

ORIGINAL ARTICLE

아산지역의 금개구리 대체서식지 모니터링 및 환경요인 분석

최민호¹⁾ · 배양섭^{1,2)} *

¹⁾인천대학교 생명과학과, ²⁾인천대학교 생물자원환경연구소

Monitoring of *Pelophylax chosenicus* Habitat and Environmental Factors in Asan

Min-Ho Choi¹⁾, Yang-Seop Bae^{1,2)} *

¹⁾Division of Life Sciences, College of Life Sciences and Bioengineering, Incheon National University, Incheon 22014, Korea

²⁾Bio-Resource and Environmental Center, Incheon National University, Incheon 22014, Korea

Abstract

This study, conducted from 2022 to 2024, after gold-spotted pond frogs were relocated to an alternative habitat in 2021, analyzed the environmental factors that affect the ecology of the gold-spotted pond frog to use them as basic data for selecting (or creating) alternative habitats suitable for survival and . The analysis of the habitat conditions in the alternative habitat for the gold-spotted pond frog showed that the habitable area was 11,920 m², which meets the criterion of being larger than 3,700 m². In terms of food availability, connectivity with low-rise grassland was secured. In the shelter evaluation, the distance from water puddles was within 1 m, fulfilling the condition of being within 50 m. The area of permanent wetlands for breeding and reproduction sites was 2,920 m², which meets the criterion of being larger than 500 m². During the monitoring process, it was confirmed that the SVL and BM of the translocated individuals were maintained ($p > 0.05$) and that more individuals ($\hat{N} = 690$) than the number of translocated individuals ($n = 285$) were present. This indicates that the alternative habitat can function effectively if the size of the alternative habitat, connectivity with grassland areas, availability of shelter, and conditions of the permanent wetland are properly met. The population size showed a positive correlation with average temperature, minimum temperature, rainfall ($p < 0.05$), and paddy type ($p < 0.01$), indicating that it is influenced by temperature and rainfall. A negative correlation was found between reproduction and average temperature, minimum temperature ($p < 0.05$), and paddy type ($p < 0.01$), suggesting that reproduction is influenced by temperature.

Key words : Alternative habitat, Gold-spotted frog, Endangered species, Long-term monitoring, Meteorological factors

1. 서 론

양서류 서식지가 단편화 되거나 훼손된다면 생존에 큰 위협을 받게 된다(Jeong et al., 2015; Pough et

al., 2015). 집약적 토지 이용에 따른 도시화는 서식지 파괴를 유발하였으며, 오염, 질병, 지구온난화 등의 이유로 양서류의 급감 현상이 전 세계적으로 보고되고 있다(Hamer and McDonnell, 2008). 이에 따라, 양서

Received 12 November, 2024; Revised 18 November, 2024;

Accepted 19 November, 2024

*Corresponding author : Yang-Seop Bae, Division of Life Sciences, College of Life Sciences and Bioengineering, Incheon National University, Incheon 22014, Korea

Phone : +82-32-835-8246

E-mail : baey@s@inu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

류는 생태계의 건강성을 평가할 수 있는 유용한 생물지표 종으로 알려져 왔다(Vitt et al., 1990; Wyman 1990; Heyer et al., 1994; Cushman, 2006; Jeong et al., 2015; Shim et al., 2015; Park et al., 2019).

금개구리는 우리나라 고유종으로 주로 저지대와 논 등의 습지에서 서식하고 있으며, 곤충을 비롯하여 다양한 먹이를 먹고 산다. 한때, 중국 금개구리(*Pelophylax plancyi*)와 동일한 종으로 분류되기도 하였으나, 한국 고유종으로 인정받았다(Cheong et al., 2009). 금개구리의 서식지는 개발압력이 가중되면서 점차 줄어들고 있으며(National Institute of Biological Resources, 2019), 최근에는 경기도와 충청도에서만 확인(Yang et al., 2001)되는 등 개체수 감소에 따른 절멸 위기를 우려하여 멸종위기 야생생물 II급으로 지정하여 보호받고 있다(Ministry of Environment, 2005). IUCN (International Union for Conservation of Nature)에서는 적색목록(Red list)에 취약종(vulnerable species, VU)으로 지정하였다. 개발 예정지역에서 가능한 서식지를 원형 보전하는 것이 가장 바람직하지만, 불가피할 경우 개체군의 서식과 번식이 이뤄지고 있는 핵심서식지(core zone)를 파악하여 현지 내 보전하거나, 근거리의 대체서식지를 선정(조성)하여 현지 외 보전하는 방법을 고려해야 한다(Korea National Park

Service, 2013). 대체서식지는 이주된 개체들이 안정적인 서식과 산란(번식)을 통해 다음 세대를 형성할 수 있는 조건이 갖춰져야 하며, 생존에 필수적인 요소가 수반되어야 한다(Ministry of Environment, 2019).

현재 금개구리에 대한 선행 연구는 대체서식지 및 복원에 대한 연구(Lee, 2004; Cheong et al., 2009; Byeon, 2010; Ra, 2010; Yang and Koo, 2016; Shim et al., 2020), 개체군 생태 연구(Park et al., 1998; Yoon et al., 1998; Eom et al., 2007; Sung et al., 2007a; Sung et al., 2007b; Ra et al., 2007; Sung et al., 2009; Ra et al., 2010; Jeong et al., 2018; Park et al., 2018; Park et al., 2019; Yoo et al., 2019; Kim et al., 2020; Ahn et al., 2021), 유전 및 질병, 다양성에 대한 연구(Yang et al., 1999; Min et al., 2008; Kim et al., 2008; Kim et al., 2009; Park et al., 2009) 등이 수행되었다. 금개구리에 대한 연구는 다양하게 수행되었으나, 개체군을 장기간 모니터링을 통해 생태 및 영향을 분석한 연구는 미흡한 상황이다. 기후변화에 따라 생물의 서식환경이 급변하고 있으며(Park, 2020), 보호종의 개체수 감소 및 서식 위협에 따른 개체군의 지속적인 관찰은 필수이다. 또한, 향후 환경 영향에 예측에 대한 연구는 보호종 복원 전략에 있어 주요한 사항이다.

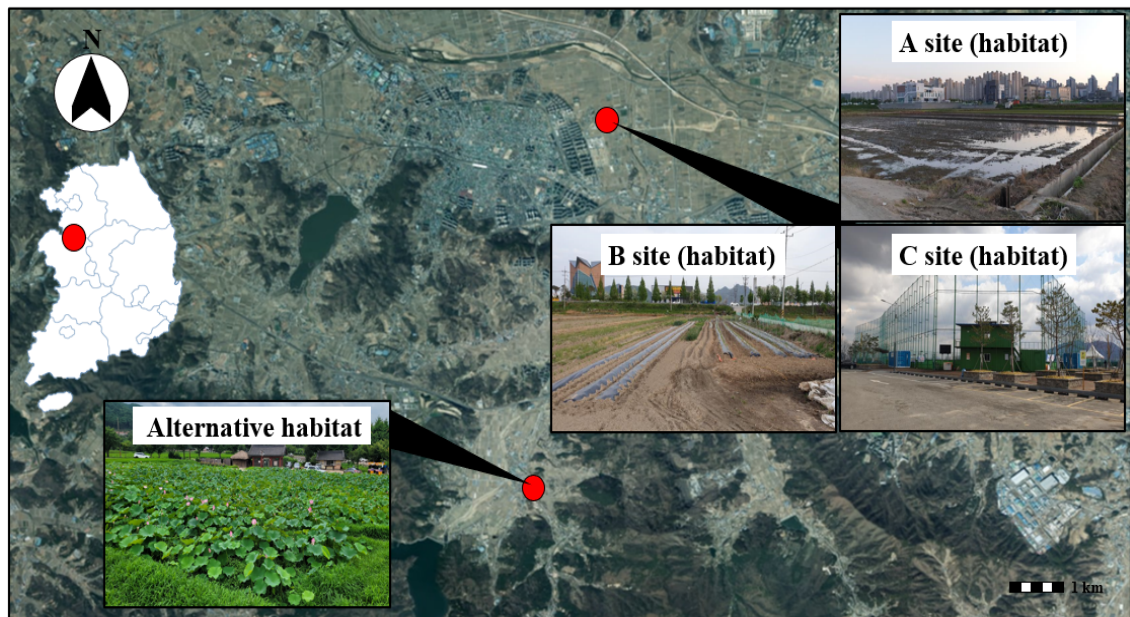


Fig. 1. Alternative habitat and habitat site (A, B, C) of gold-spotted pond frog in Asan.

본 연구는 아산모종2지구 도시개발사업 부지에서 서식이 확인된 개체군의 보전 대책으로 수행하였으며, 1년차(2021년)에 포획 및 이주, 2-4년차(2022-2024년)까지 모니터링을 수행하였다(금강유역환경청, 허가번호 제2021-33호). 4년동안의 연구 결과를 바탕으로 금개구리 생태에 영향을 미치는 환경요인을 분석하고, 생존에 적합한 대체서식지 선정(조성) 및 모니터링 방안의 기초 자료로 활용하기 위한 목적으로 계획하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구지역

본 연구 지역은 아산모종2지구 도시개발사업 지구 내 모종동 일원(면적 228,898 m², 36°47'14.2"N, 127°01'37.9"E)이다. 해당 사업지구는 논 경작지를 제외한 일부 구역이 나대지 형태의 밭과 시설구조물(공공기관, 체육시설) 등으로 구성되어 있었으며, 금개구리는 논과 농수로를 중심으로 분포하고 있었다(Fig. 1).

대체서식지는 금개구리 서식지에서 약 5.5 km 직선 거리에 위치한 외암리민속마을 내 연꽃습지(36°43'47.3"N, 127°00'51.5"E)이며, 중요 민속자료 제236호로 지정되어 있다. 주로 논으로 구성되어 있으며, 일부 논에 연꽃습지(2,920 m²)가 조성되어 있으며, 서식 및 활동이 가능한 보조서식지(9,000 m²)를 포함하고 있다(Fig. 1). 사전 조사를 통해 대체서식지 내 양서류 종류상을 확인하였으며, 금개구리의 서식은 확인되지 않았다.

2.2. 조사방법

금개구리의 포획은 주로 밤에 활동하는 양서류의 특성을 고려하여 포획하기 쉬운 야간에 진행하였으며, Flash light를 활용한 방법과 뜰채를 이용하여 포획하였다. 1년차 작업으로 2021년 7월 8일부터 9월 29일까지 총 14회에 걸쳐 포획 및 이주 작업을 진행하였다.

모니터링은 금개구리 개체군의 정착 여부 및 번식(산란) 유무 확인에 초점을 두고 진행하였으며, 대체서식지 사전점검을 포함하여 2년차(2022년)에는 2월 10일부터 10월 4일까지 총 15회, 3년차(2023년)에는 3월 21일부터 10월 17일까지 총 12회, 4년차(2024년)에는 3월 30일부터 9월 19일까지 총 13회 실시하였다.

2.3. 서식지 적합성 평가 및 개체군 크기 추정

대체서식지의 적합성 평가는 Shim et al.(2020)이 개발한 금개구리 서식지 적합성 지수(Habitat suitability index, HSI)를 참고하였다. 평가 항목 중 실제 서식지에서 가장 중요시되는 공간, 먹이, 물, 은신처의 야생동물의 서식지 4대 구성요소(Lee et al., 2017)를 함축하여 분석하였다. 공간에서는 서식 가능 면적, 먹이에서는 저층 초지 공간의 거리, 은신처에서는 물웅덩이로부터의 거리, 물(서식, 번식)에서는 영구 습지 면적을 선택하여 평가하였다. 또한, 대체서식지 내 생존 적합 여부를 판단하고, 이주된 개체수(n=285) 대비 개체수 증가 여부를 파악하기 위해 포획-재포획 방법을 이용하여 현재 대체서식지 내 개체군 크기를 추정하였다. 추정기법은 Choi and Rho(2016)의 연구를 참고하여 개체군 내 이입과 이출을 배제한 폐쇄계(Closed-population) 기법 중 재포획 개체가 10개체 이상일 때 적용하는 차프만법(Chapman method)을 사용하였다. 무미 양서류의 산란개체가 10개체 이상 되는 대상지의 개체수 추정에는 이입과 이출이 개체군 전체에 미치는 영향은 미미하다고 알려져 있다(Gamble et al., 2007).

$$\hat{N} = \frac{(r+1)(n+1)}{(m+1)} - 1$$

$$95\% CI = \hat{N} \pm 1.96 \sqrt{\frac{(r+1)(n+1)(r-m)(n-m)}{(m+1)^2(m+2)}}$$

r= Number of individuals released as mark in the first period

n= Populations captured in the second period

m= Number of individuals with tag among the number of captured populations in the second period

2.4. 개체군 및 환경요인 분석

금개구리의 출현 개체수 및 번식(울음소리)과 환경요인의 상관관계를 분석하였다. 기상 요인은 기상청 아산시 송악지점 관측자료(2021-2024년)를 참고하여 조사 기간 동안의 기온, 강수량, 상대습도를 기록하였다. 서식지 타입은 논을 포함하고 있는 대체서식지에 한정하였으며, Nam et al.(2012)의 연구를 참고하여 경작 상황에 따라 (1) 모내기 한 필지(Rice transplantation

Table 1. Assessment items and factors for optimal site selection of gold-spotted pond frog habitat restoration by Shim *et al.* (2020)

Assessment area	Assessment item	Assessment factor	Scoring criteria	Suitability
Space	Habitat area	Total area including habitat, spawning area	Over 3,700 m ²	■
Feed	Low-rise grassland	Insect habitat space being the food source of the Korean golden frog (<i>Phelophylax chosonicus</i>)	be connected	■
Cover	Distance from wetland, grassland, farm, stream, rice fields	The spatial relationship (distance) between the habitat and its surroundings	Under 50 m	■
Water (breeding)	Area of permanent wetland	wetland with water	Over 500 m ²	■

Table 2. Average monthly temperature (°C), humidity (%), rainfall totals (mm) of the study area and population size (n) of gold-spotted pond frog during the study (2021-2024)

Each year of month	Average temperature (°C)	Average humidity (%)	Rainfall totals (mm)	Population size (n)					
				adult	sub-adult	froglet	V* S**	total	
2021	July	26.9 ± 1.9	79.6 ± 11.1	103.5	28	17	108	-	153
	August	25.0 ± 1.9	77.9 ± 8.1	243.5	34	104	240	-	378
	September	21.8 ± 1.2	74.5 ± 8.0	243.5	4	30	9	-	43
2022	June	23.0 ± 3.1	70.7 ± 9.1	141	18	71	-	28(V) 55(S)	172
	July	26.4 ± 1.8	77.7 ± 5.3	118	2	2	-	16(V) 24(S)	44
	August	25.1 ± 2.9	81.6 ± 6.4	447.5	-	-	-	7(V) 10(S)	17
	September	21.3 ± 3.1	73.4 ± 8.3	130.5	6	8	2	6(V)	22
	October	13.5 ± 3.7	74.0 ± 6.5	110	-	-	8	2(V)	10
2023	June	22.9 ± 2.0	71.1 ± 8.9	121.5	26	18	-	15(V) 30(S)	89
	July	26.1 ± 1.5	82.6 ± 6.2	525.5	9	-	-	10(V) 30(S)	49
	September	22.7 ± 2.2	81.1 ± 7.6	227	-	-	30	2(V) 3(S)	35
	October	14.9 ± 1.8	74.9 ± 7.8	14	9	9	-	2(V)	20
2024	June	23.0 ± 1.8	65.9 ± 8.8	98.5	30	65	-	17(V) 25(S)	137
	July	26.6 ± 1.6	80.5 ± 5.9	474	-	-	-	6(S)	6
	August	28.2 ± 1.3	77.4 ± 5.4	116	1	1	36	1(V) 12(S)	51
	September	25.2 ± 2.7	76.5 ± 8.2	254	-	-	-	2(V) 3(S)	5

*view, **sound

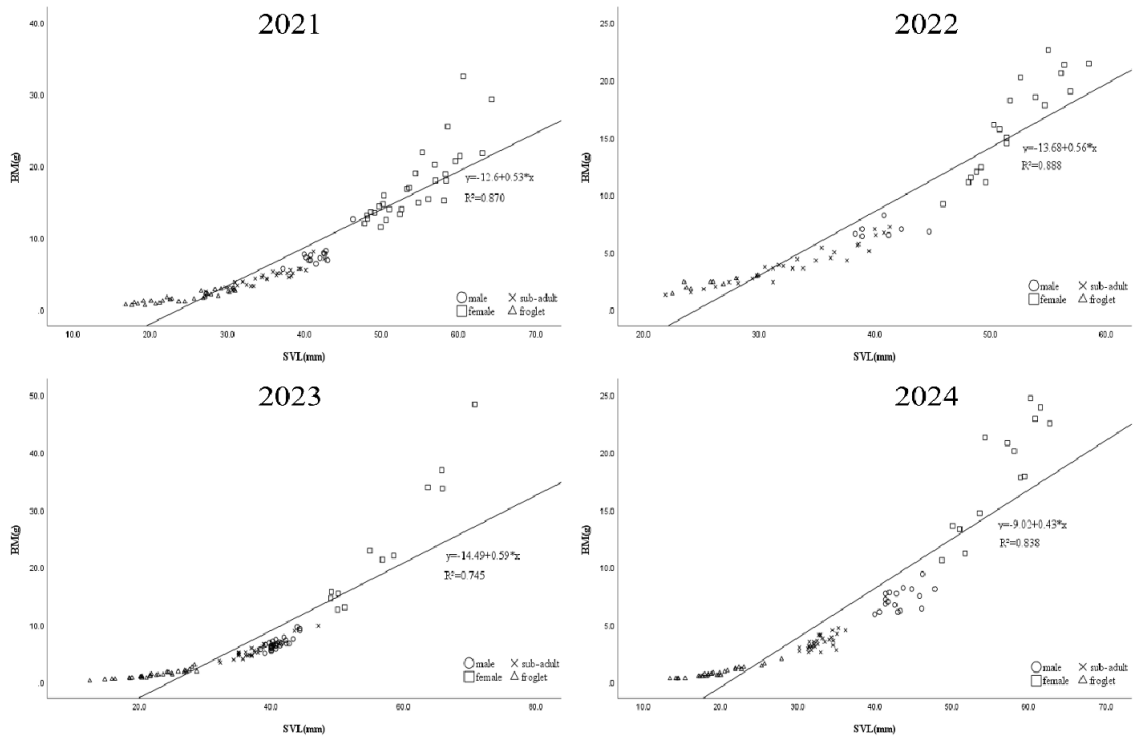


Fig. 2. Measurement of SVL (Snout-vent length, mm) and BM (Body mass, g) of gold-spotted pond frog during the study (2021–2024).

fields, RT), (2) 벼가 성장한 필지(Tall rice plant fields, TP), (3) 수확 후 그루터기 형성 필지(Post-harvested fields, PH)의 3가지 형태로 구분하였다. 서식지 타입은 시간의 흐름에 따른 변화로 볼 수 있으며, 모내기 한 필지의 경우 6월, 벼가 성장한 필지는 7–9월, 수확 후 그루터기 한 필지는 10월에 확인할 수 있었다. 금개구리의 경우 번식 의외에도 처한 상황이나 행동에 따라 울음소리가 변화하는 것으로 알려져 있으며(Park et al., 1998), 번식과 관련된 울음소리를 확인하기 위해 모니터링 기간 중 번식기에 포함되는 6–7월에 확인된 울음소리로 분석을 진행하였다. 확인된 금개구리는 체장길이(Snout-vent length, SVL)와 무게(Body mass, BM)를 측정하여 기록하였으며, 비모수 검정(Non-parametric test)을 통한 연도별 개체군 비교를 하였다. 성체와 아성체의 체장길이 및 무게는 전수 측정하였으며, 당년생은 포획 개체수가 많아 일부 측정된 개체만 분석에 포함하였다. 체장길이와 무게에 영향을 미치는 기상 요인을 분석하기 위해 일반화 선형 혼합 모형

(Generalized linear mixed model, GLMM)을 활용하였으며, 연구모형은 다음과 같이 구성하였다. $F(x) = [a, b, c, d, e, f, g]$, (a : SVL, b : BM, c : 평균기온, d : 최저기온, e : 최고기온, f : 강수량, g : 상대습도). 모든 통계 분석은 SPSS version 28 (SPSS Michigan Avenue, Chicago, IL, USA)을 사용하였다.

3. 결과

3.1. 서식지 적합성 평가

대체서식지 적합성 평가 중 공간에서는 서식 가능한 면적이 11,920 m^2 으로 Shim et al.(2020)의 연구에서 제시한 3,700 m^2 이상 기준을 충족하였다. 먹이에서는 저층 초지 공간이 연결되어 있어 적합하였다. 은신처 평가에서 물웅덩이로부터의 거리는 1 m 이내로 50 m 이내를 제시한 조건에 부합하였다. 물(산란과 번식)에서 영구 습지의 면적은 2,920 m^2 으로 500 m^2 이상을 제시한 기준에 적합하였다(Table 1).

Table 3. Non-parametric statistical analysis (Kruskal-Wallis) of SVL (Snout-vent length) and BM (Body mass) of gold-spotted pond frog of adult during the study (2021-2024)

Gender	Year (n)	Kruskal-Wallis	
		SVL	BM
Male	2021(13)-2022(7)-2023(32)-2024(17)	$P > 0.05$	$P > 0.05$
Female	2021(38)-2022(19)-2023(12)-2024(14)	$P > 0.05$	$P > 0.05$

Table 4. Generalized linear mixed model (GLMM) for effects of SVL (Snout-vent length) and BM (Body mass) of boreal or meteorological factors during the study (2021-2024)

Meteorological factors (year)	SVL			BM		
	df	χ^2	p -value	df	χ^2	p -value
Average temperature	9	1.792	0.994	9	3.343	0.945
Minimum temperature	10	1.876	0.997	10	3.456	0.969
Maximum temperature	10	1.876	0.997	10	3.676	0.961
Average humidity	10	1.938	0.997	10	3.670	0.961
Average rainfall	9	1.792	0.994	10	3.456	0.969

3.2. 이주 및 모니터링

연구 기간(2021-2024년) 중 조사가 진행된 해당 월의 기상요인과 개체수를 확인한 결과, 6월은 성체와 아성체의 비중이 가장 많았으며, 8월은 대부분 올해 태어난 당년생의 포획 비중이 높게 나타났다(Table 2). 4년 동안의 6월 평균 기온은 $22.8 \pm 2.2^\circ\text{C}$, 평균 상대습도는 $71.9 \pm 9.9\%$, 평균 총 강수량은 $103.8 \pm 38.3 \text{ mm}$ 였으며, 8월은 $26.3 \pm 2.5^\circ\text{C}$, $79.3 \pm 6.8\%$, $264.9 \pm 144.2 \text{ mm}$ 로 나타났다. 번식과 관련이 있는 울음소리(Mating call)의 경우 1년차(2019년)를 제외한 3년 동안의 모니터링 과정 중 기록되었으며, 6~7월에 집중적으로 확인되었다(Table 2). 3년 동안의 6월 평균 기온은 $23.0 \pm 2.3^\circ\text{C}$, 평균 상대습도는 $69.2 \pm 9.1\%$, 평균 총 강수량은 $120.3 \pm 21.3 \text{ mm}$ 였으며, 7월은 $26.4 \pm 1.6^\circ\text{C}$, $80.3 \pm 6.1\%$, $372.5 \pm 221.9 \text{ mm}$ 로 나타났다.

3.3. 체장길이 및 무게

연구가 진행된 2021-2024년까지 확인된 금개구리의 체장길이 및 무게를 측정하여 분석하였다(Fig. 2). 연도별 개체군 측정 결과, 성체의 경우 수컷의 평균 체장길이 및 무게는 2024년($n=17$)에 $43.2 \pm 2.2 \text{ mm}$, $7.2 \pm 1.0 \text{ g}$ 으로 가장 높게 나타났으며, 그 외 연도에는 큰 차이를 보이지 않았다. 암컷은 2023년($n=12$)에 57.1

$\pm 7.7 \text{ mm}$, $24.2 \pm 11.5 \text{ g}$, 2024년($n=14$) $56.3 \pm 4.6 \text{ mm}$, $18.2 \pm 4.8 \text{ g}$ 순으로 높았으며, 그 외 연도에는 큰 차이가 나타나지 않았다. 포획한 모든 성체의 체장길이와 무게의 연도별 차이를 분석한 결과(Table 3), 유의미한 차이는 나타나지 않았다($p > 0.05$). 금개구리의 체장길이와 무게에 영향을 미친 기상요인을 분석한 결과, 모든 분석값은 통계적으로 유의미 하지 않았다(Table 4).

3.4. 개체수 및 번식

2021-2024년까지의 온도, 습도, 강수량 및 서식지 타입과 금개구리 생태의 연관성을 분석하였다(Table 5). 조사기간 동안의 금개구리 출현 개체수와 기상요인의 상관분석 결과, 2021년의 평균기온($p=0.040$), 최고기온($p=0.014$)과 유의미한 양의 상관 관계가 나타났으며, 2022년의 강수량($p=0.023$)과 2024년 강수량($p=0.037$)과 유의미한 음의 상관관계가 나타났다. 서식지 타입의 경우 2022년 분석에서 유의미한 결과($p=0.002$)가 나타났다. 번식은 2022년 평균 기온($p=0.019$), 최저 기온($p=0.042$), 서식지 타입($p=0.003$)과 음의 상관관계를 나타냈으며, 통계적으로 유의미하였다.

Table 5. Spearman rank correlation coefficients of the number of individuals captured gold-spotted pond frog and breeding meteorological factors in study sites

Meteorological factors	Population size (n)				Breeding (mating call)		
	2021(1y)	2022(2y)	2023(3y)	2024(4y)	2022(2y)	2023(3y)	2024(4y)
Average temperature	0.624*	-0.443	-0.486	-0.737	-0.886*	0.508	-0.704
Minimum temperature	0.405	-0.707	-0.486	-0.724	-0.829*	0.336	-0.681
Maximum temperature	0.711*	-0.120	-0.371	-0.566	-0.657	0.770	-0.530
Average humidity	-0.220	-0.596	0.091	0.019	-0.655	0.004	0.068
Daily rainfall	-0.073	-0.777*	0.029	-0.963*	-0.543	-0.363	-0.934
Paddy type	-	-0.913**	0.062	-0.894	-0.892**	-0.548	-0.707

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Table 6. Population estimation using the capture-recapture method (2024)

Marking-Recapture (year)	\hat{N}	SE	95% CI	
			Min.	Max.
2024-2024 (r = 97, n = 133, m = 18)	690	129	438	942

3.5. 개체군 크기 추정

2024년에 분석한 개체군 크기 추정 결과, 대체서식지 내에는 690개체의 금개구리가 서식하고 있는 것으로 나타났으며, 95% 신뢰수준에서 최소 438개체 최대 942개체로 추정되었다(Table 6).

4. 고찰

본 연구는 개발 예정지 내 서식하고 있는 금개구리를 2021년에 대체서식지로 이주시켜 2022년부터 2024년까지 모니터링을 진행한 결과로, 기상요인을 포함한 환경요인이 개체군의 생장에 미치는 영향과 생존에 유리한 대체서식지 선정(조성) 및 효율적인 모니터링 방안의 기초자료를 마련하기 위해 계획되었다. 대체서식지로 이주된 개체군의 정착 여부를 판단하기 위해 3년간의 모니터링 과정을 통해 번식 유무 및 생체량(SVL, BM) 비교에 초점을 두었으며, 금개구리 생장에 영향을 주는 환경요인을 파악하기 위해 대체서식지 적합성 평가, 기상조건 및 서식지 유형의 요인을 통해 이주된 개체군의 생존에 영향을 주는 환경을 분석하였다.

금개구리 개체군에 영향을 미치는 기상요인을 분석한 결과, 체장길이와 무게모두 유의미한 값을 나타내지 않았다. 금개구리의 체장길이와 무게에 영향을 주는 기상요인에 대해서는 아직 연구된 바가 없으므로, 향후 다른 환경에 서식하는 개체군에 대한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 보인다. 개체수 및 번식과의 상관분석 결과, 개체수는 평균기온, 최고기온, 강수량과 통계적으로 유의미하였으며($p < 0.05$), 서식지 타입에서도 유의미한 결과($p < 0.01$)가 나타났다. 번식은 평균기온, 최저기온($p < 0.05$)과 서식지 타입($p < 0.01$)에서 유의미한 상관관계를 나타냈다. 양서류의 번식 울음소리는 주로 온도의 영향을 받는 것으로 알려져 있으며(Nevo and Schneider, 1976; Radwan and Schneider, 1988; Schwartz, 1988; Wagner, 1989), 금개구리의 활동성은 수온(기온), 습도와 깊은 관계가 있는 것으로 알려져 있다(Sung et al., 2007b). 이는 본 연구와 동일한 결과로 볼 수 있으며, 금개구리의 번식 울음소리는 기온과의 관계가 연관성이 높지 않다는 Ki et al. (2017)의 연구와는 대비되는 결과이다. 서식지 타입의 경우 시기에 따라 다른 형태로 나타내기 때문에 이와 같

은 결과는 출현 개체수의 빈도와 번식 관련 울음소리가 낮을수록 경작지의 형태는 벼의 성장이 진행되고 있는 타입이 나타난다고 해석되며, 본 연구의 결과는 금개구리는 모내기한 필지를 높은 비율로 이용한다는 Yoo et al.(2019)의 연구와 동일한 결과라 할 수 있다. 조사 기간 동안 확인된 금개구리의 성체 및 아성체는 대부분 6-7월, 당년생은 8-9월에 확인되어 금개구는 8월 이전에 번식활동을 마무리하는 것으로 나타났다.

결론적으로 효율적인 모니터링 수행 방법은 경작 시기에 따라 모내기철인 6월부터 벼가 성장 중인 8월까지 성체 및 아성체, 번식 유무를 확인하고, 이후부터 당년생 관찰을 중심으로 진행해야 하는 것으로 나타났다.

모니터링 기간 동안 개체군은 대체서식지 내에 형성되어 있는 연꽃 습지와 논에서 확인되었다. 영구 습지로 형성되어 있는 연꽃 습지와 달리 논은 경우 경작 시기에 따라 개체군의 출현 및 울음소리는 물이 있을 경우에 한정적으로 확인할 수 있었다. 한편, 논둑과 주변 초지대는 먹이 및 동면의 공간으로 활용되고 있는 것으로 나타났다. 조사 기간 동안 금개구리 성체(암, 수)의 신체적 특징을 측정하여 연도별 비교 분석한 결과, 통계적으로 유의미하지 않는 것으로 나타나($p>0.05$), 대체서식지로 이주 후 개체군은 체장길이와 무게가 유지되고 있는 것으로 확인되었으며, 개체군 크기 추정 결과, 현재 대체서식지 내에는 690개체의 금개구리가 서식하고 있는 것으로 추정되어 이주된 개체수($n=285$)를 크게 상회하는 것으로 나타났다. 이는 대체서식지가 금개구리 개체군이 서식하기에 적합한 환경을 갖추고 있는 것으로 판단할 수 있으며, 대체서식지 선정(조성) 과정에 있어 서식 가능 면적, 저층 초지 공간과의 연결성, 영구 습지의 면적 확보에 초점을 맞추는 것이 적절한 것으로 나타났다.

4년동안의 연구 결과를 통해 금개구리의 생태적 특성과 대체서식지 선정(조성) 조건을 파악할 수 있었으며, 효율적인 모니터링 수행 방안을 마련할 수 있었다. 본 연구의 결과가 금개구리를 비롯한 멸종위기 양서류의 보전 대책 과정에서 현실적으로 적용할 수 있는 방안의 기초자료로 활용되기를 바란다.

REFERENCES

- Ahn, J. Y., Choi, S., Kim, H., Suh, J. H., Do, M. S., 2021, Ecological niche and interspecific competition of two frog species (*Pelophylax nigromaculatus* and *P. chosonicus*) in South Korea using the geographic information system, Korean Journal of Ecology and Environment, 54(4), 363-373.
- Byeon, C. W., 2010, Water purification and ecological restoration effects of sustainable structured wetland biotop (SSB) system established in the habitat of the endangered species-exemplified by An-teo reservoir ecological park in the habitat of the gold-spotted pond frog-, Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology, 13(6), 145-159.
- Cheong, S. W., Sung, H. C., Park, D. S., 2009, Population viability analysis of a gold-spotted pond frog (*Rana chosonica*) population: Implications for effective conservation and re-introduction, Korean Journal of Environmental Biology, 27(1), 73-81.
- Choi, S. Y., Rho, P. H., 2016, Population size estimation of the *Kaloula borealis* in the Daemyung retarding basin, Korean Journal of Environmental Biology, 30(4), 684-693.
- Cushman, S. A., 2006, Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: A Review and prospectus, Biological Conservation, 128(2), 231-240.
- Eom, J., Lee, J. H., Ra, N. Y., Park, D. S., 2007, Preferred feeding sites and prey of the adult gold-spotted pond frog *Rana plancyi chosonica*, Journal of Ecology and Environment, 30(4), 357-361.
- Gamble, L. R., McGarigal, K., Compton, B. W., 2007, Fidelity and dispersal in the pond-breeding amphibian, *Ambystoma opa-cum*: Implications for spatio-temporal population dynamics and conservation, Biological Conservation, 139(3-4), 247-257.
- Hamer, A. J., McDonnell, M. J., 2008, Amphibian ecology and conservation in the urbanizing world: A Review, Biological Conservation, 141(10), 2432-2449.
- Heyer, W. R., Donnelly, M. A., McDiarmid, R. W., Hayek, L. A. C., Foster, M. S., 1994, Measuring and monitoring biological diversity: Standard methods for amphibians, Smithsonian Institution, Washington D.C., 84-91.
- Jeong, S. G., Seo, C. G., Yoon, J. H., Lee, D. K., Park, J. H., 2015, A Study on riparian habitats for amphibians using habitat suitability model, Journal of Environmental Impact Assessment, 24(2), 175-189.
- Jeong, S. M., Kim, Y. J., Bae, J. H., Kim, H. J., Ki, K. S., 2018, Breeding call and environmental impact characteristics of gold-spotted pond frog (*Rana chosonica*) restored in urban wetlands, Korean Society of Environment & Ecology, 28(2), 55.

- Ki, K. S., Kim, Y. J., Yoon, K. S., 2017, Breeding call characteristics and environmental factors of gold-spotted pond frog (*Rana chosonica*), Korean journal of environmental and ecology, 2017(2), 65.
- Kim, S., Eom, A. H., Park, D. S., Ra, N. Y., 2008, Detection of infectious fungal diseases of frogs inhabiting in Korea, Mycobiology, 36(1), 10-12.
- Kim, S., Sim, M. Y., Eom, A. H., Park, D. S., Ra, N. Y., 2009, PCR detection of ranavirus in gold-spotted pond frogs (*Rana plancyi chosonica*) from Korea, Korean Journal of Environmental Biology, 27(1), 110-113.
- Korea National Park Service (KNPS), 2013, Guidelines for reintroductions and other conservation translocations, Gurye, 3-6.
- Lee, S. C., 2004, Study on in-situ and ex-situ, and restoration strategy planning for the protected wildlife Anura (*Rana plancyi chosonica* Okada) in Korea, Master of Arts Dissertation, Incheon National University, Incheon, Korea.
- Lee, W. S., Park, C. Y., Lim, S. J., Heo, W. H., Jeoung, W. S., Choi, C. Y., Park, Y. S., Lee, E. J., 2017, Wildlife ecology management, 2nd ed., Lise Science, Seoul, 69-81.
- Ministry of Environment, 2005, https://elaw.klri.re.kr/eng_mobile/viewer.do?hseq=64681&type=part&key=39
- Ministry of Environment, 2019, Guidelines for evaluation and improvement of endangered wildlife habitats, NIE, Seocheon, 9-10.
- Min, M. S., Park, S. K., Che, J., Park, D. S., Lee, H., 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, Animal Systematics, Evolution and Diversity, 24(1), 25-32.
- Nam, H. K., Choi, S. H., Choi, Y. S., Yoo, J. C., 2012, Patterns of waterbirds abundance and habitat use in rice fields, Korean Journal of Environmental Agriculture, 31(4), 359-367.
- Nevo, E., Schneider, H., 1976, Mating call pattern of green toads in Israel and its ecological correlate, Journal of Zoology, 178(1), 133-145.
- National Institute of Biological Resources (NIBR), 2019, Red data book of endangered amphibians and reptiles in Korea, Incheon, 7-10.
- Park, M. K., 2020, Prediction for habitat possibilities of potential risk species (Amphibians) using bio-climate in Korea National Park, Journal of National Park, 11(1), 32-34.
- Park, S. G., Ra, N. Y., Jang, Y. S., Woo, S. H., Koo, K. S., Jang, M. H., 2019, Comparison of movement distance and home range size of gold-spotted pond frog (*Pelophylax chosonicus*) between rice paddy and ecological park: Focus on the planning alternative habitat, Ecology and Resilient Infrastructure, 6(4), 200-207.
- Park, S. K., Park, D. S., Lee, H., Min, M. S., 2009, A Study of genetic diversity for conservation among local populations of the gold-spotted pond frog, *Rana plancyi chosonica* (Amphibia: Ranidae), Korean Journal of Herpetologists, 1(1), 21-33.
- Park, S. R., Lee, B. K., Yang, S. Y., 1998, The call patterns and the change of calls by water temperature in *Rana plancyi* (Amphibia, Anura), The Korean Journal of Ecology (Korea Republic), 21(3), 269-276.
- Pough, F. H., Andrews, R. M., Cadle, J. E., Crump, M. L., Savitzky, A. H., Wells, K. D., 2015, Herpetology, 4th ed, Oxford, 4-8.
- Radwan, N. M., Schneider, H., 1988, Social behaviour, call repertory and variation in the calls of the pool frog, *Rana lessonae* (Anura: Ranidae), Amphibia-Reptilia, 9(4), 329-351.
- Ra, N. Y., 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, Kangwon, Korea.
- Ra, N. Y., Lee, J. H., Park, D. S., 2007, Growth of golden frog larvae, *Rana plancyi chosonica* by different food types, Journal of Life Science, 25(1), 8-15.
- Ra, N. Y., Park, D. S., Cheong, S. K., 2010, Habitat associations of the endangered gold-spotted pond frog (*Rana chosonica*), Zoological Science, 27(5), 396-401.
- Schwartz, J. J., 1988, Mating calls of water frogs (Ranidae) from Lake Skutari, Yugoslavia, and the relationship to water frogs of other regions, Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research, 26(4), 261-275.
- Shim, Y. J., Kim, S. R., Yoon, K. B., 2020, A Basic research for the development of habitat suitability index model of *Pelophylax chosonicus*, Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology, 23(1), 49-62.
- Sung, H. C., Cha, S. M., Cheong, S. K., Park, D. S., Park, S. R., 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, H. C., Cha, S. M., Kim, S. K., Park D. S., Park, S. R., Cheong S. K., 2007b, Monitoring extensive breeding populations and daily call activity of the gold-spotted pond frog, *Rana chosenica* in Chungju City and Chungwon Gun, Korean Journal of Environmental Biology, 25(2), 94-99.
- Sung, H. C., Kim, S. K., Cheong, S. W., Park, S. R., Roh, D. C., Baek, K. W., Lee, J. H., Park, D. S., 2006, Estimating detection probabilities and site occupancy rates of three anuran species using call surveys in Haenam-gun, Korea, Ecology and Environment, 29(4), 331-335.
- Sung, H. C., Ra, N. Y., Cheong, S. K., Kim, S. K., Cha, S. M., Park, D. S., 2009, Reproductive dynamics of the gold-spotted pond frog (*Rana plancyi chosenica*) population located at Cheongwon, Korea, Korean Society of Environmental Biology, 27(1), 20-30.
- Vitt, L. J., Caldwell, J. P., Wilbur, H. M., Smith, D. C., 1990, Amphibians as harbingers of decay, Bio Science, 40(6), 418.
- Wagner, W. E. Jr., 1989, Social correlates of variation in male calling behavior in Blanchard's cricket frog, *Acris crepitans blanchardi*, Ethology, 82(1), 27-45.
- Wyman, R. L., 1990, What's happening to the amphibians?, Conservation Biology, 4(4), 350-352.
- Yang, D. S., Koo, B. H., 2016, A Study on the improvement plan for a habitat of gold-spotted pond frog (*Pelophylax chosonicus*) in danger of regional extinction in the urban area: Case on the abandoned railroad site on Su-in Line, Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology, 19(2), 95-107.
- Yang S. Y., Kim. J. B., Min. M. S., Shu. J. H., 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), 275-283.
- Yoon I. B., Kim. J. I., Yang. S. Y., 1998, Study on the food habits of *Rana nigromaculata* Hallowell and *Rana plancyi chosonicus* Okada (Salientia: Ranidae) in Korea, Korean Journal of Environmental Biology, 16(2), 69-76.
- Yoo, N. K., Do, M. S., Nam, H. K., Choi, G., Son, S. J., Yoo, J. C., 2019, Habitat characteristics of anuran species inhabiting rice fields of western Mid-South Korea - in the case of Daeho reclamation agricultural land by farming practices, Korean Journal of Ecology and Environment, 52(4), 366-377.
-
- Research. Min-Ho Choi
Division of Life Sciences, College of Life Sciences and Bioengineering, Incheon National University
skyhigh86@daum.net
 - Professor. Yang-Seop Bae
Division of Life Sciences, College of Life Sciences and Bioengineering, Incheon National University
Bio-Resource and Environmental Center, Incheon National University
baeys@inu.ac.kr