

생태계서비스 평가를 위한 공간 수준별 측정지표 선정* - 공급서비스를 중심으로 -

정필모¹⁾ · 김정인¹⁾ · 여인애²⁾ · 주우영³⁾ · 이경은⁴⁾

¹⁾ 국립생태원 생태계서비스팀 연구원 · ²⁾ 국립생태원 연구정책부 전임연구원 ·
³⁾ 국립생태원 생태계서비스팀 팀장 · ⁴⁾ 국립생태원 기후변화연구팀 전임연구원

The Selection of Measurement Indicators by Spatial Levels for Ecosystem Services Assessment* - Focused on the Provisioning Service -

Jung, Pil-Mo¹⁾ · Kim, Jung-In¹⁾ · Yeo, Inae²⁾ · Joo, Wooyeong³⁾ and Lee, Kyungeun⁴⁾

¹⁾ Team of Ecosystem Service, National Institute of Ecology, Researcher,

²⁾ Department of Research Policy, National Institute of Ecology, Associate Researcher,

³⁾ National Institute of Ecology, Team Lead of Ecosystem Services,

⁴⁾ Team of Climate Change Research, National Institute of Ecology, Associate Researcher.

ABSTRACT

Provisioning service, which is one of the ecosystem service functions, means goods and services such as food and fuel that people get from ecosystem. Provisioning functions are closely related to the primary industry, a sector of economy. Excessive demand and use of human society can cause trade-offs among regulation, cultural, and supporting services. Therefore, it is important to perform evaluation ecosystem services periodically and to monitor the time series fluctuations to identify the impact of provisioning services on other ecosystem services (trade-off) and to maintain sustainable provisioning service. When it comes to the precise assessment of provisioning service, it is necessary

* 이 논문은 국립생태원의 전략과제로 수행된 핵심 생태자산과 생태계서비스 가치평가 및 보전방안 연구(NIE-전략연구-2021-03)의 지원을 받아 수행되었습니다.

First author : Jung, Pil-Mo, Team of Ecosystem Service, National Institute of Ecology, Researcher, 1210, Geumgang-ro, Maseo-myeon, Seocheon-gun, Chungcheongnam-do, 33657, Republic of Korea,
Tel : +82-41-950-5456, Email : geofeel80@nie.re.kr

Corresponding author : Lee, Kyungeun, Team of Climate Change Research, National Institute of Ecology, Associate Researcher, 1210, Geumgang-ro, Maseo-myeon, Seocheon-gun, Chungcheongnam-do, 33657, Republic of Korea,
Tel: +82-41-950-5494, Email: kelee@nie.re.kr

Received : 19 November, 2021. **Revised** : 20 December, 2021. **Accepted** : 20 December, 2021.

to get the statistical data and standardize indicators and methods. In this study, indicators and methods, which are applicable to the spatial level of national-local-protected areas, were derived through literature analysis and expert survey. The result of this study implies that provisioning services measurement by spatial level improve the efficiency of the establishment of environmental conservation plans by whose purpose.

Key Words : *Provisioning Service, Trade-off, Indicators, Sustainable ecosystem*

I. 서 론

UN에서 발표한 새천년평가보고서(Millennium Ecosystem Assessment, MA, 2005a)는 전 세계적으로 생태계서비스라는 분야의 지면을 확대하면서 동시에 생태계로부터 사람들이 받는 혜택에 관해 관심을 두는 계기가 되었다. 그 후 출범한 생물다양성과 학기구(Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES)에서는 생태계서비스를 ‘자연의 인류에 대한 기여(Natural’s Contribution to People, NCP)’로 정의하고, 전 지구 생물다양성 및 생태서비스 평가를 통해 생물다양성과 생태계 보전 정책에 기여하고 있다(IPBES, 2019).

새천년평가보고서, 생태계와 생물다양성의 경제학(The Economics of Ecosystems and Biodiversity, TEEB, 2010), 생태계서비스 국제 표준 분류체계(Common International Classification of Ecosystem Services, CICES; Haines-Young & Potschin, 2013) 등의 보고서에서는 생태계서비스 즉, 생태계가 인간에게 제공하는 혜택을 공급(Provisioning), 조절(Regulating), 문화(Cultural), 지지(Supporting) 서비스로 크게 구분하고 있다.

새천년평가보고서(MA, 2005a) 이후 유럽을 중심으로 많은 나라에서 생태계서비스를 평가하고 있다(Ahn et al., 2020). 2009년 포르투갈의 국가보고서를 시작으로 34종의 국가보고서가 발간된 바 있다. 국가 생태계서비스 평가의 일차적 목적은 생태계 건강성에 대한 현황진단, 경향

분석, 미래예측(Ahn et al., 2020)이라고 할 수 있으며, 유럽연합(EU)에서는 “생태계서비스 확보를 위한 생태계 보존 및 복원”, “효과적 법률·정책 구현을 통한 압력 감소 및 생태계 상태 개선” 등 10가지 생태계서비스 평가의 필요성을 제시하였다(Maes et al., 2021).

생태계서비스 평가는 각 생태계서비스 유형별로 지표와 방법을 선정 후, 정량적 수치로 산출하고 산출된 값을 경제적 가치, 사회적 가치, 건강 가치와 같이 가치화하거나 지수화하여 정책결정자와 이해관계자들의 이해를 도울 수 있다. 또한, 평가 결과 축적을 통해 시간이 지남에 따라 생태계서비스의 변화 정도와 변화에 영향을 미친 동인(driver), 압력(pressure), 그에 따른 정책적 대응(response)을 도출할 수 있다. 예를 들어, 작물생산량에 급진적·점진적 변화가 발생했다면, 토지 이용 변화, 기상 상황, 농업종사자 현황 등의 동인들이 어떤 압력으로 변화를 유발했는지 분석하고, 이에 대한 정책적 대응(농지 전용 규제, 관개시설 확충, 귀농 장려 등)을 통한 정상화 여부를 확인해 보는 것이라고 할 수 있다.

우리나라에서도 해외 생태계서비스 평가 보고서(MA, 2005a; TEEB, 2010; UK NEA, 2011) 발간 이후로 관련 기관 및 학계에서 생태계서비스 연구가 진행되고 있다. 우리나라에서는 생태계 유형별 또는 정부 부처 연구기관별로 연구가 진행되고 있는데, 이러한 연구들은 각 기관의 고유 미션을 반영하고 있고 특정 정책 지원을 위

해 수행된 측면이 있어, 각 결과들을 일반화하기에 한계가 있는 것으로 지적하고 있다(Ahn et al., 2020). 한편으로는 전략환경영향평가나 보호지역 확대 정책, 그리고 이해당사자가 직접 참여하는 형태의 연구들과 같이 생태계서비스 연구는 정책으로의 반영을 위한 활용 도구 역할을 할 수 있기도 하다(Mo et al., 2016; Kim et al., 2019; Park et al., 2021).

우리나라의 자연환경 관련 법령은 「국토기본법」, 「환경정책기본법」, 「산림기본법」 등이 있으며, 각 법령에 따라 공간 수준별로 종합계획을 수립하고 있다. 「국토기본법」에는 국토종합계획/도종합계획/시·군종합계획 등을 수립하고, 「환경정책기본법」에는 국가환경종합계획/시·도환경계획/시·군·구의 환경계획을 수립하도록 명시되어 있다. 또한 습지보호지역처럼 생태계와 생물다양성을 보전하고 특별히 관리가 필요한 지역은 보호지역으로 지정하고, 관련 법령(예. 「습지보전법」)에는 보전기본계획을 수립하여 보호지역을 체계적으로 관리하도록 명시하고 있다. 따라서 우리나라 생태계 보전·증진을 목표로 한다면 공간 수준별로 전략을 수립해야 실효성 높은 정책 실현이 가능해진다고 할 수 있다.

생태계서비스 중 공급서비스는 사람들이 생태계로부터 얻는 식량, 연료, 섬유, 담수, 유전물질과 같은 재화라고 할 수 있다(MA, 2005b). 우리나라 「생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률」 제2조에서도 “식량, 수자원, 목재 등 유형적 생산물을 제공하는 것”으로 정의하고 있다. 공급서비스 평가 지표들은 인간에게 직접적 편익을 제공하는 것을 측정하며(Ahn et al., 2020), 국내·외 주요 연구(1)에서 10여 개 내외의 지표들로 공급서비스를 평가하고 있다. 특정 지역의 공급서비스를 평가하기 위해 주로 식량이나 연료 등을 지표로 사용하며, 해당 지역의 생태계 유형이나 확보할 수 있는 데이터, 실제 사람들이 받는 혜택 여부에 따라 평가 지표가 달라지기도

한다. 특히 식량이나 목재 생산 같은 공급서비스 범주에 속하는 요소들은 우리의 사회·경제 체계에서 조절서비스나 문화서비스보다 우선시 된다(Maes et al., 2021). 우리나라 농림축수산업은 비료·퇴비·농약, 농기계·양식시설과 같이 사회적 자본이 집중적으로 투입되는 일차 산업이며, 시설재배나 양식과 같이 환경의 한계를 극복하는 유형도 있다. 따라서 자연생태계 주는 직접적인 혜택 외에 사회적 자본 등이 투입되어 발생하는 혜택도 함께 고려할 필요가 있다. 특히 농업 분야에서는 ‘6차 산업화’라는 용어가 언급될 정도로 산업의 경제적 관점이 변화하고 있어(Hwang and Lee, 2016), 생태계서비스에서 상충효과(trade-off)에 대한 고려가 필수적이다(Ham et al., 2015).

생태계서비스에서의 상충 효과는 특정 서비스 혜택을 증가시키기 위해 했던 노력이 다른 서비스 혜택을 감소시킬 수도 있음을 의미한다(Wallace, 2007; Ham et al., 2015; Turkelboom et al., 2016). 따라서 공급서비스 평가의 일부 지표들은 현 시점에서 과도한 생산과 이용을 위해 사회적 자본이 투입되어 타 생태계서비스와 상충 효과를 유발할 수 있으므로, 연구자에 따라 해당 지표들을 사용하는 것에 대해 의문을 갖기도 한다. 현재 공급서비스 평가는 이러한 상충 효과를 별도로 측정하지 않지만, 장기적으로는 공급서비스와 관련되어 측정되는 결과물에 자본도 투입되어 있다는 점을 고려해야 한다. 특히 우리나라의 공급서비스 평가 지표는 일차 산업 요소에 해당하며, 자연생태계가 아닌 곳(예. 농경지)에서 서비스가 발생한다는 점에서 상충 효과에 대한 이해가 더욱 필요하다. 또한, 보호지역에서도 해당 지표들을 적용할 수 있다는 점에서 공급서비스에 대한 모니터링의 필요성이 제기된다(Joo et al., 2019). 따라서 공급서비스가 생태계 또는 다른 생태계서비스에 미치는 영향(상충 효과)을 파악하기 위해서는 평가의 기반이 되는 통계자료의 확보가 필요하고, 통계자료

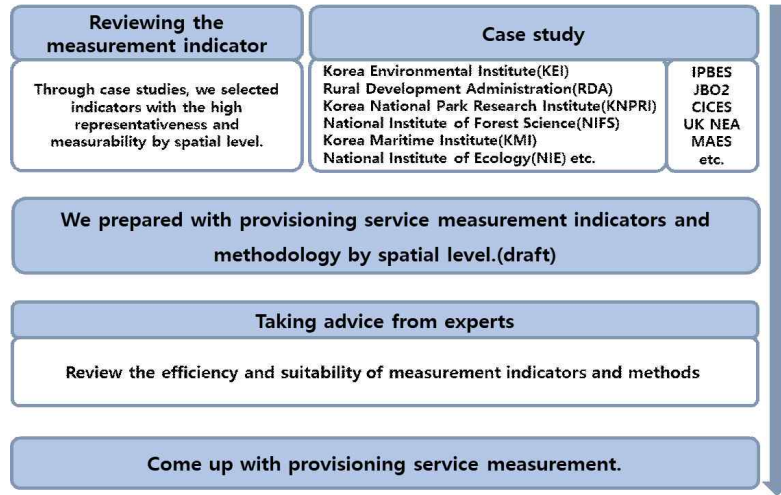


Figure 1. Research flow for standardization of measuring provisioning service (Revised in Joo et al., 2020).

의 체계적 구축을 위한 지표와 측정방법의 표준화가 필요하다.

본 연구에서는 생태계서비스 평가(Ecosystem services assessment)를 직간접적 변화 요인을 반영한 생태계서비스의 경향 및 관계 분석을 통해 지속가능성을 도출하는 것으로 정의하였고, 생태계서비스 측정(Ecosystem services measurement)은 생태계서비스 평가를 위한 항목별 데이터 확보 및 분석을 통한 정량화 과정으로 정의하였다. 생태계의 변화를 관찰하기 위해서는 모니터링이 필요할 것이고, 모니터링의 결과물을 분석하기 위해서는 동일 기준의 측정 장치가 동반되어야 한다. 생태계서비스 평가에서 필요한 측정 장치는 일관된 기준의 지표와 방법론이다. 본 연구는 우리나라 생태계 및 생태계서비스에서 공급서비스의 의미를 확인하고, IPBES의 평가체계를 준용하여 공간 규모에 따라 공급서비스를 측정할 수 있는 지표와 방법론을 표준화하고자 하였다.

II. 연구방법

공급서비스의 측정지표 및 방법을 선정하기 위해 4단계에 걸쳐 연구를 수행하였다(Figure

1). 첫 번째 단계는 문헌분석으로 생태계서비스 평가 관련 국내외 보고서 및 학술논문을 수집하고 평가체계 및 지표를 분석하였다. 두 번째 단계는 생태계서비스 평가를 위한 공간 수준을 구분하고 정의하였다. 세 번째 단계에서는 각 공간 수준별 공급서비스 측정지표와 방법 선정 원칙을 세우고 국내 상황에 맞는 지표를 선정하였다. 마지막 단계에서는 공간 수준별 선정된 지표를 전문가 자문을 통해 합의하여 최종 도출하였다.

문헌분석은 국제기구에서 작성한 생태계서비스 평가보고서(MA, TEEB, IPBES 등)와 Costanza et al.(1997), de Groot(2006)의 연구와 같이 지표체계 분류에 참고할 수 있는 연구논문, 그리고 UK NEA(UK National Ecosystem Assessment)와 같이 국가 수준에서 생태계서비스 평가를 수행한 보고서를 검토했다. 선행연구들의 생태계서비스 유형, 지역 특성별 평가항목, 평가틀, 평가방법론, 평가절차 등을 중심으로 검토하였다. 우리나라의 경우 중앙부처 소속기관 및 산하기관, 지자체 산하기관 등에서 생태계 유형별로 생태계서비스 평가 관련 연구를 진행하고 있다. 따라서 국립생태원에서 그간 수행한 국가 생태계서비스 평가(Joo et al., 2016; 2017a), 지역 생태계서비스 평가(Kwon et al.,

Table 1. Overview of assessment for ecosystem services by spatial level (Revised in Joo et al., 2020)

Division	National	Local	Protected Area (Site)
Object & Practical use	<ul style="list-style-type: none"> Establishment and evaluation of national environmental policies for future predictions National Biodiversity Strategy & Action Plans (NBSAPs) Natural environment conservation plan 	<ul style="list-style-type: none"> Establishment of local environmental policies and evaluating residents benefits local land spatial plan natural resources offset system 	<ul style="list-style-type: none"> Introduction of policies to expand protected areas and promote ES A plan for designating and managing protected areas Conservation of protected areas centered on local residents
Scope	<ul style="list-style-type: none"> Spatial: National Time series: 5~30yr 	<ul style="list-style-type: none"> Spatial: Metropolitan cities, local governments Time series: 5~10yr 	<ul style="list-style-type: none"> Spatial: Wetland preservation area, Ecosystem and landscape preservation area. etc. Time series: Less than 5 yr

2016-2019), 습지보호지역 생태계서비스 평가 (Joo et al., 2018-2019) 연구를 기반으로 한국환경연구원, 국립산림과학원, 국립공원연구원 등 국립·국책 연구기관의 연구 결과물과 서울연구원, 경기연구원 등 지자체 산하 연구기관에서 발간한 연구보고서 등 총 10개 기관 14개의 문헌을 검토하였다.

공급서비스 측정지표를 선정함에 앞서 생태계서비스 평가의 공간 수준을 크게 국가-지역-보호지역으로 구분하였는데 이는 기본적으로 생태계서비스 평가 결과가 환경정책과 연계되어 활용될 수 있도록 하기 위해서이다(Joo et al., 2020). 공간의 구분은 평가에 활용할 수 있는 데이터의 특성, 평가 결과를 활용한 정책 반영의 가능성 등을 고려한 것이다. 특히 정책 반영을 위한 생태계서비스 평가 결과를 구축하기 위해서는 반복적·시계열적 모니터링 조사나 평가가 필요하며 이를 위한 지표들을 본 연구에서 도출하고자 하였다.

공급서비스에서는 평가 대상지의 산업요건에 따라 활용할 수 있는 지표가 달라질 수 있다. 국가 수준 지표는 전 국토를 측정할 수 있는 대표성을 고려해야 하고, 지역 수준에서는 해당 지자체의 특성(예. 연안/내륙, 산간/평야, 도시/농촌 등)에 맞게 지표가 달라질 수 있다. 보호지역 수

준에서도 보호지역의 특성(산지/습지/연안/하천 등)에 따라 좀 더 세부적인 요소(주거지 인근, 농경지, 어촌계, 저수지 등)들을 고려할 수 있는 지표들이 필요하다.

국가 수준의 공간 규모는 국가 전체를 대상으로 하며, 평가를 통해 국가의 생태계서비스 현재 상태와 과거 경향 및 변화 요인을 파악하고 이를 통한 정책 수립 및 미래예측에 목적이 있다(Table 1). 지역 수준의 공간 규모는 광역시도, 기초 지자체로 하고, 평가를 통해 지역의 생태계 자산과 생태계서비스 제공량, 지역 주민의 혜택과 그 분포 파악하고 지속가능한 생태계서비스의 이용을 위한 지역 계획 수립에 반영할 수 있다. 보호지역 수준의 공간은 법정보호지역 및 지소(site) 규모인 지역이며, 국립공원, 습지보호지역과 같은 보호지역 평가는 현 시점에서는 환경부 소관 법정 보호지역을 대상으로 하였다. 보호지역 등 우수한 생태계의 자연자산과 생태계서비스를 측정하고 보호지역의 확대 및 생태계서비스의 증진을 위한 정책을 도입하고 계획을 수립하는 데 활용되도록 하는 것이 목적이라고 할 수 있다.

본 연구에서 공급서비스 측정지표 선정의 기본 원칙은 다음과 같다(Table 2). ① 현재 통계연보 등 데이터 취득이 가능하고 검증된 지표 및 방법을 우선적으로 선정하였다. ② 공간 수

Table 2. Criteria for selecting indicators by spatial levels (Revised in Joo et al., 2020)

Division	National	Local	Protected Area (Site)
Criteria	<ul style="list-style-type: none"> • Representativeness such as overseas evaluation cases • Data availability and reliability • Selection of measurable indicators through currently published national statistical data and major reports 	<ul style="list-style-type: none"> • Based on national ES indicators • Selection of indicators that reflect the specificity of local society, economy, culture, etc. • Selection of measurable indicators and methods 	<ul style="list-style-type: none"> • Based on national ES indicators • Selection of indicators that reflect the biodiversity, ES characteristics, and sensitivity of site • Selection of measurable indicators and methods • Emboding short-term measurable indicators through field surveys
Common & optional indicator		<ul style="list-style-type: none"> • Local and site levels are divided into common and optional indicators - Common indicators: The results of evaluation as measurable indicators and common indicators in all regions and site are comparable between regions - Optional indicators: Indicators to be additionally selected if necessary according to each local government and type of site 	

준별 지표 연계성을 고려하여 국가 수준에서 선정되지 않은 지표는 지역이나 보호지역에서도 선정하지 않거나 선택지표로 분리하였다. ③ 필요한 지표지만 정기적으로 구축된 데이터가 없는 경우에는 제외하였다. ④ 개발 중이거나 향후 고도화 예정인 지표 역시 제외하였다. ⑤ 전문가 간 의견 차이가 큰 지표는 선정을 보류하고 추가 검토나 연구를 진행한 후 결정하는 것으로 원칙을 세웠다. 이러한 기본 원칙에 따라 공간 수준별로 지표 선정기준을 세웠다.

지표 선정의 원칙(대표성, 데이터 가용성, 측정 가능성, 상위 공간 위계와의 연결성 등)에 따라 공간 수준별 적용이 쉽고 측정 가능성이 큰 지표들을 우선 선정하였다. 공간 규모 관점에서 국가 수준의 경우 국외 평가 사례 등 대표성을 우선하였고, 지역 수준의 지표는 국가 수준의 지표를 기반으로 하되, 지역의 사회·경제·문화 등 특수성을 반영하는 지표를 선정하였다. 보호지역 수준의 지표도 국가 지표를 기반으로 하였으며 보호지역 등 특정 지점의 생태계서비스 특성, 민감도 등을 반영하도록 하였다. 정책적으로 국가 수준은 국가생물다양성전략, 자연환경보전계획 등의 수립, 지역 수준은 지역의 토지공간계획

등의 수립, 보호지역 수준은 보호지역 등의 지정 및 관리방안이나 생태계서비스지불제와 같이 지역 주민 참여 기반 정책 활용 등을 고려하여 선정하였다(Joo et al., 2020).

선정된 1차 지표는 전문가 자문을 통해 지표의 적합성·적절성, 지표별 측정방법의 용이성·정확성 등을 검토하고 합의하는 과정으로 의견을 수렴하였다. 전문가는 산림, 농경지, 해양, 도시, 담수(하천) 등 다양한 분야에서 생태계서비스 연구를 수행하는 국내 12개 관련 기관(국립산림과학원, 국립농업과학원, 국립공원연구원 등)의 전문가 21명, 15개 대학 22명의 학계 전문가로 구성하였다. 1차 자문(2020년 10월)에서는 27명의 전문가가 지표를 검토하였고, 의견을 반영하여 수정 보완된 2차 지표를 도출하였다. 2차 지표는 총 43명의 전문가가 자문(2020년 11월)에 참여하였으며, 1차와 2차 자문 모두 참여한 전문가는 27명으로 초안과 수정안 모두를 검토하여 최종 선정하였다.

III. 연구 결과 및 고찰

1. 공급서비스 평가 지표

Table 3. List of provisioning services indicators for ecosystem services assessment. Numbers indicate twenty-five referred literature. the adopted indicators in the literature are shown as shade.

Indicator	Detailed indicators or methodologies	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Crop	Production area, Yield	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Livestock	Number of livestock, A number of breeding households	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Fishing	A catch of fish, an output	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Aquaculture	The area of the aquaculture, an output	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Hunting	The area of hunting, an output	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Timber	Timber production	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Fiber	Fabric production	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Fuel	The sales volume of wood pellets	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Fodder (fertilizer)	Feed production	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Water (freshwater)	The amount of ground water supplied	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Energy	The amount of biomass produced	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ornament	The amount of transaction	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Genetic resources	The amount of transaction	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Medicine	Related market size	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1. Costanza et al.(1997) 2. MA(2005a) 3. de Groot.(2006) 4. TEEB(2010) 5. Harrison et al.(2010) 6. UK NEA(2011) 7. Layke et al.(2012)		8. Kandziora et al.(2013) 9. SNEA(2013) 10. B. de Knegt.(2014) 11. Maes et al.(2015) 12. Maes et al.(2016) 13. JBO2(2016)					14. Grunewald et al.(2016) 15. Mononen et al.(2016) 16. European Commission(2016) 17. Grunewald et al.(2017) 18. Preston, SM.(2017) 19. La Notte et al.(2017)					20. Joo et al.(2017a) 21. Bobylev et al.(2018) 22. Haines-Young & Potschin(2018) 23. IPBES(2019) 24. Ahn et al.(2020) 25. Mederly et al.(2020)														

공급서비스 측정지표를 도출하기 위해 국가 수준의 생태계서비스 평가와 관련된 국내외 25 개의 문헌분석 결과 작물 등 총 14개의 지표로 요약했다(Table 3). 이 중 작물과 관련된(생산량, 재배면적 등) 지표들이 많이 사용되고 있었고 (22개), 그다음으로 담수(19), 목재(18), 어업 (17), 섬유(13), 가축(12), 연료(12), 에너지(10) 지표 순으로 나타났다. 5개의 문헌에서만 언급

된 ‘장식’과 같은 지표도 있었다. 14개 지표를 모두 활용한 문헌은 없었고, CICES 5.1(22번 문헌)과 같이 범용적 지표 체계의 표현방식과 접근법이 다른 문헌도 있었다. 주로 활용되는 지표 들은 의식주 해결을 위한 생산물(식량, 물, 섬유 등)들을 측정하고 있으며, 다음으로 연료와 에너지, 유전자원과 같이 삶의 여메니티를 율택하게 해주는 지표들도 있다. 의약품이나 장식품과 같

은 지표는 생태계서비스의 초기 연구(~2010's)에서 활용되었으나, 최근의 연구들에서는 거의 등장하지 않고 있다.

2019년에 발간된 IPBES의 전지구 평가보고서에서는 그간 4가지로 구분되던 생태계서비스 기능별 유형 분류에 대해 '자연의 인간에 대한 기여'라는 관점에서 물질과 비물질, 그리고 환경 조절의 측면에서 접근하는 모습을 보였다. 여기서 공급서비스는 물질과 지원(Materials and Assistance) 범주에 포함되며 여전히 생태계서비스의 주요 축으로 모니터링의 대상이 된다. 이는 자연이 물질적 재화(material)와 영적 영감(non-material) 뿐만 아니라 생명유지를 위한 근간(regulating)을 제공함으로써 삶의 질을 뒷받침하기 때문이다(IPBES, 2019). 또한, 상충 효과로 대변되는 NCP 간 관계에 대한 체계적 연구 결과가 거의 없어 이에 대한 대비 차원에서도 공급서비스 측정지표와 관련된 기초자료의 구축이 중요하다고 할 수 있다. 이렇게 선행연구들을 검토한 결과 공급서비스와 관련된 지표들을 식량, 원료물질, 에너지, 물의 4가지 항목으로 크게 구분해서 자연이 인간에게 주는 혜택을 측정하도록 정리했다.

국내에서 국가 규모로 생태계서비스를 측정 한 사례는 국립산림과학원 산림의 공익적 가치가 대표적이지만, 산림 유형만을 대상으로 한다는 한계가 있다. 또한, 국립생태원에서 2017년에 전국을 대상으로 평가한 사례가 있지만, 시범 평가로 진행되어 보완이 필요하다. 지역 규모에서는 국립생태원과 지방연구원 차원에서 해당 광역시도 또는 시군을 대상으로 평가가 진행되고 있는 단계이며, 보호지역 수준에서는 국립공원에서의 생태계서비스 가치평가 연구가 대표적이다. 국립공원의 경우 국립공원공단(국립공원연구원)이라는 명확한 관리 주체가 있어 체계적 생태계서비스 연구가 가능하다는 장점이 있지만, 그 외의 보호지역이나 개발대상지 등에서는 생태계서비스에 대한 측정은 고려하지 못하고

있다.

현재 우리나라에서 공급서비스의 범주에 포함되는 지표들은 Clark(1940)의 산업 분류에 따르면 일차 산업(primary industry)에 속하며, 생산 활동 중 자연으로부터 직접 자원을 채취하는 산업으로서 농업, 임업, 어업, 목축업을 포함하는 것으로 정의된다(Lim and Hwang, 2016). 한국표준산업분류표에서도 일차 산업에는 농업, 임업, 어업이 해당한다(Statistics Korea, 2016). 이처럼 공급서비스에 해당하는 지표들은 일반적 분류기준으로 대부분 일차 산업에 속하며, 농림 수산물을 가공하여 특정 제품을 제조하는 경우는 제조업으로 구분한다. 공급서비스에 속하는 일차 산업을 위한 활동에도 여러 자원이 투입되기 때문에 정책적인 면에서 상충효과(trade-off)를 고려할 필요가 있다. 농림어업 활동으로 인한 생산량의 증가(면적 증가, 농약·비료·시설 투입 증가 등)는 주변 생태계나 생물에 부정적 영향을 미칠 수 있기에, 지속적인 관찰을 통해 공급서비스의 증감으로 인한 전반적인 생태계서비스 추이를 지켜봐야 할 필요성이 있다. 국가 규모에서는 일부 면적의 변화나 생산량 증감이 즉각적인 생태계 변화로 이어지긴 어렵지만, 하나의 지역(시군구)이나 보호지역과 같은 특정 지역에서의 생산량 증감은 즉각적인 영향을 미칠 우려가 있기 때문이다. 예를 들어 지역 주민의 어업권을 인정하고 있는 창녕 우포늪(습지보호지역)의 경우 현재처럼 철새들이 도래하는 겨울철에 보조금 지급을 통해 어획 제한을 하지 않는다면 먹이 공급에 영향을 미칠 가능성이 있는 것이다.

이처럼 공급서비스는 조절·문화서비스와 비교했을 때 경제활동과 같은 인간 생활과 직접적인 연관이 깊고 실제로 시장이 형성되어 있어 국가통계·공간자료 등 공급서비스를 평가하기 위한 데이터가 다른 서비스에 비해 많다. 그러나 과거와 현재의 통계 조사지침 변동으로 단위나 가치의 평가가 상이하게 분석되는 경우가 많다는 한계점도 있다(Joo et al., 2017b). 실제로 시

Table 4. Draft list of indicators for domestic ecosystem services measurement for provisioning services (Revised in Joo et al., 2020)

Level	Draft	
	Class	Indicators (unit)
National	Food	Crop production (ton)
		Livestock production (ton)
		Fishing production (ton)
		Aquaculture production (ton)
	Raw materials	Timber production (1,000m ³)
		Production of medicinal crops and ginseng (ton)
	Energy	Renewable energy (toe)
Water (freshwater)	Water resource usage (100 million m ³)	
Local	Food	Crop production (ton/ha)
		Livestock production (ton)
		Fishing production (ton)
		Aquaculture production (ton)
	Raw materials	Timber production (1,000m ³)
		Production of medicinal crops and ginseng (ton)
	Energy	Renewable energy (toe)
Water (freshwater)	Water resource usage (100 million m ³)	
Specializing in local areas	Production of specialties (ton/ha)	
Protected Area (Site)	Biomass (food)	Crop production (kg/ha)
		The amount of wild plants collected (kg)
		The amount of animals (the number of animals)
		The amount of wild animals(fish & shellfish) caught and collected (kg)
	Biomass (material)	Crop production (kg/ha)
		The amount of wild plants collected (kg)
		The amount of animals (kg)
	Biomass (energy)	Plant cultivation (land) production (kg)
		The amount of animals (kg)
	Genetic material	Animals and plants (species)
Water (material)	Household/agriculture/industrial/cooling water usage (m ³)	
Water (energy)	Hydroelectric power (toe)	
Non-aqueous natural abiotic ecosystem output	Solar(heat) / Solar(light) / Wind / Geothermal power generation (toe)	

범 평가 단계에서 과거 자료에 대한 입수가 어려운 경우¹⁾가 발생하기도 했고, 해당 시군구의 협조 정도²⁾에 따라 통계자료의 획득 여부가 결정되었다. 따라서 통계연보 활용이 가능한 지표를 최우선으로 선정했다.

14개 지표 중 우리나라 생태계에서의 비중과 통계자료 확보 여부에 따라 장식품과 사료, 섬유

- 1) 통계연보 상 최근 5년의 자료만 보유하고 있거나, 연보의 전자화 과정에서 과거 자료 누락 사례
- 2) 시군구 해당 사업 담당자를 통해 각 관련 부서와 직접 연락하여 자료 획득

의 경우 제외를 했고, 의약품의 경우 약용작물과 인삼 생산량으로 수정했다. 담수 공급의 경우에도 지하수 공급량을 수자원 이용량으로 수정했다. 우리나라의 지역 통계연보에서는 농업생산 관련 항목 중 지역의 대표 생산물을 통계로 수집하고 있어 지역 규모에서 별도로 측정할 수 있는 지표를 도출했다. 보호지역 규모에서 작물 생산과 같이 국가/지역에 포함된 지표를 비롯하여 CICES 지표에서 언급된 야생식물 채집량 등의 지표가 포함되었는데(Table 4), 야생식물 채

집량의 경우 임업 활동으로 재배되는 것이 아닌, 인근 지역 주민들에 의한 산나물이나 임산물 채취 가능성을 고려하여 추가했다.

보호지역 수준에서의 생태계서비스 측정지표는 국가·지역 수준의 지표와 유사하지만, 보호지역 특수성을 반영하기 위하여 CICES의 분류 체계에 따라 항목의 구분을 바이오매스, 자원, 에너지로 좀 더 세분화하였다. CICES의 분류 체계는 기존의 지표 방식과 차이점이 있는데, 인위적 간섭이 발생하는 재배·양식·사육과 야생에서의 채집·채취·포획·어획 등을 구분한 것이다. 두 지표군의 차이점은 생태계를 적극적으로/소극적으로 소모해 나간다는 점이라고 할 수 있는데, 적극적인 것은 생태계가 자연적으로 제공하는 양을 넘어 인위적 자본(사료·비료·농약·기계류 등)을 투입하여 자연적 제공량 이상을 공급받는 것이고, 소극적인 것은 인위적 자본의 추가 투입이 적은 야생동물 사냥, 어획, 임산물 채집·채취 행위 등을 의미한다고 할 수 있다. 보호지역 규모의 경우 이러한 이용에 따라 전체 생태계가 영향을 받을 수 있어 국가 및 지역 규모의 지표와는 구분법을 다르게 했다.

이렇게 여러 사례와 현안을 고려하여 국가(4개 항목 8개 지표), 지역(5개 항목 9개 지표), 보호지역(7개 항목 13개 지표) 수준의 지표목록 초안을 도출했다(Table 4).

2. 공급서비스 측정지표 선정

1) 국가 수준의 지표

국내외 생태계서비스 평가 연구 사례를 검토하고, 선행연구 결과(Joo et al., 2016; 2017a; 2018-2019; Kwon et al., 2016-2019)와 가장 최근 논문인 Ahn et al.(2020)에서 제안한 지표목록을 구체화하여 총 식량 등 4개 항목과 8개의 지표를 선정했으며, 모두 국가 통계자료에서 얻을 수 있는 정보를 기반으로 했다.

1차 자문에서는 제시한 지표 초안(Table 4)이 적합하다는 의견이 과반수였으나, 측정 단위를

통일하고 각 지표의 필요성, 분류기준 및 범위의 명확화가 필요하다는 의견이 주를 이루었다. 첫 번째로 공급서비스의 단위면적당 생산량은 생산성의 의미에 가까우므로 전체 생산량이 적절하다는 의견에 따라 모두 총생산량으로 계산하는 것으로 개선했다. 두 번째로 산림에서 목재와 약용식물 측정지표만 포함되어 있는데, 목재를 제외한 임산물(버섯, 잣 등 산림 특용작물, 고로쇠수액 등)의 생산 비중이 높아 이와 관련된 생산량을 추가해야 한다는 의견에 따라 목재 외 임산물 생산량 지표를 추가했다. 세 번째로 보호지역 수준의 측정지표와 연계되는 지표가 필요하다는 지적에 따라 친환경작물 생산량 지표를 추가했다. 네 번째로 담수 공급 항목의 수자원 지표는 이용량이 공급량보다 적어 과소평가 될 우려가 있다는 의견에 따라 생산량으로 수정했다.

2차 자문 결과 11개 지표³⁾ 중 9개 지표에 대해 전문가 80% 이상이 적합하다고 동의했다. 1차 자문 의견에 따라 추가한 친환경작물·가축 생산량 지표도 70% 정도 적합하다고 했으나 다른 지표(작물생산량, 가축생산량)와의 중복으로 인한 과대평가 우려, 친환경농법의 기준이나 지자체별 친환경 작물이 달라 자료의 표준화가 어려울 것 같다는 의견에 따라 해당 지표는 최종 지표에서 제외했다. 또한, 어업과 양식업 생산 지표에서 연근해어업 등 연안과 해양에서의 식량 공급만 고려하고 있다는 지적에 따라 통계청 어업생산동향조사 통계 중 내수면어업생산량 자료를 활용하도록 하는 지표를 추가하여 최종적으로 4개 항목, 10개 지표를 선정했다.

2) 지역 수준의 지표

지역 수준에서의 공급서비스 측정지표는 국가 수준에서의 지표를 기반으로 하여 식량 등 4

3) 지표목록 초안(Table 4)의 자문 의견(1차)을 반영하여 1차 수정안을 제시했고, 수정안에 대한 자문 의견(2차)을 반영하여 최종 도출(주요 자문 의견은 Appendix 1 참조)

개 항목과 8개의 지표를 선정하였으며, 지역 계획 수립에 활용될 수 있도록 지역특화 항목과 특산물생산량 지표를 추가 선정했다(Table 4).

선정된 지표 초안에 대해 1차 자문 결과 국가 수준의 측정지표 자문 의견과 동일하게 ‘임산물 생산량의 포함 필요성’, ‘어업 및 양식업 생산량의 실효성’에 대한 의견이 있었고, 목재/한약재 등 생산량에서도 분류기준 및 범위 명확화가 필요하다는 의견들이 있었다. 재생에너지 생산량 항목에서는 생태계서비스로서 재생에너지의 범위(바이오에너지 외에 무기 환경 기원의 재생에너지 포함 여부) 및 지역 규모에서 데이터 가용성·실효성을 검토해야 한다고 하였다.

국가 수준에서의 측정지표 목록과 달리 지역 수준의 측정에서만 포함된 특산물생산량 지표에 대해 ‘작물생산량 지표와의 중복 측정에 대한 우려’와 ‘지역 특산품의 종류에 따라 가치가 다르므로 지표로서 적절하지 않다’는 의견들이 제시됐다. 그러나 지역 특산물 항목은 지역 간 비교가 목적이 아닌, 해당 지역 주민들이 받는 생태계서비스 혜택과 지역의 환경정책 수립(특산물 변화 모니터링을 통한 환경 변화 등)을 위한 참고자료로써 선정되었기 때문에 일종의 선택지표로 활용할 수 있도록 개념적 정의를 다시 했다.

2차 자문 결과 국가 수준의 지표 자문 의견과 비슷했기 때문에 친환경작물 생산량과 친환경가축 생산량 지표를 삭제하고, 지자체에 따라 해양이나 내수면어업이 발생하지 않는 지역이 있음을 고려하여 3가지 지표(어업생산량, 양식업생산량, 내수면어업생산량)는 선택지표로 수정했다. 최종적으로 5개 항목, 11개 지표(선택지표 4개)를 선정했다.

3) 보호지역 수준의 지표

보호지역 수준의 지표는 초안에서 7개 항목, 13개 지표로 정리되었다(Table 4). 1차 전문가 자문 결과, 국가·지역 수준의 지표와는 다르게

총 13개의 지표 중 8개의 지표만이 적절(50~60%)하다고 응답하였고, 방법의 경우 13개 지표 모두에 대해 적합하다는 의견이 20~40%에 불과하며 모두 부적합하다는 견해를 보였다. 보호지역에서 인간 활동은 최대한 억제되기 때문에 생산 활동으로 인한 공급서비스는 고려하지 않아도 무방하다는 의견이 대다수였고 이에 부적절하다고 응답하거나 응답하지 않은 전문가가 50% 이상이었다. 즉 일부 보호지역 내에서는 생산 활동이 가능하지만, 원칙적으로 보호지역 설치 목적과 배치되는 지표들로 구성되어 있어 재검토가 필요하다는 의견이었다. 지표 항목을 늘린다고 보호지역의 특이성과 민감도가 반영되는 것은 아니며 같은 지표를 국가, 지역, 보호지역에서 사용하되 측정 방법을 달리하여 각 공간 규모의 상세함과 특이성을 반영하는 것이 적합하다는 의견이 1차 자문의 주된 결론이었다. 이에 제시한 공급서비스 측정지표는 반드시 모두 측정해야 하는 지표가 아니고, 해당 서비스가 발생하는 경우에만 제시된 지표를 참고로 하여 선택적으로 측정하는 지표라고 부연 설명 하였다. 실제로 사유지 비중이 높은 보호지역의 경우 기존 경제활동 지속 여부에 따라 예외적으로 그 활동을 인정해 주고 있기 때문이다.

2차 자문 결과, 1차에 비해 전문가가 80% 이상이 의견에 동의하였으나 여전히 보호지역 설정 취지와 맞지 않고 그 발생 정도가 미미함을 이유로 공급서비스 자체를 제외해야 한다는 의견이 있었다. 또한, 제시된 공급서비스 지표는 대부분 보호지역의 장점으로 보기 힘들 것으로 생각되고, 보호지역을 제대로 보호하지 않고 채취 및 이용의 논리로 전개될 수 있음을 우려하는 의견도 있었다. 이에 보호지역에서의 공급서비스는 실제 발생 현황을 파악하기 위해 중요한 지표이므로 측정 자체를 제외하지 않고 모두 선택지표로 전환했다. 즉 보호지역 내에서 공급과 관련된 행위가 발생하는 경우에만 측정하여 모니터링의 형식으로 활용하는 것으로 조정을 하

Table 5. Final list of provisioning service indicators at each spatial level reflecting expert opinions (Revised in Joo et al., 2020)

Level	Class	Indicators (unit)
National	Food	Crop production (ton)
		Production of forest products other than timber (kg)
		Livestock production (ton)
		Fishing production (ton)
		Aquaculture production (ton)
		Inland fishery production (ton)
	Raw material	Timber production (m ³)
		Production of medicinal crops and ginseng (ton)
	Energy	Renewable energy (toe)
	Water	Water resource production (m ³)
Local	Food	Crop production (ton)
		Production of forest products other than timber (kg)
		Livestock production (ton)
		* (C) Fishing production (ton)
		(C) Aquaculture production (ton)
		(C) Inland fishery production (ton)
	Raw material	Timber production (m ³)
		Production of medicinal crops and ginseng (ton)
	Energy	Renewable energy (toe)
	Water	Water resource production (m ³)
Specializing in local areas	(C) Production of specialties (ton)	
Protected Area (Site) (C)	Food	Crop production (kg)
		Production of forest products other than timber (kg)
		Livestock production (kg)
		Production of aquatic animals (such as fish and shellfish) (kg)
	Raw material	Plant production using resources (kg)
		Production of livestock products using resources (kg)
		Production of medicinal herbs and medicinal plants (kg)
	Energy	Renewable energy (toe)
		Plant production using bioenergy (kg)
		Production of livestock products using bioenergy (kg)
Water	Water resource production (m ³)	

***(C)** Choice indicators

였다. 현실적으로도 허용된 주민들의 경제활동에 따라 보호지역 지정 사유가 영향을 받을 수 있어 지속적 관찰이 필요하기 때문이다. 이밖에 보호지역 수준의 측정지표만 대분류(항목)가 다르고 불필요하게 세부적이라 일관성 유지가 필요하다는 지적에 대해서 국가·지역 수준 지표와 같은 분류 수준으로 항목과 지표명, 측정 방법을 동일하게 조정하였다. 또한, 보호지역 수준의 경

우 활용 가능한 통계자료가 구축된 경우가 드물어 필요시 현장조사를 통해 측정하도록 제시했다. 최종적으로 4개 항목, 11개의 선택지표로 선정했다(Table 5).

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 국내 생태계에서 공급서비스

의 의미를 고찰하고, 국내외 연구논문 및 기관 보고서를 분석하여 관련 항목을 측정할 수 있는 지표목록을 도출했다. 생태계서비스 평가 대상의 규모에 따라 생태적 환경과 활용할 수 있는 데이터가 다르다는 점을 고려하여 3개의 공간 규모로 구분했다. 최종 공급서비스 지표는 측정 대상 공간 규모와 측정방법을 고려하고 선택지표를 포함하여 국가 수준 10개, 지역 수준 11개, 보호지역 수준 11개가 선정되었다.

지속가능성의 측면에서 공급서비스의 평가는 다음과 같은 의미가 있다. 공급서비스는 다른 기능과 비교했을 때 인간의 경제활동(시장)과의 연관성이 높아 시장가격이나 통계자료 등을 통한 측정 및 평가(경제적 가치 환산)가 용이하다고 할 수 있다. 앞서 언급한 공급서비스의 '상충효과'나 생태계의 '지속가능성'의 측면에서 봤을 때 과거부터 현재까지의 변화, 그리고 미래 변화에 대한 예측이 중요하다고 할 수 있다. 공급서비스는 토지 피복 변화, 토지 이용, 기술의 발전과 같은 인간에 의한 영향에 좀 더 민감하게 반응하므로, 변화에 대한 측정과 그에 영향을 미치는 인과관계에 대한 파악은 생태계의 건강성을 확보하는 측면에서 중요하다고 할 수 있을 것이다.

공급서비스의 공간 수준별 평가는 다음과 같은 정책적 함의를 갖는다. 첫 번째로 국가 차원의 국토/환경계획이나 지역 수준의 국토/환경계획, 보호지역 관리계획은 통상 5년에서 10년, 30년 단위로 수립되고 있다. 본 연구에서 도출된 지표들을 활용하여 공간 규모에 따라 해당 지역을 주기적으로 측정할 수 있는 체계가 구축되면, 생태계서비스의 보전이나 증진을 고려한 정책을 수립할 수 있는 기초자료 제공이 가능해질 것이다. 두 번째로 보호지역의 공급서비스 측정은 생태계서비스의 증진이 아니라 다른 서비스 기능에 영향을 미칠 가능성에 대한 정책적 대응을 위해서라도 모니터링 차원에서 필수적으로 이루어져야 한다고 생각한다. 이는 지속가능성의 측

면에서 생태계의 물질적 이용에 대해 지표를 통한 주기적 측정 및 평가의 필요성에 대해 공감대를 형성하고, 모니터링 결과를 바탕으로 공급서비스와 관련된 과도하고 인위적인 생산 및 이용의 위험성을 알리는 측면에서 중요한 의미가 있다고 판단된다.

공간 수준별 생태계서비스 평가 방식의 활용성을 높이기 위해서는 다양한 사례연구가 필요하다. 생태계서비스 지표는 평가할 목표, 대상, 범위 등에 따라 가변적으로 적용될 수 있기 때문이다. 일회성으로 특정 지역의 생태계서비스를 측정하여 현황을 파악할 수도 있고, 생태계와 생태계서비스의 변화상 파악이 필요한 지역도 있을 것이다. 실제 생태계에서의 적용 및 검증이 필요하고 공급서비스에 영향을 미치는 변화요인 및 압력요인 분석 등에 대한 연구가 수행되어야 한다. 특히 정책 활용성을 높이기 위해서는 향후 생태발자국이나 수요-공급 개념을 도입하여 공급서비스와 조절, 지지서비스 간의 상충 효과가 입증될 필요가 있을 것이다. 이에 본 연구는 상기 연구를 수행하기 위해 필수적으로 선행되어야 하는 공간 수준별 공급서비스 평가 방법에 대한 연구이며, 공간 수준별로 유효한 생태계 보전 및 이용 정책 수립을 효율적으로 지원할 수 있는 초석을 마련했다는 의의가 있다.

References

- Ahn SE., Joo WY., Shin YJ., Jang J., Kwon HS., Kim CK., Kim HN., Seol AR., Lee HL., Choi WI., and Heo HY. 2020. Development of Korea National Ecosystem Assessment Framework to Support Decision Making.. *Journal of environmental policy and administration*. 28(2): 101-129. (in Korean with English summary)
- Bobylev S. N., Bukvareva E. N., Danilkin A. A., Dgebuadze Y. Y., Drozdov A. V., Filenko

- O. F., ... and Narykov A. N. 2018. Ecosystem services of Russia: prototype national report.
- Costanza R., d'Arge R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., ... and Van Den Belt M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387(6630): 253-260.
- De Groot R. 2006. Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes. *Landscape and urban planning*. 75(3-4): 175-186.
- De Knecht B. 2014. Graadmeter Diensten van Natuur: Vraag, aanbod, gebruik en trend van goederen en diensten uit ecosystemen in Nederland (No. 13). Wettelijke Onderzoekstaken Natuur and Milieu.
- European Commission. 2016. "Report on Phase 1 of the Knowledge Innovation Project on an Integrated System of Natural Capital and Ecosystem Services Accounting in the EU (KIP-INCA Phase 1 Report)." 106.
- Grunewald K., Herold H., Marzelli S., Meinel G., Richter B., Syrbe R. U., and Walz U. 2016. Assessment of ecosystem services at the national level in Germany – Illustration of the concept and the development of indicators by way of the example wood provision. *Ecological Indicators*. 70: 181-195.
- Grunewald K., Syrbe R. U., Walz U., Richter B., Meinel G., Herold H., and Marzelli S. 2017. Germany's ecosystem services - state of the indicator development for a nationwide assessment and monitoring. *One ecosystem*, 2, e14021.
- Haines-Young R. and Potschin M. 2013. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012. EEA Framework Contract No EEA/IEA/09/003.
- Haines-Young R., and Potschin M. B. 2018. Common international classification of ecosystem services (CICES) V5. 1 and guidance on the application of the revised structure.
- Ham EK., Kim M., and Chon JH. 2015. An analysis of ecosystem service's trade-off through systems thinking. *Korean System Dynamics Review*. 16(2): 75-100. (in Korean with English summary)
- Harrison P. A., Vandewalle M., Sykes M. T., Berry P. M., Bugter R., de Bello F., ... and Zobel M. 2010. Identifying and prioritising services in European terrestrial and freshwater ecosystems. *Biodiversity and Conservation*. 19(10): 2791-2821.
- Hwang JH., and Lee SW. 2016. The 6th industrialization complex type and the increase of farmers' income in agriculture. *Journal of Rural Development*. 39(4): 1-28. (in Korean with English summary)
- IPBES. 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio, H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pages. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>.

- Joo WY., Kwon HS., Jang IY., Bae HJ., Jung PM., Bang EJ., Kim JI., Kim S., Seo CW., and Choe JC. 2016a. Korea national ecosystem assessment - Indicators selection and evaluation of national ecosystem service evaluation. National Institute of Ecology. (in Korean with English summary)
- Joo WY., Kwon HS., Jang IY., Jung PM., Kim MH., Park HJ., Kim JI., Park EJ., and Kim JK. 2017a. Establishment of ecosystem services assessment framework at National level. National Institute of Ecology.(in Korean with English summary)
- Joo WY., Kwon HS., Jang IY., Jung PM., Kim MH., Park HJ., Kim JI., Park EJ., Kim JG., and Lee HC. 2017b. A guideline for ecosystem services assessment. National Institute of Ecology. (in Korean)
- Joo WY., Kwon HS., Jang IY., Jung PM., Park HJ., Kim JI., Park EJ., and Kim JK. 2018. Assessment of key ecosystem assets and their services and development of conservation strategies. National Institute of Ecology. (in Korean with English summary)
- Joo WY., Kwon HS., Lee KE., Choi TY., Kwon YS., Jung PM., Park HJ., Kim JI., Park HS., and Lee KC. 2020. Assessment of key ecosystem assets and ecosystem services for conservation planning. National Institute of Ecology. (in Korean with English summary)
- Joo WY., Kwon HS., Yeo IA., Jang IY., Jung PM., Lee KC., Park HJ., Kim JI., and Seo CW. 2019. Assessment of key ecosystem assets and their services and development of conservation strategies. National Institute of Ecology. (in Korean with English summary)
- Kim BR., Lee JH., Kim IK., Kim SH., and Kwon HS. 2019. Rapid assessment of ecosystem services apply to local stakeholders. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*. 22(1): 1-11. (in Korean with English)
- Kwon HS., Lee JH., Choi TY., Kim IK., Kim SH., Lee JE., Jun BS., Jeong DY., Joo WY., and Seo CW. 2019. A study on the evaluation and awareness of local ecological value. National Institute of Ecology. (in Korean with English)
- Kwon HS., Lee JH., Kim IK., Kim SH., Kim BR., Jun BS., Lee JE., Joo WY., Park EJ., and Kim JK. 2018. A study on the evaluation and awareness of local ecological value. National Institute of Ecology. (in Korean with English)
- Kwon HS., Lee JH., Kim IK., Kim SH., Kim BR., Kim HR., Jun BS., Lee JE., Oh HR., Joo WY., Park EJ., and Kim JK. 2017. Mapping and assessment of ecosystem services. National Institute of Ecology. (in Korean with English)
- Kwon HS., Lee JH., Kim SH., Kim BR., Kim HR., Joo WY., Jang IY., Lee KE., Bae HJ., Kim HJ., Seo CW., and Choe JC. 2016. Methodological development of ecosystem service assessment and valuation. National Institute of Ecology. (in Korean with English summary)
- La Notte A., Vallecillo S., Polce C., Zulian G., and Maes J. 2017. Implementing an EU system of accounting for ecosystems and their services. Initial proposals for the implementation of ecosystem services accounts, EUR, 28681, pp.1-124.
- Layke C., Mapendembe A., Brown C., Walpole M., and Winn J. 2012. Indicators from the global and sub-global Millennium Ecosystem

- Assessments: An analysis and next steps. *Ecological Indicators*. 17: 77-87.
- Lim ES., and Hwang JY. 2013. Taxation of local income tax for primary industry. Korea Institute of Local Finance. *Policy issue*. 2013(16): 1-107. (in Korean)
- MA. 2005a. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington DC.
- MA. 2005b. Millennium Ecosystem Assessment. Chapter 1. MA conceptual Framework. pp.29.
- Maes J., Fabrega Domenech N., Zulian G., Lopes Barbosa A., Vizcaino Martinez M., Ivits E., and Lavalle C. 2015. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: Trends in ecosystems and ecosystem services in the European Union between 2000 and 2010. EUR 27143. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; JRC94889
- Maes J., Lique Garcia M., Teller A., Erhard M., Paracchini M., Barredo Cano J., ... and Lavalle C. 2016. An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020. *ECOSYSTEM SERVICES*. 17: 14-23. JRC91996
- Maes J., Teller A., Erhard M., Conde S., Vallecillo Rodriguez S., Barredo Cano J.I., Paracchini M., Malak D.A., Trombetti M., Vigiak O., Zulian G., Addamo A., Grizzetti B., Somma F., Hagyo A., Vogt P., Polce C., Jones A., Carré A. and Hauser R. 2021. EU Ecosystem Assessment. EUR 30599 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-76-30614-6, doi:10.2760/846428, JRC123783.
- Mederly P., Černický J., Špulerová J., Izakovičová Z., Ďuricová V., Považan R., ... and Laco I. 2020. National ecosystem services assessment in Slovakia - meeting old liabilities and introducing new methods. *One Ecosystem*. 5. e53677.
- Mo Y., Park JH., Son YH., and Lee DK. 2016. Establishment of additional protected areas and applying payment for ecosystem services(PES) for sustainability of Suncheonman-bay. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*. 19(1): 171-184. (in Korean with English summary)
- Mononen L., Auvinen A. P., Ahokumpu A. L., Rönkä M., Aarras N., Tolvanen H., ... and Vihervaara P. 2016. National ecosystem service indicators: Measures of social - ecological sustainability. *Ecological Indicators*. 61: 27-37.
- Park YS., Kim CK., and Lee WS. 2021. A study of useability of ecosystem service assessment on strategic environmental assessment. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*. 24(2): 115-126. (in Korean with English summary)
- Preston S. M. 2017. Completing and using ecosystem service assessment for decision-making: an interdisciplinary toolkit for managers and analysts. Environment and Climate Change Canada.
- Statistics Korea. 2016. Korean standard industrial classification(2017).
- TEEB. 2010. The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations. Edited by Pushpam Kumar, Earthscan: London and Washington.
- The Ministry of Environment (Japan). 2016. Japan Biodiversity Outlook 2 - Comprehensive

- evaluation report of biodiversity and ecosystem services.
- Turkelboom F., Thoonen M., Jacobs S., Martin-Lopez B., and P. Berry. 2016. Ecosystem Service Trade-offs and Synergies. Open NESS Ecosystem Services Reference Book.
- UK NEA. 2011. UK National Ecosystem Assessment: Technical Report. United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre. (Watson, R., Albon, S., Aspinall, R., Austen, M., Bardgett, B., Bateman, I, ... and Winter, M.)
- Wallace KJ. 2007. Classification of ecosystem services: problems and solutions. *Biological conservation*. 139(3-4): 235-246.

Appendix 1. Main opinions from expert written consultations

Level	Main opinion
National	Draft [8] [*] → 1 st opinion → Correction [11] → 2 nd opinion → Final [10]
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Major opinion <ul style="list-style-type: none"> - Consider to standardize the indicators and methodology based on Korean Standard Industrial Classification System ▶ Crop production <ul style="list-style-type: none"> - Use the total amount of crop production - Consider eco-friendly crops only ▶ Production of timber and medicinal plants <ul style="list-style-type: none"> - Add the forestry production and make more subdivisions - Use the net wood growth for the timber production rather than wood production varying with demands ▶ Fishing/aquaculture production <ul style="list-style-type: none"> - Consider the production both from freshwater and ocean ▶ Renewable energy production <ul style="list-style-type: none"> - Consider the total renewable energy, adding such as solar and wind energy - Consider the amount of supply other than production
Local	Draft [9] → 1 st opinion → Correction [11(1)] → 2 nd opinion → Final [7(4)]
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Major opinion <ul style="list-style-type: none"> - Need to consider whether water resource usage or supply is appropriate as an indicator. - Need to clarify the spatial scope and measurement unit of the region - Consider whether renewable energy is an ecosystem service - Add the indicators reflecting regional specificity ▶ Production of local specialties <ul style="list-style-type: none"> - May not be appropriate to use the production amount as the indicator since its value varies with localities and product types - Consider the possibility of duplicate calculation with other indicators - Need to clarify the concept of local specialties
Protected Area (Site)	Draft [13] → 1 st opinion → Correction [13] → 2 nd opinion → Final [(11)]
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Major opinion <ul style="list-style-type: none"> - Indicators that do not meet the purpose of designating protected areas should not be included. - Need to distinguish whether it's a positive or negative effect for each indicator - Need to data verification steps when using the results of the field survey - Need to consider indicators for each type of protected area. Because protected areas have different types, characteristics, designated purposes, and management. - In protected areas, supporting services should be considered rather than provisioning services. This is because production activities are restricted in protected areas. - Consider add to marine-related indicators

^{*}The number of indicators

(): Choice Indicators

Appendix 2. Final list of provisioning services reflecting expert opinions (concept and methods)

Indicator		Concept	Methodology
Crop production	N L	The production of crops used as food	Statistics Korea's "Agricultural Product Production Survey" produces food crops, vegetables, fruits, and special crops
	P		If there is no statistical data, estimate by applying it to the cultivation area by referring to the production amount per unit area of the same crop
Production of forest products other than timber	N L	The production amount of forest products used as food resources other than timber (lumber)	Korea Forest Service's "Forest Products Production Survey" produces tree fruit, wild greens, mushrooms, sap, and bamboo shoots
	P	The amount of wild plants collected and permitted in forests, grasslands, and agricultural areas for the purpose of food	The amount of forest product collected or permitted to be collected within the protected areas
Livestock production	N L	The amount of meat produced from livestock raised	Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, "Major agricultural, livestock and food statistics" Meat production among livestock product supply and demand performance
	P	The amount of meat produced in protected areas through breeding for the purpose of supplying food	Estimated through the status of livestock breeding permitted in the protected area
Fishing production	N L	The production amount of fishery resources used as food resources through fishing	Statistics Korea's "Fishing Production Trend Survey" general fishery production
Aquaculture production	N L	The production amount of fishery resources used as food resources through aquaculture	Statistics Korea's "Fishing Production Trend Survey" shallow-sea fishery production
Inland fishery production	N L	The production amount of fishery resources used as food resources through fishing activities in fresh water (internal water)	Statistics Korea's "Fishing Production Trend Survey" inland fishery production
Production of aquatic animals(such as fish and shellfish)	P	The production amount of fishery resources used as food resources through fishing activities in fresh water (internal water)	The production amount of fish and shellfish caught and collected through inland fishing within the protected areas
Timber production	N L	Wood used as a material for timber used in architecture and furniture for purposes other than fuel	Korea Forest Service's "Forest Product Production Survey", the production of lumber
Plant production using resources	P	The amount of crop production or wild plant collection (permission to collect) grown for the purpose of resource utilization such as fiber, ornamental, spice, and dye	If there is no statistical data, estimate by applying it to the cultivation area by referring to the production amount per unit area of the same crop
Production of livestock products using resources	P	The production of livestock products for the purpose of utilizing resources such as leather, bristles, horns, and beeswax	The production of livestock products used as resources in protected areas
Production of medicinal crops and ginseng	N L	The production of plants that are used as medicines or raw-materials for medicines	Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, "Report on the Production Performance of Special Crops" medicinal crop production + "Major agricultural, livestock and food statistics" ginseng production

Indicator		Concept	Methodology
Production of medicinal herbs and medicinal plants	P	The production of plants that are used as medicines or raw-materials for medicines	The production of medicinal herbs and medicinal plants among the crop production in the protected areas
Renewable energy	N L	Energy used by converting renewable energy including sunlight, water, geothermal heat, precipitation, biological organisms, etc	Korea Energy Agency. "New and renewable energy supply statistics", renewable energy(solar energy, wind power, hydro power, marine energy, etc) production
	P		Electric energy production in the case of actual power generation in the protected areas
Plant production using bioenergy	P	The production (supply) of plant origin resources (such as silver grass) used as bioenergy	Supply and production of plants such as silver grass for bioenergy (ethanol) production (Use of data on bioenergy status established within the protected areas)
Production of livestock products using bioenergy	P	The production (supply) of animal origin resources (such as excrement) used as bioenergy	Supply and production of livestock manure for bioenergy (methane gas) production (Use of data on bioenergy status established within the protected areas)
Water resource production	N L	The quantity taken from water sources such as rivers and lakes to produce and supply tap water in metropolitan or local water supply	Ministry of Environment. "Water supply statistics", annual intake water volume by water intake source (stream drift water, river drainage water, dam, groundwater, other reservoir)
Water resource production	P	Water usage by type (annual fresh water supply capacity in the target area and actual water usage)	The amount of water used for each purpose provided through the water body in the protected areas (check with the water body management entity)
Production of specialties	L	It is a special product specialized in the local environment, and the production volume of specific production and processing industries that occupy a high share of national production or contribute to the local economy	Whether it is a representative specialty promoted on the official website of the local government and reflects the contents of interviews with local residents (mainly agriculture, forestry, fisheries and livestock products)

*N(National), L(Local), P(Protected area)

-
- 1) GRI. 2014. An analysis on the public value of regional agriculture in the Gyeonggi-do. Gyeonggi Research Institute.
 - IPBES. 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
 - JBO2. 2016. Japan Biodiversity Outlook
 - Jl. 2016. A study on the pluralistic functions and support programs of agriculture and rural areas. Jeonbuk Institute.
 - KEI. 2014. Development and application of integrated measurement system to assess freshwater ecosystem services in Korea(I). Korea Environment Institute.
 - KEI. 2015. Development and application of integrated measurement system to assess freshwater ecosystem services in Korea(II). Korea Environment Institute.
 - KEI. 2016. Strategies for the local economy activation through assessment of nature's benefits. Korea Environment Institute.
 - KFRI. 2010. A study on the quantification of the public interest function of forest. Korea Forest Research Institute.
 - KFRI. 2018. Results and implications of forest public interest function evaluation. Korea Forest Research Institute. National Institute of Forest Science. 137.
 - KMI. 2019. A study on public functionalities of fisheries and fishing communities. Korea Maritime Institute.
 - KNPRI. 2019. 2019 National park ecosystem service value evaluation study. Korea National Park Research Institute.
 - MA. 2005. Ecosystems and human well-being: Current state and trends, vol.1.
 - MAES. 2015. Mapping and assessment of ecosystems and their services; Trends in ecosystems and ecosystem services in the European Union between 2000 and 2010.
 - NIE. 2017. Establishment of ecosystem services assessment framework at National level. National Institute of Ecology
 - NIE. 2020. Assessment of key ecosystem assets and ecosystem services for conservation planning. National Institute of Ecology.
 - RDA. 2018. Press Release(2018.03.08.). 16 water storage in Paldang Dam per year in agricultural land nationwide, and public interest value of 281 trillion won. Rural Development Administration.
 - SI. 2019. Establishment and utilization of ecosystem service assessment in Seoul. The Seoul Institute.
 - SRI. 2016. Ecosystem service evaluation of urban park in Suwon. Suwon Research Institute.
 - TEEB Russia. 2018. Ecosystem services of Russia - Prototype national report Volume 1. Terrestrial ecosystems services.
 - UK DEFRA. 2015. Developing ecosystem accounts for protected areas in England and Scotland.
 - UK NEA. 2011. The UK national ecosystem assessment: Technical report.