

Research Paper

녹지축의 생태적 기능 강화를 위한 도시녹지 연결경로 도출 연구

— 수원시 대상 —

최재연* · 김수련** · 박 찬*** · 송원경**** · 정경민***** · 김은영*****

서울시립대학교 일반대학원 조경학과*, 서울시립대학교 도시과학대학 도시공학과**,
서울시립대학교 도시과학대학 조경학과***, 단국대학교 환경원에·조경학부****, 수원시정연구원*****

Research on the Urban Green Space Connection Paths for the Enhancement of Ecological Function

— Focused on Suwon —

Jaeyeon Choi* · Suryeon Kim** · Chan Park*** · Wonkyong Song**** ·
Kyungmin Jung***** · Eunyoung Kim*****

Department of Landscape Architecture, University of Seoul*

Department of Urban Planning & Design, College of Urban Sciences, University of Seoul**

Department of Landscape Architecture, College of Urban Sciences, University of Seoul***

School of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University****

Suwon Research Institute*****

요약: 도시의 환경문제 해결과 관리방안으로 자연기반해법(Nature based Solution, NbS)이 대두되면서 도시지역의 녹지 확보 및 관리가 강조되고 있다. 개발 압력이 높은 도시지역은 녹지의 파편화 및 단절로 도시녹지의 연속성 확보를 위한 계획적 접근이 필요하다. 그러나 현행 제도에서 녹지축은 구체적인 녹지와 연결이 필요한 경로의 위치를 제공하지 못하고, 개별 녹지조성사업과 연계되지 못해 연속성 관점에서 일관된 녹지관리 체계로 활용성이 낮다. 따라서 본 연구는 NDMI (Normalized Difference Moisture Index), 불투수율, 녹지조성비용의 정보를 기반으로 연결경로를 도출할 수 있는 방안을 구상하고 수원시에 시범 적용하여 확인하였다. 본 연구에서 제안하는 방법을 통해 기존의 녹지축보다 비용효율성이 높은 구체적인 연결경로의 도출 가능성을 확인하였으며, 계획적 활용 방안에 대해서 논의하였다.

주요어: 녹지축, 녹지연속성, 도시생태계, 최소비용경로, 공원녹지기본계획

Abstract: Creation and administration of green space are emphasized to solve the environmental problem and the management of green space in urban area. Urban area with high development

First Author: Jaeyeon Choi, Tel: +82-2-6490-5520, E-mail: mmm9026@uos.ac.kr, ORCID: 0000-0001-5837-6279

Corresponding Author: Eunyoung Kim, Tel: +82-31-220-8045, E-mail: eykim@suwon.re.kr, ORCID: 0000-0001-5222-3351

Co-Authors: Suryeon Kim, Tel: +82-2-6490-5520, E-mail: landsue20@uos.ac.kr, ORCID: 0000-0002-2326-432X

Chan Park, Tel: +82-2-6490-2849, E-mail: chaneparkmomo7@uos.ac.kr, ORCID: 0000-0002-4994-6855

Wonkyong Song, Tel: +82-41-550-3636, E-mail: wksong@dankook.ac.kr, ORCID: 0000-0002-9130-7774

Kyungmin Jung, Tel: +82-31-220-8046, E-mail: km3737@suwon.re.kr, ORCID: 0000-0003-4957-8893

Received: 25 March, 2022. Revised: 21 June, 2022. Accepted: 23 June, 2022.

pressure faces green space fragmentation, so the planned approach is needed to improve the continuity of green space. However, the current institutional green axis, used to enhance continuity of urban space is merely an abstract concept under the master plan so that is not a consistent framework for urban green continuity providing no detailed information such as position and path. Therefore, in order to consistently manage green space in continuous point of view, it is insufficient not being connected to each individual green space development projects. This study proposes a method for finding the connection path to enhance urban green space continuity. This proposed method consists of two phases. First phase is finding nodes to connect current green space and second is to calculate the least cost path. We calculate connection cost using NDMI (Normalized Difference Moisture Index), impervious ratio and official land cost, applying to Suwon city and potential greening site that was planned in official master plan. According to the results, we confirm a possibility of finding a cost-effective connection path with detailed spatial information instead of unrealistic abstract concepts and discuss worth applying to a legally plan and policy.

Keywords : Green axis, Continuity, Urban ecosystems, Least cost path, park and green space master plan

I. 서론

도시녹지의 적절한 분포와 조성은 중요한 도시 관리 방안이다. 도시녹지는 녹지공간 및 경관을 제공하는 사회적 기능과 기후 및 환경 조절 등의 생태적 기능을 제공한다(Song & Min 2003; Noh & Han 2009, Giuseppe et al. 2015). 최근 국제적으로 도시환경문제의 해결방안으로 자연기반해법(Nature based Solution, NbS)이 주목받으면서 도시녹지의 효과가 더욱 강조되고 있다. 국제자연보전연맹(IUCN)은 자연기반해법을 “기후·환경오염·자연재해·수자원·질병 등의 문제를 자연생태계의 복원·관리를 통해 효과적이고 지속가능한 방식으로 해결하려는 행동”으로 정의한다. 이에 따라 기후·환경 영향저감 효과, 생태계 서비스 제공 등의 다양한 이점을 제공하는 도시녹지가 주목받고 있다(Saito & Katayama 1990, Cao et al. 2010, Chen et al. 2014; Kong et al. 2014; Zhang et al. 2009; Zhang et al. 2019).

하지만 도시는 근원적으로 개발 지향적인 속성을 가져 녹지의 파편화 및 단절현상이 일어나기 쉽다. 전 세계 포유류의 27%가 멸종위기에 처하고 산림 내부 종이 감소하는 등(Schipper et al. 2008; Crooks et al. 2017) 생물다양성 감소의 주요 원인으로 다루어지

는 파편화 현상은 서식지의 감소와 고립 서식지 증가를 말한다(Wilcox & Murphy 1985; Collinge 1996). 인간에 의한 토지이용 변화는 기존 녹지공간을 분할하면서 녹지의 파편화를 야기하고 이로 인해 가장자리 효과의 증가로 외부의 교란에 취약한 공간이 확대되는 등 기존 생태계의 기능과 구조에 많은 영향을 미친다(Collinge 1996). 이런 파편화 현상에 따라서 녹지 면적감소, 경관 프로세스 변화, 고립도 증가, 개체군 감소 등 생태계에 부정적인 영향을 초래한다(Hobbs & Yates 2003; Kim 2010). 도시환경 관리 관점에서 이와 같은 녹지의 파편화 방지 및 예방은 도시녹지의 기능 저하를 막는 중요한 도전과제로 강조되어 도시계획의 우선순위로 고려되고 있다(Antrop 2004; Bierwagen 2007; Kowarik 2011; Horta 2018).

위와 같은 녹지네트워크의 계획적·정책적 수요 증가에 따라(Hwang et al. 2007) 지자체 단위에서 도시녹지의 체계적 관리 및 계획적 접근을 위해 제도적으로 녹지축을 활용하고 있다. 우선, 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령」의 제16조에서 도시기본계획 수립 시 녹지축·생태계·산림·경관 등 양호한 자연환경을 고려하는 것을 명시하고 있다. 또한 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」의 제2장의 공원녹지기본

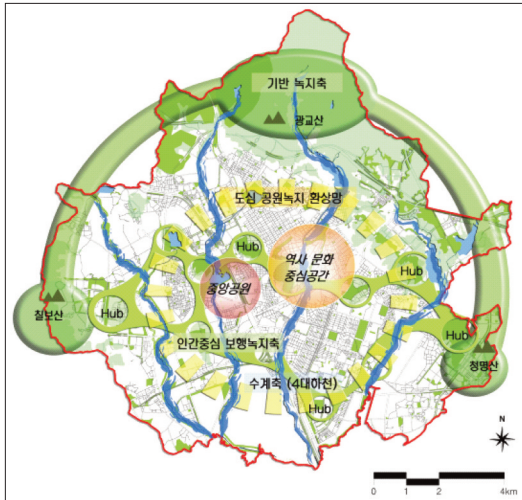


Figure 1. The case of green axis in present: 2030 Suwon park and green space master plan's green framework.

계획의 내용으로 공원녹지의 축을 언급하고 있다. 법정계획에서 녹지축은 도시의 녹지연속성 확보를 위한 목적으로 해당 지자체의 자연녹지 및 대규모 공원 녹지를 기반으로 도시 내 녹지를 연결하는 선형 및 환상형의 구조로 수립된다. Figure 1의 수원시 녹지축 사례와 같이, 산림녹지를 연결하는 기반녹지축과 가로 방향으로 도심지역을 관통하는 선형축, 도심공원녹지 환상형으로 구성된 녹지축을 제시하고 있다.

그러나, 기존의 녹지축은 대규모 녹지자원 중심의 추상적인 녹지의 연결을 제시할 뿐, 녹지축을 구성하는 구체적인 녹지와 그 위치의 확인이 어렵다. 또한, 「자연환경보전법」과 「자연환경보전기본계획」을 통해 위계가 정의되고 있는 생태축과 달리, “녹지축”은 관련 법률에서 정의된 위계가 없어 지자체에서 수립한 녹지축과 개별 사업에서 설정된 녹지축의 개념적 차이가 있고 서로 연계되지 못하는 사례가 발생하고 있다. 이는 계획된 녹지축과 별개로 단편적으로 개별 녹지가 조성되어 발생하는 한계로 체계적인 도시녹지 관리의 어려움을 초래한다. 이에 따라, 개별 녹지 조성까지 연계될 수 있는 구체화된 녹지축이 구축된다면 체계적으로 도시녹지를 관리할 수 있다.

데이터 과학의 발전으로 녹지 연결성 평가를 위한 다양한 분석 기법이 연구되고 있다. 연결성 분석은 노드(node)와 링크(link)로 표현되는 그래프 이론에 기

반한 다양한 기법이 활용된다. 강완모 외(2019)는 핵심지역 및 생태축 도출을 위해 최소평면그래프와 매개중심성 분석기법을 추가로 활용하였고, 최희준 외(2017)은 경관지수를 활용한 FRAGSTATS 모델을 이용하여 생활권의 녹지 연결성을 평가하였다. 김은영 외(2020)는 NDMI (Normalized Difference Moisture Index)와 수문학 모델 SWAT을 이용하여 물에 의한 생태적 흐름을 고려한 녹지축을 제시하였다. 그러나, 기존의 연구들은 이론과 현황에 기반한 접근으로 법정계획에 기반하여 설정되는 도시의 녹지축과 단절구간의 연결성 강화를 위한 방안까지 고려되지 못하였다.

따라서, 본 연구는 개념적 녹지축과 실제 녹지축의 연속성 확보, 관리 간극을 좁히기 위한 방안을 제시하고자 한다. 특히 도시계획에 있어 객관적 기준으로 활용 가능성을 높이기 위해 상세한 공간정보를 바탕으로 생태적 기능 중심의 녹지축 단절구간을 연결하고, 녹지조성 계획에 따른 비용 효율적인 대안의 검토가 가능한 체계를 중심으로 구현하고자 한다.

II. 연구방법

1. 도시녹지 연속성 확보를 위한 도시녹지 연결경로 도출방안 설정

도시녹지의 연속성을 확보하기 위해 연결이 필요한 시종점을 정하는 단계와 지점을 잇는 경로를 도출하기 위한 단계, 총 2단계로 구성된 방법을 고안하였다.

첫 번째 단계는 연결경로의 시점과 종점을 도출하는 단계로 녹지축의 외곽점을 각각의 시점으로 하여 기준에 부합하는 종점을 도출한다. 녹지축의 외곽점 도출은 분기점 및 교차점과 같은 선과 선이 만나는 지점을 제외한 외곽점만 사용했다. 종점을 도출하기 위한 기준으로 종점은 시점과 동일한 녹지축에 있지 않고 거리를 기준으로 가까운 순으로 원하는 대안 개수를 도출할 수 있게 하였다. 본 연구에서는 종점의 개수를 3개로 설정하여, 각 시점 당 3개의 연결경로를 도출하였다.

다음 단계는 각 시점과 종점의 쌍을 연결하는 최소

Table 1. Cost factor and cost for defining connection cost

Cost factor (Unit)	Direction of increasing costs	Source
Land prices information (₩)	The higher the land price, increase connection cost	Officially Land prices information in 2019
Impervious surface ratio (%)	The higher the impervious surface ratio, increase connection cost	Biotop Map. 2019
NDMI	The lower NDMI value, increase connection cost	Modified Landsat 8. 2019

비용경로를 도출한다. 최소비용경로분석은 시점에서 종점까지의 이동에 소모되는 비용이 가장 적은 경로를 도출하는 분석방법으로 생태네트워크에서 서식처 내 어떤 종이 다른 서식처로 움직이기 위해 소모되는 비용을 계산하는 것을 의미하며 생태네트워크 분석 기법으로 많은 연구에서 활용되고 있다(Singleton et al. 2002). 연결비용은 이동에 영향을 주는 다양한 저항요인을 종합평가한 값으로 도출된 경로는 저항이 가장 낮은 경로를 보장한다(Oh et al. 2009). 이런 최소비용경로 분석방법의 특징을 이용하여 토지피복, 녹지율, 식생유형 등 경관요소를 통한 녹지네트워크 설정에 활용되고 있다(Fanhua Kong et al. 2010; Mingjun Teng et al. 2011). 따라서 최소비용경로 기법은 다양한 요인을 고려하여 구체적인 경로도출이 필요한 본 연구 목적에 적합한 분석방법이다.

2. 비용변수 설정 및 데이터 전처리

최소비용경로 도출을 위한 비용은 생태적 관점에서 NDMI와 불투수율, 사회적 관점에서 개별공시지가 정보를 Table 1과 같이 선정했다.

NDMI는 토양 수분 정도를 표현하는 정보로 포장면의 증가와 같은 인위적인 영향에 따라 녹지의 성숙도를 파악하는 데 사용된다(Indrawati & Rachmawati 2020; Colins and Wodcock 1996). 또한, 수원시 녹지축 설정 선행연구에서도 NDMI 정보를 기반으로 활용한 점을 고려하여 결과의 일관성을 확보하고자, 도시 녹지의 파편화 현황을 확인할 수 있는 자연성 정보로 해당 항목을 선정하였다.

불투수율은 단위공간에서 빗물이 투과하지 못하는 포장면적의 비율로 공간의 도시화 정도와 생태적 건강성을 표현하는 요인으로 사용하였다. 최진영 외(2010)는 불투수율을 유역의 건전성을 나타내는 중요

한 지표로 보고 시가지지역과 투수면을 나타내는 산림지역을 대상으로 지역의 경관을 정량적으로 분석하였다. 일반적으로 불투수율은 도시화 과정에서 형성되는 도로, 건물, 주차장 등으로 증가하며 녹지면적의 감소를 동반한다. 도시생태현황지도에서는 이에 개별 비오톱의 자연성을 나타내는 정보로 불투수율을 수집, 표기하고 있다.

사회적 관점에서 선정한 개별공시지가 정보는 도시녹지 조성 사업비와 위치선정에 중요한 정보이다. 사업비 중 토지지가의 비율이 높은 경우 조성위치 변경 및 전체 사업비의 증가로 사업 자체가 어려워질 수 있다. 임용호와 엄정섭(2007)은 도시하천의 복원 경로를 추적하기 위한 영향 요인으로 고도, 토지이용 상태, 토지지가를 이용하여 모형을 구축하였고 토지지가는 도시화된 상태의 하천을 복원할 때 매우 중요한 항목으로 반드시 고려되어야 한다고 강조했다. 따라서 녹지축과 도시녹지 연결성을 향상하기 위해 녹지 조성을 위한 매입 등에 영향을 줄 수 있는 개별공시지가를 사회적 변수로 선정하여 공시지가가 높을수록 경로 비용이 높은 것으로 판단하였다.

선정된 각 비용요인은 최종적인 연결경로비용에서 동일한 가중치를 가지도록 30x30m 해상도의 0~1 사이의 값으로 정규화하고 이들의 합을 연결경로비용으로 설정하였다. 각 요인의 정규화 과정에서 공시지가와 불투수율은 값이 높을수록 높은 연결비용을 가지도록 계산하였고 NDMI는 역수로 계산하여 값이 클수록 연결비용을 낮게 설정하였다.

3. 연결경로 도출방안 시범적용

연구에서 제안하는 방안을 적용하고 확인하고자 녹지축의 설정 기준의 명확성과 단절현황을 고려하여 대상지를 선정하여 새로운 녹지가 조성되었을 때 연

속성의 변화를 확인하였다.

본 연구의 대상지는 Figure 2와 같이 수원시로 선정하였다. 수원시는 2020년 「공간생태학적 특성을 고려한 수원시 그린인프라 구축기법 연구」를 통해서 정보를 기반으로 구체화된 녹지축을 설정하고 단절현황을 구체적으로 전달하고 있어 수원시를 시범대상지로 선정하였다. 또한 수원시는 북쪽에 백운산과 광교산이 위치하고 북쪽에서 남쪽으로 흐르는 4개의 하천을 포함하였으며, 도시의 미래상에서 환경친화적인 정원생태도시를 방향으로 설정하고 있어, 다양한 자연자원의 관리를 위한 연구 및 정책 활용에 대한 요구가 큰 지역이다.

도시녹지 조성 전후를 비교하기 위해 수원시 구도심 지역 중 하나인 팔달구 일대를 전후 확인 대상지역으로 설정하였다. 수원시의 4개 행정구역 중 팔달구는 전체 녹지 면적의 10%만 포함되어 가장 낮은 녹지 면적을 보유하고, 녹지축의 단절현상이 뚜렷한 지역이다(Kim et al, 2020). 이로 인해 연결경로와 유형에 따른 결과 변화가 클 것으로 예상된다. 따라서 수원시 팔달구를 중심으로 가로, 세로 약 500m씩 약 2.5km²의 면적을 선정하고, 분석을 진행하였다.

녹지조성사업 이후를 가정하기 위해서 팔달구 일대의 녹지조성 후보지를 도출하여 녹지가 조성된 이



Figure 2. Research sites (Outer redline: Suwon city, Inner redline: demonstration site of greening, Green polygon: green space in Suwon's biotope).

후의 연결경로를 도출하였다. 조성 후보지의 도출은 「2030 수원시 공원녹지 기본계획」을 통해 계획된 신규 공원계획을 참고하여 도출했다(Figure 3). 추가로 옥상녹화와 같은 소규모의 녹화 활동을 반영하기 위해서 옥상녹화 가능 지역을 도출하여 연결경로의 변화를 확인하였다. 옥상녹화 가능 건축물은 GIS건물 통합정보를 활용하여 건축물의 높이 6~30m이며, 주거·상업·공공시설 등의 건물용도를 가지며, 「수원시 도시녹화 등에 관한 조례」 상의 옥상녹화 지원 면적인 60m² 이상, 건축물 인·허가 관련 의무 조경면적인 200m² 이하의 면적 중 조성의 현실성을 반영하여 조성이 가능한 범위를 약 10%로 한정하고, 조성 시 서식처의 역할을 수행할 수 있는 큰 규모의 건축물을 추출하였다.

녹지조성에 따른 연결비용의 계산은 녹지의 조성에 따라서 NDMI 값이 증가하는 것을 가정하여, 조성 후보지의 NDMI 값을 변화시켜 반영하였다. NDMI 값의 변화는 Figure 4와 같이 해당 지역의 기존 NDMI 값에 가중치를 곱하여 녹화사업 이후의 NDMI 값을 계산했다. 가중치는 대상지에 존재하는 기존 녹지 중

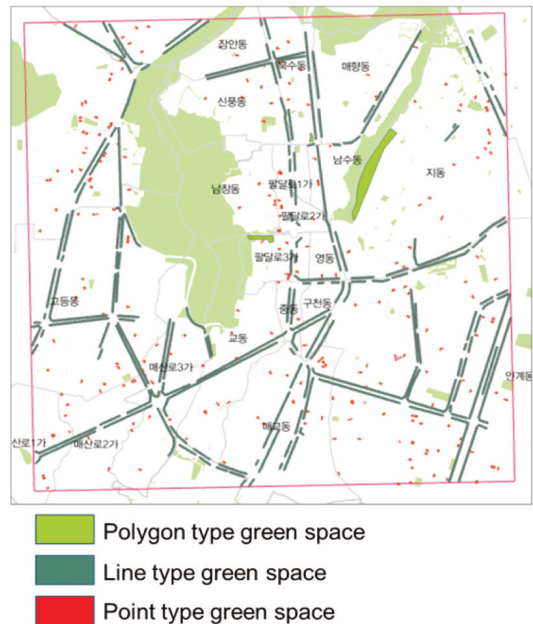


Figure 3. The potential sites according to urban greening type in 2030 suwon park and green space master plan.

$$\text{After greening NDMI} = \text{existing NDMI} \times \text{type Weight}$$

Figure 4. The formula for modify NDMI value after greening.

유사한 유형의 NDMI 평균값을 이용하였다. 이때 이전 비용계산방식과 같이, 0~1 사이 값으로 정규화하여 평균값을 계산하였다. 이에 따른 녹지의 생태적 기능과 연결비용 계산의 용이성을 반영하기 위해 경관 생태학의 패치(patch), 코리도(corridor), 매트릭스(matrix) 개념에 기반하여 도시녹지를 면형, 선형, 점형으로 유형화했다. 본 연구에서는 면적 유형의 경우 기존 공원 및 산림지 NDMI 평균값인 0.35를 적용하였으며, 선적 유형은 조경녹지의 NDMI 평균값인 0.2, 점적 유형은 0.22로 초지 NDMI 평균값을 적용하여 최종 연결비용을 계산했다.

III. 결과

1. 수원시 도시녹지의 연결경로

수원시를 대상으로 도출된 녹지축-도시녹지 연결 경로를 기존 수원시 녹지축과 도시생태현황도의 녹지 비오톱과 중첩하여 Figure 5와 같이 정리했다. 분석 결과로 도출된 연결경로(초록색)를 확인하면 기존 녹지축(검은선)에서 시작하여 하천, 산림지, 농경지 등을 따라 경로가 형성되어 있는 것을 확인할 수 있다. 수원시 전역을 대상으로 최소비용거리로 도출된 연결 경로는 시점과 종점이 동일한 중복을 제외하고 총 86개의 연결경로가 도출되었다.

도출된 각 연결경로의 연결비용의 의미는 시종점을 연결하는데 필요한 비용변수를 종합한 저항 값으로, 화폐단위의 비용을 의미하지 않는다. 본 연구에서는 도출된 비용은 셀 단위별 녹지 연결성 확보의 어려움을 나타내는 상대적인 수치를 의미하여 상대적으로 낮은 연결비용 값을 보이는 셀 일수록 녹지 연결성을 확보하기 쉬움을 의미한다.

도출된 최소비용경로들의 평균비용은 2,000, 표준편차 1,122.7로 분석되었다. 최소비용을 보이는 경로는 12.8의 비용으로 계산되었고 최대비용은 6,264.4 비용의 경로가 도출되었다. 분포의 중간값(Median)은 1,809.4로 최대비용은 이상치로 판단하면 4,070.38

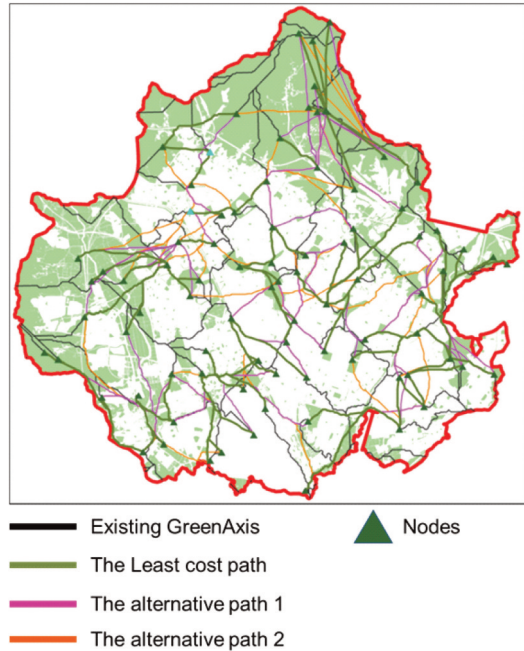


Figure 5. The results of the least cost path and the alternative path.

의 비용을 가지는 것을 최대비용으로 할 수 있다.

대안경로의 도출을 고려하여 각 시점에서 3개의 경로를 도출한 결과 중복을 제외한 197개의 경로가 도출되었으며 평균비용이 2,369.4, 표준편차 1,161.7로 도출되었다. 최소비용과 최댓값은 각 12.8과 7,359.2로 도출되었다. 이상치를 제거할 경우 최대비용은 4,721.99로 계산되었다.

2. 도시녹지 조성 이후의 연결 경로 및 연결비용의 변화

팔달구의 녹지조성 대상지의 32개의 연결경로와 각 연결비용은 Table 2와 같이 도출되었고 평균 연결비용은 1,374.37로 분석되었다. 가장 적은 비용이 드는 연결경로는 668.19 값을 가지는 28번 지점에서 24번으로 경로로 확인되었다. 가장 높은 비용이 드는 경로는 9번에서 6번으로 끝나는 경로로 1,900.48의 연결비용이 도출되었다.

빈집, 신규 공원조성 대상지, 유휴지 등 면형의 녹지가 조성되는 경우, 평균 최소비용경로의 평균값은 1,368.68으로 계산되어 조성 이전 보다 8.68이 저감

Table 2. The connection cost and reduction of cost each couple of nodes according to green space type

Start nodes	End nodes	Present Cost	After greening								
			Polygon			Line		Point		Integration	
			Cost	Costreduction	Cost	Costreduction	Cost	Costreduction	Cost	Costreduction	
9	6	1,900.48	1,869.99	30.49	1,876.30	24.19	1,900.48	0.00	1,862.90	37.58	
27	6	1,296.71	1,292.78	3.93	1,281.39	15.32	1,296.71	0.00	1,278.77	17.94	
9	7	1,359.90	1,329.42	30.48	1,347.44	12.46	1,359.90	0.00	1,336.44	23.47	
27	7	799.44	794.49	4.95	796.04	3.40	799.44	0.00	791.00	8.44	
29	7	847.33	842.38	4.95	843.93	3.40	847.33	0.00	838.89	8.44	
12	9	1,406.40	1406.4	0.00	1,406.12	0.29	1,406.40	0.00	1,406.08	0.33	
30	9	1,444.22	1,393.52	50.7	1,421.79	22.43	1,442.85	1.37	1,398.07	46.15	
13	9	1,494.45	1,488.47	5.98	1,490.89	3.56	1,494.45	0.00	1,490.89	3.56	
27	18	1,611.63	1,611.63	0.00	1,606.60	5.03	1,611.63	0.00	1,606.58	5.05	
28	18	1,592.62	1,592.62	0.00	1,591.31	1.32	1,592.62	0.00	1,591.29	1.33	
29	18	1,624.64	1,618.66	5.98	1,619.61	5.03	1,624.64	0.00	1,619.59	5.05	
27	19	1,675.38	1,669.40	5.98	1,670.35	5.03	1,675.38	0.00	1,670.34	5.05	
29	19	1,688.39	1,682.41	5.98	1,683.36	5.03	1,688.39	0.00	1,683.35	5.05	
28	20	1,258.69	1,257.82	0.87	1,257.38	1.32	1,258.69	0.00	1,257.36	1.33	
28	21	1,444.50	1,443.63	0.87	1,443.18	1.32	1,444.50	0.00	1,443.17	1.33	
27	22	1,676.13	1,676.13	0.00	1,665.80	10.33	1,672.89	3.24	1,663.90	12.23	
29	22	1,753.43	1,753.43	0.00	1,742.64	10.79	1,750.60	2.83	1,741.23	12.20	
28	23	1,719.58	1,719.58	0.00	1,718.26	1.32	1,719.58	0.00	1,718.24	1.33	
27	24	687.19	681.21	5.98	682.16	5.03	687.19	0.00	682.14	5.05	
28	24	668.19	668.19	0.00	666.87	1.32	668.19	0.00	666.85	1.33	
29	24	700.20	694.22	5.98	695.17	5.03	700.20	0.00	695.15	5.05	
28	25	1,568.77	1,568.77	0.00	1,565.23	3.54	1,568.77	0.00	1,565.23	3.54	
28	26	1,224.97	1,224.97	0.00	1,221.44	3.53	1,224.97	0.00	1,221.44	3.53	
29	9	1,723.43	1,690.58	32.85	1,715.67	7.76	1,705.54	17.89	1,691.06	32.36	
30	7	1,056.10	1,026.35	29.75	1,018.82	37.28	1,043.85	12.25	1,006.57	49.53	
30	26	1,510.75	1,510.75	0.00	1,491.24	19.51	1,510.75	0.00	1,491.24	19.51	
Mean		1,374.37	1,365.68	8.68	1,366.11	8.25	1,372.92	1.45	1,362.22	12.14	
Min		668.19	668.19	0.00	666.87	0.29	668.19	0.00	666.85	0.33	
Max		1,900.48	1,869.99	50.70	1,876.30	37.28	1,900.48	17.89	1,862.90	49.53	

되었다. 연결비용이 가장 큰 경로와 가장 작은 경로는 기존과 동일했으며, 최대비용인 경로에서 1,869.99의 연결비용이 도출되어 기존대비 30.49의 연결비용 감소가 확인되었다. 반면 최소비용인 경로에서의 비용의 변화는 없었다. 연결경로의 변화와 연결비용의 변화가 가장 큰 경로는 30번에서 9번의 경로로 확인되었다. 27번에서 6번, 29번에서 9번의 연결경로에서도 경로의 위치가 변화한 것을 확인하였다.

가로수 및 선형녹지를 조성하는 경우 연결경로들의 평균 연결비용은 1,366.11로 기존 비용보다 8.25

가 저감된 것을 확인할 수 있었다. 연결비용이 가장 작은 경로와 가장 큰 경로가 변화되지는 않았으나, 비용이 가장 큰 경로의 연결비용이 24.19 만큼 감소하였다. 연결비용의 감소가 가장 큰 경로는 30번에서 7번 경로로 확인되었고, 30번에서 9번 경로에서 가장 뚜렷한 경로의 변화가 확인되었다. 또한 27번에서 6번, 27번에서 22번을 잇는 연결경로의 변화를 확인하였다.

옥상녹화 등 소규모 녹지조성 이후의 연결경로 도출 결과, 연결비용의 평균값은 1,372.92로 이는 기존

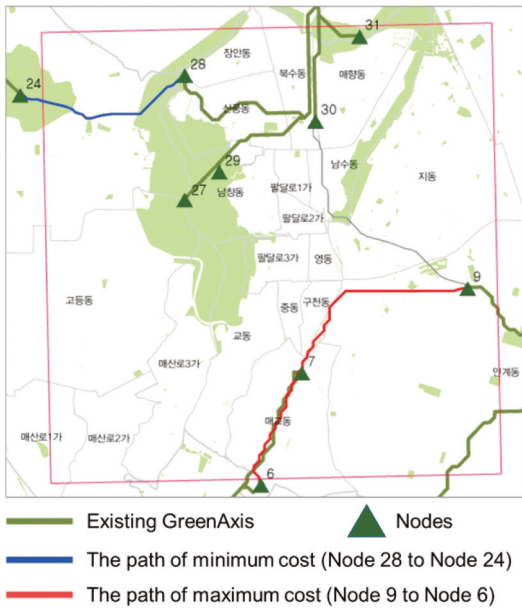


Figure 6. The paths of maximum cost and minimum cost.

경로와 비교 시 1.45의 감소가 나타나 가장 낮은 연결비용의 감소가 확인되었다. 모든 연결경로에서 경로가 변화된 것은 없었다. 연결비용이 가장 크게 감소한 연결경로는 29번에서 9번 경로로 17.89의 비용감소가 확인되었다. 이외 30번에서 9번, 27에서 22번, 29에서 22번의 경로에서 비용감소의 효과가 나타났다. 연결비용이 가장 큰 경로와 작은 경로에서는 연결비용의 변화가 확인되지 않았다.

도출된 연결경로의 특징을 정리하면 다음과 같다. 가장 뚜렷한 연결경로의 변화는 30번에서 9번의 연결경로에서 확인되었고 면형과 선형의 녹지에서 변화가 확인되었다. 그러나 뚜렷한 연결경로의 변화가 없이 동일한 경로라도 녹지조성에 따라서 비용의 변화가 있음이 확인되었다. 평균적으로 선형의 녹지조성이 연결비용 저감효과가 높은 것으로 확인되었다. 연결비용이 가장 높고 경로와 가장 낮은 경로는 녹지 조성의 유형과 관계없이 모두 동일했다. 가장 작은 비용을 가지는 28번에서 24번 경로로 선형의 녹지조성에 대해서만 비용이 감소하는 것을 확인했다. 가장 높은 연결비용인 9번에서 6번 연결경로는 소규모 녹지를 제외하고 모두 연결비용이 감소했다.

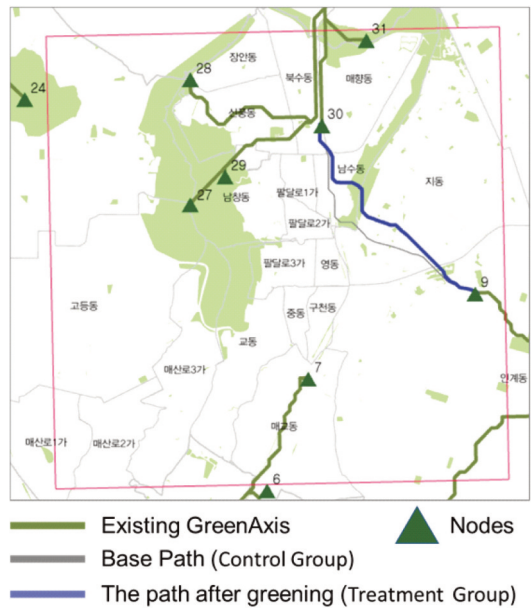


Figure 7. The path with clear change (node 30 to node 9).

IV. 논의

1. 도시녹지 조성에 따른 녹지연속성 변화

연구에서 제시한 방안은 기존의 추상적인 녹지축의 한계를 보완하여 구체적인 위치를 가지는 경로를 제시하고 정보를 제공하고자 하였다. 따라서 수원시를 대상으로 시범적용한 결과 일관된 기준에 부합하는 구체적인 경로를 제시할 수 있음을 확인하였다. 또한 도출되는 연결비용정보의 기존 녹지현황 및 신규 녹지조성에 따른 변화를 통해서 도시녹지의 연속성을 논의하고자 한다.

각 녹지유형 별 조성 후보지의 면적은 면형이 약 591m², 선형이 약 1,705m², 점형이 약 281m²가 조성되어 선형의 녹지가 가장 넓은 면적으로 확인된다. 그러나 앞서 연결비용 저감효과는 면형-선형-점형 유형 순으로 결과가 확인되었다. 이는 면형으로 조성되는 녹지가 면적대비 연결비용 저감효과가 높은 것으로 해석할 수 있다. 즉, 대상지의 녹지 연속성을 확보하기 위해 면형 녹지가 가장 효과적이다.

연결경로의 특징은 뚜렷한 경로 변화가 확인된 30번에서 9번의 연결경로에서 확인할 수 있다. 30번과 9번 지점을 잇는 연결경로는 면형과 선형의 녹지를

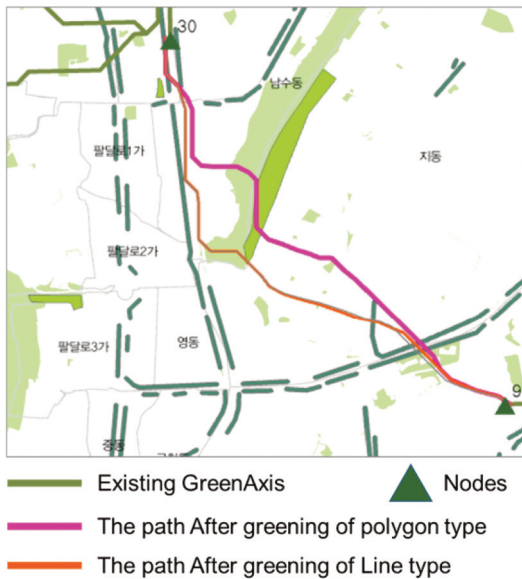


Figure 8. The paths according to green space type from node 30 to node 9.

조성했을 때 각 다른 연결경로가 도출되었다. 이에 두 유형의 녹지를 모두 조성했을 때 연결경로를 확인한 결과 면형 녹지의 영향이 강한 것을 확인하였다. 기존에 두 지점 사이에는 가로공원과 면형의 녹지가 존재하고 있어 녹지를 조성하기 이전에 도출한 연결경

로는 가로공원을 따라 경로가 연결되는 결과가 도출되었다. 면형 녹지를 조성한 경우는 기존 면형 녹지에 추가로 녹지가 조성되면서 면형 녹지를 통과하는 연결경로가 도출되었다. 선형 녹지에서는 가로공원이 확충되면서 가로공원을 따라서 연결경로가 도출되었다. 그러나 모든 녹지가 조성된 경우 면형 녹지를 통과하는 연결경로가 도출되어 면형 녹지의 영향이 큰 것으로 해석할 수 있다. 이 결과는 해당 지역의 녹지 연속성을 확보 및 강화하는 관점에서 면형 녹지의 효과로 설명할 수 있다.

도출되는 연결비용 정보는 기존의 주변 녹지 및 환경에 의해 결정되어 녹지 연속성을 해석하는 정보로 활용할 수 있다. 도출된 각 연결비용은 기존의 주변 녹지 및 환경에 의해 결정되어 녹지 연속성이 높은 지역일수록 연결비용이 낮고, 연속성이 낮은 경우일수록 연결비용이 높다. 최소 연결비용이 드는 28번과 24번을 연결하는 경로는 숙지산과 팔달산을 시중점으로 하여 기존 자연녹지가 우수한 지역으로 연결비용이 최소값이 나온 것을 확인할 수 있다. 반면 연결비용이 최대인 9번과 6번을 잇는 연결경로는 주거지 및 상업지역으로 경로상 또는 주변에 녹지가 부족한 지역이다. 또한 기존 녹지 연속성에 따라 녹지조성에

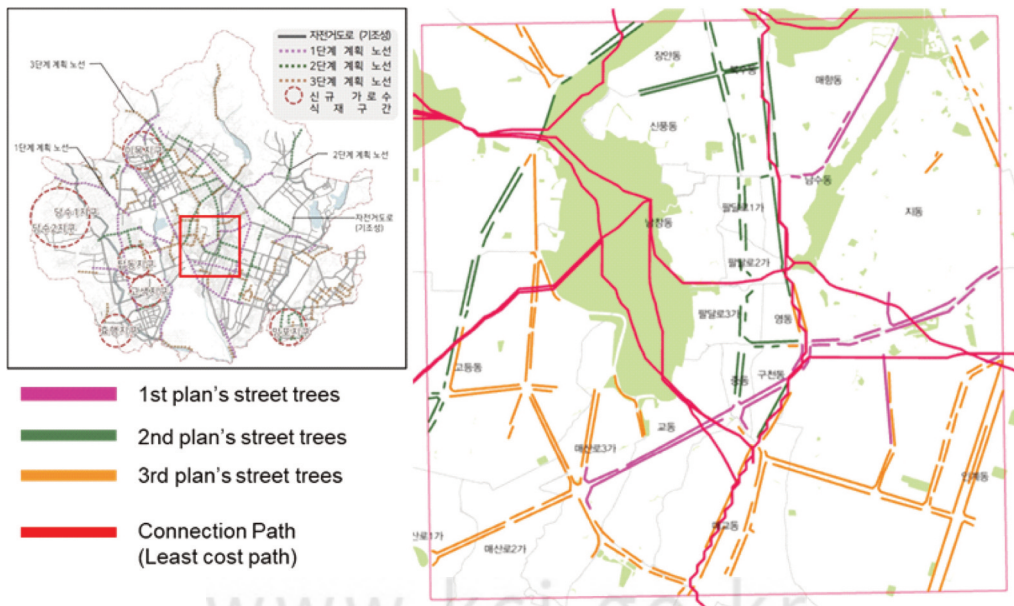


Figure 9. The results of comparing the connection path to the planned street trees.

비 연결비용의 경우 30-7이 더 높은 효과를 보여주었다. 이 차이는 계획된 가로공원을 30-7번 연결경로는 공원의 선형과 평행하게 진행하지만, 27-22번 연결경로는 수직으로 통과하여 발생한다. 즉, 동일한 유형의 녹지라도 조성되는 위치에 따라 연결성 미치는 효과가 다를 수 있음을 시사한다. 이런 정보는 수원시의 「2030 수원시 공원녹지기본계획」의 가로수 계획과 같이 활용할 때 연결비용 저감효과가 높은 녹지를 우선적으로 선정하여 녹지조성사업을 진행하는 등의 계획적 활용 가능성이 있다.

추가적으로 다른 지자체 중 서울시 계획의 검토를 통해 활용 가능성을 살펴보았다. 서울시는 「2030 서울시 공원녹지계획」을 통해서 녹지축 단절구간을 파악하고 연결대상지를 선정하여 생태통로의 설치 및 향후 지역개발 및 정비사업에 연결계획을 반영하는 계획을 수립하였다. 이런 계획관점에서 본 연구에서 제안하는 연결경로 도출 방법은 생태통로의 설치위치를 제공할 수 있다. 또한 향후 개발 및 정비사업에 기초정보로 연결경로를 제공할 수 있고 녹지조성에 따른 연결효과를 검증할 수 있다.

V. 결론

본 연구는 녹지축의 생태적 기능 강화를 위해 데이터 기반의 녹지축과 도시녹지를 연결하는 연결경로와 연결비용을 도출하는 방안을 제시하였다. 제시한 방안은 수원시에 적용하고 구시가지역의 녹지조성에 따른 녹지 연속성 변화를 확인하였다. 이를 통해서 본 연구는 기존의 추상적인 녹지축의 개별 녹지조성계획과 낮은 연계성을 보완하는 관점에서 구체적인 후보 지역을 제시하는 것을 확인했다. 또한 도출된 연결비용 정보를 통해 각 지역의 녹지현황에 적합한 조성될 녹지유형의 확인이 가능하였다.

본 연구의 방법으로 도출된 연결경로는 공간계획 수립 및 도시생태계 관리에 활용가능성이 높은 것으로 판단할 수 있다. 수원시 및 서울시의 공원녹지계획과 살펴본 결과, 가로녹지 조성계획의 우선순위 및 위치설정에 활용 가능한 정보를 제공하고, 단절된 녹지축을 연결하는 위치를 제공하는 등 활용가능성이

높은 것으로 판단할 수 있다.

본 연구는 도시생태계의 연결성 확보라는 거시적인 목적을 미시적 스케일인 녹지조성의 위치와 규모를 제안할 수 있는 방안으로서 의의를 가진다. 또한 제시한 연결경로 도출방안은 특정 변수에 한정된 방안이 아니라 다른 변수를 추가로 고려할 수 있는 구조로 저항값으로 변환이 가능한 다양한 변수를 활용할 수 있다. 따라서 여러 이해관계에 따른 다른 복잡한 정보도 추가적으로 반영할 수 있다. 예를 들어 본 연구에서 사용한 변수인 NDMI, 불투수율, 토지공시지가 이외에도 주민공청회에 따른 토지소유주의 의사 및 지역별 녹지유치 의사 등을 변수로 구축한다면 실무에서 민감한 지역의 특수상황을 반영하여 비용효율적인 대안을 제시할 수 있다. 뿐만 아니라 연속된 녹지체계는 자연환경과 도시민의 공존을 가능하게 하여 지속가능한 발전의 테두리 안에서 환경오염과 자연재해 등의 도시 문제를 여과하는 자연기반해법을 실현하는데 도움을 준다.

이에 녹지축의 “쾌적한 삶의 제공”과 같은 본 연구에서 고려되지 못한 도시녹지 및 녹지축의 다른 관점의 정보를 구체화하여 적용한다면 보다 실용적인 녹지축 및 연결경로를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

사사

본 결과물은 SRI-기본-2021-08 그린인프라 구축을 위한 녹지축과 도시녹지 연계방안연구의 지원을 받아 연구되었습니다.

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 도시생태 건강성 증진 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2019002760001).

References

- Benedict MA, McMahon ET. 2006. Green Infrastructure, Island Press.
- Bierwagen BG. 2007. Connectivity in urbanizing landscapes: The importance of habitat

- configuration, urban area size, and dispersal. *Urban Ecosyst* 10: 29-42.
- Choi JY, Kang MS, Bae SJ, Chung SW. 2010. Evaluation of Landscape Ecology Indices of Gap Stream Basin on Impervious Cover Changes. *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*; pp. 1263-1268.
- Choi HJ, Lee JA, Sohn HJ, Cho DG, Song YK. 2017. Feasibility of Green Network in a Highly-dense Urbanized Area by Introducing Urban Gardens. *Korean Journal of Environment and Ecology* 31(2): 252-265.
- Cisneros-Araujo P, Ramirez-Lopez M, Juffe-Bignoli D, Fensholt R, Muro J, Mateo-Sanchez MC, Burgess ND. 2021. Remote sensing of wildlife connectivity networks and priority locations for conservation in the Southern Agricultural Growth Corridor (SAGCOT) in Tanzania. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*.
- Horta MB, Bhakti T, Cordeiro PF. et al. 2018. Functional connectivity in urban landscapes promoted by *Ramphastos toco* (Toco Toucan) and its implications for policy making. *Urban Ecosyst* 21(6): 1097-1111
- Hwang KS, Choi YK, Eom SK, Cho CJ. 2007. Study of estimating total greenspace on the analysis urban greenspace distribution: focused on the Seoul metropolitan area. *Korea Research Institute for Human Settlements*.
- Indrawati L, Murti BSH, Rachmawati R. 2020. Integrated ecological index (IEI) for urban ecological status based on remote sensing data: a study at Semarang-Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 500(1): 12-74.
- Ingo K. 2011. Novel urban ecosystems, biodiversity, and conservation. *Environmental Pollution* 159(8-9): 1974-1983.
- Jeong SH. 2003. Building of Eco & Green Network in Urban Areas. *Nature Conservation* 124: 7-15.
- Kang WM, Song YK, Kim HG, Kim NC, Song WK. 2019. Quantitative Analysis and Visualization of Terrestrial Landscape Connectivity in South Korea. *Journal of The Korean Cadastre Information Association* 21(2): 198-207.
- Kim EH, Jeong KM. 2020. Green infrastructure with the consideration of spatial ecological characteristics in Suwon. *SRI*.
- Kim EH. 2010. Forest ecosystem impact assessment model for land development. Ph.D. dissertation. Seoul National University. Seoul.
- Kong F. et al. 2010. Urban green C12: D12 network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling. *Landscape and Urban Planning* 95(1-2): 16-27.
- Giuseppe C, Massimiliano S, Raffaele L, Giuseppe C, Francesco F, Fabio S, Mariagrazia A, Luigi P, Paolo S, Giovanni S. 2015. Go greener, feel better? The positive effects of biodiversity on the well-being of individuals visiting urban and peri-urban green areas. *Landscape and Urban Planning* 134: 221-228.
- Levin G. 2006. Dynamics of Danish Agricultural Landscapes and the Roles of Organic Farming (Doctoral dissertation, National Environmental Research Institute, Ministry of the Environment).
- Lim YH, Um JS. 2007. Development of Restoration Path Tracking Model for Urban Stream. *Korea Spatial Information System Society*; pp. 105-110.
- Marc A. 2004. Landscape change and the urbanization

- process in Europe. *Landscape and Urban Planning* 67(1-4).
- Ministry of Environment. 2015. 3rd Basic Plan for Conservation of Natural Environment.
- Ministry of Environment. 2022. Natural Environment Conservation Act. No. 17846.
- Ministry of Land and Transport. 2022. National Land Planning And Utilization Act. No. 17893.
- Noh TH, Han BH. 2009. A Study on the Planting Design for Functional Improvement of the Urban Green Corridor – In Case of Central Park, Incheon –.
- Oh KS, Lee DW, Jeong SH, Park CS. 2009. A Spatial Decision Support System for Establishing Urban Ecological Network; Based on the Landscape Ecology Theory. *The Journal of Geographic Information System Association of Korea* 17(3): 251-259.
- Park CS, Oh KS, Oh CH, Han BH, Lee YS, Kim JH. 2007. Guideline development for constructing urban eco-corridor. Korea Environment Institute.
- Park HS, Cho HG, Chung SW. 2015. Analysing the effect of impervious cover management techniques on the reduction of runoff and pollutant loads. *Journal of Environmental Impact Assessment* 24(1): 16-34.
- Rusche K, Reimer M, Stichmann R. 2019. Mapping and assessing green infrastructure connectivity in European city regions. *Sustainability* 11(6): 1819.
- Saito I, Ishihara O, Katayama T. 1990. Study of the effect of green areas on the thermal environment in an urban area. *Energy and Buildings* 15: 493-498.
- Seoul. 2015. 2030 Seoul park and green space master plan.
- Singelton PH. et al. 2002. Landscape Permeability for Large Carnivores in Washington. A Geographic Information System Weighted-Distance and Least-Cost Corridor Assessment. United States Department of Agriculture. Pacific Northwest Research Station.
- Song WK. 2011. Habitat Network Modeling of Leopard Cat (*Prionailurus bengalensis*) Based on the Spatial Graph Theory. Ph.D. dissertation. Seoul National University, Seoul.
- Song HC, Min SH. 2003. An Empirical Study on the Function and Effect of Urban Openspace – Focusing on Urban Roadside Trees –. *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture* 31(2).
- Suwon. 2012. 2020 Suwon park and green space master plan.
- Suwon. 2018. 2030 Suwon urban master plan.
- Suwon. 2019. Update Report of the Survey on Natural Environment and Biotope in Suwon.
- Suwon. 2020. 2030 Suwon park and green space master plan.
- Teng M. et al. 2011. Multipurpose greenway planning for changing cities: A framework integrating priorities and a least-cost path model. *Landscape and urban planning* 103(1): 1-14.
- Wilcox BA, Dennis DM. 1985. Conservation strategy: the effects of fragmentation on extinction. *The American Naturalist* 125(6): 879-887.