

2022-00

LID 시설 유지관리 방안에 관한 연구

A Study on the Maintenance of LID Facilities

최종수·이정만·김경진

LH 토지주택연구원

연구지원 2022-00호

LID 시설 유지관리 방안에 관한 연구

지 은 이 최종수, 이정민, 김경진
발 행 인 김홍배
발 행 처 한국토지주택공사 토지주택연구원
주 소 (34047) 대전 유성구 엑스포로 539번길 99
홈 페이지 <http://lhri.lh.or.kr>

전 화 번 호 042-866-8651
이 메 일 bagmwoo@gmail.com

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.

참여연구진

연구책임

최종수 LH 토지주택연구원 연구위원

연구진

이정민 LH 토지주택연구원 연구위원

김경진 LH 토지주택연구원 연구원

연구심의위원

진규남 LH 토지주택연구원 건설안전연구실장 (심의위원장)

김희진 (주)유비이엔씨 대표

권경호 (주)스툼위터바이오 대표

이동찬 LH 김포사업단 단장

정종석 LH 토지주택연구원 건설안전연구실 연구위원

김현정 LH 신도시사업1처 차장

■ 연구 배경

- 3기 신도시 및 세종특별자치시 행복도시 등 신규 사업지구에 LID 기법 도입이 증가하고 있어 시설 준공 후 지자체 이관 등을 고려하여 LID 기법에 대한 유지관리 방안을 마련할 필요가 있음
- LH 토지주택연구원 부지에 설치된 LID 시설이 시공 이후 5년 이상 경과되어 시설 성능에 대한 모니터링과 성능 유지를 위한 보수 방안이 필요함

■ 연구 목적

- LID 시설이 적용된 LH 토지주택연구원과 세종시 행복도시 6-4생활권을 대상으로 LID 시설의 유지관리 현황 조사를 통해 유지관리 방안을 도출함
- 유지관리 계획 수립에 필요한 유지관리 비용을 산출함
- LH 토지주택연구원 내 LID 시설의 적정 유지관리 방안 및 소요비용을 제시함

■ 연구 범위

- (시간적 범위) 2022년 4월부터 2023년 6월까지 15개월
- (공간적 범위) LID 시설이 설치된 LH 토지주택연구원과 세종시 행복도시 6-4생활권

■ 연구 내용

- 식생형 시설의 유지관리 현황 조사
- 침투형 시설의 투수성능 조사
- LID 시설의 유지관리 방안

■ 연구결과

[식생형 시설 운영 현황 및 유지관리 방안]

- 현황 : 일부 식생은 고사하였으며 겨울철에는 대부분의 식생이 고사하여 경관 확보를 기대할 수 없는 한계가 있으므로 일부 식생에 대한 보식이 필요함
- 유지관리 방안
 - 일부 구간에 보식을 하되 겨울철 경관 확보를 위해 상록 성상의 식생을 포함함
 - 구획별 단일 식물의 식재를 지양하여 자연스러운 혼합 식재가 되도록 함

[침투형 시설 운영 현황 및 유지관리 방안]

- 현황 : 침투도랑과 투수블록은 주변에서의 토사유입으로 인해 투수성능이 저하된 곳이 대부분으로 투수성능 개선을 위해 토사유입 방지 및 고압세척 등이 필요하며, 고압세척을 통해 투수성능 개선이 가능함
- 유지관리 방안
 - (우선 대책) 주변 녹지에서의 토사 유입 방지 대책
 - (후속 / 소극적) 고압세척 등 투수블록의 투수성능 회복방안 도입
 - (후속 / 적극적) 필요 시 투수블록의 교체하는 적극적인 방안도 검토 필요

[LID 시설의 유지관리 비용]

- 식생형 시설 : 식생 관리를 위한 인건비로 제곱미터 당 연간 2,716원/m²·년이 필요한 것으로 예상되었으며, 보식 등 적극적인 관리를 위해서는 추가의 비용이 필요함
- 침투형 시설 : 토지주택연구원의 투수블록 2,183 m²을 고압세척하는데 매년 1,000만 원 가량으로 예측되어 제곱미터 당 연간 4,580원/m²·년이 소요될 것으로 예상됨

■ 활용방안 및 기대효과

- (활용방안) LID 기법의 유지관리 방안으로 활용
- (기대효과) LID 시설의 적절한 유지관리가 가능하여 친환경 도시공간 구성에 기여

주제어

저영향개발, LID, 유지관리, 토지주택연구원, 유지관리비

차 례 Contents

제1장 서론

1. 과업의 개요	1
1.1 과업의 배경 및 목적	1
1.2 과업의 범위 및 내용	3
2. 이론적 고찰	5
2.1 LID 단지재생 시범단지 조성 백서	5
2.2 한국형 저영향개발 모니터링 및 유지관리 가이드라인	7
2.3 LID에 대한 시민 인식과 주민 참여를 통한 유지관리 가이드라인 구축	8
2.4 관련 제도	9
3. 본 연구의 차별성 및 한계	11
3.1 본 연구의 차별성	11
3.2 연구의 한계	11
3.3 일러두기	12

제2장 연구내용 및 방법

1. 연구 대상지	15
1.1 토지주택연구원	15
1.2 세종시 행복도시 6-4생활권	31
2. LID 시설 유지관리 현황 조사	32
2.1 조사 방법	32
2.2 식생관리를 위한 보식 방안	34

3. LID 시설 유지관리 비용	36
3.1 조사 방법	36
3.2 유지관리 주체	37
3.3 유지관리 항목	37
3.4 유지관리 비용 산출	38
4. 투수성능 시험	40
4.1 투수성 포장체의 투수 시험방법	40
4.2 세부 시험방법 (ASTM C 1701)	40
4.3 현장 투수성능 시험	43
4.4 투수성능 회복 방안의 적용	46

제3장 연구결과

1. 토지주택연구원 내 LID 기법별 유지관리 현황	49
1.1 빗물정원 L	49
1.2 빗물정원 C	54
1.3 침투도랑 C	57
1.4 빗물정원 E	60
1.5 식생수로	63
1.6 나무여과상자	66
1.7 침투도랑 L	67
1.8 인공습지	70
1.9 투수블록 A	73
1.10 침투도랑 H	76
1.11 투수블록 B	77
1.12 식물재배화분	81
2. 세종시 행복도시 6-4생활권의 LID시설 유지관리 현황	82
2.1 옥상녹화	82
2.2 생태 연못	82
2.3 빗물정원	83

2.3 투수블록 및 생태블록	84
3. 투수블록의 투수성능 시험 결과	85
3.1 토지주택연구원	85
3.2 세종시 행복도시 6-4생활권	86
3.3 투수성능 회복을 위한 표면 세척 효과	87
4. 유지관리 현황에 대한 종합 평가	89
4.1 토지주택연구원	90
4.2 세종시 행복도시 6-4생활권	99
5. LID 기법별 유지관리 방안	100
5.1 유지관리 일반	100
5.2 식생수로	102
5.3 빗물정원	105
5.4 인공습지	108
5.5 나무여과상자	110
5.6 옥상녹화	112
5.7 침투도랑	115
5.8 침투트렌치	116
5.9 침투통	118
5.10 투수성 포장	119
5.11 빗물저금통	120
6. LID 기법의 유지관리 비용	123
6.1 식생형 시설 유지관리 비용	123
6.2 침투형 시설 유지관리 비용	123
6.3 정기점검 및 시설 보수 비용	124
6.4 유지관리 방안별 소요 예산	124

제4장 결론

1. 식생형 LID 시설의 유지관리 현황 및 개선방안 ————— 127
2. 침투형 LID 시설의 유지관리 현황 및 개선방안 ————— 128
3. LID 시설의 유지관리 비용 ————— 129

참고문헌

부록: LID 기법에 적용 가능한 식물 목록

표차례 List of Tables

[표 1-1] LID 시설 설치에 따른 온도저감 효과 (재작성)	6
[표 1-2] 비점오염저감시설의 관리·운영기준	9
[표 2-1] 토지구택연구원 부지 내 LID 시설의 종류 및 제원	16
[표 2-2] LID 시설의 유지관리 현황 조사 항목	33
[표 2-3] LID 시설 유지관리 주체별 장단점 분석	37
[표 2-4] LID 시설의 유지관리 비용 산출을 위한 관리항목	38
[표 2-5] 식생형 LID 시설의 유지관리 비용 예시	38
[표 2-6] 투수성능 지속성 품질기준	42
[표 2-7] 투수블록 표면 세척에 사용된 고압세척기	46
[표 3-1] 토지구택연구원 내 투수블록의 투수성능 시험 결과	85
[표 3-2] 세종시 행복도시 6-4생활권 투수성능 시험 결과	86
[표 3-3] 표면 세척으로 인한 투수성능 개선 효과	87
[표 3-4] 조사 대상지 LID 시설의 식생 활착 현황	89
[표 3-5] 식생수로의 유지관리 항목 및 주기	103
[표 3-6] 빗물정원의 유지관리 항목 및 주기	106
[표 3-7] 인공습지의 유지관리 항목 및 주기	109
[표 3-8] 나무여과상자의 유지관리 항목 및 주기	111
[표 3-9] 옥상녹화의 유지관리 항목 및 주기	113
[표 3-10] 침투도랑의 유지관리 항목 및 주기	116
[표 3-11] 침투트렌치의 유지관리 항목 및 주기	117
[표 3-12] 침투통의 유지관리 항목 및 주기	119
[표 3-13] 투수성 포장의 유지관리 항목 및 주기	120
[표 3-14] 빗물저금통의 유지관리 항목 및 주기	122
[표 3-15] 토지구택연구원 내 LID 시설의 정기 점검에 소요되는 비용	124
[표 3-16] 외부 전문업체에 위탁하는 방식의 유지관리 비용	125
[표 3-17] 대보수 후 자체 관리하는 방식의 유지관리 비용	126

그림차례 List of Figures

[그림 1-1] 연구 대상지의 위치	3
[그림 2-1] 토지주택연구원 부지 내 LID 시설 현황	15
[그림 2-2] 토지주택연구원 내 조사 대상 LID 시설	17
[그림 2-3] 빗물정원 L의 적용 위치 및 시공 전후 모습	18
[그림 2-4] 빗물정원 C의 적용 위치 및 시공 전후 모습	19
[그림 2-5] 침투도랑 B의 적용 위치 및 시공 전후 모습	20
[그림 2-6] 침투도랑 C의 적용 위치 및 시공 전후 모습	21
[그림 2-7] 빗물정원 E의 적용 위치 및 시공 전후 모습	22
[그림 2-8] 식생수로의 적용 위치 및 시공 전후 모습	23
[그림 2-9] 나무여과상자의 적용 위치 및 시공 전후 모습	24
[그림 2-10] 침투도랑 L의 적용 위치 및 시공 전후 모습	25
[그림 2-11] 인공습지의 적용 위치 및 시공 전후 모습	26
[그림 2-12] 투수블록 A의 적용 위치 및 시공 전후 모습	27
[그림 2-13] 투수블록 B의 적용 위치 및 시공 전후 모습	28
[그림 2-14] 투수블록 B의 적용 위치 및 시공 전후 모습	29
[그림 2-15] 식물재배화분의 적용 위치 및 시공 전후 모습	30
[그림 2-16] 세종시 행복도시 6-4 생활권 블록의 LID 시설 도입 현황	31
[그림 2-17] LID 기법별 유지관리 방안 도출 프로세스	34
[그림 2-18] 상록교목과 낙엽관목, 낙엽교목과 상록관목의 혼합 배치 예시	35
[그림 2-19] LID 기법별 유지관리 비용 도출 프로세스	36
[그림 2-20] 투수성능 시험을 위한 시험기구	40
[그림 2-21] 토지주택연구원 내 투수성능 시험 대상 투수블록의 위치	43
[그림 2-22] 세종시 행복도시 6-4생활권 내 투수성능 시험 위치	44
[그림 2-23] 투수블록의 투수성능 시험	45
[그림 2-24] 표면 세척 전후의 투수성능 시험 과정	48
[그림 3-1] 빗물정원 L의 유지관리 현황 (1차 조사)	49
[그림 3-2] 빗물정원 L의 유지관리 현황 (2차 조사)	50

[그림 3-3] 빗물정원 L의 유지관리 현황 (3차 조사)	50
[그림 3-4] 빗물정원 L의 유지관리 현황 (4차 조사)	51
[그림 3-5] 빗물정원 L의 유지관리 현황 (5차 조사)	51
[그림 3-6] 빗물정원 L의 유지관리 현황 (6차 조사)	52
[그림 3-7] 빗물정원 L의 유지관리 현황 (7차 조사)	52
[그림 3-8] 빗물정원 L의 유지관리 현황 (8차 조사)	53
[그림 3-9] 빗물정원 C의 유지관리 현황 (1차 조사)	54
[그림 3-10] 빗물정원 C의 유지관리 현황 (2차 조사)	54
[그림 3-11] 빗물정원 C의 유지관리 현황 (3차 조사)	55
[그림 3-12] 빗물정원 C의 유지관리 현황 (4차, 5차 조사)	55
[그림 3-13] 빗물정원 C의 유지관리 현황 (6차 조사)	56
[그림 3-14] 빗물정원 C의 유지관리 현황 (7차 조사)	56
[그림 3-15] 빗물정원 C의 유지관리 현황 (8차 조사)	56
[그림 3-16] 침투도랑 C의 유지관리 현황 (1차 조사)	57
[그림 3-17] 침투도랑 C의 유지관리 현황 (2차 조사)	57
[그림 3-18] 침투도랑 C의 유지관리 현황 (3차 조사)	58
[그림 3-19] 침투도랑 C의 유지관리 현황 (4차, 5차 조사)	58
[그림 3-20] 침투도랑 C의 유지관리 현황 (6차 조사)	59
[그림 3-21] 침투도랑 C의 유지관리 현황 (7차 조사)	59
[그림 3-22] 침투도랑 C의 유지관리 현황 (8차 조사)	59
[그림 3-23] 빗물정원 E의 유지관리 현황 (1차 조사)	60
[그림 3-24] 빗물정원 E의 유지관리 현황 (2차 조사)	60
[그림 3-25] 빗물정원 E의 유지관리 현황 (3차 조사)	61
[그림 3-26] 빗물정원 E의 유지관리 현황 (4차, 5차 조사)	61
[그림 3-27] 빗물정원 E의 유지관리 현황 (6차 조사)	62
[그림 3-28] 빗물정원 E의 유지관리 현황 (7차 조사)	62
[그림 3-29] 빗물정원 E의 유지관리 현황 (8차 조사)	62
[그림 3-30] 식생수로의 유지관리 현황 (1차 조사)	63
[그림 3-31] 식생수로의 유지관리 현황 (2차 조사)	63
[그림 3-32] 식생수로의 유지관리 현황 (3차 조사)	64
[그림 3-33] 식생수로의 유지관리 현황 (4차, 5차 조사)	64

[그림 3-34] 식생수로의 유지관리 현황 (6차 조사)	65
[그림 3-35] 식생수로의 유지관리 현황 (7차 조사)	65
[그림 3-36] 식생수로의 유지관리 현황 (8차 조사)	65
[그림 3-37] 나무여과상자의 유지관리 현황 (1차~8차)	66
[그림 3-38] 침투도랑 L의 유지관리 현황 (1차 조사)	67
[그림 3-39] 침투도랑 L의 유지관리 현황 (2차 조사)	67
[그림 3-40] 침투도랑 L의 유지관리 현황 (3차 조사)	68
[그림 3-41] 침투도랑 L의 유지관리 현황 (4차 조사)	68
[그림 3-42] 침투도랑 L의 유지관리 현황 (5차 조사)	68
[그림 3-43] 침투도랑 L의 유지관리 현황 (6차 조사)	69
[그림 3-44] 침투도랑 L의 유지관리 현황 (7차 조사)	69
[그림 3-45] 침투도랑 L의 유지관리 현황 (8차 조사)	69
[그림 3-46] 인공습지의 유지관리 현황 (1차 조사)	70
[그림 3-47] 인공습지의 유지관리 현황 (2차 조사)	70
[그림 3-48] 인공습지의 유지관리 현황 (3차 조사)	71
[그림 3-49] 인공습지의 유지관리 현황 (4차 조사)	71
[그림 3-50] 인공습지의 유지관리 현황 (5차 조사)	71
[그림 3-51] 인공습지의 유지관리 현황 (6차 조사)	72
[그림 3-52] 인공습지의 유지관리 현황 (7차 조사)	72
[그림 3-53] 인공습지의 유지관리 현황 (8차 조사)	72
[그림 3-54] 투수블록 A의 유지관리 현황 (1차 조사)	73
[그림 3-55] 투수블록 A의 유지관리 현황 (2차 조사)	73
[그림 3-56] 투수블록 A의 유지관리 현황 (3차 조사)	74
[그림 3-57] 투수블록 A의 유지관리 현황 (4차 조사)	74
[그림 3-58] 투수블록 A의 유지관리 현황 (5차 조사)	74
[그림 3-59] 투수블록 A의 유지관리 현황 (6차 조사)	75
[그림 3-60] 투수블록 A의 유지관리 현황 (7차 조사)	75
[그림 3-61] 투수블록 A의 유지관리 현황 (8차 조사)	75
[그림 3-62] 침투도랑 H의 유지관리 현황 (1차~8차 조사)	76
[그림 3-63] 투수블록 B의 유지관리 현황 (1차 조사)	77
[그림 3-64] 투수블록 B의 유지관리 현황 (2차 조사)	78

[그림 3-65] 투수블록 B의 유지관리 현황 (3차 조사)	78
[그림 3-66] 투수블록 B의 유지관리 현황 (4차 조사)	79
[그림 3-67] 투수블록 B의 유지관리 현황 (5차 조사)	79
[그림 3-68] 투수블록 B의 유지관리 현황 (6차 조사)	79
[그림 3-69] 투수블록 B의 유지관리 현황 (7차 조사)	80
[그림 3-70] 투수블록 B의 유지관리 현황 (8차 조사)	80
[그림 3-71] 식물재배화분의 유지관리 현황 (1차~8차 조사)	81
[그림 3-72] 옥상녹화 시설의 유지관리 현황	82
[그림 3-73] 생태연못의 유지관리 현황	83
[그림 3-74] 빗물정원의 유지관리 현황	83
[그림 3-75] 세종시 행복도시 6-4생활권의 투수블록 유지관리 현황	84
[그림 3-76] 토지주택연구원 내 LID 시설의 식생 경년변화	91
[그림 3-77] 빗물정원 E의 무늬비비추 활착 현황	93
[그림 3-78] 빗물정원 E의 백리향 활착 현황	93
[그림 3-79] 빗물정원 E의 돌단풍 활착 현황	94
[그림 3-80] 빗물정원 E의 옥잠화 활착 현황	94
[그림 3-81] 빗물정원 E의 산수국 활착 현황	95
[그림 3-82] 빗물정원 E의 구절초 활착 현황	95
[그림 3-83] 빗물정원 E의 패랭이꽃 활착 현황	96
[그림 3-84] 빗물정원 E의 금낭화 활착 현황	96
[그림 3-85] 원추리 활착 현황	97
[그림 2-86] 활착 시기가 다른 식물의 구분 식재 사례	98
[그림 3-87] 세종시 행복도시 6-4생활권 식재의 활착 현황	99
[그림 3-88] 식생수로 표준단면도	102
[그림 3-89] 식생수로에 권장되는 식재 팔레트 예시	104
[그림 3-90] 빗물정원 표준단면도	105
[그림 3-91] 빗물정원에 권장되는 식재 팔레트 예시	107
[그림 3-92] 인공습지의 표준단면도	108
[그림 3-93] 나무여과상자 표준단면도	110
[그림 3-94] 나무여과상자에 권장되는 식재 팔레트 예시	111
[그림 3-95] 저관리형 옥상녹화 표준단면도	112

[그림 3-96] 중관리형 옥상녹화 표준단면도	112
[그림 3-97] 옥상녹화에 권장되는 식재 팔레트 예시	114
[그림 3-98] 침투도랑 표준단면도	115
[그림 3-99] 침투도랑에 권장되는 식재 팔레트 예시	116
[그림 3-100] 침투트렌치 표준단면도	117
[그림 3-101] 침투통 표준단면도	118
[그림 3-102] 투수성포장의 표준단면도	119
[그림 3-103] 빗물이용시설의 개념도	121

제1장 서론

1. 과업의 개요

1.1 과업의 배경 및 목적

1) 과업의 배경

도시화로 인해 도시 지표면은 아스팔트 포장면과 건축물이 차지하면서 불투수 면적이 증가하고 있다. 불투수면 증가로 빗물이 지하로 스며들지 못하기 때문에 물순환이 왜곡되고 이로 인해 다양한 문제가 야기된다.

지표면의 불투수 면적이 증가하면 빗물을 침투시키거나 저류시킬 수 없어 강우 시에는 침수피해가 증가한다. 뿐만 아니라 지하수 등 도시가 머금고 있는 물의 양이 줄어들어 하천이 건천화되고 유지유량 부족으로 인해 수질이 악화된다.

서울을 예로 들면 아스팔트 포장 등 불투수 면적의 비율은 2000년 기준 48%에 이른다. 서울에 비가 내리면 절반의 면적에서는 땅속으로 스며들 기회가 전혀 없는 셈이다. 서울뿐만 아니라 다른 지자체도 상황은 비슷하다. 환경부 자료에 따르면 울산 태화강 52%, 대전 유등천 하류 51%, 광주 광주천 47% 등으로 대부분의 대도시가 50% 전후의 불투수 면적률을 보이고 있다(환경부, 2013).

도시화로 인한 물순환 왜곡으로 강우 시에는 유출량 증가로 홍수가 빈번하게 발생하고 건기에는 지하수위 저하로 하천의 유지용수가 부족해지는 악순환이 반복된다. 도시가 머금고 있는 물의 양이 줄어들면 증발산에 의해 도시의 온도를 저감할 수 있는 역할을 기대할 수 없다. 이로 인해 도시열섬과 열대야 현상이 심해진다. 도시의 온도 증가는 에너지 수요 증가와 화석연료 사용 증가로 이어진다. 도시화로 인한 불투수면 증가가 물순환 왜곡에 그치지 않고 기후에도 영향을 미치는 셈이다.

불투수면 증가로 인해 야기되는 도시의 물순환 왜곡을 해결할 수 있는 대안은 불투수면을 줄여 빗물을 침투시키고 저류시키는 방법이다. 빗물의 침투와 저류는 유출량 저감과 유달시간 지연에 따른 홍수피해를 줄여줄 수 있고, 증발산에 의한 온도와 습도 조절 효과를 기대할 수 있다. 아울러 녹지공간 조성을 통해 생물서식 공간 제공도 가능하다. 빗물의 침투와 저류를 통해 건전한 물순환을 유도하고 개발로 야

기되는 환경 영향을 줄여보고자 하는 개발 기법이 저영향개발 또는 LID(Low Impact Development) 기법(이하 ‘LID 기법’)이다.

LID 기법은 도시의 물순환 왜곡으로 인해 나타나는 문제에 대한 해법으로 제시되고 있어 환경부를 중심으로 LID 기법의 확대 적용 방안을 검토하고 있다. 하지만 LID 기법에 대한 이해와 경험 부족으로 인해 확대 적용은 제한적이고 적용 과정에 시행착오도 반복되는 실정이다. LID 기법 확대 적용을 위한 대안 마련이 필요한 이유이다. LID 기법 도입과정은 설계, 시공, 유지관리 단계로 구분할 수 있기 때문에 확대 적용을 위한 대안도 LID 기법의 설계, 시공, 유지관리 단계로 구분하여 제시되어야 한다.

최근 들어 LID 기법 적용 사례가 늘어나면서 설계와 시공에 관한 노하우와 경험이 축적되고 있는 점은 다행이다. 환경부가 시행한 물순환 선도도시, LH 토지주택연구원(이하 ‘토지주택연구원’) 시범사업, 세종시 행복도시 6-4생활권 적용 등이 그 사례이다. 해당 사례의 경험을 토대로 LID 기법 설계와 시공 단계에서 참고할 수 있는 LID 기법 설계 가이드라인, 조경·경관 가이드라인, 그리고 시공 가이드라인이 수립되었다(환경부 등, 2016)(환경부 등, 2018)(환경부 등, 2020). 이 가이드라인이 만들어짐으로써 LID 기법을 설계하고 시공하는 과정에서의 시행착오는 상당 부분 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

환경부 물순환 선도도시 사업을 비롯해 다양한 LID 시범사업이 준공되었다. 뿐만 아니라 3기 신도시 등 신규 사업지구에도 LID 기법 도입이 증가하고 있다. LID 기법이 확대 적용되는 여건을 감안할 때 LID 기법의 유지관리에 대한 고민이 필요한 시점이다. LID 시설을 적절하게 유지관리하기 위한 유지관리 방안이 마련되어야 한다.

2) 과업의 목적

본 연구는 LID 기법의 유지관리 방안을 제시하고자 하였다. LID 시설별 유지관리가 가능하도록 LID 시설별 유지관리 방안을 검토하였다. 유지관리 방안을 도출하기 위해 LID 기법이 적용된 LH 토지주택연구원과 세종시 6-4생활권을 대상으로 현장 조사를 수행하였다.

적절한 유지관리 계획을 수립하기 위해서는 소요 비용에 대한 검토가 전제되어야

하기 때문에 유지관리 비용 산출도 본 과업의 목적에 포함하였다.

1.2 과업의 범위 및 내용

1) 시간적, 공간적 범위

① 시간적 범위

본 연구의 수행기간은 2022년 4월부터 2023년 6월까지의 15개월이었다. 연구기간 중 2022년 9월부터 2023년 4월까지 8개월에 걸쳐 토지주택연구원과 세종시 행복도시 6-4생활권에 적용된 LID 기법의 유지관리 현황에 대한 모니터링을 수행하였다.

② 공간적 범위

조사대상 지역은 토지주택연구원과 세종시 행복도시 6-4생활권이었다.



〈토지주택연구원〉

대전광역시 유성구 전민동
(42,170 m²)



〈세종시 행복도시 6-4생활권〉

세종특별자치시 해밀동 6-4생활권 (L1, M1)
(L1블록: 18,776 m², M1블록: 8,763 m²)

[그림 1-1] 연구 대상지의 위치

2) 과업 내용

① 식생형 LID 시설의 유지관리 현황 조사

조사대상 LID 시설은 토지주택연구원과 세종시 행복도시 6-4생활권에 설치된 LID 시설을 대상으로 하였다. 전반적인 운영 및 관리 실태를 육안으로 관찰하였다. 조사는 2022년 9월부터 2023년 4월까지의 8개월에 걸쳐 월 1회 수행하였으며, LID 시설에 식재된 식생의 서식 현황 및 활착 정도, 고사 여부 등을 조사하였다. 서식하고 있는 식물 종을 조사하여 당초 식재된 종의 유지 여부, 고사 여부, 고사의 원인 등에 대해 분석하였다.

② 침투형 LID 시설의 투수성능 조사

LID 시설 중 투수블록 등 침투형 시설을 대상으로 투수성능을 조사하였다. 침투도량은 육안 관찰을 토대로 투수성능 유지 여부를 판단하였으며, 투수블록은 육안 관찰과 아울러 투수성능 시험을 수행하였다.

투수성능이 저하된 투수블록을 대상으로 표면 고압세척 등 투수성능 개선방안을 검토하였다.

③ LID 시설의 유지관리 방안

토지주택연구원과 세종시 행복도시 6-4 생활권에 설치된 시설에 대한 유지관리 현황 조사를 토대로 유지관리 방안을 제시하였다. 유지관리 방안은 각 시설별로 구분하여 마련하였으며 유지관리에 소요되는 비용 산출 방안도 도출하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 LID 단지재생 시범단지 조성 백서(LH, 2017)

1) 주요 내용

국토교통과학기술진흥원의물관리 연구사업으로 2012년11월부터 2017년2월에 걸쳐 수행된 『건전한 도시 물순환 인프라의 저영향개발 및 구축운영 기술』의 연구 성과물이다. 토지주택연구원에 시범사업으로 시공된 LID 기법의 시공과정을 담은 백서(이하 본 절에 한해 ‘백서’)이다. 백서는 제1장 계획, 제2장 설계, 제3장 BIM 설계, 제4장 시공, 제5장 모니터링 시스템 및 효과 분석의 다섯 장으로 구성되어 있다. 각 단계별 세부 추진내용이 상세히 기술되어 있어 LID 기법 적용을 검토하는 실무자에게 유용한 참고자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

백서에서 제시한 시범단지의 모니터링 목적은 LID 시설의 효과를 분석하고 각 LID 시설의 유지관리 방안 마련을 위한 기초자료를 수집하는데 있었다. 모니터링 항목은 강우, 기상, 유출량, 수질, 온도 등으로 LID 시설 도입 전후의 유출량, 수질을 모니터링 함으로써 LID 시설 도입에 따른 효과를 제시하였다. 강우량계, 풍향풍속계 등을 이용한 강우-기상 모니터링, 유량계를 이용한 유출량 모니터링, 채수 및 분석을 통한 수질 모니터링을 수행하였다. 뿐만 아니라 LID 기법 적용을 통한 온도저감 효과를 분석하기 위해 온도센서를 설치하였다. 모니터링은 2016년 9월 측정을 시작하여 2017년 10월까지 1년 이상 수행되었다.

모니터링을 통해 백서는 다음의 결과를 제시하였다.

① 강우유출량 모니터링 결과

강우유출량은 조사 대상 LID 시설, 소유역에 따라 다양한 유출경향을 나타내었으며 LID 시설 도입으로 뚜렷한 유출저감 효과가 관찰되었다고 하였다. LID 시설 도입에 따른 유출저감 효과를 토대로 치수시설로서의 LID 시설에 대해서도 검토가 가능할 것이라 하였다. 30mm의 강우에 대해 15mm 이상의 강우 저감효과가 관측된바, LID 시설의 침투저류용량의 범위 내 강우에 대해서는 유출저감 효과가 발생하며 이 부분은 치수 시설로 활용이 가능할 것이라 평가하였다. 하지만 강우지속시간이 길어 LID 시설이 포화된 이후 강우가 지속되면 치수 시설의 활용도가 낮을 수

있다는 한계도 언급하였다.

10년간(2008년~2017년)의 장기연속 유출 모형을 적용하여 유출량 변화를 분석한 결과 강우는 연간 1,131.8mm/yr 발생하는 것으로 예측되었다. 이 중 LID 시설 설치 전에는 663.1mm/yr, LID 시설 설치 후에는 515.4mm/yr가 유출되는 것으로 분석되었다. 이를 토대로 백서는 LID 시설 설치 전후 147.7mm/yr의 유출량 저감이 가능하다고 제시하였다.

② 온도 모니터링 결과

온도 모니터링은 옥상녹화, LID 시설 도입에 따른 주변 미기후 변화를 측정하기 위해 수행되었다. 온도 모니터링 대상 LID 시설은 옥상녹화와 빗물정원 E이었으며, 실험지와 대조지를 대상으로 온도변화를 분석하였다. 2017년 8월부터 9월까지 온도 차이를 분석하였다.

[표 1-1] LID 시설 설치에 따른 온도저감 효과 (재작성)

측정시기	LID 시설별 실험지와 대조지의 온도 차이	
	옥상녹화	빗물정원 E
2017.08	2.57℃	4.38℃
2017.09	2.53℃	2.36℃

온도측정 결과에 근거할 때 LID 시설 설치로 인해 2.36~4.38℃의 온도저감이 가능한 것으로 나타났다.

2) 시사점 및 한계

LID 시설을 도입하는 목적은 강우유출량 및 오염물질 유출 저감, 온도 저감, 경관 개선 등이라 할 수 있다. 장기간의 모니터링을 통해 강우유출량 변화, 오염물질 농도 변화, 여름 기간 동안의 온도변화를 제시함으로써 LID 시설의 적용 효과를 가시적으로 입증하였다고 할 수 있다.

하지만 과업 기간의 한계로 인해 LID 시설의 종합적인 유지관리 현황이 제시되지 않았다. 대표적인 LID 시설인 식생형 시설과 침투형 시설의 유지관리 현황과 유지관리 방안이 제시되지 못한 한계가 있었다.

2.2 한국형 저영향개발 모니터링 및 유지관리 가이드라인(건전한 도시 물순환 인프라의 저영향개발 및 구축·운영 기술 연구단, 2018)

1) 주요 내용

2012년11월부터 2017년2월까지 국토교통과학기술진흥원의 물관리연구사업으로 수행한 『건전한 도시 물순환 인프라의 저영향개발 및 구축·운영 기술』의 연구 성과물로 제시된 가이드라인이다. LID 모니터링 기본사항 및 LID 시설 유지관리를 위한 정보를 담았다. 해당 가이드라인은 부산대학교 양산캠퍼스 내 실험실 증단지에 설치되어 있는 LID 시설을 토대로 마련되었다. 모니터링 대상 시설은 주차장형, 건축형-도로형, 주차장형-빗물정원형, 생태공원형 등 다양하다. 가이드라인은 4개 파트로 구성되어 있다.

Part I은 LID 시설의 전반적인 이해를 돕기 위해 LID 시설을 운용하기 위해 필요한 LID 시설의 일반사항, LID 시설 적용 사례, LID 시설 모니터링 개선방안, 한국형 LID 시설 모니터링 운영 가이드라인에 대해 다루고 있다. Part II에서는 Part I에서 설명한 LID 시설의 기술적인 운용 정보를 바탕으로 한국형 LID 시설 모니터링 운영 계획을 수립하기 위한 모니터링 요소별 유지관리 방안, 모니터링 자료 관리, 자료처리를 위한 통계적 기법에 대한 내용을 수록하였다. Part III에서는 부산대학교 양산캠퍼스 실험 실증단지에 설치된 LID 시설의 운영현황을 분석하여 국내 실정에 적합한 LID 시설 모니터링 계획과 고려해야 할 유의사항을 추가로 제시하였다. 이와 함께 LID 시설 유지관리 점검표와 간편 가이드북을 추가로 작성하여 사용자의 편의성 증대를 도모하였다. LID 시설의 유지관리 기준 및 절차와 더불어 각 LID 시설의 유지관리 방안을 제시하여 체계적인 시설물 관리가 가능하도록 하였다. 뿐만 아니라 다양한 LID 시설과 모니터링 기기가 설치되어 시설의 유지관리 현황 및 모니터링 체계를 분석하기 위한 데이터 수집에 용이하다고 언급하였다.

LID 시설의 점검 및 유지관리를 위한 각 시설 유형별 점검표를 작성하여 제시하였다. 점검표는 점검 주기, 점검일, 유지관리 항목, 조치사항 등의 항목을 포

함하고 있다. 해당 점검표는 각 항목별로 유지관리 정도에 따라 1-10점 범위에서 점수를 부여하도록 한 점이 특이할 만하다.

2) 시사점 및 한계

다양한 LID 시설을 대상으로 실시간 모니터링 시설이 설치되어 시설의 유지관리 현황을 상시 파악할 수 있고 데이터 수집에 용이한 장점을 가지고 있다. LID 시설 유형별 점검표를 제시하고 점검 결과를 점수화하여 유지관리가 필요한 시설과 항목을 쉽게 파악할 수 있도록 하였다.

해당 연구과제의 종료로 설치된 LID 시설의 유지관리 현황에 대한 장기적인 모니터링이 수행되지 못한 한계가 있다.

2.3 LID에 대한 시민 인식과 주민 참여를 통한 유지관리 가이드라인 구축 (최혜선 등, 2017)

1) 주요 내용

LID 시설에 대한 시민들의 인식 및 지역주민 참여를 통하여 조경 유지관리 비용절감, 노인 일자리 창출 등 환경복지 기여도 평가에 대해 연구를 수행하였다. LID 기법은 건전한 물순환을 유도하고 도시 내 빗물의 저류량과 침투량을 확보하여 도시 내 열섬효과를 감소시키고 도시 홍수를 저감시키는 장점이 있다고 하였다. LID 시설의 장점에도 불구하고 지역 주민들의 LID 기법에 대한 인식은 부족하다는 한계를 지적하며, 지역주민의 환경 문제 및 LID 시설에 대한 인식을 평가하고자 연구를 수행하였다고 하였다.

천안역 및 주변 광장의 시민을 대상으로 설문을 수행하였다. 조사대상 인원은 남자 152명, 여자 186명의 총 338명이었다. LID 시설에 대해 27%만이 들어본 적이 있으며 70% 이상은 들어본 적이 없다고 응답하였다. LID 기법에 대한 기초지식이 없음에도 LID 기법에 대한 선호도는 식생 기반의 빗물정원이 35%로 가장 높게 나타났다. 옥상녹화 21%, 침투도랑 17%, 인공습지 15%가 뒤를 이었다. 이를 토대로 대부분의 시민들이 심미성 및 경관성이 뛰어난 식생형 시설을 선호함으로 알 수 있다고 하였다.

2) 시사점 및 한계

LID 시설을 도입할 경우 심미성 및 경관성을 고려하여 식생형 시설 위주로 도입할 것을 제안하였다. 아울러 심미성 및 경관성을 유지하기 위한 식생관리가 요구되며 필요한 경우 보식도 필요하다고 제시하였다.

시민들이 선호하는 시설에 대한 설문 결과는 제시되었으나, 유지관리 가이드라인에 대한 구체적인 내용은 제시되지 않은 한계가 있다.

2.4 관련 제도

우리나라에서 LID 기법은 관련 법률의 용어정의를 갖는 법적 용어는 아니다. 국내에서 LID 기법과 관련된 법적 근거와 관련 규정을 찾기에는 한계가 있으나, 『물환경보전법』 제2조제13호에 제시된 비점오염저감시설¹⁾로 간주하는 것이 적절하다고 판단된다. LID 시설은 『물환경보전법 시행규칙』 [별표 6]에 제시된 비점오염저감시설 중 자연형 시설의 일종으로 판단할 수 있다. 따라서 유지관리에 관한 규정은 『물환경보전법 시행규칙』 [별표 18]의 『비점오염저감시설의 관리운영기준』을 준용할 필요가 있으며, 해당 내용은 [표 1-2]와 같다.

[표 1-2] 비점오염저감시설의 관리운영기준(물환경보전법 시행규칙 [별표 18])

1. 공통사항

- 가. 설치한 저감시설의 보존상태와 주변부의 여건, 상황 등을 파악하여 시설물의 기능을 유지하기 어렵거나 어렵게 될 우려가 있는 부분을 보수하여야 한다.
- 나. 슬러지 및 협잡물 제거
 - 1) 저감시설의 기능이 정상상태로 유지될 수 있도록 침전부 및 여과시설의 슬러지 및 협잡물을 제거하여야 한다.
 - 2) 유입 및 유출 수로의 협잡물, 쓰레기 등을 수시로 제거하여야 한다.
 - 3) 준설한 슬러지는 「폐기물관리법」에 따른 기준에 맞도록 처리한 후 최종 처분하여야 한다.
- 다. 정기적으로 시설을 점검하되, 장마 등 큰 유출이 있는 경우에는 시설을 전반적으로 점검하여야 한다.
- 라. 주기적으로 수질오염물질의 유입량, 유출량 및 제거율을 조사하여야 한다.
- 마. 시설의 유지관리계획을 적절히 수립하여 주기적으로 점검하여야 한다.
- 바. 사업자는 제75조제1항에 따라 비점오염저감시설을 설치한 경우에는 지체 없이 그 설치내용, 운영내용 및 유지관리계획 등을 유역환경청장 또는 지방환경청장에게 서면으로 알려야 한다.

1) 비점오염저감시설: 수질오염방지시설 중 비점오염원으로부터 배출되는 수질오염물질을 제거하거나 감소하게 하는 시설로서 환경부령으로 정하는 것을 말한다(물환경보전법 제2조제13호)

2. 시설유형별 기준

가. 자연형 시설

1) 저류시설

저류지의 침전물은 주기적으로 제거하여야 한다.

2) 인공습지

가) 동절기(11월부터 다음 해 3월까지를 말한다)에는 인공습지에서 말라 죽은 식생(植生)을 제거·처리하여야 한다.

나) 인공습지의 퇴적물은 주기적으로 제거하여야 한다.

다) 인공습지의 식생대가 50퍼센트 이상 고사하는 경우에는 추가로 수생식물을 심어야 한다.

라) 인공습지에서 식생대의 과도한 성장을 억제하고 유로(流路)가 편중되지 아니하도록 수생식물을 잘라내는 등 수생식물을 관리하여야 한다.

마) 인공습지 침사지의 매몰 정도를 주기적으로 점검하여야 하고, 50퍼센트 이상 매몰될 경우에는 토사를 제거하여야 한다.

3) 침투시설

가) 토양의 통수가 막히지 아니하도록 시설 내의 침전물을 주기적으로 제거하여야 한다.

나) 침투시설은 침투단면의 투수계수 또는 투수용량 등을 주기적으로 조사하고 막힘 현상이 발생하지 아니하도록 조치하여야 한다.

4) 식생형 시설

가) 식생이 안정화되는 기간에는 강우유출수를 우회시켜야 한다.

나) 식생수로 바닥의 퇴적물이 처리용량의 25퍼센트를 초과하는 경우에는 침전된 토사를 제거하여야 한다.

다) 침전물질이 식생을 덮거나 생물학적 여과시설의 용량을 감소시키기 시작하면 침전물을 제거하여야 한다.

라) 동절기(11월부터 다음 해 3월까지를 말한다)에 말라 죽은 식생을 제거·처리한다.

나. 장치형 시설

1) 여과형 시설

가) 전(前) 처리를 위한 침사지(沈砂池)는 저장능력을 고려하여 주기적으로 협잡물과 침전물을 제거하여야 한다.

나) 시설의 성능을 유지하기 위하여 필요하면 여과재를 교체하거나 침전물을 제거하여야 한다.

2) 소용돌이형 시설

침전물의 저장능력을 고려하여 주기적으로 침전물을 제거하여야 한다.

3) 스크린형 시설

망이 막히지 아니하도록 망 사이의 협잡물 등을 주기적으로 제거하여야 한다.

4) 응집·침전 처리형 시설

가) 다량의 슬러지(sludge) 발생에 대한 처리계획을 세우고 발생한 슬러지는 「폐기물관리법」에 따라서 처리하여야 한다.

나) 자 테스트(Jar-test)를 실시하거나 자 테스트를 통하여 작성된 일람표 등을 이용하여 유입수의 농도 변화에 따라 적정량의 응집제를 투입하여야 한다.

다) 주기적으로 부대시설에 대한 점검을 실시하여야 한다.

5) 생물학적 처리형 시설

가) 강우유출수에 포함된 독성물질이 미생물의 활성화에 영향을 미치지 아니하도록 관리한다.

나) 오염물질 부하량의 변화가 심한 강우유출수의 적절한 처리를 위하여 미생물의 활성(活性)을 유지하도록 한다.

3. 본 연구의 차별성 및 한계

3.1 본 연구의 차별성

국내의 경우 LID 시설에 대한 적용 사례가 많지 않고 운영기간도 길지 않아 유지관리 가이드라인에 관한 자료가 미흡한 실정이다. 뿐만 아니라 LID 시설이 대부분 시범사업으로 적용되는 경우가 많아 해당 사업이 종료된 이후에는 지속적인 유지관리가 이루어지지 않고 방치되는 일도 자주 일어난다.

유지관리에 대한 모니터링이 수행되더라도 시범사업 또는 연구과제 기간이 한정되어 장기적인 모니터링을 수행하지 못한 한계가 있었다. 모니터링도 유출량, 수질 항목 등을 위주로 수행되어 LID 시설의 유지관리 현황에 대한 조사는 제한적이었다.

본 연구는 기존 연구가 갖는 한계를 극복하고자 LID 시설이 설치된 후 상당 기간이 경과한 시설을 대상으로 모니터링을 수행하여 장기적인 유지관리 현황을 분석하였다. LID 시설의 일반적인 유지관리를 위해 필요한 식생관리, 투수성능 유지 현황을 조사하고 이를 토대로 유지관리 방안을 제시하였다.

3.2 연구의 한계

LID 기법은 식생형, 침투형, 저류형 시설로 구분할 수 있다. 기법별 유지관리 착안 사항은 식생형은 식생의 활착 여부, 침투형은 투수성능의 유지 여부, 저류형은 저류공간 및 수질 확보 여부라고 할 수 있다. 본 연구에서는 일반적으로 널리 적용되는 식생형과 침투형 시설을 대상으로 유지관리 기법을 도출하였으며, 저류형은 조사 대상에 포함하지 않았다.

LID 시설의 유지관리 목적은 LID 기법이 당초의 도입 취지에 맞게 성능을 유지하는 것이다. LID 기법의 기능은 유출량 저감, 지하수 함양, 폭염 저감, 수질오염 저감, 경관 개선 등 다양하다. 각 기능을 판단하기 위해서는 유량, 지하수위, 온도, 수질, 경관 개선 효과에 대한 분석이 필요하지만, 본 연구에서는 유지관리 항목을 최소화하여 식생 활착 여부, 투수성능 유지 여부에 한정하였다. 이는 LID 시설에 대한 유지관리가 적극적인 수준보다는 소극적인 수준으로 이행되는 현장의 여건을 반영하기 위함이었다. 식생형과 침투형 시설을 대상으로 식생의 활착 여부, 투수성

능 유지 여부를 조사하였다. 유지관리 현황은 육안 관찰을 위주로 하였으며, 유출량 및 수질분석은 본 연구에 포함되지 않았다.

본 연구는 토지주택연구원 부지 내 적용된 LID 시설을 대상으로 유지관리 현황을 조사하고, 이를 토대로 각 LID 시설의 유지관리 방안을 제시하였다. 각 시설별 유지관리 방안을 도출하기 위해서는 다양한 시설을 대상으로 충분한 자료 축적이 전제되어야 한다. 하지만 국내의 경우 LID 시설의 설치 사례와 장기간에 걸친 운영사례를 확보하는데 한계가 있어 토지주택연구원에 시설에 한정하였다. 세종시 6-4생활권에 적용된 LID 기법에 대한 조사도 포함되었지만 이는 참고일 뿐이다.

토지주택연구원에 적용된 식생형 시설과 침투형 시설은 특별한 유지관리 없이 일반 조경 공간과 유사한 수준의 관리만 수행되고 있다. LID 시설에 대해 식생에 대한 보식, 투수성능 유지를 위한 고압세척 등의 특별한 유지관리가 수행되지 않았다는 의미이다.

환경부 물순환 선도도시를 비롯해 LID 시설의 도입이 증가하면서 LID 시설의 유지관리에 대한 관심이 증가하고 있다. 본 연구에서는 현장 조사 결과를 토대로 유지관리 방안을 제시하였지만 모니터링 현장이 1~2곳으로 제한되어 다른 LID 시설의 유지관리 현황과는 다소 차이가 있을 수 있다.

3.3 일러두기

토지주택연구원에는 국내에 소개된 대부분의 LID 시설이 적용되었으며, 2017년 시공 이후 5년 정도 유지관리가 진행되고 있다. 따라서 토지주택연구원을 대상으로 유지관리 현황을 분석하고 이를 토대로 LID 기법의 유지관리 방안으로 일반화하여도 큰 무리가 없을 것으로 판단하였다.

LID 기법에 대한 법적 용어정의를 마련되지 않아 『저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인(환경부, 2016)』에 제시된 용어정의를 인용하였다.

저영향개발 기법 : 『수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행령』 제73조제2항제3호2)에 따라 개발사업 등으로 인하여 불투수층에서 발생하는 강우유출수를 최소화하여 자연 상태의 물순환 회복에 기여할 수 있는 기법

빛물 유출을 저감하고 침투를 촉진하는 일련의 개발 방식을 저영향개발 기법 또는 LID 기법이라 표현하는데, 본 연구에서는 LID 시설로 통일하였다. 다만, 지칭하는 대상이나 의미의 혼동이 없는 경우에 한정하여 문맥의 매끄러움을 위해 시설과 기법의 용어를 혼용하였다.

LID 시설은 10여 가지 이상의 다양한 시설이 존재하고 명칭도 다양하지만 본 연구에서는 『저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인(환경부, 2016)』에 제시된 명칭으로 통일하였다.

식생형 시설에 식물을 보식할 때 식물의 꽃, 잎, 상록 여부 등을 고려한 식재가 가능하도록 식재 팔레트를 부록에 제시하였다. 이 자료는 환경부 등(2018)이 수립한 『저영향개발(LID) 기법 조경·경관 가이드라인』에서 인용한 것이다.

2) 해당 법률의 제명은 『수질 및 수생태계 보전에 관한 법률』에서 『물환경보전법』으로 변경('17.01.17)

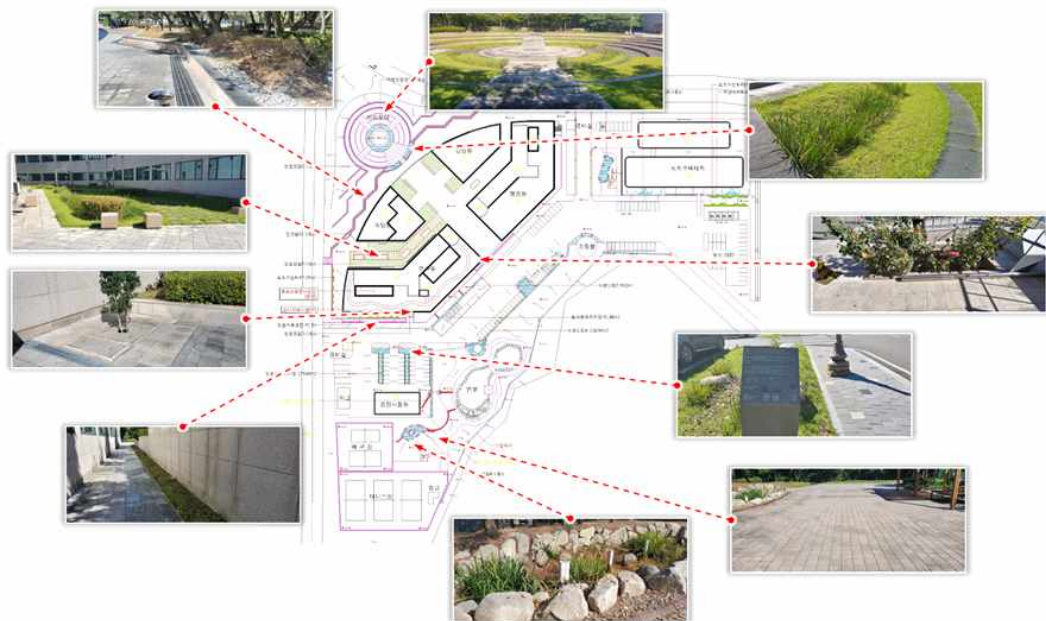
제2장 연구내용 및 방법

1. 연구 대상지

1.1 토지주택연구원

토지주택연구원은 국토교통부에서 시행한 물관리연구사업의 일환으로 수행한 『건전한 도시 물순환 인프라의 저영향개발 및 구축운영 기술』 연구의 성과물로 토지주택연구원 부지 내 LID 기법을 시범 적용하였다(국토교통부, 2017).

대상지의 전체 면적은 42,170 m²로 투수가 가능한 면적은 17,868 m²이고, 불투수 면적은 24,302 m²로 전체 면적 중 불투수 면적이 57.6%를 차지하였다. 해울관, 다울관, 도두리정, 토지주택대학교, 차도와 보도 및 주차장이 대상지의 중앙에 집중되어 있고 녹지 등은 대상지의 외곽에 위치해 있다. 설계강우량은 26.3 mm였다. LID 시설 설치를 위한 공사는 2016.11~2017.09의 10개월 동안 진행되었다.



[그림 2-1] 토지주택연구원 부지 내 LID 시설 현황

1) 각 시설의 세부 제원

본 보고서에는 토지주택연구원에 적용된 7종류 13개의 시설을 실었다. 적용된 시설은 빗물정원, 침투도랑, 식생수로, 나무여과상자, 인공습지, 투수블록, 식물재배 화분 등이다.

각 시설별 세부 제원은 [표 2-1]에 제시된 바와 같다. 『LID 단지재생 시범단지 조성 백서(LH, 2017)(이하 본 절에 한해 ‘백서’)』에 제시된 명칭이 일반적으로 통용 되는 명칭과 상이한 경우 해당 시설의 형태와 기능을 고려하여 명칭을 변경하였다.

[표 2-1] 토지주택연구원 부지 내 LID 시설의 종류 및 제원

적용 시설		시설면적 (m ²)	집수면적 (m ²)	저류용량 (m ³)
조성백서 ³⁾	본 연구 ⁴⁾			
띠형 빗물정원	빗물정원 L	123	908	44
빗물정원 C	빗물정원 C	56	832	18
자갈도랑 B	침투도랑 B	36	968	10
자갈도랑 C	침투도랑 C	171	1,878	31
빗물정원 E	빗물정원 E	642	1,402	205
포트가든	식생수로	48	335	5
나무여과상자	나무여과상자	2	245	1
빗물관리주차장	침투도랑 L	138	1,060	55
빗물정원 A	인공습지	45	1,446	22
투수블록포장 A	투수블록 A	1,321	2,058	135
식생도랑 A	침투도랑 H	70	1,478	20
투수블록포장 B	투수블록 B	862	4,592	136
빗물화단	식물재배화분	4.5	218	2

3) LID 단지재생 시범단지 조성 백서(LH, 2017)

4) 조성 백서에 제시된 공법 명칭 중 일부는 형태 및 기능을 고려하여 최근 통용되고 있는 명칭으로 변경함



〈빗물정원 L〉



〈침투도랑 C〉



〈빗물정원 E〉



〈식생수로〉



〈나무여과상자〉



〈투수블록B〉



〈침투도랑 H〉



〈식물재배화분〉



〈침투도랑 L〉



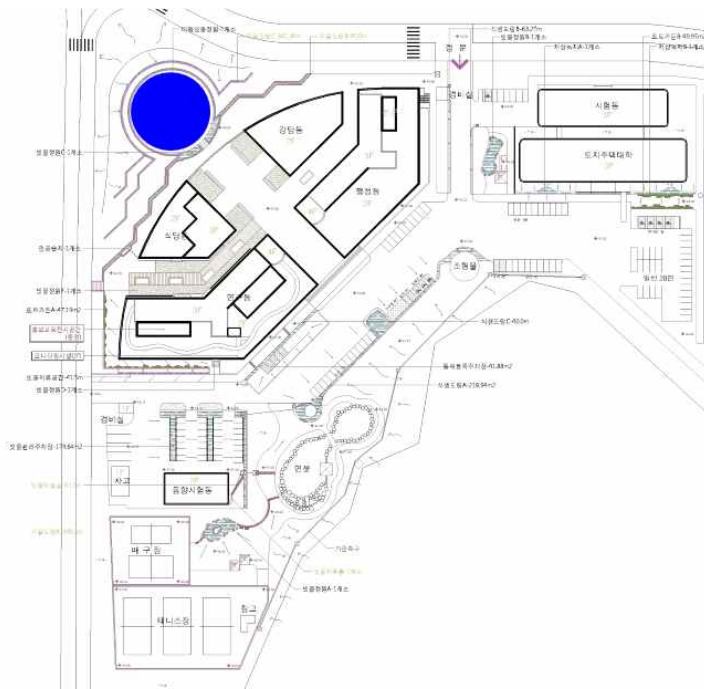
〈인공습지〉

[그림 2-2] 토지주택연구원 내 조사 대상 LID 시설

① 빗물정원 L

토지주택연구원 부지의 북서측 끝단에 위치하고 있으며 가운데가 낮은 원형 계단 형태의 시설이다. LID 시설을 설치하기 전 원형 야외무대는 불투수면이 많고 가운데가 주변부보다 낮아 강우 시 물과 토사 등이 고여 활용도가 떨어지는 문제가 있었다. 이를 해결하기 위해 불투수면의 바닥면을 빗물정원으로 변경하여 강우 시 저류지 역할을 수행하도록 하였다. 심미성을 높이기 위해 식생을 추가하여 식재하였고 설계 유량 이상의 빗물 배제를 위해 월류관을 설치하였다.

시설면적과 집수면적은 각각 123 m^2 , 908 m^2 이며, 저류용량은 44 m^3 이다.



[■ 부지 내 시설 적용 위치]



[시공 이전]



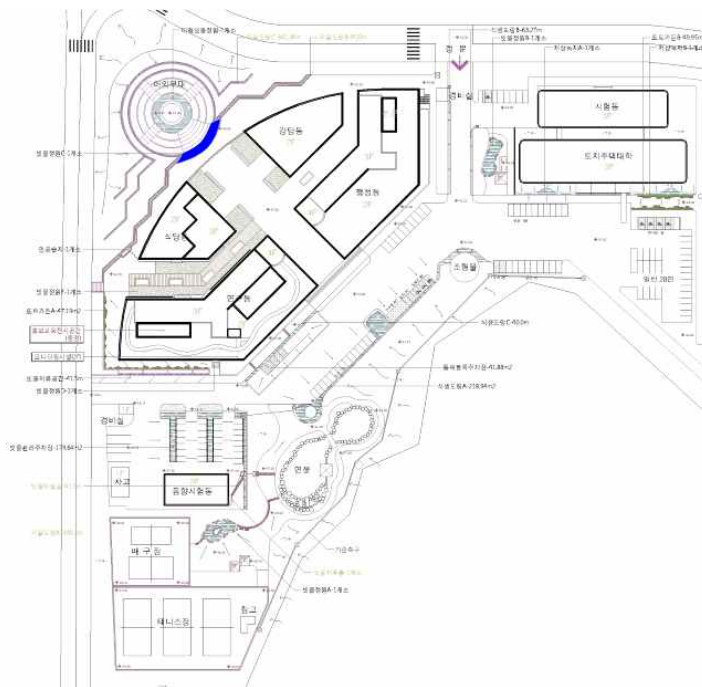
[준공 이후]

[그림 2-3] 빗물정원 L의 적용 위치 및 시공 전후 모습

② 빗물정원 C

부지의 북서측 끝단에 있는 빗물정원 (원형)과 도두리정 사이에 위치하고 있는 시설이다. 건물 옥상 및 주변 포장면에서 유출되는 빗물을 저류 후 침투함으로써 유출량과 오염물질 저감이 가능한 시설이다.

시설면적과 집수면적은 각각 56 m^2 , 832 m^2 이며, 저류용량은 18 m^3 이다.



[■ 부지 내 시설 적용 위치]



[시공 이전]



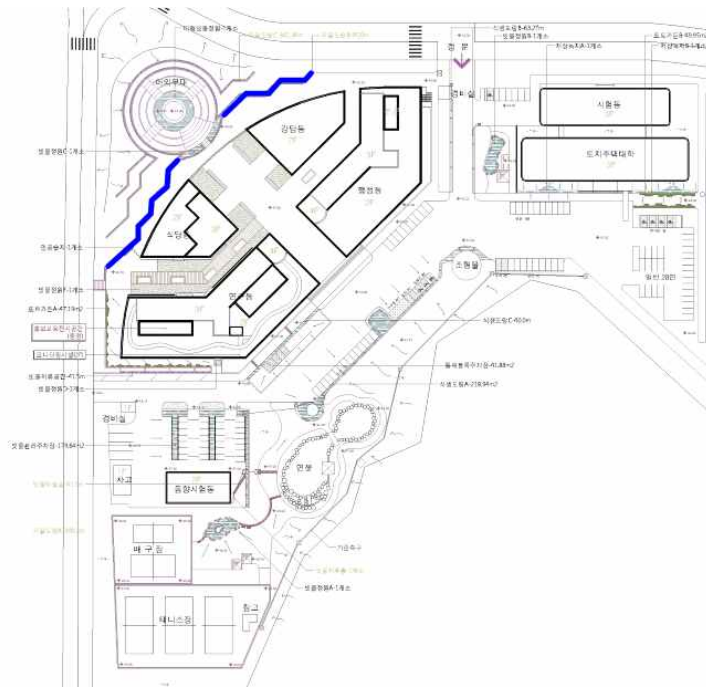
[준공 이후]

[그림 2-4] 빗물정원 C의 적용 위치 및 시공 전후 모습

③ 침투도랑 B

부지 북서측의 녹지에서 유출되는 빗물과 탁수를 저감하기 위한 침투시설이다. U형 측구를 매설하고 쇄석을 채웠다. U형 측구 하부에는 2m 간격으로 구멍을 뚫어 침투도랑에 유입된 빗물이 토양으로 스며들도록 하였다.

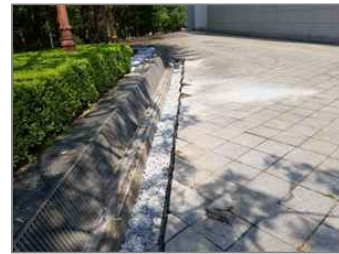
시설면적과 집수면적은 각각 36 m^2 , 968 m^2 이며, 저류용량은 10 m^3 이다.



[■ 부지 내 시설 적용 위치]



[시공 이전]



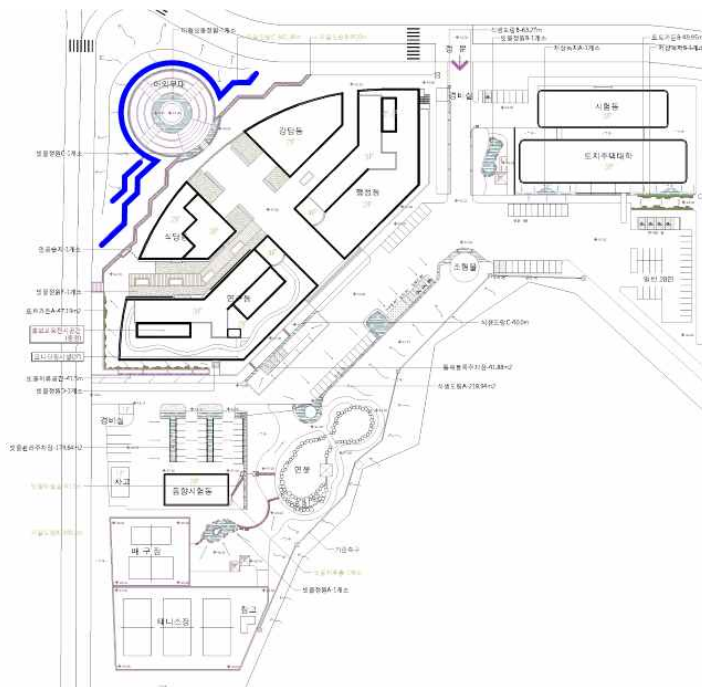
[준공 이후]

[그림 2-5] 침투도랑 B의 적용 위치 및 시공 전후 모습

④ 침투도랑 C

부지 북서측의 녹지에서 유출되는 빗물과 탁수를 저감하기 위한 침투시설이다. 강우 시 기존 녹지에서의 토사 유출을 방지하기 위해 엷지를 설치하고, 우수 흐름 연계를 위해 잔디도랑을 설치하였다.

시설면적과 집수면적은 각각 171 m^2 , $1,878\text{ m}^2$ 이며, 저류용량은 31 m^3 이다.



[■ 부지 내 시설 적용 위치]



[시공 이전]



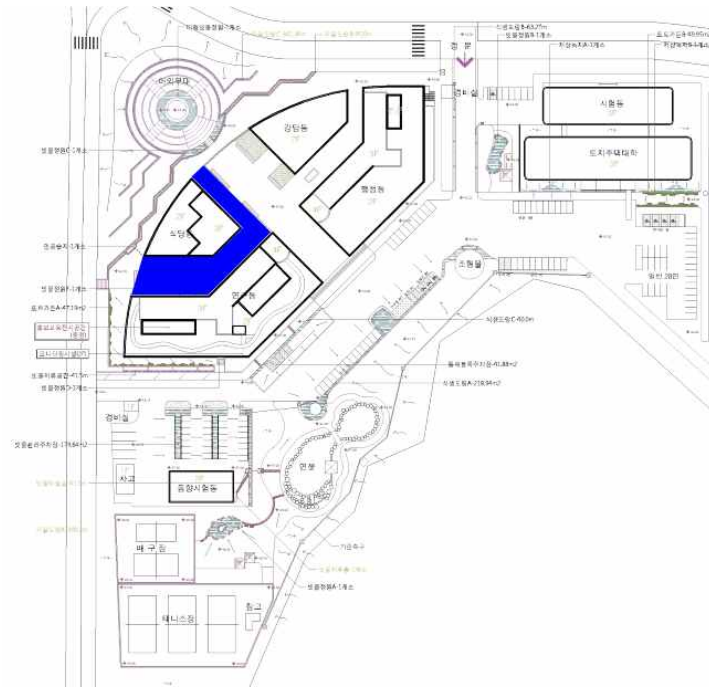
[준공 이후]

[그림 2-6] 침투도랑 C의 적용 위치 및 시공 전후 모습

⑤ 빗물정원 E

해울관과 도두리정의 건물 사이에 위치한 시설이다. 토지주택연구원 내 대표적인 식생형 시설로 건물 옥상 및 주변 포장면에서 유출되는 빗물을 저류 침투하는 시설로 빗물의 유출량 저감과 아울러 토양과 식생에 의한 오염물질 저감효과도 기대할 수 있다. 설계용량을 초과하는 유량은 월류관을 통해 기존 우수관으로 배제되도록 설계되었다.

시설면적과 집수면적은 각각 642 m^2 , $1,402\text{ m}^2$ 이며, 저류용량은 205 m^3 이다.



[■ 부지 내 시설 적용 위치]



[시공 이전]



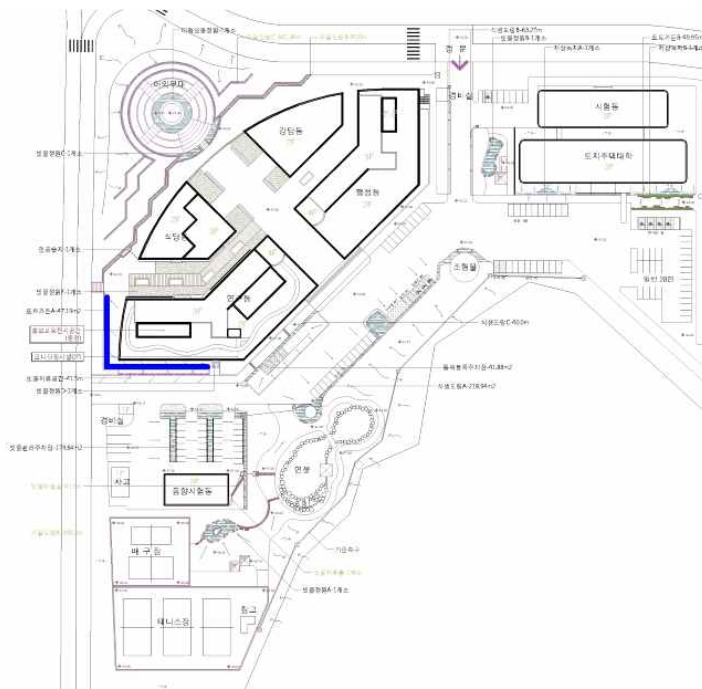
[준공 이후]

[그림 2-7] 빗물정원 E의 적용 위치 및 시공 전후 모습

⑥ 식생수로

해울관 건물 주변의 시설 관리 통로로 화강판석 일부를 걷어내고 자갈 포설 후 상부에 식물을 식재하였다. 폭 30cm 정도의 시설로 보행통로의 불투수면에서 유출되는 빗물을 침투할 수 있도록 하였다.

시설면적과 집수면적은 각각 48 m^2 , 335 m^2 이며, 저류용량은 5 m^3 이다.



[■ 부지 내 시설 적용 위치]



[시공 이전]



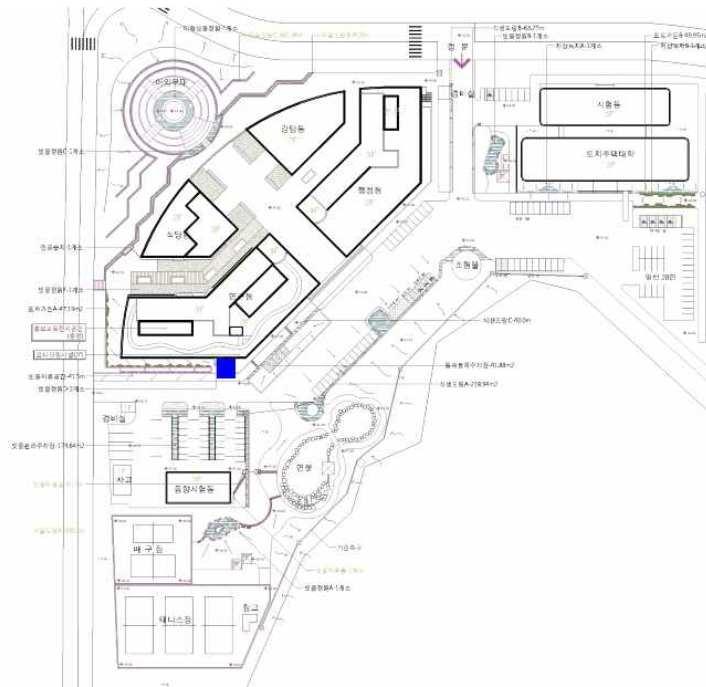
[준공 이후]

[그림 2-8] 식생수로의 적용 위치 및 시공 전후 모습

⑦ 나무여과상자

해울관 앞에 설치된 시설로 건물 옥상에서 유출되는 빗물과 주변 노면에서 유출되는 빗물이 유입된다. 해당 시설은 스크린에 의한 협잡물 제거, 여재에 의한 오염물질 제거가 가능한 프리캐스트 콘크리트(PC) 제품이다.

시설면적과 집수면적은 각각 2m^2 , 245m^2 이며, 저류용량은 1m^3 이다.



[■ 부지 내 시설 적용 위치]



[시공 이전]



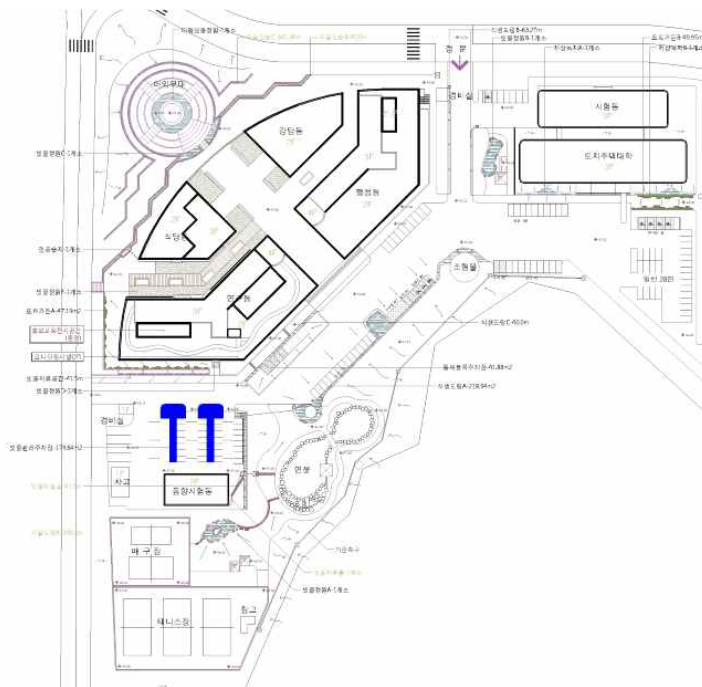
[준공 이후]

[그림 2-9] 나무여과상자의 적용 위치 및 시공 전후 모습

⑧ 침투도랑 L

해울관 앞 주차장에 설치된 시설로 주차장의 불투수면에서 유출되는 빗물을 저류·침투하는 시설이다. 기존 주차장의 일부 공간만을 활용하여 시설을 설치함으로써 주차면수 감소는 없도록 하였다.

시설면적과 집수면적은 각각 138 m^2 , $1,060 \text{ m}^2$ 이며, 저류용량은 55 m^3 이다.



[■ 부지 내 시설 적용 위치]



[시공 이전]



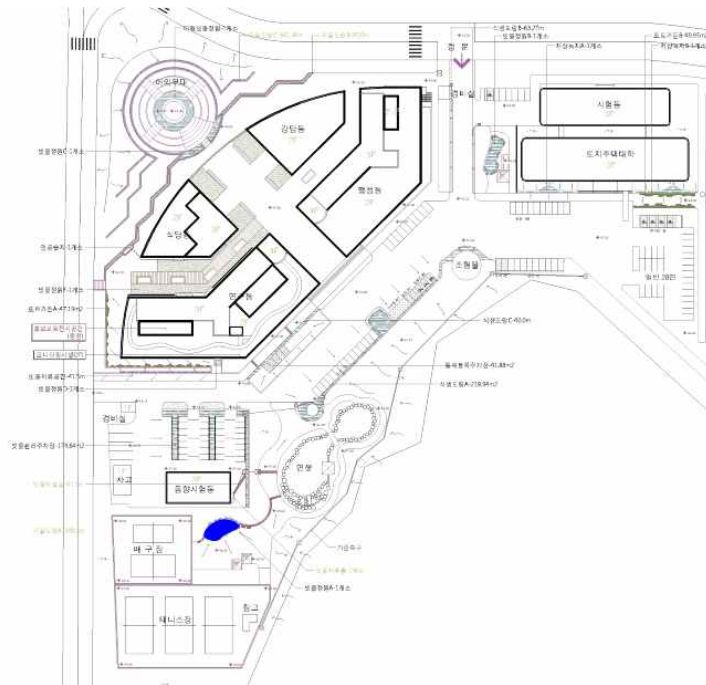
[준공 이후]

[그림 2-10] 침투도랑 L의 적용 위치 및 시공 전후 모습

⑨ 인공습지

테니스장 인근에 설치된 시설로 투수블록 A를 통과한 빗물과 인근 유역에서 유출된 빗물을 집수하여 저류하는 인공습지이다. 설계용량 이상의 유량은 월류관을 통해 기존에 있던 연못으로 유입되도록 하였다. 빗물의 저류와 일정 수심을 유지하기 위해 하부는 방수시트를 설치하여 빗물이 지하로 침투되지 않도록 하였다.

시설면적과 집수면적은 각각 45 m^2 , $1,446\text{ m}^2$ 이며, 저류용량은 22 m^3 이다.



[■ 부지 내 시설 적용 위치]



[시공 이전]



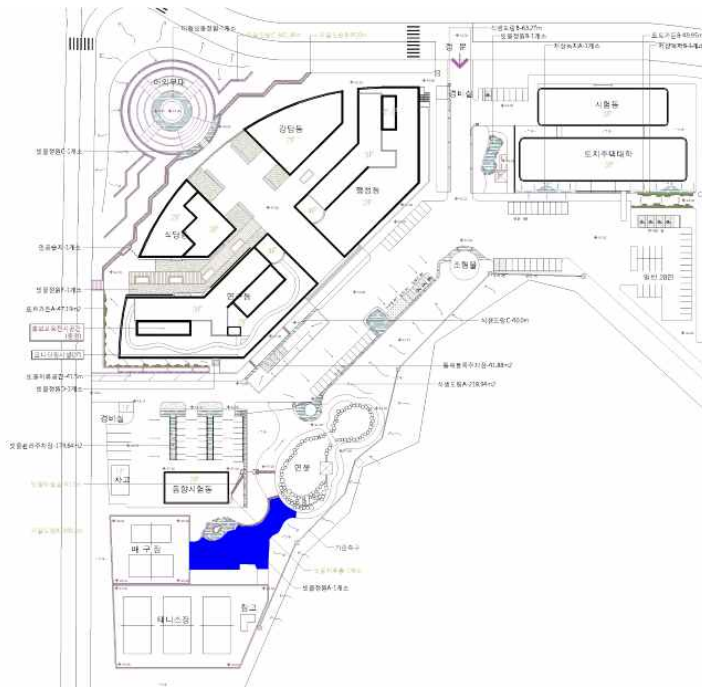
[준공 이후]

[그림 2-11] 인공습지의 적용 위치 및 시공 전후 모습

⑩ 투수블록 A

테니스장 인근에 설치된 시설로 투수성 포장이다. 일반적인 투수블록 시공과 달리 투수블록 하부에 유공관을 매설하여 투수블록을 통과한 빗물이 유공관을 통해 인근 인공습지로 유입되도록 설치하였다.

시설면적과 집수면적은 각각 1,321 m², 2,058 m²이며, 저류용량은 135 m³이다.



[■ 부지 내 시설 적용 위치]



[시공 이전]



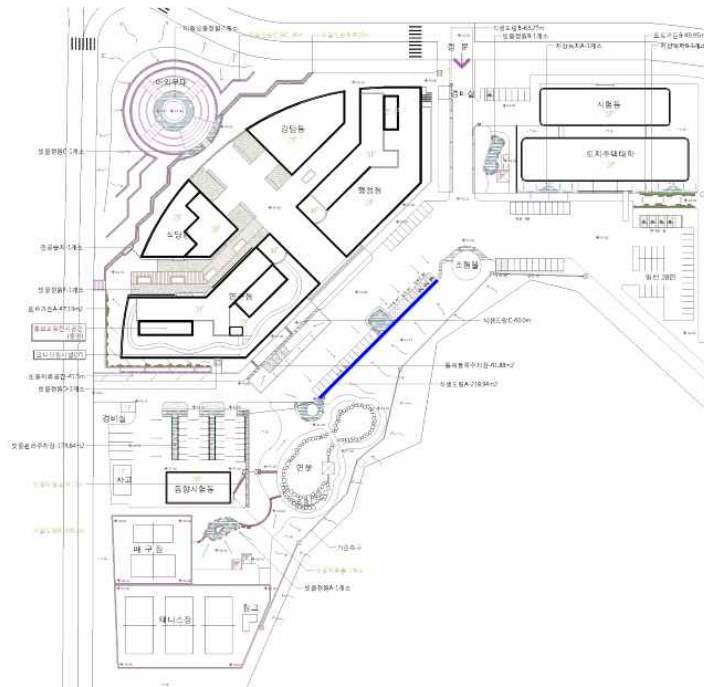
[준공 이후]

[그림 2-12] 투수블록 A의 적용 위치 및 시공 전후 모습

⑪ 침투도랑 H

해울관과 다울관 앞에 시공된 투수블록과 녹지대 사이에 설치된 침투시설이다. 시설의 설치 목적은 녹지대에서 유출되는 토사가 투수블록 B로 유입되는 것을 방지하기 위함이었다. 유출된 토사가 투수블록으로 유입될 경우 공극 막힘으로 인한 투수블록의 기능저하를 야기하기 때문이다.

시설면적과 집수면적은 각각 70 m^2 , $1,478 \text{ m}^2$ 이며, 저류용량은 20 m^3 이다.



[■ 부지 내 시설 적용 위치]



[시공 이전]



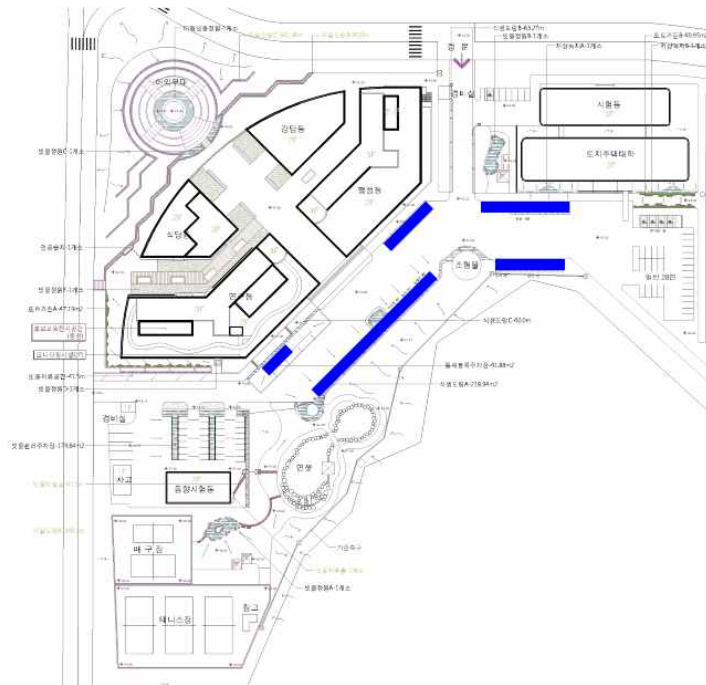
[준공 이후]

[그림 2-13] 투수블록 B의 적용 위치 및 시공 전후 모습

⑫ 투수블록 B

해울관과 다울관 앞 주차장에 설치된 투수성 포장이다. 차량이 주차하는 면만 투수 블록으로 시공하였으며 그 외 구역은 기존 아스팔트 포장을 유지하였다. 차량 하중을 고려하여 블록은 두께 80mm로 시공하였다. 하부에는 쇄석을 포설하되 지반 침하 방지를 위해 3차원 그리드를 설치하였다.

시설면적과 집수면적은 각각 862 m², 4,592 m²이며, 저류용량은 136 m³이다.



[■ 부지 내 시설 적용 위치]



[시공 이전]



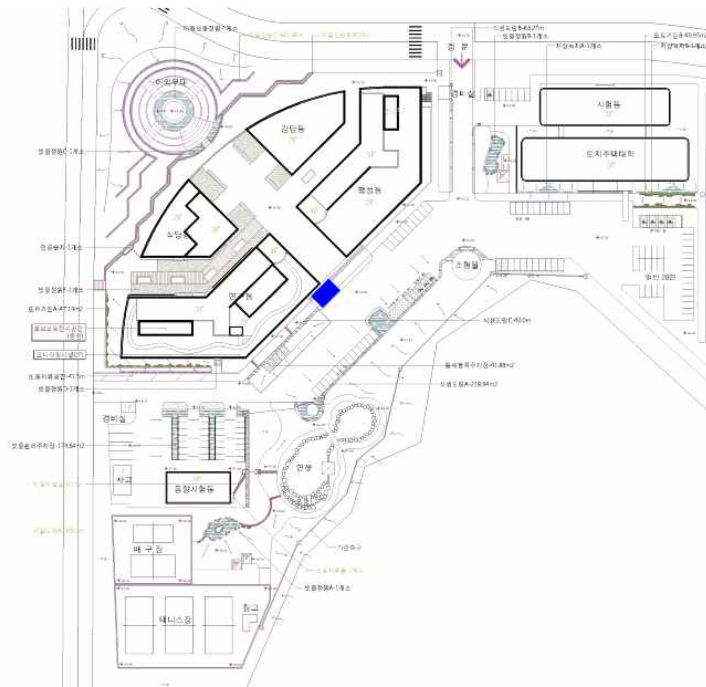
[준공 이후]

[그림 2-14] 투수블록 B의 적용 위치 및 시공 전후 모습

⑬ 식물재배화분

해울관과 다울관의 현관 입구에 설치된 시설이다. 주차장에서 흘러나온 빗물이 유입되어 저류·침투되는 시설이다. 쇠석을 채운 후 상부에는 식생토를 포설하여 식물을 식재하였다.

시설면적과 집수면적은 각각 4.5 m^2 , 218 m^2 이며, 저류용량은 2 m^3 이다.



[■ 부지 내 시설 적용 위치]



[시공 이전]

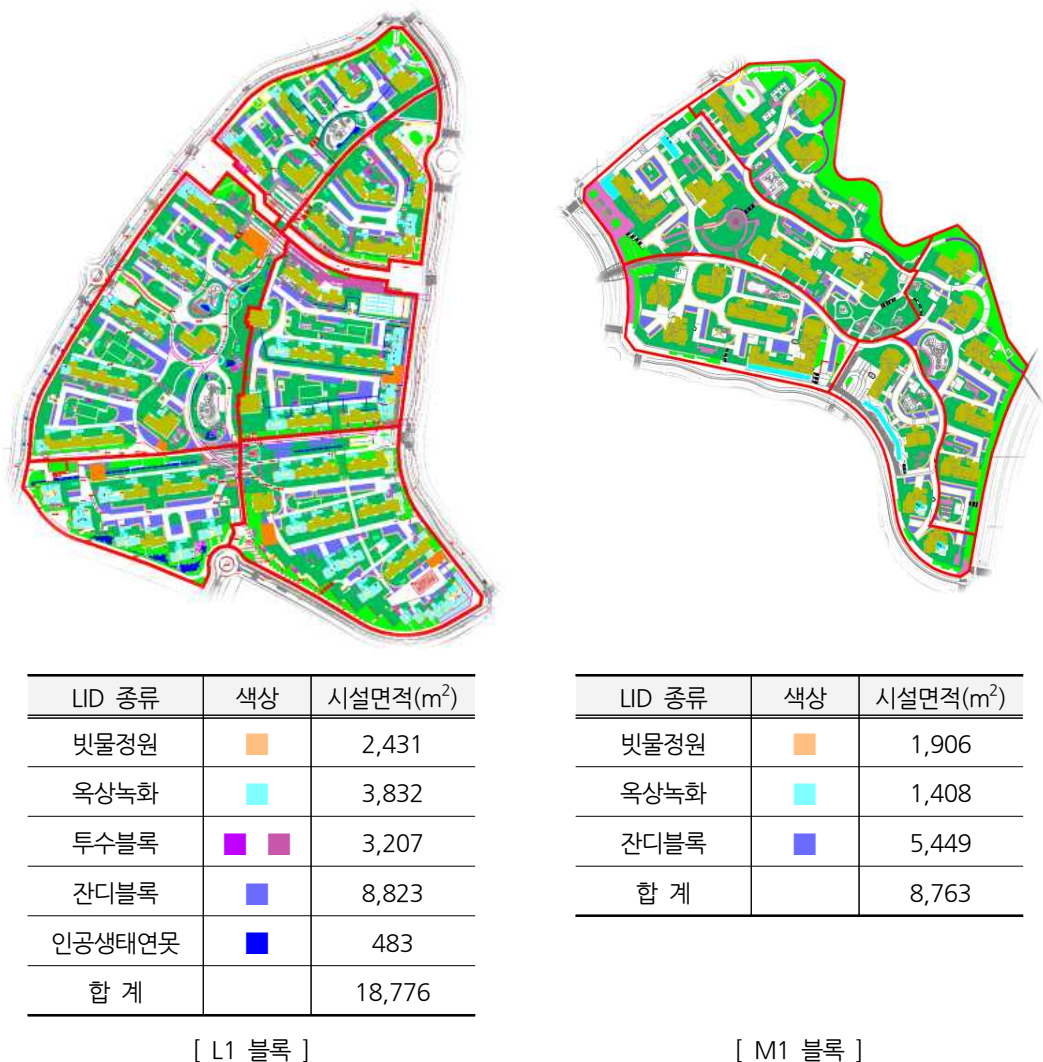


[준공 이후]

[그림 2-15] 식물재배화분의 적용 위치 및 시공 전후 모습

1.2 세종시 행복도시 6-4생활권

대상지는 세종시 행복도시 6-4 생활권 일원의 L1, M1블록이며 LID 시설을 도입한 면적은 L1블록과 M1블록이 각각 18,776㎡과 8,763㎡이었다. L1블록은 빗물정원, 옥상녹화, 투수성포장(투수블록, 잔디블록), 인공 생태연못을 포함하고 있으며, M1블록은 빗물정원, 옥상녹화, 투수성포장이 조성되어 있다.



[그림 2-16] 세종시 행복도시 6-4 생활권 블록의 LID 시설 도입 현황

단지 내 포장은 대부분 투수블록으로 이루어져 있으며 단지 내 중앙에 빗물정원을 배치하는 것으로 계획되었다. 건물 옥상에 설치된 녹화시설 조사와 투수블록 시험은 아파트 관리사무소의 사전 협조를 받아 수행하였다.

2. LID 시설 유지관리 현황 조사

2.1 조사 방법

1) 조사 개요

2022년 9월부터 2023년 4월까지 월 1회 토지주택연구원 및 세종시 행복도시 6-4 생활권을 대상으로 LID 시설 유지관리 현황을 조사하였다. 조사방법은 주로 육안 관찰로 수행하였다. 세부 내용은 유입·유출수로의 적정 설치 여부, 협잡물 여부, 퇴적물 여부, 막힘 및 침적상태, 파손, 지표침하, 함몰, 월류 흔적 등이었다. 연구기간 중 2023년 4월 조사 시에는 시간당 30mm 이상의 강우사상이 있어 LID 시설로의 빗물 유입 현황, 침투 정도, 빗물 고임, 월류 현황 등을 조사하였다.

① 조사일시 : 1차('22.09.21), 2차('22.10.28), 3차('22.11.25), 4차('22.12.27), 5차('23.01.27), 6차('23.02.22), 7차('23.03.27), 8차('23.04.18)

2) 유지관리 현황

토지주택연구원 및 세종시 행복도시 6-4 생활권 L1과 M1 블록을 대상으로 LID 시설에 대한 유지관리 현황을 조사하고 시급히 보수·보완이 필요한 부분을 분석하였다. 아울러 향후 유지관리 방안 및 유지관리에 소요되는 비용을 산출하였다.

LID 시설 내 식재되어 있는 식생의 종류를 파악하고 활착 상태에 대해 육안 관찰을 수행하였다. 식재 식물이 대부분 관목류, 초화류로 식재 경과년수에 따른 생육 정도를 물리적인 수치로 기록하는데 한계가 있어 육안 관찰을 토대로 식재의 활착 정도를 파악하였다. 조사기간인 2022년 9월부터 2023년 4월 중 동계기간인 2022년 11월부터 2023년 2월까지의 식생조사를 수행하지 않았다.

세종시 행복도시 6-4생활권의 경우 아파트 단지 옥상에는 옥상녹화가 조성되어 들나무과인 세덤류가 식재되어 있으며 1년에 한번 가을에 관리사무소에서 제초작업을 시행한다. L-1블록 빗물정원에 식재된 식물은 노랑꽃창포, 수크령(리틀버니), 억

새모닝라이트, 털수염풀, 흰줄무늬억새, 사사(노랑무늬), 낙상홍 등이다.

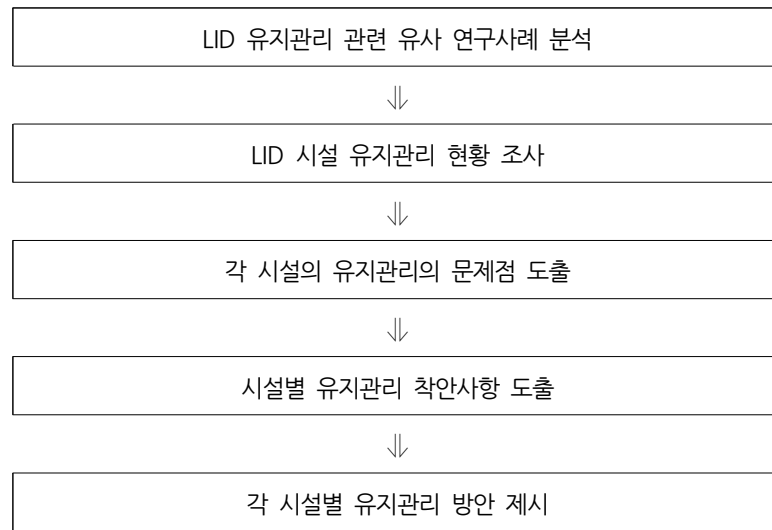
토지주택연구원 및 세종시 6-4생활권의 LID 시설 현황조사를 위한 세부항목은 [표 2-2]과 같다.

[표 2-2] LID 시설의 유지관리 현황 조사 항목

구 분	조사 항목
공동사항	유입 및 유출수로 협잡물, 퇴적물, 폐색 상태
	시설의 외부 상태 (파손, 지표침하, 함몰, 침식, 월류 흔적 등)
	내부 유지관리 상태 (막힘정도, 우천시 침투상황 등)
	유입·유출수 비상 여수로 상태
	무강우시 완전 배수여부
	유출수의 수질 상태 (탁도 및 이물질)
침투형 시설	투수성 포장 표면의 토사 및 이물질 상태
	강우시 투수성능 및 물고임 등 상태
	인근 지역의 토사침식 및 유입 여부
	포장 표면 및 파손·변형 여부
식생형 시설	식생 종류
	식생 활착정도 및 생육상태
	식생 주위의 협잡물, 퇴적물

토지주택연구원 및 6-4생활권의 LID 시설에 식재되어 있는 식생에 대한 식생 현황 및 생육상태 등을 조사하여 유지관리 현황을 분석하고 향후 유지관리 방안을 제시하였다. 투수블록을 비롯한 침투형 시설을 대상으로 투수성능을 조사하고 투수성능 불량 원인 및 개선방안을 도출하였다.

토지주택연구원, 세종시 행복도시 6-4 생활권에 적용된 LID 시설의 모니터링 결과와 국내 관련 기준, 매뉴얼 등을 참고하여 유지관리 방안을 도출하였다. 유지관리 방안 도출과정은 [그림 2-17]에 제시된 바와 같다.



[그림 2-17] LID 기법별 유지관리 방안 도출 프로세스

2.2 식생관리를 위한 보식 방안

1) 시설별 보식 방안

토지주택연구원 내 LID 시설 중 식생의 보식이 필요한 시설을 도출하였다. 당초 식재된 식물 목록과 현재 생육하고 있는 식물의 상태를 비교하였다. 식생의 추가 보식이 필요한 경우 주변 식생과 조화를 이룰 수 있는 식생을 도입하고 유입·유출부는 피해서 배치하는 방안이 필요하다. 전체적인 식물 배치는 전면부에 키 작은 초본류를 도입하고 후면부에 배경 역할을 할 수 있는 관목과 교목을 배치하여 경관미를 확보한다.

2) 경관성 확보를 위한 혼합 식재

토지주택연구원 LID 시설의 식재는 대부분 초화류로 이루어져 있으나 교목, 관목, 지피·초화류의 다층식재 구조로 경관성과 생태적 다양성을 고려하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 계절적 변화를 얻기 위해 낙엽성과 상록성 식물을 혼합 식재하고 상록교목을 상층부에 식재 시 하층부에 낙엽관목을 배치, 낙엽교목을 상층부에 식재할 경우 하층부에는 상록관목을 식재하여 겨울철에도 경관성을 확보할 수 있도록 하는 것이 바람직하다[그림 2-18].



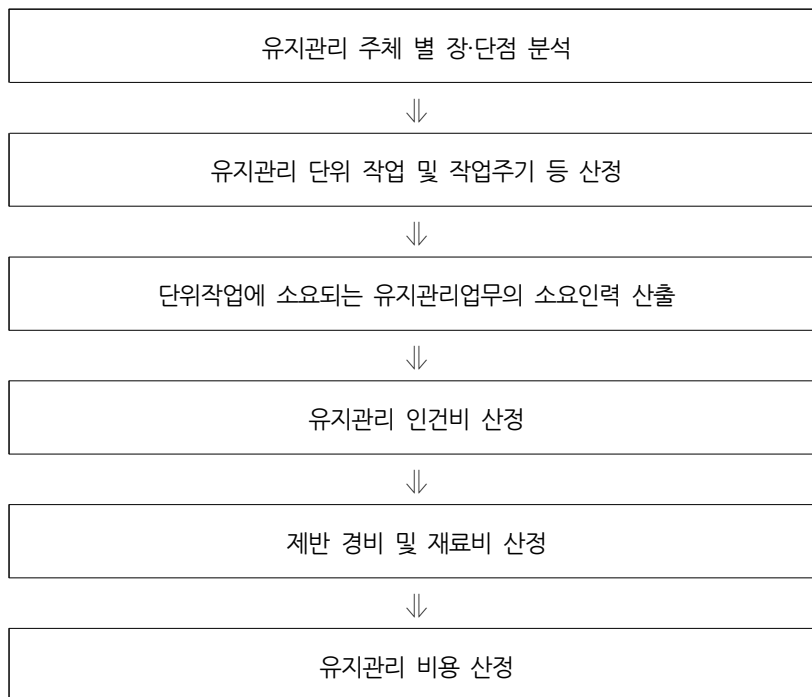
[그림 2-18] 상록교목과 낙엽관목, 낙엽교목과 상록관목의 혼합 배치 예시

3. LID 시설 유지관리 비용

3.1 조사 방법

LID 시설의 적절한 유지관리 계획을 수립하기 위해서는 소요되는 개략 비용을 산출할 필요가 있다. 본 연구에서는 식생형, 침투형 시설의 유지관리 비용을 산출하였다. 요구하는 유지관리 수준이 상이하기 때문에 유지관리 비용도 그 차이가 크다. 본 연구에서는 토지주택연구원 내 시설의 유지관리 현황을 토대로 식생형, 침투형 시설의 유지관리 비용을 산정하였다.

토지주택연구원에 설치된 LID 시설을 대상으로 유지관리 주체별, 시나리오별 유지관리비용을 산출하였으며 세부 비용 산출과정은 [그림 2-19]에 제시된 바와 같다.



[그림 2-19] LID 기법별 유지관리 비용 도출 프로세스

3.2 유지관리 주체

토지주택연구원 내 설치된 LID 시설의 유지관리 주체는 전문업체에 위탁하는 방법과 토지주택연구원의 시설관리팀이 관리하는 방법으로 구분할 수 있다. 위탁 관리하는 방법과 직영 관리하는 방법의 장단점은 [표 2-3]과 같다.

[표 2-3] LID 시설 유지관리 주체별 장단점 분석

구분	전문업체 위탁	직영 관리
내용	◦ LID 시설 전문기관에 운영 위탁	◦ 토지주택연구원의 시설관리팀이 관련 인력을 충원하여 LID 시설 관리
장점	◦ 전문업체의 전문성 활용 ◦ 시설 유지관리의 책임소재를 명확히 할 수 있음	◦ 유지관리 과정의 문제 발생 시 즉각적 대응이 가능 ◦ 유지관리 횟수 및 대상이 증가해도 비용 증가는 미미함
단점	◦ 문제 발생 시 즉각적인 대응 어려움 ◦ 유지관리 횟수가 많아지면 비용 증가	◦ 전문성 부족으로 중대한 문제 발생 시 대응에 한계 ◦ 유지관리의 하자 발생 시 책임소재가 명확하지 않음
검토	◦ 유지관리의 전문성을 확보하고 하자 발생에 대한 책임 소재를 명확히 하기 위해서는 전문업체에 위탁 운영이 적절하나, ◦ 고도의 유지관리를 필요로 하지 않는 경우 토지주택연구원 내 시설관리팀이 관리하여도 무방할 것으로 판단됨	

3.3 유지관리 항목

토지주택연구원의 LID 시설은 크게 식생형 시설과 침투형 시설로 대분할 수 있다. 식생형 시설은 빗물정원이 대표적이며, 침투형 시설은 투수블록(아스콘)과 침투도랑이 대표적인 시설이다.

LID 시설의 유지관리 비용 산출을 위한 관리항목은 공통 적용 항목, 식생형 시설, 침투형 시설로 구분하여 도출하였다[표 2-4].

[표 2-4] LID 시설의 유지관리 비용 산출을 위한 관리항목

구분	관리항목
공통	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 강우 시 각 유역 별 유입·유출 수질 분석 ◦ 강우 시 적정 유입·유출수로 확보 여부 점검
식생관리	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 관목 및 초화류 관수 ◦ 관목 전정 ◦ 관목 및 초화류 예·제초 ◦ 잔디 깎기 ◦ 교목 병충해 방제 ◦ 지주목 재결속
침투시설	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 투수블록의 주기적인 세정 ◦ 자갈도랑의 토사류 제거 및 쇄석, 경계판석 교체

3.4 유지관리 비용 산출

1) 식생형 시설

식생형 LID 시설의 유지관리 비용은 충북 청주시 오창읍의 빗물유출제로화 단지조성(1단계) 사업을 대상으로 수행한 유지관리 및 효과 평가 연구 용역 결과를 참고하였다(한국환경공단, 2016). 해당 용역은 과업기간인 2015년 5월부터 2016년 5월까지 13개월 동안 LID 시설을 관리하는데 소요된 비용을 토대로 유지관리 비용을 제시하였다. 유지관리 항목은 관목 및 초화류의 관수, 전정, 예제초, 잔디 깎기, 방제 등으로 구분하였다. 각 항목별 제곱미터 당 유지관리 비용은 [표 2-5]에 제시된 바와 같다.

[표 2-5] 식생형 LID 시설의 유지관리 비용 예시

유지관리 항목	유지관리 비용 (원/m ²)
관목 및 초화류 관수	294
관목 및 초화류 전정	958
관목 및 초화류 예·제초	553
잔디 깎기	109
교목 병충해 방제	294
합 계	2,208

출처: 빗물유출제로화 단지조성(1단계) 시범사업 유지관리 및 효과평가 연구용역(한국환경공단, 2016)

상기 사례를 토대로 매년 물가상승률 3%를 고려하여 식생형 LID 시설의 제곱미터 당 유지관리 비용을 산출하였다.

2) 침투형 시설

침투형 시설의 정기적인 유지관리 비용은 투수블록을 대상으로 분석하였다. 투수블록의 주된 유지관리는 투수성능 유지를 위한 고압세척 작업에 소요되는 인건비이다. 토지주택연구원 내 투수블록 설치 면적인 2,183 m²을 대상으로 하였으며, 세척 주기는 1년에 1회로 하였다.

4. 투수성능 시험

4.1 투수성 포장체의 투수 시험방법

국내 투수성 포장체의 투수 시험방법은 KS F 4419 (인터로킹 블록의 투수시험), ASTM C 1701 (투수포장재의 현장 침투능 시험) 등이 적용되고 있다. 서울특별시 (2013a)에 따르면 KS F 4419는 실내 투수시험에 적용하고, 실내 투수시험이 곤란한 경우 현장 침투능 시험법인 ASTM C 1701로 대체하고 있다. 본 연구에서는 시험 대상지에 설치된 투수블록의 현장 침투능을 측정하기 위해 ASTM C 1701 시험 방법을 적용하였다.

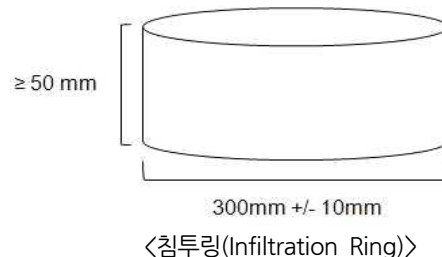
ASTM C 1701 방법은 시험 전에 투수블록을 물에 침수시키는 프리웨팅 (prewetting) 과정이 있어 시험에 긴 시간이 소요되지만, 투수블록이 충분히 물을 흡수하도록 함으로써 강우 시 투수블록의 현장 조건을 충실하게 반영할 수 있는 장점이 있다.

직경 D300 mm의 침투링을 사용하여 줄눈재를 포함한 투수성능을 시험하였다. 한편 D300 mm는 투수블록의 크기(200×200mm)보다 커 투수블록 자체의 투수시험을 할 수 없는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 본 연구에서는 D150 링을 별도 제작하여 블록 자체의 투수성능 시험도 병행하였다.

4.2 세부 시험방법 (ASTM C 1701)

1) 시험기구

- (1) 침투링 (Infiltration Ring)
(D300, D150)
- (2) 저울
- (3) 용기 (20L 이상 용량)
- (4) 초시계 (0.1s)
- (5) 깨끗한 물
- (6) 지점토



[그림 2-20] 투수성능 시험을 위한 시험기구

2) 시험여건

- ㉔ 시험 구간 면적이 $2,500\text{ m}^2$ 이하인 경우 최소 3군데 이상 위치에서 시험을 실시해야 한다.
- ㉕ 면적이 $1,000\text{ m}^2$ 추가될 때마다 시험 장소를 한 군데 추가해야 한다.
- ㉖ 시험 위치 간의 거리는 1 m 이상 확보해야 한다. 단, 첫 회 시험이 끝난 후 24시간 지난 경우는 상관없다.
- ㉗ 표면에 물이 고여 있는 위치에서 시험을 진행하면 안 된다.
- ㉘ 선행 강우가 24시간 지난 후에 시험을 다시 실시할 수 있다.

3) 시험순서

- ㉔ 침투링의 안쪽에 바닥으로부터 10mm 와 15mm 위치에 선으로 표시를 해둔다.
- ㉕ 시험을 진행할 위치의 표면을 깨끗이 청소한다.
- ㉖ 침투링을 포장면 위에 설치하고, 포장 표면과의 접촉된 부분에서 물이 새지 않도록 지점토로 밀봉한다.
- ㉗ 본 시험 전에 프리웨팅(prewetting) 작업을 실시한다. 사용하는 물량은 $3.60 \pm 0.05\text{kg}$ 이다.
- ㉘ 순서 ㉔에서 표시해 둔 10mm 와 15mm 선 사이에 물의 수위가 유지되도록 물을 부어준다.
※ 경사진 표면에서 시험을 진행할 경우, 수위 유지는 순서 ㉔에서 표시해 둔 두선 사이의 낮은 쪽 기준으로 한다.
- ㉙ 물이 바닥면에 닿는 순간부터 시간을 측정하여 물이 다 빠질 때까지 시간을 0.1초 단위로 기록한다.
- ㉚ 본격적인 시험은 프리웨팅이 완료되고 2분 내에 진행해야 한다.
- ㉛ 프리웨팅 작업에서 측정된 시간이 30초 미만의 경우, $18.00 \pm 0.05\text{kg}$ 의 물을 사용한다. 30초 또는 초과할 경우, $3.60 \pm 0.05\text{kg}$ 의 물을 사용한다. 사용한 물은 10g 단위로 기록한다.

㉔ 순서 ㉓와 ㉓를 반복으로 실시한다.

※ 같은 위치에서 시험을 반복할 경우, 첫회 시험이 끝난 후 5분 이내로 추가 시험을 실시할 때, 프리웨팅(rewetting) 작업을 실시하지 않는다. 또한 24시간 이내에 같은 위치에 두 번 이상 시험을 실시하지 않는다.

4) 결과 산출

$$I = \frac{K \cdot M}{D^2 \cdot t}$$

여기서

I : 침투능(mm/sec)
M : 투입된 물의 무게(kg)
D : 침투링의 내경(mm)
t : 투수가 완료되는데 걸린시간(sec)
K : 단위환산계수, 1,273,240.56(mm³/kg)

※ 침투능 평가는 시험결과의 평균값을 사용한다.

5) 투수성능 등급

투수성능 시험 결과를 토대로 정한 투수블록의 투수성능 등급은 [표 2-6]와 같다(서울특별시, 2013a). 서울시의 경우 공극 막힘으로 인한 투수성능 저하 등을 예방하기 위해 투수성능 지속성 검증 시험 결과 3등급 이상의 제품을 사용하도록 정하고 있다.

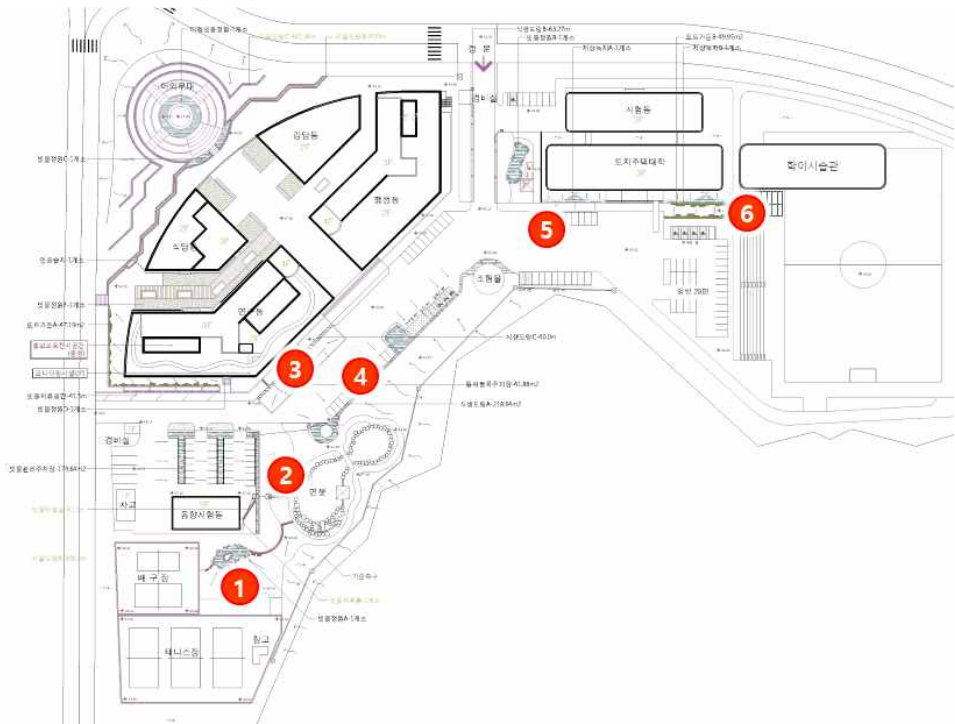
[표 2-6] 투수성능 지속성 품질기준

구분	1등급	2등급	3등급	4등급	등급 외
투수계수 (mm/sec)	1.0 이상	0.5 이상 ~ 1.0 미만	0.1 이상 ~ 0.5 미만	0.05 이상 ~ 0.10 미만	0.05 미만
투수시간 (sec)	50.93	101.86	509.30	1,018.59	> 1,018.59

4.3 현장 투수성능 시험

1) 토지주택연구원

토지주택연구원 투수블록의 투수성능 시험은 연구원 내 투수블록 A, 투수블록 B, 토지주택대학교 건물 앞에 설치된 투수아스콘, 학이시습관 앞 투수블록을 대상으로 하였다. 1차 시험을 통해 토지주택연구원 내 투수블록의 전반적인 투수성능을 파악하였고, 2차 시험은 고압세척을 통해 투수성능 개선 여부를 분석하였다, 토지주택연구원 내 투수성능 시험대상 투수블록의 위치는 [그림 2-21]에 나타났다.



번 호	위치 / 특성
1	인공습지 파고라 근처
2	기존 연못 근처
3	해울관 앞
4	해울관 맞은편
5	토지주택대학교 앞
6	학이시습관 앞

[그림 2-21] 토지주택연구원 내 투수성능 시험 대상 투수블록의 위치



[투수블록 A]



[투수블록 B]



[토지주택대학 (투수아스콘)]

[그림 2-22] 토지주택연구원 내 투수블록의 투수성능 시험

2) 세종시 행복도시 6-4생활권

세종시 행복도시 6-4생활권 내 설치된 투수블록을 대상으로 투수성능 시험을 수행하였다. 시험 위치는 [그림 2-22]에 도시된 바와 같다.



번 호	위치 / 특성	시험개소
1	L1블록 구름다리 앞	2
2	M1블록 해밀중학교 건너편	2

[그림 2-23] 세종시 행복도시 6-4생활권 내 투수성능 시험 대상 투수블록의 위치

4.4 투수성능 회복 방안

1) 투수성능 저하 원인 분석

토지주택연구원에 설치된 투수블록 중 일부, 세종시 행복도시 6-4생활권에 설치된 대부분의 투수블록은 투수성능이 현저하게 감소된 것으로 조사되었다. 투수성능 저하의 원인은 투수블록 표면의 공극 막힘, 투수블록 제품 불량, 블록 하부 보조기층의 시공 불량 등 다양하다.

2) 투수성능 회복 방안의 적용

투수블록의 막힘 정도 및 회복 가능성을 파악하기 위해 투수성능 회복방안을 검토하였다. 블록 표면 및 내부에 부착된 이물질질을 제거하는 방법으로 물을 이용한 고압 세척 방법, 진공 흡입에 의한 방법이 있다. 본 연구에서는 물을 이용한 투수블록 세척을 시행하여 세척 정도 및 투수성능 회복 정도를 파악하였다.

① 시험방법

투수성능 회복을 위해 투수블록의 표면 세척을 수행하였으며, 세척은 고압세척기를 사용하였다[표 2-7]. 세척 전후의 투수성능 변화를 비교하기 위해 투수성능 시험에 필요한 링 (D300, D150) 및 투명 비커, 초시계, 지점토, 분동 등을 준비하였다.

[표 2-7] 투수블록 표면 세척에 사용된 고압세척기

구분	내용	제품 사진
최대압력	165bar	
토출량	6L/min	
호스 길이	8m	
소비전력	1800W	
중량	20kg	
모터 사양	Induction Motor	

② 시험순서

- ① 투수블록 투수성능 측정 (인공습지 근처, 주차장 및 토지주택대학교 앞)
- ② 고압세척기 세척 (표면세척 완료 시간 측정)
- ③ 세척 완료 후 투수블록 침투능 재측정
- ④ 현장에서 분리된 개별블록 고압 세척 투수성 관찰
- ⑤ 세척 수량 및 세척 수질 관찰



[고압세척기를 이용한 투수블록 표면 세척]



[투수블록 분리 후 표면 세척]



[표면 세척 후 투수성능 시험]



[분리 후 고압세척한 블록의 투수성능 시험]

[그림 2-24] 표면 세척 전후의 투수성능 시험 과정

제3장 연구결과

1. 토지주택연구원 내 LID 기법별 유지관리 현황

1.1 빗물정원 L

1) 1차 조사 결과(2022.09.22)

아스타, 금낭화, 패랭이꽃, 무늬맥문동, 황금조팝 등이 식재되었으나 실제 자생하고 있는 식물은 노랑꽃창포, 잔디로 조사되었다. 노랑꽃창포 외에 아스타, 금낭화, 패랭이꽃은 관찰되지 않았다. 노랑꽃창포의 활착상태는 양호하였다. 빗물 유입·유출 수 맨홀 및 수로상태를 점검하였다. 유입 및 유출수로에 협잡물, 퇴적물은 없으며, 수로의 막힘도 없어 비교적 양호하게 관리되고 있었다. 시설의 파손, 지표침하, 함물, 침식, 월류 흔적은 없었다.



[그림 3-1] 빗물정원 L의 유지관리 현황 (1차 조사)

2) 2차 조사 결과(2022.10.28)

유입 및 유출수로 협잡물, 퇴적물, 폐색은 없었다. 시설의 파손, 지표침하, 함몰, 침식, 월류 흔적도 관찰되지 않았다. 사면 식재 잔디와 꽃창포 등은 갈색화가 시작되었다. 사면 경계판석 일부의 들뜸 현상이 관찰되었다.



[그림 3-2] 빗물정원 L의 유지관리 현황 (2차 조사)

3) 3차 조사 결과(2022.11.25)

정원 내 잔디 및 관목 식재가 시들어 제초작업을 시행하였다. 정원 유입부 목재데크는 밤새 내린 서리의 영향으로 미끄러운 상태였다. 월류관 맨홀 및 유출관 근처에 식물 잔재물 및 협잡물이 존재하였다.



[그림 3-3] 빗물정원 L의 유지관리 현황 (3차 조사)

4) 4차 조사 결과(2022.12.27)

강설 및 한파로 정원 내 시설이 결빙되었다. 식물 잔재물 등 일부 혐잡물이 월류관에 유입된 것을 확인하였다. 눈이 쌓여 있는 진출입 목재데크는 미끄러우므로 동절기 미끄럼 주의를 알리는 안내 표시가 필요할 것으로 판단된다.



[그림 3-4] 빗물정원 L의 유지관리 현황 (4차 조사)

5) 5차 조사 결과(2023.01.27)

강설 및 한파로 정원 내 대부분의 시설이 결빙되었다. 월류관 맨홀 등의 결빙이 확인되었다. 정원 사면측 경계석 중 일부가 파손되어 이탈되었다. 결빙된 목재데크는 미끄러우므로 동절기 미끄럼 주의에 대한 안내 표시가 필요하다.



[그림 3-5] 빗물정원 L의 유지관리 현황 (5차 조사)

6) 6차 조사 결과(2023.02.22)

겨우내 결빙된 토양의 해빙이 시작되었다. 정원 내 쌓인 눈에 의한 물고임 및 결빙 흔적이 남아 있었다. 잔디는 아직 활착이 시작되지 않았으며 관목류의 새싹도 나오지 않았다.



[그림 3-6] 빗물정원 L의 유지관리 현황 (6차 조사)

7) 7차 조사 결과(2023.03.27)

잔디가 활착되기 시작했으며 노랑꽃창포 등의 관목류의 새싹이 나기 시작하였다. 예년보다 따뜻한 날씨로 벚꽃 등 교목류 들의 개화가 일찍 시작되었다.



[그림 3-7] 빗물정원 L의 유지관리 현황 (7차 조사)

8) 8차 조사 결과(2023.04.18)

잔디 및 노랑꽃창포 새싹이 돋아나기 시작하였다. 조사 당일 30mm 이상의 강우가 있었으나, 유입, 유출부의 막힘 및 물고임 현상은 없었다.



[그림 3-8] 빗물정원 L의 유지관리 현황 (8차 조사)

1.2 빗물정원 C

1) 1차 조사 결과(2022.09.22)

연구동 옥상 및 포장면에서 나오는 빗물을 저류 후 침투하는 시설이다. 왜성아스타, 황급조팝, 무늬맥문동, 금낭화가 식재되어 있다. 잔디 및 관목류의 생육상태가 좋으며, 중앙 캐노피에서 유입되는 빗물관 주변 물고임 현상 및 토사류 퇴적은 관찰되지 않았다.



[그림 3-9] 빗물정원 C의 유지관리 현황 (1차 조사)

2) 2차 조사 결과(2022.10.28)

잔디는 대부분 시들기 시작하였다. 월류관, 맨홀 및 유출관 상태는 전반적으로 양호하였다. 노랑꽃창포 외의 식생은 관찰되지 않았다.



[그림 3-10] 빗물정원 C의 유지관리 현황 (2차 조사)

3) 3차 조사 결과(2022.11.25)

특이한 관찰사항은 없으며, 대부분 관목류가 시들고 시작했고 잔디는 제초작업을 하였다.



[그림 3-11] 빗물정원 C의 유지관리 현황 (3차 조사)

4) 4차, 5차 조사 결과(4차: 2022.12.27., 5차: 2023.01.27)

강설 및 한파로 토양이 결빙되어 특이한 관찰항목은 없었다.



[그림 3-12] 빗물정원 C의 유지관리 현황 (4차, 5차 조사)

5) 6차 조사 결과(2023.02.22)

토양이 해빙되기 시작하였으나, 식생은 활착되지 않았다.



[그림 3-13] 빗물정원 C의 유지관리 현황 (6차 조사)

6) 7차 조사 결과(2023.03.27)

잔디가 파릇해지고, 노랑꽃창포의 새싹이 돋기 시작했다.



[그림 3-14] 빗물정원 C의 유지관리 현황 (7차 조사)

7) 8차 조사 결과(2023.04.18)

노랑꽃창포의 군집밀도가 증가하기 시작하였다. 왜성아스타, 황금조팝은 아직 활착이 관찰되지 않았다.



[그림 3-15] 빗물정원 C의 유지관리 현황 (8차 조사)

1.3 침투도랑 C

1) 1차 조사 결과(2022.09.22)

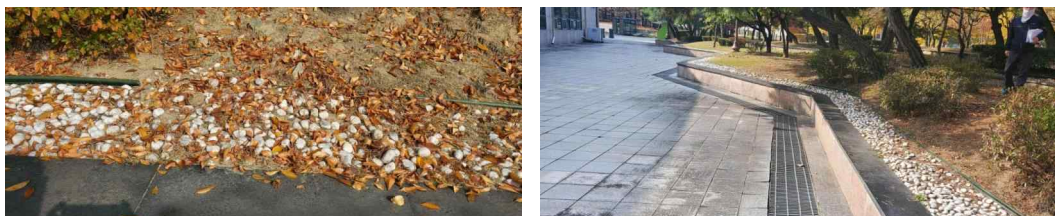
침투도랑 일부 구간의 자갈(해미석) 상부에 퇴적된 토사가 관찰되었다. 토사 유입 방지를 위한 엷지 상태를 조사한 결과 토사유입 구간의 엷지 밀림현상 및 파손이 발견되었다. 일부 경계판석 이탈이 관찰되어 보수가 필요할 것으로 판단된다.



[그림 3-16] 침투도랑 C의 유지관리 현황 (1차 조사)

2) 2차 조사 결과(2022.10.28)

낙엽 잔재물 및 토사가 시설의 말단부에 있는 해미석에 퇴적되어 있다. 월류관 트랜치 내부는 토사 침적이 미미하여 침투도랑을 월류하여 유출되는 토사는 적은 것으로 판단되었다. 강우 시 일부 구간에 토사 퇴적이 집중되고 있어 이를 우회, 분산시킬 수 있는 보완이 필요할 것으로 판단되었다.



[그림 3-17] 침투도랑 C의 유지관리 현황 (2차 조사)

3) 3차 조사 결과(2022.11.25)

도두리정 인근 침투도랑 말단부는 낙엽 잔재물 및 토사가 퇴적되어 해미석보다 토사가 많은 양을 차지하였다. 연계된 잔디도랑으로의 토사 유입은 미미하며 잔디 밀도는 높은 것으로 관찰되었다.



[그림 3-18] 침투도랑 C의 유지관리 현황 (3차 조사)

4) 4차, 5차 조사 결과(4차: 2022.12.27., 5차: 2023.01.27)

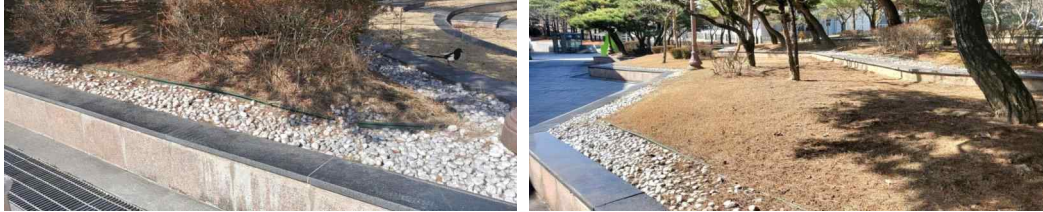
자갈도랑 상부 경계석의 밀림현상 및 이탈이 발생하였다. 동절기 강설 및 한파로 토양이 결빙되었으며, 해빙 시 경계판석 들뜸 및 이탈 여부에 대한 관찰이 필요할 것으로 판단되었다.



[그림 3-19] 침투도랑 C의 유지관리 현황 (4차, 5차 조사)

5) 6차 조사 결과(2023.02.22)

해빙에 따른 경계판석 이탈현상이 일부 구간에서 관찰되었다.



[그림 3-20] 침투도랑 C의 유지관리 현황 (6차 조사)

6) 7차 조사 결과(2023.03.27)

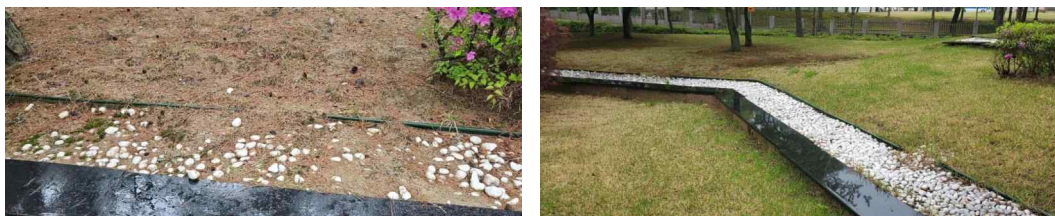
토사침식이 많은 곳의 경계판석이 이탈되는 현상이 나타났다. 강우와 토사가 집중적으로 유출되는 구간에 설치된 경계판석에 대한 보수가 필요하다. 잔디도랑의 잔디가 파릇해지기 시작했다.



[그림 3-21] 침투도랑 C의 유지관리 현황 (7차 조사)

7) 8차 조사 결과(2023.04.18)

자갈도랑 상부에 빗물이 흘러내리는 구간에 토사가 퇴적되어 있다. 시설의 일부 구간 옛지 및 경계판석의 이탈이 관찰되었다.

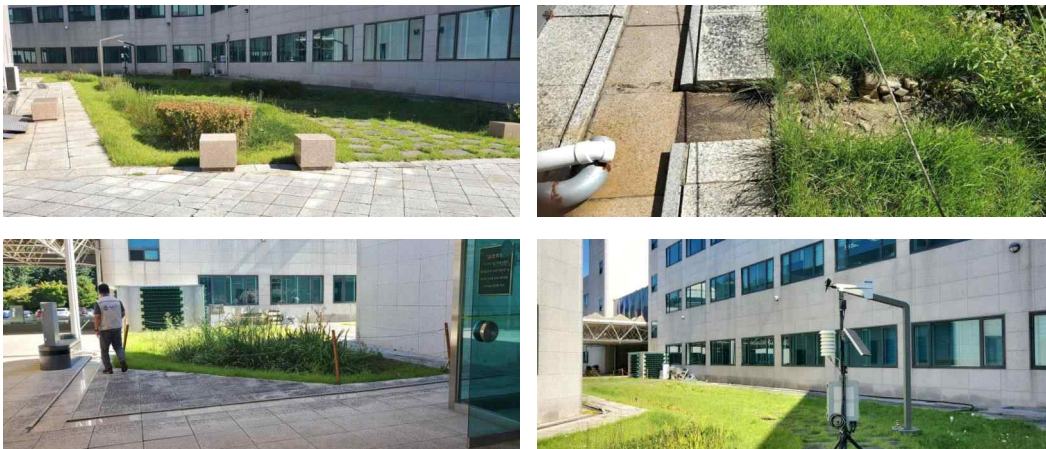


[그림 3-22] 침투도랑 C의 유지관리 현황 (8차 조사)

1.4 빗물정원 E

1) 1차 조사 결과(2022.09.22)

빗물이 유입되고 유출되는 유출입부의 막힘 여부, 식생 서식현황을 조사하였다. 백리향, 산수국, 패랭이, 돌단풍, 맥문동, 구절초, 왜성아스타, 무늬맥문동, 비비추, 금낭화, 노랑꽃창포, 무늬비비추, 옥잠화 등이 관찰되었다.



[그림 3-23] 빗물정원 E의 유지관리 현황 (1차 조사)

2) 2차 조사 결과(2022.10.28)

빗물의 유출입부를 조사하였으며, 막힘이나 퇴적된 협잡물은 없었다. 잔디는 시들기 시작했으며, 돌단풍, 무늬맥문동은 활착상태를 유지하고 있었다.



[그림 3-24] 빗물정원 E의 유지관리 현황 (2차 조사)

3) 3차 조사 결과(2022.11.25)

대부분의 식생이 시들었으며 시설 내 특이사항은 관찰되지 않았다.



[그림 3-25] 빗물정원 E의 유지관리 현황 (3차 조사)

4) 4차, 5차 조사 결과(4차: 2022.12.27., 5차: 2023.01.27)

강설 및 한파로 토양은 결빙되었으며, 시설 내 특이사항은 관찰되지 않았다.



[그림 3-26] 빗물정원 E의 유지관리 현황 (4차, 5차 조사)

5) 6차 조사 결과(2023.02.22)

토양은 해빙되었으나 물고임 등의 흔적은 관찰되지 않았다. 아직 식생 활착은 없었다.



[그림 3-27] 빗물정원 E의 유지관리 현황 (6차 조사)

6) 7차 조사 결과(2023.03.27)

잔디를 비롯한 일부 식생의 새싹이 돋아나기 시작하였다.



[그림 3-28] 빗물정원 E의 유지관리 현황 (7차 조사)

7) 8차 조사 결과(2023.04.28)

대부분 식생의 새싹이 돋아났으나, 왜성아스타 등 일부 식재는 새싹이 관찰되지 않았다. 건물 옥상 홈통에서 흘러내리는 빗물이 기존 우수맨홀로 유출되고 있어 빗물 정원 시설로 유입되도록 배관을 연결할 필요가 있다.

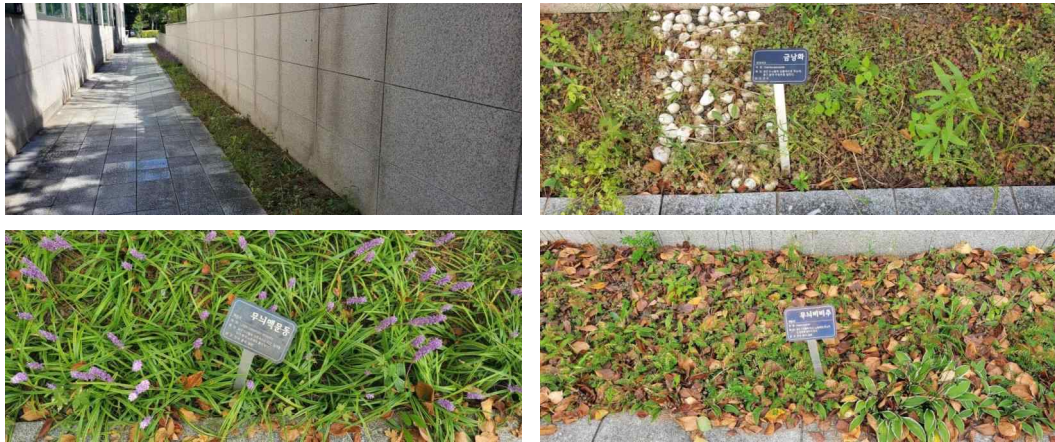


[그림 3-29] 빗물정원 E의 유지관리 현황 (8차 조사)

1.5 식생수로

1) 1차 조사 결과(2022.09.22)

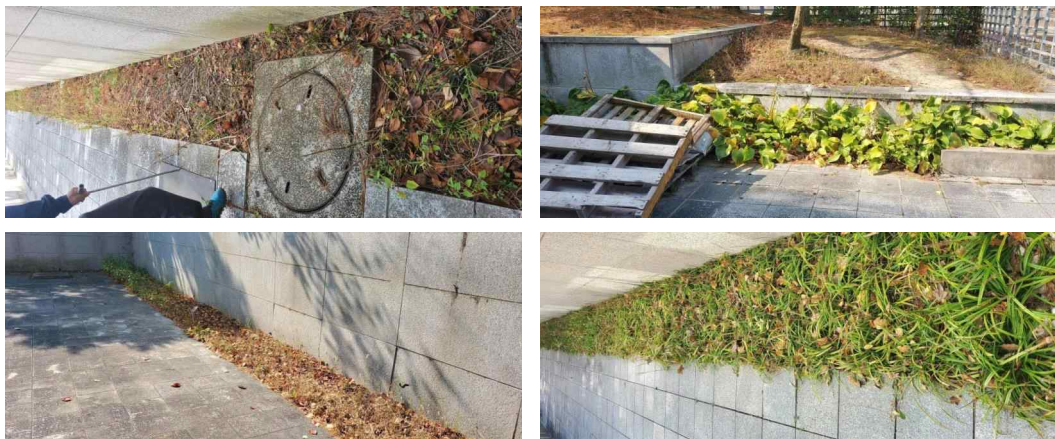
식재되어 있는 식생은 무늬맥문동, 무늬비비추, 옥잠화, 금낭화로 조사되었다. 옹벽 하부의 기존 화강판석 밀림현상이 관찰되어 보수가 필요할 것으로 판단된다.



[그림 3-30] 식생수로의 유지관리 현황 (1차 조사)

2) 2차 조사 결과(2022.10.28)

금낭화, 옥잠화는 시들기 시작하였으나, 상록인 무늬맥문동은 시들지 않았다. 기존 우수맨홀로 인해 화강판석 표면을 흐르는 빗물이 식생수로로 원활하게 유입되지 않았다. 일부 화강판석의 들뜸현상이 관찰되었다.



[그림 3-31] 식생수로의 유지관리 현황 (2차 조사)

3) 3차 조사 결과(2022.11.25)

날씨가 추워지면서 무늬맥문동을 제외하고 대부분의 식생은 고사하였다.



[그림 3-32] 식생수로의 유지관리 현황 (3차 조사)

4) 4차, 5차 조사 결과(4차: 2022.12.27., 5차: 2023.01.27)

강설 및 한파로 토양이 결빙되어 무늬맥문동을 제외한 나머지 식생은 관찰되지 않았다. 상록 다년생인 무늬맥문동은 녹색을 유지하고 있어 향후 LID 시설에 도입할 경우 겨울에도 양호한 경관을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 3-33] 식생수로의 유지관리 현황 (4차, 5차 조사)

5) 6차 조사 결과(2023.02.22)

토양은 해빙되었으나, 무늬맥문동을 제외하고 식생 활착은 아직 관찰되지 않았다.



[그림 3-34] 식생수로의 유지관리 현황 (6차 조사)

6) 7차 조사 결과(2023.03.27)

무늬맥문동을 제외한 다른 식물의 활착은 확인할 수 없었다.



[그림 3-35] 식생수로의 유지관리 현황 (7차 조사)

7) 8차 조사 결과(2023.04.18)

무늬맥문동은 군집밀도가 증가하고, 옥잠화, 금낭화도 활착을 시작하였다.

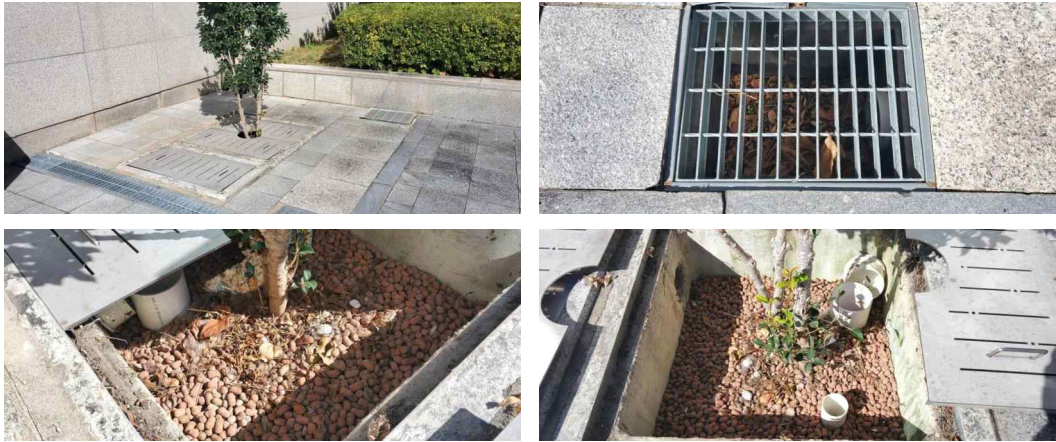


[그림 3-36] 식생수로의 유지관리 현황 (8차 조사)

1.6 나무여과상자

1) 조사 결과

나무여과상자에 식재된 은목서는 사철 상록수로 이파리의 변화, 생육은 조사시간 동안 변화가 없었다. 빗물 유입부 및 유출부에는 식생 잔재물 등의 혐잡물이 소량 확인되었다. 토사 퇴적 및 시설 주변의 물고임 흔적은 관찰되지 않았다.



[그림 3-37] 나무여과상자의 유지관리 현황 (1차~8차)

1.7 침투도랑 L

1) 1차 조사 결과(2022.09.22)

식생은 자산홍, 부채붓꽃, 노랑꽃창포, 부처꽃, 잔디가 식재되어 있다. 유입부와 유출부에 헐잡물 등은 없었다.



[그림 3-38] 침투도랑 L의 유지관리 현황 (1차 조사)

2) 2차 조사 결과(2022.10.28)

노랑꽃창포를 제외하고 다른 식생은 시들기 시작하였다. 경계석 등은 파손 없이 양호한 상태를 보였다. 시설 내 토사 및 헐잡물의 퇴적은 없었다.



[그림 3-39] 침투도랑 L의 유지관리 현황 (2차 조사)

3) 3차 조사 결과(2022.11.25)

대부분의 식생이 시들기 시작했다. 경계석 등 시설의 파손 부위는 관찰되지 않았다.



[그림 3-40] 침투도랑 L의 유지관리 현황 (3차 조사)

4) 4차 조사 결과(2022.12.27)

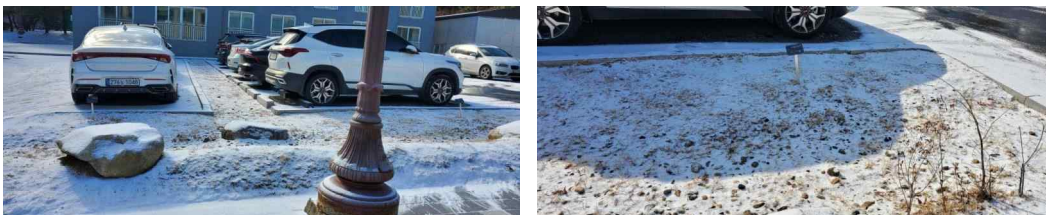
강설로 눈이 덮여 식생 변화 등 특이사항은 관찰되지 않았다.



[그림 3-41] 침투도랑 L의 유지관리 현황 (4차 조사)

5) 5차 조사 결과(2023.01.27)

강설로 눈이 덮여 식생 변화 등 특이사항은 관찰되지 않았다.



[그림 3-42] 침투도랑 L의 유지관리 현황 (5차 조사)

6) 6차 조사 결과(2023.02.22)

토양은 해빙되었으나, 식생 활착은 아직 관찰되지 않았다.



[그림 3-43] 침투도랑 L의 유지관리 현황 (6차 조사)

7) 7차 조사 결과(2023.03.27)

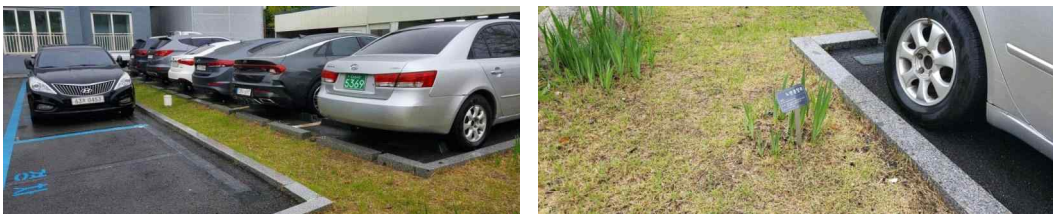
잔디 및 노랑꽃창포가 파릇해지기 시작했다.



[그림 3-44] 침투도랑 L의 유지관리 현황 (7차 조사)

8) 8차 조사 결과(2023.04.18)

잔디 및 노랑꽃창포 외 자산홍, 부채붓꽃의 식생은 관찰되지 않았다. 강우가 있었지만 빗물고임 현상은 없었다.



[그림 3-45] 침투도랑 L의 유지관리 현황 (8차 조사)

1.8 인공습지

1) 1차 조사 결과(2022.09.22)

식생은 부채붓꽃, 노랑꽃창포, 부처꽃이 식재되어 있다. 노랑꽃창포의 생육이 활발한 것으로 관찰되었다. 수심 20~30cm 가량의 물이 저류되어 있었으며 다슬기류의 생물이 관찰되었다.



[그림 3-46] 인공습지의 유지관리 현황 (1차 조사)

2) 2차 조사 결과(2022.10.28)

연못 내 물은 남아있지 않았다. 노랑꽃창포를 제외한 식물은 시들기 시작했다.



[그림 3-47] 인공습지의 유지관리 현황 (2차 조사)

3) 3차 조사 결과(2022.11.25)

습지 내 물은 존재하지 않았다. 식생고사로 제초작업을 시행하였다.



[그림 3-48] 인공습지의 유지관리 현황 (3차 조사)

4) 4차 조사 결과(2022.12.27)

한파로 토양은 결빙되고 강설로 눈에 덮여 식생은 관찰되지 않았다.



[그림 3-49] 인공습지의 유지관리 현황 (4차 조사)

5) 5차 조사 결과(2023.01.27)

한파로 토양은 결빙되고 강설로 눈에 덮여 식생은 관찰되지 않았다.



[그림 3-50] 인공습지의 유지관리 현황 (5차 조사)

6) 6차 조사 결과(2023.02.22)

토양은 해빙되었으나, 인공습지의 바닥은 마른 상태가 계속되었다.



[그림 3-51] 인공습지의 유지관리 현황 (6차 조사)

7) 7차 조사 결과(2023.03.27)

인공습지의 바닥은 마른 상태였으나, 노랑꽃창포가 파릇해지기 시작했다.



[그림 3-52] 인공습지의 유지관리 현황 (7차 조사)

8) 8차 조사 결과(2023.04.18)

조사 당일 비가 내려 시설 내 물이 저류되었다. 유입부와 유출부의 막힘 현상은 관찰되지 않았다. 노랑꽃창포의 생육이 양호하며 부처꽃의 새싹도 관찰되었다.



[그림 3-53] 인공습지의 유지관리 현황 (8차 조사)

1.9 투수블록 A

1) 1차 조사 결과(2022.09.22)

테니스장 및 인공습지 근처에 물고임 발생 흔적이 있다. 테니스장 주변 녹지에서 유출되는 토사로 인해 물고임이 있는 곳의 투수블록은 투수능력이 상당히 저하된 것으로 판단된다.



[그림 3-54] 투수블록 A의 유지관리 현황 (1차 조사)

2) 2차 조사 결과(2022.10.28)

투수블록을 대상으로 투수능력 시험을 수행하였다. 토사가 퇴적된 곳의 투수블록은 등급 외의 투수능력으로 매우 낮은 투수능력을 나타내었다.



[그림 3-55] 투수블록 A의 유지관리 현황 (2차 조사)

3) 3차 조사 결과(2022.11.25)

투수블록 표면을 고압 세척한 후 투수성능 향상 여부를 측정하였다. 고압 세척으로 투수블록의 투수성능 개선이 나타났으며 세부 개선효과는 본 장의 제3절에 기술하였다.



[그림 3-56] 투수블록 A의 유지관리 현황 (3차 조사)

4) 4차 조사 결과(2022.12.27)

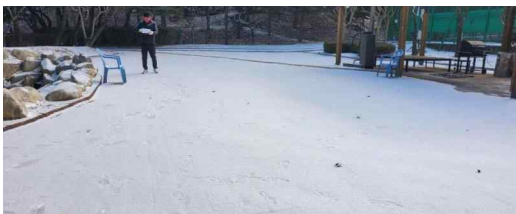
강설로 눈이 덮였으며 별도의 특이사항은 관찰되지 않았다.



[그림 3-57] 투수블록 A의 유지관리 현황 (4차 조사)

5) 5차 조사 결과(2023.01.27)

강설로 눈이 덮였으며 별도의 특이사항은 관찰되지 않았다.



[그림 3-58] 투수블록 A의 유지관리 현황 (5차 조사)

6) 6차 조사 결과(2023.02.22)

토양은 해빙되었으며 별도의 특이사항은 관찰되지 않았다.



[그림 3-59] 투수블록 A의 유지관리 현황 (6차 조사)

7) 7차 조사 결과(2023.03.27)

강우가 없어 별도의 특이사항은 관찰되지 않았다.



[그림 3-60] 투수블록 A의 유지관리 현황 (7차 조사)

8) 8차 조사 결과(2023.04.18)

인공습지 근처 물고임이 발생하는 투수블록을 대상으로 투수성능 시험을 수행하였으나 투수성능은 거의 없는 것으로 조사되었다. 표면을 고압세척 한 후 투수성능을 측정한 결과 일부 투수성능의 개선이 확인되었다.

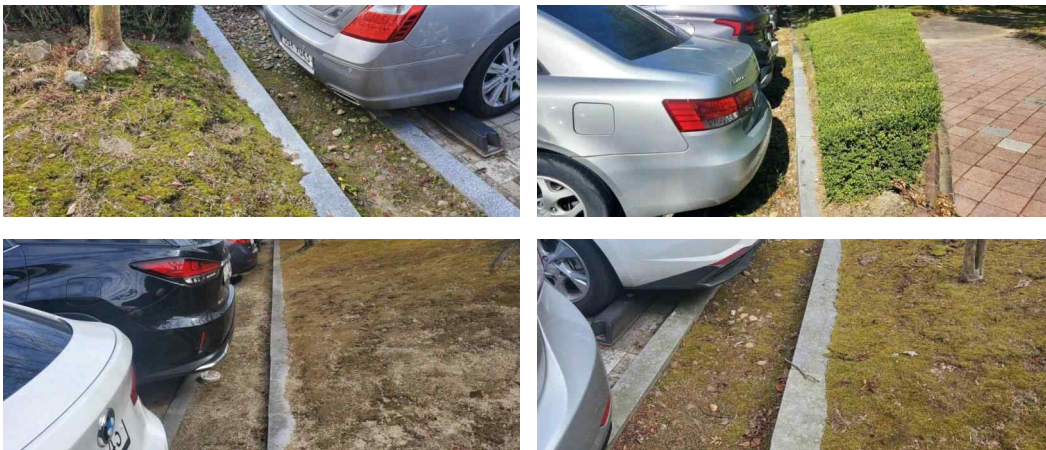


[그림 3-61] 투수블록 A의 유지관리 현황 (8차 조사)

1.10 침투도랑 H

1) 조사 결과

녹지에서의 토사 유출을 방지하기 위해 녹지와 투수블록 사이에 설치된 시설이다. 설치 초기에는 녹지에서 유출된 토사를 제어하는 기능을 수행했지만 설치 이후 6년이 경과하는 동안 시설 내에 상당량의 토사가 퇴적되어 당초의 침투 및 토사 제거 기능은 수행하지 못하는 실정이었다. 토사 제거를 위한 준설과 자갈 교체가 필요할 것으로 판단된다. 전 조사기간 동안 유사한 현상이 관찰되었다.



[그림 3-62] 침투도랑 H의 유지관리 현황 (1차~8차 조사)

1.11 투수블록 B

1) 1차 조사 결과(2022.09.22)

투수블록(200×200) 및 투수아스콘으로 구성되어 있다. 해울관 건너편 투수블록은 인근 녹지에서 유입되는 토사가 투수블록 위에 퇴적되어 투수능력이 저하된 것으로 판단되었다. 해울관 앞에 설치된 블록은 주변에서의 토사 유입이 없어 블록 표면은 깨끗한 상태였으며 투수능력 시험에서도 양호한 결과를 나타내었다. 토지주 택대학교 앞에 설치된 투수아스콘도 양호한 상태로 관리되었으며 투수능도 일정 수준 이상을 유지하고 있었다.



[그림 3-63] 투수블록 B의 유지관리 현황 (1차 조사)

2) 2차 조사 결과(2022.10.28)

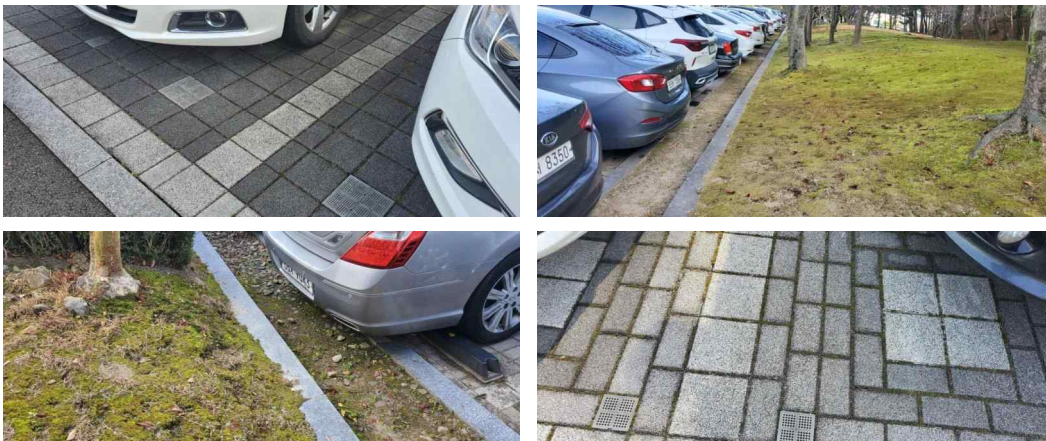
투수블록 및 투수아스콘의 침투능 시험을 수행하였다. 해울관 맞은편의 녹지 인근에 설치된 투수블록은 녹지에서 유출된 토사로 인해 투수능이 저하된 것으로 조사되었다. 이에 비해 해울관 앞에 설치된 투수블록은 깨끗한 상태로 잘 관리되어 양호한 투수능을 나타내었다. 투수능 시험에 대한 세부 결과는 본 장의 제3절에 기술하였다.



[그림 3-64] 투수블록 B의 유지관리 현황 (2차 조사)

3) 3차 조사 결과(2022.11.25)

해울관 맞은편에 설치된 투수블록은 주변 녹지에서 유출되는 토사로 인해 투수블록의 공극이 막히는 현상이 발생하였다. 토사유입을 차단하기 위해 침투도랑을 설치했지만 침투도랑에 퇴적된 토사를 주기적으로 제거해 주지 않아 유출된 토사가 침투도랑을 넘어 투수블록에 퇴적되었다.



[그림 3-65] 투수블록 B의 유지관리 현황 (3차 조사)

4) 4차 조사 결과(2022.11.25)

강설로 일부 구간은 눈으로 덮여 있었으며, 특이사항은 관찰되지 않았다.



[그림 3-66] 투수블록 B의 유지관리 현황 (4차 조사)

5) 5차 조사 결과(2023.01.27)

강설 시 별이 잘 드는 해울관 측은 눈이 빨리 녹는 반면, 맞은편은 수목으로 인한 그늘이 형성되어 눈이 잘 녹지 않는 것으로 조사되었다. 토지주택대학교 앞 투수아스콘의 상태는 블록에 비해 표면 파손이 없고 깨끗한 상태로 관리되고 있었다.



[그림 3-67] 투수블록 B의 유지관리 현황 (5차 조사)

6) 6차 조사 결과(2023.02.22)

토양 해빙 후 강우가 없어 특이사항은 관찰되지 않았다.



[그림 3-68] 투수블록 B의 유지관리 현황 (6차 조사)

7) 7차 조사 결과(2023.03.27)

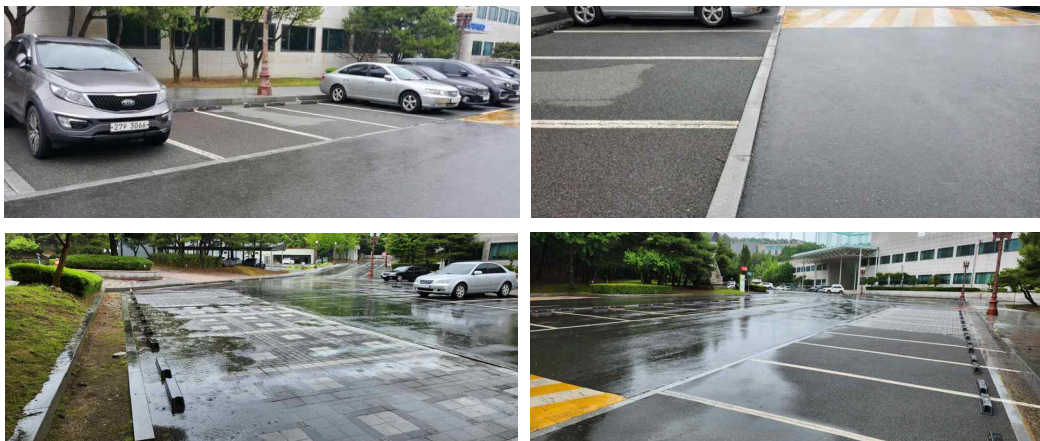
가물이 지속되어 특이사항은 관찰되지 않았다.



[그림 3-69] 투수블록 B의 유지관리 현황 (7차 조사)

8) 8차 조사 결과(2023.04.18)

강우가 있어 투수블록의 투수성능을 확인할 수 있었다. 해울관 맞은편에 설치된 투수블록은 토사 유입으로 인한 공극 막힘이 발생해 물고임 현상이 나타났다. 해울관 앞, 토지주택대학교 앞에 설치된 투수블록과 투수아스콘은 공극 막힘이 없어 양호한 투수성능을 유지하고 있었다.



[그림 3-70] 투수블록 B의 유지관리 현황 (8차 조사)

1.12 식물재배화분

1) 조사 결과

식재된 초화류는 장미로 10월 이후에는 꽃이 지고 이듬해 4월까지 개화하지 않는 것으로 보인다. 유입부와 유출부에 식물 잔재물 및 담배꽂초 등이 발견되었다. 10월~3월 기간 동안 활착된 식생이 없어 상록 식생의 혼합식재가 필요하다.



[그림 3-71] 식물재배화분의 유지관리 현황 (1차~8차 조사)

2. 세종시 행복도시 6-4생활권의 LID시설 유지관리 현황

2.1 옥상녹화

1) 조사 결과

공동주택의 옥상은 세덤류를 식재하여 운영 및 관리 중이었다. 년 1회 제초작업을 시행하고 있으며 통상 여름이 끝나는 9~10월에 시행하고 있었다. 인터뷰 결과 제초 작업은 아파트 관리사무소가 직접 시행하고 있으며 단지가 많아 관리사무소 업무의 상당량을 차지하고 있다고 하였다. 이를 고려하여 옥상녹화에 식재하는 식생은 제초 등 유지관리가 용이한 식물을 선정할 필요가 있다.



[그림 3-72] 옥상녹화 시설의 유지관리 현황

2.2 생태 연못

1) 조사 결과

건물 옥상에서 유출되는 빗물을 저류하여 생태 연못의 유지용수로 사용하고 있었다. 당초 아파트 지하 저류조와 생태연못을 순환하는 것으로 계획되었으나 현장 조사 기간 동안 운영된 적은 없었다. 이는 비용 및 유지관리의 어려움으로 인해 야기되는 문제로 판단된다. 유지관리의 어려움을 이유로 조경시설을 제대로 관리하지 않는 문제는 연구 대상지에 국한되지 않는다. 조경시설이 본래의 기능을 갖기 위해서는 지속적인 유지관리가 전제되어야 하지만 소요되는 비용으로 인해 적절한 유지관리 없이 방치되는 경우가 많다. 따라서 조경시설 등을 설치할 때는 기능에 앞서 유지관리를 우선 고려하여야 한다.



[그림 3-73] 생태연못의 유지관리 현황

2.3 빗물정원

1) 조사 결과

시설 내 식재된 식생은 노랑꽃창포, 수크령(리틀버니), 역새모닝라이트, 털수염풀, 흰줄무늬억새, 사사(노랑무늬), 낙상홍 등이었다. 빗물정원 내에는 자갈을 포설하였는데 여름 기간 동안 자갈의 가열로 인해 주변 식생의 생육에 부정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다.

강우 시 빗물정원 주변 녹지에서 토사가 유입될 수 있기 때문에 토사유입을 방지할 수 있는 대책을 마련할 필요가 있다.



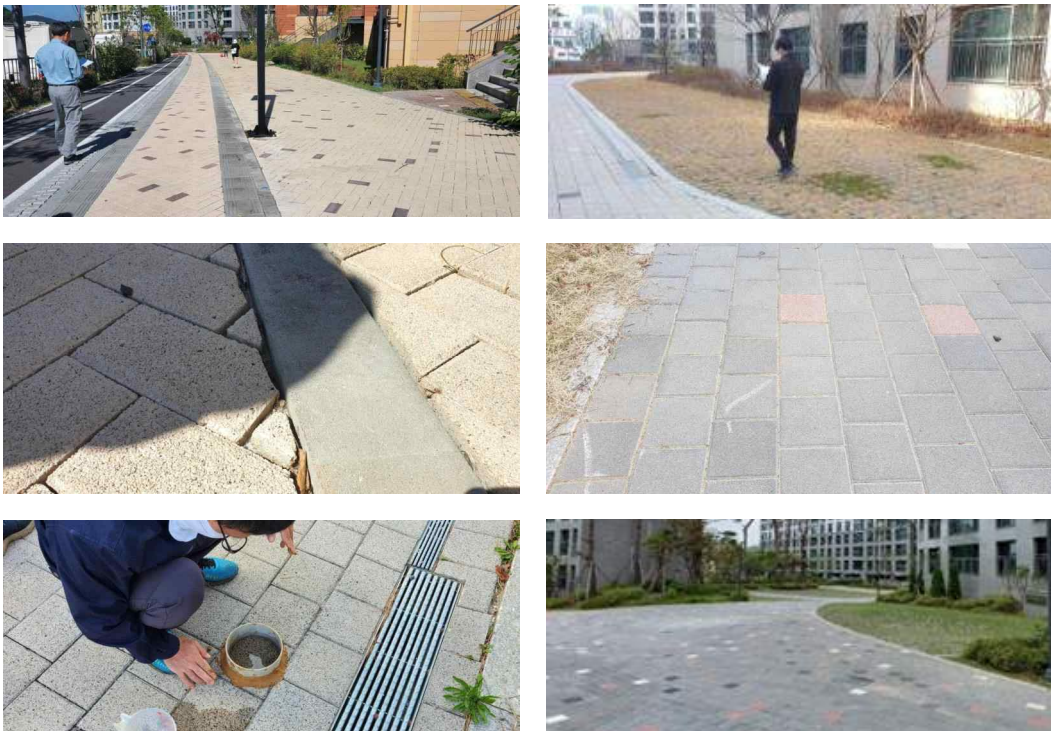
[그림 3-74] 빗물정원의 유지관리 현황

2.3 투수블록 및 생태블록

1) 조사 결과

6-4생활권에 설치된 투수블록은 시공 이후 경과기간도 길지 않고 외관도 비교적 깨끗했으나 투수성능은 현저히 낮은 것으로 나타났다. 이는 자재에 하자가 있거나 투수블록 하부 보조기층의 시공 불량에 원인이 있을 수 있다.

세종시 행복도시의 아파트는 일반 아파트 단지에 비해 투수블록이 차지하는 면적이 넓다. 투수블록이 양호한 투수성능을 유지할 경우 단지 내에서 저류·침투시킬 수 있는 빗물의 양이 상당할 수 있다. 하지만 시공 경과년수가 길지 않고 토사 퇴적도 없음에도 투수성능이 낮다는 사실은 투수블록의 시공 과정에 보다 세심한 주의가 필요함을 의미한다.



[그림 3-75] 세종시 행복도시 6-4생활권의 투수블록 유지관리 현황

3. 투수블록의 투수성능 시험 결과

3.1 토지주택연구원

투수블록의 투수성능 지속성에 따른 품질기준을 보면 50초 미만이면 1등급, 101초 미만이면 2등급, 509초 미만이면 3등급, 1,018초 미만이면 4등급, 그 외는 등급 외로 구분한다(서울특별시, 2013a).

이 기준에 따라 토지주택연구원 내 투수블록의 투수성능을 평가하면 해울관 앞과 토지주택대학교 앞 투수아스콘은 비교적 양호한 투수성능을 나타냈다. 해울관 앞과 토지주택대학교 앞 투수아스콘의 투수시간은 각각 각각 159초, 110초로 3등급 수준을 유지했다[표 3-1].

[표 3-1] 토지주택연구원 내 투수블록의 투수성능 시험 결과

No.	위치	Prewetting	투수시간 (sec)		투수성능 (mm/sec)	
			(D309.5mm)	(D158.4mm)	(D309.5mm)	(D158.4mm)
1	인공습지 파고라 앞	> 30sec	932	*	0.051 (등급 외)	*
2	연못 옆	> 30sec	*	*	*	*
3	해울관 앞	> 30sec	159	273	0.300 (3등급)	0.669 (3등급)
4	해울관 맞은편	> 30sec	940	2,145	0.051 (등급 외)	0.085 (4등급)
5	토지주택대학교 앞 투수아스콘 포장	> 30sec	110	N.A	0.434 (3등급)	N.A
6	학이시습관 앞	> 30sec	*	*	*	*

주1) * : 측정시간 40분 이상 소요 (등급 외)

N.A. : Not Available

이 외의 투수블록은 투수성능이 상당히 저하되어 투수가 거의 일어나지 않는 경우가 많았으며 등급 외로 판정되었다. 투수성능 저하의 원인은 다양하다. 투수블록 자재의 하자, 투수블록 하부 보조기층의 시공 불량, 토사 퇴적으로 인한 투수블록 공극의 막힘 등이 투수성능을 저하시키는 대표적인 원인이다.

[표 3-1]에서 투수성능이 등급 외로 판정된 지역은 주변 녹지에서 토사가 유입되

는 곳이다. 토사 퇴적으로 투수블록의 공극이 막힘에 따라 투수성능이 저하된 것으로 판단된다.

한편 학이시습관 앞 투수블록은 시공 경과년수도 짧고 주변에서의 토사 유입도 없어 깨끗한 외관을 유지했음에도 투수성능은 매우 낮게 나타났다. 투수블록 하부의 보조기층 시공 상태를 확인하기 위해 블록을 걷어내고 보조기층 시공 상태를 확인하였으나 보조기층 시공에 하자는 없는 것으로 판단되었다. 따라서 투수성능 등급이 낮은 투수블록 자재가 사용되었을 것으로 추측할 수 있다.

3.2 세종시 행복도시 6-4생활권

세종시 행복도시 6-4생활권에 설치된 투수블록의 투수성능은 시험 대상 두 곳 모두 투수시간이 40분 이상으로 투수성능이 거의 없는 것으로 판단된다. 이 곳에 설치된 투수블록은 시공 경과년수도 짧고 상부에 토사 퇴적도 없어 공극 막힘으로 인한 투수성능 저하로 판단되지 않는다. 투수성능이 낮은 자재가 사용되었거나 투수블록 하부의 보조기층 시공에 원인이 있을 것으로 판단된다.

[표 3-2] 세종시 행복도시 6-4생활권 투수성능 시험 결과

No.	위치	Prewetting	투수시간 (min)		투수성능 (mm/sec)	
			(D309.5mm)	(D158.4mm)	(D309.5mm)	(D158.4mm)
1	L1블록 구름다리 앞	> 30sec	> 40	> 40	등급 외	등급 외
2	M1블록 해밀중학교 앞	> 30sec	> 40	> 40	등급 외	등급 외

3.3 투수성능 회복을 위한 표면 세척 효과

투수블록의 투수성능 회복을 위한 방법으로 고압 세척을 수행하였다. 실험 대상 투수블록은 투수성능이 낮은 투수블록을 대상으로 하였다. 고압세척기에 의해 표면 세척을 실시한 후 세척 전후의 투수성능을 비교하였다.

투수성능이 저하된 대부분의 투수블록이 고압세척을 실시한 후 투수성능이 개선되었으며, 등급 외의 투수블록이 2등급 또는 3등급 수준의 투수성능으로 향상되는 효과가 나타났다[표 3-3].

[표 3-3] 표면 세척으로 인한 투수성능 개선 효과

위치		구분	세척 전 투수시간 (min) (투수블록 등급)		세척 후 투수시간 (min) (투수블록 등급)	
			(D309.5mm)	(D158.4mm)	(D309.5mm)	(D158.4mm)
토지구택 연구원	인공습지 파고라 앞	설치 블록	> 16min (등급 외)	> 16min (등급 외)	-	< 2min (2등급)
	연못 옆	분리 블록	> 16min (등급 외)	> 16min (등급 외)	< 2min (2등급)	< 3min (3등급)
	토지구택대학교 근처	분리 블록	> 16min (등급 외)	> 16min (등급 외)	-	< 2min (2등급)
세종시 6-4생활권	원수산 MTB 공원 주차장	설치 블록	> 16min (등급 외)	> 16min (등급 외)	< 5min (3등급)	< 5min (3등급)

주) 세척 시간 : 30초/1블록

주) 설치 블록 : 투수블록이 설치된 현장에서 실험

분리 블록 : 블록을 현장에서 분리하여 실험

고압 세척 전에는 투수시간이 5분 이상으로 투수가 거의 나타나지 않았으나 고압 세척 후(165bar, 3L/min, 30초) 투수성능의 뚜렷한 개선이 있었다. 투수블록 표면에 퇴적되었던 토사 등이 고압 세척에 의해 제거되면서 투수성능이 개선된 것으로 판단된다. 향후 투수블록의 성능 개선을 위해 고압 세척 방법이 적용 가능한 대안으로 판단된다. 다만, 고압 세척 후 발생하는 탁수의 처리 방안에 대해서는 별도의 대안이 마련되어야 한다.

블록 당 세척시간 30초, 소요 수량 3 리터, 블록 면적 0.04 m²(200×200 mm)을 기준으로 하면 단위 제곱미터의 투수블록을 고압세척하는데 75리터의 물이 소요될

것으로 예상된다. 토지주택연구원 내 투수블록 설치면적 $2,183\text{ m}^2$ 을 고려하면 고압세척에 필요한 수량은 164 m^3 으로 예상된다.

고압세척에 사용된 물의 일부는 투수블록을 통해 침투될 것으로 예상된다. 하지만 투수성능이 낮은 투수블록을 대상으로 하고 있기 때문에 사용된 물의 대부분은 침투되지 못하고 유출되는 것으로 가정하여야 한다. 고압세척 후 유출되는 세척수의 처리계획을 수립할 때는 사용된 물의 80% 정도가 유출된다고 가정하는 것이 적절할 듯하다. 투수블록이 설치되는 공간의 여건을 고려할 때 세척수 처리는 별도의 처리시설을 설치하는 방법보다는 인근 LID 시설과 연계하여 처리하는 방법이 적절할 것으로 판단된다.

4. 유지관리 현황에 대한 종합 평가

토지주택연구원과 세종시 행복도시 6-4생활권의 LID 시설에 식재된 식생의 활착 현황은 [표 3-4]와 같다.

[표 3-4] 조사 대상지 LID 시설의 식생 활착 현황

식물명	토지주택연구원								6-4 생활권
	빗물 정원 L	빗물 정원 C	빗물 정원 E	식생 도랑	나무여과 상자	침투 도랑H	식물재배 화분	빗물 정원A	
노랑꽃창포	○	○	○			○	△	○	
무늬맥문동		△		○					
맥문동									
옥잠화			X	○					
금낭화	X		X	○					
무늬비비추			△	○					
비비추									
은목서					○				
원추리			○						
왜성아스타	X	X							
구절초			○						
산수국			X						
백리향			X						
황금조팝나무		X							
돌단풍			○						
부채붓꽃						X		X	
부처꽃						X		△	
패랭이꽃	○		○						
자산홍							△		
장미							○		
철쭉							○		
세덤류									○
낙상홍									○
억새									○

주) ○ : 활착 상태 양호, △ : 활착 상태 보통, X : 활착 없음

4.1 토지주택연구원

토지주택연구원 내 LID 시설의 유지관리 현황에 대한 종합적인 평가는 빗물정원 등 식생형 시설과 투수블록 등 침투형 시설로 구분하여 접근할 필요가 있다.

1) 식생형 시설

빗물정원 E, C 및 빗물정원 L의 경우 당초 식재되었던 몇몇 식물은 고사하여 이를 대체할 수 있는 보식 계획이 필요한 것으로 나타났다. 겨울에는 대부분의 식물이 고사하여 경관을 확보할 수 없었기 때문에 식물을 보식할 경우 사계절 경관을 확보할 수 있는 상록 식물에 대한 고려가 필요하다. 해울관 건물의 빗물홈통이 기존 빗물받이를 통해 우수관으로 유출되고 있어 옥상에서 유출되는 빗물이 인근 빗물정원 E로 유입되지 않고 우수관으로 흘러나가고 있다. 해당 빗물홈통을 연장하여 빗물이 빗물정원으로 유입될 수 있도록 보완할 필요가 있다.

토지주택연구원 내 식생형 시설의 유지관리 현황은 시설과 식생에 따라 다양하게 나타났다. 결과적으로 토지주택연구원의 시설별, 식생별 유지관리 사례를 다른 LID 시설의 유지관리에 적용하기에는 한계가 있을 수밖에 없다. 이에 대한 대안으로 일반적인 식생형 시설의 유지관리 사례가 필요하였다.

본 연구에서는 토지주택연구원의 빗물정원 유지관리 현황을 대표적인 사례로 제시하였다. 전형적인 빗물정원 형태를 취하고 있고, 2017년 7월 준공 이후 보식 등 특별한 유지관리 조치 없이 최소한의 소극적인 유지관리만 수행해 왔기 때문이다.

[그림 3-76]은 토지주택연구원 내 대표적인 LID 시설인 빗물정원 E의 경년변화를 나타낸다. 해당 시설이 설치된 2017년 7월부터 2023년 5월까지의 6년에 걸쳐 식생의 변화를 보여주고 있다.



[2017년 7월]



[2018년 7월]



[2018년 12월]



[2019년 7월]

[그림 3-76] 토지주택연구원 내 LID 시설의 식생 경년변화



[2020년 5월]



[2021년 6월]



[2022년 9월]



[2023년 5월]

[그림 3-76] (계속)

빗물정원 E에는 맥문동, 왜성아스타, 구절초, 무늬비비추, 비비추, 산수국, 구절초, 패랭이꽃, 돌단풍, 금낭화, 옥잠화, 원추리, 노랑꽃창포를 식재하였다. 식생별 활착 현황은 다음과 같다.

① 무늬비비추

무늬비비추는 반그늘, 약간 습한 지역에서 자란다. 키는 35cm 내외이며 잎은 심장형 혹은 넓은 타원형으로 암자색의 가는 점이 많이 있으며 꽃은 7~8월에 핀다. 2022년 9월 관찰된 무늬비비추는 꽃이 지고 그 줄기를 찾아볼 수 없었으나 2023년 4월 새싹이 돋아나 안정적으로 생육하고 있는 것으로 확인되었다.



<2022.9>



<2023.4>

[그림 3-77] 빗물정원 E의 무늬비비추 활착 현황

② 백리향

백리향은 7~12cm의 키에 양지나 음지를 가리지 않고 잘 자라며 다소 척박하면서 석회질이 많은 토양을 선호한다. 개화 시기는 6월로 2022년 9월 당시에는 개화가 지난 시기로 줄기 및 잎의 형태가 불분명하였으며, 2023년 4월에도 백리향의 새싹이 관찰되지 않아 생육상태는 좋지 않은 것으로 판단된다.



<2022.9>



<2023.4>

[그림 3-78] 빗물정원 E의 백리향 활착 현황

③ 돌단풍

돌단풍은 30cm 정도로 개화 시기는 5월이다. 물가의 습한 암벽이나 바위틈새로 척박한 환경일수록 잘 자라나는 습성이 있다. 빗물정원 E에 식재된 돌단풍은 2022년 4월 식생과 2023년 9월에 안정적인 생육을 확인할 수 있었다.



<2022.9>



<2023.4>

[그림 3-79] 빗물정원 E의 돌단풍 활착 현황

④ 옥잠화

옥잠화는 특별한 병충해 없이 번식력이 강하며 뿌리와 줄기의 번식이 왕성하다. 빗물정원 E에 식재된 옥잠화의 생육상태는 양호하며 봄에 비해 가을에 그 잎이 풍성하게 자라는 것으로 관찰되었다. 옥잠화는 오랜 기간 같은 장소에서 번식할 시 풀이 우거져 관리가 힘들어지므로 정리가 필요하다.



<2022.9>



<2023.4>

[그림 3-80] 빗물정원 E의 옥잠화 활착 현황

⑤ 산수국

산수국은 습기가 많은 산골짜기에 자라며 키는 약 1m 내외까지 크며 열매는 9~10월에 달린다. 빗물정원 E에 식재된 산수국은 2022년 9월 및 2023년 4월 줄기, 잎이 관찰되지 않아 고사 된 것으로 추정된다.



<2022.9>



<2023.4>

[그림 3-81] 빗물정원 E의 산수국 활착 현황

⑥ 구절초

구절초는 양지바른 곳이나 반그늘의 숲에서 자란다. 키는 50~100cm 정도이며, 잎은 타원형으로 4~7cm, 폭은 3~5cm이다. 빗물정원 E에 식재된 구절초는 2022년 9월 15~30cm로 관찰되었으며 2023년 4월 새싹이 돋는 것을 관찰하여 생육상태는 양호한 것으로 조사되었다.



<2022.9>



<2023.4>

[그림 3-82] 빗물정원 E의 구절초 활착 현황

⑦ 패랭이꽃

패랭이꽃은 낮은 지대의 건조한 곳이나 냇가 모래땅에서 자라며 개화 시기는 6~8월이다. 빗물정원 E에 식재된 패랭이꽃은 2m²의 면적에 걸쳐 식재돼 있으며 상태는 양호하였다.



<2022.9>



<2023.4>

[그림 3-83] 빗물정원 E의 패랭이꽃 활착 현황

⑧ 금낭화

금낭화는 산지에서 자라는 다년생 양귀비과 식물로 키는 60~100cm이며 잎은 잎자루가 길로 깃 모양으로 3갈래가 갈라진다. 6~7월경이면 지상부 잎이 모두 없어지고 휴면에 들어가는 특성이 있다. 2022년 9월 빗물정원 E에 식재되어 있는 금낭화의 군집 밀도는 매우 적으며 줄기 30cm 내외로 몇 그루가 자생하고 있는 것으로 관찰되었다. 2023년 4월에도 금낭화의 새싹이 돋지 않아 생육이 좋지 않은 것으로 조사되었다.



<2022.9>



<2023.4>

[그림 3-84] 빗물정원 E의 금낭화 활착 현황

⑨ 원추리

원추리는 들이나 산에서 많이 자라며 봄에는 해가 잘 들고 여름에는 다소 그늘이 지는 곳에서 잘 자라는 편이다. 조경용으로는 관상수 아래에 심거나 조경석 사이에 심어 정원을 가꾸는 재료로 많이 이용한다. 2022년 9월 빗물정원 E에 식재된 원추리는 30cm 내외의 줄기길이를 나타냈으며 2023년 4월 관찰된 새싹의 돋음 상태도 양호한 것으로 관찰되었다.



〈2022.9〉



〈2023.4〉

[그림 3-85] 원추리 활착 현황

전술한 바와 같이 토지주택연구원 내 빗물정원의 일부 식생은 고사하고 그 자리는 잔디를 비롯한 다른 식생으로 대체되었다. LID 시설의 목적은 불투수성 포장을 투수성 포장 또는 식생으로 변경함으로써 경관을 향상하고, 강우유출량과 오염물질 유출을 줄이고, 폭염 시 온도를 낮추기 위함이다. 빗물정원 E는 설치 후 6년의 시간이 경과하는 동안 식생의 변화는 있었지만 LID 시설이 갖는 기능은 상당 부분 유지하고 있다고 판단된다. 식생의 변화에도 불구하고 빗물정원의 설치 목적인 경관 개선, 유출량 및 오염물질 저감, 온도 저감의 기능 수행에는 큰 변화가 없다는 의미이다. 다만, 일부 식생이 고사되고 겨울에 대부분의 식생이 고사하여 경관이 확보되지 않는 점은 아쉽다.

다양한 경관을 확보하고 심미성을 제고하기 위해 식생의 보식이 필요하다. 보식은 동계기간의 경관을 고려하여 상록의 초화류, 관목류를 혼합하여 식재할 필요가 있다.

[그림 2-86]은 토지주택연구원 내 식생수로의 금낭화와 무늬맥문동 식재 사례를 보여주고 있다. 금낭화는 5~6월 개화하고 6월 이후에는 고사하는 반면 무늬맥문동

은 상록 초화류이다. 금낭화 고사 이후에는 두 식물의 식재 경계가 뚜렷이 구분되어 자연스러운 경관미를 기대할 수 없었다. 따라서 식생을 보식할 경우에는 구획을 구분하여 식재하지 않도록 주의가 필요하다. 아울러 활착 시기도 고려하여 연중 일정 수준의 경관이 확보될 수 있도록 하여야 한다.



[그림 2-86] 활착 시기가 다른 식물의 구분 식재 사례

2) 침투형 시설

침투형 시설 중 침투도랑 C는 주변 녹지에서 토사가 다량 유입되어 경관성도 저하되고 투수성능도 낮은 것으로 판단된다. 해울관 맞은편에 주차장과 녹지 공간 사이에 설치된 침투도랑 H도 비슷한 상황으로 관찰되었다. 침투도랑 C와 침투도랑 H는 준설을 통해 퇴적된 토사를 제거하여 본래의 투수성능을 유지할 수 있도록 하여야 한다. 특히 침투도랑 H의 토사 퇴적으로 인해 인접한 투수블록에 토사가 유입되어 투수블록의 투수성능 저하까지 야기되고 있다.

투수블록 중 해울관 맞은편, 연못 옆에 설치된 투수블록은 인접한 녹지에서 유출되는 토사로 인한 공극 막힘으로 투수성능이 현저하게 저하된 상태이다. 이에 대한 대안으로는 녹지에서 유출되는 토사를 차단하고 투수블록의 표면 세척을 통해 투수성능을 개선하는 방법이 가능하다. 유의할 점은 투수블록의 성능을 개선하는 데

책에 앞서 토사 유입을 차단하는 대책이 선결되어야 한다는 점이다. 토사 유입을 차단하기 위해 투수블록 주변부에 침투도랑을 설치하는 방법이 가능하다. 하지만 침투도랑 내 퇴적되는 토사를 주기적으로 제거해 주는 유지관리가 전제되어야만 침투도랑이 제 기능을 유지할 수 있다.

4.2 세종시 행복도시 6-4생활권

아파트 단지 옥상에 조성된 옥상정원에는 돌나무과인 세덤류가 식재돼 있으며 매년 1회 관리사무소에서 제초작업을 시행한다. L-1블록 빗물정원에 식재된 식물은 노랑꽃창포, 수크령(리틀버니), 역새모닝라이트, 털수염풀, 환줄무늬역새, 사사(노랑무늬), 낙상홍 등이다.

빗물정원은 L-1블록에서만 확인되었으며 M-1블록의 경우 설계도면에 표시된 위치에서 발견되지 않아 설치 여부를 확인할 수 없었다. 옥상녹화 시설은 아파트 옥상에 조성되어 운영 중에 있으며 년 1회 아파트관리사무소에서 제초 등의 관리를 하고 있다.

L-1블록, M-1블록에 설치된 투수블록의 투수성능은 좋지 않았다.



<수크령>



<노랑꽃창포>



<옥잠화>



<낙상홍>

[그림 3-87] 세종시 행복도시 6-4생활권 식재의 활착 현황

5. LID 기법별 유지관리 방안

5.1 유지관리 일반

1) 시설의 유지관리

- ① LID 시설의 유입부, 체류부, 유출부 등 시설물의 기능을 유지하는데 필수적인 요소에 대해 수시점검 및 관리가 필요하며, 주변부의 여건변화 등을 수시로 점검하여 기능의 저하 및 저하 우려가 있을 경우 필요한 유지관리를 시행한다. 주기적인 유지관리 후에도 효율개선이 미미한 경우 시설 구조 재검토, 재료 교체, 여재 및 쇄석 등 충전제 보충 등을 시행하여 기능을 개선한다.
- ② 퇴적토 준설, 침투부 막힘 관리 등 규칙적인 점검과 유지관리는 투수성능을 지속적으로 유지하는데 필수적이다. 관측정을 통해 강우 시 침투속도를 점검하고 정기적으로 전처리 및 시설의 토사 퇴적, 막힘 및 파손 여부 등을 점검한다.
- ③ 전처리부의 주기적인 침전물 준설과 헤파물 제거가 매우 중요하다. 토사 등 헤파물이 전처리부에서 제거되지 못하면 각 시설 부분의 급격한 기능저하를 발생시킨다. 막힘으로 인한 여과기능 감소, 침투기능 저하, 식생고사, 부패 등 다양한 문제가 발생한다. 주기적인 준설 및 퇴적토 제거에도 불구하고 기술요소의 기능 저하가 개선되지 않을 경우 전처리부 용량 증가 등 시설 개선을 고려한다.
- ④ 장마 및 우기 전·후에 육안 조사 및 정기조사를 통해 침전물의 퇴적, 이물질 등으로 인한 용량 감소가 발생하면 침전물을 제거하여 최적의 상태를 유지하여야 한다. 특히 태풍에 의한 집중호우, 강풍 등에 의한 시설물 손상에 대비하여야 하며 침수에 따른 시설의 기능 저하가 발생할 수 있는 상황에 예방조치를 취해야 한다.
- ⑤ 일반적인 점검 및 간단한 유지관리는 우기 후반에 시행하고, 주된 유지관리는 건기에 시행한다.

2) 식생의 유지관리

- ① 식생이 적용된 시설의 경우 식생 활착이 가장 중요한 요소이다. 식재 초기에는 고농도 유출수나 장기간 침수 등에 취약하므로 식생이 안정화 될 때까지 강우유

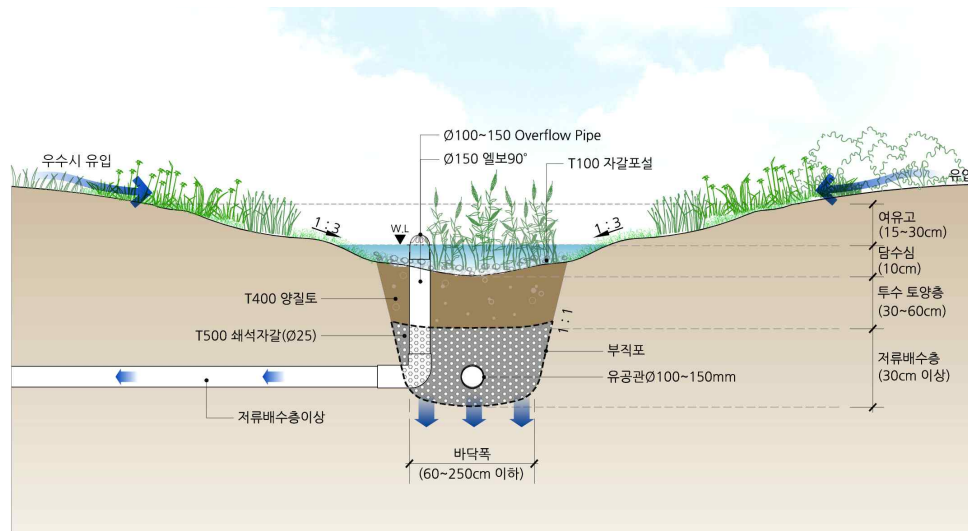
출수를 우회시켜 시설이 조기 안정화 될 수 있도록 한다.

- ② 시설에 식재된 식물이 과도하게 성장하거나 동절기 고사될 경우 제거하는 것이 바람직하며, 적절히 제거되지 않을 경우 식생부패로 인한 악취발생 및 경관 훼손을 야기할 수 있다. 강우 종료 후 유입된 침전물질이 식생을 덮거나 식생 넘어짐이 발생한 경우 즉시 제거한다. 식생 뿌리가 시설에 미치는 영향을 확인하여야 하며, 뿌리의 성장 방향과 굵기에 따라서는 시설을 손상시킬 수 있으므로 성장 형태를 파악하여야 한다.
- ③ 식생여과 시설은 생태 저류기능, 강우유출수의 침투 및 여과기능을 복합적으로 처리하는 기술요소로서 경관성을 고려하여 심미적인 기능도 포함되어 설치되므로 다양한 기법이 적용되는 기술이다. 식물에 의한 흡착, 생화학적 반응을 통한 여과기능을 갖고 있으므로 식재된 식물의 관리가 무엇보다 중요하며 또한 주변 토양과의 교란이 발생되지 않도록 주기적인 유지관리를 꾸준히 진행해야 할 것이다.

5.2 식생수로

1) 시설 개요

식생수로는 건식 식생수로(dry swale)와 습식 식생수로(wet swale)로 나뉜다. 건식 식생수로는 강우유출수가 상부 여과층을 통과하면서 오염물질이 제거되고 여과층 하부의 자갈 배수층을 통해 빗물이 침수되고 배수되는 시설이다. 습식 식생수로는 습지조건을 갖추도록 설계되어 수로 내 식재된 식생에 의하여 강우유출수를 감소시키고 수로의 흐름을 이용하여 침전·흡착하는 시설이다.



[그림 3-88] 식생수로 표준단면도

2) 세부 유지관리 지침

① 시설 전반

- 습식 식생수로 등 빗물을 저류하고 있는 시설들은 안전 시설물(위험 안내판, 펜스 등)을 설치하여 보행자들의 안전사고를 예방할 수 있도록 한다.
- 시설물이 통행이 많은 도로(보도, 자전거도로 등) 주변에 설치될 경우 야간이나 시야가 확보되지 않을 경우를 대비하여 시설물 설치를 신중히 검토하여야 한다.
- 집중호우, 태풍 등의 영향을 고려하여 수로의 규모에 따라 우수의 월류관을 설치

하여 비상시에 대비하여야 한다.

- 식생수로의 시설 점검은 전체적으로 수로의 형태, 법면, 충전물(식생토, 배수층 골재)을 살펴야 한다. 수로 내 수질오염이 판단될 경우, 여재를 교체, 보충 또는 재활용하여 수로의 유속 및 흐름에 변화가 없도록 정기점검 하여야 한다.

② 식생 관리

- 시공 후 식생이 활착될 때까지는 강우유출수가 유입되지 않도록 하고 부득이한 경우에는 식생 마대 또는 야자섬유 매트 등으로 보호하여야 한다.
- 식물이 너무 과도하게 자랄 경우에는 정기적으로 풀베기를 하여 수로의 유출수 흐름을 방해하지 않도록 한다.
- 식생을 추가로 보식할 때에는 식물의 꽃, 잎, 상록 여부 등을 고려하여야 하며, [그림 3-89]에 예시로 제시된 식재 팔레트를 작성하도록 한다.

③ 전처리시설 관리

- 식생수로의 전처리 시설은 헐잡물, 쓰레기 등 부유물질이 수로 내에 유입되지 않도록 수시로 점검하여야 하며 특히 장마철 전·후에는 필히 점검하여 수로의 침전물을 제거하여야 한다. 특히 민감 시기(집중호우, 태풍 등)에는 집중적인 관리가 필요하다.

④ 유지관리 항목 및 주기

[표 3-5] 식생수로의 유지관리 항목 및 주기

구분	유지관리 항목	주기
시설 전반	<ul style="list-style-type: none"> • 수로형태 점검(법면, 식생토, 배수층 골재 등) • 수로의 식생토 침식 등 유속변화 • 수로내 월류관의 유입부 상태(이물질 제거, 막힘 등) 	정밀점검 (연1회)
	<ul style="list-style-type: none"> • 식생 및 식재토양 교체 	필요시
식생 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 식생의 활착 및 유지상태 • 강우유출수 유입부 식생유지 상태 	정기점검 (6개월)
전처리시설 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 부유물질, 쓰레기 등 오염물질 퇴적 및 유입 등 • 집중호우, 태풍 등 장마 전·후 유입 및 유출부 점검 	수시점검 (월1회)

구분	성상	식물명	수고(m)	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
관목	낙엽활엽	삼색버드나무	2			잎			잎						
	낙엽활엽	수수꽃다리	3~5				꽃								
	낙엽활엽	화살나무	2~3	가지				꽃			열매·단풍				가지
지피·초화류	낙엽	돌단풍	0.15~0.3				꽃	잎				잎			
	낙엽	붓꽃	0.3~0.6				잎	꽃	잎						
	낙엽	수크령	0.3~0.8					잎			꽃				
	낙엽	좀비비추	0.2~0.4				잎			꽃	잎				

[건식식생수로]

구분	성상	식물명	수고(m)	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
관목	낙엽활엽	말발도리	1~2			잎		꽃		잎		단풍			
	낙엽활엽	산철쭉	1~2			잎	꽃		잎		단풍				
	낙엽활엽	흰말채나무	3	가지		잎		꽃		잎		가지			
지피·초화류	낙엽	까치수염	0.5~1				잎		꽃		잎				
	낙엽	꽃창포	0.5~1				잎	꽃		잎					
	상록	속새	0.3~0.6	잎											
	낙엽	일월비비추	0.2~0.4				잎		꽃		잎				

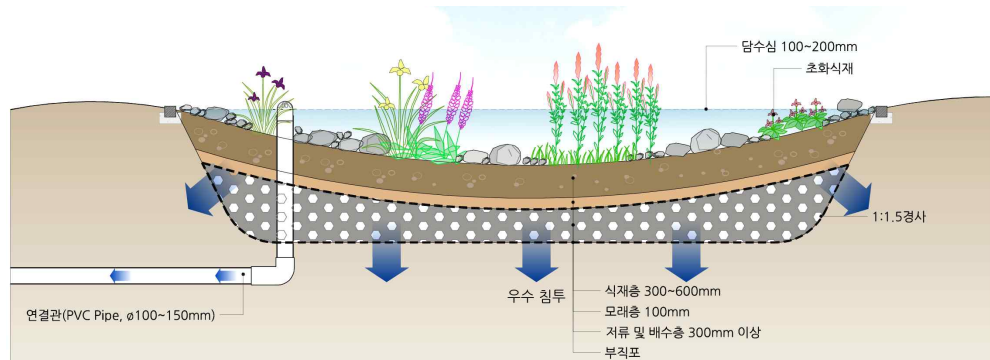
[습식식생수로]

[그림 3-89] 식생수로에 권장되는 식재 팔레트 예시 (출처: 환경부 등, 2018)

5.3 빗물정원

1) 시설 개요

빗물정원은 초화류, 관목, 잔디 등 다양한 식물을 식재하여 조성한 생태 저류시설의 일종이다. 강우유출수를 침투여과시켜 유출량 저감과 수질개선 효과를 기대할 수 있고, 식생에 의한 심미적 효과와 경관성 향상에 기여하는 시설이다. 주로 단독주택, 공동주택 등에 적용 가능한 경관성 시설이다.



[그림 3-90] 빗물정원 표준단면도

2) 세부 유지관리 지침

① 시설 전반

- 시설 내 월류관이 설치된 경우에는 협잡물로 인한 월류관 막힘으로 물고임 현상이 발생할 수 있다. 협잡물 퇴적 및 물고임 현상으로 인해 주변의 민원이 발생하지 않도록 세심한 관리가 필요하다.

② 식생 관리

- 사공 후 식생이 활착될 때까지는 강우유출수가 유입되지 않도록 하고 부득이한 경우에는 식생 마대 또는 아자섬유 매트 등으로 보호하여야 한다.
- 이식 수목 및 초화류는 겨울철 환경에 적응할 수 있도록 월동에 필요한 줄기 싸주기, 뿌리덮개 작업, 방풍, 방한 등 계절에 따른 세심한 관리가 필요하다.

- 식생의 생장에 필요한 환경이 유지되고, 토양의 침투 및 여과기능이 정상적으로 유지되도록 식생의 건강상태, 토양의 침식 및 퇴적 등을 정기적으로 점검하여야 한다.
- 우기 시 또는 민감 시기(집중호우, 태풍 등)에는 주변의 토양 침식 및 퇴적을 조절하기 위한 구체적인 계획을 수립하여야 한다.
- 토양을 압착하거나 다짐이 발생할 경우 침투 및 여과 기능에 영향을 줄 우려가 있으므로 중장비 등의 통행을 제한하고 유지관리를 위해 장비를 사용할 경우에도 제한적으로 적용하는 것이 바람직하다.
- 건기 동안 또는 식생유지에 필요한 경우 물을 공급한다.
- 해충이나 설치류 등의 피해를 방지하기 위한 방안을 마련하여야 한다(단, 살충제의 사용은 억제).
- 식생을 추가로 보식할 때에는 식물의 꽃, 잎, 상록 여부 등을 고려하여야 하며, [그림 3-91]에 예시로 제시된 식재 팔레트를 작성하도록 한다.

③ 유지관리 항목 및 주기

[표 3-6] 빗물정원의 유지관리 항목 및 주기

구분	유지관리 항목	주기
시설 전반	<ul style="list-style-type: none"> • 시설의 형태 점검(법면, 식생토, 배수층 골재 등) • 식생토 침식 여부 등 • 월류관의 유입부 상태(이물질 제거, 막힘 등) 	정밀점검 (연1회)
	<ul style="list-style-type: none"> • 식생 및 식재 토양 교체 • 죽은 관목 교체 	필요시
식생 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 초화류 및 관목 등의 식재 관리 • 강우유출수 유입부 식생유지 상태 	정기점검 (6개월)
전처리시설 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 부유물질, 쓰레기 등 오염물질 퇴적 및 유입 등 • 집중호우, 태풍 등 장마 전후 유입 및 유출부 점검 	수시점검 (월1회)

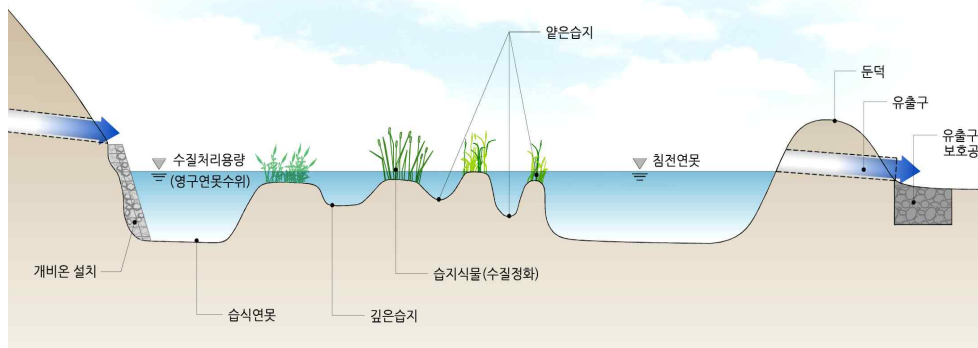
구분		성상	식물명	수고(m)	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Zone 1	지피·초화류	낙엽	노랑꽃창포	0.5~0.8					꽃							
		낙엽	노루오줌	0.4~0.7							꽃					
		낙엽	흰갈대	0.8~1.5			잎			꽃	잎					
Zone 2	관목	낙엽활엽	나무수국	2~4							꽃					
		낙엽활엽	말발도리	1~2					꽃							
	지피·초화류	낙엽	벌개미취	0.4~0.6							꽃					
		낙엽	부처꽃	0.5~1							꽃					
		낙엽	톱풀	0.5~1				잎		꽃		잎				
Zone 3	교목	낙엽활엽	배롱나무	5~10			잎					꽃			단풍	
		낙엽활엽	산수유	5~10				꽃	잎						열매·단풍	
	관목	낙엽활엽	산철쭉	1~2					꽃							
		낙엽활엽	조팝나무	1.5~2				꽃								
		낙엽활엽	흰말채나무	2~3	가지					꽃						
	지피·초화류	상록	상록패랭이	0.1~0.2	잎					꽃	잎					
		낙엽	원추리	0.3~0.5					잎		꽃		잎			
		낙엽	구절초	0.5~1.0									꽃			

[그림 3-91] 빗물정원에 권장되는 식재 팔레트 예시 (출처: 환경부 등, 2018)

5.4 인공습지

1) 시설 개요

침전, 여과, 흡착, 미생물 분해, 식생에 의한 정화 등 자연 상태의 습지가 보유하고 있는 정화 능력을 인위적으로 향상시켜 강우유출수 저류뿐만 아니라 오염물질을 저감할 수 있는 시설을 말한다.



[그림 3-92] 인공습지의 표준단면도

2) 세부 유지관리 지침

① 시설 전반

- 습지 하부의 토사 등 침전량은 습지의 총 체적 기준으로 10%를 초과하지 않도록 해야 한다.
- 인공습지 침사지의 매몰 정도를 주기적으로 점검하고, 50% 이상 매몰될 경우에는 토사를 제거하여야 한다.

② 식생 관리

- 시공 후 식생이 활착될 때까지는 강우유출수가 유입되지 않도록 하고 부득이한 경우에는 식생 마대 또는 야자섬유 매트 등으로 보호하여야 한다.
- 이식수목 및 초화류는 겨울철 환경에 적응할 수 있도록 월동에 필요한 줄기 싸주기, 뿌리덮게 작업, 방풍, 방한 등 계절에 따른 세심한 관리가 필요하다.

- 식생의 생장에 필요한 환경이 유지되고, 토양의 침투 및 여과기능이 정상적으로 유지되도록 식생의 건강상태, 토양의 침식 및 퇴적 등을 정기적으로 점검하여야 한다.
- 우기 시 또는 민감 시기(집중호우, 태풍 등)에는 주변의 토양 침식 및 퇴적을 조절 하기 위한 구체적인 계획을 수립하여야 한다.
- 토양을 압착하거나 다짐이 발생할 경우 침투 및 여과 기능에 영향을 줄 우려가 있으므로 중장비 등의 통행을 제한하고 유지관리를 위해 장비를 사용할 경우에도 제한적으로 적용하는 것이 바람직하다.
- 하절기에는 인공습지에 식재된 수생식물이 과도하게 성장하여 습지 내 수리학적 흐름을 방해, 정체구역이 발생하거나 단회로 현상을 유발시킬 수 있으므로 적절한 시기에 풀베기를 하여야 한다.
- 식생을 추가로 보식할 때에는 식물의 꽃, 잎, 상록 여부 등을 고려하여야 하며, 식재 팔레트는 빗물정원의 예시를 참고하여 작성한다.

③ 유지관리 항목 및 주기

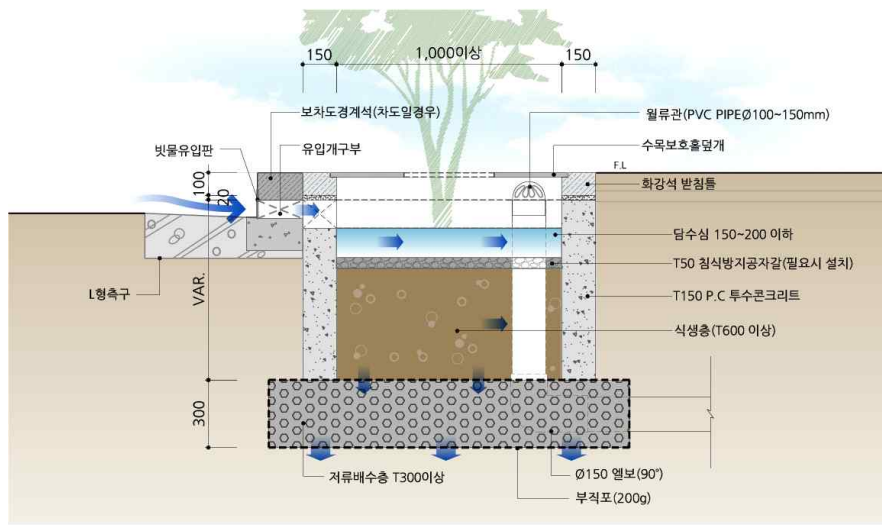
[표 3-7] 인공습지의 유지관리 항목 및 주기

구분	유지관리 항목	주기
시설 전반	<ul style="list-style-type: none"> • 침식 및 지반침하 발생, 누수 및 기타 안정성 점검 • 습지 내 침전량 점검 및 필요시 제거 • 수로 내 월류관의 유입부 상태(이물질 제거, 막힘 등) 	정밀점검 (연1회)
	<ul style="list-style-type: none"> • 부유물질, 쓰레기 등 오염물질 퇴적 및 유입 등 • 집중호우, 태풍 등 장마 전·후 유입 및 유출부 점검 • 제방의 안전성과 침식 징후 • 유출구의 막힘 및 파손여부 점검 	수시점검 (월1회)
	<ul style="list-style-type: none"> • 식생 및 식재토양 교체 • 죽은 관목 교체 	필요시
식생 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 초화류 및 관목 등의 식재관리 • 조경석 등 조경 시설물 관리 • 강우유출수 유입부 식생유지 상태 • 고사한 식생 제거 	정기점검 (6개월)
전처리시설 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 부유물질, 쓰레기 등 오염물질 퇴적 및 유입 등 • 집중호우, 태풍 등 장마 전·후 유입 및 유출부 점검 	수시점검 (월1회)

5.5 나무여과상자

1) 시설 개요

나무여과상자는 콘크리트 박스로 형성된 구조물 안에 토양을 채워 빗물을 일시 저류 침투시키고 여과를 통해 강우유출수 내 오염물질을 제거하는 시설이다. 주로 도로 주변의 보도에 설치된다, 침투보다는 여과 위주이며 콘크리트 구조물을 제작하여 설치하기 때문에 효과에 비해 경제성이 떨어지는 단점이 있다.



[그림 3-93] 나무여과상자 표준단면도

2) 세부 유지관리 지침

① 시설 전반

- 나무여과상자의 강우 유출·유입부는 보·차도경계석의 개구부를 통해 도로면의 유출수가 유입되는 시설이므로 유입부의 협잡물, 쓰레기 등이 유입되지 않도록 하여야 한다.

② 식생 관리

- 나무의 생장에 필요한 환경이 유지되고, 토양의 침투 및 여과기능이 정상적으로 유지되도록 식생의 건강상태, 토양의 침식 및 퇴적 등을 정기적으로 점검하여야 한다.

- 식생을 추가로 보식할 때에는 식물의 꽃, 잎, 상록 여부 등을 고려하여야 하며, [그림 3-94]에 예시로 제시된 식재 팔레트를 작성하도록 한다.

구분	성상	식물명	수고(m)	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
내부	낙엽활엽	느티나무	20~30		잎						잎				
	낙엽활엽	단풍나무	10			잎						잎			
	낙엽활엽	배롱나무	5~10							꽃					
	낙엽활엽	산사나무	5~6			잎		꽃	잎		열매·단풍				
외부	상록활엽	금목서	4~5	잎							꽃			잎	
	낙엽활엽	말발도리	1~2					꽃							
	낙엽활엽	삼색버드나무	2			잎		잎							

[그림 3-94] 나무여과상자에 권장되는 식재 팔레트 예시 (출처: 환경부 등, 2018)

③ 전처리시설 관리

- 나무여과상자의 전처리 시설은 헐잡물, 쓰레기등 부유물질이 수로 내에 유입되지 않도록 수시로 점검하여야 하며 특히 장마철 전·후에는 필히 점검하여 수로의 침전물을 제거하여야 한다. 특히 민감 시기(집중호우, 태풍 등)에는 집중적인 관리가 필요하다.

④ 유지관리 항목 및 주기

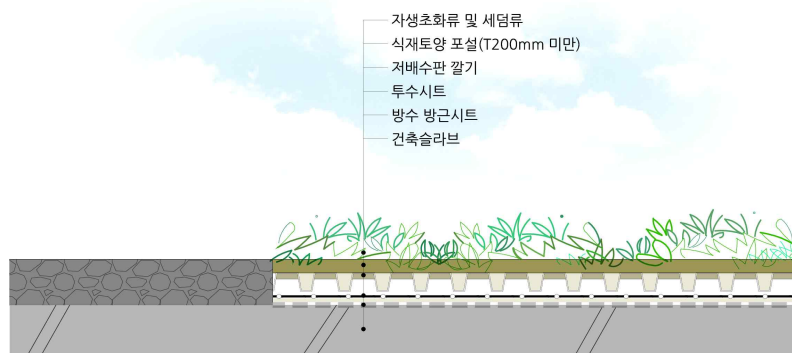
[표 3-8] 나무여과상자의 유지관리 항목 및 주기

구분	유지관리 항목	주기
시설 전반	• 콘크리트 박스형태 점검(식생토, 배수층 골재 등) • 보·차도 경계석의 파손상태 등	정밀점검 (연1회)
	• 식생 및 토양 교체	필요시
식생 관리	• 관목, 교목 등의 식재관리 • 동절기 줄기 싸주기, 뿌리덮게 작업, 방풍, 방한 등	정기점검 (6개월)
전처리시설 관리	• 부유물질, 쓰레기 등 오염물질 퇴적 및 유입 등 • 집중호우, 태풍 등 장마 전·후 유입 및 유출부 점검	수시점검 (월1회)

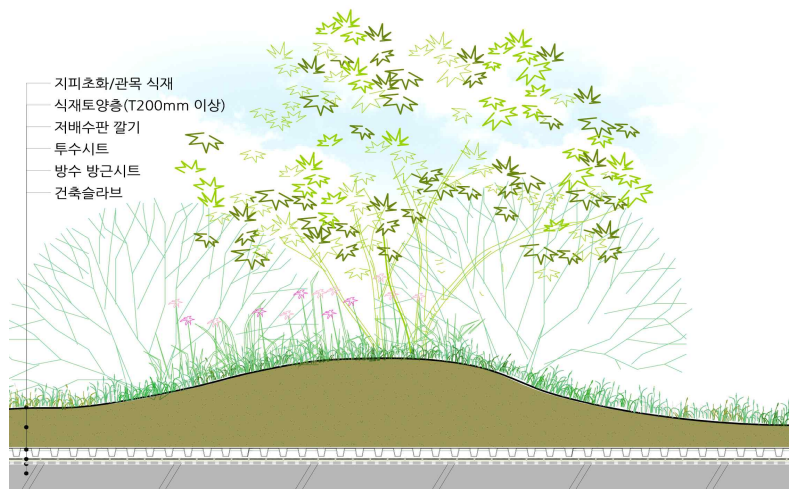
5.6 옥상녹화

1) 시설 개요

대형 건축물의 옥상에 주로 설치하는 시설이다. 옥상 슬라브를 방수방근 처리한 후 토양을 포설하고 식생을 조성한다. 도시열섬 효과 저감에 탁월한 기능을 갖고 있으며 강우 유출저감 및 증발산 효과도 기대할 수 있다.



[그림 3-95] 저관리형 옥상녹화 표준단면도



[그림 3-96] 중관리형 옥상녹화 표준단면도

2) 세부 유지관리 지침

① 시설 전반

- 토사나 쓰레기 등의 유입이 적어 유지관리가 비교적 용이한 시설이다.
- 정기적으로 식생토층과 식물을 보충하여야 하며, 방수에 대한 주기적인 점검이 필요하다.
- 장기간의 가뭄에 대비하여 관수시스템의 설치가 필요하며 강풍에 의한 토양 손실, 식재 전도 시 즉각적인 관리를 실시한다.
- 가장 중요하게 점검할 부분은 토양 안정과 식물의 성장 정도를 수시로 점검하는 것이다. 설치 후 안정기(약 1년)를 확보해야 하며 해당 기간 경과 후에도 식생활착이 잘 되지 않으면 수종의 교체를 검토한다.
- 토양의 침식이나 식물 상태를 매년 점검하고 토양 보충, 식재 교체 등의 보수를 실시하며, 필요 시 일시적인 침식 제어를 위해 그물, 비닐 등으로 보호한다.
- 동절기 동사 및 팽창으로 인한 파손의 우려가 있으므로 유지관리 대책을 수립하여야 하며, 임시 시설의 설치를 통한 관리도 가능하다.
- 식생을 추가로 보식할 때에는 식물의 꽃, 잎, 상록 여부 등을 고려하여야 하며, [그림 3-97]에 예시로 제시된 식재 팔레트를 작성하도록 한다.

② 유지관리 항목 및 주기

[표 3-9] 옥상녹화의 유지관리 항목 및 주기

구분	유지관리 항목	주기
시설 전반	<ul style="list-style-type: none"> • 토양의 침식, 방수방근 상태 점검 • 토양안정과 식물의 성장정도 점검 • 식생 활착에 따른 수종 교체 	정밀점검 (연1회)
	<ul style="list-style-type: none"> • 식생 및 토양 교체 	필요시
식생 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 초화류 및 잔디, 교목 시비, 교목 전정 • 식생토 보충과 식물 보식 • 동절기 한파에 따른 동사 등 식물 보호 대책 	정기점검 (6개월)
전처리시설 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 부유물질, 쓰레기 등 오염물질 퇴적 및 유입 등 • 집중호우, 태풍, 강풍에 의한 시설물 점검 	수시점검 (월1회)

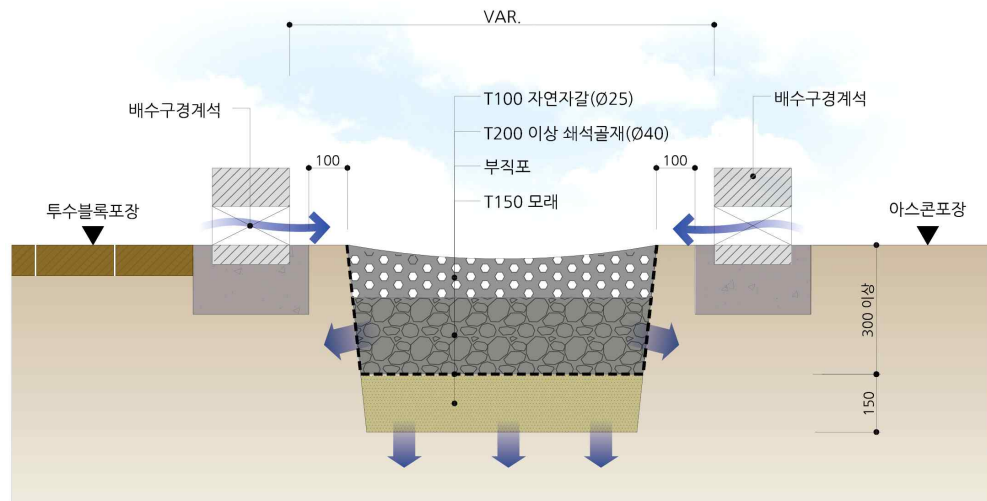
구분	성상	식물명	수고(m)	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
교목	낙엽활엽	단풍나무	10			잎						단풍			
	낙엽활엽	산수유	5~10			꽃						열매			
	상록침엽	소나무	20~30	잎											
관목	낙엽활엽	붉은병꽃나무	2~3					꽃							
	낙엽활엽	수수꽃다리	3~5				꽃								
	상록활엽	회양목	3~7	잎											
지피·초화류	낙엽	구절초	0.3~0.5					잎				꽃			
	낙엽	두메부추	0.2~0.3				잎				꽃	잎			
	상록	맥문동	0.3~0.5	잎						꽃	잎				
	상록	수호초	0.1~0.25	잎			꽃	잎							
	낙엽	큰괭이비름	0.4~0.6				잎				꽃	잎			

[그림 3-97] 옥상녹화에 권장되는 식재 팔레트 예시 (출처: 환경부 등, 2018)

5.7 침투도랑

1) 시설 개요

침투도랑은 주로 공원이나 주차장의 경계부에 적용되는 시설이며 폭은 좁으나 길이가 긴 형태로 조성하여 유출저감 및 침투유량을 저감하는 시설이다.



[그림 3-98] 침투도랑 표준단면도

2) 세부 유지관리 지침

① 시설 전반

- 침투도랑은 자갈로 채워진 배수로이므로 특히 주변으로부터 협잡물, 쓰레기 등 부유물질이 수로 내로 유입되지 않도록 수시로 점검하여야 한다.
- 장마철 전·후에는 필히 점검하여 수로에 침전물이 유입되지 않도록 하여야 한다. 민감 시기(집중호우, 태풍 등)에는 집중적인 관리가 필요하다.
- 식생을 추가로 보식할 때에는 식물의 꽃, 잎, 상록 여부 등을 고려하여야 하며, [그림 3-99]에 예시로 제시된 식재 팔레트를 작성하도록 한다.

구분	성상	식물명	수고(m)	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
관 목	낙엽활엽	병꽃나무	2~3					꽃							
	낙엽활엽	화살나무	2~3	가지				꽃				열매·단풍			가지
	상록활엽	회양목	2~3	잎											
지 피 · 초 화 류	낙엽	섬기린초	0.1~0.2				잎	꽃	잎						
	낙엽	일월비비추	0.2~0.4				잎		꽃		잎				
	낙엽	큰괭의비름	0.4~0.6				잎				꽃		잎		

[그림 3-99] 침투도랑에 권장되는 식재 팔레트 예시 (출처: 환경부 등, 2018)

② 유지관리 항목 및 주기

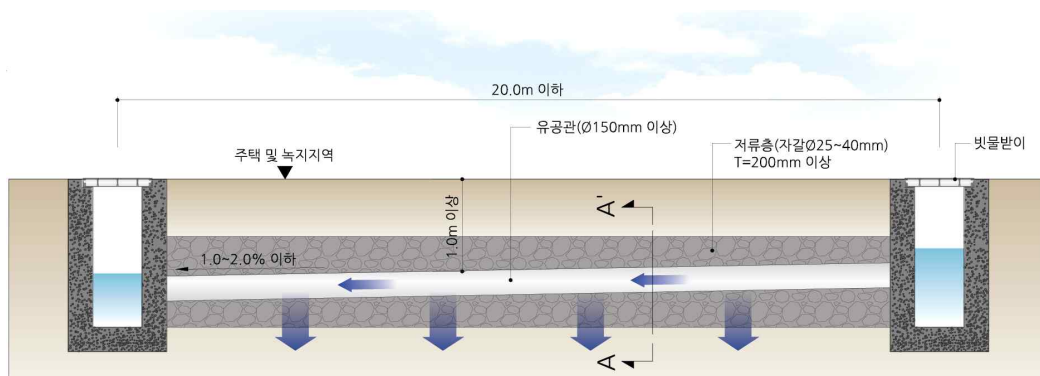
[표 3-10] 침투도랑의 유지관리 항목 및 주기

구분	유지관리 항목	주기
시설 전반	<ul style="list-style-type: none"> • 자갈층 배수로의 막힘 여부 • 주변 토양과의 형태 교란 및 토사침식 여부 • 유입·유출부 폐쇄 여부 	정밀점검 (연1회)
	• 배수구가 막힐 경우 장비 도입으로 자갈 재포설	필요시
전처리시설 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 부유물질, 쓰레기 등 오염물질 퇴적 및 유입 등 • 집중호우, 태풍, 강풍에 의한 시설물 점검 	수시점검 (월1회)

5.8 침투트렌치

1) 시설 개요

침투트렌치는 길게 굴착한 도랑이나 침투관(유공관, 다공성관) 주변에 쇄석을 채워 쇄석의 측면 및 하부를 통하여 빗물을 침투시키는 시설이다. 주로 공원이나 단독주택 등 상부에 큰 하중이 작용하지 않는 지역에 적용하고 있다.



[그림 3-100] 침투트렌치 표준단면도

2) 세부 유지관리 지침

① 시설 전반

- 침투트렌치는 지표면 하부에 설치하는 관계로 유지관리에 많은 어려움이 있으므로 유입부에 전처리 시설을 설치하여 쓰레기 등 혐잡물이 유입되지 않도록 세심한 관리가 필요하다. 특히 장마철 전·후에는 필히 점검하여 수로로 침전물이 유입되지 않도록 하여야 한다.
- 민감 시기(집중호우, 태풍 등)에는 집중적인 관리가 필요하다.

② 유지관리 항목 및 주기

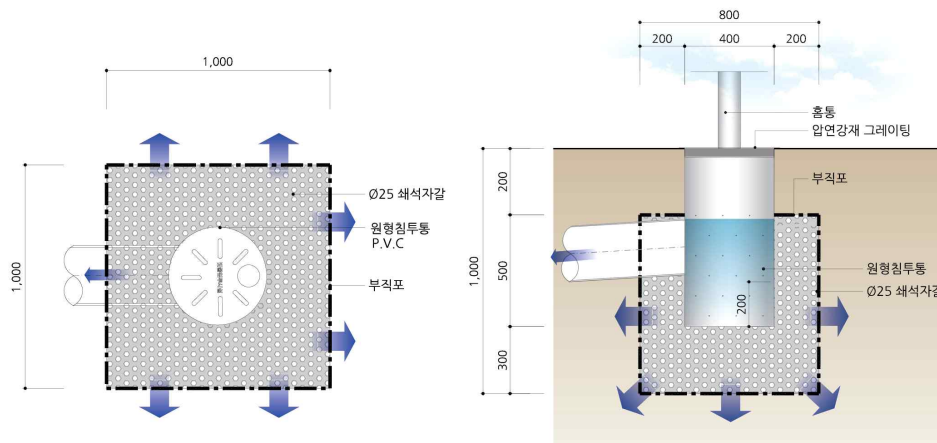
[표 3-11] 침투트렌치의 유지관리 항목 및 주기

구분	유지관리 항목	주기
시설 전반	<ul style="list-style-type: none"> • 전처리 시설 손상 여부 확인 • 유입·유출부 폐쇄 여부 	정밀점검 (연1회)
	<ul style="list-style-type: none"> • 기능 상실의 경우 전면 재시공 	필요시
전처리시설 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 부유물질, 쓰레기 등 오염물질 퇴적 및 유입 등 • 집중호우, 태풍, 장마 전·후 유입부 점검 	수시점검 (월1회)

5.9 침투통

1) 시설 개요

침투통은 투수성 기능을 갖는 본체 주변을 쇄석으로 채워 집수한 빗물이 측면과 바닥을 통해 지하로 침투되도록 유도하는 시설이다. 침투를 통한 오염물질 저감 및 유출 저감으로 지하수 함양의 기능을 갖고 있다. 도로의 빗물받이 대체용으로 사용되고 집수정을 침투시설로 활용하고자 할 경우 적용된다.



[그림 3-101] 침투통 표준단면도

2) 세부 유지관리 지침

① 시설 전반

- 침투통은 내부공간이 협소하고 깊이에 따른 유지관리에 어려움이 있으므로 전처리 시설에서 퇴적물을 처리하도록 하여 시설의 투수능력이 저하되지 않도록 하여야 한다. 특히 장마철 전·후에는 필히 점검하여 침투통에 침전물이 유입되지 않도록 하여야 한다.

② 전처리 시설 관리

- 침투통으로 강우가 유입되기 전에 전처리 시설이 필요하며 협잡물 및 오염물질이 전처리 시설에서 처리되어 침투통 본체로 유입되지 않도록 한다.

③ 유지관리 항목 및 주기

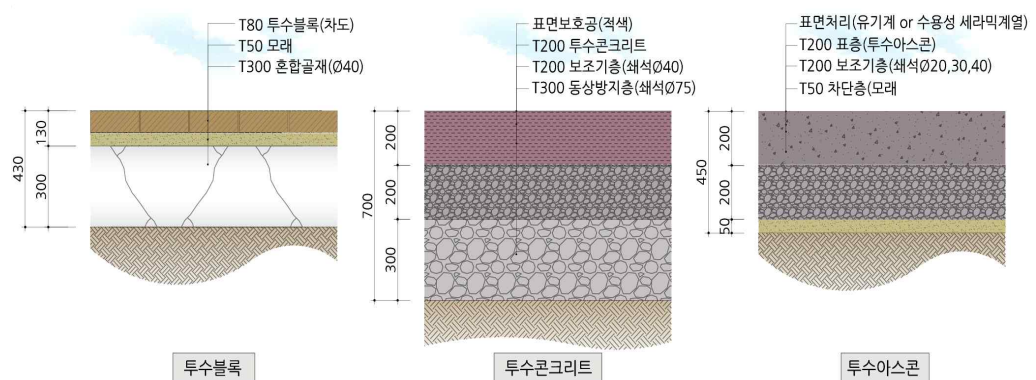
[표 3-12] 침투통의 유지관리 항목 및 주기

구분	유지관리 항목	주기
시설 전반	<ul style="list-style-type: none"> • 침투통 내부의 공극 막힘 여부 • 주변 토양과의 형태 교란 여부 	정밀점검 (연1회)
	<ul style="list-style-type: none"> • 침투통에 퇴적물이 쌓일 경우 준설 및 청소 	필요시
전처리시설 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 부유물질, 쓰레기 등 오염물질 퇴적 및 유입 등 • 집중호우, 태풍, 장마 전후 유입부 점검 	수시점검 (월1회)

5.10 투수성 포장

1) 시설 개요

투수성 포장은 포장체를 통해 빗물을 하부 채석층으로 침투시켜 강우유출수의 일시 저류 및 침투기능을 갖는 시설이다. 가장 널리 적용되는 침투형 시설로 포장 구조체는 투수 콘크리트와 투수성 아스팔트, 투수성 보도블럭 등이 있다. 자재의 하자, 시공 불량, 유지관리 미흡 등 다양한 요인으로 인해 투수성능이 저하되는 경우가 많다.



[그림 3-102] 투수성포장의 표준단면도

2) 세부 유지관리 지침

① 시설 전반

- 투수성 포장은 구조체 표면의 공극 막힘에 따른 유지관리에 어려움이 있으므로 토사의 유입, 침하 등이 일어나지 않도록 세심한 유지관리가 필요하다.
- 투수블록을 비롯한 투수성 포장은 대부분 녹지 주변에 설치되는 경우가 많아 녹지에서 유출되는 토사로 인해 공극 막힘이 빈번하게 발생한다.
- 주변에서 토사가 유입되는 경우 토사유입을 차단할 수 있는 시설을 설치하여야 한다.

② 유지관리 항목 및 주기

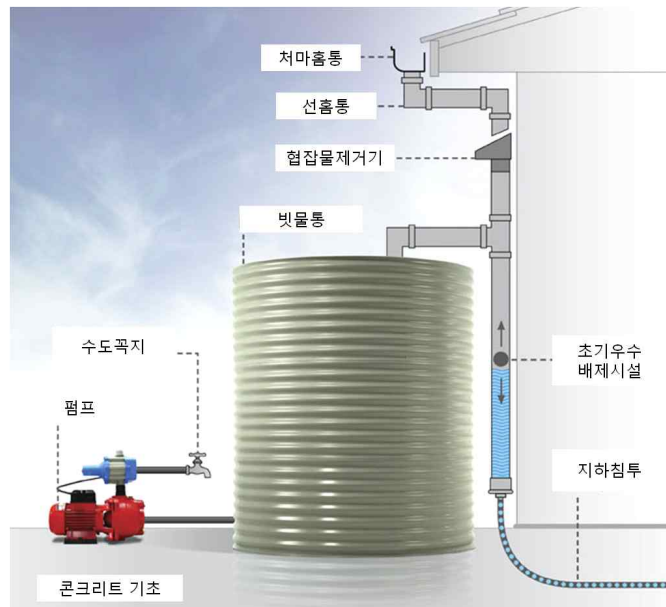
[표 3-13] 투수성 포장의 유지관리 항목 및 주기

구분	유지관리 항목	주기
시설 전반	<ul style="list-style-type: none"> • 투수성포장 구조체의 공극 막힘 여부 • 포장 구조체의 함몰, 침하, 파손 등 여부 	정밀점검 (연1회)
	<ul style="list-style-type: none"> • 포장 구조체의 파손시 교체 	필요시
전처리시설 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 부유물질, 쓰레기 등 오염물질 퇴적 및 유입 등 • 집중호우, 태풍, 장마 전·후 유입부 점검 	수시점검 (월1회)

5.11 빗물저금통

1) 시설 개요

빗물저금통은 빗물이용시설로 빗물을 모아 저류하는 시설이다. 저류된 빗물은 조경용수 등 다양한 용도로 이용 가능하다. 빗물 이용 목적을 고려하여 집수하는 과정에서 오염물질 처리시설이 요구된다. 여러 시설이 복합적으로 연계되어 효율을 얻을 수 있는 만큼 유지관리가 매우 어렵다. 그동안 설치 사례가 많지만 유지관리비 증가, 관리의 어려움 등으로 인하여 사용 실적은 미흡한 실정이다. 설치비 대비 효율성이 낮아 시설을 설치하기 전에 빗물의 이용용도 및 수질 등 면밀한 검토가 전제되어야 한다.



[그림 3-103] 빗물이용시설의 개념도

2) 세부 유지관리 지침

① 집수시설

- 지붕 등 빗물 집수 장소는 주기적으로 청소하고 쓰레기와 이물질 등을 제거하며 낙엽이 많은 계절에는 수시로 청소를 실시하여 빗물받이가 막히지 않도록 한다.

② 전처리 시설

- 전처리 시설은 빗물의 처리기능이 정상 상태로 유지될 수 있도록 주기적으로 슬러지 및 협잡물을 제거하여야 한다.

③ 급수시설

- 급수밸브에서 물의 성상(냄새, 색, 부유물질 등)에 대한 변화가 있을 경우 시설점검을 하도록 하고 필요한 경우 전문가에게 의뢰한다.
- 동결 가능성이 있는 급수밸브, 배관, 펌프 등은 적절한 시간에 맞추어 차단하거나 비워야 한다.

④ 유지관리 항목 및 주기

[표 3-14] 빗물저금통의 유지관리 항목 및 주기

구분	유지관리 항목	주기
집수시설 및 저장시설	<ul style="list-style-type: none"> • 보급수 설비의 작동 여부 점검 • 집수시설의 손상 점검 • 부속장치(수위계, 양수기, 월류관 등) 점검 • 소독설비 점검 	정기점검 (6개월)
전처리 및 저장시설	<ul style="list-style-type: none"> • 집수 장소의 퇴적물 및 오물 점검 • 유입·유출부의 막힘 여부 점검 • 경보장치 및 각종 센서 점검 • 집수시설의 손상 점검 	수시점검 (월1회)
저장 및 송·배수 시설	<ul style="list-style-type: none"> • 구조물의 손상 여부 점검 • 송수관 내 퇴적물, 오물의 침전조 유입 점검 • 관로의 손상에 의한 누수 점검 	정밀점검 (연1회)
기타	<ul style="list-style-type: none"> • 기타 조경시설 및 벌레, 조류 등의 발생 여부 확인 	필요시

6. LID 기법의 유지관리 비용

6.1 식생형 시설 유지관리 비용

유사 사례(한국환경공단, 2016)를 토대로 식생형 LID 시설의 유지관리 비용을 산출하였다. 해당 사례에서 제시된 제곱미터 당 연간 유지관리비 2,208원에 물가상승률 3%, 7년을 고려하여 2,716 원/m²·년으로 산출하였다.

토지주택연구원의 식생형 시설 유지관리 비용 산출을 위해 식생형 LID 시설의 면적 1,128 m²을 적용하면 연간 유지관리 비용은 310만 원 가량으로 예상된다. 이 비용은 현재 상태로 최소한의 유지관리를 전제로 산출한 인건비 비용으로 경비는 포함되지 않았다. 식재를 추가로 보식하거나 시설의 보수가 있을 경우 해당 비용은 별도 계산이 필요하다.

6.2 침투형 시설 유지관리 비용

침투형 시설 중 투수블록의 투수성능 유지를 위한 고압세척 비용을 산출하였다. 고압세척을 위해서는 세척 장비 구입비, 수도료, 인건비 등이 요구되지만 본 연구에서는 인건비만 고려하였다.

블록 면적 0.04 m² (200×200mm) 기준, 블록 당 세척시간 30초를 고려하면 단위 제곱미터의 투수블록을 고압세척하는데 소요되는 시간은 12.5분/m²로 예상되었다. 세척 시 이동시간, 휴식시간을 고려하여 10%의 여유를 감안하여 소요시간 기준은 14분/m²를 적용하였다.

토지주택연구원을 사례로 투수블록 2,183 m²을 고압세척하는데 소요되는 작업시간을 산출하면 다음과 같다.

2,183 m ²	×	14분/m ²	=	510시간
투수블록 면적		블록 면적 당 세척시간		작업 소요시간

산출된 작업시간 510 시간을 1일 작업시간인 8시간/인·일으로 나누면 연간 투입되는 누적 인력은 64인으로 예상된다. 보통인부의 인건비 단가 157,068원/인을 적용하면 매년 소요되는 인건비는 1,000만 원 가량으로 추산되었다.

6.3 정기점검 및 시설 보수 비용

토지주택연구원 내 설치된 LID 시설의 정기적인 점검 및 시설 보수를 포함하는 집중적인 유지관리에 필요한 비용을 산출하였다. 토지주택연구원 내 LID 시설의 점검은 평상 시 수행하는 정기 점검과 강우 시 수행하는 수시 점검으로 구분할 수 있다. 정기 점검은 월 1회, 수시 점검은 집중 호우 시 수행하는 것으로 가정하여 년 5회로 하였다. 투입 인력은 초급기술자와 보통인부 각 1인을 가정하였으며, 노임단가는 2023년 엔지니어링기술자 및 2023년 상반기 노임단가를 적용하였다[표 3-15].

[표 3-15] 토지주택연구원 내 LID 시설의 정기 점검에 소요되는 비용

구 분	인력구분	투입인력 (인)	횟수 (회/년)	인건비 단가 (원/인)	소계 (원)	합계 (원)
정기 점검	초급기술자*	1	12	217,342	2,608,104	4,492,920
	보통인부**	1	12	157,068	1,884,816	
수시 점검	초급기술자	1	5	217,342	1,086,710	1,872,050
	보통인부	1	5	157,068	785,340	
합 계						6,364,970

* : 2023년 엔지니어 노임단가 (한국엔지니어링협회, 2022)

** : 2023년 상반기 건설업 노임단가 (대한건설협회, 2022)

6.4 유지관리 방안별 소요 예산

토지주택연구원 부지 내 설치된 LID 시설의 유지관리 방안은 두 가지로 검토하였다. 1안은 식생 보식과 투수블록 세척을 포함한 유지관리 일체를 외부 전문기관에 위탁하는 것이며, 2안은 토지주택연구원 내 LID 시설 중 보완이 필요한 시설을 대 보수한 후 자체 시설관리팀이 관리하는 방안이다.

1) 1안 : 외부 전문업체 위탁

년 1회 정기적인 투수블록 세정, 정기적인 식생 관리, 정기 및 수시 점검을 외부 전문업체에 위탁하여 유지관리하는 방식이다. 기술료 경비 등을 포함하여 산정된 금액은 매년 2,300만 원 가량으로 산출되었다[표 3-16].

[표 3-16] 외부 전문업체에 위탁하는 방식의 유지관리 비용

구 분		규격	비용(천원/년)
시설 유지관리	투수블록 세정	2,183 m ² , 년 1회	10,000
	식생관리비	1,128 m ²	3,066
	소 계		13,066
시설점검	정기점검 ^{a)}		4,493
	수시점검 ^{b)}		1,872
	기술료 및 경비	[^{a)} + ^{b)}]의 30%	1,910
	소 계		8,275
부가가치세			2,134
합 계			23,475

2) 2안 : 시설 대보수 후 자체 시설팀 관리

토지주택연구원 내 LID 시설 중 보수가 시급한 시설을 대보수한 후 자체 시설팀이 관리하는 방안이다. 연간 소요되는 식생관리비 및 시설보수비는 외부 전문업체에 위탁하는 방식과 동일하게 산정하였다.

시급하게 보수가 요구되는 시설은 침투도랑 C와 해울관 맞은편에 있는 침투도랑 H이다. 두 시설은 주변 녹지에서 유출된 토사가 자갈 위에 퇴적되어 본래의 기능을 수행할 수 없는 실정이다. 해당 시설 내 퇴적된 토사와 자갈을 걷어낸 후 자갈을 다시 채우는 보수 작업을 가정하였다. 자갈은 당초 시설 내 자갈을 다시 활용하는 것으로 감안하여 최초 설치비의 50% 수준으로 가정하고 매년 물가상승률 3%, 기간 7년을 고려하여 1.2배를 곱하였다[표 3-17].

시설 대보수 후 자체 시설팀이 관리하는 경우 예상되는 비용은 3,060만 원 가량으로 산출되었다. 침투도랑의 준설 등 대보수는 상당한 양의 토사가 퇴적되었을 때

실시하므로 그 주기는 3년 내외가 적절할 것으로 판단된다. 따라서 침투도랑의 대보수를 고려하지 않는 해에는 투수블록 고압세척 비용인 1,000만 원과 식생형 시설 유지관리 비용 310만 원 가량을 합하여 1,310만 원이 소요될 것으로 예상되었다.

[표 3-17] 대보수 후 자체 관리하는 방식의 유지관리 비용

구 분		규격	비용(천원/년)	비고
시설 유지관리	투수블록 고압세척	2,183 m ² , 1회	10,000	매년 소요
	식생관리비	1,128 m ²	3,066	
대보수	침투도랑 C	170 m ²	11,500*	3년마다 소요
	침투도랑 H	70 m ²	6,000**	
합 계			30,566	

* : 최초 설치비 2,300만 원의 50%, 물가상승률 고려 1.2배

** : 최초 설치비 1,200만 원의 50%, 물가상승률 고려 1.2배

제4장 결론

도시의 물순환 개선을 위해 적용되고 있는 LID 시설의 유지관리 방안을 제시하였다. 이를 위해 LID 기법이 적용된 LH 토지주택연구원과 세종시 6-4생활권에 대한 현장 조사를 수행하였다. 유지관리 방안 제시와 아울러 유지관리에 소요되는 비용을 산출하였다. 연구내용은 LID 시설의 유지관리 현황, 투수블록으로 대표되는 침투형 시설의 투수성능 조사, LID 시설의 유지관리 방안으로 구분할 수 있으며, 연구수행을 통해 도출한 결론은 다음과 같다.

1. 식생형 LID 시설의 유지관리 현황 및 개선방안

빗물정원 E, C 및 빗물정원 L의 경우 당초 식재되었던 몇몇 식물은 고사하여 이를 대체할 수 있는 보식 계획이 필요하다. 겨울에는 대부분의 식물이 고사하여 경관을 확보할 수 없는 아쉬움이 있었다. 식물을 보식할 경우 사계절 경관을 확보할 수 있는 상록 식물에 대한 고려가 필요하다.

전술한 바와 같이 일부 식생은 고사하고 그 자리는 잔디를 비롯한 다른 식생으로 대체되었다. LID 시설의 목적은 불투수성 포장을 투수성 포장 또는 식생으로 변경함으로써 경관을 향상하고, 강우유출량과 오염물질 유출을 줄이고, 폭염 시 온도를 낮추기 위함이다. 빗물정원 E는 설치 후 6년의 시간이 경과하는 동안 식생의 변화는 있었지만, LID 시설이 갖는 기능은 상당 부분 유지하고 있다고 판단된다. 식생의 변화에도 불구하고 빗물정원의 설치 목적인 경관 개선, 유출량 및 오염물질 저감, 온도 저감의 기능 수행에는 큰 변화가 없다는 의미이다. 다만, 일부 식생이 고사되고 겨울에 대부분의 식생이 고사하여 경관이 확보되지 않는 점은 아쉽다. 경관 향상을 고려할 경우 일부 식생의 보식을 제안한다.

식생형 시설의 유지관리 수준은 현장 여건과 예산 범위를 고려하여 소극적 관리와 적극적 관리로 구분하여 관리하는 방안을 제안한다. 소극적 관리는 식생의 종류와 심미성을 고려하지 않고 일정 수준의 식생이 생육하는 수준으로 관리하는 방안이다. 이에 비해 적극적 관리는 식생의 보식 등을 통해 다양한 식생이 생육하고 충분한 수준의 경관성이 확보되는 관리 방안이라고 할 수 있다.

LID 시설의 목적인 유출량 및 오염물질 저감, 온도 저감, 경관 향상을 충실하게 달

성하기 위해서는 적극적 관리가 필요하나, 이는 예산과 전문인력 확보가 전제되어야 한다.

예산과 전문인력을 확보한 적극적인 관리가 이뤄지기 위해서는 관련 제도 정비와 사회적인 인식 전환이 필요하다. 따라서 적극적인 관리에 앞서 LID 시설의 기본적인 기능인 유출량 및 오염물질 저감, 온도저감 효과를 수행할 수 있도록 소극적 관리가 우선되어야 할 것이다.

2. 침투형 LID 시설의 유지관리 현황 및 개선방안

침투형 시설 중 침투도랑 C는 주변 녹지에서 토사가 다량 유입되어 경관성도 저하되고 투수성능도 낮은 것으로 판단된다. 해울관 맞은편 주차장과 녹지 공간 사이에 설치된 침투도랑 H도 비슷한 상황으로 관찰되었다. 침투도랑 C와 침투도랑 H는 준설을 통해 퇴적된 토사를 제거함으로써 본래의 투수성능을 유지할 수 있도록 하여야 한다. 투수블록 중 해울관 맞은편, 연못 옆에 설치된 투수블록은 인접한 녹지에서 유출되는 토사로 인한 공극 막힘으로 투수성능이 현저하게 저하된 상태이다. 토지주택연구원 내 투수블록의 투수성능을 평가한 결과, 해울관 앞과 토지주택대학교 앞 투수아스콘이 비교적 양호한 투수성능을 나타내어 3등급 수준을 유지했다. 투수성능이 등급 외로 판정된 지역은 주변 녹지에서 토사가 유입되는 곳이다. 토사 퇴적으로 투수블록의 공극이 막힘에 따라 투수성능이 저하된 것으로 판단된다.

이에 대한 대안으로는 녹지에서 유출되는 토사를 차단하고 투수블록의 표면 세척을 통해 투수성능을 개선하는 방법이 가능하다. 유의할 점은 투수블록의 성능을 개선하는 대책에 앞서 토사 유입을 차단하는 대책이 선결되어야 한다는 점이다. 토사 유입을 차단하기 위해 투수블록 주변부에 침투도랑을 설치하는 방법이 가능하다. 하지만 침투도랑 내 퇴적되는 토사를 주기적으로 제거해 주는 유지관리가 전제되어야만 침투도랑이 제 기능을 유지할 수 있다.

한편, 학이시습관 앞 투수블록은 시공 경과년수도 짧고 주변에서의 토사 유입도 없어 깨끗한 외관을 유지했음에도 투수성능은 매우 낮게 나타났다. 보조기층 시공 불량에 의심되어 블록을 들어내고 보조기층 시공 여부를 확인하였으나 보조기층 시공에 하자는 없는 것으로 판단되었다. 따라서 이 경우는 투수블록 자체의 하자로 판단할 수 있다.

투수블록의 투수성능 향상을 위한 대안으로 고압 세척이 효과가 있는 것으로 나타났다. 투수성능이 저하된 대부분의 투수블록이 고압세척을 실시한 후 투수성능이 향상되는 효과가 있었다. 이는 투수블록 표면에 퇴적되었던 토사 등이 고압세척에 의해 제거되면서 투수성능이 개선된 것으로 판단된다. 향후 투수블록의 성능 개선을 위해 고압세척 방법이 적용 가능한 대안으로 판단된다. 다만, 고압 세척 후 발생하는 탁수의 처리 방안에 대해서는 우수관 또는 하수관으로 유입되지 않도록 인근 LID 시설과 연계하여 처리하는 방안 등 별도의 대안이 마련되어야 한다. 하지만 고압세척 방법이 일부 투수블록에 대해서만 투수성능의 개선효과를 가져오고, 세척수 처리 문제가 있음을 고려할 때 투수블록의 투수성능을 개선하기 위한 적극적인 대안으로 제안하기에는 한계가 있을 것이다.

투수블록의 투수성능이 떨어지는 원인은 다양하다. 설계와 시공 단계에서는 투수블록 자체의 하자, 투수블록 하부 보조기층의 부실시공이 원인이 될 수 있으며, 유지관리 단계에서는 투수블록의 공극 막힘이 주요 원인이다. 이에 대한 대안으로는 설계와 시공 과정에서는 투수성능 등급이 높은 자재로 시공하고, 투수블록 하부의 보조기층은 석분이 없는 양질의 쇄석 등으로 채움으로써 빗물을 침투저류할 수 있는 충분한 공간을 확보해야 한다. 유지관리 단계에서는 녹지 등 주변에서 토사가 유입되지 않도록 관리하는 방안이 필요하다.

자재와 시공의 문제는 설계와 시공 단계에서 검토되어야 하는 사항이다. 토사 유입 문제도 유지관리의 고려사항이라기 보다는 시공 상의 문제로 판단된다. 침투형 시설이 녹지 주변에 설치되는 경우가 많기 때문에 토사 유입 방지대책이 전제되지 않으면 침투형 시설의 투수성능 유지를 기대할 수 없다. 따라서 침투형 시설 적용할 때는 반드시 토사 유입 방지대책이 함께 고려되어야 한다.

3. LID 시설의 유지관리 비용

식생형 시설의 단위 제곱미터 당 유지관리에 필요한 비용은 2,716 원/m²으로 산출되었다. 이는 식물을 추가로 식재하는 보식 및 보수와 관련된 비용이 포함되지 않은 최소한의 비용이다.

산출된 유지관리 비용 단가에 토지주택연구원 내 식생형 LID 시설의 면적 1,128 m²을 적용하면 연간 유지관리 비용은 310만 원 가량으로 예상되었다. 이 비용은

현재 상태로 최소한의 유지관리를 전제로 산출한 인건비 비용으로 경비는 포함되지 않았다. 식재를 추가로 보식하거나 시설의 보수가 있을 경우 해당 비용은 별도 계산이 필요하다.

침투형 시설은 토지주택연구원의 투수블록 2,183 m²을 고압세척하는데 소요된 비용을 토대로 1,000 m²의 투수블록을 세척하는데 필요한 비용을 산출하였다. 이를 토대로 제곱미터 당 연간 소요비용을 계산하면 4,580원/m²·년이 소요될 것으로 예상되었다. 이 비용에는 세척장비 구입비와 수도료가 산정되지 않았기 때문에 해당 비용은 별도 계산이 필요하다.

참고문헌

- 건전한 도시 물순환 인프라의 저영향개발 및 구축운영 기술 연구단, 2018, 한국형 저영향개발 모니터링 및 유지관리 가이드라인.
- 국립환경과학원, 2011, 수질오염총량관리를 위한 비점오염저감시설 유지관리 실적대장 작성지침.
- 국립환경과학원, 2012, 수질오염총량관리를 위한 비점오염원 최적관리지침.
- 국토교통부, 2017, 물관리 연구사업 6차 년도 최종보고서.
- 대한건설협회, 2022, 2023년 상반기 적용 건설업 임금 실태 조사 보고서.
- 서울특별시, 2013a, 서울특별시 빗물관리 기본계획 가이드라인.
- 서울특별시, 2013b, 투수블록포장 설계, 시공 및 유지관리 기준.
- 서울특별시, 2016, 빗물마을조성 기본 및 실시설계 보고서.
- 소방방재청, 2010, 우수유출저감시설의 종류구조설치 및 유지관리 기준.
- 최혜선, 황단비, 조혜진, 김이형, 2017, LID에 대한 시민 인식과 주민 참여를 통한 유지관리 가이드라인 구축, 2017년 대한토목학회 정기학술대회 발표자료집, pp.1585-1586.
- 토지주택연구원, 2015, 평택·고덕신도시 저영향개발기법(LID) 도입 방안에 관한 연구(I).
- 한국건설기술연구원, 2012, 도로배수시설 설계 및 유지관리 지침연구 최종보고서.
- 한국수자원공사, 2012, 수변구역 LID 적용 마스터플랜수립-LID 시설 유지관리지침.
- 한국엔지니어링협회, 2022, 2022 엔지니어링 업체 임금실태 조사 결과.
- 한국토지주택공사, 2017, LID 단지재생 시범단지 조성 백서.
- 한국환경공단, 2016, 빗물유출제로화 단지조성(1단계) 시범사업 유지관리 및 효과평가 연구용역 보고서.
- 환경부, 2009, LID 기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련.
- 환경부, 2013, 전국 불투수면적률 조사 및 개선방안 연구.
- 환경부, 2014, 비점오염 저감시설의 설치 및 관라운영 매뉴얼.
- 환경부, 2022, 물환경보전법.

환경부, 행정중심복합도시건설청, LH, 한국환경공단, 2016, 저영향개발 기법 설계 가이드라인

환경부, 행정중심복합도시건설청, LH, 한국환경공단, 2018, 저영향개발 기법 조경경관
가이드라인

환경부, 행정중심복합도시건설청, LH, 한국환경공단, 2020, 저영향개발 기법 시공 가이드라인

부록 : LID 기법에 적용 가능한 식물 목록

출처: 저영향개발 기법 조경경관 가이드라인(환경부 등, 2018)

부록

LID 기법에 적용 가능한 식물 목록



01 교목

번호	분포	성상	식물명	학명	수고 (m)	내 습 성	내 건 성	내 염 성	내 한 성	음양향성	토양	계절별 감성요소 (월)											
												1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	전국	낙엽활엽	귀룽나무	Prunus padus	15~20	중	중	강	강	음	사질양토			잎	꽃		잎					단풍	
2	남부	낙엽활엽	노각나무	Stewartia pseudocamellia	7~15	중	중	강	강	반음,음	사질양토	수피 (열목)			잎		꽃					단풍	
3	남부	상록활엽	복나무	Cinnamomum camphora	20	강	중	약	약	중용	적운지	잎		잎		꽃					잎		
4	전국	낙엽활엽	노티나무	Zelkova serrata	20~30	중	중	중	강	중용	사질양토					잎					단풍		
5	전국	낙엽활엽	응수버들	Salix pseudolasiogyne	20	강	중	강	강	양	사질양토					잎					단풍		
6	전국	낙엽활엽	단풍나무	Acer palmatum	10	중	중	중	강	중용	사질양토					잎					단풍		
7	전국	낙엽활엽	매죽나무	Styrax japonicus	10~15	중	강	강	강	중용	가리지않음			잎	꽃		잎				단풍		
8	전국	낙엽활엽	마기록	Sorbus commixta	6~8	중	중	중	강	음	사질양토			잎		꽃		잎			열매		
9	남부	상록활엽	먼나무	Ilex rotunda	10~15	중	약	강	약	중용	사질양토	열매					잎					열매	
10	남해안	낙엽활엽	모감주나무	Koelreuteria paniculata	10	중	강	강	강	양	가리지않음				잎	꽃		잎			단풍		
11	전국	낙엽활엽	물푸레나무	Fraxinus rhynchophylla	15~20	강	약	강	강	중용	사질양토			잎	꽃						단풍		
12	전국	낙엽활엽	배롱나무	Lagerstroemia indica	5~10	중	강	강	약	양	사질양토					잎		꽃			단풍		

번호	분포	성상	식물명	학명	수고 (m)	내 습 성	내 건 성	내 염 성	내 한 성	음 양 성	토양	계절별 감상요소 (월)											
												1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	전국	낙엽활엽	백합나무	Liriodendron tulipifera	30	중	강	약	강	중용	미사질양토			잎	꽃	잎					단풍		
14	전국	낙엽활엽	버드나무	Salix koreensis	15~20	강	중	약	강	양	가리지않음				잎					단풍			
15	중부이남	낙엽활엽	복자기	Acer triflorum	15~20	중	중	약	강	음	사질양토				잎					단풍			
16	중부이남	낙엽활엽	산딸나무	Cornus kousa	5~10	중	약	약	강	중용	사질양토				잎	꽃	잎			엽매·단풍	단풍		
17	전국	낙엽활엽	산사나무	Crataegus pinnatifida	5~6	중	중	중	강	양	가리지않음				잎	꽃	잎			엽매·단풍			
18	중부이남	낙엽활엽	산수유	Cornus officinalis	5~10	중	중	약	강	양	사질양토			꽃			잎			엽매·단풍			
19	전국	상록침엽	소나무	Pinus densiflora	20~30	약	강	중	강	양	사질양토						잎						
20	전국	낙엽활엽	신나무	Acer tataricum subsp.	5~10	중	중	중	강	음	사질양토			잎	꽃		잎			단풍			
21	전국	낙엽활엽	오리나무	Alnus japonica	15~10	중	중	중	강	양	사질양토				잎					단풍			
22	전국	낙엽활엽	은행나무	Ginkgo biloba	60	강	강	강	강	양	사질양토				잎					단풍			
23	중부이남	낙엽활엽	이팝나무	Chionanthus retusus	25	중	약	강	강	양	사질양토			잎	꽃		잎			엽매	단풍		
24	전국	낙엽활엽	자귀나무	Albizia julibrissin	5~10	중	강	강	중	양	가리지않음				잎	꽃	꽃						
25	전국	상록침엽	주목	Taxus cuspidata	15~20	중	중	강	강	음	사질양토				잎				엽매		잎		
26	중부이남	낙엽활엽	참느릅나무	Ulmus parvifolia	15	중	강	강	강	중용	사질양토				잎				꽃		단풍		
27	전국	낙엽활엽	충칭나무	Cornus controversa	10~20	중	약	중	강	중용	점질양토			잎	꽃		잎		엽매				
28	남부	낙엽활엽	팽나무	Celtis sinensis	15~20	중	강	강	강	중용	가리지않음					잎			잎				
29	남부	상록활엽	황칠나무	Dendropanax moribifera	10~15	중	약	강	약	음	사질양토	엽매										엽매	

02 관목

번호	분포	성상	식물명	학명	수고 (m)	내 습성	내 건성	내 염성	내 한성	음양 성	토양	계절별 감상요소 (월)											
												1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	남부	낙엽활엽	기마살나무	Viburnum dilatatum	2~3	중	강	강	강	중용	거리지않음					꽃				열매			
2	전국	낙엽활엽	갯버들	Salix gracilistyla	2~3	강	약	강	강	양	사질양토		꽃눈	꽃									
3	전국	낙엽활엽	고광나무	Philadelphus schrenkii	2~4	약	강	중	강	양	거리지않음					꽃							
4	남부	상록활엽	광나무	Ligustrum japonicum	3~5	중	중	강	중	중용	거리지않음	열매	열매	잎	꽃	꽃	잎	꽃	잎	열매	열매	열매	열매
5	남부	상록활엽	금목서	Osmanthus fragrans var. aurantiacus	4~5	중	중	중	약	중용	사질양토					잎					꽃		
6	중부	낙엽활엽	꼬리조팝나무	Spiraea salicifolia	1~1.5	강	중	강	강	양지	양토						꽃						
7	중부이남	반상록	꽃댕강나무	Abelia grandiflora	2	중	중	강	강	중용	사질양토			잎			꽃				잎		
8	남부	상록활엽	평광나무	Ilex crenata	4~6	중	중	강	약	중용	사질양토					잎				열매	열매	열매	열매
9	전국	낙엽활엽	나무수국	Hydrangea paniculata	2~4	중	강	약	강	양	거리지않음							꽃					
10	전국	낙엽활엽	낙상홍	Ilex serrata	3~5	중	강	강	강	양,중용	거리지않음	열매	열매				꽃			열매	열매	열매	열매
11	중부이남	상록활엽	넙친	Nandina domestica	2~3	중	약	중	중	중용	사질양토	열매·단풍	열매·단풍	잎	꽃	꽃	잎	꽃	잎	열매·단풍	열매·단풍	열매·단풍	열매·단풍
12	전국	상록초엽	눈주목	Taxus cuspidata var. nana	1~2	중	중	중	강	음	사질양토				잎					열매	열매	열매	열매
13	남부	상록활엽	다정큼나무	Raphiolepis indica var. umbellata	2~4	약	중	강	약	양,중용	사질양토		잎			꽃				잎			
14	남해안	상록활엽	돈나무	Pittoporum tobira	2~3	중	강	강	약	양,중용	사질양토		잎			꽃				잎			열매
15	전국	낙엽활엽	말뼉도리	Dutzia parviflora	1~2	강	강	강	강	양,중용	거리지않음					꽃							

번호	분포	성상	식물명	학명	수고 (m)	내 습성	내 건조성	내 염성	내 한성	음양성	토양	계절별 감상요소 (월)											
												1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
16	전국	낙엽활엽	병꽃나무	Weigela subsessilis	2~3	중	중	강	강	중용	가리지않음					꽃							
17	중부이남	낙엽활엽	병이리꽃나무	Rhodotypos scandens	2	강	중	강	강	반음	가리지않음				꽃								
18	전국	낙엽활엽	분꽃나무	Viburnum carlesii	2	약	강	강	강	중용	사질양토				꽃								
19	전국	낙엽관목	붉은병꽃나무	Weigela florida	2~3	약	강	강	강	양	가리지않음					꽃							
20	전국	상록활엽	사철나무	Euonymus japonica	3~5	중	강	강	강	양	가리지않음	잎				꽃		잎	꽃	잎	열매	꽃	잎
21	중부	낙엽활엽	산수국	Hydrangea serrata	1	강	중	중	강	반음	가리지않음					꽃							
22	전국	낙엽활엽	산철쭉	Rhododendron yedoense var. poukhanense	1~2	강	강	강	강	양,중용	사질양토				꽃								
23	전국	낙엽활엽	삼색버드나무	Salix integra "Hakuro - Nishiki"	2	중	강	강	강	양	가리지않음				잎			잎					
24	전국	낙엽활엽	삼색조팝나무	Spiraea japonica "Gold Flame"	0.8~1	중	약	중	강	양	사질양토					잎		꽃		꽃	잎		
25	전국	낙엽활엽	수국	Hydrangea macrophylla	1~2	강	중	중	약	반음	사질양토					꽃							
26	전국	낙엽활엽	수수꽃다리	Syringa oblata var. dilatata	3~5	약	강	강	강	중용	가리지않음				꽃								
27	중부	낙엽활엽	쉬땀나무	Sorbaria sorbifolia var. stellipila	2	중	중	약	강	중용	가리지않음					꽃							
28	남부	상록활엽	식나무	Aucuba japonica	3	중	약	약	약	음	점질양토	잎									열매		
29	전국	상록활엽	영산홍	Rhododendron indicum	3~5	중	중	강	중	양	사질양토	잎			꽃			잎					
30	남부	상록활엽	은목서	Osmanthus. asiaticus	4~5	중	중	약	중	중용	양토	잎								꽃		잎	
31	전국	낙엽활엽	조팝나무	Spiraea prunifolia for. simpliciflora	1.5~2	중	강	중	강	중용	가리지않음				꽃								

번호	분포	성상	식물명	학명	수고 (m)	내 습성	내 건성	내 염성	내 한성	음양성	토양	계절별 감상요소 (월)											
												1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
32	전국	낙엽활엽	종적살나무	Callicarpa dichotoma	1~3	중	중	강	강	중용	가리지않음							꽃		열매			
33	전국	낙엽활엽	종조팝나무	Spiraea microgyna	0.15~0.3		강	중	강	양	사질양토					잎		꽃		잎			
34	전국	낙엽활엽	쥐똥나무	Ligustrum obtusifolium	3~5	중	중	강	강	중용	점질양토					꽃				열매			
35	남부	상록활엽	차나무	Thea sinensis	4~8	중	강	약	중	중용	가리지않음					잎				꽃		잎	
36	남부	상록활엽	치자나무	Gardenia jasminoides for. grandiflora	3	중	약	강	강	중용	사질양토					꽃		잎		열매			
37	전국	낙엽활엽	키버들	Salix koriyanagi	2~3	강	약	중	강	양	점질토		꽃눈										
38	전국	낙엽활엽	화살나무	Euonymus alatus	2~3	중	강	강	강	중용	가리지않음		가지			꽃			열매·단풍			가지	
39	전국	낙엽활엽	황금조팝나무	Spiraea japonica	0.8~1	중	중	중	강	양	사질양토				잎		꽃		잎				
40	전국	상록활엽	황매화	Kerria japonica	3	강	약	중	강	중용	가리지않음		가지			꽃						가지	
41	전국	낙엽활엽	화양목	Buxus koreana	2~3	약	강	중	강	중용	사질양토						잎						
42	전국	낙엽활엽	흰말채나무	Cornus alba	2~3	강	강	약	강	중용	사질양토	가지			잎	꽃				· 잎		가지	

03 초화류

번호	분포	성상	식물명	학명	수고/ 길이 (m)	내 습성	내 건조성	내 염성	내 한성	음양성	토양	식재 분수 (㎡)	계절별 감상요소 (월)											
													1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	전국	낙엽	기우라 ¹⁾	<i>Gaura lindheimeri</i>	0.6~0.8	약	중	약	강	양,반음	사질양토	30							꽃					
2	전국	낙엽	감국	<i>Dendranthema indicum</i>	0.5~0.8	약	강	강	강	양	사질토	30						잎				꽃		
3	전국	낙엽	고비	<i>Osmunda japonica</i>	0.2~0.4	강	중	약	강	음,반음	사질양토	15						잎						
4	전국	낙엽	관중	<i>Dryopteris crassirhizoma</i>	0.2~0.4	중	중	중	강	음,반음	비옥토	15						잎						
5	전국	낙엽	구절초	<i>Dendranthema zawadskii</i> var. <i>latilobum</i>	0.3~0.5	약	강	강	강	양	사질토	30						잎				꽃		
6	전국	낙엽	금계국	<i>Coreopsis drummondii</i>	0.3~0.4	중	강	약	강	양	사질양토	30					꽃							
7	전국	낙엽	금평의다리	<i>Thalictrum rochebrunianum</i>	0.8~1.2	강	중	중	강	양	적습지	30					잎	꽃				잎		
8	전국	낙엽	금낭화	<i>Dicentra spectabilis</i>	0.4~0.6	약	강	중	강	양,반음	사질양토	30					꽃							
9	전국	낙엽	금불초	<i>Inula britannica</i> var. <i>japonica</i>	0.3~0.6	강	강	중	강	양	사질양토	30						꽃						
10	전국	상록	기린초	<i>Sedum kamtschaticum</i>	0.1~0.2	약	강	강	강	양	점질양토	45				잎	꽃					잎		
11	전국	낙엽	까치수염	<i>Lysimachia barystachys</i>	0.5~1	강	강	중	강	양	사질토	30				잎		꽃				잎		
12	전국	낙엽	꼬리풀	<i>Veronica linariifolia</i>	0.5~0.8	중	중	중	강	양	부엽질토	30						꽃						
13	전국	낙엽	꽃범의꼬리	<i>Physostegia virginiana</i>	0.6~0.8	강	중	중	강	양	사질양토	30							꽃					
14	전국	낙엽	꽃장포	<i>Iris ensata</i> var. <i>spontanea</i>	0.5~1	강	강	중	강	양	사질토	45				잎	꽃					잎		
15	전국	낙엽	꽃풀	<i>Prunella vulgaris</i> var. <i>lilacina</i>	0.3	강	중	중	강	양,반음	점질토	30						꽃						
16	전국	낙엽	노랑꽃장포	<i>Iris pseudacorus</i>	0.5~0.8	강	중	중	강	양	사질양토	30						꽃						

번호	분포	성상	식물명	학명	수고/ 길이 (m)	내 습성	내 건성	내 염성	내 한성	응양성	토양	식재 면적 (㎡)	계절별 감상요소 (월)											
													1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17	전국	낙엽	노루오줌	<i>Astilbe rubran</i>	0.4~0.7	강	중	중	강	양반음	점질토	30					꽃							
18	전국	상록	돌나물	<i>Sedum sarmentosum</i>	0.5~0.15	중	강	중	강	양	사질토	45				꽃		잎						
19	중부 이북	낙엽	돌단풍	<i>Mukdenia rossii</i>	0.15~0.3	강	강	중	강	양	사질양토	45				꽃		잎		잎				
20	전국	낙엽	동의나물	<i>Caltha palustris</i>	0.15~0.3	강	강	약	강	양반음	사질토	30				꽃								
21	전국	낙엽	동자꽃	<i>Lychnis cognata</i>	0.6~0.8	중	약	약	강	양반음	비옥토	45					꽃							
22	중부 이북	낙엽	두메부추	<i>Allium senescens</i>	0.2~0.3	약	강	약	강	양	점질양토	45				잎		꽃				잎		
23	전국	낙엽	동그임 평의비름	<i>Hylotelephium ussuriense</i>	0.4~0.6	중	강	중	강	양	사질토	45				잎		꽃				잎		
24	전국	낙엽	등글레	<i>Polygonatum odoratum var. pluriflorum</i>	0.2~0.3	약	강	중	강	양반음	사질양토	45			잎	꽃		잎						
25	전국	낙엽	띠	<i>Imperata cylindrica var. koenigii</i>	0.3~0.6	중	강	강	강	양	가리지않음	30			잎	꽃			잎					
26	전국	낙엽	리시미카 ¹⁾	<i>Lysimachia nummularia</i>	0.05~0.1	약	강	중	강	양	사질양토	45				잎	꽃			잎				
27	전국	낙엽	리아트리스 ¹⁾	<i>Liatris spicata</i>	0.5~0.7	중	강	중	강	양	시양토	45					꽃							
28	전국	낙엽	마기렛 ¹⁾	<i>Chrysanthemum frutescens</i>	0.3~0.6	중	강	강	강	양	사질양토	30					꽃							
29	남부	상록	미삭줄 ²⁾	<i>Trachelospermum asiaticum</i>	5	약	강	강	중	양반음	사질양토	30	잎			꽃				잎				
30	전국	낙엽	매발톱	<i>Aquilegia buergeriana var. oxysepala</i>	0.5~1	중	강	중	강	양반음	사질양토	45			잎	꽃		잎						
31	전국	낙엽	매자기	<i>Bolboschoenus maritimus</i>	0.8~1	강	약	중	강	양	사질토	30			잎	꽃		꽃		잎				
32	전국	상록	백문동	<i>Liriope platyphylla</i>	0.2~0.3	중	중	강	강	음반음	부식질	30	잎				꽃			잎				
33	전국	낙엽	무늬등글레	<i>Polygonatum odoratum var. pluriflorum for. variegatum</i>	0.2~0.3	약	강	중	강	양반음	가리지않음	7본/m			잎	꽃		꽃						
34	전국	낙엽	무늬여새	<i>Miscanthus sinensis 'Variegatus'</i>	1~1.5	약	강	중	강	양	사질양토	30					잎			꽃				

번호	분포	성상	식물명	학명	수고/ 길이 (m)	내 습 성	내 건 성	내 염 성	내 한 성	음 양 성	토양	식재 분수 (㎡)	계절별 감상요소 (월)											
													1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
35	전국	낙엽	물레나물	Hypericum ascyron	0.5~0.8	강	강	강	강	양·반음	사질양토	45						꽃						
36	중부 이남	상록	비위취	Saxifraga stolonifera	0.1~0.2	강	강	약	강	음·반음	사질토	30	잎				꽃				잎			
37	전국	낙엽	배초향	Agastache rugosa	0.5~0.8	약	강	중	강	양	사질양토	45					꽃							
38	남부	낙엽	벌개미취	Aster koraiensis	0.3~0.6	강	중	중	중	양	양토	45				잎		꽃						
39	전국	낙엽	범부채	Belamcanda chinensis	0.5~0.8	중	강	강	중	양·반음	사질양토	30				잎		꽃	꽃		잎			
40	전국	낙엽	부채붓꽃	Iris setosa	0.3~0.6	강	약	중	강	양·반음	점질양토	30				잎	꽃		잎					
41	전국	낙엽	부처꽃	Lythrum anceps	0.5~1	강	중	중	강	양	사질양토	30					꽃							
42	전국	낙엽	붓꽃	Iris sanguinea	0.3~0.6	강	강	강	강	양·반음	척박토	45				잎	꽃		잎					
43	전국	낙엽	비비추	Hosta longipes	0.2~0.4	강	강	중	강	양·반음	사질양토	30				잎		꽃			잎			
44	남부	상록	빈카리아나 ³⁾	Vinca minor	지피성	약	중	중	중	양·반음	사질양토	30	잎				꽃				잎			
45	전국	상록 활엽	사시조릿대	Plioblastus pygmaed	0.4~0.6	중	중	중	강	양·반음	사질양토	50					잎							
46	전국	낙엽	산국	Dendranthema boreale	0.5~0.8	약	강	중	강	양	사질토	30					잎				꽃			
47	남부	상록	상록패랭이	Dianthus chinensis var. chinensis	0.1~0.2	중	중	약	중	양	양토	45	잎			꽃				잎				
48	전국	낙엽	석잠풀	Stachys japonica	0.3~0.6	강	중	중	강	양	사질토	30				잎		꽃			잎			
49	전국	상록	석창포	Acorus gramineus	0.2~0.3	강	중	약	강	음·반음	사질양토	30	잎				꽃				잎			
50	전국	상록	섬기린초	Sedum takesimense	0.1~0.2	약	강	강	강	양	사질양토	45				잎		꽃	꽃		잎			
51	전국	낙엽	섬초롱꽃	Campanula takesimana	0.3~0.5	중	강	강	강	양·반음	사질양토	30				잎		꽃			잎			
52	전국	상록	속새	Equisetum hyemale	0.3~0.6	강	중	중	강	양·반음	사질양토	45					잎							

번호	분포	성상	식물명	학명	수고/ 길이 (m)	내 습 성	내 건 성	내 염 성	내 한 성	음향 성	토양	식재 분수 (㎡)	계절별 감상요소 (월)											
													1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
53	남부	상록	송아 ²⁾	Hedera rhombea	5	중	중	중	중	음반음	사질양토	45	잎											
54	전국	낙엽	수선화	Narcissus tazetta var. chinensis	0.2~0.5	중	중	중	강	양반음	사질양토	30		꽃										
55	전국	낙엽	수크령	Pennisetum alopecuroides	0.6~0.6	강	강	중	강	양	기리지않음	45				잎		꽃			잎			
56	전국	상록	수호초	Pachysandra terminalis	0.1~0.25	약	강	중	강	음반음	양토	45	잎	꽃					잎					
57	전국	낙엽	숙근꽃향유	Elsholtzia splendens	0.4~0.6	약	강	약	강	양	건조지	30								꽃				
58	전국	상록	실유카	Yucca filamentosa	1~1.3	약	강	중	강	양	사질양토	15	잎				꽃					잎		
59	전국	낙엽	쑥부쟁이	Aster yomena	0.5~0.7	강	중	중	강	양	기리지않음	30				잎			꽃					
60	전국	상록	아주가	Ajuga reptans	0.1~0.2		강	중	강	음반음	사질양토	45	잎			꽃					잎			
61	전국	낙엽	앵초	Primula sieboldii	0.1~0.15	강	중	중	강	양반음	사질양토	45		꽃				잎						
62	전국	낙엽	억새	Miscanthus sinensis var. purpurascens	1~1.5	약	강	중	강	양	척박지	30					잎				꽃			
63	전국	낙엽	옥잠화	Hosta plantaginea	0.3~0.5	중	중	약	강	음반음	사질양토	30				잎		꽃				잎		
64	전국	낙엽	원추리	Hemerocallis fulva	0.5~1	강	강	강	강	양	사질토	30						잎						
65	전국	낙엽	은방울꽃	Convallaria keiskei	0.2~0.3	약	강	약	강	양반음	양토	45				꽃								
66	전국	상록	인동덩굴 ²⁾	Lonicera japonica	5	약	중	강	강	양반음	사질양토	7본/m	잎			꽃						잎		
67	전국	낙엽	일월비비추	Hosta capitata	0.2~0.4	강	강	중	강	양반음	사질양토	30				잎		꽃			잎			
68	전국	낙엽	좀비비추	Hosta minor	0.2~0.4	강	강	중	강	양반음	사질양토	30				잎		꽃			잎			
69	전국	낙엽	좁쌀꽃	Lysimachia vulgaris var. davurica	0.4~0.8		약	중	강	양반음	점질양토	45					꽃							
70	전국	낙엽	종지나물	Viola papilionacea	0.1~0.2	약	강	약	강	양반음	기리지않음	45		꽃						잎				

번호	분포	성상	식물명	학명	수고/ 길이 (m)	내 습 성	내 건 성	내 염 성	내 한 성	응양성	토양	식재 본수 (㎡)	계절별 감상요소 (월)														
													1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
71	전국	낙엽	줄	Zizania latifolia	0.8~1.5	강	약	중	강	양	점토	30						잎	꽃				잎				
72	전국	상록	줄사철나무 ²⁾	Euonymus fortunei var. radicans	5	중	강	강	강	양,반음	사질양토	45					잎										
73	전국	낙엽	지리대사초	Carex okamotoi	0.2~0.3	약	강	중	강	음,반음	사질양토	45					잎										
74	전국	낙엽	참나리	Lilium lancifolium	0.5~1	약	강	강	강	양,반음	사질토	45							꽃								
75	전국	낙엽	장포	Acorus calamus	0.4~0.6		중	약	강	양	비옥토	30				잎	꽃			잎							
76	남부	낙엽	충꽃나무	Caryopteris incana	0.3~0.6	약	강	강	강	양	사질양토	45							꽃								
77	전국	낙엽	큰평의버들	Hytotelephium spectabile	0.4~0.6	약	강	중	강	양	척박지	45						꽃		꽃		잎					
78	전국	낙엽	타리풀	Filipendula glaberrima	0.5~1	강	중	약	강	양,반음	사질양토	45							꽃								
79	남부	상록	털머위	Farfugium japonicum	0.3~0.6	중	강	강	중	음,반음	부엽토	30		잎									꽃		잎		
80	전국	낙엽	툼풀	Achillea alpina	0.5~1	강	강	중	강	양	사질양토	30				잎	꽃			잎							
81	전국	낙엽	풀합죽도	Phlox paniculata	0.8~1	약	중	중	강	양	사질양토	30				잎		꽃		잎							
82	전국	낙엽	하늘나리	Lilium concolor	0.3~0.6	약	강	약	강	양,반음	사질양토	45						꽃									
83	전국	낙엽	하늘매발톱	Aquilegia japonica	0.5~1	약	강	약	강	양,반음	점질양토	30				잎	꽃			잎							
84	전국	낙엽	해국	Aster spathulifolius	0.3~0.6	약	강	강	중	양	가리지않음	30								꽃							
85	남부	상록	헬레보리스 ¹⁾	Helleborus orientalis	0.2~0.4	강	강	중	중	양,반음	사질양토	30	잎	꽃				잎									
86	전국	낙엽	흰갈대	Phalaris arundinacea var. picta	0.8~1.5	강	강	중	강	양	가리지않음	30			잎		꽃			잎					잎		

1) 원예종
2) 담글식물
3) 원예종 및 명물식물