

자기조직화지도를 활용한 정맥의 서식지 환경에 따른 조류 군집 특성 파악^{1a}

- 금남호남 및 호남정맥, 한남금북 및 금북정맥, 낙남정맥을 대상으로 -

황종경² · 강태한³ · 한승우³ · 조해진³ · 남형규⁴ · 김수진⁵ · 이준우^{6*}

Identification of Bird Community Characteristics by Habitat Environment of Jeongmaek Using Self-organizing Map^{1a}

- Case Study Area Geumnamhonam and Honam, Hannamgeumbuk and Geumbuk, Naknam Jeongmaek, South Korea -

Jong-Kyeong Hwang², Te-han Kang³, Seung-Woo Han³, Hae-Jin Cho³,
Hyung-Kyu Nam⁴, Su-Jin Kim⁵, Joon-Woo Lee^{6*}

요약

본 연구는 정맥의 서식지 관리 및 보전을 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다. 18개의 중점조사지역에서 지형, 서식지 환경을 고려하여 각 지점별로 개발지, 계곡부, 임도 및 능선 3가지 서식지유형으로 총 54개의 고정조사구를 선정하였다. 조사는 2016년부터 2018년까지 겨울철을 제외한 계절별(5월, 8월, 10월)로 수행하였다. 서식지 유형별로 관찰된 조류를 자기조직화지도(SOM)를 활용하여 분포 패턴을 분석한 결과, 총 4개의 그룹으로 분류되었다(MRPP, $A=0.12$, $p < 0.005$). 자기조직화지도 그룹별 종수와 개체수, 종다양도 지수를 비교분석한 결과 종수와 개체수, 종다양도 지수 모두 Ⅲ번 그룹에 가장 높게 나타났다(Kruskal-Wallis, 종수: $\chi^2 = 13.436$, $P < 0.005$; 개체수: $\chi^2 = 8.229$, $P < 0.05$; 종다양도: $\chi^2 = 17.115$, $P < 0.005$). 또한 그룹별 지표종 분석과, 서식지 환경 특성을 파악하기 위해 토지피복도를 랜덤 포레스트 모델에 적용하여 분석한 결과, 4개 그룹간의 서식지환경이 구성하는 비율과 지표종에 차이를 보였다. 지표종 분석은 Ⅱ번 그룹을 제외한 3그룹에서 총 18종의 조류가 지표종으로 확인되었다. 본 연구에서 자기조직화지도를 활용하여 4개 그룹으로 분류된 결과를 기초로 랜덤 포레스트 모델과 지표종 분석을 적용하였을 때 그룹별 지표종 구성과 그룹별 서식지 특성과 상호 연관성을 보였다. 또한 그룹별 우점하는 서식환경에 따라 관찰된 종의 분포패턴과 밀도가 뚜렷하게 구분이 되었다. 자기조직화지도와 지표종분석, 랜덤 포레스트 모델을 함께 적용한 분석은 서식지 환경에 따라 조류 서식 특징파악에 유용한 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

주요어: 랜덤 포레스트, 토지피복도, 지표종

1 접수 2021년 6월 21일, 수정 (1차: 2021년 7월 23일), 게재확정 2021년 7월 26일

Received 21 June 2021; Revised (1st: 23 July 2021); Accepted 26 July 2021

2 충남대학교 대학원 산림자원학과 박사과정 Dept. of Forest & Environmental Resources, Chungnam National Univ., Daejeon, 34134, Korea (hjkyung_2000@naver.com)

3 한국환경생태연구소 연구원 KoEco Inc., Daejeon, 34014, Korea

4 국립생물자원관 국가철새연구센터 환경연구사 National Institute of Biological Resources, Incheon, 22689, Korea (namhk2703@hanmail.net)

5 국립산림과학원 산림생태연구과 임업연구사 National Institute of Forest Science, Seoul, 02455, Korea (foresthdyro@korea.kr)

6 충남대학교 산림환경자원학과 교수 Dept. of Forest & Environmental Resources, Chungnam National Univ., Daejeon, 34134, Korea (jwlee@cnu.ac.kr)

a 이 논문은 정맥의 자원실태변화 조사 및 관리방안 연구(2015~2020), 금남호남. 호남정맥자원실태와 변화(국립산림과학원 연구자료 제 704호, 2016년), 한남금북, 금북정맥 자원실태와 변화(국립산림과학원 연구자료 제 767호, 2017년), 낙남정맥 자원실태와 변화(국립산림과학원 연구자료 제 805호, 2018년)의 일환으로 수행되었음

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-42-821-5749, Fax: +82-42-821-7850, E-mail: jwlee@cnu.ac.kr

ABSTRACT

This study was conducted to provide basic data for habitat management and preservation of Jeongmaek. A total of 18 priority research areas were selected with consideration to terrain and habitat environment, and 54 fixed plots were selected for three types of habits: development, valley, and forest road and ridge. The survey was conducted in each season (May, August, and October), excluding the winter season, from 2016 to 2018. The distribution analysis of birds observed in each habitat type using a self-organizing map (SOM) classified them into a total of four groups (MRPP, $A=0.12$, and $p<0.005$). The comparative analysis of the number of species, the number of individuals, and the species diversity index for each SOM group showed that they were all the highest in group III (Kruskal-Wallis, the number species: $\chi^2 = 13.436$, $P < 0.005$; the number of individuals: $\chi^2 = 8.229$, $P < 0.05$; the species diversity index: $\chi^2 = 17.115$, $P < 0.005$). Moreover, the analysis by applying the land cover map to the random forest model to examine the index species of each group and identify the characteristics of the habitat environment showed a difference in the ratio of the habitat environment and the indicator species among the four groups. The index species analysis identified a total of 18 bird species as the indicator species in three groups except for group II. When applying the random forest model and indicator species analysis to the results of classification into four groups using the SOM, the composition of the indicator species by the group showed a correlation with the habitat characteristics of each group. Moreover, the distribution patterns and densities of observed species were clearly distinguished according to the dominant habitat for each group. The results of the analysis that applied the SOM, indicator species, and random forest model together can derive useful results for the characterization of bird habitats according to the habitat environment.

KEY WORDS: RANDOM FOREST, LAND COVER, INDICATOR SPECIES

서론

생태계는 야생동물을 비롯하여 식물, 미생물 등 다양한 생물분류군이 유기적인 관계를 통해 공동체를 이루어 서식하는 서식처와 같은 의미를 갖는다(Rhim and Lee, 1998; Louw and Scholes, 2002). 기온, 강수량, 일사량 등 다양한 환경적 요인들이 생물종 분포에 영향을 주며(Pianka, 1994), 산림생태계에서 조류는 산림환경구조에 따라 서식지를 선택할 때 다양한 패턴을 보이며 종 구성 등에 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Karr and Roth, 1971; Cody, 1981; James and Warmer, 1982; Erdenien, 1984; Lee, 1996; Yu *et al.*, 2010). 그러나 최근 급속한 산업화 과정에서 도심지역의 인구밀도가 증가함에 따라 생태계 특성을 고려하지 않은 무분별한 개발과 인간의 간섭으로 인하여 생물종이 지속적으로 감소하고 있다(Kim *et al.*, 2008; Park *et al.*, 2012). 따라서 산림성 조류에게 안정적인 서식지 제공을 위해서 서식지 관리 전략이 필요하며, 생물다양성 보전을 위해서는 멸종위기종 뿐만 아니라 흔히 관찰되는

종에 대한 보전계획도 수립되어야 한다(Lee *et al.*, 2010).

생물군집의 분포 패턴 특성 파악은 서식지 관리 전략을 수립하는데 중요한 과정으로 알려져 있다(Park *et al.*, 2003; Dimitrovski *et al.*, 2012). 생물종 군집에 대한 다양한 연구 결과를 바탕으로 군집의 생태적 특성이 서식지 평가에 유용함을 보여준다(Dufrêne and Legendre, 1997; Hamer *et al.*, 2003; Nam *et al.*, 2015). 최근에는 컴퓨터 프로그램의 발전과 새로운 분석기법을 바탕으로 한 시공간적 군집 패턴 연구를 통하여 생태적 상태를 평가하는 방법이 주목받고 있다(Lasne *et al.*, 2007; O'Connell *et al.*, 2007). 그 중 자기조직화지도(Self-organizing map, SOM) 분석방법은 다른 다변량 분석방법보다 동반 출현하는 종에 대한 유형화에 적합하도록 설계되어 있어(Olden *et al.*, 2006; Park *et al.*, 2006) 다양하고 많은 종 군집의 분포 특성 연구에서 효율적이고 훌륭한 특성 도출 결과를 보여주는 방법으로 알려져 있다(Lek and Guegan, 1999; Piscart *et al.*, 2010).

조류분야에서 자기조직화지도를 활용한 분포 패턴 연구는 Lee *et al.* (2010), Nam *et al.* (2015)등에 의해서 서식지

환경에 따른 수조류 군집 분포패턴 연구가 일부 수행된바 있다. 하지만 산림서식지환경에 의한 조류군집 분포패턴 연구는 현재까지 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 한반도의 중요 산림생태축인 정맥의 서식지환경에 따른 조류의 군집 분포패턴을 파악하여 백두대간에 비해 낮은 인지도로 인하여 지속적으로 개발압력에 처해있는 정맥의 체계적 관리와 보전을 위한 기초자료를 확보하고자 실시하였다.

생태적 환경을 잘 보여주고 있다고 판단되는 대표적인 18개 산을 중점조사지역으로 선정하였다. 각 중점조사지역은 다양한 서식지 환경이 반영될 수 있도록 개발지, 계곡부, 임도 및 능선 3개 유형이 포함되는 총 54개의 고정조사구를 선정하였다. 개발지는 산림 임연부 지역과 경작지, 마을, 도로 등 인간의 간섭이 다소 발생하는 지역도 포함하였다(Figure 1; Table 1).

연구방법

1. 연구대상지

정맥은 지리인식체계로 분류하면 한반도에 13개로 구분되어 있으며, 남한에 9개의 정맥이 분포해 있다. 그 중 본 연구 대상지인 금남호남정맥은 경상남도 함양군 소재의 영취산에서 장안산, 마이산을 거쳐 전라북도 진안군 소재의 조약봉으로 이어지는 산줄기이며, 호남정맥은 전라북도 진안군 소재의 조약봉에서 내장산, 무등산을 거쳐 전라남도 광양시 소재의 백운산으로 이어지는 산줄기이다. 한남금북정맥은 충청북도 보은군 소재의 속리산에서 보광산, 소속리산을 거쳐 경기도 안성시 소재의 칠장산으로 이어지는 산줄기이며, 금북정맥은 경기도 안성시 소재의 칠장산에서 백월산, 오서산을 거쳐 충청남도 태안군 소재의 지령산으로 이어지는 산줄기이다. 낙남정맥은 경상남도 산청군 소재의 지리산에서 옥산, 불모산을 거쳐 경상남도 김해시 소재의 분성산으로 산줄기로서 금남호남 및 호남정맥은 한반도 호남지역, 한남금북 및 금북정맥은 중부지역, 낙남정맥은 경남지역에 형성되어 있는 중요 생태축이다.

본 연구는 정맥의 서식지 환경에 따른 조류서식을 파악하기 위해 각 정맥 내 지형 및 환경특성을 고려하여 정맥의

Table 1. The survey area information

Jeongmaek	Survey site(Mt)	Altitude(m)	Study year
Geumnam honam and Honam	Jangan	1,237	2016
	Palgong	1,149	
	Mandeok	763	
	Chuwol	731	
	Cheonun	604	
Hannam geumbuk and Geumbuk	Jeam	689	2017
	Jwagu	658	
	Chiljang	492	
	Taejo	422	
	Bongsu	534	
Nakanm	Oseo	791	2018
	Gaya	678	
	Gilmajae	499	
	Cheonwang	583	
	Yeohang	771	
	Muhak	760	
	Cheonju	641	
	Sineo	631	



Figure 1. Map of the survey sites(A: Geumnamhonam and Honam, B: Hannamgeumbuk and Geumbuk, C: Nakanm Jeongmaek).

2. 조사분석

1) 조사방법

본 연구에서 조류조사는 선정된 고정조사구를 중심으로 2인 1조로 한명은 쌍안경(Vortex 8×42)으로 종과 개체수를 파악하였으며, 다른 한 명은 기록하여 관찰된 조류를 조사하였다. GPS(Global Positioning System, GARMIN GPSmap 62s)를 활용하여 고정조사구 중점좌표를 기록하였으며, 조사범위는 고정조사구(개발지, 계곡부, 임도 및 능선) 좌표를 중심으로 50×300m의 직사각형 면적을 설정하였다. 선조사법과 정점조사법을 병행하여 조사를 수행하였으며, 정점조사는 30분을 원칙으로 시작지점, 150m지점, 300m지점을 선정하여 각 10분씩 조사하였으며 조류 종 동정 및 분류 체계는 Lee *et al.*(2014)를 따랐다.

조류조사는 2016년부터 2018년까지 겨울철을 제외한 계절별(5월, 8월, 10월) 조사를 수행하였다(Table 1).

2) 자료분석

자료분석은 2016년부터 2018년까지 금남호남 및 호남, 한남금북 및 금북, 낙남정맥의 고정조사구(개발지, 계곡부, 임도 및 능선)에서 관찰된 조류 종수와 계절별 관찰된 개체수 중 최대개체수의 자료를 활용하여 정맥 내 서식하는 조류서식의 특성을 파악하기 위하여 자기조직화지도 분석방법을 이용하였다. 자기조직화지도 분석방법은 자율학습신경망(unsupervised neural network) 분석방법 중 하나로서 다차원의 자료 또는 불규칙한 자료를 2차원으로 클러스터링하며, 입력데이터수가 많아도 단시간 내에 효율적인 결과 획득이 가능하다. 또한, 다중인자(multiple parameters)에 대한 정보해석과 각 인자들 간의 상관성을 규명하고 시각적으로 이미지화 하여 구현하여 줌으로서 야생동물 집단의 종 분포나 구조를 분석할 때 장점을 나타낸다(Kohonen, 1982; Chon, 2011; Nam *et al.*, 2019). 자기조직화지도는 일반적으로 입력층과 출력층으로 구성되어 있으며, 각 층은 뉴런(노드)이라는 계산 단위체로 이루어진다. 자기조직화지도에서 발생하는 모든 연결들은 입력층에서 출력층의 방향으로 되어 있으며, 출력층은 통상 육각형 모형의 격자단위인 뉴런으로 구성된다. 각각의 뉴런들은 출력결과를 전혀 예측할 수 없는 자율학습을 통해 연결강도를 가진다. 이 연결강도는 가중치(weight)의 값으로 연결되며, 주어진 자료에 대해서 학습과정(반복적인 계산과정)을 거치면서 수정 및 조절이 이루어진다. 연결강도는 입력패턴과 가장 유사한 출력층 뉴런이 승자가 되며, 승자와 유사한 연결강도를 갖는 입력패턴이 동일한 출력뉴런으로 배열이 이루어지며, 최종 결과를 2차원적으로 보여준다. 본 연구에서는 출력층 뉴런의 크기는 휴리스틱 규칙(heuristic rule)에 의해 가로 6개,

세로 7개로 나타냈다(Vesanto and Alhoniemi, 2000).

자기조직화지도 자율학습 이후 각 뉴런이 가지는 유사성을 활용하여 각 그룹을 분류하였다. 뉴런의 거리측정은 유클리디안 거리(Euclidean distance)를 사용하였으며, 그룹의 분류는 Ward linkage방법을 활용하였다(Park *et al.*, 2003). 각 출력 그룹간의 유의성 평가를 위해 다수응답순열절차(multiple-response permutation procedures, MRPP)검정을 수행하였다. MRPP는 비모수적 통계방법으로서 나누어진 2개 이상의 그룹을 비교하고자 할 때 사용되는 통계방법이다. MRPP의 결과 값은 유의값(P)과 A(chance-corrected within-group agreement)값으로 나타내며, 유의성이 확인되면 그룹 간에 서로 이질적이라 할 수 있다. A값은 그룹간의 유사성을 나타내며, 0에서 1까지 값으로 나타낸다. A값이 1에 가까울수록 각 그룹이 가지는 성향이 유사함을 나타낸다.

자기조직화지도 분석에 의하여 나누어진 각 그룹을 대표하는 종을 파악하기 위하여 지표종 분석을 수행하였다. 지표종 분석은 그룹에 포함된 각 고정조사구에서 관찰된 종이 차지하는 비율과 해당종 개체수의 비율을 곱으로 계산된 지표값(indicator value, IndVal)을 통해 지표종을 평가하였다.

자기조직화지도로 구분된 그룹별 서식지환경과 지표종과의 연관성을 파악하기 위해 54개의 고정조사구 지점의 환경부 토지피복도 자료를 바탕으로 랜덤 포레스트 모델(random forest)에 적용하였다. 랜덤 포레스트 모델은 다수의 분류나무를 생성시켜 분류, 회귀분석 등에 사용되는 앙상블 학습방법의 일종으로 CART(classification and regression trees)의 불안정성을 보완하고 있으며, 정확한 분류를 할 수 있는 기계 학습 알고리즘 중 하나로 간주된다. 이는 각 분류 나무마다 다 포함한 변수 값들이 분류의 정확성에 영향을 미치는 정도를 기초로 하여 측정되는 값으로 변수의 중요도를 파악하는데 유용하게 이용된다(Nam *et al.*, 2015). 본 연구에서 토지피복도에서 산출된 면적을 환경변수로 하여 출현한 종들을 랜덤 포레스트 모델에 적용하였으며, 중요도를 Mean Decrease Gini로 나타냈다. Mean Decrease Gini는 랜덤 포레스트 분석에서 나뭇가지를 칠 때 얼마나 정확도가 올라가는지를 나타내는 지표로서 변수들의 중요도가 높을수록 의사결정에 큰 영향을 미치는 특징이 있다.

서식지 환경은 정맥의 고정조사구 중심좌표를 기준으로 반경 300m버퍼를 설정하여 반경 내의 토지피복 유형별 면적을 산출하였다. 반경 설정은 고정조사구 주변 서식지환경을 최대한 반영을 하며 중점을 최소화하기 위하여 반경 300m로 설정하였으며, 토지피복은 환경부에서 제시한 토지피복도 중분류(2009)항목을 선행연구와 주변 서식지 환경을 참고하여 비슷한 환경으로 판단할 수 있는 유형으로

Table 2. Grouping category through the land cover

Grouping category	Included habitat
Used Area	Residential area
	Industry·Commerce·Transportation
	Culture·Sports·Public facilities
	Paddy field
Agriculture Land	Field
	Orchard
	Other agriculture
	Coniferous forests
Forest	Broad-leaved forest
	Mixed forest
	Water environment
Other	Grassland
	Bare land

Grouping하여 재분류하여 면적을 산출하였다(Cho, 2015; Table 2).

자기조직화지도 분석은 복잡한 군집구조 분석을 할 때 장점을 가지는 R 통계프로그램의 *diatSOM* package를 이용하

였으며, 토지피복도 면적산출과 랜덤 포레스트 모델 분석은 Arc Gis 10.3 프로그램과 R 3.5.1 통계프로그램을 이용하였다(Bottin *et al.*, 2014; ESRI, 2015; R Development core Team, 2018). 또한 그룹별 종수와 개체수, Shannon-Weaver의 종 다양도 지수(H')의 차이는 Kruskal-Wallis 검증을 이용하였으며, 사후검정은 Dunnett tests를 이용하였다.

결 과

1. 자기조직화지도를 이용한 패턴 분석

2016년부터 2018년까지 금남호남 및 호남, 한남금북 및 금북, 낙남정맥의 고정조사구에서 관찰된 조류를 기초로 한 54회의 조사 자료를 자기조직화지도에 적용하여 분포 패턴을 분석한 결과 4개의 그룹(I-IV)으로 구분되었으며, 이들 그룹들 간에 유의한 차이가 나타났다(Figure 2a; MRPP, $A=0.12$, $P < 0.005$). 54개의 고정조사구의 그룹별 구성현황을 보면 II번 그룹에서 25개(46.3%)로 가장 많았으며, IV번 그룹 22개(40.7%), I번 그룹 4개(7.4%), III번 그룹 3개(5.6%) 순으로 분포하는 것을 확인하였다. 유클리디안 거리를 통해 군집을 세부적으로 살펴보면 I, II번 그룹과 III,IV번 그룹이

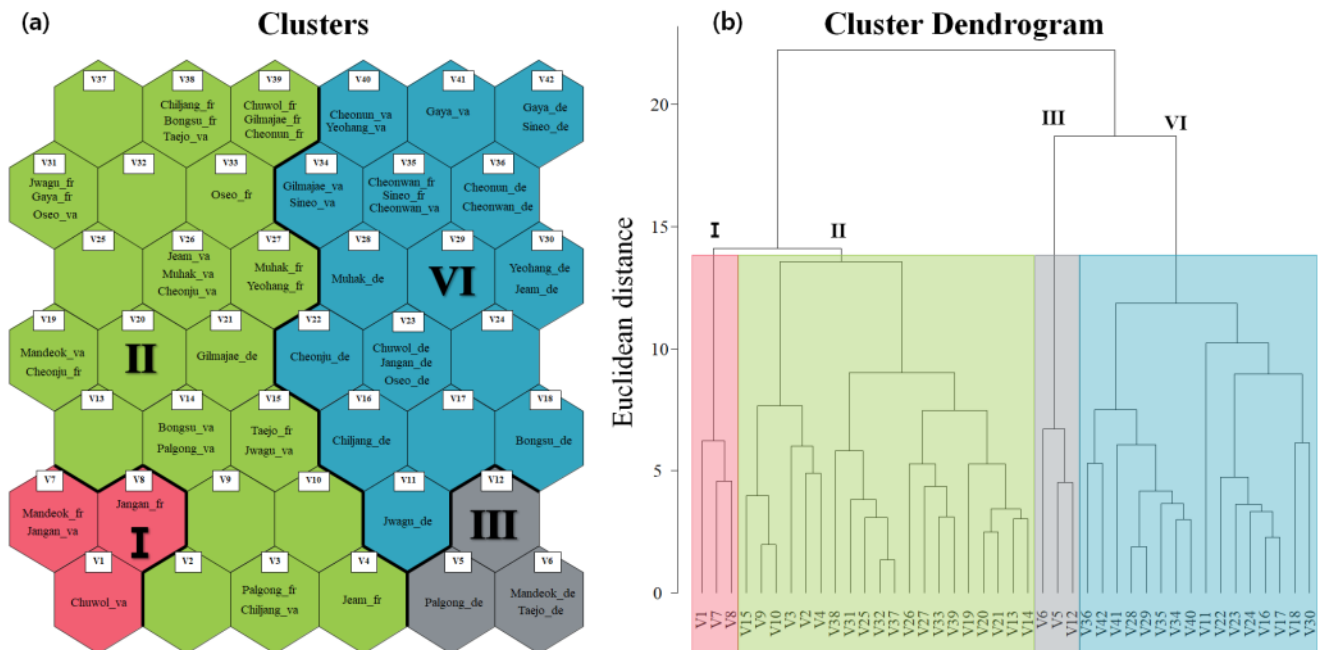


Figure 2. (a) Distribution of samples through the self-organizing map(SOM). Bird communities at total 54 samples were assigned to 42 SOM output neurons and two dimensional lattice(7x6). The words in each cell indicate fixed plots(de: development, va: valley, fr: forest road and ridge) that randomly assigned. (b) Neuron clusters were identified by a ward linkage method using euclidean distance. The letters of the smallest branches represent SOM neurons.

크게 나누어졌으며, I, II 번 그룹과 III, IV 번 그룹 내에서도 차이가 있음을 알 수 있었다(Figure 2b).

자기조직화지도 그룹별 종수와 개체수, 종다양도 지수를 비교분석 결과 종수와 개체수, 종다양도 지수 모두 III 번 그룹에 가장 높게 나타났다(종수: $\chi^2 = 13.436, P < 0.005$; 개체수: $\chi^2 = 8.229, P < 0.05$; 종다양도: $\chi^2 = 17.115, P < 0.005$; Table 3).

2. 지표종 및 서식지 환경 특징 파악

자기조직화지도에서 도출된 4개의 그룹에서 각 그룹별 지표종 분석과, 서식지 환경 특성을 파악하기 위해 토지피복도를 랜덤 포레스트 모델에 적용하여 분석한 결과 4개 그룹간의 서식지환경이 구성하는 비율과 지표종에 차이를 보였다. 그룹별 서식환경 특성을 보면 I 번 그룹은 침엽수림이 우점하는 혼합림 지역으로 대표적인 산림의 형태를 보이는 지역이었으며, II 번 그룹은 산업, 상업, 교통지역과 주거지역이 있는 지역, III 번 그룹은 농업지역내 하천·저수지·습지를 포함한 수환경지역과 개발지가 고루 분포하는 지역, IV 번 그룹은 산업, 상업, 교통지역 등 개발지가 있지만 주변에 혼합림으로 구성된 산림과 농경지가 분포하는 지역적 특성을 보이고 있다(Table 3). 지표종 분석은 I 번 그룹에서는 검은등뼈꾸기 *Cuculus micropterus*(IndVal index=0.56, $P < 0.05$), 숲새 *Urosphena squameiceps*(IndVal index=0.41, $P < 0.05$), 산술새 *Phylloscopus coronatus*(IndVal index=0.89, $P < 0.005$)등 5종이 주요 지표종으로 확인되었다. II 번 그룹은 특별한 지표종이 확인되지 않았으며, III 번 그룹은 검은등기해오라기 *Butorides striata*(IndVal index=0.45, $P < 0.05$), 왜가리 *Ardea cinerea*(IndVal index=0.93, $P < 0.005$), 중대백로 *Ardea alba*(IndVal index=0.87, $P < 0.005$)등 12종의 조류가 지표종으로 확인되었다. IV 그룹은 제비 *Hirundo rustica*(IndVal index=0.32, $P < 0.05$) 1종만 지표종으로 확인되었다(Table 4).

3개 정맥에서 관찰된 종을 자기조직화지도로 분석해 본 결과, 직박구리 *Microscelis amaurotis*, 붉은머리오목눈이 *Paradoxornis webbianus*, 딱새 *Phoenicurus aureus*, 어치 *Garrulus glandarius*, 때까지 *Lanius bucephalus*, 박새 *Parus major* 6종이 고르게 분포 밀도가 높은 것으로 확인할 수 있었다(Figure 3).

Table 3. Evaluation the composition characteristic of each cluster's habitat type using Random forest model

Habitat type	Mean Decrease Gini(rate, %)			
	I	II	III	IV
Residential area	16.0	75.1	34.0	90.7
Industry·Commerce·Transportation	11.0	100.0	81.1	100.0
Culture·Sports·Public facilities	3.0	0.0	86.8	0.0
Paddy field	55.0	68.5	22.6	85.0
Field	56.0	73.5	32.1	48.1
Orchard	4.0	2.2	0.0	7.0
Other agriculture	6.0	22.7	100.0	9.8
Coniferous forests	100.0	66.9	13.2	82.7
Broad-leaved forest	56.0	50.8	17.0	25.2
Mixed forest	71.0	65.2	37.7	39.7
Wetland·Stream·Reservoir	16.0	32.0	90.6	23.4
Grassland	8.0	23.8	0.0	22.9
Bare land	0.0	1.7	0.0	8.9

Table 4. The analysis result of indicator species by group

Scientific name	Cluster	IndVal index	P value
<i>Cuculus micropterus</i>	I	0.56	< 0.05
<i>Urosphena squameiceps</i>	I	0.41	< 0.05
<i>Phylloscopus coronatus</i>	I	0.89	< 0.005
<i>Zoothera aurea</i>	I	0.69	< 0.005
<i>Turdus pallidus</i>	I	0.63	< 0.005
<i>Butorides striata</i>	III	0.45	< 0.05
<i>Ardea cinerea</i>	III	0.93	< 0.005
<i>Ardea alba</i>	III	0.87	< 0.005
<i>Egretta garzetta</i>	III	0.93	< 0.005
<i>Falco tinnunculus</i>	III	0.83	< 0.005
<i>Eurystomus orientalis</i>	III	0.43	< 0.05
<i>Oriolus chinensis</i>	III	0.66	< 0.005
<i>Cyanopica cyanus</i>	III	0.62	< 0.005
<i>Pica pica</i>	III	0.58	< 0.05
<i>Corvus corone</i>	III	0.86	< 0.005
<i>Passer montanus</i>	III	0.52	< 0.05
<i>Emberiza spodocephala</i>	III	0.31	< 0.05
<i>Hirundo rustica</i>	IV	0.32	< 0.05

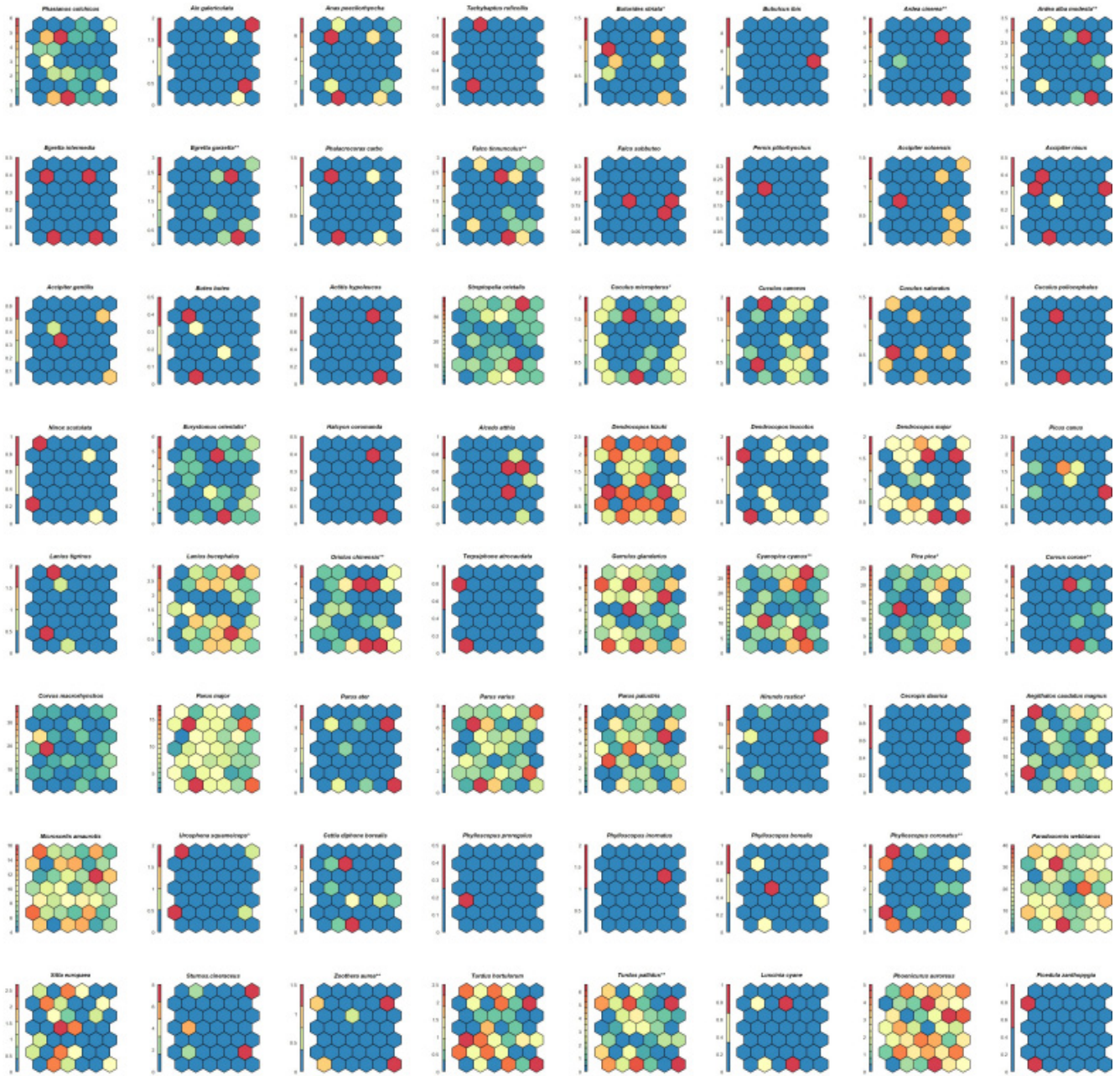


Figure 3. Self-organizing map(SOM) illustrated the distribution patterns of 79 bird species. SOM is the same as that used in Figure 2. The color represent the distribution density of bird species, range from low(blue color) to high(red color). The indicator species recorded the respective significance level(* $P < 0.05$; ** $P < 0.005$).

고찰

최근 생태계는 인간의 간섭이 증가함에 따라 생물다양성이 인간의 간섭에 의해 미치는 영향에 대해서 지속적으로 문제가 제기되고 있다(Vitousek *et al.*, 1997; Foley *et al.*, 2005). 특히 우리나라는 지형특성상 국토 면적의 약 63%

이상이 산림지역으로 이루어져 있기 때문에 산림주변에 주택단지 조성과 산림을 통과하는 도로를 개설하는 경우가 빈번하게 발생하고 있어 생물다양성에 큰 위험을 초래하고 있다(Wilcox and Murphy 1985; Hwang *et al.*, 2021). 대표적 환경지표종인 조류는 환경변화에 따라 군집의 변화가 단기간에 진행이 되며, 조류군집의 분포는 서식지의 물리

적, 화학적, 생물학적 요인들에 의해 분포 패턴과 경향이 다르게 나타난다(Lee *et al.*, 2008; Han *et al.*, 2019). 따라서 다양한 환경요소를 고려한 조사방법의 개발이 필요하다(Pack *et al.*, 2003).

본 연구에서 자기조직화지도를 활용하여 4개 그룹으로 분류된 결과를 기초로 랜덤 포레스트 모델과 지표종 분석을 적용하였을 때 서식지 환경특성에 따라 분리된 그룹별 지표종의 차이를 확인 할 수 있었다. 또한 각 그룹별로 서식환경의 주요특징 과 관찰된 조류의 군집의 분포 패턴 또한 뚜렷하게 확인 할 수 있었다. Choi *et al.*(2006)등은 숲새, 흰배지빠귀, 진박새 3종이 산림 내부를 선호하며 까치, 피꼬리 2종이 산림 가장자리를 선호하는 종으로 보고하였다. 본 연구에서 토지피복도를 환경변수로 지표종과 연관성을 분석한 결과, 대표적인 산림의 형태를 보이는 I 번 그룹 같은 경우 숲새, 흰배지빠귀 *Turduspallidus*, 산솔새, 호랑지빠귀 *Zoothera aurea* 같은 산림성 조류들이 주요 지표종으로 분석되었다. 또한 산림임연부(개발지)가 분포하는 III 번 그룹에서는 파랑새 *Eurystomus orientalis*, 피꼬리 *Oriolus chinensis*, 까치 *Pica pica* 같이 산림임연부에 주로 서식하는 조류들이 지표종으로 확인된 점으로 보아 유사한 경향을 보였다. 추가적으로 본 연구에서 수환경지역이 우점하는 비율이 높은 그룹(III)에 검은머리해오라기, 왜가리를 포함한 백로류 조류와 주거지역의 비율이 높은 그룹(IV)에 제비가 주요 지표종으로 확인된 점으로 보아 정맥에 내제된 다양한 서식지 특성에 따라 지표종의 차이가 발생한 것으로 판단된다. 또한 직박구리, 붉은머리오목눈이, 박새, 어치 같이 그룹별로 고르게 분포밀도가 높은 조류들의 경우 특징적 서식환경과는 무관하지만 선행연구에서 주요 우점종으로 확인된 점으로 보아 정맥을 대표하는 조류로서 가치가 있는 것으로 판단된다(Han *et al.*, 2016; Hwang *et al.*, 2021).

자기조직화지도 분석은 지표종분석과 랜덤 포레스트 모델을 함께 적용하여 데이터를 탐색적인 방법으로 분석할 때 생태적 정보를 효율적으로 추출이 가능하다(Bae *et al.*, 2011). 또한 자기조직화지도 결과로 나온 분류를 바탕으로 랜덤 포레스트모델과 지표종 분석의 적용은 조류군집의 특성 파악에 훌륭한 분석력을 가진다(Kwon *et al.*, 2012; Nam *et al.*, 2015). 본 연구결과에서도 지리적, 시기적으로 분리된 정맥에서 서식하는 종의 자료를 가지고 서식지 환경에 따른 조류 서식 특성을 파악하는데 용이한 결과를 확인 할 수 있었다. 이는 컴퓨터 프로그램으로 분석을 할 때 다변수를 포함한 데이터는 노이즈가 발생할 가능성이 매우 높지만 자기조직화지도 분석방법은 학습을 통해 발생하는 노이즈를 효과적으로 제거해줌으로서 효율적인 분석이 가능한 것으로 판단된다(Park *et al.*, 2013). 이를 통해 자기조직화지도는 데이터가 보유한 생태적 특징을 보다 명확하게 표현이

가능하고, 이를 기반으로 이루어진 랜덤 포레스트 모델과 지표종 분석 역시 상호 보완 하에 강력한 분석력을 보여줄 수 있었던 것으로 판단된다(Kwon *et al.*, 2012). 본 연구에서는 토지피복도 추출자료를 활용하여 3개 정맥을 통합적으로 분석하였다. 하지만 보다 정확한 조류군집 특성을 파악하기 위해서는 식생 및 고도, 먹이원 등 각 정맥만이 보유한 다양한 환경요인의 분석이 추가적으로 필요할 것으로 판단된다. 다만 본 연구결과를 통해 다양한 서식환경을 보유한 정맥의 관리 및 보전을 위한 기초자료로 활용이 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산림청의 정맥의 자원실태변화 조사 및 관리방안 연구(2015~2020), 금남호남, 호남정맥자원실태와 변화(국립산림과학원 연구자료 제 704호, 2016년), 한남금북, 금북정맥 자원실태와 변화(국립산림과학원 연구자료 제 767호, 2017년), 낙남정맥 자원실태와 변화(국립산림과학원 연구자료 제 805호, 2018년)의 일환으로 수행되었습니다. 이에 산림청 관계자 여러분께 감사 인사드립니다.

REFERENCES

- Bae, M.J., Y. Kwon, S.J. Hwang, T.S. Cheon, H.J. Yang, I.S. Kwak, J.H. Park, S.A. Ham and Y.S. Park(2011) Relationships between three major stream assemblages and their environmental factors in multiple spatial scales. In *Annales de Limnologie. International Journal of Limnology* 47(Sp. 1): 91-105.
- Bottin, M., J.L. Giraudel, S. Lek and J. Tison-Rosebery(2014) diatSOM: A R-package for diatom biotypology using self-organizing maps. *Diatom Research* 29(1): 5-9.
- Cho, H.J.(2015) Potential Habitat Analysis and Preservation guide lines for Korean endangered raptorial by applying Species Distribution Model, MaxEnt: Focused on Goshawk, Eagleowl, Tawnyowl. Ph.D. dissertation, Jeonbuk National University, Korea, 232pp.
- Choi, C.Y., H.Y. Nam, W.H. Hur, W.S. Lee, H.J. Kim and G.Y. Hwang(2006) Edge Preference of Forest-dwelling Birds in the Temperate Deciduous Forests. *J. Ecol. Field Biol.* 29(3): 191-203. (in Korean with English abstract)
- Chon, T.S.(2011) Self-organizing maps applied to ecological sciences. *Ecological Informatics* 6(1): 50-61.
- Cody, M.L.(1981) Habitat selection in birds: The roles of vegetation structure, competitors, and productivity. *BioScience* 31:

- 107-113.
- Dufrêne, M. and P. Legendre(1997) Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67(3): 345-366.
- Erdenien, M.(1984) Bird communities and vegetation structure: I. Correlations and comparisons of simple and diversity indices. *Oecologia* 61: 277-284.
- ESRI(2015) ArcGIS 10.3. 1 for Desktop.
- Foley, J.A. et al.(2005) Global consequences of land use. *Science* 309: 570-574.
- Hamer, K.C., J.K. Hill, S. Benedick, N. Mustaffa, T.N. Sherratt and M. Maryati(2003) Ecology of butterflies in natural and selectively logged forests of northern Borneo: The importance of habitat heterogeneity. *Journal of Applied Ecology* 40(1): 150-162.
- Han, S.W., S.D. Jin, E.H. Lim, S.H. Choi and J.W. Lee(2019) Change of bird's Home range according to Forest Road Construction in Mt. Minjujisan. *Kor. J. Ornith.* 26(2): 116-121. (in Korean with English abstract)
- Hatchwell, B.J., D.E. Chamberlain and C.M. Perrins(1996) The reproductive success of Blackbirds *Turdus merula* in relation to habitat structure and choice of nest site. *Ibis* 138: 256-262.
- Hwang J.K., S.W. Han, H.J. Cho, H.K. Nam, S.Y. Yoo, I.K. Kwon and J.W. Lee(2021) Analysis of Bird Community by Habitat Type in Nak-nam Jeongmaek. *Korean J. Environ. Ecol.* 35(2): 106-114. (in Korean with English abstract)
- James, F.C. and N.O. Warner(1982) Relationships between temperate forest bird communities and vegetation structure. *Ecology* 63: 159-171.
- Karr, J.H. and R.R. Roth(1971) Vegetation Structure and Avian Diversity in Several New World Areas. *American Naturalist* 105: 423-435.
- Kim, J.S., J.R. Shin, H.S. Lee and T.H. Koo(2008) Effects of Habitat Environment on Bird Community in Forest. *Journal of Environmental Policy* 7(3): 141-160. (in Korean with English abstract)
- Kohonen, T.(1982) Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics* 43(1): 59-69.
- Kwon, Y.S., F. Li, N. Chung, M.J. Bae, S.J. Hwang, M.S. Byeon, S.J. Park and Y.S. Park(2012). Response of fish communities to various environmental variables across multiple spatial scales. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 9(10): 3629-3653.
- Lasne, E., B. Bergerot, S. Lek and P. Laffaille(2007) Fish zonation and indicator species for the evaluation of the ecological status of rivers: Example of the Loire basin (France). *River Research and Applications* 23(8): 877-890.
- Lee, C.W., J.D. Jang, K.S. Jeong, D.K. Kin and G.J. Joo(2010) Patterning habitat preference of avifaunal assemblage on the Nakdong River estuary (South Korea) using self-organizing map. *Ecological Informatics* 5(2): 89-96.
- Lee, D.H., H.J. Kwon and H.K. Song(2008) Characteristics of Breeding Bird Community in Relation to Altitude and Vegetation in Jirisan National Park. *Kor. J. Env. Eco.* 22(5): 471-480. (in Korean with English abstract)
- Lee, W.S.(1996) The relationship between Breeding bird community and forest structure at a deciduous broad-leaved forest in Hokkaido, Japan. *Journal of Korean Ecology* 19(4): 353-361. (in Korean with English abstract)
- Lee, W.S., T.H. Goo and J.Y. Park(2014) A Field Guide to the Birds of Korea. LG Evergreen Foundation, 383pp
- Lek, S. and J.F. Guégan(1999) Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an introduction. *Ecological Modelling* 120(2): 65-73.
- Louw, J.H. and M.S. Scholes(2002) Forest site classification and evaluation: A South African perspective. *Forest Ecology and Management* 171: 153-168.
- Nakamura, S., H. Hashimoto and O. Sootome(1984) Breeding ecology of *Motacilla alba* and *M. grandis* and their interspecific relationship. *J. Yamashina Inst. Ornith.* 16: 114-135.
- Nam, H.K., S.H. Choi and J.C. Yoo(2015) Patterning Waterbird Assemblages on Rice Fields Using Self-Organizing Map and Random Forest. *Korean J Environ Agric.* 34(3): 168-177. (in Korean with English abstract)
- Nam, S.N., S.H. Lee, J.R. Kim, J.H. Lee and J.I. Oh(2019) Real-time monitoring sensor displacement for illicit discharge of wastewater: Identification of hotspot using the self-organizing maps. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater* 33(2): 151-158. (in Korean with English abstract)
- Neave, H.M., R.B. Cunningham, T.W. Norton and H.A. Nix(1996) Biological inventory for conservation evaluation III. Relationships between birds, vegetation and environmental attributes in southern Australia. *Forest Ecology and Management* 85: 197-218.
- O'Connell, R.M., M.J. Ward, C. Onoufriou, I.J. Winfield, G. Harris, R. Jones, M.L. Yallop and A.F. Brown(2007) Integrating multi-scale data to model the relationship between food resources, waterbird distribution and human activities in freshwater systems: Preliminary findings and potential uses. *Ibis* 149(Sp. 1): 65-72.
- Olden, J.D., N.L. Poff and B.P. Bledsoe(2006) Incorporating ecological knowledge into ecoinformatics: An example of modeling hierarchically structured aquatic communities with neural networks. *Ecological Informatics* 1(1): 33-42.
- Paek, W.K., H.S. Lee, I.K. Kim, S.W. Han, S.W. Lee, M.J. Song and J.W. Lee(2003) Study of Avifauna and Habitat Preference and Management from Manbokdae to Siribong in Baekdudaegan.

- Korean Journal of Environment and Ecology 16(4): 409-420. (in Korean with English abstract)
- Park, I.H., Y.H. Kim and K.J. Cho(2012) Bird Species Diversity Analysis According to the Type of Forest Vegetation. J. Korean Env. Res. Tech. 15(6): 43-52. (in Korean with English abstract)
- Park, Y.S. and Y.J. Chung(2006) Hazard rating of pine trees from a forest insect pest using artificial neural networks. Forest Ecology and Management 222(1): 222-233.
- Park, Y.S., J. Chang, S. Lek, W. Cao and S. Brosse(2003) Conservation strategies for endemic fish species threatened by the Three Gorges Dam. Conservation Biology 17(6): 1748-1758.
- Park, Y.S., R. Céréghino, A. Compin and S. Lek(2003) Applications of artificial neural networks for patterning and predicting aquatic insect species richness in running waters. Ecological Modelling 160(3): 265-280.
- Park, Y.S., Y.J. Chung and Y.S. Moon(2013) Hazard ratings of pine forests to a pine wilt disease at two spatial scales (individual trees and stands) using self-organizing map and random forest. Ecological Informatics 13: 40-46.
- Perrins, C.M.(1991) Tits and their caterpillar food supply. Ibis 133: 49-54.
- Piscart, C., B. Bergerot, P. Laffaille and P. Marmonier(2010) Are amphipod invaders a threat to regional biodiversity? Biological Invasions 12(4): 853-863.
- R Development Core Team(2018) R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>
- Rhim, S.J. and W.S. Lee(1998) Relationship between habitat environment and small mammal density at altitude in Mt. Jirisan region. Seoul National Univ. Academic Forest Research Report 34: 37-47.
- Rotenberry, J.T. and J.A. Wiens(1991) Weather and reproductive variation in shrubsteppe Sparrows: A hierarchical analysis. Ecology 72: 1325-1335.
- Shannon, C.E. and W. Weaver(1949) The mathematical theory of communication. Univ. of Illinois Press, Urbana-Champaign, 117pp.
- Vesanto, J. and E. Alhoniemi(2000) Clustering of the self-organizing map. IEEE Trans. Neural Netw. 11(3): 586-600.
- Vitousek, P.M., H.A. Mooney, J. Lubchenco and J.M. Melillo (1997) Human domination of Earth's Ecosystem. Science 277: 494-499.
- Wilcox, B.A. and D.O. Mruphy(1985) Conservation strategy: The effects of fragmentation on extinction. American Naturalist.
- Yu, J.P., S.D. Jin, H.S. Kim, W.K. Paek and H.K. Song(2010) Characteristics of Birds Community in Relation to Altitude, Direction of Slope and Season in Deogyusan National Park. The Korean Journal of Ornithology 17(4): 359-385. (in Korean with English abstract)