

ORIGINAL ARTICLE

낙동강하구의 생태계 현황과 관리방안

한상욱 · 조광진 · 김평범 · 신해선*

국립생태원 습지센터 습지연구팀

Current Status of the Ecosystem at the Nakdong River Estuary and Management Plan

Sangwook Han, Kwangjin Cho, Pyoungbeom Kim, Haeseon Shin*

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

Abstract

This study analyzed the ecological characteristics of the wetland protection area at the Nakdong River through vegetation and biota surveys, which showed that brackish water meets fresh water, a unique ecological environment has been created, biodiversity is high, and diverse habitats are distributed. Eleven plant communities, including four woody communities and seven grass communities, are distributed along the coast, and a total of 514 species, including 11 endangered wildlife species, were identified in terms of species diversity. Among them, the species diversity of the Eulsuk-do area was found to be relatively higher than that of other Barreir Islands areas. The presence of a population of *Sterna albifrons* on Sinja-do and a population of *Eremias argus* on Jinwo-do, an area outside the boundaries of the wetland protection area, confirmed the conservation value of the wetlands and the need to expand the boundaries of the wetland protection area. It is judged that this information can be used as basic information for a systematic conservation and management plan for the wetland protection area at the Nakdong River Estuary and as basic data to support the establishment of a policy.

Key words : Wetlands protection area, Nakdong river estuary, Biodiversity, Endangered species, Vegetation

1. 서론

하구역(Estuarine)은 해수와 담수가 만나는 생태적 전이대(Ecotone)이며 이질적인 두 생태계가 공존하는 기수역(Brackish water zone)이다. 그러한 이유로 특이한 지형이 발달하고 생물다양성이 매우 높으며, 조류와 기수성 생물의 서식처로서 중요한 역할을 한다(Costanza et al., 1997; Chabrerie et al., 2001; Douglas et al., 2022). 또한 해수와 담수의 영향으로 조석, 파랑, 하천유량 등에 의해 환경요인의 변화가 크

고 생물이 서식하기에 역동적인 생태계를 이루고 있다(van Westen et al., 1996; Kwon, 1999; Rho et al., 2014). 하지만 이렇게 생태적으로 중요한 서식공간임에도 불구하고 간척사업, 하굿둑 건설, 배수갑문 조성 등과 같은 지속적인 훼손으로 인해 하구 순환의 단절이 발생하여 하구습지의 질적 기능이 저하되고 있다(Sung et al., 2022).

한편, 이러한 인간의 사회활동 및 경제적 개발로 인한 습지 생태계 훼손을 막고 습지를 보전하기 위해 환경부는 2008년부터 2023년까지 총 4차례의 습지보전계

Received 23 November, 2023; Revised 11 December, 2023;

Accepted 21 December, 2023

*Corresponding author : Haeseon-Shin, Wetlands Research Team, National Institute of Ecology, Changnyeong 50303, Korea
Phone : +82-55-530-5524
E-mail : hs3060@nie.re.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. 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.

획을 수립하여 하구역을 포함한 전국에 분포하고 있는 내륙습지 생태계 현황조사와 현황을 파악하고 있다. 또한 2006년부터 환경부에서 지정한 내륙습지보호지역 31개소를 대상으로 습지보호지역의 생태계 현황과 위협요인 및 관리 현안에 대한 기초자료를 수집하고 있다.

낙동강하구는 1999년 8월 9일에 습지보호지역으로 지정된 하구습지로 환경부지정 국내 습지보호지역 31개소 중 대암산용늪, 우포늪, 무제치늪과 함께 첫 번째로 지정되었다. 낙동강의 최하류부에 위치해 있으며 (Kwon, 1999; NIER, 2017) 하중도, 사빈, 제빈도 등과 같이 다양한 수환경하에 형성된 지형들이 발달해 있다(Lee and Ahn, 2012). 특히 백합늪, 도요늪, 장자도, 진우도 등 7개의 제빈도에는 염습지가 형성되어 있으며, 이를 기반으로 다양한 생물과 철새 및 다수의 멸종위기 야생동물이 서식하고 있다(NIE, 2022).

그간 낙동강하구의 물리적인 변화와 관리방안에 다양한 선행연구가 진행되었다. 지형분야에서는 위성영상

및 GIS 프로그램을 이용한 낙동강하구의 지형변화에 대한 연구를 통해 1975년 대비 일부 제빈도 지역 섬의 면적이 간척사업 등의 영향으로 증가하는 것을 확인하였다(Oh, 1999; Oh et al., 2010; Yi et al., 2014). 식생 분야에서는 낙동강하구 내에서 도요늪, 신자도 등에서 식생 천이가 일어나고 대마늪, 을숙도 등에서 식생지수가 상대적으로 넓은 것을 확인하였다(Mun and Kim, 1985; Lee and Ahn, 2012; Kim et al., 2019; Choi et al., 2022). 그리고 낙동강하구 내 서식하는 생물분야 조사를 통해 낙동강 하굿둑의 방류량 조절과 식재 시기 조절을 통한 새섬매자기 군락지 복원의 필요성을 확인하였으며, 쇠제비갈매기 서식지 복원을 위해 포식자 제거 및 매립지 보호와 하천계획을 통한 관리가 필요한 것으로 확인되었다(Yoon et al., 1986; Yi et al., 2011; Hong and Lee, 2012; Kim, 2020). 하지만 낙동강하구의 특정 생물 또는 특정 분야에 관한 연구가 지속되었을 뿐 생태계를 종합한 연구는 미비한 실정이다.

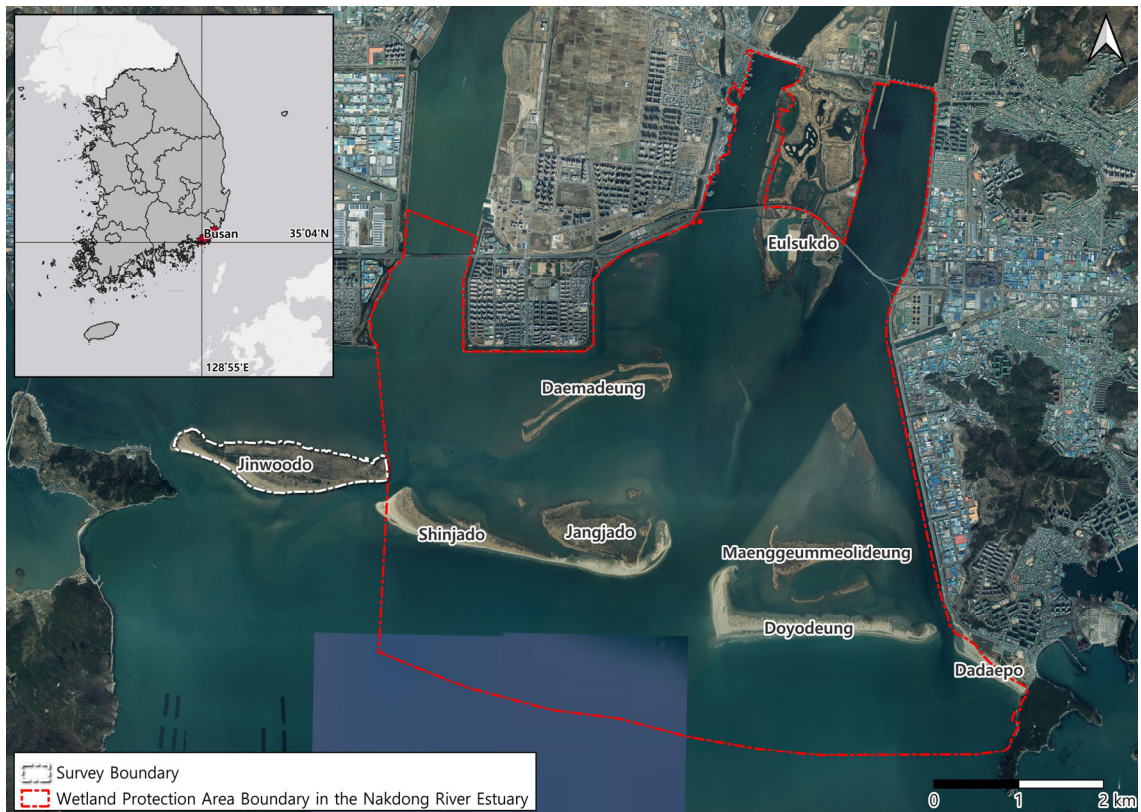


Fig 1. Overview of survey sites.

Table 1. Survey method by taxonomic group

| Taxonomic group | Survey methods | Tools |
|----------------------------|---|--------------------------|
| Terrain·Geologic·Sediments | Identifying landscape status using drone image | ArcGis |
| | Sediment sampling | |
| | Slope and direction analysis | |
| Vegetation | Create existing vegetation map | Qgis |
| Plant | Identification of plant using visual inspection | - |
| Benthic invertebrate | Identification of benthic invertebrate using quantitative survey and qualitative survey | D-frame net, Landing net |
| Amphibian/reptile | Identification of amphibian·reptile using visual survey and hearing survey | - |
| Bird | Identification of bird using visual survey and hearing survey | Binoculars |
| Fish | Identification of fish using a casting net and gillnet | Casting net, Gillnet |

따라서 본 연구에서는 국립생태원에서 수행한 내륙 습지 정밀조사 결과를 바탕으로 낙동강하구의 체계적인 보전 및 관리방안을 제시하고자 하였다. 이를 위해 경계 내 위치한 지형 및 생물다양성 현황을 파악하고, 생물상 분포에 영향을 미치는 요인 분석을 통해 낙동강하구의 습지보호지역으로서 가치와 관리방안을 제시하였다. 이러한 결과는 5년 주기별 습지의 변화 경향성 파악과 국내 습지보호지역의 보전에 체계적인 관리방안을 위한 중요한 기초정보가 될 것이다.

2. 연구 방법

2.1. 조사지 개황

낙동강하구 습지보호지역의 총면적은 37.718 km²로, 퇴적물이 쌓여 형성된 삼각주가 발달해 있으며 낙동강 본류, 서낙동강, 맥도강, 평강천 등 여러 소하천으로 나누어져 있다. 본 연구의 조사대상지는 낙동강하구 습지보호지역으로 하였다. 양서·파충류 분야의 경우 2017년 조사에서 확인된 멸종위기 야생생물 II급 표범장지뱀의 서식 확인을 위해 습지보호지역과 인접한 진우도를 포함하여 조사를 수행하였다(Fig. 1).

2.2. 연구방법

낙동강하구의 생태계 특성을 종합적으로 분석하기 위해 지형·지질·퇴적물, 식생, 식물상, 양서·파충류, 조류, 어류, 저서성대형무척추동물 등 총 7개 분야의 생태계 현황을 조사하였다. 현장조사는 내륙습지 조사지점

(NIE, 2020)에 따라 2022년 3월부터 11월까지 분야별 특성에 따라 조사시기와 지점을 차별 적용하며 수행하였다.

지형·지질·퇴적물 분야는 을숙도, 다대포해수욕장 및 제빈도 6곳을 드론을 이용한 영상촬영으로 습지의 경관 현황을 파악하고 습지 내 16개 지점의 퇴적물 시료 채취 등 현장조사를 수행하였다. 그리고 ArcGIS와 수치지형도에서 추출한 DEM (Digital Elevation Model) 자료를 활용하여 습지의 경사도, 사면향 등을 분석하였다. 식생 분야는 제빈도 6개 섬을 대상으로 각 섬별 출현하는 식물을 기재 후 우점군락을 도출하였으며, QGIS를 이용하여 현존식생도를 작성하였다. 생물 분류군별 현장조사는 봄, 여름, 가을철 총 3회 조사를 수행하였고, 조류분야는 겨울 철새의 이동 시기를 고려하여 총 4회 조사를 수행하였다. 식물상분야는 육안 조사를 수행하였고, 조류분야와 양서·파충류분야는 육안 조사 및 청음조사를 함께 수행하였다. 어류분야의 경우 투망 및 자망 등을 활용하여 조사하였으며, 저서성대형 무척추동물의 경우 D-frame net을 활용한 정량적 조사와 뜰채를 활용한 정성적 조사로 구분하여 조사하였다(Table 1). 분류군별 조사를 통해 멸종위기 야생동물 등 생물종 출현 현황을 파악하고, 5년 주기의 습지 변화 경향성을 파악하기 위해 내륙습지 정밀조사를 수행한 2006년, 2012년과 2017년 생물종 출현 결과와 비교하였다. 이러한 조사결과를 종합하여 낙동강하구습지의 가치를 파악하고 보호지역 경계 확대 및 관리방안에 대해 제언하였다.

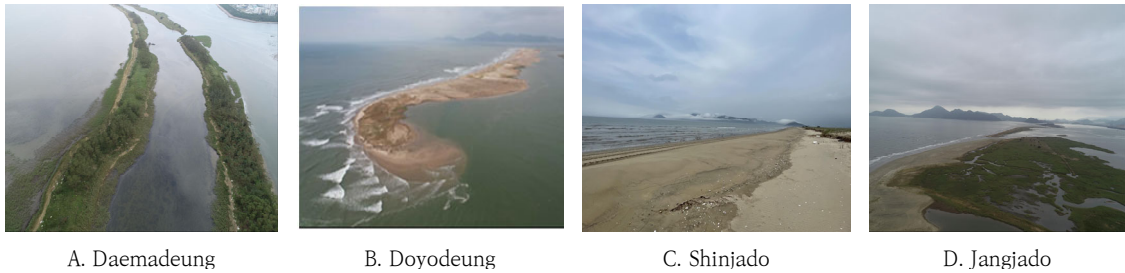


Fig 2. Barrier island of in Nakdong river estuary wetlands.

3. 결과

3.1. 지형·퇴적물의 현황

낙동강하구 내 을숙도는 여러 개의 하중도가 합쳐 형성된 것으로 유로 발달이 독특하게 나타나며 섬 동쪽 제방 건설 등 인위적인 간섭과 서쪽으로는 갈대군락이 분포해 비교적 자연 상태를 잘 유지하고 있다. 다대포는 사빈의 영향으로 큰 해안사구가 발달해 모래가 두터운 쪽으로 퇴적되어 있다. 대마등과 맹금머리등은 해안보다 하천 수력의 영향이 더 노출된 섬으로, 대마등은 섬 가운데에 유로가 형성되어 가장자리를 중심으로 육화된 섬이 발달하고 있다(Fig. 2-A). 이러한 육화된 퇴적물은 발달은 견고하나 퇴적물의 치밀도가 낮고 수분함량이 높은 것으로 확인된다. 도요등의 경우 파랑의 영향으로 토양의 수분함량이 매우 낮고 조립질 사질 퇴적물이 분포해 해안사구가 형성되어 지형 발달의 다양성이 잘 드러나 조사가 가치가 높다고 보여진다(Fig. 2-B). 백합등은 섬 남측에서 북측으로 갈수록 퇴적물이 세립해 수분 함량이 높은 경향성을 보이며 제빈도 섬 중 식생의 다양성과 밀도가 가장 높아 안정적인 서식 환경을 제공하고 있다. 신자도는 도요등과 발달 환경이 비슷하며 넓은 사빈이 발달하고 섬의 북측으로는 습지 환경을 가지고 있다(Fig. 2-C). 장자도는 습지 내 유로와 식생의 발달이 다른 섬들에 비해 우세하며 수분함량이 높은 세립질의 퇴적물이 충전되어 발달하는 모습이었다(Fig. 2-D). 제빈도 지역은 낙동강 하굿둑의 건설 이후 낙동강 본류의 유로가 바뀌면서 맹금머리등, 신자도, 도요등이 발달했다. 대마등은 간척지의 건설로 형태 변화는 없으나 주위 유로 모습이 변화되었고 신자도와 장자도가 서로 분리되어 발달한 것을 확인했다.

낙동강하구의 퇴적물 특성을 조사하기 위해 선정된

습지 내 16개 지점(Fig. 3)의 토성 분석 결과, 제빈도 지역 6곳은 사토, 양질사토, 사양토 3가지 토성으로 구분되었다. 유로와 해안선을 따라서 에너지 수준이 높고 분급이 큰 섬 외곽은 조립질의 모래질 퇴적이 우세하며, 섬의 내부 및 식생 군락지는 세립질의 퇴적이 우세한 것으로 확인되었다(Fig. 4).

낙동강하구의 경사도를 분석한 결과, 제빈도를 중심으로 13° 이내의 완만한 경사를 보이고 있으며, 그 외 인공구조물의 영향을 받는 을숙도와 대마등의 북측은 $20\sim 27^\circ$ 이내의 경사가 발달 되어있었다(Fig. 5). 그 외 나머지 지형들은 사주 지형들에 기원해 해발고도가 극히 낮고 평탄한 특징을 보이고 있었다. 사면향 분석 결과 도요등과 신자도는 연안류와 풍향에 의해 해안선을 따라 사구 사면이 발달해 다양한 사면향을 띄고 있다(Fig. 6).

3.2. 식생의 다양성과 분포

낙동강하구에서 식생 조사결과, 4개의 목본군락과 7개의 초본군락으로 이루어진 총 11개의 군락이 분류되었다. 식생형은 정수역 다년생 초본식생인 갈대-물억새군락(1.213 km^2)이 우점하였고, 목본류의 식생은 아까시나무군락(0.045 km^2)이 가장 넓게 우점하는 것으로 확인되었다(Table 2).

맹금머리등은 과거 식생도에서 철새들의 먹이처인 새섬매자기의 군락이 연결해 있다고 기재가 되어 조사를 수행하였으나 밀물과 썰물에 의한 역동적이고 다변적인 지형의 영향으로 갈대군락만 확인되었다. 식생구조는 갈대와 천일사초 등의 사초류가 피복된 단순한 구조로 구성되어있는 것을 확인했다.

도요등은 낙동강 사주섬 중 최남단으로 해풍과 파랑의 영향이 가장 높아 해안식생인 좁보리사초-통보리사

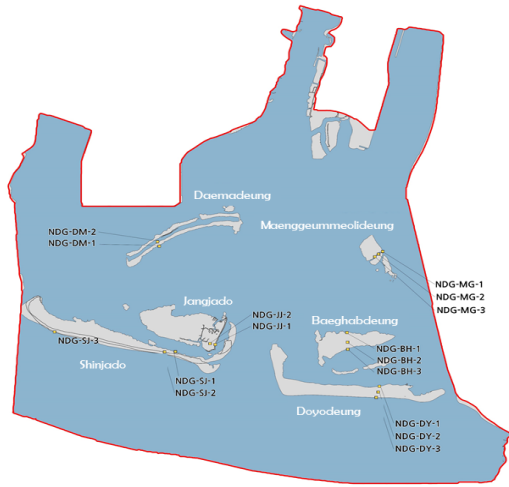


Fig 3. Nakdong river estuary wetlands sediment sampling points.

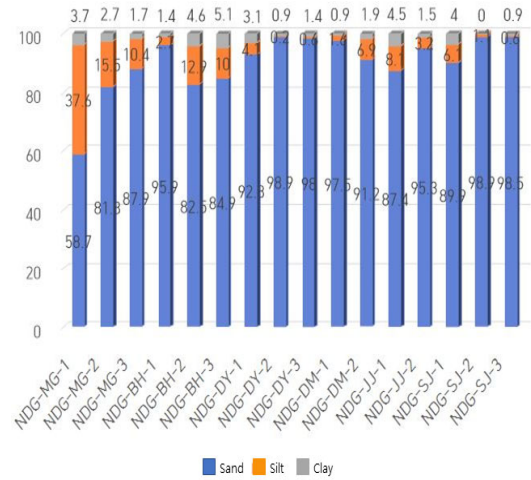


Fig 4. Granulometric analysis of sediment in Nakdong river estuary wetlands.

초군락이 우점하는 것으로 확인되었고 섬 일부 초지에서 순비기나무와 띠 군락이 소규모 서식하고 있는 것을 확인하였다. 북측 해변가로 담수역에 서식하는 달뿌리풀이 정착해있어 식생학적으로 지속적인 모니터링을 해볼 가치가 있었으며, 그 외 갯메꽃, 갯그렁 등의 다양한 염습식생이 분포하고 있었다.

백합등은 갈대와 물억새 등의 초본식생이 우점도가 높게 나타났고, 초본층의 발달과 낙엽분해로 유기질이 풍부해 곰솔, 아까시나무와 같은 목본성 군락이 소규모 발달해 있었다.

장자도의 경우 섬 전체가 갈대군락으로 이루어져 있고 띠군락이 불연속적으로 분포하고 있었으며, 소규모 군락을 형성한 순비기나무와 아까시나무 등이 일부 분포하고 하는 것을 확인하였다.

신자도는 도요등과 비슷한 환경요인으로 식생 현상이 비슷하나 섬 내 둔덕의 영향으로 갈대, 물억새, 띠 등과 같은 초본의 생육으로 인한 유기물 증가와 토양 성분의 변화로 목본의 발달도 가능한 것으로 확인되었다.

대마등은 갈대, 물억새 등의 초본과 아까시나무가 군락을 형성하고 있었다. 과거 무단 경작과 인공수로 조성으로 인해 인위적인 유입 식물이 가장 많은 곳으로 미국 자리공, 만수국아재비의 출현이 확인되었으며, 일부 지역에는 육화가 진행되고 있음을 확인할 수 있었다.

을숙도의 경우 겨울철 철새 번식 및 개체수를 유지하기 위해 인공적으로 조성한 갈대군락이 확인되었고, 갈

대밭과 나지를 제외한 나머지 공간은 조경녹지로 처리 되어있음을 확인하였다.

낙동강하구의 식생은 대체적으로 인위적인 출입의 제한, 깊은 수심, 기수와 담수의 영향으로 해안식생과 담수식생이 혼생하며 나타나는 것이 특징인 것으로 나타났다. 백합등, 장자도, 대마등에서 나타나는 아까시나무군락은 과거 선행자료를 통해 백합등에서 식재한 기원으로 확인되었다. 이러한 출현 양상을 통해 아까시나무의 염분저항성에 대한 식물생리학적, 분자학적인 심층 연구가 필요하다고 판단된다.

3.3. 생물다양성 현황

낙동강하구를 대상으로 이전 조사와 중복되는 5개 분류군에 대한 생물다양성 조사결과를 분석한 결과 총 514분류군이 확인되었다(Table 3).

식물상 조사결과, 낙동강하구 습지보호지역 경계 내·외를 포함한 총 80과 231속 352종이 조사되었다. 지점별 출현 종 수를 분석한 결과, 을숙도(보호지역 외)에서 296종으로 가장 많은 종이 출현하였으며, 을숙도(보호지역 내) 218종, 대마등 66종, 신자도 51종, 장자도 46종, 도요등 44종, 백합등 41종, 땀금머리등 3종 순으로 확인되었다. 낙동강하구 제반도 지역은 해수와 인접해 있어 토양 내 염분의 농도로 인한 염습지와 사구 형성으로 다수의 염생식물과 사구식물의 분포가 특징

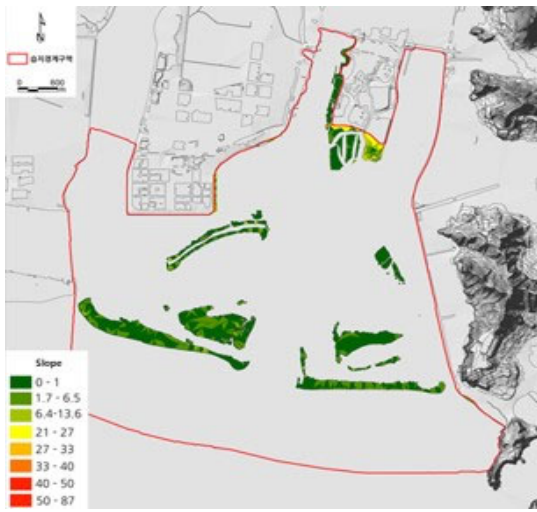


Fig 5. Slope of Nakdong river estuary.

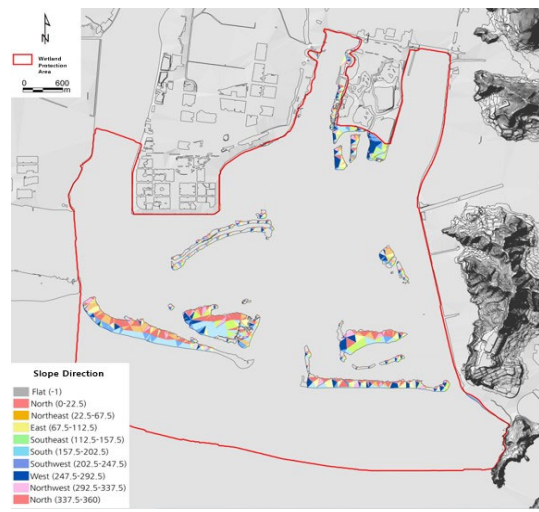


Fig 6. Slope direction of Nakdong river estuary.

이다. 을숙도는 여러 개의 하중도가 합쳐져 생성되어 유로 발달이 독특하고 인위적인 간섭이 강하여 종 다양성이 가장 높게 나타났으나, 습지보호지역 내 유입된 귀화식물과 생태계교란생물 또한 다양하게 분포하고 있어 낙동강 하류와 해풍의 영향으로 빠르게 확산될 가능성이 높았다.

양서·파충류는 총 3목 7과 11종의 출현이 확인되었다. 민물이 없고 기수지역인 대마등, 장자도, 신자도, 백합등, 도요등에서는 양서류가 확인되지 않았다. 을숙도에서 양서류는 3과 4종이 발견되었고, 우점종은 황소개구리로 확인되었다. 파충류는 4과 7종이며 우점종은 붉은귀거북으로 나타났다. 습지보호지역과 인접한 섬인 진우도에서 2과 4종의 파충류가 발견되었으며 멸종위기 야생동물Ⅱ급 표범장지뱀이 확인되었다. 생태계교란생물인 황소개구리와 붉은귀거북은 을숙도에만 서식하는 것으로 확인되었다.

조류분야는 조사결과 총 34과 95종 8,765개체가 확인되었다. 우점종은 청둥오리, 흰뺨검둥오리 등의 기러기류, 아우점종은 백로류, 도요등으로 조사되었다. 대마등은 섬 중앙부 인공수로 조성의 영향으로 사주와 모래톱이 간헐 물때와 수위 변동에 따라 다양한 수조류의 안정적인 휴식처를 제공하고 있었다. 신자도와 도요등은 과거 조사에서도 멸종위기 야생동물Ⅱ급인 쇠제비갈매기의 서식처로서 조사가 확인되었던 지역으로 신자도 서쪽 사주에서 성조 및 177개의 번식지를 확인하

였다. 을숙도에서는 생태공원, 자연초지, 갯벌 등의 서식지 다양성의 영향으로 황조롱이, 솔개 등의 맹금류가 서식 및 도래하는 것을 확인했다.

어류 조사결과 총 16과 26종 753개체가 조사되었다. 우점종은 주둥치, 아우점종은 송어로 확인되었다. 을숙도(보호지역 외)지점에서 다양한 하상구조의 분포와 수변 식생대의 발달에 의한 영향으로 종 다양성이 높게 나타났다. 종 다양성은 문절망둑, 점줄망둑, 도화망둑, 날개망둑 등의 망둥어과가 가장 높았으며, 개체수는 주둥치과에서 가장 높았다. 해산어류 감성돔과 회유성어류 은어의 서식이 확인을 통해 하굿둑 기수역과 남해의 해수역이 공존하는 생태적인 특성이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

저서성대형무척추동물 조사결과 총 24과 30종이 조사되었고, 출현 종은 절지동물문이 전체 출현 종의 53%로 가장 높았다. 우점종은 잔벌레류, 아우점종은 해조숨이옆새우류로 확인되었다. 조사 지점별로는 담수로부터 공급되는 영양분과 퇴적물의 영향으로 을숙도 남단에서 종 다양성이 가장 높게 나타났으며, 특이종은 국외반출승인종 백합, 풀개, 민손옆새우 등이 출현하였다. 낙동강하구는 기수와 담수가 만나는 기수역으로 염분과 온도에 의한 영향을 받기 때문에 연안사주, 하중도 등 서식지 다양도가 높아 다양한 저서성대형무척추동물이 서식할 수 있는 환경을 구성하고 있었다.

Table 2. Area of vegetation community on each island

| Point of investigation | Plant Community | Area(m ²) |
|--------------------------|--|-----------------------|
| Maenggeummeolideung | <i>Phragmites australis</i> Community | 118,910 |
| | <i>Carex pumila</i> - <i>Carex kobomugi</i> Community | 99,002 |
| Doyodeung | <i>Phragmites japonicus</i> Community | 844 |
| | Sand bar | 370,716 |
| | <i>Pinus thunbergii</i> Community | 4,534 |
| Baeghabdeung | <i>Robinia pseudoacacia</i> Community | 842 |
| | <i>Phragmites australis</i> - <i>Miscanthus sacchariflorus</i> | 402,766 |
| | Bare land | 519 |
| Jangjado | <i>Pinus thunbergii</i> Community | 6,068 |
| | <i>Phragmites australis</i> - <i>Miscanthus sacchariflorus</i> | 594,455 |
| | <i>Pinus thunbergii</i> Community | 1,581 |
| Shinjado | <i>Phragmites australis</i> - <i>Miscanthus sacchariflorus</i> | 216,770 |
| | <i>Carex pumila</i> - <i>Carex kobomugi</i> Community | 192,787 |
| | Sand bar | 109,861 |
| | Sea area | 142,723 |
| | <i>Pinus thunbergii</i> Community | 286 |
| Daemadeung | <i>Robinia pseudoacacia</i> Community | 45,016 |
| | <i>Phragmites australis</i> - <i>Miscanthus sacchariflorus</i> Community | 229,392 |
| | <i>Amorpha fruticosa</i> Community | 756 |
| | <i>Tagetes minuta</i> Community | 261 |
| | <i>Pinus thunbergii</i> Community | 17,563 |
| Southern tip of Eulsukdo | <i>Pseudosasa japonica</i> Community | 4,192 |
| | <i>Phragmites australis</i> Community | 357,785 |
| | Green Gardening | 128,791 |
| | Bare land | 3,811 |
| etc | A small uninhabited island | 67,520 |
| Total area | | 3,117,751 |

3.4. 연도별 생물다양성 비교

낙동강하구의 연도별 생물종 출현 현황을 비교하기 위해 과거 내륙습지 정밀조사 결과를 참고하였다 (NIER, 2006; NIER, 2012; NIER 2017). 연도별 조사 결과, 2006년에 331종, 2012년에 212종, 2017년에 429종, 2022년에 514종이 출현하여 이전 조사 결과에 비해 생물종이 증가한 것으로 나타났다(Table 3). 분류 군별 변화 추이를 분석한 결과, 식물상과 조류의 경우 2006년, 2012년과 2017년에 비해 2022년에 더 많은 분류군이 출현하였으며, 반대로 저서성 대형무척추동물의 경우 2006년 조사 이후 출현 종 수가 꾸준히 감소

한 것으로 나타났다. 어류의 경우 2006년과 2012년에는 조사를 수행하지 않았으며, 2017년에는 60종이 출현하였으나 2022년에는 26종 출현으로 종 수에 많은 차이를 보였다. 2017년 어류조사는 지역 어민의 협조를 통해 어업으로 잡힌 어류를 출현 종 수에 포함하여 많은 종을 확인할 수 있었으나, 2022년에는 신자도와 도요등 일부 지점에서 한정된 조사 도구를 활용하여 조사를 수행하였기 때문에 두 연도의 종 수 차이가 큰 것으로 나타났다. 2012년에는 겨울철 조류조사를 수행하지 않았고, 식물상은 연 1회 조사로 그쳐 다른 연도에 비해 출현종이 212종으로 가장 적은 것으로 확인되었다. 연도별 생물종 출현은 조사 방법 및 시기가 연도별

Table 3. Changes of species numbers of the taxonomic groups from 2006 to 2022 in the Nakdong river estuary wetlands

| Taxonomic group | Survey year | | | |
|----------------------|-------------|---------|----------|------|
| | 2006 * | 2012 ** | 2017 *** | 2022 |
| Plant | 172 | 72 | 233 | 352 |
| Benthic invertebrate | 63 | 62 | 35 | 30 |
| Amphibian/reptile | 5/5 | 7/9 | 5/4 | 4/7 |
| Bird | 86 | 62 | 92 | 95 |
| Fish | - | - | 60 | 26 |
| Total | 331 | 212 | 429 | 514 |

* NIER(2006), * NIER(2012), *** NIER(2017)

Table 4. The list of endangered wildlife species in Nakdong river estuary wetlands

| Taxonomic group | Endangered species | |
|-------------------|--|---|
| | I | II |
| Amphibian/reptile | - | <i>Kaloula borealis</i> , <i>Eremias argus</i> |
| Bird | <i>Platalea minor</i> , <i>Falco peregrinus</i> | <i>Numenius madagascariensis</i> , <i>Platalea leucorodia</i> , <i>Cygnus cygnus</i> , <i>Pandion haliaetus</i> , <i>Milvus migrans</i> , <i>Accipiter nisus</i> , <i>Haematopus ostralegus</i> |

로 차이가 있었으며, 이에 따라 출현 종 수 차이에 많은 영향을 미친 것으로 판단된다.

3.5. 멸종위기 야생동물 분포 특성

낙동강하구 일대에서 확인된 멸종위기 야생동물은 총 11종으로 I급 저어새, 매, II급 맹꽂이, 표범장지뱀, 알락꼬리마도요, 노랑부리저어새, 큰고니, 물수리, 솔개, 검은머리물떼새 등이 서식하였으며, 2017년도에 조사가 되지 않았던 새매가 추가로 확인되었다(Table 4). 멸종위기 야생동물의 출현 지역은 을숙도와 대마등에서 멸종위기 야생동물이 4종 출현하였고, 신자도와 장자도에서 3종, 다대포 및 진우도에서 2종, 백합등과 도요등에서 1종이 출현하였다. 7개 섬 중 맹금머리등에서 저어새, 매 등 7종의 멸종위기 야생동물이 확인되어 가장 많이 출현한 것으로 나타났다. 솔개와 새매 등 맹금류는 다대포와 가까운 몰운대, 화손대 일대의 절벽 지형과 남측의 쥐섬 등 일대에 먹이활동 및 번식지 지역으로 이용하는 것을 확인하였다. 표범장지뱀은 2017년도와 동일하게 습지보호지역 경계가 아닌 진우도에서 서식이 확인되었다. 멸종위기 야생동물 II급인 맹꽂이는 기수지역인 대마등, 장자도, 신자도, 백합등, 도요등에서는 발견되지 않았고 담수지역인 을숙도에서만 발견되었다(Table 5).

4. 고찰

낙동강하구는 하굿둑의 건설로 방류에 의한 지형 변화 및 퇴적물 변동성에 매우 큰 영향을 받고 있으며, 대부분 지역이 해안충적평야, 사주 등 연안 지형들에 기원하고 있어 형태와 속성에 민감한 비정형화된 지형들로 이루어져 있다. 이러한 환경적 특성에도 총 11개의 식물군락이 도출되어 식생 다양성이 비교적 높은 수준인 것으로 확인되었다. 특히, 도요등과 신자도는 자연성이 높은 좁보리사초-통보리사초군락과 갯완두군락 등이 넓은 면적으로 분포하고 있었으며, 전형적인 해안사주 식생의 구성으로 조합되어 식생 가치가 높은 것으로 나타났다. 일부 지역에서 출현하는 순비기나무 등과 같은 상록활엽수가 지속적으로 정착한다면 해안 식생군락 발달 과정에 좋은 정보를 제공할 것으로 기대된다.

낙동강하구의 생물다양성은 이전 조사에 비해 2022년에 출현종 수가 증가한 것으로 나타났으나, 특별한 환경 변화의 요인보다는 조사 방법의 물리적 차이에 의한 영향이 더 큰 것으로 사료된다. 따라서 생물종 변화 양상을 꾸준히 모니터링하기 위해서는 조사 지점과 방법, 시기 등을 면밀히 고려하여야 할 것으로 나타났다. 멸종위기 야생동물의 경우 저어새, 새매 등 2종이 새롭게 발견되었으며, 2017년과 2022년 조사를 통해 습지보호

Table 5. Appearance of endangered wildlife species by island

| Taxonomic group | Endangered species | Island of Nakdong river estuary* | | | | | | | | |
|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | a | b | c | d | e | f | g | h | i |
| Bird | <i>Platalea minor</i> | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - |
| | <i>Falco peregrinus</i> | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - |
| | <i>Numenius madagascariensis</i> | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - |
| | <i>Platalea leucorodia</i> | 0 | 0 | - | - | 0 | - | - | - | - |
| | <i>Cygnus cygnus</i> | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - |
| | <i>Pandion haliaetus</i> | - | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - |
| | <i>Milvus migrans</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | <i>Accipiter nisus</i> | - | - | - | - | - | - | - | 0 | - |
| | <i>Haematopus ostralegus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - |
| Amphibian | <i>Kaloula borealis</i> | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| reptile | <i>Eremias argus</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |

* a: Eulsukdo, b: Daemedeung, c: Shinjado, d: Jangjado, e: Maenggeummeolideung, f: Baeghabdeung, g: Doyodeung, h: Dadaepo, i: Jinwodo

지역 경계 외 지역인 진우도에서 멸종위기 야생동물 II 급 표범장지뱀의 꾸준한 서식 확인을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 서식지 보전을 위한 낙동강하구 습지보호지역의 면적 확대 등의 노력이 지속적으로 필요한 것으로 판단된다.

식물상의 경우 진우도, 대마등을 제외한 사주섬은 낙동강 분류·해류, 바람에 의해 전파된 염생식물 또는 사구식물이 서식하는 것으로 확인되었다. 이는 담수와 해수가 만나는 기수역인 염습지 위에 모래가 퇴적되어 사구를 형성해 염생식물과 사구식물이 공존하는 독특한 생물환경을 형성하고 있기 때문으로 판단된다. 또한 과거 식물상 조사에서 발견된 출현종이 본 조사에서 발견되지 않은 것은 사구의 빈번한 이동과 염분의 영향으로 인해 내건성과 내염성이 없는 식물이 임시 정착 또는 소멸했을 가능성이 높은 것으로 나타났다. 을숙도에서 출현한 단풍잎돼지풀과 대마등에서 출현한 가시박 등과 같은 생태계교란식물의 확산 방지를 위한 대책 마련이 필요하였다.

양서·파충류는 기수역인 대마등, 장자도, 신자도, 백합등, 도요등에서는 해당 분류군의 출현이 없었으며, 담수지역인 을숙도에서 양서·파충류의 서식을 확인하였다. 생태계교란종 출현 결과, 양서류는 황소개구리의 개체수가 가장 높은 우점종으로 나타났고 파충류는 붉은귀거북의 개체수가 가장 높은 우점종으로 나타났다. 을숙도를 비롯한 낙동강 본류에서도 생태계교란생물인

붉은귀거북, 황소개구리의 서식이 확인되어 현 보호지역 내 생태계교란생물의 우점에 대한 관리방안이 필요할 것으로 사료된다.

어류는 전 구간이 하구둑 주변의 기수역과 남해 해수역이 공존하는 지역으로 수심의 변동 폭이 매우 크게 나타나며, 해산어류, 이차담수어, 회유성어류 등 매우 다양한 어종들이 서식하고 있었다. 낙동강하구에서 하구는 상·하류간 이동하는 뱀장어, 은어 등의 회유성 어류의 이동통로로써 매우 중요한 생태적 역할을 하고 있다. 낙동강하구는 1988년 준공된 하구둑의 건설로 상·하류간 단절이 발생하여 어류의 이동이 원활하지 않은 지역으로 확인된다. 이에 낙동강하구에 설치된 어도의 기능적인 부분과 효율성에 대한 모니터링이 필요하다고 판단된다.

낙동강하구는 겨울철새 등 조류들의 기착지, 집단번식지, 월동지 등 다양한 기능을 가진 반면, 식생 및 지형의 변화로 인한 서식지 영역 축소와 오염, 낙동강 본류로부터 유입되는 폐기물 등의 영향으로 인해 조류의 먹이 및 서식지가 직·간접적으로 감소하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 지자체와 지역 학계가 합동조사를 통한 조사 DB 공유 및 자료 축적 등을 통해 낙동강하구의 서식지 보전을 위한 지속적인 자료를 수집하여 이를 활용한 낙동강하구의 관리방안 및 보전대책을 수립해야 할 것으로 판단된다.

저서성대형무척추동물은 습지 내 서식하는 철새, 어

류 등 상위 분류군의 먹이원으로서 중요한 위치를 차지하고, 담수로부터 유입되는 영양물질과 퇴적물로 생성된 연안사주, 하중도 등이 서식할 수 있는 환경을 구성하고 있다.

본 연구대상지는 생물다양성 및 서식처 다양성이 높으나, 본류로부터 유입되는 생활쓰레기와 오·폐수가 일부 조사 지점에서 확인되었다. 이를 통해 하구습지의 건강성을 유지하기 위해 오염원 유입에 대한 대처방안 수립이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 낙동강하구 습지보호지역의 보전까지 및 지속가능한 관리방안 제시를 위해 생태계 현황조사 및 분석을 수행하였다. 1988년 하굿둑의 건설로 계절에 따라 변동적으로 이루어지는 방류로 낙동강하구의 수십 km가 담수화되고 기수역과 생태계의 단절이 발생하였다. 이러한 환경특성으로 을숙도와 같은 하중도의 발달과 하천 및 연안의 흐름에 기인한 제빈도가 형성되어 다양한 해안사주식생, 염생식생, 내륙하천에서 나타나는 달뿌리풀, 아까시나무군락 등 다양한 식물군락의 분포가 확인되었다. 다양한 식물군락의 분포와 사구의 발달 등으로 생물들에게 미소서식처를 제공하고 있으며, 서식처 환경 특성에 따라 어류, 조류, 양서·파충류 등의 생물다양성이 풍부한 것으로 나타났다. 낙동강하구는 담수와 기수의 연결성과 인위적 교란의 영향을 최소화하는 지리적인 여건으로 생물다양성과 자연성이 우수한 것으로 나타났다.

우수한 생물다양성에도 불구하고 낙동강하구 습지보호지역 일대에는 생태계를 저하하는 위협요인이 확인되었다. 인위적인 간섭을 가장 많이 받는 을숙도의 경우 호안공사, 간척사업 등의 공사가 진행되고 있어 식물의 종다양성 유지와 증대를 감소시키고 있었다. 을숙도를 제외한 사구섬의 사구와 염습지는 섬의 북측 해안에 형성되어 낙동강 본류와 인접해 있는 위치적인 특성으로 낙동강 본류로부터 유입되는 간척사업, 양식, 어업 활동 등에 의한 비점오염원의 유입으로 토양 및 수질 오염 가능성이 우려되었다. 또한 오염원에 의해 발생하는 부유물로 인한 식생의 소실과 수문개방 등으로 습지 내 지형 변화가 꾸준히 발생하고 있었다. 따라서 식물군락과 생물분포의 특성을 고려하여 지속적으로 발생하는 교란 요소를 검토하여 낙동강하구 습지보호지역의

체계적인 관리방안 수립이 필요한 것으로 판단된다.

본 연구는 낙동강하구 습지보호지역의 습지 보전 정책을 마련하기 위한 기초자료로써 활용될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국립생태원“내륙습지 정밀조사(23)(NIE-법정연구-2023-19)”의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 조사에 참여하신 모든 분에게 감사드립니다.

REFERENCES

- Chabrierie, O., Poudevigne, I., Bureau, F., Vincelas-Akpa, M., Nebbache, S., Aubert, M., Bourcier, A., Alard, D., 2001, Biodiversity and ecosystem functions in wetlands: a case study in the estuary of the Seine river, France. *Estuaries.*, 24, 1088-1096.
- Choi, H. G., Kim, H. Y., Lee, J. Y., Sohn, B. Y., Lee, J. Y., 2022, Riparian vegetation monitoring and health assessment by pilot opening of Nakdonggang river estuary, *Kor. J. Env. Eco.*, 36, 445-459.
- Costanza, R., Kemp, W. M., Boynton, W. R., 1997, Predictability, scale and biodiversity in coastal and estuarine ecosystems: implications for management, *Ambio.*, 22, 88-96.
- Douglas, E. J., Bulmer, R. H., MacDonald, I. T., Lohrer, A. M., 2022, Estuaries as coastal reactors: importance of shallow seafloor habitats for primary productivity and nutrient transformation, and impacts of sea level rise, *NZ. J. Mar. Fre.*, 56, 553-569.
- Hong, S. B., Lee, I. S., 2012, Change of visitation aspect of terns *Sterna* spp. in 1990s and 2000s at Nakdong estuary, *Busan. Korea, K. J. Orn.*, 19, 243-253.
- Kim, G. Y., 2020, Growth characteristics of *Bolboschoenus planiculmis* on the Eulsuk tidal flat of the Nakdong river estuary, *Korea, K. J. Env. Eco.*, 53, 453-460.
- Kim, Y., Kang, J., Choi, J. U., Park, C. M., Woo, H. J., 2019, Geochemical characteristics of *Scirpus planiculmis* habitats in Nakdong estuary, *Korea., K. J. Kws.*, 21, 125-131.
- Kwon, H. J., 1999, *Geomorphology 4th eds*, Bobmunsa, Seoul, Korea.
- Lee, Y. K., Ahn, K. H., 2012, Actual vegetation and vegetation structure at the coastal sand bars in the Nakdong estuary, *South Korea, K. J. Env. Eco.*, 26, 911-922.

- Mun, H. T., Kim, J. H., 1985, Studies on plant succession of sand bars at the Nagdong river estuary in. Vegetation and soil environment, K. J. Pla. Bio., 28, 79-93.
- National Institute of Environmental Research, 2006, Survey on the wetland protected areas, 11-1480523-000113-14, National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea.
- National Institute of Environmental Research, 2012, Survey on the wetland protected areas, NIER-RP2012-338, National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea.
- National Institute of Environmental Research, 2017, Survey on the wetland protected areas, NIER-RP2017-211, National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea.
- National Institute of Ecology, 2020, Inland wetland survey guidelines, 971-11-91206-18-0, National Institute of Ecology, Seochoen, Korea.
- National Institute of Ecology, 2022, Intensive survey on national inland wetlands, NIE-A-2022-19, National Institute of Ecology, Seocheon, Korea.
- Oh, C. Y., Park, S. Y., Choi, C. U., Jeon, S. W., 2010, Change detection at the Nakdong estuary delta using satellite image and GIS, K. J. Geo. Inf. Sci., 18, 21-29.
- Oh, G. H., 1999, Landform changes of terminal area of the Nagdong river delta, Korea, K. J. Qua., 13, 67-78.
- Rho, P. H., Lee, C. H., 2014, Spatial distribution and temporal variation of estuarine wetlands by estuary type, K. J. Geo. Inf. Sci., 49, 321-338.
- Sung, N. P., Moon, J. S., Kim, J. H., 2022, The relationship between vegetation(halophyte communities) distribution and environmental factors in estuaries in Korea, K. J. Env. Eco., 55, 19-34.
- van Westen, C. J., Scheele, R. J., van Westen, C. J., Scheele, R. J., 1996, Characteristics of estuaries, planning estuaries, 9-60.
- Yi, Y. M., Yeo, U. S., Oh, D. H., Sung, K. J., 2011, Annual changes in *Scirpus planiculmis* and environmental characteristics of the Nakdong river estuary, K. J. Kws., 13, 567-579.
- Yi, Y. M., Yeo, U. S., Sung, K. J., 2014, Soil properties of barrier island habitats in the Nakdong river estuary, K. J. Kws., 16, 355-362.
- Yoon, I. B., Bae, K. S., Bae, Y. J., Aw, S. J., Kim, K. H., 1986, A study on the benthic macroinvertebrate community structure according to the four seasons in the Nakdong estuary, K. J. Soc. Limnol., 19, 19-38.

-
- Researcher, Sang-Wook Han
Wetland Research Team, National Institute of Ecology
Hsw4402@nie.re.kr
 - Team Manager, Kwang-Jin Cho
Wetland Research Team, National Institute of Ecology
kjcho@nie.re.kr
 - Researcher, Pyoung-Beom Kim
Wetland Research Team, National Institute of Ecology
normal@nie.re.kr
 - Junior Researcher, Hae-Seon Shin
Wetland Research Team, National Institute of Ecology
hs3060@nie.re.kr