

중부 산림지역 내 도롱뇽 서식지 적합성 지수(HSI)에 관한 연구

고규영* · 구본학**

*상명대학교 일반대학원 환경자원학과

**상명대학교 그린스마트시티학과

A Study on the Habitat Suitability Index (HSI) of '*Hynobius leechii*' in Central Forest Area, Korea

Kyu Young, Ko* · Bon Hak, Koo**

*Department of Environmental Resources, Graduate School, Sang Myung University

**Department of Green Smart City, Sang Myung University

(Received : 17 August 2022, Revised : 19 September 2022, Accepted : 26 October 2022)

요약

본 연구는 유미목 양서류인 도롱뇽(*Hynobius leechii*)의 생태 및 서식환경에 대한 문헌연구와 현장조사를 통해 서식지 적합성 지수(Habitat Suitability Index, HSI)를 설정하여 서식환경의 질적 평가 기초자료로 활용하기 위한 목적으로 수행하였다. 조사지역은 중부 산림지역 내 서식지 원형에 가까운 자연 서식지와 도롱뇽 출현이 모니터링된 인공 복원지로 구분하여 서식지 유형을 다양화하였다. 도롱뇽은 미소 서식 환경적 특성으로 이동이 제한되어 기후변화에 취약하고 산림개발 등으로 서식지 감소가 빠르게 진행되고 있다. 도롱뇽 HSI 설정을 위해 문헌연구로 변수를 설정하고, 문헌조사와 현장조사에서 추출된 값으로 세부기준을 설정하였다. HSI 변수와 세부기준은 현실에서 적용 가능한 물리적 허용범주의 값을 제시하였고, 연구의 검증을 위해 양서류 전문가의 심층 설문을 실시하였다. 도롱뇽 HSI 변수는 상층부 수관율(%), 하층부 피복율(%), 수중pH, 토양pH, 토양습도(%), 낙엽두께(cm), 하상 암석피도(%), 수목잔존물 유형, 위협요인(m)의 9개 변수로 선정되었다.

핵심용어 : 상층부 수관율, 생태복원, 서식환경평가, 토양수분, 활엽수림대

Abstract

This study was conducted to establish a Habitat Suitability index (HSI) based on literature research and field surveys on ecology and habitat of '*Hynobius leechii*'. And this study will be used as basic data for qualitative evaluation of habitat environment. The survey sites were divided into natural habitats close to the prototype habitat and artificial restoration areas where *Hynobius leechii* was monitored. So the types of habitats were diversified. *Hynobius leechii* is a vulnerable species to climate change because it is affected by the microhabitat and has low mobility. HSI variables of *Hynobius leechii* were extracted through domestic and overseas literature, and standards were extracted from literature research and field survey. The standards were presented as a value of the physical allowable category in consideration of realization. To verify the study, an in-depth consultation was conducted by amphibians experts. HSI variables of *Hynobius leechii* were included 9 variables such as Overstory canopy cover(%), Understory cover(%), Water-pH, Soil-pH, Soil relative humidity(%), Leaf litter depth(cm), Rock substrates (%), Type of Coarse woody, Distance from Street or Pollutant(m).

Key words : Overstor canopy covr, Ecological Restoration, Habitat Evaluation Procedure, Soil relative humidity, Broad-leaved forest

*To whom correspondence should be addressed.

Department of Green Smart, Graduate School, Sang Myung University, Professor.
E-mail: ecoculture@smu.ac.kr

• Ko, Kyu Young Department of Environmental Resources, Graduate School, Sang Myung University / Student (godot38@naver.com)
• Koo, Bon Hak Department of Green Smart, Graduate School, Sang Myung University / Professor (ecoculture@smu.ac.kr)

1. 서 론

양서류는 곤충류와 같은 1차 소비자를 포식하고 상위 포식자의 먹이자원이 되는 먹이사슬의 중간자적 지위로 생태계 균형 유지에 중요한 역할을 한다. 그러나 양서류는 수생지역과 육상지역의 모든 서식지의 영향을 받으므로 서식지 파괴, 수질 오염 등과 같은 요인과 기후변화에 매우 민감하여 빠른 속도로 멸종률이 높아지고 있다(IUCN 2020). 산림에 주로 서식하는 유미목(order Caudata)인 도롱뇽은 육상과 수생환경 양쪽에서 활동하고 땅 속에서 은신과 동면을 한다. 또한 도롱뇽은 낙엽층, 토양수분과 같은 미소 서식환경부터 고도, 수관층 피복률 등과 같은 거시적 요소까지 다양한 요인을 서식 조건으로 한다(Davic and Welsh, 2004).

산림훼손이 가속화되면서 도롱뇽 서식지의 수질 악화나 서식지 단절을 초래하고 서식지 회복 속도가 매우 느려지는 등 서식지에 악영향을 주며(NIBR, 2022), 다른 분류군에 비해 낮은 이동성으로 분산 능력이 극히 제한되어 기후변화에 매우 취약하다(Van Riemsdijk et al., 2017). 도롱뇽은 IUCN 보전등급 중 최소관심종(Least Concern, LC)으로서 아직은 심각한 위기에 처해있지는 않으나, 국내에서는 포획·채취 등의 금지 야생생물, 서울시 야생생물보호종 등으로 지정 관리하고 있다. 국내 연구 흐름으로 볼 때 도롱뇽에 대한 연구는 매우 미미한 실정이다. 도롱뇽과(Family Hynobidae)에 대한 연구는 과거에는 유전적 연구 중심이었으며 최근에는 서식환경에 대한 연구(Jung, 2020)가 진행되고 있다.

서식지 적합성 지수(HSI)는 야생생물종의 서식지 능력을 나타내는 변수(Suitability Index, 이하 SI)별 세부기준을 도출한 정량적 값으로서, 목표종의 최적화 서식지 조건에 대한 연구 대상지역의 서식지 조건을 비교할 수 있어 서식지 간 상호비교가 가능하다(Shim, 2020). HSI는 주로 서식지 적합성 평가(HEP) 과정에서 서식지의 질적 평가에 활용되며, 지금까지의 연구 흐름은 포유류, 조류, 어류, 양서류, 식물류 등에서 다양하게 이뤄지고 있다(Cho, 2022). 양서류의 HSI 연구로는 땀꽂이(Shim, 2015), 금개구리(Shim et al., 2020), 두꺼비(Cho, 2022) 등을 대상으로 연구되어 서식지 평가를

통해 대체습지 조성, 서식지 복원 등에 활용되고 있다.

이처럼 다양한 분류군에 대한 HSI 연구가 진행되고 있으나 도롱뇽을 대상으로 한 HSI 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 도롱뇽 서식지 평가를 통해 도롱뇽 보호, 훼손된 도롱뇽 서식지 복원 및 대체서식지 조성을 위한 기초자료를 제공하기 위해 수행되었다.

2. 연구방법

2.1 연구 범위 및 과정

본 연구는 도롱뇽의 생태와 서식지의 문헌조사를 통해 도롱뇽 HSI의 변수를 추출하고 문헌조사와 현장조사를 통해 도롱뇽 HSI 변수별 세부기준(안)을 설정 후 전문가의 심층 설문을 통하여 변수와 세부기준의 검증단계로 연구를 진행하였다(Fig. 1). 또한, SI 설정에는 인위적으로 조성이 가능한 물리적 하용범주의 값으로 제시하여 현실화가 가능하게 하였다(Tanaka, 2006).

HSI는 U.S. Fish and Wildlife Service에서 최초 개발된 것으로, 한 종이 이용 가능한 서식지의 정량적 특성을 규명하기 위해 서식지와 상호작용에 관한 연구를 바탕으로 개발되었다(Giles, 1978). 이 지수는 서식환경 평가 절차(HEP) 중 단일 생물종 서식지에 대해 0에서부터 1까지의 값으로 평가가 가능하고 산출식은 식1과 같다. 따라서 단일 생물종의 서식환경에 대해 서식지 복원 기법을 제시할 수 있는 자료가 된다(Shim, 2020).

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

Formula 1. HSI formula

본 연구는 도롱뇽의 서식지 적합성 지수를 설정하는 것으로 도롱뇽의 서식지 평가 및 복원이 가능하게 하는 것이 목적이다. 국내에 서식하는 도롱뇽과는 도롱뇽, 한국고리치레도롱뇽, 고리도롱뇽, 이끼도롱뇽 등이 있다. 이 중에서 연구 대상종인 도롱뇽 분포지역은 중국(랴오닝, 길림, 흑룡강) 및

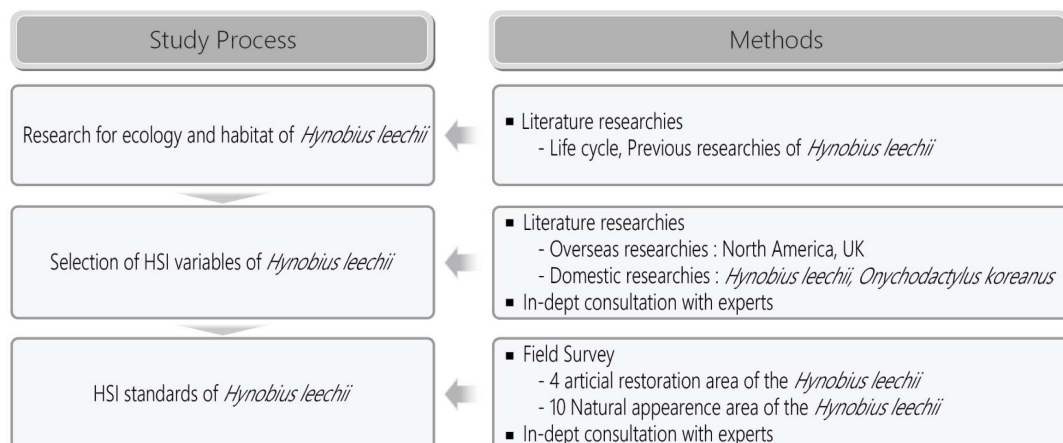


Fig. 1. Framework



Fig. 2. Distribution of *Hynobius leechii*: Northeastern China and Korean Peninsula (Source : Berkeleymapper.berkeley. edu).

한반도에서 분포하고 있으나(Fig. 2; Amphibian Species of the World 6.1, 2022), 한국꼬리치레도롱뇽은 강원도 산림지역, 고리도롱뇽은 부산지역, 이끼도롱뇽은 대전지역, 제주도롱뇽은 제주도지역으로 한정된 분포양상을 보인다(Fig. 3). 3차 전국자연환경조사에서 도롱뇽과 총 3,718지점 중 도롱뇽은 3,401지점에서 출현하여 가장 빈도가 높았고 한반도 전역에 분포하고 있으며(Jang, 2020), 특히 한반도 중부지방에 집중되어 있다(Fig. 4).

도롱뇽과 서식지 유형은 토지피복도(대형서식지) 기준으로 산림지역, 농업지역, 초지대, 습지대에서 출현되고, 출현지역 중 65% 이상이 산림지역과 농업지역이라는 연구에 따라(Choi et al., 2018; Jung, 2020) 본 연구의 거시적 범위는 한반도 중부지역으로 서울·경기도, 강원도, 충청지역을 포함하고(KMA), 토지피복도(대분류)에 의한 산림지역으로 정하였다. 미시적 범위는 물(산란지)을 중심으로 주변산림까지로 정하여 조사하였다. 시간적 범위는 2017년에서 2022년까지로 한정하여 시간적 오류를 최소화하였다(Table 2).

2.2. 국·내외 도롱뇽의 생태 및 서식환경 조사

2.2.1 문헌조사

문헌연구는 서식지 유형을 산림지역으로 하는 국·내외 도롱뇽 관련 연구를 분석하였다. 국내문헌은 산림지역을 주요 서식지로 하는 도롱뇽(*Hynobius leechii*) (Seoul, 2019; Jang, 2020)과 한국꼬리치레도롱뇽(*O. koreanus*) (Hong, 2017; K-Water, 2005; Ministry of Environment, 2001) 2개의 종을 선정하여 HSI 변수 선정을 위해 Table 4와 같이 문헌조사를 하였다. 국외문헌은 우리나라 면적과 유사한 지형적, 기후적 조건으로 인해 비슷한 생물지리학적 조건(Ministry of Environment, 2001)을 지닌 영국 산림에 서식하는 도롱

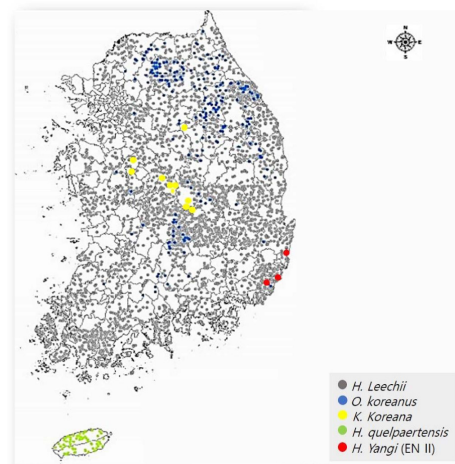


Fig. 3. Distribution of the Family Hynobiidae. *H. leechii*: South Korea, *O. koreanus*: Mountain in Gangwon-do, *H. yangi*: Busan Metropolitan City, *K. koreanus*: Daejeon Metropolitan City, *H. quelpaertensis*: Jeju Island (Source : Jang, 2020)

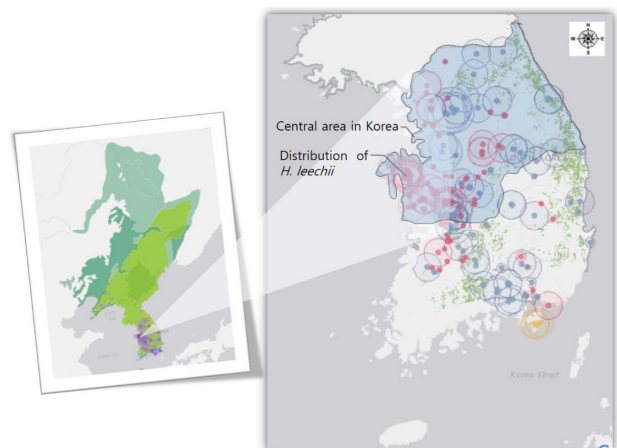


Fig. 4. Distribution of *Hynobius leechii* in Central area, Korea (Source : Map of Life).

뇽인 *Triturus cristatus* (Great Crested Newt)와 미국 산림에 서식하는 *Plethodon stormi* (Plethodon stormi) 등 2개의 종을 선정하였다(Oldham et al., 2000; Costa et al., 2016).

2.2.2 현장조사

도롱뇽의 서식환경 유형을 다양화하기 위해 조사대상지를 자연서식지와 인공복원지로 구분하고, 서식지의 원형(Prototype)에 가까운 자연서식지를 중심으로 대상지를 선정하였다. 기존 양서파충류 HSI에 관한 연구에서는 현장조사의 수를 3~14개소로 조사되었는데, 본 연구에서는 자연서식지 10개소, 인공복원지 4개소로 총 14개소를 선정하였다. 대상지 위치, 조사지점, 서식지유형 등은 다음과 같다(Table 2; Fig. 5).

특히, 서울시에서 지정한 백사실계곡 생태경관보전지역(Seoul, 2019)은 도롱뇽 최대 집단 서식지이고, 진관야생생물보호구역(Seoul, 2010)은 지정 후 10년 이상 관리되고 있는 원형의 자연서식지에 해당한다.

Table 1. Criteria for Selection of *Hynobius leechii* Variables

No.	Variables	Description	Source
1	Overstory canopy cover (>8m) (%)	Overstory canopy cover is lower the surface temperature and maintain a humid habitat by controlling moisture.	A
2	Understory cover (<1m) (%)	<i>Hynobius leechii</i> ' feed resources are aquatic insects living in water system (the Korean persicary or water parsley).	1, 2
3	Water pH	<i>Hynobius leechii</i> ' larvae live only underwater and sensitive to water pH in relation to reproduction.	3, B
4	Soil pH	<i>Hynobius leechii</i> hibernate(hide) under rocks and soil, so they are sensitive to soil pH associated with skin respiration.	D, E
5	Soil relative humidity (%)	<i>Hynobius leechii</i> hibernate(hide) under rocks and soil, so they are sensitive to soil moisture associated with skin respiration.	D, E, F
6	Leaf litter depth(cm)	<i>Hynobius leechii</i> hide under humid soil formed by Leaf litter.	F
7	Rock (Boul, Cobble, Pebble and Grav) substrates (%)	<i>Hynobius leechii</i> hide in Rock (Boul, Cobble, Pebble and Grav) substrates from predators and affect adult movement. After spawning, an eggshell are attached to rocks for prevent loss	F, C
8	Type of Coarse woody	<i>Hynobius leechii</i> prefer an environment with abundant Coarse woody	F
9	Distance from Street or Pollutant (m)	<i>Hynobius leechii</i> prefer to be far from Street or Pollutant. The farther the polluter, the better the habitat (In-dept consultation with experts)	3

1) K-water (2005), 2) Yoon et al. (1996), 3) Ministry of Environment (2013)

A) Herbeck and Larsen (1999), B) Noland and Ultsch (1981), C) Willson (1987), D) Frisbie and Wyman (1991), E) Sugalski and Claussen (1997), F) Rossell (2018)

Table 2. Study Site

No.	Study Site	Location	Land cover	Survey period	Appearance Type
1	A-1 Mt. Jangtae, Daejeon Metropolitan City	Lat. 36° 17'~ 27'	Forest	2017 ~ 2018	N
2	A-2 Mt. Manin, Daejeon Metropolitan City	Lat. 36° 17'~27'			N
3	A-3 Mt. Bingye, Daejeon Metropolitan City	Lat. 36° 17'~27'			N
4	A-4 Mt. Sikjang, Daejeon Metropolitan City	Lat. 36° 17'~27'			N
5	A-5 Mt. Gyejok Daejeon Metropolitan City	Lat. 36° 17'~27'			N
6	B Geumhakdong, Gongju-si, Chungcheongnam-do	Lat 36.42	Forest	2017, 2019, 2022	D
7	B-1 Geumhakdong, Gongju-si, Chungcheongnam-do	Lat 36.42	Forest	2017, 2019, 2022	D
8	C Gangdeok-myeon, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do	Lat 36.66	Forest	2022	N
9	C-1 Gangdeok-myeon, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do	Lat 36.66	Forest	2022	N
10	D Naeson-dong, Uiwang-si, Gyeonggi-do	Lat 37.37	Forest	2021, 2022	D
11	E Mt. Umyeon, Seocho-gu, Seoul	Lat 37.46	Forest	2022	D
12	F Baekseokdongcheon Garden in Buam-dong, Seoul (Baekseok-valley Ecosystem Landscape conservation Area(2009))	Lat 37.57	Forest	2022	N
13	F-1 Baekseokdongcheon Garden in Buam-dong, Seoul (Baekseok-valley Ecosystem Landscape conservation Area(2009))	Lat 37.57	Forest	2022	N
14	G Jingwan-dong, Eunpyeong-gu, Seoul (Jingwan Wildlife Portection Areas(2010))	Lat 37.64	Forest	2022	N

D, Appearance area of the *Hynobius leechii* in an artificial restoration area; N, Natural appearance area of the *Hynobius leechii*.

Literature research : A-1~A-5 (5 sites) (Jung, 2020), Field Survey : B, B-1, C, C-1, D, E, F, F-1, G (9 sites)

한 지역에서 수계가 다른 곳은 두 지점으로 선정하여 조사하였다. 현장조사 범위는 도롱뇽의 물(산란지)을 중심으로 행동반경(0.11 ~ 494m²)을 고려한 조사지역을 20m x 30m로 설정하였다(Hong, 2017). HSI의 변수별 조사방법을 살펴보면, 상층부 수관율(%), 하층부 피복율(%)은 상층부와

하층부의 지표면 투영면적의 비율로 조사했으며, 낙엽두께(cm)는 3곳의 1m x 1m범위를 측정하여 그 중간값으로 산정하고, 하상 암석피도(%)는 물(산란지)에서 암석의 투영면적 비율을 조사하고 암석은 < 256mm이하의 모래, 자갈, 돌, 바위를 포함한다(Wilson, 1987).

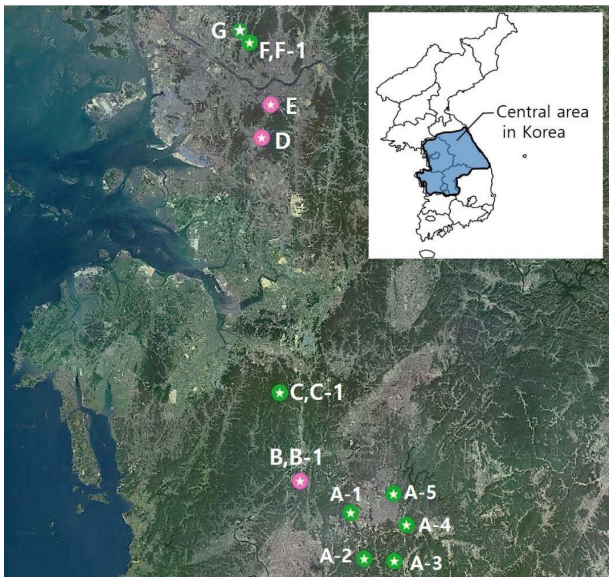


Fig. 5. Study Site of the *Hynobius leechii*. 1) Location of the study site in Central forest area, Korea, 2) B, B-1, D, E : Appearance area of the *Hynobius leechii* in an artificial restoration area (4 sites), 3) A-1~A-5, C, C-1, F, F-1, G : Natural appearance area of the *Hynobius leechii* (10 sites), 4) Different water systems are different survey Site

수목잔존물 유형은 모든 수목잔존물을 조사하고 특히 활엽수, 혼효림, 침엽수의 유형으로 구분하여 조사하였다. 그리고 수중pH, 토양pH는 DM-5, Takemura를 사용하여 2회 이상 측정하여 중간값으로 선정하고, 토양습도(%)는 HI 98130(Combo) 기구를 사용하여 측정하였다. 위협요인(m)의 거리는 수치지도를 활용하여 경작지나 산책로와의 거리를 산정하였고 Table 3과 같다.

2.3 도롱뇽 HSI 변수 및 세부기준(안) 선정과 검증

도롱뇽 HSI 변수 선정은 국·내외 4개종에 대한 문헌조사를 통해 9개 변수를 도출하였고 Table 4와 같다. 그리고 변수별 세부기준은 연구대상지인 14곳에 대한 현장조사에서 최소값 ~ 최대값을 구하고 Table 1의 문헌연구를 통해 구간

을 설정하여 Table 5와 같다. 현장조사 방법은 Table 3과 같이 도롱뇽의 활동기인 5월~9월 기간에 실측과 측정도구를 사용하였고 오후~저녁시간에 조사하였다. 도롱뇽 HSI 변수와 변수별 세부기준의 설정을 위해 연구의 질적 검증 방법인 전문가 심층설문을 실시하였다. 심층설문에 참여한 전문가가는 도롱뇽의 서식환경과 양서류 서식환경 복원의 현장경험이 축적된 박사이상의 연구경력을 지닌 3인의 심층설문을 통해 도롱뇽 HSI 변수 및 세부기준(안)에 대한 검증을 통해 최종안을 도출하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 국·내외 도롱뇽의 생활사 및 서식환경 특성

도롱뇽은 한반도 전체에 분포하는데 최초 발견지가 원산 지역으로 원산도롱뇽이라고도 불리며, 그 외에 아시아 도롱뇽, 한국산 도롱뇽이라고도 불린다. 도롱뇽의 몸 길이는 8 - 13cm이며 몸의 표면에는 갈색 바탕에 암갈색 무늬가 있고, 머리는 평편하며, 주둥이 끝은 둥글고 피부가 매끄러운 지수성(止水性) 생물의 대표적인 종이다(NIBR, 2022).

도롱뇽 서식환경은 고도 0 ~ 1,268m까지 분포하고 버드나무, 오리나무, 참나무류와 같은 낙엽활엽수에서 주로 발견되는데(K-water, 2005), 상층부 수관층은 태양광을 막아 온도를 낮추어 도롱뇽 서식에 적합한 습윤 토양환경 형성(Herbeck and Larsen, 1999)에 기여하고 휴식과 은신장소는 암석이나 낙엽 하부층을 활용한다. 도롱뇽의 산란은 웅덩이와 같은 유속이 느린 곳을 이용하고 바나나 모양의 알주머니(난괴)는 세 층의 한천질에 쌓여 산란시 건조와 추위에서 알을 보호하며, 암석이나 수목잔존물에 부착하여 보호한다(Moon, 2017). 이때 한천질은 볼록형으로 빛을 모아 성장을 촉진하며 영하의 기온에도 부동액 역할을 한다. 도롱뇽은 유생시기에는 물에서 수서곤충을 먹이로 하고, 성체 활동기에는 수목잔존물이나 고마리같은 정수식물 군락에서 무척추동물 등을 먹이로 한다(Yoon et al., 1996). 10월 이후에는 산림과 연계된 육상에서 보호색으로 위장하여 동면하는 특성을 보이고 있

Table 3. Field survey method

No.	Variables	Survey method	Source
1	Overstory canopy cover(>8m)(%)	Investigation by the ratio of the surface Overstory canopy cover (>8m)	B
2	Understory cover(<1m)(%)	Investigation by the ratio of the surface Understory cover (<1m)	B
3	Water pH	Measurement by instrument	D
4	Soil pH	Measurement by instrument	C
5	Soil relative humidity (%)	Measurement by instrument	C
6	Leaf litter depth(cm)	Investigation the depth of the fallen leaf in the range of 1m x 1m in three places	B
7	Percent of Rock (Boul, Cobble, Pebble and Grav) substrates (%)	Investigation rock substrate rate in underwater	B
8	Type of Coarse woody	Investigation the type of Coarse woody	B
9	Distance from Street or Pollutant (m)	Mapping Source	A

A, <https://www.ngii.go.kr/kor/>; B, Estimate after field survey; C, DM-5, Takemura, D, HI 98130(Combo)

다(Lee and Park, 2016). 이렇게 도롱뇽의 서식환경 변수는 미세한 서식환경에 예민한 특성을 나타낸다(Davic and Welsh, 2004; Wyman, 1998).

3.2 도롱뇽 HSI 변수 선정

외국의 문헌연구에서 *Triturus cristatus*는 입지, 상충부 수

Table 4. Selection of habitat environmental variables of Family *Hynobiidae*

Environmental Variables	Overseas research		Domestic research		Variable Selection		
	<i>T. cristatus</i> ¹⁾	<i>P. stormi</i> ²⁾	<i>H. leechii</i> ³⁾	<i>O. koreanus</i> ⁴⁾	Selection (Alt)	Verification	Variables (Finalized)
Temperature (°C)		○		○			
Habitat Altitude (m)	○	○	○	○	●	Unfit variable as they appear at various elevations	Exception
Geographic location	○						
Overstory canopy cover(>8m)(%)	○		○	○	●	Appropriate	SI 1
Sub-overstory canopy(2~8m)(%)			○	○			
Midstory canopy (1~2m)(%)			○	○			
understory cover(<1m)(%)	○	○	○	○	●	Appropriate	SI 2
Water pH			○	○	●	Appropriate	SI 3
Water depth (cm)				○			
Water Slope (°)				○			
Width of water body(cm)			○	○			
Type of water body			○				
Wetland area	○						
Pond Permanence	○						
Water Quality Dissolved Oxygen(DO), Temp(°C))	○		○	○	●	Water temperature is extensive variable investigation of seasonal and geographical	Exception
Number of surrounding wetlands	○						
Soil pH			○	○	●	Appropriate	SI 4
Soil relative humidity(%)		○	○	○	●	Appropriate	SI 5
Leaf litter depth(cm)		○	○	○	●	Appropriate	SI 6
Percent of BOUL substrate(>256mm)			○	○	●	Selected as a rock substrates rate due to overlapping functions of (Boul, Cobble, Pebble and Grav)	SI 7
Percent of Cobble substrate(65~256mm)(%)		○	○	○	●		
Percent of Pebble substrate(4~64mm)(%)		○	○	○	●		
Percent of GRAV substrat(2~4mm)(%)			○	○	●		
Coarse woody	○		○	○	●	Type of Coarse woody	SI 8
Threatening factor (predator, Pollutant)	○				●	Important Variables for Habitat Stabilization	SI 9
Terrestrial habitat	○						
Macrophytes	○		○				
Total	12	7	18	19	14		

1) *T. cristatus* (Oldham et al., 2000) : 12 Variables (Habitat Altitude, Overstory canopy cover, understory cover, Coarse woody, Wetland area, Pond Permanence, Water Quality, Number of surrounding wetlands, Waterfowl or fish, Terrestrial habitat, Macrophytes)

2) *P. stormi* (Costa et al., 2016) : 7 Variables (Temperature, Habitat Altitude, understory cover, Soil relative humidity, Leaf litter depth, Cobble substrates, Pebble substrates)

3) *Hynobius leechii* (Jung, 2020) : 18 Variables (Habitat Altitude, Overstory canopy cover, Sub-overstory canopy, Midstory canopy, understory cover, Number of Coarse woody, Water-pH, Width of water body, Type of water body, Water Quality, Soil-pH, Soil relative humidity, Leaf litter depth, Boul, Cobble, Pebble, GRAV substrates, Macrophytes)

4) *O. koreanus* (Hong, 2017) : 19 Variables (Temperature, Habitat Altitude, Overstory canopy cover, Sub-overstory canopy, Midstory canopy, understory cover, woody debris-diameter, Water-pH, Water depth, Water Slope, Width of water body, Water Quality, Soil-pH, Soil relative humidity, Leaf litter depth, Boul, Cobble, Pebble, GRAV substrates)

5) ● : Selection based on the Redundancy of the literature survey (14 Variables) - Habitat Altitude, Overstory canopy cover, understory cover, Coarse woody, Water-pH, Temp(°C), Soil-pH, Soil relative humidity, Leaf litter depth, Boul, Cobble, Pebble, GRAV substrates, Threatening factor (predator, Pollutant)

관율, 하층부 수관율, 영구습원, 수질, 천적유무, 식생 등 12개의 서식변수가 도출되고 주로 낙엽수림대를 선호하는 것으로 파악되었으며(Oldham et al., 2000), *Plethodon stormi*의 서식변수에 대한 연구에서는 거시, 미시적 서식환경으로 분류하여 상층부 수관율, 습한 미기후, 낙엽두께, 암석피도 등 7개의 변수가 도출되었다(Costa et al., 2016).

국내 문헌에서 도롱뇽의 서식환경은 서식지 고도, 상층, 중층, 하층부 피복율, 수목잔존물, 수중pH, 수온, 수계폭, 유속, 용존산소량(Do), 토양pH, 토양습도, 바위, 돌, 자갈의 비율 등 18개의 변수가 나타났고(Jung, 2020), 한국꼬리치레 도롱뇽의 서식환경은 기온, 고도, 상층, 중층, 하층부 피복율, 수목잔존물, 수중pH, 수심, 수계경사, 수계폭, 용존산소량(Do), 토양pH, 토양습도, 바위, 돌, 자갈의 비율 등 19개의 변수가 도출되었다(Hong, 2017).

이들을 종합하여 14개의 도롱뇽 HSI 변수(안)를 도출한 후 전문가의 심층 설문 의견을 반영하여 9개의 환경변수로 최종 선정하였다. 최종적으로 선정된 변수에 대한 선정과정은 Table 4와 같고 선정기준은 Table 1과 같다.

‘서식지 고도’는 전문가 설문 의견에서 도롱뇽이 다양한 고도에서 출현하고 중부 산림지역이라는 제한된 연구범위 설정으로 변수로 의미가 없다는 의견에 따라 제외되었다. ‘상층부 수관율(%)’은 태양광을 막아 도롱뇽 서식에 적합한 토양을 형성(Herbeck and Larsen, 1999)하므로 변수로 선정되었고, ‘하층부 피복율(%)’은 도롱뇽의 먹이자원 제공의 기능을 하므로(K-water, 2005; Yoon et al., 1996) 변수로 선정하였다. ‘수온(°C)’은 전문가 심층설문 의견에서 산란 성공률과 서식지 안정성을 결정하는 변수라는 의견이 있었으나 계절적 요인과 지리적 요인에 의한 변수가 광범위하게 조사되어 선정에서 제외되었다.

‘수중 pH’는 수질을 측정하는 변수로 양서류 서식지 조성 기준(Ministry of Environment, 2013; Noland and Ullsch, 1981)에 의해 산란지 서식환경의 변수로 선정하였으며, ‘토양pH’와 ‘토양습도(%)’는 도롱뇽에게 은신과 동면장소인 토양환경 상태를 나타내므로 변수로 선정하였다(Frisbie and Wyman, 1991; Sugalski and Claussen, 1997; Rossell, 2018). ‘낙엽두께(cm)’는 도롱뇽에게 휴식과 은신장으로 활용되므로 변수로 선정되었다(Feder, 1983). ‘하상 암석피도’는 산란 시 알 부착 및 은신 기능에 영향을 미치므로 하상 암석(모래, 돌, 자갈, 바위)의 피도를 포함하였다(Rossell, 2018; Willson, 1987).

‘수목잔존물 유형’은 알 보호, 은신과 먹이자원을 제공하는 변수(Rossell, 2018)이며 개수보다는 수목잔존물 유형이 중요하다라는 심층 설문 의견이 있어 수목잔존물 유형으로 변수화하였다. 또한 전문가 검증에서 3인 중 2인이 ‘위협요인(m)’ 변수를 중요한 의견으로 제시하였으며 양서류 서식지 조성 기준에서도 중요변수로 추출되어 추가로 선정되었다(Ministry of Environment, 2013). 결과적으로 도롱뇽 HSI 변수는 상층부 수관율(%), 하층부 피복율(%), 수중pH, 토양pH, 토양습도(%), 낙엽두께(cm), 하상 암석피도(%), 수목잔

존물 유형, 위협요인(m)의 9개 변수가 최종적으로 선정되었다.

3.3 현장검증

도롱뇽 서식환경 변수별 세부기준은 문헌조사 지역 5곳과 현장조사 지역 9곳의 현장조사값을 통해 선정되었다(Table 5). 상층부 수관율은 50 ~ 95%로서 평균 70%로 선정되었으며, 하층부 피복율은 25 ~ 70%로서 평균 45%로 선정되었다. 산란지인 수생서식지에서 수중 pH는 6.5 ~ 7.6로서 평균값은 중성인 pH7로 나타났다.

은신 및 동면장소인 육상서식지의 토양산도는 pH 6.2 ~ 7 (평균 6.7)로서 중성으로 나타났다. 토양습도는 38 ~ 70% (평균습도 55%)로 측정되었고, 낙엽두께는 3 ~ 14cm (평균 7cm)로 나타났다. 하상 암석피도는 15 ~ 85% (평균 48%)로 조사되었고, 수목잔존물 유형은 현장조사 대상지 중 8곳이 활엽수림이고 1곳은 혼효림으로 조사되어 대부분 활엽수림대에서 서식하는 것을 알 수 있다.

위협요인인 도로, 오염원과 거리는 5 ~ 30m (평균 14m)로 조사되었고, 오염원 유형은 경작지, 등산로 등으로 확인되었다. 문헌조사의 수중pH 값은 양서류 서식지 수중pH 범주에 적합하지 않다는 전문가 심층설문 의견에 따라 제외하였다.

3.4 도롱뇽 HSI 세부기준 설정

최종 세부기준은 양서류 전문가의 심층인터뷰를 통해 검증하여 선정되었고(Table 6), 각 변수별 적합성지수(SI) 그래프는 Fig. 6에 나타내었다.

SI1 ‘상층부 수관율’은 도롱뇽 서식에 적합한 습한 토양에 영향을 주고 수관율이 높을수록 서식에 유리하다는 문헌(Herbeck and Larsen, 1999)과 현장조사에서 수관율이 가장 낮은 50%에서도 도롱뇽이 서식한 조사결과를 바탕으로 50% 이상은 SI = 1로 설정하고 50% 미만은 SI = 0으로 설정하였다.

SI2 ‘하층부 피복율’은 하부식생층 피복율이 높을수록 도롱뇽 먹이가 풍부하여 서식에 유리하다는 연구결과(K-water, 2005; Yoon et al., 1996)와 현장조사에서 피복율이 가장 낮은 25%에서도 도롱뇽이 서식하는 것이 조사되었기에 25% 이상은 SI = 1로 설정하고, 25% 미만은 SI = 0으로 설정하였다.

SI3 ‘수중pH’는 양서류 서식지 수중pH 기준(Ministry of Environment, 2013)과 현장조사 결과를 기준으로, pH6.5 ~ pH7.6 구간은 SI = 1, pH6.5 미만과 pH7.6 초과 값은 SI = 0으로 각각 설정하였다.

SI4 ‘토양pH’는 도롱뇽의 피부호흡에 영향을 주고 적정 산도가 중요하다는 문헌연구(Frisbie and Wyman, 1991; Basile, 2017)와 현장조사를 통해 pH6.2 ~ pH7 구간은 SI = 1, pH6.2 미만과 pH7 초과값은 SI = 0으로 설정하였다.

SI5 ‘토양습도’는 도롱뇽이 높은 토양 습도를 선호(Frisbie and Wyman 1991)한다는 문헌연구와 현장조사 최소값에도 서식하므로 38% 이상을 SI = 1, 38% 미만을 SI = 0으로 설정하였다.

Table 5. Results of habitat survey of *Hynobius leechii*

Variables		A(A1~A5)	B	B-1	C	C-1	D	E	F	F-1	G	Mean (Min~Max)
SI1	Overstory canopy cover (>8m) (%)	51	80	70	90	80	70	30	85	95	50	70 (50~95)
SI2	Understory cover(<1m) (%)	50	25	25	30	40	50	50	60	70	50	45 (25~70)
SI3	Water pH	NO DATA	7	7	6.9	6.9	6.5	7.4	7.6	7.5	7.2	7 (6.5~7.6)
SI4	Soil pH	6.4	6.8	6.2	6.9	6.9	6.9	7	6.9	6.8	6.5	6.7 (6.2~7)
SI5	Soil relative humidity (%)	47	60	52	70	40	50	38	60	68	70	55 (38~70)
SI6	Leaf litter depth(cm)	14.5	12.5	7.5	7.5	7.5	6	7	5	3	3	7 (3~14)
SI7	Percent of Rock (Boul, Cobble, Pebble and Grav) substrates (%)	85	25	15	30	40	45	15	75	70	80	48 (15~85)
SI8	Type of Coarse woody	NO DATA	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A ~ C
SI9	Distance from Street or Pollutant (m)	NO DATA	10	5	5	30	20	10	5	30	15	14 (5~30)

1) A(A1~A5), Five forest area (Mt. Jangtae, Mt. Manin, Mt. Bingye, Mt. Sikjang, Mt. Gyejok in Daejeon Metropolitan City), (Jung, 2020)

2) B, B-1, D, E : Appearance area of the *Hynobius leechii* in an artificial restoration area (4 sites)

3) A-1~A-5, C, C-1, F, F-1, G : Natural appearance area of the *Hynobius leechii* (10 sites)

4) NO DATA : Value missing or not appropriate in the literature research

5) When calculate standards, the calculated values were rounded up so that they could be realized at the restoration area of *Hynobius leechii*, and the value range was different to each variable.

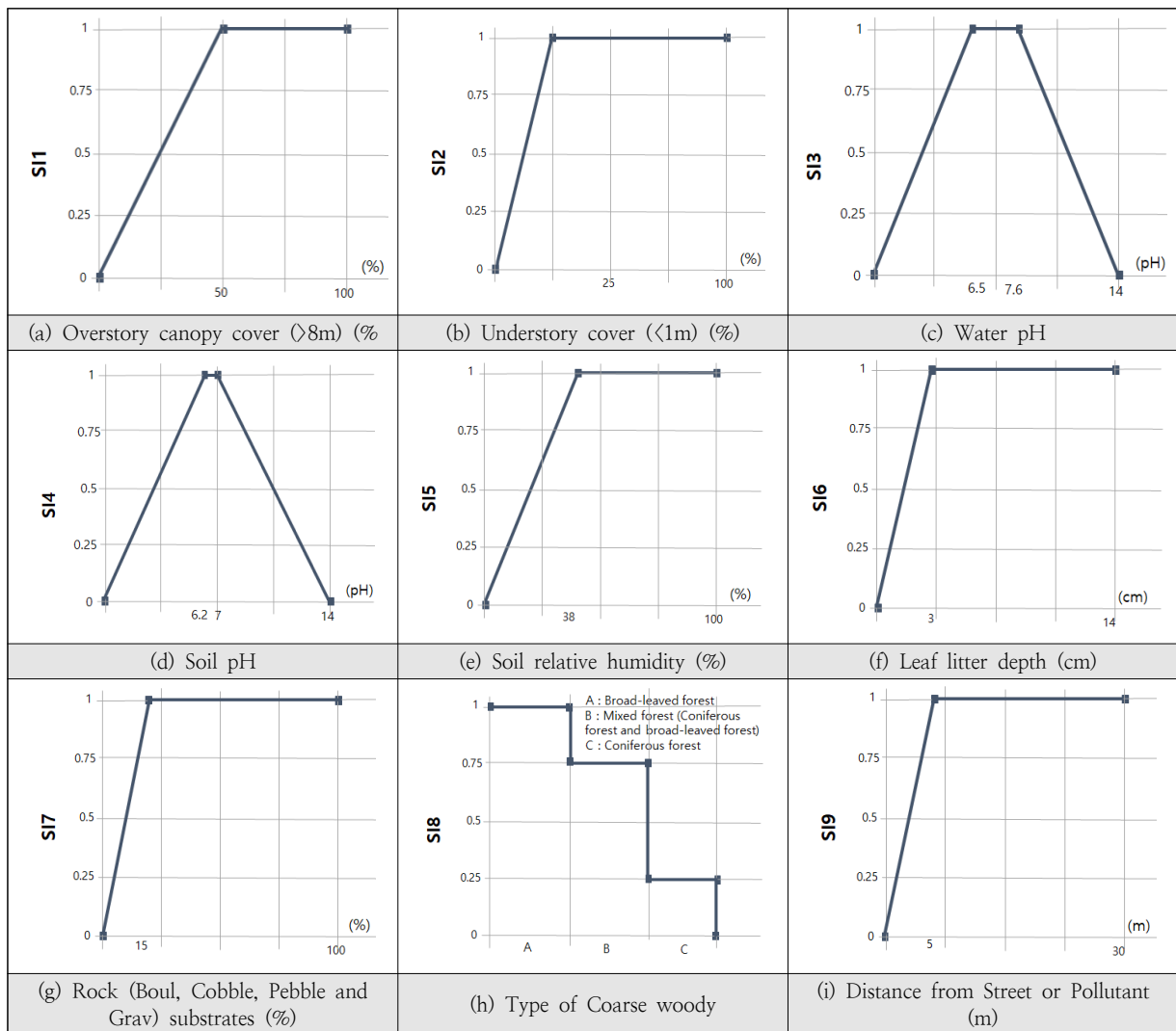
6) A, Broad-leaved forest

7) B, Mixed forest - Coniferous forest and broad-leaved forest

8) C, Coniferous forest

Table 6. HSI of *Hynobius leechii*

Variables		Standard (Finalized)	
SI 1	Overstory canopy cover (>8m) (%)	1	more than 50 %
		0	~ 50 %
SI 2	Understory cover (<1m) (%)	1	more than 25 %
		0	~ 25 %
SI 3	Water pH	1	6.5~7.6
		0	less than 6.5, more than 7.6
SI 4	Soil pH	1	1 : 6.2~7
		0	less than 6.2, more than 7
SI 5	Soil relative humidity (%)	1	more than 38 %
		0	~ 38 %
SI 6	Leaf litter depth (cm)	1	more than 3cm
		0	~ 3 cm
SI 7	Rock (Boul, Cobble, Pebble and Grav) substrates (%)	1	more than 15 %
		0	~ 15 %
SI 8	Type of Coarse woody	1	A : Broad-leaved forest
		0.75	B : Mixed forest - Coniferous forest and broad-leaved forest
		0.25	C : Coniferous forest
SI 9	Distance from Street or Pollutant (m)	1	more than 5 m
		0	~ 5 m

Fig. 6. Suitability Index graph of *Hynobius leechii*

SI6 ‘낙엽두께’는 낙엽의 양은 많을수록 도롱뇽의 은신과 먹이에 좋은 영향을 준다는 연구와(Mark and Henry, 2002; Michael and Hartwell, 2014; Robert and Barry, 1994), 현장 조사 결과 3cm에서도 서식하므로, 3cm 이상은 SI = 1, 3cm 미만은 SI = 0으로 설정하였다.

SI7 ‘하상 암석피도’는 물(산란지) 하부 암석피도는 도롱뇽 난과 유생의 은신, 성체의 이동에 중요하다는 연구(Wilson, 1987)와 현장조사 결과 최소 15%에서부터 서식하므로, 피도 15% 이상을 SI = 1, 15% 미만을 SI = 0으로 설정하였다.

SI8 ‘수목잔존물 유형’은 활엽수림대에서 먹이자원의 풍부도가 높아지고 양이 많을수록 은신에 유리하다는 연구(Rossell, 2018)와 현장조사 결과를 바탕으로 수목잔존물의 유형이 활엽수림대이면 SI = 1, 혼효림이면 SI = 0.75, 침엽수림대에도 은신과 먹이자원 역할이 가능하므로 SI = 0.25로 각각 설정하였다.

SI9 ‘오염원과 거리’는 양서류 서식지 조성 기준(Ministry of Environment, 2013)에서 멀수록 적합하다는 기준과 현장 조사에서 5m에서도 도롱뇽이 서식하였으므로, 거리 5m 이

상은 SI = 1, 5m 미만은 SI = 0으로 각각 설정하였다.

4. 결론 및 제언

본 연구는 도롱뇽의 생활사 및 서식환경에 대한 국내외 문헌조사를 통해 변수를 추출하고, 문헌조사와 현장조사를 통해 HSI지수를 설정하였다. 현장조사 대상지는 한국 중부 산림지역에 위치한 자연서식지 10개소와 인공복원지 4개소를 대상으로 하였다. 최종적으로 도롱뇽 HSI 변수는 상층부수관율(%), 하층부 피복율(%), 수중pH, 토양pH, 토양습도(%), 낙엽두께(cm), 하상 암석피도(%), 수목잔존물 유형, 위협요인 거리(m)의 총 9개로 선정되었다. 도롱뇽 HSI 변수 및 세부기준 검증에 위해 현장조사 결과를 반영하고 양서류 및 도롱뇽 전문가 3인의 심층설문을 시행하여 최종 도롱뇽 HSI를 설정하였다.

본 연구성과는 도롱뇽 서식지 적합성 평가로 대체서식지를 조성할 때 적지선정 및 서식지 복원에 활용되는 등 도롱뇽 서식지의 생태적 관리방안 제시와 모니터링의 기초 자료

로 활용될 수 있을 것이다. 또 도롱뇽 서식지 적합성 평가 절차(HEP)에 과거 출현빈도 등의 자료를 적용한다면 도롱뇽 서식지의 종합적 복원 모델 제시가 가능하여 생물종다양성에도 기여할 것이다.

본 연구에서는 수온은 조사 범위가 광범위하여 최종 변수에서 제외되었으나, 조사 계절과 조사지점의 심층조사를 실시하여 환경변수로서 적용가능성을 논의해야 할 것이다. 또한 서식지 유형을 '산림지역'에 한정하여 연구를 수행하였는데 향후 다양한 유형의 서식지별 현장조사 데이터 값, 각 SI별 가중치를 부여하고 산란기, 활동기, 동면기의 시기별로 세분화된 조사를 통한 심층연구가 필요하다. 본 연구는 도롱뇽의 서식환경은 물론 유미목(Order caudata)의 다른 종에 대한 연구의 발전에도 기여할 것으로 판단된다.

References

- Ahn, CK (2011). A study on the evaluation of Substitute habitat of Gori-Salamander (*Hynobius yangi*), Master's Thesis, Hanyang university, Seoul, Korea. [Korean Literature]
- Andrea Costal, Federico Crovetto, and Sebastino Salvidio (2016). European Plethodontid Salamanders on the forest floor : Local Abundance is related to Fine-scale Environmental Factors, *Herpetological Conservation and Biology*, 11(2), pp. 344–349.
- Basile, M. A., Romano, A., Costa, M., Posillico, D. S., Roger, A., Crisci, R., Raimondi, T. Altea., V. Garfi., G. Santopuoli., M. Marchetti., S. Salvidio., B. D. Cinti., G. Matteucci (2017). Seasonality and microhabitat selection in a forest-dwelling salamander. *The Science of Nature*, 104(9–10), pp. 80.
- Brown, AV and Fitzpatrick, LC (1981). Thermal acclimation and metabolism in the Gray-bellied salamander, *Eurycea multiplicata* griseogaster (*Plethodontidae*). Comparative Biochemistry and Physiology Part A : *Physiology*, 69(3), pp. 505–509.
- Cho, KY (2022). Species-Habitat Restoration Model Based on the Toad (*Bufo gargarizans*) Habitat Suitability Assessment, Ph.D dissertation, Sang Myung University, Korea. [Korean Literature]
- Choi WJ, Park DP, Kim JK, Lee JH, Kim DI and Kim IH (2018). Changes in the Reproductive Population Size of the Huanren Brown Frog (*Rana huanrenensis*) and Wonsan Salamander (*Hynobius leechii*), which Breeding in Mountain Valleys, According to Climate Change, *Korean Journal of Environment and ecology*, 32(6), pp. 582–590. [Korean Literature]
- Davic, RD., Hartwell, H and Welsh, Jr (2004). On the ecological roles of salamanders. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, pp. 405–434.
- Do MS, Sur JH, Son SJ, Choi. G, Yoo NK, Jung JH, Koo KS, Lee SC and Nam HK (2020). Breeding Area Characteristics of Wonsan Salamander (*Hynobius leechii*) Inhabiting Rice Field Around the Mid-west in Region of South Korea, *Korean Journal of Herpetology*, 11(1), pp. 21–29. [Korean Literature]
- Feder, ME (1983). Integrating the ecology and physiology of Plethodontid salamanders. *Herpetologica*, 39(3), pp. 291–310.
- Frisbie, MP and Wyman, RL (1991). The effects of soil pH on sodium balance in the red-backed salamander and three other terrestrial salamanders, *Physiological Zoology*, 64 pp. 1050–1068.
- Giles, RH (1978). Wildlife Management. San Francisco : W. H. Freeman, Washington D.C
- Herbeck, LA and Larsen DR (1999). Plethodontid salamander response to silvicultural practices in Missouri Ozark Forests. *Conservation Biology*, 13(3), pp. 623–632.
- Hong, NR (2017). Habitat environmental characteristics of Korean clawed salamander (*Onychodactylus koreanus*) at Mt. Baegun in Gangwon, Jeonnam province, Master's thesis, Seoul National University, Seoul, Korea. [Korean Literature]
- Isolde van Riemsdijk, Jan W. Arntzen, Serge Bogaerts, Michael Franzen, Spartak N. Litvinchuk, Kurtulus Olgun, Ben Wielstra a, f (2017). The Near East as a cradle of biodiversity : A phylogeography of banded newts (*genus Ommatotriton*) reveals extensive inter – and intraspecific genetic differentiation.
- Jung, JH (2020). Habitat characteristics of three salamanders (Caudata : Amphibia) in forests and genetic diversity of *Karsenia koreana*, The Graduate Seoul National University, 2020. Seoul, Korea. [Korean Literature]
- K-Water (2005). Guidelines for Designing Wildlife Habitat Environment, *Korean Journal of Environment and Ecology*, pp.7–9, 68, 173–174. [Korean Literature]
- Lee JH, Kim TH, Baek HJ, Min MS, Park DS, Kim JK (2010). Monitoring of the Relocated Population of *Hynobius yangi* over Five Years, *The Korean Research Society of Herpetologists*, 2(1), pp. 35–44. [Korean Literature]
- Lee, JH and Park, DS (2016) The Encyclopedia of Korean Amphibians. Nature and Ecology, Seoul. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. (2001). Development of Natural Environment Conservation Policy in the 21st Century. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. (2013). Guidelines for Environmental Impact Assessment for Management of Alternative Habitat Creation. [Korean Literature]
- Moon, KY (2017). A frog, salamander, and a snake' diary. [Korean Literature]

- National Institute Of Meteorological Sciences (2020). Report on Climate Change on the Korean Peninsula, pp. 5-7. [Korean Literature]
- Noland, R., G. R. Utsch (1981). The roles of temperature and dissolved oxygen in microhabitat selection by the tadpoles of a frog (*Rana pipiens*) and a toad (*Bufo terrestris*), *Copeia*, 1981(3), pp. 645-652.
- Oldham et al (2000). Great Crested Newt Habitat Suitability Index, *Amphibian and Reptile Groups of the United Kingdom*.
- Park CD, Jung JH, Lee EJ, Moon KY and Lee WS (2017). Study on characteristics of habitat use of *Karsenia koreana* in Daejeon, Korea, *The Korean Research Society of Herpetologists*, 2017(10). pp. 9-9. [Korean Literature]
- Peterman and Craeford (2008). Environmental gradients in old-growth Appalachian forest predict fine scale distribution, co occurrence, and density of woodland salamanders, J. Alex Baecher Stephen C. Richter, U.S. Department of Interior. Fish and Wildlife Service. Washington. D. C., USA.
- Rossell, C. R. Jr., I. C. Haas., L. A. Williams and S. C. Patch (2018). Comparison of relative abundance and microhabitat of *Desmognathus organi* (Northern pygmy salamander) and *Desmognathus wrighti* (Southern pygmy salamander) in North Carolina. *Southeastern Naturalist*, 17(1), pp. 141-154.
- Seoul Metropolitan Government. (2017). A Study on the Ecological Environment Monitoring of the Landslide Restoration Site and the Surrounding Area. Seoul Metropolitan Government. [Korean Literature]
- Seoul Metropolitan Government. (2019). A Study on the Establishment of Management Plan for Baekseok-valley Ecosystem Landscape conservation Area. [Korean Literature]
- Shim, YJ (2015). A Study on the Wildlife Habitat Restoration Model through Developing Habitat Suitability Index -Focusing on Narrow-mouth Frog (*Kaloula borealis*)- Ph.D dissertation, Graduate School of Dankook University, Korea. [Korean Literature]
- 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*. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*, 23(1), pp. 49-62. doi:10.13087/KOSERT.2020.23.1.49. [Korean Literature]
- Tanaka M, Collins SR, Toyama BH and Weissman JS (2006). The physical basis of how prion conformations determine strain phenotypes. *Nature*, 442(7102), pp. 585.
- U.S. Fish and Wildlife Service. Habitat Evaluation Procedures(HEP), Ecological Services Manual 10, Washington, D.C.
- Van Riemsdijk, I., J.W. Arntzen., S. Bogaerts., M. Franzen., S.N Litvinchuk., K. Olgun and B. Wielstra (2017). The Near East as a cradle of biodiversity: A phylogeography of banded newts(genus *Ommatotriton*) reveals extensive inter- and intraspecific genetic differentiation. *Molecular Phylogenetics and Evolution* (114), pp. 73-81.
- Willson, MA (1987). Ecological dynamics on pebbles, cobbles, and boulders. *Palaios*, 2(6), pp. 594-599. <https://doi.org/10.2307/3514495>
- Wyman, RL (1998). Experimental assessment of salamanders as predators of detrital food webs : effects on invertebrates, decomposition and the carbon cycle. *Biodiversity & Conservation* 7(5), pp. 641-650.
- Yoon LB, Lee SJ and Yang SY (1996). The Study on Prey Resource and Life History of *Hynobius leechii* Boulenger and *Onychodactylus Fischeri* Boulenger (Amphibia ; Salientia), *Korea J. Environ. Biol*, 14(2), pp. 195-203. [Korean Literature]
- National Geographic Information Institute (2022). <https://www.ngii.go.kr/kor/>
- Environmental Geographic Information Service (2022). <https://egis.me.go.kr/>
- Convention on Biological Diversity (2022). <https://www.kbr.go.kr/index.do>
- Map of Life (2022). <https://mol.org/indicators/>
- Amphibia Web (2022). <https://amphibiaweb.org/lists/Hynobiidae.shtml>
- Berkeley Mapper (2022). <https://berkeleymapper.berkeley.edu/>
- Red List Index (2022). <https://www.iucnredlist.org/assessment/red-list-index>
- National Institute of Biological Resources (2022). <https://species.nibr.go.kr/>