

생태계 서비스 지불제 도입 후 조류 먹이원 분석 및 관리 방안: 고양 장항습지를 대상으로

최현아^{*,**} · 김은정^{***} · 이은정^{***} · 정인숙^{***} · 한동욱^{****,*****}

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

The Analysis of Avian Feed Source and Management Direction after the Introduction of Payments for Ecosystem Services: A Case Study of Janghang Wetland in Goyang

Hyun-Ah Choi^{*,**} · Eunjeong Kim^{***} · Eunjeong Lee^{***} · Insook Jung^{***} · Donguk Han^{****,*****}

^{*}Hanns Seidel Foundation Korea
^{**}Ojeong Eco-Resilience Institute, Korea University
^{***}PGA Eco and Bio Diversity Institute, Eco Korea
^{****}Department of medical and biological science, The Catholic University of Korea

(Received : 18 June 2024, Revised : 28 July 2024, Accepted : 05 August 2024)

요약

생태계를 보호하고 생태계적 가치를 증진하기 위해 생태계서비스지불제(Payment for Ecosystem Services, PES)가 강조되고 있다. 그러나 PES 시행과 정책의 효과적인 실행을 위해 필요한 생태계 모니터링과 연구는 부족한 상황이다. 이에 본 연구는 장항습지에서 시행 중인 PES의 효과를 분석하여 서식지 관리 방안을 제시하였으며, 이때 이동성 조류 모니터링과 주요 종의 먹이원을 분석하였다. 장항습지에서 관찰된 우점 조류로는 팽이갈매기, 청둥오리, 쇠기러기 등이 있으며, 이들의 주요 먹이원은 참새귀리, 개보리 등의 벼과 식물과 속속이풀 등 십자화과 식물로 분석되었다. 또한 PES를 통해 장항습지 내에서 벼씨 공급이 이루어지고 있으며, 재두루미, 큰기러기, 쇠기러기 등의 조류가 이를 이용하고 있다는 결과가 관찰되었다. 장항습지의 지속 가능한 관리를 위해 먹이 공급 시스템 개선과 재두루미 및 기러기류(큰기러기, 쇠기러기)에 대한 분산 공급 방안을 모색해야 한다. 이때, 농업 및 개발 지역과의 경계를 관리하여 생태적 연결성을 강화해야 한다. 본 연구에서는 이동성 조류의 서식지로서 장항 습지의 생태적 중요성을 재확인하였다. 또한, 이들 결과는 향후 정책 수립과 지속 가능한 보전을 위한 기초 자료로 활용될 수 있는 의미를 갖는다.

핵심용어 : 장항습지, 이동성 조류, 먹이원, 생태계서비스지불제, 생태적 연결성

Abstract

Payment for Ecosystem Services (PES) is emphasized to enhance ecosystem conservation and increase its ecological value. However, effective implementation of PES and policy execution requires insufficient ecosystem monitoring and research. Therefore, this study analyzed the effectiveness of PES implemented in Janghang Wetland to propose habitat management strategies. The study included monitoring migratory birds and analyzing key species' food sources. The dominant avian species observed in Janghang Wetland include *Larus crassirostris*, *Anas platyrhynchos*, *Anser albifrons* with their primary food sources analyzed as Gramineae plants such as *Bromus japonicus*, *Elymus sibiricus*, Brassicaceae plants such as *Rorippa palustris*. Furthermore, this study found that PES facilitates rice seed supply within

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

- Hyun-Ah Choi Hanns Seidel Foundation Korea/Senior Researcher (hachoi@hss.or.kr)
Korea University/Ojeong Eco-Resilience Institute/Research Professor (sosobut@korea.ac.kr)
- Donguk Han PGA Eco and Bio Diversity Institute/Director (ecoguideuk@gmail.com)
The Catholic University / Department of medical and biological science/Adjunct Professor (ecoguide@catholic.ac.kr)

Janghang Wetland, benefiting birds including *Grus vipio*, *Anser fabalis*, *A. albifrons*. To sustainably manage Janghang Wetland, improving food supply systems and exploring decentralized supply methods for *G. vipio* and Gooses (*Anser fabalis*, *A. albifrons*) are necessary. Additionally, managing boundaries between agricultural and developmental areas to improve ecological connectivity is essential. This study reaffirmed the ecological importance of Janghang Wetland as a crucial habitat for migratory species. The result will be significant as foundational data that can be used for future policy-making and support sustainable conservation efforts.

Key words : Janghang Wetland, Migratory birds, Feeding source, Ecosystem service payment system, Ecological connectivity

1. 서론

한강하구 습지보호지역에 포함된 장항습지는 철새이동경로 서식지 네트워크(Flyway Site Network) 지역이며, 국제적으로 중요한 습지(Ramsar site 2448)이다(Goyang city, 2024a). 특히, 장항습지는 황해 연안습지 생물다양성 보전에 중요한 역할을 하는 습지로 그 생태적 가치를 인위적 훼손으로부터 보호하고, 이동성 조류를 포함한 야생동물 서식지로서 보전과 지속가능한 이용을 위한 관리가 필요하다(Choi and Han, 2023). 이동성 조류는 지역 및 국가 내 또는 국가 간 장거리 이동으로 인해 이동경로 내 지역 간, 국가 간 서식지 관련 정보 교류와 협력 네트워크 필요한 매우 중요한 생태지표종이다(Taylor and Norris, 2010; Merken et al., 2015; Xu et al., 2019; 2020). 한강하구 깃대종 중 하나인 재두루미는 주요 생태지표종으로 고양시 장항습지와 파주시 산남습지 구간, 김포시 후평리와 파주시 오금리 등 농경지에서 월동하는데 도시 개발과 농경지 감소로 최근 5년 이내 한강하구 습지보호지역 최대 월동개체수는 평균 105마리로 관찰되었으나(Han River Basin Environmental Office, 2023) 장항습지에서는 지속적으로 감소하고 있다. 개발 등 인위적 훼손으로부터 재두루미 월동개체군을 보호하기 위한 노력과 장항습지 생태적 특성을 고려한 서식지 관리와 복원이 필요하다.

인위적 훼손으로부터 생태계를 보호하고 생태계적 가치를 보전·증진하는 방안으로 생태계서비스지불제(payments for ecosystem services, PES)가 주목받고 있다. PES는 자연생태계가 제공하는 서비스 가치를 추정하고 그 규모를 바탕으로 보호지역 또는 생물다양성 증진이 필요한 지역의 토지 소유자뿐만 아니라 이해관계자에게 생태계 서비스 보전과 증진을 위한 활동에 대한 대가를 직접 보상하는 방식이다(Wunder, 2005; Arriagada and Perrings, 2013; Grima et al., 2017). 전 세계적으로 70여 개 이상의 국가에서 PES를 운영하고 있으며, 산림면적 감소, 야생동물 보호, 농업 경관 보전, 관행농업으로 인한 환경오염 해결, 토지관리 등 국가별 현안에 따라 생태계 서비스의 제공 밀도, 훼손 관리 등을 고려하여 운영하고 있다(Shim et al., 2021). 국내의 경우 국내 법체계상 다양한 관련 부처에서 관할 영역을 중심으로 PES관련 정책을 운영하고 있으며, 대표적으로 환경부에서 PES 시범사업을 진행하고 있다. 환경부의 PES 시범사업은 2020년 6월 이후 도입된 PES 계약으로 「생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률」 제16조(생태

계서비스지불제계약)에 추진근거를 포함하고 있으며, 2021년 PES 사업시행 가이드라인을 제정 및 시행하였다(MOE, 2022). 고양시의 경우 동 가이드라인에 따라 장항습지 환경보전을 위한 PES 생태계 모니터링 사업을 추진하고 있다. 텃밭 존치와 습터 조성 및 관리를 통해 먹이를 제공함으로써 장항습지 생태계 서비스 보전과 증진을 위한 활동으로 PES 모니터링 사업을 진행 중이다.

PES의 효과적인 시행과 정책을 위해 PES 계약에 따른 생태계 모니터링과 그 효과에 관한 연구가 필요하다. 기존 연구에서는 PES 도입에 관한 연구 위주로 되었다. 대표적으로 Mo et al.(2016)은 순천만을 대상으로, Oh et al.(2016)은 덕산도립공원을 대상으로 PES 도입 효과에 관한 연구를 진행하였다. Kim et al.(2020)은 순천 동천하구 습지보호지역과 제주 동백동산 습지보호지역을 대상으로 PES 도입에 따른 경제적 가치 추정을 진행하였다. 기존 연구의 경우 PES 도입 효과를 분석하는 것이 대부분으로 PES 계약에 따른 생태계 모니터링과 그 효과에 관한 연구는 진행되지 않은 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 장항습지 일대를 지속 가능하게 보전하고 주변 지역까지 함께 고려하여 PES 확대 관리가 가능할 수 있도록 현재 장항습지에서 시행 중인 PES 적용 효과를 분석하고자 한다. 이때, PES 도입 전 장항습지 주요 조류 월동지 논에서 조류의 분변을 채집하여 먹이원을 분석하였으며, PES 도입 후 주요 관리 대상 조류의 모니터링을 진행하고 관리방안을 제시하였다.

2. 연구범위 및 방법

2.1. 연구 대상지

본 연구에서는 한강하구 습지보호지역 내 장항습지를 대상으로 하였다(Fig. 1). 장항습지는 기수역으로 목본이 우점하는 습지숲은 3.4km²이고(Han, 2016), 습초지와 갯벌 등을 합친 전체 면적은 약 5.9km²이다(Ramsar Convention Secretariat, 2021). 장항습지는 람사르(Ramsar) 습지이면서 국제 철새 이동경로 중 하나인 동아시아-대양주 철새이동경로 FNS 등재되어 있으며, 국제조류보호협회(BirdLife International)가 지정하는 주요 조류와 생물다양성 지역(Important Bird and Biodiversity Areas)으로도 지정되어 있어 주요 겨울 철새의 월동지뿐만 아니라 중간기착지로 중요한 역할을 하고 있다. 특히 장항습지에는 경작 허가를 받은 지역민들이 경작하는 논이 330,000m²(약 10만 평)이 분포하고 있으며,

이중 먹이를 공급하는 주요 경작논을 중심으로 연구를 진행하였다.

2.2. 연구 방법

2.2.1 조류 분변 분석

장항습지 내 PES를 시행하기 전의 조류 분변 내 먹이원 분석은 2021-2022년 월동기 장항습지에 도래하는 조류의 군집 특성과 서식지 분석(Kim, 2022) 연구에 채집, 분석했던 결과를 재분석하였다. 장항습지 내 경작지, 갯벌앞 습초지 2곳에서 재두루미와 큰기러기가 섭식한 지역에 남아있는 배설물을 각 5곳씩 수집하여 각각의 시료통에 개별 채집하였다. 분변에서 얻어지는 DNA 분석의 효율을 높이기 위하여 분석 전까지 -80°C 초저온 냉동고에 보관하였다. DNA 추출과정은 QIAamp® Fast DNA Stool Mini Kit(QIAGEN) 프로토콜(protocol)에 따라 배설물 시료로부터 먹이원에 대한 total genomic DNA를 추출하였다. 또한 장항습지가 포함된 한강하구 어류 먹이원에 대해 파악하기 위해 MIFish-E-F, MIFish-E-R 프라이머(Miya et al., 2015)를 이용하여 12S 영역을 증폭하였다. 먹이원의 경우, rbcL 영역을 증폭하기 위해서 rbcLa_F, rbcLa_R 프라이머(Kress and Erickson, 2007)를 이용하였고 ITS2 영역을 증폭하기 위해 ITS2_S2F, ITS2_S3R 프라이머(Chen et al., 2010)를 이용하였다(Table 1). 이외 PCR PreMix(i-StarTaq)

를 이용하여 PCR(Polymerase Chain Reaction) 반응 용액을 제작, thermal cyclor(Applied Biosystems, 2720)를 이용하여 PCR 증폭을 수행하였다. PCR(Polymerase Chain Reaction) 반응조건은 타겟영역에 상관없이 동일하게 적용하여, 94°C에서 변성(denaturation) 15초, 58°C에서 결합(annealing) 30초, 72°C에서 산정(elongation) 30초로 하여 총 40회 반복하였다. 1.2% 아가로스 젤(Agarose gel)을 이용한 전기영동을 통해 증폭이 확인된 증폭 산물은 AccuPrep® PCR Purification kit를 이용하여 정제(purification)과정을 진행하였다. 이후 pGEM®-T Easy Vector를 이용하여 25°C에서 4시간 인큐베이션(incubation) 후 라이게이션(ligation)을 진행하였다. 콜로니(colony) 선별 후 시퀀싱 과정을 거쳐 획득된 PCR 자료를 Genotech Korea를 통해 미국유전자은행 NCBL(National Center for Biotechnology Information) GenBank 내 등록된 정보와 BLASTN 분석을 실시하여 조류 종을 동정하고, 먹이원을 분석하였다. 유전자 분석에도 불구하고 분변의 주인이 미동정된 경우 현장 조사시 촬영된 영상과 특정 조류의 분포 위치를 확인하여 분변의 주인을 특정하였다.

2.2.2 조류종 조사

한강하구 장항습지 조류종 조사와 먹이원 분석을 2023년 12월부터 2024년 2월까지 총 12회의 개체수 조사를 진행하였다. 조류상 조사의 경우 연구진에서 2020년부터 지속

Table 1. The primer set for identification of owner of excrement and food sources

Primer name	Region	Sequence
MIFish-E-F	12S	5'-GTTGGTAAATCTCGTGCCAGC-3'
MiFish-E-R		5'-CATAGTGGGGTATCTAATCCTAGT TTG-3'
rbcLa_F	rbcL	5'-ATGTCACCACAAACAGAGACTAAAGC-3'
rbcLa_R		5'-GTAAAATCAAGTCCACCRCG-3'
ITS2_S2F	ITS2	5'-ATGCGATACTTGGTGTGAAT-3'
ITS2_S3R		5'-GACGCTTCTCCAGACTACAAT-3'

Source: Miya et al., 2015; Kress and Erickson, 2007; Chen et al., 2010



Fig. 1. Location of Study site, Janghang Wetland including flooded rice paddy *Munon* (1), avian feeding area (3-5), and rice straw preservation area (1, 3, 5, 7, 8, 11, 12)

해서 조사를 진행하고 있으며(Choi et al, 2023), 기존 조류 종 조사 결과와 비교·분석, 서식지 관리 방안 등을 도출하기 위해 2023-2024년 월동기 조사 기간을 중심으로 조사·분석하였다. 이때, 정점조사법(spot census)과 선조사법(line census)에 따라 육안, 청음, 쌍안경, 망원경 등을 이용하여 조사를 진행하였다.

2.2.3. PES 시행 효과 분석

고양시는 장항습지 환경보전을 위해 철새 먹이주기 사업, 습터 조성을 진행(Goyang city, 2020)하였지만 2020년 이후 조류독감 발발, 2021년 지뢰사고 발생 등의 이유로 중단하였다. 그리고 PES 사업시행 가이드라인(MOE, 2022)에 따라 2023년 겨울부터 PES를 재개하였다. 본 연구에서는 2023년-2024년 월동기에 진행한 장항습지 내 범씨 공급, 벼짚 존치와 습터 조성관리사업의 PES 효과를 분석하였다. 범씨 공급은 수확 후 범씨 공급 방식으로 이는 벼 미수확 존치 범주에 포함하는 관리방식으로 간주하였다. 또한 잠자리 무논 조성은 습터 조성관리 범주에 포함되는 것으로 간주하였다. 연구 대상지 내 논습지에서 벼짚 존치와 수확 후 범씨 공급, 1회 평균 735kg, 월 10회, 주 2-3회, 총 22,062.7kg의 범씨를 공급한 후, 다음날 관찰하였다.

3. 결과

3.1. PES 실시 이전 대상 조류의 분변 분석

PES 실시 이전 동일한 논에서 채집, 분석되었던 분변에

서 유전자분석 결과 시료의 주인이 특정되지 않았던 분변을 영상분석을 실시하여 재분석하였다. 그 결과 기러기류로 동정되었던 시료는 큰기러기(*Anser fabalis*)로, 분변의 주인이 증폭되지 않았던 시료는 재두루미로 확인되었다(Fig. 2).

재두루미 분변시료에서 분석된 먹이원은 자연먹이원으로 벼과의 참새귀리(*Bromus japonicus* Thunb.), 개보리(*Elymus sibiricus* L.), 속속이풀(*Rorippa palustris* (L.) Besser), 그리고 버드나무과 목본류인 선버들(*Salix triandra* subsp. *nipponica* (Franch. & Sav.) A.K. Skvortsov)이었다. 큰기러기 먹이원은 벼(*Oryza sativa* L.)를 비롯해서, 자연 먹이원인 벼과(Poaceae spp.), 큰참새귀리(*Bromus secalinus* L.), 그리고 십자화과의 개갯냉이(*Rorippa indica* (L.) Hiern)로 분석되었다(Table 2). 그러나 장항습지 주변에서 이용 가능한 어류 먹이원은 나타나지 않았다.

3.2. PES 실시 이후 조류 군집 현황

장항습지에서 관찰된 조류는 총 11목 26과 70종 42,161개체로 나타났다. 우점종은 팽이갈매기(*Larus crassirostris*)로 최대 관찰 개체수 기준 7,872개체(35.9%)로 나타났으며, 다음으로 쇠기러기(*Anser albifrons*) 6,324개체(28.8%), 청둥오리(*Anas platyrhynchos*) 1,852개체(8.4%), 큰기러기(*A. fabalis*) 1,816개체(8.3%), 흰죽지(*Anas crecca*) 1,044개체(4.8%) 순으로 나타났다(Fig. 3). 멸종위기 야생생물 I급인 흰꼬리수리(*Haliaeetus albicilla*), 멸종위기 야생생물 II급 검은머리물떼새(*Haematopus ostralegus*), 노랑부리저어새(*Platalea leucorodia*), 새매(*Accipiter nisus*), 재두루미(*Grus*



Fig. 2. Droppings of *G. vipio* (a) and *A. fabalis* (b)

Table 2. The analysis results of the target avian species and feed source

Species	Region	Source of feed	BLASTN	
			Max score	Per. Identity (%)
<i>Grus vipio</i>	rbcl	<i>Bromus japonicus</i> Thunb.	998	1
		<i>Elymus sibiricus</i> L.	792	0.9933
	ITS2	<i>Rorippa palustris</i> (L.) Besser	749	0.01
		<i>Salix triandra</i> subsp. <i>nipponica</i> (Franch. & Sav.) A.K. Skvortsov	765	0.9841
<i>Anser fabalis</i>	rbcl	Poaceae spp.	983	0.9946
		<i>Oryza sativa</i> L.	980	0.9928
	ITS2	<i>Bromus secalinus</i> L.	794	0.9955
		<i>Rorippa indica</i> (L.) Hiern	745	0.9976

Note: The gene sequence is modified based on Kim (2022).

vipio), 잣빛개구리매(*Circus cyaneus*), 참매(*Accipiter gentilis*), 큰고니(*Cygnus cygnus*), 큰기러기(*A. fabalis*), 흰목물떼새(*Charadrius placidus*)가 관찰되었으며, 천연기념물인 검은머리물떼새(*Haematopus ostralegus*), 노랑부리저어새(*P. leucorodia*), 새매(*A. nisus*), 재두루미(*G. vipio*), 잣빛개구리매(*C. cyaneus*), 참매(*A. gentilis*), 황조롱이(*Falco tinnunculus*), 흰꼬리수리(*H. albicilla*)가 관찰되었으며, 해양보호생물인 검은머리물떼새(*H. ostralegus*)도 관찰되었다. 또한 국가기후변화지표종 중 박새(*Parus major*), 왜가리(*Ardea cinerea*), 중대백로(*A. alba*), 청둥오리(*A. platyrhynchos*), 큰부리까마귀(*Corvus macrorhynchos*)가 관찰되었다.

3.3. PES 적용 효과

PES 실시 이전 큰기러기 분변에서는 볍씨가 확인이 되었으나 재두루미 분변에서는 볍씨가 확인되지 않았다. 이는 자연 낙곡이나 벼뿌리 등을 개체수가 많은 큰기러기가 대부분 섭식하여 재두루미는 매우 적은 양의 벼와 볍씨를 섭식하여 분변에서 증폭이 되지 않았을 것으로 추정된다. 실제 현장에서 촬영된 영상에서 재두루미는 주로 논둑 위나 사면부에서 섭식하였다. 그러나 PES 실시 이후 큰기러기와 함께 재두루미도 활발하게 논외의 볍씨 살포지역을 이용함을 확인하였다. 볍씨 공급 지역에서는 재두루미, 큰기러기, 쇠기러기가 쉼터(무논)에서는 재두루미, 큰기러기, 쇠기러기와 노랑부리저어새가 관찰되었다. 볍씨 공급 일자를 기준으로 공급 1일 후 모니터링한 결과 재두루미의 경우 연구 기간 볍씨 공급 논에 집중적으로 분포하는 것으로 나타났다. 쉼터 조성지(1, 2번 논)와 먹이 공급지(3, 4, 5, 7, 8번 논)에서 재두루미 개체수가 볍씨 공급 논이 공급하지 않은 논보다 크게 나타나 먹이 공급의 효과가 있음을 확인할 수 있었다(Fig. 4). PES 사업시행 가이드라인에 따라 진행한 볍씨 공급 시기(2023년 12월 - 2024년 2월)와 공급되지 않은 시기(2022년 12월 - 2023년 2월) 재두루미 최대 관찰 개체수를 비교해보면, 겨울철 3개월간 누적 개체수는 볍씨 공급이 이루어지지 않은 2022년 월동기와 유사한 것으로 나타났다. 그러나 다음 해 2월의 개체수는 먹이 공급을 개시한 연도에 뚜렷하게 증가하는 경향을 나타냈다(Fig. 5). PES 사업을 통해 생태계 지원 서비스인 서식처의 질과 생물 다양성이 향상되었다고 판단된다.

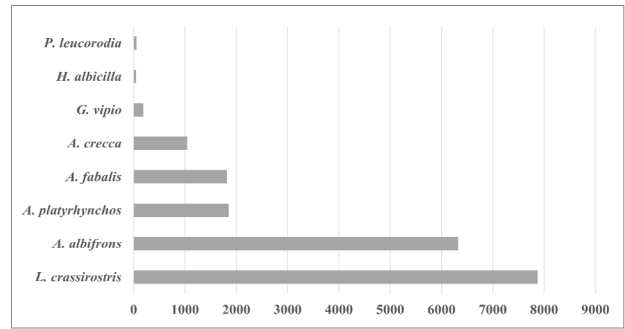


Fig. 3. The number population of major Avian in Janghang Wetland, December 2023 to February 2024

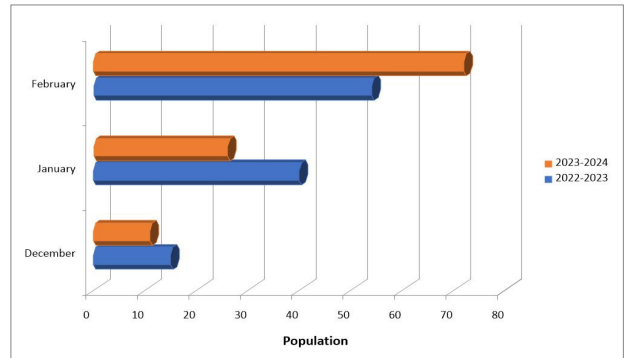


Fig. 5. Cumulative winter population of *G. vipio*
Source: Authors' compilation, based on Choi et al.(2023), Goyang City(2024b)

4. 고찰

장항습지 주요종인 재두루미는 월동지에서 번식지로 이동 시 장거리 비행에 따른 에너지 소모가 매우 크다(Han River Basin Environmental Office, 2021). 이동시기 재두루미에게는 식물성 먹이 외에 단백질, 지방이 많은 동물성 먹이가 필요한 상황을 감안하여 PES를 통한 먹이공급 시 볍씨 공급과 함께 다른 먹이원 공급도 고려해야 한다. 고양시는 2023년부터는 PES 사업시행 가이드라인에 따라 PES를 통한 먹이원과 서식지 관리를 위해 노력하고 있다. 본 연구에서는 장항습지 PES의 실시 이후 주요 조류상의 현황, PES 실시 이전의 먹이원 분석 결과와 PES 적용 이후

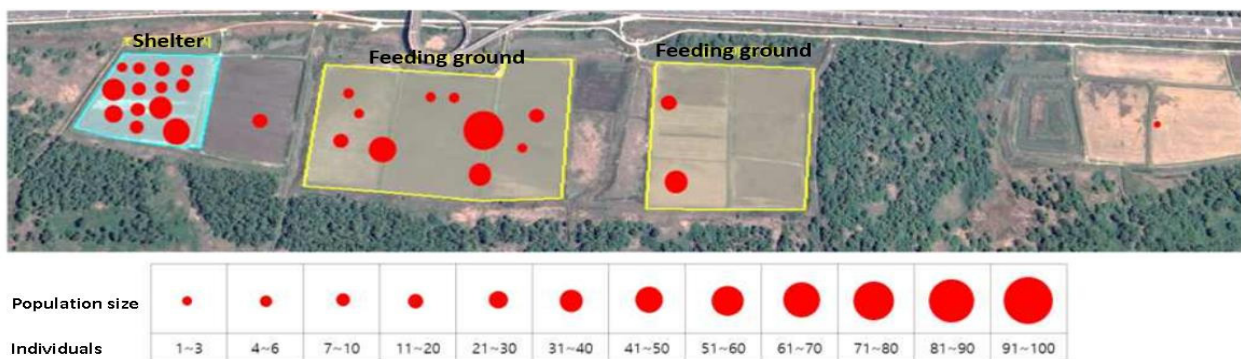


Fig. 4. Distribution population status of *G. vipio* after the introduction of PES

먹이원 공급 효과 등을 분석하였다. PES 실시 이전 장항습지의 재두루미의 주요 먹이원은 참새귀리, 개보리, 속속이풀, 선비들로 나타났으나, PES 실시 이후 범씨 공급지에서 주로 채류하며 섭식행동(feeding)을 보이거나 범씨 공급 직후 주로 개체수가 증가하는 양상을 보였다. PES 사업 실시 이전의 먹이원 분석결과와 PES 사업 이후 효과성 평가의 결과를 바탕으로 PES 사업의 개선 방향을 모색할 수 있다.

첫 번째로 먹이 공급지와 습터를 중심으로 한정된 공간에서 월동 기간이 장기화할 때 먹이 부족과 월동 개체의 스트레스가 증가할 수 있다. 이를 개선하기 위하여, 장항습지 먹이 공급지를 일부에서 전체로 확대하여 실시하여야 하여 안정적인 먹이공급과 중간 경쟁 스트레스를 줄여주어야 한다. 제한된 예산으로 먹이 구입량이 부족할 수 있으므로 이를 해소하기 위해 도정 과정에서 불량한 상태로 도정되는 청태(청티)를 혼합하여 공급하거나 기업의 ESG경영 유도, 시민이 자발적인 기부 등도 검토되어야 한다.

두 번째로 겨울철 논바닥 결빙으로 낙곡 섭식 불가능할 때 공급 횟수와 범씨 공급량을 증량시키는 모니터링 시스템을 통해 먹이 공급을 실시간으로 조정하는 연동 방안에 대해 검토가 필요하다. 농지 상태를 모니터링하기 위해 토양 습도 센서(Soil Moisture Sensors)와 온도 센서(Temperature Sensors) 등을 이용하는 것을 고려할 수 있다(Jones, 2004; Wang et al., 2006).

세 번째로 장항습지에서는 재두루미의 섭식 유형을 고려해서, 먹이 공급 횟수와 범씨 공급 시기에 변화를 주는 것도 필요하다. 범씨 공급 시 간조와 만조에 따라 눈에 잔류하는 재두루미 개체수에 차이가 나므로 재두루미 개체군의 분포를 파악하여 방해되지 않는 장소에 먹이를 공급하는 것이 필요하다. 가장 일반적인 방법으로 1개소의 논둑을 정해두고, 일정 시간에만 먹이를 공급하는 방식으로 먹이 주기를 진행해야 한다. 또한 경쟁자인 기러기류가 집중적으로 섭식하지 않도록 먹이 장소를 분산하여 재두루미가 충분히 먹이를 공급받을 수 있도록 할 필요가 있다. 즉, 소규모 패치 형태로 분산 공급할 때 기러기류의 집중 섭식을 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

네 번째로 자연먹이원 확보를 위해 인위적인 압력과 간섭을 통제하고 자연적인 논관리에 농민들이 자발적으로 참여할 수 있도록 인식증진이 필요하다. 장항습지 논경지에 다양한 먹이식물들이 생육할 수 있도록 친환경농업, 유기농업 등을 실시하여야 한다(Na and Oh, 2018; 2021).

다섯 번째로 서식지 주변 위해 요인을 제거할 필요가 있다. 장항습지 내 일부 농경지로 하천점용이 일어난 지역에 대해 농업 또는 개발 지역과 서식지 사이의 경계를 관리하여 인공적 환경과 자연 서식지 사이의 경계를 명확히 하고, 생물의 이동성을 유지하는 것을 고려할 수 있다. 자동차와 인위적으로 유발되는 소음, 인간의 출입을 제한하기 위해 취식 지역의 농로의 통행을 제한하고 차단막을 설치하여 장항습지에서 서식하는 주요종을 보호할 필요가 있다. 또한 장항습지는 퇴적 우세 지역으로 초지와 숲이 건조화 될 수 있으므로 생태적 연결성(Ecological connectivity; CMS,

2020)을 고려한 서식지 보전을 해야 한다. 장항습지를 이용하는 이동성 야생동물 서식지를 보호하기 위해 과거 장항습지 물골의 흐름과 식생을 파악하여 기존 생태계 유지와 복원을 할 수 있도록 생태적 연결성을 강화할 필요가 있다.

마지막으로 생물다양성 보전에 대한 인식제고를 위한 정보 제공 표준화가 필요하다는 배경에서 출발한 자연관련 재무 정보 공개 협의체(Taskforce on Nature-related Financial Disclosure)를 통한 PES 사업이 탄력을 받을 수 있는 상황임에 관련 연계성을 고려한 사업 또한 검토해야 한다. 또한 PES 사업이 장항습지 목표종인 재두루미와 큰기러기의 실제 먹이 요구를 충족시키면서, 다양한 먹이원 공급을 통한 서식지 관리를 위해 먹이원 분석에 대한 추가 연구가 진행될 필요가 있다.

5. 결론

인위적 훼손으로부터 생태계를 보호하고 생태계적 가치를 보전·증진하는 방안으로 PES가 강조되고 있다. PES의 효과적인 시행과 정책을 위해 PES 계약에 따른 생태계 모니터링과 그 효과에 관한 연구가 필요하나, 현재 이러한 연구는 부족한 상황이다. 이에 본 연구에서는 장항습지에서 시행 중인 PES 적용 효과를 분석하여 서식지 관리 방안을 제시하기 위해 장항습지를 이용하는 PES 실시 이전 주요 종의 먹이원을 분석하고, PES 실시 이후 주요 월동 조류의 모니터링을 통해 관리방안을 제시하였다.

장항습지의 PES 목표종인 재두루미 먹이원은 벼과 식물인 참새귀리, 개보리, 속속이풀, 선비들이었으며, 큰기러기 먹이원은 벼, 큰참새귀리, 개갯냉이 등으로 분석되었다. PES가 실시된 월동기에 장항습지에서 관찰된 주요 조류는 꿩이갈매기, 청둥오리, 쇠기러기, 큰기러기, 흰죽지, 재두루미, 흰꼬리수리, 노랑부리저어새 등이었다. PES를 통해 장항습지 내 범씨가 공급 지역에서는 재두루미와 큰기러기, 쇠기러기가, 습터에서는 재두루미와 큰기러기, 쇠기러기, 노랑부리저어새가 주로 관찰되었다.

PES를 통한 장항습지의 지속 가능한 관리를 위해서는 겨울철 논바닥 결빙으로 인한 낙곡 섭식 불가능할 때 먹이 공급을 실시간으로 조정하는 시스템이 필요하다. 또한 장항습지에서는 재두루미와 기러기류가 집중적으로 분포하므로, 범씨 먹이 공급 횟수와 범씨 공급량 증가 시기 등을 고려하여 분산 공급하는 것이 필요하다. 이외에도 장항습지 주변 농업 또는 개발 지역과 서식지 사이의 경계를 명확히 하고, 생태적 연결성을 강화하여 생물의 이동성을 유지할 필요가 있다. 본 연구 결과를 통해 장항습지의 생태적 중요성과 가치를 재확인하였다. 이를 바탕으로 향후 장항습지를 이용하는 이동성 야생동물 서식지 보호와 생태적 연결성 강화 및 PES 확대 방안 수립 시 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 향후 장항습지와 그 주변 지역의 지속 가능한 보전 및 먹이원 관리 정책 수립 시 장항습지 주변 변화 및 관리 방향 설정을 도모하는 데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 2023 고양특례시 생태모니터링 사업과 2021년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2021R1A6A1A10045235)으로 수행되었다.

References

- Arriagada, R., Perrings, C. (2013). Making payments for ecosystem services work. In *Values, Payments and Institutions for Ecosystem Management* (pp. 16–57): Edward Elgar Publishing.
- Chen, TS, Lin, HJ, Huang, SY. (2015). A framework on habitat connectivity among Taiwan's wetlands for overwintering Black-faced Spoonbill. *Ocean & Coastal Management*, 116, pp. 78–88.
- Choi, HA, Han, D. (2023). Pan-Yellow Sea Cooperation for the Conservation of Ecosystems in Coastal Wetlands of Yellow Sea – Focusing on the World Natural Heritage of coastal wetland. *Journal of Wetlands Research*, 25(3): 213–219. [Korean Literature]
- Choi, HA, Lee, E, Kim, E, Jung, I, Han, D. (2023). Avian species survey with citizen-science data in Janghang Wetland, Goyang, Republic of Korea. *Biodiversity Data Journal*, 11: e105580.
- CMS(Convention on Migratory Species). (2020). Improving ways of addressing connectivity in the conservation of migratory species, Resolution 12.26 (REV.COP13), Gandhinagar (India) 2020 Feb 17–22. UNEP/CMS/COP13/CRP 26.4.4.
- Geneva Association. (2022). Nature and the Insurance Industry: Taking action towards a nature-positive economy.
- Goyang City. (2020). https://www.goyang.go.kr/news/user/bbs/BD_selectBbs.do?q_bbsCode=1090&q_bbscttSn=20201124180146876&q_estnColumn1=All
- Goyang City. (2024a). https://www.goyang.go.kr/www/www03/www03_9/www03_9_10/www03_9_10_tab1.jsp
- Goyang City. (2024b). *2023 Ecosystem Monitoring Report: Payment for Ecosystem Services for Janghang and Sannam Wetlands*. Goyang City. [Korean Literature]
- Grima, N, Ringhofer, L, Singh, SJ, Smetschka, B, Lauk, C. (2017). Mainstreaming biodiversity in development practice: can the concept of PES deliver?. *Progress in Development Studies*, 17(4), 267–281.
- Han River Basin Environmental Office. (2021). *2020 Han River Estuary Wetland Protection Area Ecosystem Monitoring Results Report*. Han River Basin Environmental Office, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Han River Basin Environmental Office. (2023). *Han River Estuary Wetland Protection Area Ecosystem Monitoring*. Han River Basin Environmental Office, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Han, D. (2016). The integrity and uniqueness of the Han River Estuary wetland ecosystem. *Water for Future*, 49(7), pp. 36–42. [Korean Literature]
- Jones, HG. (2004). Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), pp. 2427–2436. [Korean Literature]
- Kim, E. (2022). Study on the Characteristics of Avian Community and habitat utilization in Janghang Wetland Conservation Area in the Han River Estuary, Korea. MA dissertation, Kongju National University, Kongju, Korea. [Korean Literature]
- Kim, M, Oh, CO, Kim, N, Joo, W. (2020). Assessing Beneficiary Benefits for the Introduction of Payments for Ecosystem Services in Wetland Protected Areas. *Journal of Environmental Policy and Administration*, 28(3), pp. 19–39. [Korean Literature]
- Kress, WJ, Erickson, DL. (2007). A two-locus global DNA barcode for land plants: the coding rbcL gene complements the non-coding trnH-psbA spacer region. *PLoS one*, 2(6), e508.
- Merken, R, Deboelpaep, E, Teunen, J, Saura S, Koedam, N. (2015). Wetland suitability and connectivity for trans-Saharan migratory waterbirds. *PLoS One*, 10(8), e0135445.
- Ministry of Environment (MOE) (2022). *Payment for Ecosystem Services Implementation Guideline*. Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Mo, Y, Park, JH, Son, YH, Lee, DK. (2016). Establishment of Additional Protected Areas and Applying Payment for Ecosystem Services(PES) for Sustainability of Suncheonman-Bay. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*, 19(1), pp. 171–184. [Korean Literature]
- Na, M, Oh, CH. (2018). “Community structure and characteristics of Salix Subfragilis in Janghang Wetlands, Goyang, Korea. Korean.” The proceeding of Korean Society of Environemnt and Ecology. 28(2), pp. 39–40.
- Na, M, Oh, CH. (2021). “Community Characteristics of Riparian Forest in Janghang Wetlands of the Han-River Estuary , Korea.” The proceeding of Korean Society of Environemnt and Ecology. 31(1), pp. 33–34.
- Oh, CH, Kim, DH, Oh, CG, Lee, YH, Park, EH. (2016). Introduction of Payment for Ecosystem Services of Deoksan Provincial Park in Chungcheongnam-do. *Literature and Environment*, 15(2), pp. 97–124. [Korean Literature]
- Ramsar Convention Secretariat. (2021). Janghang Wetland. <https://rsis Ramsar.org/ris/2448>

- Shim, YJ, Sung JW, Lee, KC, Hong JP, Jung GJ, Kim, HS, Cho, GY, Eo YJ, Park HJ, Joo WY. (2021). Identifying the Types of Activities of Payment Contract for Ecosystem Services. *Journal of practical agriculture and fisheries research*, 23(1), pp. 13–26. [Korean Literature]
- Taylor, CM, Norris, DR. (2010). Population dynamics in migratory networks. *Theoretical Ecology*, 3, pp. 65–73.
- Wang, N., Zhang, N., Wang, M. (2006). Wireless sensors in agriculture and food industry—Recent development and future perspective. *Computers and Electronics in Agriculture*, 50(1), pp. 1–14.
- Wunder, S. (2005). *Payments for environmental services: Some nuts and bolts*. Indonesia: Center for International Forestry Research.
- Xu, Y, Si, Y, Takekawa, J, Liu, Q, Prins, HH, Yin, S, Prosser, DJ, Gong, P, De Boer, WF. (2020). A network approach to prioritize conservation efforts for migratory birds. *Conservation Biology*, 34(2), pp. 416–426.
- Xu, Y, Si, Y, Wang, Y, Zhang, Y, Prins, HH, Cao, L, De Boer, WF. (2019). Loss of functional connectivity in migration networks induces population decline in migratory birds. *Ecological Applications*, 29(7), e01960.