韓國環境復元技術學會誌 25(2) : 23～38(2022)
J. Korean Env. Res. Tech. 25(2) : 23～38(2022)
DOI : https://doi.org/10.13087/kosert.2022.25.2.23
ISSN 1229-3032

두꺼비 서식지 적합성 지수(HSI) 모델개발을 위한 연구

조근영[1] · 구본학[2]

[1] 상명대학교 대학원 그린스마트학과 학생 · [2] 상명대학교 대학원 그린스마트학과 교수

A Study on the Development of "*Bufo gargarizans*" Habitat Suitability Index(HSI)

Cho, Gun-Young[1] and Koo, Bon-Hak[2]

[1] Dept. of Green Smart, Graduate School, Sang Myung University, Student,
[2] Dept. of Green Smart, Graduate School, Sang Myung University, Professor.

ABSTRACT

This study investigates the characteristics and physical habitat requirements for each *Bufo gargarizans* life history through a literature survey. After deriving variables for each component of *Bufo gargarizans*, in order to reduce regional deviations from eight previously studied literature research areas for deriving the criteria for variables, a total of 12 natural habitats of *Bufo gargarizans*s are selected as spatial ranges by selecting four additional sites such as Umyeonsan Ecological Park in Seoul, Wonheungibangjuk in Cheongju in the central region, Changnyeong Isan Reservoir in the southern region, and Mangwonji in Daegu. This study presents *Bufo gargarizans* SI, a species endemic to Korea, whose population is rapidly declining due to large-scale housing site development and road development, and develops a *Bufo gargarizans* HSI model accordingly to improve the function of the damaged *Bufo gargarizans* habitat and to present an objective basis for site selection of alternative habitat. At the same time, it provides basic data for adaptive management and follow-up monitoring. The three basic habitat requirements of amphibians, the physical habitat requirements of *Bufo gargarizans,* synthesized with shelter, food, and water, and the characteristics of each life history, are classified into five components by adding space and threats through literature research and expert advice. Variables are proposed by synthesizing and comparing the general characteristics of amphibians, among the previously studied single

First author : Cho, Gun-Young, Dept. of Green Smart, Graduate School, Sang Myung University, Student, Tel : +82-41-550-5300, E-mail : ecoplan14@naver.com
Corresponding author : Koo, Bon-Hak, Dept. of Green Smart, Graduate School, Sang Myung University, Professor, Tel : +82-41-550-5300, E-mail : ecoculture@smu.kr
Received : 16 March, 2022. **Revised** : 15 April, 2022. **Accepted** : 9 April, 2022.

species of amphibians, the components of HSI of goldfrogs and *Bufo gargarizans,* and the ecological and physical environmental characteristics of *Bufo gargarizans*. Afterwards, through consultation with an amphibian expert, a total of 10 variables are finally presented by adjacent forest area(ha), the distance between spawning area and the nearest forest land(m), the soil, the distance from the wetland(m), the forest layered structure, the low grassland space, the permanent wetland area(ha), shoreline slope(%), PH, presence of predators, distance from road(m), presence or absence of obstacles. n order to derive the final criteria for each of the 10 variables, the criteria(alternative) for each variable are presented through geographic information analysis of the site survey area and field surveys of the previously studied literature research area. After a focus group interview(FGI) of 30 people related to the *Bufo gargarizans* colony in Cheongju, a questionnaire and in-depth interviews with three amphibians experts are conducted to verify and supplement the criteria for each final variable. Based on the finally developed *Bufo gargarizans* HSI, the *Bufo gargarizans* habitat model is presented through the SI graph model and the drawing centering on the *Bufo gargarizans* spawning area

Key word : *Amphibians, Ecological restoration, Habitat evaluation, Restoration location selection, Toad*

I. 서 론

1992년 브라질 리우에서 체결된 생물다양성 협약(CBD)에 의해 생물자원 주권권리를 인정함에 따라 세계 각국은 자국의 생물자원 감소에 대처하기 위하여 멸종위기종, 희귀종, 보호종 등의 보전 연구를 활발히 진행하고 있다. 유네스코는 2020년 전 세계인을 대상으로 2030년 지구가 직면할 네 가지 큰 도전을 물어본 결과 응답자의 67%인 1만여 명이 '기후변화와 생물다양성 상실'이라는 답변을 선택한 것으로 조사됐다(UNESCO, 2021). 또한 2021년 환경부가 마련한 탄소중립 이행계획은 생태기반 기후변화 적응을 위해 생물다양성 전략과 생태계 건강성 확보를 목표로 하고 있다(Ministry of Environment, 2021). 이처럼 생물다양성 상실 문제는 전 세계가 직면한 관심 사항으로 떠올랐고 우리 정부도 실천적 정책을 마련하며 대응 노력에 속도를 내고 있음을 알 수 있다.

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).

양서류 중 두꺼비(*Bufo gargarizans)*는 무미목(Anura) 두꺼비과(Bufonidae) 두꺼비속(Bufo) 속하는 종으로 우리 선조들로부터 집지킴이로 인식돼 왔고(Park, 2000), 다양한 분야에서 친숙한 관련을 맺어 왔다. 또한 두꺼비는 서식반경이 1.5km로 타 양서류에 비해 넓은 것으로 나타났으며, 주 서식환경은 숲과 연결된 방죽, 연못, 저지대로 산란기 및 동면기 등 생활사로 인하여 육상 생태계와 호소 생태계를 이동하는 종이다(Lee, 2013). 그러나 마을 도로와 농수로의 포장으로 인해 마을 저수지에서 번식하는 두꺼비들이 차량에 의해 치여 죽는 사례가 급속히 늘고 있고(NIBR, 2010), 전국에 넓게 분포해 개체수가 비교적 많은 편이나 개발행위에 의한 두꺼비 서식지 파괴 및 이상 기후 등으로 개체군이 감소하고 있는 것으로 추측되며 앞으로도 개체군 감소가 지속될 것으로 예상 된다(NIBR. 2011). 이에 세계자연보전연맹(IUCN)은 개체수가 감소하고 있어 관심대상(LC) 등급으로 평가하였고, 환경부는 '포획금지 야생동물'로 지정·관리하고 있으며, 전국 최초로 서울시는 관찰하기 희귀하

다는 이유로 2000년부터 '서울시 보호야생생물'로 지정 관리하고 있다. 이러한 이유 등으로 2011년부터 자연환경보전법에 근거한 생태계보전협력금사업시 매년 1~2건의 두꺼비 서식지 복원이 진행되고 있기 때문에 두꺼비 서식지 복원의 중요성을 시사하고 있다(Cho, 2017).

양서류와 두꺼비에 관한 선행연구로는 한국산 양서류의 분류(Kim, 1971)를 시작으로, 단일종별 생물학적 특성과 물리적 서식특징 및 분포에 관한 연구(Lee, 2011)에서 HSI(Habitat Suitability Index, 이하 HSI) 개발을 통한 적합한 위치 선정과 서식지 복원연구로 확산되고 있다. 환경영향평가 제도 등에서 양서류 서식지 전반에 관한 연구 및 가이드라인(환경부, 2013)을 제시하고 있으나 양서류 각각의 단일종에 관한 연구가 부족하고 최근에는 멸종위기 양서류 중심으로 연구되고 있다. 국내 양서류 단일종에 관한 HSI 모델 개발에 관한 연구로는 아무르산개구리(Shim, 2004), 맹꽁이(Shim et al., 2014), 금개구리(Shim et al., 2020)가 연구되었다.

이와 같이 두꺼비는 한국의 고유한 생태문화적 가치를 지니고 있으며, 육상과 호소생태계를 오가며 서식하는 종으로 다른 동물에 비해 서식지에 민감하고 이상 기후변화 서식환경 훼손에 의해 개체군 급감이 예상되는 종이다. 이와 관련된 두꺼비의 생태적 특징과 이동에 관한 연구 및 대체서식지 복원 후 모니터링은 찾아볼 수 있으나 물리적 서식지 복원을 위한 서식지 적합성 평가에 관한 연구는 미흡하다. 이로 인해 두꺼비의 생태적 특징에 적합한 서식지 복원이 이루어지고 있지 않아 관련 연구가 절실히 필요하다.

본 연구의 목표인 서식지 모델개발 연구방법으로는 단일종 평가, 생물군집평가, 지역 및 경관단위 평가로 구분할 수 있다(cho, 2017). 이중 단일종 평가의 대표적 방법으로는 HSI 개발방법이 있으며, 생물군집평가 방법으로는 비오톱 지도제작 및 평가 방법, 지역 및 경관단위 평가로는 단위생태계로서의 습지기능평가인 RAM 평가 방법이 대표적이다(GU, 2001). 본 연구에서는 두꺼비 서식지 모델개발을 위하여 단일종 서식지 평가 방법인 HSI 모델개발 방법으로 수행하였다.

HSI란 특정 야생생물이 서식할 수 있는 서식지의 능력, 즉 공간의 수용력을 나타내는 정량적 지표를 말한다(Giles. 1978). 환경영향평가의 야생동식물에 대한 평가 항목에 포함되는 모든 공정을 서식환경평가절차(Habitat Evaluation Procedure: 이하 HEP)라고 정의(U.S FWS, 2013)하고 HEP절차 중 HSI는 야생동물종이 서식할 수 있는 서식지의 능력을 나타내는 수치적 지표를 정의하며, 이는 서식지로서 적합하지 않은 값을 나타내는 0에서부터 최적의 서식지를 나타내는 1까지의 값으로 산정하였다(Inhaber, 1976). 즉, 동일한 목표종(Evaluation species)에 대하여 최적의 서식지 조건 대비 연구대상지역의 서식조건의 비로 산정하며 산정식은 (Table 1)과 같다(Shim. 2004).

Table 1. HSI index formula

$$\text{HSI}\ (0 \sim 1) = \frac{\text{Of the study area Format conditions}}{\text{Optimal Habitat Conditions}}$$

본 연구목적은 두꺼비 HSI 평가요소인 구성요소를 도출하고 구성요소별 변수와 그에 따른 기준을 도출하였다. 제시된 HSI 변수별 기준을 토대로 두꺼비 서식지 모델을 제시하고자 하였다. 이를 위한 구체적 연구목적은 다음과 같다.

첫째, 일반적 양서류 서식요건을 기본으로 두꺼비와 서식요건이 유사한 금개구리와 맹꽁이 구성요소의 비교분석을 통해 두꺼비의 구성요소를 제시하고

둘째, 두꺼비의 생태·물리적 서식환경 특성을 종합하고 국내 집단서식지의 문헌조사와 현장조사를 통해 구성요소별 변수제시와 변수별 기준을 도출하고자 한다.

셋째, 도출된 두꺼비 HSI를 적용한 두꺼비 서

Table 2. Study flow

HSI development of *B. gargarizans*		⇒	Presentation of HSI model of *B. gargarizans*	
1	Research for ecology and habitat of *B. gargarizans*		5	Developing the final *B. gargarizans* HSI
2	Selection of *B.gargarizans Habitat* Components and Variables		6	Presentation of HSI model of *B. gargarizans* (Suitability Index graph model and Cross section of the *B. gargarizans* habitatCross section of the toad habitat model model)
3	*B. gargarizans* Natural Habitat Survey (Literature research in 8 Areas, Field survey 4 Areas)			
4	Derivation and verification of criteria for each variable (focus group interview → Expert Survey)			

식지의 모델을 제시하고자 한다.

제시된 두꺼비 서식지 모델은 두꺼비 서식지 복원시 적합한 입지선정과 객관적이고 구체적 복원방안의 근거를 마련하며 체계적인 유지관리방안 및 정량적 사후 모니터링 등의 자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

II. 연구방법

본 연구를 통해 개발하고자 하는 두꺼비 서식지 모델의 범위는 동면지와 연계된 산란지 주변 중심의 서식지로 규정한다.

본 연구는 크게 두꺼비 HSI 개발과 두꺼비 서식지 모델 제시의 2단계 연구방법으로 구분하여 수행하였다.

연구방법은 (Table 2)과 같은 세부절차에 따라 진행하였다.

1. 두꺼비의 생활사별 특징 및 물리적 서식요건 문헌조사

두꺼비의 물리적 서식요건 연구를 위해 양서류의 3대 기본서식요건인 먹이, 물, 은신처(Adams, 1994)를 기본으로 최근 연구되고 있는 양서류의 일반적 4가지 구성요소인 공간, 먹이, 물, 은신처(Shim et al., 2014, 2020)로 구분하여 두꺼비의 물리적 서식요건과 생활사별(알, 유생, 아성체, 성체) 서식환경 특징을 문헌조사를 통해 종합하였다.

2. 두꺼비의 서식지 구성요소와 변수(안) 선정

두꺼비 서식지 구성요소와 변수(안) 선정을 위하여 기존 HSI가 연구된 양서류 중 맹꽁이의 변수(Shim, 2015), 금개구리의 변수(Shim, 2020) 및 환경부의 양서류 대체서식지 조성시의 물리적 조건(Ministry of Environment, 2013)과 본 연구에서 문헌조사된 두꺼비의 생활사별 물리적 서식요건을 비교 종합하여 두꺼비 변수(안)을 선정하였다.

3. 두꺼비 집단서식지 조사

선정된 두꺼비 HSI 변수(안)을 바탕으로 두꺼비 HSI 변수별 기준도출을 위해 아래와 같이 인위적으로 조성된 대체서식지 등을 제외하고 자연발생된 대표적 두꺼비 집단서식지를 조사하였다.

두꺼비 서식지변수별 기준의 조사방법은 기존 연구된 학술논문, 모니터자료 등의 문헌조사를 우선으로 조사하고 구성요소별 특징에 따라 지리정보로 보완하고 그 외 현장조사를 통하여 세부적으로 보완하고 검증하였다. 두꺼비의 물리적 환경특징 조사를 위한 변수별 조사방법은 (Table 4)와 같다.

Table 3. Criteria for selection of survey areas

Classification		Criteria for Selection.	Survey Point
Literature (1 ~ 8)		Yi et al., (2009, 2010)	2009 ~ 2010
Field survey (A ~ D)	A	Seoul Wildlife (Toad) Reserve. designation date (2007.12)	2017
	B	Chungbuk Citizen's Environment Research Institute (2006) Jin (2008)	2004
	C	Lee et al., (2013)	2013
	D	Nam (2015)	2016

Table 4. Standard survey method by *B. gargarizans* habitat variable

Environmental factor	Habitat variable	Survey method
Space	Adjacent forest area (ha)	A, C
	Distance between spawning area and the nearest forest area (m)	C
Cover	Soil quality	D
	Distance from wetland (m)	A, C
Food	Layered structure of forest	I
WATER	Permanent wetland area (ha)	A, C
	Slope in wetland (%)	A, D
Threatening factor	Presence of predator	G, H
	Distance from street (m)	C
	Presence of Obstacle	C

* A (Literature suvey), B(Field suvey), C (http://egis.me.go.kr), D (http://soil.rda.go.kr), E (https://map.forest.go.kr/forest), F (http://water.nier.go.kr), G (https://www.kbr.go.kr/index.do), H (https://www.data.go.kr/index.do), I (Ministry of Environment, 2013)

1) 조사 대상지 선정기준

두꺼비 HSI 변수 및 기준 도출을 위한 공간적 범위로는 두꺼비 집단서식지 총 12곳으로(Yi et al., 2009, 2010)에서 제시된 문헌조사지역 8곳과 두꺼비 대표적 집단서식지 4곳의 현장조사지역을 추가 선정하여 문헌조사를 보완하였다(Table 3)

2) 두꺼비 집단서식지 문헌조사

문헌조사 지역으로는 2009년~2010년 이정연(Yi et al., 2010)이 연구한 전국의 두꺼비 집단서식지인 양주시 덕계지, 광주시 양촌마을, 의왕시 포일2지구, 전주시 학소제, 대구광역시 대곡지, 청도군 병해지, 울산광역시 지곡저수지 및 전주시 금호지로 총 8곳의 기초자료와 양서류의 일반조건(Ministry of Environment, 2011. 2013)을 추가하여 두꺼비HSI변수(안)과 변수별 기준을 도출하였다.

3) 두꺼비 집단서식지 현장조사

두꺼비의 지역적 편차를 줄이기 위해 추가된 현장조사지역은 두꺼비 집단서식지로 인정받아 보호지역으로 지정 관리되고 있거나 기존 두꺼비 서식지로서 모니터링된 곳, 또는 집단서식지로 연구된 대상지를 선정하였다.

전국 최초로 두꺼비의 법적 보호지역 중 서울시

자연환경보전조례에 따라 2007년 12월 야생생물 보호지역(두꺼비 서식지, http://parks.seoul.go.kr)으로 지정된 우면산()과 중부지역 대표 집단서식지인 청주 원흥이방죽, 남부지역 대구 망월지, 창녕 이산저수지를 포함하여 지역별로 전국총 4곳의 두꺼비 대표 집단서식지를 선정하여 지역적 오차를 최소화 하였다. 현장 조사 및 문헌조사 시점은 2009년부터 2017년까지 조사한 자료를 분석하였다, 이중 우면산과 원흥이방죽의 현장조사 시점은 두꺼비 집단서식지가 훼손되기 이전으로 우면산 생태공원은 2011년 산사태 이전의 서식지를 조사분석 하였고, 청주 산남동 원흥이방죽은 2005년 택지개발 이전 시점을 기준으로 조사하였다(Figure 1).

두꺼비 집단서식지 조사지역의 선정기준과 조사시점은 (Table 3)과 같다.

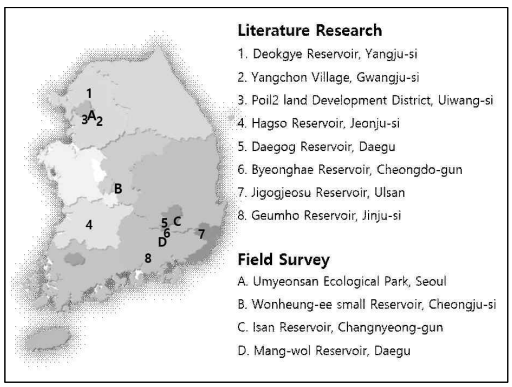


Figure 1. *B. gargarizans* Habitat Survey Area

4. 변수별 기준도출과 검증

국내 두꺼비 집단서식지의 문헌조사지역 8곳과 현장조사 지역 4곳을 통해 두꺼비의 변수별 기준(안)을 도출하였다. 변수별 기준도출과 검증을 위해 대표적 질적 연구검증 방법의 하나인 포커스그룹인터뷰 1회 후 양서류 전문가 설문 1회를 진행하였다. 포커스그룹인터뷰(focus group interview, 이하 FGI)는 대표적인 질적 연구 방법의 하나로, 5~10명의 사람들을 동시에 인터뷰하는 방법이다(National Institute of the Korean Language). FGI는 설문조사를 하기 전 내용을 파악하고자 할 때 사용된다(Krueger et al., 2000). 특히 전문가 집단의 의견을 개별로 확보하는 델파이 연구와는 달리 FGI는 '참여자 간의 상호작용과 토론과정을 통해서 나타나는 집단 활동(group work)이나 역학(group dynamics)'의 관찰을 통해 정보를 얻는 조사 방법이다(Morgan, 2007).

본 연구에서 진행한 FGI는 집단서식지로 알려졌던 원흥이 방죽이 있던 청주 산남동에서 2015년 4월 8일 두꺼비생태공원과 관련된 양서파충류전문가 3인, 두꺼비 보호활동관련 시민단체 2인, 충북·청주지역 환경시민단체 2인, 주민대표 5인, 청주시 공무원 2인 외 두꺼비 생태공원 인근 주민들이 포함하여 총 30명으로 구성하여 진행하였다.

FGI를 통해 전문가 설문내용을 사전 검토 보완 후 최종 변수별 기준검증을 위해 양서류 분야 박사 이상의 연구경력과 20년 이상의 양서류 연구 및 두꺼비 서식지 복원 등의 현장경험을 갖춘 총 3인의 설문을 통해 두꺼비 HSI 변수별 기준(안)과 변수별 기준을 최종 검증하였다.

5. 두꺼비 서식지 모델개발

본 연구를 통해 개발된 두꺼비 서식지 모델의 범위는 동면지가 연계된 산란지 중심의 서식지를 말하며, 개발된 두꺼비 HSI는 두꺼비 서식적합성 지수 그래프 모델과 산란지 중심의 서식지 모델단면도로 최종 제시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 두꺼비의 생활사별 특징 및 물리적 서식요건 문헌조사

두꺼비의 서식지와 행동권에 관련된 연구로는 초지, 경작지, 산림지대의 산사면, 계곡 주변의 낙엽, 돌무덤, 바위, 고목 아래에서 관찰되었으며, 두꺼비의 보전을 위해서는 주요 번식지를 중심으로 최소 반경 1.5km의 서식지가 보호되

어야 할 것으로 판단하였다(Lee et al., 2013).

두꺼비의 이동시기와 이동거리에 관련한 내용으로 아성체나 두꺼비 성체는 비가 오고 나면 여름 서식지로 떠나게 되는데 먹이를 찾아서 점점 산란지에서 멀어지며 여름 서식지로 가게 된다. 이 때 수백m에서 3,000m(3km) 떨어진 숲이나 공원, 정원으로 가게 된다(Rainer, 1996). 암컷은 수컷에 비하여 보다 길게 이동하고 행동권 역시 수컷보다 상대적으로 2~3배 더 넓은 것으로 보고되었다(Miaud et al. 2000: Muths 2003). 따라서 한국산 암컷 두꺼비는 번식지로부터 500~1,500m 범위 내로 이동할 것으로 예상된다(Lee et al., 2013).

두꺼비의 주요 먹이원은 파리, 모기, 개미, 나비, 나방, 딱정벌레와 같은 곤충류를 비롯해 지렁이와 같은 빈모류를 잡아먹는 것으로 나타났다(Lee, 2011).

번식시기와 산란지와 관련된 연구로 두꺼비는 3월 중순경(지역에 따라 편차를 보임)에 매년 같은 웅덩이를 찾아 산란하는 특성을 갖고 있다(Shim,, 2001). 산지 주변의 저수지, 물웅덩이, 논, 농수로에서 알과 성체를 볼 수 있다(Lee, 2011).

추위를 피해 굴이나 땅속에서 겨울잠을 자고 이른 봄에 동면에서 깨어나 산란지로 떠난다. 무논과 같이 새끼가 살기에 적당한 산란장소를 찾아가는데, 수㎞까지 이동하는 것으로 알려져 있다. 생태지형학적 특성에 따라 다 자란 산란 가능한 암컷이 3~4월에 산란지에 도착한다. 수컷은 암컷보다 1~2주(특별한 경우는 3~20일간) 먼저 나타난다. 도착하는 첫날은 수면 아래에 있으며 바닥의 움푹한 곳이나 혹은 수초 사이에 숨기도 한다(Rainer, 1996).

은신처인 동면처와 춘면처에 관한 연구로는 두꺼비는 번식이 끝난 뒤에는 주변의 초지, 농경지 또는 낮은 산지의 땅속에서 한 달가량 봄잠을 자고 10월부터 동면한다. 낮에는 돌 밑이나 초지, 산사면의 땅속에 굴을 파고 숨어 있으며, 주로 밤에 활동한다(Lee, 2011).

두꺼비의 위협요소에 관한 연구로 6월 말부터 장마철 밤이면 산란 후 동면처로 이동하는 두꺼비 성체나 새끼 두꺼비가 개발된 도로로 인해 로드킬을 당하거나 이동이 어려워졌고, 다목적댐이 생기고 대형저수지가 개발되면서 논 가장자리를 차지했던 물웅덩이나 산란습지가 소실되어 두꺼비의 개체수가 급격하게 줄고 있다. 또 기후변화에 의한 이상기온, 농업의 기계화, 수환경의 산성화 등의 원인으로 인간간섭이 적은 산지에서나 간혹 관찰되는 희귀종이 되어 가고 있다(Shim,, 2001).

이와같이 선행 연구된 두꺼비의 생활사는 성장에 따라 알, 유생(올챙이), 아성체, 성체로 나눌 수 있다. 생활사별 두꺼비의 물리적 서식요건에 따른 특징은 서식지, 행동권, 이동시기, 먹이, 번식시기, 산란장소, 은신처(동면지, 춘면지) 및 위협요소로 구분하여 종합한 내용은 (Table 5)와 같다. 더불어 두꺼비의 한 해 동안의 생활사는 출현기, 번식기, 활동기, 동면기로도 구분할 수 있다.

2. 두꺼비의 서식지 구성요소와 변수(안)

변수(안)은 전문가 설문 전에 FGI 1회를 거쳐 양서류 전문가 3인에게 변수(안)의 중요도에 대한 설문을 통하여 최종변수를 선정하였다(Table 6). 이에 따른 설문결과는 다음과 같다.

먼저 산란지 고도는 지리산 등 높은 고도에서도 두꺼비 서식이 발견되는 등 서식분포 범위가 넓어 변수로는 의미가 없는 것(2명이 중요도가 낮음 판단)으로 조사되어 최종 변수에서 제외하였다.

돌 및 돌 틈의 다공질공간은 변수의 중요도 평가에서 전문가 의견이 고루 분산되어 최종 변수에서 제외하였다.

수생식물 피도와 저층 초지공간은 두꺼비의 산란시기 및 이동시기인 2~5월 초에는 수생식물이 번성하기 전으로 수생식물 피도와는 밀접

Table 5. Comprehensive of environmental factors by life cycle of *B. gargarizans*

Environmental Factor \ Life history		Spawn	Tadpole	Juvenile	Adult
Space	Habitat	Water plants, Plant debris, The bottom of the rice, fallen leaves, branches	Reservoir around the mountain, The edge of the wetland, paddy field with water, puddle, agricultural waterway,	Lowlands and Flat land in the forest, Grassland, arable land, mountain slopes, fallen leaves around the valley, stone tombs, rocks, and old trees.	
	moving radius	Some areas in the spawning area		At least 1.5km radius or hundreds to 3.0km radius	
	when to move	-	-	March to late June, overcast or rainy days or nights	
Food		-	Vegetable food, diatoms, and blue-green algae	Thysanura and ticks	Aquatic Insects, Nocturnal insects
Water	breeding season	-	-	-	February to April
	spawning place	-			The edge of the reservoir, paddy puddle, water puddle, Agricultural waterway, paddy field with water and water plants
Cover		Water plants, plant debris, base of rice, fallen leaves, branches		The edge of the spawning area	• Spring sleep After spawning, in the soil of grassland, farmland, or low mountains • winter sleep In caves or underground, in forest edges and rocks in the valley
Threatening Factor	Predator	-	Aquatic insects, Other than big fish	Insects, birds, other than mammals	Bloodthirsty, mammals, Large birds, birds of prey, Other than rodents
	Environmental changes	Development projects such as urbanization, road and multi-purpose dam development, large reservoir construction, and mechanization of agriculture, etc. Abnormal temperature, climate change, acidification of water quality, etc.			

Table 6. Selection of environmental factor and habitat variables of *B. gargarizans*

Environmental Factor	*Kaloula borealis*	*Pelophylax chosenicus*	*B. gargarizans* (Alternatives)	*B. gargarizans* (Final result of in-depth consultation)
Space	-	Habitat area	Adjacent forest area (Habitat area)	SI1. Adjacent forest area (Habitat area)
	Distance from wetlands, grasslands, fields, rivers, and rice fields	-	Distance between spawning area and the nearest forest area	SI2. Distance between spawning area and the nearest forest area
	Altitude of spawning pond	Altitude of spawning pond	Altitude of spawning pond	Unfit
Cover	Stones and between the stones	-	Stones and between the stones	Unfit
	Soil quality	Soil quality	Soil quality	S3. Soil quality
	-	Distance from wetland	-	S4. Distance from wetland
Food	Layered structure of forest	-	Layered structure of forest	SI5. Layered structure of forest
	Low-rise grassland	Place for eating (land cover)	Low-rise grassland (Place for eating)	Unfit
WATER	Permanent wetland area	-	Permanent wetland area	S6 Permanent wetland area
	Area of temporary wetland	-	-	Unfit
	Coverage of emerged plants on wetland (Ratio of open water)	-	Coverage of emerged plants on wetland (Ratio of open water)	Unfit
	-	-	Slope in wetland	SI7 Slope in wetland
	Water depth	-	Water depth	Unfit
	pH	-	pH	Unfit
Threatening Factor	Presence of predator	Predator (*Lithobates catesbeianus*) distribution	Presence of predator	SI8 Presence of predator
	Distance from street	-	Distance from street	SI9 Distance from street
	-	-	-	SI10 Presence of Obstacle

한 관련이 없다는 3인의 전문가 의견으로 최종변수에서 제외하였다.

또 수심과 관련해서는 두꺼비는 독이 있고 천적으로부터 안전을 위해 집단유영하고 다른 양서류에 비해 더 깊은 곳에서도 산란이 가능하여 중요도가 크지 않다는 의견과 관련이 높다는 의견이 분산돼 최종변수에서는 제외하였다.

마지막으로 두꺼비는 이동거리가 긴 양서류

로 산란지와 서식지 사이에 건물, 콘크리트 농수로 등 장애물 유무에 의한 고려가 매우 중요하다는 의견이 있어 장애물 유무를 최종변수에 추가하였다.

이와 같이 공간, 은신처, 먹이, 물, 위협요소의 5개 구성요소로 구분하였고, 양서류 전문가 3인의 설문과 자문에 따른 검증결과 두꺼비의 최종 변수는 인접 임지면적, 산란지와 최인접 임지간 거리, 토양, 습지로부터의 거리, 수림대 층상구조, 영구습지 면적, 호안경사도, 포식자(천적)의 유무, 도로와의 거리, 장애물 유무의 최종변수 10개를 선정하였다(Table 6).

3. 조사결과

문헌조사 지역 8곳과 현장조사지역 4곳의 10개의 변수별 기준을 조사한 결과는 (Table 7)과 같다.

인접 임지의 면적은 2.0~382.2ha로 최소 평균 89ha로 조사되었으며, 산란지와 최인접 임지간 거리는 20~324m로 평균거리는 130m로 나타났다.

토양의 표토토성으로는 양토, 사양토, 미사질양토가 고루 나타났으며, 습지로부터의 거리는 13~100m로 평균거리 52m로 분석되었으며, 수림대 층상구조로는 초본, 관목, 교목이 고루 분포되어 있는 것으로 조사되었다.

영구습지면적은 0.2~8.0ha까지로 조사되었고 이는 평균 1.7ha로 분석되었고 호안경사도로는 10~29%로 나타났으며 평균 22%의 경사도로 분석 되었다.

포식자(천적)의 유무에 관련되어 환경부(2013)에서는 별도의 변수를 제시하고 있지 않으나 포식자 유무 조사결과 주 포식자인 황소개구리는 발견되지 않았다.

도로와의 거리는 주변에 도로가 없는 지역인 0~119m까지로 조사되어 평균 60m의 거리로 조사되었으며 장애물 유무로는 산란지에서 서식지 간 사이에 장애물이 없었거나 부분적으로 건축물, 개방형 수로 등의 두꺼비가 이동시 장애를 줄 수 있는 지장물이 있는 것으로 조사되었다.

4. 두꺼비 SI 및 HSI 모델 개발

1) 두꺼비 SI

문헌조사와 현장조사 결과를 청주 산남동 두꺼비 집단서식지였던 두꺼비 생태공원과 관련된 30명의 FGI를 거쳐 양서류 전문가 3인의 설문과 심층인터뷰를 통하여 변수와 기준을 검증하였으며 최종 두꺼비 HSI는 다음과 같다(Table 8).

SI1 '인접 임지면적'에 대한 조사결과 집단서식지 인접임지의 최소면적이 2.0ha으로 조사되었고, 임지의 면적만큼 임지경계부가 다양한 형태일수록 두꺼비 서식에 유리하다는 전문가 의견과 조사면적 중 가장 최소면적 이였던 2.0ha에서도 집단서식이 가능했던 것을 고려하여 2.0ha 이상을 SI=1.0으로 설정하였고 2.0ha 이하를 SI=0.0으로 설정하였다(Figure 2.(SI 1)).

SI2 '산란지와 최인접 임지간 거리'는 가까울수록 유리하다는 환경부(Ministry of Environment, 2013)와 전문가 의견이 있어 조사된 거리를 바탕으로 0~20m를 SI=1.0으로 설정하였고, 조사된 거리중 가장 먼 거리인 324m 이상은 SI=0.0으로 설정하였다(Figure 2.(SI 2)).

SI3 '토양'에 관한 표토의 토성을 조사한 결과 양토, 사양토, 미사질양토의 표토가 고루 분포하였으며 두꺼비는 땅속에서 동면하고 번식지 주변 땅속에서 춘면 하므로 부드러운 흙이 중요하다는 전문가 의견에 따라 양토, 사양토, 미사질양토의 부드러운 흙을 SI=1.0으로 설정하고 그 밖의 경화된 표토의 토질은 SI=0.0으로 설정하였다(Figure 2.(SI 1)).

SI4 '습지로부터의 거리'는 습지와 봄잠을 위한 은신처의 거리를 분석하는 것으로 가까울수록(Ministry of Environment, 2013) 서식에 유리하다는 기준과 자문의견을 근거로 조사된 거리 중 가장 가까운 13m 이하를 가장 높은 점수인 SI=1.0으로 설정하고 13~100m를 SI=0.5로 하고 가장 먼거리로 조사된 100m 이상의 거리는

Table 7. Results of a survey of habitats of B. gargarizans

Environmental Factor	Habitat Variable	Literature Research									Field Survey				Result
		Amphibian habitat conditions [1)]	1	2	3	4	5	6	7	8	A	B	C	D	Average (minimum~maximum)
Space	Adjacent forest area (ha)	-	187.0	5.3	8.0	2.0	13.8	10.5	2.1	2.5	382.2	145	303	7.2	89ha (2.0~382)
	Distance between spawning area and the nearest forest area (m)	The closer the better	192	213	63	131	20	280	324	86	55	70	44	83	130m (20~324)
Cover	Soil quality[2)]	-	SL	L	SL	L	L SL SIL	SL	L SL	L SIL	SL	SL	L	L	L or SL or SIL (Soft soil)
	Distance from wetland (m)	The closer the better	100	90	no value	33	13	70	67	60	66	27	20	27	52m (13 ~100)
Food	Layered structure of forest	multi-layer structure (Presence of the upper, intermediate and lower layers structure)									multi-layer structure (Presence of the upper, intermediate and lower layers structure)				multi-layer structure
WATER	Permanent wetland area (ha)	The wider the better	3.7	8.0	1.4	0.3	0.2	0.4	2.0	1.6	0.24	0.44	0.45	1.2	1.7ha (0.2~8.0)
	Slope in wetland (%)	The gentler the better	21	10	28	23	25	29	28	15	25	10	28	22	22 (10~29)
Threatening factor	Presence of predator	-	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None
	Distance from street (m)	The farther the better	119	54	no value	0	40	100	60	90	67	31	52	48	60m (0 ~ 119)
	Presence of Obstacle	-	existence	existence	none	none	none	none	none	existence	existence	none	existence	existence	None or Existence

SI=0.0으로 설정하였다(Figure 2.(SI 4)).

SI5 '수림대 층상구조'는 다층구조(Ministry of Environment, 2013)의 기준과 조사된 결과를 반영하여 다양한 먹이자원 유입이 가능 할 것으로 판단되는 다층구조를 SI=1.0으로 설정하였고 단층구조인 경우에라도 두꺼비가 생존이 불가능한 것은 아니므로 0.0이 아닌 SI=0.25를 부여하였고 식생이 없는 경우는 SI=0.0으로 설정하였다(Figure 2.(SI 5)).

SI6 '영구습지면적'은 (Ministry of Environment, 2013)와 양서류 평가기준과 설문결과에서 넓을수록 서식에 유리하나 조사된 습지면적중 가장 규모가 작았던 면적 0.2ha였어도 두꺼비가 서식하고 있었던점을 감안하여 최소면적인 0.2ha 이상을 SI=1.0으로 하고 0.2ha 이하는 SI=0.0으로 설정하였다(Figure 2.(SI 6)).

SI7 '호안경사도'는 (Ministry of Environment, 2013))에서 완만할수록 양서류 서식지에 유리하다는 기준과 정확한 확인이 어렵다는 설문결과를 바탕으로 조사된 평균경사인 22% 이하를 SI=1.0으

Table 8. Setting standard of variable of suitability index for *B. gargarizans*

Environmental Factor	Habitat Variable		Values
Space	SI 1 Adjacent forest area (ha)	1.0	2.0ha or more
		0.0	Less than 2.0ha
	SI 2 Distance between spawning area and the nearest forest area (m)	1.0	0 ~ 20m
		0.5	20 ~ 324m
		0.0	more than 324m
Cover	SI 3 Soil quality	1.0	L or SIL or SIL (Soft soil)
		0.0	Other value
	SI 4 Distance from wetland (m)	1.0	0 ~ 13m
		0.5	13 ~ 100m
		0.0	more than 100m
Food	SI 5 Layered structure of forest	1.0	multi-layer structure
		0.25	single layer structure
		0.0	Vegetationlessness
WATER	SI 6 Permanent wetland area (ha)	1.0	0.2ha or more
		0.0	Less than 0.2ha
	SI 7 Slope in wetland (%)	1.0	0 ~ 22%
		0.5	22 ~ 29%
		0.0	more than 29%
Threatening factor	SI 8 Presence of predator	1.0	None
		0.0	existence
	SI 9 Distance from street (m)	1.0	more than 60m
		0.0	0 ~ 60m
	SI 10 Presence of Obstacle	1.0	None
		0.5	None or Existence
		0.0	existence

로 설정하고 22~29%는 SI=0.5, 최대경사였던 29% 이상을 SI=0.0으로 설정하였다(Figure 2.(SI 7)).

SI8 '포식자(천적)의 유무'는 (Ministry of Environment, 2013)에 근거한 천적이 없을수록 유리하다는 기준으로 천적이 없음을 SI=1.0으로, 있는 경우 SI=0.0으로 설정했다(Figure 2.(SI 8)).

SI9 '도로와의 직선거리'는 멀수록(Ministry of Environment, 2013)) 유리하다는 기준과 두꺼비 이동시 로드킬이 발생되는 주요 요인이라는 설문결과를 근거로 평균거리인 60m 이상을 SI=1.0으로 하고 0~60m는 SI=0.0으로 설정했다(Figure 2.(SI 9)).

SI10 '장애물 유무'로는 장애물이 없을수록 두꺼비 이동에 유리하므로 장애물이 없을경우를 SI=1.0으로 설정하고, 부분적으로 장애물이 있을 경우는 SI=0.5, 두꺼비가 이동시 현격하게 지장이 있는 장애물이 있을 경우는 SI=0.0으로 설정하였다(Figure 2.(SI 10)).

Cross section of the *B. gargarizans* habitat model

2) 두꺼비 HSI 모델 단면도

최종 개발된 두꺼비 HSI를 바탕으로 (Figure 3)와 같이 두꺼비의 산란지를 중심으로 서식지 단면 모델을 도면화하여 제시하였다.

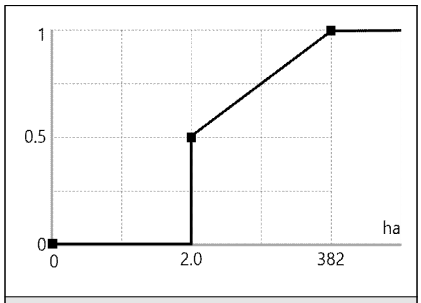
IV. 결론 및 제언

본 연구는 두꺼비의 물리적 환경 조건에 관한 문헌조사를 바탕으로 기존에 연구된 두꺼비 집단서식지 8곳과 현장조사 4지역의 지리정보 분석과 현장조사를 통해 두꺼비 SI을 도출하였다.

도출된 두꺼비 SI(안)은 청주지역 두꺼비 집단서식지였던 두꺼비 생태공원과 관련된 30여 명의 FGI를 거쳐 양서류 전문가 3인의 설문과 심층자문을 통해 두꺼비 HSI(안)을 검증 및 보완 하여 최종 두꺼비HSI모델을 제시하였다.

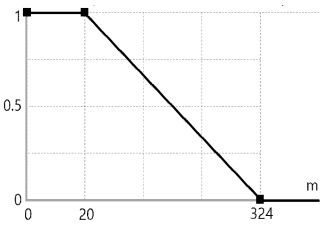
본 연구를 통해 제시된 두꺼비HSI변수로는 습지면적(ha), 산란지와 최인접 임지간 거리(m), 토양, 습지로부터의 거리(m), 수림대 층상구조, 영구습지면적(ha), 호안경사도(%), 포식자 유무, 도로와의 거리(m), 장애물 유무의 총 10개의 변수를 최종 제시하였다.

본 연구를 통하여 얻은 결과는 훼손된 두꺼비

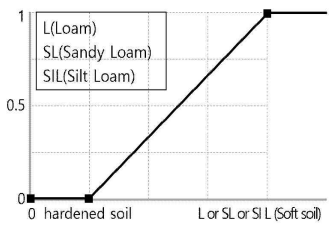


(SI 1) Adjacent forest area (ha)

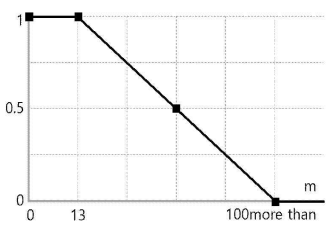
Figure 2. Suitability Index graph model of *B. gargarizans*



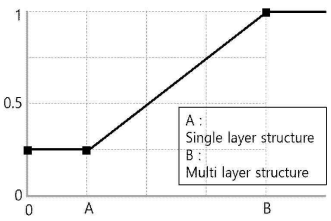
(SI 2) Distance between spawning area and the nearest forest area (m)



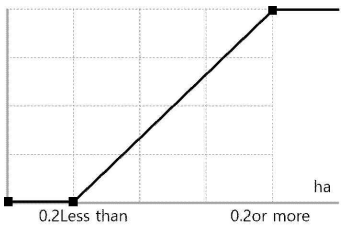
(SI 3) Soil quality



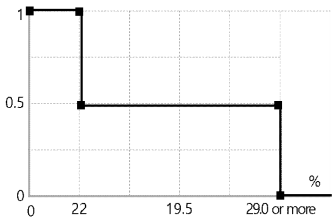
(SI 4) Distance from wetland (m)



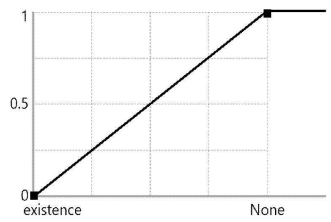
(SI 5) Layered structure of forest



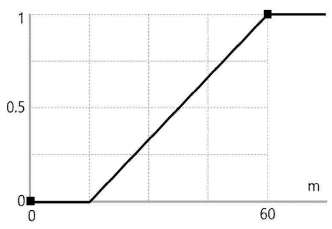
(SI 6) Permanent wetland area (ha)



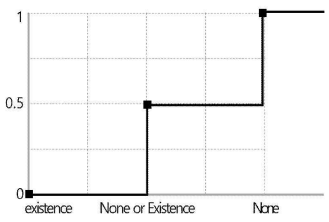
(SI 7) Slope in wetland (%)



(SI 8) Presence of predator



(SI 9) Distance from street (m)



(SI 10) Presence of Obstacle

Figure 2. Continued

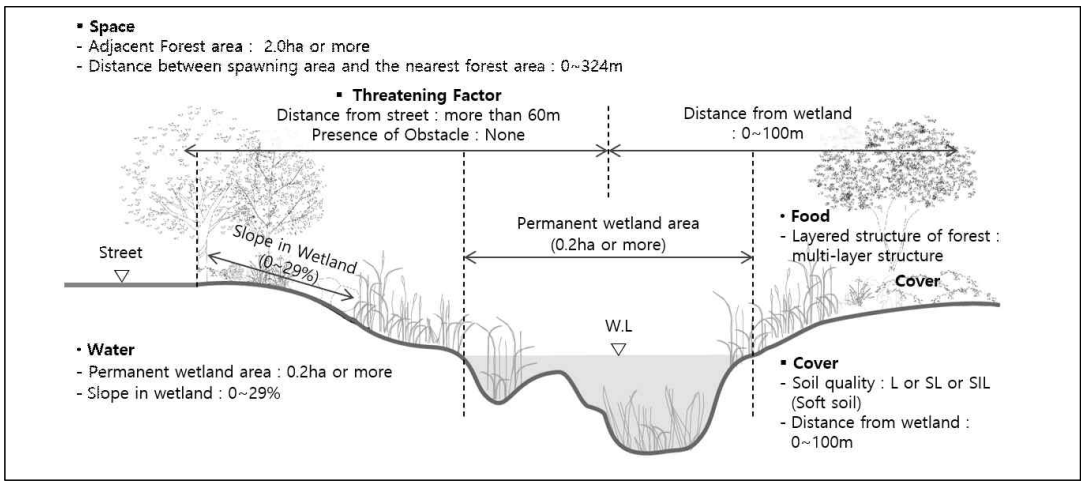


Figure 3. Cross section of the *B. gargarizans* habitat model

서식지 복원 및 대체서식지 조성시 입지선정을 위한 서식지 적합성 평가에 활용될 수 있으며, 대체서식지 복원설계, 두꺼비 서식지 조성 가이드라인 설정, 기존에 복원된 두꺼비 서식지의 생태적 유지관리방안 및 사후 모니터링에 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 연구로는 기타 전문가 의견으로 두꺼비의 생활사 특성을 고려했을 때 적합한 구성요소로 동면처, 춘면처, 먹이, 번식, 위협요소 및 이동통로로 구분할 필요가 있다는 일부 의견도 제시되어 두꺼비의 고유한 생활사에 맞는 구성요소의 연구도 필요할 것으로 판단된다. 또 두꺼비 SI변수에 임상, 은신처 기능의 '돌 및 돌 틈', 수생식물의 피도, 저층 초지면적, ph, 수생식물 종류 등의 변수에 관한 다양한 전문가 의견이 제시되어 추후 정밀한 두꺼비 SI 연구도 필요할 것으로 보인다.

또한 본 연구를 통해 개발된 두꺼비 HSI를 기초자료로 활용하여 두꺼비의 최소존속가능면적(MVA, Minimum Viable Area)과 최소존속개체군 (MVP, Minimum Viable Population)에 관한 연구가 필요 할 것으로 판단된다.

References

Adams, L. W. 1994. Urban wildlife habitats: a landscape perspective. Minneapolis: University of Minnesota Press.

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)

Chungbuk Citizen's Environment Research Institute. 2006. Guryongsan Toad(*Bufo gargarizans*) Habitat Precise Ecological Survey (1st Year). Korea Land Corporation. (in Korean)

Giles, R. H. 1978. Wildlife Management. San Francisco: W. H. Freeman.

Gu BH and Kim GG. 2001. A Study on the Assessment for the Functions of Inland Wetlands Using RAM(Rapid Assessment Method). The Korea Society For Environmental Restoration And Revegetation Technology. 4(3) 38-48. (in Korean with English sum-

mary)

Inhaber, H. 1976. Environmental Indices. John Wiley and Sons. New York, NY.

Jin BG. 2008. The Influence of Environmental Change in's haunts on the Population of in Chungju Wonheung-ee Dike. Master's Thesis,. Graduate School of Korea National University of Education Chung-Buk KOREA. (in Korean with English summary)

Lee JH · Lee CW · Yang HS · Kim TS · Lee JH · Park SJ and Yang BG. 2013. Post-breeding Dispersal and Movement Patterns of Male Asian Toads(*Bufo gargarizans*). Korean Journal of Herpetology 5: 1-8

Lee JH. 2011. Ecological Guide Book of Herpetofauna in Korea. National Institute of Environmental Research. (in Korean)

Miaud, C. · Sanury, D. and Avrillier, J. 2000. Terrestrial movements of the Natterjack toad *Bufo ca-lamita*(Amphibia, Anura) in a semi-arid, agricultural landscape. Amphibia -Reptilia 21: 357-369.

Ministry of Environment. 2013. Guidelines for

Environmental Impact Assessment for Management of Alternative Habitat Creation (in Korean)

Ministry of Environment, 2021. The implementation plan of the Ministry of Environment's carbon neutrality in 2021.

Muths, E. 2003. Home range and movements of boreal toads in undisturbed habitats. Copeia 2003: 160-165.

Nam JH. 2015. A Study on Ecological Park Planning for Toad Habitat in the Mangwel Pond of Daegu City. Master's Thesis, Daegu University. (in Korean with English summary)

National Institute of Biological Resources(NIBR). 2010. A sound guide to Korean frogs. (in Korean)

National Institute of Biological Resources (NIBR). 2011. Red data book of endangered mammals in Korea. (in Korean)

Morgan, D. L. 2007. Focus groups as qualitative research. Second Edition. SAGE.

Park GS. 2000. A Study on the Korean Folktales about Toad. Master's Thesis,. Chonbuk National University Korea. (in Korean with English summary)

Rainer, G. T. 1996. Die Amphibien und Reptillien Deutschlands. German: Gustav Fischer.

Richard, A. K. and Mary, A. C. 2000. Focus Groups A Practical Guide for Applied Research. sage Publications, Inc.

Shim YJ. 2004. A study on the site selection of wetland replacement using Korean redfrog (*Runa 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 · Cho DG · Park S · Lee DJ · Seo YH · 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. Korea Env. Res. Tech. 17(2): 109-123. (in Korean with English summary)

Shim YJ · Kim SR · Yoon KB · Jung JW · Park SU and Park YS. 2020. A Basic Research for the Development of Habitat Suitability Index Model of *Pelophylax chosenicus*. J. Korean Env. Res. Tech. 23(1) : 49-62. (in Korean with English summary)

Shim JH. 2001. A frog that sings life. Publishing books in a different world (in Korean)

U.S. Fish and Wildlife Service. 2013.

UNESCO, 2021. World in 2030 Public Survey Report.

Wake, D. B. and Vredenburg, V. T. 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.

Yi JG · Kim MG · Yang BG · Yoo BH · Kim HG · Kim TK · Choi TY · Park SA · Rho BH and Park SB. 2009. A Study on The Efficient Management of Artificially Created Ecosystem(Ⅱ). National Institute of Environmental Research(NIER). (in Korean with English summary)

Yi JG · Kim MG · Yang BG · Kim TK · Choi TY · Park SA · Kim HG · Oh GJ · Rho BH and Park SB. 2010. A Study on The Efficient Management of Artificially Created Ecosystem(Ⅲ). National Institute of Environmental Research(NIER). (in Korean with English summary)

Yu JH. 2016. A Study on Food Habit of Brown Frog (*Rana dybowskii*) and Asian Toad(*Bufo gargarizans*) Larvae(Tadpole), Master's Thesis, Honam University. (in Korean with English summary)

http://parks.seoul.go.kr/ecoinfo/ecology/index.do

http://soil.rda.go.kr

http://www.nie.re.kr/main

http://www.wamis.go.kr

https://egis.me.go.kr

https://map.forest.go.kr/forest

https://species.nibr.go.kr

https://www.data.go.kr/index.do

https://www.kbr.go.kr/index.do

https://www.korean.go.kr