

자연성기반기술의 홍수완충구간 조성을 위한 입지 선정 방법에 관한 연구 – 대청댐 상류부터 용담댐 하류구간 사례 연구

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

지운^{1,2} · 장은경^{3*} · 배인혁⁴ · 안명희⁵ · 배준⁶

¹한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 연구위원, ²과학기술연합대학원대학교 건설환경공학 교수,

³한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 전임연구원, ⁴과학기술연합대학원대학교 건설환경공학 박사수료

⁵한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 신진연구원, ⁶(주)이산 수자원부 상무

Un Ji^{1,2}, Eun-kyung Jang^{3*}, Inhyeok Bae⁴, Myeonghui Ahn⁵ and Jun Bae⁶

¹Research Fellow, Department of Hydro Science and Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea

²Professor, Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology, Goyang 10223, Korea

³Research Specialist, Department of Hydro Science and Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea

⁴Ph.D Candidate, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology, Goyang 10223, Korea

⁵Budding Researcher, Department of Hydro Science and Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea

⁶Managing Director, Water Resources Department, Isan Corporation, Anyang 14066, Korea

Received 22 August 2022, revised 07 September 2022, accepted 13 September 2022, published online 30 September 2022

ABSTRACT: The magnitude and frequency of extreme floods are increasing owing to the effects of climate change. Therefore, multipurpose flood management techniques incorporating nature-based solutions have been introduced to mitigate the limitations of flood management and river design methods relying on existing observation data. Nature-based solutions to prepare for such extreme flooding events include ways to retreat the embankment, expand the floodplain, and reduce flood damage. To apply these technologies, adopting appropriate location selection methods based on various evaluation factors, such as flood damage reduction effects, sustainable ecological environments, river connectivity, and physical channel structure enhancements, should be prioritized. Therefore, in this study, the optimal location for implementing the multipurpose floodplain construction project was determined by selecting the location of the floodplain expansion with objectivity in the river waterfront area upstream of Daechong Dam to downstream of Yongdam Dam. Through the final location determination, the Dongdaeje and Jeogokje sections were included in the optimal location considering both flood damage reduction and water environment improvement.

KEYWORDS: Flood buffer zone, Flood management facility, Floodplain expansion, Nature-based solution, Waterfront area

*Corresponding author: jang@kict.re.kr, ORCID 0000-0002-4925-5018

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

요약: 기후변화의 영향으로 최근 하천에서 극한 홍수 발생 크기와 빈도가 증가하고 있으며, 따라서 기존의 관측 기록에 의존한 홍수관리 및 하천설계 방식의 한계를 개선하기 위해 자연성 기반의 기술을 접목한 다목적 홍수 관리 기법이 도입되는 추세이다. 이러한 극한 홍수에 대비하기 위한 자연성 기반 해법 중에는 제방을 후퇴하여 홍수터를 확장하고 극한 홍수 발생시에 홍수피해를 저감 시키는 방법이 있다. 이러한 기술을 적용하기 위해서는 홍수피해 저감 효과, 지속가능한 생태환경, 하천 연결성 및 하도의 물리적 구조 개선 등의 다양한 평가항목에 기초한 적합한 입지 선정 방법을 채택하는 것이 우선되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 대청댐 상류부터 용담댐 하류 지역내 하천 수변구역을 대상으로 객관성이 확보된 입지 선정 방법을 적용하여 다가능 홍수터 조성 사업을 위한 후보지의 적정성을 판단하였다. 최종 입지 선정 결과, 홍수피해 저감과 수환경 개선을 모두 고려한 최적의 입지 우선순위에 동대제 구간과 저곡제 구간이 포함되는 것으로 나타났다.

핵심어: 홍수터 확장, 자연성기반기술, 수변구역, 홍수관리시설, 홍수완충공간

1. 서 론

최근 기후변화의 영향으로 국지적 집중호우 및 이상 홍수 발생 등으로 인해 홍수 발생의 불확실성이 확대됨에 따라 과거 관측기록에 의존한 기존의 하천시설 설계 방식에 한계가 드러나고 있다. 또한 제방과 하도정비에 의한 기존의 홍수 방어 설계는 발생빈도가 비교적 적은 대규모의 홍수 시나리오를 대응하기에 부족한 실정이다. 따라서 2000년대 후반 들어 세계자연보전연맹과 세계은행을 중심으로 기후변화대처에 초점을 맞추어 하천, 해안, 저수지 등의 수환경 개선과 기후변화영향을 저감하고 적응하며 동시에 종다양성을 보호하고 지속가능한 삶을 지향하는 해법으로 자연기반해법(Nature-based Solutions NbS)이 제시되고 있다(World Bank 2008). 유럽(EC 2013)과 일본(MOE 2016)은 그린인프라 개념에 홍수와 지진해일 같은 자연재해위험 저감을 위해 전통적인 제방, 댐과 같은 그레이인프라 정책과 더불어 해안역 복원, 홍수터 연결, 습지복원, 농업지역 저수지 조성, 도시지역의 투수성 증대 등을 통해 자연의 흡수능력을 복원 증대하는 것까지 고려하고 있다(Ji et al. 2021). 이와 같이 좁은 의미의 그린인프라는 현재 우수 관리에 초점을 맞추고 있기 때문에 자연에 기반을 둔 하천의 하도나 홍수터 관리에 NbS 개념을 도입할 필요가 있으며, 자연생태계 기능을 사회환경문제 해결에 활용하기 위한 기존의 다양한 접근 방법들을 활용할 필요가 있다(Woo and Han 2020).

NbS에 기반을 둔 하도나 홍수터 관리 방법으로는 구 하도 홍수터나 하도를 복원하여 하천으로 편입하거나, 제방이 있는 경우 이를 뒤로 무르거나 철거하여 원래의 홍수터를 복원 또는 하천에 편입하는 방법 등이 가능하

다. 이러한 자연기반해법의 홍수터 확대를 통해 제방으로 구분된 홍수터와 하도의 연결성을 개선하면서 홍수 피해저감 효과를 동시에 달성하기 위해서는 보다 구체적인 기초조사를 통한 자연기반해법의 홍수터 복원 계획 및 설계가 제시되어야 한다. 이러한 하천사업의 최적입지 선정은 치수 효과 뿐만 아니라 생태계 가치 증대, 오염원 저감, 탄소흡수원 조성 등의 부가적인 목적 달성에도 기여할 수 있다. 4대강 수계관리위원회에서 수변구역의 매수토지 우선순위 산정시 수변구역의 본연의 기능인 수질개선과 생물종의 서식처 및 연결통로 기능의 효과적 실행을 고려하고 오염유입부하량이 높은 지역을 중심으로 수변생태벨트를 조성을 고려할 필요가 있듯이(Cho 2011, Shim et al. 2014) 자연기반해법의 제방후퇴를 통한 홍수완충구역을 조성하기 위해서는 홍수피해저감이라는 본연의 기능 외에 수환경 개선 효과를 평가할 수 있는 모든 평가항목을 정량적이고 구체적으로 고려하여 객관성이 확보된 NbS 기반의 홍수완충공간 조성을 위한 최적입지 선정 절차를 수립하는 것이 매우 중요하다.

그러나 현재까지 NbS 기반의 홍수관리시설 및 홍수완충공간 조성을 위한 대상 입지분석 평가 절차 및 효과 분석 방법은 제한적인 특정 사례연구를 통해 일부 제시된 바 있으나, 체계적이고 일반화된 검증 방법과 자료에 근거하여 보다 객관적이고 정량적인 평가 방법을 제시한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 대청호 상류부터 용담댐 하류 지역내 하천구역을 대상으로 NbS 기반의 홍수완충공간 조성을 위한 기초조사를 수행하고 홍수터 복원 사업을 위한 입지 선정 방법을 제시하여 대상구간 내 후보지 우선순위를 평가하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 대상구간의 개요

과거 자연적으로 형성된 금강 대청댐 상류 하천의 홍수터는 하천변 개발과 제방 축조 등으로 인해 홍수저류, 생태연결, 수질오염원 소산 기능을 상실하고 수량, 수질, 수생태적으로 위협을 받고 있다. 따라서 대청호 상류 지역내 하천구역 밖의 토지 매수를 통한 수변생태벨트 조성을 수행해 왔으나 파편화된 토지매수에 따른 산발적 조성으로 장기적인 효과를 기대해야 하는 실정이며, 수변생태벨트 조성사업에 대한 개선 방안 요구되고 있다 (KICT 2021). 또한 수변구역 등 토지매수사업으로 당초 제방건설의 목적인 보호대상 농경지가 사라지고, 계획규모를 초과하는 홍수가 발생하는 상황이 발생하고 있어 효과적인 대안 마련이 요구되고 있다. 따라서 본 연구의 대상구간을 대청댐 상류 금강유원지보에서 용담댐 하류(대청댐 담수 지역, 용담댐 직하류, 지류 구간 제외)까지로 설정하여 NbS를 고려한 홍수완충구간의 최적 입지를 평가하였다.

또한 대상구간의 사전 자료 및 문헌 조사를 통해 현장조사를 위한 홍수터 복원 대상 후보 구간의 범위를 모색하였다. 현장 조사를 통해 과거 침수피해 여부, 계획지 설정 여부, 국공유지 및 사유지의 비율과 특이사항 등을 고려하여 홍수터 확장 및 복원 가능 지점을 선별하고자 하였다. 이를 위해 해당 구간의 현장조사를 실시하여 금강수계 수변구역 매수지역 및 침수피해지역 및 홍수터 복원 후보지 현장 모니터링 자료를 수집하였다 (Fig. 1). 현장 조사를 통해 하천지형 및 토양 특성, 식생

사주 현황, 현장사진, 제방현황 등의 자료를 수집하였으며, 이를 홍수완충공간 예정지 선정에 활용하였다.

2.2 홍수완충공간 대상 예정지 선정 및 평가 방법

본 연구에서 제시하고 있는 금강 수환경 개선을 위한 친환경 홍수터 조성 및 홍수터-수변생태벨트 병행 조성·관리의 대상 후보지 선정 방법은 우선 평가항목 별로 절차와 방법을 체계화하였다. 최대한 정량적인 평가점수를 적용하거나 지표를 적용할 수 있도록 기존에 하천 복원 사업 및 홍수터 복원 사업을 위해 제시된 연구결과들을 모두 종합하였으며, 가용할 수 있는 평가항목을 단계적으로 적용함으로써 대상지 선정의 논리적 객관성을 확보하고자 하였다.

2.2.1 홍수피해 저감 및 치수 안정성을 고려한 평가
다기능 홍수터 및 홍수완충공간 조성을 위한 첫번째 평가에서는 홍수예방 및 치수 안정성을 평가할 수 있는 항목을 고려하고자 하였다. 아울러 단순 제방 위주사업에서 통합물관리 취지에 따른 새로운 하천사업 요구에 따라 금강 수변구역과 하천구역 연계 측면도 함께 고려하였다. 금강 수변구역은 금강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률에 따라 하천 경계로부터 500 m 이내를 의미한다. 금강의 지형적 특성 및 치수안정성 등을 고려한 홍수터 확장 대상지를 선정하기 위해 평가구간 내 치수능력이 확보되어 있고 공사 이력이 확보된 48개소를 대상으로 하였다.

금강 하천기본계획 재수립 (2022)의 내용을 참고하여 홍수 예방 및 치수 안정성을 고려한 4개 항목을 선정



Fig. 1. On-site investigation of the target sites for floodplain restoration of Geum River.

Table 1. Evaluation contents and scores considering flood protection and flood damage mitigation

Evaluation Contents	Evaluation standard and score				
	Construction required	Mitigation required	Partial mitigation required	High revetment/ low revetment	None
Levee construction requirement	30	30	15	6	0
Protected lowland status	Agricultural land (rice paddy)	Agricultural land (fields)	Adjacent house	Adjacent village	Others
	30	27	21	15	0
Levee height from the protected lowland level	Over 5 m	3 - 5 m	1 - 3 m	0 - 1 m	Excavated channel
	20	16	12	0	0
Availability of riverine space	300 - 500 m	200 - 300 m	100 - 200 m	50 - 100 m	Less 50 m
	20	16	12	8	0
Total score	100				

하여 1단계 평가를 수행하였다. 불완전제방은 치수 안전성 확보를 위하여 하천제방사업이 필요하므로, 다기능 홍수터 조성을 통하여 침수지구에 대한 근본적 해소가 가능하다. 또한 하천 사업의 중복투자 방지가 가능하므로 기성제의 능력이 30% 비율로 고려되었다. 대상지 현황은 대상지 선정에 가장 영향력 있는 인자로서 제내지의 이용 및 배후시설에 따라 사업 시행 가능성이 달라질 수 있고 홍수 범람에 따른 피해액을 감소시키는 효과가 있기 때문에 마찬가지로 30% 비율로 고려하였다. 또한 제내지 지반고와 제방고의 차가 클수록 홍수시 침투홍수량을 일시 저장하여 홍수피해를 저감시키는 기능을 하기 때문에 이를 20%의 비율로 고려하였다. 마지막으로 다기능 홍수터 조성의 목적 중 치수 기능 외에 환경 및 친수 기능을 확보하기 위하여 일정 규모 이상의 하천 공간이 필요하므로 500 m 이내를 차등하여 총점 20%를 반영하였다. 이를 종합한 최종 평가 항목 및 배점은 Table 1과 같다.

2.2.2 수환경 개선 기능을 고려한 평가

금강수계 수변구역 관리 기본계획 (2019 - 2023) 중 수변생태벨트 조성 시범지역 선정 연구에서는 수변생태벨트 조성 시범지역을 위해 생태적 기능, 수질개선 기능, 생태계 서비스 기능 등이 고려되었으며, 기매수 면적, 특정 오염원, 산림 연결성, 하천거리, 국공유지면적 등이 검토되어 시범지역으로 선정된 바 있다(KICT 2021). 따라서 본 연구의 수환경 개선을 고려한 평가를 위해 금강수계 수변구역 관리 기본계획의 선정 기준과 선정 결과를 참고하였다. 하천에 인접한 국공유지와 기매수토지를 최대로 활용하기 위해 두 항목을 50%로 배

Table 2. Evaluation contents and scores of fundamental planning for waterfront area management considering improvement of water environment (Ministry of Environment 2018)

Contents	Evaluation standards and scores		
Government-owned land	Over 30%		Under 30%
	20		10
Purchased land	Over 30%	Over 10%	Under 3%
	30	20	10
Specific pollutants	Existence		
	20		
Riparian waterfront area	Over 100,000 m ³	Less 100,000 m ³	
	10	5	
Distance from the channel	Less 25 m		Over 25 m
	10		5
Core ecosystem	Existence		
	10		
Total score	100		

점하였다. 또한 생태 및 수질개선 기능 등을 고려하기 위해 특정 오염원의 존재 여부와 면적규모, 하천과의 거리, 핵심 생태계 존재 여부가 고려되었다. 2단계 수환경 개선을 평가를 위해 고려된 항목은 Table 2와 같다.

2.2.3 하도 물리 구조 건강성 평가

물관리연구사업의 자연과 인간이 공존하는 생태하천 조성기술개발 연구단(이하 그린리버 연구단)이 하천공간 복원 기본계획 수립 기술 보고서(No. 1) (Kim 2019)에서 제시하고 있는 ‘하도 물리 구조 평가항목 및 기준’을 참고하여 하천평면, 하천횡단 및 종단, 하도 주변 항목에 의한 하도 물리 구조 건강성 평가 지표를

Table 3. Evaluation contents and scores considering health assessment of the physical structure of the river channel (Kim 2019)

Evaluation Part	Contents	Evaluation standards and scores				
Channel patter	Sinuosity	severe (>1.50)	moderate (1.25 - 1.50)	mild (1.05 - 1.25)	little (1.00 - 1.05)	straight (<1.00)
		5	4	3	2	1
Cross-section	Degree of artificialization of embankment materials	No levee	Earth-fill levee	Wood, natural rocks, or vegetation mat levees	Gabion levee	Concrete levee
		5	4	3	2	1
Longitudinal section	Hydraulic structures magnitude (a: overflow length, b: structure length)	No structure	a/b (>80%)	a/b (60 - 80%)	a/b (20 - 60%)	a/b (<20%)
		5	4	3	2	1
Degree of artificialization of dominant land use around the channel	Adjacent land use	5	4	3	2	1
	Farmland/orchards houses/facilities	≤10%	≤30%	≤50%	≤70%	>70%
	Marsh/meadow/ bare land	≥90%	<90%	<70%	<50%	<30%

Table 4. Grade classification by health assessment of the physical structure of the river channel (Kim 2019)

Grade	Index (Ip) range	Description
I	4.2 < Ip ≤ 5.0	Very good
II	3.4 < Ip ≤ 4.2	Good
III	2.6 < Ip ≤ 3.4	Moderate
IV	1.8 < Ip ≤ 2.6	Poor
V	1.0 < Ip ≤ 1.8	Very poor
Physical structure index	(channel pattern + longitudinal section + cross section + riparian section)/4	

Table 3과 같이 활용하였다. 하도 주변 지형 및 지세 평가를 위해 국토정보지리원에서 제공하는 2020년 토지 피복도를 활용하여 하도 주변의 토지이용 분석을 수행하였으며, 대상이 되는 지점의 분석 영역을 1.5 km×1.5 km로 제한하였다. 대상지점에 대해 Table 3에 의해 평가된 항목별 점수를 합산하여 Table 4에 의해 물리 구조 등급을 최종적으로 부여하였다.

2.2.4 정성적 평가 및 기타 고려사항

1단계에서 3단계 평가는 정량적 수치를 통해 배점 부여 및 총점의 합산이 가능하여 순위 산정에 명확한 지표들이 적용되었다. 그러나 수치화 될 수 없는 정성적인 고려사항과 전문가의 판단 및 지점별 특수성 등을 반영하기 위해 정량화 할 수 없는 설계자 혹은 사용자의 주관적이고 정성적인 의견을 반영하여 마지막 4단계에서

최종 대상지 선정에 이러한 항목들을 참고하고자 하였다. 본 절에서 제시되는 의견 및 정성적인 평가 요소가 앞의 정량적인 판단기준에 비해 절대적이거나 큰 비중을 차지할 수는 없으나 수치화 될 수 없거나 정량적인 판단 기준에 의해 무시할 수 없는 요소들을 고려하기 위해 반드시 필요한 절차라고 판단하였다.

3. 평가 결과 및 예정지 선정

3.1 각 단계별 홍수완충공간 대상 예정지 평가

본 장에서는 2장의 평가 방법에 의한 평가 결과 및 예정지를 선정하였다. 2장 각 절의 내용 중 정량적인 배점에 의해 제시되는 결과는 변별력에 의해 순위를 결정하기 위함으로 지표별로 부여된 점수는 별다른 물리적인 의미를 내포하지 않음에 유의하여야 한다. 최종 선정 단계에서는 각 단계별 배점 합산에 의해 결정된 순위만으로 대상 예정지를 선정하였다.

먼저 1단계 평가에서 4개의 평가 지표를 활용하여 금강 대상구간의 48개 지점에 대해 홍수예방 및 치수 안정성을 고려한 후보 대상 예정지를 평가한 결과, 총 10개 지점에 대해 추천이 가능한 것으로 나타났다. 가장 높은 평가점수는 동대제 구간의 97점이었었다. 이어서 초강제와 원당제가 93점으로 후순위로 평가되었으며, 원동제, 고당제, 천내제, 봉황제, 저곡제, 대산제, 적벽제

가 그 뒤를 이었다.

2단계 평가에 의한 대상 예정지 선정 결과, 장동리 구간이 총점 90점 이상으로 가장 높은 배점으로 추천되었으며, 지탄리, 원동리, 어재리 등이 70점 이상으로 나타났다. 이러한 수환경 개선 기능을 극대화하기 위한 입지는 산재된 토지매수지역보다 집중된 매수토지가 확보된 구역이 유리하며, 특히 수질개선 효과를 기대할 수 있으며 수변생태벨트 조성으로 매수토지의 연결성이 강화될 것으로 기대된다. 또한 주변 지형 및 토지이용 형태를 고려한 조성계획으로 생물 다양성 증진 효과도 기대할 수 있다.

3단계 하도 물리 구조 건강성 평가는 1단계 평가에서 선정된 원동제, 동대제, 고당제, 초강제, 원당제, 천내제, 봉황제, 저곡제, 대산제, 적벽제 구간을 대상으로 수행되었다. 원동제는 우안의 지탄제 구간을 포함하고 초강제는 북쪽 방향으로 심천1제 구간을 포함하였으며, 합류를 이루는 천내제와, 봉황제, 저곡제, 대산제 구간을 한 구간으로 병합하여 분석하였다. 또한 2단계 분석을 통해 선정된 지탄리, 원동리, 장동리, 어재리 인근 중 1단계 평가 결과와 중복되어 선정되지 않은 어재리 인근 어재 1제, 어재 2제 무제부 구간을 추가하였다.

1단계와 2단계에서 선정 결과를 고려하여 선택된 총 8개 구간의 3단계 평가 대상지점은 물리 구조 평가항목에 의해 물리 구조적으로는 아주 건강한 상태의 I 등급은 아닌 것으로 평가되었으나 지점별로 악화하지 않은 중간 상태를 의미하는 III 등급과 물리 구조적으로 건강한 II 등급이 포함되어 있었다. 다만 하도 물리 구조 건강성 분석에는 지점별 대상 구간 면적을 어느 정도 포함하는지에 따라 값이 상이하게 도출될 가능성이 있으며, 제방 조건이나 횡단 구조물 조건은 전구간 동일한 조건으로 가정했다는 점에 유의하여야 한다. 또한 하천횡단 평가의 제방은 전구간 콘크리트 제방으로 가정하였으며, 하천종단 평가의 횡단 구조물은 구조물이 없는 경우로 가정하였다. 하도 주변의 토지이용 인공화를 분석함에 있어서도 대상이 되는 지점별 구간을 1.5 km×1.5 km로 제한하였고 이에 따라 분석 면적의 변경에 따라 결과가 다르게 도출될 수 있다. 8개 대상구간은 3단계 하도 물리 구조 건강성 평가 결과, 원동제, 초강제 구간은 중간상태의 등급으로, 고당제, 어제부 인근, 적벽제 구간은 건강한 상태인 것으로 평가되었다.

4단계 평가는 1단계 다기능 홍수터 조성 사업 대상지



Fig. 2. The final section for the restoration of multifunctional floodplain in the Geum River watershed.

평가에 의한 48개 지점 7개 구간과 2단계 수환경 개선을 위한 홍수터 복원 대상지 평가 결과를 포함하여 Fig. 2와 같이 총 8개 구간을 대상(3단계 평가 대상지와 동일)으로 하였다. 4단계 평가를 위해 먼저 사업의 실현 가능성 및 경제성 제고를 위한 대상구간 내 매수토지 및 수변구역 확보 비율을 가장 평가하는 방법이 반영되었다. 아울러 지방도로가 대상구간에 위치하거나 주요 하천시설물인 제방이나 사면 도로가 지방도로 등으로 사용되고 있는 경우 혹은 대상구간 내 하천시설물이 존치하여 제방 이설에 따른 사업비용이 높게 산정될 수 있다는 점을 고려하였다. 또한 배후 산지 또는 배후 습지와 연계성을 반영하여 홍수터 복원 대상구간과 주변 생태계와의 물리적 연계성을 정성적으로 고려하였으며, 제내지 주요 인프라 및 인접 마을의 표고와 경관 등을 포함한 분포를 반영하기 위해 주요 인프라의 이동 가능성 및 인접 마을과 제방 거리 등을 참고하였다. 지형적 영향은 유역면적이 크거나 수위 상승이 예상되는 지점을 판단하기 위해 합류지점과 만곡 여부를 판단함으로써 고려되었다. 마지막으로 상습적인 홍수 피해 지역을 고려하고자 2020년 홍수피해 침수지역인 충남 금산군 제원면 제원리, 대산리 일원과 수해 피해 지역 충북 영

동군 양강면 목정리 496-2, 충북 영동군 양산면 송호리 278 구간에 위치한 후보지를 우선적으로 고려하였다.

3.2 금강 유역의 다기능 홍수터 복원 최종 대상 후보지 선정

본 연구에서는 금강유원지보 상류부터 용담댐 하류까지의 금강 하도 및 수변구역 내 다기능 홍수터 및 홍수완충공간 조성을 위한 홍수터 복원구간 대상지 선정을 위해 1단계부터 4단계에 평가 방법을 수립하고 대상 구간에 대해 평가를 수행하였다. 본 논문에서는 1단계에서 4단계 분석을 통해 평가된 결과를 종합하여 Table 5와 같이 정리하였다. 최종 대상 후보지 선정을 위해 각 단계별 평가 결과가 동일한 가중치로 고려되었다.

Table 5의 각 후보지는 다기능 홍수터 확대 또는 홍수완충공간 조성 사업의 목적과 기대 효과를 어떻게 설정하는지에 따라 사업 대상지의 우선순위가 달라질 수 있다. 또한 사회적 합의와 주민 의견을 최종적으로 고려하는 과정에서, 그리고 사유지의 매입과 경제적 효과성을 구체적으로 평가하는 과정에서 우선순위가 다르

게 평가될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 최종 후보지 선정을 우선 1단계와 2단계에서 가장 높은 배점을 받은 동대제를 우선 선정하였으며, 비록 차상위권의 순위로 선정되었지만 합류부 및 만곡부 구간 중에 침수 피해가 발생한 저곡제 구간으로 한정하여 해당 후보지에 대한 입지선정 평가 분석을 다음과 같이 보다 구체적으로 제시하였다.

3.2.1 동대제 후보 예정지 (B)

동대제 구간은 수변생태벨트 조성 시범지역이자, 대규모 매수토지 비율이 높은 지역이면서, 배후산지와 생태 연계성이 우수하고, 현재 제방고를 기준으로 동일한 표고까지 홍수터를 확대했을 때 주변 인프라나 인접 마을이 위치하지 않아 사업 수행의 용이성 및 경제성이 높고 상당한 홍수터 저류 면적을 확보할 수 있을 것으로 평가되는 구간이다. 현재 진행 중인 보축이 필요한 하천사업 (금강 하천기본계획 재수립 2022년)과 연계하여 하천구역의 조정과 제방선의 재설정 등을 통해 단기적인 사업 실행이 가능할 것으로 판단된다. Fig. 3 (a)의

Table 5. Results of final target site selection for multifunctional floodplain restoration in the Geum River basin

Location	Name of levees	Tier 1 rank	Tier 2 rank	Tier 3 evaluation	Tier 4 evaluation
(A) Jitan-ri, Iwon-myeon, Okcheon-gun, Chungcheongbuk-do, Republic of Korea	Wondong-je (Left) /Jitan-je (Right)	④	②	moderate	-
(B) Jangdong-ri, Simcheon-myeon, Yeongdong-gun, Chungcheongbuk-do, Republic of Korea	Dongdae-je	①	①	good	Large portion of purchased land, excellent ecological connection with the hinterland
(C) Gutan-ri, Simcheon-myeon, Yeongdong-gun, Chungcheongbuk-do, Republic of Korea	Godang-je	④	-	good	Meandering section
(D) Chogang-ri, Simcheon-myeon, Yeongdong-gun, Chungcheongbuk-do, Republic of Korea	Simcheonil-je (North) /Chogang-je (South)	②	-	moderate	Confluence + low land
(E) Bonggok-ri, Yangsan-myeon, Yeongdong-gun, Chungcheongbuk-do, Republic of Korea	Wondang-je	②	-	good	Flood damage area
(F) Jeogok-ri, Jewon-myeon, Geumsan-gun, Chungcheongnam-do, Republic of Korea	Cheonnae-je (east) /Bonghwang-je (west) /Jeogok-je (south) /Daesan-je (North)	④	-	good	Confluence + low land, flooding area
(G) Eojae-ri, Buri-myeon, Geumsan-gun, Chungcheongnam-do, Republic of Korea	Eojae1-je /Eojae2-je /None	-	③	good	Meandering section
(H) Sutong-ri, Buri-myeon, Geumsan-gun, Chungcheongnam-do, Republic of Korea	Jeokbyeok-je	⑦	-	good	Meandering section + low land



Fig. 3. Dongdae-je section: (a) riparian waterfront area and (b) government-owned area and elevation from DEM.

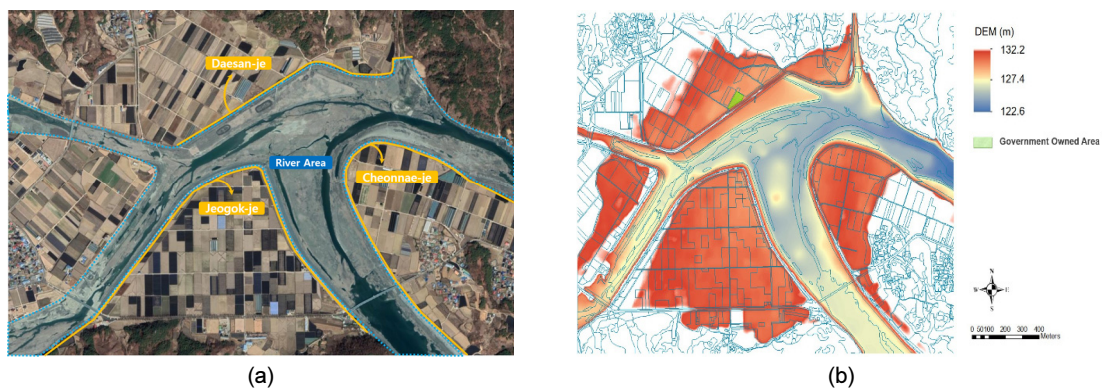


Fig. 4. Dongdae-je section: (a) riparian waterfront area and (b) government-owned area and elevation from DEM.

수변구역 내 대규모 매수토지는 국공유지비율이 65.4% 이상 (2018년 제3차 금강수계 수변구역 관리 기본계획 (2019년-2023년) 기준, 이후 2022년까지 매수토지 비율 증가)이다 (GRWMC 2018). 특용작물 또한 2.3% 비율로 분포되어 있다. 본류 하도 하상고와 홍수터 표고는 약 5 - 6 m 표고차가 있으며 (Fig. 3 (b)), 따라서 제방 후퇴 및 이설시 저류 효과 및 수생태 수변구역 조성 효과가 클 것으로 예상된다.

3.2.2 저곡제 후보 예정지 (F)

저곡제 구간은 봉황천, 조정천, 신안천, 기사천, 금산천이 금강과 만나는 복잡한 합류부 구간으로 저지대 구간이면서 특히 2020년 홍수피해 지역이다. 수변생태벨트 조성을 위한 매수토지 비율 (2020년 기준)은 미비하나 중장기적으로 수변생태벨트 조성을 위한 매수토지 비율을 높여 저곡제가 위치한 제내지를 홍수터로 확장함으로써 홍수피해 저감 및 합류부의 치수 안정성 제고, 지형학적 변동성 완화, 생태 수변공간 확대, 수질개선

등의 효과를 누릴 수 있을 것으로 판단된다. 또한 보축이 필요한 하천사업과 연계하여 하천구역의 조정과 제방선의 재설정 등을 통해 장기적인 사업 실행이 가능할 것으로 판단된다.

대산제 북쪽 약 3,654 m²의 매수토지가 있으나 (Fig. 4 (a)) 전체 대상 구간에 비해 매우 낮은 비율이며, 현재 제방 보강 혹은 다기능 홍수터 조성이 고려되고 있는 저곡제 포평뜰에는 매수토지가 없다는 점에 유의할 필요가 있다. 현재 본류 하도 하상고는 합류 직전 단면 기준으로 제방과 5 - 6 m 표고차가 있으며 (Fig. 4 (b)), 따라서 제방 후퇴 및 이설시 동대제 구간과 마찬가지로 홍수피해 저감 및 저류 효과, 수생태 수변구역 조성 효과가 클 것으로 예상되는 구간이다.

4. 고찰 및 결론

본 연구에서는 NbS 기반의 홍수관리시설 및 홍수완충공간 조성을 위한 최적의 대상 입지선정을 위해 가용

할 수 있는 모든 평가항목과 지표를 종합하고 이에 대한 방법과 절차를 제시하였다. 또한 대상지 우선순위 결정 및 대상지 후보 선정의 논리적이고 객관적인 정보를 금강의 사례 연구를 통해 도출하였다.

먼저 NBS 기반의 홍수관리시설 및 홍수완충공간 조성 대상지 선정에 위해 침수피해 여부, 지반고 특성, 매수지역 비율, 생태 연결성 등을 종합적으로 분석하였으며, 현장 모니터링을 통해 다기능 홍수터 조성을 위해 고려할 수 있는 제방 후퇴 구간에 대한 분석을 수행하고 대상지 평가 기준에 이를 활용하였다. 1단계 평가에서는 홍수예방 및 치수 안정성을 고려하였으며, 단편적 목적이 아닌 치수, 환경, 친수 등 다목적 역할이 가능한 하천공간 조성 평가에 중점을 두었다. 이에 따라 기성 제 능력, 대상지 현황, 홍수터 규모, 범위 등의 평가 기준에 의해 장동리 동대제 구간이 최우선 순위로 추천되었다. 수환경 개선 효과를 고려하기 위한 2단계 평가에서는 생태적 기능, 수질개선 기능, 생태계 서비스 기능 등을 고려하였으며, 평가 결과 장동리 구간이 가장 높은 배점을 받았다. 3단계에서는 하도 물리 구조 건강성을 평가하였으며, 하천 형상, 하도 주변 인공화 현황 등을 고려하여 하도의 물리적 건강성을 평가하였다. 마지막으로 정량화할 수 없는 평가 기준을 고려한 4단계 평가에서는 매수토지 현황, 지형적 영향, 과거의 홍수 피해 정도 등을 반영하였다. 4단계까지의 평가에는 최종적으로 8개의 후보지가 선정되었으며, 사례 연구에서는 1단계와 2단계에서 가장 높은 배점을 받은 동대제와 합류부 및 만곡부 구간 중 침수피해가 발생한 저곡제 구간을 최종 후보지로 선정한 후 구체적인 추가 분석을 수행하였다.

두 대상 후보지는 다양한 사업 목적에 맞게 제방후퇴에 따른 홍수터 확장 구간에 NBS에 기초한 식생조성 방안이 추가로 제시될 수 있다. 대상 구간의 홍수터 확장을 통해 새롭게 확보되는 공간을 적정 수변식생 및 강변 식생으로 조성할 경우 기존의 비점오염원 발생원을 제거하는 효과뿐만 아니라 향후 유역에서 유입되는 비점오염물질의 제어 효과도 누릴 수 있으며, 탄소흡수원의 새로운 조성 또한 가능할 것으로 판단된다. 장동리와 저곡리에 계획되는 홍수터 확장 계획 모두 침수피해 지역을 제거하고 홍수 발생시 통수면적이 증가하는 것이기 때문에 직접적인 치수 대책으로 간주할 수 있다. 따라서 현재 하도 내에 분포하는 식생의 종과 밀도를 고려하여 사업초기에는 홍수터 식생을 수변식생과 강변식

생 위주로 일부 조성하고 나머지 구간은 자연적인 발아에 의해 식생이 조성되는 것으로 계획하는 것이 생태식처 조성 및 하도구간과 수변구간의 연결성을 높이는 방안이 될 수 있다. 본 연구에서 제안하는 대상지 평가에는 다양한 정책 연관성 및 주민의견 등을 반영하는 부분이 배제되어 있어 향후 실제 사업 추진을 위한 의사결정에는 본 기초조사에서 다루지 못한 사항들이 최종 반영될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 금강수계관리위원회의 2021년 금강수계 환경기초조사사업인 『대청댐 수환경 개선을 위한 홍수터 기초조사 연구』에서 수행된 내용과 자료를 기반으로 작성되었으며, 본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 기후변화대응환경기술개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다 (2022003460002).

References

- Cho, D.G. 2011. Ecological restoration planning and designing. NEXUS Environmental design centre, Seoul. (in Korean)
- European Commission. (EC) 2013. Building a green infrastructure for Europe. European Union, Luxembourg.
- Geum River Watershed Management Committee. 2018. The 3rd Basic Planning for Geum River Watershed Riparian Waterfront Area Management. Geum River Watershed Management Committee p.82. (in Korean)
- Ji, U, Jang, E-, Ahn, M., and Bae, I. 2021. Valuation of Flow Resistance Coefficient based on Physical Properties of Vegetation in Floodplains and Numerical Simulation of the Changes in Flow Characteristics. Ecology and Resilient Infrastructure 8(4): 212-222. (in Korean)
- Kim, G.-H. 2019. Technical Report for Establishing a Basic Plan for Restoration of River Space. River Restoration Program towards Coexistence between Nature and Human (Green River Research Center), No. 1, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Water Management Research and Development Project: 12 Technology Innovation C02, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement p.255. (in Korean)
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology. (KICT) 2021. Fundamental Investigation Study on Floodplains to Improve Water Environment of Daecheong Dam - Establishment of the floodplain restoration plans of nature-based solutions linking the Geum

- River's riparian section and stream channel. Final Report for 2021 Geum River Watershed Environmental Basic Investigation Project. Geum River Watershed Management Committee, Daejeon. (in Korean)
- Ministry of Environment (ME). 2018. Basic plan for management of the waterfront area in Geumgang watershed : 2019-2023, Ministry of Environment, Sejong-si.
- Ministry of the Environment (MOE) (Government of Japan). 2016. Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction in Japan: A Handbook for Practitioners. Nature Conservation Bureau, Ministry of the Environment, Tokyo.
- Shim, Y.-., Cha, J.-., Park, Y.-., Lee, D.-., Seo, Y.-H., Hong, J.-P., and Cho, D.-G. 2014. A Study on the Land Purchase Priority Measurement of the Riparian Areas in Yeongsan and Seomjin River Basin. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 17(1): 173-184. (in Korean)
- Woo, H. and Han, S.-W. 2020. Typological System of Nature-based Solutions and Its Similar Concepts on Water Management. *Ecology and Resilient Infrastructure* 7(1): 15-25. (in Korean)
- World Bank. 2008. Biodiversity, Climate Change, and Adaptation: Nature-based Solutions from the World Bank Portfolio. World Bank, Washington, DC.