

사천 곤양천하구습지의 생태적 특성과 관리방안

김평범¹ · 임정철² · 장연희¹ · 추연수^{3*}

¹국립생태원 습지복원팀 연구원, ²국립생태원 습지복원팀 선임연구원, ³국립생태원 습지연구팀 전임연구원

Ecological Characteristics and Management Plan of the Gonyangcheon Estuarine Wetland, Sacheon, South Korea

Pyoungbeom Kim¹, Jeoncheol Lim², Yeonhui Jang¹ and Yeousu Chu^{3*}

¹Researcher, Wetlands Restoration Team, National Institute of Ecology, Changnyeong 50303, Korea

²Senior Researcher, Wetlands Restoration Team, National Institute of Ecology, Changnyeong 50303, Korea

³Junior Researcher, Wetlands Research Team, National Institute of Ecology, Changnyeong 50303, Korea

Received 17 June 2024, revised 8 August 2024, accepted 9 August 2024, published online 30 September 2024

ABSTRACT: Estuarine provides unique environmental conditions in terms of salinity concentration and sediment change patterns as freshwater and seawater mix. These conditions allow it to possess biodiversity that cannot be found in other ecosystems. This study was conducted to investigate and analyze distribution characteristics and biota of vegetation in the Gonyangcheon Estuarine Wetland, a brackish area, to prepare basic data for the conservation and sustainable use of estuarine wetlands. The vegetation in the Gonyangcheon Estuarine Wetland was classified into 23 plant communities across a total of six physiognomic vegetation types, including lentic herbaceous vegetation, lotic herbaceous vegetation, salt marsh vegetation, segetal vegetation, and substitutional vegetation. In particular, the *Zoysia sinica* community was widely distributed in the lower reaches, showing typical characteristics of tidal wetland and increasing its conservation value. From a biodiversity perspective, a total of 1,067 species were identified (an increase of 53 species compared to 2012) and 15 species of endangered wildlife were identified. Gonyangcheon Estuarine Wetland is an open estuary with excellent ecological connectivity. Various topography and landscapes such as rice paddies, forests, and salt marshes were organically developed and distributed, playing a positive role in promoting biodiversity, including brackish water organisms. Therefore, systematic conservation of the Gonyangcheon Estuarine Wetland will contribute to protecting migration routes of organisms and promoting ecological stability by securing a wetland ecological axis connected to the coast.

KEYWORDS: Biodiversity, Endangered species, Estuarine, Intensive survey, Vegetation

요약: 하구역은 담수와 해수가 섞여 염분 농도와 퇴적물 변화 양상이 특이한 환경 조건을 제공하며, 이와 같은 환경 조건은 타 생태계에서 볼 수 없는 생물다양성을 보유하게 된다. 본 연구는 기수역인 곤양천하구습지를 대상으로 식생의 분포 특성과 생물상을 조사·분석하여, 하구습지의 보전 및 지속가능한 이용을 위한 기초자료를 마련하려는 목적으로 수행되었다. 정수 및 유수역 다년생 초본식생, 염습지식생, 경작지식생, 대상식생 등 총 6개 상관식생형의 25개 식물군락으로 분류되었다. 특히, 하류부에 넓게 분포하는 갯잔디군락이 전형적인 만조 염습지의 특성을 나타내며, 이로 인해 보전 가치가 더욱 높아지고 있습니다. 생물다양성 측면에서는 2012년에 비해 53종이 증가하여 총 1,067종의 생물이 확인되었으며, 멸종위기 야생생물은 15종이 확인되었다. 열린 하구로서 생태적 연결성이 우수하며, 논, 산림, 염습지 등 다양한 지형과 경관이 유기적으로 발달 및 분포하여 기수성 생물 포함 생물다양성 증진에 긍정적으로 역할을 하고 있었다. 따라서 곤양천하구습지의 체계적 보전은 연안까지 연결되는 습지 생태축을 확보하여 생물의 이동 경로를 보호하고 생태적 안정성을 증진시키는 데 기여할 것이다.

핵심어: 생물다양성, 멸종위기 야생생물, 하구역, 정밀조사, 식생

*Corresponding author: hhloveys@nie.re.kr, ORCID 0000-0002-8323-0746

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non Commercial-No Derives (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

하구역은 강이나 하천이 바다로 흘러 들어가는 말단 부로, 이 지역에서 조석의 영향으로 하폭이 넓어지고 바닷물이 육지 방향으로 흘러 들어가 혼합되는 기수역이 형성될 수 있다(Dyer 1997, Haslett 2008). 즉, 담수와 해수가 섞이는 기수역은 염분 농도와 퇴적물의 조성이 일정하지 않아 독특한 환경 조건을 제공하며(Junk et al. 1989, Barbier et al. 2011), 이러한 조건은 특정 생물종들이 서식할 수 있게 하여 다른 생태계에서는 볼 수 없는 특이한 생물다양성을 보유하게 된다(Attrill and Rundle 2002, Elliott et al. 2007). 하구역은 식물, 어류, 조류, 무척추동물 등 다양한 분류군에게 서식 및 번식처를 제공하며, 생산자부터 포식자까지 이어지는 먹이사슬의 안정적인 구조는 하구습지 생태계의 건강성을 보장할 수 있다(Barbier et al. 2011, Elliott and Whitfield 2011). 또한, 탄소 흡수, 수질 정화, 홍수 조절 등 다양한 생태계 서비스를 제공함으로써 인간과 자연 모두에게 중요한 역할을 하고 있다. 하구역에 생육하는 식물군락은 대기 중의 이산화탄소를 흡수 및 고정시켜 기후 변화 완화에 기여하며, 오염 물질을 흡수 및 분해함으로써 하천과 해양으로 유입되는 오염을 줄인다. 이러한 기능은 인간 생활과 밀접하게 연관되어 있으며, 지역 사회와 생태계의 지속가능성을 보장한다(Mcleod et al. 2011, Costanza et al. 2014).

하구습지의 생태적 특성과 보전 가치는 최근 들어 더 많은 관심을 받고 있다. 도시화, 산업화, 경작활동 등 인간 활동으로 인해 하구습지의 면적이 감소하고 오염이 심화되면서 이들 습지가 제공하는 생태계서비스가 위협받고 있기 때문이다(Cloern et al. 2016, Tanaka et al. 2021, Li et al. 2022). 도시화는 하구습지 주변의 토지 이용을 변화시켜 하구습지의 물 순환과 영양분 공급에 영향을 미친다. 또한, 산업화와 경작 활동에서 발생하는 폐수 및 비료와 같은 비점오염원이 유입되어 수질 악화 및 생물 서식에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 이러한 위협 요인들로 인해 하구습지의 생물다양성은 감소하고 있으며, 이는 생태계 기능 저하로 이어질 수 있다. 따라서 하구습지의 생태계 특성과 보전 가치를 정확히 평가하고, 효과적인 관리 방안을 마련하는 것이 시급하다(Costanza et al. 2014, Li et al. 2018).

우리나라에서는 1960년대 하천법이 제정되면서 홍수피해 저감, 유지용수 확보를 목적으로 제방을 축조하

는 등 하천 정비사업이 진행되었다(Kim and Yoon 1996). 이러한 정비사업의 일환으로 곤양천하구습지에도 인공제방이 건설되어 하천의 직강화가 이루어졌으며, 밀물의 흐름을 차단하여 감조구간을 줄이는 등 하천 주변의 습지 생태계에 급격한 환경 변화가 나타났다(Kim 2005). 과거에는 이러한 개발이 식량 생산을 위한 농경지 조성이나 용수 확보를 목적으로 하였으나, 최근에는 생태적 가치 증대와 보전을 위한 노력이 강화되고 있으며(Birol and Cox 2007, Barbier et al. 2011), 이와 함께 1999년 하천법 개정을 통해 하천 정비의 방향성이 전환되었다. 곤양천하구습지 주변 마을에서도 2000년부터 친환경농업을 활용한 농촌 체험과 생태관광 기능을 강화하여 은어, 다슬기 등 어족자원 및 생태환경 보전을 위해 노력해왔다. 이러한 노력과 함께 지역 생태계에 대한 올바른 이해는 서식처와 생물 자원에 대한 체계적인 접근을 바탕으로 보전과 관리의 중요성을 강조하고 있다.

본 연구는 국립생태원에서 수행한 “하구 생태계 조사” 결과를 바탕으로 곤양천하구습지의 생태계 현황 및 특성을 파악하고 습지보호지역으로서 지정 가능성을 검토하고자 하였다. 이를 위해 (1) 하구습지 내 염도 구배 및 지형 특성에 따라 구분된 권역별 식물군락과 멸종위기 야생생물, 생태계교란 생물 포함 생물다양성 현황을 파악하고, (2) 권역별 식생 및 지형 특성에 따른 생물상 분포 현황을 종합적으로 분석하여, (3) 곤양천하구습지의 생태적 보전 가치를 파악하고 이를 기반으로 관리 방안을 제안하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 조사지 개황

본 연구의 대상지인 곤양천하구습지는 경상남도 하동군 북천면, 사천시 곤명면과 곤양면 일대를 관류하여 남해 광포만으로 유입되는 지방 하천인 곤양천의 말단부에 위치한다. 하구역의 생태적 기능과 특성을 온전하게 파악하기 위해 기수역이 형성되는 지역을 조사범위로 선정하였다. 종적으로는 연안습지에 해당하는 광포만 갯벌의 경계부터 만조 시 해수가 유입될 수 있는 구간인 곤양면 대진리에 위치한 수중보까지이며, 횡적으로는 제내지에 위치한 경작지를 일부 포함하였다. 연장과 면적은 각각 2.8 km와 935,038 m²로, 곤양천 유역면

적인 82.2 km²의 약 1.14 %에 해당한다(Fig. 1).

생태계 조사는 지형적 특성 및 염도 구배 등을 고려해 3개의 소권역으로 구분하여 수행하였다. I 구간은 광포만과 직접적으로 맞닿아 있어 해수 유입에 의해 염도가 7 - 9%로 가장 높게 나타나는 구간이다. 특히 사질 퇴적물로 이루어진 삼각주와 주변으로 점토질 간석지가 발달하여 갯벌 생태계가 유지되고 있으며, 서포천이 제방 내측에 위치한 배수장으로 합류하여 내·외측이 간

접적으로 연결되어 있다. II 구간은 콘크리트 방조제 설치에 따른 직강화가 이루어졌으며 하폭도 급격하게 좁아진 지역이다. 산림과 인접한 곡류하는 구간을 중심으로 모래 및 자갈로 구성된 퇴적지형이 발달하여 갈대군락이 생육하고 있다. III구간은 염도가 2% 이하로 해수의 영향을 거의 받지 않는 지점이며, II 구간과 마찬가지로 직강화되어 하폭이 좁고 상류에 설치된 수중보의 영향으로 유량과 유속의 변화가 잦은 것으로 확인되었다. 해당구간의 하류부에 위치한 대진교를 지나면서는 유량과 유속이 안정화되어 사력퇴적지가 발달하고 수변 식생이 정착하고 있었다. 본류 구간의 하상구조는 전반적으로 모래 비중(약 60%)이 높은 사토와 사양토로 확인되며, 상류에서만 점토와 미사 비율이 40%와 20%로 높게 나타났다(NIE 2023). 곤양천하구습지와 인접한 진주 기상관측소에서 관측된 기상자료(1993 ~ 2022년)를 확인한 결과, 연평균 기온은 13.4°C, 연평균 강수량은 1,493 mm로 관측되었다(KMA 2023).

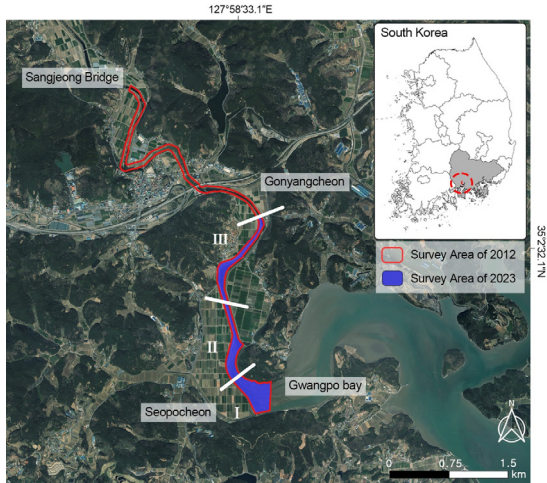


Fig. 1. Map showing the study site of the Gonyangcheon Estuarine Wetland, Korea. Blue areas on the map indicate survey areas for 2023, while red lines on the map indicate survey areas from 2012. White lines delineate reaches I (Lower reach), II (Middle reach), and III (Upper reach) of the 2023 survey area. Black lines on the keymap indicate borders of provinces. Red dashed line marks the location of the Gonyangcheon Estuarine Wetland.

2.2 조사 및 분석 방법

곤양천하구습지의 생물다양성과 생태계 특성을 파악하기 위해 9개 분류군(식생, 식물상, 포유류, 조류, 어류, 양서·파충류, 육상곤충, 담수무척추동물, 기수무척추동물)을 대상으로 2023년 2월부터 11월까지 현장조사를 수행하였다. 분야별 특성에 따라 조사시기를 차별 적용하였으며 철새 도래지로서 가치를 파악하고자 조류 분야만 겨울철 조사를 추가로 수행하였다(Table 1). 현장조사는 분야별 전문가를 활용하였으며 내륙습지

Table 1. Survey period according to survey order for taxonomic group

Taxonomic group	1st survey		2nd survey		3rd survey		4th survey		5th survey	
	2023	2012	2023	2012	2023	2012	2023	2012	2023	2012
Vegetation	Apr	Jun	May	Aug	Jul	Sep	Aug	-	Sep	-
Plant	May	Jun	Jun	Aug	Aug	Oct	Oct	-	-	-
Amphibian/reptile	Mar	Jun	Aug	Jul	Sep	Aug	-	Sep	-	-
Fish	Mar	May	Jun	Oct	Aug	-	-	-	-	-
Terrestrial insect	May	-	Jul	-	Oct	-	-	-	-	-
Bird	Feb	May	May	Jul	Jun	Oct	Aug	-	Sep	-
Mammal	Apr	Oct	Jun	Nov	Oct	-	-	-	-	-
Benthic invertebrate (fresh water)	Apr	May	Aug	Aug	Oct	Oct	-	-	-	-
Benthic invertebrate (sea water)	Jun	Aug	Jul	Sep	Oct	Oct	-	-	-	-

조사지침(NIE 2020)을 준용하였다. 식생조사는 Z.-M. 학파의 식물사회학적 조사방법(Braun-Blanquet 1965)에 따라 곤양천하구습지의 식물사회를 대변하는 전형적인 종조성과 생태적 환경을 갖추고 있는 지점을 선정하여 총 42장의 식생조사표를 획득하였으며, 실내에서 출현종의 경향성을 분석하고 단위식생을 분류하였다. 이후, 정밀 항공사진과 유형화된 단위식생을 활용하여 현존식생도를 작성하고 분포면적을 산출하였다. 이외 생물상 8개 분류군을 대상으로 멸종위기 야생생물, 생태계교란 생물 포함 생물종의 출현 현황과 분포 특성을 파악하였다. 습지 전반에 걸쳐 전수조사를 수행하는 분류군은 식물상, 양서·파충류, 육상곤충, 포유류, 조류이며, 정점조사는 어류, 담수 및 기수무척추동물에 대해 수행되었다. 분야별 조사 방법으로, 식물상 조사는 선조사법을 통한 직접 관찰로 출현목록을 작성하였으며 어류는 투망과 족대를 이용한 직접 채집을, 양서·파충류는 포충망과 뱀집계를 이용한 직접 확인과 울음소리를 통한 간접 확인을 병행하였다. 육상곤충은 포충망을 이용한 주간조사와 등화채집(light trap)을 이용한 야간조사를 병행하였으며, 포유류는 배설물, 족적 등 출현 흔적을 확인하는 직접 조사와 더불어 무인센서카메라를 이용하여 지속적으로 모니터링하였다. 조류는 육안과 쌍안경 등을 활용한 선 및 정점조사로 직접 확인하였으며, 저서성대형무척추동물은 D-frame net과 scoop net을 활용하여 정량 및 정성채집을 수행하였다.

곤양천하구습지의 생태적 건강성을 평가하고자 식생, 어류, 저서성대형무척추동물에 한하여 구축된 건강성 평가 방법을 적용하였으며, 평가는 A - E까지 5단계 등급으로 이루어진다(NIER 2019). 하구수변식생평가지수(Korea Estuary Riparian Vegetation Index; KERVI)는 식생환경의 온전성, 습지식물군락의 다양성 그리고 외래식물군락, 육상식물군락, 습지식물군락의 분포면적 비율을 바탕으로 산정되며, 하구어류평가지수(Korea Estuary Fish Assessment Index; KEFAI)와 하구저서성 대형무척추동물평가지수(Korea Estuary Benthic Macroinvertebrates Index; KEBMI)는 총 출현종수, 다양도 지수 그리고 생태적 기능군의 종수 및 비율을 바탕으로 산정된다. 또한 곤양천하구습지에서 출현한 생물상의 변화 양상을 파악하기 위해, 2012년에 수행된 유일한 과거 조사 결과를 활용하였다(NIER 2012). 당시 조사구간은 본 연구 범위보다 상류로 확장된 상정교까지로, 해수가 유입되지 못하는 담수 구간도 포함된 것

으로 확인되었다(Fig. 1). 다만, 시기적 차이에 따른 환경 조건에 대한 추가 자료가 부족하여 생물상 변화 분석에는 일정한 불확실성이 존재할 수 있다. 이후, 식생 및 생물 분포 특성을 종합적으로 분석하여 습지의 생태적 가치를 파악하고 보호지역 지정 가능성 검토 및 보전방안에 대해 제언하였다.

3. 결과

3.1 식물군락의 다양성과 분포

곤양천하구습지는 하천 지형 구배와 생태적 연결성에 따라 총 6개 상관식생형의 25개 식물군락이 분포하는 것으로 나타났다. 인공제방을 기준으로 외측인 제의 지에는 전형적인 하천 생태계 특성이 나타나는 정수 및 유수역 다년생 초본식생과 염습지식생이, 내측인 제내 지에는 인위적 간섭과 식재의 영향으로 경작지식생, 대상식생, 기타식생이 주로 분포하였다(Table 2). 수분 조

Table 2. Vegetation diversity in the Gonyangcheon Estuarine Wetland, Korea

Physiognomic type	Plant community
Lentic herbaceous vegetation	<i>Phragmites australis</i> community
	<i>Typha angustifolia</i> community
Lotic herbaceous vegetation	<i>Phalaris arundinacea</i> community
	<i>Miscanthus sacchariflorus</i> community
Salt marsh vegetation	<i>Triglochin maritimum</i> community
	<i>Zoysia sinica</i> community
	<i>Artemisia fukudo</i> community
	<i>Limonium tetragonum</i> community
Segetal vegetation	<i>Lamium amplexicaule</i> community
	<i>Alopecurus aequalis</i> community
	<i>Lolium multiflorum</i> community
	<i>Hordeum vulgare</i> community
	<i>Oryza sativa</i> community
Substitutional vegetation	<i>Robinia pseudoacacia</i> community
	<i>Papaver rhoeas</i> community
	<i>Amorpha fruticosa</i> community
	<i>Festuca arundinacea</i> community
	<i>Rumex crispus</i> community
	<i>Imperata cylindrica</i> community
	<i>Pueraria lobata</i> community
	<i>Rubus crataegifolius</i> community
	<i>Pseudosasa japonica</i> community
Other vegetation	<i>Ulmus parvifolia</i> community
	<i>Rhus javanica</i> community
	<i>Platycarya strobilacea</i> community

건이 반영된 습지 선호도를 기준으로는 절대습지식물 (Obligate wetland plant; OBW) 우점군락 6개, 임의습지식물(Facultative wetland plant; FACW) 우점군락 3개, 양생식물(Facultative plant; FAC) 우점군락 5개, 임의육상식물(Facultative upland plant; FACU) 우점군락 1개, 절대육상식물(Obligate upland plant; OBU) 우점군락 8개로 구분되며, 경작을 위해 재배 중인 벼군락과 보리군락은 제외하였다.

갈대군락(*Phragmites australis* community)과 갯잔디군락(*Zoysia sinica* community)의 분포면적은 각각 38,976 m²와 26,098 m²로 곤양천하구습지를 대표하는 단위식생으로 확인되었으며, 지역 내에서 두 식물 군락은 염분의 영향에 따라 그 분포가 구분되었다(Fig. 2). 갈대군락은 상류와 중류에 해당하는 II, III구간의 수변부를 중심으로 넓게 발달하였으며 하류로 갈수록 제방과 인접한 좁은 공간에서만 대상분포하고 있었다. 반면

갯잔디군락은 하류부인 I 구간에 발달한 삼각주 지형을 중심으로 광범위하게 분포하고 있으며, 특히 삼각주 상부 지역에 생육하여 범람과 염도의 영향을 빨리 회피할 수 있는 입지로 확인되었다. 이외에 하천 범람을 방지하기 위한 수직구조의 인공구조물이 축조되고 주변에 경작지가 위치함에 따라 제방 입지와 논둑을 중심으로 철근락(*Pueraria lobata* community), 쥐보리군락(*Lolium multiflorum* community), 개양귀비군락(*Papaver rhoeas* community), 광대나물군락(*Lamium amplexicaule* community) 등 다수의 육상식물군락이, 산지와 인접한 입지를 중심으로는 굴피나무군락(*Platycarya strobilacea* community), 아까시나무군락(*Robinia pseudoacacia* community) 등 다양한 관목식물군락이 발달하여 하천 범람과 같은 자연적 교란뿐만 아니라 인위적 교란 조건이 곤양천하구습지의 식물군락의 다양성을 높이고 있었다.

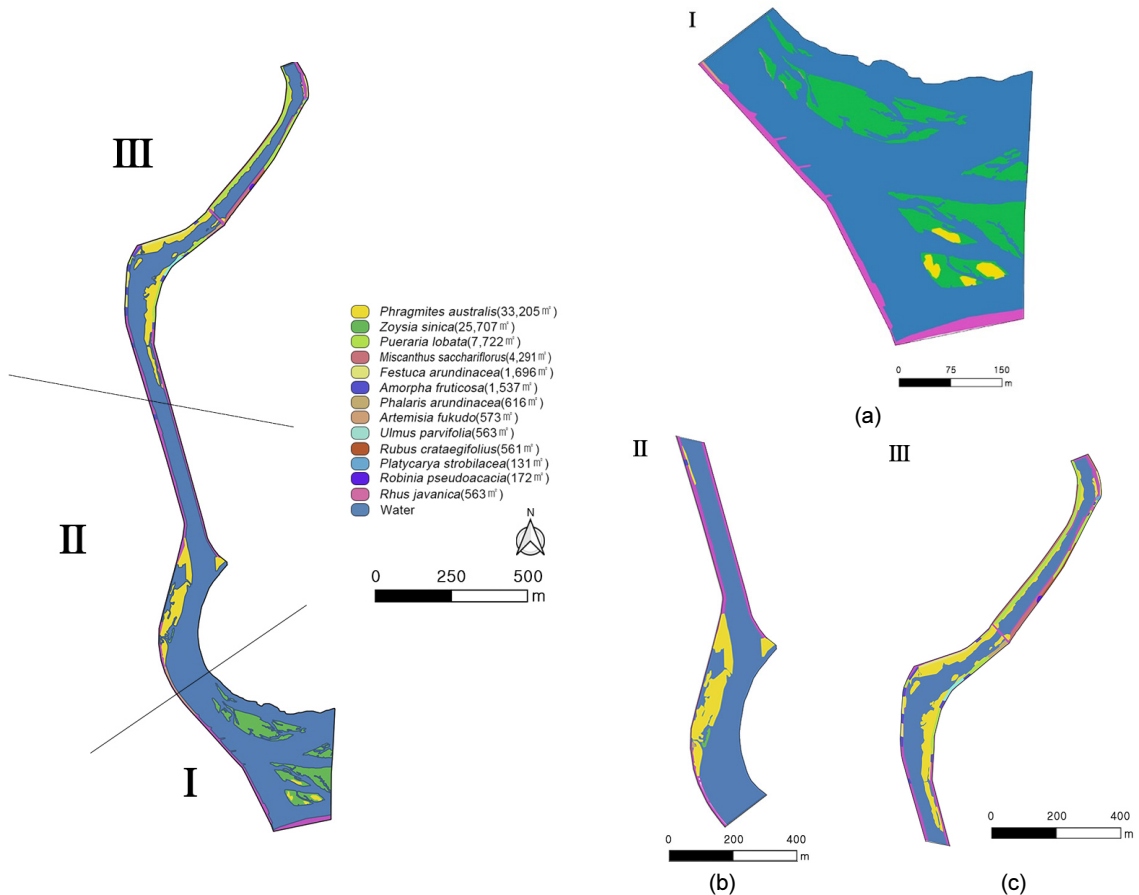


Fig. 2. Vegetation map of the Gonyangcheon Estuarine Wetland. (a) I, Lower reach; (b) II, Middle reach; (c) III, Upper section.

3.2 생물다양성 현황

습지에 서식하는 주요 생물 분야를 중심으로 생물다양성 현황을 파악한 결과, 8개 분류군에서 총 1,067종이 확인되었다(Table 3, Table 4). 멸종위기 야생생물은 포유류, 조류, 저서성대형무척추동물에서만 확인되었으며, 총 15종이 출현하였다. 포유류는 I 급 수달 (*Lutra lutra*), II 급 담비(*Martes flavigula*), 삥(*Prionailurus bengalensis*)이, 조류는 II 급 노랑부리저어새 (*Platalea leucorodia*), 물수리(*Pandion haliaetus*), 붉은배새매(*Accipiter soloensis*), 재두루미(*Grus vipio*), 검은목두루미(*Grus grus*), 흑두루미(*Grus monacha*), 흰목물떼새(*Charadrius placidus*), 큰뒷부리도요(*Limosa lapponica*), 수리부엉이(*Bubo bubo*)가, 저서성대형무척추동물은 II 급 기수갈고둥(*Clithon retropictus*), 대추귀고둥(*Ellobium chinense*), 붉은발말뚱개(*Sesarmops intermedius*)가 출현하였다. 구간별로는 상류와 중류부인 II, III구간에서 530종, 534종으로 연안과 맞닿는 I 구간의 480종보다 중풍부도가 다소 높은 것으로 확인되었다. 구간별 서식처 특성과 염도에 따라 분야별

출현 종 수의 양상은 다양하였다. 육상곤충, 양서·파충류, 어류는 중·상류인 II, III구간에서 중풍부도가 높았으며, 조류와 담수무척추동물은 하류인 I 구간에서 중풍부도가 다소 높았다. 나머지 분야는 비슷한 수준으로 확인되며, 분야별 조사 결과는 다음과 같다.

식물상은 50과 120속 151종 2아종 8변종 등 총 161 분류군이 확인되었다. 간조 시, 염습지가 넓게 드러나는 I 구간과 II 구간의 일부 하상지역을 중심으로 갯잔디(*Zoysia sinica*), 나문재(*Suaeda glauca*), 가는갯쟁이(*Atriplex gmelinii*) 등 총 12분류군의 염생식물이 확인되었다. II 구간은 직강화가 이루어진 구간으로 일부 퇴적지형이 발달한 지점에서만 식물상이 정착하고 있었다. III구간 또한 하폭이 30 m 내외로 비교적 좁고 상류의 수중보 영향으로 유량과 유속의 변동이 심하여 수변식물의 정착이 제한되었다. 이로 인해 하천 곡류부에 하상이 퇴적된 일부 구간을 중심으로만 갈대(*Phragmites communis*)와 줄(*Zizania latifolia*), 달뿌리풀(*Phragmites japonica*) 등의 정수식물이 생육하고 있었다. 제내지와 인접한 소규모 저류지에서는 부들

Table 3. Changes in the number of taxa in the upper, middle, and lower reaches of the Gonyangcheon Estuary Wetland in Korea from 2012 to 2023

Taxonomic group	2023				2012**
	I (Lower)	II (Middle)	III (Upper)	Total	
Plant*	-	-	-	161	144
Amphibian/reptile	3/0	5/1	5/2	7/2	8/5
Fish	11	9	18	24	26
Bird	54	45	30	67	38
Mammal	5	8	8	10	3
Benthic invertebrate (fresh water)	42	9	16	48	45
Benthic invertebrate (sea water)	13	14	14	25	23
Terrestrial insect	352	443	437	723	-
Total	480	534	530	1,067	291

*Survey the entire area without distinction of survey area

**NIER (2012)

Table 4. The list of endangered species designated by the Korea Ministry of Environment in the Gonyangcheon Estuarine Wetland, Korea

Taxonomic group	Endangered species category	
	I	II
Bird	-	<i>Platalea leucorodia</i> , <i>Pandion haliaetus</i> , <i>Accipiter soloensis</i> , <i>Grus vipio</i> , <i>Grus grus</i> , <i>Grus monacha</i> , <i>Charadrius placidus</i> , <i>Limosa lapponica</i> , <i>Bubo bubo</i>
Mammal	<i>Lutra lutra</i>	<i>Martes flavigula</i> , <i>Prionailurus bengalensis</i>
Benthic invertebrate	-	<i>Clithon retropictus</i> , <i>Ellobium chinense</i> , <i>Sesarmops intermedius</i>

(*Typha orientalis*), 부처꽃(*Lythrum anceps*), 선버들(*Salix subfragilis*) 등 수생 및 습생식물이 생육하는 것이 확인되었다.

곤양천 본류 구간과 주변 농경지 일대를 함께 조사한 양서·파충류 분야에서는 양서류 4과 7종, 파충류 1과 2종으로 총 5과 9종 207개체가 확인되었다. 우점종은 참개구리(*Rana nigromaculata*)로 나타났으며, 생태계교란 생물인 황소개구리(*Rana catesbeiana*)도 출현하였다. 양서·파충류 대부분 염분이 스트레스 요인으로 작용하기 때문에 본류보다는 인접한 농경지와 산림 초지대에서 확인되었고, I 구간보다는 II, III구간에서 확인되었다.

어류는 총 9과 24종 905개체가 확인되었으며, 우점종은 민물두줄망둑(*Tridentiger bifasciatus*, 234개체), 아우점종은 송어(*Mugil cephalus*, 125개체)로 나타났다. 열린 하구로 인해 전 구간이 해수에 영향을 받으며 펄 하상이 발달하여 짙뚱어(*Boleophthalmus pectinirostris*), 큰뺨말뚝망둑어(*Periophthalmus magnuspinatus*), 점줄망둑(*Acentrogobius pellidebilis*)을 비롯한 다양한 망둥어과 어류의 서식이 확인되었다. 또한 III구간은 강우량이 증가하는 시기에 담수의 영향을 많이 받는 지역으로, 생태계교란 생물 블루길(*Lepomis macrochirus*), 배스(*Micropterus salmoides*) 포함 일차담수어가 11종이 출현하여 기수성 어종만 확인된 I, II구간에 비해 종다양성이 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

육상곤충은 구간별로 I 구간 352종, II 구간 443종, III구간 437종으로, 총 14목 122과 723종이 확인되었다. 나비목이 475종(64.54%)으로 가장 많이 관찰되었으며, 딱정벌레목, 노린재목, 잠자리목 등의 순으로 나타났다. 기후변화 지표종은 푸른아시아실잠자리(*Ischnura senegalensis*), 각시메뚜기(*Patanga japonica*), 말매미(*Cryptotympana atrata*) 등 5종, 생태계교란 생물은 등검은말벌(*Vespa velutina nigrithorax*), 미국선녀벌레(*Metcalfa pruinosa*), 꽃매미(*Lycorma delicatula*), 갈색날개매미충(*Ricania sublimata*) 4종이 출현하였다. 상류부인 III구간에서 바퀴목, 대벌레목, 약대벌레목 등 다양한 목에 속하는 종이 확인되었다.

조류는 멸종위기 야생생물 9종을 포함해 총 29과 67종 1,793개체가 조사되었으며, 우점종과 아우점종은 각각 흰뺨검둥오리(*Anas poecilorhyncha*, 230개체)와 붉은머리오목눈이(*Sinosuthora webbiana*, 194개체)

로 나타났다. 도요·물떼새, 오리류, 백로류 등 습지 및 해양 환경에 의존도가 높은 물새류가 37종 1,220개체로 절반 이상을 차지하였다. 구간별로 비교하면 I 구간에서 점토질의 염습지와 경작지 등 다양한 서식처가 위치하여 종풍부도가 54종으로 가장 높았으며 상류부인 III구간에서 30종으로 가장 낮았다. 멸종위기 야생생물 II급 재두루미, 검은목두루미, 흑두루미 등 두루미류들은 I ~ II구간에 걸쳐 농경지를 주요 취식지로 이용하였으며, 갯잔디군락이 발달한 염습지는 번식지와 월동지를 오고가는 노랑부리저어새, 큰뒷부리도요에게 먹이활동을 위한 중간기착지(stopover site)로 활용되고 있었다.

포유류는 멸종위기 야생생물 3종을 포함해 총 4목 7과 10종이 조사되었다. 너구리(*Nyctereutes procyonoides*)가 우점종으로 나타났으며 고라니(*Hydropotes inermis*), 삵 등의 순으로 출현 빈도가 높았다. III구간은 산림 환경이 인접해 있어 I, II구간에서 출현하지 않은 멧돼지(*Sus scrofa*)와 오소리(*Meles meles*)가 확인되었다. 멸종위기 야생생물인 수달, 삵, 담비는 모든 구간에서 흔적이 발견되었다. 수달과 삵은 상류부터 하류까지 배설물이 확인되어 습지 전 구간을 서식처로 이용하는 것으로 나타났으며, 담비는 인접한 산지에서 출현이 확인되었다(Fig. 3).

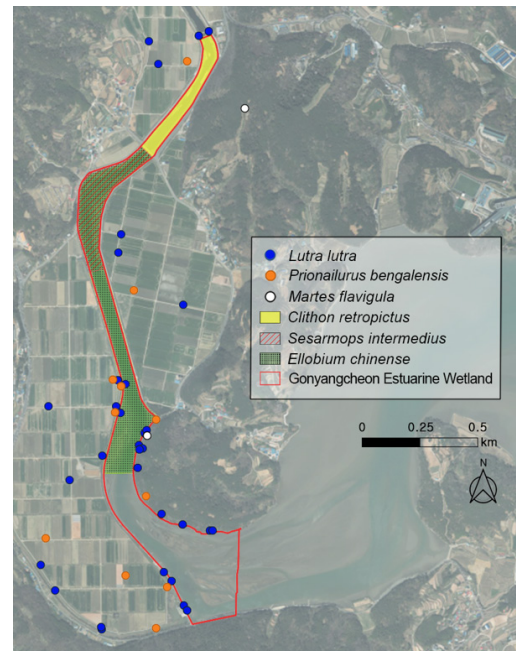


Fig. 3. Distribution map of endangered wildlife in the Gonyangcheon Estuarine Wetland, Korea.

담수무척추동물은 총 36과 48종이 조사되었으며, 수서곤충류가 전체 출현 종의 54.1%를 차지하였다. 우점종과 아우점종은 각각 잔벌레류(*Gnorimosphaeroma* sp.)와 옆새우류(*Gammarus* sp.)로 확인되었다. I 구간에서 42종, II 구간 9종, III 구간 16종으로 하류에서 종 다양성이 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 해수의 영향을 받지 않는 지류인 서포천이 조사 지점에 포함되었기 때문에, 곤양천 본류에서만 출현한 생물종은 10종으로 가장 낮았다.

기수무척추동물은 멸종위기 야생생물 3종을 포함해 총 18과 25종이 확인되었다. 분류군 구성비는 절지동물문 연갑강이 15종으로 종 다양성이 가장 높았고 연체동물문 복종강과 이매패강 순으로 나타났다. 구간별 종수는 13종 내외로 비슷하나 구간별 서식처 특성에 따라 III 구간은 자갈하상이 우세하여 고등 및 새우류가, II 구간은 갈대군락이 발달하여 말뚝게(*Chiromantes dehaani*), 가지게(*Parasesarma plicatum*)가, I 구간은 연성 저질에 따른 칠게(*Macrophthalmus japonicus*), 딱총새우(*Alpheus brevicristatus*) 등 출현 종의 구성에서 차이가 나타났다. 멸종위기 야생생물의 분포 특성으로 기수갈고등은 해수의 영향(0.06~1.6%)이 적고 하상구조(2~16 mm)가 상대적으로 굵은 III 구간에서, 붉은발말뚝게와 대추귀고등은 II~III 구간에 걸쳐 조건대 상부 갈대군락에서 출현 빈도가 높았다(Fig. 3).

3.3 생물상 변화 양상

곤양천하구습지를 대상으로 2012년에 수행된 조사 결과와 비교하여 생물상 변화 양상을 파악하였다(Table 3). 과거에는 담수구간인 상류 2 km의 상정교까지 확장하여 조사가 수행되어 범위에 차이가 있으며, 조사가 미시행된 육상곤충 분야는 제외하고 분석하였다. 총 종수는 2012년 291종 대비 53종이 증가하였고 분야별로는 식물상, 조류, 포유류에서 증가하였으며, 나머지 분야는 비슷한 수준으로 유지되고 있었다. 종수준에서는 약 30~50%가 동일한 종이 출현하였으며 나머지는 사라지거나 새로운 종으로 대체되는 것으로 나타났다. 그러나 시기적 차이에 따른 기후, 수질 등 환경 조건에 대한 추가적인 데이터가 부족하여, 생물상 변화에 대한 정확한 비교 분석에는 불확실성이 존재할 수 있다. 이러한 한계를 보완하기 위해 후속 연구에서는 보다 일관된 시기적 및 환경적 조건을 고려한 추가 조사가 필요

할 것으로 판단된다.

종 수의 변화가 확인된 분야별 주요 특징으로 식물상에서는 수생 및 습생식물 18종이 새로 출현하였다. 이중 침수식물은 말즘(*Potamogeton crispus*), 부유식물은 개구리밥(*Spirodela polyrhiza*), 부엽식물은 가래(*Potamogeton distinctus*), 정수식물은 연(*Nelumbo nucifera*), 달뿌리풀 등으로 모든 수생형에서 확인되었으며, 습생식물이자 염생식물인 갯개미자리(*Spergularia marina*), 갯사상자(*Cnidium japonicum*)도 포함되어 있었다. 양서·파충류는 동일한 조사 범위에서만 비교한 결과, 봄철 조사에 따른 도롱뇽(*Hynobius leechii*)과 두꺼비(*Bufo bufo gargarizans*)의 서식이 신규로 확인되었으며, 생태계교란 생물인 황소개구리(*Rana catesbeiana*)는 2012년에 이어 지속해서 출현하였다. 어류는 해수가 유입되는 구간에만 조사가 집중되어 기수성의 망둥어과 어종 6종이 새로 발견되었다. 한편, 담수구간에 해당하는 조사 범위가 줄어들어 일차담수어 10종은 미확인되었으며, 생태계교란 생물인 배스가 신규로 확인되었다. 조류는 겨울철 조사가 시행되어 2012년 대비, 멸종위기 야생생물 두루미류를 포함 겨울철새 12종, 물새류 17종이 새로 출현하였다. 포유류는 2012년에 비해 멸종위기 야생생물 삼과 담비를 비롯해 두더지, 멧돼지, 오소리 등 총 7종이 추가로 확인되었다. 기수무척추동물은 70%가 새로운 종으로 바뀌어 다른 분야에 비해 변화 양상이 다소 큰 것으로 나타났으며, 멸종위기 야생생물인 기수갈고등과 대추귀고등이 새로 발견되었다. 무척추동물의 분포와 다양성은 계절적 변화와 물리적 특성 등에 따라 쉽게 변동될 수 있다. 2012년 조사에는 상류부 대진교와 하류부 광포만의 2개 지점만을 대상으로 했으나, 이번 조사에서는 5개 지점으로 확대하여 II 구간의 다양한 환경 조건이 포함됨에 따라, 이에 서식 가능한 종들이 추가로 확인된 것으로 판단된다.

4. 고찰

4.1 식생 분포에 따른 습지 생태계 특성

곤양천하구습지 전 구간에 걸쳐 수직 구조의 방조제가 축조되어 횡적으로 인위적인 지형 구배가 형성되었으며 습지 주변으로 경작지가 넓게 위치함에 따라 인위적 관리와 간접적인 영향으로 대상식생, 경작지식생 등 육상식물군락이 전체 식물군락 25개 중 16개(64%)를

차지하였다. 수생 및 습생식물군락은 9개로, 거제시부터 남해군까지 남해안 일대 하구습지에서 6 - 12개의 수생 및 습생식물군락이 출현한 결과와 비교하면 하천식생의 다양성은 평이한 것으로 판단된다(NIE 2022). 그럼에도 불구하고 곤양천하구습지의 수변식생평가지수(KERVI)는 A등급인 85점으로 식생환경이 비교적 온전하고 습지식물군락의 분포 면적이 넓은 것으로 평가되었다(NIE 2023). 급경사로 이루어진 인공제방이 오히려 인간의 인위적 접근을 제한하며, 느린 유속과 적은 유량 등 수리수문학적 특성이 자연적인 식생 천이를 유도함으로써 하상구조가 퇴적되는 지역을 중심으로 갈대군락과 갯잔디군락 등의 하천식생이 비교적 넓게 분포하고 있기 때문이다(Baniya et al. 2019, Fehérváry and Kiss 2021).

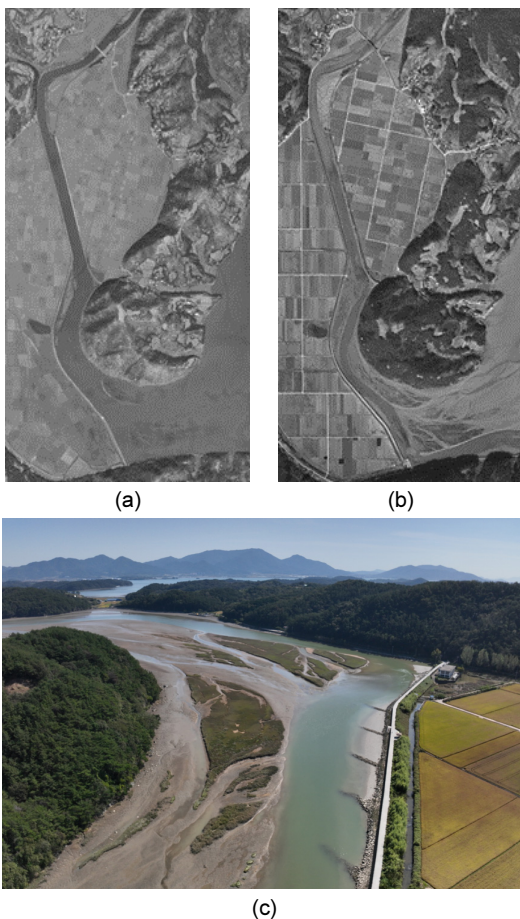


Fig. 4. Comparison of aerial photos of *Zoysia sinica* community in the Gonyangcheon Estuarine Wetland. The *Zoysia sinica* community in the lower reach is widely exposed at low tide. (a) 1972, (b) 2002, (c) 2023.

본 연구 지역의 핵심 군락은 갯잔디군락으로, 남해안과 서해안에 위치한 만조염습지 내 돌출된 미소지형을 따라 평균 고조선보다 높은 위치에서 발달하며 분포 형태는 넓은 띠형부터 둥근 형태까지 그리고 면적은 10 m² 내외인 것으로 알려져 있다(Lee et al. 2016, Lee 2020). 곤양천하구습지에서도 유사한 서식처 특성이 나타나며 삼각주 내 돌출된 상부지역에 발달하고 있었다. 특히 하구 말단부에 패치형태로 600 ~ 8,000 m²의 상당히 넓은 면적으로 확인되어 생태적 특이성이 높은 지역으로 평가되며, 분류 하쪽에 비해 하구 말단부가 급격히 넓어져 낮은 수심과 느린 유속에 의해 군락이 대규모로 발달할 수 있는 것으로 판단된다.

갈대군락 또한 곤양천하구습지의 대표 식물군락 중 하나로, 중·상류부에 발달한 사력퇴를 중심으로 발달 하였으나 하류부에서는 분포 면적이 현저히 감소하였다. 갈대군락은 0 - 22.5%의 염도에서 생육이 가능하여 해당 구간의 염도인 9.9%에서 충분히 생육할 수 있지만 갯잔디군락과의 경쟁에서 밀리는 것으로 나타났다(Chambers et al. 2003). 인위적 교란이 발생하는 환경에서는 염생식물보다 경쟁우위를 보이거나, 고염도 또는 교란이 낮은 환경에서는 경쟁력이 상대적으로 낮은 것으로 보고된 연구사례가 있었다(Chambers et al. 2003). 1972년, 2002년에 촬영된 항공사진 분석 결과(NGII 2024), 하류부에 퇴적지형이 발달해 있으며 중류부를 기준으로 갈대와 갯잔디군락이 분리되어 생육하고 있었다(Fig. 4). 즉 갯잔디군락의 정착은 과거부터 지속되어 온 것으로 보이며, 이와 같이 특이한 분포가 나타나는 갯잔디군락에 대한 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

4.2 생물종 분포 특성

곤양천하구습지의 생물다양성은 2012년에 비해 53 종이 증가하였으며, 이번 조사에서 추가로 수행된 육상 곤충 분야까지 포함하면 총 1,067종이 확인되었다. 이 중 식물상, 조류, 포유류 분야에서 종 수가 크게 증가하였다. 겨울철 조류 조사를 포함한 계절별 체계적인 현장 조사와 무인센서카메라 및 트랩을 활용한 정밀하고 지속적인 모니터링이 종 수 증가에 기여한 것으로 판단된다. 이러한 체계적인 조사 접근법과 고도화된 조사 기법은 생물종의 발견과 식별과정에서 보다 높은 정확도와 포괄성을 제공할 수 있을 것이다. 구간별로도 분류군 특

성에 따라 출현 양상이 상이하였다. II, III구간은 염도가 0-3%로 상대적으로 낮고 농경지와 초지의 면적이 넓어 육상곤충, 양서·파충류, 어류 서식에 긍정적이었으며, I 구간은 휴식처로 이용할 수 있는 염습지가 넓게 발달하였으며, 본류로 영양분을 공급하며 생물 이동경로 역할을 하는 지류가 위치하여 조류와 무척추동물의 풍부도 증진에 기여하는 것으로 판단된다(Blaber et al. 2000).

하구습지 본류구간은 해수가 유입되어 일부 본류군에게 스트레스 요인으로 작용함에 따라 큰산개구리 (*Rana uenoi*), 도롱뇽, 두꺼비 등의 양서류는 제내지에 위치한 농경지, 들판, 농수로 등 수환경을 중심으로 번식이 확인되었으며, 포유류도 주변 농경지 및 제방 상부에서 흔적이 주로 발견되었다(Ward et al. 2015). 그럼에도 불구하고 수생태계의 조절자 역할을 수행하며 핵심종에 해당하는 수달은 3마리 이상 무리지어 생활하는 모습이 발견된 것으로 보아 곤양천하구의 수생태계 건강성이 양호한 것으로 판단된다. 반면 어류 분야에서는 갯벌 생태계의 지표종인 짱뚱어와 큰뺨말뚨망둥어를 포함한 다양한 망둥어과가 확인되어 필하상의 건강성이 양호한 것으로 나타났다. 특히 회유, 기수, 해산, 저서성 어종 등 다양한 기능군의 어종이 출현하며 종 다양성이 풍부한 것으로 분석되었다. 이로 인해 하구어류평가지수(KEFAI)는 매우 좋음 A등급(85점)으로 하구생태계의 건강성과 기능적 복잡성이 높은 것으로 평가되었다(NIE 2023).

육상곤충의 경우, I 구간은 하구 말단부로 해풍에 의한 종의 유입이 용이하며 III구간은 담수생태계 영향으로 안정적인 서식 환경이 제공되어 종 풍부도가 높은 것으로 판단된다. 즉, 연구 지역은 강한 해풍으로 종의 유입이 쉽고 내륙과 해안에서 서식하는 곤충이 공존할 수 있는 공간으로 국가 기후변화 생물 지표종(Climatesensitive Biological Indicator Species)을 포함한 육상곤충의 정착과 확산의 요충지로 기능하고 있다. 특히 논습지와 하천, 갯벌 등 서식처가 다양하게 분포하여 조류 분야에게는 우수한 서식 환경을 제공하고 있었다. 최근 광포만과 인근 사천만에서 재두루미와 흑두루미를 포함한 두루미류 150여 개체 이상이 집단 월동하며, 연간 20,000개체 이상의 조류가 관찰된 것으로 보고되었다(NIER 2022, GREF 2022). 본 조사에서도 재두루미와 검은목두루미, 흑두루미 등 90여 개체의 월동이 확인되

었으며 연간 1,500개체 이상의 조류가 관찰되어 이 일대가 철새 도래지로서 중요성이 새롭게 부각되는 지역으로 판단된다. 봄철과 가을철에도 큰뒷부리도요와 중부리도요(*Numenius phaeopus*), 뒷부리도요(*Xenus cinereus*), 노랑발도요(*Tringa brevipes*) 등 도요·물떼새들의 중간기착지로서 휴식과 먹이원을 공급하는 역할을 하고 있으며, 물수리, 붉은배새매, 수리부엉이 등 맹금류의 서식도 확인되어 멸종위기 야생생물에게 안정적인 섭식 및 휴식지를 제공하는 것으로 판단된다. 곤양천하구습지는 약 2.8 km의 짧은 길이에도 불구하고 염도 구배가 완만하고 다양한 하상 기질을 포함하고 있어 구간별로 서식처 특성에 부합하는 무척추동물이 분포하고 있었다. 담수생물 대비 기수 및 민감종의 분포 밀도가 크게 높지는 않아 하구저서성 대형무척추동물평가 지수(KEBMI)는 보통 수준인 C등급(60.7점)으로 평가되었다. 그럼에도 멸종위기 야생생물 기수갈고동, 대추귀고동 및 붉은발말뚨가 II ~ III 구간에 걸쳐 상당히 안정적인 개체군을 형성하고 있어 보전가치가 높은 것으로 판단된다.

최근 5년간 정밀조사가 수행된 한강하구, 낙동강하구 등 6개 하구습지에서 출현한 생물종의 평균 종수는 멸종위기 야생생물 13종 포함 877종으로, 곤양천하구습지의 생물다양성은 이를 상회하는 수준으로 확인되었다(NIE 2023). 논습지와 광범위한 갯잔디군락의 발달은 도요·물떼새의 중간 기착지 및 멸종위기 야생생물인 두루미류의 월동지로 중요한 기능을 수행하는 것으로 판단되었다. 최근 해양수산부에서 인접해 있는 사천 광포만을 연안 습지보호지역으로 지정하였기에, 곤양천하구습지에 대한 체계적 보전이 이루어진다면 하천-하구-연안까지 이어지는 습지생태축의 확보 및 보전이 가능할 것이며 생물의 이동경로 및 생태적 안정성 강화에도 기여할 수 있을 것이다. 따라서, 본 연구 결과는 곤양천하구습지가 보호지역으로 지정될 가능성을 뒷받침하는 중요한 근거자료로 활용될 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구는 곤양천하구습지의 생태적 특성을 종합적으로 이해하고, 이를 바탕으로 보전 가치와 관리방안을 제시함으로써 하구습지 보전 및 지속 가능한 이용을 도모하기 위한 과학적 근거자료를 마련하기 위해 수행되

있다. 곤양천하구습지는 전 구간에 걸쳐 인공제방이 설치된 직강화 형태의 하도로 자연성은 다소 낮으나 이러한 인위적 요인이 오히려 인간의 접근을 제한하고 있으며, 광포만과 맞닿아 있는 열린 하구로 종적 연결성이 확보되어 있어 본류 구간의 식생 및 생물상의 분포는 양호한 것으로 확인되었다. 특히 대규모 갯잔디군락 포함 다양한 염생식물의 분포와 더불어 주변으로 농경지, 산림, 둠벙 등 다양한 서식처의 발달로 두루미류와 기수무척추동물 등 핵심종에 해당하는 멸종위기 야생생물의 서식이 다수 확인되어 보전 가치를 더욱 높이고 있었다.

곤양천하구습지의 말단부와 맞닿아 있는 광포만은 보전 가치를 인정받아 2023년에 연안 습지보호지역으로 지정되었다. 산림 - 하천 - 해양생태계까지 이어지는 습지생태축의 대표적인 보전 사례는 전북 고창에 위치한 운곡습지 - 인천강하구 - 고창갯벌이다. 마찬가지로 곤양천하구습지가 체계적으로 보전된다면 생태 거점을 연결하는 중요한 발판을 마련할 수 있을 것이다. 광포만은 습지보호지역 보전계획을 토대로 다양한 보전 및 관리계획이 수행되기에, 이와 연계하여 곤양천하구습지 일대에 멸종위기 야생생물 서식처 안내판을 설치하는 등의 홍보 활동을 진행한다면 습지의 생태적 가치에 대한 교육적 효과를 높이고 지역 사회의 환경보호 인식을 개선하는 데 기여할 수 있을 것이다. 또한 두루미류 및 백로류 등 겨울철새의 배후 서식처이자 먹이터로서 논습지 관리가 중요하므로, 안정적인 서식환경 조성을 위해 생태계서비스 지불제 계약사업 도입 검토 등 법적 보호장치를 마련하는 것도 필요하다. 이외의 인위적 교란 요인에 대한 단기적 관리방안으로는 주변 경작지와 축사에서 발생하는 비점오염원 유입을 방지하고, 생태계교란 생물 10종(가시박, 블루길, 황소개구리, 등검은말벌 등)에 대한 적극적인 방제 활동을 수행하여 생태계 안정성을 유지하고 생물다양성을 보전할 수 있을 것이다. 장기적으로는 수직 구조의 방조제가 생태적 연결성을 단절시키고 식물군락의 다양성을 제한하는 요소로 작용하고 있어, 이를 자연적인 지형 구배가 나타나는 하천지형으로 복원하는 것이 필요하다. 본 조사 결과, 방조제가 인위적 교란을 최소화하여 식생의 안정적인 정착을 유도하는 것으로 나타났으나, 현재의 곤양천하구습지는 일반적인 하구습지와 달리 이질적인 경관을 보이기 때문에 전형적인 하천식생 경관으로 회복하기 위한 추가적인 노력이 요구된다.

감사의 글

This study was supported by the National Institute of Ecology(NIE-A-2024-20). We would like to express our gratitude to all participants and stakeholders involved in the research.

References

- Attrill, M.J. and Rundle, S.D. 2002. Ecotone or ecocline: ecological boundaries in estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 55(6): 929-936.
- Baniya, M.B., Asaeda, T., Fujino, T., Jayasanka, S.M., Muhetaer, G., and Li, J. 2019. Mechanism of riparian vegetation growth and sediment transport interaction in floodplain: A dynamic riparian vegetation model (DRIP VEM) approach. *Water* 12(1): 77.
- Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, C., Koch, E.W., Stier, A.C., and Silliman, B.R. 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs* 81(2): 169-193.
- Biról, E. and Cox, V. 2007. Using choice experiments to design wetland management programmes: The case of Severn Estuary Wetland, UK. *Journal of Environmental Planning and Management* 50(3): 363-380.
- Blaber, S.J.M., Cyrus, D.P., Albaret, J.J., Ching, C.V., Day, J.W., Elliott, M., Fonseca, M.S., Hoss, D.E., Orensanz, J., Potter, I.C., and Silvert, W. 2000. Effects of fishing on the structure and functioning of estuarine and nearshore ecosystems. *ICES Journal of marine Science* 57(3): 590-602.
- Braun-Blanquet, J. 1965. *Plant sociology: the study of plant communities*. Transl. rev. and ed. by C.D. Fuller & H.S. Conard. Hafner, London, p. 439
- Chambers, R.M., Osgood, D.T., Bart, D.J., and Montalto, F. 2003. *Phragmites australis* invasion and expansion in tidal wetlands: interactions among salinity, sulfide, and hydrology. *Estuaries* 26: 398-406.
- Cloern, J.E., Abreu, P.C., Carstensen, J., Chauvaud, L., Elmgren, R., Grall, J., Greening, H., Johansson, J.O.R., Kahru, M., Sherwood, E.T., XU, J., and Yin, K. 2016. Human activities and climate variability drive fast-paced change across the world's estuarine-coastal ecosystems. *Global Change Biology* 22(2): 513-529.
- Costanza, R., De Groot, R., Sutton, P., Van der Ploeg, S., Anderson, S.J., Kubiszewski, I., Farber, S., and Turner, R.K. 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change* 26: 152-158.
- Dyer, K.R. 1997. *Estuaries: a physical introduction*, 2nd

- ed. John Wiley & Sons, Chichester, UK. p. 210.
- Elliott, M. and Whitfield, A.K. 2011. Challenging paradigms in estuarine ecology and management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 94(4): 306-314.
- Elliott, M., Whitfield, A.K., Potter, I.C., Blaber, S.J.M., Cyrus, D.P., Nordlie, F.G., and Harrison, T.D. 2007. The guild approach to categorizing estuarine fish assemblages: A global review. *Fish and Fisheries* 8(3): 241-268.
- Fehérvári, I. and Kiss, T. 2021. Riparian vegetation density mapping of an extremely densely vegetated confined floodplain. *Hydrology* 8(4): 176.
- GREF. 2022. 2022 Simultaneous monitoring of migratory bird habitats in Gyeongsangnamdo. Gyeongsangnamdo Ramsar Environmental Foundation, Changnyeong, Korea. (in Korean)
- Haslett, S. 2008. Coastal system, 2nd ed. Routledge, London, UK. p. 240.
- Junk, W.J., Bayley, P.B., and Sparks, R.E. 1989. The floodpulse concept in the river-floodplain systems. *Canadian Special Publication in Fisheries and Aquatic Sciences* 106: 110-127.
- Kim, K.G. and Yoon, S.W. 1996. Aspects of ecological rehabilitation-necessity and approaches of the landscape architecture profession. *Landscape Architecture Korea Co.* 100: 73-78. (in Korean)
- Kim, S.D. 2005. The environmental changes of coastal area by human impact in the Gonyang- and Seopomyeon of Sacheon City, South Korea. Chungcheongbuk-do, Korea. (in Korean)
- KMA. 2023. Open MET Data Portal. http://www.kma.go.kr/weather/climate/past_cal.jsp. Accessed 01 October 2023. (in Korean)
- Lee, G. 2020. Syntaxonomical and synchorological studies on the coastal vegetation in South Korea. Ph. D. dissertation, Keimyung University, Daegu, Korea. (in Korean)
- Lee, Y.H., Oh, Y.J., Lee, W.J., Na C.S., Kim, K.O., and Hong, S.H. 2016. Phytosociological classification of coastal vegetation in Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* 34(1): 41-47. (in Korean)
- Li, L., Su, F., Brown, M. T., Liu, H., and Wang, T. 2018. Assessment of ecosystem service value of the Liaohe Estuarine Wetland. *Applied Sciences* 8(12): 2561.
- Li, Z., Ma, L., Gou, D., Hong, Q., Fai, L., and Xiong, B. 2022. The impact of urban development on wetland conservation. *Sustainability* 14(21): 13747.
- Mcleod, E., Chmura, G.L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C.M., Lovelock C.E., Schlesinger, W.H., and Silliman, B.R. 2011. A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9(10): 552-560.
- NGII. 2024. <https://map.ngii.go.kr/ms/map/NlipMap.do>. Accessed 12 June 2024. (in Korean)
- NIE. 2020. Inland Wetland Survey Guidelines. National Institute of Ecology, Seochon, South Korea. (in Korean)
- NIE. 2022. Survey on Estuarine Ecosystem('22). National Institute of Ecology, Seochon, South Korea. (in Korean)
- NIE. 2023. Survey on Estuarine Ecosystem('23). National Institute of Ecology, Seochon, South Korea. (in Korean)
- NIER. 2012. The Intensive Survey on Estuarine Ecosystem (2012). National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea. (in Korean)
- NIER. 2019. Guidelines for the Stream/River Ecosystem Survey and Health Assessment Method(Estuarine). National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea. (in Korean)
- NIER. 2022. 2022-2023 Winter Waterbird Census of Korea. National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea. (in Korean)
- Tanaka, Y., Minggat, E., and Roseli, W. 2021. The impact of tropical land-use change on downstream riverine and estuarine water properties and biogeochemical cycles: a review. *Ecological Processes* 10(1): 40.
- Ward, D.L., Finch, C., and Blasius, H. 2015. Could high salinity be used to control bullfrogs in small ponds?. *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science* 46(2): 50-52.