

## 지속가능한 순천만을 위한 보호지역 확대와 정책적 활용을 위한 생태계 서비스 지불제(PES)의 적용\*

모용원<sup>1)</sup> · 박진한<sup>1)</sup> · 손용훈<sup>2)</sup> · 이동근<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 서울대학교 협동과정 조경학 · <sup>2)</sup> 서울대학교 환경대학원 환경조경학과

<sup>3)</sup> 서울대학교 농업생명과학대학 조경·지역시스템공학부

## Establishment of Additional Protected Areas and Applying Payment for Ecosystem Services(PES) for Sustainability of Suncheonman-Bay\*

Mo, Yongwon<sup>1)</sup> · Park, Jin Han<sup>1)</sup> · Son, Yong-Hoon<sup>2)</sup> and Lee, Dong Kun<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University,

<sup>2)</sup> Department of Landscape Architecture, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University,

<sup>3)</sup> Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, College of Agriculture and Life Sciences,  
Seoul National University.

### ABSTRACT

Suncheonman-Bay and its surrounding areas play important roles as habitats for migratory birds. However, sustainable management of these areas is difficult because of the development pressure of private lands. Therefore, the areas surrounding Suncheonman-Bay must be classified as additional protected areas; for this, it is necessary to gather concrete and objective evidence and ensure protected area management. Further, compensation measures must be considered when acquiring a private property as an additional protected area. In this study, we distinguish protected areas, such

---

\* 본 연구는 2015년도 환경부 기후변화대응 환경기술개발사업(과제번호: 2014001310007)과 2015년도 BK21 플러스 사업(서울대학교 협동과정조경학 그린인프라 창조 인재 양성팀)의 지원을 받아 수행된 연구임.

**First author** : Mo, Yongwon, Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University,  
Tel : +82-2-880-4885, E-mail : webzin12@snu.ac.kr

**Corresponding author** : Lee, Dong Kun, Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul  
National University,

Tel : +82-2-880-4875, E-mail : dklee7@snu.ac.kr

**Received** : 29 October, 2015. **Revised** : 8 January, 2016. **Accepted** : 23 February, 2016.

as core, buffer, and transition areas, within a private area by using data from the Winter Waterbird Census of Korea and MARXAN software, a spatial conservation prioritization tool. We applied ecosystem services to apply Payment for Ecosystem services (PES) as compensation measures. Watershed conservation (supply), climate control (regulation), supporting habitats (support), and recreation (culture) etc. were evaluated by calculating the economic value of these ecosystem services. Eastern, western, and northern forests and rice fields of Suncheonman-Bay were shown to have a number of core areas for the preservation of endangered species. The ecosystem service value of the additional protected areas was estimated at 17.5 million KRW/ha/year. We believe that our study result could be used to establish protected areas to preserve major habitats, as well as include areas adjacent to such major habitats that play a vital role in endangered species conservation. In addition, through this study, we highlight the need for an objective basis to establish protected areas.

Key Words : *Systematic Conservation Planning, MARXAN, Endangered species, Winter Waterbird Census of Korea, Irreplaceability.*

## I. 서 론

UN(2015)에서는 생태계의 지속가능한 이용을 SDGs(Sustainable Development Goals)의 중요한 목표중 하나로 선정하였다. 자연생태계의 지속가능성은 보전 및 복원 그리고 이용이 조화를 이루었을 때 달성가능하다(UN, 2015). 이에 보호지역 설정과 주변지역에서의 적절한 관리는 보전과 이용이 조화를 이루게 만들어, 생태계의 지속가능성을 이루는데 중요한 역할을 한다(Gray, 2013).

순천만은 해양, 갯벌, 산림, 초지 등 다양한 생태계로 구성되어 많은 생물종들이 서식 가능한 국내 대표적인 연안습지 중 하나이다. 순천만 지역에는 연간 약 8만~12만 정도의 철새가 서식하는 것으로 나타났으며, 여기에는 천연기념물 27종과 멸종위기종 37종도 포함된다. 이에 순천시에서는 지속가능한 순천만을 위하여 1996년 습지보호지역, 2003년 람사르 습지 등록, 2008년 국가지정문화재 명승지정, 개발행위허가 제한 지역 및 생태계 보존지구 지정 등 다양

한 보호활동을 해오고 있다.

하지만 순천만 습지보호지역과 그 주변지역은 지속가능성을 가지는 데 다양한 위협요인들이 존재하고 있는 상태이다. 순천만이 생태관광지로 주목받음에 따라 순천시 전체 관광객이 2005년에 약 128만 명에서 2013년에 236만 명으로 약 두 배 증가하였고(Hwang et al., 2014), 이에 따라 생활쓰레기문제, 소음, 야생동물 서식지 훼손 등 많은 환경적 문제들도 늘어나고 있다. 또한 순천만 지역 주변 산림, 농업지역에서는 실제로 철새가 많이 발견되는 만큼, 철새들이 서식하는데 매우 중요한 역할을 있음에도 불구하고, 이 지역들은 개발행위허가 제한구역 및 생태계 보존지구 해제 주장이 제기되는 등, 순천만 습지보호지역 주변지역에 대한 지속적인 개발압력이 존재한다(Hwang et al., 2014). 따라서 순천만 습지보호지역뿐만 아니라 주변지역까지 보호지역 관리의 범주에서 고려될 필요가 있다.

보호지역 선정 및 관리에 있어 다양한 이해당사자들이 존재하기 때문에(Farjardo et al., 2014),

객관적인 근거 마련이 중요하다(Moilanen et al., 2009). 보호지역 선정을 위한 객관적인 자료를 만들기 위해서는 체계적인 보전계획에 입각하여 정량적인 목표 설정 및 우선순위 선정 등의 과정이 필요하다(Carvalho et al., 2011). 여기서 정량적인 목표라 함은 서식하고 있는 생물종의 최소존속가능개체군 개념에 근거하여 일정 수준의 개체수를 보호하거나(Nicholson and Ovaskainen, 2009), 생물종이 서식하는 지역 중 보호가 필요한 면적의 범위를 정하는 것을 말한다(Naoc et al., 2015). 이와 유사한 연구로 실제 생물종 분포를 바탕으로 현재 보호지역이 생물종들을 보호할 수 있는 지역인지 GAP분석을 통하여, 추가로 보호지역으로 지정할 지역을 찾는 연구들이 진행되어왔다(Lessmann et al., 2014).

또한 보호지역 관리를 위하여 객관적인 근거로 활용될 수 있는 생태계 서비스를 적용하는 방법이 있다(Kong and Lee, 2014; Rees et al., 2015). 생태계 서비스는 인간이 생태계로부터 얻는 다양한 이익들을 의미한다(Seppelt et al., 2011). 생태계 서비스는 1990년대 이후 생태계 대한 경제적 가치평가에 대한 관심에서부터 개념이 꾸준히 발전되어왔다(Fisher et al., 2009; Koo et al., 2012). 이는 우리 사회의 경제시스템 속에 내재된 과잉개발 등의 문제를 바로 잡기 위해서 생태계에 대한 객관적인 가치평가가 이루어져야 한다는 공감대가 형성되었기 때문이다(Andam et al., 2008). 생태계 서비스가 실제 제도에 적용된 사례로는 보호지역 내의 생태계 서비스를 산출하고 보호지역에 대한 보상 문제를 해결하고자 하는 생태계 서비스 지불제도(Payment for Ecosystem Services, PES)가 있다(Milder et al., 2010). 이처럼 지속가능한 생태계를 이루기 위하여 보호지역과 그 주변지역의 생태계 서비스를 평가하여 생태계의 보전, 관리정책이나 계획에 활용할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 지속가능한 순천만 일대를 위하여 보호지역 범위를 생물종 출현

정보를 이용한 객관적인 방법으로 주변지역까지 함께 고려하여 확대 선정하고, 선정된 보호지역의 관리를 위하여 PES 개념을 적용해보고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구범위 및 자료

본 연구의 공간적 범위는 순천만 습지보호지역 주변 중에서 멸종위기종 겨울철 조류가 출현하는 동 단위 지역으로 하였다(Figure 1). 순천만 습지보호지역은 국내 유일의 흑두루미(천연기념물 제228호) 서식지 및 갈대군락 등 수려한 자연경관을 가진 순천만 갯벌을 보호하기 위해 지정되었다. 순천만 갯벌이 겨울철 조류 서식지로서 중요한 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 내용적 범위는 환경부에서 제공하는 겨울철 조류 동시 센서스 보고서 중 출현자료가 없는 2004년을 제외하고 2003년부터 2013년까지 10년 동안의 자료를 바탕으로 순천만 지역 주변 지역에서 출현한 멸종위기종 1급, 2급 조류를 대상으로 하였다.

본 연구에 이용된 겨울철 조류 동시 센서스 자료는 우리나라에서 조류 조사 중 가장 오랜 기간 동안 동일한 조사방법으로 행해진 자료이기 때문에 생물종 서식을 판단하기에 적합한 자료이다(Choi et al., 2012). 다만, 제공되는 자료 형태가 보고서만 제공되고 있어, 직접 각 보고서 내 자료를 디지털링 작업을 하여 분석 자료로 활용하였다.

순천만 지역에 출현한 멸종위기 1급인 조류에는 노랑부리저어새(*Platalea leucorodia*), 매(*Falco peregrinus japonensis*) 등 2종, 2급에는 검은머리갈매기(*Chroicocephalus saundersi*), 흑두루미(*Grus monacha*), 큰고니(*Cygnus cygnus*), 독수리(*Aegypius monachus*), 가창오리(*Anas formosa*), 재두루미(*Grus vipio*), 개리(*Anser cygnoides*), 물수리(*Pandion haliaetus*), 말뚝가리(*Buteo buteo*),

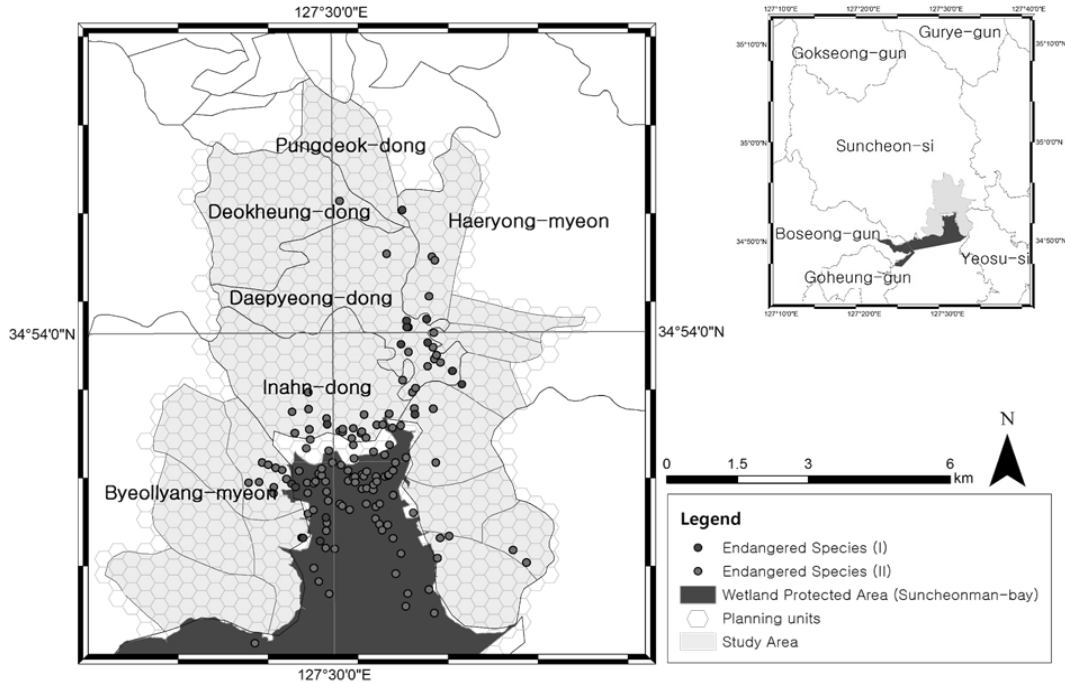


Figure 1. Study area and occurrences of endangered species (I), (II).

털발말뚝가리(*Buteo lagopus*), 쇠황조롱이(*Falco columbarius*), 검은머리물떼새(*Haematopus ostralegus*), 흰목물떼새(*Charadrius placidus*), 잿빛개구리매(*Circus cyaneus*), 참매(*Accipiter gentilis*), 적호갈매기(*Larus relictus*), 수리부엉이(*Bubo bubo*), 솔개(*Milvus migrans*), 알락꼬리마도요(*Numenius madagascariensis*), 큰기러기(*Anser fabalis*), 검은목두루미(*Grus grus*) 등 22종이 발견되었다.

그리고 PES도입을 위하여, 연구결과로 도출된 보호지역 확대 지역 내 논농사 지역과 산림지역에 대하여 생태계 서비스 가치를 평가하였다. 이 때, 본 연구에서는 다양한 생태계 서비스의 기능들에 대한 가치를 평가한 Korea Forest Research Institute(2010), Ryu and Lee(2013), Ministry of Environment(2015)에서 도출된 각 기능별 단위가치들을 참고하였다. 생태계 서비스 가치평가의 대상이 되는 논농사지역과 산림지역의 위치정보는 토지피복 중분류 지도(Ministry of Environment, 2009)에서 추출하였다.

## 2. 연구방법

### 1) 객관적 보호지역 선정

체계적으로 보호지역을 선정하는 데에는 몇 가지 단계가 요구된다. 우선 보전목표를 세워야 한다. 본 연구에서는 겨울철 조류 동시 센서스 자료의 약 10년간의 자료를 바탕으로 멸종위기 1급 및 2급인 겨울 철새들을 보전하는 것을 목표로 하였다. 구체적으로 멸종위기 등급에 따라서 다른 보전목표를 설정하였다(Fajardo et al., 2014). 멸종위기종 1급은 100%, 멸종위기종 2급은 70%를 보전하는 것으로 설정하였다. 이는 멸종위기 1급인 종이 출현한 지역은 모두 보전하고, 멸종위기 2급인 종이 출현한 지역의 70% 비율을 보전하는 것을 목표로 한다는 의미이다. 만약 종별 개체수가 충분히 발견된 지점이 있다면 종별 목표를 세우는 것이 더욱 효과적이나, 자료의 한계로 멸종위기 등급에 따라 구분하였다.

보전목표를 설정한 다음에는 공간적 우선순위를 정해야 한다. 즉, 어떠한 지역이 멸종위기 조류

를 보전하는데 중요한 역할을 할 것인지를 확인해야한다. 보전 우선순위 지역을 확인하기 위해서 MARXAN Software, Zonation, C-Plan과 같은 공간의사결정 소프트웨어를 많이 사용한다(Levin et al., 2015). 본 연구에서는 MARXAN Software (이하 'MARXAN')를 사용하였다. MARXAN은 기본적으로 서식지관점에서 최소의 경계거리로 가능한 한 최대의 면적으로 보호지역으로 선정할 수 있는 우선순위를 도출할 수 있으며, 담금질 기법(Simulated Annealing)으로 많은 경우의 수를 고려하여 최적의 해답을 찾도록 도와준다(Martin et al., 2010). 따라서 본 연구에서는 총 100가지 경우에 대한 결과를 바탕으로 전체 결과에서 83-100번 선택된 지역을 핵심지역, 16-82번 선택된 지역을 완충지역, 0-15번 선택된 지역을 전이지역으로 설정하였다. 구체적으로 Natural Breaks의 방법을 이용하여 각 지역구분의 경계값을 도출하였다. Natural Break Jenks는 등급을 나눌 때 각 등급 간의 값의 차이를 극대화하여 등급 간의 특성이 다르게 하는데 용이하다(Jenks and Caspall, 1971). 그리고 100가지 보전 방안을 도출한 후 누적 횟수가 더 높은 지역이 보전가치가 있다고 판단하는 것은 대체불가능성(Irreplaceability)을 고려하는 방법으로 하나의 해결안을 찾기보다, 상대적으로 더 보전이 필요한 지역을 찾는 데 이용되는 방법이다(Moilanen et al., 2009).

기본적으로 MARXAN은 아래의 목적함수(Eq. 1)를 기초로 최적안을 찾는다. 먼저 MARXAN에서는 의사결정을 할 수 있는 계획단위(Planning unit)를 선정한다. 계획단위의 크기는 주어진 자료에 있는 보전을 필요로 하는 지역보다 크지 않으며, 현실성 있는 계획을 세울 수 있도록 조밀한 크기로 설정해야한다(Game and Grantham,

2008). 본 연구에서는 논농사지역과 산림 패치보다 크지 않으며, 계획지역의 특성이 포함되고 프로그램 실행을 고려하여 1km<sup>2</sup>의 육각형을 계획단위로 하였다. 기존에 많이 이용되는 격자에 비해 육각형은 군집화했을 때 더 낮은 비율의 경계거리를 갖도록 할 수 있기 때문에 보호지역 선정하는데 효과적이다(Game and Grantham, 2008).

MARXAN의 목적함수를 구체적으로 살펴보면, 우선 Cost는 계획단위가 가진 고유의 비용을 의미한다. 이는 토지매입가격이 될 수도 있으며, 기회비용 또는 서식지로서의 중요도 등 다양한 기준으로 적용이 가능하다. 하지만 만약 비용이 고려되기 힘든 경우라면 모두 '1'로 동일하게 적용한다(Ardron et al., 2010; Mo et al., 2013). 그리고 앞서 말했듯이 MARXAN은 최소한의 경계거리로 가능한 최대의 면적을 보호지역으로 선정하는 것을 추구하는 메커니즘이 포함되어있다. 경계거리 최소화는 관리비용 저감, 가장자리 효과의 감소, 연결성의 증가에서 찾을 수 있다(Ball et al., 2009). 경계거리를 최소화하는 것은 군집화와 관련이 있다. 군집화가 더 클수록, 적은 경계거리를 갖게 된다. MARXAN에서는 BLM(Boundary Length Modifier)을 조절하여 군집화 정도를 조정할 수 있다. 구체적으로 MARXAN에서는 BLM을 0에서 1사이의 값으로 조정하여 최소비용으로 최대 면적을 설정하는 값을 찾는다. 앞에서 비용을 고려하지 않을 때에는 계획단위 당 Cost를 모두 '1'로 적용한다고 하였다. 이 때, 최적의(최소경계거리로 가능한 최대의) 면적을 구할 수 있는 BLM은 0.002로 본 연구에서도 이 값을 적용하였다(Maxwell, 2011).

또한 전체 계획단위 중 반드시 보전이 필요한 지역은 Status를 2로 설정하고, 멸종위기 1급 조류가 나타난 지역은 1로 설정하여 보호지역을 선정할 때 우선 선택되도록 설정하였다. 그 외 계획단위들은 0으로 설정하였다(Game and Grantham, 2008).

$$\sum Cost + BLM \sum Boundary + \sum Penalty$$

Equation 1. Objective function of MARXAN.  
(Ardron et al., 2010)

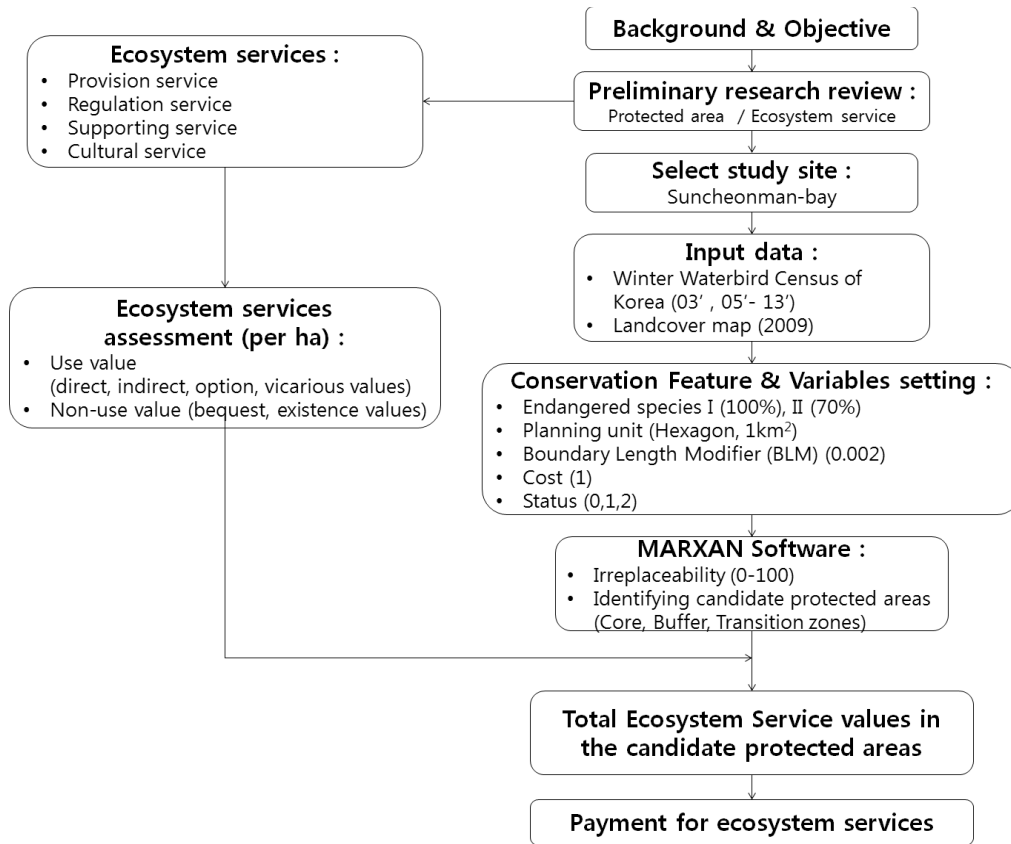


Figure 2. Research flow.

마지막으로 Penalty는 앞서 설정한 보전목표와 같이 생물종 보전의 중요도에 따라서 만약 어떤 생물종의 출현지역이 보호지역에 포함되지 못하게 되면 Penalty를 비용으로 부과함으로써 가능한 한 많은 생물종의 위치를 포함하는 안을 선택하고자하는 구조이다. 이 Penalty는 반드시 보전이 필요한 지역일 경우 크게 설정이 된다. 왜냐하면 보전이 반드시 필요한 지역이 선택이 안 되었을 경우, 이 지역을 그대로 복원하거나, 이후에 보호 조치하기 위해서 더 큰 노력이 요구 될 것이기 때문이다(Ardron et al., 2010). 본 연구에서는 Penalty를 보전목표와 연계하여 멸종위기 1급은 100%보전이 되도록, 멸종위기종 2급은 70%보전이 되도록 비율을 설정하여 적용하였다.

## 2) PES 도입

생태계 서비스는 인간에게 제공하는 기능(Costanza et al., 1997) 또는 역할(MA, 2005)에 따라 공급, 지원, 조절, 문화서비스 4가지로 구분될 수 있고, 각 서비스별 매우 다양한 기능들이 존재 한다(Costanza, 1997; de Groot, 2010). 본 연구에서는 생태계 서비스 기능들 중 공급서비스는 식량공급기능, 수원함양기능, 조절서비스는 수질정화 기능, 침식방지 기능, 토사붕괴 방지기능, 기후조절 기능, 대기질 조절 기능, 지원서비스는 서식처 지원 기능, 문화서비스는 휴양 기능을 대상으로 산림과 논농사 지역의 경제적 가치들을 적용하였다. 생태계 서비스는 정량화와 가치평가가 어려운 편이라 실제 적용이 어려워 일부 생태계 서비스를 제한적으로 평가되

고 있다(Luck et al., 2009).

생태계서비스의 가치는 환경재로 볼 수 있으며, 환경재의 가치는 크게 사용가치(use value)와 비사용가치(non-use value)로 나눌 수 있다. 사용가치는 환경이 인간의 생산 및 소비활동에 영향을 끼침으로서 발생하는 가치이다. 사용가치는 다시 직접사용가치(direct use value)와 간접사용가치(indirect use value), 선택가치(option value), 대체가치(vicarious value)로 나눌 수 있다. 비사용가치는 사용가치 이외의 가치를 의미(Krutilla,

1967)하며, 유산가치(bequest value)와 존재가치(existence value)로 나눌 수 있다(Freeman, 2003). 본 연구에서는 사용가치를 중심으로 PES에 도입하였다.

PES(Payment for Ecosystem Services, 생태계 서비스 지불제)의 기본적인 개념은 생태계서비스 사용자가 공급자에게 금전적인 보상을 지불하는 것이다. OECD(2010)에서는 특정 환경서비스의 수혜자가 공급자(개인 또는 지역공동체)에게 서비스 이용에 대한 일정액의 대가를 지불

**Table 1.** Unit values of ecosystem services in forest (refer to National Institute of Forest Science, 2010; Ryu and Lee, 2013; Ministry of Environment, 2015).

Use values	Ecosystem services		Estimated values (1,000 won/ha/yr)
Direct	Provision service	Watershed conservation	2,456
Indirect	Regulating service	Purification of water	778
		Erosion prevention and maintenance of soil fertility	2,231
		Erosion prevention	881
		Climate regulation	2,090
	Supporting service	Habitats for species	2,075
Direct	Cultural service	Tourism	1,753
	Total		12,264

**Table 2.** Unit values of ecosystem services in rice field (refer to National Institute of Forest Science, 2010; Ryu and Lee, 2013; Ministry of Environment, 2015).

Use values	Ecosystem services		Estimated values (1,000 won/ha/yr)
Direct	Provision service	Crops	7,240
		Watershed conservation	2,556
Indirect	Regulating service	Erosion prevention and maintenance of soil fertility	2,315
		Climate regulation	8,139
		Purification of air	222
	Supporting service	Habitats for species	1,464
Direct	Cultural service	Tourism	1,355
	Total		23,291

하는 다양한 형태의 계약을 총칭하는 것을 PES라고 정의하고 있으며, Wunder(2005)는 최소한 한 명 이상의 구매자가 최소한 한 명 이상의 공급자로부터 성격이 명확하게 정의된 생태계서비스를 구입하는 것으로 PES를 정의하고 있다.

본 연구의 대상지인 순천만과 주변지역의 논농사 지역과 산림지역이 제공하는 생태계서비스의 공급이 중단되면, 이로 인한 사회적 비용이 발생하게 된다. 여기에 PES의 개념을 적용하면 서비스 공급의 대가로 일정액을 토지소유자에게 지불함으로써 순천만과 그 주변에 추가되는 보호지역을 보전할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 MARXAN을 통해 선정된 추가 보호지역을 대상으로 전체 생태계 서비스의 가치를 산출하여 토지소유자에게 지불되어야 하는 금액을 분석하였다.

구체적으로 National Institute of Forest Science(2010), Ryu and Lee(2013), Ministry of Environment(2015)에서 도출된 각 기능별 단위 가치를 참고하고, 중복 될 시 평균하여 본 연구의 단위가치로 이용하고, 기존 순천만 습지보호지역에 추가되는 보호지역 내 산림과 논농사 지역의 면적을 적용하여 최종 가치를 도출하였다. 논농사 지역의 경우 논의 생태계 서비스 가치에 대한 자료가 부족하여 습지의 생태계 서비스 기능의 가치평가 결과도 함께 고려하였다. 조사결과 산림이 연간 제공하는 생태계 서비스는 1 ha 당 약 1,200만원이며, 논농사 지역은 약 2,300만원으로 나타났다(Table 1 and 2).

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 객관적 보호지역 우선순위 평가

MARXAN 100번 실행으로 찾은 100가지의 보호지역 추가 선정 안들 중에서 순천만에 가까운 지역들이 83번 이상 선택된 지역이 많아, 이 지역들은 절대적 보전이 필요한 핵심지역으로 선정되었다. 그리고 북쪽으로 갈수록 선택횟수

가 적어짐에 따라 완충지역, 전이지역으로 구분되었다(Figure 3). 이는 순천만 지역에 보호지역을 설정할 때, 만약 순천만 지역에서 가까운 지역이 제외 된다면 이 지역들을 대체할 만한 지역이 적음을 의미한다. 즉, 핵심지역의 대체불가능성(Irreplaceability)이 높음을 의미한다. 대체불가능성은 보호지역 선정 시 우선순위를 결정할 때 이용되는 개념으로 어떠한 지역이 가진 특성이 중요하여 다른 지역으로는 대체되기 어려울수록 큰 값을 가지게 된다(Naoe et al., 2015). 또한 기존 순천만 습지보호지역 주변이 핵심지역으로 선정된 이유는 보전목표를 이룰 수 있는 출현지점의 수가 많으며, 클러스터를 이루기 용이한 지역을 우선적으로 보호지역을 설정하려는 MARXAN의 특징과 직결되는 결과이다. 클러스터를 이루기 용이하다는 것은 경계 거리를 줄이면서 더 넓은 면적의 보호지역을 확보할 수 있음을 의미한다(Ardron et al., 2010; Mo et al., 2013).

그리고 순천만을 중심으로 동쪽, 서쪽, 북쪽이 핵심지역인 것으로 나타났고, 실제로 멸종위기종 조류도 많이 발견된 지역들이다. 이 결과를 통해 순천만 주변의 산림, 농업지역이 순천만에 찾아오는 멸종위기종 조류의 서식에 중요한 영향을 끼치고 있음을 알 수 있다. 따라서 이 지역에 대한 가치의 평가가 필요함을 알 수 있는 결과이다.

하지만 멸종위기종 1급이 포함되어있지만 순천만에서 상대적으로 먼 지역들은 선택횟수가 낮은 전이지역에 포함되는 것으로 나타났다. 이는 MARXAN에서 중요하게 여겨지는 효율성이 고려된 결과로, 생물종이 더 많은 지역을 보호하는 경향이 반영된 것이다(Game and Grantham, 2008). 한편 겨울철 조류 동시 센서스 자료에서 대규모 조류 출현지역을 분석에 추가한다면 이 지역들도 더 중요하게 고려되어 질 수 있을 것으로 판단된다.

추가 보호지역 후보들을 기존에 순천만 주변



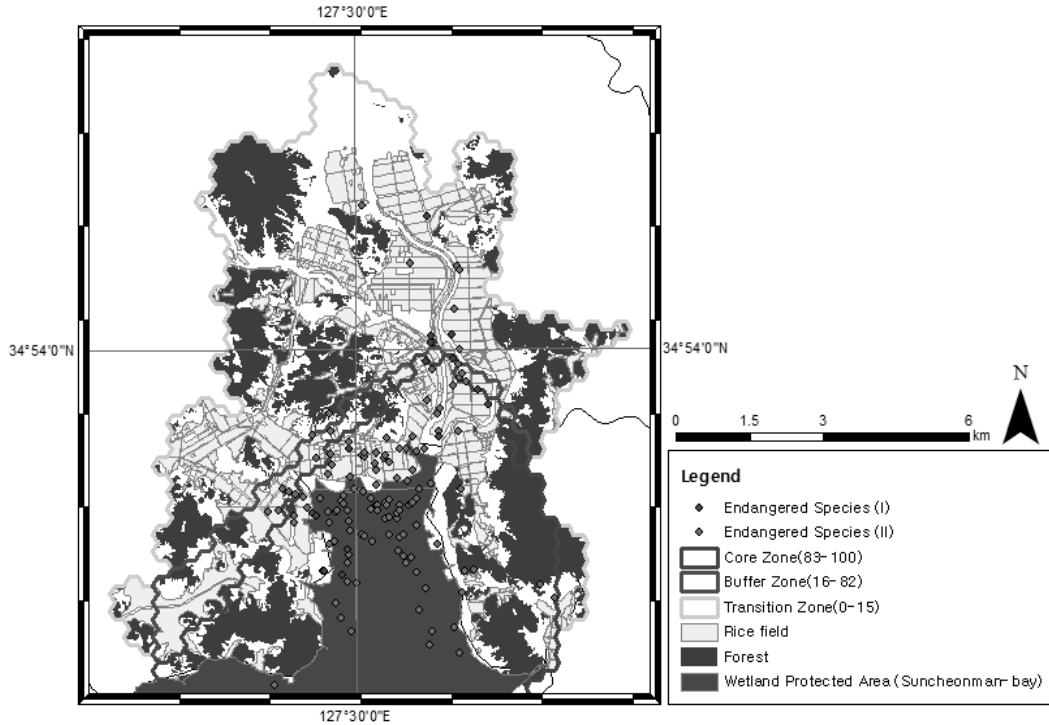


Figure 3. Additional protected areas using MARXAN in Suncheonman-Bay.  
(83-100: Core zone, 16-82: Buffer zone, 0-15: Transition zone)

지역에 설정되어있는 개발행위허가 제한지역, 문화재 보호구역, 생태계 보존지구 지역과 비교해보면, 핵심지역으로 선정된 지역 중 일부는 습지보호지역, 개발행위허가 제한지역, 문화재 보호구역, 생태계 보존지구와 중첩되어 선정된 지역으로 확인되었다. 완충지역은 핵심지역을 감싸고 있는 형태로 일부가 개발행위허가 제한지역, 생태계보존지구로 선정되어있다. 실제로 2015년 12월 23일 본 연구에서 핵심지역으로 나타난 순천만 북쪽 동천하구 지역은 추가로 습지보호지역으로 선정되어, 본 연구의 실제 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

그러나 순천만의 동쪽, 서쪽에 위치한 산림의 경우에는 현재는 어떠한 보호도 되고 있지 않은 지역이지만, 순천만에 서식하는 겨울철새 보호를 위해서 중요한 지역으로 나타났다. 이러한 결과는 기존에 추가 보호지역을 찾는 연구들에

서 많이 이용되는 GAP분석과도 같은 연구결과로 볼 수 있다(Lessmann et al., 2014). 또한 순천만 북쪽의 핵심, 완충지역은 대부분 지역이 논농사 지역임을 알 수 있다. 따라서 이러한 논농사지역이 순천만에 오는 겨울 철새 서식에 매우 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있다.

## 2. 제안된 보호지역 내 산림, 논농사 지역이 제공하는 생태계 서비스 가치와 PES 적용

앞서 도출된 추가 보호지역의 전체 면적은 약 4,700ha이며, 이 지역 내 산림과 논농사 지역이 제공하는 생태계 서비스의 가치는 약 823억 원이다(Table 3). 절대적인 면적은 전이지역이 크기 때문에 제공하는 생태계 서비스의 가치도 가장 많이 차지하고 있다. 하지만 생물종 서식에 대한 중요성은 핵심지역이 더 크므로 PES를 도입하는데 핵심지역에 더 큰 가중치를 둘 필요가 있다.

**Table 3.** Economic values of ecosystem services in the additional protected areas.

	Areas of forest(ha)	Ecosystem services values of forest (1,000won)	Areas of rice field(ha)	Ecosystem services values of rice field (1,000won)
Core zone	878	10,767,815	650	15,133,329
Buffer zone	156	1,913,178	288	6,714,844
Transition zone	1,426	17,495,221	1,302	30,328,493
Total	2,460	30,176,214	2,240	52,176,665
Total areas of the additional protected areas (ha)			4,700	
Ecosystem service values of the additional protected areas (1,000won)			82,352,879	

생태계 서비스 가치평가 결과를 구체적으로 살펴보면 가장 많은 가치를 지는 생태계서비스 기능은 생산기능과 기후조절 기능으로 각각 연간 약 162억 원과 233억 원의 가치를 지닌 것으로 추정된다. 그 이유는 순천만 주변지역이 대부분 논으로 많은 양의 농작물을 생산하고, 논과 산림의 식물들은 광합성을 통하여 이산화탄소 흡수 및 산소 배출로 기후변화를 일으키는 온실가스 감축에 기여하기 때문인 것으로 판단할 수 있다(Ryu and Lee, 2013).

Hwang et al. (2014)의 연구에 의하면 순천만의 가치는 약 1,700억 원 정도로 나타났다. 본 연구에 의한 전체 가치가 모든 생태계 서비스를 포함하지 못한 것을 감안하면 순천만 주변의 산림, 논농사 지역의 가치도 순천만만큼 매우 중요할 것으로 판단된다.

그리고 추가 보호지역의 전체 가치를 단위면적당 가치로 환산하면 연간 1ha당 약 1,750만원이다. 즉 PES의 개념을 도입하면 순천만 주변의 보호지역을 추가하기 위해서는 토지소유자에게 연간 최대 약 1,750만원/ha를 지불하여야 한다. 하지만 주로 논농사를 짓기 때문에 그로 인해 발생하는 논농사지역 2,240ha 지역의 혜택인 연간 공급서비스 비용 약 720만원/ha를 제외한다면, 최소 1,400만원/ha는 보호지역으로 지정하더라도 친환경공법, 범서 남겨두기 등 철새 서식지로서의 기능을 유지하기 위한 활동을 함에 대하여

토지소유자에게 보상을 해 주어야 할 것이다. 또한 PES는 해당 지역의 사유지뿐만 아니라 순천만의 생태, 경관 등을 소비하는 관광객에게 입장료, 관리보조금을 받는 형태로도 활용되어 도입할 수 있다. PES는 환경계획에 인센티브 또는 시장기반 메커니즘을 적용하여 소비자의 행동 변화에 인센티브를 부여하도록 적용될 수도 있기 때문이다(Jack et al., 2007; McElwee, 2012). 실제로 새롭게 습지보호구역으로 선정되는 동천하구의 경우 총 면적이 466ha로 하천뿐만 아니라 논농사, 폐염전 등 사유지 등이 포함된다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 지속가능한 순천만을 위하여 2003년, 2005년부터 2013년까지 출현한 멸종위기종 겨울 철새들의 출현자료를 바탕으로 하여, MARXAN을 이용한 객관적인 추가 보호지역 범위를 선정하였다. 그리고 선정된 추가 보호지역 내 산림과 논농사지역에서 제공되는 식량공급기능, 수원함양기능, 수질정화 기능, 침식방지 기능, 토사붕괴 방지기능, 기후조절 기능, 대기질 조절 기능, 서식처 지원 기능, 휴양 기능에 대한 생태계 서비스의 가치를 평가하여 PES 적용방안에 대하여 연구하였다.

연구결과, 순천만에 접해있는 동, 서, 북쪽에 있는 산림과 논농사 지역이 핵심지역으로 나타

났다. 그리고 점차 북쪽지역으로 갈수록 완충, 전이지역으로 선택되었다. 이는 순천시에서 앞으로 순천만 지역계획 수립 시 근거자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 최근 새로운 습지보호구역으로 지정된 동천하구 지역이 핵심지역으로 나타난 것을 보았을 때 연구에 대한 실효성을 확인할 수가 있었다. 본 연구에서 추가 보호지역으로 선정된 지역 내 산림과 논농사 지역의 생태계 서비스는 연간 1ha 당 약 1,750 만원인 것으로 나타났다. 이는 보전계획을 실행하면서 이 지역에 대한 PES 제도 도입 시 고려될 수 있을 것이다.

추가 호보지역 후보로 선정된 지역들을 대상으로 산림과 논농사지역의 생물종 서식측면에 중요성과 같은 기회요소, 그리고 도로로부터의 거리, 평균 관광객 수, 차량통행량 등과 같은 제한사항들 또는 그 외 숙박, 식당들의 위치 등 해당 지역의 특성들을 추가로 확인한다면 추가 보호지역 선정이 더욱 현실적으로 이루어 질 수 있을 것이다.

하지만 본 연구에서는 생물종 각 개별종의 출현 개체수를 포함하지 못하였다는 점에서 한계가 있다. 만약 개체 수까지 포함한 보전계획을 수립하고자 한다면 본 연구에서 멸종위기종 1급을 높은 보전목표로 세운 것과 마찬가지로, 적은 개체수를 보이는 생물종에 가중치를 매겨 보전목표를 수립하는 방안이 있을 수 있다. 이처럼 보전계획을 세울 때 계획단위를 이용하여 선정하는 연구는 생물종 출현지점이 시공간적으로 서식처를 반영하고 있다는 가정을 하고 있다 (Possingham et al., 2009). 그러나 생물종의 서식 특성을 완전히 반영하는 데에는 한계점을 가지고 있다(Carvalho et al., 2011).

방법론적 측면에서 핵심, 완충, 전이지역으로 구분하는 기준을 정함에 있어 본 연구에서 이용한 Natural Break jenks는 단일 데이터에는 이용될 수 있으나, 다양한 정보를 조합한 도면의 등급을 나누는 데에는 한계점을 가진다. 따라서

멸종위기종 뿐만 아니라 인간의 이용, 재해 등 다양한 목적을 포함한다면 다른 등급구분방법을 이용할 필요가 있다. 생태계 서비스 평가 측면에서는 본 연구에서 산출되지 못한 다른 생태계서비스들을 고려한다면 추가 보호지역으로 선정된 지역의 경제적 가치는 더욱 증가될 것으로 판단된다. 계획단위의 경우에도 본 연구와 같이 다소 큰 계획단위를 통하여 중요지역을 선정한 후, 지목단위까지 세부 분석이 이뤄진다면 실제 보전계획 및 관리방안을 세우는데 기여할 수 있을 것이다.

본 연구는 실제 생물종분포를 토대로 생물종 보전을 위하여 추가로 설정이 필요한 보호지역을 객관적인 방법을 이용하여 탐색하고, 추가로 보호가 필요한 지역에서 제공되는 여러 가지 생태계 서비스의 가치를 계산하여 PES 적용방안으로 고려했다는 점에서 의의가 있다. 이는 우리나라 보호지역 정책에 PES 체계를 도입하는데 근거자료로서 역할을 할 수 있을 것이라 사료되며, 앞으로 지속가능한 발전을 위한 보전계획을 세우는 데 있어 생태계에서 제공하는 혜택을 고려한 보호지역 선정 및 관리활동 수립에 참고가 될 것으로 판단된다.

## References

- Andam, K. S. · P. J. Ferraro · A. Pfaff · G. A. Sanchez-Azofeifa and J. A. Robalino. 2008. Measuring the effectiveness of protected area networks in reducing deforestation. *PNAS* 105(42): 16089-16094.
- Ardron, J. · H. P. Possingham and C. J. Klein. 2010. *Marxan Good Practices Handbook*. External Review Version 2. Victoria, BC, Canada.
- Ball, I. R. · H. P. Possingham and M. E. Watts. 2009. *Marxan and relatives: software for spatial conservation prioritization*. IN:

- Moilanen, A., Wilson, K., Possingham H. (Eds.), *Spatial Conservation Prioritization: Quantitative Methods and Computational Tools*. Oxford University Press, UK.
- Carvalho, S. B. · J. C. Brito · E. G. Crespo · M. E. Watts and H. P. Possingham. 2011. Conservation Planning under Climate Change: Toward Accounting for Uncertainty in Predicted Species Distributions to Increase Confidence in Conservation Investments in Space and Time. *Biological Conservation* 144(7): 2020-2030.
- Choi YS · Hur WH · Kim SH · Kang SG · Kim JH · Kim HJ · Son JS · Park JY · Yi JY · Kim CH · Kang JH and Han SH. 2012. Population Trends of Wintering Ducks in Korea, *The Korean Journal of Ornithology* 19(3): 185-200. (in Korean with English summary)
- Costanza, R. · D'Arge, R. · de Groot, R. S. · Farber, S. · Grasso, M. · Hannon, B. · Limburg, K. · Naeem, S. · O'Neill, R. V. · Paruelo, J. · Raskin, R. G. · Sutton, P. and van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature* 387: 253-260.
- de Groot, R. S. · Alkemade, R. · Braat, L. · Hein, L. and Willemsen, L. 2010. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making, *Ecological Complexity* 7: 260-272.
- Fajardo, J. · J. Lessmann · E. Bonaccorso · C. Devenish and J. Muñoz. 2014. Combined Use of Systematic Conservation Planning, Species Distribution Modelling, and Connectivity Analysis Reveals Severe Conservation Gaps in a Megadiverse Country (Peru). *PLoS ONE*, 9, e114367.
- Fajardo, J. · J. Lessmann · E. Bonaccorso · C. Devenish and J. Muñoz. 2014. Combined Use of Systematic Conservation Planning, Species Distribution Modelling, and Connectivity Analysis Reveals Severe Conservation Gaps in a Megadiverse Country (Peru)." *PLoS ONE* 9(12): e114367.
- Fisher, B. · R. T. Kerry and M. Paul. 2009. Defining and Classifying Ecosystem Services for Decision Making. *Ecological Economics* 68(3): 643-653.
- Freeman III A. M. 2003. *The Measurement of Environmental and Resource Value: Theory and Methods*, 2nd eds, An RFF Press book, Washington, DC. 137-160.
- Game, E. T. and H. S. Grantham. 2008. *Marxan User Manual: For Marxan Version 1.8.10*. University of Queensland, St. Lucia, Queensland, Australia, and Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver, British Columbia, Canada.
- Gray, J. M. 2013. Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature. ch. 10. *Geoconservation in the 'Wider Landscape'*, John Wiley & Sons, Ltd.
- Hwang M · Lee MK and Jung TY. 2014. The Economic Valuation of Ecosystem Restoration in Suncheon Bay. *J. Korean Env. Res. Tech.* 17(4): 69-79. (in Korean with English summary)
- Jack, B. K. · C. Kousky and K. R. E. Sims. 2007. Designing payments for ecosystem services: Lessons from previous experience with incentive-based mechanisms, *PNAS* 105(28): 9465-9470.
- Jenks, G. F. and F. C. Caspall. 1971. Error on choroplethic maps: Definition, measurement,

- reduction. *Annals of the Association of American Geographers*, 61(2): 217-244.
- Kong I and Lee DK. 2014. Establishment of Priority Forest Areas Based on Hydrological Ecosystem Services in Northern Vietnam. *J. Korean Env. Res. Tech.* 17(5): 29-41. (in Korean with English summary)
- Koo MH · Lee DK and Jung TY. 2012. A Study on the Contexts of Ecosystem Services in the Policymaking Process. *J. Korean Env. Res. Tech.* 15(5): 85-102. (in Korean with English summary)
- Korea Forest Research Institute. 2010. A Study on the Quantification of Environmental Benefits of Forest. (in Korean)
- Krutilla, J. V. 1967. Conservation reconsidered. *The American Economic Review* 57(4): 777-786.
- Lessmann, J. · J. Munoz and E. Bonaccorso. 2014. Maximizing Species Conservation in Continental Ecuador: A Case of Systematic Conservation Planning for Biodiverse Regions. *Ecology and Evolution* 4(12): 2410-2422.
- Levin, N. · T. Mazar · E. Brokovich · P-E. Jablon and S. Kark. 2015. Sensitivity analysis of conservation targets in systematic conservation planning. *Ecological Applications* 25: 1997-2010.
- Luck, G. W. · R. Harrington · P. Harrison · C. Kremen · P. M. Berry · R. Bugter · T. P. Dawson · F. de Bello · S. Diaz · C. K. Feld · J. R. Haslett · D. Hering · A. Kontogianni · S. Lavorel · M. Rounsevell · M. J. Samways · L. Sandin · J. Settele · M. T. Sykes · S. van den Hove · M. Vandewalle and M. Zobel. 2009. Quantifying the Contribution of Organisms to the Provision of Ecosystem Services. *BioScience* 59(3): 223-235.
- Martin, T. G. · J. L. Smith · K. Royle and F. Huettmann. 2010. Is Marxan the Right Tool?, *Marxan Good Practices Handbook*, Version 2. p. 12-13. Ardron, J.A., Possingham, H.P., and Klein, C.J. (eds). *Pacific Marine Analysis and Research Association*, Victoria, BC, Canada.
- Maxwell, L. T. 2011. An Application of Systematic Natural Heritage Planning for Biodiversity Protection in the National Capital Greenbelt Region. M. D. thesis, Queen's University.
- McElwee, P. D. 2012. Payments for Environmental Services as Neoliberal Market-Based Forest Conservation in Vietnam: Panacea or Problem? *Geoforum*. 43(3): 412-426.
- Milder, J. C. · S. J. Scherr and C. Bracer. 2010. Trends and future potential of payment for ecosystem services to alleviate rural poverty in developing countries, *Ecology and Society* 15(2): 4.
- Ministry of Environment. 2009. Landcover map.
- Ministry of Environment. 2015. Development of Natural Resources Valuation Assessment for Decision-Making Process. (in Korean with English summary)
- Mo Y · Lee DK · Kim HG · Baek GH and Nam S. 2013. Efficient Establishment of Protected Areas in Pyoungchang County, Kangwon Province to Support Spatial Decision Making. *J. Korean Env. Res. Tech.* 16(1): 171-180. (in Korean with English summary)
- Moilanen, A. · K. A. Wilson and H. P. Possingham. 2009. *Spatial Conservation Prioritization: Quantitative Methods and Computational Tools*. New York: Oxford University Press, UK.
- Naoe, S. · N. Katayama · T. Amano · M. Akasaka · T. Yamakita · M. Ueta · M. Matsuba and T. Miyashita. 2015. Identifying Priority Areas

- for National-Level Conservation to Achieve Aichi Target 11: A Case Study of Using Terrestrial Birds Breeding in Japan. *Journal for Nature Conservation* 24: 101-108.
- Nicholson, E. and O. Ovaskainen. 2009. Conservation prioritization using metapopulation models, IN: Moilanen, A., Wilson, K., Possingham H. (Eds.), *Spatial Conservation Prioritization: Quantitative Methods and Computational Tools*. Oxford University Press, UK.
- OECD. 2010. *Paying for Biodiversity: Enhancing the Cost-effectiveness of Payment for Ecosystem Services*.
- Possingham, H. P. · A. Moilanen and K. A. Wilson. 2009. Accounting for habitat dynamics in conservation planning. IN: Moilanen, A., Wilson, K., Possingham H. (Eds.), *Spatial Conservation Prioritization: Quantitative Methods and Computational Tools*. Oxford University Press, UK.
- Rees, S. E. · S. C. Mangi · C. Hattam · S. C. Gall · L. D. Rodwell · F. J. Peckett and M. J. Attrill, 2015. The socio-economic effects of a marine protected area on the ecosystem service of leisure and recreation, *Marine Policy* 62: 144-152.
- Ryu DH and Lee DK. 2013. Evaluation on Economic Value of the Greenbelt's Ecosystem Services in the Seoul Metropolitan Region, *Journal of the Korea Planning Association* 48(3): 279-292. (in Korean with English summary)
- Seppelt, R. · C. F. Dormann · F. V. Eppink · S. Lautenbach and S. Schmidt. 2011. A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead. *Journal of Applied Ecology* 48: 630-636.
- United Nations. 2015. *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development A/RES/70/1*. Goal 15.1. (sustainabledevelopment.un.org)
- Wunder, S. 2005. *Payment for Environmental Services: Some Nuts and Bolts*, Center for International Forestry Research(CIFOR), Occasional Paper 42: 3.