

국외 수변림 관리·복원 동향과 우리나라의 수변림 관리 정책 제언

임정철^{*†}

국립생태원

Global Trends in Riparian Forest Management and Restoration with Policy Implications for South Korea

Jeong-Cheol Lim[†]

National Institute of Ecology

(Received : 15 October 2025, Revised : 25 November 2025, Accepted : 25 November 2025)

요약

수변림은 하천·호수·내륙습지 가장자리에 형성되는 식생대로서 수질 개선, 홍수 조절, 서식처 연결성 증진, 탄소 흡수 등 다양한 생태계서비스를 제공한다. 최근 국제사회는 수변림 복원을 기후위기 대응과 적응을 위한 자연기반해법(Nature-based Solutions, NbS)으로 점차 강조하고 있다. 유럽연합(EU)은 법적 구속력이 있는 복원목표를 채택하였고, 미국은 농업·수자원 정책에 수변림을 통합하였으며, 호주와 캐나다는 지역사회 기반 거버넌스를 통해 범람원 연결성 회복을 추진하고 있다. 본 연구는 (1) 국외 수변림 보전 및 관리 정책과 프로그램의 메커니즘과 성과를 종합하고, (2) 국내 수변림 관련 정책과 제도, 연구 현황 및 한계를 평가하며, (3) 한국형 수변림 복원 프로그램과 MRV(모니터링·보고·검증) 체계 구축 방향을 제시하였다. 분석 결과, 한국의 수변 생태계 관리는 여전히 치수 중심적 접근에 머물러 있으며, 수변림의 탄소흡수 및 다기능 생태자산으로서의 역할이 정책적으로 반영되지 못하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 향후 정책 설계는 범람원 재연결, 수변림 복원·관리기준, 성과 기반 MRV 체계를 포함해야 할 것이다. 결론적으로, 수변림은 한국의 탄소중립, 수질 개선, 홍수 적응, 생물다양성 보전을 동시에 촉진할 수 있는 전략적 생태 인프라로서 기능할 잠재력을 지닌다. 근거 기반의 거버넌스를 강화하고 국제 정책 흐름과 정합성을 확보할 때, 수변림은 국가의 기후·물·생물다양성 전략을 통합하는 핵심 교차점으로 발전할 수 있을 것이다.

핵심어 : 수변림, 자연기반해법(NbS), 생태계서비스, 탄소흡수원, 복원 정책, 거버넌스

Abstract

Riparian forests are vegetation belts along rivers, lakes, and inland wetlands that provide multiple ecosystem services such as water purification, flood regulation, habitat connectivity, and carbon sequestration. Internationally, riparian forest restoration is increasingly recognized as a nature-based solution(NbS) for climate adaptation. The European Union has adopted legally binding restoration targets, the United States integrates riparian buffers into agricultural and water programs, and Australia and Canada emphasize community-based governance to restore floodplain connectivity. This study (1) synthesized mechanisms and outcomes of international policies and programs, (2) assessed the current features and limitations of Korean research and policy frameworks, and (3) suggested directions for a Korean riparian forest restoration program and monitoring-reporting-verification(MRV) framework. Findings indicate that Korea's river management remains dominated by flood-control objectives, overlooking the role of riparian forests as carbon sinks and multifunctional ecological assets. Policy design should therefore incorporate principles of floodplain reconnection, buffer strip management criteria, and performance-based MRV systems. In conclusion, riparian forests represent strategic ecological infrastructure that can simultaneously advance Korea's climate neutrality, water quality improvement, flood adaptation, and biodiversity conservation. Strengthening evidence-based governance and aligning with international policy trends will enable riparian forests to serve as a key intersection of national climate, water, and biodiversity strategies.

Key words : Riparian forest, Nature-based solutions(NbS), Ecosystem services, Carbon

[†]To whom correspondence should be addressed.

National Institute of Ecology
E-mail : limsu8002@nie.re.kr

• Jeong-Cheol Lim National Institute of Ecology/Ph.D. (limsu8002@nie.re.kr)



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

기후변화는 전 세계적으로 급격한 환경 변화를 초래하고 있으며(IPCC, 2021), 이러한 변화에 대응하기 위한 다양한 생태계 관리 방안이 논의되고 있다. 특히 접근성과 활용성이 높아 강도 높은 인간 활동이 이루어지고 있는 수변 생태계(riparian ecosystem)에 대한 보전 및 복원은 전 세계적인 생물다양성 보전과 생태계 복원 촉진 움직임에 따라 강한 동력을 받고 있다(Naiman & Décamps, 1997; Palmer et al., 2009; Beechie et al., 2013; Capon et al., 2013). 한편, 본 논문에서 ‘수변 생태계’는 하천 수로, 하상, 범람원, 저습도 지하수대, 고수부지 등의 하천 경관(riverine landscape)뿐만 아니라 호수, 저수지 등 정수성 수체 경관(lacustrine landscape)(Cowardin et al., 1979)을 포괄하는 담수경관(freshwater landscape) 생태계로 정의하며, 본 논문의 ‘수변림(riparian forest)’은 담수경관 수변에 발달한 목본우점 군락을 지칭한다(Naiman et al., 2005; Lee and Baek 2023).

수변 지역(riparian zone)은 전세계 15개 육상생물군계 중 하나에 속하는 중요한 생태계(Maraseni & Mitchell, 2016)로서 물가에서 범람원까지 이어지는 넓은 지역을 나타낸다(Naiman & Décamps, 1997). 이 지역에 발달하는 수변림은 습지 생태계와 육상 생태계를 연결하는 독특한 위치적 특성을 지니며(Ward et al., 2002; Naiman et al., 2005), 수질 정화, 홍수 조절, 생물다양성 증진, 탄소 흡수 및 저장 등 다양한 생태계 서비스를 동시에 제공한다(Pusey & Arthington, 2003; Capon et al., 2013; Riis et al., 2020).

특히 수변림은 빠르게 성장하는 수목과 초본 식생으로 인해 높은 탄소 저장 능력을 지니며, 기후변화 대응 측면에서 중요한 잠재력을 가진다(Dybala et al., 2019). 온대 수변림의 토양과 식생 탄소저장량 범위는 1~2,794 tC/ha로 보고되며(Sutfin et al., 2016), 성숙 수변림 지상부는 68~158 tC/ha의 탄소를 저장하는 것으로 나타났다. 또한 식재를 통한 복원은 자연천이에 비해 초기 탄소 축적 속도를 두 배 이상 가속화하고, 토양탄소도 무림지대 대비 장기적으로 200% 이상 증가하는 경향이 확인되었다(Dybala et al., 2019). 이는 버드나무류(*Salix* spp.)와 포플러류(*Populus* spp.) 등과 같이 교란 적응력이 뛰어난 수종들이 습지 환경에서도 안정적으로 빠르게 성장하기 때문이다(Karrenberg et al., 2002). 복원된 수변림은 토양과 목본 생체탄소의 증가를 통해 의미 있는 탄소 격리 효과를 보이며(Matzek et al., 2020), 일부 복원 사례에서는 복원 전 상태에 비해 탄소 저장량이 현저히 증가한 것으로 보고되었다(Clifton et al., 2024; Lininger et al., 2024). 이러한 탄소 격리 기능은 수변림 복원을 기후변화 대응 전략의 한 축으로 활용하도록 국제적 관심을 끌고 있다(Lininger et al., 2024; European Commission, 2021).

수변림 보전과 복원은 서식처 다양성과 생태적 연결성을 높여 토착종을 비롯한 생물다양성 보전에 기여할 뿐 아니라(Sabo et al., 2005) 기후변화 완화를 위한 탄소 흡수, 수질 개선 등 다면적 생태계 서비스를 제공하는 수단으로 활용되

고 있다(Capon et al., 2013). 국제적으로도 UN 생태계 복원 10년(2021-2030), UN 지속가능한 개발 목표(SDGs; SDG 6: 물과 위생, SDG 15: 육상 생태계), EU 자연복원법(2024) 등에서 수변림 복원은 법정 목표로 추진되고 있다(UNEP, 2019). 이는 수변림이 탄소 흡수원으로서뿐만 아니라 수질개선, 재해 저감, 생물다양성 보전, 지역사회 복원력(Resilience) 증진에 기여한다는 인식에서 출발한다(Capon et al., 2013, Perry et al., 2015).

그러나 국제사회의 기후, 탄소 관점의 전략은 수변림을 직접적으로 다루지 않는 한계를 지닌다. IPCC 2006 가이드라인과 2013 Wetlands Supplement, 2019 Refinement는 주로 연안습지(예: 맹그로브, 염습지, 잘피밭)에 대해 바이오매스와 토양탄소 산정 방법을 제시하고 있으며, 내륙습지의 수변림은 별도의 산정 체계를 제공하지 않는다(IPCC, 2006; 2013; 2019). 이로 인해 다수의 국가에서는 수변림이 온실가스 인벤토리에서 누락되거나 산림 범주에 통합되는 경우가 많으며, 한국 또한 수변림의 기여를 독립적으로 반영하지 못하는 상황에 놓여 있다.

한편, 한국에서는 근대화와 도시화 과정에서 수변림을 포함한 습지가 크게 감소하였으며(Yi, 2021), 현재도 하천 관리 정책은 이·치수 중심으로 식생 제거가 우선시되는 경향이 있다(Ahn & Lee, 2024). 이러한 접근은 수변림의 기후변화 대응 기능과 생태계 서비스 가치를 제한적으로 평가하게 하며, 결과적으로 수변림의 잠재력을 충분히 활용하지 못하는 상황을 초래한다. 특히 한국은 기후변화에 취약한 국가임에도 불구하고(KMA, 2020), 수변림을 기후변화 대응 전략의 핵심으로 다룬 정책적, 학술적 논의가 부족하다는 점에서 국제 비교 연구가 필요하다.

따라서 본 연구는 국제사회의 수변림 관리와 복원 등의 정책과 사례를 분석하여, 한국 수변림 관리 정책의 새로운 방향을 제시하는 것을 목적으로 한다. 기존 국내 수변림 연구는 주로 수질 개선, 서식처 및 생물다양성 보전, 비점오염원 저감 등 개별 생태계서비스 기능을 실증적으로 분석하는 데 초점을 두어 왔다(Han et al., 2013; Jo & Park, 2015; Seo, 2019; Lee, 2020). 이에 비해 본 연구는 수변림을 기후변화 대응과 탄소흡수원이라는 관점에서 재조명하고자 한다. 특히 유럽, 미국, 호주 등 선진국의 경험을 검토하여 그 효과성과 한계점을 평가하고, 이를 토대로 한국의 정책적 수용 가능성과 개선 방안을 모색함으로써, 수변림이 기후변화 대응 전략에서 중요한 역할을 수행할 수 있는 기반을 마련하고자 한다. 특히 탄소흡수원으로서 수변림의 잠재력을 국가 온실가스 인벤토리, 탄소시장 연계 가능성 등과 결부시켜 논의함으로써, 국내에서는 상대적으로 다루지 않았던 탄소회계와 습지정책 연계 틀을 구체화하였다는 점에서 의의를 갖는다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 국제사회의 수변림 복원 및 관리 정책을 검토하고, 이를 우리나라 정책과 비교하여 온실가스 인벤토리와

연계한 정책적 시사점을 도출하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 국제 정책 문서와 학술 문헌의 체계적 검토, 대표 국가 사례 선정, 비교 분석 프레임워크 적용 세 단계로 연구를 수행하였다.

연구 자료는 크게 두 범주로 구분하였다. 첫째, 국제기구와 각국 정부에서 발간한 정책과 법령, 전략 보고서를 수집하였다. 예를 들어, 유럽연합(EU)의 「자연복원규정(Nature Restoration Regulation, 2024)」, 미국 농무부(USDA)의 Conservation Reserve Program(CRP) 및 Conservation Reserve Enhancement Program(CREP), 브라질의 산림법(Forest Code, 1934 개정), 호주의 National Water Initiative와 Landcare 프로그램, 캐나다 연방 및 주정부 지침 등이 포함된다. 둘째, 학술 데이터베이스(Scopus, Web of Science, Google Scholar 등)를 활용하여 “riparian forest,” “riparian restoration,” “river restoration policy,” “wetland carbon sequestration” 등의 주요 키워드로 2000년 이후 출판된 문헌을 검토하였다. 또한 회색문헌(보고서, 브리핑 페이지, IUCN, UNEP 등)도 보조적으로 포함하였다.

국제 비교 대상 국가는 유럽연합(EU, 독일 사례 포함), 미국, 브라질, 캐나다, 호주로 한정하였다. 이들 국가는 수변림 복원과 관련하여 EU 자연복원규정(NRR)과 같은 구속력 있는 법적 복원 목표를 설정하고 있으며, 다양한 복원 프로젝트가 장기간 수행되어 경험적 성과가 축적된 제도화된 선진 사례에 해당한다. 또한 이들 국가는 국가 온실가스 인벤토리(NIR)에서 습지(Wetlands) 부문을 비교적 적극적으로 보고하거나, 수변림 복원이 기후, 탄소 정책(탄소중립, NDC 등)과 연계된 사례가 많아 한국과의 정책 비교 및 적용 가능성을 높인다고 판단했기 때문이다. 다만, 본 연구에서의 비교 분석은 각국의 정책적 특성과 이행 수준을 정성적으로 비교하여 한국 정책에 대한 시사점을 도출하는 데 중점을 두었으며, 정량적인 평가 점수 부여는 정책의 복잡성과 국가별 맥락을 충분히 반영하기 어렵다고 판단하여 배제하였다. 한국과 유사한 기후(몬순 기후) 및 지리적 특성을 가진 일본 등 동아시아 국가의 사례는 수문학적 특성(높은 하상계수)과 국토 운영 조건(하천변 사유지 비율)을 심층적으로 다루어야 하는 후속 연구에서 보완되어야 할 주요 과제로 설정하였다.

정책 분석을 위한 비교 틀은 선행연구에서 제시된 수변림 및 하천 복원 정책의 핵심 논점과 더불어, 복원 성과 평가 및 자연기반해법(Nature-based Solutions, NbS) 프레임워크에 관한 연구(Woolsey et al., 2007; Chausson et al., 2020; Nesshöver et al., 2017) 등을 종합적으로 참고하였다. 이에 따라 국가별 수변림 정책을 비교, 분석하기 위한 여섯 가지 분석 축을 설정하였다. 분석 축은 ① 법제화 수준(법률·규정의 구속력, 복원 목표 설정 여부), ② 재정적 수단(복원 자원, 농가 및 지자체 인센티브 구조), ③ 거버넌스 체계(중앙과 지방정부 역할 분담, 지역사회 참여 구조), ④ 기후변화 대응 연계성(탄소중립, NDC, SDGs와의 정합성), ⑤ 모니터링·MRV 체계(성과 평가 지표, 장기 모니터링,

데이터 표준화), ⑥ 온실가스 인벤토리 연계성(수변림의 탄소포집 능력 여부, 국가 고유계수 개발 현황, 활동자료 구축 정도)이다. 이를 통해 각국의 정책을 체계적으로 비교하고, 공통점과 차이점을 도출하였다.

한편, 국내 수변림 관련 정책 및 문헌은 기후에너지환경부, 국토교통부 등 중앙정부의 법령과 보고서를 우선 검토하였으며, 학술 문헌을 보조적으로 활용하였다. 특히, 수변림의 관리와 규제에 직접적 영향을 미치는 법령(「하천법」, 「습지보전법」 등)과 수변림을 기후변화 대응 수단으로 편입시킨 최근의 국가 상위 계획(예: 「제3차 온실가스 통계 총괄관리계획」, 「제1차 국가물관리기본계획」)을 중점적으로 선정하여 수변림의 규제-생태-기후 측면을 통합적으로 분석하는 근거로 삼았다. 특히, 수변구역 지정 및 관리 제도, 하천 관리 보고서, 최근의 국가 탄소중립 기본계획 등에서 수변림 관련 언급을 중심으로 분석하였다. 이를 통해 국내 정책의 현황과 한계점을 국제 비교 프레임워크에 맞추어 평가하였다.

3. 결과

3.1 국제사회의 수변림 관련 정책과 제도 동향

3.1.1 유럽연합(EU)

유럽연합은 최근 「2030 생물다양성 전략」과 「유럽 그린딜」의 일환으로 담수 생태계 복원을 핵심 과제로 채택하였다. 이는 회원국들의 하천 범람원 관리가 여전히 파편화되어 있으며, 수질 및 생물다양성 목표 달성이 미흡하다는 배경에서 출발하였다(European Commission, 2021). 이러한 문제를 해결하기 위해 유럽연합은 2024년 「자연복원규정(NRR)」을 제정하였으며, 회원국은 법적으로 구속력 있는 복원 목표 이행이 요구되고 있다. 모든 회원국은 2026년까지 국가 자연복원계획(National Restoration Plans)을 수립해 제출해야 하며, 이 계획에는 복원 대상 지역, 자원 조달, 일정, 모니터링 체계가 반드시 포함되어야 한다(IUCN, 2024). 특히 EU 생물다양성 전략(2030)과 자연복원규정(2024)에는 2030년까지 최소 25,000 km의 하천을 자유흐름 상태(free-flowing rivers)로 복원해야 한다는 구체적 목표가 명시되어 있다(European Commission, 2021; European Parliament & Council of the European Union, 2024).

하천과 범람원 복원을 국가 차원의 복원계획과 정기 보고 체계로 관리하고 있는 것이다. 이러한 제도적 접근은 선언적 목표를 넘어 실행력을 확보하려는 시도로, 보·댐 제거, 제방 후퇴, 수변림 완충대 설치 등 다양한 자연기반해법이 주요 수단으로 제시되고 있다(IUCN, 2024).

예컨대, 독일의 라인강에서는 범람원 재연결과 제방 후퇴, 보 제거를 통해 홍수위험 완화와 퇴적물 관리, 수질 개선, 생물다양성 회복 등 다차원적 효과가 확인되고 있다(Buijse et al., 2002). 프랑스는 루아르강에서 ‘Plan Loire Grandeur Nature’를 통해 측수로와 범람원 재연결 및 구조물 저감(수

제 낮춤 등) 등을 추진하며 생태복원과 홍수관리의 결합을 강화했고, 세느강 유역에서도 EU 홍수위험지침에 따른 유역 홍수위험관리와 연동해 범람 확장지역의 복원 및 보전 후호지를 체계적으로 도출하고 있다(Yousry et al., 2022; Dereppe et al., 2024). 네덜란드는 “Room for the River” 프로그램을 통해 범람원 재연결과 수변림 복원을 국가 홍수 안전정책의 핵심으로 통합하였다(Rijke et al., 2012).

다만 이러한 노력에도 불구하고 국가 간 이행 속도 차이, 모니터링 지표의 불일치, 장기 재원 확보의 불안정성은 여전히 주요 한계로 지적된다(European Environment Agency, 2022). 또한 다수 회원국의 온실가스 인벤토리에서는 수변림이 독립된 탄소흡수원으로 계상되지 않고 있는 상황이다. 그럼에도 EU의 복원 정책은 단순한 생태복원을 넘어 기후변화 적응, 수질관리, 재해위험 경감까지 포괄하는 방향으로 발전하고 있다(Bernhardt & Palmer, 2011). 특히 독일은 유럽 내에서 유일하게 국가 인벤토리(NIR)에 수변식생(목본, 초본)의 탄소저장고를 포함하여 습지 부문에서 “Terrestrial wetlands” 카테고리를 신설하여 보고하고 있다. 이러한 접근은 수변림 복원과 같은 육상습지의 생태복원 활동을 기후변화 완화의 정량적 회계체계에 통합한 사례로, EU 복원정책을 탄소회계 및 감축목표 달성 체계로 확장한 선도적 모델로 평가된다(Germany, 2024).

3.1.2 미국

미국의 수변림 복원 정책은 농업 활동에서 비롯된 비점오염원(non-point source pollution) 문제 해결을 위한 대응에서 시작되었다. 특히 체사피크만과 미시시피강 유역에서 농경지의 비료, 퇴비 유출로 인한 질소, 인 농도 증가와 수질 악화가 사회적 문제로 부각되면서, 농업 기반 수질관리 정책이 본격화되었다(U.S. EPA, 2016). 이러한 배경 속에서 1985년 수변림 복원 정책의 근간이 되는 「Conservation Reserve Program(CRP)」이 도입되었다(USDA FSA, 2022a). 이는 농민이 경작지 일부를 10~15년간 휴경하고 식생을 복원하는 조건으로 정부가 임대료와 보전 비용을 지원하는 제도이다. 이후 「Conservation Reserve Enhancement Program (CREP)」은 연방정부와 주정부, 지방정부가 공동으로 재원을 부담하여 지역 우선 목표-예를 들어 수질 개선, 야생동물 서식처 복원, 홍수 완화-를 달성하도록 설계되었다(Hellerstein, 2017; Kleinman et al., 2019; USDA FSA, 2022b). CRP와 CREP 프로그램을 통해 조성된 수변 완충대와 수변림은 수질 개선 및 생태계 복원 효과를 실증적으로 보여주고 있다(Tomer et al., 2009; Dosskey et al., 2010). 즉, 초기의 단순한 농업직불금 기반 보전정책이 점차 확장되어, 오늘날에는 기후변화 대응과 탄소 흡수원 확충을 포함하는 종합적 수변림 복원 정책으로 발전하였다. 실제로 미국 서부 지역에서는 수변림 복원을 통해 토양과 목질 바이오매스 내 탄소 저장량이 유의미하게 증가한 것으로 보고되고 있다(Matzek et al., 2020).

이러한 제도적 틀은 지역 또는 유역 단위의 복원사업을 통

해 구체화되고 있다. 예를 들어 미시시피 하류(Lower Mississippi Alluvial Valley)에서는 농경지의 범람원 재조립을 통해 홍수성 유출량 완화와 퇴적물 저감이 실측모형 분석으로 확인되었으며(Ouyang et al., 2013), 이 지역의 복원 이니셔티브는 홍수 조절과 탄소 저장을 병행하는 목표로 추진되고 있다(Stanturf & Gardiner, 2024). 또한 체사피크만 유역에서는 CREP 기반의 수변림 완충대가 질소와 인, 퇴적물 저감 측면에서 비용 대비 높은 효율성을 보이는 것으로 평가되었다(Chesapeake Bay Riparian Forest Buffer Initiative, 2015; Kleinman et al., 2019). 서부 워싱턴주의 Floodplains by Design 프로그램은 제방 후퇴, 범람원 복원, 토착식생 식재를 통합하여 홍수위험 완화와 서식처 복원을 동시에 달성한 대표적 사례로 꼽힌다(Washington State Department of Ecology, 2019). 그러나 단기 계약 위주의 제도 설계와 농가 참여 지속성 확보의 어려움은 구조적 한계로 지적된다. 그럼에도 불구하고 미국의 경험은 수변림 복원이 수질관리 정책을 넘어 기후변화 대응과 재해 위험 경감 등 다차원적 목표로 확장되었음을 보여준다.

3.1.3 브라질

브라질의 수변림 복원 정책은 급격한 산림 벌채와 농업 확장으로 인한 아마존 및 주요 강 유역의 생태계 훼손을 배경으로 발전하였다. 1934년 제정된 「산림법(Forest Code)」은 수변림을 포함한 영구보호구역(APP, Areas of Permanent Protection)을 설정하도록 하고 있다. 이 법은 모든 사유지에서 하천과 호수 주변의 일정 폭 이상의 수변림을 보전하고 복원할 의무와 토지 소유주의 복원계획 제출 및 이행을 규정하고 있다. 이후 2012년 개정 산림법은 사유지 내 훼손된 APP의 복원 의무를 강화하고, 위성 기반 환경등록제도(CAR, Rural Environmental Registry)를 통해 토지 소유자의 이행상황을 관리하도록 하였다(Soares-Filho et al., 2014). 이 제도는 사유지를 포함한 전 국토 차원의 법적 의무 복원체계라는 점에서 국제적으로도 독특한 접근으로 평가된다. 그러나 브라질도 여전히 국가 온실가스 인벤토리에서는 수변림을 별도로 산정하지는 않고 있다.

브라질의 수변림 복원 수단으로는 토착종 혼합식재, 농지 전환 및 경작 제한, 토양 침식 방지 및 수질개선 기술이 활용되며, 최근에는 위성 원격탐사 기반의 복원 이행 감사가 적극 도입되고 있다(Simões et al., 2022; Fachinelli et al., 2023). 예컨대 상파울루주 Pardo 유역에서는 원격탐사와 GIS를 활용해 복원 우선순위 지역을 설정하고 토착종 식재 계획을 수립하는 시범사업이 추진되었으며(Simões et al., 2022), 일부 지역에서는 복원된 수변림이 토사유출과 부영양화 완화에 기여하는 것으로 보고되었다(Fachinelli et al., 2023). 그러나 광범위한 국토 규모와 사유지 경계의 불명확성, 행정 집행력 부족으로 인해 복원 의무 이행률은 낮은 수준에 머물러 있으며, 토지의 불법 전환과 지속적 벌목이 제도적 한계로 지적된다(Soares-Filho et al., 2014; Gastauer et al., 2020). 그럼에도 불구하고 브라질은 법적 의무화와

위성 기반 모니터링의 결합을 통해 복원 제도의 투명성과 책임성(accountability)을 제고한 선도적 사례로 평가된다.

3.1.4 캐나다

캐나다는 연방정부와 주정부 간의 협력 체계를 바탕으로, 수질 개선, 홍수 완화, 생물다양성 회복 등의 목표를 달성하기 위해 수변림 복원 사업을 적극 추진하고 있다. 특히 앨버타주는 2013년 대홍수 이후 도입된 「Watershed Resiliency and Restoration Program(WRRP)」을 통해 가뭄, 홍수에 대한 유역 회복력(resiliency) 강화를 핵심 목표로 복원 사업을 운영하고 있으며, 하천, 습지, 범람원 등 수변지역의 기능 회복과 자연기반해법(NbS)을 통합적으로 추진하고 있다(Alberta Environment and Parks, 2019). 이 프로그램은 단순한 수질관리 사업을 넘어 지역사회와 지자체, 비영리단체가 참여하는 협치형 복원사업으로 확장되었다. 현장 적용성과 일관성을 높이기 위해, 앨버타에서는 「Manual for Riparian Forest Buffer Establishment in Alberta」를 비롯한 표준화된 매뉴얼을 제작, 보급하여 복원 대상지 선정, 식생 설계, 모니터링 절차를 구체화하고 있다(Agroforestry & Woodlot Extension Society, 2017). 또한 「Riparian Management Course Workbook」에서는 하안 침식 억제와 경사 안정화를 위해 생물공학적 복원기법(bioengineering)의 적용을 권장하며, 이를 토양과 식생, 수리공학의 통합적 관리 수단으로 제시하고 있다(AWES, 2019).

실제 현장에서는 Cows and Fish(Alberta Riparian Habitat Management Society) 등 비영리단체가 참여하여 울타리 설치, 가축 접근 제한, 생물공학적 구조물 설치, 식생 식재 등을 결합한 복원 활동을 수행하고 있다(Alberta Conservation Association, 2019).

이처럼 캐나다는 연방·주정부 간 협력과 지역 파트너십을 통해 제도화된 복원 매뉴얼, 현장기반 생물공학 기법, 시민참여형 실행체계를 마련한 것이 특징이다. 반면, 주별 예산 의존도와 장기 유지관리 체계의 불균형, 복원 효과의 정량평가 한계는 향후 과제로 지적된다.

3.1.5 호주

호주는 수변림을 독립적 정책 대상으로 다루기보다 유역 단위의 물관리 및 토지복원 정책의 일부로 포괄하고 있다. 연방정부와 주정부 간 협약으로 제정된 「National Water Initiative(NWI)」(COAG, 2004)는 수자원 이용 효율화와 환경유량 확보를 핵심 원칙으로 하며, 수질 개선 및 침식 저감의 수단으로 수변식생 관리(riparian vegetation management)를 포함하였다(COAG, 2004). 또한 「Landcare Program」은 농가와 지역 공동체가 주체가 되어 토양, 식생, 하천변 복원을 추진하는 참여형 복원 플랫폼으로 기능하며, 수변림 복원은 이 프로그램 내에서 간접적으로 수행되고 있다(Lovett & Price, 2007).

이처럼 호주는 수변림을 별도 정책으로 제도화하지 않았으나, 연방-주-민간 간 협력 구조와 지역 공동체의 자발적 참여, 그리고 과학적 근거에 기반한 복원 체계를 결합한 것이 특징이다. 예를 들어 Webb and Erskine(2003)은 토착종 식재, 하안 안정화, 토지소유자 협력을 결합한 실증 기반 복원모델을 제시하였으며, 이는 지역 주도의 수변림 복원 실천을 과학적으로 뒷받침하였다. 결국 호주의 접근은 법정 복원목표나 중앙집중형 정책은 부재하지만, 현장 중심의 분권적, 참여형 복원체계를 발전시켰다는 점에서 의의가 있다. 이는 중앙정부 주도의 제도 틀을 가진 한국과는 상반되지만, 향후 우리나라의 수변림 복원정책이 지역 공동체 기반

Table 1. Comparative overview of international riparian forest restoration policies

Category	Institutional Feature	Main Measures	Limitations	Implications for Korea
EU	Binding national restoration targets under the Nature Restoration Regulation (NRR)	Dam/weir removal, floodplain reconnection, riparian forest restoration	Uneven implementation among Member States; unstable long-term financing	Establish legally binding national restoration targets and integrate them into biodiversity and climate strategies
USA	Incentive-based conservation programs (CRP/CREP, CP22 Riparian Buffer)	Riparian buffers, land retirement, watershed-scale projects (e.g., RiverNation)	Short contract duration; variable farmer participation	Introduce performance-based incentives linking farm subsidies and water quality outcomes
Brazil	Legal obligation on private lands (Forest Code, APP - Áreas de Preservação Permanente)	Native species replanting, land-use restriction, remote sensing-based compliance monitoring	Weak enforcement capacity; illegal land conversion	Combine legal obligations with national-scale monitoring and enforcement systems
Canada	Standardized manuals and training programs (WRRP, AWES, ACA)	Bioengineering, live staking, landowner training, habitat restoration	Indicator inconsistency; budget constraints	Develop standardized technical manuals and strengthen local government capacity
Australia	Community-based governance (Landcare, National Water Initiative)	Riparian planting, fencing, grazing management, erosion control	Long-term funding uncertainty; inconsistent post-project monitoring	Build community-based restoration platforms and secure multi-level, stable financing mechanisms

참여, 민관협력 재원 구조, 과학적 모니터링 체계를 강화하는 방향으로 발전 시키는데 중요한 시사점을 제공한다.

3.1.6 소결

국외 주요 국가들의 수변림 복원과 관리 정책은 각각 상이한 제도적 장치와 실행 메커니즘을 통해 추진되고 있다. 이를 종합적으로 비교하면, EU는 법적 구속력 있는 국가 복원 계획을 의무화하고 있고, 미국은 농업직불금과 연계된 인센티브 제도, 브라질은 사유지 단위의 복원 및 관리 의무화, 캐나다는 표준화된 기술매뉴얼과 교육 체계, 호주는 지역사회 기반 거버넌스를 특징으로 한다(Table 1). 또한 대부분 국가의 온실가스 인벤토리에서 수변림은 습지 카테고리 내에서 별도의 탄소흡수원으로 반영하지 않고 있다.

3.2 우리나라의 수변림 관련 동향

국내 수변림 연구는 주로 수질 관리와 생태적 기능에 초점을 두어 전개되어 왔다. 학술 연구는 주로 수변식생이 비점 오염 저감, 토양 안정화, 생물다양성 증진 등 수질 개선에 미치는 효과를 실증하거나 모델링을 통해 검증하는 데 집중되었다(Han et al., 2013; Jo & Park, 2015; Seo, 2019; Lee, 2020). 최근에는 생태계서비스나 탄소 저감 기능에 대한 관심이 확대되면서, 수변림 성장 특성과 생물량 변화(Cho et al., 2017), 수변 완충녹지의 설계 및 주민참여형 관리모델 제안(Ban, 2022) 등이 진행되었다. 또한 위성영상 기반의 하천식생 확산 분석(Yoon, 2021)과 도시권 습지 주변의 탄소흡수량 평가(Park et al., 2025) 등 공간과 기후 요소를 결합한 연구로도 확장되고 있다. 그러나 아직도 많은 연구들은 수질 개선 또는 식생 복원 차원에 국한되어 있어, 기후변화 대응이나 탄소중립 정책과의 연계성은 충분히 드러나지 않는다.

정책적 측면에서 수변림은 독립적인 복원 또는 관리의 대상이라기보다는 하천 관리의 부속 요소로 다루어지고 있다. 「하천법」은 제방 관리와 홍수 방지 등 치수 기능을 중심으로 규정되어 있으며, 「습지보전법」은 습지 생태계의 보전과 현명한 이용을 강조하지만 수변림을 직접적으로 규정하지 않는다. 「물환경보전법」에 따른 수변구역 지정 및 관리 제도는 사실상 수변림과 가장 밀접한 제도적 장치이지만, 이 역시 상수원 보호와 오염원 차단이라는 협소한 목적에 국한되어 있다. 또한 「4대강 수계법」이 수계관리기금을 기반으로 토지 매수 사업과 수변생태벨트 조성 사업 등을 추진하고 있지만, 많은 지역이 본 연구의 수변림 정의에 벗어난 입지에서 관련 사업들이 이루어지고 있다. 결국 국내의 다양한 법·제도적 기반에도 불구하고, 수변림은 기후변화 대응, 탄소 흡수원, 생태계서비스 제공자로서의 다차원적 가치가 정책적으로 충분히 반영되지 못했다는 것은 분명한 사실이다.

다만 최근 들어 변화의 조짐이 나타나고 있다. 「제3차 물환경관리 기본계획(2026~2035)」 초안은 수변림을 수질 개선과 생태축 연결의 핵심 요소로 다루어지고 있으며, 하천 관리에서 수변림 복원의 필요성을 명확히 언급하고 있다(MOE, in press, 2025). 또한 「제3차 온실가스 통계 총괄관리 계획(2025~2029)」에서는 수변림을 탄소흡수원 확충 및 탄소중립 이행 수단으로 포함시켜 기후변화 대응 전략의 일부로 편입시켰다(MOE, 2024). 나아가 국가물관리위원회가 수립한 「제1차 국가물관리기본계획(2021~2030)」과 이에 연계된 4대강 수계별 기본계획은 물 분야의 탄소중립 이행을 핵심 과제로 제시하며, 토지 매수 및 수변구역 관리와 연계한 수변생태벨트 조성, 수변완충지대 복원, 비점오염원 저

Table 2. Comparison of riparian forest policy emphasis between international cases and Korea

Dimension	International trend	Korea
Legal framework	Binding restoration targets and legal obligations (e.g., EU <i>Nature Restoration Regulation</i> , Brazil's <i>Forest Code</i>)	Indirect management under the <i>River Act</i> and <i>Wetlands Conservation Act</i> ; absence of explicit restoration targets or mandates
Climate linkage	Explicit integration with carbon neutrality, Nationally Determined Contributions (NDCs), and climate adaptation strategies	Recently referenced in national plans (e.g., <i>Basic Plan for Water Environment Management</i>), but not yet institutionalized within climate policy frameworks
Governance	Decentralized, farmer- and community-based participatory governance models (e.g., USA's watershed councils, Canada's WRRP, Australia's Landcare)	Central government and basin-level funds dominate; limited mechanisms for local or stakeholder participation
Financial instruments	Multi-layered incentives, subsidies, and tax credit schemes (e.g., USDA's CRP/CREP programs)	Primarily land-purchase-based compensation; rising land values reduce cost-efficiency and long-term sustainability
Monitoring & MRV	Institutionalized MRV systems using remote sensing, periodic reporting, and long-term field monitoring	Lack of riparian-specific emission/removal factors and indicators; limited long-term ecological or carbon monitoring frameworks
Inventory linkage	Limited so far; few countries explicitly include riparian forests in National Inventory Reports (Germany a notable exception reporting "terrestrial wetlands" biomass)	No riparian-specific emission factors (EF) or activity data (AD); riparian forests currently excluded from national GHG inventory accounting

감 등 탄소흡수 생태공간 확충 방향을 포함하고 있다 (National Water Management Committee, 2021; MOE, 2024a; 2024b; 2024c).

3.3 국내외 수변림 관리 정책 비교 및 시사점

국제사회와 한국의 수변림 정책은 지향점과 실행 방식에서 뚜렷한 차이를 보인다. 국제사회는 수변림을 기후변화 대응, 탄소중립, 생물다양성 보전이라는 통합적 어젠다 속에서 복원해야 할 핵심 인프라로 인식하고 있다. 해외의 주요 국가는 수변림을 법정 복원 목표 또는 기후, 농업, 수자원 정책 등과 연계하고 있다. 또한, 지역사회 참여 거버넌스나 재정 인센티브, 과학 기반 모니터링 체계를 통해 체계적으로 관리한다. 특히 독일 등 일부 국가는 수변림을 온실가스 인벤토리상 ‘육상습지(terrestrial wetlands)’로 구분하여 독립 산정함으로써, 복원정책과 기후변화 완화정책을 유기적으로 연계한 통합적 탄소관리체계를 구축하고 있다.

반면, 한국은 다양한 법적, 재정적 수단이 존재함에도 불구하고 수변림의 기능과 가치가 정책적으로 충분히 편입되지 못하고 있다. 특히, 한국은 국가하천의 수변 토지가 대부분 국유지(하천 구역)라는 특징을 가지며, 이는 해외의 사유지 중심 정책(미국 CRP, 브라질 산림법)과는 근본적인 국토 운영 조건의 차이를 유발한다. 국가 기후정책 및 온실가스 MRV 체계에서도 수변림의 역할이 명확히 규정되지 않아 제도적 기반이 미흡한 실정이다. 이러한 점은 국제사회의 체계적 접근과 대비되며, 향후 개선 방향을 모색하기 위한 비교 분석이 필요하다. 이에 따라 본 절에서는 법제화 수준, 기후정책 연계성, 거버넌스 구조, 재정수단, 모니터링 및 MRV 체계의 다섯 가지 측면에서 주요 국가 사례와 한국의 현황을 비교하였다(Table 2; Fig. 1).

첫째, 법제화 수준에서는 EU와 브라질이 구속력 있는 복원 법제를 운영하는 반면, 한국은 「하천법」, 「습지보전법」 등을 통해 간접적으로 수변림을 관리하고 있으나 복원 목표나 법적 의무가 부재하다. 둘째, 기후변화 연계성은 국제사회가 수변림 복원을 탄소중립, NDC, 기후적응 전략과 제도적으로 연계하는 반면, 우리나라는 정책적 논의가 이제 시작된 단계이다. 셋째, 거버넌스 체계는 미국, 캐나다, 호주 가 농가와 지역사회 기반의 참여형 구조를 제도화한 것과 달리, 한국은 중앙정부와 중심의 관리 구조에 의존하고 있다. 넷째, 재정적 수단은 해외가 보조금, 직불제, 세제 혜택 등 다층적 구조를 마련한 반면, 한국은 단순 토지 매수 중심으로 제한적이다. 다섯째, 모니터링 및 MRV 체계는 해외가 정기 보고, 위성 감시, 장기 모니터링 등 과학적 체계를 확립한 반면, 한국은 표준계수와 모니터링 체계 등이 종합적으로 부재하여 제도적 기반이 취약하다. 이러한 비교 결과는 몇 가지 정책적 공백을 시사한다.

(1) 수변림 특화 온실가스 배출 및 흡수계수와 활동자료의 미비로 국가 인벤토리 보고에서 수변림의 탄소 기여가 반영되지 못하고 있으며, (2) 국가 차원의 법정 복원 목표나 중장기 계획이 부재해 국제적 정합성이 부족하고, (3) 홍수터

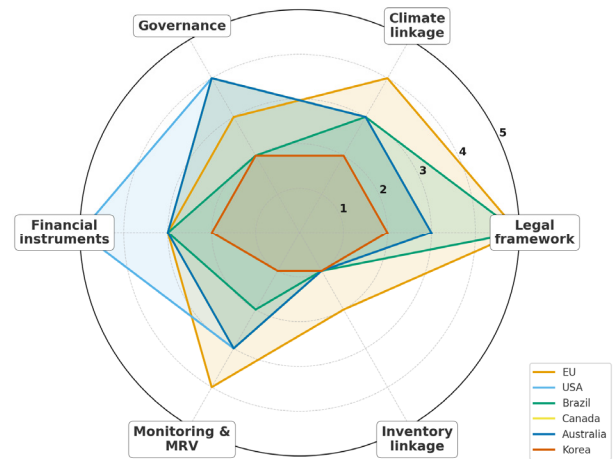


Fig. 1. Comparative Policy Emphasis on Riparian Forests (6 Dimensions).

This radar chart compares the relative emphasis placed on six policy dimensions—Legal framework, Climate linkage, Governance, Financial instruments, Monitoring & MRV, and Inventory linkage—across selected international cases (EU, USA, Brazil, Canada, Australia) and Korea. International approaches generally demonstrate a more balanced and multidimensional emphasis, though most countries show limited progress on inventory linkage, with Germany being a notable exception. Korea shows comparatively lower scores across all dimensions, particularly in climate linkage, MRV, and inventory integration, highlighting critical areas for policy and research improvement.

식재와 통수능 관리 간의 트레이드오프를 해결할 관리형 복원 표준이 존재하지 않으며, (4) 국내 연구는 수질과 생태 기능에 집중되어 기후 및 탄소와의 연계성이 부족하다. 결국, 한국의 수변림 정책은 수질 중심의 관리 틀에서 벗어나 기후, 탄소, 생물다양성을 통합적으로 관리할 수 있는 방향으로 전환이 필요하다.

4 정책 제언

4.1 정책 방향의 기본 원칙

국제사회는 수변림을 기후변화 대응, 생물다양성 보전, 생태계서비스 증진의 핵심 생태계로 인식하며, 과학적 근거와 지역사회 참여를 바탕으로 복원과 관리를 병행하고 있다 (Abernethy & Rutherford, 2000; Hoppenreijns et al., 2022; Lightbody et al., 2019). 반면, 국내에서는 여전히 수변림을 하천 관리의 장애물로 보는 시각이 잔존하며, 제도적 기반과 정책적 지원이 미흡하다. 이러한 현실은 수변림이 국가 온실가스 감축(NDC), 기후적응, 생물다양성 전략에 기여할 수 있음에도 불구하고, 그 잠재력이 충분히 반영되지 못하는 원인이 된다.

따라서 한국의 수변림 정책은 단순한 하천 경관 관리 차원을 넘어, 국가 전략 자산으로서의 위상을 확립하는 방향으

로 전환되어야 한다. 이를 위해 다음과 같은 기본 원칙이 요구된다.

- (1) 통합적 목표 설정 - 수변림을 탄소, 물, 생물다양성 공동목표에 통합해 국가정책의 정량적 지표로 내재화하고, 중앙정부(기후부)는 입법적 기반을, 지자체는 관리 계획 수립 및 실행 주체로서 역할을 강화할 것
- (2) 리스크 기반 적응 관리 - 리스크 기반 적응관리를 도입해 치수 안정성과 생태적 기능을 동시에 달성할 것
- (3) 법·제도 정합성 - 「물환경보전법」 등 관련 법령에 수변림의 '기후탄력성 및 탄소 흡수 기능'을 명시적으로 추가하여 법적, 제도적 기반을 정비하고, 기후부 주도로 MRV 체계 마련 및 국가 온실가스 인벤토리와의 정합성을 확보할 것
- (4) 가치기반 재원 조달 - 수변림의 생태계서비스 가치를 정량적으로 평가하여 재정 메커니즘과 연계할 것
- (5) 참여 거버넌스 구축 - 지자체와 지역공동체 등의 참여를 제도화하여 상향식 거버넌스를 강화하고, 수변생태계 연결성 회복과 관리형 복원을 결합하는 새로운 패러다임을 확립할 것

4.2 수변림의 탄소흡수원으로서의 위상 확립

수변림은 빠른 생장률과 높은 토양 유기물 축적 능력을 바탕으로 다른 육상 생태계에 비해 높은 탄소흡수 잠재력을 지닌다(Dybala et al., 2019; Matzek et al., 2020; Clifton et al., 2024). 특히 범람원과 수변 토양은 유기탄소 저장고로 기능하며, 나무와 관목, 초본류 등은 바이오매스와 토양을 통해 대기 중 이산화탄소를 효과적으로 격리한다. 그러나 현행 IPCC 2006 가이드라인과 2013 Wetlands Supplement, 2019 Refinement의 방법론은 주로 침수된 공간과 연안습지(예: 맹그로브림, 갈피밭, 염습지)에 초점을 맞추고 있으며, 수변림에 대한 방법론은 부재하다(IPCC, 2006; 2013; 2019). 이로 인해 수변림은 대부분 산림 부문에 포함되어 산정되지만, 이는 습지의 정의 및 기능과 불일치하는 측면이 있다. 독일의 경우 수변림을 습지 관리 범주에서 계상하는 접근을 취하고 있으며, 이는 탄소흡수원 관리 차원에서도 일관된 정책 방향으로 평가된다. 나아가 IPCC 역시 방법론이 제공되지 않는 세부 부문에 대해서는 각국이 독자적으로 국가고유계수를 개발하고 산정하도록 유연성을 부여하고 있다. 따라서 한국은 수변림을 탄소, 물, 생물다양성 관점에서 동시에 인지하되, 특히 기후변화 적응과 탄소흡수원 관리라는 시대적 과제에 맞추어 그 기능을 정확히 반영해야 한다.

현재 한국 국가 온실가스 인벤토리(NIR)에서는 수변림의 바이오매스, 토양유기탄소, 고사목, 유기물이 보고되지 못하고 있으며, 결과적으로 수변림의 기여가 과소평가되고 있다. 향후에는 목본식생과 토양을 중심으로 인벤토리를 산정할 수 있도록 준비해야 한다(IPCC, 2006; 2019). 이를 위해서는 우선 수변림의 면적과 재적 변화를 정밀하게 조사·연구하고, 토양 유기탄소 및 고사목, 유기물층 풀(pool)에 대한

주기적 모니터링을 수행해야 한다. 나아가 이러한 데이터는 원격탐사와 현장조사를 결합한 MRV 체계(설계-계측-검증)로 제도화하여, 국제적 보고체계와 호환 가능한 정량적 데이터베이스로 구축해야 한다. 이는 단순히 보고의 정밀성을 높이는 수준을 넘어, 수변림을 국가 차원의 탄소흡수원으로 제도화하는 토대가 될 것이다.

4.3 자연기반해법(NbS)과 관리형 복원: 새로운 정책 패러다임

앞서 살펴본 것처럼 수변림은 탄소흡수원으로서 중요한 기능을 수행한다. 이러한 기능이 정책적으로 제대로 발휘되기 위해서는 복원과 관리가 단순한 보전 차원에 머물지 않고, 기후변화 대응과 수자원 관리를 아우르는 새로운 패러다임으로 접근될 필요가 있다.

수변림 복원은 탄소흡수 증대, 수질 개선, 홍수 및 가뭄 완화, 서식처 다양성 증진 등 다양한 편익을 제공하는 대표적 자연기반해법이다(Matzek et al., 2020). 동시에 수변림은 하천의 유속을 완화하고 침식과 퇴적을 줄여 하천 안정성과 생태계 복원력을 높이는데 기여한다(Hoppenreijts et al., 2022; Lightbody et al., 2019; Abernethy & Rutherford, 2000). 그러나 하천의 좁은 구간이나 교량, 수문 인접부에서는 식생과 고사목이 흐름 저항을 높여 국지적으로 홍수위 상승할 수 있다는 위험도 존재한다(Anderson et al., 2006; Vargas-Luna et al., 2015). 한국의 하천도 높은 하상계수(유량 변동폭)와 여름철 집중호우가 잦은 기후 특성으로 인해, 식생에 의한 흐름 저항 증가가 홍수위 상승이라는 치수 리스크로 연결될 가능성이 해외 사례보다 높을 수도 있다.

이러한 편익과 위험의 이중적 효과 때문에 수변림 복원은 단순히 자연에 맡기는 '방임(무관리)'이 아니라, 잠재적 위험을 최소화하고 생태적 기능을 극대화 하기 위한 지속적이고 능동적인 관리를 반드시 수반해야 한다. 오히려 토착종 중심의 식재, 식생 밀도와 높이의 단계적 관리, 구조물 인접부의 완충대 설정, 유목과 퇴적물의 선택적 제거, 생태공학 적 호안 조성 등 관리형 복원 전략이 필요하다(Västilä & Järvelä, 2017; Walczak et al., 2018). 더 나아가 하천 구간별 특성을 반영한 관리 지침을 마련하고, 홍수 위험이 커질 수 있는 구간에서는 사전에 식생 관리 기준을 설정함으로써 "일괄 제거"가 아닌 조건부 또는 적응적 관리로 전환해야 한다.

호주와 유럽의 사례는 수변림 복원이 국지적(하천 상류역)으로는 홍수 수위를 다소 높일 수 있지만, 유역 전체에서는 홍수파를 지연 시키거나 완화시켜 오히려 하류의 홍수 위험을 줄일 수 있음을 보여준다(Rutherford et al., 2007). 이는 한국의 치수 중심 하천관리에서 흔히 전제되는 "수변림은 홍수에 해롭다"는 인식을 근본적으로 수정해야 함을 시사한다. 따라서 수변림은 단순히 제거 대상이 아니라, 필요하다면 인위적 식재까지 적극적으로 추진해야 하는 새로운 관리 패러다임의 핵심 대상으로 정책적으로 자리매김 되어야 한다.

또한, 수변림의 순기능은 유량시계열의 복원을 통해 발현

되므로(Hughes & Rood, 2003), 인위적 식재가 수변림 경우에도 유량복원, 관리형 복원, 탄소흡수 기능이 통합적으로 고려되어야 한다. 이러한 접근은 수변림 복원을 단순한 조경사업이 아닌 기후적응형 생태인프라 구축으로 전환시키는 기반이 될 것이다.

4.4 생태계서비스 가치평가와 재정 메커니즘

수변림이 제공하는 생태계서비스의 가치를 과학적으로 평가하여 정책 결정에 반영하는 것은 복원의 정당성과 실행력을 확보하는 핵심 근거가 된다(Riis et al., 2020). 수변림은 수질 개선, 홍수 완화, 탄소 저장, 생물다양성 증진 등 다양한 혜택을 제공하며, 이러한 효과를 정량적으로 측정하고 경제적 가치로 환산하는 연구가 필요하다. 예를 들어 토지 이용 변화나 복원 전·후의 환경지표를 이용해 비용-편익 분석이나 지불의사 조사를 통해 복원사업이 제공하는 생태계서비스의 사회적 편익을 구체적으로 산정할 수 있다(Bateman et al., 2011). 이러한 평가는 단순한 연구 차원을 넘어, 복원 정책과 예산 배분의 근거로 활용되어야 한다. 즉, 수변림 복원의 효과를 정기적으로 모니터링하고 지표화함으로써, 그 결과를 국가나 지자체의 생태계 복원 투자계획 및 재정 지원 기준에 반영할 필요가 있다.

복원 성과를 수치화하고 평가하는 이러한 체계는 장기적으로 자연기반해법(NbS) 사업의 투자 우선순위를 결정하고, 수변림 복원을 일회성 사업이 아닌 지속 가능한 공공투자 분야로 전환시키는 핵심 기반이 될 것이다(Brauman et al., 2007). 특히 우리나라는 수변림 복원을 통해 얻어지는 수질 개선과 홍수 저감 효과를 수계관리기금, 물환경기금 등 기존 재정 수단과 연계하면, 복원사업의 비용 효율성과 사회적 타당성을 동시에 높일 수 있을 것이다. 궁극적으로 수변림 가치평가 체계는 단순한 경제성 분석이 아니라, 기후, 물, 생태계 기능을 통합적으로 고려하는 과학적 관리 도구로서 활용되어야 할 것이다.

4.5 탄소시장·배출권 연계

탄소배출권 거래제는 기업이나 기관이 온실가스 배출을 줄이도록 유도하는 시장 기반 제도로, 배출 허용량을 정하고 이를 초과하는 경우 탄소배출권을 구매하도록 하는 시스템이다. 이러한 제도를 수변림 복원에 연계하려면, 무엇보다 복원된 수변림이 실질적인 탄소흡수원으로 기능한다는 과학적 근거와 공인된 산정방법론이 필요하다(Matzeck et al., 2020; Dybala et al., 2019). 이를 위해서는 수변림의 바이오매스와 토양, 고사목 등 탄소저장고 내 탄소 저장량을 신뢰성 있게 평가할 수 있는 조사·모니터링·검증(MRV) 체계와 이를 뒷받침할 국가 단위의 데이터베이스 구축이 필수적이다. 국제적으로는 자연기반해법(NbS) 접근을 통해 수변림 복원이 탄소상쇄와 배출권 시장에 포함되는 사례가 점차 늘고 있으며(Griscom et al., 2017), 한국 역시 이러한 흐름을 반영해 제도적 기반을 마련할 필요가 있다.

국제적으로는 이미 유사한 제도가 운영되고 있다. 예를 들

어, UNFCCC의 REDD+ 메커니즘은 열대·아열대의 수변림과 홍수림을 포함해 산림전용 방지 및 복원 활동을 탄소배출권으로 전환하고 있으며, 국가 보고체제와 연동되어 국제 자금 지원을 이끌어내고 있다(Angelsen et al., 2018). 미국 캘리포니아의 Cap-and-Trade 프로그램은 산림 오프셋 방법론을 운영하며, forest projects(재조림, 숲관리 등) 내 다양한 산림 프로젝트가 탄소 크레딧 발급 대상이다(California Air Resources Board, 2021). 호주는 Australian Carbon Credit Unit(ACCU) 제도를 통해 토착종 식재와 산림 복원 프로젝트를 탄소흡수원으로 인정하고 있으며, 이 범주에는 수변 지역의 토착 식생 복원도 포함될 수 있다. 확보된 ACCUs는 기업과 정부가 구매, 투자할 수 있도록 운영되고 있다(Commonwealth of Australia, 2017). 이러한 사례는 수변림 복원이 탄소시장에 연계될 수 있음을 보여주는 동시에, 법제도적 기반과 신뢰성 있는 MRV가 뒷받침되어야 함을 확인시켜 준다.

한편 한국은 이미 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」에 근거한 배출권거래제 외부사업 제도를 운영하고 있으며, 산림청이 관리하는 ‘산림부문 외부사업’을 통해 조림, 산림경영개선, 도시숲 조성 등의 활동을 탄소흡수원으로 인정하여 KOC(Korea Offset Credit)를 발급하고 있다(Joo et al., 2019). 이러한 제도는 수변림 복원사업을 신규 방법론으로 확장할 수 있는 제도적 기반을 제공한다. 특히 수변림의 토착종 식재와 관리활동이 탄소흡수량 증가를 입증할 수 있다면, 산림부문 외부사업과 유사한 절차로 공인 검증을 거쳐 배출권거래제에 연계될 수 있을 것이다.

한국의 국토 운영 조건이 국가하천 중심의 국유지 비율이 높다는 점을 고려하여, 로드맵 설계 시 사유지와 국유지 영역을 구분하여 접근할 필요가 있다. 국유지에서는 공적 자원(물환경기금, 수계관리기금 등)을 통한 복원과 탄소 상쇄 인증을 연계하고, 사유지(지류, 농경지 인접부)에서는 미국 CRP 사례를 참고하여 토지 소유자에게 탄소 흡수량에 비례하는 직불금 또는 세제 혜택을 제공하는 인센티브 제도를 우선적으로 설계하여 복원 참여를 촉진해야 한다.

이 과정에서 탄소배출권 거래 수익은 지역사회와 지자체에 인센티브로 환류되어 복원사업 참여를 촉진할 수 있다. 궁극적으로 이러한 제도적 기반은 수변림 복원의 재원 다변화와 사회적 지지 확보를 동시에 실현할 수 있으며, 기후변화 대응 전략과도 긴밀히 연계될 것이다.

4.6 거버넌스와 지역사회 참여

해외 사례, 특히 일본의 ‘사토야마 이니셔티브’는 전통적인 농림어업 경관을 지속가능하게 관리하기 위해 지방정부와 지역공동체가 협력하는 상향식 거버넌스가 핵심적임을 보여주는 좋은 사례이다. 이는 특정 생태계 유형에 한정되지 않고, 인간과 자연의 공존을 위한 사회생태계 관리 전반에서 지역의 자율성과 참여가 지속가능성을 좌우한다는 점을 시사한다. 이러한 교훈은 수변림 복원과 관리에도 그대로 적용 가능하다(Lovett & Price, 2007).

유럽연합의 자연복원규정(Nature Restoration Regulation, NRR)을 통해 회원국 수준의 복원 목표와 법적 복원조치 의무를 규정하고 있으며, 하천, 범람원, 내륙습지 등 다양한 생태계 복원을 포함하고 있다(European Parliament & Council of the European Union, 2024). 미국에서는 유역 기반의 거버넌스(watershed council)와 같은 기구가 주민·농가·지자체의 참여를 제도화하여 수변림을 비롯한 유역 생태계 관리의 지속성을 확보하고 있다(Griffin, 1999; Lurie & Hibbard, 2008). 이러한 거버넌스 모델은 수변림 복원 정책에도 적용 가능하며, 중앙정부 중심의 일방적 복원보다 지역 중심의 자율성과 참여를 기반으로 한 지속 가능한 관리체계 구축에 유리하다.

한국에서도 중앙정부 중심의 일방적 하천 정비 사업에서 벗어나 지자체가 토지이용과 치수, 생물다양성 계획을 통합한 수변림 관리계획을 수립하고 이를 실행하는 주체가 되어야 한다. 지방정부는 전문가 및 기관과 함께 복원 대상 지역을 선정하고 지역사회의 의견을 반영해 사업을 추진하는 책임을 맡아야 하며, 정부는 이를 지원하는 제도적 장치를 마련해야 한다.

또한 주민과 농가의 참여를 활성화하기 위해 교육과 인식제고 프로그램, 시민과학 기반 모니터링, 참여예산 제도를 제도화하는 것이 중요하다. 나아가 복원된 수변림을 지역관광 자원이나 친환경 농업과 연계된 경제적 자산으로 활용하면 주민들은 복원의 혜택을 직접 체감할 수 있고, 이는 장기적인 유지관리와 사회적 지지 기반을 강화하는 효과를 가져올 것이다.

5. 결론

수변림은 단순한 하천 주변의 식생대가 아니라 기후, 수자원, 생물다양성이 교차하는 복합적 생태 인프라이다. 본 연구는 수변림을 복원과 관리가 결합된 자연기반해법의 핵심 대상으로 재정의하고, 국제 동향과 국내 제도적 맥락을 비교함으로써, 수변림이 기후변화 대응과 생태계 회복의 접점을 형성함을 보여주었다.

학술적으로 본 연구는 다음과 같은 기여를 한다. 첫째, 기존 국내 수변림 연구가 수질 및 생태 기능에 집중되었던 한계를 넘어, 수변림을 탄소흡수원 및 기후 완화 인프라로 재정의하고 그 잠재적 가치를 조명하였다는 점에서 차별성을 갖는다. 둘째, IPCC 가이드라인 내에서 수변림이 차지하는 방법론적 공백을 명확히 하고, 국내 온실가스 인벤토리(Tier 2 수준)의 국가고유계수 및 활동자료 구축 방향을 제안하며, 현장조사와 원격탐사를 결합한 MRV 자동화 체계의 필요성을 제기하였다. 셋째, 치수 중심의 국내 하천 관리 관행의 문제점을 분석하고, 홍수 안정성과 생태적 기능을 동시에 달성하는 '관리형 복원'의 새로운 패러다임을 제시함으로써 학술적 논의의 폭을 확장하였다.

국제적 사례는 수변림이 유속 완화, 지형 안정성, 서식처 연결성 증진 등을 통해 하천 생태계의 복원력(resilience)을

높이는 핵심 요소임을 보여주며, 이러한 효과는 지역의 수문과 지형 조건에 따라 다양하게 발현됨을 시사한다.

본 연구는 한국의 수변림 관리 정책 전환을 위한 구체적인 제도적 경로를 제시한다. 정책적으로는 (1) 수변림 복원을 탄소중립, 물, 생물다양성 공동 목표에 통합하여 국가 정책의 정량적 지표로 내재화하고, (2) 탄소시장 연계 로드맵, 성과 기반 재정 연계, 리스크 트리거 기반의 운영체계 등 수변림 복원의 실행력을 높이는 구체적인 제도 틀을 제시하였다. 나아가, 지역 기반 거버넌스와 참여형 관리 체계를 통해 수변림을 단순한 경관 요소가 아닌 국가 기후중립과 생태회복 전략의 구조적 축으로 재위치시키는 틀을 제공하였다.

이 연구의 한계는 국제사례의 운영 및 관리 단계에 대한 세부 분석이 부족하고, 영어권 문헌에 편중되어 비영어권 국가의 경험이 충분히 반영되지 못했다는 점이다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 수변림을 단순한 경관 요소가 아닌 국가 기후중립과 생태회복 전략의 구조적 축으로 재위치시키는 틀을 제시하였다.

향후 연구는 (1) 한국의 높은 하상계수 및 집중호우 특성을 반영한 치수-생태 통합 복원 시나리오 개발, (2) 고정표본망 구축을 통한 국가고유계수 정밀화, (3) 원격탐사 기반의 MRV 자동화, (4) 국유지/사유지 특성을 고려한 성과기반 재정 연계 파일럿 복원사업의 사후평가를 우선 과제로 삼아야 한다.

결국 수변림은 기후 중립, 수질 개선, 홍수 적응, 생물다양성 보전 등의 통합 허브로서, 한국의 환경정책을 구조적으로 재편할 수 있는 잠재력을 지닌 것으로 평가할 수 있다. 과학적 근거와 지역사회 협력을 기반으로 한 관리형 복원 체계는 수변림을 단순한 하천변 식생이 아닌, 국가 차원의 탄소와 물, 생태 네트워크로 승격시키는 전환점이 될 것이다.

사 사

본 연구는 국립생태원 NIE-고유연구-2025-04 (습지 부문 온실가스 인벤토리 고도화 연구 I ('25))의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Abernethy, B., & Rutherford, I. D. (2000). The effect of riparian tree roots on the mass-stability of riverbanks. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25(9), 921–937. [https://doi.org/10.1002/1096-9837\(200008\)25:9<921::AID-ESP93>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/1096-9837(200008)25:9<921::AID-ESP93>3.0.CO;2-7)
- Ahn, H. K., & Lee, D. J. (2024). A study on the formation of river sandbar and management of river forestation & aggradation—Focusing on the Jang-Hang Wetland on the Han River. *Ecology and Resilient Infrastructure*, 11(2), 43–54. <https://doi.org/10.17820/ERI.2024.11.2.043>

- Agroforestry & Woodlot Extension Society (AWES). (2017). *Manual for Riparian Forest Buffer Establishment in Alberta*.
- Agroforestry & Woodlot Extension Society (AWES). (2019). *Riparian Management Course Workbook*.
- Alberta Conservation Association. (2019). *Land program summary 2018–2019: Riparian conservation program*.
- Alberta Environment and Parks. (2019). *Watershed Resiliency and Restoration Program*.
- Anderson, B. G., Rutherford, I. D., & Western, A. W. (2006). An analysis of the influence of riparian vegetation on the propagation of flood waves. *Environmental Modelling & Software*, 21, 1290–1296.
- Angelsen, A., Martius, C., De Sy, V., Duchelle, A. E., Larson, A. M., & Pham, T. T. (2018). *Transforming REDD+: Lessons and new directions*. CIFOR.
- Ban, K. S. (2022). Design of riparian buffer zone by citizen's participation for ecosystem service – Case study of purchased land along Gyeongan-cheon in Han River Basin. *Journal of Wetlands Research*, 24(3), 170–184.
- Bateman, I. J., Mace, G. M., Fezzi, C., Atkinson, G., & Turner, K. (2011). Economic analysis for ecosystem service assessments. *Environmental and Resource Economics*, 48, 177–218. <https://doi.org/10.1007/s10640-010-9418-x>
- Beechie, T., Pess, G., Morley, S., Butler, L., Downs, P., Maltby, A., Skidmore, P., Clayton, S., Muhlfeld, C., & Hanson, K. (2013). Watershed assessments and identification of restoration needs. In P. Roni & T. Beechie (Eds.), *Stream and watershed restoration: A guide to restoring riverine processes and habitats* (pp. 50–113). Wiley-Blackwell.
- Bernhardt, E. S., & Palmer, M. A. (2011). River restoration: The fuzzy logic of repairing reaches to reverse catchment scale degradation. *Ecological Applications*, 21(6), 1926–1931. <https://doi.org/10.1890/10-1574-1>
- Brauman, K. A., Daily, G. C., Duarte, T. K., & Mooney, H. A. (2007). The nature and value of ecosystem services: An overview highlighting hydrologic services. *Annual Review of Environment and Resources*, 32, 67–98. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.031306.102758>
- Buijse, A. D., Coops, H., Staras, M., Jans, L. H., Van Geest, G. J., Grift, R. E., Ibelings, B. W., Ossterberg, W. & Roozen, F. C. J. M. (2002). Restoration strategies for river floodplains along large lowland rivers in Europe. *Freshwater Biology*, 47(4), 889–907.
- California Air Resources Board. (2021). *Compliance offset protocol: U.S. forest projects*. California Air Resources Board.
- Capon, S. J., Chambers, L. E., Mac Nally, R., Naiman, R. J., Davies, P., Marshall, N., Pittcock, J., Reid, M., Capon, T., Douglas, M., Catford, J., Baldwin, D. S., Stewardson, M., Roberts, J., Parsons, M., & Williams, S. E. (2013). Riparian ecosystems in the 21st century: Hotspots for climate change adaptation? *Ecosystems*, 16(3), 359–381. <https://doi.org/10.1007/s10021-013-9656-1>
- Chausson, A., Turner, B., Seddon, D., Chabaneix, N., Girardin, C. A., Kapos, V., ... & Seddon, N. (2020). Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation. *Global Change Biology*, 26(11), 6134–6155. <https://doi.org/10.1111/gcb.15310>
- Chesapeake Bay Riparian Forest Buffer Initiative. (2015). *Final report*. Annapolis, MD: Alliance for the Chesapeake Bay.
- Cho, H. J., Jin, S. N., Cho, H. S., & Cho, K. H. (2017). Changes in biomass of *Salix subfragilis* and *S. chaenomeloides* with stand ages in a riparian zone of a sand-bed stream. *Ecology and Resilient Infrastructure*, 4(3), 149–155.
- Clifton, B., Malanson, G. P., Daniels, M. D., & Dwire, K. A. (2024). Carbon stock quantification in a floodplain restoration. *Science of the Total Environment*, 924, 171721. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171721>
- Commonwealth of Australia. (2017). *Carbon Credits (Carbon Farming Initiative) Act 2011 (as amended to 1 July 2017)*. Department of the Environment and Energy.
- Council of Australian Governments (COAG). (2004). *Intergovernmental Agreement on a National Water Initiative*. Canberra, Australia.
- Cowardin, L. M., Carter, V., Golet, F. C., & LaRoe, E. T. (1979). *Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States*. U.S. Fish and Wildlife Service.
- Dereppe, J., Laurent, V., & Arnaud-Fassetta, G. (2024). Restoring and preserving flood expansion areas in the Upper Seine River Basin (France): The critical step of pre-field identification and characterization using LiDAR DEM data. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 30(4). <https://doi.org/10.4000/13whf>

- Dosskey, M. G., Vidon, P., Gurwick, N. P., Allan, C. J., Duval, T. P., & Lowrance, R. (2010). The role of riparian vegetation in protecting and improving chemical water quality in streams. *Journal of the American Water Resources Association*, 46(2), 261–277. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00419.x>
- Dybala, K. E., Matzek, V., Gardali, T., & Seavy, N. E. (2019). Carbon sequestration in riparian forests: A global synthesis and meta-analysis. *Global Change Biology*, 25(1), 57–67. <https://doi.org/10.1111/gcb.14475>
- European Commission. (2021). *EU Biodiversity Strategy for 2030: Bringing nature back into our lives*. Publications Office of the European Union.
- European Environment Agency. (2022). *Financing nature as a solution*. EEA Briefing No 26/2022.
- European Parliament & Council of the European Union. (2024). *Regulation (EU) 2024/1991 of the European Parliament and of the Council of 17 June 2024 on nature restoration*.
- Fachinelli, N. P., de Castro, A. J., Barros, C. A., & Soares, M. S. (2023). Effects of Restoration and Conservation of Riparian Vegetation in Brazil. *World*, 4(4), 637–652. <https://doi.org/10.3390/world4040040>
- Gastauer, M., Cavalcante, R. B. L., Caldeira, C. F., & Nunes, S. d. S. (2020). Structural hurdles to large-scale forest restoration in the Brazilian Amazon. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 593557. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.593557>
- Germany. (2024). *National Inventory Document for the German Greenhouse Gas Inventory 1990–2022: Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Dessau-Roßlau: Federal Environment Agency (UBA). Available at UNFCCC.
- Griffin, C. B. (1999). Watershed councils: An emerging form of public participation in natural resource management. *Journal of the American Water Resources Association*, 35(3), 505–518. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1999.tb03607.x>
- Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., Houghton, R. A., Lomax, G., Miteva, D. A., Schlesinger, W. H., Shoch, D., Siikamäki, J. V., Smith, P., Woodbury, P., Zganjar, C., Blackman, A., Campari, J., Conant, R. T., Delgado, C., Elias, P., Gopalakrishna, T., Hamsik, M. R., Herrero, M., ... Fargione, J. (2017). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(44), 11645–11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>
- Han, Y. S., Kim, H. R., Han, S. J., Jeong, J. K., Lee, S. H., Jang, R. H., Cho, K. T., Kang, T. G., & You, Y. H. (2013). Studies on β -diversity for high plant community turnover in flood plain restoration. *Journal of Wetlands Research*, 15(4), 501–508.
- Hellerstein, D. (2017). The US Conservation Reserve Program: The evolution of an enrollment mechanism. *Land Use Policy*, 63, 601–610. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.07.017>
- Hoppenreijns, J. H. T., Eckstein, R. L., & Lind, L. (2022). Pressures on boreal riparian vegetation: A literature review. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 806130. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.806130>
- Hughes, F. M. R., & Rood, S. B. (2003). Allocation of river flows for restoration of floodplain forest ecosystems: A review of approaches and their applicability in Europe. *Environmental Management*, 32(1), 12–33. <https://doi.org/10.1007/s00267-003-2834-8>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Volume 4 – Agriculture, forestry and other land use (AFOLU)*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013). *2013 Supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands*. IPCC.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. IPCC.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- International Union for Conservation of Nature (IUCN). (2024). *Nature Restoration Regulation: Implementation guidance*. Gland, Switzerland: IUCN.
- Jo, H. K., & Park, H. M. (2015). Effects and Improvement of Carbon Reduction by Greenspace Establishment in Riparian Zones. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 43(6), 16–24.
- Joo, S. H., Choi, J. H., Son, W. L., & Jang, K. M. (2019). Comparison of forest sector voluntary carbon offset programs between Korea and USA. *Journal of the Korean Society of Life Cycle Assessment*, 20(1), 27–30.
- Korea Meteorological Administration (KMA). (2020). *Korea Climate Change Assessment Report 2020*.

- Karrenberg, S., Edwards, P. J., & Kollmann, J. (2002). The life history of *Salicaceae* living in the active zone of floodplains. *Freshwater Biology*, 47, 733–748. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00894.x>
- Kleinman, P., Brooks, R. P., Fernandez, C., Nassry, M., Veith, T., McCarty, G., ... Tsegaye, T. (2019). *Riparian forest buffers of the Susquehanna-Chesapeake Watershed: Observations, assessments, and recommendations*. Final report Washington, DC: USDA Farm Service Agency.
- Lee, S. W. (2020). A Structural Relationship of Topography, Developed Areas, and Riparian Vegetation on the Concentration of Total Nitrogen in Streams. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 48(1), 25–34.
- Lee, Y. K., & Baek, H. M. (2023) *Dynamic Adaptation and Ecology of Plants in Stream and Wetland*. Institute of Chamecology. Anyang, 512p.
- Lightbody, A. F., Kui, L., Stella, J. C., Skorko, K. W., Bywater-Reyes, S., & Wilcox, A. C. (2019). Riparian vegetation and sediment supply regulate the morphodynamic response of an experimental stream to floods. *Frontiers in Environmental Science*, 7, 40. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00040>
- Lining, K. B., et al. (2024). River restoration can increase carbon storage but is not yet a mechanism for carbon crediting. *BioScience*, 74(10), 717–724. <https://doi.org/10.1093/biosci/biae083>
- Lovett, S., & Price, P. (2007). *Principles for riparian lands management*. Land & Water Australia.
- Lurie, S., & Hibbard, M. (2008). Community-Based Natural Resource Management: Ideals and Realities for Oregon Watershed Councils. *Society & Natural Resources*, 21(5), 430–440. <https://doi.org/10.1080/08941920801898085>
- Maraseni, T. N., & Mitchell, C. (2016). An assessment of carbon sequestration potential of riparian zone of Condamine Catchment, Queensland, Australia. *Land Use Policy*, 54, 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.02.013>
- Matzek, V., Lewis, D., O'Geen, A., Lennox, M., Hogan, S. D., Feirer, S. T., Eviner, V., & Tate, K. W. (2020). Increases in soil and woody biomass carbon stocks as a result of rangeland riparian restoration. *Carbon Balance and Management*, 15(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s13021-020-00150-7>
- Ministry of Environment (MOE). (in press). *The 3rd Basic Plan for Water Environment Management (2026–2035)*. Sejong: MOE.
- Ministry of Environment (MOE). (2024). *3rd Comprehensive Plan for Greenhouse Gas Statistics Management (2025–2029)*. Sejong: MOE.
- Ministry of Environment (MOE). (2024a). *The 4th Master Plan for the Han River Basin (2024–2028)*. Sejong: Ministry of Environment.
- Ministry of Environment (MOE). (2024b). *The 4th Master Plan for the Nakdong River Basin (2024–2028)*. Sejong: Ministry of Environment.
- Ministry of Environment (MOE). (2024c). *The 4th Master Plan for the Geum and Yeongsan River Basins (2024–2028)*. Sejong: Ministry of Environment.
- Naiman, R. J., & Décamps, H. (1997). The ecology of interfaces: Riparian zones. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28, 621–658.
- Naiman, R. J., Décamps, H., & McClain, M. E. (2005). *Riparia: Ecology, conservation, and management of streamside communities*. Elsevier.
- National Water Management Committee. (2021). *The 1st National Water Management Plan (2021–2030)*. Sejong: National Water Management Committee.
- Nesshöver, C., Assmuth, T., Irvine, K. N., Rusch, G. M., Waylen, K. A., Delbaere, B., ... & Wittmer, H. (2017). The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. *Science of the Total Environment*, 579, 1215–1227. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.106>
- Ouyang, Y., Leininger, T. D., & Moran, M. (2013). Impacts of reforestation upon sediment load and water outflow in the Lower Yazoo River Watershed, Mississippi. *Ecological Engineering*, 61, 394–406. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.057>
- Palmer, M. A., Lettenmaier, D. P., Poff, N. L., Postel, S. L., Richter, B., & Warner, R. (2009). Climate change and river ecosystems: Protection and adaptation options. *Environmental Management*, 44(6), 1053–1068. <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9329-1>
- Park, M. O., Zexu, L., & Koo, B. H. (2025). Changes in carbon absorption within the ecological influence zone surrounding wetlands –Cases of village wetlands distributed in Sejong City–. *Journal of Wetlands Research*, 27(1), 90–99
- Perry, L. G., Reynolds, L. V., Beechie, T. J., Collins, M. J., & Shafroth, P. B. (2015). Incorporating climate change projections into riparian restoration planning and design. *Ecohydrology*, 8(5), 763–773.
- Pusey, B. J., & Arthington, A. H. (2003). Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish: A review. *Marine and Freshwater*

- Research*, 54(1), 1–16.
- Riis, T., Kelly–Quinn, M., Aguiar, F. C., Manolaki, P., Bruno, D., Bejarano, M. D., Clerici, N., Fernandes, M. R., Franco, J. C., Pettit, N., Portela, A. P., Tammeorg, O., Tammeorg, P., Violin, C., & Dufour, S. (2020). Global overview of ecosystem services provided by riparian vegetation. *BioScience*, 70(6), 501–514. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa041>
- Rijke, J., van Herk, S., Zevenbergen, C., & 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. <https://doi.org/10.1080/15715124.2012.739173>
- Rutherford, I. D., Jerie, K., & Marsh, N. (2007). Managing the effects of riparian vegetation on flooding. In Lovett, S. & Price, P. (Eds.), *Principles for riparian lands management*. Land & Water Australia, Canberra.
- Sabo, J. L., Sponseller, R., Dixon, M., Gade, K., Harms, T., Heffernan, J., Jani, A., Katz, G., Soykan, C., Watts, J., & Welter, A. (2005). Riparian zones increase regional species richness by harboring different, not more, species. *Ecology*, 86(1), 56–62. <https://doi.org/10.1890/04-0668>
- Seo, J. Y. (2019). Basic research on mid–to–long–term management plan of purchased land by evaluating ecological function of waterfront area of Geum River. *Journal of Environmental Science International*, 28(3), 371–384.
- Simões, L. B., et al. (2022). Priority areas for riparian forest restoration in Southeastern Brazil. *Scientia Forestalis*, 50(1), 123–137.
- Soares–Filho, B., Rajão, R., Macedo, M., ... (2014). Cracking Brazil's forest code. *Science*, 344(6182), 363–364. <https://doi.org/10.1126/science.1246663>
- Stanturf, J. A., & Gardiner, E. S. (2024). Lower Mississippi Alluvial Valley, USA: Case study. Vienna, Austria: International Union of Forest Research Organizations (IUFRO).
- Sutfin, N. A., Wohl, E. E., & Dwire, K. A. (2016). Banking carbon: A review of organic carbon storage and physical factors influencing retention in floodplains and riparian ecosystems. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41, 38–60. <https://doi.org/10.1002/esp.3857>
- Tomer, M. D., Dosskey, M. G., Burkart, M. R., James, D. E., Helters, M. J., & Eisenhauer, D. E. (2009). Methods to prioritize placement of riparian buffers for improved water quality. *Agroforestry Systems*, 75(1), 17–25. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9134-5>
- UNEP. (2019). *Global Environment Outlook – GEO-6: Healthy Planet, Healthy People*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108627146>
- U.S. Department of Agriculture, Farm Service Agency (USDA FSA). (2022a). *Conservation Reserve Program (CRP) Fact Sheet: CP22 Riparian Buffer*. Washington, DC: USDA FSA.
- U.S. Department of Agriculture, Farm Service Agency (USDA FSA). (2022b). *Conservation Reserve Enhancement Program (CREP) Fact Sheet*. Washington, DC: USDA FSA.
- U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). (2016). *National Nonpoint Source Program – A Catalyst for Water Quality Improvements (EPA 841-R-16-009)*. Washington, DC: U.S. EPA.
- Vargas–Luna, A., Crosato, A., & Uijtewaal, W. S. J. (2015). Effects of vegetation on flow and sediment transport: Comparative analyses and validation of predicting models. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(2), 157–176.
- Västilä, K., & Järvelä, J. (2017). Characterizing natural riparian vegetation for modeling of flow and suspended sediment transport. *Journal of Soils and Sediments*, 18, 3114–3130. <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1776-3>
- Walczak, N., Walczak, Z., Kał uża, T., Hämmerling, M., & Stachowski, P. (2018). The impact of shrubby floodplain vegetation growth on the discharge capacity of river valleys. *Water*, 10(5), 556. <https://doi.org/10.3390/w10050556>
- Washington State Department of Ecology. (2019). *Floodplains by Design: Report to the Legislature (Publication No. 19-06-004)*. Olympia, WA: WA DOE.
- Ward, J. V., Tockner, K., Arscott, D. B., & Claret, C. (2002). Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology*, 47(4), 517–539. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00893.x>
- Webb, A. A., & Erskine, W. D. (2003). A practical scientific approach to riparian vegetation rehabilitation in Australia. *Journal of Environmental Management*, 68(4), 329–341. [https://doi.org/10.1016/S0301-4797\(03\)00071-9](https://doi.org/10.1016/S0301-4797(03)00071-9)
- Woolsey, S., Capelli, F., Gonsler, T., Hoehn, E., Hostmann, M., Junker, B., Paetzold, A., Roulier, C., Schweizer, S., Tiegs, S. D., Tockner, K., Weber, C.,

- & Peter, A. (2007). A strategy to assess river restoration success. *Freshwater Biology*, 52(4), 752–769.
- Yi, H. C. (2021). Spatial and temporal dynamics of land change and the effects on ecosystem service values in the Republic of Korea between the 1980s to the 2000s. *Journal of the Korean Geographical Society*, 56(6), 675–704. <https://doi.org/10.22776/kgs.2021.56.6.675>
- Yoon, S. J., Lee, S. H., & Jang, C. H. (2021). Study of river line change around Sannam Wetland in the Hangang River Estuary using LANDSAT image processing. *Journal of Wetlands Research*, 23(2), 154–162.
- Yousry, L., Cao, Y., Marmioli, B., Guerri, O., Delaunay, G., Riquet, O., & Wantzen, K. M. (2022). A socio-ecological approach to conserve and manage riverscapes in designated areas: Cases of the Loire River Valley and Dordogne Basin, France. *Sustainability*, 14(24), 16677. <https://doi.org/10.3390/su142416677>