

하천 홍수위 저감을 위한 자연기반해법의 적용효과 분석

이호용* · 김민석** · 이준형* · 이태우** · 김형수*** · 김수전****

*인하대학교 일반대학원 스마트시티공학전공

**인하대학교 일반대학원 토목공학과

***인하대학교 공과대학 사회인프라공학과

Analysis of the Effectiveness of Nature-based Solutions for River Flood Level Reduction

Hoyong Lee* · Minseok Kim** · Junhyeong Lee* · Taewoo Lee** · Hung Soo Kim** · Soojun Kim***

*Program in Smart City Engineering, Inha University, Korea

**Department of Civil Engineering, Inha University, Korea

(Received : 11 August 2023, Revised : 2 November 2023, Accepted : 11 November 2023)

요약

최근 기후변화의 영향으로 설계빈도보다 높은 강우가 발생하고, 하천설계 기준을 초과한 홍수 피해가 발생하고 있다. 따라서 자연기반해법(NbS, Nature-based Solutions)을 통해 지속가능한 하천관리와 환경 및 사회적 문제를 생태계의 서비스를 통해 해결하고자 하는 개념이 주목받고 있다. 이에 본 연구는 합천댐 하류의 황강을 대상으로 자연기반해법을 활용한 하천관리 방안의 홍수저감 효과를 정량적으로 분석하고자 하였다. 자연기반해법 기술에 포함되는 범람원 굴착(Floodplain excavation)과 제방후퇴(Dyke relocation)를 HEC-GeoRAS를 통해 황강의 홍수 위험 지역에 적용하였으며, HEC-RAS의 부정류 흐름(Unsteady flow) 해석을 통해 하천 홍수위를 도출하였다. 그 결과, 홍수 부담이 큰 황강하류에서 약 8cm의 홍수위 저감효과를 확인할 수 있었다. 본 연구의 결과를 통해 하천관리 사업의 진행 시 기존의 하천관리 방법이 아닌 자연기반해법을 통한 관리 방안으로 도입할 수 있는 근거로 충분히 활용이 가능할 것으로 기대된다.

핵심어 : 기후변화, 자연기반해법, 하천관리, 홍수저감

Abstract

EDue to climate change and urbanization, the localized heavy rainfall frequently exceeded a design storm rainfall and flood damage has occurred in South Korea. The concept of addressing sustainable river management and environmental and social issues through Nature-based Solutions (NbS) is gaining attention as it seeks to resolve these issues through ecosystem services. Therefore, in this study, the flood reduction effect by river management using NbS was quantitatively analyzed for the Hwang River, which is directly downstream of Hapcheon Dam, South Korea. Floodplain excavation and dyke relocation, which are methods of the NbS, were applied to the flood risk area of the Hwang River. As a result of analyzing the flood level of the river through the unsteady flow analysis of HEC-RAS, we obtained flood level reduction by 8 cm at the confluence of the Nakdong River. The results of this study can be expected to be sufficiently utilized as a basis for use as a management plan through NbS rather than the river management with grey infrastructure.

key words : Climate change, Nature-based Solutions(NbS), River management, Flood reduction

*To whom correspondence should be addressed.

Department of Civil Engineering, Inha University, Korea

E-mail : sk325@inha.ac.kr

• Hoyong Lee Program in Smart City Engineering, Inha University, Korea / Ph.D. Student (hy5890@nate.com)

• Minseok Kim Department of Civil Engineering, Inha University, Korea / Master's Course (msdm1227@nate.com)

• Junhyeong Lee Program in Smart City Engineering, Inha University, Korea / Ph.D. Candidate (lee_junhyeong@naver.com)

• Taewoo Lee Department of Civil Engineering, Inha University, Korea / Ph.D. Student (dfd0d7cf@nate.com)

• Hung Soo Kim Department of Civil Engineering, Inha University, Korea / Professor (sookim@inha.ac.kr)

• Soojun Kim Department of Civil Engineering, Inha University, Korea / Professor (sk325@inha.ac.kr)

1. 서 론

전 지구적으로 극한 강수와 기온의 상승 등 기후변화의 발생으로 인한 홍수의 발생빈도가 빈번해지고 이에 따른 피해가 가중되고 있다. 한국기후변화 평가보고서(2020)에 따르면 여름철 강수량은 1912~2017년까지 10년마다 11.6mm 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타나고 있다(국립기상과학원, 2020). 그 영향으로 2020년 여름 장마(6월24일~8월16일)는 부산, 서울, 천안, 아산, 광주, 남원, 철원 등 전국적으로 홍수피해가 발생하였고, 8월에는 3차례에 걸쳐서 38개 시·군·구, 36개 읍·면·동이 집중호우 특별재난지역으로 선포되었다(이승수, 2020).

홍수피해를 방지하기 위해 2000년대 이후 하천정비사업을 지속적으로 실행하여 2021년 국내 하천 개수율이 79.4%에 도달하였다(환경부, 2022). 하지만 그레이인프라(Grey infrastructure)인 콘크리트 구조물 위주의 하천정비로 인해 온실가스와 이산화탄소의 배출을 야기하고 있으며(김태형 & 태성호, 2010), 이는 하천 홍수방어체계로 확대하기에는 환경 및 생태계의 많은 부작용이 있어 지속가능한 방안으로 채택하기에는 어려움이 있다. 이로 인해 지속가능하며 기후위기에 대응하기 위한 방법으로 자연기반해법(Nature-based Solutions, NbS)을 통한 하천정비가 주목받고 있다(우효섭, 2023).

자연기반해법은 생태공학적 원리를 적용함으로써 사회·환경적 문제를 해결하는 포괄적인 접근방식을 따른다(국립산림과학원, 2021). 세계자연보전연맹(International Union for Conservation of Nature, IUCN)과 세계은행(World Bank)을 중심으로 대두된 개념으로 기후변화 영향을 저감

함과 동시에 종의 다양성 및 생태계 보호함으로 자연을 지속 가능한 서비스를 이용하는 해법으로 등장하였다(우효섭 & 한승완, 2020).

자연기반해법은 최근에 정의 및 개념에 대한 연구가 국내·외로 활발히 진행 중에 있다(Faivre et al., 2017; 우효섭 & 한승완, 2020; 조동길, 2020). 또한 물관리를 위해서 자연기반해법을 적용하기 위한 정량적인 평가 관련 연구가 진행하고 있다(한국환경정책 평가연구원(2011); Keesstra et al., 2018; Chausson et al., 2020; 지운 외, 2022). 이처럼 자연기반해법은 지속가능한 방법이며, 하천관리에 적용하여 사회·환경 문제 해결을 하기 위한 적합한 방안으로 평가받고 있다. 자연기반해법의 적용을 통해 전 세계적으로 지역사회의 회복력을 구축하며, 자연이 제공하는 혜택을 보호함으로 다양한 이익을 얻을 수 있다. 하지만 기존의 사례를 통한 효과의 분석이 대부분이며, 정량적인 효과보다 정성적인 효과를 대체적으로 제시하고 있으므로 자연기반해법을 통한 물관리 또는 하천관리에 대해 쉽게 접근하는 것에 어려움이 있다. 따라서 본 연구는 자연기반해법을 통한 하천정비 효과를 정량적으로 확인하는 것을 목적으로 하였다. 자연기반해법 요소기술 중 범람원 굴착과 제방 후퇴하여 하천에 홍수 완충구역을 적용하고자 하였으며, 홍수 저감 효과를 정량적으로 확인하였다.

2. 자연기반해법의 홍수 저감 효과 분석 방법

2.1 대상지역

본 연구는 합천댐 직하류 하천인 황강을 대상지역으로 선정하였다. 댐 직하류 지역에 대해서는 댐운영 및 하천관리를 통해 기후변화로 인한 극한 기상에 대응해야 하며, 홍수

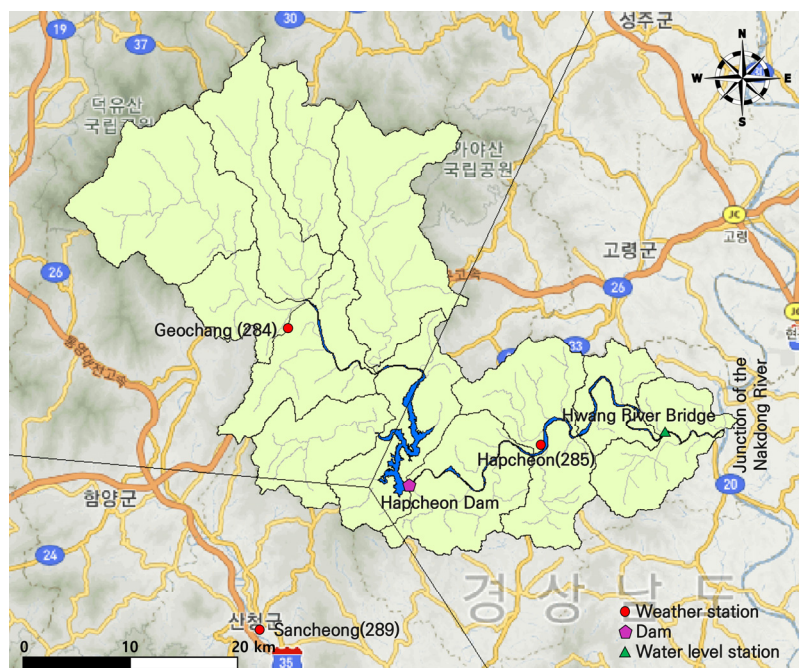


Fig. 1. Study Area : Hapcheon Dam and Hwang River

및 침수에 대응 및 대비해야 한다. 하지만 합천댐의 경우 2020년 54일(6월24일~8월16일) 동안 지속된 집중호우로 1,200ton과 2,700ton의 물을 두 차례에 걸쳐 방류하였으며, 급격한 과다 방류와 방류량 조절 실패로 인해 농경지, 축사, 주택 등 합천댐 하류에 홍수 및 침수피해가 가중되어 막대한 재해가 발생하였다.

황강 유역의 유역면적은 1,328.88km², 유로연장은 114.92 km로 경상남도 거창군 전체 및 합천군 일부 지역을 포함하고 있는 낙동강 제1지류이다. 유역 내 산림 지역은 약 936.86km²로 70.50%의 면적을 차지하고 있으며, 농경 지역은 약 287.92km²(21.67%)의 면적으로 대부분 산림 및 농경 지역으로 구성되어 있다. 황강 유역에 영향을 주는 중관기 상관측소(ASOS)는 거창(284), 산청(289), 합천(285)이 있으며, 수위 관측소는 낙동강 합류점으로부터 7.5km에 합천군(황강교)에 위치한다(Fig. 1).

2.2 자연기반해법을 통한 하천관리

2.2.1 자연기반해법의 개념

자연기반해법의 정의는 아직 국제사회에서 합의하지 않아 아직 마련되지 않았지만, 현재는 IUCN과 EU(European Union)가 제시한 개념이 중점으로 사용되고 있다. IUCN은 자연기반해법을 ‘사회적 문제를 효과적이고 해결하고 적응함과 동시에 인류복지와 자연을 함께 이롭게 하고 변형된 생태계를 보호하며 지속가능한 관리와 복원을 위한 방법’으로 정의하고 있다(Cohen-shacham, Walters, Maginnis & Janzen, 2016; 우효섭 & 한승완, 2020; 국립산림과학원, 2021). EU는 자연기반해법을 ‘자연에서 영감과 지원을 받고, 사회·환경적 및 경제적 이점을 제공하며 복원력을 구축하는데 비용적으로 효율적인 해법’으로 정의하고 있다(European Commission, 2022). 여기서 자연기반해법은 IUCN과 EU의 정의 모두 생태계 서비스를 이용하는 것은 같지만, IUCN은 인류복지와 생물다양성 편익에 대해 모두

편익을 제공하는 방향으로 초점이 있는 반면, EU는 인간사회의 혜택에 중점을 둔 것으로 보인다.

2.2.2 자연기반해법 요소 기술

자연기반해법은 생태계의 서비스를 이용하며 자연환경의 자정능력을 통해 사회적 도전과제를 해결하기 위한 것이라고 할 수 있다. 자연기반해법은 사회적·환경적 문제를 개선하기 위해 다양한 요소기술이 제시되고 있다. 세계 야생 생물 기금(World Wildlife Fund, WWF)의 Natural and Nature-Based Flood Management: A Green Guide는 홍수위험에 대한 하천관리 방법을 구조적(Structural) 방법 비구조적(Non-structural) 방법으로 나누어 제시하고 있다. 구조적 방법은 자연적 또는 시설에 대한 물리적인 변화로 공학적 방법(Hard)과 자연적(Soft) 방법을 포함하고 있으며, Soft 방법을 자연기반해법으로 볼 수 있다. 비구조적 방법은 법률, 규정, 사회제도 등과 같은 사회적 규범에 대한 내용을 위주로 구성하고 있다(WWF, 2016).

Room for the river는 네덜란드에서 시작된 개념으로 하천의 유출량을 증가시키고, 저류공간을 확보하게 하여 홍수 터를 조성하는 방법이다. 제방을 높이는 것으로 홍수 예방을 하는 것이 아니라 하천공간의 확장을 통하여 생태계의 가치를 증대시키며 정주환경을 개선하는 효과를 누릴 수 있다(이금진 and 최진희, 2018; Femke Schasfoort et al., 2013). 자연기반해법을 통한 하천정비 기술은 Table 1과 같으며, 본 연구에서 사용된 자연기반해법은 하상의 변화와 고도의 조정으로 HEC-GeoRAS 분석이 가능한 범람원 굴착(Floodplain excavation)과 제방 후퇴(Dyke relocation)를 선택하였다. 범람원 굴착은 범람원의 특정 부분의 하상을 제거함으로 수위가 높아 질 때 홍수완충의 공간을 만드는 것이며, 제방 후퇴는 강의 제방 구조물을 보다 멀리 이동시키므로 범람원의 면적이 넓어지고 더 많은 공간을 부여하는 것이다(UNESCO-IHE, 2013).

Table 1. River Management Techniques of Nature-based Solutions

	Natural and Nature-Based Flood Management : A Green Guide		Room for the river
①	Upper watershed restoration	⑫	Floodplain excavation
②	Soil conservation measures	⑬	Depoldering
③	Wetland restoration	⑭	Strengthening dykes
④	Swales and infiltration devices	⑮	Relocation of dykes
⑤	Rainwater harvesting	⑯	Riverbed excavation
⑥	Detention basins and retention ponds	⑰	Water storage
⑦	Natural drainage path restoration	⑱	High water channel
⑧	Riparian vegetation restoration	⑲	Lowering breakwater spurs
⑨	Removal of barriers	⑳	Removal of obstacles
⑩	Green roof/walls and blue roofs		-
⑪	Coastal and reef restoration		-

2.3 HEC-GeoRAS를 통한 자연기반해법 적용방법

자연기반해법을 적용하기 위해 HEC-GeoRAS의 preRAS 기능을 이용하며, HEC-RAS 모형의 지형 속성자료를 구축하였다. 먼저 수치지형도의 등고선과 계획평면도의 하천 횡단면 고도 정보를 통해 TIN(Triangulated Irregular Network)을 생성해야 한다. 이때 자연기반해법을 표현하기 위해서는 대상 지역의 하천제방 축점을 제거 또는 후퇴하고, 홍수터의 역할을 위해 고도 값을 감소시켜야 한다. 그 다음으로 하도중심선(Stream Centerline), 하천제방(Main Channel Banks)을 하천에 따라서 지정해주고, 유출경로(Flow Path)를 설정해주어 주수로 및 횡단면 간 거리 나타내 주었다. 마지막으로 하도 횡단면 절취선(Cross Section Cut Lines)을 통해 하천횡단면에 대한 좌표 및 고도 정보를 추출하면 HEC-RAS의 입력자료를 구축할 수 있다. 그 결과로 자연기반해법의 적용에 따라서 하천 하상의 변동이 있으며, 이에 따라서 하천 바닥의 고도 저하 또는 제방의 위치 변화와 같은 하천 단면에 변화가 존재하게 된다.

3. 자연기반해법을 통한 하천관리의 적용 및 결과

3.1 자연기반해법의 적용

본 연구는 자연기반해법을 적용하기 위한 위치의 지정은 낙동강유역환경청에서 선정한 홍수취약지구와 하천기본계획의 하천관리사업 계획지구를 대상으로 하천관리 방안 기술을 적용하였다. 그 결과 Fig. 2와 같이 8곳이 홍수취약지구로 도출되었으며, 하천관리 사업지구로 설정하여 분석을 진행하였다. 사업지구의 범위는 농지로 이루어져 있는 지역으로 토지 보상이 비교적 가능한 곳으로 설정하였다.

대상 지역에 Room for the river의 개념의 범람원 굴착(Floodplain excavation)과 제방후퇴(Dyke relocation)의

기술을 적용시켜 홍수터 및 범람원의 확장 및 조성하는 것을 목적으로 하였다. 위치에 따른 최대 제방 후퇴 길이와 최대 굴착 깊이, 대상 지역의 면적은 Table 2와 같다.

국토지리정보원에서 제공하는 1:5000 수치지형도의 등고선과, 하천기본계획(부산지방국토관리청, 2016)에서 사용된 계획평면도의 지형 및 하천횡단면 고도 정보를 사용하였다. 자연기반해법 적용 전의 하천단면을 구축하기 위해 TIN을 생성해주고, PreRAS 도구를 이용하여 횡단면에 대한 좌표 및 고도정보를 추출할 수 있었다. 또한 자연기반해법 적용 후의 하천단면을 구축하기 위해 수치지형도와 계획평면도의 고도 값을 파악하여 Table 2와 같이 하천의 제방을 제거 또는 후퇴하고, 홍수터의 역할을 할 수 있는 대상 사업지구의 고도 값을 감소시켜주었다. 다음으로 자연기반해법 HEC-GeoRAS의 PreRAS 기능을 사용하여 적용 후의 하천단면을 도출할 수 있었다. Fig. 3은 E와 F 구역에서 자연기반해법 적용 전과 후의 대표적인 횡단면을 보여주고 있으며, 제방 후퇴 및 범람원 굴착의 적용을 확인할 수 있다.

Table 2. The scale of the river management

	Zone	Elements of NbS		Area(ha)
		Max. levee setback length(m)	Max. excavation depth(m)	
1	A	643.15	1.9	103.25
2	B	221.82	4.5	11.43
3	C	250.46	3.5	44.79
4	D	109.94	3.5	21.11
5	E	552.23	2.0	104.42
6	F	371.43	3.5	73.49
7	G	413.34	3.8	48.93
8	H	570.50	4.0	65.01

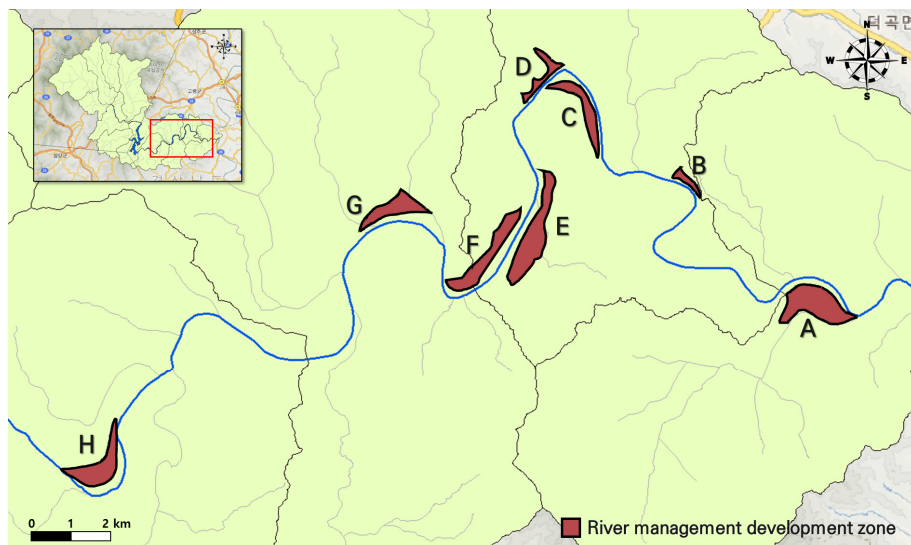


Fig. 2. River management development zone based on NbS

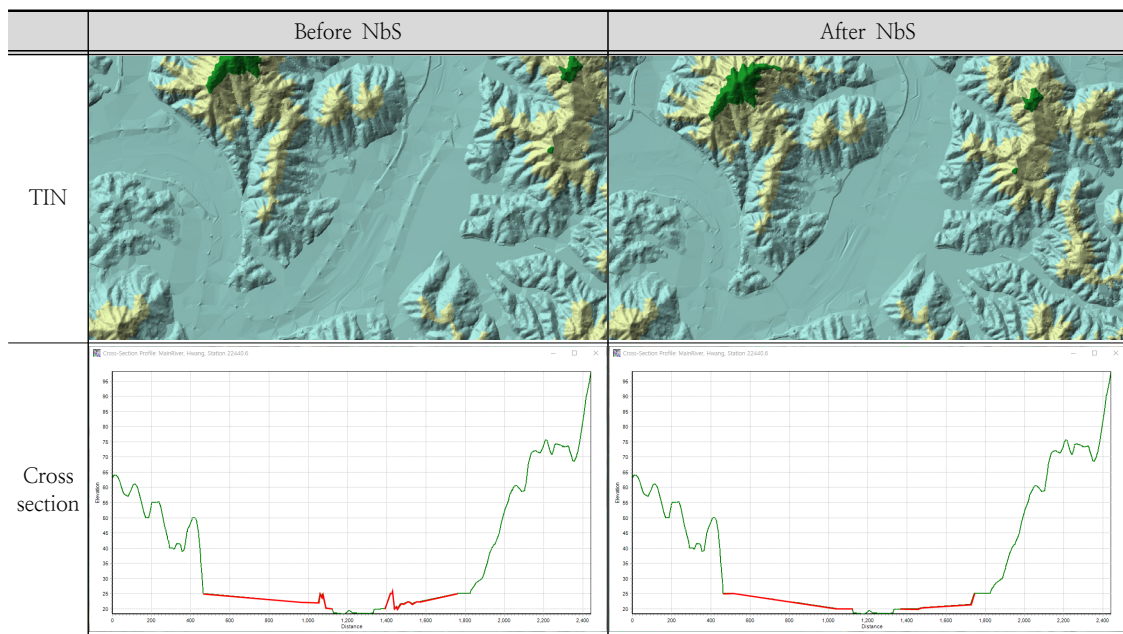


Fig. 3. Representative Cross section before and after application of NbS (E&F Zone)

Table 3. Runoff Simulation Results

Event	Observation		Simulation		Difference	
	Qp	tp	Qp	tp	Qp	tp
Aug. 2020	2587.2	75	2589.2	70	2	5
Oct. 2019	1015.5	57	1008.3	62	-7.2	5
Sep. 2012	1455.7	69	1462.4	76	6.7	7

Qp: Peak discharge(m^3/s), tp: Peak time(hr)

3.2 HEC-HMS를 통한 홍수량 산정

HEC-HMS 모형의 구축을 위하여 수문 GIS 자료 수집 및 분석이 수행되었으며, HEC-HMS 모형에 필요한 지형 자료 구축을 위해서 DEM을 이용하여 하천망, 흐름 방향 등의 수문학적 지형인자를 HEC-GeoHMS를 통해 구축하였으며, 황강하류권역 하천기본계획(부산지방국토관리청, 2016)을 참고하여 유역 및 하도 특성인자를 도출하였다. HEC-HMS를 통한 홍수량 산정 방법으로 손실(Loss method)은 SCS 방법, 변환(Transform method)은 Clark 단위도법, 기저유량(Baseflow method)은 Recession, 추적(Routing method)은 Muskingum 방법을 선택하였다.

각 호우 사상에 따른 합천군(황강교)의 유량을 HEC-HMS 모형에 적용하여 설계홍수량산정을 위한 매개변수를 검증하였다. 실제 유량과 HEC-HMS로 모의된 결과를 비교하여 첨두유량의 차이가 적은 특성인자를 확인하여 검증 및 보정해 주었다. 검증에 사용된 호우 사상과 유출모의 결과는 Table 3와 같다. 따라서 HEC-HMS 모형에 100년 빈도 확률강우량을 적용하면 $3533.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 의 첨두홍수량이 산정되었으며, 계획홍수량의 시계열 그래프는 Fig. 4이다.

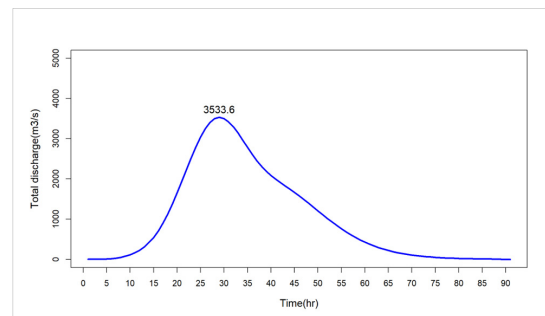


Fig. 4. 100yrs design flood graph of Hwang River basin

3.3 자연기반해법 적용 전·후 홍수위 산정을 통한 저감효과 분석

HEC-GeoRAS를 통해 구축한 자료와 HEC-HMS로 산정된 100년 빈도 계획홍수량을 HEC-RAS에 입력하였다. 이때 홍수위 산정을 위한 매개변수로 조도계수를 설정하였고, 황강하류권역 하천기본계획(부산지방국토관리청, 2016)에서 분석된 값을 참고하여 적용하였다. 이때, 자연기반해법을 적용한 구역은 습지, 탄소숲, 생태서식처 등 식생의 조성을 통해 생태적 연결성이 존재하도록 가정하였다. 따라서 식생이 조성됨에 따라 증가하는 흐름저항을 모의하기 위해 조도계수를 0.1로 상향 조정하였다. 범람원에서의 조도계수는 0.025에서 0.200까지 다양하게 적용이 되는데, 중간 정도의 밀도를 가지고 있는 덩굴 또는 관목이 존재할 경우 0.1의 조도계수를 사용한다(Hydrologic Engineering Center, 2016). 그리고 HEC-RAS를 모의하기 위한 경계조건은 부정류 조건으로, 시간에 따라 속도와 압력이 변하는 흐름으로 황강 상류에 설계홍수량을 입력하여 분석하였다.

자연기반해법으로 인한 홍수저감 효과를 분석하기 위해 자연기반해법을 적용한 구간과 적용하지 않은 구간을 나누

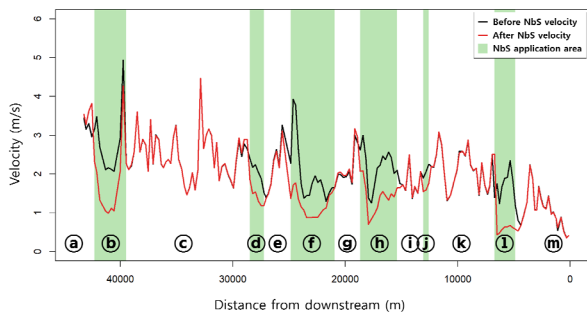


Fig. 5. Difference in flood levels before and after the application of NbS



Fig. 6. Difference in flood levels before and after the application of NbS

어 분석하였다. ㉔구간을 하강유역의 상류이고, ㉔구간을 낙동강 합류점과 가까운 하류로 나누어 홍수위의 증감량을 확인하였다. NbS를 적용한 구간에는 식생이 조성됨에 따라 증가하는 흐름저항으로 인해 수위가 상승하는 것으로 보였으며, 이는 홍수터 및 저류지로 구분이 되어 유속이 느려짐으로 저류효과를 볼 수 있었다(Fig. 5). NbS를 적용한 지역

Table 4. Maximum and difference results in flood levels by section (Unit : m)

Section	Maximum Water Level		Average Increase or Decrease in Water Level
	Before NbS	After NbS	
(a)	8.85	8.64	▼ -0.45
(b)	7.16	6.36	▼ -0.55
(c)	8.03	8.03	▼ -0.02
(d)	5.16	5.22	▲ 0.01
(e)	5.65	5.72	▲ 0.06
(f)	7.20	7.10	▼ -0.05
(g)	8.09	7.83	▼ -0.25
(h)	7.85	7.84	▼ -0.06
(i)	8.10	8.04	▼ -0.06
(j)	8.57	8.56	▲ 0.01
(k)	8.97	8.85	▼ -0.09
(㉑)	10.62	10.45	▼ -0.10
(㉔)	14.90	14.85	▼ -0.05

의 하류는 자연기반해법을 적용하기 이전과 비교했을 때 하강의 수위가 감소하는 현상이 보임을 알 수 있다. 자연기반해법을 통한 합천댐 하류의 홍수 저감효과 결과는 최대 1.08m이며, 전체 평균으로 12.3cm의 저감효과를 볼 수 있다(Fig. 6, Table 4). 또한 홍수의 위험이 큰 하류 부분(㉔, ㉑, ㉔)에 수위가 약 8cm 감소하여 적절한 자연기반해법을 적용하면 효과적으로 홍수위험을 저감할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구의 목적은 자연기반해법을 통한 하천관리의 홍수 저감 효과를 정량적으로 분석하는 것이며, 합천댐 직하류 하천인 황강을 대상으로 하였다. 우선, 자연기반해법을 구현하기 위해 HEC-GeoRAS를 활용하여 대상지역에 홍수터와 저류지를 모의 생성하였다. 그 다음으로, 100년 빈도의 24시간 확률강우량을 산정하고, 이를 기반으로 HEC-HMS 모형을 이용하여 설계홍수량을 계산하였다. 이어서, HEC-RAS를 활용하여 설계홍수위를 산정하고, 이를 통해 자연기반해법의 홍수저감 효과를 분석하였다.

결과적으로 자연기반해법을 적용한 단면은 저류의 효과를 나타내어 수위의 상승을 보였으며, 자연기반해법 적용 단면의 하류부는 수위의 하강 효과를 관찰할 수 있었다. 따라서, 자연기반해법의 적용으로 최대 1.08m의 수위 저감효과와 평균 12.3cm의 수위 저감효과가 나타났다.

본 연구의 결과는 하천관리사업의 추진에 있어서 기존의 관행적인 방식 대신 자연기반해법을 도입하는 근거로 활용될 수 있다는 가능성을 제시하고 있다. 또한 자연기반해법의 적용은 홍수뿐만 아니라 생태계의 연결성, 수질 등 생태적 환경 문제에 대한 해결책으로서도 기여할 것으로 기대할 수 있다. 이러한 결과들은 홍수 관리에 대한 새로운 전략과 방향성을 제시하며, 지속가능한 하천관리의 가능성을 강조할 수 있으며, 자연기반해법의 활용이 기후변화와 환경적 문제에 대한 효과적인 대응책으로서의 역할을 확장시킬 수 있다.

감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 "습지생태계 탄소흡수를 고려한 가치증진 기술개발"의 지원을 받아 연구되었습니다. (2022003630001)

References

- National Institute of Meteorological Sciences. (2018). 100 Years of Climate Change on the Korean Peninsula [Korean Literature].
- Lee, S. S. (2020). A Study of the Integrated Management of Flooding and Inundation According to the

- Unification of Water Management [Korean Literature]. Ministry of Environment. (2022). Korean River Catalog 2021. [Korean Literature].
- Woo, H. S. (2023). Natural, Nature-based Features (NNbF) – A Comparative Analysis with Nature-based Solutions (NbS) and Assessment of Its Applicability to Korea. *Ecology and Resilient Infrastructure*, 10(2), [Korean Literature].
- Woo, H. S. & Han, S. (2020). Typological System of Nature-based Solutions and Its Similar Concepts on Water Management. *Ecology and Resilient Infrastructure*, 7(1), 15–25. [Korean Literature].
- Cho, D. (2020). Ecological Perspective on Nature-Based Solutions: Current Status and Development Directions – Focused on Aquatic Ecosystem Ecological Restoration Projects. *Water and the Future: Journal of the Korean Water Resources Association*, 53(3), 27–34. [Korean Literature].
- Cohen-Shacham, E., Andrade, A., Dalton, J., Dudley, N., Jones, M., Kumar, C., Maginnis, S., Maynard, S., Nelson, C. R., Renaud, F. G., Welling, R., & Walters, G. (2019). Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions. *Environmental Science & Policy*, 98, 20–29.
- Faivre, N., Fritz, M., Freitas, T., Boissezon, B., & Vandewoestijne, S. (2017). Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. *Environmental Research*, 159, 509–518.
- Kim, T. H. & Tae, S. H. (2010). A Study on the Development of an Evaluation System of CO₂ Emission in the Production of Concrete. *Journal of the Korea Concrete Institute*, 22(6), 787–796. [Korean Literature].
- Korea Institute for Environmental Policy Evaluation. (2011). Developing Climate-Resilient Urban Renewal Strategies: Flood Mitigation Effects and Implementation Approaches of Green Infrastructure. [Korean Literature].
- Ji, U., Jang, E., Bae, I., Ahn, M., & Bae, J. (2022). A Study on the Site Selection Method for the Creation of a Flood Buffer Section Considering the Nature-based Solution – Case Study from Upstream of Daechong Dam to Downstream of Yongdam Dam. *Ecology and Resilient Infrastructure*, 8(3), 131–140.
- Keesstra, S., Nunes, J., Novara, A., Finger, D., Avelar, D., & Kalantari, Z. (2018). The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services. *Science of The Total Environment*, 610–611, 997–1009.
- Chausson, A., Turner, B., Seddon, D., Chabaneix, N., Girardin, C. A., Kapos, V., Key, I., Roe, D., Smith, A., Woroniecki, S., & Seddon, N. (2020). Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation. *Global Change Biology*, 26(11), 6134–6155.
- National Institute of Forest Science. (2021). Utilizing Nature-Based Solutions in the Forestry Sector for Climate Change Adaptation. [Korean Literature].
- European Commission & Directorate-General for Research and Innovation. (2022.). Retrieved from https://commission.europa.eu/research-and-innovation_en.
- WWF. (2016). Natural and Nature-Based Flood Management: A Green Guide.
- Lee, K. J., & Choi, J. H. (2018). A Planning Direction of Resilient Waterfront City considering Technological and Social Meaning. *Journal of the Society of Disaster Information*, 14(3), 352–359. [Korean Literature].
- Schasfoort, F., Janssen, S., Bos, M., & Francés, F. (2013). Room for the River. Deltafact.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Busan Regional Office of Land, Infrastructure and Transport. (2016). The Basic Plan of the River in the Downstream of the Hwang River. [Korean Literature].
- UNESCO-IHE. (2013). Tailor made collaboration—A clever combination of process and content. n.p.: UNESCO-IHE.
- Hydrologic Engineering Center. (2016). HEC-RAS Hydraulic Reference Manual. US Army Corps of Engineers