

국내 하천에 적용된 자연기반해법의 사례와 유형별 특징*

고다해** · 최광희*** · 신영규****

Cases of Nature-based Solutions Applied to Rivers in Korea and their Typological Characteristics*

Da Hae Go** · Kwang Hee Choi*** · Yeongkyu Shin****

요약 : 산업화와 도시화에 따른 그레이 인프라 기반의 하천 관리는 단기적으로는 효과적이지만, 하천 고유의 생태·지형적 기능을 약화시키는 한계를 드러내고 있다. 기후위기 시대에서 자연기반해법(Nature-based Solutions, NbS)은 하천 관리의 대안으로 대두되고 있으나, 실제 적용 사례와 그 효과에 대한 연구는 부족하다. 본 연구는 국내 하천에 적용된 하천 정비 현황을 조사하고, 자연기반해법 사례를 유형화하여 그 특징을 분석하였다. 적용된 자연기반해법은 횡단구조물 제거, 저류지 조성, 습지 조성, 제방 이설, 하도 내 식생 제거, 하도 습지 복원 및 조성, 둔치 제거 및 준설, 자연 제방 보전 등으로, 총 27건의 사례가 확인되었다. 하천 공간 단위별로 유형을 구분하여 분석한 결과, 하천 내부에 대한 관리는 비교적 활발하게 이루어졌으나, 하천 외부나 제방에 대한 개선은 상대적으로 부진한 것으로 나타났다. 제방 및 제내지의 변경은 이해관계가 복잡하고 비용이 많이 소요되지만, 하천의 회복력을 증진시킨다는 점에서 보다 긍정적으로 평가된다. 향후 지속가능한 하천 관리를 위해서는 자연기반해법의 효과를 실증적으로 검증할 필요가 있으며, 장기적인 관점에서 회복탄력성을 높이는 정책 마련이 요구된다.

주요어 : 하천 관리, 회복탄력성, 자연기반해법, 지속가능성, 그린인프라

Abstract : River management based on gray infrastructure under industrialization and urbanization has been effective in the short term but has revealed clear limitations by weakening the intrinsic ecological and geomorphological functions of rivers. In the era of climate crisis, nature-based solutions (NbS) are emerging as an alternative approach to river management; however, research on their real-world applications and effectiveness remains limited. This study investigates the current status of river management practices in South Korea, classifies the cases that correspond to NbS, and analyzes their characteristics. The identified NbS include removal of cross-river structures, construction of detention reservoirs, wetland creation, levee setback, removal of in-channel vegetation, restoration and creation of in-channel wetlands, removal and dredging of floodplains, and maintenance of natural levees, totaling 27 cases. An analysis by river space units shows that management interventions within the river corridor have been relatively active, whereas improvements outside the channel or along levees have been comparatively limited. Although modifications to levees and the floodplains involve complex stakeholder interests and high costs, they are evaluated more positively because they can enhance river resilience. For sustainable river management in the future, it is necessary to empirically verify the effectiveness of NbS and develop policies that strengthen resilience over the long term.

Key Words : River management, Resilience, Nature-based Solutions, Sustainability, Green Infra

*본 논문은 기획재정부의 재원으로 국립환경과학원의 “자연기반해법을 활용한 자연재해 대응방안 연구(I)”(NIER-2023-03-03-001)의 지원을 받아 수행하였음.

**가톨릭관동대학교 지속가능환경학과, 박사과정생(Ph.D student, Department of Sustainable Environment, Catholic Kwandong University, ekgo3232@cku.ac.kr)

***가톨릭관동대학교 지리교육과, 부교수(Associate Professor, Department of Geography Education, Catholic Kwandong University, geoist@cku.ac.kr)

****국립환경과학원 연구관(Senior Researcher, National Institute of Environment Research, shingeo@korea.kr)

I. 서론

하천은 산과 바다를 연결하는 자연의 순환 통로로서, 인류와 자연을 포함한 다양한 생명체에게 식수원, 이동 경로, 그리고 삶의 터전을 제공한다(Bridges *et al.*, 2021). 그러나 산업화와 도시화가 본격화되면서 인간의 자연 개입이 심화되었고, 그에 따라 하천의 지속가능성이 점차 저하되었다(Hooke, 2000). 특히 홍수 방지와 수자원 확보를 위한 대응 수단으로 인공 제방, 댐, 보 등 회색 인프라(Gray Infrastructure)가 일반적으로 활용되면서 하천은 고경화되었으며, 하천의 역동성은 상실되었다.

기존의 전통적인 하천 정비 방식은 단기적으로 치수와 저수 기능을 수행하고 물리적 제어 능력을 향상시켰으나, 하천의 자생 능력을 제한하여 자연 순환을 저해하는 결과를 초래했다. 예를 들어, 상류 지역에 설치된 대형 댐은 퇴적물의 하류 이동을 차단하여 해안 침식을 초래하고(Ishikawa *et al.*, 2013), 식생 피복 변화는 하상의 침식 및 퇴적 작용을 가속화하는 등 지형학적 변화를 유발한다(최성욱 등, 2004). 또한 수문학적 특성, 토지 이용, 수질, 유수량 등의 급격한 변화를 일으킨다(이찬주 등, 2013; Ourloglou *et al.*, 2020).

최근 기후변화로 인한 강수 패턴 변화와 급속한 도시화로 인해 전 세계 홍수 위험은 2050년까지 현재 대비 3배 이상 증가할 것으로 전망된다(WMO, 2024). 국제사회는 이러한 문제에 대응하여 지속가능한 발전을 위한 정책 프레임워크로 지속가능발전목표(Sustainable Development Goals, SDGs)를 수립하였다. 2015년 유엔 총회에서 채택된 SDGs는 2030년까지 달성해야 할 17개 목표와 169개 세부 목표로 구성되어 있으며, 환경·사회·경제의 균형 있는 발전을 위한 통합 전략을 제시한다. 이 중 ‘깨끗한 물과 위생(SDG 6)’, ‘기후변화 대응(SDG 13)’, ‘육상 생태계 보호(SDG 15)’ 등은 생태계 보전 및 자원 관리의 중요성을 강조한다. 또한 인간 활동으로 인한 환경 영향을 최소화하고 생태계의 회복력과 지속가능성을 확보하는 정책 전환을 요구한다(European Commission, 2015). 이러한 상황에서 하천과 같은 자연 생태계는 단기적 재해 대응보다는 장기적 회복력과 순환성 확보가 중요하며, 이는 단순한 물리적 정비를 넘어 생태계 기반의 통합 관리 방안이 필요함을 의미한다.

자연기반해법(Nature-based Solutions, Nbs)은 하천의 자연적 흐름을 존중하고 범람원 등 하천 고유의 공간을

복원함으로써(Binder, 2008; Rijke *et al.*, 2012), 자연의 자율적 조절 기능을 회복하는 데 중점을 둔다(Eggermont *et al.*, 2015; 우효섭·한승완, 2020; 우효섭, 2023). 기존 하천 공법이 인공 구조물을 기반으로 한 일시적 홍수 방어에 초점을 맞췄다면, 자연기반해법은 생태계 서비스의 유지와 복원을 통해 장기적이고 복합적인 편익을 제공한다. 따라서 하천 관리에서의 자연기반해법은 단순한 인프라 대체가 아니라 자연과 인간의 지속가능한 공존을 가능하게 하는 전략적 전환점으로 평가되며, 그 중요성이 지속적으로 부각되고 있다(Dunlop *et al.*, 2024; Zhou *et al.*, 2024).

국내 하천의 지속가능한 관리를 실현하기 위해서는 인공 구조물 중심의 전통적 하천 정비 방식에서 벗어나 생태적 건강성과 자연 회복탄력성을 담보하는 자연기반해법의 도입이 요구된다. 국내에서는 그간 ‘자연형 하천 기술’을 비롯하여 친환경을 표방한 다양한 방식의 복원 혹은 정비사업이 수행되어 왔다. 하지만 이러한 복원공사를 모두 자연기반해법으로 보기는 어렵다. 또한, 이러한 사업들이 언제, 어떠한 방식으로, 혹은 어느 곳에 적용되었는지에 관해 일목요연하게 정리된 자료는 찾아보기 어렵다.

본 연구는 지속가능한 하천관리를 위하여, 국내에 적용된 자연기반해법의 사례와 유형별 특성을 제시하고자 하였다. 이를 위하여, 최근 수십 년 동안 우리나라에서 수행된 주요 하천 복원 및 정비 사례를 조사하고 자연기반해법의 관점에서 그 내용을 분석하였다. 먼저, 문헌 및 신문 기사를 참조하여, 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강 등 대권역 하천을 대상으로 수행된 주요 하천 정비 사업들을 조사하였다. 이후, 위성영상 및 항공사진을 통해 실제 적용 여부를 파악하였으며, 일부 사례는 현장조사를 통해 확인하였다. 이들 사례에 대해 네덜란드의 ‘Room for the River’를 준용하여 유형화 하였다(Rijke *et al.*, 2012; Van Alphen, 2020). 마지막으로, 하천의 공간 단위에 따라 각 하천 관리기법을 분류하고 자연기반해법의 관점에서 그 특징을 분석하였다.

II. 하천관리를 위한 자연기반해법

1. 자연기반해법의 개념

자연기반해법은 자연을 활용해 우리 사회가 당면한

사회·환경적 문제를 해결하려는 접근론이다(European Commission, 2015; Cohen-Shacham, 2016; 우효섭·한승완, 2020; IPCC, 2023; 우효섭, 2023). 이 개념은 자연에 맞서기보다 자연과 협력함으로써 회복력 있고 자원 효율적인 방식으로 자연 시스템의 관리를 위한 해결책을 찾는 과정에서 등장했다. 자연기반해법은 단순히 자연을 활용하는 수단적 개념을 넘어, 자연과 인간 사회의 상호작용을 재정의하는 패러다임 전환의 틀로 여겨진다. 이를 통해 식량 안보, 기후변화 대응, 수자원 확보, 인간 건강 증진, 재난 위험 감소, 지속가능한 사회·경제 개발 등 광범위한 사회문제를 해결하고자 한다(Cohen-Shacham et al., 2016; IUCN, 2016; Seddon et al., 2020).

자연기반해법은 회복력(resilience)과 적응(adaptation)의 개념과도 밀접하게 연관되어 있다. 이는 기후변화, 도시화, 생물다양성 손실 등 예측 불가능한 환경 변화에 대해 자연 시스템의 내재된 자기조절 및 복원 능력을 통해 탄력적으로 대응하고, 장기적 관점에서 사회 전체의 적응 능력을 향상시키는 데 기여한다(IPCC, 2023). 특히 자연기반해법은 생태계에 가해지는 부담을 최소화하면서도 사회경제적 이익을 동시에 창출할 수 있는 자연 기반의 지속가능한 해법으로 전 세계적으로 정책적 주목을 받고 있다.

국내에서도 자연기반해법 도입을 위한 시도가 제도·정책·연구 차원에서 점차 확산되고 있다. 제도 및 정책적 차원에서는 복원 중심 하천관리를 위한 정책적 기반이 제시되었고(국토교통부, 2019), 생물 서식처 단절 문제에 대한 조사·평가 방법이 마련되었다(국립환경과학원, 2020). 자연기반해법은 기후위기 대응, 하천 및 해안 정비, 자연재해 위험 저감, 도시 관리 등 다양한 분야에서 적용을 모색하고 있다(우효섭, 2023; 한국수자원공사, 2023; 김다슬 등, 2024; 김선혁 등, 2025). 또한 기후변화 및 지속가능발전 교육에서도 자연기반해법의 개념과 맥락이 중요하게 다루어지고 있다(함경림, 2024).

2. 하천관리를 위한 자연기반해법의 도입

자연기반해법에 기반한 하천 관리 개념은 유럽과 미국을 중심으로 다양한 지역에서 이미 적용되고 있으며, 그 효과도 실증적으로 확인되고 있다. 특히 국외에서는 국가 차원의 정책으로 추진하면서 하천의 자연성을 회복하고 생태계의 복원력과 치수 기능을 동시에 강화하려는 노

력이 활발히 이루어지고 있다(Boelee et al., 2017; Valero et al., 2021; WWF, 2022).

유럽의 경우 독일, 네덜란드, 스코틀랜드의 사례가 대표적이다. 독일의 이자르 강 복원계획(Isar Plan, 2000~2007)은 획일적인 하천 정비로 인한 수질 및 수온 변화 문제를 해결하고 하천의 고유한 물리적 특성을 회복하기 위해 홍수터 역개간화, 제방 고도 조정 및 후퇴 등의 방안을 적용한 생태적 통합 복원사업으로 추진되었다(Binder, 2008). 이러한 복원사업으로 과거의 하천 경관이 모두 회복된 것은 아니지만, 홍수 위험이 줄고 친수공간을 찾는 방문자가 늘어났다(김혜주, 2010). 네덜란드 사례도 이와 비슷하다. 강을 위한 공간(Room for the River, 2006~2015)은 1995년 대홍수 이후 기존 인공적 제방 중심 관리 방식의 한계를 인식하고 “강에게 공간을 되돌려준다”는 철학 아래 홍수위 저감과 함께 수변 경관 및 생태계를 회복하고자 하였다(Rijke et al., 2012; Van Alphen, 2020). 한편 스코틀랜드의 에들스톤 유역 프로젝트(Eddleston Water Catchment Restoration Project, 2009~2016)는 저류지와 습지를 조성하고 하도를 만곡화하여 자연형 하천 구조로 복원함으로써 홍수 위험을 줄이고 생물다양성을 높인 사례로 평가된다(Davies, 2023).

자연기반해법의 적용은 유럽뿐 아니라 전 세계로 확산되고 있다. 미국의 엘와강 복원 프로젝트(Elwha River Restoration Project, 2011~2014)는 댐 철거를 통해 연어 산란 서식처를 회복하고 수생 생태계를 복원한 대표적 사례로 평가된다(Duda et al., 2008; Pess et al., 2008). 댐 철거 이후, 연어의 개체 수가 2~4배 증가 하였다(Duda et al., 2021). 필리핀의 파시그 강 복원(Protecting and Investing in Natural Capital in Asia and the Pacific, 2019~2020)은 주요 하천 유역을 대상으로 범람원 확장, 제방 제거 및 후퇴 등의 자연기반해법을 적용하여 홍수 대응과 생태 복원을 동시에 달성하고 있으며, 이는 아시아 내 대표적 사례로 꼽힌다(ADB, 2020).

이처럼 세계 각국은 인공 구조물 중심의 하천 관리에서 벗어나 하천의 자연성과 생태 기능을 중시하는 자연기반해법을 통해 지속가능한 하천 복원을 실현해 가고 있다. 본 연구에서는 네덜란드의「Room for the River」프로젝트를 조금 더 소개하고자 한다. 다른 연구들에 비해 유형별 분류체계가 명확하고 유형의 갯수와 적용된 사례가 많아서, 우리나라 하천관리 사례를 일차적으로 분류하는데 적합하다고 판단했기 때문이다.

3. 「Room for the River」의 하천관리 유형

네덜란드 수자원관리 기관인 라이크스워터슈타트(Rijkswaterstaat)에서 수행한 「Room for the River」는 실제 하천 현장에 적용 가능한 구체적 관리 사례를 보여준 대규모 프로젝트로, 여기에서 제안된 방안이 이미 필리핀 하천에 적용되었고(ADB, 2020) 국내에도 도입될 예정이다(지은 등, 2022). 이 프로젝트는 라인강, 뫼즈강, 발강 등 39개 지점을 대상으로 시행되었으며, 하천 기능의 회복, 홍수 저감, 생태적 연결성 확보를 위한 아홉 가지 유형의 관리 방안을 제시하였다. 이들 유형은 제방 옮기기, 우회수로 조성, 그로인 낮추기, 횡단구조물 제거, 역개간화, 제외지 범람원 준설, 저류지 조성, 하상 굴착, 제방 보강 등이다(그림 1). 본 연구에서는 이 프로젝트에서 제시한 하천 관리 유형을 보다 구체적으로 분석하고자 한다.

제방 옮기기는 제방을 내륙 쪽으로 이동시켜 하천의 폭을 넓히는 방법으로, 강은 더 넓은 공간을 확보하고 높은 수위를 수용할 수 있는 여유 공간도 늘어난다. 우회수로 조성은 만수위에 도달했을 때 물의 일부를 다른 경로로 흐르게 하는 것으로, 우리나라에서는 구하도 복원과 유사한 관리 방안으로 볼 수 있다. 그로인 낮추기와 횡단구조물 제거는 물의 흐름을 방해하는 장애물을 해소하는 방

안이다. 역개간화는 이전에 개간했던 지역을 원래 상태로 되돌려 물의 투수율을 증가시키는 것을 의미한다. 범람원 준설과 하상 준설은 만수위 도달 시점을 늦추는 역할을 한다. 제방 보강은 해수면이 높은 네덜란드의 특수성을 반영한 것으로, 강 주변에 충분한 공간이 없어 강폭을 넓히기 어려운 경우에 적용한다. 이러한 방식들은 강의 여유 공간을 확보함으로써 홍수 피해를 줄이는 기능을 한다. 또한 일부 방법은 하천의 본래 모습 회복에도 기여한다.

이들 방안은 주로 네덜란드의 하천 특성을 바탕으로 개발되었기에, 국내에 적용할 때에는 적절한 수정이 필요하다. 국내의 경우, 홍수 시 하천 유속이 매우 빨라 그로인과 같은 구조물은 부작용이 크게 나타난다. 우리나라는 제방을 높게 쌓거나 보를 막는 치수 방식을 더 선호하여, 그로인이 설치된 하천은 알려진 것이 없다. 따라서 ‘그로인 낮추기’ 등의 방안은 국내 하천관리 현실에는 부적합하다. 한편, ‘우회수로 조성’의 경우, 하도를 새로 만드는 경우도 있으나, 국내에서는 하도를 직강화하는 과정에서 유기된 ‘구하도’를 복원하는 방식이 더 자주 사용된다. 따라서, 국내 하천에 맞는 새로운 분류체계가 필요하다.

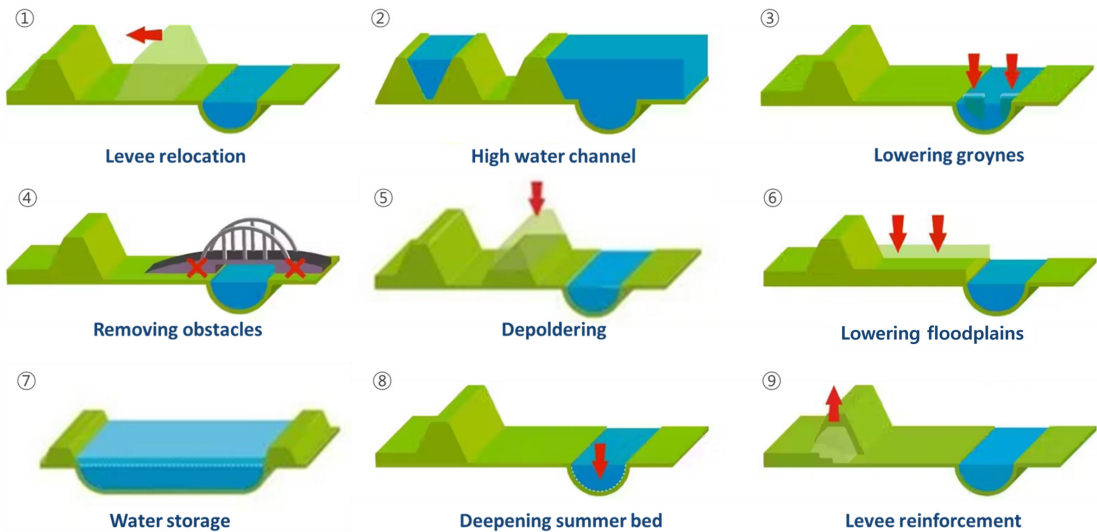


그림 1. 「Room for the River」 프로젝트에 제시된 하천관리 유형

* 해당 연구자료는 Rijkswaterstaat의 자료를 재구성함(출처 : <https://www.rijkswaterstaat.nl>).

III. 국내 하천의 자연기반해법 현황 및 유형화

1. 사례지 현황

본 연구에서는 한국건설기술연구원(2008; 2016), 국토교통부(2019), 경기도(2022), 대전지방국토관리청(2011), 부산지방국토관리청(2013), 서울지방국토관리청(2014),

원주지방국토관리청(2022), 금강유역환경청(2023)에서 발간한 보고서와, 국가수자원관리종합정보시스템, 국가환경산업기술정보시스템, 대전광역시청, 평택시청 등의 웹사이트를 통해 하천 복원 사례지를 탐색하였다. 검토 결과, 자연기반해법을 넓은 의미¹⁾로 볼 때 적어도 30개소 이상에서 이 해법이 적용된 것으로 파악되었다(표 1). 하천별로는 한강 13개소, 낙동강 4개소, 금강 7개소, 영산강 5개소, 섬진강 1개소로 한강에서 가장 많은 적용 사례가

표 1. 국내의 주요 하천복원사업

유역	하천명	적용 시기(년)	방법	내용
한강	양재천	2000	역개간화	인공피복을 자연피복으로 전환
	곡릉천	2006	횡단구조물 제거	곡릉 2보 철거
	한탄강	2007	횡단구조물 제거	고탄보 철거
	황구지천	2009	습지 조성(구하도 복원)	제기 지구 구하도 복원
	황구지천	2009	습지 조성(구하도 복원)	송산 지구 구하도 복원
	황구지천	2011	습지 조성(구하도 복원)	귀래 지구 구하도 복원
	평창강	2013	저류지 조성(구하도 복원)	방절리 구하도 복원
	청미천	2016	제방 이설	노탑지구 구하도 복원
	탄천	2018	횡단구조물 제거	미금보 철거
	주천천	2021	하상 준설	하상 준설
	탄천	2022	횡단구조물 제거	정자제1낙차공(백공보) 철거
	탄천	2024	횡단구조물 제거	수내제1보(백현보)
	안성천	2025*	습지 복원 및 조성	하도 내부 습지 복원
금강	금강	2012	둔치 준설	제외지 범람원 준설
	미호강	2021	횡단구조물 제거	삼성 3보 철거
	미호강	2021	횡단구조물 제거	삼성 5보 철거
	미호강	2021	횡단구조물 제거	삼성 6보 철거
	갑천	2023	횡단구조물 제거	태봉보 철거
	대청댐 상류	2025*	제방 이설	장동지구 제방 후퇴
	무주남대천	2023	자연 제방	자연 그대로 보전
낙동강	태화강	2006	횡단구조물 제거	방사보 철거
	태화강	2012	저류지 조성(신규)	저류지 조성
	화계천	2020	하상 준설	화계천 하상 준설
	내성천	2023	하도내 식생 제거	하도내 식생 제거
영산강	함평천	2010	제방 이설	구하도 복원
	영산강	2011	저류지 조성(구하도 복원)	송촌공원 구하도 복원 저류지
	영산강	2012	저류지 조성(구하도 복원)	영산강 정원
	만경강	2019*	제방 이설	만경강 전주천 합류부
	순천동천	2021	저류지 조성(신규)	저류지 조성
섬진강	서시천	2022	하상 준설	서시천 하상 준설

* 계획 또는 예정

확인되었다.

하천 복원 및 정비 방법으로는 횡단구조물 제거, 하상 준설, 저류지 조성, 습지 조성, 제방 이설, 하도내 식생 제거, 하도 습지 복원 및 조성, 둔치 준설, 자연 제방 보전 등이 주로 시행되고 있다. 이중 횡단구조물 제거 사례가 10건으로 33.3%를 차지하였으며, 저류지 조성(4건, 13.3%)과 제방 이설(4건, 13.3%)이 그 다음으로 많았다. 「Room for the River」에서 제시한 유형에 따라 분류하면 구조물 제거(Removing obstacles), 저류지 조성(Water storage), 제방 재배치(Levee relocation) 등이 해당하였다. 다만 제방 재배치의 경우, 실제로 시행되기 보다는 예정 단계에서 멈추는 경향이 있었다.

네덜란드와 달리, 국내에서는 구하도를 이용한 저류지 복원이나 습지 조성 사례, 하도 내부 식생 제거 등의 사례도 확인할 수 있었다. 저류지 복원이나 습지조성은 여름철 집중호우로 범람 우려가 큰 하천에서 주로 시행되었으며, 하중도 및 포인트바 등의 하도 지형에 식생이 계속 침입하고 있는 상황의 극복을 위해 식생제거 등이 하천정비 사업으로 추진되기도 하였다.

2. 하천 공간별 관리 유형

하천 공간은 제방을 기준으로 안쪽(제외지), 바깥쪽(제내지), 그리고 제방터로 구분된다. 본 연구에서는 하천에

적용되는 관리 방식을 하천 공간에 따라 나누어 살펴 보았다(그림 2).

1) 하천 내부

하천 내부, 즉 제외지는 제방과 제방 사이의 공간, 곧 평상시 물이 흐르는 구간을 의미한다. 제외지에 대한 하천 관리 유형은 크게 1) 보나 댐과 같은 횡단구조물 제거, 2) 하도 내부 식생 제거, 3) 둔치 제거 또는 준설, 4) 하도 내 습지 조성 및 복원, 5) 하상 준설 등으로 구분할 수 있다. 이들은 관점에 따라 자연기반해법의 적용 사례로 볼 수도 있으나, 하천의 자기조절 능력 및 지속가능성 측면에서는 단순한 하천 관리에 머무를 가능성도 있다.

횡단구조물 제거 사례로는 2023년 대전 갑천 태봉보 철거를 들 수 있다(그림 3). 이 지역에서는 하류 습지보호 지역의 생태계 복원을 위해 폭 1.5m, 길이 245.0m, 높이 0.6m 규모의 보를 철거하였다. 2025년 4월에 방문하여 조사한 결과, 보 철거 이후 하천의 생태적 연결성이 개선되고 수질이 향상되었으며, 하상의 고도가 낮아지고 하상 지형의 기복도 다양해진 것으로 나타났다. 물환경정보시스템(<https://water.nier.go.kr>)에서 제공하는 부영양화 지표인 TOC, T-N, T-P 항목에서 수질 개선 효과가 확인되었다.

충청남도 금산군 부리면 수통리 금강 도파지구는 둔치를 일부 제거한 사례이다(그림 4). 통수 공간을 확보하고

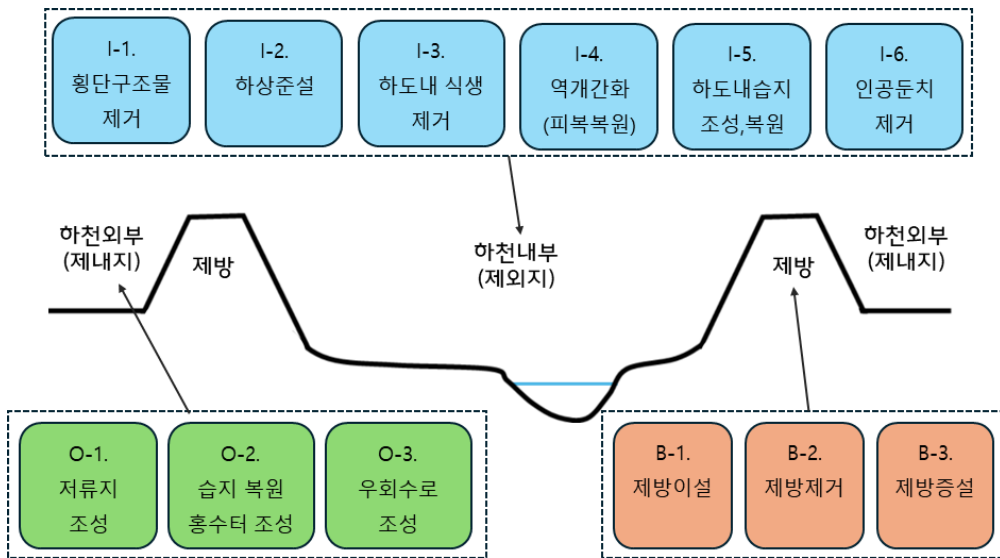


그림 2 하천 공간별 관리 유형

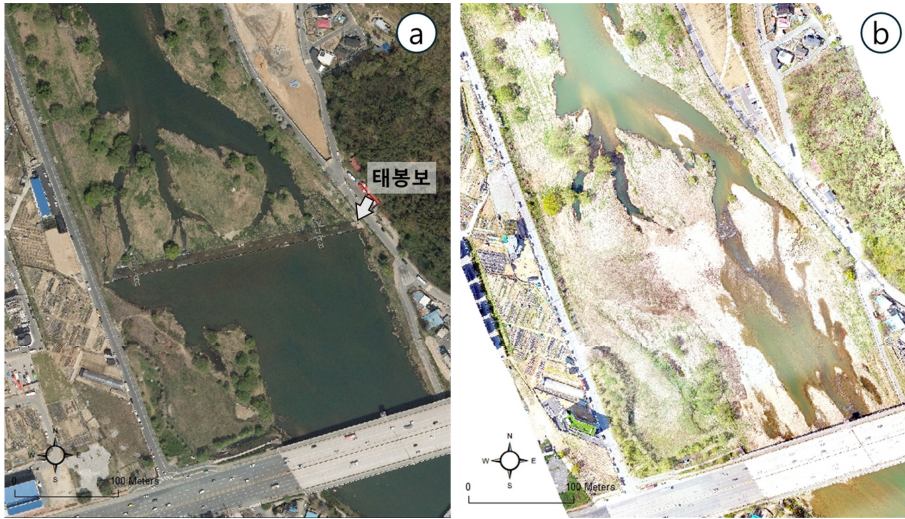


그림 3. 갑천 태봉보 철거 전후 비교

* a는 2021년 국토지리정보원 영상을, b는 2025년 드론촬영 영상을 활용하였다.



그림 4. 금강 도파지구 둔치 준설 전후 비교

* 영상은 Google Earth 이미지로 a는 2014년, b는 2023년에 촬영되었다.

도로 폭을 확대하기 위해 제방 위 기존 도로를 제내지로 이설하고, 둔치(고수부지)를 절취하여 급경사였던 제방 사면을 1:3의 완만한 사면 경사로 변경하였다(대전지방 국토관리청, 2011). 그 결과 금강의 통수 능력을 확보하고, 생태·환경적 완충 기능과 추이대로서의 역할을 강화하는 계기가 되었다.

2) 하천 외부

하천 외부, 즉 제내지는 제방의 보호를 받으며 사람이 거주하는 쪽의 공간을 뜻한다. 제내지의 하천 관리 유형

은 1) 구하도를 복원한 저류지 조성, 2) 새로운 저류지 조성, 3) 구하도를 활용한 습지 조성 및 홍수터 복원, 4) 우회수로 조성 등이 있으며, 주로 홍수 저감과 수질 개선을 목적으로 실행되고 있다.

평창강 영월 강변 저류지 공원은 구하도를 복원하여 저류지를 조성한 대표적인 사례이다(그림 5). 이곳은 상습 침수 지역의 피해를 줄이기 위해 687,805m² 면적에 290만 톤의 저류 용량을 확보한 저류지로, 옛 물길을 활용해 제내지에 저류지를 조성했다는 점에서 자연기반해법의 전형적인 사례로 평가된다. 이 저류지는 80년 빈도 수문

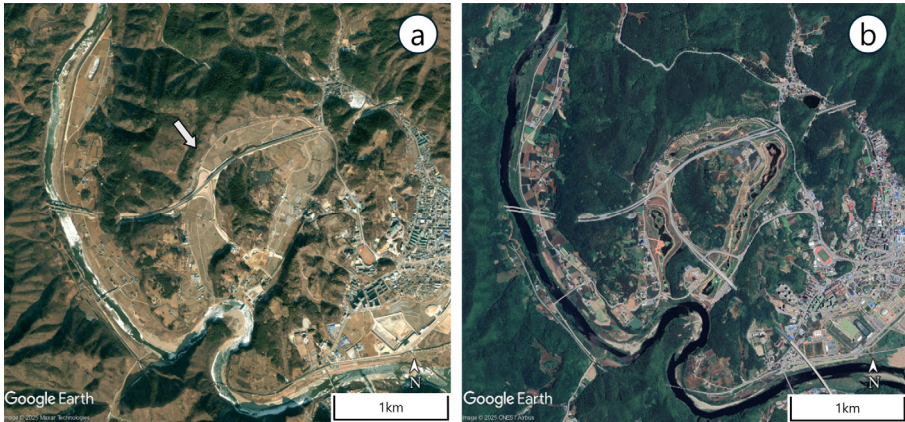


그림 5. 평양강 영월 강변 저류지 조성 전후 비교

* 영상은 Google Earth 이미지로 a는 2005년, b는 2020년에 촬영되었다.

곡선에서 저류지 유입 전후를 비교했을 때 최대 $214\text{m}^3/\text{s}$ 의 유량을 저감하는 효과가 있는 것으로 분석되었다(원주지방국토관리청, 2022).

3) 제방터

제방에 대한 관리 방식으로는 1) 제방을 높이거나, 2) 제방을 없애거나, 3) 제방을 이설하는 방법 등이 있다. 이 가운데 제방을 없애거나 이설하는 방식은 하천의 자기조절 능력을 강화한다는 점에서 자연기반해법의 하나로 볼 수 있다.

국내에서는 만경강과 금강에서 제방 이설이 계획된 적이 있다. 만경강의 경우 2019년 일부 구간에서 제방 이설 계획이 수립되었으나, 아직까지 실제로 시행되지는 않았다. 이른바 장동지구로 불리는 대청댐 상류 금강 본류 구간에서도 2022년 제방 이설 계획이 마련되었다. 이는 수질 개선과 수생태계 연결성 강화를 위해 기존 제방을 철취한 뒤, 제방을 이설하여 홍수 완충 공간을 확보하려는 것으로, 제방을增高하는 방식보다 이설하는 편이 경제적이란 판단에서였다(그림 6-a). 해당 사업은 2025년 착공을 목표로 하고 있으며, 수변구역과 연계한 다기능



그림 6. 제방에서의 하천 관리

* a는 장동지구 제방 이설 계획, b는 굴암1지구 자연 제방 보존에 대한 내용이다. 영상은 Google Earth 이미지로 a, b 모두 2023년에 촬영되었다.

수변 생태공간 조성도 함께 추진될 계획이다(금강유역환경청, 2023).

한편 금강 유역 무주 남대천의 굴암1지구에서는 홍수 피해 예방을 위해 좌안에 제방을 축조할 계획이었으나, 하천 생태계 보전과 치수 기능의 통합을 위해 해당 계획을 철회하였다(그림 6-b). 이는 자연 제방이 가진 고유의 통수 기능을 더 높게 평가한 사례라 할 수 있다.

3. 자연기반해법 관점에서 분석한 하천복원사업의 유형

2023년 우리나라 하천의 개수율은 국가하천 94.4%, 지방하천 77.8%로, 평균 79.5%에 이른다(국가수자원관리종합정보시스템). 이는 대부분의 하천이 자연 상태가 아니라 인공 제방을 통해 관리되고 있음을 의미한다. 이러한 하천은 용수 공급, 홍수 예방, 수질 관리 등을 위해 인위적인 관리가 불가피하며, 하상 준설과 같은 행위는 홍수 예방을 위해 흔히 시행되는 관리 방법이다. 넓은 의미에서 이러한 관리 방식도 자연기반해법으로 분류되기도 하지만, 하천의 회복력을 높이는 방법과는 거리가 있다. 본 연구에서는 자연기반해법의 관점에서 하천에 가해지는 관리 방법들을 분석하였다. 이를 위하여 하천의 기능

적 측면과 관련된 홍수 저감, 생태계 회복, 수질 개선, 물질 이동 측면의 평가 항목과 자기조절 능력, 관리 주기, 이해당사자, 비용 등의 항목을 설정하고 하천 관리 유형을 정성적으로 평가하여 그 특징을 분석하였다(표 2).

연구 결과, 제외지에서의 둔치 제거(준설)와 제방 이설이 모든 기능적 측면에서 긍정적으로 분석되었다. 둔치 제거(준설)는 중기적인 관리가 필요하고 이해당사자의 수준이 중간 정도이며, 비교적 저비용으로 관리가 이루어진다. 반면 제방 이설은 관리 주기가 길지만, 실행까지 이해당사자의 개입 정도와 수가 많고 공사비가 고비용이라는 한계를 가진다.

다음으로 긍정적인 유형은 제외지에서의 횡단구조물 제거와 제방 제거이다. 횡단구조물 제거는 하천 생태계 회복, 수질 개선, 물질 이동, 자기조절 기능 측면에서 긍정적으로 평가되며, 구조물 철거를 통해 하천 관리 주기가 장기적으로 변화한다. 다만 철거 과정에서 이해당사자의 개입과 비용이 중간 수준으로 발생한다. 보 철거와 같은 횡단구조물 제거의 주된 목적은 수질 개선과 생태적 연결성 회복에 있으며, 홍수 저감 기능 측면에서는 그 효과를 정량적으로 평가하기 어려웠다. 제방을 제거하는 경우 물의 공간이 확대되어 물질 이동과 자기조절 능력이 향상될 수 있으나, 홍수기에 물이 쉽게 범람하여 제내지 거주

표 2. 자연기반해법 관점에서 평가한 하천복원 유형

하천 공간	분류	내용	(1)기능					(2) 관리 주기	(3) 이해 당사자	(4) 비용
			홍수 저감	생태계 회복	수질 개선	물질 이동	자기 조절			
하천 내부 (제외지)	I-1	횡단구조물 제거		+	+	+	+	장	중	중
	I-2	하상 준설	+	-	+	+		단	소	저
	I-3	하도 내부 식생 제거	+	-		+	+	단	소	저
	I-4	역개간화(피복 복원)		+			+	단	소	중
	I-5	습지 조성 및 복원	+	+	+	-		중	중	중
	I-6	둔치 제거(준설)	+	+	+	+	+	중	중	저
제방	B-1	제방 이설	+	+	+	+	+	장	다	고
	B-2	제방 제거	-	+	+	+	+	장	다	중
	B-3	제방 준설	+				-	중	중	고
하천 외부 (제내지)	O-1	저류지 조성	+	+				장	다	중
	O-2	습지 복원 및 홍수터 조성	+	+			+	장	다	고
	O-3	우회 수로 조성	+	+				장	다	고

* 각 항목의 기호는 (1) + 긍정적, - 부정적; (2) 장기, 중기, 단기; (3) 다수, 중간, 소수; (4) 고비용, 중비용, 저비용을 의미.

주민에게 피해를 줄 수 있어 홍수 저감 기능에서는 부정적인 측면이 있다. 반대로 제방 증설은 홍수 저감 기능에서는 긍정적이지만, 자기조절 기능에서는 부정적으로 분석되었다.

이 밖에 습지 조성 및 복원, 저류지 조성, 습지 및 홍수터 복원, 우회수로 조성 등의 하천 관리 방법은 홍수 저감과 생태계 회복 기능 측면에서 긍정적이라고 할 수 있다. 특히, 구하도를 이용한 습지 조성과는 같은 관리 방법은 고비용 공사비가 요구된다. 하도 내부 식생 제거와 하상 준설은 홍수위를 저감한다는 점에서 홍수 저감 기능은 긍정적이지만, 생물 서식처에 직접적인 영향을 미친다는 점에서 생태계 회복 기능 측면에서는 부정적이다.

IV. 고찰

경제개발이라는 명목 아래 급속히 진행된 산업화와 도시화로 인해, 오늘날 대부분의 하천은 인공적으로 변형된 모습을 띠고 있다. 콘크리트 제방으로 폭이 제한되고 수많은 횡단구조물과 어도가 설치된 하천은 이제 익숙한 풍경이 되었다. 고정된 유로를 따라 흐르는 이러한 인공 하천에서는 스스로 유로를 조절하고 지형을 형성하는 자연 하천의 역동성을 찾아보기 어렵다. 인공화된 하천은 유로 뿐만 아니라, 토지 이용, 유수량 변화, 식생특성, 수질 변화 등 하천의 특성 자체를 변화시키고(이찬주 등, 2013; Ourloglou *et al.*, 2020), 하루로 이동할 퇴적물을 차단하여 궁극적으로 해안침식에 영향을 준다(Ishikawa *et al.*, 2013).

이러한 문제 인식에 따라 자연형 하천 기술(Green Engineering)을 시작으로 생태계 기반의 하천 관리에 대한 관심이 증가하였다(García-Serna *et al.*, 2007). 이후 저영향개발(LID), 그린 인프라(GI), 블루-그린 인프라(BGI), 자연기반해법(NbS) 등 다양한 개념들이 제시되었다(우효섭·김한태, 2010). 유럽을 중심으로 자연기반해법이 본격적으로 도입되었고 네덜란드 ‘Room for the River’ 프로젝트를 포함하여, 여러 국가에 걸쳐 다수의 프로젝트가 성공적으로 수행되었다. 국내에서도 자연형·생태·자연친화 하천 개념이 자연기반해법으로 통합되고 있다.

본 연구는 이러한 흐름 속에서 국내 하천관리의 다양한 유형을 검토하고 자연기반해법의 관점에서 체계적으로 분류하는 것을 목적으로 하였다. 하천 복원 및 정비 사업

을 조사하여 5대 수계에서 총 30개소 이상의 사례가를 확인하고, 이 중 단순한 ‘하상 준설’을 제외한 27개 사례를 자연기반해법의 적용으로 보았다.²⁾ 이는 명시적 정책 부재에도 불구하고 자연기반해법이 그동안 활발하게 적용되어 왔음을 보여준다.

하천관리 유형 중 제방 이설과 둔치 준설은 홍수 저감, 수질 개선, 자기조절 기능 강화 측면에서 상당히 긍정적으로 평가된다. 그러나 제방 이설은 높은 사업비와 이해당사자 갈등으로 지연 또는 무산된 사례가 있다. 그 결과, 실제로 진행된 자연기반해법은 제내지의 저류지 조성이나 구하도 복원과 같은 사업이 주를 이룬다. 한편, 하상 준설과 식생 제거는 단기적으로 치수 효과가 있으나 생물다양성을 저해하고 하상을 평탄화시키는 부작용이 발생한다(배연재 등, 1996). 하천 식생은 유속을 늦추는 효과가 있으나, 과도한 식생은 홍수피해를 유발하므로 적절한 관리가 필요하다(지운·장은경, 2024). 저류지 조성은 홍수 저감을 위한 핵심 전략으로 평가되나, 극한강우 시 한계가 있어 보완이 필요하다(원주지방국토관리청, 2023).

본 연구는 문헌·행정자료 및 위성영상을 통해 자연기반해법 사례를 분석하였으나 실행 여부 확인에는 일부 한계가 있었다. 자연기반해법과 유사 개념의 포괄적 접근으로 유형 분류에 대한 논쟁의 여지도 있다. 하천 공간 단위별로 자연기반해법의 특징을 정성적으로 평가한 것은 시론적인 수준에 불과하여, 앞으로 객관화된 평가방안 마련이 필요하다.

이러한 단점에도 불구하고 본 연구는 국내에서 시행된 여러 하천 관리사업을 자연기반해법의 관점에서 살펴보고 유형화함으로써, 지속가능한 하천을 위한 방향을 제시하고자 하였다. 자연기반해법은 자연과 인간의 조화로운 공존을 추구하는 전환적 전략이다. 하천에 관한 관리 체계는 제방·하상 준설 등 단기적인 관리 중심에서 보철거, 제방 후퇴, 습지·저류지 조성 등 중장기적 관점의 관리 전략으로 전환되어야 한다. 이에, 본 연구에서는, 지역의 지형·기후 맞춤형 해법을 ‘지리기반해법(Geo-based Solutions, GbS)’이라고 부르고자 한다. 지속가능한 하천을 위한 해법은 하천의 역동성, 자기조절능력 혹은 회복탄력성을 강화하는 방향이어야 한다.

자연기반해법의 적극적인 도입을 위해서는 법·제도 정비, 장기 모니터링, 주민·전문가 거버넌스가 요구되며, 기후·물관리 정책 연계가 필수적이다. 결론적으로 자연기반해법은 한국 하천의 회복탄력성 제고와 지속가능한

물환경 조성을 위한 핵심 전략이자 패러다임 전환점이다. 본 연구의 분류 체계 및 사례들은 이를 위한 기초 자료로 활용되길 기대한다.

V. 결론

본 연구에서는 국내의 하천 복원 및 정비 사례를 조사하고, 이 가운데 자연기반해법으로 분류할 수 있는 사례를 유형화하여 그 특징을 분석하였다. 국내에 적용된 자연기반해법은 횡단구조물 제거, 저류지 조성, 습지 조성, 제방 이설, 하도내 식생 제거, 하도 습지 복원 및 조성, 둔치 제거 및 준설, 자연 제방 보전 등이었으며, 한강, 금강, 낙동강, 영산강, 섬진강에서 모두 27건의 사례를 확인하였다. 하천 내부의 횡단구조물 제거가 10건으로 가장 많은 비중을 차지하였다. 제방의 이설은 계획된 사례가 4곳이었으나, 실제로 이행된 경우는 1곳에 불과하였다. 하천 내부에서의 관리는 비교적 비용이 적게 들고 이해관계자가 적어 쉽게 진행되는 편이지만, 그 효과는 비교적 짧다. 반면, 하천 외부나 제방터에 대한 계획은 이해관계가 복잡하고 비용이 많이 소요되나, 하천의 회복력을 증진할 수 있다는 점에서 보다 적극적인 자연기반해법이라고 하겠다.

본 연구는 문헌, 행정자료, 위성영상, 현장조사 등 다양한 방식으로 자연기반해법 사례를 수집·분석하였다. 하지만, 일부 지역의 실행 여부 확인 및 현장 검증에는 한계가 있었다. 또한, 자연기반해법과 유사 기법 등에 있어서 개념 및 유형 분류에 대한 논쟁의 여지가 있다. 특히, 공간 단위별로 분류한 자연기반해법에 대한 평가에 관해서는 시론적 수준이기에, 향후 면밀한 검토와 개선이 필요하다. 지속가능한 하천 관리를 위해서는 향후 자연기반해법의 효과를 실증적으로 검증하는 연구와 장기적인 관점에서 회복탄력성을 높이는 정책 마련이 요구된다.

註

1) 엄밀하게 말하면, 자연기반해법은 ‘자연을 활용하여 사회적 문제를 해결하고 생물다양성 혜택을 동시에 제공하는 솔루션이다. 하지만, 일부 학문분야에서는 전통적 의미의 하천복원을 모두 자연기반해

법으로 치부하는 경향이 있다.

2) 여기서 ‘단순한 준설’이라는 의미는 준설토를 하류 구간으로 보내지 않는 경우를 의미한다. 보와 같은 구조물로 인한 퇴적물을 준설하고 하류에 투입한다면 자연의 순환에 도움이 된다.

참고문헌

- 경기도, 2022, 「탄천 하천기본계획 변경 보고서」, 수원: 경기도.
- 국립환경과학원, 2020, 「수생태계 연속성 조사 및 평가 방법 지침」, 인천: 국립환경과학원.
- 국토교통부, 2019, 「하천공간 복원 기본계획 수립 기술보고서」, 세종: 국토교통부.
- 금강유역환경청, 2023, 「금강 상류 하천기본계획 보고서」, 대전: 금강유역환경청.
- 김다슬·이동근·황혜미·허수정·윤석환·김은섭, 2024, “자연기반해법의 탄소저장과 생물다양성의 공동·상쇄 효과 평가,” 한국환경복원기술학회지, 27(1), 45-54.
- 김선혁·최재연·박찬, 2025, “주제범위 문헌고찰을 통한 자연기반해법의 증거 활용 방안 탐색: 옥상녹화 도시 열 완화 효과 연구를 중심으로,” 한국기후변화학회지, 16(2), 171-189.
- 김혜주, 2010, “독일 이자 강 복원 사례의 하천환경적 시사점,” 국토연구, 13(4), 77-89.
- 대전지방국토관리청, 2011, 「금강수계 하천기본계획 금강, 미호천, 갑천, 유동천 보고서」, 대전: 대전지방국토관리청.
- 배연재·박선영·윤일병·박재홍·배경석, 1996, “왕숙천 준설구간의 저서성 대형무척추동물 군집변동,” 생태와 환경, 29(4), 251-261.
- 부산지방국토관리청, 2013, 「태화강 하천기본계획 변경 보고서」, 부산: 부산지방국토관리청.
- 서울지방국토관리청, 2014, 「안성천 중하류권역 하천기본계획 보고서」, 서울: 서울지방국토관리청.
- 우효섭·김한태, 2010, “하천복원의 목표-자연성에 초점을? 인간 서비스에 초점을?” 대한토목학회 학술대회, 217-221.
- 우효섭, 2023, “지속가능한 하천 관리를 위한 NbS 전략” 환경정책연구, 42(1), 55-76.

- 우효섭·한승완, 2020, “자연기반해법의 개념 정립과 국내 적용 방안,” 국토계획, 55(3), 1-20.
- 원주시방국토관리청, 2022, 「평창강 대화천합류점~한강 합류점 하천기본계획 변경 보고서, 원주: 원주시방국토관리청.
- 이찬주·정상준·황승용, 2013, “댐 건설로 인한 모래하천의 지형 및 수변식생 변화에 관한 모니터링 연구: 댐 건설 전 단계, 내성천을 사례로,” *Water for future*, 46(5), 120-127.
- 지운·장은경, 2024, “자연기반해법의 하천관리를 위한 수리해석 정보 융합 플랫폼,” 대한토목학회 학술대회 발표초록집, 625-626.
- 지운·장은경·배인혁·안명희·배준, 2022, “자연성기반기술의 홍수완충구간 조성을 위한 입지 선정 방법에 관한 연구-대청댐 상류부터 용담댐 하류구간 사례 연구,” *Ecology and Resilient Infrastructure*, 9(3), 131-140.
- 최성욱·윤병만·우효섭·조강현, 2004, “댐 건설에 의한 유황 변화에 따른 하류 하도에서 하천지형학적 변화 및 식생피복의 변화: 황강 합천댐 사례,” *한국수자원학회논문집*, 37(1), 55-66.
- 한국건설기술연구원, 2008, 「기능을 상실한 보 철거를 통한 하천 생태통로 복원 및 수질개선효과 최종보고서, 과천: 환경부.
- 한국건설기술연구원, 2016, 「옛물길(터) 복원을 위한 조사 연구, 과천: 환경부.
- 한국수자원공사, 2023, 「자연기반해법(NBS) 기반 하천정비방안 연구, 대전: 한국수자원공사.
- 함경림, 2024, “자연기반해법의 지리교육적 활용 방안 탐색, *한국지리학회지*,” 13(4), 317-333.
- Almond, R.E.A., Grooten, M., Juffe Bignoli, D., and Petersen, T., 2022, *Living Planet Report 2022-Building a nature-positive society*, WWF: Gland, Switzerland (WWF Korea 역, 2022, 지구생명보고서, 세계자연기금 한국본부).
- Asian Development Bank, 2020, *Protecting and investing in natural capital in Asia and the Pacific: Nature-based solutions in Philippine river basins (Consultant's report, TA 9461-REG)*, Mandaluyong City, Philippines: Asian Development Bank.
- Binder, W., 2008, Case Studies: Isar; Germany, *Proceedings of Exposición Internacional del Agua, Zaragoza*.
- Boelee, E., Janse, J., Le Gal, A., Kok, M., Alkemade, R., and Ligtoet, W., 2017, Overcoming water challenges through nature-based solutions, *Water Policy*, 19(5), 820-836.
- Bridges, T.S., Burks-Copes, K.A., Bates, M.E., Collier, Z.A., Fischenich, J.C., Piercy, C.D., Russo, E.J., Shafer, D.J., and Suedel, B.C., 2015, *Use of natural and nature-based features (NNBF) for coastal resilience* (No. ERDCSR151), Vicksburg: US Army Engineer Research and Development Center, Environmental Laboratory, Coastal and Hydraulics Laboratory.
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., and Maginnis, S., 2016, *Nature-based solutions to address global societal challenges*, Gland, Switzerland: IUCN.
- Davies, R., 2023, *Variations in Peak Flow Behaviour, With Reference to the Eddleston Water, Scotland*, Edinburgh: Scottish Environment Protection Agency.
- Duda, J.J., Freilich, J.E., and Schreiner, E.G., 2008, Baseline studies in the Elwha River ecosystem prior to dam removal: Introduction to the special issue, *Northwest Science*, 82(sp1), 1-12.
- Duda, J.J., Warrick, J.A., Magirl, C.S., McHenry, M.L., and Liermann, M.C., 2021, Reconnecting the Elwha River: Spatial patterns of fish response to dam removal, *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 765488.
- Dunlop, T., Khojasteh, D., Cohen-Shacham, E., Glamore, W., Haghani, M., van den Bosch, M., Rizzi, D., Greve, P., and Feld, S., 2024, The evolution and future of research on nature-based solutions to address societal challenges, *Nature-Based Solutions*, 4, 100093.
- Eggermont, H., Balian, E., Azevedo, J., Beumer, V., Brodin, T., Claudet, J., Fady, B., Grube, M., Keune, H., Lamarque, P., Reuter, K., Smith, M., van Ham, C., Weisser, W.W., and Le Roux, X., 2015, Nature-based solutions: New influence for environmental management and research in Europe, *Gaia*, 24(4), 243-248.
- European Commission, 2015, *Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities: Final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature-based solutions and*

- re-naturing cities'*, Brussels: Publications Office of the European Union.
- García-Serna, J., Pérez-Barrigón, L., and Cocero, M.J., 2007, New trends for design towards sustainability in chemical engineering: Green engineering, *Chemical Engineering Journal*, 133(1-3), 7-30.
- Hooke, J.M., 2000, Anthropogenic influence on channel processes, *Geomorphology*, 35, 229-248.
- IPCC, 2023, *Climate Change 2023: Synthesis Report*, Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Ishikawa, T., Uda, T., San-nami, T., and Hosokawa, J., 2013, Verification of shore protection effect of beach nourishment on Chigasaki coast, *Proceedings of the 7th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2013)*, Bali, Indonesia, 1-8.
- Jongman, B., Ward, P.J., and Aerts, J.C., 2012, Global exposure to river and coastal flooding: Long term trends and changes, *Global environmental change*, 22(4), 823-835.
- Ourloglou, O., Stefanidis, K., and Dimitriou, E., 2020, Assessing nature-based and classical engineering solutions for flood-risk reduction in urban streams, *Journal of Ecological Engineering*, 21(2), 46-56.
- Pess, G.R., McHenry, M.L., Beechie, T.J., and Davies, J., 2008, Biological impacts of the Elwha River dams and potential salmonid responses to dam removal, *Northwest Science*, 82(sp1), 72-90.
- Rijke, J., van Herk, S., Zevenbergen, C., and Ashley, R., 2012, Room for the River, delivering integrated river basin management in the Netherlands, *International journal of river basin management*, 10(4), 369-382.
- Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C.A., Smith, A., and Turner, B., 2020, Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 20190120.
- Valero, S., Miranda, J.J., and Murisic, M., 2021, *Nature-based solutions for improving resilience in the Caribbean*, Washington, DC: World Bank.
- Van Alphen, S., 2020, Room for the river: Innovation, or tradition? The case of the Noordwaard, *Adaptive Strategies for Water Heritage*, 309.
- WMO, 2023, *State of Global Water Resources 2022*. Geneva: World Meteorological Organization.
- Zhou, K., Kong, F., Yin, H., Destouni, G., Meadows, M.E., Andersson, E., and Su, J., 2024, Urban flood risk management needs nature-based solutions: A coupled social-ecological system perspective, *npj Urban Sustainability*, 4(1), 25.
- 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS), <https://www.wamis.go.kr>
- 국가환경산업기술정보시스템(KONETIC), <https://www.konetic.or.kr>
- 대전광역시청, <https://www.daejeon.go.kr>
- 평택시청, <https://www.pyeongtaek.go.kr>
- Google Earth, <https://earth.google.com>
- Rijkswaterstaat <https://www.rijkswaterstaat.nl>
- 교신 : 최광희, 25601, 강원특별자치도 강릉시 범일로 579번길 24, 가톨릭관동대학교 지리교육과(이메일: geoist@cku.ac.kr)
- Correspondence: Kwang Hee Choi, 25601, 24 Beomil-ro 579beon-gil, Gangneung-si, Gangwon-do, South Korea, Department of Geography Education, Catholic Kwandong University (Email: geoist@cku.ac.kr)

투고접수일: 2025년 11월 23일

심사완료일: 2025년 12월 16일

게재확정일: 2025년 12월 19일