

기후재난 대응 및 회복력(Resilience) 강화를 위한
탄소중립형 도시인프라 정책 방향 연구

2024년 1월

환 경 부

김 재 현

< 차례 >

I. 서론	5
(1) 연구 배경	5
(2) 美 주요도시의 기후변화 대응 인프라 현황: 버지니아	7
(3) 美 주요도시의 기후변화 대응 인프라 현황: 뉴욕	17
(4) 기후변화 정책과 그린인프라(Green Infrastructure)	22
II. 본론	28
(1) 미국 환경청(EPA) 환경금융센터의 탄소중립 정책 지원	28
(2) 버지니아 도시회복력 관련 그린인프라 정책	33
(3) 뉴욕·뉴저지 도시회복력 관련 그린인프라 정책	67

(4) 캘리포니아 Los Angeles River 그린인프라 정책	84
(5) 노스캐롤라이나 도시회복력 증진 위한 그린인프라 정책	91
(6) 미국조경가협회(ASLA) 선정 지속가능 도시 조경설계 우수 사례	95
Ⅲ. 결 론	104
Ⅳ. 수집자료 및 참고문헌	109

국외훈련 개요

1. 훈련국 : 미국
2. 훈련기관명 : 버지니아 공과대학교, 디자인설계 대학원, 조경건축 프로그램(Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Design, Landscape Architecture Program)
3. 훈련분야 : 환경정책(미국 내 주요 도시의 기후위기 대응 및 회복력(Resilience) 강화를 위한 도시인프라 정책설계 사례 및 시사점)
4. 훈련기간 : 2023.2.27.~2024.2.26.

훈련기관 개요

1. 훈련기관명 : Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Design, Landscape Architecture Program
2. 주소 : Burruss Hall, Suite 121, 800 Drillfield Dr., Virginia Tech, Blacksburg, VA 24061, USA
3. 전화번호 : +1 (540) 231-9199
4. 조직 : Virginia Tech, College of Architecture, Arts, and Design에 네 개의 단과대(School of Design, School of Architecture, School of Visual Arts, School of Performing Arts)가 있으며, School of Design 산하에 3개의 프로그램(Landscape Architecture, Interior Design, Industrial Design)이 설립되어 있음
5. 기능 및 특징
 - School of architecture + design은 건축·도시조경·도시계획 인프라 등 관련 연구 프로그램이 최고수준 중 하나로 평가됨
 - DesignIntelligence Group이 선정하는 2019-2020년 TOP 13위, Virginia Tech, School of architecture + design 중 조경건축 프로그램(Landscape architecture program)은 도시조경 및 사회 인프라를 기후, 자연환경이 융합 되도록 기술·학제적 연구 프로그램을 운영 중

I. 서론

(1) 연구 배경

기후변화는 인류의 가장 큰 도전 중 하나로, 환경, 경제, 사회, 보건 등 다양한 분야에 심각한 영향을 미치고 있다. 기후변화에 대응하기 위해서는 탄소중립을 실현하는 것뿐만 아니라, 기후변화로 인한 재난과 위기에 대비하고 회복할 수 있는 능력을 강화하는 것이 필요하다. 기후변화로 인한 인명 피해와 사회경제적 손실이 해가 갈수록 심해지고 있다. 우리나라의 경우, 행정안전부의 재해연보 자료¹⁾에 따르면, 최근 10년 간(2012~2021년) 자연 재해로 254명의 인명 피해가 있었으며 특히, 폭염으로 인한 피해가 146명, 태풍·호우로 인한 피해가 총 107명이었다. 기후재난으로 발생하는 건물, 농경지, 공공시설, 사유시설 등 경제적 피해에 대한 복구비용은 10조원에 달했다.

이러한 피해의 증가 추세는 우리나라를 비롯한 전 세계적인 양상을 보이고 있다. 지구 평균 기온이 지속적으로 상승하고 지구 온난화로 인한 기상이변의 발생 빈도가 매년 증가하면서 재산과 인명 피해가 늘어나고 있다. 세계기상기구(WMO)에 따르면(2022년 1월 19일), 2021년 지구 평균기온은 라니냐 현상으로 인한 일시적인 낮아졌으나, 산업화 이전(1850~1900년) 수준보다 섭씨 1.11(±0.13)℃ 정도 높아 2015년 이후 7년(2015~2021년) 중 가장 따뜻한 해로 기록될 것으로 전망했다.

전 지구적 비상사태인 기후변화 위기와 관련하여 파리협약 및 당사국총회(COP)등을 통한 국가적 대응이 활발해지고 있는 가운데, 기후변화 적응력(Adaptation) 향상 및 도시의 회복력(Resilience) 강화를 위한 도시개발 프로젝트인 그린인프라(Green Infrastructure)에 대한 국제적인 관심이 높아지고 있다. 그린인프라란, 자연과 인공 시스템을 결합하여 기후변화로 인한 홍수, 가뭄, 열섬 등의 영향을 완화하고, 생태계와 인간의 삶의 질을 향상시키는 인프라를 말한다. 특히, 그린인프라는 기존의 회색인프

1) 행정안전부, '2021 재해연보(자연재해)', 승인번호 제156003호

라(Grey Infrastructure)와 달리, 자연의 고유한 기능과 서비스를 활용하고 보존하면서, 경제적 효율성과 환경적 지속성을 동시에 달성할 수 있는 장점이 있다.

한편, 기후위기 대응을 위한 탄소중립 정책은 우리나라뿐만 아니라, 전 세계적인 핵심 정책 어젠다로 자리 잡았다. 탄소집약적 경제구조를 저탄소 경제구조로 전환하고, 대규모 홍수피해, 가뭄 등 자연재난으로부터 안전한 사회를 만들기 위한 그린인프라(Green Infrastructure) 설치 확대 등 도시공간의 회복력(Resilience) 향상을 위한 정책적 노력이 활발하다. 우리나라의 경우, 국가 ‘2050 탄소중립 추진전략’을 발표(2020.12월)한 이후, 2022년 기록적 폭염·가뭄(6~8월)과 역대급 서울 중부권 집중호우·침수피해(8월)를 계기로, 환경부·행안부·국토부 등 중앙부처를 중심으로 범부처 차원의 기후재난 대책 패러다임 전환이 추진되면서 정부정책 속 그린인프라에 대한 논의도 활발하게 진행되고 있는 상황이다.

미국의 경우, 바이든정부의 2024년 예산을 살펴보면, 기후변화에 대처하기 위한 연방정부 차원의 대응정책 및 지역사회의 회복력과 지속가능성 향상을 위한 재원으로써, 약 240억 달러를 투자할 계획이다. 도로, 교통시설, 항만 등 사회적 인프라 개선 사업 및 청정에너지 개발, 혁신 예산 등과 함께 전통적인 환경오염 방지 관련 사업, 자연재난으로부터의 안전성 확보, 기후위기로부터의 적응력 향상 및 회복력(Resilience) 증진을 위한 연방, 주정부 차원의 대규모 프로젝트도 다수 포함되어 있다. 이와 같은 성격의 예산 편성 목표는 2030년까지 미국의 탄소 배출량을 절반으로 줄이고 2050년까지 넷제로를 달성하려는 바이든 대통령의 공약들을 달성하는데 있다.

미 연방 차원의 거시적인 예산 지원의 틀 속에서 시행되고 있는 각 주(state) 및 지자체(county, city) 별 도시회복력 증진을 위한 그린인프라 프로젝트 사례를 분석함으로써, 국내 기후변화 정책 및 지자체 단위 그린인프라 추진 정책에 대한 시사점을 도출하고자 한다.

(2) 미국 주요도시의 기후변화 대응 인프라 정책 현황: 버지니아

1) 버지니아 개요²⁾

버지니아 주는 미국 동부, 워싱턴 DC 인근에 위치한 지역으로서 전체 면적 110,862km²(불가리아 또는 쿠바와 비슷한 면적), 인구수 약 8.5백만 명(미국 내 12위) 규모의 주이다. 주도(the state's capital)는 Richmond 시(22만명)이고, 인구가 가장 많은 도시는 Virginia Beach(45만명), Chesapeake(24만명), Norfolk(24만명 등이 있다. 버지니아 북동부에 위치한 도시들을 미국의 수도인 Washington D.C-Baltimore 메트로폴리탄 area와 연계하여 Northern Virginia(NOVA)라고 부르기도 한다. 인종구성을 살펴보면, White alone(백인) 61%, African American(흑인) 20%, Hispanic 10%, Asian 7%이다.

버지니아 지역의 지리적 특성을 살펴보면, 동쪽으로는 대서양에 연접한 Virginia Beach 시가 자리잡고 있는 Tidewater region이 있고 북서쪽으로는 길게 Blue ridge mountains 등 산맥지역이 넓게 분포해 있다. 동쪽에 있는 Virginia Beach 지역을 중심으로 해안도시의 해수면 상승 및 상습적 침수로 인해 주정부 및 연방정부 차원에서 다양한 도시계획 및 도시 인프라(green infrastructure) 등 혁신 프로젝트가 추진되고 있으며, 계획(planning) 단계를 넘어서 이제는 실제 이행단계(implementation), 프로젝트 단계로 접어든 기초 지자체 단위 지역이 다수 존재하고 있다.

버지니아 소재 주요 대학교로는 University of Virginia(UVA), Virginia Polytechnic Institute and State University(Virginia Tech) 등이 있다. 주요 산업기반은 크게 서비스업과 제조업으로 나뉜다. 특히, 서비스업은 버지니아 전체 GDP 및 고용분야에 있어 약 80%의 비중을 차지할 정도로 막대한 영향을 미치고 있다. 대부분 주도인 Richmond와 Virginia Beach 지역에서 서비스업이 활발하게 발전하고 있으며, 미 연방정부의 주요 공공기관이 버지니아 주에 입지해 있다.(예: 미 국방부(펜타

2) 출처: nationsonline.org

곤), 미 중앙정보국(CIA) 등) 이 밖에, Virginia Beach 지역을 중심으로 한 관광업도 큰 비중을 차지하고 있다. 제조업의 경우, 주요생산품으로는 담배, 음료 등이며 Norfolk 지역 내 입지한 조선소에서는 보트, 선박 등을 생산한다. 버지니아 전체 면적 중 약 30%는 농축산업 지역으로서, 지역 내 농장소득의 70% 이상이 축산업에서 발생한다.³⁾(출처: 버지니아 주정부)

2) 버지니아 지역(Virginia state)의 기후변화(Climate change)⁴⁾

(출처: 미국 환경청(EPA), United States Environmental Protection Agency(EPA), “What Climate Change means for Virginia”, www.epa.gov/climatechange.)

○ 기후변화 트렌드

미국 환경청(Environmental Protection Agency)의 버지니아주 기후변화 분석 보고서(EPA 430-F-16-048)에 따르면, 버지니아의 기후현상은 지속적으로 변화하고 있다. 지난 한 세기 동안 미국 대부분의 주(state)에서 기온은 계속 상승하고 있으며, 해수면은 1~2인치가 상승했다. 높아진 해수면은 해안가의 침식을 더 빠르게 발생시키고, 저지대 침수 및 연안지대 홍수 유발, 지하수의 염수화 촉발 등의 문제가 발생하고 있다. 버지니아주가 위치한 미 남동부 해안의 기온상승 정도는 미국 내 타 해안가에 비해 낮은 수준이었으나, 시간이 지나면서 이 지역의 농작물 수확량의 감소, 폭염 증가 및 온열병 질환의 증가추세 상승 등의 문제가 지속적으로 높아지고 있는 상황이다.

○ 해수면 상승

지난 10년동안 매년 약 1~2인치씩 해수면이 상승했고, 이로 인하여 해변의 침식과 저지대 침수현상, 해안가 홍수 및 염수의 범람 등이 빈번해지고 있다. Virginia 해안가의 해수면 상승은 해안지역의 침식 및 지반침하가 함께 진행되고 있으며, 다른 지역의 해수면 상승 속도보다 빠르게

3) <https://www.virginia.gov/>

4) United States Environmental Protection Agency(EPA), “What Climate Change means for Virginia”, www.epa.gov/climatechange.

진행되고 있다. 일부 과학자들은 버지니아 해안가는 향후 한 세기 동안 최소 14인치에서 최대 4피트까지 해수면이 상승될 수 있다고 한다. 2100년까지 해수면이 2피트 상승하면 침식된 해안을 넘어 연안 습지의 염수화가 빠르게 진행될 수 있는 한편, 만(bay)지역에 위치해있는 넓은 갯벌의 소실 또는 생태계 교란도 발생할 수 있다. 해수면이 상승하면, 만(bay)지역의 내륙 하천, 담수습지 등과 섞이게 되고 지표면의 물은 지하수와 연결되어 있음에 따라 음용수의 부족 문제도 발생할 수 있다. 더불어, 해안의 토양 염분이 증가하여 내륙 생태계에 큰 피해를 입히고 농업, 축산업 등 관련 산업기반의 큰 위협이 될 수 있다. 예를 들어, 버지니아 해안가에 인접해 있는 York강 하류에는 바닷물의 침입으로 인해, 고사 상태에 이른 나무가 증가하고 있다.

○ 집중호우 등 태풍 그리고 인프라

버지니아 지역은 지난 20여년 동안 열대성 폭풍, 허리케인 등 극심한 이상기상현상(extreme weather events)을 겪어 왔으며, 따뜻해지고 있는 해수로 인해 향후 이러한 태풍의 발생 가능성은 더 높아지고 있다. 폭풍 발생 가능성의 증가 및 해수면의 상승은 결과적으로 해안지대의 폭풍 해일 및 집중호우 등에 따른 대규모 침수피해 발생 가능성을 높이고 있다. 많은 도시기반 시설(예: 철도, 도로, 항구 등)이 태풍과 해수면상승으로 인한 물리적 위험(physical risks)에 취약한 상태이고, 인구가 많이 거주하고 있는 Hampton Roads 지역의 대부분은 허리케인 등 발생시 대규모 침수피해가 가능한 지역으로 분석되고 있다.

특히, Poquoson을 비롯한 Chesapeake Bay(만)을 따라서 위치한 일부 해안 도시에서는 해수면이 지나치게 낮아 조수간만의 차가 발생한 수준에 따라 도로변 개천의 수량이 크게 달라지고 있으며, 이 지역 내 입지한 주택단지와 각종 사회적 인프라 시설의 침수피해 가능성이 더욱 높아지고 있다. 지난 1958년부터 2012년까지 극심한 폭풍이 동반한 집중호우 강수량은 총 27%가 증가했으며, 최근 들어서 더욱 증가하는 추세를 보이고 있다. 이는 단순히 해수면상승으로 인한 침수피해로 그치는 것이 아니

라, 인근 주택을 대상으로 한 각종 금융보험 상품들의 가격 인상을 이끌 수 있으며 각종 침수 관련 보험상품의 공제범위가 크게 증가하는 등 사회적비용의 증가를 이끌 가능성도 크게 점쳐지고 있다.

○ 해안 생태계

Virginia Beach 인근 지역의 갯벌습지의 손실 역시 기후변화로 인해 발생된 사회적 피해 중 하나로 볼 수 있다. 갯벌습지에서 제공하는 영양분에 의존해서 살아가는 어류, 조류의 서식지가 파괴되는 것일 뿐만 아니라, 더 나아가 생태계사슬에 연결되어 있는 곤충류, 해양 생물들의 생태환경에도 많은 영향을 미칠 수 있다. 버지니아의 주요 수산물인 게의 먹이원이 이러한 곤충류, 해양 생물류이고, 이 밖에 우럭, 농어, 송어 등 해안습지 지역을 오가며 서식하고 있는 각종 물고기들의 서식 행태의 변화를 야기시켜 수산업의 생산성에도 영향을 미칠 수 있다.

버지니아의 Chesapeake bay 습지 지역에 주로 서식하는 왜가리, 대머리독수리, 검은오리, 흰뺨검둥오리, 백로 등 다양한 조류들이 이렇듯 기후변화(해수면상승)로 인해 손실되고 있는 갯벌습지 지역에 서식하고 있다. 이 연안습지는 도요새 등 주요 조류에게 먹이를 제공하고 있고, 기러기는 이 습지 지역에서 겨울을 나고 있다. Chesapeake bay의 해안이 침식되고, 습지가 사라지게 되면 해변에 등지를 트는 각종 해안조류의 서식지가 파괴되고, 말굽게, 모래벼룩, 달팽이 등 다양한 종의 손실을 야기시킬 수 있다. 궁극적으로 생태계의 생물다양성이 상실되면서 건전한 생태계의 순환고리가 끊어질 수 있는 상황이 우려되는 것이다.

○ 농업

Virginia state의 주요 농업기반은 옥수수, 대두, 밀 등이고 이보다는 축산업 기반의 가공생산업의 비중이 더 크다. 기후변화로 평균기온이 상승하면서, 하절기 기온이 급격히 상승했고 이는 더운 여름의 옥수수 수확량을 감소시킬 가능성이 더 커지고 있다. 하지만, 일각에서는 대기 중의 이

산화탄소 농도가 더 높아지면 기온 상승으로 인한 부정적 효과를 fertilizing effect가 상쇄하여 면화, 대두, 밀, 땅콩 등 농작물 수확량이 일반적으로 증가할 수 있다고 보는 분석도 있다. 이 밖에, 기온의 상승은 농업용수의 사용량의 증가와 함께 관개수로 인프라 보급 확대 필요성을 증가시키고 있다.

○ 에너지

현재 예상으로는, Virginia 남동부 지역에서는 향후 연간 20~40일동안 95°F를 웃도는 고온의 날씨가 지속될 것이고, 현재는 약 10일 수준이 점과 비교할 때 극심한 고온현상의 상승을 의미한다. 이와 같은 하절기 고온현상의 지속 전망에 따라 가정용, 산업용, 농업용 전력사용의 증가가 전망되고, 이에 대한 구체적인 전력수요량 예측 분석이 지속적으로 이루어지고 있는 상황이다.

○ 국민건강에 미치는 영향(Human Health)

Virginia 지역의 평균기온의 지속적 상승 전망에 따라 하절기 온열질환자에 대한 현황 분석과 대응관리에 대한 정책적 필요성이 증가하고 있다. 특히, 어린이, 병약자, 빈곤층 등 사회적 취약계층에 대한 특별관리가 요구된다. 본 보고서의 분석에 따르면 높은 기온현상의 지속과 빈곤층의 환경 노출이 증가할 경우, 열사병 및 탈수 증세에 따른 심혈관 기능에 부정적 영향을 미칠 수 있다. 또한, 기온의 상승은 대기오염 물질의 화학반응을 촉진시켜 지상 스모그 현상의 빈발을 이룰 수 있고, 생활공간 속 오존 발생량을 증가시켜 건강에 악영향을 미칠 가능성이 있다. 오존은 천식 등 폐질환에 직접적인 영향을 줄 수 있고, 심장병 발생가능성도 높일 수 있다. 이와 같은 질환에 대한 영향에 대비하여 미연방 환경청(EPA)과 버지니아 환경부(Virginia department of Environmental Quality)는 오존 발생 억제 및 오존 농도 저하를 위한 정책을 추진 중에 있다. 버지니아 환경부는 오존 등 대기오염 현상과 관련된 기후변화 현상을 연계하여 고려하고 있으며, 특히 대기질 상승을 위한 정책을 도입함에 있어 기후변화 정

책이라는 큰 틀에서 종합적으로 바라보고 있다.⁵⁾

3) 버지니아 해안 기후회복력 종합대책(Virginia Coastal Resilience Master Plan)⁶⁾ 개요

2021년 12월, 버지니아 주 정부⁷⁾는 버지니아 연안(대서양)지역의 침수 피해 최소화 및 기후변화 적응력 향상을 위해 Virginia Coastal Resilience Master Plan을 발표했다. 버지니아는 대서양 연안을 따라 대규모 도시(Virginia Beach 등), 주택 밀집지역 등이 입지해 있음에 따라, 기후변화에 따른 해수면 상승으로 인한 피해에 대해 직접적인 정책적 대응이 강하게 요구되어 왔으며 실질적인 정책개입이 활발하게 이루어지고 있는 지역이다. 버지니아 주정부는 해안 도시의 침수 피해에 그치는 것이 아니라, 해안습지 지역의 범람 및 담수호의 염수화에 따른 생태계 변화 등 다양한 사회적 문제(경제, 문화, 환경)가 발생하고 있는 상황에서 사회기반시설(인프라)의 개선방향이 포함된 종합대책을 마련했다.

버지니아 주 인구는 전체의 약 70%에 해당하는 약 600만 명이 버지니아 주 연안 지역에서 거주 중이다. 버지니아 지역에서 창출되는 각종 경제적 가치 및 사회 문화역사적 가치, 주거지역 간의 다양한 커뮤니티 활동 등이 해안지역의 자연으로부터 창출된다고 평가하고 있다. 그러나 기후변화로 인한 해수면 상승과 강수 패턴의 급격한 변화에 따라 도시 주택단지 커뮤니티, 도로망, 상하수 시설, 하구둑 등 사회, 물리적 인프라(social and physical infrastructures)의 파괴로 인해 버지니아는 막대한 경제적 피해를 입고 있으며, 향후 지속가능한 도시 발전을 위해 그 무엇보다도 해수면 상승과 같은 기후위기 이슈에 대한 적응(adaptation) 및 회복력(resilience)의 복원을 정책적 우선순위 중 가장 최우선 순위에 두고 있는 것으로 보인다.

5) The national climate assessments by the U.S. Global Change Research Program, synthesis and assessment products by the U.S. Climate Change Science Program, assessment reports by the Intergovernmental Panel on Climate Change, and EPA's Climate Change Indicators in the United States.

6) <https://www.dcr.virginia.gov/crmp/document/virginiacoastalresiliencemasterplan-print.pdf>

7) Virginia Department of Conservation and Recreation (DCR), Office of Governor Ralph S. Northam Commonwealth of Virginia

이번에 수립된 종합대책은 2020년 버지니아 해안지역 복원력 향상을 위한 프레임워크(2020 Virginia Coastal Resilience Master Planning Framework)를 이론적, 기술적 기반으로 두고 수립되었다. 가장 시급한 정책분야 중 하나로서, 홍수(flooding) 문제를 설정하고, 제1단계 마스터플랜으로 먼저 수립하였으며 주로 조수간만의 차에 따른 침수피해 대응 및 연안지역 홍수피해가 버지니아에 미치는 영향을 상세하게 평가하는 것이 핵심 목표이다. 이 마스터플랜은 약 2천명이 넘는 전문가, 정부 관련 인사, 그 밖의 이해관계자(학계, 민간단체 등)들의 참여, 협력을 통해 완성되었으며, 업무 추진방식에 있어 크게 3가지 측면이 고려되었다.

- (1) 기술 연구(Technical Study) : 해안 복원력 데이터베이스 구성을 위해 필수적인 측정 데이터, 선행 분석연구 자료, 기존 분석연구의 진행 과정 및 기후회복력 증진을 위해 추진된 정책들의 효과 분석 등을 수행하였다.
- (2) 기술 자문 위원회(Technical Advisory Committee) : 기후회복력 대책 관련 주요 이해관계자 간의 기술적 접근방식 및 결과 해석에 대한 의견 조정을 지원하고, 마스터플랜에 활용되는 각종 데이터 및 분석방법을 통합적으로 추진될 수 있도록 하는 역할을 수행한다.
- (3) 이해관계자 참여(Stakeholder Engagement) : 버지니아 해안 지역 사회의 주민, 지방 및 지역 공무원, 기타 이해관계자로부터 다양한 복원력 관점을 수렴하여 지역별 복원력 우선순위를 설정하고, 마스터플랜에 반영되도록 조치했다.

Virginia Coastal Resilience Master Plan의 첫 번째 단계로서 마련된 2021 마스터플랜의 방법론에 있어서 도출된 성과는 아래와 같다.

- 버지니아 지역 연안에서 현재 및 미래시점에 홍수 위험(flooding hazards)에 노출되는 토지지역을 평가, 결정하고 이를 토대로, 버

지니아 연안 뿐만 아니라 전체 주 단위(Commonwealth)의 홍수빈도의 변화를 예측

- 해안 홍수 노출 모델링 결과를 기반으로 사회적, 자연적, 건축물 등 버지니아 내 주요자산에 대한 영향(impact)을 평가, 추정
- 해안홍수 위험 수준에 따라 잠재적으로 영향을 미칠 수 있는 버지니아의 지역별 사회적 취약성과 연안 홍수 위험 노출이 높은 지역을 분류하고, 각 지역별로 우선적으로 조치해야할 인프라 대응정책을 도출
- 계획 지구 및 지역 위원회, 지역 및 커뮤니티와 함께 워크숍을 실시하여 현지 주민들의 이해를 돕기 위한 소통활동을 바탕으로 연안 홍수로 인한 영향분석 및 평가결과를 구체화시킴
- 버지니아 주 내에 있는 지자체 단위에서 추진할 수 있는 침수피해 대응 및 복원력 향상 관련 프로젝트에 대한 인벤토리를 수립, 정리하고 이 과정에서 필요한 데이터를 추적, 수집하는 프로세스를 수립
- 2020 Virginia Coastal Resilience Master Planning Framework에서 제시되어 있는 버지니아 주 단위 연안 복원력 향상 전략에 얼마나 잘 부합된 프로젝트인지를 평가하고 이에 따라 우선순위를 도출할 수 있는 방법론을 개발함과 동시에, 관련된 프로젝트에 연계될 수 있는 재정적 자원의 펀딩 출처 및 자금조달 방법을 제시
- 기존에 시행되었던 Virginia Coastal Zone Management Program 내 복원력 향상 사업의 수행결과 등을 고려 및 추가 보완하여, 지자체 단위 복원력 향상 프로젝트 관련 보조금 및 금융 조달 프로그램에 대한 인벤토리를 구축
- 연안 홍수 위험, 영향, 진행 중이거나 제안된 프로젝트 및 이니셔티브

브, 자금 지원 프로그램, 기타 관련 정보에 대한 데이터를 공개하여 주, 지역 및 지방 차원의 복원력 노력을 지원하는 연안 복원력 데이터베이스와 온라인 공개를 위한 웹사이트를 마련

- 아직 수행되고 있지 않지만, 아이디어 차원에서 제안되고 있거나 일부분은 진행 중인 버지니아 복원력 향상 관련 프로그램 및 이니셔티브에 대한 정보를 취합, 정리
- 지역, 지자체 및 일반 대중과의 워크숍을 통해 버지니아 연안지역 홍수 위험에 대한 대중의 관점과 현장의 목소리를 청취하고, 버지니아 연안 지역에 거주하고 있는 주민들이 선호하는 기후변화 적응 전략에 대한 기초적인 이해를 확립

4) 버지니아 해안 기후회복력 종합대책의 주요 시사점

금 번에 마련된 마스터플랜에 활용된 기술적 측면의 연구(Technical study)는 버지니아 연안 침수위험 지역 내에서 점점 증가하고 있는 조수간만의 차이 격차 수준 및 과거에 비해 빈번하게 발생하고 있는 해안폭풍 및 해일 등을 중심으로 이와 같은 극한기상현상이 연안지역에 미치는 영향(impact)을 효과적으로 분석, 평가 하는데 초점을 두고 있다. 한편, 이번 1단계 마스터플랜은 분석을 위해 필요한 시간 상의 한계 등을 고려하여 해수면 상승으로 인해 간접적인 영향을 받게 되는 내륙 하천지역에 대한 홍수위험 및 도시지역 내 폭우의 배수 리스크 등에 따른 홍수위험 등은 포함되지 않았다. 또한 현재의 기후변화 추세가 향후 미래의 강수량 추세에 어떠한 영향을 미치고, 결국 홍수 위험도에 어떤 변화를 일으키는지에 대한 실증 연구도 포함되지는 않았다. 해수면 상승에 따라 발생하는 홍수위험의 양상을 크게 2가지로 나누어 분석했는데 첫 번째는, 시간이 지날수록 범람원(flood-plains)이 더 확장될 것이라는 점이고 두 번째는, 한번 홍수가 발생했을 때 넘쳐나는 수량의 크기도 더 크고 깊어질 것이라는 점이다. 해수면상승은 결국, 주거지역으로까지 더 올라온 해수에 노출되는 토지의 면적이 더 증가하게 되고 지금까지는 간헐적으로 발생했던

해수면 상승 침수피해가 더 일상적인 공간에서 더 빈번하게 발생하게 될 것이라는 분석을 포함하고 있다.

이번 마스터플랜에서 직접 제안된 Resilience project들은 잠재적으로 발생할 수 있는 홍수 발생 가능성을 줄이는 것이 아니라, 발생될 수밖에 없는 홍수를 겪은 후 보다 효율적이고 지속가능한 방식으로 회복할 수 있는 역량을 기르는 사업방식이다. 버지니아 주 연방은 이를 위해 크게 3가지의 유형의 프로젝트를 제시한다.

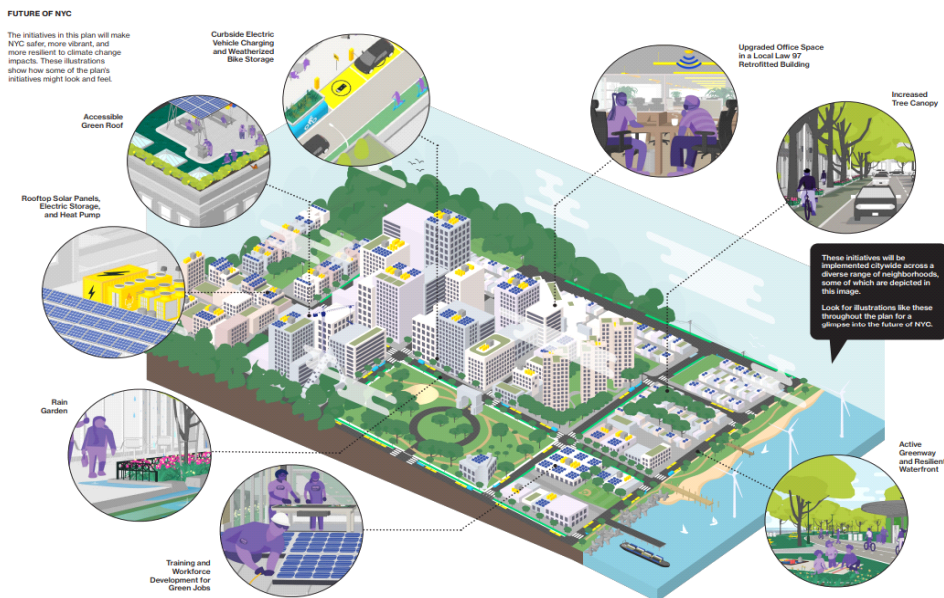
- ① Nature-based strategies(NBS) : 자연기반해법(NBS)은 별도의 인공시설 및 물리적 조치를 하는 접근방식에서 벗어나 태초부터 존재하던 자연적 자원(숲, 하천, 습지, 갯벌 등)의 생태계 서비스 기능을 활용하여 홍수, 폭염 등 자연재난으로부터 기후위기 적응력을 향상시키는 접근방식이다. 자연환경의 정화 기능을 엔지니어링 기술로 복제, 활용, 건설함으로써 도시 생태계 내외 복원력을 향상시키는 이론적, 기술적 공법이 제시되었다.
- ② Structural Interventions (구조적인 조치) : 개인주택, 사무실, 공장 등 사적 자본의 보호를 위해 전체 커뮤니티 또는 전체 도시 차원에서의 물리적, 구조적인 infrastructure를 개선하는 접근방식을 취함으로써, 해안 또는 하천 지류별로 발생하는 국지성 홍수가 내륙지역 전체로 확산되는 것을 막는 것에 집중했다.
- ③ Hybrid Project (통합적용 프로젝트) : Nature-based strategies(NBS)와 구조적인 측면에서의 물리적 조치(Structural Interventions)를 혼합하여 사용하는 프로젝트 역시 제시되었다. 한 공간 안에서 두 가지 전략을 동시에 추진함으로써 해당 지역의 복원력 향상 잠재적 효과성을 극대화시킬 수 있을 것으로 보고 있다.

(3) 미국 주요도시의 기후변화 대응 인프라 정책 현황: 뉴욕(NYC)

1) 뉴욕시 지속가능성 향상 프로젝트8)

뉴욕시는 지난 2006년, 뉴욕시장실 내 기후변화 및 환경보호부(New York City Mayor's Office of Climate & Environmental Justice)를 중심으로 PlanNYC: Getting Sustainability Done 프로젝트를 수립하고, 매년 이행하고 있다. 맨하튼을 중심으로 한 NYC 권역이 해마다 반복되는 폭염, 태풍, 침수 등 극한 기상현상으로부터 적응력이 향상될 수 있도록 실행가능한 세부분야를 수립하고 개별적, 단계적 프로세스를 통해 물리적 및 비물리적 그린인프라를 건립해나가는 프로젝트 중 하나로 볼 수 있다.

뉴욕시는 이러한 기후변화 위협이 반복될수록 특정 계층, 특정 공간에서 심각한 취약성이 있는 것을 발견한 이후에 매년 수백명의 인적, 재산상 피해를 막기 위한 프로젝트를 시행하고 있는 것이다. 동시에 더 깨끗한 공기, 더 건강한 대중교통 체계(mobility), 더 안전한 가정, 성장하는 녹색 일자리 창출 효과를 함께 도모한다.



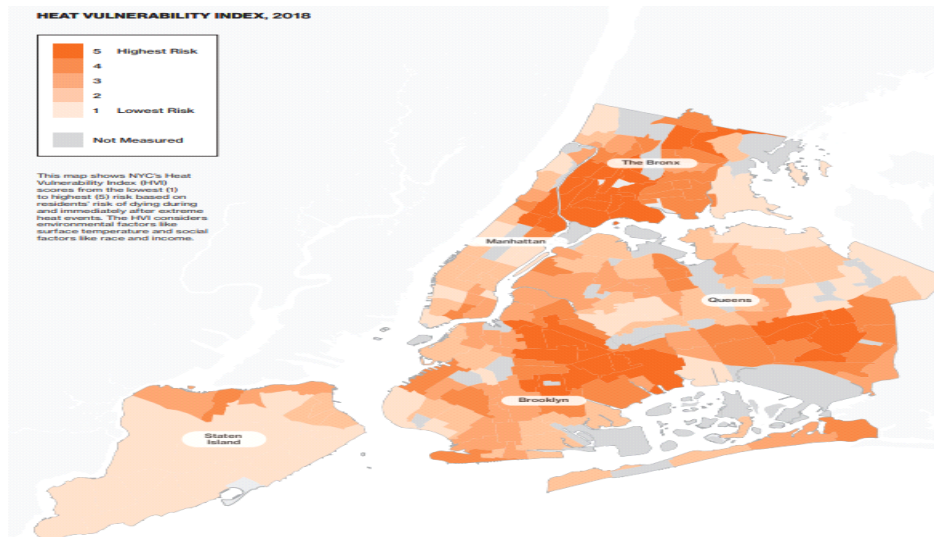
< PlaNYC2023 지속가능 프로젝트 미래 조망도 >

8) 출처: <https://climate.cityofnewyork.us/wp-content/uploads/2023/06/PlaNYC-2023-Full-Report.pdf>

PlanNYC: Getting Sustainability Done 프로젝트는 기후변화 및 환경보호를 직접적인 목표로 설정하고 있으면서도, 지역사회의 재생(reimagine) 및 건강하며 회복력 있는 도시공간의 창출을 함께 도모하고 있다. 뉴욕시민들에게 단기적으로는 쾌적한 삶의 공간(녹지공간, 깨끗한 수변 등) 및 맑은 공기를 제공하고 장기적으로는 극한기상으로부터 이전 보다 덜 취약하고, 지속적인 녹색경제의 성장을 이끄는 사회를 목표로 한다.

○ 폭염(Extreme heat)

매년 여름(6~8월) 반복되는 극심한 고온현상, 폭우, 해수면 상승 및 침수 등 기후변화로 인한 다양한 피해상황이 있지만, 그 중에서도 폭염이 가장 많은 사망자를 발생시키고 있음에 따라 최우선적으로 해결책을 모색하는 분야로 설정했다.



<뉴욕시 전체 권역별 폭염 취약성평가 지도 예시>

뉴욕시는 미래 폭염일수 전망치를 제시했는데, 2030년 기준 최소 27일에서 최대 54일, 2050년 최소 32일에서 최대 69일, 2080년 기준 최소 46일에서 최대 108일로 지속적인 증가추세를 보이고 있다. 폭염에 대한 취약성평가 지도를 분석한 결과, 뉴욕시 북부 할렘강 너머에 위치한 Bronx와 Manhattan 밖에 위치한 Brooklyn 및 동부 Queens 지방이 4~5

수준의 가장 높은 폭염취약성을 보이고 있었다. 이를 위한 세부정책 프로그램으로는 a.실내냉방 시스템의 최대한 확충, b.건축물 환경 자체에서부터 냉방효과를 도모, c.그린인프라 확충정책의 일환으로써 도심 속 나무 그늘 최대 30% 확보 등을 추진하고 있다.

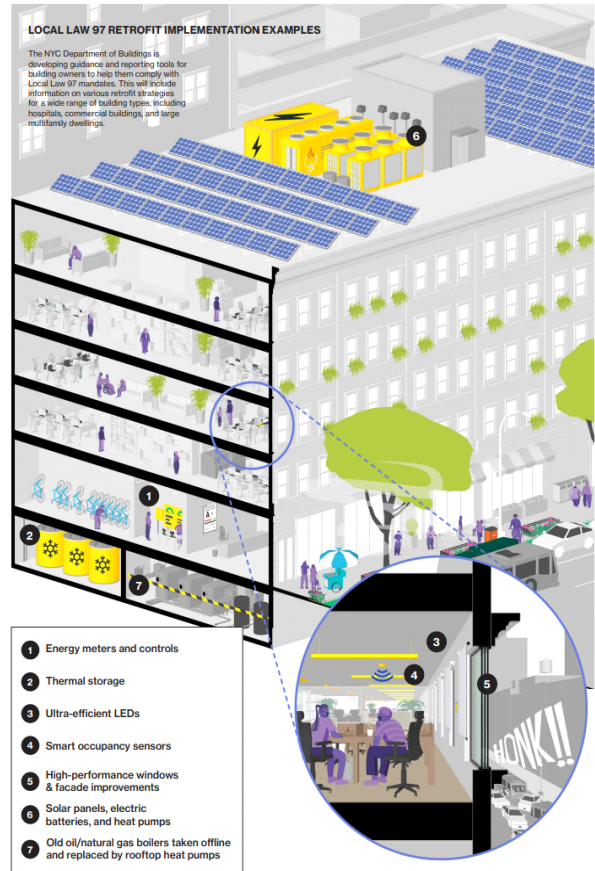
○ 홍수(Flooding)

뉴욕시는 만성적인 조수 홍수가 증가하고, 더 잦은 해안 폭풍 발생, 폭우로 인한 도시 침수피해 증가가 예상됨에 따라, 해안선 및 도시하천, 상하수 기반시설 등을 개선하고 뉴욕의 모든 5개 자치구(맨하탄, 브롱크스, 퀸즈, 브루클린, 스테튼아일랜드) 회복력을 높이기 위해 실행력이 담보되는 정책을 우선적으로 수립 중이다. 우선 a. 2023년에 뉴욕시 환경부(Department of Environmental Protection)를 중심으로 해안 홍수 복원력 향상을 위한 별도의 정책조직(Leadership structure)을 만들고 있으며, b 홍수가 발생한 이후 보다 신속하고, 효율적으로 복원할 수 있는 실행(전략) 프로그램을 다층적으로 수립했다. 그 예로, 1. 2026년까지 해안 자산에 대한 최소 홍수 복원력 기준(minimum flood resilience standards)을 개발, 2. 미 육군 공병대(United States Army Corps of Engineers, USACE)의 뉴욕 및 뉴저지 항만, 지류 타당성 조사(New York & New Jersey Harbor & Tributaries Feasibility Study, NYNJHATS)와 연계하여 지역(주택단지) 단위 규모의 해안 보호 프로젝트를 지속적으로 설계하고 실제 건설까지 이행, 3. 2024년까지 빗물 범람 적응 계획을 개발하여 빗물 인프라를 위한 도시 전체 홍수 보호 목표를 설정, 4. 도심 그늘, 수질 및 대기 질 개선, 야생 동물 서식지 등 다양한 기능을 제공하는 자연 기반 빗물 관리(nature-based stormwater management) 솔루션 수립 등이 있다. 그리고 c. 홍수발생이 빈번하고 향후 도시침수가 불가피할 것으로 예상되는 지역의 주민들에게 자발적인 주택 이동 및 토지 취득 프로그램을 제공하면서 동시에 주택마련을 위한 컨설팅 서비스를 제공하고 있다. 이 과정에서 소요되는 토지 취득 재원 중 일부는 뉴욕시 이외에 미 연방정부 및 뉴욕주(New York State)의 기금이 활용된다.

○ 건물(Building)

뉴욕시 전체 온실가스 배출량 중에서 건물 분야가 차지하는 비율은 약 70%에 달할 정도로 큰 부분을 차지하고 있다. 산업 공정시설이 거의 없

고, 대부분이 서비스 및 금융업임에 따라 공장 굴뚝에서 직접 배출되는 온실가스보다는 초고층빌딩 및 밀집된 주택, 상업건물로부터 발생하는 냉난방, 전기 등으로부터의 온실가스 배출 수준에 대한 관리에 집중하고 있다. 더불어 매연 등 미세먼지로부터 쾌적한 공기질을 확보하고, 폭염 및 홍수 등 기후변화 현상에 상대적으로 적응력이 더 향상되는 건축 공간을 확보하는 것도 목표로 삼고 있다. 그 실행목표로서, a. 2030년까지 뉴욕시 지방법 제97에 따른 배출 감소 목표를 준수하도록 건물 소유주에 대한 지원방안 마련, b. 저렴한 주택 탈탄소화 c. 화석 연료 없는 도시 운영 추구, d.



<뉴욕시 지방법 제97에 따른, 건물 개조사항 조감도>

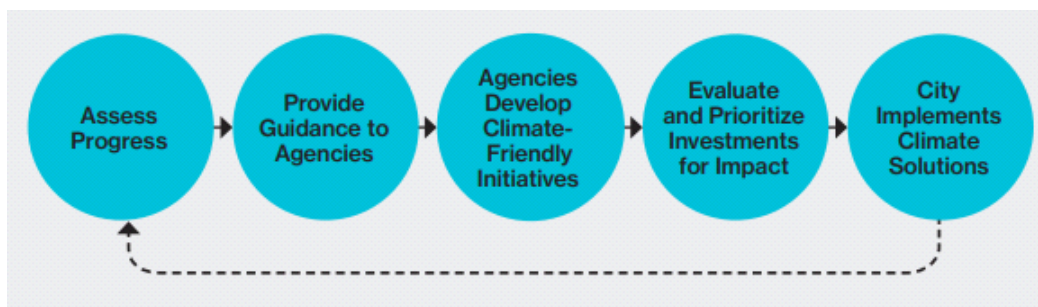
NYC의 국지적 대기 오염 감소, e. 2033년까지 건설 산업의 탄소 배출량 감소를 제시하고 있다. 그 중에서도 뉴욕시 지방법 제 97의 세부내용을 살펴보면, 다음과 같다. 뉴욕시 내에 설치된 건설부(NYC Department of Buildings)는 건물 소유주가 지역법 97 명령을 준수하는 데 도움이 되는 지침 및 보고 도구를 개발했는데, 예를 들어 병원, 상업용 건물 및 대규모 다세대 주택을 포함하여 다층적으로 존재하는 건물 유형에 따라 필요한 개조사항들을 제시한다. 즉, (①에너지 사용량 계측 및 조절기(Energy meters and controls), ②냉난방용 에너지 저장장치(Thermal storage),

③초고효율 LED 전등(Ultra-efficient LEDs), ④인공지능 스마트 자동 동작 센서(Smart occupancy sensors), ⑤초고효율 열차단 창문 및 건물 외관 개선(High-performance windows & facade improvements), ⑥태양광 패널, 전기배터리, 난방 공조장치(Solar panels, electric batteries, and heat pumps), ⑦ 구형 석유가스 보일러를 천장열펌프로 대체(Old oil/natural gas boilers taken offline and replaced by rooftop heat pumps) 등) 개조전략에 대한 정보가 포함되어 있다.

○ 깨끗하고 안정적인 에너지(Clean and reliable energy)

현재 뉴욕시는 화석연료 기반의 에너지 인프라를 이용하고 있지만, 향후 미국 내 기후변화 추이를 고려할 때 먼 미래의 환경보호를 위한 움직임이 아니라 단기적인 에너지 비용 증가 및 경제성 하락에 의한 경제 악영향 등을 대비해야 한다고 보고 있다. 이를 위하여 우선, a. 시 소유의 모든 재산에서 기후위기 적응형 인프라(기반시설)을 극대화시키고, b. NYC를 깨끗한 전기 자원(재생에너지 비중 확대 등)의 중심지로 개편시키며, c. 민간의 건물 및 주택 소유자에 대해 청정에너지 프로젝트 및 태양열 설치 등을 지원하고 있다.

2) 뉴욕시의 기후정책 관련 예산 프로세스



< 뉴욕시 기후정책 관련 예산 편성 및 집행 흐름도 >

뉴욕시는 기후변화 대응 및 복원력 향상을 위해 필요한 정책 예산을 수립하고 집행하는 프로세스를 기존의 일반적인 예산 과정과 차별화하여 신속하고, 다층적인 이해관계가 반영될 수 있도록 예산정책 패러다임을 전

환한 것으로 평가되고 있다. 뉴욕시 본부는 건물, 교통, 레크리에이션 공간, 에너지 공급 및 인프라를 구성하는 수십억 달러의 자본 포트폴리오를 총괄 감독하는 역할에 집중한다. 환경부, 건설부, 에너지부 전담부서(agency)별로 온실가스 배출량을 줄이거나 복원력을 높이려는 특정(세부)목적의 일부 투자가 집행되는데, 이는 비용효율적인 주택의 증가, 기존 사회간접자본(인프라)의 적정수준 유지 관리, 학생들을 위한 급식 프로그램 등 사회적 활동을 포함한 종합 프로그램 등도 병행 추진하면서 기후변화 정책이 사회정의 정책의 목표와도 연계, 일치될 수 있도록 개선했다. 부서별로 각각 수립된 정책투자 프로세스는 해당 투자가 우리를 올바른 길로 인도할 것인지, 잘못된 방향으로 이끌 것인지, 아니면 발전을 가속화할 것인지를 기준으로 분석, 평가되며 추후 피드백을 통해 유지 또는 개선된다. 뉴욕시 시장 산하 예산 관리실(OMB)의 환경지속가능성 및 복원력 태스크포스(Environmental Sustainability & Resiliency Task Force)가 지속 가능성 관련 투자를 조정하고 안내하는 담당부서이지만, 이 외에도 뉴욕시장 직속의 기후 및 환경 정의 담당부서(MOCEJ Office of Climate & Environmental Justice)와 협력하여 PlanNYC: Getting Sustainability Done 이니셔티브를 함께 이끌어 나가는 조직구조를 갖춰 두었다. 기후예산의 집행 및 결산 상황에 대한 모니터링 및 보고는 투명성과 책임성을 보장하기 위해 시의 제3자 기관을 통해 면밀하게 실시된다. 기후 이니셔티브 관련 예산에 대한 첫 번째 모니터링 보고서는 2024년 4월에 발표될 예정이다.

(4) 미국의 기후변화 정책과 그린인프라(Green Infrastructure)⁹⁾

1) 미국 도시계획 정책에서 바라보는 지속가능한 인프라 개념 및 최근 동향

국내의 다양한 법률 및 정책 및 각종 계획 상에서 ‘지속가능성’이라는

9) Zbigniew J Grabowski, Timon McPhearson, A Marissa Matsler, Peter Groffman, Steward TA Pickett, 'What is green infrastructure? A study of definitions in US city', Jan 2022, <https://doi.org/10.1002/fee.2445>

개념이 빈번하게 사용되고 있으나, 그 개념적 정의에 대해서는 법률적, 철학적 배경이 상이한 측면이 있다. 예를 들어, 저탄소녹색성장기본법, 자연환경보전법 또는 생물다양성법 등에서 사용되는 지속가능성의 개념과 국토개발 및 산업진흥에 관한 법률 등에서 사용되는 지속가능성의 개념이 정밀하게 유사하지는 않은 상황이다. 이로 인하여, 해당 법률에 근거를 두고 시행되는 각종 정책과 인프라 투자에 대한 사업에 있어서도 그 개념적 차이가 발생하면서 예산투자의 우선순위 또는 설치지역에 대한 갈등관리, 더 나아가 그린인프라를 어떻게 바라보고 있는지에 대한 근본적 입장 차이가 발생할 수 있는 상황이다. 따라서, 지속가능한 인프라 구축, 운영을 위한 국내 예산, 제도 등의 개선방안을 도출하기 위한 선행과제로써, ‘그린인프라’에 대한 개념적 정의를 둘러싼 선진국의 학계 동향을 분석할 필요가 있다.

Zbigniew J Grabowski 등 연구진은 미국 뉴욕시 소재의 Urban System Lab 소속으로서, 미국 20개 도시에서 진행되고 있는 약 120여개의 도시계획 사례를 분석하여 그린인프라에 대한 개념 정립 실태 및 그린인프라의 유형, 기능 및 순기능의 인정범위 등에 대해 포괄적인 분석을 실시하였다. 미국 연방정부 차원에서 그린인프라 프로젝트로 확실하게 인정되고 있는 가장 일반적인 도시계획 사례를 살펴보면, 대부분 미국수질법(Clean water act)에서 규정하고 있는 빗물, 하수시스템 관련 프로젝트이다. 지자체 단위에서는 수질 관련 사항 뿐만 아니라 주택, 교통, 택지 등 도시 전체 계획을 포함한 프로젝트 속에서 그린인프라 개념을 다루고 있는데, 이 중 약 3분의 1 이상의 계획에서는 그린인프라에 대해 명시적인 정의규정을 두고 있지 않다. 다만, 폭우, 침수에 대비하는 인프라 또는 경관사업 등을 그린인프라로 많이 간주하고 있으며 본 프로젝트와 연계된 다수의 하부(sub) 프로젝트에서도 다양한 계획 유형 및 데이터 베이스 네트워크까지도 광의의 그린인프라 개념에 포함시키기도 한다.

즉, 미국 내 주요 도시계획 사업에 있어 대부분 그린인프라를 명시적으로 따로 정의하지 않고 있는 반면, 별도로 그린인프라를 규정한 경우에는 단순히 경관(landscape) 측면보다는 개발, 유지 보수 및 재생사업 등 통

합적인 개념으로 정의하고 있는 것이 일반적이다. 더불어, 그린인프라의 개별적 유형은 매우 다양하며 소규모 엔지니어링 프로젝트에서 그린인프라 개념이 가장 활발히 적용되는 반면, 도심공원 또는 대규모 도시 녹지 공간 조성사업의 경우에는 그린인프라가 아닌 환경시설로 적용되는 경우도 많다. 미국 도시계획 상에서 바라보는 그린인프라의 핵심 기능은 주로 수문학적 차원(도시 배수, 정수 처리 등)에서 많이 다루어지고 있지만, 도시의 미적 경관수준의 향상 및 시민들의 심신안정을 유도하는 레저공간으로서의 기능을 포함한 통합적 정의로 전환되고 있는 추세이다. 한편, 최근들어 그린인프라의 빗물처리 기능 등 순기능만을 강조하던 과거와 달리, 과도한 효과성 과장 등에 대한 우려로서 녹색위장주의(Greenwashing)에 대한 경계도 함께 논의되고 있다. 미국 도시계획 차원에서 향후 그린인프라 관련 연구와 프로젝트는 기존의 도시 배수 및 빗물처리 기능에 초점을 둔 접근으로부터 도시 속 생물다양성의 증진을 위한 생태학적 시스템 개선 및 지속가능한 건설 기반시설 시스템 사이의 연계성을 보다 강화하는 방향에 초점을 두고 그린인프라에 대한 새로운 개념적 정의를 정립해 나갈 것으로 전망되고 있다.

2) 미국 기후변화정책 상 그린인프라의 유형

미국 도시계획 상에서 사용되어 지고 있는 153개의 그린 인프라 관련 개념정의와 690여개의 그린인프라로 분류될 수 있는 잠재적 시설 유형 등을 포함하여 분석한 결과, (1)생태계서비스(ecosystems), (2) 물처리 등 물적 및 기술적 요소, (3) 복합적 요소(hybrid facilities)로 나눌 수 있는데, 이 3가지 영역 전반에 걸쳐서 가장 많은 시설은 나무(도시의 90%), 생물학적 저류시설(자연늪지, 연못, 호수 등), 인공적 우수처리시설, 녹색지붕 등이 해당된다. 도시계획의 유형별 특징을 살펴보면, 그린인프라만을 대상으로 한 개별계획 보다는 이 부분이 일부 분 포함되어 있는 종합계획(comprehensive plans)이 가장 많았고, 공개공지로 마련된 녹지 공원, 하천유역 개선 계획, 지속가능성 커뮤니티 증진 계획 등에서도 많이 다루어지고 있는 것으로 밝혀졌다. 자연적 우수처리시설의 개념에는 산책로, 농장, 정원, 해안가, 공원 속 자전거

도로 등은 그린인프라의 개념에서 제외되고 있으며, 조경적 측면 (landscape)에서 살펴보면 인공적 우수처리시설, 수조, 토양 및 빗물 저장고과 같은 시설물 역시 그린인프라의 범주에서 제외시키고 있다.

3) 美 바이든정부 2024년 예산 중 기후변화 및 회복력(resilience) 관련 내용¹⁰⁾

2024년 예산에는 기후변화에 대처하기 위한 연방정부 차원의 대응정책 및 지역사회 회복력과 지속가능성 향상을 위한 재원으로써, 약 240억 달러가 포함되어 있다. 전통적인 환경오염 방지 관련 사업은 물론이고, 재난으로부터의 안전성이 이전에 비해 강화될 수 있도록 하는 사회인프라 개선 사업 및 전국단위의 청정에너지 혁신을 위한 예산도 포함한다. 이번 지출은 2030년까지 미국의 탄소 배출량을 절반으로 줄이고 2050년까지 넷제로를 달성하려는 바이든 대통령의 공약 이행을 위한 근간이 될 것이다. 반영된 세부사업 내용을 살펴보면, ■기후탄력성과 보전(climate resilience and conservation) 관련 사업에 240억 달러, ■기후변화 관련 R&D 및 청정에너지 혁신(climate science and clean energy innovation)에 165억 달러, ■에너지 저장 및 전송 프로젝트(energy storage and transmission projects)에 65억 달러, ■청정에너지 인프라 일자리 창출(jobs building clean energy infrastructure)에 45억 달러, ■기후변화 적응 금융재정(adaptation finance) 관련 30억 달러, ■환경정의 이니셔티브(environmental justice initiatives)에 18억 달러, ■산업부처 탈탄소화 활동(Energy Department's industrial decarbonization activities)지원사업 관련 12억 달러 등이 포함되어 있다.

청정에너지 관련 그린인프라 구축사업(45억 달러)을 통해 기후 회복력 증진과 더불어 도시 및 농촌지역에 균형잡힌 일자리 창출 효과도 함께 도모한다. 예를 들어, 이 예산에는 지자체(지방정부)와 저소득계층 중심의 가정을 중심으로 옥상 태양광 패널 설치 및 에너지저장 장치 설치비용을

10)

www.whitehouse.gov/omb/briefing-room/2023/03/09/fact-sheet-president-bidens-budget-lowers-energy-costs-combats-the-climate-crisis-and-advances-environmental-justice/

지원하는 사업(5,000만 달러)이 포함되어 있는데, 이는 지역단위에서부터 화석연료로부터 벗어나 지속가능한 에너지 체계를 구축하고자하는 데 그 목표가 있다.

한편, 기후 친화적인 교통망을 확대하기 위하여 연방 차원의 고속도로 신설, 개선 프로그램에 601억 달러, 도시 간 여객 철도 보조금을 위한 연방-주 파트너십 협력사업에 5억 6천만 달러를 제공한다. 더불어, 대중교통의 이용 편의 향상을 위해 전국단위 여객 철도 네트워크를 확장하고 전기 자동차 충전기의 전국 네트워크를 구축하는 사업도 증액되었다. 예를 들어, 전기차 충전 및 대체 연료 공급 인프라 구축을 위한 연구사업에 15억 달러, 탄소 감소 프로그램에 13억 달러, 기후회복력 관련 프로그램에 18억 달러 등이 포함되어 있다. 이 외에도, 무공해 차량 및 관련 충전 또는 연료 공급 인프라를 위해 21개 기관에 8억 100만 달러를 투자하는데 이는 친환경자동차량 및 부품을 생산하기 위한 미국 내 제조업 역량 향상을 이끄는 동시에 기후변화 대응능력향상을 함께 도모하기 위한 예산이다. 항공 분야에서도 기후변화 지원 예산이 대폭 증가되었다. 하이브리드 전기 제트 엔진을 개발하기 위해 민간의 항공산업계와 파트너십을 체결하고, 항공기로부터 발생하는 온실가스 효과를 저감시킬 수 있는 방안을 연구하기 위한 R&D예산, 그리고 기존 항공 연료의 연료효율성을 높이는 기술개발 지원 사업 등 광범위한 분야에 대해 미항공우주국(NASA)의 녹색항공이니셔티브(5억7천만 달러)를 지원한다.

지자체가 기후재해를 겪었을 경우, 그 피해를 최소화하고 효율적으로 회복될 수 있기 위해 필요한 각종 사업도 반영되었다. 기후변화로 인한 홍수, 산불, 폭풍, 폭염, 가뭄에 대한 지역사회의 회복력을 구축하기 위해 내무부(DOI), 농업부(USDA), 국방부 및 광범위한 유관 기관의 기후회복력 증진사업 개별적 편성 및 집행을 위해 240억 달러 이상을 투자한다. 자연환경의 보전 및 생태계시스템 관리, 자연재해 대응 체계 개선, 기후변화 영향에 민감하고 취약성이 더 큰 농촌지역 주택에 대한 회복력 강화 및 임대료 부담 저감 등이 포함된다.

더불어, 기존의 연방재난관리청(FEMA) 보조금 프로그램에 33억 달러를 지원하고, 미래 홍수위험 지도 제작 연구개발에 5억 달러 이상을 투자함으로써 주정부 및 지방정부가 사전에 침수피해를 예방할 수 있는 그린 인프라 확대를 유도한다. 특히, 해안 및 내륙 홍수 위험을 해결하기 위해 육군 공병대의 사후대응 지원 사업에 19억 달러 이상을 투자하고, 홍수피해를 입은 지자체에 대한 보조금 1억 7천만 달러가 반영되었다. 또한 반복적인 홍수 손실을 줄이기 위한 장기 전략의 일환으로 행정부는 군단, FEMA 및 NOAA를 포함한 기관 간 실무 그룹을 소집하여 연방 기관이 전 세계의 해안 지역 사회를 식별하는 데 사용할 수 있는 방법론을 개발 중이다. 향후 연방정부 차원의 홍수대응 투자 정책에 대한 정보를 전국 지자체에 정보하고, 보다 효율적으로 활용할 수 있도록 하는 정보시스템도 함께 구축될 계획이다.

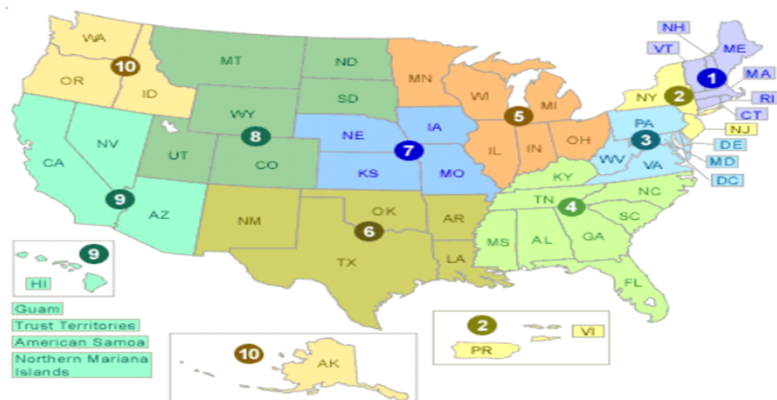
한편, 미국 전역을 대상으로 한, 도심 속 자연(도심공원 등)에 대한 접근성 향상을 위해 고품질 레크리에이션 공간(녹색공간)을 대폭 확대하는 투자를 추진한다. 현재, 미국 인구 중 약 1억명이 집에서 공원지역까지 도보 10분 이내에 갈 수 없는 상황이고 특히 저소득층, 유색인종 집중 주거지역에 집중되어 있다. 즉, 유색인종 공동체와 저소득층 공동체는 깨끗한 물, 깨끗한 공기, 레크리에이션을 위한 도심공원의 부재 등 생태계서비스를 향유할 수 있는 기회가 불균형적으로 낮은 편이다.

미 정부는 도심 속 낙후지역을 중심으로 도심공원 등 고품질 레크리에이션 인프라를 확충하기 위하여 1억 3,500만 달러를 투자하고, 국립공원 관리 관련 예산을 총 38억 달러 이상 규모를 투입하여 생태적으로 우수한 자연환경의 지속가능한 관리 인프라를 구축하는데 집중적인 노력을 기울이고 있다. 이 밖에도, 멸종위기종법률에 따른 세부적 프로그램 추진, 국립 야생동물 보호 시스템 강화, 철새 및 어류 등 수생태계 보존 관련 연구개발 지원 예산을 비롯하여 다양성 증진을 위한 예산투자도 그린인프라 예산과 함께 투입된다. America the Beautiful 계획의 역점 사업 중 하나인 개인의 사유지의 자발적 보존 노력을 적극 촉진하기 위한 파트너십 지원 사업에 8,000만 달러가 투입되는 것도 주목할 만한 점이다.

II. 본 론

(1) 미국 환경청(EPA) 환경금융센터의 탄소중립 정책 지원

미국 환경청(EPA)는 2022년 11월 4일 공식 보도자료를 통해 Biden 정부의 환경금융정책의 일환으로, 지자체가 중심이 되어 사회적 인프라(green infrastructure 등)의 효율적 자금 조달 및 지속가능한 운영을 위한 프로그램 시행을 돕기 위해 10개 권역, 29개의 EPA 환경금융센터(Environmental Finance Centers)를 새롭게 선정, 발표했다. 환경금융센터는 전국 주(state) 권역 단위의 주정부간의 공중 보건 및 환경보전에 기여하는 사회적 기반시설(예: 상하수도 시설, 가뭄 및 홍수 조절 시설 등) 및 온실가스 감소 프로젝트(온실가스 흡수 및 저장시설 등)를 위한 연방 기금에 접근할 수 있는 다양한 금융서비스 및 기술적 지원을 담당하는 기관이다. 바이든 정부의 Bipartisan Infrastructure 법률안에 따라 도입된 환경금융센터는 역사적으로 연방 기금에 접근하는 데 어려움을 겪은 비연방 단위의 주정부 및 커뮤니티가 지속가능한 수자원 및 상하수 정수 및 공급시설 개선을 위한 시스템 개선에 필요한 지원을 받을 수 있도록 돕는 것을 대표적인 목표로 삼고 있다. Biden정부는 물 관련 정책적 지원 책 이외에도 모든 사람이 숨 쉴 수 있는 깨끗한 대기질 확보, 환경오염으로부터 안전하고 쾌적한 토양 환경 조성, 기후변화 적응 능력(회복력) 향상 등 종합적인 환경정책 목표 달성을 위해 환경금융센터를 도입, 활용 중이다.



(美 환경금융센터 전국 10개 권역 설치 현황도, 출처: www.epa.gov)

미국 전역에 설치된 환경금융센터는 전국 주(state)별 주요대학 또는 독립 연구기관들과 연계, 지정되어 협력하고 있다. 2023년 말을 기준으로 ①University of Maine System, ②Syracuse University, ③Low Impact Development Center Inc., ④University of Maryland, ⑤University of North Carolina, ⑥Urban Sustainability Directors Network, ⑦Michigan Technological University, ⑧University of New Mexico, ⑨Wichita State University, ⑩National Rural Water Association, ⑪University Enterprises, Inc. dba Sac State Sponsored, ⑫Rural Community Assistance Corporation이 운영 중이다.

Bipartisan Infrastructure 법률안은 환경적, 사회적 위협으로부터 지자체 및 커뮤니티의 안전과 지속성을 향상시킬수 있는 물리적, 사회적 인프라(Green Infrastructure)를 구축하기 위해 2021년 도입된 초당적 법률안이다. Bipartisan Infrastructure 법률안이 통과된 후 미국 환경청(EPA)은 미국 지역사회의 건강, 형평성 및 회복력 관련 프로젝트에 막대한 금융투자를 지원하고 있다.

연방정부 차원에서 전국 주(states) 단위의 지원을 위한 수자원 인프라 투자는 예산의 한계로 인해 항상 부족한 수준이었고, 그에 따라 불충분하게 구축된 수자원 인프라는 미국의 안보를 위협하고 사람들의 건강, 직업, 마음의 평화, 국민의 삶의 질을 위협하는 위험요인으로 인식되기 시작했다. Bipartisan Infrastructure 법률안은 미국의 식수, 폐수 및 빗물기반 시설을 개선하기 위해 EPA에 500억 달러 이상을 제공하고 있다. 세부적인 환경금융 투자분야는 다음과 같다.

○ 안전한 식수 제공

상수도 관로의 재질을 안전하고, 위생적인 물질로 교체함과 동시에 기존에 구축되어 있던 납성분이 포함된 노후 관로를 개선하기 위한 Drinking Water State Revolving Fund 기금(SRF)에 약 117억 달러, 식수 정화시설 적접투자 관련 SRF에 150억 달러, 신중 오염 물질에

대한 식수 처리비용 관련 SRF에 40억 달러, 잠재적 오염 물질을 해결하기 위해 WIIN(Water Infrastructure Improvements for the Nation) 보조금에 50억 달러 등을 투자했다. 이와 같은 투자정책이 갖는 사회적 의미를 살펴보면, 미 전국에는 특히 낙후된 지방도시를 중심으로 여전히 600만에서 1,000만 개의 이 상의 노후 납 관로가 방치되어 있으며, 특히 그 중 다수는 사회적으로 취약한 계층(유색인종 및 저소득층) 거주 지역사회에 위치해 있기 때문에 그 시급성이 매우 크다는 점에 있다.

Bipartisan Infrastructure 법률에 대한 투자로 인해 수백만 명의 미국 가정이 물에 함유된 납 및 기타 오염 물질로 인한 건강 위협을 완화할 수 있으며, 이와 관련된 수자원 인프라에 대한 투자는 결국 지역사회에 거주하고 있는 사회적 취약계층을 비롯한 다수의 시민이 참여할 수 있는 양질의 일자리를 제공할 수 있다는 순기능도 갖는다.

○ 지역사회 하천 정화사업 투자

EPA는 식수 제공 이외에 지자체별로 오염 수준이 천차만별인 하천 수계의 정화수준 향상을 위해 Clean Water State Revolving Fund SRF에 117억 달러, 신흥 오염 물질에 대한 Clean Water SRF에 10억 달러를 예산 투자한다. 수생태계를 중심으로 한 자연 생태계서비스 질의 향상은 단기적으로는 환경정화적 기능을 향상시키고, 중장기적으로는 인근 거주 지역 주민의 물리적, 심리적 건강성 향상을 이끄는 순기능을 갖는다. 마찬가지로 수생태계 정화 관련 인프라 투자는 막대한 토목 프로젝트를 수반하므로 다양한 시기에 양질의 일자리를 안정적으로 제공할 수 있는 사회 정책이기도 하다.

○ 보호지역 수역 관리

Billion for Geographic Programs에 17억 달러, 국가하천 하구둑 개선 및 걸프만 산소공급 프로그램 등에 약 2억 7천만 달러를 투자한다.

Chesapeake만에서부터 오대호, Puget sound 등 막대한 권역에 걸쳐 국가 하천의 하구둑 지역을 중점적으로 토양유실 방지 및 부영양화 관련 프로그램 투자, 하천지역의 시민휴양 시설 투자 등을 동반한다.

이 밖에도, EPA 및 환경금융센터는 EFC 보조금 프로그램을 통해 기술 지원 지자체에게 지역 사회가 온실 가스 감소 기금을 통한 BIL(Bipartisan Infrastructure Law) 자금 및 온실 가스 감소 프로젝트를 위한 SRF(State Revolving Fund) 신청서를 포함하여 프로젝트 제안서를 수립, 작성하기 위한 기술적 지원도 함께 제공하고 있다. 환경금융센터는 지속 가능한 인프라 솔루션을 식별하기 위한 기술 지원으로 소외된 커뮤니티를 지원하는 것을 공식적인 목표로 설정하고 있으며 전문적인 외부 이사회 및 금융기술 전문기관 외부 지원 등을 추진하고 있다.

(2) 버지니아 주의 도시회복력 증진 위한 그린인프라 정책

1) 버지니아 비치의 홍수위험 현황 및 분석 (Understanding Flood Risks¹¹⁾)

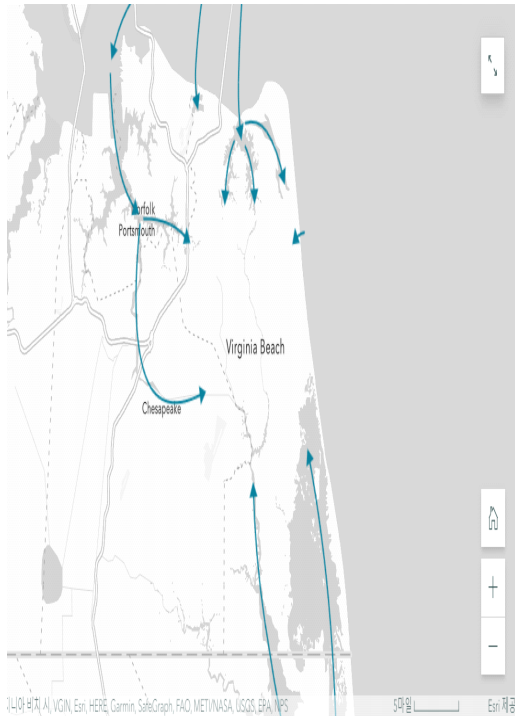
○ 추진 배경

버지니아 비치는 대서양 해안가를 따라 세로로 길게 늘어져있는 곳임에 따라 도시 홍수의 대부분이 해안홍수로부터 야기되고 있다. 즉, 해안 홍수는 해안가, 만, 하천 등에서부터 도시 내부로 물을 몰고 오는 압력을 어떻게 잘 관리하느냐가 관건이다. 기후변화로 인해서 더 많은 양의 수증기가 바다로부터 생성되고 이는 더 큰 격차의 조수, 강한 바람, 빈번해지는 허리케인 등으로 인해 그 피해가 심해지고 있다. 특히, 도시의 해안경계로부터 발생하는 홍수의 양이 증가하고 있기 때문에 해수면 상승에 따른 침수피해에 대한 대책도 시급한 상황이다. 도시 내부로부터 발생하는 침수피해 압력과 더불어 해안으로부터 해수면 상승에 따라 유입되는 침수피해 압력이 더해

11) City of Virginia Beach Department of Public Works, June 2020

출처: <https://storymaps.arcgis.com/collections/5bde0a2b4cec4bf7966d0fc5d564d9d9?item=2>

지면서 더 광범위하고 복잡한 형태의 홍수문제가 발생하고 있는 것이다.



<버지니아비치 홍수 유입 경로>

Station Name	Years of Record	Trends (mm/yr)	Trends (ft/cent.)	Rank
Eugene Island, LA	35	9.65	3.17	1
Grand Isle, LA	66	9.07	2.98	2
Apra Harbor, Guam	20	8.6	2.82	3
Galveston Pleasure Pier, TX	54	6.62	2.17	4
Galveston Pier 21, TX	105	6.35	2.08	5
Chesapeake Bay Bridge Tunnel, VA	38	5.96	1.96	6
Ocean City, MD	38	5.67	1.86	7
Rockport, TX	65	5.53	1.82	8
Lewisetta, VA	39	5.5	1.8	9
Sabine Pass, TX	55	5.46	1.79	10
Colonial Beach, VA	38	4.89	1.6	11
Cape May, NJ	48	4.6	1.51	12
Sewells Point, VA	86	4.57	1.5	13
Duck, NC	35	4.57	1.5	14
Freeport, TX	36	4.43	1.45	15
Atlantic City, NJ	102	4.08	1.34	16
Sandy Hook, NJ	81	4.06	1.33	17
Chesapeake City, MD	41	3.93	1.29	18
North Spit, CA	36	3.86	1.27	19
Gloucester Point, VA	53	3.81	1.25	20

12)

<미국 해안지역 해수면상승 현황 비교 (파란색 표시부분이 버지니아 지역)>

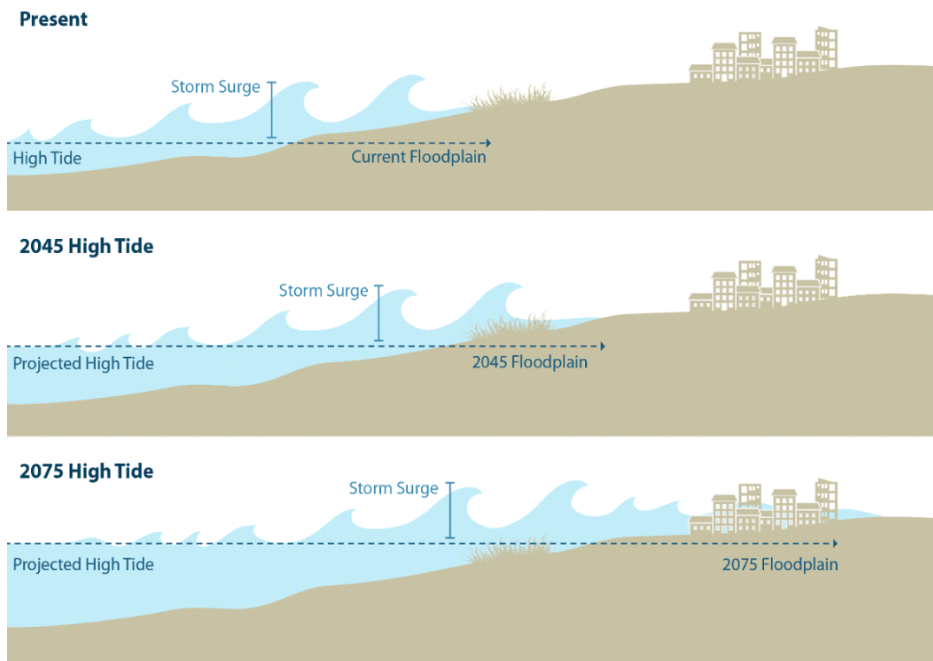
○ 해수면 상승 현황

버지니아 비치의 해수면 상승 속도는 지구적 상승속도의 약 2배에 이를 정도로 빠르게 진행되고 있다. 버지니아 주에 전역에 설치되어 있는 5개의 해수면 수위 장기관측소에서는 과거의 해수면 상승 정도 및 미래의 속도 패턴을 관찰, 분석하고 있다. 지금까지의 관측결과를 살펴보면, 버지니아 남동부의 해수면 상승률은 미국 전역의 해수면 상승률 중에서도 상위 10% 수준에 달하고 있다. Virginia Beach 인근에 위치한 Norfolk市에 설치되어 있는 Sewells Point 조수간만 측정시설은 약 100여년의 해수면 높이를 측정 및 정보제공 역할을 수행하고 있다.

이 측정시설에서 관찰한 바에 따르면, 버지니아 비치 지역의 해수면이 과거 50년간 약 0.8피트 상승된 것으로 나타났다. 버지니아 비치의 해수면

12) <https://storymaps.arcgis.com/collections/5bde0a2b4cec4bf7966d0fc5d564d9d9?item=2>

상승을 둘러싼 또 다른 문제점은, 이 지역의 해수면 상승은 해안지대 토지의 점진적인 침하 또는 급격한 유실로 인하여 그 피해가 더 빠르게 상승하고 있다는 점이다. 예를 들어, 해안 지역 중 하나인 햄프턴 로드 (Hampton Roads) 지역의 땅이 가라앉거나 유실되면서 이 지역의 ‘상대적 해수면’ 상승 효과가 상대적으로 50% 이상 더 유발된 것으로 분석되었다. 즉, 해수면 상승 그 자체와는 별개로 육지에 있는 담수(강, 호수 등) 및 지하수가 유실되면서 지반이 침하되고 육지수위가 감소함에 따라 땅이 더 가라앉게 되면서 육지표면에 비해 해수면 상승 속도가 더 크게 벌어지는 효과가 나타난다. 더불어, 폭풍이 자주 발생함에 따라 부수적으로 야기되는 태풍 해일 홍수의 경우, 만조시기에 맞물리게 되면 내륙 심층부까지 쉽게 도달하면서 도시인프라 및 인명, 재산상 심각한 피해를 야기하게 될 것으로 전망하고 있다.



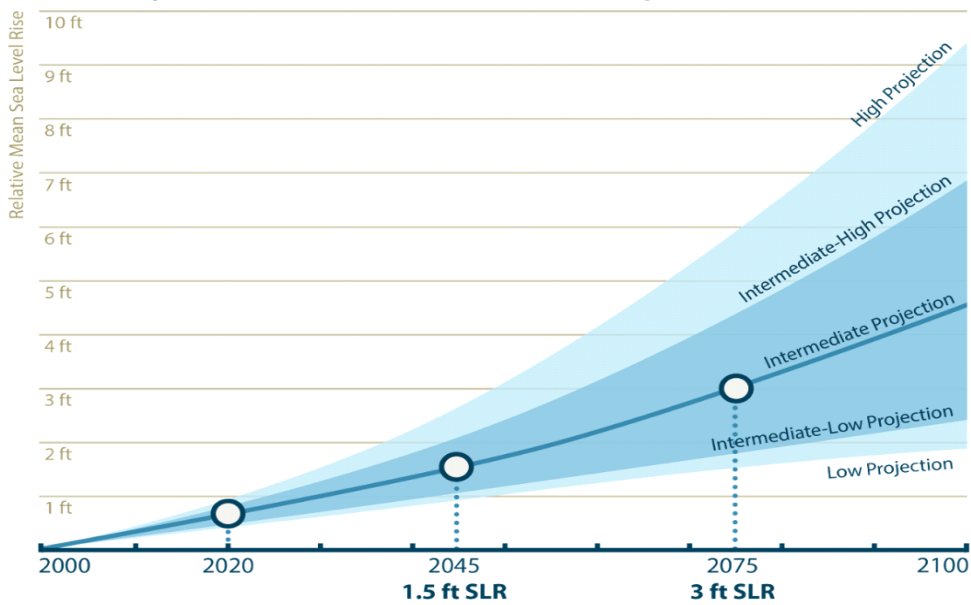
13)

<현재, 2045년, 2075년 기준 태풍해일 위험 리스크 전망>

○ 해수면 상승 시나리오

13) <https://storymaps.arcgis.com/collections/5bde0a2b4cec4bf7966d0fc5d564d9d9?item=2>

버지니아 비치 해수면 상승에 대한 의문점은 이제 더 이상 논쟁의 대상이 아닐 정도로 해수면 상승이 지속될 것이라는 과학적 관찰 결과는 지속적으로 발견되고 있다. 버지니아 비치 해수면 상승 시나리오의 경우에는 관련된 정부대책 계획의 필요성, 비용 효율성, 과학적 불확실성 사이의 균형을 맞추는 것을 기준으로 삼고 제작되었다. 해수면 상승 및 침수피해 대응 관련 정책 수립을 위해 고려할 시나리오로써, 버지니아 비치는 2035년~2050년 사이에 약 1.5피트의 해수면 상승 시나리오를 선택했고, 이는 단기간 동안의 대응 계획을 수립하는데 사용된다. 반면, 2065년부터 2085년까지의 계획을 위해서는 해수면 3피트 상승 시나리오를 사용하는데, 장기계획뿐만 아니라 긴급대피 경로, 공공건물, 대규모 홍수 위험 감소 조치 등 중요 인프라(SOC) 수립에 필요한 평가 작업 및 설계, 시공 등에도 활용된다.



< 해수면 상승 시나리오표(2000-2100) >

○ 버지니아 비치의 노후화된 인프라

버지니아 비치 대부분의 사회 인프라(SOC)는 도시개발 초기 당시의 표준에 맞추어 설계, 건설되었다. 우수의 배수 및 활용 등 관련된 기반 시설의 대부분은 1950년대 도시가 성장하면서 건설되었으며 현재는 설계 수명 주기가 거의 끝나가고 있는 상황이다. 설계 당시에는 해수면 상승, 강

수량 변화 등의 문제에 대한 인식과 상황분석이 부족했으며 더 나아가 일부 시설의 경우, 예산부족 등 재정부족에 따라 당초 설계된 대로 건설되지 않은 경우도 있다. 시 당국은 현재 배수 시스템 개선을 위한 새로운 마스터플랜 수립 연구를 통해 도시배수의 성능을 평가하고, 개선사항을 도출하고 있다.

2) 버지니아 해안도시 회복력 종합대책

○ 수립 배경

버지니아 주(Virginia State) 정부¹⁴⁾는 2021년 12월 최초로, 버지니아 연안(대서양)의 침수 피해 최소화 및 기후변화 적응력 향상을 위해 버지니아 해안도시 회복력 종합대책(Virginia Coastal Resilience Master Plan)을 발표했다. 버지니아는 대서양 연안을 따라 대규모 도시(Virginia Beach), 주택 밀집지역 등이 입지해 있음에 따라, 기후변화에 따른 해수면 상승으로 인한 피해에 대해 직접적인 정책적 대응이 강하게 요구되어 왔으며 실질적인 정책개입이 활발하게 이루어지고 있는 지역이다. 버지니아 주정부는 해안 도시의 침수 피해에 그치는 것이 아니라, 해안 습지 지역의 범람 및 담수호의 염수화에 따른 생태계 변화 등 다양한 사회적 문제(경제, 문화, 환경)가 발생하고 있는 상황에서 사회기반시설(인프라)의 개선방향이 포함된 종합대책을 마련하는 것을 목표로 삼았다.

한편, 버지니아 해안도시 회복력 마스터플랜을 수립함에 있어 유사한 지리적, 기후적 환경에 놓인 루이지애나 주의, 뉴올리언즈 市(New Orleans, Louisiana) 사례가 참고되었다. 루이지애나주 정부는 2005년 허리케인 카트리나 이후, 역대급 침수피해를 입은 뉴올리언즈 지역의 도시침수 복원력 향상을 위해 도심 습지공간 조성 프로젝트 기획, 추진하고 있다. 이는 Greater New Orleans Urban Water Plan의 일환으

14) Virginia Department of Conservation and Recreation (DCR), Office of Governor Ralph S. Northam Commonwealth of Virginia

로써, 도시의 홍수 대응능력 향상을 이끄는 Mirabeau Water Garden 디자인을 설계하는 것에서부터 시작되었다. Waggonner & Ball 등 Carbo Landscape Architects의 분석에 따르면, 도심 내 습지 조경 설계를 통해 빗물유출을 저감시키고, 여과를 통해 오염 물질을 제거할 수 있는 강력한 홍수대응 그린인프라 부지(지역)을 만들 수 있을 것으로 전망되었다. Mirabeau Water Garden 개발은 지역 주민의 안전을 개선하는 동시에 뉴올리언스의 부동산 가치를 높이고 지역 사회 레크리에이션 공간과 교육 시설을 제공하는 것을 최종 목표로 한다.

○ 마스터플랜 수립시 주요 고려사항

이 마스터플랜은 약 2천명이 넘는 전문가, 정부 관련 인사, 그 밖의 이해관계자(학계, 민간단체 등)들의 참여와 협력을 통해 완성되었으며, 업무 추진방식에 있어 크게 3가지 측면이 고려되었다.

- (1) 기술 연구(Technical Study) : 해안 복원력 데이터베이스 구성을 위해 필수적인 측정 데이터, 선행 분석연구 자료, 기존 분석연구의 진행 과정 및 기후회복력 증진을 위해 추진된 정책들의 효과 분석 등을 수행함
- (2) 기술 자문 위원회(Technical Advisory Committee) : 기후회복력 대책 관련 주요 이해관계자 간의 기술적 접근방식 및 결과 해석에 대한 의견 조정을 지원하고, 마스터플에 활용되는 각종 데이터 및 분석방법을 통합적으로 추진될 수 있도록 하는 역할을 부여함
- (3) 이해관계자 참여(Stakeholder Engagement) : 버지니아 해안 지역 사회의 주민, 지방 및 지역 공무원, 기타 이해관계자로부터 다양한 복원력 관점을 수렴하여 지역별 복원력 우선순위를 설정하고, 마스터플랜에 반영되도록 조치

○ 마스터플랜 주요 성과

버지니아 해안도시 회복력 종합대책(마스터플랜)을 수립하는 과정에서 도출된 연구 방법론 및 추진 프로세스 상에서의 주요 성과는 다음과 같다.

- 버지니아 지역 연안에서 현재 및 미래시점에 홍수 위험(flooding hazards)에 노출되는 토지지역을 평가, 결정하고 이를 토대로, 버지니아 연안 뿐만 아니라 전체 주 단위(Commonwealth)의 홍수빈도의 변화를 예측할 수 있게 되었다.
- 해안 홍수 노출 모델링 결과를 기반으로 사회적, 자연적, 건축물 등 버지니아 내 주요자산에 대한 영향(impact)을 평가, 추정한다.
- 해안홍수 위험 수준에 따라 잠재적으로 영향을 미칠 수 있는 버지니아의 지역별 사회적 취약성과 연안 홍수 위험 노출이 높은 지역을 분류하고, 각 지역별로 우선적으로 조치해야할 인프라 대응정책을 도출할 수 있다.
- 계획 지구 및 지역 위원회, 지역 및 커뮤니티와 함께 워크숍을 실시하여 현지 주민들의 이해를 돕기 위한 소통활동을 바탕으로 연안 홍수로 인한 영향분석 및 평가결과를 구체화시켰다.
- 버지니아 주 내에 있는 지자체 단위에서 추진할 수 있는 침수피해 대응 및 복원력 향상 관련 프로젝트에 대한 인벤토리를 수립, 정리하고 이 과정에서 필요한 데이터를 추적, 수집하는 프로세스를 수립하게 되었다.
- 2020 Virginia Coastal Resilience Master Planning Framework에서 제시되어 있는 버지니아 주 단위 연안 복원력 향상 전략에 얼마나 잘 부합된 프로젝트인지를 평가하고 이에 따라 우선순위를 도출할 수 있는 방법론을 개발함과 동시에, 관련된 프로젝트에 연계될 수 있는 재정적 자원의 펀딩 출처 및 자금조달 방법을 제시했다.

- 기존에 시행되었던 Virginia Coastal Zone Management Program 내 복원력 향상 사업의 수행결과 등을 고려 및 추가 보완하여, 지자체 단위 복원력 향상 프로젝트 관련 보조금 및 금융 조달 프로그램에 대한 인벤토리를 구축했다.
- 연안 홍수 위험, 영향, 진행 중이거나 제안된 프로젝트 및 이니셔티브, 자금 지원 프로그램, 기타 관련 정보에 대한 데이터를 공개하여 주, 지역 및 지방 차원의 복원력 노력을 지원하는 연안 복원력 데이터베이스와 온라인 공개를 위한 웹사이트를 마련하였다.

3) 버지니아 알렉산드리아市(City of Alexandria) 기후변화 적응형 도시 정책 설계 사례

○ Eco-city Clean Waterways Initiative of the City of Alexandria, Virginia¹⁵⁾

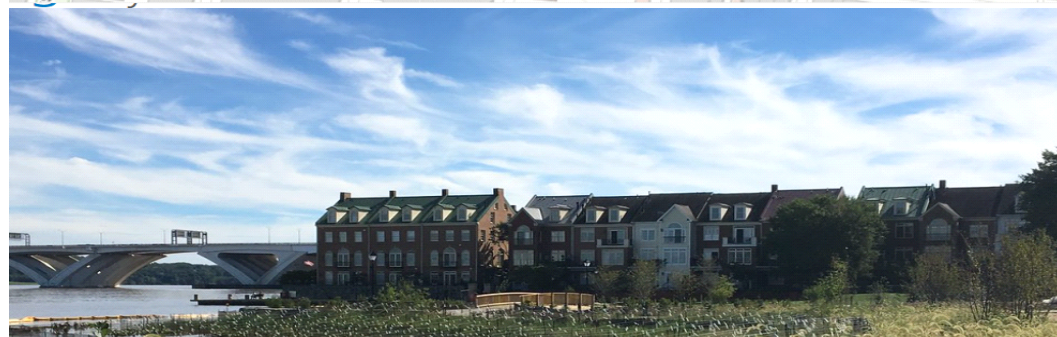
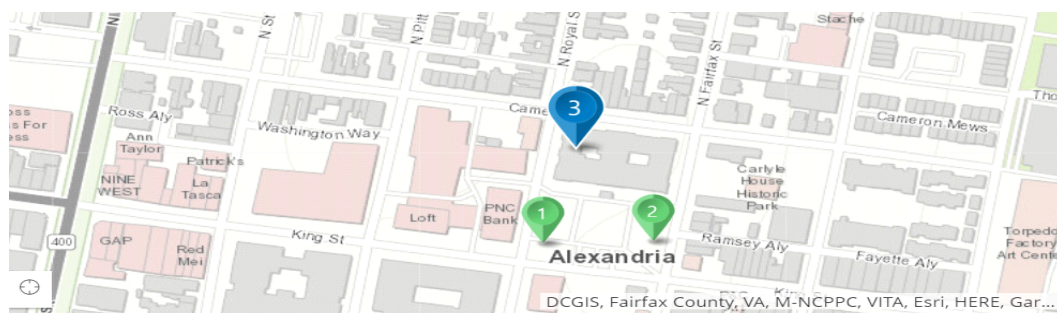
2016년 버지니아 주 내에 위치한 Alexandria市는 지역 내 폭풍우 하수 처리역량 평가(Alexandria Storm Sewer Capacity Analysis)를 바탕으로 주요 범람위험 지역을 중심으로 그린인프라 이니셔티브를 추진했다. 2016년 당시, City of Alexandria Storm Sewer Capacity Analysis (CASSCA) 분석 결과, 현행 우수처리 및 하수 시스템의 개선을 위하여 홍수 지역에 대한 명확한 분류와 해당지역 맞춤형 솔루션 개발 및 정책 우선순위를 도출할 수 있었다. 주요방법론으로는 지난 10년간, 24시간 단위 데이터를 활용(알렉산드리아 시에서 권장하는 설계 기준)하여, 침수지역 식별 및 정책 우선순위 도출하는 것이 핵심적 방법론이었다. 주요내용을 살펴보면, 우선 비용편익 분석을 통해, 그린인프라(Green Infrastructure, GI), 빗물 저장 및 우수 흐름도 개선 등 포토맥 강(Potomac River; Backlick Run; Cameron Run 등) 전 유역에 걸친 정책대안을 제시했다. 더불어, 빗물 유출은 강수량이 토지 또는 불투수 표면(건물, 도로, 주차장 등) 위로 흐를 때 발생하는데, 빗물 하수의 43퍼센트가 불투수되며 별도의 우수 시스템의 빗물 유출수는

15) 출처: <https://www.alexandriava.gov/CleanWaterways>

200마일의 배수 파이프 및 25마일에 달하는 하천 지류 네트워크를 통해 최종 하천으로 흘러가도록 설계했다는 점이다.

○ 버지니아 알렉산드리아市の 도시침수 대응 관련 그린인프라(Green infrastructure)¹⁶⁾

알렉산드리아 시는 다양한 형태의 그린인프라를 설치하는 지역을 기존 합류식 하수 서비스(Combined Sewer Service, CSS) 지역에서부터 시 전체 공간으로 확대하고 있다. 상시적으로 발생하는 알렉산드리아 도시 침수 문제를 해결하기 위한 선도적인 수단으로 그린인프라가 선택한 이유는 유출되는 빗물을 감소시키면서 오염물질도 제거함과 동시에 급격히 몰려오는 빗물을 순간적으로 저류, 저장할 수 있는 비용효율적인 수단이기 때문이다. 2023년 기준으로, 알렉산드리아 시의 약 94에이커의 면적에서 발생하는 빗물 유출수가 그린인프라를 통해 처리되고 있다. 시 정부는 홈페이지를 통해 시 권역 지도와 함께 현재 설치되어 있거나, 설치계획 중인 그린인프라의 실제 위치와 현장사진, 주요기능을 제공하는 버추얼투어 서비스도 제공하고 있다.¹⁷⁾



알렉산드리아 시 그린인프라 버추얼투어 실제 구현 화면

16) <https://www.alexandriava.gov/stormwater-management/green-stormwater-infrastructure>

17) <https://alexgis.maps.arcgis.com/apps/MapTour/index.html?appid=b4ac060d824d446a8e87c1c293b8588d>

알렉산드리아 시가 입지한 지역에는 체서피크만(Chesapeake Bay)이 있는데 이는 미 동부의 버지니아 주를 비롯해 메릴랜드 주까지 걸쳐져 있으며, 총 면적은 16.6만km²이고, 총 길이는 6,946km에 달하는 거대한 만이다. 알렉산드리아 시는 체사피크 만으로 유입되는 총 일일 최대 부하량(Total Maximum Daily Load, TMDL) 목표를 달성하기 위해 시립빗물 하수 시스템(City's Municipal Separate Storm Sewer System, MS4) 상에서도 다양한 형태의 그린인프라 설계를 적용하고 있다. 또한, 합류식 하수 시스템(CSS)에도 그린인프라 수단을 적용하면서 하수도 범람을 줄이기 위한 다양한 노력을 하고 있다.

알렉산드리아 시에서 그린인프라 프로젝트는 2016년 당시, 시 자체적으로 실시한 우수 하수도 용량 분석에서 가장 우선순위가 높은 문제 상황을 해결할 수 있는 대안사업 중 하나로 제안되었다. 특히, 그린인프라는 강 상류지역, 도시 외곽의 배수 면적이 작은 지역에서 비용 효율성이 더 높은 것으로 나타났다. 2019년의 경우, 일일 최대부하량(TMDL) 2단계 실행계획 상에서 기존의 불투수 지역을 보수하기 위한 첫 번째 정책대안으로 인공적 시설물을 설치하는 것이 아닌 그린인프라를 설치하는 것으로 선정되었다. 또한 버지니아 주정부는 산업계에 성명을 발표하여 향후 새롭게 개발되는 도시구역(택지) 및 재개발 현장에서 그린인프라 설치를 장려했다.

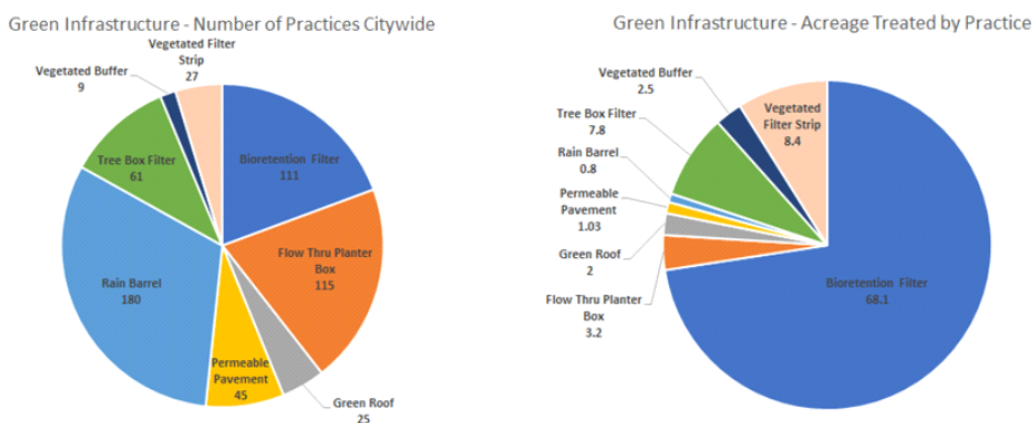


그림 11 출처: alexandriava.gov

<https://www.alexandriava.gov/sites/default/files/2022-02/GreenInfrastructureGraphs.png>

18) 출처: https://farm5.static.flickr.com/4856/45972629041_9e76c0920f_b.jpg

2022년 발표된 알렉산드리아 시 그린인프라 통계에 따르면, 시 전체에 설치된 그린인프라 유형의 수의 경우 빗물통(rain Barrel) 180개, 식물 재배 화분 물 통로(Flow thru Planter Box) 115개, 식생체류지 필터(bio-retention filter) 111개, 나무상자 필터(tree box filter) 61개, 우수 투과 포장도로(permeable pavement) 45개, vegetated filter strip¹⁹⁾ 27개, 녹색 지붕(green roof) 25개, 식생 완충지(vegetated buffer) 9개의 순으로 배치되었다. 한편, 실제로 설치된 면적을 기준으로 살펴보면, 식생체류지 필터(bio-retention filter)가 가장 큰 비중(68.1%)이었고, vegetated filter strip 8.4%, 나무상자 필터(tree box filter) 7.8%, 식물 재배 화분 물 통로(Flow thru Planter Box) 3.2%, 식생 완충지(vegetated buffer) 2.5%, 녹색 지붕(green roof) 2%, 우수 투과 포장도로(permeable pavement) 1.03%, 빗물통(rain Barrel) 0.8%로 나타났다.

개인주택 단위에서의 그린인프라 이외에 민간기업에 의해 시행되는 대규모 도시인프라의 공사에 있어서도 그린인프라를 확대, 장려하기 위한 조치도 마련되었다. 알렉산드리아 시정부는 산업계를 대상으로 특정 신규 개발 및 재개발 프로젝트를 실시할 경우, 공공 통행로에서 유출수를 처리할 수 있도록 하는 기술이 반영되도록 요구하고 있으며, 시에서 직접 친환경 도로 및 보도 BMP 설계 지침(가이드라인)을 제작, 배포하고 있다. 특히 이 설계 지침은 대규모 건물이나 시설, 대규모 마스터플랜 시행 지역 등 대규모 신축 공사가 이루어지는 신규 개발 또는 재개발 지역에 적용되며, 기존 통행로를 보수하는 작업까지도 가이드라인 대상에 포함된다.

알렉산드리아 시의 빗물을 활용하는 그린인프라 프로젝트 설치사업은 상위계획 성격을 갖는 Eco-City Clean Waterways 이니셔티브에 따라 도입된 계획 중 하나이다. 여기서 활용되는 그린인프라의 종류로는 생물학적 저류 필터(bio-retention filters), 빗물 정원(rain gardens), 빗물 투과 포장도로(permeable pavements), 생물학적 저류나무 연못시설(bio-retention tree wells) 등이 있다.

19) 식생 필터 스트립(잔디 필터 스트립, 필터 스트립 및 잔디 필터)은 인접한 표면에서 나오는 우수 및 토사의 흐름을 처리하기 위해 식물(잔디 등)이 식재된 거리 공간으로, 빗물 속도를 늦추고, 침전물 및 기타 오염 물질을 걸러내는 기능 등을 갖는다.

(출처: 미 EPA., <https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-11/bmp-vegetated-filter-strip.pdf>)

○ 버지니아 알렉산드리아 시의 빗물관리 조경설계 우수 사례²⁰⁾
(Stormwater Best Management Practices)

■ 빗물 그린인프라(Green Stormwater Infrastructure) 일반 내용

알렉산드리아 시의 Eco-City Clean Waterways 이니셔티브에서 규정한 바에 따르면, 빗물 그린인프라는 자연적인 기능을 사용하여 도시공간 속 빗물의 유출을 양과 그 속도를 줄이면서, 수원지 근처에서 자체적으로 처리하기 위한 친환경적 접근 방식으로 볼 수 있다. 이는 자연생태계의 물처리 프로세스를 모방, 복제하고 특히 나무와 같은 식물의 물 저장 및 사용량을 효율적으로 활용함으로써 빗물 유출의 양과 속도를 줄이는 것이다. 또한 그린인프라는 도시공간 속 불투수 면적을 줄이고 토지의 자연상태계를 통해 빗물이 수로로 유입되는 유출수와 오염을 줄이는 대규모 혹은 소규모의 각종 시설물을 의미하기도 한다.

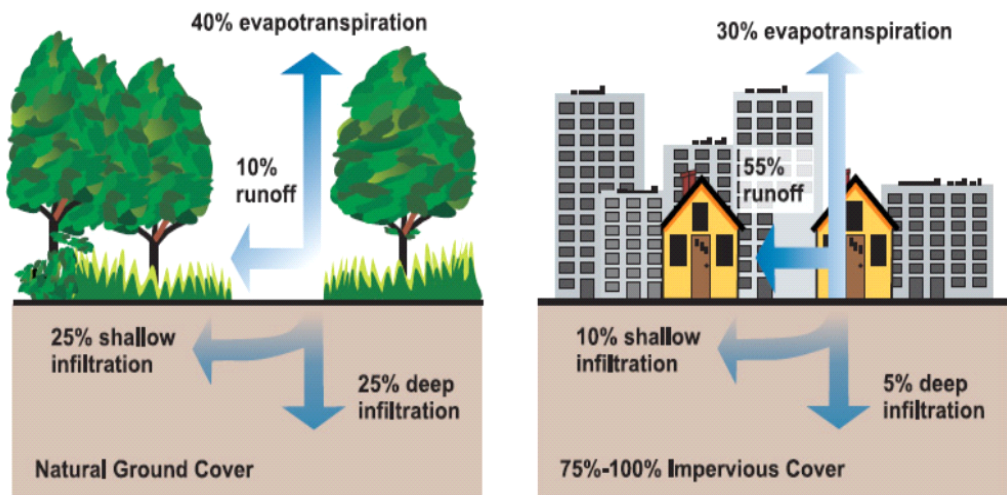
버지니아 알렉산드리아 시는 만약, 이와 같은 빗물 그린인프라가 설치되지 않는다면, 오염된 빗물이 하수도 관로로 직접 유입되고 또는 지역 하천, 더 나아가 미동부에 위치한 최대 강 하류 밀집 지역인 Chesapeake만으로 유입될 수 밖에 없는 지리적 여건을 가지고 있다. 그린인프라의 몇 가지 예로는 생물 저류 필터(bioretention filters)와 빗물 정원(rain gardens), 투수성 포장, 생물 저류 나무 우물 등이 있는데, 이 중 상당수는 별도의 물리적 공간이 필요하지 않고 기존 도시 도로와 인도에서 재배치 및 설치될 수 있다는 장점이 있다.

빗물 그린인프라는 빗물을 가두거나 천천히 흘러가게 하는 기능 이외에도 도시 생활공간 속에 더 많은 녹지 공간을 조성한다는 점과 길거리 경관의 매력과 보행로의 쾌적함이 향상된다는 점, 도심 대기질의 개선을 통한 시민의 삶의 질 향상 효과, 그리고 기후변화로 인해 심해지는 폭염에 대응하여 도시열섬 효과를 감소시키는 등 가외적인 공익적 효과를 제공할 수 있다는 점이 또 다른 순기능이다. 생물 저류 필터와 빗물 정원에

20) 출처:

<https://www.alexandriava.gov/stormwater-management/stormwater-best-management-practices#RainGardens>

의해 포집된 물은 과거 빗물 관로를 통해 하수로 흘러가 처리비용을 야기시켰던 과거와 달리 인근 생태공원 내에 서식하고 있는 식물들의 식생을 위한 자원으로 활용될 수도 있다.



21)

(불투수 피복과 표면 유출 사이의 관계. 출처: 미국 EPA)

버지니아 정부는 태풍 발생시 야기될 수 있는 홍수상황에 대비하여 빗물을 효율적으로 관리하기 위해 승인된 모범사례(BMP)를 발표하고 있다. 여기에는 소규모 주택부터 빗물 친화적 조경설계가 반영된 도시 공공 인프라 건물까지 포함된다. BMP는 수질, 홍수, 하천 제방 침식에 대한 영향을 줄이기 위해 자연적인 물 순환을 재현하고 수원지 근처의 빗물을 현장에서 관리하기 위해 노력하는 조경설계 프로젝트까지 모두 친환경 인프라 BMP로 간주하고 있다. 구체적인 사례 예시는 다음과 같다.

■ 빗물 드럼통(Rain Barrel)

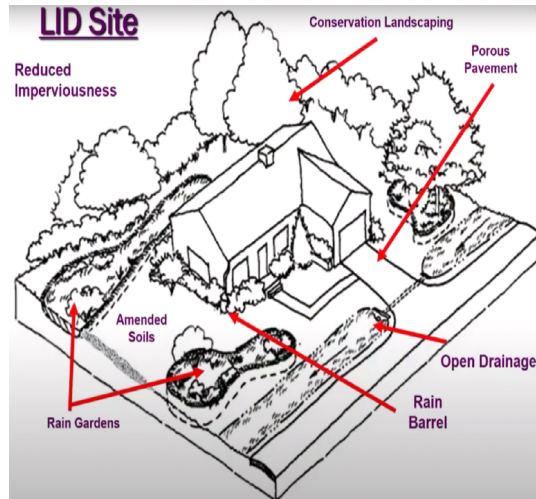
빗물통(Rain Barrel)은 빗물을 모으기 위해 배수구 아래에 설치하는 통 모양의 용기를 의미한다. 홍수대응을 위한 일차적인 빗물 저장기능 이외에도 빗물을 모아두면 화분에 물을 주거나 세차를 하고 수도 요금을 줄이는 데 사용할 수 있다. 빗물통은 주택 소유주가 물을 모아 재활용할 수

21) 출처: <https://www.alexandriava.gov/sites/default/files/2022-02/EvaporationDiagram.jpg>

있는 간단하고 효율적이며 저렴한 방법이며, 빗물을 재사용할 수 있도록 도와주는 대표적인 BMP로 간주한다.



22)



23)

■ 빗물 정원(Rain garden)

이 중 빗물 정원의 경우에는, 단독 주택과 townhouse 형태의 주거지역에 적합한 형태의 그린인프라 중 하나로, 일종의 마이크로 생물 저류 필터의 기능을 수행하게 된다. 빗물 정원은, 별도의 대규모 생물 저류 필터와 마찬가지로 홍수가 발생했을 경우 쏟아지는 유출수를 순간적으로 저류시켜 식물이 이용하거나 땅에 스며들게 할 수 있는 그릇 모양의 식재 공간이기 때문이다. 폭풍우가 치는 동안 유출수는 일반적으로 지표의 Mulch층(썩은 나뭇잎, 목재껍질과 같은 성질의 물질로 퇴비처럼 위에 쌓여있는 곳) 위 6~12인치에 고인 이후에 모래, 토양, 유기물이 섞인 혼합물을 통해 빠르게 투수된다.

빗물 정원을 설치할 때, 필요시 하부의 땅을 더 굴착하여 투과성이 더 좋은 토양을 채우고, 그 위 토양에 가뭄과 홍수 상황에서 상대적으로 잘 견딜 수 있는 식종을 선택한다.

22)

https://media.alexandriava.gov/docs-archives/tes/oeq/info/rainbarrelinstallationbrochure.pdf?_gl=1*8q0ypw*_ga*MTQ5MjA5OTU1MS4xNzA1NjMwNzE2*_ga_249CRKJTTH*MTcwNjMwMTMwMi44LjEuMTcwNjMwMTkxNC4wLjAuMA..

23) <https://youtu.be/9nyZRwAuM8g>

한편, 알렉산드리아 시 당국은 개인주택 소유자들로 하여금 자발적인 빗물 정원 설치 유도를 위하여 가이드라인(Homeowner Guide For a More Bay-Friendly Property)을 제작, 배포하고 있으며, 홍수발생시 빗물과 관련된 생물저류 필터로서 기준에 부합하는지 여부에 대해 스스로 체크할 수 있는 기준 설계안(예: VA State Standards and Specifications No. 9)도 업데이트하여 제공하고 있다.²⁴⁾

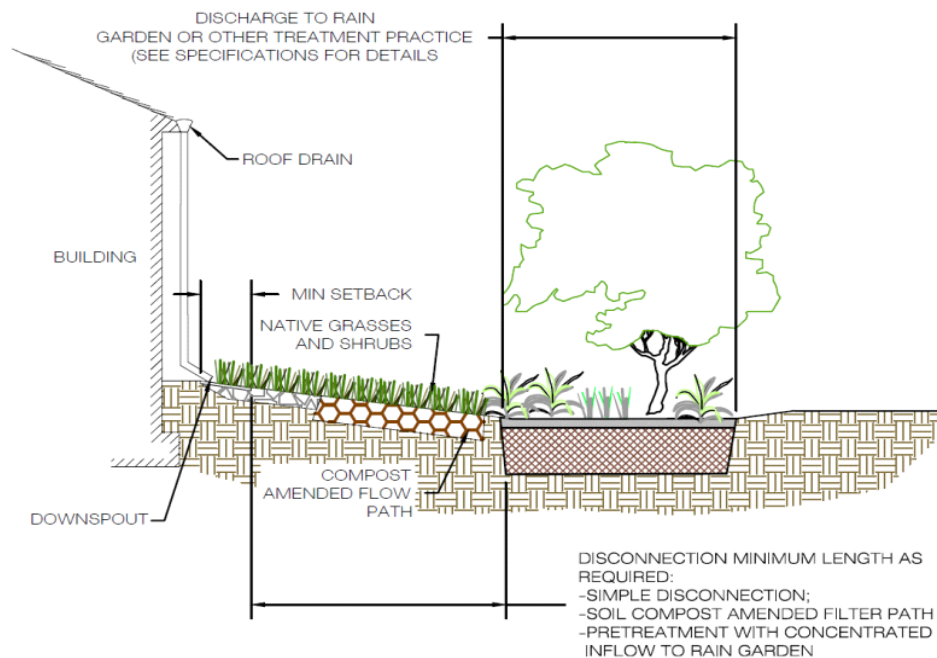


그림 15 개인주택용 빗물정원 설계시 충족해야할 기준안 제시 사례
출처: VA DEQ Stormwater design specification No.9, Bioretention, 2021. p7

시간이 지나 식물이 더 성장할 경우, 빗물정원의 기능은 더 향상될 뿐만 아니라 경관적인 측면에서도 더 풍성하고 아름다운 도시공간을 만들게 된다. 한편, 홍수발생 이후에 빗물정원 연못에 고인 물이 빠르게 배수(48시간 이내)되기 때문에 일반적인 도시홍수 이후 저류 연못에서 생기는 모기발생 예방효과도 얻을 수 있다.²⁵⁾

24)

https://www.swbmp.vwrrc.vt.edu/wp-content/uploads/2017/11/BMP-Spec-No-9_BIORETENTION_v1-9_03012011.pdf

25)

https://media.alexandriava.gov/docs-archives/health/info/envhealth/cdcmosquitobitepreventionhandout-april2016.pdf?_gl=1*1mm6b2o*_ga*MTQ5MjA5OTU1MS4xNzA1NjMwNzE2*_ga_249CRKJTTH*MTcwNjE1MjU5My4zLjEuMTcwNjE1MzcxNy4wLjAuMA..



그림 16 버지니아 알렉산드리아 시에 설치된 빗물정원 설치 현장(홍수 전후 비교)

출처: <https://www.alexandriava.gov/sites/default/files/2022-02/RainGardenBioRetention.jpg>

알렉산드리아 시 정부는 개인주택 소유자들이 설치한 빗물 정원의 지속가능한 운영을 위해, 엄격한 검사 및 유지보수를 위한 기준을 정해 정기적인 관리를 하고 있다. 점검 및 유지관리는 최소 1년에 한 번씩 실시해야 하며, 빗물 정원이 제대로 작동하는지 여부를 판단하기 위해 다음과 같은 사항에 대해 검사를 실시해야 한다.

- 빗물정원 주변공간의 경사면에 관찰 가능한 침식이나 빗물 정원으로의 퇴적물 유입이 없는지 여부와 함께 주변공간이 다른 나무(식물)에 의해 필터로서의 기능에 영향을 받을 정도로 덮여있는지 확인해야 한다. 이 과정에서 빗물 정원의 유속이나 유출을 늦추고, 정원의 침식이나 퇴적물 유입을 막는데 영향을 주는 식물종(10가지)에 해당되는지 확인해야 한다.
- 빗물 정원 상단부에 나뭇잎, 부스러기, 퇴적물이 없는지 확인하고, 있을 경우 신속히 제거해야 한다. 빗물이 식물의 뿌리덮개를 통과하여 지하로 흐르는 것을 막을 수 있기 때문이다.

- 빗물 정원에 식재되어 있는 식물들이 일관되고 균일한 비율(약 75%-90%)로 덮여 있는지 확인해야 한다. 동일한 양의 식재층이라 하더라도 균일하게 덮여 있는 빗물정원의 경우 빗물을 더 효율적으로 흡수하고 상단부의 침식을 줄이는 데 도움이 된다.
- 빗물 정원에 죽은 식물이 없는지 확인하고, 죽은 식물이 있다면 제거 후 바로 다시 식재해야 한다. 이 과정에서 알렉산드리아 지역에 자생하는 식물종을 우선해야 하며, 개화를 촉진하기 위해 필요한 경우 나무와 관목의 이미 죽은 다년생 식물의 가지치기를 할 수 있다.
- 빗물 정원은 최초 설치시기에서부터 토종 자생 식물 종으로 구성되어야 하며, 외래 침입종은 금지된다. 토종 식물은 지역 토양과 기후 조건에 적응하고 자연 생태계를 보존하는 데 도움이 되기 때문이다. 버지니아 기후에 맞는 자생 식물 종에 대한 데이터베이스는 버지니아 시 당국이 제작하여 시민들에게 제공한다.
- Mulch(덮개 부분)은 빗물 유출수가 밑에 있는 토양 매체로 흘러갈 수 있도록 단단하게 다진 상태가 아니어야 하고, 두께는 2~3인치 사이로 두껍지 않게 조성되어야 한다.
- 비가 내리는 동안 빗물 정원에 고인 물은 48시간 이내에 배수가 되는 상태를 상시 유지하고 있는 지 여부를 검사한다.

■ 빗물 수확용 수조(Cisterns for Rain Harvesting)

저수조는 지붕에서 흘러내리는 빗물을 배수구에서 모으는 데 사용되는 대형 탱크를 뜻하며, Rain barrel에 비하여 대규모의 주택 또는 빌딩에서 사용된다. 특정 제한사항이 충족되면 수집된 물을 관개 또는 기타 건물 용도로 사용하여 수도 요금을 절약할 수 있다. 검사 및 유지보수는 최소 1년에 한 번씩 실시해야 하며, 시 당국에 의해 심사되는 제사한 항목은 다음과 같다.



26)

그림 17 Cisterns for Rain Harvesting 설치사례, VA



27)

그림 18 Rainwater Harvesting 시공 현장

- 물통에 균열 및 기타 손상이 없는지 확인하고, 물통외부에 찌그러짐, 균열 또는 누수를 유발할 수 있는 기타 결함이 있는지 확인해야 한다.
- 물통에 누수가 없는지 확인해야 하며, 일부 누수된 흔적이 있을 경우 밸브, 피팅 및 기타 하드웨어는 필요에 따라 교체해야 한다.
- 매년 봄과 가을에 정기적으로 홈통과 배수구에 나뭇잎과 이물질을 청소해야 하며, 이를 통해 저수조로 물이 계속 흐르고 지붕 누수 및 물 손상으로부터 집을 보호할 수 있다.
- 저장된 물은 정기적으로 사용해야 한다. 물통에 저장된 물은 비가 온 후 곧바로 배수하여 다음 비를 대비한 용량을 확보해야 하며, 첫 번째 겨울이 열기 전에 물통을 분리하고 배수해야 한다. 빗물 수확용 수조(Cisterns for Rain Harvesting)에 포집된 빗물을 정기적으로 재사용하면 빗물 유출량과 오염물질 부하를 크게 줄일 수 있고 이는 환경적, 경제적 이익을 발생시킨다. (예: 물 절약 증가, 가뭄 및 의무

26) <https://www.alexandriava.gov/sites/default/files/2022-02/CisternCityFacility.jpg>

27)

https://www.swbmp.vwrrc.vt.edu/wp-content/uploads/2017/11/BMP-Spec-No-6-RAINWATER-HARVESTING_v1-9-5_03012011.pdf

적인 도시 물 공급 제한 시 물 공급, 도시 또는 지하수 공급 수요 감소, 최종 사용자의 물 비용 감소, 지하수 재충전 증가 가능성 등). 빗물 집수 시스템은 유출수 감소 및 영양염류 제거 능력을 향상시키기 위해 미세 침투법, 빗물 정원 또는 기초 화분과 같은 다른 그린인프라 설계 방식과 결합할 수 있다. 포집된 빗물의 가장 일반적인 용도는 비식용 목적이지만, 일부 제한된 경우에는 빗물을 식수 기준에 맞게 처리하여 사용할 수도 있는데, 이는 정수처리 방법과 최종 사용수질이 식수 기준 및 규정을 충족하고, 집수 시스템이 보건부 및 지역 관리 당국의 승인을 받았다는 전제하에 허용된다.

■ Dry Wells

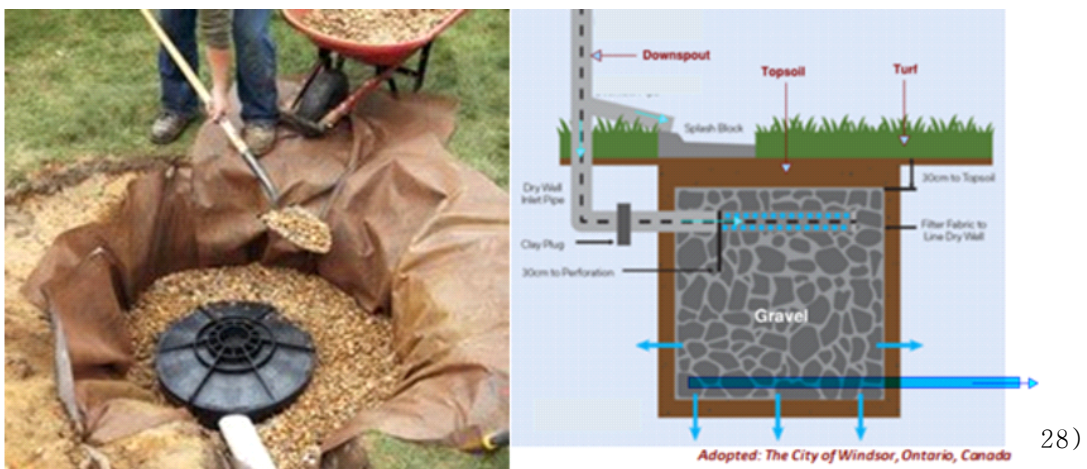


그림 19 Dry Wells 실제 공사현장 및 설계도면 예시

Dry Well은 버지니아 BMP 관리 당국이 공인하는 마이크로 우수 관리 그린인프라 시설 중 하나로 인정되고 있다. Dry Well은 물이 토양에 침투할 때까지 깨끗하고 세척된 균일한 크기의 돌 사이의 공간에 유출수를 일시적으로 지하에 저장한다. 토양 침투 테스트를 실시한 곳에서만 설치할 수 있으며, 테스트 결과 침투율이 허용 가능한 것으로 인정받은 경우에만 설치할 수 있다. 설계, 전처리(예: 잎 거터 스크린) 및 유지관리 요건은 설치 면적 규모에 따라 다양한 기준이 적용되고 있다. Dry Well에 대한

28) <https://www.alexandriava.gov/sites/default/files/2022-02/DryWell.png>

검사 및 유지관리는 적어도 매년 실시해야 하며, 우수의 침투 흡수기능이 제대로 작동하는지 여부를 판단하려면 다음 사항에 대한 심사를 통과해야 한다.

- Dry Well 주변 지역에 침식이나 침전물이 실습으로 유입되지 않는지 여부를 확인하기 위해, 사전에 설치 주변 지역을 식물로 덮어 두어야 하며. 식물이 자랄 때까지 침전물이 실습장으로 유입되는 것을 줄이기 위해 노출된 지역은 짚단으로 덮어둘 수 있다.
- 매년 봄과 가을에 배수로와 배수구에 나뭇잎과 이물질은 치워 연습장으로 물이 계속 흐르게 하고 지붕 누수 및 침수 피해로부터 집을 보호하고 있는지를 테스트해야 한다.
- 설치 지역 표면과 내부에 쓰레기, 나뭇잎, 퇴적물이 쌓이지 않도록 인공적인 구조물을 설치할 수 있다.
- 우천 시에는 연습장에 물이 고일 수는 있으나 이 빗물은 최소 48시간 이내에 배수되는지 여부를 확인한다.

■ Flow thru planter box



Flow thru planter box는 일종의 지상 빗물 정원으로서, 단독주택 및 타운하우스에 적합한 마이크로 생물 저류 필터 그린인프라로 볼 수 있다.

29) <https://www.alexandriava.gov/sites/default/files/2022-02/FlowThruPlanterBox.png>

대규모로 조성된 도심공원 속 생물 저류 필터 및 빗물 정원과 마찬가지로, 폭풍우 시 유출수가 주택가 인근 다수의 공간에 잠시 모일 수 있는 공간을 제공한다. 특히, planter box는 물받이에서 물을 받아 지표면 덮개 층 위 6~12인치에 물이 고이게 하고, 이 빗물은 모래, 흙, 유기물이 섞인 혼합물을 통해 빠르게 여과된다. 고인 물이 모기 번식에 필요한 시간보다 짧은 24~48시간 이내에 배수되도록 설계해야 모기 발생에 의한 피해를 예방할 수 있다. Flow thru planter box에서 일부 유출된 빗물은 식재된 자생종 식물이 흡수하여 자원으로 활용되는데, 그 목적에 맞게 홍수기와 가뭄기 모두 비교적 잘 견딜수 있는 수종을 식재한다. Flow thru planter box의 토양 매체를 통해 걸러진 유출수는 일반적으로 빗물 배수 시스템에 따라 설치되어 있는 지하관로를 통해 배출된다. Flow thru planter box의 정기점검은 최소 1년에 1회 필요하고, 그 상세한 점검 필요사항은 다음과 같다.

- 상자에 균열이나 좌굴, 라이너의 찢어짐 또는 침수 흔적이 있는지 확인해야 하고, 상자 벽에 물이 새는 흔적(물줄기)이 있는지 확인한다.
- 비가 오는 동안 화분 상자에 물이 고일 수 있으나, 이 빗물은 48시간 이내에 뿌리 덮개와 토양 매체로 배수되는지 확인해야 한다. 만약, 물이 고여 있다면, 덮개부분 상단에서 상자 가장자리까지 공간이 있는지 확인해야 한다.
- Flow thru planter box에 식재되어 있는 식물이 약 75%~90% 이상 고르게 분포되어 있어야 한다. 균일한 상태를 유지하는 식재 덮개는 유입되는 유출수를 분산시키고, 빗물을 흡수하며 상자의 뿌리 덮개 침식을 줄여준다.
- 버지니아 자생종 식물상 데이터베이스를 참조하여 해당 지역에 자생하는 식물을 선정하여, 식재했는지 여부를 확인한다. 필요한 경우, 개화를 촉진하기 위해 나무와 관목의 죽은 가지와 죽은 다년생 식물을 가지치기해야 한다. 토종 식물은 지역 토양과 기후 조건에 적응하여

자연 생태계를 보존하는 데 도움이 되므로 외래 식물이 없는 토종 식물로 구성한다. 뿌리 덮개는 유출수가 밑에 있는 토양 매체로 흘러 들어갈 수 있도록 다져지지 않은 상태를 유지해야 하며, 이때의 두께가 2~3인치 사이여야 합니다.

■ 도시 영양분 관리 계획(Urban Nutrient Management Plans)

도시 영양분 관리 계획(Urban Nutrient Management Plans)은 알렉산드리아 등 버지니아 지역 내 도시에 설치되는 골프장, 경기장, 커뮤니티 센터 등 전통적인 토목인프라 및 그린인프라 등 공사현장의 비료사용 양을 적절수준으로 조절하기 위한 정책이다. 즉, 적절한 비료 사용을 위한 청사진을 제공하여 수질에 해를 끼칠 수 있는 과도한 비료와 영양분을 우수 유출수를 감소시키기 위한 목적이다. 이 계획에는 환경에 대한 영양분 손실을 줄이고 고품질 잔디 및 조경 식물을 생산하기 위해 식물 영양분을 함유한 비료, 퇴비 또는 기타 물질의 양, 배치, 시기 및 적용을 관리하는 내용들이 포함되어 있다. 버지니아 주정부의 환경보전 및 공원조성 담당 부서인 Department of Conservation and Recreation(DCR)에서 인증한 잔디 및 조경 분야의 영양 관리 계획 전문가를 통해 실시되어야 한다.

■ 자연보전형 조경 설계(Conservation landscaping)



자연보전형 조경 설계(Conservation landscaping)는 마당의 잔디밭이나 맨땅을 자생 식물로 대체하여 오염된 유출수를 줄이는 것을 통해 도시

30) <https://www.alexandriava.gov/sites/default/files/2022-02/ConservationLandscaping.jpg>

침수 대응 회복력(Resilience) 향상에 도움이 된다. 자생종 식물은 빗물의 유출을 최소화할뿐만 아니라 토양 건강성에 도움이 되는 영양분을 추가 또는 오염을 감소시키는데 가장 효과적인 수단으로 알려져 있다. Conservation landscaping은 홍수 발생했을 경우, 유출수의 양과 속도를 줄이고 수로를 보호하는 단기적 도시침수 대응 효과를 넘어서, 초원이나 숲으로 우거진 완충지대 또는 식생 필터 스트립(vegetated filter strips)을 구축하는 것도 포함될 수 있다. 자연보전형 조경 설계(Conservation landscaping) 그린인프라를 구축하기 위해서는 다음과 같은 사항들을 중점적으로 고려해야 한다.³¹⁾

- 인간의 사용과 복지를 위해 환경에 유익하고 효율적이고 미학적으로 기능하도록 설계한다
- 현장 조건에 적합한 현지 자생 식물을 사용합니다.
- 외래 침입종 식물 제거 및 향후 비자생 식물 침입 방지를 위한 관리 계획을 수립한다.
- 야생동물에게 서식지를 제공한다.
- 건강한 공기 질 생성을 촉진하고 대기 오염을 최소화한다.
- 물을 절약하고 자연적으로 정화할 수 있도록 설계한다.
- 건강한 토양을 촉진합니다.
- 에너지를 보존하고, 폐기물을 줄이며, 살충제와 비료의 사용을 제거하거나 최소화한다.

알렉산드리아 하수도 관리 담당부서에서는 약 189마일에 달하는 우수 관로관리(stormwater management)를 담당하고 있는데, 대부분 포토맥 강으로 흘러 들어가는 시스템을 구축하고 있다. 알렉산드리아 내 많은 수로를 따라서 위치한 공공용지(공원 등) 및 사유지 중에서 범람원(floodplain)에 위치한 지역을 자연 범람원으로 지정, 관리하고 있는데,

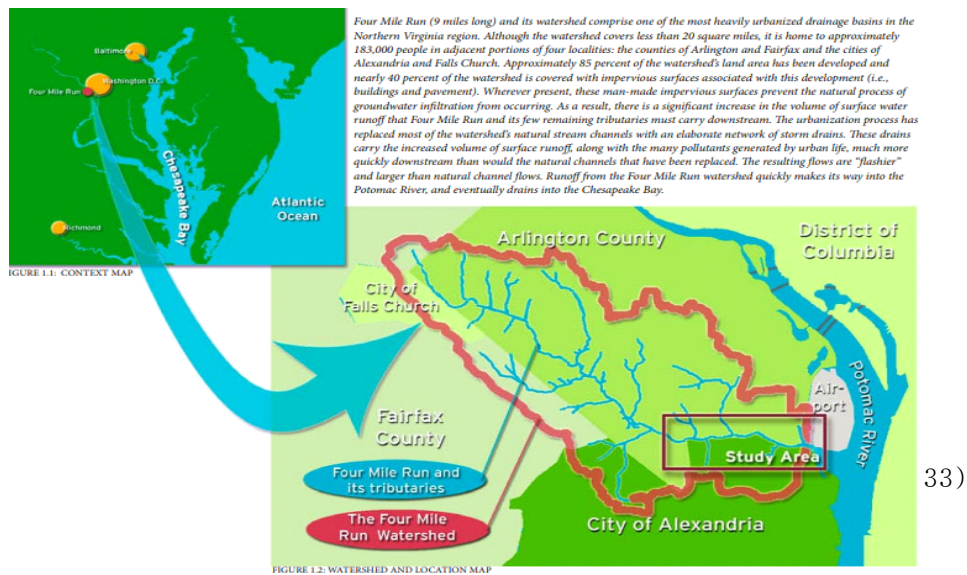
31) Chesapeake Conservation Landscape Council, 'Conservation Landscaping Guidelines, The Eight Essential Elements of Conservation Landscaping', 2013

이중 Four Mile Run Park(18에이커에 해당하는 습지 지역이 범람원 위에 존재), Fort Williams Park(야생 숲, 생태 복원지역 등이 Strawberry Run에 위치) 등 범람원인 지역 위에 녹색공간(공원 등)이 자리 잡고 있다.

이와 같이 자연범람원을 사용할 경우의 이점은, 홍수 유량의 속도를 줄이고, 수량저장 공간을 제공하여 넓은 지역에 우수가 흠어져 유실될 수 있음, 우수 유출시 필터 역할을 수행하여 하루로 운반되는 오염물질, 퇴적토양의 양을 줄임, 지하수의 재충전 역할을 수행함으로써 지표수 흐름 속도를 저하시킴, 생물 다양성의 증가, 적정수온의 유지를 통해 수생 동식물의 생태계건강성 향상시킬 수 있다는 점이다.

4) 버지니아 Four Mile Run 준설, 복원 프로젝트

○ 2022 Four Mile Run Channel Dredging Project³²⁾



버지니아 주 알링턴 카운티(Arlington County)에 위치한 Four Mile Run 지천은 연방정부 차원의 연방 홍수 통제 프로젝트에 따라 관리되고

32) <https://www.alexandriava.gov/stormwater-management/project/four-mile-run-dredge-project>

33) Four Mile Run Restoration Master Plan,

https://www.novaregion.org/DocumentCenter/View/116/Four_Mile_Run_Master_Plan_10MB?bidId=

있다. 알렉산드리아 시와 알링턴 카운티 사이의 경계를 이루는 수로에 상당한 양의 퇴적물이 축적되기 때문에 수로의 운반 능력과 홍수조절 기능, 생태계 건강성 등을 위해 주기적인 준설이 필요한 수역이다. 2018년 봄에 실시된 프로젝트 사전평가에서는 미 해군공병대 수자원 법안에 따라 공식적으로 재인가된 유량을 확보하기 위해 준설 작업이 요구되었다. 1974년 3월 26일 및 4월 8일에 체결된 협정에 따르면 알링턴 카운티와 알렉산드리아 시는 Four Mile Run 동쪽과 서쪽 제방 시스템의 유지보수에 대한 공동 책임을 지고 있기 때문에, 준설 프로젝트의 시행 역시 두 지자체간의 협업을 통해 추진되었고 알링턴 카운티를 중심으로 시행되었다.

버지니아 알링턴 市 지역은, 강력한 태풍의 발생 빈도가 증가함에 따라 시차원의 기후비상선언 이후, 기후 회복력(climate resiliency) 및 적응 조치(adaption measures) 관련 투자를 강화하고 있다. 시 정부는 하천과 수로에 대한 유지 관리(연방 자금지원 홍수조절 프로젝트) 펀드의 운영 및 유지 관리 매뉴얼에 따라 수행되었다. 프로젝트 디자인은 2020년부터 2021년 사이에 마련되었고, 실제 착공은 2022년 겨울부터 이루어져 완공은 2023년 2월에 마무리 되었다. Four Mile Run 준설 프로젝트에 따라 시행, 보장된 주된 작업은 다음과 같다.

- 미국 공병대(U.S. Army Corps of Engineers, USACE)가 설계한 기준에 맞추어 100년 동안의 홍수 물을 운반할 수 있는 프로젝트 용량에 맞게 폭과 깊이를 준설했다.
- 수로의 운반 능력과 건현을 유지하여 홍수 물을 안전하게 운반하고 홍수 조절 수로에 인접한 주택과 재산을 보호하려면 수로에 상당량 축적된 퇴적물을 정기적으로 준설한다.
- 침식 손상 복구, 하천 정화 성능 유지, 식물 등 유기물 잔해 제거, 프로젝트 제방의 우수 및 하수 처리 기반시설 상시 관리 등 정기적 관리작업을 실시한다.

Four Mile Run은 주하천인 포토맥 강(Potomac River)에 도달할 때까지 알링턴 및 페어팩스 카운티(Fairfax County), 알렉산드리아 시(City of Alexandria) 및 폴스 칠치(Falls Church) 지역 등 고도로 도시화된 유역(19.6평방마일)을 흘러가는 총 9마일 길이의 하천이다. 이 Four Mile Run 지역에는 1940년대부터 반복적으로 홍수가 발생하고 있는 침수 우려지역이지만, 많은 주택가와 기업이 입지한 지역이다. 이 홍수에 대응하여 알링턴 카운티와 알렉산드리아 시는 미 육군 공병대(USACE)와 파트너십을 맺고 하부 지역의 홍수 조절 수로를 설계 및 건설했으며 1970년대 후반과 초반에 공사가 진행되었다. 1980년대, 20년 전 완공된 이래로 이 수로는 두 관할 구역을 통해 강한 폭풍우가 반복 발생했음에도, 비교적 안전하게 우수를 처리하고, 홍수를 예방해왔다.

○ Four Mile Run 습지복원 프로젝트(Restoration Project)³⁴⁾

마스터플랜의 주요 목표는 과거 하천을 따라 존재했던 저지대 습지를 복원하고, 외래종에 의해 훼손된 생태계환경을 토착 자생종을 중심으로 복원하는 것이다. 2015년 완료된 Four Mile Run 습지복원 프로젝트는 자연 순환과 서식지의 다양성을 복원하여 수로 안팎의 다양한 생물을 지원함으로써 포토맥 강 유역과 멸종 위기에 처한 체서피크 만을 보호하려는 지자체 주도의 노력이라는 점에서 의의를 갖는다.



35)

그림 23 The lower Four Mile Run 조성 현장 사진

34)

<https://www.alexandriava.gov/parks/project/four-mile-run-restoration-project#FourMileRunRestorationProject>

Four Mile Run 습지복원 프로젝트 시행 결과, Four Mile Run을 따라 일일 조수 주기에 따라 수위가 변동하는 2에이커 규모의 조수 습지가 복원되었다. 습지는 한때 포토맥 강(Potomac River)의 모든 조수 지류와 보호 해안선을 따라 흔하게 존재했었지만, 도시 및 교외 해안선 개발로 인해 많은 조석 습지가 사라졌다. 하천 인근 고지대 산책로는 조석 습지와 기존 산림 습지 사이의 완충 역할을 수행하는데, 이 두 가지 유형의 습지는 야생동물과 인간 모두에게 중요하며, 어류와 수생 생물은 물론 많은 조류와 육상 동물에게 중요한 서식지를 제공할 뿐만 아니라 육상 서식지 사이의 생태축 연결성을 위해 중요한 의미를 갖는다. 특히, 조수 습지는 어류, 물새, 기타 조류, 파충류, 포유류의 중요한 번식지이고, 자연적인 수질 개선 기능을 통해 홍수발생시 흘러내려온 오염수를 저장, 정화하는 역할을 수행한다.

저지대 습지는 일반적으로 하루 중 절반 이상 동안 최대 수 피트 깊이의 물에 잠겨있다. 이러한 광범위한 일사적 범람으로 인해 이 지역에서 자랄 수 있는 식물은 다양하지 않다. 이 지역의 대표정인 자생종 중 하나인 노란연꽃(*Nuphar advena*)과 화살아름(*Peltandra virginica*)과 같은 일반적인 저지대 습지 식물은 어린 물고기와 성어, 기타 수생 생물에게 중요한 서식환경을 제공한다. 야생 벼(*Zizania aquatica*)는 물새의 중요한 식량원이다. 조수에 의한 장기간의 깊은 범람으로 인해 낮은 습지 식물이 영양분을 흡수하고 홍수 물에서 퇴적물을 가둘 수 있다.

고지대 습지는 깊이가 1피트 미만의 물에 의해 하루에 절반 이하의 시간 동안만 잠겨있는 지역이다. 식물 군집은 저지대 습지에 비해 다양하고 뾰뾰한 식생환경을 가지고 있다. 대표적으로, 벼풀(*Leersia oryzoides*), 소프트 골풀(*Juncus effusus*), 양털풀(*Scirpus cyperinus*) 및 삼방풀(*Schoenoplectus pungens*)과 같은 종들이 고지대 습지에서 흔히 발견된다. 다양한 식물 군집은 많은 곤충, 양서류, 새 및 기타 동물에게 서식지를 제공하며, 장기간 침수되지 않지만, 밀집된 식생은 홍수로 인한 퇴적물과 오염 물질을 포집, 정화시키는데 효과적인 장점을 갖는다.

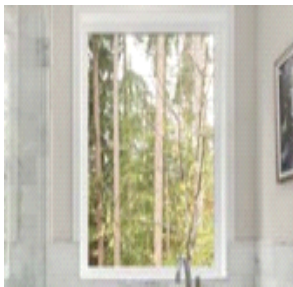
35)

https://www.novaregion.org/DocumentCenter/View/116/Four_Mile_Run_Master_Plan_10MB?bidId=

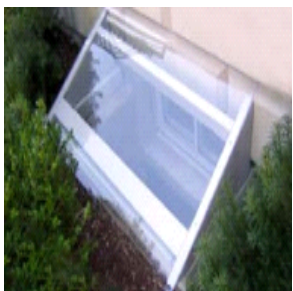
5) 알렉산드리아 도시침수 대응용 주택시설 개선 가이드라인 예시³⁶⁾ (City of Alexandria, Pilot Flood Mitigation Grant Program)

알렉산드리아 시 정부는 범람원 지대 위에 위치하는 지역 특성을 고려하여, 그린인프라 설치 확대 프로젝트와 함께 기존 주택, 건물들에 대한 시설 개선사업을 지원하고 있다. 이 과정에서 개인주택 소유자들이 자발적으로 주택의 홍수대응 능력 향상을 위한 시설개선에 참여할 수 있도록 도시침수 저감 인센티브 정책을 운영하고 있는데, 구체적이고 실질적인 기준과 제안 내용을 담은 도시침수 대응을 위한 승인된 지침사례 목록 (APPROVED LIST OF PRACTICES)을 제작, 배포한다.³⁷⁾

① 창문(Windows)



- 영구적인 유리 강화물질 또는 침수방지 창문
: 유리보호 강화물질의 설치를 통해 홍수피해를 일차적으로 방지할 수 있으며, 태풍, 폭염 등 기타 기상이변 피해도 방지 효과도 기대할 수 있다.
(시당국 검토 기준: Board of Architectural Review, Code Administration)

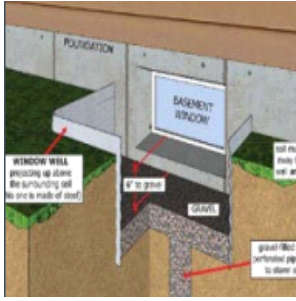


- 지하실(지하창고) 보호 유리창 설치
: 반투명 방수 커버를 지하실 창문 위에 설치(매립)하거나, 보호용 유리창으로 지하실 창문을 교체하면 표면 침수로부터 보호할 수 있다.
(시당국 검토 기준: Board of Architectural Review, Code Administration)

36) 출처:

https://media.alexandriava.gov/docs-archives/tes/stormwater/alex-list-of-practices-draft-082621.pdf?_gl=1*40xj9n*_ga*MTQ5MjA5OTU1MS4xNzA1NjMwNzE2*_ga_249CRKJTTH*MTcwNjEzNzU1Mi4yLjEuMTcwNjEzOTE1My4wLjAuMA..

37) <https://alexandriava.gov/floodaction>



- 지하실(지하창고) 창문 외벽에 설치하는 임시 우물
: 1층 또는 지하 창문 우물에는 내부 또는 외부에 연결된 중앙 배수구가 있어야 하며, 배수 타일 시스템 또는 빗물 배수관으로 연결되는 라인이 연결되어야 한다. 새 배수구를 설치하려면 토양을 굴착하고, 창문 우물 라이너를 다시 설치하거나 교체해야 한다. 홍수로부터 가장 잘 보호하려면, 창문 홈통은 맞춤형으로 제작하고 강철 강화 폴리카보네이트 플라스틱으로 만들어야 한다.
(시당국 검토 기준: Board of Architectural Review, Code Administration)

② 현관 출입구(Doorways)



- 영구 홍수방지 게이트 또는 판넬 설치
: 지표면의 우수가 주택으로 유입되는 빠른 경우는, 열려있는 현관 출입구를 통해 들어오는 것이다. 영구 출입구 홍수문 또는 판넬은 물리적 외부 문틀에 부착되어 있어야 한다. 이러한 시설의 설치, 임시적인 모래주머니 득보다 효과적인 방식이지만, 대부분의 주택별로 맞춤형 설계(시공)이 필요하다.
(시당국 검토 기준: Board of Architectural Review, Code Administration)



- 임시 홍수방지 게이트 또는 판넬 설치
: 영구 홍수방지 게이트(판넬)과 형태는 유사하지만, 비가 내리는 날씨에만 사후적으로 설치하면 된다. 임시 게이트는 맞춤형으로 제작되지 않으며, 몇 분 안에 설치할 수 있다. 이러한 시스템은 일반적으로 다양한 크기의 출입구에 맞게 조정할 수 있는 확장 가능한 강철 튜브 프레임으로 제작되나, 영구 구조물처럼 완전히 방수가 되지는 않는다.

③ 홍수예방 일반물품(General flood stoppage equipment)



■ Flood socks

: 가볍고 유연한 흡수성 포대로 주로 주거용으로 설계되었다. 흡수성 기술을 사용하여 물을 빠르게 흡수한 다음 서로 결합하여 홍수 방지 시스템 (독)을 구축할 수 있을 만큼 부풀어 오른다. 지하실이나 차고 입구에 설치하면 누수와 물이 스며드는 것을 빠르고 효과적으로 막을 수 있다.



■ Quick Dams™

: Quick Dams™은 흐르는 물을 다른 곳으로 돌리는 기능에 특화된 장비품으로, 제품 커버에 물이 들어오면 내부 흡수제가 물을 머금고 단 몇 분 만에 댐을 부풀릴 수 있다. 모래주머니를 대체할 수 있으며 반복적으로 재사용 가능하다는 장점이 있다.



■ Sandless sandbags

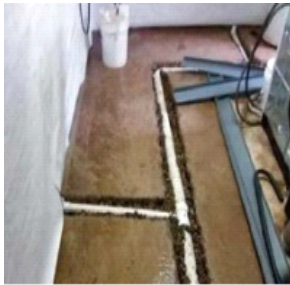
: Sandless sandbags는 모래주머니와 같은 기능을 하지만, 모래가 아닌 물을 채우면 팽창하는 장비이다. 일단 물이 채워지면 탁월한 홍수벽 장벽 역할을 할 수 있고, 물을 주요 방벽으로 사용하기 때문에 더 이상 필요하지 않게 되면 물을 빼낸 뒤 부피를 줄이고 보관할 수 있다는 장점이 있다.

④ 지하실(Basement)



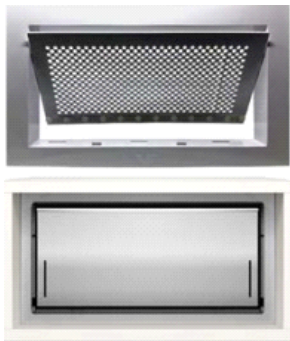
■ 배출 펌프용 여분 배터리 완비

: 대부분 개인주택의 지하실에는 지하수를 집 밖으로 빼내기 위한 집수정 펌프가 설치되어 있으나, 홍수로 전기가 끊기기 쉬워, 지하실이 가장 필요한 순간에 홍수로부터 보호받지 못할 수 있다. 배출 펌프용 여분 배터리를 완비하여, 정전으로부터 주택을 보호하고 전기 상태와 관계없이 계속 작동할 수 있도록 안전관리를 조치해두어야 한다.



■ 지하실 바닥에 배수 타일 설치

: 배수 타일은 지하실 바닥에 설치하여, 지하수의 수압 상승을 완화하는 배수구이다. 배수 타일은 일반적으로 구멍이 뚫린 유연한 플라스틱 파이프로 구성되며 집수정과 연결되는 세척된 자갈 바닥에 묻혀 있다. 지하실 바닥에 고인 물은 집수 펌프를 통해 지하실로 배출된다.



■ 홍수 통풍구(Flood vents) 설치

: 홍수 통풍구는 홍수 물을 집 안의 밀폐된 공간에서 통과시켜, 수압을 방출하여 주택 구조물 자체의 손상 위험을 줄이기 위해 설치가 필요하다. 홍수 통풍구는 물이 건물 외부로 유입되거나 건물 외부 기초 벽을 막지 않고 물이 통과하도록 유인한다. 홍수 상황에서 집 안팎의 수압이 같지 않을 경우, 그 결과 집의 근본적인 물리 구조물이 손상될 수 있으며 순식간에 건물 붕괴를 야기할 수 있다. 홍수 피해를 줄이기 위해 집 안으로 홍수 물을 일부로 통과시키는 것이 재산피해를 증가시킬 수 있을 것처럼 보일 수 있으나, 홍수 통풍구의 목적은 값비싼 주택의 더 큰 손상을 줄이기 위해 반드시 필요한 도시침수 대응 시설이다.



■ 내부 바닥 배수구 차단기

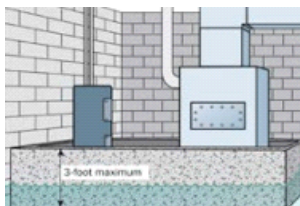
: 대부분의 계단실 배수구는 건물 외부의 하수관 또는 우수관에 연결되어 있다. 이 라인이 막히면 물이 역류하여 바닥 배수구를 통해 배출됩니다. 이러한 배수구를 분리하거나 막으면 하수도 역류가 발생할 가능성을 줄일 수 있다.

⑤ 전기, 수도, 가스 등 보호조치(Utility Protection)



■ 유틸리티 침수 커버 구비

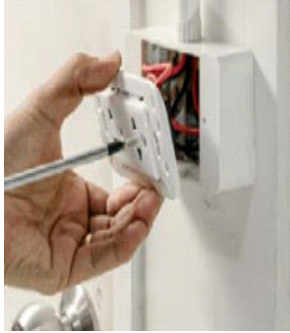
: 유틸리티 홍수 커버는 플라스틱 보호 슬리브처럼 보이는데, 홍수가 예상되는 경우 유틸리티(예: 보일러, 발전기 등) 기계 위에 끌어올려 덮어두는 장비이다. 이 커버는 몇 분 안에 설치가 가능하고 탈착이 쉬운 장점이 있다. 만약, 홍수가 발생했을 때, 보일러가 오작동하거나 누수되는 경우에도 주변을 보호할 수 있다. 만약, 온수기 주변에 이 커버를 설치하면, 최대 6피트까지 침수로부터 보호할 수 있다.



■ 콘크리트 내장 디자인

: 지하실이나 기타 홍수에 취약한 공간에 있는 대형 가전제품을 콘크리트 블록, 벽 또는 기타 석조로 둘러싸면 홍수 발생 시 물로 인한 피해 위험을 줄일 수 있다. 이러한 내부 홍수벽은 유틸리티 또는 기타 주요 구역에 최대 4피트 높이의 홍수 방지 기능을 제공할 수 있다.

(시당국 검토 기준: Board of Architectural Review, Code Administration)



■ 전기 콘센트, 스위치 소켓 및 회로 차단기

: 지하실이나 기타 홍수에 취약한 공간에 있는 대형 가전제품을 콘크리트 블록, 벽 또는 기타 석조로 둘러싸면 홍수 발생 시 물로 인한 피해 위험을 줄일 수 있다. 이러한 내부 홍수벽은 유틸리티 또는 기타 주요 구역에 최대 4피트 높이의 홍수 방지 기능을 제공할 수 있다. 공식 면허를 소지한 전기 기술자를 통해 콘센트, 스위치, 소켓 및 회로 차단기를 예상 홍수위보다 최소 홍수 발생 시 심각한 전기적 피해를 방지할 수 있다.

(시당국 검토 기준: Code Administration)



■ Quick Connect system 설치

: 임시 발전기를 주 전기 패널에 연결하기 위해 플랜지 연결부(Quick Connect)가 장착된 주택의 경우, 안전하게 연료를 보급할 수 있는 시설의 위치에 홍수높이보다 높이 플랜지 연결부를 배치해야 한다. 또한, 발전기는 배기가스가 건물 안으로 들어오지 않도록 통풍구나 창문에서 멀리 떨어진 장소에 위치해야 한다.

(시당국 검토 기준: Code Administration)



■ 유틸리티 성능 향상 장비 설치

: 세탁기, 건조기, 온수기 등 가전제품 및 건물의 난방, 환기, 공조(HVAC) 시스템과 관련된 주요 부품을 지하실에서 고층이나 다락방으로 옮기는 것이 가장 효과적인 방법 중 하나이다. 지하실에서 옮길 수 경우, 건물주는 잠재적인 홍수 위험 지역 내에 있는 히트펌프와, 시멘트 블록을 사용하는 것을 고려할 필요가 있다.

⑥ 건물 외부(Exterior)



■ 홍수 방지벽(Flood wall)

: 도시지역에서는 흔하지 않지만, 도시 외곽지역의 주된 주거형태인 개인주택(Town house 등)의 경우, 건물 외부공간에 콘크리트 블록 등 홍수 방지벽을 만드는 권장한다.

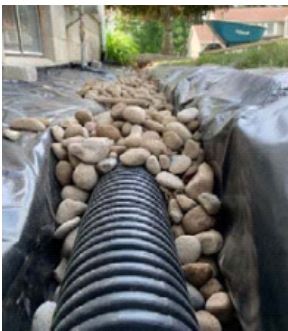
(시당국 검토 기준: Board of Architectural Review)



■ 주택 외부토지 표면 경사도 조절

: 표면 경사도를 조절하면 빗물을 주택에서 멀리 떨어뜨려 홍수가 집에 도달하는 것을 방지할 수 있다. 보통 주거용 구조물로부터 최소 10피트 이상 떨어진 경사면을 피트당 0.5인치 이상의 경사도로 조절하는 것이 필요하다. 또한, 경사면 토양을 다지는 작업을 하면 침식방지에 더 유리하다.

(시당국 검토 기준: Department of Right of Way, Code Administration)



■ 프렌치 드레인 시스템(French drain system) 설치

: 프렌치 드레인의 목적은 지표면으로 흘러내리는 물과 지하수를 주택부지에서 가능한 멀리 보내는 것이다. 이러한 유형의 배수구는 지표수와 지하수를 모아서 압력을 낮추고 토양에서 과도한 수분을 제거하는 역할을 수행한다. 프렌치 드레인은 일반적으로 홍수가 발생하기 쉬운 지역 인근에 설치되어 집 밖으로 물이 빠져나가는 통로이며, 도랑이나 지하실과 같은 저지대에 물이 고이는 것을 방지하기 위한 목적으로도 설치할 수 있다.

(시당국 검토 기준: Code Administration)

(3) 뉴욕·뉴저지의 도시회복력 증진 위한 그린인프라 정책

1) 뉴욕 The East Side Coastal Resiliency Project 프로젝트 주요 내용³⁸⁾

○ 수립 배경

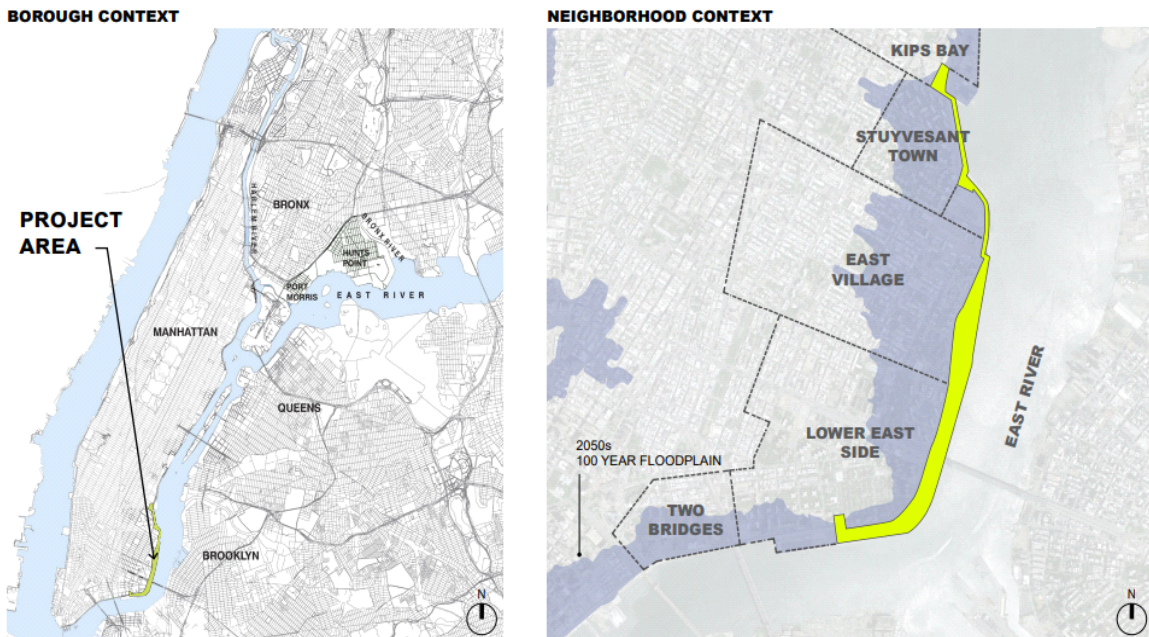
뉴욕 ‘East Side Coastal Resiliency 프로젝트’(이하, ESCR 프로젝트)는 뉴욕시와 연방정부가 공동으로 자금을 지원하는 대표적인 공공 주도 해안 그린 인프라 개선 프로젝트이다. 이 프로젝트는 2020년 가을에 착공되어 2026년까지 계속될 예정이며, Manhattan East 25번가로부터 Montgomery Street까지를 포함하는 이스트사이드(East side)를 중심으로 하며, 태풍 등으로부터 발생하는 이 지역의 홍수 위험을 줄이는 인프라를 설치하는 것을 목표로 한다. 이 지역은 지난 100년에 걸쳐 잦은 범람을 일으키는 자연적인 접경 지역(natural pinch-points)이다. ESCR 프로젝트의 설계방향은 기본적으로 이스트사이드에 입지한 도시 공간의 홍수를 방지하는 것에 있으나, 시멘트 벽을 쌓아 홍수를 방지하는 것보다는 지역사회의 녹색 공간 등 정주 여건(접근성 등)을 확대함으로써 시민의 삶의 질 및 도시의 구조적 통합에도 기여하는 것을 함께 추구한다.

ESCR 프로젝트가 본격적으로 추진된 역사를 살펴보면, 2012년으로 거슬러 올라간다. 당시, 허리케인 Sandy가 뉴욕시를 강타하여 44명의 뉴욕 시민이 사망하고, 맨하탄 동부 지역이 황폐화되었으며, 약 190억 달러의 재산상 피해가 발생했다. 그 이후, 뉴욕시는 기후 변화 취약성을 평가하는 프로세스를 시작했고, 홍수를 방지하는 동시에 공공 해안 공간의 활력과 접근성을 높이는 장기적인 해안 보호 프로젝트를 착수했다. ESCR 프로젝트는 美 (가칭)주택도시개발부(Department of Housing and Urban Development, HUD)의 ‘디자인에 의한 도시 재건’(Rebuild by Design) 공모전을 통해 뉴욕시에 채택되었다. 기본적으로 ESCR프로젝트는 Montgomery Street에서 East 25th Street 이르는 넓은 지역을 대상으로 하고 있으며, 약 11만 명 이상의 뉴욕 시민이 거주하는 대규모의 다양

38) (Source:

<https://www.nyc.gov/assets/escr/downloads/pdf/SANDRESMI-Preliminary-PDC-Presentation-2019-09-16.pdf>)

한 주거 커뮤니티를 포함하고 있다. 특히, 이 지역은 미국 연방재난관리청(FEMA)의 100년 주기 범람원 관리계획 내에 입지한 지역이기에 미연방정부 차원에서도 조속한 도시 회복력 증진을 위한 그린인프라 개선이 필요한 지역이기도 했다. 한편, ESCR 프로젝트의 주요 대상지역에는 뉴욕시 전체를 담당하는 주요 펌프장과 남부 맨해튼의 대부분에 전력을 공급하는 변전소 등 주요 인프라가 입지한 지역이기 때문에, 단순히 지역적 차원에서의 정책적 관리 차원을 넘어 연방 차원의 정책접근이 우선적으로 검토된 지역으로 볼 수 있을 것이다.



(ESCR 프로젝트 대상지 및 상세권역)

출처: <https://www.nyc.gov/assets/escr/downloads/pdf/SANDRESM1-Preliminary-PDC-Presentation-2019-09-16.pdf>

○ 주요 내용

기본적으로 ESCR프로젝트는 뉴욕 맨하튼 동부의 2.4 mile에 달하는 지역에 대한 홍수방지 시스템을 구축하는 것을 목표로 한다. 이 프로젝트에는 하수도 시스템의 용량을 개선하기 위한 지하 내부 배수 개선에도 상당한 투자가 이루어질 계획이다. 다만, 이 과정에서 회색인프라를 중심의 접근이 아니라, 지역동네의 소규모 거리와의 접근성 향상, 녹색공간의 효율적 재구성 및 확대가 추진된다. 특히, East River 공원의 높이를 향상시

켜 해수면 상승으로부터 안전한 공간을 확보하고, 더불어 Corlears Hook 공원, Murphy Brothers 놀이터, Stuyvesant Cove 공원, Asser Levy 놀이터를 하나의 자연적 경관의 틀 안에서 새롭게 통합, 재구성하여 홍수대응 인프라(수문 등)가 지역사회와 조화로운 공간을 구성할 수 있도록 추진될 계획이다. ESCR 프로젝트는 뉴욕시, 뉴욕주, 연방 기관, 정치권, 시민단체가 수년간 계획하고 협력한 결과물로서, 설계 및 건설 자금으로 3억 3,800만 달러의 연방 보조금을 지원받았으며 프로젝트의 총 비용 14억 5,000만 달러 중 나머지는 뉴욕시에서 부담한다.

ESCR 프로젝트는 '22.8월 지속가능인프라 연구소(Institute for Sustainable Infrastructure, ISI)로부터 해당 프로젝트의 지속 가능성에 대해 높은 평가를 받으며 'Envision Gold Award'를 수상하기도 했는데, 이는 ESCR 프로젝트의 효과성에 대해 삶의 질, 리더십, 자원 할당, 자연 세계, 기후 및 탄력성 등 5가지 카테고리에 대해 평가된 결과이다. ESCR 프로젝트는 뉴욕시 맨하튼의 기후 탄력성 목표에 대한 일관되고 포괄적인 대응 목표를 설정하고, 공익적 공간과 시민편의 시설을 기후변화 적응력을 높이는 방향으로 개선함과 동시에 지역사회 시민의 건강과 안전을 지키고, 사회적 다양성을 고려하여 다양한 시민참여 프로그램을 개발한 성과를 인정받았다.

한편, 2022년 11월에는 Waterfront Alliance社로부터 'Waterfront Edge Design Guideline'(이하, WEDG®)의 검증 대상 프로젝트 중 하나로 선정되었다. WEDG®란, 회복력 있고 지속 가능하며 접근 가능한 해안가 프로젝트에 대해 개발자와 토지 소유자의 공로와 성과를 평가, 인정하는 등급 시스템을 의미한다. WEDG® 검증 프로세스는 부지 자체에 대한 영향평가 및 계획 단계에서의 적절성 검토, 부지 선정 과정에서의 책임성 여부, 과다 비용 지출위험의 사전 관리, 인근 커뮤니티와의 접근성 및 네트워크 수준, 자연자원, 혁신적인 기술 여부 등을 중심으로 평가된다. 이를 통해, 해안 지역의 홍수 및 침수, 해일 피해 등 자연재해 위험도를 얼마나 줄일 수 있는지에 대한 프로젝트의 대응 능력을 검토하며, 이 밖에 비상상황 대응 매뉴얼, 시민사회 참여 정도, 프로젝트 완성 이후 달라질

지역의 삶의 질 향상 정도, 독창적인 설계 기법 등을 포함한 많은 요소를 검증받는다.

○ 프로젝트의 기대 효과

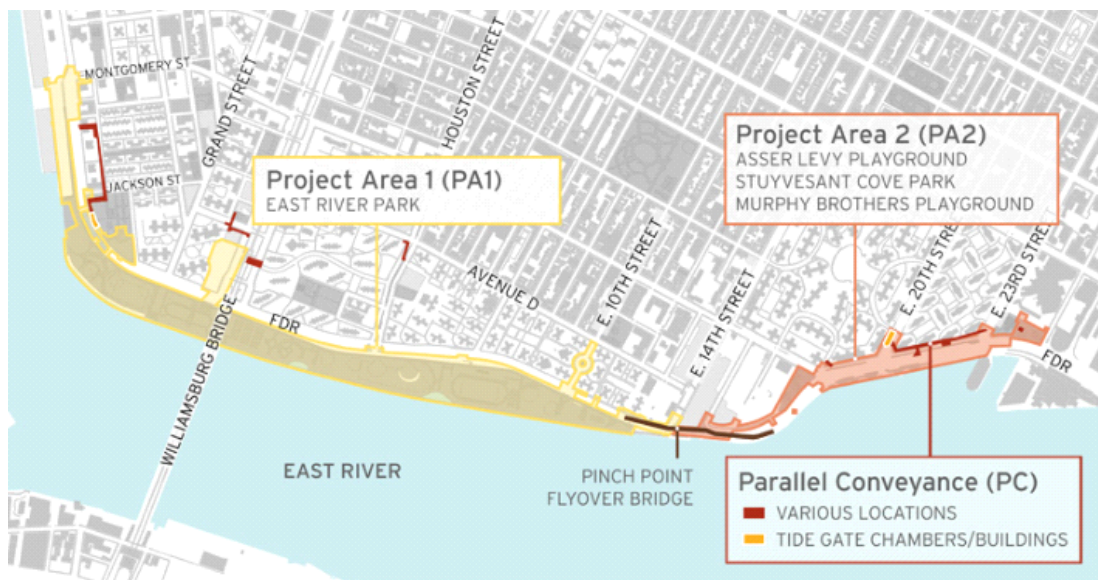
뉴욕시의 ESCR 프로젝트는 복잡한 지하 및 지상 인프라가 있는 밀집된 도시 환경에 건설되는 유일무이한 미래 지향적 복원력 프로젝트로 인식되고 있다. 이 프로젝트는 물리적, 사회적, 경제적 회복력을 구축하여 도시의 침수대응 회복력을 강화하는 동시에 해안가의 열린 공간과 접근성을 개선하는 것을 궁극적인 효과로 보고 있으며, 그 핵심적 내용은 다음과 같다.

- 미래의 폭풍 해일과 해수면 상승으로 인한 홍수 위험 감소.
- 지역 커뮤니티와 해안가 사이의 연결성을 확대하고 그린인프라 디자인적 기법을 통해 시민의 접근성 개선.
- 회복력 향상에 중점을 둔 그린인프라 디자인(설계), 시민편의성을 고려한 레저공간(시설) 확대, 생태적으로 다양한 조경을 통한 공익적 공간 강화.

○ ESCR 프로젝트 공간 대상 및 추진 계획

ESCR 프로젝트는 크게 2개의 Project area로 나뉘며, 두 프로젝트 일부공간 중 취수원으로부터 정수장으로 연결하는 병렬 구조의 도수시설 (Parallel Conveyance)로 구성된다. 프로젝트 1단계 지역(이하 PA1)은, East river park 지역을 따라 추진되었으며, 현재까지 실시된 사항은 다음과 같다. 1. 해안가를 따라 토양 안정화 활동 및 산책로 폐쇄, 하수도 이전 및 대체경로 설치, 2. Delancey street에 위치한 교각 해체 및 전력, 가스 파이프 교체 작업, 3. Corlears Hook 공원 부분 폐쇄, 임시 교량 설치 및 추가 도보구간 설치, 4. 유틸리티 작업을 위해 잔디공원 부분 폐쇄,

5. Montgomery street 및 & South Street 인근 ConEd(뉴욕시 전력, 가스공급 기관) 유틸리티 작업, 6. 더미 설치를 위한 Montgomery street 설치 준비 작업, 7. E. Houston Street 주변의 공동 사용 경로의 ESCR 옹벽 공사 및 E. 10번가에 대한 ConEd 관련 공사, 8. E. 10번가의 ConEd 유틸리티 업그레이드 조치, 9. 부분적인 차선 폐쇄를 위한 대안경로 마련 공사 등이 실시되었다.



(ESCR 프로젝트 1, 프로젝트 2 등 전체 권역도)

출처: <https://www.nyc.gov/assets/escr/images/content/pages/ProjectUpdate-ProjectAreas.jpg>



(ESCR PA1 지역별 주요공사 조치 내용)

출처: <https://www.nyc.gov/assets/escr/downloads/pdf/7-14-22-construction-updates.pdf>, 13p

2023년 6월 기준 ESCR 뉴스레터³⁹⁾에 따르면, East river park 지역인 프로젝트 구역 1(PA1) 공사는 계획대로 차질 없이 진행되고 있는 것으로 알려졌다. PA1의 현재 건설 상황은 Montgomery street와 15st 사이에 집중되어 있다. East river park는 향후 몇 년에 걸쳐 단계적으로 폐쇄될 예정이나, 최소 42%의 개방 공간을 유지하여 시민이 공원공간을 계속 이용할 수 있도록 조치한다. 예를 들어, Stanton Street 북쪽의 이스트 리버 파크는 개방되어 있는데, 방문객들은 E. Houston Street 북쪽 출구 또는 6번가 및 10번가 보행자 다리를 통해 공원의 개방된 구역으로 들어올 수 있도록 조치해 두었다.

ESCR 프로젝트 area2(PA2)의 경우, 뉴욕시가 2022년 8월 새로운 추진계획을 발표했는데, PA1에 비하여 기존 공원공간의 손실을 최소화하기 위하여 공사기간을 최소 1.5개 이상의 공원은 존치, 개방하면서 추진되었다. PA2의 공사방향은 북쪽에서 남쪽으로 네 가지 주요 단계로 진행되며, 오픈 스페이스에 미치는 영향을 최소화하기 위해 시차를 두고 진행되고 있다.

- 1단계: Asser Levy 놀이터 홍수방지(수문)벽 설치 완공(22.5월)
- 2단계: Stuyvesant Cove 공원 내 Solar one 홍수방지(수문벽) 공사 착수
- 3단계: Stuyvesant Cove 공원 외 E 20번가 북측 공간 복원 공사 (23.5월)
- 4단계: Stuyvesant Cove 공원 외 E 20번가 남측 공간 복원 공사 (23.12월)
- 5단계: Murphy Brothers 놀이터 홍수방지(수문벽) 설치 및 복원 (24년 말)

39) https://www.nyc.gov/assets/escr/downloads/pdf/ESCR-Newsletter_07_Final.pdf



(ESCR PA2 공간 권역도)

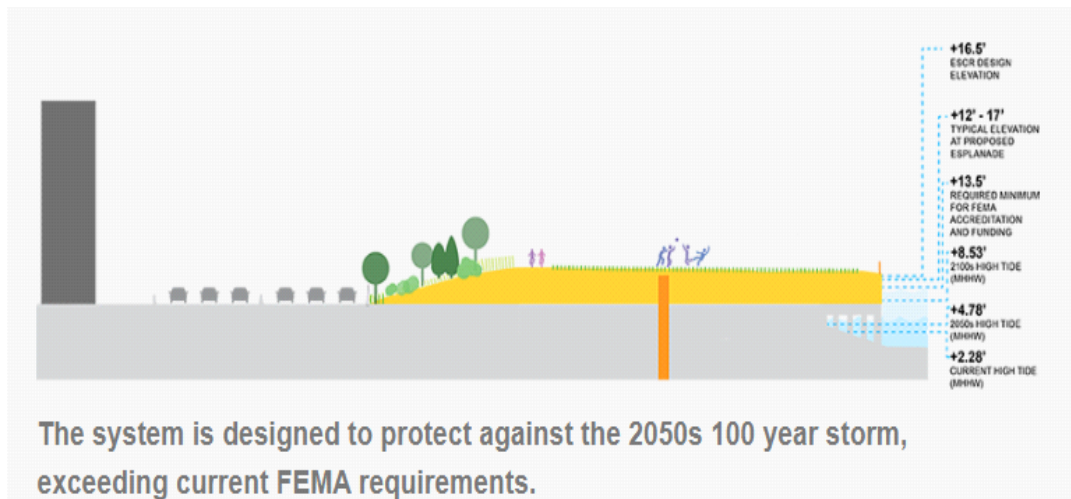
출처: <https://www.nyc.gov/assets/escr/images/content/pages/pa2-closure-map.png>

2) 뉴욕 복원력 향상 및 홍수피해 방지 위한 그린인프라 세부내용

○ 설계 높이(Design Height)

ESCR 프로젝트는 세계에서 가장 공신력 있는 기후과학 독립 연구기관 중 하나인 뉴욕시 기후변화 패널(New York City Panel on Climate Change, NPCC)이 작성한 미래 기후변화 예측 시나리오에 기반을 두고 있다. ESCR은 2050년대를 기준으로 설정된 예측 모델 중 가장 극단적인 해수면 상승 시나리오에 기반하고, 높은 수준의 보호기준에 따라 설계되었다.

이 기준은 기후 과학자들이 2100년대에 일어날 수 있는 것으로 간주하는 예측과 유사한 수준으로 판단된다. 즉, ESCR 프로젝트는 약 100년의 기대 연한으로 설계되었으며, 프로젝트 구간 전체에 걸쳐 기존보다 8~9 피트 더 높은 규모의 홍수방지 인프라가 설치될 것이다. 한편, 최근 들어 더 빠르게 상승하는 기온 모델에 대응하기 위해 현재 예상보다 더 강화된 인프라 높이가 필요하다는 목소리가 제기되고 있으며 이에 따라 홍수방지 시설의 높이를 2피트 더 추가하는 방안을 적용하는 등 적응형 설계(adaptive design)방식을 따르고 있다.



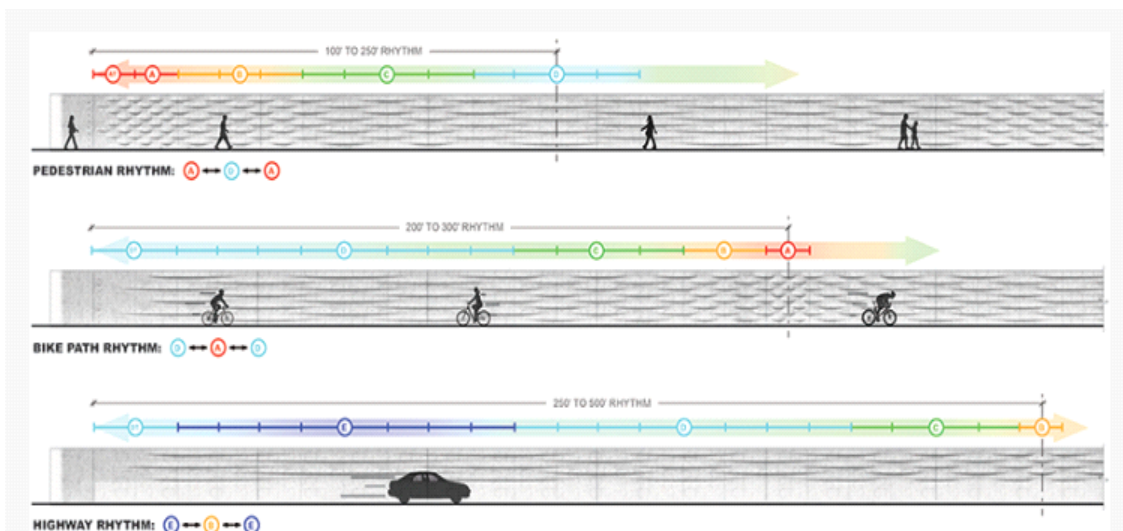
출처: <https://www.nyc.gov/site/escr/about/resiliency-and-flood-protection.page>

○ 홍수 방지벽(Floodwall)

ESCR 프로젝트는 광범위한 공사대상 지역 전체를 아우르는 여러 개의 홍수방지벽이 설치될 계획이며, 일관된 조경 디자인의 틀 안에서 통합되어 추진된다는 점이 특징적이다. 프로젝트의 맨 남쪽 끝인 Montgomery Street에서 반대편 프랭크 루즈벨트(FDR) 자동차도로를 따라 홍수방지벽이 계속 이어지며, 물의 흐름은 자연적 지류를 따라 맨하튼 동쪽으로 배수된다. 또한 East River 공원과 더불어, 그 배후에 위치한 주거 밀집지역 모두를 홍수로부터 보호하기 위해 제방의 높이와 규모를 통합하여 높일 계획이다. 이 과정에서 인공적인 홍수방지벽을 높이는 것과 함께, East River 공원의 지대 높이를 자체를 올리는 조경설계를 적용함으로써, 폭풍해일이 해안으로 넘어와 주거지역이 침수되는 것을 더 효과적으로 방지할 수 있게 한다. 공원의 경관은 육지에서 해안가쪽으로 서서히 경사지게 만들어지며, 이는 곧 FDR 자동차도로의 기존 경로와 자연스럽게 이어지게 된다.

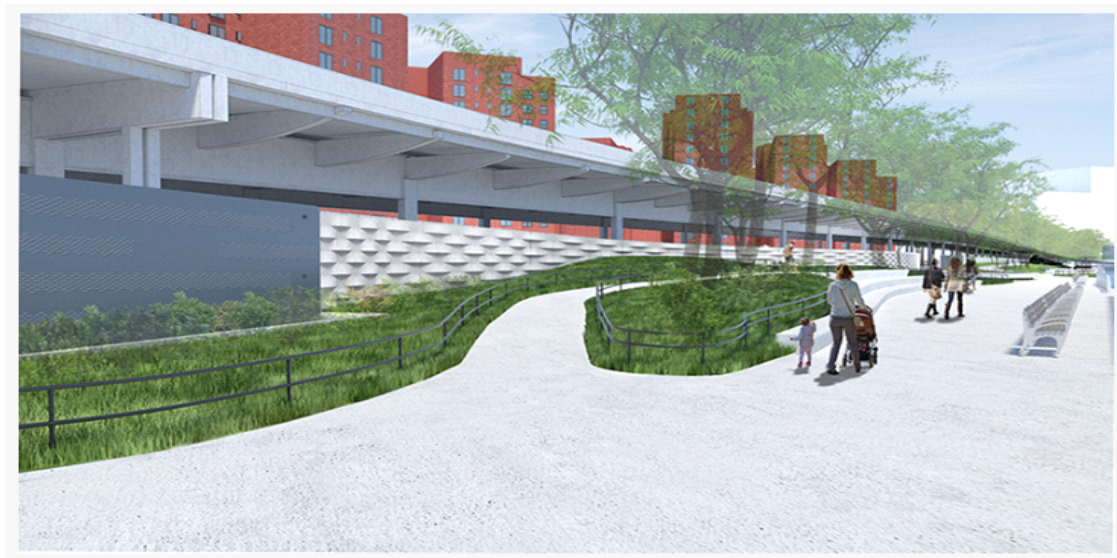
이는 맨하튼을 서쪽으로 바라보는 매력적이고, 친환경적인 녹색공간과 도시경관이 어우러진 지속가능한 경관을 새롭게 창출하게 될 것이다. 홍수벽은 15번가에 있는 콘 에디슨 발전소 건물의 북쪽 면과 연결되고, Murphy Brothers 놀이터까지 북쪽으로 계속 이어지게 된다. 이 Murphy

Brothers 놀이터의 지상 홍수벽은 공원의 동쪽과 나란히 설치되어 해수면 상승과 폭풍 해일로부터 시설을 보호할 것이다. 홍수벽과 수문의 조합은 FDR 드라이브 경사로를 가로질러 Stuyvesant Cove 공원의 서쪽 가장자리까지 이어지게 되며, 공원의 워터프론트 가장자리와 합쳐지게 된다. 프로젝트 지역의 북쪽 끝에서 재건축되는 병원 부지의 경우, 북쪽에 있는 기존 동물전문 병원의 홍수벽과 함께 지상 홍수벽과 통합된 조경 디자인이 마련될 계획이다.



(홍수벽 패턴은 도보, 자전거, 차량 등 다양한 환경에서 상호작용하는 방식에 맞춰 조정됨)

출처: <https://www.nyc.gov/assets/escr/images/content/pages/flood-wall-rhythms.png>



(홍수벽과 수문, 그리고 공원의 녹색공간이 조화로운 경관을 만들 수 있도록 디자인된 예상도)

출처: <https://www.nyc.gov/assets/escr/images/content/pages/floodwall-with-floodgate-stuy-cove.png>

○ 수문(Floodgate)

ESCR 프로젝트는 수문을 적극적으로 활용하여 인근 지역과 해안가의 물 순환이 지속적으로 이뤄지도록 설계되었다. 이 수문은 맑은 날씨인 상태에서는 상시 개방된 상태로 유지되며 태풍, 해일 등 극한기상 현상이 발생할 경우에만 닫히게 된다. 롤러 게이트(roller gates)⁴⁰와 swing gate를 포함한 18개의 수문이 프로젝트 부지 전체에서 활용되며, 기본적으로 수문의 설계는 홍수벽 설계와 동일한 방식을 취하고 있다.



(맑은 날씨일 때, 열려져있는 홍수대응 수문(flood gates) 몽고메리 스트리트 예상도)

출처: <https://www.nyc.gov/assets/escr/images/content/pages/montgomery-st-open.jpg>

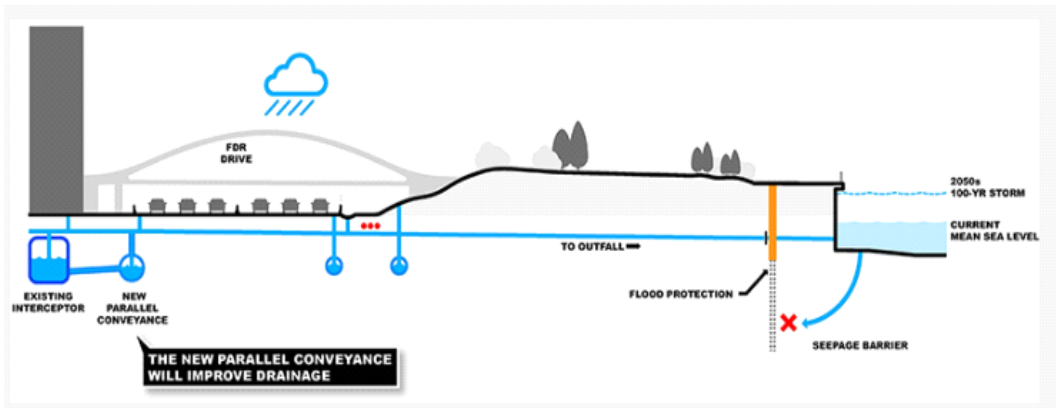


(태풍이 발생했을 경우, 수문(flood gates)이 올라와 닫혀있는 몽고메리 스트리트 예상도)

출처: <https://www.nyc.gov/assets/escr/images/content/pages/montgomery-st-closed.jpg>

40) 홍수토 게이트, 취수구 게이트, 또는 방류로용 게이트로서 이용되는 게이트의 일종. 게이트 몸체는 덧면의 양단 베어링에서 게이트 몸체에 부착된 롤러에 의해 지지된다. 게이트 몸체는 납작하며 양측에 설치된 문짝 홈의 속을 상하 운동한다. 게이트 몸체에 작용하는 수압은 롤러를 통해 문짝 홈으로 전달됨. (토목용어사전, 1997. 2. 1., 토목관련용어편찬위원회)

○ 합류식 하수도 시스템(Combined Sewer System)



(합류식하수도 시스템의 핵심기술인 New Parallel Conveyance 시스템 디자인 설계도)
출처: <https://www.nyc.gov/assets/escr/images/content/pages/pc-schematic.png>

ESCR 프로젝트에는 기존 합류식 하수도 시스템에 대한 많은 수정 및 추가적인 디자인 기술공법이 적용된다. 강우로 인한 내륙 홍수를 줄이기 위해 새로운 하수관이 건설될 예정인데, 이 새로운 라인은 시스템 내 하수용량 자체를 확대하는 것과 동시에 폭풍우가 발생했을 경우, 과도한 하수량을 맨해튼 펌프 스테이션으로 전달할 수 있도록 설계되었다.

특히, 새롭게 기술이 적용된 병렬이송시스템(parallel conveyance system)은 도시공간에서 발생한 폐수를 처리장으로 직접 이송하여 처리할 수 있도록 돕는 역할을 수행한다. 또한 프로젝트의 북쪽과 남쪽 끝에 두 개의 지하 인터셉터 게이트가 추가적으로 설치되는데, 이 게이트는 인접 지역으로부터의 하수도 시스템 흐름을 차단하는 기능을 갖는다. 이 두 곳에는 하수시스템의 모니터링 및 처리를 위한 각종 장비를 보관하는 시설물도 건립되어 하수처리 용량의 안전한 처리를 돕도록 설계될 예정이다.

3) 뉴욕시 그린인프라 프로젝트 대상지에 대한 적절성 평가⁴¹⁾

○ 현황

뉴욕시와 같이 인구밀도가 높은 대도시에서 발생하는 홍수피해는 자연 재해 그 자체로서 큰 피해를 야기하기도 하지만, 처리용량을 뛰어 넘는 폭우로 인해 도심 내 하수처리 시설이 파괴되어 버리는 합류식 하수 범람(combined sewer overflows, CSO) 현상으로 인한 손실이 매우 큰 특성을 갖는다. 폭우가 발생하고 있는 대도시에는 폐수처리 시스템이 붕괴되고 급증하는 빗물과 오염된 하수가 혼합되어 도시 내부로 역류하는 현상이 나타난다.

뉴욕시는 노후화된 하수도 관리 시스템을 가지고 있기 때문에 새롭게 도입되는 그린인프라의 핵심 목적이 주로 원활한 물처리에 대한 기능 개선에 있다. 이러한 CSO 리스크가 매년 증가하는 상황에서, 뉴욕시 환경보호부(Department of Environmental Protection)는 빗물 범람을 해결하고 CSO 사건을 줄이기 위한 수단으로 그린인프라 프로젝트를 집중적으로 투자하고 있는데, 2030년까지 연간 16억 7천만 달러의 합류식 하수 범람(CSO) 총량을 줄이는 것을 목표로 삼고 있다. 이를 위해 2012년부터 10여년간 약 11억 5천만 달러 이상의 예산을 투자한 것으로 나타났다. 이제는 환경전문 연구기관 또는 학계에서 그린인프라의 효과성 및 효율성에 대한 검증 연구와는 별개로, 현재 투자되고 있는 그린인프라의 입지(지역)에 대한 적절성에 대해 검증, 분석도 활발하게 이루어지고 있다.

○ 뉴욕시 그린인프라 입지 적절성에 대한 검토 내용

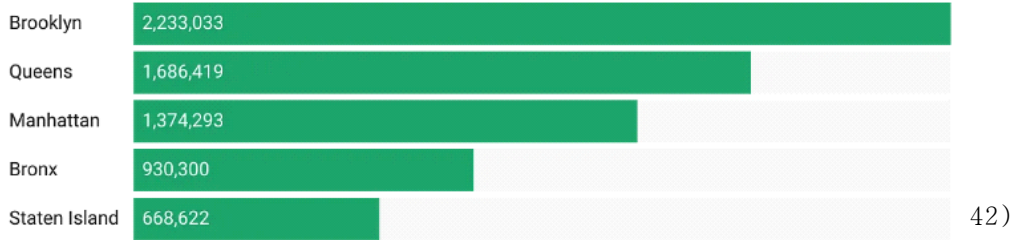
2022년 뉴욕시 환경보호부의 자료에 따르면, 뉴욕에 투자된 그린인프라 유형 중 가장 큰 분야는 통행·교통·수로 등 통행권 관련 분야인데, NYC의 모든 그린인프라 중 91%를 차지하고, 2022년 새롭게 투자된 부문 중

41) Tess von Kleist, Are NYC's Green Infrastructure Projects Targeting the Right Flood Zones?, Dec.12, 2023
(<https://medium.com/@tkm295/are-nycs-green-infrastructure-projects-targeting-the-right-flood-zones-8e1860de0697>)

59%를 차지했다. 주로 친환경적인 생태환경을 기존의 거리, 보도에 통합적으로 설치하는 방식이다.

Total Area of New Green Infrastructure by Borough

Total square feet of Green Infrastructure added as a part of NYC's Department of Environmental Protection Green Infrastructure Program.



Source: Department of Environmental Protection • Created with Datawrapper

뉴욕시 그린인프라 전체 면적을 기준으로 살펴보면, 브룩클린, 퀸즈, 맨하튼, 브롱크스, 스탠티 아일랜드 순서로 나타난다. 브루클린 지역에 설치된 그린인프라 200만 평방 피트를 차지하고 있는데, 그 중 대부분은 생태수로 관련 프로젝트이다. 스탠티 아일랜드 지역은 66만 평방피트로 가장 낮은 비중이었고, 다른 지역과 달리 빗물정원(Rain Garden)이 가장 많은 유형이다. 한편, 맨하튼은 개인주택 또는 타운하우스가 없는 특성에 따라, 녹색지붕(Green Roof) 관련 유형이 가장 많았다.

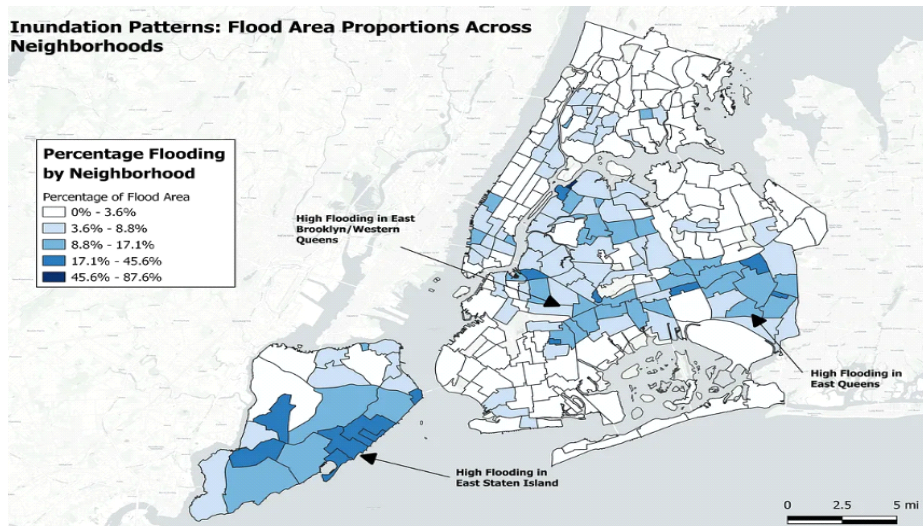


그림 55 뉴욕시 권역별 도시침수 위험도

42) https://miro.medium.com/v2/resize:fit:1100/format:webp/1*aiBxg_3ZMU9ttNyuVgZXZA.png

43) 데이터 출처:

<https://data.cityofnewyork.us/Environment/NYC-Stormwater-Flood-Map-Moderate-Flood-with-Curre/7>

뉴욕시 OPEN DATA에 따르면, 권역별로 가장 높은 도시침수 위험도에 대한 분석 결과, 모두 현재 해수면을 기준으로 분석된 기후변화(해수면 상승) 시나리오를 기준으로 맨해튼 중남부까지, 퀸즈 북부, 브루클린 동부, 퀸즈 동부 및 스테튼 아일랜드 전체가 홍수 위험으로부터 취약한 상태이다.

현재 뉴욕시 환경보호부의 그린인프라 프로젝트가 주로 투자된 지역과 매칭을 해보면, 홍수 위험도가 높은 지역에 많은 그린인프라가 투자되어 있는 것으로 나타났다. 특히, 맨해튼 중남부, 브루클린 동부, 퀸즈 서부에 그린인프라가 집중적으로 투자되었는데, 녹색건물 건축 기준이 확립되고 있는 맨해튼 첼시 지역에 녹색지붕(Green Roof)이 밀집해있다. 지난 10년 동안 브루클린 중부 및 남동부 전역에 걸쳐 다수의 친환경 인프라가 건설되었으며, 그 중 대다수는 생태수로 등 도로(통행권) 관련 프로젝트이다. 하지만, 스테튼 아일랜드 전역 및 퀸즈 동부 지역은 강한 홍수피해 경험을 한 지역임에도 불구하고, 그린인프라 절대 총량이 매우 부족한 상황이다. 아마도 이 지역의 인구가 상대적으로 적고, 도시외곽에 위치하면서 필수적으로 보호해야 할 사회적간접자본 시설이 부족했기 때문에 예산 배정의 우선순위에서 고려되지 못했을 것으로 판단된다.

스테튼 아일랜드의 홍수에 대한 높은 취약성에 비해 낮은 그린인프라 설치율은 볼 때, 일률적인 기준(인구수, 인구밀도 등)을 넘어, 각 자치구의 고유한 지형 및 도시 특성에 맞게 그린인프라의 배치 전략을 수정할 필요가 있다. 현재, 스테튼 아일랜드의 그린인프라는 주로 지역사회 내에 위치한 대규모 빗물 정원으로 구성되어 있으나, 생태수로(통행권 관련) 등 대규모 우수처리 시설을 중심으로 그린인프라를 투자하는 방안도 함께 고려될 필요가 있을 것이다.

4) 뉴저지주(New Jersey state) 정책 사례

- 도시재생 디자인 프로젝트와 도시침수 인프라 프로젝트⁴⁴⁾
(Rebuild by Design Projects and Stormwater Infrastructure Toolkit)

- 추진배경 및 목표

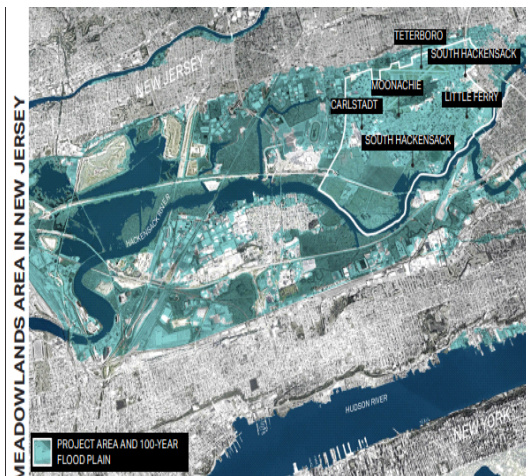
2014년 美 연방정부 주택도시개발부(Department of Housing and Urban Development 이하 HUD)는 뉴저지 지역(예: Little Ferry, Teterboro, Moonachie, South Hackensack 및 Carlstadt 근처의 Meadowlands 및 Hudson 강 인근의 주요 도시) 내에서 역대급 폭풍 피해를 남긴 폭풍 샌디(Superstorm Sandy)와 허리케인 아이린(Hurricane Irene)과 같은 극한 이상기후 재난 이후, 기후 복원력 향상을 위한 도시 디자인 등 설계 프로젝트를 추진했다. 주택 및 인프라 개선을 위해 뉴저지에 NDR(National Disaster Resilience Competition) 자금 1,500만 달러를 배정했으며, 2011년과 2013년 사이에 주요 재해로 피해를 입은 state에 이미 지급했던 10억 달러 규모의 펀드 프로젝트의 후속 조치로 볼 수 있다. 뉴저지 환경보호부(New Jersey Department of Environmental Protection)가 배정받아 운영하는 이 자금은 이른바 뉴저지 복원력 계획 이니셔티브(Resilient NJ) 및 Stormwater Infrastructure Toolkit을 발전시키고 개발하는 데 사용되었는데 핵심 목표는, 기후위험으로부터 안전한 지역사회를 만들고자 하는 이니셔티브(Protecting Against Climate Threats (PACT) initiative)를 실현하기 위해 필요한 실질적 도시인프라 개선, 설계를 목표로 한다.

- 주요 현황

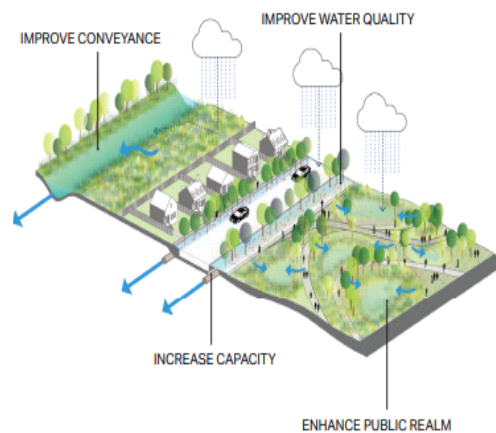
뉴저지 환경보호부(New Jersey Department of Environmental Protection) 내에 설치된 (가칭) 홍수 대응 공학 및 기후복원력 설계 담당국(Bureau of Flood Engineering and Climate Resilience Design)은,

44) Official site of the state of New Jersey, Department of Environmental Protection, Rebuild by Design in Meadowlands and Hudson river

Rebuild by Design Meadowlands 프로젝트에 대한 타당성 조사 및 환경영향평가를 기 완료하였다. 구체적인 내용을 살펴보면, 5개 주요도시 지역(Carlstadt, Little Ferry, Moonachie, South Hackensack 및 Teterboro)에서 극한기상에 따른 폭우의 영향을 감소시키고, 어쩔 수 없는 대규모 홍수가 발생한 경우에는 그 사후 복원력을 향상시키는 것을 목표로, 홍수위험저감 접근법(flood-risk reduction approaches)을 고안했다. Rebuild by Design Meadowlands 프로젝트의 2개의 펌프장, 수로 개선, 녹색 인프라 유형 개선 및 도심공원 조성 등 세부사업은 23년 현재, 설계가 지속 진행 중이며, 실제 건립의 경우에는 연방정부 또는 시정부 차원의 추가재원이 우선순위에 따라 확보되는 경우에 한해 건설이 진행되고 있다. 첫 번째 프로젝트 건설 계약은 Little Ferry 지역의 도로펌프스테이션(Liberty Street Pump Station) 프로젝트가 진행될 전망이다.



NJ Meadowlands area 100-year flood plain



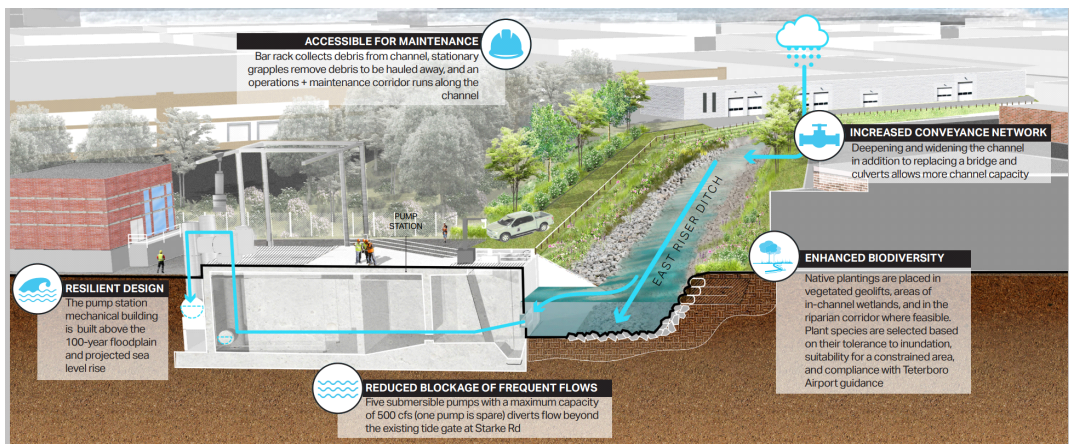
Rebuild by Design 프로젝트의 기대효과

■ East Riser Ditch 케이스(홍수위험도 저감형 하천 인프라 개선)

뉴저지 Meadowlands 지역은 지난 100여년 동안 건설된 배수로와 하천 주류, 지류가 광범위한 네트워크를 이루고 있다. 현재 이 하천 지류간 네트워크는 시설이 노후화되어 기후변화로 인해 역대급 강수량을 기록하는 폭우가 발생할 경우, 적정 안전수준을 수용할 수 없는 경우가 많아질 것으로 전망된다. 새로운 그린인프라를 설립하는 것에 앞서서 기존 수로를 친환경적으로 수정, 보완하는 방식을 우선적으로 추진하고 있으며, 기

존 하천변을 이용한 도로망의 효율적 개선 및 배수용량의 효과적인 증가를 이끌 수 있다. 또한 기존 하천변의 개선을 통해 훼손되었던 수로의 생태적 건강성을 재생시킬 수 있을 것으로 기대한다.

East Riser Ditch는 뉴저지 Bergen County의 Berry's Creek의 오래된 자연 습지 지역의 샘에서 발원하는 약 4.2마일 길이, 배수유역 약 730에 이커에 달하는 인공수로다. Rebuild by Design Meadowlands 프로젝트의 일환으로 Moonachie Avenue와 Carlstadt의 Starke Road 사이 유역의 가장 낮은 범위에서수로 개선이 설계되었다. 기존의 해당 수로는 설계 대비 과중한 기반 시설, 수로 용량 부족, 조밀하게 개발된 지역 환경에 따라 저지대 지역으로 올수록 급경사가 심해지는 지형적 어려움 등이 있었고 그 결과, 이 지역은 잦은 홍수피해가 발생하는 지역이었다. 홍수위험도를 감소시키기 위하여, 우선 수력학 모델링(hydraulic modeling)을 통해 East Riser Ditch 유역의 홍수 위험을 줄이기 위한 다양한 잠재적 위험 접근요인을 평가했다. 최종 설계에는 가능한 경우 식물이 자라는 안정된 제방으로 수로를 깊게 만들고 넓히는 작업을 포함했고, 물이 한계치에 도달하면 더 많은 배수 용량을 허용하기 위해 수로에서 물을 빼내는 새로운 펌프 스테이션도 건설되었다. 배수로의 장기적이고, 지속가능한 운영을 위해서는 운영 및 유지 보수 통로가 필요한데, 식생을 위한 더 많은 공간을 허용하기 위해 회랑의 위치를 가능한 기준에 건설되어 있던 인접 주차장을 활용토록 했다. 이러한 개선 사항은 최대 100년 사이의 범위의 폭풍에 대해 수로 범람 깊이와 범위를 대비할 수 있도록 개선된 것이다.



<East Riser Ditch 인프라 완공 이후의 조감도>

(4) 캘리포니아 주 Los Angeles 하천 그린인프라 프로젝트⁴⁵⁾

1) UCLA Luskin School for innovation LA river Greenway for all

○ 검토배경 및 개요

1700년대 후반, 스페인에 의해 LA 지역이 발견, 개발되기 전까지 LA 강은 지역 원주민(Tongva족)의 삶의 터전이었으며, 자연적으로 예측하기 매우 어려운 지형과 물길의 변화 환경을 가지고 있는 대규모 하천이었다. 특히 계절적 요인에 따라 정기적인 홍수가 발생하는 지역이었으며, 그 결과로 상류로부터 흘러 내려온 비옥한 토양의 퇴적물 및 주변 산맥(San Gabriel mountains)에서 흘러들어오는 수원 등에 따라 매우 훌륭한 농업환경을 갖추게 되었다.

수세기 동안 정기적인 하침 범람지역을 벗어난 지역에 생활공간을 입지시키는 것 이외에 별도의 홍수대책은 없었다. 그러나 1913년 LA Aqueduct(수로) 완공 이후, LA 시민들은 하천범람 지역이 아닌 곳에서 거주하기 시작했고 주요 수자원의 공급원으로서 LA 강을 적극적으로 활용하게 되었다. 시간이 지남에 따라, 1930년대 급증하는 주택공간이 하천 범람원에까지 확대되면서 홍수로 인한 침수 피해문제 등이 사회적으로 주목받기 시작했다.

1938년 대형 홍수를 경험한 LA시는 미 육군 공병대가 중심이 되어 하천을 곧게 일자로 만들고, 수심을 깊게 파고, 강바닥과 둑을 곧게 직선화한 뒤에 콘크리트로 포장하는 수로를 만듦으로써 홍수에 대비하고자 하였고 이른바 물의 고속도로(water freeway)를 1960년대에 완공하게 되었다. 수로의 주된 기능은 도시의 빗물과 오염된 폐수가 바다에 안정적으로 흘러들어 갈 수 있도록 작용하는 것이었는데, 하천의 개조 과정에서 오로지 홍수의 조절만을 고려하였으며, 일반 시민의 여가와 안정을 위한 측면은 미처 고려되지 못하거나, 경시된 측면이 있었다.

45) 출처: CREATING A COMPLETE LA RIVER GREENWAY FOR ALL, STORIES AND GUIDANCE, UCLA LUSKIN CENTER FOR INNOVATION

캘리포니아 주립대 LA 캠퍼스(이하 UCLA)의 Luskin 정책대학원 산하 정책 연구센터인 Luskin Center에서 LA river greenway guidance를 수립(17년) 후, 크고 작은 14개의 LA river의 기후변화 적응력 향상을 위한 프로젝트 사업을 제안했다. 이에 앞서 약 51마일에 달하는 LA river의 공간을 크게 4가지 측면(1. 하천으로 접근하기 위해 필요한 공간, 2. 강을 따라 둘러 싸여진 공원(parks) 등 녹지공간 조성, 3. 하천의 보행자 통로(사람, 자전거 등), 4. 하천을 관통하는 교량(bridges)에 대한 분석)으로 나누어 그린웨이 네트워크 방식을 설계, 분석했다. 그 분석에 따르면, LA 지역에 그린웨이 네트워크가 확장되면 이 지역에 수많은 사회, 건강, 교통, 환경적 혜택을 가져올 수 있을 것으로 기대되며, 중요한 전제조건으로서 지역 커뮤니티, 비영리 단체, 지방 정부가 협업하여 주도적인 역할을 수행해야 할 것이라는 점을 강조했다.



그림 59 LA카운티를 관통하는 LA강 전경

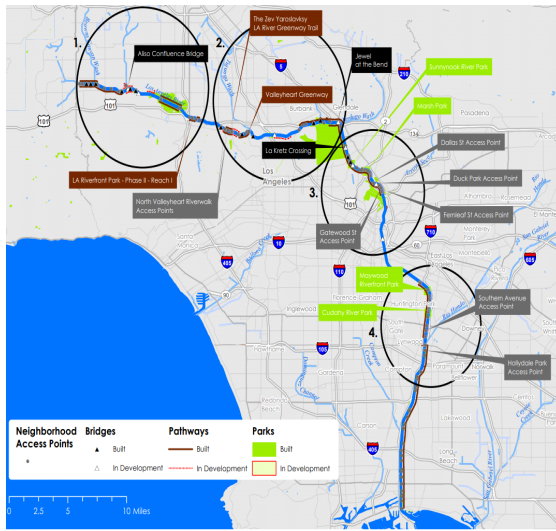


그림 60 300피트에 달하는 과거의 LA강 콘크리트 수로

○ 개선 방향

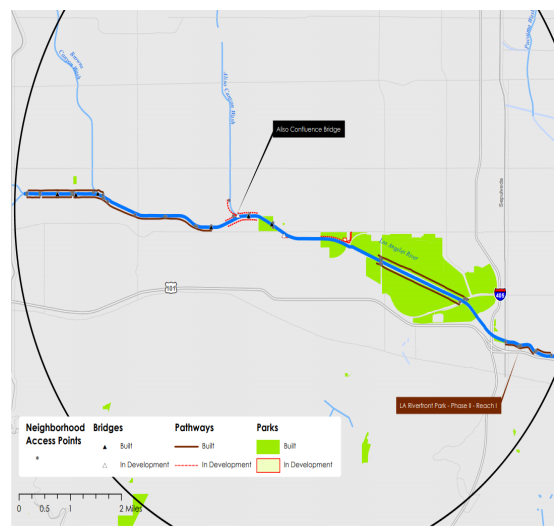
기본적인 추진방향은 기존에 콘크리트로만 둘러싸인 LA강의 기능을 재정립하여, 공익적 공간 및 자연친화적인 생태공간으로 탈바꿈하는 것을 목표로 삼았다. LA강 콘크리트 구조물을 친환경적으로 개선하는 프로젝트는 많은 시도들이 있었으나 12개 이상의 지자체를 공간을 통과함에 따라 물리적 구조의 제약, 수도 및 토지 등 계약 관련 사용 제한, 복잡한 소유권 구조 등으로 인해 LA강변 개발 프로젝트는 장기간 어려움을 겪었

다. 기존의 개별적, 단편적 접근방식 프로젝트는 LA강을 따라 광범위한 공익적 목적의 사업 추진을 제한하였으나, 새롭게 제안되는 정책은 통합적, 대규모 범위를 지향하고 있었는데, 예를 들어, 공공이용을 위한 여가 공간, 친환경적인 조경 요소 적용, 레크리에이션 시설을 갖춘 복지 공간 등을 공간별로 배치하는 사업까지 포함되었다.



*Labels indicate the case study projects featured in this Guide. Credit: UCLA Luskin Center and Norman Wong, UCLA Lewis Center

그림 61 Greenway 51마일 구역도(4 sections)



*Labels indicate the case study projects featured in this Guide. Credit: UCLA Luskin Center and Norman Wong, UCLA Lewis Center

그림 62 LA강 greenway 중 이동로 단절 구간

2) 남부 캘리포니아(Southern California)의 그린인프라 정책 기본방향⁴⁶⁾

○ 수립 배경

2022년 남부 캘리포니아의 Health Alliance of Southern California에서는 그린인프라, 기후회복력 및 국민건강(Green Infrastructure, Climate Resilience, & Health Equity)에 관한 기본적인 정책 추진 방향 등을 담은 통합정책 보고서를 발표했다. Health Alliance of Southern California는 남부 캘리포니아의 10개 지역의 공중보건관할 구역(local public health jurisdictions, LHJ)의 담당부서 간의 연합체 단체이다. Public Health Alliance는 캘리포니아 인구의 건강에 대한

46) 출처: 'Green Infrastructure, Climate Resilience, & Health Equity', An Integrated Policy Agenda, prepared by the Public Health Alliance of Southern California, May 2022

법제도적 정책을 담당하는 기관이며, 경제사회문화 등 다양한 부문을 아우르는 정책 접근 시스템을 통해 지속적인 국민건강 향상을 기관의 핵심 목표로 삼고 있다.

현재, 캘리포니아 주는 기후변화의 영향으로부터 지역 사회의 건강을 보호하는 데 중요한 도구인 댐, 수로, 공원 및 빗물 시스템의 품질이 낮은 것으로 평가되고 있다. 물관리 관련 사회적 기반 시설(infrastructure)의 실패는 오염된 빗물 유출을 초래할 수 있으며, 이는 음용수의 질을 떨어뜨릴 뿐만 아니라, 수생태계 속 물고기와 조개류를 오염시키고, 결국 하천 인근지역의 식물 및 야생동물, 더 나아가 인간을 해치는 박테리아를 발생시키는 등 문제가 야기하기 때문에 정부 차원의 시급한 조치가 필요한 정책 영역이다.

○ 주요 내용

캘리포니아 그린인프라(GI) 프로젝트의 핵심 사항 중 우선시되는 부분은 지속적으로 안정적인 재원이 투자될 수 있도록 보여줄 수 있는 펀딩플랜이다. 그린인프라의 설치에 따른 효과로서, 수질의 개선 및 온실가스 배출의 감소, 기후변화 적응력의 향상 등 직접적인 순기능 이외에 중장기적으로 발현될 수 있는 지역주민의 건강, 사회적 형평성 및 삶의 질 개선 등 사회적 공익 부분까지 펀딩플랜에서 효과성으로 고려되어야 한다. 이와 관련하여, Los Angeles 인근 지역의 그린인프라 설치에 따른 효과성으로 해당지역의 사회, 개인적 건강성의 향상 등 지역사회 문제를 해결하는데 들어가는 사회적비용이 효과적으로 개선되었다는 상당한 연구결과를 제시하고 있다.

신체적, 정신적 건강을 개선하기 위한 공공보건 사업의 일환으로서 도심공원, 산책로 및 파편화된 녹색 공간의 생태축 연결 등이 필요하다고 제시한다. 이 밖에, 울창한 나무가 조성된 지역은 천연 캐노피, 일종의 녹색 지붕으로 작용하여 폭염 수치를 다소 완화하고 도시열섬효과를 상쇄시키는 기능을 한다.

녹색 거리와 공원은 빗물 유출을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 대기 질을 개선하고 건강을 개선하기 위해 적극적인 통근과 레크리에이션을 통합할 수 있다. 캘리포니아가 기후 변화를 해결하고 지역 사회의 회복력을 촉진하기 위해 인프라에 대한 투자를 증가함에 따라 녹색 인프라는 물 시스템을 현대화할 뿐만 아니라 공공 녹색 공간에 대한 접근을 개선하고 지역사회에 권한을 부여하며 장기적으로 지속 가능한 미래를 만들기 위한 필수 전략이다.

○ 그린인프라 관련 중앙·지방정부의 역할

그린인프라를 촉진시키기 위해 도입되는 규제정책 또는 입법도구는 공공용지 위에 프로젝트를 개별적으로 추진하거나 혹은 개인토지 소유자의 자발적인 참여가 확보되었을 때와 비교하여 더 빠르게 추진이 가능하고, 확실한 결과를 도출할 수 있다는 점에서 정책적 의의가 크다. 본 보고서의 작성기관에서는, 그림에도 불구하고, 미국 연방정부 및 캘리포니아 지방정부에서 추진되고 있는 각종 규제정책 및 입법수단들을 살펴보면 전국적 그린인프라 확장을 장려하기에는 부족한 점이 많다고 판단하고 있다. 예를 들어, 전국의 각 주(states) 마다 공통적으로 사용할 수 있는 그린인프라 관련 개념 정립, 지원 프로그램 등이 거의 없는 실정이다.

예를 들어, 지자체마다 개별적인 자체 시스템을 구축하여, 별도의 빗물 관리시스템(Municipal separate stormwater system, MS4)을 만들고 그린인프라와 관련된 지원방안, 규제의 범위 등을 만들어나가고 있다. 하지만 지역사회의 기후 회복력과 건강 형평성을 증진시키기 위해 필요한 그린인프라 관련 재원 규모가 만족스럽지 못한 수준이며, 기후위기 취약성 및 커뮤니티 건강성의 형평성 향상 측면에서 전국 단위의 국민이 광범위한 혜택을 얻을 수 있는 혁신이 부족하다고 보고 있다. 연방 단위의 강력한 규제수단을 통해 물시스템(MS4)을 비롯한 광범위한 그린 인프라 전반에 대한 허가권한, 세부규정, 건물코드 등의 변경이 필요하다.

3) Maywood Riverfront Park 그린인프라 설치 사례

Southern California Maywood Riverfront Park는 7.3 에이커에 달하는 광활한 면적에 6가지의 산업공단이 입주해있는 인구 과밀집 지역에 입지해 있다. 이 지역은 상대적으로 저소득층의 시민들이 주로 거주하고 있는 지역으로 알려져 있으며, 이 곳에 있는 공원을 그린인프라로 개선하는 사례는 사회적 취약계층 밀집지역의 대표적 브라운필드를 새로운 녹색공간으로 탈바꿈 시킨 대표적 사례로 평가받고 있다. 특히, 도심공원의 생태적 조성을 통해 도시 홍수 및 삶의 질 개선을 이끌 수 있는 환경정책의 효과를 직접적으로 발견할 수 있다는 점에서 정책적, 환경적 의미가 큰 프로젝트라고 할 수 있다. Maywood 시는 2000년대 초반까지 공터로 남아있는 산업부지를 공원구역 및 녹색공간으로 조성할 계획을 가지고 있지 않았으나, California 주정부로부터 지속가능성 등이 매우 취약한 지역(critically underserved community)으로 새롭게 지정되면서부터 본격적인 공원조성 프로젝트가 시행되었다.



그림 63 Maywood 시의 LA강 경로(기존 모습)



그림 64 Maywood River Park 디자인 설계

Maywood Riverfront Park는 Slauson Avenue 브리지에서 시작하여 East 60번가 남쪽까지 뻗어 있으며 LA강의 홍수 조절 및 수질 개선 프로젝트에 있어서 매우 중요한 지역이다. 공원을 구성하는 부지는 공개 구역

을 우선적으로 선정하였고, 일반대중의 통행로 및 자전거 도로에 대한 접근성을 제공하는 능력뿐만 아니라 주변 커뮤니티의 밀도와 열린 공간에 대한 레크리에이션 기능 강화를 골자로 추진되었다. 다양한 사용자를 수용하고 커뮤니티 혜택을 극대화하기 위해 설계되었으며 넓은 열린 공간과 산책로 및 생물다양성 증진공간과 같은 다양한 레크리에이션 편의시설이 포함되어 있다. 이 프로젝트의 설계 시행사(AAE)와 함께 부지 분석 및 개선을 직접 담당한 시부서 관계자 등 모든 이해 관계자 및 아이디어 제안자들은 각 부지의 현재상태와 연차별 단계적 개선 전망, 특히 단계적 개선 노력에 따라 공원의 세부 공간 중 어느 부분이 추가, 파생적으로 그린인프라 구축 계획이 수립될 수 있을지에 대한 미래예측 사항 등까지도 세밀하게 고려하여 진행했다.

Maywood Riverfront Park 부지 중에서 Catellus 부지에 0.67에이커 규모의 임시 공원을 사전에 조성하고 나머지 5개 부지는 인수 협상, 환경 검토 및 청소가 진행되는 동안 도시정화 사업을 선행함으로써 지역주민들의 공공이용과 사회적 순기능의 단절을 예방했다. 2005년에 미리 완공된 일부 작은 공원들은 주민들과 자전거 도로 이용자들이 주민과 자전거 도로 이용자들이 많이 이용한 것으로 알려져 있다.

상대적으로 소규모인 Maywood Riverfront 프로젝트가 성공적으로 정착되면서, 이를 계기로 정치권 및 선출직 공무원들 사이에서 대규모 그린인프라 공원 개발에 대한 관심도가 높아지게 되었다. Maywood 시 외에 주변의 지자체까지 각종 이해관계자, 디자이너와 프로젝트 리더들로 하여금 그린인프라 기술이 적용된 도심공원 디자인의 가치를 재평가하게 된 것이다. 한편, 美연방 환경청(EPA)과 지자체 수자원 위원회는 그린인프라를 설치하는 지자체 프로젝트 팀들에게 토양정화 및 수질개선 등에 필요한 기술적 지원 및 각종 정보자료를 정기적으로 제공하는 도움을 주었다. 예를 들어, Maywood Riverfront 설계 팀은 미 환경청의 지원 및 가이드라인에 따라 기존 산책로와 체육시설 주변에 있던 콘크리트 중심의 연못 정화시설물의 콘크리트 박스를 걷어내고, 생태적 수변공간으로 개선하는 사업을 병행하기도 했다.

(5) 노스캐롤라이나의 도시회복력 증진 위한 그린인프라 정책⁴⁷⁾

○ 지방자치단체(지방정부) 주도로 그린인프라 기획, 추진

노스캐롤라이나 주(North Carolina state, Durham 市는 지방정부 차원 및 연방 정부 차원의 그린인프라 관련 각종 R&D 프로젝트 및 보조금 정책, 지역 NGO와의 partnership, 인접 시정부와의 협력체계 구축 등을 광역규모로 통합하는 것을 기본 방향으로 삼고 있다. 전체적인 사업 규모를 확장해야 효과적인 임팩트를 만들 수 있는 인프라를 구축할 수 있고, 실질적인 지역 보호효과가 발생한다면 그 혜택은 더럼에 국한되는 것이 아니라 인근지역 전체를 포함하기 때문이다.

더럼에서 집중하고 있는 그린인프라는 침수피해 완화 관련 Green stormwater infrastructure인데, 과거 더럼시의 건설과정에서 빗물에 대한 관리 및 통제 시스템이 고려되지 않았기 때문이다. 극심해진 기후변화 패턴이 고려되지 않은 현재의 빗물 통제 시스템은 더럼시가 우선적으로 개선하고 있는 그린인프라 중의 핵심 분야이다.

○ 시 정책상 그린인프라의 개념

더럼시에서 바라보는 Green stormwater infrastructure란, 자연적인 물 순환 체계를 가능한 본연의 모습 그대로 보호하거나, 훼손된 자연환경을 복원 또는 모방하여 재난재해에 효율적으로 대응하고자 하는 빗물 관리 시설(정책유형)을 뜻한다. 즉, 자연환경 요소와 전통적인 우수 배수 시스템을 결합하여 비정상적인 빗물의 체류 및 범람을 예방하고, 수질 개선 및 생태계 복원을 목적으로 하고 있다.

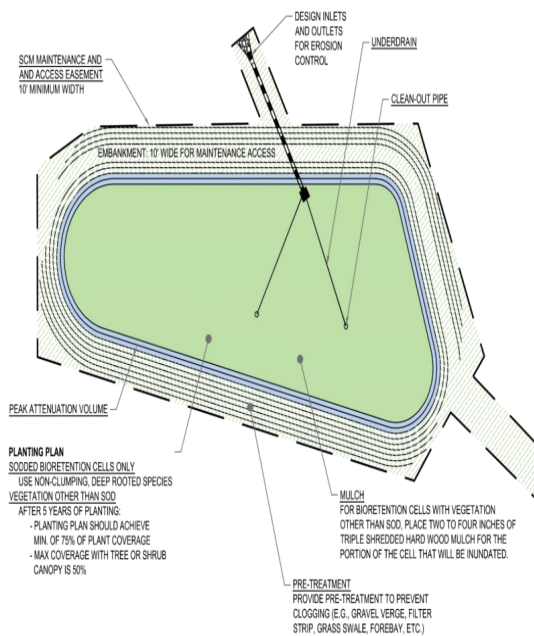
Green stormwater infrastructure는 기존의 인프라 관련 엔지니어링 기술 유형의 표준, 건립 과정상에서의 관행, 실제로 설치된 시설의 하드웨어 관리 뿐만 아니라, 빗물 시스템을 디자인하는 단계에서부터의 방법

47) 출처: 더럼 市 공식홈페이지, <https://www.durhamnc.gov/1619/Green-Infrastructure>

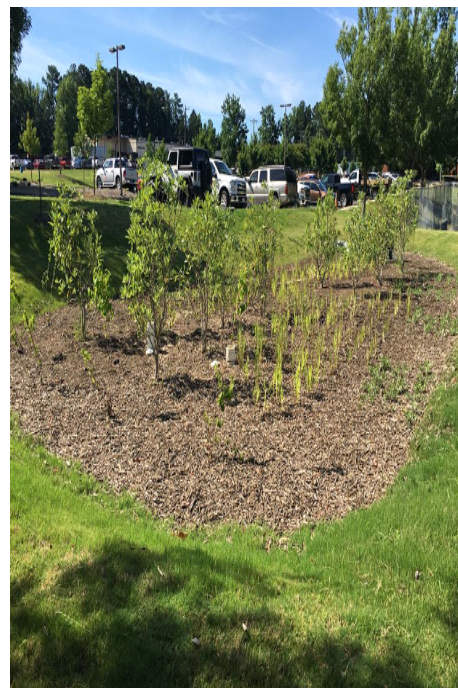
을 의미할 수 있다. Green stormwater infrastructure의 확산은, 자연 생태계가 제공하는 생태적 이점을 활용할 수 있도록 시 정부 차원의 도시설계 및 조경건축 관련 규정을 개선하는 것을 시작으로 한다.

○ 그린인프라 핵심 유형 ①: Bioretention Cells

Bioretention Cell은 특수기능의 토양 매체와 선별된 기능성 식물을 통해 빗물 유출수를 빠르게 흡착하고 필터링하도록 설계된 생태구역이다. Bioretention Cell은 빗물을 일시적으로 저장할 뿐만 아니라 지하로 투수되는 속도를 늦추는 기능도 갖는다. 점토에서 모래까지 다양한 토양 유형과 다양한 현장에 설치할 수 있다. 또한 침투, 흡수, 흡착, 미생물 작용, 침전 및 여과를 포함한 다양한 오염 물질 제거를 위한 자연기반(Nature based) 메커니즘을 사용하기 때문에 친환경적인 방식으로 오염물질을 제거하고, 추가적인 인공적 오염물질을 만들어 내지 않는 효과적인 그린 인프라로 활용되고 있다.



[Bioretention cell plan view 예시]

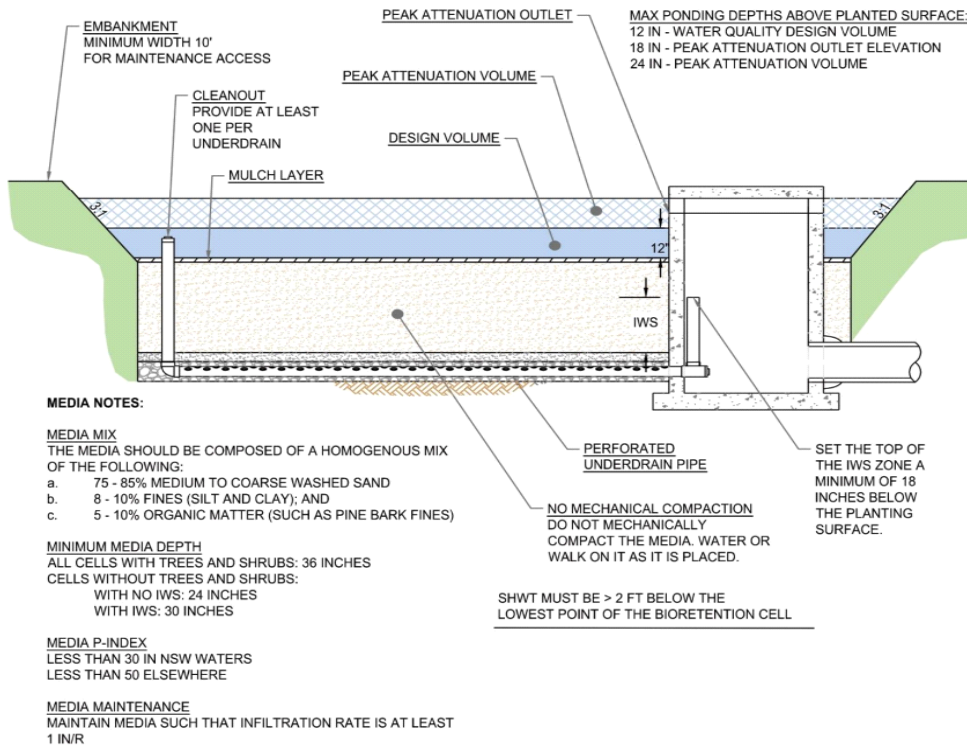


[더럼시 주차장에 설치된 Bioretention cell 현장]

48)

48) <https://www.durhamnc.gov/ImageRepository/Document?documentId=40021>

Bioretention cell의 가장 낮은 지점은 계절별 만수위(Seasonal High Water Table, SHWT)보다 최소 2피트 이상 높아야 한다. 다만, 조경업과 관련된 면허를 소지한 전문가가 작성한 수문 지질학적 평가서를 제출하는 경우에는, 이격거리를 1피트 이상으로 줄일 수 있다.



49)

[Bioretention 조경설계 단면도 예시]

설계 용적의 최대 연못 깊이는 식재 표면 위 12인치 정도를 확보해야 하며, Bioretention cell의 식재 표면 위 최대 24인치 깊이에 attenuation volume을 저장할 수 있도록 설계되어야 하고, peak attenuation outlet은 식재 표면에서 최대 18인치 위에 위치해야 한다. 배수지 위치를 처음 정하기 이전 단계에서, 현장에서 측정한 토양 침투율이 시간당 2인치 이상으로 입증되지 않는 한, 내부에 물을 저장할 수 있는 underdrain을 설치해야 한다. 내부 물 저장 구역의 상단부는 식재 표면에서 최소 18인치 아래

49) 출처:

<https://files.nc.gov/ncdeq/Energy+Mineral+and+Land+Resources/Stormwater/BMP+Manual/C-2%20Bioretention%201-19-2018%20FINAL.pdf>

에 설치해야 한다. 그리고 잔디 이외의 식물이 있는 bioretention cells의 경우, 식재 후 5년이 지난 시점에는 식물 생육수준의 최소 75% 이상을 달성해야 하고, 수목 캐노피의 최대 피복수준은 식재 후 5년 시점에 50%여야 합니다. 만약 잔디를 사용할 경우, 뿌리가 깊고 뭉쳐지지 않는 종을 선택해야 한다.

○ 그린인프라 핵심 유형 ②: Tree Box Filter

트리박스 필터는 지하 빗물을 포집하고 처리하는 새로운 유형의 녹색 빗물 인프라 유형이다. 주로, 보도 및 도로 인근 지역과 같은 기 개발된 지역에 대한 보완적 요소로서 설계된다. 트리박스 필터는 bioretention cells 시설과 유사한 구성요소를 가지고 있다. 2018년 더럼市는 Ellerbe Creek 유역의 Duke Park 근처 Acadia Street를 따라 두 개의 Silva Cell을 부분적으로 설치했는데, Silva Cell은 빗물이 지하에 저장되면 나무와 특수 필터 매체가 오염 물질을 자연적으로 제거하는 기능을 갖는다.

이러한 모듈형태의 그린인프라 시설은 대규모, 장기간의 시설 개선 공사가 현실적으로 어려운 도심지역의 침수대응 능력을 향상시키는데 매우 적합한 특징을 갖는다. 지역 내 위치한 노스캐롤라이나 주립대학(North Carolina State University)은 청정수자원 관리 신탁 기금(Clean Water Management Trust Fund) 재정지원을 받아 트리박스 필터가 더럼 지역 내 토양 환경에서 얼마나 잘 작동하는지에 대한 연구를 실시했다.

트리박스 필터는 나무에 물과 영양분을 공급하는 기능에 더불어, 가로수 뿌리가 더 안정적으로 성장할 수 있는 여유 공간을 제공하는 순기능도 있다. 노스캐롤라이나 주립대의 Stormwater Engineering Group은 트리박스 필터를 더럼市 이외의 도시로 확대, 사용할 수 있는 방안에 대해서도 추가적인 연구 및 모니터링 사업을 실시 중이다.



50)

<더럼市 내부에 설치된 트리박스 필터 예시1>



51)

<더럼市 내부에 설치된 트리박스 필터 예시2>

(6) 미국조경가협회(ASLA) 선정 지속가능 도시 조경설계 우수사례⁵²⁾

1) 뉴욕 버팔로市的 Rain Check 2.0 사례

뉴욕주 버팔로市는 극심해지는 기후변화 현상으로 말미암아 태풍, 홍수 등에 따라 도심 속에서 발생하는 오염된 빗물 및 하수 문제가 심각한 상황이다. 특히 하수관거 시스템이 노후화되면서 빈번하게 발생하는 극한 기상현상에 대한 도시주택지구의 홍수 취약성이 심각한 상황이다.

버팔로 하수관리청이 추진하는 혁신적인 도시 조경 프로젝트인 “Rain Check 2.0” 은 도심 속 녹지공간, 빗물 정원, 녹색 지붕 및 거리를 통해 빗물을 저장할 수 있도록 도시인프라를 재디자인하고 특히, 그 과정에서 개인 토지 소유자에게 보조금을 제공하는 인센티브 정책을 병행하는 것이 특징적이다. 즉, 공공용지를 중심으로 추진되는 조경 프로젝트로부터 민간이 소유하고 있는 토지의 자발적 전환을 지원하는 사업을 추진하는 방향에 더 큰 방점을 두고 있다는 점에서 차별화된 모습을 보이고 있다.

50) 출처: <https://www.durhamnc.gov/ImageRepository/Document?documentId=26266>

51) 출처: <https://www.durhamnc.gov/ImageRepository/Document?documentId=25819>

52) 출처: <https://www.asla.org/NewsReleaseDetails.aspx?id=59151>

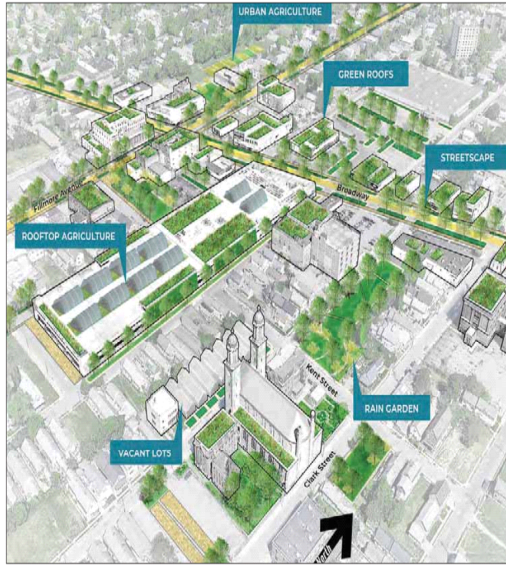


Figure 4. Potential GI for one neighborhood.

Buffalo Sewer Authority/Arada

<Rain Check 2.0 조감도>



577 NORTHLAND AVENUE: Green Infrastructure Design Concept 3 Stormwater Feature

<그린인프라 디자인 컨셉(도시배수 시스템)>

53)

뉴욕 버팔로 하수관리청(Buffalo Sewer Authority)은 연간 17억 5천만 갤런의 하수가 나이아가라 강으로 흘러 들어가는 것을 방지하기 위하여 하수 관거 인프라 개선사업에 9,300만 달러, 그리고 빗물 관리계획 시스템 개선 사업에 3억 8,500만 달러를 투자하고 있다. 초기의 Rain Check 프로그램은 주로 도시 소유의 공공토지에 그린 인프라를 투자하는 방식이었는데, 관련 정책이 성공적으로 완수됨에 따라 이후부터는 도심 속 나무 심기, 빗물 정원 조성, 자연 기반 빗물 관리 인프라 조성을 위해 개인 소유의 토지를 관리할 필요성을 느꼈다.

그 결과 개인 토지 소유자에게 보조금 지원을 포함하 Rain Check 2.0 프로젝트가 새롭게 추진되었다. 버팔로 하수관리청(Buffalo Sewer Authority)에서 친환경 인프라 프로그램을 이끄는 조정설계업자인 ASLA Kevin Meindl의 제안에 따라, Rain Check 2.0에는 불투수 표면의 평방피트를 기준으로 계산된 보조금을 통해 사유지 부동산 소유자가 불투수 표면을 투수 표면으로 변환하도록 장려하기 위한 보조금으로 수백만 달러를 편성했다.

53) <https://www.nywea.org/Clearwater%20Article%20Documents/BuffaloSewerAuthorityF19.pdf>

버팔로 하수관리청(Buffalo Sewer Authority)은 1년 간의 사전영향 분석을 수행한 후, 도시 내 6개의 우선순위 합류 하수 범람 유역을 식별하는 Rain Check 2.0 사전 보고서를 마련했다. 그 결과, 우선적으로 선정된 6개 유역 중 5개 유역은 역사적으로 소외되고 소득수준이 낮으며, 공공서비스 공급이 상대적으로 더 부족한 지역사회에 위치해 있었다. 버팔로 하수관리청은 6개 우선지역 모두를 대상으로 친환경 인프라 개선을 위해 450개 이상의 지역 단위 현장을 조사, 평가했다.

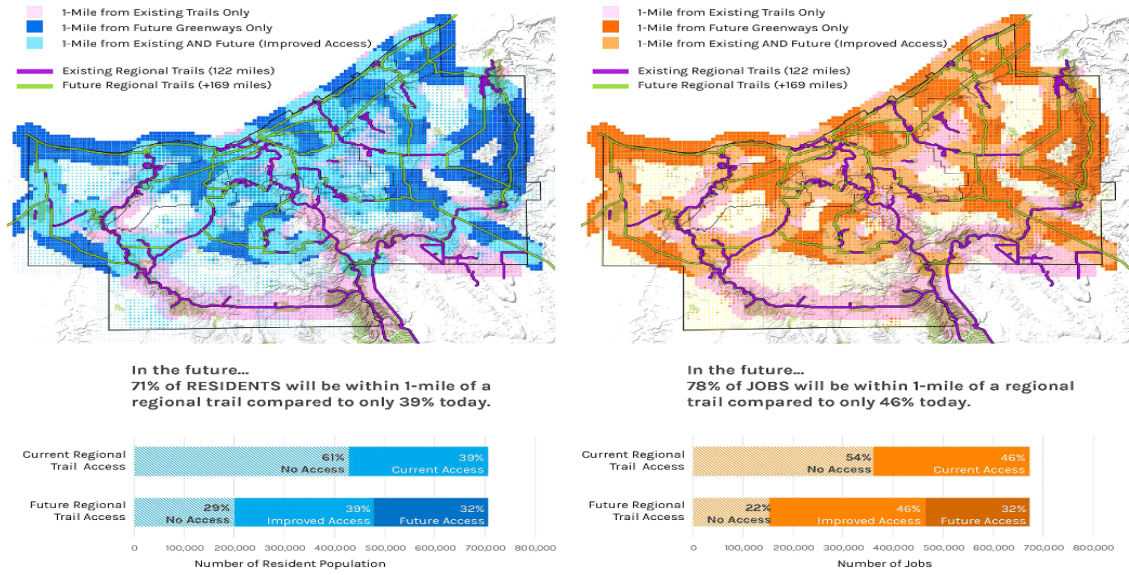
단순히 개인소유의 땅에 대해 아스팔트를 투수 포장재나 아스팔트로 교체하는 것은 가장 적은 양의 보조금을 지급받게 되며, 투수효과 증진 뿐만 아니라 오염수 정화 및 심미적 순기능까지 제공하는 녹지공간(나무 심기, 습지 조성 등)으로 전환하는 시민에 대해서는 더 많은 자금을 제공한다. 더불어 최근들어 심각해지고 있는 기후변화 및 홍수 위협에 효과적으로 대처하기 위해 평균 24시간 동안 1.5인치의 빗물을 저류, 보관할 수 있는 시설을 마련하는 사업자에 대해서는 추가적인 자금 인센티브를 마련했다. 보조금 지급 뿐만 아니라 민간 부동산 소유자에게 설계 및 시공 관련 기술, 행정자문 서비스를 제공하여 그들이 프로젝트에 대한 자금을 미리 조달하고 상환을 기다릴 필요가 없도록 하는 방법을 마련해두었다. 그린인프라 개선 공사를 위해 필요한 인력 수요의 증가 역시 이 프로젝트의 핵심 순기능 중 하나로, 도시 내 프로젝트 개발 역량을 확대하기 위해 하수관리청은 실업률과 빈곤율이 높은 지역에서 40~50명을 고용하여 일 자리를 제공하고 있다.

2) Ohio state, Cuyahoga Greenways 프레임워크 사례

오하이오주에 위치한 Cuyahoga 카운티는 자동차 중심의 도시교통 시스템이 지역사회의 지속가능성에 미치는 부정적 영향을 해결하기 위하여 친환경적 도로시스템 조정 프로젝트를 설계했다. 핵심적인 아이디어는 보행자와 자전거 이용자를 위한 건강한 교통 인프라 옵션을 확대하는 것이다. 그린웨이(Greenways)란, 보행자가 걷기 좋은 도로 환경과 자전거를 타기 좋은 환경을 기존의 자동차 중심 도로 환경으로부

터 분리시킨 일종의 선형 공원(linear parks)으로 볼 수 있다. SmithGroup의 조경전문가 그룹에 의해 설계된 총 815마일의 선형공원을 통해 클리블랜드 주변의 59개 지자체는 도심 내부로부터 주변에 위치한 자연 자원인 이리 호수(Lake Erie)까지 보다 건강한 교통 인프라로 개선될 수 있다. Cuyahoga 카운티는 전통적인 제조업 중심의 도시 지역이었으나, 1980년대 이후 지속적인 산업쇠퇴 및 일자리 감소로 인해 도시 산업수준이 쇠퇴 중인 이른바 러스트벨트(rust belt)의 한 지역이다. 도시 공간 속 공공의 레크리에이션 활동을 보장할 수 있는 여유가 있음에도 불구하고 카운티 지역주민의 4분의 1은 신체적인 운동을 하고 있지 않은 것으로 조사되었으며, 전문가 그룹의 조언에 따르면 도심 속 시민의 운동증가를 유도할 수 있는 인프라 개선 프로젝트를 통해 만성건강 질환 위험도를 낮출 수 있다고 밝혀졌다.

2017년에 Cuyahoga 카운티 계획위원회는 Cleveland Metroparks 및 오하이오 북동부 지역 관할 기관과 함께 SmithGroup과 협력하여 더 많은 주민들이 걷거나 자전거를 탈 수 있도록 하는 녹지 도로 및 도시 산책로를 개발하는 포괄적인 이니셔티브 “Cuyahoga Greenways”를 수립했다. 이 외에도 59개의 Cuyahoga 커뮤니티 관련 각종 시민단체가 카운티의 건강, 복지 및 경제적 활력을 개선하기 위한 계획을 개발하는 데 참여했으며, 공청회, 청취 세션, 온라인 설문조사 등 다양한 유형의 시민 참여 활동이 포함되었다. SmithGroup에 따르면 계획을 개발하는 동안 수많은 요소가 고려되었지만 그린웨이 경로 옵션을 분석하는 동안 사회적 형평성 및 환경 정의와 관련된 요소를 매우 중요하고 고려하였다. 즉, 사회 경제적 요인, 중위 소득 집계, 실업률 및 인구 밀도가 포함되었으며, 자동차 소유 비율, 도보 및 자전거를 타고 출근하는 사람의 비율, 인구 밀도 등을 종합적으로 초점을 맞춘 대중교통 프로젝트가 그 핵심 목표였다. 이러한 요소는 공공서비스의 공급이 부족하고 역사적으로 소외된 인구의 이동 편의 향상 및 도심 녹색공간으로의 접근성 향상을 이끌기 때문에 시민들의 큰 지지를 얻었다. 이 새로운 도시설계 계획을 통해 지역 및 지방자치단체, 기관, 비영리 단체는 전체 네트워크를 성장시키면서 서로 보완하는 자전거 및 보행자 네트워크를 구축할 수 있는 마스터플랜을 갖게 되었다.



Cuyahoga Greenways / SmithGroup

<1마일 이내 지역주민이 선형공원 이용률 향상 예측치>

기본 계획은 우선적으로 총 815마일의 산책로와 도시 산책로를 식별했다. 우선순위에 따라 선형공원 구축이 먼저 제안된 지역 트레일 시스템을 구축함으로써 카운티 주민들의 트레일 접근성이 크게 높아지게 된다. 현재 280,000명의 주민이 해당 산책로 반경 1마일 이내에 살고 있으며, 전체 구간이 모두 완료되면 카운티 인구의 40%가 넘는 500,000명 이상의 주민이 이용할 수 있을 것으로 전망된다.

도로 식별 및 평가 이후, 평가된 경로를 선택하고 구현 우선순위를 지정할 소규모 프로젝트를 선별하는 작업이 시행되었다. 수백 마일의 경로를 평가하면서 다음의 기준을 모두 충족하거나 최대한 많이 충족하는 구역을 선택하는 것이 관건이었다. (1)여러 가지 경로 중에서 가장 광역범위의 영향을 미칠 수 있어야 할 것, (2)지역 이해관계자 및 운영 위원회의 의견에 맞춰 프로젝트 조정, 자금 조달 가능성이 높을 것, (3)기존 환경에 비하여 녹지공간과 도시 산책로의 기능적 향상 수준이 높을 것 등이다.

지역 그린웨이 시스템은 또한 일자리에 대한 접근성을 향상시킬 것으로 기대된다. 현재 355,000개의 일자리가 기존 트레일에서 1마일 이내에

있는 것으로 조사되었으며, 향후 선형공원 네트워크가 완성되면 일자리의 약 50%가 지역 녹지와 도시 산책로에서 1마일 이내에 위치하게 될 것이다.

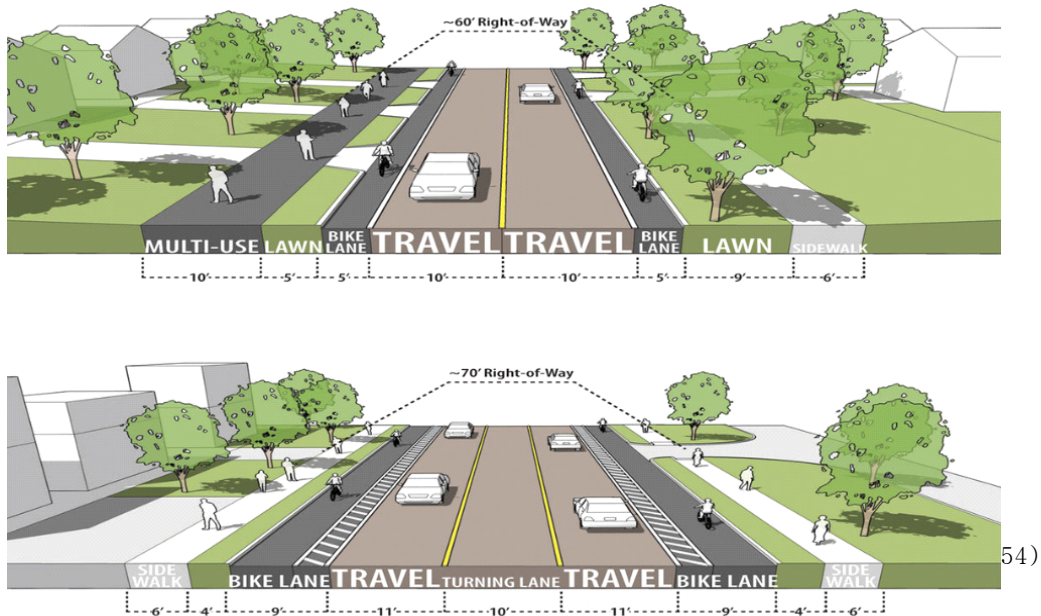


그림 73 Cuyahoga 카운티 그린웨이 플랜 전후 비교도(설계업체 SmithGroup)

3) 조지아 주, The Keneda Building for Innovative Sustainable Design 사례

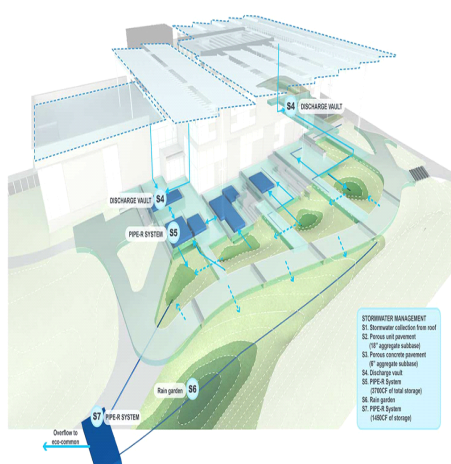
미 남부 조지아 주(Georgia state) 애틀란타(Atlanta) 시에 위치한 조지아공대(Georgia Institute of Technology) 캠퍼스에서는 교내의 Keneda 빌딩에서 흘러나오는 빗물을 100% 포집하여 재사용하고, 건물의 중수도(grey water)까지 다시 정화하여 사용하는 혁신적인 물 관리 시스템을 통합, 구축했다. Georgia Institute of Technology는 Keneda Fund와 제휴하여 캠퍼스 내 주차장과 주변 도로를 지속가능한 디자인으로 혁신하기 위한 프로젝트를 수립했다. 미국 남동부는 고온다습한 지역임에 따라 에너지와 물 사용량이 기후변화를 겪으면서 점차 증가

54) 출처:

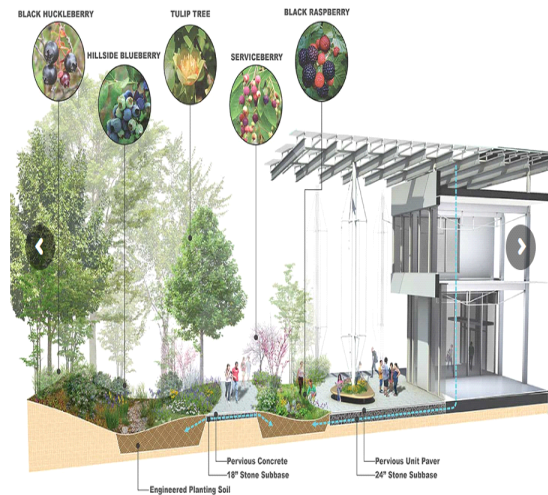
https://www.smithgroup.com/sites/default/files/styles/slideshow_mobile_3x/public/2018-08/Eastside-Greenway-9.jpg?h=33c22240&itok=KZ4c3OrY

해가고 있다. Andropogon의 조경 건축가는 건물에서 유출되는 빗물을 100% 포착하여 재사용하고 생태학적 경관에서 건물 greywater를 정화하고 재사용하는 혁신적인 물 관리 시스템을 통합했다.

조지아공대의 지속가능 디자인 프로젝트는 강의실, 연구실 공간 및 모임 공간이 포함하여 46,800평방피트 규모의 Keneda 빌딩에 대해 3,000만 달러 규모의 투자를 통해 빗물 재이용 시스템을 구축했다. 이 건물은 세계에서 가장 엄격한 지속 가능성 등급 시스템 중 하나인 Living Building Challenge로부터 미국 남동부 지역 최초로 인증을 받기도 했다. Living Building Challenge는 구조물과 조경이 재생 가능하도록 매우 높은 기준을 요구하고 있는데, 사용하는 양보다 더 많은 양을 다시 환경으로 돌려주는 것을 원칙으로 하고 있다. 이 인증을 받으려면 프로젝트가 예술적 아름다움, 적절한 장소 선정, 사회적 가치의 형평성 충족, 물, 에너지, 자연자원 및 건강 등 총 7가지 영역에서 기준을 충족해야 하는데 무엇보다도 이 기준을 충족하려면 건물과 조경을 하나의 시스템으로 연계할 수 있는 통합 설계가 요구된다.



The Keneda Building for Innovative Sustainable Design / Andropogon



55)

이 프로젝트의 조경 건축 및 생태학적 디자인 구성 요소를 주도한

55) 출처: <https://www.andropogon.com/project/keneda-building-for-innovative-sustainable-design/>

Andropogon은 Lord Aeck Sargent의 수석 건축가, Miller Hull Partnership의 디자인 건축가 및 Newcomb-Boyd, Uzun+Case, Long Engineering의 다양한 엔지니어링 전문가가 참여했다. Kendeda 빌딩을 둘러싼 1.35에이커의 캠퍼스 풍경을 사용하여 농작물, 채소를 교내에서 재배하고, 석유 등 냉난방을 위한 화석연료 사용을 억제하며, 캠퍼스에서 빗물 유출수를 50% 줄이는 시범사업도 함께 시행되었다. Kendeda 건물과 주변 땅에서 매년 약 460,000갤런의 물을 다시 저장할 수 있으며, 건물 주변의 도로 전체에 빗물을 흡수하고 땅에 침투시키는 투수성 포장재와 콘크리트를 통합적으로 설계, 시공했다.

캔틸레버 캐노피 지붕은 917개의 PV(광전지) 패널을 수용할 수 있을 만큼 충분히 크게 설계, 설치되었으며 이는 건물 전체의 운영에 필요한 전기 에너지 수요량의 140%를 생성한다. PV 패널은 빗물 유출수를 약 50,000갤런까지 저장할 수 있도록 수조형태로 디자인되어 각도가 설계되었으며, 이 수조는 건물 청소용 및 이 밖의 중수 용도의 물을 수집하는 기능을 갖는다. 이 밖에, 지붕의 빗물은 정화되는 과정을 거쳐 주변의 인공 습지로 빠져나가게 된다. 한편, Living Building Challenge에서는 부지의 20%를 농업에 사용해야 했는데. 조지아공대 케이스에서는 폴리네이터(꿀벌, 나비 등) 정원, 블루베리 과수원 및 다양한 농업용 토양으로 구성된 5,000평방피트 규모의 옥상 농장이 설치되었다. 이곳에서 모이는 빗물은 농작물 재배에 필요한 수자원으로 일차적으로 사용되며, 지상층에는 학생과 방문객이 일년 내내 나무, 관목, 과일과 열매를 재배할 수 있는 5,350제곱피트 규모의 야채 가드닝 공간도 조성되어 있다.

건물 주변에 설치된 빗물 정원(Rain Garden)은 인접한 포장도로에서 흘러나오는 빗물을 일차적으로 저장, 정화하는 기능적 역할과 동시에 꿀벌, 나비 등 폴리네이터 및 각종 야생동물에게 서식지를 제공하는 자연적 기능까지 수행할 수 있다. Kendeda의 빗물 정원은 조지아주 지역의 생태적 특성을 고려해 지역 자생종 식물 및 침투습지 환경으로 조성되었다. 또한 건물의 중수 중 95%를 재사용하도록 설계되었는데 예를 들어, 건물 내 싱크대와 샤워기에서 나온 중수는 자생식물이 심어져 있는 인공습지

로 유도되고, 그곳에서 물을 정화하고 여과한 후 배수장으로 보내 지하수로 다시 침투시키는 시스템을 갖추었다.

또한, 기존의 수세식 변기는 거품 수세식 변기와 물이 없는 소변기로 교체되어 폐기물을 건물 지하에 있는 퇴비 저장고로 보내지고, 그곳에서 폐기물과 함께 침출수로 변환되어 경관 하단에 있는 정화시설을 거쳐 배수장으로 배출된다. 조지아Tech의 발표에 따르면, Keneda 빌딩의 혁신적인 그린인프라 설치 프로젝트를 통해 얻어지는 직접적인 효과와 인상적인 측면을 정리하면 다음과 같다.⁵⁶⁾

- Keneda 빌딩 부지 중 기존에 주차장 용도였던 곳이 현재는 평균 90% 이상의 우수를 현장에서 관리하며, 숲과 같은 기능을 수행한다.
- 친환경 화장실은 퇴비화 시스템을 통하여 일일 발생하는 오물량을 고체와 액체 형태의 비료로 즉각 전환하고 있으며, 이때 발생하는 오물은 하수도로 배출되지도 않는다.
- 중수(Grey water)의 경우, 샤워실 배수구, 싱크대, 분수대 등에서 수집되어 건물 정문 인근에 따로 조성된 생태 습지로 배수되며, 이 습지에서 식생, 토양 및 관련 미생물에 의한 정화과정 등 자연적인 과정을 통해 수질이 개선된다. 이렇게 생태적으로 처리된 중수는 하수구로 내려가는 대신 토양으로 다시 침투하여 주변 지하수를 보충하는 선순환 구조를 갖는다.
- 이 그린인프라 공사 프로젝트에 사용된 각종 물질, 제품 및 서비스의 50% 이상을 조지아주 지역사회 인근(약, 600마일 이내)에서 조달함으로써 경제적 이익을 지역경제(기업 등)와 공유했다.
- 건설 과정에서 발생하는 폐기물(자재)을 최대한 재활용하여 매립지로 보내지는 폐기물보다 재사용한 물질의 양이 더 많았다.

56) <https://livingbuilding.gatech.edu/key-living-building-details>

- Tech Tower에서 회수한 목재를 사용함으로써 새 목재를 사용하는 것보다 6만 달러의 예산을 절감했다.
- 25,000피트 길이의 바닥 데크 작업에 쓰인 자재를 한번 사용하고 버려질 상황에 놓인 영화세트장 자재를 재활용했고, 이 시공 작업에 있어, 경제적 취약상황에 놓인 애틀란타 시민들에게 일자리를 제공했다.
- 이 빌딩의 리노베이션 과정에서, 인체 및 환경 건강에 해로운 것으로 알려진 유해 화학물질은 제외하여 실내 공기질의 수준을 향상시켰다.

III. 결 론

본 보고서는 미국의 주요 도시(동부 버지니아, 뉴욕, Los Angeles 등)에서 추진되고 있는 그린인프라 및 도시회복력 증진 관련 정책 프로젝트 사례를 분석, 소개하고 국내정책에 적용할 수 있는 방안과 시사점을 제안하는 것을 목표로 작성되었다.

미국 동부는 2000년대 들어 기후변화로 인한 태풍과 홍수의 빈도와 강도가 증가하는 양상을 보이고 있다. 연합뉴스에 따르면,⁵⁷⁾ 미 동부 지역에서 지난 30여년간 내린 평균 강수량이 20세기와 비교해 더 증가한 것으로 나타났고, 미북동부 뉴잉글랜드지역과 뉴욕 주, 중부지역 켄터키 주 등에서는 역대 최고의 폭우로 인해 수십 명의 사망자와 수조 원의 경제적 피해가 발생했다. 미 서부 캘리포니아 지역은 기록적인 폭염과 산불, 가뭄이 심해지고 있다. 즉, 미 동부지역은 폭우로 인한 피해가 점점 증가하는 반면, 서부지역은 가뭄으로 인한 피해가 더 증가하고 있는 상반된 양상을 보이고 있다. 이번 보고서에서는 주로 동부지역의 중심 도시들이 대규모 도시침수피해를 줄이기 위해서 추진

57) 연합뉴스, '기후변화 속 '가뭄과 홍수'...두 극단의 미국', 2021.8월
(<https://www.yna.co.kr/view/AKR20210825047000009>)

하는 도시 회복력을 강화하는 홍수대응 인프라 책, 특히 그린인프라 사례를 분석했다. 미국의 지방 정부에서 중요하게 고려하고 있는 도시 회복력⁵⁸⁾이란, 도시가 재난이나 위기에 직면했을 때 그 영향을 최소화하고, 신속하고 효과적으로 회복할 수 있는 능력을 의미한다. 미 동부에서는 도시침수로부터의 회복능력을 향상시키기 위한 각종 기후변화 회복력 정책 패키지 중에서도 그린 인프라와 관련 프로젝트가 활발히 진행되고 있다.

미국의 기후변화 회복력 정책은 바이든 행정부 취임 이후, 기존보다 적극적인 방향으로 전환되고 있으며, 다양한 분야에서 탄소 배출 감축과 기후 회복력 강화를 위한 투자와 규제를 적극적으로 추진하고 있다. 미국은 파리 협정에 복귀하고, 탄소 중립을 위한 야심찬 목표를 설정했는데 2030년까지 2005년 대비 온실가스 배출량을 50~52% 감축하고, 2050년까지 탄소 중립을 달성하기로 서약했다. 각종 회복력 증진을 위한 그린인프라 등 사회 인프라 법안을 통해 청정 에너지, 탈탄소화, 기후 적응 등에 약 5500억 달러를 할당하였다. 또한, 전력망 인프라, 홍수 위험 감소, 가뭄 저항력 향상 등을 포함하여 기후 회복력 강화를 위해 60억 달러 이상을 추가로 투자하였다. 미국은 에너지, 교통, 주택, 군사, 도시 등 다양한 분야에서 탄소 배출을 줄이고 기후 회복력을 강화하기 위한 정책과 지원을 추진하고 있으며, 특히 주정부, 지역사회, 산업계, 환경단체 등 다양한 이해관계자와 실질적 협력 프로젝트를 활발하게 추진, 지원하고 있다.

한편, 혁신적인 기술 및 인프라 개발·확산을 위해, 청정에너지 기술, 탄소 저장 기술, 전기차, 해상풍력 발전 등 혁신적인 기술과 인프라의 개발과 확산에 투자하고 있다. 이를 위해 인플레이션 감축법과 초당적 인프라 법률을 통해 약 5000억 달러의 기후 중심 투자와 500억 달러의 기후 회복력 및 적응(adaptation) 산업 관련 예산을 배정했다. 탄소 저장 프로젝트에 4억4400만 달러를 지원하고, 주택 에너지 효율 개선, 미 육군의 기후 전략, 가스 구동 잔디 장비 폐지, 샤워 헤드 물 분사량

58) https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%8F%84%EC%8B%9C_%ED%9A%8C%EB%B3%B5%EB%A0%A5

제한 재설시 등 거시적인 경제산업 구조에서부터 가정주택의 에너지, 자원 소비 패턴 개선 유도까지 입체적 접근을 통해 기후 회복력을 강화하는 조치를 취하고 있다.

국내의 경우, 최근 기후 비상사태 선언과 함께 탄소 중립 실현을 위한 로드맵을 발표했고 2050년까지 탄소 배출량을 2017년 대비 95% 감축하고, 재생에너지 비중을 40% 이상으로 확대하는 것을 목표로 탄소중립 목표를 수립, 국제사회에 발표했다, 태양광과 풍력 발전 설비를 대규모로 확충하고, 수소경제 활성화와 전기차 보급 확대 등 청정 에너지 전환을 촉진하고 있다. 또한 기후 회복력 강화를 위해 홍수와 가뭄 대응 시스템을 개선하고, 침수 예방 인프라를 확충하고, 생물다양성 보전과 복원 사업을 추진하고 있다. 특히, 지난 2022년 수도권 지역의 대규모 홍수 및 도시침수 피해 이후, 한강 및 지류지천의 홍수 대응 능력을 향상시키기 위한 대규모 인프라 투자가 진행되고 있다.

국내의 기후변화 회복력 정책은 미국의 정책과 비교하여 다음과 같은 시사점을 가지고 있다. 현재 우리정부는 중앙정부 중심으로 친환경 에너지로의 전환 지원, 배출권거래제 및 탄소국경세 대응, 그린카드·탄소포인트제 비산업 부문에서의 녹색소비 지원 등 기후변화 완화 및 적응을 위한 다양한 정책을 추진하고 있다, 미국의 경우, 각 주(state)별로 독립된 프로젝트를 연방정부와 별개의 프로세스를 독립적으로 추진하고, 민간기업·독립연구소와 직접 계약을 통해 광역 범위 수준의 그린인프라 투자 프로젝트를 실시하고 있다. 이 과정에서 다양한 분야와 이해관계자의 참여와 소통을 강화하고, 그린인프라 투자 프로젝트의 긍정적인 효과와 필요성을 시민들에게 구체적이고, 반복적으로 홍보하고 있다. 예를 들어, 뉴욕시의 ESCR 프로젝트(The East Side Coastal Resiliency Project)의 경우, 그린인프라가 설치되는 공사 권역을 시차별로 나누어(PA1, PA2) 프로젝트 업데이트 사항을 홈페이지에 정기적으로 공개하고 있으며, 지역주민이 참여하는 ESCR 프로젝트 커뮤니티이사회(Community Board)를 설립해 정기적인 회의를 거쳐 주요개선 내용에 대해 설명하고 동참을 호소하고 있다. 이 과정에서, 기술전문가

및 학계, 지역사회 정치권 등이 참여하는 커뮤니티 자문단(Community Advisory Group, CAG)를 별도로 설립하여 ESCR 구축 단계에서부터 프로젝트 팀에 자문 역할을 하는 독립적인 커뮤니티 기반 단체를 두었다. CAG는 지역사회의 시민들의 목소리와 프로젝트 팀을 연결하는 정보 공유를 위한 지속적인 수단 역할을 수행하며, CAG 지침에 따라 일반대중도 의사결정과정에 대한 회의에 참여할 수 있도록 하고 있다.

미국의 지방정부(State Government) 주도의 그린인프라 프로젝트 사례들을 살펴보면, 국내 홍수대응 인프라 정책에 주는 몇가지 시사점들이 있다. 첫째, 홍수 예방을 위한 그린인프라 프로젝트 투자대상 중 하천관리 및 생태수로 개선 시설에 우선적인 집중이 필요하다. 하천의 수위와 유량을 실시간으로 모니터링하고, 범람 위험을 예측하고 경보하는 시스템을 갖춰야 하며 하천의 빗물 수용력을 높이기 위해 하천변의 불투수층(콘크리트 벽) 개발을 제한할 필요가 있다. 자연기반해법(Nature Based Solution, NBS)에 따라 하천을 재자연화 하는 조치를 병행함으로써 습지공간을 확대 조성하고, 자생종 중심의 식생군락 조성을 통해 홍수발생시 침투되는 막대한 우수의 저류 효과 및 체류시간을 조절할 뿐만 아니라 오염된 빗물을 자연적으로 정화하는 시스템까지 갖춰야 한다. 침투성 도로나 지붕, 침투형 배수구 등을 설치하거나, 비옥지나 습지 등의 자연 생태계를 복원하거나 보호하는 방안들이 지자체 중심에서 아이디어가 제시되어 실제사업에 반영될 수 있는 프로세스가 마련되어야 할 것이다. 빗물정원, 도심습지, 녹색지붕, 생태하천 등 그린인프라는 독립적인 기능을 통해 강우유출수를 자연적인 해결할 수도 있지만 여러 공간에 점적으로 조성되어 있는 그린인프라 수단들이 상호 네트워크로 연결될 경우가 더 효율적으로 작동할 수 있다.⁵⁹⁾ 둘째, 홍수 대응을 위한 재난 관리 체계와 비상 대책의 마련이 필요하다. 홍수가 발생할 경우에는 신속하고 안전한 대피와 구조를 위한 계획과 인력, 장비를 준비해야 한다. 또한 홍수 피해를 최소화하기 위해 주민들에게 홍수 대비 교육과 훈련을 제공하고, 홍수 정보와 경보를 적절하게 전달해야 한다. 예를 들어, 스마트폰 앱이나 사회관계망서비

59) 김승현, 저경진, '도시 물순환 회복을 위한 그린인프라 계획 및 설계에 관한 연구 : 조경계획 및 설계 해외사례 분석을 중심으로', 한국도시설계학회, 2015

스(SNS) 등을 이용하여 주민들에게 홍수 위험도와 대피 경로, 구조 요청 방법 등을 알려주는 방안 등이 있다.⁶⁰⁾ 셋째, 홍수 복구를 위한 재건과 재활 지원의 강화가 필요하다. 홍수로 파괴된 그린인프라, 건물들은 재건할 때 홍수에 대한 저항력과 적응력을 강화하는 방향으로 설계하고 건설해야 한다. 예를 들어, 홍수에 취약한 지역에서는 높이 제한이나 방수 재료의 사용 등을 규제하거나, 홍수로부터 안전한 고지대로 이전하도록 유도하는 방안이 있다.⁶¹⁾ 이상의 홍수대응 인프라 정책은 미국 동부의 도시들이 홍수로 인한 피해를 줄이고, 빠르게 회복하고, 재난에 대비할 수 있도록 돕는다. 이를 위해서는 정부와 지자체, 민간 부문, 시민 사회 등의 다양한 이해관계자들이 협력하고 참여하는 과정이 필요하다. 또한 홍수대응 인프라 정책은 기후변화에 따른 홍수의 변화에 유연하게 대응하고, 지속적으로 모니터링하고, 평가하는 체계를 갖출 필요가 있다.

60) 김재호, 'ICT 기술을 적용한 재난 방재시스템 기술동향', 한국조명전기설비학회, 2014

61) UNDP, 'National Post-Disaster Recovery Planning and Coordination', 2016

IV. 수집자료 및 참고문헌

1. 행정안전부, '2021 재해연보(자연재해)', 승인번호 제156003호
2. 출처: nationsonline.org
3. 미국 환경청(EPA), United States Environmental Protection Agency(EPA), "What Climate Change means for Virginia", www.epa.gov/climatechange.
4. 버지니아 주정부 홈페이지 <https://www.virginia.gov/>
5. United States Environmental Protection Agency(EPA), "What Climate Change means for Virginia", www.epa.gov/climatechange.
6. The national climate assessments by the U.S. Global Change Research Program, synthesis and assessment products by the U.S. Climate Change Science Program, assessment reports by the Intergovernmental Panel on Climate Change, and EPA's Climate Change Indicators in the United States.
7. <https://www.dcr.virginia.gov/crmp/document/virginiacoastalresilience-masterplan-print.pdf>
8. Virginia Department of Conservation and Recreation (DCR), Office of Governor Ralph S. Northam Commonwealth of Virginia
9. <https://climate.cityofnewyork.us/wp-content/uploads/2023/06/PlaNYC-2023-Full-Report.pdf>
10. Zbigniew J Grabowski, Timon McPhearson, A Marissa Matsler, Peter Groffman, Steward TA Pickett, 'What is green infrastructure? A study of definitions in US city', Jan 2022, <https://doi.org/10.1002/fee.2445>)
11. www.whitehouse.gov/omb/briefing-room/2023/03/09/fact-sheet-president-bidens-budget-lowers-energy-costs-combats-the-climate-crisis-and-advances-environmental-justice/

12. City of Virginia Beach Department of Public Works, June 2020
13. <https://storymaps.arcgis.com/collections/5bde0a2b4cec4bf7966d0fc5d564d9d9?item=2>
14. <https://storymaps.arcgis.com/collections/5bde0a2b4cec4bf7966d0fc5d564d9d9?item=2>
15. <https://storymaps.arcgis.com/collections/5bde0a2b4cec4bf7966d0fc5d564d9d9?item=2>
16. Virginia Department of Conservation and Recreation (DCR), Office of Governor Ralph S. Northam Commonwealth of Virginia
17. 출처: <https://www.alexandriava.gov/CleanWaterways>
18. <https://www.alexandriava.gov/stormwater-management/green-stormwater-infrastructure>
19. <https://alexgis.maps.arcgis.com/apps/MapTour/index.html?appid=b4ac060d824d446a8e87c1c293b8588d>
20. https://farm5.static.flickr.com/4856/45972629041_9e76c0920f_b.jpg
21. <https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-11/bmp-vegetated-filter-strip.pdf>
22. <https://www.alexandriava.gov/stormwater-management/stormwater-best-management-practices#RainGardens>
23. <https://www.alexandriava.gov/sites/default/files/2022-02/EvaporationDiagram.jpg>
24. https://media.alexandriava.gov/docs-archives/tes/oeq/info/rainbarrelinstallationbrochure.pdf?_gl=1*8q0ypw*_ga*MTQ5MjA5OTU1MS4xNzA1NjMwNzE2*_ga_249CRKJTTH*MTcwNjMwMTMwMi44LjEuMTcwNjMwMTkxNC4wLjAuMA..
25. <https://youtu.be/9nyZRwAuM8g>
26. https://www.swbmp.vwrrc.vt.edu/wp-content/uploads/2017/11/BMP-Spec-No-9_BIORETENTION_v1-9_03012011.pdf

27. https://media.alexandriava.gov/docs-archives/health/info/envhealth/cdmosquitobitepreventionhandout-april2016.pdf?_gl=1*1mm6b2o*_ga*MTQ5MjA5OTU1MS4xNzA1NjMwNzE2*_ga_249CRKJTTH*MTcwNjE1MjU5My4zLjEuMTcwNjE1MzcwNy4wLjAuMA..
28. <https://www.alexandriava.gov/sites/default/files/2022-02/CisternCityFacility.jpg>
29. https://www.swbmp.vwrrc.vt.edu/wp-content/uploads/2017/11/BMP-Spec-No-6_RAINWATER-HARVESTING_v1-9-5_03012011.pdf
30. <https://www.alexandriava.gov/sites/default/files/2022-02/DryWell.png>
31. <https://www.alexandriava.gov/sites/default/files/2022-02/FlowThruPlanterBox.png>
32. <https://www.alexandriava.gov/sites/default/files/2022-02/ConservationLandscaping.jpg>
33. Chesapeake Conservation Landscape Council, 'Conservation Landscaping Guidelines, The Eight Essential Elements of Conservation Landscaping', 2013
34. <https://www.alexandriava.gov/stormwater-management/project/four-mile-run-dredge-project>
35. Four Mile Run Restoration Master Plan, https://www.novaregion.org/DocumentCenter/View/116/Four_Mile_Run_Master_Plan_10MB?bidId=
36. <https://www.alexandriava.gov/parks/project/four-mile-run-restoration-project#FourMileRunRestorationProject>
37. https://www.novaregion.org/DocumentCenter/View/116/Four_Mile_Run_Master_Plan_10MB?bidId=
38. https://media.alexandriava.gov/docs-archives/tes/stormwater/alex-list-of-practices-draft-082621.pdf?_gl=1*40xj9n*_ga*MTQ5MjA5OTU1MS4xNzA1NjMwNzE2*_ga_249CRKJTTH*MTcwNjEzNzU1Mi4yLjEuMTcwNjEzOTE1My4wLjAuMA..

39. <https://alexandriava.gov/floodaction>
40. [https://www.nyc.gov/assets/escr/downloads/pdf/SANDRESM1-Preli
minary-PDC-Presentation-2019-09-16.pdf](https://www.nyc.gov/assets/escr/downloads/pdf/SANDRESM1-Preli
minary-PDC-Presentation-2019-09-16.pdf))
41. [https://www.nyc.gov/assets/escr/downloads/pdf/ESCR-Newsletter_0
7_Final.pdf](https://www.nyc.gov/assets/escr/downloads/pdf/ESCR-Newsletter_0
7_Final.pdf)
42. Tess von Kleist, Are NYC's Green Infrastructure Projects Targeting the Right Flood Zones?, Dec.12, 2023
43. (<https://medium.com/@tkm295/are>
44. [https://miro.medium.com/v2/resize:fit:1100/format:webp/1*aiBxg_3Z
MU9ttNyuVgZXZA.png](https://miro.medium.com/v2/resize:fit:1100/format:webp/1*aiBxg_3Z
MU9ttNyuVgZXZA.png)
45. [https://data.cityofnewyork.us/Environment/NYC-Stormwater-Flood
-Map-Moderate-Flood-with-Curre/7r5q-vr7p/about_data](https://data.cityofnewyork.us/Environment/NYC-Stormwater-Flood
-Map-Moderate-Flood-with-Curre/7r5q-vr7p/about_data)
46. Official site of the state of New Jersey, Department of Environmental Protection, Rebuild by Design in Meadowlands and Hudson river
47. CREATING A COMPLETE LA RIVER GREENWAY FOR ALL, STORIES AND GUIDANCE, UCLA LUSKIN CENTER FOR INNOVATION
48. 'Green Infrastructure, Climate Resilience, & Health Equity', An Integrated Policy Agenda, prepared by the Public Health Alliance of Southern California, May 2022
49. 더럼 市 공식홈페이지:
<https://www.durhamnc.gov/1619/Green-Infrastructure>
50. [https://www.durhamnc.gov/ImageRepository/Document?documentId
=40021](https://www.durhamnc.gov/ImageRepository/Document?documentId
=40021)
51. [https://files.nc.gov/ncdeq/Energy+Mineral+and+Land+Resources/St
ormwater/BMP+Manual/C-2%20%20Bioretention%201-19-2018
%20FINAL.pdf](https://files.nc.gov/ncdeq/Energy+Mineral+and+Land+Resources/St
ormwater/BMP+Manual/C-2%20%20Bioretention%201-19-2018
%20FINAL.pdf))

52. <https://www.durhamnc.gov/ImageRepository/Document?documentId=26266>
53. <https://www.durhamnc.gov/ImageRepository/Document?documentId=25819>
54. <https://www.asla.org/NewsReleaseDetails.aspx?id=59151>
55. <https://www.nywea.org/Clearwater%20Article%20Documents/BuffaloSewerAuthorityF19.pdf>
56. https://www.smithgroup.com/sites/default/files/styles/slideshow_mobile_3x/public/2018-08/Eastside-Greenway-9.jpg?h=33c22240&itok=KZ4c3OrY
57. <https://www.andropogon.com/project/kendeda-building-for-innovative-sustainable-design/>
58. <https://livingbuilding.gatech.edu/key-living-building-details>
59. 연합뉴스, '기후변화 속 '가뭄과 홍수'...두 극단의 미국', 2021.8월
60. <https://www.yna.co.kr/view/AKR20210825047000009>
61. 김승현, 저경진, '도시 물순환 회복을 위한 그린인프라 계획 및 설계에 관한 연구 : 조경계획 및 설계 해외사례 분석을 중심으로', 한국도시설계학회, 2015
62. 김재호, 'ICT 기술을 적용한 재난 방재시스템 기술동향', 한국조명전기설비학회, 2014
63. UNDP, 'National Post-Disaster Recovery Planning and Coordination', 2016