환경영향평가 Vol. 33, No. 2(2024), pp.64-73 J. Environ. Impact Assess. 33(2): 64-73(2024) ISSN 1225-7184
https://doi.org/10.14249/eia.2024.33.2.64

Research Paper

환경영향평가에서 조류 종풍부도 변화에 미치는 요인 고찰 연구

문현빈* · 김은섭 · 이동근*****

서울대학교 지리교육과*, 서울대학교 협동과정 조경학**, 서울대학교 농업생명과학연구원***

Study on the Factors Affecting the Richness Index of Bird Species in Environmental Impact Assessment

Hyunbin Moon* · Eunsub Kim · Dongkun Lee*****

Department of Geography Education, Seoul National University*
Interdisciplinary Program and Life Science, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University**
Department of Landscape Architecture and Rural Systems Engineering, Seoul National University***

요약: 개발사업으로 인한 서식지 파괴의 심각성이 대두되면서 생물다양성을 보전하기 위해 환경영향평가(EIA)의 중요성은 커지고 있다. 경관스케일에서 개발 요인과 주변 환경요인에 따른 생물다양성 영향을 정량적으로 평가하기 위해 선행연구들이 진행되고 있으나, 개발사업을 기준으로 생물다양성 감소에 영향을 미치는 요인에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구는 선행연구를 통해 유효하다고 밝혀진 독립변수(사업 면적, 사업 유형, 고도, 생태·자연도, 녹지와의 이격거리, 보호구역과의 이격거리)들을 다중클래스 로지스틱 회귀분석, T-test, 사업 유형 검토분석을 통해 종풍부도 변화에 유의미한 영향을 미치는지를 검토하였다. 연구 결과, 토지피복 단위에서 생물다양성에 영향을 끼치는 것으로 밝혀진 요인 중 사업 규모와 환경영향평가 시 종풍부도 값만이 p-value=0.05 이하의 값을 보였다. 그리고 사업 유형의 경우, 체육시설의 설치, 에너지 개발, 산업입지 및 산업단지의 조성에서 조류의 생물다양성 감소가 크게 변화하는 것을 확인하였다. 본 연구를 통해 분석 규모에 따라 영향을 끼치는 변수에서의 차이가 발생할 수 있음을 확인하였기에, 환경영향평가에서 생물다양성 변화를 분석하기 위해서는 개발사업 단위에서의 지표 활용에 연구가 추가로 필요할 것이며, 타 생물종으로의 일반화를 위해 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

주요어: 생물다양성, 영향 예측, 로지스틱 회귀분석, 사후환경영향조사, 저감방안

Abstract: As the seriousness of habitat destruction caused by development projects emerges, the importance of environmental impact assessment (EIA) is increasing to preserve biodiversity. In previous studies, research is being conducted to quantitatively evaluate the biodiversity impact of development factors and surrounding environmental factors on the landscape scale, but research on the factors affecting the reduction of biodiversity based on development projects is insufficient. This study examined whether independent variables (size of development project, type of the development,

First Author: Hyunbin Moon, Tel: +82-2-880-4885, E-mail: serendipity5786@snu.ac.kr, ORCID: 0009-0000-1192-9470
Corresponding Author: Eunsub Kim, Tel: +82-2-880-4885, E-mail: mr.solver92@snu.ac.kr, ORCID: 0000-0003-2206-5203
Co-Author: Dongkun Lee, Tel: +82-2-880-4875, E-mail: dklee7@snu.ac.kr, ORCID: 0000-0001-7678-2203

Received: 5 February 2024. Revised: 18 April 2024. Accepted: 23 April 2024.

DEM, ecosystem and nature map, distance from the green land, distance from the protected area), which have been proven to effect biodiversity through the previous researches, have a significant effect on the change of richness index (RI) through multi-class logistic regression analysis, T-test, and analysis of the development type. As a result, only the size of development project and the first richness index in EIA showed p-value less than 0.05. And it was confirmed that the reduction in biodiversity was significantly changed in the following construction types: installation of sports facilities, energy development, and development of industrial location and industrial complex. Since the results of this study confirmed that the impact of the variables may be inconsistent depending on the analysis scale, additional study of necessary indicators at the development project is needed to analyze biodiversity changes in EIA accurately.

Keywords: Biodiversity, Development Impact Prediction, Logistic Regression, Post-Environmental Impact Assessment, Mitigation Measures

I. 서론

인간의 활동 범위 확장으로 서식지는 파편화되면서, 생물종 보존의 필요성이 증가하고 있다(Isbell et al. 2017). 생물다양성은 생태계의 건강과 회복력 강화에 중추적인 역할을 함과 더불어 생태계 서비스의 질을 향상해 인간과 환경 간의 상호 의존적 균형을 증진하고 있기에, 생물다양성의 감소는 사회적으로 매우 심각한 문제로 받아들여지고 있다(Chapin et al. 1997; Elmqvist et al. 2003; Faith 2021). 특히, 개발사업으로 인한 서식지 파괴가 심각하기에 생물다양성 손실을 최소화하기 위한 환경영향평가(Environmental Impact Assessment, EIA)의 중요성이 대두되었다(Suarez-Rubio et al. 2011; Laurance et al. 2015).

생물다양성에 대한 환경영향평가 차원의 논의는 국가 환경정책과 국제 환경 동향·협약·규범 속 생물다양성에 대한 논의를 바탕으로 전략환경영향평가에서 환경보전 계획과의 부합성에 대한 고려를 통해 진행된다. 그 후 환경영향평가에서 생물다양성 보호의 비전과 목표들이 수행 방안으로 구체화하며, 사후환경영향평가를 통해 진행 여부 점검 및 수정·보완이 이루어진다(Ministry of Environment 2023). 환경영향평가 내에서 생물다양성에 대한 주된 검토는 자연생태환경 분야 내 동·식물상에서 이루어지며, 해당 단계에서는 개발사업에 따른 환경영향 최소화를 목표로 현황조사-영향 예측-저감방안 도입의 의사결정이 이루어진다(Ministry of Environment 2023). 생물다양성은 현황조사 내 생물군집 파악 단계에서 주로 논의되며, 우점도 지수(Dominance Index, DI), 다양도 지수(Diversity Index, H′), 종풍부도 지수(Richness Index, RI), 균등도 지수(Species Evenness Index, J′)를 통해 계량화된다(Ministry of Environment 2023). 하지만, 영향 예측 단계에서 주관적인 판단을 기반으로 한 정성적 서술로 사업의 영향이 예측되기 때문에, 이를 토대로 결정되는 저감방안 선정 및 도입의 과정에서는 객관성이 보장받지 못하고 있다(Jung et al. 2003; Noh et al. 2010; Oh et al. 2015).

동·식물상 분야의 예측 객관성 확보 및 생물다양성 논의 확장에 대한 문제의식은 국제적으로 공유되고 있다. 하지만 대부분의 연구는 환경영향평가에 생물다양성의 개념을 도입하고 적용하는 프레임워크 제시 차원에 머물러있으며(Mandai and Souza 2021; Cares et al. 2023; Gallardo and Bond 2023), 환경영향평가 차원의 생물다양성 예측 연구에서도 프레임워크를 제안할 뿐, 실제 데이터를 활용하여 모델의 효과성 및 실효성에 대한 검토가 이루어지지 않고 있다(Gontier et al. 2006; Urban et al. 2022). 생물다양성 예측 모델은 환경 변수 검토 및 예측을 통해 생물다양성 완화를 위한 의사결정 과정에 활용될 수 있으므로 중요하다(Yoo et al. 2013; Mandai and Souza 2021; Li et al. 2022; Urban et al. 2022; Chang 2023). 하지만 모델 개발이 토지피복 혹은 경관 단위로 진행되었기에 개발사업 단위로 진행되는 환

경영향평가로의 도입 가능 여부에 대한 검토는 필요하다.

본 연구는 생물다양성에 영향을 주는 것으로 기대되는 환경변수를 사업지역의 특성(생태·자연도, 고도, 도심지와의 이격거리, 녹지와의 이격거리, 보호구역과의 이격거리), 사업 규모(사업 면적), 사업 유형으로 분류한 후 독립변수로 선정하여 전통적인 생물다양성 예측요인이 개발사업 단위에서도 유의미한지에 대해 검토하고자 한다(Kim et al. 2010; Kim et al. 2014, Schmeller et al. 2018). 개발사업으로 인해 종풍부도 값이 변화함에 따라 어떠한 요인이 영향을 끼치는지 검토할 것이다. 환경영향평가는 사업 시행에 따라 사업지역 및 주변 지역에 미치는 영향을 최소화하는 것을 목표로 하고 있으므로, 생물다양성의 감소에 영향을 끼치는 요인를 집중적으로 고찰할 것이다.

본 연구는 3가지 목표로 구성된다. 1) 조류의 종풍부도의 변화에 영향을 주는 것으로 알려진 독립변수들을 환경영향평가서에서 도출, 2) 도출된 독립변수들이 개발사업 단위에서 종풍부도 변화에 미치는 영향 검토, 3) 종풍부도 변화가 큰 사업과 작은 사업 간 비교·분석을 통해 종풍부도의 변화에 통계적으로 유의한 영향을 주는 요인을 규명하고자 한다. 이를 위해 본 연구는 환경영향평가서에 기록된 변수를 독립변수로 선정하였고 종풍부도 변화를 종속변수로 설정하여 다중클래스 로지스틱 회귀분석을 수행하였다. 그 후 T-test와 사업유형 분석을 통해 종풍부도 변화가 큰 그룹과 작은 그룹의 특성을 규명하였다. 본 연구를 통해 개발사업 단위에서 조류의 생물다양성에 영향을 끼친다고 알려진 환경요인의 적합성을 검토했기에, 조류의 생물다양성 감소를 완화하기 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대되며 향후 타 생물종에 대한 분석으로 확대될 수 있을 것으로 예상된다.

II. 연구방법

개발사업 단위에서 종풍부도 감소에 영향을 주는 요인 검토 연구는 총 3단계로 진행되었다. 1) 데이터 수집 및 전처리 과정을 거친 후, 2) 독립변수들이 종풍부도 변화량에 따라 유의미한 영향을 주고 있는지 검토하기 위해 다중클래스 로지스틱 회귀분석을 수행하였고, 마지막으로 3) 개발사업 단위에서 종풍부도의 변화를 검토하기 위해 T-test를 수행하였고 이를 사업유형에 따라 분석하였다(Figure 1).

1. 데이터베이스 구축

본 연구는 개발사업에 따른 종풍부도 변화량을 평가하는 것을 목표로 하기에, 면형 사업 중 조류에 대한 조사가 있는 사업(조류 면형 사업) 중 1회의 환경영향평가와 2회 이상의 사후환경영향평가를 수행한 사업을 연구 대상으로 제한하였다.[1] 분석을 위해 환경영향평가서에서 취득된 6개의 독립변수와 1개의 종속변수가 사용되었다. 독립변수로는 사업 면적, 사업 유형, 고도, 생태·자연도, 도심지와의 이격거리, 녹지와의 이격거리, 보호구역과의 이격거리가 사용되었다. 종속변수로는 종풍부도의 변화량을 사용하였는데, 사업지에 따라 종수가 차이가 있을 수 있으므로 종수와 개체수를 모두 고려한 종풍부도 지수(Equation 1)를 사용하였으며, 사업 전반에 걸친 변화량의 경우 종풍부도 지수의 변화 값을 관측 연도를 고려하여 연간 변화량으로 환산하여 사용하였다(Equation 2). 사업명, 사업 면적, 사업 유형, 종풍부도 지수와 생태·자연도는 모두 공공데이터포털(Public Data Portal)에서 CSV 형태로 데이터를 받았다. 고도는 국토정보플랫폼(NGII)의 전국 수치표고모형을 활용하여 각 사업지 내 평균값을 대푯값으로 산출하였다. 녹지와 도심지와의 이격거리는 환경공간정보서비스(EGIS)의 토지피복도에서 추출한 녹지와 도심지 데이터를 활용하였고, 보호구역과의 이격거리는 국가공간정보포털(NSDI)의 보호구역 위치정보를 활용하였다. 이격거리는 Arcgis의 Euclidian Distance 기능을 활용하여 거리를 구하였다(Table 1).

분석을 위한 데이터 전처리 과정은 다음과 같다. 1)

1) 면형 사업이란 사업이 선적인 형태로 진행되지 않은 개발사업의 총칭이다. 선형 사업에 속하는 사업 유형은 도로의 건설, 철도(도시철도 포함)의 건설, 하천의 이용 및 개발이고, 면형 사업에 속하는 사업 유형은 수자원의 개발, 산지의 개발, 체육시설의 설치, 에너지 개발, 산업입지 및 산업단지의 조성, 도시의 개발, 특정지역의 개발, 항만 건설, 관광단지의 개발, 토석모래 자갈광물 등의 채취, 공항 또는 비행장의 건설, 폐기물처리시설 및 분뇨처리시설이다.

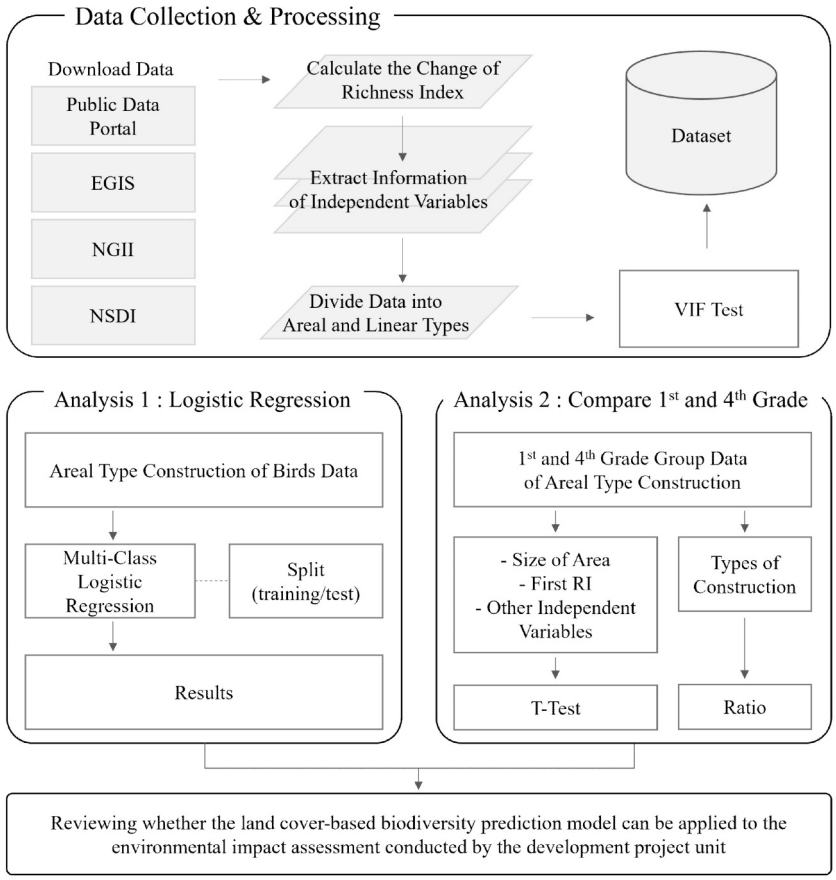

Figure 1. Research Flow

Table 1. Variables used in the study

Variables		Data Source in EIA	Data Source in Data Market
Independent Variables	Size of Development Project	Overview of the project	https://www.data.go.kr/data/15083173/fileData.do
	Type of the development		
	DEM	Topographic Geology	https://map.ngii.go.kr/ms/map/NlipMap.do?tabGb=total
	Ecosystem and Nature Map	Natural Environment Assests	https://www.data.go.kr/data/15050229/fileData.do
	Distance from the City		https://egis.me.go.kr/req/list.do
	Distance from the Green Land	Flora and Fauna	
	Distance from the Protected Area	Natural Environment Assests	http://data.nsdi.go.kr/id/dataset/12768
Dependent Variable	Change in Richness index	Flora and Fauna	https://www.data.go.kr/data/15083169/fileData.do

1회의 환경영향평가와 2회 이상의 사후환경영향평가를 실행한 사업을 연구 대상으로 선정하여 총 315개의 조류 데이터셋을 도출하였고, 그 중 면형 사업이 265개, 선형 사업이 50개이다. 연구 대상의 사업 면적 범위는 2.22km^2~55.94km^{2}이다. 2) 환경영향평가서 데이터를 기반으로 사업에 따른 종풍부도 변화량을 계산하였다 (Equation 2). 3) 사업 특성과 공간적 위치를 파악한 후 Arcgis의 Zonal Statistics 기능을 활용하여 사업대상지

에 해당하는 고도, 생태·자연도, 도심지와의 이격거리, 녹지와의 이격거리, 보호구역과의 이격거리에 대한 값을 추출하였다. 4) 마지막으로 다중공선성 해소를 위해 초기에 설정한 7가지의 독립변수에 대한 VIF 검정을 진행하였고, 그중 VIF 6 이상으로 나온 도심지와의 이격거리를 변수 목록에서 제외하였다.

$$RI = \frac{S-1}{lnN} \quad (1)$$

$$\frac{\max(RI) - \min(RI)}{Y} \quad (2)$$

S = total number of genera
N = total number of individuals in the sample
Y = number of years observed

2. 다중클래스 로지스틱 회귀분석

본 연구에서는 개발사업으로 인한 생물다양성 변화량의 차이를 식별하기 위해 종풍부도 변화량을 4분위로 분류하여 등급화하였다(Bhuiyan et al. 2018). 환경영향평가서에 기록된 데이터는 수기로 모니터링이 진행되기에 결측치는 전무하나 이상치가 존재한다. 결측치가 존재하지 않으나 이상치가 존재하는 데이터에는 로지스틱 회귀분석이 유용하므로 본 연구는 다중클래스 로지스틱 회귀분석의 OVR(One Versus the Rest) 방식을 활용하여 각 독립변수가 4등급으로 나누어진 종풍부도 변화에 끼치는 영향을 파악하였다.[2] Q1, Q2, Q3의 임계값은 각각 1.5, 2.0, 2.7이며, Q1 이하의 표본을 1등급으로, Q3 이상의 표본을 4등급으로 분류하였다. 그 결과 1등급은 0~1.5, 2등급은 1.5~2.0, 3등급은 2.0~2.7, 4등급은 2.7 이상의 종풍부도 변화량을 가진다. 즉, 1등급은 개발사업이 종풍부도 상대적으로 변화율이 낮아 생물종에 대한 개발사업 영향이 적은 것을 의미하며, 4등급의 경우 사업으로 인한 생물종 영향이 상대적으로 높은 것을 의미한다(Figure 2). 모델 결과의 객관성 확보를 위해 Test data를 전체 데이터의 10%, 20%, 30%, 즉 3가지 경우로 나누어 모델의 정확성을 검토하였다.

3. 1등급과 4등급 사업 대상지의 특징 비교 분석

본 연구에서는 종풍부도 변화가 큰 사업군과 가장 작은 사업군을 비교·분석해 봄으로써, 종풍부도에 대한 유의성이 증명된 변수들이 개발사업이라는 공간적 맥락에서도 유의하게 작용하는지 검토해 보았다. 분석 대상은 사업 유형, 환경영향평가 시 종풍부도, 사업 유

2) OVR방식은 모든 분류된 클래스에 대한 일대일 비교를 하는 방식으로 분류의 정확도가 높다는 장점을 가진다.

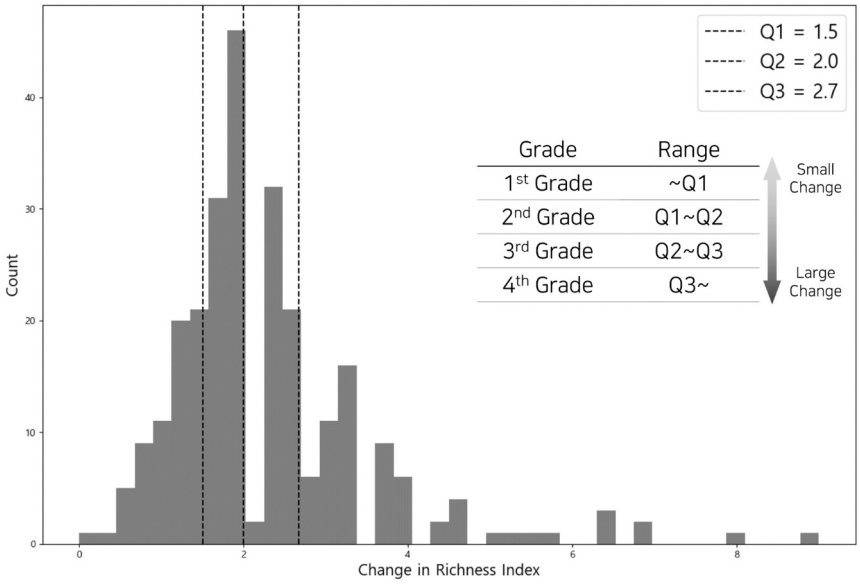

Figure 2. Histogram of Change in Richness Index

형과 로지스틱 회귀분석에 독립변수로 입력한 변수들이며, 입력변수의 종류에 따라 다르게 진행되었다. 양적 변수는 T-test를 통해 분석하였고 질적 변수인 사업유형에 대해서는 각 사업 유형이 1등급과 4등급 사업에서 어느 정도의 비율을 차지하는지를 분석하였다(Equation 3).

$$\frac{Number\ of\ each\ Type\ of\ Development\ Project\ in\ the\ 1st\ or\ 4t\ Grade}{Number\ of\ each\ Type\ of\ Development\ Project\ in\ the\ Dataset} \times 100 \quad (3)$$

III. 연구 결과 및 고찰

1. 다중클래스 로지스틱 회귀분석의 결과

Train data의 양에 따른 결과의 변동성을 최소화하기 위해 본 연구는 전체 데이터에 대한 train data의 비율을 70%(n=189), 80%(n=162), 90%(n=135)로 나누어 진행하였다. 세 종류의 분석에 대한 객관성을 높이기 위해 분석 비율에 따라 10회씩 분석을 진행한 후 평균값을 도출했다. Test data에 대한 예측 결과는 분류결과표(Confusion Matrix)의 형태로 도출되었다. 분류결과표의 x축은 예측값이고, y축은 실제값이며, 각 행렬에 쓰인 숫자는 각 경우가 발생할 비율(백분율)이다. 예를 들어, test data 30%(n=80)의 1행 2열에 적혀있는 9.1은 1등급을 예측된 경우 중 실제로는 2등급인 경우의 비율이 9.1%라는 의미다. 그러므로 1행 1열, 2행 2열, 3행 3열, 4행 4열에 적힌 비율만큼이 정확히 예측된 비율이며, 나머지는 잘못 예측된 경우이다(Figure 3). Train data의 개수에 따른 분석의 정확도, 재현율, F1-score를 산출하였고, 모두 소수 넷째 자리에서 반올림하여 정확도 0.327, 재현율 0.307, F1-score 0.278의 값을 보였다(Table 2).

Table 2. Result of Multi-Class Logistic Regression

Train Data	Accuracy	Recall	F1-score
n=189	0.284	0.300	0.263
n=162	0.332	0.301	0.284
n=135	0.366	0.313	0.286
Average	0.327	0.307	0.278

분류결과표를 보면, 본 연구의 모델은 실제 3등급과 4등급인 사업에 대해서도 1등급과 2등급으로 분류하는 경향이 있음을 알 수 있다. 이를 통해 이상치로부터 크게 영향을 받지 않는 로지스틱 회귀분석 모델이라 할지라도 종풍부도의 변화가 큰 사업지에 대한 분류에는 적합하지 않음을 수 있으므로 더 신뢰도가 높은 분석방법을 택하거나 관측기간 혹은 이상치에 대한 영향을 적게 받기 위해 equation 2와는 다른 방법으로 종풍부도 변화량을 산정해봄으로써 예측 결과를 보완할 수 있다(Rhee 1997). 하지만 생물다양성 예측 모델들은 데이터의 한계와 생태계의 복잡성으로 인해 예측에 대한 불확실성이 높아지는 경향이 존재한다(Araujo et al. 2019). 그에 더해 환경영향평가는 개발이라는 계량되기가 힘든 변수가 추가되기에 예측의 불확실성이 더욱 높아진다. 그러므로 인과관계 및 상관관계 파악이 가능한 선형적 관계를 가정하는 분석 방식이 아닌 비선형 관계 발견에 적합한 딥러닝과 같은 분석 방식을 활

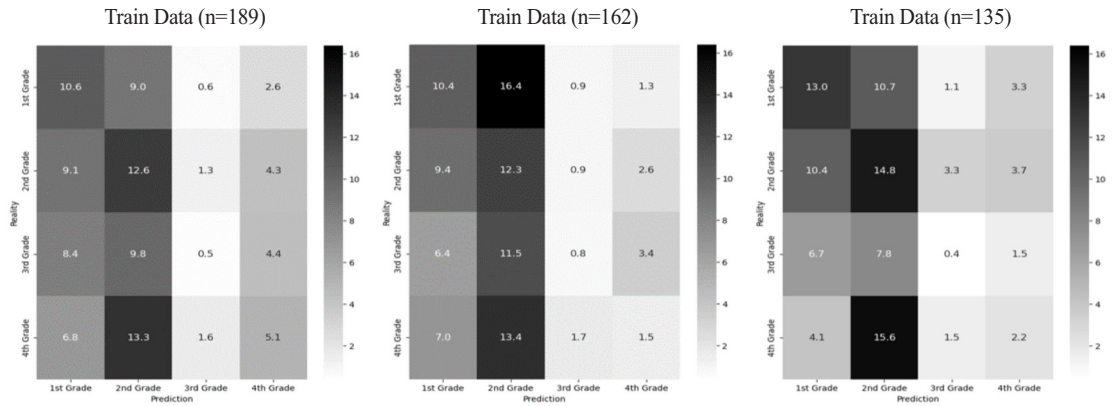

Figure 3. Configuration Matrix

Table 3. The Result of T-test

Variable	T-value	df	p-value
Size of Development Project	-8.3702	128.00	8.495e-14**
First Richness Index in EIA	-3.1101	126.89	0.00231**
DEM	0.7123	146.76	0.4774
Ecosystem and Nature Map	0.72428	142.38	0.4701
Distance from the Green Land	-1.1258	95.452	0.2631
Distance from the Protected Area	1.4218	139.81	0.1573

용하여 개발사업 단위에서의 영향 예측을 진행하는 것이 필요하다(Chang 2023).

2. 1등급과 4등급 사업 대상지의 특징 비교 분석

1) T-Test

종풍부도의 변화가 상대적으로 높은 4등급과 상대적으로 낮은 1등급 사업에 대해 비교·분석을 실시하여 어떤 환경이 종풍부도의 변화에 취약한지 알아보고자 한다. 우선 양적인 변수들에 대해서는 T-test를 통해 1등급과 4등급을 비교·분석했다. T-test를 통해 발견한 유의미한 변수는 사업 면적과 환경영향평가 시 종풍부도였고, 나머지 변수들에서는 유의한 차이가 관측되지 않았다(Table 3). 즉, 사업 면적과 환경영향평가 시 종풍부도 값은 종풍부도 변화량과 음의 상관관계를 가진다.

선행연구를 바탕으로 도출한 변수 중 2개의 변수만이 p-value가 0.05보다 작았고, 그 외 변수로부터는 유의미한 결과를 확인하지 못하였다. 녹지로부터의 거리와 보호구역으로부터의 거리는 조류가 선호하는 서식지와의 거리를 측정하는 변수이다. 하지만 조류는 주변 환경의 변화에 따라 이동양식을 변경하기에 개발사업으로 인해 서식지가 파괴되면서 조류의 기존 이동 범위와 활동 범위가 변화했을 가능성이 존재한다(Oh et al. 2019). 고도와 생태·자연도는 주변 생태환경을 설명하는 변수이다. 조류의 서식지는 산림의 크기와 구조적 다양성이 복합적으로 영향을 받기에 개발사업으로 인해 변화한 산림의 구조에 따라 서식 조류 종수와 고도와 생태·자연도라는 두 종류의 변수가 동일한 영향을 받지 않을 가능성이 존재한다(Lee et al. 2010). 이를 통해 개발로 주변 서식 환경이 변하는 환경영향평가에서는 선행연구에서 유의미하다 판명된 변수들이 유의하지 않게 작용할 수 있음을 알 수 있으며, 개발사업 단위에서도 유의한 변수 선정과 산림의 구조와 형태에 대한 변수 도입을 통해 이를 개선할 수 있을 것이다.

또한 위의 결과를 통해 분석 스케일에 따라 활용할 수 있는 데이터 및 변수가 상이할 가능성이 관찰되기에, 경관 스케일에서 생물종 영향을 평가하기 위한 변수 및 데이터가 개발사업 단위에서는 일치하지 않을 수 있다(Kim et al. 2023). 또한, 본 연구에서 활용된 변수가 아니면서 생물다양성에 직·간접적으로 영향을 끼치는 것으로 판명된 변수들에 대한 추가적인 검증이 필요하다. 경관스케일에서 생물다양성을 연구한 선행연구들에서는 지형(경사, 향), 기온(평균 강수량 등), 토지이용(농지, 숲, 습지, 녹지, 시가지), 기후변화 정도(이산화탄소 배출량, 질소산화물 배출량, 재생에너지 사용률 등), 사회적 영향(인구성장률, GDP, 인구밀도 등)을 생물다양성의 영향 변인으로 제시하였다. (Williams et al. 2012; Bhuiyan et al. 2018; Urban et al. 2022; Chang 2023; Qu et al. 2023). 그러므로 개발사업 단위에서도 유의미한 변수를 발견하기 위해서 위의 카테고리에 속하는 변수들을 환경영향평가에서 추가로 추출하여 유의성을 검증할 필요가 있으며 해당 변수들의 활용 방식(관측 기간, 일반화하는 수식 등)에 대한 연구도 필요하다.

2) 사업 유형 검토

명목척도인 사업 유형에 대해서는 Eq. 2에 따라 등급에 따른 사업 유형별 비율을 계산해 보았다. 4등급 사업지에서는 체육시설의 설치, 에너지 개발, 산업입지 및 산업단지의 조성과 같은 사업 유형들이 높은 비율을 차지하였고, 1등급 사업지에서는 토석모래자갈광물 등의 채취와 관광단지의 개발과 같은 사업들이 높은 비율을 차지하였다(Table 4).[3] 이는 체육시설의 설치, 에

Table 4. The Percentage of Each Type of Development Project in 1st and 4th Grade

Type of Development Project	Number of Project			Ratio (%)	
	All	1st Grade	4th Grade	1st Grade	4th Grade
Installation of Sports Facilities	14	1	11	7.14	78.57
Energy Development	9	2	5	22.22	55.56
Development of Industrial Location and Industrial Complex	38	9	18	23.68	47.37
Urban Development	56	6	21	10.71	37.50
Development of Specific Areas	3	0	1	0.00	33.33
Port Construction	4	0	1	0.00	25.00
Development of a Tourist Complex	36	12	8	33.33	22.22
Collection of Earth, Sand and Gravel Minerals, etc	101	36	15	35.64	14.85

너지 개발, 산업입지 및 산업단지의 조성과 같은 사업이 진행될 때 종풍부도의 감소가 빈번하게 일어남을 의미한다. 즉, 사업유형에 따라 생물다양성 감소폭은 차이 날 수 있다.

4등급 사업에서 높게 관측된 사업 유형인 체육시설의 설치, 에너지 개발, 산업입지 및 산업단지의 조성은 각각 78.57%, 55.56%, 47.37%를 차지하였고, 1등급 사업에서 높게 관측된 사업 유형인 토석모래자갈광물 등의 채취와 관광단지의 개발의 경우 각각 35.64%, 33.33%를 차지했다. 80%를 상회하는 체육시설의 설치를 제외한 나머지 사업의 경우 사업 유형에 따라 유의미한 차이를 보였다고 결정짓기 어렵다. 체육시설의 설치에 해당하는 14건의 사업 중 12건은 골프장 건설 및 증설 사업이다. 골프장의 경우 동식물들에 의해서 인공적인 서식지로 인식되기에 골프장이 건설된 이후에는 생물다양성이 감소한다고 알려져 있으며, 특히 조류의 경우 서식지의 면적, 크기, 엣지, 다양도에 의해 서식처를 결정짓기에 골프장 건설로 인해 서식종이 크게 줄어든다고 한다(Petrosillo et al. 2019). 하지만 그 외 토석모래자갈광물 등의 채취와 에너지 개발 등 사업의 유형은 생물다양성 감소에 기여함을 입증해 왔으나 본 연구에서는 유의미하게 도출되지 않았다. 이는 해당 사업들이 환경영향평가 시 종풍부도 값이 낮게 기록된 것과 환경영향평가 시 모니터링 범위가 사업영역과 사업지역 경계로부터 최대 300m이기 때문으로 추정된다(Ministry of Environment 2023).

환경영향평가서 기반 사업유형별 특성을 검토한 결과, 체육시설의 설치, 에너지 개발, 산업입지 및 산업단지의 조성과 같은 사업들은 환경영향평가 시 종풍부도 값이 크며, 녹지와 보호구역과의 이격거리가 가까운 특징을 보였다. 세 가지 사업 유형은 타 사업에 비해 생물다양성이 많이 감소하는 것으로 나타났으나, T-test를 통해 도출된 유의미한 변수와 상이함을 보였다. 이를 통해 생물종과 자연환경은 선형적인 관계를 맺지 않고 있음을 알 수 있다. 생물다양성은 다양한 요인에 의해 복합적으로 영향을 받음으로 비선형 관계의 관점에서 바라보고 평가해야 한다. 또한 연구 결과의 일반화를 위해서는 연구 대상의 확장, 타 생물종에 대한 분석, 다양한 지수를 활용한 분석 등이 추가로 필요하다.

IV. 결론

본 연구는 환경영향평가서에 기록된 생물다양성에 유의미한 영향을 끼치는 변수로부터 종풍부도 값이 유의한 영향을 받는지 검토하였다. 추출한 변수들로 다중클래스 로지스틱 회귀분석을 수행하여 종풍부도 변화에 따른 독립변수들의 영향을 살펴보았고, 가장 종풍부도의 변화량이 큰 사업군과 작은 사업군을 비교하여 종풍부도 변화가 큰 사업의 특징을 도출하였다. 그 결과 토지피복 단위에서 영향을 끼친다고 판명된 변수들은 개발사업 단위에서 모두 통계적으로 유의하지 못하였다. 또한 초기 종풍부도의 값이 클수록(p-value = 0.00231), 사업 면적이 넓을수록(p-value = 8.495e-14)

3) 한 건의 표본만이 존재하는 사업유형인 수자원의 개발, 산지의 개발, 공항 또는 비행장의 건설, 폐기물처리시설 및 분뇨처리시설의 설치의 경우에는 분석에서 제외하였다.

종풍부도 변화량이 많았고, 체육시설의 설치, 에너지 개발, 산업입지 및 산업단지의 조성과 같은 사업유형에서 종풍부도가 비교적 크게 변화했다.

본 연구를 통해 환경영향평가의 관점에서 생물다양성을 정량적으로 평가 및 예측하기 위해서는 토지피복 단위에서 유의한 영향을 끼치는 것으로 밝혀진 변수들을 개발사업 단위에서 검토하였다. 이를 통해 개발사업 단위에서 생물다양성의 변화에 영향을 끼치는 변수들을 환경영향평가서에서 추가로 추출할 필요성이 관철된다. 또한, 생물다양성 감소는 개발 특성뿐만 아니라 다양한 주변 환경요인 간 복합적인 관계로 인해 영향을 받을 수 있으므로, 비선형 관계를 가정하는 신경망 기반 딥러닝 방법론 등에 대한 고려가 필요하다. 본 연구에서는 조류를 중점적으로 분석하였으나, 개발사업 유형, 개발사업 규모, 주변 환경요인에 따른 생물다양성 감소에 일반화를 위해서는 다양한 사업 유형과 생물종 등에 대한 연구가 추가로 필요할 것으로 사료된다.

사사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 ICT기반 환경영향평가 의사결정 지원 기술개발 사업(2021003360002)의 지원을 받아 연구되었습니다.

References

Araujo MB, Anderson RP, Marcia BA, Beale CM, Dormann CF, Early R, Garcia RA, Guisan A, Mariorano L, Naimi B, O'hara RB, Zimmermann NE, Rahbek C. 2019. Standards for distribution models in biodiversity assessments. Science Advances, 5(1).

Bhuiyan MA, Jabeen M, Zaman K, Khan A, Ahmad J, Hishan SS. 2018. The impact of climate change and energy resources on biodiversity loss: Evidence from a panel of selected Asian countries. Renewable energy, 117: 324-340.

Cares RA, Franco AM, Bond A. 2023. Investigating the implementation of the mitigation hierarchy approach in environmental impact assessment in relation to biodiversity impacts. Environmental Impact Assessment Review, 102.

Chang GJ. 2023. Biodiversity estimation by environment drivers using machine/deep learning for ecological management. Ecological Informatics, 78.

Chapin III FS, Walker BH, Hobbs RJ, Hooper DU, Lawton JH, Sala OE, Tilman D. 1997. Biotic control over the functioning of ecosystems. Science, 277(5325): 500-504.

Elmqvist T, Folke C, Nystrom M, Peterson G, Bengtsson J, Walker B, Norberg J. 2003. Response diversity, ecosystem change, and resilience. Frontiers in Ecology and the Environment, 1(9): 488-494.

Faith DP. 2021. Valuation and appreciation of biodiversity: The "maintenance of options" provided by the variety of life. Frontiers in Ecology and Evolution, 9.

Gallardo ALCF, Bond A. 2023. Delivering an analytical framework for evaluating the delivery of biodiversity objectives at strategic and project levels of impact assessment. Environmental Impact Assessment Review, 99.

Gontier M, Balfors B, Mortberg U. 2006. Biodiversity in environmental assessment-current practice and tools for prediction. Environmental Impact Assessment Review, 26(3): 268-286.

Isbell F, Gonzalez A, Loreau M, Cowles DS, Hector A, Mace GM, Wardle DA, O'Connor MI, Duffy JE, Turnbull LA, Thompson PL, Larigauderie A. 2017. Linking the influence and dependence of people on biodiversity across scales. Nature, 546(7656): 65-72.

Jung HR, Lee HW, Yoo HS, Kwon YH, Noh TH, Park SH. 2003. A study on the Landscape Ecological Method in Environmental Impact Assessment. KEI Research Report, RE-23: 1-120. [Korean Literature]

Kim DY, Heo J, Kim CJ. 2010. Mapping Biodiversity throughoptimized selection of input variables in decision tree models. Journal of Environmental Impact Assessment, 20(5): 663-673. [Korean

Literature]

Kim ES, Mo YW, Park TY, Jeon YH, Choi JY, Lee DK. 2023. Analyzing the Impact of Species on Urban Development Using Meta Population Model. Journal of Environmental Impact Assessment, 32(2): 61-71.

Kim JY, Kwon HS, Seo CW, Kim MJ. 2014. A nationwide analysis of mammalian biodiversity hotspots in South Korea. Journal of Environmental Impact Assessment, 23(6): 453-465. [Korean Literature]

Laurance WF, Peletier-Jellema A, Geenen B, Koster H, Verweij P, Van Dijck P, Van Kuijk M. 2015. Reducing the global environmental impacts of rapid infrastructure expansion. Current Biology, 25(7): R259-R262.

Lee DK, Park C, Oh KS. 2010. Forest Patch Characteristics and Their Contribution to Forest-Bird Diversity Focus on Chungcheong Province Area-. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology, 13(5): 146-153. [Korean Literature]

Li S, Yu D, Huang T, Hao R. 2022. Identifying priority conservation areas based on comprehensive consideration of biodiversity and ecosystem services in the Three-River Headwaters Region, China. Journal of Cleaner Production, 359.

Mandai SS, de Souza MMP. 2021. Guidelines for the analysis of the inclusion of biodiversity in Environmental Impact Statements. Environmental Impact Assessment Review, 87.

Ministry of Environment. 2023. Guide for the Preparation of Environmental Impact Assessment Reports and Related Documents. [Korean Literature]

Noh BH, Yoon JH, Choi JK, Lee SW, Seo HJ. 2010. A Study on the Evaluation of the Habitat Environment of Legally Protected Wild Birds. Korea Environment Institute, 1-188. [Korean Literature]

Oh JK, Chae HY, Song JY, Hong GP, Park MC, Jo SY, Lee SY, Jin KS, Kim JH, Park SL, Park C. 2019. 2019 National Park Bird Survey and Research Report. Korea National Park Research Institute Report [Korean Literature]

Petrosillo I, Valente D, Pasimeni MR, Aretano R, Semeraro T, Zurlini G. 2019. Can a golf course support biodiversity and ecosystem services? The landscape context matter. Landscape Ecology, 34: 2213-2228.

Qu Y, Zeng X, Luo C, Zhang H, Ni H. 2023. Prediction of wetland biodiversity pattern under the current land-use mode and wetland sustainable management in Sanjiang Plain, China. Ecological Indicators, 147.

Rhee SS. 1997. A Study on the Number of Clusters in Cluster Analysis. Applied Scientific Research, 6(1): 217-229.

Schmeller DS, Weatherdon LV, Loyau A, Bondeau A, Brotons L, Brummitt N, Geijzendorffer IR, Haase P, Kuemmerlen M, Martin CS, Mihoub JB, Rocchini D, Saarenmaa H, Stoll S, Regan EC. 2018. A suite of essential biodiversity variables for detecting critical biodiversity change. Biological Reviews, 93(1): 55-71.

Suarez-Rubio M, Leimgruber P, Renner SC. 2011. Influence of exurban development on bird species richness and diversity. Journal of Ornithology, 152: 461-471.

Urban MC, Travis JM, Zurell D, Thompson PL, Synes NW, Scarpa A, Peres-Neto PR, Malchow AK, James PMA, Gravel D, Meester LD, Brown C, Bocedi G, Albert CH, Gonzalez A, Hendry AP. 2022. Coding for life: designing a platform for projecting and protecting global biodiversity. BioScience, 72(1): 91-104.

Williams KJ, Belbin L, Austin MP, Stein JL, Ferrier S. 2012. Which environmental variables should I use in my biodiversity model?. International Journal of Geographical Information Science, 26(11): 2009-2047.

Yoo JW, Lee YW, Lee CG, Kim CS. 2013. Effective prediction of biodiversity in tidal flat habitats using an artificial neural network. Marine environmental research, 83: 1-9.