

종분포모형을 이용한 수원청개구리의 번식기 서식지 분석

송 원 경

단국대학교 녹지조경학과

Habitat Analysis of *Hyla suweonensis* in the Breeding Season Using Species Distribution Modeling

Song, Wonkyong

Department of Landscape Architecture, Dankook University

ABSTRACT

Hyla suweonensis is an endemic species and is designated as the only endangered species I among amphibians in 2012 by the Ministry of Environment, however studies about its habitat are lacking. This study was carried out to analyze habitat of *H. suweonensis* based on the spatial information using Maxent (Maximum entropy model as a species distribution model). We detected 45 present points until 2013 and 10 environmental variables by literature review for the model. The results showed that 429km² (0.95%) of the study area, which was about 7.75% of the total agricultural area, was high possible habitats of *H. suweonensis*. The habitat of *H. suweonensis* was analyzed by over 1km² rice paddy fields that were lower elevations, flat slopes, and not fragmented. The distance from forests and rivers was identified as a factor that affects its habitat possibilities. In order to conserve *H. suweonensis*, a large area of rice paddy fields should be preserved, and especially the area around forests and rivers would be required more intensive management. In addition, to compensate for degraded habitats of *H. suweonensis* in urban areas like as Suwon city, considering integrated watershed management strategy could be effective in the perspective of ecological habitat network of *H. suweonensis*.

Key Words : *Suwon tree frog*, *Habitat conservation*, *Maximum entropy model*, *Rice paddy field*,
Endangered species, *Watershed management*.

First author : Song, Wonkyong, Department of Landscape Architecture, Dankook University,
Tel : +82-41-550-3636, E-mail : wksong@dankook.ac.kr

Corresponding author : Song, Wonkyong, Department of Landscape Architecture, Dankook University,
Tel : +82-41-550-3636, E-mail : wksong@dankook.ac.kr

Received : 11 December, 2014. **Revised** : 6 February, 2015. **Accepted** : 25 February, 2015.

I. 서 론

기후변화를 비롯한 환경변화, 자연서식지 감소, 도시화의 인접 생태계 부정적인 영향 증대는 야생동물의 서식환경을 지속적으로 악화시키고 있다. 우리나라의 도시화와 기후변화 진행 속도는 세계 평균보다 빠른 것으로 파악되어 향후 기온 및 강수량 변동성이 커지고 극한 기후 빈도가 증대하여 극심한 생태계교란 및 변화가 예상된다(Ministry of Environment, 2010). 특히 지리적으로 널리 분포하는 보편종(ubiquitous species)보다는 자연적으로 유일한 지역에서 발견되고 다른 곳에는 분포하지 않는 고유종(endemic species)은 이러한 환경변화에 더 취약할 것이라 예상되므로(Smith and Smith, 2009), 고유종에 대한 보전·관리는 생물다양성 보전을 위해 매우 중요한 정책이라 할 수 있다.

수원청개구리(*Hyla suweonensis*)는 「야생생물 보호 및 관리에 관한 법률」에 의해 2012년 멸종위기야생생물 I 급으로 추가 지정된 보호종으로서 양서류로는 유일한 I 급 보호종이다. 수원청개구리는 Kuramoto(1980)가 청개구리와는 울음소리가 다르고 울음주머니의 색깔과 뒷다리 물갈퀴의 차이를 들어 별종으로 기재한 한국특산종이다(National Institute of Biological Resources, 2013). 수원청개구리는 이름처럼 수원시에서 처음으로 발견되어 1980년 보고된 한국고유종으로서 생김새가 청개구리(*Hyla japonica*)와 아주 유사하지만 울음소리로 구별이 가능하다는 것이 특징이다(Jang *et al.*, 2011). 현재 수원청개구리는 IUCN 적색종목록(red list)에 EN(endangered)으로 분류된다(<http://www.iucnredlist.org/>). 번식 시기 때 수컷의 구애음성이 청개구리에 비해 저음의 급속성이면서 울음 간 시간간격이 길어서 식별이 가능하다(Yang *et al.*, 1981). Yang and Park(1988)은 청개구리와 수원청개구리가 유전적으로 뚜렷한 차이가 있고, 생식적 격리가 완성된 별종인 것으로 보고하였다. Yu and Lee(1990)

는 염색체 분석을 통해 청개구리와 달리 수원청개구리의 3번 염색체에서는 암수간 차이가 있는 성염색체가 있음을 보고하였으며, Yang *et al.*(1997)은 수원청개구리의 유전적 변이가 청개구리에 비해 약 2배 낮은 것으로 연구하였다(National Institute of Biological Resources, 2013). 이 외에도 수원청개구리와 청개구리의 유전적 차이를 분석한 연구는 Chun *et al.*(2012)을 통해 계속 이어지고 있다. 수원청개구리는 청개구리와 같이 파리, 벌, 나비, 딱정벌레와 같은 곤충류를 주로 잡아먹는 것으로 추정된다. 수원청개구리는 서식지가 한정 되고 개체군의 밀도도 낮으며, 경작이 이루어지는 논에서 주로 번식하는 습성을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 이처럼 수원청개구리가 우리나라 고유종으로서 보전가치가 크에도 불구하고, 아직까지 자연환경에서 수원청개구리가 어떠한 서식지를 이용하고 있는지에 대한 서식환경 연구는 부족한 실정이다.

최근 야생동·식물 보전전략을 뒷받침해줄 수 있는 여러 서식지 분석 연구가 진행되고 있다(Franklin, 2009). 서식지 분석은 종출현 정보뿐만 아니라 이를 해석할 수 있는 다양한 환경공간정보를 필요로 하는데, 종다양성에 대한 필요성 증대가 환경모델링 등 여러 분야의 기술 발전과 연계되어 다양한 종분포모형의 발전을 가져왔다. 우리나라에서도 다양한 종분포모형을 이용한 서식지 분석 연구가 진행되고 있다. 특히 2013년 이후에는 국립생태원을 통해 이러한 연구가 체계적으로 진행될 여건을 갖추게 되었다. 우리나라의 종분포모형 연구는 대부분 종출현정보를 토대로 구축되는 경우가 많아 여기에 적합한 모형들이 소개되고, 국내에 맞게 분석이 진행되고 있다. 그러나 양서류에 대한 종분포모형은 아직 다양한 종에 대해 수행되지 못하고 있다. Kim *et al.*(2012)은 수원청개구리의 분포현황과 서식지 형태에 대한 연구를 수행하였으나 조사지점의 환경특성을 정리한 수준에서 연구가 마무리되어 구체적인 서식

지를 도출하지 못하고 있다. Roh *et al.*(2014) 역시 조사를 통해 수원청개구리와 청개구리의 출현지역 차이를 분석하고 로지스틱 회귀분석을 통해 수원청개구리의 서식지 특성을 모형화하고자 하였으나 도출된 변수가 농경지 비율과 시가지지역 비율로 한정되어 서식지 예측에 한계가 있다. 양서류에 대한 서식지 연구는 덕유산 국립공원을 대상으로 대형 건설 공사로 인해 양서류 개체수가 어떻게 감소하였는지 관찰한 연구(Park, 1994), 제주도에 이입된 황소개구리와 붉은귀거북의 서식실태를 조사한 연구(Oh and Hong, 2007) 등 주로 개체수 및 발견지역 조사 연구가 주를 이루고 있다. 또한 금개구리를 대상으로 개체군생존분석 시뮬레이션을 통해 충북 청원군을 대상으로 멸종 가능성을 분석한 연구(Cheong *et al.*, 2009). 양서류 서식환경 특성을 파악하기 위한 연구로는 무당개구리를 대상으로 양서류 바이오톱 조성을 실험한 연구(Yoon *et al.*, 2008), 택지개발지구내 양서류 서식처로서 목논습지의 특성을 분석한 연구(Lee and Moon, 2011), 습지를 대상으로 맹꽁이 대체서식처 조성 계획을 수립한 연구(Jung *et al.*, 2013), 맹꽁이 서식처 복원을 위한 서식처 적합성 지수 개발 연구(Shim *et al.*, 2014) 등이 있다. 국내의 양서류 관련 연구는 대상종의 분포를 파악하고 서식지 선호도를 분석하는 단계의 연구가 대부분이다.

생물다양성을 보전하기 위한 보호종 관리 전략 중 가장 효과적인 방법은 해당 종의 서식지를 보전하는 것이다. 생물다양성 중 생태계 다양성은 유전자와 종다양성을 모두 포괄할 수 있는 공간적 범위를 지니기 때문이다. 이러한 개념을 토대로 본 연구는 수원청개구리 보존을 위해 수원청개구리 서식지를 분석하는 것을 목적으로 진행되었다. 수원청개구리 서식지 보전을 위해 중분포모형을 적용하고, 이를 토대로 수원시를 대상으로 수원청개구리 서식지 관리 전략을 제안하고자 한다.

II. 연구의 범위 및 방법

1. 연구대상지 및 수원청개구리 출현지점 파악

수원청개구리 조사자료 및 모니터링 자료를 수집하기 위해 기존 문헌을 조사하고 전문가 인터뷰를 실시하였다. 특히 국립생물자원관을 중심으로 수원환경운동센터, 물살이연구소 등 수원청개구리 조사·모니터링을 추진하고 있는 기관·단체로부터 서식지 관련 자료를 수집하였다.

수원청개구리는 본래 기재지역인 경기도 수원시 소재 농촌진흥청 주변에서만 서식하는 것으로 알려져 있었으나 수원에서의 발견은 계속 줄어들고 있다. 이후 Yang and Park(1988)에 의해 인천과 온양에서도 채집되었으며, 강화, 파주 등 인접 지역에서 그 서식이 확인되었다(National Institute of Biological Resources, 2013). 최근에는 경기도 파주를 비롯하여 강원도, 충청북도, 충청남도 일대에서 수원청개구리 서식이 확인되었다(National Institute of Biological Resources, 2013). 이 외에도 어린이과학동아와 장이권 교수 연구팀이 함께 어린이 등 일반인이 주축이 된 수원청개구리탐사대를 운영하여 수원청개구리 조사를 진행한 바 있다. 기존 조사·모니터링 자료 중 공간화가 가능한 수집 자료를 확인한 결과 국립생물자원관, 수원환경운동센터와 물살이연구소의 공동 조사자료, 그리고 수원환경운동센터에서 기존 수원시 내부지역 중 수원청개구리가 발견된 지점에 대한 정보 등인 것으로 확인되었다.

이 자료를 수집하고 관계자와 인터뷰를 진행한 결과 2013년 국립생물자원관의 자료 중 총 38개 발견지점, 수원환경운동센터와 물살이연구소의 공동 조사자료 중 5개 지점, 수원환경운동센터 자료 중 2개 지점의 자료를 활용하였다. 총 45개 지점을 위성영상자료를 활용하여 정확한 조사 지점을 파악하고 발견지점에 대한 좌표를 파악하고 GIS 자료로 구축하였다. 따라서 중

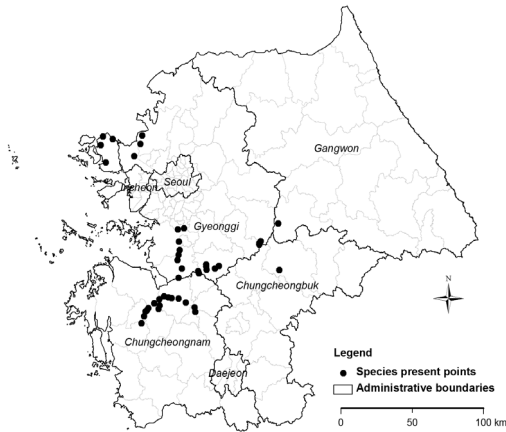


Figure 1. Study area with 45 present points of *H. suweonensis*.

분포모형 구축을 위한 연구대상지는 수원청개구리가 발견된 지점이 포함된 행정구역인 경기도, 충청남·북도, 강원도를 포함하여 설정하였다(Figure 1).

2. 서식지 분석

기존 수원청개구리 서식지 특성 연구를 검토한 결과 수원청개구리 발견지역은 낮은 고도의 넓은 논이 분포하고 있는 지역인 것으로 확인되었다. Kim *et al.*(2012)은 수원청개구리가 산과 가깝고 민가와 멀리 떨어져 있을수록 서식지 내에 많은 개체가 서식하는 것으로 분석하고 있다. 수원청개구리의 공간 분포를 GIS를 통해 분석한 Roh(2013)는 수원청개구리가 서식하는 지역의 반경 1,000m(3.14km²) 환경 특성을 분석한 결과 논이 비율이 높은 지역에서 수원청개구리 출현 확률이 높은 것으로 나타났다. 이 외에 다른 토지 이용은 $p < 0.01$ 수준에서 수원청개구리의 출현과 비출현 지역의 차이를 설명하는 요인이 아닌 것으로 확인되었다. 또한 논이 중요한 수원청개구리 서식지이며, 상업지나 주거지 등으로 파편화된 지역은 수원청개구리가 서식하기 힘들다는 것을 발견하였다(Roh *et al.*, 2014).

일반적으로 청개구리는 산림지역, 논 등 경작

지, 하천, 계곡, 습지, 초지 등과 같은 다양한 서식지를 이용하고 번식기에 농경지나 물웅덩이를 이용하는 것으로 알려져 있으나(Lee *et al.*, 2011), 수원청개구리의 서식지 이용 특성에 대한 정량화된 연구는 아직 부족하다. 다만, 자매종인 청개구리와 비교할 때, 수원청개구리도 다른 서식지 환경을 이용하다가 번식기에 농경지로 이동할 특성이 있는 것으로 판단된다. 특히, 수원청개구리의 발견지점이 산림과는 거리가 있고 강과의 거리가 가까운 점 등을 통해 수원청개구리는 번식기 이외에 강 주변의 저지대를 이용할 가능성이 높은 것으로 분석하고 있다(Kim *et al.*, 2012). 이러한 선행연구를 바탕으로 Kim *et al.*(2012)은 수원청개구리를 보호하기 위해 고도가 낮고 강이나 수로를 끼고 있는 대규모 농경지를 우선 보호해야 하며 확인된 서식지를 대상으로 주기적인 모니터링이 필요하다고 의견을 제시하였다. 또한 번식기 이외의 기간 동안 수원청개구리의 서식형태를 연구하기 위하여 무선추적 연구 등의 기초생태 연구가 추가적으로 수행되어야 한다고 제안하였다.

이상의 연구들을 고려할 때, 수원청개구리 서식지 환경 특성을 파악하기 위해서는 농경지 비율 및 면적을 포함하여 산림과의 거리, 하천 등 수계와의 거리, 민가 등 시가지지역과의 거리, 도로와의 거리 등을 분석하는 것이 가능할 것이라 판단된다. 뿐만 아니라 Roh(2014)의 연구를 토대로 수원청개구리가 발견된 지점 주변의 토지이용 및 토지피복 특성을 다양하게 분석함으로써 수원청개구리의 서식지 반경에 대한 종합적인 환경 공간 정보를 파악할 수 있을 것이라 판단된다. 또한 스케일에 따른 야생동물의 서식지 이용 가능성을 고려할 때(Song *et al.*, 2013), 다양한 서식지 반경을 고려할 필요가 있으므로 반경 100m와 1,000m에 대한 논 비율 변수를 추가하였다. 이러한 환경 특성을 총 10개로 정리하여 GIS를 이용하여 환경공간정보로 구축하였다(Table 1).

Table 1. Environmental variables and data processing.

Environmental variables	Data processing	Data type	Meta data
Elevation	DEM	Continuous	DEM
Slope	Surface analysis	Continuous	(Digital elevation model)
Land cover	Reclassification of land cover map	Categorical	
Area of rice paddy	Calculate geometry	Continuous	Land cover map (v.2)
Ratio of rice paddy(radius 100m)	Focal statistics	Continuous	
Ratio of rice paddy(radius 1,000m)	Focal statistics	Continuous	
Distance from built up area	Distance analysis	Continuous	
Distance from forest	Distance analysis	Continuous	
Distance from water body	Distance analysis	Continuous	River map
Distance from roads	Distance analysis	Continuous	Transportation digital map

수원청개구리 조사 자료는 출현정보만을 포함한 정보이므로 중분포 모형을 적용시킬 경우 출현정보에 기초한 중분포 모형을 중점적으로 분석할 필요가 있다. 출현정보에 기초한 대표적인 중분포 모형으로는 BIOCLIM, HABITAT 등과 같은 Envelope 모델, DOMAIN, 마할라노비스 거리(Mahalanovis distance)를 이용한 거리 기반 모형(Environmental distance methods), 생태적 지위 모형(ENFA; ecological niche factor analysis), GARP(genetic algorithms for rule production), Maxent(Maximum entropy) 등이 있다. 이 중 GARP, Maxent 등은 기계학습식 모형(machine learning modeling)으로 구분될 수 있다. 기계학습식 모형의 장점은 주어진 자료를 내부 알고리즘에 따라 분석하여 가장 적합한 예측 결과를 도출할 수 있다는 점이다. 특히 Maxent 모형은 종출현정보만을 활용하여 최고의 서식지 예측 결과를 도출하는 모형으로 최근 다양하게 활용되고 있다. Maxent 모형은 모형 개발자가 설정한 변수와 제한요소를 이용하여 확률분포를 예측하는 기계학습모형으로 종의 출현과 변수의 선정, 비모수적인 관계들을 잘 표현하는 장점이 있다(Phillips *et al.*, 2006; Seo

et al., 2008). 분석 대상지 및 대상종에 따라 예외가 있으나, 최근 이러한 모형을 비교한 연구들에서 Maxent 모형의 우수성이 증명되고 있는 추세이다(Franklin, 2009; Song and Kim, 2012). 따라서 본 연구는 Maxent를 이용하였으며, 모형의 신뢰도를 높이기 위해 모형 반복 회수는 10회로 설정하여 10회 결과의 평균을 최종 모형으로 도출하였다. 또한 모형 정확도는 ROC (Receiver Operating Characteristic)의 AUC(Area Under Cover) 값을 통해 측정하였다.

환경공간정보 구축을 위한 기초자료는 토지피복지도 중분류(환경부, 2009) 자료, 전국도로망도(국가교통정보센터, 2010), 환경부 수치표고지도(DEM)를 이용하였다. 공간자료 분석은 ArcGIS 9.3(ESRI Inc., U.S.A)와 QGIS 2.2.0-Valmiera를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 수원청개구리 서식지 분석

Maxent 모형을 적용하여 중분포모형을 분석한 결과 수원청개구리 서식지 예측 모형의 적합도는 0.986(S.D.=0.006)으로 매우 높았고, 이는

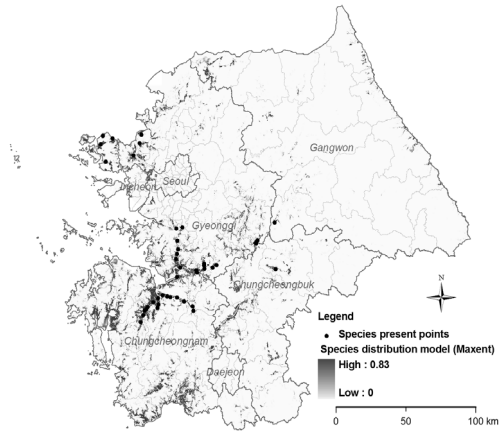


Figure 2. Maps displaying predicted probability of *H. suweonensis*.

모형의 적용 가능성이 매우 높다는 것을 의미한다. 수원청개구리는 대상지의 0.95%인 429km² 지역에서 출현 가능성이 있는 것으로 분석되었고, 이는 대상지 전체 농경지 면적의 약 7.75%에 해당하는 것으로 이 농경지가 수원청개구리 서식 가능성이 높은 지역이라 할 수 있다(Figure 2).

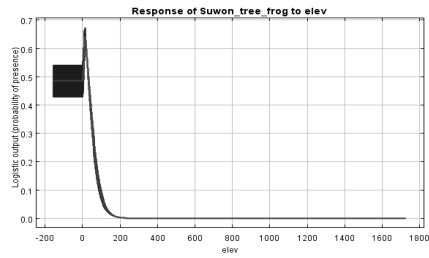
모형에 사용된 개별 환경변수들이 수원청개구리 출현과 어떠한 관계를 갖고 있는지는 한계 반응 곡선(marginal response curves)을 이용하여 확인할 수 있다. 임계값을 0.5로 해석할 때, 수원청개구리는 표고가 낮고 경사가 완만할수록 서식

가능성이 높아지며, 그 임계값은 표고 약 50m 이하, 경사도 1° 이하라고 판단할 수 있었다. 또한 수원청개구리는 논 지역에서만 서식하며 특히 면적이 1km² 이상인 지역에서 서식 확률이 높아짐을 확인할 수 있었다. 같은 논이더라도 주변 환경에 따라 출현확률이 달라질 수 있는데, 반경 100m 이내에 논이 90% 이상, 반경 1,000m 이내에 논이 60% 이상 분포할 때 이 지역에 수원청개구리가 출현할 확률이 50% 이상이 될 수 있었다. 하천과는 가까울수록, 시가지지역과 도로에는 인접하지 않지만 가까운 지역에서, 산림과는 비교적 가까운 거리에서 출현 확률이 높아짐을 알 수 있었다(Figure 3). 또한 시가지건조지역, 도로와의 거리는 인접하진 않지만 가까운 지역에서 출현 확률이 높다고 분석되었는데, 이는 수원청개구리가 반자연지역인 논에 적응하여 서식하는 특성이 반영된 것이라 판단된다.

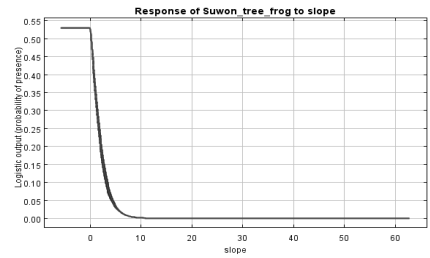
이러한 환경변수들의 중분포모형 기여도를 분석한 결과 논 면적 변수가 41.4%로 가장 높게 나타났으며, 이어서 산림과의 거리(34.9%), 논 비율 변수, 하천과의 거리, 토지피복, 표고 순으로 기여율이 높은 것으로 분석되었다(Table 2). 이러한 분석 결과는 수원청개구리 서식지를 예측하는데 논 면적과 산림과의 거리, 주변 토지이용이 중요하다는 것을 의미한다.

Table 2. Analysis of variable contributions.

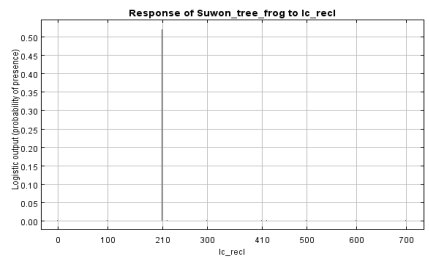
Variable	Percent contribution(%)
Area of rice paddy	41.4
Distance from forest	34.9
Ratio of rice paddy(radius 100m)	11.2
Ratio of rice paddy(radius 1,000m)	6.8
Distance from water body	3.1
Land cover	1.7
Elevation	0.5
Slope	0.4
Distance from roads	0.1
Distance from built up area	0.0



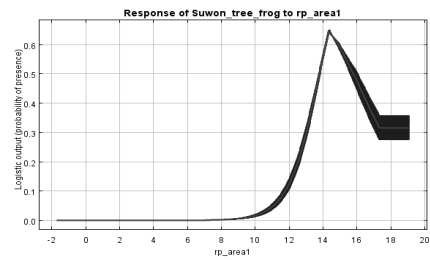
(a) Elevation



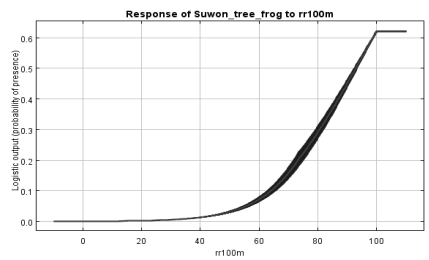
(b) Slope



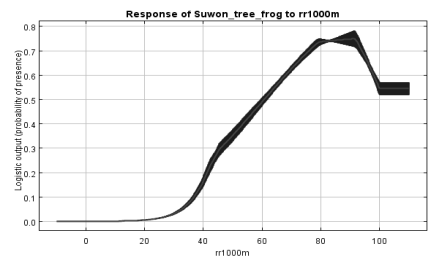
(c) Landcover



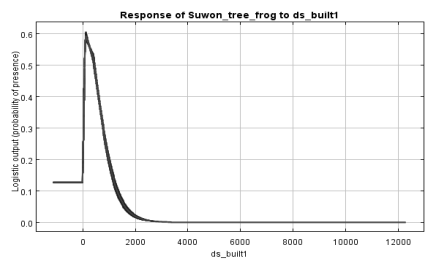
(d) Area of rice paddy



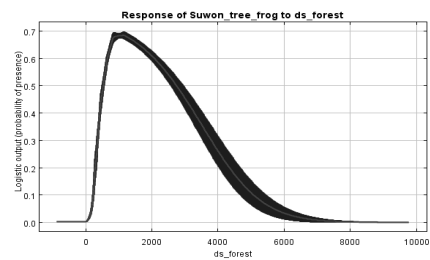
(e) Ratio of rice paddy(radius 100m)



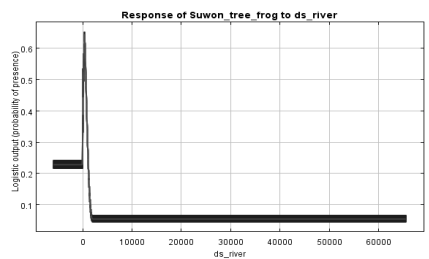
(f) Ratio of rice paddy(radius 1,000m)



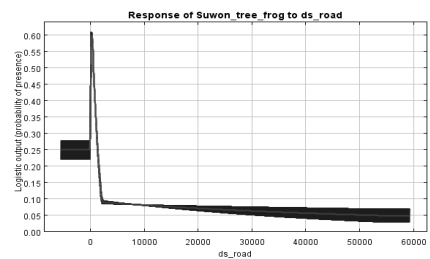
(g) Distance from built up area



(h) Distance from forest



(i) Distance from water body



(j) Distance from roads

Figure 3. Response curves showing 10 environmental variables affects the Maxent prediction. The curves show how the logistic prediction changes as each environmental variable is varied.

본 연구는 기존의 수원청개구리 서식지 연구와 유사한 결과를 보여주고 있다. 수원청개구리가 경작이 이루어지는 논에서 주로 번식하고 하천과 밀접한 관계를 가지고 있을 것이라는 추정(National Institute of Biological Resources, 2013)은 본 연구 결과를 통해서 공간적으로 확인되었다고 판단된다. 또한 논 면적이 1km² 이상일 때가 중요하다는 정보(Roh, 2013), 주변 토지피복 중 논이 중요하다는 부분, 산림과의 거리에 따른 서식지 여부(Kim *et al.*, 2012) 등은 기존 연구 결과를 보완하여 본 연구를 통해 도출된 중요한 특징이라 판단된다.

2. 수원청개구리 서식지 보전·관리 전략

양서류는 기후변화 및 환경변화로 인한 피해가 가장 직접적으로 나타나는 지표종 중 하나로써 현재 도시화로 인한 서식지 감소 등으로 인해 서식환경 지속적 악화되고 있는 것으로 알려져 있다(Lee, 2010; Roh *et al.*, 2014). 우리나라 고유종인 수원청개구리 역시 지속적인 서식지 감소로 개체수가 감소하는 것으로 추정된다(Roh *et al.*, 2014). 이러한 대표적인 지역이 수원청개구리가 최초로 발견되었던 수원시이다. 수원시는 과거에 황구지천을 중심으로 넓은 농경지가 분포하여 수원청개구리가 서식하기에 적합한 환경조건을 가지고 있었지만 택지개발, 산업단지 개발 등으로 지속적으로 농경지 면적이 감소하고 도로 등으로 파편화하고 있으며 자연형하천이 점차 사라지면서 최근 수원청개구리 서식환경이 악화되었다.

본 연구 결과를 통해 수원시에서 수원청개구리가 서식할 수 있는 지역은 총 3.95km²로 전체 면적의 약 3.25%인 것으로 분석되었다. 이 지역은 권선구를 관통하는 황구지천 주변 농경지와 영통구 태장동 일부 농경지였다. 구체적으로 권선구 입북동, 구운동, 금호동, 서둔동, 평동, 세류2동, 곡선동, 영통구 태장동 지역이 향후 수원청개구리 서식지 조사 및 모니터링 시 특히

중요하게 고려될 수 있는 지역이라 판단된다. 그러나 수원시에서 수원청개구리 서식환경이 크게 개선되기 어려운 상황임을 고려할 때, 수원청개구리를 보전하기 위한 노력은 수원시 개별적인 정책이 아닌 인접 지역과의 통합적 관리 전략이 요구된다.

수원청개구리에 대한 서식지 모형 연구는 아직 부족하므로, 다른 양서류 서식지 관리 측면에서 수원청개구리의 서식지 보전·관리 전략을 고민해볼 수 있다. 국내의 양서류에 대한 서식지 연구는 Park(1994), Oh and Hong(2007) 등 황소개구리, 붉은귀거북 등 특정 종의 개체수 분포 현황 등에 초점을 맞추거나 서식지 특성 연구에서도 비오톱 또는 계획지표 차원에서의 연구가 주를 이루어 모형에 가장 가까운 연구는 Shim *et al.*(2014)이라 할 수 있다. 국내의 양서류 관련 연구는 대상종의 분포를 파악하고 서식지 선호도를 분석하는 단계의 연구가 대부분이다. 따라서 향후 양서류 서식지 보전을 위해서는 이러한 기존 연구를 바탕으로 서식지 모형이 개발될 필요가 있다. 특히 양서류는 생활사에 따라 서식지가 크게 달라지므로 생활사에 대한 미소 생태계 선호도에 대한 연구가 추가되어야 한다. 수원청개구리 역시 번식기에 논을 이용한다는 것은 알려져 있지만 그 밖의 시기에 서식지 이용 연구는 아직 부족하다. 청개구리는 번식기 이외에도 산림지역, 논 등과 같은 경작지, 하천, 계곡, 습지, 초지 등 다양한 서식지를 이용하는 것으로 알려져 있는데(Lee *et al.*, 2012), 이러한 수준의 서식지 조사가 수원청개구리에 게도 필요하다. 해외에서는 이미 다양한 양서류를 대상으로 서식지 모형 연구가 진행되었으며(Davidson *et al.*, 2001), 양서류 서식지 관리 핸드북(Baker *et al.*, 2011) 등과 같은 가이드라인이 제공될 정도로 다양한 종별 서식지 연구가 진행되고 있다. 특히 Alix *et al.*(2014) 등의 연구에서는 대상지의 모든 양서류를 조사하여 종 분포모형을 개발하고 이를 통해 토지이용의 영

향을 파악하고 있으며, Engenbrod *et al.*(2008)은 도로의 영향, 산림의 감소 등의 구체적인 인자가 양서류 종풍부도에 어떠한 영향을 미치는지를 계량화하는 등 향후 우리나라에도 도입할 수 있는 구체적인 방법론을 제공하고 있다. 이러한 연구에서 공통적으로 언급하고 있는 것은 서식지 연구는 국지적인 대상지보다 광역적인 관찰을 통해 데이터가 수집될 필요가 있으며 (Davidson *et al.*, 2001), 이를 공간 분석과 연계할 때 서식지 보전·관리가 더 효과적이라는 것이다. 또한 경관 연결성 개념을 도입하여 메타개체군의 관점에서 서식지를 관리할 필요성이 있다고 설명하고 있다(Ficetola and De Bernardi, 2004). 이러한 측면에서 수원청개구리 서식지 보전·관리에도 유역단위 개념의 적용을 도입할 수 있을 것이라 판단된다.

실제로 야생동물 서식지 관리를 위해 유역단위 분석을 제안한 연구들이 다수 존재한다. Lee and Song(2008)은 삼 서식지 분석을 위해 유역단위 분석을 제안하였으며 Seo(2000)는 멧돼지 서식지 평가 결과를 유역단위로 적용하여 서식지 관리방안을 제안하였다. 이 외에도 Song and Kim(2013), Kwon *et al.*(2012), Ritters *et al.*(1997) 등과 같이 종분포모형 연구들은 분석 대상지로 유역단위를 설정하고 있다. 생태학적 관점에서 유역은 도시화 등과 같은 토지이용 변화의 영향을 받는 단위이며(Ministry of Environment, 2003), 야생동물의 행동권이 결정되는 범위이기도 하므로 유역단위 서식지 관리는 매우 효과적인 보전 단위라 판단된다.

수원청개구리는 이동성을 갖고 있는 야생동물이다. 특히 양서류의 특성상 물이 필요하고, 동면을 위한 공간이 필요한 만큼 서식지 보전·관리를 위해서는 유역단위 관리전략이 요구된다. 따라서 수원시뿐만 아니라 수원시와 동일하게 황구지천 유역에 분포하고 있는 화성시, 오산시, 평택시, 안성시, 천안시, 아산시 등 인접 지자체와 연계하여 수원청개구리 서식지 보

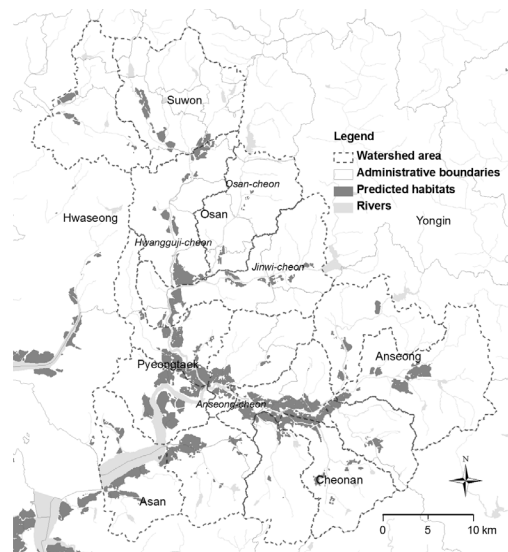


Figure 4. Proposed 「the Suwon tree frog habitat conservation network」.

전·관리 전략을 추진하는 방안을 제안할 수 있다. 수원청개구리 서식지 예측 지도는 수원시를 시작으로 황구지천, 오산천, 진위천으로 연결되는 「수원청개구리 서식지 보전 네트워크(가칭)」의 필요성을 제안하는 근거가 될 수 있다. 이 네트워크를 통해 해당 지역을 대상으로 환경, 생태, 시민, 사회, 행정 등 각 분야의 통합된 논의를 이끌어 내고 이를 토대로 서식지 보전 및 복원사업을 추진하는 방안을 제안한다. 수원시와 화성시, 평택시 등 황구지천과 진위천 유역이 연계된 지자체 네트워크가 잘 형성된다면 수원청개구리 서식지 보전·관리가 더 효과적으로 추진될 수 있을 것이라 기대된다(Figure 4). 유역단위 수원청개구리 서식지 보전·관리는 하천을 이동통로로 이용하여 유역 전체가 메타개체군으로 작용할 수 있다는 측면에서 장기적인 서식지 보전에 중요한 전략이라 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 종분포모형을 활용하여 기존의 환경공간정보를 활용하여 수원청개구리 서식지

도면을 도출하였다. 그러나 수원청개구리 서식지에 대한 정보가 충분하지 않은 만큼 수원청개구리 종분포모형 개발은 여러 한계를 가지고 있다. 첫째, 형태적으로, 서식지 이용 측면에서 청개구리와 유사하여 외형을 통해 동정하는 방법이 어렵다보니 조사 자료를 풍부하게 구축하는 것이 어렵다. 둘째, 수원청개구리의 생활사 특성에 따른 서식지 선호 특성에 대한 조사 자료가 부족하다. 경쟁관계에 있는 다른 종과 비교해서 서식지 선택에 어떠한 차이가 있는지, 또한 그 차이가 무엇인지에 대한 모니터링 연구가 필요하다. 셋째, 수원청개구리 서식을 결정하는 다양한 환경 요소들에 대한 기초조사 자료가 부족하다. 수원청개구리는 다른 양서류와 마찬가지로 제초제 등의 농약, 인공 콘크리트 농수로 등에 매우 취약할 것이라 예상되지만, 이러한 환경정보를 공간적으로 구축하는데 한계가 있다. 따라서 향후 장기적인 수원청개구리 서식지 보전·관리를 위해서는 수원청개구리가 생활사 전반에 걸쳐 이용하는 미소 서식환경에 대한 연구를 반영하여 종분포모형을 구축하고, 이 결과를 이용하여 서식지 모형을 개발할 필요가 있다. 또한 본 연구는 기계학습식 모형의 하나인 Maxent를 이용한 서식지 분석 연구로서 한계가 있으므로 향후 다양한 분석 방법론을 적용하여 최적의 예측 기법을 개발하는 것도 중요할 것이라 판단된다.

이러한 한계에도 불구하고 종분포모형을 활용하면 현재 존재하고 있는 조사 자료를 이용해서 서식가능성이 높은 지역을 분석하는 것이 가능하다. 본 연구를 통해 도출된 수원청개구리 서식지 도면은 그 자체의 완결된 연구 결과라기보다 이 자료를 토대로 향후 수원청개구리 서식지를 모니터링하고 새로운 서식지를 발굴할 수 있는 중간 결과물이 될 수 있을 것이다. 본 연구를 토대로 수원청개구리 서식지 보전을 위한 연구가 폭넓게 진행될 수 있을 것이라 기대된다.

감사의 글

수원청개구리 조사자료에 대한 보고서를 제공해주신 국립생물자원관과 수원환경운동센터 홍은화 선생님, 물살이연구소 손상호 선생님께 감사드립니다.

References

- Alix D. M. · C. J. Anderson · J. B. Grand and C. Guyer. 2014. Evaluating the Effects of Land Use on Headwater Wetland Amphibian Assemblages in Coastal Alabama. *Wetlands* 34: 917-926.
- Baker J. · T. Beebee · J. Buckley · T. Gent and D. Orchard. 2011. *Amphibian Habitat Management Handbook*. Amphibian and Reptile Conservation. Bournemouth.
- Cheong SW · Sung HC · Park DS and Park SR. 2009. Population Viability Analysis of a Gold-spotted Pond Frog (*Rana chosonica*) Population: Implications for Effective Conservation and Re-introduction. *Korean J. Environ. Biol.* 27(1): 73-81.
- Chun SW · Jung EG · I. Voloshina · Chong JR · Lee H and Min MS. 2012. Genetic Diversity of Korean Tree Frog (*Hyla suweonensis* and *Hyla japonica*): Assessed by Mitochondrial Cytochrome b Gene and Cytochrome Oxidase Subunit I Gene. *Korean Journal of Herpetology* 4: 31-41.
- Davidson C · H. B. Shaffer and M. R. Jennings. 2001. Declines of the California Red-Legged Frog: Climate, UV-B, Habitat, and Pesticides Hypotheses. *Ecological Applications* 11(2): 464-479.
- Eigenbrod F. · S. J. Hecnar and L. Fahrig. 2008. The relative effects of road traffic and forest

- cover on anuran populations. *Biological Conservation* 141: 35-46.
- Ficetola G. F. and F. De Benardi. 2004. Amphibians in a human-dominated landscape: the community structure is related to habitat features and isolation. *Biological Conservation* 119: 219-230.
- Franklin, J. 2009. Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press. UK.
- Jang YK · Hahm EH · Lee HJ · Park SY · Won YJ and Choe JC. 2011. Geographic Variation in Advertisement Calls in a Tree Frog Species: Gene Flow and Selection Hypotheses. *PLoS one* 6(8): 1-12.
- Kim IH · Son SH · Kang SW and Kim JB. 2012. Distribution and Habitat Characteristics of the Endangered Suweon-Tree Frog (*Hyla suweonensis*). *Korean Journal of Herpetology* 4: 15-22.
- Kuramoto, M. 1980. Mating Calls of Treefrogs (*Genus Hyla*) in the Far East, with Description of a New Species from Korea. *American Society of Ichthyologists and Herpetologists* 1: 100-108.
- Kwon HS · Seo CW and Park CH. 2012. Development of Species Distribution Models and Evaluation of Species Richness in Jirisan region. *Journal of the Korean Society for Geo-Spatial Information System* 20(3): 11-18.
- Lee DK and Song WK. 2008. A Study on the Analytic Unit of Habitat Suitability Assessment and Selection in Conservation Areas for Leopard Cat(*Prionailurus bengalensis*) - Focus on Chungcheong Province Area -. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 36(5): 64-72.
- Lee EY and Moon SK. 2011. Assessment of Characteristics and Functions of Abandoned Rice Paddy Wetlands as Habitats for the Amphibia within Land Development Districts. *J. Korean Env. Res. Tech.* 14(1): 35-42.
- Lee HW. 2010. A Study of Methodologies Assessing Species Susceptibility to Climate Change. Issue studies of Korea Environment Institute.
- Lee JH · Jang HJ and Seo JH. 2012. Ecological guide book of herpetofauna in Korea. National Institute of Environmental Research.
- Ministry of Environment. 2003. The Practice of Watershed Protection.
- Ministry of Environment. 2010. National Climate Change Adaptation Master Plan(2011~2015). National Institute of Biological Resources. 2013. Research on growth and restoration of endangered species Suwon tree frog.
- Oh HS and Hong CE. 2007. Current Conditions of Habitat for *Rana catesbeiana* and *Trachymys scripta elegans* Imported to Jeju-do, Including Proposed Management Plans. *Kor. J. Env. Eco.* 21(4): 311-317.
- Park BS. 1994. Study on the Amphibia Fauna in Tokyusan National Park - Effects of Amphibia Habitat by Large Construction Works -. *Korean J. Environ. Biol.* 7(2): 207-212.
- Phillips S. J. · R. P. Anderson and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- Riitters, K. H. · R. V. O'Neill and K. B. Jones. 1997. Assessing Habitat Suitability at Multiple Scales: A Landscape-level Approach. *Biological Conservation* 81: 191-202.
- Roh GA. 2013. Spatiotemporal distributions of the endangered treefrog, *Hyla suweonensis*, in relation to sympatric *H. japonica*: calling

- activity and habitat characteristics. M.A. thesis, Ewha Womans University.
- Roh GA · A. Borzée and Jang YK. 2014. Spatiotemporal distributions and habitat characteristics of the endangered treefrog, *Hyla suweonensis*, in relation to sympatric *H. japonica*. *Ecological Informatics* 24: 78-84.
- Seo CW. 2000. Wild boar (*Sus scrofa coreanus* Heude) habitat modeling using GIS and logistic regression. Ph.D dissertation, Seoul National University.
- Seo CW · Choi TY · Choi YS and Kim DY. 2008. A Study on Wildlife Habitat Suitability Modeling for Goral (*Nemorhaedus caudatus raddeanus*) in Seoraksan National Park. *J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 11(3): 28-38.
- Shim YJ · Cho DG · Park SH · Lee DJ · Seo Y H · Kim SH · Kim DH · Ko SB · Cha JY and Sung HC. 2014. Development of Habitat Suitability Index for Habitat Restoration of Narrow-mouth Frog (*Kaloula borealis*). *J. Korean Env. Res. Tech.* 17(2): 109-123.
- Smith, T. M. and R. L. Smith. 2009. *Elements of Ecology*. Seventh Edition. Person Education Inc.
- Song WK and Kim EY. 2012. A Comparison of Machine Learning Species Distribution Methods for Habitat Analysis of the Korea Water Deer (*Hydropotes inermis argyropus*). *Korean Journal of Remote Sensing* 28(1): 171-180.
- Song WK · Kim EY · Lee DK · Lee MJ and Jeon SW. 2013. The sensitivity of species distribution modeling to scale differences. *Ecological Modelling* 248: 113-118.
- Yang SY and Park BS. 1988. Speciation of the two species of the genus *Hyla* (Anura) in Korea. *Korean Journal of Zoology* 31: 11-20.
- Yang SY · Park BS and Son HJ. 1981. Species comparison of the genus *Hyla* in Korea. *Bull Institute Basic Science, Inha University* 2: 75-83.
- Yang SY · Min MS · Kim JB and Suh JH. 1997. Intra and Inter Specific Diversity and Speciation of Two Tree Frogs in the Genus *Hyla*. *Korean J. Genetics* 19(1): 71-87.
- Yoon SI · Park CJ · Bhan YH and Gye MC. 2008. Amphibian Biotope Planning to Research on Reproduction of *Bombina orientalis*. *Korean J. Environ. Biol.* 26(1): 22-29.
- Yu SL and HY Lee. 1990. Comparative karyological analysis of the Korean tree frogs, *Hyla japonica* and *Hyla suweonensis* (Anura, Hylidae). *Korean Journal of Zoology* 33: 1-5.
- <http://www.cbd-chm.go.kr/>
- <http://www.iucnredlist.org/>