

Original article

국내 생물다양성 평가를 위한 지표 선정

장인영 · 강성룡*

국립생태원 기후탄소연구팀

Selection of Biodiversity Indicators for a National Assessment in Korea. Inyoung Jang (0000-0002-1779-6928) and Sung-Ryong Kang* (0000-0002-8728-0732) (Carbon and Climate Change Research Team, National Institute of Ecology, SeoCheon 33567, Republic of Korea)

Abstract This study was conducted to select indicators for assessing national biodiversity. For this purpose, 140 biodiversity-related indicators were identified as a result of inventorying biodiversity-related indicators used in Korea and abroad, and when these indicators were applied to the pressure, status, and response indicator system, it was found that status indicators accounted for the largest number of indicators, with 29 pressure, 59 status, and 44 response. We also categorized the status indicators into genes, species, habitat, function, and quality, and found that species and habitat indicators accounted for the majority. Pressure indicators were categorized into direct exploitation, pollution, alien species, climate change, and habitat change. As a result, it was found that direct exploitation and pollution accounted for most of the pressure indicators. In addition, this study used internationally used indicator selection criteria to establish criteria for selecting domestic biodiversity assessment indicators. Using this list of indicators and indicator selection criteria, we evaluated the prioritization of domestically applicable biodiversity indicators through relevant expert consultations. 1) Vegetation class, 2) Land cover indicators, and 3) Change of protected area ranked highly. In fact, these indicators have been used in many studies due to the availability of assessable data. However, most of the highly scored indicators are based on ecosystem area, and further consideration of ecosystem functions and components (species) is needed.

Key words: biodiversity assessment, indicator, selection criteria, habitat

서론

생물다양성과과학기구(IPBES)는 2019년 지구단위의 생물다양성의 현황과 주요 영향인자를 평가한 ‘지구평가보고서(Global Assessment)’를 발간하였다. 이 보고서에서는, 지난 50년 동안 자연이 주는 물질적 혜택은 증가했지만,

온실가스 저감, 수질 정화 등의 생태계서비스는 감소하고 있으며, 특히, 2000년 이후로 산림면적 감소와 멸종위기동식물의 증가가 빠르게 나타나고 있음을 확인하였다. 또한, 이러한 변화의 주요 원인을 1) 토지이용의 변화, 2) 남획, 3) 기후변화, 4) 오염, 5) 침입외래종으로 보고하였다. 세계경제포럼(World Economic Forum)에서는 2023년 ‘세계 위험 보고서(Global Risk Report 2023)’에서 향후 10년 내 세계적 규모로 미칠 영향에 대해 4위로 생물다양성 손실 및 생태계 붕괴를 선정했다(World Economic Forum, 2023). 이와 같이 전 지구적으로 다양한 분야에서 생물다양성 손

Manuscript received 20 November 2023, revised 14 December 2023, revision accepted 18 December 2023

* Corresponding author: Tel: +82-41-950-5481

E-mail: srkang@nie.re.kr

© The Korean Society of Limnology. 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, provide the original work is properly cited.

실의 위험을 인지·보고하고 있으며, 이의 대응을 위한 전략·정책 등을 수립하고 있다. 우리나라의 경우도 생물다양성의 중요성을 인식하여 「생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률」을 제정하고 국가생물다양성 전략을 수립하여 이행하고 있다. 현재 제4차 전략을 이행 중이며, 동시에 제5차 생물다양성전략(2024~2028) 수립을 위한 노력을 기울이고 있다.

생물다양성 보전을 위해서는 생물다양성의 과거 변화를 추적하고 생물다양성 변화 요인을 분석하여, 그 변화 요인에 대한 관리 방안을 마련하는 것이 필수적이다. 이를 위해 생물다양성의 현황 평가가 매우 중요하지만, 생물다양성의 경우 직접적인 평가가 어렵기 때문에 이를 간접적으로 나타낼 수 있는 지표를 평가하여 생물다양성의 현황을 분석한다. 생물다양성협약(CBD)에서는 2020년까지 생물다양성 보전을 위해 달성해야 할 목표로 발표한 23개의 아이치목표(Aichi targets)에 대해 각 목표별로 달성 정도를 진단할 수 있는 지표를 일반지표(generic indicator)와 특수지표(specific indicator)로 나누어 제시하였다. 또한 생물다양성과과학기구의 평가보고서는 30개의 핵심지표(Core Indicator)와 42개의 중요지표(Highlighted Indicator)를 활용하여 작성되었으며, 북극 생물다양성 평가보고서(2013)의 경우, 생물다양성 평가를 위한 지표보고서가 먼저 발간되고 평가가 진행되었다.

국내 생물다양성 평가를 위한 지표 연구는 특정 대상 생태계(도시, 산림 등)를 대상으로 생물다양성 평가지표 선정이나 개발 연구가 일부 진행되었다(Yoon *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2017a; Kang and Kang, 2018; Jang, 2019). 반면 생물다양성 평가지표를 활용하여 전 국토를 대상으로 평가한 사례나, 정책적 활용은 제한적이었다. 하지만, 국제사회 생물다양성 보전 목표(쿤밍-몬트리올 생물다양성 평가 프레임워크)가 새로 수립되어짐에 따라 국가 수준의 생물다양성 현황에 대한 정확하고 목표 관련된 보고 필요성이 증가하고 있다. 국내적으로는 생물다양성 보전을 위한 관리 목표 설정 및 정책 마련을 위한 생물다양성 평가가 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 전지구, 지역 및 국가 수준에서의 국내·외 생물다양성 평가에 활용되고 있는 지표 현황을 분석하여, 현재 생물다양성 평가지표를 목록화하고, 관련 지표의 국내 적용을 위한 전문가 설문조사를 통해, 각 지표별 국내 적용가능성에 대한 우선순위를 제안하고자 하였다. 특히 본 연구에서는 생물다양성의 현황과 경향을 평가하는 상태지표(state), 생물다양성의 변화를 초래하는 요인을 평가하는 압력지표(pressure), 생물다양성의 보전을 위한 노력을 평가하기 위한 지표인 대응지표(response) 중 상태 지표를 대상으로 연구를 진행하여, 국

내 생물다양성의 현황을 분석하기 위한 지표를 도출하고자 하였다. 상태지표를 통한 생물다양성 평가는 궁극적으로 생물다양성의 변화를 초래하는 요인의 분석과, 이러한 요인을 관리하기 위한 대응지표와 연계되기 때문에, 생물다양성 평가의 가장 기초되는 평가라고 판단된다.

국제기구 생물다양성 평가지표 현황 분석

1. 생물다양성협약(CBD: Convention on Biological Diversity)

생물다양성협약은 2022년 COP15에서 아이치타겟에 이어 향후 10년간의 새로운 목표인 쿤밍-몬트리올 생물다양성 프레임워크(K-M GBF)를 발표하였다. 여기에는 2030년까지 생물다양성 증진을 위한 목표 23가지가 포함되어 있다. 생물다양성협약은 각각 목표의 달성 여부를 진단하기 위한 지표를 개발 중에 있다. 생물다양성협약은 K-M GBF의 평가지표는 각각 핵심(Headline), 구성(Component), 대체(Complement) 지표의 세 형태로 제공하고 있다. 이 중 핵심지표는 각 목표별 달성여부를 확인할 수 있는 최소한의 지표이며, 핵심지표가 다루지 못하는 부분에서 구성지표와 대체지표가 활용가능하다. 2023년 현재 생물다양성협약이 제시하고 있는 핵심지표는 36개이며(Table 1), 구성지표는 66개, 대체지표는 264개이다(UNEP-WCMC, 2023). 생물다양성협약은 지속적으로 관련 지표들을 업데이트 중에 있으며, 관련 지표 활용을 통한 지구 생물다양성 평가를 진행하고, 국가 및 지역 수준에서의 활용을 권장하고 있다.

2. 생물다양성과과학기구(IPBES: Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services)

생물다양성과과학기구는 지구평가보고서 작성에 있어 30개의 핵심지표(core indicator)와 42개의 중요지표(highlighted indicator)를 제공하고 이를 활용하여 생물다양성을 평가할 것을 권고하였다(Tables 2, 3). 이 중 핵심지표는 생물다양성 평가에 필히 사용할 것을 권고하였고, 중요지표는 필요시 사용할 것을 권고하였다. IPBES가 제공한 지표 목록은 IPBES 사무국 중 일부인 생물다양성 지표 파트너십(BIP: Biodiversity Indicator Partnership)에서 제공한 지표들을 기반으로 세계농업기구(FAO: Food and Agriculture Organization), UNEP-세계보전모니터링센터(WCMC: World Conservation Monitoring Center)에서 이용·관리 중인 지표들 중에서 선정하였다. 지표에 대한 선정은 IPBES

Table 1. List of headline indicators from target 1 to 23 for Kumming-Montreal Global Biodiversity Framework.

Goal/target	Indicator name
Goal A	Red List of Ecosystems
Goal A	Extent of natural ecosystems
Goal A	Red List Index
Goal A	The proportion of populations within species with an effective population size > 500
Goal B	Services provided by ecosystems
Goal C	Indicator on monetary benefits received
Goal C	Indicator on non-monetary benefits
Goal D	International public funding, including official development assistance (ODA) for conservation and sustainable use of biodiversity and ecosystems
Goal D	Domestic public funding on conservation and sustainable use of biodiversity and ecosystems
Goal D	Private funding (domestic and international) on conservation and sustainable use of biodiversity and ecosystems
Target 1	Red List of Ecosystems
Target 1	Extent of natural ecosystems
Target 1	Percent of land and seas covered by biodiversity-inclusive spatial plans
Target 2	Area under restoration
Target 3	Coverage of protected areas and OECMS
Target 4	Red List index
Target 4	The proportion of populations within species with a genetically effective population size > 500
Target 5	Proportion of fish stocks within biologically sustainable levels
Target 6	Rate of invasive alien species establishment
Target 7	Index of coastal eutrophication potential
Target 7	Pesticide environment concentration
Target 8	In development
Target 9	Benefits from the sustainable use of wild species
Target 9	Percentage of the population in traditional employment
Target 10	Proportion of agricultural area under productive and sustainable agriculture
Target 10	Progress towards sustainable forest management
Target 11	Services provided by ecosystems
Target 12	Average share of the built-up area of cities that is green/blue space for public use for all
Target 13	Indicator on monetary benefits received
Target 13	Indicator on non-monetary benefits
Target 14	In development
Target 15	Number of companies reporting on disclosures of risks, dependencies and impacts on biodiversity
Target 16	In development
Target 17	In development
Target 18	Positive incentives in place to promote biodiversity conservation and sustainable use
Target 18	Value of subsidies and other incentives harmful to biodiversity, that have been eliminated, phased out or reformed
Target 19	International public funding, including official development assistance (ODA) for conservation and sustainable use of biodiversity and ecosystems
Target 19	Domestic public funding on conservation and sustainable use of biodiversity and ecosystems
Target 19	Private funding (domestic and international) on conservation and sustainable use of biodiversity and ecosystems
Target 20	In development
Target 21	Indicator on biodiversity information for monitoring the global biodiversity framework
Target 22	In development
Target 23	In development

지식 및 데이터 전담반(Knowledge and Data Task Force)에서 업무를 수행하였으며, IPBES 사무국은 평가 전문가들의 이용 편의를 위해 핵심지표를 대상으로 지표 정보가 정리되어 있는 자료표(Factsheet)와 시각화 정보(Storyline)를 저자들에게 제공하여, 전지구 평가가 객관적이고 과학

적으로 진행될 수 있게 하였다. IPBES에서 제공한 자료 표에는 IPBES 지구평가 보고서와의 연계, IPBES 개념 체계와의 연계, 지표 분류(동인-압력-상태-영향-대응 지표), CBD 아이치목표와의 연계, 지표 설명, 시간적 공간적 범위, 활용 데이터 및 방법 등에 관한 정보를 담고 있으며, 시

Table 2. List of core indicators provided IPBES.

Aichi target	Indicators
7	Area of forest production under FSC and PEFC certification
5	Biodiversity Habitat Index
12	Biodiversity Intactness Index
4	Ecological Footprint
6	Estimated fisheries catch and fishing effort
5	Forest area as a percentage of total land area
4	Human appropriation of fresh water (water footprint)
6, 14	Inland fishery production
6	Marine Trophic Index
7	Nitrogen + Phosphate Fertilizers (N + P2O5 total nutrients)
7	Nitrogen Use Efficiency
17	Number of countries with developed or revised NBSAPs
11	Percentage of areas covered by protected areas - marine, coastal, terrestrial, inland water
4	Percentage of Category 1 nations in CITES
14	Percentage of undernourished people
6	Proportion of fish stocks within biologically sustainable levels
19	Proportion of known species assessed through the IUCN Red List
13	Proportion of local breeds, classified as being at risk, not-at-risk or unknown level of risk of extinction
11	Protected area coverage by Key Biodiversity Areas (including Important Bird and Biodiversity Areas, Alliance for Zero Extinction sites)
11	Protected area management effectiveness
11	Protected Area Connectedness Index
12	Red List Index
5, 12	Species Habitat Index
11	Species Protection Index
19	Species Status Information Index
5, 7, 14	Total wood removals
6	Trends in fisheries certified by the Marine Stewardship Council
5	Trends in forest extent (tree cover)
8	Trends in nitrogen deposition
8	Trends in pesticide use

각화 정보에는 지표에 해당하는 그래프와 경향 정보 등을 담고 있다.

3. 북극 동식물보전 워킹그룹(CAFF: Conservation of Arctic Flora and Fauna)

북극 동식물보전 워킹그룹의 주요 활동 중 하나는 북극의 생물다양성을 평가하고, 그 결과를 북극 생물다양성 전략 수립에 활용하는 것이다. 북극의 생물다양성 평가를 위해, 2010년 북극 지역의 생물다양성 평가지표를 선정하고 관련 정보를 제공하였다(Table 4, CAFF, 2010). 북극 생물다양성 평가지표 보고서는 북극 생태계를 대상으로 주요 종을 선정하고, 생물다양성의 지속가능한 이용에 대한 지표를 선정하여 관련 정보를 제공하고 있다. 생물다양성 평가지표 보고서는 주요 종·생태계·생태계서비스의 평가지표를 나누어 서술하고 있으며, 각 지표의 현재 상태 및 경

향을 제시하고 향후 예측 방향에 대한 내용을 제시하고 있다. 이 보고서는 북극 생태계의 중요 지표를 다양한 분야(종·생태계·생물다양성)의 측면에서 선정하고, 이에 대한 가능한 수준의 정보를 지도, 그래프 등의 다양한 수단으로 제공하고 있다는데 특이점이 있다. 또한, 이 보고서에서는 제시된 지표 정보를 활용하여 10개의 주요 발견을 제시하고 있어, 북극 생물다양성 전략 수립 및 관련 정책 마련에 필요한 정보들을 제공하고 있다.

4. 람사르협약(Ramsar Convention on Wetland)

람사르협약에서는 2018년도와 2021년 두 차례에 걸쳐 전 지구 습지를 평가하는 보고서를 발간하였다(Ramsar Convention on Wetland, 2018, 2021). 이 중 2018년에 발간한 보고서는 36명의 저자가 참여하여 전 지구 습지의 주요 현황을 평가하였고, 이후 2021년 발간 보고서의 경

Table 3. List of highlighted indicators provided IPBES.

Aichi target	Indicators
7	Areas of agricultural land under conservation agriculture
14	Better Life Index
6	BioTime - Local Species Richness, Temporal Species Turnover, Overall Abundance
6	Coverage of fisheries with management measures to reduce bycatch and discards
5, 12	Global climate risk Index
15	Global Ecosystem Restoration Index
6	Global effort in bottom trawling
18	Global Index of Linguistic Diversity and language threat level
19	Growth in species occurrence records accessible through GBIF
4	Human appropriation of net primary productivity
20	Information provided through the financial reporting framework, adopted by decision XII/3
14, 15	Land under cereal production (ha)
12	Living Planet Index
6	Mean length of fish size
12	Mean Species Abundance (GLOBIO3)
7	Nitrogen Use Balance
5, 10, 14	Non declining exploited species
6	Number and coverage of stocks with adaptive management systems / plans
2	Number of countries implementing natural resource accounts, excluding energy, within the System of Environmental-Economic Accounting (SEEA)
16	Number of countries that have adopted legislative, administrative and policy frameworks to ensure fair and equitable sharing of benefits
3	Number of countries with national instruments on biodiversity relevant tradable permit schemes
3	Number of countries with national instruments on biodiversity-relevant taxes, charges and fees
3	Number of countries with national instruments on REDD plus schemes
12	Number of species extinctions
7	Number of world natural heritage sites per country per year
14	Percentage of population using safely managed drinking water services
6	Policies make adequate provisions to minimize impacts of fisheries on threatened species.
6	Policies to secure that mortalities and significant indirect adverse impacts on non-target species are accounted for are in place
6	Presence of regulations requiring recovery of depleted species
7	Proportion of agricultural area under productive and sustainable agriculture
6	Proportion of predatory fish
11	Protected area coverage of terrestrial, marine and freshwater ecoregions
11	Protected Area Representativeness Index
12	RAMSAR areas
19	Species represented in the barcode of life data system
11	The Wildlife Picture Index (disaggregated by protected area)
4	Trend in Carbon Intensity
9	Trends in invasive alien species vertebrate eradications
3	Trends in potentially harmful elements of government support to agriculture (produced support estimates)
3	Trends in potentially harmful elements of government support to fisheries
9	Trends in the numbers of invasive alien species introduction events
14	Wetland Extent Trend Index

우에는 2018년 보고서를 보완하는 수준에서 진행되었다. 2018년 지구습지보고서는 습지 생태계 평가를 위해 압력 (Pressure)-상태 (Status)-대응 (Response) 지표 체계를 활용하였다. 각각의 지표는 Table 5와 같다 (Table 5). 이 보고서는 습지의 상태 평가를 습지면적·종·생태계서비스 등에

해당하는 지표를 통해 평가하였으며, 생태계 변화의 원인이 되는 압력은 습지로부터의 추출, 오염물질 및 외래생물 등과 같이 인위적 요인들의 현황과 경향에 대해 서술하고 있다. 마지막으로 대응지표의 경우에는, 대응 지표의 현황과 관련 예시 등을 제시하고 있다. 2021년에 발간된 전

Table 4. Biodiversity indicators which used for arctic assessment by CAFF.

Category	Indicator
Species (9)	Polar bears
	Wild reindeer and caribou
	Shorebirds - red knot
	Seabirds - murre (guillemots)
	Seabirds - common eiders
	Arctic char
	Invasive species (human-induced)
	The Arctic Species Trend Index
	Arctic genetic diversity
Ecosystems (8)	Arctic sea-ice ecosystem
	Greening of the Arctic
	Reproductive phenology in terrestrial ecosystems
	Appearing and disappearing lakes in the Arctic and their impacts on biodiversity
	Arctic peatlands
	Effects of decreased freshwater ice cover duration on biodiversity
	Changing distribution of marine fish
	Impacts of human activities on benthic habitat
Ecosystem services (5)	Reindeer herding
	Seabird harvest
	Changes in harvest
	Changes in protected areas
	Linguistic diversity

지구 습지 평가 보고서의 특별호는 2018년 이후 새로운 결과에 대한 소개 및 습지의 지속가능한 이용, 습지 생태계 보전을 위한 향후 과제 등을 제시하였다.

평가지표 목록화 및 선정 기준 마련

1. 평가지표 목록화

생물다양성 평가지표 목록을 구축하기 위해 아직 구축 중인 K-M GBF를 제외한 앞의 소개된 국제기구 및 국내 연구 등에서 활용된 생물다양성 지표를 목록화하였다. 중복되는 지표를 제거한 결과 140개의 지표 목록을 구축할 수 있었다. 국내·외에서 사용된 지표를 압력(생물다양성의 변화를 야기하는 요인에 대한 지표)-상태(생물다양성의 현황과 경향을 표현하는 지표)-대응지표(생물다양성 보전을 위한 인간의 활동을 나타내는 지표) 체계로 분류하여 보았다. 그 결과 압력지표는 28개, 상태지표는 59개, 대응지표는 44개로 분류되었고, 생태계서비스 지표 및 생물다양성과 거리가 멀다고 판단되는 9개 지표(예: 영양 결핍 상태

Table 5. Indicator lists which used for Global Wetland Outlook (2018).

	Category	Indicator
Status and Trend	Area	Accuracy of global wetland area data
		Ratio between natural and artificial wetland area
		Natural inland wetland area
		Coastal wetland area
		Artificial wetland area
	Species	Wetland-dependent species
Drivers of change	Water quality	
	Pollutants	
	Global water cycle —hydrological processes	
	Biogeochemical processes	Carbon storage Production
Responses	Ecosystem Services	
	Physical regime change	
	Extraction from wetlands	
	Pollutants and alien species	
	Habitat changes	
	Enhance the network	
	Enhance wetland coverage in conservation areas	
	Integrate wetlands into planning	
	Supporting the Sustainable Development Goals	
	Strengthen legal and policy arrangements	
No net loss		
Implement Ramsar Guidance		
Apply economic and financial incentives		
Government investment		
Sustainable production and consumption		
Incorporate wise use and public participation		
Integrate diverse perspectives into wetland management		
Update and improve national wetland inventories		
Use of citizen science		

인구 비율, 안전하게 관리되고 있는 식수를 이용하는 인구 비율 등)는 제외되었다. 이 중 상태지표의 경우 유전자(1), 종(25), 서식지(24), 기능(3), 질(2), 기타(4)로 분류할 수 있었으며, 압력지표의 경우 무분별한 이용(9), 오염(7), 외래종(3), 기후변화(3) 서식지 변화(2), 기타(4)로 범주화할 수 있었다(Fig. 1). 140개의 국제 생물다양성 평가지표의 경우, 국내에 바로 적용하는 것에 한계가 있는 지표들이 존재하였다. 1) 국제사회를 대상으로 하는 평가지표이기 때문에, 국내에 적용하는 것에는 한계가 있는 지표(예, NBSAP을 개발하거나 제정할 국가 수, REDD +를 도입한

국가 수 등) 및 2) 본 연구의 대상 범위에 맞지 않는 지표 (예, 해양 영향 지수, 내수면 어업 생산 등) 등을 제외하였다. 또한, 본 연구에서의 생물다양성 평가의 목적이 생물다양성의 현황 및 경향 분석에 있기 때문에, 대응 지표의 평가 보다는 상태나 압력지표의 선정을 우선시 하였다. 따라서, 상태·압력지표 중 위의 3가지 조건에서 제외된 23가지 지표를 1차적으로 선정하여 전문가 설문에 활용하였다 (Table 6).

2. 평가지표 선정 기준 마련

지표를 활용하여 생물다양성 평가를 진행하는 국제기구 등은 각각의 지표 선정 기준을 마련하여 선정 기준에 부합하는 지표들을 선정하여 활용하고 있다. 본 연구에서도 국내 적용 가능한 지표를 선정하기 위해 국외에서 활용하고 있는 지표 선정 기준을 검토해 보았다.

생물다양성과학기구는 민감도, 과학적 신뢰성 등 14개의 지표 선정 기준을 토대로 지표를 선정하였으며, BIP는 6개의 기준, 뉴질랜드 정부는 5개의 지표 선정 기준을 갖고 있었다. 이들 선정 기준을 기반으로 국내에 적용 가능한 생물다양성 지표 선정 기준 13개를 Table 7과 같이 마련하였다.

국내 적용 가능 지표 선정

위의 지표 목록과 지표 선정기준을 활용하여 최종적으

로 국내 적용 가능 지표를 선정하고자 하였다. 본 연구에서는 이를 위해 전문가 설문을 실시하였다. 관련 전문가 선정은 환경·생태 관련 7개 학회(한국환경생물학회, 환경

Table 6. List of candidate indicators for national assessment in Korea.

Category	Indicators
Status	Ratio of ecosystem type
	Average patch size of natural ecosystems
	Vegetation class
	Land cover indicators
	Percentage of Environmental budget
	Vulnerable species on climate change
	Change of protected area
	Natural inland wetland area
	Artificial wetland area
	Wetland coverage in conservation areas
	Area of forest production
	Percentage of forest area
	Trend of vegetation coverage
Pressure	Protected area coverage by Key Biodiversity Areas
	Number of world natural heritage sites
	Protected area coverage of terrestrial and freshwater ecoregions
	Climatic index
	Percentage of illegally degraded forest
	Percentage of area affected by wildfires
	Percentage of area damaged by wind and flood
Vegetation clear cutting	
Response	Trend of introduced invasive alien species
	Pollutants

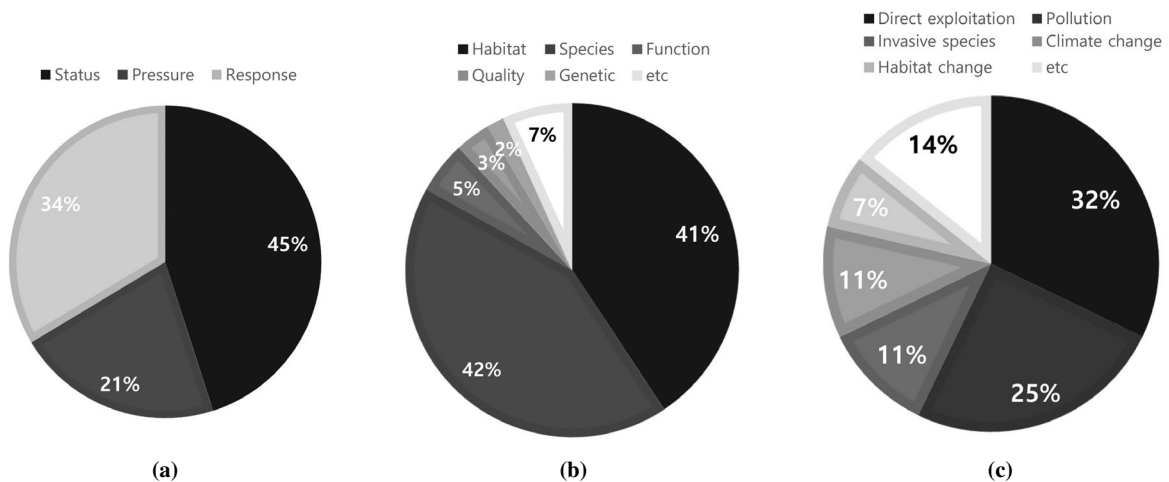


Fig. 1. Categorized results of indicators from previous studies. (a) Categories of indicator frame work (Pressure-Status-Response), (b) Categories in status indicators (habitat, species, function, quality, and genetic) and (c) Categories in drivers (direct exploitation, pollution, invasive species, climate change and habitat change).

Table 7. Criteria for selection of indicators for national assessment in Korea.

Criteria	
1	Spatial representativeness
2	Spatial explicitness
3	Taxonomic representativeness
4	Comparability between regions
5	Regular and recent updating
6	Scientific rigor
7	Transparency and data availability
8	Sensitivity
9	Timing of Indicator availability
10	Digital accessibility of Indicator
11	Institutional support
12	Easily understandable
13	Clearly defined and standardized

영향평가학회, 하천호수학회 등)의 추천을 받아 전문가 자문단을 구성하였다. 또한, 정부 산하·소속기관의 추천을 받아 학계뿐만 아니라 기관 관계자들의 의견도 포함하고자 하였다. 최종자문단은 47인으로 구성되었다. 전문가 자문단을 대상으로 지표 목록과 지표 선정기준을 제시하고, 각각의 지표에 대해 선정기준 부합 여부(가/부)에 관한 자문을 요청하였다(Fig. 2). 47인 중 설문에 응답한 전문가는 39인으로 회수율을 83%였으며, 이 중 기관전문가는 15인 학계 전문가는 24인이었다. 분류군별로 살펴보면, 식물 7인, 어류 6인, 저서성무척추 및 조류 각각 5인, 양서파충류 3인, 곤충 2인, 포유류 1인, 평가 및 생태계 기능 등 기타 10인이었다.

전문가 의견으로 받은 의견을 모아, 각 지표별 선정기준 부합 여부를 ‘가’는 1점, ‘부’는 0점을 부여하여, 각각의 지표별 획득 점수를 계산하였다(Table 8). 그 결과, 각각 지표별로 가장 높은 점수를 획득한 지표 선정 기준과 최저점을 획득한 선정 기준은 각각 Table 9와 같았다. 선정 기준 중에는 지역별 비교가능성(Comparability between regions)이 많은 지표에 대해 높은 점수를 획득하여, 지표 선정에 중요한 기준이 되는 것으로 나타났다. 반면, 분류학적 대표성(Taxonomic representativeness)의 경우 많은 지표에 최저점을 기록하여 상대적으로 중요도가 낮은 것으로 분석되었다.

전문가 설문 결과 23개의 생물다양성 평가지표 중 ① 식생 등급, ② 토지 피복 지수, ③ 보호지역 면적 변화, ④ 전체 토지 면적 내 산림 면적 비율, ⑤ 산불 피해면적 비율이 가장 높은 점수를 기록하였다(Table 10). 설문결과 보호지역 면적, 산림 면적 등 상대적으로 생태계 면적을 활용한

지표부터 제시된 지표를 살펴보고 각각의 지표 선정기준에 부합여부를 선택해 주시면 감사하겠습니다. ○ 부합함 x 부합하지 않음

분류	출처	지표	a. 공간적 대표성 (국내적용 가능성)	b. 공간적 명확성 (Spatial Explicitness)	c. 분류학적 대표성 (Taxonomic representativeness)	d. 지역별 비교가능성 (Comparability between regions)	e. 최근 자료의 규칙적 업데이트 (Regular and recent updating)	f. 과학적 신뢰성 (Scientific rigor)	g. 투명성 및 가용성 (Transparency and data availability)	h. 민감도 (Sensitivity)	i. 가용시기 (Timing of indicator availability)	j. 디지털 가용성 (Digital accessibility of indicator)	k. 데이터 확보의 편의성 (Institutional support)	l. 지표 이해도 (Easily understandable)	m. 지표 정의의 확실성 (Clearly defined and standardized)		
상태	국립생태원(2021)	생태계 면적 비율	○														
		식생등급															
		토지 피복 지수															
상태	CAFF	환경(생태) 훼손 비율															
		기후변화 취약종 수															
		보호지역 면적 변화															
상태	Ramsar	내륙 자연 습지 면적															
		인공 습지(human-made wetland) 면적															
		보호지역 내에서의 습지 면적 증가															
상태	IPBES	산림 종산 면적															
		산불 피해면적(비율)															
		수목 피도 추세															
기후변화	국립생태원(2021)	보호지역 내 중요 생물다양성 지역(REA) 비율															
		대년 국가별 세계자연유산 지역 수															
		생태계 유형(정원(수)) 보호지역 비율															
기후변화	IPBES	기후 지수															
		전체 복제 계기															
		토지 피복 지수															
산불	국립생태원(2021)	산불 피해면적 비율															
		산불 피해면적 비율															
		오염물 함량(수질)															
기후변화	국립생태원(2021)	침입외래종															
		침입외래종															
		침입외래종															
기후변화	국립생태원(2021)	침입외래종															
		침입외래종															
		침입외래종															
기후변화	국립생태원(2021)	침입외래종															
		침입외래종															
		침입외래종															

Fig. 2. Questionnaires with expert surveys.

Table 8. Score of each indicator for selection criteria derived from expert survey.

	Spatial representativeness	Spatial explicitness	Taxonomic representativeness	Comparability between regions	Regular and recent updating	Scientific rigor	Transparency and data availability
Ratio of ecosystem type	36	29	18	36	25	31	31
Average patch size of natural ecosystems	25	23	14	32	25	28	27
Vegetation class	34	33	25	38	34	35	34
Land cover indicators	31	38	17	38	33	38	36
Percentage of Environmental budget	9	10	2	24	27	15	28
Vulnerable species on climate change	21	19	30	30	23	25	21
Change of protected area	32	35	20	34	34	28	32
Natural inland wetland area	36	31	17	33	29	29	32
Artificial wetland area	25	29	11	32	24	26	27
Wetland coverage in conservation areas	27	27	17	30	25	23	23
Area of forest production	25	26	9	32	30	23	26
Percentage of forest area	32	32	17	35	32	31	30
Trend of vegetation coverage	19	18	12	25	20	23	22
Protected area coverage by Key Biodiversity Areas	26	25	22	29	26	30	27
Number of world natural heritage sites	18	25	11	25	33	26	31
Protected area coverage of terrestrial and freshwater ecoregions	31	32	20	34	27	29	31
Climatic index	25	16	11	30	25	28	28
Vegetation clear cutting	17	27	9	31	24	23	22
Percentage of illegally degraded forest	23	26	12	27	23	22	22
Percentage of area affected by wildfires	28	35	16	35	30	32	31
Pollutants	19	11	11	27	26	27	24
Trend of introduced invasive alien species	18	12	24	25	24	27	21
Percentage of area damaged by wind and flood	20	30	9	30	26	27	24

	Sensitivity	Timing of indicator availability	Digital accessibility of indicator	Institutional support	Easily understandable	Clearly defined and standardised
Ratio of ecosystem type	16	20	31	27	29	27
Average patch size of natural ecosystems	14	19	32	23	28	22
Vegetation class	21	28	34	30	36	37
Land cover indicators	22	26	33	33	36	35
Percentage of Environmental budget	11	19	24	27	23	24
Vulnerable species on climate change	25	17	26	23	32	28
Change of protected area	21	20	33	32	33	35
Natural inland wetland area	19	21	30	26	35	31
Artificial wetland area	10	23	28	24	30	29
Wetland coverage in conservation areas	22	15	26	23	27	29
Area of forest production	12	17	27	25	27	24
Percentage of forest area	19	24	33	33	36	32
Trend of vegetation coverage	16	12	24	20	26	22
Protected area coverage by Key Biodiversity Areas	19	17	26	23	24	28
Number of world natural heritage sites	8	20	32	34	28	29
Protected area coverage of terrestrial and freshwater ecoregions	18	17	30	31	31	30
Climatic index	21	19	28	25	27	27
Vegetation clear cutting	16	19	25	25	23	25
Percentage of illegally degraded forest	17	15	24	23	31	27
Percentage of area affected by wildfires	24	23	34	32	34	33
Pollutants	23	16	27	21	25	20
Trend of introduced invasive alien species	21	16	26	17	26	25
Percentage of area damaged by wind and flood	16	19	31	31	33	30

Table 9. Highest and lowest scoring criteria.

	Highest	Lowest
Ratio of ecosystem type	Spatial representativeness (92.31)	Sensitivity (42.11)
Average patch size of natural ecosystems	Comparability between regions (92.31)	Sensitivity (36.84)
Vegetation class	Digital accessibility of Indicator (82.05)	Sensitivity (55.26)
Land cover indicators	Comparability between regions (97.44)	Taxonomic representativeness (45.95)
Percentage of environmental budget	Spatial explicitness (97.44)	Taxonomic representativeness (5.41)
Vulnerable species on climate change	Scientific rigor (97.44)	Timing of Indicator availability (47.22)
Change of protected area	Transparency and data availability (71.79)	Taxonomic representativeness (54.05)
Natural inland wetland area	Easily understandable (82.05)	Taxonomic representativeness (45.95)
Artificial wetland area	Spatial explicitness (89.74)	Sensitivity (26.32)
Wetland coverage in conservation areas	Clearly defined and standardized (89.74)	Timing of indicator availability (41.67)
Area of forest production	Spatial representativeness (92.31)	Taxonomic representativeness (24.32)
Percentage of forest area	Comparability between regions (82.05)	Taxonomic representativeness (45.95)
Trend of vegetation coverage	Comparability between regions (76.92)	Taxonomic representativeness (32.43)
Protected area coverage by Key Biodiversity Areas	Comparability between regions (82.05)	Timing of Indicator availability (47.22)
Number of world natural heritage sites	Easily understandable (92.31)	Sensitivity (21.05)
Protected area coverage of terrestrial and freshwater ecoregions	Easily understandable (66.67)	Timing of Indicator availability (47.22)
Climatic index	Scientific rigor (76.92)	Taxonomic representativeness (29.73)
Vegetation clear cutting	Comparability between regions (76.92)	Taxonomic representativeness (24.32)
Percentage of illegally degraded forest	Comparability between regions (79.49)	Taxonomic representativeness (32.43)
Percentage of area affected by wildfires	Easily understandable (79.49)	Taxonomic representativeness (43.24)
Pollutants	Spatial explicitness (89.74)	Spatial explicitness (28.21)
Trend of introduced invasive alien species	Comparability between regions (69.23)	Spatial explicitness (30.77)
Percentage of area damaged by wind and flood	Scientific rigor (69.23)	Taxonomic representativeness (24.32)
	Digital accessibility of indicator (69.23)	
	Scientific rigor (69.23)	
	Easily understandable (84.62)	

지표들이 높은 점수를 획득하였다.

선정 지표의 국내 현황

본 연구에 의하면, 국내 생물다양성 평가에 있어 가장 적절한 지표로 평가된 것은 식생등급이다. 현재, 식생등급을 평가하고 있는 것은 생태·자연도의 식생보전등급이 있다. 식생보전등급과 관련해서는 식생보전등급 평가 기법 등에 관한 연구(Song, 2004)와 식생보전등급을 적용한 생태계 생물다양성 평가 연구들이 진행되고 있다. 또한, 보전지역 해제 전·후의 식생등급 변경 현황을 분석하여 보호 정책의 효율성을 평가하는 연구도 진행되었다(Kim *et al.*, 2014a; Kim *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2021). 토지피복지수 역시 서식지 기반의 평가 지수라고 할 수 있는데, 대표

적인 토지피복 관련 정보는 환경부에서 제공하고 있는 토지피복도라고 할 수 있다. 토지 피복도는 많은 부분에서 생물다양성 평가에 활용되었는데, 토지피복도를 토대로 식생지수를 평가하는 등 토지피복지도를 생물다양성 평가에 활용하기 위한 기반 연구들과 함께, 토지피복지도가 과거 지도도 제공함에 따라, 토지피복변화를 활용하여 생태계·생물다양성 변화를 분석하고자 하는 연구들도 진행되었다(Koo and Park, 2020; Mo *et al.*, 2016; Lee *et al.*, 2018; Choi *et al.*, 2022).

보호지역 면적의 경우 21개 아이치 목표 중 유일하게 어느정도 달성되었다고 평가받는 목표인만큼 전 지구적으로 보호지역을 넓히고자 하는 노력들이 진행되었다. 보호지역 면적 변화의 경우 보호지역의 설정과 보호지역의 효과성을 평가하는 연구들이 주로 진행되었으며, K-M GBF에서의 보호지역 목표 확대(육상·해양면적의 30%)에 따라, 보

Table 10. Indicator prioritization results.

Ranking	Indicators	Score
1	Vegetation class	86.9
1	Land cover indicators	86.9
3	Change of protected area	82.3
4	Percentage of forest area	81.5
4	Percentage of area affected by wildfires	81.5
6	Natural inland wetland area	76.9
7	Protected area coverage of terrestrial and freshwater ecoregions	76.2
8	Ratio of ecosystem type	75.4
9	Vulnerable species on climate change	70.0
9	Percentage of area damaged by wind and flood	70.0
11	Artificial wetland area	68.5
11	Protected area coverage by Key Biodiversity Areas	68.5
11	Number of world natural heritage sites	68.5
14	Average patch size of natural ecosystems	67.7
15	Climatic index	66.9
16	Wetland coverage in conservation areas	66.2
17	Area of forest production	64.6
18	Percentage of illegally degraded forest	63.1
19	Vegetation clear cutting	61.5
19	Trend of introduced invasive alien species	61.5

호지역의 정의의 재정립 및 보호지역 신규 지정 등을 통해 국내에서 생물다양성을 위해 보호를 받는 지역의 면적을 확대하고자 하는 노력이 진행 중인데, 이와 관련한 연구들이 진행되고 있다(Mo *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2017b; Heo *et al.*, 2017; Hong *et al.*, 2017a, b; Hong, 2018).

그 다음으로 높은 점수를 기록한 전체토지면적 내 산림 면적비율 및 산불 피해면적 비율은 국토의 대부분이 산림으로 구성되어 있는 우리나라의 특성을 잘 나타낸 지표라고 판단된다. 또한, 이러한 산림의 면적 기반 접근 방법을 통해 상대적으로 많은 정보를 활용할 수 있다는 장점이 있다. 산림 면적은 대표적으로 산림청에서 제공하고 있는 임상도가 있다. 임상도의 경우, 산림의 면적뿐만 아니라, 임종·임상·수종·경급·영급 등의 다양한 정보를 제공하고 있어 산림 면적 외의 다른 평가의 활용도가 높다(Jeon *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2014b; Kim *et al.*, 2014c; Seo *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2018). 많은 연구들이 임상도를 활용한 탄소 평가 등 생태계 기능에 관한 평가들이 많이 진행되고 있으며, 일부 생물다양성과 연계하는 연구들도 진행 중에 있다. 또한, 산림 면적 변화를 활용하여 관리 제도의 효과성을 평가하고자 하는 연구들도 진행되었다(Ryu *et al.*, 2017; Cho and Kim, 2021).

위에서 살펴본 바와 같이 관련 전문가에 의해 선정된 국내 적용 가능성이 높은 생물다양성 지표는 실제 관련 데이

터 확보도 가능하고, 생물다양성과 연계하고자 하는 연구들이 많이 진행되고 있었다. 하지만, 대부분의 지표가 생태계 면적에 기반하고 있다는 한계를 갖고 있다. 국제적으로 서식지 면적 뿐만 아니라, 주요 종 정보 및 위협요인 등을 복합적으로 고려하는 지표의 활용이 높아짐에 따라, 국내에서도 이러한 지표의 적용을 고려해야 할 것이다.

결론

이 연구는 국내 생물다양성을 평가하기 위한 지표 선정을 위해 수행되었다. 이를 위해, 국내·외에서 활용되고 있는 생물다양성 관련 지표를 목록화한 결과 140개의 지표를 확인할 수 있었으며, 이 지표를 압력-상태-대응 지표 체계에 대입해 본 결과 압력 29개, 상태 59개, 대응 44개로 상태지표가 가장 많은 수를 차지하는 것을 확인할 수 있었다. 상태지표는 59개, 압력지표는 28개, 대응지표는 44개로 분류 또한, 상태지표를 크게 유전자, 종, 서식지 기능, 질로 분류 한 결과 종과 서식지 지표가 대부분을 차지하고 있음을 파악하였다. 압력지표의 경우 무분별한 이용, 오염, 외래종, 기후변화, 서식지 변화로 범주화 할 수 있었다. 그 결과 무분별한 이용과 오염이 압력지표의 대부분을 차지하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 본 연구에서는 국제적으로 활용되고 있는 지표선정 기준을 활용하여 국내 생물다양성 평가지표 선정 기준을 마련하였다. 이러한 지표 목록과 지표 선정 기준을 활용하여 관련 전문가 자문을 통해 국내 적용 가능한 생물다양성 평가지표 우선순위를 평가한 결과 1) 식생등급, 2) 토지 회복 지수, 3) 보호지역 면적 변화 등이 높은 순위에 자리하였다. 실제 이러한 지표들은 평가 가능 데이터의 확보 등이 용이하여 많은 연구들에서 활용되고 있었다. 하지만, 높은 점수를 획득한 지표 대부분이 생태계 면적에 기반을 두고 있어 생태계의 기능 및 구성요소(주요 종 등)에 대한 고려가 더 필요할 것으로 보인다.

저자정보 장인영 (국립생태원 기후탄소연구팀 선임연구원), 강성룡(국립생태원 기후탄소연구팀 책임연구원)

저자기여도 개념설정: 장인영, 강성룡, 방법론: 장인영, 강성룡, 분석: 장인영, 원고 초안작성: 장인영, 원고 교정: 강성룡

이해관계 모든 저자는 논문의 결과에 동의하였고, 출판될 최종본을 검토하고 동의하였습니다.

연구비 본 논문은 국립생태원의 “생태계 유형별 탄소·생

물다양성 연계 평가지표 개발(NIE-고유연구-2023-43)”에 의해 지원되었습니다.

REFERENCES

- CAFF. 2010. Arctic Biodiversity Trends 2010 - Selected indicators of change. CAFF International Secretariat, Akureyri, Iceland. May 2010.
- Cho, H.J. and J.H. Kim. 2021. A Study on Time-series Fragmentation Analysis and Typology of Forests by City for Forest Management - Using the Fragstats Model and Cluster Analysis -. *Journal of the Korean Institute of Forest Recreation* **25**(2): 13-25.
- Choi, Y.Y., J.Y. Lee and H.C. Sung. 2022. Environmental spatial data-based vegetation impact assessment for advanced environmental impact assessment. *Environment and Biology* **40**(1): 99-111.
- Heo, H.Y., D.G. Cho, Y.J. Shim, Y.J. Ryu, J.P. Hong and G.W. Shim. 2017. A Study on the Expanding Protected Areas through Identifying Potential Protected Areas - focusing on the experts' recognition with regard to protected area -. *Korean Journal of Environment and Ecology* **31**(6): 586-594.
- Hong, J.P. 2018. Evaluating Quantitative Expansion Goals of the National Protected Areas Integrated System. *Environmental Restoration and Greening* **21**(3): 57-65.
- Hong, J.P., Y.J. Shim and H.Y. Heo. 2017a. A Study on Aichi Biodiversity Target 11 - Focused on Quantitative Expansion Goals and Qualitative Improvement Goals of Protected Areas -. *Environmental Restoration and Greening* **20**(5): 43-58.
- Hong, J.P., Y.J. Shim and H.Y. Heo. 2017b. Identifying Other Effective Area-based Conservation Measures for Expanding National Protected Areas. *Environmental Restoration and Greening* **20**(6): 93-105.
- Jang, J. 2019. A Study on Selecting of Ecosystem Services Evaluation Indexes of the School Farm Using Delphi Method. *Journal of the Korean Institute of Forest Recreation* **23**(2): 23-36.
- Jeon, S.W., J. Kim and H. Jung. 2013. A Study on the Forest Classification for Ecosystem Services Valuation - Focused on Forest Type Map and Landcover Map -. *Environmental Restoration and Greening* **16**(3): 31-39.
- Kang, H.I. and K.S. Kang. 2018. Evaluation Criteria of Biodiversity in Ecosystem Protected Areas - In Mt. Jiri and Mt. Bukhan National Parks -. *Environmental Impact Assessment* **27**(2): 114-123.
- Kim, E.Y., J.Y. Kim and H.J. Jung. 2017a. Development and Feasibility of Indicators for Ecosystem Service Evaluation of Urban Park. *Environmental Impact Assessment* **26**(4): 227-241. <https://doi.org/10.14249/eia.2017.26.4.227>
- Kim, G., S.J. King, O.S. Kim, S.W. Son and E.J. Lee. 2017b. A Strategy on Extracting Terrestrial Protected Areas of the Republic of Korea under the Convention on Biological Diversity. *Journal of the Association of Korean Geographers* **6**(3): 407-423.
- Kim, H.S., H.H. Myeong and K.W. Park. 2014a. The Assessment class of Conservation Values and Vegetation of Uninhabited Islets -mainly on the Geoje, Changweon, Gyeongsangnamdo, Korea-. *Journal of Korean Island* **26**(3): 151-170.
- Kim, H.S., Y. Cho, E. Cho, J. Park, H.H. Myeong and J.G. Oh. 2018. The Conservation Value Assessment Class and Vegetation of Uninhabited Islets on the Goheung-gun, Jeollanamdo, Korea. *Journal of Korean Island* **30**(1): 195-210.
- Kim, H.S., Y. Cho, J.S. Cho, S.R. Gark and J.S. Lim. 2021. Conservation Value Assessment Class and Vegetation of Uninhabited Islets on the Sinan-gun, Muan-gun and Mokpo-si, Jeollanamdo, Korea. *Journal of Korean Society of Rural Tourism* **24**(1): 29-48.
- Kim, K.M., Y.H. Roh and E.S. Kim. 2014b. Comparison of Three Kinds of Methods on Estimation of Forest Carbon Stocks Distribution Using National Forest Inventory DB and Forest Type Map. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* **17**(4): 69-85.
- Kim, S.W., Y.M. Son, E.S. Kim and H. Park. 2014c. Estimation of Growing Stock and Carbon Stock based on Components of Forest Type Map: The case of Kangwon Province. *Journal of Korean Society of Forest Science* **103**(3): 446-452.
- Koo, K.A. and S.U. Park. 2020. Prioritizing Ecologically Important Areas under Land-Use Changes in Jeju Island, Jeju, Korea. *Journal of the Korean Geographical Society* **55**(3): 253-264.
- Lee, J.S., J.M. Jung, J.H. Lim, B. Lee and E.S. Kim. 2018. Detecting Phenology Using MODIS Vegetation Indices and Forest Type Map in South Korea. *Korean Journal of Remote Sensing* **34**(2): 267-282.
- Mo, Y.W., J.H. Park, Y.H. Son and D.K. Lee. 2016. Establishment of Additional Protected Areas and Applying Payment for Ecosystem Services (PES) for Sustainability of Suncheonman-Bay. *Environmental Restoration and Greening* **19**(1): 171-184.
- Ramsar Convention on Wetlands. 2018. Global Wetland Outlook: State of the World's Wetlands and their Services to People. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat.
- Reamsar Convention on Wetlands. 2021. Global Wetland Outlook: Special Edition 2021. Gland, Switzerland: Secretariat of the Convention on Wetland.
- Ryu, J., J. Hwang, J.H. Lee, H.I. Chung, K. Lee, Y. Choi, Y.E. Joo, M.J. Sung, R. Jang, H.C. Sung, S.W. Jeon and J.Y. Kang. 2017. Analysis of Changes in Forest According to Urban Expansion Pattern and Morphological Features:

- Focused on Seoul and Daegu. *Korean Journal of Remote Sensing* **33**(5): 835-854.
- Seo, Y., S.C. Jung and Y.J. Lee. 2017. Mapping of Spatial Distribution for Carbon Storage in *Pinus rigida* Stands Using the National Forest Inventory and Forest Type Map: Case Study for Muju Gun. *Journal of Korean Society of Forest Science* **106**(2): 258-266.
- Song, J.S. 2004. Criteria of Importance-Evaluation Method of Plant Species and Plant Community -Application to Establishment of the Conservation Class of Plant Species and Plant Community-. *Korean Journal of Environment and Ecology* **17**(4): 383-395.
- UNEP-WCMC. 2023. <https://www.post-2020indicators.org>
- World Economic Forum. 2023. The global Risks Report 2023.
- Yoon, H.D., J.H. Lee, I.T. Choi and M.J. Kim. 2016. The City Ecological Soundness Index Development Based on the City Biodiversity Index (CBI) and Korean City Characteristics. *Environmental Impact Assessment* **25**(6): 442-456, <https://doi.org/10.14249/eia.2016.25.6.442>.