

Study Note

시범적 생태계 규모 계정을 통한 국내 생태계 변화 특성 분석

이태호 · 문희진

국립생태원 생태계서비스팀

Analysis of Ecosystem Changes Through Pilot National Ecosystem Extent Accounting

TaeHo Lee · HeeJin Moon

National Institute of Ecology, Ecosystem Services Team

요약: 본 연구에서는 시범적 생태계 규모 계정 작성을 통해 과거 30년 국내 생태계 전환 특성을 파악하고자 하였으며, 이를 환경부 대분류 토지피복도를 사용하였다. 토지피복도는 1980년대 말부터 최근(2020년)까지 4개 시기에 대한 자료가 제공되고 있다. 계정 산정표 작성을 위해 2021년 UN 통계위원회에서 채택한 SEEA-EA 규모 계정 산정 기준을 준수하였다.

연구를 통해 과거 30년의 국내 생태계 전환 특성을 정량적으로 파악할 수 있었다. 전체 기간(1990-2020년)을 기준으로 생태계 전환 특성을 분석한 결과, 각 생태계 유형별 순변화는 도시 3,495km²(164%), 농경지 -4,448km²(-18.7%), 산림 1,630km²(2.4%), 초지 -959km²(-25.2%), 습지 33km²(4.5%), 나지 286km²(22.2%), 수역 -39km²(-1.9%)로 나타났다. 한편, 각 생태계 유형의 기존 면적 유지 비율은 도시 68.5%, 농경지 56.4%, 산림 90.5%, 초지 12.4%, 습지 14.3%, 나지 8.7%, 수역 57.9%로 확인되어, 산림과 도시는 상대적으로 안정적인 면적을 유지한 반면, 초지, 습지, 나지 등은 큰 면적 변화를 보이는 것으로 나타났다.

주요어: 생태계 계정, 규모 계정, 환경경제계정체계-생태계 계정

Abstract: This study aimed to identify the characteristics of domestic ecosystem transitions over the past 30 years through the preparation of a pilot ecosystem extent accounting, using the Ministry of Environment's classification of land cover. The land cover data has been available for four periods, from the late 1980s to the most recent data in 2020. For the account preparation, the SEEA-EA guidelines for accounting adopted by the UN Statistical Commission in 2021 were followed. The study provided a quantitative analysis of domestic ecosystem transition characteristics over the past 30 years. Based on the entire period (1990–2020), the analysis of ecosystem transition characteristics revealed the net change for each ecosystem type as follows: urbanized areas 3,495km² (164%), agricultural land -4,448km² (-18.7%), forests 1,630 km² (2.4%), grasslands -959km² (-25.2%), wetlands 33km² (4.5%),

barren land 286km² (22.2%), and water bodies -39 km² (-1.9%). The persistence ratio (Stable ecosystem stock) for each ecosystem type was as follows: urbanized areas 68.5%, agricultural land 56.4%, forests 90.5%, grasslands 12.4%, wetlands 14.3%, barren land 8.7%, and water bodies 57.9%.

Keywords: Ecosystem accounting, Ecosystem Extent Accounting, System of Environmental Economic Accounting-Ecosystem Accounting

I. 서론

생태계의 시·공간적 현황과 변화를 평가하는 일은 자연자본이 인간의 복지에 어떠한 방식으로 기여하는지를 이해하기 위한 출발점이다. UN 지속가능발전목표(SDGs)와 생물다양성협약(CBD) 등 국제적 정책 체계에서도 생태계의 공간적·시간적 변화에 대한 모니터링과 정량적 평가 체계의 구축을 주요 이행 지표로 채택하고 있다(Crossman et al., 2013). 환경경제계정체계-생태계 계정(SEEA-EA)은 이러한 체계 중 하나로, 생태계와 경제자산 간의 상호작용을 체계적으로 설명하고 이를 국민계정체계에 통합하는 것을 목적으로 한다(Hein et al., 2020).

생태계 계정은 생물리학적 정보를 체계화하여 생태계의 면적과 상태 변화를 시계열로 기록한다. 또한 이를 국민계정체계와 통합함으로써 생태계와 경제·인간 활동 간의 상호작용과 연계성을 파악할 수 있도록 한다. 생태계 계정은 생태계의 양적 크기를 파악하는 규모(Extent) 계정, 생태계의 질적 상태를 측정하는 상태(Condition) 계정, 자연에서 경제 및 인간 활동으로 유입되는 물리·화폐적 흐름을 평가하는 생태계서비스 계정, 그리고 이러한 서비스를 생산하는 생태자산을 산정하는 자산(Assets) 계정으로 구성된다.

생태계 규모 계정은 계정 체계에서 다양한 생태계 유형을 명확히 구분하는 기능을 갖는다. IUCN은 Global Ecosystem Typology (GET) 보고서(Keith et al., 2020)를 통해 생태계 유형 구분의 표준화 가이드를 제공하고 있다. 또한 규모 계정은 생태계 상태 및 생태계서비스 계정을 작성하는 데 필요한 공간적 기반을 제공하므로, 그 기준과 작성 방법의 정립이 다른 계정화 작업에 우선한다. 계정 편집을 위한 공간적 경계는 국가 또는 지자체 단위의 행정구역을 기준으로 하거나, 산림, 농경지, 도시, 습지 등 특정 생태계 유형을 기준으로 설

정할 수 있다.

국제적으로 여러 국가는 SEEA-EA 표준에 부합하는 생태계 계정 구축을 위해 국가 차원의 방법론 개발에 지속적으로 노력해 왔다. 그럼에도 국가별 데이터의 가용성 및 관련 정보 수준의 차이로 인해 적용 가능한 방법론에도 불가피한 차이가 발생한다. 생태계 규모 계정 시범 구축 연구로는 스페인(Bruzón et al., 2022), 미국(Dvarskas, 2019), 독일(Grunewald et al., 2020), 네덜란드(Hein et al., 2020b)이 있으며 각 연구에서는 과거 생태계 변화 정량적으로 파악하고 계정화 단계에서의 한계와 문제점을 분석하였다. 각국은 적용 범위와 방법론에서 차이가 있지만, 공통적으로 생태계 유형을 부분적으로 표현하는 토지피복도를 기본으로 하여 생태계의 구성 요소와 기능 구분하고 변화 추세를 파악하였다.

국내 생태계 계정 관련 연구로는 유럽 사례를 중심으로 한 국외 연구 동향 분석(Jeong et al., 2023)과 생태계 계정 체계를 고려한 생태계서비스 평가 방법론 연구(Lee et al., 2023; Lee et al., 2024) 등이 대표적이다. Sohn (2023)은 국내 생태계를 25개 유형으로 분류하였으며, 이를 위해 토지피복도와 국가 데이터를 활용하였다. 국가 생태계 유형 변화 연구로는 Choi(2024)가 있으며, 이 연구에서는 대분류 토지피복도를 활용하여 과거부터 현재까지의 국가 하천·호소의 변화와 원인을 분석하였으며, 대분류의 오류를 제거하기 위해 자료 전처리를 수행하였다.

생태계 규모 계정은 앞서 언급되었듯이 생태계 변화의 정량적·공간적 파악을 위한 필수 기반이 된다. 이를 통해 어느 생태계가 어떤 지역에서 어떤 속도로 증가·감소하는 파악할 수 있으며, 이러한 정보는 생태계 관리·보전 정책의 기초 자료가 된다. 국제적 움직임에도 불구하고 아직까지 국내에서는 이러한 생태계 규모 계정에 대한 연구와 국가 생태계 변화에 대한 정량적 연

구가 이뤄지지 않고 있다.

이에 본 연구는 2021년 채택된 SEEA-EA 계정 편집 기준과 원칙을 토대로 과거부터 현재까지의 공간 기반의 국가 생태계 변화를 파악할 수 있는 규모 계정을 시범적 작성하고 이를 통해 1) 과거 30년의 국토 생태계 변화 양상 파악, 2) 생태계 규모 계정의 기초 자료인 환경부 대분류 토지피복도의 규모 계정 활용성과 한계를 파악하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구의 재료

생태계 규모 계정을 작성하기 위해서는 생태계 기능 중심의 유형 분류 공간 정보가 필수적이다. 이러한 분류 체계는 국제적 기준을 준수하도록 유도되고 있으며, 생태계 규모 계정을 구성하는 주요 요소와 기준

은 다음의 네 가지로 정리할 수 있다.

첫째, 각 생태계 유형은 상호 배타적인 방식으로 구분될 수 있도록 명확한 정의를 가져야 한다. 비록 생태계 유형의 대리 지표로 토지피복 자료를 활용하더라도, 생물다양성의 중요성을 포함한 생태계 변화의 추세를 반영할 수 있는 생태학적 의미가 큰 유형과 연계되어야 한다.

둘째, 생태계 범위를 공간적으로 명확히 구분하기 위해 유형 간 간극이 없고, 상이한 유형 간의 중복이 발생하지 않으며, 안정적으로 연계될 수 있는 정확한 공간 데이터가 필요하다.

셋째, 규모 계정표(Extent Accounting Table)의 구축에는 논리적이고 일관된 접근 방식을 따라야 한다.

마지막으로, 국가 영토(또는 필요한 경우, 기타 공간 규모)의 다양한 시계열에 대해 생태계 규모 계정표를 안정적으로 작성할 수 있도록 하는 데이터 처리 기반

Table 1. The comparison of similarities and differences between MOE's land cover classification (Level 1) and the IUCN GET (Biome)

MOE Land Cover Classification (Level 1)		IUCN GET Biome (s) IUCN Definition		
Urbanized area	Urban, residential, industrial, and other built-up areas	T7.	Intensive land-use systems (Terrestrial)	Human activity-based agricultural and urban ecosystems, including crop cultivation and infrastructure
Agricultural land	Farmlands such as rice paddies and fields			Agriculture-based artificial ecosystems, with changes in nutrient cycling
Forests	Forest and tree-covered areas	T1.	Tropical-subtropical forests	Tropical/temperate forests and shrublands; photosynthesis and carbon storage functions
		T2.	Temperate-boreal forests and woodlands	
		T3.	Shrublands and shrubby woodlands (Terrestrial)	
Grasslands	Grasslands, such as meadows and golf courses	T4.	Savannas and grasslands (Terrestrial)	Savannas and grasslands; grazing and fire cycling functions
Wetlands	Moist lands, such as swamps and marshes	TF1.	Palustrine wetlands (Terrestrial-Freshwater transitional)	Wetlands; hydrological cycling and filtration functions
Barren Land	Bare land, deserts, and rocky areas	T5.	Deserts and semi-deserts	Deserts and semi-deserts; adaptation to extreme environments, including polar and high-altitude regions
		T6.	Polar-alpine (Terrestrial)	
Water Bodies	Water bodies such as rivers, lakes, and seas	F1.	Rivers and streams	Freshwater rivers and lakes; marine shelves and oceans; aquatic circulation
		F2.	Lakes (Freshwater)	
		M1.	Marine shelves	
		M2.	Pelagic ocean waters (Marine)	

이 마련되어야 한다.

최근 구축되고 있는 환경부 토지피복도는 통계적 측면에서의 자료 가용성, 고해상도 공간자료 제공, 대분류, 중분류, 세분류의 계층적 분류 체계, 시계열 자료 활용 가능성 등 생태계 규모 계정 작성을 위한 조건에 부합된다. 그러나 본 연구에서 이용한 대분류 지도는 과거 10년 단위로 구축되었으며, 과거 약 30년간(1990-2020)의 국가 생태계 변화를 간접적으로 추정할 수 있는 유일한 자료임에도 불구하고, 중분류, 세분류 정보를 포함하지 않는다.

대분류 토지피복도(EGIS, 2025)는 도시, 농경지, 초지, 산림, 나지, 담수, 해양 등 광범위한 유형으로 분류되며, 이들 일곱 가지 대분류 생태계 유형은 IUCN의 Global Ecosystem Typology(Keith et al., 2020) 체계에서 정의된 25개 Biome(s) 수준의 분류와 부분적으로 일치한다. 국내 Sohn(2023) 연구에서는 GET 기준에서 국내 생태계 유형을 Realm(1수준)에서 8개, Biome(2수준)에서 18개, Grop(3수준)에서 41개로 분류되는 것을 확인하였으며, 최종적으로 토지피복도(중분류, 세분류)와 국가자료를 최대한 활용하여 총 25개 유형을 구분하였다.

본 연구에서는 대분류 토지피복도를 기준으로 하여 데이터가 가지는 차이점을 살펴 보았다. 환경부 대분류 토지피복도에서는 시가지지역과 농업지역이 구분되어 있으나, GET에서는 ‘집중적 토지이용(Intensive land-use)’ 하나로 통합하고 있다. 이 밖에도 GET은 본질적으로 생태계의 기능과 토양변화, 동물과의 상호작용 등 토지피복도 분류와 본질적인 차이점이 있다. 아래 Table 1은 대분류 토지피복 구분 항목과 IUCN GET

분류와 일치하는 항목을 나타내고 있으며, 각 분류 기준 및 정의를 보여준다.

2. 연구의 방법

생태계 규모 계정 작성을 위해서는 먼저 토지피복도와 같은 공간 자료를 활용하여 생태계 유형을 체계적으로 분류한다. 이후 각 유형별 변화량, 즉 증가, 감소 및 순변화량을 산정함으로써 생태계 변화를 정량적으로 파악할 수 있다. 계정표(Accounting statement)와 교차행렬표(Cross-Tabulation Matrix)를 활용하면 생태계 유형 간 전환 양상도 체계적으로 분석할 수 있다. Figure 1은 계정 산출을 위한 절차와 주요 과정을 도식화한 것이다.

본 연구에서는 공간 기반 생태계 면적 변화를 분석하기 위해 ArcGIS Pro의 변화 감지(Change Detection) 도구를 사용하여 계정표를 작성하였다. 변화 감지 도구는 시계열 또는 촬영된 레스터 기반의 공간 데이터를 토대로 지표의 변화 양상을 정량적으로 분석할 수 있는 도구이다. 이를 통해 서로 다른 시점의 지리공간 자료를 비교할 수 있다. 또한 면적의 증가·감소 뿐만 아니라 유형 간 전환을 교차행렬 기반으로 자동 산출할 수 있다. 본 연구에서는 토지피복도의 시계열 데이터를 입력으로 활용하여 각 생태계 유형 간 전환과 면적 변화를 정량화하였으며, 계정표 작성 과정에 필요한 공간 데이터 전처리와 분석을 효율적으로 수행하였다.

SEEA-EA에서 제시하는 생태계 규모 계정의 산정 항목은 기본적으로 ‘시작(Opening)’, ‘종료(Closing)’, ‘규모증가(Addition)’, ‘규모감소(Reduction)’ 및 이에 따른 ‘순규모변화(Net Change)’로 정의된다. 또한 SEEA EA

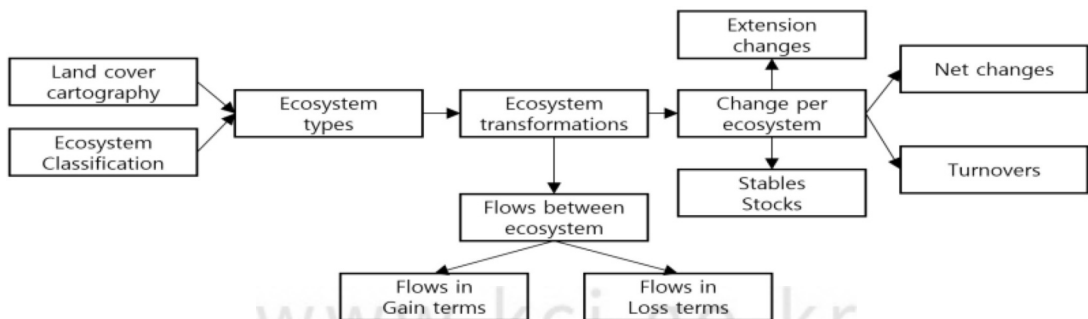


Figure 1. Procedure for Ecosystem Extent Accounting

Table 2. Calculation Methods for Ecosystem Extent Accounting by Category (SEEA-EA)

Category	Classification factor & calculation formula
Opening Ecosystem extent	A
Reductions to initial ecosystem extent	a
Additions to initial ecosystem extent	b
Net changes to ecosystem extent (additions-reductions)	$B = b - a$
Net change as % of initial extent	B/A
Closing Ecosystem extent	$C = A + B$
Stable ecosystem stock	$D = A - a$
Stable ecosystem stock as % of initial extent	D/A
Internal transformation within ecosystem type	E
Internal ecosystem type transformations as % of initial extent	E/A

에서는 규모 증가와 감소를 자연적 변화(Unmanaged)와 관리된 변화(Managed)로 구분하도록 하고 있다. 그러나 자연적 변화와 관리된 변화를 구분하는 명확한 기준이 부족하여 계정 작성에 한계가 존재하며, 본 연구에서는 시기별 대분류 토지피복도 자료가 중분류 이하 계층 정보를 포함하지 않는다는 점을 고려하여, 해당 구분 항목은 산정 과정에서 제외하였다. Table 2는 SEEA-EA에서 제시하고 있는 산정항목과 산정 방법을 보여주고 있다.

III. 결과 및 고찰

1. 연구 결과

레스터 기반의 대분류 토지피복도 4개 시점 전체 면적은 약 100,800km²로, 모든 시점에서 유사하게 나타났다. 각 시기의 유형별 면적과 구성비를 살펴보면, 도시 생태계 면적은 1990년 2,131km²(2.11%)로 가장 작

았으며, 2020년에는 5,626km²(5.58%)로 가장 넓었다. 농경지 생태계 면적 구성비는 2010년까지 약 20%대를 유지하다가 2020년에는 19.18%로 소폭 하락했다. 산림 생태계의 구성비는 1990년 66%에서 2020년 68%로 증가했다. 초지 생태계는 크지 않지만 지속 감소하여 2020년 2.82%를 기록했다. 습지 생태계 면적은 1% 이내에서 변동을 보였고, 나지는 1%~2% 사이의 구성비를 나타내며 습지와 유사하게 일정한 변화 추세를 보이지 않았다.

1) 1990~2000년 생태계 전환 특성

1990년과 2000년 사이 동안의 규모 전환 면적을 보면 도시(1,330km²), 초지(581km²), 나지(404km²)는 증가한 반면, 산림(-76km²), 농경지(-1,959km²), 수역(-129km²)은 감소한 것으로 나타났다. 세부적으로 살펴보면, 도시 생태계는 1990년 대비 2000년에 상대적으로 면적 증가율이 가장 높았으며, 초기 면적 2,131km² 기준으

Table 3. Area (km²) composition ratio (%) by ecosystem type by year, MOE classification

Category	1990		2000		2010		2020	
	Area	Ratio	Area	Ratio	Area	Ratio	Area	Ratio
Urbanized area	2,131	2.11	3,462	3.43	4,165	4.13	5,626	5.58
Agricultural land	23,787	23.60	21,828	21.65	20,622	20.46	19,339	19.18
Forests	66,972	66.43	66,896	66.36	69,207	68.65	68,602	68.05
Grasslands	3,802	3.77	4,383	4.35	2,851	2.83	2,844	2.82
Wetlands	740	0.73	588	0.58	419	0.42	774	0.77
Barren Land	1,290	1.28	1,694	1.68	1,653	1.64	1,576	1.56
Water Bodies	2,089	2.07	1,960	1.94	1,894	1.88	2,050	2.03
TOTAL	100,811	100	100,811	100	100,811	100	100,811	100

Table 4. Ecosystem Extent Accounting table 1990-2000

(Units: km², %)

	Ecosystem types						
	Urbanized area	Agricultural land	Forests	Grasslands	Wetlands	Barren Land	Water Bodies
Ecosystem extent 1990	2,131	23,787	66,972	3,802	740	1,290	2,089
Reductions to initial ecosystem extent	871	8,636	6,697	3,104	499	1,105	754
Additions to initial ecosystem extent	2,201	6,677	6,621	3,685	347	1,509	625
Net changes to ecosystem extent (additions-reductions)	1,330	-1,959	-76	581	-152	404	-129
Net change as % of initial extent	62.4	-8.2	-0.1	15.3	-20.5	31.4	-6.2
Ecosystem extent 2000	3,462	21,828	66,896	4,383	588	1,694	1,960
Stable ecosystem stock	1,260	15,151	60,275	698	241	185	1,335
Stable ecosystem stock as % of initial extent	59.1	63.7	90	18.4	32.6	14.3	63.9

Table 5. Ecosystem Change Matrix for 1990-2000

	Urbanized area	Agricultural land	Forests	Grasslands	Wetlands	Barren Land	Water Bodies	Opening (1990)
Urbanized area	1,260	433	134	126	13	134	31	2,131
Agricultural land	1,296	15,151	4,597	1,700	57	801	185	23,787
Forests	386	4,077	60,275	1,693	26	347	168	66,972
Grasslands	164	1,249	1,551	698	6	101	33	3,802
Wetlands	52	255	46	17	241	42	87	740
Barren Land	220	481	164	106	13	185	121	1,290
Water Bodies	84	182	129	43	232	84	1,335	2,089
Closing (2000)	3,462	21,828	66,896	4,383	588	1,694	1,960	

로 62.4% 증가(+1,330km²)를 기록하였다. 나지와 습지는 각각 31.4%, -20.5%의 변화율을 나타냈으며, 산림 생태계는 시작 대비 추가 및 감소 면적이 유사하여 변화율(-0.1%)이 매우 낮게 나타났다. 생태계 유형별 내부적 면적 유지율을 살펴보면, 산림 생태계는 전체 면적의 약 90%가 유지되어 안정적인 특성을 보였으며, 그 다음으로 농경지와 도시는 각각 63.7%와 59.1%의 면적이 유지되었다. 반면, 나지(14.3%)와 초지(18.4%)는 상대적으로 변화폭이 큰 것으로 나타났다.

각 생태계 유형 사이의 전환 특성을 보면, 도시 생태계 면적 증가에 가장 크게 기여한 생태계는 농경지인 것으로 나타났다. 농경지 생태계는 산림과 초지에서 상당 부분 전환이 이루어졌으며, 추가 및 감소 면적이 유사하게 나타나 순 변화량(Net Change)은 낮은 수준으로 분석되었다. 초지 생태계는 내부적 변화가 상대

적으로 큰 유형으로, 농경지 및 산림 생태계로부터의 전환 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 습지 생태계는 농경지(농경지 → 습지) 및 수역(수역 → 습지)과의 면적 전환이 주요 요인으로 분석되었다. 나지 생태계는 변화폭이 큰 유형으로, 유지 면적 대비 전환 면적이 큰 것으로 나타났으며, 도시 및 농경지로의 전환뿐만 아니라 기존 농경지가 나지로 전환되는 면적 또한 상당히 큰 것으로 확인되었다(Table 5).

2) 2000~2010년 생태계 전환 특성

2000년과 2010년 두 시기 사이의 생태계 변화 특성을 순변화기준, 농경지(-5.5%), 초지(-35.0%), 습지(-28.7%), 나지(-2.4%)의 면적은 감소한 반면, 도시(20.3%)와 산림(3.5%) 생태계는 면적이 증가한 것으로 나타났다. 특히 산림 생태계는 과거 1990년과 2000년 사이에는 -0.1%로

Table 6. Ecosystem Extent Accounting table 2000-2010

(Units: km², %)

	Ecosystem type						
	Urbanized area	Agricultural land	Forests	Grasslands	Wetlands	Barren Land	Water Bodies
Ecosystem extent 2000	3,462	21,828	66,896	4,383	588	1,694	1,960
Reductions to initial ecosystem extent	874	4,931	3,108	2,814	263	919	349
Additions to initial ecosystem extent	1,577	3,725	5,419	1,282	94	879	283
Net changes to ecosystem extent (additions-reductions)	703	-1,206	2,311	-1,532	-169	-41	-65
Net change as % of initial extent	20.3	-5.5	3.5	-35.0	-28.7	-2.4	-3.3
Ecosystem extent 2010	4,165	20,622	69,207	2,851	419	1,653	1,894
Stable ecosystem stock	2,588	16,897	63,788	1,569	325	775	1,611
Stable ecosystem stock as % of initial extent	74.8	77.4	95.4	35.8	55.3	45.7	82.2

Table 7. Ecosystem Change Matrix for 2000-2010

	Urbanized area	Agricultural land	Forests	Grasslands	Wetlands	Barren Land	Water Body	Opening (2000)
Urbanized area	2,588	446	160	90	9	145	24	3,462
Agricultural land	723	16,897	3,171	558	27	339	113	21,828
Forests	226	2,067	63,788	509	12	223	71	66,896
Grasslands	188	715	1,800	1,569	4	83	24	4,383
Wetlands	29	141	19	25	325	22	27	588
Barren Land	374	281	153	81	6	774	25	1,694
Water Bodies	37	74	116	19	36	67	1,611	1,960
Closing (2010)	4,165	20,621	69,207	2,851	419	1,653	1,895	

미미하게 감소하였으나, 이 시기에는 3.5% 크게 증가한 것으로 나타났다. 각 생태계 유형별 내부 면적유지 비율은 도시 74.8%, 농경지 77.4%, 숲 95.4%, 초지 35.8%, 습지 55.3%, 나지 45.7%로 나타나, 전반적으로 과거에 안정적인 면적을 유지 경향을 보였다.

유형별 전화 특성을 보면 도시 생태계는 이전 분석과 마찬가지로 농경지에서 도시로의 전환이 가장 크게 나타났다. 또한 농경지는 도시뿐만 아니라 산림 생태계와의 면적 전환에서도 크게 기여를 한 것으로 확인되었다. 초지 생태계는 대폭 감소하였는데, 이는 일부 초지가 산림으로 전환된 결과로 판단된다. 습지 생태계 감소의 원인은 농경지로의 전환(141 km²)이 주요 원인으로 나타났다. 또한 나지 생태계는 도시 생태계로의 전환 면적이 큰 것으로 나타났으며, 기존 나지의 유지 면적(774km²) 대비 변화(374km²) 폭이 상당한 것

로 확인되었다.

3) 2010~2020년 생태계 전환 특성

최근 2010년과 2020년 10년 사이의 생태계 전환 특성을 살펴보면, 도시 생태계 면적은 이전 기간과 유사하게 증가한 것으로 나타났다. 습지 생태계는 80.7%의 면적이 유지되면서 순 증가를 보였다. 그 밖의 생태계 유형은 농경지 -6.2%, 산림 -0.9%, 초지 -0.2%, 나지 -4.7%로 변화하였다. 각 생태계 유형별 기존 면적 유지 비율은 도시 95.1%, 농경지 90.6%, 산림 98.0%, 초지 80.7%, 습지 54.7%, 나지 68.0%로 나타나, 도시와 산림이 상대적으로 안정적인 면적을 유지한 반면, 습지와 나지는 비교적 변화폭이 큰 것으로 확인되었다.

세부 생태계 유형별 전환 특성을 살펴보면, 도시 생태계로 전환된 면적에서 가장 큰 기여를 한 유형은 농

Table 8. Ecosystem Extent Accounting table 2010-2020

(Units: km², %)

	Ecosystem type						
	Urbanized area	Agricultural land	Forests	Grasslands	Wetlands	Barren Land	Water Bodies
Ecosystem extent 2010	4,165	20,622	69,207	2,851	419	1,653	1,894
Reductions to initial ecosystem extent	203	1,938	1,373	548	189	529	302
Additions to initial ecosystem extent	1,664	655	768	541	544	452	457
Net changes to ecosystem extent (additions-reductions)	1,461	-1,283	-605	-7	355	-77	155
Net change as % of initial extent	35.1	-6.2	-0.9	-0.2	84.0	-4.7	8.2
Ecosystem extent 2020	5,626	19,340	68,602	2,844	774	1,576	2,049
Stable ecosystem stock	3,961	18,684	67,834	2,303	230	1,124	1,592
Stable ecosystem stock as % of initial extent	95.1	90.6	98.0	80.7	54.7	68.0	84.1

Table 9. Ecosystem Change Matrix for 2010-2020

	Urbanized area	Agricultural land	Forests	Grasslands	Wetlands	Barren Land	Water Bodies	Opening (2010)
Urbanized area	3,961	58	30	20	36	36	24	4,165
Agricultural land	715	18,684	472	213	217	183	138	20,622
Forests	375	366	67,834	235	79	134	184	69,207
Grasslands	192	64	210	2,302	31	28	24	2,851
Wetlands	19	74	2	14	230	24	56	419
Barren Land	321	49	38	51	38	1,124	32	1,653
Water Bodies	43	44	16	9	143	47	1,592	1,894
Closing (2020)	5,626	19,339	68,602	2,844	774	1,576	2,050	

경지로, 715km²를 차지하였으며, 산림 375km², 나지 321km²가 뒤를 이었다. 농경지 생태계는 도시로의 전환 면적이 가장 컸으며, 농경지 면적 472km²가 산림으로 전환된 것으로 나타났다. 산림 생태계는 도시와 농경지에서 각각 375km², 366km²가 전환되어 유사한 면적 변화를 보였다. 초지 생태계는 상당한 면적이 도시로 순변화되는 특징을 나타냈다.

습지 생태계는 농경지와 전환 특성이 두드러졌는데, 습지에서 농경지로 변환된 면적은 74km²였으며, 반대로 농경지에서 습지로 변환된 면적은 217km²로 나타났다. 나지 생태계는 도시로의 전환 면적이 가장 컸으며, 이후 농경지와 습지로의 전환도 상당한 것으로 확인되었다(Table 9).

4) 30년(1990~2020)년 사이의 생태계 전환 특성

전체 기간(1990-2020년)을 기준으로 생태계 전환 특성을 분석한 결과, 각 생태계 유형별 순변화는 도시 3,495km²(164%), 농경지 -4,448km²(-18.7%), 산림 1,630km²(2.4%), 초지 -959km²(-25.2%), 습지 33km²(4.5%), 나지 286km²(22.2%), 수역 -39km²(-1.9%)로 나타났다. 한편, 각 생태계 유형의 내부 면적유지 비율은 도시 68.5%, 농경지 56.4%, 산림 90.5%, 초지 12.4%, 습지 14.3%, 나지 8.7%, 수역 57.9%로 확인되어, 산림과 도시는 상대적으로 안정적인 면적을 유지한 반면, 초지, 습지, 나지 등은 큰 면적 변화를 보이는 것으로 나타났다.

30년간(1990-2020) 생태계 전환 특성을 유형별로 분석한 결과, 도시 생태계는 모든 다른 생태계 유형으로부터 도시 유형으로의 순증가가 관찰되었다. 농경지 생태계는 산림으로 전환되는 면적이 산림에서 농경지

Table 10. Ecosystem Extent Accounting table 1990-2020

(Units: km², %)

	Ecosystem type						
	Urbanized area	Agricultural land	Forests	Grasslands	Wetlands	Barren Land	Water Bodies
Ecosystem extent 1990	2,131	23,787	66,972	3,802	740	1,290	2,088
Reductions to initial ecosystem extent	671	10,382	6,351	3,330	634	1,177	879
Additions to initial ecosystem extent	4,166	5,934	7,981	2,371	667	1,463	840
Net changes to ecosystem extent (additions-reductions)	3,495	-4,448	1,630	-959	33	286	-39
Net change as % of initial extent	164.0	-18.7	2.4	-25.2	4.5	22.2	-1.9
Ecosystem extent 2020	5,626	19,339	68,602	2,843	773	1,577	2,049
Stable ecosystem stock	1,460	13,405	60,621	472	106	113	1,209
Stable ecosystem stock as % of initial extent	68.5	56.4	90.5	12.4	14.3	8.7	57.9

Table 11. Ecosystem Change Matrix for 1990-2020

	Urbanized area	Agricultural land	Forests	Grasslands	Wetlands	Barren Land	Water Bodies	Opening (1990)
Urbanized area	1,460	336	137	62	33	67	36	2,131
Agricultural land	2,286	13,405	5,696	1,126	272	723	279	23,787
Forests	946	3,589	60,621	1,023	96	420	277	66,972
Grasslands	313	1,071	1,767	472	34	97	48	3,802
Wetlands	96	334	47	35	106	42	80	740
Barren Land	318	400	199	72	67	113	121	1,290
Water Bodies	207	204	135	54	166	114	1,209	2,089
Closing (2020)	5,626	19,339	68,602	2,844	774	1,576	2,050	

로 전환되는 면적보다 크게 나타났다. 초지 생태계는 산림으로 전환되는 면적이 산림에서 초지로 전환되는 면적보다 높게 나타났다. 초지는 산림으로의 전환이 큰 반면, 농경지 및 산림 역시 초지로 변화하는 경향을 보였다. 습지 생태계는 농경지와 전환 비율이 높게 나타났다. 나지 생태계는 도시, 농경지, 산림과의 전환 비율이 높았다(Table 11).

2. 고찰

국가 생태계의 변화 추세 파악은 국내 생태계 관리 측면에서 뿐만 아니라 국제적 생물다양성 및 기후변화 대응의 환경무기 이행에 있어 중요한 자료이다(Han et al., 2023). 본 연구는 4개 시기의 환경부 대분류 토지피복도를 활용하여 1990-2020년 동안 국내 생태계 유형 변화를 규모 계정 체계 방식을 활용하여 정량적으로 분

석하였다. 각 시기별 변화분석 결과는 다음과 같다.

1) 1990-2000년 동안 도시, 초지, 나지는 증가하고 농경지, 산림, 습지, 수역은 감소하였으며, 이는 산업화와 도시 확장에 따른 토지 이용 변화가 반영된 결과로 해석된다. 도시 생태계의 순증가율(+62.4%)은 농경지의 도시 전환에 기인하며, 농경지가 도시화의 영향을 가장 크게 받은 것으로 나타났다.

2) 2000-2010년 동안 도시와 산림을 제외한 대부분의 생태계 유형(농경지, 초지, 습지, 나지)이 감소하였다. 이 시기의 산림 증가에는 농경지의 산림화와 초지의 산림 천이가 주요 원인으로 확인되었다. 습지는 농경지로의 전환이 주요 감소 요인으로 나타났으며, 나지는 도시 생태계로 전환되는 과정에서 중간 단계로 기능한 것으로 분석되었다.

3) 2010-2020년 동안 농경지, 산림, 초지, 나지는 감소

한 반면 도시와 습지는 증가하였다. 전반적으로 생태계 유형별 내부 유지율이 높아 토지 이용 패턴이 안정화되는 양상이 나타났으나, 농경지의 도시 전환은 지속되었다. 이는 도시 확장이 농경지 감소의 핵심 요인임을 시사한다.

4) 1990년과 2020년 자료를 비교한 결과, 도시 생태계는 3,495km²(164%)로 가장 크게 증가한 반면 농경지는 -4,448km²(-18.7%)로 감소하였다. 산림은 1,630km²(2.4%) 소폭 증가하였으며, 초지는 -959km²(-25.2%), 나지는 286km²(22.2%), 수역은 -39km²(-1.9%)를 기록하였다. 종합적으로 초지·나지·습지는 내부 유지율이 낮아 내·외부 변화가 큰 불안정한 생태계로 평가되었다.

Park(2014)는 환경부 토지피복도를 이용한 변화 지역 정확도 연구를 통해 기하보정 등 전처리 미흡으로 하천 인근 초지 구분 정확도가 낮은 이유를 규명하였다. 반면 산림 생태계는 면적이 큰 이유도 있을 수 있지만 상대적으로 높은 유지율을 보이며 장기적 안정성을 유지하였다. 그러나 산림 역시 산림 농경지화 및 수역 건기 시 초지나 나지로 판단되는 문제를 포함하고 있다 (Yoo et al., 2025)

규모 계정부표 작성 과정을 통해 대분류 토지피복도 활용 가능성과 한계를 확인할 수 있었으며, 범위 계정 산출 과정에서는 계정이 요구하는 ‘관리적 변화’와 ‘자연적 변화’ 면적을 구분 및 산정하는 것이 과거 보조 자료 부족으로 불가능한 것을 확인하였다. 이는 과거 대분류 토지피복도가 중분류 및 세분류 정보를 포함하지 않기 때문이다. 그럼에도 토지피복도를 이용한 규모 계정 산출 과정에서 국내 산림, 도시, 농경지의 생태계 전환의 특성을 확인하는 데 유용했다. 특히 범위 계정부표 기반의 내부 변화율과 유형별 전환 특성 분석을 통해, 대분류 토지피복도를 활용한 과거 생태계 유형 변화 해석에서의 한계와 잠재적 오류 가능성을 객관적으로 확인할 수 있었다.

이러한 오류 발생 원인은 토지피복도는 구축 시기별 자료원 차이, 계절적 위성영상 분류의 한계, 나지·초지 등 소규모 면적 유형의 교차행렬 민감도 등의 문제로 판단된다. 예컨대, 토지피복도에서 도시 생태계, 즉 불투수층 지역이 농경지나 산림으로 재분류되는 사례는 그 원인 파악을 어렵게 하여 해석의 신뢰성을 저해하

는 예시이다. 환경부 토지피복도가 국가 통계로 승인되어 지속적으로 구축되고 있음을 고려할 때, 토지피복도를 생태계 계정에 활용하는 것은 현실적으로 불가피하다. 따라서 토지피복도의 활용성을 높이기 위해서는 향후 중·세분류 자료를 포함한 토양, 식생, 수문 등 다양한 공간 데이터를 통합하여 국제 기준에 부합하는 국가 생태계 분류 체계를 구축할 필요가 있다. 특히 규모 계정은 상태 및 서비스 계정의 공간적 기반이므로, 국가 차원에서 명확한 원칙을 마련하고 이를 뒷받침할 제도적·기술적 체계를 구축하는 것이 필수적이다.

IV. 결론

생태계의 크기와 상태 변화에 대한 정보는 정부, 계획기관, 개발 주체 등 다양한 이해관계자에게 중요한 기초 자료로 활용된다. 생태계 규모 계정은 생태계의 공간적 위치와 지구물리학적 맥락을 제공함으로써 토지 이용·환경 특성과 정책·관리 조치 간의 관계를 해석하는 데 기여하며(Petersen, 2019), 자연 생태 복원 우선 순위 설정, 보호구역 관리, 도시 및 주변부의 연결성 설계 등 다양한 의사결정을 지원할 수 있다.

유럽을 중심으로 생태계 계정은 자연자본 관리와 정책 이행을 위한 핵심 분석 도구로 주목받고 있으나, 국가별 생태계 유형 규모 측정에 대한 표준화된 기준은 아직 미흡하다. SEEA-EA(2021)는 생태계 계정을 위한 기본 원칙을 제시하고 있으며, IUCN GET을 국제적 분류 기준으로 권고함으로써 국가 간 분류 차이를 최소화하고자 한다. 그러나 국내에서는 생태계 계정에 대한 논의와 연구가 부족하고, 이를 뒷받침할 통계 기반과 방법론 구축이 충분히 마련되지 않은 실정이다. 본 연구는 환경부 대분류 토지피복도라는 단일 데이터 세트와 SEEA-EA의 규모 계정 산정 기준을 적용하여 국가 차원의 생태계 전환 특성을 분석하였다. 그 결과, 규모 계정 산정표를 통해 지난 30년간의 국가 생태계 변화를 보다 구체적으로 파악할 수 있었다. 다만 불투수층 중심의 도시 생태계가 산림·농경지로 재분류되는 사례, 내부 유지율이 낮은 초지·습지 등에서 나타난 특성은 대분류 토지피복도 기반 해석에 한계가 있음을 보여주었다. 국제적인 환경 의무 달성 이행과 그 결과를

비교하기 위한 표준화 노력이 진행되고 있다. 따라서 우리나라 역시 생태계 계정 체계를 도입하기 위한 노력이 필요하다. 이를 위해서는 규모 계정을 시작으로 상태, 서비스 계정화 방법론의 정립과 공간·통계 데이터의 구축뿐 아니라, 생태계 정보의 공식 통계화를 위한 정책적·제도적 기반 마련이 요구된다.

사사

본 연구는 국립생태원 2025년 생태계서비스 평가 기반 정책 결정 지원 체계 수립(NIE-B-2025-03) 연구의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- Bruzón, A. G., Arrogante-Funes, P., Martínez de Anguita, P., Novillo, C. J., & Santos-Martín, F. (2022). How the ecosystem extent is changing: A national-level accounting approach and application. *Science of the Total Environment*, 815(152903), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152903>.
- Banerjee, K. J., Bagstad, M., Cicowiez, S., Dudek, M., Horridge, J. R0, & Alavalapati, E. (2020). Rutebuka Economic, land use, and ecosystem services impacts of Rwanda's green growth strategy: An application of the IEEM+ ESM platform. *Science of the Total Environment*, 729(138779), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138779>.
- 최태영, 문희진, 천금성, 이지민. (2024). 토지피복도를 활용한 과거 30년간 내륙수 생태계의 변화 분석. *환경영향평가* vol.33(6), 431-439.
- Choi, T. Y., Moon, H. J., Cheon, G. S., & Lee, J. M. (2024). Analysis of Changes in the Extent of Inland Water Ecosystems Over the Past 30 Years Using Land Cover Maps. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 33(6), 431-439.
- Crossman, N. D., Burkhard, B., Nedkov, S., Willemsen, L., Petz, K., Palomo, I., Drakou, E. G., Martín-López, B., McPhearson, T., Boyanova, K., Alkemade, R., Egoh, B., Dunbar, M. B., & Maes, J. (2013). A blueprint for mapping and modelling ecosystem services. *Ecosystem Services* 4, 4-14. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.02.001>.
- Dvaskas, A. (2019). Experimental ecosystem accounting for coastal and marine areas: A pilot application of the SEEA-EEA in Long Island coastal bays. *Environmental Geographic Information Service*. Retrieved from <https://egis.me.go.kr/>.
- Environmental Geographic Information Service[Website]. (2025). <https://egis.me.go.kr/>.
- Grunewald, K., Schweppe-Kraft, B., Syrbe, R. U., Meier, S., Krüger, T., Schorcht, M., & Walz, U. (2020). Hierarchical classification system of Germany's ecosystems as basis for an ecosystem accounting-methods and first results. *One Ecosystem*, 5(2). <https://doi.org/10.3897/oneeco.5.e50226>.
- 한상학, 강성룡 (2023) 국내 IUCN Red List of Ecosystem (생태계 적색목록) 평가를 위한 국제 사례 연구와 전략 제시. *한국습지학회지*, 25(4), 408-416.
- Han, S. H., & Kang, S. R., (2023). International Case Study and Strategy Proposal for IUCN Red List of Ecosystem(RLE) Assessment in South Korea. *Journal of Wetlands Research*, 25(4), 408-416. <https://doi.org/10.17663/JWR.2023.25.4.408>.
- Hein, L., Remme, R. P., Schenau, S., Bogaart, P. W., Lof, ME., & Horlings, E. (2020). Ecosystem accounting in the Netherlands. *Ecosystem Services*, 44, 101118. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101118>.
- 정상규, 반영운, 이태호. (2023). 유럽 연합 회원국들의 초기 단계 생태계서비스 계정화 특성. *생태환경건축학회지*, 23(6), 79-84.
- Jeong, S. K., Ban, Y. U., & Lee, T. H., (2023). The Characteristics of Early-Stage Ecosystem Services Accounting in Europe Union Member States. *KIEAE Journal*, 23(6). pp. 79-84.
- Keith, D., Ferrer-Paris, A. J., Nicholson, R. E., & Kingsford, R. (2020). IUCN Global Ecosystem Typology 2.0:

- Descriptive profiles for biomes and ecosystem functional groups. IUCN, Gland, Switzerland. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.13>.
- 이태호, 문희진, 이지민, 천금성. (2024). 생태계서비스 계정화를 위한 홍수의 잠재적 피해 평가. *환경영향평가*, 33(6), 409-421.
- Lee, T. H., Moon, H. J., Lee, J. M., & Cheon, G. S. (2024). Assessing Potential Damage of Flood Events for Ecosystem Service Account. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 33(6) 409-421.
- 이태호, 문희진, 천금성, 김정인. (2023). 홍수조절 생태계 계정 도입을 위한 전국 단위 시범 평가. *환경영향평가*, 32(6), 488-502.
- Lee, T. H., Moon, H. J., Cheon, G. S., & Kim, J. I. (2023). Pilot Evaluation for the Introduction of Ecosystem Accounting for Flood Control. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 32(6), 488-502.
- 오관영, 이명진, 노우영. (2016). 세분류 토지피복지도 분류체계 개선방안 연구, -환경부 토지피복지도를 중심으로-, 대한원격탐사학회, 32(2), 105-118.
- Oh, K. Y., Lee, M. J., & No, W. Y. (2016). A Study on the Improvement of Sub-divided Land Cover Map Classification System - Based on the Land Cover Map by Ministry of Environment. *Korean Journal of Remote Sensing The Korean Society of Remote Sensing*, 32(2), 105-118.
- 박종철, 김장수. (2014). 환경부 다중시기 토지피복도로 탐지한 토지피복 변화 지역의 정확도 평가: 구량천 유역을 사례로. *한국지도학회*, 14(1), 61-75.
- Park, J. C., & Kim, J. S. (2014). Assessment of Land-cover Change Accuracy with Multi-temporal National Land-cover Maps: A Case Study on the Guryangcheon Watershed. South Korea. *Journal of the Korean Cartographic Association*, 14(1), 61-75.
- Petersen, J. E. (2019). Natural capital accounting in support of policymaking in Europe EEA report.
- 손희정, 원수연, 전정은, 박은희, 김도희, 한상학, 송영근. (2023). 토지피복지도를 활용한 IUCN 생태계유형분류 국내 적용. *한국환경생태학회지*, 37(3), 209-220.
- Sohn, H. J., Won, S. Y., Jeon, J. E., Park, E. H., Kim, D. H., & Song, Y. K. (2023). A Study on the Application of IUCN Global Ecosystem Typology Using Land Cover Map in Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology. Korea Society of Environment and Ecology*, 37(3), 209-220.
- United Nations, & European Union. (2021). Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Monetary Fund. Organisation for Economic Co-operation and Development. World Bank System of Environmental-Economic Accounting-Ecosystem Accounting (SEEA EA). White cover publication, pre-edited text subject to official editing.
- Weber, J. L. (2007). Implementation of land and ecosystem accounts at the European Environment Agency. *Ecological Economics*, 61, 695-707. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.05.023>.
- 유철상, 송성욱. (2025). 지적도를 이용한 토지피복도의 불확실성 평가. *한국습지학회지*, 27(1), 19-31.
- Yoo, C. S., & Song, S. G. (2025). Uncertainty assessment of land cover map using cadastral map. *Journal of Wetlands Research*, 27(1), 19-31.