

금개구리 서식지 적합성 지수(HSI) 모델 개발을 위한 기초 연구*

심윤진¹⁾ · 김선령²⁾ · 윤광배³⁾ · 정진우³⁾ · 박선욱²⁾ · 박용수⁴⁾

¹⁾ (주)그릅한 어소시에이트 연구소장 · ²⁾ 국립생태원 멸종위기종복원센터 전임연구원 ·
³⁾ 국립생태원 멸종위기종복원센터 선임연구원 · ⁴⁾ 국립생태원 멸종위기종복원센터 책임연구원

A Basic Research for the Development of Habitat Suitability Index Model of *Pelophylax chosonicus**

Shim, Yun-Jin¹⁾ · Kim, Sun-Ryoung²⁾ · Yoon, Kwang-Bae³⁾ · Jung, Jin-Woo³⁾ · Park, Seon-Uk²⁾
and Park, Yong-Su⁴⁾

¹⁾ Group Han Associates, R&D Director,
²⁾ Research Center for Endangered Species, National Institute of Ecology, Associate Researcher,
³⁾ Research Center for Endangered Species, National Institute of Ecology, Senior Researcher,
⁴⁾ Research Center for Endangered Species, National Institute of Ecology, Head Researcher.

ABSTRACT

This study was conducted as a basic study to develop the HSI(Habitat Suitability Index) model of *Pelophylax chosonicus* based on the research on the ecological and habitat status of *Pelophylax chosonicus* and the literature research on the HSI model. The habitat variables of *Pelophylax chosonicus* are the altitude of the spawning pond, the habitat area, the distance from wetland, the soil(aptitude grade for paddy field), the place for eating such as paddy field and wetlands(land cover) and the distance from Predator(*Lithobates catesbeianus*) distribution area. Based on the existing literature of *Pelophylax chosonicus*, the results of field surveys and expert opinions, the SI(Suitability Index) model and HSI model were developed and applied to the site to examine the applicability of the HSI model. As a result of application, SI 4 and SI 5 with varying SI values seem to have a major influence on the

* 본 연구는 국립생태원 멸종위기종복원센터 과제 “멸종위기 야생생물 서식변수 및 서식지 적합성지수 개발 연구”의 지원에 의해 수행되었음.

First author : Shim, Yun-Jin, Group Han Associates, R&D Director,
Tel : +82-2-521-1122, E-mail : grenatur@hanmail.net

Corresponding author : Park, Yong-Su, Research Center for Endangered Species, National Institute of Ecology,
Head Researcher,
Tel : +82-54-680-7340, E-mail : muskdeer@nie.re.kr

Received : 10 December, 2019. **Revised** : 12 February, 2020. **Accepted** : 7 February, 2020.

HSI. In addition, it is considered that the HSI model is an arithmetic mean of SI models, which has a major impact on HSI. The HSI model can be an important basis for the habitat evaluation and restoration model of *Pelophylax chosonicus*. In particular, it is highly applicable to the selection and evaluation of alternative habitats for *Pelophylax chosonicus*.

Key Words : *Alternative Habitats, Amphibians, Ecological Restoration, Endangered Species, Habitat Evaluation Procedure(HEP).*

I. 서 론

양서류는 생태계의 건강성을 평가할 수 있는 유용한 생물지표 종이며(Vitt et al., 1990; Wyman, 1990; Heyer et al., 1994), 생태계 구성원 중 중간자 역할을 하고 있는 분류군으로 수 생태계와 육상생태계를 연결해 주는 고리 역할을 담당한다. 또한 양서류는 생태계의 먹이사슬을 연결하는 핵심적인 위치를 담당하고 있어 생태계 건강성 유지를 위해 반드시 관리가 필요한 분류군이다(Shim et al., 2015).

그러나 최근 급격한 기후변화와 서식지 파괴로 인한 개체수 감소에 따라 양서류는 전 세계적으로 멸종될 위험에 처해 있는 중요한 분류군으로 간주되고 있다(Wake and Vredenburg, 2008).

금개구리(*Pelophylax chosonicus*)는 과거에 제주도를 포함한 남서부 지역의 대부분의 논이나 연못에서 흔히 관찰되었으나(Yang, 1978), 최근에는 경기도와 충청도에서만 확인되는 등 급격한 감소 추세에 있다(Yang et al., 2001). 이러한 이유로 금개구리는 2005년에 환경부 멸종위기 야생생물 II급으로 지정되었으며, 세계자연보전연맹(IUCN)의 멸종취약종(vulnerable species)으로 분류되어 보호를 받고 있다(Matsui, 2004). IUCN에서는 국제적으로 멸종위기에 처한 종이거나 세계적으로 매우 좁은 범위에서 서식하는 종을 우선적으로 선정하여 멸종 현황 및 원인을 파악하고 장기적인 계획을 세워 복원할 것을 권고하고 있다(Gascon, 2007). 따라서 우리나라 고

유아종인 금개구리의 복원에 대한 연구는 매우 시급하며 적절하다고 볼 수 있다(Ra, 2010).

금개구리에 대한 연구사를 보면 식성에 대한 연구(Yoon et al., 1998), 유전적 다양성(Yang et al., 1999; Min et al., 2008), 개체군의 연령구조(Cheong et al., 2007), 야외 개체군 조사 및 번식지 이동(Sung et al., 2007a; 2007b), 질병 검출(Kim et al., 2008; 2009), 개체군 생존분석(Cheong et al., 2009), 현지 내·외 보전 및 복원 전략(Lee, 2004; Ra, 2010) 등 다양한 연구가 수행된 바 있다.

그러나 금개구리의 생태에 대한 다양한 연구에도 불구하고 서식지 복원에 대한 연구는 미흡하다. 금개구리 서식지 복원을 위해서는 서식지 평가 및 복원 모델 연구가 중요한데 이러한 연구는 대체로 서식지 적합성 평가와 관련이 있다(Kim et al., 2013).

서식지 적합성 지수(Habitat Suitability Index; 이하 HSI)는 미국 어류 및 야생동물 관리국(U.S. Fish and Wildlife Service, 1980)에 의해 개발된 것으로, 한 종이 이용 가능한 서식지의 정량적, 정성적 특성을 규명하기 위해 환경과의 상호작용에 관한 연구를 바탕으로 개발되었다(Lee et al., 2017). 서식지에 영향을 줄 수 있는 서식지의 질을 대변하는 환경 요소들을 정량화함으로써 연구지역의 환경을 정량적으로 평가 및 예측할 수 있으며, 주관적 판단이나 타당성이 없는 가정을 배제한 비교적 객관적인 평가를 가능하게 하는 장점을 지닌다(Gibson et al., 2004). 또한 구성요소와 변수에 따른 기준 도출

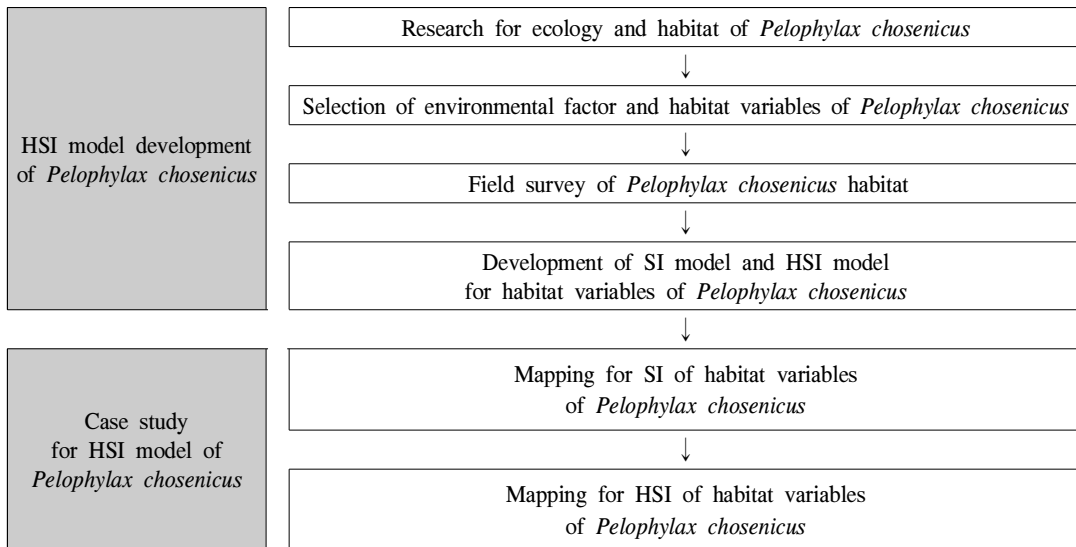


Figure 1. Study flow.

을 통해 특정 생물종의 서식을 위한 요구조건을 제시할 수 있으며 이를 통해 서식지 모형을 제시할 수 있는 근거가 된다(Shim et al., 2014).

양서류의 HSI 모델 개발과 관련한 연구로 국외에서는 영국의 Great Crested Newt(*Triturus cristatus*)(Oldham et al., 2000), 일본 Natori강 유역의 무미류(Kei et al., 2011), 콜롬비아 아마존 지역의 두꺼비(Tole, 2006), 황소개구리(*Bullfrog*)(Graves and Anderson, 1987) 등이 있으며, 국내에서는 한국산개구리(Shim, 2004), 맹꽁이(Shim et al., 2014), 두꺼비(Cho, 2017) 등이 있다.

따라서, 본 연구는 금개구리의 생태 및 서식지 현황 조사와 금개구리의 HSI 모델 관련 문헌 조사를 바탕으로 금개구리의 HSI 모델 개발의 기초 연구로서, 이를 통해 향후 금개구리 서식지 평가 및 복원 연구의 기초 자료로 제시하고자 한다.

II. 연구 방법

본 연구는 1) 금개구리의 HSI 모델 개발, 2) 금개구리 HSI 모델의 사례 적용으로 크게 2단

계로 구분하여 수행하였다(Figure 1).

1. 금개구리의 생태 및 서식지 현황 문헌 조사

금개구리의 생태 및 서식지 현황에 대하여 연구된 문헌을 토대로 검토하였다. 금개구리의 생활사, 야생동물의 서식지 4대 구성요소(공간, 먹이, 물, 은신처) 및 기존 양서류 HSI 모델 연구 문헌(Oldham et al., 2010; Kei et al., 2011; Tole, 2006; Graves and Anderson, 1987; Shim, 2004; Shim et al., 2014; Cho, 2017)에서 주로 언급되는 구성요소를 토대로 공간, 먹이, 은신처, 물(산란), 동면, 위협요소 등을 조사하였다.

2. 금개구리 환경요인 및 서식지 변수 선정

금개구리의 환경요인 및 서식지 변수(habitat variables)를 선정하기 위해 기존 양서류 HSI 모델 연구 문헌, 금개구리의 생태 및 서식지 현황 문헌 조사 결과를 토대로 환경요인 및 서식지 변수를 1차적으로 제시하고 국내 양서류 전문가 2명과의 심층 면담¹⁾을 통해 최종적으로 서식지 변수를 선정하였다.

1) 2019년 5월부터 7월까지 수차례 걸친 대면 인터뷰를 통해 자문을 받았다.

3. 금개구리 서식지 현장 조사

금개구리의 서식지 현황 조사는 Ra(2010)에서 제시된 산란지 중 충남 태안군 일대의 3개소를 선정하여(Figure 2) 2019년 7월에 실시하였다. 조사 항목은 선정된 서식지 변수를 중심으로 산란지의 고도, 경사 및 형태, 산란지 반경 150m 이내 토지이용 현황, 초지의 면적, 산란지 주변의 토양 경도 및 금개구리가 은신 및 동면 장소로 가능한 돌, 고사목 존재 유무, 산란지 습지의 면적, 수생식물의 피도, 수심, 수질(pH, COD, SS, DO, T-N, T-P), 주요 포식자(황소개구리) 분포 유무 등으로 구분(Table 2)하여 조사하였다. 금개구리는 멸종위기 야생생물 II급으로 지정·관리되고 있어 종 보존을 위해 정확한 좌표는 생략하였다.

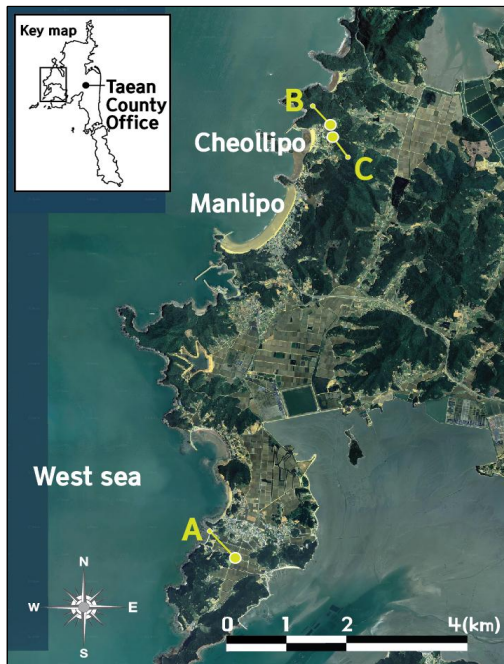


Figure 2. Field survey site.

4. 금개구리 SI 모델 및 HSI 모델 개발

금개구리의 기존 문헌 및 현지 조사 결과와 전문가 자문 의견²⁾을 바탕으로 적합성 지수

(Suitability Index; 이하 SI 모델³⁾ 및 HSI 모델을 개발하였다⁴⁾.

5. 금개구리 HSI 모델 사례 적용

금개구리 HSI 모델의 사례 적용을 위해 충남 아산시 선장면 돈포리 일대 논습지를 대상지로 선정하였다(Figure 3). 금개구리의 SI 모델별 도면을 작성하기 위해 관련된 서식지 변수별 지리 정보 자료를 구축하고 QGIS Desktop 2.14.21-Essen을 활용해 금개구리의 SI 도면 및 HSI 도면을 작성하였다.

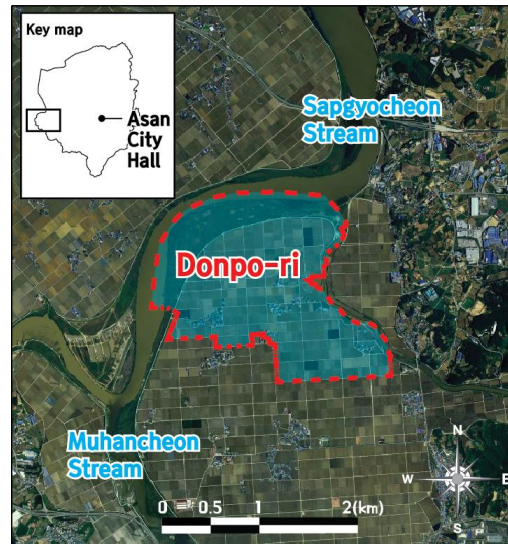


Figure 3. Case study site for HSI model of *Pelophylax chosonicus*.

- 2) 연구방법 ‘2. 금개구리 환경요인 및 서식지 변수 선정’의 전문가 2명을 포함하여 총 3명의 국내 양서류 전문가와 2019년 9월부터 10월까지 수차례 걸친 대면 인터뷰를 통해 자문을 받았다.
- 3) SI 모델은 특정 환경요인(서식지 변수)에 관한 서식지 적합성을 나타내는 것으로 평가 종의 서식 조건을 규정하는 먹이, 번식 조건 등의 환경요인별로 0(완전히 부적합)에서 1(최적)까지의 수치로 적정 정도를 표현한 것이다. HSI 모델은 여러 가지 SI 모델을 서로 곱하거나 더해 종합한다(CNI, 2015).
- 4) 금개구리 산란지 현지 조사 대상지가 3개소에 불과하여 통계 처리에 한계가 있다는 전문가의 자문 의견을 수렴, 3개소 현지 조사와 기존 문헌 자료를 토대로 전문가 심층 면담으로 금개구리 SI 모델 및 HSI 모델을 개발하였다.

III. 연구 결과 및 고찰

1. 금개구리의 생태 및 서식지 현황 문헌 조사

금개구리는 우리나라 서해안 지역의 저지대 평야에 산재하는 농지 주변 웅덩이나 물이 항상 고여 있는 논에 주로 서식하며(Ra et al., 2007), 과거 제주도뿐만 아니라 남한 전역에 분포하는 것으로 알려졌으나 최근 조사 결과 경기도, 경상남도 함천, 대구, 서울, 세종, 인천, 충청남도, 전라북도 및 충청북도 일부 지역에서 서식하고 있는 것으로 확인된다(NIBR, 2018). 고도가 높은 지역보다 낮은 지역(16.7±13.6m)에서 금개구리가 분포하며(Ra, 2010), 행동권의 경우 개체별 연중 행동권의 크기는 평균 713.8±1607.4m² (n=36)이며 물로부터 평균 6.6±13.8m(n=38) 이상 벗어나지 않는다. 동면은 번식연못으로부터 평균 32.0±23.4m(n=7) 떨어진 육상 지역에서 한다(Ra, 2010). 금개구리의 행동권을 감안하여 대체서식지 조성 시 전체 면적은 43,000m² 이상으로 조성하는 것이 이상적이며 주요 서식지 간 거리가 25m를 넘지 않아야 한다(NIE, 2018).

먹이는 성체의 경우, 파리, 벌, 땅강아지, 거미 등을 선호하며 수면에서 쉽게 마주칠 수 있는 곤충류를 주로 잡아먹는다(NIBR, 2018). 육상보다는 물 위와 물가에서 먹이활동을 선호한다(NIE, 2018). 유생은 잡식성이나(NIBR, 2018) 잎이 넓은 식물의 잎을 섭식하는 것으로 보인다(NIE, 2018).

은신처로 저지대의 논, 농수로, 배수로, 물웅덩이, 습지, 저수지의 수초가 무성한 곳에서 주로 관찰되며(NIBR, 2018) 활동 기간의 경우 4~6월 사이에 습지로 이동하였고, 9~11월 사이에 육상 동면지로 이동한다(Ra, 2010).

산란은 4월부터 7월 사이에 이루어지며, 한 마리의 암컷은 약 1,000개의 알을 낳고, 10-50개 정도의 알 덩어리를 수생식물 주변에 흩뿌려서 낳는다(Ra, 2010). 산란된 알은 약 일주일 정도

가 지난 뒤 부화한다(Ra et al., 2007). 약 한달 가량의 유생시기를 보낸 뒤, 성체로 변태한다(Lee, 2004).

산란지 환경으로 수심 1m 내외의 웅덩이에서 산란하며, 수심은 1.0~1.5m에서, 식생의 피도가 높을수록, 황소개구리의 개체수가 적을수록 산란을 많이 한다(Ra, 2010). 금개구리 대체서식지 조성 시 수변부에는 갈대, 애기부들, 줄, 질경이, 택사, 갈풀, 매자기, 부들, 겨풀, 흑썩기풀 등을, 물 안에는 검정말, 나사말, 개구리밥, 마름, 연꽃, 가래, 흑삼릉 등을, 수로에는 고마리, 미나리 등을 도입하는게 좋다(NIE, 2018).

동면지 환경으로 농경지로 둘러싸인 습지(연못) 주변의 대략 30-50m 정도 떨어진 논두렁이나 밭에서 동면을 하며(Ra, 2010) 크고 넓적한 돌이나 통나무 밑을 파고들어 보다 쉽게 동면을 취할 수 있다(NIE, 2018).

주요 위협요소로 금개구리 개체군 멸종위협 의 가장 큰 생물학적 요인은 황소개구리이다(Ra, 2010).

2. 금개구리 환경요인 및 서식지 변수 선정

기존 양서류 HSI 모델 연구 문헌과 금개구리의 생태 및 서식지 현황 문헌조사 결과를 토대로 환경요인 및 서식지 변수를 1차적으로 제시하였다. 1차적으로 제시된 금개구리의 환경요인 및 서식지 변수에 대하여 전문가의 자문 결과 산란지의 해발고도, 물웅덩이(논, 습지)로부터 거리, 토양환경(논적성등급), 논, 습지 등 먹이원 서식지 유무(토지피복)는 적합하다는 의견이 있었으며 황소개구리 출현 유무보다는 황소개구리 출현 지역과의 거리가 더 적합하다는 의견이 있어 이를 반영하였다. 그 외에 경사도, 연 평균 기온, 계절별 평균기온, 최저-최고 기온, 서식 가능한 면적, 자연형 수로의 규모, 수생식물 주요 종 수 및 피도, 동면지 현황, 서식지 주변 유형별 토지피복 비율 등이 추가적으로 제시되었다. 최종적으로 서식지 변수별로 다양한 데이터가

Table 1. Selection of environmental factor and habitat variables of *Pelophylax chosonicus*.

Environmental factor	Habitat variable		
	Planned	Result of In-depth Consultation with Experts	Finalized
Space	Altitude of spawning pond	Appropriate	Altitude of spawning pond
	-	To be proposed - gradient, average annual temperature, average temperature by season, lowest-highest temperature, habitat area, scale of natural waterways	Habitat area
Cover	Distance from wetland	Appropriate	Distance from wetland
	Soil(aptitude grade for paddy field)	Appropriate	Soil(aptitude grade for paddy field)
	-	To be proposed - number of species of aquatic plants, cover of aquatic plants, status of hibernation sites	-
Food	Place for eating such as paddy field and wetlands(land cover)	Appropriate	Place for eating such as paddy field and wetlands (land cover)
	-	To be proposed - ratio of land cover within 500m radius of spawning pond (%)	-
Threatening factor	Predator(<i>Lithobates catesbeianus</i>) distribution	To be proposed - Distance from Predator(<i>Lithobates catesbeianus</i>) distribution area	Distance from Predator(<i>Lithobates catesbeianus</i>) distribution area

구축되어 있고 실질적으로 GIS 도면 구축 가능성을 고려하여 산란지의 해발고도, 서식 가능한 면적, 물웅덩이(논, 습지)로부터 거리, 토양환경(논적성등급), 논, 습지 등 먹이원 서식지 유무(토지피복), 황소개구리 출현 지역과의 거리 등 6개 서식지 변수를 선정하였다(Table 1).

3. 금개구리 서식지 현장 조사

3개 산란지 및 주변을 현지 조사한 결과(Table 2), 산란지의 고도는 3.7~4.3m, 경사도는 모두 0°로 나타났으며 산란지의 형태는 배수로 또는 둑병으로 나타났다. 산란지 반경 150m 이내 토지이용은 논, 산림, 밭이 주를 이루었다. 초지의 면적은 130~400m²이며 산란지 주변의 토양 경도는 9~12mm이며 금개구리가 은신 및 동면 장소로 가능한

고사목이 한 개소에서 발견되었다. 산란지 습지의 면적은 223~3,013m², 수생식물의 피도는 10~50%, 수심은 0.5~1.3m로 나타났다. 수질로 pH는 6.5~7.1, COD는 43.4~62.1mg/L, SS는 24.4~64.0mg/L, DO는 6.29~7.9mg/L, T-N은 5.34~7.28mg/L, T-P는 0.60~4.56mg/L으로 나타나 DO를 제외하고는 나쁜 것으로 나타났다. 주요 포식자인 황소개구리는 발견되지 않았다.

4. 금개구리 SI 모델 및 HSI 모델 개발

금개구리의 기존 문헌 및 현지 조사 결과와 전문가 자문 의견을 바탕으로 SI 모델을 도출하였다(Figure 4). 산란지의 해발고도(SI 1)는 Ra(2010)의 연구 내용(16.7±13.6m) 및 현장조사 결과(3.7~4.3m)를 바탕으로 해발고도 5~30m를

Table 2. Field survey of *Pelophylax chosenicus* habitat.

Classification			A	B	C	
Space	Altitude of spawning pond (m)		3.7	4.3	4.1	
	gradient (°)		0	0	0	
	Type of spawning pond		Drain	Small irrigation pond	Small irrigation pond	
	Land uses within a 150m radius of spawning pond (%)	Wetland	Paddy field	71.46	22.16	21.11
			Palustrine	0	0.75	0.56
			Riverine	2.72	0	0
		Grassland		4.57	15.58	11.67
		Field		4.92	15.78	16.64
		Forest		12.58	33.09	35.15
Others		3.75	12.64	14.87		
Food	Area of grassland (m ²)		400	200	130	
Cover	Soil around spawning pond	Soil hardness (mm)	9	11	12	
		Presence of stone, log	Dead tree	None	None	
Water	Area of wetland (m ²)		3,013	223	353	
	Coverage of aquatic plant (%)		50	10	40	
	Water depth (m)		0.5	1	1.3	
	pH		6.5	7.0	7.1	
	COD (mg/L)		43.4	53.6	62.1	
	SS (mg/L)		24.4	64.0	59.6	
	DO (mg/L)		6.29	7.0	7.9	
	T-N (mg/L)		6.23	5.34	7.28	
T-P (mg/L)		4.56	0.60	3.29		
Threats	Predator(<i>Lithobates catesbeianus</i>) distribution		None	None	None	

SI 1 = 1.0으로, 100m 이상을 SI 1 = 0으로 설정하였다(Figure 4a).

서식 가능한 면적(SI 2)은 Ra(2010)의 연구 내용)과 금개구리 대체서식지 최소 면적(43,000 m²)(NIE, 2018)을 고려하여 서식 가능 면적 3,700m²까지 SI 2 = 0으로, 43,000m² 이상을 SI 2 = 1.0으로 설정하였다(Figure 4b).

5) 내리저수지 개체군의 행동권 면적은 3,700.9m²로서 농경지형 습지(8,765.0m²)에서의 금개구리 행동권 보다 작으며 이 결과는 농경지형 습지나 큰 연못이나 육화된 저수지로 형성된 금개구리의 서식지의 경우 주위에 동면지역만 확보된다면 매우 좁은 면적으로도 연중 개체군을 안정적으로 보전할 수 있다는 것을 의미한다(Ra, 2010)

물웅덩이(논, 습지)로부터 거리(SI 3)는 Ra (2010)의 연구 내용을 고려하여 50m까지 SI 3 = 1.0으로, 전문가 자문의견을 바탕으로 500m 이상을 SI 3 = 0으로 설정하였다(Figure 4c).

토양환경(논적성등급)(SI 4)은 논을 중심으로 서식하는 금개구리의 생태적 특성(Ra et al., 2007; Ra, 2010; NIBR, 2018) 및 전문가 자문의견을 바탕으로 논적성등급)을 기준으로 1급

6) 금개구리는 물로부터 평균 6.6±13.8m(n=38) 이상 벗어나지 않으며, 동면은 번식연못으로부터 평균 32.0±23.4m (n=7) 떨어진 육상 지역에서 한다(Ra, 2010).

7) 흙토람(<https://soil.rda.go.kr>)의 토양환경지도를 참고하였다.

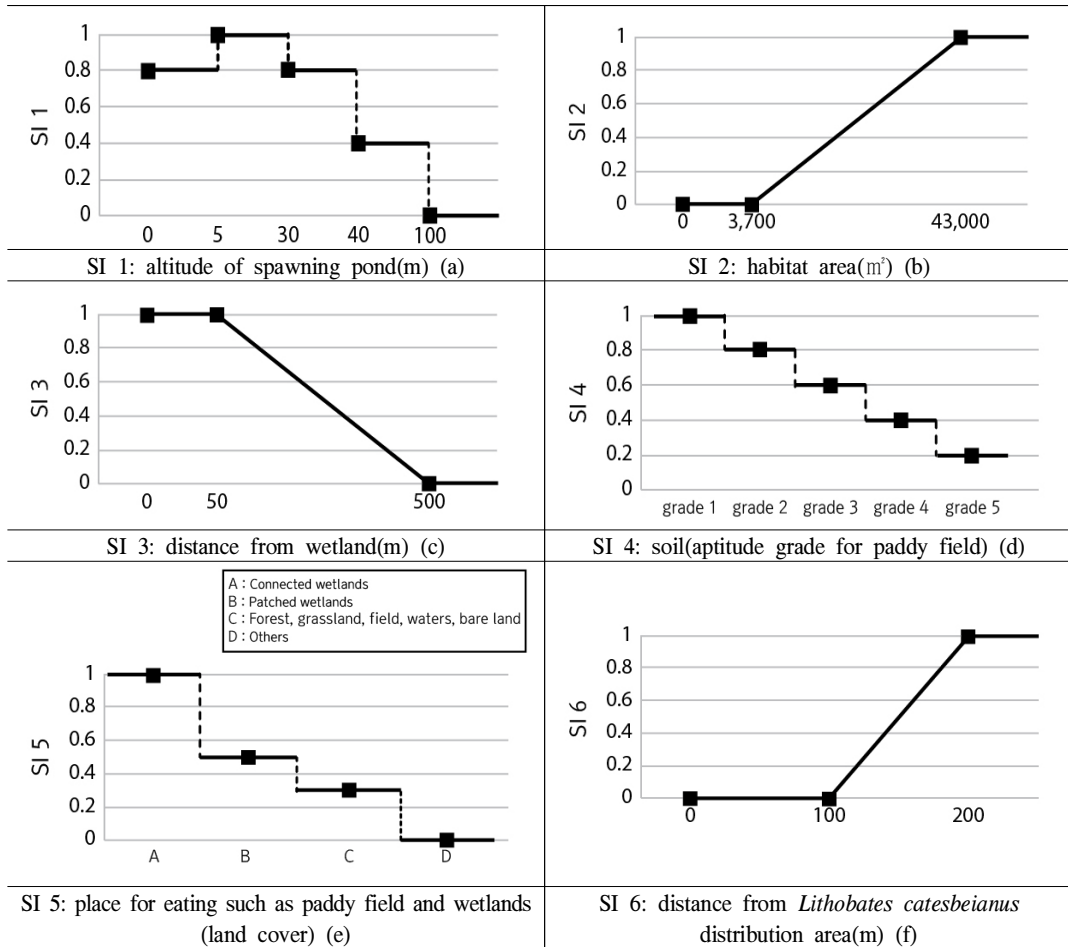


Figure 4. Suitability index model for habitat variables of *Pelophylax chosonicus*.

지를 SI 4 = 1.0으로, 5급지를 SI 4 = 0.2으로 설정하였다(Figure 4d).

논, 습지 등 먹이원 서식지 유무(토지피복⁸⁾) (SI 5)는 전문가 자문의견을 바탕으로 연결된 습지는 SI 5 = 1.0으로, 독립된 습지는 SI 5 = 0.5로, 산림, 초지, 밭, 수역, 나지는 SI 5 = 0.3으로, 기타 토지는 SI 5 = 0으로 설정하였다(Figure 4e).

황소개구리 출현 지역과의 거리(SI 6)는 Park et al.(2019)⁹⁾의 연구 결과를 고려하여 황소개구

리 출현 지역과의 거리 100m까지를 SI 6 = 0으로, 200m 이상을 SI 6 = 1.0으로 설정하였다(Figure 4f).

도출된 SI 모델을 대상으로 HSI 모델과의 관계를 설정하였다. 도출된 6개의 SI 모델은 상호 보완관계에 있다는 전문가 자문 의견을 수렴하여 금개구리 HSI 모델은 산술평균을 통해 제시¹⁰⁾하였다(식 1).

(n=6, 44.4~157.9)이었고, 암컷의 총 이동거리는 104.6m(n=3, 31.9~171.0)로 나타났으며, 수컷의 행동 면적은 평균 17.9m²(n=132, 0.6~39.1m²)였으며, 암컷은 평균 264.4m²(n=56, 0.5~761.0m²)로 나타났다(Park et al., 2019).

8) 환경공간정보서비스(<https://egis.me.go.kr>)의 세분류 토지피복도를 기준으로 하였다.
9) 황소개구리 수컷의 총 이동거리는 평균 86.0m

10) 3명의 전문가 중 1명의 전문가가 SI 모델 중 절대

Table 3. Geographic information data for habitat variables of *Pelophylax chosonicus*.

Environmental factor	Habitat variables	Geographic information data	Source of data
Space	Altitude of spawning pond	Open DEM	http://map.ngii.go.kr
	Habitat area	Sub-divided land cover map	https://egis.me.go.kr
Cover	Distance from wetland	Sub-divided land cover map	https://egis.me.go.kr
	Soil (aptitude grade for paddy field)	Soil environment map	https://soil.rda.go.kr
Food	Place for eating such as paddy field and wetlands (land cover)	Sub-divided land cover map	https://egis.me.go.kr
Threatening factor	Distance from Predator(<i>Lithobates catesbeianus</i>) distribution area	Ecosystem disturbing species distribution map	GIS-DB of national ecosystem survey in Korea

$$\text{금개구리 HSI} = \frac{SI1 + SI2 + SI3 + SI4 + SI5 + SI6}{6}$$

식 1

5. 금개구리 HSI 모델 사례 적용

금개구리의 SI 모델별 도면 작성과 관련된 서식지 변수별 지리정보 자료는 Table 3과 같다. 해발고도는 국토정보플랫폼의 공개 DEM, 토양환경(논적성등급)은 흙토람의 토양환경지도, 황소개구리 출현 지역과의 거리는 전국자연환경조사 GIS-DB의 생태계교란 생물 분포도를 활용하였다. 서식 가능한 면적, 물웅덩이(논, 습지)로부터 거리, 논, 습지 등 먹이원 서식지 유무(토지피복)은 모두 환경공간정보서비스의 세분류 토지피복도를 활용하였다.

서식지 변수별 지리정보 자료를 바탕으로 충남 아산시 선장면 둔포리 일대 논습지¹¹⁾에 금개구리의 SI 모델별 도면을 구축하였다(Figure 5).

필수 요소(예: 황소개구리 출현 지역과의 거리)나 가중치(예: 물웅덩이(논, 습지)로부터 거리)가 필요하다는 의견을 제시하였다. 그러나 2명의 전문가는 금개구리 서식지 현황에 대한 데이터의 한계를 고려하여 산술평균을 제시하였으며 향후 지속적으로 수정 및 보완을 해야 한다고 의견을 제시하였다.

11) 사례 적용 대상지인 충남 아산시 선장면 둔포리 일대 논습지는 금개구리 서식지 현장 조사 지역(충남 태안군 일대 3개소)로부터 동측으로 직선거리 약 62km 떨어진 지역이다. 대상지는 서해안 지역의 저지대로 논과 하천이 대부분을 이루고 있으며 산림, 마을, 도로 등도 일부 포함하고 있어 금개구리 HSI 모델을 적용하기에 적합한 지역이다.

격자 크기는 금개구리의 행동권 및 이동거리를 고려하여 50m×50m로 설정하였다. SI 1(해발고도)는 30m 이하이기에 SI 1은 1.0 또는 0.8로 나타났으며(Figure 5a), SI 2(서식가능한 면적)은 대상지의 많은 지역이 논 및 습지(하천)이며 43,000m²를 초과하기에 SI 2는 모두 1.0으로 나타났다(Figure 5b). SI 3(물웅덩이(논, 습지)로부터 거리)도 대상지 대부분이 논 및 습지(하천)로 이루어져 있거나 인접하기에 SI 3은 대부분이 1.0으로 나타났다(Figure 5c). SI 4(토양환경(논적성등급))은 토양환경지도 자료를 토대로 다양하게 나타나 SI 4는 0.2~1.0으로 다양하게 나타났다(Figure 5d). SI 5(논, 습지 등 먹이원 서식지 유무(토지피복))는 대상지가 논, 습지(하천), 산림, 마을, 도로 등 다양한 토지피복으로 이루어져 SI 5도 0~1.0으로 다양하게 나타났다(Figure 5e). SI 6(황소개구리 출현지역과의 거리)는 대상지 내부 및 주변에 황소개구리가 출현하지 않아 SI 6은 모두 1.0으로 나타났다(Figure 5f).

금개구리의 SI 모델별 도면에 금개구리의 HSI 모델을 적용하여 금개구리의 HSI 도면을 구축하였다(Figure 6). 그 결과, HSI가 가장 높은 값이 1.0이며 해당 면적은 387,500m²로 나타났으며 그 외 0.9(1,502,500m²), 0.8(1,112,500m²), 0.7(335,000m²), 0.6(82,500m²)으로 각각 나

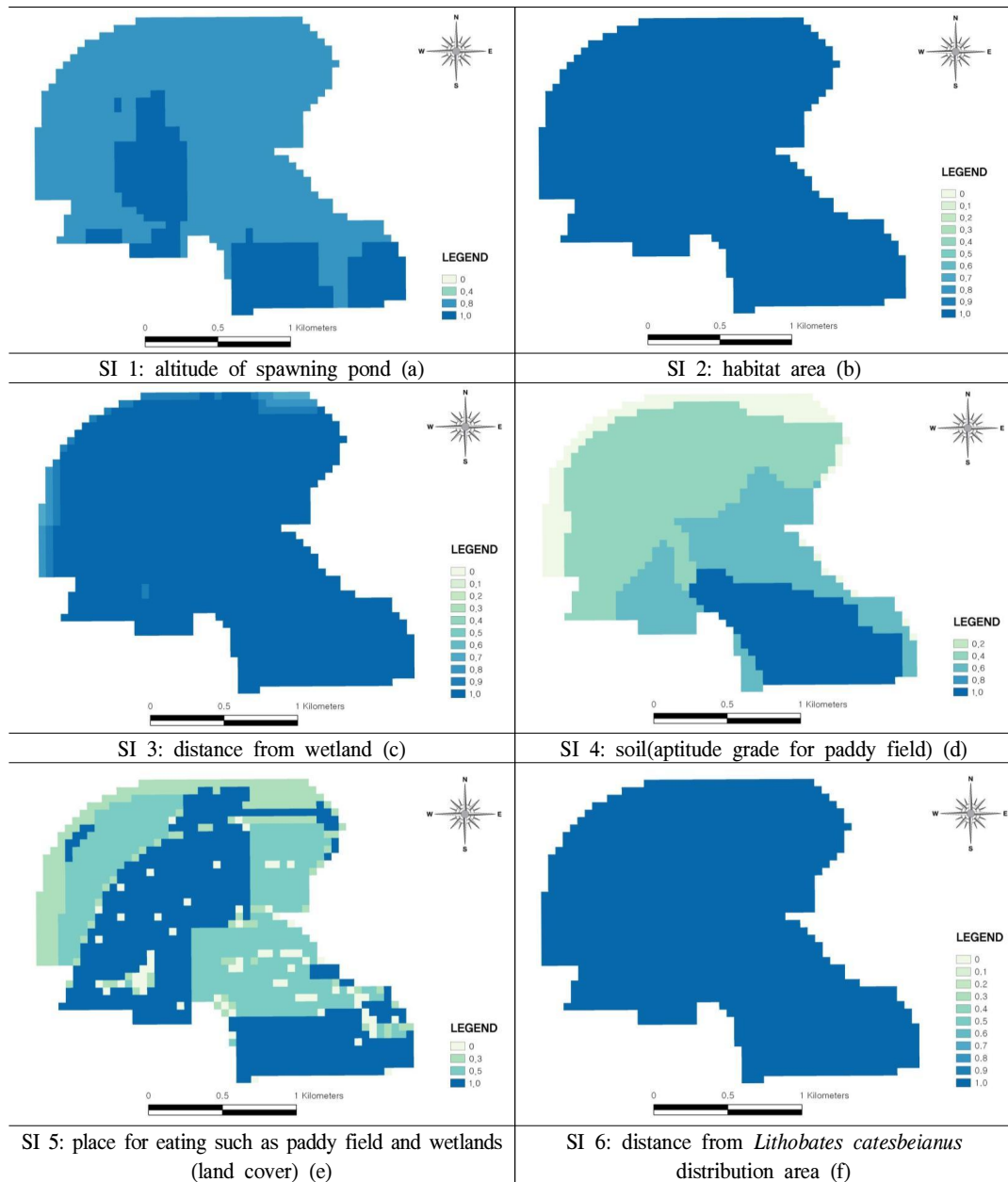


Figure 5. SI map for habitat variables of *Pelophylax chosonicus*.

타났다(Table 4). HSI 도면과 SI 모델별 도면들을 비교한 결과 SI 값이 다양하게 나타난 SI 4와 SI 5가 HSI에 주된 영향을 미친 것으로 보인다. 또한 HSI 모델이 SI 모델들의 산술평균인 것도 HSI에 주된 영향을 미친 것으로 판단된다. 향후

SI 모델의 가중치 및 필수 요소 등을 감안하여 HSI 모델의 보완이 필요하다고 판단된다.

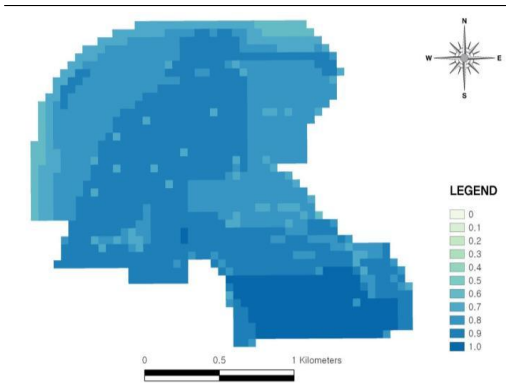


Figure 6. HSI map for habitat variables of *Pelophylax chosonicus*.

Table 4. Area by HSI for habitat variables of *Pelophylax chosonicus*.

HSI	Area(m ²)
1.0	387,500
0.9	1,502,500
0.8	1,112,500
0.7	335,000
0.6	82,500
Sum	3,420,000

IV. 결 론

본 연구는 금개구리의 생태 및 서식지 현황 조사와 HSI 모델 관련 문헌조사를 바탕으로 금개구리의 HSI 모델을 개발하기 위한 기초 연구로서 수행되었다.

금개구리의 서식지 변수로 산란지의 해발고도, 서식 가능한 면적, 물웅덩이(논, 습지)로부터 거리, 토양환경(논적성등급), 논, 습지 등 먹이원 서식지 유무(토지피복), 황소개구리 출현 지역과의 거리 등 6개 변수를 선정하였다. 금개구리의 기존 문헌 및 현지 조사 결과와 전문가 자문의견을 바탕으로 SI 모델 및 HSI 모델을 개발하고 이를 현장에 사례 적용하여 HSI 모델의 적용성을 검토하였다.

본 연구 결과는 멸종위기에 처한 금개구리의 절멸 방지를 위한 서식지 평가 및 복원 모델 관련 정보를 제공할 수 있다. 구체적으로 ‘대체서식지 조성·관리 환경영향평가 지침’을 비롯한 다양한 생태복원 관련 정책의 중요한 기초자료로 활용될 수 있으며, 특히 금개구리 대체서식지 선정 및 평가에 적용 가능성이 높다. 또한 환경부에서 추진하고 있는 생태복원 사업인 생태계보전협력금 반환사업, 도시생태휴식공간 조성사업(舊 자연마당 조성사업) 등에 금개구리 서식지 조성 시 적용이 가능하다.

향후 연구로서 금개구리 서식지에 대한 다양한 현황조사 데이터를 구축하여 금개구리 HSI 모델의 정확성을 높여야 한다. 본 연구에서는 금개구리 서식지 현황 데이터 부족으로 HSI 모델을 산술평균으로 제시하였지만 향후 SI 모델 간의 가중치 부여에 대한 추가 연구가 필요하다. 또한 금개구리 HSI 모델에 대한 검증 연구가 필요하며 이는 금개구리 서식지 평가 및 복원 모델 구축, Test-bed 조성, 모니터링과 연계되어 이루어져야 할 것이다.

References

- Cheong SK · DS Park · HC Sung · JH Lee and SR Park. 2007. Skeletochronological Age Determination and Comparative Demographic Analysis of Two Populations of the Gold-spotted Pond Frog (*Rana chosonica*). *Journal of Ecology and Field Biology* 30(1) : 57-62.
- Cheong SW · HC Sung · DS Park and SR Park. 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. (in Korean with English summary)

- Cho GY. 2017. A Study on the Restoration Model for “*Bufo gargarizans*” Habitat Using HSI (Habitat Suitability Index): Focused On Wonheung-ee Small Reservoirs Replacement Habitat. Master’s Thesis, Sangmyung University. (in Korean with English summary)
- ChungNam Institute(CNI). 2015. Habitat Evaluation Procedures Manual. Paju: Hanul Publishing Group. (in Korean)
- Gascon, C. 2007. Amphibian conservation action plan: proceedings IUCN/SSC Amphibian Conservation Summit 2005. IUCN.
- Gibson, L. A. · B. A. Wilson · D. M. Cahill and J. Hill. 2004. Modelling habitat suitability of the swamp antechinus (*Antechinus minimus maritimus*) in the coastal heathlands of southern Victoria, Australia, Biological Conservation. 117(2) : 143-150.
- Graves, B. M. and S. H. Anderson. 1987. Habitat suitability index models: bullfrog. Research report to U.S. Fish and Wildlife Service. 82/10.138.
- Heyer, W. R. · M. A. Donnelly · R. W. McDiarmid · L. A. C. Hayek and M. S. Foster. 1994. Measuring and monitoring biological diversity: Standard methods for amphibians. Washington and London: Smithsonian Institution Press. pp. 1-15.
- Kei, N. · J. i. Shiraiwa and S. Kazama. 2011. Evaluation of seasonal habitat variations of fresh water fishes, fireflies, and frogs using a habitat suitability index model that includes river water temperature. Journal of Ecological Modelling 222(21) : 3718-3726.
- Kim S · AH Eom · DS Park and NY Ra. 2008. Detection of infectious fungal diseases of frogs inhabiting in Korea. Mycobiology 36(1) : 10-12.
- Kim S · MY Sim · AH Eom · D Park and NY Ra. 2009. PCR Detection of Ranavirus in gold-spotted pond frogs(*Rana plancyi chosonica*) from Korea. Korean Journal of Environmental Biology 27(1) : 110-113.
- Kim SR · JH Lee · JY Song · MH Chang · HC Sung and DG Cho. 2013. A Study on the Habitat Restoration Model for *Chinemys reevesii*. J. Korea Env. Res. Tech. 16(2) : 115-125. (in Korean with English summary)
- Lee BE · JW Kim · NI Kim and JG Kim. 2017. Evaluation on Replacement Habitat of Two Endangered Species, *Aster altaicus* var. *uchiyamae* and *Polygonatum stenophyllum* Using Habitat Suitability Index. Journal of Wetlands Research 19(4) : 433-442. (in Korean with English summary)
- Lee SC. 2004. Study on *In-situ* and *Ex-situ*, and Restoration Strategy Planning for the Protected Wildlife Anura (*Rana plancyi chosonica* Okada) in Korea. Master’s Thesis, University of Incheon. (in Korean with English summary)
- Matsui, M. 2004. *Pelophylax chosonicus*. In: IUCN 2010. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.1.
- Min MS · SK Park · J Che · DS Park and H Lee. 2008. Genetic Diversity among Local Populations of the Gold-spotted Pond Frog, *Rana plancyi chosonica*(Amphibia: Ranidae), Assessed by Mitochondrial Cytochrome *b* Gene and Control Region Sequences. Korean journal of systematic zoology 24(1) : 25-32.

- National Institute of Biological Resources (NIBR). 2018. Endangered species at a glance. (in Korean)
- National Institute of Ecology(NIE). 2018. Guidelines for Creating Alternative Habitats of *Pelophylax chosonicus*. (in Korean)
- Oldham, R. S. · J. Keeble · M. J. S. Swan and M. Jeffcote. 2000. Evaluating the suitability of habitat for the great crested newt (*Triturus cristatus*). Herpetological Journal, 10(4) : 143-156.
- Park HR · KS Koo · SM Park · HJ Kang · JH Choi and HC Sung. 2019. Move Distance and Home Range of American Bullfrog (*Lithobates catesbeianus*). Proceedings of the Korean Society of Herpetologists Conference 12 : 13. (in Korean)
- Ra NY. 2010. Habitat and Behavioral Characteristics, Captive Breeding and Recovery Strategy of the Endangered Gold-Spotted Pond Frog(*Rana plancyi chosonica*). Ph.D dissertation, Kangwon National University. (in Korean with English summary)
- Ra NY · JH Lee and DS Park. 2007. Growth of Golden Frog Larvae, *Rana plancyi chosonica* by Different Food Tyoes. Korean J. Environ. Biol. 25(1) : 8-15. (in Korean with English summary)
- Shim YJ. 2004. A study on the site selection of wetland replacement using Korean redfrog (*Rana amurensis coreana* Okada) habitat suitability index: focusing on Pangyo residential development site. Master's Thesis, Seoul National University. (in Korean with English summary)
- Shim YJ · DG Cho · S Park · DJ Lee · YH Seo · SH Kim · DH Kim · SB Ko · JY Cha and HC Sung. 2014. Development of Habitat Suitability Index for Habitat Restoration of Narrow-mouth Frog(*Kaloula borealis*). J. Korea Env. Res. Tech. 17(2) : 109-123. (in Korean with English summary)
- Shim YJ · DG Cho · JP Hong · DH Kim · YS Park and HC Sung. 2015. Site Selection of Narrow-mouth Frog(*Kaloula borealis*) Habitat Restoration Using Habitat Suitability Index. J. Korean Env. Res. Tech. 18(2) : 33-44. (in Korean with English summary)
- Sung HC · SM Cha · SK Cheong · DS Park and SR Park. 2007a. Monitoring local populations and breeding migration patterns of the Gold-spotted Pond Frog, *Rana plancyi chosonica*. Journal of Ecology and Field Biology 30(2) : 121-126.
- Sung HC · SM Cha · SK Kim · DS Park · SR Park and SK Cheong. 2007b. Monitoring extensive breeding populations and daily call activity of the gold-spotted pond frog, *Rana plancyi chosonica* in Chungju City and Chungwon Gun. Korean Journal of Environmental Biology 25(2) : 94-99. (in Korean with English summary)
- Tole, L. 2006. Choosing reserve sites probabilistically: A Colombian Amazon case study. Journal of Ecological Modelling 194(4) : 344-356.
- U.S. Fish and Wildlife Service. 1980. Habitat as a basis for environmental assessment. Ecological Services Manual, 101.
- Vitt, L. J. · J. P. Caldwell · H. M. Wilbur and D. C. Smith. 1990. Amphibians as harbingers of decay. BioScience 40 : 418.
- Wake, D. B. and V. T. Vredenburg. 2008. Are

- we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. *Proceedings of the National Academy Sciences of United States America* 105(1) : 11466-11473.
- Wyman R. L. 1990. What's happening to the amphibians? *Conservation Biology*. 4 : 350-352.
- Yang SY. 1978. Check list of Korean amphibians. *Inha University IIR*(5) : 81-90. (in Korean)
- Yang SY · JB Kim · MS Min and JH Suh. 1999. Genetic Diversity and Population Structure of Two Korean Pond Frog Species, *Rana nigromaculata* and *R. plancyi* (Anura, Ranidae), with a Survey of Temporal Genetic Variation in *R. nigromaculata*. *Korean journal of biological sciences* 3(3) : 275-284. (in Korean with English summary)
- Yang SY · JB Kim · MS Min · JH Suh and YJ Kang. 2001. Monograph of Korean amphibia. Academy Book, Seoul, South Korea. Homepage of the Korean DAPTF.
- Yoon IB · JI Kim and SY Yang. 1998. Study on the food habits of *Rana nigromaculata* Hallowell and *Rana plancyi chosonica* Okada(Salientia;Ranidae) in Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* 16(2) : 69-76. (in Korean with English summary)
- <http://map.ngii.go.kr>
- <https://egis.me.go.kr>
- <https://soil.rda.go.kr>