



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

도시계획학 석사학위논문

도시 녹지와 경관 특성이
오색딱다구리와 쇠딱다구리 분포에
끼치는 영향 비교

2013 년 8 월

서울대학교 환경대학원

환경계획학과

이 경 민

도시 녹지와 경관 특성이
오색딱다구리와 쇠딱다구리
분포에 끼치는 영향 비교

지도교수 이 도 원

이 논문을 도시계획학 석사 학위논문으로
제출함
2013 년 4 월

서울대학교 환경대학원
환경계획학과
이 경 민

이경민의 석사 학위논문을 인준함
2013 년 6 월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국문초록

도시화로 인해 산림 파편화가 심화됨에 따라 산림성 조류의 서식지가 제한되고 있다. 딱따구리는 대표적인 산림성 조류로 산림을 선호하는 서식지 특이성 때문에 도시화와 파편화된 환경에 민감하다. 딱따구리가 이용한 나무 구멍 등지는 다른 생물종의 다양성과 개체수와도 밀접한 관계가 있어, 딱따구리 보전은 도시 산림 조류의 생물다양성 유지에 중요하다. 이 연구에서는 녹지특성과 경관구조가 오색딱따구리(*Dendrocopos major*)와 쇠딱따구리(*Dendrocopos kizuki*) 분포에 미치는 영향을 비교하였다.

번식기인 5-7월에 서울과 인근 주변 도시의 잔류 산림 및 공원을 대상으로 출현 유무와 개체수 조사를 실시했으며, 도시 내 녹지는 서식지 외부의 고밀도로 포장된 도시경관, 다양한 인간 활동에 의한 교란과 같은 도시구조에서 기인하는 고유의 특성 때문에 서식지 환경 변수 외에 경관 변수, 인간 활동과 관련된 변수를 수집하여 이용하였다. 모형개발에는 데이터 마이닝 기법인 랜덤포리스트를 사용하였고 기존의 이항 로지스틱 회귀분석, 일반화 선형 모형을 이용하여 모형의 특성을 비교 분석하였다.

분석결과, 자연형 서식지의 면적과 식생피도가 오색딱따구리와 쇠딱따구리 분포에 중요한 영향을 끼치는 인자로 나타났다. 두 종 모두 서식지로부터 주변 도로까지 거리가 증가함에 따라 출현률이 감소하였다. 서식지 주변 녹지와 연결성은 쇠딱따구리의 출현에 매우 중요한 영향을 끼쳤고, 양의 관계를 나타냈다. 서식지 연결성은 오색딱따구리 분포에 유의한 영향을 끼치지 않았지만, 다른 서식지로의 전파에 있어 경관 특이적으로 중요한 영향을 끼칠 것으로 예상된다. 오색딱따구리의 분포는 다른 환경 요인보다 서식지 내부 환경이 중요한 것으로 나타났으며, 반면에 쇠딱따구리는 서식지 주변 경관 환경이 중요한 영향을 끼치는 것을 알 수 있었다.

도시 내 딱따구리 종의 효율적인 보전을 위해서는 자연형 서식지를 선호하는 딱따구리류의 생태적 특성을 고려하여 도시화로 인한 파편화된 잔존 산림의 보호와 유지가 필요하다. 또한 서식지 내부 환경과 함께 주변 경관의 구조와 서식지 연결성을 함께 유지해야 할 것으로 판단된다.

주요어 : 오색딱따구리, 쇠딱따구리, 도시 녹지, 생물다양성, 랜덤포리스트

학 번 : 2011-23932

목 차

I. 서 론	1
1. 연구의 배경 및 필요성	1
2. 연구의 목적	2
II. 이론적 배경	3
1. 딱따구리 생태적 중요성	3
2. 랜덤포리스트	5
III. 재료 및 방법	6
1. 연구대상지	6
2. 조류조사	7
3. 서식환경조사	8
4. 통계분석	11
IV. 결과	12
1. 조류 조사 결과	12
2. 도시 녹지 특성과 오색딱따구리 분포	13
1) 도시 녹지 특성과 오색딱따구리 출현여부 분석	13
2) 도시 녹지 특성과 오색딱따구리 풍부도 분석	15
3. 도시 녹지 특성과 쇠딱따구리 분포	16
1) 도시 녹지 특성과 쇠딱따구리 출현여부 분석	16
2) 도시 녹지 특성과 쇠딱따구리 풍부도 분석	18
4. 오색딱따구리와 쇠딱따구리 서식환경비교	19
5. 랜덤포리스트와 기존 통계 비교	22

V. 결론 및 고찰	24
1. 서식지 변수와 딱따구리류 분포 관계	24
2. 경관 변수와 딱따구리류 분포 관계	26
3. 랜덤포리스트와 기존 통계 비교	27
4. 결론	29
참고문헌	30
Abstract	35

표 목 차

Table 1. Description of predictor variables	8
Table 2. Models comparison Random forest to traditional statistic methods for <i>D. major</i>	22
Table 3. Models comparison Random forest to traditional statistic methods for <i>D. kizuki</i>	22
Table 4. Selected variables in order of importance for each model of <i>D.</i> <i>major</i>	23
Table 5. Selected variables in order of importance for each model of <i>D.</i> <i>kizuki</i>	23

그 림 목 차

Fig. 1. Map of study area and the bird survey sites	7
Fig. 2. Woodpecker Occurrence map of bird survey at 45 sites	12
Fig. 3. Important variables of present/absent <i>D. major</i> classification based on Random forests.	14
Fig. 4. Important variables of <i>D. major</i> density regression based on Random forests.	15
Fig. 5. Important variables of present/absent <i>D. kizuki</i> classification based	

on Random forests.	17
Fig. 6. Important variables of <i>D. kizuki</i> density regression based on Random forests.	18
Fig. 7. Random forest-based multi-dimensional scaling plot of artificial vs. natural sites for two woodpecker occurrence	19
Fig. 8. Partial dependence plots of random forests regression for two woodpecker and predictor variables	21
Fig. 9. Surrounding street tree area within certain distance. Filled olive green color means study site. Red, orange, yellow, blue and green color line indicate street tree area within 10m, 20m, 30m, 40m, 50m distance each	27

I. 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

도시화는 자연 상태를 파편화된 경관으로 변형시킨다. 인구증가 및 토지이용의 변화에 따라 도시지역의 생물 서식지 질 감소와 상실이 심화되고 있다(Blair 1996; Clergeau et al. 2001; Mckinney 2002). 이로 인해 도시화가 생물종 다양성 감소 요인으로 주목받고 있으며, 도시지역의 효율적인 서식지 관리 중요성이 제기되고 있다(Shwartz et al. 2007; Ortega-Álvarez and MacGregor-Fors 2009). 도시 내 존재하는 공원과 정원, 파편화된 잔존 산림은 도시 내부에서 유일한 생물 서식지가 되며, 생물다양성 핫스팟(biodiversity hotspot) 기능을 한다(Fernández-Juricic and Jokimäki 2001; Morrison and Chapman 2005). 도시 내 생물 서식지는 서식지 외부의 고밀도로 포장된 도시경관, 다양한 인간 활동에 의한 교란, 열섬 현성과 같은 도시구조에서 기인하는 미세 환경 때문에 자연생태계와는 구분되는 고유의 특성을 가지고 있다(Fernández-Juricic 2004). 또한 도시 공원과 녹지는 그 크기나 식생의 구성 및 구조가 다양하고, 인간의 이용정도와 관리수준이 다르다(Morrison and Chapman 2005). 이는 도시의 생물 개체군 및 군집 구조, 역동성에 영향을 미친다(Palomino and Carrascal 2006; Sandström et al. 2006). 따라서 도시의 생물 서식지 복원과 관리를 위해 도시 녹지 및 주변 경관 특성이 개체군 분포에 미치는 영향을 살피는 연구가 필요하다.

조류 군집은 도시지역 야생동물 서식분포 연구에 자주 이용된다. 조류는 먹이사슬의 상위 단계를 차지할 뿐 아니라, 다른 동물 군에 비해 활발한 움직임과 소리를 냄으로써 종별 분류와 조사가 용이하기 때문이다(Marzluff et al. 2001; Sandström et al. 2006). 또한 특정 서식환경을 선호하는 특이성은 서식환경에 따른 종 분포 양상 연구에 유용한 대상이 되어 왔다(Blair 1996; Marzluff et al. 2001). 이 연구에서는 도시지역에서 다양한 형태로 존재하는 도시 녹지가 딱따구리류 분포에 미치는 영향을 분석하였다. 딱따구리는 대표적인 산림성 조류로, 산림을 선호하는 서식지 특이성 때문에 도시화와 파편화된 환경에 민감하다(Mazgajski 1998; Smith 2007). 딱따구리류는 직접 나무에 구멍을 뚫어 둥지로 사용하는 일차구멍둥지종(primary cavity nesters)으로 딱따구리가 이용한 나무 구멍 둥지는 다른 생물종의 다양성 및 개체수와 밀접한 관계가 있기 때문에 생물다양성과 산림성 조류의 지표종으로 자주

이용된다(Martin et al. 2004; Virkkala et al. 2006; Pasinelli 2007). 따라서 딱따구리류는 딱따구리의 구멍 둥지를 이용하는 다양한 생물의 보전, 도시 녹지의 서식 환경과 질을 평가하는 대상으로 적합하다. 도시 녹지 및 주변 경관 특성에 따른 딱따구리 분포와 영향을 주는 요인분석 연구 결과는 도시 생태계의 다양성 보전과 강화를 위한 기초 정보가 될 수 있다.

2. 연구의 목적

이 연구에서는 우리나라 도시 내에 서식하고 있는 오색딱따구리(*Dendrocopos major*)와 쇠딱따구리(*Dendrocopos kizuki*) 2종을 대상으로 도시 녹지가 생물 서식처로서 가지는 환경 특성을 규명하고, 주변 경관에 따른 분포 양상을 분석하는 것이다. 도시 공원 및 잔존 녹지는 내부 환경 요소와 외부의 경관요소가 뚜렷하게 구분되는 특징을 가진다. 내부 환경 요소로는 서식지 면적, 서식지 형태, 식생 피복과 성장, 관리 강도가 대표적인 요소이며, 외부 경관 요소는 도시 및 농경지, 산림과 같은 바탕형태, 도시화 정도, 도로 및 주택 밀도, 주변 녹지 밀도와 연결성을 예로 들 수 있다. 도시 녹지의 내부 환경 요소와 외부 경관 요소 모두 딱따구리 분포에 영향을 줄 수 있기 때문에 도시 내 생물 다양성 보존과 서식지 관리를 위해서는 개별 서식지 특성뿐만 아니라 주변 경관 특성에 대한 통합적인 이해가 필요하다.

즉 이 연구는 1) 서식지 내부 환경요소와 딱따구리의 분포 특성 관계를 분석하고, 2) 서식지 외부의 경관수준 환경요소가 딱따구리 분포에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 3) 이상의 결과를 바탕으로 서식지 및 경관 특성이 두 종의 딱따구리 분포 차이를 가져오는 요인을 밝혀 도시 녹지의 서식지 보전과 관리에 필요한 정보를 도출하는 것이다.

II. 이론적 배경

1. 딱따구리류 생태적 중요성

딱따구리류는 직접 나무에 구멍을 뚫어 둥지로 사용하는 일차구멍둥지종(primary cavity nesters)으로, 둥지망(cavity-webs)¹⁾에서 중추적인 역할을 한다(Martin et al. 2004; Pasinelli 2007). 그들이 만드는 나무구멍둥지는 박쥐와 같은 소형 포유류, 산림성 조류의 서식지로 이용되기 때문에 생물종 다양성 및 개체수와 밀접한 관계가 있다(Virkkala et al. 2006; Smith 2007). 따라서 딱따구리류는 비슷한 환경에서 서식하는 다른 종의 보존을 돕는 핵심종(keystone species)으로 여겨진다(Kotaka and Matuoka 2002; Park et al. 2011; Gil-Tena et al. 2012). Drever et al. (2008)의 연구 또한 연구 대상지의 조류 다양성과 딱따구리의 풍부도, 종 다양성 간에 강한 양의 상관관계를 입증하였다. 이는 딱따구리류가 조류의 다양성을 나타내는 지표종으로써 이용될 수 있음을 시사한다.

딱따구리류는 서식지 변화에 매우 민감한 종이다. 딱따구리류는 대표적인 산림성 조류로 산림을 선호하는 서식지 특이성을 가지며, 고사목을 섭식 활동 및 둥지 장소로 이용한다(Mazgajski 1998; Smith 2007). 따라서 딱따구리류가 이용하는 서식지 특성과 자원에 관한 분석, 정량화에 관한 연구의 필요성이 중요시 되었다. 유럽을 중심으로 딱따구리류의 먹이, 고사목, 수종, 서식지 단위 등을 포함하는 다양한 서식지 선택에 관한 연구가 진행되었다(Kosinski and Winiecki 2004; Mazgajski and Rejt 2006; Pasinelli 2007). 대부분의 지역에서 딱따구리는 텃새이며, 높은 둥지 충실도(nest site fidelity)를 가지기 때문에 산림 생물다양성(forest biodiversity)과 산림질을 평가하는 생물학적 지표로 이용된다(Virkkala et al. 2006; Mazgajski and Rejt 2006).

이 연구의 대상종인 오색딱따구리(*Dendrocopos major*; great spotted woodpecker)와 쇠딱따구리(*Dendrocopos kizuki*; Japanese pygmy woodpecker)는 산림에서 단독으로 생활하는 텃새로 곤충류를 주로 잡아먹으며, 간혹 나무열매도 먹는다(원병오와 김화정 2012). 두 종 모두 우리나라에서 쉽게 관찰 할 수 있는 종

1) 둥지망(cavity-webs)은 구멍둥지를 이용하는 종들의 위계 관계를 나타낸다. 구멍둥지그물은 최상위의 일차구멍둥지종(primary cavity excavators), 이차구멍둥지종(secondary cavity nesters), 약한구멍둥지종(weak cavity excavators) 순으로 구성된다.

이지만, 오색딱다구리는 유럽에서 오호츠크해 연안, 북아프리카 북부, 중국, 사할린, 한국, 인도차이나 북부 넓은 지역에 걸쳐 분포하는 반면, 쇠딱다구리는 러시아 남동부, 사할린, 한국, 중국 동북부 및 일본 등지에 한정적으로 발견되는 종이다(원병오와 김화정 2012). 현재까지 우리나라에서 표본기록으로 발견된 딱따구리 11종중에서(양성년 외 2009; 원병오와 김화정 2012), 오색딱다구리와 쇠딱다구리는 특히 도시 녹지 환경에 적응하여 공원 및 잔존 산림에서 쉽게 관찰 되는 종이다(Park and Lee 2000; Lee et al. 2005; Lee et al. 2010; Hong et al. 2013). 따라서 같은 생태학적 그룹(ecological functional group) 내에 속하는 두 종을 이용한, 다중규모적 접근(multi-scale approach)으로 도시 환경을 심층적으로 비교하며 이해 할 수 있는 이점을 가진다.

오색딱다구리의 경우 유럽 등지에서 진행된 다수의 연구가 존재한다. 하지만 대부분의 연구가 오색딱다구리의 생태적 습성을 탐구하기 위해 자연 서식지에서 진행되었고(Mazgajski 1998; Kosinski and Winiecki 2004; Pasinelli 2007; Simth 2007), 도시화로 인한 파편화 및 도시 녹지 환경을 대상으로 한 연구는 아직 미미한 수준이다. Kotaka and Matsuoka (2002)는 자연 산림 및 도시에서 오색딱다구리가 만들어놓은 둥지를 사용하는 다른 생물종을 조사하여 비교하였다. 산림과 도시에서 나무구멍둥지를 이용하는 생물 종에는 차이가 있었지만, 두 곳 모두 오색딱다구리가 만든 둥지가 다른 조류 및 포유류의 서식처를 제공하여 생물 다양성을 유지함에 중요한 역할을 하는 것을 알 수 있다. Morrison and Chapman (2005) 과 Hebda(2009)의 연구는 산림과 도시에 따른 딱따구리 밀도를 비교하였다. 이 연구들 역시 딱따구리가 도시 녹지를 서식지로 선택하는 하는 특정 환경에 대한 고찰이 부족하고, 서식지 외부의 경관수준에 대한 고려가 미흡하다. 게다가 현재까지 쇠딱다구리를 중심으로 진행된 국내외 연구가 존재하지 않아 쇠딱다구리에 대한 생물학적, 생태적 정보가 매우 부족한 상황이다. 쇠딱다구리는 몸길이 15cm로 우리나라에 서식하는 딱따구리 중 가장 작다(원병오와 김화정 2012). 상대적으로 몸의 크기가 큰 오색딱다구리(L 24cm)와 비교하여 분산 능력의 차이와 둥지 선호 환경에 차이가 날 것으로 예상된다.

이 연구에서는 오색딱다구리와 쇠딱다구리를 대상으로 도시 서식지 및 주변 경관 특성에 따른 딱따구리 분포를 파악하여 종별 선호 환경을 비교하고, 도시 내 생물 다양성 유지를 위한 조류 서식지 관리 방안을 제시하고자 한다.

2. 랜덤포리스트

이 연구에서 사용한 통계 분석법은 랜덤포리스트(Random forests)로 무작위로 독립 추출된 각각의 의사결정나무(decision trees) 모형들의 조합이다(Breiman 2001). 여러 개의 단일 모형을 조합하여 더 좋은 예측력과 정확성을 가지는 하나의 모형으로 만드는 것을 앙상블(ensemble)이라 한다(Liaw and Wiener 2002). 랜덤포리스트는 데이터 앙상블 기법중의 하나로 의사결정나무들 사이의 상관관계를 감소시켜 분산을 감소시킴으로써 이루어진다(Genuer et al. 2010; 구재은 2011). 생태학적 자료는 종종 고차원적이고, 비선형적이며 변수 간 상호작용과 같이 복잡한 연관성을 가지고 있다(Cutler et al. 2007). 따라서 매개변수 모형(parametric model)과 같은 전통적인 통계 기법 적용 시 변수 간 독립성, 다변수의 정규성(multivariate normality)과 같은 가정이 위배되어 자료의 의미 있는 분석에 어려움을 가진다(Cutler et al. 2007, Evans and Cushman 2009). 의사결정나무를 이용한 통계기법은 이러한 가정 위배에 영향을 받지 않아 좀 더 안정적이고 적절한 정보를 제공할 수 있다(Evans and Cushman 2009). 또한 해석이 용이하고, 높은 분류 정확도와 변수 간 복잡한 상호관계를 특징화 할 수 있어 최근 생태학에서 널리 쓰이고 있다(Cutler et al. 2007; Gartzia et al. 2013).

랜덤포리스트의 알고리즘은 수많은 k 개의 부트스트랩(bootstrap) 표본을 추출하는 것으로 시작된다. 부트스트랩 표본은 모집단의 자료로부터 중복을 허용한 무작위 재추출 방법으로 얻어지며, 랜덤포리스트는 일반적으로 모집단의 63%가 부트스트랩 표본으로 추출되어 의사결정나무를 형성한다(Cutler et al. 2007). 총 설명변수 p 개에서 랜덤하게 선택된 m 개의 변수를 가지고 변수들 사이에서 최적의 변수 분리점을 선택하며 나무를 성장시킨다(구재은 2011). 이 과정을 k 개의 부트스트랩 표본에 각각 시행하여 통계량을 계산한다. 랜덤포리스트 회귀 모델의 경우 k 개의 나무에서의 평균값이 예측값이 되고, 분류 모델의 경우 다수결의 원칙에 의해 예측값이 결정된다(Liaw and Wiener 2002; Cutler et al. 2007; 구재은 2011). 부트스트랩 표본을 추출할 때, 표본으로 추출되지 못한 나머지 자료를 Out-of-Bag(OOB) 데이터라고 부른다. 랜덤포리스트 모형은 OOB 데이터를 k 개의 나무 모형에 적합시켜 오분류율(error rate)을 계산하고 모형의 정확도를 나타내는 값으로 사용한다(Breiman 2001; Cutler et al. 2007). Breiman(1996)은 분석용 자료의 크기와 같은 크기의 검증용 자료를 사용하여 분석한 오분류율과 OOB오분류율이 상당히 일치함을 밝혔다. 이는 OOB오분류율은 별도의 검증용 자료 사용을 대신할 수 있음을 나타낸다(Prasad et al. 2006; Cutler et al. 2007). OOB오분류율의 이용은 랜덤포리스트의 가

장 중요한 특징 중 하나이다.

Cutler et al. (2007)의 연구에서는 기존의 생태학적 자료를 가지고 랜덤포리스트 기법을 적용하여 분석한 뒤, 기존의 통계 분석과 비교하여 랜덤포리스트의 우월성을 입증하고 있다. 미국 국립공원을 대상으로 한 외래 식물 출현여부를 예측한 연구나 지의류 중 출현을 예측한 연구는 다른 통계 기법과 비교하였을 때 높은 정확도를 보였다. 특히 미국 유타주의 구멍둥지 조류 서식지 예측 연구의 경우, 본 연구의 대상종인 딱따구리와 같이 나무구멍둥지 종을 대상으로 한 점과 모집단의 수가 23~42개로 본 연구의 표본수와 비슷하기 때문에 그 결과의 시사점이 주목된다. 연구결과 랜덤포리스트 모형이 다른 통계 모형에 비해 높은 분류 정확도를 보였고, 한 종에 국한된 것이 아니라 같은 기능적 그룹 내에 속하는 각기 다른 세 종을 대상으로 비슷한 결과가 나타났다. 따라서 이 연구에서 도시 환경을 대표 할 수 있는 변수와 딱따구리를 대상으로 랜덤포리스트 모형 적용이 가능할 것이라고 판단된다.

이 연구에서는 랜덤포리스트를 이용하여 조사 대상지의 딱따구리의 서식지를 예측하고 중요 변수를 도출하여 서식지 및 경관 특성을 분석하였다.

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 연구 대상지

연구 대상지역은 서울시 전역과 고양시, 김포시, 광명시, 구리시 일대를 포함하는 45개의 도시 공원과 잔존 산림으로 선정하였다(Fig. 1). 조류 조사지는 0.5~20ha 이하의 소규모 서식지로 인공조경으로 조성된 곳과 자연적인 환경을 가진 곳, 주변 바탕이 도시, 산림, 농촌과 같이 다양한 토지이용형태를 가지는 곳으로 공간규모별 연결성과 서식지 내부 환경이 다양하도록 선정하였다.



Fig. 1. Map of study area and the bird survey sites

2. 조류 조사

조류 조사 자료는 한국연구재단의 일반 연구자 지원 사업의 일환으로 실시된 연구 조사 자료를 사용하였다. 과제 소속 박사과정 연구원²⁾이 일출 후 조사지점을 방문하여 선 조사법을 이용해 조사했다. 조류의 활동이 활발한 오전 6시부터 10시까지 대상 서식지 조각 내에서 무작위 선을 따라 50 m 반경 안의 조류 종과 개체수를 쌍안경 (Swarovski 10×42, 6.3°, EL)을 이용하여 나는 모양, 울음소리로 동정하고, 개체수는 카운터기를 이용하여 조사하였다(Bibby et al. 2000). 흐리고 비가 오는 날, 바람이 심하게 부는 날에는 조사하지 않았으며, 이 조사는 번식기인 5월부터 7월에 걸쳐 3회, 번식기 이외의 시기에 1회로 총 4회에 걸쳐 시행되었다. 본 연구에서는 오색딱다구리와 쇠딱다구리 2종의 자료만 한정적으로 사용하였고, 밀도는 4회 평균값을 사용하였다.

2) 강완모, 서울대학교 환경대학원 환경계획학과

3. 서식환경 조사

서식환경조사는 도시 녹지 내부의 서식지 수준(Habitat level)과 외부 경관 수준(Landscape level)으로 나누어 조사하였다(Table 1).

서식지 수준 환경 조사는 2013년 5월 한 달간 각각의 대상지를 방문하여 식생요소 중심으로 조사하였다. 서식환경 현장조사에는 50m 중심선을 기준으로 좌우 3m 반경의 총 300m² 면적의 선 방형구를 사용하였고, 대상지의 면적에 따라 2.5ha 미만 방형구 1개, 2.5-5ha 2개, 5ha 이상 3개를 이용하였다(Shanahan et al. 2011). 방형구 내 교목의 밀도, 종 수, 교목의 흉고직경을 측정하였다. 딱따구리는 고사목을 둥지 및 먹이 섭식 장소로 선호하는 특성을 가지고 있다(Pasinelli 2007; Smith 2007). 따라서 딱따구리의 서식환경 특성을 알아보기 위하여 고사목과 관련된 변수를 추가하여 조사하였다. 오색딱따구리와 쇠딱따구리 같이 몸의 크기 차이가 나는 경우, 수목의 흉고직경에 따라 둥지 선택이 다르게 나타난다(Pasinelli 2007; Gil-Tena et al, 2012). 현재 우리나라 경급 구분 사용 시에는 조사 대상지의 수목 흉고직경의 다양성을 나타낼 수 없어 Cutler et al.(2007)에서 사용한 흉고직경 구분을 사용하였다. 서식지의 인위성을 나타내기 위해 서식지 형태가 잔존 산림인지 인공조경으로 이루어졌는지, 인간의 방문 정도, 주기적인 관리 여부를 조사하였다. 조사지 면적은 ArcGIS 9.3 소프트웨어를 이용하여 2010서울시 도시생태현황도와 환경부에서 제공하는 토지피복도를 활용하여 자료를 얻었다. 조사 대상지의 식생 피복도를 나타내는 정규식생지수(NDVI; Normalized Difference Vegetation Index) 값은 ASTER 인공위성 영상(2012년 05년 09일, 해상도 15m)을 이용하여 구했다.

Table 1. Description of predictor variables

Name	Description
Habitat level variables	
LogArea	Log-transformed site area(m ²)
Vegetype	Vegetation type Deciduous(D)/Mixed(M)
Habitattype	Habitat type Forested(F)/Artificial(A)
Management	Forest management or not none management(0)/management(1)

Snag	Present/absent of standing dead trees in survey site absent(0)/present(1)
Biotope	Present/absent of dead wood on the ground in survey site absent(0)/present(1)
Fungus	Present/absent of fungus in survey site absent(0)/present(1)
NumofVisitor	Number of visitors Small(S)/Medium(M)/Large(L)
NumTR	Number of tree species in 300m ² plots
NumSnag	Number of snags per 300m ² plot
NumConifer	Density of conifer tree NumConifer= number of conifers/Treedensity
Treedensity	The total number of trees in 300m ² plots
DBH2.5	Density of trees less than 2.5 cm diameter at breast height in 300m ² plots DBH2.5= number of trees less than 2.5 cm diameter/Treedensity
DBH7.5	Density of trees 2.5 cm to 7.5 cm diameter at breast height in 300m ² plots DBH7.5= number of trees 2.5 cm to 7.5 cm diameter/Treedensity
DBH15	Density of trees 7.5 cm to 15 cm diameter at breast height in 300m ² plots DBH15= number of trees 7.5 cm to 15 cm diameter/Treedensity
DBH22.5	Density of trees 15 cm to 22.5 cm diameter at breast height in 300m ² plots DBH22.5= number of trees 15 cm to 22.5 cm diameter/Treedensity
DBH37.5	Density of trees 22.5 cm to 37.5 cm diameter at breast height in 300m ² plots DBH37.5= number of trees 22.5 cm to 37.5 cm diameter/Treedensity
DBHmax	Density of trees greater than 37.5 cm diameter at breast height in 300m ² plots

DBHmax= number of trees greater than 37.5 cm diameter/Treedensity

Landscape level variables

Matrixtype	Matrix type in 500m radius Vegetated(V)/Agricultural(A)/Urban(U)
Urbanization	Urbanization in 500m radius low(1)~High(4)
B10, 20, 30, 40, 50_AR	Connected vegetation area within 10, 20, 30, 40, 50m
Road_density500, 1000, 2000	Density of roads in a 500, 1000, 2000m radius
distroad_min	Distance to the nearest road
distroad_avg	Average Distance to the road
dist_f10ha, 50ha, 100ha	Distance to the nearest forest over 10ha, 50ha, 100ha
Greencover 100, 200, 300, 400, 500, 1000	NDVI measured from 2012 Aster satellite image 100, 200, 300, 400, 500, 1000m radius
dPC 5, 10, 15, 20, 30, 50	Landscape connectivity index within 500, 1000, 1500, 2000, 3000, 5000m

경관 수준 변수 역시 서식지 외부의 환경을 나타낼 수 있는 변수를 중심으로 2010서울시 도시생태현황도와 환경부에서 제공하는 토지피복도를 이용, Arcgis 9.3 소프트웨어를 사용하여 구하였다. 서식지 외부의 주변 환경을 나타낼 수 있도록 주변의 바탕 유형을 도시, 농경지, 녹지로 나누어 분석하였다. 기능적으로 연결된 녹지 면적의 영향을 알아보기 위해서 서식지 주변으로부터 10m, 20m, 30m, 40m, 50m 거리 내 가로수와 조경수를 포함한 연결된 녹지의 면적을 계산하였다

(Martensen et al. 2008; Shanahan et al. 2011). 도시화정도를 1-4로 구분하여 변수화 하였으며, 서식지와 도로와의 영향 관계를 알아보기 위해서 서식지로부터 가장 가까운 도로까지의 거리와 서식지로부터 도로까지의 평균 거리를 산출하여 분석에 이용하였다(Minor and Urban 2009). 도로밀도의 경우 500m, 1000m, 2000m로 나누어 구하였다. 산림을 선호하는 딱따구리류의 경우 산림까지의 거리가 도시 내에 서식하는 딱따구리 분포에 영향을 줄 수 있기 때문에 10ha, 50ha, 100ha이상인 산림까지의 거리를 나누어 구하였다(Hinsley et al. 1995; Natuhara and Imai 1999). 서식지 주변의 녹지 피복률 및 식생 활력도를 알아보기 위해서 ASTER 영상을 이용하여 주변 100m, 200m, 300m, 400m, 500m, 1000m NDVI 값을 산출하여 이용하였다(Minor and Urban 2009). 경관 연결성을 나타내는 변수로는 dPC(percentage variation in the total degree of connectivity by the probability of connectivity metric) 값을 계산하였다. dPC값은 그래프 이론을 적용하여 경관의 연결성을 나타내는 지수로, 서식지 유용성(habitat availability) 개념을 포함한 서식지 및 주변 경관 연결성 분석에 적합하다(Saura and Pascual-Hortal 2007; Gil-Tena et al. 2012). 도시화 정도를 포함한 도로 밀도, 도로까지의 거리, 서식지 주변 NDVI값, dPC 연결성 지수까지의 변수 값은 서울대학교 박사과정 연구원³⁾이 산출한 값을 분석에 이용하였다.

4. 통계 분석

도시 녹지가 딱따구리 서식처로서 가지는 환경 특성과 주변 경관과의 관계를 분석하기 위해서 랜덤포리스트 모형을 사용하였다. 딱따구리 출현여부를 예측하는 분류 분석(classification analysis)에서는 오색딱따구리와 쇠딱따구리의 출현여부(present/absent)를 종속변수로 사용하여, 서식지변수 및 경관변수, 변수 전체로 나누어 분석하였다. 딱따구리 풍부도를 예측하는 회귀 분석(regression analysis)은 오색딱따구리, 쇠딱따구리의 평균 밀도를 종속변수로 사용, 분류분석과 같은 방법을 적용하여 분석하였다. 랜덤포리스트 통계 분석은 R package 프로그램을 이용하였다(R Development Core Team, 2012).

랜덤포리스트 모형의 편의성 및 통계적 유의성을 입증하기 위해 기존의 통계 기

3) 강완모, 서울대학교 환경대학원 환경계획학과

법과 비교하여 정확도와 중요변수 추출 차이를 알아보았다. 랜덤포리스트의 분류 분석 비교는 이항로지스틱 분석을 시행하여 분류 정확도 값을 나타내는 ROC곡선의 AUC(area under the curve) 값을 산출하여 비교하였다. 랜덤포리스트 회귀 모형의 경우 종속변수가 수치(count)자료임을 감안하여 일반화선형모형(generalized linear model)을 이용하여 분석한 뒤 비교하였다.

IV. 결과

1. 조류 조사 결과

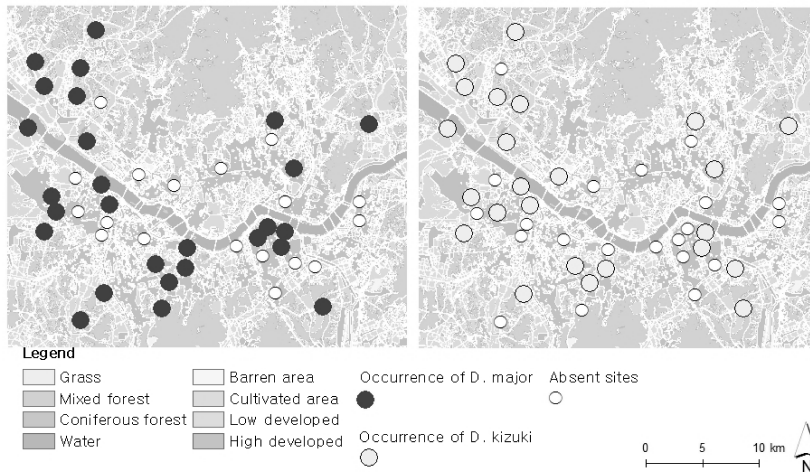


Fig.2. Woodpecker Occurrence map of bird survey at 45 sites

조류 조사 결과 총 45개 지점 중 30곳에서 오색딱다구리 혹은 쇠딱다구리가 발견되었다. 오색딱다구리는 27개 지점에서 발견되었으며, 쇠딱다구리는 24개 지점에서 발견되었다(Fig. 2). 45개 지점 중 20곳은 오색딱다구리와 쇠딱다구리가 동시에 발견되었다.

2. 도시 녹지 특성과 오색딱다구리 분포

1) 도시 녹지 특성과 오색딱다구리 출현여부 분석

서식지 특성과 오색딱다구리의 출현여부 관계를 랜덤포리스트 분석을 통해 분석 결과 OOB 예측 오류율 기준으로 82% 정확하게 설명하였다. 주변 경관 특성에 따른 랜덤포리스트 분석 결과 역시 출현여부를 78% 수준으로 설명하였다. 서식지 특성 및 경관 특성 모두를 고려한 오색딱다구리 출현여부 분석은 82%의 정확도를 나타내었다.

오색딱다구리의 출현여부에 영향을 주는 주요 인자는 Fig. 3과 같다. 서식지 수준에서 오색딱다구리 출현여부에 가장 중요한 요인은 서식지 유형으로 나타났다. 자연형 잔존 산림 혹은 인공형 공원인지의 여부가 가장 중요한 요인이며, 서식지의 식생피복과 활력도를 나타내는 NDVI 값, 서식지 면적이 다음 중요 변수로 나타났다. 경관 수준에서 오색딱다구리의 출현여부는 크게 도로 및 주변 식생의 연결성과 연관이 있는 것으로 나타났다. 도로까지의 평균 거리와 서식지 500m이내의 도로 밀도가 가장 중요한 변수이며, 40m, 30m, 20m이내에서 연결된 녹지 면적 순으로 중요도가 산출되었다. 서식지와 경관 수준 모두를 고려한 경우에는 서식지 형태, 서식지 NDVI, 주변 500m이내 도로밀도, 도로까지의 평균 거리, 40m이내 연결된 녹지 면적이 중요 요인으로 추정되었다.

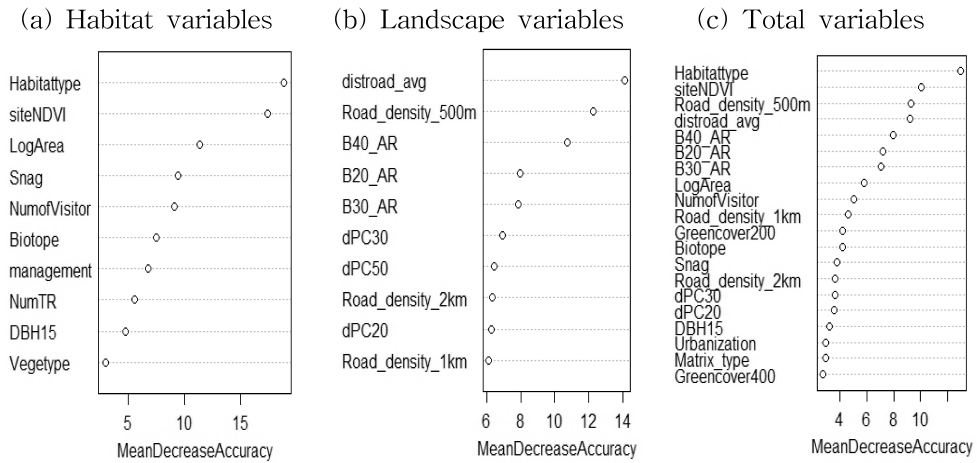


Fig. 3. Important variables of present/absent *D. major* classification based on Random forests. The mean decrease in accuracy for a variable is the difference of the classification accuracy for out-of-bag data have been randomly permuted. An explanation of the y-axis variables appears in Table 1. (a) Top 10 of important variables in Habitat level, (b) Top 10 of important variables in Landscape level, (c) Top 20 of important variables in all predictors.

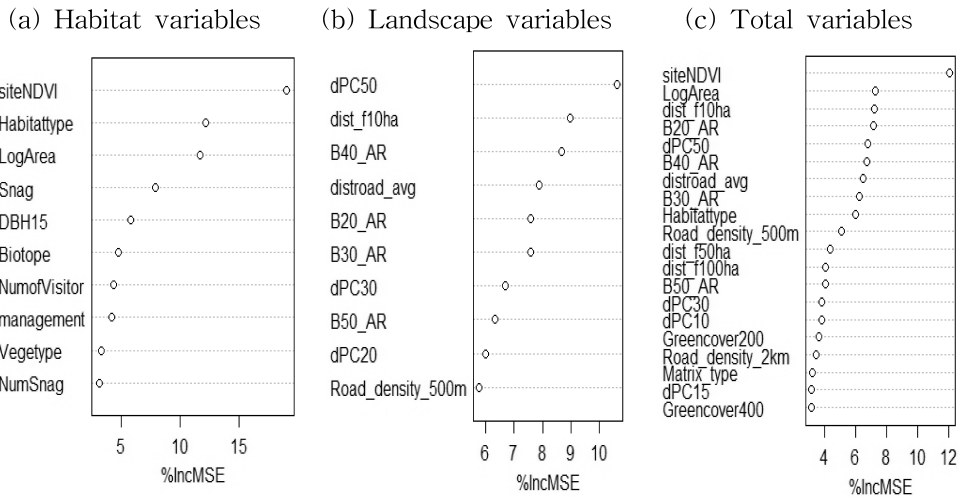


Fig. 4. Important variables of *D. major* density regression based on Random forests. The percentage of increase in mean square error(%IncMSE) is calculated as the average increase in squared residuals of the data when variable is randomly permuted. An explanation of the y-axis variables appears in Table 1. (a) Top 10 of important variables in Habitat level, (b) Top 10 of important variables in Landscape level, (c) Top 20 of important variables in all predictors

2) 도시 녹지 특성과 오색딱다구리 풍부도 분석

서식지 특성과 오색딱다구리의 풍부도 관계를 랜덤포리스트로 분석한 결과 OOB 예측 오류율 기준으로 47%를 설명하였다. 주변 경관 특성에 따른 풍부도는 35%를 설명하여 서식지 특성에 비해 낮은 정확도를 보였다. 서식지 특성과 경관 특성 모두를 고려한 오색딱다구리 풍부도 분석 결과는 42%의 정확도를 나타내었다.

오색딱다구리 풍부도에 영향을 주는 주요 인자는 Fig. 4와 같다. 서식지 수준에서 오색딱다구리 풍부도에 가장 중요한 요인은 서식지 NDVI 값으로 나타났다. 다음으로는 서식지 형태와 면적이 중요한 요인임을 알 수 있었다. 경관 수준에서 오색딱다구리의 풍부도는 주변 산림의 연결성 및 거리와 연관이 있는 것으로 나타났다. 5000m 범위내로 연결되는 녹지의 연결성이 가장 중요한 변수로 나타났으며, 10ha 이상의 산림까지의 거리가 그 뒤를 이었다. 서식지와 경관 수준 모두를 고려한 경우에는 서식지 NDVI, 면적, 10ha 이상의 산림까지의 거리, 40m 이내 연결된 주변 녹지 면적, 5000m 범위 내로 연결되는 녹지의 연결성 등의 순으로 중요도가 나타났다.

3. 도시 녹지 특성과 쇠딱다구리 분포

1) 도시 녹지 특성과 쇠딱다구리 출현여부 분석

서식지 특성과 쇠딱다구리의 출현여부 관계를 랜덤포리스트로 분석한 결과 OOB 예측 오류율 기준으로 69% 정확하게 설명하였다. 주변 경관 특성에 따른 랜덤포리스트 분석 결과 역시 출현여부를 80% 설명하여 가장 높은 정확도를 보였다. 서식지 특성과 경관 특성 모두를 고려한 쇠딱다구리 출현여부 분석은 78%의 정확도를 나타내었다.

쇠딱다구리의 출현여부에 영향을 주는 주요 인자는 Fig. 5와 같다. 서식지 수준에서 쇠딱다구리 출현여부에 가장 중요한 요인은 서식지 면적으로 나타났다. 서식지 유형과 NDVI 값이 다음 중요 변수로 나타났다. 경관 수준에서 쇠딱다구리의 출현여부는 주변 녹지와 연결성이 주요하게 나타났다. 1500m 범위내로 연결되는 녹지의 연결성이 가장 중요한 변수이며, 도로까지의 평균 거리, 2000m, 1000m, 3000m 범위내로 연결되는 녹지 연결성 순으로 중요도가 산출되었다. 서식지와 경관 수준 모두를 고려한 경우에는 1500m 범위내로 연결되는 녹지의 연결성, 도로까지의 평균 거리, 2000m, 1000m 내 연결성 지수가 중요 변수로 나타났다.

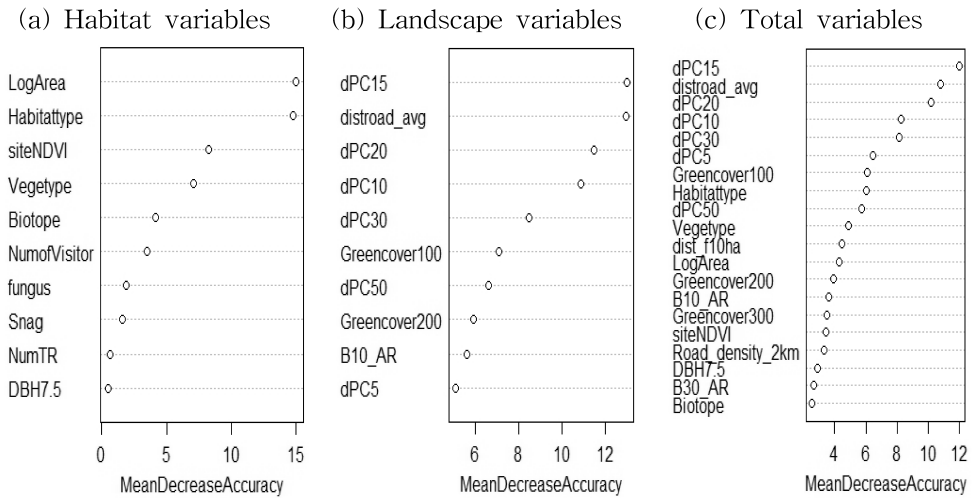


Fig. 5. Important variables of present/absent *D. kizuki* classification based on Random forests. The mean decrease in accuracy for a variable is the difference of the classification accuracy for out-of-bag data have been randomly permuted. An explanation of the y-axis variables appears in Table 1. (a) Top 10 of important variables in Habitat level, (b) Top 10 of important variables in Landscape level, (c) Top 20 of important variables in all predictors

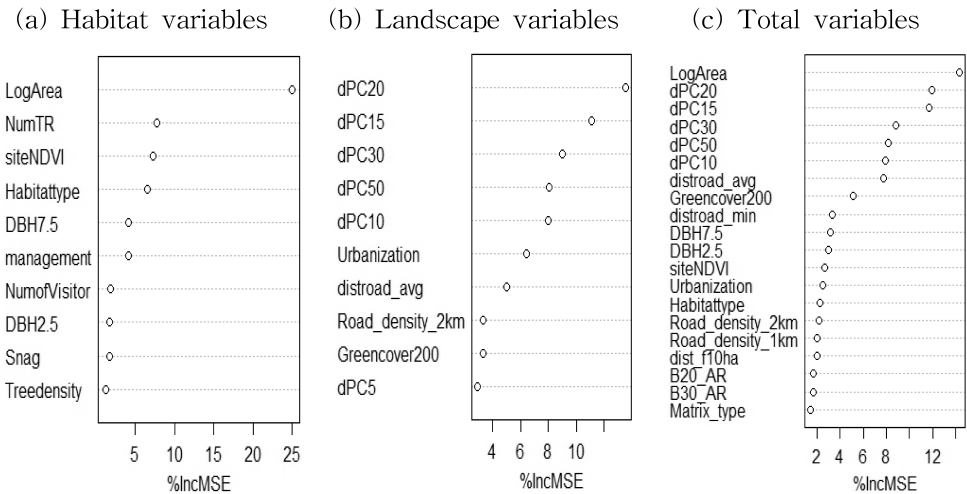


Fig. 6. Important variables of *D. kizuki* density regression based on Random forests. The percentage of increase in mean square error(%IncMSE) is calculated as the average increase in squared residuals of the data when variable is randomly permuted. An explanation of the y-axis variables appears in Table 1. (a) Top 10 of important variables in Habitat level, (b) Top 10 of important variables in Landscape level, (c) Top 20 of important variables in all predictors

2) 도시 녹지 특성과 쇠딱다구리 풍부도 분석

서식지 특성과 쇠딱다구리의 풍부도 관계 분석 결과 OOB 예측 오류율 기준 43%를 설명하였다. 주변 경관 특성에 따른 풍부도는 38%를 설명하여 가장 낮은 정확도를 보였다. 서식지 특성과 경관 특성 모두를 고려한 쇠딱다구리 풍부도 분석은 48%의 정확도를 나타내었다.

쇠딱다구리 풍부도에 영향을 주는 주요 인자는 Fig. 6과 같다. 서식지 수준에서 쇠딱다구리 풍부도에 가장 중요한 요인은 서식지 면적으로 나타났다. 다음으로는 서식지 내 식생의 다양성과 NDVI 값이 중요한 변수임을 알 수 있었다. 경관 수준에서 쇠딱다구리의 풍부도는 주변 산림과의 연결성과 연관이 있는 것으로 나타났다. 2000m, 1500m, 3000m, 5000m 범위 내로 연결되는 녹지의 연결성 지수 순으로 중요변수가 산출되었다. 서식지와 경관 수준 모두를 고려한 경우에는 서식지 면적과 연결성 지수가 중요한 것으로 나타났다.

4. 오색딱다구리와 쇠딱다구리 서식환경 비교

랜덤포리스트를 이용한 딱따구리류 분포 예측 모형 결과를 바탕으로 오색딱다구리와 쇠딱다구리의 도시 내 서식환경을 비교해보았다. 우선 서식지 내부 환경을 보면, 두 종 모두 다음 3개의 변수 서식지 면적, 유형, NDVI 값이 공통적으로 중요하게 산출되었다.

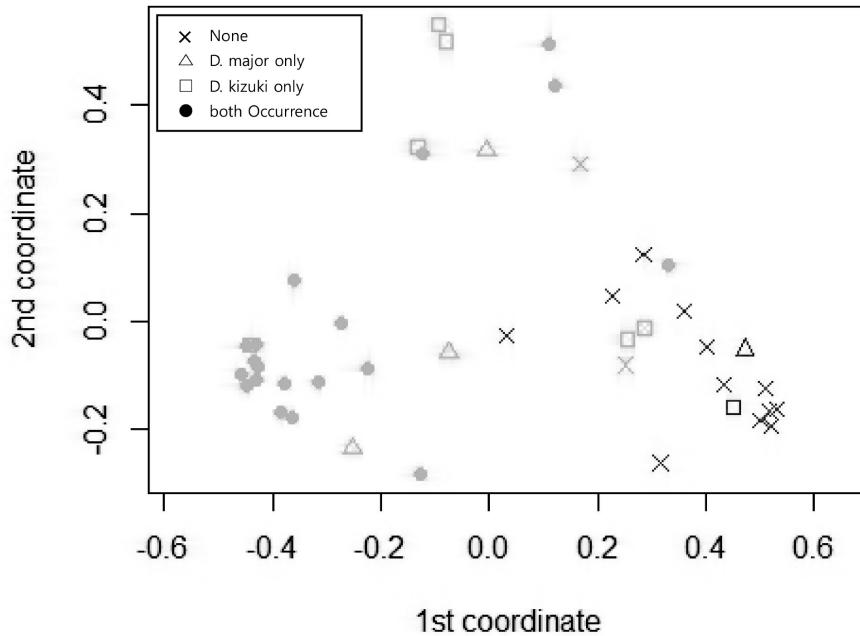


Fig. 7. Random forest-based multi-dimensional scaling plot of artificial vs. natural sites for two woodpecker occurrence. Artificial sites are colored “blue” and natural sites “green”

서식지 유형에 따른 랜덤포리스트 다차원척도법(multi dimensional scaling) 분석 결과 인공형 서식지와 자연형 서식지에 따른 딱따구리류 분포의 차이가 대조적으로 나타났다(Fig. 7). 자연형 서식지에서 쇠딱다구리와 오색딱다구리가 모두 분포하거나 각각 분포하고 있으며, 인공형 서식지는 두 종 모두 분포하지 않는 양상을 보였다. 오색딱다구리는 서식지의 피복 정도를 나타내는 NDVI 값과 서식지 유형이 가장 중요한 요인임을 알 수 있다. 그 뒤를 이어 서식지 면적이 중요 변수로 나타

났는데, 쇠딱다구리의 경우에는 서식지 면적의 중요도가 다른 변수에 비해 월등히 높게 나타났다(Fig 6). 이는 오색딱다구리에 비해 쇠딱다구리가 서식지 면적에 민감하다는 것을 나타낸다. 오색딱다구리와 쇠딱다구리의 환경변수에 따른 부분상관 그래프 또한 오색딱다구리는 서식지 면적이 넓어질수록 풍부도가 높아지지만, 쇠딱다구리는 일정 면적 이상 환경에서 풍부도가 급격히 증가하는 것을 알 수 있다(Fig. 8). 그 밖에 두 종간 차이를 보인 변수로는 서식지 내 흉고직경별 교목의 비율로 오색딱다구리는 흉고직경 7.5cm 이상 15cm 미만의 교목이 풍부한 환경을 선호하고, 쇠딱다구리는 흉고직경 2.5cm 이상 7.5cm 미만의 교목 비율이 높은 환경을 선호하는 것으로 나타났다(Fig. 4, Fig. 6). 쇠딱다구리의 DBH7.5 부분상관 그래프를 보면 서식지 내 DBH7.5 교목의 비율이 0.4 이상일 때 쇠딱다구리의 풍부도가 증가하였다(Fig. 8). 게다가 고사목 유무 변수의 중요도를 비교해보면, 오색딱다구리가 서식지내 고사목 유무에 더 많은 영향을 받는 것을 알 수 있다(Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6). 주변 경관 환경의 경우 두 종간 차이가 뚜렷하게 나타났다. 오색딱다구리는 주변 도로 환경에 많은 영향을 받는 것을 알 수 있으며, 서식지 주변 식생 면적이 중요하게 산출되었다. 서식지로부터 도로까지 평균 거리 부분상관 그래프에서 나타나듯이 오색딱다구리는 도로까지의 거리가 일정 거리 이상 일 때 풍부도가 증가하였다(Fig. 8). 반면 쇠딱다구리의 경우 주변 산림과의 연결성이 매우 중요하게 산출되었다. 쇠딱다구리는 연결성 지수 값에 따른 풍부도 값이 오색딱다구리 보다 낮게 나타났다(Fig. 8).

OOB 오류율 기준으로 모형의 정확도를 비교해보면, 오색딱다구리는 서식지 변수로만 이루어진 모형의 정확도가 경관변수로만 이루어진 모형보다 높게 나타났다. 서식지와 경관환경까지 모두 고려한 모형의 경우에도 서식지 환경 모형보다 더 나은 정확도가 산출되지 않은 것을 미루어 보아, 오색딱다구리는 서식지 자체 환경이 중요함을 알 수 있다. 반대로 쇠딱다구리는 경관변수로 이루어진 모형의 정확도가 높게 산출되었다. 쇠딱다구리는 서식지와 경관 수준 모두를 고려한 전체 모형에서도 경관 변수들의 중요도가 상위에 포진해 있다. 이는 쇠딱다구리가 오색딱다구리에 비해 경관수준 환경에 영향 받는다는 의미로, 도시 내 쇠딱다구리 서식환경 조성을 위해서는 서식지 수준과 경관수준 환경 요소가 동시에 고려되어야 하는 것을 나타낸다.

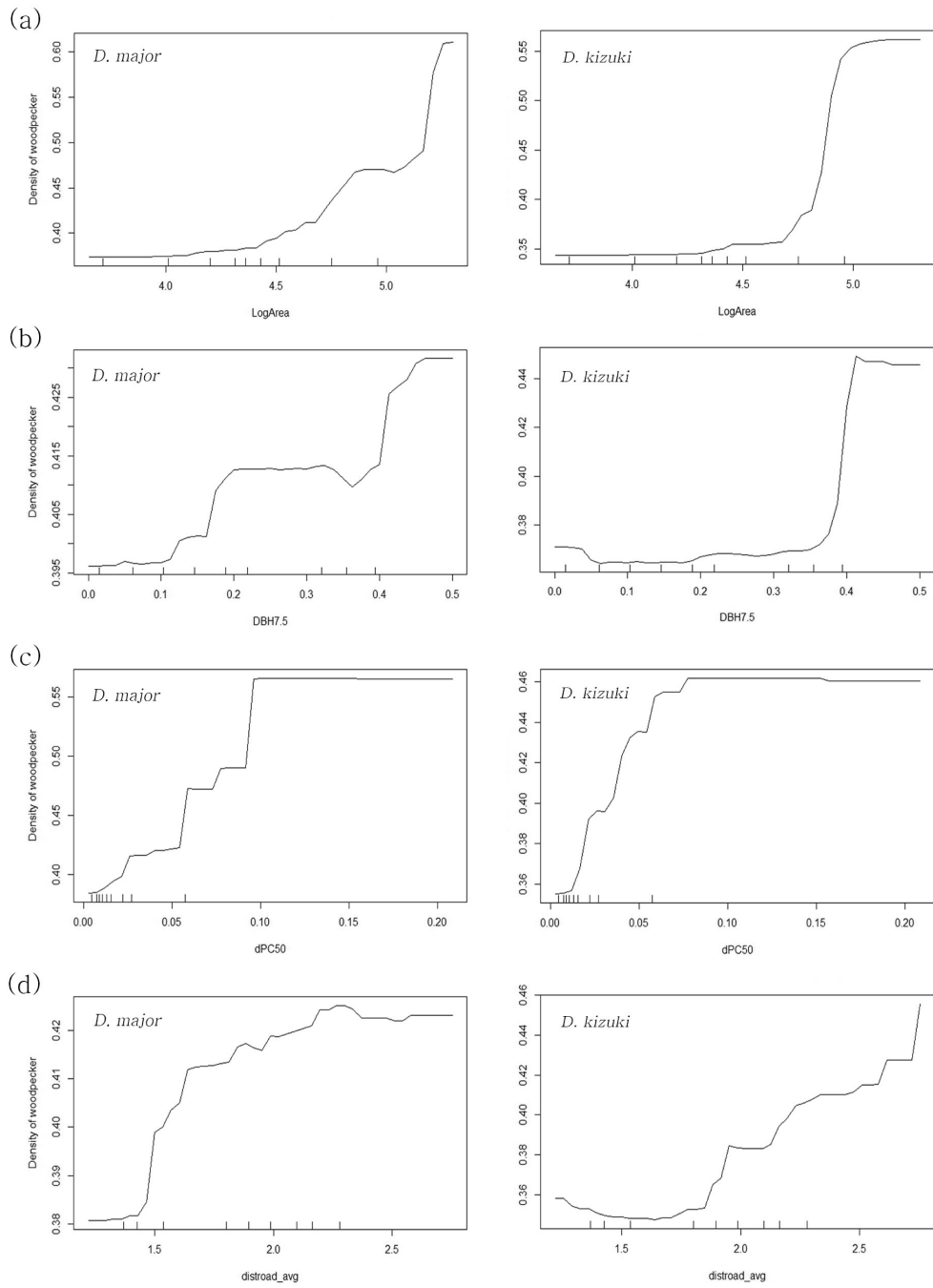


Fig. 8. Partial dependence plots of random forests regression for two woodpecker and predictor variables. An explanation of the x-axis variables appears in Table 1. (a) LogArea, (b) DBH7.5, (c) dPC50, (d) distroad_avg

5. 랜덤포리스트 통계 비교

랜덤포리스트를 이용한 딱따구리 분포 예측 모형을 기존의 통계 기법과 비교한 결과 딱따구리의 출현여부를 예측한 분류 모형과 풍부도를 예측한 회귀 모형 간에 상당한 차이를 보였다(Table 2, Table3). 먼저 분류 모형의 경우 오색딱따구리, 쇠딱따구리 모두 이항 로지스틱 통계 기법을 이용할 때 모형의 예측 정확도가 높게 산출되었다. 중요 변수로 선택된 항목을 비교해보면 오색딱따구리의 경우 랜덤포리스트 분류 모형의 변수 중요도 차이는 존재하지만, 이항로지스틱 모형에서 선택된 변수와 일치함을 확인 할 수 있다(Table 4). 쇠딱따구리의 경우 이항로지스틱 모형에서 서식지 면적과 서식지 유형 2개의 변수가 선택되어 전체 모형을 구성하였다. 반면에 랜덤포리스트 분류 모형은 연결성 지수와 도로까지의 평균거리가 중요변수로 포함되었고, 서식지 면적과 유형은 중요도가 낮게 나타났다(Table 5).

Table 2. Model accuracy comparing the Random forest with traditional statistic methods for *D. major*

<i>D. major</i>		Models			
		RF. C	BLM	RF. R	GLM
Variables	Habitat	0.81	0.92	0.68	0.79
	Landscape	0.76	0.95	0.59	0.65
	Total	0.82	0.92	0.65	0.79

RF. C_ random forest classification AUC value, BLM_ binomial logistic regression AUC value, RF. R_ random forest regression fitted correlation value, GLM_ generalized linear regression fitted correlation value

Table 3. Model accuracy comparing the Random forest with traditional statistic methods for *D. kizuki*

<i>D. kizuki</i>		Models			
		RF. C	BLM	RF. R	GLM
Variables	Habitat	0.69	0.92	0.66	0.77
	Landscape	0.80	0.91	0.62	0.66
	Total	0.78	0.92	0.69	0.82

RF. C_ random forest classification AUC value, BLM_ binomial logistic regression AUC value, RF. R_ random forest regression fitted correlation value, GLM_ generalized linear regression fitted correlation value

딱따구리의 풍부도를 예측한 회귀 모형의 경우 랜덤포리스트 모형과 일반화 선형모형의 예측 정확도가 유사한 경향을 보였다. 오색딱따구리와 쇠딱따구리 모두 일반화 선형모형이 랜덤포리스트 모형에 비해 예측력이 높게 산출되었고, 주변 경관 변수만 이용한 경우에 가장 낮은 예측력을 보였다(Table 2, Table 3). 오색딱따구리 풍부도를 예측하는 일반화 선형모형은 서식지 면적과 관리 여부 2개의 변수로 구성되었고, 랜덤포리스트 모형의 경우 서식지 식생지수와 면적, 연결성 지수, 주변 식생 면적의 변수가 선택되었다(Table 4). 쇠딱따구리는 경관 변수만을 이용한 경우에 모형 간 차이가 없었지만, 서식지 변수와 전체 변수를 이용하였을 때, 모형의 예측력이 다소 높게 나타났다(Table 3). 쇠딱따구리의 일반화 선형 모형은 서식지 면적과 2km 반경 내 도로 밀도 2개의 변수로 구성되었으며, 랜덤포리스트와 선형모형 모두 서식지 면적이 중요 변수로 나타났지만 그 밖의 변수는 차이를 보였다(Table 5).

Table 4. Selected variables in order of importance for each model of *D. major*

<i>D. major</i>	Selected variables
RF. C	Habitatype, siteNDVI, Road_density500m, distroad_avg, B40_AR, B20_AR, B30_AR
BLM	Habitatype, siteNDVI
RF. R	siteNDVI, LogArea, dist_f10ha, B20_AR, dPC50, B40_AR
GLM	LogArea, management

RF. C_ random forest classification, BLM_ binomial logistic regression, RF. R_ random forest regression, GLM_ generalized linear regression. An explanation of the variables appears in Table 1.

Table 5. Selected variables in order of importance for each model of *D. kizuki*

<i>D. kizuki</i>	Selected variables
RF. C	dPC15, distroad_avg, dPC20,10,30,5, Greencover100
BLM	LogArea, Habitatype
RF. R	LogArea, dPC20,15,30,50,10, distroad_avg
GLM	LogArea, Road_density_2km

RF. C_ random forest classification, BLM_ binomial logistic regression, RF. R_ random forest regression, GLM_ generalized linear regression. An explanation of the variables appears in Table 1.

V. 결론 및 고찰

1. 서식지 변수와 딱따구리류 분포

오색딱다구리와 쇠딱다구리 모두 도시 환경에 적응하여 도시 녹지를 서식처로 이용하고 있지만(Natuhara and Imai 1999; Park and Lee 2000; Kotaka et al. 2002), 여전히 산림성 조류의 생태적 특성을 지니고 있음을 알 수 있었다. 인공형 녹지보다는 자연형 녹지를 선호하는 경향이 강하게 드러났고(Fig. 7), 면적이 넓고 식생 피도가 높은 서식지를 선호하는 경향을 보였다.

서식지 면적은 딱따구리류 뿐만 아니라 다른 생물의 다양성 및 풍부도와도 밀접한 연관이 있다. 도시 녹지에서 서식지 면적이 넓을수록 다양한 생물이 풍부하게 존재한다는 다수의 연구 결과가 이미 보고되었다(Natuhara and Imai 1999; Park and Lee 2000; Fernández-Juricic and Jokimäki 2001; Mörtberg 2001; Hong et al. 2013). 기존의 연구 결과와 마찬가지로 오색딱다구리와 쇠딱다구리 모두 서식지 면적이 넓을수록 높은 출현률과 밀도를 보였다. Fig. 8의 랜덤 포리스트 부분 상관 그래프를 보면 오색딱다구리는 면적이 증가함에 따라 개체수 밀도가 꾸준히 증가하는 반면 쇠딱다구리는 일정 면적 이상일 때 밀도가 급격하게 증가하는 것을 보여준다. 랜덤 포리스트 변수 중요도 결과 역시 쇠딱다구리가 서식지 면적의 중요성이 높게 나타났다(Fig. 5, Fig. 6). 이는 쇠딱다구리가 오색딱다구리에 비해 서식지 면적에 민감성이 높다는 것을 나타낸다. 실제로 오색딱다구리는 서식지 면적에 영향을 받지 않고 아주 작은 서식지에서도 번식이 가능하다는 연구도 존재하는 반면(Mazgajski and Rejt 2006), 쇠딱다구리는 20ha 이하의 서식지에서는 발견되지 않은 연구가 있다(Natuhara and Imai 1999). 서식지가 작은 경우 먹이 자원이 풍부하지 않아 건강한 영양상태를 유지하기 어렵고, 중간 경쟁이 심화되기 때문에 서식지가 넓은 곳에 비해 안정적인 번식을 유지하기 어렵다(Mazgajski and Rejt 2006). 따라서 좁은 면적의 서식지 보다는 일정 면적 이상의 서식지 면적이 충족 될 때 개체수 유지와 생물 다양성 유지에 우월하다. 본 연구 결과와 기존의 연구를 바탕으로 도시 내 안정적인 오색딱다구리 쇠딱다구리 번식을 위해서는 최소 10ha 이상의 서식지 면적이 유지 되어야 함을 제안한다.

본 연구에서 식생 피복률을 산출하기 위해 이용한 정규식생지수(NDVI)는 -1~1

의 값을 가진다. 수면은 -1에 가까운 음의 값을 인공 구조물이나 나대지에서는 0에 가까운 값을 나타내며, 식생의 경우 양의 값을 나타낸다(Tucker et al. 1991). 식생의 피복률과 활력도는 수종 및 계절에 따라 달라진다. NDVI 값은 계산에 사용한 위성영상이 찍힌 시점의 식생 상태만을 나타내므로, 침엽수와 활엽수 수종 차이에 따른 딱따구리류 서식지 선호 환경을 알아보기 위해서 침엽수 비율(NumConifer)을 서식지 수준 변수로 분석에 포함 시켰지만 그 영향은 미미했다. 실제로 아한대 지역(boreal zone) 같은 활엽수가 부족한 곳에서 오색딱따구리는 침엽수가 우세한 서식지에서도 등지를 짓고 서식하였다(Hebda 2009). 이는 딱따구리류 분포에 영향을 끼치는 식피율은 수종에 따른 식피율 보다는 도로 포장 및 아스팔트와 같은 인공 구조물 피복률 임을 알 수 있다.

두 딱따구리 종이 선호하는 먹이자원은 곤충이다. 특히 딱정벌레목과 나비목의 곤충을 선호하는데(원병오와 김화정 2012), 이들 곤충의 유충 및 성충 역시 죽은 나무를 서식지로 선택하기 때문에 서식지 내 고사목은 딱따구리의 먹이 제공에 중요한 역할을 하는 것으로 판단된다. 양성년 외(2009)의 연구에 의하면 오색딱따구리속에 속하는 제주큰오색딱따구리(*Dendrocopos leucotos quepartensis*) 또한 고사목에서 먹이자원을 얻기 때문에 고사목의 종류와 잔존량이 이들의 서식에 영향을 끼칠 것이라고 주장하였다. 고사목 관련 변수는 오색딱따구리가 쇠딱따구리에 비해 민감한 것으로 나타났는데, 이는 오색딱따구리가 쇠딱따구리 보다 몸의 크기가 커서 생존을 위한 먹이량이 더 많기 때문으로 유추할 수 있다. Smith(2007)는 오색딱따구리와 청딱따구리(*Picus viridis*), 쇠오색딱따구리(*Dendrocopos minor*)의 고사목 이용도를 비교하였다. 그 결과 오색딱따구리가 3종중에서 가장 고사목 선택률이 높게 나타났다.

오색딱따구리와 쇠딱따구리 두 종에 따른 중요도의 차이는 존재하지만, 딱따구리류 서식지 환경에서 가장 중요한 공통적 변수는 서식지 면적, 유형, NDVI였다. 도시 녹지 내 딱따구리류의 안정적인 서식을 위해서는 위의 3가지 변수들에 대한 충분한 고려가 우선시 되어야 한다. 특히 자연형 서식지를 선호하는 딱따구리류의 생태적 특성을 고려하여 도시화로 인한 파편화된 잔존 산림의 보호와 유지가 필요하다.

2. 경관 변수와 딱따구리류 분포

쇠딱따구리는 오색딱따구리에 비해 경관변수의 중요도가 높게 나타났다. 특히 쇠딱따구리 출현여부와 풍부도 예측 모형 모두 연결성지수(dPC)값이 중요 변수로 산출되었다. 비교적 가까운 거리인 500m와 1000m 이내의 녹지 연결정도를 나타내는 dPC5, dPC10값 보다는 1500~5000m의 먼 거리의 연결성 지수(dPC15, dPC20, dPC30, dPC50)가 중요 변수로 나타나는 경향을 보였다. 이는 쇠딱따구리의 분산거리(dispersal distance)와 연관이 있을 것으로 예상된다. 일반적으로 생물종의 분산거리는 몸의 크기에 비례한다(Paradis et al. 1998; Bowman et al. 2002). 따라서 오색딱따구리에 비해 몸이 작은 쇠딱따구리는 분산 능력이 낮기 때문에 주변 녹지와 연결성에 민감할 것으로 예상된다. 오색딱따구리는 출생지를 떠나 적합한 서식지를 찾아 이동하는 출생 시 확산 거리(natal dispersal distance)가 5.88km로(Paradis et al. 1998; Gil-Tena et al. 2012) 비교적 큰 분산거리를 가지고 있다. 그 결과 오색딱따구리는 쇠딱따구리에 비해 연결성 지수들의 중요도가 적음을 유추할 수 있다. 하지만 오색딱따구리도 dPC50값이 풍부도 예측에 제일 중요한 경관 변수로 산출 되었는데, 이는 위에서 제시한 출생 시 확산 거리와 가장 근접한 수치로 위의 모형이 오색딱따구리의 연결성 민감도를 정확하게 예측하고 있음을 시사한다. Fig. 8의 랜덤포리스트를 이용한 부분상관 그래프 역시 오색딱따구리, 쇠딱따구리 모두 dPC50 연결성 지수 값이 증가함에 따라 딱따구리 밀도가 증가하는 것을 보여준다. 따라서 오색딱따구리의 종 보전 및 서식지 관리는 위해서는 5000m 이내의 녹지의 연결성을 고려해야하며, 쇠딱따구리의 경우 분산거리를 측정할 연구가 없어 정확한 추정은 어렵지만 주변 녹지의 연결 거리가 1500m 이내로 유지되어야 한다.

도로와 관련된 변수들은 쇠딱따구리와 오색딱따구리 분포에 부정적인 영향을 끼쳤다. 서식지 주변의 도로의 밀도는 딱따구리류 뿐만 아니라 다른 조류 및 포유류의 개체수에 영향을 미치는 요인으로 여겨진다(Reijnen and Foppen 1997; Benítez-López et al. 2010). 도로의 밀도 및 도로까지의 거리는 인간 활동의 영향과 연관성이 있다. 도로의 밀도가 높을수록 도로까지의 거리가 가까울수록 인간과 관련된 활동에 노출되기 쉽다. 하지만 인간 활동과 직접적인 연관이 있는 방문객 수(NumofVisitor) 변수는 서식지 수준에서는 중요 변수로 평가되지만, 모든 예측변수를 사용하는 전체모형에서는 도로 관련 변수의 중요도가 더 높게 산출되었다. 결과적으로 도로가 미치는 영향은 인간 자체의 움직임 보다는 도로 소음과 자동차의 움직임, 매연과 같은 자동차에서 방출되는 오염물질의 영향이 더 크게 작용한다고 예측할 수 있다.

서식지 주변 일정 거리내로 연결되는 식생의 면적 변수는 오색딱다구리 분포에 영향을 끼치는 것으로 나타났다(Fig. 9). 특히 이 변수는 주변 산림 및 조경수뿐만 아니라 가로수 수준의 녹지 면적을 나타낸다. Fernández-Juricic and Jokimäki (2001)는 서식지 외부의 가로 녹지와 조경수가 그 자체로도 조류와 다른 생물의 서식지 기능을 하며, 이들을 안정적인 본래 서식지로 유도하는 통로 역할을 한다고 했다. 게다가 이 식생 면적 자체를 포함한 서식지 지역이 생물에게 하나의 개체로 인식되어 본래 서식지 지역은 핵심 지역(core area)으로, 주변 식생 지역은 가장자리(edge area)로 인식되어 이용될 가능성이 있다. 따라서 서식지 주변의 가로 녹지 공간은 오색딱다구리에게 서식지 공간을 내부 공간화하는 역할을 하여 안정적인 서식환경을 제공하는 것으로 유추할 수 있다.



Fig. 9. Surrounding street tree area within certain distance. Filled olive green color means study site. Red, orange, yellow, blue and green color line indicate street tree area within 10m, 20m, 30m, 40m, 50m distance each. (a) 대청공원 (b) 용왕산 근린공원.

3. 랜덤포리스트와 기존 통계 비교

도시녹지 특성에 따른 딱따구리류 분포양상을 랜덤포리스트와 기존의 통계 모형을 비교하였다. 먼저 딱따구리의 출현여부를 예측하는 분류 모델이 랜덤포리스트와 기존 통계 모형 각각에서 딱따구리의 풍부도를 예측하는 회귀 모델에 비해 정확도와 예측력이 높게 나왔다. 이는 단순히 출현/비출현의 명목 척도로 된 정보를 검증하고 예측하는 것이 출현 여부와 동시에 개체수의 밀도까지 예측해야하는 회귀모형

에 비해 간단한 과정을 가지고 있기 때문에 해석할 수 있다.

랜덤포리스트 모형은 표본의 수가 적고 분석에 사용하는 예측변수의 수가 많을 때 종속변수와 예측변수간의 연관성을 찾는데 예측력이 뛰어난과 동시에 과적합을 방지할 수 있는 모형으로 알려져 있다(Breiman 2001; Prasad et al. 2006). 하지만 이 연구에서는 랜덤포리스트 모형이 기존 모형에 비해 예측력이 낮게 산출되었다. 이는 자료의 한계 상 학습용 자료, 검증용 자료로 구분하여 분석할 수 없어 기존 통계 모형의 정확도를 정확하게 검증하지 못했기 때문으로 생각된다. 랜덤포리스트 모형의 경우 OOB 자료가 검증용 자료 기능을 대체하기 때문에 별도의 검증 없이 산출된 예측도를 신뢰 할 수 있다는 기존의 연구가 다수 존재한다(한은정 외 2009; Breiman 1996; Prasad et al. 2006; Genuer et al. 2010). 하지만 기존 모형의 경우 검증용 자료의 부재로 모형 검증이 이루어지지 않았기 때문에 예측력을 전적으로 신뢰할 수 없으며, 추후 검증용 자료 수집을 통해 검증이 이루어진다면, 그 결과가 다르게 나타날 것으로 판단된다. 게다가 기존의 로지스틱모형, 일반화 선형모형은 예측변수가 많아질수록 변수 간 상관성이 복잡해지기 때문에 모형의 예측력이 떨어질 수 있다. 실제로 기존 통계 모형의 결과 이 연구에서 사용한 약 40여개의 예측 변수 중에서 2개 변수만 최종모형에 사용되었으며(Table 4, Table 5), 다른 변수들은 모형 구성에서 제외되었다. 그럼에도 불구하고 기존 모형이 높은 정확도를 나타내는 이유는 이 연구에 사용된 자료의 복잡성과 연관 지어 유추 할 수 있다. 자료의 복잡성이 낮기 때문에 기존의 기법에서 사용한 소수의 변수로 다른 변수들과의 상관관계를 설명 할 수 있었고, 따라서 랜덤포리스트 모형의 강점이 두각 되지 못했다는 점이다. 예를 들어 랜덤포리스트 모형과 기존 통계 기법에서 중요 변수로 선택된 서식지 면적은 서식지 면적이 넓을수록 딱따구리 출현률과 밀도가 높아지는 것을 설명한다. 물론 딱따구리류와 다른 생물 종이 넓은 서식지를 선호하는 것으로 설명할 수 있지만, 이는 서식지 크기 자체의 문제가 아닌 서식지가 넓어짐에 따라 생물들이 선호하는 먹이, 식물상, 내부환경 조성, 도로와의 거리와 같은 미소 서식 환경(micro-habitat) 역시 향상되는 경향이 있기 때문에 표면적으로 서식지 면적이 중요한 것으로 나타나는 것이라고 설명 할 수 있다. 기존 통계 모형은 서식지 면적이 먹이의 풍부도, 식물의 다양성, 내부 환경 조성이라는 세부 변수들과 공선성을 가지고 있기 때문에 변수 선택 과정에서 하위 정보를 가진 변수들을 탈락시키는 것이다. 하지만 변수 선택 과정에서 탈락된 변수들이 특별한 정보를 가지고 있지 않다고 할 수 없으며, 서식지 면적과 상관관계로 설명되는 부분 이외의 변수 자체의 독특한 정보를 내포하고 있기 때문에 간과해서는 안 될 것이다. 기존의 통계 모형은 변수들이 통계적으로 독립적이어야 한다는 가정 때문에 자료가 가진 정보를 충

분히 활용할 수 없고 그 결과 딱따구리류가 선호하는 공간적 특성을 자세히 알 수 없었다. 반면 랜덤포리스트의 경우 붓스트랩 표본으로부터 다양한 분류자를 생성, 의사결정나무 모형 확장 시 독립변수를 제거하지 않고 무작위로 모형을 구축하기 때문에 다양한 변수들의 영향력을 공선성과 관계없이 알아볼 수 있었다(Breiman 2001; Culter et al. 2007). 그 결과 이 연구에서는 딱따구리류의 서식에 영향을 끼치는 요인을 중요도에 따라 서식지 수준, 경관수준, 전체변수 수준에서 각각 10개, 10개, 20개씩 도출하여 딱따구리류의 서식환경을 자세히 비교 분석할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 다양한 도시 녹지 특성을 나타낼 수 있는 변수들을 이용하여 도시 내 서식하고 있는 딱따구리류 분포 예측 모형을 개발하였다는데 의의가 있다. 딱따구리류의 도시 내 서식 환경은 자연 서식환경과 상당한 차이를 가지며, 특히 서식지 외부의 주변 경관변수 영향에도 밀접한 연관이 있음을 알 수 있었다. 딱따구리류의 공통적인 선호 환경이 존재하는가 하면, 각 종의 생태적 특성 차이에 따라 민감하게 영향을 받는 요인이 다르게 도출되었다. 게다가 쇠딱따구리는 오색딱따구리에 비해 생태적 정보가 많이 부족한 상태이기 때문에, 본 연구를 통해 쇠딱따구리의 생태 특성을 다방면으로 알 수 있었다. 또한 연구 결과를 토대로 등지마과 연관된 다른 딱따구리류와 딱따구리류의 등지를 이용하는 2차 구멍 등지종(secondary cavity users)을 대상으로 모형 적용이 가능하며, 이들이 선호하는 서식지 환경 분석을 포함하는 후속 연구를 통해 딱따구리류 서식과 조류의 다양성 간의 상관관계를 입증할 수 있을 것으로 판단된다.

지금까지 대부분의 딱따구리류 연구는 등지 단위로 이루어졌다(Mazgajski 1998; Mori 2005; Smith 2007). 나무구멍 등지를 찾아내 직접적인 서식 여부를 확인하고 등지 주변의 환경을 조사하는 것이다. 하지만 본 연구의 경우 편의상 선조사법을 이용하여 딱따구리류의 출현여부와 개체수를 조사하였기 때문에 다른 연구와의 연계와 적용에 어려움이 있을 것이다. 우리나라 역시 등지 단위로 딱따구리류의 출현여부와 개체수 동정을 통해 각 종마다 서식환경을 이해하는 깊이 있는 연구가 필요하다. 또한 그 결과를 바탕으로 서식처 보호와 조성방안에 대한 후속 연구가 진행되어야 한다. 딱따구리류는 자연 서식지뿐만 아니라 도시 녹지 내에서도 다른 생물

들에게 서식지를 제공하여 생물 다양성을 유지하는데 중추적인 역할을 하므로, 앞으로 딱따구리류 분포 모형을 통해 도시 내 생물 다양성 보존을 위한 기초 자료를 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2011-0024289).

참 고 문 헌

- 양성년 · 김영호 · 오홍식 (2009), “제주큰오색딱다구리 *Dendrocopos leucotos quelpartensis*의 번식기 동안의 먹이선택”, 「Kor. J. Orni」, 16(1): 29-35.
- 원병오 · 김화정 (2012), 「한반도의 조류」, 서울: 아카데미서적.
- 구재은 (2011), “Random forests의 비교연구” 고려대학교 석사학위논문.
- 한은정 · 송기준 · 김동건 (2009), “Random Forests 기법을 이용한 백내장 예측모형: 일개 대학병원 건강검진 수검자료에서”, 「응용통계연구」, 22(4): 771-780.
- Benítez-López, A., Alkemade, R., Verweij, P. A. (2010) “The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis”, *Biological conservation*, 143(6): 1307-1316.
- Bibby, C. J., Burgess, N. D., Hill, D. A., Mustoe, S. H. (2000) *Bird Census Techniques* (2nd ed.), London: Elsevier.
- Blair, R. B. (1996) “Land use and avian species diversity along an urban gradient”, *Ecological Applications*, 6(2): 506-519.
- Bowman, J., Jaeger, J. A. G., Fahrig, L. (2002) “Dispersal distance of mammals is proportional to home range size”, *Ecology*, 83(7): 2049-2055.
- Breiman. L. (1996) “Bagging Predictors”, *Machine Learning*, 26(2): 123-140.

- Breiman, L. (2001) "Random Forests", *Machine learning*, 45: 5-32.
- Clergeau, P., Jokimäki, J. and Savard, J-P. L. (2001) "Are urban bird communities influenced by the bird diversity of adjacent landscape?", *Journal of Applied Ecology*, 38: 1122-1134.
- Cutler, D. R., Edwards, T. C. Jr., Beard, K. H., Cutler, A., Hess, K. T., Gibson, J., Lawler, J. J. (2007) "Random Forests for Classification in Ecology", *Ecology*, 88(11), 2783-2792.
- Drever, M. C., Aitken, K. E. H., Norris, A.R., Martin, K. (2008) "Woodpeckers as reliable indicators of bird richness, forest health and harvest", *Biological conservation*, 141: 624-634.
- Evans, J. S. and Cushman, S. A. (2009) "Gradient modeling of conifer species using random forests", *Landscape Ecol*, 24: 673-683.
- Fernández-Juricic, E. and Jokimäki, J. (2001) "A habitat island approach to conserving birds in urban landscapes: case studies from southern and northern Europe", *Biodiversity and Conservation*, 10: 2023 - 2043.
- Fernández-Juricic, E. (2004) "Spatial and temporal analysis of the distribution of forest specialists in an urban-fragmented landscape (Madrid, Spain) Implications for local and regional bird conservation", *Landscape and Urban Planning*, 69: 17 - 32
- Gartzia, M., Alados, C. L., Pérez-Cavello, F. and Bueno, C. G. (2013) "Improving the Accuracy of Vegetation Classifications in Mountainous Areas", *Mountain Research and Development*, 33(1): 63-74.
- Genuer, R., Poggi, J-M. and Tuleau-Malot, C., (2010) "Variable selection using Random Forests", *Pattern Recognition Letters*, 31(14): 2225-2236.
- Gil-Tena, A., Brotons, L., Fortin, M. J., Burel, F., Saura, S. (2012) "Assessing the role of landscape connectivity in recent woodpecker range expansion in Mediterranean Europe: forest management implications", *Eur J Forest Res*, DOI 10.1007/s10342-012-0666-x.
- Hebda, G. (2009) "Nesting sites of the Great Spotted Woodpecker *Dendrocopos major* L. in Poland: analysis of nest cards", *Pol. J. Ecol*, 57(1): 149-158.
- Hong, S. H., Han, B, H, Choi, S. H., Sung, C. Y., Lee, K. J. (2013) "Planning an ecological network using the predicted movement paths of urban birds", *Landscape Ecol Eng*, 9: 165-174.

- Kosinski, Z. and Winiecki, A. (2004) "Nest-site selection and niche partitioning among the Great Spotted Woodpecker *Dendrocopos major* and Middle Spotted Woodpecker *Dendrocopos medius* in riverine forest of Central Europe", *Ornis Fennica*, 81: 145-156.
- Kotaka, N. and Matuoka, S. (2002) "Secondary users of Great Spotted Woodpecker (*Dendrocopos major*) nest cavities in urban and suburban forests in Sapporo City, northern Japan", *Ornithol. Sci.*, 1: 117 - 122
- Lee, K. J., Han, B. H., Hong, S. H., Choi, J. W. (2005) "A study on the characteristics of urban ecosystems and plans for the environment and ecosystem in Gangnam-gu, Seoul, Korea", *Landscape Ecol Eng*, 1: 207-219.
- Lee, D. K., Kim, E. Y., Choi, J. Y., Oh, K. S. (2010) "The effects of development on forest-patch characteristics and bird diversity in Suji, South Korea", *Landscape Ecol Eng*, 6: 171-179.
- Liaw, A. and Wiener, M. (2002) "Classification and Regression by RandomForest", *R news*, 2: 18-22.
- Martensen, A. C., Pimentel, R. G., Metzger, J. P. (2008) "Relative effects of fragment size and connectivity on bird community in the Atlantic rain forest: Implications for conservation", *Biological Conservation*, 141: 2184-2192.
- Martin, K., Aitken, K. E. H. and Wiebe, K. L. (2004) "Nest sites and nest webs for cavity-nesting communities in interior British Columbia, Canada: nest characteristics and niche partitioning", *The Condor*, 106: 5-19.
- Marzluff, J. M., Bowman, R., Donnelly, R. (2001) "Avian ecology and conservation in an urbanizing world", Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA.
- Mazgajski, T. D. (1998) "Nest-site characteristic of Great Spotted Woodpecker *Dendrocopos major* in central Poland", *Polish Journal of Ecology*, 46(1): 33-41.
- Mazgajski, T. D. (2002) "Does the Great spotted woodpecker *Dendrocopos major* select holes for roosting?", *Polish Journal of Ecology*, 50(1): 99-103.
- Mazgajski, T. D. and Rejt, Ł. (2006) "The effect of forest patch size on the breeding biology of the Great Spotted Woodpecker *Dendrocopos major*", *Ann. Zool. Fennici*, 43: 211-220.

- Mckinney, M. L. (2002) "Urbanization, biodiversity and conservation." *BioScience*, 52: 883 - 890.
- Minor, E., Urban, D. (2009) "Forest bird communities across a gradient of urban development", *Urban Ecosyst*, DOI 10.1007/s11252-009-0103-1.
- Morrison, J. and Chapman, W. C. (2005) "Can urban parks provide habitat for woodpeckers?", *Northeastern Naturalist*, 12(3): 253-262.
- Mörtberg, U. M. (2001) "Resident bird species in urban forest remnants; landscape and habitat perspectives", *Landscape Ecology*, 16: 193-203.
- Natuhara, Y., Imai, C. (1999) "Prediction of species richness of breeding birds by landscape-level factors of urban woods in Osaka Prefecture, Japan", *Biodiversity and Conservation*, 8: 239-253.
- Ortega-Álvarez, R. and MacGregor-Fors, I. (2009) "Living in the big city: Effects of urban land-use on bird community structure, diversity, and composition", *Landscape and Urban Planning*, 90: 189-195.
- Palomino, D., Carrascal, L. M. (2006) "Urban influence on birds at a regional scale: A case study with the avifauna of northern Madrid province", *Landscape and Urban Planning*, 77: 276-290.
- Paradis, E., Baillie, S. R., Sutherland, W. J., Gregory, R. D. (1998) "Patterns of Natal and Breeding Dispersal in Birds", *Journal of Animal Ecology*, 67(4): 518-536.
- Park, C. R., Lee, W. S. (2000) "Relationship between species composition and area in breeding birds of urban woods in Seoul, Korea", *Landscape and Urban Planning*, 51:29-36.
- Park, C. R., Kim, E. M., Kang, C. W. (2011) "The Characteristics of Bird Community at Hannam Area of Jeju Experimental Forests", *Kor. J. Env. Eco*, 25(6): 828-835.
- Pasinelli, G. (2000) "Oaks(*Quercus sp.*) and only oaks? Relations between habitat structure and home range size of the Middle Spotted Woodpecker(*Dendrocopos medius*)", *Biological Conservation*, 93: 227-235.
- Pasinelli, G. (2007) "Nest site selection in Middle and Great Spotted Woodpeckers *Dendrocopos medius* & *D. major*: implications for forest management and conservation", *Biodivers Conserv*, 16: 1283-1298.
- Prasad, A. M., Iverson, L. R. and Liaw, A. (2006) "Newer classification and

- regression tree techniques: Bagging and Random Forests for ecological prediction”, *Ecosystems*, 9(2): 181–199.
- R Development Core Team (2012) “R: A language and environment for statistical computing”, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>
- Reijnen, J., Foppen, R. (1997) “Disturbance by traffic of breeding birds: evaluation of the effect and considerations in planning and managing road corridors”, *Biodiversity and Conservation*, 6: 567–581.
- Saura, S., 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 Urban Planning*, 83: 91–103.
- Shanahan, D., Miller, C., Possingham, H. P., Fuller, R. A. (2011) “The influence of patch area and connectivity on avian communities in urban revegetation”, *Biological Conservation*, 144: 722–729.
- Sandström, U. G., Angelstam, P., Mikusinski, G. (2006) “Ecological diversity of birds in relation to the structure of urban green space”, *Landscape and Urban Planning*, 77: 39–53.
- Shwartz, A., Shirley, S., Kark, S. (2008) “How do habitat variability and management regime shape the spatial heterogeneity of birds within a large Mediterranean urban park?”, *Landscape and Urban Planning*, 84: 219–229.
- Smith, K. W. (2007) “The utilization of dead wood resources by woodpeckers in Britain ”, *Ibis*, 149: 183–192.
- Tucker, C. J., W. W. Newcomb, S. O. Los, S. D. Prince (1991) “Mean and inter-year variation of growing-season normalized difference vegetation index for the Sahel 1981–1989”. *International Journal of Remote Sensing*, 12: 1113–1115.
- Virkkala, R. (2006) “Why study woodpeckers? The significance of woodpeckers in forest ecosystems”, *Annales Zoologici Fennici*, 43: 82–85.

Abstract

The effect of urban green space characteristics and landscape structure on *Dendrocopos major* and *Dendrocopos kizuki* distribution

Kyung Min Lee

Department of Environmental Planning

The Graduate School of Environmental Studies

Seoul National University

Increased urbanization typically leads to a reduction in forest bird habitat. Woodpecker species prefer specific forest habitats and are particularly sensitive to fragmentation condition, probably due to their high habitat specificity. As primary cavity excavators, woodpecker provide cavities for other cavity nesters. The richness of woodpecker have a strong correlation with the abundance and richness of other forest species. Thus, woodpecker population management is associated with conservation of biodiversity. The main goals of this paper are to compare distribution of Great Spotted Woodpecker with Japanese Pygmy Woodpecker depending on urban green space characteristic and landscape structure.

Data collection was conducted breeding season from May to July at 45 of city parks and remanent forests in Seoul and around the city. According to high density of paved landscape and diverse human activities, urban green space has specific characteristics. For that reason, habitat environmental variables as well

landscape level variables were used at predicted models. Random Forests one of the data mining techniques was used to develop the prediction model and compared the predictive performance with other traditional statistics models such as logistic regression and generalized linear model.

As a results, the area and vegetation cover degree of natural habitat were important for distribution of Great Spotted Woodpecker and Japanese Pygmy Woodpecker. The emergence rate of both woodpecker species decreased with increasing distance to roads. Moreover, the connectivity with surrounding green space was important to Japanese Pygmy Woodpecker and had a positive correlation. Although the habitat connectivity did not significantly affect emergence of Great Spotted Woodpecker, it had a considerable influence on dispersal to other habitat. The distribution of Great Spotted Woodpecker showed that interior habitat environment was important than other landscape factors. On the other hand, landscape environment factors were important to Japanese Pygmy Woodpecker's distribution.

For the effective conservation of woodpecker species in the city, fragmented remanent forests should be protected and maintained considering the ecological traits of woodpecker that preferred natural habitat. In addition It is needed to maintain not inner habitat environment but external landscape structure and connectivity.

**keywords : *Dendrocopos major*, *Dendrocopos kizuki*, Urban green space,
Urban biodiversity, Random Forest**

Student Number : 2011-23932

