

서울시 습지지역의 탄소저장 및 경제적 가치 평가에 대한 연구

The Evaluation of Carbon Storage and Economic Value Assessment of Wetlands in the City of Seoul

최지영^{1,3} · 오종민² · 이상돈^{3*}¹부산대학교 도시공학과 박사후연구원, ²경희대학교 환경공학과 교수, ³이화여자대학교 환경공학과 교수Jiyoung Choi^{1,3}, Jongmin Oh² and Sangdon Lee^{3*}¹Post-doc, Dept. of Urban Engineering, Pusan National University, Pusan 46241, Korea²Professor, Dept. of Environmental Science and Engineering, Kyung Hee University, Yongin-si 17104, Korea³Professor, Dept. of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University, Seoul 03760, Korea

Received 1 April 2021, revised 28 April 2021, accepted 14 May, published online 30 June 2021

ABSTRACT: The ecosystem and landscape conservation areas of Seoul were designated according to the Natural Environment Conservation Act and the Natural Environment Conservation Ordinance. With the adoption of the "Rapid Assessment of Wetland Ecosystem Service (RAWES)" approach and the "wetland ecosystem service" for the Ramsar Wetland City Accreditation at the 13th Meeting of the Conference of the Contracting Parties to the Ramsar Convention on Wetlands in 2018, the need for data evaluating wetland ecosystem services has become a necessity. Therefore, in this study, we selected five wetlands from the ecosystem and landscape conservation areas in Seoul, having high ecological conservation values, and evaluated their carbon sequestration and economic value assessment using the InVEST model, which is an ecosystem service evaluation technique. The evaluation results for carbon storage in each wetland are as follows: Tancheon Wetland: 3,674.62 Mg; Bamseom Island in the Hangang River: 1,511.57 Mg; Godeok-dong Wetland: 5,007.21 Mg; Amsa-dong Wetland: 7,108.47 Mg; and Yeouido Wetland: 290.27 Mg. Particularly, the Tancheon Wetland showed the lowest carbon sequestration of 1,130.37 Mg, as compared to the results acquired in 2013, of 4,804.99 Mg. When the average effective carbon rate of \$16.06 (US) was applied to the decreased carbon sequestration value, a loss of \$15,910.58(US) was calculated. Furthermore, if the average social cost of carbon (\$204 (US)) is considered, which includes the impact of climate change on productivity and ecosystems, the total loss is equivalent to \$202,101.97 (US). This study aims to examine the natural resource value of urban wetlands by evaluating selected major wetlands in Seoul. This study can be utilized as basic data to plan for the protection and management of the ecosystem and landscape conservation areas. Additionally, because wetland value assessment is considered essential, the results of this study can be used in future research to provide measures for evaluating ecosystem services in the Ramsar Wetland City Certification System. Moreover, this study can be utilized for selecting important wetlands as Ramsar sites, and to raise awareness about the significance of conserving urban wetlands, and for expanding international exchange among the Ramsar Wetland sites.

KEYWORDS: Ecological landscape conservation area, InVEST Carbon model, Wetland City Accreditation of the Ramsar Convention, Wetland ecosystem service assessment

요약: 서울시 생태경관보전지역은 자연환경보전법과 자연환경보전조례에 근거하고 있다. 2018년 제13차 람사르협약 당사국총회에서 '습지 생태계서비스 간편평가 도구'가 채택되었으며, 람사르습지 도시 인증제 항목에 습지 생태계서비스 평가 항목이 포함됨에 따라 이를 평가할 자료가 필요하다. 본 연구는 서울시 생태경관 보전지역 중 생태적 보전 가치가 높은 습지 5곳을 선정하여

*Corresponding author: lsd@ewha.ac.kr, ORCID 0000-0002-3282-873X

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

InVEST 모델로 탄소저장량과 경제성 평가를 하고자 하였다. 연구결과는 탄천습지 3,674.62 Mg, 한강 밤섬 1,511.57 Mg, 고덕동 습지 5,007.21 Mg, 암사동 습지 7,108.47 Mg, 여의도 셋강 습지 290.27Mg으로 도출되었다. 이 중 탄천습지는 2013년의 탄천습지의 탄소저장량은 4,804.99 Mg로 탄소저장량 1,130.37 Mg 감소하여 실향탄소요금 평균값인 \$16.06(US)를 적용하였을 경우, \$15,910.58(US) 손실된 것으로 환산되었고, 기후변화에 따른 생산성과 생태계에 미치는 영향을 포함한 탄소의 사회적 비용 평균값인 \$204(US)를 적용하였을 경우, \$202,101.97(US) 손실로 도출되었다. 본 연구는 서울시 주요 습지지역을 선정하여 도심 속 습지가 주고 있는 자연자원의 가치를 평가하고자 하였다. 서울시 주요 습지의 생태적 가치 평가를 통하여 생태경관보전지역 보호 및 관리 방안의 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 또한, 습지 가치 평가에 대한 중요 의제로 간주되고 있음에 따라 향후 람사르 습지도시 인증제 항목에서 생태계서비스 평가 방안 제시가 가능하다고 사료된다. 람사르 습지를 인식하여 중요한 습지의 발굴 유도에 활용이 가능하며, 도심지역 내 습지 보전의 중요성에 대한 인식 증진과 람사르 습지의 국제적 교류에 도움을 줄 수 있다고 판단된다.

핵심어: 생태경관보전지역, InVEST Carbon 모델, 람사르 습지도시 인증제, 습지 생태계서비스 평가

1. 서론

람사르 습지 보전을 목표로 도심지역의 습지에 대한 가치 평가가 중요한 의제로 간주되고 있다. 람사르 협약 목표인 습지의 가치 인식 증진을 목표로 설립되었다. 2015년 제12차 람사르 협약 전략계획에서는 ‘람사르 습지도시 인증제 (Wetland City Accreditation of the Ramsar Convention)’가 발의되었다. 이는 습지가 인간에게 제공하는 이익인 생태계서비스 평가의 중요성을 나타내고 있고, 협약 당사국들의 람사르 습지 및 습지에 대한 생태계서비스 평가를 이행할 것을 권고하고 있다. 람사르 습지도시 인증제는 6개 인증 항목과 10개의 세부 평가항목으로 이뤄졌다 (Table 1). 이 중 습지

생태계서비스 보전 방안 항목에서 습지의 기능 저하 및 훼손 방지 항목은 개발로 인한 습지의 기능 저하와 훼손 방지를 위한 정책 및 수단으로 항목이 지정되어 있으며, 습지의 생태계서비스 보전 방안으로 생태계서비스 평가가 필요한 항목이다.

그리고 2018년 제13차 람사르 당사국총회에서 ‘습지생태계서비스 간편 평가 도구 (RAWES: Rapid Assessment Wetland Ecosystem Services)’가 공식 채택되어 국제사회에서 습지의 보전과 현명한 이용을 목표로 결정되었다. 습지의 생태계서비스 평가 항목이 포함되어 이에 따른 습지가 가지고 있는 자연자원 가치를 뜻하는 습지 서비스 평가 항목을 가지고 있다 (Ministry of Environment 2018). 습지 보전 및 관리, 정책 개발을 위

Table 1. Wetland City Accreditation of the Ramsar evaluation criteria

Certification items (6)	Detailed evaluation items (10)
1. Ramsar wetland connectivity	- Wetland rare, drawing and area - Wetland retention, distribution, and ecological connectivity between the wetland and the area
2. Wetland ecosystem services conservation plan	- Prevention of wetland damage - Policy for promoting wetland ecosystem services
3. Wetland restoration and management plan	- Wetland as urban infrastructure, Recognition of urban elements of restored wetlands - Sustainability (Ramsar wetland urban brand application Plan, including wetland conservation management project)
4. Reflecting the integrated land use plan of wetlands	- Integrated spatial land use management of wetlands
5. Education for wetland conservation, operation of wetland information center	- Wetland management of local residents and local communities - Provision of information on the value of wetlands, establishment of wetland education/information center
6. Establishment of local residents management committee for wetland conservation	- Establishment of wetland city regional committee

※ Ministry of Environment 2018

한 과학적 연구지원, 습지 자원의 현명한 이용의 중요성, 당사국들의 정보 교환과 국제적 협력을 필요로 하고 있음에 따라 습지생태계서비스 평가 필요성이 제기되고 있다(National Wetlands Center 2018). ‘습지 생태계서비스 간편 평가 도구’는 습지가 가지고 있는 생태계서비스를 쉽게 평가할 수 있는 방법이다. 작성 방법은 생태계서비스의 유형별 평가에서 공급서비스, 조절서비스, 문화서비스, 지원서비스 중 습지가 제공하는 생태계서비스의 종류와 규모에 대한 평가를 제시하고 있다(Ministry of Environment 2018). 습지에 대한 가치 평가가 중요한 의제로 간주되고 있으며(Global Wetland Outlook 2018), 가능할 경우 정량화하여 제시할 것을 나타내고 있다. 또한, 세부 평가 항목과 같이 습지를 평가하는 과학적 방안은 습지올 평가 및 개발에 따른 토지이용계획에 반영 방안이 있었으며, 습지가 가지고 있는 혜택인 습지 생태계서비스에 대한 가치 평가가 미흡한 현황이다.

습지에 대한 선행 연구들은 습지의 기능과 역할, 습지의 분류, 그리고 대부분 현장 답사를 통한 습지에 대한 연구였다. 국내 관련 연구에서는 2000년대 초반부터 습지의 중요성과 보전 및 관리 방안에 대한 연구가 시작되었고, 자연생태보호지역에서 생태경관 보전 지역으로 바뀌는 시점에서는 습지에 대한 분류와 유형에 따른 각 연구대상지의 식생 현황도, 우점종, 하천과의 거리에 따른 현황조사 등으로 연구가 진행되었다. 먼저 남해안 연안습지의 생태적 가치 평가 연구 논문(Park et al. 2010)에서는 습지는 육지와 수생태계의 전이지대로 다양한 생물종의 서식지를 제공해주며, 유량 조절의 역할을 나타냈다. 그러나 도시개발에 따른 간척사업으로 인해 기존 습지지역의 토지이용도는 도시지역으로 전환되어 습지의 면적이 크게 감소하고 있다. 이에 따라 습지의 토지이용변화에 대한 지속적인 연구가 필요함을 제시하였다. 그리고 국내 연안습지 보전 정책 연구 논문(Yook 2013)에서는 랍사르 협약 국내 이행을 위해 「습지보전법」 제정으로 습지 보호 지정 면적이 늘고 있으나, 연안습지 보전을 위한 정책 개선의 필요성을 나타냈다.

습지 보전에 대한 이산화탄소 연구 및 기후변화에 따른 습지 보전의 중요성에 대한 연구가 국제적으로 진행되고 있다. 습지에 대한 이산화탄소 고정에 대한 연구 논문(Joosten et al. 2016)에서는 습지는 식물생산량을

감소시키는 과정을 통해 이산화탄소를 저장하는 역할을 하여 습지 보전지역의 가치 산정을 시도하여 생태적 중요성을 나타낸 연구가 진행되었다. 그리고 2018년 Ramsar GWO (Global Wetland Outlook) 보고서에서는 습지의 NPP (Net Primary Productivity)는 습지의 분류상 망그로브 습지에 이어 두번째로 높게 나타나 습지지역에 대한 생물학적 생산성이 높다. 도시화에 따른 습지의 가치 중요성 연구에 대한 필요성과 이와 관련한 정책 필요성에 대한 연구가 국내·외에서 진행되고 있다.

서울시 생태경관보전지역 중 습지는 개발로 인해 주거지로 토지이용도가 변화되고 있다. 현재 남아있는 습지 또한 규모가 감소하고 있고 도심에서 서식하고 있는 다양한 생물과 생태계를 위해 자연 습지 보호 및 유지가 중요하며 습지에 대한 평가를 통한 관리가 필요한 시점이다. 서울시 경관보전지역은 자연환경보전법과 자연환경보전조례에 근거하고 있다. 생물다양성이 높거나 자연경관이 수려하여 다양한 생태계의 중요성으로 보전을 위해 지정되었으며(Jeon et al. 2008), 보전 가치가 높은 지역을 인위적 훼손 및 개발로부터 보호하기 위해 지정되었다. 서울시는 1999년 한강 밤섬에 대한 생태경관보전지역 지정을 시작으로 2020년 12월 기준, 17개소 4.82 km² 면적의 생태경관보전지역을 지정하였다(Table 2). 서울 도심 속 습지 생태계의 자연환경보전을 위한 지속적인 생태적 가치를 유지할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 서울 도심 속 습지가 제공하고 있는 생태계서비스를 평가해보고자 하며, 습지의 자연자원에 대한 정량화 연구가 가능함 제시하고 한다. 본 연구는 인증 항목 중 1. ‘람사르 습지생태계서비스와 지역사회의 연계성’ 항목 증명에서 습지의 보전과 지속가능성 측면에서 어떻게 활용될 수 있는지를 정량적 평가를 통해 적용이 가능할 것으로 보인다. 그리고 2. ‘습지 생태계서비스 보전 방안’ 항목에서 습지 생태계서비스 증진하기 위한 정책 항목에 습지의 가치 정보 제공이 가능하여, 도시 습지가 인간에게 제공하는 생태계서비스의 종류와 규모를 정량화 제시를 에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

람사르 습지도시 인증 평가 항목에서 습지를 평가하는 과학적 방안이 습지올 평가 및 공간자료이며, 습지가 가지고 있는 생태계서비스에 대한 가치 평가 방안이 없는 실정이다. 랍사르 습지 도시인증제의 습지 생태계

Table 2. Status of the 17 ecological landscape protected areas selected for evaluation in Seoul (Ministry of Environment 2020)

No	Ecological landscape protected areas	Regional characteristics	Designated date
1	Bamseom Island	Habitat for migratory birds	1999.08.10
2	Dunchon-dong	Natural wetlands in urban areas	2000.03.06
3	Bangi-dong	Wetlands in urban areas	2002.04.15
4	Tancheon	Habitat for migratory birds in urban areas	2002.04.15
5	Jingwannae-dong	Natural wetlands in urban areas	2002.12.30
6	Amsa-dong	River wetlands in urban areas	2002.12.30
7	Godeok-dong	Habitat for native birds and protected species	2004.10.20
8	Cheonggyesan Wonteogol	Deciduous broad leaved forest	2004.10.20
9	Heonilleung	Habitat of various native species	2005.11.24
10	Namsan Mountain	Quercus mongolica forest	2006.07.27
11	Bulam Mountain Sahmyook	Red-Leaved Hornbeam (<i>Carpinus laxiflora</i>) forest	2006.07.27
12	Changdeokgung Palace	Oriental white oak (<i>Quercus aliena</i>) forest	2006.07.27
13	Bongsan Mountain	Korean mountain ash (<i>Sorbus alnifolia</i>) forest	2007.12.27
14	Inwangsan Mountain	Beautiful natural scenery of rocks and pine trees (<i>Pinus densiflora</i>)	2007.12.27
15	Seongnaecheon Stream	Natural river in the city	2009.11.26
16	Gwanaksan Mountain	Communities of Buxus Koreana	2009.11.26
17	Baeksasil Valley	High biodiversity area	2009.11.26

가치평가가 필요함에 따라 습지 보전을 목표로 습지가 가지고 있는 생태계서비스 중 탄소저장량을 통한 조절 서비스와 서식지 공급 평가를 할 수 있는 지원서비스의 가치를 평가하고자 한다. 서울시 생태경관보전지역 중 생태적 보전가치가 높고, 현재 개발로 인해 자연 습지가 위협받는 습지를 연구지역으로 선정하여, 습지가 가지고 있는 가치에 대한 중요성 파악을 통해 자연자원에 대한 보전 및 관리 방안을 제시하고자 한다. 연구결과는 랍사르 습지도시 인증 기준 항목에 활용 제시를 통해 서울시 습지보전 정책 활용, 도심 속 습지 보전의 중요성, 개별 습지의 경제적 가치 평가를 통하여 습지 보전을 위한 시민의 환경 참여 및 국제교류를 높이는데 기여할 것이다.

2. 연구대상지 및 연구방법

2.1 연구대상지

서울시의 생태경관보전지역 중 습지가 가지고 있는 가치에 대한 생태계서비스 분석으로 도심 속 습지의 중요성을 파악하기 위해 선정하였다. 연구의 공간적 범위

는 총 5개로 탄천습지, 한강밤섬, 고덕동 습지, 암사동 습지, 여의도 셋강 습지로 선정하였다 (Fig. 1). 선정 이유는 서울시 생태경관보전지역 주변의 도시와 도로의 개발에 따른 외부영향으로 지속적으로 관리 및 연구가 필요한 지역이다. 이에 따라 본 연구에서는 서울시 생태경관보전지역 중 자연습지와 하천 지역인 탄천, 한강 밤섬, 고덕동과 암사동 습지를 선정하였고, 습지가 아닌 도심 속 도시공원과 함께 비교해보기 위해 여의도 셋강 생태공원과 함께 총 5개소를 연구지역으로 선정하였다. 그리고 시간적 연구범위는 가장 최근 토지이용도 공간자료인 2019년 중분류 (1:25,000)의 자료를 이용하여 InVEST 모델을 적용하였다. 그리고 탄소저장 변화량을 통한 경제적 가치 환산 평가에서 필요한 비교 연도인 2013년도를 활용하였다.

2.2 연구방법

본 연구는 습지의 생태계서비스를 평가하기 위해 다양한 생태계서비스 평가기법들 중 InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Service and Tradeoff) 모델을 활용하였다. 본 모델은 National Capital Project로

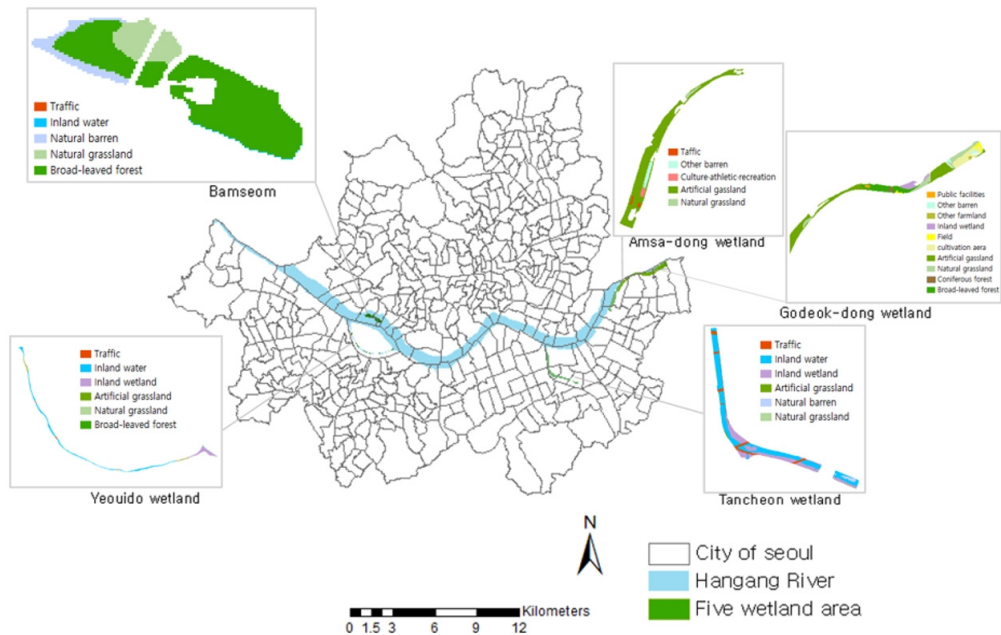


Fig. 1. Five wetland conservation areas and the 2019 land use map of Seoul.

Stanford Univ., Natural Conservancy와 WWF (World Wildlife Funds)가 공동으로 개발한 모델이다. 자연자산과 경제적 상관관계를 파악하는데 적용되어 측정된 생태계서비스 평가를 통해 정책 의사결정을 지원하는 목적으로 개발되었다 (Vigerstol and Aukema 2011, Sharp et al. 2014). 전 세계적으로 각 국가에서 적용되는 모델로 2021년까지 27가지의 모듈이 개발되었다. 모델의 특징으로는 먼저 시·공간적으로 유연한 구조를 가지고 있다는 점이며, 지역 단위부터 전 지구적 단위까지의 분석이 가능하며, 특정 시간부터 과거의 시간의 적용이 가능하다. 둘째, 토지이용도를 기반으로 한 모델로써 입력자료 확보가 용이하여 접근성이 높다. 셋째, 토지이용 계획과 토지이용도로 도출된 생태계서비스 결과 값으로 개발정책 과정에서 자연과 환경적 가치를 고려할 수 있도록 개발되었다 (Lee et al. 2015, Gao et al. 2017, Yi et al. 2018). 국내에서도 생태계서비스 평가 모델 중 하나로 평가되고 있으며 (Kim et al. 2015, Lee et al. 2015, Kim et al. 2017, Choi and Lee 2020), 국내에 적합한 입력자료를 통하여 지속적으로 적용되고 있다.

본 연구에서는 InVEST ver 3.3.3을 사용하였고, InVEST 모델 중 Carbon모형을 적용하였다. 입력자료 중 공통된 자료인 토지이용도는 환경공간정보서비스

에서 제작된 2019년 1:25,000 축적인 중분류 해상도 5 m의 공간자료를 사용하였으며 (egis.go.kr), 중분류는 22개 항목으로 분류되어있다. 모델의 입력 구축은 Arc GIS ver. 10.5를 통해 요구 형식을 구축하였다.

2.2.1 InVEST Carbon model

Carbon 모델은 토지이용도와 이용도별 carbon pool table을 기반으로 탄소저장값이 추정된다. 탄소저장은 생태계서비스 중 조절서비스로 생태계의 물질순환에 의해 대기로부터 CO₂를 흡수하는 기능을 하고 있는 주요 생태계서비스 항목이다. InVEST모델과 다른 탄소 측정 모델들을 비교한 선행논문에서는 VISIT, CBM-CFS3, InVEST, Forest Growth모델들과 비교하였을 때, InVEST 모델은 오차율이 적고, 국내에서 적용 가능성이 높은 모델이다 (Choi et al. 2014).

본 모델의 첫 번째 입력자료는 연구지역의 토지이용도이다. 본 연구에서는 해상도 5 m인 1:25,000 축적인 중분류 토지이용도를 적용하였으며, ArcGIS 프로그램을 활용하여 모델의 요구형식인 raster로 변환하였다. 해당지역은 습지지역 특성상 중분류 항목에서 주거지역(110), 공업지역(120), 상업지역(130), 논(210), 과수원(240), 연안습지(520)는 존재하지 않았다.

그리고 두 번째 입력자료인 Carbon pool table은

Table 3. Carbon pool table acquired from the InVEST Carbon model (units: Mg/ha)

Land-use category		Aboveground biomass	Belowground biomass	Soil carbon	Dead wood
Land cover Level II (7)	Land cover Level I (16)				
Urban area	Traffic	0	0	0	0
	Public facilities	0	0	0	0
	Culture·athletic·recreation	0	0	0	0
Farmland	Field	0	0	62	0
	Rice field	0	0	70	0
	Other Farmland	0	0	45.9	0
Forest	Mixed forest	54	17.36	47	12
	Broad-leaved forest	64.31	23.15	56	10
	Coniferous forest	42.9	11.6	38.8	13
Grassland	Natural grassland	4.17	17	88	0
	Artificial grassland	1.2	5	12	0
Wetland	Inland wetland	35.2	9.2	88	0
	Coastal wetland	1.3	1.3	240	0
Barren area	Natural barren	0	0	0	0
	Artificial barren	0	0	0	0
Water	Inland water	0	0	0	0

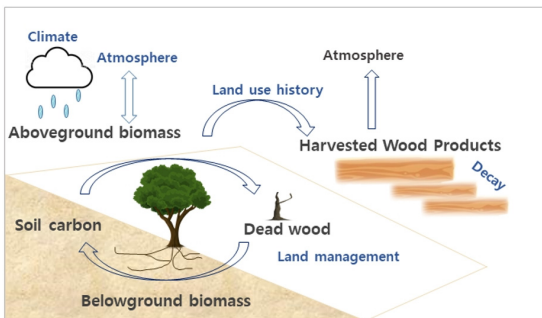


Fig. 2. InVEST Carbon model process including 4 factors: Above ground mass, below ground mass, soil carbon, and deadwood (Daily et al. 2015, p.58).

Aboveground mass, Belowground mass, Soil carbon, Dead wood로 구성되어 있다 (Fig. 2). 위 4개의 탄소 저장 항목은 Carbon pool의 크기와 토지이용도의 분류에 따라 Carbon pool에 저장된 탄소양을 연구지역의 raster의 픽셀로 추정되는 과정으로 모델링이 된다. 탄소 저장량자료는 Natural Capital Project 자료와 국내 선행 논문 (Lee et al. 2015, Lee et al. 2016, Kim et al. 2017)에서 제시하고 있는 계수를 고려하여 구성하였다. 특히, 표 항목 중 Aboveground mass, Belowground mass의 탄소저장 값은 국내 임상별 단위면적당 임목 축적량

에 탄소저장계수를 곱하여 산출하여 하여 국내 상황을 가장 잘 반영하고 있는 선행연구에서 제시한 값을 차용하였다 (Lee et al. 2016, Table 3). 입력자료와 공간자료 구축을 통해 탄소저장값을 산출하였고, 모델의 결과 단위는 Mg이다.

탄소저장 변화량을 통하여 경제적 가치 환산이 가능한 모델이다. Natural Capital Project Carbon 모델의 가이드에서는 시간에 따라 변화된 토지이용도에 따른 탄소의 재고 분석으로 추가 입력자료인 적용대상 나라의 탄소 할인율, 추가 시기의 토지이용도, 탄소의 값을 적용하였을 때, 탄소저장 변화량에 따른 시장가치 또는 사회적 비용에 대해 경제적 환산이 가능하다. 저장된 탄소의 가치는 대기에 탄소를 방출하지 않음으로써 피할 수 있는 사회적 피해의 가치와 같다는 가정으로 구동되는 모델이다. 본 연구에서는 탄소 할인율인 5.6%를 적용하였고, 추가 시기의 토지이용도는 2019년 직전 구축된 년도인 2013년의 중분류 토지이용도를 사용하였으며, 마지막으로 탄소의 값은 두 가지 의미로 나누어 선정하여 경제적 가치 환산을 구동하였다 (Table 4). 탄소가격은 시간에 따른 가격 변동이 크고, 불확실성을 고려하여 크게 두 가지의 의미로 선정하여 적용하였다. 먼저 실질탄소가격 (ECRs: Effective Carbon Rates)은

Table 4. Structure of the InVEST Carbon model

Input data	Raw Data		Program or references
Landuse and Landuse change map	Raster file (.tiff) : 2013, 2019 1:25,000 Land-use map		Arc GIS Map ver.10.5, egis.me.go.kr
Carbon Pool table	Table (.csv)		Lee et al. 2015, Lee et al. 2016, Natural Capital Project 2012
Price of Carbon	Effective Carbon Rates (ECRs)	\$16.06 (US)	OECD 2016, KIEP 2017, KEITI 2018
	Social Cost of Carbon (SCC)	\$204.00 (US)	
Market discount in Price of Carbon	Number (5.6)		Moon et al. 2017, Ministry of Environment 2014, Lee and Kim 2015

배출권 거래제에서 사용되는 가격이다. ECRs 가격은 기후와 경제의 불확실성을 근거로 추정되며, 정확한 값을 도출하기 어렵기 때문에 OECD 보고서에서 총 41 개국 대상으로 분석한 평균 평균값인 14.4Euro로 보고된 가격을 적용하였다 (OECD 2016). 두 번째, 탄소의 사회적 비용 (SSC: Social Cost of Carbon)을 적용하였다. 이는 기후변화에 의한 생산성, 경제성장률, 생태계 등에 미치는 영향과 피해를 고려하여, 현재 기후변화가 생산성과 경제 성장률에 미치는 영향을 고려한 탄소의 사회적 비용을 말하며, 2017년 KIEP 보고서에서 약 \$204 (US)로 유추하고 있음에 따라 이 값을 적용하였다. Carbon 모델로 도출된 탄소저장 변화량에서 경제적 가치 환산하기 위해 ECRs 값과 SCC 평균값을 모델 단위인 US달러로 적용하여 경제적 가치를 도출하였다 (Table 4).

3. 결과 및 고찰

3.1 탄소저장 평가 결과

2019년 탄소저장 평가 결과이다. 탄소저장 결과 지도는 보라색에 가까울수록 탄소저장값이 낮고, 초록색에 가까울수록 탄소저장값이 높음을 나타내는 것으로 시각적으로 확인할 수 있다 (Fig. 3).

탄전은 서울시 송파구 세곡동 대곡교를 지나 서울종합운동장 아래에서 한강으로 유입되는 도시 하천이며 (Bae 1997), 습지 면적은 총 0.45 km²이다. 한강 유역 중 서울 인구가 가장 많이 분포하고 있는 지역에 위치하며, 서울의 신시가지 형성을 위하여 인구 부담의 중요한 역할을 담당하고 있는 지역이다 (Yoon 2005). 탄전은

고밀도 개발지역으로 유역에도 영향을 미치고 있는 것으로 확인된다. 탄전 유역은 또한, 유역 사이에 습지가 분포하고 있어 도심의 유역으로 생태적으로 중요한 지역이다 (National Institute of Ecology 2018). 탄전의 2019년도 중분류 토지이용도에 따른 탄소저장값은 3,674.62 Mg으로 도출되었으며, 탄소저장값이 높은 지역은 대부분 하천과 습지는 탄소저장값이 High를 나타내는 초록색이었으며, 도로와 시가지가 있는 부분은 모두 탄소저장값이 Low를 나타내는 보라색인 것을 시각적으로 확인할 수 있었다.

한강 밤섬은 마포대교 하류 서강대교를 관통하는 지점에 위치하고 있으며, 면적은 0.25 km²이다. 한강 밤섬 습지의 2019년도 중분류 토지이용도에 따른 탄소저장값은 1,511.57 Mg으로 도출되었으며, 탄소저장 평가 결과를 보면, 자연초지와 활엽수림이 있는 지역은 탄소저장값이 높음인 High를 나타내며, 나지와 교통지역이 만나는 지역은 Low에 가까운 것으로 나타났다.

고덕동 습지는 서울시 강동구로 구리 암사대로와 강동대로 사이에 있는 습지로 0.51 km² 면적의 습지이다. 2019년 중분류 토지이용도에 따른 탄소저장값은 5,007.21 Mg으로 도출되었으며, 자연 생태가 보전되고 있는 것으로 확인된 고덕동 습지는 ‘서울 고덕강일 공공 주택지구’로 선정되어 본 보금자리주택 2지구와 인접하여 도시지역으로 변환된 토지이용도로 확인되었다. 본 연구지역 습지 유지 및 보전을 위해 공공주택 지구 사업에 따른 관리가 필요할 것으로 판단된다.

암사동 습지는 강일IC 입구에 인접해 있으며, 천호대로와 구리 암사대로 사이에 있는 습지이며, 면적은 0.5 km²이다. 2019년 중분류 토지이용도에 따른 탄소저장값은 7,108.47 Mg으로 도출되었으며, 탄소저장

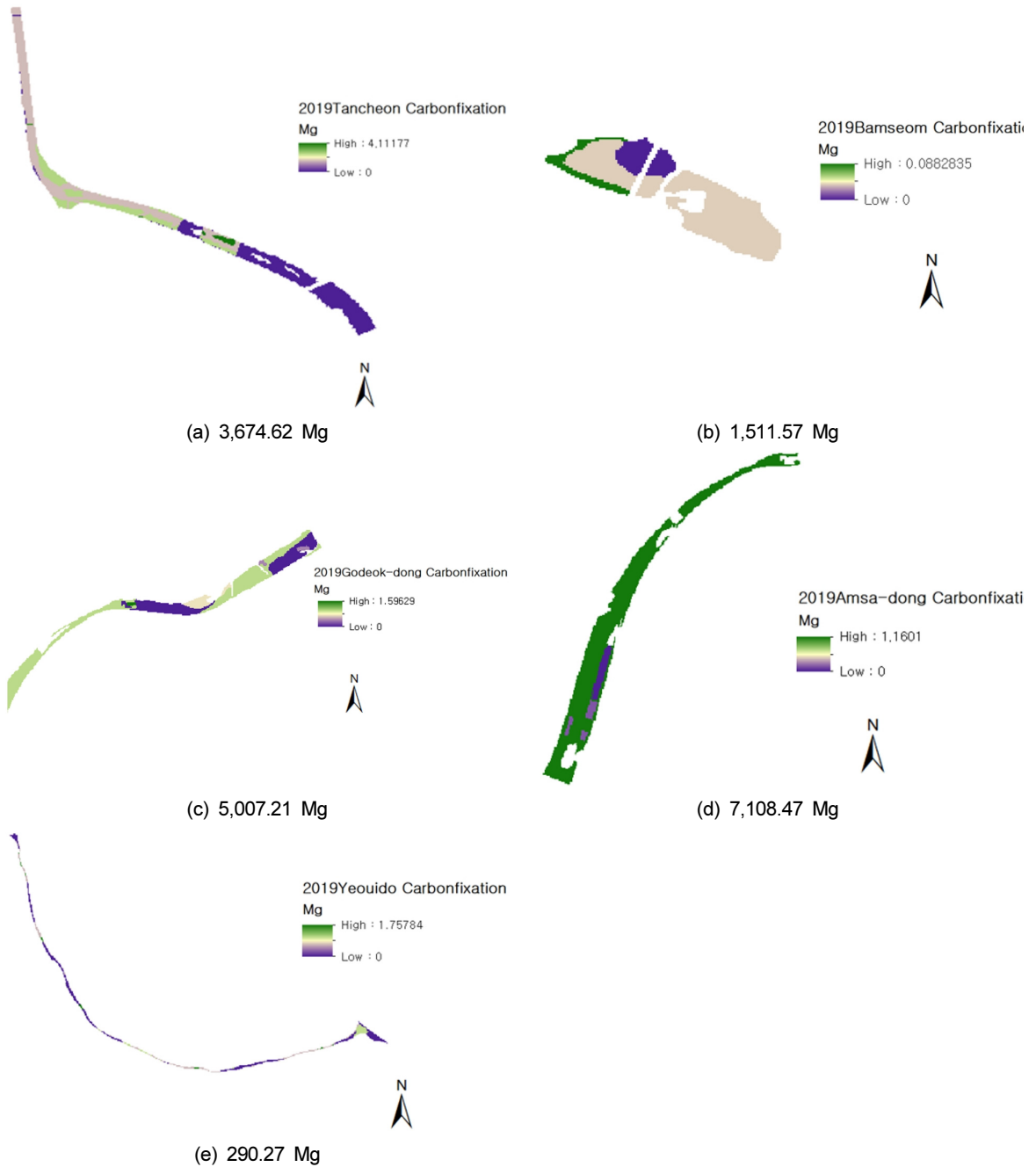


Fig. 3. 2019 Carbon storage result of the study areas (a) Tancheon wetland, (b) Bamseom wetland, (c) Godeok-dong wetland, (d) Amsa-dong wetland, and (e): Yeuido wetland.

값이 연구지역 중 가장 높은 곳이며, 인공초지가 88% 이상을 차지한 곳으로 육상 생태계 토양 저장 능력이 높게 도출된 것으로 판단된다. ‘서울 고덕강일 공공 주택지구’로 선정된 지구로 보금자리주택 1지구와 인접하여 관리가 필요한 지역으로 사료된다.

여의도 셋강 습지는 도심지에 있는 하천형 내륙습지로 1997년 9월 자연환경 보존을 위해 조성되었으며, 0.78 km² 면적인 습지이다. 2019년도 중분류 토지이용도에 따른 탄소저장값 290.27 Mg으로 도출되었으며, 여의도 셋강 습지 지역은 다른 습지들과 다르게 자연 보

Table 5. Economic value assessment of ECR and SCC based on the carbon change (2013-2019) in the study area

Study area	Value	2013 Carbon storage (Mg)	2019 Carbon storage (Mg)	2013-2019 Change (Mg)	ECR (\$16.06)	SCC (\$204)
Tancheon wetland		4,804.99	3,674.62	-1,130.37	-15,910.58	-202,101.97
Bamseom		3,196.82	1,511.57	-1,685.25	-23,720.72	-301,309.41
Godeok-dong wetland		4,406.52	5,007.21	600.69	8,454.96	107,397.97
Amsa-dong wetland		7,274.53	7,108.47	-166.06	-2,337.44	-29,690.95
Yeuido wetland		101.54	290.27	188.73	2,656.49	33,743.75

Table 6. The ratio of the land use changes of the area from 2013-2019

Landuse	Tancheon wetland			Bamseom			Godeok-dong wetland			Amsa-dong wetland			Yeuido wetland		
	2013 (ha)	2019 (ha)	Change	2013 (ha)	2019 (ha)	Change	2013 (ha)	2019 (ha)	Change	2013 (ha)	2019 (ha)	Change	2013 (ha)	2019 (ha)	Change
Urban area	-	-	0	0.59	0.03	-0.56	-	-	0.00	0.87	0.91	0.04	0.28	0.27	-0.01
Traffic	3.52	3.87	0.35	-	-	0	0.6		-0.60	0.29	-	-0.29	-	-	0
Public facilities	-	-	0	-	-	0	0.31	-	-0.31	0.14	-	-0.14	-	-	0
Culture · athleti recreation	-	-	0	-	-	0	0.55	0.33	-0.22	0.99	0.99	0.00	-	-	0
Field	-	-	0	-	-	0	0.73	1.61	0.88	-	-	0	-	-	0
Rice field	-	-	0	-	-	0	10	6.7	-3.30	-	-	0	-	-	0
Mixed forest	-	-	0	-	-	0	-	-	0.00	-	-	0	-	-	0
Broad-leaved forest	-	-	0	18.42	18.9	0.48	6.85	8.06	1.21	0.19	0	-0.19	0.01	0.1	0.09
Coniferous forest	-	-	0	-	-	0	0.54	0.59	0.05	-	-	0	-	-	0
Natural grassland	-	0.00	0.00	3.49	3.6	0.11	11.58	8.12	-3.46	0	1.33	1.33	1.12	-	-1.12
Artificial grassland	1.42	0.63	-0.79	-	-	0	14.67	21.39	6.72	43	44.15	1.15	0.85	0.35	-0.50
Inland wetland	11.85	13.41	1.56	-	-	0	2.55	3.17	0.62	-	-	0	0.95	2.06	1.11
Inland water	28.79	26.78	-2.01	2.62	0.2	-2.42	2.6	0	-2.60	1.54		-1.54	4.62	5.06	0.44
Natural barren	-	1.149	0	0	2.4	2.40	-	1.03	1.03	3.06	2.71	-0.35	-	-	0
Artificial barren	0.257	-	0	-	-	0	-	-	0.00	-	-		-	-	0
Total	45.8	45.8	0.0	25.1	25.1	0.0	51.0	51.0	0.0	50.1	50.1	0.0	7.8	7.8	0.0

전을 위해 관리 및 복원된 공원이며, 지리적으로 도심지 사이에 위치하고 있기 때문에 다른 연구지역들과 비교하였을 때, 가장 낮게 도출된 것으로 사료된다.

3.2 탄소저장 변화량에 따른 경제적 가치 환산

시기별 탄소저장 변화에 따른 경제적 가치 추정 환산 결과이다 (Table 5). 2019년도의 탄소저장 변화량을 확인하기 위해 비교 시기인 2013년의 탄소저장값과 비교하였다.

이는 토지이용도를 기반으로 한 모델로 토지이용도

변화의 차이로 설명될 수 있다 (Table 6).

탄천습지의 2019년 탄소저장값은 2013년도보다 약 23% 비율로 감소한 수치로, 1,130.37 Mg가 감소한 것으로 도출되었다. 탄소저장 변화량에 따른 가치를 환산하였을 때, 실효탄소요금 평균값인 \$16.06 (US)를 적용하였을 경우, \$15,910 (US)가 손실된 것으로 추산되었다. 그리고 기후변화에 따른 생산성과 경제성장률, 생태계에 미치는 영향을 포함한 탄소의 사회적 비용 평균값인 \$204 (US)를 적용하였을 경우, \$202,101 (US)의 경제적 손실로 도출되었다. 이의 원인은 2013년과 2019년도의 토지이용도 변화에서 교통지역이 0.35 ha

가 증가하였고, 초지지역 면적이 0.79 ha가 감소하였다. 도시와 나지지역 면적 증가로 탄소저장값이 감소한 것으로 도출된 것으로 판단된다.

그리고 한강밤섬은 -52.7% 비율로 2013년과 2019년 사이에 가장 감소율이 큰 연구지역으로 도출되었다. 탄소저장 변화량에 따른 가치를 환산하였을 때, 실효 탄소요금 평균값인 \$16.06 (US)를 적용하였을 경우, \$23,720 (US)가 손실된 것으로 추산되었고, SSC인 \$204 (US)를 적용하였을 경우, \$301,309 (US) 손실로 도출되었다. 이의 원인은 2013년과 2019년도의 토지 이용도 변화에서 내륙수 면적인 2.42 ha가 대부분 나지로 변화되어 도출된 것으로 판단된다. 지속적인 퇴적현상으로 인한 나지지역의 면적 증가로 탄소저장값이 가장 많이 감소된 연구지역으로 판단된다(Seoul Metropolitan Government 2019).

고덕동 습지는 2013년과 2019년 사이에 동안 가장 많이 증가한 연구지역으로 확인되었다. 2013년의 탄소저장값은 4,406.52 Mg로 시간흐름에 따른 탄소저장 변화량은 600.69 Mg 증가하여 ECR인 \$16.06 (US)를 적용하였을 때, \$8,454 (US)가 증가한 것으로 도출되었으며, SSC인 \$204 (US)를 적용하였을 때, \$107,397 (US)가 증가한 것으로 도출되었다. 이의 원인은 2013년과 2019년도의 토지이용도 변화에서 상업, 교통, 공공시설 지역인 도시지역이 약 1.1 ha가 감소하였다. 이에 비하여, 활엽수림 지역은 1.21 ha, 침엽수림 지역은 0.05 ha가 증가하였고, 내륙습지가 0.62 ha가 증가하여 도출된 것으로 판단된다. 시간흐름에 따라 도시지역이 감소하고, 활·침엽수림 지역과 내륙습지 지역이 2013년도에 비하여 증가하여, 관리되고 있는 것으로 확인된다. 다른 연구지역과 달리 활·침엽수림 지역과 내륙습지 지역의 증가로 탄소저장이 유지되고 있는 곳으로 확인된다(Seoul Metropolitan Government 2019).

암사동 습지는 2013년의 탄소저장값은 7,274.53 Mg로 시간 흐름에 따른 탄소저장 변화량은 166.06 Mg 감소로 탄소가격 ECR인 \$16.06 (US)를 적용하였을 때, \$2,337 (US)가 감소한 것으로 도출되었으며, SSC를 적용하였을 때, \$29,690 (US)가 감소한 것으로 도출되었다. 이의 원인은 2013년과 2019년도의 토지 이용도 변화에서 교통, 교통, 문화시설 지역이 총 0.39 ha가 감소하였고, 활엽수림 지역이 0.19 ha이 감소하였다. 도시지역이 감소한 대신 나지지역이 증가하여 2013

년과 2019년의 변화가 가장 없는 곳으로 확인되었다.

여의도 셋강 습지의 2013년의 탄소저장값은 101.54 Mg로 시간흐름에 따른 탄소저장 변화량은 188.73 Mg 증가하여 ECR를 적용하였을 때, \$2,656 (US)가 증가한 것으로 도출되었으며, SSC를 적용하였을 때, \$33,743 (US)가 증가한 것으로 도출되었다. 이의 원인은 2013년과 2019년도의 토지이용도 변화에서 초지지역은 1.12 ha가 감소하였지만, 활엽수림 지역이 0.09 ha가 증가하였고, 내륙습지가 1.1 ha가 증가하였고, 내륙수도 0.44 ha가 증가하여 위와 같이 도출된 것으로 판단된다. 다른 연구지역과 달리 활엽수림과 습지 지역이 2013년도에 비하여 증가하여 관리되고 있는 것으로 확인된다. 탄소저장값은 가장 낮지만, 수변생태공원 확장 관리 사업으로 활엽수림과 습지 지역의 증가 결과로 유지가 되고 있는 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구는 서울시 생태경관 보전지역 중 주요 습지 보전지역에 대해 습지가 제공하고 있는 자연자원에 대해 InVEST 모델을 통하여 습지의 탄소저장과 변화량에 따른 경제적 가치 환산에 대해 평가를 하였다. 서울시 생태경관보호지역 중 습지보전지역의 생태적 가치를 평가하여 보전을 위해 활용되는 습지 가치를 추정하여 습지 보호 정책에 관련하여 보전적 방향으로 활용이 가능할 것으로 사료된다. 한강 자연성 회복을 위한 기본계획 및 생태계 관련에 활용할 수 있으며, 습지보호 및 관리방안을 위한 생태계서비스 값 제시를 통해 습지 보호를 위한 자료가 될 수 있다고 본다.

람사르 습지인 한강 밤섬에 대한 보전관리를 위해 생태계서비스 값 제시를 통해 보전에 대한 관리의 기초자료로 활용이 가능하다. 서울시 한강공원 현재 개발사업 인접 지역인 고덕동 습지, 암사동 습지에 대해 개발에 따른 보호 및 관리에 과정에서 서울 도심 속 습지의 중요성을 강조할 수 있다. 서울시 우수생태계 정밀조사결과 자연성이 높은 지역으로 선정된 고덕동 습지는 탄소저장값도 두번째로 높았으며, 연구지역으로 관리가 되고 있는 곳으로 판단된다. 암사동 습지는 탄소저장값은 높았지만, 인공초지가 80% 이상을 차지하고 있어 육상생태계의 탄소저장값은 증가한 것으로 도출되었지만, 침·활엽수림, 습지와 같은 다양한 생태계의 토지이용

활용이 필요한 것으로 판단된다. 여의도 셋강 습지는 한강과 만나는 상단의 부분은 탄소저장값 높은 것으로 도출되었으나, 도심지역과 인접한 대부분의 지역은 낮게 도출된 것으로 확인된다. 서울시 생태경관보전지역 보호 및 관리 방안의 기초자료로 활용이 가능하다.

생태경관보호지역으로 지정되어 관리되고 있지만, 5개 연구지역 중 2013년과 2019년 사이 탄소저장값이 감소되고 있는 탄천습지, 한강 밤섬습지, 암사동 습지에 대해서는 각 관리방안을 제시하고자 한다. 2013년에서 2019년 기간 동안 탄천습지의 토지이용도 변화는 교통지역, 나지지역이 증가하고 있고, 반면에 초지지역이 감소하는 것으로 확인되어 고밀도 개발로 유역에도 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. 유역 사이에 내륙습지가 분포하고 있어 조류들의 서식처로 이용되고 있는 만큼 습지지역에 대한 관리는 지속적으로 필요하다고 판단된다. 2010년부터 복원사업이 진행되고 있는 만큼 점차 탄소저장값이 증가될 것으로 판단된다. 밤섬은 2013년에서 2019년 기간 동안 내륙수 면적이 대부분 나지지역으로 대체되어 탄소저장값이 가장 많이 감소된 연구지역으로 확인되었다. 관리가 가장 필요한 연구지역으로 판단됨에 따라 나지지역으로 변화되는 토지이용도를 밤섬의 자생식물인 버드나무 (*Salix koreensis*) 과 억새 (*Miscanthus sinensis*) 군락과 같은 초본류를 식재하는 등의 인공적 관리로 퇴적현상으로 토지로 덮이고 있는 밤섬을 관리할 필요가 있다. 암사동 습지는 2013년과 2019년도의 토지이용도 변화에서 활엽수림 지역이 감소하고, 나지지역이 증가한 것이 감소된 원인으로 확인하였다. 나지지역이 증가하는 것을 막기 위해 자생식물로 복원하는 방법과 초본 등을 식재하여 산림을 유지하도록 하는 관리가 필요할 것으로 판단된다.

습지 면적이 습지 기능에 중요하지만, 이외 초지, 수변 식생, 내륙습지 지역 등의 면적이 크고 다양하게 분포할수록 습지의 효율이 높은 것으로 확인된다. 고덕동 습지와 암사동 습지는 생태경관 보전지역 외 잠실수중보상부 상수원 보호구역에 위치하고 있음에 따라 하천 생태계에 대한 관리를 함께 시행하면 습지생태계에 대한 생태계서비스의 질이 높아질 것으로 예상된다. 나지로 되어있는 지역을 나지 대신 인공초지로 조성하거나, 교목, 침·활수림 지역으로 조립하여 식재한다면 연구 지역의 탄소저장값이 높아질 것으로 예상된다. 본 모델은 일정 시기의 토지이용도에 따라 탄소저장값을 산정

하는 모델로, 토지이용도 범례가 변하지 않는 픽셀은 시간이 지남에 따라 격리 값의 변화는 없는 것을 가정되어 있다. 이는 본 모델의 한계점으로 탄소저장 산출에 대한 결과값의 정확성 측면에서 한계점을 가지고 있다. 그리고 본 모델은 단순화된 탄소 순환 과정에 따른 모델로 토지이용도에 따른 구분된 범례로 탄소저장값이 산출된다. 모델의 결과값은 토지이용도 범례 변화와 carbon pool 값에 따라 변화된다. 토지이용도 변화 외에 탄소저장의 변화에 영향을 줄 수 있는 요인인 온도, 강수량, 주요 식생의 영급에 대한 추가적인 요인들도 고려하여 적용한다면 보다 정확한 결과값을 도출할 수 있다고 생각된다. 모델의 한계점과 추가적으로 시행되어야 할 요인들이 있지만, 습지 생태계가 주고 있는 가치를 정량화 할 수 있는 방법론인 생태계서비스 관련 연구는 지속적으로 필요하다고 사료된다. 마지막으로 본 연구는 향후 연구지역에 대한 ‘습지 생태계서비스 평가’ 일환의 항목을 통하여 평가기준을 인증하여 이에 따른 평가가 이뤄진다면 절대적인 평가가 될 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구결과는 람사르 습지도시 인증제 기초자료로 활용하고자 하며, 도심 내 습지의 중요성을 파악하여 서울시 습지도시 운영 가이드라인 등 마련에 기초자료로 활용이 가능할 것으로 보인다.

사 사

본 연구는 한국연구재단(KRF-2021R1A2C1011213), 환경부(MOE-2020002990006), 그리고 서울녹색환경지원센터(SGEC 2020)의 지원을 받아 수행하였습니다.

References

- Bae, K.S., Koo, B.K., Han, S.K., Shin, J.Y., and Park, S.B. 1997. An ecological study on the aquatic animal community in Tan stream, Seoul. The Korean Society of Environmental Health 23(4): 1-8. (in Korean)
- Choi, H.A., Lee, W.K., Jeon, S.W., Kim, J.S., Kwak, H.B., Kim, M.N., Kim, J.U., and Kim, J.T. 2014. quantifying climate change regulating service of forest ecosystem - focus on quantifying carbon storage and sequestration. The Korean Society of Climate Change Research 5(1): 21-36. (in Korean)
- Choi, J.Y and Lee, S.D. 2020. Change of carbon fixation and economic assessment according to the implementation of the sunset provision. Ecology and Resilient Infrastructure 7(2): 126-133. (in Korean)

- Daily, E., Ruckelshaus, G.C., Ma, M.H., Eichelberger, S., Duggan, B.A., Ghile, J.M., and Rauer, P.J. 2015. Enlisting Ecosystem Benefits: Quantification and Valuation of Ecosystem Services to Inform Installation Management. The Leland Stanford Junior University Stanford United States.
- Gao, J., Li, F., Gao, H., Zhou, C., and Zhang, X. 2017. The impact of land-use change on water-related ecosystem services: a study of the Guishui River Basin, Beijing, China. *Journal of Cleaner Production* 163: S148-S155.
- Global Wetland Outlook. 2018. State of the world's wetlands and their services to people 2018. Ramsar Convention on Wetlands. Switzerland.
- Jeon, S.H., Nam, J.M., Choi, H., Ju, E.J., Yoon, J.H., and Kim, J.G. 2008. Monitoring for wetlands ecosystem conservation and management in urban -A case study at Dunchon-dong wetland-. *Korean Journal of Nature Conservation* 6(3): 127-142. (in Korean)
- Joosten, H., Sirin, A., Couwenberg, J., Laine, J. and Smith, P. 2016. The role of peatlands in climate regulation. Peatland restoration and ecosystem services: Science, Policy and Practice, 66.
- KEITI (Korea Environmental Industry & Technology Institute). 2018. Domestic environmental trend report June 2018: Carbon price and market trends in Korea and abroad. The Ministry of Environment. pp. 1-13. (in Korean)
- Kim, J.S., Kim, C.K., Yoo, K.J., and Hwang, S.I. 2017. A preliminary study for identifying soil management area in environmental impact assessment on development projects. *Journal of Environmental Impact Assessment* 26(6): 457-469. (in Korean)
- Kim, T.Y., Song, C.H., Lee, W.K., Kim, M.I., Lim, C.H., Jeon, S.W., and Kim, J.S. 2015. Habitat quality valuation using InVEST model in Jeju Island. *Journal of Korea Society of Environmental Restoration Technology* 18(5): 1-11. (in Korean)
- Moon, J.Y., Han, M.S., Song, J.H., and Kim, E.M. 2017. global application and economic analysis of carbon pricing for emissions reduction. KIEP Research Paper Policy Analyses. 17-31. (in Korean)
- Lee, J.H. and Han, Y.D. 2015. Birds of the tancheon area-the 4th National Natural Environment Survey of MOE. NEI. pp. 7. (in Korean)
- Lee, J.W. and Kim, S.K. 2015. Estimation of social cost of carbon and optimal social discount rate in Korea. Energy Economics Research Institute. (in Korean)
- Lee, H.W., Kim, C.K., Hong, H.J., Roh, Y.H., Kang, S.I., Kim, J.H., Shin, S.C., Lee, S.J., Spencer, W., and David, F. 2015. Development of decision supporting framework to enhance natural capital sustainability: focusing on ecosystem service analysis. KEI 2015: 3479-3651. (in Korean)
- Lee, C.H., Kwak, S.Y., Kim, C.K., Bae, H.J., Seo, Y.W., Ahn, S.E., Kang, W.M., Kim, J.E. and Shin, J.W. 2016. An integrated approach to environmental valuation. KEI. (in Korean)
- Ministry of Environment. 2014. A Work Guidebook for Wetland Policy Officers. Ministry of Environment National Wetlands Center. (in Korean)
- Ministry of Environment. 2015. Manual on International Conventions on Biodiversity and Ecosystem Conservation-CBD, Nagoya Protocol, CITES, Ramsar Convention, IPBES. (in Korean)
- Ministry of Environment. Environmental Spatial Information Service. <https://egis.me.go.kr/main.do;jsessionid=xbV-GC1nBftOR0qjScQ04Ka-.node20>. Accessed 2 November 2020. (in Korean)
- Ministry of Environment. 2018. Ramsar Wetland City accreditation Guidance Note for Cites. (in Korean)
- Ministry of Environment. 2018. 13th Ramsar conference in Dubai-The official adopt of Wetland Simple Assessment proposed by Korea. natural ecology policy division of Ministry of Environment. (in Korean)
- Ministry of Environment. 2020. Status of Ecological Landscape Protected Areas Designation. (in Korean)
- Ministry of Environment. Environmental Spatial Information Service. <https://egis.me.go.kr/main.do>. (in Korean)
- National Institute of Ecology. 2018. 4th Natinal natural environment servey. National institute of ecology. Seocheon, Korea. (in Korean)
- National Wetlands Center. 2018. Wetland City accreditation Guideline. (in Korean)
- Natural Capital Project. 2012. Informing Land-Use Plans in Central Sumatra. INVEST User Guide Release +VERSION.
- National Institute of Biological Resources. 2018. Convention on Biological Diversity SB12. (in Korean)
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 2016. Effective Carbon Rates on Energy. Available online: <http://www.Oecd.Org/>.
- Park, K.H., You, J.H., and Song, B.G. 2010. Evaluation of Ecological Values of the Southern Coastal Wetlands in South Gyeongsang Province, Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* 24(4): 395-405. (in Korean)
- Seoul Metropolitan Government. 2019. Conservation Management of Ramsar Wetland on Bam Island, Han River. Environmental Water Quality Division of Seoul. (in Korean)
- Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Chaplin-Kramer, R., and Vigerstol, K. 2014. InVEST user's guide. The Natural Capital Project, Stanford.
- Vigerstol, K. and Aukema, J. 2011. A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services. *Journal of Environmental Management* 92(10): 2403-240.
- Yi, H., Güneralp, B., Kreuter, U.P., Güneralp, İ., and Filippi, A.M. 2018. Spatial and temporal changes in

- biodiversity and ecosystem services in the San Antonio River Basin, Texas, from 1984 to 2010. *Science of the Total Environment* 619-620: 1259-1271.
- Yook, K.H. 2013. Study on the institutional limitations and improvements for effective management of coastal wetlands. *Journal of Wetlands Research* 15(4): 477-484.
- (in Korean)
- Yoon, J.Y. 2005. A Comparative study on the geomorphological environment of two rivers basin: choonglangcheon and tancheon. Master's thesis, Korea National University of Education. Cheongju, Korea. (in Korean)