

사천 가화천하구습지의 식생 및 생물상 특성: 생태계 보전 대책의 제안

Characteristics of Vegetation and Biota in the Gahwacheon Estuarine Wetland, Sacheon, South Korea: Proposals for the Ecosystem Conservation

추연수^{1*} · 조광진² · 임정철³

¹국립생태원 습지연구팀 전임연구원, ²국립생태원 습지연구팀 팀장, ³국립생태원 습지연구팀 선임연구원

Yeonsu Chu^{1*}, Kwang-Jin Cho² and Jeoncheol Lim³

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

²Team Manager, Wetlands Research Team, National Institute of Ecology, Changnyeong 50303, Korea

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

Received 24 November 2022, revised 5 December 2022, accepted 11 December 2022, published online 31 December 2022

ABSTRACT: Owing to their high bioproductivity and unique physical environment, estuarine wetlands are gaining importance in national biodiversity management and habitat conservation. With regard to conservation and management of estuarine wetlands, this study analyzed the ecological characteristics of Gahwacheon Estuarine Wetland, an open estuary with various habitat types. Data from vegetation and biotic surveys have shown that 12 plant communities of five physiognomic vegetation types, including lentic herbaceous vegetation, halophytic herbaceous vegetation, and chasmo-phytic herbaceous vegetation. Due to the discharge of Namgang Dam and the effect of the tide, vegetation are distributed along the narrow waterside area. In terms of biodiversity, a total of 715 species, including 12 endangered wildlife species, were identified. Species diversity was relatively high in sections I and III where various riverbed structures and microhabitats were distributed. Due to the effect of the brackish water area following the inflow of seawater, endangered wildlife of various functional groups were also found to be distributed, indicating the high conservation value of that area. The collection of ecological information of the Gahwacheon Estuarine Wetland can be used as a framework for establishing the basis for conservation and management of the estuarine ecosystem and support policy establishment.

KEYWORDS: Brackish water, Endangered species, Fauna, Flora, Salt gradient

요약: 하구습지는 생물생산성이 높고 물리적 환경도 독특하여 국가 생물다양성 관리 및 그들의 서식처 확보 관점에서 중요성이 대두되고 있다. 본 연구는 하구습지 보전 및 관리를 위해 열린 하구이며 다양한 서식공간이 분포하는 것으로 알려진 가화천하구습지의 식생 및 생물상 조사를 통해 생태적 특성을 분석하였다. 정수역 다년생 초본식생, 염습지식생, 암곡지식생 등 5개 상관식생형의 12개 식물군락이 확인되었다. 남강댐 방류, 조수의 영향으로 수변부의 좁은 입지를 따라 식생이 대상분포하고 있었다. 생물종 다양성은 멸종위기 야생생물 12종 포함 총 715종이 확인되었다. 다양한 하상구조와 미소서식처가 분포하고 있는 I, III 구간에서 종다양성이 상대적으로 높았다. 해수 유입에 따른 기수역의 형성으로 다양한 기능군을 가지는 멸종위기 야생생물도 분포하여 보전가치가 높은 지역인 것으로 나타났다. 가화천하구습지의 생태정보의 수집은 하구 생태계의 보전·관리 기반을 마련하고 정책 수립을 지원하는 데 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

핵심어: 기수, 멸종위기 야생생물, 동물상, 식물상, 염도 구배

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

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

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

1. 서론

다양한 생태계 유형 중 하구역은 생물생산성이 가장 높은 생태계이다 (Costanza et al. 1997, McLusky and Elliott 2004). 하천의 담수와 바다의 해수가 만나 혼합됨에 따라 염분과 퇴적물 조성이 독특하며, 풍랑, 수위, 강우 등 지속적으로 물리적인 영향을 받는 매우 역동적인 환경이기도 하다 (Mateus et al. 2008, Day et al. 2012, Du et al. 2018). 하구 생태계의 독특한 물리적 환경은 육상에서 유입되는 오염원을 여과하여 수질을 조절하고 영양물질과 퇴적물을 집적하여 많은 종의 생존에 중요한 다양한 범위의 서식처, 피난처, 산란처를 제공함으로써 생물서식처 유지에도 큰 기여를 하고 있다 (Schubel and Carter 1984, Schiemer et al. 1995).

인간에게도 하구역은 내륙과 해양의 연결점이자 교두보로서 매우 중요한 장소로 인식되어 왔으며, 생태적 가치보다 경제적, 문화적 가치 관점에 중점을 두어 하굿둑과 항만건설, 매립 등 토지이용의 대규모 전환이 발생하였다 (Healy 1995, Kennish 2002). 이러한 활동으로 화학물질 및 중금속 같은 독성물질의 유입과 부영양화로 수질이 악화되고 하구의 본래의 모습이 변형 및 파괴되어 생물의 서식처가 손실되는 등 하구 생태계의 질적 저하가 가중되고 있는 상황이다 (Heitkamp and Cerniglia 1987, Kennish 2002). 우리나라에도 하천 말단부에 위치한 하구습지 총 357개소 중 155개 (43%)가 간척사업, 항만건설, 염전 이용 등으로 하굿둑이 건설되어 담수와 해수의 혼합이 불가능한 닫힌 하구인 것으로 나타났다 (Rho and Lee 2006, NIE 2020b).

이와 같은 사회경제적 개발 집중으로 생태계 훼손이 증가하고 있는 하구역 생태계의 보전 및 체계적 관리를 위해 사회적 대응 요구 또한 증대하고 있다. 환경조건이 독특하고 생태적 가치가 높은 것은 물론 국가 생물다양성 관리 및 확보 관점에서도 중요성이 대두되었기 때문이다 (Barbier et al. 2011). 이를 위해 환경부는 2004년부터 전국에 분포하고 있는 하구역을 대상으로 생태계 현황 조사를 수행하고 있다. 2019년부터는 국립생태원 습지센터에서 하구역 관련 조사사업을 이어받아 보전 및 관리를 위한 기초자료를 축적하고 있다. 하구 생태계 조사는 하구습지의 생물 분포현황과 생태학적 특성, 서식처 환경 현황 및 특성 등 하구역 생태계의 현황과 변화양상에 관한 지속적이고 장기적인 자료 축적을 통해 체계적인 하구역 보전을 지원하고 있다.

남해안 일대에는 낙동강, 섬진강, 탐진강 등 조수간만의 영향으로 기수역이 형성되는 대규모 하천하구가 다수 분포하고 있다. 경상남도 사천시에 위치한 가화천은 하굿둑이 없는 열린 하구로서 기수역이 넓게 발달하고 있다. 하구역 상류에는 인공방수로가 축조되어 남강댐의 수문 조절 영향을 직접적으로 받는 대표적인 반인공하천의 하구습지이다. 하천 유역은 대부분이 산지로 이루어져 있어 계곡을 중심으로 소규모 계단식 농경지가 조성되어 있다. 유역 내 소규모 마을들은 지형적 특성에 의해 주로 도로변에 입지하고 있다. 가화천 유역의 토지이용 현황을 살펴보면, 활엽수림이 전체의 28.9%로 가장 넓게 분포하고 있고, 혼효림 (19.9%), 자연초지 (8.8%), 침엽수림 (8.3%), 논 (6.1%) 등의 순으로 나타난다 (MOLIT 2021). 가화천은 상류에서 하구까지 경사가 급한 산지가 하곡에 접해 있고, 대부분 구간에서 인공제방이나 방조제가 거의 없는 자연 상태의 하안으로 이루어져 있다 (NIER 2012). 수량 조절을 제외하면 특별한 인위적 교란요인이 거의 없어 다양한 생물 서식에 유리한 지역이다.

본 연구는 2021년 국립생태원에서 수행한 ‘하구 생태계 조사’ 결과를 바탕으로 가화천하구습지의 생태계 현황 및 특성을 살펴보고, 체계적인 보전 및 관리방안을 제시하고자 하였다. 이를 위해 (1) 하구습지 내 염도 구배에 따라 구분된 권역별 식생 및 생물다양성 현황을 파악하고, (2) 생물상 분포에 영향을 미치는 서식환경 조건을 종합적으로 분석하여, (3) 가화천하구습지의 보전 가치와 관리 방안을 제시하는 일련의 연구과정이 수행되었다.

2. 연구 방법

2.1 조사지 개황

가화천은 하천 수계상 낙동강 권역의 낙동강남해권에 속하며, 경상남도 진주시 내동면, 사천시 곤양면, 축동면 일대를 통과하여 사천만으로 유입되는 유로연장 12.2 km, 유역면적 29.5 km²의 국가하천이다. 1970년 남강댐 방수로 조성 이전에는 진주시 내동면 태봉산 부근에서 발원하여 사천만으로 유입되는 소하천이었으나, 개통 이후인 현재는 남강댐 제수문으로 발원지가 변경되었다 (MOLIT 2021).

본 연구는 가화천의 하구로서 사천시 곤양면 검정리 남동쪽 해안선 부근에서 사천시 축동면 반용리 일대까

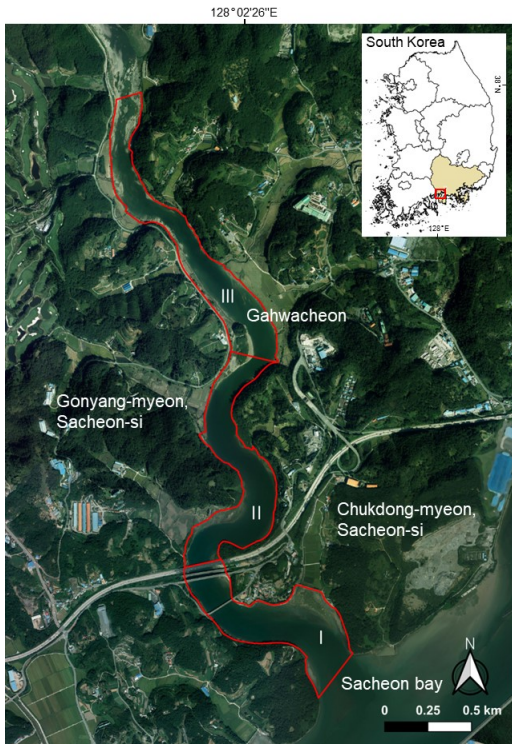


Fig. 1. Map showing the research sections (I-III) in the study site of the Gahwacheon Estuarine Wetland, Korea. The lines on the keymap indicate the borders of the provinces.

지 4.53 km 구간을 대상으로 한다 (Fig. 1). 생태계 조사는 조건대 분포에 따른 물리·화학적 환경 변화를 고려하여 3개의 소권역으로 구분하여 수행하였다. I 구간은 사천만과 맞닿아 있어 해수의 영향을 가장 강하게 받는 지역이다. 해수의 영향에 따라 해안에서 내륙으로 이동함에 따라 염도분포는 뚜렷한 감소를 나타내고 있다 (NIER 2012). I 구간은 주변 산림과의 연결성이 우수하며 좌안 일부지역은 양질사토와 사양토로 구성된 염습지가 넓게 분포하고 있다. II 구간 또한 간조시에 넓은 갯벌이 드러나는 지역으로 하상은 주로 자갈과 점토로 이루어지며, 수위 변화의 영향이 적은 안정적인 입지가 I 구간 보다 넓게 발달하고 있다. 농경지, 사력 퇴적지, 산림 등 다양한 생태계가 접하고 있으며, 특히 우안에는 갈대군락이 우점하는 염습지 형태의 배후습지가 인접하고 있다. 해수의 영향이 가장 적은 III 구간은 하폭이 상대적으로 좁으며 기반암 및 자갈하상이 주로 나타난다. 다만 골프장이 인접해 있고 고수부지 일대에 다수의 경작지가 분포하고 있어 가화천수질에 직접적인 영향을 미치고 있다. 하천 내 토성은 전 구간에

걸쳐 모래 이상 자갈하상이 우세하며, 일부 염습지와 배후습지에서만 실트와 점토의 구성비가 높다 (Oh and Tak 2022).

2.2 연구방법

가화천하구습지의 생태적 특성과 관리방안 제시를 위해 습지의 형성 기원, 물리적 환경 현황과 더불어 식생분포 및 생물다양성 현황 등 생태계 특성을 종합 분석하였다. 이를 위해 식생, 식물상, 양서·파충류, 어류, 육상곤충, 조류, 포유류, 저서성대형무척추동물, 기수성 무척추동물 총 9개 분야를 대상으로 분야별 전문가가 정밀조사를 수행하였다 (NIE 2021). 현장조사는 내륙 습지 조사지침 (NIE 2020a)에 따라 2021년 3월부터 11월까지 분야별 특성에 따라 조사시기와 지점을 차별 적용하여 수행하였다. 지역의 환경 현황을 총체적으로 보여주는 식생의 다양성과 분포현황은 지형 및 수리·수문 환경 특성을 함께 고려하여 식물군락별로 조사를 수행하였다. 또한 식생정보를 기반으로 한 복원 및 관리 전략을 구축하기 위하여 新「식생보전등급」(NVC: National Vegetation Class)을 활용하여 식생보전등급을 평가하였다 (Kim et al. 2012). 생물분야별 현장조사에서는 토지이용 현황과 훼손현황 등 습지의 일반현황을 비롯하여 분야별 조사방법에 따라 종다양성과 분포 현황을 조사하였다. 이를 통해 멸종위기 야생생물, 고유종, 환경지표종, 외래종 현황을 파악하고 구간별 환경 특성 및 토지이용 강도와 비교 분석하였다. 마지막으로 이상의 결과를 종합하여 가화천하구습지의 생태적 가치를 파악하고 습지보호지역 지정 및 보전을 위한 관리방안에 대한 제언이 이루어졌다.

3. 결과

3.1 식생의 다양성과 분포

가화천하구습지에서 총 5개 상관식생형 (physiognomic type)의 12개 식물군락이 확인되었다 (Table 1, Kim and Lee 2006). 상관식생형으로는 정수역 다년생 초본식생이 가장 넓은 면적 (0.034 km²)으로 분포하고 있으며, 염습지식생 (0.011 km²), 대상식생 (0.010 km²) 순으로 분포 면적이 넓었다. 조사구간별로 I 구간에는 염습지가 넓게 발달하고 있으나, 수위 변화가 큰 조건대의 영향으로 소규모의 갯잔디군집, 지채군집, 천일사

Table 1. National vegetation class (NVC) and occupied area of plant communities of Gahwacheon Estuarine Wetlands, Korea

Physiognomic type	Plant community	NVC*	Area (m ²)
Lentic herbaceous vegetation	<i>Phragmites australis</i> community	(5)-[III]	33,690
	<i>Carex scabrifolia</i> community	(6)-[III]	
Halophytic herbaceous vegetation	<i>Zoysia sinica</i> community	(6)-[III]	10,892
	<i>Limonium tetragonum</i> community	(6)-[III]	
	<i>Triglochin maritima</i> community	(6)-[III]	
Chasmophytic herbaceous vegetation	<i>Ischaemum aristatum</i> var. <i>glaucum</i> community	(6)-[III]	135
	<i>Lespedeza cuneata</i> - <i>Arundinella hirta</i> var. <i>ciliate</i> community	(5)-[III]	
Alien herbaceous vegetation	<i>Amorpha fruticosa</i> community	(2)-[IV]	10,383
	<i>Festuca arundinacea</i> community	(0)-[V]	
	<i>Vicia villosa</i> community	(0)-[V]	
	<i>Brassica juncea</i> community	(0)-[V]	
Woody vegetation	<i>Pinus densiflora</i> - <i>Oplismenus undulatifolius</i> community	(7)-[II]	3,676

* National Vegetation Class (Naturalness values)-[Vegetation class] (Kim et al. 2012)

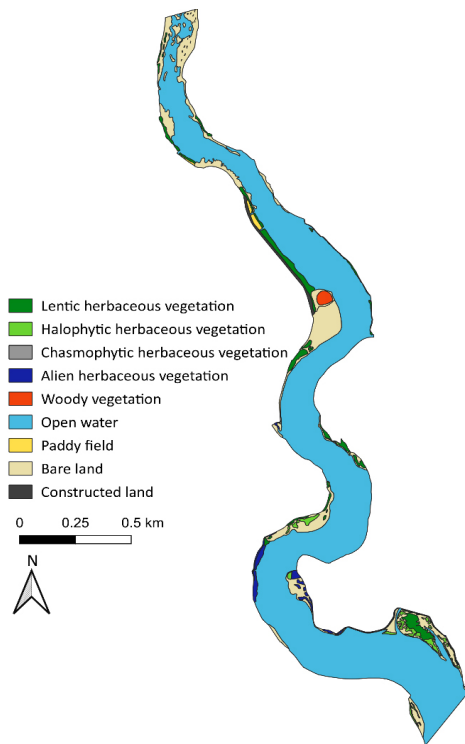


Fig. 2. Actual vegetation map of the Gahwacheon Estuarine Wetland, Korea.

초군집, 갯질경군집 등 다양한 염습지식생 분포가 확인되었다 (Fig. 2). 지채군집은 매우 좁은 면적으로 분포하고 있어 교란에 취약한 상태인 것으로 확인되었다. II구간에는 갈대군집과 갯잔디군집이 주로 우점하고

있었다. II구간 우안의 수변부에는 갯잔디군집이 넓게 분포하는 염습지가 넓게 발달하는데, 해당 지역은 고수위 지역이지만 하천 내 염분이 직접적으로 영향을 미치는 입지로 파악된다. III구간에서 식생은 기반암하상의 암석 노출지에 좁은 면적으로 분포하며, 주로 쇠보리군락과 비수리-새군락 등 암극초본식생이었다. 쇠보리군락은 범람 후 함몰지형에 물이 고여 있는 웅덩이 주변에 발달하며, 비수리-새군락은 비교적 높은 지대의 바위 틈에 발달하고 있다. 가화천하구습지 일대의 식생 분포는 남강댐 제수문 방류에 따른 표층퇴적물의 재동 (re-working), 깊은 수심, 거력과 자갈을 포함한 다량의 조립질 퇴적물 집적, 염분, 조수 간만 차 등의 영향으로 좁은 입지를 따라 대상분포 하는 것이 특징이다.

3.2 생물다양성 현황

가화천하구습지를 대상으로 8개 분야에 대한 생물 다양성 조사결과를 분석한 결과, 2012년 조사 (NIER 2012) 보다 285종이 더 많은 총 715종이 확인되었다 (Table 2). 구간별로는 상류지역인 III구간과 연안과 맞닿는 I 구간이 각각 354종과 297종으로 종류부인 II구간보다 종다양성이 높은 것으로 확인되었다. 육상곤충과 저서성 대형무척추동물(담수) 분야는 구간별 출현 종수에 큰 차이가 있었으나 나머지 분야는 비슷한 수준으로 확인되었다

식물상은 총 54과 137속 177분류군이 확인되었다.

Table 2. Changes of species numbers of the taxonomic groups from 2012 to 2021 in the three research sections of Gahwacheon Estuarine Wetland, Korea

Taxonomic group	2021				2012**
	Research section				
	I	II	III	Total	
Plant*	-	-	-	177	121
Amphibian/reptile	6/3	8/3	8/3	8/5	9/8
Fish	13	17	11	18	13
Terrestrial insect	182	117	207	324	206
Bird	61	59	66	81	27
Mammal	11	7	5	14	4
Benthic invertebrate (fresh water)	21	22	54	60	11
Benthic invertebrate (sea water)*	-	-	-	28	31
Total	297	233	354	715	430

* By survey without dividing into the research section

** NIER (2012)

I 구간은 하구내 염습지와, 모래퇴적지 등의 서식처 분포로 토양 내 염분 농도 구배에 따른 다수의 염생식물 분포가 특징적이다. II 구간은 하구와의 거리가 비교적 가까워 간조 시 배후습지가 넓게 드러나 일반적인 습지 식물과 더불어 다양한 염생식물도 생육하여 생물다양성이 가장 높은 지역으로 확인되었다. III 구간은 하폭이 좁고 하천의 물리적 교란이 강해 기반암 또는 자갈하상이 노출됨에 따라 수변식생 발달이 제한되어 종다양성이 다른 구간에 비해 낮게 나타났다. 또한 귀화식물과 생태계교란 생물 등의 다양성이 높아 하천 내 전파 확산의 거점으로 역할을 하게 될 우려가 높은 지역으로 확인되었다.

가화천 본류구간과 주변 농경지 일대를 함께 조사한 양서·파충류는 총 4목 7과 13종이 확인되었다. 총 8종 535개체가 확인된 양서류는 논경작지와 초지 등의 영향으로 청개구리가 우점종으로 확인되었다. 파충류는 5과 17개체이며 우점종은 능구렁이로 나타났다. 생태계교란 생물인 황소개구리는 전 구간에 걸쳐 확인되었으며, 붉은귀거북은 II 구간에서만 서식이 확인되었다. 특이사항으로 도로 및 농로가 하천과 인접하여 위치한 III 구간에서 로드킬이 주로 발생하는 것으로 확인되었다.

어류는 총 9과 18종 1,361개체가 조사되었으며 우점종은 송어, 아우점종은 주둥치로 나타났다. 기수역이 넓게 형성됨에 따라 망둥어과에 속하는 날망둑, 흰발망둑, 풀망둑, 줄망둑, 모치망둑 등 10종이 확인되어 종다양성이 가장 높은 과로 나타났다. 해양어류인 동갈치도

상류지역인 III 구간까지 확인됨에 따라 해수의 유입은 전 구간에 걸쳐 영향을 미치는 것으로 나타났다.

육상곤충은 총 11목 96과 324종이 조사되었으며, 딱정벌레목이 114종, 노린재목이 79종을 차지하여 과별 종다양성의 편중이 심한 것으로 나타났다. 구간별 종다양성은 III 구간 (207종)이 가장 높았으며 II 구간 (117종)에서 가장 낮았다. 2012년 조사에서도 딱정벌레목 (81종)과 노린재목 (47종)이 가장 많았으며, 금벌 조사에서 221종이 새롭게 추가된 것으로 나타났다.

조류는 총 33과 81종 3,852종이 조사되었으며 우점종은 직박구리 (511개체), 아우점종은 붉은머리오목눈이 (367개체)로 나타났다. 구간별 종다양성은 60종 내외로 유사하게 나타났으나 종 구성 및 우점종은 차이가 있었다. I, II 구간은 묵논, 갈대, 경작지 등의 서식처로 인해 도요류, 백로류 등 다양한 조류가 확인되었으며, III 구간은 여울과 퇴적지가 광범위하게 형성되어 수면성 오리류인 청머리오리, 쇠오리와 잠수성 오리류인 흰죽지, 땡기흰죽지 등의 물새류가 우점하였다.

포유류는 총 5목 9과 14종이 조사되었다. 고라니가 우점종으로 나타났으며 오소리, 너구리 등의 순으로 출현빈도가 높았다. III 구간에 비해 I, II 구간이 산림이 인접해 있어 종다양성이 다소 높은 것으로 나타났다.

담수무척추동물은 총 37과 60종이 조사되었으며, 수서곤충류가 전체 출현종의 63%를 차지하였다. 구간별로는 해수의 영향이 적은 상류인 III 구간에서 종다양성이 가장 높은 것으로 나타났다. 특히 가화천 본류는

해수에 직접적인 영향을 받기 때문에 제내지의 지류, 묵논, 소류지 등이 담수무척추동물의 중요한 서식처인 것으로 확인되었다.

기수성무척추동물은 총 20과 28종이 조사되었다. 분류군 구성비는 절지동물문 연갑강이 16종으로 종다양성이 가장 높았고 연체동물문 복종강과 이매패강 순으로 나타났다. I 구간은 해양환경에 가까운 높은 염도와 펄 저질의 갯벌 환경이 발달하여 이를 선호하는 넓적콩게, 칠게, 풀게 등의 게류와 동다리, 총알고둥 등의 연체동물이 다수 확인되었다. II구간과 III구간에서는 기수우렁이, 빨강기수우렁이, 재첩 등이 우점하여 출현종수는 비슷하나 출현양상과 구성에서 다소 차이가 나타났다.

3.3 멸종위기 야생생물의 다양성과 분포 특성

가화천하구습지 일대에서 확인된 멸종위기 야생생물은 총 12종으로 I 급 매 (*Falco peregrinus*), 수달 (*Lutra lutra*), II급 독수리 (*Aegypius monachus*), 물수리 (*Pandion haliaetus*), 새매 (*Accipiter nisus*), 흰목물떼새 (*Charadrius placidus*), 팔색조 (*Pitta nympha*), 살 (*Prionailurus bengalensis*), 담비 (*Martes flavigula*), 기수갈고둥 (*Clithon retropictum*), 대추귀고둥 (*Ellobium chinense*), 흰발농게 (*Austruca lactea*)이었다 (Table 3). 이 중 수달과 기수갈고둥을 제외한 나머지 종들은 2012년에 조사되지 않았던 종이다.

기수환경에서만 제한적으로 서식하는 생태적 특성을 가진 기수갈고둥은 III구간 내 가화천 본류로 합류하는 소하천을 중심으로 다수의 개체가 확인되었다. 흰발농게는 최하류부인 I 구간의 바다와 만나는 조간대 상부 모래톱 일대에서 확인되었고 대추귀고둥은 갯잔디 군락이 넓게 분포하는 지역에서 확인되었다.

조류 분야에서 독수리, 매, 물수리, 새매 등 맹금류는

하천과 인접한 산림에서 휴식하는 것이 확인되었다. 팔색조 또한 주변 산림의 계곡부에서 확인되었으며, 흰목물떼새는 구역 구분 없이 모래 퇴적지를 중심으로 산림 및 서식하고 있었다.

포유류 분야에서는 수달, 살, 담비 총 3종의 멸종위기 야생생물이 확인되었다. 수달은 상류부터 하류부까지 배설물이 확인됨에 따라 습지 전구간을 서식처로 이용하는 것으로 판단되었다. 살은 수변 및 산림에서 배설물 및 족흔이 확인되었으며, 담비는 I 구간 인근 야산에 설치한 무인센서카메라에서 실체가 확인되었다.

4. 고찰

4.1 식생 분포에 따른 습지 생태계 특성

가화천은 유역권 통합을 위한 인공방수로 축조 후 남강댐의 인위적인 수문 조절 영향을 받고 있으며, 주변 산지와 이어지는 비교적 급한 경사 등의 영향으로 식생 정착이 상대적으로 어려운 환경이다. 이러한 환경적 특성에 의해 대상지 내 식생의 총 분포면적은 약 6.7% (0.059 km²) 수준으로 식생의 발달과 유지가 매우 취약한 것으로 나타났다. 그럼에도 불구하고 조사구간 내에는 총 5개 상관식생형의 12개 식물군락이 확인되어 식생다양성이 비교적 높은 수준으로 나타났다. 특히, 구간별로 다양한 서식처 환경 특성을 반영하는 다양한 식생 분포가 확인되어 식생 발달 및 유지가 자연적이며, 안정적인 상태인 것으로 나타났다.

연구지역에서 가장 우점하는 식물군락은 갈대군집이었다. 갈대군집은 자갈, 점토, 미사 등 다양한 하상 유형과 염도가 높은 입지에도 흔하게 분포하는 등 환경적 분포범위가 넓기 때문에 식생 정착이 불리한 본 연구지역에서 우점적으로 분포하고 있는 것으로 판단된다 (Hong 2015).

Table 3. The list of endangered species designated by the Korea Ministry of Environment in the Gahwacheon Estuarine Wetland, Korea

Taxonomic group	Endangered species category*	
	I	II
Bird	<i>Falco peregrinus</i>	<i>Aegypius monachus</i> , <i>Pandion haliaetus</i> , <i>Accipiter nisus</i> , <i>Charadrius placidus</i> , <i>Pitta nympha</i>
Mammal	<i>Lutra lutra</i>	<i>Prionailurus bengalensis</i> , <i>Martes flavigula</i>
Benthic invertebrate (sea water)	-	<i>Clithon retropictum</i> , <i>Ellobium chinense</i> , <i>Austruca lactea</i>

* Species of bold letters were found in this study of 2021 and the others in 2012 (NIER 2012).

갈대군집 다음으로 분포면적이 넓은 갯잔디군집을 포함한 다양한 염습지식생은 종류에서 하류까지 넓게 발달한 염습지 및 간석지에서 대상분포 또는 패치형으로 발달하고 있었다. 이들의 서식처는 만조 또는 홍수 시 간헐적으로 침수되는 입지이나, 평상시 하천 본류 유수의 영향은 직접적으로 받지 않기 때문에 염생식물 서식에 적합한 입지를 제공하고 있는 것으로 판단된다. 이외에도 III구간의 기반암, 자갈, 모래 등 비교적 입경이 굵은 퇴적지형 사이로 패치형태로 발달하고 있는 비수리-새군락과 쇠보리군락은 모두 고수위에서만 범람을 경험하기 때문에 상대적으로 건조한 수분환경조건을 선호하는 생태적 특성이 반영된 것으로 나타났다 (Cho 1999).

4.2 생물종 분포 특성

가화천하구습지의 생물다양성은 2012년 보다 약 300종 이상 증가한 것으로 나타났다. 식물상, 육상곤충, 조류, 포유류, 담수무척추동물 분야에서 종수가 크게 증가하였으며, 멸종위기 야생생물도 10종이 새롭게 발견되었다. 2012년에는 가화천 본류를 중심으로 조사가 수행되었다면 2021년에는 주변의 논경지, 지류, 산지 등 완충지역까지 조사범위를 확대하고, 무인센서카메라, 트랩 등 조사방법을 다양화하였기 때문으로 판단된다.

식물상의 경우 기수역이 넓게 형성됨에 따라 자연스러운 염도구배가 형성되어 미소서식처별 식물종 구성 및 다양성에서 차이가 나타났다. I 구간에서는 서식처에 미치는 염도구배와 토양의 수분환경 조건에 따라 다양한 염생식물이 생육하는 것으로 확인되었다. 이는 조수 영향의 빈도와 강도에 따라 시·공간적으로 환경변화가 빈번하게 발생하여 독특한 생육환경이 나타나기 때문으로 판단된다 (Janousek and Folger 2014). II구간의 배후습지는 제방에 의해 염분의 직접적인 영향이 미치지 않아 염도 보다 토양의 수분 구배에 따라 식물종 분포에 차이를 나타내었다. 연구지역에서 식물종의 다양성과 공간적 분포특성은 하구습지 일대의 무생물적 환경 특성을 잘 반영하고 있으므로, 하구지역 식물의 생존전략을 이해하는 연구지역으로서 생태학적 활용 가치가 높게 평가된다. 인위적 교란의 강도가 높은 III구간 제외지의 경작지와 I 구간 교량 부근에는 귀화식물과 생태계교란 생물의 출현빈도가 특별히 높아, 하천 생태계의 기능과 가치의 질적 저하를 초래할 우려가 있

다. 향후, 개간과 매립 등의 토지이용변화에 관해 지속적인 관리 감독이 필요할 것으로 판단된다 (Bacaro et al. 2015, Chu et al. 2020).

조류는 수심, 조수의 영향, 염습지 면적 등에 따라 권역별 종 구성에 차이가 있었다. I, II구간은 수변을 중심으로 농경지, 산림 등을 이용하는 물새류와 산새류 모두가 고르게 출현하였으며, 매, 물수리, 새매 등의 멸종위기 맹금류도 확인되었다. 반면 III구간은 자갈, 모래로 구성된 하중도와 넓은 면적의 공유수면이 주로 분포하여 물새류의 종다양성이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 이처럼 서식환경에 따른 조류 종다양성과 풍부성의 차이는 토지이용 유형에 따른 인간간섭의 차이가 중요한 영향을 미치므로 습지와 습지 주변 환경유지를 위한 노력이 필요할 것으로 나타났다 (Andrade et al. 2018). 또한, 하구지역은 우리나라에서 철새도래지로 중요한 역할을 수행하므로 겨울철 조사를 추가하여 가화천하구습지를 서식처로 이용하는 멸종위기 조류 등 조류 다양성에 대한 추가적인 정보 획득이 필요할 것으로 판단된다 (NIBR 2020, 2021).

양서·파충류와 육상곤충은 식생발달이 상대적으로 취약하고 해수 유입의 영향이 큰 제외지보다는 생태적 연결성이 확보된 제내지의 농경지, 계류, 웅덩이, 산림 등 미소서식처를 중심으로 종다양성이 높은 것으로 나타났다. 육상곤충은 초지, 산림 등 다양한 서식환경이 분포하는 지역에서 주로 나타나는 패턴인 딱정벌레목, 노린재목, 나비목, 벌목 순으로 출현하고 있어, 초지가 상대적으로 덜 발달한 II구간에서 종다양성이 현저하게 낮은 것으로 나타났다. 한편 II, III구간에서 황소개구리의 출현빈도가 높았는데, 분포 및 확산 거점으로 활용될 수 있는 수로, 웅덩이, 저수지 등 서식공간의 분포가 영향을 끼친 것으로 판단된다. 또한 양서류와 파충류 구분없이 로드킬 개체는 대부분 III구간의 농로 및 농경지 인접도로서 확인되었다. 열원 확보를 위해 이동하는 개체들이므로 판단된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 생태계교란 생물 제거활동, 생태통로 설치를 통한 연결성 확보 등 체계적인 관리 및 제도활동이 지속적으로 필요할 것이다.

포유류 또한 갈대군락이 우점하는 염습지 주변에서 주로 분포하며, 주변 산림과 연결성이 우수한 중하류부에서 종다양성이 높은 것으로 나타났다. 특히 갈대군락은 은신처 및 먹이 역할 수행하므로 지속적인 보전이 필요하다. 가화천하구습지 전 구간에서 서식하는 것으로

확인된 수달은 수환경의 조절자 역할 수행 등 하천의 건강도를 판단할 수 있는 지표종이므로, 본 하구습지의 수생태계가 건강하다는 것을 방증하고 있다 (Foster-Turley et al. 1990).

가화천하구습지에서 어류와 담수 및 기수성무척추동물의 종다양성 및 분포는 일반적인 하구와 같이 해수 유입에 따른 염도구배에 직접적인 영향을 받고 있었다. 담수성무척추동물은 염분이 제한 요인으로 작용하여 I, II 구간에서 종다양성이 낮았으나, 염도가 1-3 ppm로 상대적으로 낮은 III 구간 상류부에서는 다양성과 풍부도가 높게 나타났다. 반면, III 구간까지 영향을 미치는 해수에 의해 어류와 기수성무척추동물은 염도에 대응하여 다양한 기능군을 가지는 분포특성이 나타났다. 출현한 어류의 90%가 기수성이며 이 가운데 30%는 해산종으로 구성되어 기수성 환경을 선호하는 생물들에게 안정적인 서식처로 이용되고 있었으며, 저서종도 70% 이상 구성되어 자갈, 모래, 점토 등 다양한 하상 퇴적물이 분포하며 하천 건강성도 높은 것을 대변하고 있었다 (Franz et al. 2021). 또한 기수성 대형무척추동물의 다양성과 풍부성 유지에도 넓은 구간에 걸쳐 자연적으로 형성되는 기수역은 지역 생태계 건강성과 다양성 관점에서 매우 중요한 환경요소인 것으로 나타났다. 특히 염도는 기수성 어류와 대형무척추동물 서식에 중요한 종속변수이므로 이들 분류군의 종다양성 유지를 위해 하천의 종적 연결성 유지는 매우 중요한 것으로 판단된다 (Bunn and Arthington 2002, Correa Ayram et al. 2016).

본 연구결과 다양한 유형의 서식처가 발달하고 인접 생태계와 연결성이 우수할수록 종다양성이 높다는 일반적인 생태계 특성이 가화천하구습지에서도 적용되었다 (Fang et al. 2018). 식생의 발달은 미약하나 구간별 하상구조 및 미소서식처가 다양하고 열린 하구로서 완만한 염도구배가 형성됨에 따라 수계를 주요 서식처로 활용하는 기수성 생물에게는 안정적인 서식처를 제공하고 있었다. 또한 산림, 농경지, 둠벙, 지천 등 인접 생태계와도 연결성이 우수하여 육상곤충, 양서·파충류, 포유류 등 야생생물의 서식에도 긍정적으로 작용하는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 가화천하구습지를 대상으로 식생 및 생물

상 분포 특성을 종합 분석하여 생태적 특성과 보전가치 분석 및 관리방안 제시를 위해 진행되었다. 가화천하구습지는 1970년 남강댐 방수로 조성으로 발원지가 변경되면서 제수문 방류에 의해 인위적인 수량 조절과 다량의 조립 퇴적물이 퇴적되고 있으며, 사천만의 조위 변화에 따라 해수와 담수가 혼합되는 기수역이 상류부까지 넓게 형성되는 환경이 지속되고 있었다 (Oh and Tak 2022). 이러한 환경특성이 반영되어 제방과 좁은 퇴적지형을 중심으로 식생이 대상분포하고 있으며, 암극식생을 비롯하여 정수식생, 염생식생 등 비교적 다양한 식물군락의 분포가 확인되었다. 다양한 식물군락의 분포는 공간적으로 다양한 미소서식처 발달을 나타내며, 이러한 서식처 환경 특성에 의해 조류, 포유류, 어류 등의 다양성도 풍부한 것으로 나타났다. 특히 주변 생태계와의 연결성이 우수하고 인위적 교란의 영향이 적은 입지를 중심으로 생물다양성이 높고 자연성도 우수한 것으로 나타났다.

다만 가화천하구습지 일대에는 생태계의 질적 저하를 가져오는 다양한 위협요인이 확인되었다. 하천변에 인접한 축산단지, 골프장, 공원묘지, 농경지 등 대규모 개발지역과 낚시, 캠핑 등 인간활동에 따른 비점오염원 유입으로 토양 및 수질 오염이 우려된다. 따라서 식물군락 및 생물분포 특성을 고려하여 향후 발생할 수 있는 교란요소를 검토하여 체계적인 하구습지가 관리방안 수립이 필요하다. 이러한 관점에서 가화천하구습지의 보전은 산림-하천-하구를 잇는 습지생태축 보전과 다양한 생물에게 안정적인 서식처 제공을 위해 우선적으로 추진되어야 할 습지보전 정책의 하나로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국립생태원 “하구 생태계 조사(’22) NIE-법정연구-2022-20”의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 조사에 참여하신 모든 분들과 관계자분들께 감사드립니다.

References

- Andrade, R., Bateman, H.L., Franklin, J., and Allen, D. 2018. Waterbird community composition, abundance, and diversity along an urban gradient. *Landscape and Urban Planning* 170: 103-111.
- Bacaro, G., Maccherini, S., Chiarucci, A., Jentsch, A.,

- Rocchini, D., Torri, D., Gioria, M., Tordoni, E., Marellos, S., Altobelli, A., Otto, R., Escudero, C.G., Fernández-Lugo, S., Fernández-Palacios, J.M., and Arévalo, J.R. 2015. Distributional patterns of endemic, native and alien species along a roadside elevation gradient in Tenerife, Canary Islands. *Community Ecology* 16: 223-234.
- 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.
- Bunn, S. and Arthington, A. 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management* 30: 492-507.
- Cho, D.S. 1999. A Study on Distribution Characteristics of Aquatic Plants According to Pollution Loads in Mangyeong River and Yeongsan River Catchment Areas. Mater Thesis, Gunsan University, Gunsan, South Korea. (in Korean)
- Chu, Y., Cho, K.J., Kim, M., Lee, C., Yoon, J., and Lim, J. 2020. Distribution characteristics of alien plants by wetland types in the ecologically outstanding wetlands of South Korea. *Ecology and Resilient Infrastructure* 7(3): 145-159. (in Korean)
- Correa Ayrám, C.A., Mendoza, M.E., Etter, A., and Salicrup, D.R.P. 2016. Habitat connectivity in biodiversity conservation: A review of recent studies and applications. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 40(1): 628-638.
- Costanza, R., Kemp, W.M., and Boynton, W.R. 1997. Predictability, scale and biodiversity in coastal and estuarine ecosystems: implications for management. *Ambio* 22: 88-96.
- Day, J.W., Yanez-Arancibia, A., Kemp, W.M., and Crump, B.C. 2012. Introduction to estuarine ecology. *Estuarine Ecology* 2: 1-19.
- Du, J., Shen, J., Zhang, Y.J., Ye, F., Liu, Z., Wang, Z., Wang, Y.P., Yu, X., Sisson, M., and Wang, H.V. 2018. Tidal response to sea-level rise in different types of estuaries: The importance of length, bathymetry, and geometry. *Geophysical Research Letters* 45(1): 227-235.
- Fang, X., Hou, X., Li, X., Hou, W., Nakaoka, M., and Yu, X. 2018. Ecological connectivity between land and sea: a review. *Ecological Research* 33(1): 51-61.
- Foster-Turley, P., Macdonald, S.M., and Mason, C.F. 1990. Otters: an action plan for their conservation. IUCN: International Union for Conservation of Nature. Gland, Swiss.
- Franz, M., von Rönn, G.A., Barboza, F.R., Karez, R., Reimers, H.C., Schwarzer, K., and Wahl, M. 2021. How do geological structure and biological diversity relate? Benthic communities in boulder fields of the South-western Baltic Sea. *Estuaries and Coasts* 44(7): 1994-2009.
- Healy, M.G. 1995. European Coastal Management: An Introduction. In: Healy, M.G. and Doody, J.P., (eds.), *Directions in European Coastal Management*. Samara Publishing, Tresaith, Cardigan, U.K. pp. 1-6.
- Heitkamp, M.A. and Cerniglia, C.E. 1987. Effects of chemical structure and exposure on the microbial degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in freshwater and estuarine ecosystems. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal* 6(7): 535-546.
- Hong, M.G. 2015. Effects of Freshwater Inflow, Salinity, and Water Level on the Growth of Common Reed in Salt Marsh. Ph.D. Thesis, Seoul National University, Seoul, South Korea. (in Korean)
- Janousek, C.N. and Folger, C.L. 2014. Variation in tidal wetland plant diversity and composition within and among coastal estuaries: assessing the relative importance of environmental gradients. *Journal of Vegetation Science* 25(2): 534-545.
- Kim, J.W. and Lee, Y.K. 2006. Classification and Assessment of Plant Communities. Worldscience Press, Seoul, South Korea. (in Korean)
- Kim, J.W., Choi, B.K., Ryu, T.B., and Lee, G.Y. 2012. Application and Assessment of National Vegetation Naturalness. Korea Institute for Ecosystem Management, Keimyung University, Daegu. Unpublished draft report to the NIER, Seoul, South Korea. (in Korean)
- Kennish, M.J. 2002. Environmental threats and environmental future of estuaries. *Environmental Conservation* 29(1): 78-107.
- Mateus, M., Mateus, S. and Baretta, J.W. 2008. Basic concepts of estuarine ecology. In: Neves, R., Baretta, J.W., Mateus, M. (Eds.), *Perspectives on Integrated Coastal Zone Management in South America*. IST Press, Lisbon, Portugal. pp. 3-14.
- McLusky, D.S. and Elliott, M. 2004. *The Estuarine Ecosystem: Ecology, Threats and Management*. OUP Oxford, UK.
- MOLIT. 2021. Gahwacheon River Master Plan Report. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Sejong, South Korea. (in Korean)
- NIBR. 2020. 2019-2020 Winter Waterbird Census of Korea. National Institute of Biological Resources, Incheon, South Korea. (in Korean)
- NIBR. 2021. 2020-2021 Winter Waterbird Census of Korea. National Institute of Biological Resources, Incheon, South Korea. (in Korean)
- NIE. 2020a. Inland Wetland Survey Guidelines. National Institute of Ecology, Seocheon, South Korea. (in Korean)
- NIE. 2020b. The 3rd Intensive Survey on Estuarine Ecosystem ('20). National Institute of Ecology, Seocheon, South Korea. (in Korean)
- NIE. 2021. Survey on Estuarine Ecosystem ('21). National Institute of Ecology, Seocheon, South Korea. (in Korean)

- NIER. 2012. The Intensive Survey on Estuarine Ecosystem (2012). National Institute of Environmental Research, Incheon, South Korea. (in Korean)
- Oh, J.S. and Tak, H.M. 2022. Geomorphological characteristics in Gahwa estuary zone and its conservation and management of landforms as a habitat. *Journal of the Association of Korean Photo-Geographers* 32(1): 188-201. (in Korean)
- Rho P.H. and Lee, C.H. 2006. Development of Sustainable Estuary Management Strategy in Korea 3 (Estuary Management Plans and Programs). Basic Research Report 2006: 1-744. Korea Environment Institute, Seoul, South Korea (in Korean)
- Schiemer, F., Zalewski, M., and Thorpe, J.E. 1995. Land inland water ecotones - intermediate habitats critical for conservation and management. *Hydrobiologia* 303: 259-264
- Schubel, J.R. and Carter, H.H. 1984. The estuary as a filter for fine-grained suspended sediment. In: Kennedy, V.S. (Ed) *The Estuary as a Filter*. Academic Press, New York, USA. pp. 81-105.