

한강하구 접경지역 습지 생태계 서비스 평가를 통한 생태적 관리 방안 분석

최현아^{1,2}, 한동욱³, 이우균⁴, 송철호^{1,*}

¹고려대학교 오정리질리언스연구원, ²한스자이델재단 한국사무소, ³(사)에코코리아 PGA 생태연구소,

⁴고려대학교 환경생태공학부

Assessment of wetland ecosystem services for ecological management in the border area of the Han River Estuary

Hyun-Ah Choi^{1,2}, Donguk Han³, Woo-Kyun Lee⁴ and Cholho Song^{1,*}

¹OJEong Resilience Institute, Korea University, Seoul 02841, Republic of Korea

²Hanns Seidel Foundation Korea Office, Seoul 04419, Republic of Korea

³PGA Eco and Biodiversity Institute, Eco Korea, Goyang 10449, Republic of Korea

⁴Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 02841, Republic of Korea

Contribution to Environmental Biology

- This study confirmed that the wetlands ecosystem services provide a range of services, particularly educational and research, cultural heritage, and the provision of habitat.
- The study results can be used as basic data and help to prepare for ecological management in the border area of the Han River Estuary.

*Corresponding author

Cholho Song

Tel. 02-3290-4556

E-mail. cholhosong@korea.ac.kr

Received: 31 October 2023

First revised: 4 December 2023

Second revised: 20 December 2023

Revision accepted: 27 December 2023

Abstract: The conservation of wetland ecosystems has a significant role in climate change. Notably, the Han River Protected Area, including the Siam-ri wetland and Janghang wetland, provides high biodiversity value. Thus, it is necessary to comprehensively evaluate the function and value of wetland ecosystems. This study evaluated the ecosystem services of Siam-ri and Janghang Wetlands located in the Han River Protected Area using the Rapid Assessment Wetland Ecosystem Services approach, a function-oriented ecosystem analysis. The results were calculated using the Ecosystem Services Index formula to analyze wetland ecosystem services. We also assessed the key ecosystem services based on a focus group interview. We identified that the supporting and cultural services index scores were relatively high in the study area. The results can provide helpful information for sustainable wetland conservation, conservation planning as primary data, and raising awareness for the Han River Protected Area.

Keywords: ecosystem services, rapid assessment method, focus group interview, wetland conservation

1. 서 론

생태계가 인간에게 제공하는 서비스는 매우 다양하다. 생태계가 인간에게 주는 편익인 생태계 서비스는 다양한 개념을 통해서 활용되고 있다. Costanza *et al.* (1997)은 인간이 생태계 기능으로부터 직접 또는 간접적으로 이끌어 내는 편익으로 정의하였으며, Daily (1997)는 인간생활 충족을 위해 요구되는 생물다양성과 재화의 생산을 유지하기 위한 자연생태계의 조건과 과정으로 정의하였다. de Groot *et al.* (2002)은 인간의 필요를 충족시키기 위한 자연적 과정과 요소의 생산능력으로 정의하였다. 생태계는 인간활동으로 인한 영향을 받기 때문에 자연자산의 규모나 순수한 생태적 서비스에 대한 정의와 평가는 한계가 있다 (Mace *et al.* 2012; Robinson *et al.* 2013). 그러나 지속가능한 생태계 관리의 측면에서는 생태계 기능과 서비스를 평가하여 정부 및 민간의 의사결정을 지원하는 것이 중요해지고 있다 (Crossman *et al.* 2013; Robinson *et al.* 2013).

현재의 기후변화 위기 대응 측면에서 생물다양성 보전, 기후변화 완화 기능이 뛰어난 습지 생태계의 중요성이 강조되고 있다. 그러나 습지 생태계는 1970년 이후 전 세계적으로 최소 35퍼센트가 손실되었고 감소 속도가 과거에 비해 3배나 빠르게 손실되고 있다 (Ramsar Convention 2018a). National Institute of Ecology (2021a)에 따르면, 기후변화로 인한 극한 기후 발생 건수 증가로 국내 내륙습지 피해가 가속화되는 것으로 분석되었다. 개발압력에 따른 매립, 토지이용 전환, 수위 변동으로 인한 국내 내륙습지 면적의 감소가 악화되고 있는 상황에서 습지가 제공하는 생태계 서비스에 대한 평가가 필요하다. 대표적으로 한강하구 습지보호지역은 남북한 접경지역으로서 중립수역이라는 지리적 특수성으로 우수한 생태공간을 유지하고 있으며, 개리 (*Anser cygnoides*), 재두루미 (*Grus vipio*), 저어새 (*Platalea minor*) 등 국제적 멸종위기종의 서식지와 월동지, 중간 기착지로 알려져 있다. 대표적으로 고양 장항습지, 김포 유도와 시암리습지 등 주변 농경지와 갯벌을 포함한 습지가 철새에게 중요한 지역으로서 역할을 하고 있다 (Choi *et al.* 2020, 2023b). 국제적으로도 유도와 시암리습지, 장항습지를 포함한 한강하구는 1997년 전 세계 철새이동경로 중 하나인 동아시아-대양주 철새이동경로 (East Asian-Australasian Flyway, EAAF) 상에서 철새이동경로 서식지 네트워크 (Flyway Site Network)에 등록되

어 있으며 (EAAF 2023), 2004년에는 국제조류보호협회 (BirdLife International)가 지정하는 주요 조류 생물다양성 지역 (Important Bird and Biodiversity Area)으로도 지정되었다 (BirdLife International 2023). 2021년에는 장항습지가 람사르 (Ramsar) 습지로 등록되었다 (Ramsar Convention 2021). 한반도 생물다양성 증진과 습지 보호, 자연자원의 지속가능한 이용측면에서도 한강하구 습지보호지역은 매우 중요한 역할을 하고 있다 (Lim and Choi 2022). 그러나 이러한 생태환경적 우수성에도 불구하고 한강하구 주변 습지는 도시개발로 인한 토지이용변화로 야생동식물의 서식지가 지속적으로 손실되고 있다. 한강하구 주변 습지가 제공하는 환경생물학적 가치에 대한 적절한 관리방안 도출이 필요한 상황이다. 특히, 한강하구가 가지는 생태적 가치에 대한 재확인이 필요하고, 남북한 접경지역 습지 생태계의 중요성에 대한 재평가가 필요하다. 그러나 한강하구 습지보호지역은 군사보호시설 지역으로 환경 생태적 관리방안 도출을 위한 기초 자료접근조차 제한적인 상황이다.

이에 본 연구에서는 보전가치가 높은 한강하구 습지 보호지역의 생태적 관리 방안 제시하고자 생태계 서비스 간 평가를 하였다. 생태적 가치 평가의 일환으로 생태계 서비스 평가가 수행되었으며, 이를 기반으로 다양한 전문가들의 의견을 수렴하여 중요한 생태적 관리 요소를 도출하여 향후 해당 지역의 환경생태적 관리 방안을 제시하고자 한다. 한강하구 습지 자료에 대한 접근성이 제한된 상황에서 본 연구는 가용한 평가 방법과 전문가 의견을 종합하여 향후 습지의 생태적 가치 증진에 기여하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구대상지

본 연구에서는 한강하구 남북한 접경지역 내의 보호지역인 시암리습지와 장항습지를 대상으로 하였다 (Fig. 1). 한강하구는 국내 주요 하천들과 달리 하구둑이나 방조제가 건설되어 있지 않고, 김포시 시암리 및 오두산 구간에서 임진강과 합류하여 북한의 개풍군과 김포시와 강화군 사이를 흘러 서해로 유입된다. 한강하구는 접경지역으로 훼손이 덜된 하구습지가 넓게 분포하고 있다. 내륙습지는 9.452 km²이며, 연안습지(하구갯벌)는 346.979 km²로 총

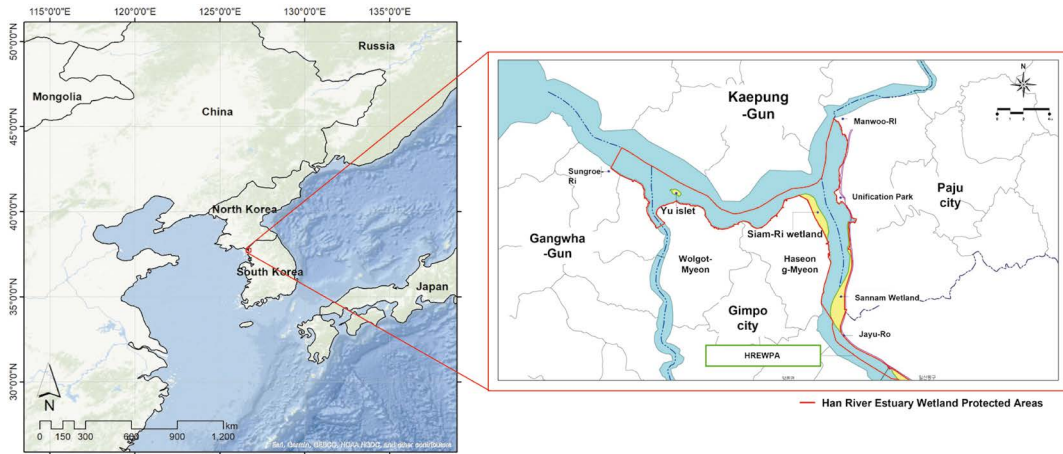


Fig. 1. Study site locations based on the Han River Estuary Wetland Protected Area map by the Ministry of Environment (2023).

면적은 356.43 km²이다(Jeon *et al.* 2008). 한강하구 김포시 일대의 경우 월곶면, 대곶면이 연안습지와 갯벌로 구분되며, 군사시설보호구역, 일부 농업진흥구역, 문수산일대 자연환경보전지역이 포함되어 있다. 장항습지는 김포대교와 일산대교 사이에 습지숲과 습초지, 하구갯벌이 나타나는 하구습지로 선버들 군락이 우점하고 있다. 장항습지의 북쪽은 북한과 접해 있어 군사시설 보호구역으로 민간인 통제구역이다. 시암리 습지와 장항습지는 민간인 통제구역으로 출입이 엄격하게 통제되어 조사를 위한 출입 시 관할 군부대 및 지자체의 지원이 필요하다.

2.2. 연구 방법론

생태적 관리 방안 도출을 위해 본 연구에서는 우선적으로 생태적 기능 중심의 평가가 가능한 습지 생태계 서비스 간이평가법(Rapid Assessment Wetland Ecosystem Services, RAWES; RRC-EA 2020)을 1차 평가 방안으로 적용하였다. 이 평가법은 제13차 람사르협약 총회에서 채택된 방법론으로 국제적으로 습지에 대한 정량-정성적 평가에 활용된다(Ramsar Convention 2018b). RAWES는 국제적으로 큰 범용성을 갖고 있는 것으로 알려져 있으나, 연구 대상지에 대한 접근이 제한되는 상황에서 본 연구에서는 2차 평가를 구성하였다. 이 과정은 초점집단면접(Focus Group Interview, FGI)을 통해 이루어졌으며, FGI에 따라 RAWES 결과에 대한 검토와 주요 생태계 서비스에 대한 의견 수렴이 수행되었다. FGI는 대상지에서 지속적으로 활동하고 있는 시민과학자와 습지정책, 평가 등의 업무를

진행하고 있는 전문가, 습지전문가 교육에 참여한 바 있는 국내외 NGO 활동가를 대상으로 하였다. 이후 RAWES 결과와 공통적으로 언급한 생태적 관리 요소 등을 검토하고 분석하였다.

2.2.1. RAWES를 이용한 1차 평가

기존 습지 생태계에 관한 선행 연구에서는 습지의 기능과 역할, 습지의 분류, 현장 답사 등을 통한 습지 생태계에 대한 연구가 진행되었다(Choi *et al.* 2021). 대표적으로 일반기능평가방법(또는 신속평가방법, Rapid Assessment Method)을 이용한 습지 생태계 기능 평가가 진행되었으나(Koo and Kim 2001), 최근에는 제13차 람사르총회에서 공식 채택된 습지 생태계 서비스 간이평가법(RAWES, RRC-EA 2020), 습지 생태계가 제공하는 서비스와 가치, 습지의 특징 등을 평가할 수 있는 간이평가법을 이용한 분석이 진행되고 있다(Kim *et al.* 2019; Kim *et al.* 2021; Park 2021). 높은 개발압력에 노출된 습지 생태계의 가치와 중요성에 관한 연구가 진행되고 있으며(National Institute of Ecology 2021b), 실무자 교육을 통해 RAWES를 적용한 습지 평가가 진행되고 있다(Kim *et al.* 2021; Park 2021).

본 연구 대상지는 남북한 접경지역에 위치하고 있어 생태계 서비스에 관한 실질적 측정을 통한 평가를 진행하는데 한계가 있어 RAWES를 이용한 1차 평가를 진행하였다. 평가항목은 RRC-EA (2020)의 평가표를 사용하였으며, 평가항목은 관련 선행 연구(Park 2021; Park *et al.* 2021; Lee *et al.* 2022; Choi *et al.* 2023a)을 고찰하고 대상지 환경 상황을 고려하여 생태계 서비스 평가항목을 선정하였다. 한

Table 1. The Rapid Assessment Wetland Ecosystem Services assessment list

Ecosystem services			
Provisioning	Regulating	Cultural	Supporting
Fresh water	Air quality regulation	Cultural heritage	Soil formation
Food	Local climate regulation	Recreation and tourism	Primary production
Fuel	Global climate regulation	Aesthetic value	Nutrient cycling
Fiber	Water regulation	Social relations	Water recycling
Genetic resources	Flood hazard regulation	Educational and research	Provision of habitat
Natural medicines	Pest regulation		
Ornamental resources	Disease regulation		
Clay, mineral, aggregate harvesting	Erosion regulation		
Waste disposal	Water purification		
Energy harvest	Pollination		
	Salinity regulation		
	Fire regulation		
	Noise/visual buffering		

강하구 RAWES 평가항목은 총 33개로 구성하였으며, 공급 서비스 10개, 조절서비스 13개, 문화서비스 5개, 지원서비스 5개의 서비스 항목으로 구성하여 평가하였다(Table 1).

공급서비스에서는 물(담수) 공급, 음식(식량) 공급, 연료 공급, 유전자원 공급, 천연약재 공급, 관광용 자원 공급, 미네랄과 골재 공급, 폐기물 처리, 에너지 생산을 평가지표로 선정하였다. 조절서비스에서는 대기질 조절, 지역 미기후 조절, 전 지구 기후조절, 수자원 조절, 홍수위험 조절, 병해충 조절, 질병조절, 침식조절, 수질정화, 수분작용, 화재조절, 소음완충조절을 평가지표로 선정하였다. 문화서비스에서는 문화유산, 휴양 및 관광, 심미적 가치, 지역사회 관계, 교육 및 연구관계를 평가지표로 선정하였으며, 지원서비스에서는 토양생성, 1차 생산량, 영양물질 순환, 물 재순환, 서식처 제공을 평가지표로 선정하였다.

RAWES 평가 결과를 바탕으로 Eq. 1과 같은 과정을 거쳐 생태계 서비스 인덱스(Ecosystem Services Index, ESI)를 평가하였다(RRC-EA 2020).

$$\begin{aligned}
 & \text{Ecosystem Services Index} \\
 & = \frac{\sum(n_{+1.0} + n_{+0.5}) + (n_{-1.0} + n_{-0.5})}{\sum n_{total}} \quad (\text{Eq. 1})
 \end{aligned}$$

n: Importance value

*n*_{+1.0}: Importance value 2 (++)

Table 2. Description of Rapid Assessment Wetland Ecosystem Services scores

Score	Contribution to ecosystem services
++	Significant positive contribution
+	Positive contribution
0	Negligible contribution
-	Negative contribution
--	Significant negative contribution

Source: DEFRA (2007); RRC-EA (2020)

*n*_{+0.5}: Importance value 1 (+)

*n*_{-0.5}: Importance value -1 (-)

*n*_{-1.0}: Importance value -2 (--)

여기서 평가점수는 5점 척도로서, 중요도에 따라 중요도 2 (++) 1.0점(매우 긍정적 기여), 중요도 1 (+) 0.5점(긍정적 기여), 중요도 0 (0) 0점(무시할만한 기여), 중요도 -1 (-) -0.5점(부정적 기여), 중요도 -2 (--) -1.0점(매우 부정적 기여)으로 평가하였다(DEFRA 2007; RRC-EA 2020). 1차 조사에서는 문헌조사를 바탕으로 도출된 RAWES 평가표를 이용하여 평가하였다. 2022년 11월부터 2023년 3월 사이에 진행하였으며, 습지정책 및 연구실적이 탁월한 전문가로서 습지평가와 관련된 주요 학회인 한국

습지학회와 한국생태학회 부회장, 시암리습지와 장항습지에서 활동하고 있는 시민과학자, 국제NGO 활동가 등 6명의 전문가가 참여하였다. 이들은 제시된 평가 점수 할당표에 근거하여 RAWES를 수행하였으며, 해당 결과는 문헌에 기반한 분석과 함께 평가되어 제시되었다(Table 2).

2.2.2. FGI를 통한 RAWES 검증 및 2차 평가

FGI는 대표적인 질적 평가 방법으로 이전에 진행된 연구 결과에 관한 참여자의 해석을 얻거나 주제를 공유하는 집단에 대한 연구를 하는 데 널리 쓰이는 방법이다(Flick 2009). 전문가 집단의 규모는 작게는 4명에서 11명으로도 가능하고(Ahn 2011), 전문가 선정 기준은 해당 분야에 대한 논문, 보고서 등을 검색하거나, 관련 연구협회 또는 다른 전문가로부터의 추천받는 방법 등이 있다(Gordon 1994). 이에 본 연구에서는 시암리습지와 장항습지에서 활동하고 있는 시민과학자와 습지정책, 평가 등의 업무를 진행하고 있는 전문가들을 대상으로 한 FGI를 실시하여 자료 수집 후 평가를 진행하였다. FGI 진행을 위한 전문가는 해당 분야에 대한 저서, 논문 등을 검색, 관련 협회 추천 그리고 다른 전문가로부터의 추천 받는 방법을 이용하였다. 또한, 전문가 집단을 통해 대상지가 제공하는 서비스 중 생물다양성, 야생 동·식물 서식지 제공처로서 기능 등도 평가하고자 하였다.

따라서, RAWES 1차 조사에 대한 검증과 주요 생태계 서비스 항목 도출 및 주요 생태계 서비스 기능 도출을 위해 2차 조사를 인터뷰 형식으로 2023년 4월 22일과 25일에 진행하였다. 인터뷰는 1차 평가에 사용된 RAWES 평가표를 토대로 인터뷰를 진행하였으며(Supplementary Table A1), 인터뷰 상황에 따라 추가로 질문하는 반구조화된 면담법 - 해당 점수에 따른 생태계 서비스 문항을 제시하고 평가를 진행하였다.

3. 결 과

3.1. RAWES를 이용한 1차 평가

장항습지와 시암리습지에 대해 RAWES 평가했을 때 생태계에 매우 긍정적 기여(++)를 하고 있는 서비스 유형은 조절서비스 > 지원서비스 > 문화서비스 > 공급서비스 순으로 나타났다. 긍정적 기여(+)를 하고 있는 서비스 유형은

Table 3. Count data for frequencies of ecosystem services by the Rapid Assessment Wetland Ecosystem Services approach

Ecosystem services	<i>n</i>	++	+	0	-	--
Provisioning	33	6	23	0	4	0
Regulating	49	14	27	0	8	0
Cultural	23	8	14	0	1	0
Supporting	23	12	10	0	1	0

조절서비스 > 공급서비스 > 문화서비스 > 지원서비스 순으로 나타났다. 부정적 기여는 조절서비스가 다른 서비스에 비해 높게 나타났다. 매우 긍정적 기여의 빈도가 증가함에 따라 대상지에 대한 생태계 서비스 변동성도 증가하는 것을 보여주며, 생태계 서비스 유형에 따른 중요성도 증가하는 것으로 볼 수 있다(Table 3).

항목별로 보면, 공급서비스에서 (매우) 긍정적 기여를 하고 있다고 한 항목은 물(담수) 공급, 음식(식량) 공급, 유전자원 공급, 미네랄과 골재 공급, 폐기물 처리라고 평가하였다. (매우) 부정적 기여를 하고 있다고 한 항목은 없었다. 조절서비스에서 (매우) 긍정적 기여를 하고 있다고 한 항목은 대기질 조절, 지역 미기후조절, 전 지구 기후조절, 홍수위험 조절, 침식조절, 수질정화, 수분작용, 화재조절이라고 응답하였으며, 부정적 기여는 소음원충조절이라고 응답하였다. 문화서비스에서 (매우) 긍정적 기여가 있다고 한 항목은 문화유산, 휴양 및 관광, 심미적 가치, 지역사회 관계, 교육 및 연구관계라고 응답하였으며, (매우) 부정적 기여를 하고 있다고 한 항목은 없었다. 지원서비스에서는 토양생성, 1차 생산량, 영양물질 순환, 물 재순환, 서식처 제공이 (매우) 긍정적 기여를 한다고 평가하였으며, (매우) 부정적 기여가 있다고 한 항목은 없었다.

장항습지에 대한 RAWES를 바탕으로 ESI 평가 결과, 공급서비스는 1.23, 조절서비스는 1.81, 문화서비스는 2.90, 지원서비스는 3.30으로 나타났다. 표준 오차(standard errors)의 경우 공급서비스는 2.44, 조절서비스는 3.77, 문화서비스는 1.89, 지원서비스는 2.40으로 나타났다. 공급서비스와 조절서비스의 경우 서비스 간 높은 상관성이 반영되어 표준오차가 크게 나온 것으로 추정된다. ESI 점수 결과, 지원서비스 > 문화서비스 > 조절서비스 > 공급서비스 순으로 도출되었다. 조절서비스 평가항목이 다른 서비스에 많았지만, 지원서비스가 높게 평가되었다(Fig. 2).

시암리습지에 대한 ESI는 공급서비스는 0.73, 조절서비

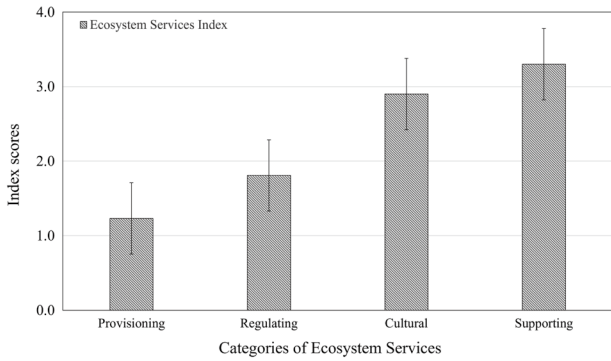


Fig. 2. The results of the Ecosystem Services Index in the Janghang wetland.

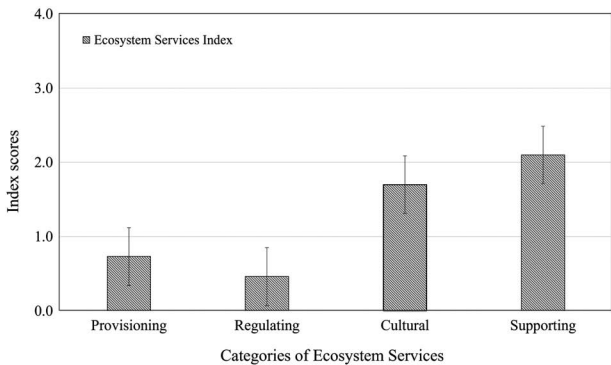


Fig. 3. The results of the Ecosystem Services Index in the Siamri wetland.

스는 0.46, 문화서비스는 1.70, 조절서비스는 2.10으로 나타났다. 표준 오차는 공급서비스는 1.44, 조절서비스는 1.83, 문화서비스는 1.16, 지원서비스는 1.31로 나타났다 (Fig. 3). 시암리습지의 경우에도 공급서비스와 조절서비스의 경우 서비스 간 높은 상관성이 반영되어 표준오차가 크게 나온 것으로 추정된다.

전체 생태계 서비스 평가항목에서 조절서비스(39.3%)와 공급서비스(30.3%)가 문화(15.2%)와 지원(15.2%) 서비스에 비해 상대적으로 높은 분포를 차지하지만, ESI는 잠재적인 생태계 서비스에 대해 평가한 결과로 장항습지와 시암리습지 모두 지원서비스와 문화서비스에 대한 부분이 높게 나타났다(Fig. 4).

종합적인 결과는 장항습지와 시암리습지에서의 공급서비스와 조절서비스를 향상할 수 있는 환경생태관리 계획이 필요함을 보여준다. 연구 대상지 주변에 농공업 관련 소규모 건축물과 시설재배 등이 증가하고 있어 기존 습지 생

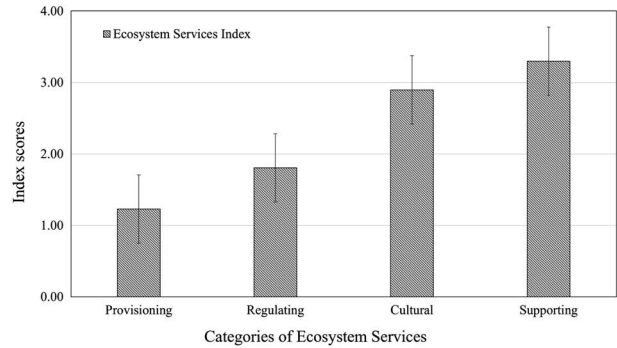


Fig. 4. The results of the Ecosystem Services Index of the entire Han River Estuary.

태계가 제공하는 공급과 조절서비스의 기능이 약화된 것으로 판단된다.

3.2. FGI를 통한 RAWES 검증 및 2차 평가

RAWES 평가 결과와 FGI를 통해 시암리습지와 장항습지의 주요 생태계 서비스를 도출하였다. RAWES 평가표를 바탕으로 생태계 서비스 유형별 평가를 하였고, 서비스 유형별 연구 대상지가 가지고 있는 주요 서비스를 도출하였다. 따라서, 이러한 결과는 향후 연구 대상지에 대한 생태적 관리 방안 도출 시보다 적절한 생태계 서비스를 파악할 수 있을 뿐만 아니라 RAWES 결과에 대한 보정 요소로 활용 가능하다.

장항습지의 주요 서비스는 공급서비스에서는 물(담수) 공급, 음식(식량) 공급, 폐기물 처리, 조절서비스에서는 지역 미기후조절, 수질정화, 수분이 포함되었다. 문화서비스에서는 교육 및 연구관계가 지원서비스에서는 물질순환, 서식처 제공이 주요 서비스로 도출되었다. 이외에도 홍수 위험조절, 수자원 조절, 대기질 조절도 중요하다고 전문가 인터뷰 시 언급되었다. 그러나 장항습지의 경우 담수와 해수가 만나는 기수역으로 자연적 하천퇴적지형을 유지하면서 수원 공급원으로서 역할과 탄소흡수원으로서 역할과 미기후 조절, 시민과학자 중심의 교육과 연구, 월동을 위한 겨울철새의 서식처 및 먹이공급지로서 역할이 주요하게 평가되었다.

시암리습지의 주요 서비스는 공급서비스에서는 유전자원, 폐기물 처리, 조절서비스에서는 지역 미기후조절, 침식 조절, 수자원조절이 포함되었다. 문화서비스에서는 문화유산, 교육 및 연구관계가 지원서비스에서는 서식처 제공이

Table 4. Key ecosystem services in the Janghang wetland based on a focus group interview (FGI)

Ecosystem service	Rank	Description
Fresh water	+	The river provides irrigation water to the nearby paddy and cropland.
Food	+	Cultivating the land is used for food production, while the watershed and provisioning of food for humans and wildlife.
Water Disposal	+	Household sewage and agricultural wastes are underlying causes of water contamination.
Local climate regulation	++	The river estuary and wetland play an essential role in the microclimate regulation.
Water purification	++	The pollutants and substances that might cause eutrophication are mostly self-purified, deposition and purification of contaminants due to aquatic life and water cycling processes through marsh and reed downstream of the river.
Pollination	+	Insect species such as butterflies and bees support pollination.
Educational and research	++	Regular monitoring and surveys on biodiversity fauna and flora and hydrology are conducted along the Han River.
Cultural heritage	++	Designated as National Protected area, Ramsar Site, EAAF Network Site, Important Bird and Biodiversity Area
Nutrient cycling	+	Migrating species including avian play an important role in nutrient transfer in Janghang wetland along the Han River.
Provision of habitat	++	The site provides habitat for internationally endangered species of wild fauna and flora.

주요 서비스로 도출되었다. 장항습지와 시암리습지에서는 저어새, 개리, 황새, 원앙, 큰기러기와 쇠기러기를 포함하여 국제적 보호종 및 멸종위기종이 관찰되고 있으며(Choi *et al.* 2020; Choi *et al.* 2023b), 주변 농경지, 수변부 등에서 휴식을 취하거나 서식하는 것이 관찰되어 서식처 제공서비스가 FGI를 통해 주요하게 평가되었다.

이들 결과를 종합해서 살펴보면, 두 습지 모두에서 가장 높은 점수(++)를 받은 생태계 서비스는 서식처 제공, 문화유산, 교육 및 연구관계, 미기후조절로 나타났다. 기본적으로 조절서비스에 대한 항목이 많은 상황에서 서식처로 대표되는 지원 서비스와 문화서비스에 평가에서 가중치가 부여되는 것은 RAWES 결과와 유사하다고 할 수 있다. 특히, 두 장소가 유사하지만 다른 평가 결과를 나타내는데, 이는 장소적 특성에 기인한 것으로 보인다. 그러나 공통적으로 지원서비스와 문화서비스에 대해서 긍정적 평가가 상대적으로 높아 이는 습지 생태계가 제공하는 자연생태 기능을 강조하는 것으로 판단된다.

4. 고 찰

최근 장소기반 참여형 생태계 서비스(place-based participatory ecosystem services) 평가를 통해 지역 생태계 서비스 관련 주요 현안들을 수집할 수 있는 연구가 확대되

고 있다(McInnes and Everard 2017; Kim *et al.* 2021; Park 2021). 본 연구는 분석을 위한 자료가 제한되는 상황에서 지역 현장 활동가들의 생태계 서비스 인식을 평가하고 ESI를 산정하여 생태계 서비스 수준을 평가하였다는 점에서 기존 생태계 서비스 평가의 한계를 일부 극복했다는 점에 의의가 있다. 본 연구에서는 연구 대상지 접근성이 제한된 상황에서 RRC-EA (2020)의 간이 평가법을 이용하여 우선적으로 생태계 기능 중심의 평가를 하여 장항습지와 시암리습지가 제공하는 주요 서비스를 전문가 인터뷰를 통해 도출한 것은 전반적인 생태적 계획 수립에 주요한 참고자료가 될 수 있을 것이다.

각각의 분석 결과를 검토해 보면, 연구 결과는 전반적으로 한강하구 수역을 개발하여 이용하는 경제적 측면이 아닌 기후변화 위기 대응 측면에서 한강하구 습지 생태계의 조절과 지원서비스가 강조된 것으로 판단된다. 전 세계적으로 멸종위기에 처한 저어새, 개리의 휴식지(roosting site), 섭식지(feeding ground), 중간기착지(stop-over site), 월동지(wintering ground)로서 한강하구 습지 생태계의 현명한 이용과 보전의 중요성이 FGI를 통해 도출된 것이다. 한강하구 습지보호지역은 양서·파충류, 조류 등 야생 동·식물도 이용하는 곳으로 습지 생태계가 가지고 있는 생태환경 가치와 중요성이 재확인되었다. Park (2021)에서도 지원서비스가 다른 서비스에 비해 높게 나타났으며 이는 생물서식지로서 지원서비스가 높게 평가된 것으

Table 5. Key ecosystem services in the Siam-ri wetland based on a focus group interview (FGI)

Ecosystem service	Rank	Description
Fresh water	++	The river and stream provide irrigation water to the nearby agricultural farms.
Genetic resources	+	The site supports over 120 bird species, with 91 species including endangered species.
Water Disposal	+	Household sewage and agricultural wastes are underlying causes of water contamination.
Local climate regulation	++	The river estuary and stream, wetland play an essential role in the microclimate regulation.
Erosion regulation	++	Vegetative cover, rice fields play an essential role in soil erosion.
Water regulation	+	The water is stored in the water pools and marshes and slowly discharged into river. It also can be effectively used during the drought season.
Educational and research	++	Monitoring and surveys on biodiversity fauna and flora are conducted along the river and wetlands.
Cultural heritage	++	Designated as National Protected area, EAAF Network Site, Important Bird and Biodiversity Area
Provision of habitat	++	The site provides habitat for internationally endangered species of wild fauna and flora.

로 판단된다.

기후변화로 인해 생태계의 구성원이 변화하고 종이나 개체수가 증가 또는 감소하여 기초생산자에서 최종소비자 까지 이어지는 먹이그물이 변화하고 있다. 그러나 이전 영양단계에서 다음 단계로 갈 때 전달되는 에너지량을 의미하는 생태 효율을 고려하면 새로운 종이 가입되어 영양단계가 추가되거나, 기존 생물종이 감소하여 영양단계가 감소할 경우 물새를 포함한 조류와 다른 상위 포식자에게 전달되는 에너지량 감소, 먹이 고갈이 발생할 수 있는 상황이다. 현재의 기후변화 위기 상황에서 기후변화 생물지표종 중 조류의 지속적인 변화와 반응을 예측하고 대처 방안 마련이 중요함을 FGI를 통해 재확인되었다고 판단된다.

IUCN (2018)에 따르면 관광은 보호지역 가치와 방문자 연결을 촉진하고 잠재적으로 보전에 긍정적인 영향을 준다. 또한, 방문객의 경험은 보호지역 가치 인식증진에 도움을 주는 것으로 나타났다. 본 연구 결과에서 보듯이 한강하구 습지보호지역에서는 야생동식물의 서식처 제공과 지역사회 관계, 교육 및 연구 관계 관련하여 매우 긍정적 기여를 하고 있어 향후 한강하구 습지보호지역의 생태문화 가치와 연계한 습지의 현명한 이용과 관리방안이 검토될 필요가 있다. 한 예로, 아직 국내에서는 새를 관찰하는 탐조 관광(birdwatching tour)이 주요 야외활동에 포함되고 있지 않지만, 국제적으로 탐조객을 기반으로 한 관광업이 빠르게 성장하고 있다(La Rouché 2003; Schwoerer and Dawson 2022). 습지 생태계가 제공하는 서비스를 유지하면서 생태관광의 한 유형으로 습지조류관찰기반 생태관광을 통해 한강하구 습지 생태계가 인간에게 제공하는 혜택

을 이용할 수 있을 것으로 판단된다. 습지의 현명한 이용의 관점에서 습지 생태계와 그 주변 지역 보호, 지역 사회 및 주민의 소득 증대 등 다양한 측면에서 생태적 가치 증대에 직·간접적인 기여할 수 있다.

또한 습지 생태계가 제공하는 서비스를 생태적 관리를 통해 지속가능한 이용을 할 수 있도록 해야 한다. 동시에 한강하구 습지 생태계를 안정적으로 유지하고 관리하기 위해서는 개체수 변동과 변동 및 교란 요인 그리고 회복탄력성을 지속적으로 조사하고 평가할 필요가 있다. 본 연구 대상지의 경우 서해에 있는 자연 습지로 간조일 때 매우 넓은 하구갯벌이 분포하고 먹이식물인 기수식물이 풍부하고 넓게 분포하고 있어 한반도에서 월동하거나 중간기착지로 이용하는 개리, 재두루미, 큰기러기 등 대형수조류들의 습식지로 꼭 필요한 지역이다. 특히, 이러한 서식처로서의 가치는 제한된 현장조사를 통해 다양한 수조류들이 관측됨에 따라 재확인되고 있다고 할 수 있다(Fig. 5).

본 연구 대상지를 포함한 서해안 갯벌은 지난 50년간 약 65%의 면적이 경제 개발, 오염악화, 남획, 외래침입종 유입, 기후변화로 인해 소실되었으며(Murray et al. 2014), 향후 서해안 갯벌 보전을 위한 공동의 노력이 필요한 상황이다. 특히, 2021년 서천갯벌, 고창갯벌, 신안갯벌, 보성-순천갯벌이 한국의 갯벌로 세계자연유산 1단계 등재가 완료되었다. 2023년에는 무안갯벌, 고흥갯벌, 여수갯벌, 가로림만갯벌을 잠정목록에 등재하여 2단계 지역 확대를 위해 노력하고 있다. 본 조사지역을 포함한 한강하구 일원을 향후 세계자연유산 잠정목록에 포함하여 세계자연유산 확대 지정을 위한 기초자료로 활용할 수 있다. 습지 생태계가 제



Fig. 5. Photographs showing the key bird species in the study area. (a) Swan goose (*Anser cygnoides*), (b) Mandarin duck (*Aix galericulata*), (c) gray heron (*Ardea cinerea*) and Oriental stork (*Ciconia boyciana*), and (d) black-faced spoonbill (*Platalea minor*).

공하는 서비스를 강화하고 유지함으로써 지속가능한 생태적 관리 방향을 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 더 정확하게 생태계 서비스 기능을 분석하기 위해서는 공간자료를 이용한 계량화가 필요하다. 예를 들어, 서식처 제공 서비스 기능을 계량화하기 위해서는 멸종위기종 목록과 서식지 분포관련 공간화된 환경자료가 필요하다. 본 연구에서는 Park (2021)과 달리 지역주민에 대한 평가가 반영되지 않아 실제 지역주민의 의견을 반영한 평가가 후속 연구로 진행될 필요가 있다. 또한 제한된 접근 속에서 생태계 서비스에 대한 정량적인 평가를 위한 다양한 자료를 활용하지 못했다는 한계가 있다. 그러나, 문헌과 현장 활동가들의 설문 등을 종합한 본 연구 결과를 통해 상대적으로 연구가 부족한 북한 접경지역 한강하구 습지에 대해 향후 보다 발전된 연구와 생태적 계획 수립을 지원할 수 있을 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 한강하구 습지보호지역에 포함된 시암리 습지와 장항습지가 제공하는 서비스를 분석하고자 습지 생태계 서비스 평가와 ESI 분석 연구를 수행하였다. 이를 위해 생태계 서비스 평가지표를 이용한 RAWES를 진행하였다. 습지 생태계 평가와 관련된 주요 학회인 한국습지학회와 한국생태학회 부회장, 시암리습지와 장항습지에서 활동하고 있는 시민과학자, 국제 NGO 활동가 등 습지정책 및 연구실적이 많은 탁월한 전문가를 대상으로 FGI를 진행하였다.

RAWES 평가 결과 시암리습지와 장항습지 생태계 서비스는 지원서비스와 문화서비스가 조절서비스와 공급서비스에 비해 상대적으로 높게 도출되었다. FGI에서는 습지 생태계가 제공하는 서비스 중 공급서비스에서는 물(담수) 공급, 음식(식량) 공급, 폐기물 처리, 조절서비스에서

는 지역 미기후조절, 수질정화가 주요 서비스로 도출되었다. 문화서비스에서는 교육 및 연구관계, 지원서비스에서는 서식처 제공이 주요 서비스로 도출되었다. 장항습지의 경우 담수와 해수가 만나는 기수역으로 자연적 하천퇴적 지형을 유지하면서 수원 공급원으로서 역할을 하고 있다. 이외에도 장항습지는 탄소흡수원으로 역할과 미기후 조절, 시민과학자 중심의 교육과 연구, 월동을 위한 겨울철새의 서식처 및 먹이공급지로서도 주요하게 평가되었다. 그러나 본 연구에서는 시암리습지와 장항습지 생태계가 내·외부로부터 받는 영향과 면적변화를 포함하여 습지에 변화를 주는 영향 요인에 대해서는 고려하지 않았다. 특히 자연적인 영향요인과 인위적인 영향요인, 물질순환 과정, 토지이용 변화 등 직접적인 요인과 간접적 요인에 대해 구분하지 않은 한계가 있다. 따라서 보다 나은 생태적 계획 수립과 이를 위한 생태계 서비스 평가를 위해서는 지역주민, 정책결정자 등 이해당사자들의 의견이 반영될 수 있도록 RAWES를 진행할 수 있는 연구가 필요하다. 향후 시암리습지와 장항습지가 각각 어떠한 요인에 영향을 받으며 습지 생태계 보전과 관리정책에 어떠한 변화를 가져왔는지에 대한 후속 연구가 필요한 것으로 판단된다.

본 연구에서 분석한 RAWES 평가 지표와 ESI, 주요 서비스는 한강하구 습지보호지역의 환경·생태적 이용 및 관리 방안 도출 시 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 향후 한강하구 습지보호지역과 그 주변 지역의 지속가능한 보전 및 관리 정책을 수립하여 보호지역 주변 습지 변화 및 관리 방향 설정과 습지 생태계 인식증진을 위한 역량을 도모하는 데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

최근 생물다양성 증진, 기후변화 완화, 수질정화 등의 기능을 제공하고 있는 습지 생태계의 중요성이 강조되고 있다. 습지 생태계가 제공하는 서비스에 대한 평가는 조절서비스와 관련된 염습지, 갯벌 및 염생식물 등의 탄소저장 능력에 관한 연구 중심으로 진행되었다. 습지 생태계가 가지고 있는 기능과 가치를 종합적으로 평가한 연구는 부족하다. 이에 본 연구에서는 생태적 기능 중심의 평가가 가능한 습지 생태계 서비스 간이평가법을 이용하여 한강하구 습지보호지역이면서 람사르 습지인 장항습지와 람사르 습지로서 지정이 필요한 시암리습지를 대상으로 습지 생태계

가 제공하는 서비스를 종합적으로 평가하였다. 습지 생태계가 제공하는 다양한 서비스를 생태적 특성에 따라 구분하여 평가하였으며, 이때 평가 척도는 5점 척도로서, 매우 긍정적 기여(++), 긍정적 기여(+), 무시할만한 기여(0), 부정적 기여(-), 매우 부정적 기여(--로 설정하였다. 본 연구에서는 장항습지와 시암리습지를 대상으로 시범평가를 수행하였으며, 장항습지와 시암리습지가 제공하는 서비스를 질적으로 평가하였다. 시암리습지와 장항습지 생태계에 대한 생태계 서비스 인덱스(ESI) 평가 결과, 지원서비스와 문화서비스가 상대적으로 높게 도출되었다. 본 연구 결과를 통해 습지 생태계가 제공하는 다양한 서비스에 대한 생태적 가치를 재확인하였다. 이를 바탕으로 향후 습지 생태계 보전 및 생태적 관리정책 수립 시 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

CRedit authorship contribution statement

HY Choi: Conceptualization, Methodology, Performed analysis, Data curation, wrote the manuscript. **D Han:** Conceptualization, performed analysis. **WK Lee:** Conceptualization, review and editing. **C Song:** Conceptualization, methodology, performed analysis, data curation. All authors read and approved the final manuscript.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

사 사

본 연구는 2021년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2021R1A6A1A10045235)이다. 또한, 인터뷰에 참여해주신 전문가분들께 감사드립니다.

REFERENCES

Ahn JS. 2011. Developing evaluation criteria for historic gardens preservation condition by applying delphi technique and anal-

- ytic hierarchy process. Ph.D. Dissertation, Sungkyunkwan University, Seoul, Korea.
- BirdLife International. 2023. Important Bird Area factsheet: Hangan-gang Estuary. Cambridge, UK. <http://datazone.birdlife.org/site/factsheet/han-gang-estuary-iba-south-korea>
- Choi HA, B Seliger and D Han. 2023a. Rapid ecosystem services assessment of Mundok Ramsar wetland in Democratic People's Republic of Korea and opportunities to improve well-being. *J. Ecol. Environ.* 47:27–34. <https://doi.org/10.5141/jee.23.010>
- Choi HA, B Seliger, N Moores, A Borzée and CH Yoon. 2020. Avian surveys in the Korean Inner Border Area, Gimpo, Republic of Korea. *Biodivers. Data J.* 8:e56219. <https://doi.org/10.3897/BDJ.8.e56219>
- Choi HA, E Lee, E Kim, I Jung and D Han. 2023b. Avian species survey with citizen-science data in Janghang Wetland, Goyang, Republic of Korea. *Biodivers. Data J.* 11:e105580. <https://doi.org/10.3897/BDJ.11.e105580>
- Choi J, J Oh and S Lee. 2021. The evaluation of carbon storage and economic value assessment of wetlands in the city of Seoul. *Ecol. Resil. Infrastruct.* 8:120–132. <https://doi.org/10.17820/eri.2021.8.2.120>
- Costanza R, R d'Arge, R de Groot, S Farber, M Grasso, B Hannon, K Limburg, S Naeem, R O'Neill, J Paruelo, R Raskin, P Sutton and M van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Crossman ND, B Burkhard, S Nedkov, L Willemsen, K Petz, I Palomo, EG Drakou, B Martin-Lopez, T McPhearson, K Boyanova, R Alkemade, B Egoh, M Dunbar and J Maes. 2013. A blueprint for mapping and modeling ecosystem services. *Ecosyst. Serv.* 4:4–14. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.02.001>
- Daily GC. 1997. Introduction: What are ecosystem services? pp. 1–10. In: *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems* (Daily GC, ed.). Island Press, Washington, D.C.
- de Groot RS, MA Wilson and RM Boumans. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecol. Econ.* 41:393–408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- DEFRA. 2007. *An Introductory Guide to Valuing Ecosystem Services*. Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). London, UK.
- EAAFP. 2023. East Asian-Australasian Flyway Partnership. Incheon, Korea. www.eaaflyway.net/the-flyway/flyway-site-network
- Flick U. 2009. *An Introduction to Qualitative Research* (4th ed.). Sage Publications Ltd, Thousand Oaks, California, USA.
- Gordon TJ. 1994. *The Delphi Method*. American Council for the United Nations University, Washington, D.C.
- IUCN. 2018. *Tourism and Visitor Management in Protected Areas: Guidelines for Sustainability*. Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 27. International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland.
- Jeon SL, SG Kim, JH Park, DH Go, SH Park, SJ Kim, YO Song, JG Choi, GC Yang, JH Shim, SH Kim and EJ Park. 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.
- Kim BR, JH Lee, IK Kim and SH Kim. 2019. Rapid assessment of ecosystem services apply to local stakeholders. *J. Korean Env. Res. Tech.* 22:1–11. <https://doi.org/10.13087/kosert.2019.22.1.1>
- Kim I, JH Lee and H Kwon. 2021. Participatory ecosystem service assessment to enhance environmental decision-making in a border city of South Korea. *Ecosyst. Serv.* 51:101337. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101337>
- Koo BH and KG Kim. 2001. A study on the assessment for the functions of inland wetlands using RAM (Rapid Assessment Method). *J. Korean Env. Res. Tech.* 4:38–48.
- La Rouché GP. 2003. *Birding in the United States: A Demographic and Economic Analysis: Addendum to the 2001 National Survey of Fishing, Hunting and Wildlife-Associated Recreation*. Division of Federal Aid, US Fish and Wildlife Service, Washington, D.C., USA.
- Lee SJ, JW Choi and CH Oh. 2022. Assessment and enhancement of ecosystem services of Saemangeum Area. *Korean J. Environ. Ecol.* 36:684–692. <https://doi.org/10.13047/KJEE.2022.36.6.684>
- Lim CH and HA Choi. 2022. Environmental cooperation strategies of Korean Peninsula considering International Environmental Regimes. *Korean J. Environ. Biol.* 40:224–238. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2022.40.2.224>
- Mace GM, K Norris and AH Fitter. 2012. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends Ecol. Evol.* 27:19–26. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.08.006>
- McInnes RJ and M Everard. 2017. Rapid Assessment of Wetland Ecosystem Services (RAWES): an example from Colombo, Sri Lanka. *Ecosyst. Serv.* 25:89–105. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.03.024>
- Ministry of Environment. 2023. *Map of Han River Estuary Wetland Protected Area*. Ministry of Environment, Sejong, Korea.
- Murray NJ, RS Clemens, SR Phinn, HP Possingham and RA Fuller. 2014. Tracking the rapid loss of tidal wetlands in the Yellow Sea. *Front. Ecol. Environ.* 12:267–272. <https://doi.org/10.1890/130260>
- National Institute of Ecology. 2021a. *Prediction of Ecosystem Damage Caused by Climate Change*. National Institute of Ecology, Seochon, Korea.

- National Institute of Ecology. 2021b. Wetland Restoration Trends and Activation Plans - Approaches for Wetland Ecosystem Restoration to Climate Change. National Institute of Ecology. Seocheon, Korea.
- Park M. 2021. A study on improvement the 'Rapid Assessment Index of Ecosystem Services (RAWES)' based on living area wetlands. *J. Korea Inst. Garden Design* 7:189-197. <https://doi.org/10.22849/jkigd.2021.7.3.004>
- Park M, J Seo, S Park, S Lee and B Koo. 2021. A study on the evaluation of wetland ecosystem services using RAWES - Focusing on wetlands in Chungcheongnam-do. *J. Korea Inst. Garden Design* 7:131-143. <https://doi.org/10.22849/jkigd.2021.7.2.006>
- Ramsar Convention. 2018a. Global Wetland Outlook: State of the World's Wetlands and their Services to People. Ramsar Convention Secretariat. Gland, Switzerland.
- Ramsar Convention. 2018b. Resolution XIII.17: Rapidly Assessing Wetland Ecosystem Services. 13th Meeting of the Conference of the Contracting Parties to the Ramsar Convention on Wetlands. Ramsar Convention Secretariat. Gland, Switzerland. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/xiii.17_rapid_assessment_ecosystem_services_e.pdf. Accessed December 2, 2023.
- Ramsar Convention. 2021. Republic of Korea Adds Janghang Wetland to the List. Ramsar Convention Secretariat. Gland, Switzerland. <https://www.ramsar.org/news/republic-korea-adds-janghang-wetland-list> on 20 May 2021. Accessed December 2, 2023.
- Robinson DA, N Holckley, DM Cooper, BA Emmett, AM Keith, I Lebron, B Reynolds, ETipping, AM Tye, CW Watt, WR Whalley, HIJ Black, GP Warren and JS Robionson. 2013. Natural capital and ecosystem services, developing an appropriate soils framework as a basis for valuation. *Soil Biol. Biochem.* 57: 1023-1033. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.09.008>
- RRC-EA. 2020. Rapid Assessment of Wetland Ecosystem Services: A Practitioner's Guide. Ramsar Regional Center-East Asia. Suncheon, Republic of Korea.
- Schwoerer T and NG Dawson. 2022. Small sight - Big might: Economic impact of bird tourism shows opportunities for rural communities and biodiversity conservation. *PLoS One*, 17: e0268594. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268594>

SUPPLEMENTARY MATERIALS

Supplementary Table A1. Questionnaire for Focus Group Interview

Ecosystem service	Explanation	Assessment		
		H	M	L
Provisioning services				
Fresh water	River provides irrigation water to the nearby agricultural farms.			
Food	Cultivating land is used for food production, while the water ponds near the estuary are used for fishing.			
Fuel	Large amount of brown coal deposit is effectively used for the house heating and industrial raw materials.			
Fiber	Reeds harvested from the estuary and river bank are used as raw materials for the fiber.			
Genetic resources	The sit supports endangered species including migratory birds, reptiles.			
Natural medicines	Carp, shellfish, mud-snail and other resources are used as natural medicines and medical materials.			
Ornamental resources	Reed mattress and baskets increase the local economic opportunities in the Reserve.			
Clay, mineral, aggregate harvesting	Brown coal and clay are extracted from the underground pit and collapsed areas			
Waste disposal	Household sewage and agricultural wastes are underlying causes of the water contamination.			
Energy harvest	The site is potential site for the tidal and wind energy generation.			
Regulating services				
Air quality regulation	Aquatic lives and riparian vegetative cover contribute to the local air quality regulation.			
Local climate regulation	River estuary and the nearby water ponds play important role in the microclimate regulation.			
Global climate regulation	The wetland ecosystem structure contributes to greenhouse gas emission reduction and carbon storage.			
Water regulation	The rainfall and run-off water are stored in the landfall water pools and marshes and slowly discharged into the sea. Or they can be effectively used during the drought season.			
Flood hazard regulation	The reed beds and the water ponds near the estuary act as buffer zone to reduce the natural disaster risk of flood, heavy storm and drought.			
Pest regulation	River and reed bed provide good habitat and breeding conditions for the insects such as mosquitoes.			
Disease regulation - human	Aquatic lives purify the water quality while the reptiles and birds eat the insects that spread the pathogenic disease.			
Erosion regulation	Vegetative cover plays significant role in the soil erosion.			

Supplementary Table A1. Questionnaire for Focus Group Interview

Ecosystem service	Explanation	Assessment		
		H	M	L
Water purification	The pollutants and substances that might cause eutrophication are mostly self-purifies due to aquatic lives and water cycling process through landfill water ponds and marsh, reed bed in the down-stream of the river.			
Pollination	Insects such as butterfly, bee and dragon help pollination of the crops and other plants.			
Salinity regulation	Tidal flat in the estuary reduces the salinity of the water from the sea.			
Fire regulation	Landfill water ponds and irrigation channel reduce the risk of fire outbreak.			
Noise/visual buffering	The site is most consisting of paddy field, which generate less noise pollution.			
Cultural services				
Cultural heritage	Designated as National Protected Area, Important Biodiversity Area, Ramsar Site, EAAF Network Site			
Recreation and tourism	It is potential site for the bird-watching and eco-tourism.			
Aesthetic value	Diverse wetland ecosystems in harmony with rice paddy field.			
Social relations	Local communities are engaged in diverse activities such as cultivation, fish farming, and biodiversity conservation.			
Educational and research	Regular monitoring and surveys on biodiversity and hydrology are conducted in the river			
Supporting services				
Soil formation	Beside the accumulative island in estuary, soil formation is constantly taking place.			
Primary production	Estuary plays important role in the primary production by the photosynthesis.			
Nutrient cycling	Nutrient cycle and nitrogen-fixing is taking place by the micro-organism and soil insects.			
Water recycling	The water constantly recycles through the evaporation from the swamps, water pools stored from the river.			
Provision of habitat	The site supports fauna and flora habitats - e.g., the place for birds as roosting site, feeding ground, stop-over site, wintering ground.			

H(++): High benefit provided

M(+): Some benefit provided

L(0): Limited or negligible benefit provided

This questionnaire is adopted from Rapid Assessment Wetland Ecosystem Services (RRC-EA 2020).