생 여부를 고려한 운전시간 선정 적정 살수량 및 분사압 검토 작동 유무를 명확히 알려줄 수 있는 전광판 설치 검토
이송배관 매설 구간	<ul style="list-style-type: none"> 주변 지장물 및 공사중 민원 발생 고려해 굴착구간 최소화 배관 손실수두를 고려한 배관 설계
격점, 밸브실	<ul style="list-style-type: none"> 안정적인 살수량 및 분사압 유지가 가능한 격점 선정 및 밸브실 설치 검토 유지관리를 위한 별도의 밸브실(이토변, 제수변 등) 설치 여부
동절기 동파 방지	<ul style="list-style-type: none"> 동결심도를 고려한 배관 매설 또는 별도의 퇴수밸브 설치 고려
노즐 종류	<ul style="list-style-type: none"> 살수 방향(양방향, 단방향) 검토 통행 차량과의 간섭 여부를 고려한 노즐 선정
노즐 간격	<ul style="list-style-type: none"> 도로 특성(횡구배, 선형, 폭, 배수시설)을 고려해 간격 선정 노즐별 분사 특성을 반영해 적절한 설치 간격 선정
배관 및 노즐 구경	<ul style="list-style-type: none"> 살수용수 이송 과정에서 발생하는 손실수두 고려 노즐 말단의 살수량과 분사압력 최적화를 위한 수리계산 필요

4.1.3 배관 및 노즐 시공 시 고려사항

노면살수 시설에서 배관은 저장조로부터 지상으로 연장되어 보도에서 도로를 관통하여 중앙 분리선까지 연결되며, 중앙분리선 주변 굴착 여부에 따라 굴착형과 비굴착형으로 구분할 수 있다. 전술한 바와 같이 표지병 노즐은 중앙분리선을 굴착한 후 배관을 매립하는 반면, 중앙분리대 노즐은 별도의 중앙분리선 굴착없이 설치가 가능하다[그림 5-19].



[그림 5-19] 노면살수 배관 및 노즐 시공 방법

배관 및 노즐 시공 시 고려사항은 다음과 같다.

- ① 지반에 매설되거나 외부에 노출되는 배관은 습기와 외부 환경에 의한 부식 우려가 있으므로 내식성이 강한 재질을 우선적으로 적용
- ② 지중매설 작업(가스, 수도, 전기, 통신 등) 수행 시 장비에 의한 배관 파손을 방지하기 위해 배관에서 일정 높이를 두고 위험표지 시트 설치 고려
- ③ 배관이 매설된 것을 표시할 수 있도록 보도블록 또는 아스팔트 포장면에 표시기 및 표지판 설치 고려
- ④ 차량 타이어와 마찰이 빈번한 지점은 가급적 노즐 설치를 생략하거나 부득이한 경우 보호시설 설치 검토
- ⑤ 강설량이 많은 지역은 동절기에 운행되는 제설기 삽날에 의한 파손 위험이 있으므로 충분한 내구성을 가진 표지병 또는 보호덮개 등을 설치
- ⑥ 도로 선형을 따라 적절한 각도로 분사되도록 노즐 설치 각도 조절

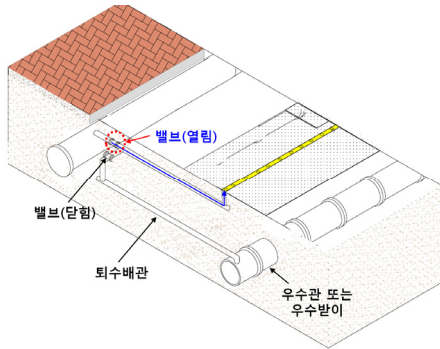
- ⑦ 곡선부의 경우 횡구배를 고려해 노즐 설치 간격을 조절하여 분사범위의 연속성 확보
- ⑧ 중앙분리대 노즐의 경우 곡선부와 교차로 좌회전 확장 차로에서 차량 통행에 간섭이 없도록 중앙 분리선에 맞춰 정밀한 시공 및 감독 실시
- ⑨ 표지병 노즐의 경우 표지병 내부 빈 공간을 에폭시 등으로 충전하여 차량 통과에 따른 침하 방지
- ⑩ 전기인입 시설이 포함된 맨홀부 설치 시 별도의 배수펌프 설치 고려

4.2 동절기 배관의 동파 방지 대책

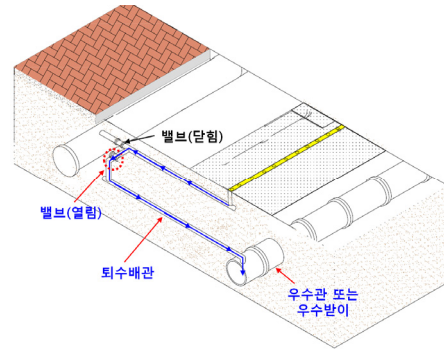
노면에 살수배관을 매설하고 노면살수 시설을 운영할 경우 배관 외부로 유출되지 않은 잔류수가 존재하며, 동계기간 동안 잔류수 결빙으로 배관이 파손되는 경우가 발생한다. 이러한 배관 동파 현상은 별도의 퇴수배관을 설치하여 해결할 수 있다.

[그림 5-20]와 같이 노면살수 시설 운영 중에는 퇴수배관 방향의 밸브가 닫혀 있으며, 펌프로 양수된 용수는 도로 중앙 분리선에 설치된 노즐에 공급된다. 노면살수 시설 운영이 종료되면 보도에서 분기된 배관의 밸브를 잠근 후 퇴수배관 방향에 설치된 밸브를 열게 되면 배관 내부의 잔류수가 퇴수배관과 연결된 우수관 또는 오수받이로 자연유하에 의해 배제된다. 이때 퇴수배관은 오수받이 또는 우수관보다 높게 설치하여야 하며, 자연유하를 위해 퇴수되는 방향으로 구배가 형성되어야 한다.

설계과정에서 상기 서술한 내용을 반드시 고려하여 배관 설계를 진행해야 하며, 시공 시에는 철저한 감독과 정밀한 시공이 요구된다.



[노면살수 운영 시]



[노면살수 종료 후]

[그림 5-20] 동절기 동파 방지를 위한 퇴수배관 설치 및 운영 방법

4.3 노면살수 시설 설치 사례

국내에서 도로 청소, 비산먼지 제거, 폭염 저감 목적으로 차량 통행량과 미세먼지 농도가 높은 도로를 우선으로 노면살수 시설이 설치되고 있다. 실제로 최근 2년간 10개 이상의 지자체가 클린로드 시스템 구축 공사를 완료 또는 진행 중인 것으로 조사되었다.

국내에 기 설치되어 운영 중인 노면살수 시설 사례는 [표 5-5]에 정리하였다.

[표 5-5] 주요 지자체에 설치된 노면살수 시설 설치 사례

구분	서울태평로	서울대학교	포항시	대구시	수원시 광교신도시
사진					
도로연장	400 m	1,000 m	830 m	9,100 m	300 m
차선	왕복 12차선	왕복 8차선	왕복 4차선	왕복 10차선	왕복 8차선
노즐간격	2 m	3 m	3 m	3 m	2 m
분사압	2~3 kg/cm ²	1.5~2.5 kg/cm ²	2~3 kg/cm ²	1.5~2.5 kg/cm ²	2~3 kg/cm ²
분사량	21 L	14 L	21 L	14 L	5.8 L
분사시간	5분	5분	5분	10~40분	관리자 설정
노즐수량	1,000개	파손 등으로 운영중단	202개	3,591개	300개
겨울운영	X	X	X	X	O

4.4 공동주택 노면살수 시설 도입 시 고려사항

노면살수의 용수는 상수, 중수, 지하수, 빗물 등의 다양한 수원을 이용할 수 있다. 공동주택의 경우에는 빗물이 일반적인 수원일 것으로 판단된다. 하지만, 계절적인 편중과 수량이 제한적인 빗물을 수원으로 하여 노면살수 시스템을 구축할 경우 정상적인 운영이 어려울 수 있다. 예로, 공동주택 단지에서 폭염저감을 목적으로 노면살수 시설을 시범적으로 설치하여 운영한 사례가 있지만 현재는 운영이 중지된 상태이다.

공동주택 단지에 빗물을 수원으로 하는 노면살수 시설을 설치하여 하계기간에는 폭염을 저감하고 동계기간에는 미세먼지의 재비산을 방지할 수 있다면 입주민의 주거 만족도와 빗물이용에 대한 긍정적 평가를 유도할 수 있을 것으로 판단된다.

전술한 바와 같이, 빗물을 단일 수원으로 할 경우에는 안정적인 공급이 곤란하므로 지하수 또는 상수와 연계하여 운영할 필요가 있다.

그 외에 공동주택 단지에 노면살수 시설을 도입할 경우 고려할 사항은 배수 불량에 따른 물고임과 물튀김 현상이다. 이는 표준화된 설계 및 시공 지침이 마련되지 못하고 관련 공법을 보유한 업체가 경험에만 의존하여 사업을 진행하기 때문이다.

이러한 문제가 지속적으로 발생할 경우 노면살수에 대한 시민들의 부정적인 인식으로 시설 도입을 꺼리거나, 기 설치된 시설도 운영이 중단되는 결과가 초래될 수 있다.

이를 해결하기 위해서는 설계 및 시공 지침이 마련되어야 하지만, 그에 앞서 공동주택 단지 내 도로를 투수성 포장으로 시공할 것을 제안한다. 투수성 포장의 배수능을 통해 물튀김을 방지하고, 흡습 기능을 이용하여 온도저감 효과를 지속할 수 있다.

차도에 투수성 포장을 적용하는 것에 대해 우려도 있지만, 최근의 국내 시공 사례와 모니터링 결과를 참고할 때 기술적인 한계는 극복되었다고 판단된다(정원경 등, 2017).

5. 사례를 통한 빗물의 도시농업 적용성 검토

5.1 대상 사례의 개요

서울 강북구 번동3단지의 LH 임대단지 내 도시농업을 위한 텃밭을 조성하고 빗물이용시설을 설치하여 빗물을 관수로 이용하였다.

도시농업도 염연한 농사이기 때문에 관수와 퇴비공급은 필수 조건이다. 도시농업 텃밭의 관수는 대개 수돗물을 사용하는 것이 일반적인데, 공동수도를 사용하기 때문에 텃밭에 참여하는 입주민과 참여하지 않는 입주민 간의 갈등의 원인이 된다. 번동3단지의 사례는 빗물이용시설을 설치하여 관수로 공급함으로써 이러한 갈등을 해결하였다[그림 5-21].



[그림 5-21] 빗물과 음식물쓰레기를 활용한 자원순환형 생태텃밭의 개념도

LH 임대단지를 대상으로 빗물이용시설 설치와 텃밭 조성이 가능한 대상지를 물색하였으며, 가용 부지와 주민 의사 등을 검토하여 2017년 초 서울 강북구 번동에 위치한 번동3단지를 대상지로 최종 선정했다(그림 5-22). 해당 공동주택 단지는 총 1,292세대 규모로 입주시기는 1990년 10월 27일이다.



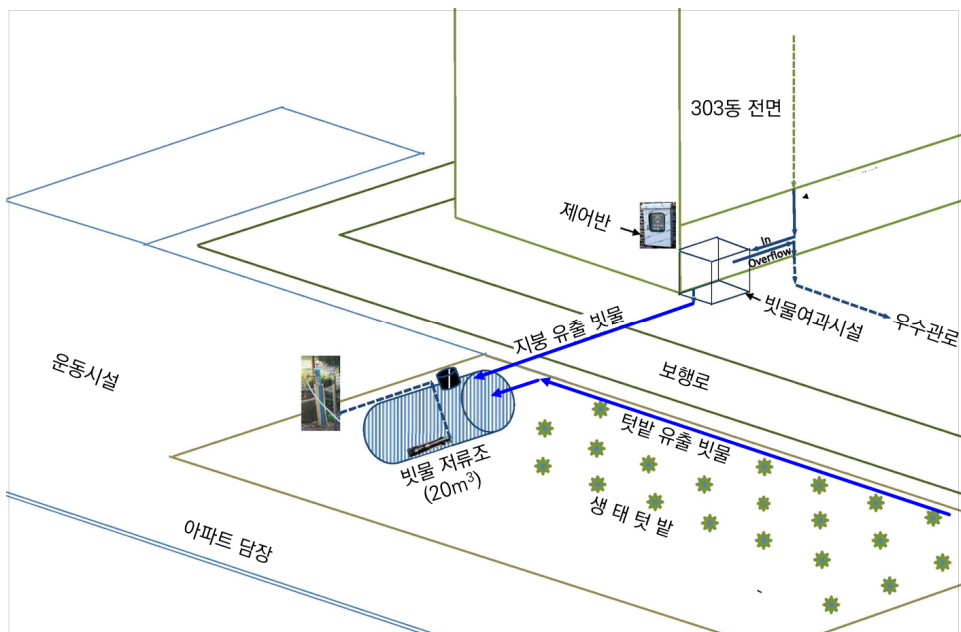
[그림 5-22] 서울 강북구 번동3단지 텃밭 및 빗물이용시설 대상 부지 현황

5.2 빗물이용시설의 설치와 텃밭 조성

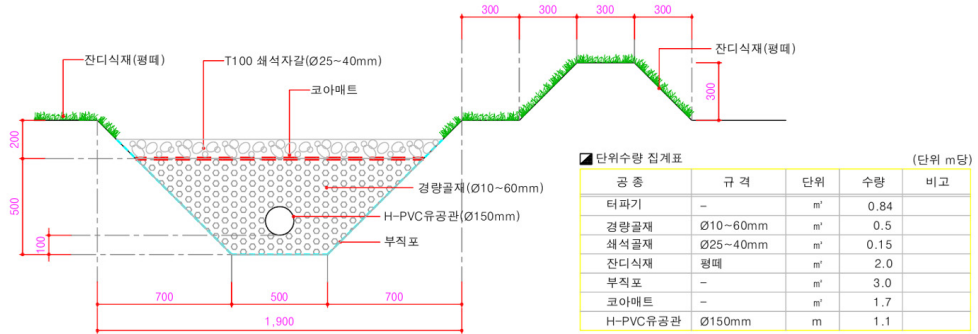
2017년 6월 주민설명회와 2017년 7~8월 부지조성 공사를 거쳐 단지 내 유희부지에 400m² 규모의 텃밭이 조성되었으며, 빗물이용시설 설치에 서울시의 빗물이용시설 설치 지원제도의 지원을 받아 설치하였다.

번동3단지의 빗물이용시설은 기존 빗물이용시설과 달리 빗물을 모으는 집수면을 건축물의 옥상에 국한하지 않고, 텃밭에서 유출되는 빗물도 포함하였다 [그림 5-23].

텃밭에서 유출되는 빗물은 토사 등을 포함하기 때문에 텃밭은 평이랑 방식으로 조성하고 각 텃밭의 경계 구간에는 잔디매트를 두어 강우 시 토사 및 흙탕물이 유출되는 것을 최소화하였다. 뿐만 아니라 텃밭에서 유출된 빗물이 저류조로 유입되기 전에 침투도랑을 거쳐 유입되도록 함으로써 토사 등의 오염물질이 제거될 수 있도록 하였다[그림 5-24].

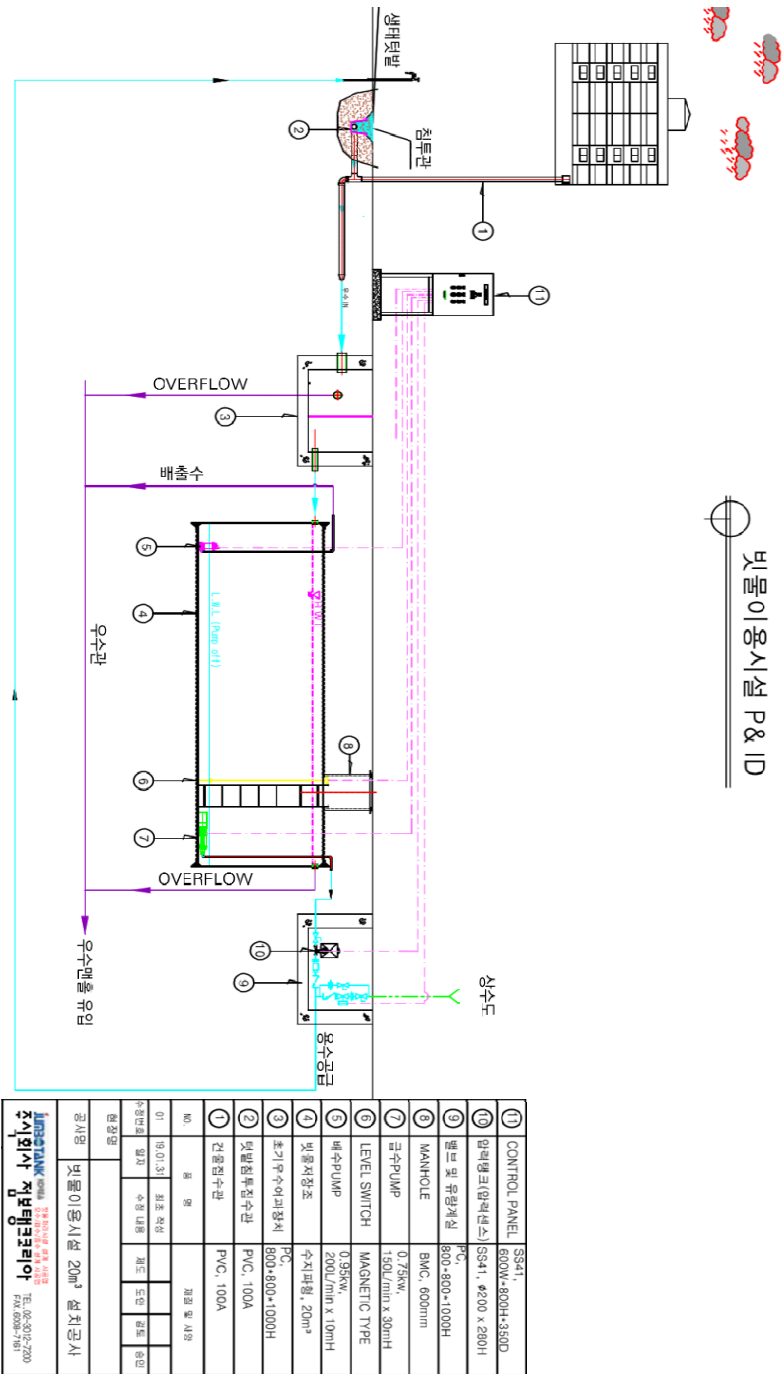


[그림 5-23] 서울 강북구 번동3단지 빗물이용시설 설치 계획

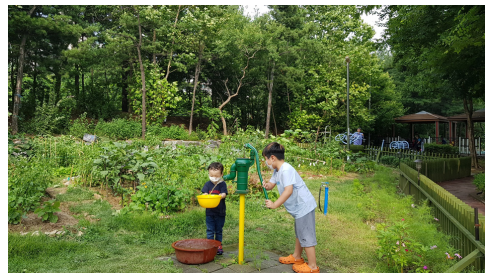
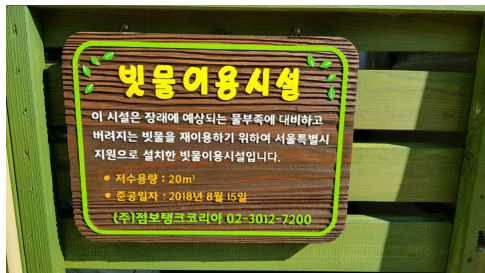


[그림 5-24] 텃밭 빗물 유출수 집수를 위한 침투도랑 설계도서 및 시공과정

빗물이용시설의 세부 설계도면은 [그림 5-25]에 도시된 바와 같으며, 20 m³ 규모의 빗물 저류조를 텃밭 지하에 매설하였으며, 수량 공급의 안정성 확보를 위해 상수도를 인입하였다. 텃밭을 매개로 한 단지 내 다양한 활동은 [그림 5-26]에 포함하였다.



[그림 5-25] 서울 강북구 변동3단지 빗물이용시설 설계도



[그림 5-26] 번동3단지 텃밭을 매개로 한 다양한 커뮤니티 활동

5.3 공동주택 부지 텃밭의 관수 활용 사례의 시사점

변동3단지 사례는 아파트 옥상과 텃밭에서 흘러나오는 빗물을 관수로 이용하여 텃밭을 운영하고, 그와 더불어 아파트 입주민 간의 커뮤니티도 형성되는 성공적인 결과를 얻었다. 변동3단지에는 빗물 외에 음식물쓰레기를 퇴비로 만들어 활용함으로써 도시에서 성가신 존재로 여겨졌던 빗물과 음식물쓰레기를 자원으로 활용하는 자원순환형 생태텃밭을 완성한 것이다.

최근 도심에서 도시농업이 관심을 끌고 있다. 도시농업은 여러 가지 긍정적인 측면을 가지고 있지만, 부지확보가 어렵고 수돗물과 퇴비 사용에 따른 수도요금과 악취발생으로 텃밭에 참여하는 주민과 그렇지 않은 주민 간에 종종 갈등이 야기되기도 한다.

변동3단지 사례에서 보듯이 빗물은 도시농업의 좋은 아이템이 될 수 있다. 하지만, 변동3단지가 성공 사례로 자리 잡을 수 있었던 것은 텃밭 운영에 도시농업 경험이 풍부한 시민단체³⁷⁾가 함께 참여하여 농업지식 공유를 통해 시행착오를 최소화하고, 텃밭작물을 활용한 허브차 만들기, 자연 염색하기 등 생태텃밭 프로그램을 운영해 텃밭에 대한 입주민의 관심을 유도했기 때문이다.

공동주택을 대상으로 변동3단지와 유사한 사례의 확대 적용이 필요할 것으로 판단된다. 텃밭 조성에 따른 주거여건 개선 뿐만 아니라, 빗물의 상시적인 이용용도를 발굴하고 입주민의 건전한 커뮤니티를 형성하는 1석3조의 효과를 거둘 수 있다.

37) 노원도시농업네트워크 (<http://blog.daum.net/lafine777>) (대표 이은수)

6. 빗물이용시설 운영 및 관리

6.1 운영 및 관리 체크리스트

환경부는 빗물을 포함한 물의 재이용을 촉진하여 물 자원을 효율적으로 활용하고 수질에 미치는 해로운 영향을 줄임으로써 물 자원의 지속 가능한 이용을 도모하고자 「물 재이용 시설 설계 및 유지관리 가이드라인」을 수립하였다(환경부, 2013).

해당 가이드라인에는 빗물이용시설의 계획, 설계, 운영 및 관리에 관한 사항을 포함하고 있으며, 유지관리 점검내용 및 점검주기를 제시하고 있다[표 5-6]. 하지만, 해당 가이드라인에 제시된 체크리스트는 점검내용의 구체성이 다소 부족한 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 해당 가이드라인에서 제시한 유지관리 점검 내용 및 점검주기, 체크리스트를 바탕으로 빗물이용시설을 운영하는 담당자가 이용하기 쉽고 정확한 점검이 가능하도록 유지관리 체크리스트를 보완하여 제시하였다.

빗물이용시설을 집수시설, 초기빗물 처리시설, 저장시설, 활용시설로 구분하여 특정 강우 발생 전후로 유지관리 및 간단한 점검이 가능한 수시점검 체크리스트와 연 1회 정기적인 점검 및 유지관리가 가능한 정기점검 체크리스트를 제시하였다.

6.1.1 수시 점검 체크리스트

수시 점검 체크리스트는 특정 강우 발생 전후로 빗물이용시설의 유지관리 및 간단한 점검이 가능하도록 구성하였다. 점검사항별로 이상 유무를 체크할 수 있고, 현장에서 조치가 가능한 점검사항은 조치여부 확인란에 간단한 조치내용 기입 및 체크를 통해 점검 누락 사항을 한 눈에 파악할 수 있도록 하였다. 점검 시 현장 조치가 불가능하거나 기타 특이사항이 있을 때에는 해당 내용을 수기로 기재하고 관리자 확인 후 조치가 가능하도록 하였다[그림 5-27].

6.1.2 정기 점검 체크리스트

빗물이용시설 정기 점검 체크리스트는 분기 1회 또는 연 1회 유지관리 및 전수 조사가 가능하도록 구성하였다. 각 시설별로 점검사항 목록을 구체화하였으며, 점검 항목별로 이상 유무를 체크하고, 각 시설 또는 제품의 이상 및 조치 여부를 상세히 기재할 수 있도록 구성하였다. 현장 조치가 불가능하거나 기타 특이사항이 있을 시 해당 내용을 수기로 기재하고 관리자 확인 후 조치가 가능하도록 하였다.

정기점검 체크리스트는 빗물이용시설의 각 시설별(집수시설, 초기빗물 처리시설, 저장시설, 활용시설)로 점검사항 목록을 구체화하였으며, 세부항목은 [그림 5-28]~[그림 5-30]에 제시하였다.

[표 5-6] 빗물이용시설의 유지관리 점검 내용 및 점검주기

시설	점검내용	점검주기			청소 주기
		매월	6월	1년	
집수 설비	1. 집수장소의 퇴적물 및 오물점검		○		
	2. 집수장소 주변으로부터의 유입 또는 유출 유무의 점검		○		
	3. 집수시설(자봉, 인공지반슬래프)의 손상 점검		○		
	4. 송수관 내 퇴적물, 오물의 침전조로의 유입, 관로 누수점검			○	
침전조	1. 침전조 내의 침전물, 부유물 점검	○			
	2. 곤충발생 상황 점검	○			
	3. 구조물 손상 점검			○	
여과조	1. 여재상태, 침전물, 부유물의 점검	○			
	2. 곤충발생 상황 점검	○			
	3. 구조물 손상 점검			○	
저류조	1. 침전물 점검		○		
	2. 경보장치 작동상태 확인		○		
	3. 구조물 손상 점검			○	
	4. 보급수 설비의 작동 점검		○		
	5. 송수펌프의 작동 점검		○		
	6. 맨홀 및 방충망, 스크린 점검		○		
고가 수조	1. 침전물 점검		○		
	2. 경보장치 작동상태 확인		○		
	3. 구조물 손상 점검			○	
	4. 맨홀 및 방충망 점검		○		
	5. 송수관 등의 손상 점검			○	
부속 장치	1. 수위계, 양수기, 유량계, 역류방지밸브, 월류관 등의 점검			○	
	2. 소독설비 점검			○	
이용 설비	1. 변기의 오염상태, 폐색 등 점검		○		
	2. 샬수, 세정용의 오염상태, 급수전 부착부위 등 점검		○		
	3. 조경시설의 오염상태, 조류, 벌레 등의 발생여부 확인		○		
	4. 유입관의 손상 점검				

자료 : 물 재이용 시설 설계 및 유지관리 가이드라인 (환경부, 2013)

빗물이용시설 수시 점검 체크리스트

시설명 :
 점검일시 : 20
 점검자(소속/성명) :

구분	점검사항	점검결과		
		여부	현장 조치	향후 조치사항
집수 시설	집수장소의 퇴적물 및 협잡물 여부			
	집수시설의 손상 여부			
	루프드레인 막힘 및 손상 여부			
초기빗물 처리시설	설비 손상 여부			
	설비의 정상 작동 여부			
	퇴적물 및 협잡물 여부			
저장시설	시설의 손상 여부			
	시진 장치 상태			
	시설의 주변 침식 및 부식 여부			
	수위계 및 유량계 작동 여부			
	수질 및 수온센서 작동 여부			
	여과시설 여재 교체 여부			
	침전물 및 부유물 존재 여부			
	해충 및 유충 발생 여부			
	동결 및 동파 여부 (동계)			
	저장조 내 잔여 빗물량 확인			
활용시설	펌프설비 작동 여부			
	배관 등 손상 여부			
	살수 및 분사시설 손상 여부			
	컨트롤 패널 작동 여부			
	동결 및 동파 여부 (동계)			
특이사항				

[그림 5-27] 빗물이용시설 수시점검 체크리스트

빗물이용시설 정기 점검 체크리스트 (집수시설, 초기빗물 처리시설)

시설명 :
 점검일시 : 20
 점검자(소속/성명) :

구분	점검사항		점검결과		
			여부	현장 조치	향후 조치사항
집수 시설	집수면 손상 여부				
	집수면의 퇴적물 및 협잡물 존재 여부				
	집수면 외부로의 빗물 유입 유출 여부				
	집수관로 손상 및 누수 여부				
	집수관로의 퇴적물 및 협잡물 존재 여부				
	저장조 유입부 퇴적물 및 협잡물 여부				
초기빗물 처리시설 38)	유량계 방식	유량계 작동 및 손상 여부			
		전동밸브 작동 및 손상 여부			
		설계 이상의 유량 월류 여부			
		퇴적물 또는 협잡물 존재 여부			
	분리장치 방식	흡통 설비 손상 여부			
		흡통 내부 퇴적물 및 협잡물			
	부표 방식	부표식 설비의 손상 여부			
		배제관 내부 퇴적물 존재 여부			
		퇴적물 제거 밸브 작동 여부			
	특이사항				

[그림 5-28] 빗물이용시설 정기 점검 체크리스트 (집수시설, 초기빗물 처리시설)

38) 초기빗물 처리시설은 유량계 방식, 분리장치 방식, 또는 부표방식 중 해당되는 항목만 점검

빗물이용시설 정기 점검 체크리스트 (저장시설)

시설명 :
 점검일시 : 20
 점검자(소속/성명) :

구분	점검사항	점검결과		
		여부	현장 조치	향후 조치사항
저류조	저장시설의 손상 여부(파손, 누수, 부식 등)			
	맨홀(덮개), 뚜껑 및 시건장치 상태			
	저장시설 주변부 침식 및 부식			
	여유도 유지 여부			
	설계 이상의 유량 월류 여부			
	동결 및 동파 여부 (동계)			
	저장조 내 침전물 및 부유물 존재 여부			
	퇴적물 제거용 밸브 작동 여부			
	해충 및 유충 발생 여부			
부속설비	수위계 및 유량계 작동 여부			
	수질 및 수온 센서 작동 여부			
	경보장치 작동 여부			
	보충수 급수 설비 작동 여부			
특이사항				

[그림 5-29] 빗물이용시설 정기 점검 체크리스트 (저장시설)

빗물이용시설 정기 점검 체크리스트 (처리시설 및 이용시설)

시설명 :
 점검일시 : 20
 점검자(소속/성명) :

구분	점검사항	점검결과		
		여부	현장 조치	향후 조치사항
공통	처리수의 유출량 변동 여부			
	처리수의 수질 변동 여부			
	동결 및 동파 여부 (동계)			
처리시설	여과시설 손상 여부			
	여재의 공극 막힘 및 교체시기 여부			
	여재 여유분 확보 여부			
	급수/역세 펌프의 작동 여부			
	빗물교란 방지관(J형관) 손상 여부			
	일류수 배출관 손상 여부			
이용시설	취수관 손상 여부			
	동결 및 동파 여부 (동계)			
	펌프 설비 작동 여부			
	컨트롤 패널 작동 여부			
	살수 및 분사 시설 노즐 작동 여부			
	장시간 가동 시 기능 저하 여부			
특이사항				

[그림 5-30] 빗물이용시설 정기 점검 체크리스트 (처리시설 및 이용시설)

7. 소결

7.1 노면살수를 통한 폭염 저감

- ① 살수 직후 온도저감 효과
 - 아스팔트 포장 : 53.8 °C → 39.5 °C
 - 투수성 포장 : 53.4 °C → 38.7 °C
- ② 노면살수에 따른 온도저감의 지속 효과
 - 온도저감 효과는 2시간 이상 지속되었으며 아스팔트 포장에 비해 투수성 포장이 온도저감 및 지속효과가 높게 나타남
 - 노면살수의 문제점인 물튀김을 방지하고 함습에 의한 지속적인 온도저감 효과를 위해서는 투수성 포장 지역에 적용하는 것이 효과적임

7.2 노면살수를 통한 미세먼지 저감 효과

- ① 투수성 포장과 일반 아스팔트 포장의 미세먼지 저감 효과
 - 노면살수를 시행하면 아스팔트 포장과 투수성 포장 모두 일시적으로 미세먼지 농도가 낮아짐
 - 노면이 마르고 나면 일반 아스팔트 포장은 살수 이전 농도 수준으로 증가하지만, 투수성 포장은 증가폭이 낮음
- ② 노면살수 우선 적용 지역
 - 미세먼지 저감효과 및 물튀김 현상, 블랙아이스 형성 등을 고려할 때 투수성 포장 지역에 우선 적용할 필요가 있음

7.3 미스트 분사에 의한 온도저감 효과

① 온도저감 효과 및 노즐 설치 간격

- 온도저감 효과 : 33.7℃의 온도는 미스트 분사 6분 후 1℃, 10분 후 2℃, 15분 후 3.4℃가 낮아짐
- 노즐 설치 간격 : 1.5 m
- 노즐 통한 미스트 분사 시간 간격 : 10분

7.4 공동주택 부지 텃밭의 관수 활용

① 변동3단지의 사례 확대 적용 필요

- 변동3단지의 사례는 빗물을 관수로 이용하여 텃밭을 운영하고, 그와 더불어 아파트 입주민 간의 커뮤니티도 형성되는 성공적인 결과를 거두었으며, 공동주택을 대상으로 확대 적용할 필요가 있음

제6장 결론

1. 관련 제도 검토 및 빗물이용시설 운영현황 분석

1.1 관련 제도의 한계 및 개선방안

- ① 빗물이용에 관한 수질기준 마련
 - 빗물이용에 관한 수질기준을 마련하여야 하며 기존의 중수도 수질기준을 준용 하되, 수질기준은 수원별이 아닌 이용 용도별로 결정할 필요가 있음
- ② 타 수원과 연계함으로써 빗물의 수량 안정성 확보
 - 계절적 편중이 큰 빗물의 수량 안정성을 확보하기 위해 상수, 중수, 또는 지하수 등 연중 안정적으로 공급되는 수원을 빗물과 연계하여 운영하여야 함
- ③ 빗물이용 활성화를 위한 제도 개선방안
 - 기존 빗물이용 관련 제도가 시설 설치를 독려하는데 방점이 있으므로, 빗물이용을 활성화하기 위해서는 이용에 대한 의무조항 및 인센티브 방안 마련이 필요함

1.2 빗물이용시설 운영현황

- ① 설치 및 운영현황
 - 우리나라에는 2,650개의 빗물이용시설이 설치되어 있으며, 연간 이용량은 7,993,872 m³임 (2018년말 기준)
 - 연간 빗물 이용량의 85%인 6,771,797 m³는 44개소의 골프장이 차지하고 있는 바, 빗물이용 제도의 당초 취지를 고려하여 빗물이용시설의 다양화가 필요함

② 빗물이용시설의 빗물 단가

- 설치비와 운영비를 고려한 빗물이용시설의 빗물 톤당 단가는 2,596원이며, 설치비를 제외할 경우 235원/m³ 수준으로 설치비를 포함할 경우 상수도보다 비싸져 경제성을 확보할 수 없으므로 빗물이용시설에 설치비용에 대한 정부지원 정책은 계속 유지되어야 함

1.3 빗물이용시설의 설계, 설치, 운영과정의 개선방안

① 설계, 시공 및 유지관리 단계별 한계 및 개선방안

구분	한계	개선방안
계획 및 설계	<ul style="list-style-type: none"> • 저장조 설치 공간 확보의 어려움 • 저장조 용량의 과소 • 집수면 제약에 따른 집수량 부족 • 인허가 설계도서에 상세 설계 부족 	<ul style="list-style-type: none"> • 공간 확보 가능 여부 우선 검토 • 지자체 지원 대상 규모 상향 조정 • 지붕 외에 대지 등으로 집수면 확대 • 인허가 시 상세 설계도서 요구
시공 및 설치	<ul style="list-style-type: none"> • 이용 및 유지관리 관련 기기 미설치 • 관련 공종 간 업무분장 모호 • 기존 매설물(우수관 등)과의 간섭 • 집수배관 및 이용배관의 오접 	<ul style="list-style-type: none"> • 해당 기기 설치 의무화 • 관련 공종 간 업무분장 구분 • 공종 담당자 간 사전 논의 • 시공 전 공종 담당자 간 사전협의
운영 및 유지관리	<ul style="list-style-type: none"> • 빗물이용의 경제성 부족 • 잦은 고장 등 유지관리 어려움 • 안정적인 수량공급의 한계 • 빈번한 점검 및 청소주기 	<ul style="list-style-type: none"> • 환경개선 효과 등 부가적인 효과 제시 • 지자체가 전문 관리업체를 지정하여 유지관리 지원 • 빗물 저장조를 상수, 중수, 지하수 등 안정적인 수원과 연계하여 운영 • 점검 및 청소주기는 사용자에 일임

② 빗물이용시설 설치와 관련된 공종 구분

공종	세 부 내 용
건축	• 건축물 내 집수배관
토목	• 건축선 경계선 바깥쪽부터 저류조까지의 이송 배관 • 설계유량 이상의 빗물을 배제하기 위한 우수관까지의 월류 배관 (건축선 바깥쪽에서 우수관까지)
기계	• 여과장치 등 수질처리 시설 • 빗물 저장조 • 빗물이용을 위한 펌프 및 배관 (건축선 안쪽까지)
조경	• 빗물이용을 위한 배관 (건축선 바깥쪽에서 최종 사용장소까지)

2. 빗물이용을 위한 집수방안

2.1 수질확보를 위한 초기빗물 배제

① 수질확보를 위한 초기빗물

- 강우 초기에 유출되는 최소 5 mm 이상의 강우량

② 초기빗물 배제방식

- 유량계를 이용하는 방식, 분리장치를 이용하는 방식, 부표를 이용하는 방법이 제시되고 있으나, 설치의 용이성 및 동력 소요 여부, 고장 가능성 등을 고려할 때 부표를 이용하는 방법을 적절한 것으로 제안함

2.2 이용용도에 부합하는 목표수질 확보 방안

① 건축물 지붕 유출수의 목표수질 확보 여부

- 건축물 지붕에서 유출되는 빗물을 집수하여 살수용수, 조경용수로 이용할 경우 초기빗물 처리시설만으로도 관련 기준에 부합하는 수질확보가 가능함

② 도로 노면살수 유출수의 재이용 가능 여부

- 수질을 고려할 때 노면살수 유출수를 저장조에 집수한 후 노면살수 용도로 재이용하는 것은 불가함

2.3 집수시설 설치 시 고려사항

① 대규모 중앙 집중식 저장조 → 소규모 분산식 저장조 설치

- 중앙 집중식 대규모 빗물 저장조보다 소규모 저장조를 분산식으로 설치하는 방안으로 유도할 필요가 있음

3. 빗물저장 방안

3.1 빗물 저장시설의 적정 저장용량

- ① 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」, 「녹색건축 인증제도」에 근거하여 집수면적 (m^2) \times 0.05 m

3.2 빗물 저장시설의 수질

① 건축물 지붕 유출수의 살수조경용수 이용 가능 여부

- 기존 유사 연구사례와 본 연구의 모니터링 결과에 근거할 때 지붕 유출수는 초기빗물을 배제할 경우 살수용수와 조경용수의 수질기준에 부합함

② 투수성 포장 노면 유출수의 재이용 가능 여부

- 노면살수 후 유출수를 저장조로 회수하여 노면살수 용수로 재이용하는 것을 검토하였으나, 수량 및 수질을 고려할 때 불가한 것으로 판단됨

3.3 빗물저장시설의 안정적 수량 확보 방안

- ① 안정적 공급이 가능한 수원과 연계
 - 계절적 편중이 큰 빗물을 상시 안정적으로 공급하기 위해서는 상수, 중수, 그리고 지하수 등의 안정적 공급이 가능한 수원과 연계하여 운영하여야 하며, 특히 건축물 지하에서 지하수가 발생하는 경우는 연계방안을 적극적으로 검토할 필요가 있음

4. 주거단지에서의 빗물이용 방안 및 효과

4.1 노면살수를 통한 폭염 저감

- ① 노면살수로 도로 노면의 온도는 15℃ 가량 낮아지며 2시간 이상 지속됨
- ② 온도저감 효과 및 지속시간은 일반 아스팔트 포장에 비해 투수성 포장이 효과가 높게 나타났음
- ③ 노면살수의 문제점인 물튀김을 방지하고 함습에 의한 지속적인 온도저감 효과를 위해서는 투수성 포장 지역에 적용하는 것이 효과적임

4.2 노면살수를 통한 미세먼지 저감

- ① 노면살수를 시행하면 미세먼지 저감효과가 있으며, 투수성 포장에서 그 효과가 크게 나타남
- ② 미세먼지 저감효과 및 물튀김 현상, 블랙아이스 형성 등을 고려할 때 투수성 포장 지역에 우선 적용할 필요가 있음

4.3 미스트 분사에 의한 온도저감 효과

- ① 미스트 분사로 33.7℃의 온도가 15분 동안 3.4℃ 낮아지는 효과가 있었음
- ① 노즐은 1.5 m 간격으로 설치하고 미스트는 10분 간격으로 분사하는 것이 적절함

4.4 공동주택 부지 텃밭의 관수 활용

- ① 빗물을 텃밭의 관수로 이용한 서울 강북구 번동3단지의 사례는 빗물이용과 아울러 입주민 간의 커뮤니티도 형성되는 성공적인 결과를 거두었으므로, 공동주택을 대상으로 확대 적용할 필요가 있음

참 고 문 헌

LAND
HOUSING
INSTITUTE
&



참고 문헌

- 건설경제(2019), [시론] 빗물로 폭염과 미세먼지 저감을 기대한다(최종수), 2020.06.05. 검색, http://cnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201904101103588450487.
- 구자용(2008), 분산형 빗물관리시스템의 설계 및 유지관리 가이드라인 개발.
- 국가법령정보센터(2020), 건축물의 에너지 절약 설계기준, 2020.08.05 검색, <http://www.law.go.kr>.
- 국가법령정보센터(2020), 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률, 2020.08.05 검색, <http://www.law.go.kr>.
- 기상청 자료개방포털(2020), 기후통계분석, 2020.06.23 검색, <https://data.kma.go.kr/cmnm/main.do>.
- 농촌진흥청(2009), 과원토양관리.
- 뉴시스(2013), 수원시, 11월 빗물활용 '자동노면 살수·용설시스템' 정상 가동(2013.11.07), 2020.05.15 검색, <https://news.joins.com>.
- 대한민국 정부(2019) 2018년도 국정감사결과 시정 및 처리 요구사항에 대한 처리결과보고서.
- 서울시정개발연구원(2014), “빗물관리 및 활용계획 수립과 저변확대 방안 조성 연구”, 서울연구포커스.
- 서울특별시(2013), 서울특별시 빗물관리 기본계획(보완) 가이드라인.
- 서울특별시(2013), 서울특별시 빗물관리 기본계획(보완).
- 서울특별시(2019), 서울특별시 물순환 회복 및 저영향개발 기본조례.

- 에어코리아(2020), 실시간 대기정보: 미세먼지, 2020.06.23. 검색, <https://www.airkorea.or.kr/index>.
- 이투데이(2018), [2018 국감] 빗물이용시설 93% 관리 허술(2018.10.29.), 2020.04.20. 검색, <https://www.etoday.co.kr/news/view/1680193>.
- 자치법규정보시스템(2020), 지자체 빗물이용 및 물순환 관련 조례, 2020.07.26. 검색, <http://www.elis.go.kr>.
- 전주시(2017), “빗물이용시설 운영실태 지도점검 결과”, 내부보고 자료(하수과-3724, 2017.04.10.).
- 정월경·김현석·한의석·박대근(2017), “차도 투수성 콘크리트 블록포장의 시험시공 및 효과 분석”, 한국도로학회지, 제19권제3호, pp.24~31.
- 조용성·손양훈(2004), “대기오염개선이 건강에 미치는 사회적 편익 추정”, 한국응용경제학회, 제6권제1호, pp.133-160, 2004.
- 중앙일보(2008), ‘빗물’로 돈 버는 아파트(2008.04.15.), 2020.06.23. 검색, <https://news.joins.com/article/3111068>.
- 최종수·이정민·임수현(2020), “도시의 환경 이슈, NBS로 푼다”, 응용생태공학회 학술발표대회 발표집.
- 한국건설기술연구원(2019), 녹색건축물 인증기준 해설서.
- 한국에너지공단(2018), 2018 KEA 에너지 편람.
- 한국토지주택공사(2011), 공동주택단지 빗물이용 효율성 향상 및 노면살수시스템 적용 연구.
- 한국토지주택공사(2018), 설계지침(기계).
- 한국토지주택공사(2020), 설계지침(건축).
- 한국토지주택공사(2020), 설계지침(조경).

- 국토토지주택공사(2020), 설계지침(토목).
- 한무영·김영완(2004), “서울대학교 대학원 기숙사 빗물이용시설의 개요와 경제성 평가”, 대한상하수도학회지, 제18권제5호, pp.547~557.
- 행정안전부(2020), 국민재난안전포털: 재난현황, 2020.07.06. 검색, <http://www.safekorea.go.kr>.
- 현대건설·태영건설·한림건설(2020), 행정중심복합도시 6-4생활권 L1 블록 저영향개발 계획.
- 현대건설·태영건설·한림건설(2020), 행정중심복합도시 6-4생활권 M1 블록 저영향개발 계획.
- 환경부(2010), 빗물이용시설 설치·관리 가이드북.
- 환경부(2013), 물 재이용시설 설계 및 유지관리 가이드라인.
- 환경부(2015), “빗물이용시설 제도개선 방안”, 제40차 상하수도 발전포럼 발표자료.
- 환경부(2019), 쿨링 클린로드 시스템 설치 가이드(안).
- 환경부(2020), 환경통계포털: 미세먼지 배출량, 2020.07.06. 검색, http://stat.me.go.kr/nesis/mesp/stat/branch/branchStat.do?task=I&menu_id=106
H_01_007.