

매개중심성 분석을 활용한 서울시 미집행공원 내 사유지 보전 우선순위 평가

황병목¹ · 고동욱^{2*} · 강완모²

¹국민대학교 산림자원학과, ²국민대학교 산림환경시스템학과

Assessing Conservation Priority of Private Land in Unexecuted Urban Parks in Seoul Using Betweenness Centrality Analysis

Byungmook Hwang¹, Dongwook W. Ko^{2*} and Wanmo Kang²

¹Department of Forest Resources, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

²Department of Forestry, Environment, and Systems, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

요약: 2020년 7월 공원일몰제 시행을 앞두고 도시자연공원구역 지정과 관련 법률 개정을 통해 서울시 미집행 도시공원의 실효 시점이 연장되었다. 그러나 미집행 도시공원의 개발이 여전히 가능한 상황에서 공원녹지의 추가적인 토지개발이 예상된다. 이 연구에서는 서울시 미집행 도시공원을 대상으로 향후 공원 내 사유지의 토지전용이 일어날 상황을 가정하고 예상되는 경관 연결성 변화에 따른 우선매입 대상지를 선정하고자 한다. 이를 위해 공원일몰제 시행 전과 후의 토지피복 변화와 생물의 이동능력을 반영한 4가지 경관투과성 시나리오(PB100, PB1, PA100, PA1)를 작성하였다. 이들 시나리오에 기반하여 Connectivity Analysis Toolkit의 전류흐름 매개중심성(current flow betweenness centrality) 방식으로 경관 연결성을 계산하고 미집행공원별 전류흐름 매개중심성 순위 변화를 비교하였다. 분석결과 공원일몰제 시행 이후 상황을 반영한 PA1과 PA100 시나리오에서 서울시 남부에 위치한 미집행 도시공원의 전류흐름 매개중심성 순위가 크게 감소하였고, 한강을 통한 이동이 어려운 PA1 시나리오는 북한산 인근 공원에서 전류흐름 매개중심성 순위가 크게 감소하는 것을 확인하였다. 향후 미집행 도시공원의 환경적·생태적 기능을 고려한 매입방안 모색에 있어 본 연구결과가 도움이 될 것으로 기대된다.

Abstract: The implementation of the sunset provision of unexecuted urban parks in Seoul has been postponed; however, the mentioned parks still remain vulnerable since they can be subject to development under certain circumstances. Local governments may purchase the parks to prevent their loss but are constrained due to limited resources. The purpose of this study is to prioritize the purchase of unexecuted urban parks in Seoul based on landscape connectivity, which represents the important role of allowing the movement of wildlife and providing biodiversity in urban environments. In this study, we used four potential scenarios (PB100, PB1, PA100, PA1), which reflects the degree of land cover change resulting from the implementation of the sunset provision, and the role of Han River as a conduit or barrier for wildlife movement. Landscape connectivity was evaluated by calculating current flow betweenness centrality (CFBC). This was used to rank the importance of the unexecuted urban parks in Seoul. The results demonstrated that the implementation of the sunset provision will greatly decrease the connectivity of all parks in Seoul and particularly more so for parks in the southern part of the city. In addition, the results suggested that the low connectivity of Han river will diminish the connectivity around Bukhansan Mountain in the northern part of Seoul. Our study can be used for the prioritization of purchase, since it has the ability to evaluate the anticipated vulnerability of each park's connectivity after the sunset provision.

Key words: urban ecosystem, urban green space, spatial analysis, graph theory, urban habitat fragmentation, urban wildlife, urban ecological connectivity, landscape permeability

서론

* Corresponding author

E-mail: dwko@kookmin.ac.kr

ORCID

Dongwook Ko  <https://orcid.org/0000-0002-6944-0261>

도시공원은 인간의 토지개발로 인해 녹지가 부족한 도시생태계에서 자연녹지의 환경적, 생태적 기능을 담당한다(Watts et al., 2010). 도시 녹지공간의 파편화는 생물 서

식공간의 구조와 형태를 바꾸고 생물다양성을 감소시킬 수 있다(Reaka-Kudla et al., 1996; Fernández-Juricic, 2004). 서식지 파편화는 서식지 간 거리를 증가시켜 생물의 이동을 제한하고 유전자원의 고립 및 유전자 다양성에 영향을 준다(Knight and Fox, 2000; Mac Nally et al., 2000; Epps et al., 2005). 따라서 공원 등 녹지공간의 유지 및 관리는 도시생태계에서 야생동·식물의 원활한 이동과 유전자 다양성 측면에서 중요하다(Chae et al., 2014).

‘장기 미집행 도시공원 실효제(공원일몰제)’로 다수의 도시공원이 사라질 위기에 놓여 있다. 헌법재판소는 1999년 10월 21일 헌법 불일치로 국가가 개인의 토지이용권을 과도하게 제한해서는 안된다고 결정하였다(97헌바26 도시계획법 제6조 위헌소원). 이에 따라 2000년 이전에 도시계획시설상 공원으로 지정된 토지는 2020년 7월부터 실효제가 적용되어 토지 용도변경 및 건축 등의 행위가 가능하게 되었다.

서울시는 미집행 도시공원의 녹지손실을 최소화하고자 2002년부터 4.92 km²(’02.~’17.), 2.33 km²(’18.~’20.)를 매입하였지만, 여전히 56.7 km²의 도시공원이 미집행시설로 남아있는 상황이다(SMG, 2019a). 이는 경기도에 이어 두 번째로 넓은 미집행 도시공원 면적으로 나타나 공원일몰제 시행 이후 토지개발로 인한 영향과 피해가 타 도시에 비해 상대적으로 클 것으로 예상된다. 서울시는 공원일몰제가 시행되기 앞서 ‘우선보상대상지 보상계획’을 통한 4단계 매입계획과 ‘도시자연공원구역 제도’를 활용하여 현재의 도시공원 면적을 유지할 계획이다(SMG, 2019b). 그러나 제도적 한계와 지자체의 한정된 재정여건, 공시지가 상승, 공원 내 사유지를 둘러싼 이해관계자 간 갈등 등으로 인해 공원일몰제 실효 전까지 모든 미집행공원의 매입은 매우 어려울 것으로 판단된다. 사유지와는 달리 국공유지의 경우, 법률 개정안을 통해 실효 시점이 2030년까지 연장되었다(공원녹지법 제17조).

도시생태계에서 생물종의 이동은 선호하는 경관의 모양과 배치에 따라 선택적인 경로를 나타내기도 하며, 주택건설, 도로 건설과 같은 인위적인 경관 요소들의 배치에 영향을 받게 된다(Opdam, 1991). 그러나 경관 요소의 배열과 요소 간 물리적 거리를 이용한 구조적 연결성만을 보아서는 이를 서식지 간 생물종의 실제 이동과 연관시키는 데에 어려움이 있다(Urban and Keitt, 2001). 반면에 기능적 연결성은 구조적 연결성과 달리 실제로 이동하는 개체의 특성을 파악할 수 있다는 장점이 있지만, 단일 종이라도 자료수집이 어렵고 다수의 종에 대한 일반화된 연결성 지수를 도출하기에도 한계가 있다(Song et al., 2012). 경관 연결성 연구는 기능적 연결성과 구조적 연결성이 가지고 있는 각각의 한계점을 해결하기 위하여 그래프 이론과 경관

투과성 이론 등을 적용한 연구로 발전하였다(Urban and Keitt, 2001).

매개중심성(betweenness centrality)은 경관 연결망에서 노드(Node)가 되는 서식지 간 연결시 특정 서식지를 통과하는 최단경로의 수를 계산하는 방법이다(Wasserman and Faust, 1994; Borgatti and Everett, 2006). 매개중심성이 높은 서식지는 경관 연결망에서 징검다리 역할을 하여 종의 이동과 전파(dispersal) 등 생태적 흐름을 유지 및 조절한다(Minor and Urban, 2007; Bodin and Norberg, 2007; Baranyi et al., 2011). 기존의 연결성 분석은 서식지 패치만을 노드로 분석하지만, 그래프 이론과 경관 투과성 이론을 적용한 비패치 기반의 매개중심성 분석은 서식지를 포함한 주변의 다양한 경관 모자이크를 노드로 분석하여 서식지 간 다양한 경로를 분석할 수 있다는 장점이 있다(Carroll et al., 2012). 따라서 서울시 녹지와 그 주변의 복잡한 경관 특성을 고려할 때, 공원일몰제 시행 이후 공원 내 사유지의 용도변경이 일어난 서울시의 녹지와 미집행공원의 연결성을 파악하고 우선적으로 매입할 토지를 선정하는데 있어 매개중심성 분석이 유용하게 활용될 수 있다.

미집행공원 매입선정을 위한 우선순위 평가와 관련한 연구는 다양하게 진행되었다. Kim et al.(1998)은 GIS를 활용한 지표별 중첩분석을 통하여 미집행공원에 대한 우선순위를 평가하였다. Kang and Park(2011)은 그래프 이론과 통합 연결성 지수를 활용하여 서울시 녹지의 연결성을 분석하였고, Ahn et al.(2014)은 성남시 미집행공원을 대상으로 구조적 연결성과 기능적 연결성을 분석하여 우선순위평가 연구를 진행하였다. 서울시 장기 미집행공원을 대상으로 한 Kang et al.(2018)의 연구는 매개중심성과 도시민의 접근성을 고려하여 경관 규모에서 도시공원의 우선순위를 도출하였다. 대부분의 선행연구가 현재 미집행공원의 가치를 고려하여 우선순위를 평가하였다. 그러나 공원일몰제 이후, 사유지에서 토지전용이 우려되는 상황으로 토지개발에 따른 공원의 생태적 기능 변화와 이에 따른 대응 방안 연구는 부족한 실정이다.

이 연구의 목적은 미집행공원 내 사유지의 용도변경에 의한 도시생태계의 경관 연결성 변화를 파악하는 것이다. 이를 위해 서울시 미집행공원을 대상으로 공원일몰제 시행 전과 시행 이후 매개중심성을 비교한다. 또한, 서울시 육상생태계를 동서로 관통하고 있는 한강이 경관 연결성에 미치는 영향을 파악하기 위해 한강에 서로 다른 경관투과성을 적용한 시나리오를 제작하고 매개중심성을 비교하고자 한다. 이를 통해 공원일몰제 이후 경관 연결성이 크게 감소하는 미집행공원을 우선 매입대상 후보지로 도출하고자 한다.

연구방법

1. 연구대상지

이 연구는 시가화 지역의 비율이 높고 지속적인 도시화가 우려되는 서울시를 대상으로 진행하였다. 서울시 면적은 605.3 km²이며, 지리적으로는 위도 37.4°~37.7°N, 경도 126.7°~127.3°E에 위치하며, 인천광역시와 경기도가 접해있다. 서울시는 북쪽의 북한산(836 m)과 수락산(640 m), 남쪽의 관악산(632 m)과 청계산(616 m)이 도심 내 남산(262 m), 인왕산(338 m), 북악산(342 m), 용마산(348 m) 등과 함께 중-저고도대 산악지형을 이루고 있다(Kong et al., 2014). 또한, 서울을 횡으로 가로지르는 한강 수역과 안양천, 중랑천, 탄천, 홍제천 등 지천이 있어 수변 녹지공간과 더불어 다양한 형태의 서식지가 분포하고 있다.

연구대상지 설정을 위해 국가공간정보포털(<http://www.nsdi.go.kr>)에서 제공하는 서울시 행정구역도(MOLIT, 2019a)를 활용하였다. 경계, 즉 가장자리 영향을 완화하기 위해 행정구역 경계로부터 5 km 반경 내 지역을 연구대상지로 하였다(Figure 1). 국토교통부 토지소유현황 자료(MOLIT, 2019b)의 필지별 정보를 이용하여 미집행공원 내 사유지 현황을 파악하였다.

2. 연구방법

이 연구는 1) 서울시 미집행공원을 소유 구분에 따라 분류한 뒤, 공원일몰제 이후 미집행공원 내 모든 사유지에서 용도변경이 일어날 수 있는 상황을 고려한 경관 투과성 시나리오를 제작하고, 2) 시나리오별 매개중심성을 평가한 후, 3) 공원일몰제 시행 이후 예상되는 매개중심성 변

화를 파악하여 녹지 연결성 유지를 위한 우선보전 대상지를 선정하고, 마지막으로 4) 지자체에서 매년 공시하는 개별공시지가를 활용하여 앞서 제시한 우선보전 대상지의 매입비용을 산출하고 공원일몰제를 대비한 구체적인 매입방안을 제시하고자 하였다(Figure 2).

3. 연결성 분석

1) 경관 투과성 분석과 시나리오

경관 투과성(landscape permeability)은 서식지와 주변의 이질적인 환경에서 특정 종이 이동하기 위해 소비하는 비용(저항계수)을 나타낸다(Singleton et al., 2002). 저항계수가 높을수록 생물이동이 어렵고, 경관 투과성이 높을수록 해당 패치의 생물이동과 유전자 흐름이 우수하다(Kang et al., 2018).

경관 투과성 분석에는 연구대상지를 포함하는 동시에 지속적인 토지변화를 나타낼 수 있는 공간자료로서 지표면의 물리적인 상태를 보여주는 세분류 토지피복도(ME, 2017a)와 함께 전국을 5개 생태등급으로 분류한 국토환경성평가지도(KEI, 2018), 그리고 서울시 장기미집행 도시공원 지도를 이용하였다.

토지피복도는 지표면의 현상과 상태를 잘 반영할 수 있어 비오톱지도와 환경영향평가 등의 작성에 사용된다. 해상도 1m 급의 세분류 토지피복도가 이 연구의 대상지인 도시공원 서식지와 서식지 주변의 이질적인 경관에 대한 토지 특성을 잘 반영할 수 있을 것으로 판단하였다.

국토환경성평가지도(The Environmental Conservation Value Assessment Map; ECVAM)는 생태적 가치가 높을수록 높은 등급(1등급)을 가진다(KEI, 2018). 국토환경성

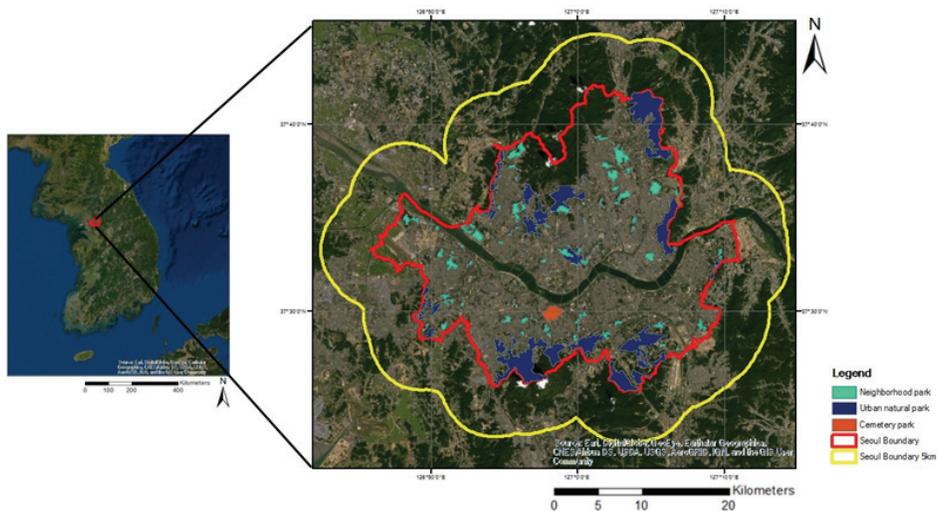
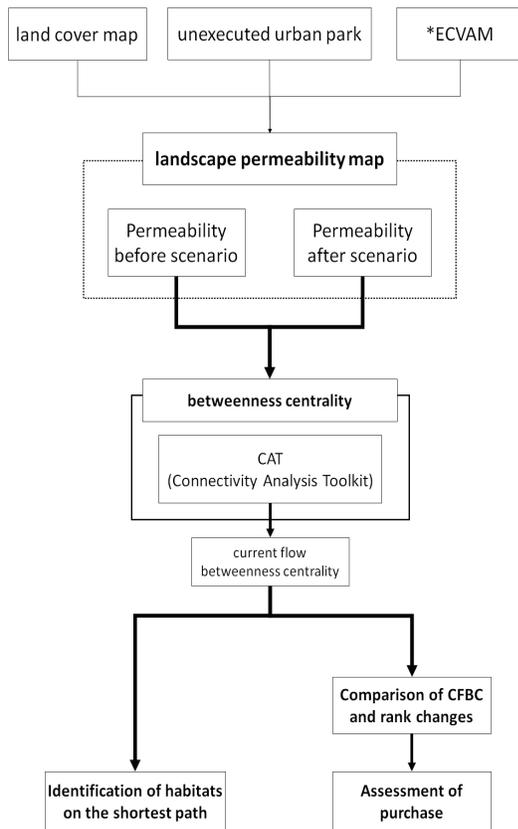


Figure 1. Study site with 5km buffer area(yellow line), administrative boundary(red line) and urban parks in Seoul.



*ECVAM: Evaluation Conservation Value Assessment Map

Figure 2. A study flow of betweenness centrality analysis for the conservation priority assessment of unexecuted urban parks in Seoul.

평가지도는 기타 환경부문의 어린이공원, 근린공원, 도시자연공원구역 등 도시공원에 해당하는 지역들이 평가항목에 속해있어 연구대상지인 서울시 도시공원을 평가하기에 적합하다. 또한, 환경·생태적 평가항목을 통하여 생물의 서식지 적합성을 평가하는 데에 활용할 수 있다.

경관 투과성 계수는 서울시 미집행공원을 대상으로 토지의 일반적인 특성을 바탕으로 경관 투과성 계수를 제시한 Kang et al.(2018)을 토대로 피복 유형과 생태등급에 따라 최대 500에서 최소 1(시가화지역)을 부여하였다(Table 1). 국토환경성평가지도에서 가장 높은 1등급의 경과 투과성 계수는 5로, 가장 낮은 5등급은 1로 적용하였다. 토지피복도는 대상지를 7개의 대분류체계로 분류한 뒤 경관 투과성 계수를 적용하였다. 두 지도를 포함한 모든 지도자료는 30 m 해상도의 래스터 지도자료로 변환하여 사용하였다.

서울시 미집행 도시공원(Unexecuted Urban Park; UUP) 지도자료는 서울연구원(SDI, 2011)에서 제공한 86개 미집행 도시공원 자료를 활용하였다. 특히, 미집행공원 지도자료는 앞선 두 자료에서 나타나지 않는 길이 30 m 미만의 소규모 미집행공원의 경관 투과성 반영에 유용하였다. 미집행공원 지역의 경관 투과성은 100, 공원 외의 지역에는 1의 값을 추가로 부여하였다.

이 연구에서는 공원일몰제 시행 후 사유지에서의 토지피복변화와 함께 한강과 같이 너비가 넓은 수역에서 생물의 이동능력 차이를 반영하고자 총 4가지의 시나리오를 적용하였다(Teng et al., 2011; Heo et al., 2015; Kang et al., 2018).

Table 1. Landscape permeability of the land cover map and the Environmental Conservation Value Assessment Map (ECVAM).

Land cover	ECVAM	Landscape permeability	Land cover	ECVAM	Landscape permeability
Forest (100)	1(5)	500	Barren (20)	1(5)	100
	2(4)	400		2(4)	80
	3(3)	300		3(3)	60
	4(2)	200		4(2)	40
	5(1)	100		5(1)	20
Wetland (100)	1(5)	500	Water (20)	1(5)	100
	2(4)	400		2(4)	80
	3(3)	300		3(3)	60
	4(2)	200		4(2)	40
	5(1)	100		5(1)	20
Grassland (30)	1(5)	150	Agricultural land (10)	1(5)	50
	2(4)	120		2(4)	40
	3(3)	90		3(3)	30
	4(2)	60		4(2)	20
	5(1)	30		5(1)	10
Built-up area (1)	1(5)	5			
	2(4)	4			
	3(3)	3			
	4(2)	2			
	5(1)	1			

수역은 대다수 생물에게 수자원 공급과 서식지를 제공하는 중요한 경관 요소이지만, 동물 이동에 대한 영향의 관점에서는 상반된 견해가 존재한다. 수역의 너비가 넓으면 육상 포유류 등의 특정 종에게 이동을 제한하는 장애 요소가 될 수 있으나(Singleton et al., 2002; Oh et al., 2011), 반대로 조류와 같은 동물의 경우 이동에 큰 영향을 미치지 않거나 도움을 줄 수도 있다(Kang and Park, 2015). 이 같은 다양한 견해를 반영할 수 있도록 수역에 서로 다른 저항계수를 적용한 경관 투과성 시나리오 지도를 제작하였다.

2) 매개중심성 분석

시나리오별 미집행공원의 매개중심성 분석은 인접한 육각형 노드 간 연결 관계를 통하여 개별 노드의 전류흐름 매개중심성(current flow betweenness centrality)을 분석할 수 있는 Connectivity Analysis Toolkit(Carroll et al., 2012; CAT)을 활용하였다. CAT는 서식지와 주변의 이질적인 경관을 육각형 노드로 구성하여 노드의 매개중심성을 계산하는 프로그램으로 다양한 분석방법을 통해 연결성 지표를 제시한다(Klamath Center for Conservation Research, 2010). 그 중 전류흐름 매개중심성은 회로 이론을 기반으로 모든 노드 쌍에 대하여 무작위 행보(Random walk)로 이동하였을 때, 관심 노드를 통과하는 빈도수로 노드의 연결성을 평가한다(Newman, 2005; McRae et al., 2008; Carroll et al., 2012). 전류흐름 매개중심성은 노드들 간 최단거리 경로들과 함께 이들 경로 주변에 위치한 대안 경로도 고려하여 연결성 정보를 제공하기 때문에 파편화된 미집행공원의 연결성 비교에 용이할 것으로 판단된다. 이 연구에서의 노드 크기는 도시공원 등 녹지 크기와 활용된 공간지도들의 해상도를 고려하여 1ha로 설정하였다.

미집행공원의 평균 전류흐름 매개중심성 값은 시나리오별 서열을 매겨 공원일몰제 시행 전(Permeability Before: PB)시나리오와 시행 후(Permeability After: PA) 시나리오의 순위 변화 분석으로 미집행공원의 연결성 정도를 비교하였다(식 1).

$$P_{100} = Rank_{PB100} - Rank_{PA100} \quad (1)$$

여기서, P_{100} (Priority)은 한강의 경관 투과성이 100일 때 미집행공원의 평균 전류흐름 매개중심성의 순위(Rank) 변화량을 의미한다. 이때 P_{100} 는 공원일몰제 시행 전 미집행공원의 평균 전류흐름 매개중심성 순위인 $Rank_{PB100}$ 에서 공원일몰제 시행 후 미집행공원의 평균 전류흐름 매개중심성 순위인 $Rank_{PA100}$ 을 뺀 값으로 계산하였다.

마찬가지로 P_1 은 한강의 경관 투과성이 1일 때, 미집행공원의 평균 전류흐름 매개중심성의 순위 변화량을 의미

하며, P_{100} 과 동일한 방법으로 계산하였다(식 2).

$$P_1 = Rank_{PB1} - Rank_{PA1} \quad (2)$$

3) 우선매입대상지 선정

전류흐름 매개중심성 순위 감소가 큰 공원을 우선매입대상지로 선정하였다. 이 연구에서는 2019년 8월 20일에 결정·공시된 개별공시지가(MOLIT, 2019c)를 활용하여 미집행공원의 사유지를 매입하기 위한 예상비용을 제시하였다.

전류흐름 매개중심성 값 순위 비교가 공원의 실제 전류흐름 매개중심성 값 변화를 나타낼 수 있는지 파악하기 위하여 본래의 매개중심성 값 변화와 서열 변화 간 스피어만 순위 상관계수(Spearman's rank correlation coefficient)와 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient)를 구하였다. 상관분석을 위해 R version 3.5.3(R Core Team, 2019)을 활용하였다. 경관 투과성 지도를 포함한 공간자료 작성 및 시각화를 위해 ArcMap version 10.2(ESRI, 2012)를 활용하였다.

결과 및 고찰

1. 경관 투과성 지도

첫 번째 시나리오는 수역, 특히 한강을 서식지와 이동통로로 이용할 수 있는 생물을 대상으로 한강에 경관 투과성 100('수역'×'1등급')을 할당할 PB(Permeability Before)100 시나리오이다. 두 번째 시나리오는 한강을 통한 이동이 어려운 중대형 포유류 및 기타 동·식물을 고려하여 한강에 시가화 지역과 동일한 경관 투과성 계수(1)를 할당할 PB1 시나리오이다. 추가 시나리오로 세 번째와 네 번째 시나리오는 공원일몰제 시행 이후의 상황을 반영하는 것으로, 미집행공원 내 사유지가 모두 시가화 지역으로 전환되는 극단적인 상황을 가정하여 해당 사유지의 경관 투과성을 모두 1로 설정하였다. 따라서 세 번째와 네 번째 시나리오는 각각 PB100과 PB1에서 미집행공원 내 사유지의 경관 투과성을 1로 설정한 PA(Permeability After)100 시나리오와 PA1 시나리오이다(Figure 3).

2. 전류흐름 매개중심성 분포 패턴

PB100 시나리오에서 전류흐름 매개중심성은 북한산, 수락산, 관악산, 청계산 등 대규모 자연 서식지를 형성하는 산림지역과 한강을 중심으로 높은 경향을 보였다 [Figure 4(a)]. PB100 시나리오에서 상위 연결성 값을 갖는 도시공원에는 까치산근린공원과 망우리모지공원, 명일근린공원, 향림공원, 향동근린공원 등이 있었으며, 이들 모두 PB1 시나리오에서도 높은 전류흐름 매개중심성을 갖

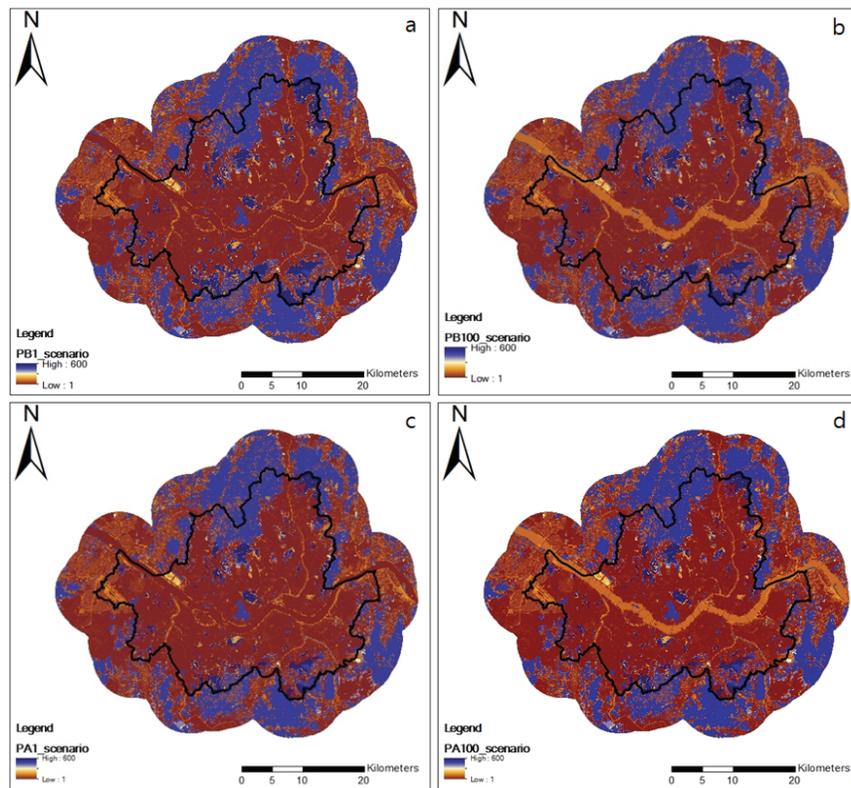


Figure 3. Landscape permeability maps with PB1(a), PB100(b), PA1(c), and PA100(d) scenario in study area.

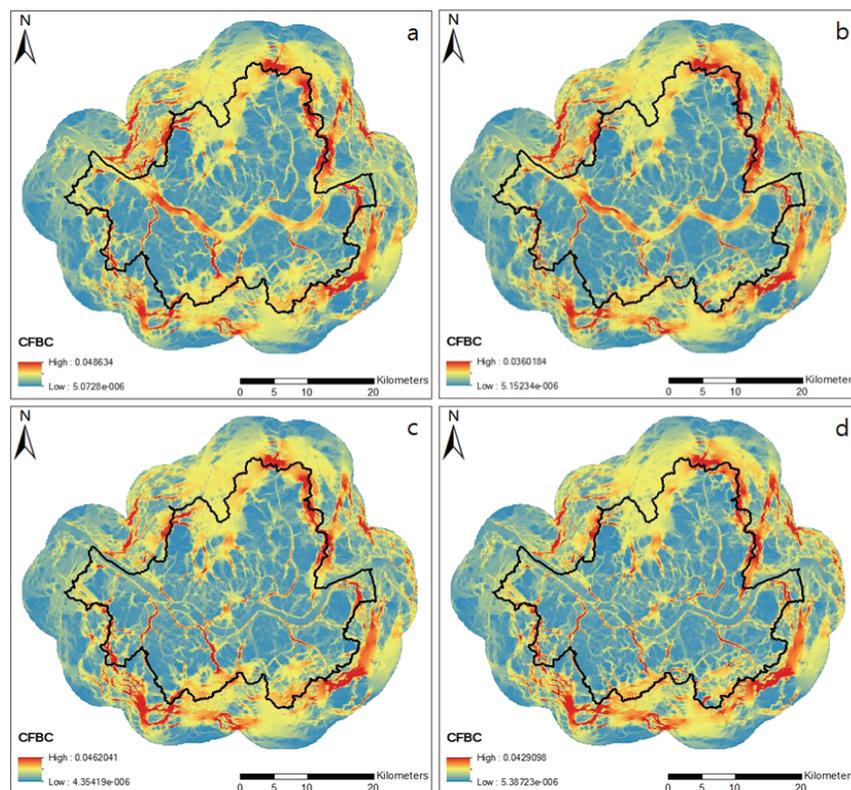


Figure 4. CFBC in PB100(a), PA100(b), PB1(c), and PA1(d) scenario.

는 공원으로 나타났다[Figure 4(c)].

한강의 경관 투과성 감소는 구로구 천왕도시자연공원, 갈산근린공원 등의 전류흐름 매개중심성 값을 증가시켰다. 천왕도시자연공원은 주변에 분포하는 개울산공원과 원미산, 도덕산 등 소규모 녹지 패치들 사이에 위치한 공원으로서 주변 녹지들을 이어줄 수 있는 역할을 하고 있다. 구로구에 위치한 갈산근린공원은 서쪽으로 계남근린공원과 매봉산이 위치하고 있어 천왕도시자연공원과 마찬가지로 주변 패치의 대안경로 역할을 하는 것으로 판단된다. 은평구에 위치한 녹변동근린공원과 구산근린공원, 불광근린공원이 PB1과 PB100 시나리오 모두에서 낮은 전류흐름 매개중심성을 보여 주변 녹지와 연결성은 약한 것으로 나타났다.

강남구 탄천 인근에 위치한 돌산근린공원과 광평근린공원은 PB1 시나리오와 PB100 시나리오 모두에서 낮은 전류흐름 매개중심성을 보여 경관 연결성 측면에서 현재 공원의 생태적 가치가 낮은 것으로 나타났다. 그러나 미집행공원의 경관 연결성은 추후 목표종의 이동특성에 따라 다르게 산출될 수 있다(Singleton et al., 2002; Teng et al., 2011). 이를 보완하기 위해 서울시에서 지정한 서울시 보호종(SMG, 2017)과 환경부에서 지정한 멸종위기종(ME, 2017b) 등 구체적이고 다양한 목표종을 대상으로 공원의 생태적 연결성과 환경적 기능 평가가 필요하며, 이에 따른 세부 관리방안 마련이 요구된다(Lee et al., 2009, Han et al., 2011).

이 연구에서 설정한 대상지에서 전류흐름 매개중심성은 서울시 행정구역으로부터 5 km 이내 지역인 완충지역을 중심으로 높게 나타났다. 이는 서울시와 인접한 경기도에 대규모 산림과 다수의 도시녹지가 위치하고 있고 도시 내

부는 파편화된 녹지분포를 보이기 때문에 완충지역의 매개중심성이 높게 형성된 것으로 분석된다(Kang et al., 2018).

서울시와 인접한 북한산 국립공원은 사유지가 약 30%를 차지하고 있으며, 특히 특별보호구역에 사유지가 위치하고 있어 국립공원의 효율적인 자연자원 관리와 보호에 어려움을 겪고 있다(Kim et al., 2005). 국가가 국립공원 내 보호할 가치가 높은 핵심지역의 사유지를 지속적으로 매수하고 있는 상황이지만 미집행공원과 마찬가지로 한정된 예산과 높은 매입비용으로 모든 사유지를 매입하는 것은 한계가 있다. 따라서 도시생태계와 인접한 북한산 국립공원의 지리적 특성과 집중관리지역 내 사유지 상황을 고려하여 이들 지역을 점진적으로 매입하기 위한 방안으로 매개중심성 분석을 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 시나리오 적용에 따른 전류흐름 매개중심성 비교

P100 시나리오에서 연구대상지 내 서울시 행정구역의 전류흐름 매개중심성은 공원일몰제 시행 이후 사유지의 용도변경으로 4.8% 감소한 것으로 나타났다(Table 2). 미집행공원의 전류흐름 매개중심성은 서울시 전체 전류흐름 매개중심성보다 높았으며, 공원일몰제 시행에 따라 평균 전류흐름 매개중심성이 25% 감소하는 것으로 나타났다(Table 2).

P100 시나리오와 마찬가지로 P1 시나리오의 평균 전류흐름 매개중심성은 서울시와 미집행공원에서 각각 3.9%, 24.1% 감소하는 것으로 나타났다. P100 시나리오보다 P1 시나리오에서 전류흐름 매개중심성의 평균값이 높았고, 미집행공원의 전류흐름 매개중심성 감소폭은 다소 낮은 것으로 나타났다(Table 3).

Table 2. CFBC change between the PB100 and PA100 scenario.

CFBC (10^{-6})	Seoul		UUP	
	PB100	PA100	PB100	PA100
Mean	2,891.5	2,754.0	5,659.1	4,196.0
Standard deviation	2,766.6	2,599.4	2,970.3	3,069.3
Maximum	48,634.0	34,097.7	47,353.1	29,178.8
Minimum	44.4	37.8	75.7	37.8

Table 3. CFBC change between the PB1 and PA1 scenario.

CFBC (10^{-6})	Seoul		UUP	
	PB1	PA1	PB1	PA1
Mean	2,914.0	2,799.9	5,978.9	4,536.6
Standard deviation	2,756.4	2,636.7	2,857.8	3,221.5
Maximum	46,204.1	42,909.7	44,751.7	29,068.5
Minimum	51.7	40.7	88.2	40.7

P1 시나리오에서 한강 수역의 경관 투과성이 1로 크게 감소했지만, 대상지 전체의 전류흐름 매개중심성은 오히려 증가하였다. 이는 한강으로의 이동이 제한되면서 대규모 공원의 일부 지역과 주변의 소규모 녹지의 경관 연결성이 증가하였고 전체 전류흐름 매개중심성이 증가한 것으로 보인다(Figure 4). 이와는 반대로 P100 시나리오에서는 한강이라는 거대한 수역과 한강 주변의 대규모 녹지를 통한 이동이 가능하기 때문에 면적이 작은 공원의 전류흐름 매개중심성이 상대적으로 낮게 평가되었다. 따라서 생물종의 이동특성에 따라 도시공원의 관리방안을 달리하여 경관 연결성을 개선하는 것이 적절할 것이다.

미집행공원의 연결성 변화 파악을 위해 P100과 P1 시나리오에서 사유지 용도변경에 따른 공원별 평균 전류흐름 매개중심성의 순위를 비교하였다. P100 시나리오에서 미

집행공원의 순위는 최대 -40위에서 +20위까지 변화하였다. 순위가 가장 많이 떨어진 공원은 천왕도시자연공원으로 PB100 시나리오에서 11위를 차지하였다가 PA100 시나리오에서 51위를 차지하여 총 40위가 하락하였다. 이 외에 순위 감소 폭이 큰 공원에는 우면산도시자연공원(-26)과 청계산도시자연공원(-23) 등이 포함되었다. 이는 공원 내 사유지가 개발될 시 서울시 남부에 위치한 대규모 녹지의 경관 연결성이 크게 감소함을 의미한다. 이와 함께 중간 순위권에 위치하였던 광평근린공원과 세곡근린공원, 염창근린공원, 장지근린공원의 순위가 20에서 30위 넘게 하락하였다(Table 4). 순위 감소 폭이 큰 공원들 대부분이 한강 남쪽에 위치하고 있어 공원일몰제 이후 사유지가 개발될 시 한강 이남에 있는 미집행공원의 연결성이 다른 지역에서보다 상대적으로 크게 감소할 것으로 판단된다[Figure 5(a)].

Table 4. CFBC change and rank change(P) ranked within the bottom 10 UUP in the P100 and P1 scenario.

P100 scenario		P1 scenario	
UUP	ΔP	UUP	ΔP
Cheonwang urban natural park	-40	Cheonwang urban natural park	-38
Gwangpyeong neighborhood park	-32	Segok neighborhood park	-37
Segok neighborhood park	-30	Bangbae neighborhood park	-31
Yeomchang neighborhood park	-27	Cheonggyesan urban natural park	-31
Umyeonsan urban natural park	-26	Gildong ecological park	-28
Jangji neighborhood park	-26	Jingwan neighborhood park	-26
Cheonggyesan urban natural park	-23	Umyeonsan urban natural park	-25
Dolsan neighborhood park	-18	Tapgol ecological park	-25
Jingwan neighborhood park	-17	Gwangpyeong neighborhood park	-23
Gildong ecological park	-16	Yongmasan urban natural park	-20

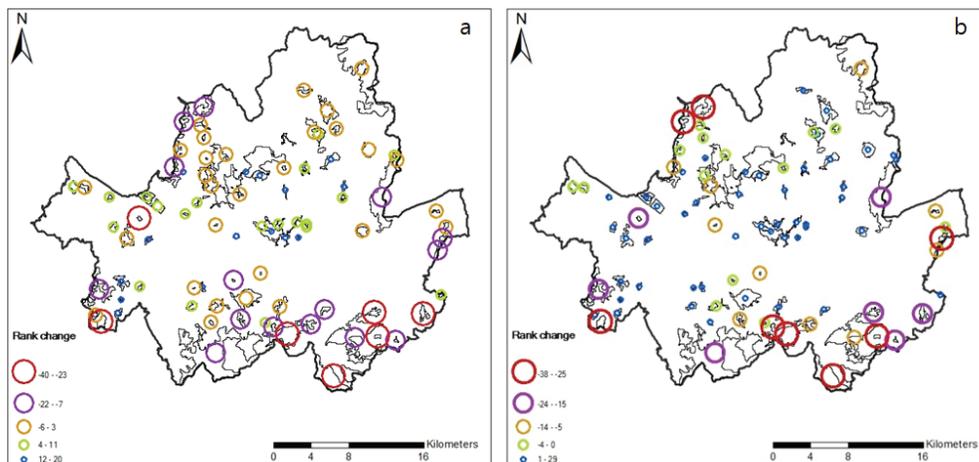


Figure 5. Rank change of UUP in the P1(a) and P100(b) scenario.

P1 시나리오에서 매개중심성 순위 변화는 최대 -38위에서 +29위까지 나타났다. 20위 이상 하락한 공원에는 용마자연도시공원과 우면산도시자연공원, 청계산 도시자연공원, 천왕도시자연공원 등이 포함된다. P100 시나리오와 마찬가지로 이들 대규모 공원녹지에서의 경관 연결성 감소가 예상된다. 특히, 천왕도시자연공원(-38)과 세곡근린공원(-37)은 P100 시나리오(각각 -40, -30)와 마찬가지로 순위 감소 폭이 큰 것으로 나타나 한강의 경관 투과성 변화와 상관없이 사유지 용도변경에 따른 서식지 연결성 감소가 우려된다 (Table 4). 한강의 생물이동이 제한되는 P1 시나리오에서는 평균에 있는 진관근린공원과 탑골근린공원의 순위가 크게 감소하였다. 사유지 용도변경 이후 북한산과 망월산, 난지한강공원을 잇는 서식지 연결성 감소가 예상된다[Figure 5(b)].

PA1과 PA100 시나리오는 공원일몰제 시행 이후 미집행 공원 내 모든 사유지가 시가지 및 건조 지역으로 변하는 극단적인 상황을 가정하고, 이들 지역에는 가장 낮은 경관 투과성 계수를 적용하였다. 그러나 실제로 공원일몰제 시행 이후 모든 사유지가 일제히 시가지 지역으로 변경될지는 미지수다. 향후 보다 정교한 연결성 평가를 위해 사유지별 토지개발 압력에 따른 다양한 토지피복 시나리오를 고려한 시계열 분석이 요구된다(Kang et al., 2018).

4. 우선매입대상지 선정

서울시의 ‘우선보상대상지 보상계획(2019)’에서 제시한 1단계와 2단계 보상액을 기준으로 매입이 가능한 미집행 공원을 선정하였다(Table 5). 우선, P1 시나리오에서 1단

Table 5. Compensation plan for unexecuted urban parks (SMG, 2019b).

Purchase plan (year)	Estimated expenses (10 ⁹ won)	Accumulated cost (10 ⁹ won)
1st (2018-2020)	16,062	16,062
2nd (2021-2024)	9,336	25,398
3rd (2025-2027)	8,880	34,278
4th (2028 ~)	90,530	124,808

Table 6. Purchase cost for Private Land(PL) in the top 20 UUPs in P1 and P100 scenarios.

Rank	P1 scenario				P100 scenario			
	UUP	PL (%)	Cost (10 ⁹ won)	Cumulative Cost (10 ⁹ won)	UUP	PL (%)	Cost (10 ⁹ won)	Cumulative Cost (10 ⁹ won)
1	Cheonwang urban natural park	87.9	417	-	Cheonwang urban natural park	87.9	417	-
2	Segok neighborhood park	98.8	102	519	Gwangpyeong neighborhood park	97.1	1,085	1,502
3	Bangbae neighborhood park	86.8	527	1,046	Segok neighborhood park	98.8	102	1,604
4	Cheonggyesan urban natural park	62.6	1,292	2,338	Yeomchang neighborhood park	77.8	372	1,976
5	Gildong ecological park	85.6	369	2,707	Umyeonsan urban natural park	75.4	3,501	5,477
6	Jingwan neighborhood park	67.8	1,435	4,142	Jangji neighborhood park	92.8	282	5,759
7	Umyeonsan urban natural park	75.4	3,501	7,643	Cheonggyesan urban natural park	62.6	1,292	7,051
8	Tapgol ecological park	85.5	478	8,121	Dolsan neighborhood park	92.2	103	7,154
9	Gwangpyeong neighborhood park	97.1	1,085	9,206	Jingwan neighborhood park	67.8	1,435	8,589
10	Yongmasan urban natural park	57.8	2,949	12,155	Gildong ecological park	85.6	369	8,958
11	Yeomchang neighborhood park	77.8	372	12,527	Bangbae neighborhood park	86.8	527	9,485
12	Jangji neighborhood park	92.8	282	12,809	Bongsan urban natural park	48.6	1,054	10,539
13	Dolsan neighborhood park	92.2	103	12,912	Maljukgeori neighborhood park	77.8	976	11,515
14	Gwanaksan urban natural park	43.5	13,251	26,163	Yongmasan urban natural park	57.8	2,949	14,464
15	Onsu urban natural park	77.9	1,697	27,860	Tapgol ecological park	85.5	478	14,942
16	Ansan urban natural park	32.7	172	28,032	Gwanaksan urban natural park	43.5	13,251	28,193
17	Iljanhaemaji neighborhood park	54.5	159	28,191	Iljanhaemaji neighborhood park	54.5	159	28,352
18	Maljukgeori neighborhood park	77.8	976	29,167	Yongbongjeong neighborhood park	62.3	129	28,481
19	Buramsan urban natural park	46.7	2,273	31,440	Daemosan urban natural park	49.1	7,353	35,834
20	Dongbinggo neighborhood park	56.3	563	32,003	Dogok neighborhood park	52.2	1,012	36,846

계 보상액으로 매입 가능한 공원들은 순위 감소 폭이 가장 컸던 천왕도시자연공원부터 13위를 차지한 돌산근린공원으로 확인되었다. 2단계 누적보상액을 적용해본 결과, 추가적인 매입은 어려운 것으로 나타났다. 이는 14위를 차지하고 있는 관악산도시자연공원의 매입비용(1조 3,251억 원)이 월등히 높았기 때문이다. P100 시나리오에서는 1단계 보상액을 기준으로 총 15개 공원의 사유지를 매입할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 2단계 누적보상액을 고려한 공원 매입에서는 P100 시나리오와 마찬가지로 관악산도시자연공원의 높은 매입비용으로 인하여 추가 매입은 어려운 것으로 나타났다(Table 6).

이 연구에서는 시나리오를 적용하여 전류흐름 매개중심성이 크게 감소한 공원을 우선매입대상지로 선정하였다. 그러나 이들 공원의 모든 사유지에서 연결성이 감소한 것은 아니다. 공원일몰제 시행 이후 일부 사유지에서는 연결성이 유지되는 곳이 존재하였으며, 부분적으로 연결성이 증가하는 지역도 발생하였다(Figure 6). 이는 녹지면적 감소가 부분적인 서식지 연결성을 증가시킨 것으로 공원일몰제 이후 주변의 녹지가 사라져 해당 지역으로 생물의 이동이 집중될 수 있음을 의미한다.

P100 시나리오에서 길동생태공원과 탑골생태공원의 전

류흐름 매개중심성 순위 감소 폭은 천왕도시자연공원과 비교하였을 때 상대적으로 적었으나, PB100과 PA100 시나리오에서 두 공원의 전류흐름 매개중심성은 천왕도시자연공원보다 높았다(Table 7). 이는 현재 두 공원이 천왕도시자연공원보다 서식지 연결성 유지를 위한 보전가치가 상대적으로 높다는 것을 의미한다. 따라서, 향후 매입 방안은 공원 전체의 연결성이 크게 감소하는 지역과 함께 기존의 높은 연결성을 갖는 공원, 일몰제 이후 연결성이 높게 형성되는 공원 내 일부 지역 등을 복합적으로 고려할 필요가 있다.

전류흐름 매개중심성 변화량과 전류흐름 매개중심성 순위 변화 간 상관분석 결과, P100 시나리오에서 피어슨과 스피어만 순위 상관계수는 각각 0.61과 0.86으로 높은 양의 상관관계를 보였다(N=86, P<0.05). P1에서도 각각 0.71과 0.86으로 높은 양의 상관관계를 보였다(N=86, P<0.05). 이는 사유지 개발로 인해 전류흐름 매개중심성 순위 감소 폭이 큰 미집행공원은 서식지 연결성도 크게 감소함을 의미한다. 따라서, P1과 P100 시나리오에서 전류흐름 매개중심성의 순위 비교를 통한 우선매입대상지 선정이 미집행공원의 서식지 연결성 감소를 반영할 수 있을 것으로 판단된다.

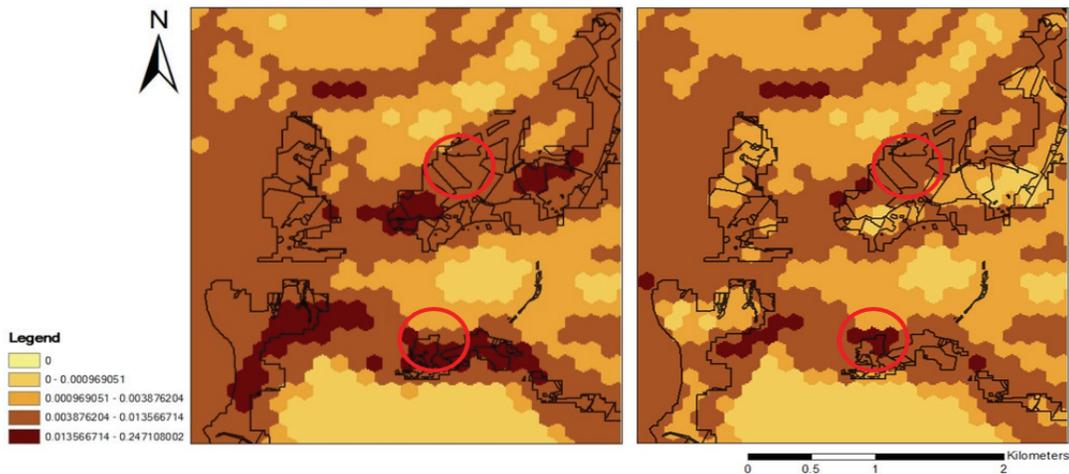


Figure 6. CFBC in Jingwan neighborhood park in the PB100(left) and PA100(right) scenario. The red open circles indicate increase of CFBC between PB100 and PA1 scenario.

Table 7. CFBC and rank change of the three unexecuted urban parks in P100 scenario.

UUP	CFBC _{PB}	CFBC _{PA}	△CFBC	△P
Cheonwang urban natural park	0.008939	0.003577	-0.00536	-40
Gildong ecological park	0.010011	0.004942	-0.00507	-16
Tapgol ecological park	0.010198	0.005123	-0.00507	-13

결 론

이 연구는 서울시 미집행공원을 대상으로 공원일몰제 시행에 따른 전류흐름 매개중심성 변화를 순위에 따라 평가하고 우선매입대상지를 선정하는 연구이다. 전류흐름 매개중심성은 1에서 600으로 구성된 4가지 경관 투과성 시나리오를 구축하여 분석하였다. 이 연구에서는 PB와 PA 시나리오의 전류흐름 매개중심성을 통해 공원일몰제 시행에 따른 서울시 미집행공원의 경관 연결성 변화를 확인하였으며, P100과 P1 시나리오를 통해 너비가 넓은 수역이 도시경관에 존재할 때 경관 연결성의 차이를 확인하였다. 전체 미집행공원의 44%를 차지하고 있는 사유지가 모두 시가화 지역으로 변경될 경우 사유지 면적비율이 높은 공원들의 서식지 감소와 심각한 불편화가 우려된다.

P100과 P1 시나리오 모두에서 공원일몰제 시행 이후 서울시와 미집행공원의 전류흐름 매개중심성은 감소하는 것으로 나타났다. P100 시나리오에서 매개중심성 순위가 크게 감소한 공원에는 천왕도시자연공원과 함께 서울시 남쪽에 주로 위치한 공원들로 나타났으며, P1 시나리오에서도 이와 비슷한 결과가 도출되었다. 공원일몰제 시행 이후 사유지가 개발될 시, 특히 한강 이남에 위치한 공원에서 서식지 연결성이 크게 감소하여 생태적 흐름이 저하될 것으로 예상된다. 한강의 이동이 제한되는 P1 시나리오에서는 북한산과 연결되는 은평구 주변 공원의 전류흐름 매개중심성 순위가 크게 감소하는 것으로 나타났다.

서울시의 예산을 고려했을 때 공원일몰제 시행까지 전체 86개의 서울시 미집행공원 중 15개 이내의 공원 사유지만을 매입할 수 있는 것으로 나타났다. 전류흐름 매개중심성 분석을 활용한 경관 연결성 분석은 징검다리 역할을 하는 공원 및 산림을 선정할 수 있어 도시생태계에서 부족한 녹지를 보호하고 관리하는데 용이할 것으로 기대된다. 공원일몰제 시행 이후 공원녹지의 토지이용변화가 불가피한 상황에서 향후 매입계획은 공원 단위의 매입계획에서 공원 내 필수 매입지역을 설정하는 등의 전략적인 매입을 통하여 경관 연결성을 유지하는 동시에 도시공원의 다양한 환경·생태·문화적 기능을 반영한 매입계획 수립이 필요할 것으로 판단된다.

이 연구에서는 한강이라는 거대한 수역이 도시경관에 존재할 때 생물종의 이동능력을 반영하고자 두 가지 경관 투과성 시나리오를 적용하였다. 하지만 생물의 이동은 종과 생태적 특성에 따라 차이가 있어 구체적인 목표종 설정을 통한 경관 투과성 시나리오 구축이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 공원일몰제 시행 이후 사유지에서 예상되는 다양한 용도변경과 개발여건을 고려하여 경관 투과성 시

나리오를 구성한다면 향후 미집행공원 내 사유지의 체계적인 매입계획 선정에 도움이 될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 ‘산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(2019150B10-2023-0301)’의 지원으로 이루어진 것이며, 주저자의 석사학위논문을 수정·보완하여 발전시킨 논문입니다.

References

- Ahn, Y.J., Lee, D.K., Kim, H.G. and Mo, Y.W. 2014. Applying connectivity analysis for prioritizing unexecuted urban parks in Sungnam. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 17(3): 75-86. (in Korean)
- Baranyi, G., Saura, S., Podani, J. and Jordán, F. 2011. Contribution of habitat patches to network connectivity: Redundancy and uniqueness of topological indices. *Ecological Indicators* 11(5): 1301-1310.
- Bodin, Ö. and Norberg, J. 2007. A network approach for analyzing spatially structured populations in fragmented landscape. *Landscape Ecology* 22(1): 31-44.
- Borgatti, S.P. and Everett, M.G. 2006. A graph-theoretic perspective on centrality. *Social Networks* 28(4): 466-484.
- Carroll, C., McRAE, B.H. and Brookes, A. 2012. Use of linkage mapping and centrality analysis across habitat gradients to conserve connectivity of gray wolf populations in western North America. *Conservation Biology* 26(1): 78-87.
- Chae, J.H., Zoh, K.J., Kim, S.J., Hoh, Y.K. and Hwang, J.Y. 2014. A Study on operational systems & planning contents of parks & green space plan-focused on London, New York, Berlin, Sydney, Seoul. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 42(2): 91-102. (in Korean)
- Epps, C.W., Palsbøll, P.J., Wehausen, J.D., Roderick, G.K., Ramey, R.R. and McCullough, D.R. 2005. Highways block gene flow and cause a rapid decline in genetic diversity of desert bighorn sheep. *Ecology Letters* 8(10): 1029-1038.
- ESRI. 2012. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Fernández-Juricic, E. 2004. Spatial and temporal analysis of the distribution of forest specialists in an urban-fragmented landscape (Madrid, Spain): implications for local and regional bird conservation. *Landscape and Urban Planning*,

- 69(1): 17-32.
- Han, B.H., Lee, K.J., Ki, K.S. and Choi, B.E. 2011. A study for selecting protected wildlife species and potential habitats in Seoul Metropolitan City. *Korean Journal of Environment and Ecology* 25(4): 601-613. (in Korean)
- Heo, H.K., Lee, D.K. and Mo, Y.W. 2015. The selection of suitable site for park and green spaces to increase accessibility and biodiversity. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 18(5): 13-26. (in Korea)
- Kang, J.E., Choi, H.S., Hwang, H.S. and Lee, S.H. 2018. Analysis of ecological network according to invalidation of decision on urban parks: Focused on Busan. *Journal of Environmental Impact Assessment* 27(6): 618-634. (in Korean)
- Kang, W.M. and Park, C.R. 2011. Quantitative analysis of seoul green space network with the application of graph theory. *Korean Journal of Environment and Ecology* 25(3): 412-420. (in Korean)
- Kang, W.M. and Park, C.R. 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)
- Kang, W.M., Song, Y.K., Sung, H.C. and Lee, D.K. 2018. Assessing conservation priorities of unexecuted urban parks in Seoul using ecological network and accessibility analyses. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 21(2): 53-64. (in Korean)
- Kim, J.M., Lee, G.G. and Jo, S.H. 2005. Alternative solutions to mitigate conflicts on private land for reasonable management of national parks in Korea. *Korea Planning Association* 40(5): 47-57. (in Korean)
- Kim, Y.J., Lee, I.S. and Lee, S.M. 1998. Establishing the development priority of undeveloped urban parks using GIS. *The Journal of GIS Association of Korean* 6(1): 35-45. (in Korean)
- Klamath Center for Conservation Research. 2010. Connectivity Analysis Toolkit. http://www.klamathconservation.org/science_blog. (2019. 10).
- Knight, E.H. and Fox, B.J. 2000. Does habitat structure mediate the effects of forest fragmentation and human-induced disturbance on the abundance of *Antechinus stuartii*? *Australian Journal of Zoology* 48(5): 577-595.
- Kong, W.S., Kim, K.O., Lee, S.G. and Park, H.N. 2014. Landscape ecology and management measure of urban mountain forest in Seoul. *Journal of Environmental Impact Assessment* 23(3): 208-219. (in Korean)
- Korea Environment Institute (KEI). 2018. The environmental conservation value assessment map (ECVAM). <https://ecva.m.neins.go.kr/contents/contents03.do> (2020. 05. 02).
- Lee, D.K., Kim, B.M. and Song, W.K. 2009. Relationship between the Birds-Mammals' Distribution and Forest area, Land cover. *Journal of Korean Society of Rural Planning* 15(2): 19-26. (in Korean)
- Mac Nally, R., Bennett, A.F. and Horrocks, G. 2000. Forecasting the impacts of habitat fragmentation. Evaluation of species-specific predictions of the impact of habitat fragmentation on birds in the box-ironbark forests of central Victoria, Australia. *Biological Conservation* 95(1): 7-29.
- McRae, B.H., Dickson, B.G., Keitt, T.H. and Shah, V.B. 2008. Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology* 89(10): 2712-2724.
- Ministry of Environment (ME). 2017a. The detailed-class land cover map. <http://www.neins.go.kr/gis/mun01/doc03a.asp>. (2019. 10. 22).
- Ministry of Environment (ME). 2017b. Enforcement decree of the wildlife protection and management Act, Presidential Decree No. 16609.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). 2019a. Boundary of administrative district with si, gun, gu. <http://data.nsdi.go.kr/dataset/15144>. (2019. 05. 14).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). 2019b. Land Ownership Information. <http://openapi.nsdi.go.kr/nsdi/eios/ServiceDetail.do?svcSe=F&svcId=F017&provOrg=NIDO>. (2019. 10. 19).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). 2019c. Officially Assessed Land Price Information. <http://openapi.nsdi.go.kr/nsdi/eios/ServiceDetail.do?svcSe=F&svcId=F012&provOrg=NIDO>. (2019. 11. 26).
- Minor, E.S. and Urban, D.L. 2007. Graph theory as a proxy for spatially explicit population models in conservation planning. *Ecological Applications* 17(6): 1771-1782.
- Newman, M.E. 2005. A measure of betweenness centrality based on random walks. *Social Networks* 27(1): 39-54.
- Oh, K.S., Lee, D.W. and Park, C.S. 2011. Urban ecological network planning for sustainable landscape management. *Journal of Urban Technology* 18(4): 39-59.
- Opdam, P. 1991. Metapopulation theory and habitat fragmentation: a review of holarctic breeding bird studies. *Landscape Ecology* 5(2): 93-106.
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Reaka-Kudla, M.L., Wilson, M.L. and Wilson, E.O. 1996. Biodiversity II: Understanding and protecting our biological resources. Washington DC, Joseph Henry Press.
- Seoul Development Institute (SDI). 2011. A study on the urban

- park management system with special use permits in Seoul. Seoul Development Institute. pp. 27. (in Korean)
- Seoul Metropolitan Government (SMG). 2017. Seoul metropolitan government detailed plan for wildlife protection (2017-2021). pp. 46-84. (in Korean)
- Seoul Metropolitan Government (SMG). 2019a. Seoul metropolitan government public notice No. 2019-2671. http://urban.seoul.go.kr/4DUPIS/sub5/sub5_4_1.jsp#view/299103. (2019. 10. 14).
- Seoul Metropolitan Government (SMG). 2019b. The Seoul Metropolitan Government's countermeasures on the sunset of urban parks. http://news.seoul.go.kr/env/city_park_plan. (2019. 12. 03).
- Singleton, P.H., Gaines, W.L. and Lehmkuhl, J.F. 2002. Landscape permeability for large carnivores in Washington: a geographic information system weighted-distance and least-cost corridor assessment. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. Potland, U.S.A. pp. 1-89.
- Song, W., Kim, E. and Lee, D.K. 2012. Measuring connectivity in heterogenous landscapes: A review and application. *Journal of Environmental Impact Assessment* 21(3): 391-407. (in Korean)
- Teng, M., Wu, C., Zhou, Z., Lord, E. and Zheng, Z. 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.
- Urban, D.L. and Keitt, T.H. 2001. Landscape connectivity: a graph-theoretic perspective. *Ecology* 82(5): 1205-1218.
- Wasserman, S. and Faust, K. 1994. *Social network analysis: Methods and applications* 8. Cambridge university press.
- Watts, K., Eycott, A.E., Handley, P., Ray, D., Humphrey, J.W. and Quine, C.P. 2010. Targeting and evaluating biodiversity conservation action within fragmented landscapes: an approach based on generic focal species and least-cost networks. *Landscape Ecology* 25(9): 1305-1318.

Manuscript Received : November 9, 2020

First Revision : January 29, 2021

Second Revision : March 12, 2021

Accepted : March 15, 2021