

지역 생태계서비스들의 공간분포와 상관관계에 관한 연구 - 군산 지역을 대상으로 -

김일권* · 김성훈** · 권혁수***

A Study on Spatial Distribution and Correlations of Regional Ecosystem Services: a case study of Gunsan

Ilkwon Kim* · Sunghoon Kim** · Hyuksoo Kwon***

요약 : 지역 생태계는 다양한 생태계서비스를 동시에 제공하며, 이들 생태계서비스는 상호연관성을 가진다. 생태계서비스 사이의 상관관계는 하나의 서비스의 증가가 다른 서비스의 증가와 함께 나타나는 동반상승작용과 다른 서비스의 감소와 함께 나타나는 상쇄작용으로 구분된다. 본 연구는 군산을 대상으로 1km 격자단위로 생태계서비스를 평가한 뒤, 개별 생태계서비스들의 평가결과를 상관관계 분석과 bagplot 분석을 이용하여 상쇄작용과 동반상승작용 관계를 파악하였다. 또한 bagplot 평가결과를 공간화하여 상쇄작용과 동반상승작용의 공간분포 특성을 파악하였다. 연구결과 작물생산은 재해조절을 제외한 다른 생태계서비스들과 상쇄작용의 관계를 가지며, 재해조절을 제외한 조절서비스(대기, 기후, 수질, 침식조절)들은 동반상승작용의 관계를 가졌다. Bagplot을 공간화하여 생태계서비스 간 상관관계를 파악한 결과, 산림이나 농경지가 우세한 지역에서 상쇄작용이 나타났다. 대기조절과 작물생산은 농경지와 산림이 혼합되어 나타난 지역에서는 동반상승작용이 나타난 반면, 연안의 시가지에서는 동반하락작용이 나타났다. 기후조절과 대기조절은 산림우세 지역에서 동반상승작용이 나타나며, 농경지에서는 동반하락작용이 나타났다. 본 연구는 생태계서비스의 공간분포와 상관관계를 파악하여, 지역 생태계서비스 공급지점을 효율적으로 관리하는데 필요한 중요한 정보를 제공하는데 의의가 있다.

주요어 : 생태계서비스, 상관관계, bagplot, 상쇄작용, 동반상승작용, 격자기반평가

Abstract : Regional ecosystem provide multiple ecosystem services which are interacted among them. Interactions of ecosystem services are classified as a tradeoff and a synergy: the former is a win-lose situation of a provision of one ecosystem service with a loss of another, the latter is a win-win situation of a provision of two ecosystem services. This study assessed seven ecosystem services in Gunsan of 1km grid resolution, and identified tradeoffs and synergies among them based on correlation and bagplot analyses. This study characterized geographical patterns of tradeoffs and synergies reflecting delineation of bagplots. The result indicated that tradeoff are revealed between crop production and other ecosystem services except hazard regulation while those regulation services (air quality, climate, water quality, and erosion regulation) are synergies. Geographical patterns of tradeoffs in the bagplot are revealed in forest or agricultural areas. Air quality regulation and crop production have positive synergies in areas where forest and farmlands are mixed, while negative

이 연구는 국립생태원의 전략과제로 수행된 지역의 생태가치 평가 및 인식 증진방안 연구사업(NIE-전략연구-2018-07)의 지원을 받아 이루어졌음을 밝힙니다.

* (제1저자) 국립생태원 전문위원(Research Fellow, National Institute of Ecology), ikkim@nie.re.kr

** (공동저자) 국립생태원 전문위원(Research Fellow, National Institute of Ecology), dark4v@nie.re.kr

*** (교신저자) 국립생태원 선임연구원(Senior Researcher, National Institute of Ecology), ulmus@nie.re.kr

synergies are occurred in coastal urban areas. Climate and air quality regulation have positive synergies in forest-dominated areas while they have negative synergies in farmlands. This study provide useful information for ecosystem service management by analyzing geographical patterns and interactions among different ecosystem services.

Key Words : ecosystem service, correlation, bagplot, tradeoff, synergy, grid-based assessment

1. 서론

생태계의 구조와 과정을 통해서 나타나는 다양한 기능들은 인간사회에 생태계서비스들을 제공한다(TEEB, 2010; Mouchet *et al.*, 2017). 생태계서비스는 특성에 따라 공급, 조절, 지지, 문화서비스로 구분되며, 각각의 서비스들은 인간사회의 복지를 위해서 필요한 다양한 혜택을 제공한다(MA, 2005). 인간사회가 받는 혜택을 증대시키기 위해서는 다양한 생태계서비스들을 함께 증가시키는 환경관리정책이 요구된다(Tallis *et al.*, 2008). 생태계의 구성요소들은 특정한 생태계서비스에만 영향을 미치는 것이 아니라 다양한 생태계서비스에 동시에 영향을 미치면서, 생태계서비스들 사이의 상호작용을 발생시킨다(Bennett *et al.*, 2009). 그러므로 생태계서비스 증진을 위해서는 다양한 서비스들의 상호작용을 고려한 정책수립이 필요하다.

생태계서비스 간 상호작용은 일반적으로 하나의 서비스 증가가 다른 서비스 감소로 나타나는 상쇄작용(tradeoff)과 다른 서비스 증가로 나타나는 동반상승작용(synergy)으로 정의된다(Bennett *et al.*, 2009). 한 예로 공급서비스인 작물생산을 증가시키기 위해 산림지역을 농경지로 전환하는 것은 기존 산림이 제공하는 다른 서비스들의 손실을 야기하는 상쇄작용을 발생시킨다. 그러므로 지역 생태계서비스의 특성을 파악하기 위해서는 생태계서비스 사이에서 나타나는 상관관계에 대한 이해가 필요하다. 그러므로 생태계서비스의 상쇄작용과 동반상승작용을 이해하는 것은 생태계서비스 연구에서 점차 중요한 주제가 되고 있으며(Li and Wang, 2018), 생태계서비스 관리정책에서도 중요성이 증대하고 있다(함은경 등,

2015; Turner *et al.*, 2014; Lin *et al.*, 2018). 생태계서비스 공간평가는 특정한 시공간의 범위에서 나타나는 다양한 생태계서비스들의 공간분포특성과 상호작용을 파악하기 용이하기 때문에 효율적인 생태계서비스 관리정책의 수립과정에 기여할 수 있다(Naidoo *et al.*, 2008; Raudsepp-Hearne *et al.*, 2010; Burkhard *et al.*, 2012) 특히 격자기반 평가는 지역 내에서의 다양성과 일관성을 파악할 수 있고, 공간분석이 용이하기 때문에 생태계서비스의 공간분포특성을 파악하는데 적절하다(Turner *et al.*, 2014).

해외에서는 많은 연구들이 상관계수 값을 이용하여 생태계서비스들 사이의 상쇄작용과 동반상승작용을 구분하였다. 특정 지역 내 생태계서비스 공간분포를 파악하고 이를 활용하여 생태계서비스 관리를 위한 우선지역을 파악하는 연구들이 대륙 단위(Maes *et al.*, 2012; Jopke *et al.*, 2015), 국가 단위(Turner *et al.*, 2014; Dittrich *et al.*, 2017), 도시 혹은 광역 단위(Raudsepp-Hearne *et al.*, 2010; Früh-Müller *et al.*, 2016; Lin *et al.*, 2018), 유역단위(Yang *et al.*, 2015)의 다양한 공간 스케일에서 진행되었다. 많은 연구들이 공간의사결정에 대한 자치권을 가질 수 있는 최소한의 행정구역 단위별로 상관관계 분석을 수행하여 왔다(Raudsepp-Hearne *et al.*, 2010; Jopke *et al.*, 2015; Lin *et al.*, 2018). 최근에는 bagplot을 이용하여 다중 스케일의 행정구역 단위에서 상관관계를 평가하는 연구들도 진행되고 있다(Jopke *et al.*, 2015; Früh-Müller *et al.*, 2016). 이들 연구와 달리 격자기반 생태계서비스 평가연구들은 국가나 지역을 특정한 규모의 격자로 구분하여 생태계서비스를 평가 및 분석하였다(Turner *et al.*, 2014; Dittrich *et al.*, 2017).

생태계서비스 지표들 간 연관성을 파악하려는 다

양한 시도들이 해외에서 꾸준히 증가함에도 불구하고, 국내에서는 이러한 연구들이 부족하다. 공간자료와 모형을 이용한 생태계서비스 연구들은 주로 특정한 생태계서비스를 정량적이고 과학적인 방법을 통해서 평가하는데 집중하였다(송철호 등, 2015; 노영희 등, 2016; 김성훈 등, 2016; 김성훈 등, 2018). 함은경 등(2015)이 생태계서비스 상쇄작용 발생 원인과 형태를 시스템 사고를 통해서 논의하고, 공간계획에서의 필요성을 제시하였다. 김무한 등(2018)이 설문을 통해 하천이 제공하는 다양한 생태계서비스들을 가치평가하고, 서비스들 간 상관관계를 이용하여 상쇄작용을 파악하였다. 다만 공간자료를 이용하여 생태계서비스들의 상관관계를 공간상에서 파악하는 연구는 부족하였다. 특히 bagplot이 다중스케일적인 접근이 가능하기 때문에, 지역의 생태계서비스 특성을 파악하는 과정에서 행정구역 기반 평가와 격자기반 평가가 동시에 가능함에도 불구하고, 행정구역 중심으로 평가가 진행되어 격자기반 평가는 부족한 상황이다.

본 연구는 다양한 유형의 생태계서비스에 대한 격자기반 공간평가를 수행한 뒤, Jopke *et al.*(2015)이

제시한 bagplot기반 생태계서비스 상관관계 분석 방법을 적용하여 생태계서비스들 사이의 상쇄작용 및 동반상승작용을 평가하고자 한다. 또한, 평가결과를 해외의 격자기반 연구와 비교하여 공통점과 차이점을 살펴보고, 평가결과를 정책적으로 활용하기 위한 논의를 진행하고자 한다.

2. 연구지역 및 연구방법

1) 연구지역

연구대상 지역인 전라북도 군산은 황해안에 위치하며 금강의 하구주변으로 넓은 평야지대가 분포하고 있다. 면적은 도서지역을 포함하여 395km²이며, 인구는 2017년 기준으로 283,931명이다. 행정구역은 27개 읍면동으로 나뉘며 시내중심부의 동과 외곽의 읍면으로 구분된다. 군산시는 금강하구 주변과 항구주변에 시가지가 형성되어 있으며, 외곽에는 넓은 평야지대와 구릉지의 산림이 위치한다(그림 1). 이러

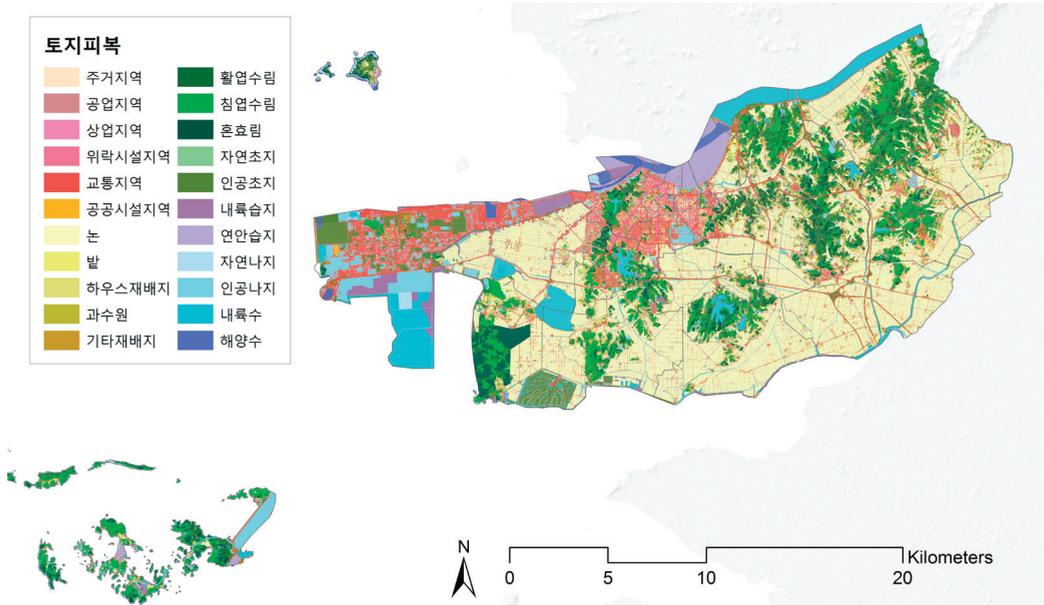


그림 1. 군산시의 토지이용현황(2014년)

표 1. 연구지역 생태계서비스 평가 지표 및 방법론

유형	생태계서비스	지표	단위	출처
공급	식량생산	경작지 면적	ha	Raudsepp-Hearne <i>et al.</i> (2011)
조절	대기조절	SO ₂ 및 NO ₂ 흡수량	kg/year	국립산림과학원(2017)
	기후조절	탄소 저장량	ton/year	노영희 등(2016)
	수질조절	연간 질소 지표면 유출율	유출/유입	조홍래 등(2015)
	침식조절	토양보전량	ton/year	Renard <i>et al.</i> (1997)
	재해조절	연간 유량지표면 유출률	유출/유입	조홍래 등(2015)
문화	여가	여가잠재력	정규화점수	Parracchini <i>et al.</i> (2014)

한 특성으로 인하여 다양한 공급, 조절, 문화서비스 등 성격이 다른 생태계서비스들이 함께 나타나며, 이들의 공간분포를 평가 및 비교하기 용이하다. 국립생태원(2017)의 간이평가에서도 군산은 다른 지역보다 생태계서비스가 다양하게 나타는 지역으로 평가되었다. 그러므로 군산지역이 생태계서비스 간 연관성을 평가하는데 적합한 지역으로 판단되어 연구대상지역으로 선정되었다.

2) 생태계서비스 평가

지역 생태계서비스를 평가하고, 분포특성을 파악하기 위해서는 지역특성을 반영하는 생태계서비스들을 분류하고, 적절한 지표 및 방법론을 선정하는 과정이 필요하다. 본 연구는 지역생태계서비스 분류를 위해 ‘The Economics of Ecosystems and Biodiversity(TEEB)’의 구분을 적용하였다(TEEB, 2010). 분류된 생태계서비스의 방법론 및 자료의 이용가능성을 고려하여 공급서비스(식량), 조절서비스(기후조절, 대기조절, 수질조절, 침식조절, 재해조절), 문화서비스(여가)의 7개 항목을 선택하였다. 생태계서비스 항목들은 기존 국내 및 해외연구에서 적용 및 검증된 지표와 방법론을 참고하여 공간적으로 평가되었다. 평가에 사용된 지표와 참고문헌은 다음과 같다(표 1).

생태계서비스 공간평가는 토지피복자료를 기반으로 수행된다. 본 연구는 2014년 환경부에서 제작한 세분류 토지피복도를 연구지표 및 방법론에 적용할 수 있도록 재분류하였다. 재분류된 토지피복도를 이

용하여 다양한 생태계서비스들의 공간평가를 수행하였다.

공급서비스 중 식량생산은 생태계에서 얻어지는 식량공급을 의미하는데, 대표적으로 작물생산으로 평가된다. 식량생산 서비스는 전체 토지 내 경작지 비율이나 면적을 이용하여 평가되는데(Raudsepp-Hearne *et al.*, 2010), 본 연구에서도 농경지 면적으로 식량생산서비스를 평가하였다.

대기조절서비스는 식생이 오염물질을 흡수하여 대기질을 개선시키는 것으로 대표적인 오염 물질인 SO₂와 NO₂흡수량을 통해서 평가가 가능하다. 국립산림과학원(2017)에서 제시한 산림의 SO₂와 NO₂ 흡수량을 이용하여 식생오염물질 흡수량을 산정하였다. 국립산림과학원(2017)에 따르면 1ha의 산림은 연간 24kg의 SO₂와 52kg의 NO₂를 흡수한다. 본 연구는 세분류토지피복도의 산림과 과수원피복에 이 값을 할당하여 평가하였다.

기후조절서비스는 식생과 토양이 탄소를 저장 및 흡수하여 기후변화를 완화시키는 서비스이다. 기후조절은 InVEST carbon 모형을 이용하여 식생과 토양이 저장하고 있는 탄소 고정량을 산정하여 평가된다. InVEST carbon 모형은 지상부바이오매스, 지하부바이오매스, 토양, 고사목, 수확된 목제품에 대한 탄소 풀 계수를 이용하여 탄소저장량을 산정한다(Kareiva *et al.*, 2011). 본 연구는 InVEST carbon 모형을 국내에 적용 및 검증한 노영희 등(2016)의 탄소풀 계수를 참조하여 연구지역의 탄소저장량을 산정하였다.

수질조절서비스는 자연생태계가 수자원에 존재하

는 오염물질을 정화하여 수질을 유지 및 개선시키는 서비스이다(MA, 2005). 특히 질소는 대표적인 수질 오염물질로서 생태계가 흡수 및 정화하는 질소의 양을 이용하여 수질조절서비스에 대한 평가가 가능하다(Kim *et al.*, 2017). 국내유역환경의 특성을 반영하는 수문 및 수질평가를 위해 개발된 STREAM(Spatio Temporal River-basin Ecohydrology Analysis Model) 모형은 다양한 지형 및 기상자료를 이용하여 수질관련 물질의 이동을 모의하고, 실제 관측 자료와 비교하여 결과를 검증한다(조홍래 등, 2015). 본 연구는 STREAM 모형의 결과물인 질소의 연간 지표면유출물을 수질조절서비스의 지표로 선정하고, 그 값이 적을수록 생태계의 수질조절서비스가 높은 것으로 평가하였다.

재해조절서비스는 인간사회에 피해를 끼치는 자연재해의 강도를 생태계가 조절하여, 인간사회의 재해취약성에 영향을 미치는 서비스이다(MA, 2005). 식생은 강우 시 증가하는 유량을 흡수하거나 전용하여 지표유출을 감소시키기 때문에 홍수방지에 기여하기 때문에(Nedkov *et al.*, 2015), 유량의 유입과 유출비를 비교하여 유출비가 낮을 경우 재해조절서비스가 높은 것으로 평가하였다. 본 연구는 수질조절서비스 평가에 사용된 STREAM모형의 주요 결과물인 유량 지표면 유출물을 이용하여 재해조절서비스를 공간적으로 평가하였다.

침식방지는 식생이 토양을 보유하여 침식을 방지하는 서비스이다(Lattera *et al.*, 2012). 토양침식을 산정하는데 대표적으로 사용되는 RUSLE(Revised Universal Soil Loss Equation)을 이용하여 연구지역 전체를 나대지로 가정한 토양침식량에서 현재 식생피복의 토양침식량을 제외한 값을 식생의 토양보전량으로 산정한다(Lattera *et al.*, 2012). 모형은 강우인자, 토양인자, 지형인자, 토지피복인자, 침식조절인자로 구분된다(Renard *et al.*, 1997). InVEST SDR모형은 RUSLE를 구현한 모형으로, 이를 이용하여 침식방지서비스를 평가하였다. 강우인자는 월평균 강수량을 기반으로 계산된 Risal *et al.*(2016)의 값을 이용하였다. 토양인자는 국립환경과학원에서 현지조사를 기반으로 산정한 정밀피복도 상 값을 이용하였다. 지

형인자는 DEM을 입력하여 산정하였고, 토양피복인자와 침식조절인자는 환경부 고시(2012)값을 이용하였다.

문화서비스의 레크리에이션은 여가잠재력지수를 이용하여 평가하였다. 여가잠재력지수는 식생유형, 보호지역 지정여부, 수자원과의 접근성을 이용하여 자연생태계가 제공하는 여가공간의 잠재적 가치를 평가한다(Parrachini *et al.*, 2014). 식생유형은 자연화정도를 점수화시킨 Hemeroby index를 이용하여 평가된다. 본 연구는 Walz and Stein(2014)이 적용한 피복 별 분류를 세분류토지피복도 항목에 적용하여 식생유형을 구분하였다. 보호지역은 개발제한구역과 야생동식물 보호구역 지정여부를 이용하였다. 수자원과의 접근성은 하천과 해안선으로부터의 거리를 이용하여 수자원에 대한 접근성을 평가하였다. 평가된 3가지 항목의 개별 값을 정규화하고 평가단위를 통일한 뒤, 합산한 값을 여가잠재력지수로 계산하였다(Parrachini *et al.*, 2014).

또한 개별 생태계서비스 평가결과에 대하여 모란지수(Moran's I)를 이용하여 공간분포 패턴을 파악하고 공간집적도를 비교하였다. 모란지수는 공간적인 집중도를 평가하는 지수로서 0~1 사이의 값은 공간적 집중을 의미하며, 0~-1의 값은 분산을 의미한다(손정렬, 2013). 모란지수를 이용하여 특정 생태계서비스 공급의 공간적인 집중도를 평가하고, 이를 다른 서비스들과 비교하였다.

3) 생태계서비스 분포특징 평가

다양한 생태계서비스들 간의 연관성은 대표적으로 상쇄작용(tradeoff)과 동반상승작용(synergy)이 있다. 상쇄작용은 한 생태계서비스의 증가가 다른 서비스의 감소, 동반상승작용은 한 생태계서비스의 증가가 다른 서비스의 증가와 함께 나타나는 상황으로 정의된다(Bennett *et al.*, 2009; Hasse *et al.*, 2012). 생태계서비스의 상쇄작용과 동반상승작용은 Pearson 상관계수를 이용하여 파악된다. 생태계서비스 간 상관계수가 양의 값을 가지는 경우 동반상승작용, 음의 값을 가지는 경우 상쇄작용으로 구분한다(Raud-

sepp-Hearne *et al.*, 2010). 상관관계수가 ± 0.5 이상인 경우는 강한 상관관계, $\pm 0.5 \sim \pm 0.3$ 은 중간수준의 상관관계를 가지는 것으로 간주한다(Raudsepp-Hearne *et al.*, 2010; Jopke *et al.*, 2015). 상관계수를 이용하여 상쇄작용과 동반상승작용을 구분하고, 그 강도를 평가하였다.

이변량 자료의 데이터 분포를 파악하는데 사용되는 bagplot도 생태계서비스 간 연관성을 파악하는데 사용된다(Jopke *et al.*, 2015). Bagplot은 이변량 자료의 boxplot형태로 반평면 깊이(half-space depth)를 기반으로 산정된 중위수(depth median), 전체자료의 50%가 내부에 위치한 다각형(bag), 그 다각형의 주변 지역(loop)으로 설정된 펜스(fence), 펜스 외곽의 아웃라이어(outlier)로 구분된 데이터의 분포를 보여준다(Rousseeuw *et al.*, 1999). Bagplot의 다각형 방향은 자료들의 상관관계를 보여주는데, 두 생태계서비스에서 좌하-우상 모양은 동반상승작용을 반영하며, 좌상-우하 모양은 상쇄작용 관계를 반영한다(Jopke *et al.*, 2015). 또한 bagplot은 생태계서비스 상관관계의 분포를 격자단위에서 파악하기 용이하다. 생태계서비스 A와 B의 평가결과를 표준화하여 설정된 중앙값을 중심으로 분포하는 bagplot을 사분면으로 분할하여 동반상승작용과 상쇄작용을 파악한다(그림 2). Bag내의 격자 값이 2사분면과 4사분면에 위치할 경우 상쇄작용이 나타나며, 1사분면은 동반상승작용으

로 3사분면은 동반하락작용으로 구분된다(Jopke *et al.*, 2015).

본 연구에서는 Pearson 상관계수와 bagplot을 함께 이용하여 상쇄작용과 동반상승작용 관계를 중심으로 생태계서비스 분포특성을 파악하였다. 오픈스 프로그램인 R을 이용하여 상관관계 분석을 수행하였으며 “aplpack”패키지(Wolf, 2014)를 이용하여 bagplot을 제작하였다.

3. 연구결과

1) 지역 생태계서비스 공간평가

1km격자단위로 평가된 개별 생태계서비스의 평가 결과는 다음과 같다(그림 3). 농경지비율로 평가된 작물생산서비스는 연구지역 남부에 위치한 저지대농경지에서 높다. 군산은 항구주변과 시내중심지를 제외한 남부평야지역에서 농경지가 넓게 분포하기 때문이다. 대기조절서비스는 산림이 우세한 지역에서 높았고, 농경지역은 낮았다. 도시중심부의 경우 도심 주변의 녹지와 공원으로 인하여 대기조절서비스가 농경지역보다 높았다. 기후조절서비스도 대기조절서비스와 유사하게 연구지역 북동부의 산림지역에서 높은 반면, 시내중심부와 남부의 농경지에서는 낮았다. 수질조절서비스도 산림지역에서 높고 저지대 농경지와 연안지역의 시가지와 초지의 혼합지역에서 낮게 나타난다. 다만 일부 저지대 초지가 우세한 지역에서도 질소유출률이 낮았다. 침식조절서비스는 산림에서 높고, 저지대의 평야와 시가지에서는 낮다. 다만 대기 및 기후조절서비스가 연구지역 서부 해안가 일부에서 높은 반면, 침식조절서비스는 연안저지대에서는 전반적으로 낮았다. 재해조절서비스는 다른 조절서비스와 달리 농경지에서 주로 높게 나타난 반면, 저지대에 위치한 시가지와 초지에서 낮게 나타났다. 문화서비스지표인 여가잠재력은 하천과 인접한 지역과 연안지역에서 높고, 수자원과 인접한 일부 산림지역들도 여가접수가 높지만, 수자원과 거리상으로 떨

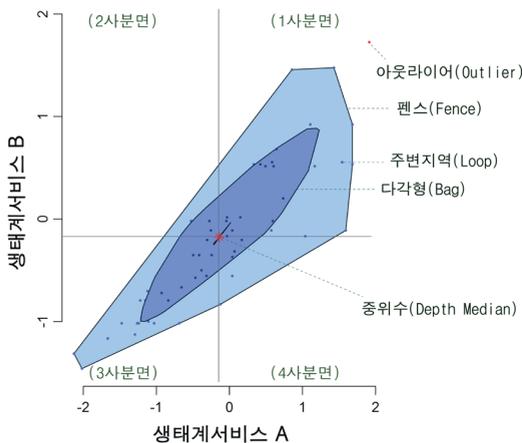


그림 2. Bagplot의 예시

출처: Jopke *et al.*(2015)의 그림 1을 수정

어져 있는 농경지에서는 낮게 나타났다. 다만 여가잠재력의 공간분포상의 차이는 다른 서비스들에 비해서 비교적 작았다.

공간집적도를 평가하는 Moran's I값이 모든 서비스들이 0.5 이상으로 공간적으로 집중되어 나타났다. 서비스별로 살펴보면 산림과 다른 피복지역과의 구

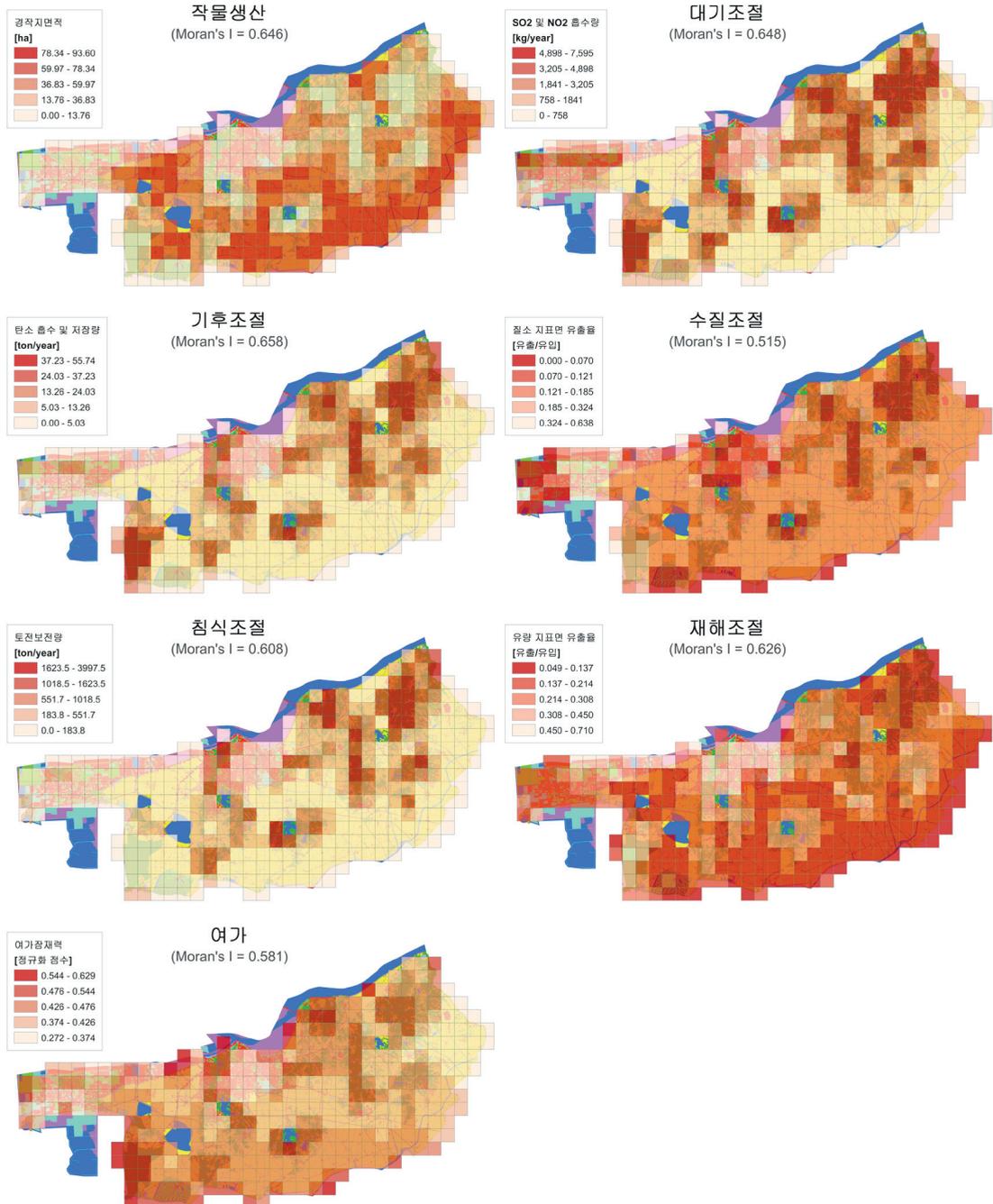


그림 3. 군산 생태계서비스 유형별 공간평가와 서비스들의 공간집적도 평가 결과

분이 명확하게 나타나는 기후조절 서비스가 0.658로 가장 높은 공간집적도를 보여주었다. 기후조절과 유사하게 산림에서 높은 대기조절과 침식조절도 0.6 이상의 값을 가졌고, 외곽 농경지대에 집중되어 나타나는 작물생산(0.646)과 재해조절(0.626)도 공간집적도가 높다. 하천과 연안에서 높은 여가서비스와 산림과 초지에서 높은 수질조절은 다른 서비스들에 비해서 공간집적도가 상대적으로 낮게 나타났다.

2) 생태계서비스 상관관계 분석

1km격자 단위 평가결과를 기반으로 군산시 생태계서비스 간 상관관계 분석을 수행하였다(그림 4). 7개 생태계서비스의 21쌍의 관계 중에서 대기, 기후, 침식조절서비스와 여가서비스 사이의 6쌍이 강한 동반상승작용을 보이며, 2쌍이 중간수준의 동반상승작용이 나타났다. 반면, 작물생산이 나머지 서비스들 간의 관계가 음의 상관관계를 보이며 1쌍이 강한 상쇄작용, 1쌍이 중간수준의 상쇄작용을 보여주었다. 산림을 중심으로 식생피복에서 우세하게 나타나는 기후조절과 대기조절 사이에서 가장 높은 동반상승작용이 나타났다($r=0.97$). 반면 산림이 없는 평야지대 경작지에서 높게 나타나는 작물생산과 산림에서만 나타나는 대기조절 사이에서 가장 높은 상쇄작용($r=-0.65$)이 나타났다.

Bagplot을 이용한 생태계서비스 상관관계 분석도와 동일한 결과를 보여준다. Bagplot의 모양과 방향을 살펴보면 상관관계 분석에서 음의 상관관계가 나타나는 조합들은 bagplot 사분면의 이사분면과 사사분면방향으로 나타나며, 양의 상관관계가 나타나는 조합들은 삼사분면에서 일사분면의 방향으로 나타난다. 상관관계 분석에서 가장 높은 동반상승작용을 보이는 조합인 대기조절과 기후조절을 살펴보면 대부분의 값이 일사분면에 위치하고 있으며, 이사분면과 사사분면에 존재하는 값들은 거의 관측되지 않는다. 반면 대표적 상쇄작용인 작물생산과 대기조절을 비교하면, 이사분면에 관측 값이 집중된다.

상관관계와 bagplot에서 가장 높은 수준의 상쇄작용과 동반상승작용 관계를 가지는 서비스들을 중심

으로 생태계서비스의 공간분포를 비교하였다(그림 5). 상쇄작용인 대기조절과 작물생산은 동반상승작용이 나타나는 1, 3분면보다는 상쇄작용이 나타나는 2, 4분면에 격자들이 주로 위치한다. 대기조절과 작물생산 사이의 양의 동반상승작용(1사분면)은 산림과 농경지가 혼합되어 나타나는 지역인 반면, 동반하락작용(3사분면)은 금강하구주변을 따라 나타나는 시내 및 항구지역에서 일부 나타나며 경계지역에 위치한 일부격자에서도 나타난다. 높은 작물생산과 낮은 수준의 대기조절 사이의 상쇄작용(2사분면)은 주로 농경지에서 나타나며, 반대의 경우(4사분면)는 산림에서 나타난다. 반면 동반상승작용 관계인 기후조절과 대기조절은 정반대의 경향성이 나타나 1, 3분면에 각각 149개와 172개의 격자가 위치하며 2, 4분면에 위치하는 격자는 10개씩에 불과하다. 22개의 격자들은 bagplot에서 아웃라이어로 평가되었다. 산림과 초지가 나타나는 대부분의 격자들이 양의 동반상승작용(1사분면)을 가지며, 농경지와 시가지 격자들은 동반하락작용(3사분면)을 가진다. 대기조절은 높지만 기후조절이 낮은 상쇄작용(2사분면)은 초지가 시가지와 혼합되어 나타나는 연안지역에서 집중되어 나타나며, 기후조절은 높지만 대기조절은 상대적으로 낮은 상쇄작용(4사분면)은 농경지와 산림이 혼합된 격자에 나타났다.

4. 고찰

1) 생태계서비스 간 상관관계

본 연구는 군산의 내륙지역을 대상으로 7가지 생태계서비스 평가 및 격자화를 수행하여 21개의 서비스 조합들의 상관관계를 평가하였다. 생태계서비스 평가에 사용된 지표는 연구에 따라 다르게 설정되지만, 서비스의 상관관계는 기존의 연구들과 유사하게 나타났다. 작물생산이 다른 서비스들과 음의 상관관계를 가지는 다른 격자기반 연구들과 동일하다(Turner *et al.*, 2014; Dittrich *et al.*, 2017). 작물생산이 높은

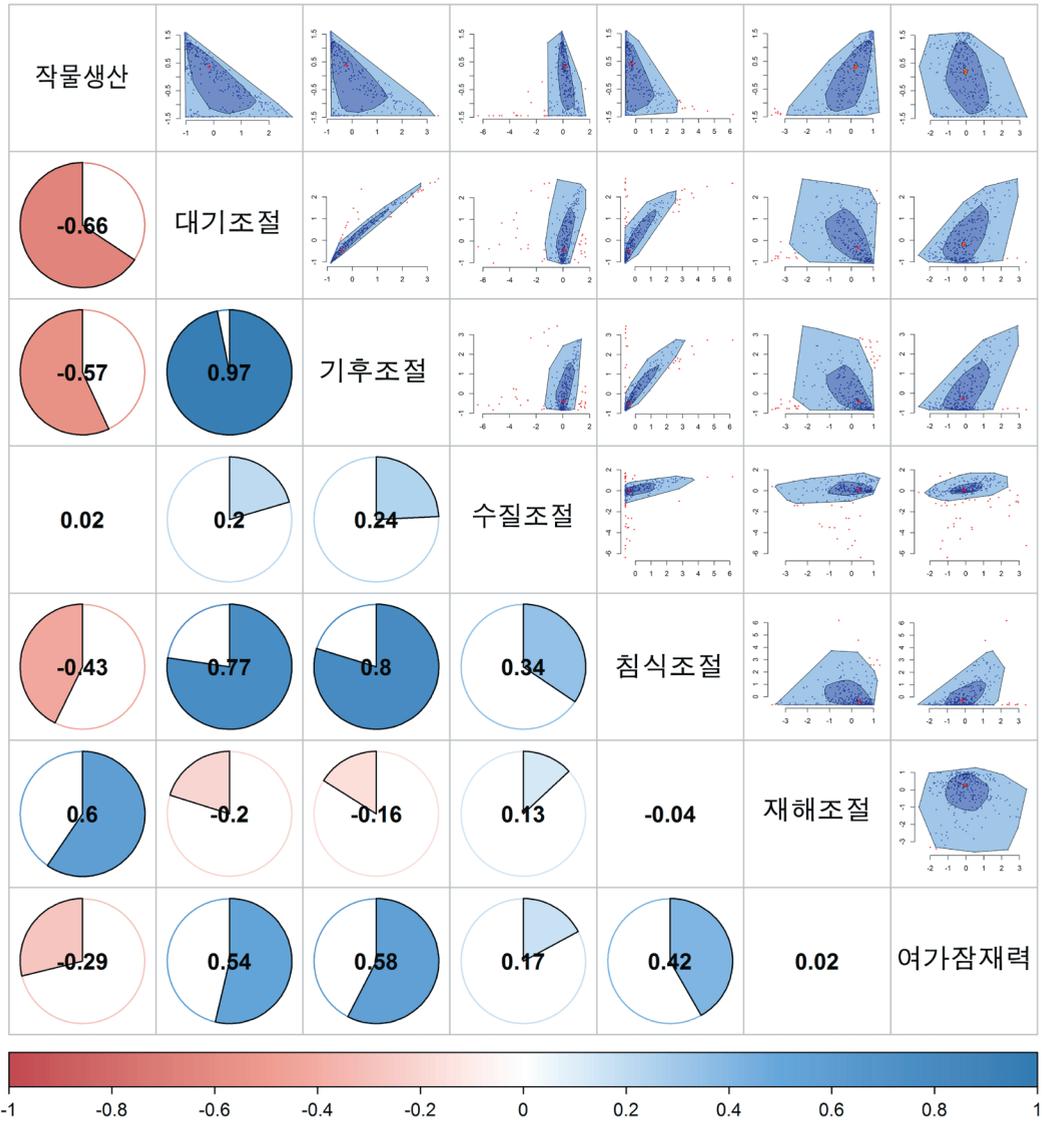


그림 4. 격자기반 평가결과를 이용한 군산 생태계서비스 상관관계와 bagplot 분포

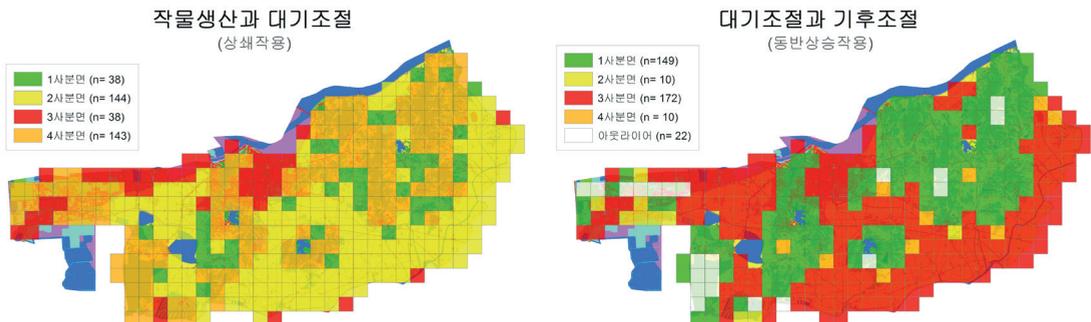


그림 5. Bagplot의 사분면 분포결과에 기반한 생태계서비스 상쇄작용(왼쪽)과 동반상승작용(오른쪽)의 공간화

군산의 평야는 산림의 부족으로 인하여 조절서비스들이 낮게 나타나기 때문에 상쇄작용이 발생한다. 산림에서 높게 제공되는 조절서비스 지표들의 동반상승작용 관계도 유사하다(Turner *et al.*, 2014). 본 연구에서도 대기조절과 기후조절이 가장 높은 수준의 동반상승작용이 나타나며, 침식조절과도 높은 상관관계가 나타난다. 다만 재해조절은 다른 조절서비스 항목들과 음의 상관관계가 나타난다. 재해조절 평가 지표인 연간 유량지표면 유출률은 논에서 높아서 작물생산과 양의 상관관계를 보이는 반면, 다른 조절서비스들이 높은 산림에서는 상대적으로 낮기 때문에 다른 조절 서비스들과 음의 상관관계를 보였다. 재해 조절서비스가 작물생산과 동반상승작용을 가지면서 다른 조절서비스와 상쇄작용을 가지는 것은 연구지역과 평가지표의 특성에서 기인한다. 군산은 농경지의 85% 이상이 논이며, 밭은 12%, 과수 및 시설재배지는 2% 수준에 불과하다. 농경지의 대부분을 차지하는 논은 강우로 인하여 증가하는 유량을 일시적으로 저장하여 하천으로 흘러가는 유량을 조절 및 지체시켜 홍수를 조절한다(공라경, 2017). 이와 같이 논이 대부분을 차지하는 연구지역의 특성으로 인하여 재해조절서비스가 작물생산과 동반상승작용이 나타난다. 문화서비스인 여가잠재력은 재해조절을 제외한 조절서비스들과 양의 상관관계를 가지며, 작물생산과는 음의 상관관계를 가진다. 이는 문화서비스 평가 지표로 사용된 여가잠재력 평가결과가 식생과 토지피복에 의해 영향을 받기 때문에 조절서비스 지표들과 동반상승작용, 작물생산과 상쇄작용이 나타나기 때문이다. 연구지역의 생태계서비스 상관관계는 격자기반 평가를 수행한 기존의 연구들과 유사하게 나타나는데, 이는 생태계서비스가 지역적 특성보다는 토지이용에 따라 영향을 받기 때문이다. 특히, 토지이용이 생태계서비스의 분포와 상관관계에 큰 영향을 미치기 때문에 생태계서비스 관리는 토지이용의 측면에서 접근해야 한다.

행정구역별 생태계서비스 상관관계를 분석한 기존 연구들과 다르게 격자기반 평가와 상관관계 분석은 행정구역 내 지역 간 차이를 파악할 수 있어 정교한 비교가 가능하여, 생태계서비스 분포와 상관관계

의 시계열 변화를 파악할 때 행정구역 간 경계와 크기로부터 자유로운 평가가 가능하다. 또한 격자단위 분석은 격자의 크기조절이 자유롭기 때문에 연구목적에 따라서 다양한 공간스케일에서 평가가 가능하다는 장점이 있다. 생태계서비스의 분포특징과 상관관계는 공간스케일에 의해 영향을 받지만(Raudsepp-Hearne and Peterson, 2016), 격자기반 평가의 경우 격자 스케일에 따른 편차가 크게 나타나지 않았다(Emmett *et al.*, 2016). 이는 본 연구결과에서 나타난 생태계서비스들의 상관관계가 10km 격자단위로 수행된 Turner *et al.*(2014)과 5km 격자단위로 수행된 Ditttrich *et al.*(2017)의 결과와 유사한 상관관계가 나타나는 것을 통해서도 확인된다. 격자기반의 생태계서비스 평가는 최근의 격자기반 공간정보화 체계에 포함될 수 있으며, 다양한 형태의 공간 자료와 결합되어 분석이 가능하다(장문현 등, 2018). 또한 격자 기반평가는 일정한 공간범위로 전체를 평가하기 때문에 일관적인 평가가 가능하며, 공간패턴 분석에 유용하다(Turner *et al.*, 2014). 다만 생태계서비스의 분포특성에 따라 행정구역평가와 격자기반 평가결과가 달라질 수 있음을 인지하고, 활용목적에 고려하여 평가방법을 선정해야 한다(Raudsepp-Hearne and Peterson, 2016).

2) Bagplot을 이용한 생태계서비스 관리지역 선정

생태계서비스 평가지표들을 체계화하고, 이들 간 상관관계를 파악하여 지역생태계 특성과 구조를 이해하는 것은 다양한 생태계서비스가 나타나는 지역생태계의 관리정책과정에 도움이 되는 중요한 정보를 제공한다.

Bagplot에서 동일한 사분면에 위치한 격자들은 토지피복과 생태계여건이 유사하다. 1사분면에 위치한 지역들은 생태계서비스 동반상승작용이 나타나는 지역으로, 이지역의 우선적인 관리는 생태계서비스의 총량 증가에 도움이 된다. 이들 지역은 특정생태계서비스 증대 및 보호목적의 생태계서비스 지불제가 다른 서비스의 향상에도 영향을 미치기 때문에 지불제

의 효과도 증대시킬 수 있는 지점이다(Naidoo *et al.*, 2008). 반면, 생태계서비스 간 상관관계가 동반상승 작용을 발생시키더라도 3사분면에 위치하는 지역들은 생태계서비스의 총량적인 측면에서는 비효율적인 지역이다. 본 연구에서도 대기조절과 작물생산의 분포가 1사분면에 위치한 지역들은 생태계서비스 유지를 위한 우선관리지역으로 고려될 수 있다. 대기조절 서비스 증대를 위한 정책들을 시행할 경우에도 작물 생산이 낮고 대기조절서비스가 높은 4사분면의 지점들이 작물생산의 손실이 적어 전체 생태계서비스를 증대시키는 지역이 된다.

공간계획은 토지이용변화나 자연자원의 이용을 통해서 생태계서비스의 공급에 영향을 끼치기 때문에, 이러한 서비스들의 상관관계를 고려한 정책수립을 통해 생태계서비스 상쇄작용을 줄일 수 있다(함은경 등, 2015). 특히 생태계서비스의 동반상승작용과 상쇄작용의 파악은 지역관리정책에서 나타나는 갈등을 줄이기 위한 정책적인 노력들과 연계될 수 있다(Martinez-Harms *et al.*, 2015). 서비스들의 관계가 동반상승작용이 나타나는 경우에는 생태계서비스 혜택에 대한 사회구성원들 사이의 갈등의 가능성이 낮지만, 상쇄작용이 발생하는 특정 생태계서비스 증가는 다른 서비스의 손실과 함께 나타나기 때문에 생태계서비스 수혜집단들 사이의 갈등이 발생할 수 있다. 전체적으로 상쇄작용의 관계에서도 bagplot에서 동반상승작용을 가지며 두 서비스들의 총합이 극대화되는 지점들을 중심으로 관리정책을 수립한다면 이러한 갈등발생의 가능성을 줄일 수 있다(King *et al.*, 2015). 또한 작물생산과 수질조절과 같이 상관관계 분석에서 서비스들 사이의 상관관계가 발견되지 않는 경우에도, bagplot 분포결과는 수질조절과 작물생산의 상쇄작용과 동반상승작용이 나타나는 특정지점들을 파악하여 효율적인 공간관리정책의 수립에 도움이 된다.

다만 분석결과를 활용하기 위해서는 해석측면에서 주의가 필요하다. 제작된 bagplot의 모양은 지역의 전체적인 생태계서비스 분포패턴을 반영하며, bagplot의 사분면 구분은 지역 내 개별 격자들의 상대적인 분포패턴을 반영한다(Jopke *et al.*, 2015). 그러므

로 앞서 언급한 바와 같이 지역전체의 상관관계와 개별격자의 상관관계가 다르게 나타날 수 있음을 인지하여야 하며, 정책적 요구에 따라서 다양한 생태계서비스 관리정책을 수립해야 한다. Bagplot의 형태와 상관계수는 특정 생태계서비스가 다른 생태계서비스와의 상관성을 파악하여 지역 생태계서비스 관리방향을 수립하는데 이용된다. 반면 bagplot내의 사분면 특징은 정책방향에 따라 설정되는 생태계서비스 관리지점의 선정과정에 활용되는 것이 적절하다.

상관계수는 생태계서비스들 사이의 전체적인 상관관계를 보여주며, bagplot은 이 상관관계를 세부적으로 공간화하여 표현하지만 이 방법론에는 한계가 존재한다. 지역에 따라서 생태계서비스들 사이의 상관관계는 다르게 나타날 수 있으며, 동일한 토지이용 특성이 나타나는 지역에서 다른 상관관계가 나타날 수 있기 때문에 연구결과를 일반적인 상관관계로 간주하는 것은 위험하다. 예를 들어 산림이 없는 지역에서는 농경지에서 작물생산이 이뤄짐과 동시에 과수원의 수목이 탄소를 흡수하여 대기조절과 동반상승작용을 발생시킬 수 있다. 그러므로 상관관계 분석결과 지역의 특수성을 고려하여 해석되어야 한다. 또한, bagplot이 두 개의 생태계서비스 항목들에 대해서 평가가 진행되기 때문에, 전체 생태계서비스의 상쇄작용과 동반상승작용을 파악하는데 한계가 있다. 그러므로 다양한 서비스들 사이의 연관성을 동시에 고려하는 것도 필요하다. 작물생산과 대기조절은 상쇄작용을 발생시키는 반면, 대기조절은 기후조절과 동반상승작용이 나타난다(그림 5). 이는 작물생산과 대기조절 사이의 관계에서 생태계서비스 관리정책을 수립한다 하더라도, 이는 대기조절과 동반상승작용이 나타나는 기후조절 서비스에도 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다. 그러므로 지역의 생태계가 제공하는 다양한 서비스들을 효율적으로 관리하기 위해서는 생태계의 다기능성을 고려하여, 다양한 서비스들 사이의 상쇄작용과 동반상승작용을 파악하는 것이 필요하다.

5. 결론

본 연구는 bagplot 기반 생태계서비스 평가방법을 군산에 적용하여 7개 생태계서비스 항목들에 대한 평가와 상관관계 분석을 수행하였다. 생태계서비스 평가결과에 이용한 상관계수 분석을 통해 서비스간 상쇄작용과 동반상승작용을 파악하였고, bagplot을 이용해 이를 공간상에 표현하였다. 군산지역에서는 서비스의 종류들이 생태계의 특성에 따라서 상관관계가 구별되어 나타났다. 논에서 높게 나타나는 작물생산과 재해조절은 동반상승작용의 관계를 가지며, 산림에서 높게 나타나는 나머지 조절서비스(대기, 기후, 침식)와 여가잠재력에 대해서는 상쇄작용의 관계로 나타났다. 가장 큰 상쇄작용이 나타나는 작물생산과 대기조절서비스에 대해서 bagplot을 이용하여 격자들 사이의 연관성을 평가한 결과, 산림과 농경지에서는 상쇄작용의 관계가 나타나며 산림과 농경지의 경계지역들에서 동반상승작용이 나타났다. 반면 가장 큰 동반상승작용이 나타나는 대기조절과 기후조절은 산림지역에서 동반상승작용이 나타난 반면, 농경지에서는 두 서비스 모두 낮게 나타나면서 동반하락작용이 나타났다. 이 연구는 다양한 생태계서비스들이 생태계의 특성에 영향을 받으면서 동시에 나타나기 때문에, 서비스들 간의 동반상승작용과 상쇄작용을 고려한 관리정책이 필요함을 보여준다. 이를 위해 bagplot을 이용하여 생태계서비스 사이의 상관관계를 격자화된 공간에 표현함으로써 생태계서비스 관리 우선지점 선정을 위한 접근법을 제시하였다.

국내에서 생태계서비스를 정량적으로 평가하는 연구들과 함께 생태계서비스의 중요성은 증대하고 있는 상황이다. 지역생태계에서 제공하는 다양한 생태계서비스들은 복잡하고 다양한 방법으로 연관되어 있다 (Rodriguez *et al.*, 2006; Qiu and Turner, 2015). 공간스케일에 따라 생태계서비스의 상관관계들이 다양하게 나타나기 때문에 특정한 공간스케일 중심의 생태계서비스 관리정책은 생태계서비스들 사이의 상관관계와 상호작용을 간과하여 예상치 못하는 결과를 야기할 수 있다. 그럼에도 불구하고 국내에서는 생태

계서비스들 사이의 상관관계를 파악하는 연구는 부족하다. 생태계서비스들 사이의 상관관계와 그 공간분포에 대한 이해는 특정한 생태계서비스 관리정책에 의해서 나타나는 다른 생태계서비스의 변화를 파악할 수 있기 때문에 효율적인 생태계서비스 관리정책에 기여할 수 있다. 생태계서비스 사이의 상관관계를 파악하는 것은 다양한 공간스케일에서 활용될 수 있으며(Raudsepp-Hearne and Peterson, 2016), 연구목적에 따라서 평가단위의 격자크기를 조정하거나 행정구역단위 평가도 가능하다. 다만 격자화 과정에서 정보손실이 나타나며, 사회-경제적 요인들과 비교할 수 있는 공간자료가 부족하기 때문에 활용이 제한적이다. 또한 생태계서비스 평가과정에서 많은 생태계서비스 상관관계 연구들도 여전히 한정된 문화서비스 지표만을 사용하며(함은경 등, 2015), 공간화할 수 있는 지표도 제한적이다. 본 연구에서는 격자화된 평가결과를 도출할 수 있는 여가잠재력을 사용하였지만, 다른 문화서비스 지표들을 추가하는 과정을 통해 다양한 문화서비스들도 고려해야 한다. 향후 공급서비스와 문화서비스 공간평가 지표들이 추가될 경우에 생태계가 제공하는 다양한 서비스들 사이의 복잡한 상호의존성과 연관성에 대한 평가가 가능할 것이다. 다만 본 연구에 사용된 일부 평가지표와 방법론들은 검증이 부족한 상황이다. 또한 기존 연구들에서 평가 및 검증된 방법론을 중심으로 적용하였기 때문에, 지역 생태계서비스의 특수성을 반영하는 지표의 선정에 한계가 있다. 현재 많은 연구들을 통해서 고도화되고 있는 개별 생태계서비스 평가방법론과 지역특성을 고려한 평가체계가 수립된다면, 본 연구의 접근법은 지역 생태계서비스 관리정책수립과정에서 효율적으로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 국립산림과학원, 2017, The Lungs of the city, urban forest, 국립산림과학원.
- 국립생태원, 2017, 생태계서비스 평가지도 구축, 국립생태원.

- 공라경, 2017, “논습지 보전과 현명한 이용을 위한 법적 정비방안,” 수산해양교육연구, 29(1), 51-63.
- 김무한·최정권·박재봉, 2018, “탄천 이용자의 인식조사를 통한 생태계서비스의 트레이드오프 관계 고찰,” 한국환경복원녹화기술학회지, 21(1), 31-40.
- 김성훈·장동호·유재진, 2016, “생태계서비스의 조절서비스 중 침식조절에 대한 가치평가 연구,” 한국사진지리학회지, 26(1), 15-34.
- 김성훈·김일권·전배석·권혁수, 2018, “산림의 CO₂ 흡수량 평가를 위한 통계 및 공간자료의 활용성 검토,” 환경영향평가, 27(2), 124-138.
- 노영희·김충기·홍현정, 2016, “제주 생태계조절서비스의 시계열적 변화: 탄소고정량 추정 및 경제성 평가를 중심으로,” 환경정책, 24(2), 29-44.
- 손정렬, 2013, “한국 도시들의 공간집적 패턴에 대한 계량 분석,” 대한지리학회지, 48(1), 56-71.
- 송철호·이우균·최현아·전성우·김재욱·김준순·김정택, 2015, “산림의 수자원 공급 생태계서비스 평가를 위한 InVEST Water Yield 모형의 적용,” 한국지리정보학회지, 18(1), 120-134.
- 장문현, 2018, “공간정보 모델링을 이용한 도시주거지역의 주거적합도 분석,” 국토지리학회지, 52(1), 111-126.
- 조홍래·정의상·구본경, 2015, “복합형 유역모델 STREAM의 개발(I): 모델 구조 및 이론,” 한국물환경학회지, 31(5), 491-506.
- 함은경·김민·전진형, 2015, “시스템 사고를 통한 생태계서비스의 trade-off 관계 고찰,” 한국 시스템다이내믹스 연구, 16(2), 75-100.
- 환경부, 2012, 표토의 침식 현황 조사에 관한 고시, 환경부.
- Bennett, E.M., Peterson, G.D. and Gorden, L.J., 2009, Understanding relationship among multiple ecosystem services, *Ecology Letters*, 12, 1394-1404.
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S. and Müller, F., 2012, Mapping ecosystem service supply, demand and budgets, *Ecological Indicators*, 21, 17-29.
- Dittrich, A., Seppelt, R., Václavík, T. and Cord, A.F., 2017, Integrating ecosystem service bundles and socio-environmental conditions—a national scale analysis from Germany, *Ecosystem Services*, 28, 273-282.
- Emmett, B.A., Cooper, D., Smart, S., Jackson, B. and Thomas, A., 2016, Spatial patterns and environmental constraints on ecosystem services at a catchment scale, *Science of The Total Environment*, 572, 1586-1600.
- Früh-Müller, A., Hotes, S., Breuer, L., Wolters, V. and Koellner, T., 2016, Regional patterns of ecosystem services in cultural landscapes, *Land*, 5(2), 17.
- Haase, D., Schwarz, N., Strohbach, M., Kroll, F. and Sepelt, R., 2012, Synergies, trade-offs, and losses of ecosystem services in urban regions: an integrated multiscale framework applied to the Leipzig-Halle region, Germany, *Ecology and Society*, 17(3), 22.
- Jokpe, C., Kreyling, J., Maes, J. and Koellner, T., 2015, Interacting among ecosystem services across Europe: bagplots and cumulative correlation coefficients reveals synergies, trade-offs, and regional patterns, *Ecological Indicators*, 49, 46-52.
- Kareiva, P., Tallis, H., Ricketts, T.H., Daily, G.C. and Polasky, S., 2011, Natural capital: theory and practice of mapping ecosystem services, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Kim, I., Arnhold, S., Ahn, S., Le, Q.B., Kim, S.J., Park, S.J. and Koellner, T., 2017, Land use change and ecosystem services in mountainous watersheds: predicting the consequences of environmental policies with cellular automata and hydrological modeling, *Environmental Modelling and Software(In press)*.
- King, E., Cavender-Bares, J., Balvanera, P., Mwampamba, T.H. and Polasky, S., 2015, Trade-offs in ecosystem services and varying stakeholder preferences: evaluating conflicts, obstacles, and opportunities, *Ecology and Society*, 20(3), 25.
- Laterra, P., Orúe, M.E. and Booman, G.C., 2012, Spatial complexity and ecosystem services in rural landscapes, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 154, 56-67.
- Li, B. and Wang, W., 2018, Trade-offs and synergies in ecosystem services for the Yinchuan Basin in China, *Ecological Indicators*, 84, 837-846.
- Lin, S., Wu, R., Yang, F., Wang, J. and Wu, W., 2018, Spatial trade-offs and synergies among ecosystem ser-

- vices within a global biodiversity hotspot, *Ecological Indicators*, 84, 371-381.
- MA (Millennium ecosystem Assessment), 2005, Ecosystems and human well-being: synthesis, Island Press, Washington DC.
- Maes, J., Paracchini, M.L., Zulian, G., Dunbar, M.B. and Alkemade, R., 2012, Synergies and trade-offs between ecosystem service supply, biodiversity, and habitat conservation status in Europe, *Biological Conservation*, 155, 1-12.
- Martinez-Harms, M.J., Bryan, B.A., Balvanera, P., Law, E.A., Rhodes, J.R., Possingham, H.P. and Wilson, K.A., 2015, Making decisions for managing ecosystem services, *Biological Conservation*, 184, 229-238.
- Mouchett, M.A., Parracchini, M.L., Schlup, C.J.E., Stürck, J., Verkerk, P.J., Verburg, P.H. and Lavorel, S., 2017, Bundles of ecosystem (dis)services and multifunctionality across European landscapes, *Ecological Indicators*, 73, 23-28.
- Naidoo, R., Balmford, A., Costanza, R., Fisher, B., Green, R.E., Lehrer, B., Malcolm, T.R. and Rickett, T.H., 2008, Global mapping of ecosystem services and conservation priorities, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(28), 9495-9500.
- Nedkov, S., Boyanova, K. and Burkhard, B., 2015, Quantifying, modelling and mapping ecosystem services in watersheds, in Chicharo, L., Müller, F. and Fohrer, N.(ed.), Ecosystem services and river basin ecohydrology, Springer Netherlands.
- Paracchini, M.L., Zulian, G., Kopperoinen, L., Maes, J., Schaeegner, J.P., Termansen, M., Zandersen, M., Perez-Soba, M., Scholefield, P.A. and Bidoglio, G., 2014, Mapping cultural ecosystem services: a framework to assess the potential for outdoor recreation across the EU, *Ecological Indicators*, 45, 371-385.
- Qiu, J. and Turner, M.G., 2015, Spatial interactions among ecosystem services in an urbanizing agricultural watershed, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(29), 12149-12154.
- Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G.D. and Bennett, E.M., 2010, Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(11), 5242-5247.
- Raudsepp-Hearne, C. and Peterson, G.D., 2016, Scale and ecosystem services: how do observation, management, and analysis shift with scale-lessons from Quebec, *Ecology and Society*, 21(3), 16.
- Rodriguez, J.P., Beard Jr, T.D., Bennett, E.M., Cumming, G.S., Cork, S.J., Agard, J., Dobson, A.P. and Peterson, G.D., 2006, Trade-offs across space, time and ecosystem services, *Ecology and Society*, 11(1), 28.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. and Yoder, D.C., 1997, Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation(RUSLE), USDA Agriculture Handbook, 703.
- Risal, A., Bhattarai, R., Kum, D., Park, Y.S., Yang, J.E. and Lim, K.J., 2016, Application of Web ERosivity Module(WERM) for estimation of annual and monthly R factor in Korea, *Catena*, 147, 225-237.
- Rousseeuw, P.J., Ruts, I. and Tukey, J.W., 1999, The bagplot: a bivariate boxplot, *Statistical Computing and Graphics*, 53, 382-387.
- TEEB, 2010, The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the economics of nature: A Synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB, UNEP.
- Thalis, H., Kareiva, P., Marvier, M. and Chang, A., 2008, An ecosystem services framework to support both practical conservation and economic development, *Proceedings of National Academy of Society*, 62, 85-92.
- Turner, K.G., Odgaard, M.V., Bøcher, P.K., Dalgaard, T. and Svenning, J.C., 2014, Bundling ecosystem service in Denmark: Trade-offs and synergies in a cultural landscape, *Landscape and Urban Planning*, 125, 89-104.
- Walz, U. and Stein, C., 2014, Indicators of hemeroby for the monitoring of landscapes in Germany, *Journal of Nature Conservation*, 22, 279-289.
- Wolf, H.P., 2014, Aplpack: another plot package: stem.leaf, bagplot, faces, sin3R, plotsummary, plothulls, and some slider functions. R package version 1.3.0. <http://CRAN.R-project.org/package=aplpack>.

Yang, G., Ge, Y., Xue, H., Yang, W., Shi, Y., Peng, C., Du, Y., Fan, X., Ren, Y. and Chang, J., 2015, Using ecosystem service bundles to detect trade-offs and synergies across urban-rural complexes, *Landscape and Urban Planning*, 136, 110-121.

교신: 권혁수, 33657, 충청남도 서천군 마서면 금강로 1210, 국립생태원 생태연구본부 융합연구실(이메일: ulmus@nie.re.kr, 전화: 02-950-5962)

Correspondence: Hyuksoo Kwon, Bureau of Ecological Research, National Institute of Ecology, 1210 Geumgang-ro, Maseo-myeon, Seocheon-gun, Chungnam 33657, Korea (e-mail: ulmus@nie.re.kr, phone: +82-41-950-5962)

최초투고일 2018. 10. 1

수정일 2018. 10. 26

최종접수일 2018. 10. 28