

도시생태계 내 조류 종풍부도 증진을 위한 인간영향 및 교란가능성의 반영

김 윤 정

한국환경연구원 전문연구원

Consideration of human disturbance to enhance avian species richness in urban ecosystem

Kim, Yoon-Jung

Korea Environment Institute, Sejong, Research Specialist

ABSTRACT

Increase in avian species richness is one of the important issues of urban biodiversity policies, since it can promote diverse ecosystem services such as seed dispersal, education, and pollination. However, though human disturbance can significantly affect avian species richness, there are limited studies on the way to reflect the dynamics of floating population. Therefore, this study analyzed the spatial relationship between avian species richness, floating population, and vegetation cover using telecommunications information to identify the areas that requiring targeted monitoring and restoration action. Bivariate Local Moran's I was applied to identify LISA cluster map that showing representative biotopes, which reflect significant spatial relationship between species richness and population distribution. Edge density and distribution of ndvi were identified for evaluating relative adequacy of selected biotopes to strengthen the robust biodiversity network. This study offers insight to consider human disturbance in spatial context using innovative big data to increase the effectiveness of urban biodiversity measures.

Key Words : *biodiversity conservation; avian species richness; Bivariate Local Moran's I; floating population; human disturbance*

First author : Kim, Yoon-Jung, Korea Environment Institute, Research Specialist,
Tel : +82-44-415-7605, Email : kimyj@kei.re.kr

Corresponding author : Kim, Yoon-Jung, Korea Environment Institute, Research Specialist,
Tel : +82-44-415-7605, Email : kimyj@kei.re.kr

Received : 21 July, 2021. **Revised** : 21 October, 2021. **Accepted** : 14 October, 2021.

I. 서론

도시화가 가속화됨에 따라 향후 수십년간 전 지구의 도시 면적은 1.4배에서 많게는 3배까지 증가할 것이라 전망되고 있다(Seto et al., 2012; Zhou et al., 2019). 도시화는 조류 종풍부도의 감소를 일으키는 주요 원인 중 하나이다(Soifer et al., 2021). 인간영향에 비교적 민감도가 적은 일반종과 민감도가 높은 보호종 모두 인간에 의한 서식처 파괴, 비간섭거리 침해, 서식밀도 제한 등 부정적 영향을 받을 수 있다.

조류 종풍부도의 보전은 도시생태계의 지속가능성을 도모하고 생태계서비스 공급 확대를 위해 필요하다. 조류는 수분(pollination), 해충억제, 종자 산포, 환경교육 등 다양한 생태계서비스를 제공하며, 도시생태계의 생물다양성 증진에 필수적인 종으로 역할 한다. Gaston et al (2018)은 조류 종풍부도의 보전이 일반적으로 생태계서비스 공급총량과 긍정적 관계가 있음을 규명하였으며, 조류종의 종풍부도, 종다양성 증진을 도시 생물다양성 보전정책의 주요 이슈로 거론함이 필요하다는 점을 강조하였다. 조류 종풍부도는 도시생태계의 생물다양성을 측정하기 위한 주요 지표로 활용되기도 한다(Lepczyk et al., 2017).

도시생태계 특성상 조류 종의 서식은 인간 영향에 지속적으로 노출된다. 지역계획 과정에서 녹지의 면적, 형태, 거리 등을 경관생태적으로 점검하고 생물다양성 네트워크 증진 및 조류 서식확대를 위한 노력을 지속하고 있으나, 높은 인구밀도로 인한 각종 인간 영향(서식처의 자연성 훼손, 비간섭거리 침해 등)을 공간적으로 고려하기란 쉽지 않다(MacGregor-Fors et al., 2021). 현장조사 정보는 유동인구의 공간적 현황과 밀도를 파악하기에 부적합하여 생물다양성 정책에 활용되기 어렵다. 최근, 이러한 문제점을 고려하여 기지국 기반 통신정보 및 GPS 정보, 소셜미디어 위치데이터 등 빅데이터를 기반으로 추정

한 유동인구 밀도 정보를 보호지역 관리, 생물다양성 보전에 고려할 필요성이 제기되고 있다(Sessions et al., 2016; Sonter et al., 2016; Kim et al., 2019; Kim et al., 2020). 즉, 신규 빅데이터 출현으로 생물다양성 정책에서 유동인구 현황 및 인간에 의한 교란가능성을 공간적으로 고려할 수 있게 되었다(Kim et al., 2019).

그러나 도시생태계를 대상으로 종 출현 특성과 유동인구 밀도를 복합적으로 고려한 생물다양성 계획/관리방안 설정에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 기존 생물종 출현/비출현 정보만 고려한 정책설계는 도시생태계의 잦은 교란 가능성을 반영할 수 없다. 보다 효과적인 정책설계를 위해서는 종 출현 특성 외 인간에 의한 교란 가능성을 복합적으로 고려하고 추가 식재, 집중 모니터링 등 행동이 필요한 지역을 선별할 필요가 있다. 그러므로 본 연구는 통신 기지국 기반의 유동인구 현황 빅데이터를 활용하여 조류 종풍부도와 인구밀집도 간 복합 공간자기상관 관계를 규명하고, 도시 생물다양성 보전/복원 정책에서 인간에 의한 잠재 교란가능성의 공간적 반영방안을 제시하고자 하였다. 또한, 조류의 서식 밀도에 영향을 미치는 가장자리 밀도, 식생패치 분포현황을 우선 고려하고, 잠재 교란가능성이 높은 지역의 복원/보전 활동 이행 필요성을 검토하고자 하였다. 복합 공간자기상관성의 반영을 위해 Bivariate Local Moran's I 분석을 적용하였으며 LISA cluster map을 생성하여 우선순위 고려가 필요한 지점을 선별하였다. 선별 지점의 ndvi 분포현황 및 가장자리 밀도 분석을 위해 Landsat8 OLI TIRS C2 L2 영상에 기반하여 식생패치 현황을 광역적으로 점검하였다. 도시 내 생물다양성 복원/보전 정책의 설계-이행 과정에서 서식처에 대한 잠재적 교란가능성을 반영할 필요가 있으며, 본 연구에서 제시한 방법론 및 결과는 생물종의 공간적 서식현황과 인간에 의한 교란가능성을 광역적으로 검토, 반영하는데 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

II. 연구방법

1. 대상지 및 데이터

본 연구의 대상지는 서울특별시이며 도시생태현황도 내 조류 종조사가 이루어진 비오톱을 대상으로 하였다. 조류 종풍부도가 조사된 지역은 전체 조사 비오톱 39,418개 중 256개로 적으나 서울시의 보호지역, 생태공원 등 주요 녹지 및 오픈스페이스를 포함한다. 2010~2015년에 걸쳐 조사된 제3차 도시생태현황도 정보(서울 열린데이터광장, <https://data.seoul.go.kr/>)를 기반으로 대상 비오톱을 선정하고 조류 종풍부도를 집계하였다.

유동인구의 경우, KT의 LTE시그널데이터와 서울시의 주민등록정보 등 인구정보를 기반으로 추정된 ‘생활인구(현주인구)’ 정보를 적용하였으며 서울시에서 제공한 정보를 활용하였다. 본 정보는 통화, 문자 기반의 통신이력 및 기지국의 수신정보를 바탕으로 유동인구의 밀도를 통계적으로 추정한 것이며, 서울시가 보유한 주민등록 통계, 건물 정보, 대중교통 이용통계 등 정보와 대조하여 서울의 특정지역, 특정시점에 존재하는 모든 인구를 추정한 것이다. 거주민의 수와 달리 해당 장소/시점의 인구를 추정할 수 있어 유동인구의 공간적 밀도 정보로 활용하기에 적합하다. 본 연구는 2018년 5월 한달 간의 일별 유동인구 정보를 활용하였으며, 데이터 전처리를 통해 면적당 총 유동인구의 수 현황을 집계, 적용하였다.

2. LISA Cluster Map 도출을 통한 이변량 공간자기상관성 복합분석

조류 종풍부도와 유동인구의 공간적 상관도가 높은 지점을 규명하기 위해 Bivariate Local Moran's I 분석을 시행하였다. Moran's I 분석은 공간자기상관성을 공간통계적으로 분석할 수 있는 대표적인 방법이며, Bivariate Local Moran's

I 분석은 이변량 간 공간자기상관성을 복합적으로 살펴볼 수 있는 방법이다(Anselin, 2005). 본 방법을 적용하여 4개의 공간자기상관도 군집으로 구분된 LISA cluster map을 도출하였다. 유의도(p value)가 0.05 이상인 공간을 대상으로 값이 높은 공간끼리 인접한 경우는 HH(High-High), 값이 높거나 낮은 공간끼리 인접한 경우는 HL(High-Low) 또는 LH(Low-High), 값이 낮은 공간끼리 인접한 경우는 LL(Low-Low)로 구분되었으며, 이 중 HH 지점을 선별하였다. GeoDa 1.18이 분석에 활용되었다.

3. 식생현황 및 가장자리 밀도 분석

선별지점을 대상으로 광역 식생패치 현황과 가장자리 밀도 현황을 검토하였다. 도시 내 식생패치 및 산림패치의 면적, 형태, 구성 등 경관생태적 현황은 종풍부도 변화에 밀접한 영향을 미칠 수 있다(Harper et al., 2005; Faeth et al., 2011). 특히, 면적당 가장자리 총량을 정량화한 가장자리 밀도(edge density)는 도시와 산림이 만나는 경계에서 커지는 현상이 일반적이며 조류의 서식처 질에 영향을 미친다(Soifer et al., 2021). 가장자리 밀도가 높으며 도시 경관패치의 다양성이 높아질 경우, 일부 일반종의 증가에는 긍정적 영향을 미칠 수 있으나 전체 종풍부도에는 부정적 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 본 연구는 ndvi값의 구축을 통해 선별 비오톱 내 식생면적과 선별 비오톱이 속한 산림패치의 가장자리 밀도를 분석하고 상대적으로 값이 낮은 지역을 고려하고자 하였다. Ndvi 값은 Landsat8 OLI TIRS C2 L2 영상을 USGS Earth Explorer(<https://earthexplorer.usgs.gov/>)에서 받아 근적외선(, 적외선 값을 활용하여 구축하였다(수식1).

$$(수식 1) \quad NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R}$$

2019년 6월 13일 영상을 적용하였으며 대상

지 내 구름 피복이 5% 이내인 영상을 활용하였다. ndvi값이 0.28 이상인 지역을 추출하여 드문 드문 식생 분포지역(sparse vegetation), 집중적 식생분포지역(intense vegetation) 지역을 30m 공간해상도로 추출하였다(Akbar et al., 2019). 선별 비오톱이 속한 식생패치의 가장자리 밀도(수식2) 값을 Patch Analyst version 5(Rempel et al., 2012)를 통해 구축하였다.

(수식 2)

$$\text{Edge Density} = \frac{\text{Total length of edge(m)}}{\text{Total Landscape Area(m}^2\text{)}}$$

1) 조류 종풍부도 및 유동인구

조류 종풍부도의 분포는 Figure 1(a)와 같이 관측되었다. 대부분 조경녹지 및 산림 비오톱에 속하였으며 약 18%는 경작지, 공업지 및 도시 기반시설지, 교통시설 비오톱에 해당하였다. 조류 종풍부도는 대상 비오톱에서 최대 136종에서 최소 1종의 분포를 보였다. 조류 종풍부도가 높은 비오톱의 경우, 최대 11종의 멸종위기종을 포함하고 있었으며, 다수의 비오톱에서 노랑부리 백로, 매 등 1종 이상의 멸종위기종이 관측되었다. 이처럼 대상지의 조류 종 분포는 도시생태계가 생물다양성 보전에 가지는 중요성을 보

여준다(Jokimäki et al., 2018).

면적당 유동인구의 경우, 대상 비오톱에서 최소 약 0.25명/m²에서 최대 약 2,733명/m²의 분포를 보이는 것으로 관측되었다(Figure 1(b)). 유동인구 밀도가 높은 상위 10개의 대상 비오톱 중 60%가 비오톱 등급이 1~2등급인 녹지 및 오픈스페이스인 것으로 관측되었으며, 녹지 및 오픈스페이스에 대한 높은 방문선호도, 문화서비스수혜현황을 광역적으로 보여준다.

2) LISA Cluster map 및 모니터링 필요지역

조류 종풍부도와 유동인구 분포 간 Multivariate Global Moran's I 값은 -0.001로 두 변수간 총체적인 공간적 상관성은 없는 것으로 나타났다. 그러나 국지적인 공간적 상관성이 나타나는 지점을 Bivariate Local Moran's I 분석을 통해 규명하였으며, Figure 2와 같이 LISA Cluster map을 도출하였다. 공간자기상관성이 나타난 지점은 두 변량이 모두 공간적으로 군집한 특성을 보이는 지점을 의미한다. Figure 2는 HH, LL, HL, LH의 4가지 공간적 유형의 국지적 공간자기상관성을 보이는 지점을 나타낸다. 공간적 상관도가 확인된 해당지점 중 HH 군집 즉, 조류 종풍부도도 높고 유동인구도 높은 복합 공간자기상관성이 나타나는 지역이 규명되

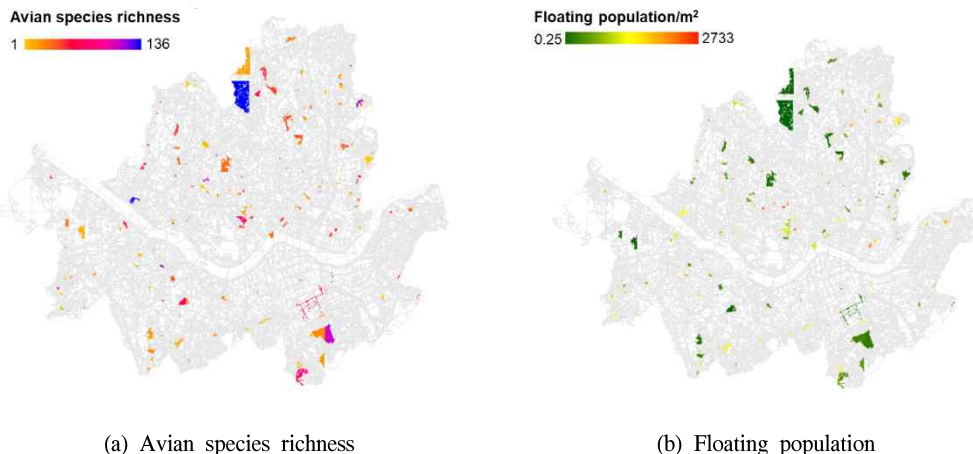


Figure 1. Spatial distribution of avian species richness and floating population in the study site

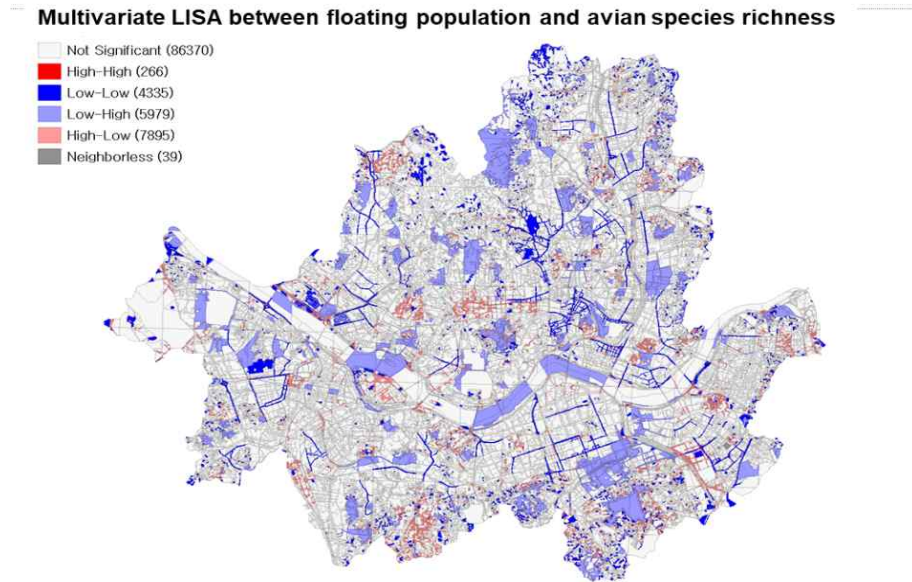


Figure 2. Results of LISA Cluster map showing types of spatial autocorrelation between floating population and avian species richness. The figure shows four types of local spatial clustering that consisted of High-High, Low-Low, Low-High, and High-Low spatial relationship.

었으며(Figure 2, Figure 3), 대상 비오톱 중 총 266개의 HH 관계를 가진 지점이 관측되었다. 전체 비오톱 중 조류 종풍부도가 높은 HH, LH 지역은 서울시의 전체 비오톱 분포를 고려했을 때 각각 약 0.25%, 5.7%를 차지하였다. 상기 결과는 조류 종풍부도의 조사지점 한계로 인해 모든 서울시의 조류 및 유동인구 분포 간 관계를 보여주진 않으나, 조사 비오톱 중 조류 종풍부도가 높으나 유동인구가 낮은 공간적 관계를 보이는 지점이 상대적으로 많은 것은 긍정적으로 판단된다. 높은 인구밀집도를 보이는 도시환경은 접근하기 쉬운 먹이원, 낮은 포식자의 분포 특성을 가짐에도 불구하고, 조류의 취약한 건강 상태를 초래하는 경우가 많다(Anderies et al., 2007). 따라서 공간통계적으로 높은 잠재적 교란가능성을 보이는 HH 군집을 대상으로 집중 모니터링 및 생물다양성 보전을 위한 관리가 필요하다.

기준에 보호지역 관리, 신규 복원 및 보전지

역 발굴, 녹지의 식재면적 증진 및 자연성 회복 등 각종 생물다양성 정책의 계획/시행 시, 생물 다양성 특성과 유동인구 밀도를 복합적으로 고려하기란 자료부족의 문제로 어려웠다(Kim et al., 2020). 그러나 본 연구는 기초국 기반의 인구현황 빅데이터를 활용하고 Bivariate Local Moran's I 분석을 통해 인구, 생물종 서식특성 간 공간적 상관도와 응집성을 효과적으로 파악할 수 있는 사례를 Figure 2와 같이 제시하였다. 종출현 관측정보 및 종 분포 예측정보는 높은 불확실성이 있을 수 있다(Wilson et al., 2005). 그러므로 자연성 회복이 필요한 우선순위 지역의 설정 시, 종의 출현/비출현 정보는 매우 중요한 판단기준이 될 수 있으나(Sarkar et al., 2006), 상기 정보 외 추가적으로 인간에 의한 교란가능성의 고려가 공간적인 맥락에서 필요하다. 따라서 Figure 2 및 Figure 3의 사례와 같이 종풍부도 현황과 유동인구 현황 간의 복합 공간 자기상관성이 나타나는 지점을 규명하고 상충

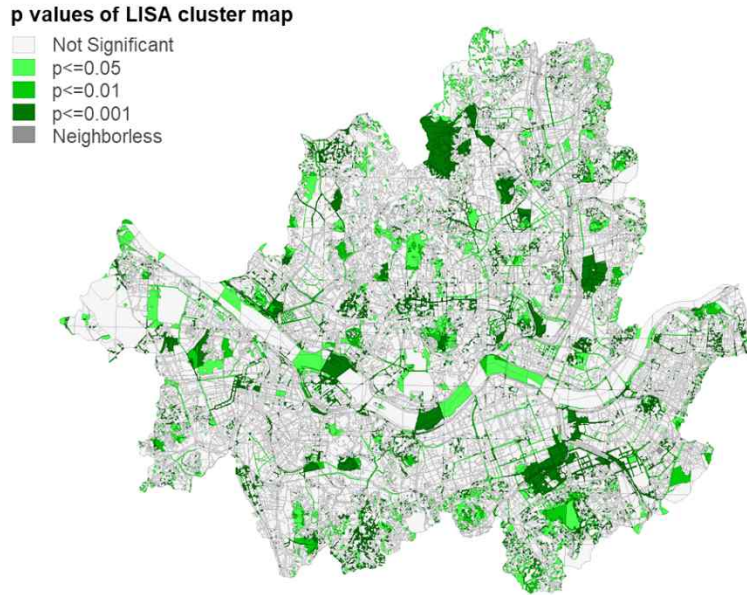


Figure 3. Selected locations showing significant spatial relationship ($p \leq 0.05$). The figure illustrates the selected areas showing p value less than 0.05 between avian species richness and floating population.

이 우려되는 지점을 선별함이 필요하다.

3) 모니터링 필요지역의 식생패치 및 가장자리 밀도 분포

Figure 2에서 규명한 HH 군집이 나타난 비오톱을 대상으로 조류의 종풍부도와 유동인구 간 복합 공간자기상관성이 나타나는 비오톱이 광역 식생패치에 속한 비오톱인지 아닌지를 Figure 4와 같이 규명하였다. HH 군집이 나타난 비오톱 중 79.7%가 광역 식생패치에 속한 것으로 관측되었다. Ndvi의 광역적 분포가 조류의 서식현황과 다수 일치하는 본 결과는 ndvi를 통해 조사한 식생패치의 분포현황이 조류 종출현 여부를 상당량 대변할 수 있다는 Song(2018) 및 Leveau & Isla(2021)의 연구와 부합한다. 인간 영향으로 인한 간섭을 최소화하고 조류가 필요한 비간섭거리를 확보하기 위해서는 충분한 식생면적의 확보가 필요하며, 산림 등 광역 식생패치에 속하지 않은 Figure 4의 규명지점은 추

후 신규녹지 조성, 보강식재 등 활동의 이행이 고려될 수 있다.

HH 군집이 속한 광역 식생패치에 대하여 가장자리 밀도의 상대적 분포를 Figure 5와 같이 제시하였다. 가장자리 밀도는 도시 내 크고 작은 녹지의 연결녹지로서의 적합도, 생태적 건전성을 파악할 수 있는 대표적 기준으로(Croci et al., 2008). 가장자리 밀도가 높은 지점은 상대적으로 인간에 의한 교란가능성이 높은 것을 의미한다(Francis et al., 2011). 대상지의 경우, 녹지면적 총량이 높을수록 파편화 정도가 심하여 가장자리 밀도가 높은 경향성을 띠었으며, 교란가능성이 높은 지점이 다수 분포하였다(Figure 5). 서식처의 총 면적이 조류 종풍부도 증진에 영향을 미친다는 점은 널리 알려진 이론이나, 가장자리 밀도 등 패치의 구성 역시 서식처의 질을 좌우할 수 있다 (Fahrig, 2013). 가장자리 밀도가 높으면 환경변화에 적응력이 좋은 종들의 다양성이 증가할 수 있으며, 멸종위기종을 비롯한

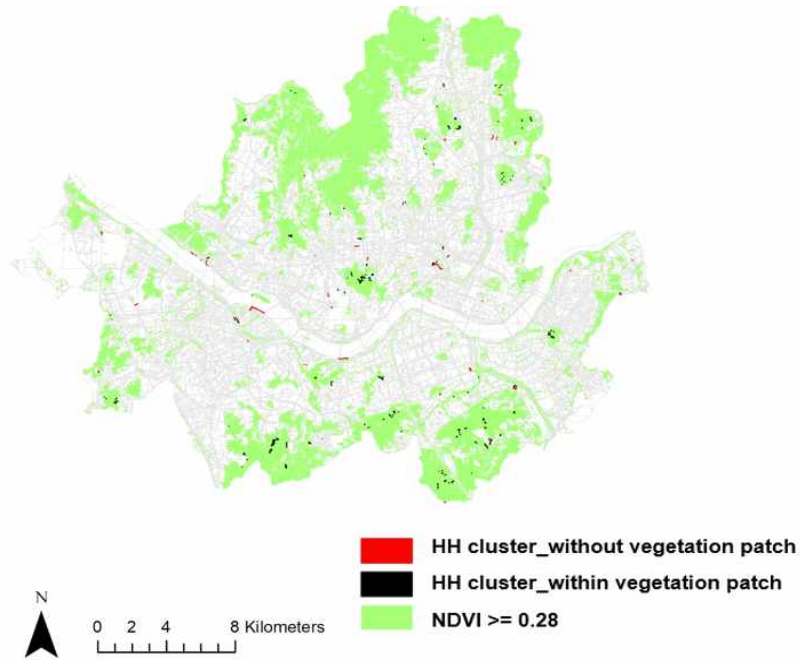


Figure 4. Spatial distribution of a patch of vegetation in the selected locations. The figure indicates whether selected locations showing High-High spatial relationship are located within vegetation patch or not.

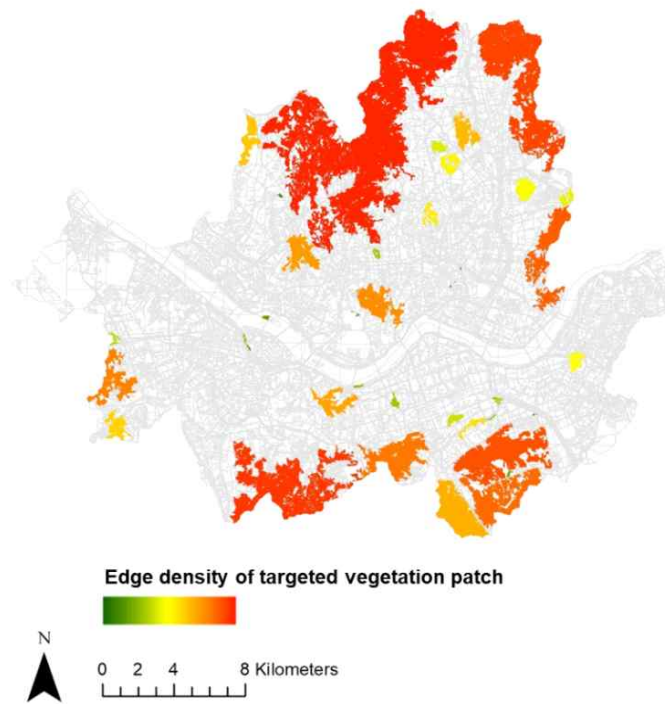


Figure 5. Edge density of a patch of vegetation in the selected locations.

보호종의 서식 증진, 전체 종풍부도의 지속적인 증진을 고려하여 내부면적의 확대를 지속적으로 꾀할 필요가 있다(Soifer et al., 2021). 그러므로 광역 식생패치에 속한 HH군집 중 높은 가장자리 밀도를 가진 지점을 대상으로(Figure 4, Figure 5), 인근 징검다리 녹지 증가, 가장자리의 망토군락 관리 등 활동을 수행할 필요가 있다.

또한, 본 연구에서 규명한 HH군집 위치지점의 교란가능성을 보다 심층적으로 고려하기 위해 향후 식이식물 분포, 물 등 서식요소 존재, 산림으로부터의 거리 등 보다 다양한 서식요인에 대한 검토가 필요하며, 목표종별 상이한 서식 필요조건 및 민감성을 고려할 필요가 있다. 본 연구는 전체 조류 종풍부도를 대상으로 잠재적 교란가능성이 높은 지점을 선별하였으며, 이와 같이 우선순위 지점을 규명한 후, 향후 후속 연구를 통해 우선지역에 도입이 필요한 목표종, 목표 식생구조 등 보다 구체적인 복원방안을 제시할 필요가 있다. 더불어 야생조류는 활동시간대가 상이하므로 향후 시간대별 서식현황과 인구의 밀집현황을 복합 분석할 필요가 있다.

III. 결 론

본 연구의 결론은 다음과 같다. 첫째, 도시생태계의 조류 종풍부도 증진을 위해서는 향후 생물종 출현정보 뿐만이 아니라 인간에 의한 교란가능성을 고려한 생물다양성 정책 설계가 필요하다. 본 연구는 높은 조류 종풍부도, 높은 잠재교란가능성 간 국지적 상관성을 보이는 지점을 서울시의 일부 비오톱을 대상으로 제시하였으며, 향후 유동인구 밀도와 서식현황을 복합적으로 고려한 도시 생물다양성 정책 설계가 필요하다. 조류 등 생물종의 종풍부도 확보는 도시 내 생태계 기능 확보를 도모할 뿐 아니라 환경교육, 레크리에이션, 자연과의 친밀도 향상 등 도시민의 삶의 질 향상에 영향을 주므로 중요하며, 인간에 의한 잠재 교란지점을 지속적으로

모니터링할 필요가 있다. 둘째, 인간영향의 고려시, 최근에 대두되고 있는 빅데이터를 적용한 혁신적인 접근이 필요하다. 빅데이터를 기반으로 교란가능성을 점검하고 이를 생물다양성 정책에 반영한 사례는 아직 매우 미흡하다. 그러나 핸드폰 GPS 정보, 소셜미디어 정보 등을 활용하여 생물다양성 보전 방향을 공간적으로 검토할 필요가 있으며, 인간에 의한 교란가능성을 보다 면밀하게 고려하기 위해 상기 신규 빅데이터를 생물다양성 정책에 반영하기 위한 방안을 다양하게 규명할 필요가 있다. 본 연구는 기지국 기반의 핸드폰 통신정보를 연구에 활용하였으나, 향후 통신정보, 지출정보, 소셜미디어 정보 등 다양한 형태의 빅데이터를 활용하고 고해상도의 연구가 수행될 필요가 있다. 셋째, 조류 종풍부도 및 도시생태계 내 생물다양성 증진을 위해, 후속연구로 인간영향에 대한 검토와 함께 목표종의 서식요건 및 서식처에 대한 면밀한 모니터링이 필요하다. 본 연구는 우선적으로 식생, 가장자리 밀도의 광역적 분포를 검토하여 잠재교란지점의 복원, 보전 활동이 필요한 지점을 제시하였다. 그러나 후속연구로 목표종별 다양한 서식요건, 목표종별 활동시간 및 시간대별 인구밀집도를 보다 상세하게 고려하고 복원, 보전 활동의 이행 방안을 제시할 필요가 있다. 결과적으로 도시생태계 내 복원, 보전 계획의 수립 및 이행지점의 규명 시, 기존 서식현황 및 서식처 질 평가와 함께 유동적 인구분포 현황을 종합적으로 고려함이 필요하다.

References

- Akbar, T. A., Hassan, Q. K., Ishaq, S., Batool, M., Butt, H. J., & Jabbar, H. (2019). Investigative spatial distribution and modelling of existing and future urban land changes and its impact on urbanization and economy. *Remote Sensing*, 11(2), 105.

- Anderies, J. M., Katti, M., & Shochat, E. (2007). *Living in the city: Resource availability, predation, and bird population dynamics in urban areas*. 247, 36-49. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2007.01.030>
- Anselin, L. (2005). Exploring spatial data with GeoDaTM: a workbook. *Center for Spatially Integrated Social Science*.
- Croci, S., Butet, A., Georges, A., Aguejdad, R., & Clergeau, P. (2008). Small urban woodlands as biodiversity conservation hot-spot: a multi-taxon approach. *Landscape Ecology*, 23(10), 1171-1186.
- Faeth, S. H., Bang, C., & Saari, S. (2011). Urban biodiversity: patterns and mechanisms. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1223(1), 69-81.
- Fahrig, L. (2013). Rethinking patch size and isolation effects: the habitat amount hypothesis. *Journal of Biogeography*, 40(9), 1649-1663.
- Francis, C. D., Ortega, C. P., & Cruz, A. (2011). Noise pollution filters bird communities based on vocal frequency. *PLoS One*, 6(11), e27052.
- Gaston, K. J., Cox, D. T. C., Canavelli, S. B., García, D., Hughes, B., Maas, B., Martínez, D., Ogada, D., & Inger, R. (2018). Population abundance and ecosystem service provision: The case of birds. *BioScience*, 68(4), 264-272.
- Harper, K. A., Macdonald, S. E., Burton, P. J., Chen, J., Brososke, K. D., Saunders, S. C., Euskirchen, E. S., Roberts, D. A. R., Jaiteh, M. S., & Esseen, P. (2005). Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology*, 19(3), 768-782.
- Jokimäki, J., Suhonen, J., & Kaisanlahti-jokimäki, M. (2018). Landscape and Urban Planning Urban core areas are important for species conservation: A European-level analysis of breeding bird species. *Landscape and Urban Planning*, 178(May), 73-81. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.05.020>
- Kim, Y. J., Lee, D. K., & Kim, C. K. (2020). Spatial tradeoff between biodiversity and nature-based tourism: Considering mobile phone-driven visitation pattern. *Global Ecology and Conservation*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00899>
- Kim, Y. J., Kim, C. K., Lee, D. K., Lee, H. W., & Andrada, R. I. T. (2019). Quantifying nature-based tourism in protected areas in developing countries by using social big data. *Tourism Management*, 72, 249-256. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2018.12.005>
- Lepczyk, C. A., La Sorte, F. A., Aronson, M. F. J., Goddard, M. A., MacGregor-Fors, I., Nilon, C. H., & Warren, P. S. (2017). Global patterns and drivers of urban bird diversity. In *Ecology and conservation of birds in urban environments* (pp. 13-33). Springer.
- Leveau, L. M., & Isla, F. I. (2021). Predicting bird species presence in urban areas with NDVI: An assessment within and between cities. *Urban Forestry and Urban Greening*, 63(November 2020), 127199. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127199>
- MacGregor-Fors, I., Escobar-Ibáñez, J. F., Schondube, J. E., Zuria, I., Ortega-Álvarez, R., Sosa-López, J. R., Ruvalcaba-Ortega, I., Almazán-Núñez, R. C., Arellano-Delgado, M., & Arriaga-Weiss, S. L. (2021). The urban contrast: A nationwide assessment of avian diversity in Mexican cities. *Science of the Total Environment*, 753, 141915.

- Rempel, R. S., Kaukinen, D., & Carr, A. P. (2012). Patch analyst and patch grid. *Ontario Ministry of Natural Resources. Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario.*
- Sarkar, S., Pressey, R. L., Faith, D. P., Margules, C. R., Fuller, T., Stoms, D. M., Moffett, A., Wilson, K. A., Williams, K. J., & Williams, P. H. (2006). Biodiversity conservation planning tools: present status and challenges for the future. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, *31*, 123-159.
- Sessions, C., Wood, S. A., Rabotyagov, S., & Fisher, D. M. (2016). Measuring recreational visitation at US National Parks with crowd-sourced photographs. *Journal of Environmental Management*, *183*, 703-711.
- Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyra, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *109*(40), 16083-16088.
- Soifer, L. G., Donovan, S. K., Brentjens, E. T., & Bratt, A. R. (2021). Piecing together cities to support bird diversity: Development and forest edge density affect bird richness in urban environments. *Landscape and Urban Planning*, *213*, 104122.
- Song, W. K. (2018). Analysis of Urban Green Areas using NDVI and Development of a Model to Analyze Bird Diversity in Urban Parks. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*, *21*(1), 73-82.
- Sonter, L. J., Watson, K. B., Wood, S. A., & Ricketts, T. H. (2016). Spatial and temporal dynamics and value of nature-based recreation, estimated via social media. *PLoS One*, *11*(9), e0162372.
- Wilson, K. A., Westphal, M. I., Possingham, H. P., & Elith, J. (2005). Sensitivity of conservation planning to different approaches to using predicted species distribution data. *Biological Conservation*, *122*(1), 99-112.
- Zhou, Y., Varquez, A. C. G., & Kanda, M. (2019). High-resolution global urban growth projection based on multiple applications of the SLEUTH urban growth model. *Scientific Data*, *6*(1), 1-10.