

도시공원 경관 연결성 및 구조에 따른 조류 종다양성 분석*

송 원 경

단국대학교 녹지조경학과

Analysis of Bird Diversity According to Landscape Connectivity and Structure of Urban Park*

Song, Wonkyong

Department of Landscape Architecture, Dankook University.

ABSTRACT

The function of urban parks as wildlife habitats is becoming increasingly important. The urban park serves as a key area for preserving urban biodiversity. The purpose of this study is to estimate the bird species diversity in 30 parks in Cheonan city and quantitatively analyze the influence of vegetation, park structure and landscape connectivity index. As the results, a total of 27 birds species and 1,509 individuals were found at the sites and the largest number of birds were found in the Cheongsa park with 17 species. The optimal regression model was selected as the explanatory variables for the logged park area (LPA), the tree cover ratio (Co_T) and the patch betweenness centrality (PB). LPA and Co_T mean the internal characteristics of the park, and PB was the external environmental variable meaning landscape connectivity. LPA was the most important factor (73.3%) as bird habitat, and the PB could be interpreted as a factor that should be considered as important (26.7%). It will be possible to consider these environmental variables in the park and green area construction and management.

Keywords : Park Area, Betweenness centrality, Canopy, Landscape connectivity, Stepping stones, Landscape ecology

* 이 연구는 2015학년도 단국대학교 대학연구비 지원으로 연구되었음.

First author : Wonkyong Song, Assistant Professor, Department of Landscape Architecture, Dankook University, 119, Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam, 330-714, Korea,
Tel : +82-41-550-3636, E-mail : wksong@dankook.ac.kr

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

Received : 19 January, 2017. **Revised** : 10 February, 2017. **Accepted** : 4 February, 2017.

I 서 론

도시공원은 도시민의 쾌적한 이용과 도시환경 개선뿐만 아니라 도시개발 과정에서 손실된 자연녹지의 환경·생태적 기능을 대신할 수 있는 공간이다. 이제까지 도시공원의 가치를 평가하는데 시민의 이용 접근성, 편의시설, 운영 프로그램 등 인간 중심의 생태계서비스가 주를 이루었다면, 최근에는 도시지역에서도 생물다양성 보존이 강조되는 국제적인 추세를 고려할 때 (Shimazki et al., 2016), 도심에 남아있는 가장 중요한 녹지 자원으로서 도시공원의 가치를 재조명해야 할 시점이라 볼 수 있다.

도시개발 과정에서 기존 산림이 도시공원으로 변화하는 경우를 제외하고, 평지에 위치한 도시공원은 다른 토지이용에서 식재와 시설물 도입을 통해 공원으로 조성되는 경우가 대부분이다. 이런 경우 파편화라는 개념보다는 개발지역에 넓게 흩어져 분포하고 있는 녹지 패치들이 어떻게 서식지로서 기능하고 있는지에 대한 접근이 도시공원에 대한 서식지 연구에서 필요하다. 특히 도시계획을 통해 개발된 신도시의 경우 도시계획시설로서 공원의 생태적 기능을 이해하기 위해 현재 도시공원이 지니고 있는 서식지로서의 가치를 평가하는 연구가 필요한 실정이다.

도시공원을 야생동물 서식지로 이해하고 종 조사를 토대로 도시공원을 연구한 논문은 다수 존재한다. Lee et al.(2002)은 경남지역 4개 도시공원, Kim et al.(2004)은 서울시 길동자연생태공원, Lee et al.(2004)은 서울 남산도시자연공원, Hong and Kwak(2011)은 서울시를 대상으로 조류 및 식생조사 등을 통해 도시공원 및 녹지의 서식지 기능을 파악하고 관리방안을 모색하였다. 특히 Kwak et al.(2010)은 시가지지역 내 야생조류 서식에 영향을 미치는 요인을 파악하였고, Kim and Koo(2003)는 하천생태공원의 조류군집 영향을 파악하여 서식지를 개선할 수 있

는 요인을 제시하였으며, Song(2015)은 천안시 도시공원을 대상으로 조류 서식에 영향을 미치는 공원 내부요인에 대해 분석하였다. 도시공원과 생물다양성에 대한 연구는 연구방법론, 주요 내용에서 기존에 알려진 일반적인 정보를 정량화, 구체화했다는 점에서 의의가 있다고 평가된다. 그 외에도 많은 조류조사 연구에서 서식지를 개선하기 위한 다양한 방안을 제안하고 있으나 다양한 환경요인, 변수가 조류 종다양성에 어떠한 영향을 미치고 있는지에 대한 정량적인 분석 연구는 아직 부족한 상황이다(Song, 2015).

경관생태학적 해석을 기초로 국토 및 도시생태계를 평가한 기존 연구도 다수 존재한다. Lee et al.(2005a)은 패치크기, 연결성, 가장자리를 고려하여 보전가치를 평가하였으며, Lee et al.(2005b)은 보전가치평가를 위한 경관생태학적 지표를 제시하였다. 경관생태학에서 중요하게 논의하고 있는 패치 면적, 형태지수, 파편화 등의 개념을 토대로 Lee and Kim(2008)은 수도권을 대상으로 개발계획 요소와 산림파편화의 관계를 분석하였다. 야생동·식물 서식지와 관련하여 경관생태학적 이론을 적용한 연구로서 Lee and Kim(2009)은 개발사업에 대한 산림식생 영향을, Lee et al.(2010)은 조류종의 영향을 파악하였다. Kim et al.(2015)은 낙동강 하구를 대상으로 토지이용 단위의 조류서식지 유형에 따른 조류출현 영향을 파악하였고, Kim and Oh(2011)는 농촌마을을 대상으로 경관지수와 귀화식물 분포 특성을 분석하여 상관관계가 높은 패치밀도, 가장자리밀도 등의 경관지수를 추출해 냈다. 경관 연결성과 관련하여 Kang and Park(2011)은 그래프 이론을 이용하여 서울시 녹지 연결망을 분석하였고, Kang and Park(2015)은 수도권 산림 패치의 연결망 분석을 통해 산림성 조류의 이동통로를 분석, 평가하였다. Song et al.(2012)은 경관 연결성 측정 방법론을 검토하여 도시 녹지 연결성에 적합한 지수를 제안하였으며, 이를 토대로 Song et al.(2013)은 서

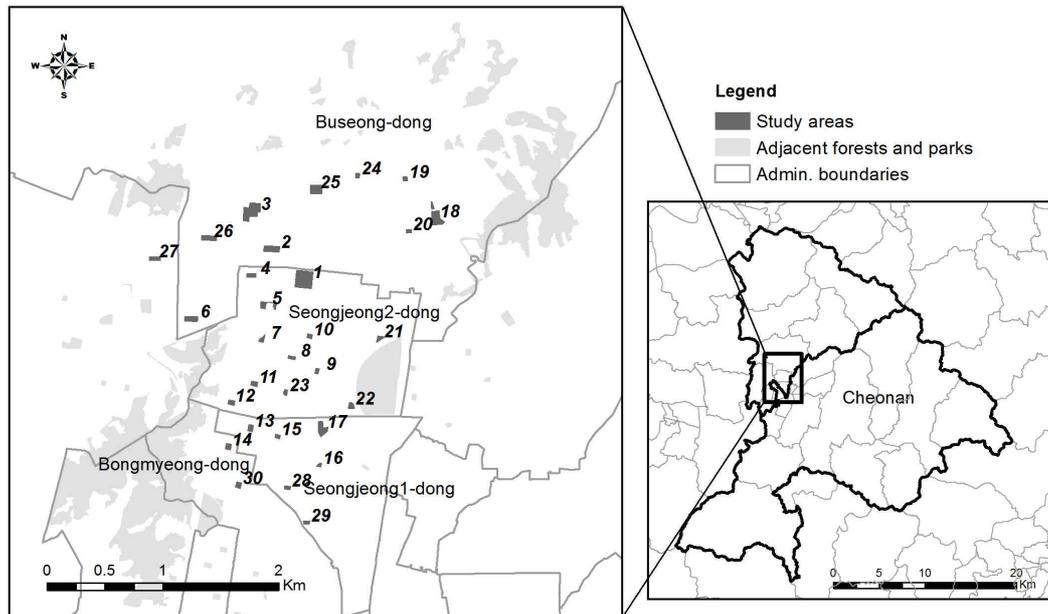


Figure 1. Study area and survey points (see Table 1).

울시 도시생태현황도 자료를 활용하여 박새류 서식지 연결성을 평가하였다. 일부 연구에서 경관생태학을 기초로 경관 연결성을 측정하고, 이를 생태계 평가에 적용하는 연구를 진행하고 있으나 경관지수와 현장 데이터를 연결하는 실제적인 접근이 부족한 한계가 존재한다.

본 연구는 경관의 구조적 조건과 연결성이 생물다양성에 영향을 미치고 있다는 경관생태학이론을 토대로 계획되었다. 도시 공원에 서식하는 조류의 종다양성에 도시공원의 구조와 식생, 연결성이 어떠한 영향을 미치고 있는지를 정량적으로 해석하고, 이를 향후 도시공원 조성 및 관리에 활용하는 것이 본 연구의 궁극적인 목적이다.

II. 연구의 범위 및 방법

1. 연구 대상지

본 연구 충청남도 천안시를 대상으로 수행되었다. 천안시는 행정구역 면적 636km²으로 서울 특별시와 비슷한 크기의 지방 도시로서 경부선, 장항선, 경부고속철도, 천안논산간 고속도로, 국

도 1호선 등 수도권과 지방을 연결하는 교통의 중심지로 기능하고 있다(Yoo et al., 2012). 1980년대 천안시의 인구는 12만 명 정도였으나 1995년에는 33만 명으로 증가하였으며 2004년에는 50만명을 넘어섰고, 2013년에 60만 명을 넘어서는 대도시 규모로 성장하였다¹⁾. 본 연구는 Song (2015) 연구의 연장선상에서 성정1동, 성정2동, 봉명동, 부성동에 위치한 30개 도시공원을 대상으로 진행되었다(Figure 1). 이 중 3개는 근린공원, 27개는 어린이공원이다. 도시공원은 시가화 지역으로 둘러싸여 섬처럼 고립된 특징이 있다.

2. 식생 및 조류조사

식생조사는 공원 내 식생의 피도량이 가장 높은 시기인 2014년 7월 1일부터 2014년 9월 30일 기간 동안 진행되었으며, 추가적인 정보를 확인하기 위해 2015년 7월 한 달 동안 추가로 식생 조사를 진행하였다. 각 공원별로 현장조사를 통

1) Korea Joongang Daily, 2013. 6. 7(<http://joongang.joins.com/>)

해 수고를 기준으로 관목은 2m 이하, 아교목은 2~6m, 교목은 6m 초과로 구분하여 분류하였다(Song, 2015). 식생 현황 정보는 교목 피복률(Canopy cover ratio of tree), 아교목 피복률(Canopy cover ratio of subtree), 관목 피복률(Canopy cover ratio of shrub), 교목 종수(Number of species of tree), 아교목 종수(Number of species of subtree), 관목 종수(Number of species of shrub)를 활용하였으며 도시공원의 구조 정보는 불투수율(Impervious surface ratio), 공원 면적(Park area), 공원 형태지수(Shape index)를 적용하였다(Song, 2015). 공원 형태지수는 공원 둘레길이를 면적으로 나눈 값을 의미하며 원형 및 정방형에 가까울수록 값이 작아지는 특징이 있다. 공원 면적 및 형태는 한국토지정보시스템(KLIS)을 이용하여 공원 경계를 추출하고 이를 현장조사를 통해 오류가 있는 경우 수정하여 계산하였다. 공간자료 처리는 ArcGIS 10.1(ESRI Inc.)을 이용하였다.

조류조사는 번식기인 2015년 4월 21일부터 2015년 5월 15일까지 진행되었다. 조사는 공원 별로 3회씩 반복 실시하였으며(Rhim, 2008), 종 다양성 계산을 위해 3회 조사 결과를 합산하여 평가하였다. 조사 방법은 공원 내·외부에서 공원 산책로를 따라 걸어가면서 조사하는 선조사법(line transect census method)을 이용하였으며, 조사 경로 좌우 25m 이내에서 관찰되는 조류를 육안관찰 및 쌍안경(Kenko ultraview EX OP 10x32DH II)을 이용한 관찰, 울음소리, 날아가는 모양 등으로 종을 확인하여, 종과 개체수를 기록하였다(Bibby et al., 1997; Lee et al., 2000; Rhim et al., 2007; Song, 2015).

조사 결과를 바탕으로 출현 종수 및 개체수를 정리하고, 이를 토대로 종다양성을 분석하였다. 종다양성은 Shannon-Wiener 지수(H')를 이용하여 산출하였다(Shannon, 1948).

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \times \ln(P_i) \quad (1)$$

여기서, s는 종수, P_i 는 i 번째 종의 개체수를 총 개체수로 나눈 값으로서 해당 종의 개체수 비율을 의미한다.

3. 연결성 분석

공원별 주변 녹지 및 공원과의 연결성을 측정하기 위해 그래프 이론(Graph theory)이 적용된 구조적 연결성 평가 방법을 적용하였다. 그래프 이론은 패치를 노드(Node), 거리를 링크(Link)로 설명하여 연결성을 측정할 수 있는 방법론이다. 패치는 연구 대상지인 30개 도시공원을 포함하여 외곽 공원에서 1km 거리에 인접한 산림 및 도시공원을 포함하여 설정하였다. 공원 자료는 KLIS 공원 경계를 활용하였으며 산림지역은 환경부 토지피복지도 중분류(2014년 1월 기준) 자료를 활용하였다. 이 두 자료를 중첩하여 녹지 패치를 분석하고 이를 노드 정보로 활용하였다. 링크는 직선거리를 기준으로 패치 경계에서부터의 거리를 활용하여 1km 이내에 존재하는 패치는 링크로, 이를 초과하는 거리일 경우 단절된 것으로 판단하여 연결성 분석을 진행하였다.

대표적인 연결성 측정 방법 중에서 설정된 거리 이내에 존재하는 링크 수를 의미하는 NL(Number of links), 전체 경관에서 상대적인 패치 중심성을 의미하는 PB(Patch betweenness centrality), 일정 거리 이내로 인접한 노드의 면적을 고려하는 연결성 측정 방법인 IIC(Integral index of connectivity), IIC와 유사하나 임계거리 기준으로 연결, 단절을 구분하지 않고 임계거리를 기준으로 i, j 두 패치 사이의 연결가능성, 또는 확산 가능성을 의미하는 p_{ij} 를 적용한 PC(Probability of connectivity)를 적용하였다. NL은 해당 패치에 가까운 패치를 확인할 수 있는 가장 일반적인 연결성 평가 방법이며(Freeman,

2) 환경공간정보서비스(<https://egis.me.go.kr/>) 중분류 토지피복지도 제작현황

1979; Jordán et al., 2003), PB는 연결된 패치 중 해당 패치를 통과하는 정도를 의미하여 징검다리와 같은 중간 녹지를 파악하는데 유리하다고 알려져 있다(Minor and Urban, 2007; Song et al., 2012). IIC와 PC는 면적의 개념이 포함되어 경관 전체의 연결성을 유지하기 위해 고안되어, 확산 가능성 측면에서 효과적인 방법론으로 평가되고 있다(Saura and Pascual-Hortal, 2007). 이 중 NL, IIC, PC 세 연결성 측정 지수는 해당 패치를 제거하였을 때 전체 경관에서 발생하는 연결성 감소를 측정하는 방식으로 해당 패치의 중요도를 평가하여 차이(difference)를 의미하는 d를 지수 앞에 붙여 dNL, dIIC, dPC로 표시하였다(Table 1). 연결성 분석은 Conifer 2.6(Saura and Torné, 2009)을 이용하였다.

4. 모형 구축

공원별 서식환경에 따라 조류 종다양성이 어떻게 달라지는지를 통계적으로 해석하기 위해 회귀 분석을 실시하였다. 회귀분석을 위한 변수 선정에 앞서 피어슨(Pearson) 상관관계 분석을 실시하였으며, 상관관계가 높은 변수의 경우 다중공선

성의 문제가 있으므로 회귀분석 과정에서 선별하여 사용하였다. 최적 회귀모형을 선정하기 위해 후진선택법을 이용하였으며, 최종 모형에서 선택된 변수에 대한 분산팽창계수(Variation Inflation Factor, VIF)를 확인하였다. 통계분석은 R 3.3.1(R Core Team, 2016)을 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 도시공원 구조 및 연결성 분석

30개 도시공원에 대한 식생조사 결과 교목 피복은 평균 0.43(s.d.=0.18), 아교목 피복은 0.12(s.d.=0.07), 관목 피복은 0.12(s.d.=0.11)로 조사되었으며, 교목 종수는 평균 7.6종, 아교목 종수는 평균 6.3종, 관목 종수는 평균 6.7종인 것으로 확인되었다(Table 1). 교목 중에서는 느티나무(*Zelkova serrata*), 소나무(*Pinus densiflora*), 뽕나무(*Prunus yedoensis*), 스트로브잣나무(*Pinus strobus*), 은행나무(*Ginkgo biloba*) 순으로 많이 식재되어있으며, 아교목은 단풍나무(*Acer palmatum*), 백목련(*Magnolia denudata*), 꽃사과나무(*Malus floribunda*), 산수유(*Cornus officinalis*), 관목은 철쭉

Table 1. Summary of selected landscape connectivity metrics in the models

Factor	Description	Formula	Formula and abbreviation
dNL	The number of its adjacent edges	$PD = \sum_{i=1}^n a(P_i, P_j)$	$a(P_i, P_j) = 1$ if patches P_i and P_j are connected in the threshold distance, 0 otherwise
PB	The number of shortest paths going through a patch	$PB = \sum_{i \neq j, i \neq v, j \neq v} \frac{g_{ivj}}{g_{iv}}$	g_{ivj} = the number of geodesic linking patches i and j that contain v g_{ij} = the number of geodesic paths from patches i to j n = total number of patches
dIIC	Integral index of connectivity	$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i \cdot a_j / (1 + nl_{ij})}{A_L^2}$	a_i, a_j = the sizes of patches i and j A_L = the total landscape area nl_{ij} = the number of links in the shortest path between patches i and j
dPC	Connectivity probability	$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i \cdot a_j \cdot P_{ij}^*}{A_L^2}$	P_{ij}^* = the maximum product probability of all possible paths between patches i and j

Saura and Pascual-Hortal, 2007; Song et al., 2013, modified

Table 2. landscape structures and Connectivity of 30 urban parks

No	Urban Parks	Canopy cover			NoS			ISR	PA	SI	dNL	PB	dIIC	dPC
		T	ST	S	T	ST	S							
1	Cheongsa	0.60	0.20	0.20	19	14	18	0.05	2.12	272	2.27	0.04	1.25	1.68
2	Dujeong5	0.20	0.05	0.10	8	6	3	0.70	0.72	517	2.02	0.03	0.40	0.60
3	Bukbuje1	0.20	0.10	0.10	10	8	8	0.10	1.63	364	2.40	0.07	0.92	1.06
4	Dujeong7	0.50	0.10	0.20	6	5	1	0.50	0.29	804	2.40	0.02	0.16	0.26
5	Seongjeong18	0.50	0.20	0.10	13	7	11	0.30	0.44	1,104	3.15	0.07	0.45	0.45
6	Baekseok4	0.30	0.10	0.10	7	6	3	0.70	0.52	594	3.66	0.03	0.35	0.43
7	Seongjeong12	0.50	0.10	0.10	5	6	7	0.50	0.19	1,134	3.78	0.04	0.13	0.51
8	Seongjeong3	0.20	0.05	0.05	4	3	6	0.60	0.17	1,102	3.28	0.02	0.11	0.88
9	Seongjeong4	0.50	0.15	0.25	5	3	9	0.10	0.17	1,004	2.77	0.01	0.09	0.56
10	Seongjeong2	0.50	0.20	0.10	6	5	4	0.20	0.17	991	2.52	0.01	0.09	0.12
11	Seongjeong13	0.50	0.05	0.05	10	6	6	0.30	0.25	803	3.53	0.02	0.17	0.19
12	Seongjeong14	0.50	0.10	0.20	9	5	9	0.20	0.25	804	3.53	0.01	0.15	0.21
13	Seongjeong15	0.40	0.05	0.10	11	7	9	0.50	0.25	803	3.40	0.02	0.16	0.19
14	Bongmyeong2	0.40	0.10	0.05	12	7	3	0.40	0.25	795	3.28	0.01	0.15	0.19
15	Seongjeong8	0.60	0.10	0.05	6	4	4	0.40	0.17	989	3.03	0.01	0.11	0.12
16	Seongjeong9	0.80	0.10	0.05	5	3	4	0.20	0.10	1,358	2.40	0.01	0.07	0.07
17	Seongjeong7	0.40	0.05	0.10	7	6	8	0.40	0.73	540	2.77	0.02	0.48	0.51
18	Dujeong	0.80	0.30	0.60	8	14	16	0.05	1.13	527	2.02	0.01	0.60	0.71
19	Budae1	0.50	0.10	0.10	4	7	4	0.20	0.15	1,007	2.52	0.01	0.08	0.08
20	Dujeong1	0.20	0.30	0.10	5	5	5	0.60	0.16	1,016	1.89	0.05	0.11	0.11
21	Seongjeong1	0.50	0.10	0.10	10	6	5	0.30	0.22	1,015	2.14	0.02	0.12	0.17
22	Seongjeong6	0.30	0.10	0.20	7	4	5	0.30	0.23	823	2.27	0.01	0.13	0.18
23	Seongjeong5	0.60	0.10	0.10	7	1	4	0.05	0.17	966	3.15	0.01	0.11	0.12
24	Budae2	0.50	0.10	0.10	7	4	5	0.20	0.15	1,014	2.40	0.03	0.08	0.08
25	Dujeong8	0.70	0.20	0.20	6	16	17	0.05	0.79	444	2.40	0.07	0.53	0.47
26	Dujeong6	0.20	0.10	0.05	6	12	3	0.70	0.58	595	2.27	0.03	0.33	0.45
27	Baekseok9	0.10	0.05	0.05	2	6	3	0.70	0.31	821	2.77	0.02	0.17	0.20
28	Seongjeong10	0.20	0.05	0.05	5	3	7	0.30	0.17	1,019	2.77	0.04	0.14	0.11
29	Seongjeong11	0.30	0.05	0.05	8	3	6	0.50	0.17	1,020	2.14	0.01	0.10	0.10
30	Bongmyeong5	0.30	0.10	0.10	11	7	8	0.50	0.25	792	2.65	0.01	0.15	0.20
	Mean	0.43	0.12	0.12	7.63	6.30	6.70	0.35	0.43	834.56	2.72	0.03	0.26	0.37
	S.D.	0.18	0.07	0.11	3.36	3.51	4.19	0.22	0.47	255.50	0.54	0.02	0.27	0.35

T : Tree, ST : Subtree, S : Shrub, NoS : Number of species, ISR : Impervious surface ratio, PA : Patch area(ha), Shape index : Perimeter/Area of park(m/ha), dNL : Number of links, PB : Patch betweenness centrality, dIIC : Integral index of connectivity, dPC : Probability of connectivity

(*Rhododendron schlippenbachii*), 회양목(*Buxus microphylla*), 쥐똥나무(*Ligustrum obtusifolium*), 조팝나무(*Spiraea prunifolia*)가 가장 많이 발견되었다(Song, 2015). 불투수율은 평균 0.35(s.d.=0.22)%였으며, 두정5공원, 두정6공원, 백석4공원, 백석9공원 등 일부 어린이공원은 불투수율이 70% 수준으

로 매우 높은 것으로 확인되었다(Table 2). 공원 면적은 평균 4,286.68(s.d.=4,661.15)m²이며, 형태지수는 정사각형에 가까운 두정공원 등 근린공원 및 일부 어린이공원이 작은 값을 보이며, 부정형의 긴 형태의 성정9공원 등이 큰 값을 나타내고 있다(Table 2).

연결성은 dNL의 경우 어린이공원이 도심에 밀집하여 분포하는 특성으로 인해 성정12공원, 백석4공원 등 어린이공원이 높게 나타나는 경향을 보이고 있다. PB는 매개 중심성을 의미하는 연결성 지수이므로 북부제1공원, 두정8공원, 두정공원 등 주변 녹지와 도시공원을 연결시키는 위치에 분포하는 도시공원의 연결성 값이 높게 계산되었다. dIIC와 dPC는 유사한 결과를 보여주고 있는데, 청사공원, 북부제1공원이 두 지수 모두에서 가장 높게 평가된 도시공원이다.

2. 조류 서식 현황 및 종다양성 분석

대상지에서는 총 27종 1,509개체의 조류가 발견되었다. 청사공원이 17종으로 가장 많은 조류가 발견되었으며 이어서 두정8공원이 14종, 두정공원이 13종 순서로 다양한 조류가 서식하고 있는 것으로 확인되었다(Table 3). 발견된 조류 개체수 역시 청사공원, 두정공원, 두정8공원, 북부제1공원이 가장 많은 것으로 조사되었다. 대부분의 어린이공원은 참새(*Passer montanus*), 까치(*Pica pica*), 직박구리(*Hypsipetes amaurotis*)

Table 3. Bird species diversity of 30 urban parks

No	Urban Parks	No. of species	No. of individuals	Species diversity(H')	Rank
1	Cheongsa	17	127	1.74	2
2	Dujeong5	7	63	1.02	14
3	Bukbuje1	15	95	1.48	4
4	Dujeong7	11	42	1.27	8
5	Seongjeong18	11	86	1.39	5
6	Baekseok4	8	45	1.15	9
7	Seongjeong12	3	16	0.90	18
8	Seongjeong3	4	26	0.75	23
9	Seongjeong4	4	63	0.47	29
10	Seongjeong2	3	34	0.54	27
11	Seongjeong13	8	30	1.32	7
12	Seongjeong14	4	35	0.44	30
13	Seongjeong15	6	33	1.03	12
14	Bongmyeong2	6	25	1.07	10
15	Seongjeong8	4	53	0.52	28
16	Seongjeong9	4	27	0.76	22
17	Seongjeong7	10	63	1.35	6
18	Dujeong	13	104	1.67	3
19	Budae1	4	28	1.07	10
20	Dujeong1	3	7	0.86	19
21	Seongjeong1	6	85	0.78	21
22	Seongjeong6	7	63	0.75	23
23	Seongjeong5	7	26	1.03	12
24	Budae2	4	30	0.75	23
25	Dujeong8	14	103	1.75	1
26	Dujeong6	8	55	0.92	16
27	Baekseok9	4	37	0.91	17
28	Seongjeong10	4	28	0.94	15
29	Seongjeong11	3	40	0.59	26
30	Bongmyeong5	5	40	0.79	20

Table 4. Estimates of the best model parameters for species diversity of birds

Coefficients	Estimate	Sdt. Error	t value	p-value	R ²	Adjusted R ²	p-value
(Intercept)	-1.786	0.443	-4.033	0.000***			
LPA(Log patch area)	0.303	0.058	5.225	0.000***	0.711	0.677	<0.001
Co_T(Cover of tree)	0.533	0.211	2.525	0.018*			
PB(Patch betweenness)	5.121	2.428	2.109	0.045*			

Signif. codes: '***' 0.001, '**' 0.01, '*' 0.05, '.' 0.1, F-statistic: 21.3 on 3 and 26 DF(degree of freedom)

등 도시지역에 적응하고 있는 조류 위주로 출현하고 있었다. 종별로는 참새, 까치, 직박구리에 이어 멧비둘기(*Streptopelia orientalis*), 방울새(*Carduelis sinica*)가 가장 많이 출현하고 있으며, 공원에 따라 산솔새(*Phylloscopus coronatus*), 흰눈썹황금새(*Ficedula zanthopygia*), 유리딱새(*Tarsiger cyanurus*) 등의 조류가 도시공원을 서식지로 이용하고 있는 것을 확인하였다.

종다양성 분석 결과 두정8공원이 1.75로 가장 종다양성이 높은 도시공원으로 확인되었으며 청사공원이 1.74, 두정공원이 1.67로 조류 종다양성이 높은 공원으로 분석되었다. 이러한 경향은 2014년 진행된 조류조사 결과와 유사한 경향을 보이고 있다(Song, 2015).

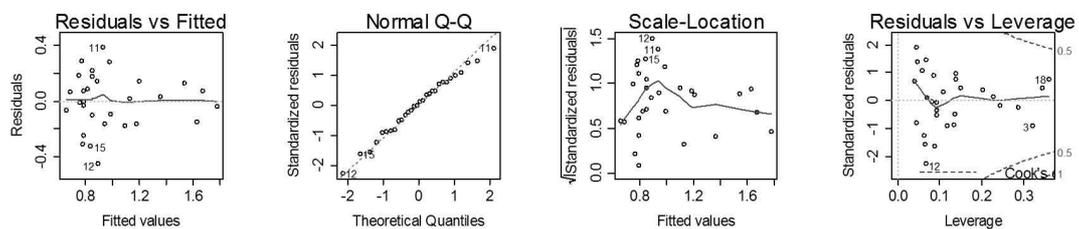
조류 종다양성은 $p < 0.01$ 수준에서 공원 면적이 넓을수록($r=0.78$), dIIC가 클수록($r=0.76$), 형태가 원형에 가까울수록($r=-0.66$), PB가 클수록($r=0.57$), 관목 중수가 많을수록($r=0.57$), dPC가 클수록($r=0.56$), $p < 0.05$ 수준에서 교목 중수가 많을수록($r=0.42$), 관목 피복률이 높을수록($r=0.36$) 긍정적인 영향을 받게 될 것으로 분석되었다. 상관분석을 통해 확인할 수 있듯이 공원 면적과 형태,

식물의 피복률과 다양성, 연결성이 조류 종다양성과 밀접한 관계가 있다는 것을 알 수 있다.

3. 조류 종다양성 분석 모형

최적 회귀모형을 선정한 결과 설명변수는 공원면적(LPA), 교목 피복률(Co_T), 매개 중심성(PB)이 선택되었다(Table 4). 모형의 적합도를 평가할 수 있는 잔차의 무작위적 분포, 등분산성 가정, Cook's distance 등을 확인할 때 몇 개의 데이터를 제외하고는 모형 적합도 측면에서 큰 문제가 없다고 판단된다(Teator, 2012, Figure 2). VIF 값 역시 1.37(LPA), 1.01(Co_T), 1.38(PB)로 다중공선성 문제를 고려할 필요가 없는 결과를 보여주었다.

회귀모형에서 대상지에서 공원의 면적이 넓을수록, 교목 피복률이 높을수록, 매개 중심성이 높을수록 도시공원의 조류 종다양성은 높아지는 것으로 예측되었다. 특히 공원면적은 유의수준 $p < 0.01$ 에서 유의한 변수로 확인되었으며 교목 피복률과 매개 중심성은 $p < 0.05$ 수준에서 유의한 변수로 확인되었다. 공원면적과 녹지량이 종다양성에 매우 중요하다는 것은 전통적인 경관

**Figure 2.** Regression diagnostic plots (Residuals vs. fitted values, Q-Q plots, Scale Location plots, Cook's distance plot)

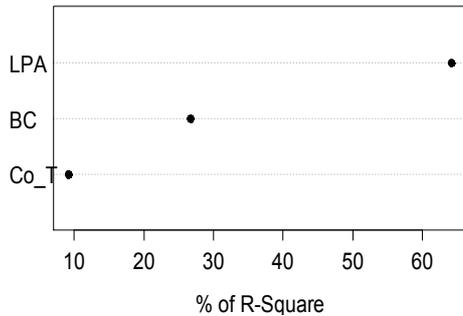


Figure 3. Relative importance of predictor variables (see Table 4)

생태학의 주요 이론이지만(Turner, 1989), 이 외에도 본 연구를 통해 공원 연결성이 좋을수록 도시공원의 서식지로서의 기능 향상을 정량화했다는 점에서 중요한 의의가 있다. 특히 매개 중심성은 다른 연결성 지수에 비해 징검다리 녹지와 같이 다른 패치를 연결시켜주는 기능을 중요하게 평가하는 지수로서(Saura and Pascual-Hortal, 2007), 도시생태계에서 활용될 수 있는 변수임을 확인할 수 있다(Song, et al., 2012).

공원의 내부적인 요인만으로 도시공원 종다양성을 분석했던 Song(2015)의 결과와 비교해 볼 때, 대상지가 4개 추가되고 조류조사를 진행한 시기가 달라졌다는 차이는 있으나 회귀모형의 수정된 R^2 를 기준으로 설명력을 비교할 때 0.60에서 0.677로 10% 정도 증가한 결과를 확인할 수 있다.

도시공원은 시가지지역으로 고립되어 있는 공원이 대부분이기 때문에 공원 면적과 교목 피복률과 같은 내부적인 요인이 매우 중요하다(Song, 2015). 그러나 도시공원은 개별 서식지로서 여러 조류종을 부양하기에 면적이 좁기 때문에 여러 서식지를 함께 이용하는 종의 경우 연결성을 중요한 서식지 선택 수단으로 판단할 수 있다. 이러한 측면에서 매개 중심성은 도시공원 관리에서 중요한 변수로 활용될 가능성이 있다.

최적 모형으로 선정된 세 변수를 통해 해당 변수로 분석할 수 있는 모든 회귀모형을 종합하

여 변수별 중요도를 평가하여 각 설명변수의 상대적 중요성을 평가한 결과 공원 면적이 64.13%, 교목 피복률이 9.16%, 매개 중심성이 26.71%를 차지하고 있음을 확인하였다(Figure 3). 즉, 내부적인 요인이 73.29%를 차지하고 있으며, 외부적인 요인이 모형의 26.71%를 설명하고 있다고 해석된다. 이러한 결과는 향후 도시공원의 조류 종다양성 증진 및 관리를 위한 계획 전략과 연계될 수 있다. 기본적으로 공원의 면적을 넓게 확보하고, 녹지를 교목, 아교목 등을 활용하여 풍부하게 조성하는 것을 추진하되 특히 매개 중심성이 높은 도시공원의 경우 더욱 중요한 서식지로서 관리하는 전략을 제안할 수 있다. 현대 도시에서 하나의 넓은 녹지를 조성하는 것은 현실적으로 매우 어려운 문제이기 때문에(Shimazki et al., 2016), 연결성 향상을 통해 단절된 도시공원의 서식지로서의 기능을 극대화할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결론

도시공원이 서식지로 중요하게 기능하고 있다는 것은 많은 연구자들이 동의하는 내용이다. 그러나 실제 데이터를 통해 도시에서 종다양성을 논의한 연구는 이제까지 많지 않은 한계가 있었다. 본 연구의 결과는 극단적으로 단절되어 있는 도시공원을 대상으로 조류 종다양성을 해석할 수 있는 공원 내부적 요인과 외부적 요인 정량화한 의미 있는 시도가 판단된다. 도심 공원에서는 일반인들이 생각하는 것 이상으로 다양한 조류종이 서식하고 있었으며, 이들의 서식에 영향을 주는 요인은 공원 면적, 교목 피복률로 대표되는 공원의 내부적 특성과 매개 중심성이라는 연결성으로 확인되었다. 이 세 요인은 조류 종다양성을 67.7% 설명할 수 있는 효과적인 환경변수로 평가된다. 특히 공원 면적은 야생동물 서식지로서 도시의 고립성을 고려할 때 가장 중요한 요인(73.3%)이었으며, 매개 중심성

역시 중요하게 고려되어야 할 요인(26.7%)으로 해석할 수 있었다. 매개 중심성은 징검다리로 활용되는 도시 공원의 가치를 재평가할 수 있는 연결성 지수이므로 추후 연구를 통해 이 지수를 재조명할 필요가 있다. 본 연구에서 구축한 회귀모형은 공원 주변 토지이용이나 인간의 이용 강도 등과 같은 교란요인, 수계 및 자연산림 등 유인요인을 충분히 고려하지 못한 한계가 있다. 인간으로 인한 교란 요인은 야생동물 서식지 관리에서 중요한 변수지만 실제 현장에서 정량화하기 어렵다. 또한 대상지에 수환경이 존재하지 않아 산림성 조류를 대상으로 종조사가 진행되었으며, 월동기에 대한 종조사가 진행되지 않아 번식기 및 여름철에 한정된 종다양성이 분석된 한계가 존재한다. 도시공원 특성상 면적 및 형태가 다양하기 때문에 조사 시기, 경로를 설정하는 것에도 편차가 발생하였을 가능성이 있다. 이러한 한계를 이해하고 향후 다양한 교란 요인과 서식지의 질을 측정할 수 있는 평가 지표 연구, 실험 연구가 추가로 진행된다면 도시 공원의 서식지 관리에 큰 발전이 가능할 것이라 기대된다.

인 용 문 헌

- Bibby, CJ · ND Burgess and DA Hill. 1997. Bird census technique. Academic press. London. 257pp.
- Freeman, L. 1979. Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification. Soc. Networks 1(3): 215-239.
- Hong, SH and JI Kwak. 2011. Characteristics of Appearance by Vegetation Type of Paridae in Urban Forest of Korea. Korean Journal of Environment and Ecology 25(5): 760-766.
- Jordán F. · A. Baldi · K.M. Orci · I. Racz and Z. Varga. 2003. Characterizing the importance of habitat patches and corridors in maintaining the landscape connectivity of a *Pholidoptera transsylvanica* (Orthoptera) metapopulation. Landsc. Ecol. (18): 83-92.
- Kang, WM and CR Park. 2011. Quantitative Analysis of Seoul Green Space Network with the Application of Graph Theory. Kor. J. Env. Eco. 25(3): 412-420.
- Kang, WM 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.
- Kim, B · U Yeo · D Oh and K Sung. 2015. Effects of Landscape Ecological Characteristics on Bird Appearance: Focused on The Nakdong River Estuary. J. Environ. Impact Assess. 24(3): 287-299.
- Kim, HS and CH Oh. 2011. Distribution Characteristics of Naturalized Plants According to Characteristics of Landscape Ecology in Rural Village of Korea. Kor. J. Env. Eco. 25(3): 389-403.
- Kim, J and TH Koo. 2003. Influence of the Eco-park Development on Bird Community in Urban Stream. The Korean Journal of Ecology 26(3): 97-102.
- Kim, J · GD Moon and TH Koo. 2004. Characteristics of Bird Community and Habitat Use in Gildong Natural Ecological Park. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 7(1): 19-29.
- Kwak, JI · KJ Lee and BH Han. 2010. Study on Analysis of Influence Factor for Wildbirds' Appearance in Urban Area around Urban Green Axis. Korean Journal of Environment and Ecology 24(2): 166-177.
- Lee, DK and EY Kim. 2008. Management Plan

- of Relationship between Land Development and Forest Fragmentation in Metropolitan Area. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 35(6): 37-47.
- Lee, DK and EY Kim. 2009. Development and Application of Impact Assessment Model of Forest Vegetation by and Developments. *J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 12(6): 123-130.
- Lee, DK · EY Kim · EJ Lee and WK Song. 2010. Impact Assessment Model of Bird Species for Land Developments. *Journal of Environmental Impact Assessment* 19(3): 347-356.
- Lee, DK · EY Kim and KS Oh. 2005a. Conservation Value Assessment by Considering Patch Size, Connectivity and Edge. *J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 8(5): 56-67.
- Lee, DK · SW Yoon · EY Kim, SW Jeon and JY Choi. 2005b. Application of Landscape Ecology Indicators for Conservation Value Assessment. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 32(6): 14-22.
- Lee, KJ · BH Han and SD Lee. 2004. Ecological Management Plan and Biotope Structure of Namsan Urban Natural Park in Seoul. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 32(5): 102-118.
- Lee, S · J Kim and H Min. 2002. A Study on Habitat for Multiplication of Wild-birds in Urban Woodland, Korean. *The Korean Journal of Ecology* 25(3): 143-155.
- Lee, WS · TH Koo and JY Park. 2000. *A Field Guide to the Birds of Korea*, Seoul : LG Evergreen Foundation.
- Minor, E. and D. Urban. 2007. Graph Theory as a Proxy for Spatially Explicit Population Models in Conservation Planning. *Ecol. Appl.* 17(6): 1771-1782.
- R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rhim, SJ. 2008. Differences in Breeding Bird Communities between Coniferous Forests of Mt. Namsan and Gwangneung Areas. *Korean Journal of Environment and Ecology* 22(3): 332-337.
- Rhim, SJ · JY Lee and JH Kang. 2007. Characteristics of Habitat Structure and Bird Communities between a Natural Deciduous Forest and the Road Area in Gwangneung, Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* 21(1): 47-54.
- Saura, S. and J. Torné. 2009. Conefor Sensinode 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modelling & Software* 24: 135-139.
- Saura, S. and L. Pascual-Hortal. 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: 91-103.
- Shannon, CE. 1948. *A Mathematical Theory of Communication*. Reprinted with corrections from *The Bell System Technical Journal* 27: 379 - 423, 623 - 656.
- Shimazaki, A · Y. Yamamura · 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.

- Song WK · EY Kim and DK Lee. 2012. Measuring Connectivity in Heterogenous Landscapes: a Review and Application. *Journal of Environmental Impact Assessment* 21(3): 391-407.
- Song WK · EY Kim and DK Lee. 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): 219-230.
- Song, WK. 2015. Analysis of Bird Species Diversity Response to Structural Conditions of Urban Park: Focused on 26 Urban Parks in Cheonan City. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 18(3): 65-77.
- Teetor, P. 2012. *R Cookbook: Proven Recipes for Data Analysis, Statistics, and Graphics*. O'Reilly Media Inc., CA.
- Turner, MG. 1989. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual review of ecology and systematics* 20: 171-197.
- You, S · B Byun and S Kim. 2012. An Analysis of the Characteristics of Changes in Population and Industrial Structure due to Residential Development: A Case of Cheonan-Si and Asan-Si. *The Geographical Journal of Korea* 46(4): 415-427.