

## 보존지역의 합리적 관리를 위한 철새 서식 확률지도 구축\* - 부산 Eco Delta City (EDC)를 중심으로 -

김근한<sup>1)</sup> · 공석준<sup>2)</sup> · 김희년<sup>3)</sup> · 구경아<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>한국환경연구원 전문연구원 · <sup>2)</sup>한국환경연구원 연구원 ·  
<sup>3)</sup>한국수자원공사 차장 · <sup>4)</sup>한국환경연구원 연구위원

## Probability Map of Migratory Bird Habitat for Rational Management of Conservation Areas\*

- Focusing on Busan Eco Delta City (EDC) -

Kim, Geun Han<sup>1)</sup> · Kong, Seok Jun<sup>2)</sup> · Kim, Hee Nyun<sup>3)</sup> and Koo, Kyung Ah<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Korea Environment Institute, Research Specialist,

<sup>2)</sup>Korea Environment Institute, Research,

<sup>3)</sup>K-water Senior Manager,

<sup>4)</sup>Korea Environment Institute, Research Fellow.

### ABSTRACT

In some areas of the Republic of Korea, the designation and management of conservation areas do not adequately reflect regional characteristics and often impose behavioral regulations without considering the local context. One prominent example is the Busan EDC area. As a result, conflicts may arise, including large-scale civil complaints, regarding the conservation and utilization of these areas. Therefore, for the efficient designation and management of protected areas, it is necessary to consider various ecosystem factors, changes in land use, and regional characteristics. In this study, we specifically focused on the Busan EDC area and applied machine learning techniques to analyze the habitat of regional species. Additionally, we employed Explainable Artificial Intelligence techniques to interpret the results of our analysis. To analyze the regional characteristics of the waterfront area in

\* 본 논문은 K-water에서 발주하여 한국환경연구원이 수행한 ‘지역특성을 고려한 보존지역의 합리적 관리 및 제도개선 방안 연구 용역(2021-100)’연구내용을 논문 형태로 변경하였으며, 일반과제 ‘생물다양성 보전을 통한 생태계 탄소흡수원 확대 방안(GP2023-15)’의 지원으로 연구를 수행하였습니다.

**First author** : Kim, Geun Han, Korea Environment Institute, Research Specialist

Tel : +82-44-415-752, E-mail : ghkim@kei.re.kr

**Corresponding author** : Koo, Kyung Ah, Korea Environment Institute, Research Fellow,

Tel : +82-44-415-7202, Fax : +82-44-415-7644, E-mail : kakoo@kei.re.kr

**Received** : 19 October, 2023. **Revised** : 20 December, 2023. **Accepted** : 20 December, 2023

the Busan EDC district and the habitat of migratory birds, we used bird observations as dependent variables, distinguishing between presence and absence. The independent variables were constructed using land cover, elevation, slope, bridges, and river depth data. We utilized the XGBoost (eXtreme Gradient Boosting) model, known for its excellent performance in various fields, to predict the habitat probabilities of 11 bird species. Furthermore, we employed the SHapley Additive exPlanations technique, one of the representative methodologies of XAI, to analyze the relative importance and impact of the variables used in the model. The analysis results showed that in the EDC business district, as one moves closer to the river from the waterfront, the likelihood of bird habitat increases based on the overlapping habitat probabilities of the analyzed bird species. By synthesizing the major variables influencing the habitat of each species, key variables such as rivers, rice fields, fields, pastures, inland wetlands, tidal flats, orchards, cultivated lands, cliffs & rocks, elevation, lakes, and deciduous forests were identified as areas that can serve as habitats, shelters, resting places, and feeding grounds for birds. On the other hand, artificial structures such as bridges, railways, and other public facilities were found to have a negative impact on bird habitat. The development of a management plan for conservation areas based on the objective analysis presented in this study is expected to be extensively utilized in the future. It will provide diverse evidential materials for establishing effective conservation area management strategies.

**Key Words:** *conservation areas, EDC, XAI, SHAP*

## I. 서 론

전 세계적으로 생물다양성, 자연자원, 문화자원 등을 보호하기 위하여 보호지역을 지정하고 있다. 보호지역은 생물종의 서식지이자 피난처의 역할을 하며, 생물다양성 유지와 함께 다양한 생태계 서비스를 제공한다는 점에서 중요성이 강조되고 있다(UNDP, 2010; Dudely, 2013). 이에 따라 국제사회는 1992년 리우회의를 시작으로 생물다양성 과 문화자원의 보전에 필요한 보호지역의 확대 및 관리에 대해 논의하였고, 2011-2020 생물다양성 전략계획을 거쳐 2022년 12월에는 쿤밍-몬트리올 글로벌 생물다양성 프레임워크(Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework, GBF)를 채택하였다. GBF는 실천목표 3(Target 3)에서는 보호지역 확대(육상/육수 및 해안/연안 생태계의 30%)에 대한 구체적인 목표를 제시하고 있다(SCBD, 2022).

이렇듯 보호지역의 확대는 국제사회의 중요한 이슈로 인식되고 있으나, 보호지역 내에서 인간 활동으로 인한 개발압력의 증가는 생물다양성 보전과 자연환경 보호 간의 갈등 문제가 지속적으로 제기되고 있다(Watson et al., 2014; Venter et al., 2018; Butchart et al., 2015; Fuente et al., 2020). 특히 우리나라의 보호지역은 생태계의 원시성, 멸종위기야생생물의 서식 여부, 경관의 심미성 등을 고려하여 단순중첩을 통해 평가하고 있다. 이렇게 지정된 일부 보호지역은 지역의 특성을 반영하지 못하고 있으며, 관리에 있어서도 단순 행위규제만이 이루어지고 있어 이용과 보전 간 이해충돌이 발생하고 있다. 보호지역의 지정 및 관리를 위해서는 양적인 측면뿐만 아니라 질적인 측면도 고려되어야 한다. 특히 멸종위기종 서식지, 취약생태계, 생태경관, 원시성 등 다양한 생태계 요인은 물론 토지이용변화 및 지역 특성을 고려할 필요가 있다(Koo et al., 2018).

기존 연구에서는 보호지역 지정을 위하여 환경변화, 생태계 연결성 및 생태계서비스 등과 함께 지역특성을 고려한 다양한 머신러닝 기법들을 도입·활용하여 보호지역을 설정하고 있다. Dickson et al(2014)은 미국 서부 11개 주를 대상으로 생태경로모형을 활용하여 생물종 서식지 간 연결에 필요한 지역을 도출하고, 이를 보호지역으로 설정할 것을 제안하였다. Duarte et al (2016)은 GIS 기반의 InVEST 모형을 활용하여 브라질 남부 Iron Quadrangle 지역의 생태계서비스를 평가하여 지역생태계 서비스 유지에 중요한 지역을 도출하고, 신규보호지역으로 지정할 것을 제안하였다. Giakoumi et al(2013)은 사회·경제적 시나리오 가치평가 모델을 활용하여 지중해 연안지역의 생태계 서비스 유지를 위한 보전지역을 도출하였다. Levin et al(2013)은 Marxan with Zone 모델을 활용하여 이스라엘 리마트 하나비드 지역의 식생을 유형별로 분류하고 유형별 식생 분포의 시공간적 변화 예측을 통해 생물다양성 보전을 위한 국립공원 지정 우선순위 지역과 관리방안을 제시하였다. Loyola et al(2013)은 적합서식지 모형을 활용하여 브라질 대성양림의 지역별 종 풍부도 평가 및 미래 기후변화에 의한 종다양성 변화율을 분석하여 종다양성 보전을 위한 지역을 도출한 바 있다. 이러한 분석 기법들은 생물종 서식환경 분석을 통해 지역단위의 분석이 가능하다(Koo & Park., 2020).

그러나 이러한 머신러닝 기술들은 결과를 해석하기 어렵다는 한계가 있다. 이에 따라 최근에는 도출된 결과를 설명할 수 있는 XAI (eXplainable Artificial Intelligence) 기법이 도입되어 활용되고 있다. 회귀분석과 같은 화이트박스 모델은 딥러닝과 같은 블랙박스 모델에 비해 설명력은 높지만, 예측 정확도는 다소 낮다. 블랙박스 모형의 경우 화이트박스 모델에 비해 예측 정확도는 높지만, 결과를 어떻게 도출되었는지 그 과정을 이해하고, 해석하는 것이 어렵거나 불가능하다. 이에 따라 AI가 왜 이런 결정을 내

렸는지 판단 기준 및 과정이 설명할 수 있는 AI, Explainable AI(XAI) 라는 키워드가 탄생했다. XAI의 대표 모델로 SHAP, LIME 등이 있으며, 본 연구에서는 SHAP을 적용했다. SHAP은 XAI를 구현하기 위한 대표적인 모델로 Shaply Values를 기반의 예측값에 대한 각 독립변수의 기여도를 측정하여 예측 해석을 제공한다. 이처럼 SHAP은 머신러닝을 통해 예측 결과에 대한 독립변수들의 기여도를 설명함으로써 AI의 판단 기준을 확인할 수 있는 모델이다(Riberiro et al., 2016; Lundberg & Lee., 2017).

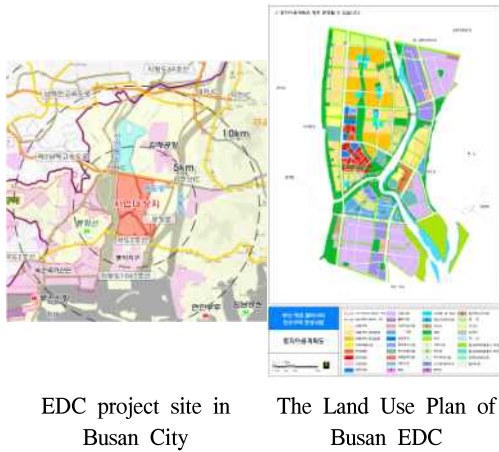
본 연구는 철새도래지로 역사문화환경 보존지역으로 지정되어 보존과 개발이 상충하고 있는 부산 에코델타시티(Eco Delta City, 이하 EDC) 사업지구를 대상으로 XAI 기법의 적용을 통해 철새 서식 확률지도를 구축하고, 철새 서식에 영향을 주는 주요 변수를 파악하고자 한다. 그리고 이를 통해 보존지역의 합리적 관리방안을 제시하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

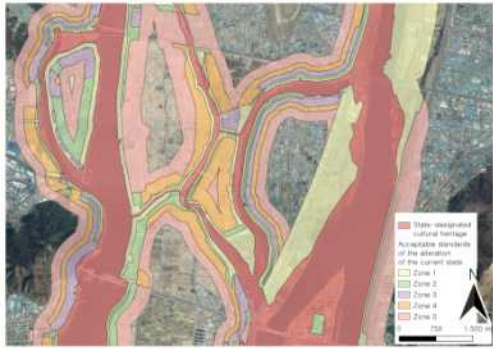
### 1. 연구대상지

본 연구에서는 보존지역이면서 개발이 이루어지고 있는 부산 에코델타시티(Eco Delta City, EDC) 친수구역 사업지구 주변의 낙동강하구(서낙동강, 맥도강, 평강천)를 대상지로 하였다. EDC 사업은 부산광역시 강서구 일월 11.77km<sup>2</sup> 면적에 3만 세대 규모의 신도시 건설을 목표로 하고 있다. EDC 사업지구 수변지역은 보전지역인 낙동강하류 철새도래지가 위치하고 있다.

EDC 사업지구 수변지역은 역사문화환경 보존지역 제1구역으로 설정되어 있으며, 문화재 관리·보존을 위한 시설물 설치는 허용되지만, 그 외의 시설 설치는 엄격한 기준과 규제를 따라야 한다. 이러한 보존지역은 주로 생태적 건강성과 공공의 목적을 고려하여 설정되었으나, 지역 고유의 특성을 고려한 지역 맞춤형 보존지역 관리



EDC project site in Busan City      The Land Use Plan of Busan EDC



Cultural Heritage Protection Zone and Preservation Areas of Historic and Cultural Environment

**Figure 1.** The study site

방안은 마련되지 않고 있다. 따라서 EDC 사업지구의 개발 완료 후에는 보존지역에 대한 제약으로 인해 지역주민들의 주변지역 이용과 활용에 제약이 생길 수 있으며, 이로 인한 대규모 민원 및 지역갈등이 예상된다(Figure 1).

이러한 이유로 EDC 사업지구 주변지역에서는 보존지역의 합리적 관리를 위해 지역 특성과 철새의 서식 특성을 고려한 객관적인 평가가 필요하다. 따라서 EDC 사업지구를 연구대상지로 선정하였다.

## 2. 데이터

부산 EDC 사업지구 주변지역의 지역특성 및 철새의 서식환경을 분석하기 위하여 토지피복, 표고 및 경사, 교량, 하천수심, 철새 발견지점 및 비 발견지점 등의 데이터를 구축하였다(Table. 1).

### 1) 종속변수

EDC 사업 시행에 따른 토지이용 변화로 인하여 월동기에 도래하는 철새의 서식에 미치는 영향을 예측하고, 주변지역의 현명한 이용과 관리를 위하여 월동기 현장조사와 함께 문헌자료를 수집하여 분석하였다.

월동기 현장조사는 2021년 10월부터 2022년

**Table 1.** Variables used in the study

Variable		Description	Data source and reference
Dependent	habitat and non-habitat by bird species	Presence (1) and Absence (0) for 21 the indicator species	National Ecosystem Survey (2th, 4th)
	Land Cover	Area of 41 types of classified land cover within a 500m radius of habitat and non-habitat for each species	Land Cover map by Ministry of Environment
Independent	Altitude and Slope	Raster values in units of 10 m where the habitat and non-habitat are located for each species	Digital Topographic Map
	Bridges	Area of road bridges, pedestrian bridges, and railroad bridges included within a 500m radius of each species' habitat and non-habitat	Digital Topographic Map
	River Depth	Average water level of rivers contained within 500m radius of habitat and non-habitants for each species	Water resources management information system(WAMIS)

**Table 2.** Selection of Migratory Bird Indicator Species in Waterfront Area of EDC Project District

Species name	Scientific name	Migratory Bird population	Dominance Index(%)	IUCN Red list*	Natural monument	Endangered species	Data
흰뺨검둥오리**	<i>Anas poecilorhyncha</i> **	3,892	21.35	LC	-	-	○
물닭	<i>Fulica atra</i>	3,081	16.9	LC	-	-	○
청둥오리**	<i>Anas platyrhynchos</i> **	2,866	15.72	LC	-	-	○
넓적부리**	<i>Anas clypeata</i> **	1,577	8.65	LC	-	-	○
흰죽지**	<i>Aythya ferina</i> **	1,181	6.48	VU	-	-	○
큰기러기	<i>Anser fabalis</i>	739	4.05	LC	-	2	×
검은머리흰죽지	<i>Aythya marila</i>	656	3.6	LC	-	-	○
참새	<i>Passer montanus</i>	633	3.47	LC	-	-	○
알락오리	<i>Anas strepera</i>	570	3.13	LC	-	-	○
붉은머리오목눈이**	<i>Paradoxornis webbianus</i> **	520	2.85	LC	-	-	○
붉은부리갈매기	<i>Larus ridibundus</i>	442	2.42	LC	-	-	○
청머리오리**	<i>Anas falcata</i> **	387	2.12	NT	-	-	○
댕기흰죽지**	<i>Aythya fuligula</i> **	235	1.29	LC	-	-	○
큰고니**	<i>Cygnus cygnus</i> **	140	0.77	LC	○	2	○
가창오리**	<i>Anas formosa</i> **	130	0.71	LC	-	Cancellation	○
흰뺨오리	<i>Bucephala clangula</i>	130	0.71	LC	-	-	○
민물가마우지	<i>Phalacrocorax carbo</i>	128	0.7	LC	-	-	○
빨논병아리**	<i>Podiceps cristatus</i> **	116	0.64	LC	-	-	○
큰부리까마귀**	<i>Corvus macrorhynchos</i> **	109	0.6	LC	-	-	○
고방오리**	<i>Anas acuta</i> **	80	0.44	LC	-	-	○
논병아리	<i>Tachybaptus ruficollis</i>	76	0.42	LC	-	-	○
왜가리**	<i>Ardea cinerea</i> **	71	0.39	LC	Habitats	-	○
팽이갈매기	<i>Larus crassirostris</i>	68	0.37	LC	Habitats	-	○
쇠오리	<i>Anas crecca</i>	52	0.29	LC	-	-	○
중대백로**	<i>Ardea alba</i> **	48	0.26	NE	-	-	○
솔개	<i>Milvus migrans</i>	31	0.17	LC	-	2	×
갈매기	<i>Larus canus</i>	29	0.16	LC	-	-	○
흰비오리	<i>Mergellus albellus</i>	20	0.11	LC	-	-	○
까치	<i>Pica pica</i>	16	0.09	LC	-	-	○
찌르레기**	<i>Sturnus cineraceus</i> **	15	0.08	LC	-	-	○
원앙**	<i>Aix galericulata</i> **	8	0.04	LC	○	-	○
바다비오리	<i>Mergus serrator</i>	7	0.04	LC	-	-	○
재갈매기**	<i>Larus argentatus</i> **	8	0.04	LC	-	-	○
쇠물닭	<i>Gallinula chloropus</i>	5	0.03	LC	-	-	○
멧비둘기**	<i>Streptopelia orientalis</i> **	5	0.03	LC	-	-	○
쇠백로	<i>Egretta garzetta</i>	3	0.02	LC	-	-	○
황조롱이**	<i>Falco tinnunculus</i> **	4	0.02	LC	○	-	○
독수리	<i>Aegypius monachus</i>	4	0.02	NT	○	2	×
흰꼬리수리	<i>Haliaeetus albicilla</i>	2	0.01	LC	○	1	×
말뚝가리**	<i>Buteo buteo</i> **	1	0.01	LC	-	Cancellation	○
때까치	<i>Lanius bucephalus</i>	1	0.01	LC	-	-	○

\* IUCN Red list Categories: Not Evaluated(NE), Data Deficient(DD), Least Concern(LC), Near Threatened(NT), Vulnerable(VU), Endangered(EN), Critically Endangered(CR), Extinct in the Wild (EW) and Extinct(EX)

\*\* Selection of Migratory Bird Indicator Species

3월까지 총 11회 이루어졌다. 문헌자료는 부산광역시에서 이루어지고 있는 낙동강하구 생태계 모니터링 자료(2017년~2021년)를 활용하였다.

월동기 현장조사 결과 총 41종의 철새가 EDC 사업지구 수변지역에서 월동하는 것으로 나타났다. 출현 종 대부분은 12월까지 증가 추세를 보이다가, 이듬해 1월부터 서서히 감소하는 경향을 보였다.

월동기 주요 우점종으로 흰뺨검둥오리, 물닭, 청둥오리, 넓적오리 등이 있으며, 범정보호종인 큰기러기, 큰고니, 원앙, 황조롱이 등이 낙동강하구에서 월동하는 것으로 나타났다.

최근 5년간 낙동강하구 생태계모니터링 결과 약 100여 종의 철새가 EDC 사업지구 인근에서 월동하는 것으로 나타났다.

이러한 현장 및 문헌 조사 결과를 바탕으로 EDC 사업지구에서 월동하는 우점종 41종을 도출하였다. 도출된 우점종을 바탕으로 IUCN 적색목록, 범정보호종(천연기념물, 멸종위기야생생물 등), 출현 발견지점의 데이터 여부를 분석하여 총 20종의 지표종을 선정하였다(Table. 1).

철새는 계절적 이동성과 주기성을 가지고 있으며, 번식과 이동 중 휴식, 채식에 의해 서식지 이용이 달라질 수 있다(Jorde et al., 1984; Lincoln et al., 1998; Newton., 1998). 따라서 분포역이나 출현지점과 함께 서식지의 기능과 특성, 활동권 등 다양한 요소를 고려하여 서식지 평가가 필요하다(Noordhuis et al., 2002; Quan et al., 2002; Kim. 2021).

종 분포 모델(Species Distribution Models, SDMs)은 종의 분포 데이터와 환경 특성 간의 상관관계를 평가하여 존재 확률의 척도를 평가함으로써 종의 주어진 지역 환경 적합성을 도출할 수 있다(Brambilla & Ficetola., 2012). 종분포 모델은 크게 전문가 의견 반영 또는 출현자료가 필요한 프로 파일기술(GAP; Gap Analysis Program, HSI; Habitat Suitability Index 등), 종의 존재 유무 데이터가 필요한 통계모형(GLM; Generalized

Linear Model, GAM; Generalized Additive Model 등), 기계학습모형(CART; Classification and Regression Tree, ANN; Artificial Neural Network 등) 등을 통해 서식지 적합성을 평가한다. 이렇듯 종 분포 모델은 종의 존재 및 존재 유무에 대한 정보가 필요하다(Cho., 2015).

종 분포 모델의 종속변수를 구축하기 위하여 제2차(1997~2005년), 제4차(2014~2018년) 전국 자연환경조사의 종별 발견지점을 활용하였다. 비서식지는 각 종별 서식지 반경 5km에 포함되지 않은 지역 가운데 서식지의 2배수를 임의로 추출하였다. 각 종별 발견지점은 1, 미발견지점은 0의 값을 부여하여 종속변수를 구축하였다.

## 2) 독립변수

철새 서식지 적합성을 평가하기 위하여 종분포모형의 다양한 기법을 도입한 연구들이 수행되고 있다. 특히 철새 서식환경과 다양한 공간적 유형 사이의 상호관계를 분석하기 위하여 지형, 지질, 수계, 서식환경(식생 유형, 정수식물의 면적 등), 식생지수(NDVI 등), 토지피복 및 토지이용, 교량/도로 등 다양한 변수가 활용된다. 각 변수들은 크게 활동원(채식, 휴식, 번식 등을 위한 행동 반경), 서식환경(기후, 지형, 식생 등), 서식 방해요인(토지피복의 변화, 인간의 영향 등)으로 구분할 수 있으며, 이러한 변수를 이용하여 철새의 서식 확률을 평가하고 있는 것으로 나타났다(Table. 3).

선행연구에서 활용된 변수 중 2회 이상 반복적으로 사용되는 변수를 중요 변수로 도출하였다. 철새 서식환경과 관련하여 반복적으로 사용되는 주요 변수에는 하천(수심/수위/수역), 습지(내륙습지, 갯벌, 저수지 등), 토지이용/피복, 교량 등이 나타났으며, 대부분의 중요 변수들은 세분류 토지피복도의 41개 유형에 포함되었다. 각 변수 중 활용데이터의 여부를 고려하여 토지피복(세분류 토지피복도), 표고 및 경사, 교량, 하천수심을 독립변수로 선정하였다.

**Table 3.** Applicable variables for migratory bird habitat probability analysis

Variable	Reference	Data
Wetland area	Choi et al(2014), Pavón-Jordán et al(2017)	Land Cover map
Grassland area, Farmland area	Li et al(2013)	
Reedbed area	Lehikoinen et al(2016)	
Waterbody(Sea, River, Lake, Reservoirs, etc.) area		
Land use	Arzel et al(2015)	
Rivers, reservoirs, and wetlands area	McCauley et al(2016)	
Land cover type		
Development zone(Road, Building, etc.) Area	Sun et al(2015)	
Wetlands, Tidal flats area	Pandiyana and Asokan (2016)	
Farmland, Grassland, Wetland, Waterbody area	Elafri et al(2017)	
Land cover type	Luo et al(2019)	
Land use/cover, Road, Bridge area	Choudhary et al(2021)	
Vegetation type	Rajpar & Zakaria (2014)	
Waterbody, Wetland area Vegetation	Vanausdall & Dinsmore(2019)	
Wetland properties Vegetation information	Wang et al(2016), Wang et al(2019)	Land cover map List of River
Emergent plant(reed, Typha orientalis, etc.) area		
Waterbody(Sea, River, Lake, Reservoirs, etc.) area	Chabot et al(2014)	
River depth(or level)		
Land use River level	Zhu et al(2021), Liang et al(2022)	
Land use Seasonal river levels	Li et al(2019)	Land cover map BldgisSpceService
Wetland area Building density	Reiter et al(2015)	
Waterbody, wetland, Farmland area, road area Building	Hsu et al(2019)	
Wetland, grassland area Building area	Zhang et al(2019)	
River water quality Topography(Elevation, slope, ect.)	Wang et al(2019)	Water environment information system Digital Elevation Model(DEM)
River electrical conductivity, pH Wetland area	Brandolin & Blending(2015)	Water environment information system Land cover map
Road(or Bridge), residential zone area NDVI, TCWGD	Maleki et al(2016)	DEM Land cover map LandSat
River salinity River depth(or level)	Atheam et al(2012)	List of River
DEM River depth(or level)	Schaffer-Smith et al(2018)	DEM List of River
Low tide and high tide	Basso et al(2018)	KHOA Smart Tide Forecast
Road(traffic) Land use River properties(level, vegetation)	Rajashekara & Venkatesha(2014)	Traffic monitoring system Land cover map List of River
Building density Land use Mix Farmland properties Water pollution	Stevens & Conway(2020)	BldgisSpceService Land cover map Soil map Water environment information system

세분류 토지피복도는 EDC 개발 완료 전후의 토지피복 및 토지이용을 적용하기 위하여 기존 세분류 토지피복도와 EDC 사업지구 계획도를 토지피복도로 자체 제작하고 중첩하여 래스터 형태의 데이터를 구축하였다(Figure 4).

표고 및 경사, 교량은 국토지리정보원에서 제공하는 연속수치지형도(1:5,000)를 활용하여 10m 단위의 래스터 형태로 구축하였으며, 교량은 도로교와 보도교, 철도교로 구분하였다. 하천수심은 국가수자원관리종합정보시스템에서 제공하는 국가 주요 하천별 평균 수위 값으로 정의하고 래스터 형태의 데이터를 구축하였다.



(a) The current Sub-divided Land Cover Map



(b) Sub-divided Land Cover Map according to Busan EDC development

**Figure 4.** Sub-divided Land Cover Map on Before and after Busan EDC development

구축된 독립변수들의 데이터를 종별 발견지점 및 비 발견지점으로부터의 반경 500m 내 면적을 산정하여 분석에 활용하였다.

### 3. 연구방법(Methode)

#### 1) 연구절차

EDC 사업지구 및 주변의 수변지역의 철새 서식확률 지도를 도출하기 위하여 설명 가능한 인공지능 기법인 XAI를 적용하였다. XAI는 기존 인공지능 기법의 낮은 해석력을 보완하기 위한 방법론으로, 결과 예측에 있어 각 변수들의 중요성과 영향 정도를 파악할 수 있다는 장점이 있다. 특히 XGBoost(eXtreme Gradient Boosting) 모형은 여러 개의 약한(weak) 의사결정나무들을 조합하여 강한(strong) 하나의 학습자(learner)를 구현하는 앙상블 학습 기법으로, 연속형, 범주형 자료에 모두 활용 가능하고, 높은 정확도로 인하여 다양한 분야에서 활용되고 있다(Kim & Kim, 2022). 이에 본 연구에서는 XGBoost(eXtreme Gradient Boosting) 모형을 활용하였으며, 해당 모형의 결과를 해석하기 위하여 XAI의 대표적 방법론 중 하나인 SHAP(SHapley Additive exPlanations) 기법을 적용하여 분석에 사용된 변수들의 상대적 중요도와 영향 정도를 분석하였다.

XGBoost-SHAP 모형을 적용하기 위해서는 1 단계 분석하고자 하는 철새의 발견지점과 비 발견지점을 종속변수로 지정하고, 관련 독립변수들을 수집·가공 후 공간 DBMS에 저장, 2단계 실험 대상 지역 범위를 고려하여 해당 철새의 발견지점과 비 발견지점으로부터 500m 버퍼 수행 후 해당 버퍼 공간에 포함되는 독립변수들을 활용한 속성값 추출을 통한 정형데이터 생성, 3단계 구축된 정형데이터를 활용한 XAI 모형 적용 후 학습기 구축, 4단계 모형 검증용 데이터(20%)를 적용하여 학습기 정확도 검토, 5단계 DB에 저장된 모든 데이터를 학습기에 적용하여 격자별 철새 서식 확률(종속변수 발생할) 지도 자동 구축 등의 과정을 통해 확률지도를 구축하였다.



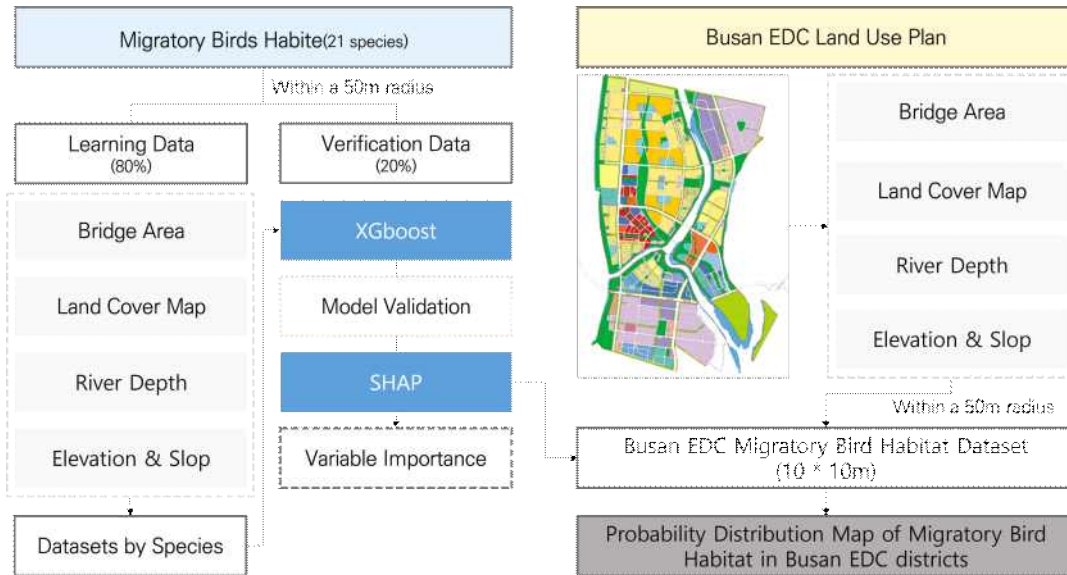


Figure 5. Development of Probability Map of Major Migratory Birds Habite Using XAI

### III. 결 과

#### 1. 조류 조사 결과

EDC 사업지구는 낙동강하구 조간대 깃벌 - 맥도둔치도 습지 - 맥도강 및 EDC 습지복원지 - 서낙동강(EDC 서편) - 조만강 및 주변 농경지를 잇는 하구 지역으로 겨울 철새 이용과 서식지로서 매우 중요한 지위를 가진다. 서낙동강 본류에 대한 현장조사(2021년 10월 ~ 2022년 3월) 결과 11월에 개체 수가 집중적으로 증가하였고, 이후 감소하여 2월에 접어들면서 개체 수가 급격히 감소하였다. 이러한 결과를 바탕으로 11월부터 2월까지의 겨울 철새가 집중적으로 이용하는 기간으로 교란을 최소화할 수 있는 방안이 마련되어야 할 것이다. 특히 11월 말에는 멸종위기야생생물중인 큰고니와 큰기러기가 중요한 휴식지로 활용하고 있어 수변 완충지대에 대한 식생유지와 확보, 차폐림의 조성 등이 필요하다고 판단되었다.

#### 2. 철새 서식 확률지도

지표종 20종의 철새 서식확률분포 분석 결과

EDC 사업이 완료 후에도 서식 가능한 종으로 가창오리, 고방오리 가창오리, 고방오리, 넓적부리, 땡기흰죽지, 말뚝가리, 빨논병아리, 재갈매기, 청머리오리, 큰고니, 황조롱이, 흰죽지 등 11종으로 나타났다. 각 종의 서식확률 지도에서 파란색에 가까워질수록 서식확률이 높아지고, 붉은색에 가까워질수록 낮은 서식확률을 보여준다 (Figure. 7).

가창오리는 겨울 철새로 우리나라 호소, 간척지 등에서 대규모로 무리를 이루어 월동하며, 농경지를 취식지역으로 활용한다. EDC 사업지구에서의 서식확률은 0.01~0.99의 범위를 가졌으며, 평균 분포확률은 0.77±0.25로 대상 지역의 하천을 중심으로 수변지역까지 높은 서식확률을 보였다. 서식변수에 대한 상대적 중요도를 평가한 결과 하천과 경지정리가 된 논이 주요변수로 작용하는 것으로 나타났다.

고방오리는 겨울 철새이자 수면성 오리로 강이나 하구, 저수지 등에서 무리를 이루어 도래한다. EDC 사업지구에서의 서식확률은 0.11~0.96의 범위를 가졌으며, 평균 0.78±0.19 서식확률을 보였다. 특히 하천을 중심으로 수변에 인접한 내

륙 지역에 이르기까지 높은 서식확률을 보였다. 서식변수에 따른 상대적 중요도를 평가한 결과 데이터(위치정보)의 부족으로 주요변수는 도출하지 못하였다.

넓적부리는 겨울 철새로 하구, 하천, 연못, 호수, 습지 등에 주로 서식한다. EDC 사업지구에서의 서식확률은 0.01~0.99로 평균  $0.75 \pm 0.27$ 의 서식가능성을 보였다. 대상지역의 하천과 내륙 지역에 이르기까지 높은 서식확률을 보였으며, 차량이 다니는 도로와 경지정리가 된 밭이 주요 영향변수로 나타났다.

맹기흰죽지는 비교적 흔히 관찰되는 겨울 철새로 호수, 습지, 항구 등지에서 무리를 이루어 월동한다. EDC 사업지구에서의 서식확률은 0.01~0.86의 범위를 가졌으나, 평균 서식확률은  $0.30 \pm 0.17$ 로 다른 지표종에 비해 평균 분포확률이 낮았다. 맹기흰죽지역시 고방오리와 마찬가지로 데이터의 부족으로 주요변수를 도출하지 못하였다.

말뚝가리는 매목 수리과의 겨울 철새로 월동기에 접어드는 10월부터 이듬해 3월까지 우리나라의 산림, 개활지, 하천, 습지 등지에서 서식한다. EDC 사업지구에서의 서식확률은 0.00~0.99의 범위를 가졌으나, 평균 서식확률은  $0.35 \pm 0.29$ 로 낮게 나타났다. 대상지역의 서낙동강을 중심으로 수변구역에서 높은 서식확률을 보였다. 서식 변수에 따른 상대적 중요도를 평가한 결과 기타 공공시설, 활엽수림, 기타재배지, 기타초지, 암벽·바위, 내륙습지 등이 주요 영향 변수로 나타났다. 말뚝가리의 주요 서식지 특성과 유사한 경향을 보였다.

빨논병아리는 우리나라에서 드물게 번식하는 텃새이자 비교적 흔히 관찰되는 겨울철새로 강 하구나 해안, 호수, 저수지 등에 주로 서식한다. EDC 사업지구에서의 서식확률은 0.00~1.00의 범위로 나타났다. 평균분포확률은  $0.557 \pm 0.41$ 로 나타났다. 대상 지역의 하천을 중심으로 수변 지역에 이르기까지 높은 서식확률을 보여주었으

며, 주요 서식 영향변수로 호소, 하천, 하천의 수심, 자연초지, 갯벌 등이 나타나 빨논병아리의 주요 서식지 특성과 유사하게 도출되었다.

재갈매기는 도요목 재갈매기과로 우리나라 - 해안, 항구, 어장, 강, 항만 등지에서 서식하는 겨울 철새이며, 낙동강하구의 조간대에서 큰 무리를 형성하여 집단으로 월동한다. EDC 사업지구에서의 서식확률은 - 0.18~1.00의 범위를 가졌으며, 평균 분포확률은  $0.92 \pm 0.10$  보였다. EDC 사업지구 전 지역에 서식이 가능할 것으로 나타났으며, 갯벌이 주요 영향변수로 도출되었다.

청머리오리는 동북아시아 고유종으로 개체군은 감소 추세에 있으나 우리나라 겨울철에 흔히 관찰할 수 있는 겨울 철새이며, 하천, 습지, 저수지, 수로 등 다양한 지역에서 월동한다. EDC 사업지구에서의 서식 확률은 0.00~0.98의 범위를 가졌으며, 평균  $0.79 \pm 0.21$  서식확률을 보였다. EDC 사업지역 주변의 하천을 중심으로 내륙 일부지역까지 서식 가능한 것으로 나타났다. 청머리오리는 내륙습지, 경지정리가 된 밭, 경지정리가 안 된 논, 강기슭, 철도가 주요 영향 변수로 도출되어 청머리오리의 주요 서식지 특성과 유사한 경향을 보였다.

큰고니는 멸종위기야생생물 2급으로 지정된 보호종이자 겨울 철새로 저수지, 물이 고인 논, 호수, 하구, 해안 등 수심이 얇은 수면에서 생활한다. 또한 우리나라에서는 낙동강하구에서 가장 많은 개체가 월동한다. EDC 사업지구에서의 서식확률은 0.01~0.99의 범위로  $0.55 \pm 0.31$  평균 서식확률을 보였다. 큰고니는 대상지 주변의 하천을 중심으로 수변지역까지 높은 서식확률을 보였으며, 표고 및 경사, 하천 면적과 수위, 교량 면적 등이 서식에 영향을 미치는 주요 변수로 나타났다. 특히 표고와 하천 면적, 수위가 서식여부의 약 70%를 설명하는 변수로 표고가 낮을수록, 하천 수위가 높을수록, 하천과 내륙습지(수변식생) 면적이 넓을수록 서식 확률이 높아지는 것을 확인하였다.

황조롱이는 천연기념물로 지정된 보호종이자 텃새로 묵은 등지, 암벽이 움푹 파인 곳, 고층 건물 틈, 나무구멍 등지에서 번식하는 우리나라 대표적인 맹금류이며, 들판, 초원, 숲, 농경지, 강이나 하천변 등지에서 생활한다. EDC 사업지구에서의 서식확률은 0.00~0.99로 평균  $0.51 \pm 0.42$  서식확률을 보였다. 대상지의 수변을 중심으로 높은 서식확률을 보였으며, 경지정리가 된 논, 기타초지, 경지정리가 된 밭, 과수원, 내륙습지 등이 주요 영향 변수로 나타났다.

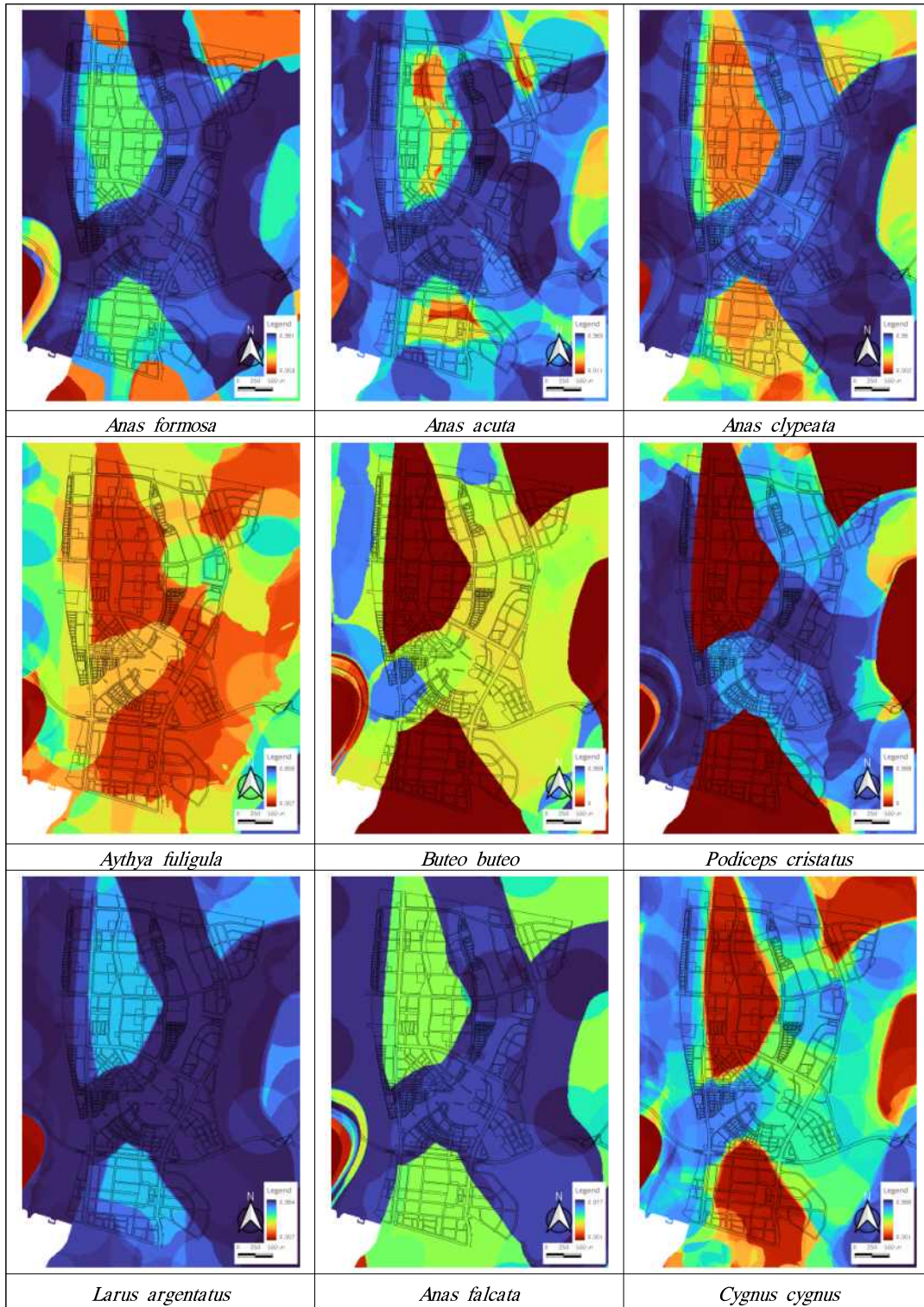
흰죽지는 우리나라에서 10월부터 이듬해 3월까지 월동하는 비교적 흔한 겨울철새로 호수, 하천, 강 하구 등에서 서식한다. EDC 사업지구에서의 서식확률은 0.01~0.98의 범위를 가졌으며, 평균 분포확률은  $0.66 \pm 0.23$ 로 나타났다. 대상지 주변의 하천을 중심으로 내륙에 이르기까지 높은 서식확률을 보였다.

각 종별 서식에 영향을 미치는 주요 변수를 종합한 결과 하천, 논, 밭, 초지, 내륙습지, 갯벌, 과수원, 재배지, 암벽·바위, 표고, 호소, 활엽수림 등 철새의 서식처, 은신처, 휴식처, 취식지 등의 역할을 할 수 있는 지역들이 주요 변수로 도출되었다. 교량, 철도, 기타공공시설 등 인공시설물은 철새 서식에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 대부분의 철새들은 EDC 수변지역에서 높은 서식확률로 보였으며, 철새와 인간의 공존을 위해서는 수변지역에 대한 관리가 불가피할 것으로 판단된다.

EDC 사업지구에서 서식 확률이 높은 11종을 중첩하여 도출한 철새 서식확률지도를 확인한 결과 철새의 서식확률 합은 0.20에서 10.19의 분포 범위를 가졌으며, 수변지역으로부터 하천을 중심으로 갈수록 서식 가능성이 높아지는 것을 확인하였다. 황조롱이를 제외한 대부분은 겨울 철새로 10월부터 이듬해 3월까지 우리나라에서 월동하는 종으로 이러한 조류의 특성을 반영하여 겨울철 월동기에는 수변지역 출입을 제한하는 등 보호 방안이 필요하다(Figure. 7).

현재 부산 EDC 수변지역은 낙동강 하류 철새 도래지로 지정되어 있고, 해당 지역을 중심으로 역사문화환경 보존지역으로 설정되어 있어 수변 지역을 중심으로 1~5구역으로 구분되어 해당 지역은 행위가 제한된다. 특히 EDC 사업지구 수변 지역은 역사문화환경 보존지역에서 이루어지는 규제구역 1구역으로 문화재 관리·보존을 위한 시설물 설치는 허용되나 그 외에 이용 편의를 위한 시설을 설치하기 위해서는 「문화재보호법」 제13조의 제2항, 제6항에 따라 역사문화환경 보존지역에서 지정문화재 보존에 영향을 미칠 우려가 있는 행위에 해당하는지 검토하여야 한다. 이러한 행위제한은 지역의 특성이나 보전 가치를 고려하지 않고, 일률적으로 이루어지는 행위 제한으로 거리에 따라 규제의 강도가 다르게 주어진다. 이러한 제도적 행위제한은 해당 토지를 활용하고자 하는 주민들의 민원 등을 야기할 수밖에 없다.

본 연구에서는 Figure 6과 Figure 7과 같이 낙동강을 중심으로 철새들의 휴식 및 서식에 있어서 중요도의 강도가 다르게 나타난다. 특히 Figure 7의 결과를 이용하여 역사문화환경 보존 지역의 1구역에서의 결과를 추출하여 Figure 8과 같은 관리등급을 구분하였을 때 지역별 중요도를 구분할 수 있으며, 중요도를 기반으로 해당 지역의 관리등급을 제시할 수 있다. 특히 Figure 6과 같이 철새들의 휴식기를 고려하여 중요 지역별 관리지역 및 관리 기간을 설정할 수 있을 것이다. 이러한 관리방안의 제시는 낙동강 인근이라고 무조건적인 행위제한이 아니라 실제로 철새들의 중요한 서식처 또는 휴식처의 경우 충분한 보전 및 관리방안을 제시해주고, 철새들의 휴식 및 서식에 영향이 미비한 지역의 경우에는 해당 지역 주민들이 해당 토지를 일정 범위 내에서 활용 및 관리 할 수 있도록 제안할 수 있을 것이라 판단된다.





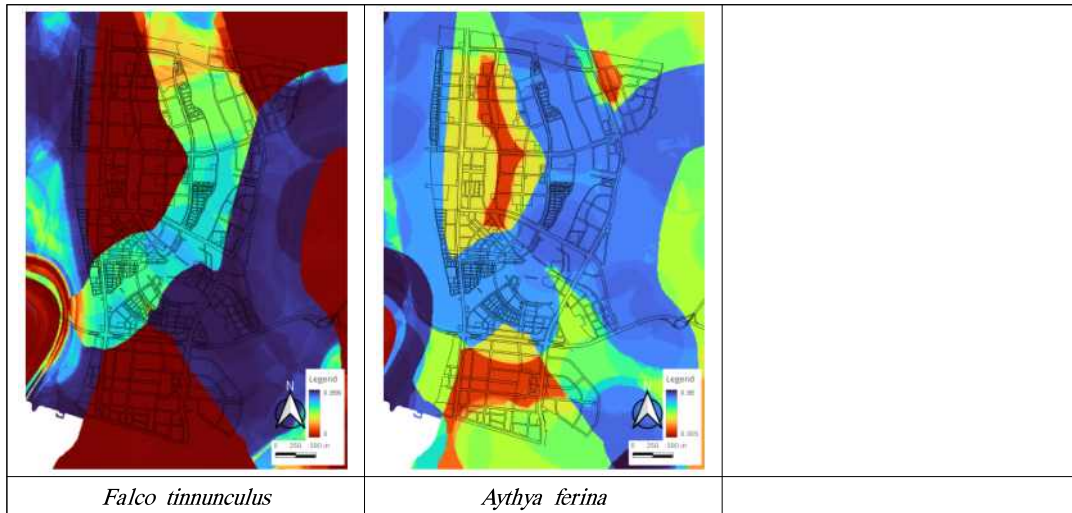


Figure 6. Probability distribution of migratory bird Habitats in EDC District

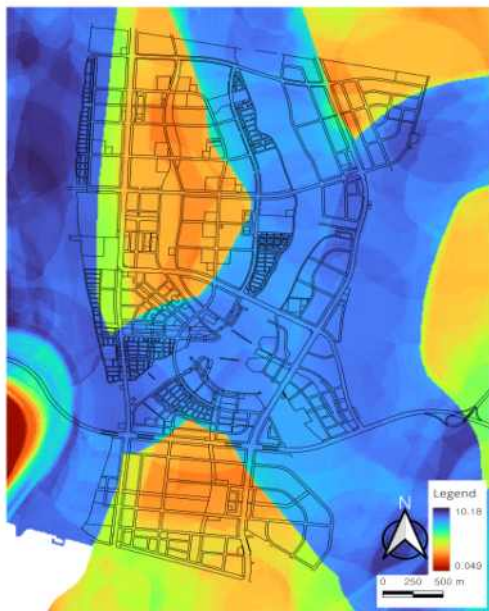


Figure 7. Overlapping results of 11 species with a high probability of habitat

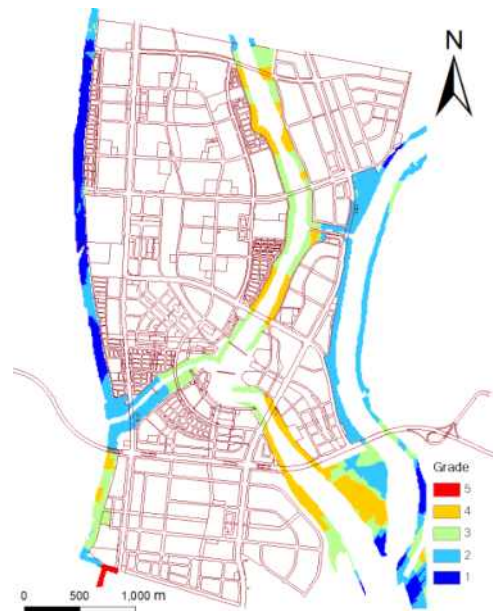


Figure 8. Example of Management area

#### IV. 결론

본 연구는 EDC 사업지구 주변 보존지역의 합리적 관리방안 마련하기 위하여 해당 지역에 대한 조류의 이용(취식, 휴식, 서식, 번식 등)에 대한 현장 및 문헌 조사기반의 현황조사와 함께

XAI(XGBoost-SHAP)을 활용한 중 분포 모델 기반의 서식 확률지도 구축을 통해 지역별 간접적인 조류들의 이용 패턴을 분석하고자 하였다.

첫째, EDC 사업지구 수변지역은 철새도래지와 관련한 보존지역으로 해당지역에 인간과 철새가 공존할 수 있는 관리방안을 마련하기 위해

서는 현장 및 문헌조사 기반의 조사가 필요하였다. EDC 사업지구 수변부는 겨울 철새의 취식·휴식·서식·번식지 등으로 활용되고 있으며, 낙동강하구 조간대 갯벌-맥도둔치도 습지-맥도강 및 EDC 습지복원지-서낙동강-조만간 및 주변 농경지를 잇는 하구 지역으로 철새의 이용에 있어 매우 중요한 지위를 차지하고 있다. 철새 서식에 관한 현장조사 결과 11월에 개체수가 집중적으로 증가하였고, 이후 점점 감소하여 2월에 접어들며 개체 수가 급격히 감소하는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 낙동강하구 생태계모니터링(14~18차)의 결과와 유사한 패턴을 보였다. 낙동강하구 생태계 모니터링은 낙동강 하구 변하로 인하여 발생하는 영향을 평가하기 위한 장기적인 생태계 모니터링으로 철새를 중심으로 낙동강 하구의 생태계 변화를 지속적으로 관찰하고 있어(BDI, 2017; 2018; 2019; 2020) 본 연구의 결과와 비교하였다. 따라서 EDC 사업지구 서낙동강 수변지역은 월동조류의 서식처로 이용되어 수변부에 대한 보존 대책이 필요하다. 특히 멸종위기야생생물중(2급)인 큰고니와 큰기러기의 이용빈도가 높은 구간에 대해서는 충분한 완충지대 확보와 함께 차폐림을 조성하는 등의 관리가 필요한 것으로 나타났다.

둘째, 지표종 20종에 대한 철새 중 분포 모형을 분석한 결과 EDC 사업 완료 후에도 가창오리, 고방오리, 넓적부리, 땃기흰죽지, 말뚝가리, 빨논병아리, 재갈매기, 청머리오리, 큰고니, 황조롱이, 흰죽지 등 11종이 높을 확률로 서식할 수 있을 것으로 확인되었다. 또한, 이 11종은 수변지역으로부터 하천을 중심으로 갈수록 서식 가능성이 높아지는 것으로 나타났다. 황조롱이를 제외한 대부분은 겨울 철새로 10월부터 이듬해 3월까지 우리나라에서 월동하는 종이었다. 이러한 조류의 특성을 반영하여 겨울철 월동기에는 수변지역 출입을 제한하는 등의 보호 방안이 필요하였다.

셋째, EDC 사업지구에 서식 확률이 높은 11

종의 서식(취식·휴식·서식·번식지 등)에 영향을 미치는 주요 변수에 하천, 논, 밭, 초지, 내륙습지, 갯벌, 과수원, 재배지, 암벽·바위, 표고, 호소, 활엽수림 등으로 나타났고, 교량, 철도, 기타공공시설은 철새 서식에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

또한 EDC 사업지구 수변부의 합리적인 보존 및 현명한 이용을 위해서는 수변지역에 인공시설물을 줄이고, 번식기 생물 활동에 중요한 은신처와 서식처가 되는 갈대를 비롯한 수생식물의 조성을 통해 충분한 완충지대의 확보와 서식처 주변을 일시적으로 통제하거나 차폐림 조성을 통해 출입을 금지하는 방안이 필요하였다. 또한 수변지역 내 취식을 위한 먹이터 조성 등의 방안이 필요하였다.

EDC 사업지구 주변 보존지역의 합리적 관리방안 마련하기 위하여 해당 지역에 대한 조류의 이용(취식, 휴식, 서식, 번식 등)에 대한 현장 및 문헌조사기반의 현황조사와 함께 XAI (XGBoost-SHAP)을 활용한 중 분포 모델 기반의 서식 확률지도 구축을 통해 지역별 조류들의 서식 패턴을 분석하고자 하였다. 본 연구에서 도출한 철새서식 확률지도와 같이 보호지역의 서식 특성을 파악하고, 이를 기반으로 보호지역의 적절한 관리방안이 도출된다면 보호지역의 보전계획 및 정책 수립에 큰 도움이 될 것이다.

다만 본 연구에서 활용한 전국자연환경조사의 철새 출현지점은 대부분 휴식지점에 대한 위치 정보로 해당 지점의 생태적 기능에 대한 정보를 반영하지 못하는 한계가 있어 서식 확률지도 구축을 위해서는 향후 이를 보완하는 추가 연구가 필요하다.

## References

- Arzel, C., Rönkä, M., Tolvanen, H., Aarras, N., Kamppinen, M., Vihervaara, P. 2015. Species diversity, abundance and brood numbers of

- breeding waterbirds in relation to habitat properties in an agricultural watershed. In *Annales Zoologici Fennici* (Vol. 52, No. 1-2, pp. 17-32). Finnish Zoological and Botanical Publishing Board.
- Athearn, N. D., Takekawa, J. Y., Bluso-Demers, J. D., Shinn, J. M., Arriana Brand, L., Robinson-Nilsen, C. W., & Strong, C. M. 2012. Variability in habitat value of commercial salt production ponds: implications for waterbird management and tidal marsh restoration planning. *Hydrobiologia*, 697(1), 139-155.
- Basso, E., Fonseca, J., Drever, M. C., Navedo, J. G. 2018. Effects of intertidal habitat availability on the use of anthropogenic habitats as foraging grounds by shorebirds: a case study on semi-intensive shrimp farms. *Hydrobiologia*, 809, 19-29.
- Brambilla, M., Ficetola, G. F. 2012. Species distribution models as a tool to estimate reproductive parameters: a case study with a passerine bird species. *Journal of Animal Ecology*, 81(4), 781-787.
- Brandolin, P. G. and Blendinger, P. G. 2016. Effect of habitat and landscape structure on waterbird abundance in wetlands of central Argentina. *Wetlands ecology and management*, 24, 93-105.
- Busan Development Institute(BDI), 2017.. Monthly Report of Nakdong River.
- Busan Development Institute(BDI), 2018.. Monthly Report of Nakdong River.
- Busan Development Institute(BDI), 2019.. Monthly Report of Nakdong River.
- Busan Development Institute(BDI), 2020.. Monthly Report of Nakdong River.
- Butchart, S. H. M., Clarke, M., Smith, R. J., Sykes, R. E., Scharlemann, J. P. W., Harfoot, M., Buchanan, G. M., Angulo, A., Balmford, A., Bertzky, B., Brooks, T. M., Carpenter, K. E., Comeros-Raynal, M. T., Cornell, J., Ficetola, G. F., Fishpool, L. D. C., Fuller, R. A., Geldmann, J., Harwell, H., Hilton-Taylor, C., Hoffmann, M., Joolia, A., Joppa, L., Kingston, N., May, I., Milam, A., Polidoro, B., Ralph, G., Richman, N., Rondinini, C., Segan, D.B., Skolnik, B., Spalding, M.D., Stuart, S.N., Symes, A., Taylor, J., Visconti, P., Watson, J. E. M., Wood, L. and Burgess, N.D., 2015, Shortfalls and solutions for meeting national and global conservation area targets, *Conservation Letters*, 8, 329-337. <https://doi.org/10.1111/conl.12158>
- Chabot, D., Carignan, V., Bird, D. M. 2014. Measuring habitat quality for least bitterns in a created wetland with use of a small unmanned aircraft. *Wetlands*, 34, 527-533.
- Cho, H. J. 2015. Potential Habitat Analysis and Preservation guide lines for Korean endangered raptorial by applying Species Distribution Moed, MaxEnt; Focused on Goshawk, Engleowl, Tawnyowl. Ph. D. diss., Jeonbuk National University
- Choi, C., Gan, X., Hua, N., Wang, Y., & Ma, Z. 2014. The habitat use and home range analysis of Dunlin (*Calidris alpina*) in Chongming Dongtan, China and their conservation implications. *Wetlands*, 34, 255-266.
- Choudhary, A., Deval, K., Joshi, P. K. 2021. Study of habitat quality assessment using geospatial techniques in Keoladeo National Park, India. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 14105-14114.
- De La Fuente, B., Bertzky, B., Delli, G., Mandrici, A., Conti, M., Florczyk, A. J., Dubois, G. 2020. Built-up areas within and around protected areas: Global patterns and 40-year

- trends. *Global ecology and conservation*, 24, e01291.
- Dickson, B. G., Albano, C. M., McRae, B. H., Anderson, J. J., Theobald, D. M., Zachmann, L. J., Dombek, M. P. 2017. Informing strategic efforts to expand and connect protected areas using a model of ecological flow, with application to the western United States. *Conservation Letters*, 10(5), 564-571.
- Duarte, G. T., Ribeiro, M. C., Paglia, A. P. 2016. Ecosystem services modeling as a tool for defining priority areas for conservation. *PloS one*, 11(5), e0154573.
- Dudley, N., 2013, *Guidelines for Applying Protected Area Management Categories*, Gland, Switzerland: IUCN.
- Elafri, A., Belhamra, M., Houhamdi, M. 2017. Comparing habitat preferences of a set of waterbird species wintering in coastal wetlands of North Africa: implication for management. *Ekológia (bratislava)*, 36(2), 158-171.
- Giakoumi, S., Sini, M., Gerovasileiou, V., Mazor, T., Beher, J., Possingham, H. P., Katsanevakis, S. 2013. Ecoregion-based conservation planning in the Mediterranean: dealing with large-scale heterogeneity. *PloS one*, 8(10), e76449.
- Hsu, C. H., Chou, J. Y., Fang, W. T. 2019. Habitat selection of wintering birds in farm ponds in Taoyuan, Taiwan. *Animals*, 9(3), 113.
- Jorde, D. G., Krapu, G. L., Crawford, R. D., Hay, M. A. 1984. Effects of weather on habitat selection and behavior of mallards wintering in Nebraska. *The Condor*, 86(3), 258-265.
- Kim, Y. J., 2021. Consideration of human disturbance to enhance avian species richness in urban ecosystem. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, 24(5), 25-34.
- Koo, K. A., & Park, S. U. 2021. A Review of Ecological Niche Theory from the Early 1900s to the Present. *Korean Journal of Environment and Ecology*, 35(4), 316-335.
- Koo, K. A., Oh, I. C., Lee, H. W., Hong, H. J., Park, S. U. 2018. Prioritizing ecologically important areas for increasing protected area in the republic of Korea : application of an ecological engineering approach. *Korea Environment Institute*
- Lehikoinen, A., Rintala, J., Lammi, E., Pöysä, H. 2016. Habitat-specific population trajectories in boreal waterbirds: Alarming trends and bioindicators for wetlands. *Animal Conservation*, 19(1), 88-95.
- Levin N., Watson J.E.M., Joseph L.N., Grantham H. S., Hadar L., Apel N. Perevolotsky A., DeMalach N. Possingham H.P., Kark S. 2013. A framework for systematic conservation planning and management of Mediterranean landscapes. *Biological Conservation*, 158, 371-383.
- Li, C., Li, H., Zhang, Y., Zha, D., Zhao, B., Yang, S., Boer, W. F. 2019. Predicting hydrological impacts of the Yangtze-to-Huaihe Water Diversion Project on habitat availability for wintering waterbirds at Caizi Lake. *Journal of environmental management*, 249, 109251.
- Li, Z., Wang, Z., & Ge, C. 2013. Time budgets of wintering red-crowned cranes: effects of habitat, age and family size. *Wetlands*, 33, 227-232.
- Liang, W., Lei, J., Ren, B., Cao, R., Yang, Z., Wu, N., Jia, Y. 2022. The impacts of a large water transfer project on a waterbird community in the receiving dam: A case study



- of miyun reservoir, China. *Remote Sensing*, 14(2), 417.
- Lincoln, F. C., Peterson, S. R., Zimmerman, J. L. 1998. Migration of birds. US Department of the interior, US Fish and Wildlife Service, Washington DC Circular 16. Northern Prairie Wildlife Research Center Online, 61.
- Loyola, R. D., Lemes, P., Nabout, J. C., Trindade-Filho, J., Sagnori, M. D., Dobrovolski, R., & Diniz-Filho, J. A. F. 2013. A straightforward conceptual approach for evaluating spatial conservation priorities under climate change. *Biodiversity and Conservation*, 22, 483-495.
- Luo, K., Wu, Z., Bai, H., Wang, Z. 2019. Bird diversity and waterbird habitat preferences in relation to wetland restoration at Dianchi Lake, south-west China. *Avian Research*, 10(1), 1-12.
- Lundberg, S. M., & Lee, S. I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in neural information processing systems*, 30.
- Maleki, S., Soffianian, A. R., Koupaei, S. S., Saatchi, S., Pourmanafi, S., Sheikholeslam, F. 2016. Habitat mapping as a tool for water birds conservation planning in an arid zone wetland: The case study Hamun wetland. *Ecological Engineering*, 95, 594-603.
- McCauley, L. A., Anteau, M. J., Burg, M. P. 2016. Consolidation drainage and climate change may reduce Piping Plover habitat in the Great Plains. *Journal of Fish and Wildlife Management*, 7(1), 4-13.
- Minjun Kim, & Geunhan Kim. 2022. Modeling and Predicting Urban Expansion in South Korea Using Explainable Artificial Intelligence (XAI) Model. *Applied Sciences*, 9169.
- Newton, I. 1998. Population limitation in birds. Academic press.
- Noordhuis, R., van der Molen, D. T., van den Berg, M. S. 2002. Response of herbivorous water-birds to the return of Chara in Lake Veluwemeer, The Netherlands. *Aquatic Botany*, 72(3-4), 349-367.
- Pandiyan, J. and Asokan, S. 2016. Habitat use pattern of tidal mud and sand flats by shorebirds (charadriiformes) wintering in southern India. *Journal of coastal conservation*, 20, 1-11.
- Pavón-Jordán, D., Santangeli, A., & Lehtikainen, A. 2017. Effects of flyway-wide weather conditions and breeding habitat on the breeding abundance of migratory boreal waterbirds. *Journal of avian biology*, 48(7), 988-996.
- Quan, R. C., Wen, X., & Yang, X. 2002. Effects of human activities on migratory waterbirds at Lashihai Lake, China. *Biological Conservation*, 108(3), 273-279.
- Rajashekara, S. and Venkatesha, M. G. 2014. Eco-spatial and temporal variation in waterbirds composition and their relationship with habitat characteristics of Urban Lakes of Bengaluru city, India. *International Journal of Advanced Research*, 2(7), 60-80.
- Rajpar, M. N. and Zakaria, M. 2014. Effects of habitat characteristics on waterbird distribution and richness in wetland ecosystem of Malaysia. *Journal of Wildlife and Parks*, 28, 105-120.
- Reiter, M. E., Wolder, M. A., Isola, J. E., Jongsomjit, D., Hickey, C. M., Carpenter, M., Silveira, J. G. 2015. Local and landscape habitat associations of shorebirds in wetlands

- of the Sacramento Valley of California. *Journal of Fish and Wildlife Management*, 6(1), 29-43.
- Ribeiro, M. T., Singh, S., Guestrin, C. 2016. "Why should i trust you?" Explaining the predictions of any classifier. In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining (pp. 1135-1144)
- Schaffer-Smith, D., Swenson, J. J., Reiter, M. E., & Isola, J. E. 2018. Quantifying shorebird habitat in managed wetlands by modeling shallow water depth dynamics. *Ecological Applications*, 28(6), 1534-1545.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity(SCBD), 2022, Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework, Montreal, Canada:SCBD.
- Stevens, B. S. and Conway, C. J. 2020. Predictive multi-scale occupancy models at range-wide extents: Effects of habitat and human disturbance on distributions of wetland birds. *Diversity and Distributions*, 26(1), 34-48.
- Sun, C. Z., Zhen, L., Wang, C., Yan, B. Y., Cao, X. C., Wu, R. Z. 2015. Impacts of ecological restoration and human activities on habitat of overwintering migratory birds in the wetland of Poyang Lake, Jiangxi Province, China. *Journal of Mountain Science*, 12, 1302-1314.
- United Nations Development Program (UNDP), 2010, Protected Areas for the 21st Century: Lessons from UNDP/GEF's Portfolio, New York: UNDP.
- Vanausdall, R. A. and Dinsmore, S. J. 2019. Habitat associations of migratory waterbirds using restored shallow lakes in Iowa. *Waterbirds*, 42(2), 135-153.
- Venter, O., Magrath, A., Outram, N., Klein, C. J., Possingham, H. P., Di Marco, M. and Watson, J. E. M., 2018, Bias in protected-area location and its effects on long-term aspirations of biodiversity conventions, *Conservation Biology*, 32(1) 127-134.
- Wang, J., Liu, H., Li, Y., Zhang, H. 2019. Habitat quality of overwintering red-crowned cranes based on ecological niche modeling. *Arabian Journal of Geosciences*, 12, 1-10.
- Wang, R., Wu, F., Chang, Y., Yang, X. 2016. Waterbirds and their habitat utilization of artificial wetlands at Dianchi Lake: implication for waterbird conservation in Yunnan-Guizhou Plateau Lakes. *Wetlands*, 36, 1087-1095.
- Watson, J. E. M., Dudley, N., Segan, D. B. and Hockings, M., 2014, The performance and potential of protected areas, *Nature*, 515, 67-73. <https://doi.org/10.1038/nature13947>
- Zhang, M., Hong, Y., Zou, F., Zhang, Q., Fan, H., Chan, S., Leong, K. F. 2019. Response of shorebird habitat selection to coastal reclamation and urbanization in an extensively developed delta: A case study in Macao, China. *Ocean & Coastal Management*, 179, 104871.
- Zhu, Z., Huai, W., Yang, Z., Li, D., Wang, Y. 2021. Assessing habitat suitability and habitat fragmentation for endangered Siberian cranes in Poyang Lake region, China. *Ecological Indicators*, 125, 107594.