韓國環境復元技術學會誌 24(2) : 115 ~ 126(2021)
J. Korean Env. Res. Tech. 24(2) : 115 ~ 126(2021)
DOI : https://doi.org/10.13087/kosert.2021.24.2.115
ISSN 1229-3032

전략환경영향평가 시 생태계서비스 평가 결과의 활용가능성에 관한 연구*

박윤선[1)2)] · 김충기[3)] · 이후승[4)]

[1)] 한국환경정책 · 평가연구원 자연환경연구실 연구원, [2)] 서울대학교 협동과정 조경학 학생
[3)] 한국환경정책·평가연구원 자연환경연구실 연구위원, [4)] 한국환경정책·평가연구원 환경평가본부 연구위원

A Study of Useability of Ecosystem Service Assessment on Strategic Environmental Assessment*

Park, Yoon-Sun[1)2)] · Kim, Choong-Ki[3)] and Lee, Who-Seung[4)]

[1)] Division for Natural Environment, Korea Environment Institute, Sejong, Researcher,
[2)] Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Graduate School, Seoul National University, Student,
[3)] Division for Natural Environment, Korea Environment Institute, Sejong, Senior Research Fellow,
[4)] Environmental Assessment Group, Korea Environment Institute, Sejong, Senior Research Fellow.

ABSTRACT

Strategic Environmental Impact Assessment (SEA) is a decision-making process taking into account the environmental impact, economic and social impact of policies, plans, and programs at the higher stage prior to the project plan for promoting sustainable development. In this study, we analyzed the process and criteria for selecting appropriate alternatives when establishing development plan in SEA. First, the criteria for estimating changes in ecosystem services following the implementation of development project of industrial complex were presented. Second, alternative evaluations were conducted through an analysis of ecosystem service scenarios to explore suitable alternatives in Anseong. As a result, the environmental quality of selected area as the existing project site deteriorated according to the implementation of the project, and the dimensional reduction technique confirmed that the change in ecosystem service factors in project area was the optimal location. In addition, the results of the scenario assessment to explore suitable alternatives in Anseong City showed that the existing site had large capacity in terms of water quality control services (scenario 1), scenario 2 in terms of pre-

* 이 연구는 2020년도 환경부 "생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업Ⅲ" 지원으로 연구되었습니다.
First author : Park, Yoon-Sun, Division for Natural Environment, Korea Environment Institute, Researcher, Tel : +82-44-415-7007, E-mail : ysunparc@gmail.com
Corresponding author : Lee, Who-Seung, Environment Assessment Group, Korea Environment Institute, Senior Research fellow, Tel : +82-44-415-7323, E-mail : wslee@kei.re.kr
Received : 28 March, 2021. **Revised** : 29 April, 2021. **Accepted** : 27 April, 2021.

conditioning services, and scenario 3 in terms of water supply services. The guidance of Ecosystem service assessment is expected to be available in decision-making of large-scale strategies (e.g., SEA) and projects by presenting more quantitative criteria for determining the adequacy and location feasibility of development plans and policy plans. This is expected to require various support, including legislation and revision of related laws, believed to be supported by advanced research.

Key words: *Developmental Plan, EIA, Ecosystem Service, PCA, Strategic Environmental Assessment*

I. 서 론

전략환경영향평가(Strategic Environment Assessment, SEA)는 지속가능한 발전을 도모하기 위해 사업계획 이전의 상위단계에서 정책(Policy), 계획(Plan), 프로그램(Program)의 환경영향과 경제적, 사회적 영향을 함께 고려하는 의사결정과정이다. 큰 틀에서 정책계획과 개발기본계획으로 구분되며 계획의 적정성과 입지의 타당성을 평가하는 과정으로 객관적인 시각으로 접근해야한다. 정책계획의 경우 환경보전 계획과의 부합성, 계획의 연계성, 일관성, 적정성 및 지속성을 평가하지만, 개발기본계획은 개발입지 대안과 토지이용계획 대안 등을 평가한다. 상위계획이 명확하게 제시되는 계획의 적정성 평가와 달리 전략환경영향평가에서는 입지에 대한 명확한 정보가 제공되지 않아 대안평가에 어려움이 있다.

대안의 설정과 검토는 영향평가의 필수적이고 핵심적인 단계이다(Desmond 2007). 일반적인 전략환경영향평가에서 대안평가 시 고려해야할 요소로서 지형적 범위, 계획의 목표, 실현가능성, 합리성, 현실성 등을 검토하며, 더 나아가 사업 전 및 후에 예상되는 환경적이슈 등이 제안되고 있다(IAIA 2014). 특히, 대안은 기존 환경적 문제를 고려하여 구상되어야 하고 환경적 영향은 장기간에 걸쳐 나타나므로, 예방책을 사전에 마련하는 것이 중요하다(Desmond 2007; 이상범 외, 2015). 전략환경영향평가는 본질적으로 '미래를 위한 연습'으로(Duinker and Greig 2007) 불확실성과 정보 부족 상황에서 수행되는 의사결정 프로세스를 지원하는 것을 목표로 한다. 하지만 대부분의 대안선정단계는 이러한 요소가 간과된 채 평가를 위한 대안의 선정이 이루어지는 미흡함이 발견되고 있다. 예를 들어, 국내 다양한 전략환경영향평가 사례 중 문제점을 분석종합해보면 대안비교 시 장단점 분석에 대한 자료제시 미흡, 대안 간 실효적인 차이 미비, 대안 작성 시 사업 시행으로 인한 환경영향항목 파악 미흡, 사업대상지 주변 입지특성 분석 미반영, 대안 작성 요건을 충족하기 위한 목적으로만 대안을 작성하고 비교 함 등으로 보고되고 있다(이상범 외, 2015). 더욱이 김경호 외(2018)는 평가방법의 한계성과 제한성으로 인해 현재 전략환경영향평가에서 대안평가가 비전략적으로 운영되는 문제점을 지적한 바 있다. 즉, 전략환경영향평가에서 대안평가를 실시하기에 환경영향평가(Environmental Impact Assessment, EIA)에서의 영향평가 또는 저감방안 등과 차별되는 대안평가 방안의 부재로 대안의 설정과 검토가 미흡하게 운영되고 있음을 고찰하였다.

생태계서비스(Ecosystem service)는 자연이 인간에게 주는 혜택을 일컬으며, 수량, 식량, 목재 공급서비스, 수질, 기후, 대기, 침식 조절서비스, 생물종, 서식처 지지서비스, 생태관광, 경관가치가 포함되는 문화서비스를 포괄하고 있다(MA, 2005). 기존의 환경관리방식에서 미흡한 점을 채워주는 사회, 생태, 경제적 측면을 고려하여 인류의 후생을 지원하는 목적을 지닌 생태계서비스는 지속가능한 자원관리 및 이용에 최적화되어있다. 더욱이 생태계서비스 평가는 정량적인 값을 제시한다는 점, 평가 매체가 다양하다는 점, 시나리오 평가가 가능하다는 점, 결

과를 통해 서비스 간 상충 및 시너지 관계를 파악할 수 있어 다양한 정보를 획득할 수 있다는 장점을 지닌다(Kim et al 2020). 더 나아가 평가된 결과를 화폐화 할 수 있다는 점 또한 중요한 장점으로 꼽히고 있다.

생태계서비스평가는 환경상태를 평가하고 추후 발생할 환경적 문제를 예측해야하는 전략환경영향평가의 목적과 잘 부합하는 것으로 알려져 전략환경영향평가에서의 생태계서비스 평가의 활용 가능성이 제안되고 있다. Geneletti(2011)는 생태계서비스 연구에서 이루어지는 시나리오 분석 접근 방식을 도구적 측면에서 전략환경영향평가에 이롭다고 하였다. 전략환경영향평가가 점점 사회적, 경제적 효과를 포함해가고 있는 측면에서 서비스의 수혜자와 그 특성을 다루는 생태계서비스의 포함은 지속가능성을 평가하기 위한 변화된 접근 방식이 될 수 있다. 또한, 생태계서비스 평가는 전략환경영향평가 프로세스에 큰 도움이 되어 품질을 향상시킬 수 있다는 장점이 있다. 특히 Geneletti(2013, 2016)는 칠레의 토지이용계획 수립과정에서 생계에 미치는 농업의 영향 정도를 달리하는 시나리오를 설정하여 생태계서비스 간 관계(트레이드 오프, 시너지)를 고려한 계획 선택 과정을 제안하였다. 또한 자연자본기반의 기후변화 적응에 관한 토지이용계획을 수립하는 과정에서 도시열섬완화를 위하여 그린인프라 배치를 달리하는 시나리오를 적용하여 그 효과를 예측하였고, 이러한 일련의 과정들이 전략환경영향평가에 반영되었을 때 효율적인 목적달성 여부를 평가할 수 있음을 보였다(Geneletti et al 2016). 국내에서는 전략환경영향평가에서의 생태계서비스개념 도입과 관련하여 개발사업 시 생태계 토양침식 및 탄소저장 기능을 평가함으로써 토양중점관리 지역을 지정하는 연구가 수행된 바 있다(김종성, 2017). 그러나 생태계가 제공할 수 있는 혜택은 광범위하고 그로부터 파생될 수 있는 영향은 많은데, 부문적인 기능만 고려했다는 점에서 추가적인 연구의 필요성이 요구된다. 또한 다양한 대안분석에 대한 연구가 미흡한 상황으로 생태계서비스항목의 적용 및 시나리오를 고려한 연구의 필요성이 제기되고 있다.

따라서 본 연구에서는 전략환경영향평가를 수행함에 있어 개발기본계획을 수립할 때, 1) 산업단지 조성 사업 시행에 따른 생태계서비스 변화 예측 및 최적 입지대안 선정과 기준 제시 및 2)시나리오 분석을 통한 대안평가를 수행하였다. 입지 판단을 위한 의사결정 기준을 제시하기 위한 방법 중 하나로 생태계서비스 평가결과를 활용하고자 한다. 서비스 개별 항목 평가를 통해 Action/No Action 간 결과를 비교하여 입지 적정성을 판단하고, 서비스 통합 평가를 통해 최적 대안을 선정하는 기준을 제시하고자 한다. 또한, 다양한 대안(시나리오)을 선정하여 개발사업 후 상황을 계산, 예측하여 생태계서비스 변화를 분석하였다.

II. 연구의 범위와 방법

1. 연구의 범위

본 연구는 안성시의 OOOO 산업단지 조성 사업을 대상으로 하며, 부지의 총 면적은 854,000㎡이다. 사업계획서 상 본 산업단지는 진입도로까지 포함하여 919,972㎡ 이며, 세부적으로 산업시설용지가 약 49만㎡, 공공시설용지가 27만㎡, 지원시설용지가 38만㎡ 으로 구성되어있다(Figure 1). 본 사업의 경우, 원칙적으로 개발사업의 성격을 띄고있어 전략환경영향평가의 대상이 되나, 「산업단지 인・허가 절차 간소화를 위한 특례법」 [1] 에서 언급하고있는 15만㎡이상의 사업에 대해 전략환경영향평가를 면제한다는 조항에의해 전략환경영향평가 단계에서 평가될 계획의 적절성과 입지의 타당성 항목들이 환경영향평가에서 평가되는 예외적 사례에 해당됨을 밝힌다. 이에 본 연구는 전략환경영향평가의 입지선정 및 대안평가에

1) 국가법령정보센터, 「산업단지 인・허가 절차 간소화를 위한 특례법」 제 23조.

Table 1. Ecosystem services and functions

Category	Ecosystem Service Assessment	Definition	Assessment method	Site suitability	Alternative assessment	references
Provisioning Service	Water supply (Mm^3/yr)	Storage and retention of water	InVEST Model	○	○	This Study
Regulating Service	Nitrogen retention (ton/yr)	Storage, internal cycling, processing and acquisition of nutrients: Nitrogen fixation, N, P and other elemental or nutrient cycles.		○	○	
	Phosphorus retention (ton/yr)			○	○	
	Climate control carbon storage (10^3ton/yr)	Regulation of global temperature, precipitation, and other biologically mediated climatic processes at global or local levels		○	○	
	Atmospheric control(ton)	Regulation of atmospheric chemical composition	Statistics	○	○	
	Heat island control (kW/yr)	The ability of the ecosystem to reduce sensible heat to alleviate the heat island phenomenon	Model		○	Kim et al.(2020)
Supporting Service	Habitat quality	The ability of an ecosystem to provide an appropriate condition for an individual or community to inhabit based on resources useful for survival, regeneration, and maintenance	InVEST Model		○	

Definitions adapted from Costanza et al. (1997); MA(2005); Kim et al. (2020)

초점을 두고 분석이 이루어졌다.

2. 생태계서비스 평가

본 연구에서는 다양한 생태계서비스 항목을 활용하여 대안평가에 적용하고자 하였다. 대안평가 시 다양한 생태계서비스 항목의 고려는 환경영향을 더 정확하게 파악하는데 도움이 되고 이는 결과의 신뢰성을 향상시켜주기 때문에 의사결정 시 중요하게 고려되어야 할 점이다. 따라서 수량 공급서비스, 조절서비스에 속하는 질소 및 인 저류서비스, 탄소 저장, 대기, 열섬 조절서비스, 지지서비스인 서식처질을 포함하여 총 5~7항목의 생태계서비스를 평가에 적용하였다(Table 1). 평가도구로는 InVEST Model(Sharp et al. 2020)을 주로 활용하였고, 이외 국가 통계자료 및 공신력있는 참고문헌을 통해 평가하였다. InVEST Model (Sharp et al. 2020)은 생태계서비스의 의사결정과정 시 활용을 목적으로 개발된 소프트웨어로 다양한 서비스항목의 평가가 가능하며 접근이 쉽고 시나리오 평가에 적합한 구조로 개발되었다.

3. 산업단지 조성 사업 시행에 따른 생태계서비스 변화 예측 및 최적 입지대안 선정

선택된 대안이 최적의 안인지 확인하기 위해 사업 전과 후 생태계서비스 정량화 결과를 통해 손실되는 서비스양을 계산하였다. 이 때, 사업지,

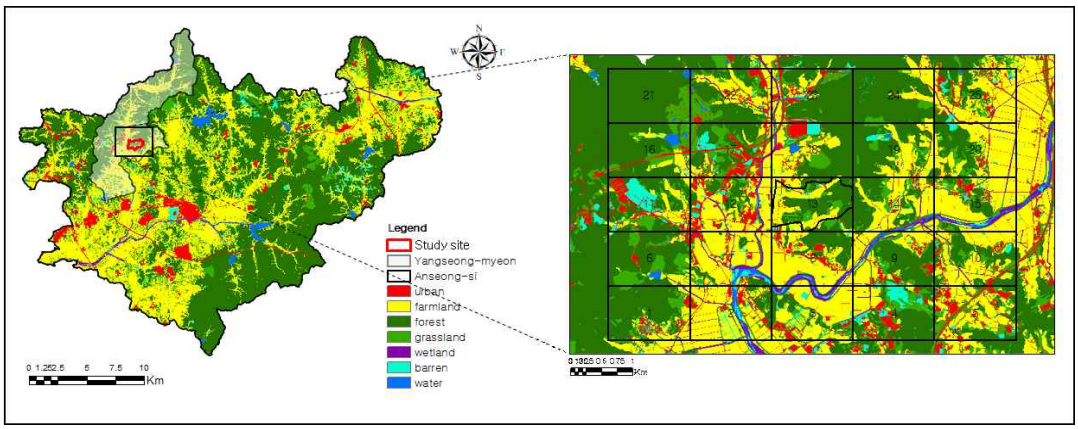
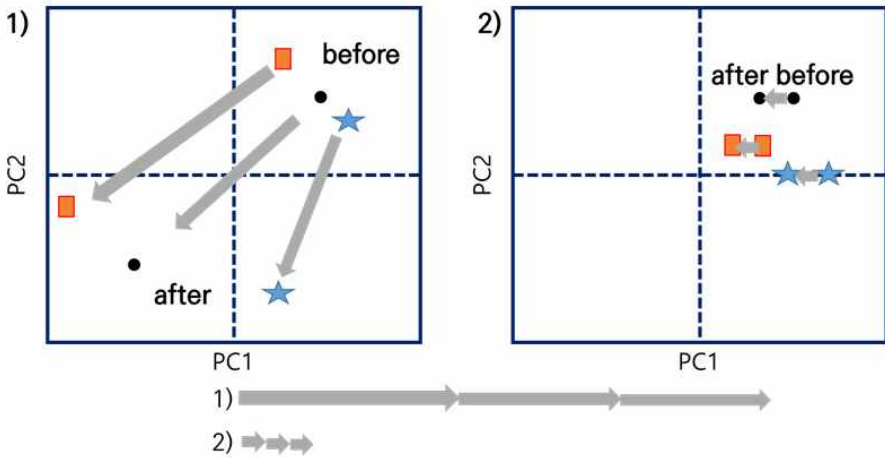


Figure 1. Study site where was a proposed project of industrial complex in Anseong



1) Alternatives to worsening the surrounding environment 2) Optimal alternative to maintaining environmental quality

Figure 2. Determining the impact of alternatives on environmental quality. Note that the total length of the gray line is proportional to the degree of environmental quality change before and after the project

버퍼 1km, 1.5km, 사업지를 포함한 양성면 그리고 사업지가 속한 지역인 안성시 전역을 대상으로 생태계서비스 평가를 실시하였다(Figure 1). 이는 실제 전략환경영향평가 단계 중 현장조사가 사업지로부터 반경 4km 이내의 범위를 대상으로 이루어진다는 점에서 착안한 것으로, 유사한 조건으로 사업지 및 주변환경에 미칠 영향을 평가하기 위해서이다.

선택된 대안의 입지가 그 주변지역을 포함하여 최적의 입지로 선정되었는지 확인하기 위하여 사업 전과 후 생태계서비스 평가 결과를 통합적으로 고려하여 비교하였다. 다양한 서비스 항목을 통합적으로 고려하고자 다변량 통계기법 중 차원축소의 한 종류인 주성분분석(Principal Component Analysis, PCA)을 활용하였다. 전략환경영향평가의 항목과 생태계서비스 항목이 다양하게 구성되어있어 생태계서비스 항목들의 차원을 축소하여 비교하는 과정을 거쳤다. 도출된 PCA 결과를 바탕으로 생태계서비스 변화를 예측하였고, 이를 통하여 2차원 평면에서 각 픽셀별 사업 전, 후 사이 거리를 구하여 사업시행으로 인해 주변지역에 미칠 영향을 판단하는데 활용하고자 하였다(Figure 2). Figure 2

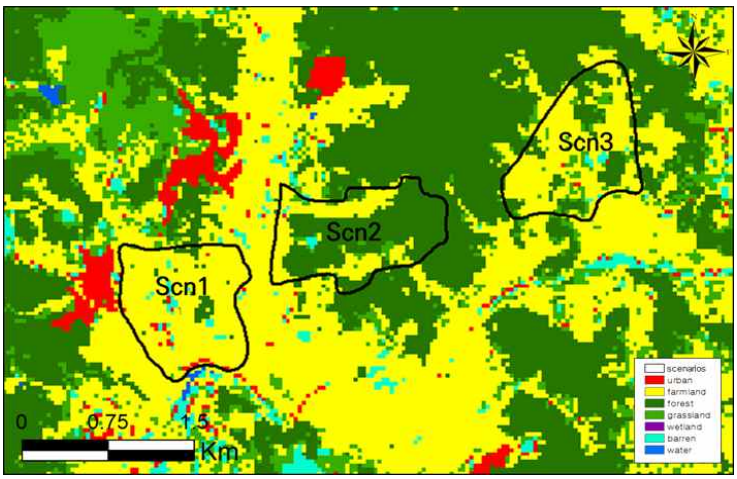


Figure 3. Location feature designation in Scenarios 1, 2 and 3

Table 2. Area and proportion of land cover by development scenarios. Note that these were based on large category of land cover in Ministry of Environment in 2019

Area(㎡, %)	Scenario 1 Arricultural land-based development	Scenario 2 Forest-oriented development	Scenario 3 Mixed development
Urban	24,300(3%)	900(0.1%)	3,600(0.4%)
Agriculture	711,000(87%)	257,400(32%)	542,700(65%)
Forest	42,300(5%)	510,300(63%)	197,100(24%)
Grass	5,400(1%)	36,900(5%)	79,200(9%)
Wetland	-	-	-
Empty site	29,700(4%)	8,100(1%)	12,600(2%)
Waterbody			
Total	812,700	813,600	835,200

에서 회색선 길이의 총합은 사업 전과 후 환경질 변화 정도에 비례하며, 따라서 Figure 2, 1)번의 경우 사업시행이 주변지역에 미치는 영향이 큰 경우를 나타내고, Figure2, 2)번의 경우 사업시행이 주변지역에 미치는 영향이 미미한 경우를 나타낸다.

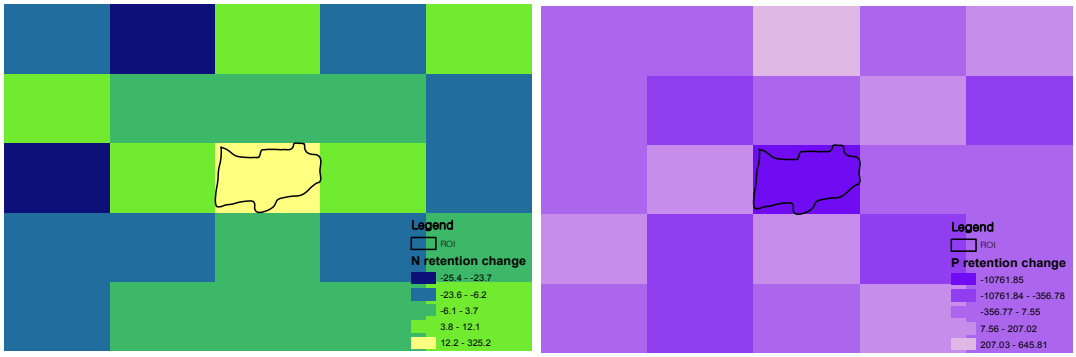
4. 시나리오 설정을 통한 대안 평가

안성시 내에서 적합한 대안을 탐색하기 위해 환경영향평가서에서 제시된 대안들을 바탕으로 토지피복이 서로 다른 시나리오를 구성하여 생태계서비스 평가에 활용하였다(Figure 3). 먼저 시나리오 1의 경우, 87% 에 달하는 농경지를 개발하는 안이다. 시나리오 2의 경우, 산림 면적이 63%로 다른 시나리오에 비해 넓고 농경지도 32% 포함되어있다. 시나리오 3의 경우 농경지(65%), 산림(24%), 초지(9%) 등 혼합된 토지피복을 개발하는 안이다(Table 2).

제작된 시나리오들을 바탕으로 No Action 상태를 개발 전 현재 상황으로 보고 생태계서비스를 측정하였고, Action 상태를 개발 후 상황으로 보고 생태계서비스 제공량이 '0'이 된다고 간주하였다. 최종적으로 No Action/Action 간 생태계서비스 제공량 차이를 계산하여 대안 평가를 실시하였다.

5. 통계 분석

본 연구에서 생태계서비스 분석은 InVEST Model(Sharp et al. 2020)을, 주성분 분석은 R(R



Nitrogen retention Change Phosphorous retention Change

Figure 4. Effects of Nitrogen and Phosphorous retention services on the surrounding areas before and fater project implementation

Table 3. Estimation of chnages in ecosystem services by the implementation of industrial complex development project

Service item (unit)		ecosystem services supply					Ratio of supplying services			
		Total amount					Project site/Yangseong-myeon			
		Project site	Project site (buffer1㎞)	Project site (buffer1.5㎞)	Yangseong-myeon	Anseong	Project site	Project site (buffer1㎞)	Project site (buffer1.5㎞)	Yangseong-myeon
Water supply (M㎥)	before	0.56	4.77	9.05	35.96	334.00	0	1.01	1.09	1.12
	after	0	4.21	7.75	32.62	316.69	0	0.93	0.99	1.07
Nitrogen retention (ton)	before	86.46	97.85	166.33	545.88	6152.85	9,61	1.12	1.09	0.92
	after	3.98	91.38	161.32	539.35	6145.29	0.44	1.05	1.06	0.91
Phosphorus retention (ton)	before	1.42	1.96	3.35	12.65	131.86	7.36	1.05	1.03	1.00
	after	0.42	2.21	3.62	12.93	132.06	2.20	1.18	1.11	1.02
Climate control carbon storage (10^3ton)	before	8.32	68.23	118.58	550.41	5297.63	1.07	0.91	0.90	1.08
	after	0	59.95	110.30	542.95	5289.35	0	0.80	0.84	1.07
Atmospheric control (ton)	before	9.06	57.45	104.06	542.82	5122.20	1.21	0.79	0.82	1.10
	after	0	51.51	97.23	535.12	4983.32	0	0.73	0.79	1.12

Development Core Team, 2020)의 *prcomp*와 *ggplot2* packages(Wickham, 2020) 등이 사용되었다.

III. 연구의 결과

1. 생태계서비스 변화 예측 및 최적 입지대안 선정

1) 산업단지 조성 사업 시행에 따른 생태계서비스 변화 예측

사업지의 생태계서비스 제공량은 분석에 활용된 총 5가지 서비스 중에서 인 저류 기능을 제외하고 모두 감소하는 것으로 나타났다. 다른 생태계서비스 항목은 기능이 향상되었을 때 환경 질이 호전되었다고 해석할 수 있으나, 인 저류기능이 높다는 것은 그 지역에 비점오염원 부하가 크며, 축적된 오염물질의 양이 많음을 의미하고 이에 대한 정화 수요가 높은 상태로 해석된다(Figure 4). 즉 환경질이 악화되었다고 유추할 수 있다(Table 3).

2) 생태계서비스평가와 차원축소를 통한 최적 입지대안 검토 및 활용방안 제안

수량공급, 수질조절(질소 및 인 저류), 탄소저장, 대기조절, 열섬조절, 서식처 질을 포함하여 총 7가지 서비스 항목을 대상으로 실시한 주성분분석 결과, PC1은 약 67.0%의 높은 비율로 '탄소 저장'과 '대기 조절'에 대한 평가항목을 설명하여 주된 성분으로 포함되었고, PC2에서는 약22.2%로 '수량 공급'에 대한 평가항목을 설명하여 주된 성분으로 포함되었다. 이는 모두 산림생태계가 제공하는 조절 및 공급서비스 항목들로, 사업지의 위치에 산림이 많은 것과 연관이 있다. 주성분분석의 대상이 된 25개의 격자 중에서 사업을 시행함으로 인해 토지피복이 크게 달라진 13번 격자를 제외하고는 모두 사업 시행 전후 생태계서비스 제공량에 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 반면, 사업대상지 전역을 포함하고 있는 13번 격자의 경우 사업 시행 전후 비교에 있어 13b(전)의 위치와 13a(후)의 위치에서 거리상 큰 차이가 있는 것으로 나타나 생태계서비스 제공 측면에서 큰 변화가 있는 것으로 해석된다(Figure 5). 이에, 사업대상지 및 주변 지역에 대한 변화량을 비교함으로써 최적의 입지대안에 검토를 생태계서비스 평가를 통해 수행할 수 있다.

상기의 결과는 계획된 사업예정지가 생태계서비스 측면에서 변화가 크기 때문에, 이에 대한 면밀한 보전 및 저감 방안이 필요함을 의미하기도 한다. 또한, 사업전후 변화 값을 토대로, 추후 지역 내 최적 입지대안을 재선정하는 기준으로 활용할 수도 있다. 앞서 도출된 주성분분석 변화값 중 최대치를 임계값으로 활용하여 이를 초과하지 않는 범위 내에서 새로운 입지를 선정할 수도 있다. 이러한 결과는 추후 모니터링 단계에서 임계값을 기준으로 사업시행 전 후 주변 지역 생태계서비스 변화량 혹은 주성분분석 변화량의 증가 또는 감소의 결과를 통해 사업지의 환경 질 저하 여부를 확인하는데 활용될 수 있다.

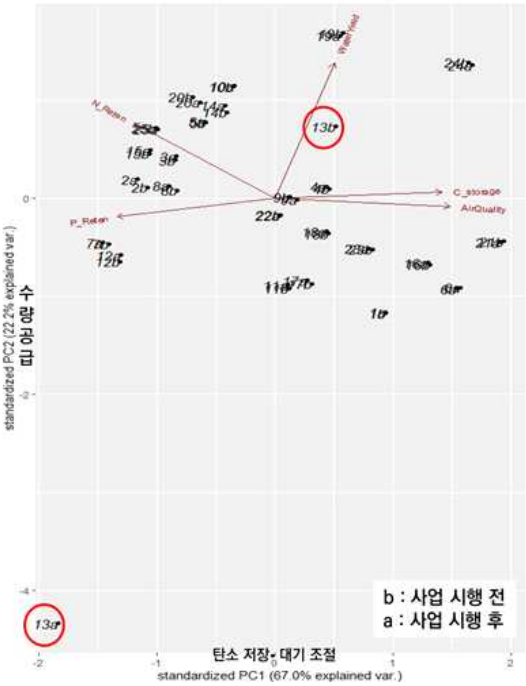


Figure 5. Assessment of changes in ecosystem services according to implementation of industrial complex project

2. 시나리오 설정을 통한 대안 평가

Table 4 에서는 각각의 시나리오에 대하여 생태계서비스 평가를 실시하여 그 결과를 제시하였고, '시나리오 2'가 다른 시나리오에 비해 생태계서비스 측면에서의 혜택이 상대적으로 높은 것으로 예측되었다. 수량 공급의 경우, '시나리오 3'이 가장 높았는데, 이는 대부분 논경지와 구릉지를 포함하고 있어 수량 공급에 유리한 환경적 요건을 갖추고 있기 때문이다. 질소 저류의 경우, '시나리오 1'이 가장 높았는데, 일부 논경지와 하천을 포함하고 있어 질소 저류에 유리한 요건을 갖추고 있기 때문이다. '시나리오 2'가 타 대안에 비해 산림지역이 다수 포함되어 있기 때문에 조절서비스 항목에 속하는 탄소 저장, 대기 조절, 침식 조절, 열섬 조절 항목이 다소 높게 도출되었다(Table 4). 생태계서비스 평가는 분석 방법이나, 사용된 분석도구에 따라

Table 4. Evaluation of ecosystem service in review of alternative related to ○○ industrial complex development in Anseong

Category		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Evaluation of ecosystem service	Water supply(M㎥/yr)	0.39	0.56	0.67
	Nitrogen retention(ton/yr)	150.61	86.46	126.05
	Phosphorous retention(ton/yr)	2.82	1.42	2.59
	Climate control carbon storage(10^3ton/yr)	4.66	8.32	6.78
	Atmospheric control(ton/yr)	0.83	9.06	4.64
	Heat island control(kW/yr)	6.74	16.81	11.73
	Habitat quality	0.32	0.61	0.43

값이 상이하게 나오는 경우가 발생한다. 이는 연구자가 설정한 계수를 비롯한 분석 절차가 다르기 때문인데, 이에 시나리오 분석 결과를 해석할 때 도출된 값을 직접 적용하기보다 다른 대안과의 비교를 통해 결과를 해석하는 것이 바람직하다.

IV. 고 찰

1. 전략환경영향평가 시 생태계서비스 평가 적용 가능성

본 연구는 전략환경영향평가를 수행함에 있어 생태계서비스의 적용가능성을 사례연구를 통해 보여주었다. 첫 번째 결과로, 주변 영향을 고려한 전략환경영향평가 대상지의 사업시행 전과 후 생태계서비스 시나리오 평가를 통해 서비스 증감을 계산하였고, 사업부지에서 모든 서비스에 대하여 감소함을 정량화된 결과로 제시하였다. 주변지역에 대한 영향의 경우 조절서비스 항목 중 질소저류 효과가 가장 크게 감소하는 것으로 나타났다. 두 번째로, 사업 부지를 중심으로 25개의 격자를 구성하여 각 격자별 사업시행 전과 후의 생태계서비스 변화양상을 살펴보았고 이때 차원축소 기법을 활용하여 다양한 생태계서비스 항목을 고려할 수 있었다. 주 사업부지 전과 후에 생태계서비스 변화의 큰 차이를 보였고, 다른 지점은 약간의 변화를 보일뿐 거의 변화가 없었다. 이는 추후 사업부지 및 그 주변지역에 대한 영향을 살펴보는데 도움이 될 것으로 여겨졌다. 또한 다양한 대안들이 고려되는 상황에서 주성분분석 결과로 도출된 사업 시행 전과 후 지점별 거리차를 모두 합산하여 가장 큰 값을 나타내는 경우 '환경질 악화 대안', 가장 작은 값을 나타내는 경우 '환경질 유지 최적 대안' 등으로 도출한다면 대안이 환경질에 미치는 영향을 판단하는 잣대로 활용될 수 있을 것으로 여겨진다. 세 번째 결과로, 본 연구에서는 사업부지의 토지피복 구성이 서로 다른 세 가지 시나리오를 고려하여 현재 상태와 사업시행 후 서비스 제공량의 차이를 계산함으로서 적절한 대안을 도출할 수 있다.

국외(칠레)를 대상으로 하는 전락환경영향평가 연구를 검토한 결과, 조절서비스에 속하는 항목들이 가장 비중있게 다뤄지고 있었다 (Rozas-Vásquez et al. 2018). 본 연구에서도 주성분분석 결과에서 가장 비중있는 PC1이 조절서비스에 속하는 탄소저장과 대기조절을 높은 비율로 설명하는 것으로 도출되었고, 이러한 결과는 앞선 선행연구에서 실시한 문헌고찰의 결과와 일맥상통하는 부분이 있어 합리적인 결과임을 증명할 수 있다. 또한, Esmali(2017)에 의해 수행된 연구에 의하면, 정책목표에 따라 토

지이용변화를 구상하고 생태계서비스 변화를 예측하였는데, 본 연구결과 역시 유사한 분석단계를 따랐다. '시나리오1'에 따라 개발을 하면 많은 농경지가 사라져 식량공급서비스 그리고 질소저류서비스가 감소하였고, '시나리오2'에 따라 개발을 하면 산림 및 초지가 사라져 환경의 기능을 유지하는 조절서비스 그리고 지지, 문화서비스가 감소하였다. '시나리오3'의 경우 '시나리오 1과 2'의 중간정도에 위치하는 결과가 도출되었다. 참고로 Esmali(2017)의 경우 생태계서비스 결과 예측 후 사업시행에 소요되는 비용을 고려한 비용편익 분석을 추가할 수 있음을 보였다. 또한 Albert(2011), Kumar et al. (2013), von Haaren(2013)는 생태계서비스의 경제적 가치평가, 생태계정 등은 전략환경영향평가에서의 생태계서비스평가 도입을 촉진할 수 있음을 제안한바 있어, 후속연구에서는 경제적 평가가 포함된 비용적 측면에서의 분석이 포함될 필요가 있다.

본 연구에서 활용한 InVEST Model(Sharp et al. 2020)은 생태계서비스의 의사결정시 활용에 최적화된 도구로 시나리오기반 연구에 활용이 용이하다. 다른 모델이 비해 접근이 쉽고 해당 분야의 숙련된 전공자가 아니어도 구동이 가능하다는 장점을 지니지만, 주변 영향을 고려하는 영향예측의 평가에 한계성이 있다. 예를 들어, 본 연구에서 활용한 픽셀기반의 대기정화 추정 방법론은 주변 영향을 고려하는데 있어 결과의 한계성이 있었다. 또한 전략환경영향평가의 사업 시행이 주변지역에 미치는 영향, 특히 수량, 수질, 대기 영향을 평가함에 있어서도 한계성이 있음이 나타났다. 하지만 사업부지 자체의 영향예측과 대안평가에 있어 생태계서비스평가의 활용가능성은 높을 것으로 기대되며, 추후 후속연구에서는 한계성을 최소화하고 다양한 대안 시나리오를 제시할 수 있는 방향으로의 연구가 필요함을 제안한다.

2. 정책적 시사점

「전략환경영향평가 업무 매뉴얼」(환경부, 2017.12)에 제시된 산업입지 · 산업단지 조성 관련 주요 검토 및 고려사항에 있어 '계획의 적정성'과 '입지의 타당성' 측면에서 생태계서비스 평가항목을 통한 평가의 고도화를 기대할 수 있다. 예를 들어, '계획의 적정성' 중 '산업공해의 완화 및 주변 지역의 환경오염 최소화를 위한 완충녹지대가 적정하게 설정되었는지를 검토' 하는 부분에 있어 객관적 평가 여부의 한계가 있었으나, 생태계서비스 평가를 통해 완충녹지대의 규모를 조정함으로써 적정성을 예측 · 평가하고 그 결과를 토대로 정책 판단의 기준값으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구에서는, 전략환경영향평가를 수행함에 있어 산업단지 조성 사업 시행에 따른 생태계서비스 변화 예측 및 최적 입지대안에 대한 기준 제시 및 다양한 토지피복 구성의 시나리오 분석을 통해 생태계서비스 변화 측면에서 가장 양호한 대안을 도출하였다. 생태계서비스 평가지도는 평가결과의 공간 및 시계열 변동 정보를 제공할 수 있어 개발사업에 대한 환경영향평가와 도시관리계획의 환경성 검토 등과 같은 다양한 환경성 평가 제도에 기본적 자료로 활용 가능하다. 또한, 생태계서비스 평가지도는 대화형 자료로 항목 간 트레이드오프 분석, 시나리오를 통한 미래 환경 영향 변화 예측이 가능하며, 따라서 기존의 국토환경성평가지도와 함께 환경영향평가 기초자료로 활용 가능하다. 현재 국토환경성평가지도는 사업계획의 적정성과 입지적 타당성 검토 및 사업으로 인한 환경영향 제거·감소 방안 마련을 위한 의사결정 시 활용되고 있다. 생태계서비스 평가지도는 보다 큰 틀에서의 전략환경영향평가에서 개발계획 및 정책계획의 적정성 및 입지 타당성을 결정하는데 있어

보다 정량적인 평가의 기준을 제시함으로 대규모 전략·사업의 의사결정 시 활용 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

논문에 대해 많은 시간을 들여 심사와 의견을 주신 편집위원과 익명의 심사위원들게 진심으로 감사드립니다. 본 연구는 2020년도 환경부 “생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업Ⅲ” (2020-060) 및 KEI 연구과제(RE2020-05), “생태정보학적 생물다양성 평가기술 개발(II): 생물다양성 지도를 통한 정책활용 방안”의 지원으로 수행되었습니다.

References

Desmond, M.(2007) Decision criteria for the identification of alternatives in strategic environmental assessment. Impact Assessment and Project Appraisal 25: 259-269.

Duinker, PN and Greig, LA.(2007) Scenario analysis in environmental impact assessment: improving explorations of the future. Environmental Impact Assessessment Review 27: 206-219.

EIASS, https://www.eiass.go.kr/

Esmail, B. A., & Geneletti, D.(2017). Design and impact assessment of watershed investments: An approach based on ecosystem services and boundary work. Environmental Impact Assessment Review 62: 1-13.

Geneletti, D.(2016). Ecosystem services for Strategic Environmental Assessment: concepts and examples. In: Geneletti, D.(Ed). Handbook on biodiversity and ecosystem services in impact assessment, Edward Elgar Publishing, 41-61.

Geneletti, D.(2011). Reasons and options for integrating ecosystem services in strategic environmental assessment of spatial planning. International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management 7: 143-149.

Geneletti, D.(2013). Assessing the impact of alternative land-use zoning policies on future ecosystem services. Environmental Impact Assessment Review 40: 25-35.

Geneletti, D., Zardo, L., and Cortonovis, C.(2016). Nature-based solutions for climate adaptation: Case studies in impact assessment for urban planning. Handbook on Biodiversity and Ecosystem Services in Impact Assessment.

von Haaren, C and Albert, C.(2011) Integrating ecosystem services and environmental planning: limitations and synergies. International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management 7: 150-167

IAIA. 2014. Alternatives in Strategic Environmental Assessment of Plans and Programs. FasTips No.7

Jong Sung Kim et al.(2017) A Preliminary Study for Identifying Soil Management Area in Environmental Impact Assessment on Development Projects. Journal of Environmental Impact Assessment 26: 457-469 (in Korean with English summary).

Kim Choong-Ki et al.(2020) Ecosystem Services Evaluation and Pilot Mapping ProjectⅢ. Ministry of Environment. Seoul (in Korean with English summary).

Kim Kyoung-Ho et al.(2018) Improving effectiveness of strategic environmental impact assessment(SEIA) in agricultural water resource development planning: with an emphasis on conjunctive use of ground-

water-surface water. Korean Environment Institute.

Kumar, P., Esen, S. E., and Yashiro, M.(2013) Linking ecosystem services to strategic environmental assessment in development policies. Environmental Impact Assessment Review, 40: 75-81.

Lee Sang-beum et al.(2015) A Study on the Alternatives of Environment Impact Assessment, Korea Environmental Institute.

Millennium Ecosystem Assessment(2005). Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press, Washington, DC

National Law Information Center, 「ACT ON SPECIAL CASES CONCERNING THE SIMPLIFICATION OF AUTHORIZATION AND PERMISSION PROCEDURES FOR INDUSTRIAL COMPLEXES」 Article 23.

R Development Core Team(2020) R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computin. Retrieved from https://www.R-project.org/

Rozas-Vásquez, D., Fuerst, C., Geneletti, D., and Almendra, O.(2018) Integration of ecosystem services in strategic environmental assessment across spatial planning scales. Land use policy 71: 303-310.

Sharp, R., Douglass, J., Wolny, S., Arkema, K., Bernhardt, J., Bierbower, W., Chaumont, N., Denu, D., Fisher, D., Glowinski, K., Griffin, R., Guannel, G., Guerry, A., Johnson, J., Hamel, P., Kennedy, C., Kim, C.K., Lacayo, M., Lonsdorf, E., Mandle, K., Rogers, L., Silver, J., Toft, J., Verutes, G., Vogl, A.L., Wood, S., and Wyatt, K.(2020) InVEST 3.9.0, Standford University, CA

Strategic Environmental Assessment Manual (2017.12.31.), Ministry of Environment.

Wickham, H.(2020) ggplot2: Elegant graphics for data analysis. Springer-Verlag New York. ISBN 978-3-319-24277-4, Retrieved from https://ggplots2.tidyverse.org