

시스템 사고를 통한 생태계서비스의 trade-off 관계 고찰*

An Analysis of Ecosystem Service's trade-off through Systems Thinking

함은경** · 김민*** · 전진형****

Ham, Eun Kyung · Kim, Min · Chon, Jinhyung

Abstract

The purpose of this study is to analyze causation of Ecosystem service's trade-off(ES trade-off) and to establish baseline data for wise spatial planning and management. In order to understand why and how ES trade-off occurs, systems thinking and causal loops were employed. The causal loop of ecosystem service creation cycle includes profits quantification process, decision making process, spatial planning and management process, and ecosystem services creation process. The profits quantification process has a limitation that all ecosystem service categories were not included in profits quantification, because quantification method for cultural services is insufficient. These problems led to unequal discussion opportunity in decision making process.

ES trade-off occurs through transition of ecosystem function in spatial scale and temporal scale. In spatial scale, land-use variation and resource-use variation contribute to change an ecosystem function for different ES category by spatial planning and management. In temporal scale, a change of an ecosystem function for different ES category is influenced by ecological succession, seasonal change and land cover variation, which are parameter from environmental features. This study presented that spatial planning and management should ecosystem service assessment in order to enhance balanced ecosystem services.

Keywords: 생태계 보존, 지속가능한 이용, 의사결정과정, 공간 계획 및 관리, 인과지도 (Ecosystem Conservation, Sustainable Use, Decision Making Process, Spatial Planning and Management, Causal Loop Diagram)

* 본 연구는 2015년 환경부 “차세대 에코이노베이션 기술개발사업(과제명: 습지 생태계 조성 및 자연생태회복기술 개발, 과제번호: 416-111-010)”의 지원을 받아 수행하였습니다. 이에 감사의 글을 전합니다.

** 고려대학교 대학원 환경생태공학과 석사수료(제1저자, 2006220024@korea.ac.kr)

*** 고려대학교 대학원 환경생태공학과 석사과정(공동저자, soniamin@korea.ac.kr)

**** 고려대학교 환경생태공학부 부교수(교신저자, jchon@korea.ac.kr)

I. 서론

최근의 시행되는 공간 계획은 환경 친화적이고 생태적 요소를 고려하여 진행되고 있다(정주철 외, 2009). 이는 국토계획과 환경계획체계의 통합을 통해 상호 보완적 관계를 수립하여 지속가능한 국토관리 정책을 추진하기 위해 국토기본법과 환경정책기본법에 대한 개정안이 발표된 흐름과도 일맥상통한다. 국토교통부의 공식온라인 매체(<http://korealand.tistory.com/>)에서 밝힌 바와 같이 “국토계획 시 친환경적인 측면을 반영하고, 환경 계획 시 국토의 공간구조 및 지역 내 기능분담 방향을 고려하여 진행될 것”으로 방향성을 마련한 현 국내 흐름은 지속가능한 발전이라는 목표 하에 세워진 강령이기도 하다. 이와 같은 국가적 차원의 움직임에 비추어 볼 때 올바른 공간 계획 및 관리는 곧 생태계의 보존과 지속가능한 이용 간의 상호 균형관계를 이루는 것으로 볼 수 있으며 이를 위한 계획의 실마리가 필요한 시점이라 할 수 있다.

최근 나타난 연구들에 의하면 공간 계획 및 관리 시 의사결정과정 단계에서 생태계의 보존과 지속가능한 이용을 이어나가기 위한 방법으로 생태계의 생태적, 사회·문화적, 경제적 가치를 고려하는 것이 필요한 것으로 알려지고 있다(De Groot, 2006; Hansen *et al.*, 2015; Kabisch, 2015). 이에 생태계에 대한 다면적 가치 평가수단인 생태계서비스를 고려하여 공간 계획을 수행한다면 생태계에 대한 보존을 유지해 나갈 수 있음과 동시에 인간은 생태계로부터 받는 편익과 혜택에 대한 인지를 통해 지속가능한 이용을 추구할 수 있을 것으로 사료된다(Chan *et al.*, 2006). 생태계서비스란 자연적 또는 반자연적인 환경 요소의 생태계 기능으로부터 인간이 제공받는 편익으로(Costanza *et al.*, 1997; MA, 2005a; De Groot, 2006) 생태계가 주는 공급 서비스, 조절 서비스, 문화 서비스, 지원 서비스의 4가지 범주를 종합한 개념이다. 이는 생태계가 가진 여러 기능들로부터 발생하는 편익을 파악하는 방법이기 때문에 공간 계획 및 관리 시 생태계서비스에 대한 고려를 한다는 것은 생태계의 보존과 지속가능한 이용을 유지할 수 있는 방안이 될 수 있는 것이다.

지금까지 수행되어온 공간 계획 연구들도 주로 사전환경성검토나 환경영향평가를 바탕으로 기존 대상지를 분석하는 것(Kumar *et al.*, 2013; 이종호, 2014; 장대회 외, 2014)에서 그쳐 있다가 최근 올바른 공간 계획 및 관리를 위한 의사결정과정에서 생태계서비스가 주요한 이슈로 다뤄지며(안소은, 2013; 안소은 외, 2014) 환경영향평가와 생태계서비스를 함께 고려하여 진행되고 있다(Baker *et al.*, 2013; 구미현, 2014). 게다가 공간 계획 및 관리 시 생태계서비스를 최대한으로 발현될 수 있도록 하는 것이 필요하다고 역설하는 연구들도 나타나고 있다(Raudsepp-Hearne *et al.*, 2010; Davies *et al.*, 2011; 이숙미, 2013). 생태계서비스를 고려하여 공간 계획을 수행한 연구들(Chan *et al.*, 2006; White *et al.*, 2012)은 주로

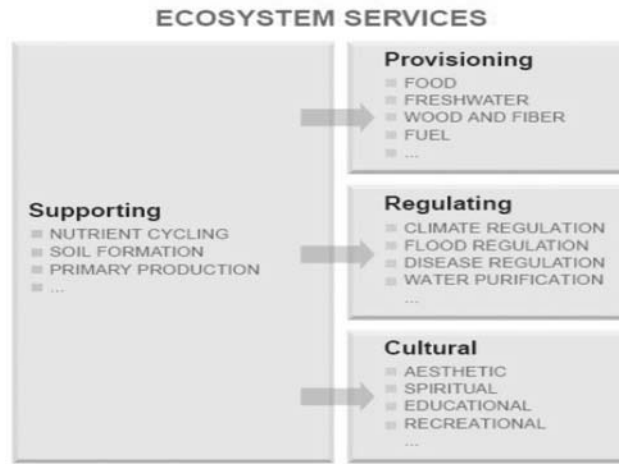
해외에서 보고되고 있고 국내 분야는 시도하는 단계에 있다. 앞으로 국내 실정에 맞게 공간 계획 및 관리에 관련된 연구 분야 및 실무에서 활용가능한 생태계서비스 자료가 구축되기 위해서는 공간적·시간적인 다차원적 자료가 수집되어야 하고(구미현 외, 2012) 지역적 규모에서 활용가능한 생태계서비스 평가 기준과 효용성 있는 평가 방법 마련이 필요하다. 그리고 기저에는 생태계서비스의 개념에 대한 심층적 이해가 밑받침되어 있어야 한다.

생태계서비스의 심층적 이해를 위해서는 생태계서비스의 trade-off 관계에 대한 고려가 필수적이다(Wallace, 2007; De Groot *et al.*, 2010; Van der Ploeg *et al.*, 2010). trade-off란 상충, 상쇄라는 사전적 의미를 가지는 단어로써 한 가지 이익을 얻고자 할 때 또는 목표로 한 정책을 실현시키고자 할 때, 이외의 것들이 목표 도달점에 이르기까지 시간이 늦어지거나 이익 창출에 희생이 따르는 등의 것을 뜻한다(<http://krdic.naver.com>; <http://terms.naver.com>). 생태계서비스는 생태계를 관리하는 의사결정자 및 정책수행자들의 의사결정과정들을 통해서 목표가 되는 서비스의 범주가 정해지게 되고 각 범주의 서비스 별 창출 정도가 달라지게 되기 때문에(Rodríguez *et al.*, 2006; Bennett *et al.*, 2009; Granek *et al.*, 2010; McShane *et al.*, 2011; 안소은, 2013) 생태계서비스의 trade-off 관계가 형성될 수 있는 것이다. 이렇듯 생태계서비스의 특정 범주의 창출을 위한 노력이 다른 범주의 서비스들의 효과를 감소시키는 생태계서비스의 trade-off 관계가 발생하는 경우 생태계서비스의 총 가치(total value)는 최대한으로 발휘되기 어려워지는 것이다. 이렇듯 생태계서비스에서 나타나는 trade-off 관계를 고려한다는 것은 대상이 되는 생태계에 대한 잠재적이고 실제적인 생태계서비스의 가치 창출의 가능성을 높이는 것이다. 또한 생태계서비스의 trade-off 관계에 대한 이해는 생태계서비스 총 가치에 대한 감소를 최소화하는 방법과 생태계서비스 범주 간 균형을 유지할 수 있는 방안에 대한 마련을 하고자 하는 시도로 연결될 수 있어 올바른 공간 계획 및 관리를 가능하게 할 것이다(McShane *et al.*, 2011). 이에 본 연구의 목적은 생태계서비스의 trade-off 관계의 인과적 특성을 분석하여 올바른 공간 계획과 관리를 위한 기초자료를 구축하고자 하는 것이다. 본 연구는 생태계서비스의 가치 평가한 자료를 토대로 공간 계획 및 관리를 예정에 두고 있는 대상지의 의사결정자와 정책수행자들로 하여금 계획 및 설계 단계에 필요한 기초자료가 될 것이며 논의점을 제시해 줄 것이다.

II. 이론적 고찰 및 선행연구

1. 생태계서비스의 개념과 범주

생태계서비스는 자연적 또는 반자연적인 환경 요소의 생태계 기능으로부터 제공받는 편익을 일컫는다(Costanza *et al.*, 1997; MA, 2005a; De Groot, 2006). 생태계서비스는 다중적인 서비스 범주를 가지고 있으며(Granek *et al.*, 2010), 이를 [그림 1]과 같이 공급 서비스(Provisioning service), 조절 서비스(Regulating service), 문화 서비스(Cultural service), 지원 서비스(Supporting service)의 4가지 범주로 규정지을 수 있다(MA, 2005a). 첫째, 공급 서비스는 생태계로부터 음식과 물, 연료, 유전자원 생화학물질, 약재 등의 의약품 등을 얻는 것(MA, 2005a; De Groot *et al.*, 2010)으로, 가치 인식이 가장 쉽게 이루어지는 범주라 할 수 있다(이숙미, 2013). 둘째, 조절 서비스는 자연자원으로 하여금 대기 질 조절, 기후 조절, 물 조절, 수질 정화, 토양 유실 및 침식 방지, 생물학적 조절, 인간 보건 조절, 홍수 방지 등의 서비스를 제공받는 것으로써(MA, 2005a; De Groot *et al.*, 2010) 건강한 생태계를 유지하여 쾌적한 환경을 제공해주는 차원의 서비스를 말한다. 셋째, 문화 서비스는 자연이 가진 경관과 색채 등의 미적 형태로부터 영감을 얻어 예술 활동이 가능하게 되는 현상이나, 자연을 즐기고자 하는 태도에서 나타나게 되는 휴양, 레저, 관광 등의 서비스들을 일컫는다(De Groot *et al.*, 2010). 문화 서비스는 윤택한 삶을 영위하려는 인간의 욕구를 만족시킬 수 있는 수단으로 인식되고 있다(정필모 · 서종철, 2014). 마지막으로 지원 서비스는 위의 3가지 서비스가 생길 수 있도록 하는 차원에서 발생한다(MA, 2005a). 생태계서비스는 총 위의 4가지 서비스 범주로 분류가 되며, 인간이 재화나 편익으로써 인식하는 범위는 공급서비스와 조절서비스 및 문화서비스에서 발생하므로 이 3가지 범주를 기준으로 가치 평가를 할 수 있다.



[그림 1] 생태계서비스의 범주 분류
(자료: MA, 2005b)

생태계서비스의 범주를 분류하고 정의하는 것은 오랜 시간에 걸쳐 많은 연구자를 통해 정립이 되어가고 있는 중이며, 지금도 여러 연구자에 의해 그 개념과 분류가 다양하게 해석되고 있다. 이러한 시도는 생태계서비스를 더 정확하게 파악하여 인간 삶의 복지를 최대한 끌어내고 생태계의 보존 및 지속가능한 이용을 함께 이어가기 위한 공간 계획의 자료로써 활용하고자 하는 노력이다.

생태계서비스는 생태계의 가치를 판단하는 매개수단(Costanza *et al.*, 1997; MA, 2005a; De Groot *et al.*, 2010)이자 생태계에 대한 보존과 지속가능한 이용을 위해 활용되는 개념으로 중요하게 인식되고 있다(원호연 외, 2014). 2005년 유엔환경계획(UNEP)의 주도 하에 작성이 완료된 새천년생태계평가(Millennium Ecosystem Assessment, MA)가 발간되며 생태계서비스에 대한 연구가 활발해지기 시작하였고(Seppelt *et al.*, 2011; Daniel *et al.*, 2012), 인식이 제고되기 시작하였다.

초기 생태계서비스에 대한 선행연구는 개념을 정립하고자 시도된 연구(Costanza *et al.*, 1997; Daily, 1997; Mooney & Ehrlich, 1997; MA, 2005a; Fisher *et al.*, 2009; De Groot *et al.*, 2010)가 주를 이루었고, 이후로 생태계서비스의 가치를 평가하는 방식에 대한 연구들이 진행되어왔다. 생태계서비스의 가치 평가에 관한 연구는 대부분 경제적 추산하는 방식을 활용(Loomis *et al.*, 2000; Zhao *et al.*, 2004; Costanza, 2006; Ghaley *et al.*, 2014) 하여 시장 경제에 따른 재화로써만 인식하는데 그친다. 측정 대상이 되는 생태계가 시간과 공간에 따라 지속적으로 변화하는 환경속성을 포함하고 있음에도 기존의 연구들은 한시적 관점에서 평가하는 수준에 그쳐 시·공간에 따라 변화하는 생태계서비스의 가치를 산정하지

못하는 문제를 지니고 있다.

이를 보완하는 노력의 일환으로 최근 몇몇 연구에서 생태계서비스의 trade-off 관계를 논하며 생태계서비스의 동태적인 가치 추정에 대한 인식의 필요성이 역설되고 있다 (Rodríguez *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2007; Bennett *et al.*, 2009; Lauf *et al.*, 2014). 생태계서비스의 trade-off 관계란 한 가지 특정 범주의 생태계서비스가 최적화될 때 다른 범주의 서비스 효과가 상대적으로 감소되거나 잃게 되는 동적인 상태를 일컫는다 (Rodríguez *et al.*, 2006). 생태계서비스의 trade-off 관계가 공간적·시간적 차원을 포함하고 있는 개념으로 정의되는 바에 따라(Carpenter *et al.*, 2006; Rodríguez *et al.*, 2006), 생태계서비스의 trade-off 관계 대한 고려가 바탕이 된 가치 평가 자료는 생태계에 대한 보다 현실적이고 심층적인 이해를 도울 것이다. 이에 본 연구에서는 시스템 사고를 활용하여 생태계서비스의 trade-off 관계에 대한 인과적 특성에 대한 분석을 실시해 올바른 공간 계획 및 관리 시 기초적인 자료 마련에 기여할 수 있도록 하고자 한다.

2. 생태계서비스의 trade-off 관계

생태계서비스의 trade-off 관계란 생태계서비스를 중심으로 관련된 목표 정책을 실현시키 고자 할 때, 연관된 이외의 것들이 상대적으로 희생되는 현상을 일컫고 이는 여러 방식으로 발생될 수 있다. 생태계를 관리하는 의사결정자 및 정책수행자들의 의사결정과정에서 도출된 목표 수행에 의해 특정 생태계서비스가 최적화되는 현상은 상대적으로 다른 범주의 생태계서비스 효과를 감소시키거나 잃게 하는 상태를 초래하거나(Carpenter *et al.*, 2006; Rodríguez *et al.*, 2006), 같은 범주 안에 속하는 생태계서비스들의 효과 창출에도 영향을 미치는 생태계서비스의 trade-off 관계를 만들 수 있다(Harmáčková *et al.*, 2015; Schröter *et al.*, 2015). 또한 생태계서비스의 변화는 이를 제공받는 이해당사자들에게 각기 다른 방식으로 영향을 미쳐 예상치 못한 사람 간의 trade-off 관계를 형성시킬 수도 있으며(Butler *et al.*, 2013), 역으로 사람들의 인위적인 개발에 의해 경제적인 성장과 생태계서비스 간의 trade-off 관계로 나타나기도 한다(Cavender-Bares *et al.*, 2015). 이와 같은 현상들은 생태계서비스가 다각적 차원에서 인식되기 때문으로(Rodríguez *et al.*, 2006) 복잡한 시스템 안에서 생태계서비스의 창출이 미치는 영향 관계를 다방면으로 고려하지 못한 결과이다.

이렇듯 공간 계획 단계에 있어 목표로 하는 생태계서비스 범주로부터 야기될 수 있는 부작용이나 모순에 대한 인지가 부족하다면(양정호, 2008) 생태계서비스의 trade-off 관계가 유발될 수 있다. 게다가 환경을 다루는 공간 계획 및 관리는 필연적으로 최종 목표와 가치 창출 및 이해당사자 간의 trade-off 관계를 떠안을 수밖에 없기 때문에(Daw *et al.*, 2015) 더

육 신중한 사전 고려가 필요하다. 특히 공간 계획은 토지 이용에 큰 변화를 야기하여 생태계의 기능을 바꾸기 때문에 창출되는 생태계서비스의 범주와 총 가치(total value)에도 영향을 주게 된다(Costanza, 2006; de Groot *et al.*, 2010; Haines-Young & Potschin 2010; Cárcamo *et al.*, 2014). 이에 본 연구에서는 특정 범주 서비스의 양적 변화가 다른 범주의 서비스 한계 값에 영향을 미치는 과정에서 생기는 현상이자(Binder, 2012) 특정 범주의 생태계서비스가 다른 범주의 생태계서비스 창출 효과에 미치는 관계를 중심으로 생태계서비스의 trade-off 관계를 파악하고자 한다.

3. 생태계서비스 trade-off 관계 발생의 형태

생태계서비스의 trade-off 관계에 대한 연구들은 이론적인 틀을 제공하는 논문을 비롯하여(Rodriguez *et al.*, 2006; Agarwala *et al.*, 2014; Cavender-Bares *et al.*, 2015b) 실제적 접근을 통해 현상학적 관점에서 논의된 연구들(Hasse *et al.*, 2012; Vidal-Legaz *et al.*, 2013; Lauf *et al.*, 2014; Daw *et al.*, 2015; Jopke *et al.*, 2015)도 진행되고 있다. 이와 같은 연구들은 전 지구적 범위에서 접근한 논문(Cavender-Bares *et al.*, 2015a)과 더불어 탄소나 질소 등의 분자 단위 차원에서의 효과를 분석한 논문(Oñatibia *et al.*, 2015) 등 다양한 스케일에서 진행되고 있으며, 도시 차원에서 접근한 연구들(Hasse *et al.*, 2012; Lauf *et al.*, 2014)을 비롯하여 농민 및 농업생태계와 관련한 연구들(Vidal-Legaz *et al.*, 2013; Daw *et al.*, 2015; Jopke *et al.*, 2015)과 같이 다양한 지역적 스케일에서 수행되고 있다. 그러나 최근 진행된 생태계서비스의 trade-off 관계에 관한 몇몇 연구들은 주로 공급, 조절 서비스를 중심으로 나타나는 trade-off 관계에 대한 내용만을 다루고 있고(Cavender-Bares *et al.*, 2015a; Daw, 2015; Oñatibia *et al.*, 2015), 상대적으로 문화 서비스 가치 측정 지표가 한정되어 관련 자료 구축이 부족한 상황임에 따라 trade-off 관계를 고찰하는데 있어 전체론적 관점을 가지는 것이 어려워지는 것으로 판단된다.

생태계는 구성 요소 간 상호관계로 구축된 하나의 동태적 시스템이므로 한 가지 변화에 따른 연쇄적 반응에 의해 예측하지 못한 생태계서비스의 변화를 야기시킬 수 있기 때문에(Gordon *et al.*, 2009) 공간 계획 및 관리 시 다방면적 관점에서 복잡한 시스템에 대한 이해는 필수적이다. 이에 시스템적 접근을 통해 생태계서비스의 창출 과정과 피드백 현상의 인과적인 특성에 대한 이해를 바탕으로 공간 계획 및 관리를 할 수 있는 방식이 도입되어야 한다. 또한 생태계서비스의 trade-off 관계는 공간적·시간적 차원에서 예기치 못하게 나타나 공간 관리를 어렵게 만들기 때문에 (Rodríguez *et al.*, 2006) 생태계서비스의 trade-off 관계의 형태를 공간과 시간의 차원에서 인과적인 형태로 파악해야 할 필요성이 있다

(Rodríguez *et al.*, 2006; Nicholson *et al.*, 2009). 시스템사고를 역설한 김도훈 외(1999) 연구에서 trade-off 관계의 형태를 2가지로 나누어 설명한다. 첫 번째는 특정한 정책의 결과로써 목표로 한 부분은 효과를 나타내지만 예상하지 못한 부분에서 문제가 생기는 현상인 부문간 trade-off 관계이고, 두 번째는 시간의 개념을 포함하여 단기적으로 목표치의 효과를 볼 수 있지만 장기적인 관점에서 상태가 나빠지는 현상이 나타나는 관계인 시간간 trade-off 관계이다(김도훈 외, 1999). 공간의 차원은 부문간 trade-off 관계로, 시간의 개념은 시간간 trade-off 관계로써 이해한다면 생태계서비스의 trade-off 관계 발생 형태를 파악하는데 유의한 방법이 될 수 있을 것으로 사료된다. 이에 본 연구에서는 2가지 trade-off 관계에 착안하여 연구를 수행하였다.

III. 연구방법

1. 연구범위

본 연구는 올바른 공간 계획 및 관리를 도모하기 위해 시스템 사고를 활용하여 생태계서비스의 trade-off 관계 발생에 대한 원인과 발생 형태를 고찰하였고, 작성된 인과지도 상에서 trade-off 관계 완화를 위한 전략 지점을 파악하고자 하였다. 또한 본 연구는 생태계서비스의 창출 과정을 중심으로 trade-off 관계의 원인과 발생 형태를 찾았으며, 생태계서비스의 trade-off 관계라는 개념에 집중하고자 연구 대상지에 대한 설정 없이 일반론적이고 개론적인 내용들을 포함하는 방식으로 고찰되었다.

2. 연구방법

생태계서비스의 trade-off 관계 발생 원인과 형태 및 trade-off 관계 완화를 위한 전략 지점을 파악하기 위하여 시스템 사고를 이용하여 인과지도를 작성하였다. 양(+)과 음(-)의 인과관계들의 연속적 연결을 통해 피드백 구조를 가지는 시스템을 표현하는 인과지도는 동태적인 현상을 이해하는데 효과적이다(석영선 외, 2014). 이에 본 연구에서는 인과순환구조 분석을 통해 생태계서비스의 trade-off 관계를 고찰하고자 하였으므로 인과지도 작성을 중심으로 연구를 진행하였고, 다음의 순서에 따라 수행되었다.

첫째, 학술논문 및 정부부처의 보고서, 관련 책, 신문 기사, 인터넷 정보 등의 관련문헌들을 바탕으로 이론적 고찰을 통해 생태계서비스의 개념과 범주에 대해 정립하며 생태계서

비스의 가치 평가를 토대로 한 공간 계획 및 관리의 필요성을 제고하였고, 이때 유의점으로 생태계서비스의 trade-off 관계에 대한 인식의 필요성을 역설하였다.

둘째, 선행연구를 토대로 생태계서비스의 창출 과정과 이 과정의 환류적 특성을 파악하였다.

셋째, 시스템 사고를 통해 생태계서비스를 근거로 한 공간 계획 및 관리에 있어 유의점인 trade-off 관계의 발생 원인을 생태계서비스 창출 과정 안에서 찾아내었다. 원인으로 나타난 이익 정량화 과정에서 포함되지 한계 및 아젠다 마련에 따른 논의 기회 상실에 대한 각각의 인과지도를 작성하였고 해결 방향에 대해 고찰하였다.

마지막으로, 시스템 사고를 통해 생태계서비스의 trade-off 관계 발생 형태를 부문간, 시간간 형태로 분류하여 인과지도를 작성하였고 trade-off 관계 완화를 위한 전략 지점을 찾아내었다.

본 연구는 기존의 단선적인 사고방식과 달리 시스템 사고를 활용하여 통찰력 있고 확장적인 범위에서의 생태계서비스에 대한 이해할 수 있을 것으로 기대되며, 생태계서비스의 trade-off 관계라는 문제적 이슈에 대해 효과적인 방식으로 해결 전략을 찾을 것으로 사료된다.

IV. 시스템 사고 1:

생태계서비스 창출 과정에서의 trade-off 관계 발생 원인

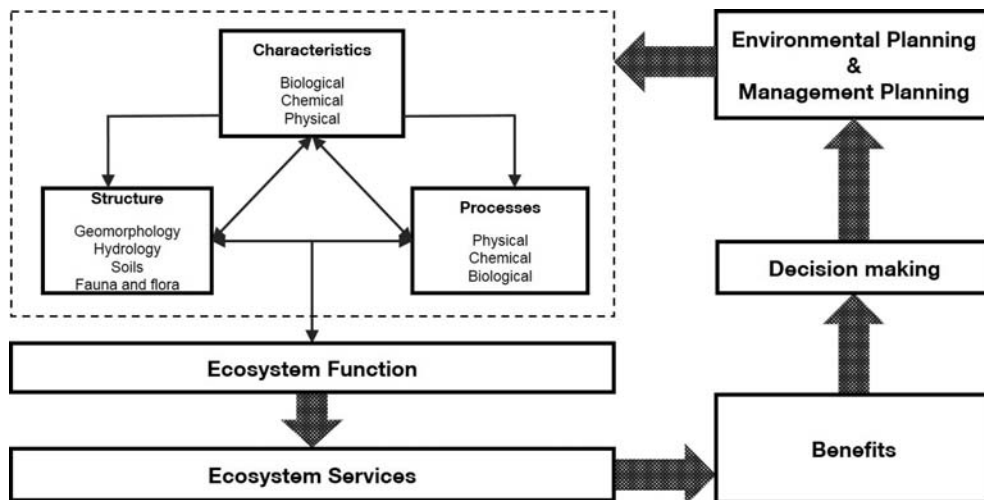
1. 생태계서비스의 창출 과정

생태계서비스가 창출되는 과정은 [그림 2]와 같이 표현할 수 있다. 생태계서비스인 공급서비스, 조절서비스, 문화서비스는 생태계 기능으로부터 발현이 된다. 이 생태계의 기능은 특정 생태계가 가지는 특성(characteristics), 구조(structure), 과정(process)간의 상호 작용에 의해 나타나며(Maltby *et al.*, 1996), 생태계의 고유 특징을 일컫는 특성(characteristics)은 구조와 과정을 제한하는 요인으로 작용한다(안소은, 2013). 구조(structure)는 생물이나 비생물 요소가 통합적으로 나타나는 망(web)이며, 과정(process)은 정해진 구조 안에서 생태적 인자들 간의 물질과 에너지를 교환하는 동적 움직임을 갖는 상태를 일컫는다(안소은, 2013; 안소은 외, 2013).

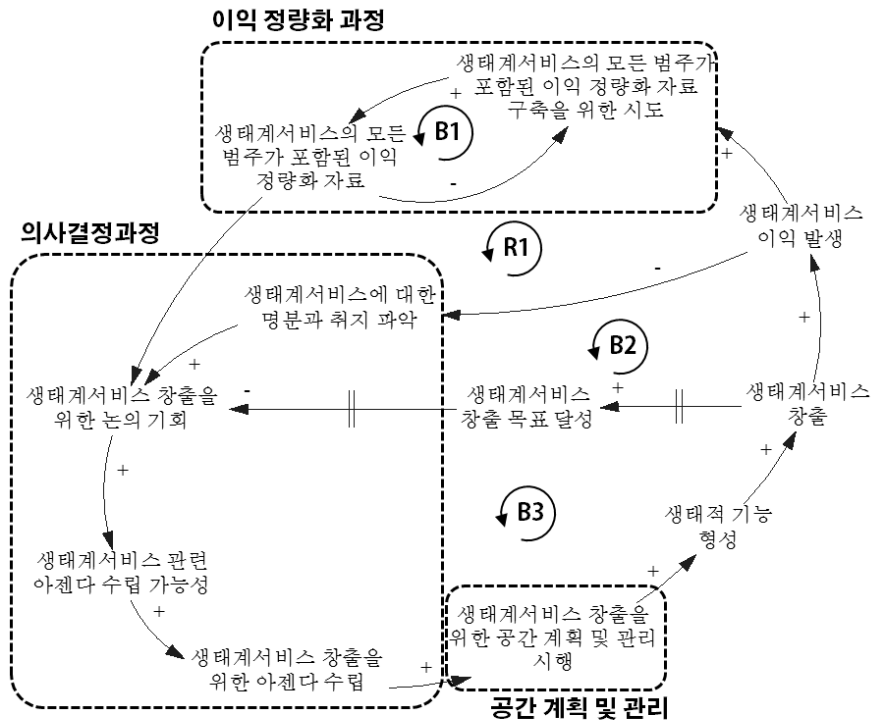
생태계 기능으로부터 발생된 생태계서비스는 정량적인 평가를 통해 인간의 관점에서 가치나 이익으로 인식이 되며, 생태계서비스의 이익에 대한 정량적 평가 자료는 생태계 관리

를 위한 의사결정과정에서 주요하게 활용이 된다. 생태계서비스를 창출하는 생태계에 대한 보존과 지속가능한 이용의 측면에서 정책을 도출하기 위해 생태계서비스의 평가 결과가 반영되는 것으로써(구미현 외, 2012), 이미 생태계를 관리하는 의사결정과정에 생태계서비스의 평가 내용을 적용시키고자 하는 시도들이 이어져왔다(구미현 외, 2012; 안소은, 2013). 이 과정을 거쳐 도출된 정책이 공간 계획이나 관리로 착수되면 새로운 생태계가 마련되거나 기존 생태계의 기능 수행이 유지된다. 즉 [그림 2]와 같은 환류의 과정을 거쳐 비로소 생태계서비스는 지속적으로 창출되는 것이다.

[그림 2]의 흐름을 토대로 생태계서비스의 창출 과정을 인과지도로써 나타내면 [그림 3]과 같이 표현된다. 이 과정에서 나타나듯이 생태계서비스의 창출을 이어나가기 위해서는 이익의 정량화 과정과 의사결정과정, 공간 계획 및 관리와 같은 인간의 개입이 필요조건이다. 인간의 개입을 통해 생태계로부터 생태계서비스를 얻을 수 있는 것이기도 하고, 역으로 공간 계획 및 관리 시 생태계서비스의 창출에 대한 자료를 활용하는 경우 생태계에 대한 보존과 지속가능한 이용을 유지해 나갈 수 있는 것이기도 하다. 선행연구에 의하면 생태계서비스에 대한 인식은 후자의 관점이 주축을 이루고 있으며, 많은 연구자들에 의해서 생태계서비스의 가치 평가를 토대로 한 공간 계획과 관리가 필요한 것으로 역설되고 있다.



[그림 2] 생태계서비스 창출 과정의 전체 흐름도



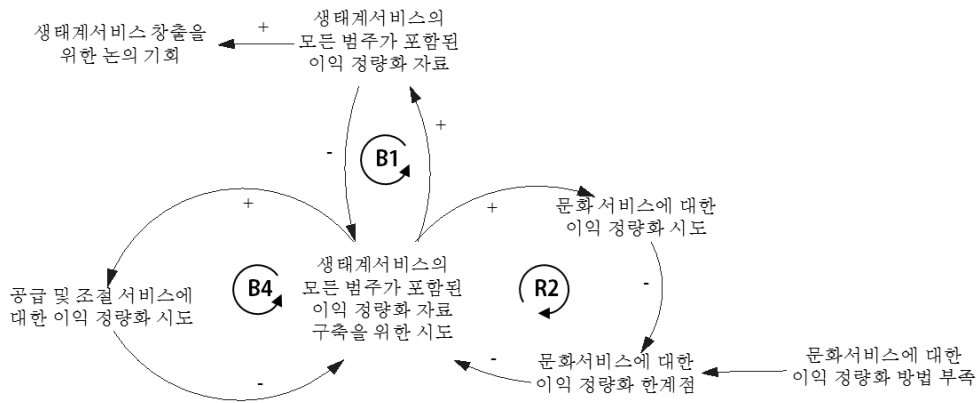
[그림 3] 생태계서비스 창출 과정 인과지도

2. 이익 정량화 과정에서 포함되지 못한 한계

생태계서비스 창출 과정에 있어 trade-off 관계 발생의 첫 번째 원인은 생태계서비스의 모든 범주를 포함하지 못한 이익 정량화 과정에 있다. 생태계서비스의 경우 생태적·사회적·문화적·경제적 가치를 모두 포함한 개념(구미현 외, 2012)임에도 불구하고 정량화의 과정에서 일부 서비스에 대한 정량화에 한계가 있어 생태계서비스의 총 가치가 합산되기 어려운 특징 있다. 대표적으로 문화서비스가 가진 비물질적인 것에 대한 평가방식이 부실한 상황에서부터 발생하여(안소은, 2013) 상대적으로 공급 및 조절서비스에 초점이 맞춰지는 경향으로 나타나고 있다(Rodríguez *et al.*, 2006; 구미현 외, 2012).

[그림 4]의 R2에서 나타난 바와 같이 양의 피드백 구조를 나타내며 지속적으로 한계점을 가지는 문화서비스에 대한 이익 정량화 시도는 성공적으로 이루어지고 있는 공급 및 조절 서비스에 대한 이익 정량화 시도까지 실패로 이끄는 ‘빈익부-부익빈’ 아키타입(Archetype)의 구조처럼 나타난다. 결국 생태계서비스 모든 범주가 포함된 이익 정량화 자료 구축을 위한

시도는 실패하여 B1루프를 지나 생태계서비스의 trade-off 관계 발생에 영향을 미치게 된다. [그림 4]의 인과지도는 선행연구에서 나타난 바와 같이 이익 정량화 한계에 영향을 미치는 서비스의 범주가 명확하였기 때문에 생태계서비스 창출 과정의 전체를 포함하지 않고, 이익 정량화 과정에서 나타나는 명확한 문제점만을 지적하였다.



[그림 4] 이익 정량화 과정에 포함되지 못한 한계 인과지도

최근 진행된 생태계서비스를 고려한 의사결정과정에 관한 선행연구들도 대부분 생태계 서비스 범주 중 공급서비스와 조절서비스를 중심으로 진행(Rodríguez *et al.*, 2006; Crookes *et al.*, 2013; Lauf *et al.*, 2014; Balbi *et al.*, 2015) 되고 있다. 모든 범주를 포함하지 못한 생태계서비스의 평가 자료가 의사결정과정에 있어서 근거 자료로 활용되면 정량화 되지 못한 특정 서비스에 대한 논의 기회가 소실되어(Rodríguez *et al.*, 2006) 해당 서비스의 창출 기회는 상실되게 되는 것이다. 생태계서비스의 이익을 정량화 과정에서 나타나는 편중된 현상이 생태계서비스의 trade-off 관계를 악화시킬 수 있음을 알 수 있다. 생태계서비스의 모든 범주가 포함된 정량화 자료가 trade-off 관계를 최소화할 수 있다고 알려진 반면에 현실적으로 생태계서비스의 이익을 정량화하는 작업에서부터 어려움을 겪고 있는 것이다.

생태계서비스의 이익 정량화는 그 과정이 복잡하며 한계점이 많지만 의사결정자 및 정책수행자들로 하여금 논의 대상이 되는 생태계에 대한 정확한 판단을 할 수 있게 하는데 중요한 수단이 되기 때문에 매우 중요한 사안이다. 이에 최대한 모든 범주에 대한 이익 정량화 과정을 거쳐 의사결정과정에 필요한 자료로써 구축이 되어야 할 것이다. 이 자료들은 일반 사람들에게도 가치 인식을 도모하는 데에도 활용이 되고 있기 때문에(김재은, 2014) 정확성과 객관성을 확보해야 할 것이다.

3. 특정 범주에 관한 아젠다의 마련에 따른 논의 기회 상실

생태계서비스 창출 과정에서 trade-off 관계 발생의 두 번째 원인은 의사결정과정에서 특정 범주에 관한 아젠다가 마련됨에 따라 상대적으로 논의기회를 상실하게 되는 것으로 꼽을 수 있다. 공간 계획 및 관리에 대한 의사결정과정에서 논의가 많이 이루어지는 아젠다는 실현 가능성이 높아진다(양정호, 2008). 특히 명분이나 취지 및 문제적 소양이 명확한 특정 범주의 생태계서비스 창출을 위한 아젠다가 마련 될 경우, 다른 서비스의 창출을 위한 아젠다는 상대적으로 논의 기회를 잃을 수 있게 된다(김동만, 2004). [그림 5]의 B5와 B7의 루프에서 나타난 것과 같이 이익 발생이 낮은 생태계서비스를 중심으로 문제의식을 가지고 아젠다로 마련할 가능성이 크며(구미현 외, 2012), 각 서비스 창출을 위한 논의 기회가 증가하면 R3의 구조와 같이 다른 서비스의 창출을 위한 논의기회를 감소시키게 된다. 이에 의사결정과정에서 아젠다의 마련은 생태계서비스의 trade-off 관계 형성에 관여하고 있는 것으로 볼 수 있다.

아젠다의 타당성과 적정성에 관한 논의는 생태계서비스 가치 평가에 대한 자료를 기준으로 진행 되며 최종 정책 결정에도 반영이 된다(구미현 외, 2012). 앞서 논의된 생태계서비스의 이익의 정량화 과정을 통해 가치 평가 자료가 구축되기 때문에 이익의 정량화 과정에서 발생한 문제는 아젠다 마련에도 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다. 특히 이익 정량화 자료는 특정 서비스에 대한 문제 의식을 고취시킬 수 있기 때문에 아젠다 마련에 민감하게 작용할 것으로 판단된다.

V. 시스템 사고 2: 생태계서비스의 부문간 · 시간간 trade-off 관계 발생 형태

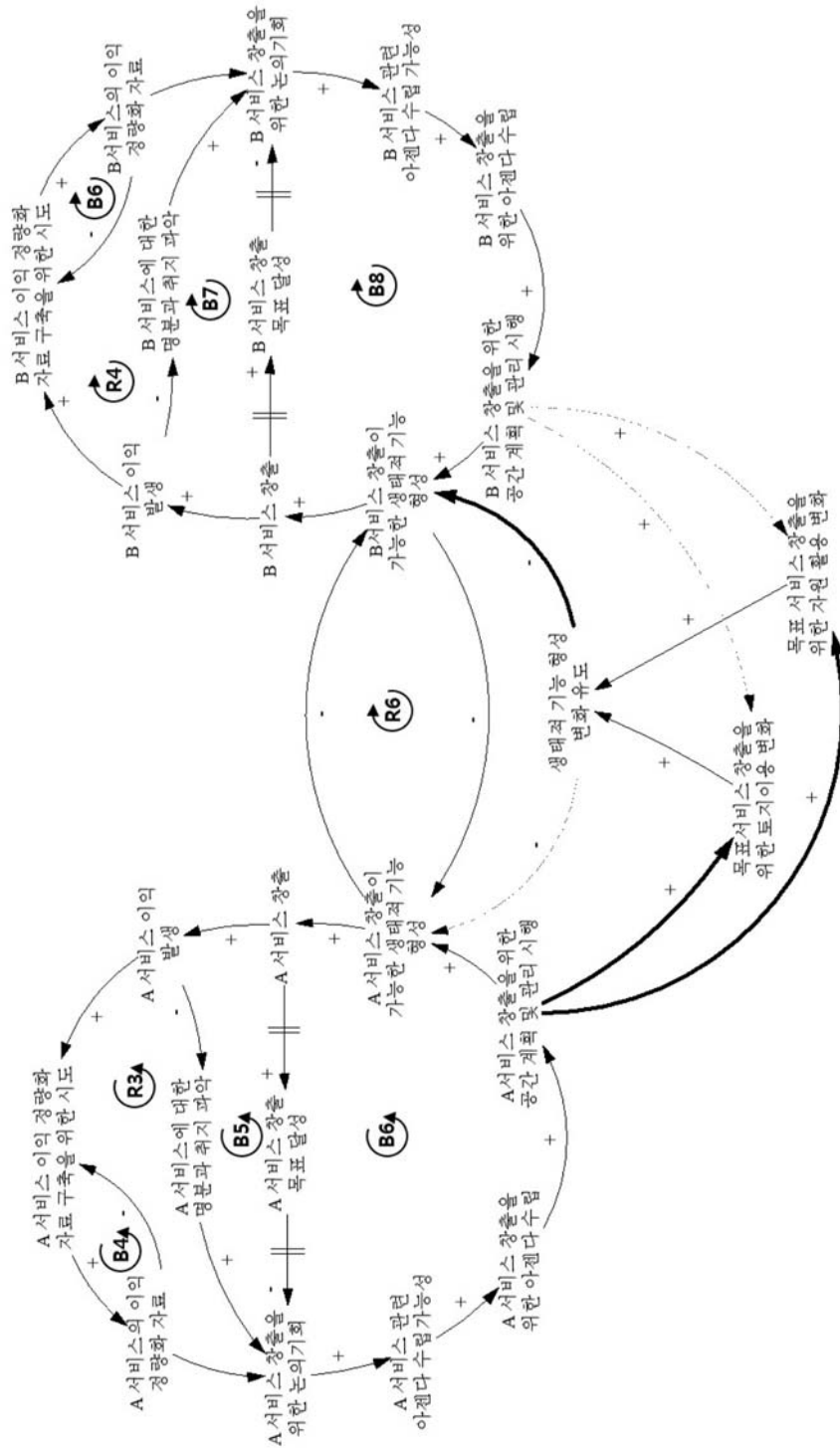
1. 생태계서비스의 부문간 trade-off 관계

생태계서비스의 부문간 trade-off 관계는 목표로 삼은 생태계서비스의 특정 범주에 대해서 서비스 창출을 기대할 수 있지만 예상치 못한 다른 범주의 서비스의 창출이 감소되는 형태를 나타낸다. [그림 6]에서와 같이 A서비스 창출이 가능한 생태적 기능의 형성은 B서비스의 창출이 가능한 생태적 기능 형성에 영향을 주어 서비스의 창출까지 변화시킬 수 있다. 이는 생태적 기능 형성에 따라 연쇄적으로 나타날 수 있는 생태계의 특징으로부터 나타난 것으로(Gordon *et al.*, 2009), 경우에 따라 R6 루프와 같이 특정 생태적 기능이 다른 서비스의 창출이 가능한 생태적 기능의 형성에 직접적으로 영향을 주는 경우도 생긴다.

생태적 기능을 변화시키는 공간 계획은 생태적 기능 형성의 변화를 유도하는 시스템 구조를 불러올 수 있다(Cárcamo *et al.*, 2014). 공간 계획 및 관리 시행은 곧 토지를 이용하거나 자연자원에 대한 이용을 통해 이루어지므로 토지이용의 변화와 자원활용 변화는 생태적 기능 형성에 변화를 유도하는 요인으로 작용한다(Dong *et al.*, 2012; Clerici *et al.*, 2014).

A서비스 창출을 위한 공간 계획 및 관리가 시행되면 토지이용의 변화가 나타나고, 이로 인해 생태적 기능 형성의 변화가 유도되면 B서비스 창출이 가능한 생태적 기능 형성이 영향을 받을 수 있다. A서비스의 창출을 위해 시도된 공간 계획 및 관리의 시행이 B서비스 창출을 감소시키는 생태계서비스의 trade-off 관계로 나타날 수 있는 것이다. 인식하기 쉬운 부문간 trade-off 관계의 예로 식품 및 목재 등의 재화 생산을 강화하고자 자원 활용에 대한 수요를 늘릴 때 공급서비스와 다른 범주의 서비스 사이의 trade-off 관계가 발생하는 구조가 있다(Raudsepp-Hearne *et al.*, 2010).

이에 특정 서비스 창출을 위한 공간 계획 및 관리 시행에 있어 토지이용에 대한 계획 단계 또는 자연자원에 대한 활용 시 생태적 기능 형성의 변화가 유도됨을 인지한다면 생태계서비스의 부문간 trade-off 관계에 대한 완화가 가능할 것으로 사료된다.



[그림 5] 생태계서비스의 부문간 trade-off 관계

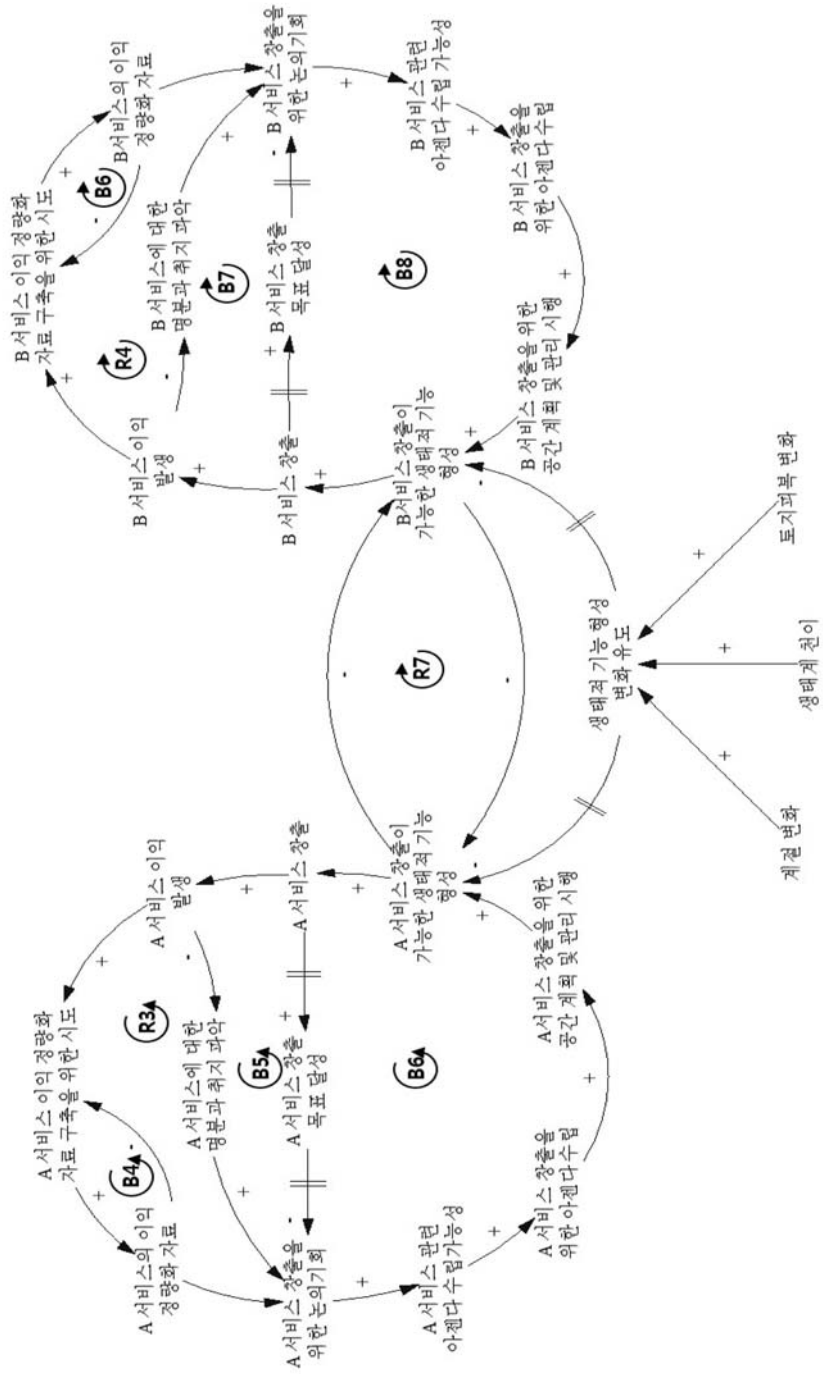
2. 생태계서비스의 시간간 trade-off 관계

생태계서비스의 시간간 trade-off 관계는 목표로 삼은 생태계서비스의 특정 범주에 대해 실행 시점에서는 서비스 창출이 가능하지만 시간이 지나며 변화되는 환경적 특성에 영향을 받아, 목표로 한 생태계서비스와 더불어 다른 범주의 서비스 창출까지 영향을 받는 형태를 나타낸다. [그림 7]에서와 같이 계절이 바뀌거나(Brauman *et al.*, 2007) 생태계 친이가 나타나는 현상 (Mitsch *et al.*, 2014) 및 토지피복의 변화 (Reyers *et al.*, 2009)에 의해 생태적 기능 형성의 변화가 유도된다.

이는 공간 계획 당시의 시점을 기준으로 생태적 기능 형성을 위한 시행이 강구되었기 때문에, 시간에 흐름에 따라 변동되는 환경적 특성에 의한 대처가 부족하여 생태계 기능의 변화가 유도되는 것으로 볼 수 있다. A서비스 창출을 위한 공간 계획 및 관리가 시행될 때 환경적 특성에 대한 고려가 부족하면, 타 범주의 서비스 창출에만 영향이 미치는 것이 아니라 목표가 된 서비스의 창출에도 영향을 미칠 수 있다. 시간간 trade-off 관계는 시간지연의 특성을 갖기 때문에, trade-off 관계에 대한 문제점 인식이 빨리 되지 않는 것이 특징이다.

생태계서비스 창출 감소에 대한 문제를 뒤늦게 인식하게 되기 때문에 이를 바로잡기 위한 관련 노력들이 과도하게 이루어질 수 있는 가능성이 있음에 따라 trade-off 관계에 대한 인식 이후 사후 관리는 전략적인 방식으로 모색되어야 할 것이다 (김동환, 2004).

이에 특정 서비스 창출을 위한 공간 계획 및 관리 시행에 있어 환경적 특성에 대한 인지가 바탕이 된다면, 생태계서비스의 시간간 trade-off 관계에 대한 완화가 가능할 것으로 사료된다.



[그림 6] 생태계서비스의 시간간 trade-off 관계

VI. 결론

본 연구는 생태계서비스와 관련된 선행연구들을 토대로 생태계 보존과 지속가능한 이용을 위한 공간 계획 및 관리 시 생태계서비스적 관점에서의 고려에 대한 필요성과 유의점을 언급하였으며, 시스템 사고를 통해 생태계서비스의 trade-off 관계 발생 원인과 나타나는 형태에 대해서 논하였다.

생태계서비스 창출 과정에서 나타난 생태계서비스의 trade-off 관계 발생 원인으로 첫 번째는 일부 서비스에 대한 정량화의 방법적 한계로 인해 모든 범주에 관한 자료가 구축되지 못한 이익의 정량화 과정의 한계이며, 두 번째는 특정 서비스 창출을 위한 아젠다 마련에 따른 논의 기회 상실이다. 인간의 개입을 통해 발생하는 생태계서비스의 trade-off 관계는 인간의 노력에 의해 최소화될 수 있을 것이다. 첫 번째 원인에 대해 해결하기 위해서 문화서비스에 대한 정량화 방법을 정립하는 노력이 필요할 것이며, 두 번째 원인을 해결하고자 한다면 모든 범주가 포함된 정량화 자료를 구축하려는 노력이 전제된 상황에서 논의 대상에 대한 타당성 평가와 명분 확보에 대해 객관적인 시각을 가질 필요가 있을 것이다. 이와 같은 노력들은 이익 정량화 작업과 의사결정과정에 참여하는 관련 연구자와 해당 분야 전문가 및 공무원 등에 의해서 수행 되어야 할 것이다.

또한 생태계서비스의 trade-off 관계가 가지는 발생 형태에 대해 완화시키기 위해서 다음의 노력이 필요하다. 공간의 개념을 포함하는 부문간 trade-off 관계의 최소화를 위해 토지 이용에 대한 계획 단계 또는 자연자원에 대한 활용 시 생태적 기능 형성의 변화가 유도됨을 인지하여야 할 것이며, 시간의 개념을 포함하는 시간간 trade-off 관계의 최소화를 위해서 시간에 따라 변화되는 환경요인들로부터 변화되는 생태적 기능에 대해 대비할 수 있는 공간 관리 방식을 강구해야 할 것이다. 이러한 노력은 생태계서비스 창출을 계획하고 있는 대상이 되는 공간에 대해 직접적 개입이 가능한 환경, 조정, 건축, 토목, 도시 등 관련 분야의 현장 관리자 및 업무자들에 의해 사후관리와 공간에 대한 수정·보완을 하는 방식으로 해결해야 할 것이다. 이와 같은 분석은 공간 및 시간의 2 가지 차원에서 생태계서비스의 trade-off 관계가 발생할 수 있다는 것과 한 가지 생태계 기능의 변화로 인해 다양한 전이가 유발될 수 있음을 인지하여 다차원적인 접근 방식에 근간한 공간 계획 및 관리가 시행되어야 함을 시사한다.

논의된 바와 같이 생태계서비스의 trade-off 관계를 고려하여 올바른 공간 계획 및 관리가 가능하기 위해서 다양한 분야에 포진된 전문가들의 협업을 통한 다학제적 통섭이 필요하다 할 수 있다(Chan *et al.*, 2006; Costanza & Kubiszewski, 2012).

본 연구는 생태계서비스를 중심으로 시스템 사고를 통한 정성적인 방식을 통해 인과적

특성을 분석한 연구로써 추상적인 내용들을 포함하여 추론에 그쳤다는 한계점이 있다. 실제하는 대상지를 중심으로 한 현실적인 논의가 부족하므로 향후 대상지를 선정하여 생태계 서비스 가치 평가를 통해 대상지 현황에 맞는 생태계서비스의 관한 논의점을 찾을 것이며, 생태계서비스의 trade-off 관계가 나타나는 대상지일 경우 정성적인 방식이 아닌 객관적 자료와 문헌을 근거로 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 시나리오 분석을 진행하여 trade-off 관계를 최소화 할 수 있는 방식을 강구하고자 한다.

그러나 본 연구는 생태계서비스에 대해 개괄적인 측면에서 주요사안이 되는 부분들을 다룬 점에서 생태계서비스에 대해 생소함을 느끼는 연구자들에게 기초적인 이해를 도울 수 있다. 또한 생태계서비스의 가치를 평가한 자료를 토대로 공간 계획 및 관리를 예정에 두고 있는 대상지의 의사결정자와 정책수행자들에게 있어 계획 및 설계 단계에 필요한 기초 자료가 될 것이다.

【참고문헌】

- 구미현. (2014). “택지개발사업 생태계서비스 평가모형 개발 및 적용: 4개 보급자리주택지구를 사례로”. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 구미현 · 이동근 · 정태용. (2012). “정책형성단계에서 생태계서비스에 관한 이론적 고찰”. 『한국환경복원기술학회지』 제15권 5호: 85-102.
- 김도훈 · 문태훈 · 김동환. (1999). 『시스템 다이내믹스』. 서울: 대영문화사.
- 김동만. (2004). “태안 신두리 해안사구 정책결정연구”. 『한국지방자치학회 하계학술발표회 및 제 13회 한일 지방자치 국제세미나』: 587-614.
- 김동환. (2004). 『시스템 사고: 시스템으로 생각하기』. 경기도 성남: 선학사.
- 김재은. (2014). “전남 신안군의 토지이용에 따른 생태계서비스 가치와 지속가능한 활용방안”. 『생태와 환경』, 제47권 3호: 202-213.
- 석영선 · 송기환 · 전진형. (2014). “해안사구의 토지이용과 경관가치에 대한 시스템 사고”. 『한국 시스템다이내믹스 연구』 제15권 3호: 81-104.
- 안소은. (2013). “의사결정지원을 위한 생태계서비스의 정의와 분류”. 『환경정책연구』 제12권 2호: 3-16.
- 안소은 · 김정아 · 전동준 · 권영한 · 노백호. (2014). 『생태계서비스 측정체계 기반구축(1): 하천생태계를 중심으로』. 세종특별자치시: 한국환경정책 · 평가연구원.
- 안소은 · 노백호 · 고수인 · 전동준 · 권영한. (2013). 『생태계서비스지불제 이행 및 평가를 위한 지수체계 개발』. 서울: 한국환경정책 · 평가연구원.
- 양정호. (2008). “정책목표의 모순적 절충의 인과지도”. 『국가정책연구』, 제22권 1호: 53-80.
- 원호연 · 문형태 · 신창환. (2014). “월악산 신갈나무림의 유기탄소 분포와 순환을 통한 생태계 서비스 가치평가”. 『한국습지학회지』, 제16권 3호: 315-325.
- 이숙미. (2013). “도시녹지의 생태계서비스 평가모델 개발 및 적용: 서울시 도시묘지를 대상으로”. 동국대학교 대학원 박사학위논문.
- 이종호. (2014). “공적개발원조사업의 방향과 환경평가”. 『환경영향평가』, 제23권 제1호: 51-65.
- 장대회 · 안광호 · 최용석. (2014) “재개발 및 부분개선의 측면에서 생태면적률에 의한 도시기후의 변화와 영향에 대한 기초적 연구”. 『대한건축학회 논문집-계획계』, 제30권 7호: 21-30.
- 정주철 · 조공장 · 문난경 · 신경희 · 이상범 · 이영준 · 전인수 · 최준규 · 박정일. (2009). 『환경평가를 활용한 토지이용계획 수립방안에 관한 연구: 도시 및 택지개발을 중심으로』.

- 로. 한국환경정책평가연구원 연구보고서.
- 정필모 · 서종철. (2014). “서천 일대의 생태자산 재구성을 통한 생태계서비스 제공”. 『한국지역 지리학회지』 제20권 2호: 189-205.
- 네이버 국어사전. <http://krdic.naver.com>
- 네이버 지식백과. <http://terms.naver.com>
- Agarwala, M., G. Atkinson, B. P. Fry, K. Homewood, S. Mourato, J. M. Rowcliffe, W. Wallace, & E. J. Milner-Gulland. (2014). “Assessing the Relationship Between Human Well-being and Ecosystem Services: A Review of Frameworks”, *Conservation and Society*, vol.12, no.4, pp.437.
- Baker, J., W. Sheate, P. Phillips, & R. Eales. (2013). “Ecosystem services in environmental assessment – help or hindrance?”, *Environmental Impact Assessment Review*, vol.40, pp.3-13.
- Balbi, S., A. del Prado, P. Gallejones, C. P. Geevan, G. Pardo, E. Pérez-Miñana, R. Manrique, C. Hernandez-Santiago, & F. Villa. (2015). “Modeling trade-offs among ecosystem services in agricultural production systems”, *Environmental Modelling & Software*.
- Bennett, E. M., G. D. Peterson, & L. J. Gordon. (2009). “Understanding relationships among multiple ecosystem services”, *Ecology letters*, vol.12, no.12, pp.1394-1404.
- Binder, S. (2012). *Integrated Modeling and Spatial Optimization of Ecosystem Services*. Connecticut: Yale University.
- Brauman, K. A., G. C. Daily, T. K. E. Duarte, & H. A. Mooney. (2007). “The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services”, *Annu. Rev. Environ. Resour.*, vol.32, pp.67-98.
- Butler, J. R., G. Y. Wong, D. J. Metcalfe, M. Honzák, P. L. Pert, N. Rao, M. E. van Griekwn T. Lawson, C. Bruce, F. J. Kroon, J. E. Brodie, & J. E. Brodie. (2013). “An analysis of trade-offs between multiple ecosystem services and stockholders linked to land use and water quality management in the Great Barrier Reef, Australia”. *Agriculture, ecosystems & environment*, vol.180, pp.176-191.
- Carpenter, S. R., E. M. Bennett, & G. D. Peterson. (2006). “Scenarios for ecosystem services: an overview”, *Ecology and Society*, vol.11 no.1, pp.29.
- Cavender-Bares, J., P. Balvanera, E. King, & S. Polasky. (2015a). “Ecosystem service trade-offs across global contexts and scales”. *Ecology and Society*, vol.20, no.1, pp.22.
- Cavender-Bares, J., S. Polasky, E. King, & P. Balvanera. (2015b). “A sustainability framework

- for assessing trade-offs in ecosystem services”. *Ecology and Society*, vol.20, no.1, pp.17.
- Cárcamo, P. F., R. Garay-Flühmann, F. A. Squeo, & C. F. Gaymer. (2014). “Using stakeholders’ perspective of ecosystem services and biodiversity features to plan a marine protected area”, *Environmental Science & Policy*, vol.40, pp.116-131.
- Chan, K. M., M. R. Shaw, D. R. Cameron, E. C. Underwood, , & G. C. Daily. (2006). “Conservation planning for ecosystem services”, *PLOS biology*, vol.4, no.11, 379.
- Clerici, N., M. L. Paracchini, & J. Maes. (2014). “Land-cover change dynamics and insights into ecosystem services in European stream riparian zones”, *Ecohydrology & Hydrobiology*, vol.14, no.2, pp.107-120.
- Costanza, R. (2006). “Nature: ecosystems without commodifying them”, *Nature*, vol.443, no.7113, pp.749-749.
- Costanza, R., & I. Kubiszewski. (2012). “The authorship structure of “ecosystem services” as a transdisciplinary field of scholarship”, *Ecosystem Services*, vol.1, no.1, pp.16-25.
- Costanza, R., R. D’Agre, R. S. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O’Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton, & M. van den Belt. (1997). “The value of the world’s ecosystem services and natural capital”, *Nature*, vol.387, pp.253-260.
- Crookes, D. J., J. N. Blignaut, M. P. De Wit, K. J. Esler, D. C. Le Maitre, S. J. Milton, S. A. Mitchell, J. Cloete, P. de Abreu, H. Fourie, K. Gull, D. Marx, W. Mugido, T. Ndhlovu, M. Nowell, M. Pauw, & A. Rebelo. (2013). “System dynamic modelling to assess economic viability and risk trade-offs for ecological restoration in South Africa”, *Journal of environmental management*, vol.120, pp.138-147.
- Daily, G. (1997). *Nature’s services: societal dependence on natural ecosystems*. Washington, DC: Island Press.
- Daniel, T. C., Muhar, A., Arnberger, A., Aznar, O., Boyd, J. W., Chan, K. M., Costanza, R., Elmqvist, T., Flint, C. G., Gobster, P. H., Grêt-Regamey, A., Lave, R., Muhar, s., Penker, M., Ribe, R. g., Sxhaupernlehner, T., Sikor, T., Solovly, I., Spierenburg, Marja., Taczanowska, K., Tam, Jordan, & A. von der Dunk. (2012). “Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America*, vol.109, no.23, pp.8812-8819.
- Davies, Z. G., J. L. Edmondson, A. Heinemeyer, J. R. Leake, & K. J. Gaston. (2011). “Mapping an urban ecosystem service: quantifying above ground carbon storage at a city wide

- scale”, *Journal of Applied Ecology*, vol.48, no.5, pp.1125-1134.
- De Groot, R. (2006). “Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes”, *Landscape and urban planning*, vol.75, no.3, pp.175-186.
- De Groot, R. S., R. Alkemade, L. Braat, L. Hein, & L. Willemsen. (2010). “Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making”. *Ecological Complexity*, vol.7, pp.260-272.
- Diaz, S., Tilman, D., Fargione, J., Chapin III, F., Dirzo, R., & Kitzberger, T. (2005). “Biodiversity regulation of ecosystem services”, *Trends and Conditions*, pp.279-329.
- Dong, X., W. Yang, S. Ulgiati, M. Yan, & X. Zhang. (2012). “The impact of human activities on natural capital and ecosystem services of natural pastures in North Xinjiang, China”, *Ecological Modelling*, vol. 225, pp.28-39.
- Fisher, B., R. K. Turner, & P. Morling. (2009). “Defining and classifying ecosystem services for decision making”, *Ecological economics*, vol.68, no.3, pp.643-653.
- Ghaley, B. B., L. Vesterdal, & J. R. Porter. (2014). “Quantification and valuation of ecosystem services in diverse production systems for informed decision-making”, *Environmental Science & Policy*, vol.39, pp.139-149.
- Gordon, A., D. Simons, M. White, A. Moilanen, & S. A. Bekessy. (2009). “Integrating conservation planning and landuse planning in urban landscapes”, *Landscape and urban planning*, vol.91, no.4, pp.183-194.
- Granek, E. F., S. Polasky, C. V. Kappel, D. J. Reed, D. M. Stoms, E. W. Koch, C. J. Kennedy, L. A. Cramer, S. D. Hacker, E. B. Barbier, S. Aswani, M. Ruckelshaus, G. M. E. Perillo, B. R. Siliman, N. Muthiga, D. Bael, & E. Wolanski. (2010). “Ecosystem services as a common language for coastal ecosystem based management”, *Conservation Biology*, vol.24, no.1, pp.207-216.
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2010). The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. *Ecosystem Ecology; a new synthesis*, pp.110-139.
- Hansen, R., N. Frantzeskaki, T. McPhearson, E. Rall, N. Kabisch, A. Kaczorowska, J. Kain, M. Artmann, & S. Pauleit. (2015). “The uptake of the ecosystem services concept in planning discourses of European and American cities”, *Ecosystem Services*.
- Harmáčková, Z. V., & D. Vačkář. (2015). “Modelling regulating ecosystem services trade-offs across landscape scenarios in Třeboňsko Wetlands Biosphere Reserve, Czech Republic”.

- Ecological Modelling*, vol.295, pp.207-215.
- Jopke, C., J. Kreyling, J. Maes, & T. Koellner. (2015). "Interactions among ecosystem services across Europe: Bagplots and cumulative correlation coefficients reveal synergies, trade-offs, and regional patterns". *Ecological Indicators*, vol.49, pp.46-52.
- Kabisch, N. (2015). "Ecosystem service implementation and governance challenges in urban green space planning—The case of Berlin, Germany". *Land Use Policy*, vol.42, pp.557-567.
- Kumar, P., S. E. Esen, & M. Yashiro. (2013). "Linking ecosystem services to strategic environmental assessment in development policies", *Environmental Impact Assessment Review*, vol.40, pp.75-81.
- Lauf, S., D. Haase, & B. Kleinschmit. (2014). "Linkages between ecosystem services provisioning, urban growth and shrinkage - A modeling approach assessing ecosystem service trade-offs", *Ecological Indicators*, vol.42, pp.73-94.
- Loomis, J., P. Kent, L. Strange, K. Fausch, & A. Covich. (2000). "Measuring the total economic value of restoring ecosystem services in an impaired river basin: results from a contingent valuation survey", *Ecological economics*, vol.33, no.1, pp.103-117.
- MA(Millennium Ecosystem Assessment). (2005a). *Ecosystem and human well-being : Mlti scale assessment, Millennium ecosystem assessment series 4*. Washington, DC: Island Press.
- MA(Millennium Ecosystem Assessment). (2005b). Millennium Ecosystem Assessment Findings, Millennium Ecosystem Assessment.
- Maltby, E., D. Hogan, & R. McInnes. (1996). *Functional Analysis of European Wetland Ecosystems: Improving the Science Base for the Development of Procedures of Functional Analysis*. Office for Official Publications of the European Communities.
- McShane, T. O., P. D. Hirsch, T. C. Trung, A. N. Songorwa, A. Kinzig, D. Monteferri, D. Mutekanga, H. Van Thang, J. L. Dammert, M. Pulgar-Vidal, M. Welch-Devine, J. P. Brosius, P. Coppolillo, & S. O'Connor. (2011). "Hard choices: Making trade-offs between biodiversity conservation and human well-being", *Biological Conservation*, vol.144, no.3, pp.966-972.
- Mitsch, W. J., L. Zhang, E. Waletzko, & B. Bernal. (2014). "Validation of the ecosystem services of created wetlands: two decades of plant succession, nutrient retention, and carbon sequestration in experimental riverine marshes", *Ecological Engineering*, vol.72, pp.11-24.
- Mooney, H. A., & P. R. Ehrlich. (1997). "Ecosystem services: a fragmentary history", *Nature's Services: societal dependence on natural ecosystems*, pp.11-19.

- Nicholson, E., G. M. Mace, P. R. Armsworth, G. Atkinson, S. Buckle, T. Clements, R. M. Ewers, J. E. Fa, T. A. Gardner, J. Gibbons, R. greener, R. Metcalfe, S. Mourato, M. Muuls, D. Osborn, D. C. Reuan C. Watson, & E. J. Milner-Guland. (2009). "Priority research areas for ecosystem services in a changing world", *Journal of Applied Ecology*, vol.46, no.6, pp.1139-1144.
- Oñatibia, G. R., M. R. Aguiar, & M. Semmartin. (2015). "Are there any trade-offs between forage provision and the ecosystem service of C and N storage in arid rangelands?". *Ecological Engineering*, vol.77, pp.26-32.
- Raudsepp-Hearne, C., G. D. Peterson, & E. Bennett. (2010). "Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol.107, no.11, pp.5242-5247.
- Reyers, B., P. J. O'Farrell, R. M. Cowling, B. N. Egoh, D. C. Le Maitre, & J. H. Vlok. (2009). "Ecosystem services, land-cover change, and stakeholders: finding a sustainable foothold for a semiarid biodiversity hotspot", *Ecology and Society*, vol.14, no.1, pp.38
- Rodríguez, J. P., T. D. Beard, E. M. Bennett, G. S. Cumming, S. J. Cork, J. Agard, A. P. obson, & G. D. Peterson. (2006). "Trade-offs across space, time, and ecosystem services", *Ecology and Society*, vol.11, no.1, pp.28.
- Seppelt, R., C. F. Dormann, F. V. Eppink, S. Lautenbach, & S. Schmidt. (2011). "A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead", *Journal of Applied Ecology*, vol.48, no.3, pp.630-636.
- Schröter, M., R. P. Remme, E. Sumarga, D. N. Barton, & L. Hein. (2015). "Lessons learned for spatial modelling of ecosystem services in support of ecosystem accounting". *Ecosystem Services*, vol.13, pp.64-69.
- Van der Ploeg, S., R. De Groot, & Y. Wang. (2010). *The TEEB Valuation Database: overview of structure, data and results*. Wageningen, The Netherlands.: Foundation for Sustainable Development.
- Vidal-Legaz, B., J. Martínez-Fernández, A. S. Picón, & F. I. Pugnaire. (2013). "Trade-offs between maintenance of ecosystem services and socio-economic development in rural mountainous communities in southern Spain: a dynamic simulation approach". *Journal of Environmental management*, vol.131, pp.280-297.
- Wallace, K. J. (2007). "Classification of ecosystem services: Problems and solutions", *Biological Conversation*, vol.139, no.3, pp.235-246.

- White, C., B. S. Halpern, & C. V. Kappel. (2012). "Ecosystem service tradeoff analysis reveals the value of marine spatial planning for multiple ocean uses". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol.109, no.12, pp.4696-4701.
- Zhang, W., T. H. Ricketts, C. Kremen, K. Carney, & S. M. Swinton. (2007). "Ecosystem services and dis-services to agriculture", *Ecological economics*, vol.64, no.2, pp.253-260.
- Zhao, B., U. Kreuter, B. Li, Z. Ma, J. Chen, & N. Nakagoshi. (2004). "An ecosystem service value assessment of land-use change on Chongming Island, China", *Land Use Policy*, vol.21, no.2, pp.139-148.

▶ 접수일 : 2015. 3. 31. / 수정일 : 2015. 6. 26. / 게재확정일 : 2015. 6. 27.