

Research Paper

서식지적합성 모형을 이용한 수변지역 양서류 서식지 분석

정승규* · 서창완** · 윤재현* · 이동근*** · 박종훈*

서울대학교 농업생명과학연구원*, 국립생태원 기후생태연구실**, 서울대학교 조경지역시스템공학부***

A Study on Riparian Habitats for Amphibians Using Habitat Suitability Model

Seunggyu Jeong* · Changwan Seo** · Jaehyun Yoon* · Dong Kun Lee*** · Jonghoon Park*

Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University*

Department of Climate & Ecology, National Institute of Ecology**

Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, CALS, Seoul National University***

요약 : 본 연구는 수변지역에 서식하는 양서류 개별종에 적합한 서식환경변수를 구축하여 서식지적합성 모형을 적용하여 물리적 교란에 따른 양서류 분포 특성과 생태적 결정인자를 분석하였다. 2013년 3월부터 10월까지 강원도 횡성군과 원주시 섬강 일대를 대상으로 양서류 현장조사와 하천수변 조사를 하였다. 본 연구의 대상종으로는 그 지역의 양서류 중 우점종인 참개구리, 청개구리, 북방산개구리와 움개구리를 선정하였고, 임의 비출현 자료를 생성하여 로지스틱회귀모형을 적용하였다. 개별종의 분포모형의 특징으로는 참개구리는 식생의 거리와 자갈이 모형의 결과에서 선택되었으며, 청개구리는 농수로와 하천 폭에 좀 더 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 북방산 개구리와 움개구리는 비슷한 서식특성을 보여주었다. 움개구리는 연구지역 전체에 우점하고 있었는데, 광범위한 서식처 선호도와 관련이 있는 것으로 판단되었다. 대상종들의 분포모형을 합산한 종풍부도 결과에서 양서류는 산비탈과 계곡 또는 계류 사이를 왕복하는 특성을 나타내고 있었다. 본 연구에서는 서식지적합성 모형을 이용해서 서식환경특성을 정량적으로 분석하였으나, 먹이요소와 다른 생물과의 상호작용을 분석하는데 한계를 가지고 있다. 향후 조류 또는 어류의 밀도나 서식요소를 함께 분석한다면 생물학적인 환경인자와의 관계를 분석하는데 유리할 것으로 판단된다.

주요어 : 서식지적합성 모형, 양서류, 하천수변조사, 종풍부도

Abstract : The objective of this study was to analyze characteristics of distribution of amphibian species and the affecting ecological factors. For the study, habitat environment factors were determined and applied to a habitat suitability model for the data collected from the Seom River in Hoengseong County and Wonju City, Gangwon Province, Korea between March 2013 to October 2013. The analyzed amphibian species were *Rana nigromaculata*, *Hyla japonica*, *Rana dybowskii*, and *Rana rugosa Temminck and Schlegel*, and a logistic regression model was used with the pseudo-absence

data. The result of the model analysis suggests that the major factors for *Rana nigromaculata* are distance to vegetation and rock and that for *Hyla japonica* is waterway. *Rana dybowskii* and *Rana rugosa* Temminck and Schlegel have similar habitat characteristics, but the latter is shown to be dominant due to its wider habitat preference. According to the species richness model, the analyzed amphibian species are shown to have tendency to move between valleys or streams. This study quantitatively analyzed habitat environment characteristics using species distribution model, however, there is a limitation in terms of analysis on food factor and connectivity with other species. Combined with additional density or habitat analysis on birds or fish, this study can lead to more comprehensive analysis on biological environment factors.

Keywords : habitat suitability model, amphibian, river corridor survey, species richness

I. 서론

서식지 파괴와 단절의 문제는 생물다양성을 위협하고 메타개체군¹⁾의 멸종을 일으키는 가장 심각한 문제 중 하나로 대두되고 있으며, 이러한 문제는 인간의 활동과 토지이용의 변화에 기인한다. 인위적인 토지이용 변화로 발생한 서식처 손실로 인해 생물 다양성이 감소되고 있으며, 그러한 영향에 척추동물군 중 양서류가 가장 취약하며, 종수도 전 세계적으로 심각한 감소추세임이 보고되고 있다(Böhm *et al.*, 2013; Gibbons *et al.*, 2000). 이러한 주요원인 중 하나는 수변서식처의 파괴와 파편화이다(Frank *et al.*, 1998; Susan and Max, 1993). 양서류는 다른 척추동물에 비하여 미세한 서식지환경 변화에 민감하게 반응하는 특징을 가지는데(Alford and Richards, 1999; Beebee, 1997; Stebbins and Cohen, 1995), 생태적 습성과 생리적인 특성으로 인해 서식지가 단편화되거나 변형된다면 그들의 생존에 큰 위협을 받게 된다(Pough *et al.*, 2004). 이러한 이유로 양서류는 생태계의 건강성을 평가할 수 있는 유용한 생물지표 중으로 알려져 왔다(Cushman, 2006; Wilson and McCranie, 2003; Heyer *et al.*, 1994; Wyman, 1990).

양서류는 먹이사슬에 중요한 연결고리 역할을 하기 때문에 파편화로 인한 개체수의 감소는 생태계를 붕괴시킬 수 있어 보호 및 보전전략을 위해 정확한 분포현황과 보호지역을 위한 양질의 서식지를 파악하는 것이 중요하다(Moilan and Nieminen, 2002;

Ray *et al.*, 2002; Knutson *et al.*, 1999). 최근 우리나라는 하천정비사업으로 인해 수변의 치수, 친수 및 이수시설의 증가와 수변서식처의 교란으로 서식처 감소가 지속되고 있지만, 양서류에 대한 보전이나 복원을 위한 정량적인 연구는 미흡하다.

이러한 수변서식처를 보전하기 위해서 개체군의 분포에 영향을 미치는 생태적인 결정 요인과 서식에 대한 분포 패턴을 파악하는 것은 중요하다(Chen, 2013; Ji and Jeske, 2000). 그러나 종의 분포를 파악함에 있어서 단순히 현장조사에 기반한 종의 분포(김종범, 2009; 양서영 등, 2001)와 종의 분류(송재영과 이인수, 2009), 서식지 기능평가(정영선, 2009)와 같이 단순히 Shannon-Weber index(Zahl, 1977)에 기반한 평가와 주관적인 서식지 기능평가가 있어 대상지의 개체군 특성을 반영하는 것에는 무리가 있었다(정승규, 2014). 이를 보완하기 위하여 발전된 GIS기술과 수학적 모형을 연동시킨 서식지적합성 모형을 활용하는 연구들이 보고되고 있으며(Araujo and Guisan, 2006; Guisan and Thuiller, 2005; Austin, 2002; Stockwell and Peterson, 2002), 이러한 서식지적합성 모형을 이용하여 종풍부도를 추정하는 방법이 선호되고 있다(김지연 등, 2012; 서창완 등, 2008; Spellerberg and Fedor, 2003). 주로 연구된 생물종으로는 곤충(이철민 등, 2012; 권태성 등, 2009; 기경자와 최세웅, 2004)이

1) 같은 장소에 작은 여러 개체군이 모여 생장과 소멸을 반복하면서 남아있는 개체군을 말한다(McCullough, 1996).

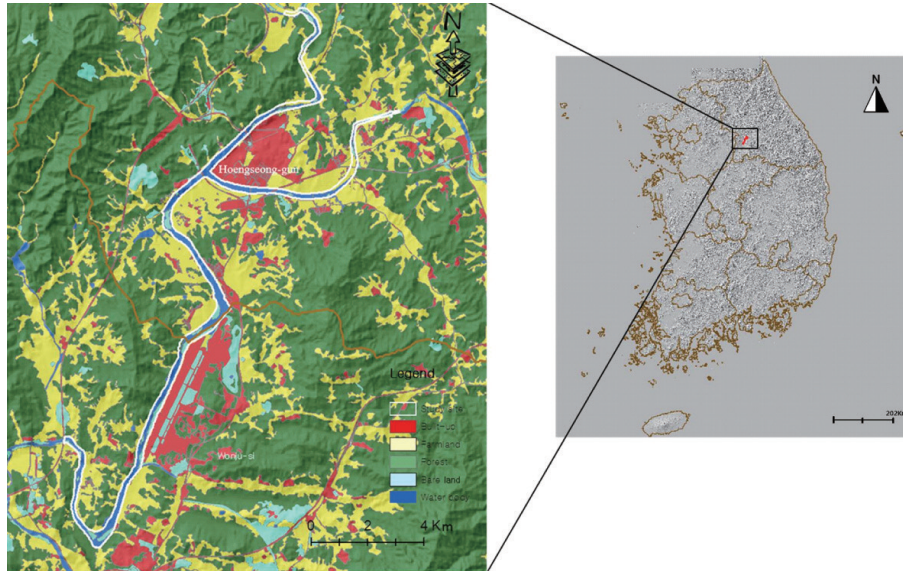


Figure 1. Study site

나 수생동물(강태한 등, 2008; 강다형 등, 1995), 남생이(김수련 등, 2013), 산림서식 포유류와 조류(권혁수 등, 2012) 등이었으나, 국내외적으로 수변지역을 대상으로 양서류의 분포와 그들의 서식환경을 정량적으로 해석한 연구는 다른 척추동물에 비해 부족하였다.

따라서 본 연구는 강원도 횡성군의 섬강을 대상으로 양서류 개별종의 서식지적합성 모형을 개발하여 수변지역의 물리적 교란에 따른 양서류 분포 특성과 생태적 결정인자를 분석하고자 한다. 이를 통해 서식환경에 따른 분포 특성의 관계를 정량적으로 해석하고, 잠재적인 핵심서식지를 확인하여 향후 수변의 보호지역 설정에 활용하고자 한다.

II. 연구대상지 및 자료의 구축

1) 연구대상지

연구대상지는 강원도 횡성군과 원주시를 관통하는 섬강과 전천을 대상으로 하였다. 섬강은 백두대간인 치악산과 인접해 있으며, 최근 4대강 살리기 섬강 13공구 구간으로 수변에 치수, 이수, 친수 공간조성으로 서식지 교란이 일어나고 있지만 서식지 보전을 위한 계획은 없는 실정이다. 또한, 이 지역은 횡성한우

축제와 원주~강릉간 평창KTX역 설치와 같은 인프라시설의 구축으로 지속적인 개발 압력이 있는 지역이다.

2) 현장조사 및 자료의 구축

양서류의 현장 조사는 2013년 3월부터 2013년 10월까지 봄, 여름, 가을에 걸쳐 월 1회 실시 되었으며, 군집 조사는 선형횡단조사법(line transect sampling)을 적용하여 Figure 2의 범위와 같이 다양한 피복형태와 서식처 유형을 고려하여 27km의 조사범위를 설정했으며, 경로를 따라 이동하며 좌우 1m의 지면에서 출현한 모든 종을 확인하였다(Urbina-Cardon *et al.*, 2006).

선형횡단조사법은 경사가 급한 산악지역이나 혹은 저지대의 계곡 주변, 고지대의 산림지역 등에서 서식하고 있는 생물상을 조사하는 데 가장 적합한 방법으로 알려져 있다(Heyer *et al.*, 1994). 선형횡단 조사법을 적용하여 관찰하거나 소리 등으로 확인하는 방법을 병행하고 GPS를 이용하여 Table 1처럼 종을 기록하였다. 조사에서는 3과 6종이 발견되었으며, 주로 무미목의 개구리과 등이 우점하고 있었다. 서식지적합성 모형을 수행하기 위해서는 최소 발견지점이 7개 이상이 되어야 유의미한 결과가 도출되는데(권

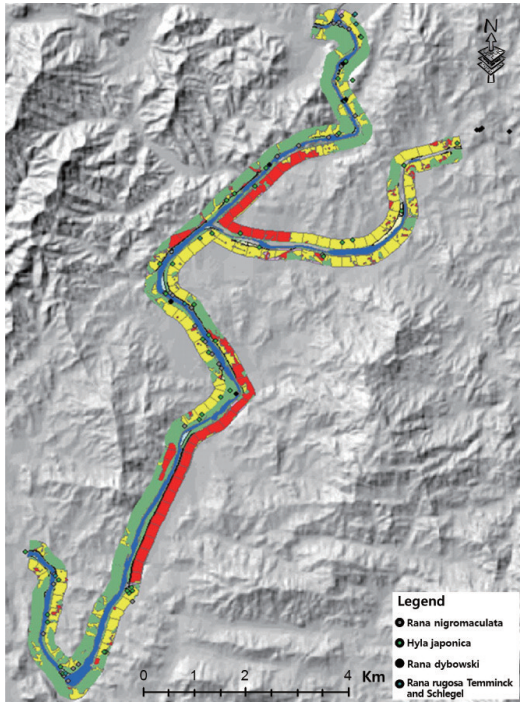


Figure 2. Field survey

혁수, 2011). 이에 발견흔적이 7개 이상인 청개구리 (*Hyla japonica*), 북방산개구리(*Rana dybowskii*), 참개구리(*Rana nigromaculata*), 옴개구리(*Rana rugosa*)를 대상으로 임의 비출현 자료를 생성하여 서식지적합성 모형에 적용하였다.

양서류는 대부분은 습기가 많은 서식 환경을 선호 하지만 높은 산지의 계곡부터 낮은 구릉, 평야나 하천, 인가 주변 등 각 종의 고유한 서식환경에 적응해 왔다(이정현 등, 2011; 김종범과 송재영, 2010; 계명찬, 2003; 심재한, 2001; 양서영 등, 2001). 이러한 서식지 선택에 영향을 미치는 환경 변수를 찾기 위해 목표종에 대한 국내 서식지 관련논문을 찾아 서식지에 대한 변수를 Table 2와 같이 선정하였다. 또한, 기존의 많은 서식지적합성 모형들은 주로 광역서식지 차원에서 이루어져 있기 때문에 중소서식지나 미소서식지의 특성을 가지는 수변에 광역적인 환경변수를 적용하는 것은 부적합하다(노백호 등, 2010). 이에 본 연구에서는 수변의 인위적인 교란에 대한 정

Table 1. Result of field survey

	Spring season			Summer season			Autumn season		Total
	3	4	5	6	7	8	9	10	
<i>Hynobius leechii</i>	2	1							3
<i>Hyla japonica</i>	11	40+	1+	4+	5+	7+	11	3	82+
<i>Rana coreana</i>	2								2
<i>Rana dybowskii</i>	4+	1200+	1+						1205+
<i>Rana nigromaculata</i>	4	26+	7+		6	3	13	2	61
<i>Rana rugosa Temminck and Schlegel</i>			3+	2	1	1	3	2	12+
<i>Number of observed species</i>	23+	1,267+	12+	6+	12+	11+	27	7	1365+

+: Estimated result based on noise analysis

Table 2. Environmental variables

Species	Habitat variables	Environmental variable	Data source
<i>Rana nigromaculata</i>	Rice paddy, Waterway for irrigation, wetlands, grass (이정현 등, 2011; 양서영 등, 2001)	<ul style="list-style-type: none"> • Land cover map (built-up, rice paddy, dry field) • Distance to land cover • Stream width • Distance to tributary • Embankment type • Adjacent land cover • Substrate (rock, sand, gravel) • Waterway for irrigation 	River corridor survey
<i>Hyla japonica</i>	Lowland, grass land, shrub, forest, rice paddy (송재영, 2010; 심재한, 2001; 양서영 등, 2001)		
<i>Rana dybowskii</i>	Riffle, Grass land, Rice paddy, low-marsh (김종범과 송재영, 2010; 계명찬, 2003; 심재한, 2001)		
<i>Rana rugosa Temminck and Schlegel</i>	Riffle, Rock, Stream, Grass land, Rice paddy, Low-mars (김종범과 송재영, 2010; 계명찬, 2003; 심재한, 2001)		

도를 정량화하여 평가하는데 효과적인 하천수변조사 방법을 이용하여 양서류의 미소서식 환경변수를 Table 2와 같이 공간자료를 구축하고 서식지적합성 모형에 적용하였다.

3) 서식지적합성 모형

종 분포와 그들의 서식환경을 정량화하는 것은 생태학분야에서 오랜 역사를 가지고 있다. 서식지적합성 모형은 서식지를 예측하고 영향 요인들을 정량화하는데 광범위하게 이용하고 있다(Rushton *et al.*, 2004). 서식지적합성 모형은 환경적 변수를 적용할 때 종의 잠재적인 분포를 예측할 수 있으며, 예측지도와 종분포 공간 예측 등 다양한 단어로 표현하고 있다(Franklin, 2010). 서식지적합성 분석 중 로지스틱회귀모형(Logistic Regression)은 연속형과 범주형 자료를 다 포함시킬 수 있으며, 자료의 통계적인 가정이 덜 제약적이고 출현 및 비출현자료를 이용할 수 있는 장점을 가지고 있다(송원경 등, 2013; 서창완과 박종화, 2000). 또한 모형 내에서 다른 변수의 효과를 조절할 수 있기 때문에 특정변수의 실제적인 효과를 측정하는데 유용하다(송원경 등, 2013; Hosmer and Lemeshow, 1989). 이러한 특징은 수변의 물리적인 영향에 대한 양서류의 미소서식지에 대한 평가를 정량적으로 측정하는데 가장 적합하다.

따라서 양서류의 서식지분석과 영향의 요인들을 정량화하기 위해 로지스틱회귀모형과 종들에 대한 해석에서 유리한 장점이 있는 개별종에 대한 분포모형을 합산하여 종풍부도를 계산하였다(권혁수, 2011; Newbold *et al.*, 2010). 환경변수의 유의성 검증은 불필요한 변수를 단계적으로 선택과 제거를 반복하여 모형에 포함될 독립변수의 상관성에 강한 예측력을 갖는 Backward Stepwise 방식을 이용하였다(Hosmer and Lemeshow, 1989). 일반적인 통계분

석에서는 0.05를 기준으로 통계적 유의성을 판단하나 이 기준으로 로지스틱회귀모형을 결정하면 중요한 변수들이 누락될 가능성이 높기 때문에 기준을 조정하여 $p\text{-value} < 0.25$ 의 변수를 선정한다(서창완과 박종화, 2000; Manen and Pelton, 1997). 본 연구에서도 $p\text{-value} < 0.25$ 의 기준을 적용하여 환경변수를 선정하였다. Backward Stepwise 모형의 선택은 $P\text{-value} 0.25$ 를 만족하는 모형을 선택하였다.

모형의 전체유의성은 -2Log L 통해서 검증을 하였으며, 모형의 예측 효율성을 판단하는 지표 중 하나인 ROC(Receiver Operation Characteristic)곡선의 AUC(Area Under Curve) 면적을 통해 검증하였다. ROC 곡선은 모형의 예측 효율성을 판단하는 기준으로 민감도와 특이도를 이용해서 실제로 얼마나 잘 분류되었는지 파악하는 것이며, 민감도는 클수록 좋고 특이도는 작을수록 좋다. ROC 곡선의 AUC 면적이 1에 가까울수록 모형의 설명력이 높은 것으로 판단한다(정승규 등, 2015; 이희연과 노승철, 2012).

서식처의 분석단위는 수변의 주변 환경과 하천의 서식처 유형, 유속, 깊이, 주변 제방 종류와 같이 서식처 유형과 주변 환경의 동질성과 '수생태 건강성을 위한 수변서식 조사지침'을 참고하여 250m로 설정하였다.

III. 결과 및 고찰

양서류는 현지조사에서 수변에서는 6종이 발견되었으며, 발견흔적이 7개 이상인 4개의 종을 대상으로 임의 비출현 자료를 생성하고 로지스틱회귀모형을 이용하여 서식지적합성 모형을 구축하였다. 참개구리의 서식지적합성 모형에서 ROC 곡선의 AUC는 Table 3처럼 0.77로 유의하게 나왔다. Phillips and Dudik (2008)은 AUC값이 약 0.7이상일 때, 모형이

Table 3. Results of binary logistic regression analysis of *Rana nigromaculata*

Specie	Habitat variables	B	Sig	Exp(b)	ROC	Cut off
<i>Rana nigromaculata</i>	Distance to vegetation	-0.001	0.265	0.999	0.77	0.25
	Vegetation in adjacent areas (%)	-0.048	0.025	0.953		
	Rock	1.949	0.107	7.019		

Table 4. Results of binary logistic regression analysis of *Hyla japonica*

Specie	Habitat variables	B	Sig	Exp(b)	ROC	Cut off
<i>Hyla japonica</i>	Distance to vegetation	-0.029	0.247	0.971	0.75	0.27
	Rock	1.124	0.143	3.076		
	Stream width	-0.016	0.165	0.984		
	Waterway for irrigation	0.925	0.193	2.522		

설명하는 잠재력이 의미를 갖는다고 판단하였으며, 이에 본 모형의 설명력은 적합한 것으로 나타났다. 모형에서 선택된 변수를 살펴보면 식생과의 거리가 가까울수록, 인접지역의 식생면적 비율이 높을수록, 수변의 바위가 많을수록 상관성이 높았다.

참개구리의 서식환경은 주로 논, 밭고랑, 논둑, 농수로, 하천 주변으로의 초지와 낙엽, 산림지역의 밭 주변과 산지습지에 서식하는 특성을 가진다(이정현 등, 2011; 김종범과 송재영, 20110; 심재한, 2001; 양서영 등, 2001). 현지조사에서는 버드나무군락과 초지가 넓게 분포하는 곳에서 주로 서식하는 것으로 확인되었으며, 산지 숲 가장자리의 초지지역에서는 청음 또는 육안으로 관찰되었는데, 모형은 이러한 생

태적 특성을 잘 반영하는 것으로 판단된다.

참개구리의 서식지적합성 모형에서 도출된 서식지적합성 지도인 Figure 3을 살펴보면 연구대상지에서는 주로 황성군의 상류(A)구간의 농경지와 인접해 있거나 산림의 지류가 수변까지 연결된 구간들이 서식 적합도가 대부분 높게 나왔다. B지점인 전천과 C지점의 황성 오수처리장 인근은 서식 적합도가 낮게 나왔다. 현장조사 결과 적합도가 높은 지점들은 바위가 많고 여울과 다양한 수변식생이 분포하는 것을 확인하였으며, 낮은 지점들은 수변에 체육시설물과 인공 지반으로 되어있었으며, 콘크리트 제방으로 양안이 이루어진 곳이 많았다.

참개구리 서식지적합성 모형 결과에서는 AUC 변

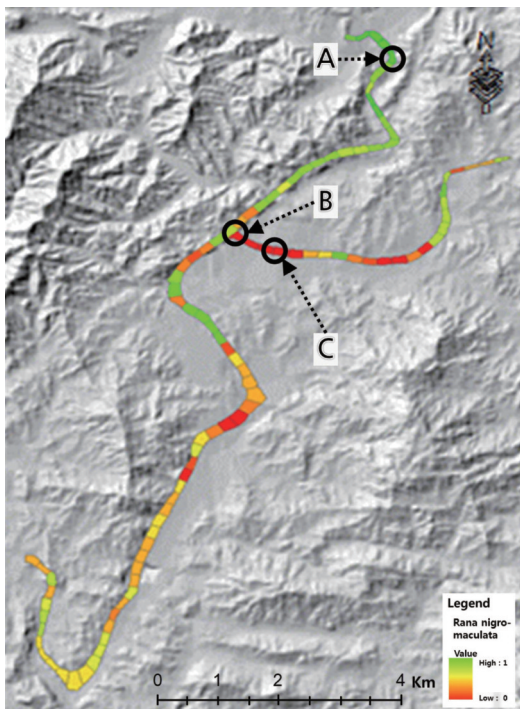


Figure 3. Habitat suitability map for *Rana nigromaculata*

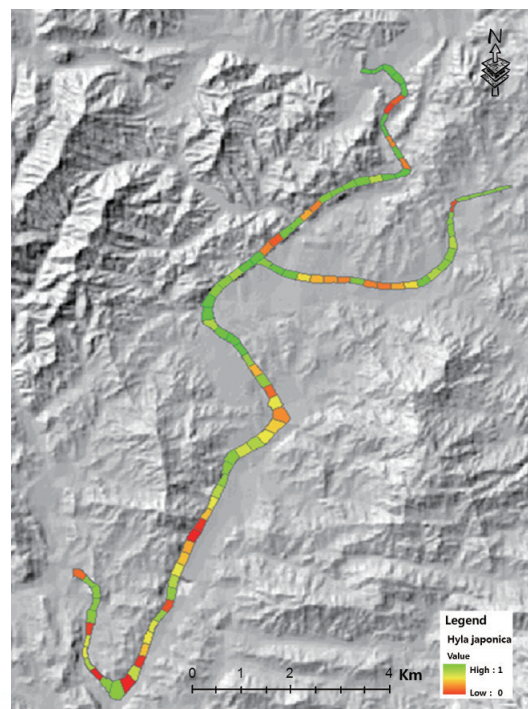


Figure 4. Habitat suitability map for *Hyla japonica*

Table 5. Results of binary logistic regression analysis of *Rana dybowskii* and *Rana rugosa* Temminck and Schlegel

Specie	Habitat variables	B	Sig	Exp(b)	ROC	Cut off
<i>Rana dybowskii</i>	Rock	4.488	0.109	88.954	0.91	0.21
	Distance to tributary	-0.013	0.184	0.987		
	Waterway for irrigation	-3.610	0.191	0.027		
<i>Rana rugosa</i> Temminck and Schlegel	Riparian farmland (%)	-2.526	0.231	0.080	0.95	0.26
	rice paddy in adjacent areas (%)	0.102	0.104	1.107		
	Waterway for irrigation	3.272	0.171	26.359		
	Rock	4.257	0.107	70.629		

적은 Table 4처럼 0.75로 높은 정확도를 보여주고 있으며, 참개구리와 달리 참개구리는 농수로와 하천 폭이 변수로 선택되었다.

청개구리는 서식환경은 저지대, 낮은 야산, 풀위, 관목림, 논, 습원, 저습지, 나무밀동(김종범과 송재영, 2010; 송재영, 2010; 심재한, 2001; 양서영 등, 2001)을 선호하는 것으로 알려져 있으며, 본 연구에서는 하천 폭과 농수로가 주요 서식환경 변수로 선택되었다. 이는 농수로를 따라서 수변의 주변지역으로 이동과 하천폭의 영향을 받아 종 다양도가 높아지는데 (Phochayavanich *et al.*, 2010), 이러한 환경특성이 서식지적합성 모형에 반영된 것으로 보인다.

Figure 4의 청개구리의 서식지적합성지도에서 적합도가 떨어지는 지점들은 황성읍의 시가지지역 인근과 전천의 체육공원으로 이러한 지점은 수변림이 거의 없거나 자전거 도로와 산책로가 조성되어 있고 콘크리트제방으로 조성되는 있는 것이 특징이었다. 반면 적합도가 높게 나오는 지점들은 자연제방과 수변림이 잘 조성되어 있으며, 수변주변은 자연토지피복인 산림 및 농경지가 인접해 있는 지역으로 주로 상류구간과 전천과 섬강의 합류지점으로 분석되었다. 전반적으로 청개구리는 참개구리에 비해서 서식지가 고르고 넓게 분포되어 있는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 특정 서식환경에 덜 민감하게 반응하는 것으로 볼 수 있었다.

북방산 개구리와 옴개구리의 서식지적합성 모형 결과 AUC면적은 Table 5처럼 각각 0.91과 0.95로 나타났다. 북방산 개구리의 선택변수는 바위, 지류와의 거리, 농수로 및 수변의 농경지가 선택되었다. 북방산개구리는 하천, 산간에 살다가 논, 저습지로 내

려와 산란하는(이정현 등, 2011)하는 서식특징을 모형의 보여주고 있으며, 지류와 거리, 바위 및 농수로와 같은 미소서식지가 추가로 선택되었다.

옴개구리의 선택변수는 Table 5와 같이 수변인접 지역의 논 면적, 농수로, 바위가 선택되었다. 옴개구리는 하상이 돌로 이루어진 중·상류 여울과 풀숲, 물가, 도랑, 하천, 논, 저습지의 환경을 선호하는데 (계명찬, 2003; 심재한, 2001; 양서영 등, 2001), 이러한 서식환경이 모형에 반영된 것으로 보인다. 특히, 모형의 결과에서 옴개구리는 농경지 면적이 적을수록 서식지 적합도가 높은 것으로 나왔는데, 이는 제조제 등 농약의 대량살포가 올챙이에서 성체로 변태하는 성장 시기와 겹치게 되어 멸절에 이르게 하며, 살충제 살포는 또한 옴개구리의 먹이인 곤충까지 전멸시키므로 이러한 영향을 추정할 수 있었다. 이처럼 선행연구결과와 비슷한 특징을 보이지만 수변에서는 미소서식지에 관한 환경변수 사용에 따라 모형에서 서로 다른 서식환경의 특징을 보여주는 것으로 판단된다.

북방산 개구리와 옴개구리의 서식지적합성 지도인 Figure 5의 결과 중 우측 옴개구리의 서식지적합도는 전반적으로 높은 것으로 나타났으나 이에 비해 Figure 5의 결과 중 좌측 북방산 개구리 서식지적합도는 다소 많은 지점에서 떨어지는 것을 보여주고 있다. 이러한 차이는 옴개구리는 광범위한 서식처 선호도와 관련이 있는 것으로 판단되며, 북방산 개구리는 산지에서 서식하고 계곡, 하천에서 동면하며 논에서 번식하는데, 하천정비공사에 의해 설치된 인공제방과 같은 수변의 시설들이 서식지 분포에 영향을 주고 있는 것으로 보인다.

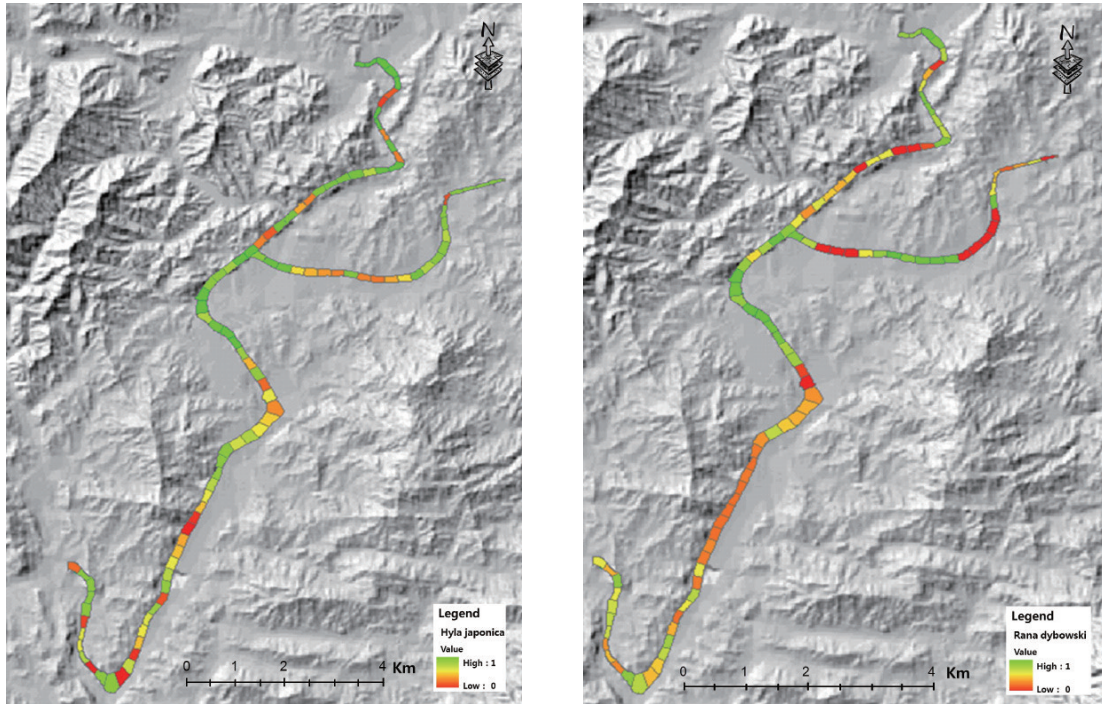


Figure 5. Habitat suitability map for *Rana dybowskii*(left) and *Rana rugosa*(right)

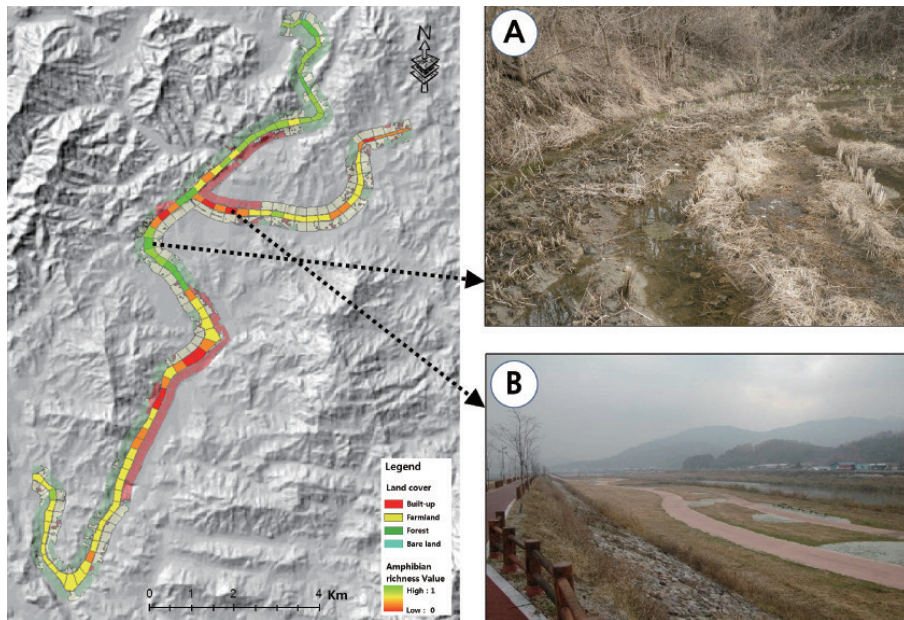


Figure 6. Amphibian richness in riparian habitat

4) 양서류 종풍부도

참개구리, 청개구리, 북방산개구리, 움개구리 등 총 4개의 대상종들의 개별분포 모형을 합산하여

Figure 6와 같이 종풍부도 지도를 도출하였다. 종풍부도 결과를 살펴보면 수변에서는 섬강과 전천이 합류하는 지점과 수변 주변의 토지피복이 농경지 또는

산림에 인접해 있는 A지점이 종풍부도가 높았다. 이는 양서류에게는 모래, 자갈과 인접지역의 농경지 비율이 높은 것은 부유물질에 의한 먹이자원과 무미목의 서식처로 이용되는데(이정현 등, 2011), 기존의 연구결과를 잘 반영하는 것으로 보이며, 현장조사에서도 종풍부도가 높은 지점들은 무미목의 울창도와 알들을 Figure 6처럼 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 무미목 양서류의 특징인 산비탈과 계곡 또는 계류 사이를 왕복하는 특성을 나타내는 것으로 보이며(계명찬, 2003) 모형의 결과는 양서류의 전반적인 서식환경을 잘 반영한 것으로 보인다. 반면 종풍부도가 낮은 지점들은 시가지지역에서 가깝고 지류 또는 농수로박스가 없는 곳으로 확인되었다. 이 지점들의 특성은 수변에 인접하는 식생과 농경지의 비율이 낮고, 취락지역의 밀도가 높으며, Figure 6의 B지점처럼 수변의 공원 또는 자전거 도로가 설치되었으므로, 인위적인 간섭에 가장 노출이 심한 곳으로 판단된다. 이런 지점들은 양서류의 산란이나 동면을 위한 장소로는 적합하지 않아 서식처로서 환경조건이 가장 열악한 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 양서류를 대상으로 서식지적합성 모형을 이용하여 미소서식지의 특성과 환경인자를 정량적으로 분석하였다. 기존의 서식지적합성 모형에서는 개별종 또는 출현자료만을 대상으로 하거나 분석 자료는 대부분 광역서식지 차원에서 이루어져 있기 때문에 미소서식지의 특성을 갖는 수변에 적용하는데 한계가 있었다. 따라서 본 논문에서 적용한 서식지적합성 모형은 앞선 방법론을 단점들을 개선하고 미소서식지의 환경특성을 가지는 수변지역의 양서류에 대한 서식지의 특성을 가장 잘 반영하고 서식에 영향을 주는 요인들에 대해서 정량적인 분석방법으로 차별점을 갖는다. 특히, 기존의 수변공간을 대상으로 한 평가에서는 단순하게 하천 또는 수계와 같이 단편적인 공간의 접근에서 다양한 미소서식공간에 대한 유형을 제시한 것으로 의의를 가진다.

분석된 서식지분석의 변수들과 모형 결과는 국내

외 연구의 서식지특성 결과를 비교하여 분석의 타당성을 입증하였다. 기존 연구결과 및 도감 등 많은 문헌에서 서술한 서식환경과 유사한 특성을 보여주고 있었으며, 수변지역의 서식환경을 반영하여 지류와의 거리, 바위, 농수로와 같은 미소서식환경 변수들이 선택되었다. 수변의 종풍부도는 섬강과 전천이 만나는 지점이 가장 높았다. 이는 해당지점에서 각 종의 서식지가 중복되는 것으로 추정할 수 있었으며, 섬강 주변으로는 농경지와 연결된 산림과 자연재방지역이 종 풍부도가 높은 것을 확인할 수 있었다. 반면에 체육공원이 조성된 전천이나 콘크리트 인공제방 구간들은 양서류의 종풍부도가 낮은 것으로 분석되었다. 이와 같이 수변 내 지류, 바위, 식생, 농경지와 같은 자연스러운 토지피복과 농수로와 같은 인위적인 토지피복이 양서류가 공통적으로 선호하는 중요한 서식환경으로 선택되었다. 하천정비공사로 인해 영향을 받는 양서류의 서식지 보호를 위해서는 수변 내에 이동이나 서식을 위한 징검다리 역할을 할 수 있는 습지 조성이나 이동을 위한 횡단 언더패스형 생태통로 조성을 통해서 수변에서 제내지와 제외지간 연결성의 극대화가 필요할 것으로 보인다.

연구의 결과는 수변의 생물다양성이 가장 높은 지역(Hotspot)을 선정하거나 보호지역계획의 경계 설정을 위한 기초자료로 활용될 수 있다. 지금까지 수변에 대한 서식지 평가는 대부분의 물리적 및 수문학적인 요소가 기준이 되었으며 일부 동물서식지를 고려한 평가가 진행되고 있지만 수변지역에 대한 양서류의 미소서식지의 특성에 대한 연구는 미흡한 실정이었다. 본 연구에서 제시한 결과를 이용한다면 하천정비공사 전에 실시되는 환경영향평가의 과정에서 고려하여 사전에 보호하고, 보전해야 할 지점을 보다 정확하게 알 수 있으며, 이미 훼손된 하천에 대하여 생태적 기능회복을 부여하고자 환경영향평가를 진행함에 있어 어느 지점의 복원이 더 경제적으로, 시간적으로 효과적인지 제시할 수 있을 것이다.

사사

본 연구는 환경부 “기후변화대응 환경기술개발사

업(과제번호: 2014001310010)”, “산림청(과제번호: 2014-0567-01)”으로 지원받은 과제임.

인용문헌

- 강다형, 전태수, 박영석. 1995. 수영강의 수영천 및 석대천의 저서성 대형무척추동물의 부수성에 따른 월별 군집 변이, 한국생태학회지, 18(1), 157-177.
- 강영선, 윤일병. 1975. 한국동·식물도감 제17권 동물편 (양서·파충류, 삼화인쇄소, 서울, 191.
- 강태한, 유승화, 이시완, 최옥인, 이종빈. 2008. 전라남도 무안만에 도래하는 수조류의 서식지 이용 및 갯벌등급 평가, 한국환경생태학회지, 22(5), 521-529.
- 기경자, 최세웅. 2004. 목포 유달산에서의 나비 개체군 동태에 관한 연구, 환경생물학회지(환경생물), 22(1), 35-42.
- 김수련, 이지현, 송재영, 장민호, 성현찬, 조동길. 2013. 남생이 서식처 복원을 위한 서식처 모형 연구, 한국복원녹화기술학회지, 16(2), 115-125.
- 김종범, 송재영. 2010. 한국의 양서파충류, 서울: 월드사이언스.
- 김종범. 2009. 한국산 양서류의 분류목록과 분포상, 한국양서·파충류학회지, 1(1), 1-13.
- 김지연, 서창완, 권혁수, 류지은, 김명진. 2012. 전국자연환경조사 자료를 이용한 종분포모형 연구, 환경영향평가, 21(4), 593-607.
- 계명찬. 2003. 명지산 일대의 양서류, 환경생물학회지, 21(2), 203-207.
- 권태성, 변봉규, 이봉우, 이지영, 손정달, 강승호, 김영걸. 2009. 광릉 숲 나비군집의 종풍부도 산정, 한국응용곤충학회지, 48(4), 439-445.
- 권혁수, 서창완, 박종화. 2012. 지리산 지역의 생물종 분포모형 구축 및 종풍부도 평가, 한국지형공간정보학회지, 20(3), 11-18.
- 권혁수. 2011. 보호지역계획을 위한 생물다양성 통합평가모형: 지리산과 덕유산, 가야산 권역을 중심으로, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 노백호, 윤정호, 최준규, 이석원, 서현지. 2010. 법정보호 야생조류의 서식환경 평가방안, 기본연구보고서, 2010(단일호), 1-215.
- 서창완, 박유리, 최윤수. 2008. 위치자료의 종류에 따른 생물종 분포모형 비교 연구, 한국지형공간정보학회지, 16(4), 59-64.
- 서창완, 박종화. 2000. GIS 와 로지스틱 회귀분석을 이용한 멧돼지 서식지 모형 개발, 한국 GIS 학회지, 8(1), 85-99.
- 송원경, 김은영, 이동근. 2013. 통계모형을 활용한 박새류의 서식지 연결성 평가: 서울시 도시생태현황도 자료를 중심으로, 환경영향평가, 22(3), 119-130.
- 송재영. 2010. 백두대간 내 국립공원의 양서·파충류상, 국립공원연구지, 1(3), 216-219.
- 송재영, 이인수. 2009. 한국산 양서류의 고도별 분포, 한국양서·파충류학회지, 1(1), 15-19.
- 심재한. 2001. 생명을 노래하는 개구리, 서울: 다른 세상.
- 양서영, 김종범, 민미숙, 서재화, 강영진. 2001. 한국의 양서류, 서울: 아카데미서적.
- 이정현, 정환진, 서재화. 2011. 한국 양서·파충류 생태도감, 인천: 국립환경과학원.
- 이철민, 권태성, 박영규, 김병우. 2012. 산불지에서 절지동물 포식자(거미목, 딱정벌레과, 반날개과와 개미과)의 군집구조, 종풍부도 및 풍부도에 대한 교란강도의 영향, 한국임학회지, 101(3), 488-500.
- 이희연, 노승철. 2012. 고급통계분석론, 파주: 법문사.
- 정승규. 2014. 수변코리더연결성평가모형(RHSM), 서울대학교 박사학위 논문.
- 정승규, 이화수, 박종훈, 이동근, 박종화, 서창완. 2015. MaxEnt 모형과 고라니의 이동행태를 고려한 수변지역 이동통로 적지선정, 한국지형공간정보학회지, 23(1), 101-111.
- 정영선. 2009. 습지를 기반으로 하는 야생동물 대

- 체서식지 계획 모형: 군포시 당동 신기마을 맹꽁이 서식처를 사례로, 상명대학교 대학원 박사학위논문.
- Alford RA, Richards SJ. 1999. Global amphibian declines: a problem in applied ecology, *Annual review of Ecology and Systematics*, 133-165.
- Araujo MB, Guisan A. 2006. Five (or so) challenges for species distribution modelling, *Journal of Biogeography*, 33(10), 1677-1688.
- Austin MP. 2002. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling, *Ecological modelling*, 157(2), 101-118.
- Beebee TJ. 1997. Changes in dewpond numbers and amphibian diversity over 20 years on chalk downland in Sussex, England. *Biological Conservation*, 81(3), 215-219.
- Chen Y. 2013. Habitat suitability modeling of amphibian species in southern and central China: environmental correlates and potential richness mapping, *Science China Life Sciences*, 56(5), 476-484.
- Cushman SA. 2006. Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: a review and prospectus, *Biological conservation*, 128(2), 231-240.
- Frank TB, Christopher AP, Edward JH. 1998. A riparian zone in southern Illinois as a potential dispersal corridor for reptiles and amphibians, *Biological Conservation*, 86(2), 107-115.
- Franklin J. 2010. Mapping species distributions: spatial inference and prediction, Cambridge University Press.
- Gibbons JW, Scott DE, Ryan TJ, Buhlmann KA, Tuberville TD, Metts BS, Winne CT. 2000. The Global Decline of Reptiles, Déjà Vu Amphibians Reptile species are declining on a global scale. Six significant threats to reptile populations are habitat loss and degradation, introduced invasive species, environmental pollution, disease, unsustainable use, and global climate change, *BioScience*, 50(8), 653-666.
- Guisan A, Thuiller W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models, *Ecology letters*, 8(9), 993-1009.
- Heyer WR, Donnelly MA, McDiarmid RW, Hayek LAC, Foster MS. 1994. Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for amphibians, Smithsonian Institution Press.
- Hosmer DW, Lemeshow S. 1989. Applied logistic regression, New York: Johns Wiley & Sons.
- Ji W, Jeske C. 2000. Spatial modeling of the geographic distribution of wildlife populations: a case study in the lower Mississippi River region, *Ecological modelling*, 132(1), 95-104.
- Knutson MG, Sauer JR, Olsen DA, Mossman MJ, Hemesath LM, Lannoo MJ. 1999. Effects of landscape composition and wetland fragmentation on frog and toad abundance and species richness in Iowa and Wisconsin, USA. *Conservation Biology*, 13(6), 1437-1446.
- Manen FT, Pelton MR. 1997. A GIS model to predict black bear habitat use, *Journal of forestry (USA)*.
- Moilanen A, Nieminen M. 2002. Simple connectivity measures in spatial ecology, *Ecology*, 83(4), 1131-1145.
- Newbold T. 2010. Applications and limitations of

- museum data for conservation and ecology, with particular attention to species distribution models, *Progress in Physical Geography*, 34(1), 3-22.
- Phillips SJ, Dudík M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation, *Ecography*, 31(2), 161-175.
- Phochayavanich R, Voris HK, Khonsue W, Thunhikorn S, Thirakhupt K. 2010. Comparison of stream frog assemblages at three elevations in an evergreen forest, North-Central Thailand, *Zoological Studies*, 49(5), 632-639.
- Pough FH, Andrews RM, Cadle JE, Crump ML, Savitzky AH, Wells KD. 2004. *Herpetology*, 3rd ed, Saddle River NJ: Prentice Hall.
- Ray N, Lehmann A, Joly P. 2002. Modeling spatial distribution of amphibian populations: a GIS approach based on habitat matrix permeability, *Biodiversity & Conservation*, 11(12), 2143-2165.
- Rushton SP, Ormerod SJ, Kerby G. 2004. New paradigms for modelling species distributions? *Journal of applied ecology*, 41(2), 193-200.
- Spellerberg IF, Fedor PJ. 2003. A tribute to Claude Shannon (1916-2001) and a plea for more rigorous use of species richness, species diversity and the 'Shannon-Wiener' Index, *Global Ecology and Biogeography*, 12, 177-179.
- Stebbins RC, Cohen W. 1995. *A natural history of amphibians*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Stockwell DR, Peterson AT. 2002. Effects of sample size on accuracy of species distribution models, *Ecological modelling*, 148(1), 1-13.
- Susan EE, Max KH. 1993. A History of an Extinct Reptilian Clade, the Choristodera: Longevity, Lazarus-Taxa, and the Fossil Record, *Evolutionary Biology*, 27, 323-338.
- Urbina-Cardona JN, Olivares-Pérez M, Reynoso VH. 2006. Herpetofauna diversity and microenvironment correlates across a pasture-edge-interior ecotone in tropical rainforest fragments in the Los Tuxtlas Biosphere Reserve of Veracruz, Mexico, *Biological conservation*, 132(1), 61-75.
- Wilson LD, McCranie JR. 2003. Herpetofaunal indicator species as measures of environmental stability in Honduras, *Caribbean Journal of Science*, 39(1), 50-67.
- Wyman RL. 1990. What's happening to the amphibians? *Conservation Biology*, 4(4), 350-352.
- Zahl S. 1977. Jackknifing An Index of Diversity, *Ecology*, 58(4), 907-913.

References

- Kang DH, Chon TS, Park YS. 1995. Monthly Changes in Benthic Macroinvertebrate Communities in Different Saprobities in the Suyong and Soktae Streams of the Suyong River, *Journal of Ecology and Environment*, 18(1), 157-177.
- Kang YS, Yun IB. 1975. *Illustrated Guide to Korean Fauna and Flora Vol 17, Fauna (Herpetology)*, Seoul: Samhwa Publishing.
- Kang TH, Yoo SH, Lee SW, Choi OI, Lee CB. 2008. A Study on the Habitat Use of Waterbirds and Grading Assessment of the Tidal Flat at Muan Bay in Jeollanamdo, Korea, *Korean Journal of Environmental and Ecology*, 22(5), 521-529.

- Ki KJ, Choi SW. 2004. Butterfly Population Dynamics at Mt. Yudal, Mokpo, Korea, *Korean Journal of Environmental Biology*, 22(1), 35-42.
- Kim SR, Lee JH, Song JY, Chang MH, Sung HC, Cho DG. 2013. A Study on the Habitat Restoration Model for *chinemys reevesii*, *Journal of Korean Environmental Restoration Technology*, 16(2), 115-125.
- Kim JB, Song JY. 2010. *Amphibians and Reptiles of Korea*, Seoul: World Science.
- Kim JB. 2009. Taxonomic List and Distribution of Korean Amphibians, *Korean Journal of Herpetology*, 1(1), 1-13.
- Kim JY, Seo CW, Kwon HS, Ryu JU, Kim MJ. 2012. A Study on the Species Distribution Modeling using National Ecosystem Survey Data, *Journal of Environmental Impact Assessment*, 21(4), 593-607.
- Gye MC. 2003. Amphibian Fauna in the Mt. Myungji, *Korean Journal of Environmental Biology*, 21(2), 203-207.
- Kwon TS, Byun BK, Lee BW, Lee CY, Shon JD, Kang SH, Kim SS, Kim YK. 2009. Estimation of Species Richness of Butterfly Community in the Gwangneung Forest, Korea, *Korean Journal of Applied Entomology*, 48(4), 439-445.
- Kwon HS, Seo CW, Park CH. 2012. Development of Species Distribution Models and Evaluation of Species Richness in Jirisan region, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, 20(3), 11-18.
- Kwon HS. 2011. Integrated evaluation model of biodiversity for conservation planning: focused on Mt. Jiri, Mt. Deokyu and Mt. Gaya regions, Doctoral dissertation, Seoul National University, Korea.
- Roh BH, Yun JH, Choi JK, Lee SW, Seo HJ. 2010. Habitat evaluation strategy for legally protected wildbirds in Korea, *Korea Environmental Institution Annual Report*, 2010, 1-215.
- Seo CW, Park YR, Choi YS. 2008. Comparison of Species Distribution Models According to Location Data, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, 16(4), 59-64.
- Seo CW, Park CH. 2000. Wild Boar (*Sus scrofa coreanus* Heude) Habitat Modeling Using GIS and Logistic Regression, *The Journal of GIS Association of Korea*, 8(1), 85-99.
- Song WK, Kim EY, Lee DK. 2013. Habitat Connectivity Assessment of Tits Using a Statistical Modeling: Focused on Biotop Map of Seoul, South Korea, *Journal of Environmental Impact Assessment*, 22(3), 119-130.
- Song JY. 2010. Herpetofauna of the Korea National Parks in Baekdudaegan, *Journal of National Park Research*, 1(3), 216-219.
- Song JY, Lee IS. 2009. Elevation Distribution of Korean Amphibians, *Korean Journal of Herpetology*, 1(1), 15-19.
- Shim JH. 2001. *Frogs Singing Life*, Seoul: Darunsesang.
- Yang SY, Kim JB, Min MS, Seo JH, Kang YJ. 2001. *Korean Amphibians*, Seoul: Academy Publishing.
- Lee JH, Jung WJ, Seo JH. 2011. *Ecological Guide Book of Herptofauna in Korea*, Incheon: National Institute of Environmental Research.
- Lee CM, Kwon TS, Park YK, Kim BW. 2012. Influences of Disturbance Intensity on Community Structure, Species Richness and Abundance of Arthropod Predators

- (Araneae, Carabidae, Staphylinidae, and Formicidae) in Burned-pine Forest, *Journal of Korean forestry society*, 101(3), 488-500.
- Lee HY, Roh SC. 2012. *Advanced Statistical Analysis*, Paju: Bubmunsu.
- Jeong, SK. 2014. *Evaluation Model of Riparian Corridor Connectivity: A Case Study of Seom River Basin, Gangwon-do*, Doctoral dissertation, Seoul National University, Korea.
- Jeong SG, Lee HS, Park JH, Lee DK, Park CH, Seo CW. 2015. Selecting Suitable Riparian Wildlife Passage Locations for Water Deer based on MaxEnt Model and Wildlife Crossing Analysis, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, 23(1), 101-111.
- Jeong YS. 2009. *A Planning model for a substitute habitat of wildlife based on wetland: case of Shinki village Dang dong in Gunpo city*, Doctoral dissertation, Sangmyung University, Korea.
- Alford RA, Richards SJ. 1999. Global amphibian declines: a problem in applied ecology, *Annual review of Ecology and Systematics*, 133-165.
- Araujo MB, Guisan A. 2006. Five (or so) challenges for species distribution modelling, *Journal of Biogeography*, 33(10), 1677-1688.
- Austin MP. 2002. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling, *Ecological modelling*, 157(2), 101-118.
- Beebee TJ. 1997. Changes in dewpond numbers and amphibian diversity over 20 years on chalk downland in Sussex, England. *Biological Conservation*, 81(3), 215-219.
- Chen Y. 2013. *Habitat suitability modeling of amphibian species in southern and central China: environmental correlates and potential richness mapping*, *Science China Life Sciences*, 56(5), 476-484.
- Cushman SA. 2006. Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: a review and prospectus, *Biological conservation*, 128(2), 231-240.
- Frank TB, Christopher AP, Edward JH. 1998. A riparian zone in southern Illinois as a potential dispersal corridor for reptiles and amphibians, *Biological Conservation*, 86(2), 107-115.
- Franklin J. 2010. *Mapping species distributions: spatial inference and prediction*, Cambridge University Press.
- Gibbons JW, Scott DE, Ryan TJ, Buhlmann KA, Tuberville TD, Metts BS, Winne CT. 2000. The Global Decline of Reptiles, Déjà Vu Amphibians Reptile species are declining on a global scale. Six significant threats to reptile populations are habitat loss and degradation, introduced invasive species, environmental pollution, disease, unsustainable use, and global climate change, *BioScience*, 50(8), 653-666.
- Guisan A, Thuiller W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models, *Ecology letters*, 8(9), 993-1009.
- Heyer WR, Donnelly MA, McDiarmid RW, Hayek LAC, Foster MS. 1994. *Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for amphibians*, Smithsonian Institution Press.
- Hosmer DW, Lemeshow S. 1989. *Applied logistic regression*, New York: Johns Wiley & Sons.
- Ji W, Jeske C. 2000. Spatial modeling of the geographic distribution of wildlife populations: a case study in the lower

- Mississippi River region, *Ecological modelling*, 132(1), 95-104.
- Knutson MG, Sauer JR, Olsen DA, Mossman MJ, Hemesath LM, Lannoo MJ. 1999. Effects of landscape composition and wetland fragmentation on frog and toad abundance and species richness in Iowa and Wisconsin, USA. *Conservation Biology*, 13(6), 1437-1446.
- Manen FT, Pelton MR. 1997. A GIS model to predict black bear habitat use, *Journal of forestry (USA)*.
- Moilanen A, Nieminen M. 2002. Simple connectivity measures in spatial ecology, *Ecology*, 83(4), 1131-1145.
- Newbold T. 2010. Applications and limitations of museum data for conservation and ecology, with particular attention to species distribution models, *Progress in Physical Geography*, 34(1), 3-22.
- Phillips SJ, Dudík M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation, *Ecography*, 31(2), 161-175.
- Phochayavanich R, Voris HK, Khonsue W, Thunhikorn S, Thirakhupt K. 2010. Comparison of stream frog assemblages at three elevations in an evergreen forest, North-Central Thailand, *Zoological Studies*, 49(5), 632-639.
- Pough FH, Andrews RM, Cadle JE, Crump ML, Savitzky AH, Wells KD. 2004. *Herpetology*, 3rd ed, Saddle River NJ: Prentice Hall.
- Ray N, Lehmann A, Joly P. 2002. Modeling spatial distribution of amphibian populations: a GIS approach based on habitat matrix permeability, *Biodiversity & Conservation*, 11(12), 2143-2165.
- Rushton SP, Ormerod SJ, Kerby G. 2004. New paradigms for modelling species distributions? *Journal of applied ecology*, 41(2), 193-200.
- Spellerberg IF, Fedor PJ. 2003. A tribute to Claude Shannon (1916-2001) and a plea for more rigorous use of species richness, species diversity and the 'Shannon-Wiener' Index, *Global Ecology and Biogeography*, 12, 177-179.
- Stebbins RC, Cohen W. 1995. *A natural history of amphibians*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Stockwell DR, Peterson AT. 2002. Effects of sample size on accuracy of species distribution models, *Ecological modelling*, 148(1), 1-13.
- Susan EE, Max KH. 1993. A History of an Extinct Reptilian Clade, the Choristodera: Longevity, Lazarus-Taxa, and the Fossil Record, *Evolutionary Biology*, 27, 323-338.
- Urbina-Cardona JN, Olivares-Pérez M, Reynoso VH. 2006. Herpetofauna diversity and microenvironment correlates across a pasture-edge-interior ecotone in tropical rainforest fragments in the Los Tuxtlas Biosphere Reserve of Veracruz, Mexico, *Biological conservation*, 132(1), 61-75.
- Wilson LD, McCranie JR. 2003. Herpetofaunal indicator species as measures of environmental stability in Honduras, *Caribbean Journal of Science*, 39(1), 50-67.
- Wyman RL. 1990. What's happening to the amphibians? *Conservation Biology*, 4(4), 350-352.
- Zahl S. 1977. Jackknifing An Index of Diversity, *Ecology*, 58(4), 907-913.