# 울릉도에 서식하는 침입종인 계곡산개구리와 참개구리에 대한 보고

**배윤혁[1], 박종선[2, 3], Siti N. Othman[4], 장이권[4] & Amaël Borzée[1]**

[1]Laboratory of Animal Behaviour and Conservation, College of Biology and the Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing, People's Republic of China.
[2]InfoBoss Inc., room 301, 670, Seolleung-ro, Gangnam-gu, Seoul, Republic of Korea
[3]InfoBoss Research Center, 301 room, 670, Seolleung-ro, Gangnam-gu, Seoul, Republic of Korea
[4]Department of Life Science and Division of EcoScience, Ewha Womans University, Seoul, Republic of Korea

## Abstract

침입종은 유입된 환경에 심각한 부정적인 영향을 미치며 양서류는 섬 생태계를 위협하는 침입종 중 하나다. 알려진 모든 양서류의 섬 유입은 일반적으로 해충 방제 또는 식량 공급과 관련된 인간의 활동과 관련이 있다. 대표적인 예시로 한국의 울릉도에 있는 모든 양서류의 경우인데, 원래 멸종 후 "재도입"된 것으로 잘못 생각되었거나 대체 식량 확보 및 해충 방제와 같은 구체적이지만 실현되기 어려운 목적을 위해 도입되었다. 따라서 우리는 울릉도의 이입된 양서류들의 정확한 종을 알아보기 위하여 2021년 4월부터 5월까지 울릉도의 모든 계곡에서 소리 조사와 직접 조사를 실시했다. 소리 조사 및 후속 분포조사 분석은 울릉도에는 최소 두 개의 참개구리(*Pelophylax nigromaculatus*)의 독립적인 개체군이 존재함을 밝혔고, 직접 조사 결과 분자적 실험을 통하여 계곡산개구리(*Rana huanrenensis*)로 식별된 *Rana* 속의 올챙이가 서식한다는 것을 밝혀냈다. 이번 조사에 대한 결과는 이 섬에 낮은 밀도로 서식한다는 이 두 종의 존재 여부를 밝혀냄으로써 향후 이 두 종이 울릉도의 생태계에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구의 필요성을 강조합니다

## Introduction

생물다양성의 감소의 원인 중 하나는 침입종이며, 이들은 고유종에게 매우 부정적인 영향을 미친다(Kiesecker et al. 2001; Mayer et al. 2015). 대표적인 외래종 중 양서류로는 *Rhinella marina,* 아프리카발톱개구리(*Xenopus laevis*), D*uttaphrynus melanostictus* 및 미국황소개구리(*Lithobates catesbeianus*)이다(Andersen et al. 2021). 대표적인 예로 미국황소개구리(*L. castesbeianus*)는 북미의 고유종인 *Rana draytonii*(Lawler et al. 1999)와 한국의 노랑배청개구리(*Dryophytes flaviventris*)(Borzée et al. 2020b)를 위협하는 것과 같이 그들의 존재는 다른 많은 종들의 생존을 위협한다. 그러나 이에 책임은 인간 활동에 의해 개체수가 증가하는 외래종에 대한 것이 아니라 종을 도입하기로 한 결정이다. 이러한 도입에 목적으로는 대표적으로 해충 방제가 있는데, 예를 들어 호주의 *R. marina*(Taylor & Edwards, 2005) 및 미국 하와이의 *Glandirana rugosa*(Kraus et al. 1999)가 있고 또는 대체 식량 확보(Groffen et al. 2019)와 관련이 있다.

울릉도는 플라이오세 후기와 초기 홀로세 사이에 나타난 젊은 화산섬이다(Kim and Lee 2008). 양서류는 울릉도에서 서식하지 않았다, 참개구리(*Pelophylax nigromaculatus*)가 1937년에 이입 되었을 때 울릉도에 양서류가 서식하지 않는다는 사실을 몰랐다(Shin et al. 1996). 또한 시간이 지남에 따라 다른 양서류 종도 이입되었고 이입된 기록이 없지만 울릉도에서 기록된 청개구리(*Dryophytes japonicus*)등의 기원은 알려져 있지 않다(Oh 2001). 울릉도에 서식하는 양서류의 침입종 지위에 대한 지식 부족은 회색 문헌을 통해 쉽게 극복되며, 그 예로 울릉군은 약 4,500마리의 산개구리(*Rana* sp.)를 2013년 복원 사업을 위해 옥천천에 방사를 했다(Kim 2013). 그러나 이입된 개체들에 대하여 모니터링 되지 않았으며 대부분의 개구리는 조류 포식자의 밀도가 높기 때문에 대부분 절멸되었을 것으로 예상되었다(Shin et al. 1996). 울릉도에서 이른 시기에 번식하는 양서류 종의 발생 현황을 파악하기 위해 2020년 4월에 울릉도에서 소리 조사 및 직접 조사를 실시하고 음향 및 유전학적 분석을 이용하여 종을 식별했다.

## Meterial & Method

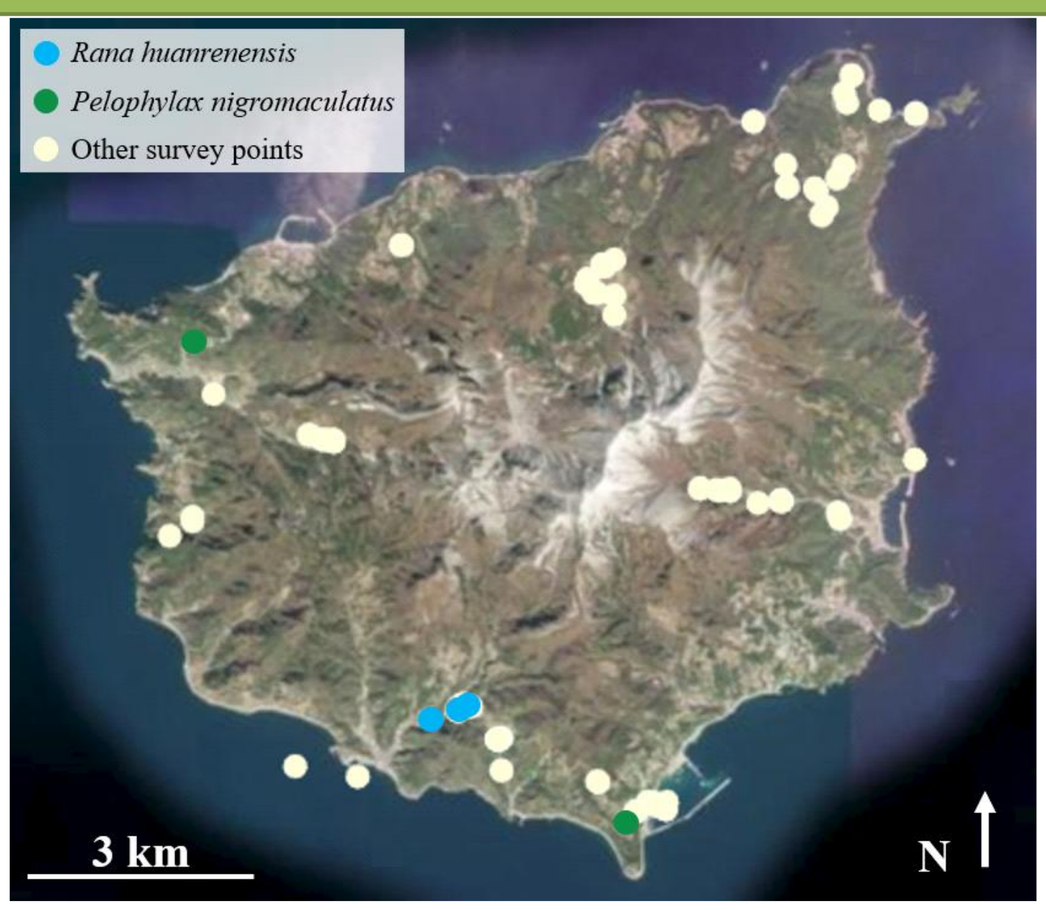



**그림 1.** 지도와 위성사진(google.com/maps; map.naver.com)을 기반으로 양서류에 적합한 서식지를 주로 조사했고 최대한 양서류에 적합한 서식지를 중심으로 조사했다. 우리는 각각의 습지에서 개구리 소리 조사를 약 10분간 진행하였다. 우리는 단방향 마이크(단방향 일렉트릿 콘덴서 마이크 HT-81, HTDZ, 중국 시안)에 연결된 선형 PCM 녹음기(Tascam DR-40, 캘리포니아, 미국)로 모든 개체의 소리를 녹음했다.

| Taxa | Locality | Accession number | Reference |
|---|---|---|---|
| *Rana amurensis* | Liaoning, Zhangwu, China | KU343216 | Zhao et al. 2016 (direct submission to GenBank) |
| *Rana coreana* | Republic of Korea | KM590550 | Jang and Hwang, 2015 (direct submission to GenBank) |
| *Rana chensinensis* | Yellow Sea basin of North China | NC_023529 | Li et al. (2014) |
| *Rana kukunoris* | Helan Mountains, Inner Mongolia, China | MN733918 | Wang et al. 2020 |
| *Rana huanrenensis* (Ulleung Island) | Ulleung Island, Republic of Korea | MZ779046 | This study |
| *Rana huanrenensis* (Northern China) | Huanren, Liaoning province in China | KT588071 | Dong et al. (2016) |
| *Rana omeimontis* | Yucheng District, Sichuan, China | KU246050 | Yang et al. 2018 |
| *Rana uenoi* | Republic of Korea | MW009067 | Suk and Min, 2020 (direct submission to GenBank) |
| *Rana dybowskii* | Amur River basin of Northeast China | KF898355 | Li et al. (2014) |

**표 1.** 완성된 계곡산개구리의 전체 미토콘드리아 게놈 서열(19,420 bp; GenBank 등록 번호 MZ779046)을 바탕으로 계통학적 분석을 하였다(총 n taxa = 9). Clustal W2를 사용하여 미토콘드리아 게놈 시퀀스를 정렬했다(Larkin et al. 2007). 계통학적 분석을 위해 bModeltest v2.0(Bouckaert 및 Drummond 2017)을 사용하여 최적의 진화 모델을 검색했다. K80/HKY 모델이 74.15%의 적합성을 가진 전체 길이 미토콘드리아 DNA 분석에 가장 적합한 진화 모델이 될 것으로 예측했다.

## Result




**그림 2**. 울릉도에서 촬영한 계곡산개구리 올챙이 사진. (A)계곡산개구리 올챙이 집단, (B)계곡산개구리 옆부분, (C)계곡산개구리 등 부분.

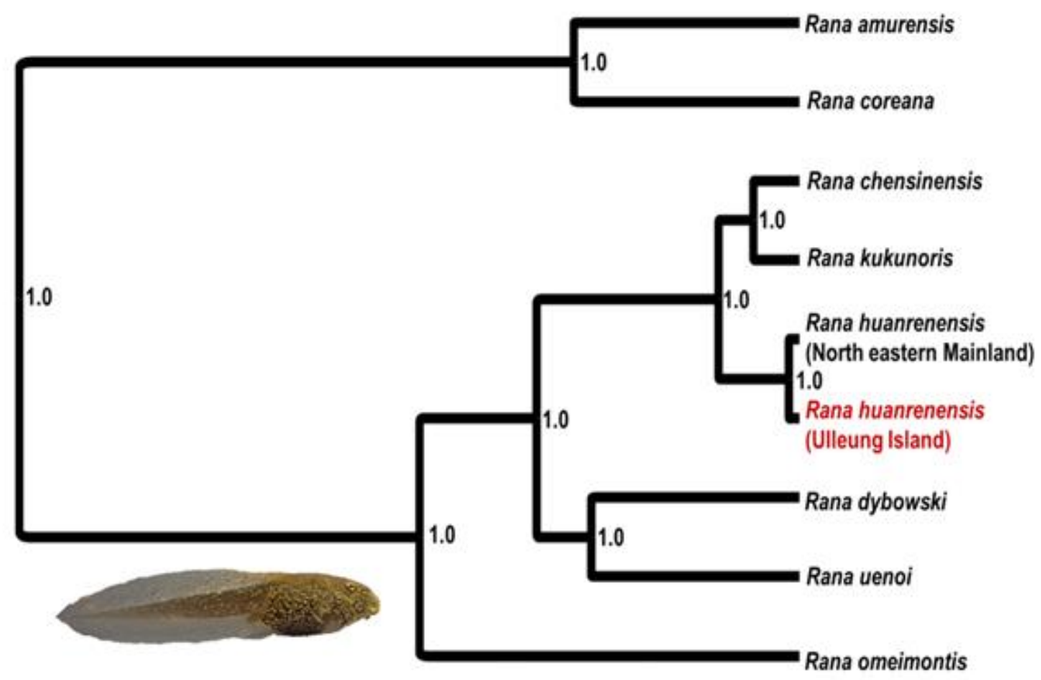



**그림 3.**미토콘드리아 게놈에서 추출한 울릉도 계곡산개구리의 계통학적 위치를 보여주는 Maximum clade credibility(MCC) 계통수. node value는 Bayesian 사후 확률(BPP)을 나타낸다.

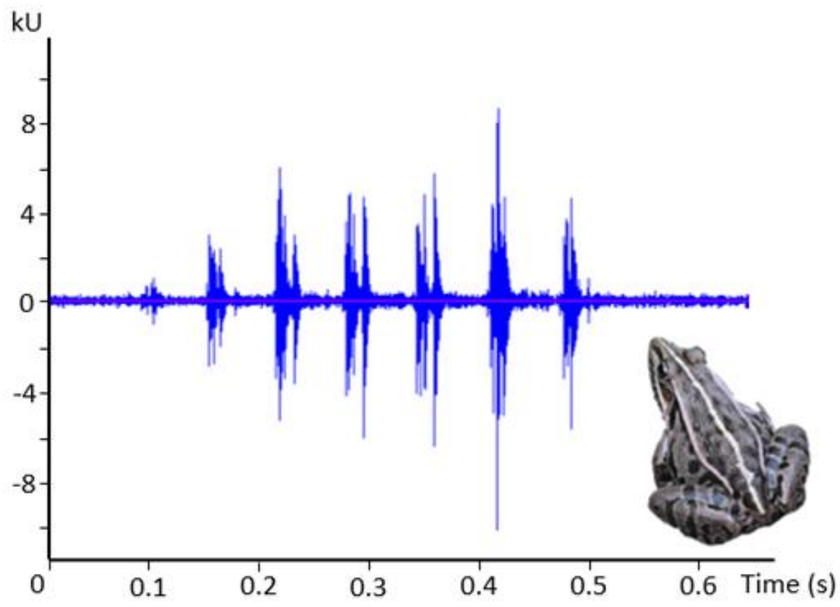



**그림 4.** 데이터 추출 전에 배경 소음을 1kHz로 필터링하고 스펙트로그램 구성을 256 샘플 Hann 창 크기, 128 샘플 홉 크기, 50% 프레임 오버랩 및 172Hz 주파수 그리드 간격으로 설정했다. 우리는 Koehler et al. (2017)의 권고에 따라 시간 및 스펙트럼 영역(Raven Pro 1.4; 미국 뉴욕 조류학 코넬 연구소)에 대한 각각의 개구리 소리를 분석한 결과 참개구리의 서식이 확인되었다.

## Conclusion

MCC 계통수는 *R. kukunoris*와 *R. chensis*와 같은 가장 밀접한 동북아시아에 서식하는 *Rana*를 포함한 단계통군(PP = 1.0) 내에서 계곡산개구리(*R. huanrenensis*)의 정체성을 강하게 지지했다(그림 3). 두 개의 *R. huanrenensis* (BPP = 1.0; 그림 3) 사이에 작은 차이가 있다는 것은 이 개체가 최근 유입 된 것임을 나타낸다.

우리의 결과는 참개구리가 어디에서 기원 했는지에 대한 유전적인 연구가 추가적으로 필요하며, 개구리의 피식자인 곤충에 관하여 많은 수의 고유종이 서식하고 있는 울릉도 내에 참개구리와 계곡산개구리의 이입이 어떤 영향을 끼치고 있는지에 대한 추가적인 연구가 필요함을 강조한다.

## Reference

Andersen D, Borzée A, Jang Y (2021) Predicting global climatic suitability for the four most invasive anuran species using ecological niche factor analysis. Global Ecology and Conservation 25: e01433.

Kim K B, Lee G D (2008) A study on volcanic stratigraphy and fault of Ulleung-do, Korea. The Journal of Engineering Geology 18: 321-330.

Kraus F, Campbell E W, Allison A, Pratt T (1999) *Eleutherodactylus* frog introduction to Hawaii. Herpetological Review 30: 21-25.