

## 생태축 연결을 고려한 하천습지의 적정 후보지 선정 방안

강유진\* · 왕원준\* · 이하늘\* · 이준형\* · 이승민\* · 김형수\*\*†

\*인하대학교 스마트시티공학전공

\*\*인하대학교 사회인프라공학과

## A Selection Methodology of the Appropriate Candidate Sites of Riverine Wetlands for Ecological Connection

Yujin Kang\* · Won-joon Wang\* · Haneul Lee\* · Junhyeong Lee\* · Seungmin Lee\* · Hung Soo Kim\*\*†

\*Department of Smart City Engineering, Inha University, Korea

\*\*Department of Civil Engineering, Inha University, Korea

(Received : 12 April 2023, Revised : 3 May 2023, Accepted : 16 May 2023)

### 요약

현재 국내에서는 전국내륙습지 일반조사 및 습지보전기본계획 등의 장기적인 계획을 통해 습지 정책이 추진되고 있다. 그러나 대부분의 정책은 습지의 면적, 분포 및 생물다양성 등 현황 파악에 초점을 두고 있으며, 습지 생태계를 하나의 유기체로 보존 및 관리하는 것에 대한 인식이 부족한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 홍수터, 생물다양성, 서식지 제공, 관광자원 등의 기능적인 측면을 고려하여 생태축 연결이 가능한 하천습지 후보지 선정에 관한 방법론을 제시하였다. 이를 토대로 본 연구에서는 낙동강 수계에 있는 우포늪, 화포천습지, 주남저수지 3개의 습지와 생태축 연결이 가능한 후보지를 선정하고자 하였다. 본 연구에서는 낙동강 수계의 15개 표준유역 내에 존재하는 63개의 습지와 7개의 후보지를 대상으로 적지 분석을 수행하였고, 산정된 점수를 이용하여 생태축 연결에 가장 적합한 하천습지 후보지를 선정하였다. 후보지 평가를 위해 9개의 평가요소를 선정하고, 해당 평가요소들에 분위수를 이용한 점수화 기법을 적용하여 분석을 실시하였다. 결과적으로, 우포늪2(호포)가 36점으로 가장 높은 점수를 받아 생태축 연결 가능성이 가장 높은 후보지로 선정되었다. 따라서 우포늪2(호포)가 홍수터, 서식지, 생물다양성 증진 및 관광자원으로서 역할이 가능한 동시에 생태축 연결에 가장 적합한 것으로 판단하였다.

핵심용어 : 분위기수, 생태축 연결, 적지분석, 점수화 기법, 하천습지

### Abstract

In Korea, wetland policies are currently being pursued through long-term plans such as nationwide wetland surveys and wetland conservation basic plans. However, most policies focus on understanding the status of wetlands, such as their area, distribution, and biodiversity, and there is a lack of awareness regarding the need to conserve and manage wetland ecosystems as a single organism. Therefore, this study aims to identify potential riverine wetland sites that can be ecologically connected by considering functional aspects such as floodplain, biodiversity, habitat provision, and tourism resources. This study attempted to select a candidate site that could potentially provide ecological connectivity with three wetlands in the Nakdonggang River water system : Upo Wetland, Hwapocheon Wetland, and Junam Reservoir. 63 wetlands and 7 candidate sites located in 15 subwatersheds of the Nakdonggang River were analyzed, and the most suitable candidate site for ecological connectivity was selected based on the calculated scores. A suitability analysis was conducted using 9 evaluation factors to evaluate candidate sites, and the scoring method, using quantile, was applied to these factors. As a result, Upo2(Hopo) was selected as the most suitable site for ecological connectivity, receiving the highest score 36. Therefore, it is believed that Upo2(Hopo) can serve as a floodplain, habitat, biodiversity enhancer, and tourism resource while being the most suitable for ecological connectivity.

Key words : Ecological connectivity, quantile, riverine wetland, scoring method, suitability analysis

†To whom correspondence should be addressed.  
Department of Civil Engineering, Inha University, Korea  
E-mail : sookim@inha.ac.kr

- Yujin Kang Department of Smart City Engineering, Inha University, Korea / Graduate student (rkddb1215@naver.com)
- Won-joon Wang Department of Smart City Engineering, Inha University, Korea / Ph.D. candidate (makelest@naver.com)
- Haneul Lee Department of Smart City Engineering, Inha University, Korea / Graduate student (haneul6802@naver.com)
- Junhyeong Lee Department of Smart City Engineering, Inha University, Korea / Ph.D. candidate (lee\_junhyeong@naver.com)
- Seungmin Lee Department of Smart City Engineering, Inha University, Korea / Graduate student (woozz1187@gmail.com)
- Hung Soo Kim Department of Civil Engineering, Inha University, Korea / Professor (sookim@inha.ac.kr)

## 1. 서 론

생태축은 생물다양성(biodiversity)과 생태계 기능 보전, 생태계 연결성(connectivity) 강화 및 야생 동·식물 보호 등과 같은 역할을 하는 생태적으로 중요한 지역을 연결한 생태적 서식공간을 의미한다. 생태축은 서식지 간 유기적 연결성의 확보를 통해 생물다양성을 증진함으로써 국민의 삶의 질을 개선하고, 자연 자원의 지속적인 사용을 권장함으로써 인간 활동의 영향을 감소시키는 것을 목표로 한다. 또한, 생태축 구축을 통해 최근 기후변화로 인해 발생하는 생태계의 급격한 변화에 효과적으로 대응할 수 있다(Jeon *et al.*, 2010; Rho, 2013; Shin *et al.*, 2019; Windsor *et al.*, 2022; Kim *et al.*, 2023). 이처럼 생태축의 중요성이 높아지면서 생태계의 보고인 습지(wetland)의 구조 및 기능적 연결의 필요성이 대두되고 있다. 습지는 인류에 있어 중요한 생태계로 홍수조절, 수질정화, 생물서식지 제공 및 경관 등과 같은 다양한 기능을 수행할 뿐만 아니라, 자연기반해법(Nature-based Solutions, NbS)의 대상으로 고려되고 있다(Oh *et al.*, 2009; Lee and Jeon, 2012; Kim and Park, 2020). 즉, 홍수나 가뭄과 같은 자연재난 저감, 생물다양성 기능 증진, 생태계 보전 및 수질정화 등을 위해 구조물을 이용한 구조적인 방법 대신에 자연을 모사하고 자연의 기능을 이용하는 자연적인 해법을 이용하는 것이다. 이런 측면에서 습지의 다양한 기능평가는 중요하며, 여러 가지 방법론 중 최근에는 수문지형학적 방법론(Hydro-GeoMorphic (HGM) approach)을 이용한 기능평가가 많이 수행되는 추세이다(Shin *et al.*, 2009; Yin *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2011; Ann *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2020; Han *et al.*, 2021).

습지는 육지와 수역 사이의 전이지대로 두 생태계가 공존하는 성격을 지니고 있어 생태계의 다양한 생물들의 삶의 터전이 된다. 습지 생태축은 지역적 또는 광역적 측면에서 공간 계획의 지속가능성(sustainability)과 습지 생태계의 유기적 연결성을 향상시키기 위한 방안으로 사용되기 시작한 개념이다. 습지 생태축을 구축하기 위해서는 습지의 기능을 충분히 제공할 수 있는 주요 습지를 분별하고, 주요 습지와 연계되는 습지를 식별하여 생태축을 구축하는 것이 바람직하다. 이렇게 함으로써 서로 연결되는 습지들 간에 생물 이동이 원활해지고 서식지 확대와 다양성이 증가한다. 이를 통해 전체적인 생태계의 안정성과 다양성을 유지할 수 있다. 따라서, 습지 생태축을 구축하기 위해서는 주요 습지와 연계된 습지들을 식별하고 이들을 보호 및 관리하는 노력이 필요하다(Son *et al.*, 2011; Kim and Park, 2019; An *et al.*, 2021; Canning *et al.*, 2023). 국내 습지 생태축 사례로는 전라남도 순천에 있는 습지가 대표적이다. 순천시의 습지 생태축은 와룡 산지습지(산지습지) - 동천하구(내륙습지) - 순천만 갯벌(연안습지)로 이어지며, 그중 동천하구는 철새 서식지와 순천만 갯벌의 완충지역으로서 중요한 역할을 수행한다. 그리고 와룡 산지습지는 생태축을

구성하는 3개의 습지 중 마지막 보호지역으로 지정되었으며, 이는 내륙과 연안 생태계를 연결하는 생태축을 완성했다는 점에서 의의가 있다. 해당 습지 생태축은 순천시의 생태적 가치를 향상시키고 생태관광 자원으로서 기능을 수행할 것으로 기대되고 있다.

습지 정책은 전국내륙습지 일반조사 및 습지보전기본계획 등과 같은 장기적인 계획을 통해 시행되고 있다(Gyeongbuk Provincial Government, 2020; Hwaseong-si, 2021; Jeonbuk Institute, 2022). 하지만 정책의 대부분이 습지의 분포, 면적 및 생물다양성 등과 같이 세부 정보에 집중되어 있다. 관리 수단의 경우에는 보전 가치가 상대적으로 높은 습지보호지역에 집중해 있는 반면, 보호지역 외 습지에 대한 관리 및 발굴에 대한 내용은 미비한 실정이다. 국내 내륙습지의 전체 면적(1153.4km<sup>2</sup>) 중 약 86%(990.7km<sup>2</sup>)를 차지하고 있는 하천습지(riverine wetland)의 경우, 습지와 하천 생태계가 공존하고 있지만, 하천과 습지가 각각의 법으로 따로 관리되고 있다. 또한 복원 대상, 절차 및 비용 등에 관련된 규정이 없으며, 보전과 관리에 관한 수립 및 시행 의무만을 규정하고 있다. 따라서 하천습지의 유기적인 보전(preservation) 및 관리(management)를 위해서는 생태축 연결성을 고려한 하천습지 후보지의 발굴이 필요하다(NIER, 2011; KRIHS, 2014; IUCN, 2020; Lu *et al.*, 2023). 하천습지 후보지 발굴을 통해 생태적 가치를 높여 생태공원(ecological park)과 같은 관광자원으로 개발할 수 있다. 또한, 어류 및 식생의 생물다양성이 높을수록 이를 활용한 관광자원 개발에 유리하고, 여가, 편의시설 및 교통시설 등을 생태공원 주변에 조성하면 지역경제 활성화에 이바지할 수 있다(Fang and Chen, 2015; Yao *et al.*, 2020; Wei *et al.*, 2023).

본 연구에서는 낙동강 수계에 포함되는 대표 습지인 우포늪, 주남저수지 및 화포천을 습지 생태축으로 설정하여 낙동강 습지의 생태학적, 수문학적 및 인문 사회학적 연결성을 고려한 하천습지 후보지 발굴방안을 제시하였다. 또한, 하천의 물길을 고려하여 주요 습지(우포늪, 주남저수지 및 화포천)와 하천습지 후보지 사이의 생태축 연결성을 분석하고, 생태공원 및 홍수터 조성을 고려한 최적의 하천습지 후보지를 선정하였다. 본 연구에서는 9개의 평가요소에 대한 통계값에 분위수를 적용하여 1점 간격으로 점수를 부여하는 점수화 기법을 적용하였다.

## 2. 하천습지 후보지 평가요소 및 평가방법

### 2.1 하천습지 후보지 평가요소

Table 1은 생태보전, 생태공원 조성 및 생태관광을 포함한 다양한 목적에서의 적지분석 사례에 사용된 기존의 평가요소들을 정리한 것이다. 하지만 이 중 생태관광에 대한 적지분석 사례에서는 수문 및 지형에 대한 평가요소는 고려되지 않았다. 이에 본 연구에서는 생태공원 조성 및 생태관광을 중심으로 수문 및 지형, 생태 및 자연성, 인문 및 사

Table 1. Factors used in previous studies for suitability analysis of candidate site

Evaluation standard	Evaluation factor	Ecological conservation		Ecological park creation		Ecotourism		
		Jung (2021)	Lee (2015)	Jung (2021)	Seo (2008)	BDI (2008)	Koo and Kim (2009)	Lee (2009)
Hydrology/ Topography	Slope	●		●	●			
	Elevation			●	●			
	Waterside width	●	●					
	Land cover		●	●	●			
	Soil			●	●			
	Flow	●						
Ecology/ Naturality	Plant	●	●		●	●	●	●
	Animal	●	●		●	●	●	●
	Bird	●	●		●	●	●	●
Humanities/ Social science	Historic/cultural asset		●		●	●	●	●
	Accessibility	●			●	●	●	●
	Population	●			●		●	●
	Convenience facility	●					●	●
	Institution			●	●	●		

회로 평가기준을 분류하고, 기준별로 다양한 평가요소를 선정하였다. 수문 및 지형은 생태계의 중요한 구성요소이며, 생태공원 조성과 같은 활동에 있어서 매우 중요한 역할을 한다. 따라서 수문 및 지형에 대한 평가요소를 고려하는 것은 생태공원 조성의 성공을 위해 매우 중요하다. 생태공원 조성 시 수문과 지형을 고려하지 않으면 생태계의 안정성과 지속성을 보장할 수 없다. Table 2는 생태축 연결이 가능한 하천습지 후보지 선정을 위해 본 연구에서 제시하는 평가기준별 평가요소들을 나타낸 것이다. 본 연구에서 사용한 9가지의 평가요소는 생태공원 조성 및 생태관광을 중심으로, 수문 및 지형, 생태 및 자연성, 인문 및 사회의 세 가지 평가기준으로 분류하였다. 이러한 기준들은 이전 연구들에서도 다양하게 제시되어 왔으며, 본 연구에서도 이전 연구들의 결과를 참고하여 평가 기준을 설정하였다. 수문 및 지형에 대한 평가요소로 선정된 표고, 도로 및 건물 면적, 농경지 면적, 침수 면적은 하천습지의 생태계를 평가하는 데에 있어 중요한 역할을 한다. 이들 요소는 하천습지의 지형과 수문 특성을 파악하고, 인프라 구축에 있어서도 중요

한 정보를 제공한다. 이를 위해 DEM, 도로명주소 전자지도, 실폭도로, 스마트 팜맵 및 침수흔적도와 같은 분석자료를 사용하였다. DEM, 도로명주소 전자지도, 실폭도로, 스마트팜맵 및 침수흔적도 자료는 국가공간정보포털에서 얻을 수 있다. 생태 및 자연성 평가기준에서 선정된 식생종수, 어류종수 및 습지 면적은 하천습지의 생물다양성과 서식 환경을 평가하는 데에 있어 중요한 역할을 한다. 이들 요소는 생태계의 건전성을 파악하고, 생태계 보전 및 개선에 필요한 정보를 제공한다. 식생 및 어류종수는 국립환경과학원에서 자료를 얻을 수 있다. 인문 및 사회 평가기준에서 선정된 접근성과 편의시설은 생태공원 조성 및 생태관광의 관점에서 중요한 평가요소이다. 접근성은 대중교통 및 자동차 등의 이동 수단을 통해 하천습지에 쉽게 접근할 수 있는 정도를 나타내며, 편의시설은 생태관광객의 편리한 이용과 지역 사회의 발전을 위해 필요한 시설들을 나타낸다. 접근성은 대상 습지(후보지)와 철도, 지하철역, 공항 사이의 최솟거리를 기반으로 평가하였으며, 편의시설은 도로명주소 전자지도를 사용하여 습지가 위치한 구역에서 공공시

Table 2. Evaluation factors for the candidate site selection of riverine wetland

Evaluation standard	Evaluation factor	Information used
Hydrology/ Topography	Elevation	DEM
	Road and building area	Road name address digital map, road polygon(.shp)
	Farmland area	Smart farm map
	Flooded area	Inundation trace map
Ecology/ Naturality	Vegetation	Nakdonggang River biometrics network
	Fish	Nakdonggang River biometrics network
	Candidate area	Wetland polygon(.shp)
Humanities/ Social science	Accessibility	Spatial analysis data of railway, subway station and airport
	Facility	Road name address digital map

설, 소매점 및 제1종 근린생활시설 등과 같은 비주거 건물의 개수를 기반으로 평가하였다.

## 2.2 하천습지 후보지 평가방법

본 연구에서는 데이터의 분포를 기반으로 한 점수화 기법 중 하나인 분위수를 적용한 점수화 기법을 사용하였다. 이 기법은 데이터를 일정한 구간으로 나누고, 각 구간에 해당하는 점수를 부여하여 전체 데이터를 점수화한다. 분위수는 데이터를 크기순으로 나열했을 때, 일정한 비율로 나눈 지점을 말한다. 예를 들어, 4분위수는 데이터를 크기순으로 정렬했을 때, 25%, 50%, 75%에 해당하는 지점을 의미하며 이를 사용하여 데이터를 4개의 구간으로 나눌 수 있다. 적지분석에서 분위수를 사용한 점수화 기법은 습지 분야뿐만 아니라, 다양한 분야에서 활용되고 있다. 예를 들어, 경제 분야에서는 지역별로 소득 분포를 분석하기 위해 사용되기도 한다. 또한, 교육 분야에서는 학생들의 성적을 비교하기 위해 사용되기도 한다. 습지에 대한 적지분석에서는 각 습지의 특징을 인자로 도출하고, 해당 인자에 대한 분위수를 계산하여 각 습지에 점수를 부여하는 방식으로 활용되었다. 이를 통해 각 습지의 특성을 다각적으로 비교하고, 최적의 장소를 선정할 수 있다. Lee and Kim(2010)은 내륙습지의 보존 우선순위를 선정하기 위해 자연환경요인과 생태계 자료를 바탕으로 4가지(생물다양성, 자연성, 희귀성 및 훼손 잠재성) 평가기준을 선정하였다. 4가지 평가기준을 적용하여 지표별로 1~5점 사이의 점수를 부여하여 6개의 습지 지역에 대해 평가하였다. Byun *et al.*(2014)은 국가습지센터에서 제시한 12개 내륙습지를 대상으로 GIS Reclassify와 분위수를 사용한 점수화 기법을 사용하여 생태교육을 위한 가장 적합한 장소를 찾는 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 대상 습지 및 후보지 개수를 고려하여 평가요소별 통계치를 5분위수로 나누어 20% 간격으로 구간을 나누고, 해당 구간별로 1점부터 5점까지 1점 간격으로 점수를 부여하는 점수화 기법을 사용하였다. Fig. 1은 본 연구에서 사용한 5분위수에 대한 점수화 기법을 나타낸 것이다.

본 연구에서는 평가대상인 하천습지 후보지에 대해 다양한 평가요소를 고려하여 점수화 기법을 적용하였다. 표고는 높을수록 습지(후보지)에 대한 관광객들의 접근성이 낮아지고, 하천 기반 생태축 연결에 제약이 생기기 때문에 점수

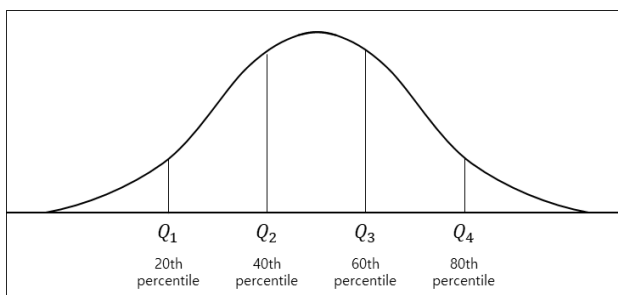


Fig. 1. The scoring method using quantile

가 낮게 부여되었다. 후보지가 속한 표준구역의 도로와 건물 면적이 넓을수록 후보지 개발에 제한이 생기기 때문에 점수를 낮게 배정하였다. 반대로, 농경지 면적이 넓을수록 후보지 개발에 필요한 부지를 확보하는 데 유리하므로 높은 점수를 부여하였다. 침수 면적이 넓은 표준구역은 홍수터 조성이 필요한 지역으로 판단되어 점수를 높게 배정하였으며, 식생 및 어류 종류가 다양할수록 습지 생태계 및 서식지 조성에 유리하다고 판단하여 높은 점수를 부여하였다. 또한 후보지 면적이 넓을수록 생태공원 및 홍수터 조성에 유리하다는 판단하에 해당 요소에 대해서도 점수를 높게 배정하였다. 후보지와 철도, 지하철역 및 공항 간 거리가 가까울수록 해당 위치로의 접근성이 향상되어 점수가 높게 배정되었다. 또한, 편의시설 개수가 많을수록 관광객 유치가 쉬워져 지역경제가 활성화되고 수익 창출이 용이해지기 때문에 해당 평가요소에 대한 점수도 높게 배정하였다. 표고, 접근성 및 후보지 면적은 각각의 후보지에 따라 다르기 때문에 같은 표준구역에 속해있는 후보지라 하더라도 해당 요소의 값이 다르면 점수가 다르게 부여된다. 하지만 도로 및 건물 면적, 농경지 면적, 침수면적, 식생 및 어류종수, 편의시설의 경우 동일한 표준구역에 존재하는 후보지일 때 동일한 점수를 부여하였다. 최종적으로 본 연구에서는 각 습지와 후보지에 대한 평가요소 점수를 종합하여 생태축 연결이 가능한 하천습지 후보지를 선정하였다.

## 3. 생태축 연결이 가능한 하천습지 후보지에 대한 적지분석 결과

### 3.1 연구 대상 구역 및 습지

본 연구에서는 낙동강 수계의 대표 습지(우포늪, 주남저수지 및 화포천)를 포함하는 중권역의 15개 표준유역을 대상 구역으로 선정하였다. 우포늪은 낙동창녕 유역의 적포교수위표 표준유역에 위치하며, 주남저수지 및 화포천 습지는 낙동밀양 유역의 주천강 및 화포천 표준유역에 위치한다. 그리고 Table 3은 15개의 표준유역에 존재하는 63개의 습지를 유형별로 분류한 것이다. 63개의 습지는 7개의 습지 유형으로 구분되며, 담수호습지, 하천습지, 배후습지, 소택지, 인공수로습지, 인공호습지 및 대체습지가 포함된다. 대상 구역에 속해있는 습지는 대부분이 담수호습지와 하천습지에 해당한

Table 3. Type of 63 wetlands

Ranking	Type	Unit(s)	Ratio(%)
1	Freshwater reservoir	26	41.3
2	Riverine	20	31.7
3	Back marsh	7	11.1
4	Marshland	4	6.3
	Constructed waterway	4	6.3
6	Constructed lake	1	1.6
	Replacement	1	1.6

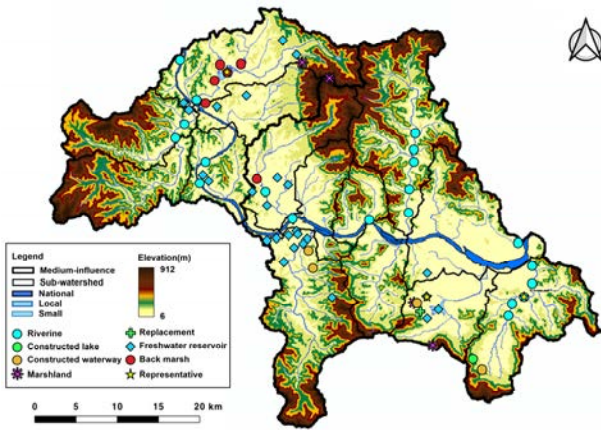
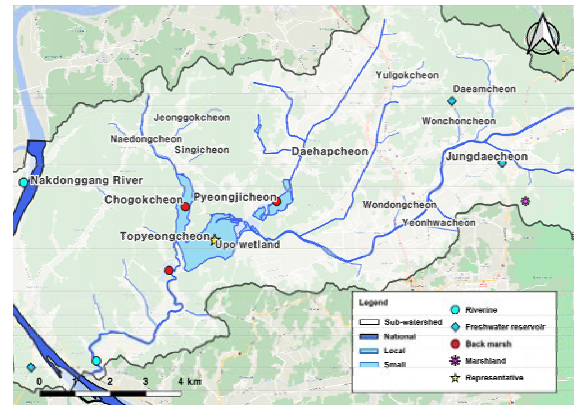


Fig. 2. Distribution of study wetlands

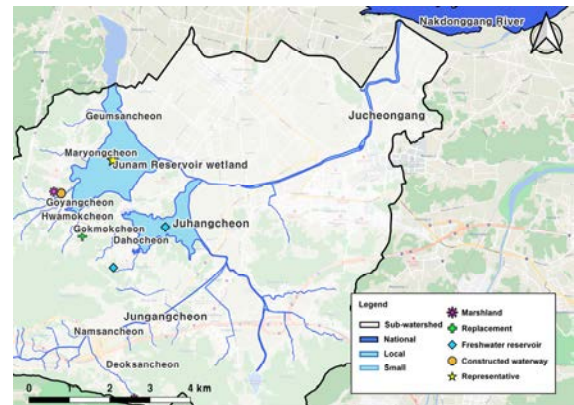
다. Fig. 2는 연구 대상 유역 내에 존재하는 습지의 분포를 지도상에 표시한 것이다. 그림에서는 대상 습지의 위치를 표시하기 위해 각 습지 유형별로 다른 모양 및 색상으로 구분하였다. 하천습지는 주로 하천 근처에 조성되는 습지 유형 중 하나이기 때문에, 그림에서 하천습지가 표시된 지역은 주로 강 또는 하천의 근처 지역임을 알 수 있다.

### 3.2 하천 기반 물길 및 습지의 연결성

Fig. 3은 대상 유역의 하천 분포를 나타낸 것이다. 우포늪은 초곡천, 토평천 및 평지천 등 다양한 지방하천을 통해 물길 생태축이 연결되어 있으며, 해당 하천들은 최종적으로 국가하천인 낙동강으로 유출된다. 초곡천에는 갯골천, 내동천, 신기천 및 정곡천이 합류하며, 토평천은 소하천인 대암천, 대합천 및 중대천 등이 합류한다. 그리고 평지천에는 무술천, 신당천 및 퇴산천이 합류한다. 담수호습지인 주남저수지는 지방하천인 주천강을 통해 낙동강과 연결되어 있으며, 소하천인 고양천, 곡목천, 금산천1, 마룡천 및 화목천 등과 이어져 있다. 마지막으로, 화포천 습지는 지방하천인 금곡천, 사촌천, 퇴래천 및 화포천을 통해 물길 생태축이 연결되어 있다. 지방하천인 사촌천은 경동천 및 용덕천이 합류하고, 화포천에는 최종적으로 고모천, 무릉천, 설창천, 용성천 및 진례천이 합류해 최종적으로 낙동강으로 유출된다. 생태축에서의 연결성은 네트워크 및 통로의 의미가 포함되며, 축간 연결성에 있어 하천은 매우 중요한 역할을 수행한다. 본 연구에서는 후보지가 하천 기반 물길을 통해 연결되어 있어 생태축 연결을 확인할 수 있었다. 하천은 생물들이 이동하고 서식지 사이를 연결하는 주요한 통로로 알려져 있다. 이러한 하천 기반 물길은 생태계에서 생물 다양성 유지와 유전자 흐름을 지원하는 핵심 역할을 한다. 후보지가 이와 같은 하천 기반 물길로 연결되어 있다는 사실은 생태축의 이동과 교류에 중요한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 하천을 따라 이루어지는 생태축 연결은 다양한 생물종의 이동, 개체 이주, 유전자 유입 등을 용이하게 하며, 이는 생물 다양성의 유지와 유전적 풍부성을 촉진한다. 또한, 생태축 연결을 통해 서식지 간의 상호작용이 증가하여 생



(a)



(b)



(c)

Fig. 3. National, local, and small rivers in study watershed. (a) Jeokpo Bridge sub-watershed, (b) Jucheongang River sub-watershed, (c) Hwapocheon sub-watershed.

태계의 구조와 기능을 강화할 수 있다. 따라서 후보지가 하천 기반 물길로 연결되어 있음으로써 생태축의 연결이 확보되었다는 점은 해당 지역의 생물 다양성 보전과 생태계 서비스 유지를 위한 중요한 성과임을 강조할 수 있다.

### 3.3 하천습지 후보지에 대한 적지분석 결과

Fig. 4는 낙동강 수계의 대표 습지인 우포늪, 주남저수지 및 화포천 습지가 위치하는 표준유역 내에서 국가하천, 지방하천 및 소하천과 인접한 지역에 선정된 하천습지 후보지 7곳을 나타낸 것이다. Table 4는 하천습지 후보지에 대

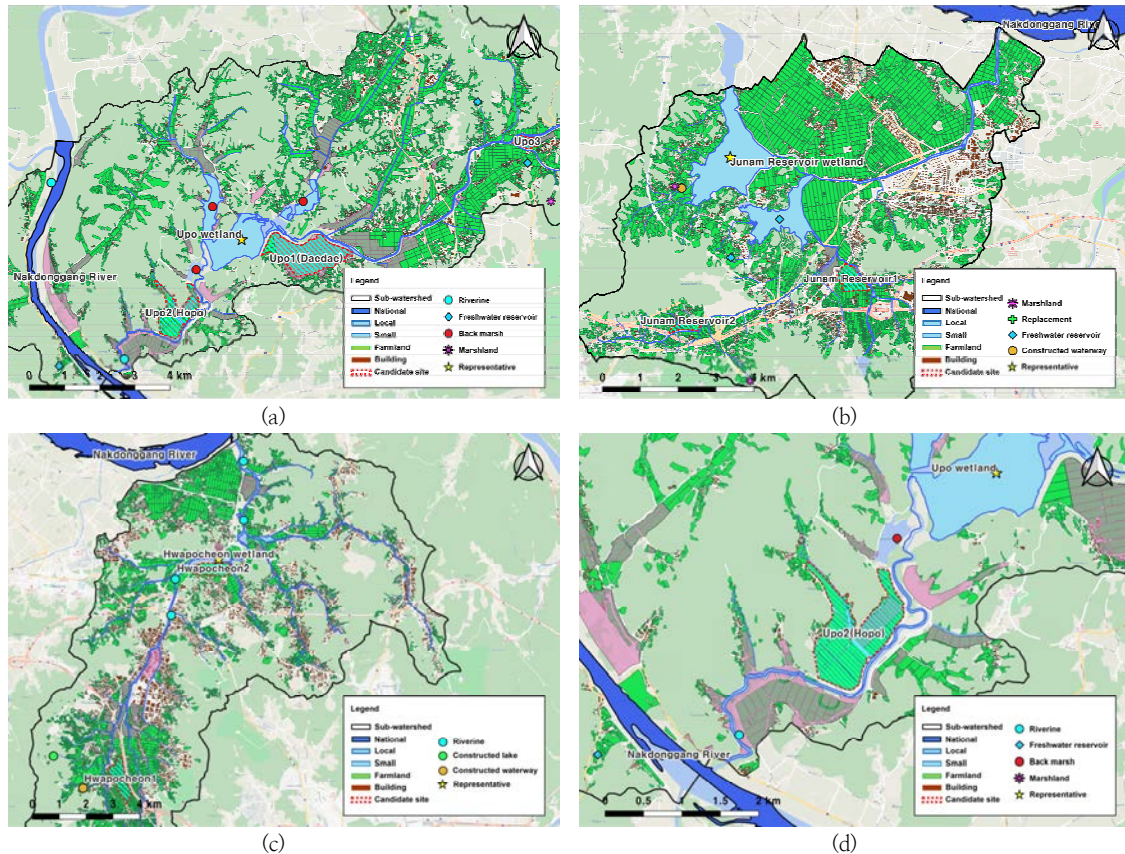


Fig. 4. Candidate sites for riverine wetland. (a) Jeokpo Bridge subwatershed (Upo1, Upo2, Upo3), (b) Jucheongang River subwatershed (Junam Reservoir1, Junam Reservoir2), (c) Hwapocheon subwatershed (Hwapocheon1, Hwapocheon2), (d) Upo2 (Hopo).

한 위치 정보를 나타낸 것이다. Table 5는 점수화 기법을 적용하여 수행한 생태축 연결이 가능한 하천습지 후보지에 대한 적지분석 결과를 정리한 것이다. 본 연구에서는 대상 습지 63개와 하천습지 후보지 7곳에 대해 적지분석을 수행하였다. 예를 들어, 70개의 대상습지 및 후보지의 표고를 5분위수를 적용해 20% 간격으로 5등분 했을 때 Q1, Q2, Q3, Q4는 각각 16m, 20m, 33m, 52m로 산정된다. 따라서 표고의 경우 52m 이상은 1점, 33m 이상 52m 미만은 2점, 20m 이상 33m 미만은 3점, 16m 이상 20m 미만은 4점, 16m 미만은 5점을 부여하였다.

우포늪1(대대)은 적포교수위표에 위치하는 후보지로 인근에는 토평천과 대표 습지인 우포늪이 위치하고 있어 하천 및 습지와 생태축이 연결되어 있다. 삼림, 임야 및 농경지 면적이 넓은 동시에 도로 및 건물의 밀도가 낮아 부지확보에 유리하다. 해당 표준유역은 과거 잦은 침수로 인해 피해가 많이 발생한 지역으로 하천습지를 조성할 경우, 홍수터로서의 역할을 수행할 것으로 기대된다. 또한, 식생은 46종, 어류는 21종으로 다양한 식생 및 어류가 서식하고 있다. 하지만, 공항, 지하철 및 철도역과의 거리가 멀어 접근성이 떨어진다는 단점이 있다.

우포늪2(호포)도 우포늪1(대대)의 장단점을 동일하게 지니고 있다. 하지만 우포늪1(대대)보다 표고가 낮기 때문에 습지(후보지)에 대한 관광객들의 접근성이 높으며, 하천 기

반 생태축 연결이 더욱 쉽게 이루어진다. 우포늪3은 토평천 상류에 위치한 후보지로 홍수터 조성을 목적으로 과거 침수가 발생한 지역에 선정하였으며, 주위에 도침지가 인접해 있어 홍수위험 저감에 대한 기대효과가 크다. 하지만 해당 표준유역 내 다른 후보지와 비교했을 때 면적이 매우 작기 때문에 관광자원으로서의 역할을 수행하거나 홍수터를 조성하기에는 어려움이 있을 것으로 판단된다. 또한, 후보지 중 표고가 가장 높아 접근성이 떨어진다는 단점이 있다.

주남저수지1은 주천강과 연결되어 낙동강으로 흐르는 중요한 지류인 주향천 근처에 위치하는 후보지로, 동판 및 주남저수지와 함께 하천 기반 물길 생태축을 통해 연결되어 있어 생태계 보전과 관련해서 유리한 지역이다. 과거 주남저수지1 인근 도침지역에서 큰 홍수가 발생했지만, 해당 표준유역의 침수 면적이 가장 작아 홍수터 조성 측면에서는 우선순위가 낮다. 또한, 집계된 식생 및 어류는 각각 27종, 10종으로 우포늪 인근 후보지 종류는 적지만, 한림정역이 가까이 위치해 있어 접근성이 매우 우수하다. 그리고 적포교수위표 유역의 3개 후보지보다 농경지 면적은 작지만, 관광객 수에 영향을 미칠 수 있는 편의시설 밀도가 높다. 주남저수지2는 중앙천 상류에 위치한 지역으로, 지방하천인 중앙천은 주향천과 하천 물길로 이어져 있기 때문에 홍수터로서의 역할을 수행할 수 있다. 하지만 주남저수지2는 인근 지역의 건물 및 도로 밀도가 높아 부지확보가 어렵다는 단점이 있다.

Table 4. Location information of candidate sites

Candidate site	Location	Standard unit watershed
Upo1 (Daedae)	Daedae-gil, Yueo-myeon, Changnyeong-gun, Gyeongsangnam-do	Jeokpo Bridge
Upo2(Hopo)	Upo3-ro, Ibang-myeon, Changnyeong-gun, Gyeongsangnam-do	
Upo3	Jungdae4-gil, Goam-myeon, Changnyeong-gun, Gyeongsangnam-do	
Junam Reservoir1	Jinyeong-eup, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	Jucheongang River
Junam Reservoir2	Jungangcheon-ro, Dong-eup, Uichang-gu, Changwon-si, Gyeongsangnam-do	
Hwapocheon1	Jillye-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	Hwapocheon
Hwapocheon2	Hallim-ro, Hallim-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	

화포천1은 화포천 표준유역 내에 위치하며, 해당 유역의 건물 및 도로 면적이 매우 넓어 충분한 부지확보가 가능한 화포천 상류에 후보지를 선정하였다. 과거에 발생한 집중호우로 인해 화포천 상류 인근 도심지에서는 대규모의 침수 피해가 발생했다. 따라서 화포천1에 하천습지를 조성했을 때 홍수위험에 대한 저감효과를 기대해 볼 수 있다. 집계된 식생 및 어류는 각각 33종과 12종으로 적포교수위포 유역

의 후보지보다는 작지만, 15개의 대상 표준유역 중 편의시설 밀도는 가장 높아 관광객 유치, 지역경제 활성화 등에 기여할 수 있다. 또한, 공항, 지하철 및 철도역까지의 거리가 가깝기 때문에 뛰어난 접근성을 가지고 있다. 화포천2는 화포천1과 달리 화포천 하류에 위치하며, 화포천 습지가 인접해 있어 습지 생태계 보전 및 복원에 도움을 줄 수 있다. 그리고 후보지 중 표고가 가장 낮아 생태공원 및 관광지를 형성하기 수월하다는 장점이 있다.

### 4. 결론

본 연구에서는 생태축 연결이 가능한 동시에 생태관광 역할을 수행할 수 있는 하천습지 후보지를 발굴하기 위해 3가지 평가기준(수문 및 지형, 생태 및 자연성, 인문 및 사회)을 고려하여 9가지의 평가요소(표고, 건물 및 도로 면적, 농경지 면적, 침수 면적, 식생 및 어류 종류, 후보지 면적, 접근성, 편의시설)를 선정하였다. 또한, 본 연구에서는 분위수를 활용한 점수화 기법을 사용하였으며, 대상 습지 및 후보지의 개수를 고려하여 5분위수를 적용하여 적지분석을 수행하였다. 적지분석 결과, 우포늪2(호포) - 우포늪1(대대) - 화포천2 - 화포천1 - 우포늪3 - 주남저수지1 - 주남저수지2 순으로 점수가 높게 산정되었다. 우포늪2(호포)는 평가기준에 따라 가장 높은 점수를 받아 하천습지 조성에 있어 가장 적합한 지역으로 선정되었다. 따라서 생태축 연결과 생태관광 기능을 수행할 수 있는 우포늪2(호포)는 중요한 자원으로 인식되어야 하며, 이를 바탕으로 보전 및 관리가 필요하다. 또한, 본 연구를 통해 분위수를 활

Table 5. The evaluation results of candidate sites

Factor \ Site	Upo2 (Hopo)	Upo1 (Daedae)	Hwapo cheon2	Hwapo cheon1	Upo3	Junam Reservoir1	Junam Reservoir2
Elevation (m)	14	16	12	23	59	20	40
Score	5	4	5	3	1	3	2
Road/building area (m <sup>2</sup> )	4,082,938	4,082,938	11,627,374	11,627,374	4,082,938	6,860,007	6,860,007
Score	3	3	1	1	3	3	3
Farmland area (m <sup>2</sup> )	29,009,082	29,009,082	24,181,895	24,181,895	29,009,082	27,289,038	27,289,038
Score	5	5	4	4	5	4	4
Flooded area (m <sup>2</sup> )	8,029,202	8,029,202	2,216,654	2,216,654	8,029,202	293,337	293,337
Score	5	5	3	3	5	2	2
Vegetation (species)	46	46	33	33	46	27	27
Score	4	4	2	2	4	2	2
Fish (species)	21	21	12	12	21	10	10
Score	5	5	3	3	5	1	1
Site area (m <sup>2</sup> )	896,963	1,659,538	597,839	689,495	175,943	370,730	145,120
Score	5	5	4	5	3	4	3
Accessibility (m)	30,849	28,066	1,588	2,993	22,923	1,814	2,075
Score	1	1	5	5	2	5	5
Facility (units)	3,153	3,153	16,848	16,848	3,153	7,308	7,308
Score	3	3	5	5	3	4	4
Total	36	35	32	31	31	28	26

용한 점수화 기법의 장점을 파악할 수 있었으며, 해당 방법의 장점은 다음과 같다.

첫째, 분위수를 활용한 점수화 기법은 이상치(outlier)가 있는 데이터에서도 적용이 가능하다. 본 연구에서는 하천습지 후보지를 평가하기 위해 다양한 평가요소를 고려하였는데, 해당 요소들의 데이터는 값의 범위가 넓은 동시에 데이터 사이의 상관성이 부족하다. 이러한 데이터에서 평균(mean)이나 중앙값(median)을 이용하여 데이터를 요약하면 이상치가 결과에 큰 영향을 미칠 수 있지만, 분위수를 이용하여 각 데이터를 구간으로 분할하면 이상치의 영향을 최소화할 수 있다.

둘째, 상대적인 위치 및 데이터 분포에 대한 정보를 제공할 수 있다. 분위수를 이용하여 데이터를 점수화하면, 각 데이터의 상대적인 위치 정보를 제공할 수 있다. 예를 들어, 데이터에서 특정 값이 60% 구간에 속한다면 해당 값이 전체 데이터 중 어느 정도의 위치에 있는지 파악할 수 있다. 그리고 분위수를 이용하여 데이터를 구간으로 분할하면, 데이터 분포에 대한 정보를 알 수 있다. 예를 들어, 40% 구간과 60% 구간 사이의 폭이 좁으면 데이터가 해당 범위에 집중되어 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 해당 기법은 데이터의 종류나 형태에 상관없이 적용이 가능하며, 구간의 수를 조정하여 분석의 목적에 맞게 유연하게 적용할 수 있다.

본 연구에서는 우포늪2(호포)의 중요성과 생태축 연결 및 생태관광 기능을 수행할 수 있는 후보지로서의 역할이 강조되었다. 연구 결과를 토대로 지역 사회와 정부 단체 등 관련 기관들은 우포늪2(호포)의 보전과 관리에 대한 노력을 강화해야 할 것이다. 또한, 이 연구를 통해 분위수를 활용한 점수화 기법이 하천습지 후보지 평가에 유용하게 활용될 수 있음을 확인할 수 있었다. 분위수를 이용한 점수화 기법은 데이터의 이상치를 고려하지 않아도 되며, 데이터의 분포와 상대적인 위치 정보를 파악할 수 있어 평가 결과의 신뢰도를 높일 수 있다. 따라서, 분위수를 이용한 점수화 기법은 앞으로도 다양한 분야에서 평가 및 분석에 활용될 것으로 예상된다.

그러나 본 연구에서는 다음과 같은 한계점이 있다. 첫째, 후보지 평가에 사용한 평가요소 및 분석 방법이 완전하지 않을 수 있다. 둘째, 해당 지역의 지리적 특성을 고려하지 않았을 수 있으며, 다른 지역에서의 적용성에 대한 검증이 필요하다. 셋째, 후보지 선정 결과가 일부 이해관계자들의 주관적인 견해에 의해 영향을 받을 수 있다는 점이 있다. 따라서 향후 연구에서는 다음과 같은 방향으로 발전시켜 나갈 필요가 있다. 첫째, 평가요소와 분석 방법의 보완과 개선을 통해 보다 정확한 평가를 수행할 필요가 있다. 둘째, 지리적 특성을 고려하여 보다 효율적인 후보지 선정 방법을 개발해야 한다. 셋째, 이해관계자들의 의견을 수용하면서 후보지 선정을 진행할 수 있는 절차를 마련해야 한다. 이러한 노력을 통해 더욱 효과적인 생태축 연결을 위한 하천습지 후보지 선정 방법론을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 “기후위기 대응 홍수방어능력 기술개발사업”의 지원을 받아 연구되었습니다(2022003460002).

## References

- An, Y, Liu, S, Sun, Y, Shi, F, and Beazley, R (2021). Construction and optimization of an ecological network based on morphological spatial pattern analysis and circuit theory, *Landscape Ecology*, 36, pp. 2059–2076. [DOI:https://doi.org/10.1007/s10980-020-01027-3]
- Ann, BY, Kim, TM, Hong, SJ, Kim, GH, Kim, S, Kim, JG, and Kim HS (2014). Study on river management plan considering ecological preservation and flood control of riverine wetland, *J. of Wetlands Research*, 16(4), pp. 463–476. [Korean Literature]
- BDI (2008). *Direction of Eulsukdo Island Ecological Park Development*, Policy Studies 2008–7, Busan Development Institute.
- Byun, HK, Lee, JW, and Lee, DK (2014). A study on the selection of suitable site for ecology educational value assessment at wetland eco park, *J. of the Korea Landscape Council*, 6(1), pp. 13–25. [Korean Literature]
- Canning, AD, Smart, JCR, Dyke, J, Curwen, G, Hasan, S, and Waltham, NJ (2023). Constructed wetlands suitability for sugarcane profitability, freshwater biodiversity and ecosystem services, *Environmental Management*, 71, pp. 304–320. [DOI:https://doi.org/10.1007/s00267-022-01734-4]
- Fang, D and Chen, B (2015). Ecological network analysis for a virtual water network, *Environmental Science & Technology*, 49(11), pp. 6722–6730. [DOI:https://doi.org/10.1021/es505388n]
- Gyeongbuk Provincial Government (2020). *Development of Action Plan for Wetland Conservation in Gyeongsangbuk-do*.
- Han, D, Kim, J, Choi, C, Han, H, and Necesito, IV (2021). Case study: on hydrological function improvement for an endemic plant habitat in Gangcheon wetland, Korea, *Ecological Engineering*, 160, 106028. [DOI:https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106028]
- Hwaseong-si (2021). *A Study on the Establishment and Management of the Ecological Network in Hwaseong-si*.
- IUCN (2020). *Guidelines for Conserving Connectivity through Ecological Networks and Corridors*, IUCN-PAG-030, En, International Union for Conservation of Nature.
- Jeon, SW, Chun, JY, Seong, HC, Song, WK, and Park, JH (2010). A study on the setting criteria and management area for the national ecological network, *J. of the Korean*



- Society of Environmental Restoration Technology*, 13(5), pp. 154–171. [Korean Literature]
- Jeonbuk Institute (2022). *A Study on the Policy Development for Establishing Ecological Network of Jeollabuk-do*, 2022-BR-08.
- Jung, HJ (2021). *Constructed stormwater wetlands site selection using genetic algorithm – focused on Shangqiu, China* -, Master's Thesis, University of Seoul, Seoul, Korea.
- Jung, MH (2021). *A study on the process of suitability analysis for river corridor zoning in urban river – focused on the Hakui stream in Anyang city* -, Master's Thesis, Gachon University, Seongnam, Korea.
- Kim, B and Park, JR (2019). Characterization of ecological networks on wetland complexes by dispersal models, *J. of Wetlands Research*, 21(1), pp. 16–26. [Korean Literature]
- Kim, B and Park, JR (2020). Evaluation of structural and functional changes of ecological networks by land use change in a wetlandscape, *J. of Ecology and Resilient Infrastructure*, 7(3), pp. 189–198. [Korean Literature]
- Kim, D, Park, J, Han, H, Lee, H, Kim, HS, and Kim, S (2023). Application of AI-Based Models for Flood Water Level Forecasting and Flood Risk Classification. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 606, 127415. [DOI:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127415]
- Kim, DG, Shin, HK, Kim, JG, Kim, HS, Yoo, BK, Ahn, KS, and Jang, SW (2011). Functional assessment of Yongdam dam-wetland by HGM, *J. of Wetlands Research*, 13(3), pp. 665–675. [Korean Literature]
- Kim, J, Kim, JG, Jung, J, Han, D, Choi, C, and Kim HS (2020). Modified hydrogeomorphic approach for estimating quantitative change of riverine wetland functions, *Ecological Engineering*, 152, 105876. [DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105876]
- Kim, J, Lee, BE, Kim, JG, Oh, S, Jung, J, Lee, M, and Kim, HS (2017). Functional assessment of Gangcheon replacement wetland using modified HGM, *J. of Wetlands Research*, 19(3), pp. 318–326. [Korean Literature]
- Koo, H and Kim, NO (2009). A study on the suitability analysis for Sinangun eco-tourism area, *J. of Tourism and Hospitality Research*, 23(1), pp. 267–278. [Korean Literature]
- KRIHS (2014). *The Introduction of Ecological Network for the Spatial Plans Aiming to Balance the Development and the Environment of Korea*, KRIHS 2013–25, Korea Research Institute for Human Settlements.
- Lee, GG (2009). A model to support spatial decision making for selection of ecotourism sites in urban and regional area, *J. of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*, 12(2), pp. 50–60. [Korean Literature]
- Lee, JA and Jeon, JH (2012). The suitability analysis of replacement wetlands based on ecological network, *Proceedings of the 2012 Conference of the Korean Institute of Landscape Architecture*, The Korean Institute of Landscape Architecture, Seoul, Korea, pp. 206–210.
- Lee, SB (2015). *A study on the suitability analysis & zoning for ecological conservation, restoration of riparian area*, Master's Thesis, Gachon University, Seongnam, Korea.
- Lee, SD and Kim, MJ (2010). Development of ecosystem assessment index for the priority management of inland wetland in Gyeongsangnam-do, *Proceedings of the 2010 Conference of the Korean Society of Environment and Ecology*, Seoul, Korea, pp. 89–92.
- Lu, Z, Li, W, and Zhou, S (2023). Constructing a resilient ecological network by considering source stability in the largest Chinese urban agglomeration, *J. of Environmental Management*, 328, 116989. [DOI:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116989]
- NIER (2011). *Management of Ecological Corridor to Conserve Wildlife Population (III)*, NIER-RP2011-1319, National Institute of Environmental Research.
- Oh, KS, Lee, DW, Jung, SH, and Park, CS (2009). A spatial decision support system for establishing urban ecological network; based on the landscape ecology theory, *J. of GIS Association of Korea*, 17(3), pp. 251–259. [Korean Literature]
- Rho, PH (2013). Development for wetland network model in Nakdong basin using a graph theory, *J. of Wetlands Research*, 15(3), pp. 397–406. [Korean Literature]
- Seo, YH (2008). *Plan for Gimpo wild bird wetland ecological life cycle of birds* -, Master's Thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Shin, GH, Kim, HR, Jang, SR, Kim, HY, and Rho, PH (2019). Evaluating the criteria and weight value for ecological network connectivity of Baekdudaegan mountain range on Taebaeksan national park, *Korean J. of Environment and Ecology*, 33(3), pp. 292–302. [Korean Literature]
- Shin, HK, Kim, D, Kim, JG, Kim, HS, Ahn, JH, Yoo, BK, Ahn, KS, and Park, D (2009). Study on assessment of value and functions of dam-wetland(1) – assessment of functions by HGM : focusing on Boryung dam -, *Korean J. of Wetlands Research*, 11(3), pp. 115–132. [Korean Literature]
- Son, JK, Sung, HC, and Kang, BH (2011). The study on the selection of suitable site for Palustrine wetland creation at habitat restoration areas for oriental stork(*Ciconia boyciana*), *J. of Wetlands Research*, 13(1), pp. 95–104. [Korean Literature]
- Wei, Z, Xu, Z, Dong, B, Xu, H, Lu, Z, and Liu, X (2023). Habitat suitability evaluation and ecological corridor construction of wintering cranes in Poyang Lake,

- Ecological Engineering*, 189, 106894. [DOI:<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.106894>]
- Windsor, FM, Hoogen, JVD, Crowther, TW, and Evans, DM (2022). Using ecological networks to answer questions in global biogeography and ecology, *J. of Biogeography*, 50, pp. 57–69. [DOI:<https://doi.org/10.1111/jbi.14447>]
- Yao, S, Li, X, Liu, C, Zhang, J, Li, Y, Gan, TT, Liu, B, and Kuang, W (2020). New assessment indicator of habitat suitability for migratory bird in wetland based on hydrodynamic model and vegetation growth threshold, *Ecological Indicators*, 117, 106556. [DOI:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106556>]
- Yin, S, Kim, DG, Kim, HS, and Kwak, JW (2010). Assessment of Hwapo riverine wetland function using hydrogeomorphic approach, *J. of Civil Engineering*, 30(1), pp. 53–60. [Korean Literature]