

Research Paper

도시개발에 따른 생태계서비스 가치 평가 연구: 부산 에코델타시티 사업을 대상으로

최지영* · 이영수** · 이상돈*

이화여자대학교 환경공학과*, 한국환경정책·평가연구원**

A Study on the Ecosystem Services Value Assessment According to City Development: In Case of the Busan Eco-Delta City Development

Jiyoung Choi* · Youngsoo Lee** · Sangdon Lee*

Dept. of Environmental Science and Engineering, Ewha University*
Korea Environment Institute (KEI)**

요약: 현재 국내 환경영향평가의 자연환경생태분야는 정량적 평가가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 개발계획에 따른 생태계서비스의 정량적 평가를 위해 부산 에코델타시티 개발사업을 대상으로 사업 전과 후에 대해 평가하였다. 기후변화 적응의 일환인 탄소고정량 변화량 측정과 생물다양성 지표인 서식처 질에 대해 InVEST 모델을 활용하여 중첩평가를 하였고, 토지이용계획에 따른 3개의 대안을 비교하였다. 연구결과 2000년의 탄소고정량은 216,674.48 Mg of C, 2015년에는 203,474.25 Mg of C로 약 6.1% 감소된 것으로 도출되었으며, 2030년에는 2015년 대비 약 40%가 감소하여 120,490.84 Mg of C로 예측되었다. 3개의 대안평가에서 대안 3이 6,811.31 Mg of C로 탄소고정량이 가장 보존되는 대안으로 도출되었다. 그리고 서식처 평가결과 또한 시간흐름에 따라 감소되는 경향을 보였다. 연구지역의 2000년의 서식처 질은 0.57, 2015년에는 0.35, 그리고 2030년에는 0.21로 도출되었다. 그리고 대안 3이 0.21의 값으로 대안들 중 서식처 질이 가장 높은 방안으로 판단된다.

결과적으로 본 연구는 토지이용변화에 따른 생태계 정량화 값을 통해 개발계획자들과 지역주민의 의사결정 과정에 도움을 줄 수 있는 방법론으로 사료된다. 환경영향평가 항목 중 토지이용계획, 온실가스, 자연환경자산 항목에 활용이 가능하며, 또한, 환경변화에 따른 생태계서비스의 수치화와 예측으로 정책적인 자료로 활용이 가능하다. 추후 보다 세밀한 분석과 기초자료의 접근가능성 부분이 보충된다면, 환경영향평가에서 생태계서비스 평가기법에 적용성이 높아질 것으로 사료된다.

주요어: 탄소고정량, 기후변화 적응, Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST), 환경영향평가

Abstract: Natural environmental ecology of the environmental impact assessment (EIA) is very much lacking in quantitative evaluation. Thus, this study attempted to evaluate quantitative assessment for ecosystem service in the site of Eco-delta project in Busan. As a part of climate change adaptation, this study evaluated and compared with the value for carbon fixation and habitat quality using the InVEST model before and after development with three alternatives of land-use change.

Carbon fixation showed 216,674.48 Mg of C (year 2000), and 203,474.25 Mg of C (year 2015) reducing about 6.1%, and in the future of year 2030 the value was dropped to 120,490.84 Mg of C which is 40% lower than year 2015. Alternative 3 of land use planning was the best in terms of carbon fixation showing 6,811.31 Mg of C. Habitat quality also changed from 0.57 (year 2000), 0.35 (year 2015), and 0.21 (year 2030) with continued degradation as development goes further. Alternative 3 also was the highest with 0.21(Alternative 1 : 0.20, Alternative 2 : 0.18).

In conclusion, this study illustrated that quantitative method for land use change in the process of EIA can help decision making for stakeholders and developers with serving the best scenario for low impact of carbon. Also it can help better for land use plan, greenhouse gas and natural environmental assets in EIA. This study could be able to use in the environmental policy with numerical data of ecosystem and prediction. Supplemented with detailed analysis and accessibility of basic data, this method will make it possible for wide application in the ecosystem evaluation.

Keywords : Carbon Fixation, Climate change Adaptation, Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST), EIA

I. 서론

1. 연구의 배경

최근 밀레니엄 생태계서비스의 기본적인 전제에서 생물다양성은 생물자원과 회복력의 기반으로 정의될 만큼 중요하게 인식되고 있으며, 기후변화적응의 일환으로 토지이용변화에 따른 탄소량 분석기법은 지속적으로 연구되고 있다. 국외에서는 국가 및 지역 개발정책 수립단계에서 생태계서비스 지표가 중요한자로 고려되어 정책 기초자료로 평가되고 있다(TEEB 2009). 국내에서도 개발에 따른 생태계서비스의 다양한 평가 기법들 중에서 InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) 모델을 사용하여 지역~국가적 단위의 평가가 가능하여 국내에서도 적용 가능성이 높은 기법이다.

InVEST 모델은 다양한 생태계서비스 평가·예측이 가능하고, 이 중 Habitat Quality 모델은 생물다양성을 측정하는 지표로 연구지역의 생물다양성 가치평가를 받고 있다(Nelson et al. 2009; Polasky et al. 2011; Bhabati et al. 2014; Duarte et al.

2016; Gao et al. 2017; Yi et al. 2018). 그리고 Carbon 모델은 탄소고정량을 평가하여 기후변화 적응 역할을 맡고 있다(Choi et al. 2014; Shoyama & Yamagata 2014; Tao et al. 2015; Roh 2016; Yi et al. 2018). 기존 다양한 탄소 평가 기법들(BEAMS 모형, CEVSA모형, SIM-CYCLE모형, CBM-CFS3 모형)을 비교·평가한 선행논문들(Choi et al. 2014; Jo & Ahn 2000)에서 InVEST 모델을 이용한 탄소 고정량 추정은 오차율이 적고, Arc GIS 프로그램을 기반으로 탄소저장을 추정할 수 있어 용이하며, 의사결정 시스템을 통해 개발정책 이해관계자들의 협의 시 기초자료 제공이 가능한 모델로 시사되고 있다(Kovacs et al. 2013; Lee et al. 2015; Kim et al. 2017).

도시개발은 토지이용변화를 야기하여 생물다양성과 생태계서비스(Biodiversity and Ecosystem services: BES)에 시·공간적으로 다양한 규모로 영향을 준다. 국내 환경영향평가는 사업 시행에 따른 생물다양성과 생태계서비스에 대한 영향 예측·평가 그리고 저감방안에 대한 과학적인 평가가 다뤄지지

않는 한계가 언급되고 있고, 이에 대한 정량평가의 필요성으로 관련 연구가 진행 중이다(Kwan et al. 2006; Lee et al. 2015; Kim et al. 2017).

따라서 본 연구는 국토 개발계획에 따라 변화되는 생태계서비스의 정량평가에 목적을 두고 있다. 이를 통해 국내 환경영향평가에서 생물다양성 감소를 저감시킬 수 있는 제도적 방안과 기후변화 적응에 대한 규제적 장치를 제시하여, 사업에 따른 영향·예측과 저감대책 부분에 적용하고자 하였으며, 추후 자연생태환경분야에 활용될 수 있음을 시사한다.

2. 연구의 필요성

환경영향평가 측면에서 보면, 수질, 수리·수문, 토사량, 폐기물의 분야에서는 사업 시행으로 인한 정량적인 영향·예측이 가능하여 평가되고 있다. 그러나 자연생태환경분야는 주로 동·식물 현황으로 나열되어있고, 사업 시행으로 인한 예측 또한 ‘귀화식물 감소’, ‘개체 수 감소’, ‘하천생태계 교란 등의 부정적인 영향 예상’, ‘철새도래지와 인접하지만 영향이 미비할 것으로 예상’ 등과 같이(Environmental impact assessment for the development project of eco delta city in Busan 2018) 방대하고 불확실하게 평가되고 있다(Choi & Lee 2019).

자연생태환경분야에서 기존 동·식물상의 서술적 평가뿐 아니라, 정량평가를 통한 사업 시행에 따른 전과 후 비교, 그리고 대안선정에 도움을 줄 수 있는 과학적인 평가가 필요하다. 본 모델을 사용하여 개발 전·후와 시나리오 분석을 통해 탄소고정량의 변화량과 서식처 질의 값을 도출하여 연구지역의 시계열 분석을 통해 자연생태환경 분야에서도 체계적인 방법론이 가능함을 제시하고자 한다.

3. 연구목적

본 연구는 ‘부산 에코델타시티 사업’ 조성으로 변화되는 토지이용도에 따라 감소된 탄소고정량의 변화량을 도출하여 비교하였다. 탄소고정량의 중요한 생태계 기능은 기후변화에 있어 이산화탄소 분해와 기후조절의 역할로 개발자들과 정부관계자들에게 생태

계서비스는 고려되어야 될 부분으로(Youn & Cha 2007; Jang et al. 2012; Min 2012; Kim 2013; Kim 2015; Ye et al. 2018), 기후조절 회복력을 위해 감소되는 탄소고정량을 관리해야 함을 시사한다. 그리고 사업지역의 개발로 인해 손실되는 생태계서비스의 상대적 평가는 서식처 질을 통해 비교하였다. 이를 통해 지속가능한 개발을 목표로 효과적인 저감방안 선택이 가능하다고 판단한다.

따라서 본 연구는 개발정책에 따라 손실되는 생태계서비스를 계량적으로 도출하는 것에 목적을 두고 있으며, 이를 통해 지속가능한 개발을 위한 ‘사회-경제-생태’의 상호작용을 확인하고자 한다. 또한, 생물다양성과 생태계서비스의 감소로 대책 마련을 위한 효과적인 저감방안 대안선정 과정에도 도움이 될 수 있다고 판단한다. 자연생태는 평가·예측이 어려운 특징을 갖고 있지만, 탄소고정량과 서식처 질의 변화량을 통해 사업 전과 후의 결과 값 비교를 산출할 수 있다. 기존 환경영향평가서의 자연생태환경분야에서 제시되고 있는 동·식물상 현황 파악, 생태자연도, 녹지자연도의 비율변화뿐 아니라, 연구지역의 사업시행 전·후에 대한 영향·예측이 가능하며, 이를 통해 개발정책에서 개발자와 이해관계자의 의견 수렴 과정에서 기술자료 제공에 목적을 둔다.

II. 연구방법 및 연구대상지

1. InVEST Carbon 모델

InVEST Carbon 모델은 시기별 토지피복도 자료와 피복별 탄소풀 계수를 기반으로 추정된 탄소고정량과 경제성 평가가 가능한 모델이며, 특정 시기별 가치평가가 가능하여 과거, 현재, 미래의 차이를 알고자 할 경우 탄소고정량 변화와 미래예측이 가능한 모델이다. 최근 국내에서도 InVEST 모델을 적용한 연구(Choi et al. 2014; Kim et al. 2015; Lee et al. 2015)가 진행되었고, 생태계서비스 평가에 적합한 계량모형으로 보고되고 있다.

본 모델의 입력자료인 2000년과 2015년의 토지이용도 그리고 탄소풀 테이블을 구축하였다. 기본 입력 자료는 Arc GIS Map ver 10.3.1 프로그램을 사용하

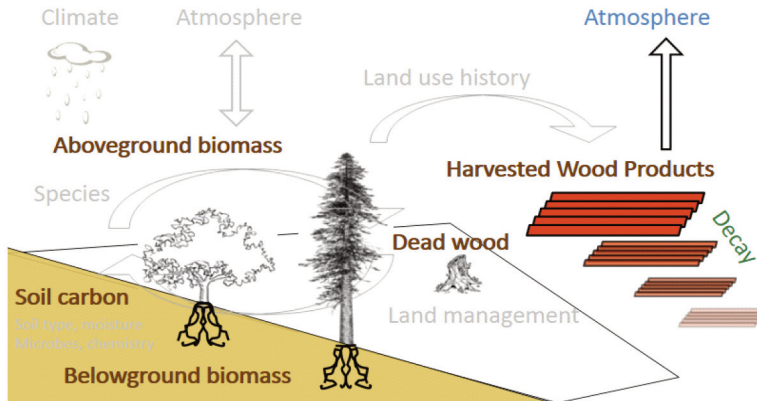


Figure 1. InVEST carbon model process (<https://naturalcapitalproject.stanford.edu/invest/> 2018).

여 각 시기별 토지이용도 파일을 구축형식에 맞게 설정하였다. 그리고 탄소플 테이블은 Aboveground mass, Belowground mass, Soil, Dead mass로 구성되어 있으며, 위 자료는 Natural Capital Project와 국내 선행논문(Choi et al, 2014; Lee et al, 2015; Kim et al, 2017)에서 제시하고 있는 계수를 고려하여 구성하였다. 위 입력자료와 계수들을 통해 Carbon 모델을 사용하여 연구대상지의 탄소고정량과 미래예측을 추정하였다. 그리고 시나리오 분석에 추가적으로 필요한 입력자료는 개발계획을 반영하고 있는 도시 개발계획에 대한 정보를 구축하여 적용하였다. 모델의 결과 단위는 Mg of C이며, Figure 1에서 나타내고 있는 과정으로 구동되어 탄소고정량이 산출된다.

2. InVEST Habitat Quality 모델

InVEST Habitat Quality 모델은 생물다양성을 평가하는 지표로 0.0~1.0 사이의 값을 나타내며, 수치가 클수록 생물다양성이 높음을 의미한다. 본 모델의 원리는 아래 식과 4가지 입력자료로 설명된다. 첫 번째 입력자료인 선정된 위협요소의 상대적 위협정도, 두 번째 입력자료는 위협요소에 대한 최대영향거리이다. 위협요인의 영향은 거리가 멀어질수록 작아지는 것으로 감소형태는 선형적 감소(Eq. 1)와 지수적 감소(Eq. 2)의 형태로 선택되어 감소한다. 격자 x 와 y 사이의 위협정도를 r 로 표시되며, 각 위협요인

의 최대영향거리를 d_{xy} 로 나타내고, $d_{r \max}$ 는 위협요인 r 의 최대영향거리를 의미한다.

$$i_{xy} = 1 - \left(\frac{d_{xy}}{d_{r \max}} \right) \quad (1)$$

$$i_{xy} = \exp \left(- \left(\frac{2.99}{d_{r \max}} \right) d_{xy} \right) \quad (2)$$

그리고 세 번째 입력자료는 각 요소들의 서식 적합성 지수, 마지막 입력자료는 선정된 위협요인의 서식처들의 민감도로, 서식처 파괴 정도 값을 계산하여 서식처 질을 산정하는 방법이다. Eq. 3은 위협정도를 완화시키는 식으로 보호 수준을 의미한다.

$$D_{xy} = \sum_{r=1}^R \sum_{j=1}^Y \left(\frac{W_r}{\sum_{r=1}^R W_r} \right) r i_{xy} \beta_x S_{jr} \quad (3)$$

결과적으로 위 4가지 입력자료가 최종적으로 Eq. 4의 서식지 적합성의 결과로 도출되며, 토지이용도 유형 j 에 대한 서식처 질의 가치를 Q_{xy} 로 나타낸다.

$$Q_{xy} = H_j \left(1 - \left(\frac{D_{xy}^k}{D_{xy}^k + k^k} \right) \right) \quad (4)$$

본 연구에 적합한 입력자료 선정을 위해 National Project (2018)와 선행연구자료(Choi et al, 2014; Kim et al, 2015; Lee et al, 2015; Seo 2017; Choi & Lee 2018)를 참고하였다. 선행연구들을 통해 선정된 위협요인으로 시가지(Urban area)와 나지(Barren area)의 증가, 산림의 파편을 야기하는 도로(road)로 선정하였으며, 시가지와 나지에 대한 자료는 토지이용도에서 추출하였고, 도로자료는 국토



Figure 2. Study area.

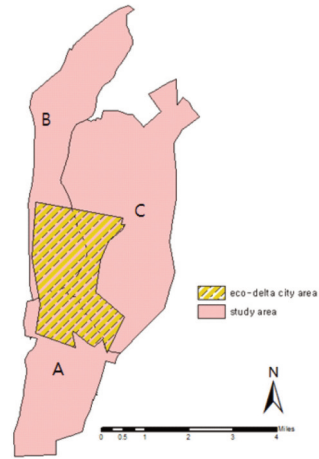


Figure 3. Busan Eco-delta city area.

교통부의 도로망 자료에서 추출하였다. 모든 해당 공간분석은 Arc GIS Map ver 10.3.1 프로그램을 사용하여 모델 요구형식인 래스터파일로 구축하였으며, 추가적인 입력계수인 반포화상수는 선행논문들(Lee et al. 2015; Sharp et al. 2015)에서 제시된 0.5로 사용하였다. 모델의 결과, 생물다양성의 수치는 정성적으로 도출되어 단위는 없으며, 변화된 양으로 비교가 가능한 모델이다.

3. 연구대상지

연구의 공간적 범위는 두 곳으로 선정하였다. 우선 부산 에코델타시티 사업이 포함되는 부산광역시 강서구의 명지동, 강동동, 대저2동 일대(Figure 2)와 사업지역(Figure 3)이다. 연구지역을 구별한 이유는 InVEST 모델을 사용하여 개발사업으로 인해 영향을 받는 행정구역상의 전체 지역과 사업지역의 차이를 보기 위함이다.

그리고 시간적 연구범위는 사업의 영향으로 탄소 고정량과 서식처 질의 변화량을 분석하기 위해 사업 전인 2000년, 그리고 사업 시인 2015년, 조성 예정

된 방안의 변화 예측을 확인하기 위해 2030년으로 설정하였다.

또한, 환경영향평가 적용에 있어 대안평가가 가능함을 보기 위해 본 사업의 환경영향평가에서 선정되었던 대안에 대해 비교·평가하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 탄소고정량 평가 결과

1) 행정구역상 연구지역의 탄소고정량 결과

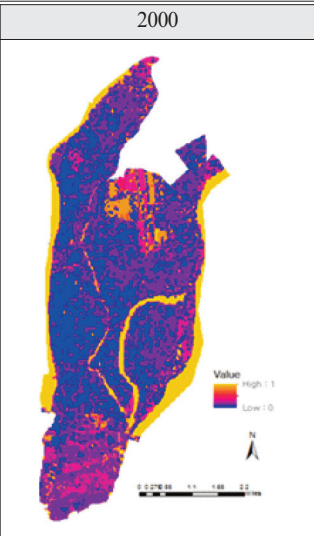
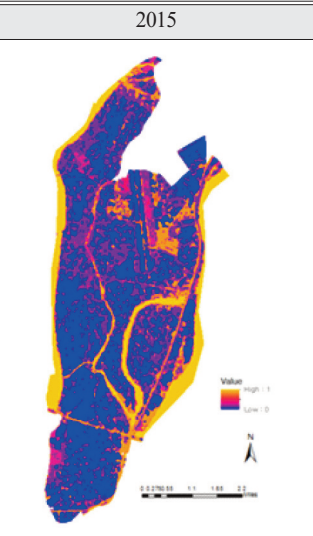
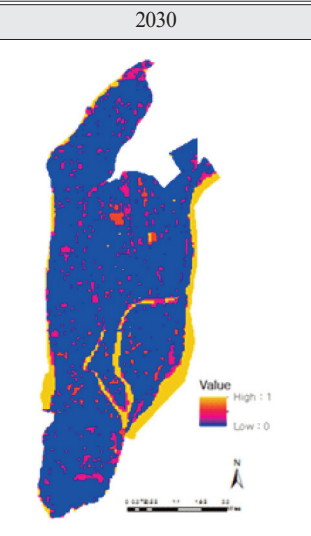
행정구역에 대한 탄소고정량 평가 결과이다(Table 1). 사업시행 전인 2000년의 탄소고정량은 216,694.48 Mg of C로 추정되었고, 사업이 시행되는 2015년의 탄소고정량은 203,474.25 Mg of C로 전 15년 대비 6.1% 감소한 양으로 도출되었다. 그리고 미래예측 시기인 2030년의 탄소고정량은 전 15년과 비교하였을 때, 약 44%가 감소하여 120,490.84 Mg of C로 추정되었다(Table 1).

탄소고정량 지도는 최소 0.0, 최대 1.0의 범위로 분석이 된다. Table 2와 같이 파랑색이 될수록 탄소

Table 1. Results of carbon fixation change

Carbon Fixation Change (Mg of C)	2000-2015		2015-2030		2000-2030	
	Change	Rate (%)	Change	Rate (%)	Change	Rate (%)
	-13,220.23	-6.10	-82,983.41	-40.78	-96,203.64	-44.40

Table 2. The Result map of carbon fixation

Year	2000	2015	2030
Result map of Carbon Fixation Amount			
Amount (Mg of C)	216,694.48	203,474.25	120,490.84

고정량이 낮고, 노랑색일수록 탄소고정량이 높다. 2000년의 연구지역은 농경지가 78.1%를 차지하여 탄소고정량이 높은 지역이며, 서낙동강과 연구지역의 중심에 흐르는 평강천, 그리고 동쪽에 맥도강이 흐르고 있어, 그 지역에는 탄소고정량이 가장 높은 노랑색 부분인 1.0을 나타내고 있다. 하지만, 부산 에코델타시티는 개발계획으로 연구지역의 북쪽은 주거지역 그리고 남쪽에는 산업지구 형성 예정지역으로 2015년의 탄소고정량 결과지도를 보면 탄소고정량이 낮은 파랑색 부분이 증가함을 볼 수 있었다. 시나리오 예측 분석결과에서는 서낙동강 또한 사업으로 인해 영향을 받아 줄어들었고, 연구지역 대부분이 탄소고정량이 낮아지는 것을 확연하게 보였다.

2) 부산 에코델타시티 사업지역의 탄소고정량 결과

사업지역에 대한 탄소고정량 평가 결과이다(Table 3). 2000년인 사업시행 전의 탄소고정량은 9,305.13 Mg of C로 도출되었으며, 사업이 시행되는 2015년에는 6,811.31 Mg of C로 평가되었다. 이는 약 26%가 감소한 양이다. 사업지역 중심에 흐르는 평강천과 동쪽의 맥도강에도 영향을 주어 하천의 탄소고정량에 영향을 준 것으로 확인되었다.

본 사업은 부산광역시, 한국수자원공사와 부산도시공사 주관으로 시행되었다. 본 사업의 환경영향평가서에서 3개의 대안이 제시되었다(Environmental impact assessment for the development project of eco delta city in Busan 2018). 대안들의 평가 결과는 Table 4에 요약하였다.

사업 초기에 대안 1은 평강천을 기준으로 주택, 상업, 산업지역으로 개발이 구획되었다. 탄소고정량 평가 결과 이 지역은 강 외에 모두 개발지역으로 조성되어 탄소고정량이 낮아져 6,811.31 Mg of C로 평가되었다. 본 사업지역은 평강천, 서낙동강과 맥도강이 흐르는 지역으로, 서낙동강 주변에 공원을 조성하여 이격거리가 100 m로 넓어진 대안 2를 구축하였으며, 이에 따라 탄소고정량은 대안 1보다 약 7%가 높아진 것으로 도출되었다. Table 4에 대안 2의 결과와 같이 서낙동강의 탄소고정량이 높음을 나타내는 파랑색 점들이 많아진 것을 확인할 수 있었다.

마지막으로 대안 2와 대안 3을 비교한 결과이다. 대안 3은 서낙동강의 공원조성을 통해 사업지역과의 이격거리를 300~500 m 이상으로 하여 대안 2보다 이격거리가 넓은 대안이다. 또한, 평강천의 주변은 공원단지 조성으로 서식처를 보존하고자 하였으며,

Table 3. Before and after of carbon fixation result in Eco-delta city area

Year	2000 (Before-development)	2015 (After-development)
Map of Carbon Fixation		
Amount of Carbon Fixation (Mg of C)	9,305.18	6,811.31

Table 4. Alternative assessment of carbon fixation in Eco-delta city area

Plan	Plan 1	Plan 2	Plan 3
Map of Carbon Fixation			
Amount of Carbon Fixation (Mg of C)	6811.31	7284.07	7824.88

동쪽의 맥도강에는 철새생태복원용지 지역으로 습지 생태공원 지정을 통해 하천 보존지역을 조성하였다. 이를 통해 대안 2보다 탄소고정량이 7.4%가 높아진 것으로 측정되었다. 결과 지도에서 대안 3은 이격거리가 넓어짐에 따라 서낙동강 주변의 탄소고정량이 높음을 나타내는 파랑색 부분이 떠를 이룬 것을 확인할 수 있었으며, 동쪽에 철새도래지 습지생태공원 조성에 따라 주변 하천의 탄소고정량이 높아진 것을 볼 수 있었다.

결과적으로 본 사업의 대안중에서 대안 3이 가장

사업의 영향을 최소화할 수 있는 것으로 확인되었고, 대안 3으로 선택하였을 때, 탄소고정량이 대안 1과 2보다 각각 1,013.57, 540.81 Mg of C 만큼 높은 대안으로 도출되었다.

2. 서식처 질 평가 결과

1) 행정구역상 연구지역의 서식처 질 평가 결과

결과 1에서 보았던 탄소고정량 분석은 정량적으로 도출이 되고, InVEST Habitat Quality 모델은 연구 지역의 생물다양성을 정성적인 수치로 도출이 되어

Table 5. A Value and result map of habitat quality change

Year	2000	2015	2030
Map of Habitat Quality result			
Biodiversity (unitless)	0.57	0.35	0.21

상대적 비교가 가능한 모델이다.

행정구역의 서식처 질 평가 결과 사업시행 전인 2000년에는 0.57, 2015년에는 0.35, 그리고 사업이 완료되었을 때는 0.21로 도출되었다(Table 5).

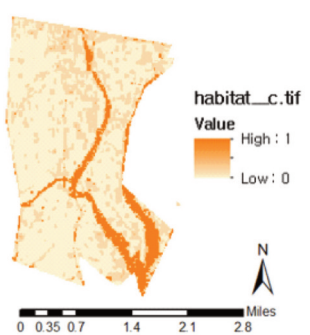
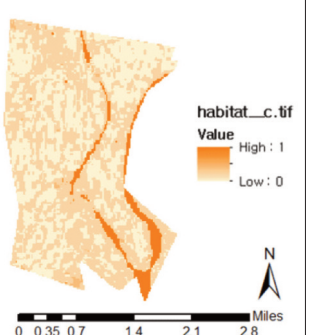
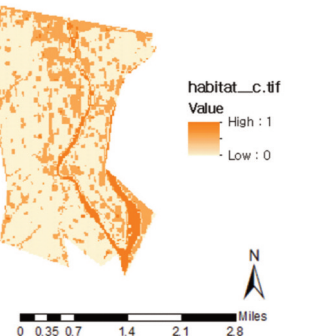
이는 농경지였던 대부분 지역이 본 사업으로 인해 서식지 위협요인 중 도시지역과 나지지역으로 변경되어 도출된 것으로 판단된다. 또한, 부산광역시 강

서구 명지동을 통과하는 국도 2호선 도로 신설과 강동동을 통과하는 남해고속도로 제2지선인 가락IC~서부산IC의 도로 연장으로 인해 모델의 위협요인 중 파편화를 야기하여, 도로와의 거리가 가까워져 위협요인에 대한 민감도가 높아진 것으로 사료된다. 특히 2015~2030년의 결과에서 부산 에코델타시티 사업 지역의 중심지는 서식처 질의 값이 낮음을 나타내는

Table 6. Result of habitat quality changes in Eco-delta city area

Year	2000 (Before-development)	2015 (After-development)
Map of Habitat Quality results		
Value of Habitat Quality (unitless)	0.45	0.20

Table 7. Alternative assessment of habitat quality change in Eco-delta city area

Plan	Plan 1	Plan 2	Plan 3
Map of Habitat Quality results			
Value of Habitat Quality (unitless)	0.20	0.18	0.21

0.0에 가까운 색을 보였으며, 사업지역이 확연하게 벌어지는 것을 시각적으로 확인할 수 있었다.

2) 부산 에코델타시티 조성사업 지역의 서식처 질 평가 결과

본 사업지역은 수변이 많은 지형으로, 친수도시 목표표 하는 사업으로 하천과 강을 보호하기 위한 자연 생태 개발 사업이다. 수변의 공공성을 고려하기 위해 대부분의 하천과 강에 공원 배치를 하여 토지이용이 계획되었다. 부산 에코델타시티 지역을 중심으로 연구지역의 서쪽인 서낙동강과 동쪽의 평강천의 주변은 공원단지 조성으로 서식처 질이 보존됨을 볼 수 있고, 맥도강의 동쪽은 철새생태복원용지 지역으로 공원과 하천 예정보전지역으로 본 에코델타 시티 사업 시행 후에도 이 지역은 서식처의 질이 보호되는 것으로 판단된다(Table 6).

본 사업의 환경영향평가서에서 제시된 3개의 대안에 대해 서식처 질을 평가하였고, 이 결과는 Table 7에 요약하였다. 본 평가서에서 제시된 대안 3은 서낙동강 주변 지역에 생태습지공원 조성으로 대안 1, 2보다 약 100~300 m 넓어진 이격거리에 따라, 대안 3의 서식처 질은 0.21로 도출되었다. 대안 3이 대안 1, 2와 비교하였을 때, 각각 0.01, 0.03 높게 평가되어 대안들 중 서식처 질이 가장 높은 것으로 확인되었다.

IV. 논의

InVEST 모델은 자연이 제공하는 생태계서비스와 경제적 상관관계 파악을 위해 개발된 모델로, 측정된 생태계서비스를 통해 개발정책 의사결정 지원을 목적으로 개발되었다.

본 연구에서 InVEST Carbon 모델을 통해 시기별 탄소고정량 분석과 변화된 토지이용도를 통해 2030년에 대한 탄소고정량을 미래 예측하였다. 향후 경제성 평가 부분에서 입력자료인 탄소가격을 객관적으로 산정할 수 있다면, 이에 대한 평가도 가능할 수 있을 것으로 기대한다. 그리고 InVEST Habitat Quality 모델을 통해 연구지역의 생물다양성이 변화된 정도를 정성적으로 분석하였다. 본 모델을 적용하여 생태계에 대한 정량분석과 정성분석으로 수치화가 가능하였으며, 공간적으로 개발사업의 소규모 단위부터 행정구역의 시·군·구 범위까지 적용 가능하였다.

생태계는 변수가 많아 예측이 불확실하고 평가가 어려운 분야이지만, 자연과 생태계를 보전하기 위해 이와 같은 시도는 계속 필요하다. 그리고 본 모델을 적용하여 복수의 대안선정과정에서 탄소고정량과 서식처 평가 결과가 높은 대안을 선정할 수 있어 의견 수렴에 도움을 줄 수 있다고 판단된다.

다른 나라의 환경영향평가에서는 'No Net Loss (NNL)'을 보장하기 위해 다양한 기법들이 연구되고

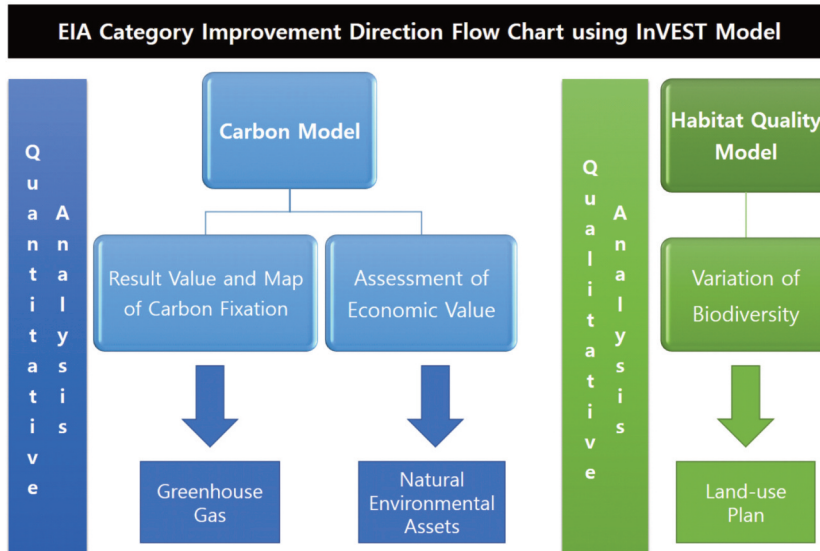


Figure 4. Suggestion for improvement of natural ecology field in EIA.

있고(Charlotte et al, 2017), 특히 개발사업들은 그 지역의 기후변화 적응평가를 위해 탄소고정량 관련 측정기법들이 연구되고 있다. 우리나라도 개발에 따른 생태계서비스의 손실을 저감시킬 수 있는 생태계 평가 관련 연구가 필요하며, 사업 영향에 따른 과학적인 예측 및 저감대책을 수립할 수 있는 제도 개선의 노력이 필요하다. 이에 대해 국내 자연생태환경분야에서 InVEST 모델을 적용하여 평가할 수 있는 흐름도를 제시하였다(Figure 4).

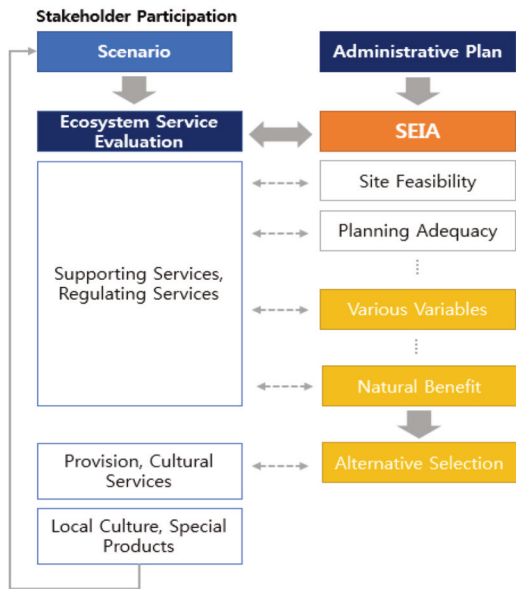
환경영향평가는 사업의 경제성 도모와 동시에 지속 가능한 환경보호를 위한 과정으로 개발정책 관계자들과 지역주민 의견수렴이 동반되는 과정이다. 현재 자연생태환경분야에서 식생 현황, 보호종 존재의 유무에 대한 평가가 집중되어있으며, 생물다양성과 관련된 서식지의 영향 및 예측, 대책은 구체적이지 못하다. 많은 개발 관계자들은 영향의 정도에 대해 '미평가' 또는 정량적이지 않은 예측으로, 보전관계자와의 의견수렴 과정에서 한계점을 수반하고 있다. 환경영향평가 과정인 개발계획 수립부터 대안선정까지 '사회-경제-환경'의 관계자들 사이에서 논쟁이 발생할 수 있는 부분에 생태계를 정량적으로 비교·평가할 수 있는 기법이 적용된다면, 불가피했던 비판과 논쟁에 이해의 자료로 도움을 줄 수 있을 것으로 판단한다.

V. 결론

생물다양성협약 제14조는 개발사업에서 생물다양성의 감소를 방지하도록 권고하고 있는 조항으로 환경영향평가 및 부정적 영향을 최소화하기 위한 이행을 명시하고 있다. 국내에 환경영향평가제도가 도입된 지 약 40년이 된 현재, 생물다양성을 평가하여 환경영향평가 분야에 적용하고자 하는 연구는 계속 진행되고 있다(Ahn & Han 2004; Kwun et al. 2006; Lee et al. 2015).

본 연구는 생태계를 평가하는 연구의 일환으로 '부산 에코델타시티 개발사업'에 InVEST 모델을 적용하여 생태계서비스를 분석하였다. 개발에 따른 생태계의 자연자산의 편익을 수치화하여, 기존 환경영향평가 중 자연생태환경분야에 없던 정량분석으로 개발계획자와 지역주민들과의 의견 차이 해결에 도움을 줄 수 있다고 판단된다. 환경보전과 개발정책 방향에 대해 InVEST 모델을 이용하여 개발사업의 전과 후, 그리고 대안에 대한 변화량을 수치화하여 환경영향평가 항목에 있어 1. 토지이용계획 2. 온실가스 3. 자연환경자산 항목을 제시하였다(Figure 5).

2005년 세계경제포럼 평가 결과에서 우리나라는 환경영향평가의 생물다양성, 자연자원관리 분야, 생



Data: Lee et al. 2015. p.141 parts of excerpt

Figure 5. Application of natural capital management technique to support EIA.

물 분야에서 최하위 수준을 보였는데(Kwun et al. 2006), 본 연구에서 생태계서비스 관련 모델을 적용하여 기후변화 적응평가뿐 아니라 생물다양성과 같은 생물 분야 평가의 도입 가능성을 볼 수 있었다.

마지막으로 국내 자연생태환경분야에 InVEST 모델을 도입하기 위해서 몇 가지 개선이 필요하다. 먼저 객관적인 자료의 축적과 함께 국내에 맞는 입력자료 구축에 관한 연구가 지속적으로 필요하며(Lee et al. 2015; Kim et al. 2017), 둘째, 토지이용도를 기초로 한 모델로 국내 토지이용도를 보다 용이하게 사용할 수 있는 편의성 문제가 마련된다면, 환경영향평가 사업자들이 전략환경영향평가과정에서 적극적으로 이를 활용할 수 있다고 판단한다. 셋째, 자연자원의 지속가능한 이용과 불완전한 생태계의 보전을 위해 중·장기적으로 공공기관과 환경영향평가관련 관계자들의 협력이 필요하다.

사사

본 논문은 한국환경정책평가연구원 국가기후변화 적응센터 ‘기후변화영향평가제도 시행방안 연구’를

기초로 되었습니다. 한국연구재단(2017R1D1A1B03029300), 서울녹색환경지원센터(SGEC2019)의 지원을 받아 수행하였습니다.

References

Ahn SE, Han KJ. 2004. A Study on the Land Use Model for Carbon Fixation. 2004. Korea Environment Institute. 2004: 1-106. [Korean Literature]

Bhagabati NK, Ricketts T, Sulistyawan TBS, Conte M, Ennaanay D, Hadian O, Wolny S. 2014. Ecosystem services reinforce Sumatran Tiger conservation in land use plans. Biological Conservation. 169: 147-156.

Charlotte B, Sylvain P, John DT. 2017. The inclusion of biodiversity in environmental impact assessment: Policy-related progress limited by gaps and semantic confusion. Journal of Environmental Management. 200(15): 35-45.

Choi HA, Lee WK, Jeon SW, Kim JS, Kwak HB, Kim MI, Kim JT. 2014. Quantifying Climate Change Regulating Service of Forest Ecosystem -Focus on Quantifying Carbon Storage and Sequestration-. J. Climate Change Research. 5(1): 21-36. [Korean Literature]

Choi JY, Lee SD. 2018. Evaluation of Ecosystem Service for Distribution of Korean fir using InVEST Model. J. Environ Impact Assess. 27(2): 181-193. [Korean Literature]

Choi JY, Lee SD. 2019. Application of Habitat Evaluation Procedure with Quantifying the Eco-Corridor in the Process of Environmental Impact Assessment. Int. J. Environ. Res. Public Health. 2016(16): 1437.

Dohwa Engineering, Pyunghwa Engineering, Hando Engineering, Meitec Engineering,

2018. Environmental Impact Assessment for the Development Project of Eco Delta City in Busan. Busan metropolitan city, Korea water resources corporation, Busan metropolitan corporation. [Korean Literature]
- Duarte GT, Ribeiro MC, Paglia AP. 2016. Ecosystem Services Modeling as a Tool for Defining Priority Areas for Conservation. PLoS ONE 11(5): e0154573. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154573>.
- Environmental Spatial Information Service. <https://egis.me.go.kr/main.do> [2018.11.01].
- Gao J, Li F, Gao H, Zhou C, Zhang Xi. 2017. The impact of land-use change on water-related ecosystem services: a study of the Guishui River Basin, Beijing, China. J of Cleaner Production. 163(2017): 148-155.
- Jang EK, Youn YC, Cha JH. 2012. Carbon Storage and GHG Substitution Effect of Domestic Wood Products. Forest Science Conference. 619-621. [Korean Literature]
- Jeon EC, Sa JH, Lee SH, Kim CK. 2004. Development of Emission Factor of CO₂ from Stationary Sources. J. Atmospheric Environment. 1: 93-94. [Korean Literature]
- Jo HK, Ahn TW. 2000. Indicators of Carbon Storage and Uptake by Tree Growth in Natural Ecosystem. Korean Society of Environment and Ecology. 14(3): 175-182. [Korean Literature]
- Kim CG. 2012. Chapter 33 Climate change and countermeasures in the agricultural sector. Korea Rural Economic Institute. 2012(2): 1047-1074. [Korean Literature]
- Kim JS, Kim CK, Yoo KJ Hwang SI. 2017. A Preliminary Study for Identifying Soil Management Area in Environmental Impact Assessment on Development Project. J. Environ Impact Assess. 26(6): 457-469. [Korean Literature]
- Kim ME. 2013. Opportunity costs of carbon offsets project to private forest owners in Korea. Seoul National University, Seoul, Korea. [Korean Literature]
- Kim TY, Song CH, Lee WK, Kim MI, Kim CH, Jeon SW, Kim JS. 2015. Habitat Quality Valuation Using InVEST Model in Jeju Island. J. Korea Society of Environmental Restoration Technology. 18(5): 1-11. [Korean Literature]
- Kwun YH, Roh TH, Lee HW, Choung HL. 2006. A Study on the Introduction of Biological Diversity Items in Environmental Assessment. Korea Environment Institute. 2006(0): 1-173.
- Kyoto Protocol. 2003. UNEP (United Nations Environment Program), Korea Association for UN Environment.
- Lee HW, Kim CK, Hong HJ, Rog YH, Kang SI, Kim JH, Shin SC, Lee SJ. 2015. Development of Decision Supporting Framework to Enhance Natural Capital Sustainability: Focusing on Ecosystem Service Analysis. Korea Environment Institute. 2015(0): 3479-3651. [Korean Literature]
- Min KT. 2012. Chapter 29 Timber Supply and Demand Forecasts in Response to Climate Change. Korea Rural Economic Institute. 2012(2): 941-963. [Korean Literature]
- Natural Capital Project. <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/invest/> [2018.08.29].
- Natural Capital Project. 2012. Informing Land-Use Plans in Central Sumatra. INVEST User Guide Release +VERSION.
- Nelson E, Mendoza G, Regetz J, Polasky S, Tallis H, Cameron D, Chan KM, Daily G, Goldstein J, Kareiva P, Lonsdorf E, Naidoo R, Ricketts TH, Shaw MR. 2009.

- Modeling multiple ecosystem services, biodiversity Conservation, Commodity Production, and Tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 7(1): 4-11.
- Nelson E, Sander H, Hawthorne P, Conte M, Ennaanay D, Wolny S, Manson S, Polasky S. 2010. Projecting Global Land-Use Change and Its Effect on Ecosystem Service Provision and Biodiversity with Simple Models. *PLoS One*. 5(12): e14327.
- Polasky S, Nelson E, Pennington D, Johnson KA. 2011. The Impact of Land-Use Change on Ecosystem Services, Biodiversity and Returns to Landowners: A Case Study in the State of Minnesota. *Environmental and Resource Economics*. 48(2): 219-242.
- Roh YH. 2016. Introduction to the Estimation of Carbon Storage and Space Distribution. Science and Technology Policy Institute. 26(5): 46-51. [Korean Literature]
- Seo SB. 2017. Analysis of Habitat Quality in the Nam-Han River Upstream Watershed using InVEST Model. Ewha Woman University. Seoul, Korea.
- Sharp R, Tallis HT, Ricketts T, Guerry AD, Wood SA, Chaplin-Kramer R, Nelson E, 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 CK, Guannel G, Papenfus M, Toft J, Marsik M, Bernhardt J, Griffin R, Glowinski K, Chaumont N, Perelaman A, Lacayo M, Mandle L, Hamel P, Vogl AL, Rogers L, Bierbower W. 2015. InVEST User's Guide. Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, World Wildlife Fund.
- Shoyama K, Yamagata Y. 2014. Predicting land-use change for biodiversity conservation and climate-change mitigation and its effect on ecosystem services in a watershed in Japan. *J of Ecosystem Services*. 8(2014): 25-34.
- Tao Y, Li F, Wang R, Zhao D. 2015. Effects of land use and cover change on terrestrial carbon stocks in urbanized areas: a study from Changzhou, China. *J of Cleaner Production*. 103(15): 651-657.
- United Nations Framework Convention on Climate Change. <http://unfccc.int/> [2018.09.20].
- Yi H, Generalp B, Kreuter UP, Generalp I, Filippi AM. 2108. Spatial and temporal changes in biodiversity and ecosystem services in the San Antonio River Basin, Texas, from 1984 to 2010. *J of Science of the Total Environment*. 619-620(2018): 1259-1271.
- Youn YC, Cha JH. 2007. The Role of Forest and Measures of Gyeonggi Province to Cope with the UN Framework Convention of Climate Change. Gyeonggi Development Institute. 9(4): 117-140. [Korean Literature]