



## 유럽 연합 회원국들의 초기 단계 생태계서비스 계정화 특성

### *The Characteristics of Early-Stage Ecosystem Services Accounting in Europe Union Member States*

정상규\* · 반영운\*\* · 이태호\*\*\*

Sang-Kyu Jeong\* · Yong-Un Ban\*\* · Tae-Ho Lee\*\*\*

\* First author, Professor, Dept. of Smart Eco-Industrial Convergence, Chungbuk National Univ., South Korea (neoshaky@chungbuk.ac.kr)

\*\* Coauthor, Professor, Dept. of Urban Engineering, Chungbuk National Univ., South Korea (byubyu@chungbuk.ac.kr)

\*\*\* Corresponding author, Associate Researcher, Division of Ecological Assessment, National Institute of Ecology, South Korea (utome@nie.re.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** This study aims to identify the characteristics of early-stage ecosystem services accounting carried out in the European Union(EU) member states to integrate the value of ecosystems into the economic system and support policy decision-making. **Method:** Bibliographic information and full texts of reports and papers related to ecosystem services accounting conducted worldwide from web databases were collected. Network analysis techniques were used to examine international trends in ecosystem services accounting research and calculate the interrelationships among ecosystem service accounts and their centralities. **Result:** Within the EU, the accounting for ecosystem provisioning services was predominantly focused on valuing water supply, with a national emphasis on key specialty products. For regulating services, The accounting was primarily centered on 'pollination' for plant proliferation, and a variety of accounting activities related to 'water' were undertaken, including water regulation, erosion management, and water purification. Some states were also established accounts for 'carbon sequestration' as a solution to the global climate crisis, with the Netherlands notably demonstrating highly detailed carbon-related accounts. In the case of cultural services, intensive accounting efforts were evident, particularly related to outdoor recreation and experiential activities that can be conducted outdoors. Cultural services had relatively fewer accounting cases, likely due to the challenge of valuing intangible subjects. Nonetheless, the efforts of some states attempting to account for increased housing and land prices based on amenity and aesthetic values are expected to offer new ideas for ecosystem service-based sustainable architecture and regional development.

#### KEYWORD

유럽 연합  
생태계 계정화  
생태계서비스  
생태계서비스 계정

Europe Union  
Ecosystem Accounting  
Ecosystem Service  
Ecosystem Service Accounts

#### ACCEPTANCE INFO

Received Nov. 1, 2023  
Final revision received Nov. 23, 2023  
Accepted Nov. 28, 2023

© 2023. KIEAE all rights reserved.

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

1993년 United Nations(이하 UN)은 생물종 감소를 막고 생태계를 보전하기 위해 생물다양성협약(Convention on Biological Diversity)을 발표하고 이 협약에 따라 생물다양성 보전과 생물 다양성 구성요소의 지속가능한 이용, 유전자원의 이용으로부터 발생하는 국가 간 손익을 자원 이용국과 보유국이 상호협력하여 공정하고 공평하게 배분하도록 했다[1]. 21세기에 들어서면서 UN은 세계 각국의 과학자들과 함께 2005년까지 새천년생태계평가(Millennium ecosystem assessment)를 추진하기로 계획하면서 생물종 다양성의 산물과 서비스를 설명하기 위해 생태계서비스의 개념을 도입하였다[2]. 생태계서비스는 생물학적, 화학적, 물리적 속성들과 같은 생태계 기능과 구분하여 생태계를 구성하는 요소들을 소비하여 인간의 복지를 구현하는 것[3]으로 이러한 생태계서비스의 가치가 제고되는 상황에서 UN은 2000년부터 2015년까지 수행된 밀레니엄 개발목표를 종료하고 2016년부터 2030년까지 지속가능한 개발목표

(Sustainable Development Goals)를 수립하면서 17대 주요 목표들 중에서 2건을 해양생태계와 육상생태계의 보전과 복원을 위한 목적으로 정했다[4]. 이러한 생물다양성과 자연 자본 보전을 위해 지속적으로 생태계와 관련된 데이터와 정보를 수집하고 제공하며 환경을 모니터링하기 위한 시스템 개발이 필요하게 되면서 생물다양성과 생태계 변화를 보고하고 이러한 변화가 사회와 경제에 미치는 영향을 식별하기 위한 통계적 프레임워크인 생태계 계정(Ecosystem Accounts, 이하 EA) 구축을 위한 시도가 이루어졌다. 2012년 환경-경제 계정화 시스템(System of Environmental Economic Accounting, 이하 SEEA)의 실험적인 생태계 계정(Experimental Ecosystem Accounting, EEA)이 만들어졌고[5] 유엔 통계위원회(United Nations Statistical Commission)는 2021년 '생태계 계정화'를 본격적으로 추진하기 위해 개정된 생태계 계정(SEEA-EA) 프레임워크를 채택했다[6]. 생태계서비스 계정화는 생태계가 인간의 복지와 경제에 기여하는 생태계서비스의 기여도와 변화 과정을 측정하여 지속 가능한 개발을 위한 의사결정을 지원하는 작업으로 유럽연합 집행위원회(European Commission, 이하 EC)와 유럽환경청(European Environment Agency)에 의해 2015년에 착수된 자연 자본 및 생태계서비스 계정화 통합 시스템(integrated system of natural capital and ecosystem services accounting, 이하 INCA) 프

로젝트에서는 유럽 연합(Europe Union, 이하 EU)의 발의에 따라 EC의 공동연구센터(EC-Joiny Research Centre, 이하 EC-JRC)의 주도 하에 EU 회원국들이 SEEA-EA에 부합하도록 2020년까지 생태계서비스에 관한 시범적인 초기 계정들을 개발하여 SEEA-EA의 더 나은 발전 방향을 모색하고자 했다[7]. 유럽의 대표적 통계기관인 유로스탯(Eurostat)은 2021년 INCA 프로젝트의 EU 생태계계정들의 시범적 통합 체계 개발을 위한 2단계 최종 보고를 마쳤다[8]. 2023년을 기준으로 한국에서는 전술한 생태계서비스 계정화에 대한 대응이 미비하고 관련 연구도 거의 전무하였다. 따라서 국제 환경 및 생태계 아젠다에 대한 대응을 위해 세계적인 생태계서비스 계정화와 관련된 방법론과 거버넌스 등을 이해하기 위한 사례 조사가 필요하다. 이에 이 연구에서는 생태계서비스의 가치를 경제 체계에 통합하여 정책 의사결정에 반영하기 위해 유럽에서 발의되어 수행된 초기 단계의 생태계서비스 계정화 특성들을 종합적으로 비교분석하고자 한다.

### 1.2. 연구의 범위 및 내용

이 연구에서는 EU 회원국들 중에서 생태계 계정화 발의를 통해 시범적 생태계 계정들을 개발한 9개국을 대상으로 계정화 발의 특성을 분석하였다. 이 연구에서는 생태계의 규모, 상태, 서비스, 그리고 자산 계정들 중에서 생태계서비스에 국한하여 초기 프로젝트에서 진행된 계정화 특성들을 규명하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1. 유럽의 그린딜 계획

2019년 12월 EC는 유럽의 ‘그린딜(European Green Deal)’ 계획을 발표하였다. 이 계획은 새로운 순환경제 실현 계획으로 순환경제 체제로의 전환으로 유럽의 자연 자본(natural capital)을 보호하고 청정한 대기와 수질 유지를 위해 환경 오염 감축을 성취할 목적으로 추진되었다. 나아가 지속가능한 교통, 기후 중립 성취, 신뢰성과 최적의 경제성을 갖춘 청정 에너지, 농업과 농촌의 변화, ‘농장에서 포크까지(farm to fork, F2F)’ 전략(건강과 환경을 개선하고 지속가능한 식단을 쉽게 고를 수 있는 식품환경 조성 전략), 현대화되고 단순화된 공동농업정책(common agricultural policy; CAP) 개선 제안 등을 목표로 한다. 유럽의 그린딜 실행 계획에는 3가지 범주(그린딜 관련 통계 자료 공유, 공식적 통계의 법적 근거 갱신, 공식적 통계자료 개발)의 29개 활동들이 포함되었다[9].

### 2.2. 생태계서비스

‘생태계서비스’의 정의는 매우 다양한데 초기 개념은 1864년 Marsh의 저서인 ‘인간과 자연(Man and Nature)’에서 찾아볼 수 있다[10]. 이 책에서는 자원이 무한하다는 오판과 오류를 지적하였고 자연 생태계의 유기물 분해 과정에서 인간에게 유익한 폐기물 처리 서비스가 제공된다고 언급하였다. 생태계 서비스는 생태계로부터 사람들이 얻을 수 있는, 상품과 조절 서비스, 지원 서비스, 문화 서비스들을 모두 포함하는 혜택으로 생태계와 생물들이 인류의 삶을 영

위하도록 지지하는 것[10]으로 인간이 생태계 기능으로부터 직·간접적으로 얻는 혜택이다[11]. 2000년대 들어서 유엔 주도로 각 국의 과학자 1,300여명이 2005년까지 새천년생태계평가(Millennium ecosystem assessment)를 수행하면서 생물다양성의 산물과 서비스를 설명하기 위해 생태계서비스를 ‘인간이 생태계로부터 얻는 혜택’으로 정의하였다[2]. Boyd와 Banzhaf(2005)은 생물학적, 화학적, 물리적 속성들과 같은 ‘생태계 기능’과 인간이 평가하는 생태계의 양상인 ‘생태계 서비스’를 구분하여 생태계서비스를 생태계 구성 요소의 소비를 통해 인간의 복지가 실현되는 것으로 정의하였다[12]. 생태계서비스는 상호 의존적이어서 종종 겹치기도 하지만 일반적으로 4가지 유형, 즉 공급, 규제, 지원 및 문화적 서비스로 구분된다[13]. 공급 서비스는 식품, 목재, 연료, 직물용 섬유, 물, 토양, 약용식물 등과 같은 자연의 산물을 제공하는 서비스이다. 규제 서비스는 자연 환경의 다양한 요소를 원활하게 유지하기 위해 공기와 수질을 정화하고 기후를 조절하며 탄소를 포집 및 저장하는 등의 자연적 조절을 제공하는 서비스이다. 지원 서비스는 공급 및 규제 서비스의 중요한 기초인 광합성을 유도하고 토양 및 서식지 등을 제공하는 서비스이다. 마지막으로 문화적 서비스는 자연과 접촉을 통해 얻어지는 무형의 혜택, 즉 미적, 영적 및 심리적 혜택을 제공하는 문화적 휴양 활동과 관련된 서비스로 스트레스 감소와 관련된 건강의 혜택과 연관된다.

### 2.3. 생태계서비스 계정화

2021년 3월 UN 통계위원회(UN Statistical Commission)는 52차 회의에서 SEEA-EA를 개정한 생태계 계정(SEEA-EA)을 채택하여 서식지 및 경관에 대한 데이터 구성, 생태계서비스 측정, 생태계 자산 변화 추적, 생태계 정보를 경제 및 인간의 활동과 연계시키기 위한 통합적인 통계 프레임워크 구축을 추진하였다. SEEA-EA의 표준 지침을 통해 ‘계정(accounts)’을 내부 논리가 있는 구조적 테이블 체계로 ‘계정화(accounting)’를 일관된 큰 그림(big picture)과 몇가지 총체적인 재무문서들(bottom lines)를 생성하기 위해 서로 다른 데이터 소스들을 통합하는 과정으로 정의하였다. 이 지침에서 광의적 의미의 ‘계정화’는 다양한 소스들, 모형들, 예측 절차들을 활용하여 핵심 지표들을 만들어가는 과정으로 정의되어 있다. SEEA-EA는 생태계 규모(extent), 생태계 상태, 물리적 생태계서비스 흐름, 금전적 생태계서비스 흐름, 금전적인 생태계 자산의 5가지 계정들[14]로 구성되었다(Fig. 1.).

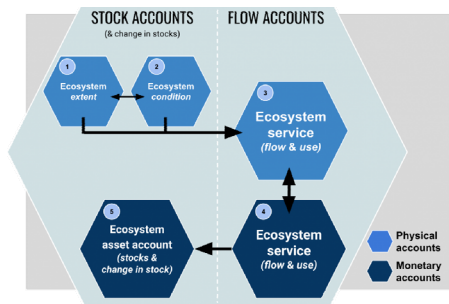


Fig. 1. Connections between the ecosystem accounts (Source: UN Statistical Commission, 2021 [14])

‘생태계 계정화’는 생태계의 사회적 기여를 금전적인 용어로 표현하여 사회 복지에 대한 기여도를 다른 친숙한 상품 및 서비스와 쉽게 비교할 수 있다. 경제와 환경의 데이터 통합으로 경제와 환경 간의 상호 관계와 환경 자산의 축적과 변화에 대한 포괄적인 정보를 제공하는 다목적 시스템이자 의사결정을 위해 경제, 환경 및 사회적 데이터를 단일화되고 일관된 프레임워크로 통합하는 SEEA는 국가계정체계(System of National Accounts)와 유사한 계정화 구조를 갖는다[6]. EC-JRC, 환경사무국(Directorate-General for Environment), 연구혁신사무국(Directorate-General for Research and Innovation), 그리고 유럽연합 통계국(European Statistical Office, 이하 Eurostat)을 포함하는 EC와 유럽환경청에 의해 2015년에 착수된 INCA 프로젝트에서는 생태계와 서비스의 매핑과 평가(Mapping and Assessment of Ecosystems and Services, MAES)를 위한 EU의 발의에 따라 JRC의 주도 하에 EU 회원국들이 SEEA-EA에 부합하도록 2020년까지 생태계서비스에 관한 시범적인 초기 계정들을 개발하여 SEEA-EA에서 제공한 기술적 권고 사항을 시험하여 더욱 발전시키고자 했다[6, 7].

### 3. 연구 방법

#### 3.1. 데이터 수집

이 연구에서는 먼저 전반적인 생태계서비스 계정화와 관련된 국제적 연구동향 파악을 위해 클라리베이트 애널리틱스(Clarivate Analytics)사의 학술 문헌 정보 제공 플랫폼인 ‘웹 오브 사이언스(Web of Science)’의 웹 데이터베이스로부터 전 세계적으로 수행된 생태계서비스 계정화 관련 논문들의 서지 정보와 전문(全文)을 확보하였다. 또한 생태계서비스 계정화의 실질적 추진 사례들을 조사하기 위해 생태계서비스 계정화를 추진한 국가들 중에서 관련 연구를 활발하게 진행한 유럽 연합 회원국들에 국한하여 대상으로 계정화 발의 및 시범 프로젝트 추진 결과를 포함한 보고서와 논문들을 확보하였다[15-23]. 이 과정에서 생태계서비스 계정화를 계획 또는 진행 중인 사례들은 이 연구의 대상에서 제외하였고 부분적이거나 시범적이라도 계정화가 완료된 사례들만 선별하여 분석하였다.

#### 3.2. 연구 동향 분석

웹 데이터베이스로부터 수집된 서지정보를 바탕으로 관련 연구성과물들 간의 상호관계를 노드와 연결선으로 구성된 네트워크로 구축하여 동시출현(co-occurrence) 분석과 공동저술(co-authoring) 분석을 통해 생태계서비스 계정화와 관련된 연구 동향을 파악하였다. 이를 통해 국가와 연구기관별 연구 역량을 파악하고 연구의 화제를 정량적으로 분석하여 가시화하였다. 이러한 서지정보 분석과 가시화는 네덜란드의 레이든(Leiden) 대학에서 개발한 “VOS viewer”[24] 프로그램을 이용하여 수행하였다.

#### 3.3. 계정화 특성 분석

생태계서비스 계정화 발의 단계에서 구축된 시범적인 생태계 서비스 계정들에 대한 네트워크 분석법을 통해 계정들 간의 상호 연관

성을 분석하여 EU에서 각 계정의 중심성을 아이겐벡터 중심성(eigenvector centrality, 이하 Ce)과 k-코어(cores) 지표를 이용하여 파악하였다. Ce는 네트워크 내에 어떤 노드와 연결된 다른 노드들의 실질적인 중요도를 파악하는 지표로 특정 노드에 연결된 다른 노드들의 개수뿐만 아니라 연결된 이웃들의 중심성을 가중치로 노드의 중심성을 판단할 수 있다[25]. k-코어 알고리즘은 복잡한 네트워크로부터 핵심이 되는 중심 모듈을 찾아내기 위한 방법으로 네트워크의 노드들이 k개 이상(k+1)의 연결선(links)을 갖는 노드들로 구성된 네트워크가 형성될 때까지 연결선 수가 k 이하인 노드를 제거하는 과정을 반복하여 가중치가 낮은 링크와 노드를 단계적으로 제거하여 핵심 모듈을 얻는다[26]. 상기의 두 지표를 이용한 분석을 위해 네트워크 분석 도구인 ‘UCInet’[27]을 활용하였다.

## 4. EU의 생태계서비스 계정화 발의 특성

### 4.1. 생태계서비스 계정화 연구 동향

‘웹 오브 사이언스’의 웹 데이터를 분석한 결과에 따르면 2022년 12월까지 총 48개국의 연구진들이 생태계 계정화와 관련된 연구를 수행했고 미국, 호주, 네덜란드, 이탈리아, 스페인이 다수의 연구를 수행한 상위 5위권 내의 국가들로 나타났다. 이들 중에서 관련 논문을 가장 많이 발표한 상위 5위권 내의 국가들을 살펴보면 미국과 호주가 각각 39건, 네덜란드가 29건, 이탈리아가 28건, 스페인이 26건의 논문들을 출간한 것으로 조사되었다. 또한 미국, 네덜란드, 노르웨이, 호주, 영국, 이탈리아는 가장 많이 인용된 연구를 수행한 상위 5위권 내의 국가들로 조사되었다(Table 1.).

2022년 12월 기준으로 354개 기관들이 생태계서비스 계정화와 관련된 연구를 수행해왔는데 네덜란드의 바헤닝언(Wageningen) 대학이 생태계 계정화와 관련하여 최다 논문(총 20편)을 발표하였고 가장 많이 인용(총 901건)된 것으로 조사되었다. 이외에도 EC-JRC, 호주 국립대학교, 스페인 국립연구협의회(Spanish National Research Council, 이하 CSIC), 미국지질조사국(United States Geological Survey, USGS), 네덜란드 통계청(Statistics Netherlands), 노르웨이 자연 연구소(Norwegian Institute Nature Research, 이하 NINA)가 10편 이상의 관련 논문들을 발표하였다. NINA와 네덜란드 통계청

Table 1. Top 10 countries conducting active research on ecosystem service accounting

State	Number of published papers	Number of citations	Average citations
Australia	41*	777*	18.95*
USA	39*	1063*	27.26*
Italy	31*	406	13.1
Netherlands	31*	959*	30.94*
Spain	27*	266	9.85
Norway	20*	947*	47.35*
United Kingdom	17	558*	32.82*
China	17	221	13
Germany	15	226	15.07
Belgium	10	142	14.2

Note: An asterisk(\*) indicates a value that falls within the top five.

은 각각 동일하게 10편의 논문들을 발표하였는데 NINA의 논문들은 모두 664회 인용되었고 네덜란드 통계청이 발표한 논문들은 471회 인용되어 바헤닝언 대학 다음으로 연구 역량이 높은 기관들로 조사되었다. 특히 네덜란드 통계청은 바헤닝언 대학과 긴밀한 관계를 유지하며 공동연구를 수행한 것으로 조사되었다(Fig. 2.). 반면에 CSIC이 경우에는 생태계 계정화와 관련하여 대부분 독자적인 연구를 수행한 것으로 나타났다.

2022년 12월 기준으로 생태계서비스 계정화와 관련된 논문 194편에 수록된 키워드들은 총 604개 용어로 3회 이상 연속 출현한 키워드들 중에서 조희어로 사용된 키워드들인 “ecosystem service”, “accounting”, 그리고 “accounts”가 포함된 키워드들을 제외한 28개 주요 키워드들의 관계를 분석하면 화제의 관련성이 ‘자연자본(natural capital)’, ‘지속가능성(sustainability)’, ‘악화(degradation)’에 집중된 것으로 산출되었다. ‘지속가능한 개발’이라는 화제는 ‘자연자본’과 ‘중다양성’과 직접적으로 연관된 것으로 나타났다. ‘도시계획’과 관련해서는 생태계서비스의 ‘경제적 가치’, ‘원격 감지(remote sensing)’와 관련된 지구관측 위성 프로그램인 ‘랜드셋(Landsat)’과 관련된 계정화 연구가 수행되었음을 파악할 수 있었다. 이와 유사하게 EC의 지구 관측 프로그램의 일환으로 개발된 ‘센티넬(Sentinel)-2’와 관련된 화제를 다루는 연구들이 출현하였음을 파악할 수 있었다. 또한 ‘토지피복변화’와 생태계서비스의 ‘가치 이전(value transfer)’ 그리고 ‘보호구역’이 상호 관련된 주제로 연구되었음을 파악할 수 있었다. ‘공간분석’은 생태계서비스의 ‘금전적 평가’를 위한 ‘매핑’과 상호 관련된 연구 주제어임을 알 수 있었다(Fig. 3.).

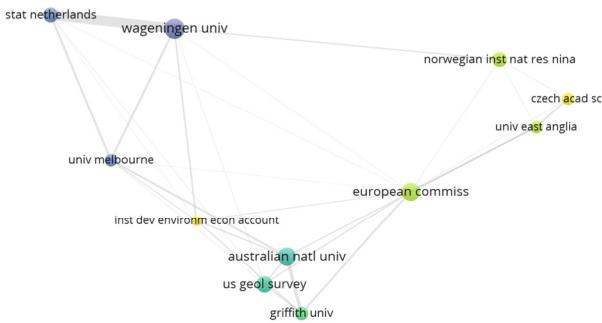


Fig. 2. Collaborative research relationship among relevant organizations with 5 or more academic papers published

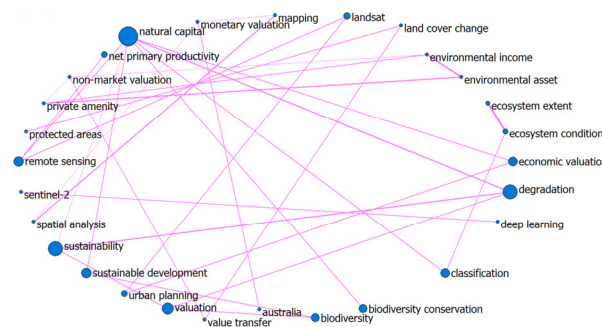


Fig. 3. The relationships between keywords appearing in 3 or more papers

## 4.2. 생태계서비스 유형별 계정화 특성

2.2절에서 언급했듯이 생태계서비스는 4대 유형들로 구분되지만 ‘지원 서비스’는 개념적 구분은 명확하나 계정화 측면에서 타 서비스와 구분이 어렵고 실제로 EU 회원국들이 주로 공급, 조절, 문화 서비스로 구분하여 계정을 구축한 것으로 나타나 이 연구에서도 3대 유형으로 구분하여 계정화 특성을 규명하였다.

### 1) 공급 서비스

사례 분석 결과에 따르면 EU의 생태계 계정화 초기 단계에서 ‘공급 서비스’의 계정화는 다수의 국가들이 응용 및 산업용으로 주로 쓰이는 ‘수자원(water)’(Ce: 0.260)에 대한 공급의 가치 산정을 위주로 이루어진 것으로 분석되었다. 또한 국가 특산물 위주로 공급 서비스의 계정화가 이루어진 것으로 분석되었다. 예를 들면, 핀란드의 경우에는 어획을 통한 ‘어족 자원(fish)’(Ce: 0.07)의 공급 서비스에 대한 계정화가 이루어졌고 네덜란드와 에스토니아의 경우에는 ‘사료’(Ce: 0.291)에 대한 계정이 만들어졌다. 특히 에스토니아의 경우에 사료와 함께 ‘약용식물’(Ce: 0.174)과 바이오매스 기반의 ‘바이오 에너지’(Ce: 0.174)에 대한 공급 서비스 계정화를 시도한 것으로 조사되었다. 목재(timber)(Ce: 0.234)의 경우에 대표적인 임산물로 덴마크와 네덜란드에서 공급 서비스 계정이 구축되었다. 반면에 불가리아에서는 생태계 서비스 계정화 발의 단계에서 목재 대신에 ‘비목재 임산물(non-wood forest products)’(Ce: 0.021)의 공급 서비스에 초점을 두어 계정을 구축한 것으로 나타났다. 특히 네덜란드의 경우에는 생태계 계정화 발의 단계에서 4개 분야(작물, 사료, 목재, 수자원)의 생태계 공급 서비스 계정들을 개발하여 EU 회원국들 중에서 가장 많은 계정을 구축한 것으로 파악되었다. 반면에 헝가리와 스페인은 생태계 계정화 초기 단계에서 공급 서비스 계정을 구축하지 못한 것으로 조사되었다(Table 2.).

Table 2. Ecosystem provisioning services accounts produced in EU member states

Provisioning services accounts (Ce)	State codes								
	BG	DK	EE	FI	HU	IT	LU	NL	ES
Bio-energy (0.174)	-	-	●	-	-	-	-	-	-
Crop (0.234)	-	●	-	-	-	-	-	●	-
fodder (0.291)	-	-	●	-	-	-	-	●	-
fish (0.07)	-	-	-	●	-	-	-	-	-
Medical plants (0.174)	-	-	●	-	-	-	-	-	-
Non-wood forest productions (0.021)	●	-	-	-	-	-	-	-	-
Timber (0.234)	-	●	-	-	-	-	-	●	-
Water (0.260)	-	●	-	●	-	●	-	●	-

Where, BG: Bulgaria, DK: Denmark, EE: Estonia, FI: Finland, HU: Hungary, IT: Italy, LU: Luxembourg, NL: Netheland, ES: Spain, and ●: Account production.



2) 조절 서비스

생태계 서비스 발의에 참여한 EU 회원국들은 생태계 ‘조절 서비스’ 계정화 과정에서 에스토니아, 헝가리, 이탈리아, 네덜란드에서는 작물 생산을 위한 ‘수분(受粉, pollination)’(Ce: 0.308)의 활용가치를 화폐단위로 환산하여 계정화한 것으로 조사되었다. 이는 공급 서비스 요소들인 작물, 바이오에너지, 사료, 약용식물, 목재 등과 같은 유용한 식물 공급을 위해 반드시 필요한 조절 서비스로 볼 수 있다. 사례 분석 결과에 따르면 유럽의 생태계 조절 서비스 계정화 초기 단계에서 수자원에 대한 조절 서비스가 다양한 형식으로 계정화된 것을 알 수 있었다. 예를 들면 이탈리아, 스페인, 룩셈부르크에서 물의 흐름과 홍수를 억제하기 위한 ‘수자원 통제(water regulation)’ (Ce: 0.019)에 관한 계정화가 이루어졌다. 이 계정은 홍수 억제 서비스 대상 지역에 있는 인구 수와 자산의 규모를 산출하여 구축되었다. 특히 스페인에서는 수자원 통제와 함께 ‘수질 정화(water purification)’ (Ce: 0.209) 및 ‘침식 제어(erosion control)’(Ce: 0.046)에 대한 계정화가 이루어졌다. 생태계 계정화 초기 단계에서 프랑스와 함께 탄소계정의 개발을 시도한 네덜란드의 경우에는 생태계서비스 계정으로 ‘수질 정화’와 함께 ‘공기 정화(air filtration)’(Ce: 0.209) 및 ‘탄소 격리(carbon sequestration)’(Ce: 0.219)에 대한 계정화가 이루어졌다. 탄소격리와 관련된 계정은 매우 상세하게 구체화되었다. 네덜란드의 예를 들면 국가 전역에 지상과 지하의 바이오매스에 1년간 저장할 수 있는 헥타르(ha)당 탄소량을 산출하여 지도 위에 해당 정보를 가시화하였다. 에스토니아의 경우에 지역적인 바람과 온도 조절과 관련된 ‘미기후 제어’(Ce: 0.174)에 대한 계정화가 유일하게 이루어졌음을 파악할 수 있었다. 또한 에스토니아는 생물종 ‘서식지 보전’(Ce: 0.174)에 대한 서비스도 유일하게 계정화한 국가인 것으로 조사되었다(Table 3).

Table 3. Ecosystem regulating services accounts produced in EU member states

Regulating services accounts (Ce)	State codes								
	BG	DK	EE	FI	HU	IT	LU	NL	ES
Air filtration (0.209)	-	-	-	-	-	-	-	●	-
Carbon sequestration (0.219)	-	-	-	●	-	-	-	●	-
Erosion control (0.046)	-	-	-	-	-	-	-	-	●
Habitat conservation (0.174)	-	-	●	-	-	-	-	-	-
Pollination (0.308)	-	-	●	-	●	●	-	●	-
Micro-climate regulation (0.174)	-	-	●	-	-	-	-	-	-
Water purification (0.314)	-	-	-	-	-	-	-	●	●
Water regulation (0.119)	-	-	-	-	-	●	●	-	●

Where, BG: Bulgaria, DK: Denmark, EE: Estonia, FI: Finland, HU: Hungary, IT: Italy, LU: Luxembroug, NL: Netheland, ES: Spain, and ●: Account production.

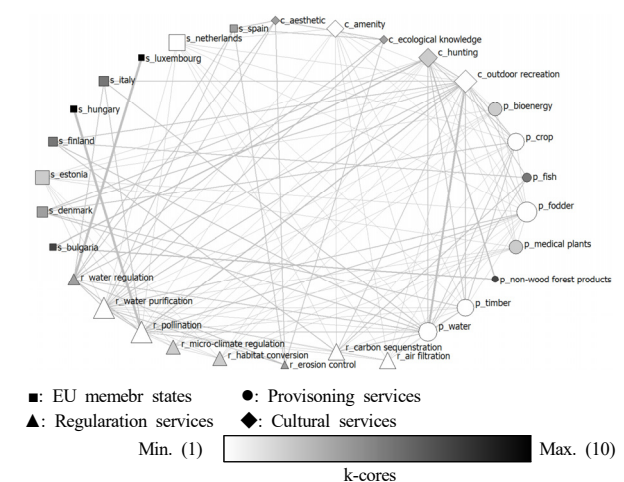
3) 문화 서비스

EU 회원국들에서 발의된 생태계 ‘문화 서비스’ 부문에서는 대개 ‘야외 휴양(outdoor recreation)’(Ce: 0.324)의 가치와 관련된 계정화가 5개국에서 집중적으로 이루어진 것으로 조사되었다. 야외 휴양 계정은 주로 휴양지 방문횟수, 여행경비를 산출하여 구축되었다. 불가리아, 덴마크, 그리고 에스토니아에서는 생태계에서 즐길 수 있는 문화 서비스로 야생동물들을 사냥하는 ‘수렵(hunting)’(Ce: 0.239)에 관한 계정화가 이루어진 것으로 조사되었다. 네덜란드에서는 지역 주거 환경에 대한 생태계의 혜택을 자연환경과 인접한 주택과 토지에 추가로 지불되는 금액으로 환산하기 위해 ‘어메니티(amenity)’(Ce: 0.209)를 문화 서비스 가치 산출 요인으로 간주하여 계정화하는 독특한 시도를 한 것으로 나타났다. 스페인의 경우에는 지역의 ‘생태학적 지식’(Ce: 0.046)과 ‘미학’(Ce: 0.046)에 관한 문화 서비스의 계정화를 시도한 것으로 조사되었다(Table 4).

Table 4. Ecosystem cultural services accounts produced in EU member states

Cultural services accounts (Ce)	State codes								
	BG	DK	EE	FI	HU	IT	LU	NL	ES
Aesthetic (0.046)	-	-	-	-	-	-	-	-	●
Amenity (0.209)	-	-	-	-	-	-	-	●	-
Ecological knowledge (0.046)	-	-	-	-	-	-	-	-	●
Hunting (0.239)	●	●	●	-	-	-	-	-	-
Outdoor recreation (0.324)	-	●	●	●	-	●	-	●	-

Where, BG: Bulgaria, DK: Denmark, EE: Estonia, FI: Fimland, HU: Hungary, IT: Italy, LU: Luxembroug, NL: Netheland, ES: Spain, and ●: Account production.



In the figure above, the node size represents the eigenvector centrality, and the brightness of the node represents the k-core value.

Fig. 4. The results of network analysis by using eigenvector centrality and k-core algorithm

## 5. 결론

이 연구에서는 EU에서 발의된 초기 단계의 생태계서비스 계정화 특성들을 규명하였다. EU 회원국들의 생태계서비스 계정 개발 수준은 국가별로 큰 편차가 있으나 Eurostat 등과 같은 선두 조직의 후원과 협력 하에 다양한 생태계서비스 계정들을 실험하고 개발해왔음을 파악할 수 있었다. EU에서 생태계 공급 서비스는 수자원 공급의 가치 산정을 위주로 이루어졌고 국가별 주력 특산품에 초점을 두어 계정화가 이루어진 것으로 밝혀졌다. 조절 서비스의 경우에는 식물 개체 증식을 위한 '수분' 위주로 계정화가 이루어졌고 '수자원'과 관련하여 홍수 조절, 침식 제어, 수질 정화와 관련된 계정화가 작업이 다양하게 행해진 것으로 밝혀졌다. 세계적인 기후 위기 상황에 대한 해법 제시를 위한 '탄소 격리'에 대한 계정도 일부 국가에서 구축되었다. 특히 네덜란드의 경우에는 탄소 관련 계정들이 매우 구체적으로 계정화된 것으로 나타났다. 문화서비스의 경우에는 '야외 휴양'과 함께 야외에서 행할 수 있는 체험 활동과 관련된 계정화가 집중적으로 이루어졌음을 파악할 수 있었다. 문화서비스의 경우에는 상대적으로 계정화 사례들이 적었는데 이는 무형적 대상을 가치화하기 어려운 점이 반영된 것으로 추정되었다. 그럼에도 불구하고 추가적으로 상승된 주택 및 토지의 가격을 에메니티 및 미적 가치로 간주하여 계정화를 시도한 일부 국가들의 도전은 생태계 서비스 기반의 지속가능한 건축 및 지역 개발을 위한 새로운 아이디어를 제공해 줄 것으로 기대된다. EU 회원국 이외에도 영국과 노르웨이 같은 유럽 국가들을 비롯하여 호주, 미국, 중국에서도 생태계서비스 계정화를 위한 활발한 연구들이 시도된 것으로 나타나 향후 연구에서는 해당 국가들의 생태계서비스 계정화에 대한 추가 검토가 필요할 것으로 본다. UN과 EU와 같은, 개별 국가를 초월한 국제 조직의 주도하에 발의된 생태계서비스 계정화의 추세가 세계적으로 확산되어 한국에서도 생태계서비스 계정들이 지속적으로 개발될 것이고 이들은 국가 정책과 관련된 의사결정 과정에서 고려해야 할 중요한 요인이 될 것으로 예상된다. 이 연구의 결과물들이 한국의 생태계서비스 계정화를 위한 기틀을 마련하고 각종 산업, 건축 및 지역 개발에 적용될 수 있는 생태계서비스의 정량적 가치를 산정하는데 유용하게 활용되기를 바란다.

## Acknowledgement

본 연구는 한국연구재단(NRF-2019R1A2C1008612), 한국산업기술진흥원(P0008421) 및 국립생태원(NIE-고유연구-2023-03)의 지원을 받아 수행되었습니다.

## References

[1] United Nations, Convention on biological diversity, 1992.  
 [2] Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and human wellbeing, Washington, DC: Island Press, 2005.  
 [3] J.W. Boyd, H.S. Banzhaf, Ecosystem services and government: The need for a new way of judging nature's value, Resources, 158, 2005, pp.16-19.  
 [4] United Nations Statistical Division, Discussion paper on principles of using

quantification to operationalize the SDGs and criteria for indicator selection, 2015.  
 [5] United Nations et al., System of environmental-economic accounting 2012: Experimental ecosystem accounting, 2014.  
 [6] United Nations, "Report on the fifty-second session", <https://unstats.un.org/UNSDWebsite/statcom/documents/52>, 2023.10.05.  
 [7] A. La Notte et al., Implementing an EU system of accounting for ecosystems and their services, European Commission, 2017.  
 [8] Eurostat, Accounting for ecosystems and their services in the European Union, 2021.  
 [9] European Commission, The European green deal, 2019.  
 [10] G.C. Daily, Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems, Washington, DC: Island Press, 1997.  
 [11] R. Constanza et al., The value of the world's ecosystem services and natural capital, Nature, 387, 1997, pp.253-260.  
 [12] J.W. Boyd, H.S. Banzhaf, Ecosystem services and government: The need for a new way of judging nature's value, Resources, 158, 2005, pp.16-19.  
 [13] G.C. Daily et al., Ecosystem services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems, Issues in Ecology, 2, 1997.  
 [14] United Nations, "System of environmental economic accounting", <https://seea.un.org/ecosystem-accounting/>, 2023.10.20.  
 [15] N. Chipev et al., Methodological framework for assessment and mapping of the state of ecosystems and ecosystem services in Bulgaria, European Environment Agency, 2017.  
 [16] I. Vind, Developing ecosystem services accounts from land accounts, Statistics Denmark, 2018.  
 [17] Ü. Ehrlich, Contingent valuation as a tool for environmental economic accounting: Case of Estonia, Estonian Discussions on Economic Policy, 29(1-2), 2021, pp.56-70.  
 [18] P. Vihervaara et al., Towards ecosystem accounting based on innovations and insights on natural capital knowledge: Finland, Finnish Environment Institute, Natural Resources Institute Finland, 2018.  
 [19] A.F. Ferenczi, I. Szucs, A.B. Gáthy, Evaluation of the pollination ecosystem service of the honey bee (*Apis mellifera*) based on a beekeeping model in Hungary, Sustainability, 15(13), 2023.06, 9906.  
 [20] S. Balbi et al., Knowledge innovation project on accounting for ecosystems: Project on ecosystem accounting for Italy, Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale, Istituto Nazionale di Statistica, 2017.  
 [21] G. Becerra-Jurado, C. Philipsen, S. Kleeschulte, Mapping and assessing ecosystems and their services in Luxembourg - Assessment results, Space4Environment, 2015.  
 [22] L. Hein et al., Ecosystem accounting in the Netherlands, Ecosystem Services, 44, 2020.08, 101118.  
 [23] M. García-Llorente et al., Socio-economic valuation of ecosystem services in Spain, In: Nuss-Girona S, Castañer M, editors, Ecosystem services: Concepts, methodologies and instruments for research and applied use, Girona, Spain: Documenta Universitaria, 2015, pp.51-64.  
 [24] N.J. Van Eck, L. Waltman, Text mining and visualization using VOSviewer, ISSI Newsletter, 7(3), 2011, pp.50-54.  
 [25] P. Bonacich, Some unique properties of eigenvector centrality, Social Networks, 29(4), 2007.10, pp.555-564.  
 [26] Y.X. Kong et al., k-core: Theories and applications, Physics Reports, 832, 2019.11, pp.1-32.  
 [27] S.P. Borgatti, M.G. Everett, L.C. Freeman, Ucinet for windows: Software for social network analysis, Analytic Technologies, 2002.