

장항습지 갯골 복원이 생태계 서비스에 미친 영향 분석

최현아^{*,**} · 한동욱^{***,*****} · 이완옥^{****} · 이은정^{***} · 성무성^{*****}

^{*}한스자이델재단 한국사무소
^{**}고려대학교 오정리질리언스연구원
^{***}(사)에코코리아 PGA생태연구소
^{****}가톨릭대학교 의생명과학과
^{*****}(사)한국민물고기보존협회
^{*****}물들이연구소

Analysis of the Impact of the Restored Tidal Channels in the Janghang Wetland on Ecosystem Services

Hun-Ah Choi^{*,**} · Donguk Han^{***,*****} · Wan-Ok Lee^{****} · Eunjeong Lee^{***} · Mu-Sung Sung^{*****}

^{*}Hanns Seidel Foundation Korea
^{**}OJeong Eco-Resilience Institute, Korea University
^{***}PGA Eco and Bio Diversity Institute, Eco Korea
^{****}Department of medical and biological science, The Catholic University of Korea
^{*****}Korean Association for Conservation of Freshwater Fish
^{*****}Muldeuli Research

(Received : 30 June 2025, Revised : 20 November 2025, Accepted : 20 November 2025)


요약

본 연구는 한강하구습지보호지역 중 장항습지 본류와 2019년 수문 연결을 통해 복원된 갯골을 대상으로 어류 출현 종을 비교·분석하여 갯골 복원이 회유성 어종의 이동성 및 생태적 연결성 회복에 미친 영향을 평가하였다. 분석 결과, 장항습지 본류에서는 뱀장어(*Anguilla japonica*), 점농어(*Lateolabrax maculatus*) 등 하천과 연안간 이동성이 높은 회유성, 기수성 어종이 주로 출현한 반면, 복원된 갯골에서는 치리(*Hemiculter eigenmanni*), 민물검정망둑(*Tridentiger brevispinis*), 잉어(*Cyprinus carpio*), 붕어(*Carassius auratus*) 등 담수성 어종이거나 어업적 가치가 높은 어종이 우세하게 확인되어 서식 환경의 다양성이 증대된 것으로 나타났다. 특히 치리와 민물검정망둑은 두 구간에서 모두 공통 출현하여 갯골 복원이 본류와 갯골 사이의 생태적 연결통로 기능을 강화하고, 회유성 어종을 포함한 다양한 어류의 이동·정착을 지원하는 구조적 기반을 회복했음을 시사한다. 또한, 복원된 갯골에서는 어업 자원의 활용뿐 아니라 생태관광, 환경교육 등 문화적 생태계 서비스로 확장될 잠재 가능성도 확인되었다. 그러나 계절별 변동성과 어류 외 생물군에 대한 고려가 부족한 점은 연구의 한계로 남으며, 향후 지속적인 모니터링과 다종 생물군을 아우르는 생태계 서비스 통합평가가 요구된다. 본 연구는 장항습지 갯골 복원이 생물다양성과 생태계 기능 회복에 실질적으로 기여하고 있으며, 지속 가능한 습지 관리 전략 수립의 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 갯골, 복원, 연결성, 생물다양성, 장항습지

[†]To whom correspondence should be addressed.
PGA Eco and Bio Diversity Institute, Eco Korea
E-mail : ecoguideuk@gmail.com

- **Hyun-Ah Choi** Hanns Seidel Foundation Korea/Senior Researcher(hachoi@hss.or.kr)
Korea University/Research Professor(sosobut.choi@gmail.com)
- **Donguk Han** PGA Eco and Bio Diversity Institute, Eco Korea/Director(ecoguideuk@gmail.com)
- **Wan-Ok Lee** Korean Association for Conservation of Freshwater Fish/Chairperson(wanok2@yahoo.co.kr)
- **Eunjeong Lee** PGA Eco and Bio Diversity Institute, Eco Korea/Executive Director(ecoguide7@hanmail.net)
- **Mu-Sung Sung** Muldeuli Research/Director(rkrtlqndj@naver.com)

 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.

Abstract

This study assessed the impact of tidal creek and channel restoration on migratory fish movement and the recovery of ecological connectivity by comparing and analyzing fish assemblages between the mainstream and tidal creeks and channels, the restored tidal channels in the Janghang Wetland, part of the Han River Estuary Wetland Protected Area. The restoration was implemented in 2019, reconnecting previously isolated tidal creeks using sluice gates to improve hydrological connectivity. The results showed that the main channel was dominated by migratory and euryhaline species exhibiting high river-coastal mobility, such as *Anguilla japonica* and *Lateolabrax maculatus*. In contrast, the restored tidal channels supported a higher occurrence of freshwater and economically important species, including *Hemiculter eigenmanni*, *Tridentiger brevispinis*, *Cyprinus carpio*, and *Carassius auratus*. The co-occurrence of *H. eigenmanni* and *T. brevispinis* in both channels indicated that the restoration has enhanced the ecological corridor function linking the two habitats within in Janghang wetland. In addition, the restored tidal channels demonstrated multifunctional potential, providing not only provisioning services for fisheries but also cultural ecosystem services, including ecotourism and environmental education. However, this study was limited by seasonal variation and the exclusion of non-fish taxa, which may have constrained the ecological scope of the assessment. Continued long-term monitoring and integrated evaluations across multiple biological communities are needed. Overall, this study highlights the ecological value of tidal channel restoration in enhancing biodiversity and ecosystem functionality and offered practical implications for sustainable wetland management.

Key words : Tidal creek and channel, Ecological restoration, Connectivity, Biodiversity, Janghang Wetland

1. 서론

그간 갯벌을 포함한 연안습지 복원을 위한 노력을 하였지만, 우리나라 갯벌 면적은 2023년 기준 국토면적의 2,443.3km²로 2018년 2,482.0km²보다 38.7km² 감소하였다(MOF, 2024). 도시화와 산업화에 따라 개발 중심의 국토 이용으로 습지가 사라지고 있다. 그러나 갯벌이 제공하는 다양한 생태계 서비스에 관한 관심은 높아지고 있다. 기후 변화 대응측면에서 기후조절 기능, 자연기능 지원 기능 등이 뛰어난 갯벌 보전의 중요성이 강조되고 있다(Sandilyan and Kathiresan, 2012; Lee et al., 2021). 갯벌의 지형발달에 중추적인 구실을 하는 갯골은 어류와 무척추동물의 먹이 활동지이다(Cutts et al., 2024; Mason et al., 2006; Park, 1999; Shi et al., 1995). 특히, 갯골은 해수와 담수를 연결하여 영양염류를 포함한 에너지를 해양환경으로 공급하는 이동통로의 기능이 있으며, 갯벌의 지형변화를 모니터링 할 수 있는 주요 지표이다(Perillo et al., 2018). 대표적으로 섬금류와 물새류의 경우 만조가 되면 갯골을 타고 염습지에 들어가 먹이를 구한다(Olmstead and Fell, 1974).

장항습지는 한반도 연안습지 생물다양성 보전에 중요한 역할을 하는 습지로 생태계가 제공하는 다양한 서비스 공급 현황에 대한 평가와 지속가능한 이용을 위한 관리가 필요하다(Choi and Han, 2023). 그러나 한강하구습지보호지역이면서 람사르습지인 장항습지는 퇴적 우세 지역으로 초지와 숲이 건조화 될 가능성이 높으며, 홍수기의 최대수위와 풍수기의 일부구간 침수를 제외하고는 침수가 발생되지 않는 지반고가 형성되어 있는 것으로 분석되었다(Han River Basin Environmental Office, 2021; Ahn and Lee, 2024). 갯골에 의해 습윤도가 유지되는 장항습지의 경우 과거와 달리 지난 10여 년간 갯골 입구가 퇴적물로 막혀 점점 육화(landization)되고 있다(Lee et al., 2020). 장기적으로 버드나무숲의 육화로 인한 건조화, 외래육상식물의 침입 등을 방지할 수 있는 재습윤화가 필요하다.

2019년 장항습지 내 어민들의 뱀장어 어업을 위한 고립된 십자 갯골 조성 작업 이후, 다양한 십자류와 조류가 관찰되었고 특히 멸종위기 야생생물 II급인 붉은발말뚝개(*Sesarmops intermedius*)와 I급인 저어새(*Platalea minor*)가 관찰되는 등(Lee et al., 2020), 버드나무숲 내의 갯골어업 유지가 장항습지의 생물다양성 증진에도 효과적임을 확인하였다. 이에 따라 장항습지 육화 방지를 위한 갯골 간에 연결을 통해 생물 서식지를 확대하고 생물다양성을 증대시키는 방안에 관한 지속적인 연구가 필요함을 확인하였다. 특히 붉은발말뚝개뿐만 아니라 말뚝개(*Chiromantes dehaani*), 필골개(*Ilyoplax deschampsii*) 등의 십자류 서식지 소멸을 막기 위해서는 지속적인 갯골 관리가 필요하였다. 또한 장항습지 내 기존 갯골에서 각막을 이용한 뱀장어(*Anguilla japonica*) 성체 출현은 장항습지의 회유성 어종 이동 경로를 이해하는 데 참고가 되지만, 이는 어업 활성화를 의미하지 않는다.

지금까지 국내에서 수행된 장항습지에 관한 연구는 식생 및 복원 연구(Ahn et al., 2012; Han et al., 2010), 람사르 습지 지정 관련 연구(Yeum et al., 2010), 이동성 조류관련 연구(Lee, 2016; Choi et al., 2023), 관리방안 연구(Na and Oh, 2023; Ahn and Lee, 2024), 습지 형성 기작 연구(Lee et al., 2012) 등 다수의 연구가 진행되었다. 이러한 선행연구들은 장항습지의 전반적인 생태계 보전과 복원을 중심으로 이루어졌으나, 본 연구에서는 갯골 복원이 생물다양성, 서식지 연결성, 치어 보육 기능 등 주요 생태적 기능에 미치는 영향을 평가하고자 한다. 특히, 본 연구는 특정 어업 자원에 초점을 두지 않으며, 뱀장어는 최근 멸종위기에 처한 야생동식물종의 국제거래에 관한 협약(Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) 등재 논의가 진행 중인 종으로서 어업적 관점이 아닌 생태적 지표종의 한 사례로 제한하여 해석하였다. 장항습지 갯골이 제공하는 생태계 서비스 항목을 기준으로 향후 서식지 관리 방향을 고찰하고자 한다.

2. 연구 대상지 및 방법

본 연구는 장항습지 내 갯골어업 지역인 신평 선착장을 포함하여 고양시 신평동 구간을 연구 대상으로 설정하였다 (Fig. 1). 2019년 9월 16일부터 10월 15일까지 갯골 조성 후 생물 출현종 변화를 분석하기 위해 총 20개의 갯골을 조성하였다(Fig. 2). 기존 갯골의 경우 각각 독립적으로 조성되어 있어, 본 연구를 통해 갯골 간 물길을 따라 표토 깊이 1.5m, 폭 1.5m로 물길을 연결하여 갯골 간 유입수량을 확보하였다. 이후 장항습지 어류 출현종과 갯골 조성 이후의 어업용 갯골 구간의 출현종을 대상으로, 2020년 4월부터 2021년 4월까지 약 1년동안 2개월에 1회씩 어류 조사를 실

시하였다. 그러나 2021년 6월 발생한 지뢰 사고로 인한 군사적 통제로 현장 접근이 제한되면서 정기 조사는 중단되었고, 이에 따라 2021년 4월까지 확보된 자료를 중심으로 분석을 수행하였다.

갯골 내 어류 조사는 갈수기인 4월과, 풍수기인 7월과 9월에 만조수위가 높은 시기를 선정하여 실시되었고, 본류 어류는 연중 실시되었다. 제5차 전국자연환경조사 지침(NIE, 2019)에 따라 조사 본류와 조성 갯골 대상지 중 수량이 비교적 안정적인 장소를 선정하여, 조사 어구 및 횡수를 가감하여 조사하였고 중요 종에 대해 현장 사진 및 출현지의 위치 정보를 작성하였다.

어류 채집은 족대(5×5mm)와 투망(6×6mm), 틀망을 주로

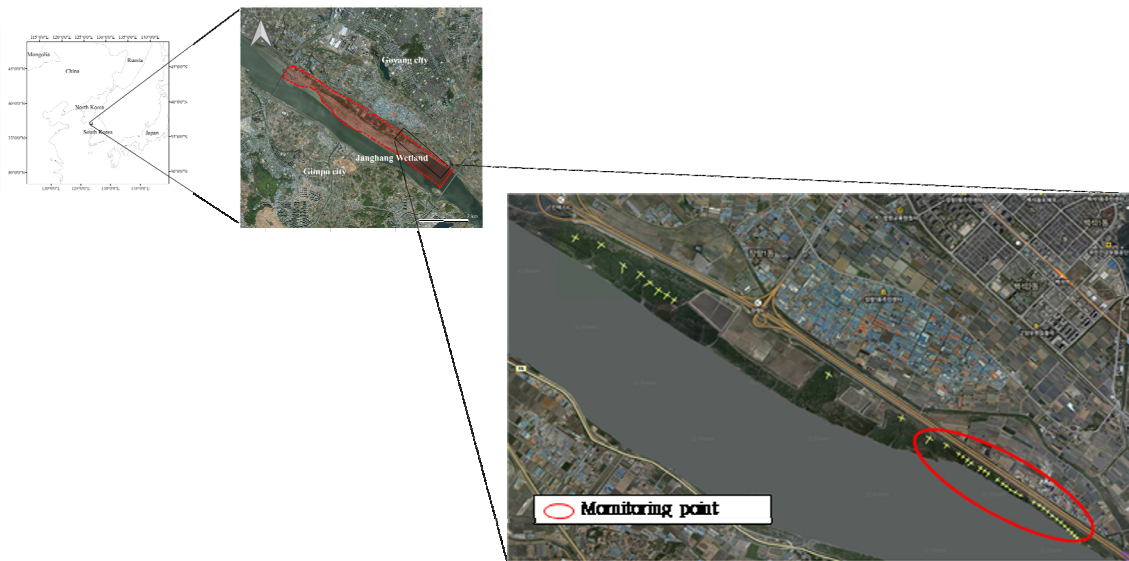


Fig. 1. Location of Study area, Janghang Wetland
 + Existing tidal creeks, O Restored tidal channels
 Source: Own compilation, based on Google Earth



Fig. 2. Construction of Tidal Creeks in Tidal Channels, Janghang Wetland before (left) and after (right)

Table 1. Comparison of Fish Species Observed Before and After Tidal Channels Restoration in Janghang Wetland

Order	Family	Species	Mainstream and Tidal Channel	Restored Tidal Channel	
Beloniformes	Adrianichthyidae	<i>Oryzias latipes</i>	0	8	
		<i>Oryzias sinensis</i>	5	5	
Anguilliformes	Anguillidae	<i>Anguilla japonica</i> *	40	0	
Siluriformes	Bagridae	<i>Leiocassis nitidus</i>	1	0	
		<i>Leiocassis ussuriensis</i>	1	0	
		<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	1	0	
Perciformes	Callionymidae	<i>Repomucenus olidus</i>	1	2	
	Centrarchidae	<i>Lepomis macrochirus</i>	6	4	
		<i>Micropterus salmoides</i>	1	5	
Clupeiformes	Clupeidae	<i>Konosirus punctatus</i>	6	0	
Cypriniformes	Cobitidae	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	1	0	
Scorpaeniformes	Cottidae	<i>Trachidermus fasciatus</i>	6	0	
Cypriniformes	Cyprinidae	<i>Abbottina rivularis</i>	2	1	
		<i>Acanthorhodeus chankaensis</i>	1	0	
		<i>Acheilognathus macropterus</i>	1	0	
		<i>Carassius auratus</i>	9	17	
		<i>Carassius cuvieri</i>	1	0	
		<i>Cyprinus carpio</i>	3	0	
		<i>Cyprinus carpio Linnaeus</i>	0	19	
		<i>Cyprinus carpio nudus</i>	1	0	
		<i>Erythroculter erythropterus</i>	1	7	
		<i>Hemibarbus labeo</i>	3	6	
		<i>Hemiculter eigenmanni</i>	39	26	
		<i>Hemiculter leucisculus</i>	0	1	
		<i>Microphysogobio jeoni</i>	3	0	
		<i>Pseudogobio esocinus</i>	1	0	
		<i>Pseudorasbora parva</i>	2	8	
		<i>Rhodeus ocellatus</i>	1	0	
		<i>Squalidus japonicus coreanus</i>	1	0	
		<i>Zacco platypus</i>	1	0	
		Engraulidae	<i>Coilia mystus</i>	1	0
			<i>Coilia nasus</i>	24	0
Perciformes	Gobiidae	<i>Acanthogobius lactipes</i>	1	0	
		<i>Acanthogobius luridus</i>	1	0	
		<i>Eutaeniichthys gilli</i>	1	0	
		<i>Gymnogobius urotaenia</i>	0	1	
		<i>Odontamblyopus lacepedii</i>	8	0	
		<i>Periophthalmus modestus</i>	1	0	
		<i>Rhinogobius brunneus</i>	1	0	
		<i>Synechogobius hasta</i>	1	6	
		<i>Tridentiger barbatus</i>	1	0	
		<i>Tridentiger bifasciatus</i>	7	0	
		<i>Tridentiger brevispinis</i>	22	20	
		<i>Tridentiger trigonocephalus</i>	1	0	
Beloniformes	Hemiramphidae	<i>Hyporhamphus intermedius</i>	9	0	
Perciformes	Moronidae	<i>Lateolabrax maculatus</i>	36	1	
Mugiliformes	Mugilidae	<i>Chelon haematocheilus</i>	6	6	
		<i>Mugil cephalus</i>	1	0	
Osmeriformes	Osmeridae	<i>Hypomesus nipponensis</i>	1	0	
Perciformes	Osphronemidae	<i>Macropodus ocellatus</i>	1	0	
Osmeriformes	Osmeridae	<i>Plecoglossus altivelis</i>	9	1	
		<i>Neosalanx jordani</i>	24	0	
Perciformes	Sciaenidae	<i>Collichthys lucidus</i>	1	0	
Siluriformes	Siluridae	<i>Silurus asotus</i>	1	0	
Tetraodontiformes	Tetraodontidae	<i>Takifugu obscurus</i>	1	1	
Total			51	20	

* Based on the interview with local fishers, the occurrence of *Anguilla japonica* in the restored tidal channels during the August 2020 flood season was confirmed (Dongwook Han, pers. comm.).

4. 고찰

4.1. 복원된 갯골의 어류 특성

장항습지 본류는 평균적으로 수심이 깊고 유속이 빠른 특성을 가지며, 회유성 어류(diadromous fishes)의 서식에 적합한 조건을 제공한다. 조사 결과, 본류 구간에서는 뱀장어, 점농어 등 회유성 어종의 성체가 주로 서식하였으며, 이들은 연안과 하구 환경이 연결된 열린 하구에 특화된 생물종이다. 연구 기간 동안 장항습지 본류와 복원된 갯골 구간, 어업용 정치망 어구를 통해 총 55종의 어류가 채집되었으며, 이 중 다수는 한반도 고유종 또는 생태적으로 중요한 어종으로 확인되었다.

한반도 고유종으로는 가시납지리(*Acanthorhodeus chankaensis*), 물개(*Squalidus japonicus coreanus*), 치리(*H. eigenmanni*)를 비롯하여 강준치(*Erythroculter erythropterus*), 누치(*Hemibarbus labeo*), 대농갱이(*Leiocassis ussuriensis*), 동자개(*Pseudobagrus fulvidraco*), 메기(*Silurus asotus*), 모래무지(*Pseudogobio esocinus*), 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*), 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*), 버들메치(*Abbottina rivularis*), 밀어(*Rhinogobius brunneus*), 버들붕어(*Macropodus ocellatus*), 붕어(*Carassius auratus*), 잉어(*Cyprinus carpio*), 참붕어(*Pseudorasbora parva*), 큰납지리(*Acheilognathus macropterus*), 흰줄납줄개(*Rhodeus ocellatus*) 등이 포함되었다. 또한 환경부가 생태계교란종으로 지정한 배스(*M. salmoides*)와 블루길(*L. macrochirus*), 양식용으로 도입한 향어(*Cyprinus carpio nudus*) 등이 관찰되었다. 또한 조사 구간에서는 회유 전략에 따라 구분되는 다양한 회유성 어종이 확인되었다. 소하성 회유종(anadromous species)인 황복(*Takifugu obscurus*), 강하성 회유종(catadromous species)인 뱀장어, 그리고 양측성 회유종(amphidromous species)인 은어 또한 관찰되었다.

장항습지에는 주로 바다에서 살지만, 먹이와 서식처를 찾아서 하구로 이동하는 물고기가 많은데 가송어, 말뚝망둑어, 비늘흰발망둑(*Acanthogobius luridus*), 승어(*Mugil cephalus*), 웅어(*Coilia nasus*), 전어(*Konosirus punctatus*), 점농어(*L. maculatus*), 줄공치(*Hyporhamphus intermedius*), 풀망둑(*Synechogobius hasta*) 등이 이에 해당한다. 또한 강주걱양태(*Repomucenus olidus*), 꺾정어(*Trachidermus fasciatus*), 대륙송사리(*O. sinensis*), 민물검정망둑(*Tridentiger brevispinis*), 민물두줄망둑(*T. bifasciatus*), 젓뱅어(*Neosalanx jordani*) 등은 연안에서는 서식하지 않으며 주로 하구의 갯물지역에서 서식하며 이중 대륙송사리(*O. sinensis*)는 하구뿐만 아니라 담수에서 주로 서식한다. 장항습지에서 갯골이 위치한 갯물 지역은 담수와 해수가 혼합되는 기수역으로, 회유성 어종이 하천-연안을 오가는 과정에서 반드시 통과하는 핵심 생태적 연결축이다. 본류에서 확인된 회유성, 기수성 어종의 출현과 함께, 갯골에서도 치리, 민물검정망둑 등 두 구간에서 두 구간에서 공통으로 출현한 종의 존재는 복원된 갯골이 본류와의 생태적 연속성을 부분적으로 회복하고 있음을 시사한다.

장항습지에서 출현한 어류 중 일부는 지역 단위에서 보호종으로 지정되어 있으며, 이들은 대부분 하구역에 서식하는 생물종으로 확인된다. 서울특별시에서 보호종으로 지정된 어류는 강주걱양태(*R. olidus*), 꺾정어(*T. fasciatus*), 황복(*Takifugu obscurus*), 땡경모치(*Microphysogobio jeoni*) 4종이며, 이들 모두 하구 생태계에 의존적인 종으로서 장항습지와 같은 전이대 서식처에서 높은 서식 적합성을 보인다. 또한, 경기도 지정 보호종 6종 중 장항습지 갯골에서 출현이 확인된 종은 버들붕어(*Macropodus ocellatus*)로, 이는 복원된 갯골이 지역 보호종의 서식처로도 기능하고 있음을 시사한다. 이들 보호종은 장항습지의 고유 생물다양성을 대표하며, 갯골이 본래 가지고 있는 생물서식지 및 생태 연결통로로서의 기능이 여전히 유효함을 보여준다. 뱀장어는 한강하구의 대표 어종으로서 갯골과 같은 수로를 통한 이동 및 생육에 강하게 의존한다(Jeon et al., 2008; Moon et al., 2011). 이러한 특성은 갯골 생태계의 기능성 평가에 있어 뱀장어 출현 여부가 중요한 지표로 작용할 수 있음을 보여준다(Arai, 2014). 반면 복원된 갯골에서는 붕어, 잉어 등 담수성 수산어종과 유속이 느린 습초지에서 루어낚시용으로 이용되는 생태계교란종 배스, 블루길 등이 다수 관찰되었다. 이는 복원된 갯골이 일정 부분 수산자원 기반의 생태계 서비스를 회복했음을 시사한다(An et al., 2006). 그러나 배스와 같은 외래종의 출현은 생태계 구성에 새로운 변화를 초래할 가능성을 내포하고 있어, 향후 생태계 교란에 대한 모니터링과 대응이 필요하다(Yoon et al., 2018).

본 조사에서는 습지 본류에서 관찰된 뱀장어가 복원된 갯골에서는 발견되지 않았으나, 8월 홍수기에 어민 탐문 조사를 통해 복원된 갯골 내에 뱀장어 성체가 포획되었음을 확인하였다(Dongwook Han, pers. comm.). 이는 회유성 어종 전반의 이동 특성이 계절적 수문 조건에 크게 좌우됨을 시사하며, 갯골 복원 효과를 평가하기 위해서는 정기적, 계절적 모니터링이 필요함을 의미한다. 이는 특정 어종이 아닌 회유성 어종군 전체의 이동성 및 생태적 연결성을 이해하는데 중요한 기초자료가 될 것으로 판단된다. 또한, 갯골 내 수문-수리학적 조건과 시기별 수위 변동이 회유성 어종의 이동과 정착에 어떻게 작용하는지 규명하기 위한 추가 연구의 필요성을 시사한다. 즉, 단순한 물리적 갯골 조성만으로는 서식지 기능이 완전히 회복되었다고 보기 어렵고, 장기적 관찰과 함께 구조적·환경적 보전이 필요하다. 그럼에도 불구하고 습지 본류와 복원된 갯골 모두에서 치리, 민물검정망둑 등 공통 출현종이 확인된 점은 복원된 갯골이 본류와의 생태적 연결통로 역할을 수행하고 있음을 보여준다. 이는 갯골 복원이 생물다양성 기반의 생태 네트워크에 긍정적인 영향을 미치고 있음을 시사한다.

4.2. 복원된 갯골의 치어 보육장

복원된 장항습지 갯골은 다양한 어류의 서식처로 기능함과 동시에, 치어 보육장(nursery site)으로서의 잠재적 역할을 지닐 가능성이 확인되었다. 그러나 유어의 존재만으로

보육장 기능을 직접적으로 단정할 수 없으므로, 본 연구에서는 이를 보육장 기능의 잠재성을 시사하는 수준으로 해석하였다. 본 조사에서 복원된 갯골에서는 가송어, 점농어, 은어, 용어 등 기수성 어류의 치어가 확인되었으며, 살치(*H. leucisculus*), 황복(*T. obscurus*), 민물두줄망둑(*T. bifasciatus*) 등 담수성 어류의 유어도 다수 출현하였다. 특히 대륙송사리(*O. sinensis*)와 같이 크기가 작고 민감한 소형종의 출현은 복원된 갯골이 안정적인 저수역 환경과 은신처를 제공하고 있음을 시사한다.

치어 보육장은 일반적으로 유어기의 생물들이 생존, 성장, 은신, 먹이섭취 등 초기 생존에 필요한 생태적 기능을 수행할 수 있는 공간으로 정의된다(Beck et al., 2001). 복원된 갯골은 수심이 얕고 조류 흐름이 완만하며, 식생대가 형성되어 있어 이러한 조건을 일정 수준 충족시키고 있는 것으로 판단된다. 이는 과거 단절되어 있던 갯골 사이의 물길을 연결하고, 저수심과 완경사 구조를 도입한 복원 설계가 물리적 서식처로서 기능 회복에 긍정적 영향을 미친 결과로 판단된다.

4.3. 복원된 갯골의 생태계 서비스

복원된 장항습지 갯골은 생물다양성 회복뿐만 아니라 다양한 생태계 서비스를 제공하는 생태계로 기능하고 있다. 이를 효과적으로 유지·관리하기 위해서는 장항습지의 물리적 환경 구조뿐만 아니라 서식지 연결성, 생물 이용 방식과 지역 어업 활동, 시민참여형 생태모니터링 등을 통합적으로 고려한 접근이 필요하다. 물리적 환경복원 중심에서 벗어나 지역 주민과 이해관계자의 참여를 유도하고, 생태계 서비스를 유지·관리할 수 있는 통합적 습지 관리 정책이 필요하다(Na and Oh, 2023; Lim and Roh, 2024).

장항습지의 갯골 복원은 일부 어류 출현종의 다양성 증가뿐 아니라, 갯골이 지닌 생태적 기능의 회복 가능성을 보여준다. 복원된 갯골에서 확인된 주요 어종의 출현은 갯골이 생물자원 공급 측면에서 일부 기능을 수행할 잠재성을 보여주는 것으로 판단된다. 그러나 어업적 가치의 회복을 의미하지는 않는다. 또한 갯골의 물리적 구조는 수질 정화나 홍수 조절과 같은 조절서비스 기능을 제공할 잠재성을 갖지만, 본 연구에서는 이를 직접적으로 측정하거나 검증하지 않았기 때문에 가능성 수준에서 제시하였다. 이러한 기능은 갯골이 장기적으로 수문학적 안정성과 생물다양성 유지에 기여할 수 있는 잠재적 기반으로 해석될 수 있으나, 이를 입증하기 위해서는 정량적 자료가 필요하다. 아울러 장항습지 생태관을 통한 시민참여형 생태모니터링과 생태관

광의 활용성 또한 제기되지만, 이는 복원된 갯골의 물리적 구조와 서식지 특성에 근거한 잠재적 문화서비스 기능으로 본 연구에서 직접적으로 검증한 기능은 아니다. 따라서 갯골이 지역사회의 교육 및 생태 교육 자원으로 활용될 수 있다는 전망도 현재 단계에서는 가능성 수준으로 판단되며(Table 2), 향후 조절서비스와 문화서비스를 포함한 다양한 생태계 서비스에 대한 정량적·실증적 평가가 필요하다.

장항습지 갯골 복원 이후 일부 생물종 출현 변화가 확인되었으며, 이는 갯골이 일정 부분 생태적 기능을 회복하고 있음을 시사한다. 그러나 본 연구에서 직접적으로 확인된 생태계 서비스는 주로 어류 출현 기반의 공급서비스가 대부분으로 수질정화, 홍수 조절 등의 조절서비스와 생태관광, 환경교육 등의 문화서비스는 본 연구에서 정량적으로 측정되지 않아 잠재적 가능성 수준으로 제시하였다. 따라서 향후 장기 모니터링과 다종 생물군을 포함한 통합 생태조사를 통해 생태계 서비스 변화에 대한 정량적 평가가 필요하다.

5. 결론

장항습지의 갯골 복원은 단순한 물리적 구조물의 조성을 넘어, 생물다양성 증진 및 생태계 서비스 회복 측면에서 유의미한 생태학적 성과로 해석될 수 있다. 2021년 6월 지뢰 사고 이후 군사적 통제로 인해 현장 접근이 제한되면서 정기 조사가 중단되었으나, 본 연구에서는 2021년 4월까지 확보된 자료를 바탕으로 분석을 진행하였다. 습지 분류에서는 뱀장어, 점농어 등 하구 특화종이 다수 출현하였으며, 이는 장항습지가 여전히 고유 생물종의 서식지로 기능하고 있음을 보여준다. 또한, 복원된 갯골에서는 치리, 민물검정망둑, 잉어, 붕어 등 담수성 및 상업적 가치가 높은 어종의 출현이 두드러졌으며, 이는 일부 어업 기반 생태계 서비스가 점진적으로 회복되고 있음을 보여준다. 특히 치리와 민물검정망둑과 같은 공통 출현종은 갯골 복원이 일정 수준의 서식 안정성과 이동 통로 기능을 회복하고 있다고 판단된다. 갯골 복원이 단순한 물리적 조성에 그치지 않고, 생물다양성 기반의 생태네트워크 회복에 긍정적으로 기여할 수 있음을 보여준다.

연구 결과 활용 관점에서 장항습지 갯골 복원의 생물다양성과 생태계 서비스 분석 결과를 바탕으로 향후 효과적인 서식지 관리를 위한 방안을 제안하면 다음과 같다.

첫 번째 갯골의 수문 연결 구조의 주기적 정비와 퇴적물에 의한 유입 차단 방지를 통해 회유성 어종을 포함한 다양한 어류의 이동성과 서식 조건을 안정적으로 확보할 필요가

Table 2. Ecosystem Services Provided by the Tidal Channel in Janghang Wetland

Ecosystem Services		Description
Provisioning	Fishery resources	Provided fishery species such as <i>H. eigenmanni</i> , <i>T. brevispinis</i> , <i>C. auratus</i> , and <i>C. carpio</i>
Regulating	Water quality and flood control	Contributes to water purification and flood mitigation
Cultural	Recreation and educational value	Supports ecotourism and biodiversity monitoring programs
Supporting	Habitat provision	Functions as a habitat for endemic species

있다. 특히 뱀장어와 같은 지표적 회유성 어종의 출현 여부는 수문 및 수리적 구조 개선의 효과를 평가하는데 중요한 생태적 지표가 될 수 있다.

두 번째 조절 및 문화서비스의 잠재적 생태계 서비스 기능을 정량적으로 평가하기 위해 어류에 국한되지 않고 조류, 식생, 무척추동물 등을 포함한 다중 생물군을 포함한 정기적 모니터링 체계를 구축할 필요가 있다. 이러한 다중 생물군 기반의 통합적 감시는 갯골 복원의 생태학적 효과를 보다 종합적이고 정량적으로 평가할 수 있다.

마지막으로 복원된 갯골에서 확인된 외래종이 생태계 교란을 초래할 가능성을 고려하여, 외래종의 출현 여부를 지속적으로 모니터링하고 적절한 대응전략을 마련함으로써 고유 생물종의 안정적 서식 기반을 유지할 필요가 있다. 이러한 통합적이고 지속적인 관리 전략은 장항습지의 생태적 연결성 강화, 회유성 어종 이동성 보전, 생태계 기능 회복 및 장기적 생물다양성 보전에 기여하는 실천적 토대를 마련하는 데 기여할 수 있을 것이다.

복원된 갯골에서 관찰된 주요 어종은 어업 자원의 활용 가능성과 더불어 생태관광, 환경교육 등 문화적 생태계 서비스로의 확장 가능성을 시사하였다. 그러나 본 연구는 출현종 조사가 특정 시기에 제한되어 계절적 생물상 변화를 충분히 반영하지 못하였으며, 어류 외 다른 생물군을 포함한 생태계 서비스 평가는 상대적으로 제한적이었다. 또한 본 연구는 2021년까지 확보된 자료에 기반하고 있어 최근 수년간의 생태 변화가 포함되지 못했다는 최신성의 한계를 지닌다. 생태계 서비스 분석 또한 공급서비스 중심으로 이루어졌으며, 조절-문화서비스는 실증된 기능이 아니라 가능성 수준에서 제시된 측면이 있다. 향후 갯골 복원 효과의 지속성과 생태계 기능 회복 여부를 보다 정확히 평가하기 위해서는 다중 생물군을 포함한 통합적 조사, 장기 모니터링, 환경 요인 분석, 그리고 최신 자료 확보가 필요하다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 장항습지 갯골 복원이 생물다양성 보전과 생태계 서비스 증진에 기여할 잠재력을 보여주는 중요한 기초 연구로서, 지속 가능한 습지 관리를 위한 통합적 접근의 필요성을 재확인하였다.

사 사

본 연구는 2019 경기도권역별 생태관광거점 조성사업과 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(RS-2021-NR060142)으로 수행되었다. 또한, 연구 수행에 협조해 주신 환경부 한강유역환경청, 고양특례시 환경정책과 및 생태관광 관련 부서 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

Ahn, GK, Kim, JH, Bae, DY, Lee, JY. (2006). Preliminary Studies on the Necropsy-Based Health Assessment

Index(HAI) Using a Ecological Indicator Species. *Korean Journal of Ecology and Environment*, 39(1): pp. 62-72. [Korean Literature]

Ahn, HK, Kim, SN, Chung, SJ, Lee, DJ, Lee, SH. (2012). Topographical change of sandbar and vegetation settlement in Jang-Hang wetlands for Han River Estuary Wetlands Restoration. *Journal of Wetlands Research*, 14(2): pp. 277-288. [Korean Literature]

Ahn, HK and Lee, DJ. (2024). A Study on the Formation of River Sandbar and Management of River Forestation & Aggradation - Focusing on the Jang - Hang Wetland and on the Han River -. *Ecology and Resilient Infrastructure*, 11(2), pp. 43-54. [Korean Literature] [DOI: <https://doi.org/10.17820/eri.2024.11.2.043>]

Arai, T. (2014). Do we protect freshwater eels or do we drive them to extinction?. *SpringerPlus*, 3: 534. [DOI: <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-534>]

Beck, MW, Heck, KL, Able, KW, Childers, DL, Eggleston, DB, Gillanders, BM, Halpern, B, Hays, CG, Hoshino, K, Minello, TJ, Orth, RJ, Sheridan, PF, Weinstein, MP. (2001). The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *BioScience*, 51(8): pp. 633-641. [DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0633:TICAMO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0633:TICAMO]2.0.CO;2)]

Chae, BS, Song, HB, Park, JY. (2019). A field guide to the freshwater fishes of Korea. LG Evergreen Foundation. Seoul, Korea. 355pp. [Korean Literature]

Choi, HA., Lee, E., Kim, E., Jung, I., Han, D. (2023). A vian species survey with citizen-science data in Jang hang Wetland, Goyang, Republic of Korea. *Biodiversity Data Journal*, 11: e105580. [DOI: <https://doi.org/10.3897/BDJ.11.e105580>]

Choi, KC, Jeon, SR, Kim, IS, Son, YM. (1990) Coloured illustrations of the freshwater fishes of Korea. Hyang munsu. Seoul, Korea. [Korean Literature]

Cutts, V, Erftemeijer, PLA, Gaffi, L, Hagemeijer, W, Smith, RK, Taylor, NG, Sutherland WJ. (eds.) (2024) Restoration, creation and management of salt marshes and tidal flats: A collation of evidence-based guidance. Report of Conservation Evidence, Wetlands International and the World Coastal Forum.

Han River Basin Environmental Office. (2021). *2020 Han River Estuary Wetland Protection Area Ecosystem Monitoring Results Report*. Han River Basin Environmental Office, Ministry of Environment. [Korean Literature]

Han, D, Yoo, JW, Yoo, JW, Lee, EJ, Park, SK. (2010). Aboveground Primary Productivity of *Salix nipponica* and Secondary Productivity of *Sesarma dehaani* at Janghang Wetland in Han River Estuary. *Korean Journal*

- of Ecology and Environment*, 43(2): pp. 298–306. [Korean Literature]
- Jeon, SL, Kim, SG, Park, JH, Go, DH, Park, SH, Kim, SJ, Song, YO, Choi, JG, Yang, GC, Shim, JH, Kim, SH, Park, EJ. (2008). A Study on the Conditions of the Wetland and Water-Front Ecological Resources at the Estuary of Han River. Gyeonggi Research Institute. Suwon, Korea. [Korean Literature]
- Kim, IS. (1997). Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, freshwater fishes. Ministry of Education. Yeongi, Korea, 629pp [Korean Literature]
- Kim, IS., Choi, Y, Lee, CL, Lee, YJ, Kim, BJ, Kim, JH. (2005). Illustrated book of Korean fishes. Kyohak Publishing. Seoul, Korea, 615pp. [Korean Literature]
- Lee, J, Kim, B, Noh, J, Lee, C, Kwon, I, Kwon, BO, Ryu, J, Park, J, Hong, S, Lee, S, Kim, SG, Son, S, Yoon, HJ, Yim, J, Nam, J, Cho, K, Khim, JS. (2021). The first national scale evaluation of organic carbon stocks and sequestration rates of coastal sediments along the West Sea, South Sea, and East Sea of South Korea. *Science of the Total Environment*, 793: 148568.
- Lee, SD. (2016). Studies on probability extinction of Peregrine falcon species wintering around Jang Hang wetlands in Han river. *Journal of Wetlands Research*, 18(3): pp. 282–285. [Korean Literature] [DOI: <https://doi.org/10.17663/JWR.2016.18.3.282>]
- Lee, WO, Han, D, Lee, E. (2020). The wetland fishes at Janghang tidal forested wetland in Han estuary, Korea. Eco Korea. Goyang, Korea. [Korean Literature]
- Lee, WO and Noh, SY. (2006). Freshwater fishes based on characteristics in Korean peninsula. Jinseong Press. Seoul, Korea. 432pp. [Korean Literature]
- Lim, J and Rho, P. (2024). Improvement Considerations for Strengthening Wetland Policies with Case Studies Related to Climate Change Response Strategy. *Journal of Wetlands Research*, 26(4): pp. 356–373. [Korean Literature] [DOI: <https://doi.org/10.17663/JWR.2024.26.4.373>]
- Mason, DC, Scott, TR, Wang, HJ. (2006). Extraction of tidal channel networks from airborne scanning laser altimetry. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 61(2): pp. 67–83. [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2006.08.003>]
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). (2024). Marine and Fisheries Statistics System – Coastal Wetland Area Status.
- Moon, BR, Jeon, SL, Hyun, MS, Hwang, JS, Choi, JK. (2011). A Study on Fish Fauna and Fish Habitat-Downstream of Singok Submergerd Weir in Han River Estuary. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 20(5): pp. 757–764. [Korean Literature] [DOI: <https://doi.org/10.14249/eia.2011.20.5.757>]
- Na, M and Oh, C. (2023). Comparison of the Conservation Planning of JangHang Wetland and the Wetland Strategic Plans of Ramsar Convention. *Journal of Environmental Policy and Administration*, 31(3): 49–63. [Korean Literature] [DOI: <https://doi.org/10.15301/jepa.2023.31.3.49>]
- Nelson, JS. (2006). Fishes of the world. Fourth edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). (2020). National Species List of Korea. Incheon, Korea. [Korean Literature]
- NIE (National Institute of Ecology). (2019). The 5th National Natural Environment Guidelines. NIE-Forensic Research-2019-01. Seochon, Korea. [Korean Literature]
- Olmstead NC and Fell, PE. (1974). Bulletin No. 20: Tidal marsh invertebrates of Connecticut. *Bulletins, Paper 19*.
- Park, JJ. (1999). Physico-chemical Properties of Tidal Creek Sediment – Sunchon Bay. *Journal of Geography*, 33: pp.45–65. [Korean Literature]
- Perillo, GME, Wolanski, E, Cahoon, DR, Hopkinson, CM. (2018). Coastal wetlands: An integrated ecosystem approach, 2nd edition, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp. 221–234.
- Sandilyan, S, Kathiresan, K. (2012). Mangrove conservation: A global perspective. *Biodiversity and Conservation*, 21: pp. 3523–3542. [DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0388-x>]
- Shi, Z., Lamb, HF, Collin, RL. (1995). Geomorphic change of saltmarsh tidal creek networks in the Dyfi Estuary, Wales. *Marine Geology*, 128(1–2), pp. 73–83.
- Shin, MG, Lee, SG, Lee, JT, Gwak, WS. (2018) Comparative Early Developments in Winter Spawned Three Pre-larval Fishes(Gadus macrocephalus, Liparis tanakae, Hexagrammos agrammus). *Korean Journal of Ichthyology*. 30(1): 9–17. [Korean Literature]
- Yeum, JH, Han, BH, Lee, KJ. (2010). A Study on Designation Potential as Ramsar Site and Management Method of Massive Scale of Wetland – A Case of Jang Hang Estuary Wetland, Han River, Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology*, 24(3): pp. 249–257. [Korean Literature]
- Yoon, JD, Kim, JH, Park, SH, Jang, MH. (2018). The Distribution and Diversity of Freshwater Fishes in Korean Peninsula. *Korean Journal of Ecology and Environment*. 51(1): 71–85. [Korean Literature] [DOI: <https://doi.org/10.11614/KSL.2018.51.1.071>]