pISSN : 1226-7147 eISSN : 2383-9171
https://doi.org/10.17208/jkpa.2018.06.53.3.161
Journal of Korea Planning Association Vol.53, No.3 (2018)
대한국토·도시계획학회지「국토계획」제53권 제3호 pp.161-175

시흥시 보전지역 설정을 위한 조류 서식지 적합성 분석*

Habitats Suitability Analysis for Establishing Conservation Area of Siheung-si

김호걸** · 박찬*** · 이동근**** · 박진한***** · 배소연*
Kim, Ho Gul · Park, Chan · Lee, Dong Kun · Park, Jin Han · Bae, Soyeon

Abstract

Siheung-si located in Gyeonggi-do, Republic of Korea is surrounded by green-belt zone used for habitats of wildlife. Recently, policy makers want to adjust green-belt zone to get more development areas. In this context, wildlife animals are in danger because they are losing their habitats. It is necessary to make a proper conservation plan to protect wildlife animals and habitats. Thus, the objective of this study is identifying proper conservation areas for birds by using habitats suitability analysis with Maxent. The habitats suitability analysis is a scientific and objective method to suggest the future conservation area by considering properties of birds' habitats. The presence data of birds is classified into four bird groups, namely forest birds, water birds, large patch size-required birds, and endangered species, to reflect diverse characteristics of bird communities. The four groups showed different distribution according to different relationship with environmental variables such as biotop types, distance from rivers, and distance from residential areas. We suggested the conservation area considering suitability index (0.8) and 100m buffer zone. The recommended conservation area could be a guideline for establishing conservation plan of Siheung-si.

키 워 드 ▪ 맥시멈엔트로피모형, 종분포모형, 비오톱, 핵심지역, 완충지역
Keywords ▪ Maximum Entropy Model, Species Distribution Model, Biotop, Core Area, Buffer Area

Ⅰ. 서 론

인간의 무분별한 개발은 서식지의 훼손과 파편화를 일으켜 생물종다양성에 영향을 미치는 주요 원인이 되고 있다(Meffe and Carroll, 1994; Collinge, 1998). 이러한 문제점이 전 세계적인 공통 관심사로 이어지면서 서식지 및 연결성을 파악하고 이를 보전 및 유지하는 것이 국토관리에 있어서 중요한 문제가 되었다(Moilanen et al., 2005). 우리나라의 경우 종 다양성 유지 측면에서 서식지 훼손과 같은 문제를 해결하기 위하여 자연공원법, 백두대간 보호에 관한 법률, 사전환경성검토 및 환

* 본 연구는 서울대학교 환경대학원 환경생태학 수업의 공동연구과제로 시작되었고, 환경부의 환경정책기반공공기술개발사업 (과제번호: 2016000210004)에서 지원받아 발전하였습니다. 본 연구를 위해 시흥시 비오톱 지도 정보활용을 허락해주신 시흥시 환경정책과, 지도제작에 참여하신 한국건설기술연구원과 동국대 바이오환경과학과, 연구에 도움을 주신 이도원 교수님, 박찬열 박사님, 권혁수 박사님, 류미 선생님께 감사드립니다.
** Cheongju University, Department of Human Environment Design(First author: khgghk@cju.ac.kr)
*** University of Seoul(chaneparkmomo7@uos.ac.kr)
**** Seoul National University(dklee7@snu.ac.kr)
***** Texas A&M University, Department of Ecosystem Science and Management
* University of Würzburg, Department of Animal Ecology and Tropical Biology(Corresponding author: soyeon.bae@uni-wuerzburg.de)

경영향평가제도 등의 법과 제도를 이용하여 서식지를 보호하고 있다. 2005년 2월부터는 야생동·식물보호법이 시행되면서 멸종위기 야생동식물 및 그 서식지를 보호하기 위하여 특별히 보전할 필요가 있는 지역에 대해 야생동·식물특별보호구역(제27조) 및 야생동·식물보호구역(제33조)을 지정할 수 있게 되었다.

그러나 이와 같은 생물다양성 보전을 위한 많은 법과 제도의 시행에도 불구하고 주요 보전지역에서의 개발사업 허가행위가 이루어지고 있다. 지방자치단체의 경우 식생의 자연성을 중심으로 개발행위를 제한할 수 있는 생태자연도, 녹지자연도 등을 사용하고 있지만, 생물 다양성 보전을 충분히 실현하지 못하고 있다[주1]. 이를 해결하기 위하여 일부 지방자치단체에서 토지의 형태, 식생, 동물의 서식 여부 등을 반영한 비오톱 지도를 작성하여 일정 등급 이상을 보전지역으로 설정하고 있다. 하지만 비오톱 지도의 경우 한정된 조사지점과 조사시기에 출현한 야생동물 출현정보를 기초로 그 일대를 보존 가치가 있는 서식지로 설정하고 있기 때문에 해당지역 전체의 야생동물 서식지를 고려하기에 미흡한 면이 있다.

전 세계적으로, 야생동물의 서식환경특성을 고려한 생태계관리는 크게 보전지역 설정 및 생태네트워크 구축의 측면에서 추진되어오고 있다. 보전지역 설정과 관련하여, 이미 선진국에서는 1970년대 이후 자연환경 관리정책에 생물종의 서식지 적합성 평가에 따른 보전지역 설정 및 복원이 필요한 지역을 확인하고 관리정책에 반영하고 있다. 우리나라에서는 핵심·완충·전이지역과 같은 개념을 바탕으로 자연환경 보전지역을 설정하고 있다(Sung et al., 2010).

이외에도, 생태네트워크 구축과 관련해서는 선진국에서는 기후변화와 개발로 인해 생물종의 이동에 문제가 발생한다는 사실에 주목하고 대규모 생태네트워크를 구축하는 연구를 수행하고 있다(Peterson, 2001). 한편 우리나라도 환경부가 2002년 제시한 생태네트워크 구축 추진 전략을 바탕으로 개별 서식지 보전이 아닌 전국의 자연생태계를 하나의 유기체로서 보전 및 관리하여 생태계 단절 및 훼손을 방지하고 생태계 본래의 기능을 복원하기 위해 노력하고 있다.

미국에서는 보호지역으로 지정되지 않은 지역 중에서 생물종 조사를 바탕으로 보호구역을 확대하는 것을 목적으로 하는 GAP(Gap Analysis Program)을 실행하고 있으며(Scott 1993) 서식지 평가절차(Habitat Evaluation Procedures)와 서식지 적합성 지수(Habitat Suitability Index)를 개발하여 서식지 적합성 평가에 관한 연구를 활발히 진행하고 있다(U.S. Fish and Wildlife Service, 1980). 이러한 노력은 모두 서식지와 종 보호를 함께 고려하는 정책 방향으로서 최근의 연구 경향에서도 서식지 적합성 평가는 특히 보호종을 대상으로 광범위하게 진행되고 있으며 특히 멸종되거나 멸종위기가 높은 종에 대한 종의 재도입을 위한 서식지를 확인하기 위해서도 이러한 평가가 사용되고 있다(Schadt et al., 2002; Yost et al., 2008; Kim et al., 2016).

본 연구의 목적은 조류를 대상으로 서식지에 대한 과학적이고 종합적인 평가를 통해 서식 적합성을 평가하고, 이를 바탕으로 시흥시의 보전지역을 제안하는 것이다. 특히 야생동물의 서식지를 고려한 생태계관리 방법 중 보전지역 설정의 측면에서 접근하기 위하여 야생동물 출현 정보를 바탕으로 서식 적합성 도면을 도출하고, 이를 바탕으로 보전지역을 제안하였다. 본 연구에서는 조류의 서식에 긍정적, 부정적 영향을 미치는 환경인자들을 문헌 조사를 통해 도출한 후, Maximum entropy model을 통해 시흥시 비오톱 지도에서 조사된 조류 출현지점 자료를 바탕으로 서식처 적합성을 분석하였다. 그 결과를 통해서 서식처 적합성 분석 결과를 바탕

으로 시흥시의 새로운 보전지역을 제안하였다.

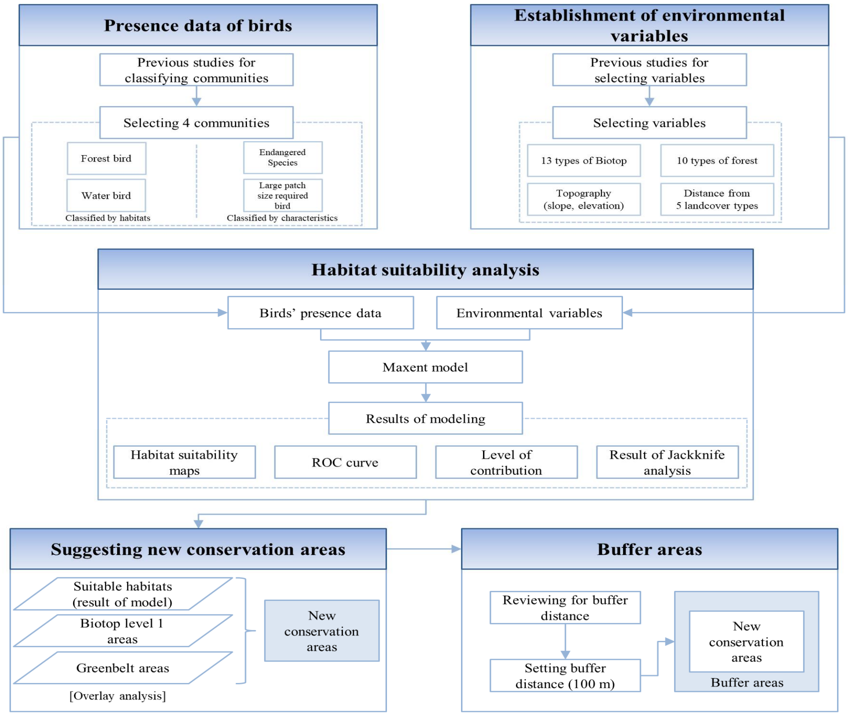


Figure 2. Flow chart of study

Ⅱ. 연구의 범위 및 방법

1. 연구의 범위

연구대상지는 경기도 시흥시로 Figure 1과 같이 많은 부분이 그린벨트로 지정이 되어 있지만, 그린벨트 해제 가능성이 있고 높은 개발압력이 있기 때문에 종 다양성 보전을 위해서는 선 보전계획 필요한 곳이다. 지리적 특성상 해안, 농경지, 습지, 산림 등 이질적인 경관을 통해 다양한 서식환경을 제공하고 있으며, 이로 인해 조류의 종 다양성이 높은 지역이다.

본 연구에서는 시흥시 비오톱 지도 제작을 위해 한국건설기술원(KICT)에서 조사한 조류 출현지점 자료를 활용하였다. 한국건설기술원에서 2009년 1

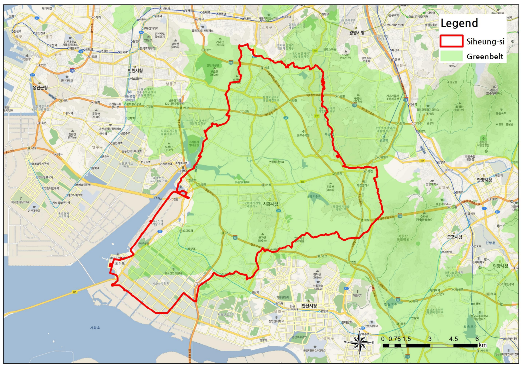


Figure 1. Study area (within a red line) and metropolitan green-belt zone (within a green area) (background map source: Daum)

월부터 6월까지 시흥시를 20개 권역으로 나누어 총 84개 지점을 조사하였고, 총 13목 37과 105종 10,051개체의 조류가 출현하였다 (KICT, 2009). 조류 출현조사에서 발견된 보호종 중에는 멸종위기 1

급, 2급과 천연기념물에 해당하는 조류도 포함되었다(Table 1).

2. 연구방법

본 연구에서는 서식지 적합성 평가를 기초로 시흥시의 새로운 보전지역을 제안하기 위하여 Figure 2와 같은 연구방법을 사용하였다. 시흥시에서 발견된 조류 종을 선행연구에 기반을 두어 대표적인 4개 군집으로 구분하고, 조류와 관련된 환경변수들을 구축하였다(Lee and Park, 1995; Bishopa and Myers, 2005; Lemoine et al. 2007). 서식지 적합성 분석을 위하여 조류의 출현지점 자료와 환경변수를 모델에 입력하여 모델링을 수행하였다. 이를 통해 서식 적합 지역, ROC 곡선, 변수별 기여도, 잭나이프 분석결과를 도출하였다. 서식 적합 지역과 기존 중요 보전지역을 중첩하여 새로운 보전지역을 제안하고, 보전지역으로부터 거리를 산정하여 완충지역을 설정하였다.

조류 출현자료를 입력 자료로 변환하는 과정에서 다양한 조류의 서식적 특성을 반영하고 종 다양성을 최대한 보전하기 위해 조류의 군집을 구분하였다(Table 2). 선행연구를 통해서 서식지에 따라서 산새(산림 내부종)와 물새로 구분하고, 종의 특성에 따라서 큰 패치를 요구하는 종, 멸종위기종으로 구분하여 총 4개 군집으로 구분하였다(Lee and Park, 1995; Bishopa and Myers, 2005; Lemoine et al. 2007). 별표(*)로 표시한 종은 중복되는 조류임을 밝힌다. 본 연구에서는 기초적이고 보편적인 분류라 할 수 있는 산새와 물새로만 구분하지 않고, 서식지 파괴 취약성과 멸종가능성을 고려하여 큰 패치를 요구하는 종과 멸종위기종을 추가로 고려하였다. 이는 대상지에 서식하는 조류를 살펴보았을 때, 산새와 물새로 구분할 시에 일부 중요한 종들이 제외된다는 점을 확인하였기 때문이다. 한편, 큰 패치를 요구하는 조류 중에서 3개 종(Eastern Crowned Willow Warbler, Eurasian Scops Owl, White-tailed Sea Eagle)을 제외한 나머지 12개 종은 산새와 중복되는 것으로 나타났다. 한편, 큰 패치 요구종중에서 2개 종(White-tailed Sea Eagle, Eurasian Scops Owl)은 멸종위기종인 것으로 파악되었다. 분류된 종을 Figure3과 같이 정리하였다.

우리는 조류 전체 종을 대상으로 종분포모형을 만들지 않고, 서식지와 종의 특성에 따라 군집을 분류해서 모형을 만듦으로써 종마다 상이할 수 있

Table 1. Endangered and threatened species found in Siheung-si

Species (scientific name)	Endangered	Threatened	Natural Monuments
White-tailed Eagle (*Haliaeetus albicilla*)	O		O
Saunders's Gull (*Larus saundersi*)		O	
Eastern Oystercatcher (*Haematopus ostralegus*)		O	O
Buzzard (*Buteo buteo*)		O	
Eurasian Hobby (*Eurasian Hobby*)		O	
Eurasian Eagle Owl (*Bubo bubo*)		O	
Chinese Sparrowhawk (*Accipiter soloensis*)			O
Eurasian Sparrowhawk (*Accipiter nisus*)			O
Common Kestrel (*Falco tinnunculus*)			O
Brown Hawk Owl (*Ninox scutulata*)			O
Collared Scops Owl (*Otus sunia stictonotus*)			O

Table 2. The four bird groups used in this study

Category		Species
Classified by habitats	Forest birds	Azure-winged Magpie, Black-faced Bunting, Black-naped Oriole, Blue-and-White Flycatcher, Brambling, Broad-billed Roller, Brown Hawk Owl, Brown-eared Bulbul, Bull-headed Shrike, Chestnut Bunting, Chinese Sparrowhawk, Coal Tit, Common Buzzard, Common Kestrel, Daurian Redstart, Eastern Crowned Willow Warbler, Eurasian Eagle Owl, Eurasian Hobby, Eurasian Nuthatch, Eurasian Sparrowhawk, Goldcrest, Great Spotted Woodpecker, Great Tit, Grey-backed Thrush, Grey-headed Woodpecker, Japanese Pygmy Woodpecker, Jay, Jungle Crow, Long-tailed Tit, Marsh Tit, Meadow Bunting, Oriental Greenfinch, Pale Thrush, Ring-necked Pheasant, Rufous Turtle Dove, Rufous-tailed Robin, Rustic Bunting, Siskin, Varied Tit, Vinous-throated Parrotbill, Winter Wren, Yellow-throated Bunting, Fan-tailed Warbler
	Water birds	Asian Dowitcher, Barn Swallow, Black-crowned Night Heron, Black-headed Gull, Black-tailed Gull, Cattle Egret, Chinese Penduline Tit, Common Goldeneye, Common Merganser, Common Shelduck, Common Teal, Dunlin, Eurasian Curlew, Eurasian Oystercatcher, Eurasian Wigeon, Falcated Teal, Great Egret, Great Knot, Green Sandpiper, Greenshank, Grey Heron, Grey Wagtail, Herring Gull, Intermediate Egret, Kentish Plover, Little Egret, Little Grebe, Little Ringed Plover, Little Tern, Mallard, Moorhen, Pintail, Saunders Gull, Spot-billed Duck, Spotted Redshank, Striated Heron, Terek Sandpiper, Whimbrel, White Wagtail, Wood Sandpiper, Mew Gull
Classified by vulnerability	Large patch-required birds	Blue-and-White Flycatcher*, Brown Hawk Owl*, Coal Tit*, Common Kestrel*, Eurasian Eagle Owl*, Eurasian Hobby*, Eurasian Nuthatch*, Eurasian Scops Owl, Eurasian Sparrowhawk*, Great Spotted Woodpecker*, Grey-backed Thrush*, Pale Thrush*, Varied Tit*, White-tailed Sea Eagle, Eastern Crowned, Willow Warbler
	Endangered Species	Black-backed Wagtail, Buff-bellied Pipit, Chinese Great Grey Shrike, Eurasian Scops Owl*, Eurasian Skylark, Olive-backed Pipit, Pale-legged Willow Warbler, Pallas Reed Bunting, Reed Bunting, Siberian Accentor, White-tailed Sea Eagle*, Oriental Great Reed Warbler

는 서식지 특성을 최대한 반영하여 보전지역을 설정하고자 하였다. 또한 모든 개별 종을 대상으로 모형을 만드는 것은 개별 모형에 입력되어야할 출현지점수가 충분하지 못한 한계가 있었다. 따라서 이처럼 대표적인 군집으로 분류하여 서식 적합성 분석을 하는 것이 새로운 보전지역 제안에 적합하다고 판단하였다.

환경변수 구축을 위해서 선행연구를 바탕으로 조류와 관련성이 높은 환경변수들을 파악하고(Phillips et al., 2006; Baguette and Van Dyck, 2007; Lee and Kim, 2010; Ahn et al., 2014; Jeong et al., 2015), 본 연구에 적용할 환경변수 리스트를 작성하였다(Table 3). 대상에 근거하여 Figure 4와 같이 비오톱 대분류, 고도(DEM), 경사, 산림으로부터의 거리, 하천으로부터의 거리, 시가화 지역으로부터의 거리, 도로로부터의 거리, 경작지(농경지)로부터의 거리, 산림 유형에 대한 GIS 데이터를 구축하였다. 비오톱 대분류의 경우 상업지역, 경작지, 나지, 산림, 조경녹지, 주택, 시설공업 지역, 육상습지, 초지, 군사시설, 공공용지, 해안 습지, 교통 지역으로 구분된 자료를 사용하였다. 산림 유형의 경우 자생활엽수림, 자생침엽수림, 자생 혼효림, 자생수 우점 조림수 혼합림, 조림 활엽수림, 조림 침엽수림, 조림 혼효림, 조림수 우점 자생종 혼합림,

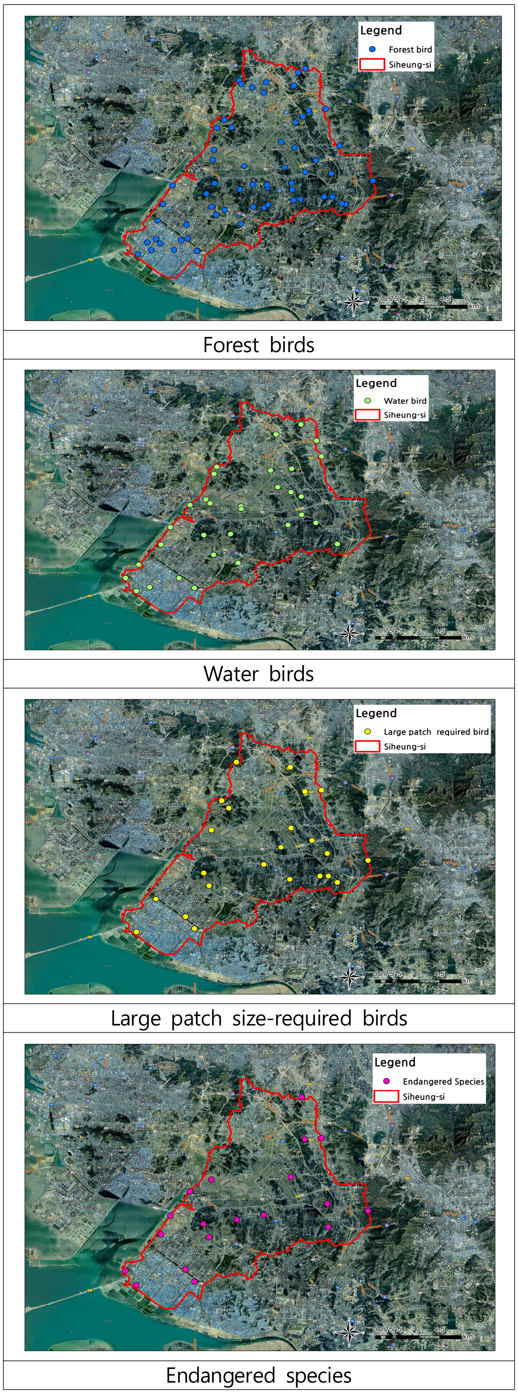


Figure 3. Presence points of the four bird groups (satellite image source: Daum)

어린나무 식재지, 칡에 피압된 어린나무 식재지로 구분된 자료를 사용하였다.

구축된 환경변수를 바탕으로 Maximum entropy approach에 기반을 두는 Maxent 모형을 이용하여 조류의 서식지 적합성을 평가하고, 서식 적합 지도를 도출하였다. Maxent 모형의 원리가 되는 maximum entropy는 1957년에 Jaynes에 의해 제안되었으며(Jaynes, 1957), 1996년에 Berger에 의해

Table 3. Environmental variables for habitats suitability analysis

Variables	Categories	
Categorical variables		
The 13 Biotop types	1	Commercial areas
	2	Farm lands
	3	Bare grounds
	4	Forests
	5	Artifical green space
	6	Residential areas
	7	Industrial areas
	8	Inland wetlands
	9	Grassland
	10	Military areas
	11	Public space
	12	Coastal wetlands
	13	Transportation areas
The 10 forest types	1	Secondary deciduous forests
	2	Secondary coniferous forests
	3	Secondary mixed forests
	4	Native species dominated mixed forests
	5	Artificial deciduous forests
	6	Artificial coniferous forests
	7	Artificial mixed forests
	8	Non-native species dominated mixed forests
	9	Plantation area (sapling)
	10	Plantation area (suppressed by kudzu)
Continuous variables		
Slope		
Elevation		
Distance from forests		
Distance from rivers		
Distance from residential areas		
Distance from roads		
Distance from farmlands		

컴퓨터를 이용한 모형으로 개발되었다(Berger et al., 1996). 종의 출현지점과 비출현지점을 동시에 요구하는 일반적인 서식 적합성 평가 모형과는 달리, Maxent 모형은 출현지점 자료만 요구하여 구동이 쉽고 결과의 통계적 신뢰성이 높다는 점에서 선정되었다(Phillips et al., 2006; Franklin, 2009).

포를 지도화하는데 유용한 정보를 제공하는 것으로 생각할 수 있다. 반면에 하나의 변수씩 제거하면서 분석된 Regularized training gain 값을 볼 때는, 해당 변수를 제거했을 때 Regularized training gain 값이 많이 낮아질수록 그 변수가 다른 변수들이 대변할 수 없는 고유의 정보를 더 많이 가진 것

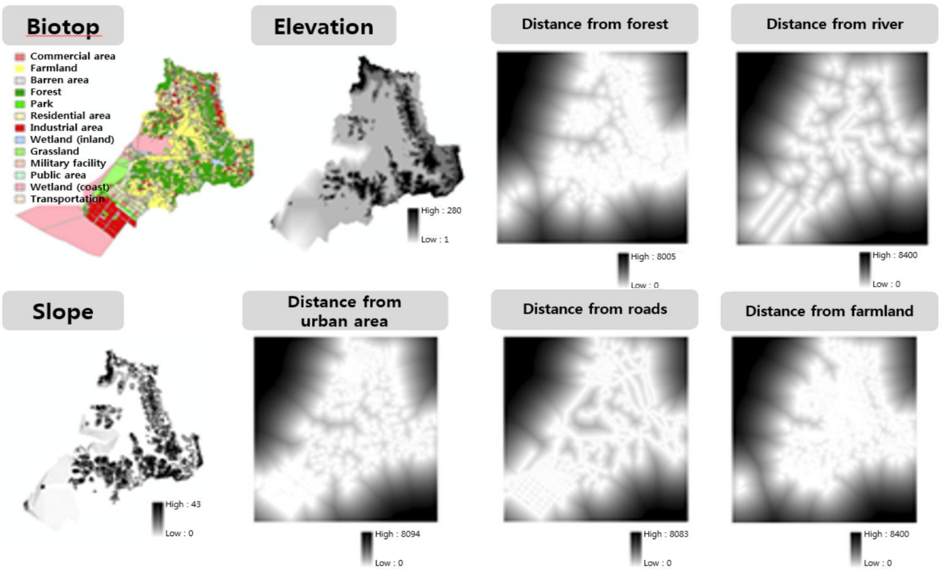


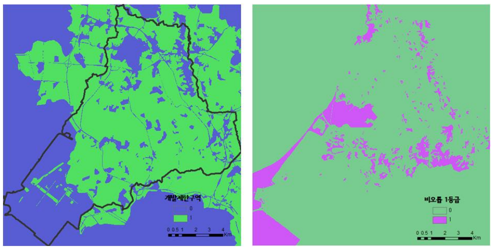
Figure 4. Environmental input data for habitats suitability analysis

서식지의 특성과 취약성에 따라서 4개(산새, 물새, 큰 패치 요구 종, 멸종위기종)로 분류된 조류군집 출현지점을 기반으로 4개의 서식지 적합성 평가 모형을 생성하였다. 결과물로 산출된 서식 가능성 지도, ROC 곡선주2., 환경변수별 기여도, 잭나이프 분석 결과, 각 환경변수의 반응 곡선을 검토하여 각 분석대상의 서식처 적합성에 대해 토의하였다. 각 분석대상의 분포모형에서 어느 환경변수가 큰 영향을 미쳤는지에 대해 분석할 때는 환경변수별 기여도와 잭나이프 분석을 동시에 고려하였다. 이것은 환경변수별 상관성이 있으면 환경변수별 기여도에서 왜곡이 생길 수 있기 때문이다. 잭나이프 분석 시, 하나의 변수만으로 높은 Regularized training gain을 보인 모델은 그 변수가 조류의 분

으로 해석할 수 있다(Tuanmu et al., 2010).

시흥시의 새로운 보전지역을 제안하기 위하여 서식 적합성 평가결과와 그린벨트 설정으로 인한 개발제한구역, 한국건설기술연구원(2009)에서 평가한 비오톱 1등급 지역을 중첩하여 보전지역으로 제안하고자 하였다(Figure 5). 본 연구에서 제안된 보전지역은 기존에 서식 적합성이 높음에도 불구하고 보전지역으로 설정되지 못했던 지역들을 확충하기 위해 제안되었다. 또한 선행연구에 기반하여 보전지역으로부터 100m 반경에 해당하는 지역을 완충지역으로 제안하였다(Wallace and Marsh, 2005; Asante, 2006; Adam, 2010). 이렇게 도출된 보전지역 설정계획을 토지피복 유형과 비교하여 면적비율을 파악하고, 토지피복 유형별 관리방안에 대해

논의하였다. 또한 Fragstats 4.2를 이용하여 완충지역을 설정한 경우와 설정하지 않은 경우의 주요 토지이용별 파편화 분석을 실시하여 완충지역의 효과를 정량적으로 파악하였다.



Metropolitan green-belt zone　　Biotop level 1 areas (KICT, 2009)

Figure 5. Map of green-belt zone and biotop level 1 areas

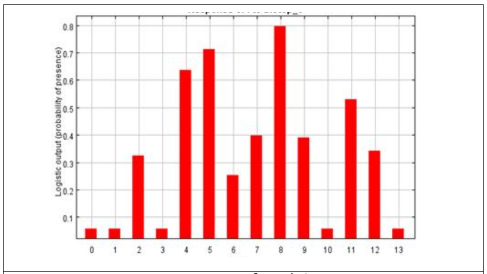
Ⅲ. 결과 및 고찰

산새 모델링의 결과 AUC 값이 0.89로 비교적 높게 나타났으며 기여도에서는 표고, 비오톱 유형이 높은 기여도를 보였다. 환경변수들의 중요도 분석에서는 비오톱 유형이 단독변수로 사용될 때 높은 regularized training gain을 나타내고, 비오톱 유형이 제거될 경우 regularized training gain 값이 상당히 낮아지는 것을 통하여 비오톱 유형이 전체 모형에서 갖는 중요도가 가장 큼을 알 수 있다. 표고는 기여도에서는 가장 큰 값을 보였지만, 잭나이프에서는 모형에서 제거되어도 모형의 정확도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보아, 다른 변수들과 중복된 정보를 갖고 있을 확률이 높다.

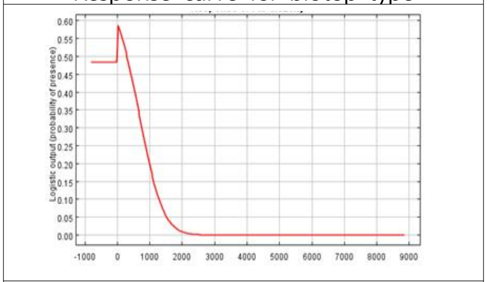
산새 모델링 결과 도출된 반응곡선 중 비오톱 유형에 대한 결과를 검토하였을 때 Figure 6의 왼편 막대그래프에서 육상습지(8번), 조경녹지(5번), 산림(4번)이 산새 출현의 중요한 비오톱임을 보여주었다. 이 중에서도 육상습지가 가장 높은 서식지 적합성을 보였는데, 산새 분포모형 지도에서 역시 산림과 함께 시흥시 내의 저수지와 하천들이 높은 서식지 적합성을 보이는 것을 볼 수 있다. 이것은 산새의 서식에 있어서 습지가 중요한 역할을 함을 시사하는 바이다. 또한, 시흥시 내의 공업지대와 주거지역을 완충해주는 대형 띠 녹지가 산림보다도 서식 적합성이 높다는 것이 흥미로운 결과이다. 더불어 산림유형에 대한 분석 결과에서는 자생 혼효림(3번), 자생 또는 비자생 침엽수림(2, 5번), 어린나무 식재지(9번)에서 적합성이 높은 것으로 나타났다. 따라서 산새의 보전을 위해서는 자생수가 우점하는 혼효림, 침엽수림, 어린나무 식재지가 보전지역 설정에 중요함을 알 수 있다.

도시로부터의 거리 변수에서는 도시에서 가까울수록 더 많은 산새가 분포하는 것으로 나타났는데, 이것은 도시라는 범주 안에 농촌을 포함한 모든 주거지와 저밀 공업지 등 시흥시 전역에 분포된 주거지, 상업지, 공업지 등이 모두 포함된 결과라고 판단된다. 시흥시와 같이 전체적으로 저밀의 주거지와 공업지가 흩어져있는 지역적 특성이 이와 같은 결과에 더 기여한 것으로 보인다.

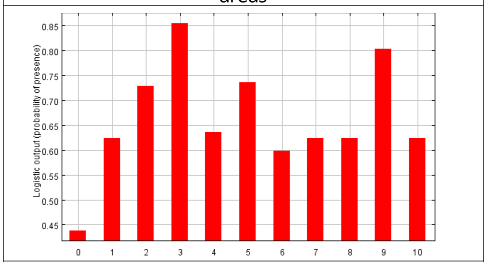
물새 모델링 결과 AUC 값이 0.934로 높게 나왔으며, 분포 지도에서도 볼 수 있듯이 습지와 하천, 저수지 주변이 높은 서식처 적합도를 보였다 (Figure 10). 특히 시흥시 내의 저수지들에서 높은 서식 적합성을 보였다. 기여도 분석에서 비오톱 유형이 압도적으로 높은 기여도를 보였고 이것은 잭나이프 분석에서도 마찬가지 결과를 보였다. 비오톱 유형 다음으로는 기여도 분석과 잭나이프 분석 모두에서 하천으로부터의 거리가 높은 기여도와 중요도를 보이나, 하천으로부터의 거리의 경우 이 변수를 제거하더라도 전체 모형에 별 영향을 미치지 않는 것으로 보아, 다른 변수들과의 상관성이 높은 것으로 생각된다. 비오톱 유형 중에서는 육상 습지(8번), 해안 습지(12번)가 가장 높은 적합성을 나타



Response curve for biotop type

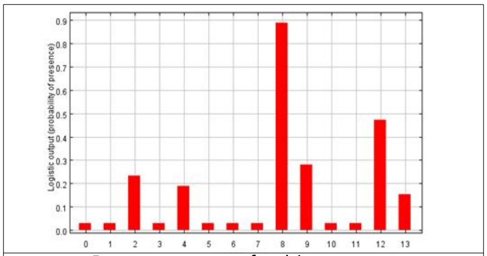


Response curve for distance to residential areas

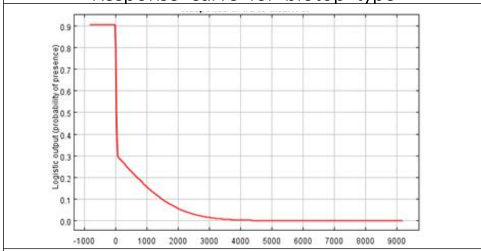


Response curve for forest type

Figure 6. Response curve for forest bird distribution map



Response curve for biotop type



Response curve for distance to river

Figure 7. Response curve for water bird distribution map

냈고, 하천으로부터의 거리에서는 하천에서 멀어질수록 적합성이 낮아지는 것으로 나타났다(Figure 7).

큰 면적 산림이용 종은 AUC 값이 0.948로 높은 값을 나타냈고, 분포 지도를 보면 시흥시 내의 주요 산림에서 높은 서식 적합성을 보이는 것을 알 수 있다(Figure 10). 기여도에서는 비오톱 유형이 두 번째 기여도를 보이는 것으로 나타났지만, 잭나이프 분석을 통해서는 가장 높은 영향력을 지닌 변수임을 알 수 있다. 다른 비오톱 유형보다 육상습지(8번), 산림(4번), 조경녹지(5번)에서 독보적으로 높은 적합성을 보였다. 큰 산림 면적 이용종 역시 산새와 마찬가지로 육상습지에서 가장 높은 적합도를 보였다. 가장 높은 기여도를 보인 산림 유형의 경우는 변수들 간에 큰 차이를 보이지 않았지만, 조림활엽수림 (5번)과 어린나무 식재지(9번)에서 높은 서식 적합성을 보였다(Figure 8).

멸종위기종 모델 분석 결과 AUC는 0.939로 큰 값을 나타냈고, 비오톱 유형과 산림 유형, 도시로부터의 거리가 높은 기여도를 보였다. 비오톱 유형에서는 육상습지(8번)에서 가장 높은 서식 가능성을 보였고, 산림, 초지, 조경녹지, 해안 습지에서 그다음으로 큰 값을 보였다(Figure 9). 멸종위기종 모형에서도 육상습지가 가장 높은 서식 적합성을 보이지만, 다른 모형과는 달리 초지가 서식 적합성의 반응 변수로 등장한 것이 흥미롭다. 산림 유형에서는 어린나무 식재지(9번)에서 높은 적합성을 보이고, 다음으로 조림 활엽수림, 자생수 우점 조림수 혼합림이 뒤를 잇는다. 큰 산림 면적 이용종에서 높은 서식 적합성을 보인 어린나무 식재지와 조림활엽수림이 멸종위기종의 서식 적합성에서도 큰 값

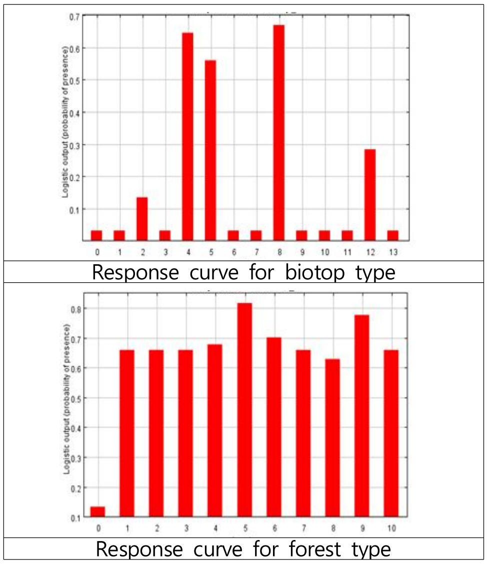


Figure 8. Response curve for large patch size-required bird distribution map

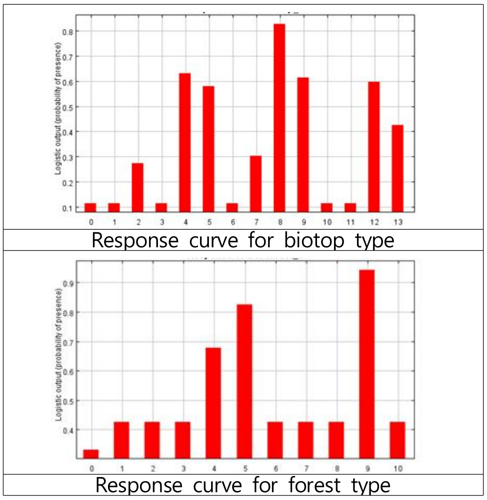


Figure 9. Response curve for endangered bird distribution map

을 보였다. 따라서 시흥시의 조류 다양성을 위해 어린나무 식재지와 조림 활엽수림이 보전지역 설정에 중요함을 알 수 있다.

시흥시의 경우, 개발제한구역의 해제와 관련하여 많은 지방자치단체의 심의에서 사용되는 생태자연도 1등급 지역은 존재하지 않는다. 시흥시는 도

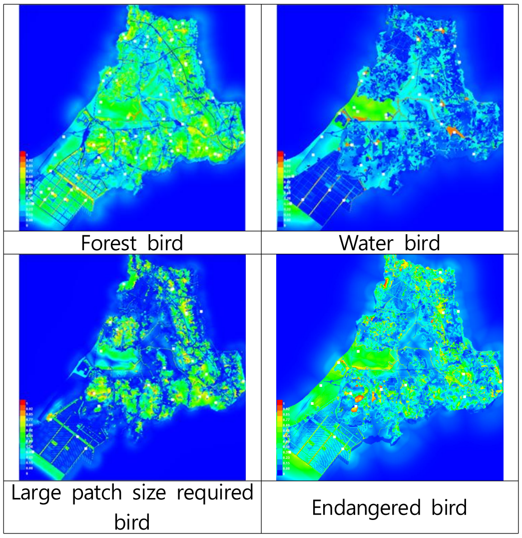


Figure 10. Habitats suitability maps for the four bird groups. Red color indicates high probability of presence (maximum value is 1), while blue color indicates less probability (minimum value is 0)

시관리계획을 수립하기 위하여 연구용역을 통해 한국건설기술연구원이 제안한 비오톱 등급지도를 수용하였다. 비오톱 등급별 관리기준을 제시하여 시흥시 생물 다양성 보전을 위해서 노력하고 있지만, 실질적으로 개발제한구역을 풀어주고 개발을 허용하는 기준으로 활용될 수 있을 것으로 보인다. 따라서 이러한 문제점을 예방하고자 본 연구에서는 서식 적합성 도면을 활용하여 새로운 보전지역을 제안하였다.

모형 구동을 통해 각 조류 군집별 기여도가 도출되었다(Figure 11). 산새의 경우, 비오톱 유형이 가장 높은 기여도를 보였으며, 그 외에 하천으로부터의 거리, 시가지로부터의 거리, 도로로부터의 거리, 산림으로부터의 거리 변수의 순서로 기여도가 높은 것으로 나타났다. 실제 서식처인 산림이 중점적인 요소임에도 불구하고 산림 인근의 비오톱 유형과 토지이용 유형에 영향을 많이 받는 것으로 파악되

었다. 따라서 산새의 보전을 위해서는 산림만 보전할 것이 아니라 인근지역에 대한 고려가 함께 요구된다고 판단할 수 있다.

물새의 경우에도 비오톱 유형이 높은 기여도를 보였으며, 이에 못지 않게 하천으로부터의 거리가 매우 높은 기여도를 보였고, 세 번째로 도시로부터의 거리 변수가 높은 기여도를 나타냈다. 따라서 물새의 보전을 위해서는 기본적으로 하천의 보전이 중요하며, 하천 인근의 비오톱에 대한 관리, 도시와 인접한 하천의 관리가 중요할 것으로 판단된다.

큰 패치 요구종의 경우에는 비오톱 유형, 산림으로부터의 거리, 산림 유형, 도시로부터의 거리의 순으로 기여도가 높게 나타났다. 큰 패치를 요구하는 종의 특성상 면적이 큰 산림에 큰 영향을 받는 것으로 판단되며, 산림과 인접한 도시에 대해서도 영향을 받는 것으로 판단된다.

멸종위기종의 경우에는 비오톱 유형, 도시로부터의 거리, 도로로부터의 거리, 산림유형 등의 변수 기여도가 높았다. 따라서 멸종위기종의 경우에도 도시와 도로 등 개발지역으로부터 영향을 많이 받는 것으로 판단된다.

4개 군집 모두 공통적으로 비오톱 유형이 높은 기여도를 보였다. 이는 비오톱 지도가 인간의 토지이용뿐만 아니라 생물종이 요구하는 서식지를 세분화하여 토지피복 상태를 유형화한 지도이기 때문으로 판단되며, 비오톱 지도가 조류 서식에 필요한 다양한 서식지 유형들을 포함하므로 군집에 상관없이 중요한 상관관계를 가진 것으로 판단된다.

분석에서 도출된 서식 적합성 도면에서 적합성이 0.8 이상인 지역을 추출한 결과, 산새, 물새, 큰 패치 요구 종, 멸종위기종 각 군집이 필요로 하는 서식지 특성을 따라 서식 적합성 높은 지역이 시흥시 내에서 공간적으로 상이하게 나타났다. 조류 종의 경우 종별로 상이한 채이지역, 잠자리, 휴식지역, 일시적 방문지역이 존재하기 때문에 4개의 모형에서

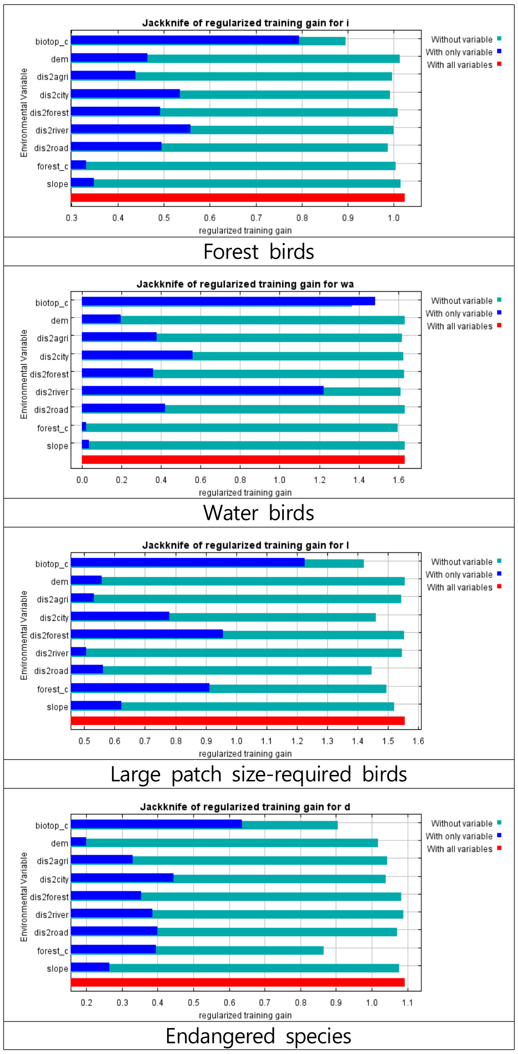


Figure 11. Relevant contributions of each variable

서식적합성이 높은 지역을 모두 반영하여 보전지역으로 설정하는 방안을 최종안으로 선택하였다.

또한, 서식지 파편화가 발생하게 되면 패치 크기 감소, 경관프로세스의 변화, 고립도 증가, 개체군 감소 등의 연쇄반응으로 인한 가장자리효과, 종간의 상호작용 변화, 유전자 퇴화, 외래종 도입 등의 환경변화로 개체군의 생존율, 생산력, 재생 유효성, 취약성 등이 변화하여 종 다양성이 감소하게 된다

Table 4. The area and ratio of conservation areas for each landcover type

Landcover types	Conservation area		Buffer area		Development-permitted areas	
	Area (㎡)	Ratio(%)	Area (㎡)	Ratio(%)	Area (㎡)	Ratio(%)
Residential areas	11,718,000	26	19,953,900	44	13,230,900	29
Farm lands	9,450,900	25	18,008,100	47	10,563,300	28
Forests	18,702,000	55	13,166,100	39	2,228,400	7
Grasslands	1,518,300	35	1,854,000	43	971,100	22
Wetlands	5,241,600	78	1,194,300	18	253,800	4
Bare lands	2,051,100	31	2,763,900	41	1,887,300	28
Water bodies	1,320,300	46	1,219,500	43	308,700	11
Total	**48,681,900**	**36**	**56,940,300**	**42**	**29,134,800**	**21**

(Hobbs and Yates, 2003). 이러한 효과를 상쇄시키기 위해서는 완충 지역 설정이 필요하기 때문에 본 연구에서 도출된 환경변수의 환경 경사(threshold)를 종합적으로 고려하여 보전지역에서 100m 완충 지역을 설정하였다(Figure 12). 도출된 보전지역 및 완충지역 결과물을 Fragstats 4.2에 입력하여 주요 토지이용별 파편화와 관련된 경관 지수가 도출하였다. 첫째로 핵심지역의 면적의 경우, 100m의 완충 지역을 설정한 경우와 설정하지 않은 경우를 비교하였다. 주요 서식지인 산림, 초지, 습지, 수역에서 완충지역을 설정한 경우의 핵심지역의 면적이 완충 지역이 없는 경우에 비해 각각 1.83배, 2.21배, 1.14배, 1.88배 넓은 것으로 나타났다. 둘째로 가장자리 길이의 경우, 완충지역이 없는 경우에 비하여 15~45% 증가하는 것으로 나타났다. 일반적으로는 가장자리의 길이가 길면 외래종이 유입되고 패치 내부에 서식하는 동물들이 이용하지 않는 공간으로 부정적으로 파악하고 있다. 하지만 본 연구에서는 보전지역을 보호하는 차원에서 완충지역을 추가로 설정하였기 때문에, 개발로 인해 가장자리가 파괴될 경우를 고려하는 부정적인 효과가 아니라, 환경의 급격한 변화를 방지하고, 독특한 생태적/환경적 특성을 조성하는 등 가장자리의 긍정적 효과를 기대할 수 있을 것으로 기대된다(Park and Lee, 2002; Choi et al., 2006).

각 토지피복 유형별 보전지역, 완충 지역, 개발허용지역에 대한 면적 및 면적비율은 Table 4과 같다. 전체적으로 보전지역은 36%, 완충 지역은 42%, 개발허용지역은 21%로 나타났다. 특히 기개발지역 중에서도 보전지역으로 포함된 지역이 26%이고, 완충 지역에 해당하는 지역이 44%나 된다는 점에서 향후의 개발계획은 허용지역을 중심으로 수립되어야 할 것으로 파악된다. 기개발지역과 농업지역은 이동이 용이한 조류의 특성상 인근 산림 및 녹지에서 유입되는 경향이 많은 것으로 판단된다. 따라서 기개발지역에서는 조류의 유입을 고려하여 이동과정에서 휴식을 취할 수 있는 디딤돌 패치와 같은 소규모 녹지 및 공원을 조성하고, 농업지역에서는 친환경농법을 권장하고, 일부 농경지에서는 조류가 선호하는 작물을 식재하는 등 시흥시 차원의 정책적 노력이 필요하다고 판단된다. 또한 산림, 습지, 하천의 대부분 지역이 보전지역과 완충 지역으로 파악되었으므로 이들 지역에 대한 보전방안이 필요하다고 판단된다.

본 연구에서 제안한 제시안은 모든 군집의 채이, 휴식, 잠자리, 일시적 방문 등을 종합적으로 고려할 수 있을 것으로 판단된다. 보전지역은 이미 개발된 지역에 한해서는 현상유지 또한 종 다양성 보전을 위한 관리가 필요한 지역이며, 완충지역은 개발계획 시 서식지 파편화가 미치는 영향을 종합적으로 검토하는 지역으로 설정하는 것이 필요할 것으로 보인다.

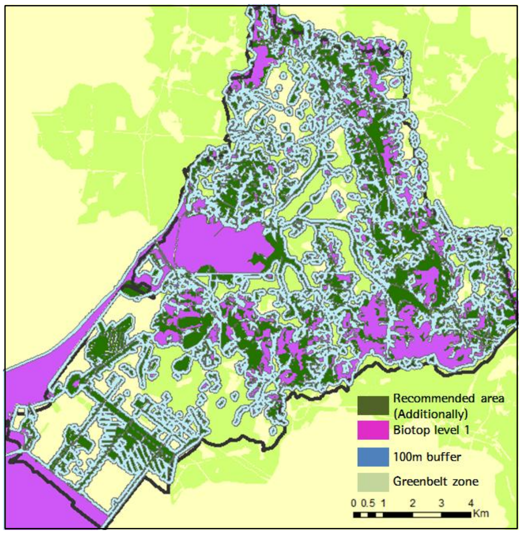


Figure 12. Suggested conservation area and buffer zone derived from this study

IV. 결론

본 연구는 시흥시에 조사된 조류군집을 대상으로 서식 적합성을 분석하고 보전지역 설정에 관한 제안을 한 연구이다. 시흥시의 경우 갯벌, 산림, 농경지 주변에서 멸종위기종, 큰 면적요구종 등이 서식할 수 있는 뛰어난 환경을 가지고 있으므로, 향후 개발제한구역 해제 및 개발과 관련된 논의에 있어서 생물종 다양성을 최대한 보전하기 위해서는 선보전의 노력이 필요할 것이다.

시흥시에 나타난 조류종의 경우 군집별로 서식지 이용에 있어 비오톱 유형, 하천으로부터의 거리, 산림으로부터의 거리, 도로로부터의 거리 등의 환경변수에 다양하게 반응하는 것을 파악할 수 있었다. 이는 조류 군집의 채이지역, 휴식지역, 잠자리, 일시적 방문지역이 조금씩 다른 것으로 보전 계획 적용에 있어서 이러한 요소를 고려한다면 모든 군집에서 나타난 0.8 이상의 서식 적합지역을 모두 보전지역으로 설정하는 것이 필요한 것으로 파악되었다. 특히 일부 종 군집에서는 어린나무 식재지와 조림활엽수림, 시가화 지역 등이 서식 적합 지역으로 도출된 것으로 보아 시흥시 조류 다양성을 위해 이 지역이 보전지역 설정에 중요함을 알 수 있다. 조류종 보전에 사용된 군집의 경우 일부 종이 중복으로 적용되는 경우도 있으나, 본 연구진행에 있어서는 중복되는 개체 수가 매우 소수이며, 서식 적합지역의 종합을 통하여 보전지역을 제안하였으므로 중복으로 인한 문제는 없다고 판단된다.

본 연구에서는 서식지 보전에 있어서 보전지역의 경우 주변부 개발로 인한 파편화의 영향 등이 나타날 수 있기 때문에 이를 보완하기 위하여 보전지역 주변에 100m 완충 지역을 설정하고 관리하는 방안을 제안하였다.

본 연구는 모델결과의 검증이 통계적인 부분에 그쳤다는 점, 한국건설기술원의 조류조사 과정에서 계절적 변이로 인한 출현지점 데이터의 신뢰성 부족을 극복하지 못한 점, 제안된 보전지역이 바로 제도적으로 적용하기에 어렵다는 한계점이 있다. 향후 본 연구에서 제안된 보전지역 평가방법과 결과를 바탕으로 충분한 의사결정과정을 통해 실제 보전지역 선정을 위한 연구 및 사업의 수행이 필요할 것이다. 특히, 보전지역 제안에서는 조류종 뿐만 아니라 포유류 등을 포함하고 각 종의 행동반경, 주변 토지이용과의 관계까지 종합적으로 검토한다면 적용 가능성이 더욱 높아질 것이다.

주1. 생태자연도의 경우 생태자연도 이전에 활용되었던 녹지자연도의 한계를 극복하기 위하여 멸종위기 야생동식물의 보호를 위하여 발생지점 반경 500m를 생태자연도 1등급지역에 포함하고 있으나, 거의 식생의 자연성을 중심으로 1등급 지역을 산정하고 있다.

주2. ROC 곡선은 receiver operating characteristic의 약자로 수용자 반응특성 곡선으로 번역하기도 한다. ROC 곡선이 왼쪽 위에 가까울수록 모형의 정확도가 높다. ROC 곡선 하단부의 면적을 계산하여 AUC 값을 산출하는데 AUC 값이 클수록 모형의 정확도가 높다.

인용문헌
References

1. Adam, Paul. 2010. "Wetlands and Wetland Boundaries: Problems, Expectations, Perceptions and Reality", *Wetlands Australia Journal* 11 (2): 60–67.
2. Ahn, Y. J., Lee, D. K., Kim, H. G., and Mo, Y. W., 2014. "Applying Connectivity Analysis for Prioritizing Unexecuted Urban Parks in Sungnam", *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*. 17: 75–86.
3. Asante, Meldomi Asabea. 2006. *Effect of Urban Riparian Development on Biodiversity; Using Birds and Vegetation as Ecological Indicators in Cooper Creek Located in Southwest,* Ohio, U.S.A.: Miami University.
4. Baguette M. and Van Dyck H., 2007. "Landscape connectivity and animal behavior: functional grain as a key determinant for dispersal", *Landscape Ecology*, 22: 1117–1129.
5. Berger A. L., Pietra V. J., Pietra S. A., 1996. "A maximum entropy approach to natural language processing", *Comput Linguist*, 22: 39–71.
6. Bishopa J. A. and Myers W. L., 2005. "Associations between avian functional guild response and regional landscape properties for conservation planning", *Ecological Indicator*, 5: 33-48.
7. Chang-yong, Choi, Nam Hyun-young, Hur Wee-Haeng, Lee Woo-shin, Kim Hyun-Joong, and Hwang Geun-Yeoun. 2006. "Edge Preference of Forest-Dwelling Birds in the Temperate Deciduous Forests". *Journal of Ecology and Field Biology,* 29 (3): 191–203.
8. Chanyeol, Park, and Lee Wooshin. 2002. "Effects of Fragmentation on the Bird Community in Agricultural Landscapes", *Korean Society of Environment & Ecology,* 16(1): 22–33.
9. Collinge S. K., 1998. "Spatial arrangement of habitat patches and corridors: clues from ecological Weld experiments", *Landscape urban planning*, 42: 157-168.
10. Franklin J. 2009. *Mapping Species Distributions, England,* U.K.: Cambridge University Press
11. Jaynes E. T., 1957. "Information theory and statistical mechanics", *Physical Review*, 106: 620.
12. Jeong, S. G., Park, J. H., Woo, D. G., Lee, D. K., Seo, C. W., and Kim, H. G., 2015. "Selecting Core Areas for Conserving Riparian Habitat Using Habitat Suitability Assessment for Eurasian Otter", *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*, 18(2): 19-32.
13. Kim, H. G., Lee, E., Park, C., Lee, K. S., Lee, D. K., Lee, W., and Kim, J., 2016. "Modeling the Habitat of the Red-Crowned Crane (Grus japonensis) Wintering in Cheorwon-Gun to Support Decision Making", *Sustainability*, 8(6): 1-11.
14. Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT). 2009. *Biotop Map of Siheung-si.* Siheung-si.
15. Lee W. S. and Park C. R., 1995. "Analysis of changes on the forest environment and the bird community in terms of 'Guild'", *Korean Journal of Ecology,* 18(3): 397-408.
16. Lee, D. K. and Kim H. G., 2010. "Habitat Potential Evaluation Using Maxent Model -Focused on Riparian Distance, Stream Order and Land Use-", *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration*

Technology, 13(6): 161-172.
17. Lemoine N., Baure H. G., Peintinger M., and Bohning-gaese K., 2007. "Effects of Climate and Land-Use Change on Species Abundance in a Central European Bird Community", *Conservation Biology*, 21:495-503.
18. Moilanen, A., Franco, A. M. A., Early, R. I., Fox, R., Wintle, B., & Thomas, C. D., 2005. "Prioritizing multiple-use landscapes for conservation: methods for large multi-species planning problems", Paper presented at the annual meeting for Royal Society, United Kingdom: London University
19. Peterson, A.T., 2001. "PREDICTING SPECIES' GEOGRAPHIC DISTRIBUTIONS BASED ON ECOLOGICAL NICHE MODELING", *The Condor*, 103(3): 599-605.
20. Phillips S. J., Anderson R. P., and Schapire R. E., 2006. "Maximum entropy modeling of species geographic distributions", *Ecological Modelling*, 190(3-4): 231-259.
21. Schadt S. E., Fevilla T., Wiegand F., Knauer P., Kaczensky U., Breitenmoser, Bufka L., Cerveny J., Koubek P., Huber T., Stanisa C., and Trepl L., 2002. "Assessing the Suitability of Central European Landscapes for the Reintroduction of Eurasian Lynx", *Journal of Applied Ecology*, 39: 189-203.
22. Scott J. M., 1993. "GAP Analysis: A Geographic approach to protection of biological diversity", *Wildlife Monograph*, 123: 1-41.
23. Sung, H. C., Hwang, S., young; Chae, M. O., and Park, E. S., 2010. "Basic Study on Criteria for Setting Natural Conservation Area", *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*, 13: 1-12.
24. Tuanmu M. N., Viña A., Bearer S., Xu W., Ouyang Z., Zhang H., and Liu J., 2010. "Mapping understory vegetation using phenological characteristics derived from remotely sensed data", *Remote Sensing Environment*, 114: 1833-1844.
25. U.S. Fish and Wildlife Service, 1980. *Habitat as a Basis for Environmental Assessment(HEP). Ecological Services Manual 101. U.S. Department of Interior. Fish and Wildlife Service*, Washington. D.C.
26. Wallace, Cynthia S A, and S E Marsh. 2005. "Characterizing the Spatial Structure of Endangered Species Habitat Using Geostatistical Analysis of IKONOS Imagery". *International Journal of Remote Sensing*, 26(12):2607-2629.
27. Yost A. C., Petersen S. L., Gregg M., and Miller R., 2008. "Predictive modeling and mapping sage grouse (Centrocercus urophasianus) nesting habitat using Maximum Entropy and a long-term dataset from Southern Oregon", *Ecological Information*, 3: 375-386.

Date Received	2018-01-05
Reviewed(1st)	2018-02-28
Date Revised	2018-04-18
Reviewed(2nd)	2018-05-01
Date Accepted	2018-05-01
Final Received	2018-05-14