

Research Paper

수원시의 조류 충돌에 영향을 미치는 공간 구성

김수련* · 최재연** · 서자유*** · 김수경** · 백지원** · 송원경**** · 박 찬****

서울시립대학교 도시과학대학 도시공학과*, 서울시립대학교 일반대학원 조경학과**,
서울시립대학교 도시과학대학 조경학과***, 단국대학교 환경원에·조경학부****

Spatial Composition Affecting Bird Collision in Suwon-city, South Korea

Suryeon Kim* · Jaeyeon Choi** · Jayoo Seo*** · Sukyoung Kim** ·
Jiwon Baek** · Wonkyong Song**** · Chan Park****

Department of Urban Planning & Design, College of Urban Sciences, University of Seoul*

Department of Landscape Architecture, University of Seoul**

Department of Landscape Architecture, College of Urban Sciences, University of Seoul***

School of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University****

요약: 도시에서 사람과 야생조류는 함께 살아가고 있으나, 도시화가 가져온 생태계 파편화로 조류의 서식과 이동에 위협 영향을 미친다. 본 연구에서는 수원시의 야생조류 사체 위치 데이터를 토대로 조류에게 취약한 공간, 위협요인을 확인하고자, 사체 확인 지점과 반경 500m 이내의 공간적 분포 특성을 살펴보았다. 연구결과, 사체 확인 지점은 NDVI 0.3, NDBI -0.05, NDWI -0.16의 특성을 보였다. 반경 500m 이내에는 NDVI 0.34, NDBI -0.01, NDWI -0.18, 건물 높이 13.8m, 방음벽 길이 227.3m로 확인되었다. 토지 피복유형은 초지, 시가지권조지역, 나지가 높은 비율로 나타났다. 특히, 산림, 저수지 등과 인접한 아파트의 녹지, 골프장 등이 섞여있는 시가지지역의 가장자리가 위협적인 공간으로 도출되었다. 도시에서 조류와 함께 살아가기 위해서는 환경영향평가 단계에서부터 수직적 공간 변화에 따른 영향이 검토되어야 하며, 이에 앞서 도시의 수직 구조물에 대한 공간 자료 구축과 현실화가 필요하다. 또한, 자연에서 도시로 변화될 수밖에 없는 공간은 야생동물이 안전하게 회피, 적응할 수 있는 시공간적 측면이 고려된 사전예방적 관리방안이 함께 마련되어야 할 것이다.

주요어: 방음벽, 도시생물다양성, 경관생태학, 수직 구조, 서식지

Abstract: Humans and wild birds coexist in cities, where habitat fragmentation due to urbanization threatens the habitat and movement of birds. In this study, in order to identify landscape features associated with wild bird collide, we characterized landscape composition within a 500 m radius

First Author: Suryeon Kim, Tel: +82-2-6490-5520, E-mail: landsue20@uos.ac.kr, ORCID: 0000-0002-2326-432X

Corresponding Author: Chan Park, Tel: +82-2-6490-2849, E-mail: chaneparkmomo7@uos.ac.kr, ORCID: 0000-0002-4994-6855

Co-Authors: Jaeyeon Choi, Tel: +82-2-6490-5520, E-mail: mmm9026@uos.ac.kr, ORCID: 0000-0001-5837-6279

Jayoo Seo, Tel: +82-2-6490-5520, E-mail: liberty46@hanmail.net, ORCID: 0000-0002-0496-9906

Sukyoung Kim, Tel: +82-2-6490-5520, E-mail: soky0711@uos.ac.kr, ORCID: 0000-0002-4685-1041

Jiwon Baek, Tel: +82-2-6490-5520, E-mail: jwbaek9708@naver.com, ORCID: 0000-0002-5422-2288

Wonkyong Song, Tel: +82-41-550-3636, E-mail: wksong@dankook.ac.kr, ORCID: 0000-0002-9130-7774

Received: 13 June, 2022. Revised: 11 July, 2022. Accepted: 27 July, 2022.

and points of wild bird carcasses in Suwon-city, South Korea. Dead birds were identified as having a Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of 0.3, Normalized Difference Built-up Index (NDBI) of -0.05, and Normalized Difference Water Index (NDWI) of -0.16 at the points of collide. And there were NDVI of 0.34, NDBI of -0.01, NDWI of -0.18, building height of 13.8 m, and soundproof wall length of 227.3 m within a radius of 500 m. Land cover type was dominated by grassland, used area, and bare land. In particular, the edges of urbanized areas, where apartments bordered forests, reservoirs, and golf courses, were identified as high-risk spaces. In order to minimize bird mortality risk in urban environments, the impact of changes to a vertical landscape should be reviewed from an environmental impact assessment approach. In addition, a preventive management plan that considers the temporal and spatial features that wild animals can safely avoid and adapt to in urbanized spaces should be prepared.

Keywords : Sound barrier, Urban biodiversity, Landscape ecology, Vertical structure, Habitat

I. 서론

새는 한국 문화에서 태양을 상징하거나 조상신과 연결, 곡령신을 불러다 주는 매개체로 농경의례에 사용되며 매우 신성시되는 상징 동물이었다. 과거 추상적 관념의 대상에서 점차 사육하며 식량이나 재산으로 여겨지게 되면서 구체화 되었다(Lee 2019). 그리고 오늘날과 같이 가금(家禽) 이후 사람들에게 새는 상징적 대상으로 인식되지 않으며 더욱이 야생의 조류에 대한 공존의식도 희미해져 있다. 그러나 여전히 도시 근교의 야생에서 살고있는 조류는 우리에게 다양한 혜택을 제공한다(Lee 2013).

도시생물다양성 측면에서 조류는 먹이사슬의 중간단계에 있어, 먹이사슬의 유지와 생물종간 연계에 핵심 역할을 한다. 도시에서 조류가 출현하는 공간은 녹지네트워크가 형성된 지역이라 할 수 있다(Mörtberg & Wallentinus 2000; Kim et al. 2020). 이러한 도시의 자연공간은 조류를 비롯한 야생동물의 서식지가 되기도 하며, 동시에 도시의 열을 낮추고 탄소 포집과 대기오염을 줄여주며, 도시에 살고있는 시민에게 산책할 수 있는 공간을 제공하여 안정감을 주고 스트레스를 감소시키는데 도움을 주는 등 우리에게 많은 도움을 주는 공간으로 가치를 인정받고 있다(Marselle 2019).

그러나 도시화가 가져온 생태계의 파편화는 야생동물의 서식에 큰 위협이 되고 있으며 생물다양성을

유지하기 어렵게 한다. 경관생태학적으로 파편화의 주된 요인은 도로로, 도로는 이질적인 조각을 점유할 뿐만 아니라, 인간의 교란을 쉽게 유도하여 생물 서식지의 다양성을 줄이고 가장자리 효과를 감소시킨다(Park & Lee 2002).

다시말해 조류를 비롯한 야생동물의 이동 측면에서 도시의 서식처 연결성은 생존률에 영향을 미치는 중요 요인이며, 도시의 야생 조류 관리를 위한 문제 해결의 단초는 조류의 이동에 장애가 되는 공간을 파악하여 그들의 이동권을 보장해 주는 것이다.

국내에서 야생동물이 인공물과의 충돌 문제가 제기된 시점은 2000년대 중반으로 지금까지도 이 문제는 지속되고 있어 인간이 만든 공간은 야생동물의 생존에 위협적이며 서식에 취약한 공간으로 볼 수 있다. 환경부와 국토교통부는 「동물 찾길 사고(로드킬) 조사 및 관리 지침(2021년 일부 개정)」을 통해 동물 찾길 사고를 조사 관리하고 있다. 또한 야생조류의 충돌 방지, 저감을 위해 환경부는 가이드라인 제작, 경기도를 비롯한 지자체는 「야생조류 충돌 예방 조례」를 시행하고 있다. 이러한 노력에도 불구하고 도시생활권과 밀접한 곳에서 조류의 충돌사고는 여전히 빈번히 일어나고 있다.

이러한 문제를 자연과학적으로 분석한 연구들이 있다. 조류 충돌이 주로 발생하는 지점과 원인, 피해량에 대해 조사한 연구에서 건축물 높이나 방음벽의 디자인, 건물 유리면의 반사 특성과 빛의 조도 조절

등을 통해 조류가 구조물을 피해갈 수 있는 방안들이 제시되었다(Lee 2018 ; NIE 2017 ; Seo 2020). 현재 제시된 방법들은 사전 예방적 접근이 아닌, 사후적 측면에서의 관리 방안이 제시되고 있다는 한계를 지닌다.

이상의 연구를 종합하면 조류 충돌과 관련한 연구는 두 가지 주제로 요약할 수 있다. 하나는 조류의 충돌상황을 조사하여 야생동물의 직접적인 피해를 보고하고 그 심각성을 제기하는 연구이며 또 다른 연구의 주제는 충돌의 원인이 되는 도시 구조물의 특성을 파악해 물리적인 문제점과 그 대안을 제기하는 연구이다. 그러나 여전히 도시에서 야생조류가 충돌되는 지점의 공간적 특징과 주요 위협요인에 대한 파악이 불명확한 한계를 가지며, 구조되지 못한 조류와 작은 조류는 죽음에 이르는 경우가 다수 발생하고 있어 더 작은 공간 단위에서 관찰이 필요하다.

이에 이 연구의 목적은 야생조류와 인간의 공존을 방해하고 조류에게 위협요인이 되는 도시 공간의 특성을 파악하는 것이다. 이를 위해 도시에서 조류가 충돌사한 지점을 파악하고, 주변의 공간 분포와 시설물의 특성을 파악하였다.

II. 연구의 방법

1. 수원시 동물종의 주요 서식공간

대상지는 수도권의 개발로 많은 환경변화가 이루어지는 경기도 중 네이처링에서 진행되는 야생조류 유리창 충돌 조사(2018.8.12. 개설)의 2018~2021년 기록이 가장 많은 수원시를 대상으로 하였다(2022.7월 네이처링 홈페이지 제공 정보 기준). 수원시에 출현한 동물종 위치정보는 제3차, 4차 전국자연환경조사 결과와 수원시 비오톱지도의 종조사 자료를 토대로 ArcGIS 10.7 프로그램을 활용해 분포를 확인하였다.

2. 조류 사체 발생지점의 확인

조류 충돌 데이터는 시민을 대상으로 네이처링에서 수집된 1,059건과 단국대학교에서 수집한 174건의 데이터 중 수원시 경계 밖으로 확인된 23지점을 제외한 총 1,210지점을 대상으로 파악하였다. 네이처

링의 조류 충돌 데이터는 2018년 7월~2021년 4월까지 수집되었으며, 충돌 원인으로 1,059건 중 방음벽에 의한 충돌이 1,014건, 건물 30건, 기타 15건이었다. 한편, 단국대학교에서 수집한 사체 확인 자료는 2021년 3월~4월 중 174건이 수집되었다.

3. 방음벽 현황 데이터 수집

방음벽은 소음·진동관리법 제40조의 제2항규정에 따른 ‘방음시설의 성능 및 설치기준’에 근거하여 교통소음, 공장소음 등 소음 저감을 목적으로 설치되는 구조물을 말한다. 방음벽은 고속국도, 아파트단지, 학교 등 필요에 따라 관리자, 관리 부서에서 개별 설치되면서 구(區), 또는 특정 부서에서 부분적으로 관리하고 있다. 이에 본 연구진은 2021년 7월 12일 2차선 이상의 도로를 따라 이동하며 수원시 방음벽을 조사하였다. 조사 항목은 방음벽 구간 및 위치정보, 방음벽 길이, 투명도, 충돌방지 스티커 여부, 패턴 여부, 현황 사진 등에 대해 실시하였다.

수집된 수원시의 방음벽(고속도로 제외)은 총 175개 지점, 길이 44,048.7m이었으며, 각 방음벽별 최소

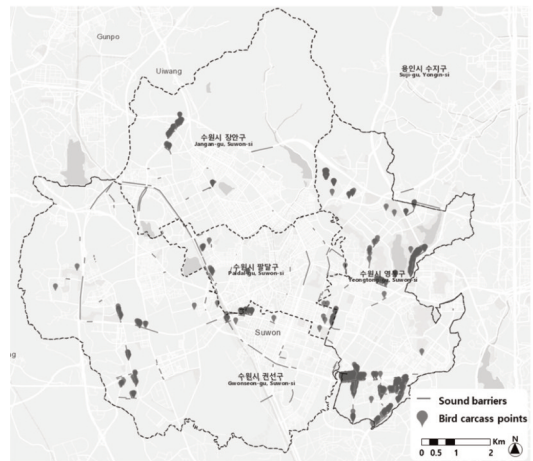


Figure 1. Sound barriers installation section and view in Suwon-si.

Table 1. Description of Variables

Factor	Variable	Description	Spatial Characteristics Review Area	
			Point	Radius 500m
Landuse	Land cover type	Deduction of distribution ratio by land cover type with ArcMap 10.7	○	○
Vegetation	NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	Calculated by dividing the difference in reflected light intensity in the infrared range by the sum of the intensity based on Landsat 8 data from USGS (derived as a value between -1 and 1) * -1 is water, a value close to 0 is sand, rocks, snow, etc., 0.2-0.5 is shrubs, grasslands, and arable land, and a value close to 1 is temperate rainforest and tropical rain forest. $NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	○	○
Water	NDWI (Normalized Difference Water Index)	Distinguish between water and land based on Landsat 8 satellite imagery * -1 (Land) ~ 1 (Water) (Hu 2006; Choung et al. 2021) $NDWI = \frac{band3 - band5}{band3 + band5}$	○	○
	Distance from water	Number of bird carcass identification points within a radius of 200 m, 300 m, or 500 m from the river/reservoir biotope	○	×
Degree of Urbanization	NDBI (Normalized Difference Building Index)	Extracting urban areas based on Landsat 8 satellite images * -1 (Water) ~ 1 (Impermeable/Civilization Dry Area) (Zha et al. 2003; Lee et al. 2017) $NDBI = \frac{band6 - band5}{band6 + band5}$	○	○
Vertical Structure	Sound barrier	Researcher Collected Data	×	○
	Building Height	Utilize GIS building integrated information (data as of 2021.9) provided by the National Spatial Data Information Portal (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) - Derive the average value of buildings (20,728) within a radius of 500 m with building height values	×	○

2.6m~최대 2,329.2m, 평균 251.7m로 확인되었다. 방음벽 길이를 구간별로 살펴보면, 전체 방음벽 175개 지점의 62.8%(110개)는 200m~300m, 25.7%(45개)는 100m 이내의 특징을 보이고 있었다. 방음벽 중 패턴이 있는 경우는 33.7%, 없는 경우는 57.7%이었으며, 투명도는 투명 38.3%, 반투명 22.9%, 불투명 30.3%이었다. 투명한데 패턴/무늬가 있는 20개 방음벽 중 3개(958.7m)에는 충돌방지 스티커가 부착되어 있고, 투명한데 패턴/무늬가 없는 47개 방음벽 중 충돌방지 스티커가 부착된 경우가 3개(176m), 패턴/무늬도 없고, 충돌방지 스티커도 미부착된 경우는 44개 지점(11,607.1m)이었다. 불투명/반투명하고 충돌방지 스티커도 부착되어 있지 않고 패턴/무늬가 없는

경우가 82개 지점, 19,519.1m로 확인되었다.

4. 조류 충돌 공간적 특성 분석

도시에서 조류가 충돌되는 공간의 특성을 파악하기 위해 선행연구를 토대로 항목을 선정하였다. Lee (2018), Lee (2019), NIE (2017)은 신규 건축물이 준공되고, 10층 이하의 건물 수가 증가할수록 충돌사고에 노출될 가능성이 높아진다고 하였다. 미국 조류 안전 건축법(HR 919, the Bird-Safe Buildings Act)에서는 12m 이하(40ft) 높이에 설치된 유리창의 90%, 12m 이상 높이에 설치된 유리창의 최소 60%에 조류에게 안전한 재료로 사용되어야 한다고 하였다.

이와 같은 사례를 토대로 보면, 건물 또는 수직구

조물의 수 또는 밀도, 높이, 재질(투명도, 반사 특성), 조도 등이 조류의 이동에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서는 조류의 비행에 영향을 미치는 요인 중 건축물, 토지이용, 시가화정도, 시설물(건물, 방음벽)로 도시의 수직구조물에 따른 영향을 살펴보고자 하였다. 또한, 조류의 이동과 서식 측면을 고려할 때 얼마나 식생이 분포하고 있는지에 대해서도 검토가 필요하다고 판단되었다. 선정된 항목에 따른 변수는 건축물 높이, 토지피복 현황, 정규화식생지수(NDVI), 정규화수분지수(NDWI), 정규화시가지지수(NDBI), 시설물(건물, 방음벽), 하천·저수지 비오톱으로부터의 거리로 선정하고 각각의 공간정보를 바탕으로 조류 충돌 지점의 특성을 살펴보았다.

자료는 국가공간정보포털, Landsat 8, 연구자 수집 정보를 이용하였다. 프로그램은 ArcMap 10.7을 활용하여 조류 사체 확인지점과 반경 500m 이내에 대한 각 변수별 공간정보의 분포 면적 또는 비율, 길이 현황을 분석하였다. 하천·저수지 비오톱으로부터의 거리는 Kim et al.(2020)의 연구에서 박새의 경우 하천 자체의 서식확률은 80%, 하천으로부터의 거리가 200m~700m에서 출현확률이 다소 떨어진다는 점을 고려하여 반경 200m, 300m, 500m 이내에 대해 분석하였다.

각 변수의 데이터 특성에 따라 면형 데이터로 구축된 토지피복유형, NDVI, NDBI, NDWI는 사체 확인 지점과 반경 500m 이내의 공간적 특성을 파악하고, 건축물 높이와 방음벽 길이는 반경 500m 이내, 하천·저수지비오톱으로부터의 거리는 사체 확인 지점의 특성만 분석하였다.

III. 연구결과

1. 수원시 동물종 출현지점과 조류 충돌 지점 분포 현황

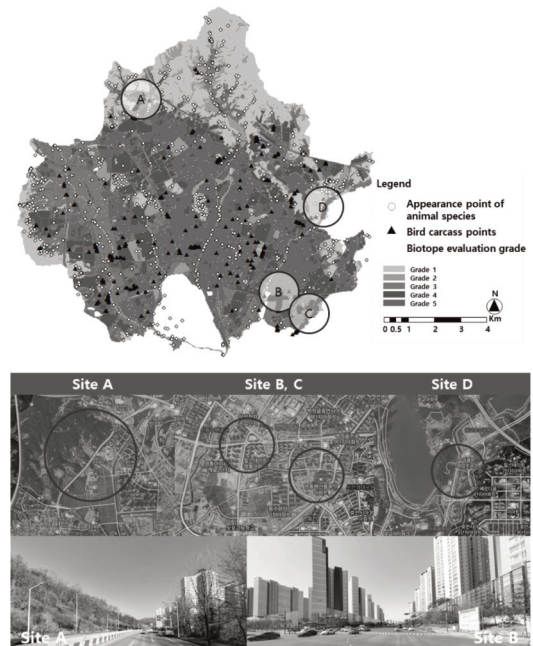
수원시의 주요 동물종 출현지점은 도시 가장자리의 광고산, 칠보산과 도시 내부의 여기산, 숙지산, 팔달산, 영흥공원, 광고호수공원 등 산림이나 파편화된 녹지, 공원 등의 지역을 중심으로 서식하고 있는 것으로 나타났다. 조류 충돌 지점은 수집된 위치자료를

살펴보면, 신동사거리, 방죽육교 사거리, 서부로(동원고교, 해우재입구 버스정류장 인근), 광고호수로(광고호반마을21단지) 등 특정 지점에 집중 분포하고 있었다.

동물종 출현 지점은 공원, 산림 등의 자연지역 전역에 걸쳐 분포하는 반면, 조류 충돌 지점은 많은 종이 서식하는 산림~주거지~경작지 등의 중간 지점에 위치한 사거리나 가장자리와 같은 곳에서 발생되고 있었다.

2. 조류 충돌 지점의 토지이용 특성

사체 확인 지점의 토지피복 유형은 초지 44.2%, 시가화건조지역 38.6%, 나지 15.0%이었으며, 시가화건조지역의 91.4%는 교통지역(전체의 35.3%)으로 확인되었다. 중분류 토지피복유형을 살펴보면, 전체 1,210건 중 534건(44.1%)이 초지 중 기타초지, 427건(35.3%)는 교통지역의 도로에서 확인된 것으로 나타났다. 이는



Area where many carcasses have been identified (source: road view of naver map)

A: Forest-Residence-Agricultural Land

B, C: Cropland-Residence-Forest

D: Reservoir-Residence-Forest

Figure 2. Animal species appearance points and bird carcass points.

기타초지 유형에 도로나 아파트 주변의 완충녹지 지역이 포함되는 것을 고려할 때, 도시에서 조류가 비행하다가 도로, 도로 가장자리에서 충돌하고 도로나 완충녹지, 나지에 떨어진 것으로 추정할 수 있다.

사체 확인 지점에서 반경 500m 이내의 토지피복 유형은 시가화건조지역 52.4%, 초지가 21.7%로 확인되었다. 특히, 전체의 57.2%는 교통지역(36.6%)과

Table 2. Area and proportion of land use type distribution within a 500 m radius of the bird carcass identification point

No	Land Cover Type	Area (m ²)	Rate (%)
1	Used Area	497,504,006.3	52.4
	Residential area	64,780,369.1	6.8
	Detached residential housing	16,713,969.4	1.7
	Communal housing	48,066,399.7	5.1
	Industrial area	7,328,609.6	0.8
	Commercial area	48,268,172.1	5.1
	Cultural, sports and recreational facilities	10,792,612.4	1.1
	Traffic area	347,514,106.5	36.6
	Public facilities	18,820,136.6	2.0
2	Agricultural Land	66,166,338.3	7.0
3	Forest	54,950,243.1	5.8
4	Grass	206,235,093.2	21.7
	Natural grassland	10,198,601.5	1.1
	Artificial grassland	196,036,491.7	20.6
5	Wet Land	5,311,401.3	0.6
6	Barren	94,719,132.1	10.0
7	Water	25,195,511.0	2.7
Total		950,081,725.3	100.0

인공초지(20.6%)에 집중되었다. 사체 확인 지점에서 반경 500m 주변 지역을 살펴보면 다른 토지피복 유형의 비율이 높아지긴 했지만 여전히 사체 확인 지점과 유사하게 도로 35.9%, 기타초지 20.5%, 기타나지 9.2%가 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 확인되었다. 다만, 사체 확인 지점과 인접한 곳에 아파트와 같은 공동주거시설, 상업업무시설, 농업지역, 산림지역, 골프장, 묘지 등이 분포하고 있는 것으로 나타났다. 이는 아파트단지나 시설 조성 시 함께 조성되는 녹지, 숲, 경지정리 되지 않은 밭 등의 공간은 조류의 서식 또는 이동에 이용되는 공간으로, 자연공간과 인접한 수직 구조물이 조류 충돌에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

3. 조류 충돌 지점의 주요 환경변수별 특성

1) 정규화식생지수(NDVI)

사체 확인 지점의 NDVI는 0.059~0.699, 평균 0.30으로 확인되었다. 사체 확인 지점으로부터 반경 500m 지역의 NDVI는 -0.099~0.774, 평균 0.34로 사체 확인지점보다 조금 더 높게 확인되었다. 일반적으로 초본, 관목 식생은 NDVI 0.2~0.4이고, -1이 식생이 없는 수역임을 고려할 때 사체가 확인된 지점은 관목과 일부 교목이 혼재된 지역으로 볼 수 있다. 이는 조류의 사체가 확인되던 공간이 관목과 일부 교목이 혼재된 아파트단지의 녹지, 숲, 밭, 도로변 완충녹지 등임을 고려했을 때 토지피복 유형의 결과를 지지하는 것으로 확인되었다.

2) 정규화시가지지수(NDBI)

사체 확인 지점의 NDBI는 -0.451~0.165, 평균 -0.054이었으며, 사체 확인 지점으로부터 반경 500m 지역의 NDBI는 -0.73~0.52, 평균 -0.01로 도출되었다. NDBI의 값이 -1에 가까울수록 물을 함유한 자연지역, +1에 가까울수록 인공지역, 불투수지역, 시가화지역으로 볼 수 있는 점을 고려할 때, 사체 확인 지점의 주변은 시가화지역과 숲, 물, 토양 등 자연지역이 섞인 공간임을 알 수 있다. 이 결과는 NDVI와 유사하게 조류의 충돌은 자연지역이 혼재하는 지역에서 발생 위험이 커지는 것으로 볼 수 있다.

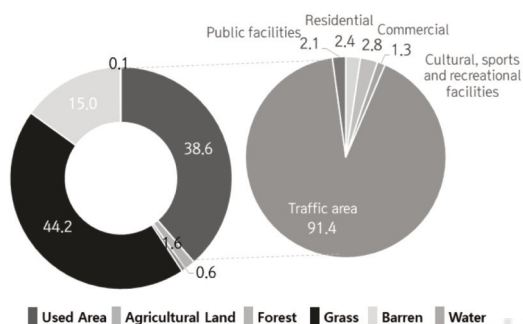


Figure 3. Type of land cover at the bird carcass data collection point.

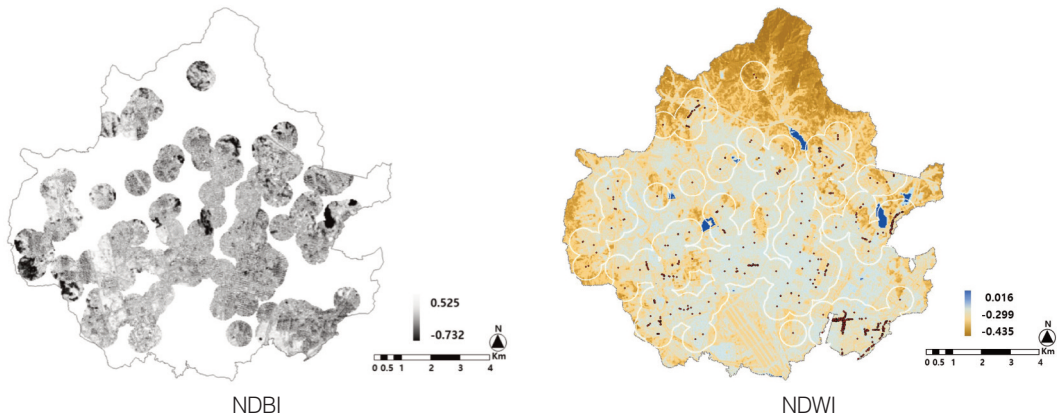


Figure 4. NDBI and NDWI with a radius of 500 m from the bird carcass identification points.

3) 정규화수분지수(NDWI) 및 수자원과의 거리

사체 확인 지점의 NDWI는 $-0.33 \sim 0.00$, 평균 -0.16 이었으며, 사체 확인 지점으로부터 반경 500m 지역의 NDWI는 $-0.43 \sim 0.00$, 평균 -0.18 로 도출되었다. 사례 도시의 광고호수공원과 같이 물과 바로 인접한 곳에서 야생조류의 충돌이 확인된 지역(Figure 2 - site D)은 물 이용을 목적으로 하는 과정에서 충돌된 것으로 추정할 수 있다. 그러나 NDWI는 건물, 도로 등 불투수포장이 많은 시가지지역도 수분을 포함한 것과 유사한 값을 보이는 특징이 있어 실제 수자원과의 인접 정도에 대한 확인도 필요하다.

하천·저수지로부터 사체 확인 지점까지의 거리를 살펴본 결과, 하천·저수지의 반경 200m 이내에는 전체 1,210개 중 33.5%(405개), 반경 300m 이내에는

45.4%(549개), 반경 500m 이내에는 79.1%(957개)가 분포하고 있는 것으로 나타났다.

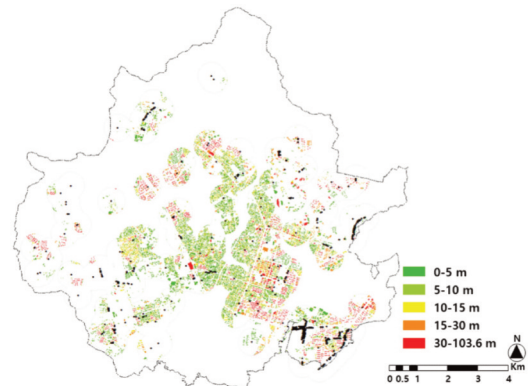


Figure 5. Building height with a radius of 500 m from the bird carcass points.

Table 3. Characteristics within 500m radius and bird carcass identification point for each environment variable

No	Variable		Range	Results			Suwon-si
				Range	Mean	Median	
1	NDVI		Point	0.06~0.70	0.30	0.30	-0.27~0.83
			radius 500 m	-0.10~0.77	0.34	-	
2	NDBI		Point	-0.45~0.17	-0.05	-0.03	-0.76~0.52
			radius 500 m	-0.73~0.52	-0.01	-	
3	NDWI		Point	-0.33~0.00	-0.16	-0.16	-0.46~0.02
			radius 500 m	-0.43~0.00	-0.18	-	
4	Vertical Structure	Building height	radius 500 m	1~117.7	13.8 m	10.2 m	1~181.65 (mean 13.59, median 10.2)
		Sound barrier (length)	radius 500 m	Total 33,111.2 m	227.3 m	176.7 m	Total 44,048.7 m

* Rounded to the third decimal place.

4) 도시의 수직 구조물(건물, 방음벽)

건물 높이는 사체 확인 지점으로부터 반경 500m 이내 1~117.7m, 평균 13.8m, 중앙값 10.2m로 확인되었다. 이는 10층 이하의 건물의 수가 증가할수록 충돌사고에 노출될 가능성이 높아진다고 한 Lee (2018)의 연구와 미국 건축법에서 활용된 기준 높이(12m)를 지지하는 것으로 나타났다.

방음벽은 사체 확인 지점으로부터 반경 500m 내에 128개가 분포하였으며, 총 길이 29,086.9m로 평균 227.3m, 중앙값 176.7m로 확인되었다. 62.8%는 200~300m에 분포하였으며, 방음벽 중 불투명/반투명하고, 충돌방지스티커와 패턴/무늬가 없는 경우가 전체의 64.1% 수준으로 나타났다.

IV. 결론 및 고찰

본 연구는 야생동물, 조류의 사체 데이터를 토대로 도시에 살아가는 조류에게 취약한 공간, 위협요인을 확인하고자, 사체 확인 지점 또는 반경 500m 이내 지역의 토지피복현황, NDVI, NDBI, NDWI, 건물 높이, 방음벽의 분포 특성을 살펴보았다. 그 결과, 조류 사체는 도로, 도로변 완충녹지, 기타 초지에 집중되고, NDVI 0.3, NDBI -0.01, 건물은 사체 확인지점 반경 500m 이내 평균 13.8m, 방음벽의 62.8%는 200~300m 구간에 분포하는 것으로 나타났다. 수원시를 사례로 살펴본 연구 결과를 토대로 볼 때, 도시에서 조류가 충돌되는, 조류에게 위협이 되는 공간은 자연과 인공이 맞닿은 가장자리인 것으로 나타났다. 이는 야생조류가 자연 공간을 기반으로 서식, 이동하기 때문으로 볼 수 있다.

수원시를 포함해 최근 도시 의사결정자들은 시민 삶의 질을 높이기 위해 생활 속 녹지 면적을 확대하고 있다. 동시에 불가피한 개발로 자연에서 도시로 공간이 변화되기도 한다. 자연과 인공이 복합된 공간이 조류에게 위협이 되는 공간이 되는 점을 고려할 때, 조류 충돌을 막기 위한 근본적 대책 마련이 필요하다.

조류 서식, 충돌방지를 위해 일반적으로 환경영향평가에서는 개발사업으로 인한 생태적 영향을 검토하고, 도시는 생태축을 중심으로 관리하며, 인공구조

물에 의한 야생조류 충돌방지를 위한 가이드라인 마련(2019년), 조류 충돌방지를 위한 스티커 부착 등 설치 디자인에 대한 구조적 방안 제시되기도 하였다. 그러나, 여전히 계획 단계에서 도시화로 인한 수직적 공간 변화 영향을 저감할 수 있는 설계 기법, 조류 이동 경로와 변화에 따른 영향을 저감하기 위한 방법은 부족한 실정이다.

또한, 야생동물은 적용할 수 있는 시간이 필요하나, 그 시간까지 고려되지 못하면서 도시에서 조류가 충돌하고, 야생동물 로드킬이 발생하는 등의 문제로 드러나기도 한다. 도시에서 조류와 함께 살아가기 위해서는 기존 서식지의 보전과 동시에 연결성을 확보하고, 불가피하게 훼손되는 자연지역은 조류가 회피할 수 있는 시공간적 관리 방안의 고려가 필요하다. 이러한 노력은 도시의 수직적 변화를 고려하는데 필요한 데이터가 구축되고 관리될 때 가능해진다. 예를 들어 건축물의 높이 값은 현행화하고, 방음벽과 같은 수직구조물, 시설 데이터를 구축할 때 향후 도시 공간계획에서 높이 변화에 따른 영향까지 충분히 검토될 수 있다.

후속 연구에서는 본 연구 결과를 바탕으로 야생조류에게 영향을 미치는 시공간적 측면과 종별 생태적 특성이 고려된다면 연구의 활용성이 높아질 것으로 기대된다.

사사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 도시생태 건강성 증진 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2019002760001).

야생조류 사체 확인 지점의 일부는 네이처링으로부터 제공받은 데이터를 활용하였습니다.

References

- Choung YJ, Kim KS, Park IS, Chung YI. 2021. Detection of Surface Water Bodies in Daegu Using Various Water Indices and Machine Learning Technique Based on the Landsat-8 Satellite Image. Journal of the Korean Association

- of Geographic Information Studies 24(1): 1-11. doi:10.11108/KAGIS.2021.24.1.001. [Korean Literature]
- Hu H. 2006. Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 27(14): 3025-3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>.
- Kim HG, Song YK, Kang WM. 2020. Analyzing Vulnerable Areas of Bird Habitat Using Environmental Spatial Information – Case study for Suwon-si. *Journal of the Korean Cadastre Information Association* 22(2): 53-67. <https://doi.org/10.46416/JKCIA.2020.08.22.2> [Korean Literature]
- Lee KI, Ryu JE, Jeon SW, Jeong HC, Kang JY. 2017. Analysis of the Effect of Heat Island on the Administrative District Unit in Seoul Using LANDSAT Image. *Korean Journal of Remote Sensing*. 33(5): 821-834. [Korean Literature]
- Lee EJ. 2019. The Current Status and Reduction Methods of Bird Collision by Artificial Structures in Daejeon Metropolitan city. Daejeon Sejong Research Institute publishing. [Korean Literature]
- Lee EK. 2013. Network Characteristics of Forest Birds' Dispersal Movement in an Urban Area. Ph. D. dissertation. Seoul National University Graduate School of Environmental Studies [Korean Literature]
- Lee JW. 2019. Changes in the Idea of Korean Ancient Birds – From the Holy Bird to the Reality Bird, *Society for the Study of Early Korean History* 31: 327-379. doi: 10.35160/sjekh.2019.04.31.327 [Korean Literature]
- Lee WS. 2018. The Study for Improvement of Environmental Impact Assessment Related to Bird Collision. Korea Environment Institute Publishing. [Korean Literature]
- Marselle MR, Warber SL, Irvine KN. 2019. Growing Resilience through Interaction with Nature: Can Group Walks in Nature Buffer the Effects of Stressful Life Events on Mental Health? *Int. J. Environ. Res. Public Health* 16: 986. <https://doi.org/10.3390/ijerph16060986>
- Ministry of Environment. 2019. Guidelines for review items such as environmental impact assessment related to prevention of collision of wild birds by artificial structures (draft). [Korean Literature]
- Mörtberg U, Wallentinus H. 2000. Red-Listed Forest Bird Species in an Urban Environment Assessment of Green Space Corridors. *Landscape and Urban Planning* 50(4): 215-226.
- National Institute of Ecology. 2017. Wild birds and Window Collisions, National Institute of Ecology, Department of Animal Management Publishing. [Korean Literature]
- Park CY, Lee WS. 2002. Effects of fragmentation on the bird community in agricultural landscapes. *Korean Journal of Environment and Ecology* 16(1): 22-33. [Korean Literature]
- Seo HM. 2020. Bird collision with transparent structures in the Republic of Korea: current status and annual mortality estimates. Master's thesis, Seoul National University. [Korean Literature]
- Zha Y, Gao J, Ni S. 2003. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 24(3): 538-594. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>.