

InVEST 모델을 이용한 서식처 가치 평가*

- 제주도를 중심으로 -

김태연¹⁾ · 송철호¹⁾ · 이우균¹⁾ · 김문일¹⁾ · 임철희¹⁾ · 전성우¹⁾ · 김준순²⁾

¹⁾ 고려대학교 환경생태공학과 · ²⁾ 강원대학교 산림경영학과

Habitat Quality Valuation Using InVEST Model in Jeju Island*

Teayeon Kim¹⁾ · Cholho Song¹⁾ · Woo-Kyun Lee¹⁾ · Moonil Kim¹⁾ · Chul-Hee Lim¹⁾

Seong Woo Jeon¹⁾ and Joonsoon Kim²⁾

¹⁾ Department of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University,

²⁾ Department of Forest Management, Kangwon National University.

ABSTRACT

Jeju Island is managed intensively in terms of environmental and ecological aspect because of its extraordinary ecosystem types comprising numerous rare, protected flora and fauna. To depict rapid change of habitat status in Jeju Island, the InVEST Habitat Quality model has been operated and compared analytically with the Eco-Natural map. The Habitat Quality map of Jeju Island is turned out to have similar inclination with Eco-Natural map. We compared the average habitat quality value in each Eco-natural map class in Jeju Island and the habitat quality value of first second third grade and non-included area decreased as 0.95 0.76, 0.53 and 0.37 in eco natural map respectively. Compared to biodiversity map based on biological investigation, the result of the InVEST habitat quality model can be simply obtained by land cover map with threat and sensitivity data. Further studies are needed to make explicit coefficients for Jeju Island and Korean peninsula, then the Habitat Quality model could be applied to past and future scenarios to analyze extent of habitat degradation in time series to help decision makers.

* 이 논문은 2014년도 환경부 차세대 에코이노베이션 기술 개발사업의 지원으로 수행되었음(과제번호: 2012-00021-0001).

First author : Teayeon Kim, Dept. of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul, Korea,
Tel : +82-2-3290-3470, E-mail : tanya92@korea.ac.kr

Corresponding author : Woo-Kyun Lee, Dept. of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul, Korea,
Tel : +82-2-3290-3016, E-mail : leewk@korea.ac.kr

Received : 23 February, 2015. **Revised** : 12 October, 2015. **Accepted** : 25 October, 2015.

Key Words : *Biodiversity, Eco-Natural map, Land cover map, Ecosystem services, Environmental impact assessment.*

I. 서 론

최근 생태계 생물다양성은 인간의 활동으로 인한 서식처 변화, 서식처 파편화를 비롯하여 기후변화, 토지 이용 변화, 자원의 과잉 이용, 병원체 확산에 의해 빠르게 손실되고 있다(Hassan et al., 2005). 생물다양성은 직접적으로 생물로부터 얻는 자원과 희귀종의 보존 측면뿐만 아니라 생태계 서비스 제공 측면에서도 중요하게 인식되고 있다(Costanza et al., 1997; de Groot et al., 2002; MA, 2005). 생물다양성은 생태계 서비스를 원활하게 발휘하게 하며 생태계 복원력에 중요한 인자로 작용한다(Fischer et al., 2006; Geijzendorffer and Roche, 2013). 따라서 국가 및 지역 계획·개발 정책수립에서 여러 사회·경제적 요인과 더불어 생물다양성 지표를 중요한 인자로 고려하려는 경향이 커지고 있다(TEEB, 2009; UK NEA, 2011).

생물다양성 파괴 요인에는 다양한 요인이 있으며, 농경지 확장, 사회기반시설 개발, 벌채 등에 의한 산림 개간(clearing) 및 파괴(degradation)가 서식처 파괴의 주원인이다. 그 중 서식처 변화와 서식처 파편화가 생물다양성 파괴에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Hassan et al., 2005). 산림 계획 및 개발·보전 계획 정책 의사결정에서 다양한 개발·보전 시나리오의 생물다양성 손실을 예측하기 위해 토지피복에 따른 서식처의 가치를 종합적으로 평가하고 인간의 영향에 의해 서식처가 파괴되는 정도를 공간적으로 파악할 필요가 있다(Ferrier, 2002; Alkemade et al., 2009).

제주도의 특이한 자연 및 기후 환경은 생태관광지로써(Jung, 2005), 또한 특수 생물자원의 원산지로서 그 가치를 인정받고 있다(Jung, 2006).

따라서 제주도는 생물자원 보호 및 생물다양성 보전, 서식지 보호하기 위한 중장기 환경보전기본계획을 세우고 다양한 방법으로 환경자산의 가치보전을 위한 노력을 하고 있다(Jeju Special Self-Governing Province, 2013).

본 연구에서는 생태계 서비스 분야에서 전 세계적으로 다양한 연구에 의해 구동된 InVEST 모델 중 인간 활동에 의한 서식처의 영향을 파악할 수 있는 InVEST 서식처 가치평가 모델(Habitat Quality Model)을 이용하여 제주도의 서식처 가치를 평가하고, 구동 결과를 우리나라 전역에 걸쳐 생물다양성 및 생태 인자를 조사하여 지도화 한 생태·자연도와 비교하였다(Guerry et al., 2012; Bagstad et al., 2013; Leh et al., 2013; Baral et al., 2014). 고찰에서는 모델을 우리나라에 적용하는데 존재하는 한계점을 제시하고 앞으로 우리나라에 본 모델이 적용되기 위하여 필요한 선행 연구 및 모델의 미래 적용 가능성 및 활용도를 파악하고자 한다.

II. 연구의 재료 및 방법

1. 연구대상지

제주도는 우리나라에서 가장 큰 섬으로, 1,833km²의 면적을 가지며, 화산활동을 통해 만들어진 화산섬이다(Figure 1). 제주도는 유네스코 생물권보전지역('02), 세계자연유산('07), 지질공원('10) 등 국제적인 보호지역으로 지정되어 있으며(Jeon, 2014), 한라산국립공원, 도립해양공원, 천연보호구역, 천연기념물, 생태계보전지역 등 국내에서는 유일하게 5개의 보호지역으로 지정·보호되고 있는 지역이다(Yun, 2010).

최근 생태관광이 각광을 받으면서 제주도의 관광 서비스업의 비중이 제주도 총 생산의 1/4

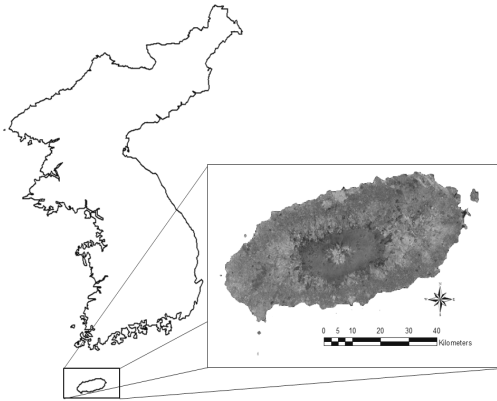


Figure 1. A Satellite image for the study area, Jeju Island (Source: Esri, 2015).

이상을 차지하는 등 제주도의 생태계 서비스 가치가 중요한 요소로 작용하고 있다(KOSIS, 2015). 생태적으로 가치가 높은 지역을 선별하고 정책적으로 과도한 개발로부터 보호함으로써 생태계 서비스 유지·증대 및 자연보전과 생태관광으로부터 얻는 경제적 이익 모두 얻을 수 있다(Jung, 2006). 뿐만 아니라 생물다양성협약(Convention on Biological Diversity)의 나고야의정서 채택에 따라 제주도의 아열대 환경에서만 발견되는 여러 생물자원의 이용 가능성 및 산업화 연구도 제주 생물종다양성연구소를 중심으로 활발하게 이루어지고 있다(Jung, 2005).

2. InVEST 모델

InVEST 모델은 의사결정자들의 정책 결정에 자연자산(Natural capital)과 생태계 서비스의 개념을 적용하는 것을 돕기 위한 목적으로 Natural Capital Project가 스탠포드 대학, Nature Conservancy와 World Wildlife Fund (WWF)와 공동으로 개발한 모델이다. InVEST 모델은 2008년 개발된 이후 지속적으로 보완되어 왔으며, 현재 최신 버전인 v.3.1.0에서는 서식처 가치 평가모델을 포함한 19가지 생태계 서비스를 평가할 수 있는 세부 모델들로 구성되어 개별적인 구동도 가능하다. 각 모형은 공간적으로 작성된

토지피복도를 기반으로 모델에 따라 토양, 기후 자료와 같은 생·물리적 환경 조건을 입력인자로 하여 구동되며, 일부 모델은 경제적 지표를 추가함으로써 분석하고자하는 지역의 생태계 서비스의 경제적 가치도 평가할 수 있다(Sharp et al., 2014).

3. InVEST 서식처 가치평가 모델

서식처 가치평가 모델은 공간적으로 구성된 토지피복도를 기반으로 인간 활동에 의한 각 위협요소와, 각 인자들의 상호작용을 평가하여 상대적인 서식처의 가치를 평가하고 지도화한다. 모델은 기본적으로 다음 세 가지 인자를 통해 서식처 파괴 정도를 계산하고, 토지피복별로 지정된 기본 서식처 가치에서 계산된 서식처 파괴 정도 값을 차감하여 최종 서식처 가치를 산출한다. 서식처 파괴 정도를 산정하는데 필요한 세 가지 인자는 첫째, 각 위협요인(Threat)의 상대적인 영향력과 최대 영향 거리, 둘째, 각 토지피복 인자의 위협요인에 대한 민감도(Sensitivity), 셋째, 서식처와 위협요인 사이의 거리이다.

InVEST 서식처 가치평가 모델에서 격자 x 에서의 위협인자 r 이 미치는 영향력 $i_{r,xy}$ 은 각 위협요소의 최대영향거리 d_{xy} . 즉 격자 x 와 격자 y 사이의 거리에 따라 식 (1)과 같이 지수적인 감소를 한다(Figure 2). D_{xj} 는 토지피복인자 j 내 격자 x 에서의 총 위협 수준으로 식 (2)와 같이 나타낼 수 있고, 서식처 적합성에 기초하여 서식처 가치 Q_{xj} 는 기본 서식처 가치인 H_j 에 1에서 총 위협수준을 빼서 구한 서식처 평가 지수를 곱하여 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다. 이 외에 추가적으로 법적, 사회적 보호지역 및 물리적 접근 불가능지역에 대한 접근성 정보 등을 추가 할 수 있다.

여러 서식처 평가, 생물다양성 평가 모델들과 마찬가지로 InVEST 서식처 가치평가 모델 또한 정성적인 결과를 도출하거나 정량적, 경제적

$$i_{r,xy} = \exp\left[-\left(\frac{2.99}{d_{max}}\right)d_{xy}\right] \quad (1)$$

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left(\frac{w_r}{\sum_{r=1}^R w_r}\right) r_x i_{r,xy} \beta_x \quad (2)$$

$$Q_{xj} = H_j [1 - D_{xj}] \quad (3)$$

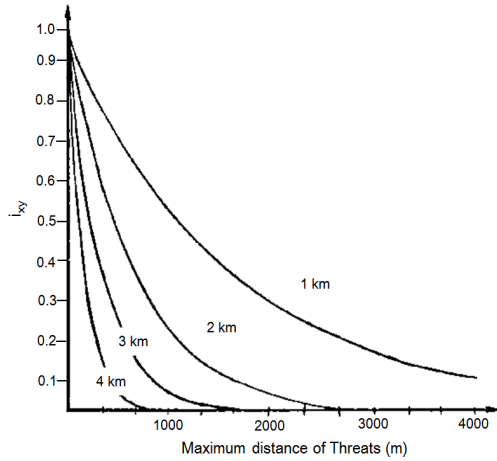


Figure 2. Exponential Decay of Threat Impact
(Source: Sharp et al., 2014).

가치를 도출해 낼 수 없다는 한계점을 가진다.

InVEST 서식처 가치평가 모델의 구동에 필요한 입력 자료는 총 6가지로 Table 1과 같다. 각 입력 자료는 모델에서 요구하는 형식에 맞추어 보정되었다. 우리나라 실정에 맞게 작성된 자료가 없는 경우에는 해외 선행 연구 자료

를 바탕으로 입력 자료를 구축하였고, 추가적 입력인자인 접근성(Accessibility) 정보는 제외하였다.

1) 토지피복도

환경부 EGIS(Environmental Geographic Information Service)에서 제공하는 중분류 토지피복도와 임상도의 임상, 영급자료를 이용하여 10m×10m 공간해상도의 토지피복도를 구축하고(Jeon et al., 2013), 산림 지역을 대상으로 서식처 가치평가를 수행하였다.

또한 Global Land Cover 2000 (Bartholome et al., 2004)의 토지피복 분류기준을 참고하고, 타 지역에 비해 과수원과 역새군락(Flame grass colony)이 많이 분포하는 제주도의 특성을 반영하여 토지피복코드를 재분류하였다(Figure 3). 관개가 필요한 논과 시설재배지는 집약적 농업지역(Intensive agriculture), 밭과 과수원은 조방적 농업지역(Low-input agriculture)으로 구분하였다. 산림은 크게 자연림(Natural forest)과 인공림(Forest plantation)으로 구분하였으며, 각 구분 내에서 영급별(1-2영급, 3-4영급, 5-6영급)로 구분하여 산림 지역을 총 6가지로 구분하였다. 초지는 자연초지(Natural grassland), 역새군락, 인공초지(Man-made pastures), 방목지/목초지(Livestock grazing pastures)로 구분하였으며 수계 및 습지는 본 분석에서 제외하였다.

Table 1. Input data and format of InVEST Habitat Quality model

Input Data	Format	Reference
Land cover map	Raster file	Jeon et al., 2013
Source of threats	Raster file	
Threat data	Table(csv)	Hulse et al., 2002
Sensitivity and base habitat quality data	Table(csv)	Alkemade et al., 2009 Terrado et al., 2015
Half saturation constant	Number	Sharp et al., 2014
(optional) Accessibility	Shapefile	-

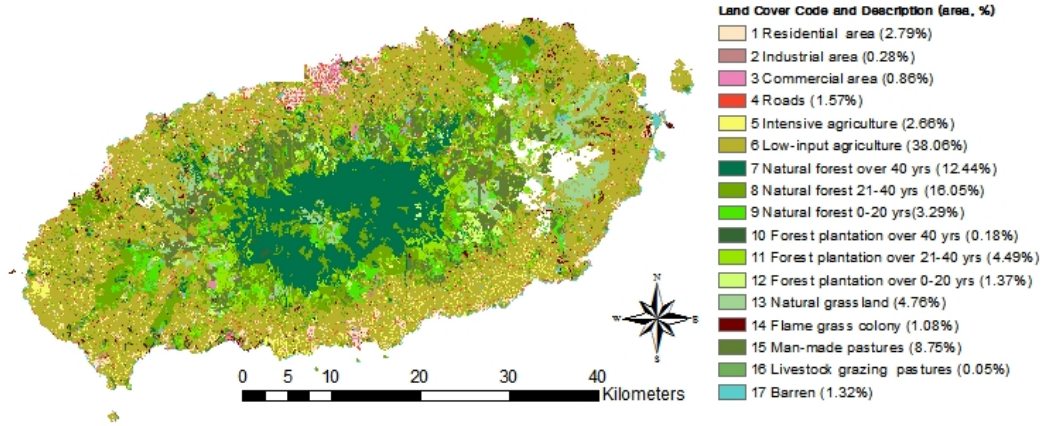


Figure 3. Land cover map of Jeju Island.

2) 기본 서식처 가치

Alkemade et al. (2009)는 전 세계를 대상으로 GLC 2000의 토지피복에서의 평균 종 풍부도(MSA, mean species abundance)를 분석하여 기본 서식처 가치 값을 산정하였으며, Terrado et al. (2015)은 지중해 근처의 Llobregat 강 유역의 토지피복별 서식처 가치를 전문가 자문을 통해 평가하였다(Table 2). 본 연구에서는 위 두 논문을 비교·대조하고, 또한 제주도의 특성을 고려하여 토지피복 분류에 따른 기본 서

식처 가치 값으로 설정하였다(Table 3).

주거지역, 공업지역, 상업지역, 도로는 인간의 영향이 많이 미친 지역으로 서식처로서의 가치가 없다고 생각되어 기본 서식처 가치를 0으로 설정하였고, 농경지는 집약적 농업지역과 조방적 농업지역으로 나누어 각각 기본 서식처 가치를 지정하였다. 산림은 자연림과 인공림으로 나누어 임령별로 값을 차등 지정하였다. 초지는 자연초지와 역새군락은 1, 인공초지는 0.1, 그리고 방목지/목초지는 0.7로 지정하였다.

Table 2. Base habitat quality for each land cover in other studies.

Alkemade et al. (2009)			Terrado et al. (2015)		
Land cover description	Value	Standard error	Land cover description	Value	Standard deviation
Primary forest	1	<0.01	Forest	0.93	0.11
Secondary forest	0.5	0.03			
Forest plantation	0.2	0.04			
Primary grassland	1	<0.01	Grass/Shrubland	0.72	0.12
Livestock grazing	0.7	0.05			
Man-made pastures	0.1	0.07			
Low-input agriculture	0.3	0.12	Ag. non-irrigated	0.55	0.12
Intensive agriculture	0.1	0.08	Ag. irrigated	0.40	0.12
Artificial surfaces	0.05		Urban	0.15	0.07

3) 위협요소 및 민감도 자료

위협요소인 도시지역, 농경지, 주거지, 도로 등은 토지피복도를 기준으로 작성하였다. 도시지역(Urban area)은 토지피복도 분류 기준 공업지역, 상업지역, 문화체육휴양시설, 그리고 공공시설 지역을 추출하였고, 농경지(Cropland)는 토지피복도 분류 기준 논, 밭, 시설재배지, 과수원, 그리고 기타재배지를 추출하였다. 주거지(Residential area)는 토지피복도 분류 기준 주거지역을 추출하였다. 도로는 토지피복도에서 하나의 교통지역으로 나타난 것을 전국표준노드링크자료(National Transport Information Center, 2015)를 참조하여

대로(Primary roads), 중로(Secondary roads), 소로(Light roads)로 구분하여 사용하였다.

기본 서식처 가치와 마찬가지로 위협요소의 가중치와 최대영향거리, 그리고 각 토지피복의 위협요소에 대한 민감도 또한 Terrado et al. (2015)에서 전문가 자문을 통해 얻은 값을 참고하여 지정하였으며, 각각에 대한 값은 Table 3 과 같다. 문헌에서 제시하지 않은 주거지역의 위협요인 및 민감도 자료는 도시지역 값의 약 60% 수준으로 설정하였으며, 도로의 경우 중로의 값을 문헌과 같은 값으로 설정하고 대로와 소로는 이보다 크거나 작게 설정하였다.

Table 3. Sensitivity and threat data for each land cover code.

Type	Lulc code	Description for each land cover code	Base HQ	Sensitivity for each threat					
				urb	rr	crp	prds	srds	lrds
Threat		Weight	-	1.00*	0.60	0.68*	1.00	0.71*	0.50
		Maximum distance (km)	-	7.1*	5.0	4.0*	4.0	2.9*	0.5
Sensitivity	1	Residential area	0	0	0	0	0	0	0
	2	Industrial area	0	0	0	0	0	0	0
	3	Commercial area	0	0	0	0	0	0	0
	4	Roads	0	0	0	0	0	0	0
	5	Intensive agriculture	0.2	0.69	0.59	0.03	0.69	0.59	0.49
	6	Low-input agriculture	0.4	0.69*	0.59	0.03*	0.69	0.59*	0.49
	7	Natural forest over 40 yrs	1	0.80	0.70	0.65	0.83	0.73	0.63
	8	Natural forest 21-40 yrs	1	0.85*	0.75	0.70*	0.88	0.78*	0.68
	9	Natural forest 0-20 yrs	0.5	0.90	0.80	0.75	0.93	0.83	0.73
	10	Forest plantation over 40 yrs	1	0.85	0.75	0.70	0.88	0.78	0.68
	11	Forest plantation over 21-40 yrs	0.5	0.90	0.80	0.75	0.93	0.83	0.73
	12	Forest plantation over 0-20 yrs	0.5	0.95	0.85	0.80	0.98	0.88	0.78
	13	Natural grassland	1	0.65	0.55	0.57	0.70	0.60	0.50
	14	Flame grass colony	1	0.65	0.55	0.57	0.70	0.60	0.50
	15	Man-made pastures	0.1	0.80	0.70	0.72	0.85	0.75	0.65
	16	Livestock grazing pastures	0.7	0.75*	0.65	0.67*	0.80	0.70*	0.60
	17	Barren	0	0	0	0	0	0	0

urb: Urban area, rr: Residential area, crp: Cropland, prds: Primary roads, srds: Secondary roads, lrds: Light roads
*value from Torredo et al. (2015)

산림과 초지의 경우 문헌에서 각각 하나의 토지피복으로만 나타내었지만 본 연구에서는 산림 지역을 여러 토지피복으로 나누었으므로 각 토지피복별 민감도를 재설정하였다. 산림의 경우 자연림 3-4등급의 민감도를 문헌에서의 산림 민감도 값으로 설정, 본 값을 기준으로 자연림보다는 인공림이, 그리고 구분 내에서는 임령이 낮을수록 생태계 탄력성이 낮기 때문에 위협요소에 대한 민감도가 크다고 가정하여 민감도를 지정하였다. 초지는 방목지/목초지의 민감도를 문헌에서의 초지 민감도 값을 참고하여 지정하였으며, 같은 논리로 자연 초지는 민감도를 보다 낮게, 인공 초지는 보다 높게 지정하였다.

4. 연구 및 검증 방법

구축된 입력 자료를 바탕으로 ArcMap 10.2를 이용하여 InVEST 서식처 가치 평가 모델을 구동하였다. 결과로 나온 서식처 가치평가 지도를 생태·자연도의 1, 2, 3등급 지역 및 그 외의 지역으로 구분하여 지역 네 지역의 서식처 가치 값의 평균을 비교하였다(Figure 4).

이때 사용된 생태·자연도는 전국의 자연환경조사 결과를 기초로 3년마다 작성되며, 식생, 멸종위기 야생동·식물, 습지, 지형 네 가

지 항목을 기준으로 전국을 1, 2, 3등급 권역으로 지정하여, 토지이용 및 개발 계획의 수립이나 시행에 활용하는 것을 목적으로 하고 있다. 생태·자연도는 자연환경 중 생태적 가치, 자연성, 경관적 가치가 높은 지역(62,868km², 우리나라 국토의 약 63%)만을 선택하여 세 등급으로 분류하고 있다(Ministry of Environment, 2009). 생태·자연도는 생물조사 자료를 기반으로 하고 있으므로 제주도 및 우리나라 전체의 실제 생물 서식처를 일부 파악하는 자료로 볼 수 있어, 작성된 서식처 가치평가지도와 비교를 통해 모델 구동 결과의 국내 적용 가능성을 평가하는 데 쓰일 수 있을 것으로 판단되었다. 연구에서 이용한 생태·자연도는 2004년부터 2010년까지의 각종 생태계조사 결과를 반영한 것으로(Ministry of Environment, 2013), 모델에서 이용한 2011년에 제작된 제 4차 토지피복도와 시기적으로도 비교가 가능한 것으로 볼 수 있다.

III. 결과 및 고찰

1. 서식처 가치평가 구동 결과

InVEST 서식처 가치평가 모델을 구동하여 얻은 결과는 서식처 가치가 가장 낮은 지역을

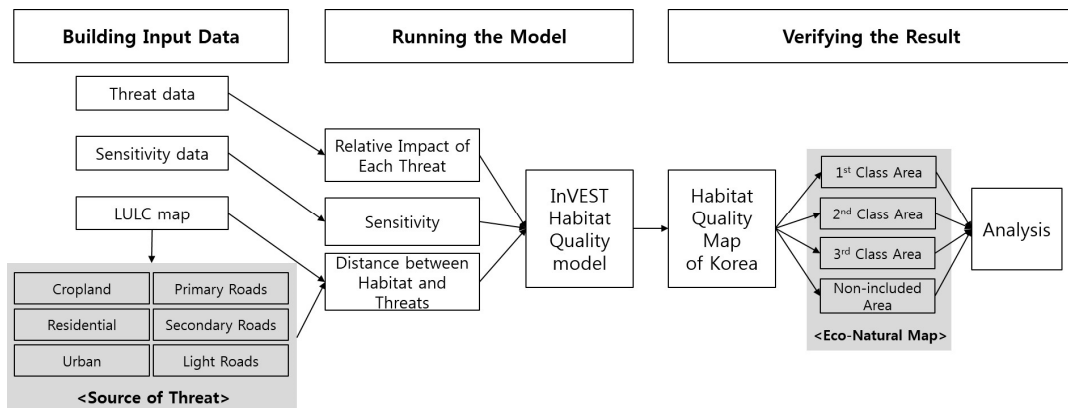


Figure 4. Research Flowchart.

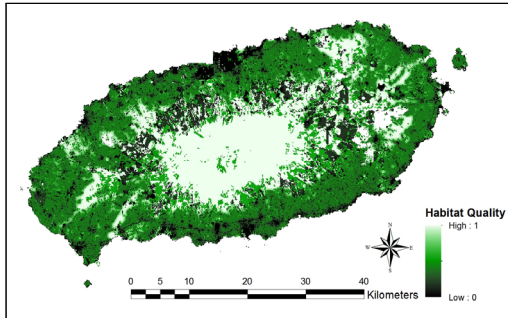


Figure 5. Habitat Quality Map of Jeju Island.

나타내는 0값에서 가장 높은 지역의 1값을 가지는 지수로 나타냈다. 0에서 1의 값에 색이 점진적으로 변하도록 설정하여 지도에 표현하였다(Figure 5). 지도를 통해 제주시와 서귀포시 등 도심지역 주변으로 서식처 가치가 집중적으로 낮게 나오는 것을 파악할 수 있었다. 또한 한라산 국립공원의 경계를 뚜렷하게 관찰할 수 있었으며, 제주도 동북쪽에 위치하는 구좌읍 등 높은 서식처 가치를 가지는 부분을 구분하여 나타낼 수 있었다. 모델 구동 결과인 서식처 가치평가 지도는 입력 자료인 토지피복도와 각 토지피복의 기본 서식처지도와 비슷하지만 위험인자와의 경계 부분에서 점진적으로 서식처 가치가 감소하여 나타났다.

2. 생태·자연도와의 비교

1, 2, 3등급의 비연속적인 그룹으로 나타나는 생태·자연도와 다르게 InVEST 서식처 가치평가 지도는 0에서 1의 연속적인 값을 표출한다. 따라서 두 지도를 비교하기 위해 생태·자연도의 1, 2, 3등급 및 생태·자연도에 포함되지 않는 지역에서의 평균 서식처 가치평가 값을 구하여 비교하였다(Figure 6). 비교를 통해 생태·자연도의 등급이 낮은 지역에서 더 낮은 평균 서식처 가치 값을 나타내며, 따라서 두 지도가 비슷한 경향을 가지는 사실을 알 수 있었다.

생태·자연도는 식물 및 동물의 서식처 자료

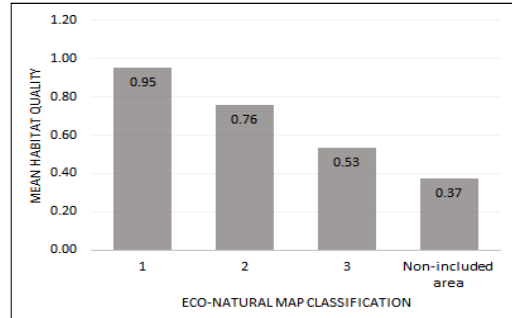


Figure 6. Mean Habitat Quality in each Eco-Natural Map Class.

이외에도 습지, 지형 등을 고려하므로 직접적으로 서식처의 가치를 나타내지 않는다는 한계를 가지고 있다. 하지만 생태·자연도가 동식물의 서식처 자료를 기반으로 만들어졌으며 전국토를 대상으로 하기 때문에 두 지도가 비슷한 경향을 가지는 것을 확인함으로써 후속 연구를 통한 InVEST 서식처 가치 평가 모델의 국내 적용 가능성을 확인하였다.

3. 모형의 한계 및 적용방안

InVEST 서식처 가치평가 모델을 구동할 때 해외 문헌의 값을 참고하여 기본 서식처 가치 및 위험요인에 대한 민감도 자료를 작성하였기 때문에 결과 값이 제주도의 실제 서식처 가치를 직접적으로 반영하고 있지 않다는 것이 최대 한계점이라고 할 수 있다. 뿐만 아니라 제주도의 서식처를 파괴하는 주된 위험요인의 가중치 및 최대 영향 거리 또한 해외의 사례 중 제주도에서도 일반적으로 적용될 수 있는 위험요인을 적용하였으므로, 실제와는 차이가 있을 수 있다.

위의 한계점을 극복하기 위하여 생물자원조사(Alkemade et al., 2009), 원격탐사 자료(Krishnaswamy et al., 2009) 및 전문가 자문(Terrado et al., 2015) 등을 통한 선행 연구를 통해 우리나라 실정에 맞는 다음 계수 설정이 이루어져야 한다.

- 1) 토지피복 별 기본 서식처 가치 평가
- 2) 서식처 파괴 요인과 각 요인 별 서식처 파괴 가중치와 최대 영향 거리
- 3) 토지피복 별 서식처 파괴 요인에 대한 민감도

하지만 위에서 제시한 한계점에도 불구하고 InVEST 서식처 평가 모델은 위의 선행 연구를 통해 구할 수 있는 계수를 입력한다면, 토지피복지도를 바탕으로 생물조사를 통한 생물다양성지도보다 비교적 간단하게 서식처 가치를 평가할 수 있는 장점을 가지고 있다(Faith et al., 2004). 또한 현재의 토지피복뿐만 아니라 과거 토지피복, 시나리오 예측을 통한 미래 토지피복 변화를 입력인자로 하여 과거, 미래의 서식처 가치도 평가할 수 있을 것으로 예상된다(Sharp et al., 2014).

제작된 현재 및 과거, 미래의 서식처 가치평가 지도는 생태계서비스 및 생물다양성 요소를 고려한 개발·보전 관련 의사결정을 지원할 수 있을 것으로 생각된다. InVEST 모델을 구동하여 얻은 서식처 가치 지도는 값이 0에서 1로 점진적으로 증가하므로 여러 지역의 상대적인 서식처 가치를 비교할 수 있으며, 토지피복도를 기반으로 한 다른 생태계서비스와 함께 평가가 가능하므로 의사결정자들이 쉽게 이해할 수 있기 때문이다(Song et al., 2015).

IV. 결 론

본 연구에서는 해외에서 개발된 InVEST 서식처 가치평가 모델을 국내 제주도에 적용하여 한계 및 활용도를 알아보려고 하였다. 환경부 토지피복도를 기본 입력 자료로 하여 모델에서 필요로 하는 계수는 해외의 연구를 참고하여 입력 및 새로이 작성하였다. InVEST 모델은 현재도 개발, 보전을 거치고 있는 모델이며, 국내에 비교·검증 할 수 있는 서식처, 혹은 생물다

양성 지도 제작에 대한 연구가 많이 존재하지 않기 때문에(Kim et al., 2012) 본 연구에서 구한 서식처 가치평가 구동 결과에는 많은 한계점이 존재한다. 그럼에도 불구하고 손쉬운 구동 방법과 과거 및 미래 시나리오 적용 등의 장점을 가지므로(Sharp et al., 2014), 필요한 선행 연구를 통해 우리나라 실정에 맞는 계수가 개발된다면 생물자원조사의 보완 및 개발·보전 관련 의사결정 지원 등 모델의 활용성이 높을 것으로 생각된다. 선행 연구의 경우 생물자원조사, 원격탐사 자료 활용 뿐 아니라 Terrado et al. (2015)과 같이 전문가 설문조사를 통해서도 이루어질 수 있다.

References

- Alkemade, R. · Van Oorschot, M. · Miles, L. · Nellesmann, C. · Bakkenes, M. and ten Brink, B. 2009. GLOBIO3: A framework to investigate options for reducing global terrestrial biodiversity loss. *Ecosystems* 12(3): 374-390.
- Bagstad, K. J. · Semmens, D. J. and Winthrop, R. 2013. Comparing approaches to spatially explicit ecosystem service modeling: A case study from the San Pedro River, Arizona. *Ecosystem Services* 5: 40-50.
- Baral, H. · Keenan, R. J. · Sharma, S. K. · Stork, N. E. and Kasel, S. 2014. Spatial assessment and mapping of biodiversity and conservation priorities in a heavily modified and fragmented production landscape in north-central Victoria, Australia. *Ecological Indicators* 36: 552-562.
- Bartholome, E. · Eickhout, B. · Beuchle, R. · Eva, H. · Fritz, S. · Hartley, A. · Mayaux, P. · Stibig, H-J. 2004. Global land cover for the year 2000. European Commission, Joint Research Centre.
- Costanza, R. · d'Arge, R. · de Groot, R. · Farber,

- S. · Grasso, M. · Hannon, B. · Limburg, Karin. · Naeem, S. · O'Neill R. V. · Paruelo, J. · Raskin, R. G. · Sutton, P. and Belt, M. V. D. 1998. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- de Groot, R. · Wilson, M. A. and Boumans, R. M. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics* 41(3): 393-408.
- Faith, D. P. · Ferrier, S. and Walker, P. A. 2004. The ED strategy: how species-level surrogates indicate general biodiversity patterns through an 'environmental diversity' perspective. *Journal of Biogeography* 31(8): 1207-1217.
- Ferrier, S. 2002. Mapping spatial pattern in biodiversity for regional conservation planning: where to from here? *Systematic biology* 51(2): 331-363.
- Fischer, F. · Lindenmayer, D. B. and Manning, A. D. 2006. Biodiversity, ecosystem function, and resilience: ten guiding principles for commodity production landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment* 4: 80-86.
- Geijzendorffer, I. R. and Roche, P. K. 2013. Can biodiversity monitoring schemes provide indicators for ecosystem services? *Ecological Indicators*. 33: 148-157.
- Guerry, A. D. · Ruckelshaus, M. H. · Arkema, K. K. · Bernhardt, J. R. · Guannel, G. · Kim, C. K. · Marsik, M. · Papenfus, M. · Toft, J. E. · Verutes, G. · Wood, S. A. · Beck, M. · Chan, F. · Chan, K. M. A. · Gelfenbaum, G. · Gold, B. D. · Halpern, B. S. · Labiosa, W. B. · Lester, S. E. · Levin, P. S. · McField, M. · Pinsky, M. L. · Plummer, M. · Polasky, S. · Ruggiero, P. · Sutherland, D. A. · Tallis, H. · Day, A. and Spencer, J. 2012. Modeling benefits from nature: using ecosystem services to inform coastal and marine spatial planning. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management* 8(1-2): 107-121.
- Hassan, R. · Scholes, R. and Ash, N. 2005. *Ecosystems and human well-being: current state and trends: finding of the Condition and Trends Working group*. Washington D.C: Island Press.
- Hulse, D. · Gregory, S. and Baker, J. 2002. *Willamette River Basin Planning Atlas: Trajectories of environmental and ecological change*. Oregon: Oregon State University Press.
- Jeju Special Self-Governing Province. 2013. *The framework ordinance on environment*. (in Korean)
- Jung YH. 2005. Conservation and utilization of Jeju biodiversity. *Proceedings of the 37th conference of Korean Journal of Breeding Science*. Jeju: Korean Journal of Breeding Science. p. 89. (in English)
- Jeon SW · Kim JU and Jung HC. 2013. *A Study on the Forest Classification for Ecosystem Services Valuation -Focused on Forest Type Map and Landcover Map-*. The Korea Society of Environmental Restoration Technology 16(3): 31-39. (in Korean with English summary)
- Jeon YM. 2014. *UNESCO triple crown Jeju, Jeju World Natural Heritage Center*. (in English)
- Jung HJ. 2006. A prospect of ecotourism as a sustainable future strategy for Jeju Special-Governing Province. *Journal of the Korean Urban Geographical Society* 9(3): 57-68. (in English with Korean summary)
- Kim JY · Seo CW · Kwon HS · Ryu JE and Kim

- MJ. 2012. A study on the species distribution modeling using national ecosystem survey data. *Journal of Korean society of environmental impact assessment* 21(4): 593-607. (in Korean with English summary)
- Korean Statistical Information Service(KOSIS). 2015. <http://kosis.kr/>
- Krishnaswamy, J. · Bawa, K. S. · Ganeshiah, K. N. and Kiran, M. C. 2009. Quantifying and mapping biodiversity and ecosystem services: Utility of a multi-season NDVI based Mahanobis distance surrogate. *Remote Sensing of Environment* 113: 857-867.
- Leh, M. D. · Matlock, M. D. · Cummings, E. C. and Nalley, L. L. 2013. Quantifying and mapping multiple ecosystem services change in West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 165: 6-18.
- Millennium Ecosystem Assessment (MA). 2005. *Ecosystems and Human Well-being. Millennium Ecosystem Assessment*. Washington D.C.: Island Press.
- Ministry of Environment. 2009. Drawing guideline of Eco-natural map. (in Korean)
- Ministry of Environment. 2013. Revision of a part for Eco-natural map. (in Korean)
- National Transport Information Center. 2015. <http://nodelink.its.go.kr/data/data01.aspx> (in Korean)
- Sharp, R. · Tallis, H. T. · Ricketts, T. · Guerry, A. D. · Wood, S. A. · Chaplin-Kramer, R. · Nelson, E. · Ennaanay, D. · Wolny, S. · Olwero, N. · Vigerstol, K. · Pennington, D. · Mendoza, G. · Aukema, J. · Foster, J. · Forrest, J. · Cameron, D. · Arkema, K. · Lonsdorf, E. · Kennedy, C. · Verutes, G. · Kim, C. K. · Guannel, G. · Papenfus, M. · Toft, J. · Marsik, M. · Bernhardt, J. · Griffin, R. · Glowinski, K. · Chaumont, N. · Perelman, A. · Lacayo, M. · Mandle, L. · Griffin, R. and Hamel, P. 2014. InVEST tip User's Guide. Stanford: The Natural Capital Project.
- Song CH · Lee WK · Choi HA · Jeon SW · Kim JW · Kim JS · Kim JT. 2015. Application of InVEST water yield model for assessing forest water provisioning ecosystem service. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 18(1): 120-134.
- Terrado, M. · Sabater, S. · Chaplin-Kramer, B. · Mandle, L. · Ziv, G. and Acuña, V. 2015. Model development for the assessment of terrestrial and aquatic biodiversity in conservation planning. *Science of the total environment* (in press).
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB). 2009. *TEEB for national and international policy makers*. Geneva: United Nations Environment Programme.
- UK National Ecosystem Assessment. 2011. *The UK National Ecosystem Assessment Technical Report*. Cambridge: UNEP-WCMC.
- Yun YT. 2010. The trio of life-eco-peace played in Jeju Island. *Journal of the Daedong Philosophical Association* 51: 51-77. (in Korean)