

사회-생태계 이론을 활용한 경기도 지역 생태계서비스 공급-수요관계 분석

박윤선 · 김충기* · 이재혁** · 송영근*** · 홍현정****

서울대학교 대학원 협동과정조경학 박사과정 학생

*한국환경연구원 연구위원

**한국환경연구원 부연구위원

***서울대학교 환경대학원 환경조경학과 부교수

****한국환경연구원 전문연구원

Identifying Supply-demand Relationships on Ecosystem Services Using Socio-ecological Approach in Gyeong-gi Province

Park, Yoon-Sun · Kim, Choong-Ki* · Lee Jae-Hyuck** · Song, Young-Keun*** · Hong, Hyun-Jeong****

Ph.D. Student, Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Graduate School, Seoul National University

**Senior Research Fellow, Korea Environment Institute, Sejong*

***Associate Research Fellow, Korea Environment Institute, Sejong*

****Professor, Department of Landscape Architecture, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University*

*****Researcher, Korea Environment Institute, Sejong*

ABSTRACT : Ecosystem services play a role in promoting sustainable development by contributing to human welfare. For sustainable development, a balance between supply and demand for ecosystem services must be made. In this regard, in this study, factor analysis was performed using the results of measuring ecosystem services for the supply of ecosystem services and national statistical data representing socio-economic factors for demand for ecosystem services. The results of analysis for Gyeong-gi Province are as follows. The service supply based on the result of ecosystem services was divided into the mixed service provisioning as factor1, the food provisioning as factor2, and the P retention service provisioning area as factor3. As for the demand for services based on socio-economic factors, factor1 is divided into urbanized areas, factor2 is forest development area, and factor3 is agricultural activity development area. Local governments that maintain balance were evaluated as Pocheon, Yangpyeong, Icheon, Pyeongtaek, Goyang, Suwon, Gwangmyeong, and Osan, and imbalanced local governments appeared in Gimpo, Uiwang, Anseong, and Yeosu. A management plan to maintain the balance between supply and demand of ecosystem services was suggested. The analysis method and results of this study are expected to be applicable to various local governments through regional expansion.

Key words : Ecosystem Services, Ecosystem services Bundle, Factor-analysis, InVEST Model, Socio-ecological system, Trade-offs

1. 서론

생태계서비스는 자연이 인간에게 주는 혜택을 의미하

며, 인간 복지와 밀접한 관련이 있어 연구 수요가 매해 꾸준히 증가하고 있다. 생태계서비스는 생태계-사회경제-인간복지와 상호 의존적인 관계에 놓여있어 지속가능한 발전 및 개발의 촉매로 작용할 수 있다(Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Scholes et al., 2013). 지속가능한 발전을 위해서는 무엇보다도 현재 상태에 대한 명확한 진단이 앞서야 하고 평가하는 것이 중요하다. 즉

Corresponding author : Kim, Choong-Ki

Tel : +82-415-7007

E-mail : ckkim@kei.re.kr

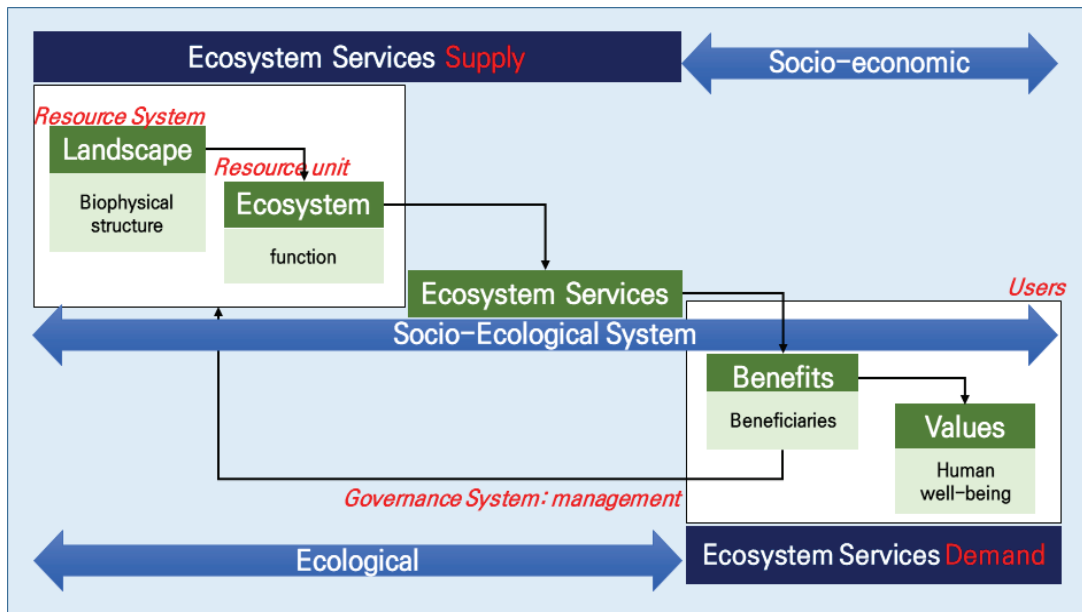
생태계서비스 관점에서 서비스의 공급과 수요를 파악하는 것이 요구되며, 바람직한 수준에서 서비스 공급과 수요의 절충이 이루어져야 한다(Burkhard et al., 2012).

생태계서비스 공급-수요 통합평가연구(Integrated assessment of ES supply and demand)는 활발하게 이루어지고 있다. 생태계서비스 공급과 수요는 Burkhard et al.(2012)의 정의에 따르면, 공급은 “특정 지역에서 제공 가능한 생태계 재화나 서비스 번들(합)”을, 수요는 “현재 소비되거나 사용되고 있는 생태계 재화나 서비스의 합”을 의미한다. 생태계서비스 통합평가는 생태계서비스 공급과 수요 사이의 상호작용에 대한 이해를 제공하고, 효율적인 환경보전을 위해 경관계획(Baró et al., 2016), 생태계서비스 지불제(Payment for Ecosystem Services, PES)(Bennett and Gosnell, 2015), 생태계서비스 관리방향 설정(Castro et al., 2016; Lahtinen et al., 2016) 등과 관련된 중요한 정보를 제공해주기에 환경정책에 활용성이 크다(Wei et al., 2017). 생태계서비스 공급과 수요관계를 이해하는 것은 인간의 복지와 생태계서비스 사이의 상호작용을 이해하는데 도움을 준다(MA, 2005). 그러나 최근 무분별한 생태계서비스 사용은 수요와 공급 사이의 불일치(mismatch)를 야기하고 있다는 연구 결과가 도출되고 있어(Wei et al., 2017) 둘 사이의 관계를 파악하고 지역의 특성을 고려한 관리방안을 도출하는 것이 시급하다.

최근 생태계서비스 분석결과와 사회-생태계 시스템을 통합적으로 분석하는 방법이 제안되고 있다. 사회-생태

시스템은 인간이 자연과 분리되지 않고 자연의 일부라는 개념에 기반하여(Berkes et al., 1998), 자원의 관리가 사회 및 생태계의 지속적인 상호작용을 통해 이루어지고 있는 상태를 의미한다(Ostrom, 2009). 가장 대표적인 연구들은 생태계서비스 측정결과와 사회-생태적 인자 간 차이를 보는 것이 대다수이다(Hamman et al., 2015; Meacham et al., 2016; Spake et al., 2017). 더 나아가 생태계서비스 평가결과에 사회-생태적 인식을 통합하여 유형화하는 연구들이 있다(Quintas-Soriano et al., 2019). 하지만 생태계서비스 공급과 수요 양상을 설명하는데 사회-생태계 시스템이 활용된 연구는 많지 않다. 자원의 공급은 다양한 시간, 공간스케일에 의존하는 경향을 나타내는데 이는 수요의 양상과는 다르다. 즉 생태계와 인간 사회 간에는 간극이 존재하며 이를 매개하는 역할을 생태계서비스가 한다. 결과적으로, 사회-생태계 시스템 내부에서 생태계서비스의 공급-수요의 통합적인 관계를 확인할 수 있으며(Figure 1), 지역별 관리계획 수립 시에도 유용하게 활용될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 사회-생태계 시스템 하에서 생태계서비스 기반의 지역적 관리방안을 제시하기 위해 생태계서비스 수요의 지표로 사회경제 요소 및 생태계에 대한 통계자료를, 공급의 지표로 생·물리적 모델링을 통한 분석을 기반으로 하였다. 도출된 다양한 서비스 항목을 통합적으로 보기위해 차원축소가 필요했고 이를 위해 요인 분석을 수행하였다. 생태계서비스 수요의 시점에서 통계



Adapted from Bennett(2009), Haines-Young(2010) and Ostrom(2009)

Figure 1. Socio-ecological system and supply-demand relationship of ecosystem services

자료를 기준으로 지역을 유형화하고, 생태계서비스 공급의 시점에서 모델링 결과를 기준으로 지역을 유형화하여 두 결과의 간극을 비교하였다. 최종적으로, 이를 토대로 하여 지역별 관리방안을 제시하였다. 본 연구의 결과는 사회-생태계 시스템 속에서 자연자본의 공급과 수요관계를 정립하고, 개발의 수요가 높은 지역에서 지역적 관리방안을 제시하는데 있어 생태계서비스 공급과 수요 두 인자가 상호보완적인 관계에 있다는 함의를 제공한다.

II. 연구의 범위 및 방법

1. 연구 대상지

본 연구의 대상지는 대한민국 경기도 지역이다(Figure 2). 경기도 지역은 한강 대권역에 위치하고, 면적이 10,171

km², 인구 밀도는 1280명/km² 에 이른다(Gyeonggi Province Statistics, 2020). 이 지역은 최근 서울지역이 그 범위를 확장함에 따라 위성도시들이 발달하는 변화를 겪고 있다. 이러한 도시들은 서울시의 인구, 교육, 행정, 복지 등 다양한 기능을 분산시켜 담당하고 있다. 대체로 서울에서 가까울수록 인구 밀도가 높고 영향을 많이 받는다. 경기도 지역의 인구는 2005년 1,085만 명에서 2020년 1,300만 명대로 증가하였고(Gyeonggi Province Statistics, 2020), 다양한 개발 사업으로 인하여 자연환경이 변화하였다. 특히, 경기도지역은 1, 2기 신도시 건설에 이어 3기 신도시 건설이 진행되고 있는 바, 개발의 역사와 그 수요가 다른 지역에 비해 매우 큰 편이다. 이러한 정책발표와 지속적인 개발은 생태계가 제공하는 다양한 편익의 양상을 변화시켰음은 물론 향후 지역의 균형발전에 크게 영향을 미칠 것으로 예상된다. 이에 지역의 자족성을 판단하고

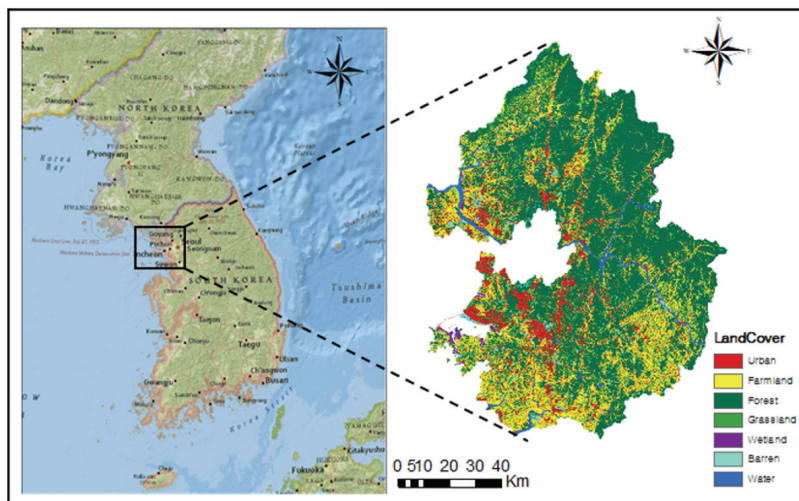


Figure 2. Study site: Gyeong-gi province (Source: Ministry of Environment (2014))

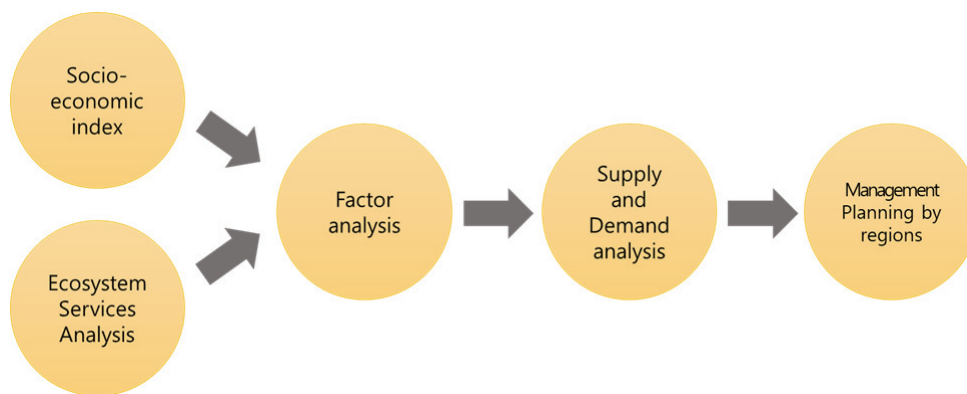


Figure 3. Research Flow

자 사회 및 경제 그리고 생태계서비스 측면에서 자원의 공급 및 수요의 균형을 파악하고 현실적 대안을 마련하는데 일조하고자 경기도 지역을 연구의 대상지로 선정하였다.

2. 연구의 개요

본 연구는 3단계로 구성되었다(Figure 3). 1단계에서는 생태계서비스를 평가하고 사회-생태적 인자값을 집계하여 지역별로 분류하였다. 2단계에서는 차원을 축소하는

Table 1. Indicators of Ecosystem services Supply and Demand

Ecosystem Services Supply Indicators				
Supply indicators		method	Meaning	References
Provisioning	1. Food Supply (2015)	Rice production	Evaluation of local rice (rice) production	Data Portal
Regulating	2. Water Yield (2014)	InVEST Water Yield	Evaluation of the ability of the ecosystem to store water during rainfall and provide it when required	Sharp et al. (2020)
	3. Carbon Storage (2014)	InVEST Carbon	Evaluation of carbon storage based on land cover such as forests, agricultural land, and grassland	
	4. Water Quality (2014)	InVEST NDR	Evaluation of the storage of nutrients such as nitrogen and phosphorus loads due to the increase of non-point pollutants due to agricultural activities and human by-products and the development of watershed(Ability of land cover to store nitrogen and phosphorus)	
Supporting	5. Habitat Quality (2009)	InVEST Habitat Quality	Evaluation of the ecosystem's ability to provide an appropriate condition for an individual or community to inhabit, based on resources available for survival, regeneration, and maintenance	
Cultural	6. Eco-tourism (2014)	InVEST Recreation	Evaluation of the nature-based tourism pursuing nature conservation and wise use with social big data	
Ecosystem Services Demand Indicators				
Demand indicators		data	Meaning	References*
socio-economic	1. Population	Density of Population	Indicator of driving factors of ecosystem services scales and distributions	Data Portal, KDPA (Korea Database on Protected Areas)
	2. medical welfare	hospital beds per 1,000 population	Indicator which is closely related to human welfare	
	3. paddy area(%)	paddy area	Indicator of food production which is closely related to human wellbeing	
	4. field area(%)	field area		
	5. realestate	home ownership rate(%)	Indicator of holding stable assets	
	6. education	college entrance ratio	Indicator of realization of individual goals which related to welfare and democracy and improvement of individual freedom of action	
	7.wealth	Per capita GRDP	Indicator of sustainability, basic needs and health which ensures freedom of choice and action	
	8. Urban park	park space per capita	Indicator which is closely related to human welfare as well as ecological side	
	9. forest	Forest Area	Indicator which is often used as a driving factor for the distribution of ecosystem services, and is used as a supply and demand proxy in the evaluation of ecosystem services	
	10. Elevation	DEM		
	11. Protected Area	Protected Area	Indicator which is related to the governance and accessibility of the ecosystem and is used as a proxy for spiritual and aesthetic services	
	12. endangered species	number of endangered species	Indicator of the conservation of endangered species' habitats	

*Socio-economic indicators are based on Grêt-Regamey et al. (2012), M. Hamann et al.(2016), Spake et al.(2017), MA(2005) and definition was also referred to the above literature.

방법 중 하나인 요인분석을 수행하였고 3단계로 GIS 공간 분석을 통해 생태계서비스 공급 및 사회-생태적 인간 중첩되는 지역을 확인함으로써 생태계서비스 공급-수요가 불일치하는 지역을 도출 하고 4단계에서 경기도 지자체별 관리방안을 도출하였다.

3. 생태계서비스 평가 변수선정 및 사회-생태적

지표 선정

우리나라 경관계획이 수립되는 단위가 광역지자체 혹은 기초지자체와 같이 행정구역이라는 점에 착안하여 행정구역을 분석단위로 설정하였다(MOLIT, 2019). 이는 추후 생태계서비스 수요를 대표하는 통계자료와 연계성을 고려하여 선택하였다. 생태계서비스 공급의 분석항목은 Table 1 과 같이 공급서비스(n=2), 조절서비스(n=3), 지지서비스(n=1), 문화서비스(n=1)를 포함한 총 7개의 생태계 서비스로 설정하였다. 데이터의 가용성, 연구 설계상 생태계서비스 모든 카테고리(공급, 조절, 지지, 문화)를 포함할 수 있는 포괄성, 지역의 특색을 반영할 수 있는 특수성을 고려하였다. 식량 공급 서비스는 통계자료를 활용하여 평가하였고 나머지 수량 공급, 수질 조절, 탄소저장, 서식처 질 항목에 대해서는 InVEST Model(Sharp et al., 2020)을 통해 평가하였다. 생태계서비스 평가에 활용된 모델에 입력되는 자료는 Table 2와 같다. 마지막으로, 각 서비스의 평가 단위 및 수치 범위를 비교가능하도록 조정하기 위해 최소-최대 정규화(Min-Max Normalization) 하였다. 생태계서비스 공급 항목에 이어 생태계서비스 수요의 지표로 국가통계자료를 활용하였다. 지표의 선정은 앞선 생태계서비스 수요의 정의에 상응하는 MA(2005) 및 선행연구(Hamann et al., 2015; Hamann et al., 2016; Spake et al., 2017)를 참고하여 이루어졌다. 특히 사회-경제적 인자를 선정함에 있어 선행연구에서 빈번하게 활용되며 생태계의 구동요인으로 거론되는 토지피복인자(산

림면적)를 포함하였다(Spake et al., 2017). 하지만 통상적으로 쓰이는 토지피복도는 인간의 영향을 단순화시키기 때문에 현실을 직접적으로 반영할 수 없는 것이 현실이다(Ellis and Ramankutty, 2008). 인구밀도, 부, 불평등과 같은 생태 기능을 촉진하는 것으로 알려진 사회적 자료를 추가하면 사회-생태계 시스템에 대한 통찰력을 제공하여 보완할 수 있다(Colding et al., 2006; Spake et al., 2017). 이에 MA(2005)에서 언급하는 인간복지와 관련된 5대 지표로서 논과 밭 비율을 적용 그 외 의료복지, 부동산, 교육률, 도시공원면적, 수입 지표를 적용하였고, 이외에 정책과 밀접하여 개발계획에 영향을 받는 멸종위기 종, 고도, 보호지역 등을 추가적으로 적용하였다. 이에 본 연구에서는 인구 수, 의료복지, 논 및 밭 비율, 부동산, 교육률, 멸종위기 종, 산림, 고도, 보호지역, 도시공원면적, 수입을 사회-경제적 인자로서 활용하였다(Table 1).

4. 사회-생태적 인자와 생태계서비스 항목의 통계적 분석: 요인분석

본 연구에서는 통계자료와 생태계서비스 분석 결과 항목 각 변수들의 상관관계를 통해 관계가 높은 변수끼리 성분(요인)으로 집약되는 요인분석을 실시하였다. 선정된 변수들에 대한 확실한 정보가 없어 탐색적 요인분석(EFA, Exploratory Factor Analysis)을 실시하였고 그 중에서도 오차항을 포함하지 않는 주성분 분석을 실시하였다. 요인분석은 잠재변수의 의미추출을 위해 요인회전과정을 거치는데, 이는 요인 적재 값(요인간의 상관계수)을 통해 변수들이 어느 요인에 상대적으로 높게 적재되는지 명확하게 알 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 각 변수들이 서로 독립적(상관관계=0)이라는 가정 하에, 베리맥스(Varimax)회전방식을 선택하였다. 베리맥스 회전방식은 요인행렬의 각 열(요인)을 단순화하는 방법으로 각 요인

Table 2. Input data of InVEST Model used in this study

Ecosystem services		Model	Input data	References
Regulating	Water Yield	InVEST Water Yield	Landcover map(2014), Precipitation(2003-2014), Average Annual Reference Evapotranspiration, Plant Available Water Content, Root restricting layer depth, Watersheds	Sharp et al.(2020)
	Carbon Storage	InVEST Carbon	Landcover map(2014), Carbon pools	
	Water Quality	InVEST NDR	Landcover map(2014), Digital elevation model (DEM), Nutrient runoff proxy, Watersheds, Threshold flow accumulation, Subsurface Critical Length	
Supporting	Habitat Quality	InVEST Habitat Quality	Landcover map(2014), Threats data, Threat rasters information, Sensitivity of land cover types to each threat, Accessibility to threats	
Cultural	Eco-tourism	InVEST Recreation	Area of Interest, Start year and end year(2009-2014)	

Table 3. Factor analysis results of ecosystem services

Region	1(Mixed services Provisioning)	2 (Food provisioning)	3(P retention service provisioning)
Pocheon	0.998		
Yangpyeong	0.990		
Gwangju	0.987		
Dongducheon	0.987		
Yeoncheon	0.987		
Gapyeong	0.986		
Namyangju	0.973		
Yangju	0.951		
Yongin	0.936		
Uiwang	0.899		
Hanam	0.890		
Uijeongbu	0.888		
Paju	0.886		
Yeoju	0.777		
Anseong	0.604		
Gimpo		0.974	
Hwaseong		0.969	
Pyeongtaek		0.966	
Icheon		0.890	
Anyang		-0.868	
Seongnam		-0.822	
Gwacheon		-0.750	
Guri			0.908
Goyang			0.886
Osan			0.884
Gwangmyeong			0.810
Siheung			0.728
Suwon			0.682
Gunpo			0.672
Bucheon			0.662

의 분산이 극대화되기에 요인구조를 명확하게 보여주는 데 매우 적합하다(Kaiser, 1958). 요인분석 후 회전과정을 거치지 않은 성분행렬과 회전을 거친 회전 성분행렬을 비교해보면 후자에서 요인구조가 더 뚜렷하게 나타나므로 요인분석 시 필수적이라고 할 수 있다.

5. 사회-생태계 접근을 적용한 생태계서비스 공급-수요 기반 관리방안 수립

본 연구에서는 요인분석을 통해 얻은 생태계서비스 공급 군집과 생태계서비스 수요 군집(통계자료)을 토대로 유사 성격을 나타내는 군집의 지역 구성이 일치하는지 비교하였다. 그리고 일치하는 지역에 대해서는 생태계서비스 공급과 수요가 균형을 이루고 있다고 판단하였고, 불일치하는 지역에 대해서는 공급과 수요가 불균형 상태라고 판단하였다. 이에 각 군집의 성격 그리고 수요-공급의 일치, 불일치 여부에 상응하는 관리방안을 도출하여 제시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 생태계서비스 수요 인자의 지역별 분포

생태계서비스 수요의 지역별 분포를 확인하기 위해 수집된 12가지 사회-경제적 통계자료 항목에 대한 지역별 요인분석을 실시했다(Table 3). 분석 결과, 고유값 1이상의 요인이 6개(도시발달, 산림 발달, 농업 발달, 보호

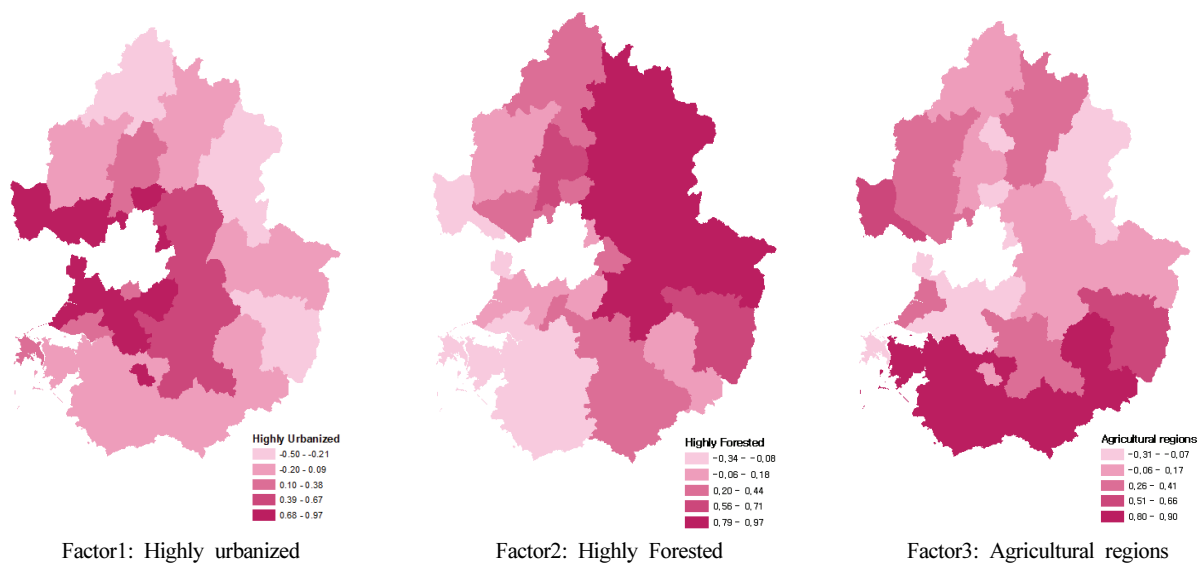


Figure 4. Spatial Mapping of Factor analysis results: ecosystem services demand

Table 4. Variables and loads representing each factor

Fctor	Variables	Load
factor1 (Highly urbanized)	college entrance ratio	1.898
	home ownership rate(%)	1.341
	Density of Population	1.101
	Protected Area	-1.149
	park space per capita	-1.189
factor2 (Highly forested)	Forest Area	2.029
	DEM	1.209
	park space per capita	-1.087
	Density of Population	-1.113
factor3 (Agricultural regions)	field area	1.885
	paddy area	1.334
	Density of Population	-1.322
	Protected Area	-1.393

지역 발달, 도시공원 발달, 의료기관 발달)가 추출되었다. 너무 많은 요인은 다양한 사회-경제적 변수에 대한 성격을 표현할 수도 있지만, 명료한 이해를 돕기는 어렵고, 요인가가 적은 요인은 특징이 미미하고 특징이 혼합될 가능성이 높다. 이에 다양한 요인을 살펴보는 것보다 통계분석 결과에 크게 영향을 미치는 상위 요인 3개를 중점적으로 살펴보았다. 경기도 지역을 대표하는 생태계 서비스 수요 3가지는 ‘도시화’, ‘산림 발달’, ‘농업 발달’로 구분되며, 이 3가지 요인을 중심으로 지역의 특징을 설명할 수 있다(Table 4). 도출된 3가지 요인에 대하여

Table 5. Average landcover area(ratio) grouped based on ecosystem services demand indicators

unit : km ²		urban	farmland	forest
(Ratio of land cover area to total area)				
factor1	mean	28(26%)	24(15%)	52(37%)
	median	29(26%)	9(13%)	31(41%)
factor2	mean	38(6%)	66(9%)	486(69%)
	median	44(9%)	43(9%)	288(63%)
factor3	mean	59(11%)	200(37%)	172(31%)
	median	45(9%)	189(35%)	179(31%)

토지피복별 면적을 살펴본 결과, Factor1은 상대적으로 높은 시가지지역 비율, Factor2는 월등히 높은 산림면적 비율, Factor3은 높은 농지면적 비율을 보이고 있음을 확인했다(Table 5). 공간적인 분포로서, 요인1은 서울에 인접, 요인2는 주로 경기도 동부지역에, 요인3은 경기도 남부지역에 위치하는 도시들을 포함하는 것으로 도출되었다(Figure 4).

요인1은 ‘교육수준’과 ‘인구밀도’ 적재량(loading)이 높은 도시요소가 발달한 지역들이다. 반면 공원면적이나 보호지역 면적에 대한 적재량이 음의값으로 크게 나타남은 기개발된 지역이라는 점을 나타낸다. 광명, 수원, 군포지역을 비롯하여 대부분의 위성도시들이 여기에 속해 도시화율이 높은 것으로 나타났다. 다른 요인에 비해 도시화율이 높은 유형에 많은 지역이 포함되는 것으로 보아, 수도권으로서 경기도지역의 특색을 잘 반영하고 있다.

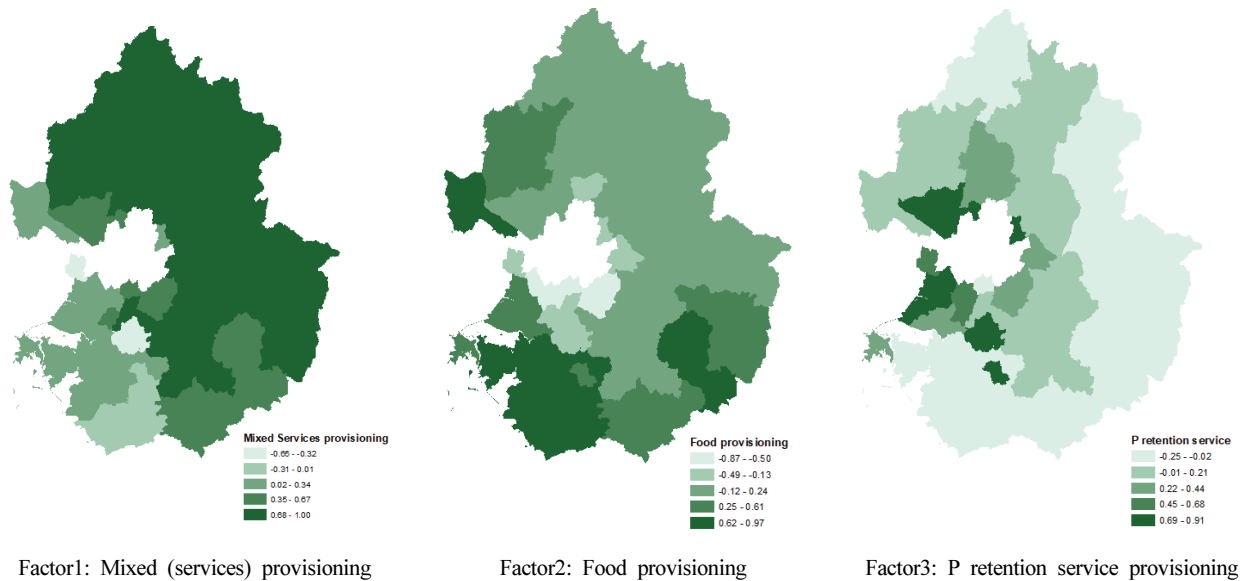


Figure 5. Spatial Mapping of Factor analysis results: Ecosystem services

Table 6. Factor analysis results of ecosystem services demand indicators

Region	1(Highly urbanized)	2(Highly forested)	3(Agricultural regions)
Gwangmyeong	0.966		
Suwon	0.937		
Gunpo	0.931		
Anyang	0.883		
Goyang	0.836		
Bucheon	0.827		
Seongnam	0.822		
Guri	0.814		
Uiwang	0.754		
Uijeongbu	0.739		
Osan	0.737		
Gimpo	0.693		
Siheung	0.681		
Hanam	0.661		
Yongin	0.650		
Yangpyeong		0.967	
Gapyeong		0.853	
Namyangju		0.837	
Pocheon		0.794	
Gwangju		0.792	
Icheon			0.898
Pyeongtaek			0.893
Anseong			0.872
Hwaseong			0.802
Yeoju			0.576

요인2는 ‘산림 면적 비율’ 및 ‘고도’가 높은 산림이 발달한 지역들이다. 반면, 인구밀도나, 1인당 공원면적에 대한 적재량이 큰 음의 값을 지녀 거주지로서의 역할은 떨어지는 것으로 판단된다.

요인3은 농업이 크게 발달한 지역들이다. ‘밭 비율’ 및 ‘논 비율’이 높아 벼 생산 뿐 아니라 밭에서 나는 각종 작물을 재배하기 좋은 환경이다. 이천, 평택, 안성 등 실제로 농업도시로서 알려진 지역들이 여기에 속해 현실을 잘 반영한다. 농업이 발달한 반면 인구밀도는 음의 적재량을 지니는 것으로 나타났다.

2. 생태계서비스 공급 인자의 지역별 분포

6개의 생태계서비스 공급 항목에 대한 요인분석을 수행하고 지역적 분포 특성을 살펴보았다(Table 6). 분석

Table 7. Variables and loads representing each factor

Factor	variables	Load
factor1 (Mixed services Provisioning)	carbon storage	0.987
	water yield	0.884
	habitat quality	0.743
	nitrogen retention	0.550
	phosphorous retention	-0.942
factor2 (Food provisioning)	crop provisioning	-0.981
	ecotourism	-1.241
	crop provisioning	1.615
	water yield	0.497
	carbon storage	0.283
factor3 (P retention service provisioning)	phosphorous retention	0.182
	habitat quality	-0.147
	nitrogen retention	-1.043
	ecotourism	-1.386
	phosphorous retention	1.838
factor3 (P retention service provisioning)	water yield	0.813
	nitrogen retention	-0.164
	carbon storage	-0.199
	ecotourism	-0.574
	habitat quality	-0.634
crop provisioning	-1.079	

결과, 고유값 1이상의 요인 4개(혼합서비스제공, 식량공급, 인 저류활발, 물 부족)가 추출되었고, 이 중에서도 경기도 지역을 대표하는 생태계서비스 공급 관련 요인 상위 3가지는 ‘혼합된 서비스 제공기능’, ‘식량공급기능’, ‘인 저류기능’으로 구분될 수 있다(Table 7). 인 저류기능이 높은 요인3에는 서울에 인접한 위성도시 일부를 포함하고 있어 도시화와 밀접한 관련이 있다. 요인1과 요인3는 주로 경기도 북부지역에, 요인2은 경기도 남부지역에 위치하는 도시들을 포함하였다(Figure 5).

요인1은 ‘탄소저장 ‘과’수량공급’ 서비스와 같이 산림에서 제공하는 다양한 서비스가 발달한 지역들이다. 대형 수목원이 위치하는 포천, 산림지역이 많아 수려한 경관을 형성하고 있는 양평군과 같은 지역을 비롯하여 대부분의 산림 우세형 도시들이 포함된다. 반면 생태관광이나 식량공급 서비스의 적재량이 음의 방향으로 나타나 저조함을 보였다.

요인2는 식량 공급 서비스가 발달한 지역들이다. ‘식량공급’ 서비스의 적재량이 크게 나타나 실제로 대표적

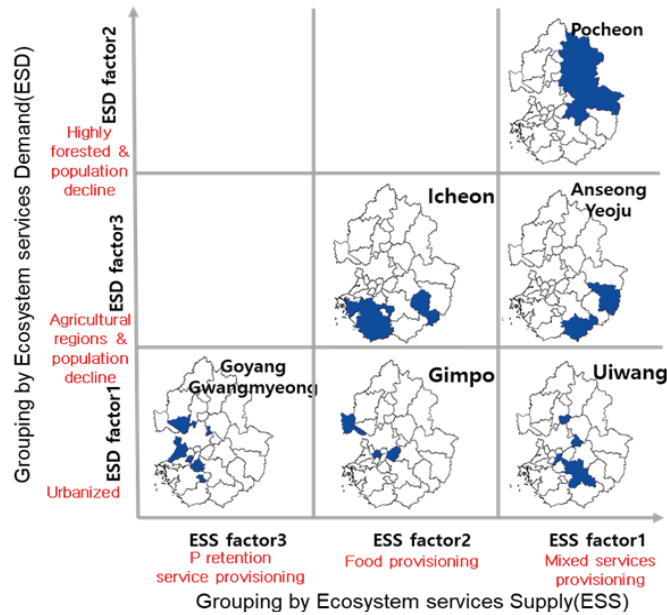


Figure 6. Grouping of Gyeong-gi municipalities by supply and demand of Ecosystem services

인 농업도시 김포, 화성, 평택, 이천과 같은 지자체가 포함된다. 요인2의 생태계서비스 적재량을 살펴보면 요인1과는 다르게 ‘식량공급’서비스와 ‘생태관광’ 서비스 간에 트레이드오프 관계가 형성되어 있음을 알 수 있다.

요인3은 인 저류기능이 특히 발달한 지역들이다. 인 저류기능은 도시에서 인간 활동 부산물로 생기는 비점오염원을 구성하는 인산염의 부하량이 많아 그 저류능력이 크게 나타나는 것으로, 요인3에 속하는 도시들은 실제로 도시화가 크게 진행된 구리, 고양, 오산, 수원 등 서울인접 위성도시가 포함되어있다.

3. 생태계서비스 공급과 수요를 고려한 지역별 관리방안 도출

생태계서비스 공급을 대표하는 생·물리적 모델링 결과와 수요를 대표하는 사회-경제적 통계자료를 바탕으로 한 요인분석 결과에서 동일한 요인으로 묶인 결과들을 토대로 경기도 지자체를 분류하였다(Figure 6). 생태계서비스 공급과 수요가 일치하는 대표도시는 포천, 양평(산림), 이천, 평택(농업), 고양, 수원, 광명, 오산(도시화) 등이며, 일치하지 않는 대표도시는 의왕, 김포, 안성, 여주 등지에 분포하였다. 이를 바탕으로 각 도시에 대한 관리

Table 8. Management plan of major local governments in Gyeong-gi by group

ecosystem services supply-demand mismatch types	region	management planning
high urbanization rates with abundant mixed services provisioning	Uiwang, Hanam, Yongin, Uijeongbu	Despite the high urbanization rate, ecosystem services are in good condition. Such areas can maintain the total amount of ecosystem services provided by creating alternatives as much as the amount of ecosystem services reduction in the damaged area during development projects
high urbanization rate with high food provisioning service	Gimpo, Anyang, Seongnam	
abundant mixed services provisioning with low population rate	Pocheon, Yangpyeong, Gapyeong, Namyangju, Gwangju	Identifying hot spots through the ecosystem service map and designating a “special ecosystem service protected area” will help to sustainably receive various services provided by the forest
abundant food provisioning service with low population rate	Icheon, Anseong, Yeosu, Hwaseong	Agricultural activity is developed and the population is insufficient. Various methods such as financial support and infrastructure expansion are needed for farms

방안을 Table 8와 같이 정리하였다. 포천, 양평의 경우 생태계서비스 공급으로만 보았을 때 산림에서 얻을 수 있는 혜택이 많을 것으로 예상되는데, 생태계서비스 수요측면에서는 상대적으로 인구밀도가 낮다는 추가적인 정보를 얻을 수 있다. 이처럼 경기도 지역 위치상 북동 혹은 북서측에 위치하는 지역들은 환경 친화적 신도시로 거듭날 수 있도록 관광객 유치에 중심으로 한 산업을 발전시키는 것이 바람직하다. 하지만 자연환경의 훼손을 방지하기 위해서는 생태계서비스 지도를 기반으로 한 ‘생태계서비스 특별 보호구역’을 지정하고, 이를 통해 산림이 제공하는 다양한 서비스를 지속가능하게 유지시키는 것이 중요하다. 한편, 이천, 안성, 여주의 경우 생태계서비스 공급측면에서는 식량 공급이 원활하게 이루어지고 있는데 반해 생태계서비스 수요측면에서는 낮은 인구밀도를 보인다. 이천 인구밀도는 현재 480명/km², 안성의 인구밀도는 330명/km² 명으로 자원과 사용자 및 관리 주체에 불균형이 일어난 상황이므로 지속가능한 자원관리를 위해서 균형을 맞추어야 한다. 이를 위하여 농가에 재정적 지원 및 인프라 확충 등 다양한 방법을 동원해야 한다. 이와 더불어, 근교 도시에서 접근이 용이하도록 교통망을 확충하여 농업도시에서 충족하기 힘든 다양한 수요들을 만족시키는 것이 중요하다. 의왕과 김포의 경우 생태계서비스 공급 측면에서는 각각 산림제공서비스와 식량공급서비스가 발달해있지만 생태계서비스 수요측면에서 이 지역은 도시화율이 높은 지자체로 개발 수요가 많아 향후 개발 시 생태계서비스 공급량을 일정하게 유지하는 것이 중요하다. 가령, 개발사업 시 훼손된 지역의 생태계서비스 감소량만큼 생태복원 대체지를 조성하여 이를 보완하는 방법으로 생태계서비스 제공 총량을 유지할 수 있다(Kim et al., 2020). 특히 김포의 경우 2기신도시로서 이미 상당부분 개발이 진행되었을 것이므로 시계열 분석을 통하여 과거로부터 회생된 생태계서비스의 양을 측정하고 이를 복원하는데 주의를 기울여야 할 것이다. 생태계서비스 공급 및 수요 분석결과에서 높은 도시화율을 보이는 지역은 고양, 수원, 광명, 오산 등으로, 수원은 광교 2기신도시를 포함하고 고양의 경우 창릉 3기신도시로 지정되어 개발수요가 증가했다. 이러한 지역들은 도시공원의 확충, 그린 인프라 요소의 보강 등을 통해 효율적으로 생태계서비스 공급을 도모하는 것이 필요하다. 도시공원의 확충은 도시 미세먼지 저감, 열섬효과 완화 등 조절서비스 및 문화서비스 측면에서도 도움이 된다(Kim et al., 2020). 이처럼 지역 내 자족성을 확보하여 사회 생태적인 균형을 이루는 것도 중요하지만 경우에 따라서는 한계가 있을 수 있다. 이에, 주변지역과의 교류를 통해 사회 생태적 균형을 맞추어 나가는 것 또한

좋은 방법이다. 가령 부족한 수자원 수요 충족을 위해 주변지역에서 공급을 받는 것이 적절한 예이다. 더 나아가 수도권은 신도시 소규모 택지개발이 지속적으로 이루어진 바 있어 파편화된 양상을 나타내므로 수도권의 지속가능성 유지를 위해서는 지역 간 연계개발을 통한 생활권을 형성하는 전략이 적합할 것이다(김성수 외, 2020).

4. 연구의 의의 및 한계점

Kim et al., (2019)에 수행된 연구에 의하면 생태계서비스 분석을 통해 경기도 지자체를 주성분분석 기반 4군집으로 분류하였고 이에 기반하여 지역관리방안을 제시하였다. 본 연구에서도 경기도 지역의 생태계서비스 생·물리적 분석을 통해 생태계서비스 공급을 도출하고 지역을 분류하였으나 차원축소의 기법으로서 요인분석을 활용하였고, 이에 더 나아가 사회-경제적인 요인을 고려한 생태계서비스 수요 분석을 추가하여 지역적 관리방안을 제시하였다.

Meacham et al., (2016)에 의하면 스톡홀름을 대상으로 생태계서비스 항목과 사회-생태적인 변수간의 상관관계를 보았다. 이 연구에서는 사회-생태적 인자를 달리한 다양한 모델을 설정하여 생태계서비스 분석 결과와 비교했는데, 각 경우마다 변수 간 상관성이 크게 차이나 변수의 선정은 연구결과를 좌우하는 큰 원인이 된다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서도 생태계서비스 항목과 사회적 인자를 기반으로 비교를 하였는데, 결과에서 한정된 변수의 조합을 다룬 까닭에 한정된 유형의 결과가 도출되어 해석에 한계가 있는 것으로 확인되었다. 예를 들면, 본 연구 결과에서 생태계서비스 수요 군집 중 농업 발달, 인구부족 그룹에 속한 평택시의 인구밀도는 1,051명/km² 로 낮은 인구밀도는 아니나 다른 변수의 기여가 높아 인구 부족 군집에 속한 것으로 판단된다. 변수 조합의 변경 변수의 추가 보완 및 차원축소 기법의 변형 등은 연구결과를 향상시킬 수 있을 것이라 판단되고 향후 이러한 연구가 이루어져야 할 것이다. 그럼에도 불구하고 본 연구의 단계별로 활용된 분석기법인 모델링, 통계자료, 차원축소 기법은 과학적인 방법론들이기에 우리나라 실정에 알맞은 정책목표를 반영하는 적합한 생태계서비스 항목 및 사회-경제적 변수를 선정하고 분석하는 것이 중요하다. 또한, 관련한 연구들의 양산된다면 교차검증(cross-checking)이 가능해져 연구의 신뢰성이 향상될 것으로 기대된다.

우리나라의 경관계획은 경관법시행령에 따라 수립되며 광역지자체 혹은 기초지자체수준에서 수립된다. 본 연구는 이러한 점에 착안하여 지역의 군집화 단위를 유

역이 아닌 행정구역 단위로 설정하였다. 기존에 수행된 유사 연구들도 비슷한 이유에서 행정경계를 분석의 단위로 활용하였다(Raudsepp-Hearne et al., 2010). 하지만 수량공급서비스 혹은 수질조절서비스의 경우 분석이 유역 단위로 이루어질 때 수계의 현황을 반영할 수 있을 것으로 예상되며, 서식처 질의 경우 행정경계 기반보다 녹지나 산림축 혹은 도로망을 고려한 경계설정이 필요하다. 이에 추후의 연구에서는 명시한 한계를 극복하여 공간적 단위를 재편성한 후 분석이 이루어진다면 현실적 정책대안 마련에 도움이 될 것이다.

IV. 결 론

본 연구는 생태계서비스 공급을 대표하는 생·물리적 분석결과와 수요를 대표하는 사회-경제적 국가통계자료 간 관계를 파악하고 지역적 균집을 도출하여 상호 비교하였다. 생태계서비스 공급과 수요가 일치하지 않는 지역을 찾음으로써 생태계서비스 수요 및 공급 사이에 불일치가 일어나는 지역이 존재함을 발견하였다. 불일치 유형으로서 자연환경이 잘 보전되어있는데 잠재적인 개발 수요가 있는 지역 혹은 생태계서비스가 풍부하게 제공되고 있는데 사회적인 인프라 조성이 미흡한 곳 등을 발견하였다. 이는 현세대 및 미래 세대를 위한 지속가능한 자연환경 관리를 위해서는 생태계서비스 공급과 수요가 통합적으로 다루어져야함을 시사한다.

본 연구의 주요 결론은 다음과 같다. (1) 생태계서비스 공급과 수요는 지역에 따라 균형을 이루거나 불균형을 이루기도 한다. (2) 생태계서비스의 지속적이고 원활한 공급을 위하여 지역별 관리방안을 달리하고 지역 간 교류를 통해 해결할 수 있는 여지가 있다.

생태계서비스 공급과 수요가 불일치하는 지역을 확인함으로써 생태계서비스 기반 지역관리계획 수립 시 두 요소가 상호보완적인 관계에서 동시에 고려되어야 하며, 이러한 결과는 비단 경기도 지역 뿐 아니라 분석 대상지를 확장함으로써 국토의 지속가능하고 균형 있는 발전을 위한 근거로서 작용할 수 있다.

본 논문은 환경부 「생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업Ⅲ(2020-060)」 및 한국환경연구원에서 해양수산과학기술진흥원의 국가연구개발사업으로 수행된 「지능형 해양쓰레기 수거지원기술개발(2021- 019(R))」의 지원으로 수행되었습니다.

References

1. Baró, F., Palomo, I., Zulian, G., Vizcaino, P., Haase, D. and Gómez-Baggethun, E. 2016. Mapping ecosystem service capacity, flow and demand for landscape and urban planning: A case study in the Barcelona metropolitan region. *Land use policy* 57: 405-417.
2. Bennett, E. M., Cramer, W., Begossi, A., Cundill, G., Díaz, S., Egoh, B. N. and Lebel, L. 2015. Linking biodiversity, ecosystem services, and human well-being: three challenges for designing research for sustainability. *Current opinion in environmental sustainability* 14: 76-85.
3. Berkes, F., Folke, C. and Colding, J. 1998. *Linking Social and Ecological Systems, Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*. Cambridge: Cambridge University Press.
4. Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., and Müller, F. 2012. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological indicators* 21: 17-29.
5. Castro, A. J., Vaughn, C. C., Julian, J. P., and García-Llorente, M. 2016. Social demand for ecosystem services and implications for watershed management. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 52(1), 209-221.
6. Choong-Ki Kim et al. 2020. *Ecosystem Services Evaluation and Pilot Mapping ProjectIII*. Ministry of Environment. Sejong-si, Korea(in Korean).
7. Colding, J., Lundberg, J. and Folke, C. 2006. Incorporating green-area user groups in urban ecosystem management. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 35(5): 237-244.
8. Ellis, E. C., and Ramankutty, N. 2008. Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6(8): 439-447.
9. García-Llorente, M., Iniesta-Arandia, I., Willaarts, B. A., Harrison, P. A., Berry, P., del Mar Bayo, M. and Martín-López, B. 2015. Biophysical and sociocultural factors underlying spatial trade-offs of ecosystem services in semiarid watersheds. *Ecology and Society* 20(3).
10. Grêt-Regamey, A., Brunner, S. H., and Kienast, F. 2012. Mountain ecosystem services: who cares?. *Mountain Research and Development* 32(S1).

11. Gyeonggi Province Statistics. 2020. (2020. 12. 1.) Retrieved from <https://stat.gg.go.kr>.
 12. Hamann, M., Biggs, R., and Reyers, B. 2015. Mapping social–ecological systems: Identifying ‘green-loop’ and ‘red-loop’ dynamics based on characteristic bundles of ecosystem service use. *Global Environmental Change* 34: 218-226.
 13. Hamann, M., Biggs, R., and Reyers, B. 2016. An exploration of human well-being bundles as identifiers of ecosystem service use patterns. *PLoS One* 11(10): e0163476.
 14. Kim, I., Kim, S., Lee, J. and Kwon, H. 2019. Categorization of Cities in Gyeonggi-do Using Ecosystem Service Bundles. *Journal of Environmental Impact Assessment* 28(3): 201-214(in Korean).
 15. Kim S, Lee D, Moon S, Byeon S, Kim J, Kim H, Kim J. 2020. A Study on the Evaluation and Improvements of New Town Policies in the Seoul Metropolitan Area. KRIHS, Sejong-si, Korea(in Korean).
 16. Kaiser, H. F. 1958. The Varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika* 23: 187-200.
 17. Lahntinen, K., Guan, Y., Li, N., and Toppinen, A. 2016. Biodiversity and ecosystem services in supply chain management in the global forest industry. *Ecosystem Services* 21, 130-140.
 18. Millenium Ecosystem Assessment 2005. Millenium ecosystem assessment synthesis report, Washington DC: Island press.
 19. Meacham, M., Queiroz, C., Norstrom, A. V., and Peterson, G. D. 2016. Social-ecological drivers of multiple ecosystem services: what variables explain patterns of ecosystem services across the Norrstrom drainage basin?. *Ecology and Society* 21(1).
 20. Ministry of Land, Infrastructure, and Transport(MOLIT) 2019. 「The landscape policy plan(2020-2024)」.
 21. Ostrom, E. 2009. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science* 325(5939): 419-422.
 22. Quintas-Soriano, C., García-Llorente, M., Norstrom, A., Meacham, M., Peterson, G., and Castro, A. J. 2019. Integrating supply and demand in ecosystem service bundles characterization across Mediterranean transformed landscapes. *Landscape Ecology* 34(7): 1619-1633.
 23. Scholes, R. J., Reyers, B., Biggs, R., Spierenburg, M. J., and Duriappah, A. 2013. Multi-scale and cross-scale assessments of social–ecological systems and their ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5(1): 16-25.
 24. Sharp, R. et al. 2020. InVEST User’s Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.
 25. Spake, R., Lasseur, R., Crouzat, E., Bullock, J. M., Lavorel, S., Parks, K. E. and Mouchet, M. 2017. Unpacking ecosystem service bundles: Towards predictive mapping of synergies and trade-offs between ecosystem services. *Global Environmental Change* 47: 37-50.
 26. Wei, H., Fan, W., Wang, X., Lu, N., Dong, X., Zhao, Y. and Zhao, Y. 2017. Integrating supply and social demand in ecosystem services assessment: A review. *Ecosystem Services* 25: 15-27.
 27. Wolff, S., Schulp, C. J. E., and Verburg, P. H. 2015. Mapping ecosystem services demand: A review of current research and future perspectives. *Ecological Indicators* 55, 159-171.
-
- Received 21 May 2021
 - Finally Revised 5 July 2021
 - Accepted 11 August 2021