

생태정보의 공유를 위한 생태정보 포털서비스 (EcoBank) 구축 및 활용 방안

성선용 · 권용수 · 김기동*

국립생태원 생태평가연구실

Development and Applications of Ecological Data Portal Service (EcoBank) for Sharing Ecological Information of Korea. Sung, Sunyong (0000-0002-7862-2788), Yong Su Kwon (0000-0002-2573-5923) and Ki Dong Kim* (0000-0001-9848-6999) (Division of Ecological Assessment, National Institute of Ecology, Seocheon 33657, Republic of Korea)

Abstract Ecological and ecosystem database is becoming very necessary to understand origins and relationship between human and nature and also to minimize disturbance caused by human activities. An ecological information portal can play important roles as a computing system to collect knowledge, distributed research findings and separated data from researchers. In this study, we designed and developed ecological information portal service (EcoBank 1.0) for collecting and providing ecological information for diverse classes of stakeholders. To reach the goal, we had reviewed related and comparable ecological database portals to design conceptual structure of EcoBank system including database management framework. Then, we developed some functions of ecosystem analysis for each stake-holders (researchers, general public and policy makers). As a result of this study, we successfully designed of EcoBank system covering the functions of Digital Object Identifier (DOI) publishing and data quality management process. Also, we (1) applied ecological indices for calculating biodiversity by administrative boundary for policy makers, (2) provided statistical information of ecotone map for general public and distribution characteristics of species for researchers. To make a successful establishment of EcoBank, we have to collect and build up related database and offer various and reliable ecological data consistently. We expect that the successful construction of EcoBank will help not only to accomplish sustainable development goals but also to raise the welfare of ecosystem in Korea.

Key words: ecological information, ecosystem database, ecological information portal service, DOI publishing, data quality management

서 론

전 세계적으로 이슈가 되고 있는 기후변화 및 환경오염과 같은 생태계와 관련한 문제들은 더욱더 다양하고 복잡

해지고 있다 (Geijzendorffer *et al.*, 2015). 이러한 생태계 관련 문제들을 효과적으로 해결하기 위해서는 다양한 생태정보의 종합적 수집을 통해 생태계 현황에 대한 정확한 이해가 필요하다 (Choi and Kim, 2002). 이를 위해서는 시민, 학자, 정부 등 다양한 주체가 보유한 광범위한 생태 관련 정보를 체계적으로 관리할 수 있는 플랫폼이 절실하게 필요한 실정이다 (Balvanera *et al.*, 2006; Geijzendorffer and Roche, 2013).

Manuscript received 23 May 2018, revised 8 August 2018,
revision accepted 8 August 2018
* Corresponding author: Tel: +82-41-950-5635, Fax: +82-41-950-5954,
E-mail: kidong@nie.re.kr

현대 사회에서 발생하는 생태정보들은 양, 속도, 다양성 측면에서 현재까지 경험하지 못한 속도로 생성되고 있으며(Hampton *et al.*, 2013), 이로 인해 기존의 수집방법을 통해서 시시각각 생성되는 방대한 정보를 효과적으로 관리하기 어렵다(Chavan and Penev, 2011). 이러한 한계를 극복하기 위해 생태정보학(Ecoinformatics) 분야에서는 데이터 기반 연구 및 서비스를 위한 생태정보 플랫폼 구축 연구를 통해 생태 정보의 효과적인 수집 및 관리를 하고 있다(Kim *et al.*, 2014). 또한 생태정보학 분야에서는 지금까지 추구해오던 생태정보의 단순 생성 및 수집에 그치지 않고 관련 분야의 다양한 데이터와 함께 수집된 생태정보의 상호작용을 분석함으로써 얻어지는 보다 심층적인 정보를 취득하기 위해 노력하고 있다.

국제적으로는 생태정보포털을 이용하여 전 세계의 생태계와 관련된 정형데이터 및 비정형데이터를 목록화하고 다운로드가 가능하도록 하여(Chavan and Ingwersen, 2009) 연구자간 협업 시너지를 높이고 있으며(Youn *et al.*, 2017), 일반인의 참여를 유도해 대규모 생물출현정보를 구축하고 있다. 국내에서도 생태정보의 공개 및 활용이 많은 분야에서 진행되고 있으나, 기관별로 생태정보가 분산·관리되고 있어(Youn, 2014) 사용자 편의성이 떨어지는 실정이다. 또한 보유한 생태정보가 표준화된 형태로 제공되지 않아 생태정보의 연계·활용에 제한이 발생함에 따라 생태정보의 활발한 활용을 위해서는 생태정보공유 체계의 개선필요성이 증대되고 있다.

생태정보의 원활한 공유를 위해서는 다양한 환경자료를 표준화된 형태로 제공하는 것이 반드시 필요하다. 생태정보의 표준화는 정보의 가용성을 높일 수 있으며, 사용자체(일반인, 전문가, 정책결정자)에 따른 활용 범위 확장에 기여할 수 있다. 이와 더불어 생태연구 기반 마련을 위한 생태정보포털 내 사용자 수요 맞춤형 환경공간정보분석도구의 활용을 통해 생태정보의 활용범위 증대가 동시에 충족되어야 한다(Song *et al.*, 2014). 따라서, 본 연구에서는 표준화된 생태정보를 공유할 수 있는 생태정보포털을 설계·구축하여, 사용자맞춤형 생태정보를 제공하기 위한 기반을 마련하고자 한다.

방 법

생태 및 생태계정보 활용을 위한 생태정보 포털서비스(EcoBank) 구축은 다음의 3가지 절차를 통해 수행되었다. 첫째, 국내·외 유사시스템 및 수요자 요구사항 분석을 통해 생태정보 포털서비스 설계를 위한 기본 계획을 수립하

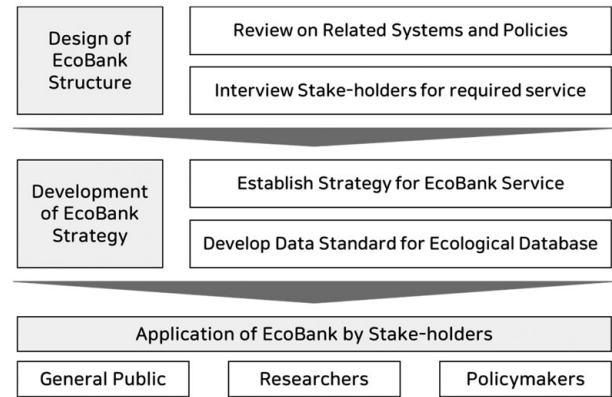


Fig. 1. Research flow for Construction of EcoBank.

였다. 이를 위해서 국내·외 유사시스템의 목록을 도출하고, 각 시스템에서 제공하고 있는 생태정보의 특징과 활용방안에 대해 고찰하였다. 둘째, 관련 사례 고찰에 따른 각 시스템의 특징을 분석하여 본 연구에서 구축하고자 하는 생태정보 포털서비스의 방향을 설정하였다. 또한, 현재 구축 가능한 생태정보 데이터베이스를 문헌조사를 통해서 목록화하고 이를 표준화할 수 있도록 각 생태정보 데이터베이스의 테이블을 분석하여 공통 항목 및 개별 항목을 추출하였다. 마지막으로, 내·외부 전문가들과의 인터뷰를 통해 생태정보 포털서비스 수요자 별 주요기능을 도출하고 맞춤형 정보제공체계를 구축하였다(Fig. 1).

결과 및 고찰

1. 국내·외 생태정보 및 생물다양성 정보 데이터베이스

국내·외 여러 기관에서는 생태정보 포털서비스를 활용하여 각 기관의 목적에 맞는 생태정보를 수집하고 공유하기 위한 노력들이 진행되고 있다(Table 1). 특히 다양한 국제기구 및 국가에서 생태계와 관련된 정보를 수집하고 이를 토대로 주제분야별 정보를 제공하고 있으며, 제공된 정보는 생태관련 정책 결정을 지원하는 데 활용되고 있다. 더불어 이들 생태정보 포털서비스는 생태정보 수집을 위한 전문가, 일반인들의 네트워크 창구로 활용되어 더욱 다양한 생태정보의 수집이 가능하도록 하고 있다.

1) BES-NET (UNDP Biodiversity and Ecosystem Service Network; www.besnet.world)

BES-NET (UNDP Biodiversity and Ecosystem Service Network; www.besnet.world)은 생물다양성과 생태계를 효율적으로 관리하기 위한 전 지구적 네트워크로서, 지속 가

Table 1. Characteristics of Biodiversity Database System (International and Domestic).

	Database	Characteristics	Implications
International	BES-Net (Biodiversity and Ecosystem Services Network)	<ul style="list-style-type: none"> - Networking of different stake-holders - Science/Policy based information - Provide information on biodiversity and ecosystem service assessment 	<ul style="list-style-type: none"> - Information exchanges among Multi-stakeholder - Application of Eco-informatics
	IBAT (Integrated Biodiversity Assessment Tool)	<ul style="list-style-type: none"> - Integrated management and interpretation of database for application - Reliable database in biodiversity in global scale 	<ul style="list-style-type: none"> - Interpretation of database for policy applications
	GBIF (Global Biodiversity Information Facility)	<ul style="list-style-type: none"> - Provide global species data with data validation service 	<ul style="list-style-type: none"> - Sharing ecological data base with interaction among community members
	DataONE (Data Observation Network for Earth)	<ul style="list-style-type: none"> - Search database with spatial map - Provide data management output (number of dataset, updated dataset, type of dataset) 	<ul style="list-style-type: none"> - Metadata service required for good implication of dataset
	CEH (Center for Ecology and Hydrology)	<ul style="list-style-type: none"> - Focused on land and freshwater ecosystem - Connected with long term monitoring system 	<ul style="list-style-type: none"> - Search engine focused - Provide information with news article format
Domestic	National Institute of Biological Resources (Biodiversity of Korea)	<ul style="list-style-type: none"> - Focused gathering biological resources based on species data - Application of biological resources 	<ul style="list-style-type: none"> - Species related search engine
	Korean Bio Information Center	<ul style="list-style-type: none"> - Integrated information of biological resources, biodiversity and biological research samples 	<ul style="list-style-type: none"> - Provide framework for managing biological information
	Ecosea	<ul style="list-style-type: none"> - WebGIS, map focused information about marine ecosystem 	<ul style="list-style-type: none"> - Provide framework for managing biological information
	CBD-CHM Korea	<ul style="list-style-type: none"> - Representative clearing-house mechanism of Korea - Provide national strategy and protected areas for biodiversity management 	<ul style="list-style-type: none"> - Link with KBR for providing species data

능한 개발을 위한 과학, 정책, 실행의 전 분야에 걸친 정보 공유의 포털을 추구하고 있다. BES-NET에서는 주제분야, 정책지원 분야, 네트워크 및 채용연결 등을 지원하고 있으며, 동시에 유엔개발계획(UNEP: United Nations Environmental Programme)은 BES-NET을 통해 생물다양성 및 생태계 서비스를 위한 정부간 협약을 통하여 역량 구축에 기여하고 있다.

2) DataONE (www.dataone.org)

DataONE (www.dataone.org)은 미국 국립과학재단의 지원을 받아 설립된 DataNets 중 하나로 지도와 함께 데이터를 검색할 수 있으며 일정한 구역별로 보유하고 있는 데이터의 숫자를 제공하고 있다. 동시에 데이터의 양, 다운로드 횟수, 최신 업데이트한 자료의 유형, 데이터 파일 분석 등 메타데이터관리를 위한 정보들도 제공하고 있다. 또한 교육 모듈을 제공하고 있어 데이터 관리와 데이터를 활용한 학습을 자체적으로 수행할 수 있도록 하고 있다.

3) GBIF (Global Biodiversity Information Facility; www.gbif.org)

GBIF (Global Biodiversity Information Facility; www.gbif.org)는 세계 각지의 생물다양성 정보를 등록하고, 그 활용도를 높이기 위해 OECD의 권고로 설립된 국제기구이다. 데이터 검사기(Data Validator)를 통해서 GBIF 관련 데이터 집합에 포함된 내용의 구문 정확성 및 유효성에 대한 검증이 가능하다. 또한 매체별 자료를 분류하고 검색할 수 있는 기능을 가지고 있어 생물종에 대한 데이터 검색을 원활하게 진행할 수 있다.

4) CEH (Center for Ecology and Hydrology; www.ceh.ac.uk)

CEH (Center for Ecology and Hydrology; www.ceh.ac.uk)는 산하에 환경정보 데이터 센터(Environment Information Data Centre, EIDC)를 두고 있어 육상 및 담수환경에 대한 지속적인 모니터링의 결과물로 생성되는 방대한 분량의

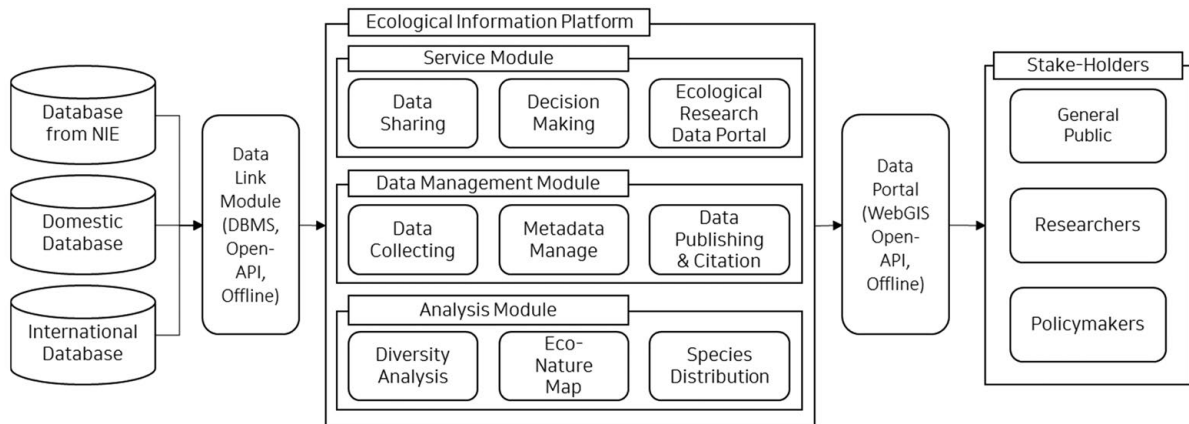


Fig. 2. Framework for EcoBank portal service.

데이터들을 정리하고 이를 연구자들과 일반인에게 제공하는 시스템을 구축하고 있다. 또한 방대한 데이터의 효율적 활용을 위해 검색기능을 활성화할 수 있도록 통합검색 체계를 구축하고 있다.

5) IBAT (Integrated Biodiversity Assessment Tool; www.ibat-alliance.org)

IBAT (Integrated Biodiversity Assessment Tool; www.ibat-alliance.org)은 정책결정자가 도움이 될 수 있도록 해당되는 지역의 보전지역 정보와 종 정보를 통해서 보호지역을 설정하는 데 사용하고 있으며, 개발지역의 서식처에 적합한 종의 종류와 영향을 기술함으로써 생물다양성을 관리하는 데 기여하고 있다.

국내의 경우 정부부처 및 기관의 특성에 따라 제공하고 있는 정보의 범위와 성격이 다르게 나타난다. 국립생물자원관에서는 한반도 생물 다양성 포털 (species.nibr.go.kr)을 통해 국가생물종목록 및 멸종위기종 등 생물의 자원적 이용을 위한 정보를 제공하고 있다. 특히 생물종에 대한 기초정보, 표본, 재료, 소재 및 유전정보와 유용성 정보 등을 종합적으로 볼 수 있는 통합검색 서비스를 제공하고 있다.

한반도 생물 다양성 포털과 함께 국립생물자원관에서 운영하고 있는 국가 생물다양성 정보공유체계 (Convention of Biological Diversity Clearing-House Mechanism; CBD-CHM KOREA; www.cbd-chm.go.kr)는 생물다양성 정보와 기술을 전 세계 국가와 공유하기 위해 생물자원데이터와 생태자원데이터를 제공하고 있다. 국가 생물다양성 정보공유체계에서는 부처별, 기관별로 산재된 생물다양성 정보의 일원화 및 활용체계를 구축하여 표준화 및 관리체계를 구축하고 있다.

국가 생물자원정보관리센터의 국가생명연구자원 통합

정보시스템 (kobis.re.kr)에서는 생물연구자원의 효율적 관리를 위해 각 부처별, 연구기관별로 흩어져있는 생물자원, 생물다양성 및 생명정보를 통합적으로 관리하기 위한 정보연계 시스템을 구축하고 있으며, 생물자원 데이터 관리를 위한 표준 프레임워크를 개발하여 제시하고 있다.

바다생태정보나라 (www.ecosea.go.kr)에서는 해양생태계, 해양생태계의 구조 등 해양생태계와 관련하여 전자지도, WebGIS의 개념으로 해양생태와 관련한 정보를 지도상에서 확인할 수 있다. 또한, 어린이 및 일반인들을 위한 교육자료를 제공하여 다양한 연령층에서 접근이 가능하도록 하였다.

2. 국내 생태정보 포털서비스(EcoBank) 설계

국내·외 생태정보 포털서비스 분석 결과 크게 세 가지의 문제점이 도출되었다. 1. 데이터의 생성기관별 분산 및 이를 종합적으로 활용할 수 있는 통합 플랫폼의 부재, 2. 표준화된 생태 데이터 미제공 및 생태정보 공유 체계 부족, 3. 사용자별 맞춤형 데이터 제공 미비. 이러한 문제점을 토대로 생태정보 포털서비스(EcoBank)의 설계를 다음과 같이 구성하였다(Fig. 2).

첫째, 수요자의 생태정보 활용성 증대를 위해 분산된 생태정보를 통합하고 제공할 수 있는 연계 시스템을 설계하였다. 이를 위해 생태정보 서비스단위의 재사용성이 높은 Open-API 방식의 자료 연계를 채택하였으며, Open-API를 이용한 웹서비스를 통해 타 시스템과의 연계 활용도를 높였다. 또한 사용자 참여 양방향 서비스를 통해 생태정보에 대한 다양한 관점에서의 이용자가 정보를 공유하고 활용할 수 있도록 하였다.

둘째, 생태정보 표준화를 위한 방법을 제시하였다. 현재

생성되고 있는 다양한 생태정보를 검토하여 초기 표준안을 제시하였으며, 이를 관리하고 향후 데이터를 저장하여 연구자 및 일반시민들이 접근하여 활용할 수 있도록 DOI (Digital Object Identifier) 발행을 위한 데이터 수집 체계를 구축하였다.

마지막으로, 표준화된 데이터베이스를 기초로 다양한 사용자가 통합된 생태정보를 기반으로 생태관련 문제에 대한 사용자별 맞춤형 분석할 수 있는 서비스 체계를 구축하였다. 연구자들을 위해서는 국립생태원에서 조사하고 있는 전국자연환경조사의 생물 분포 자료를 직접 다운로드 할 수 있도록 하였으며, 정책결정자들과 더불어 시·군·구

별 생태계 다양성 및 밀도분석 등 기초생태 분석이 시스템 내에서 가능하도록 하였다. 마지막으로 일반인들이 사용할 수 있도록 지번검색을 통한 생태·자연도 등급확인 및 등급지정 사유를 검색할 수 있도록 하여, 생태·자연도 관련 민원을 신속하게 대응할 수 있도록 하였다.

3. 생태정보 데이터 기준 안 및 검증체계 마련

생태정보 데이터 구축을 위해서 국립생태원에서 보유한 데이터를 기준으로 현재 국내·외에 활용 가능한 생태정보 중 데이터베이스를 활용하여 데이터를 직접 취득하는

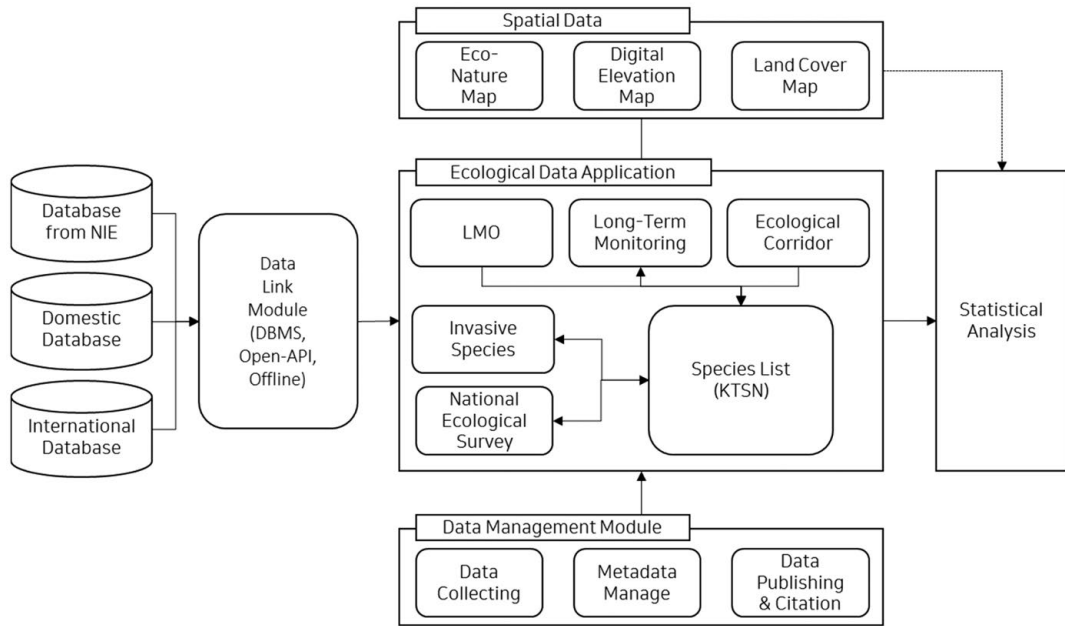


Fig. 3. Data management flow in EcoBank.

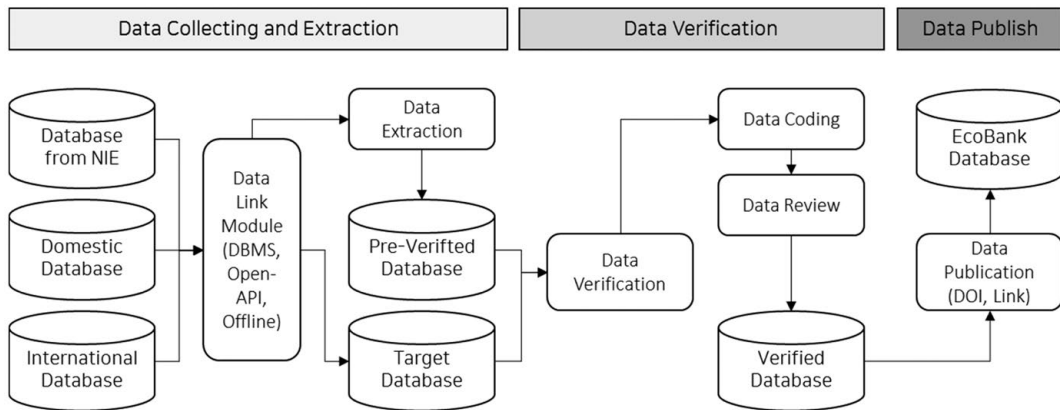


Fig. 4. Data publish process in EcoBank.

경우와 Open-API 등을 활용한 데이터베이스 연계 방안을 모색하였다. 이를 위해서 생태기본정보, 연계수집, 통계정보, GIS정보 4개로 나누어서 도출하였으며 데이터관리를 위한 메타정보와 데이터 관리 체계를 구축하였다(Fig. 3). 더불어 현재 취합된 데이터 외에 향후 취합이 가능하도록 데이터의 표준을 정하고, 데이터의 정합성을 보완할 수 있도록 데이터 품질관리를 위한 프레임워크를 구성하였다(Fig. 4). 이를 통해서 향후 데이터의 이력관리가 가능해 질 것으로 판단되며, 데이터의 DOI 발간이 가능함에 따라 다양한 데이터를 공유할 수 있는 체계가 활발해 질 것으로 판단된다.

현재 본 생태정보 포털서비스(EcoBank)에서 구축하고 있는 정보들 중에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 자료는 전국자연환경조사에 의한 생물종 조사 자료이다. 전국자연환경조사에 의한 생물종 조사자료는 제2차, 3차, 4차의 전국자연환경조사 시기마다 데이터의 속성 값이 다르게 나타났다. EcoBank 내에서 종을 기준으로 한 표준화된 정보를 제공하기 위해서 제2차, 3차, 4차 전국자연환경조사 지침서를 분석하여 총 151건의 공통코드를 추출하였다.

Table 2. Changes in classification of National Ecosystem Survey and Investigation.

	Present classification	New classification
National Ecosystem Survey and Investigation	Insect	Insect
	Freshwater invertebrate	Benthic invertebrate
	Benthic invertebrate	
	Plant	Flora
	Flora	
	Vegetation	Vegetation
	Freshwater fish	Fish
	Birds	Birds
	Geomorphological landscape	Geomorphological landscape
	Reptile	Herptile
	Mammal	Mammal
	Halophyte	
	Marine invertebrates	Coastal biology
	Marine plants	

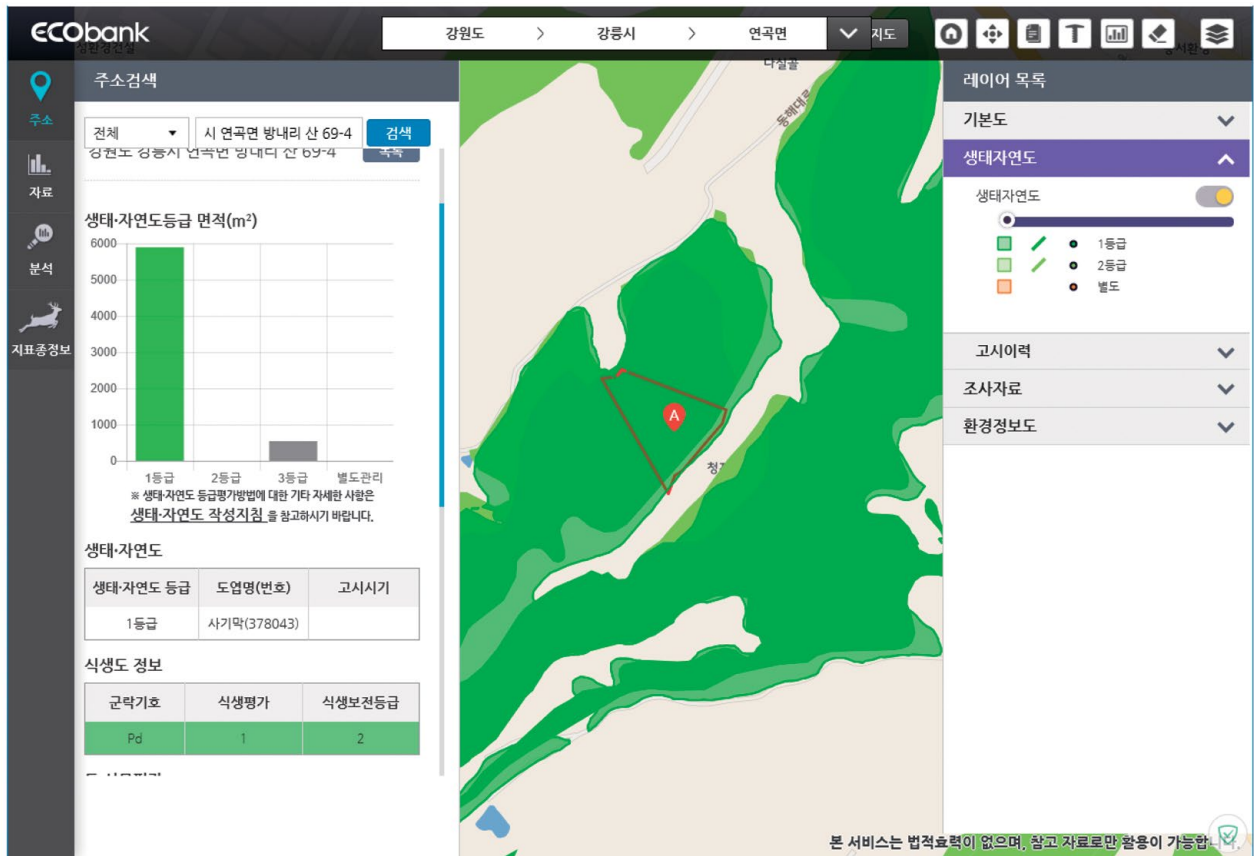


Fig. 5. Example of Eco-Nature Map and Reason for 1st grade.

조사대상 분류군의 재정립은 전국자연환경조사가 30년 간 수행되는 동안 차수별로 조사항목이 조정되었는데, 특히 해양조사 항목이 제2차 전국자연환경조사에서만 조사된 경우와 특정 생물종을 조사한 경우가 있었다. 뿐만 아니라 파충류와 양서류의 경우는 분류군이 분리되어 조사된 후 양서·파충류로 재분류되어 조사가 이루어져 데이터의 통합이 필요하였다. 따라서 현재 진행중인 제4차 자연환경조사에서 추진중인 분류군(전국자연환경조사 9개, 생태계정밀조사 9개)을 기반으로 재편성하였으며, 염생식물, 해안무척추, 해조류는 해안생물로 통합하였다(Table 2).

4. 사용자 맞춤형 정보분석기능 개발

본 연구에서는 각 사용자별 요구기능 수요조사 결과를 반영하여 일반인, 연구자 및 정책결정자별 정보분석 기능을 개발하였다. 일반인들을 위해서는 생태자연도 정보를 수정조회 할 수 있는 Web 기반의 분석도구를 제공하였다. 이를 통해서 생태자연도 등급의 지정사와 지번내의 등급별 면적을 산정하고 이를 통해서 생태자연도 지정 사유에 대한 정보를 획득함으로써 해당지역에 대한 생태자연도 민원을 줄이고 효율성을 증대하였다(Fig. 5).



Fig. 6. Examples of Biodiversity Analysis in EcoBank.

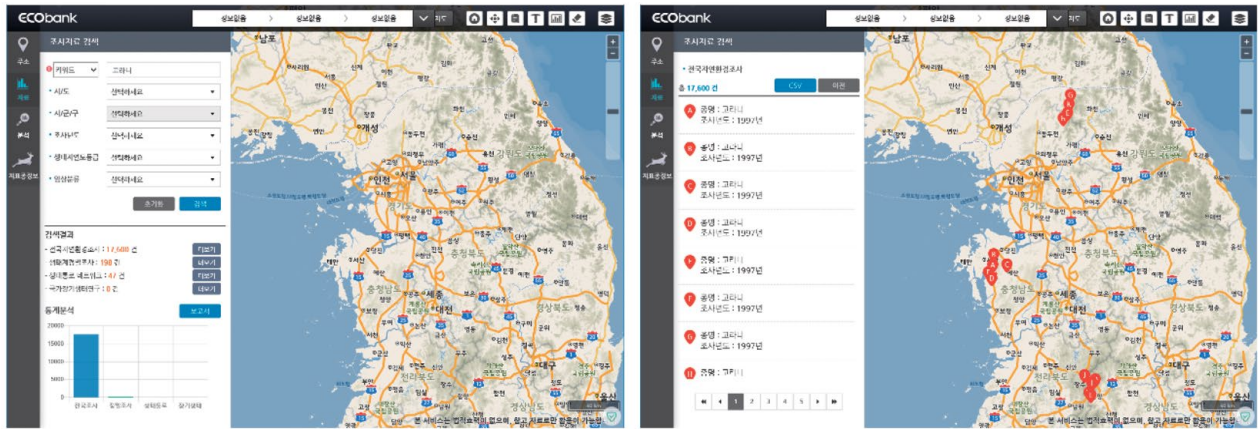


Fig. 7. Example of Species Distribution data for researchers (provided by CSV format).

정책결정자를 위한 주요 기능으로써는 제3차 및 4차 전국자연환경조사 자료를 기반으로 각 시군구별로 상대적인 생물다양성 지수를 제공하며, 대상종에 대한 밀도정보를 제공하여 생물다양성 보전지역 수립 및 국토, 환경계획에 도움이 될 수 있는 방안을 모색하였다(Fig. 6). 생물다양성과 관련된 지수로는 Shannon-Wiener 생물다양성 지수(Pielou, 1969), 우점도 지수(McNaughton, 1967), 균등도 지수(Pielou, 1975) 및 풍부도 지수(Margalef, 1958)를 제공하였다(Equation 1~4).

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \ln(p_i) \quad (1)$$

(P_i = population of target species/total number of species in target area)

$$DI = \frac{(n1 + n2)}{N} \quad (2)$$

($n1$ = number of first dominant species;
 $n2$ = number of second dominant species;
 N = total population in target area)

$$E = \frac{H'}{\ln(S)} \quad (3)$$

(E = Evenness; H' = Shannon-Wiener diversity index;
 S = total population of target area)

$$RI = \frac{(S - 1)}{\ln(N)} \quad (4)$$

(RI = Richness Index; S = total number of species in target area; N = population of target area)

연구자를 위한 맞춤기능으로써 종 출현지점의 전국적인 분포를 확인하고 출현된 종에 대한 지점별 생태현황자료를 다운로드가 가능하도록 하여 종 분포의 예측, 서식지역 연구에 활용할 수 있도록 하였다(Fig. 7).

결론

본 연구를 통해서 국내·외 생태관련 데이터베이스시스템의 특징에 대하여 분석하고 이를 토대로 생태정보 공유를 위한 생태정보 포털서비스의 체계를 구축하고 국내의 자연환경조사를 비롯한 다양한 생태정보의 대국민서비스를 위한 기반을 마련하였다. 연구자간의 생태정보 공유환경을 위한 데이터 표준화, DOI 발행 등을 통해서 생태정보의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 체계를 구축하였다. 나아가 생태정보를 기반으로 수요자별 맞춤형 생태정보 분석기능을 통해 생태정보의 활용 가능성을 확인할 수 있었다. 또한 생태정보 포털서비스를 통해 생태정보 제공을 통한 대국민 서비스를 강화함으로써 지속 가능한 개발과 생태복지 증진을 위한 생태계의 현실과 중요성을 공감할 수 있는 기틀을 마련하였다. 향후 생태정보 포털서비스를 통해서 각종 조사 및 연구를 통해서 생성되는 자료의 체계적인 관리가 가능해질 것이며, 나아가 생태과학자를 양성하고 국민의 알 권리를 증진할 수 있을 것이다.

사사

본 논문은 환경부의 재원으로 국립생태원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIE-전략연구-2018-01). 본 연구에서

제시하고 있는 생태정보는 조사자료의 확인을 위한 것이므로 법적 효력이 없습니다.

REFERENCES

- Balvanera, P., A.B. Pfisterer, N. Buchmann, J. He, T. Nakashizuka, D. Raffaelli and B. Schmid. 2006. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters* **9**: 1146-1156.
- Biodiversity and Ecosystem Services Network (BES-NET). 2018. Available at: <http://www.besnet.world/> (Accessed 3 Mar. 2018).
- Center for Ecology and Hydrology (CEH). 2018. Available at: <https://www.ceh.ac.uk/> (Accessed 4 Mar. 2018).
- Chavan, V. and L. Penev. 2011. The data paper: a mechanism to incentivize data publishing in biodiversity science. *BMC Bioinformatics* **12**(Suppl 15): S2.
- Chavan, V.S. and P. Ingwersen. 2009. Towards a data publishing framework for primary biodiversity data: challenges and potentials for the biodiversity informatics community. *BMC Bioinformatics* **10**(Suppl 14): S2.
- Choi, B.G. and S.S. Kim. 2002. Natural eco-information management system using GIS in Kang-Wha. *Journal of Korean Society for Geospatial Information System* **10**(3): 123-130.
- Convention on Biological Diversity Clearing-House Mechanism (CBD-CHM Korea). 2018. Available at: <http://www.cbd-chm.go.kr/eng/main/main.do> (Accessed 6 Mar. 2018).
- Data Observation Network for Earth (DataONE). 2018. Available at: <https://www.dataone.org/> (Accessed 4 Mar. 2018).
- Ecosea. 2018. Available at: <http://www.ecosea.go.kr/> (Accessed 5 Mar. 2018).
- Geijzendorffer, I.R. and P.K. Roche. 2013. Can biodiversity monitoring schemes provide indicators for ecosystem services?. *Ecological Indicators* **33**: 148-157.
- Geijzendorffer, I.R., E.C. Regan, H.M. Pereira, L. Brotons, N. Brummitt, Y. Gavish, P. Haase, C.S. Martin, J. Mihoub, C. Secades, D.S. Schmeller, S. Stoll, F.T. Wetzler, M. Walters and M. Cadotte. 2016. Bridging the gap between biodiversity data and policy reporting needs: An Essential Biodiversity Variables perspective. *Journal of Applied Ecology* **53**: 1341-1350.
- Global Biodiversity Information Facility (GBIF). 2018. Available at: <https://www.gbif.org/> (Accessed 3 Mar. 2018).
- Groom, Q., L. Weatherdon and I.R. Geijzendorffer. 2017. Is citizen science an open science in the case of biodiversity observations?. *Journal of Applied Ecology* **54**(2): 612-617.
- Hampton, S.E., C.A. Strasser, J.J. Tewksbury, W.K. Gram, A.E. Budden, A.L. Batcheller, C.S. Duke and J.H. Porter. 2013. Big data and the future of ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment* **11**: 156-162.
- Integrated Biodiversity Assessment Tool (IBAT). 2018. Available at: <https://www.ibatforbusiness.org/> (Accessed 3 Mar. 2018).
- Kim, H.Y., H.S. Ji, H.S. Lee and J.D. Ji. 2014. Big data point according to the study on the Efficiency methods of cadastral spatial information. *Journal of the Korean Cadastral Information Association* **16**(1): 29-48.
- Korean Bioinformation Center (KOBIC). 2018. Available at: <https://www.kobic.re.kr/> (Accessed 5 Mar. 2018).
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *International Journal of General Systems* **3**: 36-71.
- McNaughton, S.J. 1967. Relationship among functional properties of California glassland. *Nature* **216**: 168-144.
- National Institute of Biological Resources (NIBR). 2018. Available at: <https://www.nibr.go.kr/eng/main/main.jsp> (Accessed 5 Mar. 2018).
- Pielou, E.C. 1969. An Introduction to Mathematical Ecology. Wiley, New York.
- Pielou, E.C. 1975. Ecological Diversity. Wiley, New York.
- Song, J.H., I.J. Kang, S.H. Hong and D.H. Park. 2014. Construction of vegetation information management system using GIS. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System* **22**(4): 99-106.
- Youn, J., C. Kim and H. Moon. 2017. The establishment for technology development plan for national spatial information infrastructure cloud service. *Journal of the Korean Academia-Industrial Cooperation Society* **18**(3): 469-477.
- Youn, J.H. 2014. The establishment of BPR for national spatial data infrastructure quality management system. *Journal of Korean Society for Geospatial Information System* **22**(4): 81-89.