

ORIGINAL ARTICLE

내륙 습지보호지역의 생태계 건강성 평가 지표 시범 설정

최태영 · 염정현^{1)*} · 김태수²⁾

국립생태원 생태계서비스팀, ¹⁾국립강릉원주대학교 환경조경학과, ²⁾영남대학교 생명과학과

Establishing Ecosystem Health Assessment Indicators for Terrestrial Wetland Protected Areas

Tae-Young Choi, Jung-Hun Yeum^{1)*}, Tae-Su Kim²⁾

Ecosystem Services Team, National Institute of Ecology, Seocheon 33657, Korea

¹⁾*Department of Environmental Landscape Architecture, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea*

²⁾*Department of Life Sciences, Yeungnam University, Gyeongsan 38541, Korea*

Abstract

This study is a preliminary research with the aim of establishing an ecosystem health assessment system that can be reflected in the management plans of protected inland wetland areas in South Korea, based on the results of a detailed survey conducted in these areas. This study sought to derive indicators of ecosystem health that should be prioritized for efficient management. The Delphi survey method was used in two rounds to identify potential indicators. The analysis results revealed that, in the field of the physicochemical environment, four indicators were selected: wetland area (m²), wetland flow volume (m³), water quality, and groundwater level (m). Regarding biodiversity, the indicators included the total number of observed species, total number of major species, average species diversity index of major animal taxonomic groups, number of apex predator species, number of legally protected species, and vegetation diversity index. For stress factors (threats), the indicators selected were the number of ecosystem-disrupting wildlife species, surrounding land-use status, artificial structures, number of invasive species, and human interference. The relative importance of these indicators for assessing the ecosystem health of inland wetlands was as follows: biodiversity (0.40); physicochemical environment (0.36); and threats (0.25). In terms of applicability, over 70% of experts agreed that these indicators were applicable to all types of wetlands, including mountainous, riverine, and lake-type wetlands.

Key words : Protected wetlands, Ecological integrity, Wetland management, Physicochemical environment, Biodiversity, Habitat stress

1. 서론

제15차 생물다양성협약에서 채택된 쿤밍-몬트리올 글로벌 생물다양성 프레임워크(Kunming-Montreal

Global Biodiversity Framework)에서는 2030년 실천목표를 통해 보호지역의 양적 확대 목표와 더불어, 생태계서비스 강화 등 질적 관리 측면에서 생태적 건강성이 높은 지역에 대한 보전 및 복원 필요성을 강조하고

Received 3 February, 2025; Revised 22 March, 2025;

Accepted 26 March, 2025

*Corresponding author : Jung-Hun Yeum, Department of Environmental Landscape Architecture, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 02504, Korea
Phone : +82-33-640-2479
E-mail : zelkovayyum@gwnu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

있다(Convention on Biological Diversity (CBD), 2022). 우수 생태계인 보호지역 등에 대한 효과적인 보전과 복원을 위해서는 적절한 평가 체계가 수반되어야 하며, Parks Canada Agency(2007)는 증장기 정밀조사와 모니터링 결과를 통해 대표 지표들을 선정하고, 선정된 지표들에 대한 시계열적 변화추세를 평가함으로써 정책적 활용과 함께 사회적으로도 공유하기 위한 생태계 건강성 평가 체계를 제시하고 있다. 이러한 생태계 건강성 평가 방법은 산림의 경우, 생태적 활력징후(Vital sign), 온전성(Integrity) 측면에서 북미의 보호지역(Environmental Canada, 1991; Chung-MacCoubrey et al., 2008)을 중심으로 평가되고 있다. 우리나라에서도 국립공원에서 정책적으로 활용하고 있으며, 국립공원 관련 생태계 건강성 평가 체계 연구(Oh et al., 2016; Myeong et al., 2021)가 진행된 바 있다. Oh et al.(2016)은 국립공원에 대한 건강성 평가 지표 설정을 위해서는 자연성, 다양성, 희귀성, 풍부성 등이 중요하며, 지표 설정 원칙으로서 편의성, 스트레스 민감성, 반응성, 예측성, 통합성, 저가변성 등이 고려되어야 한다고 하였고, Myeong et al.(2021)은 생태계 건강성 평가 시, 일정 기간 이상 축적된 생태계 조사 및 모니터링에 대한 다양한 기초자료 확보를 가장 기본적인 사항으로 제시하고 있다. 수생태계의 경우 하천, 호소, 해안사구를 대상으로 하여 주로 어류와 저서성무척추동물 등 생물을 활용한 수환경 평가(Kim et al., 2008; Beck and Hatch, 2009), 다변수 메트릭 모델을 활용한 생태계 건강성 평가(Verdonschot et al., 2012) 등의 연구가 진행된 바 있다. 수생태계 건강성 평가는 국가 정책(U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 2009; National Institute of Environmental Research (NIER), 2024)에 반영되어 평가하고 있다. 하지만, 체계적 관리가 필요한 국가 내륙 습지보호지역에 대한 관련 연구는 진행된 바 없으며, 습지보전법이 제정(1999년)된 후 약 25년이 지난 시점에서 그동안 구축된 조사·모니터링 자료가 관리 정책에 활용되는 데에 한계가 있었다(Choi et al., 2022). 또한, 제4차 습지보전기본계획(2023~2027)에서 정밀 조사를 기반으로 한 생태계 건강성 평가 실시 계획을 제시하고 있는 만큼, 평가 체계 구축을 위한 관련 연구의 수행이 시급한 상황이다.

따라서, 본 연구는 우리나라 내륙 습지보호지역을 대상으로 하여 전문가 설문조사법을 통해 향후 생태계 건

강성 평가들을 구축할 때, 가장 우선적으로 고려해야 할 평가 지표를 시범 도출하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1. 선행 연구 지표 종합

국내 자연환경을 반영한 생태계 건강성 평가 지표 관련 연구(Kim et al., 2008; Lee and An, 2010; Choung and Lee, 2013; An and Lee, 2018; Han et al., 2018; Lee et al., 2022)는 하천 및 호소를 중심으로 수행되었고, 수질 관련 지표와 식물상, 어류, 저서성 무척추동물 등 생물지표에 대한 평가가 대부분이었다. 국외 수생태계 건강성 평가 관련 연구에서도 부영양화 관련 지표(Oertli et al., 2005; Brehmer et al., 2011), 저서성무척추동물 등 종 다양성 지표(Beck and Hatch, 2009), 서식지 파편화 등 인간 간섭 지표(Trigal et al., 2007) 등을 제시하고 있으나, 국내 연구에서 제시된 항목에 대부분 중복포함 되어 있어, 국내 연구를 중심으로 지표들을 종합하였다(Table 1). 보호지역을 대상으로 한 연구는 국립공원 생태계 건강성 평가지표 개선연구(Oh et al., 2016; Myeong et al., 2021)가 있었으며, 보호지역 관리 측면에서 관련 지표를 포함하였다. 특히, 생태계교란종은 생물 관련 지표 또는 스트레스 지표에 포함될 수 있고, 수질 오염 관련 지표 역시 무기환경 지표 또는 스트레스 지표로 선정될 수 있었는데, 이와 같이 위협요인(스트레스) 분야의 경우, 무기 환경 또는 생물 관련 지표로 해석된 경우가 혼재하였다.

2.2. 조사분석방법

내륙습지 관련 전문가 설문조사를 통해 생태계 건강성 평가 지표를 도출하고자 하였으며, 델파이 조사 기법으로 2차에 걸쳐 설문을 받았다. 대상지는 원형(prototype) 습지로서 생태계 건강성 평가를 적용할 수 있으며, 증장기 조사자료가 축적된 국가 내륙 습지보호지역을 선정하였고, 선행연구에서 종합된 지표를 기반으로 현행 습지보호지역 정밀 조사 항목(National Institute of Ecology (NIE), 2023)과 연계 가능한 평가 지표 후보군을 도출하였다. 델파이 1차 평가는 폐쇄형(후보 지표 제시) 및 개방형(전문가 의견 수렴)을 혼용하여 진행하였고, 2차 설문시 1차 설문을 통해 추가

Table 1. Review and synthesis of ecosystem health assessment indicators in previous studies

Division	Indicator	A	B	C	D	E	F	G	Total
Physicochemical Water Quality	*Water Temperature	○	-	-	-	-	-	○	2
	*Dissolved Oxygen	○	-	-	-	-	○	○	3
	*Biochemical Oxygen Demand	○	○	-	-	-	○	○	4
	Chemical Oxygen Demand	-	○	-	-	○	-	-	2
	*Oxygen Demand	○	-	-	-	-	-	-	1
	Electrical Conductivity	○	-	-	-	-	-	○	2
	*pH	○	-	-	-	-	-	○	2
	Turbidity	○	-	-	-	-	-	○	2
	*Total Phosphorus	○	○	-	-	○	-	○	4
	*Total Nitrogen	○	-	-	-	○	-	○	3
	Chlorophyll-a	-	-	-	-	○	-	○	2
	*Suspended Solids	-	-	-	-	○	-	○	2
	TOC	-	-	-	-	-	-	○	1
	DTN	-	-	-	-	-	-	○	1
	NH ₃ -N	-	○	-	-	-	-	○	2
NO ₃ -N	-	-	-	-	-	-	○	1	
PO ₄ -P	-	-	-	-	-	-	○	1	
Biology	*Relative Abundance	○	-	-	-	-	-	-	1
	*Invasive Species	○	-	-	-	○	○	-	3
	*Tolerance Guild	○	-	○	○	○	-	-	4
	*Trophic Guild	○	-	-	-	○	-	-	2
	*Species Diversity Index	-	-	-	-	○	○	-	2
	*Species Evenness	-	-	○	-	○	-	-	2
	*Community Index	-	-	-	-	-	-	○	1
	*Benthic Animal Index	-	-	-	○	-	-	○	2
	*Endemic Species	-	○	-	○	-	-	-	2
	*Alien Species	-	○	○	○	-	-	-	3
	*Species Richness	-	○	○	-	-	-	-	2
	*Ecological Indicator Species	-	○	-	-	-	-	-	1
	*Number of Species	-	-	○	-	-	-	-	1
	*Number of Species (by Plant Growth Characteristics)	-	-	○	-	-	-	-	1
	*Wetland-Dependent Species	-	-	○	-	-	-	-	1
Frequency of Individuals	-	-	-	○	-	-	-	1	
*Endangered Species	-	-	-	-	-	-	○	1	
Stress	Habitat Fragmentation	-	-	-	-	-	○	-	1
	*Extreme Precipitation Frequency (Climate Change)	-	-	-	-	-	○	-	1
	Marine Benthic Pollution Index	-	-	-	-	-	○	-	1

* Related indicators by wetland detailed survey

※ Additional review indicators by wetland detailed survey: Area, Indicators related to water level, Water Quantity and Soil

* A: Kim et al., 2008; B: Lee and An, 2010; C: Choung and Lee, 2013; D: An and Lee, 2018; E: Han et al., 2018; F: Myeong et al., 2021; G: Lee et al., 2022

Table 2. Comprehensive summary of survey results on physical and chemical environmental factors

Division	1st Survey		2nd Survey		CVR value		
	Mean	SD	Mean	SD	1st Survey	2nd Survey	
Wetland Area (m ²)	4.1	1.13	5.9	1.44	0.60	0.73	
Wetland Flow Volume (m ³)	4.3	0.8	6.4	0.83	0.60	0.87	
Groundwater Level (m)	4.1	0.80	5.8	1.21	0.47	0.73	
Soil Texture	3.5	0.64	4.8	1.47	-0.07	0.33	
Soil Moisture	3.9	0.70	5.3	1.23	0.47	0.47	
Water Quality	4.2	1.08	6.0	1.13	0.60	0.73	
*Salinity	2.8	0.68	-	-	-0.73	-	
Newly Proposed Indicators (1st)	Soil Hardness	-	-	3.8	1.64	-	-0.47
	Edge Shape Index	-	-	4.4	1.50	-	0.07
	Open Water Surface Ratio	-	-	4.9	1.68	-	0.20
	Distance to Water Source (from origin point)	-	-	3.8	1.82	-	-0.47
	Water Balance (inflow-outflow equilibrium)	-	-	5.1	1.62	-	0.33
Total	3.8	0.64~1.13	5.1	0.83~1.82	-	-	

* Salinity was excluded from the second survey indicators based on feedback suggesting that it is applicable only to specific target areas, such as estuaries, and could be integrated into the broader category of water quality.

제시된 항목을 포함하였다. 제시된 지표 중 일부 지표는 유사하였으나, 용어 선정 및 적용 범위 등을 세부적으로 고려할 때 전문가들이 제시한 항목들을 기존 항목과 통합하지 않고 재질문에 추가하였다. 2차 설문시에는 참고할 수 있도록 1차 전문가들의 평가 결과를 종합하여 제시하였다. 1차 설문 시에는 5점 척도로 하여 대표성 및 중요도, 평가 용이성 등을 정성적으로 평가하도록 하였고, 2차 설문 시에는 제안된 평가항목에 대한 개수를 반영하고 항목 간 변별력을 높이기 위해 7점 척도로 수정하여 평가하였다. 또한, 가중치 설정을 위해 2차 설문 시에는 물리화학적 환경, 생물다양성, 위협요인(스트레스) 등 분야별 중요도를 평가(총합=1)하도록 하였다. 아울러, 2차 설문 시 모든 지표에 대해 유형별(산지형, 하천형, 호수형) 적합성도 확인하였다. 내륙습지 관련 전문가는 총 15명으로 선정하였고, 국내 습지 연구 및 평가에 대한 경험이 많거나 현재 국가 습지 관리를 담당하고 있는 전문가들을 중심으로 선정하였다. 학력은 박사 10인, 석사 5인이었고, 경력은 5~23년(평균 12년)이었다. 전공은 대부분 환경생태학 및 식물생태학이었고, 대학(2), 연구기관(10), 민간연구소(2), 관리기관(1) 등

으로 구성되었다. 분석방법은 SPSS 26.0 프로그램을 이용하여 평균(M), 표준편차(SD)를 분석하였고, Lawshe(1975)가 제안한 산출식에 의거하여 지표 타당도 비율(Content Validity Ratio, CVR)을 검토하였다. 연구에 참여한 패널의 수가 15명일 때, CVR값이 0.49이상일 경우 문항은 타당성을 확보했다고 판단할 수 있다.

$$CVR = \frac{n_e - (N/2)}{N/2}$$

N: 전체패널의 수,

n_e: 적절하다

(1차: 4~5점, 2차: 5~7점에 응답한 패널의 수)

3. 결과 및 고찰

3.1. 물리·화학적 환경

물리화학적 환경에 관한 설문 결과(Table 2), 1차 설문에서 7개 지표의 평균값은 3.8이었고, 지표별 표준편차는 0.64~1.13이었다. 습지유량(수량)(m³)에 대한 전문가 평균값은 4.3으로 가장 높았고, 염도에 대한 평균

Table 3. Comprehensive summary of survey results on biological diversity

Division	1st Survey		2nd Survey		CVR value		
	Mean	SD	Mean	SD	1st Survey	2nd Survey	
Total Number of Observed Species (Flora, Bird, Mammal, Benthic Invertebrates, Terrestrial Insects, Fish)	4.1	0.88	5.7	1.29	0.60	0.60	
Total Number of Major Species (Flora (wetland-dependent), Bird, Herpetofauna, Benthic Invertebrates, Fish)	4.6	0.51	6.5	0.52	1.00	1.00	
Average Species Diversity Index of Major Animal Taxonomic Groups (Bird, Herpetofauna, Benthic Invertebrates, Fish)	4.2	0.94	5.9	1.19	0.60	0.73	
Number of Legally Protected Species (Endangered Species, Natural Monuments)	4.3	1.03	6.3	1.18	0.47	0.73	
Number of Apex Predator Species (Umbrella Species)	3.9	0.74	4.9	1.58	0.60	0.60	
Area Ratio of Wetland-dependent Vegetation(%)	4.3	0.88	5.7	1.54	0.73	0.47	
Newly Proposed Indicators (1st)	Number of Climate Change Bioindicator Species (CBIS)	-	-	4.8	1.42	-	0.20
	Vegetation Diversity Index	-	-	5.3	1.11	-	0.60
	Number of Species in the National Red List (CR, EN, VU)	-	-	4.9	1.41	-	0.47
	Number of Endemic Species	-	-	4.5	1.41	-	0.33
	Diversity Index of Benthic invertebrates	-	-	4.3	1.68	-	0.20
	Area Ratio (%) of Dominant Vegetation among Wetland Vegetation (%)	-	-	4.7	1.59	-	0.07
	Changes in Existing Vegetation Types and Structural Stability (Single-layered/Multi-layered) around Wetlands	-	-	4.5	1.73	-	0.07
Total	4.2	0.51~1.03	5.2	0.52~1.73	-	-	

값은 2.8로 가장 낮았다. 1차 전문가 설문을 통해 신규 제안된 지표는 토양경도, 가장자리 형상지수, 개방수면 면적비, 수원까지의 거리(용출지점으로 부터의 거리), 물수지(물의 유입과 유출의 균형상태) 등 5개이었다. 1차 신규 제안된 지표를 반영한 2차 설문 결과, 총 12개 지표의 평균값은 5.1이었고, 표준편차는 0.83~1.82이었다. CVR값의 경우, 1차 설문에서 타당성이 0.49 이상인 지표는 습지면적(㎡), 습지유량(수량)(㎥), 수질 등 3개 지표이었다. 2차 설문에서는 지하수위(m)를 포함한 4개의 지표에서 CVR값에 의한 타당성이 확인되었으며, 지하수위(m)는 0.47에서 0.73으로, 습지면적(㎡), 습지유량(수량)(㎥), 수질 등은 0.60에서 0.73으로 증가하여 지표 타당성이 높아진 것으로 분석되었다. 선정된 평가 후보 지표와 관련하여 습지 면적은 UN (United Nations, 2021), EU (Vysna et al., 2021) 등에서 생태계 규모(Extent)의 변화를 파악하기 위한 중요 지표로 제시되었고, 수질 역시 습지 생태계에 대

한 중요 평가지표로 제시되고 있다. 미국 국가 습지 평가의 13개 지표상에서는 수질 관련 평가 지표로 질소와 인의 함량을 평가하고 있고(USEPA, 2024), 대부분의 선행연구(Kim et al., 2008; Lee et al., 2022)에서도 부영양화 관련 총질소와 총인 등은 기본적인 평가요소로 제시되고 있다.

3.2. 생물다양성

생물다양성에 관한 설문 결과(Table 3), 1차 설문에서 6개 지표의 평균값은 4.2이었고, 지표별 표준편차는 0.52~1.03이었다. 주요 생물출현종수(식물상(습지의존종), 조류, 양서파충류, 저서무척추동물, 어류)에 대한 전문가 평균값은 4.6으로 가장 높았고, 최상위포식종수(우산종)에 대한 평균값이 3.9로 가장 낮았다. 1차 전문가 설문을 통해 신규 제안된 지표는 기후변화 생물지표종 (Climate-sensitive Biological Indicator Species, CBIS) 수, 식생 다양성 지수, 우리나라 적색 목록

Table 4. Comprehensive summary of survey results on threat factors (stress)

Division	1st Survey		2nd Survey		CVR value		
	Mean	SD	Mean	SD	1st Survey	2nd Survey	
Number of Invasive Species	3.9	0.88	5.5	1.60	0.47	0.60	
Number of Ecosystem-disrupting Wildlife Species	4.7	0.49	6.8	0.56	1.00	1.00	
Surrounding Land-use Status (within 300m radius)	4.5	0.64	6.5	0.74	0.87	1.00	
Distribution of Point and Non-point Pollution Sources (within 300m radius)	4.4	0.74	5.5	1.60	0.73	0.47	
Artificial Structures (excessive visitor facilities, river channel structures, etc.)	4.3	0.72	5.8	1.42	0.73	0.73	
Human Interference (fishing, illegal capture, excessive visitation)	4.3	0.62	5.7	1.23	0.87	0.60	
Newly Proposed Indicators(1st)	Urbanization Index (Number of Naturalized Plant Species Detected / Total Number of Naturalized Plant Species Nationwide × 100)	-	-	4.3	1.99	-	0.07
Total	4.4	0.49~0.88	5.7	0.56~1.99	-	-	

(red-list)(Critically Endangered (CR), Endangered (EN), Vulnerable (VU)), 고유종 수, 저서무척추동물 다양성지수, 습지식생 중 우점식생종 면적 비율(%), 습지주변 현존식생유형 변화 및 식생구조 안정성 (단층/다층) 등 7개 이었다. 1차 신규 제안된 지표를 반영한 2차 설문 결과, 총 13개 지표의 평균값은 5.2이었고, 표준편차는 0.52~1.73이었다. CVR값의 경우, 1차에서 타당성이 0.49 이상인 지표는 법정보호종 종수를 제외한 전체 생물출현종수, 주요 생물출현종수, 주요 동물 분류군 종다양성지수 평균, 최상위포식종수, 습지식생 면적비율(%) 등 5개 이었다. 2차에서는 습지식생면적 비율(%)에 대한 지표 타당성이 감소(0.47)하여 0.49미만으로 분석되었고, 법정보호종 종수는 1차 설문에 비해 높아져, 0.73으로 분석되었다. 주요 동물 분류군 종다양성지수 평균은 0.60에서 0.73으로 증가하였고, 1차 설문을 통해 신규 제시된 지표인 식생 다양성 지수는 0.60으로 유일하게 타당성이 검증되었다. 선정된 평가 후보 지표와 관련하여 미국 국가 습지 평가에서는 식생 지표 하나에 대해 습지 식물의 구성, 구조, 기능을 종합적인 지수로 평가하였고(USEPA, 2024), 유럽은 습지의 야생조류를 주된 평가 지표로 제시하며 그 외 식물, 양서류, 수분 매개곤충 지표를 제시한 바 있다 (Vallecillo et al., 2022). Beck and Hatch(2009)도 저서성무척추동물과 함께 양서류와 물새를 중요한 평가 지표로 언급하였다.

3.3. 위협요인(스트레스)

위협요인(스트레스)에 관한 설문 결과(Table 4), 1차 설문에서 6개 지표의 평균값은 4.4이었고, 지표별 표준편차는 0.49~0.88이었다. 생태계교란 생물 출현종수에 대한 전문가 평균값은 4.7로 가장 높았고, 외래종 출현종수에 대한 평균값이 3.9로 가장 낮았다. 1차 전문가 설문을 통해 신규 제안된 지표는 도시화지수(출현 귀화식물종수/전국 귀화식물종수×100) 이었다. 1차 신규 제안된 지표를 반영한 2차 설문 결과, 총 7개 지표의 평균 값은 5.7이었고, 표준편차는 0.56~1.99이었다. CVR값의 경우, 1차에서 제시된 지표 중 생태계교란 생물 출현종수, 주변 토지이용 현황(인접 300 m), 인위적 간섭(낚시, 불법 포획, 과도한 탐방), 점·비점오염원 분포 현황(인접 300 m), 인공구조물(과도한 탐방시설, 하도구조물 등) 등의 CVR값이 0.49 이상이었고, 외래종 출현종수는 0.47이었다. 2차에서는 생태계교란 생물 출현종수, 주변 토지이용 현황(인접 300 m), 인공구조물(과도한 탐방시설, 하도구조물 등), 외래종 출현종수, 인위적 간섭(낚시, 불법 포획, 과도한 탐방) 등의 CVR값이 0.49 이상이었고, 외래종 출현종수는 1차(0.47)에 비해 CVR값이 상승하였다. 점·비점오염원 분포 현황(인접 300 m)은 0.47로 1차 설문시 보다 타당성이 감소한 것으로 분석되었고, 신규 제시된 도시화 지수의 경우 0.07로서 CVR값이 매우 낮게 평가되었다. 선정된 평가 후보 지표와 관련하여 외래종은 유럽

Table 5. Sectoral importance and review of wetland type application by indicators

Division	Importance	Indicator	Common Application	Individual Application Requires Review
Physical and Chemical Environmental Factors	0.36	Wetland Flow Volume (m ³)	15	-
		Wetland Area (m ²)	14	Forest(1)
		Groundwater Level (m)	11	Forest(4)
		Water Quality	11	River·Lake(2), Forest·Lake(1), Lake(1)
Biological Diversity	0.40	Total Number of Major Species (Flora (wetland-dependent), Bird, Herpetofauna, Benthic Invertebrates, Fish)	15	-
		Average Species Diversity Index of Major Animal Taxonomic Groups (Bird, Herpetofauna, Benthic Invertebrates, Fish)	14	River·Lake(1)
		Number of Legally Protected Species (Endangered Species, Natural Monuments)	15	-
		Total Number of Observed Species (Flora, Bird, Mammal, Benthic Invertebrates, Terrestrial Insects, Fish)	15	-
		Number of Apex Predator Species(Umbrella Species)	14	Lake(1)
		Vegetation Diversity Index	14	Forest(1)
Threat Factors (Stress)	0.25	Number of Ecosystem-disrupting Wildlife Species	15	-
		Surrounding Land-use Status (within 300m radius)	15	-
		Artificial Structures (excessive visitor facilities, river channel structures, etc.)	15	-
		Human Interference (fishing, illegal capture, excessive visitation)	15	-
		Number of Invasive Species	15	-

과 미국의 습지 평가에서 공통적인 위협요인 지표로 제시되었고, 인위적 간섭과 인공구조물 지표는 미국 국가 습지 평가의 13개 지표 중 인위적 식생 훼손, 우수 흐름 방해, 토양 경화(불투수화)와 유사하였다(Vallecillo et al., 2022; USEPA, 2024). Trigel et al.(2007)도 인간 간섭에 대한 지표 설정을 언급하였고, Beck and Hatch(2009)는 토지피복 변화와 서식지 파편화를 영향요인으로 제시한 바 있다.

3.4. 분야별 중요도 및 지표별 습지유형 적용

분야별 중요도 및 지표별 습지유형 적용 관련 응답 결과(Table 5), 생물다양성에 대한 중요도가 0.40으로 가장 높았고, 물리화학적 환경에 대한 중요도가 0.36, 위협요인 0.25 등의 순이었다. 물리화학적 환경 중 습지유량(수량)(m³) 지표의 경우, 모든 전문가가 산지형, 하천형, 호수형 습지 모두에 적용 가능한 지표로 판단하였고, 습지면적(m²)의 경우, 대부분 공통지표 적용(14

명)을 답한 반면, 1명은 산지형에 적용 가능한 지표라고 답하였다. 지하수위(m)의 경우, 11명이 공통적용지표로 답하였고, 4명은 산지형 습지에만 적용가능한 지표라고 답하였다. 수질의 경우, 11명이 공통적용지표로 가능하다고 답하였고, 2명은 하천형과 호수형, 1명은 산지형과 호수형, 1명은 호수형에 적합한 지표로 판단하였다. 생물다양성 관련 지표 중 주요 생물출현종수(식물상(습지의존종), 조류, 양서파충류, 저서무척추동물, 어류), 전체 생물출현종수, 법정보호종 종수의 경우, 모든 전문가들이 산지형, 하천형, 호수형 모두에 적용 가능한 지표로 판단하였다. 주요 동물 분류군 종다양성지수 평균은 14명이 공통 적용 지표로 답하였고, 1명이 하천형과 호수형 적용지표로 답하였다. 최상위포식종수(우산종)는 14명은 공통 적용 지표, 1명이 호수형 적용 지표로 응답하였다. 식생다양성지수의 경우, 14명은 공통 적용 지표, 1명은 산지형 습지에 적용 가능 지표로 답하였다. 위협요인 관련 생태계교란 생물 출현종

수, 주변 토지이용 현황(인접 300 m), 인공구조물(과도한 탐방시설, 하도구조물 등), 인위적 간섭(낚시, 불법 포획, 과도한 탐방), 외래종 출현종수 등의 지표의 경우, 모든 전문가들이 산지형, 하천형, 호수형 습지 모든 유형에 적용 가능한 지표라고 답하였다.

4. 결론

본 연구는 우리나라 내륙 습지보호지역을 대상으로 하여 전문가 설문에 기반한 생태계 건강성 평가 지표를 시범적으로 도출하고자 하였고, 1차 설문 결과를 반영한 2차 최종 설문을 통해, 지표 타당성(CVR값)이 높은 지표를 도출하였다. 물리화학적 환경 분야에서는 습지면적(㎡), 습지유량(수량)(㎡), 수질, 지하수위(m) 등 4개 지표, 생물다양성과 관련해서는 전체 생물출현종수, 주요 생물출현종수, 주요 동물 분류군 종다양성지수 평균, 최상위포식종수, 법적보호종수, 식생 다양성 지수, 위협요인(스트레스)에서는 생태계교란 생물 출현종수, 주변 토지이용 현황(인접 300 m), 인공구조물(과도한 탐방시설, 하도구조물 등), 외래종 출현종수, 인위적 간섭(낚시, 불법 포획, 과도한 탐방) 등이 내륙습지 생태계 건강성 평가 시 우선 고려 되어야 할 지표로 선정되었다. 향후 가중치로 반영이 가능한 중요도는 생물 다양성에 대한 중요도가 0.40으로 가장 높았고, 물리화학적 환경에 대한 중요도가 0.36, 위협요인 0.25 등의 순이었다. 선정된 지표들에 대해 70% 이상의 전문가들은 산지형, 하천형, 호수형 등 모든 유형의 습지에 적용 가능한 지표로 판단하였다.

본 연구는 제4차 습지보전기본계획(2023~2027)에서 습지 관리 효과성 평가와 연계한 생태계 건강성 평가 실시를 제시하고 있는 만큼 15명의 전문가들에 대한 델파이 조사를 통해 향후 생태계 건강성 평가 체계 구축 시 활용 가능한 지표와 중요도 등을 시범 도출하였다는 데에 의미가 있다. 수질 등 일부 지표의 경우, 다양한 세부 지표로 구성될 수 있는 만큼, 명확한 세부 지표를 제시하는 데에는 한계가 있었다. 향후 국제사회에서 요구하는 습지보호지역에 대한 생태계 변화추세 평가 시, 본 연구에서 도출된 연구 결과를 참고할 수 있을 것으로 판단되며, 이와 연계하여 생태계 건강성 평가 체계 도입 및 안정화를 위한 지속적인 관련 연구가 후속되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 국립생태원(NIE-B-2025-03)의 지원을 받아 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- An, K. G., Lee, S. J., 2018, Ecological health assessments, conservation and management in Korea using fish multi-metric model, *Korean J. Ecology and Environment*, 51(1), 86-95.
- Beck, M. W., Hatch, L. K., 2009, A Review of research on the development of lake indices of biotic integrity, *Environ. Rev.*, 17, 21-44.
- CBD, 2022, <https://www.cbd.int>.
- Choi, N. H., Yeum, J. H., Kim, H., 2022, Application of the Korean framework of wetland management effectiveness evaluation, *Wetlands*, 42(3), 22.
- Choung, Y. S., Lee, K. E., 2013, Review of a plant-based health assessment methods for lake ecosystems, *Korean J. Ecology and Environment*, 46(2), 145-153.
- Chung-MacCoubrey, A. L., Truitt, R. E., Caudill, C. C., Rodhouse, T. J., Irvine, K. M., Siderius, J. R., Chang, V. K., 2008, Mojave Desert Network vital signs monitoring plan, National Park Service, Colorado, 41-106.
- Environment Canada, 1991, A Report on Canada's progress towards a national set of environmental indicators, Environment Canada, Ottawa, Canada.
- Brehmer, P., Chi, T. D., Laugier, T., Galgani, F., Laloë, F., Darnaude, A. M., Fiandrino, A., Mouillot, D., 2011, Field investigations and multi-indicators for shallow water lagoon management: Perspective for societal benefit, *Aquat. Conserv.: Mar. Freshwater Ecosyst.*, 21, 728-742.
- Han, J. H., Kim, J. H., Lee, S. B., Paek, W. K., 2018, Freshwater fish fauna and ecological health assessment of the agricultural reservoirs in Jecheon City, Korea, *J. EIA*, 27(3), 307-321.
- Kim, H. M., Lee, J. H., An, K. G., 2008, Water quality and ecosystem health assessments in urban stream ecosystems, *Korean J. Environ. Biol.*, 26(4), 311-322.
- Lawshe, C. H., 1975, A Quantitative approach to content validity, *Personnel Psychology*, 28, 563-575.
- Lee, J. H., An, K. G., 2010, Analysis of various ecological parameters from molecular to community levels for ecological health assessments, *Korean J. Ecology and Environment*, 43(1), 24-34.

- Lee, J. H., Han, H., Lee, J. Y., Cha, Y. S., Cho, S. J., 2022, Ecological health assessment of Yangjaecheon and Yeouicheon using biotic index and water quality, *Korean J. Environ. Biol.*, 40(2), 172-186.
- Myeong, H. H., Kim, J. E., Kim, H. R., Oh, J. G., 2021, Comparison of the national park ecosystem health assessment and an advanced assessment system, *Ecol. Resil. Infrastruct.*, 8(2), 112-119.
- NIE, 2023, Intensive survey on national inland wetlands(23), National Institute of Ecology, Seocheon, Korea.
- NIER, 2024, Guidelines for the survey of aquatic ecosystem status and the methods for health assessment, National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea.
- Oertli, B., Auderset Joye, D., Castella, E., Juge, R., Lehmann, A., Lachavanne, J. B., 2005, PLOCH: A Standardized method for sampling and assessing the biodiversity in ponds, *Aquat. Conserv.: Mar. Freshwater Ecosyst.*, 15, 665-679.
- Oh, J. G., Won, H. J., Myeong, H. H., 2016, A Study on the method of ecosystem health assessment in national parks, *Korean J. Ecology and Environment*, 49, 147-152.
- Parks Canada Agency, 2007, Monitoring and reporting ecological integrity in Canada's national parks - volume 2: A Park-level guide to establishing EI monitoring-, Parks Canada Agency, Quebec, Canada.
- Trigal, C., García-Criado, F., Aláez, C. F., 2007, Macroinvertebrate communities of Mediterranean ponds (North Iberian Plateau): Importance of natural and human-induced variability, *Freshwater Biol.*, 52, 2042-2055.
- UN, 2021, System of environmental economic accounting -ecosystem accounting (SEEA EA), United Nations Publication, Newyork, United States.
- USEPA, 2009, National lakes assessment: A Collaborative survey of the nation's lakes, EPA 841-R-09-001, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C., United States.
- USEPA, 2024, National wetland condition assessment 2021: Technical support document, EPA 843-B-24-003, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C., United States.
- Vallecillo, S., Maes, J., Teller, A., Babí Almenar, J., Barredo, J. I., Trombetti, M., Abdul Malak, D., Paracchini, M. L., Carré, A., Addamo, A. M., Czúcz, B., Zulian, G., Marando, F., Erhard, M., Liqueste, C., Romao, C., Polce, C., Pardo Valle, A., Jones, A., Zurbaran-Nucci, M., Nocita, M., Vysna, V., Cardoso, A. C., Gervasini, E., Magliozzi, C., Baritz, R., Barbero, M., Andre, V., Kokkoris, I. P., Dimopoulos, P., Kovacevic, V., Gumbert, A., 2022, EU wide methodology to map and assess ecosystem condition: Towards a common approach consistent with a global statistical standard, Publications Office of the European Union Luxembourg, Luxembourg, 78-88.
- Verdonschot, R., Keizer-Vlek, H. E., Verdonschot, P. F. M., 2012, Development of a multimetric index based on macroinvertebrates for drainage ditch networks in agricultural areas, *Ecol. Indic.*, 13, 232-242.
- Vysna, V., Maes, J., Petersen, J. E., La Notte, A., Vallecillo, S., Aizpurua, N., Ivits, E., Teller, A., 2021, Accounting for ecosystems and their services in the European Union (INCA): Final report from Phase II of the INCA project aiming to develop a pilot for an integrated system of ecosystem accounts for the EU. Publications Office of the European Union Luxembourg, Luxembourg, 7-17.

-
- Researcher. Tae-Young Choi
Ecosystem Services Team, National Institute of Ecology
ty_choi2016@nie.re.kr
 - Professor. Jung-Hun Yeum
Department of Environmental Landscape Architecture,
Gangneung-Wonju National University
zelkovayeum@gwnu.ac.kr
 - Researcher. Tae-Su Kim
Department of Life Sciences, Yeungnam University
taesunim@ynu.ac.kr