

생태환경분석을 통한 산림성 조류 서식지 예측모형

이슬기* · 정성관** · 박경훈*** · 김경태* · 이우성*

*경북대학교 대학원 조경학과 · **경북대학교 조경학과 · ***창원대학교 환경공학과

I. 서론

생물 다양성은 인류의 환경에 대한 간섭으로 인해 현재 급격한 감소 추세에 있으며, 이러한 현상의 가장 큰 원인은 생물종 서식처의 훼손이다. 이러한 생물 다양성의 감소를 해결하기 위해서는 단순히 개체군 차원의 보호가 아니라 서식지 관리 차원의 종합적인 접근이 필요하며(김진수 등, 2000) 남아 있는 서식지를 보호하고 야생동물을 효율적으로 관리하는 것이 중요하다.

외국의 경우, 야생동물을 보호하기 위해 많은 연구를 수행하였음에도 불구하고 멸종 위기에 처한 종의 비율을 감소시키는데 실패하였다. 이러한 실패 요인은 보전 정책의 대상이 되는 종이 이미 멸종의 한계에 이른 종을 대상으로 계획되었으며, 근본적인 문제인 위협 종의 서식처 손실에 대한 문제에 대해 연구하지 않았기 때문이다(장우영, 2003). 따라서 멸종 위기 종이나 보호 대상 종이 아닌 일반종의 실질적인 분포와 이들의 서식처 또는 보전지역 간의 관계에 대한 것을 바탕으로 한 연구가 필요한 실정이다.

많은 야생 동물 중 조류는 변화하는 인류 환경의 실태와 문제점을 측정하기에 적절한 인자로 여겨져 왔다. 실제로 부적절한 농약의 사용, 수질 오염, 산림, 농경지의 변화 등에 관한 연구에 있어 적절한 대상이 되어 왔으며 조류의 변화를 감지함으로써 환경의 변화를 파악할 수 있었다(Tucker and Evans, 1997).

한편, 우리나라의 조류 관련 연구들은 개별종의 종 목록 작성이 주를 이루고 있고, 조류의 분포 및 서식밀도에 관한 기초자료가 미흡하며, 이 분야에 대한 GIS 적용과 서식지 분포 예측능력은 아직 초보적인 단계에 있다. 따라서 본 연구는 창원시를 대상으로 산림성 조류의 서식지 예측 모형을 제시함으로써 향후 서식지 보존을 위한 전략 수립에 유용한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 연구방법

연구의 전체적인 수행과정은 Figure 1과 같다. 먼저 산림성 조류의 생태적인 특성과 조류의 서식지 모형 분석에 관한 개발

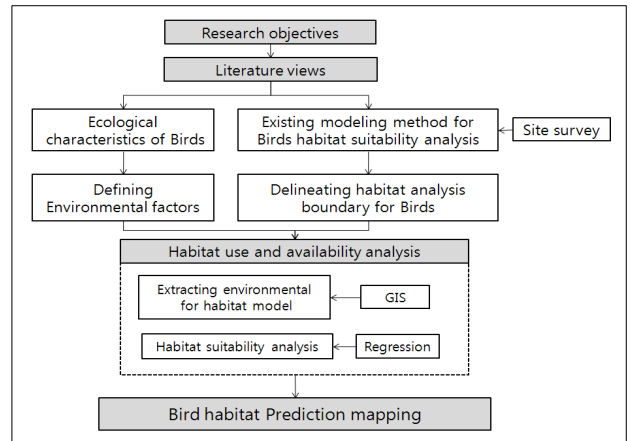


Figure 1. The process of this study.

방법을 알아보기 위해서 조류관련 도감과 연구 자료 등을 이용한 문헌조사를 실시하여 서식환경의 특성을 파악하고, 이를 기초로 조류의 서식환경 요인을 크게 인위적 요인과 자연적 요인으로 나누어 선정하였다(Table 1 참조).

인위적 요인으로는 도로, 건물, 등산로, 불투수지역과 같은 인간의 영향을 나타내는 변수와 밭, 과수원, 논과 같은 새들의 먹이로 이용되는 변수가 있으며, 자연적 요인으로는 경사, 식생 활력도, 산림과 같은 은신처로서의 역할을 하는 변수와 수분지수, 하천, 수변 등 물과 관련된 변수를 구축하였다. 이러한 잠재적 환경변수들은 산림성 조류가 분포하는 주변지역에 따라 서식에 영향을 주는 정도에 차이가 있으므로, 조사지점의 주변범위를 반경 100m로 구축한 양적 요인과 조사지점에서 각 환경변수들까지의 거리요인으로 분류하였다.

산림성 조류에 대한 현장조사는 1, 2차 조사로 나누어 실시하였으며, 1차 조사는 2009년 5월 11일부터 13일, 28일에 걸쳐 105지점, 2차 조사는 2009년 9월 2일부터 4일까지 84지점을 정점 조사법(point count)을 이용하여 조류조사를 실시하였다. 이 지점 중 중부리도요, 왜가리 등 수계에 의존하는 수변성 조류만 출현한 지점과 출현율의 변동이 심한 야행성 조류의 경우에는 분석에서 제외하였다. 각 지점에서 조사된 종수와 개체수를 바탕으로 Shannon-Weaver의 종 다양도 지수(H')를 산출하였다. 종다양도 지수는 각 조사지의 종 구성상태의 다양도를 나타내는 척도로서 $H' = -\sum_{i=1}^s p_i \log p_i$ 로 나타내며, s 는 종수,

Table 1. Natural environmental factors

| Habitat factor | | Quantitative factor | Distance factor |
|-------------------|------------------|---------------------|---------------------------------|
| Natural factor | Refuge | Elevation | Distance to broad-leaved forest |
| | | Slope | Distance to coniferous forest |
| | | NDVI | Distance to mixed forest |
| | | Forest area | Distance to forest |
| | Water | TWI | Distance to river |
| | | | Distance to water |
| Artificial factor | Food resources | Field area | Distance to field |
| | | Orchard area | Distance to orchard |
| | | Paddy area | Distance to paddy |
| | Impacts of human | Road area | Distance to build |
| | | Build area | Distance to mountain trail |
| | | Impervious area | Distance to road |

P_i는 i번째 종의 개체수를 총 개체수로 나눈 비율을 나타낸다. 이러한 환경요인들과 산림성 조류의 종다양도를 바탕으로 다중선형회귀분석을 이용하여 조류의 분포를 예측하기 위한 서식지 적합성 모형을 개발하였으며, 그 결과를 토대로 산림성 조류 서식지 예측지도를 구축하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 산림성 조류 서식지의 환경변수 결정

표고, 경사 등 지형적인 요인을 분석하기 위해 5m 셀(cell)단위의 DEM(Digital Elevation Model)을 활용하였으며(Figure 2a, 2b 참조), 현존식생도를 바탕으로 산림의 식생 유형을 확인하였다. 산림환경은 고도에 따라 변화하기 때문에 조류의 분포에 영향을 미치며(이도한 등, 2008), 식생구조는 조류의 번식지 및 채식지의 질과 양에 직접적인 영향을 미치기 때문에 중요하다. 따라서 산림으로부터의 거리변수 뿐만 아니라 식생구조를 활엽수림, 침엽수림, 혼효림으로 분류하여 각각의 거리변수를 구축하였다. 또한 수관의 수직적 층위가 다양하고 관목층이 잘 발달한 숲에서 조류 관찰빈도가 높으므로(이우신과 박찬열, 1995) 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)를 선정하였으며, 주변 환경여건을 반영하기 위해 반경 100m에 대한 평균값을 적용하였다(Figure 3c).

야생동물 출현지점의 주변환경 특성을 파악하여 토지피복에 따른 서식유형을 제시한 연구(이동근 등, 2009)에서는 산림, 초지, 농업지역, 수공간 등의 면적비율에 따라 출현 종 수와 유형이 다르게 도출되는 것으로 분석되었다. 이에 따라 조사지점을 중심으로 반경 100m내의 산림면적, 밭, 과수원, 논 등의 농업지역의 면적과 인간의 영향을 나타내는 도로, 건물, 불투수 면적

등의 자료를 구축하였다. 또한 생태계에 부정적인 영향을 미치는 건물과 도로에 관한 거리변수를 선정하였으며, 도로에 관련된 변수는 수치지형도에서 추출된 왕복 2차선 이하의 간선도로를 제외한 차도와 등산로 자료를 사용하였다.

다음으로 생물이 생존하기 위한 필수요소인 수(水)환경요소로 양적 지표인 지형습윤지수(Topographical Wetness Index: TWI)와 하천, 저수로, 호소, 저수지 등을 바탕으로 물의 면적에 관련된 변수를 선정하였으며, 그 밖에 밭, 과수원, 논 등 조류의 먹이와 관련된 거리변수를 구축하였다.

2. 서식지 예측 모형

서식지 적합성 예측 모형 개발을 위해 산림성 조류의 종다양도를 종속변수로 하고 각각의 환경변수들을 독립변수로 하는 단계적(stepwise) 회귀분석을 사용하였다. 회귀분석에서는 다중공선성의 문제가 해결되어야 하는데, 일반적으로 분산 팽창인자(VIF)가 10을 넘거나 공차한계값이 0.1보다 작으면 다중공선성이 있다고 판단한다(장세웅 등, 2009). 이에 가장 큰 분산 팽창인자는 2.458, 공차한계의 가장 작은 값은 0.407로 위가정이 위배되지 않았으므로 다중공선성이 없다고 판단하였다.

회귀분석 결과, 산림면적, 밭면적, 논면적, 불투수 지역의 면적, 혼효림까지의 거리 변수들이 유의한 지표로 남았다. 예측모형의 결정계수(R²)는 0.662로 산림성 조류의 서식지 예측을 약 66.2% 설명할 수 있는 것으로 나타났다(Table 2 참조).

본 연구의 서식지 관련 변수로 선정된 항목을 살펴보면, 밭면적과 산림면적의 비표준화 회귀계수가 각각 0.007, 0.005로 밭면적이 조류 서식지 예측 모형에 있어서 양의 관계로 나타난 것은 섭식활동이 용이하기 때문으로 분석되었다.

반면, 논면적과 불투수 지역의 면적, 혼효림까지의 거리는 산림성 조류 종다양도와 음의 관계를 가지는 것으로 나타났다. 불투수 지역은 건물, 도로, 포장지, 구조물 등으로 도시화 지역이며 대부분의 논의 도로와 인접하게 위치하고 있어 인간의 간섭이 다른 경작지에 비해 크기 때문에 이와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다. 또한 혼효림은 단일 식생구조인 활엽수림과 침엽수림에 비해 먹이와 은신처로써의 서식환경이 적합한 산림구조이므로 혼효림까지의 거리와 음의 관계를 갖는 것으로 판단된다(이우신과 박찬열, 1995).

산림성 조류의 종다양도(Y)를 종속변수로 하고 산림면적(X₁), 밭면적(X₂), 논면적(X₃), 불투수 지역의 면적(X₄), 혼효림까지의 거리(X₅) 등 5개의 환경변수를 독립변수로 하는 모형을 구축하면 Formula 1과 같다.

$$Y = 0.701 + 0.005X_1 + 0.007X_2 - 0.006X_3 - 0.005X_4 - 0.00004X_5 \quad (\text{Formula 1})$$

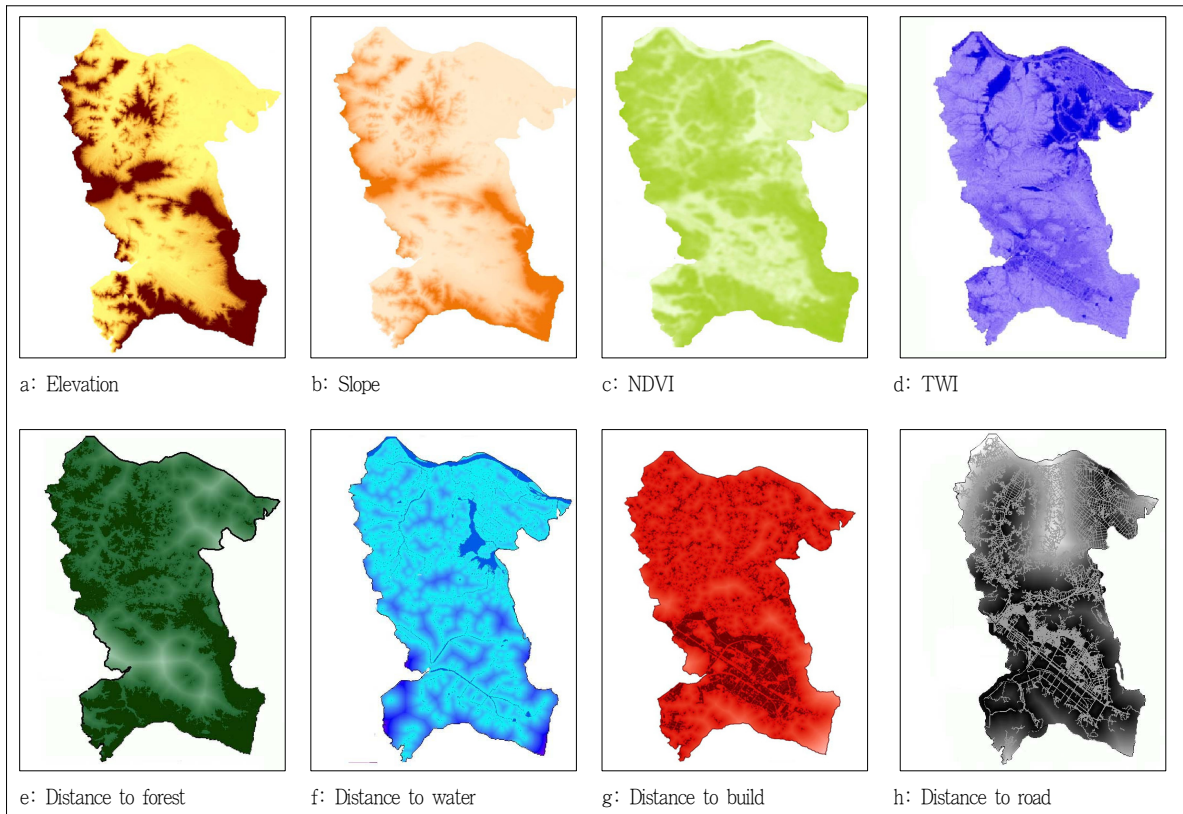


Figure 2. Factors about bird habitat.

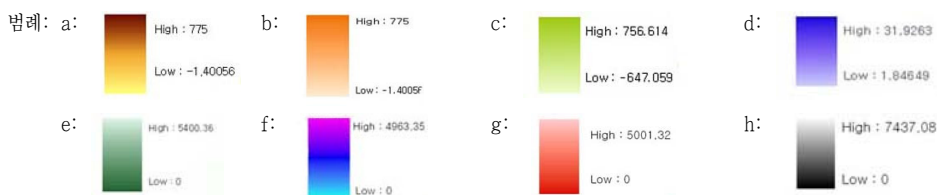


Table 2. Regression model

| Factor | B | Beta | t-value | Prob. | R ² | Prob. |
|--------------------------|----------|--------|---------|-------|----------------|-------|
| Constant | 0.701 | - | 7.538 | 0.000 | 0.662 | 0.000 |
| Area to forest | 0.005 | 0.423 | 5.127 | 0.000 | | |
| Field area | 0.007 | 0.136 | 2.351 | 0.020 | | |
| Rice paddy area | -0.006 | -0.331 | -4.747 | 0.000 | | |
| Impermeable area | -0.005 | -0.227 | -3.239 | 0.002 | | |
| Distance to mixed forest | -0.00004 | -0.123 | -2.004 | 0.047 | | |

3. 산림성 조류 종다양도 지도 제작

서식지 예측 모형을 대상지 전체에 적용하여 서식지 적합성 예측 지도를 구축한 결과는 Figure 3과 같다. 이를 지역별로 살펴보면, 대신면, 웅남동 및 중앙동의 공업지역과 상남동, 가음정동의 주거, 상업지역은 산림성 조류의 종다양도가 낮게 나타났다. 이 지역들은 대부분 도시화 지역으로 녹지가 거의 없으

며(정성관과 이우성, 2008), 중앙동의 일부 공업지역에는 인근 지역에 완충녹지가 분포하고 있으나, 10차선의 창원대로가 관통하고 있어 조류가 서식하기에 적합하지 않은 것으로 판단된다. 반면, 북면, 대신읍, 사파동, 성주동 등 면적이 큰 산림을 보유하고 있는 지역으로 산림성 조류의 종다양도가 약 1.26에서 1.29로 나타나 산림성 조류 서식지로써의 보존이 필요할 것으로 판단된다.

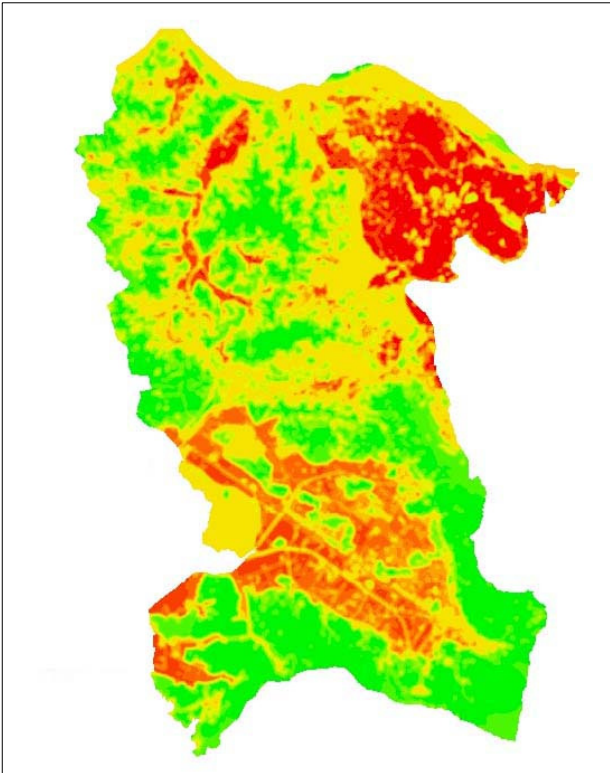


Figure 3. Bird habitat suitability map.

범례:

| | | | |
|---------------|-------------|-------------|-------------|
| -0.31 ~ -0.02 | 0.20 ~ 0.30 | 0.81 ~ 0.91 | 1.20 ~ 1.26 |
| -0.02 ~ 0.06 | 0.30 ~ 0.39 | 0.93 ~ 0.98 | 1.26 ~ 1.29 |
| 0.06 ~ 0.13 | 0.39 ~ 0.73 | 0.98 ~ 1.11 | |
| 0.13 ~ 0.20 | 0.73 ~ 0.81 | 1.11 ~ 1.20 | |

IV. 결론

본 연구는 창원시를 대상으로 산림성 조류 서식지 예측 지도를 구축하기 위하여 서식환경에 영향을 미치는 환경변수를 파

악하고 그 변수를 토대로 서식지 예측 모형을 구축하였다. 산림성 조류의 서식지 환경에 영향을 미치는 변수는 표고, 경사도, 식생지수, 산림, 농업지역, 수공간 등의 양적변수와 토지피복지도를 활용하여 산림, 활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 건물과 도로로부터의 거리변수를 구축하였다. 이러한 환경변수를 바탕으로 개발된 조류 서식지 적합성 모형의 예측률은 66.2%의 정확도를 나타내었으며, 산림면적, 발면적, 논면적, 불투수 지역의 면적, 혼효림까지의 거리 등 5개의 환경변수가 유의성을 가지는 것으로 분석되었다.

서식지 예측 모형을 대상지 전체에 적용하여 서식지 적합성 예측 도면을 작성한 결과, 북면, 대산읍, 사파동, 성주동 등 산림을 보유하고 있는 지역에는 산림성 조류의 종다양도가 약 1.26에서 1.29로 나타났다.

인용문헌

- 고영훈(2000) 생물다양성보전을 위한 한국과 독일의 입법례 비교. 아태공법연구 7(0): 181-220.
- 김진수, 손요한, 신준한, 이도원, 최채천, 리처드 프리맥(2000) 보전행물학. 서울: 사이언스북스.
- 이도한, 군해진, 송호경(2008) 지리산국립공원 해발고도와 식생에 따른 번식기 조류군집의 특성. 한국생태학회지 22(5): 471-480.
- 이우신, 박찬열(1995) 길드개념을 이용한 산림환경과 조류군집 변화 분석. 한국생태학회지 18: 397-408.
- 장우영(2003) GIS를 이용한 조류의 서식지 분포 모형 개발: 설악산 국립공원을 대상으로. 서울대학교 환경대학원 석사논문.
- 장세웅, 이상효, 김재준(2009) 인지요인이 공동주택가격에 미치는 영향요인 분석연구. 대한건축학회지. 25(3): 207-214.
- 정성관, 이우성(2008) 환경도시 건설을 위한 도시녹지의 관리권역 설정: 창원시를 대상으로. 한국조경학회지 35(6): 64-73.
- Tucker, G. M. and M. L. Evans(1997) Habitats for Birds in Europe: A Conservation Strategy for the Wider Environment. Cambridge: BirdLife International.