기본 21-08

Research on Introduction Strategy of Low Impact Development (LID) in Goyang City [3]

고양시 LID (저영향개발) 도입 전략 연구 [3]

- 구도심 물순환 시스템 적용 방안 연구

임 지 열
소 가 람

GYRI 고양시정연구원
GOYANG RESEARCH INSTITUTE

Research on Introduction Strategy of Low Impact Development (LID) in Goyang City [3]

고양시 LID (저영향개발) 도입 전략 연구 [3]

- 구도심 물순환 시스템 적용 방안 연구

연구책임자

임지열(고양시정연구원, 도시환경연구부, 부연구위원)

공동연구자

소가람(고양시정연구원, 도시환경연구부, 위촉연구원)

발 행 일 2021년 10월 30일

저 자 임지열, 소가람

발 행 인 이재은

발 행 처 고양시정연구원

주 소 10393 경기도 고양시 일산동구 태극로 60 빛마루방송지원센터 11층

전 화 031-8073-8341

홈페이지 www.gyri.re.kr

S N S https://www.facebook.com/goyangre/

I S B N 979-11-91726-29-9

이 보고서의 내용은 연구진의 개인적인 견해로서, 고양시정연구원의 공식 견해와는 다를 수 있습니다.
해당 보고서는 고양시서체를 사용하여 제작되었습니다.

목 차

요약 ····· i

제1장 연구의 개요 ····· 1

제1절 연구의 배경 ····· 3

제2장 국내외 사례조사 ····· 13

제1절 LID 요소별 특징 및 사례 ····· 15

제2절 국내 LID 도시 적용 사례 ····· 50

제3절 국외 LID 도시 적용 사례 ····· 67

제3장 고양시 LID 기술 적용방안 ····· 77

제1절 저류형 LID 기술 ····· 79

제2절 침투형 LID 기술 ····· 86

제3절 복합형 LID 기술 ····· 91

제4장 고양형 LID 적용 사업화 ····· 95

제1절 도심 내 소생태계 구축을 위한 LID 기술 적용 ····· 97

제2절 기후변화 취약계층 지역 LID 기술 적용 ····· 99

제5장 결론 ····· 101

제1절 결론 ····· 103

참고문헌 ····· 107

Abstract 109

표 목차

[표 1-1] 경기도 내 지자체 재난지원금 지급 현황 (2017년) ····· 4
[표 1-2] 고양시 행정동 별 침수 재난지원금 지급 현황 (2010년 ~ 2019년 합계) ····· 6
[표 1-3] 고양시 침수 재난지원금 상급 10개동 불투수면적 비율 (2018년 기준) ····· 6
[표 1-4] 고양시 토지계 오염물질(비점오염물질) 발생량 추정 (BOD 기반) 결과 ····· 8
[표 1-5] 고양시 강우 시 비점오염물질 발생량 (BOD 기반) 분석 ····· 8
[표 1-6] 기본 연구 과제 주요 내용 정리 ····· 12
[표 2-1] 식생체류지 적용 후 장/단점 ····· 16
[표 2-2] 식생체류지 기술효율 ····· 16
[표 2-3] 옥상녹화 적용 후 장/단점 ····· 20
[표 2-4] 옥상녹화 기술효율 ····· 20
[표 2-5] 나무여과상자 적용 후 장/단점 ····· 25
[표 2-6] 나무여과상자 기술효율 ····· 25
[표 2-7] 식물재배화분 적용 후 장/단점 ····· 27
[표 2-8] 식물재배화분 기술효율 ····· 27
[표 2-9] 식생수로 적용 후 장/단점 ····· 31
[표 2-10] 식생수로 기술효율 ····· 31
[표 2-11] 식생여과대 적용 후 장/단점 ····· 35
[표 2-12] 식생여과대 기술효율 ····· 35
[표 2-13] 침투도랑 적용 후 장/단점 ····· 37
[표 2-14] 침투도랑 기술효율 ····· 37
[표 2-15] 침투통 적용 후 장/단점 ····· 41
[표 2-16] 침투통 기술효율 ····· 41
[표 2-17] 투수성포장 적용후 장/단점 ····· 43
[표 2-18] 투수성포장 기술효율 ····· 43
[표 2-19] 모래여과장치 적용후 장/단점 ····· 47

[표 2-20] 모래여과장치 기술효율 ····· 47
[표 2-21] 빗물통 적용 후 장/단점 ····· 49
[표 2-22] 그린빗물인프라 조성사업 지자체 및 개요 ····· 50
[표 2-23] 주요 도입 시설 ····· 51
[표 2-24] 주요 도입 시설 ····· 52
[표 2-25] 빗물유출제로화 1, 2단계 시범사업 특성 ····· 54
[표 2-26] 배수구역 유출 및 오염물질 저감효과(2015~2018년 모니터링) ····· 57
[표 2-27] 지하수 함양 효과 ····· 58
[표 2-28] LID 기술요소별 유출 및 오염물질 저감효과 ····· 58
[표 2-29] LID 기술요소별 유출 및 오염물질 저감효과(2016~2018) ····· 61
[표 2-30] 배수구역 유출 및 오염물질 저감효과(2016~2018) ····· 62
[표 2-31] 지하수 함양 효과 ····· 62
[표 3-1] 고양시 식생 저류지 현황 ····· 79
[표 3-2] 고양시 옥상녹화 현황 (2020년 12월 말 기준) ····· 92
[표 4-1] 도시 소생태계 조성사업 개요 ····· 97
[표 4-2] 기후변화 취약계층 지원사업 개요 ····· 99

그림 목차

[그림 1-1] 도시화에 의한 물순환 시스템 왜곡 문제 ····· 3
[그림 1-2] 고양시 재난지원금 지급 현황 (2010년 ~ 2019년) ····· 4
[그림 1-3] 고양시 열대야 및 폭염 일수 현황 ····· 9
[그림 1-4] 도심 물순환 왜곡 문제 해결 방안 ····· 10
[그림 1-5] LID(저영향 개발) 및 GI(그린 인프라) 개념 ····· 11
[그림 1-6] 서울특별시 녹색 인프라 조성 관련 계획 ····· 11
[그림 2-1] 식생체류지의 모식도 및 기능 ····· 15
[그림 2-2] 식생체류지 도입 모습 ····· 16
[그림 2-3] Como 7 유역의 빗물저류지의 평소 수위(위), 강우 후 수위(아래) ····· 18
[그림 2-4] 옥상녹화의 모식도 및 기능 ····· 19
[그림 2-5] 옥상녹화 종류 ····· 20
[그림 2-6] 올림픽 선수촌 내 LID 적용 모습 ····· 21
[그림 2-7] 유콘거리 내 LID 적용 모습 ····· 22
[그림 2-8] 함부르크 내 LID 적용 모습 ····· 23
[그림 2-9] 나무여과상자의 모식도 및 기능 ····· 24
[그림 2-10] 나무여과상자 도입 모습 ····· 25
[그림 2-11] 식물재배화분의 모식도 및 기능 ····· 26
[그림 2-12] 식물재배화분 도입 모습 ····· 27
[그림 2-13] 식물재배화분 모습 ····· 28
[그림 2-14] 식물재배화분 모습 ····· 29
[그림 2-15] 식생수로의 모식도 및 기능 ····· 30
[그림 2-16] 식생수로의 종류 ····· 31
[그림 2-17] 에드워드가든 주차장 모습 ····· 32
[그림 2-18] 식생도랑(왼) 및 지하 빗물저류시설(오) ····· 33
[그림 2-19] 식생도랑의 모습 ····· 33

[그림 2-20] 식생여과대의 모식도 및 기능 ····· 34
[그림 2-21] 식생여과대 종류 ····· 35
[그림 2-22] 침투도랑의 모식도 및 기능 ····· 36
[그림 2-23] 침투도랑 종류 ····· 37
[그림 2-24] 네덜란드 즈볼러 쉴러호크의 침투도랑 모습 ····· 38
[그림 2-25] 전대리 일대 침투도랑 모습 ····· 39
[그림 2-26] 침투통의 모식도 및 기능 ····· 40
[그림 2-27] 침투통 종류 ····· 41
[그림 2-28] 투수성 포장의 모식도 및 기능 ····· 42
[그림 2-29] 투수성 포장 종류 ····· 43
[그림 2-30] 투수성 포장 적용 전후 ····· 44
[그림 2-31] 투수성 포장 적용 전후 ····· 45
[그림 2-32] 모래여과장치의 모식도 및 기능 ····· 46
[그림 2-33] 모래여과장치 종류 ····· 47
[그림 2-34] 빗물통의 모식도 및 기능 ····· 48
[그림 2-35] 빗물통 모식도 및 기능 ····· 49
[그림 2-36] 수원시 장안구청 LID 도입 모습 ····· 51
[그림 2-37] 아산시청 LID 도입 모습 ····· 52
[그림 2-38] LID 기술요소 배치도 (1단계 시범사업) ····· 55
[그림 2-39] LID 기술요소 도입모습 ····· 56
[그림 2-40] LID 기술요소 배치도 (2단계 시범사업) ····· 59
[그림 2-41] LID 기술요소 도입모습 ····· 60
[그림 2-42] 대전광역시 물순환 선도도시 계획 ····· 64
[그림 2-43] 상무지구 저영향개발기법 조성 전후 ····· 66
[그림 2-44] 리빙 스트리트 LID 적용 모습 ····· 67
[그림 2-45] 37번가 그린웨이 LID 적용 모습 ····· 68

[그림 2-46] 쇼어뷰 시 LID 적용 모습 ····· 68
[그림 2-47] 메이플우드 몰 LID 적용 모습 ····· 69
[그림 2-48] 타겟센터 LID 적용 모습 ····· 70
[그림 2-49] 경전철 LID 적용 모습 ····· 70
[그림 2-50] 시카고 그린 테크놀로지 센터 LID 적용 모습 ····· 71
[그림 2-51] 미시건주 포드 루지 트럭 공장 LID 적용 모습 ····· 72
[그림 2-52] 루우지 지역 내 LID 적용 모습 ····· 73
[그림 2-53] 에코하우스 LID 적용 모습 ····· 74
[그림 2-54] 세세케 주거단지 내 LID 적용 모습 ····· 76
[그림 2-55] Rummelsburg Bucht 주거단지 내 LID 적용 모습 ····· 76
[그림 3-1] 덕이지구 내 식생 저류지 ····· 80
[그림 3-2] 토지이용계획 수립 시 식생저류지 적용 (예시) ····· 82
[그림 3-3] 주엽초등학교 빗물 이용 개통도 ····· 83
[그림 3-4] 주엽초등학교 빗물저류조 구성 ····· 83
[그림 3-5] 투수블록 개요 ····· 84
[그림 3-6] 투수블럭 적용(안) - 능곡동 현장 ····· 85
[그림 3-7] 침투측구 개요 ····· 86
[그림 3-8] 침투측구 적용(안) - 능곡역 주변 ····· 87
[그림 3-9] 침투형 빗물받이 개요 ····· 88
[그림 3-10] 침투형 빗물받이 적용(안) - 능곡동 현장 ····· 88
[그림 3-11] 나무여과상자 적용(안) - 능곡동 현장 ····· 90
[그림 3-12] 일산수질복원센터 상부 공원화 조성사업 ····· 92
[그림 3-13] 고양지역자활센터 옥상정원 리모델링 ····· 93
[그림 3-14] 옥상녹화 적용 전/후 (예시) ····· 94
[그림 4-1] 일산서구청 옥상녹화 계획도 ····· 98
[그림 4-2] 주요 계획 ····· 100

요 약

1. 연구의 개요

□ 연구의 배경

○ 서울·경기도는 우리나라 총면적의 10.7%를 차지하고 있지만, 인구 집중화로 인해 총인구는 44.1%를 차지함

○ 인구 집중화로 인한 주변 위성 도시 개발이 가속화되어, 불투수면적이 급격하게 증가

○ 불투수면적의 증가로 도시 홍수, 지반 균열·침하·함몰, 지표수·지하수 고갈, 수계 수질악화 등 문제 야기

○ 따라서 도시화로 인한 토지 이용에 대한 근본적인 개선이 필요

□ 연구의 목적

○ 그린인프라 조성을 통해 도심 지역에 자연적 기능을 회복할 수 있는 환경조성을 도출하고자 함

- 도심 내 불투수면적 증가로 인한 기후위기 대응, 생활 환경 및 생태계 보전을 위한 LID(Low Impact Development, 저영향 개발) 및 GI(Green Infrastructure, 그린 인프라)와 같은 NBS (Nature Based Solution, 자연기반 해법) 도출

- 도심 지역에 자연적 기능 회복방안 도입 모색

○ 고양시 지역 특성에 맞는 고양형 LID 사업 모색

- 도심 내 불투수면적을 소생태계로 구축하여 자연 생태계 보전 및

열섬현상을 저감하고, 기후변화에 취약한 계층 지역의 불투수면적을 LID 기술을 적용하여 개선함으로써 전 생애주기별 취약계층이 기후위기로부터 보호받도록 하고자 함

2. 국내·외 사례조사

□ LID 요소별 특징 및 사례

○ LID 요소별 내용은 다음과 같음

구분	개요 및 특징	사례
식생체류지	토양에 의한 여과, 생화학적 반응, 침투 및 저류 등의 방법으로 강우 유출수를 조절하는 식생으로 덮인 소규모의 저류시설	미국 세인트폴시, Como 호수 등
옥상녹화	강우 유출수를 옥상에서 차집하여, 여과, 증발, 저류함으로써 도시화된 지역의 유출을 저감하며, 이끼, 잔디, 작은 관목 등과 같은 식생으로 구성	독일 함부르크, Green Hamburg 등
나무여과상자	가로수 하부에 여과부가 포함된 구조물(콘크리트 박스)을 매립하여 강우시 유출되는 우수를 유입시킨 후 여과, 침투 기작을 거쳐 기존 우수관로로 유출되도록 설치	-
식물재배화분	기존 수목이 식재된 화분 등의 공간을 활용하여 우수를 저류, 체류 할 수 있는 시설물	미국, 미시건 애비뉴 등
식생수로	식생체류지과 유사한 기능을 갖는 배수 구조물로서 강우유출수의 여과 및 침투, 배수 기능	캐나다 토론토, 에드워드 가든 등
식생여과대	자갈 및 식생활착이 유리한 토양으로 구성되며 강우유출수를 감소시키고 사면안정과 함께 여과기능을 수행하여 수질개선 및 도심내 녹지공간으로의 기능	-
침투도랑	돌로 채워진 형태의 도랑으로 강우시 유출수를 담아두고 토양으로 침투시키는 기술	네덜란드 즈볼러, 쉴러호크 등
침투통	자갈 또는 돌 등으로 채워져 있고 건축물의 홈통과 연결되어 있거나 불투수면의 유출수가 유입될 수 있도록 설치되어 토양으로 침투시키는 기술	-
투수성 포장	강우유출수와 오염물질 저감을 위해 다공성 아스팔트·콘크리트·투수블록 등과 쇄석의 공극을 통과하여 강우유출수를 토양에 침투시키고 오염물질을 저감하는 기술	미국 시카고, The Green Alley Program 등
모래여과장치	불투수면의 강우유출수를 모래여과를 통해 유출수 내 협잡물 및 부유물질을 제거하여 수질을 개선시키는 기술	-
빗물통	지붕 유출수를 이용하기 위해 설치되는 저류시설로 소규모의 강우에 대해서 유출량 저감과 대체용수 확보	-

□ 국내 LID 도시 적용 사례

○ 그린 빗물 인프라 조성 사업

– 환경부는 도시지역의 LID 확대를 위한 기반구축사업으로 그린빗물 인프라 조성사업 추진

– 비점오염물질 유출률이 높은 도시지역 빗물유출수 관리에 LID의 적용성을 검증하고 LID 홍보를 위하여 관공서를 중심으로 중규모 사업(1~4ha)을 추진 (수원시 장안구청, 아산시청 등)

· 주요 도입 시설은 투수블럭, 옥상녹화, 식생체류지 등임

○ 빗물 유출 제로화 시범사업

– 환경부는 중규모 빗물유출제로화사업과 함께 대규모 도시지역 배수분구(38~40ha)를 중신으로 LID 적용 가능성을 검토하기 위하여 2013년부터 청주시 오창 과학산업단지와 전주시 서곡지구를 대상으로 시범사업 추진

· 주요 도입 시설은 식물재배화분, 식생체류지 등임

○ 물순환 선도도시

– 국내 대도시의 도심지역이 높은 불투수면적률로 인해 홍수와 수질 악화, 물순환 왜곡문제가 발생

– 환경부는 이에 대응해 저영향개발기법이 도입된 모델 구축을 위해 대상 지자체를 선정하였으며(대전광역시, 광주광역시, 울산광역시, 김해시, 안동시), 해당 사업을 통해 비점오염물질 저감 및 그린 인프라 설치 추진

· 주요 도입 시설은 투수성 포장, 침투측구, 식생체류지, 식물재배화분 등임

□ 국외 사례

○ 국외 LID 도시 적용사례

국가	적용지역	적용기술
미국	미네소타 주 트윈시티 일대	빗물정원, 식생저류지, 투수성 포장, 옥상녹화, 식생수로
	시카고	옥상녹화, 빗물수집통, 식생수로, 빗물저류지
	미시건	식생수로, 저류지, 옥상녹화, 빗물수집통, 빗물정원
독일	프랑크푸르트 에코하우스	유리아케이드, 옥상녹화, 식물여과조, 빗물저류용 수조
	카멘시 세세케 주거단지	식생수로, 저류연못, 투수도랑
	Rummelsburg Bucht 생태주거단지	빗물침투지

3. 고양시 LID 기술 적용방안

□ 저류형 LID 기술

○ 식생저류지

– 주거단지, 산업단지, 각종 공원, 도로, 주차장 등 다방면 입지 적용 가능

기존 녹지공간 활용하지 않을 경우 비교적 넓은 부지면적이 소요되므로 토지이용계획 수립 시 설치 부지의 사전 확보 요구됨 (신도시 계획 수립 등)

· (예시) 덕이지구 내 식생저류지

○ 지중 빗물저류조

– 지하 매설방식으로 인해 상부를 다양한 용도(도로, 주차장, 공원, 체육시설 등)로 활용 가능하해 저류시설과 친수시설을 겸비한 가치있는 공간 창출 가능

· (예시) 주엽초등학교 빗물저류조

○ 저류형 투수블럭

– 교체 보수가 필요한 노후화된 보도 구간에 저루형 투수블럭을 통해 물순환을 개선 및 주거환경 개선 도모 가능함

– 주로 보도구역, 주차구간, 물순환 기능이 부족한 불투수층 보도블럭에서 우수관거로 직결되는 공간에 적용 가능

□ 침투형 LID 기술

○ 침투측구

– 주택, 주차장, 운동장, 도로 등 가장자리에 설치해 제약적인 공간에 적용 용이

○ 침투형 빗물받이

– 도시 내 주요 침수지역 등 빗물받이가 부족한 구간에 우선 적용하여 통수능을 극대화 (고양시 상습 침수지역, 풍동 민마루지역 등)

○ 나무여과상자

– 기존 가로수나 신규 식재되는 가로수 부지를 활용해 추가적인 부지 소요가 적어 도심이나 도로에 적용 용이

– 도로, 인도, 주차장 등에서 발생된 유출수의 유입이 용이하도록 불투수면에 인접하여 설치

□ 복합형 LID 기술

○ 옥상녹화

– 옥상녹화 적용 시 구조검토를 통해 해당 건축물의 구조에 따라 적용 가능 유형을 변경하거나 추가적인 구조 강화 작업 여부를 확인해야 할 필요

– 고양시 내 공공건물(행정복지센터, 도서관, 문화센터 등)의 경우 협의 및 조율이 상대적으로 용이하므로 지자체 지원사업을 통해 공공건물에 우선적으로 옥상녹화를 조성하는 것이 유리

4. 고양형 LID 적용 사업화

□ 도심 내 소생태계 구축을 위한 LID 기술 적용

○ 도시 소생태계 조성사업

– 환경부 도시 소생태계 조성사업을 통해 일산서구청의 옥상녹화를 추

진하고 있으며, 이를 통해 도시 내 생태계 연결다리를 놓아주는 역할을 하고자 함

– 해당 사업에서 활용된 옥상녹화 기술은 저영향개발(LID) 기술의 하나로, 우수유출수를 저류 및 지연시킨 후 하수처리시설로 배출시키는 기술로 빗물 유출 저감효과 뿐만 아니라 도시 열섬의 감소, 공기 정화 및 온실가스 배출 감소 등에도 용이함

□ 기후변화 취약계층 지역 LID 기술 적용

○ 기후변화 취약계층 지원사업

– 환경부 기후변화 취약계층 지원사업을 통해 덕양구 주교동 일대에 Climate Response Green Zone을 구성하여 전 생애주기별 취약계층이 기후변화에 적응하여 생활할 수 있도록 다양한 저영향개발(LID) 기술을 적용한 공간을 구성하고자 함

– 주로 불투수면적을 녹화하여 빗물이 용이하게 침투할 수 있도록 하였으며, 빗물이용시설을 설치하여 저장된 빗물을 다양한 용도로 활용할 수 있도록 할 예정임

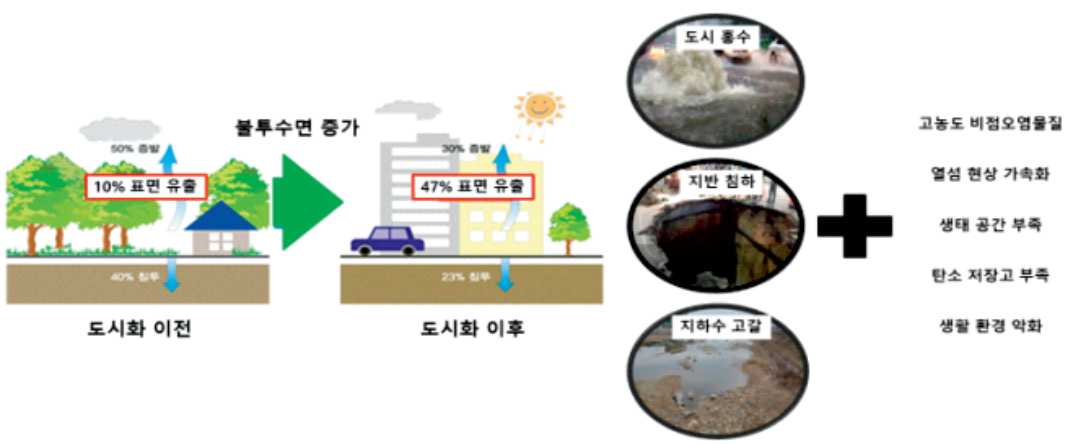
제 1 장
연구의 개요

제1절 연구의 배경

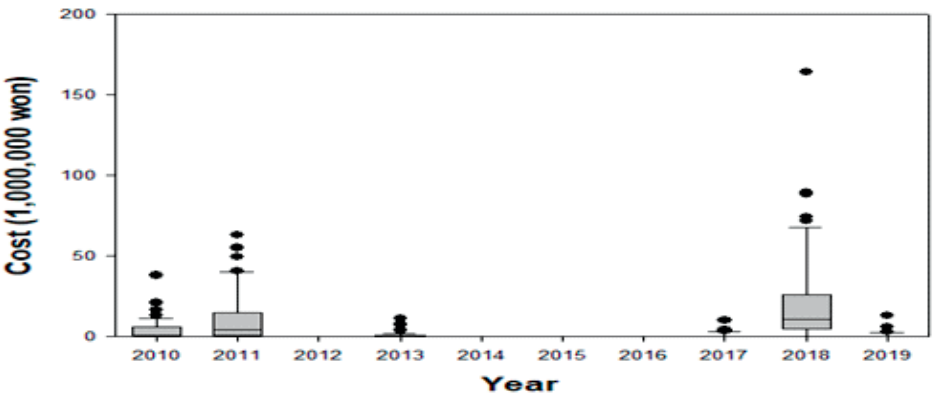
제1절 연구의 배경

1. 연구 배경

우리나라 인구 분포의 대표적인 특징은 서울 및 경기도 지역의 인구 집중화이다. 서울과 경기도의 면적은 우리나라 총 면적의 10.7%이지만, 총 인구의 44.1%가 거주하고 있다. 특히, 서울시 인구 포화 문제로 인해 고양시, 수원시, 용인시 및 성남시와 같은 위성 도시의 인구도 급격하게 증가하고 있는 추세이다. 이에 따라 위성 도시 개발(도시화)이 가속화되었으며, 기존의 투수면적이 불투수면적으로 토지 이용 상태가 급격히 변화하였다. 이처럼 불투수면적 증가는 토양의 표면유출율 증가시키며, 최종적으로 우수유출량 증가를 가져왔다. 이 경우 유달 시간 감소(도시 홍수)로 인한 치수적 문제, 지반 균열·침하·함몰과 같은 안전성 문제, 지표수·지하수 고갈과 같은 자원적 문제 및 수계 수질악화와 같은 환경적 문제 등을 야기한다. 이와 같은 도시화로 인한 문제는 아래의 [그림 1-1]을 통해 도식화하였다.



[그림 1-1] 도시화에 의한 물순환 시스템 왜곡 문제



[그림 1-2] 고양시 재난지원금 지급 현황 (2010년 ~ 2019년)

앞서 기술한 물순환 시스템 왜곡 문제로 인해 고양시에서 발생하는 다양한 도시 환경 문제 현황을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 도심 침수 문제로 이는 고양시의 도심 침수 피해 현황 [그림 1-2]를 통해 파악할 수 있다. [그림 1-2]에서는 2010년 ~ 2019년 강우로 인한 도심 침수로 인해 고양시에서 피해 가구에 지급한 재난지원금 지급 현황을 정리하였으며, 2018년 최대 11억원 (연간 합계 금액)의 재난지원금이 지급되었다. 이는 경기도권 내 타 지자체와 비교하여 상대적으로 높은 수준이며, 상대적으로 건물(주택)에 대한 비율이 높은 것으로 조사되었다. 이와 같은 결과는 고양시 내 도심 침수에 대한 대응방안 수립이 시급한 것을 뒷받침하는 근거로 볼 수 있다.

[표 1-1] 경기도 내 지자체 재난지원금 지급 현황 (2017년) (단위: 천원, %)

순위	지역	총 피해액	건물	농경지	공공시설	기타	비율
1	안성시	843,208	2,400	9,449	831,359	-	29.30%
2	양주시	506,110	15,000	240	490,870	-	17.60%
3	여주시	347,359	15,600	11,925	317,055	2,779	12.10%
4	시흥시	294,600	294,600	-	-	-	10.20%
5	군포시	172,500	-	-	172,500	-	6.00%
6	남양주시	141,615	15,000	-	126,615	-	4.90%
7	이천시	73,941	1,200	2,287	-	70,454	2.60%
8	포천시	61,717	3,000	14,470	44,247	-	2.10%
9	고양시	61,651	61,200	451	-	-	2.10%

10	수원시	53,400	53,400	-	-	-	1.90%
11	평택시	52,385	26,400	905	-	25,080	1.80%
12	광명시	51,379	48,600	-	-	2,779	1.80%
13	안산시	49,800	49,800	-	-	-	1.70%
14	화성시	39,400	3,600	-	35,800	-	1.40%
15	용인시	27,000	27,000	-	-	-	0.90%
16	의왕시	24,600	24,600	-	-	-	0.90%
17	광주시	18,823	10,200	8,623	-	-	0.70%
18	성남시	16,200	16,200	-	-	-	0.60%
19	부천시	15,000	15,000	-	-	-	0.50%
20	의정부시	12,000	12,000	-	-	-	0.40%
21	하남시	8,400	8,400	-	-	-	0.30%
22	양평군	4,014	-	-	4,014	-	0.10%
23	김포시	3,000	3,000	-	-	-	0.10%
24	동두천시	2,400	2,400	-	-	-	0.10%
25	안양, 과천, 오산, 구리, 파주, 연천, 가평				피해액 없음		0.00%
합계		2,880,502	708,600	48,350		101,092	100%

[표 1-2]는 2010년부터 2019년까지 고양시 행정동 별 도심 침수피해 재난지원금 현황을 정리하였다. 고양시의 경우 재난지원금 지급 상위 10개 동이 고양시 전체 재난지원금의 약 55.5%를 차지한다. 이는 특정 지역에서 대부분의 도심 침수피해가 발생하는 것으로 해석할 수 있다. [표 1-3]은 2018 고양시 통계연보 내 토지이용현황 자료를 바탕으로 고양시 도심 침수 피해 재난지원금이 높은 상위 10개 지역의 불투수면적 비율을 분석한 결과를 나타낸다. 분석 결과 상위 10개동 지역 중 6개 지역은 고양시 평균 불투수면적 비율을 상회하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 불투수면적 비율이 높은 지역에서 상대적으로 도심 침수피해가 높다는 것을 시사한다.

[표 1-2] 고양시 행정동 별 침수 재난지원금 지급 현황 (2010년 ~ 2019년 합계)

#	지역명	합계	비중	#	지역명	합계	비중	#	지역명	합계	비중
1	토당동	264,500	11.19%	19	강매동	39,500	1.67%	37	신평동	17,500	0.74%
2	주교동	164,500	6.96%	20	원당동	38,000	1.61%	38	마두동	15,000	0.63%
3	오금동	147,500	6.24%	21	대자동	37,000	1.57%	39	식사동	14,000	0.59%
4	화정동	144,500	6.11%	22	현천동	34,000	1.44%	40	법곳동	13,500	0.57%
5	대화동	134,500	5.69%	23	구산동	34,000	1.44%	41	내곡동	12,500	0.53%
6	관산동	114,500	4.84%	24	정발산동	32,000	1.35%	42	성석동	8,000	0.34%
7	성사동	94,000	3.98%	25	대장동	29,500	1.25%	43	중산동	6,500	0.28%
8	신원동	85,500	3.62%	26	장항동	29,500	1.25%	44	효자동	6,000	0.25%
9	행신동	84,500	3.58%	27	가좌동	29,500	1.25%	45	산황동	3,000	0.13%
10	선유동	77,500	3.28%	28	동산동	29,000	1.23%	46	주엽동	2,000	0.08%
11	내유동	72,500	3.07%	29	지축동	28,000	1.18%	47	행주내동	1,500	0.06%
12	백석동	68,500	2.90%	30	일산동	26,500	1.12%	48	문봉동	1,000	0.04%
13	덕은동	65,000	2.75%	31	용두동	22,500	0.95%	49	설문동	1,000	0.04%
14	화전동	60,000	2.54%	32	원흥동	20,000	0.85%	50	향동동	1,000	0.04%
15	풍동	51,000	2.16%	33	덕이동	19,000	0.80%	51	탄현동	-	0.00%
16	도내동	47,500	2.01%	34	고양동	18,500	0.78%	52	북한동	-	0.00%
17	행주외동	42,500	1.80%	35	벽제동	18,000	0.76%	53	지영동	-	0.00%
18	사리현동	40,500	1.71%	36	삼송동	17,500	0.74%	* 재난지원금 단위는 천원			

출저: 임지열 · 소가람(2019)

[표 1-3] 고양시 침수 재난지원금 상급 10개동 불투수면적 비율 (2018년 기준)

지역	총 면적 (m^2)	투수면적 (m^2)	불투수면적 (m^2)	불투수면적 비율 (%)
행신동	3,730,420	944,495	2,785,925	74.7
화정동	4,246,555	2,015,411	2,231,144	52.5
대화동	8,957,789	4,611,881	4,345,908	48.5
신원동	4,370,589	2,503,860	1,866,729	42.7
토당동	4,352,819	2,834,281	1,518,538	34.9
성사동	6,250,880	4,499,723	1,751,157	28.0
주교동	5,329,101	4,339,978	989,123	18.6
관산동	6,180,992	5,057,425	1,123,567	18.2
오금동	4,812,562	4,540,682	271,880	5.6
선유동	4,523,793	4,355,653	168,140	3.7
고양시	268,059,223	197,152,810	70,906,413	26.5

출저: 임지열 · 소가람(2020)

둘째, 고농도 비점오염물질 유출 문제이다. 본 연구진은 고양시에서 발생이 예측되는 비점오염물질량에 대한 문헌 검토 및 실측분석을 시행한 바 있다. [표 1-4]는 임지열·소가람(2019)의 연구에서 고양시 토지계 오염물질(비점오염물질) 발생량 추정 (BOD 기반) 결과를 요약한 것이다. 고양시에서는 총 1,352 kg BOD/day (1.352 ton BOD/day)의 비점오염물질(BOD 기반)이 발생하며, 그중 약 27%가 대지 및 도로에서 기인하는 것으로 분석되었다. 이를 통해 상대적으로 자연 및 미개발지역과 비교했을 때 고양시 내 개발지역 (불투수 지역)에서 비점오염물질 발생량이 높게 나타남을 확인하였다. 이러한 결과는 개발지역에 대한 비점오염물질에 대한 관리가 필요성을 시사한다.

[표 1-5]는 본 연구진이 수행한 고양시 주요 비점오염물질 발생 지역인 대지 및 도로 혼합 지역 (아파트 단지)에서 강우 모니터링 자료를 기반으로 그 발생량을 분석한 결과를 요약한 것이다. 3회 강우 시 연구 대상 유역 1과 2에서는 106.0 kg BOD / 3 event와 10.9 kg BOD / 3 event의 오염물질이 발생한 것으로 나타났다(임지열·소가람, 2020). 이를 2018년 고양시 하수 발생 원 단위를 적용할 경우, 3회 강우로 인해 연구 대상 유역에서 약 2,062명과 212명 (총 2,274명)에 의해 발생하는 하수와 유사한 오염부하가 수계로 유출된 것으로 나타난다. 이와 같은 결과는 대지 및 도로 지역의 비점오염물질 관리의 시급성을 시사한다. 단, 연구 대상지역에서 추가적인 비점오염발생량 조사 및 타 토지이용 지역에서 비점오염 발생량에 대한 조사가 실시된다면, 보다 정확한 비교 결과를 도출할 수 있을 것이다.

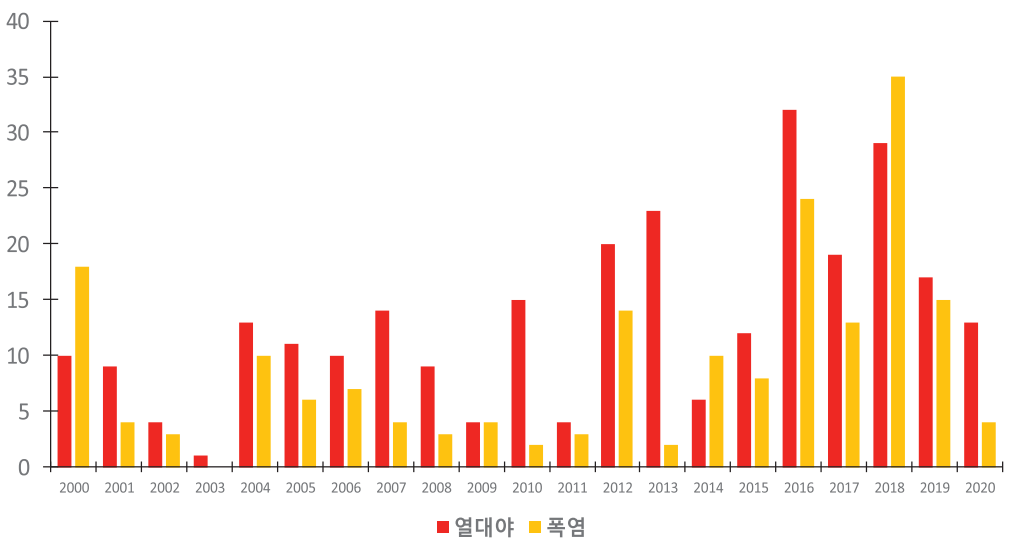
[표 1-4] 고양시 토지계 오염물질(비점오염물질) 발생량 추정 (BOD 기반) 결과

구분	전	답	과수원	목장	임야	광천지	염전	대지	공장용지	학교
면적 (Km^2)	27.894	31.860	0.676	1.601	84.955	–	–	33.072	3.024	2.320
원단위 ($kg/km^2 \cdot day$)	4.380	4.240	2.690	1.450	1.490	–	–	10.280	33.100	7.250
발생량 (kg/day)	122.176	135.086	1.818	2.321	126.583	–	–	339.980	100.094	16.820
구분	주차장	주유소	창고	도로	철도	하천	제방	구거	유지	양어
면적 (Km^2)	0.232	0.243	1.786	19.739	3.323	24.355	0.605	6.894	0.298	0.078
원단위 ($kg/km^2 \cdot day$)	12.420	12.420	33.100	12.420	12.420	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600
발생량 (kg/day)	2.881	3.018	59.117	245.158	41.272	38.968	0.968	11.030	0.477	0.125
구분	수도	공원	체육	유원지	종교	사적	묘지	잡종지	총합	
면적 (Km^2)	0.433	7.279	3.938	0.099	0.417	2.162	1.855	8.876		
원단위 ($kg/km^2 \cdot day$)	1.600	7.250	7.250	14.870	1.600	1.600	1.600	1.600	1,352 kg BOD/day (1.352 ton BOD/day)	
발생량 (kg/day)	0.693	52.773	28.551	1.472	0.667	3.459	2.968	14.202		

[표 1-5] 고양시 강우 시 비점오염물질 발생량 (BOD 기반) 분석

Parameter	오염부하량 [Pollutant load] (kg)				발생 인구 수 (명)			
	Event 1	Event 2	Event 3	Total (Average)	Event 1	Event 2	Event 3	Total (Average)
연구 대상 유역 1	6.8	12.1	87.1	106.0 (12.1)	132	235	1,695	2,062 (687)
연구 대상 유역 2	0.7	0.2	10.0	10.9 (0.7)	14	4	195	212 (70)

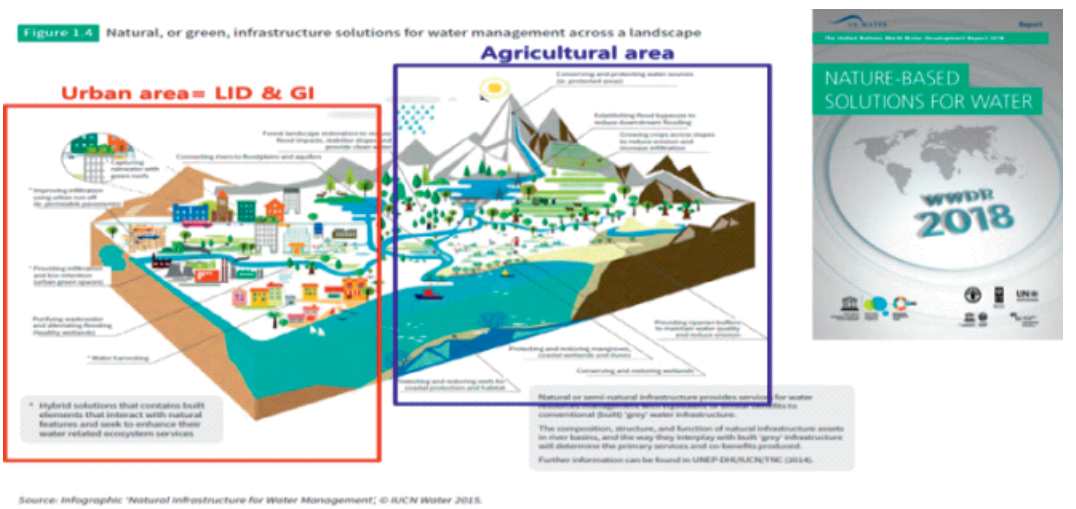
셋째, 도심 열섬 현상이다. [그림 1-3]은 2000년 이후 고양시에서 관측된 폭염과 열대야 일수를 나타내고 있다. 고양시 폭염 및 열대야 일수는 2000년대 대비 2016년 이후 발생 빈도가 증가하였으며, 특히, 2016년과 2018년에는 각각 30일 이상의 열대야 (밤 최저기온이 25℃ 이상인 날)이 및 폭염(최고기온이 33℃ 이상인 날)이 발생한 것으로 나타났다. 도시 개발로 인한 불투수면적 증가는 태양복사에너지 반사율 감소, 저장 및 흡수원 감소를 초래해 이와 같은 폭염 및 열대야 일수의 증가에 영향을 미친다. 그 외 생태 공간 부족, 탄소 저장고 부족으로 인한 온실가스 배출량 증가 및 시민 생활 환경 악화 등의 문제가 발생하고 있다.



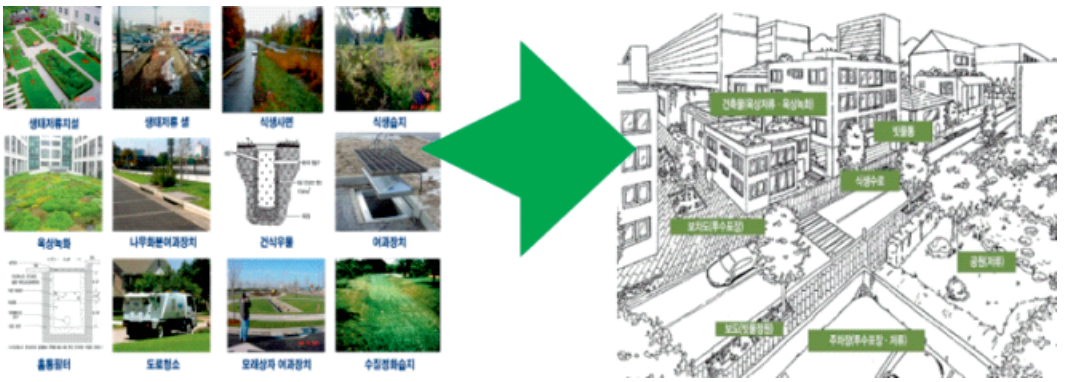
[그림 1-3] 고양시 열대야 및 폭염 일수 현황

앞서 기술한 불투수면적 증가로 인한 도심 문제는 기후 변화, 생활 환경 및 생태계 보전 등과 연관되어 전 세계적 문제로 주목받고 있다. 이에 LID (Low Impact Development, 저영향 개발) 및 GI (Green Infrastructure, 그린 인프라)와 같은 NBS (Nature Based Solution, 자연기반 해법)가 도심 문제를 해결하기 위한 최적 방안으로 제안되고 있다. [그림 1-4] 즉, 자연적 기능이 손상된 도심 지역에 자연적 기능을 회복할

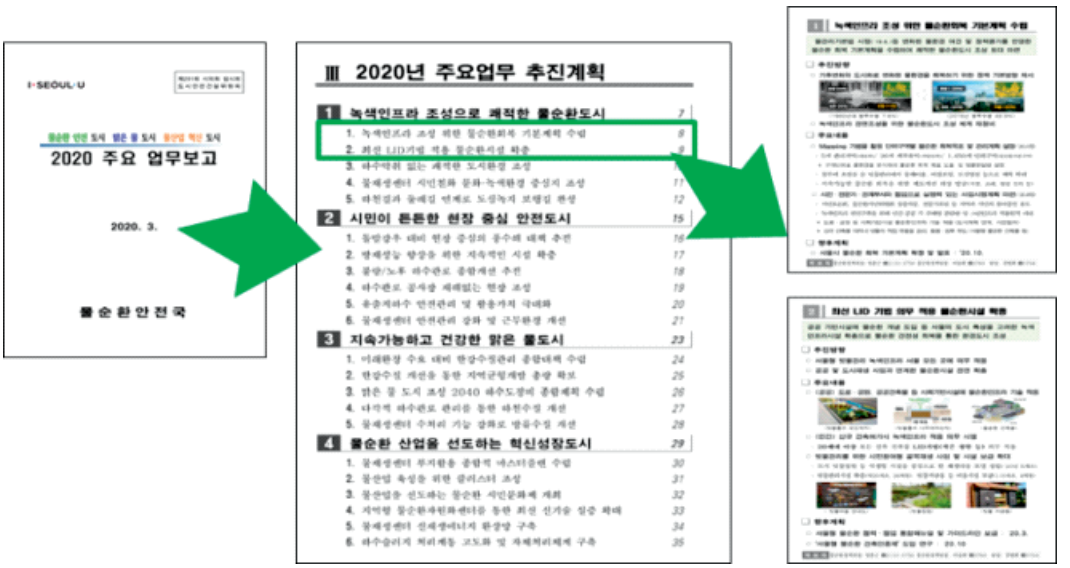
수 있는 방안을 도입하는 것으로 정리할 수 있다. [그림 1-5]는 LID 및 GI의 개념도를 정리하였다. 우리나라 환경부 및 중앙정부에서도 도시 문제 해결을 위한 NBS 도입의 시급성 및 필요성을 인식하여 적극적인 관련 정책을 추진하고 있다. 하지만, 중앙정부 위주의 정책 추진으로는 확산 및 보급에 한계가 제시되어, 현재는 지자체 주도형 정책 추진 형태로 전환되고 있는 실정이다. 이에 서울특별시, 인천광역시, 부산광역시 및 세종특별시와 같은 국내 주요 도시는 물론 안동시, 수원시 및 순천시 등에서도 관련 조례 제정 및 관련 사업 추진을 통해 적극적으로 대응하고 있는 실정이다. 참고로 [그림 1-6]은 서울특별시 2020년 주요 업무 추진계획을 보여주고 있으며, 그 중에 핵심 내용은 그린인프라 조성임을 확인할 수 있다.



[그림 1-4] 도심 물순환 왜곡 문제 해결 방안



[그림 1-5] LID(저영향 개발) 및 GI(그린 인프라) 개념



[그림 1-6] 서울특별시 녹색 인프라 조성 관련 계획

앞서 기술한 것과 같이 도심 내 LID 및 GI 보급은 도심 문제 해결을 위해 반드시 추진해야 하는 상황이며, 타 지자체에서는 이미 적극적인 추진 의지를 표명한 상황이다. 이에, 고양시에서도 창릉 3기 신도시 개발 시 LID 적용 및 옥상 녹화 추진 등의 계획을 수립하고 있지만, 일부 물순환 선도 지자체와 비교해서는 다소 미진한 수준이다. 특히, 기존

도시 자연적 물순환 왜곡으로 인한 문제가 부각되고 있는 구도심 지역에 대해서는 관련 부서에서도 명확한 방향성을 수립하지 못하고 있는 상황이다.

[표 1-6]은 2019년부터 수행한 본 연구자의 기본 연구의 내용을 정리하였다. 2019년 기본과제에서는 고양시 LID 관련 일반 현황, 문헌기반 발생량 추정, 적용 가능한 LID 시설 및 유지관리 방향성 등에 대해 제안하였다. 2020년에는 현재 운영 중인 LID 시설의 성능평가 및 개선 방안에 대한 연구를 수행하였다. 즉, 2019년과 2020년 문헌 기반 연구 및 최소한의 현장 조사 연구를 수행하였으며, 본 차년도에서는 2019년과 2020년 연구 결과를 기반으로 고양시 도입 방안에 대해 연구를 수행하고자 하였다. 하지만, 본 연구 이후에도 기초 현황 조사, 지역별 유출 특성 분석, 도입 시설 성능 평가 및 적용 방안 검토 등의 지속적 연구가 반드시 필요하다. 특히, 본 물순환과 관련된 연구는 수문학, 수리학, 환경공학 및 토질공학 등 다양한 분야가 융합되어져 있으며, 중앙정부의 중점 사업 중의 하나로 시 담당부서만 전담하기에는 어려움이 많을 것이다. 이에 우리 원에서도 본 연구 분야에 대해 지속적인 연구 및 지원이 필요하다.

[표 1-6] 기본 연구 과제 주요 내용 정리

기본 연구 과제	주요 연구 내용
2019년	• 고양시 LID 관련 현황 검토 • 문헌 분석 기반 고양시 비점오염물질 발생량 추정 • 고양시 LID 및 GI 우선 도입 지역 제안 • 고양시 적용 가능한 LID 시설 제안 • LID 시설 유지관리 방향성 제안
2020년	• 고양시 복합 토지 이용 (대지 및 도로) 비점오염 유출 특성 및 발생량 파악 • 고양시 LID 시설 효율 평가 (식생저류지 및 여과형 시설 각 1개소 씩) • 고양시 LID 시설 개선 방안 제안
2021년	• 2019년 제안한 고양시 물순환 시스템 우선 도입 지역 대상 도입 방안 제안 • 추가 지역 (구도심) 지역 (1~2개소)의 LID 도입 방안 제안

제 2 장
국내외 사례조사

제1절 LID 요소별 특징 및 사례

제2절 국내 LID 도시 적용 사례

제3절 국외 LID 도시 적용 사례

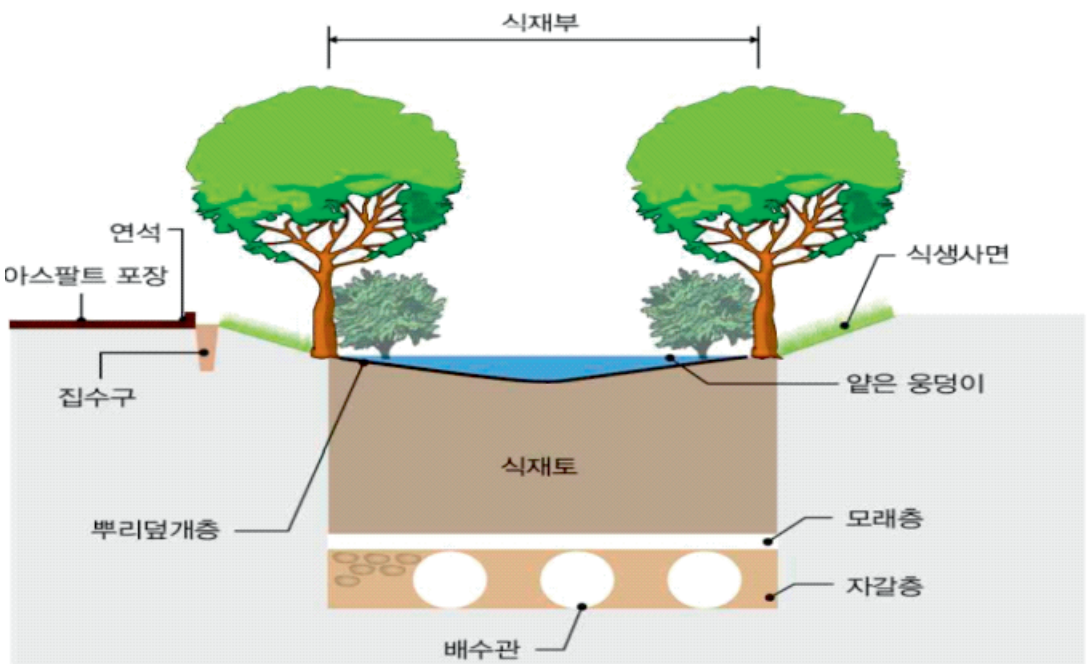
제1절 LID 요소별 특징 및 사례

1. 식생체류지(Bioretention)

1) 개요 및 특징

❍ 개요

토양에 의한 여과, 생화학적 반응, 침투 및 저류 등의 방법으로 강우 유출수를 조절하는 식생으로 덮인 소규모의 저류시설이다.



기술요소	저류기능	여과기능	침투기능	증발산	생태 서식처	지하수 함양	심미성	적용성	
								단지	도로
식생체류지	V	V	V	V	V	V	V	◉	◉

* ◉ : 매우좋음, ○ : 좋음, △ : 보통, - : 적용어려움

자료 : 환경부, 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼. 2014

[그림 2-1] 식생체류지의 모식도 및 기능

[표 2-1] 식생체류지 적용 후 장/단점

장점	단점
• 강우유출수 지하침투 유도 • 오염물질 유출량 저감 • 첨두유량 감소, 첨두시간 지연 • 도심 기온 저감효과	• 다량의 토사는 저감효과 미미 • 막힘에 취약 • 단독으로 큰 배수구역 관리 불가

자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

○ 기술효율

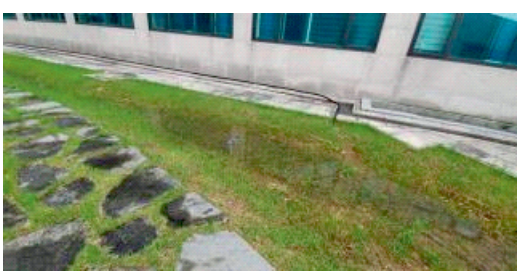
[표 2-2] 식생체류지 기술효율

BOD	T-N	T-P	유출저감량(Q)	TSS	기타
23[1)]~54[2)]%	22[1)]~49[2)]%	17[2)]~81[3)]%	40[1)]%	80[4)]%	Zn 99[3)]% Pb 99[3)]%

1) Virginia Tech, Bioretention Basin Practices, 2011
2) 환경부, 수질오염총량관리기술지침, 2012
3) HUD's Office of Policy Development and Research, The Practice of Low Impact Development, 2003
4) Dane county erosion control and stormwater management manual, 2007
자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

○ 식생체류지 도입 모습

대전 시애틀공원 식생체류지 모습



토지주택연구원 식생체류지 모습

자료 : 금강유역환경청, https://blog.naver.com/geumganglove/222063812597, 접속일 2021.09.29

[그림 2-2] 식생체류지 도입 모습

2) 도입 사례[1)]

○ 미국, 세인트폴시 Como호수

미네소타 주 세인트폴 시의 Como 호수는 연간 350만 명이 방문하는 Como 공원의 주요자원이다. 이 호수는 과거부터 빗물유출수의 처리 기능을 맡아 농업 비점오염원에 노출되었으며, 20세기 중반 이후 주거지역으로 개발되어 불투수면이 증가하면서 수질 저하가 계속되어 2010년 현재 303(d) 목록에 올라 있는 오염된 수체이다.

인근 지자체들은 Como 호수의 수질과 홍수 문제를 해결하기 위해 2003년 협의체를 구성하였다. 이 협의체는 높은 불투수면적률을 나타내면서도 빗물유출에 대한 사전처리시설이 없는 Como 7 소유역을 시범사업 대상지로 선정하여 유역관리당국(CRWD)을 수행주체로 APSIP(Arlington Pascal Stormwater Improvement Project)를 추진하였다. APSIP의 목표는 홍수 저감, 우수관거 개선사항 대응, 영양물질 유입 저감을 통한 수질개선 등이다. 당초에 제안된 해법 중에는 $250만(자금조달비용 제외)을 투자해 유역 내 우수관거를 추가로 설치해 미처리 유출수를 호수로 방류하는 방안도 포함되어 있었다. 그러나 CRWD는 대상 유역 내에 18개의 연계된 BMP(빗물정원, 침투도랑, 지하 빗물저장·침투시설, 빗물저류지)를 조성하여 홍수 발생 및 영양물질 유출 저감을 달성하기로 하였다.

약 $200만의 설치비용이 소요되는 BMP의 집수구역은 대상 유역의 64%(190 에이커)를 차지한다. CRWD는 2007년 BMP 시공을 마치고 성능 모니터링을 실시해왔으며, 모니터링 자료를 토대로 보정한 성능 평가 모델을 통해 2007년부터 2010년까지의 BMP의 성능을 모의하였다. 모의 결과, Como 7 유역에 조성된 BMP는 유입된 빗물 양의 약 20%를 저감시킨 것으로 분석되었다. 단위수량당 저감비용은 매해 강우량 및 운영비용의 차이로 일반화하기 어려우나 2007~2009년에는 $0.06/ft3, 특히 평년보다 강우량이 24% 많았던 2010년에는 $0.03/ft3로 계산되었다. 보다 많은 비용이 소요되면서도 수질 개선 효과가 없는 우수관거 설치에 비해 BMP 설치는 보다 적은 비용으로 Como 호수 유역의 수량과 수질 문제를 동시에 개선하는 바람직한 접근방향이라 결론을 내릴 수 있다.

---

1) 환경부, 한국환경공단, 전국 불투수면적률 조사 및 개선방안 연구. 2013

자료 : 환경부, 한국환경공단, 전국 불투수면적률 조사 및 개선방안 연구. 2013. 재인용

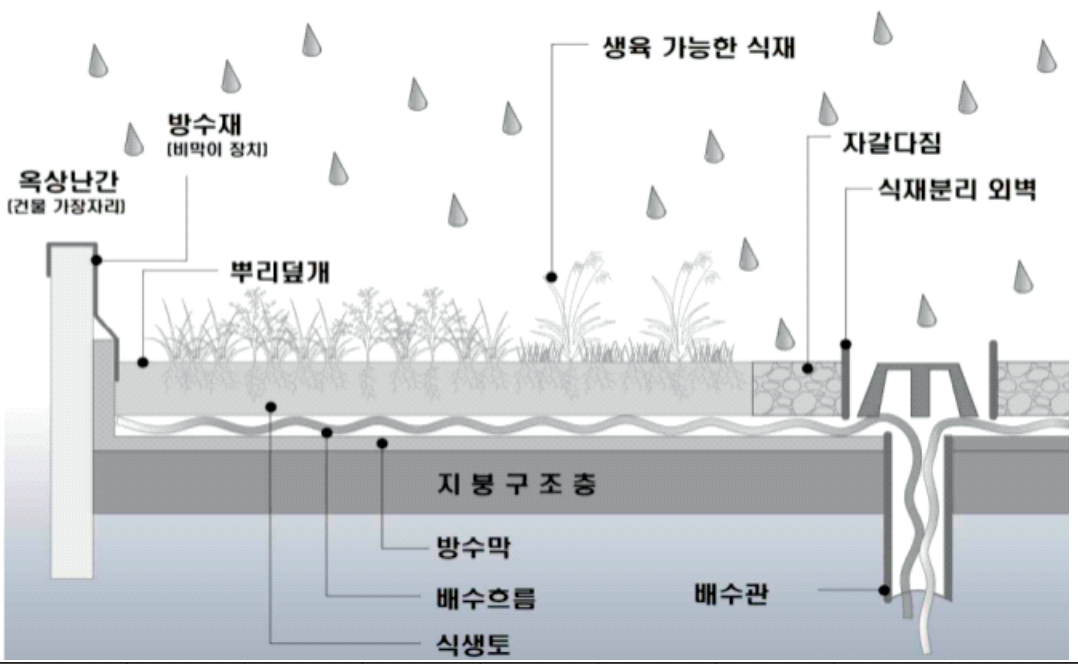
[그림 2-3] Como 7 유역의 빗물저류지의 평소 수위(위), 강우 후 수위(아래)

2. 옥상녹화(Greenroof)

1) 개요 및 특징

○ 개요

식생 지붕으로도 알려진 옥상녹화는 강우 유출수를 옥상에서 차집하여, 여과, 증발, 저류함으로써 도시화된 지역의 유출을 저감하는 기술요소이다. 옥상녹화는 이끼, 잔디, 작은 관목 등과 같은 식생으로 구성되며, 도심 내 열섬해소 효과, 휴게 공간 제공 등 부가적인 편익 창출이 가능하다.



기술요소	저류기능	여과기능	침투기능	증발산	생태 서식처	지하수 함양	심미성	적용성	
								단지	도로
옥상녹화	V	V	-	V	V	-	V	◉	-

* ◉ : 매우좋음. ○ : 좋음, △ : 보통, - : 적용어려움

자료 : 환경부, 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼. 2014

[그림 2-4] 옥상녹화의 모식도 및 기능

[표 2-3] 옥상녹화 적용 후 장/단점

장점	단점
• 강우유출수 여과/증발/저류 유도 • 유출량 저감 • 심미적 기능 및 도심 열섬해소효과	• 옥상 하중 안전성 검토필요 • 겨울철 식생관리 곤란 • 방수 및 용수시설 부대비용 증가

자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

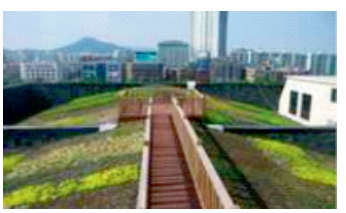
○ 기술효율

[표 2-4] 옥상녹화 기술효율

유출저감량(Q)	TSS	금속류
90[1]%	50 ~ 71.7[2]%	80[1]%

1) Charles River Watershed Association Low Impact Best Management(BMP) Information Sheet, 2008
2) 한국물환경학회, 옥상 녹화 시스템이 강우유출시간에 미치는 영향, 2009
자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

○ 옥상녹화 종류



저관리·경량형

관리·중량형

혼합형

자료 : 비점오염원 관리기술 연구단, 비점오염저감시설기술보고서-옥상녹화/벽면녹화, 2015

[그림 2-5] 옥상녹화 종류

2) 도입 사례[2)]

○ 캐나다 밴쿠버, Water Sensitive Future

밴쿠버는 전통적인 물 관리 방식인 중앙집중식 시스템에 의해 물을 공급하고 공중 건강을 보호하며 범람의 위기를 완화해왔으나 기후의 변화 건강한 생태계에 대한 지역사회의 기대 상승 등 물 관리 환경이 변화하였다. 도시가 지속적으로 성장하면서 기존의 상하수도 인프라에 더 많은 압력이 가해지고, 시설의 상당수가 노후화되고 사용수명이 끝나가는 실정이였다. 이에 도시 비전으로 '물에 민감한 미래'를 설정하여 도시 전역에서 빗물을 모으고 재활용하며 녹지공간을 형성, 인간과 자연이 공존할 수 있는 환경을 구축하고자 하였다. 또한 자연적인 물순환 회복을 위해 그린빗물인프라를 도입하였으며 올림픽 선수촌, 63번가 유콘거리 등에 LID를 도입하였다.

벤쿠버 올림픽 선수촌 전역에 옥상녹화, 투수성포장, 식생도랑 등을 도입하였고 선수촌 내 크릭사이드 커뮤니티 센터에는 옥상녹화를 통해 모아진 빗물을 화장실 및 관개용수로 활용하여 수돗물 소비를 30%로 절감하고 있다.

식생수로 모습 투수성 포장 모습

자료 : 김은영, 레인시티 효과성 분석, 2020, 수원시정연구원

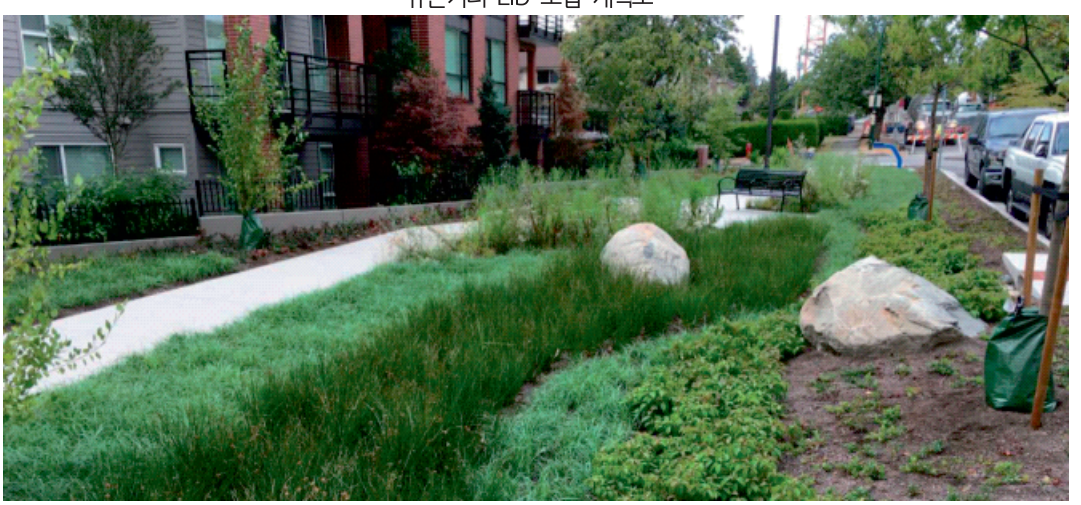
[그림 2-6] 올림픽 선수촌 내 LID 적용 모습

---

2) 김은영, 레인시티 효과성 분석, 2020, 수원시정연구원

벤쿠버 남쪽 마폴지역의 63번가 유콘거리에는 오래된 마을의 개울을 회복시키고 자연적인 물순환을 도입하기 위해 옥상녹화 및 식생수로를 도입하였다. 총 102㎡ 규모에 LID를 도입하였는데 이를 통해 평균 강우량의 약 90%를 포집하고 오염물질을 저감하고 있으며 도입된 벤치나 식수대 등은 지역주민들의 휴식공간으로 활용하고 있다.

유콘거리 LID 도입 계획도



식생수로 및 휴식공간으로 활용되는 모습

자료 : 김은영, 레인시티 효과성 분석, 2020, 수원시정연구원

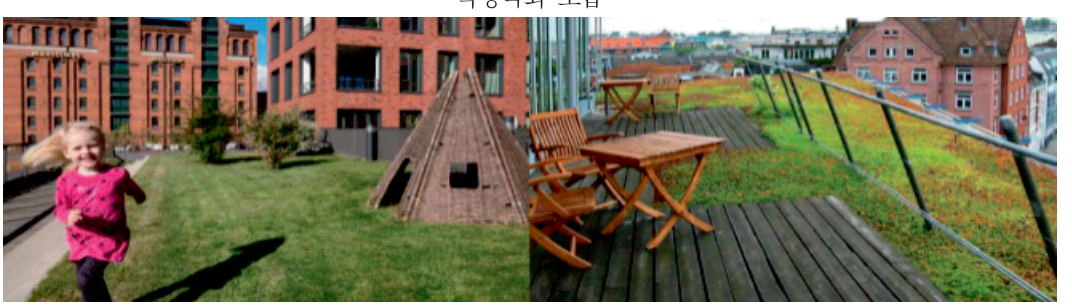
[그림 2-7] 유콘거리 내 LID 적용 모습

○ 독일 함부르크, Green Hamburg

독일에서는 기후 및 강우패턴의 변화로 홍수 위험이 증가하고 배수 시스템에 과부하가 발생하자 보다 과학적으로 빗물을 처리하고자 전문기관과 관련 연구를 추진하는 등 자연적인 물순환 달성을 위해 끊임없이 노력하고 있다.

함부르크에서는 공간이 부족한 곳에서도 물순환을 가능하게 하는 옥상녹화를 조성하고 있으며 도시 내 100만㎡의 옥상녹화 조성을 목표로 하고 있다. 2014년 시작한 프로젝트 당시 함부르크시 내에는 80㎡만 규모의 옥상녹화가 완료된 상태였으며 향후 10년간 지역 내에 100㎡ 옥상녹화를 추가하는 것을 목표로 하고 있다. 정부에서는 목표 달성을 위해 공공건물의 옥상녹화 건물 소유주에 대한 지원금 제공하며, 관련 세금 면제 등의 전략을 추진하고 있다.

옥상녹화 모습



옥상녹화를 통해 놀이공간, 휴식공간으로 활용가능

자료 : City of Hamburg. Hamburg's Green Roofs Economic Evaluation, 2017

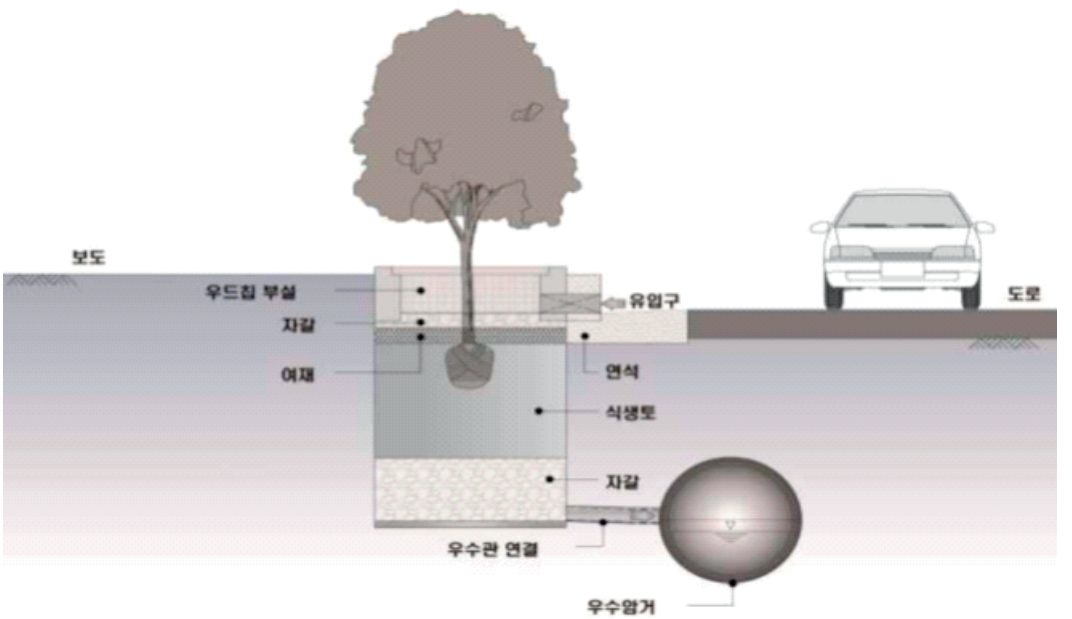
[그림 2-8] 함부르크 내 LID 적용 모습

3. 나무여과상자(Treebox filter)

1) 개요 및 특징

❍ 개요

기존 가로수나 신규 식재되는 가로수 부지를 활용하므로 추가적인 부지소요가 적어 도심이나 도로에 적용하기 용이한 기술요소이다. 가로수 하부에 여과부가 포함된 구조물(콘크리트 박스)을 매립하여 강우시 유출되는 우수를 유입시킨 후 여과, 침투기작을 거쳐 기존 우수관로로 유출되도록 설치한다.



기술요소	저류기능	여과기능	침투기능	증발산	생태 서식처	지하수 함양	심미성	적용성	
								단지	도로
나무여과상자	-	V	V	-	-	V	V	◉	-

* ◉ : 매우좋음. ○ : 좋음, △ : 보통, - : 적용어려움

자료 : 환경부, 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼. 2014

[그림 2-9] 나무여과상자의 모식도 및 기능

[표 2-5] 나무여과상자 적용 후 장/단점

장점	단점
• 강우유출수 지하침투 유도 • 오염물질, 유출량 저감 • 첨두유량 감소, 첨두시간 지연	• 계절의 영향으로 인한 겨울철 동파 및 제설제에 의한 식물고사 가능 • 토사 등 협잡물에 의한 막힘 발생

자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

○ 기술효율

[표 2-6] 나무여과상자 기술효율

BOD	T-N	T-P	TSS	중금속
54[1]%	49[1] ~ 68[2]%	74[2]%	85[2]%	82[2]%

1) 환경부, 수질오염총량관리기술지침, 2012

2) Fairfax County - LID BMP Fact Sheet -Reforestation/Afforestation(treeboxfilter) February28, 2005

자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

○ 나무여과상자 도입 모습

자료 : 금강유역환경청, https://blog.naver.com/geumganglove/222063812597, 접속일 2021.09.29

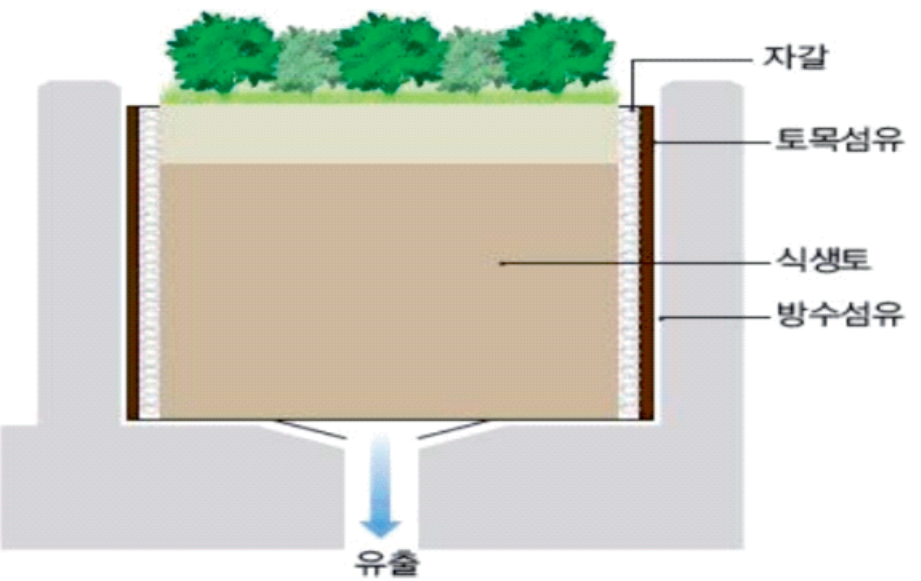
[그림 2-10] 나무여과상자 도입 모습

4. 식물재배화분(Planter box)

1) 개요 및 특징

❍ 개요

식물재배화분은 도심 녹지공간이나 기존 수목이 식재된 화분 등의 공간을 활용하여 우수를 저류, 체류 할 수 있는 시설물로 지피식물, 관목류 등의 식재를 통해 녹지기능과 우수관리기능을 확보한다. 기존 화단이 갖는 식재기능과 함께 우수 체류, 여과, 침투의 기능을 조합하여 설치할 수 있다.



기술요소	저류기능	여과기능	침투기능	증발산	생태 서식처	지하수 함양	심미성	적용성	
								단지	도로
식물재배화분	-	V	V	V	V	V	V	◉	○

* ◉ : 매우좋음, ○ : 좋음, △ : 보통, - : 적용어려움

자료 : 환경부, 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼. 2014

[그림 2-11] 식물재배화분의 모식도 및 기능

[표 2-7] 식물재배화분 적용 후 장/단점

장점	단점
• 강우유출수 지하침투 유도 • 오염물질, 유출량 저감 • 첨두유량 감소, 첨두시간 지연	• 계절의 영향으로 인한 동파에 취약

자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

○ 기술효율

[표 2-8] 식물재배화분 기술효율

BOD	T-N	T-P	유출저감량(Q)	TSS	COD	기타
54[1)]%	49[1)]%	65[1)]%	40[2)]%	97[3)]%	67[3)]%	98[3)]%

1) 환경부, 수질오염총량관리기술지침, 2012
2) Low Impact Development Center, 2009
3) Virginia Tech, Bioretention Basin Practices, 2011
자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

○ 식물재배화분 도입 모습

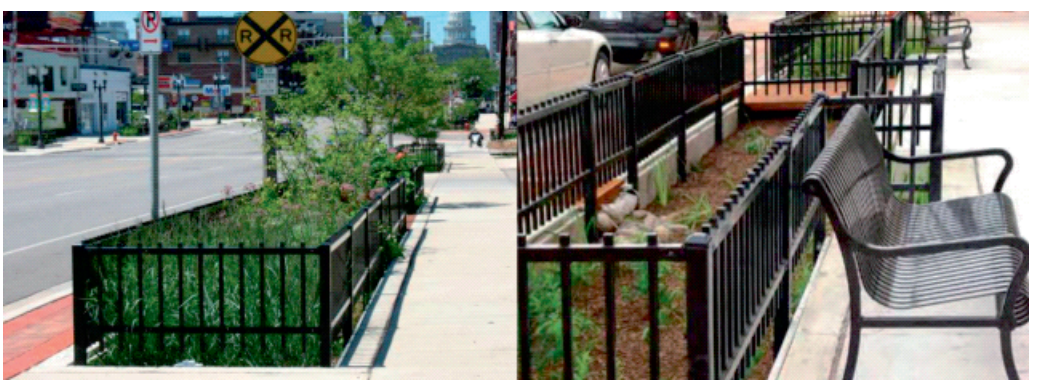
자료 : 환경부, 저영향개발(LID) 기술요소별 가이드라인, 2013

[그림 2-12] 식물재배화분 도입 모습

2) 도입 사례[3)]

○ 미국, 미시건주

랜싱(Lansing)지역에 위치한 미시건 애비뉴(Michigan Avenue)는 지역을 대표하는 경제·역사·문화의 중심이자 미시간 주 전체의 관문 역할을 하는 곳으로 이스트 랜싱 다운타운과 주 수도 및 미시간 주립 대학교를 연결하는 교통요충지이다. 미국 미시건 주정부는 이 곳의 환경 개선 프로젝트를 추진하면서 식물재배화분[4)] 등을 설치하였다. 1.5m 넓이의 식물재배화분 30개를 설치하였으며 이를 통해 도시환경의 빗물을 효과적으로 통제, 정화, 분사하는 수단으로 활용하고자 했다. 또한 시설물을 통해 홍수위험을 완화하고 화분 내 식물은 침전물, 영양소, 중금속 등의 오염물질을 제거하고 수온을 낮추며 강우유출수의 침투 및 증발을 촉진하여 인근에 위치한 그랜드 리버에 미치는 영향을 감소시키고자 하였다. 2008년 조성이후 2014년 확인한 결과 식물재배화분으로 연간 강우유출량의 약 75%가 감소하는 것으로 나타났다.



자료: SEMCOG, A Design Guide for Implementers and Reviewers,2008
Tetra Tech. Green Infrastructure in the greater lansing area, 2014

[그림 2-13] 식물재배화분 모습

○ 미국, 필라델피아

---

3) 김은영, 레인시티 효과성 분석, 2020, 수원시정연구원

4) Tetra Tech(2014)의 자료에서는 미시건 애비뉴에 설치된 식물재배화분을 식물재배화분형 식생체류지(planter box style bioretention)라 표현했으나 미국 환경보호청에서 이를 식물재배화분 사례로 소개했다는 점을 참고하여 본 연구에서도 식물재배화분 적용사례로 소개

미국 필라델피아 수도국은 콜럼버스 스퀘어의 일부를 녹색 거리로 개조하고자 했으며 이를 위한 첫 번째 시도로 식물재배화분을 설치하였다. 식물재배화분을 통해 침투와 증발, 빗물의 억류 및 저속 유출로 강우유출수를 효과적으로 관리하고자 했으며 과부화된 기존 하수도 시스템에 강우유출을 줄여줌으로써 주변의 개울과 강에 긍정적인 영향을 주었다. 추가적으로 조경 및 그늘막을 설치하여 시각적인 아름다움을 증대하고 시민을 위한 편의 시설을 제공하며 도심 열섬현상을 완화하였다.

자료: Tetra Tech. Green Infrastructure in the greater lansing area, 2014

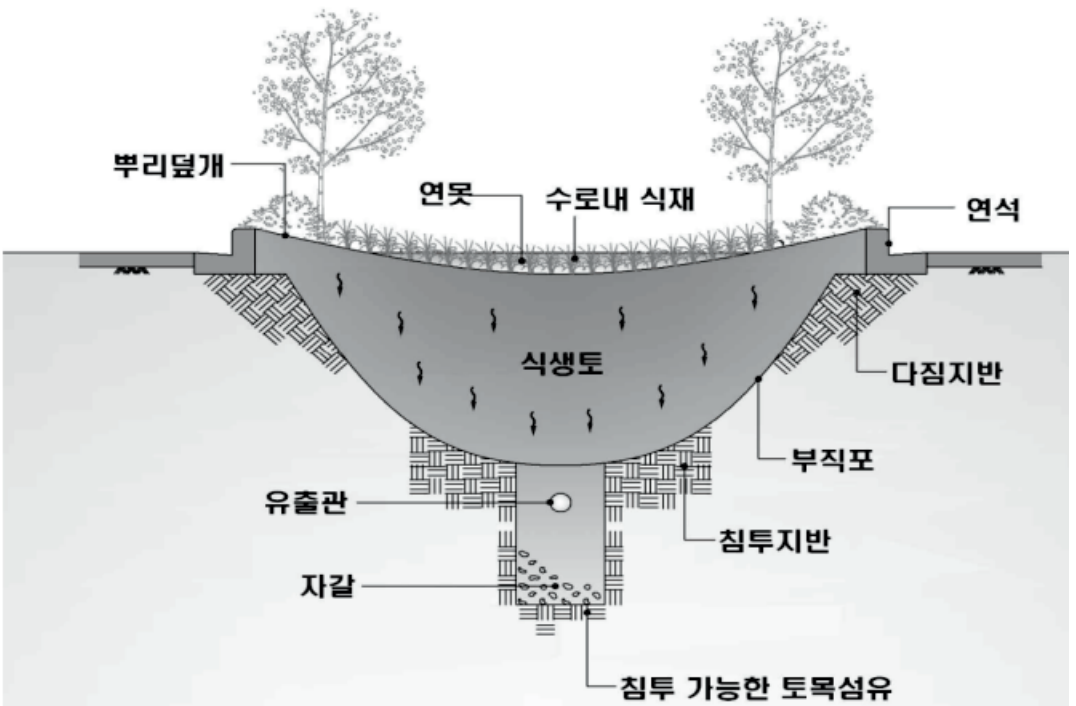
[그림 2-14] 식물재배화분 모습

5. 식생수로(Bio swale)

1) 개요 및 특징

○ 개요

식생체류지과 유사한 기능을 갖는 배수 구조물로서 강우유출수의 여과 및 침투, 배수 기능을 갖는다. 유출량 저감을 위해 하부 침투부의 용적을 증가할 수 있으며, 오염물질의 저감을 위해 물리적, 생물학적 기능을 유도할 수 있다.



기술요소	저류기능	여과기능	침투기능	증발산	생태 서식처	지하수 함양	심미성	적용성	
								단지	도로
식생수로	V	V	V	V	V	V	V	◉	◉

* ◉ : 매우좋음, ○ : 좋음, △ : 보통, - : 적용어려움

자료 : 환경부, 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼. 2014

[그림 2-15] 식생수로의 모식도 및 기능

[표 2-9] 식생수로 적용 후 장/단점

장점	단점
• 강우유출수 지하침투 유도 • 오염물질, 유출량 저감 • 첨두유량 감소, 첨두시간 지연 • 도심 기온저감효과	• 토사 등에 의한 막힘에 취약함 • 제설제 대량 유입시 취약 • 단독으로 큰 배수구역 관리 불가

자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

○ 기술효율

[표 2-10] 식생수로 기술효율

BOD	T-N	T-P	유출저감량(Q)	TSS	기타
34[1] ~ 58[2]%	0 ~ 15[3]% 45[1] ~ 62[2]%	10 ~ 25[3]% 48[2] ~ 51%	10[3]%	30 ~ 65[3]% 84[2]%	Zn 99[3]% Pb 99[3]%

1) 환경부, 수질오염총량관리기술지침, 2012

2) Analysis of Bioswale Efficiency for Treating Surface Runoff, Donald Bren School of Environmental Science and Management, 1999

3) The Practice of Low Impact Development(HUD's Office of Policy Development and Research, 2003

자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

○ 식생수로의 종류

초지수로

초지수로
(check dem 설치)

건식 식생수로

습식 식생수로

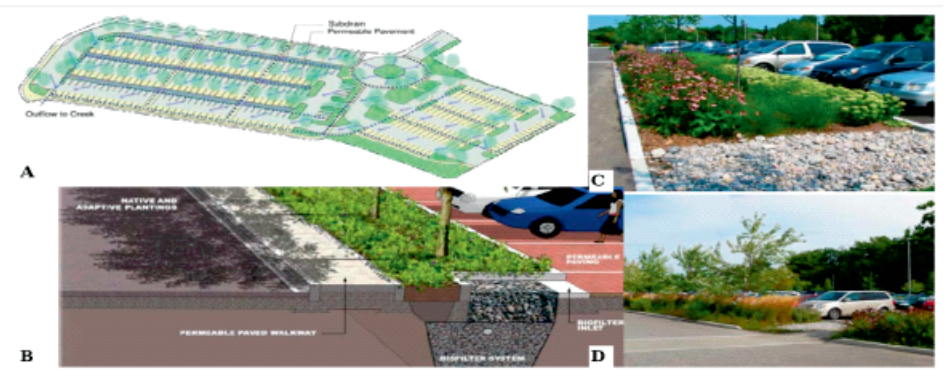
자료 : 비점오염원 홈페이지, https://nonpoint.me.go.kr/main.do, 접속일 2021.09.29.

[그림 2-16] 식생수로의 종류

2) 도입 사례[5)]

○ 캐나다, 토론토

캐나다 토론토에 위치한 에드워드 가든은 토론토 내의 공원 중 가장 큰 주차장을 보유하였으나 시설 노후화로 강우 시 주변 지역으로 빗물이 유출되고 있으며 침식 및 홍수 위험이 증가하고 수질 및 수생 서식지 오염되고 있다. 이에 따라 지자체에서는 보행자의 안전한 이동 및 물과 에너지 절약, 빗물 영향 완화 등을 목표로 개보수 프로젝트를 추진하였으며 식생도랑을 비롯하여 식생체류지, 투수성포장 등 그린인프라를 적용하여 강우유출수를 수집하고 유출속도를 저감하고자 했다. 해당 프로젝트에서 식생도랑은 주차장에서 주변의 도심지로 배출되는 빗물을 제어하기 위해 건설되었으며 가뭄에 강한 토동 식생을 활용하였다. 식생도랑 등 그린인프라를 통해 기존의 주차대수를 유지하면서 노후된 주차장을 지속가능한 시설로 변경했으며 강우유출량을 현저히 저감했고 식생을 통해 도시의 생물다양성을 증진시키고 휴식처가 될 그늘을 형성하였다(Brankovic & Protic, 2019).



자료 : M. DINIĆ-BRANKOVIĆ ET AL., Bioswales as elements of green infrastructure – foreign practice and possibilities of use in the district of the City of Nis, Serbia, ICUP2018 2nd International Conference on Urban Planning proceedings Sebia, Nis, November 14-17, 2018

[그림 2-17] 에드워드가든 주차장 모습

---

5) 김은영, 레인시티 효과성 분석, 2020, 수원시정연구원

○ 호주, 티트리굴리

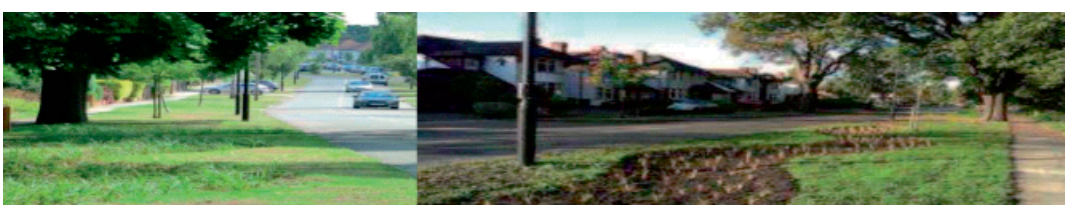
호주 티트리굴리시는 육상경기장인 벌카나 오벌을 대상으로 그린인프라 시범프로젝트를 추진하였다. 강우유출수의 저장 및 재사용을 위해 식생도랑과 식생체류지를 건설했으며, 시설을 통해 여과된 빗물은 지하의 저류시설에 저장되었다가 경기장의 관개용수로 활용되었다. 티트리굴리시는 식생도랑의 기본적인 기능인 빗물관리뿐 아니라 식생을 활용한 경관개선, 시민을 위한 편의시설 운영 등이 결합할 때 그린인프라에 대한 지역사회의 지지를 받을 수 있다고 하였다.

자료 : South Australia, Bio-filter swale at Bulkana oval, 2010

[그림 2-18] 식생도랑(왼) 및 지하 빗물저류시설(오)

○ 영국 엔필드

영국 엔필드에 흐르는 살몬스 브룩은 레아강의 작은 지류로 잘못 연결된 배관과 도로 등에서 흘러나오는 폐수로 수질이 악화하자 환경청에서는 이를 개선하기 위해 식생도랑, 식생체류지 등의 그린인프라 시설을 설치하였다. 식생도랑을 통해 빗물에 섞여 있는 오염물질을 여과함에 따라 수질이 개선됨은 물론 홍수위험이 감소하고 시민을 위한 여가공간의 기능도 수행하였다.



자료: City of London, SuDS in London: A design guide, 2016

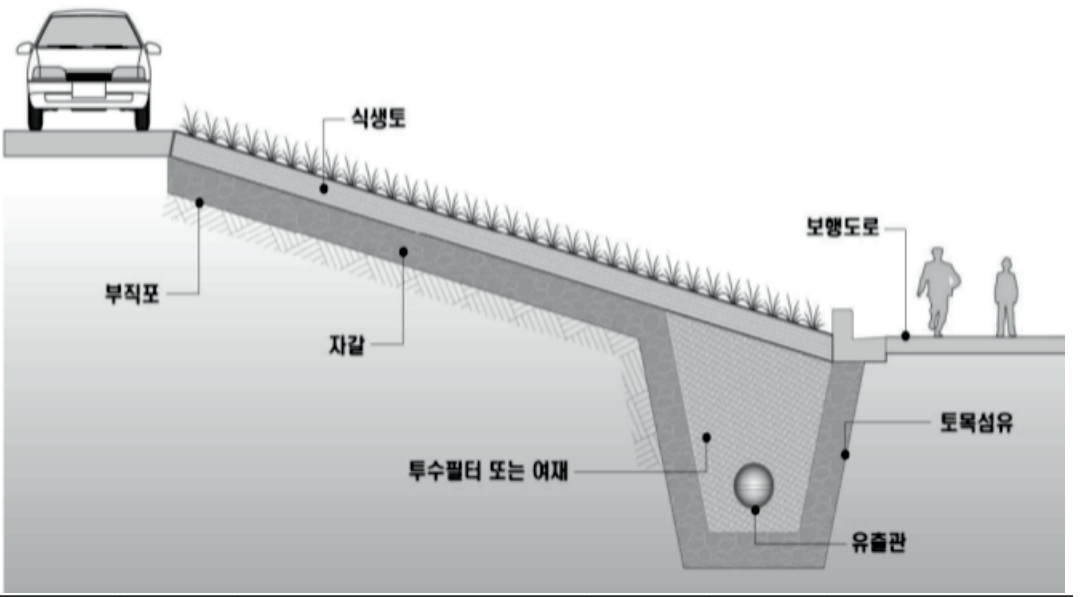
[그림 2-19] 식생도랑의 모습

6. 식생여과대(Bio slope)

1) 개요 및 특징

○ 개요

생태제방으로도 알려진 식생여과대는 자갈 및 식생활착이 유리한 토양으로 구성되며 강우유출수를 감소시키고 사면안정과 함께 여과기능을 수행하여 수질개선 및 도심내 녹지공간으로의 기능을 갖는다.



기술요소	저류기능	여과기능	침투기능	증발산	생태 서식처	지하수 함양	심미성	적용성	
								단지	도로
식생여과대	-	V	V	V	V	-	V	○	◉

* ◉ : 매우좋음, ○ : 좋음, △ : 보통, - : 적용어려움

자료 : 환경부, 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼. 2014

[그림 2-20] 식생여과대의 모식도 및 기능

[표 2-11] 식생여과대 적용 후 장/단점

장점	단점
• 강우유출수 지하침투 유도 • 오염물질, 유출량 저감 • 첨두유량 감소, 첨두시간 지연 • 도심 열섬저감효과	• 성토부 등의 지반 조건 제약 • 막힘, 단회로에 취약함 • 제설제 대량 유입시 취약

자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

○ 기술효율

[표 2-12] 식생여과대 기술효율

BOD	T-N	T-P	TSS	중금속
44[1)]%	42[1)]%	42[1)] ~ 60[2)]%	88[2)]%	77[2)]%

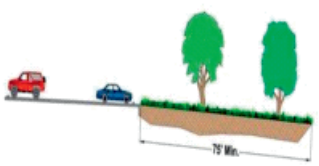
1) 환경부, 수질오염총량관리기술지침, 2012

2) Fairfax County - LID BMP Fact Sheet -Reforestation/Afforestation(Bioslope) February28, 2005

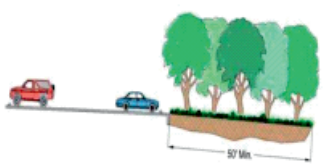
자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

○ 식생여과대 종류

Turf Grass



Native Grasses and Planted Woods Grass



Indigenous Woods

자료 : 한국 그린인프라 저영향개발 정보포털, http://lidinfo.hecsystem.com/lid/plan/planFactor0405.do

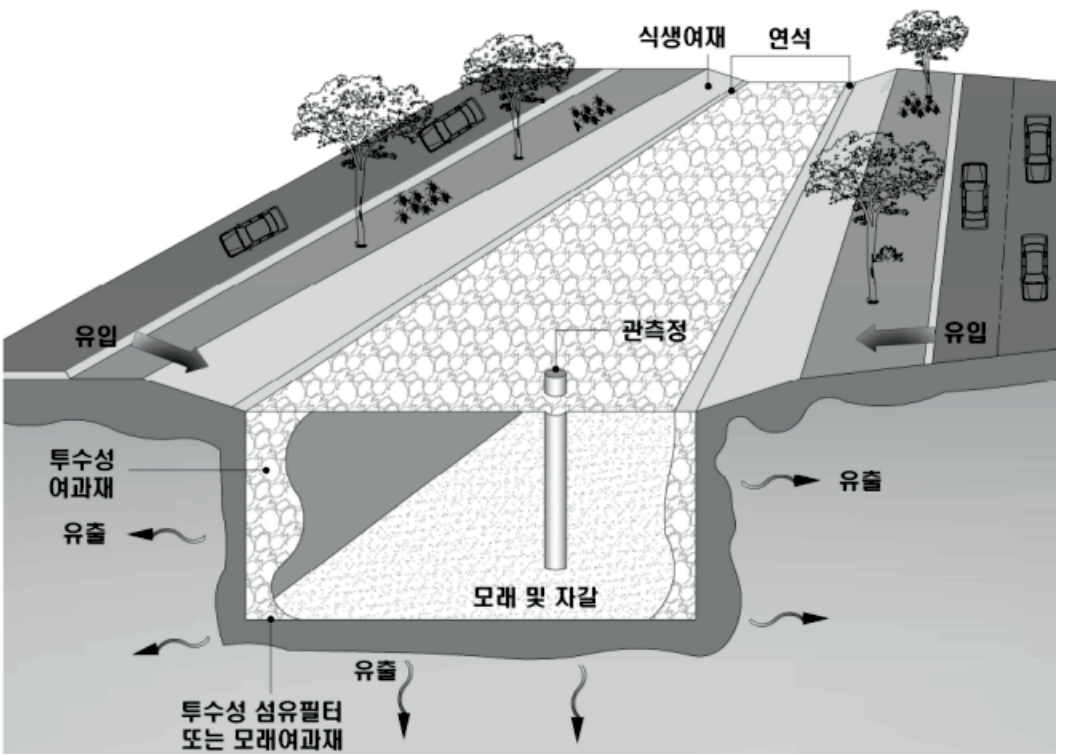
[그림 2-21] 식생여과대 종류

7. 침투도랑(Infiltration trench)

1) 개요 및 특징

○ 개요

침투도랑은 돌로 채워진 형태의 도랑으로 강우시 유출수를 담아두고 토양으로 침투시키는 기술요소이다.



기술요소	저류기능	여과기능	침투기능	증발산	생태 서식처	지하수 함양	심미성	적용성	
								단지	도로
침투도랑	V	V	V	V	–	V	V	◉	◉

* ◉ : 매우좋음, ○ : 좋음, △ : 보통, – : 적용어려움

자료 : 환경부, 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼, 2014

[그림 2-22] 침투도랑의 모식도 및 기능

[표 2-13] 침투도랑 적용 후 장/단점

장점	단점
• 강우유출수 지하침투 유도 • 오염물질, 유출량 저감 • 첨두유량 감소, 첨두시간 지연	• 막힘에 취약함 • 지하수위에 따라 설치위치 제한 • 단독으로 큰 배수구역 관리 불가

자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

○ 기술효율

[표 2-14] 침투도랑 기술효율

BOD	T-N	T-P	유출저감량(Q)	TSS	기타
77[1]%	40 ~ 60[2]% 62%	40 ~ 60[2]% 73[1]%	15 ~ 35[3]% 25[4]%	80 ~ 100[2]%	Zn 80 ~ 100[2]% Pb 80 ~ 100[2]%

1) 환경부, 수질오염총량관리기술지침, 2012
2) HUD's Office of Policy Development and Research, The Practice of Low Impact Development, 2003
3) CASQA, California Stormwater BMP Handbook New Development and Redevelopment, 2003
4) Connecticut Stormwater Quality Manual, 2004
자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

○ 침투도랑 종류

침투도랑

완충대(식생여과, 침강지)+침투도랑

자료 : 한국 그린인프라 저영향개발 정보포털, http://lidinfo.hecsystem.com/lid/plan/planFactor0405.do

[그림 2-23] 침투도랑 종류

2) 도입 사례[6)]

○ 네덜란드, 즈볼러

네덜란드는 선진적인 물 관리 기술과 간척 기술을 보유하고 있으며 정부는 5년마다 '국가 물 관리 계획(National Water Plan)'을 수립하고 있다. 다수의 전문가는 네덜란드의 물 관련 문제를 줄이려면 다양한 조치의 적절한 혼합이 필요하다고 강조했으며 네덜란드 정부는 강우유출 및 오염유출 방지 홍수 방지 등을 위해 빗물 저장 등을 포함한 빗물 관리 정책을 수행하고 있다(Beenen & Boogaard, 2007).

이러한 노력의 일환으로 네덜란드 즈볼러의 쉘러호크(Schellerhoek)에 침투도랑이 설치되었으며 이에 대한 모니터링을 실시하였다. 1994~1997년에 이루어진 1차 모니터링에 이어 2005~2006년에 2차 모니터링을 실시하여 침투도랑 내의 수위 지하수 수준 등을 확인하였다. 쉘러호크의 침투도랑은 비가 내린 후 24시간 이내에 도랑 내 빗물이 모두 주변으로 침투되는 것으로 나타나 강우유출저감효과가 100% 가깝다는 것을 입증하였다. 또한, 침투도랑 주변 토양의 중금속 등 오염물질 농도가 과거 모니터링 결과값에 비해 크게 증가하지 않아 장기간에 걸쳐 오염물질 저감이 가능하다는 것이 증명되었다.

자료: Beenen and Boogaard, Lessons from ten years storm water infiltration in the Dutch Delta, 2007

[그림 2-24] 네덜란드 즈볼러 쉘러호크의 침투도랑 모습

---

6) 김은영, 레인시티 효과성 분석, 2020, 수원시정연구원

○ 용인시, 처인구

경안천은 경기도 용인시에서 발원하여 광주시를 거쳐 팔당호로 유입되는 국가하천으로 용인시가 하천을 따라 자전거 도로를 구축하는 등 용인시민들의 주요 휴식공간이다. 전대리를 지나고 있는 45번 국도는 아스팔트로 포장되어 있어 불투수율이 100%에 달하며 강우 시 빗물이 오염물질과 함께 도로를 타고 경안천으로 유출되고 있어 환경부에서는 처인구 전대리 일대에 침투도랑을 설치하였다.

해당 시설은 강우유출수를 지하로 침투시켜 토양의 여과·흡착 작용에 의해 오염물질을 제거하는 것을 주요 목표로 하며 부지면적은 599㎡ 배수구역은 0.5ha에 이른다. 침투도랑에 의한 수질개선 효과를 분석한 결과 TSS의 평균 처리효율은 84.4%, BOD 77.4%, COD 78.5%, T-N 64.4%, T-P 67.9%로 나타났다. 수질처리뿐만 아니라. 현장에서의 자연수 물수지를 도와 지하수계의 지속적인 수량을 공급하여 기저유량을 유지하는데 도움을 주는 것으로 나타났다.

자료: 최지연, 자연적 물순환 시스템을 가진 침투여과형 비점오염저감기술 개발, 2010

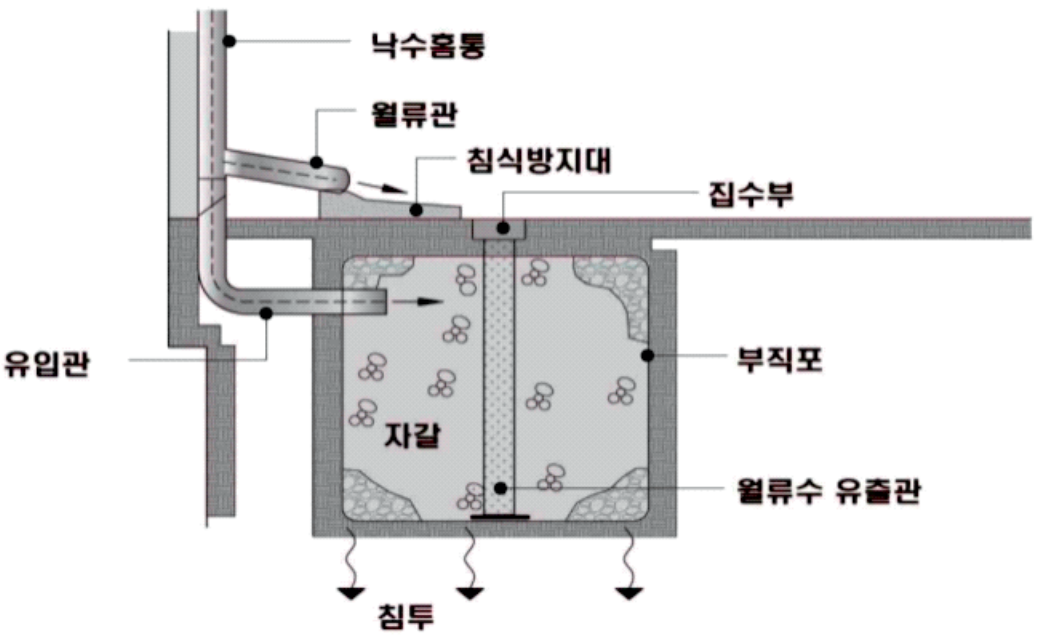
[그림 2-25] 전대리 일대 침투도랑 모습

8. 침투통(Dry well)

1) 개요 및 특징

○ 개요

자갈 또는 돌 등으로 채워져 있고 건축물의 홈통과 연결되어 있거나 불투수면의 유출수가 유입될 수 있도록 설치되어 토양으로 침투시키는 기술요소이다. 필요에 따라 표면은 초화류 또는 기타 재료로 덮을 수도 있다.



기술요소	저류기능	여과기능	침투기능	증발산	생태 서식처	지하수 함양	심미성	적용성	
								단지	도로
침투통	V	V	V	-	-	V	-	◉	○

* ◉ : 매우좋음. ○ : 좋음, △ : 보통, - : 적용어려움

자료 : 환경부, 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼. 2014

[그림 2-26] 침투통의 모식도 및 기능

[표 2-15] 침투통 적용 후 장/단점

장점	단점
• 강우 저류 가능 • 첨두유량 감소, 첨두시간 지연	• 단독으로 큰 배수구역 관리 불가

자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

○ 기술효율

[표 2-16] 침투통 기술효율

BOD	T-N	T-P	유출저감량(Q)	TSS	기타
53[1]%	40~60[1]% 72%	40~60[2]% 46[1]%	50~65[3]%	80~100[2]%	Zn 80 ~100[2]% Pb 80 ~ 100[2]%

1) 환경부, 수질오염총량관리기술지침, 2012

2) HUD's Office of Policy Development and Research, The Practice of Low Impact Development, 2003

3) California Fairfax County - LID BMP Fact Sheet - Dry Wells February28, 2005

자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

○ 침투통 종류

침투통

선형 침투통

자료 : 이태규, 조립식 저류형 침투시설의 설계 및 공간적용 효과분석, Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment - Vol. 16, No. 6, pp.103-108

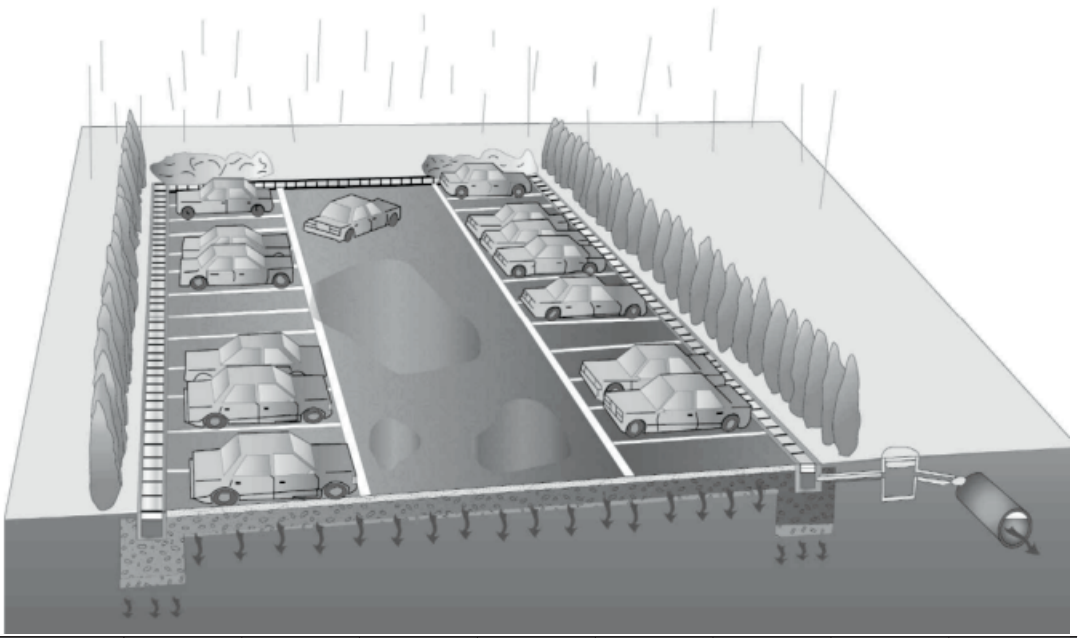
[그림 2-27] 침투통 종류

9. 투수성 포장(Porous pavement)

1) 개요 및 특징

○ 개요

강우유출수와 오염물질 저감을 위해 다공성 아스팔트·콘크리트·투수블록 등과 쇄석의 공극을 통과하여 강우유출수를 토양에 침투시키고 오염물질을 저감하는 기술요소이다. 다공성 지표면 아래는 쇄석기층이 깔려 있으며 쇄석은 도로나 주차장의 기반, 노반과 같은 역할을 하므로, 하중을 고려하여 충분히 두껍게 설치해야 한다.



기술요소	저류기능	여과기능	침투기능	증발산	생태 서식처	지하수 함양	심미성	적용성	
								단지	도로
투수성포장	–	V	V	V	–	V	V	◉	○

* ◉ : 매우좋음, ○ : 좋음, △ : 보통, – : 적용어려움

자료 : 환경부, 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼, 2014

[그림 2-28] 투수성 포장의 모식도 및 기능

[표 2-17] 투수성포장 적용후 장/단점

장점	단점
• 강우유출수 지하침투 유도 • 오염물질, 유출량 저감 • 첨두유량 감소, 첨두시간 지연	• 토양 및 자동차 등의 하중에 의한 침하 발생 우려 • 지반 조건 제약 • 막힘에 취약함 • 동절기 파손

자료 :환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

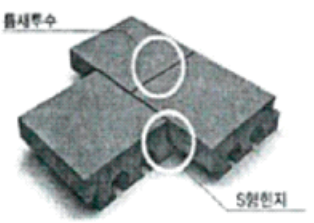
○ 기술효율

[표 2-18] 투수성포장 기술효율

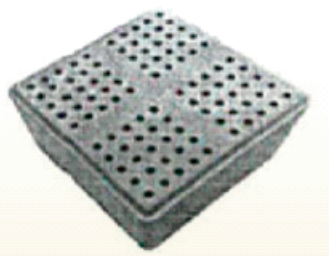
BOD	T-N	T-P	유출저감량(Q)	첨두유량
75[1)2)]%	83[1)2)]%	65[1)2)]%	15.7~38.2[3)]%	19.9~40.3[3)]%

1) 환경부, 수질오염총량관리기술지침, 2012
2) 한국방재학회, 투수성 포장재와 비점오염저감시설의 삭감부하량 특징 비교, 2011
3) 대한토목학회, 투수성 포장재를 사용한 호우시 우수유출 저감효과 분석, 2001
자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

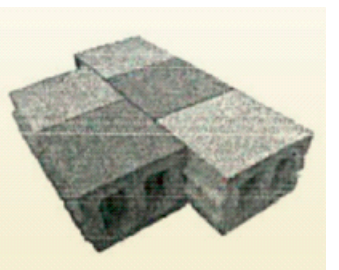
○ 투수성포장 종류



틈새형



필터형



저류형

자료 : 환경부, 한국환경공단, 빗물유출제로화 시범사업 백서, 2019

[그림 2-29] 투수성 포장 종류

2) 도입 사례[7)]

○ 미국, 시카고–The Green Alley Program

시카고에서는 도시 내 많은 골목길이 하수도 및 빗물 관리시스템과 연결되어 있지 않아 홍수문제가 종종 발생하는 것을 해결하기 위해 고비용의 하수도 시스템을 연결하는 것 대신 'The Green Alley Program' 실시하였다.

2001년부터 프로그램을 시작하여 2017년까지 투수성 포장을 중심으로 레인가든, 식물식재 옥상녹화 등이 어우러진 300개 이상의 그린골목을 구축하였다. 프로그램을 주도한 시카고 교통국은 빗물을 침투시키는 투수성 포장을 적용하는 동시에 반사계수가 높은 포장재를 적극적으로 활용하였는데 이로 인한 도시열섬현상 완화로 냉방비용이 절감되고 식생의 성장 및 대기질 개선에 긍정적인 효과를 발휘하였다. 재활용 건설자재를 사용하여 매립지로 운반되는 폐기물을 줄이고 비용을 절감하는 등 그린인프라에 따른 물순환 개선뿐 아니라 과정의 친환경성도 중시한 사례이다.

자료 : CDOT, The Chicago GreenAlley Handbook, 2010

[그림 2-30] 투수성 포장 적용 전후

---

7) 김은영, 레인시티 효과성 분석, 2020, 수원시정연구원

○ 미국, 프로빈스타운

프로빈스타운 항구는 해변을 보유하고 있어 어업 및 관광업이 가능하고 인근의 상업 중심지이자 주거단지가 밀집한 상업 거리(Commercial Street)와 인접한 지역이다.

그러나 밀도 높은 개발과 넓은 불투수면으로 인해 강우 시 상업 거리에서 오염물질과 함께 빗물이 해변으로 유출되고 특히 여름철 폭풍이 발생한 이후에는 해수욕 기준을 초과하는 대장균이 검출되어 정기적으로 해변을 폐쇄하는 등 문제가 발생하였다. 오염물질이 해변뿐 아니라 바다로 유출되면서 조개류에도 부정적 영향을 미치는 등 어업 및 관광업 모두에 피해가 발생하였다.

매사추세츠 환경보호국은 이러한 문제를 해결하기 위해 상업거리를 중심으로 2012년부터 투수성 포장 건설 프로젝트를 시작하였다. 투수성 포장 및 기타 조치들이 더해지면서 빗물유출량이 감소하고 수질이 향상되는 효과를 얻었으며 해변의 폐쇄 빈도도 크게 감소되었다.

자료 : U.S.EPA, NONPOINT SOURCE SUCCESS STORY, 2016

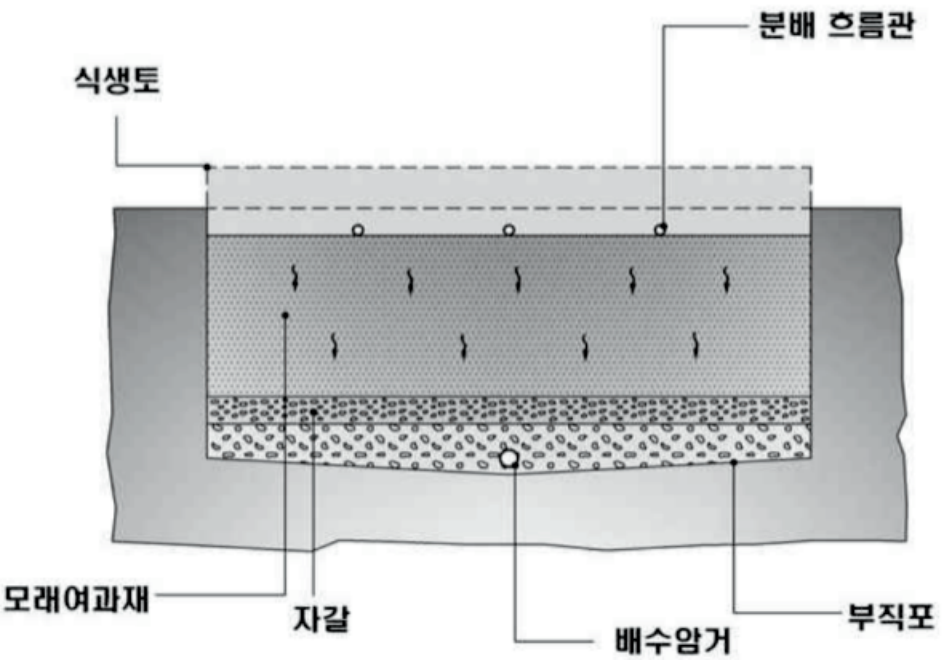
[그림 2-31] 투수성 포장 적용 전후

10. 모래여과장치(Sand filter)

1) 개요 및 특징

○ 개요

불투수면의 강우유출수를 모래여과를 통해 유출수 내 협잡물 및 부유물질을 제거하여 수질을 개선시키는 기술요소이다. 오염물질의 제거는 여과 작용과 침전 작용에 의해 이루어지며 여과된 강우유출수는 배수관을 통해 기존 배수관거로 유출된다.



기술요소	저류기능	여과기능	침투기능	증발산	생태 서식처	지하수 함양	심미성	적용성	
								단지	도로
모래 여과장치	–	V	V	–	–	V	–	○	△

* ◉ : 매우좋음, ○ : 좋음, △ : 보통, – : 적용어려움

자료 : 환경부, 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼. 2014

[그림 2-32] 모래여과장치의 모식도 및 기능

[표 2-19] 모래여과장치 적용후 장/단점

장점	단점
• 좁은 면적에서 적용이 가능함 • 오염물질, 유출량 저감 • 첨두유량 감소, 첨두시간 지연	• 막힘에 취약함 • 토사 대량 유입시 취약 • 단독으로 큰 배수구역 관리 불가

자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

○ 기술효율

[표 2-20] 모래여과장치 기술효율

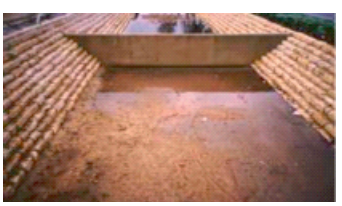
BOD	T-N	T-P
50[1]%	39~71[2]%	54~60[2]%

1) 환경부, 수질오염총량관리기술지침, 2012

2) Fairfax County - LID BMP Fact Sheet - Reforestation/Afforestation(sandfilter) February28, 2005

자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

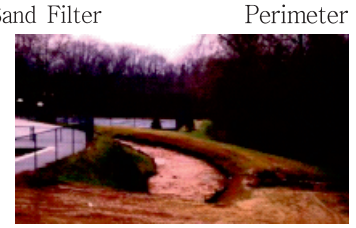
○ 모래여과장치 종류



Surface Sand Filter

Perimeter Sand Filter

Underground Sand Filter



Pocket Sand Filter

Organic filter

자료 : 비점오염원 관리기술 연구단, 비점오염저감시설기술보고서-모래여과시설, 2015

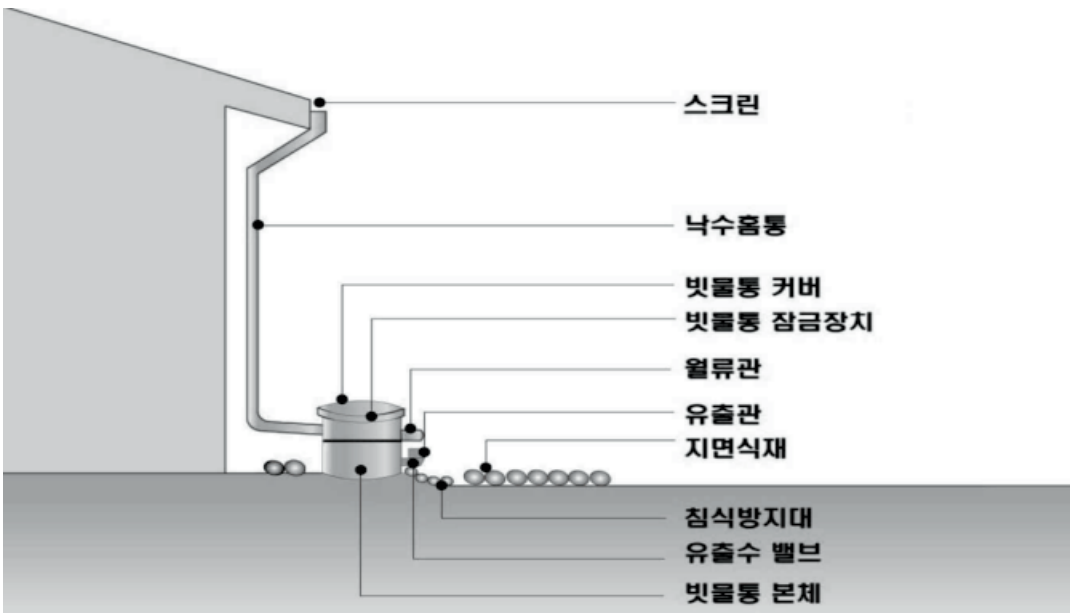
[그림 2-33] 모래여과장치 종류

11. 빗물통(Rain barrel)

1) 개요 및 특징

○ 개요

빗물통은 지붕 유출수를 이용하기 위해 설치되는 저류시설로 소규모의 강우에 대해서 유출량 저감과 대체용수 확보의 이점을 가지고 있다. 집수된 물은 조경용수, 화장실 세척수 등으로의 사용이 가능하며, 다른 지표면 유출수와 비교하여 오염물질이 적다는 장점이 있다.



기술요소	저류기능	여과기능	침투기능	증발산	생태 서식처	지하수 함양	심미성	적용성	
								단지	도로
빗물통	-	V	V	-	-	V	-	○	△

* ◉ : 매우좋음, ○ : 좋음, △ : 보통, - : 적용어려움

자료 : 환경부, 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼. 2014

[그림 2-34] 빗물통의 모식도 및 기능

[표 2-21] 빗물통 적용 후 장/단점

장점	단점
• 강우유출량 관리 • 집수된 수원 이용 가능 • 경제적인 설계비용	• 단독으로 큰 배수구역 관리불가

자료 : 환경부, 환경관리공단, 저영향개발(LID)기술요소 가이드라인. 2013

○ 빗물통 종류

빗물통은 주택 및 소규모 건축물에 설치되는 빗물집수장치와 빗물 저금통으로 불리는 소형 빗물집수장치 두가지가 있다. 설치장소에 따라 분류하면 옥상설치형, 지상설치형, 건물의 매설형, 지하설치형(하수관거로 자연배소), 지하설치형(하수관거로 강제배수)로 구분할 수 있다.

주택 및 소규모 건축물에서 설치되는 빗물집수장치(빗물통)

소형 빗물집수장치(빗물 저금통)

자료 : 비점오염원 관리기술 연구단, 비점오염저감시설기술보고서-빗물집수장치, 2015

[그림 2-34] 빗물통 모식도 및 기능

제2절 국내 LID 도시 적용 사례

1. 그린빗물인프라 조성 사업

1) 추진개요

환경부에서 2012년 5월 '제2차 비점오염원관리 종합대책'을 수립해 도시분야 비점오염저감 추진대책으로 공모사업을 실시하였으며, 2014년 '그린빗물인프라조성사업'의 추진을 통하여 본격화 되었다. 그린빗물인프라 조성사업은 도시지역의 LID 확대를 위한 기반 구축사업으로 비점오염물질 유출률이 높은 도시지역 빗물유출수 관리에 LID의 적용성을 검증하고 LID 홍보를 위하여 관공서를 중심으로 중규모 사업(1~4ha)을 추진하였다.

[표 2-22] 그린빗물인프라 조성사업 지자체 및 개요

지자체	사업개요	주요시설
수원시 장안구청	• 사업(시공)기간: 2014년 10월~12월 • 총사업비: 22억원	• 빗물저류조, 옥상녹화, 투수블록, 잔디블록, 레인북까페
남양주시	• 사업(시공)기간: 2014년 11월~2015년 4월 • 총사업비: 25억원	• 투수블럭 주차장, 식생체류지, 식생수로
광주광역시	• 사업(시공)기간: 2014년 9월~11월 • 총사업비: 14억원	• 빗물 정원, 나무여과상자, 식생 체류지,빗물 침투통, 옥상 정원, 투수 포장, 생태주차장, 빗물이용시설
아산시	• 사업(시공)기간: 2015년 3월~5월 • 총사업비: 17억원	• 투수블럭 주차장, 식생체류지, 옥상녹화,식생수로, 나무여과상자, 침투도랑
대전시청	• 사업(시공)기간: 2015년 3월~5월 • 총사업비: 10억원	• 빗물정원, 옥상녹화, 식생체류지, 생태주차장, 빗물저류소, 나무여과상자
제천시	• 사업(시공)기간: 2015년 3월~6월 • 총사업비: 15억원	• 주차장 투수블럭, 식생체류지, 식생여과대, 식생수로, 나무여과상자, 침투도랑, 빗물저류조
대구북구청	• 사업(시공)기간: 2016년 • 총사업비: 10억원	• 옥상정원 2곳 (약 900㎡), 빗물저장시설공영주차 투수성 블록(2천151㎡)
김해시	• 사업(시공)기간: 2016년 2월~7월 • 총사업비: 10억원	• 식생수로, 투수포장, 빗물파고라
김제시	• 사업(시공)기간: 2016년 10월~2017년 4월 • 총사업비: 15억원	• 투수블럭 주차장, 빗물정원, 옥상녹화, 침투도랑

자료 : 박창열 외5, 물순환 선도도시 사업추진을 위한 기본연구, 2016, 제주발전연구원

2) 도입사례

○ 수원시 장안구청

장안구는 환경부 국정과제 반영에 따른 지속가능한 물 순환 체계 구축의 일환으로 「장안구청 그린빗물 인프라 조성 사업」을 추진해 도시지역의 생태 공간 조성 확대를 통해 빗물이용 증가와 빗물의 유출을 감소시키고 물 순환 구조를 개선하여 경관가치 향상에 도움을 주고 빗물관리 모범사례로 제시해 관련 기술 홍보와 교육의 장으로 활용하는데 그 목적이 있다.

[표 2-23] 주요 도입 시설

시설명	수량	시설명	수량
투수블럭	5,566㎡	빗물정원	115㎡
잔디블럭	776㎡	침투화단	45㎡
빗물저류조	1개소(300톤)	레인북까페	3개소
옥상녹화	950㎡	침투도랑	100㎡
침투빗물받이	12개소	투수성천연고무칩포장	210㎡
지중분산 빗물침투시설	140m		

자료 : 박창열 외5, 물순환 선도도시 사업추진을 위한 기본연구, 2016, 제주발전연구원

자료 : 오) 수원시 장안구, 빗물저류 기능 옥상 정원 가꿔, 뉴스피크(2015.06.19.), http://www.newspeak.kr/news/articleView.html?idxno=86620, 접속일 2021.09.29.

왼) 수원시 장안구, 빗물저류 기능 담은 옥상 정원 가꿔, 수원시민신문(2015.06.20.), http://www.urisuwon.com/50505, 접속일 2021.09.29.

[그림 2-36] 수원시 장안구청 LID 도입 모습

○ 아산시청

시 청사 내에 설치된 그린빗물 인프라 조성사업은 비점오염저감시설 설치사업으로 기존 주차장을 투수블럭으로 교체하고 주차장 조경시설 내에 식생체류지, 나무여과상자, 식생수로, 침투도랑을 조성하며 건축물 옥상에는 옥상녹화를 추진하여 초기우수를 부지 내에 조성된 저영향개발(LID) 기술요소를 통해 하천으로 유출되지 않도록 추진하였다.

[표 2-24] 주요 도입시설

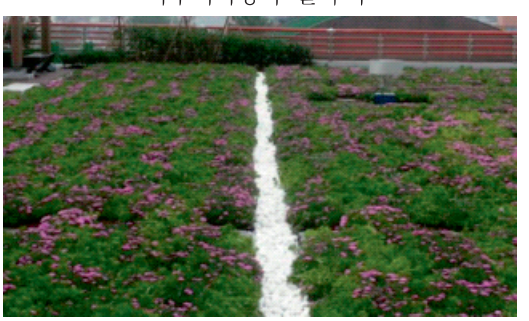
시설명	수량	시설명	수량
투수성포장	4,934㎡	침투도랑	62㎡, 1개소
식생체류지	113㎡, 1개소	나무여과상자	16㎡, 6개소
식생수로	197㎡, 3개소	옥상녹화	1,144㎡

자료 : 울산광역시, 물순환 선도도시 기본계획 수립, 2018

나무여과상자 설치 전

나무여과상자 설치 후

옥상녹화 설치 전



옥상녹화 설치 후

자료 : 울산광역시, 물순환 선도도시 기본계획 수립, 2018

[그림 2-37] 아산시청 LID 도입 모습

2. 빗물유출 제로화 시범사업[8)]

1) 추진 개요

환경부는 유역환경변화로 야기된 물환경 영향을 저감하기 위하여 수질오염총량관리제도, 비점오염원 설치신고제도 및 비점오염관리지역 지정제도 등과 같은 다양한 제도를 도입하여 운영하고 있다.

비점오염원 관리에 대한 법적 근거가 미약하여 효율적 관리의 어려움이 제기되면서 2006년에 물환경보전법(구 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률) 제53조에 개발사업 및 사업장에 대한 비점오염원 관리를 명시하여 비점오염원 관리에 대한 법적 근거를 마련하였으나, 검증되지 않은 장치형 및 자연형 비점오염저감시설의 무분별한 도입으로 시설의 효율 저하 및 유지관리 어려움 등과 같은 문제를 발생시켰다. 따라서 환경부는 '4대강 비점오염저감시설 설치 및 모니터링 시범사업(2005~2014)'을 통해 비점오염저감시설에 대한 국가적 매뉴얼 작성과 홍보를 수행하였다. 2012년 '제2차 비점오염원관리 종합대책'은 LID 적용 물순환 회복을 통한 비점오염원관리를 주요 비점오염원 대책으로 포함시켰다.

환경부 시범사업은 효율적 비점오염저감 및 강우유출저감 능력을 가진 저영향개발기법(Low Impact Development, LID)의 적용 가능성을 도출하는 계기가 되었다. 환경부는 중규모 빗물유출제로화사업과 함께 대규모 도시지역 배수분구(38~40ha)를 중심으로 LID의 적용 가능성을 검토하기 위하여 2013년부터 '빗물유출제로화 시범사업'을 청주시 오창과학산업단지와 전주시 서곡지구를 대상으로 추진하였다.

2) 도입 사례

LID를 기반으로 한 빗물유출제로화사업은 청주시 오창과학산업단지와 전주시 서곡지구에 LID를 적용하여 물순환 회복, 비점오염 저감, 지하수위 향상, 열섬 현상 저감, 주민 만족도 평가 및 유지관리 기준 도출 등에 대한 모니터링과 모델링을 통한 효과평가 사업

---

8) 환경부, 한국환경공단, 빗물유출제로화 시범사업 백서, 2019

이다. 빗물유출제로화사업은 1단계 및 2단계로 진행되었으며, 대상지의 선정은 도심 지역으로 조성된 지 10년이 지난 도시로 주거지역과 상업지역의 특성을 반영할 수 있는 곳으로 하였다.

[표 2-25] 빗물유출제로화 1, 2단계 시범사업 특성

구 분	빗물유출제로화(1단계)	빗물유출제로화(2단계)
위치	충북 청주시 오창읍 오창과학산업단지	전북 전주시 완산구 효자동3가 서곡지구
사업기간	2013년 ~ 2014년	2014년 ~ 2015년
모니터링 기간	2015년 ~ 2018년	2016년 ~ 2018년
부지 특성	상업지역	주거지역
시범사업 목표 및 기대효과	불투수면에서 발생하는 비점오염물질 및 강우 유출량 저감 효과적인 유출수 관리를 통한 빗물관리모범사례 제시 LID기술요소가 실규모로 적용된 홍보 및교육공간 확보 도시경관 개선을 통한 도시가치 향상	불투수면에서 발생하는 비점오염물질 및 강우 유출량 저감 효과적인 유출수 관리를 통한 빗물관리모범사례 제시 구도심 환경개선 및 신도시 개발시 적용가능한 모델 제시
시범사업 주요 연혁	○ 2013. 03 : 빗물유출제로화(1단계), 시범사업 청주시, 오창과학산업단지 선정 ○ 2013. 05 ~ 12: 기본계획 및 기본설계 용역 ○ 2014. 03 ~ 05 : 실시설계 용역 ○ 2014. 08 ~ 2014. 12 : 시설공사 ○ 2015. 08 : 환경부 저영향개발(LID)교육센터 개소 ○ 2015. 05 ~ 2016. 03: 운영관리 및 효과평가 연구(1차년도) ○ 2016. 06 ~ 2017. 03: 운영관리 및 효과평가 연구(2차년도) ○ 2017. 12 ~ 2018. 09: 운영관리 및 효과평가 연구(3차년도)	○ 2014. 06 : 빗물유출제로화(2단계) 시범 사업 전주시 서곡지구 선정 ○ 2014. 03 ~ 12 : 기본 및 실시설계 용역 ○ 2015. 04 ~ 12 : 시설공사 ○ 2016. 06 ~ 2017. 03: 운영관리 및 효과평가 연구(1차년도) ○ 2017. 04 ~ 2018. 03: 운영관리 및 효과평가 연구(2차년도) ○ 2018. 04 ~ 2018. 12: 운영관리 및 효과평가 연구(3차년도)

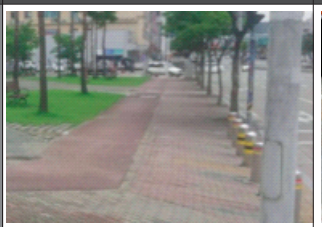
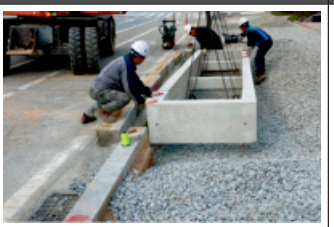
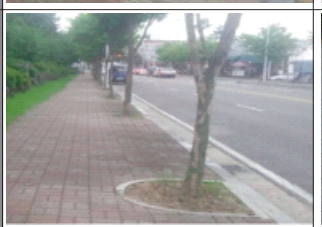
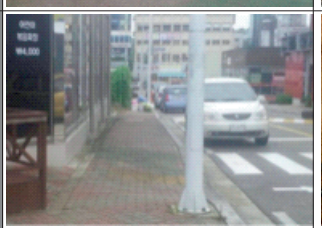
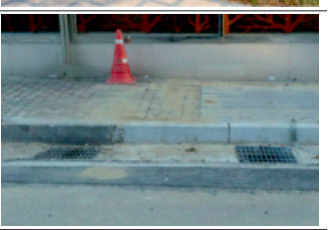
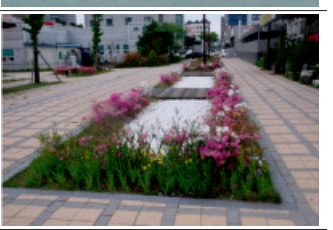
환경부, 한국환경공단, 빗물유출제로화 시범사업 백서, 2019

○ 1단계 시범사업

식생체류지, 식물재배화분, 나무여과상자, 침투도랑, 침투통, 침투형 빗물받이, 투수블록 등 7종류 LID 기술요소를 설치하였으며, 파고라 및 의자 등 휴게시설물 그리고 LID 기술요소 홍보를 위한 조형물 및 안내판, 홍보용 동판을 설치하였다.

자료 : 환경부, 한국환경공단, 빗물유출제로화 시범사업 백서, 2019

[그림 2-38] LID 기술요소 배치도 (1단계 시범사업)

기술요소	전	중	후
식물재배화분			
나무여과상자			
식생체류지			
침투형빗물받이			
침투도랑			

자료 : 환경부, 한국환경공단, 빗물유출제로화 시범사업 백서, 2019

[그림 2-39] LID 기술요소 도입모습

오창과학산업단지의 토지이용은 상업지역으로 분류되지만 상업지역과 공공기관 및 공원녹지 등이 혼재되어 있는 지역이다. 각 토지이용은 건물, 주차장, 도로, 인도 등으로 구성되어 있으며, 강우시 비점오염물질을 배출한다. 특히 도로, 건물지붕, 주차장 및 인도 등은 높은 불투수 면적으로 인하여 강우시 유출률이 매우 높은 지역이다. 따라서 오창과학산업단지 내 LID 시설은 불투수면적이 높은 지역에 시설을 다수 설치함으로써 유출 및 오염물질 저감을 꾀하기 위하여 설치되었다.

오창과학산업단지 내에 다수 설치된 LID 시설에 의한 배수구역 규모의 효과를 평가하기 위하여 배수구역 단위의 유량 및 수질분석 모니터링이 수행되었다. 2015년~2018년간 강우시 유출저감효율은 19.9%로 나타났으며. 배수구역 단위의 비점오염물질(TSS, BOD, TOC, T-N, T-P 등) 저감효율도 20% 내외로 안정되게 나타나는 것으로 평가되었다. 평균 유출저감효율은 19.9%로 나타났으며, TSS는 20.5%, BOD는 19.6%, TOC는 19.8%, T-N은 18.7%, 그리고 T-P는 18.8%로 평가되었다. 이러한 수치는 LID 기술요소별 저감효율에 비하여 낮은 삭감량이지만 오창과학산업단지 내 LID 시설에서 처리하는 집수면적이 30.8%에 불과한 상황에서는 매우 큰 저감효율로 평가된다. 또한 모니터링이 10㎜ 이상의 강우에 대하여 수행된 것을 감안하면 이러한 저감효율은 매우 보수적으로 산정된 것이라 평가된다.

[표 2-26] 배수구역 유출 및 오염물질 저감효과(2015~2018년 모니터링)

구역별	오염물질 저감효율(%)					유출저감효율 (%)
	TSS	BOD	TOC	T-N	T-P	
배수구역	20.5	19.6	19.8	18.7	18.8	19.9

자료 : 환경부, 한국환경공단, 빗물유출제로화 시범사업 백서, 2019

시범사업 외에 설치된 대조군 관측정의 경우, 강우시 최대 1.1m가 증가하였고 실험군 관측정의 경우, 최대 2.1m 수위가 증가하였다. 이는 LID가 설치되지 않은 지역보다 LID가 설치된 지역이 지하수 함양에 더 유리하며 이는 도시 물순환에 효과적이라는 것을 의미한다. 대조군의 지하수 함양률이 10.6%인 것에 비해 LID 설치지역의 지하수 함양률

은 15.6%로 높게 나타났다. 이러한 결과는 지하수 확보에 LID 시설이 유용하다는 것을 보여주고 있으며 도시 물순환에 효과적이라는 것을 의미한다.

[표 2-27] 지하수 함양 효과

구분	대조군				LID 설치지역			
	1차	2차	3차	평균	1차	2차	3차	평균
함양률 (%)	10.50	10.82	10.38	10.57	15.43	16.51	14.95	15.63

자료 : 환경부, 한국환경공단, 빗물유출제로화 시범사업 백서, 2019

LID 시설의 효과 평가는 장기간의 모니터링 자료가 필요하나 시간과 비용 측면에서 모니터링과 모델링의 적절한 연계가 필요하다. 모델을 통한 LID 시설의 장기모의는 연간 발생하는 약 76회 이상의 강우에 비해 6회로 한정된 모니터링의 자료를 보완할 수 있는 접근법이다. 본 사업의 효과 평가를 위해서 EPA-SWMM 모형을 이용하였으며, 모니터링 자료를 이용하여 검·보정을 수행하였다. EPA-SWMM 모형 적용을 통하여 대상지역의 LID 시설별, 배수구역별 장기효과 평가를 수행하였다.

EPA-SWMM 모의 결과를 바탕으로 2005~2017년의 장기모의를 통하여 LID 기술요소가 설치된 배수구역 및 집수구역에서의 유출 및 오염물질 저감효율을 분석하였다. 배수구역 단위에서는 약 24.1%의 유출저감효율이 도출되었으며, 집수구역 단위에서는 50.3%로 나타났다. LID 기술요소별 오염물질 저감효율은 34~98%로 매우 다양하게 나타났다.

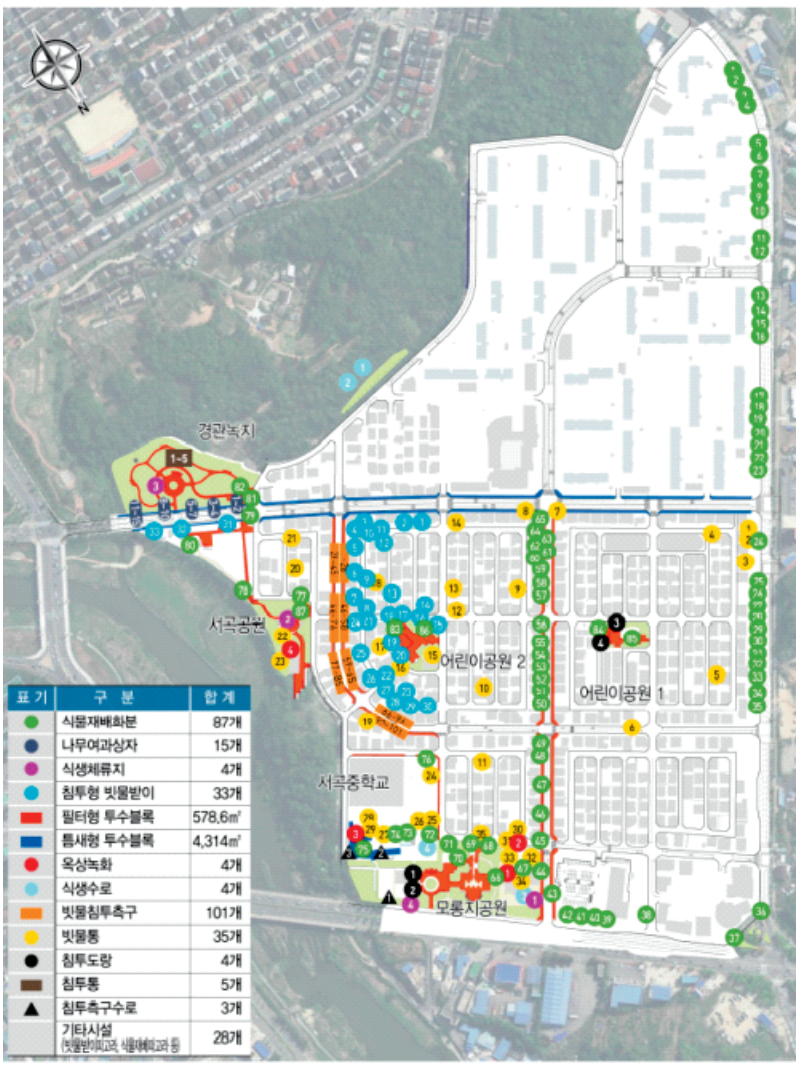
[표 2-28] LID 기술요소별 유출 및 오염물질 저감효과

기술요소별	오염물질 저감효율(%)					유출저감효율 (%)
	TSS	BOD	TOC	T-N	T-P	
식물재배화분	72.9	77.7	72.9	77.7	72.9	77.7
나무여과상자	72.0	73.0	72.0	73.0	72.0	73.0
식생체류지	98.4	33.7	98.4	33.7	98.4	33.7
침투형 빗물받이	82.9	37.7	82.9	37.7	82.9	37.7
투수블록	64.0	38.6	64.0	38.6	64.0	38.6

자료 : 환경부, 한국환경공단, 빗물유출제로화 시범사업 백서, 2019

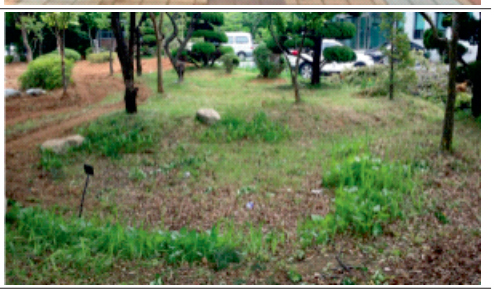
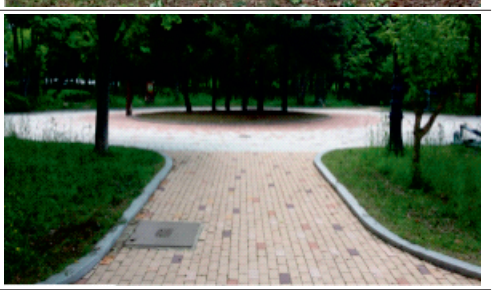
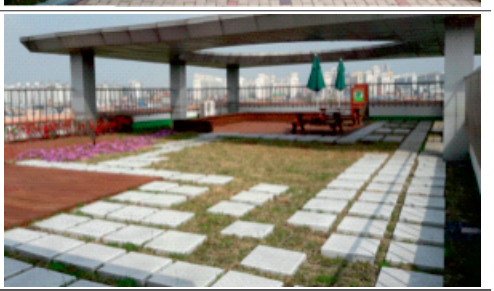
○ 2단계 시범사업

식생체류지, 식물재배화분, 나무여과상자, 침투도랑, 침투통, 침투형 빗물받이, 투수블록 등 12종류 LID 기술요소를 설치하였으며, 파고라 및 의자 등 휴게시설물 그리고 LID 기술요소 홍보를 위한 조형물 및 안내판, 홍보용 동판을 설치하였다.



자료 : 환경부, 한국환경공단, 빗물유출제로화 시범사업 백서, 2019

[그림 2-40] LID 기술요소 배치도 (2단계 시범사업)

기술 요소	전	후
식물 재배 화분		
식생 체류지		
투수 블록		
옥상 녹화		

자료 : 환경부, 한국환경공단, 빗물유출제로화 시범사업 백서, 2019

[그림 2-41] LID 기술요소 도입모습

전주시 서곡지구의 도로, 공원, 옥상 등에 조성된 LID 시설에 대하여 3년간 모니터링이 수행되었다. 강우시 LID 기술요소별 모니터링 결과는 기술별 효율평가 뿐만 아니라 시설의 운영 및 유지관리 기준을 설정함에 이용할 수 있다. 또한 운영 중에 나타날 수 있는 문제점을 미리 파악하여 향후 물순환 선도도시 조성에 활용 가능한 계획시, 설계시 및 운영시 고려가능한 자료를 도출할 수 있다.

2016~2018년 기간 동안 수행된 모니터링 결과를 이용하여 LID 기술요소별 평균 유출저감효율을 정리한 결과, LID 시설의 물순환 기능(저류, 침투, 증발산 등)과 식물과 미생물의 생물학적 오염물질 저감기작 (광합성, 호흡) 및 토양여재의 물리화학적 기작(흡착, 여과, 이온교환 등) 등에 의하여 강우시 유출되는 오염물질의 저감효율이 매우 큰 것으로 평가되었다. LID 시설 설치 후 초기에는 시설의 안정화 과정을 거치느라 다소 폭넓은 저감효율을 보였으나 식물 및 시설의 안정화가 진행되면서 오염물질 저감능력도 안정화 되는 것으로 평가되었다. 또한 물순환 기능이 높을수록 오염물질 저감능력이 향상되는 것으로 평가되었다.

[표 2-29] LID 기술요소별 유출 및 오염물질 저감효과(2016~2018)

기술요소별	오염물질 저감효율(%)					유출저감효율 (%)
	TSS	BOD	TOC	T-N	T-P	
식물재배화분	90.9	8.1	86.0	86.3	83.3	83.9
나무여과상자	92.8	90.3	90.7	90.6	88.4	92.4
식생체류지	96.9	92.5	89.3	93.1	97.5	78.6
침투형 빗물받이	75.7	62.7	57.0	57.2	61.9	54.1
투수블록	97.2	91.8	88.7	89.7	98.1	69.4

자료 : 환경부, 한국환경공단, 빗물유출제로화 시범사업 백서, 2019

전주시 서곡지구의 토지이용은 주거지역으로 분류되지만 상업지역과 공공기관 및 공원녹지 등이 혼재되어 있는 지역이다. 각 토지이용은 건물, 주차장, 도로, 인도 등으로 구성되어 있으며, 강우시 비점오염물질을 배출한다. 특히 도로, 건물지붕, 주차장 및 인도 등은 높은 불투수면적으로 인하여 강우시 유출률이 매우 높은 지역이다.

따라서 전주시 서곡지구 내 LID 시설은 불투수면적이 높은 지역에 시설을 다수 설치함으로써 유출 및 오염물질 저감을 꾀하기 위하여 설치되었다. 전주시 서곡지구 내에 다

수 설치된 LID 시설에 의한 배수구역 규모의 효과를 평가하기 위하여 배수구역 단위의 유량 및 수질분석 모니터링이 수행되었다. 배수구역 차원에서의 LID 시설의 효과를 평가하기 위해서는 사업 전과 후의 유출량 및 오염물질 저감량을 비교하는 것이 최선이다. 그러나 사업 전 다양한 강우사상에 대한 2~3년 이상의 충분한 모니터링을 수행하기 불가능하기에 유사한 유역을 대조 배수구역으로 선정하여 모니터링을 동시에 수행함으로써 효과를 평가하였다.

배수구역에서의 유출 및 오염물질 저감효율에 대한 3년 평균값을 살펴보면, 평균 유출저감효율은 18.0%로 나타났으며, SS는 20.4%, BOD는 21.2%, TOC는 20.4%, T-N은 20.9% 그리고 T-P는 20.0%로 평가되었다. 이러한 수치는 LID 기술요소별 저감효율에 비하여 낮은 값이지만 서곡지구 내 LID에서 처리하는 집수면적이 13.8%에 불과한 상황에서는 매우 큰 저감효율로 평가된다. 또한 모니터링이 10㎜ 이상의 강우에 대하여 수행된 것을 감안하면 이러한 저감효율은 매우 보수적으로 산정된 것이라 평가된다.

[표 2-30] 배수구역 유출 및 오염물질 저감효과(2016~2018)

구역별	오염물질 저감효율(%)					유출저감효율 (%)
	TSS	BOD	TOC	T-N	T-P	
배수구역	20.4	21.2	20.4	20.9	20.0	18.0

자료 : 환경부, 한국환경공단, 빗물유출제로화 시범사업 백서, 2019

지하수 함양률 효과를 살펴보면, 대조군의 지하수 함양률이 14.9%에 비해 LID 설치지역의 지하수 함양률은 17.9%로 높게 나타났다. 이러한 관측값은 수질분석을 위하여 지하수를 채수하였음에도 나타난 결과이기에 매우 보수적으로 산정된 값으로 평가된다. 이러한 결과는 지하수 확보에 LID 시설의 유용하다는 것을 보여주고 있으며 도시 물순환에 효과적이라는 것을 의미한다.

[표 2-31] 지하수 함양 효과

구분	대조군				LID 설치지역			
	1차	2차	3차	평균	1차	2차	3차	평균
함양률(%)	14.80	15.10	14.88	14.93	17.74	17.95	17.97	17.88

자료 : 환경부, 한국환경공단, 빗물유출제로화 시범사업 백서, 2019

3. 물순환 선도도시[9)]

1) 추진 개요

환경부에서는 국내 대도시의 도심지역이 높은 불투수면적률로 인해 홍수와 수질악화, 물순환 왜곡문제가 제기되지 저영향개발기법이 도입된 모델 구축의 필요성을 인식하였다. 이를 위해 2016년 기준 국내 인구 10만명 이상의 대도시 74곳을 대상으로 물순환 선도도시 사업을 공모하였고 대전광역시, 광주광역시, 울산광역시, 김해시, 안동시가 선정되었다. 선정된 지자체는 비점오염물질 저감 및 그린인프라 설치 노력의 일환으로 2016년부터 물순환 선도도시 사업을 추진하게 되었다.

2) 도입 사례

○ 대전광역시

도시화로 인한 불투수면 증가에 따라 도시홍수, 하천 건천화, 지하수 고갈 등 물순환 훼손 심화되어 물순환 선도도시를 조성하고자 한다. 초기 개발단계부터 빗물의 저류·침투 확대로 건강한 도시물순환 기능회복을 위한 제도 및 투자[10)]를 강화하였다. 대전광역시 물순환 개선 조례(208.01.18), 대전광역시 물순환 기본계획 수립(2018.12.25.), 물순환 회복 사전협의제 시행(2019.01.18.)하여 제도적 기반을 구축하였고, 더불어 2018년부터 시범사업 설계용역에 착수해 샘머리공원에 빗물정원 조성 등 지역특화사업 반영, 환경부 설계승인, 시설공사 발주 및 시공사 선정을 모두 마치고 2020년 착공에 들어가게 됐다.

둔산1·2동, 월평1·3동, 갈마1동 등 서구 둔산권 5개동 시범사업지역(2.67㎢)을 공원, 도로, 관공서로 나눠 부문별 특성에 맞는 저영향개발(LID)시설을 설치하게 된다.샘머리공원을 비롯 은평, 갈마, 둔지미, 씨애틀, 보라매 등 6개 근린공원 일원(36.8ha)에는 노후시설 개선과 함께 식생체류지, 식생수로 등을 설치한다. 시범 사업지 내 총 연장 64㎞의 보행로 및 주차장 등 도로지역에는 보행자와 차량이동에 따른 민원 최소화를 위해 투

---

9) 도심의 불투수면에 의해 파괴된 물순환을 저영향개발기법 등을 이용하여 도시조성 이전의 물순환 상태로 되돌리기 위해 시범사업을 진행하는 도시

10) 환경부 공모사업 선정 협약체결('16.06.23) / 총 사업비 280억 원(국비 195.2 / 시비 84.8)

수성 포장(49,466㎡) 및 침투측구, 침투빗물받이 등 침투형 시설이 설치되고, 대로변에는 식물재배화분 등 식생형 시설들이 주변과 조화를 이뤄 경관개선 효과도 기대된다.
시민들의 방문이 잦은 시교육청, 경찰청, 고등법원, 서대전세무서 등 10개 공공기관의 건물과 주차장에는 각각 빗물통과 잔디블럭, 식생체류지 등을 배치해 시민 접근성 및 체험·홍보효과 향상에 초점을 맞췄다.

자료 : 대전광역시, 「건강한 물순환 선도도시, 대전」 조성계획, 2018

[그림 2-42] 대전광역시 물순환 선도도시 계획

이번 시범사업을 통한 기대효과로는 우선, 불투수면적률(대전시 시가화지역 불투수면적률 평균 62.33%, 대전시 전체 21%)의 경우 현재 74.64%에서 66.07%로 8.57% 감소해 연간 빗물유출량이 23만 톤 감소하는 반면 물순환 회복률은 현재 39.60%에서

50.13%로 10.53% 증가해 물순환구조의 건강성이 크게 향상된다. 비점오염원 저감 및 연간 19만 톤의 지하수 함양효과 등에 따른 물환경 개선과 함께 도심생태녹지축 연결사업의 선도사업으로서 중복공사 방지를 통한 예산절감과 도시경관개선에도 기여함은 물론 지역업체의 시설공사 참여율을 높여 지역경제 활성화에도 보탬이 될 것으로 기대된다.

○ 광주광역시

광주광역시는 협의회 참여단체, 기관, 기업 등과 함께 다양한 사업과 프로젝트를 진행한 바 있어 행정의 적극적인 협업 자세, 전문가의 높은 지원력을 높게 평가받아 1등으로 선정되었다. 보다 객관적이고 체계적인 물순환 회복을 위하여 「물순환 기본 조례」 및 물순환 기본계획을 수립하였다. 또한 사업의 일환으로 '2020년도 빗물저금통 설치 지원사업'을 추진하여 빗물 재활용을 활성화 하였으며 광주광역시와 환경부 합동으로 '물순환 선도도시 조성 시민포럼'을 개최하여 시민들에게 사업을 설명하고 시민, 환경단체, 전문가 등 각계의 의견을 수렴하는 등 물순환 선도도시의 기초를 마련하였다.

기존 공공도로의 가로수 주위에 식생체류지, 식물재배화분, 나무여과상자 등을 현장여건 및 주변경관과 어울리게 설치하고 인도, 자전거도로, 주차장에 전면투수블록, 집수형블록, 저류형블록, 잔디블록 등 다양한 투수성포장도 설치하게 된다.

특히 상무중앙로는 물순환 특화거리로 조성해 주변환경과 조화를 이룬 대규모 식생체류지, 식물재배화분이 녹지공간을 연결하고 자전거도로에는 친환경 점토틈새블록이 적용될 예정으로 경관개선 효과가 클 것으로 예상된다. 또 시민들의 방문이 잦은 서부경찰서, 김대중컨벤션센터 등 7개 공공기관의 건물, 주차장과 공원 등에 시설을 배치해 시민 접근성 및 사업 홍보효과 향상에 초점을 맞췄다.

사업이 마무리되면 상무지구 불투수면적은 91%에서 59%로 빗물유출량은 85%에서 32%로 감소하고, 지하수는 4%에서 57%로 증가하는 등 물순환 구조의 건강성이 크게 향상될 뿐만 아니라 비점오염물질 저감으로 광주천 수질개선 효과도 기대된다.

자료 : 광주시, 물순환 선도도시로 본격 도약한다. 광주광역시 보도자료(2020.12.16.)

[그림 2-43] 상무지구 저영향개발기법 조성 전후

제3절 국외 LID 도시 적용 사례

1. 미국[11)]

1) 미네소타 주 트윈시티 일대

미니애폴리스와 세인트폴 일대에 다양한 그린인프라 프로젝트가 시행되었다. 먼저 강우유출수 양을 감소시키고 해당지역의 생활환경 개선을 위하여 리빙 스트리트(Living Streets), 37번가 그린웨이(37th Avenue Greenway), 쇼어뷰 다공성 도로(Shoreview Porous Streets) 등의 도로 정비사업을 시행하였다.

리빙 스트리트는 세인트폴 북동쪽에 위치한 메이플우드 주거지 내 15블럭에 걸쳐 조성되었다. 이 프로젝트는 도로가 운전 및 주차를 위한 공간 이상의 시설이라는 인식에서 비롯되어 운행차량의 속도를 감소시키고 보행환경을 개선하기 위해 차도를 좁히고 인도를 확장하였다. 즉, 양방향 가능하던 주차 공간을 한방향만 가능하도록 축소하여 차도 폭이 32인치에서 24인치로 줄었고, 보도가 1.5마일 확장되었다. 또한 32개소의 빗물정원을 설치하고 곳곳에 보도턱을 낮춤으로써 빗물이 빗물정원으로 흡수되기 쉽게 하였으며, 침투지 및 배수가 좋지 않은 토양에 200여 그루의 내건성 나무를 식재하였다.

빗물정원과 보도턱 낮추기 모습

도로 축소 모습

저류지

자료 : 환경부, 한국환경공단, 전국 불투수면적률 조사 및 개선방안 연구. 2013

[그림 2-44] 리빙 스트리트 LID 적용 모습

11) 환경부, 한국환경공단, 전국 불투수면적률 조사 및 개선방안 연구. 2013

37번가 그린웨이는 홍수 및 강우유출수 저감을 위해 37번가의 일부를 보행자 중심의 녹색보도로 전환한 사업이다. 해당 지역에는 지하 저류시설과 빗물정원 등을 설치하고 가로수를 식재하였으며, 생물여과 시스템을 활용하여 빗물이 크리스탈 호(Crystal Lake)에 도달하기 전에 인과 퇴적물 등을 제거하도록 하였다. 이와 더불어 두 블록은 차량 속도를 감소시키기 위해 차도를 좁히고, 세 블록은 차량이 운행할 수 없는 자전거/보행 도로로 전환하였다.

그린웨이 전경

자전거 및 보행도로

자료 : 환경부, 한국환경공단, 전국 불투수면적률 조사 및 개선방안 연구. 2013

[그림 2-45] 37번가 그린웨이 LID 적용 모습

그리고 쇼어뷰 시에서는 2009년에 빗물의 원활한 배수를 위하여 7인치 두께의 투수성 콘크리트로 도로를 재포장하였다. 도로 재포장 이후 이 지역에서는 겨울에 제설 작업을 위한 염류를 사용하지 않게 되었다.

쇼어뷰 시 도로 전경

투수성 포장재

자료 : 환경부, 한국환경공단, 전국 불투수면적률 조사 및 개선방안 연구. 2013

[그림 2-46] 쇼어뷰 시 LID 적용 모습

한편, 오염된 강우유출수가 수계로 흘러들어가는 것을 방지하기 위하여 대규모 보수공사가 시행되었다. 먼저, 콜만 호(Kohlman Lake) 및 미시시피 강의 수질을 개선하기 위하여 72에이커 면적의 쇼핑센터인 메이플우드 몰의 강우유출수를 저감 및 여과시키는 보수사업을 시행하였다. 이를 위하여 약 1마일의 STTeMS(Stockholm Tree Trench Method for Stormwater) 처리 시스템과 지붕 낙수를 채집하기 위한 5,700갤런 용량의 저수조, 55개소의 빗물정원 등을 설치하였고 6,733 ft2 면적의 주차장에 투수성 포장을 시행하였다. 그 결과 보수공사 전 집수 및 침투되던 빗물이 3%였던 데 비하여 현재 67%의 빗물이 집수 및 침투되고 있다.

몰 입구에 설치된 빗물저류조

주차장에 설치된 빗물정원

자료 : 환경부, 한국환경공단, 전국 불투수면적률 조사 및 개선방안 연구. 2013

[그림 2-47] 메이플우드 몰 LID 적용 모습

타겟 필드와 타겟 센터, TCF 뱅크 스타디움 등 경기장 역시 그린인프라를 활용한 빗물처리 시스템을 마련하였다. 농구 경기장인 타겟 센터는 2.5에이커 면적의 옥상녹화로 유명한데, 이는 북미 지역에서 5번째로 넓은 면적이다. 타겟 센터의 옥상정원은 매년약 100만 갤런의 빗물을 집수하여 강우유출수 저감에 기여할 뿐만 아니라 도심 열섬효과 저감, 생물 서식처로서의 기능, 대기질 개선 등의 효과를 거두고 있다.

타겟센터 모습

타겟센터 옥상녹화 모습

자료 : 환경부, 한국환경공단, 전국 불투수면적률 조사 및 개선방안 연구. 2013

[그림 2-48] 타겟센터 LID 적용 모습

미니애폴리스 시와 세인트폴 시는 2010년 12월부터 각 도시의 다운타운사이 11마일을 연결하는 경전철 공사를 진행 중에 있다. 시는 이 사업에 통합 빗물관리 시스템을 적용하기로 결정하고 5마일 정도의 철로를 따라 나무, 투수성 포장, 구조적 토양 및 침투도랑을 설치하였다. 또한 철로 옆 일반 도로에도 빗물정원, 침투도랑 등 그린인프라를 적용하여 강우유출수 저감을 꾀하고 있다.

인근 보도 빗물정원 모습

식생수로 모습

자료 : 환경부, 한국환경공단, 전국 불투수면적률 조사 및 개선방안 연구. 2013

[그림 2-49] 경전철 LID 적용 모습

2) 시카고

시카고 시는 2000년, 도시열섬 선도사업(Urban Heat Island Initiative)의 일환으로 시청 옥상녹화를 시행하였다. 이 옥상정원은 1인치의 강우를 수용할 수 있도록 설계되어 1,886㎡ 면적에 150종 이상의 자생식물이 식재되어 있는데, 빗물을 모으는 효과를 가질 뿐 아니라 여름철 지붕 온도를 낮춰 냉방에 소모되는 에너지를 절감시키고 동식물의 서식 공간으로도 기능하고 있다. 또한 시카고시의 그린 테크놀로지 센터는 높은 에너지 효율과 환경 친화적인 설계를 바탕으로 건축된 건물로서 미국 친환경건물협의회의 LEED 인증을 받았다. 이 센터에 적용된 BMP는 옥상녹화, 빗물수집통, 식생수로, 빗물저류지, 빗물정원 등이고 건물 내외부에 재활용과 에너지 효율을 고려한 친환경 설계가 이루어져 있다. 이 건물은 발생원 단계에서 빗물을 분산식으로 처리할 수 있는 다양한 BMP의 적용을 보여주는 사례이기 때문에 환경교육장으로도 활용되고 있다.

현재 시카고 녹색 기술 센터의 본거지인
17에이커의 이전 산업 부지의 모습

CCGT 캠퍼스에 전력을 공급하는 태양 전지판

옥상정원 및 태양 전지판 모습

자료 : Chicago Green Tech Center Goes Double Platinum, earthtechling
https://earthtechling.com/2013/01/chicago-green-tech-center-goes-double-platinum/,

[그림 2-50] 시카고 그린 테크놀로지 센터 LID 적용 모습

3) 미시건

미시건 주의 포드 루지 트럭공장은 에너지 효율이 높고 자연 순환기능과 생태계를 고려하는 친환경 건축물로서 공단지역의 가장 모범적인 사례로 손꼽힌다. 채광을 위한 창문이 설치되어 에너지 효율을 높이며 건물 외부에 식생수로와 저류지, 습지 등이 설치되어 있어 도로와 주차장, 옥상에서 나오는 강우 유출수를 흡수한다. 옥상의 녹화지붕에서 흡수된 물은 건물 내부 빗물 수집통에 저장되어 중수로서 화장실에서 사용된다. 옥상에는 녹화지붕 외에도 태양 집광판이 설치되어 있어 태양에너지를 이용하고 있다. 또한 옥상녹화 지붕은 살아있는 지붕으로 조류, 나비, 곤충의 서식처로 이용되고 있으며 킬디어라는 조류는 둥지를 틀어 알을 낳아 10에이커의 녹색지붕이 새를 위한 공간이라고 불리운다.

포드 루지센터 계획도

안정화된 옥상녹화 모습

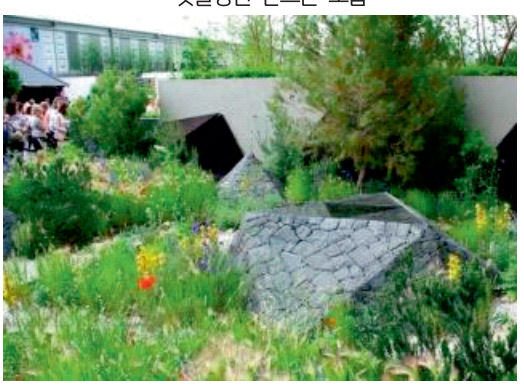
옥상 세덤군락에서 발견한 칼디어 알

자료 : William McDonough+ Partners, https://mcdonoughpartners.com/projects/ford-rouge-center-landscape-master-plan/, 접속일 2021.09.29.

[그림 2-51] 미시건주 포드 루지 트럭 공장 LID 적용 모습

미시건 주 남서부에 있는 오클랜드 카운티의 루우지 강(Rouge River) 유역에서 빗물정원(rain garden) 프로젝트가 시작되어 2002년 처음으로 라쓰럽 빌리지(City of Latrup Village)에 빗물정원이 설치되었다. 미시간 서부에서는 2002년 West Michigan Environmental Action Council의 수질 프로그램 중 하나로 그랜드 래피즈(Grand Rapids)에 처음 빗물정원을 설치한 이래로 이 지역을 중심으로 활발하게 빗물정원을 적용하고 있는데, 현재 25개소의 예시 모델 빗물정원을 운영하며 홍보 및 교육을 하고 있다. 비전문가가 쉽게 빗물정원을 조성할 수 있도록 '레인스마트 코치'를 통해 접근할 수 있도록 도와주며 조성 가능한 식물을 찾을 수 있도록 홈페이지에 알리고 있다.

빗물정원 구하기 프로젝트 일환
- 빗물정원 만드는 모습



다양한 재료를 활용하여 정원을 꾸밈

자생식물을 최대한 활용하여 식생수로 조성

자료 : 로우지프로젝트 홈페이지, https://therouge.org/plantsforraingardens/, 접속일 2021.09.29.

[그림 2-52] 루우지 지역 내 LID 적용 모습

2. 독일[12)]

1) 프랑크푸르트 에코하우스[13)]

에코하우스 중앙동은 6층의 장방형으로 남측면의 현관부분이 거대한 유리 아케이드로 구성되어 있으며 내부에 4층까지 접근이 가능한 계단실이 설치되어 있다. 중앙동의 북쪽에는 2층의 부속건물을 두고 연결부분에 유리 아케이드를 설치하여 두 동을 연결하고 있다. 남쪽면의 유리 아케이드는 건물 각 공간을 연결하는 역할을 할 뿐만 아니라 사무공간의 실내기후를 쾌적하게 유지하는 데 도움을 주고 있다. 유리 아케이드 전면에는 빗물 연못이 설치되어 있으며, 아케이드 내부에 그늘을 제공하기 위해 식재된 식물들과 빗물을 이용한 캐스케이드 등은 실내 습도를 높여주고 사무공간의 온도 상승을 제어하는 역할을 한다.

한편 옥상녹화 부분과 연못은 빗물을 저류하는 역할을 한다. 지붕과 테라스 바닥 부분의 약 50% 정도가 잔디와 관목, 교목으로 식재되어 있으며, 녹화된 지붕면과 유리 함석 지붕을 통하여 내려오는 빗물은 건물 외곽을 따라 설치된 자갈이 깔린 처마홈통 등을 거쳐 갈대와 골풀이 심어져 있는 식물여과조를 통과함으로써 지속적으로 수질정화작용을 하며 연못주위의 수조로 흐른다.

에코하우스 전경

식물여과조 모습

자료 : 환경부, 한국환경공단, 전국 불투수면적률 조사 및 개선방안 연구. 2013

[그림 2-53] 에코하우스 LID 적용 모습

---

12) 환경부, 한국환경공단, 전국 불투수면적률 조사 및 개선방안 연구. 2013

13) 서울특별시, 서울시 물순환기본계획 연구, 2004

건물 북쪽에 설치된 연못과 빗물저류용 수조는 서로 연결되어 연못의 수위를 일정하게 유지시켜주며, 건물 남측에 위치한 연못의 물이 넘칠 경우 북측의 수조로 흘러들도록 하여 수위조절이 되도록 하고 있다. 빗물저류용 수조의 물은 건물 전체의 화장실 세척용으로 사용하고 있는데, 이렇게 사용되는 빗물이 전체 화장실 세척용수의 5분의 1 정도(연간 2,000㎥)에 해당된다. 수조의 빗물은 지붕녹화한 부분에 관개수로도 사용하며 부족한 양은 도시 상수도로 공급하고 있다. 건물 북측에 위치한 연못물은 인접한 평지붕을 흘러 3단계의 식물여과조를 단계적으로 순환하면서 정화되도록 되어있다.

2) 카멘시 세세케 주거단지

루르 지역의 카멘시 세세케 주거단지는 1995~1997년, 33ha 규모로 조성되었다. 이 단지는 주거지역 및 사업지구 설계계획 시 생태 빗물관리계획이 이루어졌으며 넓은 오픈스페이스 및 녹지공간이 조성되었다.

주거단지는 U자형의 모양을 가지는데, 단지 가운데로 빗물을 이용하여 조성한 수로가 형성되어 있다. 이 수로는 단지 중앙의 저류연못을 거쳐 침전연못–정화구역–저류연못으로 흐른 뒤 다시 지하로 들어가는 과정을 통해 지속적으로 단지 내 수공간을 제공하고 빗물을 정화하는 역할을 한다. 단지중앙에 위치한 중앙연못은 빗물을 저류, 침투시키는 역할과 주민들의 친수공간으로서의 역할을 하며 갈대, 연꽃 등의 정수식물 식재를 통해 정화기능을 하기도 한다. 이렇게 정화된 빗물은 태양광 에너지를 이용하여 수원으로 되돌려 보낸다.

단지 내부에 설치된 수로는 대부분 개거형으로 암거형에 비해 증발산 효과가 좋다. 또한 단지 곳곳에 위치한 공공의 오픈스페이스는 녹화를 통해 강우 시에는 빗물을 저류시키는 역할을 하며 평상시에는 식물에 의한 증발산을 통해 열섬효과를 예방한다. 단지 외부공간의 경우 넓은 공간과 선형의 대규모 투수도랑과 자갈층 조합시설을 조성하여 빗물의 저류·침투가 이루어지도록 되어 있다. 이는 Emscher park 계획에 의해 루르 지역 전체에 연결되어 있는 선형의 빗물 침투저류시설이다.

선형 빗물침투 저류시설의 모습
자료 : 환경부, 한국환경공단, 전국 불투수면적률 조사 및 개선방안 연구. 2013

[그림 2-54] 세세케 주거단지 내 LID 적용 모습

3) Rummelsburg Bucht 생태주거단지

독일 베를린 중심부를 흐르는 슈프레강(Spree River)에 위치한 Rummelsburg Bucht 생태주거단지는 물 순환을 위해서 단지 전면에 오픈스페이스를 조성하고, 빗물의 침투·저류·정화를 위한 뮬데-리골렌 (Mulde-Rigolen System)이라는 계획요소를 도입하였다. 주거단지 진입로인 Alt-Stralau를 따라 도로와 보행로 사이에 뮬데(도로와 보행로보다 낮게 파이고 잔디가 식재된 빗물침투지)를 설치하였다. 각 뮬데는 우수의 유입구, 저류 및 침투구, 우수 관거와의 연계구 등으로 시스템화되어 있고, 주변의 환경에 맞추어 각기 다른 뮬데 시스템을 적용하였다.

뮬데(빗물침투지) 모습
자료 : 환경부, 한국환경공단, 전국 불투수면적률 조사 및 개선방안 연구. 2013

[그림 2-55] Rummelsburg Bucht 주거단지 내 LID 적용 모습

제3장 고양시 LID 기술 적용방안

제1절 저류형 LID 기술

제2절 침투형 LID 기술

제3절 복합형 LID 기술

제1절 저류형 LID 기술

1. 식생 저류지

1) 개요

식생 저류지는 식물이 심어진 토양층과 모래층 및 자갈층으로 구성되어 있어 빗물이 토양으로 쉽게 침투되면서 빗물오염물질을 저감시키는 시설이다. 우수관으로 유출되는 빗물을 토양으로 환원시켜 도시의 온도 상승 원인인 열섬효과를 낮추고, 경관을 개선하는 효과가 있다.

2) 고양시 식생저류지 현황

고양시의 식생 저류지는 일산서구의 택지지구인 덕이지구 일원에 분산 배치되어 있으며, 3곳 모두 우수가 LID관을 통해 저류지에 비점오염물질과 혼입되면 저류지 내에 있는 식생의 흡착 및 토양 흡착, 침전 등의 현상을 바탕으로 비점오염물질을 내부에서 고정 및 정화하여 최종적으로 물은 인접한 수계 및 하수종말처리장으로 보내 최종처리하는 방식이다.

[표 3-1] 고양시 식생 저류지 현황

시설명	처리방법	위치	초기 우수량 (m^3/일)
저류형 A	저류형	고양시 일산서구 덕이동 일원 (고양덕이지구 도시개발사업)	735
저류형 B	저류형		1,075
저류형 C	저류형		1,105

저류형 A

저류형 B

[그림 3-1] 덕이지구 내 식생 저류지

저류형 C

[그림 계속] 덕이지구 내 식생 저류지

3) 식생저류지 적용방안

식생 저류지는 주거단지, 산업단지, 각종 공원, 도로, 주차장 등 다방면의 입지에 적용 가능하며, 기존 녹지를 활용할 수 있으므로 부지 확보가 용이하다. 기존 녹지공간을 활용하지 않을 경우 비교적 넓은 부지면적이 소요되므로 토지이용계획 수립 시 설치 부지를 사전에 확보하는 것이 필요하다. 또한 저류용량 및 침투량이 제한적이므로 용량을 초과하는 우수 유입 시 침수 등의 피해가 발생하지 않도록 인접한 우수관로와의 연계가 매우 중요하며, 지하수위와 기반암의 인접 여부에 따라 설치가 제한적이므로 충실한 기초조사가 중요하다.

[그림 3-2] 토지이용계획 수립 시 식생저류지 적용 (예시)

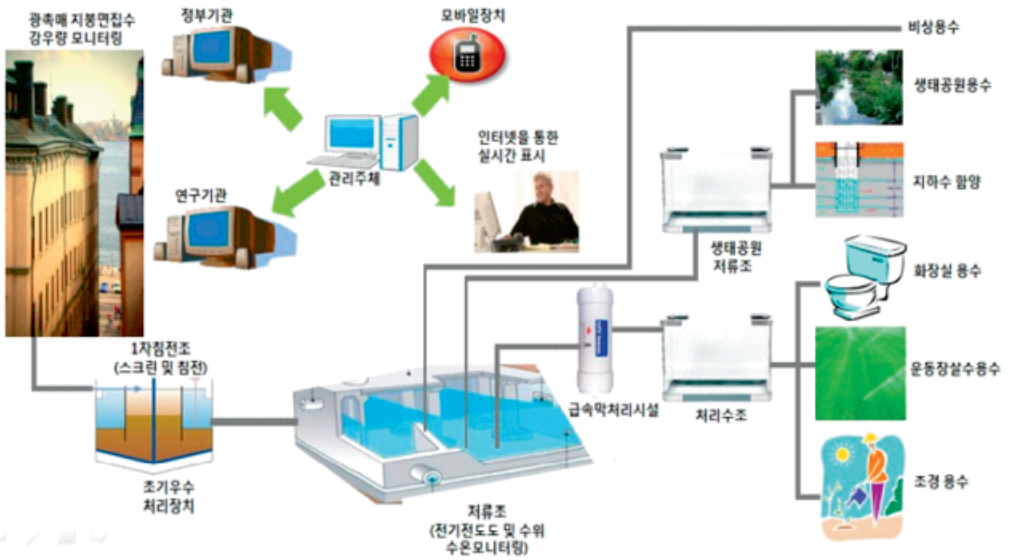
2. 지중 빗물저류조

1) 개요

지중 빗물저류조는 집중 호우 시 빗물을 저장하여 배수관로의 부담을 줄여주어 침수와 역류를 막고 저장된 물을 재사용하여 물 부족 문제 해결과 호우 피해 방지가 동시에 가능한 방법이다. 계획 저류량 및 계획부지의 형상에 대응한 합리적, 경제적 설계 및 시공이 가능하고, 저류공간 확보 및 유지관리가 용이하며, 저류조 상부는 공원이나 주차장, 도로 등으로 이용 가능한 지하 매설형 우수유출억제시설이다.

2) 고양시 지중 빗물저류조 현황

일산서구 주엽동에 위치한 주엽초등학교에는 2004년 지중 빗물저류조가 설치되어 현재까지 운영되고 있다. 집수된 빗물은 침전 후 조경용수, 살수용수, 비상용수로 사용되며 처리 후에는 화장실 세정용수로도 사용되고 있다.



[그림 3-3] 주엽초등학교 빗물 이용 개통도

[그림 3-4] 주엽초등학교 빗물저류조 구성

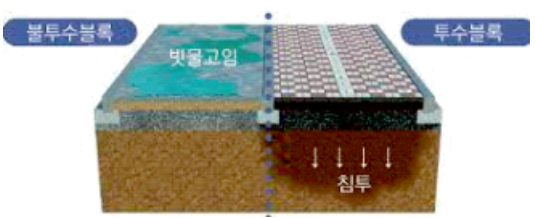
3) 지중 빗물저류조 적용방안

지중 빗물저류조의 경우 지하 매설방식으로 인해 상부를 다양한 용도(도로, 주차장, 공원, 체육시설 등)로 활용 가능하여 저류시설과 친수시설을 겸비한 가치있는 공간을 창출할 수 있다. 또한, 홍수다발구역인 고밀도 주택가에서 활용할 수 있으며, 주로 고층 주택 및 큰 건물 등의 지하공간을 이용하여 설치한다.

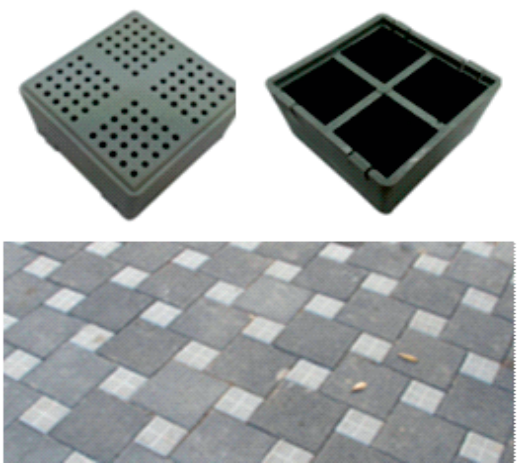
3. 저류형 투수블럭

1) 개요

도시화에 따른 인공물 포장면 증가로 수면이 감소하고 이로 인해 발생할 수 있는 지하수 고갈현상과 열섬현상의 증가 등 환경 생태의 심각한 문제를 해소할 수 있는 대안으로 제시되는 포장재로서, 우수한 투수성과 내구성, 자연석 표면층을 가지고 있어 미려하고 친환경적 경관 조성이 가능하다.



불투수블록 vs 투수블록 비교



저류형 투수블록

[그림 3-5] 투수블록 개요

2) 저류형 투수블럭 적용방안

투수블럭의 경우 노후화되어 교체 보수가 필요한 보도 구간에 설치하여 물 순환을 개선하는 동시에 주거환경 개선까지 도모할 수 있다. 주로 보도구역, 주차구간, 물순환 기능이 부족한 불투수층 보도블럭에서 우수관거로 직결되는 공간 등에 적용할 수 있다.

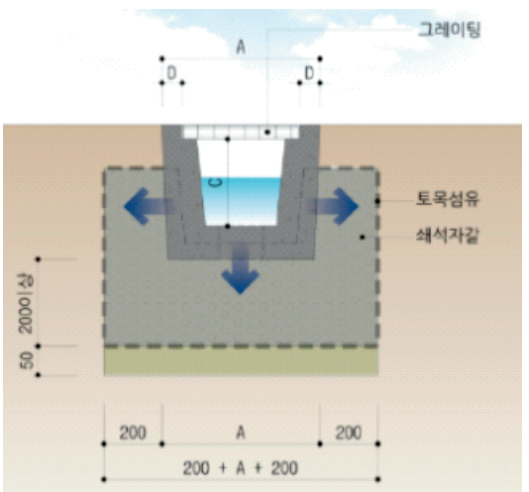
[그림 3-6] 투수블럭 적용(안) - 능곡동 현장

제2절 침투형 LID 기술

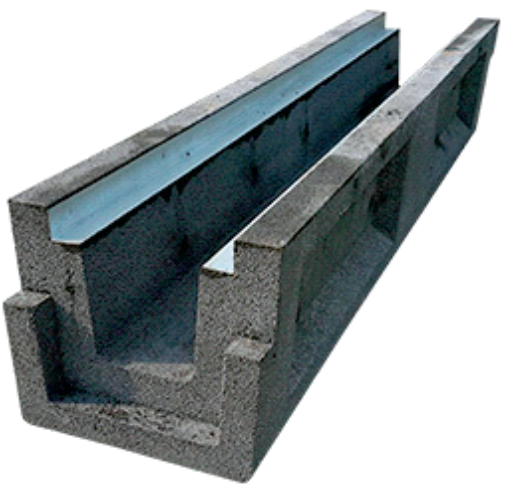
1. 침투측구

1) 개요

침투 측구는 일반 측구(U형)와 비슷한 구조이며 재질은 투수성 콘크리트 또는 투수구조(다공성, 유공 등)로 설치하고, 침투측구 주변을 쇄석으로 충진하여 빗물을 측면 및 바닥을 통해 땅 속으로 침투시키는 기술이다.



침투측구 구조

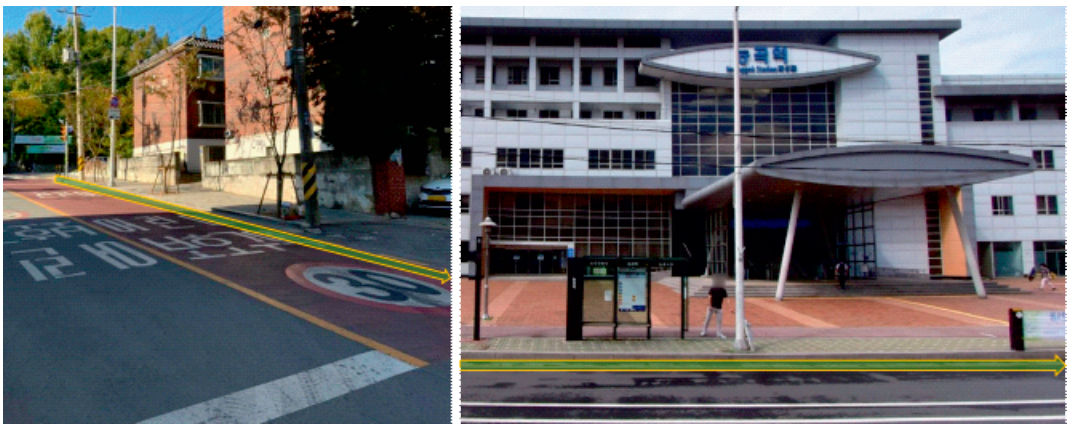


투수형 침투측구

[그림 3-7] 침투측구 개요

2) 침투측구 적용방안

일반적으로 침투 측구는 제약적인 공간에서 적용하기 용이하며, 주택, 주차장, 운동장, 도로 등의 가장자리에 주로 설치한다. 불투수면적이 많은 도로의 가장자리 부분은 침투측구를 적용하기 가장 용이하며, 도로에서 유입되는 빗물이 침투측구를 통해 쉽게 하부로 침투될 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 3-8] 침투측구 적용(안) - 능곡역 주변

2. 침투형 빗물받이

1) 개요

침투형 빗물받이는 기존 빗물받이에 빗물이 빠져나갈 수 있는 구조의 침투통, 투수관 등을 연결하여 빗물이 땅 속으로 잘 스며들 수 있도록 하는 시설이다. 빗물받이 내부 우수 수위에 따라 역류 유도형 필터통으로 우수를 역류시켜 정화하는 소형 필터부와 월류된 우수를 여과한 이후 하단에 설치된 저류조로 저장된 빗물을 일시 저류한 후 지반으로 침투시킨다.

[그림 3-9] 침투형 빗물받이 개요

2) 침투형 빗물받이 적용방안

도시 내 주요 침수지역 등 빗물받이가 부족한 구간에 우선 적용하여 통수능을 극대화 할 수 있다. 우수관로로 직결된 구간에 설치하여 우수관로로 유출되는 것을 최소화하고, 다량의 우수오염물질 제거 및 토양 환원이 가능할 것으로 판단된다. 기존 노후된 빗물받이가 설치된 구간을 교체하여 기능성을 향상하고 효과적인 물순환 개선이 예상된다.

[그림 3-10] 침투형 빗물받이 적용(안) - 능곡동 현장

3. 나무여과상자

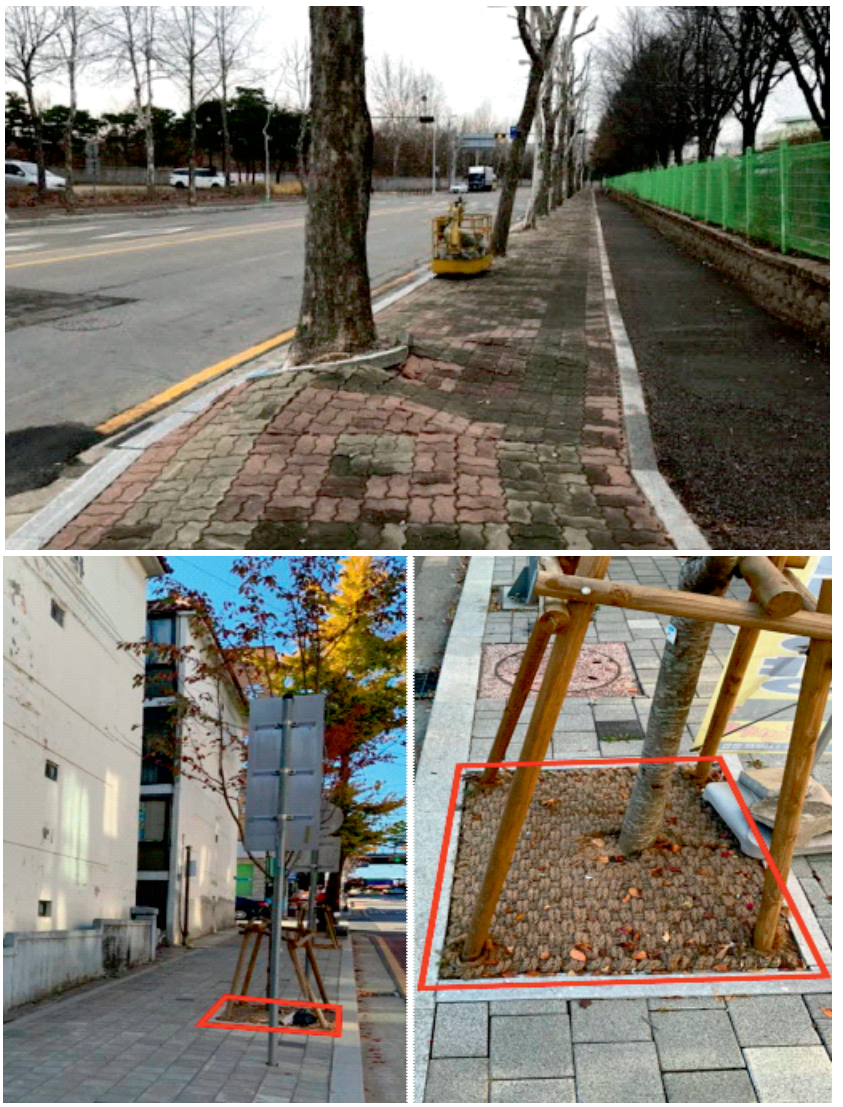
1) 개요

나무여과상자는 가로수 하부에 여과부가 포함된 구조물(콘크리트 박스)을 매립하여 강우시 유출되는 우수를 유입시킨 후 여과 및 침투를 유도시키는 기술이다. 주로 맨홀 등의 시설로 유입되기 전 강우 유출수를 처리하므로 도로 주변에 많이 설치한다.

2) 나무여과상자 적용방안

기존 가로수나 신규 식재되는 가로수 부지를 활용하므로 추가적인 부지 소요가 적어 도심이나 도로에 적용하기 용이한 기술이다. 도로, 인도, 주차장 등에서 발생된 유출수의 유입이 용이하도록 불투수면에 인접하여 설치한다.

가로수 정비 후 오랜 시간이 소요되어 나무의 뿌리 융기로 인해 울퉁불퉁해진 보도는 시민의 보행 안전을 위협할 수 있기 때문에 이를 평탄화 함과 동시에 나무여과상자를 적용하여 효율적인 물 순환까지 개선할 수 있다.



[그림 3-11] 나무여과상자 적용(안) - 능곡동 현장

제3절 복합형 LID 기술

1. 옥상녹화

1) 개요

도시에는 수 많은 건물들이 존재하고 그 상부에는 옥상이 있기 마련이다. 도시 내 대표적인 불투수 공간인 건물 옥상은 강우 시 우수가 그대로 유출되어 도심 홍수를 유발하는 원인 중 하나이다. 이를 개선하기 위해 건물 옥상에 옥상녹화를 조성하여 건강한 물순환을 도모할 수 있다. 대부분의 LID 시설이 불투수면에서 유출되는 빗물을 받아 저류 및 침투시키는 시설인 반면, 옥상녹화는 직접적으로 빗물을 받게 된다. 주변 여건과 관계없이 독립적으로 설치할 수 있고 도심에서 설치공간의 확보가 가장 용이하다.

옥상녹화에 따른 빗물 유출량 저감효과는 약 26~50%에 달하는 것으로 확인되었으며, T200 세덤 옥상녹화는 총 강우량의 51.1% 저감, T100 세덤 옥상녹화는 총 강우량의 26.4%를 저감한다. 또한 첨두유량을 약 40% 낮춰 옥상녹화로도 홍수를 예방하는 효과가 있다. (자료 출처 : 한국그린인프라연구소)

2) 고양시 옥상녹화 현황

고양시는 현재 공공건물 옥상녹화사업을 추진하고 있으며, 공공건물 옥상에 녹지공간을 조성하여 이를 무더위 쉼터로 활용하도록 하는 사업이다. 공공시설의 옥상을 녹화하여 주민들의 쉼터로 탈바꿈, 기후 위기 극복과 주민 친화 공간을 제공할 수 있다.

고양시는 [표 3-2]와 같이 공공시설에 옥상녹화를 조성 완료하였으며, 이후에도 추가적으로 옥상녹화를 조성하고 있다. 옥상녹화 대상지로 선정되면 조성 후 무더위 심터로 지정되며, 행정안전부 지침에 따라 사업 완료 다음 해부터 5년간 무더위 쉼터 지정 해제가 금지된다.

[표 3-2] 고양시 옥상녹화 현황 (2020년 12월 말 기준)

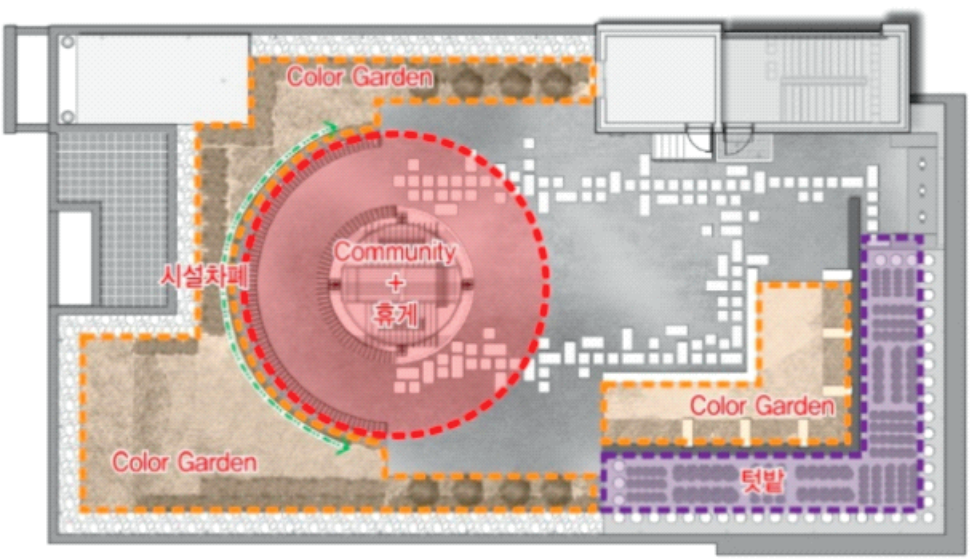
건물명	조성년도	소재지	면적(㎡)	조성내역
화정도서관	2004	경기도 고양시 덕양구 은빛로 77번길 8	441.8	홍단풍 등 40종 8,256본 식재
백석도서관	2004	경기도 고양시 일산동구 일산로 118	436.3	홍단풍 등 35종 6,108본 식재
고양경찰서	2015	경기도 고양시 덕양구 화중로 12	97	화살나무 등 8종 3,170본 식재
고양시청	2015	경기도 고양시 덕양구 고양시청로 10	66	감국 등 11종 2,156본 식재

자료 : 고양시청 홈페이지

2020년 6월, 일산서구 대화동 일산수질복원센터 옥상 일부 공원 조성을 완료하였으며, 전체 옥상 10,000㎡ 중 약 4,600㎡의 면적에 옥상녹화를 조성하였다. 중앙에는 아이들이 뛰어놀기 좋은 원형 잔디밭, 그 옆에는 생활체육이 가능한 다목적 운동 공간이 마련되었다.

[그림 3-12] 일산수질복원센터 상부 공원화 조성사업

일산 서구 덕이동에 위치한 고양지역자활센터 옥상에 조성돼있던 기존 옥상정원을 리모델링을 진행하였다. 옥상의 포장을 제거해 잔디를 식재하여 이를 통한 에너지 효율 상승효과를 노렸으며, 기존 노후 시설물을 정비하고, 파고라, 벤치 등 휴게 시설물을 설치해 더 쾌적한 휴식공간으로 재탄생할 예정이다.



[그림 3-13] 고양지역자활센터 옥상정원 리모델링

3) 옥상녹화 적용방안

옥상녹화 적용 시 구조검토를 통해 해당 건축물의 구조에 따라 적용 가능 유형을 변경하거나 추가적인 구조 강화 작업 여부를 확인해야 할 필요가 있다. 또한, 고양시 내 공공건물(행정복지센터, 도서관, 문화센터 등)의 경우 협의 및 조율이 상대적으로 용이하므로 지자체 지원사업을 통해 공공건물에 우선적으로 옥상녹화를 조성하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

[그림 3-14] 옥상녹화 적용 전/후 (예시)

2. 인공습지

1) 개요

자연습지의 원리를 이용하여 개방수면과 식생공간이 융합된 수질 개선효과가 우수한 인위적 습지로 볼 수 있다. 인공습지에서는 흡착, 여과 및 침전 등 물리·화학적 오염물질 제거와 생물학적 오염물질 제거가 동시에 이루어질 수 있으며, 이와 같은 융합적 오염물질 제거가 가능한 특징외에도 다양한 생물 서식이 가능한 생태 공간 조성 제공, 도심 심미적 개선으로 인한 생활 환경 개선 및 습지 내 조성된 식생으로 인한 탄소 저장 등의 기능도 기대할 수 있다.

2) 인공습지 적용방안

현재 고양시에는 대표적인 인공습지 조성 사례는 없는 상황이다. 향 후 인공습지 적용을 위해서는 도심 하천 인근 등 기존 수생태계와 연계하여 적용하는 것을 검토 할 수 있으며, 도심 내 공원 시설과 연계하는 방안도 검토가 가능한다. 또한, 최근 인공습지는 유럽 등에서 기존 마을하수도(소규모 하수도)를 대체하는 시설로도 활용되고 있기 때문에 고양시에서 하수도 미보급 지역에 기후 및 생태 환경 등의 기능이 강조된 인공습지를 대체 보급하는 것도 하나의 방안으로 제안될 수 있다.

제4장 고양형 LID 적용 사업화

제1절 도심 내 소생태계 구축을 위한 LID 기술 적용

제2절 기후변화 취약계층 지역 LID 기술 적용

고양시는 기후변화 대응 정책 추진의 일환으로 다양한 사업을 추진하고 있으며, 기후변화 대응과 관련된 국책사업 공고시 적극적으로 참여하고 있다. 그 결과 고양형 LID 기술 접목가능한 국가사업 2건에 선정되었고, 2022년 본격적으로 진행될 예정이다.

사업별 내용은 기후변화 취약계층 지역의 환경 개선과 도심 내 동•식물들을 위한 소생태계 구축으로써 1절에서는 '도심 내 소생태계 구축을 위한 LID 기술 적용', 2절에서는 '기후변화 취약계층 지역 LID 기술 적용'을 서술하였다.

제1절 도심 내 소생태계 구축을 위한 LID 기술 적용

1. 도시 소생태계 조성사업 (일산서구청 옥상녹화)

도시 소생태계 조성사업을 통해 일산서구청의 옥상녹화를 추진하고 있으며, 이를 통해 도시 내 생태계 연결다리를 놓아주는 역할을 하고자 한다.

해당 사업에서 활용된 옥상녹화 기술은 저영향개발(LID) 기술의 하나로, 우수유출수를 저류 및 지연시킨 후 하수처리시설로 배출시키는 기술로 빗물 유출 저감효과 뿐만 아니라 도시 열섬의 감소, 공기 정화 및 온실가스 배출 감소 등에도 용이하다.

[표 4-1] 도시 소생태계 조성사업 개요

사업명	제안과제명	발주처
2022년 도시 소생태계 조성사업	도시 소생태계 (옥상 비오톱) 조성사업 - 일산 서구청 옥상녹화 -	환경부
추진 배경 및 필요성		
• 기후변화로 인해 폭염 피해가 심화될 것으로 전망됨에 따라 폭염 피해 예방 및 기후변화대응 등 선제적 대비가 필요 • 대부분의 무더위 쉼터 옥상이 콘크리트로, 건물 온도 상승 등 냉방기 사용에 대한 에너지 효율이 떨어지고 도심 열섬현상을 가중시키고 있음		
사업 제안 내용		
• 도시지역의 생태계 안정성 및 종다양성 증진을 위한 소생태계 조성 및 지역주민의 생태 체험, 휴식 등을 위한 공간을 조성하고자 일산서구 대화동에 위치한 '일산서구청' 옥상녹화를 진행하고자 함 • 대상지인 '일산서구청'은 반경 2㎞ 이내에 다수의 근린공원이 위치하고 있으며, 대상지가 이들을 이어주는 교두보 역할을 하여 인근 녹지축의 확장이 가능할 것으로 판단되어 사업 대상지로 제안하였음		

[그림 4-1] 일산서구청 옥상녹화 계획도

제2절 기후변화 취약계층 지역 LID 기술 적용

1. 기후변화 취약계층 지원사업 (덕양구 주교동 일대)

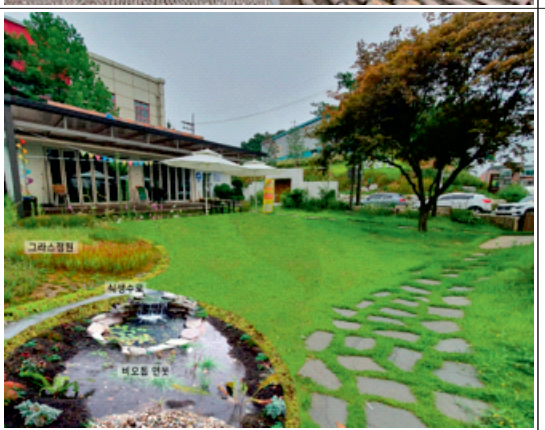
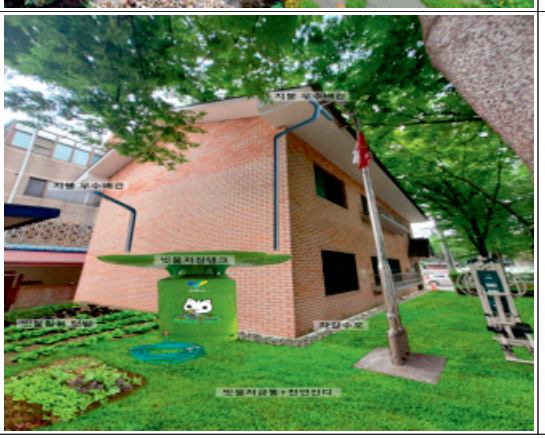
기후변화 취약계층 지원사업을 통해 덕양구 주교동 일대에 Climate Response Green Zone을 구성하여 전 생애주기별 취약계층이 기후변화에 적응하여 생활할 수 있도록 다양한 저영향개발(LID) 기술을 적용한 공간을 구성하는 것에 목적을 두었다.

주로 불투수면적을 녹화하여 빗물이 용이하게 침투할 수 있도록 하였으며, 빗물이용시설을 설치하여 저장된 빗물을 다양한 용도로 활용할 수 있도록 할 예정이다.

[표 4-2] 기후변화 취약계층 지원사업 개요

사업명	제안과제명	발주처
2022년 기후변화 취약계층 지원사업	생애주기별 기후변화 취양계층 보호를 위한 Climate Response Green Zone 구성	환경부

추진 배경 및 필요성
• 기후변화에 따른 폭염 · 한파 등 이상기후의 빈도 · 피해 증가로 적응 능력이 상대적으로 부족한 취약계층 대상으로 적극적인 대응 · 지원이 필요함 • 점점 심화되고 있는 기후변화에 대응하여 고양시 내 취약계층이 밀집한 지역의 주거환경, 어린이 놀이시설, 노인 쉼터 등을 개선하고, 이를 기반으로 장기적으로는 기후약자에 대한 고양시의 환경, 사회, 문화적 정체성을 확고히 하기 위함
사업 제안 내용
• 본 사업에서는 생애주기별 기후변화 취약계층 보호를 위해 빗물을 활용하는 도심형 숲 공간(Green Zone)을 조성하여, 유아부터 노인까지 기후변화에 대한 적응 능력을 높이고 잠재적 피해로부터 위험을 줄이고자 하였음 • 세대별 맞춤형 'Green 놀이공간' 조성으로 주민 건강 증진 및 심리적 안정감을 주고자 하였으며, 어린이, 청소년, 노인까지 함께 공존할 수 있는 공간 구성으로 세대 간 함께 어울릴 수 있는 프로그램 개발 및 활용 가능 (세대 간 갈등 해소)

구분	적용 모습	적용 기술
영유아 Green Zone (주교 6공원)		• 불투수면적 개선 : 천연잔디 식재를 통한 통수능 확대
청소년 Green Zone (주교 청소년 자유공간)		• 식생수로 및 소규모 수변 공간(연못) 조성 • 빗물 활용 텃밭 조성 (빗물 저금통 등)
노인 Green Zone (주교 1경로당)		• 지붕 우수배관을 통한 빗물 차집 및 재이용 • 바닥면 녹화 (빗물 저류)

[그림 4-2] 주요 계획

제 5 장
결론

제1절 결론

제1절 결론

본 연구는 도심에 적용된 상용화된 LID 기술 현황 분석, 국내·외 LID 도입 사례 분석, 고양시 LID 기술 적용 방안 및 본 연구진이 제안(중앙정부 공모사업 접수)한 고양형 LID 제안을 통해 고양시의 효율적인 기후 변화 대응을 위해 구도심 LID 기술의 적용 방안을 도출하고자 하였다. 본 연구를 통해 고양시 구도심에 적용 가능한 LID 기술 및 고양형 LID 기술을 정리하면 다음과 같다. 먼저, 고양시 구도심에 적용 가능한 LID 기술은 저류형, 침투형 및 복합형 LID 기술로 분류 할 수 있다. 대표적 제안기술로 저류형 LID 기술에는 식생저류지, 빗물저류조 및 투수블럭 등이 대표적이다. 침투형 LID 기술로는 침투측구, 침투형 빗물받이 및 나무여과상자 등이며, 복합형 LID 기술로는 옥상녹화 및 인공습지 등을 제안 할 수 있다. 본 결론 부분에서 제안한 기술은 대표 사례로 제안한 것이며, 그 외 본문에서 기술한 다양한 기술도 적용 가능하다.

□ 저류형 LID 기술

○ 식생저류지

– 주거단지, 산업단지, 각종 공원, 도로, 주차장 등 다방면 입지 적용 가능

– 기존 녹지공간 활용하지 않을 경우 비교적 넓은 부지면적이 소요되므로 토지이용계획 수립 시 설치 부지의 사전 확보 요구됨 (신도시 계획 수립 등)

○ 빗물저류조

– 지하 매설방식으로 인해 상부를 다양한 용도(도로, 주차장, 공원, 체육시설 등)로 활용 가능하해 저류시설과 친수시설을 겸비한 가치있는 공간 창출 가능

○ 저류형 투수블럭

– 교체 보수가 필요한 노후화된 보도 구간에 저루형 투수블럭을 통해 물순환을 개선 및 주거환경 개선 도모 가능함

– 주로 보도구역, 주차구간, 물순환 기능이 부족한 불투수층 보도블럭에서 우수관거로 직결되는 공간에 적용 가능

□ 침투형 LID 기술

○ 침투측구

– 주택, 주차장, 운동장, 도로 등 가장자리에 설치해 제약적인 공간에 적용 용이

○ 침투형 빗물받이

– 도시 내 주요 침수지역 등 빗물받이가 부족한 구간에 우선 적용하여 통수능을 극대화 (고양시 상습 침수지역, 풍동 민마루지역 등)

○ 나무여과상자

– 기존 가로수나 신규 식재되는 가로수 부지를 활용해 추가적인 부지 소요가 적어 도심이나 도로에 적용 용이

– 도로, 인도, 주차장 등에서 발생된 유출수의 유입이 용이하도록 불투수면에 인접하여 설치

□ 복합형 LID 기술

○ 옥상녹화

– 옥상녹화 적용 시 구조검토를 통해 해당 건축물의 구조에 따라 적용 가능 유형을 변경하거나 추가적인 구조 강화 작업 여부를 확인해야 할 필요

– 고양시 내 공공건물(행정복지센터, 도서관, 문화센터 등)의 경우 협의 및 조율이 상대적으로 용이하므로 지자체 지원사업을 통해 공공건물에 우선적으로 옥상녹화를 조성하는 것이 유리

○ 인공습지

– 인공습지 적용을 위해서는 도심 하천 인근 등 기존 수생태계와 연계하여 적용하는 것 및 도심 내 공원 시설과 연계하는 방안도 검토

– 최근 유럽에서는 인공습지는 유럽 등에서 기존 마을하수도(소규모 하수도)를 대체하는 시설로도 활용되고 있기 때문에 고양시에서 하수도 미보급 지역에 기후 및 생태 환경 등의 기능이 강조된 인공습지를 대체 보급하는 것도 제안 가능

다음은, 본 연구의 수행 결과로 도출되어 환경부 공모사업으로 제안한 고양형 LID 기술인 도심 소생태계 조성 옥상 녹화 및 소규모 유휴부지를 활용한 시민 복지형 LID 기술을 정리하였다. 먼저, 도심 소생태계 조성 (옥상 녹화 연계)는 기존 단편적 녹지 공

간 제공을 위한 옥상 녹화 시스템에 생태, 휴식 및 기후 변화 대응 기능을 부여하여 도심 옥상을 복합적 기능을 가지는 공간으로 전환하는 것이다. 특히, 앞 서 기술한 추가적인 기능들을 접목시키면서 고양시의 특생있는 옥상 녹화 방안으로도 제안 가능하다. 다음은, 소규모 유휴부지를 활용한 시민 복지형 LID 기술로 구도심 지역 유휴 부지를 활용하여 자연적 물순환이 가능한 녹지 공간 조성 및 지역 내 시민들이 활용하는 복합적 공간을 조성하는 것이다. 이와 같은 개념을 기반으로 고양형으로 전환하여 제안한 사례는 다음과 같다.

□ 도심 내 소생태계 구축을 위한 LID 기술 적용

○ 도시 소생태계 조성사업

– 환경부 도시 소생태계 조성사업을 통해 일산서구청의 옥상녹화를 추진하고 있으며, 이를 통해 도시 내 생태계 연결다리를 놓아주는 역할을 하고자 함

– 해당 사업에서 활용된 옥상녹화 기술은 저영향개발(LID) 기술의 하나로, 우수유출수를 저류 및 지연시킨 후 하수처리시설로 배출시키는 기술로 빗물 유출 저감효과 뿐만 아니라 도시 열섬의 감소, 공기 정화 및 온실가스 배출 감소 등에도 용이함

□ 기후변화 취약계층 지역 LID 기술 적용

○ 기후변화 취약계층 지원사업

– 환경부 기후변화 취약계층 지원사업을 통해 덕양구 주교동 일대에 Climate Response Green Zone을 구성하여 전 생애주기별 취약계층이 기후변화에 적응하여 생활할 수 있도록 다양한 저영향개발(LID) 기술을 적용한 공간을 구성하고자 함

– 주로 불투수면적을 녹화하여 빗물이 용이하게 침투할 수 있도록 하였으며, 빗물이용시설을 설치하여 저장된 빗물을 다양한 용도로 활용할 수 있도록 할 예정임

참고문헌

[국내문헌]

송건섭(2011). “시민의 삶의 질 향상을 통한 행복도시 조성방안.” 한국행정논집, 23(3)
이달곤(2004). 「지방정부론」. 박영사
문광민(2011). “중앙정부보조금과 지방정부의 효율성간 관계에 관한 실증분석.” 박사학위 논문, 서울대학교 대학원.
이현주(2012,06). “한중 수교 20주년-한중 관광산업의 현재와 미래.” 한국평화연구학회 학술회의.
임지열 · 소가람(2020). “고양시 LID(저영향개발) 도입 전략 연구[1]”. 고양시정연구원.
임지열 · 소가람(2020). “고양시 LID(저영향개발) 도입 전략 연구[1]”. 고양시정연구원.

[해외문헌]

Vasilopoulou, S. (2016). UK Euroscepticism and the Brexit referendum. The Political Quarterly, 87(2), 219-227.
Goldsmith, M. & Page, E. (Eds.). (1987). Central and local government relations: a comparative analysis of West European unitary states. London: Sage.
Ward, I. (1998). Sedimentary history of the Pandora wreck and surround. James Cook University, Townsville, Australia.
Martins, J.R. (2004, April). Working with the terminally ill. In J.R Tunon(chair), cooperative health care in the 21st century. Symposium conducted at the meeting of the American Counseling Association World Conference, San Diego, CA

[기타자료]

환경운동연합 홈페이지(2017). 한국 해양쓰레기 현황. http://www.kfem.or.kr/?p=3443. (접속일 2020.02.15.)
National Renewable Energy Laboratory.(2008). Biofuels. Retrived from http://www.nrel.gov/learning/re_biofuels.html. (accessed February 23, 2020)

Abstract

Research on Introduction Strategy of Low Impact Development (LID) in Goyang city [3]

Jiyeol Im*, GARAM SO**

1. Overview of the study

□ The background of the study.

○ Seoul and Gyeonggi-do account for 10.7% of Korea's total area due to the centralization of the population, but the total population accounts for 44.1%.

○ As a result, the development of neighboring satellite cities accelerated, resulting in a sharp increase in impermeable area.

○ Due to the increase in the impermeable area, many problems such as urban floods, ground cracks, subsidence, and depression, depletion of surface water and groundwater, and deterioration of water quality are causing.

○ Therefore, there is a need for fundamental improvement in land use due to urbanization.

□ The purpose of the study.

○ Through the creation of green infrastructure, we intend to derive an environment that can restore natural functions in urban areas with damaged natural functions.

* Senior Researcher, Goyang Research Institute, Korea

** Assistant Researcher, Goyang Research Institute, Korea

- Deriving Natural Based Solutions (NBS) such as Low Impact Development (LID) and Green Infrastructure (GI) to respond to climate crises and preserve living environments and ecosystems due to increased impermeable areas in the city center.
- Looking for the introduction of measures to restore natural functions in urban areas where natural functions are damaged.

○ Looking for a Goyang-type LID project that fits the characteristics of Goyang-si.
- By establishing an impermeable area in the city as a small ecosystem to preserve the natural ecosystem and reduce heat island phenomena, and by applying LID technology to improve the impermeable area in areas vulnerable to climate change, vulnerable groups are protected from the climate crisis.

2. Case studies.
□ Features and Cases by LID Element
○ The contents of each LID element are as follows.
- vegetative retention
A small-scale storage facility covered with vegetation that controls rainfall runoff by filtration by soil, biochemical reaction, penetration, and storage.
St. Paul's City, Lake Como, etc. in the U.S.

- Rooftop
Rain spillwater is collected from the rooftop, filtered, evaporated, and stored to reduce runoff in urbanized areas, and consists of vegetation such as moss, grass, and small shrubs.
Germany Hamburg, Green Hamburg, etc.

- Tree filter box.
A structure (concrete box) including a filtering unit at the bottom of the street tree is buried to

introduce rainwater flowing out during rainfall and installed to flow out to the existing excellent pipeline through filtration and penetration mechanisms.

- Vegetation filter box

Facilities that can store and stay excellent water by utilizing spaces such as pots where existing trees are planted.

the United States

Michigan Avenue, etc.

- Grassed swale

It is a drainage structure with a function similar to that of vegetation, and functions of filtration, penetration, and drainage of river milk discharge.

Toronto, Edward Garden, etc.

- Vegetable filter Strip

It consists of soil that is advantageous for gravel and dietary attachment, reduces river milk discharge, stabilizes slopes, and performs filtration functions to improve water quality and function as a green space in the city center.

- Infiltration trench

It is a ditch filled with stones that holds runoff water in case of rainfall and penetrates the technology

Netherlands Zballer, Schillerhawk, etc.

- Infiltration box

Technology that is filled with gravel or stones and is connected to the groove of the building or is installed so that the outflow water from the impermeable surface can flow into the soil.

- Porous pavement

Technology that penetrates river milk water into the soil and reduces pollutants by passing through voids of porous asphalt, concrete, and water blocks, etc.

Chicago, USA.

The Green Allley Program, etc.

- Sand filter

Technology for improving water quality by removing contaminants and suspended substances in the effluent through sand filtration from the precipitated surface of the precipitated milk.

- Rain bucket

It is a storage facility installed to use roof runoff water, reducing runoff volume and securing alternative water for small rainfall.

□ Case of applying LID city in Korea

○ Green Rainwater Infrastructure Creation Project

- The Green Rain Water Pray Project is a project promoted by the Ministry of Environment to expand LIDs in urban areas, and to verify the applicability of LIDs to manage rainwater leaks in urban areas with high non-point pollutants and promote LIDs (Suwon-si Jangan-gu Office, Asan City Hall, etc.

· The main facilities to be introduced are pitcher blocks, rooftop greening, and vegetation areas.

○ A pilot project to zero rainwater spills.

- The Ministry of Environment has promoted a pilot project for Ochang Science Industrial Complex in Cheongju and Seogok District in Jeonju since 2013 to review the possibility of LID application to large-scale urban drainage basins (38 to 40ha) along with the medium-sized rainwater spill zero project.

· The main facilities to be introduced are plant cultivation plants, vegetation sites, etc.

○ Leading city in water circulation

- The Ministry of Environment selected local governments to build models with low-impact development techniques and to reduce non-point pollutants and install green infrastructure due to the high impermeable area rate in large cities in Korea.

· The main facilities to be introduced are water-permeable packaging, penetration measurements, vegetation sites, plant cultivation plants, etc.

3. How to apply LID technology in Goyang-si.

□ Storage-type LID technology.

○ Vegetable storage.

- Applicable to various locations such as residential complexes, industrial complexes, various parks, roads, and parking lots.

- If the existing green space is not used, a relatively large site area is required, so the installation site is secured in advance when establishing a land use plan (such as establishing a new city plan, etc.).

· [Example] It's the vegetation reservoir in Deok-ee's earth.

○ Underground rainwater reservoir

- Due to the underground burial method, the upper part can be used for various purposes (road, parking lot, park, sports facility, etc.), creating a valuable space with both storage and water-friendly facilities.

· (Example) Juyeop Elementary School rainwater reservoir.

○ Low-current pitcher block

- It is possible to improve the water circulation and improve the residential environment by installing it in the sidewalk section that needs replacement repair due to aging.

- It can be applied mainly to sidewalk areas, parking sections, and spaces directly connected to

excellent residences from sidewalk blocks for impermeable floors that lack water circulation functions.

□ Penetrating LID technology.

○ Penetration measurement

- It is easy to apply to constrained spaces and is installed at the edge of houses, parking lots, playgrounds, roads, etc.

○ Penetrating rain trap

- Maximize the water supply capacity by first applying it to areas where rainwater is insufficient, such as major flooded areas in the city (Recently flooded areas in Goyang-si, Minmaru area in Pung-dong, etc.).

○ Tree filter box

- Since existing or newly planted street trees are used, additional land requirements are low, making it easy to apply to cities or roads.

- Installation adjacent to the impermeable surface to facilitate inflow of outflow water generated from roads, sidewalks, parking lots, etc.

□ Multi-use LID technology.

○ Rooftop recording.

- When applying rooftop recording, it is necessary to change the applicable type according to the structure of the building or check whether there is an additional structure reinforcement work through a structural review.

- In the case of public buildings (administrative welfare centers, libraries, cultural centers, etc.) in Goyang-si, consultation and coordination are relatively easy, so it is advantageous to create rooftop greenery in public buildings first through local government support projects.

4. Commercialization of cat-type LID.

□ Applying LID technology to build a small ecosystem in the city center.

○ Urban small ecosystem development project

- The Ministry of Environment is promoting the rooftop greening of Ilsanseo-gu Office through the project to create a small urban ecosystem, and through this, it intends to play a role in establishing a bridge connecting ecosystems in the city.
- The rooftop green technology used in the project is one of the low-impact development (LID) technologies that stores and delays excellent runoff water and discharges it to sewage treatment facilities, as well as reduces urban heat islands, air purification, and greenhouse gas emissions.

□ Apply LID technology to vulnerable areas in climate change

○ A project to support vulnerable groups in climate change.

- Through the Ministry of Environment's climate change support project, the Climate Response Green Zone is formed in Jugyo-dong, Deokyang-gu, to form a space with various low-impact development (LID) technologies so that vulnerable groups can adapt to climate change and live.
- The impermeable area is mainly recorded so that rainwater can easily penetrate, and rainwater facilities will be installed so that stored rainwater can be used for various purposes.