

MAC-HCFD 모델을 활용한 그레이인프라의 도시물순환 개선효과 분석[†]

김재경*, 강준석**

*서울대학교 대학원 협동과정 조경학 박사과정, **서울대학교 농업생명과학대학 조경·지역시스템공학부 부교수

1. 서론

대규모 개발과 하천중심의 치수정책은 도시 피복 전체의 불균형을 가지고 왔고 불투수면적의 비율을 증가시켰다. 불투수면적의 증가는 기후변화로 기인하는 도시열섬 및 도시홍수의 피해 규모를 크게 만드는 원인 중 하나이다(Choi et al., 2021). 특히 2022년 8월에 대한민국 중부지방에 내린 강우는 시간당 100mm가 넘는 폭우가 쏟아지며, 서울을 비롯한 도시 곳곳에서 침수와 정전, 누수, 사고 피해를 속출시켰다(Kim and Kang, 2020).

도시홍수는 한국뿐만 아니라 다양한 국가에서도 주목하고 있는 재난재해 중 하나이며, 미국, 독일, 캐나다 등의 선진국에서는 이를 대응하기 위한 시스템 마련에 힘을 쓰고 있다(Kim et al., 2022). 최근 한국에서도 도시홍수를 개선하기 위한 대안들을 강구하고 있다. 도시홍수의 저감을 위해 기존에 주목받던 침투도랑·식생체류지 등 그린인프라 기술과 더불어, 빗물터널 등의 그레이인프라스트럭처의 상호작용이 중요한 키워드로 주목받고 있다.

서울시에서는 2022년 8월 대규모 홍수 이후에 침수피해를 줄일 수 있도록 빗물터널 설치 대책을 추진하고 있다. 빗물터널은 '대심도 터널'로도 불리고 있으며 저지대 일대의 침수피해를 줄일 수 있는 방법으로 주목받고 있다. 국내에 설치 사례로는 양천구 지하의 '신월 빗물 배수 저류 터널'이 있고, 해외의 설치 사례로는 일본 도쿄의 사례가 있다. 일반적으로 빗물터널은 원형 또는 직사각형 형태로 5m 이상 넓은 직경으로 설계되며, 도쿄의 사례는 직사각형 형태(18m × 18m)의 빗물터널을 설치한 바 있다.

최근의 선행연구에서는 미래의 기후변화를 예측하는 RCP 2.6 시나리오를 활용하여 미래의 도시홍수 취약성을 분석하고, 8가지의 시나리오를 활용하여 저감할 수 있는 홍수의 양을 정량적으로 분석한 바 있다. 하지만, 지금까지 주목을 받지 못했던 그레이인프라스트럭처에 대한 성능개선 효과 분석 및 그린인프라의 상호작용을 살펴볼 필요성이 있다.

본 연구에서는 빗물 순환 선도시 중 하나인 수원시 전역을 대상으로 물순환 취약성을 분석하고, 그레이인프라스트럭처를 활용하였을 때 얻을 수 있는 효과를 분석하였다. 본 연구는 동과 작은 단위에서 이루어졌던 수문 분석을 도시 공간 전체에 적용했다는 점에서 차별성을 갖는다.

2. 본론

2.1 연구방법

본 연구는 수원시로부터 하수관망 공간자료를 제공받아 EPA SWMM, Arc GIS와 R을 활용하여 도시 전역에 대한 관망을 모델링하였다. 수원시에 설치된 약 40,000개 이상의 맨홀을 모델링하였고, 국가공간정보포털에서 제공받은 불투수성 및 도시경사도를 반영하였다.

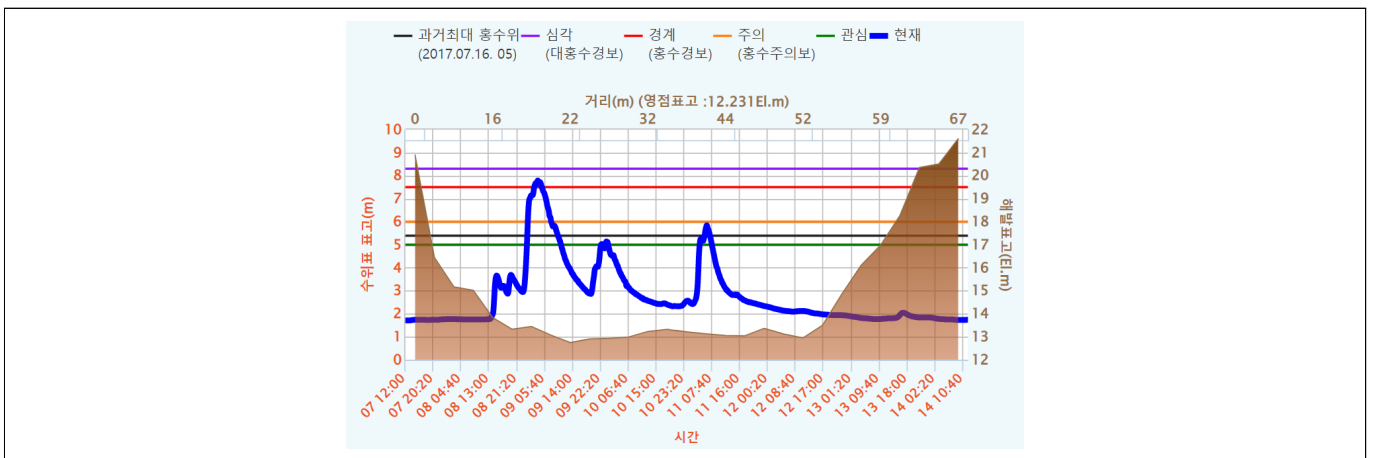


Figure 1. 화산교 홍수 및 수위 변화 데이터(제공: 한강홍수통제소)

[†]본 연구는 환경부의 재원을 지원받아 한국환경산업기술원의 환경서비스 전문인력 양성사업과 생태계 건강성 증진사업(2020002770002), 신기후 체제 대응 환경기술개발사업(2022003570004)에 의해 수행되었습니다.

사용된 R 프로그램은 통계 계산과 그래픽을 위한 프로그래밍 언어로서, 수원시 전역의 관망을 EPA SWMM에 적용하기 위해 사용됐다. 수원시 전역의 하수 관거 Node를 Conduits으로 연결하였고, 강우량에 따른 우수유출 및 지표 위 홍수량을 분석하였다. 본 연구에서는 도시전체가 수용할 수 있는 강수의 용량을 분석하고, 추가적인 기술의 효과를 분석할 수 있는 MAC-HCFD 모델을 활용하였다.

모델의 신뢰도 검증을 위해서 화산교에 위치한 수위계의 수위 변화를 활용하였다. 화산교 수위 데이터는 한강홍수통제소에서 실시간으로 관측 및 기록한 수치이다. 8월 8일부터 내린 강우의 시계열 데이터를 EPA SWMM에 강수 시나리오로 활용하였고, 수위변화 데이터와 시뮬레이션을 통해 얻은 데이터의 통계적 검증을 실시하였다. 검증 방법으로는 R^2 값을 분석하였다.

추가로 설계된 그레이인프라스트럭처는 대규모 빗물터널을 추가하여 저장할 수 있는 홍수량을 분석하였다. 설계된 그레이인프라는 총 두 가지의 타입으로 첫 번째는 직경 12 m의 원형 형태의 터널(Type A)이고, 두 번째는 높이 18m 정사각형 형태의 관거(Type B)이다.

본 연구는 그레이인프라를 EPA SWMM 모델에 설치하기 위해 아래의 세 가지 조건을 고려하였으며, Figure 2와 같이 추가 그레이인프라를 설계하였다.



Figure 2. 그레이인프라스트럭처의 설계 concept

첫 번째, 하수 관로는 수계를 따라서 소유역에서 집수되어 대유역으로 방수된다.

두 번째, 하수 관로는 DEM을 반영하여 설계한다.

세 번째, 인구밀도를 반영하여 인구 밀집도가 더 큰 곳에 더 많은 관로를 설치한다.

수원시 전역에 총 추가된 그레이인프라스트럭처의 길이는 160km이며, Type A의 경우 31.44km, Type B의 경우 129.44km이다.

2.2 연구결과

본 연구에서는 도시의 강수를 400mm, 강우지속시간을 3시간으로 설정하였으며, 이때 수원시 전역에서 유출되는 강우의 양은 1,120톤 정도이다. 설치 가능한 모든 모든 면적에 그레이인프라스트럭처를 설계하였을 때, 수원시 전체의 홍수량은 약 630 CMS로 나타났다.

하지만 추가되는 하수관거 내의 초기 수위 및 cogging factor에 따라서 그 효과는 최대 16% 정도까지 오차가 있는 것으로 분석되었다.

3. 결론

본 연구는 SWMM 소프트웨어와 MAC-HCFD 모델을 활용하여 수원시 전역을 대상으로 한 그레이인프라기술의 유출저감 효과를 분석하였다. 향후 연구에서는 그린인프라와 상호작용 및 모델의 고도화가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Choi, Y., J. Kang and J. Kim(2021). Urban flood adaptation planning for local governments: Hydrology analysis and optimization. International Journal of Disaster Risk Reduction 59: 102213.
2. Kim, J., J. Lee, S. Hwang and J. Kang(2022) Urban flood adaptation and optimization for net-zero: Case study of Dongjak-gu, Seoul. Journal of Hydrology: Regional Studies 41: 101110.
3. Kim, J. and J. Kang(2020) Analysis of flood damage in the Seoul metropolitan government using climate change scenarios and mitigation technologies. Sustainability 13(1): 105.