

효과적인 도시 홍수 저감을 위한 그린-그레이 인프라 위치 설정에 관한 연구*

배채영¹⁾ · 이동근²⁾

¹⁾ 수원시정연구원 도시공간연구실 전문연구위원 · ²⁾ 서울대학교 조경·지역시스템공학부 교수

A Study on Optimized Placement of Green-Gray Infrastructure for Effective Flood Mitigation*

Bae, Chae-Young¹⁾ and Lee, Dong-Kun²⁾

¹⁾ Suwon Research Institute, Research Fellow,

²⁾ Dept. of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University, Professor.

ABSTRACT

Urban flood management(UFM) strategy ought to consider the connections and interactions between existing and new infrastructures to manage stormwater and improve the capacity to treat water. It is also important to demonstrate strategies that can be implemented to reduce the flow at flooding sources and minimize flood risk at critical locations. Although the general theory of spatial impact is popular, modeling guidelines that can provide information for implementation in real-world plans are still lacking. Under such background, this study conducted a modeling research based on an actual target site to confirm the hypothesis that it is appropriate to install green infrastructure(GI) in the source area and to take structural protection measures in the impact area, as summarized in previous studies. The results of the study proved the hypothesis, but the results were different from the hypothesis depending on which hydrological performance indicators were targeted. This study will contribute to demonstrating the effectiveness of strategies that can be implemented to reduce the flow at flooding sources and minimize

* 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 도시생태 건강성 증진 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다.(2019002760002)

First author : Bae, Chae-Young, Suwon Research Institute, Research Fellow, 412-4, Suin-ro 126, Gwonseon-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, 16429, Republic of Korea,
Tel : +82-31-220-8045, E-mail : bcy1224@gmail.com

Corresponding author : Lee, Dong-Kun, Dept. of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University, Professor, Bldg. 200, 1, Gwanak-gu, Seoul 08826, Republic of Korea,
Tel : +82-2-880-4885, E-mail : dklee7@snu.ac.kr

Received : 22 November, 2022. **Revised** : 27 December, 2022. **Accepted** : 27 December, 2022

the risk of flooding in critical locations in terms of spatial planning and regeneration.

Key Words: *Urban Flood Mitigation, Hydrological Model, Adaptation Measures, Source and Impact Area, Urban Drainage System*

I. 서 론

도시화와 기후변화로 인해 극단적인 강우의 빈도와 규모가 증가하고 있다(O'Donnell, 2019). 이러한 극한기상 현상으로 인해 빈번해진 도시 홍수는 인프라와 인간에게 부정적인 영향을 미치고 과도한 피해 비용으로 이어질 수 있다(IPCC, 2014). 따라서 도시홍수 관리(Urban Flood Management, UFM)는 홍수의 물리적 원인과 잠재적 영향을 효과적으로 관리하기 위해 필수적이다(Merz et al., 2010). 도시 홍수 관리 기법으로 자연 수문 순환을 복원하고 침투 및 유지 용량을 극대화하여 유출을 제어하고 침투 유출을 지연시키는 전략이 지난 10여 년 동안 제안되고 적용되었다(Palla et al., 2017). 이러한 전략은 다양한 용어로 표현되며 이 중 그린 인프라(Green Infrastructure, GI)는 자연을 모방하고 빗물이 떨어지는 곳에서 수집하는 것을 목표로 하며 자연기반의 녹색과 청색 솔루션을 통합하고 기존 인프라를 강화 및 확장하는 개념으로 활발히 사용되고 있다(Dushkova and Haase, 2020). GI 기술로는 투수성 포장, 레인 가든, 생태저류지, 옥상녹화 등이 포함된다. 다만, GI의 성능이 도시홍수를 관리하는 데 한계가 있으므로 홍수 관리를 최적화하려면 기존 그레이 인프라(Gray infrastructure)와 그린 인프라를 연결해야 한다. 그레이 인프라는 배수관, 파이프와 같은 전통적인 빗물 기반 시설이다.

그린-그레이 인프라와 관련하여 홍수 완화 효과 및 관리전략에 관한 많은 연구가 수행되고 있다(Hoang and Fenner, 2016; Ghofrani et al., 2017; Dawson et al., 2020; Yang and Zhang, 2021; Maes et al., 2015). 연구는 주로 커뮤니티 빗물 관리

계획을 지원하기 위한 모델링 접근법 기반 이점 및 비용효과 평가에 초점을 두고 있었으나, 공간적 영향을 다룬 연구는 상대적으로 적었다. 공간 효과 연구와 관련하여, 초기 연구에는 주로 상류 흐름 때문에 하류에서 홍수가 발생한 것으로 가정했다(Horton, 1945). 이후에 홍수 발생이 반드시 상류 흐름에 기인하는 것은 아니라는 측면에서 가변기여영역(Variable Source Area, VSA)라는 용어가 논의되었으며, 지역의 지형뿐만 아니라 토지이용, 강우패턴, 토양특성 등도 영향을 미친다는 것을 강조했다(Waldesenbet et al., 2017).

한편 도시홍수의 영향을 분석하기 위해 확률론적, 경험적 및 결정론적 방법과 같은 다양한 연구방법이 사용되고 있다(Escuder-Bueno et al., 2012). 그 중에서도 '실제 세계'의 단순화된 표현에 기초한 수문학적 모델을 이용하는 결정론적 방법은 확률론적 및 경험적 방법보다 그린-그레이 인프라와 같은 공간적 기법의 적용 전후 효과를 확인하는 데 적합하다(Rodrigues et al., 2021).

기후변화 적응을 위한 공간계획에 있어 홍수 발생원의 흐름을 줄이고 취약한 지점의 홍수 위험을 최소화하기 위해 구현할 수 있는 전략을 입증하는 것은 중요하다(Vleeschauwer et al., 2014; Fletcher et al., 2015; Dawson et al., 2020). 그린-그레이 인프라는 유출을 줄이기 위한 적절한 제어 조치이지만 효과적인 공간적 구현을 위한 모델링 지침은 아직 부족하다(Saghafian and Kosroshahi, 2005; Petrucci et al., 2013; Saghafian et al., 2015). 따라서 본 연구에서는 모델링 기반의 그린-그레이 인프라 적용 위치에 대한 민감도 테스트를 통해 효과적인 홍수 저감을 위한 그린-그레이 인프라 위치 설정 방안을 논의해보고자 한다. 이를 위해

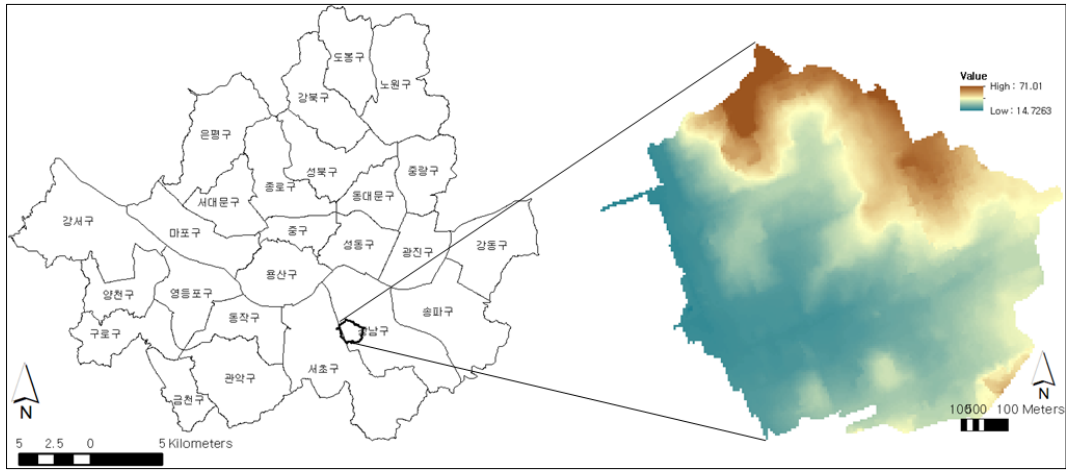


Figure 1. The location and elevation of the study area

Vercruyssen et al.(2019)과 Dawson et al.(2020)이 제안한 연구방법을 일부 적용하여 기여 및 영향 영역을 도출하고 그린-그레이 인프라 적용 시나리오를 설정, 시나리오 별 효과 차이를 분석함으로써 공간 영향을 규명하고자 하였다. 더불어 추후 기후변화 적응을 위한 의사결정에 기여하기 위해 도출된 영역에 대한 공간계획 방향을 제안하고자 하였다. 여기서 ‘기여영역(source area)’은 지표면 홍수에 가장 많이 기여하는 영역을 의미하며, ‘영향영역(impact area)’은 지표면 홍수량이 가장 많아 잠재적 위험이 큰 영역을 의미한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 대상지

사례 연구 대상지는 전 세계적으로 인구 밀도가 높은 도시 중 하나인 서울시에 위치하며, 도시지역의 생활용수량을 결정하고 그 밖의 영향을 최소화하기 위한 기본 단위인 배수분구(catchment)로 선정되었다. 대상지로 선정된 서울시 강남구 역삼배수분구는 192.61ha의 면적, 14-71m의 고도, 85%의 불침투성 지역의 전형적인 상업 지역이다(Figure 1). 또한, 이곳은 빈번한 침수로 인해 하수도 공사를 여러 번 시행했음에도 불구하고 홍수가 재발한 이력을 가지고

있다(한국국토정보공사, 2021).

강우 자료는 현장에서 가장 가까운 측정망인 강남 자동기상관측소(AWS)에서 수집한 2010년 홍수 사상에 대한 강수량 데이터로 5분 단위 강우량으로 가공하였다. 2010년 홍수 사상을 설계 강우량과 비교하여 검토하였을 때 Figure 2에서 보는 바와 같이 지속시간 2시간 최대강우량은 128.5mm로, 이는 25년 재현빈도 설계강우량에 해당하는 강도의 강우이다. 또한 지속시간이 늘어남에 따라 25년 재현빈도 설계강우량의 강도를 유지하여 서울의 배수관로 설계 시 일반적으로 적용하는 10년 재현빈도 설계강우량을 초과하는 강도의 강우로 볼 수 있다. 국가 통계에 따르면 2010년 도로 유실과 주택 침수 등 서울의 재산 피해는 1,450만 달러로 추정된다(기상청, 2010).

2. 기여 및 영향 영역 도출

기여 및 영향 영역을 도출하는 과정은 Vercruyssen et al.(2019)이 제안한 우선 영역 식별 방법론을 적용하였으며, ArcGIS Desktop v10.5와 U.S. EPA에서 개발한 준분포형 수문모델 Stormwater Management Model(SWMM 5.2)을 사용하였다. 먼저 영향영역 도출을 위해 특정 강우 사상에 대한 홍수량 모델링을 수행하여 개별 하위유역(sub catchment)에 대한

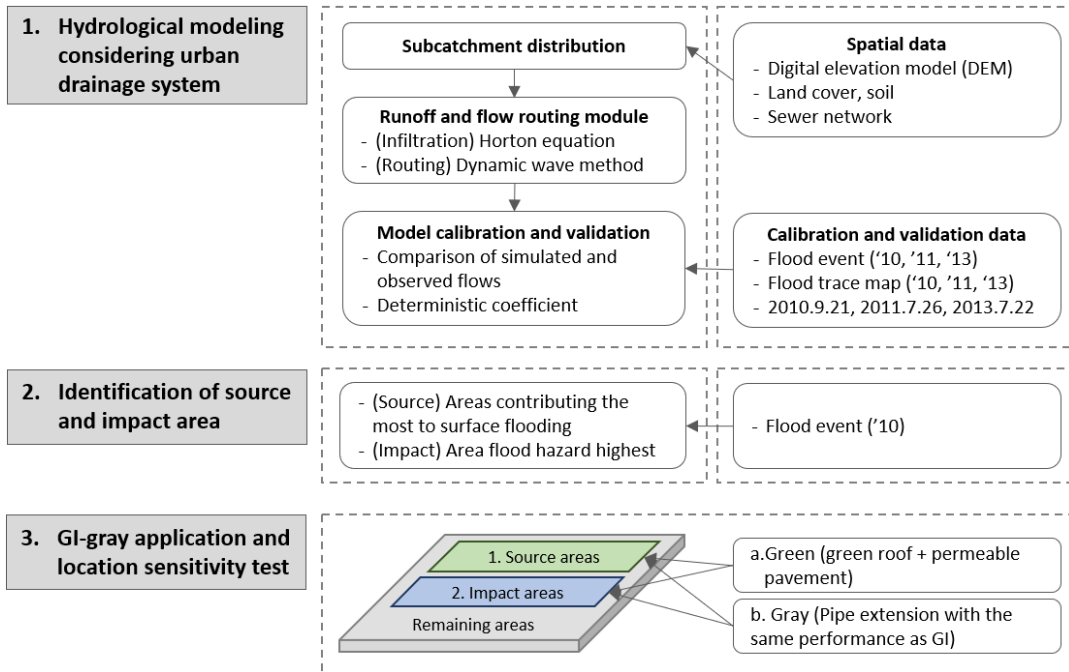


Figure 3. Research framework of the study

값을 도출하였다. 기여영역을 도출하기 위해서는 입력값 중 강우량을 개별 하위구역 별로 생략하는 모델을 반복 실행함으로써 각 하위구역이 홍수량에 기여하는 정도를 도출하였다. 다만, 선행연구에서는 그리드 기반의 분포형 모델을 사용하고 있으나, 본 연구에서는 그레이 인프라로써 도시배수시스템의 영향을 포함하기 위해 준분포형 모델을 사용하였는데 방법론적 차이가 있다.

SWMM 모델은 그린 인프라의 수문학적 반응을 시뮬레이션할 수 있는 모델 중 하나이다 (Rossman, 2010). 기본적으로 Bae and Lee(2020)에서 구성한 모델을 사용했으며, 여기에는 15개의 도관(conduit)에 연결된 16개의 접합 노드를 통해 배수되는 16개의 하위구역이 포함된다. 침투는 빗물이 지하 표면으로 흡수되어 불포화 토양 영역을 관통하는 과정을 말하는데, 본 연구에서 Horton의 침투식을 기반으로 하였다(Horton, 1945). 하도 추적은 하수 관망을 모의하기 위한 동역학과 모형 (Dynamic Wave)를 선택하였다. 모델은 모든 하위구역의 Manning 계수, 침투율, 지표면 저류 등

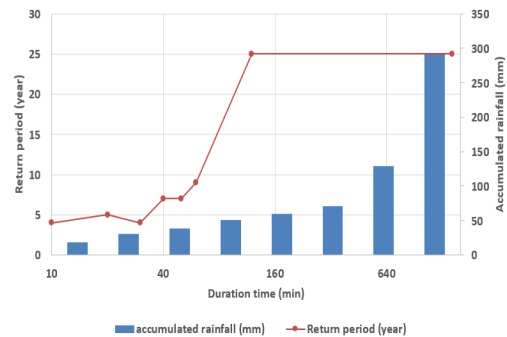


Figure 2. Return period by duration time of 2010 flood event

매개변수를 변경하여 보정되었다. 보정 과정에는 2010년과 2011년 홍수 사상에 대한 5분 단위 강우량 데이터가 사용되었다. 교정 프로세스는 각 노드에 대한 홍수량 모델링 값과 관찰된 침수흔적도의 비교를 기반으로 수행하였다. Figure 3에서는 본 연구에서 수행된 초기모델 구성 및 모델 업데이트, 기여 및 영향 영역 도출 기반 그린-그레이 인프라 위치 민감도 테스트 등 전체 과정에 대한 흐름도를 제시하였다.

Table 1. Summary of GI characteristics

	Parameter	Permeable pavement	Green roof
Surface	Bern height [mm]	5	75
	Vegetation volume fraction	0	0.1
	Roughness (Manning's n)	0.05	0.1
	Slope	2	0.3
Soil/Sand	Thickness [mm]	-	150
	Porosity	-	0.4
	Field capacity	-	0.105
	Wilting point	-	0.047
	Conductivity [mm/hr]	-	72
	Suction head [mm]	-	20
Pavement	Thickness	150	-
	Void ratio	0.4	-
	Impervious surface fraction	0.3	-
	Permeability [mm/h]	72	-
Storage / Drainage mat	Thickness [mm]	150	50
	Void fraction	0.5	0.55
	Seepage rate [mm/hr]	78	-
	Roughness (Manning's n)	-	0.3

Table 2. Overview of scenarios modeled in this study

Scenarios	Green infra		Gray infra	
	Source	Impact	Source	Impact
Baseline (no installation)	x	x	x	x
S1. Green in source + Gray in impact	○	x	x	○
S2. Green in impact + Gray in source	x	○	○	x
S3. Green in impact and source	○	○	x	x
S4. Gray in impact and source	x	x	○	○

3. 그린-그레이 인프라 시나리오

그린 인프라는 기존 인프라에 설치하기에 적합한 옥상녹화(Green Roof, GR)와 투수성포장(Permeable Pavement, PP)을 통합해 구현하였다. SWMM에서 그린인프라는 표면, 토양, 저장의 수직층을 조합하여 표현하였으며, 각 층에 대한 설계요소는 선행연구에서 제시된 매개변수를 이용하여 Table 1과 같이 적용하였다(Rodriges et al., 2021; Abualfarj et al., 2018; Tirpak et al., 2021; Randall et al., 2019).

본 연구에서는 그린-그레이 인프라의 ‘적용

위치’만을 고려하여 성능을 비교하기 위하여 하위유역별 적용면적 등 다른 조건은 같게 설정하였다. 다만, 사례 대상 지역의 토지 피복 특성을 반영하여 그린 인프라의 최대 허용면적을 초과하지 않도록 조절하였다. 또한, 본 연구에서 그레이 인프라는 하수관거의 ‘관거단면적 확장율’로 설정하였는데, 그린 및 그레이 인프라 기술 간 같은 수문학적 성능을 보장하기 위해 성능에 대한 민감도 검사 결과를 반영하여 특성을 일치시켰다. 검사 결과 본 연구에서 설정한 그린 인프라를 설치했을 때와 동일한 홍수 저감 효과를

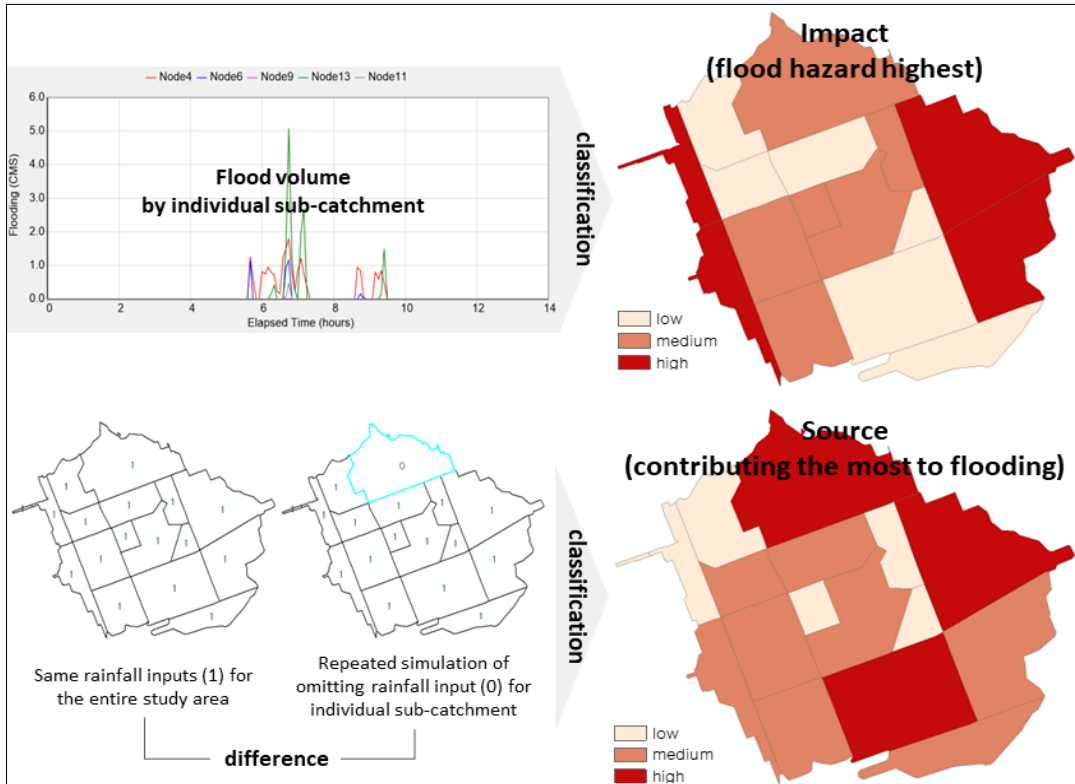


Figure 3. Source and impact area derivation for green-gray infrastructure placement

도출하는 데 필요한 하수 관거단면적 확장율(그레이 인프라)은 13%로 도출되었다.

그린-그레이 인프라 변경에 기초한 시나리오는 아무것도 구현되지 않는 베이스라인을 포함하여 5가지로 구분하였다(Table 2). 먼저 연구목적에서 언급한 바와 같이 S1과 S2를 비교하여 기여영역에 그린 인프라를 설치하고 영향영역에 구조적 보호 조치를 취하는 것이 적절하다는 가설을 확인하고자 하였다. 또한, S3, S4 등 그린 또는 그레이 인프라만을 채택한 사례를 함께 비교하여 효과의 차이를 분석하고자 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 기여 및 영향 영역 도출

도출된 값을 기반으로 공간을 재분류함에 있어 ArcGIS에서 제공하는 일반적인 방법을 적용

하고자 하였다. 등간격(Equal Interval), 분위수(Quantile), 표준편차(Standard Deviation) 및 자연적 구분법(Natural Breaks)을 적용한 재분류 결과를 검토한 결과 자연적 구분법을 적용하였을 경우 가장 균등한 면적의 기여 및 영향 영역이 도출되었으므로 이에 따라 3개의 클래스로 분류, 가장 높은(High) 등급의 영역을 그린-그레이 인프라 배치 영역으로 설정한다(Figure 3).

그린-그레이 인프라 배치 영역을 고려한 기여 및 영향 영역에 해당하는 하위유역은 Table 3에 유역 번호로 구분하여 제시하였다. 또한, 하위유역별 그린 인프라 적용면적과 이에 상응하는 그레이 인프라 적용조건을 제시하였다. 그레이 인프라 적용조건에는 관거의 형상과 기존 지름 및 확장된 지름 정보를 포함하였다. 하위유역 14는 기여 및 영향 영역에 모두 해당하므로 구분 표기하였다.

Table 3. Summary of green-gray infrastructure implementation

Spatial division	Sub-catchment number	Application condition			
		Gray(conduit cross-sectional height)			Green(GR+PP)
		Original (m)	Conduit type	Enlarged (m)	Area (ha)
Source area	3	3.0	closed rectangular	3.4	2.0
	12	3.0	closed rectangular	3.4	2.0
	7	1.2	circular	1.4	4.0
Source-Impact intersection	14	1.2	circular	1.3	4.0
Impact area	2	1.3	circular	1.5	4.0
	16	1.2	circular	1.4	4.0

Table 4. Overview of results by scenarios

	Runoff (mm)	Flood (1,000m3)	Infiltration (mm)	Peak runoff (CMS)
Baseline (no installation)	264.0	16.7	0.7	33.7
S1. Green in source + Gray in impact	255.0	3.9	3.2	31.4
S2. Green in impact + Gray in source	257.9	12.6	4.4	31.5
S3. Green in impact and source	248.7	5.6	7.0	31.4
S4. Gray in impact and source	264.0	9.3	0.7	33.8

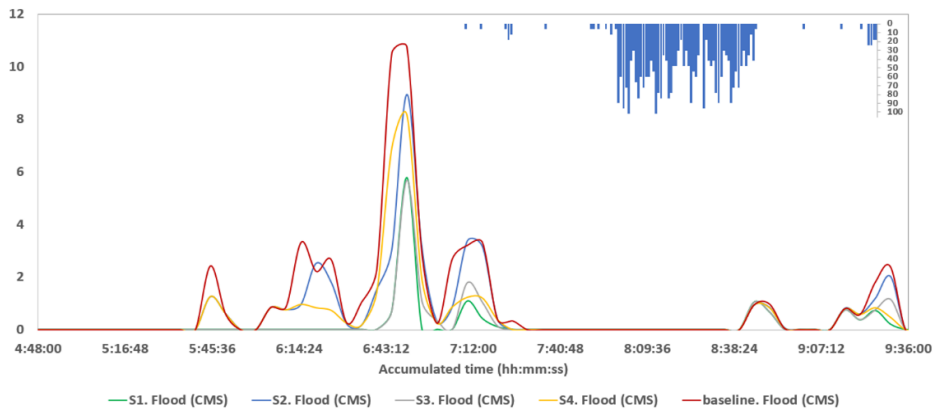


Figure 4. Flood hydrograph in 2010 flood event for S1~S4 and baseline

2. 시나리오 별 효과 분석

설정된 시나리오에 따라 주요 성능지수에 대한 저감효과를 분석한 결과 연구가설과 마찬가지로 기여영역에 그린 인프라, 영향영역에 그레이 인프라를 적용하는 시나리오(S1)가 홍수를 줄이는 데 가장 큰 효과를 보였다. 두 지역 모두

그린 인프라만 적용한 경우(S3)에도 홍수 저감 효과가 높았으나 S1에 비해서는 낮았다. 지표유출 제어에서는 S1보다 S3가 우수하였는데, 상대적으로 침투 능력이 높기 때문으로 보인다. Table 4는 지표유출량, 홍수량, 침투량 및 침투 유출과 같은 주요 출력 성능지수의 각 시나리오

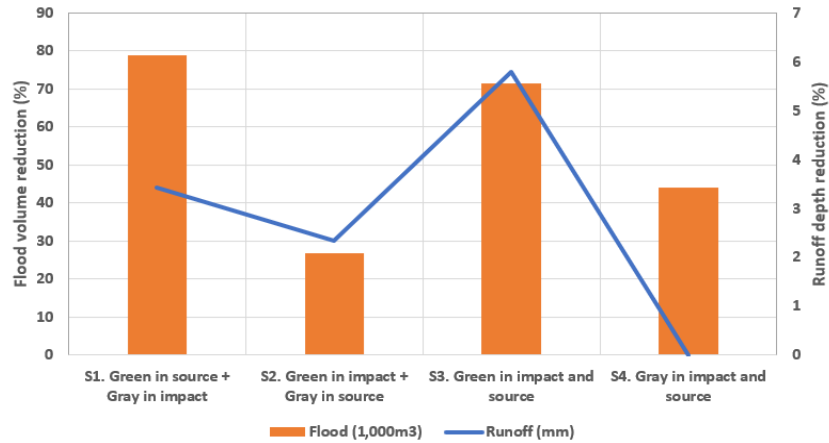


Figure 5. Flood and runoff reduction rate by scenarios

에 관한 결과를 제시하였다.

전체 시나리오에 대한 홍수 수문곡선을 Figure 4와 같이 요약한 결과 베이스라인과 비교하여 S1-S3-S4-S2 순으로 높은 효과를 보였다. S1과 S2를 비교한 결과, 침투홍수 지연 효과는 발견되지 않았으나 홍수 시작 시각은 60분 지연되었다. 또한, 피해가 가장 심했던 하위유역에서 S1의 홍수량은 베이스라인에 비해 88.9%, S2는 30.4% 감소하여 큰 효과 차이를 보였다.

베이스라인 대비 S1~S4의 홍수량과 지표유출량에 대한 감소율은 Figure 5에 제시하였다. 여기서 주목할 점은 홍수량 감소 효과는 S1에서 가장 우수했지만, 지표유출량 감소 효과는 그린 인프라만을 적용한 S3에서 가장 우수했다는 점이다. 이러한 결과의 원인은 연구방법에서 기여 및 영향 영역을 도출함에 있어 홍수량을 기준으로 하였기 때문으로 보인다. 이는 저감 목표가 어떤 성능지수(홍수량, 지표유출량, 침투유출)에 맞춰져 있는가에 따라 그린-그레이 인프라 입지를 포함한 홍수관리전략 수립의 방향도 달라질 수 있음을 시사한다.

3. 홍수위험관리 공간계획 방향

Dawson et al.(2020)은 도출된 기여 및 영향 영역에 대한 정보를 기존의 토지피복 및 기반시

설 정보와 결합하여 홍수위험 관리 공간분석 프레임틀을 제시하고 있으며 본 연구에서는 이를 기반으로 현재/미래의 공간계획 적절성과 방향을 제시하고자 하였다. 기여 및 영향 영역 도출 결과에 따라 4개의 유형으로 분류할 수 있는데, 첫 번째 유형은 공간 전체에 걸쳐 홍수 위험에 최소한으로 기여하고 홍수 영향이 낮아 개입이 필요하지 않은 구역으로 ‘no intervention’으로 정의한다. 다음 유형은 낮음에서 중간 정도의 홍수 기여도와 낮음에서 중간 정도의 영향을 보이는 구역으로 가장 적절한 홍수 관리 조치는 기존 인프라 시스템을 따라 물을 완화할 수 있는 구역으로 ‘relieve’로 정의할 수 있다. 세 번째 유형은 홍수 기여도가 높아 원인이 되는 영역을 중심으로 하며 하류에 잠재적 위험과 노출을 줄이기 위해 빗물을 보유하고 침투능력을 향상하는데 초점을 둔 ‘retain’ 구역을 정의하고 있다. 마지막으로, 지역의 홍수 영향이 높은 영역은 다른 기반 시설 시스템을 사용하여 빗물을 완화하거나 보유하면 추가 노출이 발생할 수 있으므로 강우에 저항하기 위한 ‘resist’ 구역을 설정하였다.

Figure 6에서 이 분류를 대상지 전체에 적용한 결과와 대상지 토지피복도를 제시하였다. 대상지는 전반적으로 저층 주거밀집지역과 상업시설로 구성되어 있는데, 향후 개발에서는 대상지 내 주

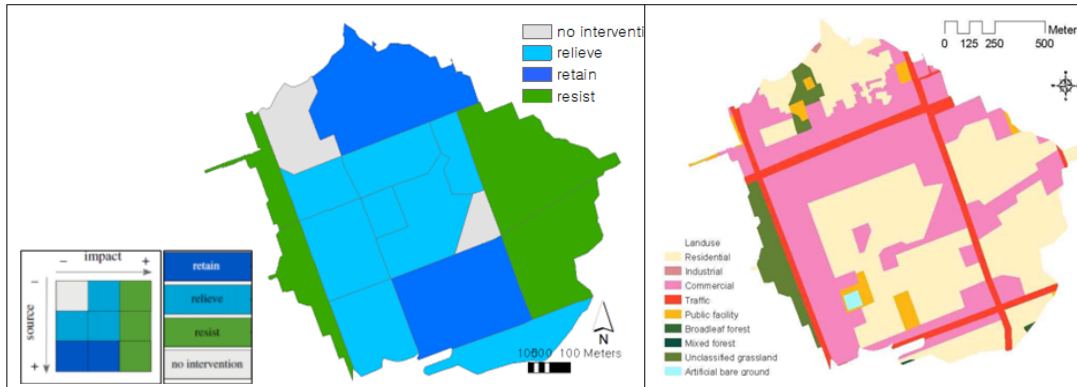


Figure 6. Spatial analysis framework for FRM(left panel) and land cover map(MOE, South Korea, 2019)(right panel)

거지역이 밀집되어 있는 상류와 중심부 하단의 ‘retain’ 구역을 중심으로 다양한 그린 인프라 기법을 적용하고 기존 녹지 공간과 통합함으로써 보유하는 우수의 양을 최대화하는 데 중점을 둘 수 있다. 상업시설과 주거지역이 혼재되어 있는 중심부인 ‘relieve’ 구역에는 극한강우 발생 시 배수 시스템에 대한 압력을 줄이기 위해 저류기능을 활성화할 수 있는 오픈스페이스 도입 등을 계획할 수 있다. 마지막으로 하천 및 인접 배수분구와 연결되어 있는 ‘resist’ 구역에서의 공간계획은 홍수로부터 건물을 보호할 수 있는 즉, 본 연구에서의 하수관거 확장 등 즉각적 효과를 도출할 수 있는 전략 도입을 고려해야 한다.

IV. 결 론

본 연구에서는 유역의 기여 및 영향 영역 분류 가이드를 기반으로 수문모형을 활용하여 홍수에 따른 공간적 영향을 평가함으로써 도시 그린-그레이 인프라의 효과를 최대화할 수 있는 위치 설정 방법을 제시하였다. 연구 결과 홍수를 유발하는 지역에서는 그린 인프라, 홍수 피해가 심화한 지역에는 그레이 인프라를 구현하는 것이 홍수 저감에 유리한 것으로 확인되었다. 다만 지표유출과 관련한 성능지수에서는 두 영역에 모두 그린 인프라만 설치하는 시나리오가 더 유리한 것으로 도출된 결과를 고려할 때, 어떤 수문학적

성능지수를 목표로 하는가에 따라 정책목표 또한 달라질 수 있음을 유의해야 한다.

본 연구는 몇 가지 제한점이 존재하는데, 이 연구의 결과는 모든 강우 사상에 대해 일반적인 것은 아니며 다양한 강우 강도와 지속시간에 의해 영향을 받을 수 있다는 점이다. 따라서, 실제 의사결정을 위한 연구에서는 해당 지역의 확률 강우량을 고려하여 다양한 강우 패턴에 대한 분석을 수행해야 한다. 또한, 하위구역이 세부적으로 분할되어 있지 않아 결과의 공간 해상도가 낮아 세부 영역에 대한 시사점을 고려하기 어려웠다. 결과의 정확도 향상을 위해 모델의 공간 해상도를 높일 필요가 있다. 더불어 본 연구에서는 그린 및 그레이 인프라 간 조건을 일치시키기 위해 같은 ‘수문학적 성능’을 가지는 기술 규모를 설정하고자 하였는데, 추후 연구에서는 ‘기술 비용’을 기준으로 조건을 일치시켜 비용 효과를 제시하는 것이 대안이 될 수 있다.

한편, 본 연구에 제시된 그린 인프라 시나리오는 대상지의 건물 전체에 옥상녹화를, 전체 보도에 투수성 포장을 설치한다는 가정으로 설정되었다. 그러나 서울시에서 약 20년간 조성된 옥상녹화(‘02~’20)가 약 1ha인 점을 고려하면 본 연구에서 설정한 시나리오(그린 인프라 12ha)는 현실성이 낮다. 그럼에도 불구하고 옥상녹화와 가로녹지는 고도로 발달한 도시지역에 설치가 쉽다는 장점으로 매년(2021년 1ha) 설치목표를 높이고

있으므로 최대효과를 다룬 본 연구에서의 설정이 정책목표 설정 시 기여할 것으로 기대한다.

본 연구는 방법론 제안을 중심으로 하고 있어 고해상도 결과를 도출하고 있지 않기 때문에 의사결정에 연결하는 데 일부 한계가 있었으나, 공간계획 및 재생 측면에서 홍수 발생원의 흐름을 줄이고 취약 위치의 홍수 위험을 최소화하기 위해 어떻게 전략을 구현할 것인가에 대한 방향성을 제시하였다는데 의의가 있다.

References

- Abualfaraj, N., Cataldo, J., Elboroloso, Y., Fagan, D., Woerdeman, S., Carson, T., Montalto, F.A., 2018. Monitoring and modeling the long-term rainfall-runoff response of the Jacob K. Javits center green roof. *Water (Switzerland)* 10, 1 - 23.
- Bae, C., Lee, D.K., 2020. Effects of low-impact development practices for flood events at the catchment scale in a highly developed urban area. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 44, 101412.
- Dawson, D.A., Vercruyssen, K., Wright, N., 2020. A spatial framework to explore needs and opportunities for interoperable urban flood management. *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.* 378.
- De Vleeschauwer, K., Weustenraad, J., Nolf, C., Wolfs, V., De Meulder, B., Shannon, K., Willems, P., 2014. Green-blue water in the city: Quantification of impact of source control versus end-of-pipe solutions on sewer and river floods. *Water Sci. Technol.* 70, 1825 - 1837.
- Escuder-Bueno, I., Castillo-Rodriguez, J.T., Zechner, S., Jöbstl, C., Perales-Momparler, S., Petaccia, G., 2012. A quantitative flood risk analysis methodology for urban areas with integration of social research data. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 12, 2843 - 2863.
- Fletcher, T.D., Shuster, W., Hunt, W.F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.L., Mikkelsen, P.S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., Viklander, M., 2015. SU2S, LID, BMPs, WSUD and more - The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water J.* 12, 525 - 542.
- Ghofrani, Z., Sposito, V., Faggian, R., 2017. A Comprehensive Review of Blue-Green Infrastructure Concepts. *Int. J. Environ. Sustain.* 6.
- Hoang, L., Fenner, R.A., 2016. System interactions of stormwater management using sustainable urban drainage systems and green infrastructure, *Urban Water Journal*, 13:7, 739-758.
- Horton, B.Y.R.E., 1945. *MORPHOLOGY* 56, 275 - 370.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report; Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Pachauri, R.K. Meyer, L.A., Eds.; IPCC: Geneva, Switzerland.
- Korea Land and Geospatial Information Corporation, 2021, November 17. Inundation trace information [Data set]. <https://www.data.go.kr/data/15048627/fileData.do?recommendDataYn=Y>
- Korea Meteorological Administration, 2010. 2010

- Abnormal Climate Report.
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., Thielen, A., 2010. Review article “assessment of economic flood damage.” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 10, 1697 - 1724.
- Ministry of Environment, South Korea, 2019. Overview of the current status of the land cover map. Retrieved from <https://egis.me.go.kr>
- O'Donnell, T., 2019. Contrasting land use policies for climate change adaptation: A case study of political and geo-legal realities for Australian coastal locations. *Land use policy* 88, 104145.
- Petrucci, G., Rioust, E., Deroubaix, J.F., Tassin, B., 2013. Do stormwater source control policies deliver the right hydrologic outcomes? *J. Hydrol.* 485, 188 - 200.
- Randall, M., Fensholt, R., Zhang, Y., Jensen, M.B., 2019. Geographic object based image analysis of world view-3 imagery for urban hydrologic modelling at the catchment scale. *Water (Switzerland)* 11.
- Rodrigues, A.L.M., da Silva, D.D., de Menezes Filho, F.C.M., 2021. Methodology for Allocation of Best Management Practices Integrated with the Urban Landscape. *Water Resour. Manag.* 35, 1353 - 1371.
- Rossmann, L., 2010. Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0, US EPA Office of Research and Development, Washington, DC, USA.
- Saghafian, B., Jannaty, M.H., Ezami, N., 2015. Inverse hydrograph routing optimization model based on the kinematic wave approach. *Eng. Optim.* 47, 1031 - 1042.
- Saghafian, B., Khosroshahi, M., 2005. Unit Response Approach for Priority Determination of Flood Source Areas. *J. Hydrol. Eng.* 10, 270 - 277.
- Seoul city, 2022, October 22. Seoul city green roof project information [Data set]. <http://data.seoul.go.kr/dataList/OA-15635/F/1/datasetView.do>
- Tirpak, R.A., Winston, R.J., Simpson, I.M., Dorsey, J.D., Grimm, A.G., Pieschek, R.L., Petrovskis, E.A., Carpenter, D.D., 2021. Hydrologic impacts of retrofitted low impact development in a commercial parking lot. *J. Hydrol.* 592, 125773.
- Vercruyssen, K., Dawson, D.A., Glenis, V., Bertsch, R., Wright, N., Kilsby, C., 2019. Developing spatial prioritization criteria for integrated urban flood management based on a source-to-impact flood analysis. *J. Hydrol.* 578, 124038.
- Woldesenbet, T.A., Elagib, N.A., Ribbe, L., Heinrich, J., 2017. Hydrological responses to land use/cover changes in the source region of the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Science of The Total Environment* 575, 724-741.
- Yang, W., Zhang J., Assessing the performance of gray and green strategies for sustainable urban drainage system development: A multi-criteria decision-making analysis, *Journal of Cleaner Production*, Volume 293, 2021, 126191.