Journal of Environmental Science International
35(10); 935~950; October 2026

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
https://doi.org/10.5322/JESI.2026.35.10.935

ORIGINAL ARTICLE

서식처 연결성 및 네트워크 설계모델 유형 분석: 체계적 매핑 리뷰

염성진* · **윤호정[1)]** · **오병웅** · **김재형** · **서형림**
한경국립대학교 식물자원조경학부, [1)]한경국립대학교 산학협력단

A Typology of Ecological Network Design Models for Habitat Connectivity Restoration: A Systematic Mapping Review

Sung-Jin Yeom*, **Ho-Jung Yoon[1)]**, **Byeong-Ung Oh**, **Jae-Hyung Kim**, **Hyeong-Rim Seo**
Industry-Academic Cooperation Foundation, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea
[1)]Department of Plant Resources and Landscape Architecture, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

Abstract

This study aimed to identify types of restoration design models for enhancing habitat connectivity and their characteristics by systematically collecting and classifying academic literature and domestic restoration projects related to ecological networks. A mapping review was conducted using academic literature from the Web of Science and RISS, together with data from domestic restoration projects, including ecosystem conservation charge return projects, ecological axis restoration projects, and ecological stream restoration projects. In the primary core mapping, 240 sources (131 academic articles and 109 project reports) were selected, while a secondary supplementary contextual mapping focused on domestic application, identified 39 additional sources (8 academic articles and 31 project reports). The selected sources were systematically coded across habitat type, spatial patch, network components, connectivity type, planning and governance, restoration measures, connectivity analysis methods, and design factors. Based on the network component targeted for intervention, four restoration design model types were identified: Type A, a core habitat restoration model strengthening nodes (88 cases, 36.7%); Type B, a linkage construction model establishing or restoring links between nodes (76 cases, 31.7%); Type C, a stepping-stone habitat network model supplementing sub-nodes (69 cases, 28.8%); and Type D, a landscape permeability improvement model reducing matrix resistance (7 cases, 2.9%). Academic literature was dominated by Type B (45.8%), whereas domestic project reports were dominated by Type A (60.6%), revealing a structural difference between broad-scale, corridor-focused academic research and neighborhood-scale, node-oriented domestic practice. Each type also relied on distinct connectivity analysis methods: structural connectivity indices and graph theory for Type A, least-cost path analysis for Type B, circuit theory and least-cost path analysis for Type C, and habitat suitability modeling for Type D. These findings provide a systematic typology linking connectivity restoration research with practice, offering foundational evidence for developing an integrated institution–data–technology framework for habitat connectivity and ecological network restoration in Korea.

Key words : Systematic mapping review, Habitat connectivity, Ecological network, Ecological restoration, Design model

Received 8 September, 2026; **Revised** 28 September, 2026; **Accepted** 30 September, 2026
***Corresponding author** : Sung-Jin Yeom, Department of Landscape Architecture, Faculty of Plant Resources Landscape, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea
Phone : +82-31-670-5217
E-mail : ysj@hknu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. 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.

1. 서 론

오늘날의 기후변화와 토지이용 변화는 야생동물의 서식처 파편화와 단절을 초래하는 주요 원인으로 나타나고 있다(Cha, 2023). 서식처 파편화는 패치의 물리적 면적 감소만이 아니라 생태 네트워크로부터 나오는 생태계서비스의 공급을 감소시킨다(Kong et al., 2010; Rudnick et al., 2012; Darvishi et al., 2020; Torres et al., 2022). 특히, 생태계 연결성 확보는 기존의 서식처 복원 중심의 접근에서 나아가 비선형적으로 나타나는 기후위기에 대응할 수 있고, 지속가능성을 담보한 전략이 필요한 시점이다(Hannah, 2011; Hilty et al., 2020; McCullough et al., 2026). 이에 따라 서식처 연결성은 개별 서식처를 복원·보완하는 부수적 생태 보전 수단이 아닌 기후변화 적응 부문에서 하나의 전략적 수단으로 재해석할 필요가 있다. 특히, 우리나라는 국토의 상당부분을 산림이 차지하고 있으나, 도로와 철도 등 경제성장을 위한 산업화 과정과 인프라 개발로 인해 광범위한 단절이 지속적으로 발생하였다. 이러한 기조 속에서 근린 단위부터 국가 단위까지의 서식처 연결성과 생태 네트워크의 회복이 하나의 과제로 대두되고 있다.

이에 대한 문제를 대응하고자 국제사회에서는 서식처 연결성에 대한 보전·복원 전략과 목표를 설정해왔다. 대표적으로 2022년 채택된 쿤밍-몬트리올 글로벌 생물 다양성 프레임워크(Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework)는 훼손 생태계의 30% 복원(Target 2)과 '잘 연결된(well-connected)' 보호지역 체계의 구축(Target 3)을 명시하면서, 연결성 보호지역 면적 확대와 연결성 기능이 주는 생태계서비스를 강조하였다(CBD, 2024). 이러한 국제 규범에 따라 국가별로 생태 네트워크 및 서식처 연결성에 대한 체계를 지속적으로 구축하고 있다. 예를 들어 유럽연합(European Union, EU)의 경우, Natura 2000을 통해 보호지역을 범국가적 단위에서의 생태 네트워크를 법·제도적으로 관리하고 있으며, 그중 독일은 연방자연보호법(Bundesnaturschutzgesetz, BNatSchG)에 따라 국토 면적의 일정 비율 이상을 생물서식지 네트워크로 지정하도록 의무화하고 있다(BNatSchG, 2009). 국제자연보전연맹(International Union for Conservation of Nature, IUCN)은 생태 네트워크 및 코리더 보전을 위한 국제 지침을 구축하여 연결성 설계와 평가에 대한 절차적 표준을 제시하고 있다(Hilty et al., 2020). 이렇듯 국제적 흐름은 서식처 연결성을 단순히 현황평가 지표가 아니라, 보호지역 설정, 생태 네트워크 계획 그리고 복원설계에 반영하여 다루고 있음을 보여준다.

우리나라 또한 '국토종합계획', '자연환경보전 기본계획', '제5차 국가생물다양성 전략' 등 정기적인 계획 수립을 통해 생태 네트워크 구축을 국가 전략 목표로 수립하고 있다. 특히, 「자연환경보전법」을 토대로 자연환경복원사업과 도시생태축복원사업이 추진되고 있으며, 생태계보전부담금 반환사업을 통해 도심 및 비도심 지역의 훼손 생태계를 대상으로 복원사업이 이루어지고 있다. 다만, 국내의 연결성 관련 계획과 복원사업은 개별 사업 단위로 시행되고 있어, 효율적 서식처 연결성 및 생태 네트워크의 구축을 위해 지금까지 축적된 연결성 복원연구와 설계요소를 종합적으로 다룰 필요가 있다. 더 나아가 후속 복원설계나 상위전략 간의 연계와 환류가 개선되어 '제도-데이터-기술'이 결합된 통합형 추진체계로의 고도화가 필요할 것으로 파악된다. 이를 위해 우선적으로 본 연구에서는 복원설계의 유형과 방법론의 체계화를 위해 기반자료로 활용할 수 있는 연구를 진행하였다.

한편, 국내에서도 연결성에 관한 연구는 꾸준히 지속되어 왔다. 종의 이동량과 종 분포를 고려한 연결성 평가 연구(Jung et al., 2016; Kim et al., 2025), 연결성 평가를 통한 보호 및 복원지역 우선순위 선정 연구(Kim et al., 2020; Kim, 2024; Ryu et al., 2025), 녹지 및 서식지 연결성 강화 방안 마련 연구(Sung et al., 2014; Seo et al., 2024), 서식처 파편화와 연결성의 정량적 평가 연구(Shin et al., 2019; Yoon et al., 2019; Chang et al., 2021; Cha, 2023; Kwon, 2023; Cha, 2024) 등 다양한 측면에서 서식처 연결성 및 생태 네트워크의 연구가 확대되고 있다. 다만, 기존 연구는 대체로 특정 대상지를 대상으로 연결성 현황을 진단·평가하는 데 초점이 맞추어져 있으며, 이러한 결과를 실제 복원설계에 어떻게 적용할 것인지에 대한 유형화된 모델링을 체계화하지 못하였다. 또한 국내에서는 연결성 관련 방법론적 연구와 복원 실행이 개별 사업에 각각 분리되어 진행되고 있어, 학술적 정량평가와 실질적인 복원설계 적용에 있어 연계하는 데 한계성을 나타내고 있다. 학술연구에서는 연결성을 평가하기 위한 다양한 정량적 분석방법이 제시되고 있으며, 국내 복원사업에서는 실제 대상지에 적용되는 구체적인 조성 및 설계요소를

확인할 수 있다. 그러나 두 자료원에서 축적된 정보를 동일한 기준으로 분류하여 연결성 복원설계의 유형과 특성을 비교한 연구는 아직까지 진행된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 학술문헌과 사업보고서를 함께 검토하여 연구와 실무에서 활용되고 있는 연결성 복원 접근을 체계적으로 매핑하고, 국내 맥락에 적합한 복원설계 유형화를 위한 기반연구를 진행하였다.

본 연구는 서식처 연결성 증진을 위한 생태 네트워크 관련 학술연구와 국내 복원사업을 체계적으로 수집·분류하여, 연결성 복원설계의 유형과 각 유형의 특성을 파악하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 Web of Science (WoS)와 RISS에서 수집한 학술문헌과 생태계보전부담금 반환사업, 생태축복원사업 및 생태하천복원사업 등 국내 복원사업 자료를 대상으로 체계적 매핑 리뷰(systematic mapping review)를 수행하였다. 문헌 검색 및 선별과정은 PRISMA 2020의 보고 절차를 참고하였으며, 선정된 자료를 대상으로 서식처 유형, 공간규모, 네트워크 구성요소, 연결성 유형, 계획 및 거버넌스, 복원수단과 연결성 분석방법 및 설계인자로 기준을 설정하여 코딩하였다. 이를 바탕으로 첫째, 서식처 연결성 증진을 위한 복원 설계모델이 어떠한 유형으로 구분되는지, 둘째, 각 유형이 어떠한 공간적·계획적 특성을 갖는지, 셋째, 각 설계모델 유형에서 어떠한 연결성 분석방법과 주요·보조 설계인자가 활용되고 있는지를 파악하고자 하였다. 이를 통해 국내 서식처 연결성 및 생태 네트워크 복원설계에 활용할 수 있는 기반구축과 향후 연구 및 실무의 보완 방향을 제시하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 체계적 매핑 리뷰

본 연구는 지금까지의 서식처 연결성과 생태 네트워크에 대한 학술문헌을 파악하기 위해 증거 기반의 명시적이고 재현이 가능한 절차를 따르는 체계적 문헌고찰 방법을 참고하여 체계적 매핑 리뷰를 시행하였다 (Randles and Finnegan, 2023). 체계적 문헌고찰은 사전에 명확한 문헌 선정 기준을 설정함으로써 연구 과정에서 발생할 수 있는 주관적 편향(bias)의 위험을 최소화한다. 또한, 전통적인 문헌 연구에 비해 연구 주제와 밀접하게 연관된 문헌을 종합적으로 도출할 수 있으며, 연구 과정의 투명성을 확보하여 결과의 재현성(reproducibility)을 보장한다는 장점을 지닌다 (Aromataris and Pearson, 2014). 이를 활용하여 본 연구에서는 서식처 연결성과 생태 네트워크 설계 관련 축적된 학술연구와 국내 복원사업의 특성을 구조화하고, 설계모델 유형과 분석방법 및 설계인자를 전반적으로 파악하기 위해 체계적 매핑 리뷰를 적용하였다.

본 연구에서는 문헌 검색과 선별과정의 투명성을 확보하기 위해 PRISMA 2020의 보고체계(Tarsilla, 2010; Page et al., 2021)를 참고하여 검색·선별 절차를 구성하였다. 우선 연구 주제를 탐색하기 위한 적합한 자료원(data sources) 및 검색 전략(search strategy)을 수립하였으며, 분석에 적합한 결과를 도출하기 위해 구체적인 포함 및 배제 기준(inclusion and exclusion criteria)을 설정하였다. 세부적인 검색 전략으로는 핵심어(keywords)와 '그리고(AND)'와 '혹은(OR)'과 같은 논리 연산자를 조합한 검색식을 활용하였으며, 문서유형, 언어, 발행 연도 및 색인 범주 등 다양한 필드(fields)와 필터(filters) 조건을 고려하여 문헌 수집을 진행하였다.

2.1.1. 자료선정

본 연구에서는 1차 핵심 매핑(core mapping)을 진행한 후, 국내 맥락 검토와 적용을 위해 한국어 학술논문과 추가 사업보고서를 수집하여 보완을 위한 2차 국내 맥락 보완 매핑(supplementary contextual mapping)을 통해 자료를 수집하였다.

1차 매핑은 WoS 데이터베이스를 기반으로 한 국제 학술 논문과 생태계보전부담금 반환사업 보고서를 대상으로 진행하였다. 2차 매핑에서는 앞서 언급한 바와 같이 한국어 논문과 생태복원 관련 사업보고서의 추가적 보완 검토를 위해 RISS 데이터베이스에 기반한 국내 학술 논문과 생태축 복원사업, 생태하천 복원사업 등을 수집하였다. 1차 매핑 자료는 설계모델 유형의 도출과 유형별 특성 분석에 활용하였으며, 2차 보완 매핑 자료는 도출된 유형의 국내 적용 맥락을 고려하여 보완하는 데 활용하였다.

학술문헌의 경우, 1차와 2차 매핑은 언어와 색인 범주를 제외한 공통 필드와 필터를 적용하였으며, 키워드 또한 동일한 단어로 진행하였다(Table 1). 회로이론 (Pelletier et al., 2014; Dickson et al., 2019; Dertien and Baldwin, 2023), 그래프 이론 기반 연결성 지표 (Hofman et al., 2018; Song et al., 2020) 등 연결성

Table 1. Data sources and search criteria for the systematic mapping review

Division	1st core mapping	Supplementary contextual mapping
Database	• Academic literature: Web of Science • Project report: Ecosystem Conservation Charge Return Project (ECCRP) Report	• Academic literature: RISS • Project report: Ecological Corridor Restoration Project Report, Ecological River Restoration Project Report, Ecological Park Report
Document type of academic literature	• Article • Review	• Article • Review
Language of academic literature	• English	• Korean
Year of academic literature	• 2015-2025	• 2015-2025
Year of project report	• 2014-2026	• 1998-2022
Index category of academic literature	• SCI-Expanded, SSCI, A&HCI, ESCI	• KCI

의 정량적 방법론이 제시된 이후 이러한 방법론이 실제 복원설계와 계획에 본격적으로 적용되기 시작한 시기를 고려하여 2015년부터 2025년까지의 기간을 설정하여 진행하였다.

사업보고서의 경우, 1차와 2차 매핑은 동일한 연결성 관련 핵심 키워드를 적용하여 진행하였다. 1차 매핑은 '생태계보전부담금 반환사업'을 대상으로 2014년부터 2026년까지를 검색 범위로 설정하였으며, 미발간 기간인 2024년부터 2026년까지의 자료는 분석에서 제외하였다. 2차 매핑은 국내에서 시행하고 있는 사업보고서를 추가적으로 검토하였으며, 자료 획득이 가능한 1998년부터 2022년까지의 자료를 분석에 활용하였다.

구체적으로 키워드의 경우, 연결성과 관련된 단어를 A 블록, 복원 및 설계와 관련된 단어를 B 블록, 방법론과 관련된 단어를 C 블록으로 구분하였다. 검색식은 연결성 개념을 공통 축으로 두고, "A and B"(TS = ("habitat connectivity" OR "ecological connectivity" OR "functional connectivity" OR "structural connectivity" OR "landscape connectivity" OR "patch connectivity" OR "ecological network" OR "habitat network") AND TS=("habitat restoration" OR "ecological restoration" OR "restoration design" OR "restoration model" OR "restoration framework" OR "restoration planning")), "A and C"(TS = ("habitat connectivity" OR "ecological connectivity" OR "functional connectivity" OR "structural connectivity" OR "landscape connectivity" OR "patch connectivity" OR "ecological network" OR "habitat network") AND TS=("least cost path" OR "resistant kernels" OR "circuit theory" OR "graph theory" OR "agent based models" OR "structural connectivity metrics" OR "spatial prioritization tools"))로 설정해 문헌자료를 추출하였다. "A and B"는 복원 및 설계 맥락에서 연결성을 다룬 문헌을, "A and C"는 복원 용어를 명시하지 않았더라도 연결성 정량화 방법론을 다룬 문헌을 검토하고자 설정하였다.

키워드 선정은 전반적인 문헌고찰을 통해 관련성이 높은 단어를 도출하고 블록 주제별로 나열하여 적용하였다(Table 2). 1차 핵심 매핑은 영문 키워드를 사용하였으며, 2차 보완 매핑은 이와 동일하나, 국문 키워드를 적용하였다.

2.1.2. 선별 및 적합성 평가

학술문헌의 경우, 제목과 초록을 기반으로 '포함', '제외', '보류'의 기준을 적용하여 고찰을 진행하였으며, 1차와 2차 매핑 리뷰 프로세스에 동일하게 적용하였다. '포함'은 서식처 연결성 또는 생태 네트워크 관련 내용이 제목과 초록에 포함되어 있는지, 그리고 복원·설계·계획 맥락에 대한 여부에 초점을 두었으며 총 4개의 기준을 설정하였다. '제외'는 설정한 기준 중 하나 이상에 명백히 해당되거나 연결성·복원 맥락이 없는 문헌을 분류하였다. '보류'는 제목과 초록만으로 포함 여부를 판단하기 어려운 경우로 구분하였으며, 해당 자료는 원문 적합성 평가 단계로 이관하여 최종 포함 여부를 판

Table 2. Keyword blocks and search terms used for the systematic mapping review

Block	Theme	Keywords
A	Connectivity	"habitat connectivity", "ecological connectivity", "functional connectivity", "structural connectivity", "landscape connectivity", "patch connectivity", "ecological network", "habitat network"
B	Restoration / Design	"habitat restoration", "ecological restoration", "restoration design", "restoration model", "restoration framework", "restoration planning"
C	Methodology	"least cost path", "resistant kernels", "circuit theory", "graph theory", "agent-based models", "structural connectivity metrics", "spatial prioritization tools"

Table 3. Inclusion and exclusion criteria for literature selection

Category	Criteria
Inclusion criteria	Studies in which habitat connectivity or ecological networks were identified as key research themes
	Studies in which restoration, design, or planning was discussed within an ecological context
	Studies that applied quantitative methods for connectivity assessment, such as graph theory or least-cost path analysis
	Studies that explicitly focused on terrestrial or wetland habitats
Exclusion criteria	Studies addressing tropical rainforests, mangroves, marine, alpine, or polar ecosystems
	Studies unrelated to ecological restoration or ecological networks, or focusing on substantially different research topics
	Studies focusing on populations of specific species or plants, or primarily addressing biological or genetic aspects
	Studies focusing solely on climate modeling, climate change projections, or ecosystem services, without relevance to habitat restoration or design

단하였다. 구체적인 기준은 다음 Table 3과 같다.

사업보고서의 경우, 1차와 2차 모두 공식적으로 발간된 보고서를 바탕으로 선정하였다. 1차 매핑 리뷰의 대상인 '생태계보전부담금 반환사업' 보고서를 대상으로 '단절', '파편화', '이동', '연결', '생태통로', '로드킬', '생태축', '생태 네트워크'의 핵심 키워드에 대한 포함 여부를 기준으로 스크리닝 작업을 수행하여 서식처 연결성 및 생태 네트워크와 관련성이 높은 보고서를 추출하였다. 2차 매핑 리뷰에서는 1차에서 수행한 '생태계보전부담금 반환사업'보고서뿐만 아니라 특정 복원사업의 목표를 가지고 국내에서 시행하고 있는 사업보고서를 추가적으로 검토하였다. 해당 사업보고서는 '생태하천 복원사업 사례집', '산림생태복원 사업 사례집', '자연마당 사례집'으로 수집하여 진행하였으며, 이 중에서도 연결성 및 생태 네트워크와 관련한 사업보고서를 추출하였다.

그 후, 최종 문헌을 선정하기 위해서 PECO (Population, Exposure, Comparator, Outcome) 프레임워크를 1차와 2차 매핑 리뷰에 동일하게 적용하여 선정하였다. PECO 프레임워크는 체계적 문헌고찰에서 연구질문을 구조화하는 표준 프레임워크로, 이를 본 연구의 분석 목적에 맞게 변형해 적용하였다. 본 연구에 적용한 연구질문은 '육상 및 습지 서식처에 적용된 서식처 연결성 기반 복원 사례를 복원 전·후 연결 유무로 비교 분석하여, 연결성 증진에 효과적인 복원 기술 설계 인자와 요소기술을 도출할 수 있는가?'로 설정하였다. 이 연구질문에서 연구대상(Population, P)은 '육상 및 습지 서식처', 노출요인(Exposure, E)은 서식처 연결성 설계·복원, 비교대상(Comparator, C)은 복원 전·후, 연결 유무 비교, 결과지표(Outcome, O)는 연결성 증진 복원 기술의 설계인자 및 요소기술로 해석할 수 있다. 본 연구에서는 필수 포함기준을 연구대상(P), 노출요인(E), 결과지표(O), 선택적 기준은 비교대상(C)으로 설정하여 원문 적합성 평가를 진행하였다. 비교대상을 선택적 기준으로 둔 것은 복원 전·후의 정량적 비교를 수행하지 않았더라도 설계인자와 요소기술을 명

Table 4. PECO-based inclusion and exclusion criteria for literature selection

Category	PECO	Criteria
Inclusion criteria	Population (P)	Studies focusing primarily on terrestrial or wetland habitats, including wetlands, reservoirs, river basins, and forests
	Exposure (E)	Studies that address habitat connectivity, or present connectivity-based restoration technologies as a core theme, restoration design factor, or component technology
	Comparator (C)	Studies including comparative analyses of pre- and post-restoration conditions, connectivity effects, or alternative restoration scenarios
	Outcome (O)	Studies that present connectivity-related analytical methods, restoration measures, design factors, component technologies, or connectivity outcomes
Exclusion criteria	Population (P)	Studies not focusing on terrestrial or wetland habitats, or not addressing habitats or ecological networks
	Exposure (E)	Studies limited to assessing and analyzing existing connectivity conditions, without proposing validation approaches, restoration techniques, design factors, or component technologies related to connectivity
	Comparator (C)	Studies that only compare current connectivity conditions, without proposing restoration strategies and focusing solely on diagnosis of existing conditions
	Outcome (O)	Studies presenting only changes in individual organisms of a specific species or genetic diversity, without relevance to habitat connectivity or design factors

시적으로 제시한 문헌은 본 연구의 분석 목적과 검토 가치가 있다고 판단하였기 때문이다. PECO 프레임워크의 구체적인 기준은 다음 Table 4와 같다.

사업보고서의 경우, 1차 매핑 리뷰에서 생태 네트워크와 연결성 관련 사업 적합성을 판단하고자 '포함', '제외', '보류'로 구분하여 구체적인 기준 설정에 따라 진행하였다. '포함'은 서식처 연결성 또는 생태 네트워크 관련 내용이 포함된 사업 내용의 경우, '제외'는 서식처 연결성 또는 생태 네트워크 관련 내용이 포함되어 있으나, 타 유형의 생태복원 유형인 경우로 설정하였다. '보류'는 서식처 연결성 또는 생태 네트워크 관련 내용이 포함되어 있으나, 보조적으로 적용된 경우로 판단하였다. 이에 대한 구체적인 기준은 다음 Table 5와 같다.

최종적으로 1차 핵심 매핑 자료로 학술문헌 131편과 사업보고서 109건 등 총 240건을 선정하였으며, 2차 국내 맥락 보완 매핑 자료로 학술문헌 8편과 사업보고서 31건 등 총 39건을 선정하였다. 1차 핵심 매핑 자료는 설계모델 유형 도출과 유형별 특성 분석에 활용하였으며, 2차 보완 매핑 자료는 도출된 유형의 국내 적용 맥락과 구체적인 복원 설계요소를 보완하는 데 활용하였다. 다만, 2차 매핑은 1차 매핑과 자료원, 사업 유형 및 수집 기간에 차이가 있어, 유형별 빈도와 비율의 직접적인 비교보다는 국내 적용 특성과 설계요소를 구체화하는 데 목적을 두었다. 이에 따라 2차 매핑 자료 39건은 1차 핵심 매핑 자료 240건의 정량분석에 통합하지 않고, 유형별 특성을 해석하기 위한 정성적 보완자료로 활용하였다. 구체적인 자료 선정 절차와 결과는 Fig. 1에 제시하였다.

2.2. 자료 코딩 및 매핑 분석

2.2.1. 설계모델 판별 축

자료 코딩 및 매핑 분석을 위한 코딩 항목은 그 역할에 따라 판별 축, 그리고 판별된 유형의 내용적 특성을 기술하기 위한 기술 항목으로 구분하여 분석결과를 도출하였다. 판별 축은 유형 간 경계를 결정하고, 기술 항목은 유형의 속성을 설명하고 유형 간의 차이를 해석할 수 있다.

판별 축은 서식처 유형, 서식처 규모, 네트워크 구성요소, 연결성 유형, 계획 및 거버넌스, 복원수단 유형의 6개 항목으로 구성하였다(Table 6). 이 중 네트워크 구성요소는 설계모델 유형을 결정하는 기준으로, 그래프 이론을 기반하여 생태 네트워크의 핵심 구성요소인 핵심 서식처 패치인 노드(node), 노드를 잇는 링크(link), 그리고 이를 둘러싼 비서식처 배경인 매트릭스(matrix), 노드 사이의 중간 거점인 보조노드(sub-node)까지 네 개의 구성요소로 설정하였다. 개별 문헌과 보고서에서 연결성 증진을 위한 개입이 네트워크 구

Table 5. Inclusion and exclusion criteria for project report selection

Category	Criteria
Inclusion criteria	Projects in which habitat or ecological fragmentation is explicitly identified as an issue within the project area
	Projects in which wildlife movement is restricted by physical barriers, such as roads, railways, fences, or development sites
	Projects that explicitly include measures to enhance ecological connectivity, such as ecological corridors or wildlife movement corridors
	Projects in which improving habitat connectivity, including facilitating wildlife movement or strengthening ecological network functions, is identified as a key project objective or expected outcome
Exclusion criteria	Projects primarily focused on the restoration of individual habitats, such as wetlands, forests, or grasslands, without an explicit objective of connecting them with surrounding habitats
	Projects primarily focused on creating or improving breeding, reproductive, feeding, or roosting habitats for specific species, without a clear objective related to wildlife movement or habitat connectivity
	Projects primarily aimed at recreation, environmental education, landscape improvement, or the provision of visitor spaces for local residents
	Projects primarily aimed at carbon storage, climate change adaptation, or the enhancement of carbon sinks
	Projects primarily aimed at improving local environmental conditions, such as pollutant removal, odor reduction, water-quality improvement, or the management of abandoned waste facilities
	Projects that only refer to green-space creation or biodiversity enhancement, without explicitly addressing habitat fragmentation, connectivity, or wildlife movement

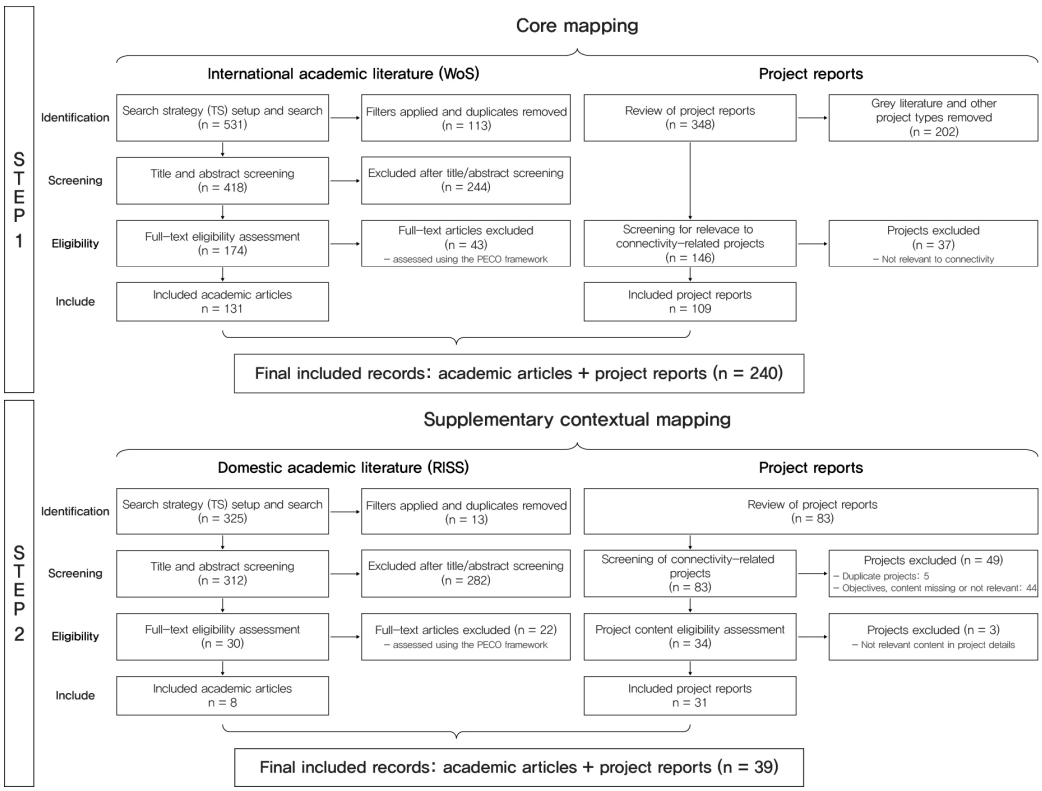


Fig. 1. Systematic mapping review process.

Table 6. Classification axes for identifying restoration design models

Axis	Sub-category	Description
Habitat type	Terrestrial	Dominated by terrestrial vegetation such as forest, grassland, or urban green space
	Wetland	Dominated by wetland, lake, coastal, or riparian habitat
	Mixed	Terrestrial and aquatic systems intentionally addressed together as design targets
Spatial patch	Patch	Individual patch or small site unit
	Landscape	Single city or landscape unit
	Regional	Broad scale such as region, watershed, or metropolitan area
Network component	Node	Core habitat patch itself is the direct object of intervention
	Sub-node	Intermediate stepping stone, ecological node, or pinch point between patches
	Link	Connecting path between nodes
	Matrix	Land-cover mosaic surrounding patches and links, with varying resistance and permeability
Connectivity type	Structural	Based on physical configuration and spatial arrangement
	Functional	Based on species movement, dispersal, and gene flow
	Composite	Structural and functional indicators used together
Planning and governance	International strategy	Linked to international frameworks such as the Global Biodiversity Framework
	National strategy	National-level policy or strategy
	Regional ecological plan	Ecological planning at regional or watershed level
	Urban planning	Targeting a single city
	Neighborhood ecology	Neighborhood or living-zone unit
	Protected area	Management of protected or nature conservation areas
Restoration measure	Ecological corridor	Physical corridor connecting nodes
	Stepping-stone habitat	Small intermediate habitat between patches
	Habitat quality improvement	Enhancement of vegetation quality or physical expansion of existing habitat
	Landscape-scale network	Ecological green network planning at landscape unit
	Green and blue infrastructure	Use of green and water infrastructure such as parks and streams

성요소 중 어느 요소를 직접적으로 조작대상으로 고려하였는가에 따라 설계모델 유형을 일차적으로 판단하였으며, 나머지 5개의 기준은 해당 유형이 적용되는 공간적 조건과 특성으로 파악하였다.

2.2.2. 기술 항목

기술 항목은 연결성 분석 및 평가방법, 목표종, 주요 설계인자, 보조 설계인자의 4개 항목으로 구성하였다 (Table 7). 연결성 분석 및 평가방법은 각 문헌과 보고서에서 분석역할에 따라 연결성 모델, 입력·진단, 우선순위 설계, 실측·검증의 네 범주로 구분하였다. 연결성 모델은 서식처 간 연결경로, 상대적 연결성 또는 이동가능성을 공간적으로 추정하는 방법, 입력·진단은 연결성 모델의 입력자료를 생성하거나 연결 현황을 진단하는 방법, 우선순위 설계는 보전 및 복원의 공간적 우선순위를 도출하는 방법, 실측·검증은 실증자료로 검증하는 방법으로 파악할 수 있다. 주요 설계인자는 해당 문헌 또는 사업에서 연결성 증진을 위한 직접적 개입의 대상으로 정의하였으며, 보조 설계인자는 그 자체가 조작대상이 아니나, 주요 설계인자의 결정을 위한 입력 변수 혹은 판단 근거로 사용되는 인자로 설정하였다. 자료 코딩 및 설계모델 유형 분류의 신뢰도를 확보하기 위해 4명의 연구자가 분류 결과를 상호 교차 검토하였으며, 해석이 상이한 항목은 연구자 간 논의를 통해 최종 분류를 확정하였다.

Table 7. Definition of descriptive attributes

Category	Description
Connectivity analysis and assessment methods	Connectivity model: Least-cost path (LCP), Resistant kernel, Circuit theory, Graph theory, Agent-based model (ABM)
	Input/diagnosis: Structural connectivity metrics, Habitat suitability model (HSM), Morphological spatial pattern analysis (MSPA)
	Prioritization/design: Spatial prioritization tools
	Empirical validation: Genetic connectivity analysis
Target species	Species or taxonomic group set as the restoration target
Primary design factor	A factor presented as the direct object of intervention for enhancing connectivity, whose manipulated outcome is measured as a performance indicator
Secondary design factor	A factor not itself subject to intervention, but used as an input variable or decision basis for determining the location, extent, or priority of the primary design factor

3. 연구결과 및 고찰

본 연구에서는 연결성 및 네트워크 구성요소인 노드, 링크, 보조노드, 매트릭스를 핵심 조작 요소로 정의하여 6개 분류축에 따른 자료 코딩 및 매핑 분석을 진행하였다. 그 결과, 서식처 연결성 증진을 위한 복원 설계모델은 네 가지 유형으로 구분되었다. 유형 A는 노드 자체를 조작 대상으로 하는 핵심 서식처 회복 모델, 유형 B는 노드 간 링크를 신설하고 복원하는 연결축 구축 모델, 유형 C는 노드 사이에 보조 노드를 보완하는 디딤돌 서식처 네트워크 모델, 유형 D는 매트릭스의 저항을 개선하는 경관 투과성 개선 모델이다.

자료 코딩 및 매핑 분석 대상 240건 중 유형 A로 분류된 문헌은 88건(36.7%), 유형 B는 76건(31.7%), 유형 C는 69건(28.8%), 유형 D는 7건(2.9%)으로 나타났다. 학술문헌에서는 유형 B의 비중이 60건(45.8%)으로 가장 높았으며, 국내 사업보고서에서는 유형 A가 66건(60.6%)으로 나타났다(Fig. 2). 이를 통해 전반적으로 학술연구는 정량모델 적용이 용이한 광역 스케일 수준이나, 생태통로와 같은 코리더에 초점을 둔 연구가 많이 진행되고 있으나, 국내 사업보고서는 확보가능한 부지를 대상으로 근린 단위의 노드 조성에 중점을 두어, 구조적 차이를 볼 수 있다.

3.1. 유형 A: 핵심 서식처 회복 모델

유형 A (Fig. 3)는 연결성 및 네트워크 구성요소 중 노드 자체를 조작 대상으로 기존 핵심 서식처의 면적을 확대하거나 서식처의 질을 개선함으로써 회복 기능을 향상시키는 모델이다. 노드 간 물리적 연결을 신설하기보다는 노드의 내적 역량을 강화함으로써 네트워크 전체의 안정성을 확보하는 것으로 이해할 수 있다. 유형 A로 분류된 88건은 학술문헌 22건과 사업보고서 66건으로 구성되며, 특히 사업보고서 109건의 60.6%를 차지하여 국내 복원사업에서 가장 많이 적용된 모델로 나타났다. 네트워크 구성요소는 88건 중 83건(94.3%)이 노드로 코딩되어 유형 정의와 높은 정합성을 나타냈다.

학술문헌에서는 22건 중 16건(72.7%)이 서식처 규모가 대부분 광역 수준에서 이루어지고 있었으며, 연결성 유형은 구조와 기능을 함께 다루는 복합 유형(9건, 40.9%)이 가장 높게 차지하였다. 복원수단으로는 경관단위네트워크(12건, 54.5%)와 서식처질개선(9건, 40.9%)을 가장 많이 적용하고 있었으며, 계획 및 거버넌스에서는 광역생태 네트워크(9건, 40.9%)와 도시계획네트워크(6건, 27.3%)에서 주로 적용되는 것으로 나타났다. 한편, 보호지역(5건, 22.7%)의 비중이 네 유형 중 가장 높게 나타나, 노드 강화에 있어 기존 보호지역 간의 고려를 상대적으로 많이 하고 있는 것으로 확인된다.

사업보고서에는 66건에서 패치 스케일이 60건(90.9%), 근린생태 네트워크가 41건(62.1%), 서식처 질 개선이 65건(98.5%)으로 나타나, 동일한 유형이 학술 연구에서는 광역 계획 수단으로, 실제 사업에서는 개별 부지 복원 설계 수단으로 상이하게 운용되고 있는 것을 파악할 수 있다. 또한 녹지·수자원 인프라 활용이 21건(31.8%)으로 나타나 도시 내 공원과 하천 기반시설을 활용한 서식처 조성이 활발하게 이루어지고 있다는 것

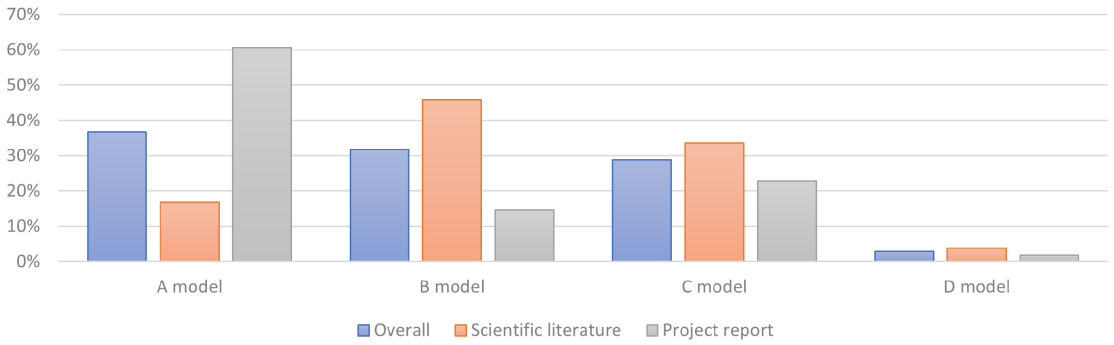


Fig. 2. Distribution of habitat and network design model types by literature source.

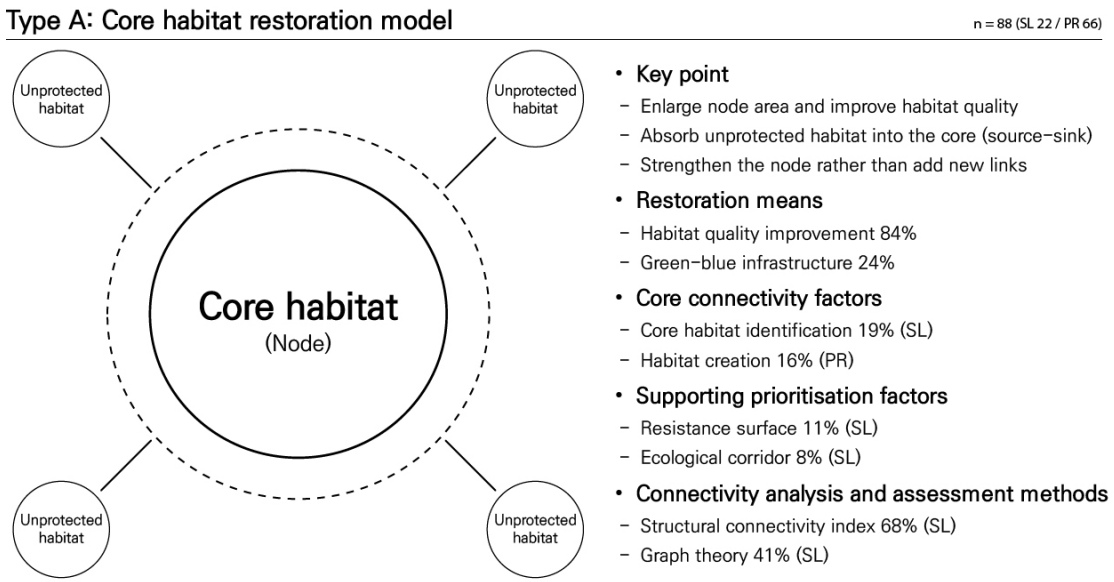


Fig. 3. Conceptual model of type A, the core habitat restoration model (node enhancement).

을 알 수 있다.

연결성 분석 및 평가방법에서는 사업보고서의 경우 전부 분석 및 평가 절차를 명시하지 않아 학술문헌 22건을 대상으로 검토하였다. 구조적 연결성 지표가 15건(68.2%)으로 가장 높았으며, 그래프이론(9건, 40.9%), 최소비용경로(8건, 36.4%), 형태공간패턴분석 및 회로이론(4건, 18.2%) 순으로 나타났다. 이는 유형 A가 개별 노드의 배치와 형태를 진단하고 네트워크 내에서 상대적 중요도를 평가하는 형태를 주로 나타내고 있다는 것을 파악할 수 있다. 목표종은 특정종을 명시하지 않은 학술문헌이 대다수이며, 사업보고서의 경우 조류, 곤충류, 양서류, 파충류 등 다양한 형태로 나타냈다. 설계인자는 유형 A 전체 88건을 대상으로 산정하였으며, 주요 설계인자로는 핵심 서식처 식별(17건, 19.3%), 서식처 조성(14건, 15.9%), 패치 중요도 및 연결성 지표와 복원 우선순위(10건, 11.4%)로 나타났으며, 보조 설계인자는 저항면(10건, 11.4%), 생태축 및 생태통로 (7건, 8.0%), 생태습지(6건, 6.8%) 순으로 확인할 수 있었다.

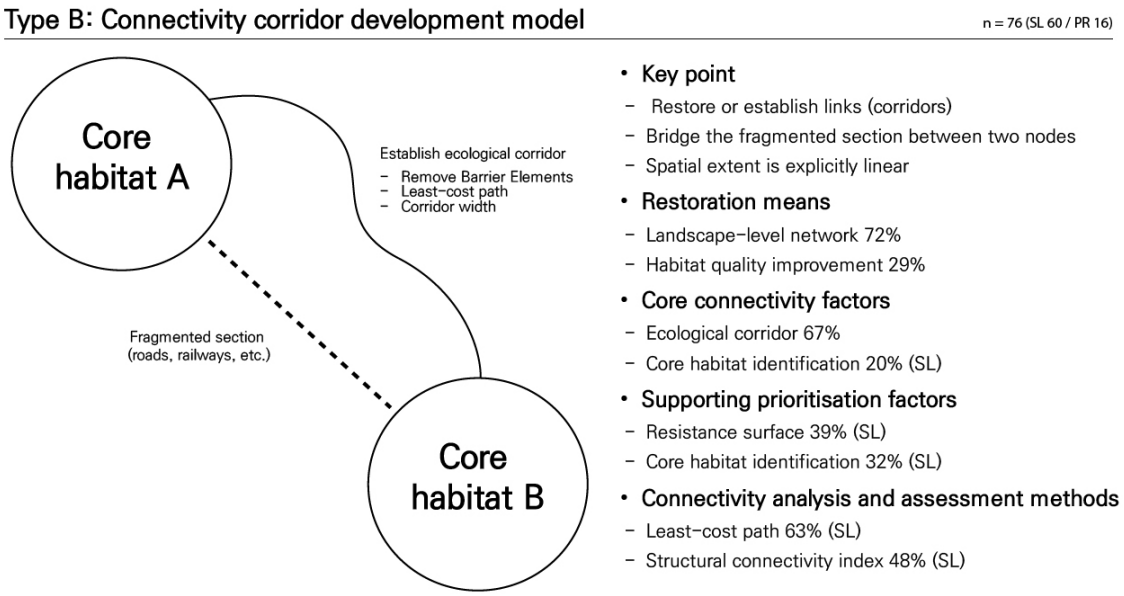


Fig. 4. Conceptual model of type B, the connectivity corridor development model (link creation and restoration).

2차 매핑 리뷰를 통해 유형 A는 핵심 노드인 서식처 선정에 있어 면적뿐만 아니라 식생활력도, 토지피복, 불투수율 등을 종합적으로 검토하여 우선순위 후보를 도출할 필요가 있음을 확인하였다. 또한 노드를 강화하기 위해서는 서식처 조성 및 훼손인자 제거뿐만 아니라 자생종 식생복원, 토양복원 등 물리적 기반 조성에 대한 검토를 요구한다. 나아가 기후위기 대응과 장기적 관리를 위해서는 잠재 서식처와 인근 보호지역을 식별하여 그 연결성을 고려할 필요가 있다.

3.2. 유형 B: 연결축 구축 모델

유형 B (Fig. 4)는 노드 사이의 링크를 신설하거나 복원하는 모델로, 단절구간에 물리적 연결 경로를 조성함으로써 분리된 핵심 서식처 간의 이동 가능성을 회복시키는 모델이다. 유형 B는 공간적 범위가 선형으로 명확하게 나타난다. 국제 학술연구 60건(45.8%)에서는 가장 활발하게 이루어지는 모델이나, 국내 복원사업 16건(14.7%)에서는 소극적으로 다루어진 모델 중 하나이다. 네트워크 구성요소는 76건 중 62건(81.6%)이 링크로 나타났다.

학술문헌 60건은 서식처 규모가 광역 51건(85.0%)으로 네 유형 중 광역 규모 비중이 가장 높게 나타냈다. 연결성 유형은 복합(39건, 65.0%)이 가장 우세하였고, 복원수단은 경관단위네트워크가 51건(85.0%)으로 압도적으로 높았다. 계획 및 거버넌스에서는 광역생태네트워크(28건, 46.7%)와 도시계획네트워크(17건, 28.3%)에 주로 적용되고 있다는 것을 알 수 있다.

사업보고서 16건에서는 패치 스케일이 12건(75.0%), 도시계획네트워크 8건(50.0%), 서식처 질 개선 15건(93.8%)으로 나타났다. 연결성 유형은 구조적 연결성이 우세한 편으로 나타나 국내 사업의 연결축 조성이 종의 실제 이동 특성보다는 물리적 연결 확보에 초점을 두고 있다는 것을 파악할 수 있다.

연결성 분석 및 평가방법은 사업보고서 전부 분석 및 평가 절차를 명시하지 않아 학술문헌 60건을 대상으로 검토하였다. 최소비용경로(LCP)가 38건(63.3%)로 가장 높게 나타났으며, 구조적 연결성 지표 29건(48.3%), 형태공간패턴분석 22건(36.7%), 회로이론 21건(35.0%) 등의 순으로 나타났다. 이를 통해 유형 B는 두 노드 사이의 최적 경로를 정량적으로 산출하는데 초점을 맞추고 있으며, 네 유형 중 유일하게 개체기반모델이 적용된 모델로, 실제 개체의 이동을 측정하여 통로의 기능성을 검증하고자 한 연구도 있는 것으로 파악된다. 목표종은 학술문헌의 경우 대부분 명시되어 있지 않았으며,

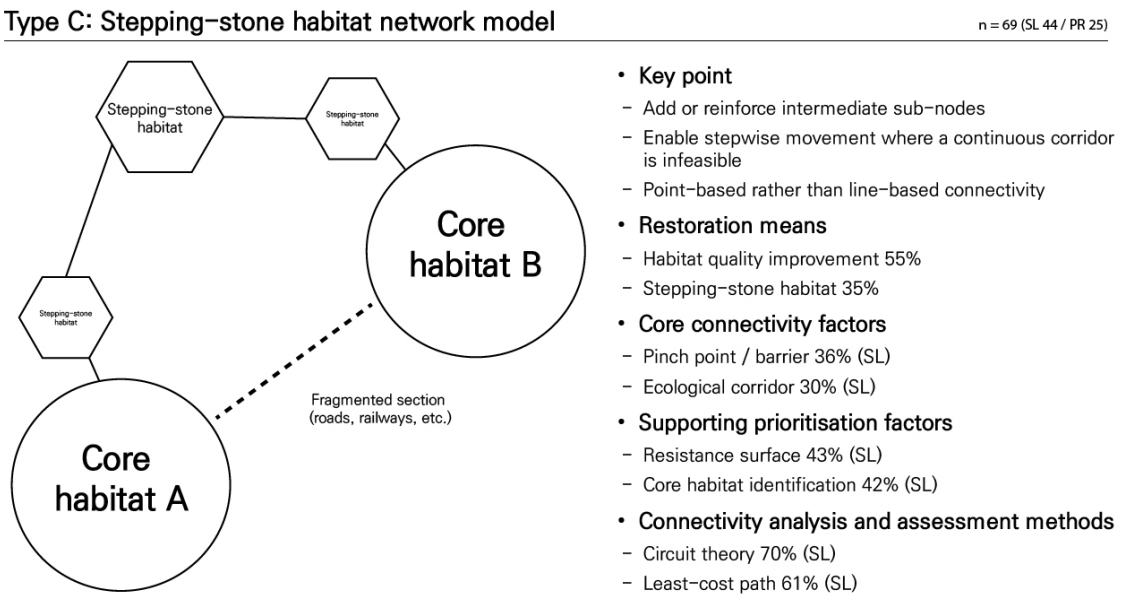


Fig. 5. Conceptual model of type C, the stepping-stone habitat network model (sub-node insertion).

사업보고서에는 조류 10건(62.5%), 곤충류 8건(50.0%), 양서류 6건(37.5%) 등의 순으로 나타냈다. 주요 설계인자로는 생태축 및 생태통로 51건(67.0%), 핵심 서식처 식별 15건(19.7%), 생태보안패턴 5건(6.6%)로 나타났으며, 보조 설계인자는 저항면 30건(39.0%), 핵심 서식처 식별 24건(31.6%), 병목구간 14건(18.4%) 순으로 확인할 수 있었다.

2차 매핑 리뷰를 통해 유형 B는 기존 녹지축 및 생태축을 파악하여 실제 복원 가능한 혹은 신설 가능한 연결경로와 링크(통로) 설계요소에 초점을 맞출 필요성이 있다는 것을 알 수 있었다. 육상은 유도울타리와 식생복원, 습지는 어도와 자연형 호안을 설치하는 것으로 나타나며, 그 외의 링크 설계요소에 대한 가능성을 확인할 필요가 있다. 대상지 공간구조와 생물 이용성, 실제 조성 가능성을 고려하여 링크의 위치와 폭을 설정하여 모델 진단과 검증이 실질적인 복원 설계로 이어지도록 구축할 필요가 있다.

3.3. 유형 C: 디딤돌 서식처 네트워크 모델

유형 C (Fig. 5)는 노드 사이에 보조노드(디딤돌 서식처)를 추가하거나 보강하는 모델로, 물리적으로 연속적인 통로 조성이 어려운 조건에서 중간 거점을 배치함으로써 단계적 이동이 가능하게 만드는 모델이다. 선적인 요소를 요구하는 유형 B와 달리 점적인 요소 배치로 연결성을 확보하는 모델로 부지면적이 넓은 도심지역과 같은 대상지에 실질적으로 적용이 가능할 것으로 판단된다. 유형 C로 분류된 69건 중 학술문헌 44건(33.6%), 사업보고서 25건(22.9%)으로, 두 자료원에서 공통적으로 두 번째로 높은 것으로 확인된다. 네트워크 구성요소가 보조노드로 코딩된 사례는 69건 중 50건(72.5%)으로 나타났다.

학술문헌 44건은 서식처 규모가 광역 31건(70.5%)이 가장 높게 나타났으나, 경관단위도 11건(25.0%)으로 네 유형 중 가장 많이 차지한 것으로 파악된다. 이는 디딤돌 배치가 경관단위의 공간구조와 밀접한 요소이기 때문으로 판단된다. 연결성 유형은 복합이 28건(63.6%)으로 가장 우세하였으며, 복원수단은 경관단위 네트워크 26건 (59.1%), 서식처 질 개선 16건(36.4%)이 주로 적용되었다. 계획 및 거버넌스에서는 광역생태네트워크 26건(59.1%)과 도시계획 네트워크 12건(27.3%)에서 주로 나타났다.

사업보고서 25건에서는 패치 스케일 24건(96.0%), 근린생태네트워크 17건(68.0%)으로 나타났으며, 복원수단은 서식처 질 개선 22건(88.0%)과 디딤돌 서식처

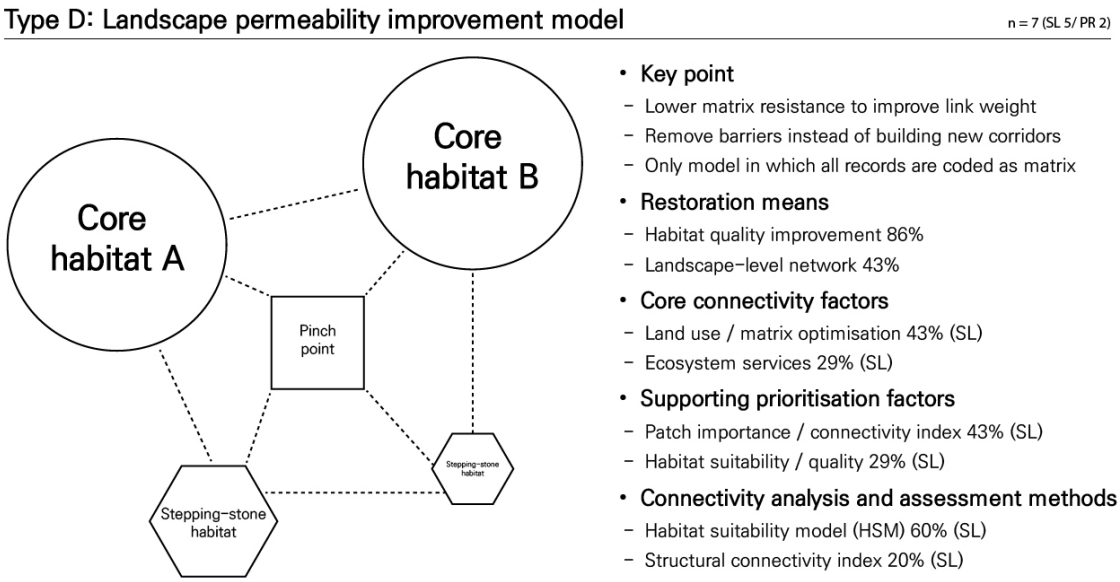


Fig. 6. Conceptual model of type D, the landscape permeability improvement model (matrix modification).

19건(76.0%)으로 확인되었다. 연결성 유형은 기능적 연결성이 17건(68.0%)으로 나타나 실제 이동가능성을 전제로 디딤돌 서식처를 설계하고 있다는 것을 예측할 수 있다.

연결성 분석 및 평가방법은 사업보고서 25건 전부가 분석 및 평가 절차를 명시하지 않아 학술문헌 44건을 대상으로 검토하였다. 회로이론이 31건(70.5%)으로 가장 높았으며, 최소비용경로(LCP) 27건(61.4%), 구조적 연결성 지표 25건(56.8%), 형태공간패턴분석 21건(47.7%) 순으로 나타났다. 이를 통해 병목구간 식별이 디딤돌 서식처 입지선정과 밀접한 대응이 이루어지기 때문에 회로이론을 많이 적용하고 있는 것으로 파악할 수 있다. 목표종은 학술문헌에서는 대부분 명시하지 않았으며, 사업보고서에서는 조류 18건(72.0%), 곤충류 11건(44.0%), 양서류 9건(36.0%) 순으로 나타났다. 주요 설계인자로는 병목구간 25건(36.0%), 생태축 및 생태통로 10건(14.5%), 서식처 조성 7건(10.1%)으로 나타났으며, 보조 설계인자는 저항면 30건(43.5%), 핵심서식처 식별 29건(42.0%), 생태축 및 생태통로 10건(14.5%) 순으로 확인할 수 있었다.

2차 매핑 리뷰를 통해 유형 C는 저항맵, 최소비용경로 단절구간(핀치포인트, 병목구간)을 진단하여 보조노드의 구간을 설정하고, 보조노드의 조성 요소를 자생종 식생복원 등 물리적 기반조성에 대한 실제 조성 가능성을 고려할 필요성을 확인할 수 있다. 또한 기후변화와 장기적 관리를 위해서는 잠재 서식처 혹은 보호지역을 고려하여 보조노드의 입지선정을 지속적으로 확장해 나갈 필요가 있다.

3.4. 유형 D: 경관투과성 개선 모델

유형 D (Fig. 6)는 노드와 링크를 내포하고 있는 매트릭스의 저항값을 낮추어 링크의 가중치를 개선하는 모델이다. 특정 지점에 통로를 신설하는 대신 경관 전반의 투과성을 향상시켜 연결성 효과를 높이는 접근이다. 학술문헌 5건과 사업보고서 2건으로 총 7건이며, 네 유형 중 사례가 가장 적은 것으로 나타났다. 이러한 낮은 비중은 생태통로나 서식처 조성과 같이 가시적으로 명확하게 제시할 수 있는 점과 선 중심의 복원방식에 비해, 경관 매트릭스의 저항을 완화하는 접근은 연결성 개선 효과나 적용 범위를 특정지어 제시하기가 상대적으로 한계가 있는 것으로 해석할 수 있다. 또한 학술연구와 복원사업에 경관투과성 개선 향상에 대한 접근성을 내포하고 있음에도 독립적인 연결성 복원 유형으로 판단하기에 한계가 있어 과소하게 나타났을 가능성을 고려하여 연구결과를 해석할 필요가 있다.

다만, 네트워크 구성요소는 7건 전부 매트릭스로 코딩되어 정합성은 완전히 일치하고 있다는 것을 알 수 있다.

학술문헌 5건은 서식처 규모가 전부 광역으로 나타났으며, 매트릭스 개선이 광역 규모를 전제로 주로 이루어지고 있다는 것을 알 수 있다. 계획 및 거버넌스에서도 광역생태 네트워크 3건(60.0%)과 국가전략 2건(40.0%)으로 나타났으며, 복원수단은 서식처 질 개선 4건(80.0%)으로 가장 높게 나타냈다.

사업보고서 2건 모두 패치 스케일과 근린생태네트워크로 나타났으며, 매트릭스 개선이라는 광역적 개념이 온전히 구현되기에는 아직까지 한계가 있다는 것을 알 수 있다.

연결성 분석 및 평가방법은 사업보고서 2건 모두 분석 및 평가 절차를 명시하지 않아 학술문헌 5건을 대상으로 검토하였다. 서식처적합성모델(HSM)이 3건(60.0%)으로 가장 높은 비중을 차지하였으며, 구조적 연결성 지표, 최소비용경로, 공간우선순위가 각 1건으로 확인되었다. 목표종은 학술문헌 5건 전부가 명시하고 있지 않으며, 사업보고서 2건은 양서류, 포유류를 대상으로 이루어진 것을 볼 수 있다. 주요 설계인자로는 토지이용 및 매트릭스 최적화 3건(42.9%), 생태축 및 생태통로, 생태계서비스 등 각 2건(28.6%)으로 나타났다. 보조 설계인자는 패치 중요도 및 연결성 지표 3건(42.9%), 서식처 적합성 및 질 2건(28.6%) 순으로 확인할 수 있었다.

2차 매핑 리뷰를 진행한 결과, 유형 D는 저항맵 구축과 단절요인 우선 진단으로 매트릭스 핵심 설계요소를 파악할 필요가 있으며, 매트릭스 투과성 향상을 위해서는 통로 신설보다는 물리적 단절요인을 파악하고 제거하는 데 초점을 둘 필요가 있다. 다른 유형과 마찬가지로 기후변화와 장기적 관리를 위해서는 잠재 서식처 식별 혹은 보호지역 간의 연계를 통한 서식처 변화 또한 고려할 필요가 있다.

4. 결 론

본 연구는 국내의 효율적 서식처 연결성 및 생태 네트워크 구축을 위한 기초 설계모델 유형을 전반적으로 파악하기 위해 서식처 연결성 증진을 위한 복원 설계모델 유형을 도출하고 유형별 연결성 분석 및 평가방법 그리고 설계인자를 확인하고자 하였다. 이를 위해 PRISMA 2020 프로세스를 참고하여 체계적 문헌고찰을 기반으로 한 매핑 리뷰를 수행하였으며, 국제 학술문헌 131건과 국내 복원사업 보고서 109건, 총 240건은 자료 코딩 및 매핑 분석, 그리고 국내 학술문헌 8건과 사업보고서 31건, 총 39건은 보완 문헌으로 선정하였다. 즉, 1차 매핑을 통해 도출된 문헌을 대상으로 자료 코딩 및 매핑 분석을 시행하여 4개의 유형모델을 도출하였으며, 2차 매핑을 통해 유형별로 국내 맥락에 적합한 방향성의 시사점을 보완하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 연결성 증진을 위한 복원 설계모델은 조작 대상으로 네트워크 구성 요소를 유형 판별의 기준으로 설정하여 도출하였다. 노드를 강화하는 핵심 서식처 회복 모델(유형 A, 88건), 링크를 신설하거나 복원하는 연결축 구축 모델(유형 B, 76건), 보조노드를 보강하는 디딤돌 서식처 네트워크 모델(유형 C, 69건), 매트릭스의 저항을 개선하는 경관 투과성 개선 모델(유형 D, 7건)로 확인할 수 있다.

둘째, 각 유형은 특성에 따라 주로 활용되는 연결성 분석 및 평가방법을 확인할 수 있었다. 유형 A는 구조적 연결성 지표와 그래프이론, 유형 B는 최소비용경로, 구조적 연결성 지표, 유형 C는 회로이론, 최소비용경로, 유형 D는 서식처적합성모델(HSM)으로 파악할 수 있었으며, 추후 '설계모델 유형-연결성 분석 및 평가방법-설계인자'로 이어지는 관계망 구조화를 구체화할 수 있는 가능성을 시사한다.

셋째, 동일한 설계인자가 유형에 따라 주요 인자 혹은 보조 인자로도 나타나고 있다. 이는 설계인자는 유형별 나타나는 독립적 요소가 아니라 설계모델 유형 특성 간의 관계와 공간위계, 복원목표 속에서 위계적으로 나타나고 있다는 것으로 파악할 수 있다.

넷째, 학술연구와 국내 복원사업은 서식처 연결성의 접근이 상이한 것으로 확인된다. 국제 학술논문에서는 정량적 연결성 분석 및 평가방법을 적용하여 서식처 간의 연결성을 평가하고 있으나, 국내 사업보고서는 패치 스케일에서 노드 조성에 집중하고 연결성 분석 및 평가방법을 제시한 사례는 없다. 이를 통해 국내 생태 네트워크 구축이 '제도-데이터-기술'의 통합형 체계로 고도화할 필요가 있다는 것을 알 수 있다.

이를 바탕으로 국내 서식처 연결성 증진과 생태 네트워크 구축을 위해서는 정량방법론을 적용하여 실제 부지 선정이 네트워크상의 위치와 기여도를 근거 기반으로 이루어질 수 있도록 연계가 되어야 할 필요가 있다. 또한, 광역 계획 규모에서 연결성 증진 목표를 구축하고

개별 복원사업이 그 안에서 구조적으로 전환할 수 있는 시스템 구축이 마련되어야 할 것으로 파악된다. 마지막으로 모니터링 체계를 축적하여 학술 연구의 연구방법론적 측면과 복원사업의 기술적 측면을 상호보완하여 기후변화 대응이나 장기적으로 복원효과를 확대할 수 있는 방안을 마련할 필요가 있다. 다만, 본 연구에서는 문헌과 보고서에 기술된 내용으로만 진행하였다는 점과 분류 과정에서 연구자의 해석이 개입되었을 가능성을 배제할 수 없다는 점을 한계점으로 볼 수 있으며, 향후 설계모델 유형별 세부 설계인자와 정량지표 연구방법론을 적용하여 후속연구를 통해, 실제 복원 대상지를 대상으로 유형별 적용 가능성과 검증이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 결과물은 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 기후변화 적응을 위한 생태계 복원 및 관리 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다 (RS-2026-25500817).

REFERENCES

Aromataris, E., Pearson, A., 2014, The systematic review: An Overview, AJN, 114(3), 53-58.

BNatSchG, 2009, Buzer.de, https://www.buzer.de/gesetz/8972/b26461.htm

CBD, 2024, Consolidated guidance notes for the targets of the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework, Montreal, Canada, https://www.cbd.int/gbf/targets/notes.shtml

Cha, J. G., 2023, Ecological connectivity and network analysis of the urban center in a metropolitan city, J. Environ. Impact Assess., 32(6), 503-515.

Cha, J. G., 2024, Assessment of connectivity improvement from ecological corridor construction, J. Environ. Impact Assess., 32(4), 25-49.

Chang, B. W., Park, S. Y., Jeong, J. A., Kang, W. M., 2021, Time-series analysis of green space network in Seoul and its implications, J. Korean Cadastre Inf. Assoc., 23(1), 116-129.

Darvishi, A., Mobarghaee Dinan, N., Barghjelveh, S., Yousefi, M., 2020, Assessment and spatial planning of landscape ecological connectivity for biodiversity management (Case study: Qazvin province), Iran. J. Appl. Ecol., 9(1), 15-29.

Dertien, J. S., Baldwin, R. F., 2023, Does scale or method matter for conservation? Application of directional and omnidirectional connectivity models in spatial prioritizations, Front. Conserv. Sci., 4, 976914.

Dickson, B. G., Albano, C. M., Anantharaman, R., Beier, P., Fargione, J., Graves, T. A., Gray, M. E., Hall, K. R., Lawler, J. J., Leonard, P. B., Littlefield, C. E., Mcclure, M. L., Novembre, J., Schloss, C. A., Schumaker, N. H., Shah, V. B., Theobald, D. M., 2019, Circuit-theory applications to connectivity science and conservation, Conserv. Biol., 33(2), 239-249.

Hannah, L., 2011, Climate change, connectivity, and conservation success, Conserv. Biol., 25(6), 1139-1142.

Hilty, J., Worboys, G. L., Keele, A., Woodley, S., Lausche, B., Locke, H., Carr, M., Pulsford, I., Pittock, J., White, J. W., Theobald, D. M., Levine, J., Reuling, M., Watson, J. E. M., Ament, R., Tabor, G. M., 2020, Guidelines for conserving connectivity through ecological networks and corridors, Best practice protected area Guidelines Series, 30, 122.

Hofman, M. P., Hayward, M. W., Kelly, M. J., Balkenhol, N., 2018, Enhancing conservation network design with graph-theory and a measure of protected area effectiveness: Refining wildlife corridors in Belize, Central America, Landsc. Urban Plan., 178, 51-59.

Jung, J. K., Park, Y. J., Lee, S. K., Lee, H. S., Park, Y. G., Lee, J. H., Choi, T. Y., Woo, D. G., 2016, Response of ground beetles (coleoptera: carabidae) to vegetation structure in wildlife crossings, Korean J. Environ. Ecol., 30(2), 185-198.

Kim, J. E., Kwon, S. C., An, K. G., 2020, Evaluation of habitat connectivity in landscape analysis of forest in national park: Focused on Bukhansan National Park, Journal of National Park Research, 11(1), 21-31.

Kim, J. H., 2024, A Study on the selection of priority conservation areas based on ecosystem functions in Busan -evaluation of habitat quality and ecological connectivity-, J. Korean Env. Res. Tech., 27(6), 15-25.

Kim, S. H., Kim, K. H., Song, E. G., Lee, H. B., Cho, K. J., 2025, Species composition and community characteristics by vegetation landscape type of overpassed, J. Environ. Impact Assess, 34(6), 488-508.

Kong, F., Yin, H., Nakagoshi, N., Zong, Y., 2010, Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling, Landsc. Urban Plan., 95(1-2), 16-27.

Kwon, Y. S., 2023, A Study on the establishment of a link-oriented wide-area ecological network, J. Environ. Impact Assess., 31(2), 85-102.

McCullough, I. M., Beirne, C., Londono, G., Forsyth, A., Ortiz, E., Pillco, R., Silman, M., Vriesendorp, C., Whitworth, A., 2026, A Regional-scale assessment of climate-resilient corridors and connectivity in the Amazon, Glob. Ecol. Conserv., e04234.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Aki, E., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J., Hrobjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E., Wilson, E., Mcdonald, S., Mcguinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco, A., Welch, V. A., Whiting, P., Moher, D., 2021, The PRISMA 2020 statement: An Updated guideline for reporting systematic reviews, BMJ, 372.

Pelletier, D., Clark, M., Anderson, M. G., Rayfield, B., Wulder, M. A., Cardille, J. A., 2014, Applying circuit theory for corridor expansion and management at regional scales: Tiling, pinch points, and omnidirectional connectivity, PLoS One, 9(1), e84135.

Randles, R., Finnegan, A., 2023, Guidelines for writing a systematic review, Nurse Educ. Today, 125, 105803.

Rudnick, D., Ryan, S. J., Beier, P., Cushman, S., Dieffenbach, F., Epps, C. W., Gerber, L., Hartter, J., Jenness, J., Kintsch, J., Merenlender, A. M., Perkl, R. M., Preziosi, D. V., Trombulak, S. C., 2012, The role of landscape connectivity in planning and implementing conservation and restoration priorities, Issues in Ecology, 16, 1-23.

Ryu, D. H., Kim, D. S., Kim, S. J., Jin, Z. Y., Lee, J. H., Lee, D. G., 2025, Redlist mammal management priority areas considering climate change and habitat connectivity, J. Korean Env. Res. Tech., 28(5), 39-47.

Seo, H. J., Choi, C. H., Lee, S. W., Kim, J. H., 2024, Analysis of ecological connectivity of forest habitats using spatial morphological characteristics and roadkill data, KJEE, 57(2), 75-82.

Shin, G. H., Kim, H. R., Jang, S. R., Kim, H. Y., Rho, P. H., 2019, Evaluating the criteria and weight value for ecological network connectivity of Baekdudaegan Mountain Range on Taebaeksan National Park, Korean J. Environ. Ecol., 33(3), 292-302.

Song, L. L., Qin, M. Z., Zhang, P. Y., Xia, Y. F., Ma, J., Cao, W., 2020, Representation, analysis and application of landscape graph based on graph theory, Ying Yong Sheng tai xue bao = The Journal of Applied Ecology, 31(10), 3579-3588.

Sung, H. C., Kim, M. R., Hwang, S. Y., Kim, S. R., 2014, A Basic study on connectivity of urban parks for the urban ecological network establishment, J. Korean Env. Res. Tech., 17(2), 125-136.

Tarsilla, M., 2010, Cochrane handbook for systematic reviews of interventions, Journal of Multidisciplinary Evaluation, 6(14), 142-148.

Torres, A., Patterson, C., Jaeger, J. A. G., 2022, Advancing the consideration of ecological connectivity in environmental assessment: Synthesis and next steps forward, Impact Assess. Proj. Apprais., 40(6), 451-459.

Yoon, E. J., Kim, E. Y., Kim, J. Y., Lee, D. K., 2019, Connectivity assessment based on circuit theory for suggestion of ecological corridor, J. Environ. Impact Assess., 28(3), 275-286.

• Professor. Sung-Jin Yeom
Department of Landscape Architecture, Faculty of Plant Resources Landscape, Hankyong National University
ysj@hknu.ac.kr
• Senior researcher. Ho-Jung Yoon
Industry-Academic Cooperation Foundation, Hankyong National University
hojung0919@hknu.ac.kr
• Master's course. Byeong-Ung Oh
Department of Landscape Architecture, Faculty of Plant Resources Landscape, Hankyong National University
obwoong@hknu.ac.kr
• Master's course. Jae-Hyung Kim
Department of Landscape Architecture, Faculty of Plant Resources Landscape, Hankyong National University
2025583202@hknu.ac.kr
• Master's course. Hyeong-Rim Seo
Department of Landscape Architecture, Faculty of Plant Resources Landscape, Hankyong National University
2026583205@hknu.ac.kr