

Research Paper

지역 환경분야 이해당사자 인식을 반영한 생태계서비스 우수지역 분석

– 안산시를 대상으로 –

김일권 · 김성훈 · 이재혁 · 권혁수

국립생태원 생태연구본부 융합연구실

Analysis on Ecosystem Service Hotspots Based on Regional Environmental Stakeholders' Perception

– A case study of Ansan –

Ilkwon Kim · Sunghoon Kim · Jae-Hyuck Lee · Hyuksoo Kwon

Bureau of Ecological Research, National Institute of Ecology

요약: 생태계서비스의 개념을 적용한 공간계획을 수립하기 위해서는 생태계서비스 우수지역 파악하고, 이를 관리하는 것이 필요하다. 생태계서비스가 주변보다 높은 지역을 의미하는 생태계서비스 우수지역 평가와 지도화는 생태계서비스를 효과적으로 관리하는데 필요한 정보를 제공한다. 지역 환경분야 이해당사자들의 인식을 반영한 우수지역 평가는 지역에서 관리가 필요한 우선지역을 파악하는데 용이하다. 본 연구는 안산시를 대상으로 설문조사를 수행하여 조절서비스별 가중치를 산정하고, 이를 반영하여 조절서비스 우수지역을 파악하였다. 환경분야 이해당사자 분석결과, 조절서비스의 중요도는 수질조절, 대기조절, 침식조절, 기후조절의 순서로 나타났다. 생태계서비스 우수지역은 주로 안산 북동부에 위치한 산림지역에서 나타났다. 이해당사자 가중치를 반영한 경우에도 우수지역의 공간분포는 유사하게 나타났다. 환경분야 이해당사자 인식을 반영한 생태계서비스 우수지역 평가는 지역에서 생태계서비스 관리정책 수립 의사결정지원도구로서 활용될 수 있다.

주요어: 생태계서비스, 우수지역, 지역인식, 분석적 위계과정 기법

Abstract: Identification and management of ecosystem service hotspots are necessary to set environmental policies that include concepts of ecosystem service. Assessment and mapping of

First Author: Ilkwon Kim, Research Fellow, Bureau of Ecological Research, Division of Ecosystem Services & Research Planning, National Institute of Ecology, E-mail: ikkim@nie.re.kr

Corresponding Author: Hyuksoo Kwon, Senior Researcher, Bureau of Ecological Research, Division of Ecosystem Services & Research Planning, National Institute of Ecology, E-mail: ulmus@nie.re.kr

Co-Authors: Sunghoon Kim, Research Fellow, Bureau of Ecological Research, Division of Ecosystem Services & Research Planning, National Institute of Ecology, E-mail: dark4v@nie.re.kr

Jae-Hyuck Lee, Researcher, Bureau of Ecological Research, Division of Ecosystem Services & Research Planning, National Institute of Ecology, E-mail: ilandscape@nie.re.kr

Received: 31 May, 2018. Revised: 13 August, 2018. Accepted: 5 October, 2018.

ecosystem service hotspot referring areas with high amount of ecosystem services provide essential information to manage ecosystem services effectively. Assessment of hotspots based on regional environmental stakeholders' perception is an useful approach to identify priority areas where management practices are required. This study estimated weights on regulating ecosystem services from regional environmental stakeholders' surveys in Ansan, and then, identified regulating service hotspots with weights. The result indicated that regulating services are, in order of importance, water quality, air quality, erosion, and climate control. The north-eastern forest of Ansan was mainly revealed as an ecosystem service hotspot. Ecosystem service hotspots were spatially distributed similarly regardless of environmental stakeholders' weights. Identification of ecosystem service hotspot with environmental stakeholders' perception can be applied in decision-support tools for ecosystem service management.

Keywords : Ecosystem service, hotspot, regional perception, AHP

I. 서론

생태계서비스는 자연생태계가 인간사회에 제공하는 다양한 혜택을 의미한다(MA 2005). 최근 생태계의 질적 하락과 자연자원의 남용이 심각한 상황에서 생태계서비스의 개념은 지역 환경보전정책에서 점차 중요한 이슈가 되고 있다(Fisher and Turner 2008; Koschke et al. 2012; Burkhard et al. 2012). 지역의 생태계서비스의 양과 공간분포를 파악하는 것은 생태계서비스를 고려한 의사결정과정을 지원하고 지역에서 우선적으로 관리가 필요한 생태계서비스를 관리에 기여할 수 있다. 특히, 주변지역보다 높은 수준의 생태계서비스를 제공하는 우수지역들을 관리하고 보존하는 것은 안정적인 생태계서비스의 공급을 위해서 필수적이다(Luck et al. 2016; Schröter & Remme 2016).

생태계서비스 우수지역(hotspot)은 주변보다 높은 수준의 생태계서비스를 제공하기 때문에 생태계서비스 관리 및 보전지역을 설정하는 과정에서 우선적으로 고려되는 지역이다(Cimon-Morin et al. 2013). 생태계는 하나의 생태계서비스만을 제공하는 것이 아니라 다양한 서비스들을 동시에 제공하는 다기능적인 특성을 가지기 때문에(Raudsepp-Hearne et al. 2010), 생태계서비스 우수지역은 다양한 생태계서비스들이 높은 수준에서 제공되는 지역을 의미하기도 한다(Cai et al. 2017). 그러므로 생태계서비

스를 고려한 환경정책을 수립하기 위해서는 다양한 생태계서비스들에 대한 지역사회의 수요를 파악하고, 생태계서비스 관리 우선지역을 선정해야 한다(Koschke et al. 2012; Luck et al. 2016).

우수지역의 기준에 따라 방법론에 차이가 존재하는 것처럼(Alessa et al. 2008), 생태계서비스 우수지역도 선정기준과 생태계서비스의 숫자에 따라서 다양한 평가방법들이 존재한다(Schröter & Remme 2016). 많은 연구에서 생태계서비스 우수지역은 개별 생태계서비스의 상위 5-30% 사이로 정의된 임계점 이상의 값을 가지는 지역들로 정의하고 있다(Eigenbrod et al. 2010; Locatelli et al. 2014; Schulp et al. 2014; Schröter & Remme 2016). 여러 생태계서비스를 고려하는 경우에는 개별 생태계서비스의 값을 합하여 우수지역을 파악한다(Schröter & Remme 2016). 개별 생태계서비스의 평가결과를 합산하는 과정에는 개별 서비스의 우수지역의 개수를 합하거나(Chan et al. 2006), 특정한 임계점 이상의 값을 가지는 지점들의 생태계서비스 평가결과를 합하거나(Querioz et al. 2015), 전체 생태계서비스 평가결과를 합하는 방법이 있다(Beverly et al. 2008). 생태계서비스 총합을 고려한 우수지역 평가에서는 개별 서비스 평가결과를 정규화하여 합하거나(Willemen et al. 2010), 개별 서비스별로 가중치를 부여하여 우수지역을 평가한다(Gimona & van der Horst 2007). 가중치를 반영한 우수지역평

가는 지역사회에서 중요하게 고려하는 생태계서비스와 관리지역을 선정하기 때문에 지역환경의 의사결정과정에서 발생하는 갈등을 줄일 수 있다(Koschke et al. 2012).

다양한 생태계서비스들에 대한 가중치 산정은 다양한 방법으로 진행된다. Zhang & Lu (2010)는 지역 참여자들을 대상으로 Analytic Hierarchy Process (AHP) 기반 설문조사를 수행하여 가중치를 산정하여 생태계서비스 가치평가과정에 적용하였다. Koschke et al. (2012)은 생태계서비스 가중치 산정을 위한 설문조사를 AHP와 리커트척도 기준으로 수행하고, 그 결과를 비교하였다. Liu et al. (2017)은 리커트척도를 이용하여 생태계서비스 가중치를 산정하고, 이를 이용하여 행정구역별 생태계서비스 평가결과를 점수화하였다. Meyer & Schultz (2017)는 조사자가 중요한 생태계서비스 목록을 선택한 뒤, 이에 대한 점수화를 수행하는 방법으로 가중치를 산정하여 생태계서비스 시너지와 트레이드오프를 분석하였다. 국내에서 Koo(2014)는 AHP 기반 전문가 설문조사를

수행하여 생태계서비스 가중치를 평가하고, 이를 택지개발사업에 의한 생태계서비스 영향을 평가하는 과정에 반영하였다. 하지만, 생태계서비스 가중치를 반영하여 생태계서비스 우수지역을 공간적으로 파악하는 연구는 부족한 상황이다. 이러한 상황에서 본 연구는 지역환경분야 이해당사자들을 대상으로 AHP 기반 설문조사를 수행하여 생태계서비스 가중치를 산정한 뒤, 이를 반영하여 생태계서비스 우수지역을 추출하고자 한다.

II. 연구지역 및 방법

1. 연구지역

본 연구는 안산시의 도시지역을 제외한 내륙지역을 대상으로 수행되었다(Figure 1). 안산은 1978년 공장재배치법에 따라 서울의 공장을 이전시키면서 조성된 반월산업단지와 시화산업단지와 함께 도시가 성장하였다(Jung 2006). 현재의 도심지역은 연안 공업단지를 지원하기 위해 주거지와 상업시설이 위치

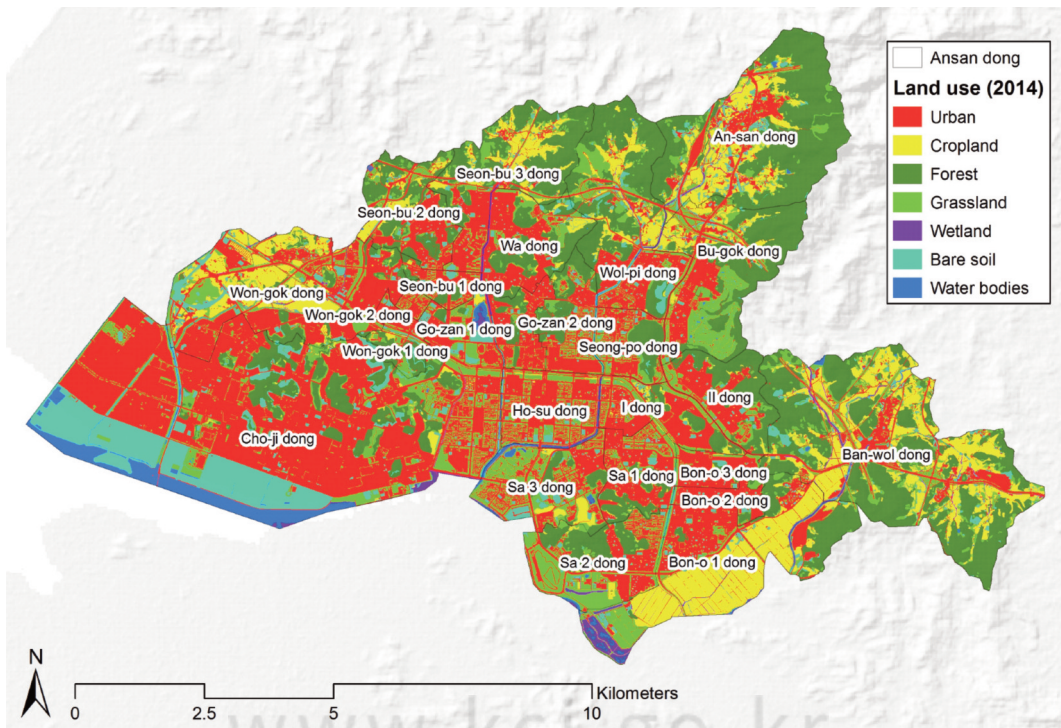


Figure 1. Location and land use classification of the research site.

하면서 개발되었다. 산림과 농경지는 주로 외곽에 분포하며 도심내부에도 소규모의 산림이 위치한다. 안산은 공업지역에서 발생하는 대기오염에 의해서 주민들이 지속적으로 피해를 입어 왔다(Choi et al. 2006). 또한 시화호 간척개발 사업을 목적으로 건설된 방조제로 인해 발생한 수질오염도 심각한 사회적 문제가 되어왔다(Lee 2012). 안산시 환경분야 이해당사자들은 다양한 환경이슈들을 경험하면서, 이를 조절하는 생태계서비스들에 대하여 다양한 인식과 가치를 가질 것으로 판단된다. 본 연구는 다양한 환경문제를 경험했던 안산시의 생태계서비스를 평가하고, 환경분야 이해당사자 인식조사를 수행하여 우수지역을 평가하였다.

2. AHP를 이용한 생태계서비스 인식조사

생태계서비스는 유형이 다양하고, 지역의 특수성과 지역사회의 필요에 따라서 그 중요도가 다르다. 그러므로 지역 환경분야 이해당사자들의 인식과 상대적 중요도 조사는 지역사회에 필요한 생태계서비스를 파악하여 효율적인 관리정책을 수립하는데 도움이 된다(Zhang & Lu 2010). 분석적 위계과정 기법(Analytic Hierarchy Process: AHP)은 다양한 기준들의 상대적인 중요도를 고려하여 가치평가를 수행하고, 이를 의사결정과정에서 활용하는 방법이다(Nam & Im 2011). AHP는 여러 요인들에 대한 상대적인 가중치를 반영하여 수행되는 적지분석에 널리 활용되며(Chae & Oh 2003; Nam & Im 2011), 개별 생태계서비스들 간의 상대비교를 통해 가중치를 계산할 경우에도 활용된다(Zhang & Lu 2010; Koschke et al. 2012).

본 연구는 환경분야 이해당사자들을 대상으로 AHP 기반 설문조사를 수행하여 조절서비스들의 상대적인 중요도를 파악하였다. 다만 생태계서비스에 대한 대중적 인식이 낮은 상황에서 설문조사를 수행하는 경우에 일관성이 낮게 평가될 우려가 있다(Koschke et al. 2012). 그러므로 본 연구는 사전에 생태계서비스에 대한 교육을 받은 안산시 소속 공무원들, 환경단체, 지역주민들을 대상으로 AHP 설문조사를 수행하였다. 설문조사는 2017년 11월 2회에

걸쳐 지역공무원 9명, 환경단체 14명, 지역주민 6명을 대상으로 이해당사자 그룹별 대면조사로 수행되었다. 설문조사결과를 기반으로 개별 생태계서비스 항목들에 대한 쌍대비교를 수행하여 상대적인 중요도를 평가하였고, 그 결과를 쌍대비교 행렬로 구성하였다. AHP 조사는 쌍대비교를 수행하기 위해서 유사한 항목들이 반복되어 나타나기 때문에 답변의 일관성을 파악하는 것이 중요하다. 답변의 일관성은 일관성지수(Consistency index: CI)와 일관성 비율(Consistency ratio: CR)을 이용하여 평가된다. CI를 무작위지수(random index)로 나눈 CR 값이 0.1 이하인 경우에 답변이 논리적으로 일관된 것으로 간주한다(Saaty 2005). 그러므로 CR 값이 0.1이하인 설문조사결과를 선택하여 생태계서비스 가중치 값을 산정하였다.

3. 생태계서비스 평가

생태계서비스는 공급, 조절, 문화 및 지지서비스로 구분되는데, 조절서비스는 자연생태계의 프로세스가 대기질, 기후, 자연재해, 수질, 침식 등을 조절하는 서비스를 의미한다(MA 2005). 본 연구는 대기조절, 기후조절, 침식조절, 수질조절 4개의 조절서비스를 대상으로 서비스별 특성과 경향을 반영할 수 있는 지표를 선정하여, 공간평가를 수행하였다.

대기조절은 식생이 오염물질을 흡수함으로써 대기질이 개선되는 서비스이다(Jim & Chen 2008). 대기조절서비스 지표로 식생에 의한 연간오염물질(NO_2 와 SO_2) 흡수량을 선정하고, 세분류토지복도를 이용하여 이를 평가하였다. KRFI (2017)에서 제시한 산림 1ha당 NO_2 52kg과 SO_2 24kg의 흡수량을 합하여, 산림 1ha가 연간 76kg의 오염물질을 흡수하는 것으로 산정하였다. 이를 2014년 세분류토지피복도의 산림지역에 반영하여 산림의 오염물질흡수량을 평가하였다.

기후조절은 식생과 토양이 탄소를 저장 및 흡수하여 기후변화를 완화시키는 서비스이다(He et al. 2016). 기후조절서비스 지표로 탄소저장량(stock)을 선정하고, 이를 InVEST Carbon 모형을 이용하여 평가하였다. InVEST Carbon모형을 이용하여 탄소

Table 1. Regulating ecosystem service indicators

Ecosystem service	Indicator	Unit	Reference
Air quality control	Annual SO ₂ and NO ₂ Sequestration	kg/ha/year	KFRI (2017)
Climate control	Carbon stock	mg/pixel	Roh et al. (2016)
Erosion control	Annual soil retention	ton/ha/year	Renard et al. (1997)
Water quality control	Nitrogen surface runoff rate	%	Cho et al. (2015), NIE (2017)

저장량을 평가하기 위해서는 토지피복도와 탄소플 계수가 정리된 bio-physical table이 필요하다. 토지피복도는 2014년 기준의 세분류토지피복도를 이용하였으며, bio-physical table은 Roh et al. (2016)의 탄소플 계수값을 참고하였다.

침식조절은 식생의 뿌리가 토양을 보유함으로써 토양침식을 방지하는 서비스이다(Lattera et al. 2012). 침식조절서비스 지표로 토양보유량을 선정하고, 연간 토양침식량을 계산하는 Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)을 기반으로 구현된 InVEST SDR모형을 이용하여 토양보유량을 평가하였다. InVEST SDR모형의 입력자료는 RUSLE모형과 동일하게 강우침식인자, 토양침식인자, 지표관리인자, 토양보전인자로 구성된다. 강우침식인자는 Jung et al. (2004)에서 제시한 안산시 강우침식인자값을 이용하여, 연구지역 전체에 일괄적으로 4938을 적용하였다. 토양침식인자는 국립농업과학원 정밀토양도의 k값을 이용하였다. 지형인자는 DEM(digital elevation model)을 입력자료로 이용하여 산정하였다. 지표관리 및 토양보전인자는 환경부 고시 (2012)에서 제시한 값을 이용하였다. 토지피복이 나대지인 상황을 가정한 토양침식량에서 현재의 토양 침식량을 뺄셈하여, 현재 지표피복과 식생의 토양보유량을 계산하였다(Früh-Müller et al. 2016).

수질조절은 생태계의 과정을 통해서 지표수의 오염 물질을 제거하거나 분해하면서 수질을 정화시키고, 수질을 유지하는 서비스로서 하천 내 질소 및 인의 축적율과 같은 수질지표를 이용하여 평가된다(Lautenbach et al. 2012). 본 연구에서는 수질조절 서비스 지표로 질소 지표면 유출률을 선정하고, 유역 기반 수문평가모형인 STREAM(Spatio-Temporal River-basin Ecohydrology Analysis Model)을

이용하여 평가하였다. 연간 질소유출률은 공간자료인 DEM과 기후자료인 일단위 강우량, 기온, 상대 습도, 현지기압, 풍속, 일조시간 관측값을 이용하고, 질소수지 분석을 통해서 계산된 2005-2014년 평균 안산시의 질소유입량(95.1kg/ha/year)과 유출량(88.9kg/ha/year)을 이용하여 계산되었다(NIE 2017). 질소 지표면 유출률은 질소유입량과 비례하여 생태계가 질소를 정화하여 지표면으로 다시 유출하는 양을 비율로 표현한 것으로, 그 값이 적을수록 생태계가 많은 양의 질소를 정화하여 수질조절서비스를 제공한다.

개별 생태계서비스 평가 및 우수지역평가는 100m×100m의 격자크기로 수행되었다. 본 연구에 사용된 생태계서비스 평가지표와 방법을 정리하면 Table 1과 같다.

4. 생태계서비스 우수지역 평가

생태계서비스 우수지역은 선정 기준과 방법론에 따라서 다양하게 평가된다(Schröter & Remme 2016). 본 연구는 안산시의 개별 생태계서비스 평가 결과를 합하여 조절서비스 우수지역을 평가하고, 환경분야 이해당사자 가중치를 반영한 우수지역 평가 결과와 비교하였다. 100m 격자단위로 수행된 개별 생태계서비스 평가에서 격자 값이 상위 20%인 지점들을 추출하여 우수지역으로 설정하였다. 다양한 생태계서비스를 고려한 우수지역평가는 개별적으로 평가된 생태계서비스 결과 값을 합하여 수행된다(Schröter & Remme 2016). 여러 종류의 생태계서비스 총합은 Total Ecosystem Service Value (TESV)와 같은 지수를 이용하여 계산이 가능하다. TESV는 개별 생태계서비스 평가결과를 0-1사이로 정규화한 뒤, 이를 합하는 방법으로 개별 서비스들이

동일한 가치를 가지는 것으로 간주한다(Maes et al. 2012). 본 연구는 대기, 기후, 침식조절은 지역의 최대값을 기준으로 평가결과를 정규화하였으며, 수질조절은 최소값을 기준으로 평가결과를 정규화하였다. 조절서비스 우수지역은 격자별로 계산된 TESV의 상위 20% 지점들로 선정하였다. 또한 AHP 설문조사를 이용하여 계산된 지역 이해당사자 가중치를 반영한 조절서비스 우수지역을 선정하였다. 그리고 가중치의 유무를 기준으로 계산된 각 TESV 값과 생태계서비스 우수지역을 비교하여 그 차이점을 살펴보았다.

III. 연구결과

1. 생태계서비스 가중치 선정

안산시 환경분야 이해당사자 29명을 대상으로 AHP 기반 설문조사를 수행한 뒤, 개별 설문결과에 대한 쌍대비교행렬을 제작하고 일관성 분석을 수행하였다. CR값이 0.1을 초과하는 8개의 설문조사들이 답변의 일관성이 결여되어 분석과정에서 제외되었다. CR값이 0.1이하로 답변의 일관성이 확보된 설문조사자들의 인적사항과 특징을 정리하면 Table 2와 같다.

조절서비스별 가중치를 산정하기 위해 CR값이 0.1이하인 21개의 설문조사결과를 이용하여 조절서

비스의 상대적 중요도 값을 산출하였다. 이를 위해 개별 설문조사결과를 쌍대비교 행렬로 제작하여 개별 생태계서비스 가중치 값을 계산한 뒤, 이를 산출 평균하여 최종가중치를 Table 3과 같이 산정하였다.

분석결과 안산시에서 가장 중요한 조절 생태계서비스는 수질조절서비스로 0.328의 중요도를 가졌다. 그 다음으로 대기조절, 침식조절, 기후조절의 중요도는 각각 0.242, 0.223, 0.207 순으로 나타났다. 수질조절서비스와 다른 서비스들의 중요도의 차이는 큰 반면, 나머지 서비스들의 중요도 값의 차이는 작게 나타났다.

2. 조절서비스 평가 및 우수지역 분석

안산시 조절서비스 평가결과는 Figure 2와 같다. 대기조절서비스 지표인 오염물질(NO₂와 SO₂) 연간 흡수량은 0-76kg/ha의 범위를 가진다. 대기조절서비스 우수지역은 안산 북부와 동부의 산림지역에서 주로 나타났으며, 시내 일부 산림지역들도 우수지역에 포함되었다. 기후조절서비스 지표인 탄소 저장량은 0-246.6ton의 범위를 가진다. 기후조절은 대기조절과 유사하게 산림이 주로 분포하는 지역에서 높게 나타난다. 산림에서 높은 기후조절과 대기조절 우수지역은 평가단위인 100m격자 내 산림의 분포비율에 따라서 값의 차이가 나타나면서, 산림의 가장자리에 위치한 격자들이 우수지역에서 제외되는 경향이

Table 2. Demographic characteristics of participants

Demography	1 (no.)	2 (no.)	3 (no.)	4 (no.)	5 (no.)
Gender	Male (9)	Female (12)			
Age	20-29 (1)	30-39 (2)	40-49 (10)	50-59 (4)	60-69 (4)
Education	Under college (5)	College (1)	Bachelor (11)	Postgraduate (4)	
Occupation	Public official (8)	NGO (8)	Employee (1)	Professional (2)	Other (2)

Table 3. Weights for regulating services from participant surveys

Ecosystem service	Weight	SD*	Ranking
Air quality control	0.242	0.069	2
Climate control	0.207	0.065	4
Erosion control	0.223	0.072	3
Water quality control	0.328	0.089	1

* Standard deviation

나타났다. 침식조절서비스 지표인 연간 토양보유량은 0-1729.9ton/ha/year의 범위를 가진다. 침식조절도 주로 산림에서 높게 나타나지만, 지형, 토양특성 등의 차이로 인하여 산림지역에서도 편차가 크게 나타났다. 또한 일부 하천주변의 초지와 농경지들도 우수지역으로 평가되었다. 수질조절서비스 지표인 질소 지표면 유출률은 0-129.9%의 범위를 가진다.

질소 유출률은 산림이 전반적으로 낮은 반면, 농경지에서는 비료의 사용으로 인하여 질소 유입량이 높기 때문에 유출률도 함께 높게 나타났다. 질소유출률은 동일한 피복유형이라도 공간분포의 특성이 달라지는 경우에 그 값이 달라진다. 시가지의 경우 질소유출률이 전반적으로 낮게 나타나지만, 안산시 주요 하천의 하류지역에 위치한 호수동과 초지동은 유출률이 가

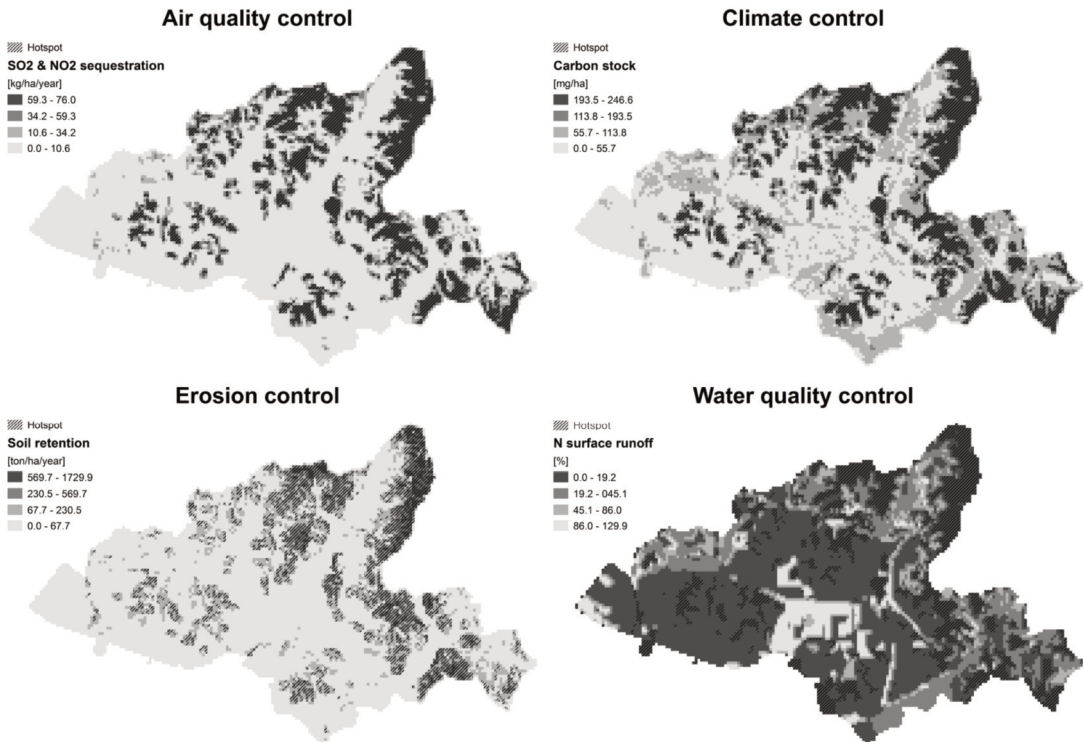


Figure 2. Assessment results and hotspots of regulating services (air quality, climate, erosion and water quality control).

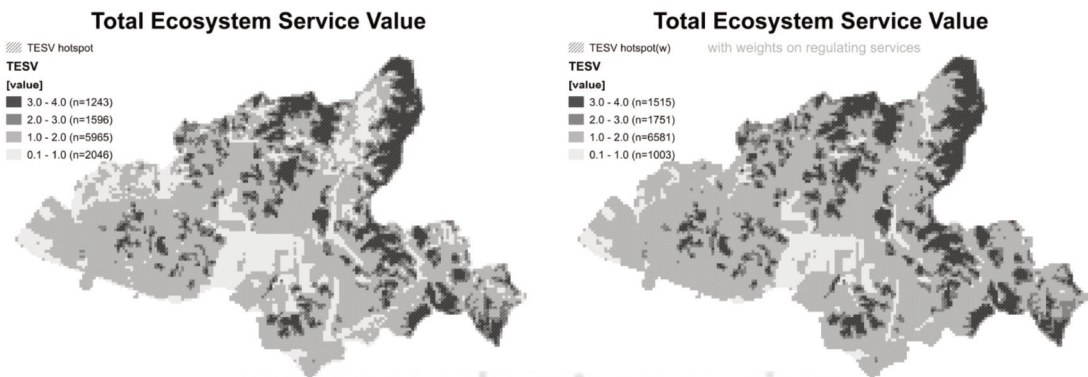


Figure 3. A comparison of total ecosystem service values according to with and without environmental stakeholders' weights.

Table 4. Changes in total ecosystem service values after stakeholders' weights

	TESV without weights	TESV with weights	Number of cells	
			Increase	Decrease
Range	0.08-3.97	0.11-3.96		
Mean	1.529	1.704	10493	357
Urban (n=4297)	1.037	1.250	4108	189
Agriculture (n=1323)	1.191	1.363	1313	10
Forest (n=2744)	2.774	2.877	2706	38
Grassland (n=1583)	1.224	1.400	1472	111

장 높았다. 또한 산림주변에 위치한 초지지역은 질소 유출률이 높은 반면, 저지대에 위치한 초지들은 유출률이 낮게 나타나면서 우수지역에 포함되었다.

전체 조절서비스 우수지역을 평가하기 위해 계산된 TESV 값은 Figure 3과 같다. 조절서비스 총합의 범위는 0.08-3.97사이로 나타났다. 개별 조절서비스 평가결과가 주로 산림에서 높게 나타나면서 전체 생태계서비스 우수지역도 이와 유사하게 분포하였다. 이해당사자 가중치를 반영한 TESV에서도 값과 분포가 유사하게 나타났다. 가중치를 반영한 TESV는 0.11-3.96사이의 범위를 가지며 우수지역의 분포도 산림을 중심으로 나타났다. 다만 가중치를 부여할 경우 북동부 외곽지역의 일부산림은 우수지역에서 제외된 반면, 도심의 산림이 우수지역에 포함되었다.

기존의 TESV와 가중치를 반영한 TESV값을 비교한 결과, 가중치를 반영한 TESV의 평균값이 1.529에서 1.704으로 증가하였다. 이러한 값의 차이는 개별서비스들의 분포특성에 기인한다. 침식조절서비스는 평가값의 편차가 크고 평균값이 낮아 정규화할 경우 침식조절서비스가 전반적으로 낮게 평가된다. 반면 수질조절서비스는 평가값의 편차가 작기 때문에 평가결과가 전반적으로 높게 나타난다. 이로 인하여 가중치를 부여하는 과정에서 전반적으로 값이 높은 수질조절 평가값의 영향력이 증가하고, 값이 낮은 침식조절의 영향력이 감소하면서 TESV의 값이 증가하였다. 이러한 결과값의 차이는 피복특성에 의해서도 나타난다. 시가지는 대기, 기후, 침식조절서비스는 낮지만 수질조절서비스는 높기 때문에 가중치를 반영할 때 TESV값의 증가폭이 컸다. 다만 수질조절서비스가 낮은 초지동과 호수동의 일부 시가지에서는

TESV의 감소가 나타나기도 하였다. 반면 산림이 4개조절서비스항목에서 모두 높게 평가되기 때문에 가중치를 반영하더라도 변화폭이 작게 나타났다. 농경지와 초지는 변화수준이 비슷하게 나타났지만, 수질조절서비스가 낮은 일부 하천변의 초지에서는 TESV가 감소하였다.

IV. 토 의

1. AHP를 이용한 생태계서비스 인식 평가

생태계서비스에 대한 환경분야 이해당사자들의 인식은 지역 특성과 계획단위에 따라 다르게 나타난다 (Koschke et al. 2012). 안산시 조절서비스의 중요도에 대한 인식조사도 지역의 환경오염이슈들이 영향을 끼친 결과로 볼 수 있다. 안산시는 시화호의 수질오염과 공업단지의 대기오염이 심각한 사회적 문제로 제기될 만큼 환경오염에 취약한 지역이었다. 이들 환경문제를 해결하기 위해서 다양한 노력들이 진행되고 있지만 시화호의 수질개선은 여전히 미흡한 수준이며(Lee 2012), 산업단지에서 발생하는 대기오염 배출로 인하여 주민들의 삶이 불편함을 겪고 있다 (Heo et al. 2010). 그러므로 지역의 환경문제의 개선과 직접적으로 관련된 수질조절과 대기조절서비스의 중요성이 높게 나온 것으로 판단된다. 이처럼 지역의 환경이슈들은 지역사회에서 이를 개선하기 위한 논의가 활발하게 진행되어 왔고, 많은 매체에서 이를 다루기 때문에 이에 대한 인식이 높다. 이러한 환경문제를 완화 및 해결하기 위한 측면에서 관련된 생태계서비스의 중요성이 높다. 한 예로 산업화과정에서 대기오염을 경험한 스페인 공업지역에서는 대

기조절서비스가 다른 조절서비스들보다 높았다 (Martin-Lopez et al. 2012; Casado-Arzuaga et al. 2013).

지역사회의 생태계서비스에 대한 인식을 파악하기 위해서는 생태계서비스 개념과 유형을 이해시킬 필요가 있다. 생태계서비스는 2000년대 이후에 연구자들에게 널리 소개되었으며 일반대중들에게는 여전히 그 인식수준이 낮다. AHP를 이용한 생태계서비스 간 비교에서 설문조사 참가자들은 개념과 중요도에 어려움을 느끼고, 일관된 답변을 확보하기 어렵기도 하다(Koschke et al. 2012). 이러한 문제를 해결하기 위해 Meyer & Schultz (2017)는 생태계서비스 사전교육을 통해 설문조사에 대한 이해를 높이는 절차를 수행하였다. 본 연구도 지역 환경단체와 공무원을 대상으로 생태계서비스 교육을 수행한 뒤, AHP조사를 수행하였다. 이러한 교육 프로그램을 통한 인식증대는 조사결과의 정확성을 증대시킬 뿐 아니라, 정책과 연계되어 지역사회의 회복탄력성(resilience)을 증대시키는 효과도 있다(Tidball & Krasny 2011).

생태계서비스에 대한 인식은 이해당사자 특성에 따라서 달라진다. 지역 이해당사자들의 생태계서비스 인식에는 지역의 환경이슈 뿐 아니라 응답자의 개인적 필요, 소득, 교육수준 등의 요인들도 영향을 끼친다. 본 연구에서도 공무원들은 서비스별 중요도 차이가 크지 않은 반면, 환경단체나 지역주민들은 일부 서비스들이 높게 나타났다. 각 이해당사자들은 자신과 관련된 생태계서비스를 중요하게 생각하며, 환경활동가 사이에서도 분야에 따라 중요하게 여기는 서비스가 다르다(Meyer & Schultz 2017). 또한, 생태계서비스의 상대적 중요도는 평가방법에 의해서 달라질 수 있다. Koschke et al. (2012)는 AHP기법과 리커트척도를 이용한 생태계서비스 가중치를 비교한 결과, 가중치 값 뿐 아니라 중요도의 순위도 평가방법에 따라 달라졌다. Meyer & Schultz (2017)는 조사자들이 중요하게 생각하는 생태계서비스 리스트를 작성하고, 리스트 내 서비스들에 대해서 점수화를 수행한 결과, 리스트에 표시된 횟수와 점수화결과에서 차이가 나타났다. 리커트척도를 이용한 생태계서

비스 평가는 단일 서비스에 대한 절대평가로 수행되기 때문에 상대적인 중요도를 평가하기 어렵다는 한계가 있다. 특히 생태계가 제공하는 서비스들은 모두 인간사회의 복지를 위해서 필수적이기 때문에 모든 서비스들이 중요하게 인식되어 결과값의 차이가 작았다. 이는 Koschke et al. (2012)에서도 나타나는데, AHP방법에 비하여 리커트척도를 이용한 평가에서는 서비스별 가중치 값이 비슷하게 나타났다. 이와 다르게 AHP를 이용한 방법은 두 생태계서비스 사이의 상대적인 중요도의 차이가 확연하게 나타났다. AHP를 이용한 인식조사의 경우 일관성이 유지된 답변이 확보되어야 분석이 가능하다. 특히 설문조사가 일대일 쌍대비교를 통해서 수행되기 때문에 생태계서비스 항목들이 증가할 경우 설문문항이 증가하고 비슷한 질문이 반복되면서 응답자들의 흥미가 감소하고, 일관성 유지가 어려워 객관적인 결과를 확보하기 어렵다. 하지만, 본 연구와 같이 일부 서비스유형만을 고려하는 경우 참여자들의 인식을 객관적으로 평가하는데 유용하다. 또한 지역의 전체 생태계서비스 평가도 Koo (2014)와 같이 생태계서비스 유형별 가중치선정과 유형내 서비스항목별 가중치로 구분하여 단계적 설문조사를 수행할 경우에 이러한 문제들을 보완할 수 있다.

2. 우수지역을 고려한 생태계서비스 관리방안

지역사회의 참여와 지식은 생태계서비스 다기능성 평가 및 시나리오 개발과 같은 다양한 연구에 활용될 수 있다(Quyen et al. 2017). 우수지역에 대한 공간적 평가는 개발과 보존과 같은 공간정책을 수행하는 과정에서 생태계서비스 측면에서 우선 대상지역을 선정할 때 우선적인 생태계서비스 관리지역 선정 과정에 활용될 수 있다(Cimon-Morin et al. 2013; Schröter & Remme 2016). 특히, 도시개발은 지역주민들의 경제적인 이익을 증대시키는 반면 생태계서비스 측면에서 편익을 감소시키기 때문에, 이러한 개발정책은 생태계서비스의 우수지역과 공간분포를 고려하여 수립되어야 한다(Zank et al. 2016). 안산의 산림은 생태계서비스 우수지역의 측면에서 보호되어야 하며, 개발사업은 생태계서비스

손실이 적은 지역을 중심으로 진행되어야 한다. 현재 안산의 북동부 산림의 많은 부분이 개발제한구역으로 묶여 있고, 개발사업은 도심 중심으로 진행되기 때문에 생태계서비스 손실 가능성은 낮다. 안산시는 지속적인 도시성장과 함께, 주거지 부족문제로 인하여 지역개발에 대한 주민 수요가 높다. 교통인프라 개발과 대규모 생태관광시설 건설이 예정되어 있어, 이를 중심으로 주변지역의 개발가능성도 높다. 이러한 개발요구와 함께 지역생태자원을 보전하려는 노력이 동시에 진행되기 때문에 생태계서비스 우수지역을 파악하는 것은 효율적인 공간계획을 수립하는데 도움이 된다.

지역의 자연환경에 대한 인식과 지식을 반영한 생태계서비스 우수지역평가는 최근의 지역사회 지식이 강조되는 상황에서 새로운 접근법으로 여겨진다(Cai et al. 2017). 지역사회의 지식과 인식을 점수화하고, 이를 가중치로 반영한 생태계서비스 우수지역 평가는 우선적으로 관리가 필요한 생태계서비스를 파악하고, 이를 높은 수준에서 공급하는 우수지역을 파악하게 해준다. 이를 통해 지역 사회에 실제로 필요한 생태계서비스를 우선적으로 관리하는 정책을 수립하는데 필요한 정보를 제공한다(Koschke et al. 2012). 다음으로 우선적인 서비스들이 높게 제공되는 지역들을 공간적으로 파악하여, 생태계서비스 관리에 필요한 보호지역을 설정하는데 도움이 된다(Schröter & Remme 2016). 이러한 과정이 지역사회의 인식을 반영하여 수행되기 때문에 지역주민들의 수요를 반영하는 생태계서비스 관리정책이 가능하며, 지역의 제한된 예산과 자원을 효율적으로 활용할 수 있도록 해준다. 또한 실제 지역에서 필요한 생태계서비스를 고려한 보호지역을 설정하여 환경정책에 대한 지역사회의 갈등을 완화시켜 줄 수 있다(Kopperoinen et al. 2014).

다만, 주민인식을 반영한 생태계서비스 관리에서는 생태계의 다기능성을 고려해야 한다. Liu et al. (2017)의 연구에서 가장 높은 생태계서비스 점수를 보유한 지역은 특정한 서비스에 특화된 지역이 아니라 공급, 조절, 문화서비스 항목들이 모두 균등하게

높은 지역이었다. 본 연구에서도 산림에서 조절서비스 우수지역들이 나타나면서, 전체 조절서비스 우수지역들도 다양한 공급서비스를 제공하였다. 또한 하류 지역의 수질조절서비스 우수지역으로 평가된 초지의 일부는 전체 조절서비스 우수지역 평가에서는 제외되었다. 지역 관리정책이 수질서비스에 초점을 둘 경우 이 지역은 관리되는 반면 수질서비스가 낮은 일부 산림은 전체 조절서비스 평가 값이 크지만 관리대상에서 제외될 수 있다. 그러므로 지역에서 생태계서비스 관리지역을 선정하는 과정에서도 다양한 서비스들을 동시에 고려해야 효율적인 생태계서비스 관리가 가능하다.

V. 결론

본 연구는 안산시를 대상으로 이해당사자 설문조사를 수행하여 생태계서비스 가중치를 선정하고, 이를 반영하여 생태계서비스 우수지역을 평가하였다. 설문결과에서는 수질조절, 대기조절, 침식조절, 기후조절서비스의 순서로 중요도가 높게 나타났다. 안산시 북동부에 위치한 산림이 우수지역으로 평가되었으며, 가중치 유무는 우수지역에 큰 영향을 미치지 않았다. 다만 가중치를 반영할 경우 일부 북동부 산림지역이 우수지역에서 제외되고, 도심의 산림이 우수지역에 포함되었다. 본 연구는 개별적인 생태계서비스 평가결과를 통합하고, 이 과정에서 지역 이해당사자들의 인식을 반영하여 생태계서비스 우수지역을 파악하는 접근법을 제시하였다. 본 연구에서 안산의 환경분야 이해당사자들은 지역의 환경이슈와 관련된 생태계서비스들을 중요하게 인식하였다. 이러한 접근법은 지역에서 요구되는 생태계서비스 수요를 파악하여, 효율적인 생태계서비스 관리정책을 수립하는데 기여할 수 있다. 또한, 생태계서비스 관리를 위해서 우선적으로 관리되어야 하는 우수지역들을 파악하여 공간계획 수립과정에서 의사결정지원 도구로서 활용될 수 있다. 다만 본 연구결과와 정책적 활용성을 높이기 위해서는 설문조사를 확대 실시하여 다양한 이해당사자 집단들의 생태계서비스에 대한 인식을 파악할 필요가 있다. 생태계서비스 인식조사와

평가가 일부 조절서비스에 한정된 점도 개선되어야 한다. 향후 이러한 한계점을 보완하여 다양한 집단과 생태계서비스들이 고려된다면, 실제 지역사회의 요구를 반영하는 정책수립과정에 실제로 기여할 것으로 기대된다.

References

- Alessa L, Kliskey A, Brown C. 2008. Social-ecological hotspots mapping: a spatial approach for identifying couple-social ecological space. *Landscape and Urban Planning* 85(1): 27-39.
- Beverly JL, Uto K, Wilkes J, Bothwell P. 2008. Assessing spatial attributes of forest "landscape values: an internet based participatory mapping approach. *Canadian Journal of Forest Research* 38(2): 289-303.
- Burkhard B, Petrosillo I, Costanza R. 2010. Ecosystem services-bridging ecology, economy and social sciences. *Ecological Complexity* 7: 257-259.
- Cai W, Gibbs D, Zhang L, Ferrier G, Cai Y. 2017. Identifying hotspots and management of critical ecosystem services in rapidly urbanizing Yangtze River Delta region, China. *Journal of Environmental Management* 191: 258-267.
- Chan KMA, Shaw MR, Cameron DR, Underwood EC, Daily GC. 2006. Conservation planning for ecosystem services. *PLoS Biology* 4(11): e379.
- Cimon-Morin J, Darveau M, Poulin M. 2013. Fostering synergies between ecosystem services and biodiversity in conservation planning: a review. *Biological Conservation* 166: 144-154.
- Cho HL, Jeong E, Koo BK. 2015. Development of a hybrid watershed model STREAM: Model structures and theories. *Journal of Korean Society on Water Environment* 31(5): 491-506. [Korean Literature]
- Choi YJ, Kim KH, Jeon EC. 2006. Odorous pollutant concentration levels in the Ban-Wall industrial area and its surrounding regions. *Journal of the Korean Earth Science Society* 27(2): 209-220. [Korean Literature]
- Eigenbrod F, Armsworth PR, Anderson BJ, Heinemeyer A, Gillings S, Roy DB, Thomas CD, Gaston KJ. 2010. The impact of proxy-based methods on mapping the distribution of ecosystem services. *Journal of Applied Ecology* 47(2): 377-385.
- Fisher B, Turner KR. 2008. Ecosystem services: classification for valuation. *Biological Conservation* 141: 1167-1169.
- Früh-Müller A, Hotes S, Breuer L, Wolters V, Koellner T. 2016. Regional patterns of ecosystem services in cultural landscapes. *Land* 5(2): 17.
- Gimona A, van der Horst D. 2007. Mapping hotspots of multiple landscape functions: a case study on farmland afforestation in Scotland. *Landscape Ecology* 22(8): 1255-1264.
- Heo JW, Kim DG, Song IS, Lee G. 2010. Concentration and gas-particle partition of PCDDs/Fs and dl-PCBs in the ambient air of Ansan area. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 26(5): 517-532. [Korean Literature]
- Jung KH, Kim WT, Hur SO, Ha SK, Jung PK, Jung YS. 2004. USLE/RUSLE factors for national scale soil loss estimation based on

- the digital detailed soil map. [Korean Literature]
- Jung KH. 2006. The formation, development and crisis of the industrial city, Ansan focused on theory of 'Industrial district', *Journal of Regional Studies* 14(1): 46-67.
- KFRI (Korea Forest Research Institute). 2017. *The lungs of the City, urban forests*. Korea Forest Research Institute, Seoul, 64pp. [Korean Literature]
- Koo M. 2014. The development and application of ecosystem services assessment model for housing site development projects: the case study on 4 Bogumjari Residential Areas. Ph.D. dissertation, Seoul Natl University, Seoul [Korean Literature]
- Kopperoinen L, Itkonen P, Niemela J. 2014. Using expert knowledge in combining green infrastructure and ecosystem services in land use planning: an insight into a new place-based methodology. *Landscape Ecology* 29: 1361-1375.
- Koschke L, Fürst C, Frank S, Makeschin F. 2012. A multi-criteria approach for an integrated land-cover-based assessment of ecosystem services provision to support landscape planning. *Ecological Indicators* 21: 54-66.
- Lautenbach S, Maes J, Kattwinkel M, Seppelt R, Strauch M, Scholz M, Schulz-Zunkel C, Volk M, Weinert J, Dormann CF. 2012. Mapping water quality-related ecosystem services: concepts and applications for nitrogen retention and pesticide risk reduction. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 8(1-2): 35-49.
- Lee HK. 2012. Shihwa regional reclamation development project and the changes in the environmental management policy. *Environmental Law and Policy* 9, 153-173. [Korean Literature]
- Liu J, Li J, Gao Z, Yang M, Qin K, Yang X. 2016. Ecosystem services insights into water resources management in China: a case of Xi'an city. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 13(12): 1169.
- Locatelli B, Imbach P, Wunder S. 2014. Synergies and trade-offs between ecosystem services in Costa Rica. *Environmental Conservation* 41(1): 27-36.
- Luck GW, Chan KMA, Klien C. 2012. Identifying spatial priorities for protecting ecosystem services. *F1000Research* 1:17.
- MA (Millenium Assessment). 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Maes J, Egoh B, Willemen L, Liqueste C, Vihervaara P, Schagner JP, Grizetti B, Drakou EG, Notte AL, Zulian G, Bouraoui F, Paracchnin LM, Braat L, Bidoglio G. 2012. Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. *Ecosystem Services* 1(1): 31-39.
- Martin-López B, Iniesta-Arandia I, Garcia-Llorente M, Palomo I, Casado-Arzuaga I, Del Amo DG, Gómez-Baggethun E, Oteros-Rozas E, Palacios-Agundez I, Willaarts B, Gonzalez JA, Santos-Martin F, Onaindia M, Lopez-Santiago C, Montes C. 2012. Uncovering ecosystem service bundles through social preferences. *PlosOne* 7(6): e38970.
- Meyer MA, Schulz C. 2017. Do ecosystem services provide an added value compared

- to existing forest planning approaches in Central Europe? *Ecology and Society* 22(3): 6.
- Nam YS, Lim HS. 2011. A study for MICE multiplex location attributes which use AHP. *The Geographical Journal of Korea* 45(1): 125-136. [Korean Literature]
- NIE (National Institute of Ecology). 2017. Mapping and assessment of ecosystem services, National Institute of Ecology, Seochon, 403pp. [Korean Literature]
- Queiroz C, Meacham M, Richter K, Norstrom AV, Andersson E, Norberg J, Peterson G. 2015. Mapping bundles of ecosystem services reveals distinct types of multifunctionality within a Swedish landscape. *Ambio* 44(1): 89-101.
- Quyên NTK, Berg H, Gallardo W, Da CT. 2017. Stakeholders' perceptions of ecosystem services and Pangasius catfish farming development along the Hau River in the Mekong Delta, Vietnam. *Ecosystem Service* 25: 2-14.
- Raudsepp-Hearne C, Peterson GD, Bennett EM. 2010. Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proceedings of National Academic Society* 107(11): 5242-5247.
- Renard KG, Foster GR, Weesies GA, McCool DK, Yoder DC. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agricultural Handbook 703*, US Government Print Office, Washington, DC.
- Roh YH, Kim CK, Hong HJ. 2016. Time-series changes to ecosystem regulating services in Jeju: focusing on estimating carbon sequestration and evaluating economic feasibility. *Journal of Environmental Policy and Administration* 24(2): 29-44. [Korean Literature]
- Saaty TL. 2005. The Analytic hierarchy and analytic network process for the measurement of intangible criteria and for decision-making. In: Figueira, J.(Ed.), *Multiple criteria decision analysis*, pp. 345-407.
- Schlup CJE, Lautenbach S, Verburg PH. 2014. Quantifying and mapping ecosystem services: demand and supply of pollination in the European Union. *Ecological Indicators* 36: 131-141.
- Schröter M, Remme RP. 2016. Spatial prioritisation for conserving ecosystem services: comparing hotspots with heuristic optimization. *Landscape Ecology* 31(2): 431-450.
- Tidball KG, Krasny ME. 2011. Toward an ecology of environmental education and learning. *Ecosphere* 2(2): 1-17.
- Willemen L, Hein L, van Mensvoort EF, Verburg PH. 2010. Space for people, plants, and livestock? Quantifying interactions among multiple landscape functions in a Dutch rural region. *Ecological Indicators* 10(1): 62-73.
- Yoon SC, Kim BS. 2004. Tropospheric ozone pollutions in Korea during 1998-2002 using two ozone indices for vegetation protection. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 6(1): 38-48. [Korean Literature]
- Zank B, Bagstad KJ, Voigt B, Villa F. 2016. Modeling the effects of urban expansion on natural capital stocks and ecosystem service flows: a case study in the Puget

Sound, Washington, USA. *Landscape and Urban Planning* 149: 31-42.
Zhang X, Lu X. 2010. Multiple criteria evaluation

of ecosystem services for the Ruoergai Plateau Marshes in southwest China. *Ecological Economics* 69(7): 1463-1470.