

연결성 모델링을 활용한 빈집 녹지화 우선순위 평가*

이현정¹⁾. 김휘문¹⁾. 김경태¹⁾. 신지영²⁾. 박창석³⁾. 박현주⁴⁾. 송원경⁵⁾

¹⁾ 단국대학교 환경원예·조경학과 대학원 학생 · ²⁾ 한국환경연구원 연구위원 ·

³⁾ 한국환경연구원 선임연구위원 · ⁴⁾ 한국환경연구원 연구원 · ⁵⁾ 단국대학교 환경원예·조경학부 교수

Evaluation of Priorities for Greening of Vacant Houses using Connectivity Modeling*

Lee, Hyun-Jung¹⁾ · Kim, Whee-Moon¹⁾ · Kim, Kyeong-Tae¹⁾ · Shin, Ji-Young²⁾ ·
Park, Chang-Sug²⁾ · Park, Hyun-Joo²⁾ and Song, Won-Kyong³⁾

¹⁾ Dept. of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University, Student,

²⁾ Korea Environment Institute, Senior Research Fellow,

³⁾ Korea Environment Institute, Chief Research Fellow,

⁴⁾ Korea Environment Institute, Researcher,

⁵⁾ School of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University, Professor.

ABSTRACT

Urban problems are constantly occurring around the world due to rapid industrialization and population decline. In particular, as the number of vacant houses is gradually increasing as the population decreases, it is necessary to prepare countermeasures. A plan to utilize vacant houses has emerged to restore the natural environment of the urban ecosystem where forest destruction, damage to habitats of wild animals and plants, and disconnection have occurred due to large-scale development. Through connectivity analysis, it is possible to understand the overall ecosystem flow based on the movement of species and predict the effect when vacant houses are converted into green spaces. Therefore, this study analyzed the green area network to confirm the possibility of greening of vacant houses neglected in Jeonju based on circuit

* 본 논문은 한국환경연구원의 2021년도 일반사업(GP2021-16-01)의 지원으로 수행되었습니다.

* 이 연구는 2021년 한국환경복원기술학회 추계학술대회에서 발표한 것을 발전시켰습니다.

First author : Lee, Hyun-Jung, Dept. of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University, Student, 119, Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam 330-714, Korea,
Tel : +82-41-550-6273, E-mail : ecologyahoo@gmail.com

Corresponding author : Song, Won-Kyong, School of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University, Professor, 119, Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam 330-714, Korea,
Tel : +82-41-550-3636, E-mail : wksong@dankook.ac.kr

Received : 7 January, 2022. **Revised** : 21 February, 2022. **Accepted** : 13 February, 2022.

theory. Using Circuitscape and Least-cost path, we tried to identify the connectivity of green areas and propose an ecological axis based on the analysis. In order to apply the resistance values required for analysis based on previous studies, the 2020 subdivision land cover data were integrated into the major classification evaluation items. When the eight forests in the target site were analyzed as the standard, the overall connectivity and connectivity between forests in the area were high, so it is judged that the existing green areas can perform various functions, such as species movement and provision of habitats. Based on the results of the connectivity analysis, the importance of vacant houses was calculated and the top 20 vacant houses were identified, and it was confirmed that the higher the ranking, the more positive the degree of landscape connectivity was when converted to green areas. In addition, it was confirmed that the results of analyzing the least-cost path based on the resistance values such as connectivity analysis and the existing conceptual map showed some differences when comparing the ecological axes in the form. As a result of checking the vacant houses corresponding to the relevant axis based on the width standards of the main and sub-green areas, a total of 30 vacant houses were included in the 200m width and 6 vacant houses in the 80m width. It is judged that the conversion of vacant houses to green space can contribute to biodiversity conservation as well as connectivity between habitats of species as it is coupled with improved green space connectivity. In addition, it is expected to help solve the problem of vacant houses in the future by showing the possibility of using vacant houses.

Key Words : Jeonju city, Utilization strategy, Ecological Network, Landscape Analysis, Circuit Theory, Least-cost path

I. 서 론

도시는 인구 감소, 저출산, 고령화 등으로 쇠퇴 및 축소되면서 빈집이 발생하고 있다(Park and Lim, 2020). 빈집은 사전적 의미로 사람이 살지 않는 주택을 말하며(Chae, 2018), 「빈집 및 소규모주택 정비에 관한 특례법」 제2조에서는 특별자치시장·특별자치도지사·시장·군수 또는 자치구의 구청장이 거주 또는 사용 여부를 확인한 날부터 1년 이상 아무도 거주 또는 사용하지 아니하는 주택으로 규정하고 있다. 전국 대부분의 지자체에서 인구가 감소하였고 비수도권 118개 지자체는 평균 -30.1%의 인구가 감소함에 따라 주택 수요가 줄어들면서 빈집화가 지속적으로 나타나고 있다(Seong *et al.*, 2018). 통계청 자료에 따르면 전국적으로 빈집은 2020년 기준 단독주택, 아파트, 연립주택, 다세대 주택, 비거

주용 건물 내 주택 등을 합쳐 총 69,256호이며, 2015년부터 누적된 빈집만 1,511,306호로 심각한 상황이다. 이렇듯 도시 주거지역 내 공실이 발생하게 되면서 빈집으로 인한 문제가 대두되었다(Lee, 2017). 도시 곳곳의 방치된 빈집은 노후에 의한 붕괴 사고가 우려되며 별도로 관리되지 않아 화재 및 방화 위험, 범죄에 더 노출되어 있다(Son *et al.*, 2015; You and Lee, 2017). 위생 문제로 인한 악취 발생, 미관상의 해로움 등 도시 경관 및 생활환경을 악화시켜 주변 환경에도 영향을 미치게 된다(Jung and Jun, 2019; Yi and Kim, 2021). 빈집의 부정적인 영향 및 문제를 해결하기 위해 2017년 2월 「빈집 및 소규모주택 정비에 관한 특례법」이 제정되면서 국내 지자체들은 관련 조례 마련 및 정책적으로 노력하게 되었다(Park and Kwon, 2019). 인구 및 주택 밀도가 높은 도시의 빈집은 고착화될수록 근린 환경

에 심각한 영향을 미칠 수 있어 빈집 문제를 해결할 수 있는 전략이 필요하다(Han, 2018).

최근에는 대규모 개발로 인한 산림 파괴, 야생동식물의 서식지 훼손 및 단절이 발생한 도시 생태계의 자연환경을 복원하기 위해 빈집을 활용하는 방안이 제시되었다(Schilling and Logan, 2008; Lim and Yang, 2020). 실제로 독일의 라이프치히 시와 라인펠데 시, 미국의 영스타운 시와 디트로이트 시는 빈집을 철거하고 남은 공지에 녹지를 조성하는 정책을 추진하였다(Finnerty Jr *et al.*, 2000; Banzhaf *et al.*, 2007; Matheson, 2009; Koo *et al.*, 2016). 빈집을 녹지로 전환하는 전략은 도시녹지 면적을 증가시켜 도시환경 개선, 생물다양성 증진 및 온실가스 감축 역할 등 건강한 도시생태계를 구축하는데 이바지할 수 있다(Bae *et al.*, 2009; Heo *et al.*, 2015). 녹지를 보전하고 창출하는 것은 도시에서 인간과 자연이 조화되도록 토대 역할을 하며 도시환경을 쾌적하게 개선하는데 기여한다(Byun and Lee, 2002). 우리나라 빈집의 경우 대부분 철거 후 텃밭, 공용주차장, 운동장 등 시설로써 활용되고 있어 빈집을 녹지로 전환하는 방안을 고려해볼 필요가 있다(Han and Lee, 2017; Lee and Lee, 2017).

빈집의 녹지 전환 가능성 및 우선순위를 파악하기 위해 정량적으로 녹지를 평가하는 연결성 분석을 실시하여 녹지 공간 구조적인 특징들과 생물종의 상호 연결 및 녹지 네트워크를 기반으로 생태적 흐름 개선에 기여해야 한다(Nor *et al.*, 2017; Cao *et al.*, 2020). 우리나라는 실효성이 있는 녹지 공간을 확보하고자 그린 네트워크를 구상하고 있으나, 실제 적용하기에는 주변 산림 녹지 및 수변축과 녹지축간의 연계가 관념적으로 표현되었기에 이러한 추상적인 계획을 보완하기 위해 연결성 분석을 활용한 방안을 적용해볼 가치가 있다(Jeonju City, 2020; Kwon *et al.*, 2021). 연결성 분석 시 여러 가지 틀을 사용하고 있으나 녹지 핵심 영역 간의 연결을 평가

하고 효과적인 생태 네트워크를 구축하기 위해 주로 최소비용경로(LCP; Least-cost path) 모델과 Circuitscape 프로그램을 활용하고 있다(McRae *et al.*, 2008; Wanghe *et al.*, 2020). 최소비용경로 모델은 단일 최적 경로에 초점을 맞추어 연결성을 평가하는 반면 Circuitscape는 회로 이론에 근거하여 다중 경로를 추정해 대체경로를 포함한 이동 확률을 예측할 수 있다(Marrotte *et al.*, 2017; Bowman *et al.*, 2020). 연결성 분석을 통해 전체 경관에 대한 연결성 평가뿐만 아니라 녹지 연결 취약지역 및 녹지 우수 지역 예측이 가능하다(Kwon *et al.*, 2021). 야생동물의 주요 이동 경로와 녹지 연결성을 기반으로 생태축을 제안할 수 있으며 전문적인 틀을 이용하여 정량적으로 녹지를 분석 및 평가하기 때문에 개념적인 가상의 축과 비교해보고 기존 축의 한계를 보완할 수 있다(Kang and Park, 2015; Yoon *et al.*, 2019). 또한, 연결을 완화하거나 복원하기 위한 주요 장소 식별이 가능하며 실무자 및 이해관계자의 계획을 의사 결정자에게 제시하는데 용이하다(Dickson *et al.*, 2018). 연결성 평가의 장점을 고려해 녹지 전환 가능성을 파악해본 사례로 Mimet *et al.*(2020)은 도시녹지에 대한 연결성 평가를 진행하여 프랑스 파리의 공공녹지 보완 및 연결성에 도움을 주고자 하였다. Zhang *et al.*(2019)은 도시에 널리 퍼져 있는 빈 땅을 녹지로 전환하여 연결성 증진을 위한 기회를 마련하고자 핵심 패치를 식별하고 최소비용 경로 접근법을 사용하여 도시 내 녹색 코리더의 최적 경로를 파악하였다.

본 연구는 전주시를 대상으로 빈집 관리 및 활용방안을 제안하기 위해 연결성 분석을 진행하여 빈집의 녹지 전환 가능성을 확인하고자 한다. 빈집 녹지화 우선순위 선별 및 효과적인 생태축 구축 전략에 대한 기초연구를 통해 기존 생태축 보완 및 도시계획단계에서 연결성 분석을 활용하는 것이 궁극적인 목적이다.

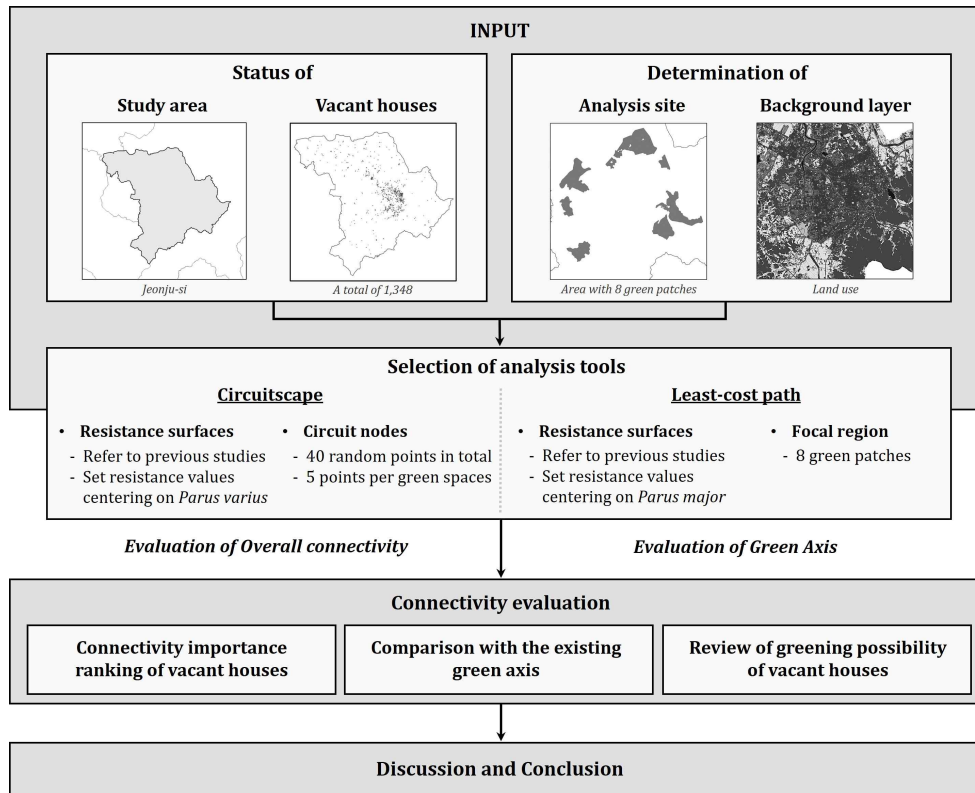


Figure 1. Research Flow

II. 연구방법

본 연구는 전주시 지형, 토지피복 유형, 빈집 등의 변수를 고려하여 연결성 평가 방식을 설정하였다(Figure 1). Circuitscape 및 최소비용경로 모델 두 가지 분석 기법 모두에 적용되는 저항 맵(Resistance map)의 경우 선행연구를 참조하여 전주시 토지피복 유형별 저항값(Resistance value)을 할당하였다. 목표 지점(Focal node location map)은 분석 기법에 따라 총 40개의 랜덤 포인트(Random point) 또는 8개의 녹지 패치로 각각 다르게 입력하였다. 종의 이동에 기초한 전반적인 연결성 평가와 생태축을 제안하고, 빈집의 녹지 전환 가능성을 검토하였다.

1. 연구 대상지 및 분석 범위

본 연구는 빈집 데이터가 구축된 전라북도 전

주시를 대상으로 진행하였다(Figure 2). 전주시는 면적 206.22km²의 비수도권 도시이며, 행정안전부의「주민등록인구현황」자료에 의하면 2021년 10월 기준 세대수 292,396, 총인구수 658,216명이 살아가고 있는 지역이다. 한국국토정보공사(LX)와 협력하여 빈집 실태조사를 진행한 결과, 2019~2020년 기준 주거건축물 중 단독주택(다가구)에 한정하여 조사된 전주시 내 빈집 필지는 총 1,348곳이다.

빈집이 소규모 녹지 역할을 할 수 있는지 평가하기 위해 도시 내 규모가 큰 녹지인 도시공원을 활용하고자 하였다. 2035년 전주시기본계획 종합배치구상에서 거점 녹지 지역으로 선정된 전주시의 대표적인 장기 미집행 도시공원은 덕진공원, 가련산공원, 인후공원, 기린공원, 황방산공원, 효자묘지공원, 천잠공원, 삼천공원, 산성공원이다(Jeonju City, 2020). 연결성 분석

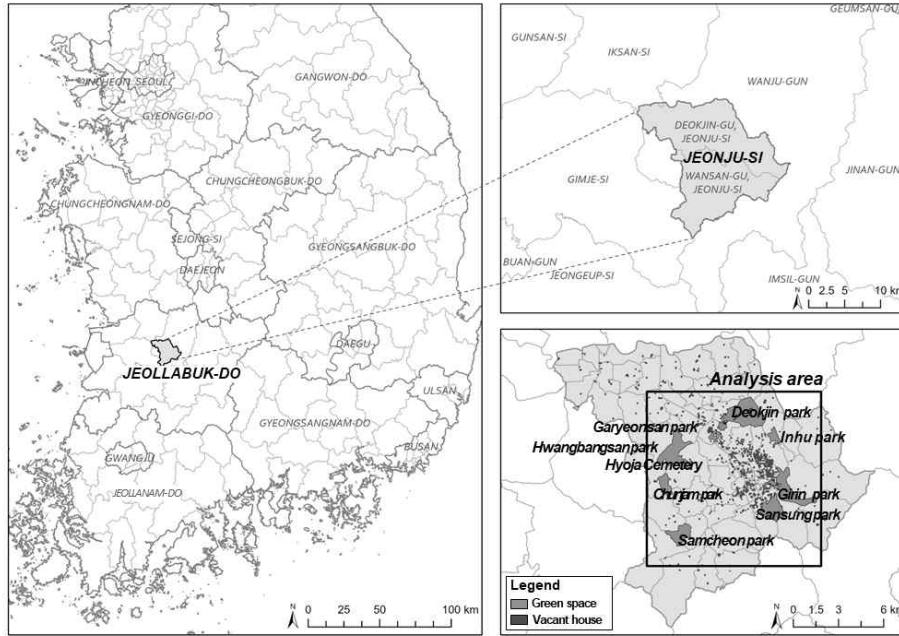


Figure 2. Study area and Analysis area

시 해당되는 공원 녹지를 포함하는 정사각형 경계를 구성하고, 서로 맞닿아 있는 황방산공원과 효자묘지공원은 하나의 녹지로 설정하였다. 분석에는 정사각형 경계 내 빈집 필지 1,236곳이 활용되었고, ArcGIS Pro 2.7.0으로 분석의 입출력 자료를 가공하였다. 모든 자료는 환경부에서 제공하는 세분류 토지피복 자료(2020)를 활용하였으며, 토지피복 분류는 저항값 적용을 위해 대분류 평가항목으로 통합하였다.

2. 연결성 평가 방법

Circuitscape 4.0 software(McRae and Shah, 2009)를 활용하여 전반적인 전주의 연결성을 파악하고 분석 결과인 전류맵(Current map)을 바탕으로 각 빈집 필지 데이터에 대한 연결성 값을 도출할 수 있다. 또한, 생태축을 제안하고 기존 계획도와 비교하기 위해 최소비용경로 모델을 분석하고자 ArcGIS Pro 내 인텔리전스 도구 적합성-최소비용경로 툴을 활용하고자 하였다. 최소비용경로 모델 결과의 축과 전주시 공원녹

지기본계획에서 제시한 그린 네트워크(Green Network)를 비교해보고, 분석된 축에 일정 폭을 부여하여 우선적으로 녹지로 전환할 빈집 필지 데이터를 확인하였다. 두 분석의 입력자료로 저항맵과 목표 지점 설정이 필요하며 분석에 따라 입력 데이터에 일부 차이가 있다.

1) 저항값 설정

연결성 분석에 필요한 저항맵을 생성하기 위해 토지피복 유형별로 이동성을 좌우하는 저항값을 부여하였다(Table 1). 도시 지역에서 서식 가능한 박새, 쇠박새, 곤줄박이 등의 소형 조류 중 명금류이며 도시환경 지표종으로서 활용되고 있는 박새과 조류(Paridae)의 서식 및 선호 특성을 저항값의 기준으로 설정하였다(Hong *et al.*, 2009). 박새과 조류는 인간의 간섭이 심한 환경에서도 관찰되며(Jeong *et al.*, 2012), 도시 내부에서 서식 가능하여 주변에서 흔히 볼 수 있다. 도시를 통과할 수 있는 이동성 있는 집단이며(Kwon *et al.*, 2021), 도시녹지 네트워크 이

Table 1. Resistance value by land cover type

Cover type	Assigned Resistance value	Justification
Urban	50	Birds may be reluctant due to a lack of green space, but the probability of using a building must be considered(Pelletier <i>et al.</i> , 2014; Grafius <i>et al.</i> 2017).
Agriculture	30	Birds were reluctant to pass through open spaces(Shimazaki <i>et al.</i> , 2016; Grafius <i>et al.</i> 2017).
Forest	>1ha=1, <1ha=2	Effective area size for increasing bird populations in urban areas is 1-10ha(Chae <i>et al.</i> , 2004). The minimum area of fragmented green areas in the city where birds can inhabit is 1ha(Hong <i>et al.</i> , 2009). <i>Parus major</i> prefers large forest areas(Song and Kim, 2016).
	Forest among unexecuted parks=1, others=2	Forests and parks contribute to the abundance of bird species and the maintenance of clusters(Desrochers <i>et al.</i> , 2011; Jasmani <i>et al.</i> , 2017). The patch of the forest affects the bird's movement pattern(Desrochers <i>et al.</i> , 2011; St-Louis <i>et al.</i> , 2014).
Grass	10	There are no trees to use as a stepping stone, so they prefer less than forests(Gillies <i>et al.</i> , 2011; Shimazaki <i>et al.</i> , 2016).
Wetland	45	Birds were reluctant to cross the open water space(Desrochers <i>et al.</i> , 2011; Shimazaki <i>et al.</i> , 2016; Grafius <i>et al.</i> 2017).
Bare land	30	Birds were reluctant to pass through open spaces(Desrochers and Hannon, 1997; Shimazaki <i>et al.</i> , 2016; Balbi <i>et al.</i> , 2021).
Water body	45	Water surface interferes with the movement of birds(Tremblay and St.Clair, 2009; Shimazaki <i>et al.</i> , 2016).
Distance from the Forest > 45m	Initial +50	<i>Parus major</i> is reluctant to cross gaps larger than 45m(Tremblay and St.Clair, 2009; Grafius <i>et al.</i> 2017).
Road	Initial +20	<i>Parus major</i> is reluctant to cross a road with heavy traffic(Tremblay and St.Clair, 2009; Grafius <i>et al.</i> 2017).

용 가능성이 높아 목표종으로 적합하다(Lerman *et al.*, 2014). 박새과 조류의 서식 특성을 저항값으로 활용한 Grafius *et al.*(2017) 연구의 토지 피복 유형별 저항값을 최대한 반영하고 다른 선행연구를 참고하여 대상지에 맞게 값을 일부 조정하였다. 토지피복 유형 중 산림의 경우 면적과 8개의 공원녹지의 산림 해당 여부에 따라 값을 달리하였으며, 토지 유형 외에 산림으로부터의 거리 및 도로 데이터를 활용하여 해당되는 지역은 토지유형으로 적용된 저항값에 추가적으로 값을 부여하였다.

2) 목표 지점 설정

Circuitscape 프로그램과 최소비용경로 모델은 녹지 또는 서식지 영역을 연결성의 시작과 끝 지점인 목표 지점으로 설정한다(Poor *et al.*, 2012; Nor *et al.*, 2017; Kwon *et al.*, 2021). 분석

이 편향되는 것을 방지하기 위해 버퍼(buffer)를 부여하고 랜덤포인트를 설정하기도 한다(Koen *et al.*, 2010). 본 연구에서는 Circuitscape 분석 시 8개의 공원녹지를 목표 지점으로 활용하되 하나의 공원 내 5개씩 총 40개의 랜덤 포인트를 설정하였으며, pairwise 모드로 모든 목표 지점들간의 경우의 수를 계산하였다. 최소비용경로 모델 분석은 입력 시작점 및 입력 끝점 자료 구축을 위해 Feature to point tool을 활용하여 8개 공원녹지 각각의 대표 포인트를 산출하고 이를 통합하여 목표 지점으로 설정하였다. 두 공원녹지 패치 경로 사이에 다른 패치가 포함된 경우 그 경로는 삭제하고 최적의 경로를 도출하였다.

III. 결과 및 고찰

Circuitscape 분석 결과, 대상지의 8개 공원은

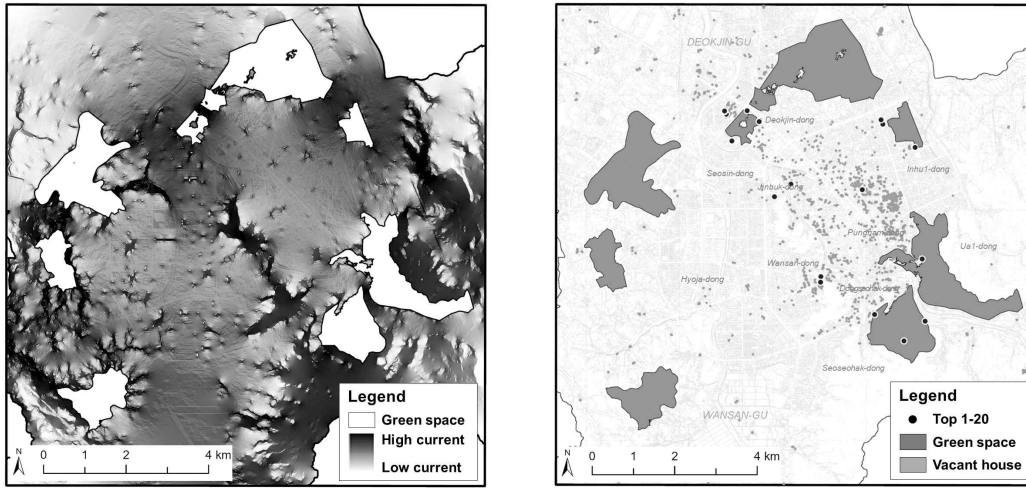


Figure 3. Current map resulting from Circuitscape and priority of vacant house based on analysis result

공원녹지를 크게 환상형으로 둘러싸는 형태의 전류 흐름을 보이며 상호 연결성이 우수한 것으로 확인되었다(Figure 3). 그중에서 대상지 서쪽 방향에 위치한 황방산공원, 천잠공원, 삼천공원 간의 연결성과 동쪽 방향의 인후공원, 기린공원 간의 연결성이 높게 나타났다. 공원녹지 중앙부에서 수변 지역을 가로지르는 남-북 방향의 연결축은 공원들의 연결성이 단절되지 않도록 중심축의 기능을 하고 있으며, 대상지 녹지 연결성이 강화되면 해당 축에서 연결성이 뺄어 나가 다른 축으로 이어지는 구조를 보일 수 있을 것으로 보인다. 높은 연결성을 보이는 지역은 핵

심축 및 주변 대안축의 역할을 할 수 있고 대상지 내 전반적인 산림 연결성에 중요한 기능을 하게 된다. 8개 공원녹지를 전체적으로 둘러싸는 전류 흐름이 핵심 생태축으로 확인되며, 특히 전체 공원 녹지의 중앙부에서 남-북 방향으로 연결되는 축은 생태축 관점에서 전주시 전반적인 연결성에 큰 영향을 줄 것으로 판단된다.

빈집 필지 중 생태축 향상에 기여할 수 있을 것으로 예측되어 우선적으로 녹지로 전환할 빈집을 파악하고자 연결성 평가 결과에서 전류값이 높았던 빈집 필지 데이터를 확인하였다. 전류맵을 바탕으로 상위 20개의 주요 빈집 필지

Table 2. Priority of vacant house lots according to Circuitscape connectivity results

Priority	Vacant lot location		Lot area(m ²)	Current value	Priority	Vacant lot location		Lot area(m ²)	Current value
1	217-26	Deokjin-dong	195.80	1.8121	11	754-6	Ua1-dong	371.75	1.0887
2	982	Pungnam-dong	272.15	1.7580	12	749-42	Ua1-dong	215.85	1.0155
3	1361-19	Deokjin-dong	125.97	1.4147	13	531-3	Inhu1-dong	334.38	0.9708
4	1360-37	Deokjin-dong	38.59	1.4034	14	1360-38	Deokjin-dong	29.44	0.9655
5	150-1	Wansan-dong	136.38	1.1788	15	12-5	Seosin-dong	110.87	0.8861
6	127-10	Wansan-dong	211.97	1.1655	16	973-18	Seoseohak-dong	3992.59	0.8825
7	834-51	Jinbuk-dong	262.80	1.1647	17	302-4	Deokjin-dong	162.55	0.8775
8	613	Dongseohak-dong	1078.55	1.1398	18	302-2	Deokjin-dong	197.44	0.8762
9	744-5	Nosong-dong	134.41	1.0964	19	279-1	Deokjin-dong	375.06	0.8537
10	376-1	Dongseohak-dong	990.64	1.0897	20	459-1	Deokjin-dong	86.35	0.8485

우선순위를 확인한 결과, 덕진동 217-26대 필지가 생태축 기여에 가장 가치가 높은 필지로 추정되었다(Table 2). 8개 공원녹지 중앙부에 위치한 완산동 127-10대 필지, 150-1대 필지, 진북동 834-51대 필지, 서신동 12-5대 필지가 높은 순위에 속하였다. 연결성 결과에서 중앙부의 남북 연결축이 중요한 역할을 할 것으로 예측되었기에 대상지 중앙에 위치한 필지를 녹지로 전환하는 것은 생태축 개선 및 연결성 증진에 효과적일 것으로 판단된다. 결과적으로 빈집 필지를 녹지화할 때는 연결성 분석 결과상에서 전류값이 높은 생태축이 지나는 지역에 해당하는 빈집을 먼저 녹지로 전환하는 것이 합리적이다.

대상지 전체의 녹지 연결성 결과로 제안된 생태축을 선적인 형태로 표현하고자 최소비용경로 모델로 최적의 경로를 도출하였고 그 결과, 남쪽에 위치한 두 녹지 패치의 연결을 제외하고 모든 공원녹지가 주변과 연결되었다. 대상지의 중앙부부터 북동쪽까지 둥근 형태의 큰 축이 형성된 것을 확인하였고 나머지 서쪽과 남서쪽 방향의 녹지 연결축은 큰 녹지축에서 파생되는 형태를 보여 상호 연결되지 않은 패치가 존재했음에도 축이 단절되지 않았다. 최소비용 경로 모델로 제시된 생태축과 전주시 공원녹지기본계획의 그린

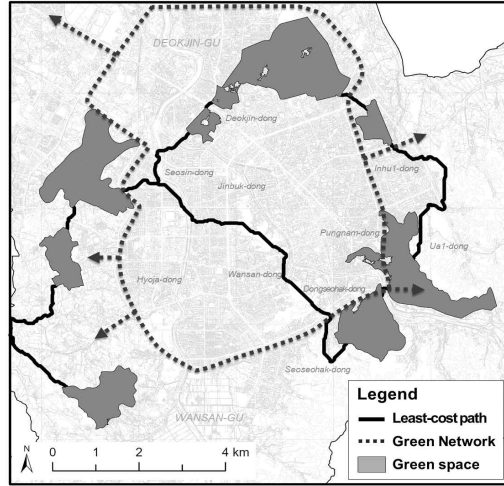


Figure 4. Comparison of Least-cost path and Green Network. Green Network is the name of the ecological axis presented in the Jeonju City Park Green Area Basic Plan.

네트워크와 비교하였을 때 연결되는 형태는 일부만 비슷하고 차이를 보였다(Figure 4). 기존 계획으로 제안된 그린 네트워크는 공원계획을 고려하여 기존 도시공원과 연결하기 위한 방안을 마련하고자 하였으나 남-북을 잇는 축이 없어 하나의 축으로써 작용할 수 있는 공간을 포함하고 있지 못하며, 개념도 형태로 제시되었기에 한계가 있다. 최소비용경로 모델을 통해 예측한 핵

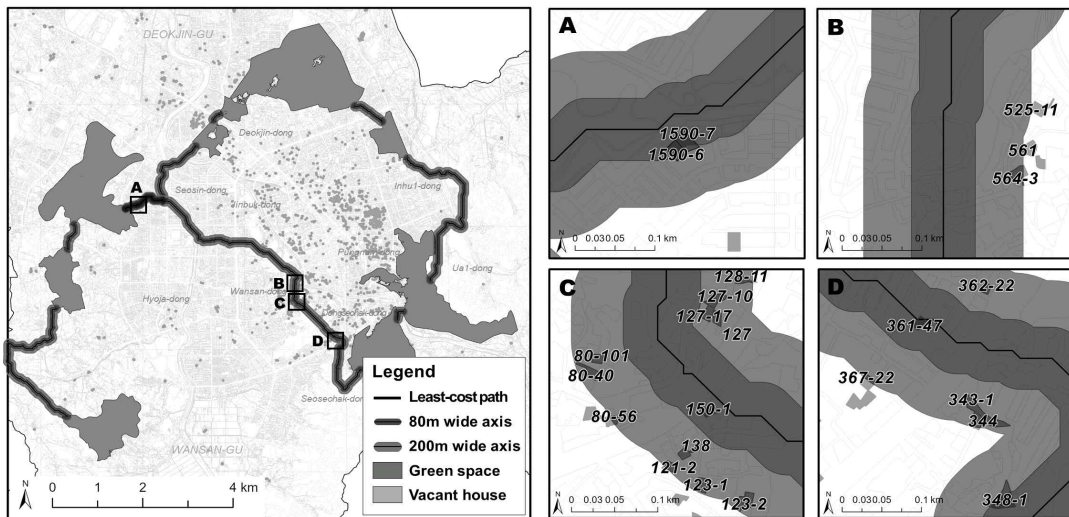


Figure 5. Adjust the width of the axis to check the corresponding vacant house lots

심축은 공간적으로 실체가 있는 생태축으로써 기존 계획 축의 한계를 보완 및 수정할 수 있을 것으로 보인다. 또한, 모델 결과는 전체 녹지 패치가 이어지되 공원녹지 중앙부의 수변 지역을 가로지르는 새로운 생태축을 제시하였다. 결과를 바탕으로 향후 계획 단계에서 축을 제안할 때 가상의 개념적인 선으로 제시된 축이 아니라 토지피복 및 물리적 거리가 고려된 정량적인 방법을 도입하여 생태축을 구축할 필요가 있을 것으로 사료된다.

2010년 국토해양부에서 발표한 지속가능한 신도시 계획 기준에 따르면 도시 녹지축은 기본적으로 주녹지축 200m, 부녹지축 80m의 폭을 설정한다. 이에 근거하여 분석된 생태축의 폭을 200m와 80m로 조정하여 축에 해당하는 빈집을 확인하였다(Figure 5). 200m 폭의 축에는 서서학동 993-1대, 396-81대, 348-1대, 361-47대 필지, 완산동 127-10대, 127대, 128-11대, 525-11대, 150-1대 필지, 효자 5동 1590-7, 1590-6대 필지,

덕진동 217-26대 필지 등 총 30개의 빈집 필지가 속하였다(Table 3). 80m 폭의 축에 해당되는 빈집은 서서학동 993-1대, 348-1대, 361-47대 필지, 효자 5동 1590-7, 1590-6대 필지, 완산동 150-1대 필지로 총 6개의 빈집이 포함되었다(Table 4). Circuitscape 연결성 평가 결과에 기반한 빈집 필지 우선순위와 비교하였을 때 덕진동 217-26대 필지, 완산동 150-1대, 127-10대 필지는 두 개의 분석 결과 모두에서 우선적으로 복원해야 하는 빈집 필지에 해당하는 것을 확인하였다.

본 연구의 결과를 토대로 연결성 분석을 통한 도시 경관 구조 및 연결 가능성을 확인하였고 최소비용경로 모델과 Circuitscape를 적절히 활용하여 도시계획 단계상의 타당한 근거를 마련할 수 있음을 보여주었다. 관련 사례로 Nor *et al.*(2017) 연구는 회로이론, 연결성, 최소비용경로 분석을 결합한 통합 모델링 접근방식으로 도시 내 신뢰 가능한 생태연결망 모델을 제공하고 잠재적 코리더를 식별하여 도시의 생태적 네트워크

Table 3. Vacant house lots that belong to the ecological green axis with 200m

Vacant lot location		Area(m ²)	Vacant lot location		Area(m ²)
993-1	Seoseohak-dong	447.42	127-17	Wansan-dong	153.31
127-10	Wansan-dong	211.97	369-38	Seoseohak-dong	268.63
127	Wansan-dong	131.49	348-1	Seoseohak-dong	535.33
369-80	Seoseohak-dong	166.26	361-47	Seoseohak-dong	136.65
128-11	Wansan-dong	108.57	564-3	Wansan-dong	271.58
525-11	Wansan-dong	233.08	138	Wansan-dong	147.40
379-6	Wansan-dong	154.93	8-2	Seoseohak-dong	586.25
121-2	Wansan-dong	122.03	367-22	Wansan-dong	211.67
80-56	Wansan-dong	138.12	123-2	Wansan-dong	252.89
123-1	Wansan-dong	195.35	1590-7	Hyoja5-dong	394.73
396-81	Seoseohak-dong	104.52	1590-6	Hyoja5-dong	339.26
80-40	Wansan-dong	176.51	217-26	Deokjin-dong	195.80
80-101	Wansan-dong	120.49	344	Seoseohak-dong	220.31
343-1	Seoseohak-dong	495.43	150-1	Wansan-dong	136.38
362-22	Seoseohak-dong	110.23	561	Wansan-dong	238.54

Table 4. Vacant house lots that belong to the ecological green axis with 80m

Vacant lot location		Area(m ²)	Vacant lot location		Area(m ²)
993-1	Seoseohak-dong	447.42	1590-7	Hyoja5-dong	394.73
348-1	Seoseohak-dong	535.33	1590-6	Hyoja5-dong	339.26
361-47	Seoseohak-dong	136.65	150-1	Wansan-dong	136.38

워크 개선에 기여하고자 하였다. *Thayn et al.*(2016)은 Tennessee주와 North Carolina주 사이의 Appalachian 산맥에 대해 최소비용경로 모델과 Circuitscape 분석을 함께 사용하여 잠재적인 경로를 도출하고 두 분석이 서로를 입증하는 과정과 가능 경로에 대한 추가적인 통찰력을 제공하였다. *Kang et al.*(2019)는 그래프 이론과 회로이론을 활용하여 제주도 및 도서지역을 제외한 국내 육상생태계를 대상으로 파편화된 녹지들을 효율적으로 연결해주는 핵심 및 여러 경관 생태축에 대한 경로를 도출하였다. *Yoon et al.*(2019) 연구는 Circuitscape 분석을 통해 수원시 전역의 연결성 평가 및 결과에 기초하여 상위 15%, 30%의 녹지 연결성 분포 지역을 분류하여 주요 생태축을 제안하였다. 본 연구와 선행연구들의 결과를 바탕으로 연결성 분석을 통해 도시의 생태 네트워크를 예측 및 평가해볼 수 있으며 도시계획에서 실체가 있는 생태축을 제안하는데 효과적일 것으로 보인다. 또한, 연결성 분석을 활용해 빈집을 녹지로 전환하였을 때 도시 내 핵심 녹지들의 연결성 향상 및 파편화된 녹지들의 연결성 증진이 가능한지 파악하는 것은 충분히 가능할 것으로 사료된다.

본 연구에서 저항값을 설정할 때, 선행연구를 근거로 하여 연결성 분석에 조류의 특성을 반영한 저항값을 부여하였다. 실제로 *Shimazaki et al.*(2016)의 연구는 도시 경관이 조류 이동에 대한 저항력이 다른 다양한 분산 서식지의 모자이크라고 정의하며 새의 움직임을 통해 경관 연결성을 평가하고자 하였다. *Kang and Park*(2015)는 도시지역에 대한 모니터링 및 생물군집 변화를 파악하는데 용이하고 생태계 서비스 기능의 중요한 역할을 하는 조류종을 대상으로 다중연결 경로 분석을 시행하였다. 그러나, 저항값은 절대적이 아닌 상대적인 값이기에 연구 결과를 일반화하기 어렵다는 한계가 있다. *Bowman et al.*(2020) 연구에 의하면 저항값은 주로 전문가 의견, 경험적 이동데이터, 유전자 흐름, 현장 데

이터에 근거하여 추정할 수 있으나 아직 정확한 값을 산출하는 것에 불확실성을 가지고 있다. 또한, 다양한 피복 유형 또는 기울기가 움직임, 풍부함 등 실제 미치는 영향이 일반적으로 알려지지 않아 저항 표면을 모델링하는 것에 어려움이 있다(*Spear et al.*, 2010). 정확하게 저항값을 설정하는 것에는 한계가 있으나, 많은 연구에서 저항값을 보완하는 방안 중 하나로 생물종에 대한 현장 데이터를 활용하고 있다. *Poor et al.*(2012)는 가지뿔염양(*Antilocapra americana*)의 실증데이터에 기반한 서식지 적합성 모델 결과를 토대로 저항값을 산출하여 Circuitscape와 최소비용경로를 식별하였다. *Zeller et al.*(2020) 연구는 흑곰(*Ursus americanus*)의 위치 데이터로 대상지 전체의 이동 확률을 예측하고 이를 저항 표면에 적용해 Circuitscape와 최소비용경로 분석을 실시하였다. *García-Sánchez et al.*(2021)은 불곰(*Ursus arctos*) 데이터를 활용한 중분포 모델링 결과를 바탕으로 저항값을 설정하고 Circuitscape로 연결성을 평가하였다. 이러한 측면에서 종 데이터 외에도 여러 변수를 함께 고려하여 저항값을 보완하여 이를 Circuitscape와 최소비용경로 모델의 기초 데이터로 활용한다면 보다 효과적으로 연결성을 평가하여 도시의 생태 네트워크 구축 및 효율적인 빈집 녹지화 전략을 지원할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 전주시를 대상으로 인구 감소함에 따라 발생한 빈집 문제를 해결하고자 빈집을 녹지로 전환하는 방안을 고안하였다. 도시환경의 생태적 연결성을 평가하고자 회로 이론에 기초한 연결성 분석 방식을 활용하였고, Circuitscape와 최소비용경로 모델의 결과를 토대로 생태축이 지나가는 빈집 필지의 녹지화를 통해 생태 네트워크 강화에 기여하는 방안을 제시하였다. 빈집 대체 전략을 구체화할 때 연결성을 고려해서

빈집에 대한 녹지화를 평가할 필요가 있으며, 녹지 연결성 증진에 도움이 된다고 해석된 전류 밀도가 높은 빈집 필지를 우선으로 녹지로 전환해야 할 것으로 판단된다.

본 연구는 회로 이론 기반의 연결성 분석을 통해 경관 네트워크 관점에서 실효성을 검토 및 제안한 연구로서 가치가 있다. 도시계획 및 녹지 평가에 연결성 분석을 활용한 연구가 국외에서는 진행되었으나, 국내에서는 활용하는 경우가 전무하다. 연결성을 평가하는 것은 경관의 형태가 생태적인 기능에 주는 영향에 대해 이해하는데 중요하기 때문에 국내 도시계획 구상에 적용해볼 필요가 있다. 연결성 평가로 제안한 핵심 생태축 및 대안 생태축을 전주시 공원녹지 기본계획의 그린 네트워크와 비교한 결과를 토대로 전주시에 실제 활용 가능한 그린 네트워크 전략을 제시해볼 수 있을 것이며, 향후 다른 지역의 도시 기본 계획상에서 녹지축 예측 및 제안에 활용해볼 수 있을 것으로 기대된다.

향후 연구에서는 도시녹지 공간 및 새로운 개발에 대한 설계 시 실증적인 데이터를 바탕으로 본 연구의 방법을 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 가중치의 불확실성을 줄이기 위해 저항값의 목표로 설정했던 종에 대한 실증적인 데이터를 활용할 필요가 있다. 도시녹지 연결성을 평가하는 목적은 사람을 위한 공간 마련의 일부이므로 저항값 설정 시 목표종으로 박새뿐만 아니라 멸종위기종 및 사람을 고려한 여러 변수를 연구에 적용해 봐야 한다. 본 연구는 토지피복 자료를 토대로 개념적인 형태로 제시된 그린 네트워크와 정량적인 연결성 분석 결과를 비교 및 보완하고자 하였으나, 경사, 향, 건물의 높이, 가로수 유무 등의 추가적인 변수를 고려한 연구를 진행해볼 필요가 있을 것으로 사료된다. 또한, 본 연구에서는 빈집 매입, 마을공동체와의 협의 등 현실적인 상황이 고려되지 않아 추후 연구에서는 이를 보완하여 효과적으로 정책에 반영해야 한다.

References

- Bae, MK·HD Jong and YM Son. 2009. Role of Urban Green Space in Response to Climate Change: Case Study on Daejeon City. *Journal of Environmental Policy and Administration*, 17(2) : 181-199. (in Korean with English summary)
- Balbi, M. ·S. Croci·E.J. Petit·A. Butet·R. Georges·L. Madec ··· and A. Ernout. 2021. Least-cost path analysis for urban greenways planning: A test with moths and birds across two habitats and two cities. *Journal of Applied Ecology*, 58(3), 632-643.
- Banzhaf, E. ·A. Kindler and D. Haase. 2007. Monitoring, mapping and modelling urban decline: A multi-scale approach for Leipzig, Germany. *EARSel eProceedings*, 6(2) : 101.
- Bowman, J. ·E. Adey·S. Y. Angoh·J. E. Baici·M .G. Brown·C. Cordes ··· and K. Solmundson. 2020. Effects of cost surface uncertainty on current density estimates from circuit theory. *PeerJ*, 8, e9617.
- Byun, BS and BJ Lee. 2002. Strategies for conserving green spaces for a pleasant urban environment. Research report to Korea Environment Institute. (in Korean)
- Cao, Y.· R. Yang and S. Carver. 2020. Linking wilderness mapping and connectivity modelling: A methodological framework for wildland network planning. *Biological Conservation*, 251, 108679.
- Chae, WS. 2018. Legal Study on the Vacant Houses Maintenance Business. *Ilkam Real Estate Law Review*, 16 : 33-62. (in Korean with English summary)
- Chae, JH·JS Kim and TH Koo. 2004. The Relation of the Species Number of Bird to the Urban Biotope Area in Seoul. *Korean Journal of Environment and Ecology*, 17(4) : 375-382. (in Korean with English

- summary)
- Desrochers, A. ·M. Bélisle·J. Morand-Ferron and J. Bourque. 2011. Integrating GIS and homing experiments to study avian movement costs. *Landscape Ecology*, 26(1) : 47-58.
- Desrochers, A. and S. J. Hannon. 1997. Gap Crossing Decisions by Forest Songbirds during the Post Fledging Period: Decisiones de Cruce de Claros por Aves Paserinas de Bosques Durante el Periodo Post Juvenil. *Conservation Biology*, 11(5) : 1204-1210.
- Dickson, B. G. ·C. M. Albano·R. Anantharaman·P. Beier·J. Fargione·T. A. Graves ··· and D. M. Theobald. 2019. Circuit theory applications to connectivity science and conservation. *Conservation biology*, 33(2) : 239-249.
- Finnerty Jr, T. A. ·W. D'Avignon·A. Kobak and J. Williams. 2000. Youngstown 2010 Citywide Plan. Research report to The City of Youngstown.
- García-Sánchez, M. P. ·S. González-Ávila·J. Solana-Gutiérrez·M. Popa·R. Jurj·G. Ionescu ··· and A. Fedorca. 2021. Sex-specific connectivity modelling for brown bear conservation in the Carpathian Mountains. *Landscape Ecology*, 1- 19.
- Gillies, C. S. ·H. L. Beyer and C. C. St. Clair. 2011. Fine-scale movement decisions of tropical forest birds in a fragmented landscape. *Ecological Applications*, 21(3) : 944 - 954.
- Grafius, D. R. ·R. Corstanje·G. M. Siriwardena·K. E. Plummer and J. A. Harris. 2017. A bird's eye view: using circuit theory to study urban landscape connectivity for birds. *Landscape Ecology*, 32(9) : 1771-1787.
- Han, S. 2018. A Study on Spatial Cluster and Fixation Process of the Vacant Houses in Iksan. *The Korea Spatial Planning Review*, 97 : 17-39. (in Korean with English summary)
- Han, SK and HY Lee. 2017. Analysis of Neighborhood Characteristics for the Reuse of Vacant Houses. *Journal of the Korean Urban Geographical Society*, 20(2) : 15-27. (in Korean with English summary)
- Heo, H·DK Lee and Y Mo. 2015. The Selection of Suitable Site for Park and Green Space to Increase Accessibility and Biodiversity - In Case of Seongnam City -. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*. 18(5), 13-26. (in Korean with English summary)
- Hong, SH·SH Choi·SD Lee and JH Bae. 2009. Establishing Urban Green Network by Estimating Birds Moving Pattern. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 12(2) : 99-110. (in Korean with English summary)
- Jasmani, Z. ·H. P. Ravn and C. C. K. van den Bosch. 2017. The influence of small urban parks characteristics on bird diversity: A case study of Petaling Jaya, Malaysia. *Urban ecosystems*, 20(1) : 227-243.
- Jeong, HJ·EA Cho·HS Ko and GS Jang. 2012. A Research on the Reproductive Properties of Great Tits in the Urban Forests. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, 15(5) : 155-163. (in Korean with English summary)
- Jeonju City. 2020. 2035 Jeonju City Master Plan) Research report to Jeonju City. (in Korean)
- Jung, S and HJ Jun. 2019. Exploring Spatial Dependence in Vacant Housing Growth. *Journal of Korea Planning Association*, 54(7) : 89-102. (in Korean with English summary)
- Kang, W and CR Park. 2015. Corridor and Network Analyses of Forest Bird Habitats in a Metropolitan Area of South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 17(3) : 191-201. (in Korean with English summary)
- Kang, WM·YK Song·HG Kim·NC Kim and WK Song. 2019. Quantitative Analysis and Visualization

- of Terrestrial Landscape Connectivity in South Korea. *Journal of the Korean Cadastre Information Association*, 21(2) : 198-207. (in Korean with English summary)
- Koen, E. L. ·C. J. Garroway·P. J. Wilson and J. Bowman. 2010. The effect of map boundary on estimates of landscape resistance to animal movement. *PloSone*, 5(7), e11785.
- Koo, H·T Kim·S Lee and B Min. 2016. Urban Shrinkage in Korea: Current Status and Policy Implications. Research report to Korea Research Institute for Human Settlements. (in Korean)
- Kwon, OS·JH Kim and JH Ra. 2021. Landscape Ecological Analysis of Green Network in Urban Area Using Circuit Theory and Least-Cost Path. *Land*, 10(8) : 847.
- Lee, DH. 2017. Framework and Countermeasure of Empty House Problem in Japan. *Journal of the Urban Design Institute of Korea Urban Design*, 18(1) : 51-61. (in Korean with English summary)
- Lee, HY and YS Lee. 2017. Development of Spatial Decision Support System for Promoting the Community-Specific Reuse of Vacant Houses. *Journal of the Korean Urban Geographical Society*, 20(2) : 29-43. (in Korean with English summary)
- Lerman, S. B. ·K. H. Nislow ·D. J. Nowak ·S. DeStefano ·D. I. King and D. T. JonesFarrand. 2014. Using urban forest assessmenttools to model bird habitat potential.*Landscape and Urban Planning*, 122 : 29-40.
- Lim, HJ and EJ Yang. 2020. A plan to promote a super-block integrated and linked street housing maintenance project for the regeneration of multi-family and multi-family residential areas.. Research report to The Seoul Institute. (in Korean)
- Marrotte, R. R. ·J. Bowman·M. G. Brown·C. Cordes·K. Y. Morris·M. B. Prentice and P. J. Wilson. 2017. Multi-species genetic connectivity in a terrestrial habitat network. *Movement ecology*, 5(1) : 1-11.
- Matheson, A. 2009. Planning for Decline in Canadian Cities: Lessons from Youngstown, Ohio and Leinefelde. Master's Thesis. McGill University.
- McRae, B. H. ·B. G. Dickson·T. H. Keitt and V. B. Shah. 2008. Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology*, 89(10) : 2712-2724.
- McRae, B. H. and V. B. Shah. 2009. Circuitscape User's Guide. ONLINE. The University of California, Santa Barbara.
- Mimet, A. ·C. Kerbirou·L. Simon·J. F. Julien and R. Raymond. 2020. Contribution of private gardens to habitat availability, connectivity and conservation of the common pipistrelle in Paris. *Landscape and Urban Planning*, 193, 103671.
- Nor, A. N. M. ·R. Corstanje·J. A. Harris·D. R. Grafius and G. M. Siriwardena. 2017. Ecological connectivity networks in rapidly expanding cities. *Heliyon*, 3(6), e00325.
- Park, EJ and MH Lim. 2020. Analysis of the Characteristics of Vacant House Hotspot Areas in Jeonju. *Housing Studies Review*, 28(2) : 131-150. (in Korean with English summary)
- Park, JK and HS Kwon. 2019. A Field Survey and Regeneration Strategy in Clusters of the Empty Homes ; Community Regeneration. *Journal of the Urban Design Institute of Korea Urban Design*, 20(5) : 5-18. (in Korean with English summary)
- Pelletier, D. ·M. Clark·M. G. Anderson·B. Rayfield·M. A. Wulder and J. A. Cardille. 2014. Applying circuit theory for corridor expansion and management at regional scales: tiling, pinch points, and omnidirectional connectivity. *PLoS One*, 9(1), e84135.
- Poor, E. E. ·C. Loucks·A. Jakes and D. L. Urban. 2012. Comparing habitat suitability and connectivity mod-

- eling methods for conserving pronghorn migrations. *PloSone*, 7(11), e49390.
- Seong, E·Z Yoon and Y Kim. 2018. Shrinking-smart Policies for Revitalizing Neighborhoods in Shrinking Cities. Research report to Architecture&Urban Research Institute. (in Korean)
- Schilling, J. and J. Logan. 2008. Greening the rust belt: A green infrastructure model for right sizing America's shrinking cities. *Journal of the American Planning Association*, 74(4) : 451-466.
- Shimazaki, A. ·Y. Yamaura·M. Senzaki·Y. Yabuhara·T. Akasaka and F. Nakamura. 2016. Urban permeability for birds: An approach combining mobbing-call experiments and circuit theory. *Urban forestry & urban greening*, 19 : 167-175.
- Son, EJ·HY Maeng and HY Lee. 2015. The spatio-temporal patterns of the vacant homes clusters and their impact on the neighborhood land price: The case of Busan Metropolitan City. 1(1) : 71-90. (in Korean with English summary)
- Song, W and E Kim. 2016. Landscape factors affecting the distribution of the great tit in fragmented urban forests of Seoul, South Korea. *Landscape and Ecological Engineering*, 12(1) : 73-83.
- Spear, S. F. ·N. Balkenhol·M. J. FORTIN·B. H. McRae and K. I. M. Scribner. 2010. Use of resistance surfaces for landscape genetic studies: considerations for parameterization and analysis. *Molecular ecology*, 19(17) : 3576- 3591.
- St-Louis, V. ·J. D. Forester· D. Pelletier·M. Bélisle·A. Desrochers·B. Rayfield ··· and J. A. Cardille. 2014. Circuit theory emphasizes the importance of edge-crossing decisions in dispersal-scale movements of a forest passerine. *Landscape Ecology*, 29(5) : 831-841.
- Thayn, J. B. ·K. Sampeck and M. Spaccapaniccia. 2016. Refining Hernando de Soto's route using electric circuit theory and Circuitscape. *The Professional Geographer*, 68(4) : 595-602.
- Tremblay, M. A. and C. C. St. Clair. 2009. Factors affecting the permeability of transportation and riparian corridors to the movements of songbirds in an urban landscape. *Journal of Applied Ecology*, 46(6) : 1314-1322.
- Wanghe, K. ·X. Guo·M. Wang·H. Zhuang·S. Ahmad·T. U. Khan ··· and K. Li. 2020. Gravity model toolbox: An automated and open-source ArcGIS tool to build and prioritize ecological corridors in urban landscapes. *Global Ecology and Conservation*, 22, e01012.
- Yi, C and K Kim. 2021. Differences in Factors Affecting the Increase and Decrease of Vacant Houses among the Local Governments Considering Spatial Effects. *Journal of Korea Planning Association*, 56(3) : 142-156. (in Korean with English summary)
- Yoon, EJ·EY Kim·JY Kim and DK Lee. 2019. Connectivity Assessment Based on Circuit Theory for Suggestion of Ecological Corridor. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 28(3) : 275-286. (in Korean with English summary)
- You, JS and DY Lee. 2017. Classification of the Vacant Housing Type based on the Physical Condition and Hazard Level of Vacant Houses. *Journal of the Korean Urban Geographical Society*, 20(2) : 1-13. (in Korean with English summary)
- Zhang, Z. ·S. Meerow·J. P. Newell and M. Lindquist. 2019. Enhancing landscape connectivity through multifunctional green infrastructure corridor modeling and design. *Urban Forestry & Urban Greening*, 38 : 305-317.