

Research Paper

서해북부 대표 개발지역에 도래하는 조류 실태 및 서식지 관리방안 수립 - 송도일원을 대상으로 -

심설웅* · 주영돈* · 배정훈* · 배양섭**
(주)소운이엔씨*, 인천대학교 생명과학과**

Survey of Avian Status and Habitat Management Measures in Representative Development Areas of the Northern West Sea - Focusing on Songdo Area -

Sul-Woong Shim* · Young-Don Ju* · Jung-Hoon Bae* · Yang-Seop Bae**
Sowoon E&C Co.,Ltd.*
Department of Life Sciences, Incheon National University**

요약: 본 연구지역은 우리나라 서해북부 초입부로 철새류의 중간기착지로 이용되던 갯벌을 매립하고 조성된 송도국제자유도시에서 조류 이입이 확인된 축소(잔존갯벌, site.1) 및 창출(인공호수, site.2)된 서식지 2개소와 개발 전 부터 안정된 서식지를 유지하고 있는 서식지 1개소(남동유수지, site.3)를 대상으로 실시한 조류군집과 서식환경조사를 기초로 서식지 평가를 실시하고 서식지 관리방안을 제안하였다. 2022년 1월부터 12월까지(총 39차례) 관찰된 조류는 총 14과 48종 20,760개체로 기존 서식지에 비해 새로 조성된 서식지로 이입되는 종과 개체수가 상대적으로 적었고 서식지 평가 중 갯벌등급에서 축소나 창출된 서식지는 I~II등급인 반면 기존 서식지는 상대적으로 높은 III등급으로 평가되었다. 서식지유형에 대한 분석에서 유형별 면적보다는 유형의 다양성과 인위적 간섭에 대한 대책이 확보된 기존 서식지에서 다양한 조류의 서식이 확인되었는 바, 서식지유형의 다양성이 다양한 조류의 유입에 관여한다는 것을 알 수 있었다. 서식지 관리를 위한 조류종을 선정하고, 선정된 종의 서식특성을 고려한 서식지 유형별 평가를 통한 서식지 관리계획 수립방안으로 주변으로부터 간섭을 최소화할 수 있는 차폐녹지조성(=완충녹지)과 출현종 및 서식지유형간 상관분석을 통해 저수지와 양의 상관관계에 있는 갈대숲의 창출(site.1, 2)과 서식밀도가 높고 주요서식지 유형인 갯벌과 양의 상관관계가 있는 모래톱의 개선(site.1)을 통해 향후 안정된 서식지가 복원 유지될 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구를 통해 연구대상지와 입지적이나 환경이 유사한 서해안 간척(매립)지역 등 개발예정지역의 철새류 도래지역에서 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어: 서식지유형, 서식지관리, 갯벌등급, 다양성, 상관분석

First Author: Sul-Woong Shim, Tel: +82-2-414-9642, E-mail: swshim0214@naver.com, ORCID: 0009-0008-4587-6889

Corresponding Author: Yang-Seop Bae, Tel: +82-32-835-8246, E-mail: baeyes@inu.ac.kr, ORCID: 0000-0001-7356-5633

Co-Authors: Young-Don Ju, E-mail: judony@hanmail.net, ORCID: 0009-0008-8023-3571

Jung-Hoon Bae, E-mail: armyhoon@hanmail.net, ORCID: 0009-0007-1944-9376

Received: 8 August, 2023. Revised: 9 November, 2023. Accepted: 29 November, 2023

Abstract: The research area, located in the northern coastal region of South Korea's West Sea, involves three bird habitats. Among these are two newly established habitats in Songdo International Business District, created by filling and developing tidal flats that were previously utilized as stopover sites for migratory birds. One of these areas showed decrease (Residual tidal flats, site.1) while the other showed increase (Artificial lake, site.2) in bird influx. The third habitat (Namdong reservoir, site.3) is a pre-existing stable habitat which has been maintained as a stable habitat. This study conducts an assessment of habitats based on avian population clusters and environmental surveys and proposes habitat management measures. A survey of bird populations and habitat environments was conducted for a total of 39 occasions from January to December 2022. The observed bird species totaled 14 families and 48 species with 20,760 individuals. Compared to the existing habitats, the newly established habitats showed relatively lower influx of bird species and individuals. During the habitat assessment, the newly established habitats were rated as I to II grade, while the existing habitat was rated as relatively high III grade on the grading assessment of the tidal flat. An analysis of habitat types revealed that the existing habitat, in which diverse strategies for habitat type diversity and mitigating anthropogenic interference were demonstrated, attracted a diverse range of bird species. Through this research, it was deduced that the diversity of habitat types plays a significant role in attracting various bird species. Upon evaluation of habitat types concerning the habitat characteristics of the bird species selected for habitat management, as habitat management measures, it is deemed that the creation of shielded green areas (referred to as 'buffer green') to minimize interference from the surroundings, the establishment of reed fields (site.1, 2) positively correlated with reservoirs, and the improvement of sandbanks (site.1) positively associated with tidal flats, the two relations which we drew from correlation analysis between occurrence species and habitat types, would contribute to the future restoration and maintenance of stable habitats. The results of this study can be applied not only to the study area but also to other development zones, such as coastal reclamation sites, which share similar geographical and environmental characteristics, including arrival sites for migratory birds.

Keywords: Habitat type, Habitat Management, Grading Assessment of the Tidal Flat, Diversity, Correlation analysis

I. 서론

조류의 주기적인 조사결과는 종별 개체군 현황이나 변동, 다양한 조사기록의 분석을 통해 개체군의 유지 및 복원을 위한 관리방안 등 다양한 정보를 제공할 수 있다(Baillie 1990; U.S. NABCI Committee 2007). 생물다양성은 전체 생물집단을 평가할 수 있는 필수 요소이며, 특히 조류는 환경변화에 민감하고, 생태계의 구성원으로서 먹이사슬을 유지하는데 중요한 위치에 있어, 환경변화를 파악하고 생태계의 현재 상태를 평가하는데 좋은 지표로 활용된다(Krebs 1994;

Devictor et al, 2007; Lin et al, 2008; Kim JS et al, 2000; Lee SG et al, 2010). 또한, 조류는 서식지를 인간과 공유하며, 환경변화에 민감한 분류군으로 환경변화가 서식환경 전반에 어떤 영향을 주는지 검증하는데 활용되고 있다(Furness & Greenwood 1993). 서식지 복원에 있어 실패 사례로 서식지관리 측면의 종합적 대책 수립 부재가 원인인 경우가 많으며, 그러므로 서식지 복원시 서식지의 보호 및 관리 연구가 병행되어야 한다(Kim JS et al, 2000).

본 연구의 대상지역에 포함된 습지는 조류에게 중요한 서식공간과 번식지를 제공하고 가치가 높은 다

양한 생물서식환경을 제공한다고 알려져 있으며 (Mitsh & Gosselink 1986; Barbier et al. 1997; Zedler & Kercher 2005; Ghermandi et al. 2010; De la Hera et al. 2011; Blackwell & Pilgrim 2011; Horowitz & Finlayson 2011), 개발로 인한 습지소실은 수조류의 생활사에 악영향을 미치게 되며(Adam 2002; Schekkerman et al. 1994), 채식지의 분포, 휴식지, 기타 간섭요인 등 다양한 조건에 따라 분포나 서식하는 종의 구성이 달라질 수 있다(Kwon YS et al. 2007; Kim IK 2008; Kang TH et al. 2008). 또한 기본적으로 조류가 지속적으로 서식하기 위해서는 중요한 자원과 조건을 갖춘 서식지가 우선 도출되고 관리가 필요하다(Roh BH et al. 2010). 서식지로서 생태적 기능이 지속되도록 관리하기 위해 이용 조류 특성과 서식지에 대한 위협인자에 대한 고려가 필요하며, 서식지 현황이나 복원을 평가할 때 특정종의 서식은 중요한 의미가 있다. 따라서 이입되는 모든종을 관리하는 것이 불가능하여 우점종이나 지역을 대표할 수 있는 상징종 등을 고려한 종선정과 선정된 종의 서식특성을 고려한 서식지 관리계획수립은 서식지 보존과 관리에 효과적으로 활용될 수 있을 것이다 (kim BS et al. 2015a, 2016). 그러므로 불가피하게 훼손되거나 축소된 기존 서식지에 대한 보호 등은 조류의 서식환경을 유지할 수 있는 공간을 제공하므로 주변 환경과 도래종의 특성을 고려하여 다양하게 조성·복원되어야 할 것이다.

본 연구가 수행된 연구구 송도동 일원은 과거 철새류의 대규모 이입이나 이동시 중간기착지로 이용되었던 우리나라 서해북서부지역의 대표갯벌지역이며, 인천경제자유구역으로 지정되고(2003.8.11.), 1994년 7월부터 현재까지 장기간 매립과 개발에 의해 도시화가 이루어지고 있으며 2030년까지 조성될 예정에 있는 지역으로 우리나라에서 개발로 인하여 해안습지가 소실된 대표적인 사례지로 볼 수 있다(Incheon Free Economic Zone Homepage).

본 연구지역은 송도국제자유도시 주변 조류의 서식이 확인된 잔존갯벌과 내부에 조성된 인공호수 등 서식지 2개소와 인접지역 중 다양한 서식지 유형으로 안정된 서식지를 유지하고 있는 서식지 1개소(남동유수지, 참조생태계)에 대한 조류 모니터링 등을 통해 관리대상 조류종을 선정하고, 생물서식지유형 평가 분석을 통해 보존되거나 새로 조성된 서식지 환경의 차별적인 보전 전략을 세울 수 있는 근거를 마련하고 활용하고자 수행하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상지역

송도갯벌에 조성된 송도국제도시 일원으로 개발과정에서 철새류 서식지 보전과 유지를 위해 조성된 서식지 2개소(site.1-잔존갯벌, 2-인공호수)와 과거 갯벌지역이었으나 개발에 따라 유수지로 조성되었고 개

Table 1. Investigation sites of the study area

Name of Area	Area (hectare)	Location	Investigation sites of study area at Songdo, Yeonsu-gu, Incheon, Korea.
Mudflat (site.1)	77.456	25 Songdo-dong, Yeonsu-gu, Incheon	
Artificial lake (site.2)	71.346	400 Songdo-dong, Yeonsu-gu, Incheon	
Namdong reservoir (site.3)	76.917	711 Gojan-dong, Namdong-gu, Incheon	

발지와 인접하여 조류 서식지가 유지되고 있는 서식지 1개소(남동유수지, site.3) 등 면적이 유사한 3개소를 대상으로 선정하였다(Table 1).

2. 조사기간 및 방법

조사기간은 2022년 1월부터 12월까지 철새류의 이입이나 이탈이 예상되는 동계나 춘·추계조사는 날씨가 서식지 상황을 고려하여 월 3회이상 실시하였고, 철새류 이탈이 완료된 하계조사는 월 2회이상(각 지점별 총 39회) 실시하였다. 동일한 지점을 선정한 정점조사법(point census)과 도보로 이동하며 조사하는 선조사법(linecensus)을 동시에 이용하였고 조사범위는 인공제방외측 갯벌과 유수지역으로 이입되는 조류를 대상으로 하였다. 육안조사 외에 쌍안경과 망원경을 이용하여 종과 개체수를 파악하였고, 관찰된 조류의 분류 및 학명, 영명은 Howard & Moore (1998)를 따랐으며, Lee et al. (2000a)을 참고하였다. 서식지 관리를 위한 조류중 선정은 조사지역에서 관찰된 현지조사의 한계와 해당지역과 같이 서식환경변화가 발생하는 지역특성을 감안하여 연구지역을 포함 주변지역을 대상으로 실시된 겨울철조류동시센서스(최근 10년, 2013~2022년) 및 송도갯벌 습지보호지역 모니터링(2012~2015년) 자료를 추가 검토하였다.

3. 분석방법

1) 군집분석

조사결과 데이터는 조사기간 동안 월별 관찰된 최대값(peak count data)을 이용하였으며, 우점도(Simpson 1949), 종다양도(Shannon & Weaver 1963), 종균등도(Hurlbert 1971), 종풍부도(Margalef 1958), 유사도 지수(Ro)는 Lee KS(2000), Park MC(2007)에서 재인용하였다. 분석에 이용한 식은 다음과 같다.

- 우점도(Relative species density : RD) = $\frac{n_i}{N} \times 100(\%)$

n_i : i 종의 개체수, N : 총 개체수

- 종다양도(H') = $-\sum \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N}$

n_i : 한 종의 개체수, N : 지역의 총 개체수

- 종균등도(E') = $\frac{H'}{\ln(S)}$

H' : 종다양도, S : 전체종수

- 종풍부도(R') = $\frac{s-1}{\ln(N)}$

s : 전체 종수, N : 관찰된 총 개체수

- 유사도 지수(Ro) = $\frac{H'_4 - H'_3}{H'_4 - H'_5}$

H'_3 : $\frac{[N \ln(N) - \sum(x_i + y_i) \ln(x_i + y_i)]}{N}$

N : 1집단과 2집단에서 관찰된 총 개체수의 합

x_i : 1집단 내 한 종의 개체수

y_i : 2집단 내 한 종의 개체수

H'_4 : $\frac{[N \ln(N) - \sum x_i \ln(x_i) - \sum y_i \ln(y_i)]}{N}$

H'_5 : $\frac{N_1 H'_1 + N_2 H'_2}{N}$

N_1 : 1집단의 총개체수

N_2 : 2집단의 총 개체수

H'_1 : 1집단의 종다양성 지수

H'_2 : 2집단의 종다양성 지수

2) 분류군별 분석

관찰된 조류는 분류학적 유연관계 및 생태적 특성을 고려하여 분류한 후 조사지역의 서식 환경과을 고려하여 서식특성이 유사한 종으로 구분하였으며, 잠수성 수조류(Diving waterbirds, Di), 수면성 오리류(Dabbling ducks, Da), 백로류(Egrets, Eg), 도요·물떼새류(Shorebirds, Sh), 갈매기류(Gulls, Gu), 기타 육조류(Land birds, La) 등 6개 분류군으로 하였다.

3) 서식지 평가(갯벌등급평가)

갯벌 등급평가는 Lee KS et al. (2004)와 Shin YU et al. (2011)의 기준에 따라 서식지내 도래 개체수, 보호종 수, 보호종의 개체수, 전 세계 생존개체수의 1% 이상인 종의 수, 국내 생존개체수의 1% 이상인 종의 수를 이용하여 평가하였다. 전 세계 생존 개체수는 Wetland International(2006)과 HBW and BirdLife International(V7)에 등록 자료를 바탕으로 추정 개체수를 산정하였고, 국내 생존 개체수는 연구기간과

Table 2. Scoring by the 5 criterion on mudflat

Scoring of criterion	Score			
	0	1	2	3
Supporting birds	less than 5,000	5,000-10,000	10,000-20,000	more than 20,000
Protected bird species	0	1-4	5-9	>10
Population size of the protected birds	less than 10	10-100	100-1,000	more than 1,000
Waterbird species over 1% level of the survival population	0	1-4	5-9	more than 10
Waterbird species over 1% level in korea population	0	1-4	5-9	more than 10

Table 3. Grading level of 1-5 by total score of 4 or 5 criteria by birds on mudflat

Total score by 5 criteria	Total score by 4 criteria	Grade
More than 13	More than 11	V
10-12	8-10	IV
7-9	5-7	III
4-6	3-4	II
0-3	0-2	I

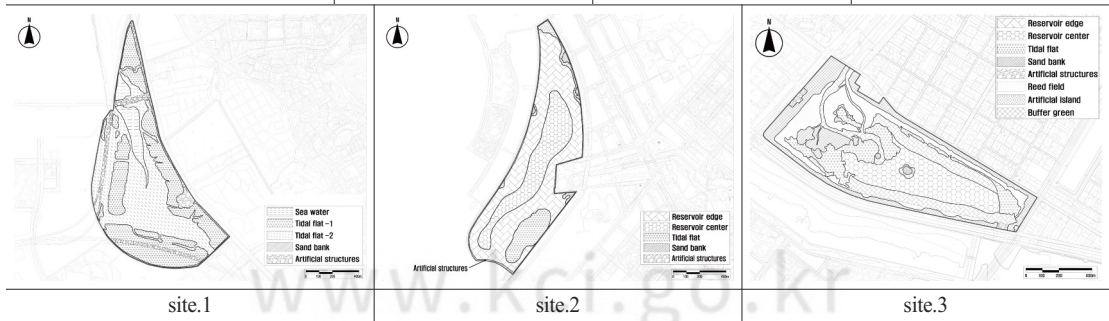
중복되는 2021년(10월)~2022년(12월)까지 겨울철 조류 동시센서스를 바탕으로 접수 등급화를 이용하였다 (Table 2-3).

4) 서식지유형분석

서식지 유형은 환경부 도시생태현황지도 작성방법 지침(2019)에 따른 대-중분류에서 각 유형별 관리목

Table 4. Analysis of habitat types by study site

Habitat type		site.1	site.2	site.3
		Area-hectare (%)	Area-hectare (%)	Area-hectare (%)
Reservoir edge	Re	-	17.888 (25.1)	15.597 (20.3)
Reservoir center	Rc	-	41.921 (58.8)	16.773 (21.8)
Sea water	Sw	5.858 (7.6)	-	-
Tidal flat	Tf	68.574 (88.5)	8.597 (12.0)	10.716 (13.9)
Sand bank	Sb	0.969 (1.2)	0.964 (1.4)	1.623 (2.1)
Artificial structures	As	2.055 (2.7)	1.976 (2.8)	0.832 (1.1)
Reed field	Rf	-	-	17.173 (22.3)
Artificial island	Ai	-	-	0.299 (0.4)
Buffer green	Bg	-	-	13.904 (18.1)
Total		77.456	71.346	76.917



표에 따른 분류지표설정과 비오톱 유형화를 제시한 소분류 유형화 중 녹지 비오톱 분류지표(Kim TH et al, 2021)를 기준으로 현지조사(토지이용, 식생조사 등)를 근거로 Autocad(2020) 프로그램을 이용 서식지 유형도를 도식화하고 면적을 구적 산출하였으며, 서식지의 이질성을 나타내는 서식지다양도, 서식지 풍부도, 서식지균등도는 Kim BS et al, (2015)를 재 인용하였다.

- 서식지다양도지수(HDI) = $-\sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)$

- 서식지풍부도지수(HRI) = $\frac{m-1}{\ln TA}$

- 서식지다양도지수(HEI) = $\frac{HDI}{\ln m}$

m: 서식지유형수

P_i: i번째 서식지유형면적(A_i)을 전체면적(TA)으로 나눈값

유형 분석결과 ①저수지 가장자리(Reservoir edge-Re), ②저수지 중앙(Reservoir center-Rc), ③해수면(Sea water-Sw), ④갯벌(Tidal flat-Tf), ⑤모래톱(Sand bank-Sb), ⑥해안구조물(=인공구조물, Artificial structures-As), ⑦자연초지(=갈대숲, Reed field-Rf), ⑧공원(=인공섬, Artificial island-Ai), ⑨완충녹지(Buffer green-Bg) 등 9개 유형으로 구분하였고, 지역별 4(site.1)~8개(site.3) 서식지 유형이 조사되었고 갯벌(Tf), 모래톱(Sb) 등 3개는 모두 보유하였으나, 갈대숲(Rf), 완충녹지(Bg), 인공섬(Ai) 등 3개 유형은 site.3만 보유한 유형이었다(Table 4).

5) 통계분석

통계의 분석은 관찰된 조류의 개체수간, 서식지 유형간의 관계는 Person's Correlation 분석을 조사지점별 월별 종 다양성, 균등성, 풍부도지수의 평균 차이에 대하여 통계적 유의성을 확인하고자 ANOVA (Analysis of variance) 분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 조사지역 전체 조류 현황

2022년 1월~12월까지 총 39차례 조사결과 관찰된 조류는 총 8목 14과 48종 월별 최대개체수의 합은 20,760개체였다. site.1, 2에서는 월 최소 2종에서 최대 11종이 확인되었고, site.3에서는 월 최대 17종의 많은 종이 확인되었다. 전체 조사기간 site.1은 총 28종(3,967개체), site.2는 총 25종(1,753개체)이 확인된 반면, site.3(남동유수지)은 총 39종(15,040개체)이 확인되어 지역별 종과 개체수 기준 site.3이 site.1, 2에 비해 종은 최소 1.4배, 개체수는 3.8배 이상 확인되어 상대적으로 안정된 서식지를 보이고 있었다(Figure 1).

우점종 및 우점도(R.D.)는 팽이갈매기(*Larus crassirostris*) 3,851개체(R.D.:18.6%), 흰뺨검둥오리(*Anas poecilorhyncha*) 3,267개체(R.D.:15.7%), 흑부리오리(*Tadorna tadorna*) 2,660개체(R.D.:12.8%), 저어새(*Platalea minor*) 1,640개체(R.D.:7.9%) 순으로 대부분 수조류를 대상으로 확인되었고 2개이

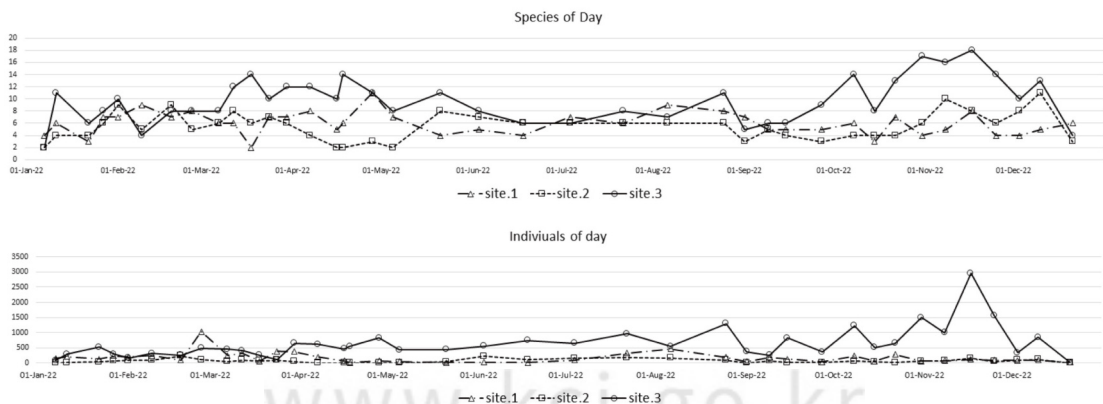


Figure 1. Comparison of number of species and number of individuals in each study site in Songdo

Table 5. Dominant species observed and relative abundance in the study area

Scientific name	Korean name	Individuals (R.D.,%)	site.			S-Mig.*	note**	marking (Figure 3)
			1	2	3			
<i>Larus crassirostris</i>	괭이갈매기	3,851 (18.6)	2,662 (67.1)	486 (27.7)	703	RES		○
<i>Anas poecilorhyncha</i>	흰뺨검둥오리	3,267 (15.7)	90	38	3,139 (20.9)	RES		◇
<i>Tadorna tadorna</i>	흑부리오리	2,660 (12.8)	260 (6.6)	13	2,387 (15.9)	WV		△
<i>Platalea minor</i>	저어새	1,640 (7.9)	71	32	1,537 (10.2)	SV	N, E.II	□
<i>Anas clypeata</i>	넓적부리	1,138 (5.5)	-	-	1,138 (7.6)	WV		●
<i>Anser fabalis</i>	큰기러기	1,133 (5.5)	-	-	1,133 (7.5)	WV	E.II	◆
<i>Phalacrocorax carbo</i>	민물가마우지	1,094 (5.3)	99	202 (11.5)	793 (5.3)	WV		■
<i>Anas platyrhynchos</i>	청둥오리	938	270 (6.8)	39	629	WV		
<i>Aythya ferina</i>	흰죽지	961	39	276 (15.7)	646	WV		
<i>Mergus merganser</i>	비오리	302	1	220 (12.5)	81	WV		
<i>Egretta alba</i>	중대백로	336	56	109 (6.2)	171	SV		
<i>Anas crecca</i>	쇠오리	1,003	-	-	1,003 (6.7)	WV		

*S-Mig(Seasonal Migration) : RES-Resident, WV-Winter Visitor, SV- Summer Visitor

**note : E.-Endangered birds, N.-Natural monuments

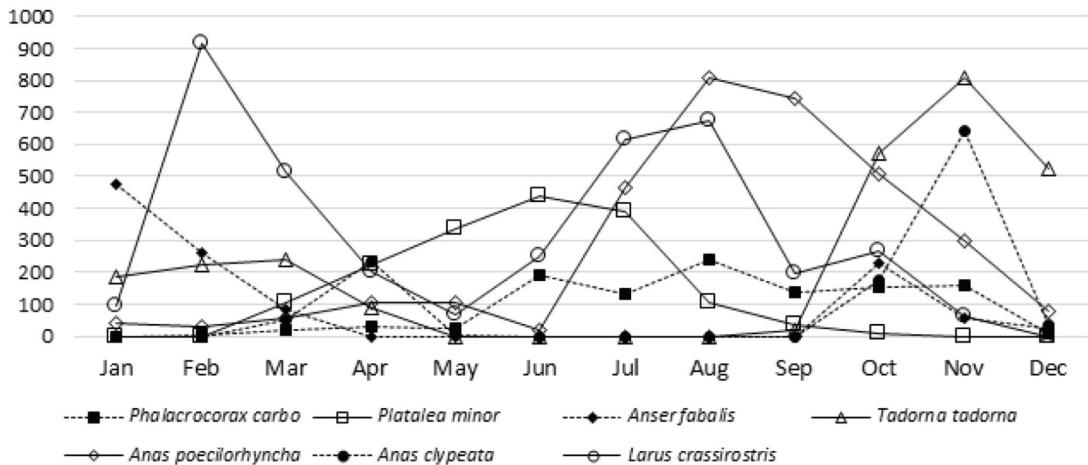


Figure 2. Monthly fluctuation of dominant species of waterbirds from January to December, 2022 in study area

상 지역에서 우점도 5%이상 차지하는 종은 괭이갈매기, 흑부리오리, 민물가마우지 3종이었다(Table 5, Figure 2).

2. 서식특성을 고려한 분류군별 도래종 현황

site.1은 도요·물떼새류(Sh)가 8종으로 가장 많았으며, 잠수성 수조류(Di)와 수면성 오리류(Da)는 3~4종으로 낮았다. site.2는 인공호수의 특성상 잠수성 수조류가 9종, 수면성 오리류가 7종으로 대부분을 차지하였고, site.3은 다양한 서식환경으로 수면

성 오리류와 잠수성수조류가 19종, 그 외 도요·물떼새류, 백로류(Eg), 갈매기류(Gu)가 4~6종으로 고른 분포를 보였다(Table 6).

3. 법정보호종 현황

조사지역에서 관찰된 법정보호종은 총 8종이었다. 저어새의 경우 site.3 남동유수지내 2개의 인공섬에서 번식이 지속적으로 이루어지고 있는 종으로 본 조사에서도 230쌍 이상 번식하고 있는 등 번식지로서 안정된 서식지를 유지하고 있음이 확인되었다(Table 7).

Table 6. Comparison of number of species by birds group during survey period

Site.	No. of species (observed frequency)					
	Di	Da	Eg	Sh	Gu	La
1	3 (13)	4 (17)	5 (31)	8 (18)	4 (18)	4 (5)
2	9 (43)	7 (16)	4 (28)	1 (4)	3 (17)	1 (2)
3	7 (31)	12 (64)	5 (30)	5 (7)	6 (24)	4 (11)

*Di (Diving waterbirds), Da (Dabbling ducks), Eg (Egrets), Sh (Shorebirds), Gu (Gulls), La (Land birds)

Table 7. The list of species of natural monuments and endangered birds

Korean name (Scientific name)	Endangered birds	Natural monuments	Site			Total	S-Mig*
			1	2	3		
노랑부리저어새(<i>Platalea leucorodia</i>)	II	√	5		4	9	WV
저어새(<i>Platalea minor</i>)	I	√	71	32	1,537	1,640	SV
큰기러기(<i>Anser fabalis</i>)	II				1,133	1,133	WV
원앙(<i>Aix galericulata</i>)	-	√			1	1	RES
흰꼬리수리(<i>Haliaeetus albicilla</i>)	I	√	2		2	4	WV
검은머리물떼새(<i>Haematopus ostralegus</i>)	II	√	60	21	2	83	RES
검은머리갈매기(<i>Larus saundersi</i>)	II		29		2	31	WV
쇠제비갈매기(<i>Sterna albifrons</i>)	II			1	3	4	SV

*S-Mig: Seasonal Migration (RES: Resident, WV: Winter Visitor, SV: Summer Visitor)

4. 조사지역의 지수분석

1) 군집지수 및 서식지 분석

종다양도는 전체 1.43~2.56, 평균등도는 0.43~0.74, 종풍부도는 3.21~3.94로 분석되어 site.3지역이 다양도와 풍부도가 상대적으로 높았고, 서식지 다양도는 서식지유형의 면적비가 유사한 site.3이 1.73으로 서식지균등도와 풍부도 또한 site.3이 site.1, 2에 비해 높게 분석되었다(Table 8).

지점별 종다양도는 평균 1.28~1.79로 site.3이,

평균등도는 0.59~0.74로 site.2가, 종풍부도는 1.68~1.99로 site.3가 상대적으로 높게 분석되었다(Table 9).

월별 조사된 지수별 동질성 분석결과, Biodiversity Index (H')은 유의확률 0.672, Evenness Index (E')은 유의확률 0.083, Species Richness Index (R')은 유의확률 0.362로 유의확률 0.05이상으로 동질성이 있어 지점간 분산분석을 실시할 수 있었고, 분석결과 각 조사지점간 유의확률은 0.05 이내인 Biodiversity Index (H')만 조사지점간 차이가 발생하는 것으로 나

Table 8. Analysis of cluster index and habitat index by survey location

site	Biodiversity Index (H')	Evenness Index (E')	Species Richness Index (R')	Habitat Diversity (HDI)	Habitat Evenness (HEI)	Habitat Richness (HRI)
1 (Mudflat)	1.43	0.43	3.26	0.45	0.33	0.69
2 (Artificial lake)	2.37	0.74	3.21	1.07	0.67	0.94
3 (Namdong reservoir)	2.56	0.70	3.94	1.73	0.83	1.61

Table 9. Month wise species diversity index during survey period

Index	Site	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Biodiversity Index (H')	1	1.68	1.15	1.22	1.53	1.89	1.3	0.52	1.04	0.88	1.05	1.66	1.45
	2	1.76	1.46	1.95	2.02	1.86	1.15	1.25	0.67	1.20	1.69	1.89	2.43
	3	1.70	1.89	2.44	2.2	1.41	1.17	1.46	1.63	1.22	2.31	2.20	1.86
Evenness Index (E')	1	0.81	0.46	0.47	0.57	0.82	0.81	0.27	0.45	0.49	0.48	0.80	0.66
	2	0.74	0.61	0.81	0.97	0.85	0.55	0.69	0.32	0.75	0.87	0.79	0.90
	3	0.63	0.79	0.80	0.78	0.59	0.56	0.70	0.68	0.51	0.77	0.73	0.69
Species Richness Index (R')	1	1.29	1.78	2.06	2.97	2.26	1.28	1.12	1.63	1.04	1.53	1.46	1.71
	2	2.35	1.95	2.24	2.82	2.33	1.33	0.98	1.44	1.00	1.52	2.13	2.78
	3	2.37	1.64	3.17	2.45	1.64	1.08	1.05	1.49	1.59	2.71	2.51	2.17

Table 10. Test of homogeneity

Index	Levene Statistics	df1	df2	P-value
Biodiversity Index (H')	0.403	2	33	0.672
Evenness Index (E')	2.681	2	33	0.083
Species Richness Index (R')	1.048	2	33	0.362

Table 11. One-way ANOVA between survey points

Index	Sum of squares	df	Mean square	F	P-value
Biodiversity Index (H')	1.606	2	0.803	4.260	0.023
Evenness Index (E')	0.133	2	0.066	2.665	0.085
Species Richness Index (R')	0.625	2	0.312	0.811	0.362

타났고, 그 외 Evenness Index (E'), Species Richness Index (R')는 조사지점간 차이가 발생하지 않는 것으로 나타났다(Table 10, 11).

사후검정을 통해 각 항목별 조사지점간 차이 유무를 확인한 결과, Biodiversity Index (H')에서 St.1과 St.3에서 유의수준 0.05 이내로 차이가 발생하는 것으로 확인되었고, 그 외 항목별, 조사지점별 차이는 발생하지 않는 것으로 나타났다.

2) 유사도분석

연구대상지역간 Horn's 유사도는 site.1과 2 사이의 유사도지수(Ro)는 0.64로 site.1과 3에 비해 높게 나타났고, 자료조사와 비교에서 겨울철조류센서스(2013~2022)와는 지역별로 0.58~ 0.69, 송도갯벌 모니터링(2012~2015)와는 0.50~0.55로 나타났다 (Table 12).

Table 12. Horn's community index (Ro) of each survey area

site.	1	2	3	4*	5**
1 (Mudflat)	-	0.64	0.51	0.58	0.50
2 (Artificial lake)		-	0.60	0.63	0.51
3 (Namdong reservoir)			-	0.69	0.55
4* (2013~2022)				-	0.71
5** (2012~2015)					-

* 4) 2013~2022 Winter Waterbird Census of Korea. "Songdo"

**5) 2012-2015 Monitoring of Songdo Tidal Flat Wetland Protected Area.

Table 13. Grade by the scoring of the bird data of the mudflat of study area

site.	①	②	③	④	⑤	Scores	Grade
1	1,406	5	62	0	4	4	II
	0	2	1	0	1		
2	755	3	31	0	1	3	I
	0	1	1	0	1		
3	5,605	8	920	1	13	9	III
	1	2	2	1	3		

*①-supporting birds on mudflats, ②-protected bird species, ③-population size of the protected birds, ④-waterbird species over 1% level of the survival population, ⑤-waterbird species over 1% level in Korea population

5. 갯벌의 등급평가

관찰된 조류의 최대 개체수는 site.3 (5,605개체), site.1 (1,406개체), site.2 (755개체) 순이었고, 보호종은 site.3이 8종(920개체)이 이입되어 평가점수가 높았으며, 전 세계 생존개체수의 1%이상 종이 확인된 지역은 site.3 1종(저어새)이었다. 각 site에 대한 갯벌등급평가결과 site.1 II등급, site.2 I등급, site.3 III등급으로 평가되었다(Table 13).

6. 서식지 유형별 분석

1) 서식지 유형별 개체수 이입(N.I.) 및 서식밀도(I./ha) 분석

site.1은 총 4개 서식지 유형으로 개체수 이입은 갯벌(78.9%)과 해수면(17.2%) 순이었고 서식밀도는 해수면(198.7개체)이 가장 높았다. site.2는 5개 유형으로 개체수 이입은 저수지 가장자리(37.2%), 저수지 중앙(21.9%) 순이었고, 서식밀도는 모래톱(519.7개체)이 높았다. site.3은 총 8개 서식지로 유형이 다양하였

Table 14. Analysis of habitat types, influx of individuals by habitat type, and habitat density of the study area

Habitat type	site.1			site.2			site.3		
	A-ha (%)	N.I. (%)	I./ha	A-ha (%)	N.I. (%)	I./ha	A-ha (%)	N.I. (%)	I./ha
Re	-	-	-	17.888 (25.1)	594 (21.9)	33.2	15.597 (20.3)	11,068 (44.7)	709.6
Rc	-	-	-	41.921 (58.8)	1,010 (37.2)	24.1	16.773 (21.8)	4,357 (17.6)	259.8
Sw	5.858 (7.6)	1,164 (17.2)	198.7	-	-	-	-	-	-
Tf	68.574 (88.5)	5,339 (78.9)	77.9	8.597 (12.0)	534 (19.7)	62.1	10.716 (13.9)	1,732 (7.0)	161.8
Sb	0.969 (1.2)	116 (1.7)	119.7	0.964 (1.4)	501 (18.4)	519.7	1.623 (2.1)	404 (1.6)	248.9
As	2.055 (2.7)	150 (2.2)	88.3	1.976 (2.8)	77 (2.8)	39.0	0.832 (1.1)	29 (0.1)	34.9
Rf	-	-	-	-	-	-	17.173 (22.3)	3,340 (13.5)	194.5
Ai	-	-	-	-	-	-	0.299 (0.4)	3,833 (15.5)	12,819.4
Bg	-	-	-	-	-	-	13.904 (18.1)	13 (>0.1)	0.9
Total (N.I.)	77.456 (6,769)			71.346 (2,716)			76.917 (24,776)		

A-ha:Area-hectare (%), N.I.:Number of individuals, I./ha:Individuals/hectare

*Re:Reservoir edge, Rc:Reservoir center, Sw:Sea water, Tf:Tidal flat, Sb:Sand bank, As:Artificial structures, Rf:Reed field, Ai:Artificial island, Bg: Buffer green

고 저수지에서 62.3%, site.3의 고유 서식지유형인 인공섬(15.5%)과 갈대숲(13.5%)의 이입이 확인되었다. 서식밀도는 헥타당 12,819.4개체로 인공섬이 가장 높았고, 저수지가장자리(709.6), 저수지중앙(259.8), 모래톱(248.9) 등의 순으로 높았다(Table 14).

2) 서식지 유형별 종 이입과 주요 도래종의 서식지 유형별 이용현황

전체 서식지 유형중 갯벌지역 30종, 저수지 가장자리 27종, 그 외 저수지 중앙, 모래톱, 인공섬, 갈대숲

순으로 종이입이 있었고, 갯벌과 저수지 가장자리에서 전체 도래 개체의 56.2%이상 확인되었다. 상위 5%이상 도래하는 우점종의 서식지 유형별 서식지 이용률 분석결과 갯벌(62.7%)에서 흰뺨검둥오리가 저수지(62.8%)와 갈대숲(28.4%)에서 높은 이용률을 보였고, 흑부리오리는 저수지 가장자리(65.7%), 갯벌(18.4%), 갈대숲(9.1%)을 선호하였다. 법정보호종 중 저어새가 인공섬(63.3%)과 갯벌(20.1%)을 주로 이용하였고, 큰기러기는 저수지(76.3%)와 갈대숲(15.5%)을 이용하였다(Table 15).

Table 15. Species influx by habitat type and utilization status of major species by habitat type

Major species \ Habitat type	Re	Rc	Sw	Tf	Sb	As	Rf	Ai
No. of Species	27	25	12	30	17	9	16	11
No. of Individuals	11,662 (34.0)	5,367 (15.7)	1,164	7,605 (22.2)	1,021	256	3,340 (9.75)	3,833 (11.19)
<i>Larus crassirostris</i>	419	11	869 (13.7)	3,966 (62.7)	531	177	84	272
<i>Anas poecilorhyncha</i>	2,214 (45.5)	842 (17.3)	19	246	62		1,383 (28.4)	98
<i>Tadorna tadorna</i>	3,367 (65.7)	167	115	942 (18.4)	27	11	468 (9.1)	27
<i>Anas clypeata</i>	879 (46.1)	939 (49.2)		65			25	
<i>Phalacrocorax carbo</i>	261 (15.5)	60	3	259 (15.4)	27	16	63	995 (59.1)
<i>Anas platyrhynchos</i>	525 (35.4)	112	82	352 (23.7)	98		252 (17.0)	63
<i>Aythya ferina</i>	273 (18.9)	1,123 (77.7)	29	10			10	
<i>Mergus merganser</i>	119 (21.3)	438 (78.4)	1		1			
<i>Egretta alba</i>	149 (27.9)		6	155 (29.0)	48	25	105 (19.7)	42
<i>Anas crecca</i>	763 (46.9)	718 (44.1)					147	
<i>Platalea minor</i>	234			615 (20.1)	29		243	1,936 (63.3)
<i>Anser fabalis</i>	1,096 (59.5)	310 (16.8)		82	69		285 (15.5)	

*Re:Reservoir edge, Rc:Reservoir center, Sw:Sea water, Tf:Tidal flat, Sb:Sand bank, As:Artificial structures, Rf:Reed field, Ai:Artificial island

Table 16. Analysis of dominant species and climate-sensitive biological indicator species in the Songdo area

Major species	Winter waterbird census Songdo*		Monitoring of Songdo Tidal Flat**		Findings of the Current Study		S-Mig.	note
	No.of individuals	RD (%)	No.of individuals	RD (%)	No.of individuals	RD (%)		
<i>Tadorna tadorna</i>	9,690	(9.23)	2,068	(2.54)	2,660	(12.81)	WV	
<i>Anas platyrhynchos</i>	15,508	(14.78)	4,582	(5.63)	938	(4.52)	WV	
<i>Anas poecilorhyncha</i>	7,513	(7.16)	5,965	(7.33)	3,267	(15.74)	RES	
<i>Anas crecca</i>	6,358	(6.06)	2,165		1,003	(4.83)	WV	
<i>Anas clypeata</i>	5,009	(4.77)	1,634		1,138	(5.48)	WV	
<i>Aythya ferina</i>	12,584	(11.99)	2,032	(2.50)	961	(4.63)	WV	
<i>Calidris alpina</i>	6,141	(5.85)	17,824	(21.91)			PM	
<i>Numenius arquata</i>	4,843	(4.62)	4,360	(5.36)	32		PM	
<i>Larus crassirostris</i>	6,206	(5.91)	6,132	(7.54)	3,851	(18.55)	RES	
<i>Ardea cinerea</i>	383		564		301		SV	CBIS
<i>Egretta alba</i>	105		604		336		SV	CBIS
<i>Egretta garzetta</i>	2		192		18		SV	CBIS
<i>Anser fabalis</i>	1,274		433		1,153		WV	CBIS

*2013~2022 Winter Waterbird Census of Korea. "Songdo"

**2012-2015 Monitoring of Songdo Tidal Flat Wetland Protected Area.

RD(%):Relative species density (%), CBIS:Climate-sensitive biological indicator species (NIBR, 2010)

S-Mig:Seasonal Migration (RES:Resident, WV:Winter Visitor, SV:Summer Visitor)

7. 서식지 관리를 위한 조류종선정과 서식지 창출 등 관리방안

1) 우점종 및 기후변화 생물지표종 등 분석

현지 및 자료에서 송도일원에서 확인된 138종에 대한 누적 개체수 분석결과 3개 자료에서 모두 상위 우점종(흰뺨검둥오리, 흑부리오리, 청둥오리, 갯가리)과 2개이상 자료에서 우점하거나 원서식지(갯벌) 특성 반영된 5종 등 총 9종을 확인하였고, 또한 기후변화에 대응하기 위해 환경부가 지정한 기후변화 생물지표종(CBIS; 14종)과 보호관리 분석에서 확인된 4종(왜가리, 중대백로, 쇠백로, 큰기러기) 등 총 13종을 1차 주요종으로 선정하였다(Table 16).

2) 주요종 선정 및 서식지 관리를 위한 조류종 선정

조사지역 일원으로 이입이 확인된 종 중 종별 특성 분석을 통해 선정된 총 13종을 대상으로(Table 16, 17), 연구대상지역의 서식지관리를 위한 목표 조류종 선정에 있어 현지조사기준 1)서식지유형별 이입률 50%이하 종, 2)서식지유형에 영향을 받지 않으며 대

부분의 지역으로 이입되고 있는 보편적인 종, 그 외 3)전체 이입개체가 차지하는 비율이 전체 도래 개체수에 1%미만으로 관리대상으로 적합하지 않은 종을 분석하였다. 분석결과 서식지이입 중복성 평가에서 이입률 50%이하로 확인된 쇠오리와 보편적인 분포특성을 보이며 대부분의 서식지 유형에서 관찰된 종(청둥오리, 갯가리, 흰뺨검둥오리), 그 외 전체 이입개체에서 차지하는 비율이 1%내외로 관찰된 종(왜가리, 중대백로, 쇠백로)은 연구대상지역의 서식지관리에 적합하지 않은 것으로 판정되어 제외하였다. 위 분석을 통해 상위 우점종에 속하면서 기후변화지표종과 멸종위기야생생물II급으로 지정보호되고 있는 큰기러기를 대표종으로 흑부리오리, 넓적부리, 흰죽지 등 4종과 자료조사를 통해 원서식지인 갯벌지역으로 도래하는 대표 우점종인 나그네새 2종(민물도요, 마도요) 등 총 6종을 서식지 관리를 위한 조류종으로 최종 선정하였다(Table 17).

서식지내 도래하는 주요 우점종간 상관관계를 분석한 결과 유의수준 90%이상에서 비오리와 흰죽지

Table 17. Selection of bird species for habitat management

Major species	Reason for selecting key species				Criteria for determining suitability			Selection result	S-Mig.
	RD (5%)	CBIS	Reflecting the original habitat characteristics	Protected species	1) Habitat-specific influx rate (less than 50%)	2) Universality	3) Species observed at less than 1%		
<i>Tadorna tadorna</i>	○				6 (100%)			√	WV
<i>Anas platyrhynchos</i>	○				6 (100%)	○			WV
<i>Anas poecilorhyncha</i>	○				6 (100%)	○			RES
<i>Anas crecca</i>	○			○	3 (50%)				WV
<i>Anas clypeata</i>	○				4 (67%)			√	WV
<i>Aythya ferina</i>	○				4 (67%)			√	WV
<i>Calidris alpina</i>	○		○		-			√	PM
<i>Numenius arquata</i>	○		○		-			√	PM
<i>Larus crassirostris</i>	○				6 (100%)	○			RES
<i>Ardea cinerea</i>		○			-		○		SV
<i>Egretta alba</i>		○			5 (83%)		○		SV
<i>Egretta garzetta</i>		○			-		○		SV
<i>Anser fabalis</i>		○		○	4 (67%)			√	WV

RD (5%): Relative species density (Approximately 5% of the total occurrence individuals)

CBIS: Climate-sensitive biological indicator species (NIBR, 2010)

S-Mig: Seasonal Migration (RES:Resident, WV:Winter Visitor, SV:Summer Visitor)

Table 18. Person's correlation between major arrival species

Major species	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
<i>Larus crassirostris</i> (A)	1											
<i>Anas poecilorhyncha</i> (B)	-0.233	1										
<i>Tadorna tadorna</i> (C)	0.119	0.821*	1									
<i>Anas clypeata</i> (D)	-0.229	0.688	0.591	1								
<i>Phalacrocorax carbo</i> (E)	0.033	-0.076	0.042	-0.101	1							
<i>Anas platyrhynchos</i> (F)	0.371	0.794*	0.912**	0.469	0.010	1						
<i>Aythya ferina</i> (G)	-0.264	0.308	0.063	0.835**	-0.177	0.019	1					
<i>Mergus merganser</i> (H)	-0.272	0.332	0.094	0.853**	-0.167	0.042	0.999**	1				
<i>Egretta alba</i> (I)	0.551	0.561	0.725*	0.096	0.122	0.893**	-0.308	-0.287	1			
<i>Anas crecca</i> (J)	-0.179	0.758	0.676	0.988**	-0.191	0.665	0.769	0.786	0.286	1		
<i>Platalea minor</i> (K)	0.121	-0.262	-0.129	-0.320	0.981**	-0.112	-0.313	-0.315	0.037	-0.322	1	
<i>Anser fabalis</i> (L)	-0.178	0.934**	0.929**	0.753	-0.119	0.803*	0.286	0.312	0.498	0.813*	-0.263	1

Person's correlation r: *p<0.05, **p<0.01

(r=0.999, p<0.01), 청둥오리와 흑부리오리(r=0.912, p<0.01), 저어새와 민물가마우지(r=0.981, p<0.05) 등이 양의 상관관계를 보였고, 이 중, 목표종으로 선정된 큰기러기와 흑부리오리(r=0.929, p<0.01)와 흰죽지와 넓적부리(r=0.835, p<0.01) 또한 유의한 양의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다(Table 18).

3) 서식지유형간 상관관계를 통한 서식지 창출 등 관리방안

서식지 유형간 상관관계를 분석한 것으로 유의수준 90%이상 유의성을 갖는 서식지유형중 저수지(가장자리(Re)와 갈대숲(Rf, r=0.640, p<0.05), 해수면(Sw)과 갯벌(Tf, r=0.992, p<0.01), 모래톱(Sb)과 갯

Table 19. Person's correlation between Habitat types

Habitat type	Re	Rc	Sw	Tf	Sb	Af	Rf	Ai
Reservoir edge (Re)	1							
Reservoir center (Rc)	-0.027	1						
Sea water (Sw)	-0.073	-0.430	1					
Tidal flat (Tf)	-0.031	-0.496	.992**	1				
Sand bank (Sb)	-0.156	-0.400	.984**	.952**	1			
Artificial structures (As)	-0.326	-0.759	.983*	.966*	.999**	1		
Reed field (Rf)	0.640*	0.143	-0.222	-0.124	-0.230	-0.380	1	
Artificial island (Ai)	-0.429	-0.343	-0.036	-0.101	-0.201	-0.101	-0.271	1

Person's correlation r: *p<0.05, **p<0.01

별(Tf, $r=0.952$, $p<0.01$) 등이 양의 상관관계를 보였다(Table 19).

서식지관리를 위해 선정된 조류 6종(Table 17)을 대상으로 참조생태계인 site.3지역을 포함 연구대상 지역의 주요 도래종의 서식지 유형별 이용현황(Table 15)을 근거로 갈대숲, 모래톱, 갯벌 등의 서식지유형의 개선과 창출이 요구되는 것으로 분석되었다.

이에 site.1, 2지역 공통으로 완충녹지를 비롯 저수지(해수면) 가장자리와 양의 상관관계에 있는 갈대숲의 창출과 site.1은 개체수 서식밀도가 높고 주요서식지 유형인 갯벌과 양의 상관관계가 있으나 면적이 협소한 모래톱의 개선이 필요한 것으로 판단된다.

IV. 결론

1. 서식지간 비교분석

조사기간 동안 송도일원 조류 서식지역인 site.1, 2와 주변 남동유수지(site.3)에서 관찰된 조류는 총 14과 48종 월 최대 개체수의 합은 20,760개체였고 우점도(R,D.: Relative species density) 5% 이상 이입된 종은 팽이갈매기(*Larus crassirostris*, R.D. 18.6%), 흰뺨검둥오리(*Anas poecilorhyncha*, R.D. 15.7%), 흑부리오리(*Tadorna tadorna*, R.D. 12.8%), 저어새(*Platalea minor*, R.D. 7.9%), 넓적부리(*Anas clypeata*, R.D. 5.5%), 큰기러기(*Anser fabalis*, R.D. 5.5%) 순이었다. 법정보호종은 노랑부리저어새(*Platalea leucorodia*), 저어새(*Platalea minor*), 큰기러기(*Anser fabalis*), 원앙(*Aix galericulata*), 흰꼬리수리(*Haliaeetus*

albicilla), 검은머리물떼새(*Haematopus ostralegus*) 등 8종이었으며, 이 중 저어새, 검은머리물떼새 등 6종이 2개지역 이상에서 관찰되었다. 지점별 관찰된 조류의 종다양도는 전체 1.43~2.56, 종균등도는 0.43~0.74, 종풍부도는 3.21~3.94로 site.3인 상대적으로 높게 분석되었고, 서식지이질성 분석에서도 서식지다양도는 서식지유형의 면적비가 유사한 site.3이 1.73으로 높았고, 서식지균등도와 풍부도 또한 site.3이 site.1, 2에 비해 상대적으로 높게 분석되었다. 유사도 분석에서 site.1과 2 사이의 유사도지수(Ro)는 0.64로 site.1과 3에 비해 높게 나타났고, 연구대상지 전체 이입된 조류와 송도 및 주변 습지보호구역을 대상으로 실시된 선행자료(인천광역시 2012~2015, 환경부 2013~2022)와의 분석에서는 최대 0.69로 이입되는 종과 개체수의 유사성이 높았다. 국지적인 지역에 대하여 분석이 가능한 인천시자료의 경우 조사시기가 7년 이상 경과하였음에도 종분포 변화는 미미한 것으로 분석되었다. 이런 결과는 site.3에 비해 site.1, 2의 경우 주변개발로 인한 지속적인 간섭에 대응하지 못한 서식지 구조로 종의 증가나 복원이 이뤄지지 않은 것으로 판단되며, 다른 관점에서 site.1, 2의 서식지 관리를 통한 개선시 주변지역으로의 이입되는 종과 개체수를 수용할 수 있는 위치에 입지하고 있어 서식지 복원시 다양한 종의 유치가 가능하다고 볼 수 있다.

서식지 평가에 있어 갯벌등급평가는 대상지별 도래조류의 개체수나 보호종의 서식 등을 통해 평가되므로 새로 조성된 서식지의 안정화 상태와 상대적 평

가를 통한 장래 서식지 유지가능성을 평가할 수 있다. 평가결과 갯벌등급평가에서 서식지 유형과 연계해서 잔존 갯벌이 70%이상으로 가장 넓게 유지하고 있는 site.1은 평가 II등급, 갯벌이 분포가 협소하거나 서식지 유형이 단순한 site.2의 경우 평가 I등급으로 낮게 평가되었으나, 갯벌의 비율이 상대적으로 낮지만 다양한 서식지 유형이 유지되고 있는 site.3의 경우 평가 III등급으로 높게 나타났다. site.3은 서식지 안정화를 통해 과거에서부터 꾸준히 다양한 철새류의 지속적인 이입과 지속가능한 서식지로 자리 잡았음을 유추할 수 있었다.

2. 서식지 유형별 평가 및 서식지 관리를 위한 조류종 선정

서식지유형과 조류군집에 대한 상관성을 알아보고자 대상지내 전체 225,719ha에 대한 서식지유형분석결과 총 9개 유형으로 수역이 43.4%로 가장 넓었고, 갯벌(39%), 갈대숲(7.6%), 완충녹지(6.3%) 순이었다. 지역별 서식지유형은 site.1이 총 4개로 갯벌이 88.5%로 대부분이었고, 수면(해안)이 7.6%, 그 외 인공구조물(2.7%), 모래톱(1.2%)이 소규모 분포하고 있었으며, site.2는 총 6개로 저수지가 전체 83.9%, 다음으로 갯벌(12.0%)과 일부 해안구조물(인공구조물, 2.8%), 모래톱(1.4%)이 분포하였다. site.3은 총 8개로 저수지가 42.1%, 갯벌(13.9%), 모래톱(2.1%), 인공구조물(1.1%) 등 다양한 서식지유형을 보였으며, 특히, 갈대숲(22.3%), 완충녹지(18.1%), 인공섬(0.4%) 등 3개유형은 site.3에서만 확인된 서식지 유형이었다.

연구대상지역에 서식지유형에 대한 상대적인 분석에서 site.2가 3에 비해 저수지 기준 약 2배정도 넓은 면적을 보유하고 있으나 헥타당 이입된 개체수에 따른 서식밀도 분석결과 site.2가 24.1~33.2, site.3이 271.5~697.0으로 site.3이 최소 11배에서 최대 20배 이상 조류의 이입이 발생하고 있었고, 갯벌유형 분석에서도 site.1이 site.3에 비해 갯벌면적이 약 7배정도 높았으나 이입된 조류의 서식밀도는 오히려 site.3(남동유수지)이 2배이상 높게 나타났다. 이러한 결과를 통해 조류는 넓은 서식공간도 중요하지만

채식지 분포, 휴식지, 기타 간섭요인 등 다양한 조건에 따라 서식하는 종의 구성이 달라질 수 있다는 것을 재확인 할 수 있었다.

전체 서식지 유형중 갯벌지역으로 30종, 저수지가장자리에서 27종, 그 외 저수지 중앙, 모래톱, 인공섬, 갈대숲 순으로 종 이입이 높았고, 갯벌과 저수지가장자리에서 전체 도래 개체의 56.2%이상 확인되었다. 상위 5%이상 도래하는 우점종의 서식지 유형별 서식지 이용률 분석결과 팽이갈매기가 갯벌(62.7%)에서 흰뺨검둥오리가 저수지(62.8%)와 갈대숲(28.4%)에서 높은 이용률을 보였고, 흑부리오리는 저수지 가장자리(65.7%), 갯벌(18.4%), 갈대숲(9.1%)을 선호하였다.

서식지 관리를 위한 조류종 선정은 연구대상지역에 대한 현지조사와 겨울철조류동시센서스(최근 10년, 2013~2022년, 송도) 및 송도갯벌 습지보호지역 모니터링(4년, 2012~2015년) 자료를 기초로 대상지역으로 이입된 종 중 1)우점도, 2)기후변화생물지표종(CBIS), 3)원서식지특성반영, 4)보호관리 등의 4가지 특성분석을 통해 선정된 13종을 대상으로 현지조사 시 a)서식지유형별 이입률 50%이하 종, b)서식지유형에 영향을 받지 않으며 대부분의 지역으로 이입이 확인된 보편적인 종, c)개체가 차지하는 비율이 전체 1%미만으로 관리대상으로 적합하지 않은 종으로 판정하여 제외하였다. 동 분석을 통해 상위 우점종에 속하면서 기후변화생물지표종과 멸종위기야생생물II급으로 지정보호되고 있는 큰기러기를 대표종으로 하여 흑부리오리, 넓적부리, 흰죽지 등 4종, 원서식지인 갯벌지역으로 도래하는 대표적 우점종인 도요류 2종(민물도요, 마도요) 등 총 6종을 목표종으로 선정하였다.

우점종간 상관관계분석에서도 유의수준 90%이상에서 비오리와 흰죽지($r=0.999, p<0.01$), 청둥오리와 흑부리오리($r=0.912, p<0.01$), 저어새와 민물가마우지($r=0.981, p<0.05$) 등이 양의 상관관계를 보였고, 이 중, 목표종으로 선정된 큰기러기와 흑부리오리($r=0.929, p<0.01$)와 흰죽지와 넓적부리($r=0.835, p<0.01$) 또한 유의한 양의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다.

3. 서식지 복원 및 개선방안

송도내 인공호수(site.1)와 주변 잔존갯벌(site.2)에 비해 남동유수지(site.3)는 차폐녹지조성으로 서식지로의 간섭이 적고 갈대숲이나 인공섬 등 안정된 휴식공간을 포함 다양한 서식환경이 유지되고 있었고 다양한 조류의 이입에 따른 휴식지, 섭식지, 번식지로 이용되고 있었다. 이러한 연구결과 등은 단순하게 새로운 서식지를 창출(site.1)하거나 site.2와 같이 갯벌을 보존하고 유지하는 것만으로 다양한 철새류의 서식을 도모하기 힘들다는 것을 알 수 있었고, site.1-2의 서식지 평가가 낮은 원인으로 대규모 간척사업에 따라 기존 서식지가 훼손되었고 보호 대책으로 간척지 주변 기존 갯벌지역을 보존하는 서식지유지 방안을 계획하였으나, 현실은 서식지 유지나 복원에 대한 관리방안 등 구체적인 연구나 계획이 수립되지 않아 점차 그 원래 서식지로서의 기능을 상실하게 된 것으로 판단된다. 본 연구를 통해 서식지유형의 다양성이 다양한 조류의 서식과 서식밀도에 관여한다는 선행연구결과를 검증할 수 있었으며, 가깝게는 연구대상지중 site.3에서 저어새섬으로 알려진 인공섬의 포화로 서식지내 추가 인공섬을 조성을 통해 번식지로 성공한 사례가 있다. site.1, 2에 대한 서식지 다양성확보를 위하여 서식지 창출과 개선이 필요하며, 인위적 간섭이 높은 site.3의 경우 간섭의 영향이 상대적으로 감소할 수 있는 차폐녹지를 서식지 주변으로 확보함에 따라 서식지 안정화가 유지될 수 있었던 것으로 판단되며, 비간섭 지역의 다양한 서식지 유형을 도입(모래톱)하거나 복원(갈대숲; 휴식공간 확보)로 종다양성을 확보할 수 있었던 것으로 판단된다. 특히, 이렇듯 다양한 서식지유형의 확보는 다양한 조류의 서식을 도모할 수 있으며, 인접한 site.3(남동유수지)을 참조생태계로 서식지 site.1, 2에 조류 유입을 확보할 수 있는 서식지간섭대책(차폐녹지)과 서식지관리를 위한 조류종을 대상으로 연구대상지역의 주요 도래종의 서식지 유형별 이용현황(Table 15)을 근거로 갈대숲, 모래톱, 갯벌 등의 서식지유형의 유지가 필요한 것으로 분석되었다. 부족한 서식지 유형(갈대숲)의 도입으로 서식환경의 다양성을 확보한다면 향

후 다양한 종의 유입에 따른 서식지 복원 및 관리가 가능할 것으로 판단된다. 서식지유형간 상관관계분석에서 유의수준 90%이상 유의성을 갖는 서식지유형중 저수지 가장자리(Re)와 갈대숲(Rf, $r=0.640$, $p<0.05$), 모래톱(Sb)과 갯벌(Tf, $r=0.952$, $p<0.01$) 등이 양의 상관관계를 보였고, 제시한 바와 같이 서식지관리를 위해 선정된 조류종을 대상으로 갈대숲, 갯벌 등의 서식지유형이 요구되며, 서식지 유형 개선과 창출이 필요한 site.1, 2지역 공통으로 차폐녹지를 비롯 저수지(해수면) 가장자리와 양의 상관관계에 있는 갈대숲의 창출과 site.1은 개체수 서식밀도가 높고 주요서식지 유형인 갯벌과 양의 상관관계가 있으나 면적이 협소한 모래톱의 개선이 필요한 것으로 분석되었다.

그 외, 본 조사를 통해 site.3 남동유수지의 경우 법정보호종의 저어새의 번식지면서 갯벌평가 III등급으로 보전가치가 높게 분석 되었는데, 연접한 기존 송도습지보호지역에 포함하여 보호지역으로 선정 보호 및 관리하는 방안이 필요할 것으로 판단된다.

연구지역인 site.1-2 서식지를 포함하여 각종 개발 예정 지역에 대하여 대상지역 중 site.3과 같이 참조생태계를 확보·관리하여 도래종의 서식지를 유도한다면 개발기간 동안 서식지 안정화를 도모할 수 있고 서식지 복원과 종다양성 회복으로 서식지 유지와 지속가능한 발전에서도 긍정적인 효과를 기대할 수 있을 것이다.

References

- Adam P. 2002. Saltmarshes in a time of change. *Environmental Conservation* 29: 39-61.
- Baillie SR. 1990. Integrated population monitoring of breeding birds in Britain and Ireland. *IBis* 132: 151-166.
- Barbier EB, Acrenan M, Knowler D. 1997. Economic valuation of wetlands: a guide for policy makers and planners. Ramsar Convention Bureau Gland, Switzerland.

- Blackwell MSA, Pilgrim ES. 2011. Ecosystem services delivered by small-scale wetlands. *Hydrological Sciences Journal* 56: 1467-1484.
- De la Hera A, Fornes JM, Bernues M. 2011. Ecosystem services of Inland wetlands from the perspective of the EU Water Framework Directive implementation in Spain. *Hydrologica Sciences Journal* 56: 1656-1666.
- Devictor V, Julliard R, Couvet D, Lee A, Jiguet F. 2007. Functional homogenization effect of urbanization on bird communities. *Conservation Biology* 21: 741-751.
- Furness RW, Greenwood JJD. 1993. Birds as monitors of environmental change, Glasgow.
- Ghermandi A, van den Bergh JCJM, Brander LM, de Groot HLF, Nunes PALD. 2010. Values of natural and human-made wetlands: a meta-analysis. *Water Resources Research* 46, W12516.
- Horowitz P, Finlayson CM. 2011. Wetlands as settings for human health: incorporating ecosystem services and health impact assessment into water resource management. *BioScience* 61: 678-688.
- Howard R, Moore A. 1998. A complete checklist of the birds of the world (2nd ed.). Academic Press, London.
- Hurlbert SH. 1971. The non-concept of species diversity; a critique and alter native parameters. *Ecology* 52: 577-586.
- Kang TH, Yoo SH, Lee SW, Choi OI, Lee CB. 2008. A Study on the Habitat Use of Waterbirds and Grading Assessment of the Tidal Flat at Muan Bay in Jeollanamdo, Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* 22(5): 521-529. [Korean Literature]
- Kim BS, Yeo US, Oh DH, Sung KJ. 2015. Effects of Landscape Ecological Characteristics on Bird Appearance, Focused on The Nakdong River Estuary. *Journal of Environmental Impact Assessment* 24(3): 287-299. [Korean Literature]
- Kim BS, Yeo US, Oh DH, Sung KJ. 2016. Selection of Bird Species for the Nakdong River Estuary Management. *Journal of Environmental Science International* 25(5): 615-623. [Korean Literature]
- Kim IK. 2008. Study on th Development of Wildbirds Habitat-models in Urban Stream. A Ph.D. dissertation. Chungnam National University, p. 143. [Korean Literature]
- Kim JS, Son YH, Shin JH, Lee DW, Richard BP. 2000. A Primer of conservation Biology, ScienceBooks. p. 348. [Korean Literature]
- Kim TH, Kim GW. 2021. A Study on the Classification of Urban Ecological Status Maps based on Biotope Types. *Proceedings of the Korean Institute of Landscape Architecture Conference* 1: 95. [Korean Literature]
- Krebs CJ. 1994. *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance* (4th ed.), Harper Collins College Publishers, New York.
- Kwon YS, Nam HK, Yoo JC, Park YS. 2007. Distribution Patterns of Wintering Waterbird Communities in Urban Streams in Seoul, Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* 21(1): 55-66. [Korean Literature]
- Lee KS, Kim MR, Lee SW, Lee HS. 2004. The study for grading of the mudflat by birds. *Journal of korean Wetlands Society* 6(1): 105-115. [Korean Literature]
- Lee KS. 2000. Current Status and Population Fluctuations of Waterbirds on the West Coast of Korea. Ph.D. dissertation. Kyung Hee University. [Korean Literature]

- Lee SG, Jung SG, Park KH, Kim KT, Lee WS. 2010. A Prediction Model and Mapping for Forest-Dwelling Birds Habitat Using GIS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 13(1): 67-73. [Korean Literature]
- Lee WS, Koo TH, Park JY. 2000. A field guide to the birds of Korea. LG Evergreen Foundation. Seoul, p. 320. [Korean Literature]
- Lin YP, Yeh MS, Deng DP, Wang YC. 2008. Geostatistical approaches and optimal additional sampling schemes for spatial patterns and future sampling of bird diversity. *Global Ecology and Biogeography* 17: 175-188.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. *General Systematics* 3: 36-71.
- Ministry of Environment. 2013~2022. National Institute of Biological Resources. Winter Waterbird Census of Korea. "Songdo". [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2019. National Institute of Ecology. Urban Ecological Status Map Creation Manual. [Korean Literature]
- Mitsch WJ, Gosselink JG. 1986. *Wetlands*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- National Institute of Biological Resources. 2010. Management of biological organisms and biological resources against climate change in Korea. [Korean Literature]
- Park MC. 2007. Studies on Establishment of habitats management plans and Status of birds at Ganwol Lake district, Korea. Ph.D. dissertation. Gongju National University. [Korean Literature]
- Rho BH, Yoon JH, Choi JG, Lee SW, Seo HJ. 2010. Habitat evaluation strategy for legally protected wildbirds in Korea. Korea Environment Institute. [Korean Literature]
- Schekkerman H, Meininger PL, Meire PM. 1994. Changes in the waterbird populations of the Oosterschelde (SW Netherlands) as a result of large-scale coastal engineering works. *hydrobiologia* 283:509-524.
- Shannon CE, Weaver W. 1963. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press. Urbana, p. 117.
- Shin YU, Cho HJ, Kang TH, Kim IK, Oh HS, Lee SW. 2011. Distribution of Birds and Grading Assessment of the Tidal Flat at Ganjin Bay in Jeollanamdo, Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* 18(3): 213-225. [Korean Literature]
- Simpson EH. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163: 1-688.
- U.S. NABCI Committee. 2007. Opportunities for Improving Avian Monitoring. U.S. North American Bird Conservation Initiative Report. Division of Migratory Bird Management, U.S. Fish and Wildlife Service, Arlington, VA. p. 50.
- Yeonsu-Gu Incheon. 2012-2015. Monitoring of Songdo Tidal Flat Wetland Protected Area. [Korean Literature]
- Zedler JB, Kercher S. 2005. Wetland resources: status, trends, ecosystem services, and restorability. *Annual Review of Environmental Resources* 30: 39-74.