

# 그린인프라의 도시침수 위험 완화 효과 : 전라남도 구례군을 대상으로\*

## Mitigating Urban Flood Risk with Green Infrastructure : A Case Study of Gurye-gun, Jeollanam-do

심지수\*\* · 구형수\*\*\*

Jisoo Sim\*\* · Hyeongsu Koo\*\*\*

### Abstract

Urban flooding and its associated damages are increasingly prevalent due to the rising frequency of extreme weather events. This study empirically analyses the effectiveness of green infrastructure in mitigating risk in urban flood-prone areas. Using Gurye-gun in Jeollanam-do, South Korea, as a case study, the research identifies risky areas and evaluates the pre- and post-deployment effects of green infrastructure on reducing risk through the InVEST analytical tool. Rainfall scenarios were categorized into current, low-carbon, and high-carbon emission scenarios, under which the extent of risk improvement through green infrastructure was assessed. The findings identified Baekryeon-ri, Naengcheon-ri, and Woljeon-ri as high-risk areas within Gurye-gun. The deployment of green infrastructure not only mitigated risk in these regions but also contributed to an overall reduction in urban flood risk across Gurye-gun. This study serves as foundational research, empirically demonstrating the role of green infrastructure in enhancing urban flood resilience.

**Keywords:** Climate Change, Urban Flooding, Green Infrastructure, Nature-Based Solutions, InVEST Model

### 1. 서 론

최근 기후변화의 속도가 점차 빨라지면서 극한기후 현상의 발생 빈도와 그 규모 또한 증가하고 있다. ‘기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)’에서는 온실가스 배출로 인한 1970년대 이후의 기후변화가 지난 2000년 내 어떤 50년보다 더 빠르게 증가하고 있음

을 지적하고 있다. IPCC에서 발간한 제6차 종합보고서에 따르면 IPCC는 기후변화로 인한 영향을 평균기온의 상승, 극한 강수, 해수면 상승으로 구분하고 있다. 특히 도시환경에서 관측된 기후변화가 인간의 건강 및 생태, 주요 기반 시설 등에 악영향을 미치고 있음을 지적하고 있다(IPCC, 2023). 기후변화는 국내에서도 빠르게 진행되고 있다. 지난 106년간 우리나라의 연평균기온의 변화량은  $0.18^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로

\*본 결과는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 “기후위기대응 홍수방어능력 혁신기술개발사업”의 지원을 받아 연구되었습니다(2022003460002).

\*\*부산대학교 조경학과 조교수(주저자: jisooosim@pusan.ac.kr)

\*\*\*국토연구원 도시연구본부 연구위원(교신저자: hskoo@krihs.re.kr)

상승하고 있다. 이 같은 변화는 최근 가속화되고 있으며 지난 30년 동안의 강수량은 20세기 초보다 124mm 증가했고 강한 강수의 발생 빈도가 잦아지고 있다(국립기상과학원, 2018).

기후변화로 인해 발생하는 극한기후 현상 중에서도 도시지역에 큰 영향을 미치는 현상으로는 극한 강수(홍수, 폭우 등)가 있다. 기후변화로 인한 극한 강수의 증가는 불투수 지역의 면적이 넓고 많은 인구가 밀집한 도시지역에 침수를 유발하고 있다. 도시침수의 발생 원인은 하천의 수위를 넘어서는 강우량으로 인해 발생하는 외수 범람과 기존 배수 용량 초과로 인해 발생하는 내수 침수로 구분된다(이종형·연기석, 2008; 이상호 외, 2023). 도시 내 기존 배수시설의 용량은 지역의 강우강도·강우량 등 기상조건, 토지이용계획, 계획 인원 등을 고려하지만 기후변화로 인한 변동성을 예측하여 반영하기 어렵기 때문에 극한 강수로 인한 도시침수의 발생 위험 또한 높은 상황이다.

최근 국내에서는 이러한 침수 피해를 겪고 있는 지역이 점차 많아지고 있으며, 전라남도 구례군도 여기에 해당하는 대표적인 지역 중 하나이다. 구례군의 경우 2020년 8월에 발생한 폭우로 섬진강 지류인 서시천이 범람하면서 그 일대의 주택, 농가 등이 대규모로 침수되었을 뿐 아니라, 738가구 1,149명에 달하는 이재민이 발생하였다(구례군, 2021). 이는 구례군에 도시침수에 대한 경각심을 불러일으키는 주요 계기가 되었다. 이후 구례군은 도시침수 문제의 재발을 막기 위해 환경부 주관의 ‘하수도 정비 중점 관리 지역 도시침수 예방사업’을 추진하게 되었을 뿐 아니라, 기후변화 대응정책의 일환으로 생활권 주변 녹지기반 확충 등을 포함한 도시숲 조성사업도 활발히 추진하고 있다(구례군, 2023a; 2023b).

구례군의 정책 이면에는 직접적인 도시침수 대응뿐만 아니라 간접적인 방향에서 기후변화 대응을 위한 그린인프라의 활용이 있다. 이미 다수의 연구에

서 도시 내 녹지가 기후변화 대응에 효과적임을 확인하였다. Elmqvist et al.(2019)은 도시 녹지가 도심 열 스트레스 감소에 영향을 미친다는 것을 발견했고, Dhyani and Thummarukuddy(2016)는 기후변화를 모델링하여 그린인프라가 도시 내 온실가스 감축에 기여할 수 있음을 확인하였다. 광역적인 관점에서 Pamukcu-Albers et al.(2021)의 연구는 도시 내 그린인프라가 기후변화와 팬데믹과 같은 위기에 대한 도시 회복력 강화에 필수적임을 강조하였다.

이에 이 연구는 기후변화에 대한 변동성이 높으며 정책적 의사결정이 필요한 전라남도 구례군을 대상으로 기후변화 대응을 위한 그린인프라 활용의 효과를 검증하고자 한다. 이를 위해 구례군 전역을 대상으로 극한기후로 인한 폭우에 도시침수가 발생할 수 있는 지역을 추출하고 해당 지역에 그린인프라를 도입했을 경우를 가정하여 그린인프라 도입이 도시침수 위험을 개선하는 데 미치는 영향을 유출지수를 중심으로 확인할 예정이다. 도시침수 위험지역을 도출하고 그린인프라 도입의 효과를 검토하는 주요 분석 도구로는 InVEST model에서 제공하는 도시홍수 위험완화(UFRM, Urban Flood Risk Mitigation) 모델을 사용할 예정이다. 이를 통해 기후변화로 인한 구례군의 도시침수 위험지역을 확인하고, 그린인프라의 도입이 도시침수 위험을 완화하는 데 미치는 영향을 파악하여 구례군의 도시침수 대응 및 그린인프라 확대 계획에 대한 정책적 시사점을 제공하고자 한다.

## 2. 선행연구 검토

### 2.1 기후변화와 도시침수

기후변화는 지구 평균기온 상승과 기후 패턴 변화를 의미하며, 이는 해수면 상승, 극단적인 기상 현상, 생태계 변화를 초래한다. 이러한 변화는 주로 인간 활동으로 인한 온실가스 배출 증가에서 기인한다. 기후변화로 인해 특정 지역에서는 홍수가 빈번해지

고, 다른 지역에서는 가뭄이 심화되는 등 극단적인 기상 현상이 나타난다(Pamukcu-Albers et al., 2021; Depietri and McPhearson, 2017).

이 중 도시침수는 기후변화로 인한 강우량 증가, 해수면 상승, 강과 하천의 범람 등으로 인해 도시 지역이 물에 잠기는 현상을 의미한다. 이는 단순히 물리적 피해 뿐만 아니라 경제적, 사회적, 환경적 영향을 미친다. 예를 들어, 2017년 허리케인 하비(Hurricane Harvey)는 미국 텍사스 주 휴스턴 지역에 엄청난 홍수를 일으켜 수십억 달러의 피해를 입혔다(Elmqvist et al., 2019). 이러한 경제적 피해는 재산 손실, 생산성 감소, 복구 비용 증가 등을 포함하며, 홍수로 인한 경제적 손실은 전 세계적으로 매년 수천억 달러에 달할 것으로 예상된다.

기후변화로 인해 도시침수의 빈도와 강도는 더욱 증가할 것으로 예측된다. IPCC 보고서에 따르면, 21세기 말까지 전 세계 해수면은 최대 1미터 상승할 수 있으며(IPCC, 2023), 이는 해안 도시의 침수 위험을 크게 증가시킬 것으로 예측되고 있다(Dhyani and Thummarukuddy, 2016). 따라서 도시침수로 인한 피해경감을 위한 방안이 필요한 시점이다.

도시계획 차원에서는 도시 전체를 아우르는 종합적인 홍수 방지 계획을 수립하는 것이 필요하다. 이는 지방 정부, 중앙 정부, 민간 부문이 협력하여 장기적인 전략을 개발하고 실행하는 것을 포함한다. 자연 생태계를 활용한 홍수 방지 방안도 주목받고 있다. 예를 들어, 습지 복원, 하천 정비, 해안선 보호를 통해 자연적으로 물을 조절하는 방식이 있다(Pamukcu-Albers et al., 2021). 지역적 대응으로는 도시 내 침수 위험지역을 식별하고, 강우량을 효율적으로 관리하기 위한 인프라를 구축하는 것이 중요하다. 예를 들어, 빗물 저류조, 배수 시스템 개선, 홍수 방어벽 등의 설치가 포함된다. 또한, 도시 내 공원, 녹지대, 식물 지붕 등을 통해 빗물을 흡수하고 도시 열섬 효과를 완화하는 것도 효과적인 대응방안이다

(김준성 외, 2022).

국내 연구에 따르면, 정세진 외(2022)는 기후변화에 따른 도시침수가 도시 교통 네트워크에 미치는 영향을 예측하는 기술을 개발하였다. 이 연구는 기후변화 시나리오를 적용하여 집중호우 시 도시하천의 침수를 예측하고, 미래 기후변화의 영향을 고려한 도로 침수로 인해 발생할 수 있는 교통 네트워크의 장애를 평가하였다. 김문모·김억기(2014)는 SLEUTH 모델을 이용하여 남양주시를 대상으로 기후변화와 토지이용변화를 고려한 도시지역의 침수 분석을 실시하였다. 이 연구는 미래 기후변화에 따른 배수체계의 성능 제고를 위해 도시계획 시 이를 반영해야 함을 강조하였다.

이와 같은 연구들은 기후변화로 인한 도시침수 문제를 해결하기 위해 다각적인 접근이 필요함을 시사한다. 따라서 도시계획과 자연기반해법을 결합하여 지역 차원에서 도시침수에 대응하는 방안을 고려해 볼 필요가 있다.

## 2.2 자연기반해법으로서 그린인프라

그린인프라(Green Infrastructure, GI)는 도시 환경에서 자연 생태계를 복원하고 보전함으로써 기후변화로 인한 영향을 완화하고 도시 회복력을 강화하는 것을 목표로 한다. 그린인프라는 공원, 녹지대, 옥상녹화, 도시숲, 빗물 정원, 선형공원(Linear Park) 등 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 이는 생태적, 경제적, 사회적 혜택을 제공한다(Pamukcu-Albers et al., 2021; Depietri and McPhearson, 2017).

생태적 관점에서 그린인프라는 도시 내 동식물의 서식처로 활용되어 종 다양성을 증가시킨다. 이는 또한 생태계의 회복력을 높인다(Beninde et al., 2015). 경제적 관점에서는 그린인프라의 일환으로 도시공원을 도입하는 경우 관광객 증가, 세수 증가, 부동산 가치의 향상 등의 효과를 발생시킨다(Crompton, 2007). 대체로 이와 관련한 연구에서는

그린인프라가 환경에 기여하는 정도를 경제성으로 치환하여 평가하기도 하고, 주변 부동산 가치를 향상시키는 효과를 통해 그 경제적 가치를 측정한다(Lin et al., 2013). 그린인프라의 사회적인 기능으로는 도시공원, 녹지 등에서 사회적 활동을 촉진한다는 점을 들 수 있다. 인종, 성별, 소득수준 등으로 발생할 수 있는 사회적 분리를 완화한다는 점에서 그린인프라의 사회적 혜택을 확인할 수 있다(Ho et al., 2005).

더 나아가 기후변화 대응효과에도 주목할 필요가 있다. 우선 그린인프라는 기후변화의 원인이 되는 온실가스 배출 감소에 기여한다. 도시 숲과 녹지대는 이산화탄소를 흡수하고 산소를 방출한다(Dhyani and Thummarukuddy, 2016). 그린인프라는 도시 열섬 현상과 홍수 및 침수 피해도 완화한다. 우선 식물과 녹지는 증산작용을 통해 주변 온도를 낮추고, 녹지 공간은 열을 흡수하여 열섬 현상을 줄인다(Elmqvist et al., 2019). 또한 그린인프라는 빗물을 흡수하고 저장하여 강우 시 발생할 수 있는 홍수와 침수를 완화한다. 빗물 정원, 녹지 회랑 등이 이러한 역할을 한다(Shafique et al., 2018).

최근에는 도시침수 문제 해결을 위한 자연기반해법의 일환으로 그린인프라의 활용 가능성을 제시하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. Skrydstrup et al.(2022)는 도시 내 홍수 완화와 침수 지연에 대한 그린인프라의 활용 효과에 대한 기존 연구와 그 결과를 검토하여 도시 규모의 홍수 적응 계획에 필요한 가치 전이 함수(Value Transfer Function)를 도출했다. 총 23개의 연구를 종합하여 자연기반해법 계획에서 필요한 그린인프라의 적정 규모를 검토하여 소규모 그린인프라의 효과가 높은 것을 발견했으며 이 같은 접근법은 도시 내 홍수 적응뿐만 아니라 그린인프라의 여가적 가치를 증진시킨다는 효과를 확인했다(Skrydstrup et al., 2022). 국내에서는 홍수로 인한 지표수 유출의 속도 지연을 위한 식재

수종에 대한 연구(지운 외, 2021) 및 홍수 관리를 위한 홍수완충구간 입지 선정(지운 외, 2022) 등에 관한 연구가 진행되고 있다.

그린인프라의 활용이 기후변화에 대한 사전적, 사후적 피해를 경감한다는 점에 관해서는 많은 연구가 지지하고 있으나, 그린인프라에 대한 연구에는 여전히 몇 가지 한계가 존재한다. 우선 그린인프라의 효과를 장기적인 관점에서 평가하는 데 필요한 데이터 구득이 어렵다. 또한, 그린인프라의 설치와 관리에 필요한 비용이 높아 경제적 부담이 될 수 있다. 끝으로, 그린인프라의 효과를 특정 지역 외에 일반화하기 어렵다는 점도 한계이다(Drosou et al., 2019).

### 2.3 도시침수 위험 평가

도시침수의 위험을 평가하는 방법에는 도시침수의 공급 측면에서 강수량을 예측하는 연구(Zhang et al., 2019)와 도시지역의 배수 시스템, 건물(이창희·한건연, 2007), 도로 및 도로네트워크(손아롱 외, 2015) 등 도시지역의 물리적 특성을 고려하는 연구가 있으며, 최근 연구는 두 관점을 모두 고려하고 있다(Feloni et al., 2022).

Zhang et al.(2019)은 불확실성을 분석하여 최대 가능강수량(PMP, Probable Maximum Precipitation)과 가능최대홍수량(PMF, Probable Maximum Flood)을 산출하는 방법을 제시하였다. 그러나 도시 지역은 인간의 활동이 밀집된 지역으로 PMP와 PMF를 추정하는 데 더 복잡할 수 있다. 특히 도시 인프라로 배수시스템이 별도로 존재하며 넓은 불투수면 등은 도시환경에서 PMP와 PMF의 예측을 더욱 어렵게 한다(Gao et al., 2023). Gao et al.(2023)은 도시홍수의 위험을 평가하는 모델을 제안한 연구로 이들의 도시침수 모델은 수문학 데이터(강수량 등), 유출수리학(지형, 배수구 등), 배수학(도관, 맨홀 등), 검증 데이터 등을 포함한다. Feloni et al.(2022)은 도시의 지형, 기후, 유역 정보 등 다양한 요인을 기반으로 도

시 내 홍수의 발생과 그로 인한 영향에 대해 GIS를 사용하여 예측하였다. 그리스 서부지역을 대상으로 실제 침수지역을 표기하고, 여기에 불투수성, 토지피복, 강우량 등 세 가지 요인이 어떠한 영향을 미치는지 통계적으로 검증하였다.

도시침수의 위험을 평가하는 방법으로 공간정보 시스템의 활용이 증가하고 있다(Cabrera and Lee, 2020; Yao et al., 2024). Cabrera and Lee(2020)는 수문학적 모델링을 위한 변수를 설정하고 보정하는데 시간 및 자원이 많이 소요되며 정량적 모델링 또한 요인 설정에 전문가의 개입 등이 필요하다는 단점을 지적하며 이를 보완하는 방법으로 GIS 기반 모델링 프로세스를 제안했다. 이들의 연구는 필리핀 다바오 오리엔탈 지역을 대상으로 데이터가 부족한 지역의 홍수 취약성을 분석하기 위해 AHP(Analytic Hierarchy Process) 및 Maxent 모델을 사용하여 홍수 위험이 높은 지역을 식별했다(Cabrera and Lee, 2020).

도시침수와 이에 대한 지역의 적응성을 평가하는 방법 중 하나는 InVEST(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) 모델이 있다. 이는 생태계서비스의 가치를 정량화하여 지도로 작성할 수 있는 대표적인 의사결정 지원 도구이다(Natural Capital Project, 2024).<sup>1)</sup> Yao et al.(2024)은 InVEST 모델과 GIS를 활용하여 미국 뉴욕시의 도시침수 위험을 평가했다. 이들은 InVEST 모델을 사용하여 뉴욕시의 물 생산량(Water Yield)과 토양, 수질정화 등을 평가하고 홍수적응성을 평가하기 위한 요인을 선정하여 뉴욕시의 홍수 적응 가능 지역을 총 다섯 단계로 도출했다(Yao et al., 2024). Kadaverugu et al.(2022)의 연구도 인도 하이데라바드를 대상으로 InVEST 모델을 사용하여 유출수를 추정하고 이 외 도시 인프라(건물, 도로 밀도 등),

식생피복 등을 반영하여 도시의 홍수 취약성을 추정하였다(Kadaverugu et al., 2022).

InVEST가 제공하는 여러 기능 중에서 도시홍수 위험완화(UFRM, Urban Flood Risk Mitigation) 모델을 적용하여 도시홍수의 위험을 평가하는 연구도 있다. Bose and Mazumdar(2023)는 인도 콜카타시(Kolkata City)의 도시홍수 상황을 검토하고 필요한 완화 방안을 찾기 위해 InVEST-UFRM 모델을 사용하였다. 이들은 콜카타 시의 홍수 위험은 특히 북부지역이 높으며 강우량 변화에 따라 홍수량이 약 71% 증가하는 것을 발견했고, 홍수 위험을 완화하기 위해 초과 유출 감소, 유출 저감 방안 등에 대책이 필요함을 지적했다(Bose and Mazumdar, 2023). Leta and Adugna(2024)은 에디오피아의 아마다시(Adama)를 대상으로 도시 구역의 홍수 위험 시나리오를 분석하고 네 가지 시나리오에서 도시홍수의 유출저감 효과와 도시홍수 정도의 차이를 시나리오별로 비교하는 데 InVEST-UFRM 모델을 사용하였다.

상기 내용을 종합하면, 최근의 연구들은 도시침수를 예측하고 평가하기 위해 기존의 모델에서 고려하는 강수, 기상 등 정보뿐만 아니라 도시지역이 갖는 특성이자 기후에도 영향을 미치는 인자인 건물, 토지피복 등을 종합적으로 고려하는 추세로 전환되고 있다. 구체적인 연구방법으로는 GIS의 활용이 증가하고 있으며 InVEST 모델 또한 도시침수의 위험성 등을 평가하는 방법으로 주목받고 있다.

### 3. 연구 방법

#### 3.1 연구의 범위

이 연구는 도시침수의 위험을 검토하고 그린인프라의 활용이 도시침수의 위험 저감에 얼마나 영향을 미치는가를 진단하며, 이를 위한 공간적 범위는 전

1) 생태계서비스는 인간이 생태계로부터 얻는 편익을 의미하며, 공급·조절·지원·문화 서비스의 네 가지로 구분된다(심지수·박윤선, 2024).



라남도 구례군으로 한정한다. 구례군은 2020년 8월 집중호우로 인해 침수피해가 발생한 지역으로 전체 농경지 699ha가 침수되고 시장 내 점포가 모두 물에 잠기는 등 총 1,807억 원의 상당의 피해액이 발생한 지역이다(구례군, 2021). 이 같은 피해로 인해 2020년 환경부 주관 ‘하수도 정비 중점 관리 지역 도시침수 예방사업’에 선정되어 총 사업비 570억 원을 확보하고, 2026년까지 도시침수 예방을 위한 사업이 진행되고 있다(구례군, 2023a).

구례군이 속한 섬진강 유역은 국가하천 중 네 번째로 큰 유역이지만, 치수 용량이 부족하여 홍수에 취약한 지역으로 평가받고 있다(이문환 외, 2011; 정재원 외, 2021). 구례군은 남부 내륙지역으로 비교적 작은 지역이나 국가하천(섬진강) 및 지방하천이 지역을 통과하고 하천을 중심으로 도시가 개발되는 등 남부 내륙지역을 대표할 수 있는 지역이기도 하다.

구례군을 대상으로 선정한 것은 집중호우로 인한 피해가 급격히 증가한 곳이자, 빠르게 사업비를 확보하고 적극적으로 대응을 시도하고 있는 곳으로 그린인프라의 활용 효과에 대한 검증뿐만 아니라 실천에 대한 시사점도 제공할 수 있기 때문이다. 내용적 범위로 도시침수의 위험을 약 100여 년 빈도로 검토하고 그린인프라를 활용한 경우에 도시침수의 위험이 얼마나 변화하는지를 검토하는 것으로 한다.

### 3.2 분석 도구

이 연구는 도시침수의 위험을 평가하고 그린인프라의 도시침수 완화 효과를 검토하기 위한 것으로서 이를 분석하는 다양한 모델 중에서 그린인프라의 효과를 평가하는 InVEST<sup>2)</sup> 모델을 주요한 분석 도구로 활용하였다. 여기서 세부 모델 중 하나인 도시홍수 위험 완화(UFRM, Urban Flood Risk Mitigation)

모델은 유역, 강우량, 도시환경 등을 고려하여 도시 내 침수의 발생에 대해 유출지수를 중심으로 평가하고 피해를 산출한다(Natural Capital Project, 2024). InVEST-UFRM 모델은 도시 환경에 적합한 도시침수 위험도를 도출하는 모델이자 생태계서비스를 기반으로 하고 있기 때문에 도시침수 위험과 그린인프라의 활용 효과를 검증하는 데 적합하다.

InVEST-UFRM 모델의 작동 원리는 다음과 같다. 우선, 각 단위(i)당 토지이용 유형과 토양 특성에 따라 유출수를 추정하여 유출지수( $Q_{p,i}$ )에 따라 도시침수의 위험을 도출한다. 유출은 토양 및 토지의 특성에 따라 각 단위가 내포할 수 있는 잠재적 함수량( $\lambda \cdot S_{max,i}$ ,  $\lambda=0.2$ )을 강우량(P)이 초과할 때 발생하며 유출량 산출은 수식 1에 따른다. 이는 배수가 어려워 S값이 작은 경우, 그만큼 최소한계 유출 시작점에 빠르게 도달하는 구조이다(식 (1)).

$$Q_{p,i} = \begin{cases} \frac{(P - \lambda S_{max,i})^2}{P + (1 - \lambda) S_{max,i}} & \text{if } P > \lambda \cdot S_{max,i} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

유출을 저감하는 정도는 함수지수인  $S_{max}$ 로 특정할 수 있다. 이는 수식 2에 따라 산출하며 토지이용과 토양의 특성을 고려한 유출곡선(CN, Curve Number) 값에 따라 산출된다(식 (2)). 이후, 단위당 유출 저감지수( $R_i$ )는 강우량이 잠재적 함수량 보다 작은 경우에는 유출을 전부 저감하고 그 반대의 경우에는 식 (3)에 따라 산출할 수 있다. 또한 유출량의 부피는 식 (4)에 따라 산출하였다.

$$S_{max,i} = \frac{25400}{CN_i} - 254 \quad (2)$$

2) Natural Capital Project, “InVEST Software”, Accessed August 1, 2024. <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>.

$$R_i = 1 - \frac{Q_{p,i}}{P} \quad (3)$$

$$Q_{m3_i} = Q_{p,i} \cdot unit.area \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

분석 과정은 총 3단계로 구분할 수 있다. 1단계에서는 InVEST-UFRM을 사용하여 도시침수 위험지역을 추출한다. 이후 2단계에서는 위험지역을 대상으로 그린인프라를 배치하되, 시가화건조지역이면서 하천 경계로부터 500m 이내인 곳으로 한정한다. 이는 섬진강 수계에서 수변구역을 지정하는 기준을 참조한 것이다. 단일 필지의 면적은 법적으로 명시된 공원의 면적 중 가장 작은 1,500m<sup>2</sup> 이상으로 한다. 또한 그린인프라의 종류는 도시 내 녹지로 자연형 녹지와 인공 녹지(예: 도시공원 등)를 각 50% 비율로 적용하였다. 3단계에서는 그린인프라를 배치한 이후 도시침수 위험지역을 1단계와 같은 방식으로 추출하며, 이를 통해 그린인프라의 배치가 도시침수의 위험 경감에 얼마나 기여하는지를 파악할 수 있다.

### 3.3 데이터 수집

InVEST-UFRM 모델에 필요한 데이터는 토지이용 정보, 강우량, 토양그룹(배수등급), 생물물리학적표(Biophysical Table)<sup>3)</sup>이다. 토지이용정보는 환경공간 정보서비스에서 제공하는 토지피복지도(2023년)를 활용하였으며, 이를 위해 중분류 코드를 InVEST-UFRM 모델에서 사용하는 토지이용정보 분류에 맞추었다(Table 1).

강우량은 전체 강우의 정도를 mm단위로 표기한 것으로 김선태 외(2023)를 참고하여 산정했다. 이들은 국내 극한 강수 분석을 위해 전국을 26개의 하

천 대권역으로 구분하고 SSP 기반 기후변화 시나리오를 사용하여 100년 재현빈도 강수량을 산출하였다. 이에 따르면 구례군은 섬진강 유역권에 해당하며 현재 강수량(2000~2019년)은 244.7mm/일이다. 또한 구례군의 100년 재현빈도 강수량은 저탄소 시나리오에서는 424.2mm/일, 고탄소 시나리오에서는 479.1mm/일로 도출되었다(김선태 외, 2023). 따라서 이 연구에서는 현재 강수량(244.7mm/일), 저탄소 시나리오(424.2mm/일), 고탄소 시나리오(479.1mm/일) 등 세 가지의 시나리오 값을 사용하였다<sup>4)</sup>.

토양그룹은 배수등급을 의미한다. InVEST-UFRM 모델에서는 미국 농무부(United States Department of Agriculture, USDA)가 제시한 분류에 따라 토양그룹을 총 4개(A, B, C, D)로 구분한다. 하지만, 우리나라의 국립농업과학원이 제공하는 토양환경지도는 배수등급을 총 6등급으로 분류하고 있다. 따라서 이 연구에서는 미국 농무부의 토양 그룹이 갖는 배수 속성을 기반으로 국내 토양환경지도의 배수등급을 재분류하였다(Table 2).

## 4. 연구 결과

### 4.1 도시침수 위험지역

이 연구에서는 앞서 설정한 총 3개의 강수량 시나리오에 대한 도시침수 위험지역을 도출하였으며, 그 결과는 Fig. 1과 같다. 분석 결과, 공통적으로 도시침수 위험지역으로 도출된 지역은 백련리, 냉천리, 월전리 일대인 것으로 나타났다. 세 가지 시나리오에서 각각 도시침수의 정도의 차이는 있지만, 해당 지역 모두 강수량을 유출하는 정도가 다른 지역보다

3) 생물물리학적표(Biophysical Table)는 InVEST model에서 제공하는 표로 토지피복에 따른 배수등급 등을 수치화한 것이다.

4) 미래 극한기후를 추정한 기후변화 상황지도에서는 연구 대상지의 극한 강우를 SSP5-8.5 기후변화에서 2087년 338mm, SSP1-2.6 모형에서는 2044년 287mm 등으로 예측하고 있으나 100년 재현빈도를 고려하고 있지 않기 때문에 김선태 외(2023)의 연구에서 제시한 극한 강수량을 연구에 활용하였다.

Table 1. Land Cover Re-Classification System

Land Cover Classification in Korea			Land Cover Classification InVEST-UFRM	
Classification (Code)	Subclassification	Code	Classification	Code
Urbanized Area (100)	Residential	110	Medium Intensity Developed	3
	Industrial	120	Medium Intensity Developed	3
	Commercial	130	High Intensity Developed	2
	Recreational Facilities	140	High Intensity Developed	2
	Transportation	150	Open Space Developed	5
	Public Facilities	160	Low Intensity Developed	4
Agricultural Area (200)	Rice Paddies	210	Cultivated Land	6
	Fields	220	Pasture/Hay	7
	Greenhouse Cultivation	230	Cultivated Land	6
	Orchards	240	Cultivated Land	6
	Other Cultivated Land	250	Pasture/Hay	7
Forest Area (300)	Deciduous Forest	310	Deciduous Forest	9
	Coniferous Forest	320	Evergreen Forest	10
	Mixed Forest	330	Mixed Forest	11
Grassland (400)	Natural	410	Grassland	8
	Artificial	420	Grassland	8
Wetlands (500)	Inland	510	Palustrine Scrub/Shrub Wetland	14
	Coastal	520	Estuarine Scrub/Shrub Wetland	17
Bare Land (600)	Natural Bare Land	610	Bare Land	20
	Artificial Bare Land	620	Bare Land	20
Water (700)	Inland	710	Water	21
	Marine	720	Palustrine Aquatic Bed	22

Table 2. Soil Drainage Re-Classification System

Soil Drainage Classification in Soil Environment Maps		Excellent	Good	Fairly Good	Slightly Poor	Poor	Very Poor	Others
Soil Classification System in InVEST-UFRM								
A	Soil with High Saturated Hydraulic Conductivity, Allowing for Rapid Water Absorption	○						
B	Soil with Medium Saturated Hydraulic Conductivity, Providing Good Drainage		○					
C	Soil with Low Saturated Hydraulic Conductivity, Resulting in Less Efficient Drainage			○	○			
D	Soil with Very Low Saturated Hydraulic Conductivity, Leading to Poor Drainage					○	○	○



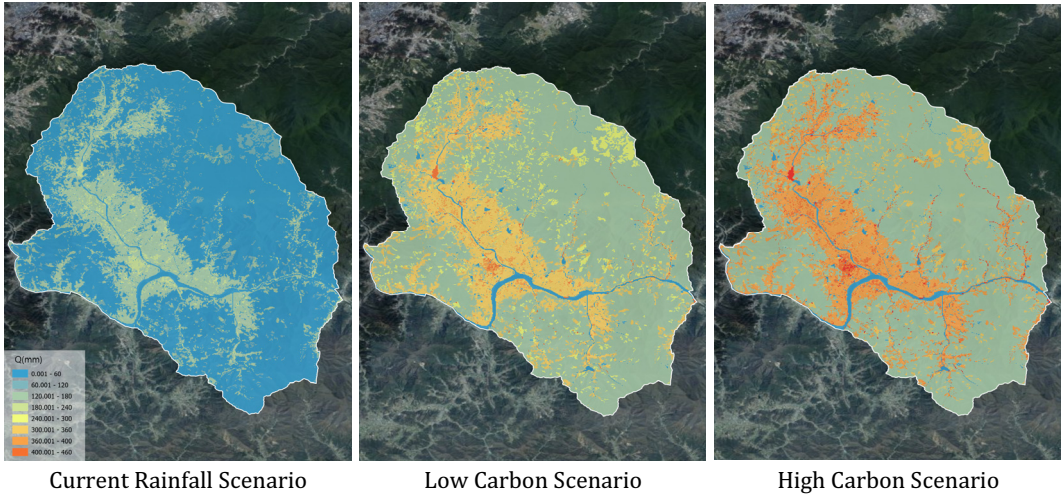


Fig. 1. Urban Flood Prone Areas in Gurye-gun

높았다.

이 중 도시침수 위험이 가장 높은 백련리는 구례읍 시가지로 대부분의 토지피복이 시가지 건조지역 (100)에 해당하고, 배수등급 또한 불량한 곳이다. 백련리의 강수량 유출 정도는 전체 강수량의 약 80~100% 정도로 비교적 높은 비율로 강수가 유출 되는 지역이다. 냉천리는 백련리만큼 시가화건조지역이 집중된 지역은 아니나 월전리 일대보다는 좀 더 많은 주거지역이 밀집된 곳으로 도시침수 위험정도가 높게 도출되었다. 냉천리 인근의 유출지수 또한 전체 강수량의 75% 정도로 높은 비율로 강수 유출이 예상되는 지역이다. 월전리는 위의 두 지역 중 가장 낮은 밀도의 주거지역이 밀집되어 있지만, 상대적으로 하천과의 거리가 가깝고 섬진강의 주요 수계와 인접한 곳으로 섬진강 인근의 농경지가 도시침수 위험지역으로 도출되었다.

이상 총 세 가지 시나리오를 통해 도시침수 위험지역을 도출한 결과, 시가화 건조지역이 밀집된 지역 두 곳과 섬진강 수계에 접해있는 농경지 인근이 공

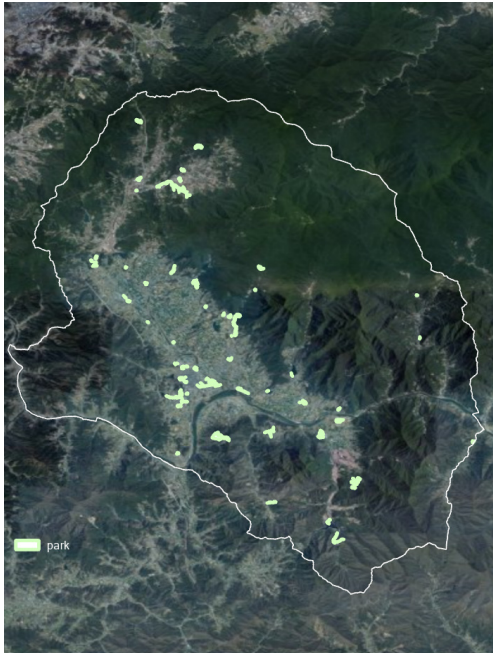
통적으로 도시침수 위험지역으로 추출되는 것을 확인할 수 있었다. 단, 세 가지 시나리오에 따라 도시침수 위험지역의 분포가 크게 달라지지는 않아 이를 도출할 때 강수량이 아닌 다른 변수를 활용하는 것이 더 유의한 결과를 도출할 수 있음을 알 수 있었다.

#### 4.2 그린인프라의 효과

도시침수 위험지역을 확인한 후, 다음 기준에 따라 그린인프라를 배치하였다. 우선 하천 경계를 기준으로 500m 이내인 하천 주변지역을 대상으로 도시침수 위험지역 내 유출지수(Q)를 균등(Quantile)하게 5등급으로 나누어 도시침수 위험이 가장 높은 지역 내 필지를 추출했다. 이후 토지피복을 확인하여 시가화건조지역에 해당하는 필지를 추출했다. 다음으로는 1,500m<sup>2</sup>보다 넓은 필지를 추출했다<sup>5)</sup>. 위의 네 가지 조건을 만족하는 필지 중 100개의 필지를 ArcGIS Pro에서 Python을 사용하여 랜덤으로 선택했다. Fig. 2는 이렇게 선택된 필지를 보여준다.

그린인프라를 배치한 이후, 토지피복과 배수등급

5) 그린인프라를 배치하는 데 필요한 면적의 기준은 없으나 이 연구에서는 그린인프라가 갖는 효과를 객관화하고자 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」(국토교통부, 2024)에 명시된 공원의 면적 중 가장 작은 면적인 1,500m<sup>2</sup>를 기준으로 하여 해당 면적 이상인 필지를 선정하였다.



**Fig. 2.** Green Infrastructure Deployment

을 각각 녹지와 양호로 변경하여 1단계와 같은 방식으로 InVEST-UFRM 분석을 시행했다. 시나리오별 그린인프라의 배치 전과 후는 Fig. 3과 같다. 각각의 시나리오에 대해 같은 방식으로 등급을 구분했기 때문에 시나리오별 전과 후의 비교가 가능하다. 이후 ArcGIS PRO의 래스터 계산기(Raster Calculator)를 사용하여 전과 후의 유출지수(Qmm) 차이를 도출하였다. 도시침수 위험지역에서 그린인프라를 배치하기 전의 값에서 후의 값을 뺀기 때문에 비교는 강수량을 얼마나 더 유출하지 않는가로 이해할 수 있다. 이 연구에서 사용한 도시침수 위험은 유출지수로 분석 단계별로 유출량이 mm단위로 산정되며, 그 결과는 Fig. 3의 비교 값에서 확인할 수 있다.

세 가지 시나리오 모두에서 그린인프라의 추가 배치는 도시침수 위험지역의 위험 완화에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 그린인프라의 배치는 도시침수에 대한 위험이 높은 지역의 면적을 축소하는 미시적인 효과뿐만 아니라 지역 전반에 강수

의 유출정도를 절감시키는 거시적인 효과도 보여주었다. 무엇보다 InVEST에서 활용되는 유출 곡선 지수가 각 픽셀 단위에 적용되에도 불구하고, 이처럼 지역적인 유출감소 효과로 나타난 점은 주목할 부분이다. 이는 유출 곡선 지수가 토지이용과 토양특성에 기반하여 유출을 계산하지만 실제 우수경로에 따라 인접한 픽셀 간에 상호작용으로 인해 유출이 강화되거나 감소되는 효과(Mishra et al., 2018)에 따른 것으로 판단할 수 있다.

또한 현재 강수량을 기준으로 보면, 그린인프라를 배치하기 전의 도시침수 위험이 배치 이후, 전체 지역에서 개선되고 있음을 확인할 수 있으며, 특히 위험정도가 높은 지역인 백련리, 냉천리, 월정리에서의 개선효과가 두드러졌다. 정량적으로 전과 후의 유출지수를 비교해도 하천을 중심으로 띠형으로 도시침수에 대한 유출 정도가 감소하였다.

유출지수의 감소 현상은 저탄소 시나리오와 고탄소 시나리오에서도 확인할 수 있었다. 주목할만한 점은 앞서 그린인프라를 배치하기 전에는 세 시나리오 간 차이를 확인하기 어려웠지만, 그린인프라를 배치한 이후의 효과는 그 차이가 비교적 명확하게 나타났다는 것이다. 현재 강수량보다 저탄소 시나리오, 특히 고탄소 시나리오의 경우, 그린인프라 배치로 인한 도시침수의 위험 개선 효과가 확연하게 증가하였다. 이는 그린인프라의 확보가 불확실한 기후 변화 및 그로 인한 극한기후로서 폭우 등에 대응할 수 있는 전략적 도구로 활용될 수 있음을 시사한다.

## 5. 결론 및 시사점

이 연구는 전라남도 구례군을 대상으로 그린인프라가 도시침수 위험을 완화하는가를 InVEST-UFRM을 사용하여 실증 분석한 연구이다. 점차 심화되는 기후변화와 이로 인한 극한기후, 특히 폭우에 대응하기 위한 그린인프라의 효과를 실증하기 위해, 이



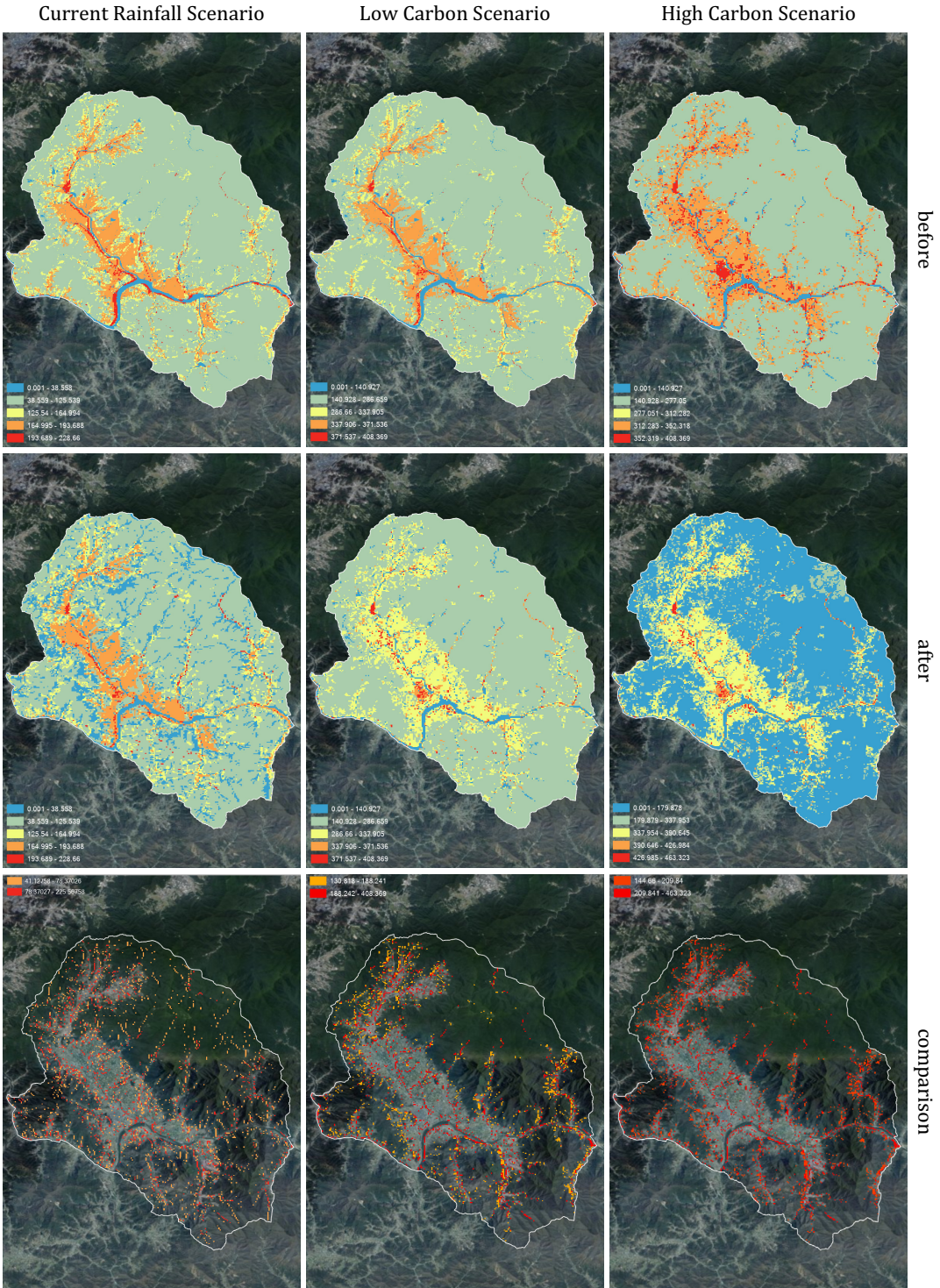


Fig. 3. Comparison of Urban Flood Prone Areas before and after Green Infrastructure Deployment

연구는 현재 강수량과 저탄소 및 고탄소 시나리오를 기준으로 도시침수 위험지역을 도출하고, 해당 지역에 몇 가지 기준에 따라 필지를 선별한 후, 그린인프라를 배치했다. 이후 같은 분석 도구를 사용하여 도시침수 위험 정도가 얼마나 개선되었는지를 확인하였다. 연구 결과, 그린인프라의 배치는 도시침수 위험지역의 면적을 축소할 뿐 아니라, 전체 지역의 도시침수 위험을 전반적으로 개선하는 효과를 지닌다는 것을 확인할 수 있었다. 특히 고탄소 시나리오에서 사용한 높은 강수량의 경우에 그 효과는 낮은 강수량보다 컸다. 이는 이전의 연구에서는 검증하지 못한 부분으로 이 연구의 주요한 시사점이 될 수 있다.

이러한 결과는 도시침수 위험을 개선하는 데 있어 그린인프라의 배치가 미치는 영향을 검토했다는 점에서 다음과 같은 시사점을 가진다. 우선 1단계 도시침수 위험지역을 도출한 결과에서는 강수량의 변화가 도시침수 위험지역을 도출하는 데 유의한 변화를 도출하지 않는다는 점을 확인할 수 있었다. 강수량의 변화는 도시침수 위험지역의 위험 정도에 영향을 미치지만, 강수량이 변화한다고 해서 새로운 도시침수 위험지역이 나타나지는 않았다. 이는 도시침수 위험지역을 도출할 때, 강수량의 변화만 고려할 것이 아니라 여러 가지 다른 모델을 사용하여 중첩되는 지역을 위험지역으로 선정하는 것이 더 유효함을 의미한다.

다음으로 그린인프라의 배치는 도시침수 위험을 개선하는 데 도움이 된다. 그린인프라의 효과를 분석한 연구결과는 도시침수의 위험 정도를 개선하는 미시적이고 직접적인 효과 외에도 지역 전반에 도시침수 위험 정도를 개선하는 효과가 있었다. 또한 강수량이 높을수록 그린인프라의 배치가 도시침수 위험을 완화하는 효과가 높음을 확인할 수 있었다. 이 같은 결과는 그린인프라의 배치가 불확실한 변동성에 대응할 수 있다는 기초적인 연구결과로 활용할

수 있다.

지금까지 그린인프라의 효과는 여러 가지 관점에서 다양한 방식으로 확인할 수 있었다. 그러나 기후 변화 대응을 위한 그린인프라의 효과를 특정 지역에 한정하여 실증한 연구는 드물다. 이 연구는 전라남도 구례군을 대상으로 그린인프라의 도시침수 위험 개선 효과를 실증했다는 점에서 그 의미가 있다.

이러한 결과는 정책적 활용의 가능성 또한 가지고 있다. 최근 도시침수로 인한 사회적, 경제적 피해가 심해지면서 많은 지자체에서 이를 완화하기 위한 사업비를 확보하고 다양한 조치를 취하고 있는 상황이다. 이 연구는 그린인프라의 배치가 도시침수의 위험을 완화하고 있음을 실증함으로써 정책적 의사결정에 필요한 하나의 대안을 제공한다.

한편, 이 연구는 그린인프라의 활용이 도시침수 위험을 개선하는 것을 확인했다는 점에서 의미는 가지지만, 다음과 같은 한계도 있다. 우선 도시침수 위험지역을 도출하는 과정에서 InVEST URFM 단일 모델을 사용했다는 점에서 한계를 가진다. 이 모델은 토지피복과 토지 배수등급 등 토지가 갖는 특성에 영향을 받는 모델이다. 이 연구에서는 강수량의 변화 및 그린인프라의 배치 전후 비교 등 상대적인 차이를 비교함으로써 모델이 갖는 한계를 보완하고자 했지만, 토양이 갖는 특성이 모델에 미치는 영향을 보완하지 못했다는 한계가 있다. 더 나아가 도시침수에는 하천범람에 따른 영향도 크게 작용하나, 분석 도구가 가지는 한계로 인해 이와 관련한 모델링은 수행하지 못했다.

그린인프라는 그 종류에 따라 도시침수 위험 완화에 영향을 미칠 수 있다. 또한 그린인프라는 도시 내 탄소 저장, 종 서식처, 여가공간 제공 등 다양한 효과를 가지고 있다. 그러나 이 연구에서는 그린인프라의 종류에 따른 효과를 반영하지 않았으며, 자연기반해법이 가지는 다양한 공편익을 고려하지 못했다. 다음 연구에서는 이러한 점들을 보완할 필요가 있다.



## 참고문헌

- 구례군(2021), 「구례지역 섬진강 수해백서」, 전남.
- 구례군(2023a), “구례군, 도시 침수 예방사업에 시동 걸다”, 전남.
- 구례군(2023b), “탄소중립 실천을 위한 도시숲 조성”, 전남.
- 국립기상과학원(2018), 「한반도 100년의 기후변화」, 제주.
- 국토교통부(2024.2.13), “도시공원 및 녹지 등에 관한 법률”.
- 김문모·김억기(2014), “SLEUTH 모델을 이용한 기후 변화에 따른 도시지역 침수분석”, 「한국방재학회논문집」, 14(3): 277~290.
- 김선태·이우섭·정일원·한정민·변영화·김진욱(2023), “미래 기후변화 시나리오에 따른 한반도 유역별 극한 강수 변화 전망”, 「한국기후변화학회지」, 14(2): 83~93.
- 김준성·이종소·표희진·구형수·이상은(2022), “기후 위기시대 도시침수 예방대책: 2022년 수도권 집중호우의 교훈”, 「국토이슈리포트」, 67: 1~12.
- 손아롱·김병현·한건연(2015), “도시지역 도로 네트워크를 활용한 침수지역 예측에 관한 연구”, 「대한토목학회논문집」, 35(2): 307~318.
- 심지수·박윤선(2015), “환경가치를 고려한 국유지 비축방안”, 「토지주택연구」, 15(3): 45~59.
- 이문환·정일원·배덕효(2011), “기후변화에 따른 국내 홍수 취약성 평가”, 「한국수자원학회논문집」, 44(8): 653~666.
- 이상호·강태욱·진영규·황동규(2023), “내수 침수와 하천 범람에 의한 도시 침수 현상 구현에 관한사례 연구”, 「한국방재학회논문집」, 23(5): 31~42.
- 이종형·연기석(2008), “XP-SWMM 모형을 적용한 도시지역의 침수해석”, 「한국방재학회논문집」, 8(5): 155~161.
- 이창희·한건연(2007), “건물영향을 고려한 GIS 기반 도시침수해석 모형”, 「한국수자원학회논문집」, 40(3): 223~236.
- 정세진·허다솔·김병식(2022), “기후변화에 따른 도시침수가 도시교통네트워크에 미치는 영향 예측 기술 개발”, 「한국수자원학회논문집」, 55(12): 1091~1104.
- 정재원·모혜림·이준형·유영훈·김형수(2021), “LSTM 기반 딥러닝 기법을 이용한 섬진강 구례교 지점의 홍수위 예측”, 「한국방재학회 논문집」, 21(3): 193~201.
- 지운·장은경·배인혁·안명희·배준(2022), “자연성기반기술의 홍수완충공간 조성을 위한 입지 선정 방법에 관한 연구: 대청댐 상류부터 용담댐 하류구간 사례 연구”, 「응용생태공학회 논문집」, 9(3): 131~140.
- 지운·장은경·안명희·배인혁(2021), “홍수터 식생의 물리적 특성을 고려한 흐름저항계수 산정 및 흐름특성 변화 모의”, 「응용생태공학회 논문집」, 8(4): 212~222.
- Beninde, J., M. Veith and A. Hochkirch (2015), “Biodiversity in Cities Needs Space: A Meta-analysis of Factors Determining Intra-urban Biodiversity”, *Ecology Letters*, 18(6): 581~592.
- Bose, S. and A. Mazumdar (2023), “Urban Flood Risk Assessment and Mitigation with InVEST-UFRM Model: A Case Study on Kolkata City, West Bengal State (India)”, *Arabian Journal of Geosciences*, 16(5): 320.
- Cabrera, J. S. and H. S. Lee (2020), “Flood Risk Assessment for Davao Oriental in the Philippines Using Geographic Information System-based Multi-Criteria Analysis and the Maximum Entropy Model”, *Journal of Flood Risk Management*, 13(2): e12607.
- Crompton, J. L. (2007), “The Impact of Parks and Open Spaces on Property Taxes.” in *The Economic Benefits of Land Conservation*, (ed) Constance, T. F. de Brun, 1~12, San Francisco: The Trust for Public Land.
- Depietri, Y. and T. McPhearson (2017), “Integrating the Grey, Green, and Blue in Cities: Nature-based Solutions for Climate Change Adaptation and Risk Reduction”, in *Nature-based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas*, (eds) Kabisch N., H. Korn, J. Stadler and A. Bonn, 91~109, Cham: Springer.
- Dhyani, S. and M. Thummarukuddy (2016), “Ecological Engineering for Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation”, *Environmental Science and Pollution Research*, 23(19): 20049-20052.
- Drosou, N., R. Soetanto, F. Hermawan, K. Chmutina,



- L. Boshier and J. U. D. Hatmoko (2019), "Key Factors Influencing Wider Adoption of Blue-green Infrastructure in Developing Cities", *Water*, 11(6): 1234.
26. Elmqvist, T., E. Andersson, N. Frantzeskaki, T. McPhearson, P. Olsson, O. Gaffney and C. Folke (2019), "Sustainability and Resilience for Transformation in the Urban Century", *Nature Sustainability*, 2(4): 267~273.
  27. Feloni, E., A. Anayiotos and E. Baltas (2022), "A Spatial Analysis Approach for Urban Flood Occurrence and Flood Impact Based on Geomorphological, Meteorological, and Hydrological Factors", *Geographies*, 2(3): 516~527.
  28. Gao, L., L. Zhang, Y. Hong, H. X. Chen and S. J. Feng (2023), "Flood Hazards in Urban Environment", *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 17(2): 241~261.
  29. Ho, C. H., V. Sasidharan, W. Elmendorf, F. K. Willits, A. Graefe and G. Godbey (2005), "Gender and Ethnic Variations in Urban Park Preferences, Visitation, and Perceived Benefits", *Journal of Leisure Research*, 37(3): 281~306.
  30. IPCC (2023), *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva.
  31. Kadaverugu, A., R. Kadaverugu, N. R. Chintala and K. V. Gorthi (2022), "Flood Vulnerability Assessment of Urban Micro-watersheds Using Multi-criteria Decision Making and InVEST Model: A Case of Hyderabad City, India", *Modeling Earth Systems and Environment*, 8(3): 3447-3459.
  32. Leta, B. M. and D. Adugna (2024), "Quantifying Flood Risk Using InVEST-UFRM Model and Mitigation Strategies: The Case of Adama City, Ethiopia", *Modeling Earth Systems and Environment*, 10: 3257~3277.
  33. Lin, I. H., C. Wu and C. De Sousa (2013), "Examining the Economic Impact of Park Facilities on Neighboring Residential Property Values", *Applied Geography*, 45: 322~331.
  34. Mishra, S. K., V. P. Singh and P. K. Singh (2018), "Revisiting the Soil Conservation Service Curve Number Method", in *Hydrologic Modeling: Select Proceedings of ICWEES-2016*, (ed) Singh, V. P., 667~693, Singapore: Springer.
  35. Natural Capital Project (2024), *InVEST 3.14.2*. Stanford University, University of Minnesota, Chinese Academy of Sciences, The Nature Conservancy, World Wildlife Fund, Stockholm Resilience Centre and the Royal Swedish Academy of Sciences.
  36. Pamukcu-Albers, P., F. Ugolini, D. La Rosa, S. R. Grădinaru, J. C. Azevedo and J. Wu (2021), "Building Green Infrastructure to Enhance Urban Resilience to Climate Change and Pandemics", *Land-scape Ecology*, 36(3): 665~673.
  37. Shafique, M., R. Kim and M. Rafiq (2018), "Green Roof Benefits, Opportunities and Challenges: A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90: 757~773.
  38. Skrydstrup, J., R. Löwe, I. B. Gregersen, M. Koetse, J. C. Aerts, M. de Ruiter and K. Arnbjerg-Nielsen (2022), "Assessing the Recreational Value of Small-scale Nature-based Solutions When Planning Urban Flood Adaptation", *Journal of Environmental Management*, 320: 115724.
  39. Yao, S., G. Huang and Z. Chen (2024), "Evaluation of Urban Flood Adaptability Based on the InVEST Model and GIS: A Case Study of New York City, USA", *Natural Hazards*, 120: 11063~11082.
  40. Zhang, Y., V. P. Singh and A. R. Byrd (2019), "Basin-scale Statistical Method for Probable Maximum Precipitation with Uncertainty Analysis", *Journal of Hydrologic Engineering*, 24(2): 04018067.
  41. Natural Capital Project, "InVEST Software", Accessed August 1, 2024. <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>.

---

## 요 약

---

최근 극한기후 현상이 빈번하게 발생하면서 도시지역 내 침수 및 이로 인한 피해가 급증하고 있다. 이 연구는 도시 침수 위험지역에 대한 그린인프라의 도시침수 위험 완화 효과를 실증분석 하는 연구로 전라남도 구례군을 대상으로 위험지역을 도출하고, InVEST 분석도구를 사용하여 그린인프라 배치의 도시침수 위험 개선 효과를 전후 비교하는 연구이다. 연구에서는 강수량을 현재, 저탄소 시나리오, 고탄소 시나리오의 경우로 구분하여 각각에 대한 그린인프라의 도시침수 위험 개선 정도를 분석하였다. 그 결과 구례군의 백련리, 냉천리, 월전리 인근이 위험지역으로 도출되었다. 그린인프라의 배치는 해당 지역의 위험정도를 개선했을 뿐만 아니라 구례군 전반적으로 도시침수 위험을 개선하였다. 이 연구는 그린인프라의 활용이 도시침수 위험을 완화하는 데 영향을 미치는 것을 실증한 기초연구로 그 의미를 가진다.

**주제어:** 기후변화, 도시침수, 그린인프라, 자연기반해법, InVEST Model

---