

도시 침수취약지역 물순환 회복을 위한 정책 방안 연구

A study on policy measures to restore water circulation
in areas vulnerable to flooding in cities

최석환

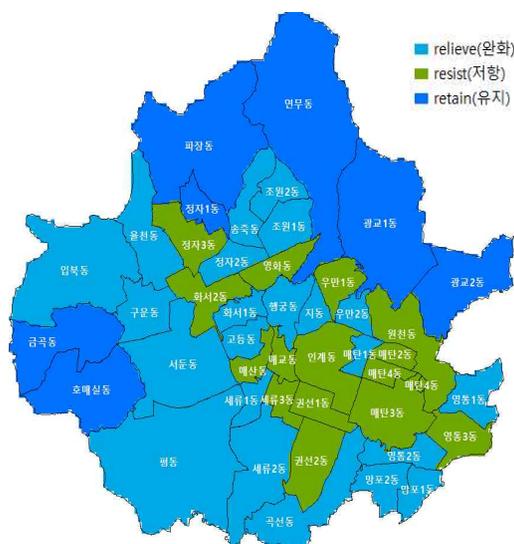
연구요약

연구목적

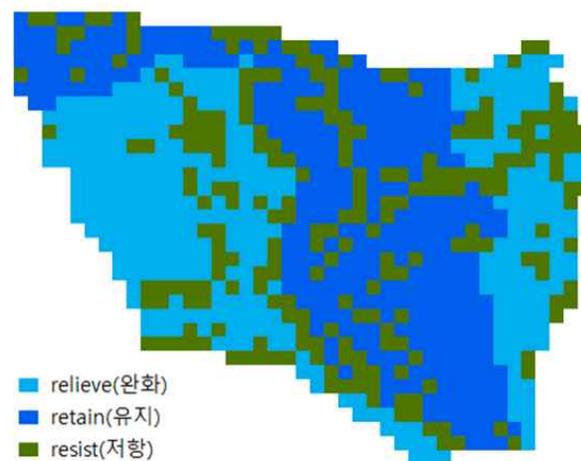
- 도시 물순환 개선에 관한 최근 방향은 빗물을 관리하고 물 처리 능력을 개선하기 위해 기존 인프라와 새로운 인프라 간의 연결을 고려해야 함을 강조함
- 이에 본 연구에서는 공간계획 의사결정을 지원하기 위해 도시 물순환 회복을 위한 연구사례와 관련 기술·정책 및 법·제도를 검토하고 수원시 전체와 침수취약지역 중 하나의 시범대상지를 선정, 물순환 회복 효과를 극대화할 수 있는 그린-그레이 인프라 도입 방안을 제시하고자 함

주요 내용 및 결과

- 물순환 회복 효과를 극대화할 수 있는 기술·정책으로써 최근 다양한 연구에서 활용하는 개념인 ‘그린-그레이 인프라’ 용어를 활용하였으며, 기술·정책 효과를 극대화할 수 있는 도입 방안을 제시함에 있어 기여 및 영향 영역 분류 방법에 대한 선행연구를 기반으로 수문모형을 활용한 분석을 수행함
- 분석에 따라 4가지 상호운용성 유형(1. no intervention, 2. retain, 3. relieve, 4. resist)으로 분류될 수 있는데, 각각 개입이 필요하지 않은 구역, 침투능력 개선이 필요한 구역, 저류능력 개선이 필요한 구역, 구조적 조치가 필요한 구역으로 특성화할 수 있음



수원시 동단위 물순환 상호운용성 유형화



시범대상지 물순환 상호운용성 유형화

정책제언

- 극한강우사상의 시공간적 변동이 높고 빈도와 강도가 점차 높아지는 최근의 강우패턴을 고려했을 때 도시홍수는 피할 수 없는 영역이므로 리스크나 외부 충격에 극복하기 위해 시스템의 역량 자체를 향상시키는 것이 재난관리의 예방, 준비 단계에서 요구됨
- 이러한 배경 하에 본 연구에서는 신규 재생계획 등을 수립함에 있어 홍수에 대한 회복력을 고려한 입지 설정을 통해 공간계획의 타당성을 사전에 진단할 수 있는 방향성을 제시하고자 하였으며 수원시 행정구역 단위 및 시범대상지에 대한 공간계획 전략을 다음과 같이 제안함
- 수원시 행정구역 단위의 상호운용성 유형화 결과를 통해 다음과 같은 공간계획 전략 제안 가능함
 - 정자동, 화서동, 영화동, 인계동, 매탄동 등은 잠재적 영향이 큰 지역으로 분류됨에 따라 하수관거 재정비사업이나 펌프장 신설 등 구조적 사업 도입 필요
 - 광교산, 칠보산 등 산림에 인접한 북부 및 서부지역 일부 동(연무동, 파장동, 광고동, 금곡동, 호매실동)은 기존 녹지축와의 연결성을 높일 수 있도록 침투능력 중심의 기술·정책 도입 및 확장 필요하며 그 밖의 지역은 저류기능을 강화할 수 있는 시설 도입 검토
- 탄소중립 그린도시 대상지인 고색동 주요계획시설 별 그린-그레이 인프라 도입 방향성을 제안함
 - 권선구 행정타운과 고색동 노후 주거단지는 기존 녹지 공간과 통합하여 침투 및 보유하는 우수의 양을 최대화하는 데 중점을 둔 그린인프라 시설 계획 필요
 - 호매실동 아파트 단지 및 상가와 델타플렉스 산업단지는 저류 기능을 활성화할 수 있는 오픈 스페이스 도입과 침투능력 중심의 그린인프라의 적절한 배치 중요
 - 하천변 등 저지대 구역 일대는 홍수로부터 건물을 보호할 수 있는, 즉 하수관거 확장 등 즉각적 효과를 도출할 수 있는 전략 도입 고려
- 상호운용성 유형별 적합한 물순환 회복 정책·기술을 다음과 같이 제안함
 - (유지 구역) 침투저류지, 침투도랑, 식생여과대, 식생수로, 식생체류지, 나무여과상자 등
 - (완화 구역) 연못형 저류지, 공원·운동장·지하주차장 등 기존 인프라 활용한 저류조 등
 - (저항 구역) 하수관거정비사업, 빗물펌프장 신설 등

차례

제1장 서론

제1절 연구 배경 및 목적	3
제2절 연구 범위 및 방법	5

제2장 물순환 회복 관련 국내·외 연구동향

제1절 도시 물순환 회복 정책	9
제2절 물순환 회복 기술 및 기술요소	27

제3장 시범대상지 물순환 회복 정책 도입방안

제1절 시범대상지 현황	35
제2절 물순환 회복 정책 도입방안	43

제4장 결론

제1절 연구의 의의 및 한계	55
제2절 정책적 제언	56

표차례

표 2-1 그린인프라 효과	10
표 2-2 나라별 LID 관련 개념 및 특징	13
표 2-3 WSUD에 사용된 기법 및 기능	15
표 2-4 쿠퍼스부쉬 주거단지의 단계별 빗물운영기법	17
표 2-5 일본 세타가야구 후카사와 환경공생주택 주요 기법	19
표 2-6 토지이용별 빗물처리시설	20
표 2-7 물순환 관련 법조항	23
표 2-8 수원시 통합 물순환 관리 전략에 따른 중점과제	25
표 2-9 LID 기술요소 선정을 위한 기초조사 항목	27
표 2-10 LID 기법 구분	27
표 2-11 식생수로 종류	28
표 2-12 LID 식생형 시설 기술요소	29
표 2-13 LID 침투시설 기술요소	31
표 2-14 LID 빗물이용시설 기술요소	32
표 3-1 대상 지역 공원 및 녹지 현황	37
표 3-2 대상 지역 토지피복 및 면적 비율	38
표 3-3 대상 지역 불투수율	39
표 3-4 대상 지역 표고 및 경사도분석	41
표 3-5 대상 지역 토양 배수	42
표 3-6 대상 지역 유효토심	42

그림차례

그림 2-1 그린인프라의 강우 처리 개념도	10
그림 2-2 블루그린인프라의 접근법	11
그림 2-3 LID기법의 물순환 구조	12
그림 2-4 자연기반해법 개념	14
그림 2-5 WSUD 물순환 개념도	15
그림 2-6 쿠퍼스부쉬 주거단지 전경	16
그림 2-7 일본 세타가야구 후카사와 환경공생주택	18
그림 2-8 충남 아산 탕정지역 LID 빗물관리 계획	20
그림 2-9 광진구 스타시티 빗물 이용도	21
그림 2-10 광진구 스타시티 빗물이용시설 개요도	22
그림 2-11 수원시 물순환 관련 주요 계획	25
그림 3-1 대상 지역 비오톱지도	36
그림 3-2 대상 지역 공원 및 녹지 현황	36
그림 3-3 대상 지역 토지피복 현황	37
그림 3-4 대상 지역 토지피복 현황에 따른 면적	38
그림 3-5 대상 지역 불투수면적 분포 현황	39
그림 3-6 대상 지역 표고분석	40
그림 3-7 대상 지역 경사도분석	40
그림 3-8 대상 지역 토양 배수	41
그림 3-9 대상 지역 유효토심	42
그림 3-10 (a) 수원시 전역 소유역 모델 (b) 하수관망에 대한 노드 및 링크	43
그림 3-11 CN 값(좌) 및 최대잠재보류량(우) 맵핑 결과 (100m grid)	45
그림 3-12 10년, 50년, 100년 빈도 강우에 대한 유출량 (100m grid)	45
그림 3-13 기여 및 영향 영역 고려한 상호운용성 맵	46

그림 3-24 수원시 동단위 물순환 상호운용성 맵	47
그림 3-15 시범대상지 공간계획 방향(좌) 및 주요계획시설(우)	48
그림 3-16 유지구역에 적합한 물순환 회복 기술 침투저류지 예시	49
그림 3-17 유지구역에 적합한 물순환 회복 기술 침투도랑 예시	· 50
그림 3-18 유지구역에 적합한 물순환 회복 기술 식생여과대 예시	50
그림 3-19 유지구역에 적합한 물순환 회복 기술 식생수로 예시	· 51
그림 3-20 유지구역에 적합한 물순환 회복 기술 식생체류지 예시	51
그림 3-21 완화구역에 적합한 물순환 회복 기술 저류지 예시	52
그림 3-22 완화구역에 적합한 물순환 회복 기술 지하저류조 예시	52

제1장

서론

제1절 연구 배경 및 목적

제2절 연구 범위 및 방법

제1장 서론

제1절 연구 배경 및 목적

1. 연구 배경

도시화와 기후변화로 인해 도시 물순환 체계는 위협 받고 있다. 특히 우리나라를 포함한 동아시아 지역의 홍수 피해는 점차 증가하고 있는데, 최근 홍수 피해를 일으킨 강우 패턴을 살펴보면 짧은 시간에 고강도 강우가 집중되는 국지성 강우의 규모와 빈도가 점차 증가하는 것을 확인할 수 있다(O'Donnell et al., 2019).

도시 물순환을 위한 수공 구조물을 설계하는 데 일반적으로 적용되는 방식은 과거에 관측된 임의 지속시간의 강우 자료를 빈도 해석하여 확률강우량을 도출하고 이를 기반으로 목표치를 설정하는 방식이다. 그렇기 때문에 과거의 도시 물순환 개선 전략은 배수 인프라 용량을 늘리는데 초점을 맞춰왔다. 하지만 앞서 언급한 바와 같이 앞으로는 설정된 목표치를 뛰어넘는 강우 사상이 점차 증가할 것으로 예측되기 때문에 기존의 방식은 증가하는 극한강우사상에 대한 지속가능한 해결책으로써 한계가 있다(Huang et al., 2020).

최근에는 지속가능개발에 대한 관심이 커지면서 자연 수문 순환을 복원하고 표면의 침투용량을 극대화하여 유출을 제어 및 지연하는 전략이 주목받게 되어 현재 활발히 제안 및 적용되고 있다. 이러한 전략은 저영향 개발(Low Impact Development, LID), 그린 인프라(Green Infrastructure, GI), 자연 기반 솔루션(Nature Based Solution, NBS) 등 다양한 용어로 표현되고 있으며 각 용어의 초점이 조금씩 다르지만 도시 열섬현상 완화, 생물다양성 증진 및 수문학적 복원력 향상 등 공공 이익을 제공한다는 데 공통점이 있다(Ruangpan et al., 2020). 단위기술 측면에서는 투수성 포장, 레인 가든, 생태저류지, 옥상녹화 등이 이에 해당한다.

다만, LID, NBS와 같은 기술 및 정책은 주로 도시의 기존 시설물이나 유휴공간에 적용할 수 있는 형태로 존재하므로 물순환 개선 효과를 도출할만한 충분한 면적을 확보하는 데에는 한계가 있다. 그러므로 도시 물순환 개선 효과를 극대화하려면 해당 공간에 대한 수문 순환을 이해하고, 기존의 인프라와 그린 인프라 기술을 연결해야 할 것이며, 대상지 특성에 부합하는 그린-그레이 인프라 공간 계획이 실현되어야 할 것이다.

2. 연구 목적

이러한 배경 하에 본 연구에서는 도시 물순환 개선 효과를 극대화하기 위한 공간계획 방향과 적합한 물순환 회복 정책을 제안하고자 한다.

도시 물순환 개선에 관한 최근 방향은 빗물을 관리하고 물 처리 능력을 개선하기 위해 기존 인프라와 새로운 인프라 간의 연결을 고려해야 함을 강조하고 있다. 본 연구에서는 수원시에서 침수 피해가 있었던 침수취약지역 중 하나의 시범대상지를 선정하여, 물순환 회복을 위한 정책 방안을 검토하고 정책 도입 방안을 제시해보고자 한다.

여기서 물순환 회복 정책이란 기존의 다양한 개념 중 그린인프라 개념을 활용하고자 하는데, 그린인프라는 기존 인프라에 생태 기술을 도입하는 것을 목표로 하므로 기존의 인프라와의 상호성을 고려하는데 적합하다. 여기서 '기존 인프라'는 배수관, 펌프장 등 전통적인 빗물 기반 시설을 말하며 그레이 인프라로 칭하기도 한다. 구체적인 기술에 대한 변수는 기존 연구사례에서 주로 적용되는 조건을 적용하였다.

제2절 연구 범위 및 방법

1. 연구 범위

도시 침수취약지역 물순환 회복을 위한 정책 방안을 제시하기 위해 연구의 시공간적 범위를 다음과 같이 한정하였다.

우선, 연구의 공간적 범위는 수원시 전체를 분석대상으로 하되 연구목적에서 전술한 바와 같이 수원시에서 침수 피해가 있었던 침수취약지역 중 하나의 대상지를 시범대상지로 설정하고자 하였으며 대상 후보지 중 2022년부터 환경부 지원 하에 ‘탄소중립 그린도시’ 사업대상지로서 공간계획 방향설정이 중요한 고색동 일대를 최종 대상지로 선정하였다. 시간적 범위는 해당 지역에 대한 하수관망 자료를 수득한 시점으로 2022년으로 설정하여 분석하였다.

내용적 범위는 이론적 고찰 및 사례 조사를 통해 기존의 도시 물순환 회복 정책을 파악하였으며, 수원시 전체 및 시범대상지에 대한 공간 분석을 통해 공간계획에 대한 방향과 세부공간 별 적합한 물순환 회복 정책이 무엇인지 제시하는 것으로 설정하였다.

2. 연구 방법

본 연구의 목적을 달성하기 위한 연구방법은 크게 이론적 고찰, 사례조사, 시범대상지에 대한 QGIS 기반 공간분석, 시범대상지에 대한 물순환 분석을 위한 시뮬레이션 모델링으로 구분된다.

이러한 그린-그레이 인프라는 유출을 줄이기 위한 적절한 제어 조치이지만 효과적인 공간적 구현을 위한 지침은 아직 부족하다(Saghafian et al., 2015). 본 연구에서는 모델링 기반의 물순환 분석 방법론을 통해 효과적인 물순환 회복을 위한 그린-그레이 인프라 위치 설정 방안을 논의하기 위해 Vercruyssen et al.(2019)과 Dawson et al.(2020)이 제안한 방법론을 일부 차용하여 기여 및 영향 영역을 도출하고 의사결정지원 정보를 제공하기 위해 도출된 영역에 대한 공간계획 방향을 제안하고자 하였다. 여기서 ‘기여영역(source area)’은 지표면 홍수에 가장 많이 기여하는 영역을 의미하며, ‘영향영역(impact area)’은 지표면 홍수량이 가장 많아 잠재적 위험이 큰 영역을 의미한다(배채영과 이동근, 2022). 상세한 연구 방법론은 제3장에서 서술하고자 한다.

제2장

물순환 회복 관련 국내·외 연구동향

제1절 도시 물순환 회복 정책

제2절 물순환 회복 기술 및 기술요소

제2장 물순환 회복 관련 국내·외 연구동향

제1절 도시 물순환 회복 정책

1. 물순환 회복 관련 개념

1) 그린인프라(Green Infrastructure)

그린인프라(Green Infrastructure, GI)는 지속가능한 발전의 개념과 함께 기후변화와 자연위기에 대응하기 위해 1990년대 후반 북미에서 통용되기 시작한 개념으로(공학양 외, 2016) 공원, 숲, 습지, 홍수터, 그린벨트, 그린웨이 등과 같이 인간의 삶의 질을 높이고 물순환과 홍수조절과 같은 생태계의 서비스를 증진시키는 인프라로 정리할 수 있다(국가기후위기적응정보포털 홈페이지).

미국 환경보호국(U.S. Environmental Protection Agency, U.S.EPA)은 지역사회에서 그레이인프라(Gray Infrastructure, 회색 기반 시설)를 통해 빗물을 관리하였으나 그레이인프라의 노후화 문제를 해결하기 위한 방안으로 그린인프라를 도입하여 지역사회 회복력뿐만 아니라 환경적, 사회적, 경제적 이익 및 빗물 관리 능력을 강화하였다. Schilling and Logan(2008)은 실제 도시지역에서 자연적인 그린인프라보다 공원, 녹지, 빗물관리지역 등의 조성 및 관리되는 그린인프라에 초점을 맞춰줄 필요가 있다고 강조하였다.

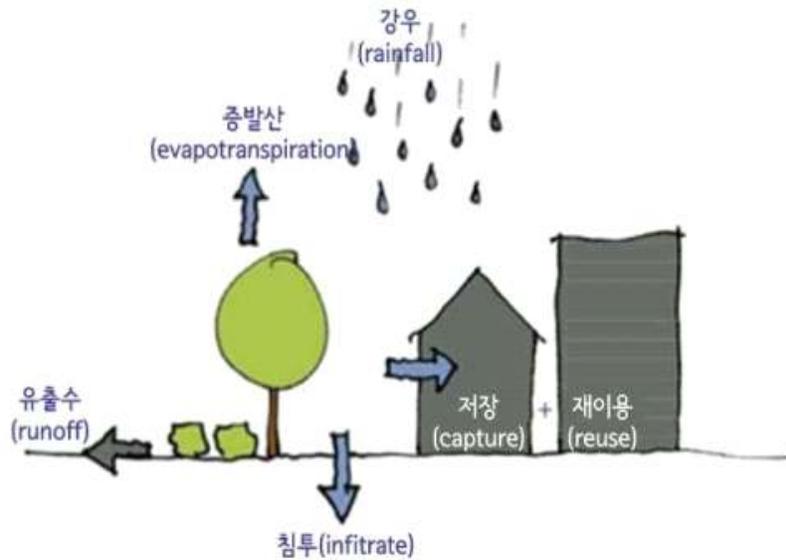
도시 물순환 관리 전략으로서의 그린인프라는 빗물이 떨어진 지역에서 증발산, 침투, 저류 등으로 대부분의 빗물이 처리되는 자연의 수문학적 방식을 모사하는 것이며 강우를 처리하는 데 있어 자연의 수문학적 방식을 모사한 그린인프라는 기본적으로 증발산, 침투, 저장, 재사용의 방식으로 개념화될 수 있다고 보고 있다(김승현, 2014).

표 2-1 | 그린인프라 효과

구분	자료 항목
기후변화/재난재해	<ul style="list-style-type: none"> • 홍수 및 우수유출 감소 • 도시 열섬효과 감소 • 탄소저장 격리를 통한 기후변화 완화 • 대기오염 개선
환경적	<ul style="list-style-type: none"> • 수량, 수질 보호 • 공기정화 • 생태계 다양성 보존
사회적	<ul style="list-style-type: none"> • 사회적 소통 증가 • 범죄 감소 • 물리적 활동기회, 운동기회 증가 • 건강증진 • 도시경관, 미적 쾌적성 향상
경제적	<ul style="list-style-type: none"> • 지가상승 • 지역관광산업 증진

자료: 강정은 외(2011) 「기후변화 적응형 도시 리뉴얼 전략 수집」

그림 2-1 | 그린인프라의 강우 처리 개념도



자료: 김승현(2014) 「도시 물순환 관리를 위한 빗물 그린인프라스트럭처 실천전략에 관한 연구」

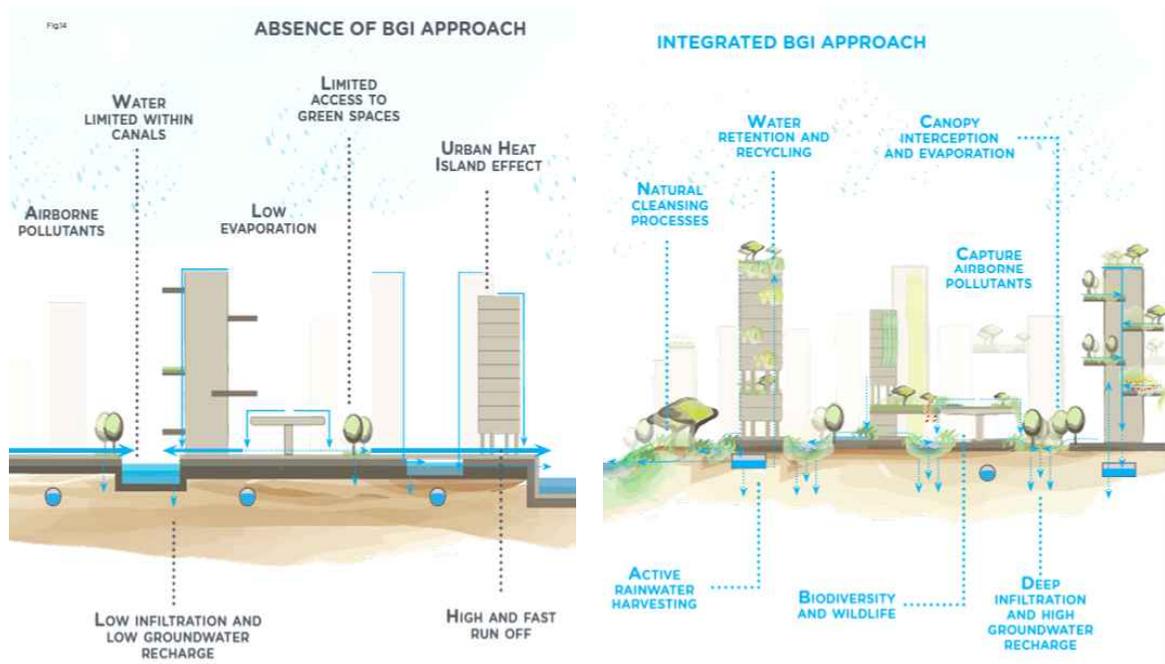
2) 블루그린인프라(Blue-Green Infrastructure)

블루그린인프라(Blue-Green Infrastructure, BGI)는 ‘Blue(물)’, ‘Green(녹지)’, ‘Infrastructure(기반시설)’이 합성된 단어로서 최근 기후변화에 따른 물 분야의 취약성과 도시 물순환 관리의 필요성, 수변도시에서 물관리 중요성이 강조된 그린인프라의 확대 개념으로 볼 수 있다(백경훈 외, 2019). 블루그린인프라는 기술적으로 빗물과 도시 빗물 시스템, 지표수와 지하수 대수층을 포함한 수문학적 기능과 관련된 인프라를 의미하며 세계 여러 국가에서 정책방향, 사업 계획 등에 따라 Blue-Green City, Green-Blue City, Blue Green Dream, Blue Green Solutions, Water Sensitive Urban Design 등 다양한 용어로 사용되고 있다(백경훈 외, 2019).

EU에서는 그린인프라 개념을 조성 환경과 주변 농경지/삼림/하천/호소 전체로 확대하여 블루그린인프라라 하여 도시지역의 물과 비점오염물질 문제, 일반 토지의 물순환 과정의 복원 및 생태축 보전·복원까지 고려하고 있다(우효섭 외, 2020).

블루그린인프라는 그레이인프라의 필요성 보완 및 대체가 가능하며 도시 경관 설계에서 도시 수문 기능(블루인프라)과 식생 시스템(그린인프라)을 연결하여 지역의 물 안전과 공급을 개선하는 동시에 생물다양성에 이익을 주는 체계적인 방법으로 지역의 물순환을 변경하며 사회·경제적 이익을 제공하고 있다(Ramboll, 2016).

그림 2-2 | 블루그린인프라의 접근법



자료: Drishti IAS 홈페이지

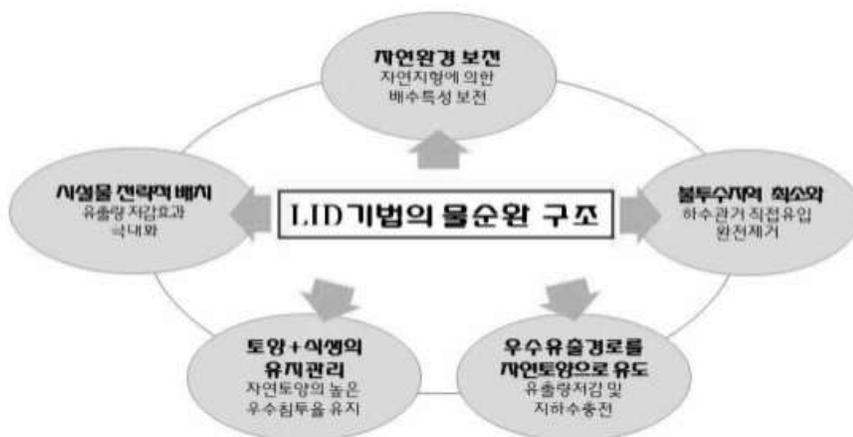
3) 저영향개발(Low Impact Development, LID)

저영향개발(Low Impact Development, LID)은 지표유출 발생원으로부터 침투, 저류를 통해 도시화에 따른 수생태계를 최소화하여 개발 이전 상태에 가깝게 만들기 위한 토지이용계획 기법을 말한다. 우수유출 저감을 통해 재난관리, 도심 물순환시스템 회복, 빗물 재이용 및 비점오염원 배출 저감을 통한 수질관리 등이 가능하며 LID 시설은 최초 설치 이후에는 최소한의 관리를 통해 장기적인 효과를 기대할 수 있어 도시지역에서의 적용이 장려되고 있다(김정호 외, 2017).

1990년대 미국 메리랜드 주에서는 저류지 등 기존의 최적관리기법만 가지고 개발사업으로 인해 증가한 호우유출을 제어하기 어렵게 되어 이를 해결하고자 개발된 기술이다. 국내에서는 2000년대 이후 저영향개발이 도입되기 시작했고, 2009년 환경부에서 비점오염물질 관리 방안으로 저영향개발에 관한 연구를 추진하였다(김은영, 2021). 물순환, 비점오염 저감 및 관리, 재해 예방 등의 분야 및 주요 관심사에 따라 저영향개발 정의와 계획 목표에 차이가 있으나 물순환 왜곡으로 인한 환경적 훼손과 영향의 최소화를 목표로 한다는 점은 공통적인 사항으로 볼 수 있다(김희년, 2022).

저영향개발 기술의 가장 중요한 목표는 강우 유출수의 지하 침투, 강우 종료 시 증발산량의 확보, 강우 유출수의 재이용 등을 통한 강우 유출량을 최소화하는 것이며(장영수, 2018) 저영향개발 기법으로 많이 적용되는 기술요소는 식생체류지, 빗물정원, 옥상녹화, 침투도랑, 침투포장, 식생수로 등이 있다(백상수 외, 2019).

그림 2-3 | LID기법의 물순환 구조



자료: 한국도로공사(2014) 「LID(저영향개발) 기법을 활용한 녹지대 생태습지 조성방안 수립」

표 2-2 | 나라별 LID 관련 개념 및 특징

분류	명칭	특징
독일	분산형 도시설계 (DUD: Decentralized Urban Design)	<ul style="list-style-type: none"> 도시계획 단계에서 유출수 관리계획 수립 분산식 빗물관리, 원인자 빗물요금 부과
미국	저영향개발 (LID: Low Impact Development)	<ul style="list-style-type: none"> 자연상태의 강우-유출 형태 유지 발생지역에서 강우를 관리하는 토지개발 불투수 면적에 빗물요금 부과
영국	지속가능한 도시배수시스템 (SUDS: Sustainable Urban Drainage System)	<ul style="list-style-type: none"> 탄소중립형 도시계획, 발생원 관리 빗물저류, 이용, 침투, 증발산 증진
일본	균형 있는 물순환시스템 (WBHS: Well Balanced Hydrological System)	<ul style="list-style-type: none"> 물순환 건전화를 위한 국가계획 반영 하천 배제 지양 및 발생지역에서 저류, 침투
호주	물 민감형 도시설계 (WSUD: Water Sensitive Urban Design)	<ul style="list-style-type: none"> 도시계획 단계에서 빗물관리계획 수립 다각도 강우 관리 및 물확보, 절약 추진

자료: 서울특별시(2015) 「물순환 효과분석 및 인프라구축 기술 개발 연구보고서」

4) 자연기반해법(Nature-based Solutions, NbS)

자연기반해법(Nature-based Solutions, NbS)은 기후변화 및 인간에 의한 도시화로 발생하는 문제를 자연을 기반으로 한 기법을 통해 해결하고자 하는 것이며, 사회적 문제를 자연 본연의 회복력에 기반한다는 포괄적 개념의 생태계 기반 접근 방식을 따른다(최은호 외, 2021).

IUCN(2016)은 ‘인간의 복지와 생물다양성 혜택을 동시에 제공하면서 사회적 문제를 효과적, 적응적으로 해결하도록 자연 또는 변형된 생태계를 보호하고 지속가능한 관리 및 복원을 위한 조치’로 정의하였으며 궁극적 목표는 식량안보, 기후변화, 물안보, 보건, 재난위험관리, 사회경제개발 등 지속가능발전목표 달성에 기여하는 데 목적을 두고 있다.

자연기반해법은 다양한 곳에 적용될 수 있고 각종 개발사업의 계획, 사회기반시설 설계 및 유지관리 단계까지 적용할 수 있는 기법이며 자연적 공정 활용으로 물순환을 확대하고, 자연습지, 인공습지 등 자연적 기작을 최대한 활용하여 수질을 개선하며 물과 관련되는 재난과 기후변화 영향을 저감할 수 있다(김이형, 2020).

그림 2-4 | 자연기반해법 개념



자료: IUCN(2016) 「Nature-based solutions to address global societal challenges」

2. 국내외 물순환 회복 정책 도입사례

1) 호주 멜버른시, Water Sensitive Urban Design

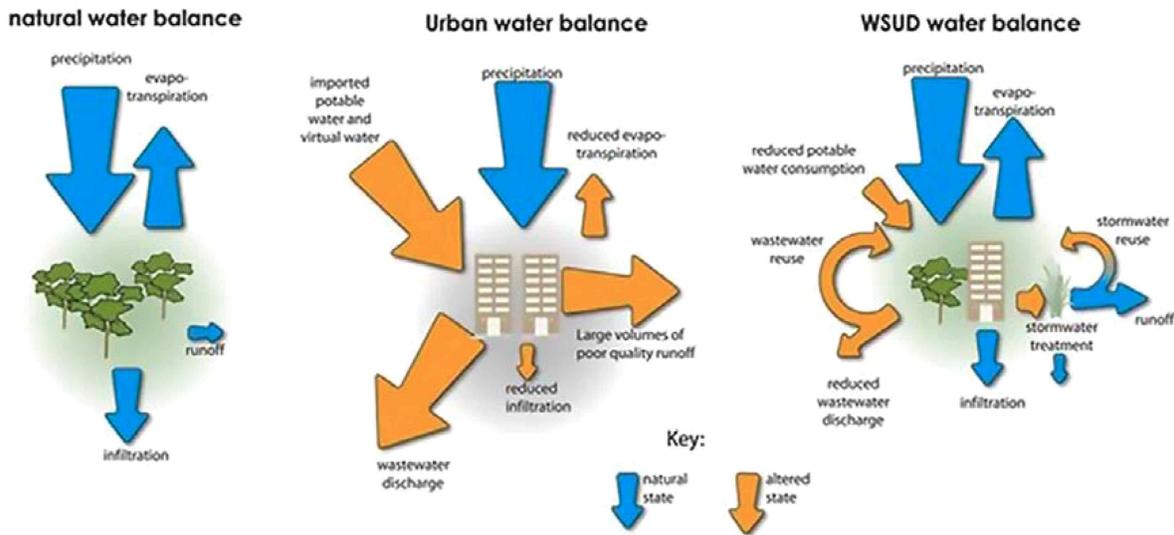
(1) 개요

호주연방-주정부협의회는 2004년 물개혁을 위해 국가물관리계획(National Water Initiative, NWI)을 합의 및 공표하였고 물 사용의 효율성 증대를 위한 6개의 주요 요소 중 ‘도시지역의 물개혁’ 부분의 핵심전략으로 WSUD(Water Sensitive Urban Design) 과제를 제시하였다(한혜진 외, 2020). 이에 따라 호주 멜버른시는 도시홍수 및 가뭄 극복을 위해 물순환형 도시설계 방법인 WSUD를 계획하여 빗물 유출 저감, 침투·지하수 보호 극대화, 물재사용, 폐수 배출 감소 등 통합된 수자원 관리 방식을 적용하고 있다. WSUD는 중동과 호주에서 주로 사용되는 용어로 미국의 LID와 영국의 SuDS(Sustainable Drainage System)와 유사한 개념으로 볼 수 있다.

(2) 관련기술

WSUD는 부지면적, 거리 등 지역 규모에 따라 사용되는 기법에 차이가 있다. 강우 시 도로 및 시가지에 설치된 식생저류습지, 식생저류유역, 침투도랑, 다공성 포장 등에 의해 오염물질 제거 및 우수유출을 저감시키고 공공 개방공간에 설치된 인공습지, 인공호수 등을 통해 물이 흐르도록 유도하며 건물의 빗물탱크, 지하저류지를 통해 빗물 재활용이 가능하도록 한다. 이러한 우수처리 과정들을 통해 WSUD의 요소들이 적용된 도시는 홍수를 예방할 수 있는 안전한 도시가 된다(김효정 외, 2014).

그림 2-5 | WSUD 물순환 개념도



자료: Rodrigues M, Antunes C(2021) 「Best Management Practices for the Transition to a Water-Sensitive City in the South of Portugal」

표 2-3 | WSUD에 사용된 기법 및 기능

구분	기법	기능
도로 및 시가지 계획 (Road layout and streetscape)	• 식생저류시스템(Bioretention systems)	오염물의 생물학적 흡수, 유출물 여과
	• 식생저류습지(Bioretention swales)	빗물 흡수
	• 식생저류유역(Bioretention basins)	우수 흐름 제어 및 수질 처리 기능
	• 침투도랑(Infiltration trenches and systems)	우수유출량과 침투유량 감소, 오염물질 여과 및 보유
	• 모래여과지(Sand Filters)	우수 침투 및 오염물질 여과
	• 다공성 포장(Porous paving)	우수 유출량과 속도 감소, 수질개선
공공 개방공간 (Public open space)	• 퇴사유역(Sedimentation basins)	일시적인 우수 저류, 퇴적물 처리
	• 인공습지(Constructed wetlands)	오염물질 제거, 우수 제어 및 보유, 미적효과
	• 완충습지(Swales and buffer strips)	우수 초기처리 및 이동, 미적효과
	• 인공호수(Ponds and lakes)	우수 이동 및 보유, 미적효과
재이용수 (Water re-use)	• 빗물탱크(Rainwater tanks)	우수 보유 및 저류
	• 지하저류지(Aquifer storage and recovery (ASR))	우수 보유 및 저류

자료: 강부식(2018) 「도시물순환 정책사례 및 평가기준 고찰」; 김효정 외(2014) 「Water Sensitive Urban Design(WSUD)의 주환경 기능과 평가에 관한 연구」

2) 독일 겔젠키르헨시, 쿠퍼스부쉬 주거단지

(1) 개요

독일 겔젠키르헨(Gelsenkirchen)시에 위치한 쿠퍼스부쉬 주거단지는 생태주거단지로서 개발된 곳으로 겔젠키르헨시가 주체가 되어 조성한 공공임대 주택단지이다. 과거 전자제품 공장부지로 활용되다가 1990년 국제 건축 전시회인 IBA Emscher Park 프로젝트에 의해 계획 및 개발되었다. 단지 중앙에는 빗물을 이용하기 위해 렌즈 형태의 잔디광장을 조성하여 빗물을 저류 및 침투시키는 공간으로 활용하였으며(이승복, 2004) 단지 내 건물옥상의 녹화된 부분에서 1차적으로 우수의 침투 및 저류가 일어나고, 여기서 모아진 우수는 홈통을 따라 땅으로 침투되거나 우수관으로 거쳐 모아진다(정진주, 2017).

그림 2-6 | 쿠퍼스부쉬 주거단지 전경



자료: sk52 architekten 홈페이지

(2) 관련기술

쿠퍼스부쉬 주거단지는 단계별로 빗물을 관리하고 있으며 빗물운영기법은 크게 3단계로 구분이

가능하다. 첫 번째 단계는 옥상녹화로 빗물 증발 및 배수를 통한 운영방식을 취하고 있고, 두 번째 단계는 빗물받이 및 5m 높이의 공중 저류관으로 설계된 빗물저류장치로 지붕에서 모아진 빗물을 빗물받이로 배수시키는, 중앙 저류지로 이동하기 위한 거점역할을 하고 있다(김원현, 2012). 중앙 저류침투시설은 마지막 단계로 단지 내 빗물이 모두 이곳으로 모여 땅 속으로 침투되거나 다음 하수관거로 이동하게 된다. 효율적인 침투효과 및 호우와 홍수 대비를 위해 0.15m 높이의 단을 두어 캐스케이드 효과를 유도하여 비교적 단기간 내 저류효과를 갖는 빗물운영방식으로 볼 수 있다(김원현, 2012).

표 2-4 | 쿠퍼스부쉬 주거단지의 단계별 빗물운영기법

단계	내용	사진
1단계 옥상녹화	<ul style="list-style-type: none"> • 녹지지역 역할 및 빗물 운영 측면 역할 수행 • 빗물 증발 및 배수를 통한 운영방식 	
2단계 빗물받이 및 공중저류관	<ul style="list-style-type: none"> • 빗물저류장치 역할 • 공중저류관 높이 약 5m • 지붕에서 모아진 빗물을 빗물받이로 배수시킴. 중앙 저류지로 이동하기 위한 거점역할 수행 	
3단계 중앙 저류침투시설	<ul style="list-style-type: none"> • 단지 내에 내려진 빗물이 이곳에 모아지며 모아진 빗물은 시간의 경과에 따라 침투되거나 다음 하수관거로 이동 	

자료: 김원현(2012) 「도시홍수조절을 위한 공동주택단지 내 빗물운영기법 도출」 재구성; sdg21 홈페이지

3) 일본 세타가야구 후카사와 환경공생주택

(1) 개요

일본 도쿄도 동남쪽에 위치한 세타가야구의 후카사와 환경공생주택은 일본의 대표적 친환경 주거단지이다. 1952년 35가구의 목조 단층 건물로 지어졌으나 노후화로 인해 약 40년 후 도쿄도에서 세타가

야구로 이관되어 재건설을 추진하였다. 1997년 일본 건설부의 환경공생주택 건설추진사업과 세타가야구청의 역점사업에 의해 세타가야구의 70가구를 친환경주택단지로 재건축하게 되었으며 70호의 임대주택과 고령자 주택서비스센터 등 부대시설이 설치되어 있다. 환경공생형 생활을 지원하기 위한 다양한 연구 및 기술이 도입되었고 에너지절약, 자원절약, 폐기물 처리, 물순환, 녹화, 친수공간 등 광범위한 요소를 도입하여 쾌적한 거주공간을 지속적으로 실현하는 것을 목표로 하였다(정지윤, 2000).

그림 2-7 | 일본 세타가야구 후카사와 환경공생주택



자료: 세타가야구(2018) 「세타가야구 후카사와 환경공생주택」

(2) 관련기술

후카사와 환경공생주택은 물순환의 일환으로 지하수, 빗물을 재활용하고 있다. 기존에 남아있는 우물의 우물물을 시냇물, 식물재배 관수용으로 이용하고 있으며 1호동 지하에 빗물을 저장하여 고령자 주택서비스센터 내의 잡용수로 이용하고 있다. 각 호의 발코니에도 빗물저장탱크를 설치하고 단지 내의 도로나 주차장의 우수침투 및 유출억제를 위해 투수성 포장을 진행하였다.

표 2-5 | 일본 세타가야구 후카사와 환경공생주택 주요 기법

구분	내용
지하수 이용	• 지역에 있던 14개소의 우물 중 4곳을 보존하여 시냇물과 식재지의 살수용으로 이용
우수이용	• 1호동의 지하에 빗물 저류 탱크가 설치되어 고령자 시설의 화장실 등 잡용수로 이용 • 각 주호의 발코니에도 빗물을 모아 두는 저수탱크가 설치되어 있음
우수침투 및 유출억제	• 단지 내의 도로나 주차장에 투수성 포장 설치
비오톱 조성	• 중정에 비오톱 설치
친수공간	• 중정에 시냇물 조성, 풍차 발전에 의해 순환

자료: 정지윤(2000) 「공동주거단지의 환경친화적 수공간 계획에 관한 연구」 재구성

4) 아산 탕정 분산형 빗물관리단지

(1) 개요

충남 아산 탕정지역에 설치된 분산형 빗물관리단지는 대단위 도시개발사업 중 분산형 빗물관리시스템을 적용하여 자연적 물순환 체계 복원 및 친환경 도시를 조성한 국내 최초의 사업이다(박계학 외, 2011). 국토부는 초기 계획 단계에서 ‘지표유출량 저감’과 ‘초기 우수에 의한 오염 부하량 저감 100%’를 저영향개발 적용 기본 목표로 삼았으며(위터저널, 2017.05.02.) 기존의 중앙 집중식 빗물관리 방식이 아닌 침투도랑, 식생수로, 도심형 인공습지, 빗물저류지 등 다양한 시설을 적용하여 분산형 방식으로 빗물을 처리하도록 계획하였고 저류된 빗물은 조경·청소·하천 유지용수 등으로 이용하도록 하였다. 이를 통해 건천화 방지 및 도시 홍수 방지, 토양생태복원, 수자원 확보, 열섬현상 완화 등 생태적 도시순환에 기여하고 있다.

(2) 관련기술

아산 탕정지역 빗물관리단지는 토지이용, 도로형태, 지반조건, 소유역별 처리 능력, 배수연계성을 고려하여 침투도랑, 측구형 침투시설, 식생수로, 도심형 인공습지시설을 적용하였다. 투수면적 확대를 위해 공원 내 시설물 배치 최소화, 도로 및 주차장의 미기후 개선을 위한 식재공간 확보, 다양한 투수성 포장을 도입하여 불투수층을 최소화 하였고 분산형 빗물관리 시스템의 효과 증대를 위해 공원 녹지를 도로보다 높지 않게 계획하였다.

토지이용별 빗물처리시설을 살펴보면 도로 내 L형 측구 및 식수대 구간에는 비점오염원 처리효율 및 침투능력 확보를 위해 측구형 침투시설 및 도심형 인공습지를 설치하였고, 특히 암반구역에는 도심형 인공습지를 적용하여 저류를 통한 비점오염원 처리효율 및 증발산을 높이도록 설계하였다(박계학 외, 2011). 침투도랑, 측구형 침투시설, 식생수로, 도심형 인공습지 등의 시설을 적용하여 도로면적

5mm의 빗물은 전량 침투가 가능하도록 하였고(한국과학기술정보연구원, 2011), 분산식 빗물관리 시스템을 통해 1회 15mm이하의 소강우시에는 전량 침투(5mm), 저류(10mm)가 가능하며 1회 강우시 신도시 전체적으로 약 18만㎡의 빗물을 침투·저류할 수 있다(한국과학기술정보연구원, 2011).

그림 2-8 | 충남 아산 탕정지역 LID 빗물관리 계획



자료: 워터저널(2017.05.02.)

표 2-6 | 토지이용별 빗물처리시설

구분	침투도랑	측구형 침투시설	식생수로	도시형 인공습지	빗물저장조
모식도					
설치장소	공원, 완충녹지 구간	도로·형 측구 구간	공원, 완충녹지 구간	도로 식수대 구간	공원내
기능	침투시설 (증발, 침투)	침투시설 (침투)	식생형시설 (증발, 침투)	인공습지 (증발, 침투)	저류시설(저류)

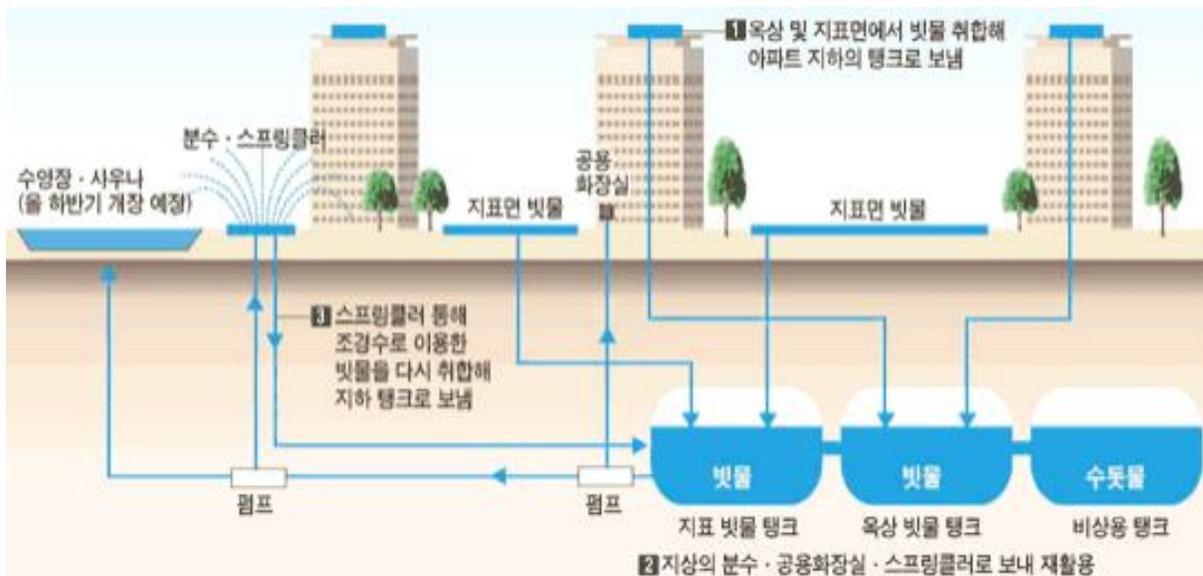
자료: 서울특별시(2016) 「건강한 물순환 도시 이야기」; 국토교통부 보도자료(2016.05.02.)

5) 서울 광진구 스타시티 빗물이용시설

(1) 개요

서울 광진구에 위치한 스타시티는 3,000톤의 빗물저장조가 설치되어 있는 지상 58층 규모의 주상복합건물로 4개동으로 구성되어 있으며 연 4만 톤의 빗물을 재활용하고 있다. 용지면적은 총 6만 2500㎡으로 이중 조경시설, 공원, 건물옥상 등 약 5만 1200㎡의 면적에서 빗물을 받을 수 있다. 단지 내에는 실개천, 분수, 지피초화류 등 조경시설이 조성되어 있으며 2007년 3월에 완공되었다. 스타시티 빗물이용시설은 단기적으로는 침투유량을 저감함으로써 집중호우에 대한 피해를 줄일 수 있고 장기적 관점에서서는 저에너지 고효율의 상수도 공급 시스템을 구축함으로써 이산화탄소 배출량 저감에 기여할 수 있다(한무영 외, 2008).

그림 2-9 | 광진구 스타시티 빗물 이용도



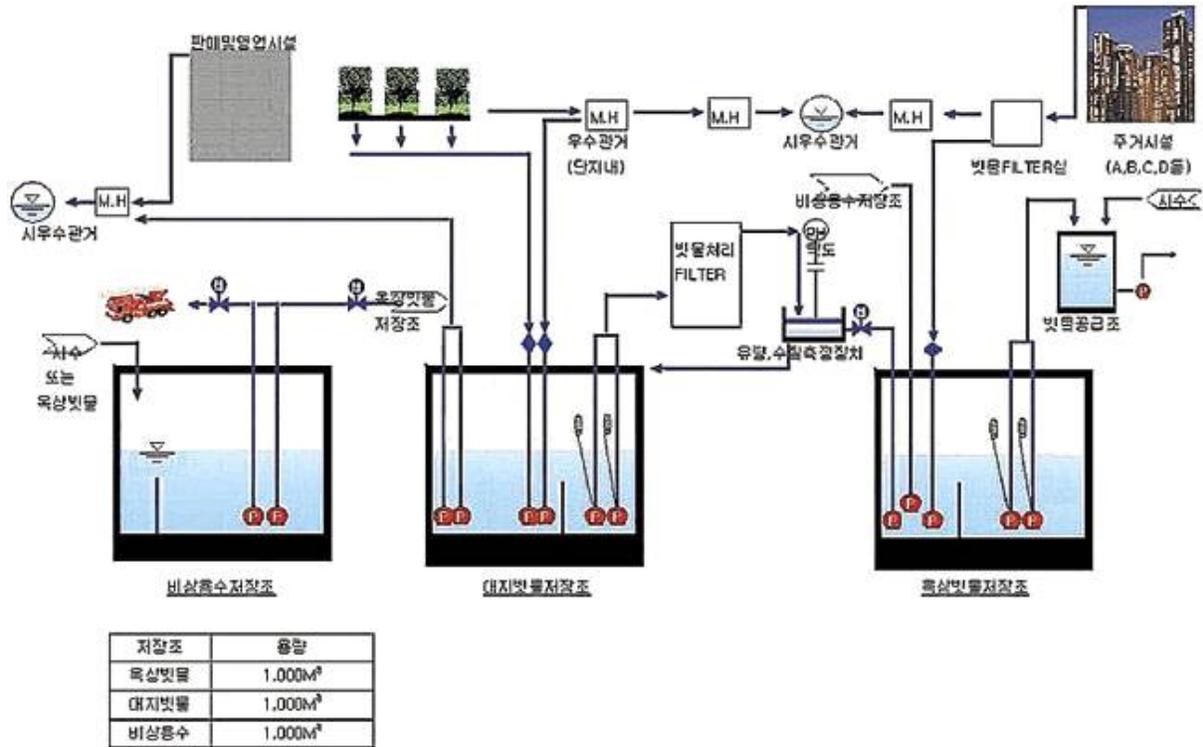
자료: 중앙일보(2008.04.15.)

(2) 관련기술

광진구 스타시티는 단지 안에 내린 강우를 0.1m까지 저장함으로써 하수도에 영향을 주지 않도록 설계되었으며 저장된 빗물은 중수로 사용하고 있다. 스타시티 빗물이용시설의 저장조는 조경면을 포함하는 대지로부터 유입되는 빗물을 저장하는 대지빗물저장조, 옥상유출수를 저장하는 옥상빗물저장조 그리고 비상시 사용을 위해 수돗물을 저장하는 비상용수저장조 이렇게 3개로 구성되어 있다(한무영 외, 2009). 1,000톤 용량의 저장탱크 3개로 이루어진 빗물저장탱크를 지하에 설치하여 지붕면에서 모아진 빗물을 저장하고 침수예방 및 상수 절약 용도로 사용하는 것뿐만 아니라 단수나 화재 등 비상시에 대비한 시스템도 갖추고 있다. 이렇듯 다목적 빗물관리를 위해 수질에 따른 저장조를 각각의 물탱크

에 홍수방지, 물절약, 비상용 기능으로 구분하여 부여하였고(한무영, 2010.05.10.), 조경용수로 사용된 빗물이 비포장면에서 침투를 통해 다시 저장조로 들어오는 순환이용 시스템을 구축하여 빗물 이용률을 높였다(김영진 외, 2008).

그림 2-10 | 광진구 스타시티 빗물이용시설 개요도



자료: 한관우(2008.12.08.)

3. 국내 물순환 관련 법·제도 기반

1) 국내 물순환 관련법

물순환과 관련된 법은 환경부의 「물관리기본법」, 「하수도법」, 「물환경보전법」, 「물의 재이용 촉진 및 이용에 관한 법률」(이하 '물재이용법'), 「물관리기술 발전 및 물산업 진흥에 관한 법률」(이하 '물산업 진흥법'), 행정안전부의 「자연재해대책법」, 국토교통부의 「지하수법」, 「친수구역 활용에 관한 특별법」(이하 '친수구역법')이 있으며 빗물관리와 물재이용에 관한 내용을 담고 있다.

「물관리기본법」에서는 안정적인 물 확보, 물환경 보전·관리, 가뭄·홍수 등으로 인해 발생하는 재해 예방 등 물관리에 필요한 기본적인 사항을 규정하고 있으며 국가와 지방자치단체는 수자원 부족 또는 가뭄·홍수로 인한 재해에 대비하여 강수의 관리·이용 및 하수의 재이용 등 대체 수자원 개발 및 재해

예방을 위한 기술 개발을 장려하여야 한다고 명시하고 있다.

「하수도법」에서는 하수 범람으로 인한 침수 피해 발생 우려 및 공공수역 수질 악화우려 예방을 위한 하수도 정비 중점관리지역을 지정할 수 있고 관할 구역 침수 예방을 위한 유역별 기본계획을 20년 단위로 수립해야 한다고 명시하고 있다.

「물환경보전법」은 비점오염원의 현황과 전망, 불투수면적률 및 물순환율 등 중장기 물순환 목표가 포함된 비점오염원 관리 종합대책을 수립하여야 한다고 명시하고 있다.

「물재이용법」에서는 물 재이용에 관한 기본계획 및 관리계획 수립을 및 공동주택, 학교, 대규모점포 등을 신축할 경우 빗물이용시설 설치·운영 명시를 통해 빗물이용 필요성을 강조하고 있다.

「물산업진흥법」은 물관리기술의 체계적 발전 기반 조성 및 물산업 진흥에 기여하고자 제정되었으며 물산업 실증화 시설 및 집적단지의 시설과 연계하여 관할 수도시설, 공공하수처리시설, 공공폐수처리 시설 및 수자원 시설 등에 분산형 실증화 시설을 조성 및 운영할 수 있도록 명시하고 있다.

「자연재해대책법」에서는 우수 침투, 저류 또는 배수를 통한 재해 예방을 위해 우수유출 저감대책을 5년마다 수립하도록 명시하고 있다.

「지하수법」에서는 유출지하수 이용 계획 시 지하시설물, 설치하려는 건축물이 기준 이상으로 지하수가 유출되는 경우로 명시하여 사전 계획 수립을 통한 유출지하수 발생 대응에 초점을 맞춰 이용 계획을 수립하고자 하였다.

「친수구역법」은 친수구역 사업계획 수립 시 이상홍수로 인한 제방의 월류·파괴 피해, 친수구역조성 사업에 따른 하천유량 영향 및 오염부하량이 최소화되도록 조성 방향을 명시하고 있다.

관련 법률을 통해 지속가능한 물순환 체계 구축 및 하수 범람으로 인한 침수 피해 예방, 가뭄·홍수 등으로 인해 발생하는 재해 예방 등 자연재해와 환경문제를 해결하기 위한 물순환 회복 개선방안 마련 및 물관리 필요성을 확인하였다.

표 2-7 | 물순환 관련 법조항

법률명 (주무부처)	물순환 관련 조항	
	빗물관리 관련	물재이용 관련
물관리기본법	• 제15조(물수요관리)	• 제15조(물수요관리)
하수도법	• 제4조의3(하수도정비중점관리지역의 지정) • 제5조(하수도정비기본계획의 수립권자 등)	-
환경부	• 제53조의5(비점오염원 관리 종합대책 수립)	-
물재이용법	• 제8조(빗물이용시설 설치·관리)	• 제5조(물재이용 기본계획 수립) • 제6조(물재이용 관리계획 수립) • 제8조(빗물이용시설 설치·관리)

법률명 (주무부처)	물순환 관련 조항	
	빗물관리 관련	물재이용 관련
		• 제9조(중수도 설치·관리)
물산업진흥법	-	• 제17조(분산형 실증화 시설 조성)
행정안전부	자연재해대책법	• 제19조(우수유출저감대책 수립)
		-
국토교통부	지하수법	-
	친수구역법	• 제5조(친수구역 조성 기본방향)
		-

자료: 김영란 외(2018) 「서울시 물순환정책 진단과 개선방안」 재구성

2) 국내 물순환 관련 조례

지속가능한 물순환 및 건전성 회복, 빗물이용 활성화 등 지방정부 차원에서 체계적인 수자원 관리 방안을 마련하고자 물순환 관련 조례를 제정하였으며 크게 ‘물순환’과 ‘빗물’에 초점을 두고 있다. 21개 지자체에서는 빗물이용을 중심으로 조례를 제정하였고 13개 지자체에서는 빗물관리 개념을 도입한 조례를 제정하였으며 수원시를 포함한 9개 지자체에서는 물순환을 주제로 조례를 제정하였다.

2009년 수원시와 남양주시가 물순환 관리에 대한 조례를 제정하여 도시의 물순환 시대가 출발하였고, 이후 서울시는 2014년 「빗물관리에 관한 조례」를 전부 개정하여 「물순환 회복 및 저영향 개발 기본조례」를 제정함으로써 도시계획, 건축, 조경분야 등 다분야가 도시의 물순환 관리에 참여할 수 있는 공간을 제공하였다(신현석, 2018).

3) 수원시 물순환 정책 현황

수원시는 2009년 1월 「수원시 통합 물관리 기본 조례」를 제정하여 지자체의 의무로서 물순환 체계 확립을 강조했으며, 6월에는 「물순환 관리에 관한 조례」를 제정하여 수원시의 지속가능한 수자원 관리로 삶의 질 향상 및 환경보전에 기여함을 목적으로 하였다. 2011년부터 물순환 및 관리에 대한 계획을 꾸준히 수립하여 ‘물순환 관리 기본계획’을 시작으로 2019년 ‘통합 물관리 종합계획’까지 자연적인 물순환 체계 구축을 주요 목표로 지역 내 통합적 정책 기반을 마련하고자 하였다. 또한 2010년 레인시티 사업을 본격적으로 실시하여 수원종합운동장에 빗물저류시설을 설치하였으며, 2014년에는 그린빗물인프라 조성공사, 2017년에는 그린빗물인프라 조성사업 등을 꾸준히 실시하여 수원시 전역에 물순환 환경을 구축하였다(김은영, 2021).

그림 2-11 | 수원시 물순환 관련 주요 계획



자료: 김은영(2021) 「레인시티 효과성 분석」

수원시는 통합 물관리 종합계획을 통해 ‘생태적으로 건강한 물 순환 도시 수원’을 비전으로 선정하고 그린빗물인프라 및 LID 기법 적용 등을 통한 도심 물 순환률 증가를 목표로 설정하였다. 주요 사업으로는 식생수로, 빗물 침투 및 저류시설 등을 설치하여 그린빗물인프라를 조성하고 물재이용 시설을 효율적으로 점검 및 관리하여 지속적이고 효율적으로 운영하기 위한 내용을 담고 있다.

표 2-8 | 수원시 통합 물순환 관리 전략에 따른 중점과제

전략	목표	중점과제	사업내용
통합물관리 정책 추진	통합물관리 위원회를 통한 이행평가 정례화	1. 통합물관리 제도 운영	<ul style="list-style-type: none"> 통합물관리 종합계획 수립 통합물관리 제도 이행 및 평가 통합물관리 위원회 활성화
		2. 열린 정보화 시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> 수원시 물관리 정보 열린공개 시스템 구축 및 운영 환경오염배출시설 통합관리 시스템 구축 및 운영
도심 물순환 능력 강화	LID 기법 활용 도심 물순환률 증가	3. 도심 투수성 강화	<ul style="list-style-type: none"> 도심투수면 및 물순환 관리 목표 설정 및 운영 그린 빗물 인프라 조성 및 운영 비점오염저감시설 효율적 운영 도심 생태환경 조성
		4. 지속가능한 지하수관리	<ul style="list-style-type: none"> 지하수 관리 기본계획 수립 지하수 수질 및 수량 개선 대책 마련
건강한	4대 하천 및 호소	5. 하천·호소 수생태계 건강성 증진	<ul style="list-style-type: none"> 호소 수질 개선 대책 추진

전략	목표	중점과제	사업내용
수생태 환경 조성	수질 등급 1단계 향상	6. 지속가능한 하천·호소 환경정비	<ul style="list-style-type: none"> 수원시 생물지표 활용 및 수생태계 관리계획 수립 시민이 만드는 수원형 하천·호소 관리매뉴얼
건강하고 맑은 물 공급	수원시민 먹는물 만족도 제고	7. 지역상수원 수질개선 및 수량 유지	<ul style="list-style-type: none"> 상수원보호구역 친환경 생태적 관리 상수원 수질보호 대책 운영 수도정비기본계획 수립
시민참여 하천 유역관리	하천유역관리 네트워크 장려화	8. 하천유역관리위원회 운영	<ul style="list-style-type: none"> 하천유역관리위원회 구성 및 운영 하천환경 유지관리를 통한 시민일자리 창출
온실가스를 낮추는 생활하수관리	하수처리로 인한 온실가스 배출량 10% 감축	9. 하수처리 효율 증대	<ul style="list-style-type: none"> 하수처리수 재이용 증진 하수처리장 온실가스 감축 사업 불명수 유입 감축

자료: 강은하(2019) 「수원시 통합 물 관리 종합계획 수립 연구」

제2절 물순환 회복 기술 및 기술요소

국내에서 검토된 물순환 회복 기술은 LID 기법으로 설명되고 있다. 구조적 기술요소는 침투시설·저류시설·빗물이용시설과 같이 특정시설을 주택·학교·도로 등에 설치하여 일정기간 동안 물을 저장하거나 불투수층의 면적을 줄여 토양을 통해 지하로 빠질 수 있도록 하는 것을 가리킨다(이원용 외, 2017). LID 기술요소 선정 시 해당 지역의 강우특성, 유역특성, 토양특성, 이용특성에 대한 기초조사가 이루어져야 하며 빗물관리 목표 이행 여부의 우선적인 검토가 필요하다.

표 2-9 | LID 기술요소 선정을 위한 기초조사 항목

지역강우 특성	지역유역 특성	지역토양 특성	토지이용 특성
<ul style="list-style-type: none"> 강우발생 패턴 강우발생 빈도 강우편차 보정 	<ul style="list-style-type: none"> 유역의 특성 유역 수리, 수문 지리적 조건 	<ul style="list-style-type: none"> 지하수 검토 토질 투수계수 질·성도 변화 	<ul style="list-style-type: none"> 토지이용 현황 토지환경 특성 시설의 심미성

자료: 환경부(2016) 「저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인」

환경부(2016)는 LID 기법 설계 가이드라인을 통해 도시의 물순환 체계 회복과 관련한 기술을 설명하고 있다. LID 기법은 식생형 시설, 침투시설, 빗물이용시설 3종류로 나눌 수 있으며 각 유형에 해당하는 기술요소 및 개요는 표 2-10과 같다.

표 2-10 | LID 기법 구분

구분	LID 기술요소	기술 개요
식생기반 시설	식생수로, 나무여과상자, 식생체류지, 식생여과대, 식물재배화분, 옥상녹화	<ul style="list-style-type: none"> 식생의 흡착, 식생토를 통한 침투를 이용하여 비점오염 물질을 저감하고 하부 쇄석층의 저류를 통해 유출수를 저류 및 침투시키며, 동식물의 서식 공간을 확보하고 도시의 열섬 현상 등 기후영향을 저감하여 쾌적한 도심 환경을 제공하는 시설
침투기능 중심 시설	침투트렌치, 침투측구, 침투통, 침투도랑, 투수성 포장	<ul style="list-style-type: none"> 강우 유출수의 토양 침투를 통한 여과, 흡착작용에 따라 비점오염물질을 저감시키고, 유출저감과 지하수 충전으로 하천의 건천화를 예방하고 도시 열섬 현상을 저감하는 시설
빗물이용 관련시설	빗물통	<ul style="list-style-type: none"> 건축물의 옥상(지붕)에서 유출되는 강우를 차집하여 빗물통으로 유입시켜 빗물을 이용하는 시설

자료: 환경부(2016) 「저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인」

1) 식생형 시설

식생형 시설은 토양의 여과·흡착 및 식물의 흡착 작용으로 비점오염물질을 저감하고 동식물의 서식 공간 확보 및 녹지경관 기능을 하는 시설로서 식생수로, 나무여과상자, 식생체류지, 식생여과대, 식물 재배화분, 옥상녹화를 포함한다.

식생수로(Vegetated swale)는 배수구역으로부터 발생하는 우수유출수를 포착하여 비점오염물질을 저감하고 운송하는 역할을 하며 오염물질 저감을 위한 물리적, 생물학적 기능 유도가 가능하다. 식생수로는 건식 식생수로와 습식 식생수로로 구분되며 습식 식생수로는 수로 내 피복된 식생에 의해 우수유출수의 유출속도를 감소시키고 침전 및 흡착에 의해 오염물질을 저감하는 반면에 건식 식생수로는 우수유출수가 여과상을 통과하도록 설계한다는 점에서 차이가 있다(환경부, 2016).

표 2-11 | 식생수로 종류

구분	LID 기술요소	모식도
건식 식생수로 (Dry Swale)	<ul style="list-style-type: none"> 토양 여과층을 통과하면서 오염물질 처리 주거지역에 선호되는 저감시설 	
습식 식생수로 (Wet Swale)	<ul style="list-style-type: none"> 수로형태 습지와 동일한 기능 수행 피복된 식생에 의한 우수유출수 유출속도 감소, 침전·흡착에 의한 오염물질 저감 	

자료: 환경부(2016) 「저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인」 재구성

식생여과대(Vegetated filter strips)는 생태제방으로도 불리며 식생활착이 유리한 토양으로 구성된 곳에 조밀하게 식생이 분포하여 강우유출수 감소, 사면안정, 여과기능을 수행하고 수질개선 및 도심내 녹지공간으로의 기능을 갖는 시설을 말한다. 우수유출수의 수질 향상 및 다른 비점오염저감시설의 전처리 공정으로 사용될 수 있으며 식생을 통해 여과작용, 토사침적작용, 흡착작용이 가능하다.

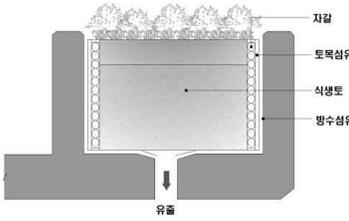
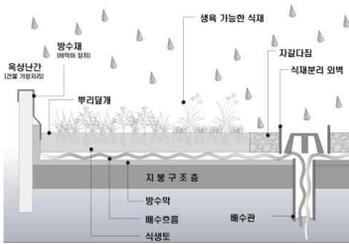
식생체류지(Bio-retention)는 잔디, 초본식물 등 다양한 식생들을 식재하여 비점오염물질을 저감시키는 시설로 토양층, 모래층, 자갈층으로 구성되며 토양에 의한 여과, 침투 및 저류, 생화학적 반응 등의 방법으로 강우유출수를 조절한다. 기존 및 신규 도심지의 녹지공간을 활용하여 적용할 수 있으며 저비용으로 고효율의 빗물관리가 가능하다.

나무여과상자(Tree box filter)는 가로수 하부에 여과층이 포함된 콘크리트 박스를 매립하여 강우 시 도로 등에서 발생하는 우수를 침투시켜 오염물질을 저감시키는 역할을 하며 도로변, 주차장 등 주변 지역에 적용하며 주로 불투수층 주변에 많이 적용하고 있다.

식물재배화분(Planter box)은 도시의 녹지공간이나 기존 수목이 식재된 화분 등 공간을 활용한 기술요소로 토양층 및 지하로 빗물침투를 유도하여 오염물질을 저감시키는 역할을 하고 식재를 통한 녹지기능 및 우수관리기능 확보가 가능하다.

표 2-12 | LID 식생형 시설 기술요소

구분	내용	모식도
식생수로 (Bioswale)	<ul style="list-style-type: none"> 배수 구조물 토양에 의한 여과, 생화학적 반응, 침투 및 저류 등의 방법으로 강우유출수를 조절하는 식생으로 덮인 수로 주요기능: 저류·여과·침투기능, 증발산, 생태서식처, 지하수 함양, 심미성 	
식생여과대 (Vegetated filter strips)	<ul style="list-style-type: none"> 자갈 및 식생활착이 유리한 토양으로 구성되며 강우유출수를 감소시키고 사면안정과 함께 여과기능을 수행, 수질개선 및 도심내 녹지공간 기능 주요기능: 여과·침투기능, 증발산, 생태서식처, 심미성 	
식생체류지 (Bio-retention)	<ul style="list-style-type: none"> 토양에 의한 여과, 생화학적 반응, 침투 및 저류 등의 방법으로 강우유출수를 조절하는 식생으로 덮인 소규모의 저류시설 주요기능: 저류·여과·침투기능, 증발산, 생태서식처, 지하수 함양, 심미성 비교적 넓은 면적이 소요되므로 토지이용계획 수립시 설치 부지를 사전에 확보하는 것이 필요 	
나무여과상자 (Tree box filter)	<ul style="list-style-type: none"> 가로수 하부에 여과부가 포함된 구조물 매립하여 강우 시 유출되는 우수를 유입시킨 후 여과, 침투 유도 주요기능: 여과·침투기능, 지하수 함양, 심미성 	

구분	내용	모식도
식물재배화분 (Planter box)	<ul style="list-style-type: none"> • 도심 녹지공간이나 기존 수목이 식재된 화분 등의 공간을 활용하여 우수를 저류, 체류 할 수 있는 시설물로 지피식물, 관목류 등의 식재를 통해 녹지기능과 우수관리기능을 확보 • 주요기능: 여과·침투기능, 증발산, 생태서식처, 지하수 함양, 심미성 	
옥상녹화 (Green roof)	<ul style="list-style-type: none"> • 강우유출수를 옥상에서 차집하여, 여과, 증발, 저류함으로써 도시화된 지역의 유출을 저감하는 기술요소이며 도심내 열섬 해소 효과, 휴게 공간 제공 등 부가적인 편익 창출 • 주요기능: 저류·여과기능, 증발산, 생태서식처, 심미성 	

자료: 환경부(2013) 「저영향개발(LID) 기술요소 가이드라인」 재구성

2) 침투시설

침투시설은 우수의 직접유출량을 감소시키기 위해 지반으로 침투가 용이하도록 고안된 시설을 말하며 별도의 부지확보가 어려운 도시에서 적용하기 용이하다. 침투시설은 침투트렌치, 침투도랑, 침투측구, 침투통, 투수성 포장을 포함한다.

침투트렌치(Infiltration trench)는 대표적인 침투형 LID요소기술로써 우수유출수를 저류 및 침투시켜 대상 지역 내 지하수 자원 확보 및 우수한 통수능으로 우수관거의 대체시설로 활용이 가능하다(연종상 외, 2014). 보통 도로주변이나 건물 등의 흠통 밑에 설치되어 건물 및 도로에서 발생하는 우수유출수를 처리하며 소규모 적용이 가능하여 좁은 공간에 효과적으로 설치할 수 있다(연종상 외, 2014).

침투도랑(Infiltration ditch)은 자갈 등으로 채워진 도랑형태로 우수유출수가 도랑을 통해 흐르면 흡착·침전·침투에 의해 오염물질을 처리하는 기술이다. 폭이 좁고 긴 도랑형태로 구성되어 있어 배수구역 가장자리, 자투리땅 등에 쉽게 설치가 가능하다(환경부, 2016).

침투측구(Infiltration channel)는 일반 측구와 비슷한 구조이며 측구 주변을 쇠석으로 충전하고 빗물을 측면 및 바닥을 통해 땅 속으로 침투시키는 구조를 말한다. 다양한 토지에 적용이 가능하며 주거지역 및 공원지역 등의 경계부에 설치하여 적용할 수 있다(환경부, 2016).

침투통(Infiltration chamber)은 지표하에 설치된 통을 통해 우수의 저류, 유출지체, 배수기능을 하며(김정호 외, 2017) 불투수층의 우수유출 저감 및 비점오염 저감을 위한 시설이다. 일반적으로 소규모로 사용되며 지붕에서 유입되는 유출수처리에 적합하고 불투수 표면에 적용이 가능하다. 침투통은 단독주택이나 공공주택 등 주거지역의 지붕 유출수를 처리하기 위한 집수정 대체용으로 주로 설치되며 도로의 빗물받이 대체용으로도 활용 가능하다(환경부, 2016).

투수성 포장(Porous pavement)은 표면으로 침투한 물이 땅속으로 침투하는 포장을 말한다. 노반, 쇄석, 필터층으로 구성되며 우수유출 저감 효과 및 여름철 열섬화현상 완화에도 기여할 수 있다(이재근, 2012). 포장 방식에 따라 전면 투수포장과 부분 투수포장으로 구분할 수 있으며 전면 투수포장은 주로 공원, 녹지지역, 수변구역 및 기타 문화시설 공간 등에 적용이 가능하며 부분 투수포장은 주차장, 도로의 보도, 기타 시설용지의 소규모 불투수층에 적용이 가능하다.

표 2-13 | LID 침투시설 기술요소

구분	내용	모식도
침투트렌치 (Infiltration trench)	<ul style="list-style-type: none"> 우수유출수 저류·침투시켜 대상지 내 지하수자원 확보 및 우수한 통수능으로 우수관거 대체시설로 활용가능 주요기능: 저류·침투기능, 지하수 함양 	
침투도랑 (Infiltration ditch)	<ul style="list-style-type: none"> 강우시 유출수를 담아두고 토양으로 침투시키는 기술이며 주거지역, 공원, 녹지지역, 인근 녹지지역 등에 적합 주요기능: 저류·여과·침투기능, 증발산, 지하수 함양, 심미성 	
침투측구 (Infiltration channel)	<ul style="list-style-type: none"> 투수성 콘크리트 또는 투수구조로 설치하며 측구 주변을 쇄석 등 다공성 매질로 충전하여 빗물을 측면 및 바닥을 통해 땅속으로 침투 주요기능: 여과·침투기능 	
침투통 (Infiltration chamber)	<ul style="list-style-type: none"> 건축물의 홈통과 연결되어 있거나 불투수면의 유출수가 유입될 수 있도록 설치되어 토양으로 침투. 표면을 초화류 및 기타 재료로 덮기 가능 주요기능: 여과·침투·저류기능, 지하수 함양 	
투수성 포장 (Porous pavement)	<ul style="list-style-type: none"> 강우유출수를 토양에 침투. 우수유출수의 유출저감 및 불투수층 비점오염저감 기능 주요기능: 여과·침투·저류기능, 증발산, 지하수함양 	

자료: 환경부(2013) 「저영향개발(LID) 기술요소 가이드라인」; 환경부(2016) 「저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인」 재구성

3) 빗물이용시설

빗물이용시설은 건축물의 지붕면 등에 내린 빗물을 모아 이용할 수 있도록 처리하는 시설을 말하며 빗물통을 포함한다.

빗물통(Rain barrel)은 지붕 유출수를 이용하기 위해 설치되는 저류시설로 소규모 강우에 대한 유출량 저감과 대체용수 확보에 용이하다(환경부, 2013). 단독주택, 근린생활시설 등 소규모 건축물에서 집수된 물은 가정의 조경용수, 청소용수 등으로 활용이 가능하다.

표 2-14 | LID 빗물이용시설 기술요소

구분	내용	모식도
빗물통 (Rain barrel)	<ul style="list-style-type: none"> • 소규모 건축물에서 빗물을 모아 이용할 수 있으며 다양한 크기로 제작, 구입하여 사용 가능 • 주요기능: 빗물이용, 유출저감 	

자료: 환경부(2013) 「저영향개발(LID) 기술요소 가이드라인」 재구성

제3장

시범대상지

물순환 회복 정책 도입방안

제1절 시범대상지 현황

제2절 물순환 회복 정책 도입방안

제3장 시범대상지 물순환 회복 정책 도입방안

제1절 시범대상지 현황

1. 개요

시범대상지는 환경부가 주관하는 ‘탄소중립 그린도시 사업’ 대상지로 선정된 바 있는 수원시 장안구 고색동 일원(888ha)로 선정하였다. 해당지역은 수원시에서 조사한 침수 발생 이력이 있는 지점 중 하나이면서, 향후 공간계획 변경 가능성이 있는 지역이므로 물순환 회복 정책 도입에 따른 효과를 비교하기에 적합하다.

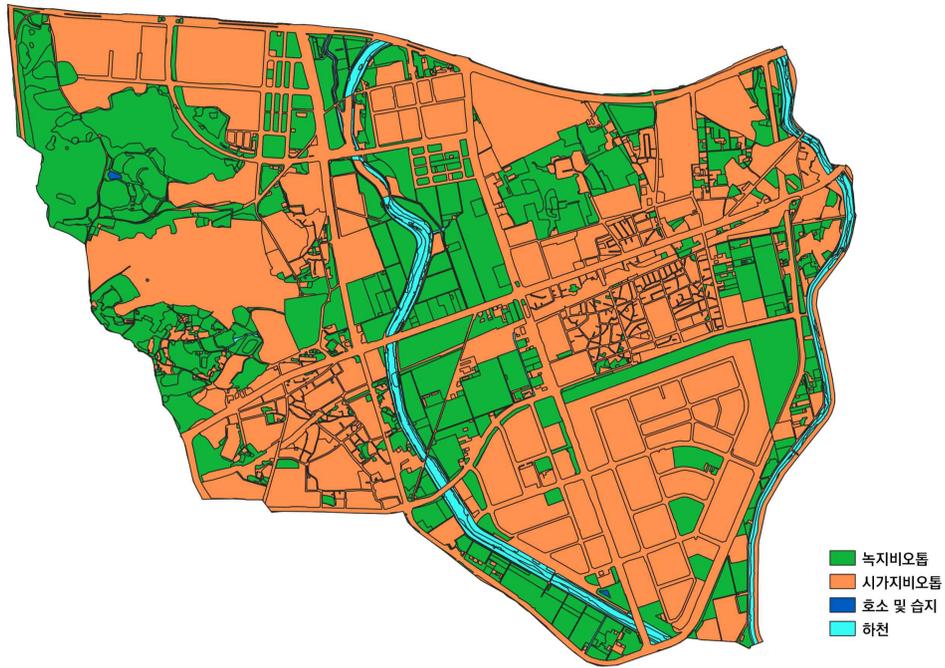
탄소중립기본법 제29조에 의거한 탄소중립도시는 탄소중립 관련 계획 및 기술 등을 적극 활용하여 탄소중립을 공간적으로 구현하는 도시로 정의하고 있다(박창석, 2022). 고색동 일원의 탄소중립 그린 도시 사업은 2026년까지 추진될 예정이다. 탄소중립 관련 계획 및 기술에는 여러 가지가 해당되나 본 연구에서 주로 다루고자 하는 주제는 기후변화 적응 및 기상재해 대응을 위한 시스템 구축과 관련된 사업 중 홍수, 물순환과 관련된 부분을 포함한다. 홍수, 물순환과 관련된 실제적인 기술은 실시설계 단계에서 구체화될 수 있으므로 공간계획 차원에서만 논의하기로 한다.

2. 지형적 특성

1) 도시생태현황

수원시 장안구 고색동 일대의 도시생태현황을 살펴보면 시가지비오톱 유형은 주거지, 상업 및 업무지, 주상 혼합지, 공공용도지 등을 포함하며 61.5%로 가장 많은 면적을 차지하고 있으며, 녹지비오톱 유형은 하천, 호소 및 습지, 경작지, 나지 및 폐허지 등(김은영, 2020)을 포함하여 38.5%의 면적을 차지하고 있다.

그림 3-1 | 대상 지역 비오톱지도



대상 지역의 공원 및 녹지 면적은 전체면적 중 약 11%로 녹지면적 15.1%, 공원면적 82.6%, 기타 교통광장시설이 2.3%를 차지하고 있으며 기타 공원시설 40.0% 근린공원 35.3%, 완충녹지 9.9% 순으로 구성되어 있다.

그림 3-2 | 대상 지역 공원 및 녹지 현황



표 3-1 | 대상 지역 공원 및 녹지 현황

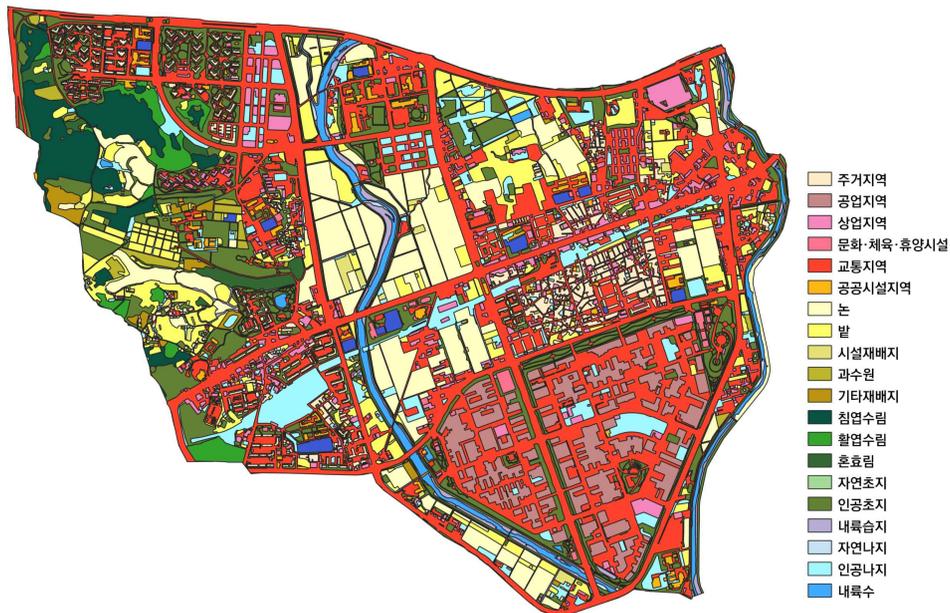
(단위: m², %)

구분	면적	구성비
완충녹지	103,629	9.9
경관녹지	14,798	1.4
공공공지	39,729	3.8
근린공원	369,826	35.3
어린이공원	18,410	1.8
체육공원	58,928	5.6
기타 공원시설	419,254	40.0
기타 교통광장시설	24,359	2.3
합계	1,048,933	100.0

2) 토지피복 현황

수원시 장안구 고색동 일대의 토지피복¹⁾ 현황을 살펴보면 불투수 49.2%, 투수 7.0%, 녹지 41.9%, 수공간 1.9%로 구성되어 있어 녹지와 불투수 지역이 대부분의 면적을 차지하고 있다. 중분류 차원의 토지피복을 살펴보면 교통지역 33.7%, 인공초지 15.7%, 논 10.2% 순으로 피복되어 있다.

그림 3-3 | 대상 지역 토지피복 현황



1) 2022년 토지피복지도 데이터 활용

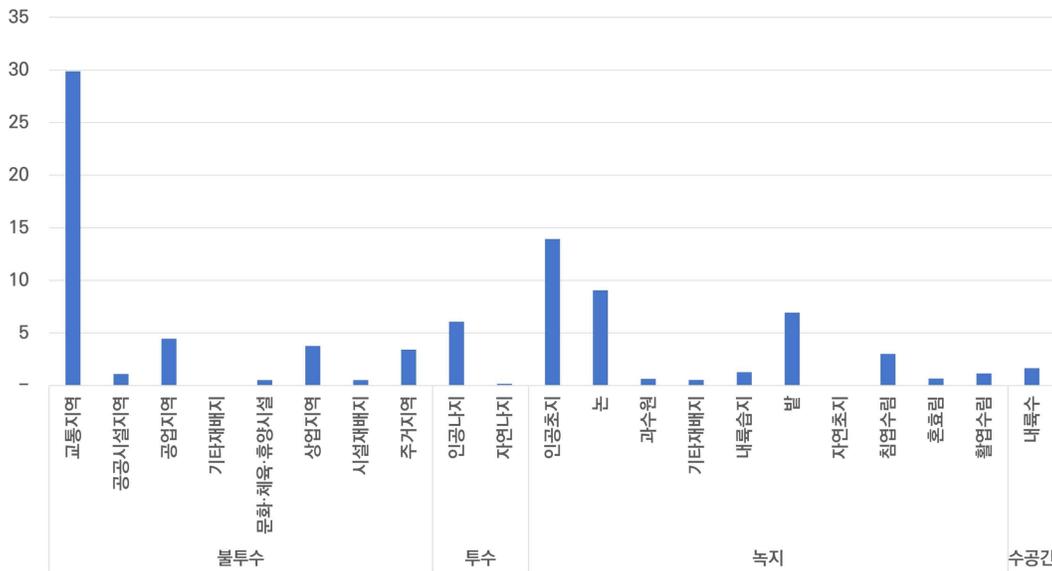
표 3-2 | 대상 지역 토지피복 및 면적 비율

(단위: m², %)

분류	불투수	투수	녹지	수공간	합계
면적	4,365,887	623,887	3,720,586	165,569	8,875,929
비율	49.2	7.0	41.9	1.9	100.0

그림 3-4 | 대상 지역 토지피복 현황에 따른 면적

(단위: km²)



불투수지 면적의 68.4%가 교통지역으로 가장 많은 면적을 차지하고 있으며 공업지역 10.2%, 상업지역 8.6% 순으로 피복되어 있고 투수지의 경우 인공나지 97.3%, 자연나지 2.7% 순으로 인공나지가 대부분인 걸 확인할 수 있다. 녹지는 인공초지가 37.4%로 가장 많은 면적을 차지하고 있으며 녹지면적 대비 산림이 13.0%, 경작지는 87.0%로 분석되었다.

수원시 비오톱유형도²⁾를 바탕으로 불투수면적 비율을 산정하였으며 대상 지역의 불투수면적 비율 분포는 시가지비오톱의 비율이 높은 것으로 분석되었다. 녹지비오톱에서 불투수면적 비율 100%에 해당하는 곳은 비오톱 중분류 내 도시 유희지로 나타났다.

하천, 호수, 보안지역 비오톱은 불투수율에 따른 자연성 측면보다 다른 측면에서의 비오톱 가치로 평가될 필요가 있어, 불투수면적 비율을 산정하지 않았으며(수원시, 2019). 0%와 100%에 해당하는 불투수면적 비율을 제외하고 90.1-99.9% 구간에서 656,175m²로 가장 높게 나타났다.

2) 수원시 자연환경조사 및 도시생태현황지도(2019) 자료를 바탕으로 분석 진행

그림 3-5 | 대상 지역 불투수면적 분포 현황

(단위: %)



표 3-3 | 대상 지역 불투수율

(단위: %, m², %)

불투수율	녹지비옴면적	시가지비옴면적	합계	비율
0.0	2,705,442	-	2,705,442	30.5
0.1-10.0	1,261	504,495	505,756	5.7
10.1-20.0	-	43,095	43,095	0.5
20.1-30.0	-	29,160	29,160	0.3
30.1-40.0	-	180,464	180,464	2.0
40.1-50.0	-	223,105	223,105	2.5
50.1-60.0	-	219,856	219,856	2.5
60.1-70.0	-	473,777	473,777	5.3
70.1-80.0	-	423,425	423,425	4.8
80.1-90.0	-	419,809	419,809	4.7
90.1-99.9	-	656,175	656,175	7.4
100.0	379,985	2,214,168	2,594,153	29.2
합계	3,086,688	5,387,530	8,474,218	95.4
미산정	하천, 호수, 보안지역: 401,711		401,711	4.6
	총합계		8,875,929	100.0

3) 표고 및 경사

대상 지역의 표고 분석 결과, 20m에서 35m 사이 지역이 전체의 79.1%를 차지하며 평균 표고 값은 30.5m이고 최저 표고는 20m, 최고 표고는 79.7m로 저지대로 분석되었다. 경사도 분석 결과, 5° 이하의 토지가 92.1%를 차지하며 평균 1.5°, 최대 43.5°로 분석되었다.

그림 3-6 | 대상 지역 표고분석

(단위: m)



그림 3-7 | 대상 지역 경사도분석

(단위: °)



표 3-4 | 대상 지역 표고 및 경사도분석

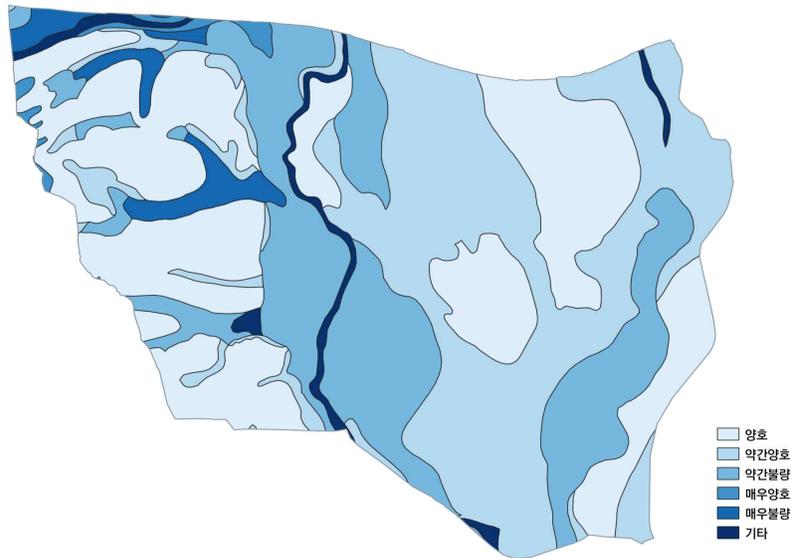
(단위: m², %)

구분		면적	구성비
표고	20m 미만	77,675	0.9
	20~35m	7,023,428	79.1
	35~50m	1,525,606	17.2
	50~65m	207,933	2.3
	65~80m	41,287	0.5
	합계	8,875,929	100.0
경사	5° 이하	8,175,263	92.1
	5~10°	521,825	5.9
	10~15°	152,549	1.7
	15~20°	20,393	0.2
	20° 이상	5,898	0.1
	합계	8,875,929	100.0

4) 토양

정밀토양도³⁾를 통해 살펴본 대상 지역의 토양 배수능력은 약간양호가 33.5%로 전반적으로 양호한 상태를 보이고 있으며 토양 유효토심에서는 100cm 이상의 깊은 토심이 69.9%로 가장 높았다.

그림 3-8 | 대상 지역 토양 배수



3) 농촌진흥청에서 운영하는 토양환경정보시스템인 '흙토람'에서 제공하는 토양환경지도 활용(고우리 외, 2021)

표 3-5 | 대상 지역 토양 배수

(단위: m², %)

구분	면적	구성비
양호	3,102,937	35.0
약간양호	2,973,519	33.5
약간불량	2,231,399	25.1
매우양호	82,961	0.9
매우불량	284,472	3.2
기타	200,641	2.3
합계	8,875,929	100.0

그림 3-9 | 대상 지역 유효토심

(단위: cm)



표 3-6 | 대상 지역 유효토심

(단위: m², %)

구분	면적	구성비
20cm 미만	82,961	0.9
20~50cm	333,360	3.8
50~100cm	2,051,547	23.1
100cm 이상	6,207,421	69.9
기타	200,641	2.3
합계	8,875,929	100.0

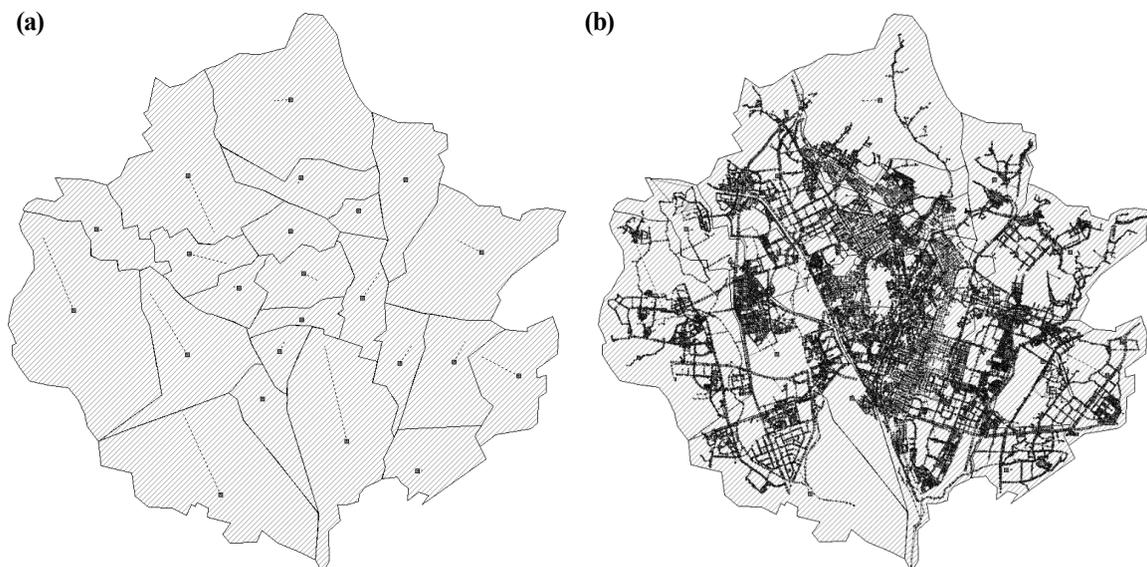
제2절 물순환 회복 정책 도입방안

1. 물순환 회복 정책 공간계획 도출 방법론

본 연구에서는 모델링 기반의 물순환 분석 방법론을 통해 효과적인 홍수 저감을 위한 그린-그레이 인프라 위치 설정 방안을 논의하기 위해 Vercruyssen et al.(2019)과 Dawson et al.(2020)이 제안한 방법론을 일부 차용하여 기여 및 영향 영역을 도출하고 의사결정지원 정보를 제공하기 위해 도출된 영역에 대한 공간계획 방향을 제안하고자 하였다. 여기서 ‘기여영역(source area)’은 지표면 홍수에 가장 많이 기여하는 영역을 의미하며, ‘영향영역(impact area)’은 지표면 홍수량이 가장 많아 잠재적 위험이 큰 영역을 의미한다(배채영과 이동근, 2022)

기여 및 영향 영역을 도출하는 과정은 Vercruyssen et al.(2019)이 제안한 영역 식별 방법론을 적용하였으며, QGIS와 U.S. EPA에서 개발한 준분포형 수문모델 Stormwater Management Model(SWMM)을 사용하였다. SWMM은 오픈소스 모델로 누구나 이용이 가능하며, 직관적으로 홍수 예측량을 시뮬레이션 할 수 있으며, 그레이 인프라 혹은 그린 인프라 적용에 따른 침투 유출 저감량, 총 유출량 저감량, 총 홍수량 저감량, 침투 홍수 저감량 등을 시각적으로 볼 수 있다. 또한, 그린인프라 기술이 적용될 수 있어 그린-그레이 인프라를 적용하였을 때 각각의 효과와, 두 가지 기술이 동시에 적용되었을 때 상호성을 분석할 수 있다.

그림 3-10 | (a) 수원시 전역 소유역 모델 (b) 하수관망에 대한 노드 및 링크



SWMM 모델은 그린 인프라의 수문학적 반응을 시뮬레이션할 수 있는 모델 중 하나이다(Rossmann, 2010). 수원시 하수관거에 대한 GIS 자료를 제공받아 SWMM에서 구동가능한 .inp 확장자로 변경하기 위해 오픈소스 프로그램인 Rstudio의 SWMMR 패키지를 활용하여 소유역의 크기, 경사, 길이, 불투수면적, 관거의 크기, 관거의 종류 등을 빠르게 입력하였다. 수원시를 전체 23개의 유역, 40,281개의 링크, 39,197개의 노드로 구성하였다. 모델에서 다양한 물리식이 적용되었으나 수문 흐름을 설명하기 위한 주요 이론은 다음과 같다. 침투는 빗물이 지하 표면으로 흡수되어 불포화 토양 영역을 관통하는 과정을 말하는데, 본 연구에서 Horton의 침투식 고려하였다(Horton, 1945). 하도 추적은 하수 관망을 모의하기 위한 동역학과 모형(Dynamic Wave)를 선택하였다.

그림 2-10과 같이 구성한 모델을 기반으로 기여영역을 도출하기 위해 입력값 중 강우량을 소유역 별로 생략하는 모델을 반복 실행함으로써 각 하위유역이 홍수량에 기여하는 정도를 도출하였다.

영향영역은 유출곡선지수법(runoff curve number method, CN)을 활용하여 도출하였다. CN은 미국 토양보존국(U.S. Soil Conservation Service, SCS)에서 1972년 개발한 방법으로 다음의 식에 의하여 지표유출량을 산정할 수 있다.

$$(1) Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}, \quad (2) I_a = 0.2S, \quad (3) Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}$$

여기서, Q는 지표유출량(mm), P는 총강우량(mm), I_a 는 강우유출이 발생하기 이전의 초기손실량(mm)으로 정의된다. S는 최대잠재보류량(potential maximum retention)으로, 강우유출이 시작된 시점 이후로 유역이 보류할 수 있는 최대보류능력(mm)을 의미한다. 유역의 최대잠재보류량 S는 CN을 통하여 유역의 토지피복과 토양에 직접적으로 연관되어 있으며 다음의 식과 같다.

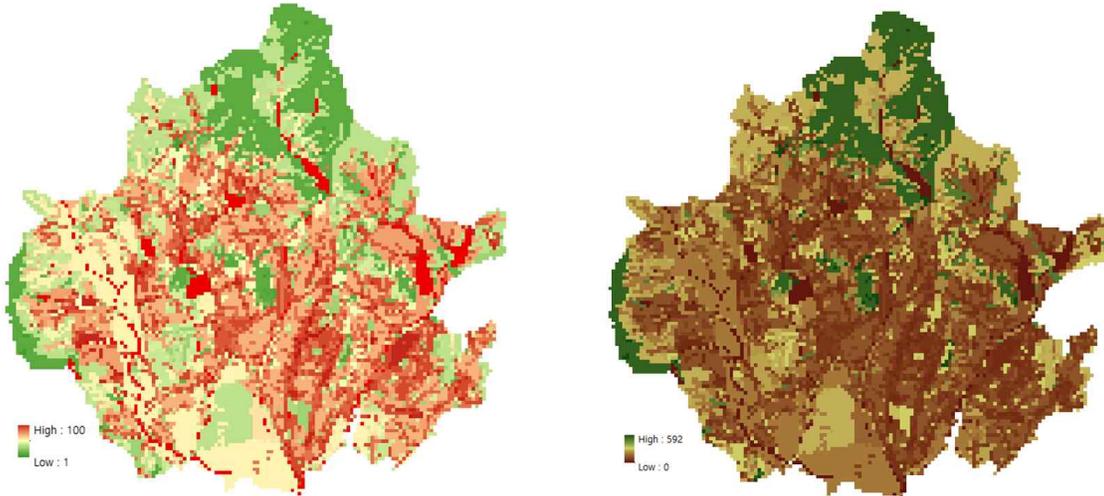
$$CN = \frac{25,400}{S + 254}$$

CN은 0에서 100 사이의 값을 갖게 되며(US SCS, 1986), 농경지를 대상으로 개발된 총우량으로부터의 지표유출에 대한 잠재력을 나타낸 값이기 때문에 침투율, 증발율, 토양수분, 지체시간, 강우강도, 온도 등의 인자에 영향을 받게 된다. SCS에서는 피복밀도, 토지이용, 수문학적 토양군에 따라서 CN 값을 산정할 수 있도록 제시하고 있다.

호우사상이 발생하기 이전 유역의 잠재적인 유출능력을 나타내는 지수로서 선행함수조건 AMC를 적용하는데, AMC는 어느 한 유역의 CN이 호우사상마다 변화하는 것을 감안해주기 위한 것으로 본 연구에서는 유역의 토양 습윤상태가 평균적이며 침투율이 중간 정도인 상태(AMC-II)로 가정하였다. 토지피복과 토양특성에 따른 CN 값을 할당하기 위해 토지피복도와 토양도를 활용하였고, 선행연

구사례에서 제시한 국내 유출곡선지수 기준(AMC-II)을 바탕으로 CN 값 할당하였다. 결과값 도출 그리드 크기는 100m로 설정하였다.

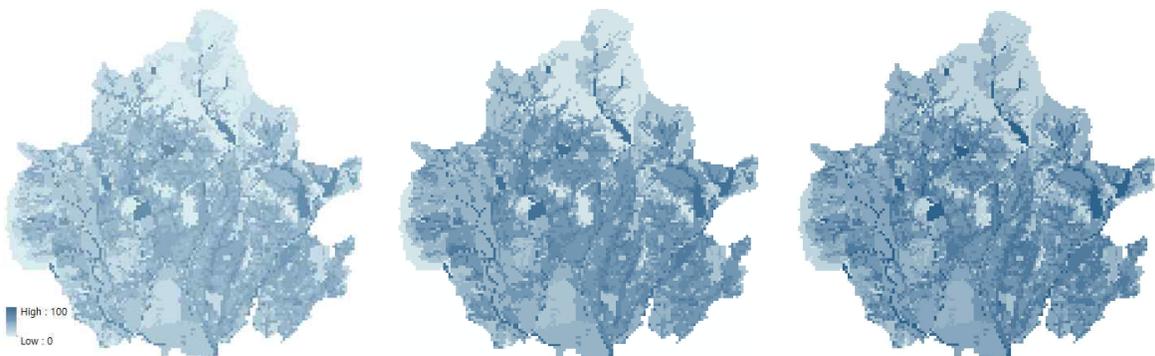
그림 3-11 | CN 값(좌) 및 최대잠재보류량(우) 맵핑 결과 (100m grid)



적용된 강우량은 국가수자원관리종합정보시스템에서 제시하는 자료를 활용하였는데(WAMIS, <http://www.wamis.go.kr/>), 이는 2017년까지의 강우자료를 이용하여 각 강우관측소 지점의 지속 기간별 연도별 최대치에 임의시간 환산계수를 적용 후 지역빈도해석을 통해 산정한 확률강우량(mm)이다. 본 연구에서는 수원 지점에 대한 강우량을 바탕으로 기존 우리나라 하수시설물의 일반적인 설계빈도인 10년의 재현기간에 대한 설계강우량과 지방하천 홍수시나리오로 주로 적용되는 50년 및 100년 재현기간에 대한 설계강우량을 적용하였다.

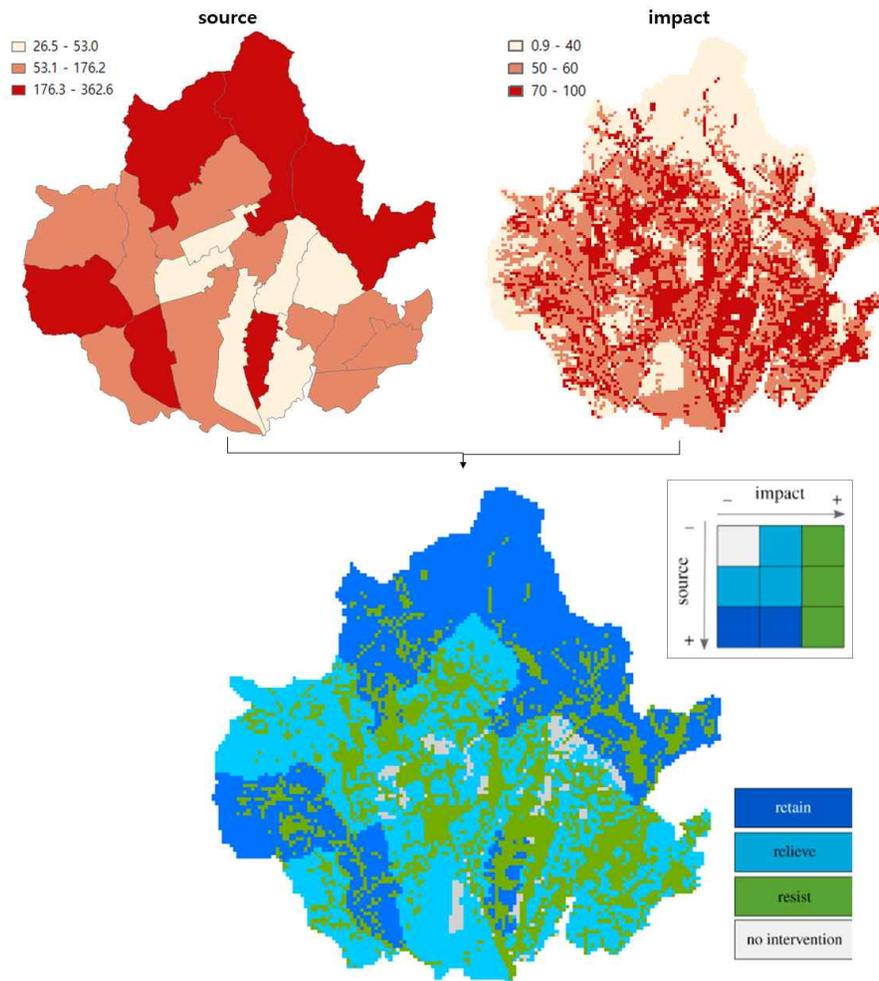
도시 우수 관망의 경우, 도달시간이 2시간 이하인 소배수 구역의 관거가 결합된 형태로 구성되어 있기 때문에(박종표 외, 2019), 본 연구에서는 1시간 지속시간에 대한 확률강우량을 적용하였다. 각 설계강우량에 대한 최대유출량은 69.4mm(10년빈도), 88.5mm(50년빈도), 96.1mm(100년빈도)로 도출되었다.

그림 3-12 | 10년, 50년, 100년 빈도 강우에 대한 유출량 (100m grid)



기여 및 영향 영역에 대한 등급화 방법은 ArcGIS에서 제공하는 일반적인 방법을 적용하고자 하였다. 등간격(Equal Interval), 분위수(Quantile), 표준편차(Standard Deviation) 및 자연적 구분법(Natural Breaks)을 적용한 재분류 결과를 검토한 결과 자연적 구분법을 적용하였을 경우 가장 균등한 면적의 기여 및 영향 영역이 도출되었으므로 이에 따라 3개의 클래스로 분류, 가장 높은(High) 등급의 영역을 그린-그레이 인프라 배치 영역으로 설정한다(배채영과 이동근, 2022).

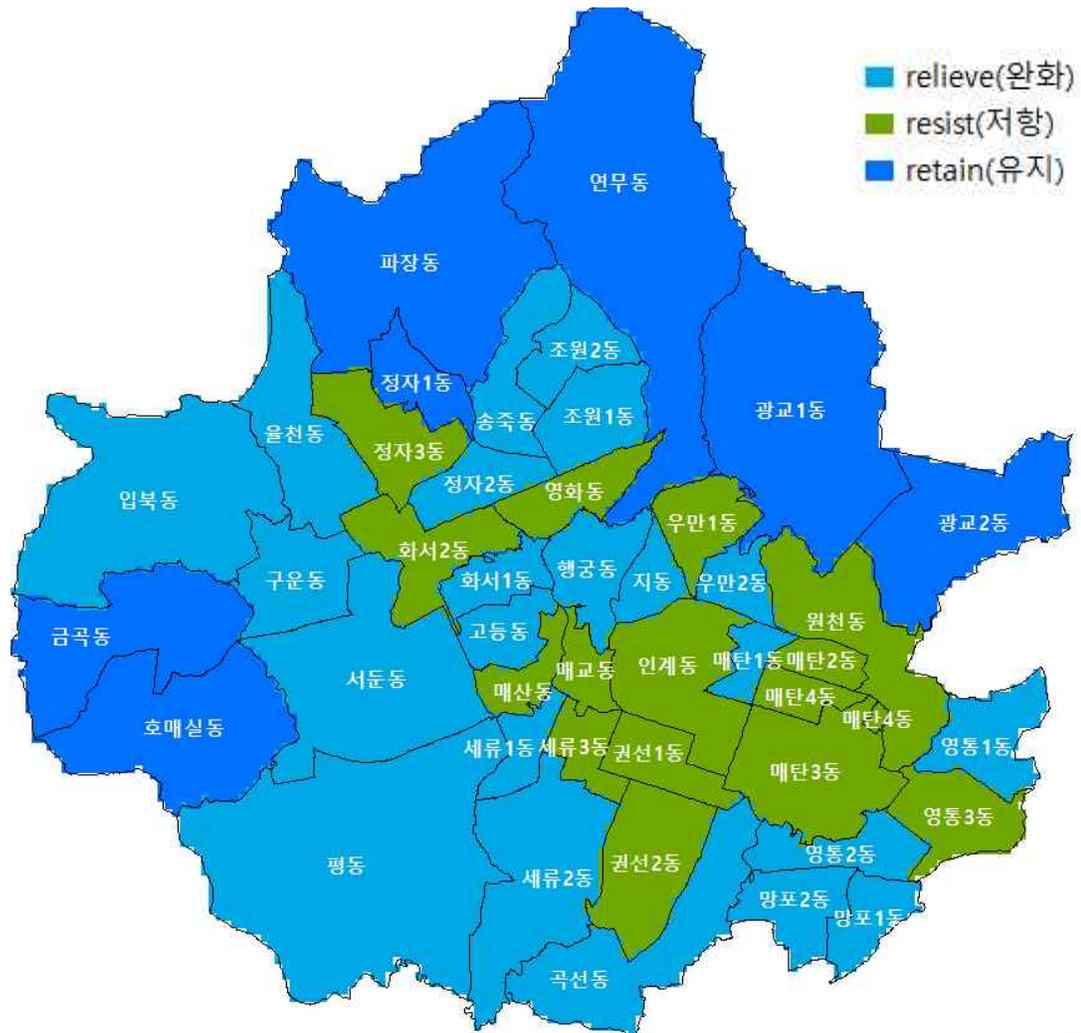
그림 3-13 | 기여 및 영향 영역 고려한 상호운용성 맵



Dawson et al.(2020)의 연구에서는 도출된 기여 및 영향 영역에 대한 정보를 기존의 토지피복 및 기반 시설 정보와 결합하여 홍수 위험관리 공간 분석 프레임틀을 제시하고 있으며, 여기서는 이를 기반으로 현재 또는 미래의 공간 계획의 적절성과 방향을 제시하고자 했다. 기여 및 영향 영역의 도출 결과에 따라 다음 네 가지 유형으로 분류할 수 있다. 첫 번째 유형은 공간 전체에 걸쳐 홍수 위험에 최소한으로 기여하고 홍수의 영향이 낮아 개입이 필요하지 않은(no intervention) 구역으로

정의한다. 두 번째 유형은 낮음에서 중간 정도의 홍수기여도와 낮음에서 중간 정도의 영향을 보이는 구역으로 가장 적절한 홍수관리 조치는 기존 인프라 시스템을 따라 물을 완화(relieve)할 수 있는 전략이 필요하다. 세 번째 유형은 홍수기여도가 높아 원인이 되는 영역을 중심으로 하며, 하류에 미치는 잠재 위험과 노출을 줄이기 위해 빗물을 유지(retain)하고 침투 능력을 향상하는 데 집중해야 한다. 마지막으로 지역의 홍수 영향이 높은 영역은 다른 기반 시설 시스템을 사용하여 빗물을 완화하거나 보유하기보다 추가 노출을 줄이고 강우에 저항(resist)하기 위한 전략이 필요하다.

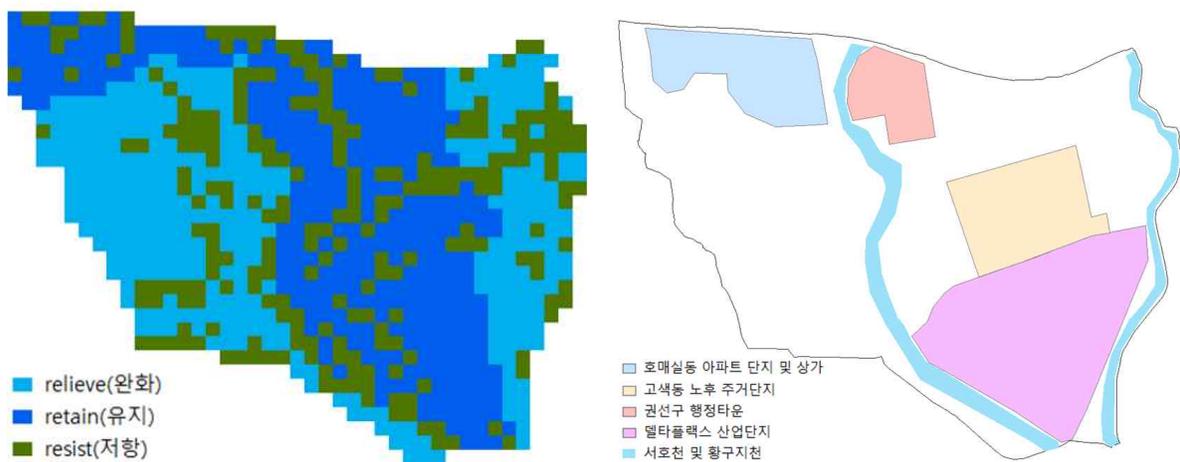
그림 3-14 | 수원시 동단위 물순환 상호운용성 맵



이 분류를 수원시 전체에 적용한 결과를 그림 3-14에서 제시했다. 맵핑 결과는 격자 단위로 도출하였으나, 행정구역 단위의 상호운용성을 정의하기 위해 동별 대푯값을 도출하였다. 동별 대푯값은 동단위 격자값(완화, 저항, 유지, 간섭 없음)을 분석하여 가장 많이 부여된 셀을 해당 동이 가진 특성으로 정의하여 표현하였다. 도출 결과 광교산과 칠보산이 위치한 수원시 북부지역(연무동, 파장동, 광교1

동, 광고2동)과 서부지역 일부(금곡동, 호매실동)는 기존 녹지축과의 연결성을 높이는데 초점을 둔 공간계획 전략을 통해 침투능력을 최대화할 수 있도록 하는 그린인프라 조성계획이 필요하다. 저항 구역으로 도출된 정자3동, 화서2동, 영화동, 인계동, 매탄동 등은 홍수에 대한 잠재적 영향이 큰 지역으로 그린인프라 계획에 앞서 하수관거 재정비사업이나 펌프장 신설 등 구조적 사업에 대한 필요성 검토가 이루어져야 할 것으로 사료된다. 그 밖의 지역의 경우 저류기능 중심의 그린인프라를 우선 계획하되 자투리 공간에 침투기능 중심의 그린인프라를 배치하는 것이 바람직한 공간계획 전략이 될 것으로 사료된다.

그림 3-15 | 시범대상지 공간계획 방향(좌) 및 주요계획시설(우)



시범 대상지에 적용한 결과와 대상지 주요계획시설을 그림 3-15에서 비교 및 제시했다. 대상지 향후 주요시설 계획에 있어 권선구 행정타운과 고색동 노후 주거단지는 유지(retain) 기능을 초점으로 한 그린인프라 기법을 우선 적용함으로써 기존 녹지 공간과 통합하여 보유하는 우수의 양을 최대화하는 데 중점을 둘 수 있다. 호매실동 아파트 단지 및 상가와 델타플렉스 산업단지는 유지 구역과 완화 구역이 혼재하는데 완화(relieve) 구역에는 극한강우가 발생하는 경우 배수 시스템에 대한 압력을 줄이기 위해 저류 기능을 활성화할 수 있는 오픈 스페이스 도입 등을 계획할 수 있다. 마지막으로 하천 및 인접 배수 분구와 연결된 저항(resist) 구역에서의 공간 계획은 홍수로부터 건물을 보호할 수 있는, 즉 이 연구에서의 하수관거 확장 등 즉각적 효과를 도출할 수 있는 전략의 도입을 고려해야 한다.

2. 시범대상지 영역별 물순환 회복 정책 제안

영역별 물순환 회복 정책 및 기술은 환경부(2023)에서 수행한 연구내용을 참고하고, 연구를 수행한 전문가 의견을 수렴하여 작성하였다.

1) 유지 구역을 위한 물순환 회복 정책·기술

유지 구역을 위한 물순환 회복 기술은 주로 침투 능력에 초점을 두고 있다. 침투저류지는 굴착 및 독을 쌓아 형성한 저수지를 말하며 강우유출수를 얇은 수심의 저류지에 차집하여 임시 저장 또는 침투를 통해 빗물의 직접유출을 저감하고 이와 동시에 오염물질이 제거되도록 설계된 시설을 말하며 현장여건에 따라 이격거리 조정이 가능하다. 저류지 사면의 경우, 식생 등을 통해 주변 환경과의 조화를 고려해야 한다.

그림 3-16 | 유지구역에 적합한 물순환 회복 기술 침투저류지 예시



침투도랑은 강우유출수를 처리하기 위하여 0.3m에서 3.0m 사이의 깊이로 굴착시킨 도랑에 자갈 또는 돌을 충전하는 방식으로 조성한 일종의 지하 저수조를 말하며 차집된 강우유출수는 도랑 바닥을 천천히 통과하면서 하부토양층을 침투하고 그 후에 지하수면에 도달을 유도하는 시설물이다.

그림 3-19 | 유지구역에 적합한 물순환 회복 기술 식생수로 예시



식생체류지는 식물이 식재된 토양층 및 모래, 자갈층 등으로 구성되어 있으며, 강우유출수가 지하침투 과정에서 비점오염물질을 저감시키는 시설을 말한다. 초본, 잔디, 나무 등 다양한 식생들을 식재하여 강우유출수를 침투, 여과시켜 비점오염물질을 저감하고 주거단지, 산업단지, 도로, 공원, 주차장 등 다양한 입지에 적용 가능하다.

나무여과상자는 나무 또는 큰 관목이 식재되어 있는 콘크리트 박스로 식재토양층의 여과기작을 통하여 강우유출수에 포함된 오염물질을 저감시키는 시설로 비점오염물질이 용해되어 있는 초기우수는 필터를 통해 여과 및 흡착하고 지속강우는 월류 및 별도의 집수구를 통해서 배수본관으로 유출된다.

식물재배화분은 식물식재 토양층과 그 밑을 자갈로 채운 후에 강우유출수를 식재토양층 및 지하로 침투시켜서 오염물질을 저감시키는 시설로 도시의 녹지공간이나 기존 수목이 식재된 화분 등 다양한 공간을 활용하여 우수를 저류, 체류할 수 있는 시설물을 말한다. 주거 및 상업지역의 보도나 주차장, 수변공간 도로 및 보도 인근에 적용할 수 있으며, 도심지 경관 향상 및 친환경적 개선에 기여한다.

그림 3-20 | 유지구역에 적합한 물순환 회복 기술 식생체류지 예시



2) 완화 구역을 위한 물순환 회복 정책·기술

저류지는 강우유출수의 집수, 저류 및 배수조절 저류시설을 통해 중력 침전 및 생물학적 과정을 통해 오염물질 저감에 기여한다.

그림 3-21 | 완화구역에 적합한 물순환 회복 기술 저류지 예시



지하저류조는 우수저류시설을 지하에 설치하여 지상부지를 주차장이나 공원 등 다른 용도로 이용할 수 있도록 만든 구조화 시설을 말한다.

그림 3-22 | 완화구역에 적합한 물순환 회복 기술 지하저류조 예시



결론

제1절 연구의 의의 및 한계

제2절 정책적 제언

제4장 결론

제1절 연구의 의의 및 한계

기후변화 시나리오만을 보았을 때 장기적으로 지역별 연강우량은 점차 감소하는 추세이지만 우리나라의 경우 점차 열대 기후로 진입하고 있어 국지적으로 발생하는 고강도의 강우 문제도 피할 수 없다. 이러한 문제에 대응하기 위해 배수 인프라 용량을 늘리는 옵션과 녹색 공간과 같은 침투 면적을 늘리는 옵션 중 하나를 택하기보다 두 가지 요소를 모두 고려한 계획이 중요하다. 또한 정해진 비용 내에서 최대의 효과를 도출하기 위해 그린-그레이 인프라의 상호성을 고려한 적절한 위치 설정에 관한 연구가 요구되며 이러한 연구결과를 공간계획에 반영할 수 있다.

이에 본 연구에서는 도시 물순환 회복을 위한 연구사례와 관련 기술·정책 및 법제도를 검토하고, 재생계획이 예정되어 있는 시범대상지를 대상으로 구역별 물순환 특성을 고려한 그린-그레이 인프라 입지 방안을 제안하였다.

입지 방안을 제안함에 있어 기여 및 영향 영역 분류 가이드를 기반으로 수문모형을 활용하여 홍수에 따른 공간적 영향을 평가함으로써 도시 그린-그레이 인프라의 효과를 최대화할 수 있는 위치 설정 방법을 제시하였다. 연구 결과 홍수를 유발하는 지역에서는 그린 인프라, 홍수 피해가 심화한 지역에는 그레이 인프라를 구현하는 것이 홍수 저감에 유리한 것으로 확인되었다. 이러한 영역 별 분류와 그린-그레이 인프라 입지방안에 대한 가이드를 바탕으로 시범대상지 주요 계획시설이 위치한 영역에 어떤 물순환 회복 기술에 적용되는 것이 적합한지 구현 방안을 제시하였다.

본 연구는 몇 가지 제한점이 존재하는데, 이 연구의 결과는 모든 강우 사상에 대해 일반적인 것은 아니며 다양한 강우 강도와 지속시간에 의해 영향을 받을 수 있다는 점이다. 따라서 실제 의사결정을 위한 연구에서는 다양한 강우 패턴에 대한 민감도 분석도 선행해야 한다. 또한, 하위유역이 세부적으로 분할되어 있지 않아 결과의 공간 해상도가 낮아 세부 영역에 대한 시사점을 고려하기 어려웠다. 결과의 정확도 향상을 위해 모델의 공간 해상도를 높일 필요가 있다. 또한 시뮬레이션 연구에서는 대상지에 대한 방류량, 수위 등을 바탕으로 한 모델 검·보정 과정이 중요한데 수원시에서는 검·보정을 위한 하천수위, 맨홀수위 등의 자료 구축이 미흡하여 침수발생 시점 일치 여부 등의 대체자료로 검증을 수행함에 따라 모델의 정확도를 높이는 데 한계가 있었다. 향후 관계부서와 협업하여 상기의 자료를 구축하기 위한 기반 마련이 요구된다.

또한 본 연구에서는 시뮬레이션 모델을 기반으로 구조적 기술의 적용에 따른 물리적 효과만을 다루

어 도시에서 중요한 사회적 및 경제적 요소나 정책에 대한 고려가 이루어지지 못했다는 점도 한계점으로 지적될 수 있다. 다양한 이해관계자의 통합 관리와 지역 사회의 장기통합개발계획이 결합했을 때 비로소 지역의 목표에 맞추어진 최적의 도시 물순환 회복 전략을 도출할 수 있을 것이므로 향후 과제를 통해 반지하주택 밀집지역, 저지대 등 취약지역을 파악하고, 적용 단위기술의 비용과 사회적 피해비용을 고려한 시나리오 생성함으로써 구체적인 계획안을 도출할 수 있을 것으로 기대한다.

제2절 정책적 제언

수원시는 2010년대부터 ‘레인시티’ 사업 등을 추진하며 녹지와 수역의 조화를 통해 물순환 도시를 만들기 위해 노력하고 있다. 레인시티 사업을 통해 저류조 등 그레이 인프라와 투수성 포장, 생태저류지 등 그린인프라 단위시설을 설치하고 그 효과를 분석한 바 있다. 하지만 단위기술 측면이 아닌 공간 차원에서 그린-그레이 인프라 확장에 따른 효과 규명 연구는 적었다. 본 연구의 결과는 신규 재생계획 등을 수립하는 데 홍수에 대한 회복력을 고려한 입지 설정을 통해 공간계획의 타당성을 사전에 검토하기 위한 근거 자료로써 활용될 수 있다. 여기서는 수원시 동단위 공간계획 전략과 탄소중립 그린도시 대상지에 대한 그린인프라 계획에 대한 가이드를 도출하였다.

우선 동단위의 결과 맵을 통해서도 하수시스템 개선 등 구조적 사업이 선행되어야 하는 지역, 주변 녹지와 연결성 확보를 통해 침투능력을 극대화할 수 있는 지역, 저류기능을 우선 확보해야 하는 지역 등 수원시 전체의 물순환 능력 개선을 위해 동별 공간계획 전략이 어떻게 이루어져야 하는지 방향성을 진단할 수 있다. 두 번째로, 탄소중립 그린도시와 같은 사업을 추진함에 있어 녹지·습지 등 흡수원 확대, 그린인프라 확충 등 생태자원에 대한 사업을 강조하고 있는데, 탄소상쇄숲, 수변식생대 조성, 옥상녹화 등 실질적인 하드웨어 사업에 대한 부지를 선정함에 있어 물순환 효과 증대를 위해 유리한 공간계획 전략이 무엇인지 근거로써 활용될 수 있다.

다만, 본 연구는 방법론 제안을 중심으로 하고 있어 고해상도 결과를 도출하고 있지 않기 때문에 커뮤니티 단위의 세부적인 의사결정에 연결하는 데 일부 한계가 있다. 공간계획 및 재생 측면에서 홍수 발생원의 흐름을 줄이고 취약 위치의 홍수 위험을 최소화하기 위해 어떻게 전략을 구현할 것인가에 대한 방향성을 제시하는 연구로써 의의가 있다. 극한강우사상의 시공간적 변동이 높고 빈도와 강도가 점차 높아지는 최근의 강우패턴을 고려했을 때 도시홍수는 피할 수 없는 영역이다. 그러므로 리스크나 외부 충격에 극복하기 위해 시스템의 역량 자체를 향상시키는 것이 재난관리의 예방, 준비 단계에서 요구된다. 시스템의 본질적 구조와 기능은 유지하면서 적응, 학습 및 시스템 전환을 위한 공간계획 의사결정을 구현해나가는 것이 회복력을 높이는 방법일 것이다.

참고문헌

국문자료

- 강부식. (2018). 도시물순환 정책사례 및 평가기준 고찰. 물과 미래, 한국수자원학회지 51.12 (2018): 4-22.
- 강은하. (2019). 수원시 통합 물 관리 종합계획 수립 연구. 수원시정연구원.
- 고우리, 손연규, 서병환. (2021). 정밀토양도를 활용 현황 조사를 통한 토양정보 요구도 분석. 한국토양비료학회 학술발표회 초록집, (53), 83-83.
- 김승현. (2014). 도시 물순환 관리를 위한 빗물 그린인프라스트럭처 실천전략에 관한 연구. 공학박사학위논문, 서울대학교.
- 김영란, 진정규. (2018). 서울시 물순환정책 진단과 개선방안. 서울연구원 정책과제연구보고서, (2018): 1-148.
- 김영진, 한무영. (2008). 빗물관리를 통한 미래 도시의 기후변화 대응방안. 물과 미래(한국수자원학회지), (2008): 42-46.
- 김원현. (2012). 도시홍수조절을 위한 공동주택단지 내 빗물운영기법 도출: 독일사례를 중심으로. 국토연구, (73), 227-244.
- 김은영. (2018). 2030 수원시 공원녹지 비전 및 전략 수립. 수원시정연구원.
- 김은영. (2020). 수원시 도시생태현황도를 활용한 도시환경 관리방안. 수원시정연구원.
- 김은영. (2021). 레인시티 효과성 분석. 수원시정연구원.
- 김이형. (2020). 자연기반해법(NBS)의 원칙 및 적용사례. 한국수자원학회지, 53(3), 8-20.
- 김정호, 주진걸. (2017). LID 시설별 장기 우수유출저감 성능 비교 연구. 한국방재학회논문집, 17(5), 337-344.
- 김효정, 광동화, 윤민영, 이종록, 황영삼. Water Sensitive Urban Design(WSUD)의 주환경 기능과 평가에 관한 연구. 주거환경(한국주거환경학회논문집), 12.3, (2014): 327-341.
- 김희년. (2022). 친수구역의 물순환 회복을 위한 저영향 개발 기법 효과 분석 -나주 노안지구 친수구역 사업을 중심으로-. 박사학위논문, 한양대학교.
- 박계학, 조성진, 성낙일. (2011). 아산탕정지구 분산형 빗물관리 도시조성공사 설계사례. 유신기술회보, 18, 222-233.
- 박종표, 강태욱, 이상호. (2019). 도시 우수 관망 계획 시 확률 강우의 시간 분포 방법에 관한 연구. 한국방재학회논문집, 19(1), 85-94.
- 박창석, 최환용, 송지윤, 이영경, 박기웅. (2022). 탄소중립 이행을 위한 공간환경사업의 법체계 정비방향. 한국환경연구원 보고서
- 배채영, 이동근. (2022). 효과적인 도시 홍수 저감을 위한 그린-그레이 인프라 위치 설정에 관한 연구. 한국환경복원기술학회지, 25(6), 65-75.
- 백경훈, 송교욱, 오동하. (2019). 강서 델타지역 지속가능성 확보를 위한 블루-그린인프라 구축 연구. 부산연구원.
- 서울특별시. (2015). 물순환 효과분석 및 인프라구축 기술 개발 연구. 서울특별시 연구보고서.
- 서울특별시. (2016). 건강한 물순환 도시 이야기. 서울: 서울특별시.
- 세타가야구. (2018). 세타가야구 후카사와 환경공생주택 개정판. 한국판 팜플렛.
- 수원시. (2019). 수원시 자연환경조사 및 도시생태현황지도 갱신.
- 신현석. (2018). 한국형 저영향개발기술 종합 매뉴얼. 세종: 국토교통부.
- 연종상, 장영수, 신현석, 김응석. (2014). 침투트렌치 시설의 유출저감 효과 분석. 한국산학기술학회논문지, 15(9), 5813-5819.

- 우효섭, 한승완. (2020). 물관리를 위한 자연기반해법과 유사개념들의 유형분류 및 체계. *Ecology and Resilient Infrastructure*, 7(1), 15-25.
- 이승복. (2004). 독일의 환경친화적 빗물이용 현황. *국토*, 276, 96-101.
- 이원용, 임봉수, 박인성. (2017). 침투형 빗물받이의 배수 및 비점오염물질 저감 효과. *한국물환경학회지*, 33(4), 474-480.
- 이재근. (2012). 빗물침투시설 설치에 의한 대전시 빗물유출 및 배출부하량 저감 효과. 대전발전연구원 연구보고서.
- 장영수. (2018). 저영향개발 기술의 물순환 효율성 분석 기법 개발 및 적용 연구. 공학박사학위논문, 부산대학교.
- 정지윤. (2000). 공동주거단지의 환경친화적 수공간 계획에 관한 연구. 국내석사학위논문. 중앙대학교.
- 정진주. (2017). 도시 공동주거단지의 수순환 시스템 구축 연구. 도시공학석사학위논문. 한양대학교.
- 최은호, 김래현, 조성실, 서혜윤, 곽동현, 최형순. (2021). 기후변화 대응을 위한 산림부문의 자연기반해법 활용. 국립산림과학원.
- 한국과학기술정보연구원. (2011). 첨단 수자원관리 기술기획: 수자원 에너지 기반의 물순환 기술 기획. 국토해양부 연구보고서.
- 한국도로공사. (2014). LID(저영향개발) 기법을 활용한 녹지대 생태습지 조성방안 수립. 한국도로공사 보고서.
- 한무영, 문정수, 김충일. (2009). 다목적이고 적극적인 빗물관리에 의한 기후변화 적응방안과 국내 사례. *상하수도학회지*, 23(2), 223-230.
- 한무영, 문정수, 김형준. (2008). 빗물 관리를 통한 기후변화 적응 전략 -스타시티 사례를 중심으로-. *공동 추계학술발표회*, (2008): 219-220.
- 한혜진, 김수빈, 이단비, 장연석, 이광야, 김지성. (2020). 통합물관리를 고려한 지속가능한 물순환 관리체계 구축 및 정책기반 마련 연구. 한국환경연구원 기본연구보고서. (2020): 1-241.
- 환경부. (2013). 저영향개발(LID) 기술요소 가이드라인.
- 환경부. (2023). 도시생태계 현안대응을 위한 다중기반 그린인프라 기술개발. 환경부 연구보고서.

영문자료

- Dawson, D.A., Vercruyssen, K., Wright, N. (2020). **A spatial framework to explore needs and opportunities for interoperable urban flood management.** *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.* 378.
- De Vleeschauwer, K., Weustenraad, J., Nolf, C., Wolfs, V., De Meulder, B., Shannon, K., Willems, P. (2014). **Green-blue water in the city: Quantification of impact of source control versus end-of-pipe solutions on sewer and river floods.** *Water Sci. Technol.* 70, 1825–1837.
- Hoban, A.T., Wong, T.H.F. (2006). **WSUD and Resilience to Climate Change.** *The first Australian National Hydropolis Conference*, Perth WA.
- Horton, R.E. (1945). **EROSIONAL DEVELOPMENT OF STREAMS AND THEIR DRAINAGE BASINS; HYDROPHYSICAL APPROACH TO QUANTITATIVE MORPHOLOGY.** *GSA Bulletin* 1945; 56 (3): 275–370.
- Huang, Y., Tian, Z., Ke, Q., Liu, J., Irannezhad, M., Fan, D., Hou, M., Sun, L. (2020). **Nature-based solutions for urban pluvial flood risk management.** *WIREs Water* 7, 1–17.
- IUCN (2016). **Nature-based solutions to address global societal challenges.** IUCN, Gland, Switzerland
- O'Donnell, T. (2019). **Contrasting land use policies for climate change adaptation: A case study of political and geo-legal realities for Australian coastal locations.** *Land use policy* 88, 104145.
- Ramboll. (2016). **STRENGTHENING BLUE-GREEN INFRASTRUCTURE IN OUR CITIES**
- Rodrigues M, Antunes C. (2021). **Best Management Practices for the Transition to a Water-Sensitive City in the South of Portugal.** *Sustainability.* 13(5):2983. <https://doi.org/10.3390/su13052983>
- Ruangpan, L., Vojinovic, Z., Di Sabatino, S., Leo, L.S., Capobianco, V., Oen, A.M.P., McClain, M.E., Lopez-Gunn, E. (2020). **Nature-based solutions for hydro-meteorological risk reduction: a state-of-the-art review of the research area.** *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 20, 243–270.
- Saghafian, B., Jannaty, M.H., Ezami, N. (2015). **Inverse hydrograph routing optimization model based on the kinematic wave approach.** *Eng. Optim.* 47, 1031–1042.
- Schilling, J., Logan, J. (2008). **Greening the rust belt: a green infrastructure model for right sizing America's shrinking cities.** *Journal of the American Planning Association*, 74(4) : 451–466.

신문기사 / 웹사이트 / 통계자료

국가기후위기적응정보포털. (2023). 도시 리뉴얼과 그린 인프라. https://kaccc.kei.re.kr/portal/detailAdapt/adapt_scientific/adapt_scientific_view.do?num=5

국토교통부. (2016.05.02.). 신도시 최초의 분산형 빗물관리로 기후변화 및 환경오염에 대응 [보도자료].

워터저널. (2017.05.02.). Part 03. LID 도시계획과 개발. <http://www.waterjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=36686>

중앙일보. (2008.04.15.). '빗물'로 돈 버는 아파트. <https://www.joongang.co.kr/article/3111068#home>

한관우. (2008.12.08.). 세계 최고의 빗물이용시설, 한국에 있다? 홍성신문-내포타임즈. <http://www.hsnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=37906>

한무영. (2010.05.10.). 세계 최고 빗물이용시설, 한국에 있다. 이투뉴스. <https://www.e2news.com/news/articleView.html?idxno=37556>

Drishti IAS 홈페이지. https://www.drishtias.com/daily-updates/daily-news-editorials/blue-green-infrastructure/print_manually

sdg21 홈페이지. <https://sdg21.eu/en/db/residential-park-kueppersbusch>

sk52 architekten 홈페이지. <https://www.szy-kow.com/wohnbebauung-kueppersbusch-gelaende>

국가법령정보센터 홈페이지. <https://www.law.go.kr>

국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS). <http://www.wamis.go.kr/>

멜버른시 홈페이지. <https://www.melbourne.vic.gov.au/building-and-development/sustainable-building/Pages/water-sensitive-urban-design.aspx>

멜버른워터 홈페이지. <https://www.melbournewater.com.au/building-and-works/stormwater-management/introduction-wsud>

미국환경보호국 홈페이지. <https://www.epa.gov/green-infrastructure/what-green-infrastructure>

흙토람 홈페이지. <http://soil.rda.go.kr>

연구책임자 배채영 (수원시정연구원 前전문연구위원)
최석환 (수원시정연구원 연구위원)
참여연구원 권현정 (수원시정연구원 前위촉연구원)

SRI-전략 2023-02

도시 침수취약지역 물순환 회복을 위한 정책 방안 연구

A study on policy measures to restore water circulation in areas vulnerable to flooding in cities

발행인 김성진

발행처 수원시정연구원

경기도 수원시 권선구 수인로 126

(우편번호) 16429

전화 031-220-8001 팩스 031-220-8000

<http://www.suwon.re.kr>

인쇄 2023년 07월 31일

발행 2023년 07월 31일

ISBN 979-11-6819-131-0

© 2023 수원시정연구원

이 보고서를 인용 및 활용 시 아래와 같이 출처 표시해 주십시오.

최석환. 2023. 「도시 침수취약지역 물순환 회복을 위한 정책 방안 연구」. 수원시정연구원.

비매품