

NDVI를 활용한 도시 녹지 분석 및 도시공원 조류 종다양성 분석 모형 개발*

송 원 경

단국대학교 녹지조경학과

Analysis of Urban Green Areas using NDVI and Development of a Model to Analyze Bird Diversity in Urban Parks*

Song, Won-Kyong

Department of Landscape Architecture, Dankook University.

ABSTRACT

Urban parks are important bird habitat in cities. Various studies have evaluated the habitat function of urban parks focused on field surveys. In this study, we performed applicability of NDVI obtained from Landsat 8 OLI image as a factor for spatial planning considered bird diversity. This study was classified with green boundary into three groups using NDVI's value. Environmental variables were calculated by the green area ratio of the surrounding area from 100m to 500m at each groups. The 20 environmental variables such as park area, park shape index, canopy of tree, etc. were derived, the regression analysis was performed as a dependent variable for the bird diversity of urban parks. As a result, the park area and the green area ratio of Group 3, classified high NDVI, within the 100m buffer were adopted as the variables in the regression model. In other words, it was confirmed that as the park becomes larger, the distribution of key green areas within a radius of 100m of the parks becomes higher, the diversity of bird species has increased. It was appropriate to use satellite image, NDVI to analyze species diversity in urban area.

Key Words : *Park Area, Landsat8 OLI, Habitat analysis, Urban green space, Cheonan city*

* 이 연구는 2016학년도 단국대학교 대학연구비 지원으로 연구되었음.

First author : Song, Won-Kyong, 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 : Song, Won-Kyong, 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 : 22 January, 2018. **Revised** : 26 February, 2018. **Accepted** : 18 February, 2018.

I. 서 론

2016년 12월을 기준으로 도시는 국토 전체 면적의 16.6%를 차지하고 있지만 용도지역 기준으로 91.82%의 인구가 거주하고 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2017.8.29.). 시민의 일상적인 생활권이 도시에 한정되고 있다는 점을 고려할 때 도시환경을 어떻게 보전하고 관리해야 하는지는 매우 중요한 도시정책이라 할 수 있다.

도시생태계에 대한 이해가 높아짐에 따라 생물다양성 보전 및 관리 관점에서 도시생태계 중요성이 강조되고 있다. 도시환경을 대상으로 진행된 다양한 국내외 연구들은 도시생태계의 가치를 재평가하는 근거가 되고 있으며 시민이 가까이 다가갈 수 있는 자연을 어떻게 보전하고 현명하게 활용해야 하는지에 대해 제안하고 있다. 야생생물 서식환경으로서 도시생태계를 연구한 논문은 주로 조류를 대상으로 하고 있으며 (Juutinen and Mönkkönen, 2004), 도시공원 (Hong and Kwak, 2011; Song, 2015), 도시하천 및 생태공원(Kim and Koo, 2003; Kim et al., 2004), 주변 산림(Lee et al., 2004) 등을 대상으로 진행되었다. 야생조류는 이동성이 강하고 비행 특성으로 환경변화에 즉각 반응할 수 있으므로 환경 지표종으로 적당하다고 알려져 있기 때문이다(Song, 2014).

조류 서식지 분석 연구는 종조사를 바탕으로 종다양성 및 종풍부도를 파악한 연구에서 출발하여 이를 환경변수와 연계하여 통계적인 의미를 도출하거나 GIS를 활용하여 공간 모델링을 통해 서식지를 분석하는 연구 등이 주를 이루었다. 조류 서식지를 분석하고 서식지를 예측한 공간분석 과정에서 가장 폭넓게 활용되고 있는 공간자료는 토지피복지도이다. 토지피복지도는 인공위성영상을 활용하여 지표면의 상태를 표현한 지도이다. 지표면에 대한 현황 정보를 제공하는 환경공간자료로서 토지피복지도는 대상지 생태

계기초조사 및 분석에 활용되고 있다. 토지피복 지도는 유럽연합 환경청(Europe Environment Agency, EEA)에서 추진한 CORIN(Coordination of information on the Environment) 프로젝트가 소개되고 미국 지질조사국(United States Geological Survey, USGS)에서 Landsat 위성영상을 제공하기 시작한 이후 국제적으로 폭넓게 활용되고 있다(Lee et al., 2017). 국내에서는 환경부에서 2000년에 1980년대 및 1990년대 남·북한 전체에 대한 대분류 토지피복지도를 제작하고 이후 2000년대 이후 중분류, 2010년 이후 세분류 토지피복지도를 제작·배포하고 있다. 토지피복 지도는 국가적인 도시환경을 파악할 수 있는 효과적인 공간자료이나 제작 특성상 하나의 분류 단위에 여러 환경 속성이 함께 나타날 경우 가장 대표적인 속성 하나만을 취할 수 있으므로 축척 및 분류 단위 수 등에 따라 자료의 질이 달라질 수 있다는 한계를 갖고 있다. 세분류 토지피복지도의 경우 공간해상도 증가로 인한 분류정확도 향상을 기대할 수 있으나 이 역시 카테고리 변수로 작업되므로 토지피복 판별에 한계가 있다. 또한 아직 전국에 대한 자료가 구축되지 못하여 광범위한 사용이 어려운 상황이다.

최근 야생생물 서식환경 분석 과정에서 위성 영상 활용이 증가하고 있다. Landsat을 비롯한 위성영상은 분광 영역에 따라 여러 밴드를 보유하고 필요에 따라 다양한 분석이 가능하다. NDVI (normalized difference vegetation index), SAVI (soil adjusted vegetation index) 등을 활용한 생태계 연구에서 최근 초분광영상 및 고해상도 영상까지 위성영상을 활용한 야생생물 서식지 연구는 생태학 연구 분야에서 한 축을 담당하고 있다. 인공위성은 주기적으로 동일한 지역을 관통하기 때문에 시간의 변화에 따른 누적 자료를 수집할 수 있다. NDVI지수를 활용하여 식생활력도를 측정할 경우 식생 건강성을 분석할 수 있을 뿐만 아니라 식생이 분포하는 지역을 다양한 각도에서 모색하는 것이 가능하다. 이러한 특징으로 위

성영상은 생태계 변화 모니터링 등에 폭넓게 활용될 수 있다. 국내에서도 위성영상을 활용하여 산림의 생산성을 측정하거나 식생변화를 파악한 연구(Yeom et al., 2008), 야생동물 서식지 분석(Lee et al., 2010) 또는 산림, 공원 등의 분류 과정에서 하나의 환경변수로 NDVI를 활용한 연구(Lee and Jang, 2017) 등이 진행된 바 있다. 국외에서는 광역적인 공간 규모에서 NDVI와 조류 종 풍부도와의 관계를 통계적으로 분석하여 시공간적으로 해석하는 연구가 진행되었으며(Oindo et al., 2000), 도시공원과 교외 지역을 대상으로 NDVI에 따른 조류종 출현 여부를 분석하여 도시 생물다양성 연구에서 NDVI의 활용 가능성을 제시하였다(Bino et al., 2008). 그러나 도시지역 생태계를 대상으로 위성영상이 제한적으로 활용되고 있으며, 토지피복을 대체할 수 있는 환경변수로서 도시 녹지를 파악하기 위해 NDVI를 활용한 조류 서식지 분석 연구는 아직까지 진행되지 않았다.

본 연구는 도시지역을 대상으로 위성영상에서 분석된 NDVI를 활용하여 도시 녹지를 분석하고 도시공원 주변 환경 특성을 고려한 조류 종다양성 모형을 개발하고자 한다. 기존 토지피복지도를 통해 분석하기 어려운 위성영상 기반의 환경변수를 도출하여 보다 폭넓게 활용될 수 있는 도시지역 생태계 평가 방법론을 제안하는 것이 궁극적인 목적이다.

II. 연구의 범위 및 방법

1. 연구 대상지

본 연구는 충청남도 천안시 30개 도시공원 및 이와 인접한 5개 동을 대상으로 진행되었다. 공원 주변 환경 영향을 고려하기 위해 30개 도시공원 외부 경계에서 1km 이내의 지역으로 설정하였다(Figure 1). 대상지는 총 10km²로 산림이 15%, 시가화건조지역이 50%를 차지하고 있다. 30개 도시공원 중 3개는 근린공원, 27개는 어린

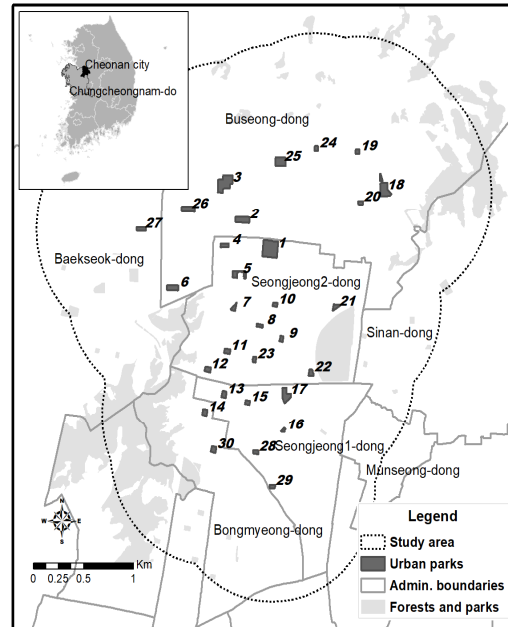


Figure 1. Study area

이공원이다.

2. 환경변수

본 연구에서는 Landsat8 OLI(path 115, row 35) 위성영상을 활용하여 NDVI를 계산하였다. 조류조사 시기와 토지피복 제작 시기를 고려하여 2015년 5월 26일 영상을 취득하였다. 해당 영상은 운량이 약 7% 수준이며 대상지에 운량이 전혀 존재하지 않아 단일 영상으로 분석을 진행하였다. 위성영상 전처리를 위해 USGS에서 제공하는 메타데이터 파일의 Radiometric Rescaling 계수를 이용하여 밴드4와 5의 DN(digital number)을 대기상부 분광 복사휘도(TOA spectral radiance)로 변환하였다(Zanter, 2016). NDVI는 가장 일반적으로 사용되는 식생지수로서 가시광선 중 적색 파장대와 근적외선 파장대의 차이를 이용하여 이를 두 파장대의 합으로 일반화할 수 있다. Landsat8 OLI 영상에서 적색 파장대는 4번 밴드, 근적외선은 5번 밴드에 해당하므로 NDVI는 다음과 같이 계산될 수 있다. 위성영상 전처리 및 NDVI 계산은 Arcgis 10.5

Image Analysis를 활용하였다.

$$NDVI = \frac{Band5 - Band4}{Band5 + Band4} \quad (1)$$

연구대상지인 30개 도시공원에 대한 식생조사는 Song(2017)의 연구를 활용하였다. 본 연구에서는 해당 조사자료 중 교목 캐노피, 아교목 캐노피, 관목 캐노피, 공원 면적, 공원 형태지수를 공원 내부변수로 활용하였다. 외부변수는 NDVI를 통해 도출된 녹지지역을 평균과 표준편차를 활용하여 3개 안으로 구분하고 30개 공원 경계부터의 거리를 이용하여 100m부터 500m까지 100m 간격으로 버퍼를 계산하고 해당 경계 내부에 포함된 녹지지역 비율을 계산한 값을 사용하였다. 녹지지역 분류와 버퍼 조건을 함께 고려하여 총 15개의 외부변수가 도출되었다.

조류조사는 위성영상 촬영 시기를 고려하여 번식기인 2015년 4월 21일부터 2015년 5월 15일까지 진행된 자료이다(Song, 2017). 조사는 공원별로 3회씩 반복 실시하였으며(Rhim, 2008), 종다양성 계산을 위해 3회 조사 결과를 합산하여 평가하였다. 조사 방법은 공원 내·외부에서 공원 산책로를 따라 걸어가면서 조사하는 선조사법(line transect census method)을 이용하였다(Lee et al., 2000; Rhim et al., 2007; Song, 2015). 조사 결과를 바탕으로 Shannon-Wiener 지수(H')를 이용하여 종다양성을 계산하였다(Shannon, 1948).

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \times \ln(P_i) \quad (2)$$

여기서, s는 종수, P_i는 i번째 종의 개체수를 총 개체수로 나눈 값으로서 해당 종의 개체수 비율을 의미한다.

3. 조류 서식지 분석 모형

공원별로 계산된 조류 종다양성 자료와 조사된 환경변수(교목 캐노피, 아교목 캐노피, 관목 캐노피, 공원 면적, 공원 형태지수, 녹지 판단기준에 따른 버퍼지역 내부 녹지 비율 변수)를 활용하여 회귀분석을 실시하였다. 변수 선정을 위해 피어슨(Pearson) 상관관계 분석을 실시하여 종다양성과 상관성이 없는 환경변수는 회귀분석에서 제외하였다. 또한 다중공선성의 문제를 최소화하기 위해 변수간 상관관계를 분석하여 상관성이 높은 변수를 선별하여 모형에서 제거하였다. 최적 회귀모형을 선정하기 위해 후진선택법을 이용하였다. 통계분석은 R 3.4.0(R Core Team, 2017)을 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. NDVI 및 녹지 분석

대상지 NDVI는 최소값 0.117, 최대값 0.554, 평균 0.267로 확인되었다. NDVI가 가장 높은 곳은 산림 중앙부이며, 건물이 밀집한 도시지역의 NDVI 값이 0.2 이하로 낮게 분포하고 있었다(Figure 2). 대상지 주변을 둘러싸고 있는 봉서산, 노태산, 태조산 등 산림지역은 NDVI가 높게 분포하고 있으며 성정동 및 두정동 시가지지역은 낮은 NDVI를 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.

현장조사 결과 대상지에서 토지피복분류 기준으로 녹지에 해당되지 않으나 수목이 존재하는 지역이 다수 존재함을 확인하였다. 유형별로 조사 지점을 파악하기 위해 공동주택, 학교 숲 등을 포함하는 부지 내 녹지(class1), 텃밭 및 초지(class2), 가로수 녹지(class3) 등 3개 유형으로 대상지를 구분하고 총 70개 조사 지점을 선정하였다(Figure 2). 텃밭 및 초지의 평균 NDVI가 0.259로 가장 높았으며, 부지 내 녹지가 0.257, 가로수 녹지가 0.212로 가장 낮은 NDVI를 보여주었다. 분산분석 결과 해당 차이는 p<0.05 수

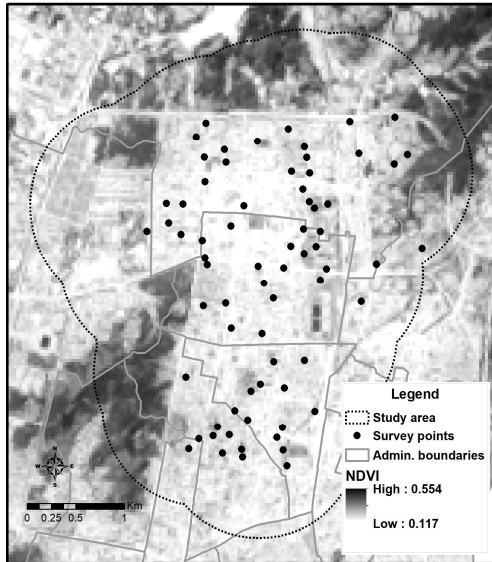


Figure 2. NDVI and verification points

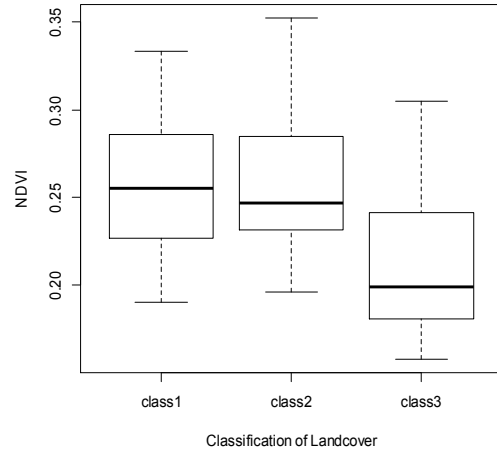


Figure 3. NDVI according to urban green classes (class1: green spaces within the site, class2: agricultural area and grassland, class3: roadside greenery)

준에서 유의한 것으로 확인되었다(Figure 3). 던컨 사후검증(Dunkun's LSP)을 통해 부지 내 녹지와 텃밭 및 초지는 유사한 값을 보이나 가로수 녹지가 다른 두 유형에 비해 작은 값을 보임을 확인할 수 있었다. 이는 가로수 녹지의 경우 단독식재로 인해 주변 도로, 인도, 건물 등의 영향을 가장 많이 받기 때문인 것으로 추정된다.

NDVI 평균 0.247과 표준편차 0.044를 이용하여 녹지 기준을 NDVI 0.203 이상인 지역으로 추출한 경우를 Group1, 0.247 이상인 지역을 Group2, 0.291 이상인 지역을 Group3로 설정하

여 대상지의 녹지도면을 분석하였다(Figure 4). Group1의 경우 주변 산림을 포함하여 농경지 및 기존의 녹지를 대부분 포함하여 광범위한 지역을 녹지로 판단하고 있음을 확인할 수 있었다. Group2는 산림을 포함하여 농경지, 초지 등을 녹지로 판단하고 있었다. Group3은 산림과 주요 교목이 식재된 지역 또는 일정 면적 이상의 식생 분포 지역을 녹지로 판단하고 있음을 확인할 수 있었다.

이 분석 결과를 근거로 30개 공원 경계로부터 100m 거리에서 500m까지 내부 녹지 비율을 계

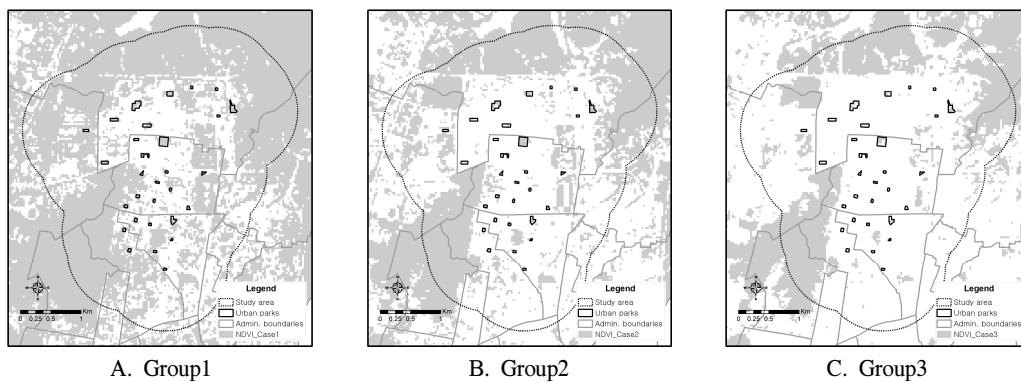


Figure 4. Green area classification using NDVI mean(m) and standard deviation(sd) (Group1: $NDVI \geq m-1sd$, Group2: $NDVI \geq m$, Group3: $NDVI \geq m+1sd$)

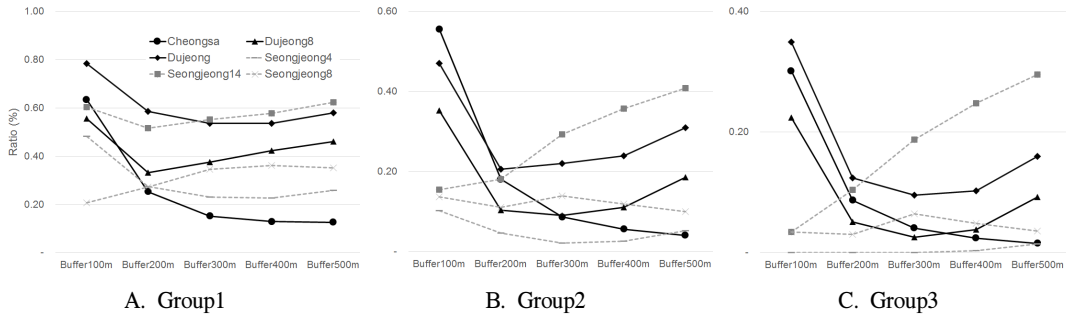


Figure 5. Change NDVI ratio with buffer distance in the 6 urban parks (see Figure 4)

산하였다. NDVI를 기준으로 녹지의 기준을 가장 낮은 수준에서 분석했을 때 조류 종다양성이 높은 공원(청사공원, 두정공원, 두정8공원)과 낮은 공원(성정4공원, 성정8공원, 성정14공원)은 전 버퍼 범위에서 뚜렷한 차이를 드러내지 못하고 있었으나(Figure 5A), 녹지의 기준을 중간 수준으로 설정한 결과(Figure 5B)와 가장 높은 수준으로 설정한 결과(Figure 5C)에서는 버퍼 100m 단계에서 조류 종다양성이 높은 공원이 그렇지 않은 공원보다 녹지 비율이 높게 나타남을 확인할 수 있었다. 공원 경계에서 100m 이내에 녹지가 높은 비율로 분포할 경우 공원의 조류 종다양성이 높은 것으로 추정할 수 있다.

2. 조류 종다양성 분석 모형

조류 종다양성과 환경변수간 상관관계 분석 결과 야교목 캐노피($p < 0.1$), 관목 캐노피($p < 0.05$), 공원 면적($p < 0.01$), 공원 형태지수($p < 0.01$), 100m 버퍼 이내의 Group2기준 NDVI 비율(B100_c2, $p < 0.01$), 100m 버퍼 이내의 Group3기준 NDVI

비율(B100_c3, $p < 0.01$) 변수가 회귀분석을 위한 환경변수로 선정되었다. 상관관계 분석을 토대로 야교목 캐노피, 관목 캐노피가 높고 공원 면적이 넓으며 공원이 원형에 가까울 때 도시공원 조류 종다양성이 높아지는 것으로 해석할 수 있다.

후진선택을 통한 최적 회귀모형을 선정 결과 설명변수는 공원면적(LPA), B100_c3 변수가 선택되었다(Table 1). 즉, 공원 면적이 넓을수록, 공원 반경 100m 이내에 NDVI가 큰 녹지가 높은 비율로 분포할수록 도시공원의 조류 종다양성이 높은 것으로 예측되었다. 공원 면적은 소규모 도시공원에서 조류 종다양성에 영향을 미치는 가장 중요한 환경변수인 것으로 알려져 있다(Jasmani et al., 2017). 로그함수가 적용된 공원 면적은 약 4배가 증가할수록 종다양성을 1만큼 높일 수 있으며, 공원 반경 100m 이내에 핵심이 되는 녹지가 24% 추가되면 이와 유사한 효과를 기대할 수 있으리라 해석할 수 있다. 이 모형은 수정된 R^2 (Adjusted R^2)를 기준으로 약 62.2%의 설명력을 갖고 있다(Table 1).

Table 1. 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)	-1.113	0.614	-1.812	0.081			
LPA	0.256	0.080	3.220	0.003**	0.648	0.622	<0.001
B100_c3	0.240	0.667	1.858	0.074			

Signif. codes: '***' 0.001, '**' 0.01, '*' 0.05, '.' 0.1, F-statistic: 24.84 on 3 and 27 DF(degree of freedom), LPA(Log patch area), B100_c3(NDVI ratio of Group3 in buffer 100m)

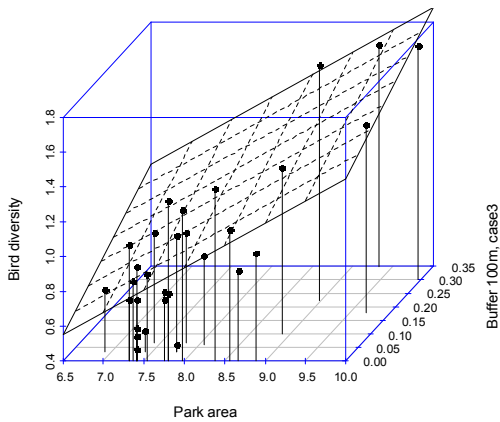


Figure 6. Three dimensional scatter plot of bird diversity

분석 결과를 그래프로 구현하기 위해서는 3차원 표현 방법이 필요하다. 회귀분석 결과를 적용하기 위해 x축은 공원면적, y축은 B100_c3, z축은 조류 종다양성으로 설정하였다(Figure 6). 조류 종다양성은 공원 면적과 양의 상관관계에 있고, 조류 종다양성과 B100_c3 변수 역시 양의 상관관계에 있으므로 회귀 그래프는 우상향 및 뒷면으로 완만하게 기울어지는 평면의 형태로 표현될 수 있다.

도시공원 자체의 면적이 넓고 형태가 원형에 가까울수록 조류 종다양성이 높아질 수 있다는 연구는 기존 경관생태학 분야에서 폭넓게 인정받고 있는 개념이지만 현실적으로 이러한 공원을 도시에 만드는 것은 어려운 문제이다 (Shimazki et al., 2016; Song, 2017). 특히 도시는 인간을 중심으로 계획된 토지이용으로 인해 야생생물에게 여러 교란요인이 존재한다는 측면에서 서식지 관리가 어렵다는 한계가 존재한다. 이러한 한계에도 불구하고 공원을 둘러싼 주변 녹지대가 풍부하게 보전·관리된다면 주변 환경 변화와 교란을 흡수하고 생태계를 지속가능하게 유지할 수 있는 회복력을 제공할 수 있다. 회복력을 변화와 교란을 흡수하고 상태변수간의 동일한 관계를 유지하는 시스템이라 정의할 때(Holling, 1973), 도시에 잔존하는 산림 및

녹지는 도시생태계의 회복력을 강화시키는 중요한 요소가 될 수 있으리라 판단된다.

이제까지 도시지역에 대한 생태계 분석 및 서식지 평가에 토지피복지도가 폭넓게 활용되어 왔다. 도시지역은 가로수, 단지녹지를 포함한 다양한 유형의 녹지가 존재하여 토지피복분류 방식으로 도시녹지를 정량화하는데 한계가 있는 상황이다. 본 연구에서 제안한 방법을 통해 도시생태계에 영향을 미치는 주변 녹지의 경계를 명확히 파악할 수 있고 아파트단지 및 도심에 분포하는 다양한 유형의 녹지를 분석할 수 있다는 장점이 있다. 토지피복지도와 NDVI를 통해 추출된 녹지를 비교함으로써 이 차이를 쉽게 확인할 수 있다(Figure 7). 녹지를 판단하는 기준은 대상지 생태계 특성 및 대상종 등에 따라 다양하게 설정될 수 있으므로 NDVI를 통한 핵심 녹지를 선정하는 방법은 추후 조류뿐만 아니라 다양한 야생생물 서식지 분석 등에 활용될 수 있을 것이다. 도출된 핵심 녹지는 도심에서 징검다리 역할을 할 수 있어 도심 내 조류 유입을 유도할 수 있으리라 기대된다(Song, 2014).

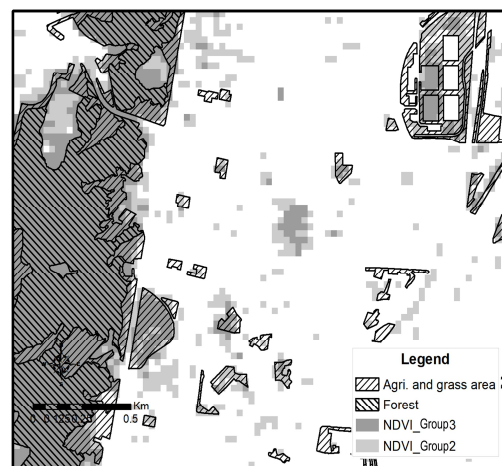


Figure 7. Comparison of land cover map and NDVI green area analysis method (The diagonal line is the boundary extracted from the land cover map, and the gray-filled area is the boundary extracted from the NDVI.)

IV. 결 론

많은 연구자들이 도시생태계를 대상으로 조류 서식지를 분석하는 과정에서 도서생물지리학에서 중요한 아이디어를 제공받았다. 바탕(matrix)으로서 도시지역은 가로수, 아파트단지 등 다양한 수준의 녹지가 파편화되어 존재하는 공간이다. 이를 고려할 경우 이진적인 토지피복 분류 기준보다 연속적인 환경변화를 분석할 수 있는 NDVI의 활용이 제안될 수 있다. 본 연구 결과 기존에 알려진 공원면적 변수 이외에 공원 반경 100m 이내에 존재하는 높은 NDVI 녹지가 조류 다양성을 분석하는데 중요한 변수인 것으로 확인되었다. 즉, 공원의 면적뿐만 아니라 인접한 녹지자원 역시 조류가 서식하는데 중요한 판단 기준이 될 수 있다. 본 연구에서 사용한 Landsat 8 OLI 위성영상은 30m 해상도로써 미시적인 환경을 분석하는데 적합하지 않은 한계가 존재한다. 고해상도 영상을 활용할 경우 더욱 상세한 도시 녹지를 파악하고 그 중요성을 재평가하는데 도움이 될 수 있을 것이다. 향후 고해상도 위성영상 및 UAV(Unmanned aerial vehicle) 등을 활용한 자료 고도화뿐만 아니라 NDVI 판단 기준에 대한 민감성 분석 등을 통해 보다 정교한 조류 서식지 분석이 가능할 것이라 판단된다. 또한 조류뿐만 아니라 다양한 야생동물 서식환경을 분석하는데 본 연구 방법론이 활용된다면 도시생태계를 야생동물 서식지로 재평가하는데 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- Bino, G · N Levin · S Darawshi · N Van Der Hal · A Reich Solomon and S Kark. 2008. Accurate Prediction of Bird Species Richness Patterns in an Urban Environment Using Landsat Derived NDVI and Spectral Unmixing. *International Journal of Remote Sensing* 29(13): 3675-3700.
- Holling, CS. 1973. Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 1-23.
- 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. (in Korean with English summary)
- Jasmani, Z · HP Ravn · CCK van den Bosch. 2017. The Influence of Small Urban Parks Characteristics on Bird Diversity: A Case Study of Petaling Jaya, Malaysia. *Urban Ecosystems* 20(1): 227-243.
- Juutinen, A and M Mönkkönen. 2004. Testing Alternative Indicators for Biodiversity Conservation in Old-growth Boreal Forests: *Ecology and Economics* 50(1-2): 35-48.
- 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. (in Korean with English summary)
- 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. (in Korean with English summary)
- 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. (in Korean with English summary)
- Lee, MJ · W. Park and WK Song. 2017. Present Condition of Environment Geospatial Information and Its Application. *Korean Journal*

Bino, G · N Levin · S Darawshi · N Van Der Hal · A Reich Solomon and S Kark. 2008. Accurate Prediction of Bird Species Richness Patterns in an Urban Environment Using Landsat Derived NDVI and Spectral Unmixing. *International Journal of Remote*

- of Remote Sensing 33(5): 763-771. (in Korean with English summary)
- Lee, SG · SG Jung · KH Park and KT Kim. 2010. A Prediction Model and Mapping for Forest-Dwelling Birds Habitat Using GIS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 13(1): 62-73. (in Korean with English summary)
- Lee, WS and GS Jang. 2017. Classification of Neighborhood Parks Considering Environmental Characteristics for Effective Urban Park Management. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 20(1): 26-41. (in Korean with English summary)
- Lee, WS · TH Koo and JY Park. 2000. A Field Guide to the Birds of Korea, Seoul : LG Evergreen Foundation. Can Temporal and Spatial NDVI Predict Regional Bird-species Richness?. *Global Ecology and Conservation* 3: 729-735. (in Korean with English summary)
- Oindo, BO · RA de By · AK Skidmore. 2000. Interannual Variability of NDVI and Bird Species Diversity in Kenya. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2(3-4): 172-180.
- R Core Team. 2017. 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. (in Korean with English summary)
- 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. (in Korean with English summary)
- 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, IJ. 2014. Habitat Improvement Plan in Cities for an Influx of Birds. The Seoul Institute. (in Korean with English summary)
- 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. (in Korean with English summary)
- Song, WK. 2017. Analysis of Bird Diversity According to Landscape Connectivity and Structure of Urban Park. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 20(1): 131-142. (in Korean with English summary)
- Yeom JM · KS Han · CS Lee · YY Park and YS Kim. 2008. A Detection of Vegetation Variation Over North Korea using SPOT/VEGETATION NDVI. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 11(2): 28-37. (in Korean with English summary)

Zanter, K. 2016. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. Version 2.0. Department of the Interior U.S. Geological Survey. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2017.8.29. <http://www.molit.go.kr>