GRI Issue Brief
이슈브리프

2023. 7. 13. (목)

▌작성자 : 혁신전략연구단 정대영 연구위원 (031-250-3262)
▌총 괄 : 혁신전략연구단 배영임 단장 (031-250-3156)

"기후재난, '그린인프라' 도입으로 도시 회복력 강화해야"

전 세계적으로 폭염·산불·홍수 등 이상기후 현상이 빈번하게 발생하면서 사회·경제적 피해가 증가

- (세계 현황) 올해 세계 곳곳에서 때 이른 폭염으로 관측 이래 사상 최고 온도 기록을 갈아치우거나 역대급 집중호우로 홍수가 발생하는 등 극단적인 이상기후 현상 발생
  - (폭염) 방글라데시, 인도, 라오스, 베트남 등에서 기온이 사상 최고치를 기록 → 세계평균기온 최고치 갱신(7월)
  - (산불) 캐나다 앨버타주에서는 고온의 날씨가 이어지며, 산불이 90여건 이상 발생 → 서울 면적 2배 소실
  - (가뭄) 우루과이와 아르헨티나에서는 사상 최악의 가뭄으로 식수난 → 곡물 수출 부진, 식량 부족 등
  - (홍수) 이탈리아 북부지역에서 200~500mm의 기록적인 폭우로 최악의 홍수 발생 → 13명 사망, 이재민 발생
- (우리나라 현황) 지난해 우리나라는 중부지방 집중호우와 남부지방의 심각한 가뭄, 초강력 태풍, 이상고온 등으로 인해 막대한 사회·경제적 피해가 발생해 앞으로 닥쳐올 기후재난에 대한 대비 필요

  *2023년 3월, 정부(관계부처합동)가 발간한 '2022년 이상기후 보고서'를 참조
  - 중부지방은 시간당 100mm가 넘는 집중호우로 도시 곳곳이 침수되고, 남부지방은 가뭄일수가 총 227.3일로 1,442ha에 달하는 농작물 피해를 입었으며, 예년보다 이른 열대야와 폭염으로 온열질환자가 다수 발생
  - 또한, 제11호 태풍 '힌남노'가 상륙하면서 폭우와 산사태로 11명이 사망하고, 총 2,439억원의 재산 피해 발생

올 여름, 슈퍼엘니뇨가 지구 온난화와 결합해 전례 없는 폭염과 역대급 태풍이 발생할 것으로 전망

- 최근 발생하고 있는 이상기후는 지구 온난화와 엘니뇨가 결합해 나타나는 영향으로 보는 관점이 우세
- (엘니뇨) 세계기상기구(WMO)는 올해 하반기 엘니뇨가 발생할 가능성이 크며, 지구 온도 급상승으로 이어져 세계 곳곳에서 더 극단적인 날씨와 기후 현상이 나타날 것으로 전망
  - 엘니뇨(El Niño)는 적도 열대 태평양지역 해수면 온도가 평년보다 높은 상태로 지속되는 현상*으로서 해수면 온도 상승으로 다량의 수증기가 발생하고, 거대한 상승기류를 만들어 전 지구적 기상현상에 영향

    *통상 태평양 '엘니뇨 감시구역'의 해수면 온도가 평년보다 0.5℃ 이상 높은 현상이 5개월 이상 지속되는 경우를 의미
  - 엘니뇨 최고조에 이르는 겨울철, 북반구에서는 유라시아 중·동부와 북미 서북부에서 평소보다 높은 기온을 보이고, 남반구에서는 아프리카 남서부, 호주 서부 등이 높은 기온을 보이는 경향
- (지구 온난화) UN '기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)'는 지구 온도 상승 폭이 1.5도를 넘는 경우 극단적 기상현상이 잦아지고, 이로 인한 재해·재난 위험도 높아질 것이라고 경고
  - IPCC의 제6차 평가보고서에는 최근 10년(2011-2020년) 지구 지표면 평균 온도가 산업화 이전(1850-1900년) 대비 약 1.1℃ 상승한 것으로 보고하였으며, 인간 활동이 온도 상승의 주된 원인이라고 주장
  - 또한, 강력한 온실가스 감축이 이뤄지지 않을 경우 20년 내 지구 온도가 1.5℃ 상승할 것으로 분석하고, 상승 폭이 목표를 초과하면 지구 생태계가 회복 불가능한 상황이 될 수 있다는 점을 강조
- (슈퍼엘니뇨와 지구 온난화 결합) 해수면 온도가 1.5℃ 이상 오르는 '슈퍼엘니뇨'는 극단적 이상기후를 불러올 수 있으며, 지구 온난화와 결합해 역사상 유례가 없는 기상 이변이 발생할 가능성이 높아
  - 최근 해수면 온도가 21.1℃를 넘겨 2016년 슈퍼엘니뇨 시기의 해수면 온도(21℃)를 초과한 상태로 학계에서는 현재 발달하고 있는 엘니뇨가 슈퍼엘니뇨가 될 가능성이 높을 것으로 분석(7~9월 엘니뇨 발생가능성 80%)
  - 미국 국립대기연구센터(NCAR)에 따르면, 작년 해양 열함량이 사상 최고치를 기록(전 세계 발전량의 약 100배)

도시 시스템이 홍수·가뭄·폭염 등의 기후재난에 대응하기 위해서는 '회복력있는 그린인프라' 구축 필요

- 지구온난화가 가속화되면서 **기후재난***에 의한 인명손실 및 경제적 피해가 확대되는 현 시점, **회복력(resilience)*** 관점의 도시 시스템 구축을 통한 기후 적응체제 마련이 시급

  * **기후재난 :** 기후변화로 인한 태풍, 해일, 집중호우, 고온, 가뭄 등의 이상기후 현상과 재난상황에 취약하고 준비가 불충분한 도시 시스템으로 인해 나타나는 인명손실, 경제적 피해 등을 의미

  * **회복력 :** '예측 불가능한 교란을 흡수하여 안정된 평형상태를 유지하는 시스템의 능력'으로(Holling, 1973) '기후 회복력'은 도시가 불확실한 기후재난에 대비하고 지속가능성을 유지하기 위한 개념으로 활용

- 인간 활동에 의한 기후변화는 폭염, 태풍 등 지구시스템에 대한 극단적이고 예측 불가능한 교란을 야기하고 있으며, 점차 규모와 강도가 커지고 있어 인류의 생명과 생계를 위협
  - 즉 지구시스템이 지속가능성을 지향하는 안정된 시스템이 아니라 기후변화 등 외부 교란(disturbance)으로 인해 변화될 수 있는 비선형 시스템이라는 점을 인식하고, 이에 적응하려는 전략이 필요 → 회복력(resilience)

- 회복력 관점에서 기후재난 피해를 저감하는 방안으로 **그린인프라(Green Infrastructure)*** 전략이 활용되고 있으며, 우수침투시설(홍수), 옥상녹화(폭염), 생태습지(가뭄) 등 제안

  * **그린인프라** : 도시민에게 환경친화적 활동공간을 제공하고 쾌적한 도시환경을 조성하는 도시·녹지의 네트워크(윤은주 외, 2022)

  - 개별 시설 단위의 방재시설들이 여전히 도시 홍수에 대응하지 못하고 있는 등 인공적인 설계기법의 한계가 드러나고 있어 그린인프라 중심의 생태적 네트워크 구축 필요성 제기
  - 특히 빌딩, 도로 등 불투수면 비율이 높은 그레이인프라(Grey Infrastructure)가 대부분을 차지하는 도시에는 저영향개발기법(Low Impact Development, LID)*과 같은 환경공학적 접근방식(grey+green) 필요

  * 도시의 개발계획 단계에서부터 빗물의 침투·저류를 고려하여 자연 물순환에 미치는 영향을 최소화하는 기법(환경부, 2016)

- 기후재난에 대한 도시 시스템의 유지력과 적응력을 바탕으로 회복력의 네 가지 속성(대체성, 내구성, 신속성, 자원동원성)을 고려한 맞춤형 그린인프라 계획수립 필요
  - 대체성(Redundancy) : 도시 시스템 기능을 유지시킬 수 있는 예비능력(예: 순간저류를 통해 우수유출 지연)
  - 내구성(Robustness) : 도시 시스템 기능이 외부 충격을 견딜 수 있는 능력(예: 우수유출량을 지하에 저장)
  - 신속성(Rapidity) : 도시 시스템 기능을 회복하는 시간을 단축하는 능력(예: 우수를 빠르게 침투)
  - 자원동원성(Resourcefulness) : 정책, 기술 등을 활용할 수 있는 능력(예: 진단시스템을 통해 효율적 복원)

| 회복력 속성에 따른 그린인프라 계획 예시 |

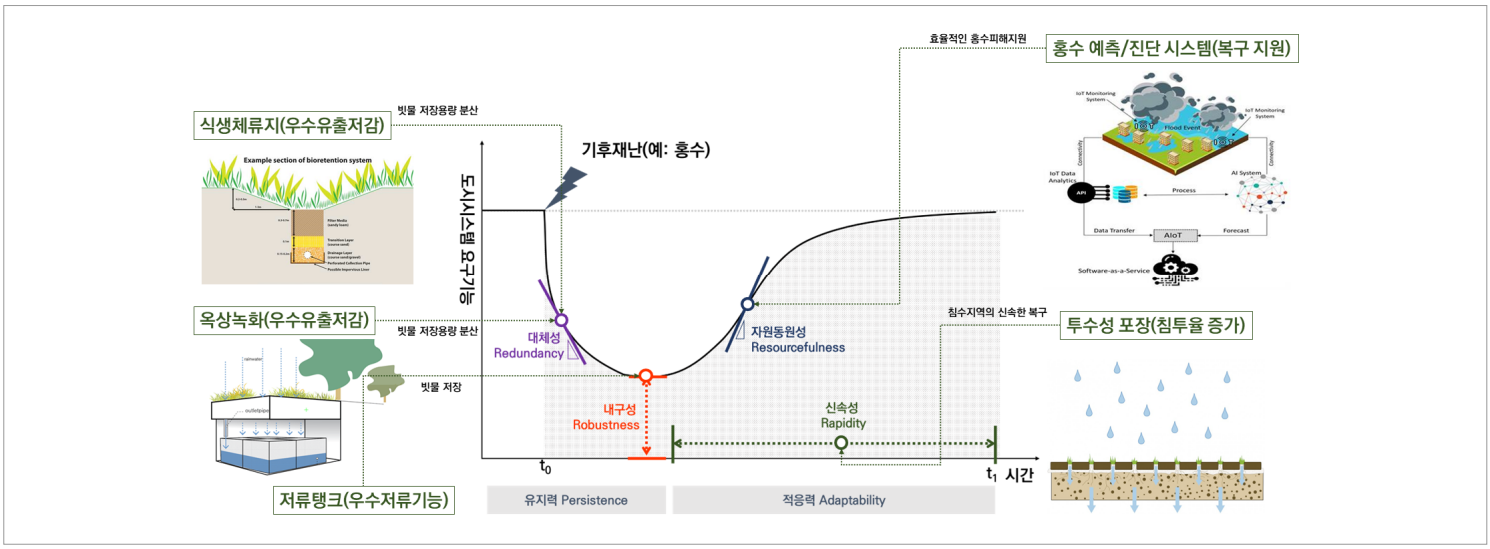
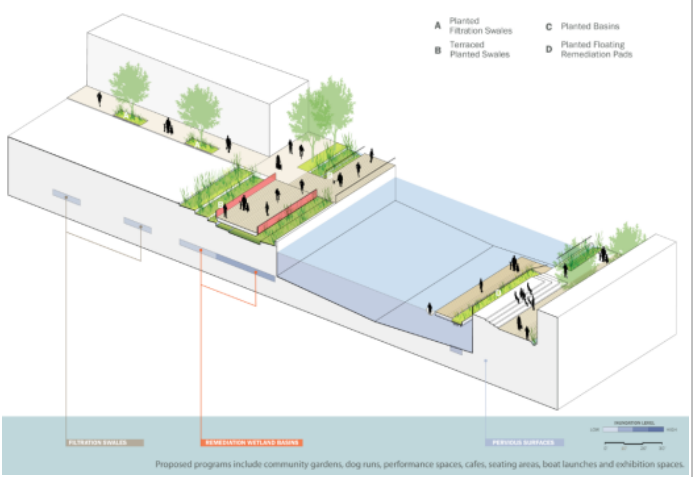


그림 자료 : https://i.pinimg.com/originals/53/82/dd/5382dd065fa4874ebb60d6fb9aad181c.jpg;
https://www.frontiersin.org/files/MyHome%20Article%20Library/786040/786040_Thumb_400.jpg;
https://www.urbangreenbluegrids.com/uploads/Infiltratie_openbestrating_Neue-wege-tiff-882x630.jpg; Song et al. (2018).
자료 : Simonovic & Arunkumar (2016)의 연구를 참조하여 저자 재작성.

(정책제언) 불확실한 기후변화에 적응하고, 회복력 있는 도시를 만들기 위한 그린인프라 전략 추진

- **(도시개발 시 저영향개발기법 적용)** 택지개발, 산업단지 조성 시 토지이용 변화로 인한 홍수 피해가 우려되므로 개발 후에도 홍수 피해를 최소화할 수 있도록 저영향개발기법(LID) 적용
  - 저영향개발기법은 식생체류지(Bioretention), 옥상녹화(Greenroof), 나무여과장치(Treeboxfilter), 식물재배화분(Planter box), 식생수로(Bioswale), 식생여과대(Bioslope), 침투도랑(Infiltration trench), 침투통(Dry well), 투수성 포장(Porous pavement) 등이 대표적
  - 환경부는 2016년 '물순환 선도도시' 5곳(광주, 대전, 울산, 경북 안동, 경남 김해)을 선정하였으며, 각 지자체는 2017년부터 2020년까지 저영향개발기법 등을 도입한 물순환 개선사업을 추진하고, 물순환 개선 조례를 제정
  - 경기도는 유역 단위의 홍수관리 차원에서 대상지 개발 입지 영향을 분석한 이후 강우의 침투 및 저류공간 확대 기법 등의 적용 수준을 정하기 위한 시범사업 추진 필요 → 연구사업 추진 후 관련 법령 개정 추진
- **(재난유형별 시뮬레이션 분석)** 실제 도시 내 물·열 순환 과정과 그린인프라의 빗물유출·온도저감효과를 적용한 홍수·폭염 시나리오를 구축하고 시뮬레이션 분석 → 맞춤형 계획수립을 위한 기초자료로 활용
  - (홍수) 대상지의 경사도, 토양, 불투수면적률 등 홍수적응능력 평가를 통해 홍수취약지역 도출하고, LID 등 그린인프라 도입 시 유출저감효과를 정량적으로 파악(예: 옥상녹화, 투수성 포장 설치 시 유출저감효과 11~13%)
  - (폭염) 하천으로부터의 거리와 주변 건축물의 높이, 도로 너비에 따른 온도저감효과, 가로수의 높이 및 밀집도에 따른 보행자의 평균복사온도(보행자가 받는 복사열의 합)를 분석하고, 폭염 시나리오를 적용
- **(법·제도적 개념 확립)** 관련 법·제도에 '그린인프라' 개념을 도입하거나 상위법(예: 그린인프라 기본법) 제정을 추진하여 그린인프라 유형별로 개별 관리하는 체계에서 통합관리 체계로 전환
  - 그린인프라가 기후변화 대응 관련 정책 수단으로 활용되고 있음에도 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」, 「자연환경보전법」 등 관련 법·제도에서는 그린인프라 개념과 세부 기준이 명확하지 않은 실정(윤은주 외, 2022)
  - 재난 대응 목표에 따라 도시 전체의 그린인프라 체계를 계획하고, 공간계획안을 수립하는 지침 마련도 필요
- **(거버넌스 구축)** 그린인프라 대상지 선정 단계부터 계획 및 관리단계까지 전 과정을 지자체 공무원, 전문가, 지역주민, 자원봉사자 등으로 구성된 민관협의체를 통해 추진
  - 민관협력 거버넌스 구축을 통해 민간 소유부지 및 각종 개발사업 부지에서의 그린인프라 확보 방안 마련 가능
  - 또한, 대상지에 적용된 그린인프라가 설계목적을 얼마나 달성했으며, 지속가능성에는 얼마나 기여하는지 상시 평가하는 피드백 단계를 도입하여 평가 기준에 미치지 못하는 경우 즉각 보완할 수 있는 운영 체계를 정립

| 뉴욕 고와누스 커널 스폰지 파크(Gowanus Canal Sponge Park) 사례 |



- 뉴욕의 브루클린의 '고와누스 커널 스폰지 파크'는 운하를 따라 11.4에이커 규모의 녹지공간(그린인프라)을 조성하여 집중호우 시 스폰지처럼 빗물을 잠시 머금고 있다가 천천히 흘려보내는 기능을 도입
- 평상시에는 지역주민의 여가공간으로 활용되지만 폭우 시 우수유출저감 시스템으로 전환하여 홍수피해를 저감
- 특히 폭우가 내리면 하수와 우수가 합쳐져 운하로 직접 유입되는 대상지의 특성을 고려하여 프로젝트에 도입된 수생식물은 침수되더라도 잘 자라고, 유기독소, 중금속 등 오염물질을 정화시킬 수 있는 종으로 선정
- 설계 과정에서 도시 하수도 시스템, 유역경계, 수생식물 군락지, 수질오염물질, 물 관련 공공프로그램 등 도시 물관리를 위한 데이터 수집과 분석을 수행
- 지역주민, 커뮤니티 그룹 및 시·주·연방기관 등의 의견을 통합하는 참여형 설계과정을 통해 프로젝트를 추진

자료 : https://dlandstudio.com/Gowanus-Canal-Sponge-Park-Masterplan