

Research Paper

# 농경지생태계 규모 계정화를 위한 공간데이터 활용성 비교·검증 - 토지피복도와 경지면적 통계를 중심으로 -

이태호 · 이지민

국립생태원

## Comparison and Verification of Spatial Data Usability for Agricultural Ecosystem Scale Accounting - Focusing on Cropland(LC) and Cultivated Land Area Statistics -

TaeHo Lee · JiMin Lee

National Institute of Ecology, Ecosystem Services Team

**요약:** 본 연구에서는 국가 주요 생태계인 농경지생태계 면적을 나타내는 대표적인 토지피복도와 경지면적 통계자료를 비교·검증하고자 하였다. 이를 위해 토지피복도가 제공되는 1990년, 2000년, 2010년, 2020년 4개 시기에 대한 자료를 수집하였다. 두 자료의 면적 차이 검증을 위해 상관분석과 대응표본 T-검증을 실시하였다. 또한, 면적 차이가 발생하는 공간적 분포와 군집 특성을 파악하기 위해 Moran지수를 이용한 공간적 자기 상관 분석을 수행하였다.

분석 결과 두 자료의 면적 차이는 최소 10.9%, 최대 21.4%의 차이를 보였으며, 그 차이는 지속해서 증가한 것으로 나타났다. 1990년부터 2020년 사이 토지피복도상의 농경지 변화는 17.55% 감소, 경지면적은 24.67% 감소로 나타나 두 데이터의 변화 차이를 확인하였다. 전체 분석 지역 중 토지피복도상의 면적이 경지면적보다 크게 측정된 지역은 전체 구성비의 76.13%로 나타났다.

**주요어:** 생태계 규모 계정, 토지피복 지도, 생태계 유형, 농경지

**Abstract:** In this study, we aimed to compare and verify the representative land cover(LC) maps and arable land area statistical data that represent the area of the agricultural ecosystem, a major national ecosystem. To this end, data for four periods—1990, 2000, 2010, and 2020—when land cover maps are available were collected. Correlation analysis and paired sample t-tests were conducted to verify the area differences between the two datasets. Additionally, spatial autocorrelation analysis using Moran's I was performed to identify the spatial distribution and clustering characteristics where area differences occur.

The analysis results showed that the area differences between the two datasets ranged from a

minimum of 10.9% to a maximum of 21.4%, with the differences continuously increasing. From 1990 to 2020, the change in agricultural land on the land cover maps decreased by 17.55%, while the arable land area decreased by 24.67%, confirming the difference in changes between the two datasets. Among the entire analysis regions, areas where the land cover measurement was larger than the arable land area accounted for 76.13% of the total composition ratio.

*Keywords: Ecosystem extent accounting, land cover map, Ecosystem types, Agricultural land*

## I. 서론

자연 생태계는 인류의 역사 전반에 걸쳐 인간 복지와 경제에 중요한 영향을 미치며 지속적으로 기여해 왔다(IPBES 2019; La Notte et al., 2019; MAE 2005). 국제적으로는 지속가능발전목표(SDGs)와 생물다양성협약 등을 중심으로 생태계 변화를 시·공간적으로 모니터링하고 정량화할 수 있는 체계의 중요성이 오래전부터 강조되어 왔다(Crossman et al., 2013; Maes et al., 2013). 이에 국제기구와 과학계는 유엔 통계국의 환경경제계정 체계(System of Environmental-Economic Accounting)의 부속 체계인 생태계 계정(Ecosystem Accounting)의 개발과 적용을 위해 상당한 노력을 기울여 왔다(Esen & Hein, 2020). 유엔 통계위원회는 2021년 3월 제52차 회의에서 환경경제계정체계 생태계 계정(SEEA-EA)을 공식 채택하였으며, 현재 각국은 이를 환경정책의 사결정의 주요 수단으로 활용하고 있다(United Nations & European Union, 2021).

생태계 계정은 생태계의 생물물리학적 데이터를 체계화하고, 생태계서비스를 측정하며, 생태계 규모와 상태의 변화를 추적할 수 있는 통계적 틀이다. 이 체계는 경제 및 여러 인간 활동과의 연계를 통해 생태계의 기여를 명확하게 파악할 수 있도록 한다. 생태계 계정의 구성 체계는 Figure 1에 제시하였다.

생태계 계정은 크게 규모, 상태, 서비스, 자산 계정으로 구분된다. 그 중 가장 기초적인 규모 계정은 다양한 생태계 유형의 크기와 시간에 따른 변화를 측정하고 기록하는 역할을 한다(Petersen, 2019). 또한 이를 통해 각 계정 영역에서 다양한 생태계 유형에 대한 세부 기술이 이루어져야 한다(United Nations & European Union, 2021). 생태계 규모 계정은 각 생태계 유형의 시작과 종료 재고에 관한 공간 데이터를 활용해 변화를 추적한다. 생태계 규모의 총변화와 순변화는 생태계서비스와 생물다양성에 직접적인 영향을 미치기 때문에, 환경평가나 기후 변화 연구에서 중요한 연구 주제로 강조된다(Fuchs et al., 2016). 따라서 생물다양성 보전 및 생태계서비스 유지·증진을 위해서는 규모 계정을 정량화할 수 있는 표준화된 방법을 확보하고, 연구 및 정책 기관이 신뢰할 수 있는 생태계 계정을 제공하는 노력이 필요하다(Eppink et al., 2012). 국내에서는 생태계서비스 계정에 관한 연구는 일부 수행되었다(Lee et al., 2023; Lee et al., 2024). 그러나 이러한 계정의 틀이 되는 규모 계정에 관한 논의는 거의 없다. 생태계 규모 계정을 위해서는 생태계 유형별로 표준화된 장기 공간 데이터를 확보하는 것이 필수적이다. 이를 위해 국제적으로는 생태계 유형과 유사한 토지 피복 및 토지 이용 지도를 기본 공간 자료로 활용하고, 각 유형과 관련된 보조 자료를 통해 이를 보완하려는 노력이 있었다(Yoo & Song, 2025). 이러한 방식은 기존 생태계 기능

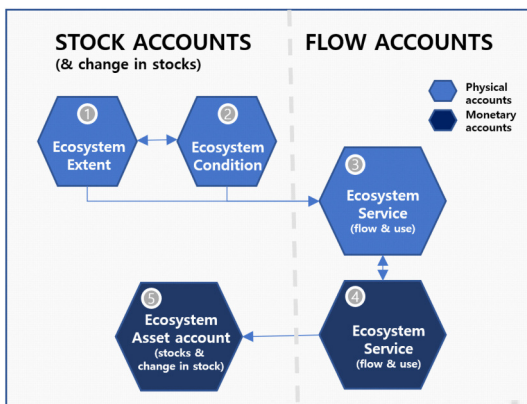


Figure 1. Ecosystem accounts and how they relate to each other(<https://seea.un.org/ecosystem-accounting>)

분류의 정확성을 높이는 데 기여하고자 하였다(Maes et al., 2013). 토지 피복도는 다양한 목적을 위해 사용되며, 높은 해상도로 정밀하게 제작된다. 또한, 광역 지역을 대상으로 하기 때문에 기본적으로 인공위성 영상 자료와 분류 기법을 활용한다(Park et al., 2007). 그러나 토지 피복도는 위성 영상과 항공 영상을 의존하고 있어, 기술적·비용적 측면에서의 의존도가 높으며, 과거 자료의 경우 정확도가 낮아 활용과 해석에 제한이 따른다. 반면, 경지 면적 자료는 농경지 면적을 나타내는 공신력 있는 국가 통계 자료로, 두 자료는 전국 단위의 농경지 면적 변화 추세를 파악할 수 있는 공통점이 있다. 다만, 측정 방법과 조사 목적에서 부분적인 차이가 존재한다. 규모 계정은 국제 공통 기준에 따른 생태계 기능 분류 지도가 우선적으로 사용되어야 하나, 현재까지 국가별 구축이 미흡하여, 토지 피복 지도를 기준으로 통계 자료와 주제도 등 보조 자료를 이용한 지도 구축 노력이 진행되고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 농경지 생태계를 대표하는 두 자료의 비교 및 검증을 통해 자료의 활용 가능 범위와 해석상의 한계를 도출하고, 농경지 규모 계정 체계 구축을 위한 과학적 근거를 제공하는 데 있다.

## II. 연구방법

### 1. 연구의 방법 및 절차

본 연구에서는 농경지 생태계를 대표하는 두 가지 자료인 토지 피복도와 경지 면적 국가 통계 자료를 비교·분석하고자 하였다. 생태계 규모 계정은 국가 단위에서 농경지 생태계의 규모를 측정하고 지속적으로 기록하는 목적을 가지며, 두 자료는 이러한 조건을 충족하

는 대표적인 자료이다.

토지 피복도는 대분류, 중분류, 세분류 체계로 구성되며, 가장 먼저 구축된 대분류 지도는 과거 국가 전체 농경지 생태계의 면적 변화 추세를 파악하는 데 적합하다. 경지 면적 통계는 행정 단위로 집계되는 자료로, 실제 경작지를 대상으로 하여 작물과 같은 공급 서비스와 관련된 농업 생산성을 측정하는 데 적합하다. 두 자료의 비교·분석을 통해 농업 생태계 규모 산정 데이터의 한계와 활용 범위, 면적 자료의 정확성을 분석하고자 하였다. 두 자료의 비교를 위해, 시군구 행정구역 단위로 데이터를 변환하여 통계 분석에 활용하였다.

시기별 두 면적 데이터의 선형적 연관성 정도와 변화 방향을 파악하기 위해 상관 분석을 실시하였으며, 대응 표본 T-검정을 통해 평균값의 차이가 통계적으로 유의미한지를 검토하였다. 마지막으로, 공간적 자기상관 분석을 통해 면적 차이가 발생한 지역에서의 공간적 상호 군집성과 의존성을 검증하였다. 이를 위해 모란지수(Moran, 1948)를 이용하였다. 모란지수 값의 범위는 -1에서 1 사이이며 1에 가까울수록 완전한 군집을 의미한다. 이를 통해 면적 차이 지역의 핫스팟, 콜드스팟을 파악하고자 하였다. 연구의 절차와 주요 방법론은 Figure 2와 같다.

### 2. 연구의 재료

본 연구에서는 환경 공간정보서비스(<https://egis.me.go.kr>)에서 제공하는 시기별 대분류 토지 피복 지도를 활용하였다. 대분류 토지 피복도는 레스터 기반 자료로, 공간 해상도는 30m급이며, 농경지를 포함한 7개의 항목으로 분류된다. 토지 피복도에서 농경지 생태계는 농업지역으로 분류된다. 지도 제작에 사용된 위성 영

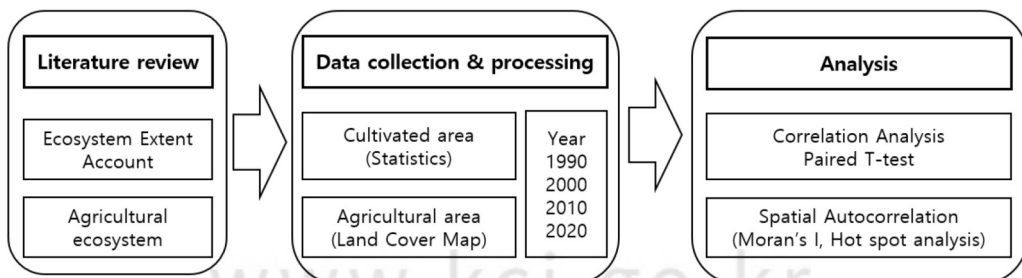


Figure 2. The Process of this study

상은 Landsat TM (30m), Landsat 7, Landsat 8, 아리랑 2호, 아리랑 3A호 (1m)이며, 사용된 원시 영상은 시기별로 1987~1989년, 1997~1999년, 2008~2010년, 2018~2019년으로, 시기마다 위성 영상의 공간해상도가 차이가 있다(EGI, 2024). 토지 피복도의 정확도는 75%로 신뢰할 수 있으며, 25%의 오차가 발생할 가능성이 있다.

농업 경작지와 관련된 국가 통계자료로는 경지면적 자료와 경지 이용 면적 자료가 대표적이다(KOSIS 국가 통계포털). 두 자료의 측정 방법에는 차이가 있지만, 경지 이용 면적 자료는 광역 기초 지자체 단위로 집계되어 있어, 본 연구에서는 시군구 단위의 경지면적 자료를 활용하였다. 경지 면적은 약 32,000개의 표본조사로 이루어지며, 2012년 이후에는 위성 영상을 활용한 원격탐사 방법으로 조사 방법이 변경되었다. 경지면적 자료 수집 시기는 토지 피복도 제작에 사용된 원시 영상 촬영 시점을 고려하여, 각 연도별로 2~3년 간 자료가 수집되었으며, 최종적으로 시기별 평균값을 사용하여 분석에 활용하였다. 대부분 토지 피복도의 30m 해상도 영상에서는 논두렁과 밭두렁을 경작 가능지와 구분하지 못하는 한계가 있어, 이로 인해 두 자료 간 차이를 정확히 파악하기 어려운 점이 있다. 따라서 두 자료 사이에는 오차가 발생할 가능성이 존재한다.

토지 피복도 제작 연도를 고려하여 분석 시기를 1990년, 2000년, 2010년, 2020년으로 설정하였으며, 최종적으로 시군구 행정 단위로 토지 피복도와 통계상의 농업지 면적 데이터를 수집하여 분석에 활용하였다. 일부 데이터는 행정구역 개편에 따라 통계적으로 집계되지 않거나, 경계 오류가 있어 분석에서 제외되었다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 주요 결과

전체적으로 농업면적 현황을 살펴보면 10년 간격의 자료에서 통계자료와 토지피복도 모두 감소 추세로 나타났다(Table 1). 각 시기별 토지피복도에서 농경지 면적과 통계에서의 면적의 차이를 보였으며, 토지피복도에서의 면적이 큰 것으로 확인되었다.

토지피복도상의 농업면적과 통계상의 경지면적 차이를 살펴보면 1990년 214,726ha(10.9%), 2000년 267,455ha(15.1%), 2010년 298,609ha(18.3%), 2020년 317,498ha(21.4%)로 토지피복도와 경지면적 조사 통계자료와의 면적 차이가 시간변화에 따라 증가했다(Table 2).

Table 3은 두 자료의 연속된 시기별 면적 변화크기를 비교한 결과를 보여 준다. 분석 결과 전체 기간인 1990

Table 1. Comparison of land cover-based agricultural area and statistical cultivated area by period

Year	Samples	Data	Area (ha)				
			Total	Mean	Std Dev	Max	Min
1990	179	Cropland (LC, late 1980s)	2,184,339	12,203	8,801	38,376	446
		Cultivated Land Area (1987~1989)	1,969,613	11,003	7,540	31,309	437
2000	149	Cropland (LC, late 1990s)	2,034,340	13,653	9,012	41,162	329
		Cultivated Land Area (1997~1999)	1,766,885	11,858	7,433	37,673	402
2010	149	Cropland (LC, late 2000s)	1,934,427	12,982	9,336	46,308	279
		Cultivated Land Area (2008~2010)	1,635,808	10,978	7,207	34,130	291
2020	148	Cropland (LC, late 2010s)	1,801,019	12,169	8,841	45,142	305
		Cultivated Land Area (2018~2019)	1,483,521	10,023	7,058	33,971	185

Table 2. Changes in agricultural area across four periods and a comparison of the two data sets

	Year			
	1990	2000	2010	2020
Cropland (LC)	2,184,339	2,034,340	1,934,427	1,801,019
Cultivated Land Area	1,969,613	1,766,885	1,635,808	1,483,521
Difference value (ratio)	214,726 (10.9%)	267,455 (15.1%)	298,609 (18.3%)	317,498 (21.4%)

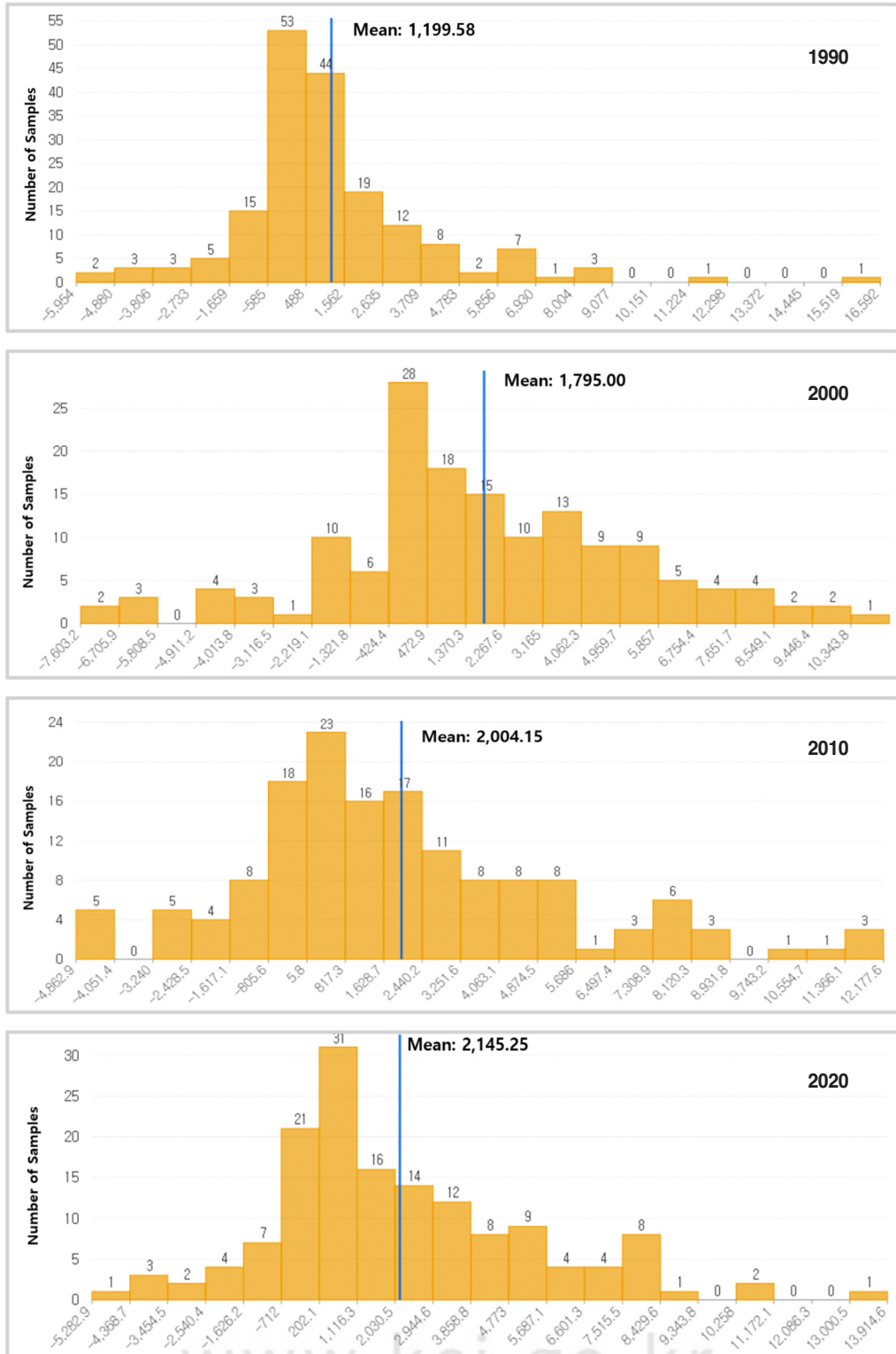


Figure 3. Distribution of Gap between Cropland (LC) and Cultivated land area (1990~2020)

Table 3. Comparison of area changes over time between Cropland (LC) and Cultivated land area

Time period	Cropland (LC)		Cultivated Land Area	
	Area (ha)	Ratio (%)	Area (ha)	Ratio (%)
From 1990 to 2000	-149,999	-6.87	-202,728	-10.29
From 2000 to 2010	-99,913	-4.91	-131,077	-7.42
From 2010 to 2020	-133,408	-6.90	-152,077	-9.31
From 1990 to 2020	-383,320	-17.55	-486,092	-24.67

Table 4. Results of correlation analysis between Cropland (LC) and Cultivated Land Area

		Cropland (LC)			
		1990	2000	2010	2020
Cultivated Land Area	1990	0.955**	-	-	-
	2000	-	0.927**	-	-
	2010	-	-	0.950**	-
	2020	-	-	-	0.946**

\* $p < .05$  \*\*  $p < 0.01$ 

년에서 2020년 사이에는 토지피복도는 -17.55% 변화하였고, 경지면적은 이보다 7.12% 큰 -24.67%의 면적 변화를 보였다. 각 인접 시기별 평균 변화율은 토지피복도가 -5.99%, 통계자료는 -9.01%로 통계 자료상의 경지면적 평균 변화율이 약간 높은 것으로 나타났다 (Table 3).

전체 행정구역 분석 데이터를 통해 두 자료 간 면적 차이 분포를 살펴보았다. 토지피복도 면적이 경지면적 보다 높게 나온 시군구는 1990년 179개 지자체 중 132 (73.74%)개, 2000년 149개 중 112개(75.17%), 2010년 149개 중 111개(74.50%), 2020년 148개 중 120개(81.09%)로 나타났다(Figure 3). 전체적으로 네 시기 모두 토지피복도에서의 농경지 면적이 통계 자료의 경지면적 보다 70% 이상 높게 나타났다.

행정단위 수준에서 집계된 토지피복도 기반 농경지면적과 통계청 경지면적 간의 상관성을 검토한 결과, 1990년에는 두 자료 간에 매우 높은 수준의 정적 상관관계가 확인되었다( $r = .955, p < .01$ ). 이어진 연도별 분석에서도 유사한 경향이 나타났다. 2000년( $r = .927, p < .01$ )과 2010년( $r = .927, p < .01$ ) 모두에서 토지피복도 농경지 면적은 통계 경지면적과 강한 정적 상관을 보였으며, 2020년 역시 높은 상관계수( $r = .946$ )가 산출되어 전반적으로 두 자료 간 일관된 관계가 유지됨을 확인할 수 있었다(Table 4).

이러한 결과는 분석 기간 전반에 걸쳐 토지피복도 자료가 행정구역 단위의 경지면적 변화를 비교적 안정적으로 반영하고 있음을 시사하며, 토지피복도 기반 농경지 면적이 통계적 경지면적의 공간적·시계열적 특성을 해석하는 데 유용한 보조자료로 활용될 수 있음을 보여준다.

경지면적 통계자료와 토지피복도의 농업지역 면적 자료의 평균값 비교를 위해 대응표본 t-검정 방법을 실시하였다. 입력 자료는 시군구 행정구역 단위로 집계된 자료를 사용하였으며, 대응표본 t-검정은 두 데이터의 차이에 대한 정규성을 따라야 하므로 이를 확인하기 위해 Shapiro-Wilk 검정을 실시한 결과 정규성을 만족하였다. 1990년은 178개의 표본을 활용하여 분석하였으며, t-검정 결과  $t = -5.851, p = 0.000$ , 평균 차이는 -1199.58ha로 분석되었으며, 2000년은  $t = -6.25, p = 0.000$ , 평균 차이 -1795.00ha 이며 2010년은  $t = -7.29$ , 유의확률=0.000 평균차이는 -2004.15ha, 2020년  $t = -8.28$ , 평균 차이 -2145.25ha로 나타났다. 전체 기간의 평균 차이의 평균값은 -1785.76ha이며 전체적인 경향성을 볼 때 두 자료의 면적 간의 평균 차이는 시기 변화에 따라 차이가 커지고 있음을 확인하였다. 특히 1990년에서 2000년 사이 49.8%로 증가하여 가장 높은 변화 차이를 보여줬다(Table 5). 결과적으로 국가 전체의 농경지생태계를 구분하는 토지피복도의 농업지역 면적과

Table 5. Paired Samples T-Test Analysis Results

Year	Paired-Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean Difference	Std Dev	Std Err Mean	95% Confidence interval of the Difference				
				Lower	Upper			
1990	-1199.58	2742.97	205.02	-1604.16	-795.01	-5.851	178	.000
2000	-1795.00	3506.66	287.27	-2362.69	-1227.30	-6.25	148	.000
2010	-2004.15	3357.63	275.06	-2547.72	-1460.58	-7.29	148	.000
2020	-2145.25	3151.63	259.06	-2657.22	-1633.29	-8.28	147	.000

통계상의 경지면적은 서로 상관성이 높은 것으로 나타났으나, 평균값은 통계적으로 차이가 있음을 확인하였다.

두 자료의 면적 차이가 발생하는 지역의 공간적 분포를 시기별로 파악하고자 하였다. 두 자료의 절대면적 차이값을 기준으로 살펴본 결과 1990년(Figure 4)에는 남한의 서쪽 지역인 경기 북부와 충청 북부, 남부 호남 일부 지역에서 면적 차이(붉은색)가 큰 지역이 분포하였다. 그러나 2000년(Figure 5)을 시작으로 2010년(Figure 6), 2020년(Figure 7)에는 그러한 지역이 집중되

는 경향을 파악할 수 있었으며, 이러한 지역 대부분은 토지피복도 면적이 경지면적보다 넓게 나타난 지점임을 확인할 수 있었다. 반대로 경지면적이 토지피복도 농업지역 면적보다 넓은 지역(노란색)의 분포를 보면 한반도 중심부와 그 주변 지역에 위치하고 있었다.

절대면적 차이는 농경지 면적이 넓은 행정구역일수록 차이가 작더라도 그 값이 클 수 있다. 따라서 두 면적 자료를 비율(토지피복/경지면적)로 비교한 결과는 아래의 Figure 8~11과 같다. 1990년(Figure 8)에는 절대면적 차이와 차이 비율값이 큰 지역이 서쪽에 동일하게

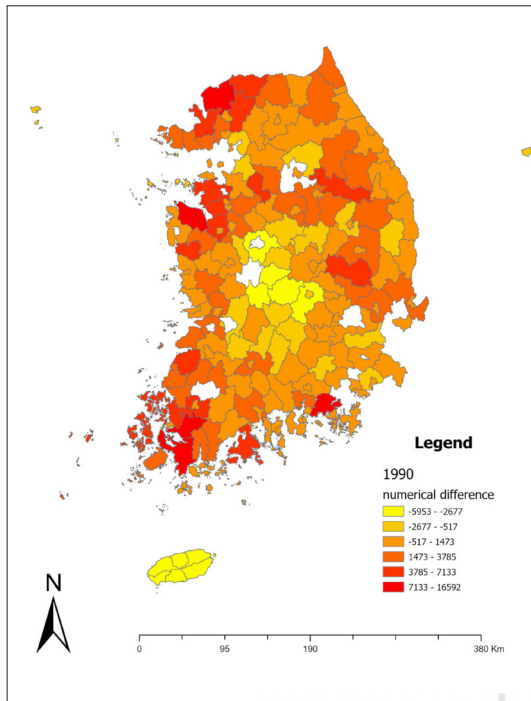


Figure 4. Spatial distribution of absolute area difference (1990)

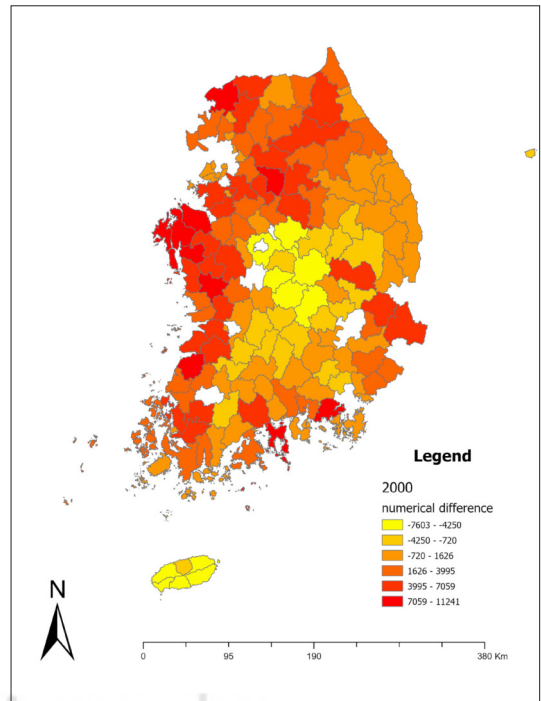


Figure 5. Spatial distribution of absolute area difference (2000)

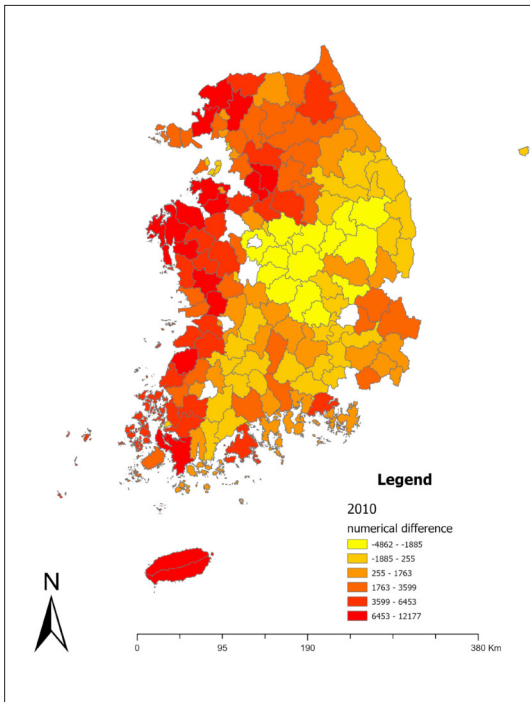


Figure 6. Spatial distribution of absolute area difference (2010)

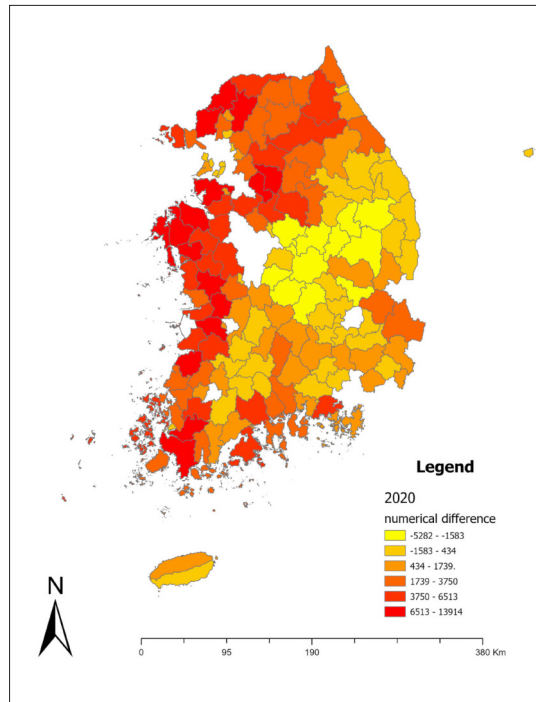


Figure 7. Spatial distribution of absolute area difference (2020)

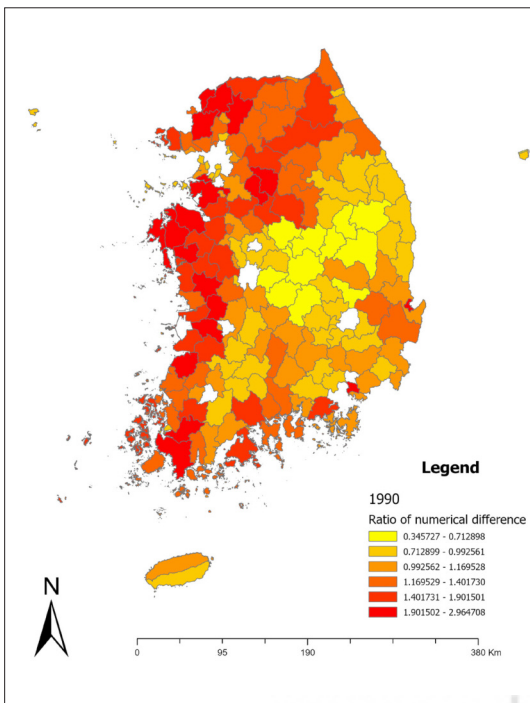


Figure 8. Spatial distribution of ratio difference (1990)

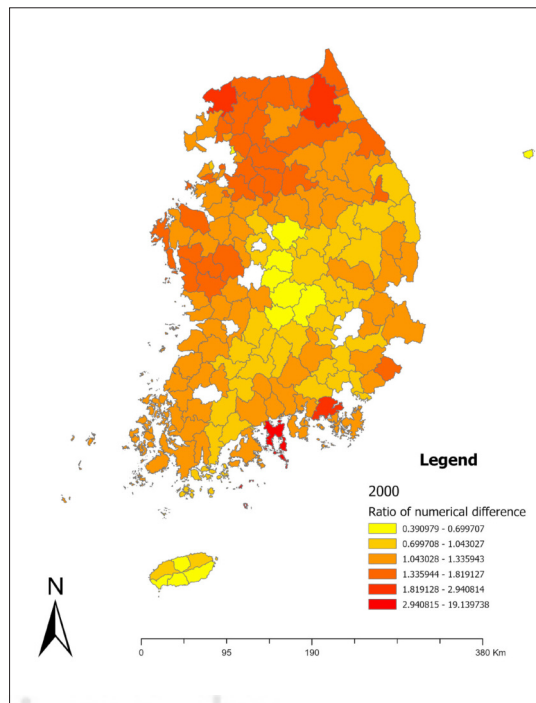


Figure 9. Spatial distribution of ratio difference (2000)

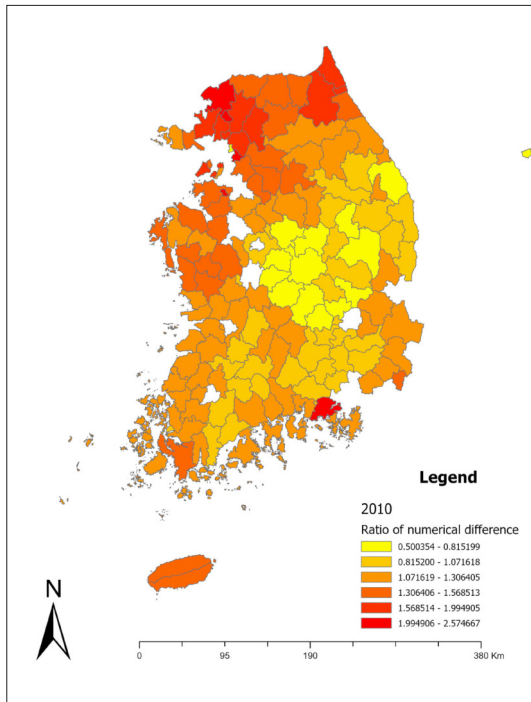


Figure 10. Spatial distribution of ratio difference (2010)

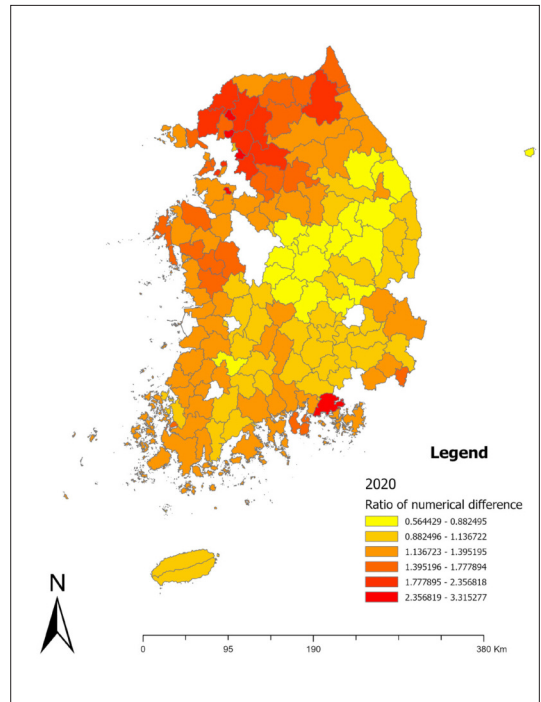


Figure 11. Spatial distribution of ratio difference (2020)

분포하는 것으로 확인되었다. 그러나 2000년(Figure 9), 2010년(Figure 10), 2020년(Figure 11)에는 두 자료의 면적 차이비율이 큰 지역이 북쪽에 위치하는 경향을 보였다.

모란지수 분석결과 99% 신뢰수준에서 1990년 0.2350, 2000년 0.1943, 2010년 0.2661, 2020년에는 0.3500으로 산정되었으며, 2020년대가 가장 높은 군집성을 보였다. 이는 전체적으로 모든 시기에 중간 수준의 공간적 양의 상관관계가 있는 것으로 해석된다(Table 6).

전국적으로 경지면적과 토지피복도의 농경지 면적 차이에 대한 분포 특성을 확인하기 위해 핫스팟(hot

spot) 분석을 실시하였다. 전체적으로 두 면적의 차이 값 크기가 큰 핫스팟 지역은 경기 및 강원 북쪽에 군집되어 분포되어 있을 것을 확인할 수 있다. 반대로 면적 차이가 작은 콜드스팟(Cold spot)은 핫스팟과 다르게 시기별로 상이한 분포 양상을 보여주었다(Figure 12). 1990년은 북쪽 핫스팟 지역을 제외한 대부분의 지역에서 고른 분포 형태를 보여주었으나, 2000년부터 남동쪽의 경남 지역부터 콜드스팟 지역이 나타나면서 이러한 콜드스팟 지역이 점차 전체적으로 확대된 모습을 확인할 수 있었다.

Table 6. Results of spatial autocorrelation (Moran's I) calculation of Cropland (LC) and Cultivated Land Area by period

Year	Moran Index	z-score	p-Value
1990	0.2350	16.2907	0.0000
2000	0.1943	11.1280	0.0000
2010	0.2661	14.8673	0.0000
2020	0.3500	18.8997	0.0000

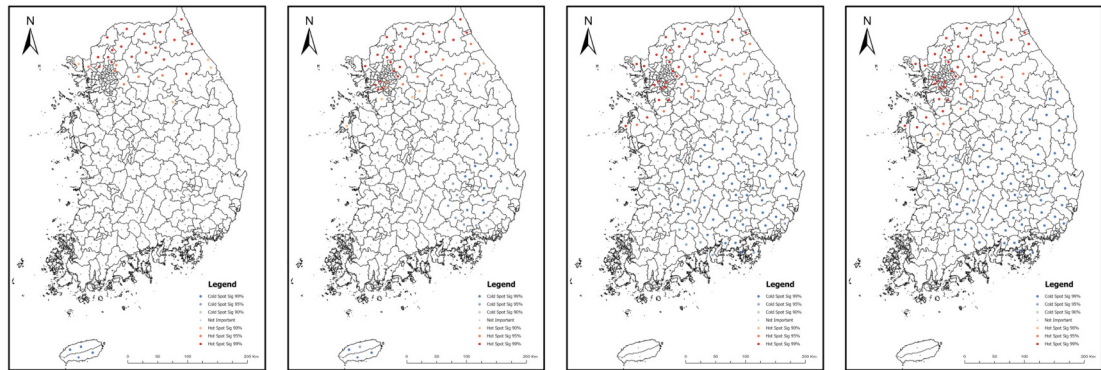


Figure 12. Results of hot spot analysis of the difference distribution between Cropland(LC) and cultivated land area (1990~2020)

## 2. 고찰

본 연구는 환경부 토지피복도와 통계청 경지면적 자료를 비교하여 농경지생태계 규모의 시계열적 변화와 공간적 차이를 분석하였다. 토지피복도와 다른 공간 자료와의 비교 연구는 국내에서도 다양하게 이뤄졌으며 토지피복도와 지적도 등 다른 공간 자료와의 비교 연구(Yoo & Song, 2025)를 통해 상호 자료 간의 차이를 분석하였다. 이 연구에서는 토지피복도 농업면적이 지적도와 50% 정도 차이가 있음을 확인하였다. 본 연구에서 사용한 두 자료는 구축 목적과 조사 방법에서는 차이가 있으나, 국가 단위의 생태계 규모 계정에서 농경지생태계의 크기와 변화를 파악할 수 있는 핵심 자료라는 점에서 공통성을 갖는다.

우선, 두 자료 모두 1990년 이후 농경지 면적이 지속적으로 감소하는 경향을 보였으나, 감소 폭은 서로 다르게 나타났다. 1990~2020년 사이 토지피복도는 -17.55%, 경지면적은 -24.67%로 통계자료 기반의 경지면적이 더 큰 감소를 보였다. 두 자료 간 면적 격차는 1990년 10.9%에서 2020년 21.4%로 증가하였다. 이는 측정 기술의 발전을 고려할 때 과거 자료의 신뢰성이 상대적으로 낮았을 가능성, 그리고 조사 범위의 차이(예: 논두렁·밭두렁 포함 여부, 시설작물 재배지 조사 방식 등)에 의한 차이로 해석될 수 있다.

행정구역별 분석에서는 모든 시기에 70% 이상의 지자체에서 토지피복도가 경지면적보다 더 큰 면적을 나타냈다. 비록 자료 간 절대적 차이가 존재하지만, 상관 분석에서는 두 자료가 높은 상관성을 보였고, 대응표

본 T-검증에서도 평균 면적 차이가 시간에 따라 증가하는 경향(1990년 1,199ha → 2020년 2,145ha)을 확인하였다. 이는 두 자료의 구조적 차이를 보여주며, 농경지생태계의 규모와 생태계서비스 평가 등에서 해석의 제한성을 시사한다. 생태계 범위와 면적은 생태계서비스 가치 평가 연구(Yi, 2021; Park & Song, 2024)에서 가장 기초적인 공간 자료로 활용된다. 따라서 정확한 정의와 경계의 구분이 무엇보다 연구 결과의 정확성에도 출하는데 무엇보다 중요하다.

공간적 분포 특성 분석 결과, 절대 면적 차이가 큰 지역은 서부 평야 지역과 경기 북부에 집중되었다. 반면, 상대 비율 차이는 1990년을 제외하면 경기·강원 북부 지역 중심으로 분포하였다. 절대면적 차이가 행정구역의 농경지 규모 영향을 받을 수 있다는 점을 고려할 때, 상대 비율이 유사한 공간 패턴을 보인다는 사실은 토지피복 및 이용 특성이 반영된 결과로 해석된다.

모란지수를 활용한 공간적 군집 분석에서는 전체적으로 중간 수준의 양의 공간 상관관계가 확인되어 두 데이터의 면적 차이가 공간적으로 군집되어 있음을 확인할 수 있었다. 1990년에는 경기·강원 북부가 핫스팟이 두드러졌으며 이러한 경향은 시간이 지남에도 유지되었다. 2000년부터 경남 지역이 콜드스팟으로 나타났으며, 시기별로 점차 콜드스팟이 경남을 중심으로 확대되는 경향을 보였다. 이는 두 자료의 면적 차이 특성이 안정적으로 변하고 있음을 의미한다.

토지피복도는 생태계 유형을 구분하는 대표적 공간 정보로 국제적으로도 활용 사례가 많다. 그러나 대분

류 기준(정확도 약 75%)의 특성상 세부 해석에는 한계가 존재한다. 본 연구를 통한 경지면적 통계자료와의 통계적 비교는 토지피복도 기반 농경지생태계 평가의 활용 가능성과 제한점을 파악하는 데 의미가 있다.

향후 연구에서는 토지피복도와 경지면적 통계 간 면적 차이의 원인을 보다 명확히 규명하기 위해 조사 범위, 시설재배지 포함 여부, 경계 처리 방식 등 자료 정확성과 조사 방식을 현장 검증 및 고해상도 공간자료를 활용하여 정량적으로 분석할 필요가 있다. 또한 대분류 토지피복도의 한계를 보완하기 위해 중·세분류 수준의 피복도와 통계자료 간 비교·검증을 수행하고, 분류 오류 유형을 평가하여 보다 정확한 농경지생태계 규모 추정 방법을 개발해야 한다. 아울러 논·밭·시설재배지 등 경작지 유형별 분석과 시·군 단위 이하의 세분화된 지역 연구를 통해 공간적 불균형과 지역적 차이를 정밀히 평가하고, 지형, 토양, 경사도, 도시화율, 농업 정책 등 공간·환경·사회적 변수를 통합한 통계적·기계학습 기반 분석을 통해 면적 차이 발생 메커니즘을 규명할 필요가 있다. 무엇보다 생태계 규모 계정 체계 도입을 위해서는 국제 분류 기준에 맞는 생태계 기능 중심의 분류 연구가 요구된다.

#### IV. 결론

생태계는 역사적으로 인간에게 다양한 혜택을 제공하며 인간 복지에 중요한 역할을 해왔다. 생태계의 체계적 관리를 위한 생태계 계정은 SDGs 달성과 생물다양성 전략 이행 등 국제 사회에서 점차 중요성이 확대되고 있다. 그중 생태계 규모 계정은 생태계의 범위와 크기를 나타내는 기초 정보로서 핵심적인 역할을 한다. 국내에서는 환경부의 토지피복도가 생태계의 기능, 형태, 규모를 시계열적으로 제공하는 유일한 공간자료이다. 비록 기술 발전으로 정확도가 향상되었으나, 과거 추세를 보여줄 수 있는 자료는 대분류 지도뿐이며, 정확도가 약 75%로 제한적 사용과 신중한 해석이 필요하다. 이에 본 연구에서는 농경지 면적을 나타내는 경지면적 통계자료와 토지피복도를 비교 분석하여 두 자료 간 면적 차이와 시계열 변화를 검토하고, 농경지 감소 경향과 추세를 객관적으로 평가하였다. 또한 면적

차이가 지역적으로 집중되는 공간적 특성을 클러스터 분석을 통해 확인하였다. 그럼에도 불구하고 두 자료 간 차이의 구체적 원인은 규명되지 않았으며, 논두렁·밭두렁 제외, 밭 경작지 및 시설재배지 조사 방식 차이 등에 따른 영향을 평가하는 과제는 후속 연구로 남겨졌다. 국내 생태계 계정 연구는 아직 미흡한 실정이나, 생태계와 경제를 연계하는 계정은 국제 환경 의무 이행 점검과 국내 생물다양성 전략 수행에 핵심적인 역할을 할 것으로 판단된다. 따라서 향후 연구에서는 규모 계정의 국내 적용 가능성을 검토하고, 과학적 근거 마련과 데이터 검증 및 확보를 위한 체계적 노력이 필요하다.

#### 사사

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

#### References

- 이태호, 문희진, 천금성, 김정인. (2023). 홍수조절 생태계 계정 도입을 위한 전국 단위 시범 평가. *환경영향평가학회지*, 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.
- 이태호, 문희진, 이지민, 천금성. (2024). 생태계서비스 계정화를 위한 홍수의 잠재적 피해 평가. *환경영향평가학회지*, 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.
- 박정재, 구자용, 김병선. (2007). 위성영상을 이용한 중분류 토지피복도의 제작과정 개선. *한국GIS학회지*, 15(1), 67-80.
- Park, J. J., Ku, C. Y., & Kim, B. S. (2007). Improvement

- of the Level-2 Land Cover Map with Satellite Image. *Journal of Geographic Information System Association of Korea*, 15(1), 67-80.
- 박윤선, 송영근. (2024). 장기간 토지피복 변화에 따른 국내 생태계서비스 간 상쇄효과(Trade-off) 분석. *한국환경생태학회지*, 38(2), 204-216.
- Park, Y. S., & Song, Y. K. (2024). Trade-off Analysis Between National Ecosystem Services Due to Long-term Land Cover Changes. *Journal of Korean Geographical Society*, 38(2), 204-216.
- 이훈중. (2021). 우리나라 생태계서비스 가치의 시공간 변화 및 특성 - 1980년대 말부터 2000년대 말 사이의 토지변화를 중심으로. *대한지리학회지*, 56(6), 675-704.
- Yi, H. C. (2021). Spatial and Temporal Dynamics of Land Change and the Effects on Ecosystem Service Values in the Republic of Korea (South Korea) between the 1980s to the 2000s. *Journal of the Korean Geographical Society*, 56(6), 675-704.
- 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.
- La Notte, A., Vallecillo, S., Marques, A., & Maes, J. (2019). Beyond the economic boundaries to account for ecosystem services. *Ecosystem Services*, 35, 116-129. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.12.007>
- Crossman, N. D., Burkhard, B., Nedkov, S., Willemen, L., Petz, K., Palomo, I., Drakou, E. G., Martin-Lopez, 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>
- Environmental Geographic Information Service (EGIS). (2024). Retrieved from <https://egis.me.go.kr/>
- Eppink, F. V., Werntze, A., Mas, S., Popp, A., & Seppelt, R. (2012). Land management and ecosystem services: How collaborative research programmes can support better policies. *GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society*, 21(1), 55-63.
- IPBES. (2019). Report of the plenary of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on the work of its seventh session. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services.
- Petersen, J. E. (2019). Natural capital accounting in support of policymaking in Europe. EEA Report.
- Maes, J., Teller, A., Erhard, M., Liqueste, C., Braat, L., Berry, P., & Santos, F. (2013). Mapping and assessment of ecosystems and their services: An analytical framework for ecosystem assessments under Action 5. 1-58.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.
- Moran, P. (1948). The interpretation of statistical maps. *Journal of the Royal Statistical Society B*, 10, 243-251.
- Fuchs, R., Schulp, C. J., Hengeveld, G. M., Verburg, P. H., Clevers, J. G., & Schelhaas, M. J. (2016). Assessing the influence of historic net and gross land changes on the carbon fluxes of Europe. *Global Change Biology*, 22(7), 2526-2539.
- Esen, S. E., & Hein, L. (2020). Development of SEEA water accounts with a hydrological model. *Science of the Total Environment*, 737, 140168.
- United Nations, European Union, Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Monetary Fund, Organisation for Economic Cooperation and Development, & World Bank. (2021). System of Environmental-Economic Accounting—Ecosystem Accounting (SEEA EA). White cover publication, pre-edited text subject to official editing.