

전문가 델파이 및 토지이용점수화 접근법을 활용한 지역 산림생태계서비스 공급량 지도화 연구*

조장환** · 최문기*** · 김오석**** · 이경학***** · 이창배*****

Mapping the Supply of Local Forest Ecosystem Services: Based on Delphi and Land Use Scoring Method*

Jang-Hwan Jo** · Moon-Ki Choi*** · Oh Seok Kim**** ·
Kyeong-hak Lee***** · Chang-Bae Lee*****

요약 : 본 연구의 목적은 국내 지역 산림의 생태계서비스(Ecosystem Service, 이하 ES) 공급량 순위를 추정하고 지도화하는데 있다. 델파이 분석을 통해 국내 지역 산림의 특성을 반영하면서, ES의 국제적 논의에 적용가능한 세부 ES 10개를 선정했다. ES 순위는 문헌 분석, 국내 ES 연구 전문가 심층 인터뷰, 공간 분석을 통해 추정하였다. 강원도 가리왕산의 경우 조절서비스가 가장 높은 공급량을 나타냈으며, 경기도 연인산의 경우 문화서비스가 가장 높은 공급량을 나타냈다. 서로 다른 자원 특성을 지닌 두 지역의 산림에서 공급량의 세부 순위가 다르게 나타났으며, 도출된 결과에 대해 지역주민과 관리자 대상 인터뷰를 통해 공급량 우선 순위 추정의 타당성을 검토하였다. 토지이용점수화 접근법은 국내의 산림 지역을 대상으로 산림 ES 관리 계획 수립 시 초기의 조건을 평가하는데 적합한 방법이 될 수 있다고 사료된다.

주요어 : 산림, 생태계서비스, 공급지도, 델파이분석, 토지이용점수화 접근법

Abstract : This study aims to estimate and map the priority order of South Korea's local forest ecosystem services (referred as ES) supply stock. Delphi analysis was conducted to select ten particular ES that meet the national standards and reflect South Korea forest characteristics. The order of ecosystem supply stock was investigated through literature reviews, interviews with domestic ES research experts, and spatial analysis. For Gariwangsan in Gangwon-do, the water quality control service showed the highest ES supply stock. For Yeoninsan in Gyeonggi-do, the cultural service of recreation and tourism showed the highest ES supply stock. In sum, the priority order of ES supply stock differed significantly between the two mountains. The validity of our finding

*본 연구는 지역별 산림 생태계서비스 수요 · 공급 예측 기법 개발 및 적용 · 관리 연구 보고서 초안의 일부를 발췌하여 작성하였음(This study was carried out with the support of R&D Program for Forest Science Technology [Project No. 2019159A00-1920-AB02 & Project No. 2019150C10-1923-0301] provided by Korea Forest Service [Korea Forestry Promotion Institute]).

**옥스퍼드대학교 지리환경대학 환경변화연구소 박사후연구원(Post-Doctoral Research Associate, Environment Change Institute, School of Geography and the Environment, University of Oxford, osmanthusfvam.jo@ouce.ox.ac.uk)

***국민대학교 산림환경시스템학과 연구원(Researcher, Department of Forestry, Environment and Systems, Kookmin University, mongil13@kookmin.ac.kr)

****고려대학교 지리교육과 및 미래국토연구소 조교수(Assistant Professor, Department of Geography Education, Institute of Future Land, Korea University, oskim@korea.ac.kr)

*****국민대학교 산림환경시스템학과 교수(Professor, Department of Forestry, Environment and Systems, Kookmin University, kyeonghlee@kookmin.ac.kr)

*****국민대학교 산림환경시스템학과 조교수(Assistant Professor, Department of Forestry, Environment and Systems, Kookmin University, kecolee@kookmin.ac.kr)

based on the Delphi analysis was checked through the interview with local residents and managers. Based on our result, we suggest that the land use score approach is considered to be a suitable method for evaluating the initial conditions when establishing a forest ecosystem service management plan for local forest areas in Korea. Key Words : Forests, Ecosystem services, Supply map, Delphi Analysis, Land Use Scoring Method

I. 서론

생태계서비스(Ecosystem Service, 이하 ES)개념은 1990년대 이후 최근까지 다양한 분야에서 많은 관심을 받고 있다(Wei *et al.*, 2017; Raum *et al.*, 2018). ES는 여러 연구자들에 의해 다양하게 정의되었는데(Boyd *et al.*, 2007; de Groot *et al.*, 2010; Quine *et al.*, 2013; Fisher and Brown, 2014; Chaudhary *et al.*, 2015; Kull *et al.*, 2015), 대표적으로 de Groot *et al.*(2010)에 의하면 ES는 인간 복지에 대한 생태계의 직접적 및 간접적 기여라고 정의하고 있다. ES는 생물 다양성, 생태계 기능 및 생태계 서비스 사이의 상호의존성을 강조(Balvanera *et al.*, 2006)하며, 생태계 특성뿐만 아니라 사회·경제 발달에도 영향을 주고 받는다(Smith *et al.*, 2017). Reid *et al.*(2005)는 생물다양성이 인간에게 다양한 유형의 필수 제품과 ES를 제공하며, 생태계에 대한 인간의 수요가 증가함에 따라 ES의 공급이 부족하다고 보고하였다. 이에 따라, 정책 및 비즈니스 의사결정 과정에서도 ES를 제공하는 자연자본을 지속적으로 관리해야 된다는 인식은 점점 더 증가하고 있지만, 서로 다른 관리 방식에 따라 달라지는 ES의 영향을 평가할 수 있는 적절한 도구가 부족한 실정이다(Maseyk *et al.*, 2017).

지속가능한 ES 관리를 위해서는 대상지의 규모에 따른 공간적인 분포 지식을 활용해 공급량을 정량화하는 것이 필수적인 과제(Sallustio *et al.*, 2017)이며, ES를 활용한 계획의 수립에 있어 ES를 지도화하여 시각적으로 제공하는 것이 중요하다(Maes *et al.*, 2012; Locatelli, 2016). 이러한 이유로 해외에서는 ES의 공급량과 공간 분포를 연구하는 다양한 시도들이 이루어졌다(Syrbe and Walz, 2012; Bagstad *et al.*, 2014). 과거에 목재를 공급하는 자원으로만 인식되던 산림은 이제 세계적인 탄소흡수원과 수자원공급 자원으로서 그 기능에 대한 가치가 점점 더 높아지고 있다. 우리나라 국토의 63.5%(6,371,052ha)를 차지하는 산림(산림청, 2019)ES의 관리는 국토의 지속가능한 보전과 이용 측면에서도 중요하며, 이를 위해

서는 자원의 공급에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다(김근한 등, 2019).

본 연구의 목적은 국내 지역의 주요 산림을 대상으로 개별 ES 공급량의 순위를 추정하고 지도화 하는 데 있다. 이를 통해 국내 지역의 산림 ES 지불제 설계 방향 마련 및 신규 사업 발굴을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 선행연구

1. ES 공급 지도화

ES 공급량 분석 및 지도화에 대한 중요성을 반영하듯 국외에서는 이와 관련한 다양한 연구들이 진행되었다. ES의 공급을 수량화하여 지도화한 연구(Gao *et al.*, 2019; Guan *et al.*, 2020), ES의 수요를 지도화한 연구(Burkhard *et al.*, 2012; Peña *et al.*, 2015), 특정한 식생이 토양과 수질보전에 미치는 영향을 지도화한 연구(Wen *et al.*, 2019), 생물다양성의 보존 가치를 지도화한 연구(Diaz *et al.*, 2020), 조류 다양성 간의 공간적 연관성을 지도화한 연구(Benedetti *et al.*, 2020)등을 확인할 수 있다. 선행 연구들은 주로 ES의 공급과 수요를 구분하여 개별 ES를 정량화하여 지도화하였고, ES에 대한 이해관계자의 개별 수요를 지도화하는 단계에 와있는 것을 확인할 수 있다.

국내지역을 대상으로 이루어진 ES 연구들을 살펴보면 주로 산림(전성우 등, 2013; 김예화 등, 2015; 송철호 등, 2015; 원호연 등, 2015; 전성우 등, 2015; 신유진, 2016; 조효선·이석모, 2016), 논습지(공민재 등, 2014; 사공정희 등, 2015), 농촌(박미정 등, 2016), 도서(노영희 등, 2016) 지역을 대상으로 ES의 가치 및 비용을 평가하고 정량화한 연구가 주를 이루고 있음을 확인할 수 있다. 이 외에도 ES의 개념을 정립하고 관련 지표를 설정한 연구(김성훈 등, 2016; 김지수 등, 2016; 김은영 등, 2017; 박미정 등, 2017), 지역사회 및 보호지역 단위의 ES에 어

면 종류들이 있는지 파악한 연구(오충현 등, 2016; 김일권 등, 2018; 김일권 등, 2019), 훼손된 ES 복원을 위한 토양지표를 파악하는 연구(오우석·이창석, 2014), ES에서 문화 서비스의 프로그램 개발을 위한 문화적 자산을 파악한 연구(정필보·서종철, 2014), ES의 지지서비스를 구성하는 종 다양성을 위한 종 분포 연구(전성우 등, 2014) 등의 세부 ES 주제별 연구들이 이루어졌음을 확인할 수 있다. 국내 ES 연구 내용을 종합해 보면 ES의 가치와 비용을 정량화하는 주제가 가장 많았으며, 최근 국내 대부분의 ES 연구는 가치 평가의 정량화가 중점적으로 이루어지고 있다는 것을 알 수 있다. 또한, 여러 ES 중에서도 특히 조절서비스의 탄소 흡수 및 저장과 관련된 연구(원호연 등, 2015; 김지수 등, 2016; 노영희 등, 2016)와 문화 서비스(박미정 등, 2016; 박미정 등, 2017; 신유진, 2016; 박철웅, 2020)에 관련된 주제의 연구가 가장 활발하게 이루어져 왔음을 확인할 수 있다. 이처럼 국내 ES 연구는 주로 금전적인 평가에 기초한 가치 추정 연구가 주를 이뤄왔고, 산림을 대상으로 한 ES의 공급량을 지도화한 연구는 매우 제한적이라고 할 수 있다.

2. ES 평가 방법

Costanza *et al.*(1997)의 연구 이후, 지난 20년 동안 ES의 평가 연구는 전통적으로 금전적인 방법을 활용해 경제적인 관점에서의 ES의 가치를 추정한 내용들이 주를 이루고 있음을 확인할 수 있다. 하지만, 최근에는 ES와 관련된 의사결정 과정에 있어서 비금전적인 추정 방법의 연구가 증가하며 주목을 받고 있다(Kelemen *et al.*, 2014). 금전적 추정 방식은 ES 공급의 감소와 관련된 경제적 위험에 대한 인식을 높일 수 있는 장점이 있지만, ES 간의 금전적 추정 방식만으로는 ES 공급 간의 상충효과(trade-off)와 동반효과(synergy)의 상관관계를 포괄적으로 이해하기 어려우며, ES에 대한 수요도 사회·경제적, 행동적 요인에 의해 영향을 받기 때문에, 이들의 역학 관계는 금전적인 추정 방법 외의 다른 방법들을 활용해 더 넓은 맥락을 고려해야 적절히 평가할 수 있다(Wolff *et al.*, 2015). de Groot *et al.*(2012)은 ES에 대한 금전적 통화 평가 방법의 기술적 제한이 중요하게 다루어져야 한다고 보고하였고, 사람들의 인식에 대한 비호환성 및 의존성으로 인해 ES에 대한 금전적 가치를 정량화할 수 없다는 점(Hernández-Morcillo *et al.*, 2013), 금

전적 가치는 암시적으로 ES의 수요와 공급 사이의 동적 평형에서 비롯되지만, 대부분의 금전적 가치 평가 연구는 ES에 대한 수요를 명시적으로 정량화하지는 않는다는 점(Schägner *et al.*, 2013)등을 들어 금전적 추정 방식의 한계점을 제시하였다. 금전적 ES 평가의 대안으로서 비금전적 ES 평가는 사람들이 자연을 대상으로 표현하는 선호, 우선순위, 수요 등을 종합적으로 평가하기에 적합하다(de Groot *et al.*, 2012; Castro *et al.*, 2014). 산림은 육상 생태계 중 가장 많은 양의 ES를 보유하고 있는 자원이다. ES를 지속가능하게 관리하고 활용하기 위해서는 산림 자원이 가진 ES 공급량을 파악해야 하고, 나아가 이에 대한 수요를 조사하기 위해서 공급량을 시각적으로 지도화하여 수요자의 인지를 돕게 하는 것이 중요한 작업이라 할 수 있다.

III. 연구지역 및 연구방법

1. 연구지역

본 연구의 대상 지역은 강원도 가리왕산(1,561m, 2,099ha)과 경기도 연인산(1,068m, 3,732ha)이다. 연구지역을 두 곳으로 선정한 이유는 서로 다른 특성을 지닌 지역 산림의 ES 공급량과 분포 양상이 어떻게 다른지 알아보기 위함이다. 두 대상 지역은 관리주체, 관계부처, 지역 및 면적, 특징과 현재의 이슈 등이 서로 다르다. 관리주체에 있어서 강원도 가리왕산은 산림청(중앙정부), 경기도 연인산은 경기도청(지방정부)으로 차이가 있으며, 관계부처의 경우 강원도 가리왕산은 강원도청(산림과), 평창군(산림과, 국유림관리소), 정선군(산림과, 국유림관리소)으로 구분되어 관계 주체들이 관리에 관여하는데, 경기도 연인산은 경기도청 행정2부지사 축산산림국 공원녹지과의 단일 주체 관리 형태이다. 자원의 특징과 이슈를 정리하면 다음과 같다. 강원도 가리왕산은 행정구역상 강원도 정선군 북평면, 정선읍, 평창군 진부면, 대화면의 경계에 위치하고 있으며, 천연활엽수림과 주목이 숲을 이루고 있고, 오대천과 조양강의 발원지로 회동 계곡과 석회암 절리동굴인 얼음동굴이 주요 경관이라 할 수 있다. 태백산의 지붕이라 불리며, 생물다양성이 풍부하여 유전자원보호림 및 휴양림으로 지정되었다. 현재의 주요 이슈는 가리왕산의 중봉일대가 2018 평창동계올림픽

표 1. 연구대상지역(강원도 가리왕산과 경기도 연인산)

구분	강원도 가리왕산 1,561m, 2,099ha(한국 보호지역 DB 관리 시스템 기준 경계)	경기도 연인산 1,068m, 3,732ha(한국 보호지역 DB 관리 시스템 기준 경계)
연구 대상지 10km, 7km, 5km이내 반경 행정 구역		

의 알파인 스키장으로 활용되어 훼손되었는데, 중앙정부에서는 기존 계획대로 올림픽 종료 이후 산림유전자원보호구역인 대상지를 복원하려고 추진하고 있으나, 지역주민들은 지역의 관광 문화 자원으로 이를 존속시키기를 희망하고 있어 대립 상태에 있다는 점이다. 경기도 연인산은 행정구역상 가평읍 송안리, 북면 백둔리, 조종면 마일리의 경계에 위치하고 있으며 동쪽에는 장수봉, 서쪽에는 우정봉, 남쪽에는 매봉, 칼봉이 연인산에서 발원한 용추계곡을 감싸고 있다. 토양이 비옥하고, 연중 강수량이 풍부하여 다양한 종류의 고산 식물과 야생화들이 서식하고 있으며, 각 능선마다 잣나무, 참나무가 군락으로 분포하고 있다. 현재의 주요 이슈는 관광객 유도를 위해 지역주민들과 함께 자연생태프로그램, 체험프로그램의 협력사업과 자연환경 복원 사업을 추진하고 있으나 서울양양고속도로 개설 이후 가평으로 유입되는 관광객 감소를 겪고 있는 점이다(표 1).

2. 자료

1) 임상도

임상도는 임상별, 영급별 입목의 구성 상태를 표시하여 전체 산림을 일목요연하게 구별할 수 있도록 작성된 도면으로 어떤 산림이 어디에 분포하고 있는가를 보여주는 대표적인 산림지도이다. 산림자원의 조성 및 관리

에 관한 법률 제8조의2에 동법 시행규칙 제3조의3에 따라 5년마다 작성하며, 산지전용 및 벌채 등으로 인한 산림의 변화결과를 반영할 필요가 있는 경우에는 수시로 작성할 수 있도록 되어있다. 임상도는 전자정부 지원사업으로 추진한 국토교통부 ‘국가공간정보 통합체계(2009~2012년)’와 ‘접경지역 임상도 구축사업(2013년)’을 추진한 결과 전국산림에 대한 1:5,000 축척의 임상도 구축을 완료하였으며, 사업의 범위가 전국에 분포하고 있어 산지구분도, 국가산림자원조사, 산지전용허가 기준 등 산림청 소관 사업의 경우 임상도를 활용하고 있으며 시·군·구 별 임목축적 및 면적자료를 작성하는데 기초자료로 활용되고 있다. 또한, 국토환경성평가지도, 환경영향평가, 토지적성평가 등 산림을 활용한 국토활용분야에서도 임상도의 임종과 영급이 평가 인자로 책정되어 있다. 김유훈 등(2018)은 정밀 임상도를 활용하여 1:5000 국토환경성평가지도 구축 가능성을 검토하였으며, 본 연구에서는 임상도가 담고 있는 산림 및 비산림의 구분, 임종, 임상, 수종, 경급, 영급, 수관밀도, 입본고의 8개 속성 정보를 기초로 하여, 관련된 세부 ES에 대한 속성별 점수를 부여하였다.

2) 생태자연도

생태자연도는 산, 하천, 내륙습지, 농지, 도시 등 우리나라 전 국토의 자연환경을 생태적 가치, 자연성, 경관적

가치 등에 따라 등급화하여 자연환경보전법 제34조의 규정에 의하여 작성된 지도이다. 생태자연도에는 지형 평가가 포함되어 있으며, 그 결과가 다음과 같이 표현되어 있다. 식생의 보전 등급을 기준으로 1등급, 2등급, 3등급으로 구분되는 식생평가와 멸종위기야생생물을 기준으로 1등급, 2등급, 3등급으로 구분되는 동식물 평가, 이를 종합적으로 평가하여 생태적으로 보호가치가 높은 지역을 종합 1등급, 완충지역 및 보호가치가 있는 지역을 종합 2등급, 1등급 권역, 2등급 권역 및 별도관리지역으로 분류된 지역 외의 지역으로서 개발 또는 이용의 대상이 되는 지역을 종합 3등급 지역으로 구분하고 있다. 본 연구에서는 생태자연도가 담고 있는 식생평가, 동식물평가, 종합등급평가의 3개 속성 정보를 기초로 하여, 관련된 세부 ES에 대한 속성별 점수를 부여하였다.

3) 방법론

(1) 델파이 분석(Delphi Analysis)

델파이분석은 여러 전문가들의 의견을 반복적으로 수집하고, 교환하면서 정책 대안에 대한 의견을 수렴하는 질적 연구 방법으로(Rowe and Wright, 1999), 전문가 집단의 추정치를 통계적 표현 절차에 따라 추론할 경우, 정답의 범위를 좁힐 수 있는 확률이 높다는 가정에서 시작되었다(Adler and Ziglio, 1996). ES의 공급에 대한 주요 분류체계들이 존재하지만(Reid *et al.*, 2005; Kumar, 2010; Hanines-Yong and Potschin, 2012; 한국환경정책·평가연구원 편, 2017), 현재 연구대상지와 같은 국내 지역의 산림에서 제공하는 ES에 대해 합의된 분류 체계는 존재하지 않는다. 델파이 방법은 불완전한 지식이 있거나, 범위가 대체로 알려져 있지 않거나, 그룹 간에 제한된 합의점이 있을 때(Kezar and Maxey, 2016) 문제나 현상을 연구하는 데 적합하다. 특정 상황이나 의사결정 과정에 따라 ES를 분류해야할 필요성이 있으므로(Costanza, 2008; Fisher *et al.*, 2009), 델파이 분석은 본 연구 수행을 위해 지역의 산림이 제공하는 ES 공급의 범주와 종류를 정하는 데 효과적인 방법이라고 판단하였다.

델파이 전문가 패널은 전문가들의 대표성 및 적정성, 전문성(Armstrong, 2002)을 고려하여, 유럽 및 남미 등 해외 국가를 대상으로한 토지이용점수화(Land Use Scoring) 방법을 이용해 ES 공급량을 추정한 연구에 참여 경험이 있는 ES 국외 연구 전문가 20명을 선정하였다. 첫째 그룹 데이터 수집은 2019년 11월 2일부터 11월 30일까지

실시되었다. 영국의 ES 연구 그룹팀의 각 ES 세부 분야 전문가들을 대상으로 면대면 인터뷰를 실시했다. 이후, 2019년 12월 1일부터 12월 11일까지 수집된 1차 인터뷰 내용을 정리 및 가공하였다. 두 번째 데이터 수집은 1차 그룹 데이터 수집에 참여한 20명을 대상으로 합의된 의견 도출을 위해 2019년 12월 14일부터 1월 15일까지 의견 수집이 이루어졌다. 이때 면대면 인터뷰와 함께 델파이 분석의 통계적 절차에 따라 수집된 의견을 계량화하였다.

(2) 토지이용점수화 접근법(Land Use Scoring Method)

ES의 공급량을 평가하고 지도화할 때 사용하는 접근 방법으로 토지이용점수화(Land Use Scoring) 접근법을 사용하였다. 이 접근법은 ES 공급량을 추정할 수 있는 데이터가 제한적일 때, 전문가 등의 참여자가 직관적으로 이해하기 쉬우며, 각 토지 이용에 대한 일반적으로 가장 가능성이 높은 점수를 반영하기 때문에 현장 접근이 어려운 산림 지역을 대상으로 계획 가정의 초기 조건을 평가하는데 적합한 방법이라고 할 수 있다(Burkhard *et al.*, 2012; Kopperoinen *et al.*, 2014; Vrebos *et al.*, 2015; Dunford *et al.*, 2018).

본 연구에서 적용한 토지이용에 따른 전문가의 ES 공급 점수 부여에는 다음과 같은 특징을 지니고 있다. 첫째, 특정 ES와 관련된 변수에 마이너스 점수를 부여하지 않는다. 이는 부의 영향을 주는 생태계의 지표를 포함할 때에는 보다 상세한 모델링 수준을 필요로 하기 때문에, 부의 영향이 ES의 편익보다 높아지는 것을 보정하기 위함이다. 둘째, 기본 점수는 특정 서식지의 일반적인 상태를 나타내며, 조건 승수는 일반적인 조건으로부터의 편차를 나타낸다. 승수의 경우 평균 서식 조건을 나타내기 위해 1로 설정하고, 평균 조건일 경우 곱하기 1, 평균보다 나은 경우 >1의 승수를 평균 보다 나쁜 경우 <1의 승수를 적용하여 평가한다. 셋째, 개별 ES의 공급량을 나타내기 위한 점수는 0-10의 공통 점수 척도로 정규화했는데, 10은 모든 승수를 고려한 ES의 최대 가능점수를 나타낸다. 이러한 정규화는 수요자가 세부 ES의 공급량을 쉽게 비교할 수 있도록 돕기 위함이다. 임상도의 토지 이용 점수화 방법은 ARIES, InVEST 등의 모델처럼 생물리적 변수를 입력하여, 구체적인 수치를 모델링하는 생태계 서비스 평가방법은 아니다. 하지만, 이 방법은 한 지역의 생태계 서비스 공급 패턴에 대한 개요를 효율적으로 제공하고, 추가 연구를 위한 영역을 파악하는 데

기초 자료를 제공하는데 사용할 수 있다. 예를 들어, 해당 산림의 수질조절 ES 공급량이 높게 나타났다고 하면, 대상지역을 중심으로 물 공급 측면에서 상세한 모델링의 후속 작업을 수행하는 근거가 될 수 있는 것이다.

임상도의 입목지 구분, 임종, 임상, 세부수종, 직경, 수령, 수관밀도, 수고 및 생태자연도의 식생평가, 동식물평가, 종합등급에 대해 10개의 개별 ES에 대해 관련성의 정도에 따라 0점부터 10점의 점수를 부여하였다. 공급량 점수의 1차 고안은 20년 3월 30일부터 4월 17일까지 본 연구의 연구자들이 10개의 ES에 영향을 주는 개별 변수들에 대한 문헌 분석과 논의를 통해 설정하였고, 이에 대해 2차적으로 4월 22일부터 5월 11일까지 논의된 점수와 근거를 제공하여 산림 ES 분야 전문가 10명에게 점수의 타당성에 대한 의견 검토를 받았다. 2차에서 검토된 의견에 기초하여 개별 생태계 서비스 별 부여 점수를 수정 하였고, 3차적으로는 5월 15일부터 5월 22일까지 세부 10개 ES 연구 관련 전문가와 1:1 인터뷰를 통해 2차 수정 의견 점수에 대한 보정을 하였다. 이렇게 기존 문헌연구와 전문가의 직관적 의견에 기초하여 ES 공급에 대한 점수를 부여하였다. 도출된 결과를 토대로 강원도 가리왕산과 경기도 연인산의 ES 공급량을 살펴보고, 이들의 공급량 분포 특성을 고찰하였다.

(3) 공간 분석

산림 ES를 계산하는 공간형태의 기준은 불규칙한 면 벡터형태(Portalanza *et al.*, 2019), 그리드로서는 25m부터 1km까지 다양하게 이루어져 왔다(Sharps *et al.*, 2017; Benedetti *et al.*, 2020). 불규칙한 면 형태의 경우 실세계의 정보를 그대로 담을 수 있다는 장점이 있지만 공간정보가 규칙적으로 배열되어 있지 않아 지도상에서 사용자 하여금 해석의 오류를 불러일으킬 가능성이 있으며, 데이터 수집의 문제로 Null값을 가지는 빈 공간이 생길 수 있다. 반면 그리드 형태의 경우 Null값의 문제는 해결할 수 있으나, 면적의 가중치가 적용되어 있지 않아 특정 서비스 값이 과소 혹은 과대 추정될 수 있다는 단점을 지닌다. 이에 본 연구에서는 규칙적인 50m × 50m 그리드를 생성하고, 불규칙한 면 형태의 원본 데이터를 union(결합)한 형태로 ES의 점수를 계산하였다. 과정은 식 (1)과 같으며, 하나의 셀에 포함된 불규칙한 면 데이터의 면적을 각각 구한 후, 각 서비스 점수를 면적 가중치로 환산하여 하나의 셀에 점수가 합산되게 점수화를

진행 하였다. 이는 기존 불규칙한 면 형태 혹은 그리드 형태를 결합한 공간 구조로써 그리드의 해상도 변화로 인한 합산결과 값의 변화 및 데이터의 과대/과소 추정문제를 최소화할 수 있는 방법이라 할 수 있다.

$$T = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \left(\frac{A_i \times A_j}{S_j} \right) \quad (1)$$

- T = 총 점수
- n = 그리드의 수, j = 그리드
- m = 한 그리드에 포함된 불규칙한 면의 수,
- i = 불규칙 면
- A_i = 한 면의 점수(score)
- A_i = 불규칙 면의 각 면적
- S_j = 한 그리드의 면적(50 × 50 = 2500m²)

신유진 등(2016)은 가리왕산 중심을 반경으로 10Km 범위의 연구지역을 설정하여 ES의 가치평가를 진행하였다. 본 연구에서는 가리왕산과 연인산 그리드 및 연구지역의 범위를 산림의 경계면(한국 보호지역 DB 관리 시스템 경계 기준) 이외에 5, 7, 10km로 설정하였다. 본 연구에서 공간분석의 목적은 산림의 범위 내 여러 변수를 이용해 개별 ES의 공급량에 대한 인덱스를 추출하고 순위를 보는 것으로, 지역의 산림 마다 그 크기는 다른 가운데 같은 스코어링을 적용해야하기 때문에 등산로와 수치표고모델 데이터를 활용하여 일괄적인 범위를 지정했다. 가리왕산 및 연인산 등산로의 경우 대부분 반경 5km 및 7km 내에 입구가 있으며, 등산로 입구의 경우, 산림 경계면의 출발지점이 되기 때문에 5km를 최소범위로, 7km를 중간범위로 지정하였다. 수치표고모델로 산의 분수계와 능선을 산출한 결과, 두 산 모두 10km 내에 펼쳐져 있음을 확인할 수 있으며, 이에 따라 최대범위는 10km로 지정하였다(그림 1).

연구방법의 단계별 모식도는 다음과 같다(그림 2).

IV. 결과

1. 지역 산림(강원도 가리왕산과 경기도 연인산)을 대상으로 한 대표 ES 추정

ES 분류 대표 국의 문헌(Reid *et al.*, 2005; Hanines-Yong

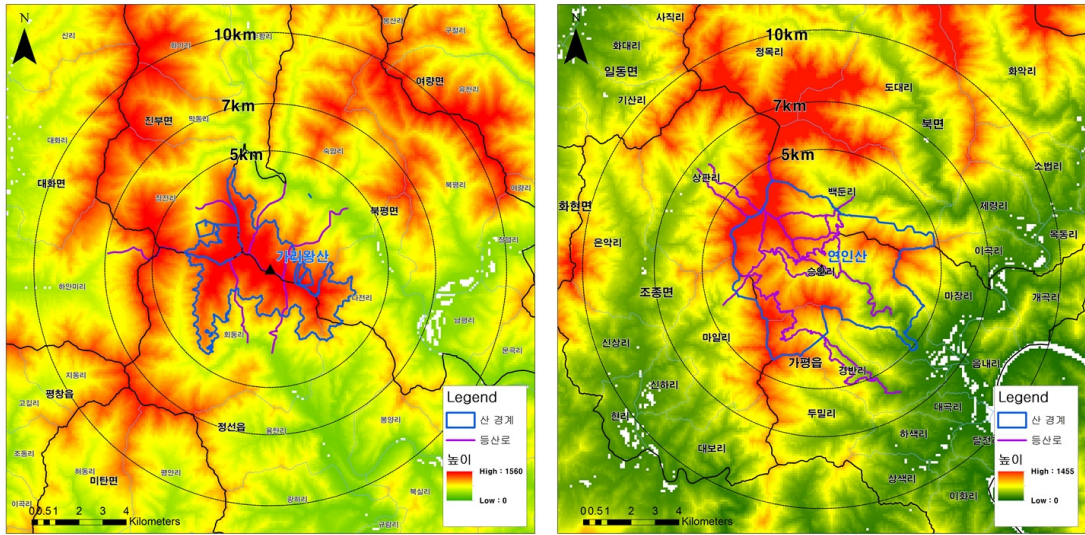


그림 1. 가리왕산(좌) 및 연인산(우) 연구지역 범위

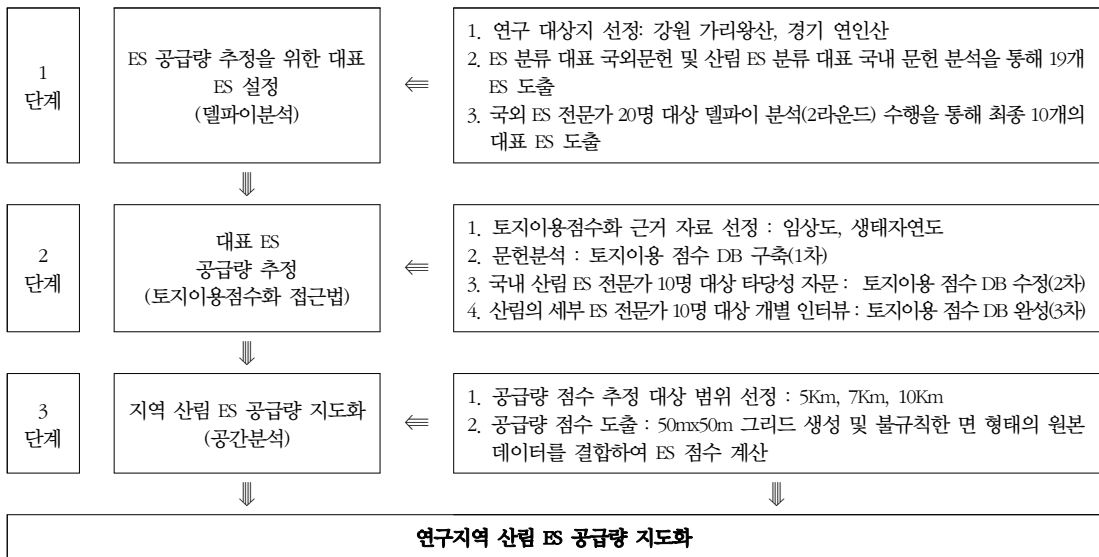


그림 2. 연구방법의 단계별 모식도

and Potschin, 2012)과 산림청에서 국내의 지역 산림을 대상으로 ES를 세부 분류한 국내 문헌(한국환경정책·평가연구원 편, 2018)의 결과를 제공하고, 20명의 ES 연구 전문가를 대상으로 델파이분석을 수행한 결과 최종 10개의 대표 ES를 도출할 수 있었다(표 2). 내용타당도(Content Validity Ratio), 안정도(Coefficient of Variance), 최종 수렴도(Degree of Convergence), 최종 합의도(Degree of

Consensus)의 4가지 지표 기준 모두 충족하는 ES를 국내 지역 산림에 적용할 수 있는 대표 ES로 선정하였다. 내용타당도는 Lawshe(1975)가 제시한 델파이 전문가 수에 따른 CVR 비율의 최소값 기준에 따라 0.42로 설정하였다. 안정도를 나타내는 변이계수는 0.5 이하인 경우 높은 수준의 합의 정도를 나타낸다고 설정하였으며(강영호 등, 1998), 최종수렴도는 0.50 이하, 합의도는 0.75점

표 2. 우리나라의 지역 산림을 대상으로 적용 가능한 세부 ES 델파이 분석 결과

IS		공급서비스				조절서비스								문화서비스				지시 서비스		
세부 서비스	내용타당도	비목재 임산물 공급	목재 공급	어류 공급	수자원 공급	홍수 조절	침식 조절	수질 조절	탄소 조절	대기 질 조절	열섬 방지 및 그늘 조절	소음 조절	수분 조절	해충 방지 조절	레크리에이션 및 관광	이름 다른 경치	자연에 대한 교육	자연과 상호 작용	장소감	생물 다양성 증진
		내용타당도	0.50	0.60	0.30	0.70	0.40	0.70	0.60	0.80	0.60	0.40	0.30	0.40	0.20	0.70	0.30	0.60	0.20	0.40
안정도	Ne	15.00	16.00	13.00	17.00	14.00	17.00	16.00	18.00	16.00	14.00	13.00	14.00	12.00	17.00	13.00	16.00	12.00	14.00	19.00
	N2	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
	SD	0.88	0.85	0.64	0.64	0.55	0.53	0.55	0.64	0.80	0.89	1.08	0.93	0.77	0.70	1.12	0.79	0.60	0.79	0.59
	M	3.95	4.10	3.75	4.10	3.75	4.20	3.9	4.25	4.30	3.80	3.70	3.85	3.80	4.20	3.75	4.00	3.55	4.00	4.35
	CV(반이계수)	0.21	0.21	0.17	0.16	0.15	0.20	0.14	0.15	0.19	0.24	0.29	0.24	0.20	0.17	0.30	0.20	0.17	0.20	0.13
수렴도	수렴도과정	0.50	1.00	1.00	0.25	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.25	1.25	1.00	1.00	2.00	0.25	1.00	2.00	1.00
	최종 수렴도	0.25	0.50	0.50	0.13	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	0.68	0.68	0.50	0.50	1.00	0.13	0.50	1.00	0.50
합의도	합의도 과정	0.50	1.00	1.00	0.25	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.25	1.25	1.00	1.00	2.00	0.25	1.00	2.00	1.00
	MH(중앙값)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.50	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	최종 합의도	0.88	0.75	0.75	0.94	0.75	0.75	1.00	0.75	0.78	0.75	0.69	0.69	0.75	0.75	0.50	0.94	0.75	0.50	0.75

* 최종 선정된 세부 IS는 이탤릭체로 표시

이상인 경우 전문가들의 의견이 합의점에 도달한 것으로 설정하였다(이종성, 2001). 공급서비스에서는 수자원 공급(0.70)이 가장 높은 내용 타당도를 나타냈고, 그 뒤를 목재공급(0.60), 비목재 임산물공급(0.50) 순으로 나타났다. 조절서비스에서는 탄소 조절(0.80)이 가장 높은 타당도를 나타내는 서비스로 나타났고, 침식조절(0.70), 수질조절(0.60), 대기질조절(0.60)이 그 뒤를 이었다. 문화서비스에서는 레크리에이션 및 관광(0.70)이 가장 높은 타당도를 나타내는 서비스로 나타났으며, 자연에 대한 교육(0.60)이 다음 순으로 나타났다. 지시서비스에서는 유일한 서비스로 있는 생물다양성증진(0.90)이 가장 높은 내용 타당도를 나타내는 서비스로 나타났다.

한국환경정책·평가연구원 편(2018)이 국내에서 가용 자료 목록을 기준으로 도출한 가리왕산의 생태계 서비스 목록은 공급서비스에서 작물, 임산물, 약용식물, 수원 함양 4가지 서비스였고, 조절서비스에서는 대기질 개선, 기후 조절, 토사유출방지 3가지 서비스, 문화서비스에서는 산림휴양 1가지 서비스였다. 본 연구에서 도출한 ES는 공급서비스에서 목재공급, 비목재 임산물공급, 수자원공급 3가지 서비스, 조절서비스에서 침식조절, 수질조절, 탄소조절, 대기질조절 4가지 서비스, 문화서비스에서 레크리에이션 및 휴양, 자연에 대한 교육 2가지 서비스, 지시서비스로 생물다양성증진 1가지 서비스로 나타

났다. 이러한 차이점은 한국환경정책·평가연구원 편(2018)에서는 서비스별로 분석에 활용할 수 있는 국내의 가용 통계 자료에 기반했기 때문이고, 본 연구에서는 ES를 선정하는 기준에 있어 ES 연구를 수행하는 국제 전문가들이 국내 산림 자원의 특성에 기반하여 ES의 보편적 논의에 적용할 수 있는 대표 ES를 선정하는데 전문가의 직관적 견해에 기반했다는 점에 따라 결과가 다르게 나타났다고 사료된다. 또한, 공급량을 산정하는데 있어서도 2차 통계 자료 분석이 아니라 공간 데이터를 활용하여, 전문가의 직관적인 의견에 기반한 접근법을 차용함으로써 점수화할 수 있는 산림 ES의 종류가 보다 다양해졌다고 평가할 수 있다.

2. 강원도 가리왕산의 ES 공급량 및 우선순위

강원도 가리왕산 지역을 대상으로 10개의 세부 ES 공급량 지도가 그림 3과 같이 나타났다.

연구 결과, 가리왕산의 ES 공급량은 수질조절(1순위) 서비스가 가장 높게 나타났다. 다음으로 같은 조절서비스인 침식조절(2순위), 탄소조절(3순위) 순으로 나타났으며 대기질조절(9순위) 서비스는 조절서비스 중에서는 가장 낮은 공급량을 보이는 것으로 나타났다. 공급서비스 중에서는 수자원공급서비스(4순위)의 공급량이 가

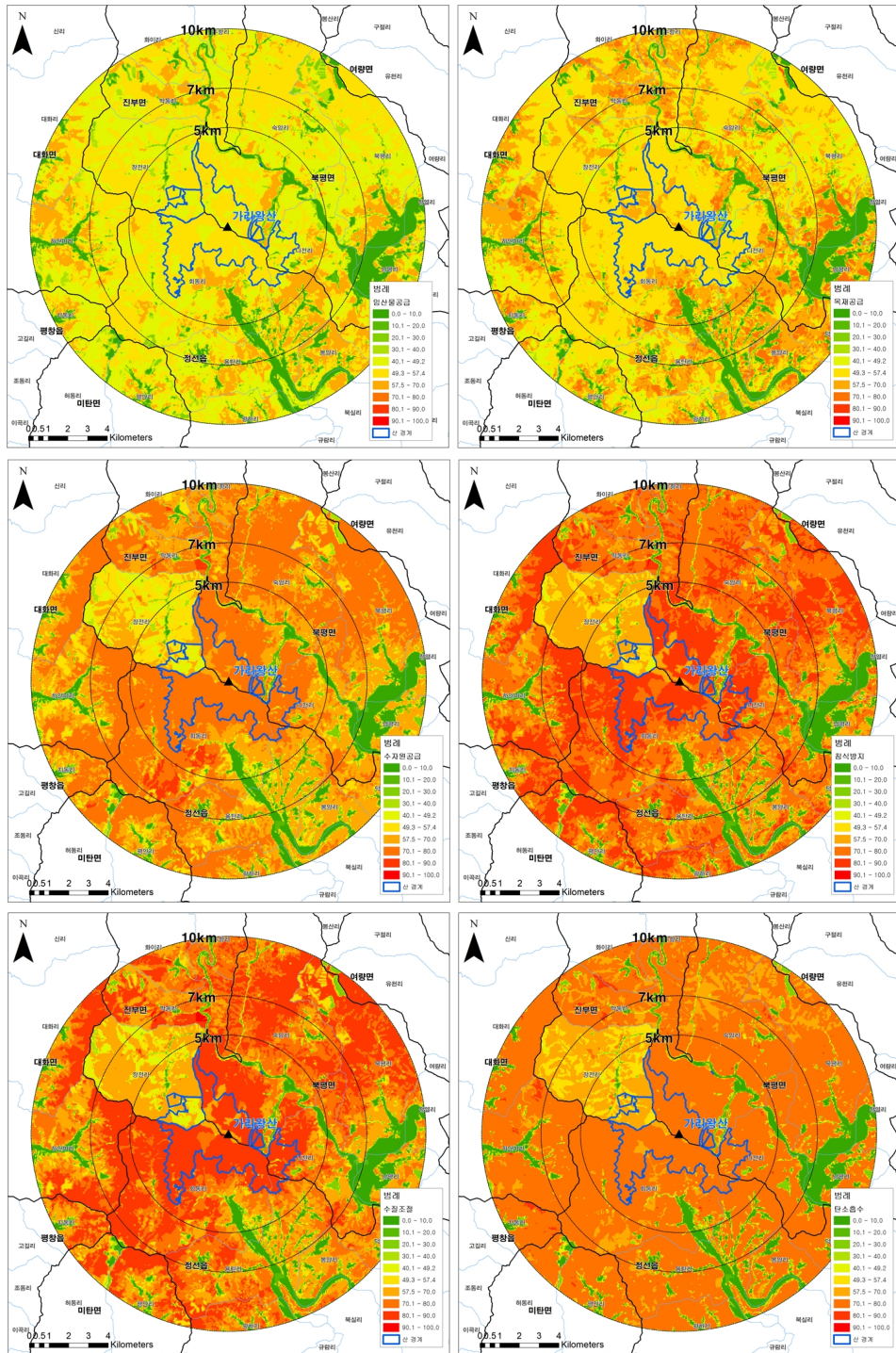


그림 3. 강원도 가리왕산 지역의 ES 공급량

* 상단부터 하단, 좌측에서 우측 순으로 비목재 임산물공급, 목재공급, 수자원공급, 침식조절, 수질조절, 탄소조절, 대기질조절, 레크리에이션 및 관광, 자연에 대한 교육, 생물다양성증진

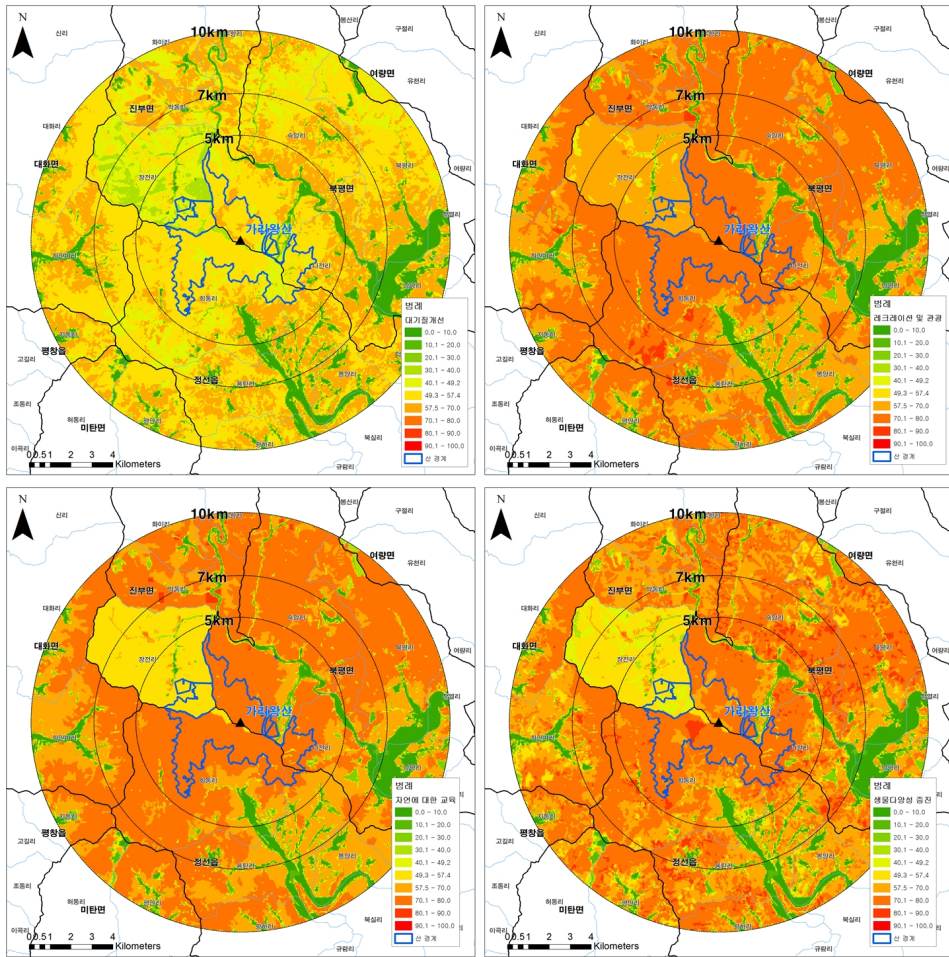


그림 3. 강원도 가리왕산 지역의 ES 공급량(계속)

* 상단부터 하단, 좌측에서 우측 순으로 비목재 임산물공급, 목재공급, 수원공급, 침식조절, 수질조절, 탄소조절, 대기질조절, 레크리에이션 및 관광, 자연에 대한 교육, 생물다양성증진.

장 높게 나타났고, 다음으로 목재공급(8순위), 비목재 임산물 공급(10순위)로 나타났다. 문화서비스 중에서는 레크리에이션 및 관광(5순위) 서비스가 자연에 대한 교육(6순위) 서비스 보다 높게 나타났으며, 지지서비스인 생물다양성증진(7순위)서비스는 문화서비스 보다 낮게 나타났다(표 3).

도출된 결과의 신뢰성을 확보하기 위해서 관리자 10명 및 지역 주민 대표 25명에게 본 연구 결과에 대한 타당성을 설문으로 조사한 결과 상당히(86% 동의) 일치하는 결과를 나타냈다. 가리왕산은 수질조절 및 수원공급과 관련된 기능이 가장 중요시 되어 관리되어 오고 있고, 지역 주민들도 이에 대해 공감하고 있는 것으로 나타

났다. 연구자들은 가리왕산이 산림유전자원보전 지역으로 설정되어 있어 당초 연구를 설계할 시 생물다양성증진 서비스 기능이 높을 것이라 예상했지만, 실제 데이터 상에서는 그렇게 나타나지 않았고, 관리자와 지역주민들 모두 산림유전자원보전 지역은 가리왕산의 일부 지역에 국한되어 있기 때문에 이와 관련된 서비스가 높지 않게 나타난 본 결과에 동의한다고 하였다.

3. 경기도 연인산의 ES 공급량 및 우선순위

경기도 연인산 지역을 대상으로 10개의 세부 ES 공급량 지도가 그림 4와 같이 나타났다.

표 3. 강원도 가리왕산의 ES 공급량 우선순위 결과

공급량	대분류	세부 ES	공급량 통계		
			총점수	평균	표준편차
1순위	조절서비스	• 수질조절: 수질형성물질의 산림 내 통과 후 계류수의 용존물질 정화	711472.3	78.4	10.3
2순위	조절서비스	• 침식조절: 수목의 뿌리가 지표면 부근의 토양을 긴박하게 하고, 유수의 침식에 대한 저항력을 크게 하여 표층의 토사붕괴를 방지	690864.5	76.1	8.9
3순위	조절서비스	• 탄소조절: 수목의 잎과 뿌리 등의 조직을 통해 탄소가 저장 및 흡수되는 기능	662642.1	73.0	7.0
4순위	공급서비스	• 수자원공급: 산림으로 부터 얻을 수 있는 물의 공급	661384.5	72.9	9.7
5순위	문화서비스	• 레크리에이션 및 관광: 산림 관리를 통해 레크리에이션 및 관광 활동에 기여	654022.7	72.1	5.9
6순위	문화서비스	• 자연에 대한 교육: 자연의 역사, 문화적 가치에 대한 교육	644113.4	71	7.3
7순위	지지서비스	• 생물다양성증진: 산림 생태계를 이루고 있는 생물의 다양성을 증진	634110.4	69.9	8.7
8순위	공급서비스	• 목재공급: 재료로 쓰일 수 있는 목재의 공급	478328.9	52.7	4.2
9순위	조절서비스	• 대기질 개선: 수목의 잎과 수관을 통해 대기의 공기가 조절, 정화되는 기능	455426.4	50.2	4.6
10순위	공급서비스	• 비목재 임산물공급: 목재 이외에 산림에서 나오는 버섯, 과일, 견과류 등의 부산물 공급	450685.2	49.6	3.5

연구 결과, 연인산의 ES 공급량은 레크리에이션 및 관광(1순위) 서비스가 가장 높게 나타났다. 다음으로도 조절서비스인 수질조절(2순위), 침식조절(3순위), 탄소조절(4순위) 순으로 나타났으며, 문화서비스인 자연에 대한 교육(5순위)가 그 다음으로 나타났다. 공급서비스 중에서는 목재공급(6순위), 수자원공급(7순위), 비목재 임산물공급(9순위) 순으로 나타났으며, 지지서비스인 생물다양성증진(8순위)로 나타났으며, 조절서비스인 대기질 조절서비스(10순위) 가장 낮은 공급량을 나타냈다 (표 4).

가리왕산과 마찬가지로 도출된 결과의 신뢰성을 확보하기 위해서 관리자 10명 및 지역 주민 대표 22명에게 본 연구 결과에 대한 타당성을 설문으로 조사한 결과 상당히(81% 동의) 일치하는 결과를 나타냈다. 연인산은 서울 등 대도시와 인접한 산림으로서, 현대사회 도시민의 관광활동을 위한 배후지 역할을 하고 있기 때문에 레크리에이션 기능이 가장 중요시 된다고 하였다. 임업에서의 전통적인 목재생산, 비목재 임산물공급의 기능보다 관광분야 활성화에 따른 문화서비스가 더 요구되고 있는 실정이라고 하였다. 따라서, 관광객 유인으로 지역주민의 소득과 직접적인 관련이 있는 문화서비스 증진을 통해 지역 자원을 더 가치있게 활용하고 유지하기 위해 노력하고 있으며 탐방객의 감소 등에 신경을 쓰고 이를

활성화하기 위한 노력을 하고 있다고 응답하였다.

V. 결론 및 논의

본 연구의 목적은 국내 지역 산림을 대상으로 ES 공급량 및 수요량 추정 연구 수행 시 대상이 되는 대표 ES를 선정하고, 개별 생태계 서비스의 공급량을 추정 및 지도화하여 지역 산림을 활용한 ES 관련 정책 수립 시 근거가 되는 기초자료를 제공하는 데 있다.

본 연구의 결과는 다음과 같다. 첫째, 델파이 분석 결과 지역 산림을 대상으로 적용가능한 개별 ES로 공급서비스에서는 비목재 임산물공급, 목재공급, 수자원공급이, 조절서비스에서는 침식조절, 수질조절, 탄소조절, 대기질조절이, 문화서비스에서는 레크리에이션 및 관광, 자연에 대한 교육이, 지지서비스에서는 생물다양성증진 서비스가 대표서비스로 도출되었다. 이는 한국환경정책·평가연구원 편(2018)이 국내에서 가용 자료 목록을 기준으로 도출한 가리왕산의 세부 생태계 서비스 목록(8가지) 보다 세분화된 결과이다. 본 연구는 국내 지역 산림 자원의 특성에 대한 설명에 기초하여, ES를 연구하는 국외 전문가들의 견해에 중점을 두고 델파이분석을 수행한 결과라는 점과 가용가능한 통계 자료 기반이 아닌

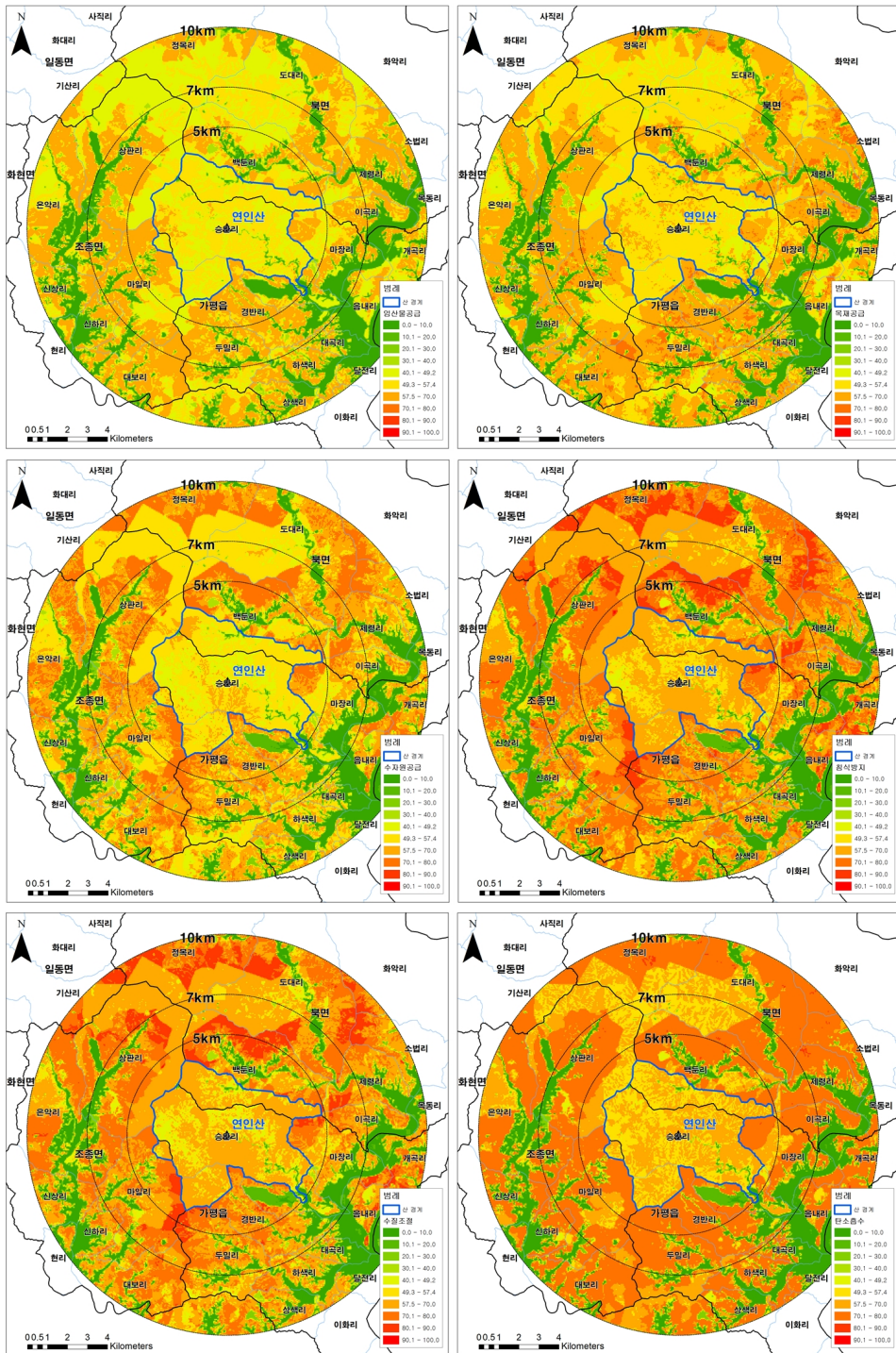


그림 4. 경기도 연인산 지역의 ES 공급량

* 상단부터 하단, 좌측에서 우측 순으로 비목재 임산물공급, 목재공급, 수자원공급, 침식조절, 수질조절, 탄소흡수, 대기질조절, 레크리에이션 및 관광, 자연에 대한 교육, 생물다양성증진.

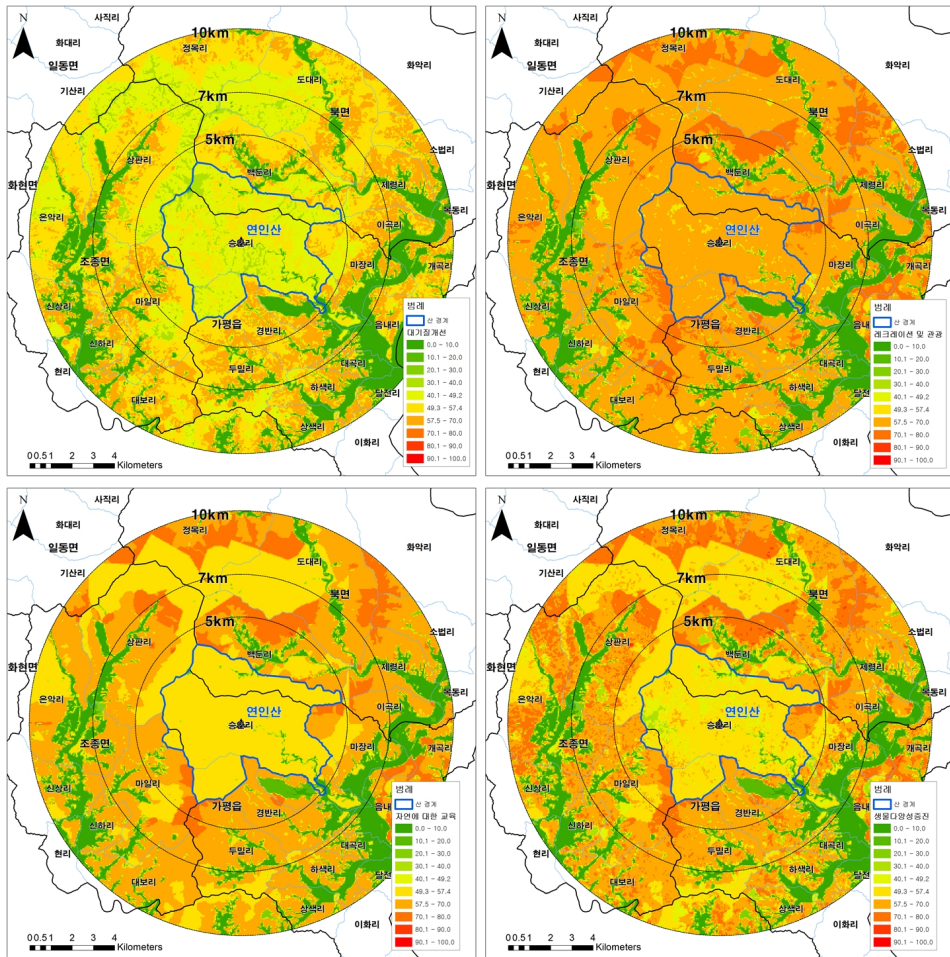


그림 4. 경기도 연인산 지역의 ES 공급량(계속)

* 상단부터 하단, 좌측에서 우측 순으로 비목재 임산물공급, 목재공급, 수자원공급, 침식조절, 수질조절, 탄소조절, 대기질조절, 레크리에이션 및 관광, 자연에 대한 교육, 생물다양성증진.

표 4. 경기도 연인산의 ES 공급량 우선순위 결과

공급량	대분류	세부 ES	공급량 통계		
			총점수	평균	표준편차
1순위	문화서비스	• 레크리에이션 및 관광: 산림 관리를 통해 레크리에이션 및 관광 활동에 기여	899704.7	58.6	7.1
2순위	조절서비스	• 수질조절: 수질형성물질의 산림 내 통과 후 계류수의 용존물질 정화	882099.7	57.4	9.0
3순위	조절서비스	• 침식조절: 수목의 뿌리가 지표면 부근의 토양을 긴박하게 하고, 유수의 침식에 대한 저항력을 크게 하여 표층의 토사붕괴를 방지	878652.5	57.2	8.2
4순위	조절서비스	• 탄소: 수목의 잎과 뿌리 등의 조직을 통해 탄소가 저장 및 흡수되는 기능	868436.5	56.5	7.3
5순위	문화서비스	• 자연에 대한 교육: 자연의 역사, 문화적 가치에 대한 교육	807421.2	52.6	6.4
6순위	공급서비스	• 목재공급: 재료로 쓰일 수 있는 목재의 공급	799898.2	52.1	7.3
7순위	공급서비스	• 수자원공급: 산림으로 부터 얻을 수 있는 물의 공급	796626.2	51.9	8.1
8순위	지지서비스	• 생물다양성증진: 산림 생태계를 이루고 있는 생물의 다양성을 증진	795989.1	51.8	7.6
9순위	공급서비스	• 비목재 임산물공급: 목재 이외에 산림에서 나오는 버섯, 과일, 견과류 등의 부산물 공급	753238.2	49.0	6.5
10순위	조절서비스	• 대기질 개선: 수목의 잎과 수관을 통해 대기의 공기가 조절, 정화되는 기능	685004.4	44.6	6.9

공간 데이터를 활용하여, 국내 ES연구 전문가의 직관적인 견해에 기반한 접근법을 활용하여 점수화할 수 있는 지역 산림 대상 ES를 선정하였다는 점에서 국내의 기존 연구들과 차별점을 지닌다고 할 수 있다. 둘째, 국내 지역 산림자원의 특성에 따라 ES의 공급량이 다르게 나타났다. 가리왕산의 경우 조절서비스인 수질조절 서비스가 가장 높은 공급량으로 나타났으며, 연인산의 경우 문화서비스인 레크리에이션 및 관광 서비스가 가장 높은 공급량으로 나타났다. 세부 ES 공급량의 우선순위도 모두 다르게 나타났다. 이는 자원의 특성에 따라 ES 공급량이 다르게 나타나며, 이에 대한 관리도 차별적으로 이뤄져야 한다는 점을 시사한다. 셋째, 토지이용점수와 평가 방법을 통해 두 지역 산림에 대한 ES 공급 지도를 도출하고 타당성을 검증하였다. 임상도와 생태자연도라는 자료에 기반하고, 이에 대한 전문가의 직관에 기초한 스코어링 점수에 기초한 공급량 평가가 지역 산림을 대상으로 한 초기의 ES 공급량을 평가하는데 있어서는 효율적으로 활용 될 수 있다는 점을 확인할 수 있었다.

본 연구의 의의는 다음과 같다. 첫째, 국제에서 통용되는 ES 분류체계에 기초하여, ES를 연구하는 국외 전문가들의 입장에서 국내의 지역 산림을 대상으로 한 대표 ES를 추정해다는 점에 의의가 있을 것이다. 둘째, 본 연구는 현재까지 국내에서 구체적인 지역의 산림 지역을 대상으로 한 ES 공급지도가 없는 상황에서 초기에 이를 과학적인 자료와 전문가의 직관, 관련 지역주민 및 관리자의 검증이라는 방법을 통해서 제시하였다는 점에서 의의를 가진다고 할 수 있다.

본 연구의 한계점은 다음과 같다. 첫째, 연구대상지역인 가리왕산과 연인산이 국내 지역의 산림의 특성을 대표해서 반영한다고 볼 수는 없다. 국내 지역의 산림 특성을 대표해서 반영할 수 없다. 따라서, 향후 국내 지역의 다양한 산림을 대상으로 자원 특성별 차이를 세분화 하여 그룹핑하고, 본 연구와 같은 절차의 연구를 수행할 수 있다면 보다 정교한 연구 결과가 도출 될 것이라 사료된다. 둘째, 전문가의 식견에 기초해 스코어링을 했지만 그 기반으로 사용된 자료가 임상도와 생태자연도로 제한적이었다는 점이다. 토지이용접근법은 ES 공급량을 추정할 수 있는 데이터가 제한적일 때, 현장 접근이 어려운 산림 지역을 대상으로 계획 가정의 초기 조건을 평가하는데 적합한 방법이라고 할 수 있다. 하지만, 이를 판단할 수 있는 기준이 많아질 경우 전문가가 점수를 모두 점수화

하기 어렵고, 기반 자료들의 가중치를 어떻게 달리 줄 수 있는지에 대한 문제가 발생한다. 이와 더불어, 국내에서 ES 공급량을 추정할 수 있는 기반 자료들도 공개되는 자료가 매우 제한적이기 때문에 이에 대한 접근에 어려움이 있었다. 개별 ES에 대한 점수를 부여할 수 있는 기반 구축 자료들에 대한 접근이 확보되고, 전문가들의 합의를 통해 개별 ES에 대한 기반 구축 자료의 가중치에 대한 합의를 도출할 수 있다면 보다 명확한 지역 산림의 생태계 서비스 공급량 추정이 가능할 것이라 사료된다. 셋째, 도출된 ES 공급량의 타당성을 조사하는데 있어 대상지역 산림의 생태계 서비스 관리 주체와 지역주민 대표 설문을 통해 이에 대한 의견을 조사했다. 개별 대상에 대해 대면 인터뷰 및 전화 설명 등을 통해 결과에 대해 자세히 설명했지만, 이에 대한 이해가 충분하지 않을 수 있음을 인정할 수 밖에 없다. 주로 공급량 1순위로 도출된 ES에 대한 신뢰성에 대한 판단을 했던 것으로 사료되고, 2순위 -10순위에 대해 도출된 서비스에 대해서는 구체적으로 세부 ES 간의 우선순위가 타당하지 아닌지에 대해서 깊이 있는 의견을 주기 어려웠을 것이라 판단된다. 후속연구로 개별 ES에 대해 충분히 자세히 설명하고, 이에 대해 이해를 높일 수 있는 교육의 시간이 주어지고, 이후 관리자 및 지역주민의 우선순위에 대한 인식을 조사할 필요가 있을 것이라 사료된다. 이에 대한 관리자의 우선순위에 대한 인식, 지역주민의 우선순위에 대한 인식을 상세하게 조사할 필요가 있을 것이라 사료된다.

참고문헌

- 강영호·윤석준·강길원·김창엽·유근영·신영수, 1998, “텔과 이기법을 적용한 암연구수준의 평가”, 예방의학회지, 31(4), 844-856.
- 공민재·이병모·김남춘·손진관, 2014, “논습지의 생태계서비스 가치평가를 위한 기능 및 요인분석” 한국습지학회지, 16(2), 251-259.
- 김근한·이길상·김오석·최희선, 2019, “용도지역과 로지스틱 회귀분석을 이용한 도시지역 확장 예측 연구”, 한국지리학회지, 8(3), 517-527.
- 김성훈·장동호·유재진, 2016, “생태계서비스의 조절서비스 중 침식조절에 대한 가치평가 연구: 서천군을 대상으로” 한국사진지리학회지, 26(1), 15-34.

- 김예화·정승규·정슬기·이동근, 2015, “산림 생태계 서비스를 고려한 산림 보전가치 평가: 가평군을 대상으로” 환경영향평가, 24(5), 420-431.
- 김유훈·최재용·윤정호·김오석·김근환, 2018, “정밀 임상도를 이용한 1:5,000 국토환경성평가지도 구축 가능성 검토” 한국지리학회지, 7(1), 115-128.
- 김은영·김지연·정혜진·송원경, 2017, “도시공원의 생태계서비스 평가지표 개발 및 측정가능성 검토” 환경영향평가, 26(4), 227-241.
- 김일권·김성훈·이재혁·권혁수, 2018, “지역 환경분야 이해당사자 인식을 반영한 생태계서비스 우수지역 분석: 안산시를 대상으로” 환경영향평가, 27(5), 417-430.
- 김일권·김성훈·이주은·권혁수, 2019, “생태계서비스 번들을 이용한 경기도 도시의 유형화” 환경영향평가, 28(3), 201-214.
- 김지수·한승현·장한나·김태연·장인영·오우석·서창완·이우균·손요환, 2016, “탄소 저장량을 이용한 국내 주요 생태계 기후 조절 서비스 지표 선정” 한국환경생물학회지, 34(1), 8-17.
- 노영희·김충기·홍현정, 2016, “제주 생태계 조절서비스의 시계열적 변화: 탄소고정량 추정 및 경제성 평가를 중심으로” 환경정책, 24(2), 29-44.
- 박미정·장도담·전정배·최진아·임창수·김은자, 2017, “농촌 경관 생태계서비스 가치를 고려한 관리지표 개발” 농촌계획, 23(4), 127-141.
- 박미정·전정배·최진아·김은자·임창수, 2016, “토지피복 지도를 이용한 생태계 서비스 가치 변화 분석” 한국지역사회생활과학회지, 27(S), 681-688.
- 박철웅, 2020, “경관, ‘장소’ ‘이미지’로서의 무등산 읽기” 한국지리학회지, 9(1), 67-89.
- 사공정희·정옥식·여형범, 2015, “충청남도 논습지의 생태계 서비스 가치 평가” 농촌계획, 21(3), 1-17.
- 산림청, 2019, 「2019년 임업통계연보 (제49호)」, 대전 산림청.
- 송철호·이우균·최현아·전성우·김재욱·김준순·김정택, 2015, “산림의 수자원 공급 생태계서비스 평가를 위한 InVEST Water Yield 모형의 적용” 한국지리정보학회지, 18(1), 120-134.
- 신유진·박수진·박찬열, 2016, “선택 실험법을 이용한 문화 생태계서비스의 가치 평가” 한국산림휴양학회지, 20(2), 65-77.
- 오우석·이창석, 2014, “훼손된 생태계의 복원을 통한 생태계 서비스의 회복: 채탄쓰레기 매립지 복원지의 사례” 한국환경생물학회지, 32(2), 102-111.
- 오충현·김동효·오창길·이윤환·박은하, 2016, “충남 덕산도립공원 생태계서비스 지불제 도입 방안” 문화과학, 15(2), 97-124.
- 원호연·이영상·문형태, 2015, “월악산 신갈나무림의 유기탄소 분포와 순환을 통한 생태계서비스 가치평가” 한국습지학회지, 17(4), 332-338.
- 이종성, 2001, 「연구방법 21: 델파이 방법」, 서울: 교육과학사.
- 전성우·김재욱·김유훈·정휘철·이우균·김준순, 2015, “생태계 서비스 기능평가를 위한 중분류 토지피복지도 산림 지역 경계설정 개선 방안” 한국환경복원기술학회지, 18(1), 127-133.
- 전성우·김재욱·정휘철, 2013, “생태계 서비스 가치평가를 위한 산림 유형 분류 방안: 임상도와 토지피복도 활용을 중심으로” 한국환경복원기술학회지, 16(3), 31-39.
- 전성우·김재욱·정휘철·이우균·김준순, 2014, “생태계 서비스 가치평가를 위한 멸종위기 포유류의 중분포 연구: 전국자연환경조사 자료를 중심으로” 한국환경복원기술학회지, 17(1), 111-1226.
- 정필모·서종철, 2014, “서천 일대의 생태자산 재구성을 통한 생태계서비스 제공” 한국지역지리학회지, 20(2), 189-205.
- 조효선·이석모, 2016, “산림생태계의 구성요소와 서비스의 정량화 연구” 수산해양교육연구, 28(2), 391-400.
- 한국환경정책·평가연구원 편, 2017, 「산림 생태계서비스 기능별 평가기법 개발 및 가치평가」, 세종: 한국환경정책·평가연구원.
- 한국환경정책·평가연구원 편, 2018, 「산림생태계서비스 유형별 평가지표 고도화 및 평가기법 개발」, 세종: 한국환경정책·평가연구원.
- Adler, M. and Ziglio, E., 1996, *Gazing into the Oracle: The Delphi Method and Its Application to Social Policy and Public Health*, London: Jessica Kingsley Publishers.
- Armstrong, J.S., 2002, Principles of forecasting: A handbook for researchers and practitioners, *International Journal of Forecasting*, 18(3), 345-352
- Bagstad, K.J., Villa, F., Batker, D., Harrison-cox, J., Voigt, B., and Johnson, G.W., 2014, From theoretical to actual ecosystem services: Mapping beneficiaries and spatial flows in ecosystem service assessments,

- Ecology and Society*, 19(2), 64 (<http://dx.doi.org/10.5751/ES-06523-190264>).
- Balvanera, P., Pfisterer, A.B., Buchmann, N., He, J.S., Nakashizuka, T., Raffaelli, D., and Schmid, B., 2006, Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services, *Ecology Letters*, 9(10), 1146-1156.
- Benedetti, Y., Morelli, F., Munafo, M., Assennato, F., Strollo, A., and Santolini, R., 2020, Spatial associations among avian diversity, regulating and provisioning ecosystem services in Italy, *Ecological Indicators*, 108, 105742 (<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105742>).
- Birdir, K., and Pearson, T.E., 2000, Research chefs' competencies: A Delphi approach, *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 12(3), 205-209.
- Boyd, J. and Banzhaf, S., 2007, What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units, *Ecological Economics*, 63(2-3), 616-626.
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., and Müller, F., 2012, Mapping ecosystem service supply, demand and budgets, *Ecological Indicators*, 21, 17-29.
- Castro, A.J., Verburg, P.H., Martín-López, B., Garcia-Llorente, M., Cabello, J., Vaughn, C.C., and López, E., 2014, Ecosystem service trade-offs from supply to social demand: A landscape-scale spatial analysis, *Landscape and Urban Planning*, 132, 102-110.
- Chaudhary, S., McGregor, A., Houston, D., and Chettri, N., 2015, The evolution of ecosystem services: A time series and discourse-centered analysis. *Environmental Science & Policy*, 54, 25-34.
- Costanza, R., 2008, Ecosystem services: Multiple classification systems are needed, *Biological Conservation*, 141(2), 350-352.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., and van den Belt, M., 1997, The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature*, 387(6630), 253-260.
- de Groot, R., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., and Willemen, L., 2010, Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making, *Ecological Complexity*, 7(3), 260-272.
- de Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Chermandi, A., Hein, L., Hussain, S., Kumar, P., McVittie, A., Portela, R., Rodriguez, L.C., Brink, P., and van Beukering, P., 2012, Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units, *Ecosystem Services*, 1(1), 50-61.
- Diaz, M., Concepción, E.D., Oviedo, J.L., Caparrós, A., Farizo, B.Á., and Campos, P., 2020, A comprehensive index for threatened biodiversity valuation, *Ecological Indicators*, *Ecological Indicators*, 108, 105696 (<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105696>).
- Dunford, R., Harrison, P., Smith, A., Dick, J., Barton, D.N., Martin-Lopez, B., Kelemen, E., Jacobs, S., Saarikoksi, H., Turkelboom, F., Verheyden, W., Antunes, P., Aszalos, R., Badea, O., Baro, F., Berry, P., Cavalho, L., Conte, G., Czucz, B., Blanco, G.G., Howard, D., Giuca, R., Baggethun, E., Grizzetti, B., Izakovicova, Z., Kopperoinen, L., Langmeyer, J., Lupque, S., Lapola, M. D., Pastur, G., Mukhopadhyay, R., Roy, S.B., Niemela, J., Norton, L., Ochieng, J., Odee, D., Palomo, I., Phnho, P., Priess, J., Rusch, G., Saarela, S., Santos, R., Wal, J., Vadineanu, A., Vari, A., Woods, H., and Pelkonen, V., 2018, Integrating methods for ecosystem service assessment: Experiences from real world situations, *Ecosystem Services*, 29, 499-514.
- Fisher, B., Turner, R.K., and Morling, P., 2009, Defining and classifying ecosystem services for decision making, *Ecological Economics*, 68(3), 643-653.
- Fisher, J.A. and Brown, K., 2014, Ecosystem services concepts and approaches in conservation, *Ecological Economics*, 108, 257-265.
- Gao, J., Yu, Z., Wang, L., and Vejre, H., 2019, Suitability of regional development based on ecosystem service

- benefits and losses: A case study of the Yangtze River Delta urban agglomeration, China, *Ecological Indicators*, 107, 105579 (<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105579>).
- Guan, Q., Hao, J., Ren, G., Li, M., Chen, A., Duan, W., and Chen, H., 2020, Ecological indexes for the analysis of the spatial-temporal characteristics of ecosystem service supply and demand: A case study of the major grain-producing regions in Quzhou, China, *Ecological Indicators*, 108, 105748 (<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105748>).
- Haines-Young, R. and Potschin, M., 2012, Common international classification of ecosystem services (CICES, Version 4.1), *European Environment Agency*, 33, 107.
- Hernández-Morcillo, M., Plieninger, T., and Bieling, C., 2013, An empirical review of cultural ecosystem service indicators, *Ecological Indicators*, 29, 434-444.
- Kelemen, E., García-Llorente, M., Pataki, G., Martín-López, B., and Gómez-Baggethun, E., 2014, Non-monetary techniques for the valuation of ecosystem service (https://www.guidetoeos.eu/synthesispapers/OpenNESS_SP6_Non-monetary_Valuation.pdf).
- Kezar, A. and Maxey, D., 2016, The Delphi technique: An untapped approach of participatory research, *International Journal of Social Research Methodology*, 19(2), 143-160.
- Kopperoinen, L., Albert, C., and Itkonen, P., 2016, Applications of biodiversity and ecosystem services impact assessment in spatial planning, in Geneletti, D., ed., *Handbook on Biodiversity and Ecosystem Services: Impact Assessment, Research Handbooks on Impact Assessment Series*, Northampton, MA: Edward Elgar, 222-254.
- Kull, C.A., de Sartre, X.A., and Castro-Larrañaga, M., 2015, The political ecology of ecosystem services, *Geoforum*, 61, 122-134.
- Kumar, P., 2010, *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*, London: FSC.
- Lawshe, C.H., 1975, A quantitative approach to content validity, *Personnel Psychology*, 28(4), 563-575.
- Locatelli B., 2016, Ecosystem services and climate change, in Potschin, M., Haines-Young, R., Fish, R., and Turner, R.K., eds., *Handbook of Ecosystem Services*, New York: Routledge, 481-490.
- Maes, J., Egoh, B., Willemsen, L., Liqueste, C., Vihervaara, P., Schägner, J.P., Grizzetti, B., Drakou, E.G., Notte, A.L., Zulian, G., Bouraoui, F., Luisa Paracchini, M., Braat, L., and Bidoglio, G., 2012, Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union, *Ecosystem Services*, 1(1), 31-39.
- Maseyk, F.J., Mackay, A.D., Possingham, H.P., Dominati, E.J., and Buckley, Y.M., 2017, Managing natural capital stocks for the provision of ecosystem services, *Conservation Letters*, 10(2), 211-220.
- Portalanza, D., Barral, M.P., Villa-Cox, G., Ferreira-Estafanous, S., Herrera, P., Durigon, A., and Ferraz, S., 2019, Mapping ecosystem services in a rural landscape dominated by cacao crop: A case study for Los Rios province, Ecuador, *Ecological Indicators*, 107, 105593 (<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105593>).
- Peña, L., Casado-Arzuaga, I., and Onaindia, M., 2015, Mapping recreation supply and demand using an ecological and a social evaluation approach, *Ecosystem Services*, 13, 108-118.
- Quine, C.P., Bailey, S.A., and Watts, K., 2013, Sustainable forest management in a time of ecosystem services frameworks: common ground and consequences: The UK National Ecosystem Assessment, *Journal of Applied Ecology*, 50(4), 863-867.
- Raum, S., 2018, Reasons for adoption and advocacy of the ecosystem services concept in UK forestry, *Ecological Economics*, 143, 47-54.
- Reid, W.V., Mooney, H.A., Cropper, A., Vapistrano, D., Carpenter, S.R., Chopra, K., Dasgupta, P., Dietz, T., Duraiappah, A.K., Hassan, R., Kasperson, R., Leemans, R., May, R.M., McMichael, A.J., Pingali, P., Samper, C., Scholes, R., Watson, R.T., Zakri, A.H., and Shidong, Z., 2005, *Ecosystems and Human Well-*

- being-Synthesis: A Report of the Millennium Ecosystem Assessment*, Washington D.C.: Island Press.
- Rowe, G. and Wright, G., 1999, The Delphi technique as a forecasting tool: Issues and analysis, *International Journal of Forecasting*, 15(4), 353-375.
- Sallustio, L., De Toni, A., Strollo, A., Di Febraro, M., Gissi, E., Casella, L., Geneletti, D., Munafò, M., Vizzarri, M., and Marchetti, M., 2017, Assessing habitat quality in relation to the spatial distribution of protected areas in Italy, *Journal of Environmental Management*, 201, 129-137.
- Schägnler, J.P., Brander, L., Maes, J., and Hartje, V., 2013, Mapping ecosystem services' values: Current practice and future prospects, *Ecosystem Services*, 4, 33-46.
- Sharps, K., Masante, D., Thomas, A., Jackson, B., Redhead, J., May, L., Prosser, H., Cosby, B., Emmett, B., and Jones, L., 2017, Comparing strengths and weaknesses of three ecosystem services modelling tools in a diverse UK river catchment, *Science of the Total Environment*, 584, 118-130.
- Smith, A.C., Harrison, P.A., Soba, M.P., Archaux, F., Blicharska, M., Egoh, B.N., Eros, R., Domenech, N., Gyorgy, A.I., Haines-Young, R., Li, S., Lommelen, E., Meiresonne, L., Miguel Ayala, L., Mononen, L., Simpson, G., Stange, E., Turkelboom, F., Uiterwijk, M., Veerkamp, C.J., and Echeverria, V., 2017, How natural capital delivers ecosystem services: A typology derived from a systematic review, *Ecosystem Services*, 26, 111-126.
- Syrbe, R.-U. and Wälz, U., 2012. Spatial indicators for the assessment of ecosystem services: Providing, benefiting and connecting areas and landscape metrics, *Ecological Indicators*, 21, 80-88.
- Vrebo, D., Staes, J., Vandenbroucke, T., Johnston, R., Muhumuza, M., Kasabeke, C., and Meire, P., 2015, Mapping ecosystem service flows with land cover scoring maps for data-scarce regions, *Ecosystem Services*, 13, 28-40.
- Wei, H., Fan, W., Wang, X., Lu, N., Dong, X., Zhao, Y., Ya, X., and Zhao, Y., 2017, Integrating supply and social demand in ecosystem services assessment: A review, *Ecosystem Services*, 25, 15-27.
- Wen, X., Deng, X., and Zhang, F., 2019, Scale effects of vegetation restoration on soil and water conservation in a semi-arid region in China: Resources conservation and sustainable management, *Conservation and Recycling*, 151, 104474 (<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104474>).
- 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.
- 교신 : 이창배, 02707, 서울특별시 성북구 정릉로 77, 국민대학교 과학기술대학 산림환경시스템학과(이메일: kecolee@kookmin.ac.kr)
- Correspondence: Chang-Bae Lee, 02707, 77 Jeongneung-ro, Seongbuk-gu, Seoul, Korea, Department of Forestry, Environment and Systems, College of Science and Technology, Kookmin University (Email: kecolee@kookmin.ac.kr)

투고접수일: 2020년 7월 21일

심사완료일: 2020년 7월 30일

게재확정일: 2020년 8월 7일