공간 맞춤형
기후위기 적응모델 안내서

2024. 12.

환경부

KACCC 국가기후위기적응센터

제1장.
기후위기 대응 공간단위 맞춤형 적응모델 구축을 위한 기법 개발

1. 개요

1.1 배경

▪기후변화와 극단적 기상 현상의 증가

- 폭염, 폭우, 가뭄 등 기상이변이 점점 더 빈번해지고 있으며 도시와 마을에서의 영향은 더욱 심화됨
- 폭염으로 도시 열섬현상이 가중되어 야간에도 높은 기온이 지속되고, 에너지 소비 및 건강 문제가 급증함
- 폭우로 인해 하수도 용량 초과 및 도시 홍수가 발생하며, 기반 시설과 주거 지역에 심각한 피해를 초래함
- 가뭄으로 인한 물 부족이 심화되며 농업, 산업, 생활용수 부족으로 도시의 기능적 문제가 증가함

▪국지적 기후현상의 심화

- 기후변화로 인한 영향이 도시 전체보다는 특정 지역에 국지적으로 집중되고 있음
- 도심 상업 및 산업지역은 열섬현상과 공기질 악화로 인한 피해가 심화됨
- 저지대와 배수시설이 열악한 지역은 폭우 시 홍수 피해가 집중되며 복구 비용과 시간이 증가하고 있음
- 국지적 특성에 맞는 지역별 기후위기 적응 방안이 요구됨

▪국내 맞춤형 체계적 접근의 필요성 증대

- 유럽 도시들은 스펀지 도시(Sponge City)와 자연기반 솔루션(NbS) 등의 개념을 적용하여 도시 공간에서 기후위기 적응 문제를 해결하고 있음
- 또한, 녹지 확대, 투수성 포장, 저류지 조성 등을 통해 폭우로 인한 피해를 완화하고 열섬현상을 저감하며, 공간단위별로 세분화된 전략을 수립하여 물리적 환경을 개선함
- 국내에서도 해외 사례를 참고하여 지자체 여건에 맞춰 도시공간에 적합한 기후위기 적응모델 구축 필요성이 증대되고 있음

1.2 목적

▪공간단위 기반의 기후위기 적응모델 구축

- 도시에서 발생하는 기후변화의 부정적 영향을 줄이기 위해 도시 공간을 세부적으로 구분하고, 각 공간단위에 적합한 기후위기 적응 방안을 개발함
- 기후위기 적응모델을 통해 국가, 광역, 기초단위에서 수립된 기존 기후위기 적응 계획의 실행력을 강화하고, 이를 도시 공간에 효과적으로 적용할 수 있도록 지원함
- 특히, 기초 지방자치단체가 지역의 특성과 여건에 맞춘 기후위기 적응 전략을 수립·시행할 수 있는 실질적 도구를 제공하여, 보다 다양한 기후위기 적응 사업이 추진될 수 있는 기반을 마련함

▪효율적 자원 관리와 지속가능한 기후위기 적응의 실현

- 도시 자원의 한계를 고려하여 자원의 효율적 관리 및 배분을 지원하는 방안을 마련하고, 자원의 최적 활용을 통해 기후위기 적응 효과를 극대화함
- 공간단위별 맞춤형 기후위기 적응 전략을 통해 도시의 기후위기에 대응하며, 동시에 지속 가능성을 확보할 수 있는 도시 모델을 설계함

▪기초 지방자치단체의 역할 강화

- 기초 지방자치단체가 직접 실행 가능한 기후위기 적응 기법과 구체적인 실행 모델을 제시하여 실질적인 대응력을 향상함
- 주민 참여를 기반으로 소규모 단위에서 실행 가능한 기후위기 적응 사업을 통해 지역의 특수성과 실질적 요구를 반영함으로써, 지역 맞춤형 기후위기 적응을 실현함

2. 기후위기 대응 공간단위 맞춤형 적응모델 구축을 위한 기법 개발

2.1 기후위기 대응 공간단위 맞춤형 적응모델 구축 프로세스

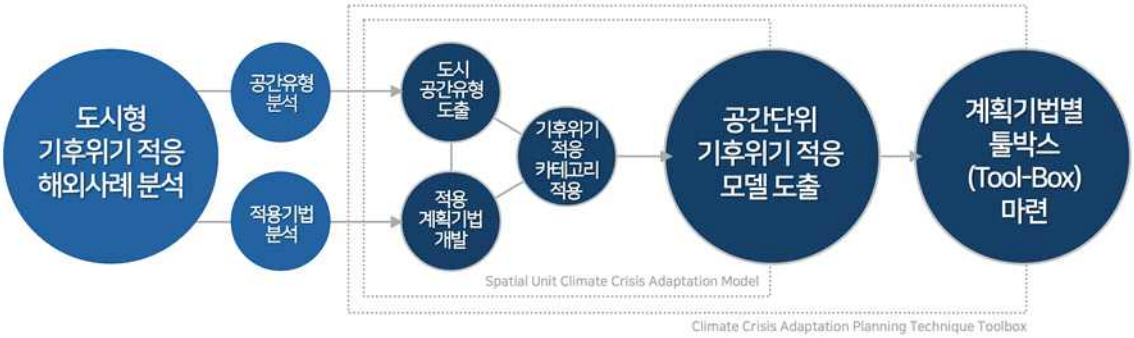


그림 1. 기후위기 대응 공간단위 맞춤형 적응모델 구축 프로세스

▪도시형 기후위기 적응 해외사례 분석

- 도시 공간유형 도출과 적용 계획기법 개발을 위해 각각 사례를 조사·분석하여 도시 기후위기 적응모델 구축의 기초 자료로 활용
- 도시 공간유형 도출을 위해 유럽 도시 사례를 중심으로 기후위기 적응을 위해 도시 공간을 기능과 물리적 특성에 따라 세분화하고, 공간단위를 효과적으로 구분한 사례를 조사함
- 적용 계획기법 개발을 위해 스펀지 도시(Sponge City), 자연기반 솔루션(NbS), 그린인프라 기반 기후위기 적응 등의 개념과 방식을 활용한 유럽 도시의 선진 사례를 분석하여 국내에 적용 가능한 기후위기 적응 기법을 도출함

▪기후위기 적응 공간유형 도출

- 도시형 기후위기 적응 해외 사례분석 결과를 바탕으로, 우리나라의 국가, 광역, 기초 공간위계 및 관련 기후위기 적응 계획을 실현할 수 있는 세 가지 공간 유형을 도출함
- 도출된 공간 유형은 '지구(District), 도로 및 거리(Street), 건물(Building)'임

▪기후위기 적응 카테고리 적용

- 도시에 부정적인 영향을 미치는 기후인자인 폭염, 폭우, 가뭄에 대응하기 위해 Blue, Green, Cool 카테고리를 설정하고 이를 기반으로 계획기법을 개발함
- Blue, Green, Cool 카테고리는 각각 물 관리, 녹지 조성, 열 차단 및 열 예방 전략을 중심으로 구성되며, 기후변화로 인한 부정적 영향을 최소화하는 핵심 요소로 활용됨

▪기후위기 적응 계획기법 개발

- 공간단위와 Blue, Green, Cool 카테고리를 결합하여 총 15개의 계획기법을 도출하였으며, 이는 자원의 효율적 이용과 기후위기 적응 효과의 극대화를 위해 복합적 계획기법을 중심으로 개발됨
- 각 공간단위(지구, 도로 및 거리, 건물)별로 계획기법은 5개씩 선정하였고, 각 기법은 해당 공간유형에서 다루어야 할 기후위기 적응 우선순위와 과제를 반영한 것임

▪계획기법별 툴박스(Tool-Box) 구성

- 도출된 15개의 계획기법을 실무에 적용할 수 있도록 체계적으로 툴박스를 구성하고, 관련 세부 정보를 종합적으로 제공함
- 툴박스는 각 기법의 적용 배경과 주요 내용, 관련 사례, 참고 자료, 관련 법 및 제도, 연계 사업 등을 포함, 기초지자체에서 관련 계획을 수립하고 사업을 발굴·추진하는 데 실질적인 도움을 줄 수 있도록 설계함

2.2 기후위기 대응 공간단위 맞춤형 적응모델 세부 내용

1) 공간유형 : 지구, 도로 및 거리, 건물

·지구 (District Scale)

- 지자체에서 특정 사업을 시행하거나 일정 기능을 중심으로 이용되는 비교적 대규모의 공간 단위
- 대규모 인프라 개선, 홍수 방지 대책, 대규모 녹지 조성 및 수공간 확대 등을 적용할 수 있음

·도로 및 거리 (Street Scale)

- 도로 및 도로 주변 지역을 포함, 교통 흐름과 도시 이동성을 담당하는 공공 공간
- 홍수 관리, 열섬 완화, 교통 연계 강화, 배수 시스템 개선 등 기후위기 적응을 위해 중요한 역할을 수행할 수 있는 많은 잠재력을 보유한 공간

·건물 (Building Scale)

- 주로 개별 건물 및 부지 단위의 소규모 공간 유형으로, 에너지 효율 향상과 환경적 성능 개선이 주요 목표가 됨
- 에너지 효율개선(단열, 자연채광, 환기 등), 녹화 및 미기후 조성, 물 관리, 재생에너지 활용 등의 조치 적용에 적합

2) 기후위기 적응 카테고리 : Blue, Green, Cool

·Blue (물에 민감한 도시 공간)

- 물에 민감한 도시 공간과 관련된 카테고리로, 폭우나 홍수에 대한 대처 및 물 관리와 관련된 요소를 포함
- 폭우와 직접적인 연관성을 가지며, 가뭄에도 간접적으로 영향을 미쳐 도시공간의 안정적인 수자원 공급 및 관리 체계를 구축하게 함

·Green (도시 미기후 및 열 안정성)

- 도시 내 녹지와 관련된 카테고리로, 열 안정성 확보 및 미기후 조성을 통해 폭염 완화에 기여하는 요소를 포함
- 폭염과 직접적인 연관성을 가지며, 가뭄에도 간접적으로 기여가 가능함

·Cool (증발 및 차광 : 열 예방)

- 증발 및 차광을 통한 도시 공간의 냉각과 관련된 카테고리로, 도시 내 열섬현상 완화를 위한 열 예방 전략을 포함
- 폭염에 직접적인 연관성을 가지며, 도시 열섬현상 완화에 효율적인 역할을 수행함

그림 2. 공간 위계와 기후위기 대응 공간단위 적응모델

3) 기후위기 대응 공간단위 맞춤형 적응 계획 기법

·기후위기 대응 공간단위 맞춤형 계획 기법 도출

- 기후위기 대응 공간단위 맞춤형 적응 계획 기법은 각 공간 유형(지구, 도로 및 거리, 건물)별로 각 5개씩 도출되어, 총 15개로 구성
- 각 기법은 기후위기 적응 카테고리(Blue, Green, Cool)와 결합하여 폭염, 폭우, 가뭄 등의 주요 기상재해에 효과적으로 대응할 수 있도록 설계됨

표 1. 기후위기 대응 공간단위 맞춤형 적응 계획 적응 계획기법 및 기상재해와의 연관성

공간유형	코드	계획기법	주요 키워드	기상재해 연관성			기대효과(카테고리)		
				폭우	가뭄	폭염	Blue	Green	Cool
지구 (District Scale)	D-1	신선한 공기통로를 고려한 녹지·수공간 네트워크	찬 공기 생성지역, 바람길, 녹지 및 수공간 복합						
	D-2	자연기반(NbS) 녹지공간(면적) 확대 및 조성	투수성 면적 확대, NbS 네트워크						
	D-3	기후위기 적응 및 완화 기능을 통합한 분산형 빗물 관리	LID 기술 및 연계, 스폰지 시티 원칙 적용						
	D-4	홍수와 폭염을 고려한 그린-블루 생태 수변공간 조성	기존 수변공간(저류 호수, 강·하천 등) 적극 활용						
	D-5	자원 및 비용 저감형 기후대응 공간 조성	체육시설, 공공시설 등을 활용한 공간 조성						
도로 및 거리 (Street Scale)	S-1	자연기반(NbS) 쿨링(Blue+Green) 도로 공간 조성	도로 내/ 블루+그린 도로 공간 조성						
	S-2	기후안전형 보행공간 조성	보행 및 자전거 네트워크, 대중교통 연계						
	S-3	기후친화형 도로 시설	버스정거장, 환승센터, 건널목 등						
	S-4	도로공간과 녹지 공간의 입체화	도로 외/ 도로 녹지지붕, 생태통로						
	S-5	도로변 녹지공간과 연계한 빗물 생태 저류지	회전교차로, 교차로 인공섬, 도로변 공간 등						
건물 (Building Scale)	B-1	기후친화적 건축물 외관 녹화 조성	파사드 녹화, 폭염/쿨링, 한파						
	B-2	태양광을 결합한 녹색지붕 조성	Solar+Green roof Combination						
	B-3	패시브 요소를 활용한 건물 외부공간 쿨링효과 조성	가로수, 벽면/지붕 녹화, 자연기반 녹지공간 등						
	B-4	건물 패시브 요소 및 칭호	외부차양, 자연환기, 고성능 창호, 외단열 패널 등						
	B-5	열 스트레스 제로형 건물환경 조성	지붕표면의 알베도, 녹색지붕 면적비율 등						

2.3 기후위기 대응 공간단위 맞춤형 적응 기법 적용 예시

1) 지구 단위

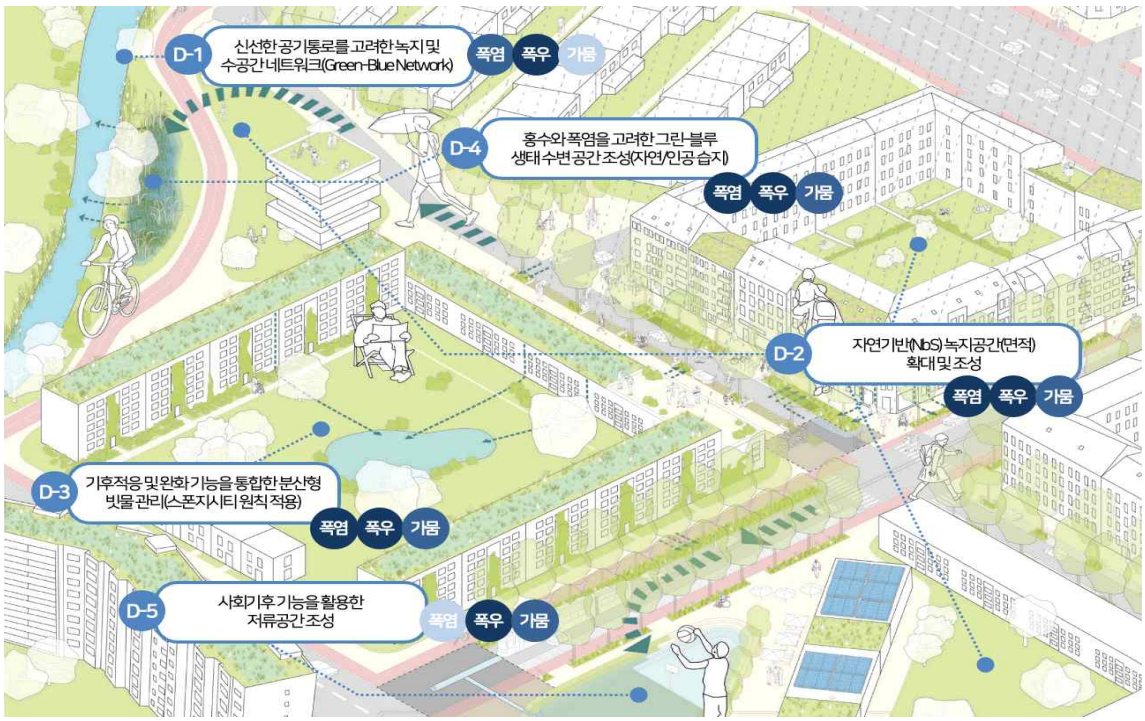


그림 3. 기후위기 대응 공간단위 맞춤형 적응 계획 기법 적용 예시 : 지구 단위

2) 도로 및 거리 단위

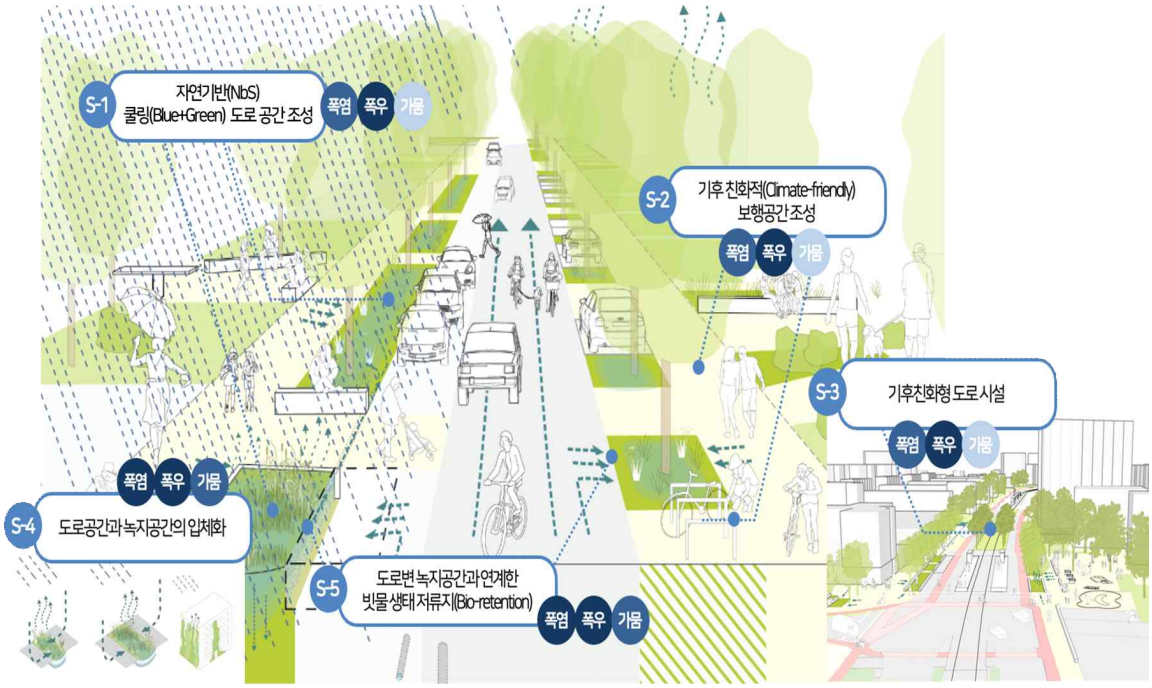


그림 4. 기후위기 대응 공간단위 맞춤형 적응 계획 기법 적용 예시 : 도로 및 거리 단위

3) 건물 단위

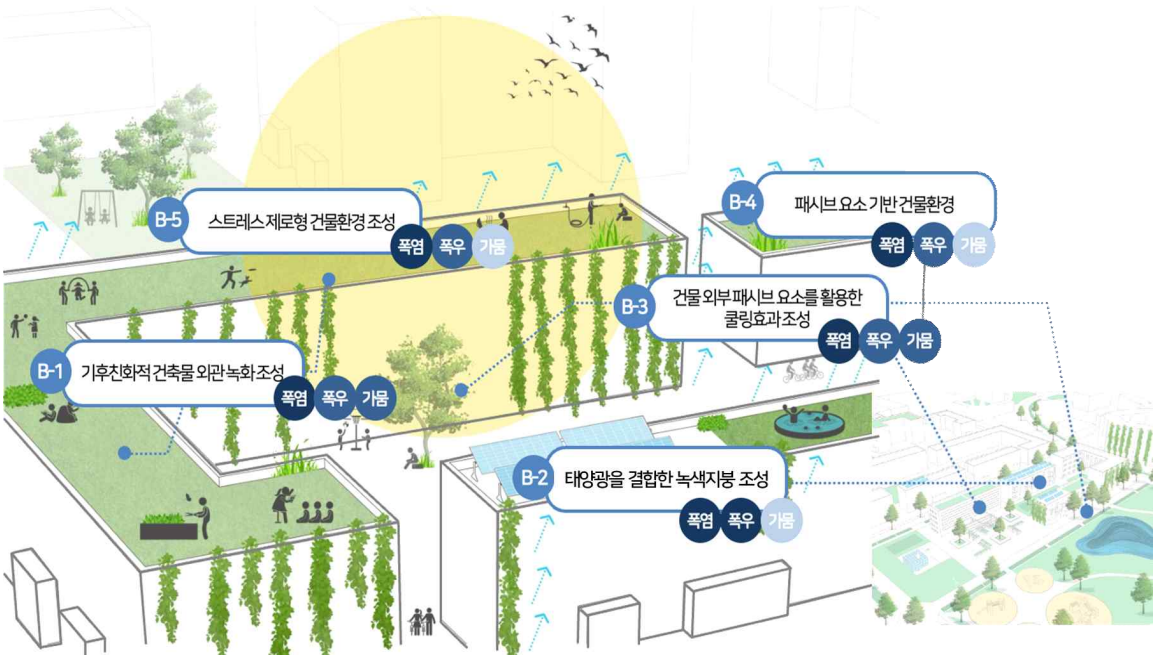


그림 5. 기후위기 대응 공간단위 맞춤형 적응 계획 기법 적용 예시 : 건물 단위

3. 공간단위 기후위기 적응 기법 툴박스(Tool-Box) 마련

3.1 툴박스 마련의 필요성

·기초자치단체 지원

- 기초지자체에서 지역 특성에 맞춰 자원을 효율적으로 활용하고, 다양한 기후위기 적응 사업을 효과적으로 추진할 수 있는 지원 방안 마련 필요
- 각 공간유형별 툴박스는 기초 지자체단위에서 도시 자원의 효율적 활용과 실행 가능성을 높여 지자체의 기후위기 적응역량 강화에 기여할 것으로 기대

·효율적 실행 도구의 필요성

- 연구 결과로 도출된 15개의 공간단위(지구, 도로 및 거리, 건물)별 기후위기 적응 계획 기법을 실무에 효과적으로 적용하기 위해서는 구체적이고 체계적인 실행도구가 필요

3.2 툴박스 구성

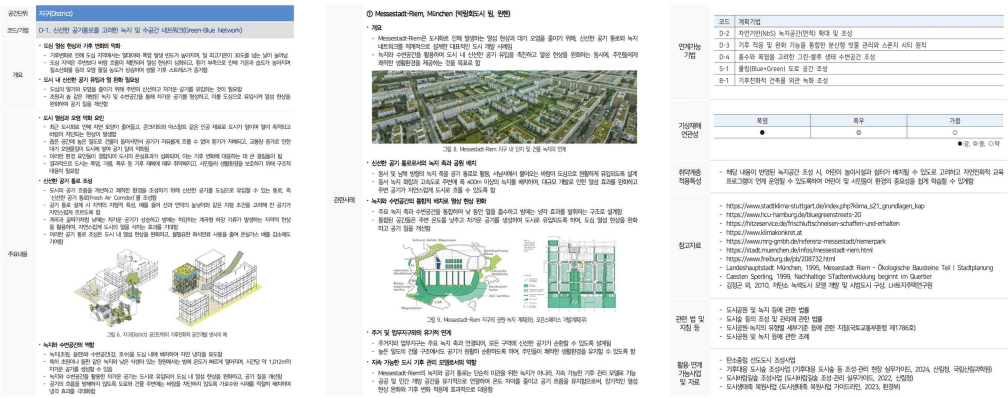


그림 6. 기후위기 대응 공간단위 맞춤형 적응 기법 툴박스(Tool-Box) 예시 : D-1 기법

·기법 개요

- **공간 단위, 기법 코드 및 기법명** : 기법이 적용되는 공간 유형과 기법 코드, 기법명 제시
- **개요 / 주요내용** : 기법의 핵심 개념과 적용 목적을 간략히 설명하고 실행 방법과 기대효과를 구체적으로 설명

·실행 및 참고자료

- **관련 사례** : 해당 기법이 성공적으로 적용된 해외사례를 제시하여 실질적인 실행가능성과 적용예시를 확인
- **참고 자료** : 기법 적용에 필요한 문헌, 연구 자료 등을 구체적으로 제공
- **관련 법 및 지침** : 실행가능성을 높이기 위한 법적·제도적 정보 제공

·기후위기 적응 연계 및 특성

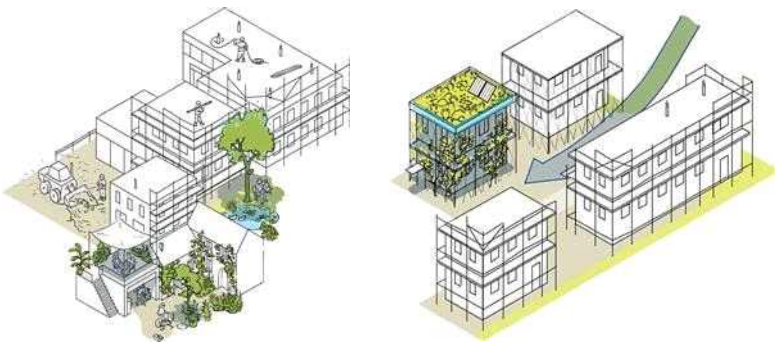
- **기상재해 연관성** : 해당 기법이 폭염, 폭우, 가뭄 등 주요 기상재해와 어떻게 연관되는지 강, 중, 약으로 표기
- **적용특성** : 기법의 적용으로 인한 긍정적 영향을 포함하여, 참고하거나 주의해야 할 사항들을 명시

·연계 가능성 및 확장성

- **연계 가능 기법** : 해당 기법과 시너지 효과를 낼 수 있는 다른 기법을 명시하여 사업의 연속성과 확장성을 확보할 수 있도록 지원함. 도시 내 개별 기후위기 적응 사업 간의 단절을 최소화하고, 사업 간 상호보완적 관계를 구축하여 장기적으로 도시 전체의 기후 복원력과 지속가능성을 향상시킬 수 있도록 함
- **활용 연계 가능 관련 자료** : 국가(부처) 및 지자체에서 추진하고 있는 관련 자료를 제공하여 기후위기 적응 기법을 적용하는 과정에서 연계 추진 가능성을 높일 수 있게 함

제2장.
기후위기 대응 공간단위 맞춤형 적응 기법 툴박스(Tool-Box)

2.1 지구 단위 (District Scale)

공간단위	지구(District)
코드/기법	D-1. 신선한 공기통로를 고려한 녹지 및 수공간 네트워크(Green-Blue Network)
개요	**·도심 열섬현상과 기후변화의 악화** - 기후변화로 인해 도심 지역에서는 열대야와 폭염 발생 빈도가 높아지며, 일 최고기온이 30도를 넘는 날이 늘어남 - 도심 지역은 주변보다 바람 흐름이 제한되어 열섬현상이 심화되고, 환기 부족으로 인해 기온과 습도가 높아지며 질소산화물 등의 오염물질 농도가 상승하여 생물 기후 스트레스가 증가함 **·도시 내 신선한 공기 유입과 열 완화 필요성** - 도심의 열기와 오염을 줄이기 위해 주변의 신선하고 차가운 공기를 유입하는 것이 필요함 - 초원과 숲 같은 개방된 녹지 및 수변공간을 통해 차가운 공기를 형성하고, 이를 도심으로 유입시켜 열섬현상을 완화하며 공기질을 개선함
주요내용	**·도시 열섬과 오염 악화 요인** - 최근 도시화로 인해 자연 토양이 줄어들고, 콘크리트와 아스팔트 같은 인공 재료로 도시가 덮이며 열이 축적되고 바람이 차단되는 현상이 발생함 - 좁은 공간에 높은 밀도로 건물이 들어서면서 공기가 자유롭게 흐를 수 없어 환기가 저해되고, 교통량 증가로 인한 대기오염물질이 도시에 쌓여 공기질이 악화됨 - 이러한 환경 요인들이 결합되어 도시의 온실효과가 심화되며, 이는 기후변화에 대응하는 데 큰 걸림돌이 됨 - 결과적으로 도시는 폭염, 가뭄, 폭우 등 기후 재해에 매우 취약해지고, 시민들의 생활환경을 개선하기 위해 구조적 대응이 필요함 **·신선한 공기 통로 조성** - 도시의 공기 흐름을 개선하고 쾌적한 환경을 조성하기 위해 신선한 공기를 도심으로 유입할 수 있는 통로, 즉 '신선한 공기 통로(Fresh Air Corridor)'를 조성함 - 공기 통로 설계 시 지역의 지형적 특성, 예를 들어 산과 언덕의 높낮이와 같은 지형 조건을 고려해 찬 공기가 자연스럽게 흐르도록 함 - 계곡과 골짜기처럼 낮에는 차가운 공기가 상승하고 밤에는 하강하는 계곡형 하강 기류가 발생하는 지역적 현상을 활용하여, 자연스럽게 도시의 열을 식히는 효과를 기대함 - 이러한 공기 통로 조성은 도시 내 열섬현상을 완화하고, 불필요한 화석연료 사용을 줄여 온실가스 배출 감소에도 기여함  그림 7. 지구(District) 공간단위의 기후친화적 공간개발 방식의 예 **·녹지와 수변공간의 역할** - 녹지(초원, 들판)와 수변공간(강, 호수)을 도심 내에 배치하여 자연 냉각을 유도함 - 특히 초원이나 들판 같은 녹지와 낮은 식생이 있는 정원에서는 밤에 온도가 빠르게 떨어지며, 시간당 약 1,012㎥의 차가운 공기를 생성할 수 있음 - 녹지와 수변공간을 활용한 차가운 공기는 도시로 유입되어 도심 내 열섬현상을 완화하고, 공기질을 개선함 - 공기의 흐름을 방해하지 않도록 도로와 건물 주변에는 바람을 차단하지 않도록 가로수와 식재를 적절히 배치하여 냉각 효과를 극대화함

·도시 설계와 바람길 관리

- 계곡, 산림, 언덕 등의 바람 유입구와 유출구를 연결하여 차가운 공기가 도시로 자연스럽게 유입되도록 함
- 도로변 가로수, 건축물의 벽면 녹화 및 수변공간을 조성하여, 찬 공기가 오염되지 않고 도시를 순환하도록 설계
- 특히 가로수는 공기 정화와 함께 여름철 그늘을 제공하여 도심의 온도를 낮추는 데 도움이 됨
- 도로 주변에 자연형 빗물 침투 시설을 설치하여 바람길이 오염되지 않도록 하고, 주차장에는 가로수를 심고 투수 포장을 사용하여 불필요한 열 발생을 줄임

관련사례

① Messestadt-Riem, München (박람회도시 림, 뮌헨)

·개요

- Messestadt-Riem은 도시화로 인해 발생하는 열섬현상과 대기오염을 줄이기 위해, 신선한 공기 통로와 녹지 네트워크를 체계적으로 설계한 대표적인 도시 개발 사례임
- 녹지와 수변공간을 활용하여 도시 내 신선한 공기 유입을 촉진하고 열섬현상을 완화하는 동시에, 주민들에게 쾌적한 생활환경을 제공하는 것을 목표로 함

그림 8. Messestadt-Riem 지구 내 단지 및 건물 녹지의 연계

·신선한 공기 통로로서의 녹지 축과 공원 배치

- 동서 및 남북 방향의 녹지 축을 공기 통로로 활용, 서남서에서 불어오는 바람이 도심으로 원활하게 유입되도록 설계
- 동서 녹지 회랑과 고속도로 주변에 폭 400m 이상의 녹지를 배치하여, 대규모 개발로 인한 열섬효과를 완화하고 주변 공기가 자연스럽게 도시로 흐를 수 있도록 함

·녹지와 수변공간의 통합적 배치로 열섬현상 완화

- 주요 녹지 축과 수변공간을 통합하여 낮 동안 열을 흡수하고 밤에는 냉각 효과를 발휘하는 구조로 설계함
- 통합된 공간들은 주변 온도를 낮추고 차가운 공기를 생성하여 도시로 유입되도록 하여, 도심 열섬현상을 완화하고 공기질을 개선함

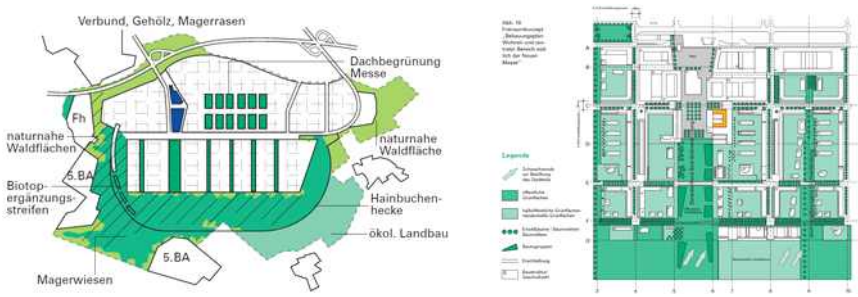


그림 9. Messestadt-Riem 지구의 공원·녹지 계획(좌), 오픈스페이스 개발계획(우)

·주거 및 업무지구와의 유기적 연계

- 주거지와 업무지구는 주요 녹지 축과 연결되어, 모든 구역에 신선한 공기가 순환할 수 있도록 설계됨
- 높은 밀도의 건물 구조에서도 공기가 원활히 순환하도록 하여, 주민들이 쾌적한 생활환경을 유지할 수 있도록 함

·지속 가능한 도시 기후 관리 모델로서의 역할

- Messestadt-Riem의 녹지와 공기 통로는 단순히 미관을 위한 녹지가 아니라, 지속 가능한 기후 관리 모델로 기능
- 공공 및 민간 개방 공간을 유기적으로 연결하여 온도 차이를 줄이고 공기 흐름을 유지함으로써, 장기적인 열섬현상 완화와 기후변화 적응에 효과적으로 대응함

② Quartier Vauban, Freiburg (프라이부르크 보봉 지구)

·개요

- Quartier Vauban은 프라이부르크 남쪽 외곽에 위치한 생태 주거지로, 지속 가능한 개발이 일반적이지 않았던 시기에 환경친화적이고 높은 생태적 기준을 도시에 구현한 사례임
- 에너지 절감형 패시브 하우스, 태양열 및 바이오가스 시스템 등 다양한 친환경 주거 프로젝트와 신선한 공기 통로를 계획적으로 조성하여 도시의 기후변화 적응을 도모함

그림 10. Vauban 단지 전경(좌), 바람길 계획(우)

·신선한 공기 통로와 녹지

- 외부의 신선한 공기 통로(바람길)를 녹지와 물 관리 계획과 연계하여 체계적으로 조성함
- 바람길은 주변 Schönberg, Hexental에서 불어오는 신선한 공기를 도입해 밀집된 주거 지역의 환기와 열섬현상을 완화함

·태양열 에너지와 저에너지 건축 방식

- 단지 동쪽에는 유럽의 선도적인 태양열 주택 프로젝트가 위치하며, 148개의 아파트는 에너지 자급형 구조로 설계
- 태양열 시스템이 설치된 목조 주택들은 에너지를 자급자족하며 기존 주택보다 훨씬 적은 에너지를 사용함

·녹지 보존과 역사적 생태 요소 활용

- 기존 군사 막사로 인해 조성된 녹지와 나무 개체군을 보존하여 지역의 생태적, 역사적 의미를 유지함
- 80년 이상 된 나무와 5개의 공공 녹지 회랑을 포함한 녹지 공간이 조성되어, 어린이 놀이 및 휴식 공간으로 활용됨

·지붕 녹화와 비오톱 지정으로 미기후 개선

- 건물 지붕은 최대 10도의 경사를 고려하여 녹화 지붕을 적용하고, 이를 통해 빗물 유출을 지연시켜 홍수 예방과 온도 저감 효과를 도모함
- St. Georgener Dorfbach와 Merzhauser Str. 인근의 비오톱 지역을 복원하여 자연 상태를 유지하며 생태적 효율성을 강화함

그림 11. Vauban 단지 내 중앙 교통축 녹화(좌), 건축물 녹화(우)

연계가능 기법	

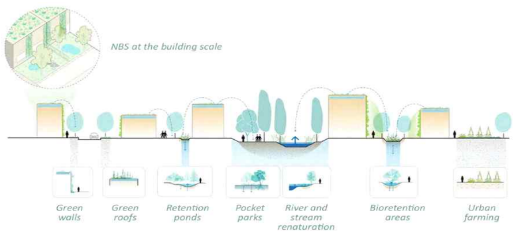
코드	계획기법
D-2	자연기반(NbS) 녹지공간(면적) 확대 및 조성
D-3	기후위기 적응 및 완화 기능을 통합한 분산형 빗물 관리와 스폰지 시티 원칙
D-4	홍수와 폭염을 고려한 블루-그린 생태 수변공간 조성
S-1	자연기반(NbS) 쿨링(Blue+Green) 도로 공간 조성
B-1	기후친화적 건축물 외관 녹화 조성

기상재해 연관성

폭염	폭우	가뭄
●	◎	○

●:강, ◎:중, ○:약

적용특성	- 해당 내용이 반영된 녹지공간 조성 시, 어린이 놀이시설과 쉼터가 배치될 수 있도로 고려하고 자연친화적 교육 프로그램이 연계 운영될 수 있도록 하여 어린이 및 시민들이 환경의 중요성을 쉽게 학습할 수 있게함
참고자료	- https://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_s21_grundlagen_kap - https://www.hcu-hamburg.de/bluegreenstreets-20 - https://hitzeservice.de/frischluftschneisen-schaffen-und-erhalten - https://www.klimakonkret.at - https://www.mrg-gmbh.de/referenz-messestadt/riemerpark - https://stadt.muenchen.de/infos/messestadt-riem.html - https://www.freiburg.de/pb/208732.html - Landeshauptstadt München, 1995, Messestadt Riem - Ökologische Bausteine Teil I Stadtplanung - Caesten Sperling, 1999, Nachhaltige STadtentwicklung beginnt im Quertier - 김정곤 외, 2010, 저탄소 녹색도시 모델 개발 및 시범도시 구상, LH토지주택연구원
관련 법 및 지침 등	- 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 - 도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률 - 도시공원·녹지의 유형별 세부기준 등에 관한 지침(국토교통부훈령 제1808호) - 도시공원 및 녹지 등에 관한 조례
활용·연계 가능 관련 자료	- 기후대응 도시숲 등 조성·관리 현장 실무가이드, 2024, 산림청, 국립산림과학원 - 도시바람길숲 조성·관리 실무가이드, 2022, 산림청 - 도시생태축 복원사업 가이드라인, 2023, 환경부

공간단위	지구(District)
코드/기법	D-2. 자연기반(NbS) 녹지공간(면적) 확대 및 조성
개요	**·도시 내 녹지 공간 부족과 주민 건강의 위협** - 도시의 정원, 가로수, 수변 등 녹지 인프라가 줄어들면서, 주민이 접근할 수 있는 녹지 면적이 도시 전체의 3%에 불과한 실정임. 대부분의 도시 주민들이 WHO 권장 기준인 녹지 공간 300m 이내에 거주하지 못하고 있음 - 녹지는 주민의 신체적, 정신적 건강을 증진시키며, 특히 취약계층에게 큰 혜택을 제공함. 녹지 환경에서 자란 어린이는 정신질환 발생 위험이 낮고, 자연 가까이에 사는 사람들의 기대 수명이 증가함 **·기후변화 대응과 자연 기반 솔루션의 필요성** - 도시 녹지 인프라는 차가운 공기 생성, 증발 냉각, 공기 교환을 촉진하여 도시 열섬현상 완화와 대기질 개선에 기여함. 예를 들어, 나무는 증발과 그늘 제공을 통해 냉각 효과를 제공함 - 녹지와 습지, 이끼 벽 등 자연 기반 솔루션(NbS)은 대기오염, 폭염, 홍수, 생물 다양성 감소 등 다양한 문제에 대응하여 도시의 기후위기 적응력을 강화하고 생물 다양성을 보호함
주요내용	**·자연 기반 녹지 확장의 필요성** - 기후위기 적응의 일환으로 녹지 공간 확대는 지방자치단체의 책임이나, 생물 다양성과 기후변화가 도시 개발에 충분히 고려되지 않는 현실이 존재함 - 녹지 공간 부족은 열섬현상 및 대기오염 증가 등 도시 내 기후 문제를 심화시키며, 이에 대한 개선이 요구됨 **·녹지 공간의 역할과 효과** - 녹지는 천연 CO_2 저장소로 작용하고, 신선한 공기 통로 형성을 통해 도시 내 공기 순환을 촉진하며 온도 변동성 완화에 기여함 - 도심에서 발생하는 열섬현상을 줄이며, 여름철 사망률 감소와 심혈관 질환 예방 효과가 있음 - 녹지와 식재된 건물 외벽 및 지붕은 냉각 효과를 제공하고, 폭우 시 홍수 완화 효과도 가짐 - 나무 피복률 30%에 도달 시, 열섬으로 인한 사망률의 1/3 감소 가능 **·건물 단위의 녹지 적용과 효과** - 지붕 및 수직 면 녹화는 물을 보유하여 유출량을 조절하고, 태양 복사 흡수를 통해 주변 온도를 낮추며 에너지 소비 절감에 기여 - 도시 건물의 녹화율이 높아지면 도시 전반의 기후위기 적응 및 열섬 완화에 크게 기여  그림 12. 근린 규모에서의 자연 기반 솔루션(NbS)의 개략 단면도(좌), 스위스 취리히의 'MFO-Park'(우)
관련사례	**① Tegelwippen, Netherlands (테겔위펜, 네덜란드)** **·개요** - 네덜란드의 '테겔위펜(Tegelwippen)' 행사는 포장된 타일을 제거하고 정원을 녹지화하는 연례행사로, 도시의 생물 다양성을 촉진하고 기후 조절에 기여하는 대표적인 녹지 조성 사례임 - 여러 도시가 참여하는 'NK Tile Wippen' 대회는 정원 녹지화의 중요성을 높이고 주민들의 자발적인 녹화 활동을 장려함

▪녹지화 추진을 위한 시민 참여 행사

- '테겔위펜' 행사는 주민들이 정원에서 타일을 제거하고 식물, 나무, 관목을 심도록 독려하며, 생물 다양성과 서식지 확장에 기여함
- 참여 도시는 타일 제거와 정원 조성을 돕는 다양한 이벤트와 캠페인을 통해 주민들이 적극적으로 녹지화에 참여하도록 유도함

▪경진대회와 보조금을 통한 녹지화 활성화

- 'NK Tile Wippen' 대회를 통해 가장 많은 타일을 제거한 도시를 선정하여 녹지화에 대한 관심을 촉진함
- 정원 녹지 전환에 필요한 식물 및 자재를 보조하거나, 정원사 지원 등 다양한 보조금을 제공하여 비용 부담을 덜어줌

▪환경 보호 캠페인과 실질적 지원

- 타일 제거 및 식물 심기(Tile out, plant in)와 같은 캠페인을 통해 주민들에게 실용적인 정보와 무료 식물 패키지를 제공하여, 친환경 생활을 촉진함
- 자원봉사 단체 및 비영리단체와의 협력으로 녹지화 활동을 더욱 활성화하고 있으며, 지속적으로 전국 단위로 확산되고 있음

▪기후위기 적응과 생물 다양성에의 기여

- 정원 녹지화는 여름철 냉각 효과와 겨울철 열 보존 기능을 통해 기후 조절에 기여하고, 다양한 동물의 서식지를 제공하여 생물 다양성을 증진함

그림 13. Tegelwippen의 다양한 참여 모습

② Eco-District Clichy-Batignolles, Paris (생태지구 클린시 바티뇰, 파리)

▪개요

- Clichy-Batignolles는 54ha 규모로 파리 중심부의 철도 부지를 재개발한 프로젝트로, 공원, 주택, 공공시설 등을 포함한 다기능 생태 지구 조성 사례
- 대규모 공원과 녹지 네트워크를 통해 생물 다양성을 증진하고 도시 열섬현상을 완화하며, 재생 에너지와 에너지 효율성을 적용해 지속 가능한 도시 재개발을 실현함

▪생물 다양성과 녹지 네트워크 확장

- 10ha의 공원과 다양한 녹지 공간을 통해 파리 북서부 녹색 네트워크를 확장하여 생물 다양성 유지에 기여
- 대기와 수질 개선, 주민들의 자연 접근성 증진을 목표로 조성

▪에너지 자급과 패시브 디자인 적용

- 모든 건물은 지열 난방망에 연결되어 있으며, 에너지 소비는 평방미터당 50kWh로 제한
- 태양광 패널을 활용해 전기를 생산하며 패시브 건축 설계를 통해 에너지 절약 실현

▪빗물 관리와 자원 재활용 시스템

- 공원과 녹지에서 빗물을 모아 공원 급수의 약 40%를 충당하며, 투수성 지반과 젖은 도랑을 통해 빗물 자연 침투 유도
- 구역 단위의 빗물 관리와 하수도로의 유출량 최소화로 홍수 완화

·도시 열섬현상 완화와 미기후 개선

- 나무와 초목의 증발산 작용으로 주변 공기를 냉각하여 도시 열섬현상 완화
- 옥상 녹화와 다양한 식생을 통해 지역의 미기후 개선에 기여

그림 14. Clichy-Batignolles 지구 전경(좌), 지구 내 다양한 녹지의 모습(우)

③ Prinz-Eugen-Park, München (프린츠-오이겐-공원, 뮌헨)

·개요

- Prinz-Eugen-Park는 독일 뮌헨의 프린츠 오이겐 군 막사 부지를 재개발하여 2021년에 완공된 생태적 단지로, 약 1,800채의 아파트 중 600채가 목조 건축으로 이루어진 생태 모델 거주지로 건설됨
- 이 단지는 재생 가능 원료인 목재 사용을 통한 에너지 효율 향상, 생태계 보전, 주민 참여를 중심으로 기후변화 대응과 지속 가능한 도시 개발을 실현함

그림 15. Prinz-Eugen-Park 전경(좌), 건축 형태 및 녹화(우)

·목조 건축을 통한 기후 보호

- 약 600채의 목조 아파트는 재생 가능한 원료인 목재를 사용해 기후 보호에 기여함
- 목조 건축 방식은 이산화탄소 13,000톤을 장기적으로 저장하여 광물 기반 건축 대비 온실가스 배출을 약 30~60% 감소시킴

·에너지 효율 및 재생 에너지 활용

- 모든 건물은 KfW 에너지 효율 기준을 준수하며, 일부는 패시브 하우스 수준으로 설계됨
- 지역난방 시스템과 건물 지붕에 설치된 태양광 패널로 에너지 효율을 높이고 자립적인 에너지 사용을 지원함

·생태계 보전과 주민 생활환경 개선

- 오래된 나무, 초원, 비오톱이 보존되어 다양한 생물의 서식지와 생태계 서비스 제공
- 단지 내 도시 정원과 공유 옥상 정원은 주민들이 채소와 허브를 재배할 수 있는 기회를 제공하여 생활의 질을 높임

·보행과 자전거 친화적 환경 조성

- 보행 및 자전거 도로 네트워크가 형성되어, 주민들에게 친환경적인 이동 수단을 제공함
- 다양한 연령층이 이용할 수 있는 공공 녹지 공간과 열린 공간을 통해 커뮤니티 활성화를 도모함

연계가능 기법	

코드	계획기법
D-1	신선한 공기통로를 고려한 녹지 및 수공간 네트워크(Green-Blue Network)
D-3	기후위기 적응 및 완화 기능을 통합한 분산형 빗물 관리와 스폰지 시티 원칙
D-4	홍수와 폭염을 고려한 블루-그린 생태 수변공간 조성
S-1	자연기반(NbS) 쿨링(Blue+Green) 도로 공간 조성
S-2	기후안전형 보행공간 조성
S-3	기후친화형 도로 시설
S-4	도로공간과 녹지공간의 입체화
B-1	기후친화적 건축물 외관 녹화 조성
B-2	태양광을 결합한 녹색지붕 조성

기상재해 연관성

폭염	폭우	가뭄
●	●	◎

●:강, ◎:중, ○:약

적용특성

- 저소득층, 노인, 장애인 등 취약계층이 쉽게 접근할 수 있도록 공공 녹지공간을 거주지 근처에 배치하고 보행자 도로와 대중교통 접근성을 강화하며, 휠체어 경로, 점자 표지판, 저지대 진입로 등을 마련하여 기후변화 완화와 건강 증진 효과를 직접 경험할 수 있도록 함
- 미세먼지와 오염에 민감한 취약계층 거주 지역에 미세먼지 및 이산화탄소 흡수력이 높은 수종을 식재하여 공기질을 개선함
- 녹지공간 조성 시 취약계층이 참여할 수 있는 교육 프로그램과 마을가꾸기 프로젝트를 통해 사회적 유대감을 높이고 기후위기 적응 능력을 강화함
- 다양한 연령과 능력을 고려한 놀이공간, 운동시설, 산책로 등을 제공해 기후변화의 부정적 영향을 최소화하고, 어린이 발달을 위해 어린이 이용 시설과 연계한 자연기반 녹지공간의 접근성을 강화함

참고자료

- Engemann, K. et al. 2019, Residential green space in childhood is associated with lower risk of psychiatric disorders from adolescence into adulthood, https://doi.org/10.1073/pnas.1807504116
- Thompson, C-W, et al. 2012, More green space is linked to less stress in deprived communities: Evidence from salivary cortisol patterns, Landscape and Urban Planning, Volume 105, Issue3, 2012, p. 221-229
- https://neuelandschaft.de/artikel/spanische-studie-mit-daten-aus-93-europaeischen-staedten-stadtbaeume-koennen-die-anzahl-von-hitzetoten-im-sommer-verringern-10136
- wwf, 2021, Urban Nature Based Solutions – Cities leading the way
- Worldbank et al, 2021, A Catalogue of Nature-based Solutions for Urban Resilience
- https://rotterdamsweerwoord.nl/nk-tegelwippen
- Paris Batignolles Aménagement, (2015), The Eco-District Clichy-Batignolles
- https://sdg21.eu/db/oekologische-siedlung-im-prinz-eugen-park
- https://www.binderholz.com/produkte/brettsperrholz-bbs
- https://stadt.muenchen.de/infos/prinz-eugen-park.html

관련 법 및 지침 등

- 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률
- 도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률
- 도시공원·녹지의 유형별 세부기준 등에 관한 지침(국토교통부훈령 제1808호)
- 도시공원 및 녹지 등에 관한 조례

활용·연계 가능 관련 자료

- 기후대응 도시숲 등 조성·관리 현장 실무가이드, 2024, 산림청, 국립산림과학원
- 도시바람길숲 조성·관리 실무가이드, 2022, 산림청
- (기타) 「수원시 도시공원 조성 지침」, 수원시
- (기타) 지속가능한 저관리형 도시공원 숲 조성 매뉴얼, 2022, 수원시

공간단위	지구(District)
코드/기법	D-3. 기후위기 적응 및 완화 기능을 통합한 분산형 빗물 관리와 스폰지 시티원칙
개요	**•기후위기 적응과 완화를 위한 오픈스페이스의 중요성** - 오픈스페이스 내 다양한 녹지 및 그린 기술 요소는 공기질 개선, 열섬효과 억제, 냉각 효과, 에너지 소비 절감, 홍수 예방 등 지속 가능한 도시 개발에 기여함 - 녹색 지붕, 비포장 지역, 자연 침투 연못 및 도랑 등을 통해 홍수 위험 완화 및 하수 시스템의 부담 감소에 기여 **•분산적 빗물 관리의 개념과 역할** - 빗물 관리와 오픈 그린 스페이스의 통합을 통해 찬 공기 생성, 증발산 촉진, 생물 서식지 제공 등으로 도시 미기후 개선 효과를 기대함 - 대규모 공원 및 녹지 공간이 온도 감소와 쿨링 효과를 제공하며, 그린과 블루 인프라 통합을 통해 탄소 격리, 수질 개선, 열섬현상 완화, 대기오염 완화 등 다양한 기후 문제 해결에 기여함
주요내용	**•분산형 빗물 관리의 중요성** - 도시화로 인해 불투수성 표면이 증가, 이로 인해 자연적인 물 순환이 방해받아 도시 홍수와 물 부족 문제가 심화 - 분산형 빗물 관리 개념은 다양한 기술적, 비기술적 조치를 통해 도시에서의 물 순환을 회복하고 기후위기 적응 및 완화에 기여하는 것을 목표로 함 **•증발 및 침투를 통한 기술적 빗물 관리 및 수분 균형 유지** - 지능형 수조, 침투 도랑, 스폰지 도시 설계 등 다양한 기술적 솔루션을 통해 도시에서 빗물의 침투와 증발을 촉진하고, 유출수를 조절하여 도심 열섬현상의 완화와 도시 미기후의 개선을 달성할 수 있음 - 녹색 식물을 활용한 건물 정면 외벽, 수목 도랑, 빗물 재활용 시스템 등의 조치를 통해 도시의 냉각 효과를 극대화하고 에너지 소비를 절감함 - 저장된 빗물은 다양한 용도로 재사용되며, 특히 화장실 용수, 세탁용수, 정원 관수 등에 활용 가능함 **•스폰지 도시 원칙과 적용** - 스폰지 도시는 빗물을 효율적으로 흡수, 저장, 재사용하여 자연 순환을 모방하는 도시 설계 방식을 의미함 - 투수성 토양, 저류지, 녹색 지붕 등을 통해 폭우나 폭염과 같은 기후 재해에도 도시가 안정적인 물 관리를 유지할 수 있도록 함 그림 16. 기후변화 대응 그린+블루 요소를 활용한 빗물관리 개념
관련사례	**① Berlin-Grünau 52° North (베를린-그뤼나우 지구 52° 북부)** **•개요** - 이전 산업 현장인 'Quartier 52° Nord'는 약 100,000㎡ 부지에 개발된 주거지로, 2024년까지 약 1,000채의 아파트와 2,000명의 주민을 수용할 계획임 - 목재 하이브리드 건축과 KfW 40 에너지 효율 기준을 적용하여 기후변화에 대응하며, 지역 내 바이오매스를 연료로 사용하는 자급자족형 열병합 발전소 운영으로 지속 가능성을 높임

▪스폰지 시티 개념 적용

- 중앙 저수지에 빗물을 모아 식물의 생물학적 정화를 통해 오염물질을 제거하고, 자연 순환을 통해 증발 냉각 효과를 제공함
- 주변 주거 건물의 지붕에서 빗물을 수집하여 저수지로 유입, 더운 시기에 증발을 통해 쾌적한 미기후를 조성함

▪재생 에너지 활용 및 에너지 자급자족 시스템

- 바이오메탄을 사용하는 지역 열병합 발전소를 통해 열 에너지를 공급하며, 외부 에너지원 없이 자급자족하는 구조로 운영됨
- 약 65%의 바이오메탄을 활용하여 지속 가능한 에너지 공급 기반을 구축함

그림 17. 공원, 정원, 광장, 안뜰, 지붕의 빗물 처리를 고려한 녹지계획(좌), Berlin-Gruenau 52° North 지구의 호수(우)

② Karens Minde Axis, Copenhagen (카렌스 민데 축, 코펜하겐)

▪개요

- 코펜하겐의 수하운(Sydhavn) 지역은 초기의 사회 주택 지역으로 저소득층과 낮은 평균 수명의 역사적 배경을 가짐. 주택 투기로 인해 신·구 수하운 간의 사회적 불평등과 분열이 심화됨
- 코펜하겐 시의회는 '함께 하는 남쪽 항구' 프로젝트를 통해 기후변화 적응, 사회적 불평등 해소, 주거 품질 개선 및 생물 다양성 증진을 목표로 도시 재생을 추진함. 카렌스 민데 축은 빗물 관리와 녹지 조성을 통해 이 지역의 기후와 사회적 문제 해결을 도모하는 프로젝트임

그림 18. Karens Minde Axis 전체 계획도(좌), 노란색 타일로 계획된 통로(우)

▪습기후변화 적응을 위한 통합 설계

- 최대 15,000m³의 빗물 관리, 물 저장 및 레크리에이션 공간 제공을 위해 설계됨
- 타일로 된 강바닥 통로를 통해 물과 사람의 이동을 공유하며, 빗물 유입구를 통해 빗물을 자연적 경로로 유도함

▪생물 다양성 증진

- 기존 생물 군집 보존 및 향상을 목표로 하며, 새로운 빗물 유역이 생물 다양성에 기여하여 동물군과 종 다양성을 증가시킴
- 나무, 풀, 바위 등 자연 요소를 활용한 유역 경계 조성 및 70그루의 나무와 구근 식물 추가 식재

▪레크리에이션 공간과 자연적 정화 기능

- 원형 다리와 산책로로 자연 경관 속에서 좌석과 놀이 공간 제공
- 빗물 유지 분지를 통해 정화 과정을 거쳐 기후 회복력을 강화

·기후 회복력 검증

- 2023년 기록적인 폭우에 성공적으로 대응하여 기후 회복력에 적합한 설계임을 입증함

③ Siemensstadt Square, Berlin (지멘스 슈타트 광장, 베를린)

·개요

- Siemensstadt Square는 독일 베를린의 스판다우 지역에 위치한 76ha 규모의 부지를 혁신적인 도시구역으로 재개발하는 계획으로 2035년까지 약 35,000명이 거주하고 일하며 학습하고 연구할 수 있는 공간조성을 목표로 함
- Siemensstadt Square는 베를린의 미래형 도시개발 지역으로, 스폰지 도시 개념을 적용해 빗물을 귀중한 자원으로 활용, 자원 절약과 순환적 접근 방식을 통해 물 관리와 기후 개선에 기여하는 지속 가능한 도시 모델을 구현하고자 설계됨

그림 19. 스폰지시티 원칙을 적용한 Siemensstadt Square 및 주변 모습

·스폰지 시티 개념 적용

- 빗물을 단순히 배수하지 않고, 지하수 보충 및 도시 기후 개선을 위한 자원으로 활용
- 녹지 공간과 녹색 지붕을 통해 빗물을 흡수하고 증발시켜 도시 내 자연적인 물 순환을 유도함

·빗물 관리의 캐스케이드 솔루션 도입

- 녹색 지붕을 통해 빗물 유출을 지연하고 일부를 증발시킴
- 빗물이 서서히 광장과 열린 공간으로 이동해 식물에 수분을 공급하고 최종적으로 수조에 모여 홍수를 예방함

·통합적 물 관리 시스템

- 빗물을 건물과 관개 시설에서 활용하여 하수 시스템의 부담을 줄이고 식수 절약에 기여함
- 폭우 시 저장된 빗물을 필요 시 다시 사용할 수 있도록 하여 지속 가능한 물 관리 체계 구축

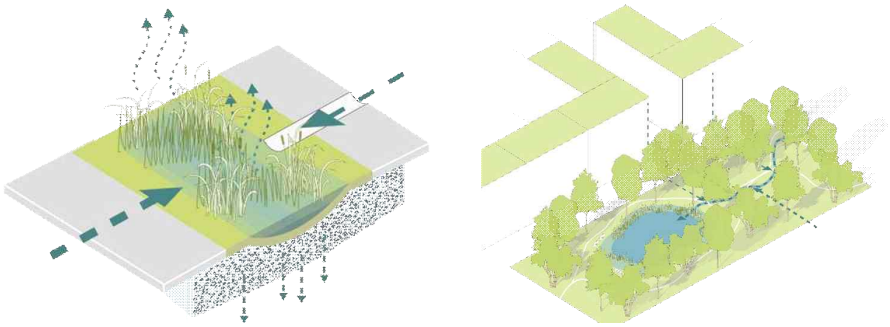
·미래 지향적 도시 개발

- 자원과 원자재를 신중히 사용하고 순환적 방식으로 설계하여, 기후변화 대응 및 도시 생활 개선을 목표로 함

연계가능 기법

코드	계획기법
D-1	신선한 공기통로를 고려한 녹지 및 수공간 네트워크(Green-Blue Network)
D-2	자연기반(NbS) 녹지공간(면적) 확대 및 조성
D-4	홍수와 폭염을 고려한 블루-그린 생태 수변공간 조성
D-5	사회·기후 기능을 활용한 저류공간 조성
S-1	자연기반(NbS) 쿨링(Blue+Green) 도로 공간 조성
S-2	기후안전형 보행공간 조성
S-5	도로변 녹지공간과 연계한 빗물 생태 저류지(Bio-retention)
B-1	기후친화적 건축물 외관 녹화 조성
B-2	태양광을 결합한 녹색지붕 조성

기상재해 연관성	<table><tr><th>폭염</th><th>폭우</th><th>가뭄</th></tr><tr><td>●</td><td>●</td><td>○</td></tr></table>●:강, ◎:중, ○:약
적용특성	- 상습 침수지역의 경우, 본 기법을 주거지 주변에 적극적으로 적용하도록 권장하고, 대규모의 공간 확보가 어려울 경우 소규모 단위로 조성하되 분산형 빗물관리 요소 및 시설이 면밀히 연계가 이루어질 수 있도록 함 - 집수된 빗물의 경우, 주변 어린이 놀이시설 및 공공시설과 연계하여 정화된 우수를 놀이용수 및 시설 관리용수로 사용할 수 있게 하여 경제적 효율성을 높임 - 취약계층이 소유하거나 거주하고 있는 시설의 경우, 지원사업을 통해 옥상 녹화 등을 지원하고 지자체는 공공공간에 빗물관리 시설을 마련하여 이들이 면밀히 연계될 수 있도록 통합적 순환 체계를 유지할 수 있도록 함 - 빗물관리를 위한 투수성 포장 자재 선택 시, 어린이 및 노약자 등의 취약계층의 이용과 건강에 적합하도록 비교적 안전한 디자인을 선택하고 보행에 어려움으로 보조기구를 이용하는 이용자가 불편하지 않도록 함 - 관리 미흡으로 인해 집중호우 시 전체 시스템 작동에 오류가 없도록 유지관리 계획을 철저하게 수립하도록 함
참고자료	- 유럽 국가를 중심으로 활발히 적용된 분산식 빗물 관리는 최근 '스폰지 시티' 원칙과 결합되어 추진되고 있으며, 이러한 전체적인 빗물관리 접근 방식은 다양한 해외 사례에서도 확인되고 있음 · Best Management Practices (BMP) - 미국 · Low Impact Development (LID) - 영국 · Sustainable Urban Drainage (SUDs) - 아시아 (중국) · Water Sensitive Urban Design (WSUD) - 물에 민감한 도시디자인과 개발(독일 등 유럽국가) · BlueGreenSolutions – 유럽연합 BlueGreenDream (BGD)프로젝트에 이해 만들어짐 - SWECO, 2021, Urban Insight – Healthy water cities - World Bank, 2021, Catalogue of Nature-based Solutions for Urban Resilience - https://www.52grad-nord.de - https://www.sonnenerde.at/en/biochar/sponge-city - https://www.sweco.co.uk/blog/water-nbs - https://landezine.com/karens-minde-axis-by-schonherr - https://schonherr.dk/projekter/karens-minde-aksen - https://www.siemensstadt.siemens.com/de/entwicklung/nachhaltigkeit - https://regenwasseragentur.berlin/kuenstliche-wasserflaeche
관련 법 및 지침 등	- 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 - 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 - 자연재해대책법 - 빗물관리 조례 및 빗물관리시설 설치에 관한 조례 등 (각 지자체)
활용·연계 가능 관련 자료	- 물 재이용시설 운영·관리 업무지침, 2022, 환경부

공간단위	지구(District)
코드/기법	D-4. 홍수와 폭염을 고려한 블루-그린 생태 수변공간 조성
개요	**·도시 생태계와 습지의 중요성** - 습지는 육지와 물의 경계를 이루며 생물 다양성이 풍부하고 생산적인 생태계로, 도시에서 중요한 생태계 서비스를 제공함 - 도시화가 가속화되면서 습지가 파괴되고 사라지며, 축적된 탄소가 방출되는 등의 문제가 발생함. 특히 파리기후협약 이후 습지의 탄소 격리 능력이 인정되며 탄소중립 실현을 위한 필수적인 생태 요소로 부각됨 **·습지의 기후위기 적응 및 탄소 격리 역할** - 습지는 빗물의 흐름을 늦추고, 침전물과 오염물질을 제거하며 지하수위를 안정시키는 등 홍수와 가뭄에 대한 자연적인 스폰지 역할을 수행함 - 이탄 습지와 침수된 습지는 탄소를 장기적으로 격리할 수 있는 잠재력이 크며, 이는 기후변화 완화와 생태계 복원에 중요한 요소로 작용함  그림 20. 입지 여건을 고려한 습지 계획 유형
주요내용	**·자연 내륙 습지와 인공 습지의 역할** - 자연 내륙 습지는 물에 지속적으로 잠겨 다양한 생물 서식지를 제공하고, 침전물과 오염물질을 걸러내는 역할을 하며, 기후변화 대응과 탄소중립 실현에 중요한 역할을 함 - 인공 습지는 도시 내에 건설된 내륙 습지로서, 자연 습지의 기능을 모방하여 탄소 격리와 오염물질 제거에 기여하며 도시 기후변화의 적응 및 완화를 돕도록 설계됨 **·도시 습지의 냉각 및 탄소 격리 효과** - 습지는 열섬현상을 완화하고 냉각 효과를 제공하며, 특히 나무가 우거진 지역에서는 더 높은 냉각 효과를 나타냄. 연구에 따르면 습지에서 멀어질수록 온도가 상승하는 경향이 있으며, 습지 복원은 도시의 회복탄력성 강화와 생물 다양성 증진에 기여함 - 인공 습지는 개방 수면을 통해 열을 흡수하고 알베도 효과로 기온 변화율을 조절하는 등 미기후에 긍정적인 영향을 미침

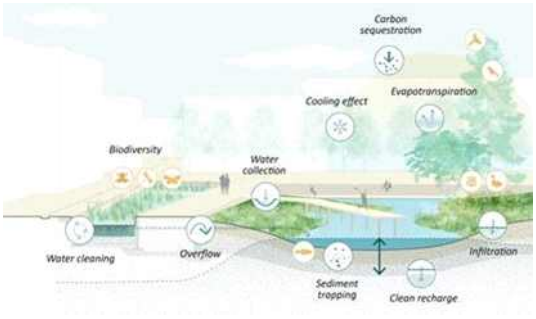


그림 21. 인공 습지의 기능(좌), 인공 습지 조성 예시(우)

·오염물질 정화와 수질 보호 기능

- 자연 습지와 인공 습지는 오염물질을 분해 및 제거하여 수질을 보호하며, 질소와 같은 유기 오염물질을 분해하여 빗물, 폐수 및 지하수 정화에 기여함
- 인공 습지는 도시 폐수, 산업 폐수 등에서 발생하는 다양한 오염원을 정화하고 무기 오염물질을 걸러내어 환경 보호에 기여함

·설계와 관리의 중요성

- 인공 습지는 설계와 관리에 따라 성능이 크게 달라지며, 관리가 부족할 경우 온실가스 배출원으로 전환 위험 있음
- 도시 녹지 공간을 습지로 전환하여 탄소 격리, 증발산, 냉각 효과, 수질 정화, 생물 다양성 증진 등을 고려한 다기능적인 생태계 서비스 제공

관련사례

① Jenfelder Au, Hamburg (엔펠더 아우, 함부르크)

·개요

- 엔펠더 아우는 과거 군사 주둔지를 주거, 상업, 공공녹지로 구성된 단지로 개발한 브라운필드 재활성화 프로젝트
- 함부르크 시의 통합적 수자원 관리 경험을 바탕으로 빗물 관리와 폐수 활용 에너지 생산을 통해 기후변화와 에너지 문제 해결을 목표로 함
- 약 30헥타르 면적으로, 770가구(약 2,000명)를 수용할 수 있으며, 주거(60%), 상업(20%), 공공녹지(20%)로 구성된 단지로 개발됨

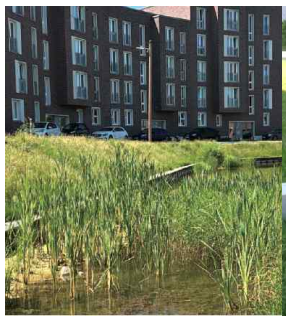


그림 22. Jenfelder Au의 계획도(좌), Jenfelder Au 지구 내 투수 및 자연 정화시설, 습지(우)

·통합적 수자원 관리 및 폐수 에너지 활용

- 빗물은 배수관을 통해 직접 유출하지 않고 녹색 기반 시설과 유역을 통해 점진적으로 흡수되도록 설계
- 중수와 폐수를 연계하여 처리하고, 이 과정에서 에너지를 생산함으로써 자원을 효율적으로 활용하고 에너지 자립을 도모함

·분산형 빗물 관리 시스템

- 단지 내 약 5,000㎥ 이상의 빗물을 저장하여 폭우 시 수역의 과부하를 방지
- 빗물이 자연 여과 과정을 거치며 수질 정화에 기여하고, 단지 내 미기후 조절 및 생물 다양성을 증진함

·생태적 빗물 흐름 설계

- 지붕에서 시작해 도랑, 개울, 습지, 연못으로 이어지는 빗물 경로를 통해 자연스럽게 오염물질을 제거
- 평소에는 미기후 조절과 수질 유지에 기여하고, 생태계 회복 탄력성을 강화

② 제주도 자연 습지

·개요

- 제주도는 화산지형 위에 형성된 다양한 자연 습지를 보유하고 있으며, 지하수 저장, 지표수 공급, 유량 조절 등 중요한 생태적 기능을 제공
- 자연 내륙 습지는 탄소 흡수원으로서 기여하며, 주요 자연 기반 솔루션(NbS)으로 자리 잡고 있음

·습지의 생태적 가치와 서식지 제공

- 제주도의 자연 습지는 식생 다양성을 유지하고 야생동물에게 중요한 서식지를 제공하여 생물 다양성 유지에 기여
- 하천 기수역과 철새 도래지 등 연안 습지와 내륙 습지가 공존하여 다양한 생태계 서비스를 제공

·탄소 흡수원으로서의 기능

- 습지는 탄소를 저장하고 기후변화 완화에 기여하는 자연 기반 솔루션으로 주목받고 있음
- 지하수 재충전 및 수질 개선을 통해 기후 회복력 강화

·보호지역 내 습지의 현황과 위협

- 제주도 내 5개의 습지 보호지역 중 3곳이 제주시에 위치하나, 최근 저류지 개발로 인해 생태적 가치와 기후 정책적 가치가 훼손될 우려

그림 23. 제주 자연 습지의 모습

③ Eva Lanxmeer, Culemborg (에바 랑크스메어, 퀼렘보르흐)

·개요

- 네덜란드 퀼렘보르흐에 위치한 에바 랑크스메어는 약 250개의 생태 주택과 커뮤니티 공간으로 구성된 녹색 생태 주거 단지로, 1994년부터 2009년까지 조성됨
- 자연 시스템과 통합된 폐기물 및 에너지 시스템을 결합, 지속 가능한 자연기반 솔루션을 통한 주거환경을 제공
- 자연 기반 솔루션의 다양한 기법이 적용된 생태 주거단지의 모범 사례

그림 24. Eva Lanxmeer 단지에 조성된 블루-그린 생태 공간

·생태 민감 지역에 위치한 주거단지 조성

- 음용수 추출 구역에 위치하여 퍼머컬처 개념을 기반으로 한 도시 농장 및 주민 참여형 공원이 조성됨
- 생태 환경에 부합하는 방식으로 주민들이 주도적으로 관리

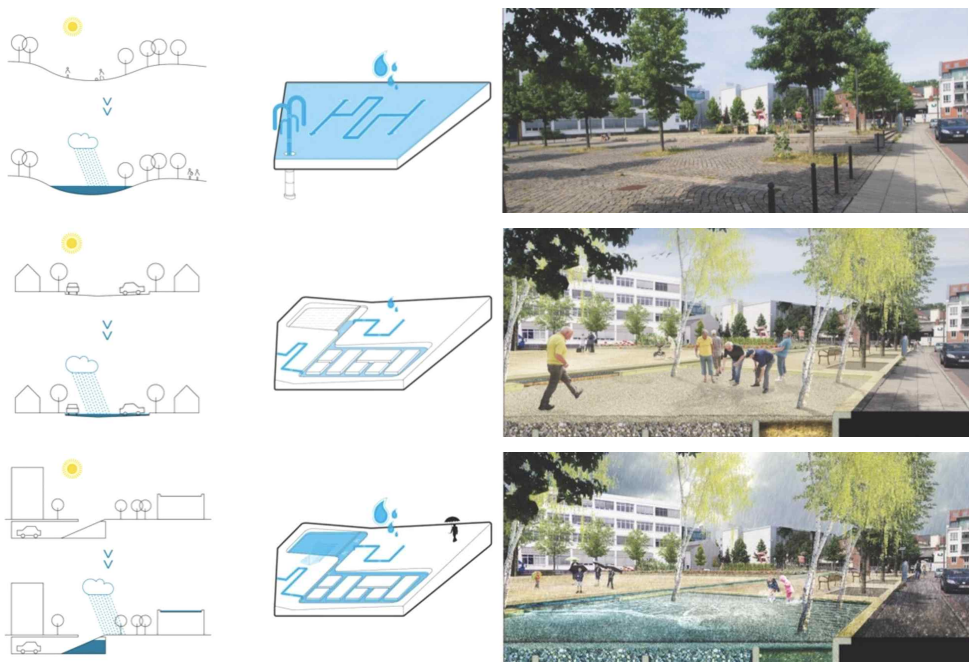
·폐수 및 유기 폐기물의 에너지화

- 바이오가스 시설을 통해 폐수와 유기 폐기물을 에너지로 전환, 폐기물과 에너지 문제를 동시에 해결
- 일부 주택은 폐쇄형 온실과 결합된 설계로 에너지 효율성 강화

·인공 습지를 통한 생물 다양성 증진

- 단지 내 인공 습지가 중수 정화와 함께 수생식물로 동식물의 서식처를 제공하여 생물 다양성 증진

연계가능 기법	코드 / 계획기법 D-1 / 신선한 공기통로를 고려한 녹지 및 수공간 네트워크(Green-Blue Network) D-2 / 자연기반(NbS) 녹지공간(면적) 확대 및 조성 D-3 / 기후위기 적응 및 완화 기능을 통합한 분산형 빗물 관리와 스폰지 시티 원칙 S-5 / 도로변 녹지공간과 연계한 빗물 생태 저류지(Bio-retention) B-1 / 기후친화적 건축물 외관 녹화 조성
기상재해 연관성	폭염: ● 폭우: ● 가뭄: ◎ ●:강, ◎:중, ○:약
적용특성	- 홍수나 폭우 시에 물이 고이지 않고 빠르게 배수될 수 있도록 설계하여 취약계층이 피난할 수 있는 안전한 피난 경로를 확보함 - 자연 및 인공 습지의 경우 어린이 안전사고에 유의하고, 접근이 위험하다고 판단될 경우 설계적 기법 또는 인공적 시설물로 접근을 차단할 수 있도록 함
참고자료	- https://www.wetlands.org/publication/urban-wetlands-compendium-guide-in-the-partners-for-resilience - IUCN(International Union for Conservation of Nature), (2020), Guidance for using the IUCN Global Standard for Nature-based Solutions Kennen, K. and Kirkwood, N. 2015. Phyto: Principles and resources for site remediation and landscape design. Routledge - Wold Bank Group et al. (2021), A Catalogue of Nature-Based Solutions for Urban Resilience - Kennen, K. and Kirkwood, N. 2015. Phyto: Principles and resources for site remediation and landscape design. Routledge - Stadt Hamburg, 2011, Jenfelder Au – Konversion der ehemaligen Lettow-Vorbeck- Kaserne in Hamburg-Jenfeld - Meinzinger, F., Green Energy from black water - the Hamburg Water Cycle in the settlement Jenfelder Au, 2014 – Stadt Hamburg, 2008, Neues Wohnen in Jenfelder – Ein exzellente Projekt fü r die IBA Hamburg - 과학기술정책연구원, (2021), R&I(Research & Innovation) 관점에서 바라본 자연기반 솔루션(Nature-based Solutions0의 이해와 사례 - 김정곤, 최정은, 2024, 도시수업 : 탄소중립도시, 베타랩
관련 법 및 지침 등	- 습지보전법 - 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 - 습지보전 및 관리 조례, 습지의 보전·이용 및 관리에 관한 조례 등 (각 지자체) - 생태하천복원사업 지원 조례 등 (각 지자체)
활용·연계 가능 관련 자료	- 기후대응 도시숲 등 조성·관리 현장 실무가이드, 2024, 산림청, 국립산림과학원 - 도시바람길숲 조성·관리 실무가이드, 2022, 산림청

공간단위	지구(District)
코드/기법	D-5. 사회·기후 기능을 활용한 저류공간 조성
개요	**·폭우와 침수 문제의 급증** - 지구 온난화로 인해 폭우의 빈도가 증가하며 주거 지역과 교통 지역에서 침수가 빈번히 발생하고 있음. 이러한 상황에서 침수 피해를 줄이는 것은 지자체가 해결해야 할 중요한 과제로 부각되고 있음 - 그동안 경제적 제약으로 인해 충분히 대비되지 않은 우수 관리 시스템은 통제되지 않은 홍수와 표면 유출의 위험을 높여왔음 **·다기능 구역을 활용한 기후위기 적응 방안** - 홍수 예방과 기후위기 적응의 일환으로 도시 내 녹지와 공원 등 다기능 공간을 임시 저류지로 활용하여 폭우 시 지표수를 일시 저장하는 방안이 제안됨. 이러한 접근은 홍수 피해를 줄이면서 본래 기능을 유지하도록 함 - 침투, 증발, 저장, 유출 등 분산식 빗물 관리 체계를 통해 열린 공간의 다양한 기후 조절 기능을 극대화하며, 도시 환경 내에서 기후변화에 대한 회복탄력성을 높이고자 함
주요내용	**·기후변화로 인한 폭우 및 도시 침수 문제** - 기후변화로 인해 폭우와 돌발 홍수 발생 빈도가 증가, 도시 내 주거 및 교통 지역의 침수 위험이 높아지고 있음 - 도시화로 불투수성 표면이 늘어나면서 빗물이 지하로 침투하지 못하고 빠르게 흘러 홍수 발생 가능성이 높아짐 - 기존 하수 시스템이 증가하는 빗물 유출량을 감당하지 못하면서 저류 공간을 통한 홍수 예방과 기후위기 적응의 필요성이 강조되고 있음 **·다기능 공간을 활용한 빗물 관리** - 녹지, 공원, 광장, 운동장 등 다기능 공간은 일상적으로 시민의 여가 및 활동 공간으로 사용되며, 폭우 시 빗물 저류지로 전환해 임시 수집과 배수 역할을 수행함 - 다기능 공간을 빗물 관리에 활용함으로써 추가 인프라 구축에 비해 비용 절감 효과를 거둘 수 있으며, 도시 내 공간 자원을 효율적으로 활용 가능함 - 폭우 시 빗물의 일시적 저장과 배수를 통해 하수 시스템 과부하를 방지하고 홍수 위험을 줄이며, 평소에는 공공 공간으로 사용하여 도시의 생태적, 환경적 가치도 증진시킴  그림 25. 다기능 공간 활용을 통한 홍수 예방 방안(좌), 폭우 저류를 위한 도시 광장의 맞춤형 활용 설계(우)

·저류 공간의 환경적 기여와 경제적 이점

- 저류 공간은 침투, 증발, 저장, 유출을 조절하여 지하수 재충전, 탄소 격리, 수질 개선 등 다양한 생태적 서비스를 제공함
- 또한, 하수 시스템의 부담을 줄여 대규모 인프라 확장 필요성을 낮추고, 비용 절감을 실현함으로써 경제적 측면에서도 긍정적인 효과를 가짐

·해외 도시의 성공 사례

- 바르셀로나는 대규모 빗물 저장 공간을 통해 폭우에 대비하며 홍수 발생 시 빗물과 하수 오염을 방지함
- 코펜하겐은 녹색 도시로서 기후변화 대응에 녹지와 물 요소를 결합해 폭우 시 효과적인 빗물 관리를 실현하고 있으며, 로테르담은 다기능 구역을 통해 빗물 관리를 선도적으로 시행함
- 이러한 도시들은 지역 사회와 협력하여 다기능 공간을 활용한 지속 가능한 홍수 관리 방안을 성공적으로 적용하고 있음

그림 26. 발러펠트 시의 다기능 시설 활용사례(좌), 바르셀로나 시의 수력 모델 빗물 탱크 사례(우)

관련사례

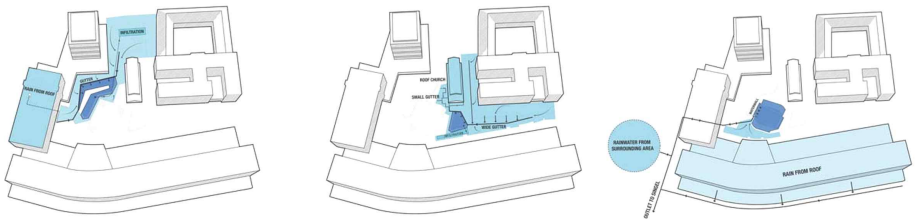
① Watersquare Benthemplein, Rotterdam (워터스퀘어 벤텀플레인, 로테르담)

·개요

- 네덜란드는 기상이변으로 인한 폭우와 만성적인 공간 부족 문제에 직면해 있으며, 이를 해결하기 위해 '공간의 다중 활용' 개념이 도입됨
- 로테르담은 도시와 물의 관계를 환경적 위협에서 경제적 기회로 전환하는데 성공함. 로테르담의 벤텀플레인 워터 광장은 필요 시 180만 리터의 빗물을 3개의 유역에 저장할 수 있는 다기능 공공 공간으로 조성됨

·다기능 공간 활용

- 기존 도시 구조물을 새로운 기능으로 전환하여, 공공 광장 및 지하 주차장을 비상시 저류지로 활용함
- 벤텀플레인 워터 광장은 평상시 시민들이 이용하는 광장으로 사용되며, 폭우 시에는 빗물을 임시로 저장하는 저류지 역할을 수행함
- 저류 시설에 투자된 예산을 눈에 보이게 하여 사람들이 즐길 수 있도록 하고, 동시에 지역의 중심 공간에 환경적 품질과 정체성을 창출할 기회를 제공하는 두 가지 전략을 취함



catchment area of basin 1 *catchment area of basin 2* *catchment area of the deep basin 3*

그림 27. Watersquare Benthemplein의 단계별 저류구역

·유출 분석 및 수자원 관리 시스템 구축

- 유출 분석을 통해 도시 내 다기능 토지 이용에 적합한 위치를 선정하고, 해당 위치의 수집 용량을 정량화하여 계획 수립
- 과잉 빗물이 기존 배수 시스템으로 유입되기 전에 수역과 거리 공간에서 일시적으로 저장되도록 설계됨

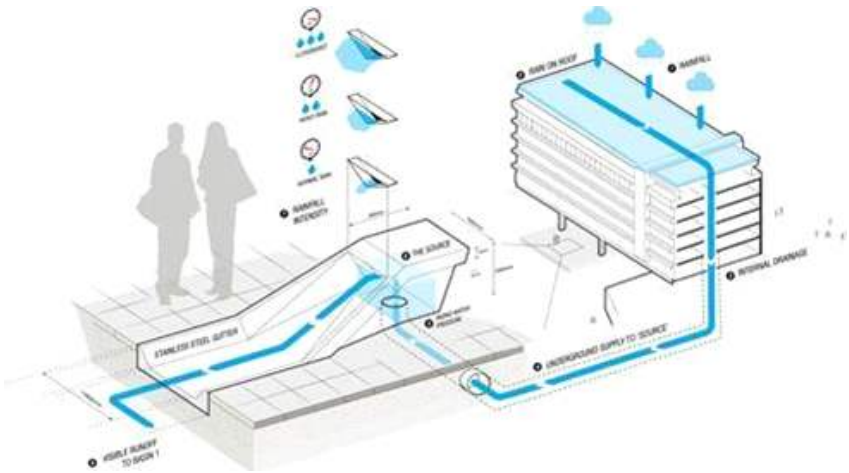


그림 28. 빗물 경로의 시각화

·홍수 대비 지하 저류 용량 확보

- 도시 내 개방 공간이 부족한 점을 고려하여, 향후 건설 프로젝트에서는 지하 주차장의 공역을 홍수 대비 추가 저류 공간으로 활용
- 로테르담 중앙역과 박물관 공원에 새로 건설된 지하 주차장들은 폭우 대비 용량을 확장할 수 있도록 설계됨

그림 29. Watersquare Benthemplein 전경 및 우수 시 집수 모습

연계가능 기법

코드	계획기법
D-4	홍수와 폭염을 고려한 블루-그린 생태 수변공간 조성
S-5	도로변 녹지공간과 연계한 빗물 생태 저류지(Bio-retention)

기상재해 연관성

폭염	폭우	가뭄
○	●	◎

●:강, ◎:중, ○:약

적용특성

- 저류공간이 물에 잠길 경우 접근을 통제하여 어린이, 노인, 장애인 등이 안전사고에 노출되지 않도록 안전 울타리, 경고 표지판, 감시 시스템 등을 설치하여 위험을 방지함
- 공간의 다기능성을 유지하기 위한 관리 계획을 수립하고, 저류 시에도 안전을 확보할 수 있도록 설계함
- 상습 저류공간 및 가변적 저류공간에 우수가 저류될 경우 필터링 및 정화 시스템을 설치하여 위생적인 환경을 유지하고 모기 등의 해충 번식을 방지하여 취약계층 건강에 미치는 악영향을 최소화함

참고자료	- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hg.): Klimawandel in Stadtentwässerung und Stadtentwicklung – Methoden und Konzepte (KISS), Düsseldorf 2013 - Benden, J.;M. Siekmann: Wassersensible Stadtentwicklung. Anpassung von Siedlungs- und Infrastrukturen an die Auswirkungen des Klimawandels. In: Mörsdorf et al. (Hrsg.): Anderes Klima. Andere Räume! Zum Umgang mit Erscheinungsformen des veränderten Klimas im Raum. Leipzig 2009 - https://neuelandschaft.de/artikel/multifunktionale-flaechennutzung-als-beitrag-zur-urbanen-starkregen vorsorge-1489 - https://www.urbanisten.nl/work/benthemplein - https://www.detail.de/de_de/rotterdam-erstes-rueckhaltebecken-mit-aufenthaltsqualitaet-26411
관련 법 및 지침 등	- 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 - 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 - 도시공원 및 녹지 등에 관한 조례 - 도시공원·녹지의 유형별 세부기준 등에 관한 지침(국토교통부훈령 제1808호) - 완충저류시설 설치 및 운영관리 지침 - 홍수조절지 및 저류지 관리규정 - 저류지 등 운영 및 관리에 관한 조례 (각 지자체)
활용·연계 가능 관련 자료	- 우수저류시설 표준 운영 지침서(매뉴얼), 2021, 행정안전부

2.2 도로 및 거리 단위 (Street Scale)

공간단위	도로 및 거리(Street)
코드/기법	S-1. 자연기반(NbS) 쿨링(Blue+Green) 도로 공간 조성
개요	**·도시화와 기후변화로 인한 기후 악화** - 도시화와 자원 소비의 급증으로 CO_2 배출과 열섬현상이 심화되고 있으며, 이러한 현상은 폭염, 강풍, 폭우와 같은 기상이변의 발생 빈도를 높여 도시 주민들의 건강과 생활환경에 부정적인 영향을 미침 - 블루-그린(청록색) 인프라는 도시 미기후 조절, 물 균형 개선, 열섬효과 완화를 통해 기후변화에 대한 도시 적응력을 높이는 데 중요한 역할을 하며, 녹지 공간, 빗물 정원, 길가 녹지 등을 활용해 도시 생태계를 회복하고 공기질을 개선하며, 에너지 소비 절감에 기여함 **·도로와 거리 공간 내 다기능적 녹지 조성의 중요성** - 도로와 주차 공간은 도시 전체 열린 공간의 약 20%를 차지하고 있으며, 특히 밀집 지역에서는 그 비율이 약 9%에 이르러 이들 공간을 활용한 기후위기 적응 조치가 필수적임 - 도로와 주차 공간에 블루-그린 인프라를 조성하여 빗물 저장과 침투를 촉진하고, 대기오염을 줄이며 여름철 냉각 효과를 통해 에너지 소비 절감에 기여할 수 있음 - 이러한 다기능적 활용을 통해 도로 공간은 시민의 여가와 휴식 공간 역할을 하면서도, 기후변화 적응을 위한 필수적 인프라로 작용하도록 설계될 수 있음
주요내용	**·기후변화와 도시 녹지 확장의 필요성** - 블루-그린(청록색) 인프라와 도로 녹지 조성은 기후위기 적응의 일환으로, 도시 미기후 조절, 공기질 개선, 에너지 절감 등 다양한 효과를 통해 도시 적응력을 높임 **·거리 공간 내 빗물 관리와 효율성** - 거리 공간의 나무 심기, 녹지 조성, 개방형 포장은 빗물 유출 감소와 열 스트레스 완화에 기여하며, 좁은 공간에는 침투성 및 구조적 안정성이 높은 바이오차 소재를 활용함 - 빗물 저장과 자연 증발산을 통해 열섬현상과 대기오염을 줄이고, 여름철 기후 완화에 중요한 역할을 함 **·다기능 공간으로서의 도로 활용** - 도로와 주차 공간을 평상시에는 시민의 여가와 활동 공간으로, 폭우 시에는 빗물 저류지로 전환하여 공간 자원을 효율적으로 활용하고 빗물 관리를 개선함 - 투수성 포장, 침투 도랑, 홈통 등의 블루-그린(청록색) 인프라를 통해 빗물을 흡수 및 저장하고, 홍수 예방 및 대기오염 감소를 동시에 달성함 **·블루-그린(청록색) 인프라의 사회적 가치와 기후위기 적응 효과** - 앤트워프 등의 사례에서 블루-그린(청록색) 도로 공간은 폭염 완화, 증발 냉각, 공기 순환을 제공하며, 생물 다양성 증진과 주민의 건강한 생활 공간 역할을 수행함 - 도시 열섬현상 완화, 여름철 냉각 효과, 생태계 보호 등 다양한 긍정적 효과를 통해 도시 내 지속 가능한 환경을 조성함 그림 30. Antwerp 시 정원 거리 조성 전후의 모습

관련사례

① Alfred Place Gardens, London (알프레드 플레이스 가든, 런던)

·개요

- 알프레드 플레이스는 원래 차량 통행과 주차가 주를 이루던 아스팔트 거리로, 자연을 접할 기회가 거의 없던 도시 내 밀집 지역임
- 캠든 자치구의 웨스트엔드 프로젝트(West End Project)의 일환으로, 이 지역을 차량 중심에서 보행자와 자전거 중심의 녹지 공간으로 전환하여 지역 사회와 방문객 모두에게 새로운 여가 및 생태 경험을 제공함
- 알프레드 플레이스 가든즈는 캠든 자치구와 LDA Design의 협력으로 조성되었으며, 다양한 식재와 그늘을 제공하는 나무, 구불구불한 산책로, 휴식 공간, 가족을 위한 놀이 요소 등을 통해 시민들에게 쾌적한 환경과 기후변화에 강한 공공 공간을 제공함

그림 31. West Ends Project 전체 내용(좌), Alfred Place Gardens(❶)의 조성 세부내용(우)

·기후위기 적응과 생물 다양성 증진을 위한 공간 조성

- 기존 도로를 녹지 공간으로 탈바꿈하며 2,000여 개의 식물과 5,000여 개의 구근 식물을 심어 도시 생물 다양성을 높이고 있음
- 성숙한 나무와 다양한 식물층을 배치해 방문객에게 그늘과 서식지를 제공하여 자연 속에서 여가를 즐길 수 있도록 하고, 도시 내 생태계 회복에 기여

·다기능적 공공 공간으로서의 재탄생

- 차량 도로였던 공간을 보행자와 자전거 이용자가 우선시되는 휴식과 활동 공간으로 재구성하여 교통 혼잡을 줄임
- 구불구불한 산책로, 놀이 요소, 다양한 좌석 등을 조성해 가족 단위 방문객들이 안전하고 편안하게 시간을 보낼 수 있는 다기능적 공원으로 변화함

그림 32. Alfred Place Gardens의 조성 전후의 모습

·커뮤니티와 이해관계자의 참여를 통한 디자인 구현

- 커뮤니티 참여를 통해 디자인 과정을 투명하게 진행하며, 팝업 이벤트와 설문조사를 통해 350여 명 이상의 주민 의견을 수렴
- 주민 참여 담당자를 배치해 주민들이 프로젝트에 적극 참여하도록 유도하며, 커뮤니티 주도적이며 지역에 필요한 기능을 반영한 설계 실현

·홍수 대비 및 지속 가능한 설계

- 투과성 수지경로를 통해 빗물을 효율적으로 침투 및 저장하도록 설계, 재활용 소재를 30% 포함하여 지속가능성 강화
- 새로운 식재 구역과 조경을 통해 빗물을 자연적으로 흡수하고 스펀지 역할을 수행, 급격한 홍수 상황에서도 대비 가능하도록 설계

② Stockholm Tree PIT Model, Stockholm (스톡홀름 트리 피트 모델, 스톡홀름)

·개요

- 스톡홀름은 급증하는 도시 폭우와 유출 문제에 대응하기 위해 트리 피트 시스템을 개발하여 도심 내 나무 생육 환경을 개선하고, 홍수 예방 및 기후변화 적응을 목표로 함
- 도심 나무의 생육 환경을 개선하는 트리 피트 시스템은 아스팔트와 철도 선로의 안정성에서 영감을 얻어 설계되었으며, 나무 뿌리 성장과 빗물 침투를 동시에 지원하여 도심의 녹지 확장과 기후위기 적응 효과를 기대함

그림 33. Stockholm Tree PIT의 세부구성(좌), 적용 전후 도시 수목의 비교(우)

·도시 기후변화와 나무 심기의 필요성

- 기후변화와 도시화로 인해 폭우와 열섬현상이 증가하면서 도시의 나무는 열 완화, 대기질 개선, 생물 다양성 유지 등 중요한 역할을 수행함
- 스톡홀름의 사례 연구에 따르면, 나무가 있는 지역은 경제적·사회적 혜택을 제공하며, 주민들의 정신적·신체적 건강과 사회적 유대감 강화에 기여함

·트리 피트 시스템의 설계와 적용

- 스톡홀름 시의 뷔욘 엠브렌이 개발한 트리 피트 시스템은 돌(마카담)과 바이오차 혼합물로 구성되어, 나무 뿌리가 성장하기 쉬운 환경을 제공하여, 빗물을 자연스럽게 분산 및 저장하여 도로나 보도 아래에서도 나무 생장을 촉진함
- 마카담 기반의 구조적 토양은 나무 심기 구덩이 위에 안정적인 기초를 제공하여, 도로, 보도, 주차장 등 도시 인프라와의 조화로운 통합을 가능하게 함

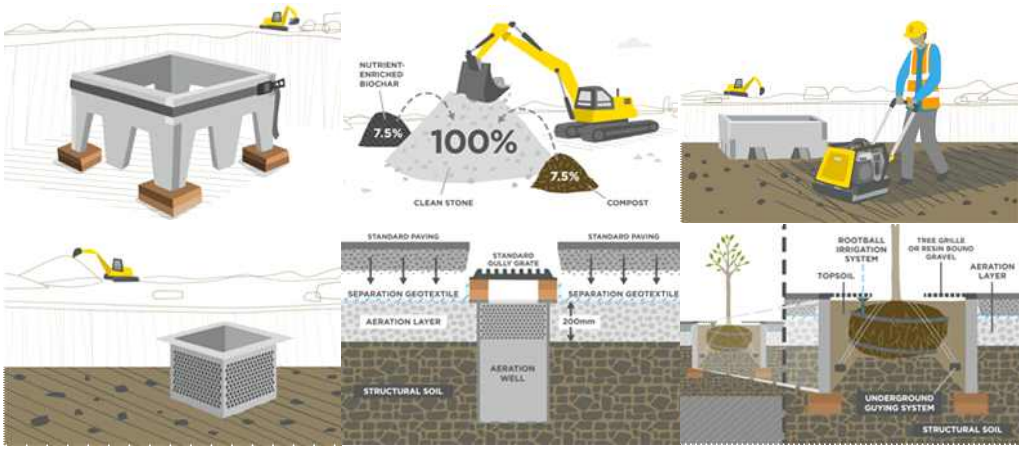


그림 34. Stockholm Tree PIT 적용 절차

·사회적·환경적 혜택과 유지 관리 효율성

- 트리 피트 시스템은 빗물 유출 감소와 홍수 완화를 통해 하수도 부담을 줄이고, 녹지 유지와 생물 다양성 증진에 기여함. 이를 통해 지속 가능한 도시 환경을 구축하고 공공시설 유지 관리 비용을 절감함
- 장기적으로는 녹지 관리 효율을 높이며, 도시의 기후위기 적응력과 사회적 유대감 증진에 도움을 줌

·적용상의 고려 사항과 한계

- 트리 피트 시스템은 특허 없이 기존 나무에도 설치 가능해 폭넓게 적용되지만, 설치 비용이 높고 기존 토양 재사용이 불가능한 점이 한계로 지적됨. 경제적 대안과 설계 개선이 요구됨

연계가능 기법	

코드	계획기법
D-1	신선한 공기통로를 고려한 녹지 및 수공간 네트워크(Green-Blue Network)
D-2	자연기반(NbS) 녹지공간(면적) 확대 및 조성
D-3	기후위기 적응 및 완화 기능을 통합한 분산형 빗물 관리와 스폰지 시티 원칙
S-4	도로공간과 녹지공간의 입체화
S-5	도로변 녹지공간과 연계한 빗물 생태 저류지(Bio-retention)
B-1	기후친화적 건축물 외관 녹화 조성

기상재해 연관성

폭염	폭우	가뭄
●	◎	○

●:강, ◎:중, ○:약

적용특성

- 도로 및 거리 공간은 모든 시민 및 방문자가 빈번히 이용하는 시설로, 특히 노약자, 장애인, 어린이와 같은 취약계층은 대중교통과 도보 이동에 대한 의존도가 높아 접근성과 안전성을 충분히 고려함
- 가로수와 도로 시설물 설치 시, 안전한 보도와 횡단보도를 확충하고, 휠체어나 보행 보조 도구를 사용하는 보행자를 위해 완만한 경사와 미끄럼 방지 표면을 적용할 수 있도록 설계함
- 어린이 및 노약자의 경우 보행 중 휴식 빈도가 높아 가로수 식재 공간과 연계된 휴식 공간을 일정 거리마다 조성하고, 폭염에 대비한 충분한 그늘과 자연형 공기 냉각 지점을 전략적으로 반영함
- 취약계층이 자주 이용하는 병원, 복지시설, 공공 교통수단 등과의 연결성을 고려한 설계가 필요함
- 빗물이 도로에 고이지 않고 자연스럽게 스며들도록 투과성 재료를 적극적으로 사용하며, 차량의 빗물 튀김 현상을 방지하기 위해 대중교통 정류장, 횡단보도, 노인 및 어린이 이용 시설 등에서 원활한 배수 설계를 적용함
- 장기적으로 유지 관리 비용을 절감할 수 있는 시스템을 도입하여 취약지역 내 주민의 생활비 부담을 줄이는 데 기여함
- 침수 및 폭염 피해가 빈번한 소규모 사업장의 경우 근로자 보호를 위해 도로 및 거리 공간에 기후 대응 시설을 설치하도록 권장함

참고자료

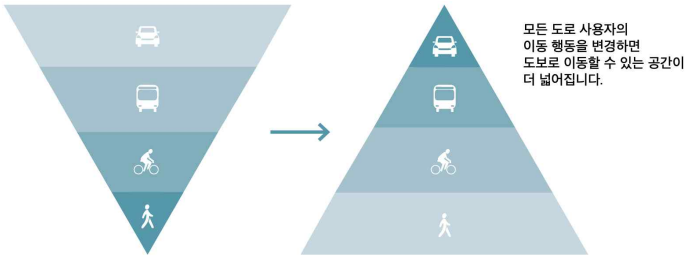
- LDA Design, Camden, 2024, Highways Greening – Best Practice and Lessons Learnt
- https://blaugruenestadt.de/bgs/strassenraeume/
- https://blaugruenestadt.de/
- Stockholm Stad, 2017, PLant beds in Stockholm city – a handbook 2017
- https://landezine-award.com/alfred-place-gardens/
- https://www.carys-ink.com/stockholm-tree-pits
- Bjorn Embrén, 2016, Planting Urban Trees with Biochar, the Biochar Journal p.44-47

관련 법 및 지침 등

- 도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률
- 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률
- 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 (국토교통부령 제1360호)
- 자전거 이용시설의 구조·시설 기준에 관한 규칙 (행정자치부령 제110호)
- 도시공원·녹지의 유형별 세부기준 등에 관한 지침 (국토교통부훈령 제1808호)
- 도시숲·생활숲·가로수 조성·관리 기준 (산림청고시 제2023-48호)
- 도시숲 등의 보전 및 조성, 관리조례 (각 지자체)

활용·연계 가능 관련 자료

- '25년도 취약지역 생활여건 개조사업 가이드라인, 2024, 농림축산식품부, 지방시대위원회
- 농촌공간정비사업 시행지침, 2023, 농림축산식품부
- 가로수 조성·관리 매뉴얼, 2022, 산림청

공간단위	도로 및 거리(Street)
코드/기법	S-2. 기후친화적(Climate-friendly) 보행공간 조성
개요	**·도시 공간의 변화와 기후친화적 설계 필요성** - 도시 공간은 소비, 업무, 여가, 레크리에이션, 교통 인프라 등 다양한 요구를 충족해야 하는 복합적인 공간으로, 기후변화와 인구 증가로 인해 효율적 공간 활용과 이동성 개선이 필수적임 - 기후친화적 설계를 통해 걷기와 자전거와 같은 활동적인 이동성을 강화하며, 이를 통해 도시 교통에서 발생하는 온실가스 배출 감소와 대기질 개선을 도모 **·기후친화적 이동의 효과와 중요성** - 보행 및 자전거는 탄소 배출과 유해 대기오염물질을 발생시키지 않아 도시 교통 온실가스 배출량을 2~10%까지 줄이는 효과가 있으며, 경제적이고 지속 가능한 대기질로 도시 환경 개선과 공중 보건 증진에 기여함 - 네덜란드 사례에서 자전거 타기는 연간 6,400명의 사망을 예방하고 GDP의 3%에 해당하는 의료비 절감 효과가 나타났고, 비전염성 질환 예방과 교통 사고 감소를 통해 도시의 기후위기 적응력과 삶의 질을 높이는 데 기여함
주요내용	**·보행 및 자전거 중심 교통 체계로의 전환 필요성** - 자동차 이용 증가로 발생하는 온실가스 배출을 줄이기 위해 보행 및 자전거 중심의 이동성으로의 전환이 필수적 - 연구에 따르면 자동차의 주행거리가 짧더라도 온실가스 배출은 상당히 높아질 수 있으며, 기후변화에 미치는 부정적 영향을 가중시킴 - 걷기와 자전거 타기는 교통 배출량 감소뿐만 아니라 혼잡, 소음, 공기 오염을 효과적으로 줄이고, 공중 보건 증진 및 정신적, 신체적 건강 개선에도 중요한 역할을 함  그림 35. 도시 이동성 우선순위 재조정 : 도보 및 비활성 이동 수단 공간 확대 **·기후친화적 보행 및 자전거 공간 조성 방안** - 더 많은 나무 심기 : 열섬현상 완화, 대기질 개선, 생물 다양성 증진을 위해 토종 수종 활용 - 녹색 지붕과 벽 조성 : 건물의 에너지 소비를 줄이고, 빗물 관리로 유출수를 감소시킴 - 녹색 복도 조성 : 자전거 도로와 보행자 통로를 녹지와 통합하여 건강한 교통 환경 제공 - 포켓 파크 개발 : 유휴 공간을 소규모 공원으로 전환해 주민들에게 녹지와 여가 공간 제공 - 투수성 포장도로 조성 : 유출수를 줄이고 지하수를 재충전하여 지속 가능한 도시 환경 조성 **·대중교통 중심의 모빌리티 솔루션 도입** - 자전거, 보행, 대중교통, 공유 전기차 등을 하나의 통합된 시스템으로 연결하여 주민들에게 편리한 이동성을 제공하며, 교통 배출량을 줄이는 솔루션이 필요함 - 다양한 교통수단 간의 연계성을 강화함으로써, 교통 혼잡과 배출량 감소는 물론 대중교통 이용률 상승 효과도 기대할 수 있음 - 이러한 시스템은 대중교통의 접근성을 개선하고, 주민의 자동차 의존도를 줄일 수 있는 실질적인 방안으로 평가됨 **·거리와 광장의 기후친화적 디자인** - 나무 심기, 녹색 지붕 및 벽, 투수성 포장 도로 등 다양한 설계 요소를 활용하여 도시 거리와 광장을 기후변화에 적응할 수 있는 공간으로 조성하는 것이 필요함 - 이러한 디자인은 폭염 완화, 빗물 침투 촉진, 대기질 개선 및 주민들에게 쾌적한 여가 및 휴식 공간을 제공함 - 거리와 광장을 생태적, 사회적 가치를 담은 다기능 공간으로 전환, 도시의 지속 가능성과 거주민들의 삶의 질을 동시에 향상시킴

관련사례

① Nordhaide, München (노드하이드, 뮌헨)

·개요

- 1994년 뮌헨시는 독일 연방정부로부터 판저비제(Panzerwiese)를 인수하여, 200ha의 생태적 중요성을 지닌 지역 중 약 30ha를 2011년 새로운 주거 구역으로 개발
- 도시 및 경관계획 아이디어 공모에서 선정된 디자인을 바탕으로 개발되어, 초지 경관을 도시 내부로 끌어들여 자연과 도시 간의 조화를 이루는 방식으로 설계됨
- 7층과 3층 건물로 구성된 주거지와 녹지 공간이 어우러져 생태적 가치와 도시적 활력을 더하는 동시에 주거, 교육, 여가 인프라를 포함한 다기능적 생활환경을 조성

그림 36. Nordhaide의 전경 및 계획안

·주거 및 교육 인프라의 통합

- 1,955개의 아파트와 학생용 아파트 545개, 초등학교와 특수 교육 전문 학원을 포함한 학교 센터, 어린이집 및 주민센터 등 종합적인 주거 및 교육 시설 제공
- 새로운 정착지는 뮌헨 북부의 주거 안정을 돕고, 가족 친화적인 환경 조성을 통해 주민 유입 증가

·녹색 복도 및 차 없는 이동 인프라 조성

- 주거 단지를 대각선으로 가로지르는 녹색 복도가 지하철역과 미라 쇼핑센터를 연결하며, 보행자와 자전거 이용자에게 차 없는 안전한 이동 경로 제공
- 곡선형 보행 및 자전거 도로를 따라 6개의 소형 공원 배치, 놀이와 휴식 공간을 제공하며 도로와 공원의 역할을 통합

·생태적 디자인과 기후위기 적응

- 풍부한 녹지와 다양한 수목으로 구성된 보행로 및 공원은 여름 폭염에 대응하고 생물 다양성을 증진
- 자동차 없는 곡선 도로는 유치원과 공원을 연결하여 어린이들에게 안전하고 쾌적한 놀이 환경을 제공

·도시와 자연의 조화

- 초지 경관과 연결된 녹지 공간과 주민 정원은 자연과 조화로운 도시 생활환경을 제공하며, 지역 생태계 보존과 주민들의 삶의 질 향상에 기여
- 시내 중심까지 15분 이내로 도달 가능한 지하철 노선과 연결되어 접근성을 극대화하며, 도시적 기능과 생태적 요소의 균형을 달성

② Nordhavn, Copenhagen : 노드하운, 코펜하겐

·개요

- 노드하운 코펜하겐은 지속가능한 개발 목표(SDG)에 따라 기후중립적 도시로의 전환을 목표로 하여 산업 항구 지역을 현대적 도시로 재구성하고, 5분 도시 개념과 '에너지랩(EnergyLab)'을 통해 이동성 전략 및 에너지 효율적 솔루션을 통합함
- 독일 지속가능 건물 협의회(DGNB) 골드 등급 사전 인증을 획득한 최초의 도시 개발 지역으로, 지속가능성을 주요 설계 원칙으로 삼아 도시의 사회적, 경제적, 환경적 목표를 균형 있게 실현함

·지속가능성과 에너지 효율적 개발

- 에너지랩 프로젝트는 스마트 에너지 네트워크를 통해 지역 난방, 전기차 충전 인프라, 사용자 행동 분석 등을 통합하여 에너지 시스템의 혁신을 도모
- 잉여 열 활용, 스마트 에너지 빌딩 등 에너지 효율적 솔루션을 통해 CO_2 중립 도시 목표에 기여
- DGNB 인증 제도를 통해 도시 설계 전반에 지속가능성 목표를 반영

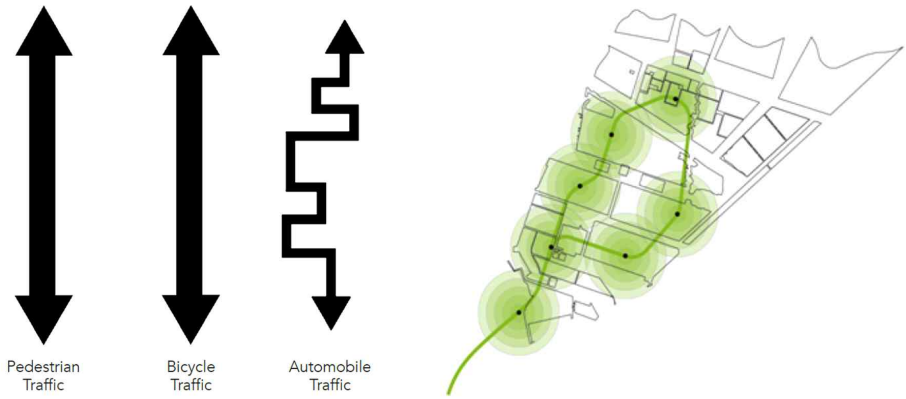


그림 37. Nordhavn의 이동성 계획 컨셉

·5분 도시 개념과 이동성 전략

- 주요 시설(학교, 슈퍼마켓, 지하철 등)까지 도보 5분 이내 접근성을 목표로 계획
- 자전거 및 대중교통 중심의 교통 체계로 교통 공간을 자전거 1/3, 대중교통 1/3, 자동차 1/3로 배분
- 보행자 및 자전거 중심 설계로 차량 이용을 최소화하고, 주민 이동성을 최적화

·사회적 및 환경적 지속가능성

- 녹지와 자전거 도로 확충, 고품질 대중교통 연결을 통해 도시 내 탄소 배출 감소와 교통 혼잡 완화를 도모
- 주택과 상업 시설 밀집 배치로 도시 밀도를 높이고, 자연과 도시의 조화를 극대화함
- 어린이집, 학교 등 지역 주민을 위한 커뮤니티 시설과 공공 인프라 조성을 통해 사회적 지속가능성 강화

·지속가능성 인증과 도시 설계 기준

- DGNB 인증의 골드 등급을 기반으로 높은 환경, 경제, 사회문화적 품질을 충족하며, 건물의 전체 수명 주기 평가를 도시 설계에 반영
- 건축법 이상의 기준을 준수한 친환경 건물 설계를 통해 기후 목표를 달성

그림 38. Nordhavn의 전경(좌), 보행 및 자전거 도로

연계가능 기법

코드	계획기법
D-1	신선한 공기통로를 고려한 녹지 및 수공간 네트워크(Green-Blue Network)
D-2	자연기반(NbS) 녹지공간(면적) 확대 및 조성
D-3	기후위기 적응 및 완화 기능을 통합한 분산형 빗물 관리와 스폰지 시티 원칙
S-1	자연기반(NbS) 쿨링(Blue+Green) 도로 공간 조성
S-4	도로공간과 녹지공간의 입체화
S-5	도로변 녹지공간과 연계한 빗물 생태 저류지(Bio-retention)
B-1	기후친화적 건축물 외관 녹화 조성
B-3	패시브 요소를 활용한 건물 외부공간 쿨링효과 조성

기상재해 연관성	<table><tr><th>폭염</th><th>폭우</th><th>가뭄</th></tr><tr><td>●</td><td>◎</td><td>○</td></tr></table>●:강, ◎:중, ○:약
적용특성	- 모든 연령대와 신체 조건에 맞는 무장애 디자인을 적용해 휠체어나 유모차, 보행보조기구 등이 편리하게 이용할 수 있도록 함. 경사로와 넓은 보도, 시각장애인을 위한 점자블록 등을 설치하여 이동성을 보장함 - 폭염 시 더위를 피할 수 있도록 충분한 그늘과 벤치를 배치하여 고령자와 어린이들이 자주 쉴 수 있는 환경을 조성함. 가로수와 그늘막 등을 통해 자연스러운 차양을 제공함 - 보행자의 안전을 위해 횡단보도와 신호등을 적절히 배치하고, 교차로에서 차도와 보도가 명확히 분리되도록 설계함. 어린이와 노약자를 보호하기 위해 조명과 안내 표지판을 설치해 안전성을 높임 - 도보 이동이 우선시되는 저소득층 거주지, 어린이 시설, 학교, 노약자 시설 주변에 해당 기법을 적극적으로 적용하며, 버스와 지하철 등 대중교통과의 연계성을 면밀히 고려하여 계획함
참고자료	- https://www.eiturbanmobility.eu - https://www.copenhagenize.eu/about - https://vcoe.at/publikationen/magazin/detail/vcoe-magazin-2019-04-mobilitaetswende-wird-zum-jobmotor?page_n168=18 - Stadt München, 2012, Nordhaide Folder - Langmaack, H. 2019, Nodrhavn ß A Sustainable Citz the Copenhagen Way? - https://www.cobe.dk/projects/nordhavn - https://www.ramboll.com/projects/real-estate/nordhavn-blueprint-for-a-5-minute-city - C40(2024), Air Quality Status and Trends in C40 Cities - https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4504332 - https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3 - https://www.zukunft-mobilitaet.net/173959/infrastruktur/engpassbeseitigung-autobahn-multimodaler-korridor-a4-luxemburg - 건축공간연구원, 201, 모두를 위한 보행도시, 건축과 공간, Vol. 43. Autumn 2021
관련 법 및 지침 등	- 보행안전 및 편의증진에 관한 법률 - 보행환경 개선에 관한 조례, 보행안전 및 편의 증진에 관한 조례, 보행권 확보 및 보행환경 개선에 관한 조례 등 (각 지자체)
활용·연계 가능 관련 자료	- 보행환경개선사업 성과평가 매뉴얼, 2021, 행정안전부, 건축공간연구원 - 보행자우선도로 매뉴얼, 2022, 행정안전부, 건축공간연구원 - 보행안전 유니버설디자인 가이드라인, 2024, 문화체육관광부, 한국공예·디자인문화진흥원

공간단위	도로 및 거리(Street)
코드/기법	S-3. 기후친화형 도로시설
개요	**·교통 부문의 환경적 문제와 과제** - 운송 부문은 세계 에너지 관련 온실가스 배출량의 약 23%를 차지하며, 도시 교통이 환경에 미치는 부정적인 영향이 지속적으로 증가하는 상황 - 도시 성장과 경제 발전 속에서 탄소중립을 위한 교통 체계의 전환과 자동차(특히 내연기관 차량) 의존도 감소가 시급한 과제로 부각됨 **·지속 가능한 이동성과 대중교통의 역할** - 대중교통, 자전거, 걷기 등 지속 가능한 이동 수단은 도시의 배출량을 최대 95%까지 줄이는 데 기여 가능 - 도시 교통 인프라 개선(버스, 지하철, 자전거 도로 등)을 통해 자동차보다 매력적인 선택지로 만드는 것이 핵심 **·운송 부문의 전기화와 기후 중립** - 전기 자동차는 기존 휘발유 및 디젤 차량 대비 온실가스 배출을 크게 줄이며, 지속 가능한 이동성에 기여 - 충전 인프라 확충 및 전기차 전환 촉진을 통해 도시의 친환경적 운송 체계 구축 가능 **·도시 설계와 15분 도시 개념의 중요성** - 15분 도시 설계는 생활, 업무, 교육, 여가 등 주요 시설을 도보 및 자전거로 15분 이내에 접근가능한 환경을 제공 - 파리와 같은 사례에서는 주차 공간의 72%를 자전거 도로로 전환하여 이동성과 환경 개선을 동시에 달성
주요내용	**·환경친화적 이동 방식을 통한 교통 전환** - 개인 차량 이용을 줄이고 걷기, 자전거 타기, 대중교통과 같은 친환경적 이동 방식을 우선시하여 교통 혼잡을 완화하고 탄소 배출을 줄임 - 도보 거리 내에서 필요한 모든 생활 시설에 접근 가능하도록 도시 구조를 설계해 이동 편의성을 높이고, 생활과 환경의 균형을 개선 **·Green Infrastructure를 활용한 도로 및 거리 개선** - 고품질 보도, 전용 자전거 도로, 지속 가능한 배수 시스템, 녹색 복도 등을 설치해 폭우로 인한 유출수와 열섬효과를 줄이고 도시의 기후 회복력을 강화 - 그린 인프라는 생물 다양성을 증진하고 주민들에게 자연과 공존하는 도로 공간을 제공하며, 교통 진정을 통해 도로 안전성을 높임 **·녹색 지붕 버스 정류장을 통한 열섬효과 완화** - 녹색 지붕을 갖춘 버스 정류장은 빗물을 흡수하고 자연 냉각 환경을 조성하여 열섬효과를 완화하며, 승객에게 쾌적하고 친환경적인 대기 공간을 제공 - 이러한 정류장은 생태계 연결을 강화하고 곤충 서식지를 제공하며, 도시 내 열 스트레스를 줄이는 효과도 있음 그림 39. 녹색 지붕 버스 정류장 예시 **·주차 공간 재설계를 통한 공공 공간 창출** - 기존 주차 공간을 자전거 도로, 녹지 공간, 상업 시설 등으로 전환하여 도시 내 공공 공간을 확대하고, 기후위기 적응력과 도시 경관을 개선 - 주차 시설을 중앙화하거나 차량 공유 전용 공간을 활용하는 등 주차 공간의 용도를 재배치해 기후 보호와 지속 가능한 도시 설계를 실현

관련사례

① Green-roofed Bus Stops, Utrecht (녹색 지붕 버스정거장, 위트레흐트)

▪개요

- 네덜란드 위트레흐트는 도시 지속 가능성을 높이기 위해 316개의 버스 정류장에 녹색 지붕을 설치하여 도시 열섬 현상, 대기오염, 폭우 배수 문제와 같은 환경적 과제를 해결하고자 함
- 세덤 식물로 덮인 녹색 지붕은 자연 필터 역할을 하여 공기를 정화하고, 천연 스펀지로서 빗물을 흡수해 배수 시스템 과부하와 홍수 위험을 줄이며, 열섬효과를 완화하는 등 도시 환경 개선에 기여
- 재활용 콘크리트 바닥, 대나무 벤치, LED 조명, 태양광 패널과 같은 친환경 설계 요소를 도입하여 에너지 효율성과 디자인적 미관을 모두 고려한 혁신적 공공 인프라 프로젝트

▪환경적 이점

- 녹색 지붕의 세덤 식물이 먼지 입자와 유해 오염물질을 흡수해 대기질을 개선하고, 통근객과 주민들에게 건강한 환경 제공
- 녹색 지붕은 천연 스펀지 역할을 하여 빗물을 흡수하고 천천히 방출함으로써 배수 시스템 과부하와 홍수 위험을 줄이며, 도시의 물 관리 능력을 강화
- 식물의 증산작용과 그늘을 통해 주변 온도를 낮추고, 콘크리트와 아스팔트의 열 흡수를 억제해 미기후 조절에 기여

▪설계 및 기술적 특징

- 녹색 지붕에 세덤 식물을 사용하여 공기 중 먼지와 오염물질을 자연적으로 흡수하며, 폭우 시 빗물을 천천히 배출해 배수 시스템 과부하를 줄임
- LED 조명, 태양광 패널 설치로 에너지 소비를 최소화하며, 바닥은 재활용 콘크리트를 사용하고 대나무 벤치를 배치해 친환경적이고 지속 가능한 디자인 구현
- 유지 관리는 전기차를 활용하여 탄소 배출을 줄이고, 세덤 식물은 유지 관리 요구 사항을 최소화하여 실용성과 지속 가능성을 동시에 충족

▪사회적 및 미적 효과

- 자연 친화적 녹색 지붕은 도시 경관을 생기 있고 쾌적하게 변화시키며, 통근객과 주민들에게 심리적 안정과 긍정적 경험을 제공
- 위트레흐트의 프로젝트는 글로벌 지속 가능성 운동에 영감을 주었으며, 다른 도시들이 공공 인프라에 녹색 지붕을 도입하도록 유도

▪프로젝트 성공 및 확장 가능성

- 간단한 개입으로도 공기질 개선, 폭우 관리, 도시 열섬 완화 등 큰 환경적 이점을 창출하며, 지속 가능한 미래 도시의 모델로 자리 잡음
- 정기적인 물주기와 잡초 제거를 포함한 최소한의 유지 관리로 높은 효율성을 보이며, 도시화와 기후변화 과제에 대한 확장 가능성을 보여줌

그림 40. Utrecht 녹색 지붕 버스정류장의 모습

② P-Huser Sege Park, Malmö (모빌리티 하우스 제게 파크, 말뫼)

·개요

- 제게 파크는 말뫼에서 추진된 지속 가능한 도시 모빌리티와 친환경 건축을 결합한 상징적 프로젝트로, 목재로 지어진 6층 높이의 친환경 주차장 및 모빌리티 허브로 설계됨
- 18,000m² 규모의 주차장은 전기 자동차 충전소, 태양 전지 패널, 수직 정원 및 빗물 재활용 시스템 등 지속 가능한 교통 및 에너지 솔루션을 통합
- 주민들에게 자동차 소유 없이도 편리하게 이동할 수 있는 대안을 제공하여 말뫼의 지속 가능한 교통 전환에 기여

그림 41. P-Huser Sege Park 파사드 계획안

·지속 가능한 설계와 에너지 활용

- 목재를 주요 건축 자재로 사용하여 공사로 인한 기후 영향을 최소화하고, 약 5,000톤의 탄소를 격리하며 친환경 건축의 모범 사례를 제시
- 1,400m² 규모의 태양 전지 패널과 건물 배터리(243kWh)를 통해 현지 전력을 생산 및 저장하며, 에너지 효율을 극대화하여 전력망 부담 완화
- 재생 가능한 대마 단열재와 카펫 폐기물로 제작된 아스팔트를 활용해 자재 순환과 에너지 절약을 실현

·수직 정원과 물 관리 시스템

- 1,500m² 규모의 수직 정원을 통해 생물 다양성을 증진하고 주민들에게 쾌적한 환경과 경관 제공
- 100m³ 용량의 빗물 저장고를 통해 지붕과 주변 거리에서 빗물을 수집해 수직 정원에 물을 공급하며, 물 순환 및 사용량 절감을 실현

·모빌리티 허브로서의 기능

- 600대 차량을 수용하는 주차 공간과 더불어, 35대 규모의 자전거 차고 및 자전거·박스자전거·자동차 대여 서비스를 포함한 모빌리티 풀 공간 제공
- 개인 차량 소유를 줄이고 주민들에게 자전거와 대중교통 중심의 대체 이동 수단을 제공하여 지속 가능한 교통 전환 촉진

·자재 순환 및 혁신적 설계

- 목재 기둥과 교차 접착 목재로 구성된 구조는 향후 자재를 재사용할 수 있도록 설계되어 자재 은행으로 활용 가능
- 재활용 콘크리트, 거리 먼지, 포석 등을 사용해 전통적인 콘크리트 사용을 최소화하고 순환 경제를 강화

그림 42. 목재를 사용해 건설된 P-Huser Sege Park의 내외부 모습

연계가능 기법

코드	계획기법
D-1	신선한 공기통로를 고려한 녹지 및 수공간 네트워크(Green-Blue Network)
D-2	자연기반(NbS) 녹지공간(면적) 확대 및 조성
D-3	기후위기 적응 및 완화 기능을 통합한 분산형 빗물 관리와 스폰지 시티 원칙
S-1	자연기반(NbS) 쿨링(Blue+Green) 도로 공간 조성
S-2	기후친화적(Climate-friendly) 보행공간 조성
S-4	도로공간과 녹지공간의 입체화
S-5	도로변 녹지공간과 연계한 빗물 생태 저류지(Bio-retention)
B-1	기후친화적 건축물 외관 녹화 조성
B-2	태양광을 결합한 녹색지붕 조성
B-3	패시브 요소를 활용한 건물 외부공간 쿨링효과 조성
B-5	열 스트레스 제로형 건물환경 조성

기상재해 연관성

폭염	폭우	가뭄
●	◎	○

●:강, ◎:중, ○:약

적용특성

- 모든 연령대와 신체 조건에 맞춘 무장애 디자인 적용을 통해 휠체어, 유모차, 보행 보조 기구 등이 편리하게 이동할 수 있도록 해야 함. 이를 위해 경사로와 점자 블록 등 시각장애인 안내 시설을 설치하도록 함
- 차량과 보행자의 동선을 명확히 분리하고, 교차로와 횡단보도에 교통 안전 시설을 설치하여 보행자의 안전성을 보장하도록 함. 어린이와 노약자 이용시설 주변에서는 더욱 각별한 주의가 필요함
- 대중교통과 공공 공간의 접근성을 강화하고, 이러한 시설이 빈번하게 이용되는 저소득층 주거지, 학교 등의 공간에 우선 적용하여 효율성을 높이도록 함
- 어린이, 노약자, 장애인, 근로자 등 이용자별 주요 교통수단을 검토하여, 이들의 효율적인 이용이 가능하도록 계획하도록 함

참고자료

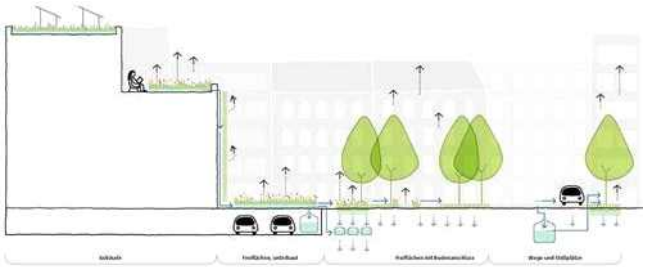
- Ministerium für Verkehr, Baden-Württemberg, 2021, Parken und Klimaschutz
- https://www.ecowatch.com/bus-stop-transformation-bee-stops-utrecht.html
- https://www.utrecht.nl/city-of-utrecht/green-roofed-bus-shelters-in-utrecht
- https://happyeconews.com/nyc-green-roof-bus-stops
- https://happyeconews.com/how-effective-are-green-air-purifiers-for-allergies
- https://www.binderholz.com/en-us/mass-timber-solutions/sege-park-multi-storey-car-park-malmo-sweden
- https://www.pmalmo.se/Om-parkering-Malmo/mediarum/aktuella-nyheter/gjutasfalt_i_P-huset
- https://www.ekolution.se/en/projekt/parkeringshuset-sege-park

관련 법 및 지침 등

- 환경정책기본법
- 도로법
- 환경친화적인 도로건설 지침, 환경부
- 환경친화적인 도로건설 지침, 국토교통부
- 도시지역도로 설계지침, 국토교통부
- 도로안전시설 설치 및 관리지침, 국토교통부

활용·연계 가능 관련 자료

- 도시지역도로 설계지침 해설, 2020, 국토교통부
- 보행자우선도로 매뉴얼, 2022, 행정안전부, 건축공간연구원
- (기타) 서울형 자전거도로 설치 및 유지관리 매뉴얼, 2019, 서울특별시

공간단위	도로 및 거리(Street)
코드/기법	S-4. 도로공간과 녹지공간의 입체화
개요	**•기후변화 대응을 위한 도시 거리 공간 설계의 필요성** - 기후변화로 인해 폭염과 홍수 등이 도로, 터널, 교량 같은 도시 인프라에 심각한 영향을 미치고 있으며, 이에 대응하기 위한 도시 설계와 인프라 재검토가 필요함 - 온실가스 배출 저감 노력에도 불구하고 기후변화의 영향이 장기적으로 지속될 가능성이 높아, 미래의 인프라 프로젝트와 도시 설계에 기후위기 적응성을 반영해야 함 **•녹지 조성과 기후위기 적응의 중요성** - 도시 거리 공간은 약 20~30%의 도시 면적을 차지하며, 홍수 방지와 냉각 효과, 그리고 시민의 삶의 질을 높이는 기후위기 적응적 역할을 수행할 잠재력이 있음 - 가로수와 녹지의 주요 기능인 공기 및 토양 필터링, 도시 경관 개선, 생물 서식지 제공 등을 유지하기 위해 적합한 수종 선택과 식재 기술이 필수적임 **•녹지 및 물 요소를 통한 도시 기후 개선** - 프라이부르크의 슈튕잉거(Stühlinger) 지역 사례에서 건물 정면과 지붕 녹화, 그늘 제공, 포장면 제거 등이 최대 12도의 온도 차이를 줄일 수 있는 효과적인 기후 개선 방법으로 제시됨 - 도시의 녹지 공간은 스폰지 도시 원칙과 결합하여 빗물 집수와 증발층을 조성함으로써 도시 기후 쾌적성을 향상시킬 수 있음  그림 43. 도로 및 녹지공간의 입체화
주요내용	**•기후변화 대응을 위한 도시 녹지의 중요성** - 도시의 급격한 온난화로 대기질 악화, 폭염, 폭우 등 기후변화가 도시 환경에 심각한 영향을 미치고 있고, 이를 해결하기 위해 지속 가능한 리노베이션과 녹지 조성이 필요함 - 녹지는 냉각 효과와 홍수 예방, 침투 용량 증대를 통해 도시의 기후위기 적응력을 강화하며, 녹색 혁신을 통해 대기질 개선 및 열 스트레스 완화를 기대할 수 있음 그림 44. 다양한 도로 및 입체 녹화 예시 **•도로 공간의 녹지 적용과 블루-그린(청록색) 인프라의 활용** - 도로 공간의 불투수 표면에 녹지를 적용하여 남북 방향과 동서 방향의 거리 공간에서 각각의 기후 조건에 적합한 조치를 시행해야 함 - 수직적 녹화와 증발층, 침투 도랑, 블루 스트리트와 같은 블루-그린(청록색) 요소는 온실가스 흡수, 빗물 유출 감소, 지역 생물 다양성 증진 등 다목적 효과를 제공함

▪블루-그린(청록색) 요소의 설계 및 적용 방안

- 빗물이 모이는 지점에 수문학적으로 최적화된 나무 심기, 증발과 차광을 강화하는 녹색 외벽과 분지 등의 설계 요소를 활용해야 함
- 빗물 저장 탱크 및 침투 홈통 등의 물 관리 요소를 통해 폭우 시 하수 시스템의 부담을 줄이고 물 자원의 활용성을 높임

▪기후위기 적응을 위한 최적화된 도로 계획의 필요성

- 열에 취약하거나 홍수 위험이 높은 지역에서는 물 유출 및 흡수 분석, 폭우 위험 지도 등 기초 조사를 기반으로 한 포괄적인 계획이 요구됨
- 도로 공간의 구조와 물 가용성을 고려한 블루-그린(청록색) 요소의 적용은 지역의 삶의 질을 향상시키는 데 기여함

그림 45. 도시기후를 고려한 좁은 도로의 디자인 예시(좌), 도로 공간의 다양한 입체녹화 기술 예시

관련사례

① Autobahn Deckel A7, Hamburg (고속도로(7번)의 지하화 프로젝트, 함부르크)

▪개요

- A7 고속도로의 지하화 프로젝트는 독일 함부르크 중심부를 남-북으로 가로지르는 고속도로에 소음 저감과 녹지 공간 확보를 목표로 하는 도시 재생 프로젝트로, 약 3,753m 길이의 세 개의 터널 구간으로 구성됨
- 터널 상부는 흙과 식물로 덮여 도시 녹지 공간으로 전환되며, 지역 주민들에게 소음 완화, 여가 공간 제공, 자연과 조화된 생활환경을 창출함

▪소음 방지와 녹지 공간 조성

- 터널 위 3ha 규모의 리드파크(Lidpark)는 인근 지역 주민들에게 중앙 공원을 제공하며, 150그루의 나무와 150,000그루 이상의 꽃과 식물이 식재됨
- 공원 내 산책로, 피트니스 스테이션, 벤치 및 휴식 공간 등이 마련되어 여가와 휴식을 즐길 수 있는 공간을 조성

▪도시 재생 및 연결성 회복

- 수십 년간 고속도로로 분리되었던 지역을 연결하여 하나로 통합하고, 터널 덮개 위 공간을 활용해 3,000채의 아파트를 건설하는 '도시 수리' 프로젝트로 발전
- A7 지하화는 회색 콘크리트 구조가 녹지와 여가 공간으로 전환되는 혁신적인 도시 개발 모델로, 소음 저감 및 공원 활용의 가능성을 보여줌

▪확장성과 지속 가능성

- 스텔링겐(Stellingen)과 알토나(Altona) 구간에도 유사한 소음 방지 터널 및 녹지 공간이 조성 중이며, 프로젝트 완료 시 총 3.75km의 녹지 터널 구간이 제공될 예정
- 터널 상부의 녹지는 소음 저감뿐만 아니라 지역 주민과 자연을 연결하며, 도시의 지속 가능한 발전을 위한 모범 사례로 자리 잡음

그림 46. Autobahn Dekel A7 상부 녹화 및 공원 모습

② SolarGründach eBusPort in Nürnberg (태양광 녹색지붕 전기버스 포트, 뉘른베르그)

·개요

- 슈바이나우(Schweinau) 지구의 eBus 포트는 전기 버스 39대를 위한 충전소와 주차 공간을 포함한 기후 친화적이고 기능적인 시설로, 저소음 친환경 차량 운행을 지원하며 2021년부터 뉘른베르크 자동차 주식회사(VAG)에 의해 운영 중
- 충전소 지붕은 3,500㎡ 규모의 녹색 지붕과 최대 출력 280kWp의 태양광 발전 시스템이 통합된 구조로, 에너지 효율을 높이고 생태적 가치를 더함

·설계 및 기술적 특징

- '윙 루프(Wing Roof)' 형태의 곡선형 강철 지붕은 전기 버스의 주행과 주차 패턴을 모델로 설계되었으며, 빠르고 효율적인 설치를 위해 조립식 부품으로 구성
- 태양광 패널은 동서 방향으로 15° 기울어진 나비 모양 궤도로 배치되었으며, 전면 가장자리는 녹지 기판층보다 30cm 위로 배치되어 발전 효율을 극대화
- 태양광을 결합한 녹색지붕 조합 기술로 지붕 온도를 낮추어 태양광 모듈의 발열을 줄이고, 발전 효율을 향상

·환경적 및 생태적 효과

- 녹색 지붕은 온도를 낮추고, 꿀벌 및 곤충 서식지를 제공하며, 1년 내내 풀과 꽃이 자라 생태적 가치를 증대
- 태양광 발전과 녹지 조성을 결합해 기후 친화적 대중교통 인프라를 실현하며, 도시의 탄소 중립 목표에 기여
- 주변 환경과 조화를 이루며 대중교통 인프라의 지속 가능성을 보여주는 사례로 자리 잡음

·사회적 및 경제적 효과

- 전기 버스 운영을 통해 저소음 대중교통을 제공하며, 지역 주민들의 삶의 질을 향상
- 조립식 하부 구조는 설치 시간을 단축하고 비용을 절감하며, 도시 내 지속 가능한 교통 시스템 전환을 지원
- 녹화된 지붕은 도시 경관을 아름답게 개선하며, 에너지와 생태적 가치를 동시에 충족

그림 47. Schweinau eBusPort의 태양광 녹색지붕의 모습

연계가능 기법

코드	계획기법
D-1	신선한 공기통로를 고려한 녹지 및 수공간 네트워크(Green-Blue Network)
D-2	자연기반(NbS) 녹지공간(면적) 확대 및 조성
D-3	기후위기 적응 및 완화 기능을 통합한 분산형 빗물 관리와 스폰지 시티 원칙
S-1	자연기반(NbS) 쿨링(Blue+Green) 도로 공간 조성
S-2	기후친화적(Climate-friendly) 보행공간 조성
S-3	기후친화형 도로 시설
S-5	도로변 녹지공간과 연계한 빗물 생태 저류지(Bio-retention)
B-1	기후친화적 건축물 외관 녹화 조성
B-2	태양광을 결합한 녹색지붕 조성
B-3	패시브 요소를 활용한 건물 외부공간 쿨링효과 조성
B-5	열 스트레스 제로형 건물환경 조성

기상재해 연관성

폭염	폭우	가뭄
●	●	◎

●:강, ◎:중, ○:약

적용특성	- 노약자, 장애인 등 장시간 이동에 민감한 취약계층이 이동 시 폭염에 직접 노출되지 않도록 거리 및 도로 공간에 적절한 밀도로 나무와 그늘 구조물을 배치함. 특히, 접근이 어려운 교차로나 대중교통 정류장 주변은 쉼터와 그늘막 설치가 필수적임 - 녹지공간 입체화를 통해 특정 지역에 '냉각 지역'을 설정하고 취약계층이 쉽게 접근할 수 있도록 교통체계와 연계함. 스마트폰 앱이나 공공 게시판을 통해 위치를 알 수 있도록 함 - 본 기법이 적용된 도로공간 및 녹지공간은 폭우 시에 물을 효과적으로 흡수하고 배출하는 역할을 해야 함. 폭우 시 빗물 흐름이 빨라지는 지역의 경우 휠체어 사용자나 유모차를 동반한 사람들에게 위험할 수 있으므로 우수 흐름을 제어하거나 우회로를 마련하여 안전을 확보하도록 함 - 입체화된 도로공간과 녹지공간은 단순히 냉각 및 홍수 방지뿐만 아니라 다양한 사용자에게 사회적 교류공간을 제공할 수 있어야 함. 저소득층, 노약자, 어린이 등 취약계층들이 쉼터, 소규모 모임 공간, 공공 서비스 장소 등으로 활용할 수 있게 설계하여 소통과 교류를 돕고 일상 생활의 질적 제고를 고려함
참고자료	- World Bank Group et al. (2021), A Catalogue of Nature-Based Solutions for Urban Resilience. - https://www.rivm.nl/nieuws/klimaatverandering-leidt-nu-al-tot-meer-sterfte-door-hitte - Erell/Pearlmutter/Williamson 2011, 206 - https://blaugruenestadt.de/bgs/urbane-gewaesser - Khan, U.T., Valeo, C., Chu, A., and He, J. 2013. A data driven approach to bioretention cell performance: prediction and design. Water, 5(1)13-18. - European Commission. 2020b, April. Nature-based Solutions for climate mitigation (No. 978-92-76-18200-9) - BlueGreenStreets(Hrsg.), 2022, BlueGreenStreets Toolbox Teil A, B - https://www.hamburg.de/politik-und-verwaltung/bezirke/bezirksamt-eimsbuettel/themen/umwelt-natur-klima/deckel-stellingen-59262 - https://www.sat1regional.de/deckelpark-auf-laermschutztunnel-ueber-a7-in-hamburg-schnelsen-eroeffnet - NATURVATION, (2019). Covering the A7 highway. Urban Nature Atlas, Naturvation : cities – nature - https://www.nutzedeindach.de/referenzobjekte/ebus-port-nuernberg-33
관련 법 및 지침 등	- 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 - 환경정책기본법 - 도로법 - 도시공원·녹지의 유형별 세부기준 등에 관한 지침 - 공원녹지 기본계획 수립지침 - 환경친화적인 도로건설 지침, 환경부, 국토교통부 - 도로터널 방재·환기시설 설치 및 관리지침(국토교통부예규 제407호) - 도시지역도로 설계지침, 국토교통부 - 도로안전시설 설치 및 관리지침, 국토교통부 - 도시공원 및 녹지 등에 관한 조례 - 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(국토교통부령 제1360호) - 자전거 이용시설의 구조·시설 기준에 관한 규칙(행정자치부령 제110호) - 도시숲 등의 보전 및 조성, 관리조례 (각 지자체)
활용·연계 가능 관련 자료	- 도시지역도로 설계지침 해설, 2020, 국토교통부 - 보행자우선도로 매뉴얼, 2022, 행정안전부, 건축공간연구원 - (기타) 서울형 자전거도로 설치 및 유지관리 매뉴얼, 2019, 서울특별시

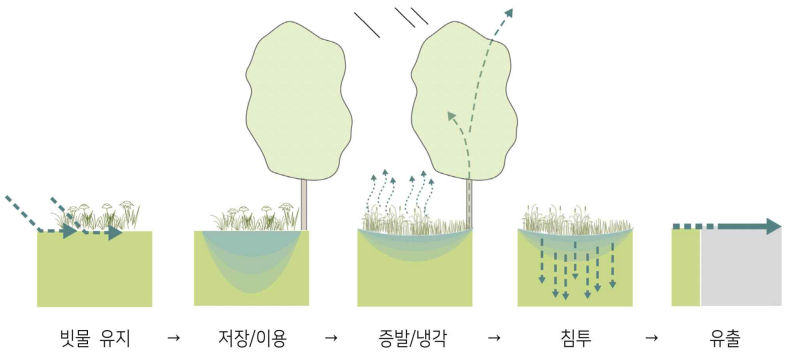
공간단위	도로 및 거리(Street)
코드/기법	S-5. 도로변 녹지공간과 연계한 빗물 생태 저류지(Bio-retention)
개요	**·도시 기후변화와 도로 공간의 도전 과제** - 기후변화로 인해 도로, 터널, 교량 등이 새로운 기후와 기상 조건에 직면하고 있으며, 이는 도시와 거리 공간 설계에 새로운 접근을 요구함 - 과밀한 도시 지역에서 국지적 폭우로 인한 하수 시스템 과부하 및 홍수 발생, 상승하는 기온과 열파, 장기적인 건조 단계로 열과 가뭄 예방 조치가 필수적임 - 거리 공간은 도시 면적의 약 20~30%를 차지하며, 녹지와 증발 효과를 통한 홍수 방지 및 냉각 효과로 기후위기 적응에 중요한 역할을 할 수 있음 **·녹지와 가로수의 가치 및 기후변화 대응 필요성** - 가로수는 미기후 조성, 공기 및 토양 정화, 도시 경관 개선, 다양한 생물의 서식지 제공 등으로 중요한 역할을 하지만, 도심의 극한 조건으로 인해 제대로 성장하지 못하는 경우가 많음 - 기후변화로 인해 도시 녹지 공간의 상태가 더욱 악화될 가능성이 높으며, 이에 따라 적절한 수종 선정과 위치 분석, 올바른 식재 방법이 필수적임 - 이러한 조치를 통해 나무의 생육을 오래 유지하고 도시의 기후 쾌적성과 환경적 품질을 크게 향상시키며, 지자체 유지 관리 부담을 경감 **·블루-그린(청록색) 거리 모델의 사례와 기후위기 적응 방향** - 독일의 'BlueGreenStreets (BGS) - Research by Design' 모델은 함부르크, 베를린, 노이엔하겐, 솔링겐의 지자체와 협력하여 블루-그린(청록색) 거리 구조를 개발, 기후위기 적응 목표를 실현 - 거리 공간을 물에 민감하게 설계해 물 관리 목표를 달성하고, 식생 활력을 높이며 고품질의 휴식 및 커뮤니티 공간을 조성함으로써 정주 환경의 질을 향상 - 이러한 모델은 열 예방과 'Cool City' 구현에 기여하며, 도시 문제 해결을 위한 구체적인 설계 가이드 및 방법론을 제시하며 우리 도시에도 적용 가능성이 높음  그림 48. 생태적 저류 프로세스
주요내용	**·기후변화 대응을 위한 인프라 전환과 사회적 이익** - 기존 인프라를 추가 개발하고 전환하기 위해 포괄적인 개념이 필요하며, 미래 계획은 개인 차량 의존을 줄이고 사회적 이익을 극대화하는 데 중점을 두어야 함 - 기후변화의 영향인 극심한 강수량, 폭염, 물 부족 문제에 효과적으로 대응할 수 있는 방향으로 도로 공간 설계가 이루어져야 함 **·바이오 리텐션(Bio-retention)의 자연 기반 해법(NbS)** - 바이오 리텐션은 빗물을 흡수, 포획, 침투하는 식생 함몰 지역으로 설계되며, 회색 인프라를 보완하는 자연 기반 솔루션으로 활용됨 - 기능 및 입지 조건에 따라 빗물 정원, 생물 습지, 침투 도랑 등의 형태로 설계 가능하며, 예를 들어, 캐나다 캘거리에서는 유출량이 최대 90%까지 감소한 사례가 있음

그림 49. 도로변 녹지공간과 생물 저류지 개념 및 기능

▪탄소 격리 및 다양한 적용 사례

- 바이오 리텐션은 평균 12.5kg carbon/m²의 탄소 격리율을 달성하며, 도시 내 다양한 용도로 활용 가능함
- 도로, 도시 공원, 광장, 정원, 주차장 등 여러 지역에 적용 가능하며, 설계와 사용 재료에 따라 탄소 격리 효과를 극대화할 수 있음

▪블루-그린(청록색) 디자인의 원칙을 활용한 거리 공간의 전환

- 블루-그린(청록색) 디자인 요소를 통해 공기질 개선, 냉각 효과, 빗물 유지 등의 기후위기 적응 목표를 달성하며, 도시 인구에게 장기적인 혜택 제공
- 도시 전역에 블루-그린(청록색) 네트워크를 구현함으로써 기후위기 적응, 생물 다양성 증진, 도시 경관 향상 등 대규모 네트워크 효과를 창출할 수 있음

그림 50. 주거지 적용 생물저류지 예시

관련사례

① Sankt Kjeld's Square and Bryggervangen, Copenhagen (상트 켈스 광장과 브뤼게르방엔, 코펜하겐)

▪개요

- 코펜하겐 시의 가장 크고 친환경적인 폭우 적응 프로젝트로, 34,900㎡ 규모의 도심 공간을 생물 다양성이 풍부한 녹색 허파로 전환
- 폭우 관리와 생물 다양성 증진을 목표로 기존의 단조로운 회색 공간을 기후위기 적응 중심의 녹색 공간으로 탈바꿈
- 빗물 자원화를 통해 홍수를 예방하고, 도시 열섬 완화와 함께 새로운 사회적 공간을 창출하여 글로벌 기후위기 적응모델로 자리 잡음

▪기후위기 적응과 빗물 관리

- 586그루의 나무와 레인 가든 네트워크를 통해 빗물을 자연적으로 포획·흡수하고, 하수 시스템 과부하를 완화하며 도심 홍수를 예방
- 폭우 파이프라인을 설치하여 과도한 빗물을 코펜하겐 항구로 안전하게 배출하고, 지역 내 빗물은 나무와 식물 자원으로 활용하여 물 순환 체계를 강화
- 지역적으로 빗물을 관리해 도심 물 부족 문제를 해결하고, 장기적인 기후변화에 대비한 물 관리 솔루션을 제공

·생물 다양성과 생태 복원

- 48종의 토종 나무와 586그루의 나무를 활용하여 도심 내 생물 서식지를 조성, 조류와 곤충의 생태 환경을 복원
- 블루-그린(청록색) 기후위기 적응모델을 구현하여 도시 생태계를 활성화하고, 생물 다양성 위협을 효과적으로 완화
- 나무와 식물을 통해 지속 가능한 생태적 균형을 유지하며, 자연 기반 해결책(NbS)을 통한 생태계 회복 모델을 제공

·사회적 공간과 커뮤니티 형성

- 산책로, 여가 공간, 만남의 장소를 포함한 녹지 공간 조성을 통해 지역 주민들에게 사회적 교류의 장을 제공
- 녹지와 연계된 도로와 길을 통해 시민들에게 자연 체험의 기회를 제공하며, 건강하고 지속 가능한 생활을 장려
- 모든 연령층이 활용할 수 있는 안전하고 쾌적한 사회적 공간을 조성하여 지역 사회의 유대감을 강화

·도시 열섬 완화와 환경 개선

- 586그루의 나무와 풍부한 녹지는 여름철 열섬현상을 완화하고, 주변 온도를 낮추어 도시 냉각 효과를 제공
- 나무와 식물은 자연적인 공기 정화 기능을 통해 대기오염을 줄이며, 도시 환경 품질을 개선
- 도심 경관을 자연과 조화롭게 변모시켜 생태적·미적 가치를 증대시키며, 지속 가능한 도시 설계 모델을 제시

그림 51. Sankt Kjeld's Square 계획안 및 다양한 컨셉의 녹지공간

② Nachhaltige Rieselfeld, Freiburg (지속가능한 리젤펠트, 프라이브르크)

·개요

- 리젤펠트(Rieselfeld)는 프라이부르크의 지속 가능한 도시 개발을 대표하는 사례로, 저에너지 건축, 빗물 관리, 재생 가능 에너지 활용 등 생태학적 개념을 도입
- 모든 주택과 시설은 에너지 사용 절감 및 재생 가능 에너지 최적화를 목표로 설계되었으며, 지역 난방 네트워크와 통합하여 CO_2 배출량을 약 50% 감소
- 자연보호구역과 녹지공간 설계는 생태적 균형을 유지하며 도시와 자연의 조화를 이루는 데 중점을 둠

그림 52. Rieselfeld 전경 및 다양한 생태 저류 및 녹지 공간

·친환경 건축과 에너지 효율성

- 리젤펠트 내 모든 아파트는 연간 에너지 소비량 65kWh/m² 기준을 충족하는 저에너지 건축 방식으로 설계
- 태양 에너지, 목재 펠릿 난방, 열 펌프 등의 재생 가능 에너지 시스템과 바인가르텐 열병합발전소 지역 난방 네트워크를 도입하여 에너지 효율성 증대

- 벽으로 연결된 고밀도 건축과 공통 내부 공간을 조성, 에너지 사용 감소와 함께 활기찬 주거 환경 제공

·빗물 관리와 자연보호구역

- 빗물은 수집 후 토양 필터를 통해 정화되어 자연보호구역(NSG) 내 습지 비오톱으로 공급, 일부는 지하수 충전
- 250ha 규모의 자연보호구역 프라이부르크 리젤펠트는 생물 다양성을 보존하며, 방문객을 위한 탐방로와 시민 자원봉사자들의 관리로 지속 가능성 강화
- 오염된 토양을 제거한 뒤 정화된 토양을 사용하여 도시 생태계 복원과 물 순환 체계를 강화

·녹지 설계와 주민 삶의 질

- 공통 블록 내부 공간과 다수의 고품질 녹지 설계를 통해 주민들에게 쉼터와 커뮤니티 공간을 제공하며, 단절된 녹지 연결
- 북쪽 스포츠 및 레저 공간은 학교 체육 활동과 지역 주민의 여가 활동을 지원하며, 자연보호구역의 부담을 완화
- 녹지 개발 계획은 건축 신청서와 통합하여 환경 보호와 도시 계획을 효과적으로 병행

·탄소 감축과 지속 가능한 도시 모델

- 도시 개발 과정에서 저에너지 건축과 재생 가능 에너지를 활용하여 기존 건축 대비 약 50%의 CO_2 절감 달성
- 자연녹지를 최대한 보존하며 그린 트램 노선과 연결된 가로 녹지로 생태적 연속성을 확보
- 기술적 해결과 함께 주민들의 환경 보호 의식을 높이고 지속 가능한 생활 방식을 기반으로 탄소중립 목표를 추구

연계가능 기법

코드	계획기법
D-1	신선한 공기통로를 고려한 녹지 및 수공간 네트워크(Green-Blue Network)
D-2	자연기반(NbS) 녹지공간(면적) 확대 및 조성
D-3	기후위기 적응 및 완화 기능을 통합한 분산형 빗물 관리와 스폰지 시티 원칙
D-4	홍수와 폭염을 고려한 블루-그린 생태 수변공간 조성
D-5	사회·기후 기능을 활용한 저류공간 조성
S-1	자연기반(NbS) 쿨링(Blue+Green) 도로 공간 조성
S-2	기후친화적(Climate-friendly) 보행공간 조성
S-3	기후친화형 도로 시설
S-4	도로공간과 녹지공간의 입체화
B-1	기후친화적 건축물 외관 녹화 조성
B-2	태양광을 결합한 녹색지붕 조성
B-3	패시브 요소를 활용한 건물 외부공간 쿨링효과 조성

기상재해 연관성

폭염	폭우	가뭄
●	●	◎

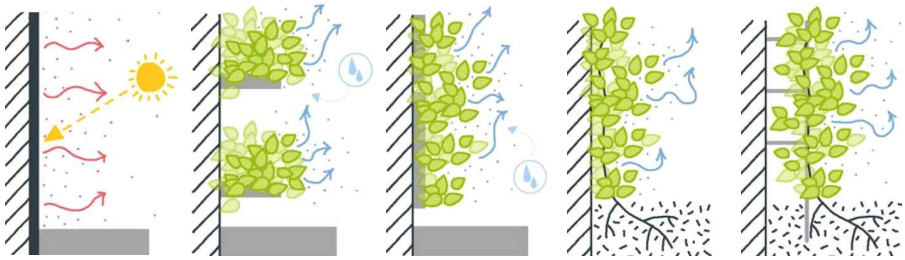
●:강, ◎:중, ○:약

적용특성

- 빗물 생태 저류지와 녹지공간은 단순히 기온을 낮추는 쿨링 기능뿐만 아니라 취약계층이 직사광선에서 보호받을 수 있도록 설계되어야 함. 특히, 체온 조절이 어려운 고령자나 어린이들이 더위를 피할 수 있도록 그늘진 구역을 마련하고, 접근성을 고려하여 보행로 근처에 배치하는 것이 중요함
- 빗물 저류지와 습지형 녹지는 수질 개선에 기여할 수 있지만, 관리가 부족할 경우 유해 유기체나 해충 번식지가 될 수 있음. 취약계층은 이러한 건강 위협에 더 민감할 수 있으므로 정기적인 유기물 제거와 물 순환이 가능한 설계를 통해 위생적으로 관리하도록 해야 함
- 취약계층이 많이 거주하는 지역에 설치되는 저류지와 녹지의 물 관리 시스템에 대해 주민들이 기본적인 이해를 할 수 있도록 교육을 실시해야 함. 저류지와 홍수와의 연관성을 이해시키고, 이러한 공간이 본인들의 안전과 직접적으로 연관됨을 설명하여 스스로 위생적으로 이용하고 관리 주체로도 활동할 수 있도록 함
- 저류지 내의 식생은 지역의 열섬효과를 줄이는 기능을 강화하도록 특정 수종과 심도 있게 연계하여 설계해야 함
- 긴급 상황을 대비하여 주민들이 대처할 수 있는 간단한 행동 지침을 공유하는 방안을 마련하면 효과적일 것으로 판단됨

참고자료	- NATURVATION, (2019). Covering the A7 highway. Urban Nature Atlas, Naturvation: cities – nature - https://blaugruenestadt.de/bgs/urbane-gewaesser - Khan, U.T., Valeo, C., Chu, A., and He, J. 2013. A data driven approach to bioretention cell performance: prediction and design. Water, 5(1)13–18. - European Commission. 2020b, April. Nature-based Solutions for climate mitigation (No. 978-92-76-18200-9) - BlueGreenStreets(Hrsg.), 2022, BlueGreenStreets Toolbox Teil A, B - Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2777/458136 - World Bank Group et al. (2021), A Catalogue of Nature-Based Solutions for Urban Resilience. - Stadt Freiburg, 2009, "Der neue Stadtteil Freiburg-Rieselfeld- Ein gutes Beispiel nachhaltigese Stadtteilentwickllung. - Stadt Freiburg, 2021, Klimaanpassungskonzept – Ein Entwicklungskonzept für das Handlungsfeld "Regenwasser"
관련 법 및 지침 등	- 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 - 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 - 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 시행규칙 - 도시공원 및 녹지 등에 관한 조례 - 도시공원·녹지의 유형별 세부기준 등에 관한 지침(국토교통부훈령 제1808호) - 완충저류시설 설치 및 운영관리 지침 - 홍수조절지 및 저류지 관리규정 - 도시숲·생활숲·가로수 조성·관리 기준 - 저류지 등 운영 및 관리에 관한 조례 (각 지자체)
활용·연계 가능 관련 자료	- 우수저류시설 표준 운영 매뉴얼, 2021, 행정안전부

2.3 건물 단위 (Building Scale)

공간단위	건물(Building)
코드/기법	B-1. 기후친화적 건축물 외관 녹화 조성
개요	**·외관 녹화의 기후위기 적응 필요성과 역사적 활용** - 외관 녹화는 중세 수도원 벽에서 와인 재배에 활용된 역사적 사례를 통해 그 유용성이 입증되었으며, 현대 도시의 열섬현상, 공기 순환 문제, 도시 온난화 문제를 해결하기 위한 핵심 솔루션으로 부각되고 있음 - 수직녹화는 건물의 정면에 식물을 배치하여 햇빛 반사와 직사광선을 줄이고, 물 증발을 통해 냉각 공기를 제공하며, 주택 소유자는 난방 및 냉방 비용을 절감하면서 탄소 배출을 감소시킬 수 있음 **·도시화와 입체 녹화의 잠재력** - 도심의 녹지 감소와 고밀도 개발 문제를 보완하기 위해 외관 녹화는 기존의 2차원적 녹지 설계에서 벗어나 부족한 토지 문제를 해결하며 입체적인 녹지 면적을 창출 - 수직녹화는 태양광 패널과의 조화를 통해 에너지 효율성을 높이며, 1㎡의 녹지가 연간 2.3kg의 CO_2를 흡수하고 1.7kg의 산소를 생성해 대기오염을 완화하고, 도심 내 공기질 개선에 기여 **·열섬효과 완화와 도시 환경 개선** - 외관 녹화는 도심 열 부하를 낮추는 '자연 에어컨' 역할을 하며, 여름철에는 건물 내부 온도를 최대 14도, 주변 도로 온도를 최대 12도 낮추어 에너지 절감과 거주 환경 개선을 동시에 달성 - 서쪽과 남쪽 정면의 녹화를 통해 열섬현상을 완화하고, 대기오염물질(이산화질소 40%, 이산화황 60%)을 흡수하며, 도시 생태계를 복원하고 동물 서식지를 제공해 생물 다양성을 증대
주요내용	**·건물 외관 녹화 방식과 특징** - 전통적 지상 기반 녹화 방식은 식물이 자연 토양에 뿌리를 내리고 외벽을 따라 성장하며, 물과 영양분은 자연적으로 공급되는 단순한 유지 관리 시스템으로 구성됨 - 외벽 녹화 방식은 기존 외벽에 추가적인 구조를 설치해 식물과의 간격을 조절하며, 자동 물 공급 시스템과 다양한 디자인 선택을 제공함  그림 53. 기존 건축물 외관(좌), 다양한 외관 녹화방식(벽걸이형, 지상기반형) **·환경적 효과와 기후위기 적응** - 건물 외벽 녹화는 열 복사를 흡수하고 냉각 효과를 제공하여 주변 온도와 도시 평균 온도를 낮추는 데 기여함 - 녹화된 외관은 공기질을 개선하고 소음을 줄이며, 다양한 동식물에게 서식지를 제공해 생태적 다양성을 증진함 **·설계 및 관리의 중요성** - 건물 녹화는 다양한 기후와 공간적 요구에 따라 맞춤 설계가 필요하며, 또한 효과적인 유지 관리를 통해 지속적인 기능과 미적 효과를 보장해야 함 - 여름철 건조한 날씨를 대비해 집중 물주기와 화재 안전 기준을 포함한 체계적인 관리 조치가 필수적임 **·도시 환경과 경제적 가치 증대** - 녹화된 외관은 도시의 부족한 녹지 공간을 보완하고, 건물의 자산 가치를 높이며, 장기적으로 에너지 비용 절감과 탄소 발자국 감소에 기여함 - 미세먼지와 CO_2 감축 효과를 통해 도시 환경 개선과 함께 도시 생물 다양성 증진에도 기여하며, 기후변화 완화 솔루션으로 자리잡음

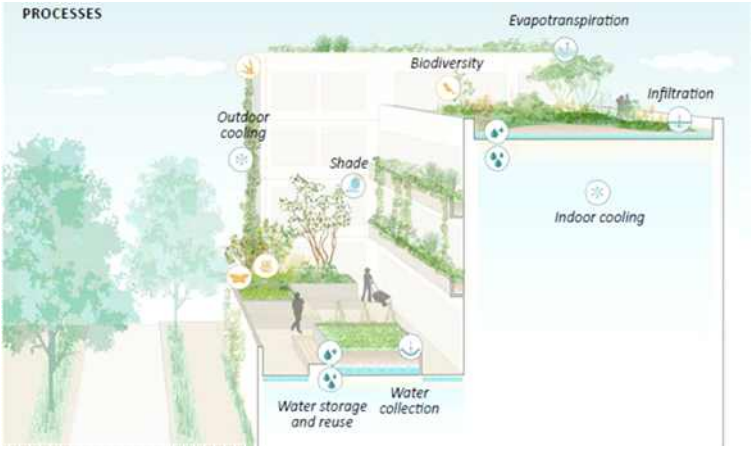


그림 54. NbS 건축환경 개념 및 기능

관련사례

① MA48 Vienna (비엔나 환경관리청 건물)

·개요

- MA48 비엔나 환경관리청 건물은 1960년대에 지어진 벽돌 건물을 현대적이고 지속 가능한 방식으로 개조한 파일럿 프로젝트로, 2010년에 완료됨. 프로젝트는 수직 녹화를 통해 에너지 효율을 개선하고, 도시 열섬 완화와 같은 환경적 이점을 제공하여 지속 가능한 환경 관리 모델로 자리 잡는 것을 목표로 함
- 녹화된 외벽은 단순히 외관의 장식적 역할을 넘어, 열 손실 감소와 냉각 효과를 통해 도시 기후위기 적응을 지원하며, 미기후 조절, 대기질 개선, 생물 다양성 증진 등 다각적인 효과를 제공

그림 55. MA48 Vienna 건물의 외관 녹화

·기법의 특징과 적용 방식

- 건물 외벽 850㎡ 면적에 알루미늄 소재의 식물 홈통 2,850m를 설치하여 수직 녹화 기술을 적용
- 17,000개의 다년생 식물, 잔디, 허브가 포함되어 높이 15~60cm로 성장하며, 지속 가능한 녹화 환경을 조성
- 물 공급은 12개의 개별 제어 가능한 공급 라인과 3,500m 드립 호스를 통해 이루어지며, 센서를 통해 식물의 상태를 모니터링하고 필요한 시점에 관개를 자동으로 관리

·미기후 개선과 에너지 절감 효과

- 겨울철 건물의 열 손실이 최대 50%까지 감소하여 난방 에너지 절약 효과를 달성
- 여름철에는 3,000W의 냉각 용량을 제공하며, 하루 8시간 기준으로 에어컨 약 45대의 냉각 효과를 나타냄

  * 빈 자연자원생명과학대학교(BOKU)에서 외부 온도, 내부 온도, 공기 습도, 복사열 및 바이오매스 축적 등 다양한 미기후 데이터를 모니터링

·녹화 외벽의 열 완화 효과

- 맑은 날 기존 석고 외관과 비교하여 표면 온도가 최대 15°C까지 낮아짐
- 수직 녹화는 나무 4그루에 해당하는 3차원 냉각 효과를 제공하며, 도시 열섬 완화에 기여
- 녹화 외벽은 단순한 온도 조절 효과를 넘어 건물 외관의 미적 가치와 생태적 균형을 동시에 실현

·도시 기후위기 적응 시사점

- 기존 건물 개조를 통해 수직 녹화 기술이 도시 환경과 기후위기 적응 전략에 효과적으로 활용 가능함을 입증
- 자연 기반 해결책(NbS)을 적용하여 도시 내 에너지 소비 절감 및 생태적 지속 가능성 강화
- 이 사례는 도심 열섬 완화, 기후위기 적응, 에너지 효율화의 종합적 해결책으로 다른 도시에서도 적용 가능성을 제시

② Berlin-Adlershof Humboldt University Institute for Physics (베를린 아들러스호프 훔볼트대학 물리학 연구소 건물)

·개요

- 본 건물은 파사드 녹화를 통해 에너지 최적화와 미기후 개선을 실현한 사례로, 건물 외관에 녹화를 적용하여 여름철에는 과도한 태양열을 차단하고, 겨울철에는 에너지 효율을 높이는 방식을 도입함
- 이 프로젝트는 빗물을 활용한 자동화된 관개 시스템과 녹화된 외관을 통해 건물 냉방 에너지 소비를 절감하고 유지 비용을 대폭 감소시키며, 기존 태양 보호 시스템 대비 우수한 기후위기 적응 효과를 입증함

그림 56. Berlin-Adlershof Humboldt University Institute for Physics 건물의 외관 녹화

·파사드 녹화 시스템의 특징과 적용 방식

- 파사드 녹화는 외부에서의 태양열 차단 및 증발 냉각을 통해 건물 내부 온도를 효과적으로 조절함
- 4,700m² 규모의 지붕에서 수집된 빗물을 지하 콘크리트 저수조에 저장하고, 자동 점적 관개 시스템으로 외관 식물에 물을 공급함
- 외관 녹화 시스템은 29개 구역으로 나뉘어 있으며, PLC 제어 시스템을 통해 관개와 식물 상태를 정밀 관리함

·에너지 절감 및 비용 효율성

- 여름철 외관은 일일 평균 280kWh의 증발 냉각 효과를 제공하며, 건물 냉방 에너지를 기존 태양 보호 시스템 대비 50% 절약함
- 1차 에너지 소비를 25% 절감하고, 유지비를 기존 자외선 차단제의 연간 16,525유로에서 녹화 외관의 약 1,300유로로 대폭 감소시킴

·미기후 개선과 도시 생태 효과

- 파사드 녹화를 통해 건물 주변의 미기후를 개선하고, 높은 온도로 인한 건물 손상을 방지하며, 자연기반 해법(NbS)으로 도시 기후위기 적응 효과를 발휘함
- 녹화된 외관은 기존 태양 보호 시스템보다 최대 90%의 냉각 운영 비용 절감을 입증하며, 자연 친화적 환경을 조성함

·기후변화 적응 시사점

- 기존 태양 보호 시스템 대비 낮은 비용으로 뛰어난 여름철 열 보호 효과를 제공하며, 기후변화에 유리한 건물 설계 전략임을 입증함
- 연구 결과는 파사드 녹화가 지속 가능한 에너지 절약 및 기후위기 적응 전략으로 활용될 가능성을 증명하며, 도시 기후와 생태계 조화에 기여함

연계가능 기법

코드	계획기법
D-1	신선한 공기통로를 고려한 녹지 및 수공간 네트워크(Green-Blue Network)
D-2	자연기반(NbS) 녹지공간(면적) 확대 및 조성
S-1	자연기반(NbS) 쿨링(Blue+Green) 도로 공간 조성
B-2	태양광을 결합한 녹색지붕 조성
B-3	패시브 요소를 활용한 건물 외부공간 쿨링효과 조성

기상재해 연관성

폭염	폭우	가뭄
●	◎	◎

●:강, ◎:중, ○:약

적용특성

- 취약계층이 주로 거주하는 지역에 수직녹화를 우선적으로 적용하도록 하여 열섬효과와 폭염을 줄이도록 함. 건강에 취약한 어린이와 노약자에게는 쾌적한 열 및 공기 환경을 제공하고, 경제적 약자에게는 에너지 비용 감축 효과를 기대할 수 있도록 함
- 도시의 산업지역 등 유해물질과 먼지가 다량으로 발생하는 지역의 근로자를 위해 기후친화적인 건축물 녹화를 우선적으로 적용하도록 함. 이를 통해 대기질을 보존하고 녹지 확보를 위한 공간 부족 문제를 반영해 수직 면적을 확보하여 녹지를 제공하도록 함. 입체적 녹화를 통해 산업지역 근로자의 열환경을 개선하고 그린 인프라 접근성을 높이도록 함

참고자료

- Ministerium für Verkehr, Baden-Württemberg, 2021, Parken und Klimaschutz
- https://www.ecowatch.com/bus-stop-transformation-bee-stops-utrecht.html
- Stadt Zurich, 2020, Fachplanung Hitzminderung
- Stadt Wien, 2019, Leitfaden für Fassadenbegrünung
- https://gruene-stadt-der-zukunft.de/steckbrief-wandgebundene-fassadenbegruenung
- https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/fassadenbegruenung.html
- World Bank Group et al. (2021), A Catalogue of Nature-Based Solutions for Urban Resilience
- https://gruenstattgrau.at/news/projekt/ma-48
- www.gebaeudekuehlung.de
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, 2021, Institut fur Phisik in BErlin-Adlershof-Stadtökologisches Modellverhaben

관련 법 및 지침 등

- 국토의 계획 및 이용에 관한 법률
- 도시 및 주거환경 정비법
- 건축법
- 환경정책기본법
- 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법
- 재난 및 안전관리 기본법
- 건축물 옥상녹화 지원 조례, 녹지보전 및 녹화추진에 관한 조례, 도시녹화계획에 관한 조례 등 (각 지자체)

활용·연계 가능 관련 자료

- 친환경 건축물 인증기준(G-SEED), 국토교통부
- 옥상녹화와 태양광 발전설비 병행 설치 및 유지관리를 위한 가이드라인, 2022, 국토교통부

공간단위	건물(Building)
코드/기법	B-2. 태양광을 결합한 녹색지붕 조성

개요

•녹색 지붕의 도입과 확산

- 기후변화 대응과 탄소중립 실현을 위해 에너지원 전환이 필수적이며, 도시 내 재생에너지 비중 증가에 따라 지붕 녹화와 태양광 발전 시스템을 결합한 기술이 주목받고 있음
- 녹색 지붕은 생태적 가치를 더하는 효과적인 방법으로, 여러 국가에서 신규 건축물에 지붕 녹화를 의무화하는 추세를 보이고 있음. 독일에서는 2021년에 약 8,681,416㎡의 녹색 지붕이 조성되었지만, 이는 신규 평지붕 면적의 약 9.6% 수준임

•태양광 발전과 녹색 지붕의 융합

- 녹색 지붕은 주변 온도를 낮추어 태양전지의 효율을 높이는 데 기여함
- 녹색 지붕이 없는 지붕에 태양광 모듈을 설치할 경우, 지붕 표면 온도는 여름철 최대 80℃까지 올라가지만, 녹색 지붕이 적용된 경우 30℃로 낮아짐
- 태양광 모듈의 온도가 45℃ 이상이면 효율이 저하되므로, 녹색 지붕은 태양광 발전 시스템의 안정성과 효율성을 높이는 중요한 역할을 함

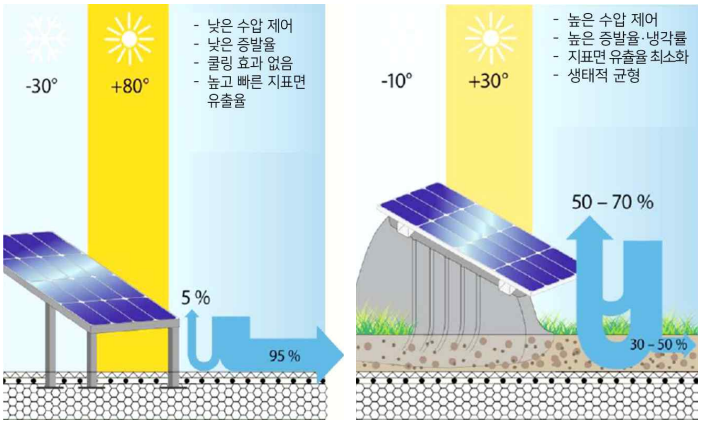


그림 57. 일반 태양광 지붕과 태양광을 결합한 녹색지붕의 증발과 빗물 유출, 온도 비교

주요내용

•PV 시스템 설치 및 녹색 지붕과의 결합

- 우리나라 대부분의 평지붕 형태는 PV 시스템 설치에 적합하며, 30° 경사의 남향 배치는 최적의 에너지 생산량과 냉각 효율을 제공함
  * PV 시스템(Photovoltaics) : 태양광을 활용한 전력 생산 시스템
- PV 시스템과 녹색 지붕을 결합하는 방식은 건물 구조, 환경 조건, 에너지 생산량 등을 고려해 다양한 모델로 개발되고 있으며, 통합 모듈 형태의 'PV 녹색지붕'은 별도 구조물을 설치하지 않고 토양, 식생, PV 모듈을 포함해 설치 가능함
- PV 시스템과 녹색 지붕 간에는 최소 20~30cm의 간격이 필요하며, 증발냉각 효과를 통해 주변 환경과 PV 모듈의 성능을 향상시키는 데 기여함

그림 58. 태양광 녹색지붕 통합 모듈과 설치 모습

▪녹색 지붕의 구조적 설계와 안정성 확보

- 녹색 지붕 설계 시 PV 시스템의 무게와 녹지의 수분 함량을 고려해야 하며, 건조 시 하중이 너무 낮지 않도록 설계하고, 포화 시 지붕의 하중 지지력을 초과하지 않도록 해야 함
- 지붕녹화층의 두께는 안정성을 확보하기 위해 약 8cm부터 시작하며, 풍하중이 클 경우 기판 두께를 조정해 설계함
- 수직형 PV 양면 모듈 시스템은 높이 45cm로 설계되며, 80cm 간격으로 설치해 녹색 지붕 유지 관리를 용이하게 하고, 겨울철 눈 적재 문제도 해결 가능함

▪생태적 및 도시적 이점

- 녹색 지붕은 수분 유지, 생물 다양성 증진, 건물 냉각 및 도시 열섬 완화 등의 생태적 효과를 제공하며, 일부 지역에서는 설치가 의무화되고 있음
- PV 시스템과 녹색 지붕의 통합은 에너지 생산과 생태적 이점을 동시에 제공하여 더 높은 효율성을 보임

▪수직 양면 PV 시스템과 Agri-PV 활용 가능성

- 최근 주목받고 있는 영농형 태양광(Agri-PV) 시스템은 유지 관리가 용이하고, 면적을 적게 차지해 녹색 지붕과의 결합에 적합함
- 에너지 생산량은 설치 조건, 모듈 간 간격, 하층토의 알베도 계수에 따라 달라지며, 녹색 지붕의 기능과 에너지 목표에 맞춰 최적의 옵션 선택이 필요함

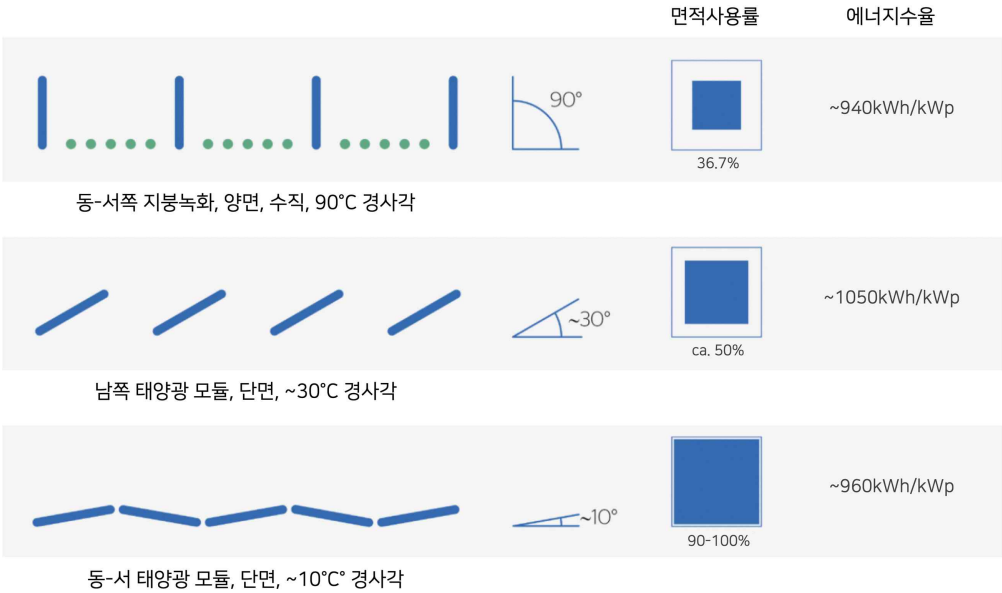


그림 59. PV 시스템 모듈 유형별 특성 비교

관련사례

① Messe Stuttgart (슈투트가르트 무역 박람회장)

▪개요

- 슈투트가르트 무역 박람회장은 공항과 뮌헨으로 이어지는 A8 고속도로 옆에 위치하며, 80ha의 부지와 약 100,000㎡의 전시 면적을 제공함. 바덴-뷔르템베르크 옛 전시 센터보다 두 배 큰 규모로, 울프 건축설계사무소가 디자인하여 박람회와 주변 농촌 경관의 관계성을 반영한 설계를 적용함
- 건물 및 주차장 지붕에는 녹색 지붕과 태양광 발전 시스템이 결합된 모델이 도입되어, 에너지 생산과 자연 보전이라는 두 가지 목표를 동시에 실현함

▪녹색 지붕과 태양광 시스템의 통합 설계

- 18,500㎡ 규모의 녹색 지붕과 7,000㎡의 태양광 시스템이 결합된 보쉬 주차장 건물은 연간 870,000kWh의 전력을 생산하며, 효율적인 에너지 생산을 통해 지속 가능성을 실현함
- 전시장 옥상에는 30,000㎡ 이상의 광범위한 녹색 지붕이 조성되었으며, 돌나물과 허브 식물 같은 적응 식물이 심어져 극한 환경에서도 유지 관리가 용이하도록 설계됨
- 주차장 지붕과 전시장 옥상은 모두 생태적 복원과 비용 절감을 위해 현장에서 나온 표토를 기반으로 구성함

·효율적 지붕 구조와 에너지 성능

- 전시장의 27,000㎡ 지붕에는 21,132개의 태양광 모듈이 설치되어 연간 3,600,000kWh의 전기를 생산하며, 약 2,640톤의 CO_2 배출을 감축함
- 이는 4인 가구 기준으로 약 900세대의 전력 수요를 충족시킬 수 있는 양으로, 지역 에너지 자립을 지원함
- 매달린 지붕 구조는 빗물 배수를 최적화하고, 균일한 인장력 분산 및 진동 방지 설계로 안정성을 높임

·생태적 복원과 자연 보전 노력

- 건설 과정에서 재개발, 과수원 조성, 강 하구 복원 등 다양한 자연 보전 조치를 시행함
- 지하수 보호를 위해 북쪽과 동쪽에 3개의 저류지가 조성되었으며, 전시장에서 발생한 지표수를 수집해 처리 후 자연 물 순환에 재공급함
- 녹색 지붕은 주변 경관과 조화를 이루며 자연 침해를 최소화하는 설계를 구현함

·도시 환경과 에너지 전략의 융합

- 태양광을 결합한 녹색지붕 모델은 박람회장 건물과 농촌 경관을 연결하며 지속 가능성을 높임
- 녹색 지붕은 도시 열섬 완화, 생물 다양성 증진, 에너지 절감 효과를 제공하며, 지역 전력 공급과 기후변화 대응에 기여함

그림 60. Messe Stuttgart 와 보쉬 주차장에 설치된 태양광 녹색지붕의 모습

② Løren skole, Oslo (로렌 스콜레, 오슬로)

·개요

- Løren skole는 노르웨이 오슬로에 위치한 친환경 초등학교로, 지속가능성을 중심으로 설계된 현대적 건축물을 특징으로 함. 에너지 효율성을 극대화하고, 학생들에게 친환경 교육 환경을 제공하기 위해 다양한 지속가능 기술을 통합함
- 태양광 시스템과 녹색 지붕이 결합된 설계를 통해 에너지 효율성을 높이는 동시에, 단열 강화와 생태적 기능을 지원하며, 학생들에게 자연과 지속가능성에 대한 교육적 가치를 제공함

그림 61. Løren skole 지붕에 설치된 수직 양면형 태양광 모듈과 녹색지붕

·태양광 시스템 설계 및 효율성

- 200W 출력의 수직형 태양광 장치 1,242개로 구성되었으며, 전체 설비 출력은 약 44.2kWp로 연간 약 42,400kWh의 에너지를 생산함
- 태양광 패널은 남동쪽으로 90° 회전하여 배치되어, 학교의 일일 에너지 수요와 생산을 최적화하도록 설계됨
- 기존 평지 지붕의 태양광 시스템보다 20~30% 더 높은 특정 수확량을 달성하며, 겨울철 눈 반사를 활용해 에너지 생산량을 증대함

·녹색 지붕과 건물 단열

- 녹색 지붕은 건물의 단열을 강화하고, 강우량 관리 및 생태계 지원 기능을 수행함
- 생태적 가치 외에도 도심 속 자연을 경험할 수 있는 공간을 제공, 학생들에게 지속가능한 환경을 교육하는 데 기여

▪겨울철 에너지 생산의 특징

- 수직형 태양광 패널은 겨울철 눈의 높은 반사율을 활용해 더 많은 에너지를 생산하며, 눈으로 덮이는 면적이 적어 겨울철 성능이 우수함
- 태양광 모듈의 효율적인 배치로 계절적 변화에도 안정적인 에너지 공급이 가능하도록 설계됨

▪지속가능 건축과 교육적 가치

- 태양광을 결합한 녹색지붕은 단순한 에너지 생산 역할을 넘어, 환경 친화적 건축의 상징이자 지속가능성의 중요성을 학생들에게 교육하는 플랫폼으로 활용됨
- 친환경 설계를 통해 도심 속에서 자연과 지속가능성을 경험할 수 있는 독창적인 교육 환경을 제공함

연계가능 기법

코드	계획기법
D-1	신선한 공기통로를 고려한 녹지 및 수공간 네트워크(Green-Blue Network)
D-2	자연기반(NbS) 녹지공간(면적) 확대 및 조성
S-2	기후친화적(Climate-friendly) 보행공간 조성
B-1	기후친화적 건축물 외관 녹화 조성
B-3	패시브 요소를 활용한 건물 외부공간 쿨링효과 조성

기상재해 연관성

폭염	폭우	가뭄
●	●	○

●:강, ◎:중, ○:약

적용특성

- 어린이 및 노약자는 물리적 환경에 민감하므로 취약계층과 관련된 건물에 태양광 패널을 설치할 때 패널이나 설비로 인한 사고를 방지하기 위해 안전 울타리를 설치하고, 설치 이후에도 전기 관련 설비에 이들이 접근하지 못하도록 물리적 조치를 취함
- 옥상녹화와 태양광 발전설비를 분리 설치하여 일부 옥상을 휴식 공간으로 사용할 경우, 어린이와 노약자가 전기 설비에 접근하지 못하도록 설계적 조치를 취하고 전기시설의 가림과 마감을 안전하게 시행함
- 태양광 패널은 반사광이나 열 축적을 유발할 수 있어 어린이와 노약자에게 열사병과 같은 건강문제를 야기할 수 있으므로, 취약계층 관련 시설 및 인근에 패널 설치 시 반사광을 줄이는 코팅을 적용하거나 주변 식물을 통해 그늘을 제공하여 냉각 효과를 강화함
- 저소득층은 대체로 폭염 시 에어컨 사용이 제한적일 수 있어 주거지의 열섬현상에 매우 취약하므로, 태양광을 결합한 녹색지붕은 냉각 효과와 그늘을 제공하며, 단열 기능을 통해 장기적인 에너지 비용을 상당히 낮출 수 있으므로 적극적으로 적용을 권장함
- 공공 건물 및 공공 시설에 설치된 태양광을 결합한 녹색지붕에서 생산된 에너지 혜택이 특정 계층에만 집중되지 않도록, 저소득층과 같은 취약계층에도 전기 요금 절감 혜택이 골고루 적용될 수 있도록 함. 이를 위해 지방자치단체는 전력 공급 방식을 설계하고 에너지 사용 패턴에 맞춘 요금 제도를 도입하는 방안을 고려하도록 함
- 태양광을 결합한 녹색지붕에서 생산된 전력을 지역 단위로 관리하여, 취약계층이 에너지 혜택을 더 효과적으로 받을 수 있도록 지역별 에너지 공유 플랫폼을 설계하는 방안을 제안함
- 저소득층 주거지에 태양광을 결합한 녹색지붕 설치 시 정부나 지자체 차원의 재정적 지원을 확대하고, 취약계층 대상의 에너지 교육 프로그램을 통해 에너지 절약 및 효율적인 사용을 돕도록 함

참고자료

- gro, 2024, The Gro Biosolar best practice design guide
- https://www.optigruen.de/systemloesungen/solargruendach/uebersicht-solargruendach
- https://zinco.ch/solar
- https://www.overeasy.no
- https://greenrooftechnology.com/green-roof-finder
- https://www.solargardenroof.com/innovation.html#Solargarden_c
- https://nfgi.no/wdk-listing/loren-skole

관련 법 및 지침 등	- 건축법 - 에너지법 - 전기사업법 - 환경정책기본법 - 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법 - 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 - 분산에너지 활성화 특별법 - 농촌공간 재구조화 및 재생지원에 관한 법률 - 태양광 설비의 설치 및 관리 등에 관한 조례 등 (각 지자체)
활용·연계 가능 관련 자료	- '25년도 취약지역 생활여건 개조사업 가이드라인, 2024, 농림축산식품부, 지방시대위원회 - 친환경 건축물 인증기준(G-SEED), 국토교통부 - 옥상녹화와 태양광 발전설비 병행 설치 및 유지관리를 위한 가이드라인, 2022, 국토교통부, 한국건설기술연구원 - (기타) 서울시 건축물 태양광 발전시설 설치 가이드라인

BOX. 회복력 있는 커뮤니티를 위한 녹색지붕

- 녹색 지붕은 도시의 기후위기 적응과 지속 가능성을 위한 핵심 요소로, 열섬 완화, 에너지 절약, 빗물 관리 등 여러 방면에서 효과를 발휘하고 있으며 많은 도시와 국가에서 녹색 지붕 설치를 의무화하거나 장려하며, 그 잠재력을 증명하고 있음

·녹색 지붕의 주요 효과

- 에너지 절약 : 녹색 지붕은 단열 및 냉각 효과로 에어컨 사용량을 줄이며, 한 달 최대 7.7%의 에너지 소비 절감 효과를 제공함 (Alilkhanova et al., 2024)
- 도시 열섬 완화 : 서울의 연구에 따르면, 녹색 지붕은 여름철 도시 평균 온도를 약 1℃ 낮추고, 에너지 수요를 최대 8% 절감할 수 있음
- 우수 관리 : 빗물을 흡수하고 유출을 조절해 홍수 위험을 줄이며, 산성비를 중화해 폭우 증가에 대비하는 전략으로 활용 가능함 (Raimondi 및 Becciu, 2021)
- 생물 다양성 증진 : 녹색 지붕은 새와 곤충의 서식지를 제공하며, 도심 생태계를 복원하고 건강을 증진함 (Urbanscape, 2021)
- 대기질 개선 : 녹색 지붕의 식물이 오염물질을 흡수하고 산소를 방출해 도시 공기질을 개선함 (Xie et al., 2024)

·글로벌 사례에서 배우는 교훈

- 토론토 : 신규 건물에 녹색 지붕 설치를 의무화하여 기후위기 적응과 환경 복원을 동시에 달성한 대표적 사례
- 코펜하겐 : 녹색 지붕 정책을 통해 도시 폭우 관리 및 생물 다양성 증진에 성공적으로 기여

·녹색 지붕 연구 사례

- 세덤 식물의 효과 : 연구에 따르면 세덤 지붕은 일반 지붕보다 온도를 약 7℃ 낮추며, 일년생 식물 혼합 지붕보다 냉각 효과가 1.5℃ 더 뛰어남 (Schindler et al., 2019)
- 밀도 높은 도시 환경 : 밀집된 도심 지역에서 녹색 지붕은 열에 취약한 계층을 보호하고, 공간이 부족한 지역에서 효과적으로 적용 가능 (Sang et al., 2022)

·적용포인트1. 정책과 인센티브 활용

- 세제 혜택, 보조금 지원, 규제 완화 등을 통해 녹색 지붕 설치를 장려함
- 공공 건물(학교, 병원 등)을 우선 대상으로 녹색 지붕 설치를 의무화하고, 이를 민간 건축물로 확대하는 정책을 도입함

·적용포인트2. 지역 맞춤형 설계와 대중 참여

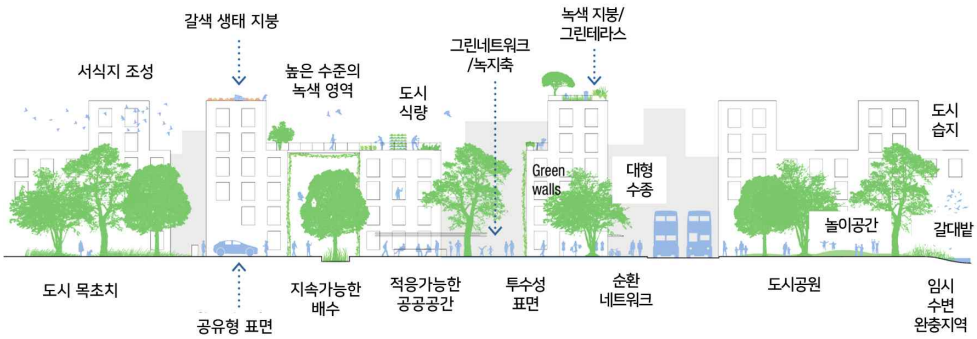
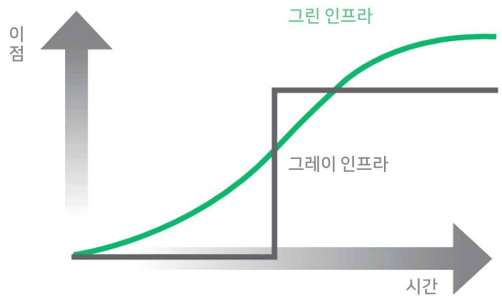
- 지역의 기후와 환경 조건에 맞는 식물을 선택하고 설계하여 최적의 효과를 달성하도록 함
- 대중 인식 캠페인과 교육 프로그램을 통해 녹색 지붕의 이점을 홍보하고 지역 주민의 참여를 유도함

·적용포인트3. 다양한 협력과 공유

- 건축사, 엔지니어, 생태학자 등 다양한 전문가들과 협력해 녹색 지붕 설계와 설치를 진행하며, 유지 관리 방안을 마련함
- 녹색 지붕 설치와 운영 데이터를 분석하여, 다른 지역에 확장 가능한 모델로 공유함

·적용포인트4. 지속가능한 도시 설계의 일환

- 녹색 지붕을 공공 건물, 상업 건물, 학교 등 다양한 공간에 적용해 열섬 완화와 생태적 건강 증진을 동시에 달성하도록 함
- 도시 회복력을 높이고, 기후변화의 영향에 대비할 수 있도록 정책적으로 지원함

공간단위	건물(Building)
코드/기법	B-3. 건물 외부 패시브 요소를 활용한 쿨링효과 조성
개요	**·건물 외부 패시브 요소 개념** - 건물 외부 패시브 요소는 인공적인 에너지 소비 없이 자연의 힘으로 냉각 효과를 제공하는 기술을 뜻함 - 대표적으로 차양, 외벽 식재(그린 월), 자연 환기 설계 등이 포함되며, 이는 태양열 차단, 공기 순환, 온도 조절 등의 효과를 통해 건물의 에너지 소비 및 부하를 줄이고 지속가능성을 높이는 데 기여함 **·기후 보호와 에너지 효율 개선** - 건물에서 사용하는 에너지를 줄이는 것은 기후변화 대응의 핵심 과제임 - 외벽 단열과 태양광 에너지와 같은 기술을 활용하고, 기존 및 신축 건물을 통합적으로 개선하여 에너지 효율을 극대화해야 함 - 이러한 노력은 단순히 에너지를 절약하는 데 그치지 않고, 도시 경관 보존 및 지속가능한 에너지 전환으로 이어짐 **·도시 기후위기 적응과 열섬효과 완화** - 건물 외부 패시브 기술을 적용하면 여름철 냉방 비용을 줄이고 도시 환경을 개선할 수 있음 - 녹지를 활용한 기후위기 적응 설계는 지역의 기후 균형을 회복하고 폭염, 집중호우 등 이상기후에 대응하는 도시 공간을 조성함
주요내용	**·건축물의 기후 변화 대응** - 폭우, 홍수 같은 기후 위기에 대비해 녹색 지붕, 침투 도랑, 배수 시스템을 적용해 건물을 보호 - 물이 넘칠 경우를 대비한 배수 시스템을 구축하고, 지하실을 최소화하며 유해 물질을 안전하게 보관해 피해를 줄임 - 건물 주변에 배수 설계와 물 저장 시스템을 통합해 기반 구조의 안전성을 강화  그림 62. 건물 외부 그린 인프라 **·도시 녹지와 스펀지 도시 모델** - 열과 가뭄에 강한 나무를 심고 빗물을 저장·재활용할 수 있는 녹지 공간을 만들어 기후 회복력을 강화 - 거리와 보도의 빗물을 자연적으로 흡수하는 시스템을 적용해 도시의 기후위기 적응 능력을 높임 - 지방자치단체는 다양한 수종 선택과 기후위기 적응 계획을 통해 도시의 장기적 회복력을 높임  그림 63. 그린 및 회색 인프라의 특성 : 시간 경과에 따라 그린 인프라는 회색 인프라와 대조적으로 더 많은 이점을 제공함

·녹화 기술과 열섬효과 완화

- 건물 외벽과 지붕에 식물을 심어 그늘을 만들고 온도를 낮추는 기술로 열섬효과를 완화
- 녹화된 건물은 냉방 에너지를 줄여 탄소 배출량 감소 효과를 가져옴
- 지역 기후에 맞는 식물을 선택하고 유지·관리 체계를 구축해 기술의 지속 가능성을 확보

·그린 인프라와 지속 가능한 도시 설계

- 기존 콘크리트 중심의 인프라 대신 물을 흡수·저장·재활용하는 그린 인프라를 도입해 도시 생태계를 복원
- 자연 배수 시스템을 도입해 폭우 시 물의 흐름을 조절하고 공공 공간으로서의 기능도 제공
- 그린 인프라는 비용 절감, 생태 복원, 공공 공간 창출을 통해 환경적·사회적 가치를 높임

관련사례

① The Social Spine, Copenhagen (소셜 스파인, 코펜하겐)

·개요

- 소셜 스파인은 Øresundskollegiet(외레순드 대학 기숙사)에서 진행된 녹색 변형 프로젝트로, 낡은 주거 환경을 기후적, 사회적, 지속 가능성을 통합하는 공간으로 전환하고자 함
- 약 1,500명이 거주하는 스칸디나비아 최대 규모의 학생 주거 단지로, 기존 거주자와 사회적 취약계층을 포함한 새로운 거주자 간의 사회적 통합과 지속 가능한 생활환경 조성을 목표로 함

그림 64. 프로젝트 추진 이전과 이후의 모습

·녹색 지붕과 옥상 테라스의 전환

- 기존 회색 콘크리트 옥상 테라스를 160m 길이의 녹색 공간으로 변모, 온실, 학습 공간, 야외 주방, 잔디밭, 커뮤니티 공간 등 다양한 용도로 활용할 수 있는 다기능 공간 조성
- 첫 번째 단계로 1,470m²의 녹색 테라스를 변형하여 350개 이상의 나무, 관목, 덩굴을 심음. 이 식물들은 종이 다양하고 동물과 곤충의 서식지 및 식량원을 제공하며 생태적 균형을 유지함

·사회적 통합과 협력적 설계

- 주민 참여를 통해 사용자 중심의 설계를 진행, 기존 거주자와 사회적 취약계층을 포함한 새로운 거주자가 상호작용할 수 있는 공용 공간 마련
- 단절된 블록 구조를 연결하여 커뮤니티 중심의 설계 실현. 이를 통해 주민들 간의 교류와 상호작용을 촉진하며, 사회적 지속 가능성을 증대

그림 65. The Social Spine 의 공간계획도 및 실제 구현 모습

·지속 가능한 자원 활용

- 기존 콘크리트 타일을 업사이클링하여 새로운 타일로 재활용함으로써 자원 낭비를 최소화하고 환경 영향을 줄임
- 식물은 관리가 적게 필요한 내구성 높은 품종으로 구성, 유지 관리 비용 절감 및 장기적인 경제적 효율성 확보

·기후위기 적응 및 열섬효과 완화

- 옥상 테라스와 녹색 지붕은 증산작용과 그늘 제공을 통해 열섬효과를 완화하고, 도시 미기후를 개선하는 역할 수행
- 녹지 공간은 폭우 시 물을 흡수하고 천천히 방출함으로써 배수 시스템의 과부하를 줄이고 기후변화에 따른 홍수 피해를 완화

② Umweltcampus Birkenfeld (환경캠퍼스 비르겐펠트)

·개요

- 비르겐펠트 환경캠퍼스는 약 80여 개국에서 온 2,000명의 학생과 직원들이 학제 간 협력을 통해 지속 가능한 솔루션을 개발하는 유럽 내 선도적인 교육 및 연구 기관으로, 생태적, 경제적, 기술적, 사회적 문제를 통합적으로 분석하고 해결책을 제시함
- 환경 및 지속 가능성을 중심으로 설계된 최첨단 건물과 시스템 기술을 통해 에너지 효율성과 기후위기 적응 능력을 극대화하며, 지역 및 글로벌 파트너십을 강화하는 역할을 수행함
- 2023년 UI GreenMetric 세계 대학 지속 가능성 평가에서 독일 1위, 글로벌 3위를 기록하며 지속 가능성과 기후위기 적응의 모델로 국제적 인정을 받음. 이 캠퍼스는 신재생 에너지를 기반으로 에너지 소비를 줄이고, 생태적 설계를 통해 환경 영향을 최소화함
- 태양광 발전, 태양열 에너지, 녹색 지붕, 조명 제어 시스템 등을 통합한 설계를 통해 기후변화에 대응하며, 'Blue-Green' 개념을 적용한 녹지 공간은 빗물 관리 및 도시 열섬 완화와 같은 다각적인 기후위기 적응 효과를 제공함

그림 66. Umweltcampus Birkenfeld 전경

·지속 가능한 건축과 에너지 최적화

- 태양광 발전, 태양열 에너지, 녹색 지붕, 조명 제어 시스템을 결합하여 건물의 에너지 소비를 줄이고 효율성을 극대화함
- 남향 단열재는 겨울철 난방 요구량을 줄이고, 북향 투명 지붕은 자연 채광을 통해 조명 에너지를 절감함
- 여름철 태양 보호 시스템은 직사광선을 차단하고 확산광을 실내로 제공해 과열을 방지

·녹지와 물 관리의 통합

- 건물 간 녹지와 지붕 녹화를 통해 빗물을 침투, 증발, 저장하며, 도시의 물 관리와 열섬효과 완화에 기여함
- 'Blue-Green' 개념을 적용하여 차가운 공기를 생성하고, 주변 지역의 미기후를 개선하며 기후위기 적응력을 강화함

·열섬효과 완화 및 기후위기 적응 기술 적용

- 녹색 지붕은 증발 냉각과 그늘 제공을 통해 주변 온도를 낮추고, 에너지 소비를 줄임
- 빗물 관리 기술은 폭우 시 물의 자연적 흐름을 지원하며, 배수 시스템 과부하를 완화해 홍수 위험을 줄임

·자원 재활용과 지속 가능성 실현

- 기존 건축 자재를 재활용하여 새 자재로 업사이클링하며, 지속 가능한 설계로 환경 영향을 줄임
- 내구성이 높은 식물을 사용해 유지 관리 비용과 자원을 절감하며, 장기적으로 경제적 효과를 창출함

연계가능 기법

코드	계획기법
D-1	신선한 공기통로를 고려한 녹지 및 수공간 네트워크(Green-Blue Network)
D-2	자연기반(NbS) 녹지공간(면적) 확대 및 조성
D-3	기후위기 적응 및 완화 기능을 통합한 분산형 빗물 관리와 스폰지 시티 원칙
D-4	홍수와 폭염을 고려한 블루-그린 생태 수변공간 조성
S-1	자연기반(NbS) 쿨링(Blue+Green) 도로 공간 조성
S-4	도로공간과 녹지공간의 입체화
B-1	기후친화적 건축물 외관 녹화 조성
B-2	태양광을 결합한 녹색지붕 조성
B-4	건물 패시브 요소 및 창호
B-5	열 스트레스 제로형 건물환경 조성

기상재해 연관성

폭염	폭우	가뭄
●	◎	◎

●:강, ◎:중, ○:약

적용특성

- 취약계층이 밀집해 있는 거주 구역, 특히 고온에 민감한 노인층과 유아, 어린이가 머무는 공공주택 단지, 보육시설, 복지관 등에 녹지와 수목을 우선 배치함. 예를 들어, 수종을 다양화하여 여름철에는 충분한 그늘을 제공하고 겨울철에는 일조권을 방해하지 않도록 설계하는 것이 필요함
- 주거 지역 내 다양한 크기의 녹지를 조성하여 취약계층이 쉽게 접근할 수 있도록 하고, 우수 집수를 통해 재사용하는 시스템을 구축하여 물 부족을 최소화하도록 함
- 사회적 약자가 많이 거주하는 지역이나 복지시설에 물 저류시설을 설치하여 비상시 자원으로 활용할 수 있도록 계획함
- 노후 주택이나 취약계층이 주로 이용하는 건물에서는 외관 녹화와 지붕 녹화를 통해 외부 기온 상승에 의한 영향을 줄임. 고온에 취약한 이들을 보호하기 위해 적절한 그늘과 증발 냉각을 제공하면서도 안전한 관개 시스템과 유지보수가 가능한 구조로 설계함

참고자료

- Urban Land Institute, 2022, Nature Positive and Net Zero: The Ecology of Real Estate
- https://wmo.int
- Freie Hansestadt Bremen, 2024, Bremer Haeuser im Klimawandel – Schutz vor Starkregen und Hitze
- https://www.spektrum.de/news/klimaschutz-weisse-staedte-kompensieren-kohlendioxidemissionen/1040063
- https://e360.yale.edu/features/urban-heat-can-white-roofs-help-cool-the-worlds-warming-cities
- https://www.berlin.de/sen/uvk/umwelt/wasser-und-geologie/regenwasser/regenwasserbewirtschaftung
- https://www.arkilab.dk/projects/ok-roof-terrace-2/#next
- https://www.sla.dk/cases/the-social-spine
- https://www.umwelt-campus.de/en

관련 법 및 지침 등

- 건축법
- 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률
- 도시공원·녹지의 유형별 세부기준 등에 관한 지침 (국토교통부훈령 제1808호)
- 도시숲·생활숲·가로수 조성·관리 기준 (산림청고시 제2023-48호)
- 빗물관리 조례 및 빗물관리시설 설치에 관한 조례 등 (각 지자체)

활용·연계 가능 관련 자료

- '25년도 취약지역 생활여건 개조사업 가이드라인, 2024, 농림축산식품부, 지방시대위원회
- 기후대응 도시숲 등 조성·관리 현장 실무가이드, 2024, 산림청, 국립산림과학원
- 도시바람길숲 조성·관리 실무가이드, 2022, 산림청

공간단위	건물(Building)
코드/기법	B-4. 패시브 요소 기반 건물환경

개요

·제로에너지 건축과 패시브 설계의 필요성

- 제로에너지 건축은 건물의 에너지 요구량을 최소화하고, 재생 가능 에너지 기술을 활용하여 건물 운영 단계에서 에너지 소비와 생산의 균형을 맞추는 것을 목표로 함. 이를 위해 설계 초기 단계부터 고성능 단열, 공기 밀폐 설계와 같은 패시브 설계를 적용하고, 태양광 등 재생 가능 에너지 시스템을 통합하는 것이 중요함
- 에너지 성능을 높이기 위해 신축 건물에는 엄격한 에너지 효율 기준을 적용하고, 기존 건물에는 현대화된 기술과 설계를 통해 난방 및 냉방 효율을 강화하여 운영 에너지 사용량을 줄임

·에너지 효율성을 높이는 패시브 요소의 중요성

- 단열 성능 개선과 밀폐된 건물 외피는 열 손실을 줄이고 난방 및 냉방 요구량을 감소시켜 에너지 소비를 획기적으로 줄이는 핵심 요소임. 이러한 설계는 내부 온도를 유지하며 연중 일관된 에너지 절감을 가능케 함
- 태양광 시스템과 히트펌프는 지속 가능한 에너지 공급을 지원하며, 지역 특성에 따라 조합해 적용하면 배출량을 줄이고 재생 가능 에너지를 최대한 활용할 수 있음

그림 67. 건물 내부 요소와 연계된 주변의 패시브 요소

주요내용

·패시브 하우스 설계의 역사와 발전 배경

- 패시브 하우스는 1970년대 에너지 위기 속에서 에너지 소비를 줄이기 위한 필요성으로 시작되었으며, 독일의 물리학자 볼프강 파이스트와 스웨덴의 보 아담슨의 연구에 기반하여 발전함. 이들은 태양광 건축 원리를 중심으로 단열, 밀폐, 환기 시스템의 중요성을 강조함
- 패시브 하우스 설계는 에너지 효율성을 높이며 난방 요구를 크게 줄이는 동시에 실내 공기질을 개선하여 쾌적한 생활환경을 제공하는 것을 목표로 함

·에너지 절약과 생활환경 개선을 위한 핵심 요소

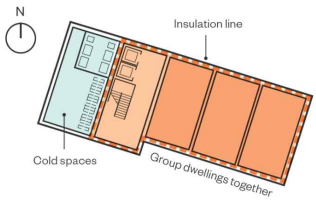
- 고성능 단열재를 사용해 벽, 바닥, 지붕을 철저히 단열하여 열교를 방지하며, 단열의 연속성을 유지함. 이는 난방 및 냉방에 소모되는 에너지를 줄여 비용을 절감하고 내부 온도를 안정적으로 유지함
- 기계식 환기 시스템은 필터링된 신선한 공기를 지속적으로 공급하며, 오염물질과 습기를 제거해 실내 공기질을 향상시킴. 열 회수 시스템을 통합하여 배기 공기의 열을 회수해 난방 에너지를 절약함

·지속 가능한 건축으로서 패시브 하우스의 장점

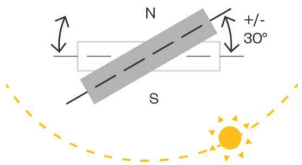
- 패시브 하우스는 기존 건물 대비 에너지 소비를 최대 90% 절감하며, 탄소 배출을 줄이는 동시에 난방 및 냉방 비용을 크게 낮출 수 있음. 이러한 설계는 일관된 실내 온도를 유지하여 거주자에게 쾌적함을 제공함
- 고품질 자재와 밀폐 설계로 건물 내구성을 강화하며, 습기와 곰팡이의 발생을 방지해 유지보수 비용을 줄임. 이러한 설계는 장기적으로 환경적·경제적 이점을 동시에 제공함

·패시브 건축 기술의 유연성과 확장 가능성

- 태양광 패널을 활용해 전력과 온수를 자체적으로 생산하며, 지열 시스템과 결합해 에너지 자립형 건물을 구현할 수 있음. 지역별 기후 조건에 따라 '패시브 하우스 플러스'나 '프리미엄' 모델로 확장 가능함
- 오래된 건물의 경우 완전한 패시브 하우스로 전환은 어렵지만, 고성능 단열재, 밀폐 설계, 환기 시스템 등 일부 구성 요소를 단계적으로 적용하여 에너지 효율성을 높이고 환경적 영향을 줄일 수 있음



- 매장, 쓰레기 보관소, 자전거 보관소와 같은 난방이 필요 없는 공간은 함께 배치하고 열 외피에서 완전히 분리하여 열 손실을 방지함
- 난방 공간은 그룹화하여 밀집 배치함으로써 열 관리 효율을 높이고, 에너지 절약 효과를 극대화함
- 열선과 기밀선은 설계 초기 단계부터 반영하여 열 손실을 줄이고 건물의 에너지 효율을 최적화함



- 북반구에서는 겨울철 태양열 활용 극대화를 위해 남향 외벽 설계를 우선시하며, PHPP 기준에 따라 남향 각도는 +/- 30도 이내로 설정함
- 창문 위치와 생활 패턴을 최적화하여 하루 종일 태양의 경로를 최대 활용하고, 겨울철 낮은 각도의 태양열을 효과적으로 흡수함
- 낙엽수를 활용해 여름에는 그늘을 제공, 겨울에는 햇빛을 투과시켜 태양열 이용을 극대화하도록 식물의 종류와 위치를 신중히 계획함

그림 68. 패시브 요소 최적화를 통한 에너지 효율적 건물 설계

관련사례

① Passive House district of Bahnstadt, Heidelberg (패시브 주거단지 반슈타트, 하이델베르크)

·개요

- 독일 하이델베르그의 반슈타트 지구는 전적으로 패시브 하우스 표준을 사용해 건설된 세계 최대 규모의 패시브 하우스 개발 지역으로, 2027년 완공 예정
- 116헥타르 부지에 주거 및 업무 공간이 혼합된 구조로 조성되었으며, 현재까지 75,000㎡ 이상의 주거 공간과 1,260세대가 완공되었고, 이 프로젝트는 2014년 패시브 하우스 상(Passive House Award)을 수상함

그림 69. Bahnstadt 지구 내 다양한 패시브 기반 요소

·패시브 하우스 설계 기준과 성능

- 반슈타트의 난방 소비량은 15kWh/(m²a) 미만으로, 기존 신축 건물 대비 약 80%의 에너지 비용 절감 효과를 달성함
- PHPP(PassivHaus Planning Package) 소프트웨어를 통해 열 성능, 난방 및 냉방 수요, 공기 누출, 태양열 활용 등을 분석하고 설계에 반영함

·에너지 성능의 실제 결과와 기대치 일치

- 실제 소비량(14.9kWh/(m²a))이 설계 값과 거의 일치하며, 사용자 행동 및 날씨의 영향에도 높은 에너지 효율을 유지함
- 패시브 하우스 연구소의 에너지 모니터링 데이터는 신뢰성과 재현 가능성을 입증하며, 설계와 실측 결과 사이의 편차가 매우 작음

·프로젝트의 규모와 도시 재생의 영향

- 반슈타트는 이전 화물역 부지를 에너지 효율적이고 지속 가능한 도시로 재개발하여, 주거와 업무 기능이 혼합된 도시 공간을 조성함
- 하이델베르크 주민들에게 새로운 보금자리를 제공하며, 에너지 효율적 주거지로서 지역사회의 지속 가능성을 강화

·미래 지향적 설계와 글로벌 표준화

- 패시브 하우스 표준의 적용은 난방 에너지와 비용 절감 효과를 입증하며, 전 세계적으로 재현 가능한 에너지 절약 모델을 제시함
- 지속가능한 건축과 도시 설계의 글로벌 모범 사례로 자리 잡아 향후 유사 프로젝트에 적용 가능성을 높임

② Erste ökologische Wohnsiedlung im Passivhausstandard, München (패시브하우스 표준의 최초 생태주거, 뮌헨)

·개요

- 프린츠 오이겐 파크(Prinz Eugen Park)는 고에너지 패시브 하우스 표준과 목조 건축을 기반으로 설계된 생태 주거 단지로, 재생 가능한 원료와 패시브 하우스 인증을 통해 높은 생태적 및 지속 가능한 기준을 달성함
- 대규모 공원으로 둘러싸인 소규모 도시 주거 클러스터로 설계되어, 주민들이 공유하는 중앙 공간과 다양한 주거 유형을 조화롭게 통합함

·패시브 하우스와 목조 건축의 조화

- 프린츠 오이겐 파크는 재생 가능한 원료(Nawaros)를 사용하여 건축 자재를 제작하며, 패시브 하우스 인증을 통해 에너지 효율성과 환경 지속 가능성을 보장함
- 능동형 난방 시스템 없이도 열 손실 방지와 자유 열 획득을 최적화하여 쾌적한 실내 온도를 유지하며, 에너지 소비량은 15kWh/(m²a) 미만으로 기존 건물 대비 약 80% 낮음

·현대적이고 지속 가능한 디자인 철학

- 건축가들은 기후변화에 대응하는 기후 친화적 개념을 설계에 반영하여, 생태적·경제적 지속 가능성을 모두 충족함
- 현대적인 디자인을 중시하며, 기술적으로 최적화된 비용 효율적 건축을 통해 품질을 보장함

·도시 조경과 주거 클러스터의 계획

- 대규모 공원으로 둘러싸인 주거 단지는 중앙 위치 공간을 공유하며, 주민들이 소통할 수 있는 작은 마을 광장과 다양한 활동 공간을 제공함
- 단지 북쪽의 정원마당 주택과 동쪽의 주택가 연결은 주민 편의성과 자연환경의 조화를 극대화함

·자연과 건축의 융합

- 모든 라운지는 바닥에서 천장까지 이어지는 유리창과 개방형 창문을 통해 단층 현관의 녹색 지붕 및 개별 정원과 연결됨
- 녹색 지붕과 정원 공간은 자연 채광과 쾌적한 환경을 제공하며, 주민들에게 심리적 안정감과 에너지 효율적인 생활 환경을 동시에 제공함

그림 70. Prinz Eugen Park 지구의 고에너지 패시브 목재 건물

연계가능 기법

코드	계획기법
D-1	신선한 공기통로를 고려한 녹지 및 수공간 네트워크(Green-Blue Network)
D-2	자연기반(NbS) 녹지공간(면적) 확대 및 조성
D-3	기후위기 적응 및 완화 기능을 통합한 분산형 빗물 관리와 스폰지 시티 원칙
S-1	자연기반(NbS) 쿨링(Blue+Green) 도로 공간 조성
B-1	기후친화적 건축물 외관 녹화 조성
B-2	태양광을 결합한 녹색지붕 조성
B-3	건물 외부 패시브 요소를 활용한 쿨링효과 조성
B-5	열 스트레스 제로형 건물환경 조성

기상재해 연관성	폭염	폭우	가뭄
	●	◎	○

●:강, ◎:중, ○:약

적용특성

- 고성능 단열재를 사용하여 여름철 과도한 열 유입을 차단함. 특히, 어린이, 노약자, 열에 민감한 질환을 가진 취약계층이 거주하는 지역의 건물에 고단열 외피를 적용하여 에너지 효율 상승 및 실내 온도 변화를 최소화할 수 있음
- 단열 성능을 강화하여 냉난방 에너지 및 전기 요금을 낮추며, 경제적으로 취약한 계층의 에너지 비용 부담을 줄이는 데 기여할 수 있도록 함
- 밀폐된 구조가 실내 습도 조절에 기여할 수 있도록 설계하며, 습기 문제를 해결하여 저소득층 주거지에서 곰팡이 발생 등을 예방함. 이를 통해 공기질을 유지하고 건강한 주거환경을 제공함
- 취약계층 거주 건물에 태양광 패널 설치 시 초기 설치 비용 부담을 줄이기 위해 정부나 민간 차원의 지원 프로그램을 마련함
- 물 절약형 샤워기와 수도꼭지 설치를 통해 가뭄에 대비하고 수도 비용을 절감할 수 있도록 하며, 이러한 설비의 초기 비용을 낮출 수 있도록 공공 지원을 뒷받침함
- 자연 채광을 활용한 실내 온도 조절 설비를 고려하고, 창문 및 건물 외피 설계를 최적화하여 에너지 절감과 실내 온도 조절이 가능하도록 함
- 기후친화적 보행 환경을 조성하여 차량을 이용하기 어려운 취약계층의 이동성을 높이고, 대중교통과의 연계를 강화하여 이동 편의성을 제공함. 또한, 단지 내 녹지와 결합된 커뮤니티 공간을 마련하여 취약계층이 소외되지 않고 지역사회와 소통할 수 있도록 설계함

참고자료

- Urban Land Institute, 2022, Nature Positive and Net Zero: The Ecology of Real Estate
- https://www.uhrig-bau.eu/lexikon/klimaneutrale-gebaeude
- Passivhaus Institut, 2021, Gebäudekonyepte für heisse Sommer: Schwepinkt Passivhaus Nichtwohngebäude
- https://www.dwd.de/DE/forschung/klima_umwelt/klimawirk/stadtpl/virt_stadt/virt_stadt_node.html
- https://passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm
- https://www.novo-design.co.uk/blog
- https://www.studysmarter.de/schule/geographie/nachhaltigkeit/albedo
- https://www.heidelberg-bahnstadt.de/953958
- https://cradle-mag.de/artikel/oekologische-mustersiedlung-im-passivhausstandard.html
- https://www.prinzeugenpark.de/home.html

관련 법 및 지침 등

- 녹색건축물 조성 지원법
- 건축법
- 에너지이용 합리화법
- 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증에 관한 규칙
- 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증 기준
- 에너지절약형 친환경주택의 건설기준
- 녹색건축 인증에 관한 규칙
- 녹색건축물 조성 지원 조례 등 (각 지자체)

활용·연계 가능 관련 자료

- 제로에너지건축물 인증 기술요소 참고서, 국토교통부, 한국에너지공단
- 공공건축물 그린리모델링 설계 가이드라인, 2020, 국토교통부, 한국토지주택공사

공간단위	건물(Building)
코드/기법	B-5. 열 스트레스 제로형 건물환경 조성
개요	

·도시 열섬효과와 열 스트레스 문제

- 도시 밀도와 건축 자재(아스팔트, 콘크리트 등)로 인해 낮에는 열이 축적되고, 밤에는 열이 방출되지 않아 도시가 더운 상태로 유지됨
- 도시 열섬효과(UHI)는 여름철 바람이 없고 구름이 없는 밤에 최대 10℃ 온도 차이를 유발하며, 이는 도시 주민의 신체적·정신적 건강에 심각한 영향을 미침

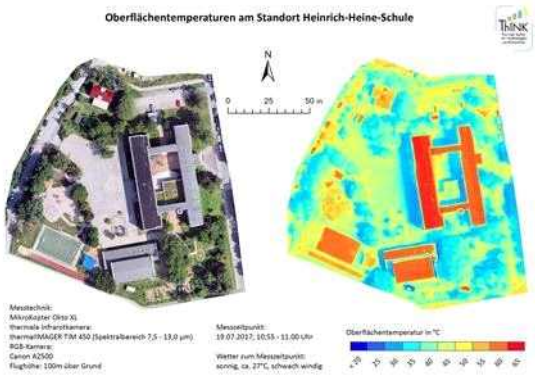


그림 71. 표면 종류에 따른 온도 차이

·폭염과 건강 문제

- 폭염은 두통, 집중력 저하, 순환계 문제, 열경련, 열탈진, 열사병 등을 유발하며, 특히 노인, 어린이, 기저질환자 등 취약계층에 영향을 미침
- 1991~2018년 43개국의 열사병 사망 연구에 따르면, 전 세계 열사병 사망자의 약 37%는 기후변화로 인한 것으로 나타났으며, 독일에서는 2018년 약 6,600명이 기후변화로 인한 폭염으로 사망함

·알베도(Albedo)와 열 관리

- 알베도는 표면의 반사율을 나타내며, 밝은 색상의 표면은 높은 알베도를 통해 빛을 반사하고 열 흡수를 줄이는 데 기여함
- 밝은 색의 정면과 반사율 높은 지붕은 열 축적을 줄이고 건물과 주변 환경을 시원하게 유지하는 효과가 있음

·녹지와 공기 순환의 역할

- 밝은 색상과 알베도 개선만으로는 한계가 있음. 녹지 공간과 수역을 추가하여 식물이 공기를 정화하고 증발 냉각을 통해 온도를 낮추는 역할을 해야 함
- 충분한 공기 순환을 위해 바람길을 확보하고, 밀집된 도시에서 열과 미세먼지가 이동할 수 있는 환경을 조성하는 것이 중요함

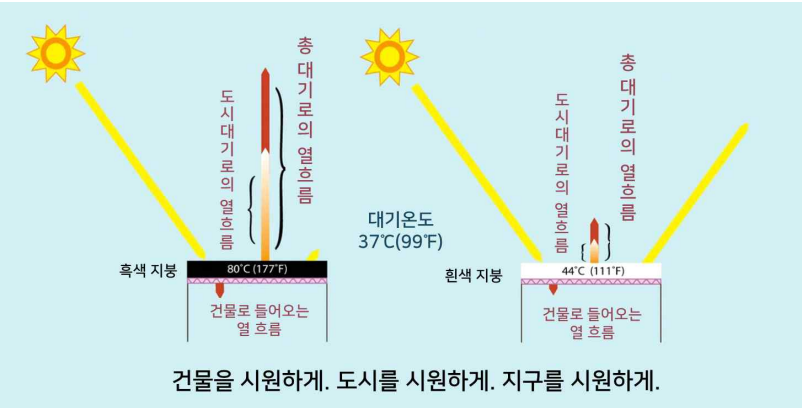


그림 72. 지붕 색상에 따른 알베도 차이

주요내용

•건물의 알베도 활용

지붕 표면의 알베도
- 일반적인 도시 건물 지붕 재료(타일, 콘크리트 등)는 알베도가 낮아 여름철 높은 열 축적을 초래함
- 알베도가 높은 재료와 페인트를 사용해 지면 근처 공기 온도를 낮추고 도시 열섬효과를 완화할 수 있음
- 특히, 넓은 지붕 면적과 낮은 건물 높이를 가진 건물에서 효과가 큼

벽면의 알베도
- 석재, 콘크리트 외벽은 낮은 알베도로 인해 주변 공기 온도를 높임
- 밝은 색의 페인트와 알베도가 높은 물질을 사용해 열 전달을 줄이고, 거리 공간의 눈부심을 방지하도록 설계해야 함

건물 밀폐 공간의 알베도
- 보도, 주차장, 도로는 알베도가 낮아 열 축적을 초래함
- 차열 포장(Cool Pavement) 및 밝은 색 아스팔트를 사용해 태양열 흡수를 줄이고 도시 온도를 낮춤

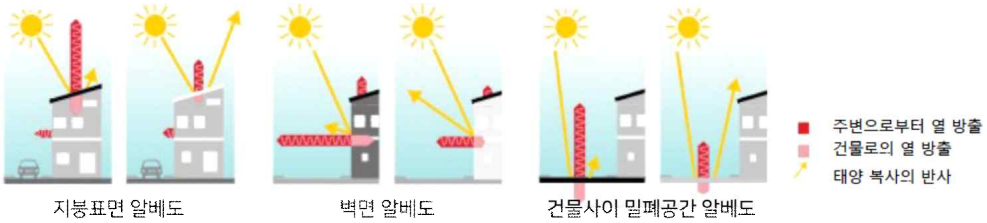


그림 73. 건물의 알베도

•녹지와 지붕 녹화

녹색 지붕
- 증발량 증가로 지역 기온을 낮추고 강수량 저장 및 하수 시스템 부담 감소에 기여함
- 지붕 면적이 넓고 건물 높이가 낮은 경우 특히 효과적이며, 생물 다양성 증진과 미기후 조정 효과를 제공함
- 정기적 유지관리와 물 주기가 필요하며, 적합한 설계로 지속 가능성을 확보해야 함

녹지 공간의 연결성
- 도시 내 열린 녹지와 휴경지를 연결하여 공기 순환 경로를 형성함으로써 도시 냉각 효과를 증대시킴
- 네트워크형 녹지는 도시 건물의 야간 냉방에도 긍정적 영향을 미침

•건물 설계와 밀도

건물 높이
- 건물 높이는 공기 흐름, 그림자 형성, 열 저장 등에 영향을 미치며, 이를 통해 낮과 밤의 기온 변화를 조정함
- 고밀도 건물 설계 시 열 저장과 방출 패턴을 고려해야 함

바닥 면적 점유율
- 도심 밀도를 높이면 열 부하 증가와 기온 변화에 영향을 미침
- 음영 효과와 바람 조건의 변화를 고려해 밀도 조정 설계를 최적화해야 함

•공원 및 수역의 기후위기 적응 역할

공원
- 공원은 나무 피복률과 면적에 따라 도심 온도 조정 효과가 달라짐
- 60% 나무 피복률 기준으로 4ha~144ha 공원을 시뮬레이션한 결과, 낮에는 차광 효과로 온도를 낮추고, 밤에는 공기 교환을 통해 시원한 공기를 유지함

수역
- 낮에는 수역이 공기 온도를 낮추는 냉각 효과를 제공하며, 수면 온도와 크기에 따라 효과가 달라짐
- 수온이 도시 표면 온도보다 높을 경우, 야간 기온 상승의 부정적 영향을 미칠 수 있으므로 설계 시 신중함이 필요함

관련사례

① Treskow-Höfe, Berlin (트레스코우-훼페, 베를린)

▪개요

- '트레스코우-훼페(Treskow-Höfe)'는 베를린 카를쇼스트(Karlshorst)에 위치한 약 27,000m² 규모의 대규모 시립 주택 프로젝트로, 이전 기술경제대학교 학생회관 부지를 재활용하여 진행됨
- 세대 간 특성을 반영하며, 다양한 인구 구성원을 포용하는 414개의 임대 아파트, 2개의 노인 아파트, 100명의 어린이를 위한 보육센터, 7개의 상업시설로 구성되어 현대 도시 재개발의 모범적 사례로 평가됨
- 개발회사 호보게(HOWOGE)는 예산을 효율적으로 활용하면서도 높은 삶의 질과 강한 공동체 정신을 갖춘 주거 환경을 조성하여, 도시 변화에 적응 가능하면서도 지속 가능한 주택 개발의 새로운 기준을 제시함

그림 74. Treskow-Höfe 단지 배치도

▪열 적응 및 녹지 조성

- 길게 늘어선 블록과 넓은 내부 녹지 안뜰은 생태적 기능과 함께 지역 주민들에게 쾌적한 여름철 휴식 공간을 제공하며, 초원, 보치아 코트, 벤치 등으로 다목적 커뮤니티 공간 역할을 함
- 녹색 지붕은 빗물 유출을 완화하고 표면 밀봉 비율을 줄여 하수 시스템의 부담을 감소시킴
- SRI(Solar Reflectance Index)가 높은 밝은 외벽 재료를 사용하여 여름철 냉방 에너지 소비를 줄이고 열 적응 효과를 극대화함

▪공간 효율성과 설계 혁신

- 건물 밀도가 높음에도 불구하고 녹지 안뜰, 개인 정원, 테라스를 설계해 생태적 지속 가능성과 공간 효율성을 모두 확보함
- 투수성 포석과 녹화된 정면은 빗물 침투를 촉진해 물 순환을 개선하고 도시 홍수 위험을 감소시킴
- 자동차는 지하 주차장으로 유도하고, 보행자와 자전거 이용자를 위한 안전하고 접근성 높은 내부 교차로를 설계해 지역 연결성을 강화함

▪커뮤니티 기반 설계

- 도심 황무지를 활용해 설계된 보육센터와 공동체 정원은 주민들에게 더위를 피할 수 있는 녹지 공간과 커뮤니티 활동 장소를 제공함
- 세입자와 지역 주민들이 단지 내 공동체 활동에 참여할 수 있는 환경을 조성하여 사회적 연결성을 증대시킴

▪기후위기 적응과 지속 가능성

- 녹지, 밝은 외관, 투수성 포석 등 다각적인 기후위기 적응 조치를 결합해 열 스트레스를 완화하고 물 민감성 도시 개발 문제에 대응함
- 초기 설계 단계에서 기후위기 적응 요소를 반영해 추가 재정 부담 없이 효율적으로 구현함

그림 75. Treskow-Höfe의 건물 및 녹지

연계가능 기법

코드	계획기법
D-1	신선한 공기통로를 고려한 녹지 및 수공간 네트워크(Green-Blue Network)
D-2	자연기반(NbS) 녹지공간(면적) 확대 및 조성
S-1	자연기반(NbS) 쿨링(Blue+Green) 도로 공간 조성
B-1	기후친화적 건축물 외관 녹화 조성
B-2	태양광을 결합한 녹색지붕 조성
B-3	건물 외부 패시브 요소를 활용한 쿨링효과 조성
B-4	패시브 요소 기반 건물 환경

기상재해 연관성

폭염	폭우	가뭄
●	◎	○

●:강, ◎:중, ○:약

적용특성

- 취약계층의 경우 여름철 폭염 시 냉방을 위한 에너지 비용 부담이 크므로, 알베도가 높은 재료를 취약계층 거주지와 공공시설의 지붕 및 외벽에 우선적으로 적용하도록 함
- 증발을 통한 열 스트레스 감소 환경을 조성하기 위해 나무와 풀이 섞인 혼합 식재를 취약지역에 시행하며, 수분 증발 효과가 지속적으로 발휘되도록 관리가 필요함
- 저소득층이 주로 거주하는 낙후된 지역의 토양 밀봉을 해제하고 녹지로 전환하여 미기후 환경을 개선하도록 함. 특히, 옥외 온도가 실내로 직접 전달되지 않도록 녹지와 개방공간을 충분히 배치하여 폭염이 실내에 미치는 영향을 줄이는 것이 중요함
- 취약계층의 거주지와 활동 지역은 좁고 열섬현상이 빈번히 발생하는 공간 형태가 많으므로, 신선한 공기의 흐름을 유입할 수 있도록 설계함
- 대형 녹지 외에 소규모 공원과 물길을 분산 배치하여 취약계층의 접근성을 높이도록 함. 이는 폭염 시 신속히 접근하여 쉴 수 있는 공간을 제공하고, 정서적 안정과 신체적 건강을 유지시키는 데 기여함

참고자료

- Stadt Zürich, 2020, Programm Klimaanpassung – Fachplanung Hitzeminderung
- https://www.klimaleitfaden-thueringen.de/rueckstrahlung-von-bau-und-gestaltungsmaterialien
- https://utopia.de/ratgeber/albedo-effekt-diese-bedeutung-hat-er-fuer-den-klimawandel_260563/
- https://www.spektrum.de/news/klimaschutz-weisse-staedte-kompensieren-kohlendioxidemissionen/1040063
- https://www.dwd.de/DE/forschung/klima_umwelt/klimawirk/stadtpl/virt_stadt/virt_stadt_node.html
- Buchholz, S., Kassmann, M, 2015, Research note. Visualisation of summer heat intensity for different settlement types and varying surface fraction partitioning. Lanscape and Urban Planning, Vol. 144, December 2015, p. 59-64
- https://e360.yale.edu/features/urban-heat-can-white-roofs-help-cool-the-worlds-warming-cities
- https://www.studysmarter.de/schule/geographie/nachhaltigkeit/albedo/
- https://www.howoge.de/immobiliensuche/neubauprojekte/treskow-hoefe.html

관련 법 및 지침 등

- 녹색건축물 조성 지원법
- 건축법
- 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증에 관한 규칙
- 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증 기준
- 에너지절약형 친환경주택의 건설기준
- 녹색건축 인증에 관한 규칙
- 녹색건축물 조성 지원 조례 등 (각 지자체)

활용·연계 가능 관련 자료

- 제로에너지건축물 인증 기술요소 참고서, 국토교통부, 한국에너지공단
- 제로에너지 공동주택설계 가이드라인, 2023, LH