

환경적 변화에 대응 가능한 그린인프라스트럭처 사례연구

-도심 우수처리시설을 중심으로-

An Analysis of Green Infrastructure for Resilience to Environmental Changes

- In Case of Urban Stormwater Treatment Facilities -

○황 채 은* 김 희 근**
Hwang, Chae-Eun Kim, Hee-Keun

Abstract

Currently, cities have faced rapid climate change worldwide due to the effects of rapid industrialization and urbanization. In Korea, where storm and flood damage accounts for more than 90% of natural disaster damage, damage is occurring intensively in urban areas. As a solution to this, the necessity of securing a rain water reservoir capable of storing rainwater in the city center is being discussed, but it is difficult to secure space in urban areas. However, it is used as basic data for the construction of stormwater treatment facilities in the urban area in the future, and the purpose of the study is to examine the value of a facility that responds to environmental changes through domestic and foreign case analysis.

키워드 : 그린인프라스트럭처, 인프라스트럭처, 우수처리시설, 도시침수 저감

Keywords : Infrastructure, Green Infrastructure, Rainwater treatment facilities, Reduction of Urban Inundation

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현대 도시는 급격한 산업화 및 도시화의 영향으로 전 세계적으로 급격한 기후변화를 맞이하였다. 도시화로 인한 불투수 면적 증가로 인해 침수 피해의 빈도와 강도가 높아지고 있다. 또한, 기후 온난화로 인한 해수면 상승으로 바다와 인접한 연안지역, 섬 등에 부정적 영향을 미치고 있다.

3면이 바다로 둘러싸인 반도형 국가인 한국은 해안가를 따라 도시가 많이 발달해있으며, 밀집된 인구가 생활하는 연안지역 대도시의 경우, 그 피해가 심각해지고 있는 상황이다. 풍수 피해는 우리나라 자연재해 피해의 90% 이상을 차지하고 있으며 도시지역에서 집중적으로 발생하고 있다(www.safekorea.go.kr).

이에 대한 해결 방안으로 도심 내 빗물을 저장할 수 있는 우수저류조 확보 필요성이 논의되고 있다²⁾. 하지만, 기존 밀도 높은 도심지역은 우수처리시설 공간 확보가 어려운 상황이다. 그럼에도 향후 도심지역 내 우수처리시설 건립을 위한 기초자료로 활용되는데 연구의 목적이 있다.

* 동의대학교 건축학과 학사과정, 주저자

** 동의대학교 건축학과 조교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architecture, Don-eui University, hkkim62@deu.ac.kr)

2) 강상준, 조성환, 홍순영. “도심형 빗물저류공간 조성을 위한 기초연구.” 경기개발연구원 기본연구 2011, p.3

1.2 연구방법 및 범위

본 연구의 방법은 인프라스트럭처에 관한 이론적 고찰과 선행연구, 문헌고찰을 바탕으로 환경적 변화에 대응을 고려한 국내·외 사례 분석을 진행한다. 그린인프라스트럭처의 3가지 측면(환경적, 사회적, 생태학적 측면)으로 구분하여 사례를 분석한다.

연구의 공간적 범위는 국내·외 도심지역의 우수저류시설로 한정하고, 환경 변화에 대응형 시설로서의 가치를 우선적으로 고찰한다.

2. 이론적 고찰

2.1 인프라스트럭처의 의미 및 특성

도시 측면에서 인프라스트럭처는 교통, 에너지, 수자원 관리, 통신뿐만 아니라 경제, 사회, 문화, 스포츠, 여가, 교육 등을 말하며 넓게는 건축물의 주된 용도를 지원하는 시설을 포함하는 개념으로 정의할 수 있다.³⁾

도시를 구성하는 인프라스트럭처는 특성에 따라 크게 ‘그레이인프라(gray infrastructure)’, ‘그린인프라(green infrastructure)’, ‘블루인프라(blue infrastructure)’로 구분할 수 있다. 일반적으로 일상생활에서 흔히 사용되는 인프라의 개념은 주로 그레이인프라로 지칭하며 건물, 철도,

3) 임합소. “인프라스트럭처를 활용한 재생공원의 실내의 공간 기능에 관한 연구.” 한국실내디자인학회논문집 32.1 2023, p.2

교량 등 도시의 기능을 위해 만들어진 시설을 예로 볼 수 있다(Faggi & Caula, 2017; Thacker et al., 2019; Jinjin et al., 2023). 반면, 그레이인프라와 대조되는 개념인 그린인프라는 자연 생태계의 가치와 기능을 보전하기 위한 공간적 요소와 생태계 네트워크로 정의된다(Benedict & McMahon, 2002; Bottalico et al., 2016; 강상준, 2020; 송인주 외, 2022). 그린인프라에 대한 정의는 20세기 후반부터 도시경관의 측면에서 발전하기 시작했다(강정은 외, 2011).⁴⁾ 마지막으로 하천, 강 등은 블루인프라로 구성된다.

표 1. 인프라별 유형 특징

유형	특징
그레이인프라	건물, 철도 등 도시의 기능을 위해 만들어진 시설
그린인프라	자연 생태계의 가치와 기능을 보전하기 위한 공간적 요소와 생태계 네트워크
블루인프라	하천, 강 등

그중 그린인프라는 공원, 숲, 습지, 홍수터, 그린벨트 등과 같이 인간의 삶의 질을 높이고 물순환, 홍수조절과 같은 생태계 서비스를 증진시키는 인프라로 볼 수 있다.⁵⁾ 이러한 그린인프라는 지역 사회의 요구를 고려하면서도 도시 경관에 기이하며, 동시에 물 관리와 생태계 회복을 이루는 효과적인 방법을 제시하고 있다.



그림 1. 도시철도 그레이인프라



그림 2. 빗물펌프장 그린인프라



그림 3. 하천 블루인프라

2.2 그린인프라스트럭처의 개념 고찰

20세기 후반부터 그린인프라스트럭처의 개념은 보다 다양한 개념들이 추가되고 특히 물의 선순환을 촉진시키는 우수관리, 홍수 예방 등의 효과가 강조되는 양상을 보인다(강성우, 2018). 도시개발에 따라 도시지역의 변화로 빗물의 침투·저류를 방해하고 하수관을 통한 하천으로의 유출 등 자연적인 물순환 체계를 변화시킨다. 또한 최근 기후변화로 인한 강우패턴의 변화 등은 도시의 홍수, 수질오염, 대기오염 등의 문제를 야기한다.

2000년대에 들어 미국 등 북미 지역을 중심으로 그린인프라스트럭처의 개념에 우수관리, 홍수예방의 개념을 도입하여 “우수유출수를 침투, 증발산, 재사용하는 자연적인 물의 순환과정 및 이와 비슷하게 만드는 시스템이나 기술로 정의하기 시작하였다(EPA, 2009). 이처럼 최근의 그린인프라의 개념은 빗물관리, 저영향개발, 물순환 등 도시

물관리 측면이 강조되면서 기후변화, 도시홍수, 도시열섬 현상, 대기오염 등과 같은 도시환경 문제를 해결할 수 있는 방안으로 인식된다(조세환, 2009).

최근에는 그린인프라스트럭처의 개념은 과거의 단순한 녹색공간의 물리적 공간과 이를 연결해주는 네트워크에서 우수관리 등 다른 환경적인 요소들을 폭넓은 범위로 포함하는 개념으로 진화하고 있다. 즉, 물 순환, 홍수조절과 같이 생태계 서비스의 제공 및 도시의 지속가능성을 높이는 기술이나 기법을 포괄하는 개념으로 진화하고 있다(한제현, 2019)⁶⁾.

2.3 그린인프라스트럭처 특성

그린인프라스트럭처는 기본적으로 녹지가 제공하는 여가·휴식공간의 제공, 삶의 질 향상, 대기 질 완화 등의 다기능을 제공한다. 또한 생물서식지의 제공을 통한 생물다양성의 증진, 기후 변화의 완화 및 적응 등 회색인프라가 제공할 수 없는 기능들을 제공할 수 있다(김승현, 2014). 최근, 급변하는 기후조건으로 인해 도시환경 문제가 증가함에 따라 기후변화에 대한 적응 및 완화를 위한 아이디어로 그린인프라스트럭처의 활용이 주목받고 있다. 이러한 그린인프라스트럭처의 기능은 다양하게 정의되지만, 본 연구에서는 선행연구(이은석 외, 2014; Kim & Song, 2019)를 통해 도출된 환경적, 사회적, 생태계적 측면으로 구분하여 분석을 진행하고자 한다.

표 2. 그린인프라스트럭처 특성

분류	내용
환경적	- 대기 질 개선 - 수질 오염 예방 및 우수관리(수문)
사회적	- 공공보건 기여(건강 증진) - 도시경관 향상, 여가 공간 등의 지가 상승
생태학적	- 생태계 보존

먼저, 환경적 측면은 대기 질 개선과, 수질 오염 예방에 중점을 둔다. 그린인프라의 증가가 식생률, 투수 면적의 증가로 이어지면서, 대기의 질이 개선되고 오염된 강우 유출수가 토양에 흡수되면서 수질 오염을 예방할 수 있는 장점이 있다(Jiang et al., 2015; Jayasooriya et al., 2017; Kim et al., 2017; 강상준, 2020).

다음은 사회적 측면으로 경관 향상 및 여가 공간 제공 등으로 인해 지가 상승과 산책 공간 조성, 위생을 개선한다. 더 나아가 거주민들의 건강 증진을 통해 사회적 기능을 높인다(Anderson et al., 2021; Bottero et al., 2022; Dell' Anna et al., 2022).

마지막으로 생태학적 측면으로 보호구역을 지정함으로써 동식물의 서식지를 보호하거나, 서식공간을 조성함으로써 생기는 추가적인 기능을 의미한다 (Manton & Angelstam, 2018).⁷⁾

4) 강정은. “기후변화 적응형 도시 리뉴얼 전략 수립:그린인프라의 방제효과 및 적용방안.”, 2011, p.46, 47

5) 위에 글, p.51



6) 이예솔. “그린인프라스트럭처 개념을 적용한 평촌신도시 녹지 재생 방안.” 국내석사학위논문 서울대학교 대학원, 2021. 서울, p.19, 20

7) 한진희. “그린인프라가 수해 리질리언스에 미치는 영향에 대한 공간적

3. 그린인프라스트럭처 사례분석

3.1 휘트니 정수 시설 및 공원

표 3. 사례분석1

휘트니 정수 시설 및 공원	
	
연도	2005년
위치	미국_Hamden Connecticut
면적	13,000㎡
용도	수처리시설 → 수처리시설 및 공공 공원
건축가	STEVEN HOLL ARCHITECTS
분류	기능
환경적	기존 습지를 생물 다양성을 증가시키는 활기찬 미세 환경으로 확대
사회적	기피시설에 지역주민을 위한 공원 계획을 통한 공간 활성화
생태학적	기존 습지를 보존하면서 다양한 풍경 계획

미국 코네티컷 중남부 햄든(Hamden)에 있는 휘트니 정수 시설은 매일 1,500만 갤런의 물을 정화하고 있다. 주요 기능은 오염된 물에서 해로운 화학물질, 생물학적 오염 물질, 부유 물질 및 가스를 제거해 식수를 생산한다.

1902년에서 1906년 사이에 휘트니 호수 근처의 부지에 정수 여과 시설이 건설되었지만, 이 시설은 공장 구조의 악화로 인해 1991년에 폐쇄되었다. 그 후, 1997년 사우스코네티컷 지역 수자원국은 이 부지에 새로운 시설을 건설할 계획을 발표했으나 그 무렵 주변의 부유한 동네는 미관, 재산 가치 및 건축 과정과 관련해 반대의 목소리를 냈다. 이러한 고민을 해결하기 위해 정수 요구사항 외에 열린 공간의 구성 요소를 포함하는 아이디어를 모색하였다.

대부분의 수처리 시설이 지하에 있기 때문에 지상면 자체가 공공 공원으로 활성화되었다. 공사 중 토출된 흙은 재사용하여 기존 습지 외의 산과 간헐적 개울, 반도, 섬, 호수 등 다양한 풍경을 만들어냈으며 공원 곳곳에 방문객을 사로잡는 산책로를 계획했다. 또한 초기에는 학생들이 물 시설과 여과 공정에 대해 배울 수 있는 박물관 견학 프로그램이 있었으며 주민들을 위한 다목적 공간 또한 제공해 주었다.⁸⁾

3.2 심천 수자원 문화 기지

이 시설은 중국의 홍호공원 내에 위치해 있다. 수질 환경 문제를 해결하기 위해 2015년에 시는 ‘심천 물 관리 및 수질 개선 작업 계획(2015-2020)’을 발표했으며, 이 계획은 19개 하수 처리장 건설 및 확장, 24개 하수 처리장

개선, 하천 개선 등 수질 환경 개선 사업을 제안했다. 새로 건설된 홍호공원 정수장은 수질오염 통제를 위한 중점 사업 중 하나로, 선도적인 완전 매설 정수 기술을 활용했다. 이곳에서는 매년 주변 지역의 약 1,800만㎡의 생활 하수를 처리하고 정화할 수 있다. 이렇게 처리된 폐수는 홍호공원과 부지간의 생태 경관에서 부족한 물을 보충하는데 이용된다.

표 4. 사례분석2

심천 수자원 문화 기지	
	
연도	2021년
위치	중국_Shenzhen
면적	34,160㎡
용도	공원 → 물 문화기지 및 공원, 수처리시설
건축가	NODE Architecture & Urbanism
분류	기능
환경적	수질 환경 문제 및 홍수로 인한 침수문제 해결
사회적	사무기능 외 공교육과 과학대중화 기능, 공공공간 추가
생태학적	처리된 폐수를 홍호공원과 부지간의 생태 경관에서 부족한 물을 보충하는데 사용

운영자들은 공공 과학 방문과 함께 하수 처리장에 대한 사람들의 고정 관념을 바꿀 수 있는 탈산업화된 야생 풍경을 만들고자 했다.

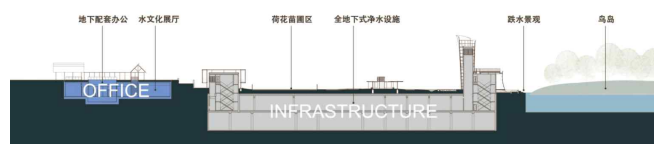


그림 4. 심천 수자원 문화 기지 개념 섹션

최북단의 지하 지원 건물은 사무실 공간으로 계획되었다. 지하 개방 정원과 함께 정수 전시장을 조성하는 등 사무기능 외에 공교육과 과학대중화 기능을 추가했다. 지상층에 특색 있는 공공공간과 정원을 경관 하이라이트이자 자유 기능 존으로 만들어 사람들을 끌어들이고자 했다. 동시대적 형식언어와 조형적 형태를 참고하여 지하 개방 정원을 중심으로 ‘파빌리온과 복도’의 기본적인 명시적인 공간적 요소를 배치하고, 이를 지하 전시장과 사무 공간의 동선과 연결했다.⁹⁾

접근: “국내석사학위논문 이화여자대학교 대학원, 2024. 서울, p.27, 28

⁸⁾ SAH ARCHIPEDIA, WHITNEY WATER PURIFICATION FACILITY AND PARK, (<https://sah-archipedia.org/buildings/CT-01-009-0098>), 2024. 03

⁹⁾ arch daily, (https://www.archdaily.com/978392/landscape-design-for-shenzhen-lotus-water-culture-base-and-ground-level-of-honghu-park-water-purification-plant-node-architecture-and-urbanism?ad_source=search&ad_medium=projects_tab), 2024. 03

3.3 레이첼 드 케이로즈 공원

이 공원은 수년 동안 지역 주민들의 우려를 불러일으켰던 황폐한 지역을 복구하기 위해 설계되었다. 19개 구역의 개선 프로젝트 구역 중 가장 큰 부지인 이 공원은 이전에는 불규칙한 쓰레기 처리장과 은밀한 하수로 점유된 공터였다. 공원 내부의 Riacho Cachoeirinha 강을 약화시키는 주범이었다. 또한, 빗물 배수 시스템의 과부하로 인해 빈번한 홍수를 일으켰는데 지역의 강렬한 고밀도화 과정과 그에 따른 주변 투과성 지역의 감소의 직접적인 원인이 되었다.

표 5. 사례분석3

레이첼 드 케이로즈 공원	
연도	2022년
위치	브라질_Fortaleza
면적	90,969㎡
용도	공터 → 문화 체육 공원
건축가	Architectus S/S
분류	기능
환경적	수질 환경 문제 및 홍수로 인한 침수문제 해결
사회적	체육관련 시설 및 문화시설의 도입으로 지역 주민을 위한 공간 마련
생태학적	관리가 되지 않던 공터를 공원으로 탈바꿈 시켜 수질오염 완화

브라질의 포르탈레자 서부 지역은 최근 몇 년 동안 높은 인구증가, 주택의 밀집화가 일어났지만 공공장소는 이를 따라잡지 못했다. 정부는 문제해결을 위해 레이첼 드 케이로즈 공원 개선 사업을 실시했고, 이는 공공장소로서 질 높은 지역사회를 만들어 주기 위한 미래 도시를 제공해 많은 사람들이 질길 수 있는 지속 가능하고 즐거운 공간을 만드는 커뮤니티의 힘을 상기시키는 역할을 한다.

도시 침수 보존 지역 중 하나였던 이곳의 프로젝트는 배수 시스템을 구조적 요소로 채택하였고 습지 기술은 수질을 개선하고 홍수 완화 시스템을 만드는데 사용되었다. 집중적인 수문학적 연구 후, 디캔팅과 식물 정화를 통해 자연적인 물 여과 과정을 위해 9개의 상호 연결된 연못이 제안되었다.

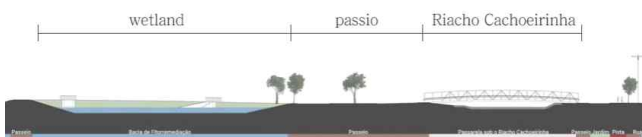


그림 5. 레이첼드 케이로즈 공원 개념 섹션

연못 사이의 길은 다양한 문화, 스포츠 및 레저 시설을 중심으로 구성되었다. 그 외에 원형 광장, 애견 공원, 멀티 스포츠 코트, 놀이터, 야외 체육관 등이 있다.¹⁰⁾

4. 결론

본 연구는 미래 환경 변화에 대응 가능하며, 인프라스트럭처 유형 중 하나인 도심 우수처리시설을 중심으로 사례를 분석하였고, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 과거 도심 우수처리시설은 넘비시설로 인식되며, 지역 주민들에게 소외받는 장소에 건립되었으나, 현재는 홍수피해의 빈도가 높으며, 낙후 혹은 오염 등의 사회적 문제가 제기되었던 장소에 건립되고 있다.

둘째, 공간구성 측면에서 공원 및 문화시설 등 주민참여형 공공시설을 함께 계획되며, 지역 발전 및 주민들에게 활용 가치가 있는 시설로 인식 및 활용되고 있다는 점에서 긍정적인 효과가 있다.

마지막으로 도심 우수처리시설의 성공은 도시재생과 공공공간 계획이 필수적으로 요구되고, 다양한 기능을 충족 및 제공될 수 있는 공간이자 시설이 되어야 한다.

본 연구는 해외 사례를 중심으로 도심 우수처리시설 분석을 통해 정성적 결과를 도출할 수 있었다는 점에서 연구의 가치가 있다고 본다. 향후, 도심 우수처리시설의 지역별 재해 취약성 분석을 진행하고, 체계적인 전략에 관한 연구를 진행하고자 한다.

참고문헌

1. 강상준, 조성한, 홍순영. “도심형 빗물저류공간 조성을 위한 기초연구.” 경기개발연구원 기본연구 2011
2. 송인주 외, 도시계획 관점에서 서울시 그린인프라 특성과 구축 전략, 2022
3. 임함소 외, “인프라스트럭처를 활용한 재생공원의 실내외 공간 기능에 관한 연구.” 한국실내디자인학회논문집 32.1 2023
4. 한진희. “그린인프라가 수해 리질리언스에 미치는 영향에 대한 공간적 접근.” 국내석사학위논문 이화여자대학교 대학원, 2024
5. 강정은. “기후변화 적응형 도시 리뉴얼 전략 수립:그린인프라의 방재효과 및 적용방안.”, 2011
6. 이예솔. “그린인프라스트럭처 개념을 적용한 평촌신도시 녹지 재생 방안.” 국내석사학위논문 서울대학교 대학원, 2021. 서울
7. SAH ARCHIPEDIA, WHITNEY WATER PURIFICATION FACILITY AND PARK, (<https://sah-archipedia.org/buildings/CT-01-009-0098>)
8. arch daily, Shenzhen Lotus Water Culture Base and Ground Level of Honghu Park Water Purification Plant / NODE Architecture & Urbanism, Rachel de Queiroz Park / Architectus S/S, (<https://www.archdaily.com>)

¹⁰⁾ Archdaily 홈페이지(https://www.archdaily.com/985558/rachel-de-queiroz-park-architectus-s-s?ad_source=search&ad_medium=projects_tab), 2024. 03