

연결성 분석을 통한 성남시 미집행 공원의 조성 우선순위 선정*

안윤정¹⁾ · 이동근²⁾ · 김호걸¹⁾ · 모용원¹⁾

¹⁾ 서울대학교 대학원 · ²⁾ 서울대학교 조경·지역시스템공학부

Applying Connectivity Analysis for Prioritizing Unexecuted Urban Parks in Sungnam*

Ahn, Yoonjung¹⁾ · Lee, Dong-Kun²⁾ · Kim, Hogul¹⁾ and Mo, Yongwon¹⁾

¹⁾ Graduate School, Seoul National University,

²⁾ Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University.

ABSTRACT

An urban ecosystem is a complex system that includes social, economic and ecosystems. Therefore, it is important to consider its environmental capacity while developing a city plan. Most of the plans, however, consider only the social aspects, which fragments the green spaces and disturbs the movement of species. Sungnam has approximately 100 parks with unexecuted development plans and with great potential to contribute towards urban ecosystem enhancement. Therefore, this study applied network analysis to prioritize the development of city parks and contribute towards improving the green network, with *Parus* spp. as the target species. To compensate for the drawbacks of binary and possibility-based network analysis, this study included two indices, namely BC_K^{PC} , BC_K^{IC} , $dPCconnector_k$ and $dICconnector_k$. These indices make it possible to find patches that could play an important role in green network enhancement. The urban park with greater value gets a higher priority to be transformed into a park. Thus, our methodology could prove to be very useful in prioritizing the undeveloped parks, thereby supporting decision-making.

* 이 논문은 2014년도 환경부 차세대 에코이노베이션 기술 개발 사업의 지원으로 수행되었습니다(과제번호 : 416-111-015).

First author : Yoonjung Ahn, Graduate School, Seoul National University,

Tel : +82-2-880-4885, E-mail : yoonjungahn@snu.ac.kr

Corresponding author : Lee, Dong-Kun, Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University

Tel : +82-2-880-4875, E-mail : dklee@snu.ac.kr

Received : 13 May, 2014. **Revised** : 16 June, 2014. **Accepted** : 24 June, 2014.

Key Words : *Urban park, Graph theory, Connectivity index, Parus spp.*

I. 서 론

우리나라의 도시지역 인구비율은 2004년 2012년까지 증가추세를 보이고 있다¹⁾. 도시지역 인구비율은 당해 도시의 도시화 진행의 추이를 알 수 있는 지표로서 우리나라의 도시화가 지속적으로 이루어졌음을 알 수 있다. 이러한 도시 개발은 환경의 질적 저하, 야생동물의 소멸 등 생태계기능을 저하시켰다(문석기 외, 2010). 특히 도시생태계는 사회-경제-자연의 결합으로 성립되는 복합계(complex system)이기 때문에 자연의 수용능력을 고려하여 개발해야 할 필요성이 있다(Walker, 2006; 문석기 외, 2010). Zetterberg (2010)은 지속가능한 도시 조성을 위해 사회적 요소와 생태적 요소의 변화와 상호작용을 고려하여 도시를 관리하고 계획해야 한다고 제안했다. 특히 토지이용의 변화는 생태계에 부정적인 영향을 미치는 주요한 요소 중 하나이므로 사회적 욕구를 충족시켜주며 자연생태계를 유지할 수 있는 토지이용 전략이 필요하다(Vitousec et al, 1997).

도시 생태계 관련 토지이용사례로서, 공원 조성 계획이 수립되어 있으나 공사가 아직 완료되지 않은 공원인 미집행 공원이 있다. 미집행 공원은 인간의 도움으로 생태계 증진에 기여할 수 있는 공간이므로 이를 잘 활용한다면 사회욕구 충족과 함께 자연생태계 유지에도 기여할 것으로 판단된다. 하지만 이것마저도 도시공원 일

몰제²⁾의 시행으로 해제될 위기에 놓여있다(이현미, 2013). 이에 따라 각 시·도에서는 2014년 3월 ‘도시공원 및 녹지 등에 관한 법률’을 일부 개정을 위해 도시 공원 조성 기금에 대한 법률이 발의³⁾되는 등 미집행 공원의 해제를 막기 위한 노력을 하고 있다. 따라서 합리적인 미집행 공원의 조성 우선순위 선정에 관한 연구가 필요하다.

특히 성남시에는 약 100개 정도의 미집행 공원이 있으며 지속적인 도시 개발로 인해 녹지가 파편화 되고 있다⁴⁾. 그러므로 성남시의 도시 생태계 증진을 위해 녹지의 연결성을 고려한 미집행 공원의 연결성을 구축할 필요가 있다. 이러한 녹지의 연결성과 관련하여 최근에는 네트워크 분석이 주목받고 있다. 네트워크 분석은 도시생태계에서 자연환경을 배려하기 위해 토지이용 계획에서 핵심적으로 고려해야 할 사항이며(오규식 외, 2009; 이우신 외, 2010), 파편화된 녹지의 연결성과 사회 생태적 회복 탄력성을 증진시킬 수 있는 녹지 조성의 적지를 확인하는데 활용되고 있다(Bodin and Saura, 2010; Zetterberg, 2010; García-Feced, 2011; 송원경 외, 2013). 또한, 네트워크 분석은 패치의 중요도의 순위를 정하고 평가하는데 활용되기 시작했다(Urban and Keitt, 2001).

네트워크 분석 기법 중 그래프 이론을 기반으로 한 분석 방법은 공간적으로 분리된 곳의 서식지에서 대상종의 이동 가능성에 대해 분석

1) 통계청 나라지표 (http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1200#quick_02)

2) 공원일몰제는 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제48조로 공원 등 도시계획시설 예정부지는 건축등의 행위가 제한되거나 지자체 재정부족으로 장기간 미집행 되어 민원이 다발하자 정부는 시설 결정고시일로부터 10년 이상 미집행시설은 지자체가 5년마다 재검토하여 불필요한 시설은 해제하며, 향후 결정되는 도시계획시설은 20년 이상 미집행시 자동 실효되는 도시계획법이다. (국토해양부. www.mltm.go.kr)

3) 담보상태 도시공원 ‘조성 기금 설치해야’(라펜트 http://www.lafent.com/inews/news_view.html?news_id=111418)

4) 성남기본계획보고서

하는 기법으로 다른 기법과 다르게 경관의 이질성을 고려할 수 있다는 장점이 있으며 명확하게 경관의 네트워크를 분석가능하게 해준다는 장점이 있어(Bodin and Saura, 2010; 송원경 외, 2012; 강완모 외, 2011) 본 연구에서는 이 분석 방법을 활용하였다.

현재 성남시에서는 미집행 공원의 우선순위 선정에서 공원유치권내 인구수, 토지매입비, 미집행기간, 토지이용 등 인간의 이용측면과 행정적 절차에 대한 용이성만을 고려하고 있다. 그러나 도시 생태계의 증진의 측면에서 미집행 공원의 조성 우선순위 선정 시, 생태적인 특성에 대한 고려 또한 필요하다. 특히 녹지의 연결성 및 중요도를 파악하는 네트워크 분석은 파편화된 도시 녹지의 연결성 개선을 위한 최적의 미집행 공원을 도출하는데 효과적으로 활용될 수 있다. 본 연구에서는 성남시에 서식하는 대표적인 조류종인 박새류를 대상으로 그래프 이론을 기반으로 한 네트워크 분석을 적용하여, 녹지 연결성 증진을 위한 미집행 공원의 우선순위 선정방법을 제안하고자 한다. 본 연구의 결과는 성남시의 지속가능한 도시 생태계 조성을 위한

의사결정 지원 및 정책기반 마련에 기여할 것으로 사료된다.

II. 연구범위 및 방법

1. 공간적 범위

본 연구의 대상지는 성남시이고 주요 분석 대상은 미집행 공원이다. 미집행 공원은 공원 조성 계획이 수립되지 않은 상태에서 공원 시설이 일부 설치되어 있는 공원 혹은 공원 조성계획이 수립되어 있으나 공원 시설이 설치되어 있지 않은 공원, 공원조성 계획이 수립되어 있으나 공사가 아직 완료되지 않은 공원을 말한다(서울연구원, 1995). 성남시의 미집행 공원은 92개이며 그 중 비교적 규모가 큰 공원은 주로 산 혹은 산 주변에 분포해 있으며 비교적 규모가 작은 소공원, 어린이 공원은 주로 도심에 위치해 있다(성남시, 2014).

2. 연구방법

1) 연구 흐름도

본 연구는 크게 두 개의 단계로 구분된다. 먼저 참고문헌 분석을 통해 도출된 박새류의 이동가능거리 중 Conefor 2.6(Saura and Torne, 2009) 모델을 통한 연결성 분석에 적합한 이동가능거리(Dispersal distance)를 확인하였다. 다음으로 모든 미집행 공원이 조성되었을 때 각 미집행 공원의 조성이 녹지 연결성에 기여하는 정도를 통하여 미집행 공원의 조성 우선순위를 산출하였다(Figure 1).

2) 우선순위 선정을 위해 활용된 연결성 지수

Conefor 2.6(Saura and Torne, 2009) 모델은 패치의 중요성에 따라 우선순위를 선정할 수 있는 모델이다(Bodin and Saura, 2010). 따라서 본 연구에서는 Conefor 2.6을 이용하였다. Conefor 2.6 모델은 연결망은 노드(Node)와 링크(link)로 구성되며 공간적으로 분리된 곳의 서식지에서

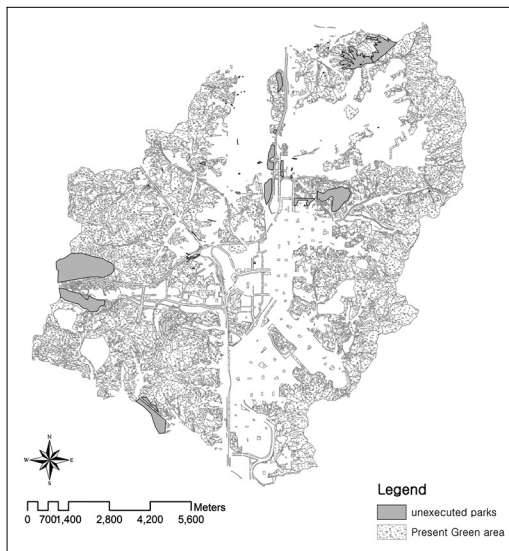


Figure 1. Location of Sungnam unexecuted Parks.

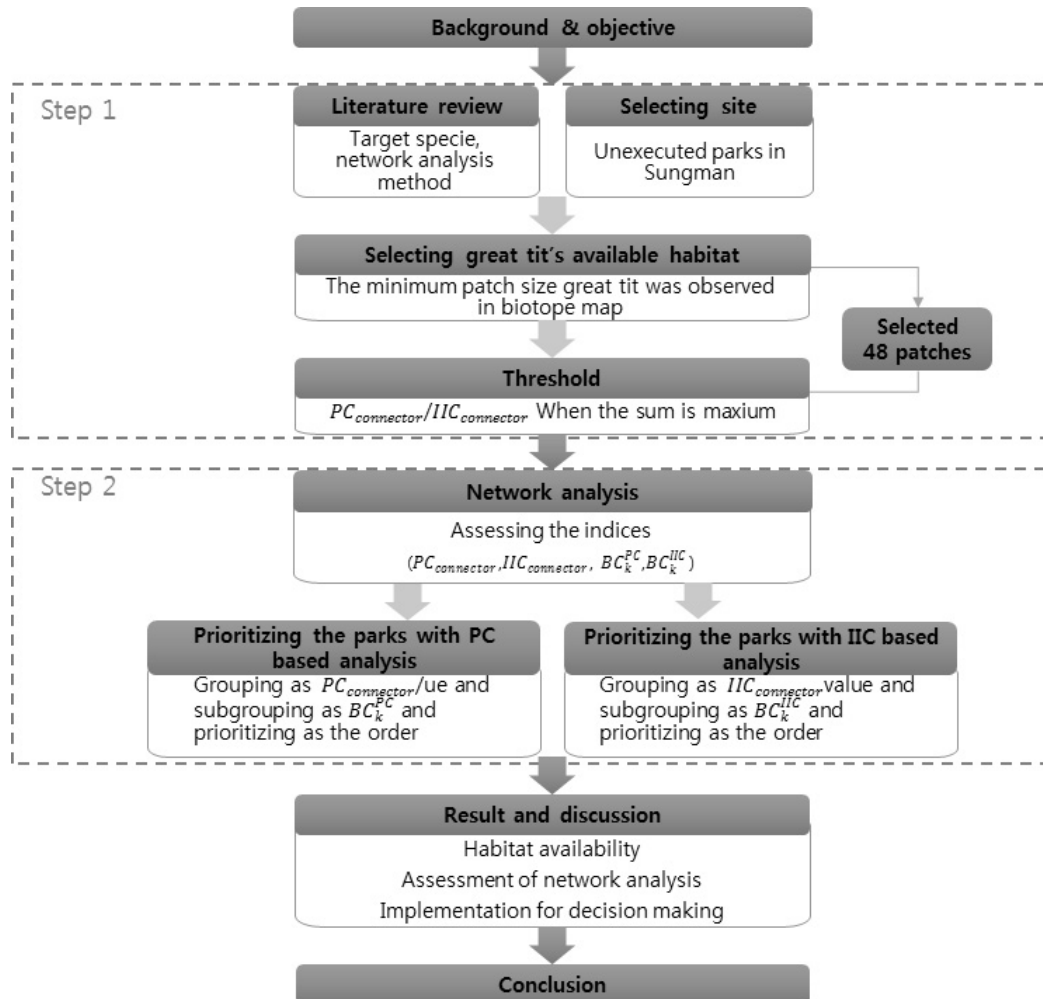


Figure 2. Flow of the study.

대상종의 이동 가능성에 대해 분석하는 기법으로 다른 기법과 다르게 경관의 이질성을 고려할 수 있다는 장점이 있다. 또한 각각의 서식지 패치는 하나의 점으로 인식되며 명확하게 경관의 네트워크를 분석가능하게 해주며 Arc GIS 등의 프로그램과 함께 사용하면 네트워크 분석에서 효율적인 결과를 얻을 수 있다는 장점을 갖고 있다(Bunn, 2000; 송원경, 2011)

먼저, 본 연구에서는 각 미집행 공원의 중요도를 확인하기 위해 Conefor2.6 모델을 통해 얻을 수 있는 다양한 지수 중에서 구조적 연결 지

수인 Integral index of Connectivity(IIC)와 기능적 연결 지수인 Probability of connectivity(PC)를 기반으로 한 분석방법을 활용하였다(Collinge and Forman, 1998). 구조적 연결성은 서식지의 근접을 의미하는 개념이다. 이 개념은 개체 종의 이동 특성보다는 경관의 구조를 정량적으로 분석하여 측정된다(Collinge and Forman, 1998). IIC 지수는 각 패치간의 최소거리를 고려한 구조적 연결지수로서 모든 패치 사이의 노드와 링크로 이어진 쌍의 분포에 대한 가능성을 확인하는 값이다(Saura and Pascual Hortal, 2007).

Table 1. Formula and description of Indices (Bodin and Saura, 2010).

Indices	Formulas and abbreviations	Description
dPC, dIIC	$dIIC_k = 100 \frac{IIC - IIC_{remove}}{IIC}$ $dIIC = dIICintra_k + dIICflux_k + dIICconnector_k$ (Saura and Torne, 2009) dIICintra _k : patch K's contributions in form o fits area dIICconnector _k : a haigh value implies that the loss of k would adversely reduce the connectivity between other habitat patches. dIICflux _k : flux of dispersing organism that moves to or from it. $dPC = 100 \times \frac{PC - PC_{remove}}{PC}$ $dPC = dPCintra_k + dPCflux_k + dPCconnector_k$ (Saura and Torne, 2009) dPCintra _k : patch K's contributions in form o fits area dPCconnector _k : a haigh value implies that the loss of k would adversely reduce the connectivity between other habitat patches. dPCflux _k : flux of dispersing organism that moves to or from it.	dIIC or dPC is the Importance of patch K. Relative decrease of IIC or PC following the removal of patch K. So, if dIIC or dPC has a high value, it means the patch k is highly contribute for enhancing connectivity.
BC_k	$BC_k = \sum_i \sum_j \frac{g_{ij}(k)}{g_{ij}}$ (Forman, 1997)	BC_k is how many patches are relate to patch k. In other words, how many patches are located in between other pairs of patches.
BC_K^{PC}, BC_K^{IIC}	$BC_K^{PC} = \sum_i \sum_j a_i a_j \frac{p^{*l(k)}}{L}$ (Bodin and Saura,2010) $p^{*l(k)}$: the shortest paths including and excluding patch k $BC_K^{IIC} = \sum_i \sum_j a_i a_j \frac{1/(1+d_{ij}^{(k)})}{L}$ (Bodin and Saura,2010) $d_{ij}^{(k)}$: represents the shortest topological paths between patch i and j	BC_K^{PC} is a generalization of the BC_k that take in to consideration patch area and maximum product probability. BC_K^{IIC} is the generalization of the BC_k that take in to account or topological distance. Therefore, this indices make possible to analyze the patches that are contribute for bigger organism flow and higher connectivity.

기능적 연결성은 경관 요소에 대한 개체의 행동을 고려한다. 즉, 개체가 이동하는 과정에서 발생할 수 있는 사망위험도, 이동패턴, 서식지 경계 횡단 능력 등을 반영하여 측정된다(송원경, 2013). PC지수는 실제 경관에서 연결되는

데 최소의 비용이 예상되는 지역을 연결할 수 있도록 다양하게 연결이 가능한 경우의 수를 고려하도록 설계된 지수이다. 본 연구에서는 두 지수를 함께 고려하여 서로의 단점을 보완하도록 하였다.

특히, 본 연구에서는 IIC와 PC를 활용하여 분석 가능한 지수 중에서 $dPCconnector_k$ 와 $dIICconnector_k$ 를 활용하였다. 왜냐하면 $dPCconnector_k$ 값과 $dIICconnector_k$ 값은 파편화된 경관에서 유일하게 징검다리 역할을 하는 중요한 패치를 찾아주는 속성 값이기 때문이다(Bodin and Saura, 2010). 이 값은 Betweenness centrality(BC) 값과 비슷하다(Table 1). 하지만 BC 값은 징검다리 역할을 하는 모든 패치를 찾아주는 반면 $dPCconnector_k$ 과 $dIICconnector_k$ 은 없어지면 연결성에 큰 영향을 미치는 패치를 확인 가능하게 해준다(Saura and Rubio, 2010). 따라서 본 연구에서는 네트워크에서 징검다리 역할을 함으로서 주변패치와의 연결성을 증진해주는 패치를 분석가능하게 해주는 $dPCconnector_k$ 와 $dIICconnector_k$ 그리고 BC_K^{PC} 와 BC_K^{IIC} 활용하여 미조성공원의 조성 우선순위를 선정하였다. 각 지수에 대한 계산방법과 설명은 Table 1에서 상세하게 작성하였다.

3) 대상 종 선정 및 분석자료 구축

박새류는 우리나라 전역에서 번식하는 텃새(이우신 등, 2000)이며 성남시에서도 진박새, 쇠박새, 박새가 서식하고 있다(성남시, 2003). 박새류는 생태계 및 먹이 연쇄의 상위에 위치해 있으며 비교적 도시 생태계에 잘 적응하고 있는 산림성 조류이다. 그렇기 때문에 도시 녹지의 연결성 평가 및 박새 행동 특성에 관한 다수의 연구가 진행되어 서식환경 조건이 명확하며 현재의 분포 구역 또한 명확하다(박찬열, 1994, 송

원경 외 2012, 강완모 외, 2011). 또한, 박새는 생태계 건전성의 지표가 되는 종이다(이우신, 2010). 따라서 박새류는 산과 도시 공원의 생태적 연결성을 확인할 수 있는 지표가 될 수 있을 것으로 예상된다.

성남시에서는 도시 내에서 보전가치가 높은 곳을 확인하기 위하여 생태지도를 만들었다. 성남시의 도시 생태지도는 현존식생, 동물서식, 토지이용, 토지피복 등 전 지역에 대한 현황조사에 대한 정보를 포함하고 있다(성남시, 2009). 본 연구에서는 박새류가 출현 가능한 최소 패치 크기를 추출하기 위하여 성남시(2009) 조사 자료를 이용하여 조류조사 자료가 기입된 포인트를 녹지패치에 대응시켰다. 최소패치크기를 활용하여 미집행 공원의 분석범위를 선정하였다.

또한 성남시 비오톱 지도에서 공원과 녹지로 분류되어있는 항목 중 산림과 녹지를 추출하여 현재의 산과 공원 패치자료를 구축하였으며 미집행 공원의 패치는 성남시에서 제공한 지번주소를 활용하여 분석 자료를 구축하였다.

4) 박새류의 이동거리 분석

박새류의 경우 특정한 지역과 계절, 암수 그리고 행동 특성에 따라 이동 거리가 다르게 나타난다고 알려져 있다(Dingemanse et al, 2003). Greenwood et al.(1978)는 이소의 거리를 성별에 따라 다르게 분석하였다. 수컷의 경우 산란된 둥지로부터 382.7~623.9m, 암컷의 경우 77~

Table 2. Materials.

Analysis data	Types of GIS data	Conefor's input data
Present parks and mountain	Polygon	Distance Patch
Unexecuted parks	Polygon	Distance Patch
Observation data of <i>Parus spp.</i>	Point	-

749.7m로 나타났다. Dingemanse et al.(2003)은 인공 새집을 이용하여 박새류의 이동 거리를 분석한 결과 수컷이 310~493m, 암컷이 376~643m로 분석되었다. 또한 송원경 외(2013)은 통계 모형을 활용하여 박새류의 이동가능거리가 500m정도임을 추정해냈다.

문헌조사 결과 박새류의 이동거리는 행동특성에 따라 100~700m의 범위임을 확인하였다. 따라서 100~700m의 범위를 모델에 대입하여 $dPCconnector_k$ 와 $dIICconnector_k$ 의 값을 확인하여 임계거리 설정을 하였다. 임계거리 설정방법은 Bodin and Saura(2010)의 연구를 참고하여 각 패치의 $dPCconnector_k$ 와 $dIICconnector_k$ 값의 합이 가장 높을 때를 적합한 임계거리로 선정하였다. 특히 본 연구에서는 징검다리 역할을 하는 패치를 분석하는 것이 목표이므로 징검다리 역할을 하는 패치를 가장 많이 포함 할 수 있는 $dPCconnector_k$ 와 $dIICconnector_k$ 값의 합이 가장 높은 값을 임계거리로 선정하는 것이 적합하다고 판단하였다. $dPCconnector_k$ 와 $dIICconnector_k$ 값은 박새의 이동범위(100~700m)를 고려하여 징검다리 역할을 하는 패치를 찾아주는 지수이므로, 현재 패치의 분포에서 징검다리 패치의 역할을 최대한 많이 할 수 있는 조건을 임계거리로 설정하였다.

5) 우선순위 선정

우선순위 선정은 구조적 지수인 IIC와 기능적 지수인 PC 각각에 대해서 선정하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 징검다리 역할을 하는 패치는 녹지 네트워크 향상에 기여하는 바가 크므로 공원의 조성 우선순위를 선정하는데 있어 파편화된 두 공간을 연결시켜 줄 수 있는 유일한 패치($dPCconnector_k$ 와 $dIICconnector_k$)를 필요조건으로 고려하였고 충분조건으로 그 패치들의 징검다리 지수(BC_K^{PC} 와 BC_K^{IIC})값을 고려하였다. 즉, 다시 말해서 먼저 $dPCconnector_k$ 와 $dIICconnector_k$ 값을 갖는 패치를 추출한 후, 각

패치의 BC_K^{PC} 와 BC_K^{IIC} 의 값이 큰 순서대로 우선순위를 선정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 분석 범위 및 종의 이동거리 선정 결과

성남시의 생태지도를 활용해서 분석한 결과 박새류가 출현한 최소크기의 패치는 약 290m²였다(Figure 3). 따라서 박새류가 출현 가능한 패치의 최소단위는 약 300m²이라 가정하고 미집행 공원 패치 중에서 300m²인 패치 49개를 대상으로 분석하였다.

박새류의 이동가능거리 범위인 100-700m의 범위를 모델에 대입하여 $dPCconnector_k$ 와 $dIICconnector_k$ 의 값을 확인한 결과는 다음과 같다(Figure 3). 각 패치의 $dPCconnector_k$ 와 $dIICconnector_k$ 값의 합이 가장 높을 때는 임계거리가 100m로 나타났으므로, 우선순위 선정을 위한 기능적, 구조적 지수 분석 시 모든 임계거리는 100m로 설정하여 분석하였다.

2. 연결성지수 평가를 통한 연결성 분석 및 우선순위 선정 결과

1) 우선순위 선정결과

우선순위를 선정한 결과는 다음과 같다. 우선 기능적 연결성 지수인 PC를 기반으로 한 지수의

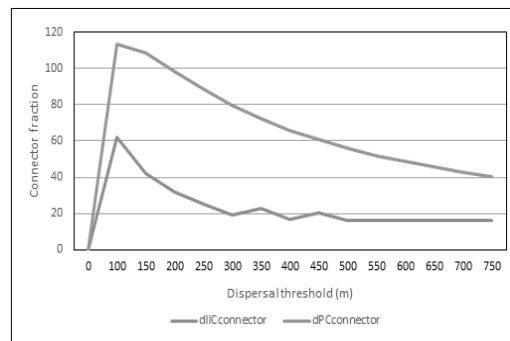


Figure 3. The sum of $dPCconnector_k$ and $dIICconnector_k$ for threshold

Table 3. Priority order based on PC based analysis.

Order	Name	dPCconnector	dBC_PC
1	Sungnam(1)	4.3270	29.1209
2	Wirye(2)	0.2738	5.5408
3	Yeosu Park	0.1183	2.1690
4	Tancheon(2)	0.1825	0.5059
5	Tancheon(1)	0.1095	0.3492
6	Yeosu(2-2)	0.0255	0.2463
7	Nakseng(1)	0.0583	0.2028
8	Yeosu(1-2)	0.0153	0.0602
9	Oedong(1)	0.0011	0.0246
10	Wirye(11)	0.0006	0.0056
11	Oya(2)	0.0001	0.0004
12	Araenmal(1)	0.0001	0.0004
13	Oedong(2)	0.0002	0.0003
14	Oya(3)	0	0.0002
15	Sujin(1)	0	0

Table 4. Priority order based on PC based analysis.

Order	Name	dIICconnector	dBC_IIC
1	Nakseng(1)	0.0043	0.2248
2	Wirye(2)	0.0010	0.2248
3	Tancheon(1)	0.0016	0.0568
4	Simgok(3-2)	0.0006	0.0033
5	Tancheon(2)	0.4328	0
6	Sungnam(1)	0.0216	0
7	Sinchon(1)	0.0006	0
8	Wirye(10)	0.0001	0
9	Wirye(11)	0.0001	0

우선순위는 성남공원1, 위례 제2호, 여수공원, 탄천변제 2호, 탄천변제1호, 여수지구2-2, 낙생공원1호, 여수지구 1-2, 외동 제1호, 위례 제 11호, 위례 제11호, 오야 제 2호, 아랫말 제 1호, 외동 제 2호, 오야 제 3호, 수진 제1호로 분석되었다(Table 4). 기능적 연결성 분석의 경우 비교적 패치 면적이 크고 산림 쪽에 위치해 있기 때

문에 주변 녹지와 연결성이 높은 미집행공원이 우선순위를 가지는 것으로 분석된다.

대부분의 높은 우선순위를 갖는 패치들은 주변 토지이용이 시가화 지역이며 특히 위례 제2호의 경우 남한산성과 인능산을 연결해주는 거점에 위치하고 있으며 내동 제3호의 경우 서울 외곽순환고속도로, 경부고속도로, 용인서울고

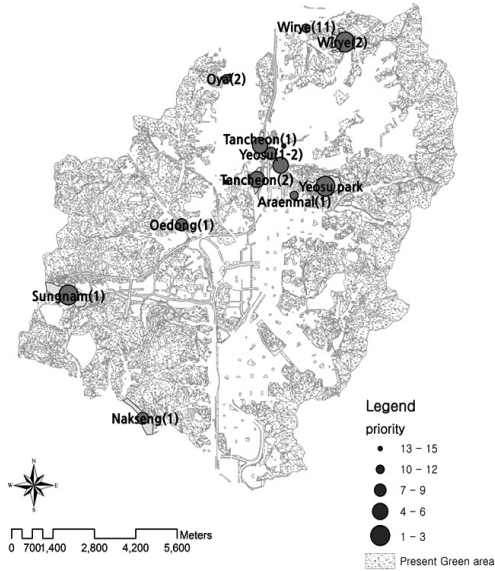


Figure 4. Priority order based on PC based analysis.

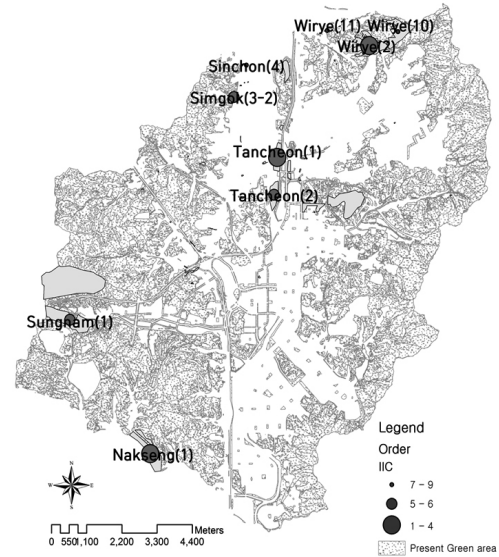


Figure 5. Priority order based on IIC based analysis.

속도로로 파편화된 곳에 위치하여 주변의 큰 산림패치를 연결해주는 역할을 하므로 높은 우선순위를 갖는 것으로 분석되었다.

구조적 연결성 지수인 IIC를 기반으로 한 우선순위는 낙생공원1, 위례 제2호, 탄천변제1, 심곡 제3-2호였으며 탄천변제2, 성남공원1, 신촌 제1호, 위례 제 10호, 위례 제11호는 모두 같은 값을 가졌다. 구조적 연결성 분석의 경우 해당 패치의 주변 패치와의 가장 짧은 경로를 분석하는 지수이기 때문에 주변에 미집행 공원이 많이 밀집해 있으며 파편화된 패치들을 연결해주는 중심점에 위치해 있는 미집행공원이 우선순위가 높은 것으로 분석된다. 특히 낙생공원1은 도로로 파편화된 산림패치를 연결해주는 곳에 위치해 있으며 탄천변제1 공원은 주변에 주거단지와 지하철도로 인하여 파편화된 곳에 위치해 있으므로 높은 우선순위를 갖는다.

미집행 공원의 우선순위는 패치간의 연결성 증진시켜주는데 기여하는 징검다리패치에 따라 정해졌다. 전체적인 경향으로 보았을 때 패

치는 주로 산림 주변보다는 산림의 주변부에 위치하거나 시가지에 위치한 패치가 네트워크 증진에 기여도가 큰 것으로 분석되었다. 특히 성남시의 남서쪽과 북동쪽에는 많은 녹지가 존재 하지만 성남시를 북에서 남으로 가로지르는 서울외곽순환고속국도와 서쪽에서 남쪽으로 가로지르는 경부고속국도 때문에 파편화되었기 때문에 남서쪽에 위치한 녹지 패치와 북동쪽에 위치한 녹지 패치를 연결해 주는 미집행공원이 주로 중요한 패치로 분석된 것으로 판단된다.

본 연구에서는 구조적 연결성 지수와 기능적 연결성 지수의 비교 및 상호 보안을 위하여 두 지수를 모두 활용하여 우선순위를 제시하였다. 기능적 연결성 지수 분석결과와 구조적 연결성 지수 결과를 비교해보면 기능적 연결성 지수는 생물종의 이동에 대한 확률을 분석하는 지수로서 패치의 크기가 크면 다른 패치와 연결될 가능성이 높아 패치의 크기가 클수록 높은 우선순위를 갖는 경향이 있다. 따라서 다른 공원보다 크기가 큰 미집행공원이 높은

우선순위를 갖는다. 구조적 연결성 지수 분석의 경우는 최단 경로를 찾아주는 지수이므로 주변 패치간의 근접성이 높을수록 높은 우선순위를 갖는 경향이 있다(송원경 외, 2012). 따라서 상대적으로 주변에 미집행 공원 및 녹지가 많은 미집행공원이 높은 우선순위를 갖는 것으로 분석되었다.

그러므로 기능적 연결성 지수의 경우 유기체들이 많이 이동하는 경로에 가중치를 찾는 분석이므로 대상 종을 고려한 네트워크 분석에 활용하기 적합하다(Bodin and Saura, 2010). 따라서 목표종에 따른 네트워크 분석 시 기능적 연결성 지수를 활용하는 것이 더 적합하다고 사료된다. 구조적 연결성 지수의 경우에는 가장 짧은 직선 경로에 대한 분석이 가능하기 때문에 종의 이동에 대한 경로를 분석하기에는 어려우나 경제적인 측면을 고려하여 네트워크를 구성하는데 활용하기 적합하다.

IV. 결 론

본 연구는 정량적인 네트워크 분석방법을 제시 하여 효율적인 녹지 조성 방안을 제시 했다는 것에서 의의가 있다. 본 연구는 성남시를 가로지르는 서울외곽순환고속국도와 경부고속도로 때문에 파편화된 산림을 연결하는 위치에 위치한 미집행 공원이 조성 시 네트워크 향상에 기여하는 정도가 클 것이라는 것을 밝혔으며 각 미집행 공원의 네트워크 향상에 대한 중요도를 분석했다.

또한 성남시 중앙에 위치한 시가화 지역 내 녹지들이 구조적, 기능적 연결성이 떨어짐을 확인 하였으며 징검다리 지수를 활용하여 시가화 지역 내 위치한 미집행 공원이 도시 전반의 녹지 네트워크를 형성하는데 중요한 역할을 할 것이라는 가능성을 확인하였다. 따라서 본 연구의 결과는 향후 도시공원 조성 및 미집행 공원의 조성 우선순위 선정 시 혹은 도심 내 녹지 복원

우선순위를 선정 시 하나의 지표로 활용될 수 있을 것이라고 사료된다.

하지만 본 연구에서는 목표종의 이동거리에 대한 연구가 국내에는 많이 되어 있지 않아 서식범위를 선정 하는데 있어 외국의 사례와 국내 사례를 검토하였다는 점과 도시 네트워크 구축을 위해 도심 속에 서식하고 있는 다양한 종의 행동반경을 고려하지 못 했다는 한계가 있다. 이동가능 거리에 따라 네트워크 값이 달라질 수 있기 때문에 대상 종을 달리하여 분석해 볼 것이다. 그 뿐 아니라 향후 연구에서는 네트워크 분석에서 고려되지 못한 주변토지이용 및 환경적 특성 또한 고려되어야 할 것이다.

또한 도시공원은 시민의 이용을 위한 공간이기 때문에 공원 조성 우선순위에 있어 사회 경제적요소를 고려 할 필요가 있다. 특히 미집행 공원의 경우 이해관계자의 갈등이 발생하는 곳이기 때문에 향후 연구에서 이 사항을 반영해야 할 필요가 있다. 현재 대부분의 도시에서는 인간의 이용측면과 행정적 절차에 대한 용이성에 맞도록 토지이용 계획을 세우고 있다. 특히, 미집행공원의 조성 우선순위 선정 시 미집행기간, 보전지역의 유무, 주변의 인구밀도 등을 고려하고 있다(성남시, 2014). 이러한 인간중심의 도시 개발은 녹지를 파편화 시키며 공원과 녹지가 섬처럼 존재하여 동식물의 이동을 방해하는 고립을 유발시키는 문제를 초래한다. 따라서 향후에는 생태적 네트워크를 고려하여 녹지가 부족한 공간에 효과적으로 신규녹지를 조성하고 녹지 연결망을 보전하여 도시 생태계의 건전성 및 회복탄력성을 높일 수 있는 도시공원의 계획이 필요하다.

References

- Bodin, Ö. and Saura, S. 2010. Ranking individual habitat patches as connectivity providers: Integrating network analysis and patch

- removal experiments. *Ecological Modelling*, 221(19): 2393-2405.
- Bunn, A. · Urban, D and Keitt, T. 2000. Landscape Connectivity: A Conservation Application of Graph Theory. *J. Environ. Manage.* 59: 265-278.
- Collinge, S. K. and Forman, R. T. R. 1998. A conceptual model of land conversion processes: predictions and evidence from a microlandscape experiment with grass insect, *Oikos*, 82: 66-84.
- Dingemanse, N. J. · Both, C. · van Noordwijk, A. J. · Rutten, A. L. and Drent, P. J. 2003. Natal dispersal and personalities in great tits (*Parus major*). *Proceedings. Biological Sciences / The Royal Society*, 270(1516): 741-7.
- García-Feced, C. · Saura, S. and Elena-Rosselló, R. 2011. Improving landscape connectivity in forest districts: A two-stage process for prioritizing agricultural patches for reforestation. *Forest Ecology and Management*, 261(1), 154-161.
- Greenwood, P. J. · Harvey, P. H. and PERRINS, C. M. 1978. Inbreeding and dispersal in the great tit.
- Hashimoto, H. · Natuhara, Y. and Morimoto, Y. 2005. A habitat model for *Parus major* minor using a logistic regression model for the urban area of Osaka, Japan. *Landscape and Urban Planning*, 70(3-4), 245-250.
- Hong, Suk Hwan and Kwak, Jeong In. 2011. Characteristics of Appearance by Vegetation Type of Paridae in Urban Forest of Korea 25(5): 760-766.
- Jeong, Hyu Jin · Cho, Eun A · Ko, Hyeon Seo and Jang, Gab Sue. 2012. A Research on the Reproductive Properties of Great Tits in the Urban Forests. *The Korea Society For Environmental Restoration And Revegetation Technology* 15(5): 155-163.
- Kang, Wan-Mo and Park, Chan-Ryul. 2011. Quantitative Analysis of Seoul Green Space Network with the Application of Graph Theory. *Korea Soecity of Envrionment and Ecolgoy* 25(3): 412-420.
- Lee, Hyoun Mee. 2013. An urban park development and management strategy for industrial complex 1 in Seongnam City through public-private partnership. Graduate School, Seoul National University.
- Lee, Woo-Sin · Koo, Tae-hee · Park, Jin-Young. 2000. *Birds of Korea*. LG Sangnok Foundation. pp. 250-253.
- Lee, Woo-Sin · Park, Chan-Ryul · Rhim, Shin-Jae · Hur, Wee-Haeng · Jung, Ok-Sik · Choi, Chang-Yong · Park, Young-Su · Lee, Eun-Jae. 2010. *Wild Animal Ecological Management*. Life Science. pp. 183.
- Moon, Seok-Ki · Sung, Hyun-Chan · Koo, Bon-Hak · Byun, Byung-Seol · Yoo, Hyeon-Seok · Lee, Dong-Keun · Lee, Sang-Moon · Lee, Eun-Yup · Lee, Eun Hee · Lee, Jae-Joon · Jeon, Seong-Woo · Jeon, Young Ok. 2010. *Envrionmental Planning*. Bomondang.
- Oh, Kyu-Shik and Jeong, Seung-Hyun. 2005. An Assessment of the Spatial Distribution of Urban Parks using GIS. *Korea Planners Association*, 40(3): 189-203
- Park, Chan-Ryul. 1994. Establishment and management of urban forests for the inhabitation of wild birds. Graduate School, Seoul National University.
- Saura, S. and Pascual-Hortal, L. 2007. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning:

- Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning*, 83(2-3): 91-103.
- Saura, S. and Rubio, L. 2010. A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography*, 33(3): 523-537.
- Song, Won-Kyong. 2011. *Habitat network Modeling of Leopard Cat(*prionailurus begalensis*)*. Graduate School, Seoul National University.
- Song, Won-Kyong · Lee, Dong-Kun · Kim, Eun-Young. 2012. Measuring Connectivity in Heterogenous Landscapes a review and Application. *Journal of Environmental Impact Assessment* 21(3): 391-407.
- Song, Won Kyong · Lee, Dong-Kun · Kim, Eun-Young. 2013. Habitat connectivity Assessment of Tits Using a Statistical Modeling Focused on Biotop Map of Seoul, South Korea. *Journal of Environmental Impact Assessment* 22(3): 119-130.
- Sungnam-Si. 2009. *Sungnam Ecological Map*.
- Urban, D. and Keitt, T. 2001. Landscape connectivity: a graph-theoretic perspective. *Ecology*, 82(5): 1205-1218.
- Walker, B. and Salt, D. 2006. *Resilience thinking: sustaining ecosystems and people in a changing world*. Island Press.
- Zetterberg, A. · Mörtberg, U. M. and Balfors, B. 2010. Making graph theory operational for landscape ecological assessments, planning, and design. *Landscape and Urban Planning*, 95(4): 181-191.