

인천에서 서식지 환경과 토지 이용이 청개구리 (*Hyla japonica*) 수도에 미치는 영향

Effects of Habitat Environment and Land Use on the Abundance of Japanese Tree Frog (*Hyla japonica*) in Incheon, Korea

박소현 · 조현석 · 진승남 · 조강현*

인하대학교 생명과학과

So Hyun Park, Hyunsuk Cho, Seung-Nam Jin and Kang-Hyun Cho*
Department of Biological Sciences, Inha University, Incheon 22212, Korea

Received 13 November 2017, revised 1 December 2017, accepted 1 December 2017, published online 31 December 2017

ABSTRACT: The damage and fragmentation of habitat due to urbanization pose a great threat to amphibians worldwide. To understand the effect of urbanization on the distribution and abundance of *Hyla japonica*, we measured their population sizes by listening frog calling and investigated the habitat their population sizes and land use in the 18 rice paddy fields located in Incheon and its surroundings. Abundance of *H. japonica* was 0 - 17 male adults / habitat or 0 - 41 male adults / ha in Incheon. The number of the frog was increased as the distance between the habitat and the road became longer or the ratio of circumference / area of the habitat increased. Unlike the general prediction, the density of *H. japonica* showed a negative correlation with the size of the habitat and a positive correlation with the surrounding land use intensity. Our results suggested that *H. japonica* could be concentrated in a narrow habitat due to the habitat size decrease and the periphery development according to the urbanization.

KEYWORDS: Habitat fragmentation, Habitat size, *Hyla japonica*, Land use, Urbanization

요 약: 도시화로 인한 서식지의 훼손과 단편화는 전세계적으로 양서류에게 큰 위협이 되고 있다. 본 연구에서는 도시화가 청개구리의 분포와 수도에 미치는 영향을 파악하고자, 인천과 그 주변에 위치한 18개 논에서 청개구리의 수도를 측정하고 서식지 환경과 토지 이용을 조사하였다. 인천과 주변 논에서 청개구리의 수도는 0 - 17마리 / 서식지 또는 0 - 41마리 / ha이었다. 청개구리의 수도는 서식지와 도로와의 거리가 멀어짐에 따라서 서식지의 둘레길이 면적이 커질수록 증가하였다. 일반적인 예측과는 달리 청개구리의 밀도는 서식지의 크기와 음의 상관, 주변의 토지이용 강도와는 양의 상관관계를 보였다. 따라서 도시화에 의하여 서식지 면적이 감소하고 주변이 개발됨에 따라서 청개구리가 좁은 서식지로 집중될 수 있다고 생각된다.

핵심어: 서식지 단편화, 서식지 크기, 청개구리, 토지 이용, 도시화

*Corresponding author: khcho@inha.ac.kr, ORCID 0000-0003-4546-3546

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. 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.

1. 서론

최근 도시화로 인하여 야생생물의 서식지가 축소되고 파편화되며 환경의 질이 악화되고 있다(Hamer and MacDonnell 2008). 특히 토지이용 변화는 전세계적으로 양서류의 수를 급감시키는 주요한 요인이 되고 있다(Stuart et al. 2004). 예를 들면, 서식지인 연못 근처에 도로가 지나가는 경우 울음소리를 내는 수컷에게 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Pellet et al. 2004b). 또한 제방 또는 도로의 건설로 인하여 서식지가 단편화되는 경우 양서류의 확산에 장애가 될 수 있다(Naito et al. 2012).

양서류는 전 생활사에 걸쳐 수생 및 육상 서식지로 모두 이용하기 때문에 다양한 환경 변화에 민감하게 반응한다(Sewell and Griffiths 2009). 따라서 다양한 환경에서 생태환경 변화와 교란을 추적하는데 지표생물로서 양서류가 유용하다(Carignan and Villard 2002). 양서류 무미목에 속하는 청개구리(*Hyla japonica*)는 한반도 전역에 넓게 분포하고 다양한 환경에서 서식하는 종이다(Jang and Suh 2010). 따라서 청개구리는 환경 변화에 따라서 서식 분포, 수도 및 발달의 차이를 관찰하여 환경을 모니터링하기에 적합한 종이라고 판단된다.

인천시는 근대화와 산업화에 따라서 도시가 급격히 확장되고 토지이용이 변화하고 있는 우리나라의 대표적인 도시이다. 특히 청개구리의 주요한 서식지인 논 면적은 최근 20년간 약 30%가 감소하였고(KOSIS 2017), 잔존하는 논 농경지의 단편화도 심각하게 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 도시화가 급속하게 진행되고 있는 인천시와 그 주변에서 청개구리의 주요한 서식지에서 청음에 의하여 청개구리의 개체수를 파악하고 논 환경과 주변의 토지이용을 조사함으로써 도시화가 청개구리의 분포와 수도에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구 대상종

본 연구의 조사대상 종인 청개구리(*Hyla japonica*)는 양서강 무미목 청개구리과에 속하는 양서류이다. 이 종에 대한 분포와 서식지 환경에 대하여 Park and Cho

(2017)에서 이미 서술하였다. 청개구리는 4월부터 6월에 얕은 물 속의 수초, 낙엽, 식물 잔해 등에 산란한다(Uchiyama et al. 2002). 수컷은 산란기의 야간에 생식을 위한 울음을 낸다.

2.2 조사지 개황

청개구리의 서식 여부 및 개체수를 확인하기 위한 조사는 모두 논으로서 인천광역시에서 15지소(S1 - S15)와 인천시와 인접한 경기도 시흥시에서 3지소(S16 - S18)를 선정하였다(Fig. 1). 조사는 인천광역시에서는 서구, 남동구, 부평구, 계양구에 분포하였고, 시흥시에서는 신천동, 월곶동에 위치하였다(Table 1).

조사 대상지인 인천광역시는 도시화가 진행되며 청개구리의 주요 서식 및 산란 장소인 논 면적이 지속적으로 감소하고 있다. 서식지 면적 축소와 함께 도로 건설, 주거지 개발, 운하 건설 등으로 서식지가 파편화되어 청개구리의 서식지 간의 이동이 어려워지고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 도시화가 청개구리 서식에 미치는 영향을 확인하기 위하여 주로 개발에 의하여 서식지가 단편화된 논으로 조사지로 선정하였다.

2.3 조사 방법

2017년 5월 27일부터 6월 15일까지 선정된 조사지에서 해가 진 후에 10분간 청개구리의 울음소리를 청음하

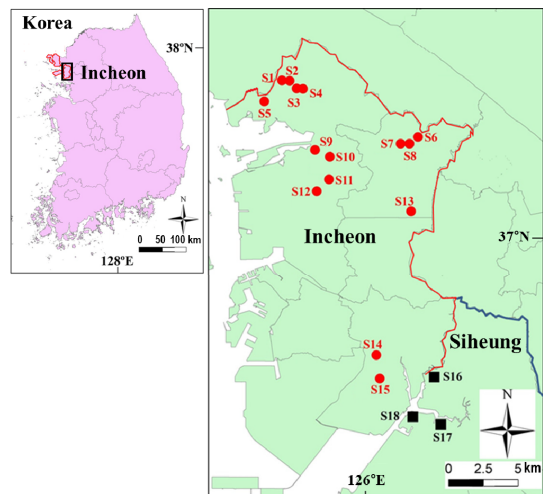


Fig. 1. Map showing the location of sampling sites of *Hyla japonica* study site in the Incheon City (closed circle) and Siheung City (closed square).

Table 1. Sampling site and date of the monitoring of *Hyla japonica* in Incheon City, Korea. The sampling sites are shown in Fig. 1

Site	Address	Latitude	Longitude	Sampling date
S1	Geumgok-dong, Seo-gu, Incheon	37°36'30.61"N	126°38'15.98"E	13 June 2017
S2	Geumgok-dong, Seo-gu, Incheon	37°36'30.32"N	126°38'24.48"E	13 June 2017
S3	Oryu-dong, Seo-gu, Incheon	37°35'39.44"N	126°38'36.54"E	13 June 2017
S4	Oryu-dong, Seo-gu, Incheon	37°35'38.79"N	126°38'45.01"E	13 June 2017
S5	Oryu-dong, Seo-gu, Incheon	37°35'34.95"N	126°37'25.69"E	13 June 2017
S6	Dangha-dong, Gyeyang-gu, Incheon	37°34'30.66"N	126°44'58.46"E	05 June 2017
S7	Moksan-dong, Gyeyang-gu, Incheon	37°34'16.03"N	126°43'31.54"E	05 June 2017
S8	Danam-ro, Gyeyang-gu, Incheon	37°34'05.71"N	126°43'58.31"E	27 May 2017
S9	Geomam-dong, Seo-gu, Incheon	37°33'42.82"N	126°39'44.48"E	14 June 2017
S10	Yeonhui-dong, Seo-gu, Incheon	37°33'05.43"N	126°40'12.37"E	14 June 2017
S11	Yeonhui-dong, Seo-gu, Incheon	37°32'37.56"N	126°39'35.84"E	06 June 2017
S12	Gajeong-dong, Seo-gu, Incheon	37°32'20.52"N	126°40'16.69"E	14 June 2017
S13	Samsan-dong, Bupyeong-gu, Incheon	37°31'15.56"N	126°45'19.55"E	15 June 2017
S14	Namchon-dong, Namdong-gu, Incheon	37°25'35.39"N	126°42'27.88"E	30 May 2017
S15	Namchon-dong, Namdong-gu, Incheon	37°25'18.05"N	126°42'57.31"E	11 June 2017
S16	Sincheon-dong, Siheung	37°25'15.09"N	126°45'34.32"E	30 May 2017
S17	Wolgot-dong, Siheung	37°23'21.67"N	126°45'37.35"E	06 June 2017
S18	Wolgot-dong, Siheung	37°22'45.06"N	126°44'50.64"E	01 June 2017

여 이들의 개체수를 조사하였다. 이때 참개구리의 울음 이 확인되면 이들의 개체수도 동시에 추정하였다. 본 연구의 조사지에서는 청개구리의 개체수는 20마리 이하이어서 청음으로 개체수 추정이 가능하였다. 조사지 논 면적이 넓은 경우에는 논 주변을 이동하면서 청음을 하였다.

서식지의 기온과 물 환경 조사는 청음 조사할 때 실시하였다. 기온과 물의 온도, 전기전도도, pH는 pH 미터 (HI 98129, Hanna)로 측정하였다. 조사지의 지형 특성과 주변의 토지이용은 GIS 프로그램 (ARCGIS 9.3, Environmental Systems Research Institute)를 이용하여 조사하였다. 각 조사지에서 조사 항목은 서식지 (논) 면적, 서식지의 둘레 길이, 서식지 모양의 불규칙성을 알기 위한 주변 길이 면적 비율, 서식지 간 거리, 도로로부터의 거리 및 서식지 주변의 토지이용으로서 녹지의 면적과 비율과 잠재서식지 면적과 비율이었다.

서식지 간 거리는 서식지의 가장자리에서 가장 가까이 위치한 다른 서식지의 가장자리까지의 직선 거리를 측정하였다. 도로로부터의 거리는 서식지의 가장자리에서 가장 가까이 위치한 다른 도로까지의 직선 거리를

측정하였다. 서식지 주변의 토지이용은 서식지 중심으로부터 반경 1.5 km 이내의 토지 피복 현황을 1:25000 중분류 토지피복지도 (MOE 2017)를 이용하여 조사하였다. 녹지로서는 농경지, 초지, 숲, 습지를 포함하였으며, 청개구리의 잠재서식지로는 논과 습지를 포함하였다.

인천 청개구리 조사지에서 환경 요인간 관계를 이해하기 위하여 환경자료를 이용하여 R 통계 환경 (R Core Team 2016)에서 vegan package의 'rda' 함수를 이용하였다 (Oksanen et al. 2016). 또한 환경요인 사이의 상관관계는 비모수 통계인 켄달 (Kendall) 순위 상관계수를 R (R Core Team 2016)에서 "cor"로 이에 대한 유의성은 "cor.test"로 분석하였다. 또한 청개구리 밀도에 대한 적합한 회귀 모형을 찾기 위하여 R (R Core Team 2016)에서 "model = lm ()"으로 단계적 회귀 (stepwise regression)를 실시하였다.

3. 결과

인천시 소재 논 서식지에서 청음으로 파악한 청개구리의 개체수는 서식지당 평균 8.1마리였고, 최대 개

Table 2. Number and density of *Hyla japonica* and *Pelophylax nigromaculatus* estimated by acoustic monitoring in Incheon City, Korea

Site	<i>Hyla japonica</i>		<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	
	No. (no. / habitat)	Density (no. / ha)	No. (no. / habitat)	Density (no. / ha)
S1	0	0	0	0
S2	13	1.4	3	0.3
S3	5	0.9	0	0
S4	3	0.6	1	0.2
S5	14	3.1	3	0.7
S6	6	0.8	0	0.0
S7	17	11.5	1	0.7
S8	12	3.1	1	0.3
S9	5	0.6	0	0
S10	4	1.3	0	0
S11	13	0.4	0	0
S12	9	0.5	0	0
S13	13	0.3	0	0
S14	7	2.4	1	0.3
S15	15	41.0	3	8.2
S16	0	0	0	0
S17	0	0	0	0
S18	9	1.5	0	0
Mean	8.1	3.9	0.7	0.6
SD	5.3	9.4	1.1	1.9

Table 3. Environmental properties of the sampling sites of *Hyla japonica* in Incheon City, Korea (n=18)

Variable		Abbrev.	Mean	SD	Min	Max
Habitat size (m ²)		HS	102,461	111,940	3,662	420,519
Habitat circumference (m)		HC	1,856	1,433	291	6,400
HC / HS (m/m ²)		LS	0.028	0.017	0.008	0.079
Distance between habitats (m)		DS	157	293	5	1,301
Distance from road (m)		DR	128	115	16	350
Land use	Green space (ha)	GS	540	128	284	868
	% Green space (%)	SP	0.60	0.14	0.25	0.84
	Potential habitat area (ha)	PS	157	102	47	432
	% Potential habitat area (%)	PP	0.17	0.11	0.06	0.50
Air temperature (°C)		AT	21.4	2.3	15.4	25.0
Water temperature (°C)		WT	23.5	3.5	20.3	33.2
Water electrical conductivity (uS/cm)		WE	1,378	955	450	3,999
Water pH		WP	9.0	0.6	7.9	10.3

체수는 계양구 목상동의 계양산 밑에 위치한 조사지 S7에서 17마리이었다 (Table 2). 이와는 대조적으로 서구 금곡동의 S1, 시흥시의 S16, S17에서는 청개구리를 발견하지 못하였다. 조사지에서 청개구리의 평균 밀도는 3.9 마리/ha이었고, 남동구 남촌동에 위치한 S15에서 41 마리/ha로서 가장 높았다 (Table 2). 참개구리의 서식지당 개체수는 평균 0.7 마리, 평균 밀도는 0.6 마리 ha이었으며, 참개구리가 발견되지 않은 조사지가 더 많

았다 (Table 2).

인천에서 청개구리를 처음 조사한 서식지의 면적은 최대 420,500 m², 최소 3,700 m², 평균 102,500 m²이었다 (Table 3). 서식지간 거리는 평균 157 m이었고 최대 1,301 m이었다. 서식지 주변 토지 이용에서 녹지가 평균 0.6%, 청개구리의 서식이 가능한 잠재서식지는 0.17%로서 매우 적은 면적을 차지하고 있었다 (Table 3).

청개구리 서식지의 환경요인을 이용한 주성분분석

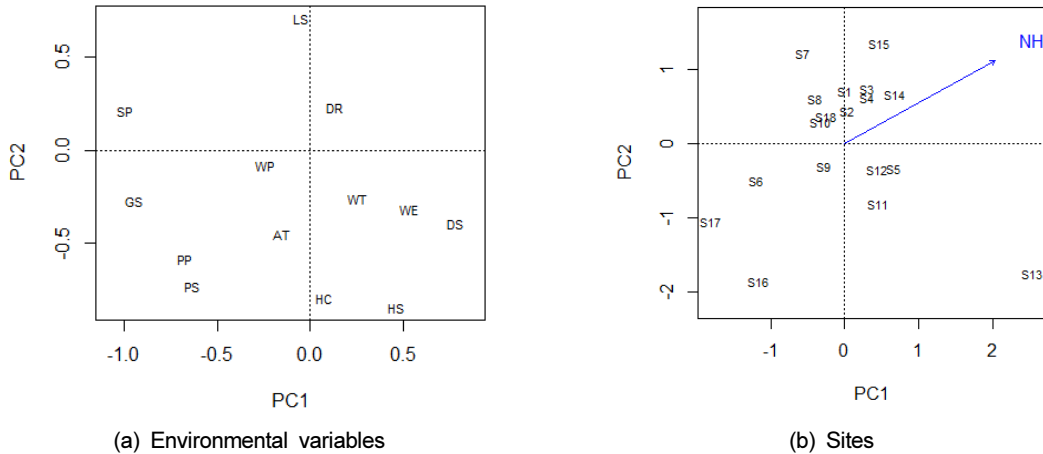


Fig. 2. Biplots of principal component analysis (PCA) with environmental data from the monitoring of *Hyla japonica* in Incheon City, Korea. (a) Arrangement of environmental variables (Abbreviation shown in Table 2), (b) Arrangement of sampling sites. The length and angle of arrows show the contribution of the number of *H. japonica* (NH) to the PCA axes. (Abbreviations are shown in Table 1).

Table 4. Kendall rank correlation coefficients (τ) between the number and density of *Hyla japonica* and environmental variables in Incheon City, Korea (n=18). The significant coefficients are shown in bold numerals. The abbreviations of variables are shown in Table 2

Variable	Number (no. / habitat)		Density (no. / ha)	
	τ	p	τ	p
HS	-0.074	0.675	-0.563	0.001
HC	-0.034	0.849	-0.444	0.011
LS	0.081	0.647	0.495	0.005
DS	0.199	0.266	-0.007	0.97
DR	0.191	0.284	0.108	0.541
GS	-0.235	0.182	-0.086	0.621
SP	-0.128	0.468	0.180	0.304
PS	-0.256	0.147	-0.505	0.004
PP	-0.274	0.126	-0.439	0.013
AT	0.000	1.000	-0.069	0.701
WT	0.095	0.593	-0.040	0.819
WE	0.067	0.703	0.066	0.704
WP	0.007	0.969	-0.034	0.829

(PCA)에서 제1축과 제2축의 고유치 (eigenvalue)는 각각 3.516과 3.010으로서 두 축이 전체 변이의 50.1%를 설명할 수 있었다(Fig. 2). 환경요인의 배열에서 1축 오른쪽에 서식지간 거리 (DS), 물의 전기전도도(WE) 및 수온 (WT)이 가까이 위치하였고, 1축 왼쪽 아래에 주변의 잠재서식지의 비율(PP)과 면적(PS) 및 주변의 녹지 면적(GS)이 인접하였다(Fig. 2 (a)). 또한 조사지 배열에서 청개구리를 발견하지 못한 조사지 S16과 S17은 왼쪽 아래에, 가장 밀도가 높은 조사지 S15는 1축의 오른쪽 위에 위치하였다(Fig. 2 (b)). 청개구리의 개체

수(NH)와 환경요인의 관계를 살펴보면, 주변의 잠재 서식지의 비율(PP)과 면적(PS) 및 주변의 녹지 면적(GS)이 적을수록 도로와 거리가 멀수록 청개구리 개체 수가 증가하였다(Fig. 2).

청개구리의 개체수, 밀도와 환경요인 사이의 켄달 상관계수를 산출한 결과에 따르면 청개구리의 밀도와 서식지의 면적, 들레 길이, 주변 잠재서식지의 크기와 비율 사이에 유의한 음의 상관관, 서식지의 들레 길이/면적 비율과 양의 상관관이 있었다(Table 4). 또한 청개구리 개체수에 대한 단계적 회귀(stepwise regression)에

Table 5. The coefficient and standard error of the environmental variables selected by the stepwise regression for the estimation of the number of *Hyla japonica* in Incheon City, Korea. The abbreviations of variables are shown in Table 2

Variable	Coefficient	Std. Error	t	p
(Intercept)	5273.000	3095.000	1.703	0.123
HS	0.007	0.003	2.542	0.032
LS	65110.000	8868.000	7.342	0.000
DS	-2.388	1.058	-2.257	0.050
GS	-9.755	3.602	-2.708	0.024
SP	5673.000	3058.000	1.855	0.097
PS	4.629	1.872	2.473	0.035
WT	90.910	50.960	1.784	0.108
WP	-897.000	384.900	-2.331	0.045

의하여 최적화된 변수는 서식지의 면적 (HS), 둘레 길이/면적 비율 (LS), 서식지간 거리 (DS), 주변 녹지의 면적 (GS) 및 비율 (SP), 주변의 잠재서식지 면적 (PS), 물의 온도 (WT)과 pH (WP)이었다 (Table 5).

4. 논의

인천 지역의 논 서식지에서 청개구리 개체수는 서식지 환경에 따라서 0-17마리/서식지의 면적을 보였다. 인천의 청개구리 서식처는 도시화가 진행됨에 따라서 평균 102,500 m²로 축소되어 단편화되어 있었다. 서식지를 중심으로 반경 1.5 km 이내의 토지이용을 살펴보면 도시화에 의하여 녹지는 전체 면적에 0.6%에 불과하고, 논 등의 청개구리 서식이 가능한 면적은 0.17%로서 청개구리의 서식환경이 매우 축소되어 있었다. 인천에서 단편화된 청개구리의 논 서식지는 평균 130 m 이내 거리에서 도로와 인접하여 있었다. 또한 청개구리의 개체수는 서식지가 도로에 인접할수록 감소하는 경향이 있었다. 이는 도로가 양서류의 개체수에 부정적인 영향을 끼친다는 결과와 부합하였다 (Pellet et al. 2004a).

청개구리는 전 생활사에 걸쳐 육상과 수생 서식지를 모두 이용하기 때문에 두 서식지의 환경에 영향을 받는다 (Alford 2010). 본 연구 결과에서 청개구리의 밀도는 면적에 비하여 둘레 길이가 길수록 증가하였다. 논 서식지의 경계부에는 논둑 식생이 존재하는 경우가 흔한데, 이 식생은 청개구리의 먹이원이 되는 곤충의 서식지가 될 수 있을 뿐만 아니라 청개구리의 은신처로서 이용될 수 있을 것으로 생각된다. 일반적으로 양서류에서는 수생서식지와 더불어 이동하기에 적절한 거리에 있는 충분한 면적의 육상서식지가 확보할 때 이들 개체군

의 생존이 보장될 수 있다 (Vos and Stumpel 1996).

야생생물에서 서식지의 면적이 증가할수록 이들의 서식 환경이 양호하고 이들의 개체수도 증가할 것으로 예상된다 (Tsuji et al. 2011). 그러나 본 연구의 결과에서는 이러한 일반적인 추론과 상반되게 청개구리 밀도는 논 면적, 주변의 녹지 및 잠재서식지 면적 비율과 음의 상관관계를 나타내었다. 이러한 결과는 도시에서 급속한 서식지 축소에 의하여 잔존 하는 서식지로 청개구리가 집중되기 때문일 수 있다. 결국 단편화된 이들 개체군은 서식지 환경이 악화됨에 따라서 절멸할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 면적이 넓은 서식지에서는 개구리의 포식자인 어류가 증가하여 개구리 개체군에 부정적인 영향을 미칠 수도 있다고 생각된다 (Bronmark and Edenhamn 1994, Smith et al. 1999). 도시화가 진행됨에 따라서 서식지 축소, 단편화 및 서식지 질 악화에 따른 청개구리 개체군 변화에 대한 구체적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

References

- Alford, R.A. 2010. Declines and the global status of amphibians. In, Sparling, D.W., Linder, G., Bishop, C.A. and Krest, S. (eds.), *Ecotoxicology of Reptiles and Amphibians*. SETAC Press, Pensacola, Florida, USA. pp. 13-45.
- Bronmark, C. and Edenhamn, P. 1994. Does the presence of fish affect the distribution of tree frogs (*Hyla arborea*)? *Conservation Biology* 8(3): 841-845.
- Carignan, V. and Villard, M.A. 2002. Selecting indicator species to monitor ecological integrity: a review. *Environmental Monitoring and Assessment* 78(1): 45-61.
- Hamer, A.J. and McDonnell, M.J. 2008. Amphibian ecology and conservation in the urbanising world: a review.

- Biological Conservation 141(10): 2432-2449.
- Jang, H.J. and Suh, J.H. 2010. Distribution of amphibian species in South Korea. *Korean J Herpetology* 2: 45-51. (in Korean)
- KOSIS. 2017. <http://kosis.kr>. Korean Statistical Information Service. The Statistics Korea, Daejeon, Korea. (Assessed 07. 11. 2017)
- MOE. 2017. <http://egis.me.go.kr>. Environmental Geographic Information Service. Minster of Environment, Sejong, Korea. (Assessed 01. 10. 2017) (in Korean)
- Naito, R., Sakai, M. and Morimoto, Y. 2012. Negative effects of deep roadside ditches on *Pelophylax porosa brevipoda* dispersal and migration in comparison with *Hyla japonica* in a rice paddy area in Japan. *Zoological Science* 29(9): 599-603.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H. and Wagner, H. 2016. Package 'vegan', Community Ecology Package. <http://vegan.r-forge-project.org>.
- Park, S.H. and Cho, K.-H. 2017. Comparison of health status of Japanese tree frog (*Hyla Japonica*) in a rural and an urban area. *Ecology and resilient infrastructure* 4(1): 71-74. (in Korean)
- Pellet, J., Guisan, A. and Perrin, N. 2004a. A concentric analysis of the impact of urbanization on the threatened European tree frog in an agricultural landscape. *Conservation Biology* 18(6): 1599-1606.
- Pellet, J., Hoehn, S. and Perrin, N. 2004b. Multiscale determinants of tree frog (*Hyla arborea* L.) calling ponds in western Switzerland. *Biodiversity and Conservation* 13(12): 2227-2235.
- R Core Team. 2016. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.
- Sewell, D. and Griffiths, R.A. 2009. Can a single amphibian species be a good biodiversity indicator? *Diversity* 1(2): 102-117.
- Smith, G.R., Rettig, J.E., Mittelbach, G.G., Valiulis, J.L. and Schaack, S.R. 1999. The effects of fish on assemblages of amphibians in ponds: a field experiment. *Freshwater Biology* 41(4): 829-837.
- Stuart, S.N., Chanson, J.S., Cox, N.A., Young, B.E., Rodrigues, A.S., Fischman, D.L. and Waller, R.W. 2004. Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science* 306(5702): 1783-1786.
- Tsuji, M., Ushimaru, A., Osawa, T. and Mitsuhashi, H. 2011. Paddy-associated frog declines via urbanization: a test of the dispersal-dependent-decline hypothesis. *Landscape and Urban Planning* 103(3): 318-325.
- Uchiyama, R., Maeda, N., Numata, K. and Seki, S. 2002. A Photographic Guide: Amphibians and Reptiles in Japan. Heibonsha, Tokyo, Japan.
- Vos, C.C. and Stumpel, A.H. 1996. Comparison of habitat-isolation parameters in relation to fragmented distribution patterns in the tree frog (*Hyla arborea*). *Landscape Ecology* 11(4): 203-214.