

훼손된 도시생태계 생태복원 평가지표 제시 및 복원성과 분석*

손희정¹⁾ · 김도희²⁾ · 김나영¹⁾ · 홍진표³⁾ · 송영근⁴⁾

¹⁾ 서울대학교 대학원 협동과정 조경학 학생 · ²⁾ 서울대학교 환경계획연구소 박사후연구원 ·

³⁾ 우영환경개발(주) 박사 ·

⁴⁾ 서울대학교 환경대학원 환경조경학과 교수

Evaluation indicators for the restoration of degraded urban ecosystems and the analysis of restoration performance*

Sohn, Hee-Jung¹⁾ · Kim, Do-Hee²⁾ · Kim, Na-Yeong¹⁾ · Hong, Jin-Pyo³⁾ and Song, Young-Keun^{1),2),4)}

¹⁾ Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University, Student,

²⁾ Environmental Planning Institute, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University,
Senior postdoctoral researcher,

³⁾ Woo Young Environment & Development, Co., Ltd., Ph.D,

⁴⁾ Dept. of Landscape Architecture, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University,
Professor.

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of urban ecosystem restoration projects by evaluating the short-term restoration performance of the project sites, from both qualitative and quantitative evaluations. In this study, for the qualitative evaluation, we derived the evaluation frame from previous studies and literature. For the quantitative evaluation, the changes in ecological connectivity after the restoration project were described using landscape permeability and network analysis. In addition, changes in habitat quality after the restoration project were evaluated by using InVEST Habitat Quality Model. These evaluations were applied to the three natural madang (ecological restoration) projects and

*본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 환경정책기반공공기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다 (No. 2018000210007).

First Author : Sohn, Hee-Jung, Interdisciplinary Program in Landscape Architecture,
Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Student,
Tel : +82-2-880-5647, E-mail : hjbbw91@nsu.ac.kr

Corresponding author : Song, Young-Keun, Dept. of Landscape Architecture,
Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Professor,
Tel : +82-2-880-8860, E-mail : songyoung@snu.ac.kr

Received : 18 November, 2019. **Revised** : 25 December, 2019. **Accepted** : 20 December, 2019.

two ecosystem conservation cooperation projects.

As a result, three categories, 10 indicators, and 13 sub-indicators were derived from literature as the evaluation frame for this study. In the case of quantitative evaluation of restoration performance, habitat quality increased by 45% and ecological connectivity by 37% in natural-madang, and habitat quality by about 12% and ecological connectivity by about 19% in ecosystem conservation cooperation projects. This implies that the ecological restoration project can increase the ecological connectivity and the habitat quality of degraded sites even in a short period of time by improving the land-cover and land use. The results by applying the evaluation frame indicated that ecological and environmental factors and the ecological functions were improved by the restoration works, even though the magnitude of performances were diverse depending on the specific evaluation items, project type, and site characteristics. This study clarified that the success of ecological restoration project should be assessed by both of the short-term and long-term goals, which can be achieved by the maintenance and sustainable management, respectively.

Key Words : Ecological restoration, Ecological connectivity, Network analysis, InVEST, Habitat quality, Urban ecology

I. 서 론

훼손된 생태계에 대한 국제적 관심과 요구는 증가하는 추세를 보이고 있다. 국내의 경우 습지, 하천, 자생종 등 생태계 전반에 걸쳐 복원이 추진되고 있으며 정책적으로는 생태복원 분야 자격제도 도입('04), 자연환경복원법 신설 추진('18) 등 전문 업종 육성과 기술보급을 위한 각종 지원책을 강구하고 있다. 산림청에서는 온실가스 감축 방법에 산림복원을 포함(REDD+)하였으며 국토해양부에서는 도로개설, 개발사업 등으로 인한 훼손지에 대하여 서식처 대체 조성 등 복원개념을 적극적으로 도입하고 있는 실정이다.

우리나라의 자연환경 관련 국제회의 유치·참여가 증가하고 있고, 국가 간 자연환경 협력이 확대되고 있는 상황에서 자연보전 관련 역할이 증대되고 있다(환경부, 2015). 또한, CBD (Convention on Biological Diversity), UNEP (United Nations Environment Programme), SER (Society for Ecological Restoration), PEMSA (Partnerships

in Environmental Management for the Seas of East Asia) 등 각종 국제기구·단체와의 협력 및 협약에서도 훼손된 생태계 복원의 중요성을 강조하고 있으며 국제 협력체계를 바탕으로 환경협력 기반 마련을 위한 사업, 계획이 진행·추진되고 있다.

생태복원은 저하, 손상 또는 파괴된 생태계의 복구를 돕는 과정이다(SER, 2004). 이러한 생태복원의 성공 여부를 평가하기 위해 생물 종 다양성을 지표로 하여 동식물의 종 다양성 회복 정도 및 특정 종의 서식 여부 등 종의 구성 변화에 따라 평가하거나(Waltz et al., 2004; Siddig et al., 2015), 식생 구조를 지표로 하여 수목 밀도, 수고, 수관폭, 바이오매스 등 측정을 통한 평가(Matthews et al., 2009; Piqueray et al., 2011; Sukanuma et al., 2015), 생태학적 과정을 지표로 토양의 pH, 경도, 이온 유기물 등 비생물학적 요소들이 평가하는 등 (Andres et al., 2006; Velasquez et al., 2007; Cui, 2009) 의 연구가 수행되었으나, 대부분 단일 지표를 적용, 한정적인 측면에서 평가하였으며 종합적인 면을 고려한 평가는 적었다 (Ruiz-Jaen et al., 2005). 따라서 생물다

양성과 생태계 서비스 제공을 증가시킨다는 점에서 체계적으로 복원성과를 평가할 필요가 있다 (Palmer et al., 2005, Benayas et al., 2009).

현재 국내의 복원성과 평가 연구는 식생 구조 변화 등에 관한 연구(Song et al., 2017; You et al., 2016; Oh, 2017; Kim, 2019)와 토양의 미생물을 활용한 복원성과에 대한 연구(Kang et al., 2017), 복원 전후 토양의 이화학성 특성 변화 측정에 의한 평가 연구(Han et al., 2019), 적용 공법에 따른 생태복원성과 비교연구 (Kang et al., 2017; Byeon et al., 2017) 등 주로 식생 구조 및 토양의 변화로 평가되었다. 훼손지 및 복원지를 평가하는 지표를 제시한 연구의 경우 Choi 외 (2016)는 토양의 물리화학적 특성에 관한 14개의 지표, 식생 생장 및 구조와 관련하여 천이과정, 목표종 관리, 종 다양성, 수관폭, 흉고직경, 수고 등 10개의 지표, 서식처 특성 관련하여 복원 면적, 유사도 지수, 훼손 면적, 기생충 출현 등 6개 지표, 생물환경 및 경관구조 관련하여 연결성, 경관지수, Shannon Index 등 9개 지표를 제시하고 총 4개 평가 분야 39개의 평가지표를 제시하여 훼손지 유형에 따른 평가지표를 제시한 바 있다. Kim 외(2018)는 녹화공사의 사후 환경평가 항목을 제안하여 공사 이후 환경평가 지표를 제시하였다. 생태성 관련 항목에서 식생 피복율, 목본 및 초본 출현종 수, 위해종 등을, 안전성 항목에서 식생기반재의 물리적 특성, 식생 생육 크기 등을, 경관성 항목에서 특정 종의 우점현상 및 주변환경과의 유사도 등을 제시하였다. 이러한 관련 연구들의 평가항목은 참고하되, 도시 생태복원 사례에 현실적으로 적용될 수 있도록 평가 기준 재고, 항목의 간소화에 대한 추가 연구가 요구된다.

생태복원사업과 관련하여 정부 기관 중심의 보고서에서도 관련된 선행연구들을 찾아볼 수 있다(National Institute of ecology, 2017; Korea Ministry of Environment, 2014; National Institute of Environmental Research; 2009,

2015). 국립생태원(2017)에서는 생태복원공간의 회복력과 기능 등 두 가지의 특성에 대하여 입지 특성 및 조성 현황, 현존식생, 서식 현황, 환경조절기능, 생물 서식 기능, 인간공존 기능 등에 대한 평가를 수행하였다. 환경부(2017)에서는 생태복원사업지를 대상으로 기온, 지형, 토양 물리화학적, 수리수문, 훼손 여부, 동식물의 목표종 출현 여부 등의 항목을 필수 조사하도록 하였으며, 이 외에 토성, 토양생물상, 수질, 식생 구조, 동물종의 분포현황과 출현종수 등 전문기관에 의뢰하여 분석하는 항목을 선택 조사함으로써 유지관리의 방향을 설정하였다. 이러한 생태복원사업 후 통상적으로 이루어지는 2년간의 모니터링은 초기 공사가 성공적으로 이루어졌는지를 판단하는데 중요한 단계지만, 중장기적 생태복원성과평가와는 다소 거리가 있다.

이상의 국내 생태복원성과에 대한 진단평가 연구는 대체로 식생 및 토양 등 일부 항목에 국한되어 있어 종합적인 평가에 한계가 있고, 평가항목이 전문적이고 방대하여 과학적 근거는 있으나 적용이 쉽지 않고, 일부 평가지표들의 경우 평가 대상지가 국립공원 및 보전지역이라는 특수성이 있어, 실제 자연마당이나 생태계보전협력금 반환사업이 다수 시행된 도시지역 훼손지 생태복원사업의 성과를 평가하기에는 내용이 새롭게 검토될 필요가 있다. 특히 현재까지 다양한 유형으로 전개되어 온 생태복원사업들에 대해, 체계적으로 평가할 수 있는 진단과 평가의 틀이 구축될 필요가 있다. 그러나 중장기적으로 복원사업의 성공 여부를 진단하고, 지속적으로 복원목표를 달성하기 위한 사후관리 방향을 제시할 수 있는 종합적이고 체계적인 진단평가가 필요하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 기존 생태복원사업대상지의 성과를 평가함으로써 도시생태계 복원에 대한 가능성과 시사점을 도출하고자 한다. 이를 위해 기존 문헌들로부터 생태복원 평가와 관련된 항목들을 통합, 도출하여 체계화된 진단

Table 2. Derived indicators for evaluating the restoration project sites in this study (Ministry of Environment, 2018)

Category	Indicator	Contents						
			0	1	2	3	4	
1. Cause and Status of Degradation (qualitative delineation)	Site characteristics & surrounding environment	Total site area, Location, Climate, Land use/land cover						
		Land use of surrounding, Pollution facility, Target species						
	Ecosystem type	Natural area(forestry, wetland, stream, grassland, coast), Mixed natural area (urban, farm village, artificial aquatic, barren land)						
	Degraded condition	Cause of degradation, degrading period, range, restoration						
2. Ecological and environmental factors	Degradation scale	Degraded area (%) (loss of natural environment, landform transformation, loss of top-soil surface)	-	≥75	50 ≤ < 75	25 ≤ < 50	< 25	
		Fragmentation	green area(m ²)	-	< 800	800 ≤ < 5000	5000 ≤ < 10000	≥ 10000
			number of green patches	-	≥ 4	3	2	1
	Aquatic environment	Water quality (Lake Water Quality Standards, Ministry of Environment)	pH	-	6.0-8.5	6.0-8.5	6.0-8.5	6.0-8.5
			COD(mg/l)	-	≤ 100	≤ 8	≤ 6	≤ 3
			SS(mg/l)	-	No litter	≤ 15	≤ 15	≤ 5
			DO(mg/l)	-	≥ 2	≥ 2	≥ 5	≥ 5
			MPN/100Mℓ	-	-	-	≤ 5000	≤ 1000
			Total-P(mg/l)	-	≤ 0.15	≤ 0.1	≤ 0.05	≤ 0.03
			Total-N(mg/l)	-	≤ 1.5	≤ 1.0	≤ 0.6	≤ 0.4
			Open water area ratio	-	Continuous flow rate is opaque	possible to keep the flow rate in the water supply period, but it is opaque keep the flow rate in the low season period		
	Soil	Organic content ratio (%)	-	≤ 1.725	1.725 < ≤ 4.350	4.350 < ≤ 10.815	10.815 <	
		Effective soil depth(cm)	-	≤ 16.000	16.000 < ≤ 25.500	25.500 < ≤ 37.500	37.500 <	
		Soil acidity (pH)	-	< 2.000 or 8.000 < ≤ 10.000	2.000 < ≤ 4.000 or 10.000 < ≤ 12.000	4.000 < ≤ 6.000 or 8.000 < ≤ 10.000	6.000 < ≤ 8.000	
		Soil hardness(mm)	-	≥ 27	24 ≤ < 27	21 ≤ < 24	< 21	
		Inorganic cation content(cmol/kg)	K+	-	< 0.6	0.6 ≤ < 3.0	≥ 3.0	
	Ca2+		-	< 2.5	2.5 ≤ < 5.0	≥ 5.0		
Mg2+	-		< 0.6	0.6 ≤ < 3.0	≥ 3.0			
Vegetation	Community type / condition							
	Vegetation structure							
	Similarity to the surrounding natural environment (%)		< 25	25 ≤ < 50	50 ≤ < 75	≥ 75		
Fauna	Presence of important species (keystone species, flagship species, endangered species, indicator species)	none	1 species		more than 2 species			
3. Ecological function	Effect with surrounding environment	Ecological connectivity	not connected and no greenery exists within 500m	not connected but greenery exists within 500m	not connected but greenery exists within 300m	Partially connected to vegetated space and waterfront	Connect through ecological pathways and ecological axis	
		Climate control and disaster reduction	Evaluate the number of items that for micro-climate control and climate change adaptation					
		0	1	2	3	4		
	Vegetation succession (community scale)	Degraded area (unhealthy tree area, mortality)	-	≥ 50	25 ≤ < 50	10 ≤ < 25	< 10	
		Invasive species, disturbed species	-	≥ 50	25 ≤ < 50	10 ≤ < 25	< 10	
Wildlife habitat	Habitat conditions for each target taxonomic group	-	Absence	poor	fair	good		

평가들을 구축하고, 이를 실제 대상지에 적용함으로써 생태복원사업의 성과를 평가하고자 한다. 또한, 복원사업 초기 성과에 대한 보다 정량적인 평가를 위해 사업 전후 토지피복지도 상의 변화 자료를 활용하여 생태적 연결성과 서식처 질의 측면에서의 개선 여부를 평가하는 것을 연구의 목적으로 한다.

II. 연구 방법

1. 진단평가들 도출 및 적용

본 연구에서는 기존 훼손 및 생태복원지의 진단평가, 복원사업 모니터링 및 유지관리 가이드라인 등의 선행연구를 통합적으로 고려하여 평가들 및 기본 항목을 도출하였다. 해당 항목들을 훼손 원인과 현황, 생태환경 요소, 생태적 기능 항목으로 구분하여 원인-구조-기능으로 체계화하였다. 훼손 원인과 현황 항목에서 대상지의 개요를 정성적으로 기술하고, 생태환경 요소 부분에서는 구조를 파악하기 위하여 훼손 규모,

Table 1. References and evaluation items for the ecological restoration project

Reference		Derived Indicators
Korea National Park Research Institute, 2016	Development of Technic and Foundation Construction for Ecosystem Conservation	contents for the whole frame of assessment and the indicators
Ministry of Environment, 2017	Monitoring Techniques and Adaptive Management Guidelines for Ecological Restoration Sites	
National Institute of Ecology, 2017	Diagnostic Assessment of Damaged Ecosystem and Restoration Areas and Practice of Resilience	
Ministry of Environment, 2017	Ecological Restoration Methods Development Using Native Species in DMZ Vicinities	degraded area
Korea National Park Research Institute, 2016	Evaluation of the Restoration Projects in National Park	degraded area, green area, patch area, tree stem size, number of important species (native, rare·endemic, invasive plants), stratified number of vertical vegetation structure, similarity on the vegetation succession
National Institute of Forest Science, 2016	Forest Health Monitoring Report	physical and chemical properties of soil, organic content ratio, effective soil depth, soil acidity
Seoul, 2016	Seoul Biodiversity Strategies and Action Plan(2017-2021)	fauna, habitat diversity, invasive species
Ministry of Environment, 2014	Manual of Survey Evaluation and Diagnosis for Ecological River Restoration	water quality, aquatic environment
JBIB Institute, 2013	Japan Business Initiative for Biodiversity	vegetation structure, green area, patch size, target species
National Institute of Environmental Research, 2009	A Study on the Efficient Management of Artificially Created Ecosystem II	open water area ratio
National Institute of Environmental Research, 2015	Manual of Survey and Evaluation of Aquatic Ecosystem Health	aquatic environment
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2016	Landscape Design Standards Manual	soil hardness, substituted cationic content, physical and chemical properties of soil

수환경, 토양환경, 식생, 동물 등 각 생태계 요소별 환경기준의 만족 여부를 평가하기 위한 항목을 참고하였다. 생태적 기능 부분은 각 요소가 잘 기능하고 있는지를 판단하는 분야로, 주변환경과의 연결성, 식생 천이, 동물서식처 평가항목 등을 통해 복원 정도를 파악하고자 하였다. 해당 체계에 맞춰 Table 1의 선행연구로부터 도시생태계 생태복원성과평가에 도입이 적합한 세부항목 및 세부 평가방법을 도출하였다. 훼손지 평가항목과 틀은 과학적 근거로 활용될 수 있도록 세부평가 기준을 명시하되, 각 세부 평가항목들은 0~4점의 척도로 평가하도록 함으로써 적용이 용이하도록 설정하였다.

대상지 선정의 이유로는 대전 자연마당은 도심에 둘러싸인 곳으로 도심 유형을 대표하고, 인천 자연마당은 논에 인접한 곳으로 농촌 유형을 대표하며, 익산 자연마당의 경우 잔존산림과 접하고 있는 곳으로 산림 유형을 각각 대표할 수 있어, 도시생태계 복원유형으로 나타낼 수 있는 다양한 경우를 반영하고자 하였다. 또한, 복원 규모에 따른 복원성과 결과를 비교하기 위하여 자연마당 사업지 이외에도 생태계보전협력금 반환사업 대상지 2곳을 선정하였다[Table 5]. 양지말생태복원지의 경우 산림 유형으로, 양평배후습지복원지의 경우 습지 유형으로 보고서로 다른 유형 중에서 각각 선정하였다.

조성 전 대상지는 불투수면 포장의 도시 내 오픈스페이스(대전 정부청사), 주변이 급격히 개발되면서 고립·방치된 상태(인천 연희), 나대지로 방치되어 폐기물, 경작지로 훼손된 상태(익산 소라산, 양지말), 나대지로 육화되고 방치(양평 배후습지)되어있어 생태복원사업이 시급한 상태였으며, 이에 생태복원사업이 시행되어 약 2015~2016년에 걸쳐 완료되었다.

복원 이후 분석을 위해 현장조사는 2018년에 자연마당을 중심으로 1차 조사를 진행하였으며, 2019년 4월~8월(약 4개월간)에 생태계보전협력금 반환사업 2개소를 추가 선정하여 총 5개소에

복원 진단평가 적용을 통해 복원지의 규모와 주변 환경 등을 비교·분석하였다. 추가로 각 공원의 조성 후 사후 모니터링 보고서(Nexus, 2017; Design forest, 2018; Sambul E&C, 2018; Green for L, 2018; Korea Association of Ecological Restoration, 2019)를 보조적으로 활용하였다.

2. 복원사업의 정량적 평가

생태복원사업 전후 초기 성과로써, 토지피복 변화에 따른 해당 지역의 복원 정도를 정량적으로 평가하기 위해 생태적 연결성 분석과 서식처 질 평가를 수행하였다. 구체적인 평가 내용은 다음과 같다.

1) 생태적 연결성 변화 분석

생태적 연결성이란 생물 종의 이동 및 유전자의 흐름이 촉진되거나 방해되는 정도로 정의되며(Taylor et al., 1993), 특히 기능적 연결성의 경우 생물 종이 경관 내에서 이동할 수 있는 정도로 정의된다(Uezu et al., 2005). 생태적 연결성을 예측하기 위해서는 토지피복과 토지이용 분석에 따른 잠재적인 연결 경로를 파악해야 하며(Kang et al., 2015), 본 연구에서는 이를 확인하기 위해 유용한 전류흐름 매개중심성(Current flow betweenness centrality) 값을 활용하였다.

전류흐름 매개중심성은 그래프 이론을 기반으로 정점과 전류 흐름 사이의 관계가 전류의 양으로 정의된다. 또한, 네트워크에서 가능한 모든 정점 쌍 사이에서 정점을 통과하는 전류 흐름의 비율을 측정하게 된다. 전류흐름 매개중심성을 구하는 식은 (수식 1)과 같다.

$$C_{cs}(v) = \frac{\sum_{s \neq t \in V} I_v^{(st)}}{\frac{1}{2}n(n-1)} \quad (1)$$

$I_v^{(st)}$: current flow through node v between source s and sink t
 $n(n-1)/2$: normalizing constant

분석을 위한 토지피복지도의 경우 각 대상지의 조성 전후를 평가하기에 적합한 연도의 세분

Table 3. Landscape permeability by land cover type (Kang et al., 2018)

Land-cover type	Permeability
Forest	100
Wetland	30
Grassland	30
Bare land	20
Water	20
Agricultural area	10
Built-up area	1

류 및 중분류 토지피복지도를 환경공간정보서비스(EGIS:https://egis.me.go.kr)에서 내려받아 중분류 토지피복 기준에 맞추어 항목을 통합한 후 분석에 활용하였다. 추가로 대상지 별 토지피복지도에 현재의 현황을 반영하기 위해 항공사진과의 육안 비교를 통해 수정한 뒤 공간 해상도를 10m로 조정하여 분석을 시행하였다.

각 토지피복 유형에 따른 생태적 연결성은 기존 연구를 참고하여 (Kang et al. 2018), 산림, 초지, 나대지, 수계, 농경지, 시가지화 지역별로 연결용이성(투과성)을 부여하였다(Table 3).

이러한 투과성 값을 기반으로 Connectivity Analysis Toolkit (CAT)(Carroll, 2012)을 활용하여 다양한 형태의 패치가 모사 가능한 0.1ha 단위의 육각형 격자 지도를 생성하고, 이로부터 전류흐름 매개중심성을 계산하였다. 대상지 별 전류흐름 매개중심성 값은 대상지 내부에 포함되는 육각형 격자의 평균값으로 산출하여 복원

사업 전과 이후 값을 비교함으로써, 복원사업으로 인한 주변 지역과의 생태적 연결성 변화를 분석하였다.

2) 서식처 질 변화 평가

서식처 질(Habitat Quality)은 공간이 생물종의 지속적 서식에 적합한 환경을 제공하는 능력을 의미한다. 본 연구에서는 대상지에서 생태계가 지속할 수 있는 적합한 조건을 평가할 수 있는 InVEST(Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs) 모델 중 Habitat Quality 모듈을 활용하여 생태복원 전후 대상지의 서식처 질을 비교하였다(Tallis et al., 2011; Sharp et al., 2014).

InVEST 모델은 토양, 지형 및 기후, 생물종 등의 환경정보와 토지이용현황을 연계하여 생태계 서비스를 제공할 수 있는 기반에 대한 예측을 제공한다. InVEST 3.6.0 버전에서는 16가지의 모델을 제공하고 있으며, 그중 Habitat Quality 모델은 토지피복을 기반으로 격자에 위협인자가 끼치는 영향력과 서식처의 특성에 따라 서식처 질이 계산된다. Habitat Quality 모델은 인간의 활동에 따른 토지 개발 및 이용이 증가함에 따라 서식처 질이 저하되는 현상을 바탕으로 서식처 가치를 산출하기 때문에 본 연구와 같이 도시생태계 대상지에 적합하다고 판단하였다. 모델 구동 시에는 토지피복지도, 위협요인 요소와 각 요인의 최대영향거리, 각 토지피복

$$i_{rxy} = 1 - \left(\frac{d_{xy}}{d_{rmax}} \right) \text{ if linear} \quad (2) \quad D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left(\frac{w_r}{\sum_{r=1}^R w_r} \right) r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr} \quad (4)$$

$$i_{rxy} = \exp \left(- \left(\frac{2.99}{d_{rmax}} \right) d_{xy} \right) \text{ if exponential} \quad (3)$$

$$Q_{xj} = H_j \left(1 - \left(\frac{D_{xj}^x}{D_{xj}^x + k^z} \right) \right) \quad (5)$$

d_{xy} : the line distance between grid cells x and y
 d_{rmax} : the maximum effective distance of reat r 's reach across space
 w_r : threat weight that relates destructiveness of a degradation source to all
 β_x : level of accessibility in grid cell x S_{jr} : sensitivity of land use type j

유형에 따른 위협요인 민감도 등의 입력자료가 요구된다. 구체적으로는 서식처 위협요소의 최대영향거리와 위협 정도에 따라 계산되며, 이때 최종 서식처의 질은 각 토지피복 유형에 따른 위협요인 민감도 즉, 서식처 적합성이 반영된다. 서식처 질을 구하는 데 이용되는 수식은 (수식 2), (수식 3), (수식 4), (수식 5)와 같다.

본 연구에서는 환경공간정보서비스 (EGIS: <https://egis.me.go.kr>)에서 제공하는 중분류 토지 피복지도를 활용하여 22개의 토지피복유형에 따른 서식처 적합성을 (Table 3)와 같이 설정하였다. 또한, 선행연구를 참고하여 작성된 5개의 위협요인 및 민감도 자료를 활용하였다(Table 3) (Kim et al, 2015; Kim et al, 2018). 이후 복원사업 전후 토지피복지도를 바탕으로 대상지의 서식처 질 변화를 산출하였으며 평균값을 비교하였다.

III. 결 과

1. 훼손 및 복원 진단평가틀 도출

참고문헌을 통해 도출한 평가항목들을 훼손 원인과 현황, 생태환경 요소, 생태적 기능으로 분류하여 (Table 4)와 같이 원인-구조-기능의 체계화된 진단평가틀을 도출하였다. (Table 4)의 세부평가 기준은 Ministry of Environment (2018)을 따르며 그 개요는 다음과 같다.

훼손 원인과 현황 부문에서는 대상지와 주변 환경에 대한 위치 및 면적, 기후특성, 토지이용 현황, 오염유발시설 현황, 목표종 선정 여부를 파악하며, 훼손 상태의 원인, 영향 시기 및 범위, 대책 시행 여부 등을 정성적으로 기술하도록 하였다.

생태환경 요소 부문에서는 훼손 규모, 수환경, 토양환경, 식생, 동물 등 구성요소별 최소한의 질을 만족하고 있는지에 대한 평가항목으로 현재 훼손된 상태를 구체적인 기록값으로 나타내하고자 하였다. 훼손 규모 항목의 경우는 훼손 면적과 파편화로 세분하여 훼손 기준에 따라 면

적을 산정하고, 파편화의 경우 대상지 내 가장 큰 단일녹지의 크기와 대상지 내 녹지패치 수를 통해 파편화 정도를 파악하여 훼손된 정도를 평가하고자 하였다.

수환경의 경우 수질 등급, 개방수면 비율로 평가하고, 토양환경의 경우 유기물함량, 유효 토심, 토양 산도, 경도, 양이온함량으로 세부항목을 설정하였다.

식생 항목의 경우 군락 유형 및 현황, 층위별 구조, 주변 자연환경 대비 유사도의 세부항목으로 구성하였으며, 교목층(8m<), 아교목층(2m~8m), 관목층(0.8m~2m), 초본층(0.1~0.8m)에 따라 층위별 구조를 파악하고, 군락 유형 및 현황을 정성적으로 기재하여 모니터링과 현황 평가의 역할을 모두 할 수 있도록 항목을 구성하였다. 동물종 항목은 주요종 출현 여부로 평가하며, 주요종의 경우 핵심종, 보호종, 깃대종, 지표종 등 각 도시생태계의 상황에 맞는 생물종 리스트를 준용하여 평가하도록 하였다.



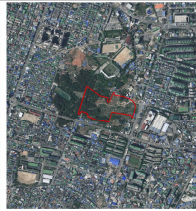

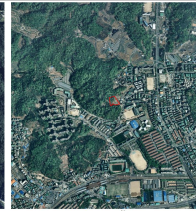
생태적 기능 부문에서는 훼손된 요소들이 주변에 미치는 영향을 평가하고자 하였으며, 따라서 생태환경 요소 부문에서 평가된 결과와 연계하여 그 영향을 진단하고자 하였다. 생태적 연결성 단절 영향 항목에서는 대상지가 주변 녹지 및 서식처와 연결된 정도를 파악하고, 기후조절 및 재해저감 영향을 평가하기 위해서는 대경목, 수공간의 유무, 식피율 등 미기후조절 항목과 연관된 사항들이 반영되도록 평가항목을 설정하였다.

식생 천이 항목의 경우 외래종 및 생태계 교란종 비율과 고사목 면적 비율을 통해 기능이 저하되었음을 평가하고, 동물서식처 평가항목의 경우 각 대상지의 목표종 분류군의 서식조건 확보 여부를 통해 평가하도록 하였다.

2. 생태복원사업 대상지 적용 결과

앞서 도출된 진단평가 틀을 실제 생태복원사업 대상지 5개소(Table 5)에 적용함으로써 복원

Table 4. Study sites

	Natural madang (ecological restoration) project			Ecosystem conservation cooperation project	
	Incheon-yeonhee park	Daejeon-government bld park	Iksan sora-san park	Yangpyeong wetland -park	Yangjimal park
Type	Paddy field	City	Near mountain	Marsh	Mountain
Site map					
location	129, Yeonhui-dong, Seo-gu, Incheon	930, Dunsan-dong, Seo-gu, Daejeon	276, Yeongdeung-dong, Iksan, Jeonbuk	325, Yongdam-ri, Yangseo-myeon, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do	1-8, Gung-dong, Guro-gu, Seoul
Area (m ²)	69,442	56,860	55,000	9,950	1,980
Construction period	2013- 2015	2014- 2016	2013- 2015	2016	2015

성과를 파악하고자 하였다. 이를 통해 진단평가들의 적합성 및 활용 가능성을 현장에서 확인하며 기존 사업의 시사점을 도출하고자 하였다.

1) 훼손 원인과 현황

훼손 원인과 현황을 분석하기 위하여 (Table 4)의 3가지 평가항목에 대한 문헌 분석을 하였다. 대상지 토지이용현황의 경우, 현장조사와 시설평면도, 인터넷 기반 항공사진 서비스 (Daum, Naver)를 종합하여 분석하였고, 주변 토지이용의 경우 각 대상지의 지적도를 활용하여(국가공간정보포털, www.nsd.go.kr) 대상지 경계로부터 500m 이내의 토지이용 현황을 파악하였다. 이 주거지역의 경우 지목 중 ‘대’ 면적으로, 공업·상업·교통·공공시설지역의 경우 ‘도’(도로), ‘창(창고용지)’, ‘철(철도용지)’로 파악하였다. 문화 체육 휴양지역의 경우 ‘사(사적지)’, ‘공(공원)’으로, 농업지역의 경우 ‘답’, ‘잡(잡종지)’, ‘전’, ‘과(과수원)’, ‘목(목장용지)’으로, 산림지역 및 수역 지역의 경우 ‘천(하천)’, ‘유(유지)’, ‘임(임야)’ 등의 지목 면적을 통합하여 계산하였다. 이에 따른 복원사업 후 대상지별 토지피복

과 주변 토지이용 현황은 다음과 같다.

전라북도 익산시 영등동 276번지 일대에 위치한 익산자연마당의 경우 2015년에 조성되었으며, 면적은 총 55,000m²로 이중 산림 및 초지가 전체 면적의 82.5%인 45,397m²를 차지하며, 수변은 7,013m², 나지가 2,590m²를 차지하고 있다. 주변 토지이용은 42.8%로 주거지역, 공업·상업·교통·공공시설지역이 19.1%, 농업지역이 18.7% 등으로 나타났다.

인천광역시 서구 연희동 산 129번지 일원에 위치한 인천연희자연마당의 경우 2015년에 조성되었으며, 면적은 총 69,442m²로 산림 및 초지가 전체 면적의 약 87.1%인 60,513m²로 나지가 5,077m², 수변이 3,852m²으로 나타났다. 주변 토지이용은 농업지역이 77.8%, 공업·상업·교통·공공시설지역이 9.4%, 산림지역·수역이 8.8% 등의 순으로 나타났다.

대전광역시 서구 둔산동 930번지에 위치한 대전정부청사 자연마당은 2016년에 조성되었으며, 산림 및 초지 면적은 총 56,860m²로 전체 면적의 약 97.7%로 55,578.5m²을 차지하며, 나머지는 수변이 1,282m²으로 나타났다. 주변 토지

Table 5. Evaluation result of the study sites

Category	Evaluation item	Detailed evaluation item	Natural madang (ecological restoration) project			Ecosystem conservation cooperation project	
			Incheon	Daejeon	Iksan	Yangpyeong	Yangjimal
Ecological & environmental factors	Degradation scale	Degraded area (loss of natural environment)	4	4	3	4	4
	Fragmentation	Largest single green area	3	3	4	3	2
		Number of fragmented patches	4	1	3	3	2
	Aquatic environment	Water quality	3	3	·	3	·
		Open water area ratio, flow rate	4	3	4	1	·
	Soil	Physical·chemical properties of soil	3	2	·	·	·
	Vegetation	Similarity to the surrounding natural environment	1	2	2	2	2
Fauna	Presence of important species	4	4	4	0	2	
Ecological function	Surrounding environment	Ecological connectivity	2	2	4	3	3
		Climate control and disaster reduction	2	2	4	3	2
	Vegetation succession	Degraded area (unhealthy tree area, mortality)	3	2	3	3	4
		Invasive species, disturbed species	3	2	3	4	4
	Wildlife habitat	Habitat conditions for each target taxonomic group	1	3	1	3	2



Figure 1. Ecological and environmental factor score / Ecological Function Score

이용은 주거지역이 65.1%, 공업·상업·교통·공공시설지역이 23.0%, 문화·체육·휴양지역이 11.6%, 농업지역이 0.2%로 확인되었다.

경기도 양평군 양서면 용담리 325번지 일대에 위치한 양평 배후습지 복원사업의 경우 2016년도에 조성되었으며, 면적은 총 9,950m²로 산림 및 초지가 전체 면적의 85.9%인 8,544m²를 차지하며, 수변은 1,406m² 차지하고 있다. 주변 토지이용은 53.8%로 산림 및 수역 지역이, 다음

으로 농업지역이 28.9% 등으로 나타났다. 서울특별시 구로구 공동 산1-8, 산19-1 일대에 위치한 양지말 공원은 2015년도에 조성되었으며, 면적은 총 1,980m²로 산림 및 초지가 전체 면적의 대부분을 차지하고 있다. 주변 토지이용은 42.8%로 주거지역이 가장 높게 나타났으며, 다음으로 공업·상업·교통·공공시설지역이 19.1%, 농업지역이 18.7% 등으로 나타났다.

이를 종합하여 볼 때, 각 대상지는 앞서 선정

이유에서 밝힌 각 유형의 양상이 뚜렷하게 나타남이 확인되었다. 또한, 조성 전 훼손 원인인 불투수포장, 방치된 나지, 경작지 훼손, 습지 육화와 인위적 간섭 등이 복원사업을 통해 대상지 내 토지피복과 토지이용 양상이 투수면 조성, 녹지 조성, 주변과의 연결성 증대 등 생태적으로 변화되어 개선되었다고 판단되었다.

2) 생태환경 요소

훼손 면적 항목의 경우 익산 소라산 자연마당의 경우 일부 미매입지로 인해 4점 만점 중 3점으로 평가되었으나, 그 외의 대상지는 모두 생태복원을 통해 훼손 면적이 4점 (훼손 면적 25% 미만; 세부 기준은 Ministry of Environment, 2018)으로 좋은 평가를 얻었다. 파편화 항목의 경우 대상지 내 가장 큰 단일녹지 항목은 조성 규모에 따라 기준 적용에 한계가 있어 자연마당이 더 높은 점수로 평가되었다(Table 4). 파편화에 의한 패치 수의 경우 입지적 특성이 반영되는 항목으로, 예를 들어 대상지 특성상 주택가에 인접한 양지말 공원 및 시내에 위치한 대전정부청사 자연마당의 경우가 낮은 점수를 받았다.

수환경의 경우 대전, 인천 자연마당과 양평배후습지의 경우에는 양호한 등급의 수질이 확인되었다. 다만 양지말 대상지는 수로가 존재했지만, 수량이 확보되지 않아 수질 등급 평가가 불가능하였으며, 익산 자연마당의 경우는 데이터 부족으로 평가가 어려웠다. 주변 자연환경과의 조화 항목에 대해서는 대상지들이 조성 후 5년 이내의 상태로 현재 식재목의 활착과 천이를 평가하기에는 아직 무리가 있어, 주변환경과의 유사도 평가인 중장기적으로 관리되어야 하는 항목으로 평가되었다.

생태계보전협력금 반환사업지와 자연마당을 평가한 결과를 비교하였을 때, 생태환경 요소의 경우 파편화, 수환경, 토양, 식생, 동물상 항목에서 자연마당이 높은 점수로 평가되었다. 생태계

보전협력금 반환사업 대상지의 경우 소규모일 뿐만 아니라 주변의 주거지와 인접해 있어, 동물종의 흔적 등은 거의 발견되지 않았다. 그렇지만 일부 항목, 예를 들어 훼손 면적의 경우 생태계보전협력금 반환사업 대상지가 더 높은 점수로 평가되었는데 이는 대상지의 규모가 작아 복원사업을 통해 단기간에도 훼손지 면적의 비율을 줄일 수 있어 높은 등급으로 평가된 것으로 분석된다.

3) 생태적 기능

생태적 연결성의 경우 익산 소라산 자연마당의 경우 직접적으로 소라산의 잔존산림과 접하고 있어 높게 평가되었고, 양평배후습지 및 양지말 공원의 경우에는 각각 하천 및 산림과 접해있으나 도로로 단절되어 있었으며, 인천 및 대전 자연마당의 경우에도 잔존산림 및 공원과 500m 이내 위치하였으나 도심 내 위치하여 생태적 연결성은 낮게 평가되었다.

기후조절 및 재해저감 기능을 하기 위한 조성 요소로는 대경목, 높은 식피율, 수환경, 다층 수관구조, 재해저감을 고려한 계획 및 식재 유무 등을 체크리스트 형식으로 평가하였는데, 본 연구 대상지의 경우 대체로 높은 식피율 항목에서는 점수를 얻었으나 익산 및 대전 자연마당의 경우를 제외하고 대경목과 다층 수관구조 항목에서 점수를 얻지 못했다. 이 역시 중장기에 걸쳐 달성되는 평가항목으로 분류되었다.

식생천이 항목의 경우 고사목 및 생태계 교란 식물로 평가되는데, 대전과 인천 자연마당의 경우 특히 생육상태가 불량한 수목들이 다수 관찰되었다. 훼손 원인과 현황 분석에서 나타난 토양환경의 한계와 동시에 기후적 영향에 의해 수목의 수세가 약해진 것으로 판단되어 지속적인 사후관리가 요구된다.

동물서식처 항목의 경우 양평배후습지의 경우 양서파충류 및 육상 곤충이 서식하기 적합한 환경으로 평가되었고, 조류 또는 포유류 출입

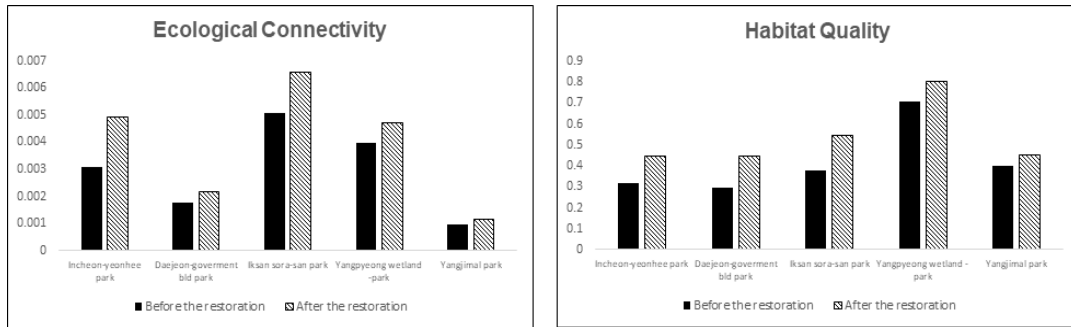


Figure 2. Average value of ecological connectivity analysis and habitat quality analysis

가능성도 확인되었다. 대전자연마당의 경우에는 초화류 및 초지로 인해 곤충류 서식환경으로 적합하였고, 다양한 수생생물이 식재된 습지로 인해 양서류가 서식하기에 적합한 것으로 평가되었다. 인천연희자연마당의 경우 경작지와 인접하여 조류의 서식처로서 높게 평가되었고, 양서류, 육상곤충류 서식처 관리가 요구되었다. 동물서식처 기능은 조성 취지에 맞는 지속적인 관리가 있어야 목표종의 서식이 가능해지므로 중장기적 목표를 통해 달성되는 평가항목으로 분류되었다.

생태적 기능 평가항목의 경우 중장기적 성과로, 식물의 활착이 이루어지고 생태기반이 안정화됨에 따라 단계적으로 달성될 수 있으며, 따라서 지속적인 모니터링 및 사후관리가 요구된다.

3. 생태복원사업의 정량적 평가분석

복원사업에 따른 토지피복 및 이용의 개선 효과로, 대상지의 생태적 연결성 및 서식처 질이 향상된 것으로 분석되었다. 인천자연마당의 경우 대상지 동쪽의 대규모 개발의 영향도 고려되었으나 복원사업에 의해 내부 환경이 녹지화되면서 서식처 질이 개선된 것으로 나타났다. 대전 자연마당의 경우 복원사업 이전 대상지는 불투수면 포장의 공간이었던 곳으로, 복원사업 이후 녹지화로 주변 공원과의 연결성이 증진되고 내부 환경이 개선되어 서식지 질이 향상된 것으

로 판단된다. 익산 자연마당의 경우에는 폐기물이 방치되고 불법 경작이 이루어지고 있는 상태에서, 복원사업이 진행되어 주변의 잔존산림인 소라산과의 연결성이 증대되고, 나대지였던 내부가 녹지로 개선되면서 서식지 질이 향상되었다. 양지말 생태공원의 경우도 나대지로 방치되어 경작지로 훼손된 상태에서 복원사업 후 주변 산림과의 연결성이 증진되고, 내부 환경이 개선되었고, 양평배후습지 대상지의 경우 습지 공간이 나대지로 육화되고 주변 환경이 개발되고 있는 상태에서 복원사업이 진행되면서 하천과의 연결성이 증대되어 주변 생물이 도입될 수 있는 환경으로 개선되었다.

1) 연결성 변화 분석

익산 자연마당의 경우 2013년 중분류 토지피복지도와 2016년 세분류 토지피복지도를 중분류로 통합하고, 이후 수정하여 복원사업 전후의 연결성을 비교하였다. 2013년(매개중심성: $5.08 (\pm 2.24) \times 10^{-3}$)에 비하여 2016년(매개중심성: $6.59 (\pm 1.18) \times 10^{-3}$)에 약 1.3 배 연결성이 향상되었다.

인천 자연마당의 경우 자료 현황으로 인해 2014년 세분류 토지피복지도를 활용하여 중분류로 통합 후, 조성 이전 토지피복지도로 활용하고, 같은 자료를 활용하여 현재 공원의 현황을 반영하기 위해 인터넷 기반 항공사진 서비스 (Daum, Naver)와의 육안 비교를 통해 수작업으

로 수정하여 복원 이후의 토지피복지도를 작성하였다. 2014년 복원사업 이전(매개중심성: $3.1 (\pm 0.65) \times 10^{-3}$), 조성 이후 (매개중심성: $4.92 (\pm 1.34) \times 10^{-3}$) 1.58배 향상되었다.

$\times 10^3$) 약 1.20 배 연결성이 향상된 것으로 나타났다.

2) 서식처 질 변화 분석

Table 6. Natural madang project quantitative evaluation - Ecological connectivity analysis, Habitat quality analysis

Ecological connectivity analysis		Habitat quality analysis	
Before the restoration	After the restoration	Before the restoration	After the restoration
<p>Iksan sora-san park</p> <p>Boundary</p> <p>Ecological connectivity value</p> <p>2.9×10^{-2}</p> <p>0</p>		<p>Iksan sora-san park</p> <p>Boundary</p> <p>Habitat quality value</p> <p>0.88</p> <p>0</p>	
<p>Incheon-yeonhee park</p> <p>Boundary</p> <p>Ecological connectivity value</p> <p>2.9×10^{-2}</p> <p>0</p>		<p>Incheon-yeonhee park</p> <p>Boundary</p> <p>Habitat quality value</p> <p>0.45</p> <p>0</p>	
<p>Daejeon-government bid park</p> <p>Boundary</p> <p>Ecological connectivity value</p> <p>2.9×10^{-2}</p> <p>0</p>		<p>Daejeon-government bid park</p> <p>Boundary</p> <p>Habitat quality value</p> <p>0.88</p> <p>0</p>	

대전 자연마당의 경우 2013년 중분류 토지피복지도와 2015년 대전, 세종, 충남권역 세분류 토지피복지도를 중분류로 통합하고, 이후 수정하여 복원사업 전후의 연결성을 비교하였다. 2013년 (매개중심성: $1.77 (\pm 0.82) \times 10^{-3}$) 대비 2015년 (매개중심성: $2.20 (\pm 0.43) \times 10^{-3}$) 약 1.24 배 연결성이 향상되었다.

복원사업에 따른 토지피복 및 이용의 개선 효과로 대상지 서식처 질(이하 'HQ'라 칭한다)이 향상된 것으로 분석되었다.

양지말 생태공원의 경우 2009년의 중분류 토지피복지도와 2018년 토지피복지도를 수정하여 복원사업 전후의 연결성을 비교하였다. 2009년 (매개중심성: $3.99 (\pm 0.44) \times 10^{-3}$) 대비하여 2018년 (매개중심성: $4.71 (\pm 0.18) \times 10^{-3}$) 약 1.18배로 연결성이 향상되었다.

인천 자연마당의 경우 2009년 중분류 토지피복지도와 2018년 수도권(세분류 변환) 토지피복지도를 활용하여 복원사업 전후의 서식처 질 변화를 비교하였다. 2009년 대상지 HQ 값 평균은 0.32(HQ value: 0.32 ± 0.09), 2018년 평균은 0.45(HQ value: 0.45 ± 0.05)로, 복원사업을 통해 서식처의 질이 1.39 배 향상된 것으로 나타났다.

양평배후습지복원사업의 경우 2009년 중분류 토지피복지도와 2018년 수도권(세분류 변환) 토지피복지도를 수정하여 복원사업 전후의 연결성을 비교하였다. 2009년 (매개중심성: $0.96 (\pm 0.31) \times 10^{-3}$) 2018년 (매개중심성: $1.15 (\pm 0.18)$

대전 자연마당의 경우 2013년 중분류 토지피복지도와 2015년 대전, 세종, 충남권역 세분류 토지피복지도를 중분류로 통합하여 수정 후 비교하였다. 2013년 HQ 값 평균은 0.3(HQ value: 0.3 ± 0.21), 2015년 HQ 값 평균은 0.45(HQ value: 0.45 ± 0.03)로, 조성 후 약 1.51 배 서식처 질이 향상된 것으로 나타났다.

Table 7. Ecosystem conservation cooperation project quantitative evaluation - Ecological connectivity analysis, Habitat quality analysis

Ecological connectivity analysis		Habitat quality analysis	
Before the restoration	After the restoration	Before the restoration	After the restoration

익산 자연마당의 경우 2013년도 중분류 토지피복지도와 2016년도 세분류 토지피복지도를 중분류로 통합하여 복원사업 전후의 서식처 질 변화를 비교하였다. 2013년 평균 0.38(HQ value: 0.38 ± 0.29)과 대비하여 2016년 평균은 0.55(HQ value: 0.55, ± 0.18)로 자연마당 조성 후 약 1.45배 서식처 질이 향상된 것으로 나타났다.

양지말공원의 경우 2009년의 중분류 토지피복지도와 2018년 중분류 토지피복지도를 활용하여 복원사업 전후의 서식처 질 변화를 비교했다. 2009년 0.71(HQ value: 0.71±0.2) 대비, 2018년에는 0.8(HQ value: 0.8±0)로 1.12배 서식처 질이 향상된 것으로 나타났다.

양평배후습지복원사업의 경우 2009년의 중분류 토지피복지도와 2018년 중분류 토지피복지도를 활용하여 생태계보전협력금 사업 전후의 서식처 질 변화를 비교했다. 2009년 0.4(HQ value: 0.4±0.06) 대비하여 2018년 0.45(HQ value: 0.45±0)로 약 1.12배로 서식처 질이 향상된 것으로 나타났다.

IV. 결 론

본 연구에서는 훼손된 도시생태계의 복원사업 대상지에 대한 생태복원성과평가를 위해 기

존 문헌을 활용하여 진단평가들을 구축하였으며, 그 내용으로는 크게 훼손 원인과 현황, 생태환경요소, 생태적 기능 등 세 부문으로 나누어 13개 세부항목에 대한 평가를 시행하였다. 동시에 복원사업을 통한 토지피복·이용 개선에 따른 생태적 연결성과 서식처의 질의 변화를 평가하였다.

그 결과, 훼손 원인 및 현황 측면에서 불법 경작, 나대지, 육화된 습지 등 직접적인 훼손 원인이 제거되고, 녹지가 조성되면서 즉각적인 개선 효과가 나타났다. 생태환경요소 측면에서는 파편화가 개선되고, 훼손 면적이 감소하고, 일정 규모 이상의 단일녹지가 토양, 식생 도입 및 수변공간 복원으로 생태기반환경이 조성되었다. 생태적 기능 측면을 보면 녹지 조성으로 인해 주변 녹지와 연결성이 개선되고, 식재 도입 및 녹피울 증가로 기후조절 및 재해저감 기능이 상승하였다. 또한, 다양한 동물서식처가 조성되었다. 복원사업에 따른 토지피복 및 이용의 개선 효과로, 대상지의 생태적 연결성이 및 서식처 질이 모두 향상된 것으로 분석되었다. 자연마당의 경우는 생태적 연결성이 약 37%, 서식처의 질이 약 45% 향상되었고, 생태계보전협력금 반환사업 대상지의 경우 생태적 연결성이 약 19% 가 서식처의 질이 약 12%가 향상된 것으

로 평가되었다.

이러한 복원사업을 통해 토양, 식생 도입을 통한 생태기반 조성, 파편화 개선, 주변과의 생태적 연결성 증진 등 단기간에 달성될 수 있는 성과 항목이 있는 반면, 주요 동식물의 지속적인 서식 관리, 천이 유도를 통한 주변환경과의 유사성 증가, 생태계의 안정된 구조형성 등 생태계가 안정되기 위해서는 최소 10년 이상의 기간이 필요한 중장기적 유지관리를 통해 평가 가능한 성과 항목들이 있어, 이러한 항목들을 고려하여 사후관리를 지속해서 이어갈 필요가 있다.

사 사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 환경정책기반 공공기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(No. 2018000210007).

References

- Andres, P. and E. Mateos 2006. Soil mesofaunal responses to post-mining restoration treatments. *Applied Soil Ecology* 33(1): 67-78.
- Benayas, J. M. R., Newton. A. C. Diax. A. Bullock. J. M. Enhancement of Biodiversity and Ecosystem Services by Ecological Restoration: A Meta-Analysis., Science, New Series, Vol. 325, No. 5944: 1121-1124.
- Byeon CW and Kim YM. 2017. The Effect of Ecological Restoration and Water Purification of Ecological Fish-way and Floodplain Back Wetland Created as Sustainable Structured Wetland Biotope at Maeno Stream, *J. Environ. Impact Assess.* 26(6): 508~523 [Korean Literature]
- Cha JG · Lee SM · Choi TY · Moon HG · Kang DI · Lee IH · Seo HS and Park EJ. 2017. Diagnostic Assessment of Damaged Ecosystem and Restoration Areas and Practice of Resilience, Division of Ecosystem Services & Research Planning Bureau of Ecological Research, National Institute of Ecology
- Choi JY · Lee SH · Lee SA · Ji SY and Lee P SH. 2016. Evaluation Method Development for Ecological Restorations by Damaged Types, *J. Korean Env. Res. Tech.* 19(1) : 121 ~ 133 [Korean Literature]
- Cui, B. S. · Yang, Q. C. · Yang, Z. F and Zhang, K. J. 2009 , Evaluating the ecological performance of wetland restoration in the Yellow River Delta, China, *Ecological Engineering* 35(7): 1090-1103.
- Design forest., 2018, Sorasan Natural madang, Second year monitoring report, Ministry of Environment [Korean Literature]
- Fischer J and Lindenmayer D. 2007. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis, *Global Ecology and Biogeography*, vol. 16, 265-280
- Gu JH. 2017. Study on the establishment of precise spatial data and evaluation of habitat quality value in agricultural heritage area : focused on the agricultural heritage area of Uljin (county) pine tree forest. Doctoral dissertation, Korea University, Seoul [Korean Literature]
- Green for L., 2018, Monitoring report for damaged ecosystem restoration in Waryongsan, Seoul, (Secondary), Ministry of Environment [Korean Literature]
- Han SH · Kim JH · Kan WS · Hwang JH · Park KHand Kim CB. 2019. Monitoring Soil Characteristics and Growth of *Pinus densiflora* Five Years after Restoration in the

- Baekdudaegan Ridge, Korean J. Environ. Ecol. 33(4): 453-461
- Kang HM · Song JT · Choi SH and Kim DH. 2017. The Change of Soil Animals by Forest Ecosystem Restoration Types, Korean J. Environ. Ecol. 31(1): 62-71[Korean Literature]
- Kang WM and Park CR. 2015. Corridor and Network Analyses of Forest Bird Habitats in a Metropolitan Area of South Korea, Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 17, No. 3, pp. 191~201[Korean Literature]
- Kang WM · Song YK · Sung HC and Lee, DK. 2018. Assessing conservation priorities of unexecuted urban parks in Seoul using ecological network and accessibility analyses, J. Korean Env. Res. Tech. 21(2) : 53~64 [Korean Literature]
- Kim EY · Kim JY · ip; Jung HJ and Song WK. 2017. Development and Feasibility of Indicators for Ecosystem Service Evaluation of Urban Park, J. Environ. Impact Assess. 26(4): 227~241[Korean Literature]
- Kim NY. 2018. Assessment of Habitat Potential at the Isolated Green Patches in Seoul. Masters dissertation, Seoul National University, Seoul[Korean Literature]
- Kim TK · Kim NC · Kim EB and Koo MK. 2018. Suggestion of the Post-Environmental Evaluation of Road-side Cut Slope after Revegetation Works, J. Korean Env. Res. Tech. 21(4) : 75~86[Korean Literature]
- Kim TY · Song CH · Lee WK · Kim MI · Lim CH · Jeon S and Kim JS. 2015. Habitat Quality Valuation Using InVEST Model in Jeju Island. Journal of the Korea Society of Environmental, Restoration Technology. 18. 1-11. 10.13087/kosert.2015.18.5.1. [Korean Literature]
- Kim YS and Shim SY. 2019. Evaluation of Vegetation Recovery after Restoration Works at the Jungbong and Nuebong Area, Mu-deungsan National Park, Korean J. Environ. Ecol. 33(1): 64-74[Korean Literature]
- Korea National Park Research Institute. 2016. Development of Technic and Foundation Construction for Ecosystem Conservation[Korean Literature]
- Korea National Park Research Institute. 2016. Evaluation of the Restoration Projects in National Park[Korean Literature]
- Korea Association of Ecological Restoration, 2019, A study on performance analysis of customized ecological restoration model development and restoration projects in downtown 2019, Ministry of Environment[Korean Literature]
- Lave, R. Meyer · J. L. O'Donnell · T. K. Pagano · L. Sudduth, E. et al. 2005. Standards for ecologically successful river restoration. Journal of Applied Ecology 42(2): 208-217.
- Matthews, Jeffrey W, Spyreas, Greg, Endress, Anton G, 2009, Trajectories of vegetation-based indicators used to assess wetland restoration progress, ECOLOGICAL APPLICATIONS, 19(8): 2093-2107.
- Ministry of Environment. 2014. Manual of Survey Evaluation and Diagnosis for Ecological River Restoration[Korean Literature]
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2016. Landscape Design Standards Manual [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2017. Ecological Restoration Methods Development Using Native Species in DMZ Vicinities[Korean

- Literature]
- Ministry of Environment, 2018, Developing the assessment scheme and ecosystem restoration model depending on the degradation types (First year annual report)
- Ministry of Environment. 2017. Monitoring Techniques and Adaptive Management Guidelines for Ecological Restoration Sites [Korean Literature]
- Natioanl Institute of Ecology, 2017, Diagogic Assessment of Damaged Ecosystem and Restoration Areas and Practice of Resilience [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research. 2009. A Study on the Efficient Management of Artificially Created Ecosystem II [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research. 2015. Manual of Survey and Evaluation of Aquatic Ecosystem Health[Korean Literature]
- National Institute of Forest Science. 2016. Forest Health Monitoring Report[Korean Literature]
- Nexus. 2017. Incheon Seo-gu Natural Madang Creation Project, Fist year monitoring reportMinistry of Environment[Korean Literature]
- Nexus. 2017. Restoration of Hinterland's Reared Wetlands -First Year Monitoring Report, Ministry of Environment[Korean Literature]
- Oh KK. 2017. Evaluation of Vegetation Recovery after Restortaion Works at the Nogodan Area, Jirisan National Park, Korean J. Environ. Ecol. 31(1): 93-103[Korean Literature]
- Palmer, M, Bernhardt,E, Allan, J.D, Lake P, Alexander, G, Brooks, S. Carp, J, Clayton. S, Dahm, C.N, Folistad Shah J, Galat, D.L, Loss S.G, Goodwin P, Hart D, Hassett B, Jenkinson R, Kondolf G, Lave R, Meyer Jm O'Donnell T, Pagano, L, Suddth, E, 2005, Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, 42: 208-217.
- Piqueray, J, Bottin, G, Delescaille, L. M., Bisteau, E., Colinet, G, Mahy, G.(2011), Rapid restoration of a species-rich ecosystem assessed from soil and vegetation indicators: The case of calcareous grasslands restored from forest stands, *Ecological Indicators* 11(2): 724-733.
- Ruiz-Jaen, M. C. and T. Mitchell Aide. 2005. Restoration Success: How Is It Being Measured?. *Restoration Ecology* 13(3): 569-577.
- Sambul E&C. 2018. Government Complex Daejeon Natural madang, 1st year monitoring result report ,Ministry of Environment [Korean Literature]
- Seo SB. 2017. Analysis of habitat quality in the Nam-Han River Upstream Watershed using InVEST model. Masters dissertation, Ewha Womans University, Seoul[Korean Literature]
- SER. 2004. Science and Policy Working Group, Society for Ecological Restoration(SER). *Restoration & Management Notes*, 16: 46-50.
- Seoul. 2016. Seoul Biodiversity Strategies and Action Plan(2017-2021)[Korean Literature]
- Siddig, A. A. H., Ellison, A. M., Ochs, A., Villar-Leeman, C., Lau, M. K.(2016), How do ecologists select and use indicator species to monitor ecological change? Insights from 14 years of publication in *Ecological Indicators*, *Ecological Indicators*, 60: 223-230.

- Song JH · Yun CW · Cho YH and Kang HK. 2017. A Study on Vegetation Structure Changes between Natural land and Damaged land in Regional Ecological Network at Chungnam Province, J. Korean Env. Res. Tech. 20(2): 13~35[Korean Literature]
- Suganuma, M. S. and G. Durigan .2015. Indicators of restoration success in riparian tropical forests using multiple reference ecosystems. Restoration Ecology 23(3): 238-251.
- Taylor, P.D. · Fahrig, L. · Henein, K. and Merriam, G. 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. Oikos, 68, 571-573
- Terrado, Marta · Sabater, Sergi · Chaplin-Kramer, Becky · Mandle, Lisa · Ziv, Guy Acuña and Vicenç. 2016. Model development for the assessment of terrestrial and aquatic habitat quality in conservation planning, Science of the Total Environment 540, 63-70
- Uezu, A. · Metzger, J.P. and Vielliard, J.M.E. 2005. Effects of structural and functional connectivity and patch size on the abundance of seven Atlantic Forest bird species. Biological Conservation, 123, 507-519
- Velasquez, E, Lavelle, P, Andrade, M (2007), GISQ, a multifunctional indicator of soil quality, Soil Biology & Biochemistry 39(12): 3066-3080
- Waltz, A. E. M. and W. W. Covington (2004). "Ecological restoration treatments increase butterfly richness and abundance: Mechanisms of response." Restoration Ecology 12(1): 85-96
- You JH and Kim MJ. 2016. Change of Flora of Damaged Land in Juwangsan National Park for Five Years (2010~2014), J. Environ. Impact Assess. 25(4): 233~247[Korean Literature]