

시민참여형 무미목 양서류 음성신호 수집 및 품질관리 방안^{1a}

김경태² · 이현정³ · 송원경^{4*}

Anura Call Monitoring Data Collection and Quality Management through Citizen Participation^{1a}

Kyeong-Tae Kim², Hyun-Jung Lee³, Won-Kyong Song^{4*}

요약

외부 환경변화에 민감한 양서류는 지역 내 생태환경의 변화나 교란을 평가하는 생물지표종으로 활용되고 있다. 도시화로 인한 서식지 파괴, 단절과 같은 인위적인 위협으로 인해 무미목 양서류 중 3분의 1이 멸종 위협에 처한 것으로 알려져 있다. 무미목 양서류의 적절한 보호 및 보전전략 마련을 위해서는 개체군의 특성을 고려한 생물종 조사가 요구된다. 본 연구는 무미목 양서류의 번식기 울음소리를 이용한 생태모니터링에 있어 시민들의 참여 가능성을 모색하고자 하였다. 또한 적절한 품질관리 방안을 제안하여 오류나 편향을 제거하고 신뢰도 높은 생물종 출현 자료를 추출하고자 하였다. 시민과학 프로젝트는 국내에 서식하는 무미목 양서류 12종을 대상으로 2022년 4월 1일부터 8월 31일까지 전국을 대상으로 수행되었다. 시민들의 자발적인 참여를 통해 무미목 양서류의 번식기 울음소리를 직접 청취하고 모바일 애플리케이션을 통해 녹음함으로써 음성신호 모니터링이 진행되었다. 또한 품질관리 프로세스를 구축하여 시민들로부터 수집된 데이터의 오류 및 편향을 누락, 허위, 잘못된 식별과 같이 3단계로 분류하여 신뢰도 높은 생물종 출현 자료를 추출하고자 하였다. 시민참여 무미목 양서류 음성신호 모니터링 결과 총 6,808건의 관찰 기록을 수집할 수 있었다. 품질관리 프로세스를 통해 6,808건의 데이터 중 1,944건(28.55%)에서 오류 및 편향이 발생하였다. 오류 및 편향 유형으로는 누락이 922건(47.43%)으로 높은 빈도를 보였으며 잘못된 식별 540건(27.78%), 허위 482건(24.79%) 순서로 나타났다. 시민과학 프로젝트를 통해 국내에 서식하는 12종의 무미목 양서류 중 두꺼비(*Bufo gargarizans* Cantor), 한국산개구리(*Rana coreana*)를 제외한 10종의 무미목 양서류의 번식기 울음소리를 관찰할 수 있었다. 주로 개체수 감소로 인하여 관찰이 어렵거나 비 출현 개체의 번식기와 시민과학 프로젝트 진행 시점과의 차이로 인해 번식기 울음소리를 수집하는데 어려움이 발생한 것으로 나타났다. 본 연구는 시민참여를 토대로 국내에 서식하는 무미목 양서류의 번식기 울음소리를 통해 분포현황과 생물종 출현 자료 수집을 처음으로 검토한 연구이다. 향후 시민과학을 접목한 생물음향 모니터링 설계와 시민과학 데이터 품질관리 방안에 대한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

주요어: 양서류, 음향생태학, 시민과학, 관찰자편향, 번식기 울음

1 접수 2023년 12월 3일, 수정 (1차: 2024년 3월 25일, 2차: 2024년 4월 17일), 게재확정 2024년 4월 25일

Received 3 December 2023; Revised (1st: 25 March 2024, 2nd: 17 April 2024); Accepted 25 April 2024

2 단국대학교 대학원 생명공학대학 환경원예조경학과 박사과정 Dept. of Landscape Architecture, Dankook Univ., 119, Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam 31116, Korea (citizenscience99@gmail.com)

3 단국대학교 대학원 생명공학대학 환경원예조경학과 박사과정 Dept. of Landscape Architecture, Dankook Univ., 119, Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam 31116, Korea (ecologyyahoo@gmail.com)

4 단국대학교 바이오융합대학 생명자원학부 교수 Dept. of Life Resources, Dankook Univ., 119, Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam 31116, Korea (wksong@dankook.ac.kr)

a 본 논문은 환경부 한국환경산업기술원의 생태계 기반 탄소흡수원 조성·관리 기술개발사업(RS-2023-00218245)의 지원을 받아 작성되었습니다.

* 교신저자 Corresponding author: wksong@dankook.ac.kr

ABSTRACT

Amphibians, sensitive to external environmental changes, serve as bioindicator species for assessing alterations or disturbances in local ecosystems. It is known that one-third of amphibian species within the order Anura are at risk of extinction due to anthropogenic threats such as habitat destruction and fragmentation caused by urbanization. To develop effective protection and conservation strategies for anuran amphibians, species surveys that account for population characteristics are essential. This study aimed to investigate the potential for citizen participation in ecological monitoring using the mating calls of anura species. We also proposed suitable quality control measures to mitigate errors and biases, ensuring the extraction of reliable species occurrence data. The Citizen Science project was carried out nationwide from April 1 to August 31, 2022, targeting 12 species of anura amphibians in Korea. Citizens voluntarily participated in voice signal monitoring, where they listened to anura species' mating calls and recorded them using a mobile application. Additionally, we established a quality control process to extract reliable species occurrence data, categorizing errors and biases from citizen-collected data into three levels: omission, commission, and incorrect identification. A total of 6,808 observations were collected during the citizen participation in anura species vocalization monitoring. Through the quality control process, errors and biases were identified in 1,944 (28.55%) of the 6,808 data. The most common type of error was omission, accounting for 922 cases (47.43%), followed by incorrect identification with 540 cases (27.78%), and commission with 482 cases (24.79%). During the Citizen Science project, we successfully recorded the mating calls of 10 out of the 12 anuran amphibian species in Korea, excluding the Asian toads (*Bufo gargarizans* Cantor), Korean brown frog (*Rana coreana*). Difficulties in collecting mating calls were primarily attributed to challenges in observing due to population decline or discrepancies between the breeding season of non-emergent individuals and the timing of the citizen science project. This study represents the first investigation of distribution status and species emergence data collection through mating calls of anura species in Korea based on citizen participation. It can serve as a foundation for designing future bioacoustic monitoring that incorporates citizen science and quality control measures for citizen science data.

KEY WORDS: AMPHIBIAN, BIOACOUSTIC ECOLOGY, CITIZEN SCIENCE, OBSERVER BIAS, MATING CALL

서론

양서류는 수생 및 육상 서식지 모두를 전 생활사에 걸쳐 이용한다(Sewell and Griffiths, 2009). 1차 소비자를 섭식하고 고차 소비자의 먹이원이 되는 동물로서 양서류는 먹이사슬에 있어 중요한 연결고리 역할을 담당한다(Hirai and Matsui, 1999; Hirai and Matsui, 2002; Katayama et al., 2012; Katayama et al., 2013; Lee et al., 2023). 특히 무미목 양서류는 지난 수십 년 동안 발생한 도로 건설과 도시화로 인한 서식지 파괴 및 변화(Delis et al., 1996; Coelho et

al., 2012), 농업 활동으로 인한 화학물질 오염(Borzée et al., 2018) 등 인위적인 위협으로 인해 전 세계적으로 알려진 약 7,000종 중 30종이 멸종으로 내몰렸고 3분의 1에 해당하는 종은 현재 멸종의 위협에 처한 것으로 알려져 있다(Collins and Storfer 2003; Stuart et al., 2004; Hamer and MacDonnell, 2008; Naito et al., 2012; IUCN 2021; Rowley et al., 2020). 생태계에서 허리 역할을 담당하는 양서류 개체의 감소나 멸종은 생태계 구조 및 기능 변화(Green, 2003), 생물다양성 감소(Beebee and Griffiths, 2005) 등을 초래하며, 다른 생물군에 부정적인 영향을 줄

수 있다(Song et al., 2020). 또한 양서류는 다른 척추동물과 비교하여 외부 기온이나 습도 변화 등 서식지에서 발생하는 환경변화에 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다(Knutson et al., 1999; Moilan and Nieminen, 2002; Ray et al., 2002; Cushman, 2006; Song et al., 2022). 이러한 특징으로 지역 내 생태환경의 변화나 교란을 평가하는 생물지표종으로서 양서류가 활용되고 있다(Wyman, 1990; Carignan and Villard, 2002; Wilson and McCranie, 2003; Heyer et al., 2014).

국내 양서류 현황 및 동태 파악은 국립생태원과 국립공원공단에서 정기적인 현황조사를 통해 수행되고 있다(국립공원관리공단, 2018; 국립생태원, 2019). 그러나 관행적으로 연 20~30일 정도만 조사가 수행되고 대부분 주간조사의 비율이 높으며, 육안 관찰에 치중된 현장 조사 탓에 야행성인 양서류가 충분히 조사되었다고 보기는 어려운 실정이다(Song et al., 2020). 그중에서도 무미목 양서류 종의 대부분은 크기가 작고 자연환경에 위장되어 있어 시각적으로 위치를 파악하기 어렵다(Rowlet et al., 2019; Rowley and Callaghan, 2020). 이에 무미목 양서류의 번식기 울음소리를 이용하면 종을 더 쉽고 효율적으로 탐지할 수 있다(Erard, 2010; Heyer et al., 2014; Bolitho et al., 2023). 번식기 울음소리를 이용한 현장 조사를 통해 무미목 양서류와 서식지에 대한 교란을 최소화할 수 있다(Littlejohn, 1969; Rowley et al., 2016; Köhler et al., 2017; Rowley and Callaghan, 2020). 특히 청개구리와 수원청개구리처럼 형태학적으로 유사해 종을 구별하기 어려운 경우 번식기 울음소리를 통해 식별이 가능하다(Blair, 1964; Littlejohn, 1969; Yang et al., 1981; Yang et al., 1997; Kim et al., 2012). 번식기 울음소리 모니터링을 통해 지역 내 무미목 양서류 종의 분포와 풍부도 그리고 다양도를 파악할 수 있고 시간에 따른 변화를 효과적으로 검출할 수 있다(Buckley and Beebe, 2004; Kim et al., 2006). Boulhesen et al.(2021)은 생물음향 모니터링이 복잡한 환경에서 종 다양성을 평가하는 데 신뢰할 수 있는 방법으로 제안하였다. 또한 육안관찰에 비해 생물음향 모니터링은 접근이 어려운 지역에서의 조사, 넓은 지역에 대한 데이터 확보에 유용하게 활용할 수 있다(Guzy et al., 2014). 이러한 장점으로 인해 국내외적으로 무미목 양서류의 번식기 울음소리를 이용한 생물음향 모니터링이 활발하게 진행되고 있다(Kim et al., 2012; Chaudhury et al. 2016; Rowley et al., 2019; Song et al., 2020; Park and Bae, 2022; Bolitho et al., 2023).

생물다양성 보존을 위해 연구자는 변화하는 환경과 생태계에 대한 정보를 빠르게 감지하고 식별할 수 있어야 한다(Attenborough, 2020; Robinson et al., 2021). 기존 전문가를 중심으로 수행되는 전통적인 모니터링 방법은 체계적인

프로토콜과 전문 조사자에 의존하기 때문에 비용이 많이 들고 연구를 확장하기에 한계를 갖고 있다(Robinson et al., 2021). 이에 전 세계적으로 생물다양성 모니터링을 가속화하고 수행하기 위해 원격탐사(Pettorelli et al., 2014), eDNA(Bohan et al., 2017), 시민과학(Dickinson et al., 2012)과 같은 새로운 기술과 방법론을 적용하고 있다. 그중 시민과학은 비전문가인 일반시민의 자발적인 참여로 수행되는 연구 활동을 의미하며, 참여자들은 데이터 수집, 분석, 해석 등에 참여할 수 있다(Jordan et al., 2012; Toomey and Domroese, 2013; Johnson et al., 2014; Pocock et al., 2015). 대중의 참여를 기반으로 하는 생태모니터링 시민과학 프로젝트를 통해 양적·질적으로 풍부한 자료의 취득을 기대할 수 있으며(Theobald et al., 2015; Fischer et al., 2021), 기존 전통적인 모니터링 체계에 대한 개선에도 도움이 된다(Tulloch et al., 2013; Forrester et al., 2015). 이처럼 연구자는 시민참여를 통하여 광범위한 공간 규모로부터 대규모 데이터를 수집할 수 있다(Pocock et al., 2018; Callaghan et al., 2019; Torres et al., 2022). 최근에는 정보 통신 기술의 발달과 스마트폰의 보편화로 인해 시민과학을 이용한 연구 프로젝트가 확대되고 있는 추세이다(McKinley et al., 2015; McKinley et al., 2017; Kache et al., 2023). 기술의 발전으로 취득한 데이터에 대한 기록 및 전송 절차가 간편해졌으며 시민과학 프로젝트의 공간적·시간적 제약이 줄어들었다(Socientize Consortium, 2013; Davies et al., 2016; Haklay et al., 2018). 모바일 애플리케이션을 이용하여 현장 조사를 수행하는 위치에 대한 실시간 매핑, 사진 촬영, 음성 녹음 등 부가적인 조사 활동이 가능해졌고 네트워크 기반의 측정 도구로써 스마트폰이 널리 활용되고 있다(Newman et al., 2012; Andrachuk et al., 2019). 생태모니터링 부문에 있어 시민과학의 출현으로 방대한 양의 생물다양성 데이터를 빠르게 수집할 수 있게 되었으며, 실제로 매년 수백만 건의 생물종의 출현 기록이 시민과학 프로젝트로 제출되고 있다(Silvertown, 2009; sullivan et al., 2014; Johnston et al., 2023). 예를 들어 포유류(Parsons et al., 2018; Hsing et al., 2022; Broadhurst et al., 2023), 조류(Sullivan et al., 2014; de Souza et al., 2022; Farr et al., 2023), 어류(Boodilis et al., 2014; Bieluch et al., 2017; Tiralongo et al., 2020), 파충류(Heigl et al., 2017; Wangyal et al., 2020), 양서류(Cosentino et al., 2014; Sterrett et al., 2019), 식물(Kress et al., 2018; Marcenò et al., 2021) 등 다양한 분류군의 생태 및 생물다양성 측면을 평가하기 위해 시민과학이 적용되고 있다. 이외에도 시민과학은 환경과 생물다양성에 대한 일반대중의 참여에 이바지함으로써 긍정적인 행동 변화를 유도할 수 있다(McKinley et al., 2017).

기존 무미목 양서류 서식 현황 파악을 위해 전문가를 중

심으로 수행되었던 현황조사는 많은 시간과 자원을 투자할 수밖에 없는 한계가 있어 제한된 상태의 생물종 출현 기록이 수집되었다(Ahrends et al., 2011; Rovero et al., 2014). 이에 본 연구에서는 국내에 서식하는 무미목 양서류의 현황 조사를 위해 시민참여를 기반으로 한 생물음향 모니터링 프로젝트를 설계 및 적용하였다. 이를 통해 무미목 양서류의 번식기 울음소리를 토대로 시민참여 생물종 모니터링의 가능성을 평가하고자 하였다. 또한 프로젝트의 주체가 되는 시민들이 수집한 데이터를 대상으로 적절한 품질관리 방안을 제안하여 오류나 편향된 데이터를 구분하고 생물다양성 평가에 활용될 수 있는 신뢰도 높은 생물종 출현 자료를 추출하고자 하였다. 이에 본 연구는 생물음향정보를 이용한 생태모니터링 부분에 있어 시민들의 참여 가능성을 모색한 사례로써 시민과학 프로젝트 설계 및 품질관리 방안에 대한 기초연구로 활용하고자 한다.

연구방법

1. 시민참여 무미목 양서류 음성신호 모니터링 프로젝트

본 연구는 무미목 양서류의 음성신호 모니터링을 위해 시민과학 프로젝트를 설계 및 적용하였다. 시민과학 프로젝트는 국내에 서식하고 있는 무미목 양서류 중 산란시기 발성(mating call)을 하는 종 12종(청개구리, 수원청개구리, 참개구리, 옴개구리, 금개구리, 황소개구리, 무당개구리, 큰산개구리, 한국산개구리, 계곡산개구리, 맹꽁이, 두꺼비)을 대상으로 수행되었다. 시민 조사원이 무미목 양서류의 번식기 울음소리를 청취하고 녹음할 수 있도록 조사 시기를 주된 번식 시기를 포함하는 2022년 4월 1일부터 8월 31일까지로 설정하여 시민과학 프로젝트를 진행하였다. 본 연구에서는 ㈜파프리카데이터랩에서 개발한 시민과학 데이터 수집 오픈소스 애플리케이션인 CADA를 활용하여 무미목 양서류의 음성신호 데이터를 수집하였다. CADA는 시민들이 일상과 밀접한 리빙랩 프로젝트에 참여하여 데이터를 제공하고 리워드를 획득하는 구조의 데이터 거래 플랫폼이다. CADA에 등록된 리빙랩 프로젝트는 불특정 다수의 시민이 자발적으로 프로젝트 내용을 확인하고 참여할 수 있다. 프로젝트에 따라 시민들은 설문조사, 사진 및 동영상 촬영, 위치 좌표 등의 데이터를 수집하며 연구자는 데이터 제공자에게 일정 금액의 리워드를 제공한다. 리워드는 프로젝트별 연구자가 설정하는 금전적 보상을 의미하며 10월부터 500원까지 다양하게 구성되어 있다. 본 연구에서는 무미목 양서류의 음성신호 녹음 데이터 1건당 100원 리워드를 제공하였다.

2. 스마트폰을 이용한 무미목 양서류 음성신호 수집방안

본 연구에서는 모바일 애플리케이션 CADA를 이용하여 번식기 무미목 양서류의 음성신호와 서식 환경 및 생태에 대한 정보를 수집하였다(Figure 1). 리빙랩 프로젝트 참가자는 애플리케이션 내 동영상 촬영기능을 사용하여 무미목 양서류의 번식기 울음소리를 20~60초가량 녹음하였다. 최소 20초 이상 동영상 촬영이 진행되는 경우에만 데이터를 제출할 수 있도록 설정하였으며, 음성신호 수집에 집중할 수 있도록 무미목 양서류를 직접적으로 촬영하는 것이 아닌 울음소리를 잘 청취할 수 있는 장소에서 동영상 촬영을 진행하도록 안내하였다. 이후 객관식 문항으로 구성된 무미목 양서류의 개체수 파악을 위한 소리 지표(1마리, 2~5마리, 6~10마리, 10마리 이상), 날씨 지표(맑은 혹은 약간의 구름, 흐림, 안개, 보슬비, 장대비), 서식지 유형(도시, 농촌, 자연), 수역 유형(논과 밭, 습지, 하천과 계곡, 호수 혹은 저수지, 연못, 물이 없는 지역)에 대한 정보를 입력한다. 최종 제출된 관찰 데이터는 시민 조사원이 무미목 양서류 음성신호 모니터링을 낱자 시간에 대한 정보와 지리적 위치에 대한 GPS 좌표가 자동으로 기록된다. 반복 참여를 제한하기 위해 프로젝트 참여 후 동일한 참가자의 재참여는 15분 뒤에 가능하도록 설정하였다.

3. 시민과학 데이터 품질관리방안

생태모니터링 분야에서 진행되는 시민과학 프로젝트는 비전문가인 시민이 중심이 되어 조사가 수행되며, 참여의 용이성을 위해 체계적인 프로토콜이 생략되기 때문에 취득된 데이터의 오류 및 편향, 품질, 일관성 측면에서 문제가 끊임없이 발생하고 있다(Darwall and Dulvy, 1996; Foster-smith and Evans, 2003; Riesch and Potter, 2014; Haklay et al., 2018). 이처럼 시민과학 데이터가 갖는 문제를 개선하고 데이터의 정확성과 품질을 확보하기 위해서는 품질관리 방안을 구축하는 과정이 필수적으로 동반되어야 한다(Gardiner et al., 2012; Aristeidou et al., 2021). 본 연구에서는 무미목 양서류 음성신호 모니터링을 통해 수집된 시민과학 데이터의 품질관리를 위한 프로세스를 구축하여 오류나 편향된 데이터를 분류하고 신뢰도 높은 데이터를 추출하고자 한다. 시민들로부터 수집된 무미목 양서류 음성신호 데이터의 품질을 관리하기 위한 검수 프로세스는 다음과 같다(Figure 2). 제출된 데이터에 무미목 양서류의 번식기 울음소리가 포함되었는지를 판단하기 위해 녹음파일은 연구자가 직접 청취하였다. 또한 무미목 양서류 생물음향 모니터링에서 주변 소음을 정량화하는 방법으로 사용되는 Massachusetts Noise Index를 기반으로 하여 녹음파일 내

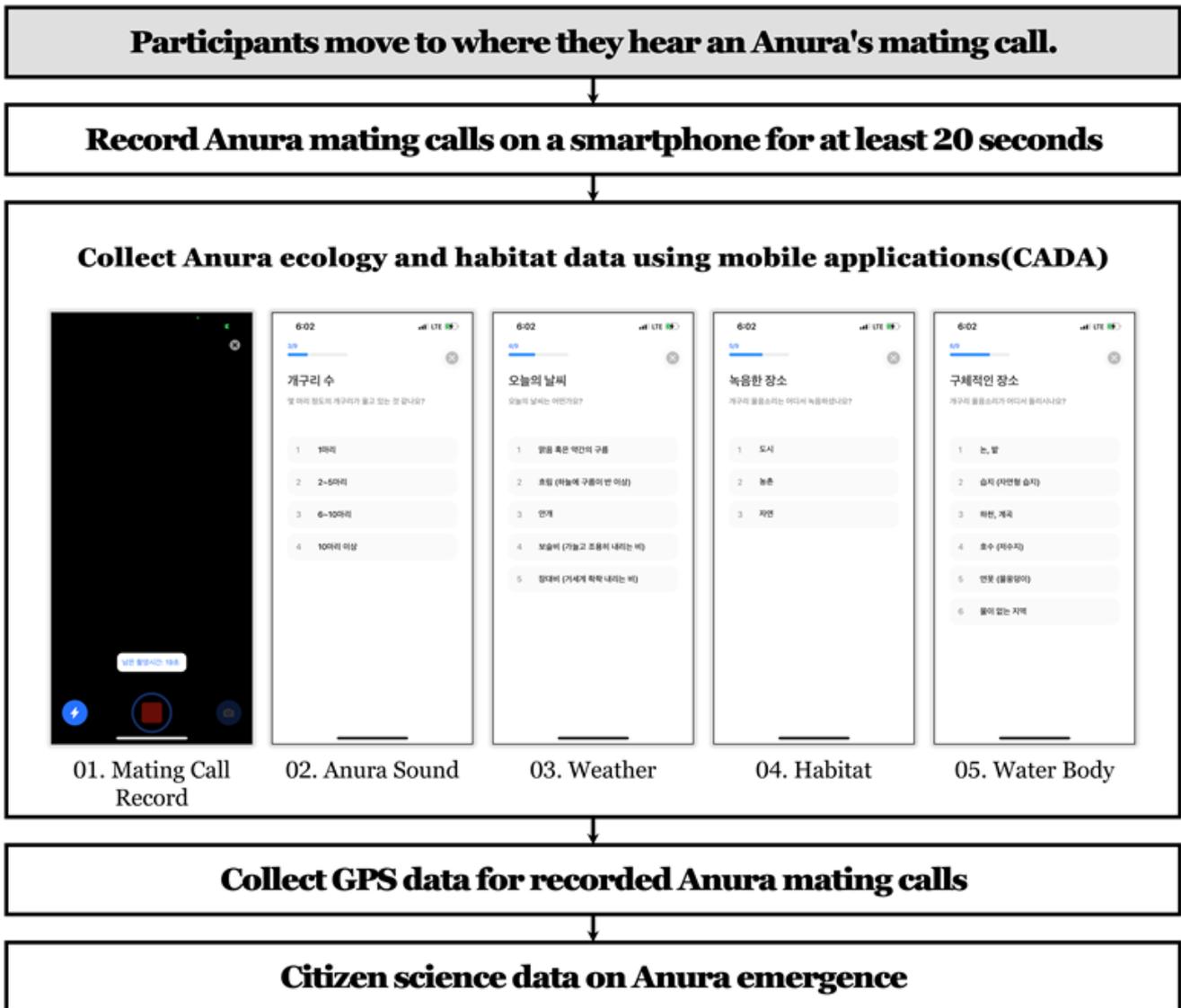


Figure 1. Flowchart for Anura Mating Call Monitoring with a Mobile App.

무미목 양서류의 번식기 울음소리를 구분하는 데 있어 주변 소음이 미치는 영향을 정량화하였다(Wier and Mossman, 2005; Hutto and Barrett, 2021; Hutto and Barrett, 2022). 이를 통해 제출된 녹음파일로부터 무미목 양서류의 번식기 울음소리를 확인할 수 없는 경우에는 소음지수 0으로 표기하였다. 무미목 양서류의 번식기 울음소리를 확인할 수 있는 경우 주변 소음의 정도에 따라 소음지수 1부터 5까지 구분하여 표기하였다. 소음지수 0으로 분류된 녹음파일은 관찰자편향으로 인해 무미목 양서류 음성신호 모니터링이 부적절하게 수행된 결과를 의미한다. 관찰자편향 유형은 선행연구를 참고하여 누락(Omission), 허위(Commission), 잘못된 식별(Incorrect identification) 등 3단계로 구분하였다

(Lotz and Allen, 2007). 누락은 무미목 양서류의 번식기 울음소리를 비롯하여 야생동물의 울음소리가 녹음되지 않은 경우를 의미한다. 허위는 무미목 양서류의 번식기 울음소리를 관찰자가 흉내를 내 녹음하거나 외부 음향기기를 이용해 울음소리를 재생하여 녹음하는 경우를 의미한다. 잘못된 식별은 다른 야생동물의 울음소리를 무미목 양서류의 울음소리로 착각하여 녹음한 경우를 의미한다. 다음으로 소음지수 1부터 5까지 분류된 녹음파일은 무미목 양서류 음성신호 모니터링을 적절하게 수행한 결과를 나타낸다. 이후 녹음파일을 연구자가 직접 청취하여 무미목 양서류의 번식기 울음소리로부터 서식 및 출현 종에 대한 동정 작업을 수행하였다. 특히 서로 다른 무미목 양서류의 번식기 울음

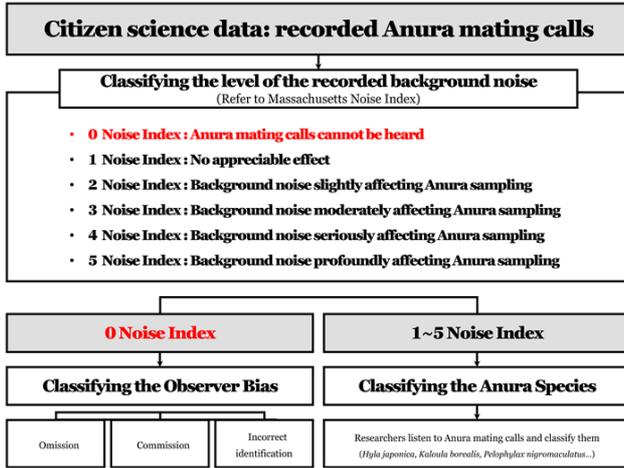


Figure 2. Flowchart for Quality Control Procedures in Anura Mating Call Citizen Science Data.

소리가 한 장소에서 혼재되어 들리는 경우 서식공간을 함께 점유하고 있는 것으로 판단하여 출현 종을 모두 표기하였다. 데이터 품질관리를 위해 7명의 연구원이 수집된 녹음파일을 직접 청취하여 검수를 수행하였다. 검수 작업에 연구원당 평균적으로 일일 3~4시간 소요되었으며, 각 연구원은 1,000개의 데이터 분류를 완료하는 데 평균 4일 정도의 시간이 필요하였다. 연구원들에 의해 분류된 데이터 중 생물종 식별이 어려운 파일들은 최종적으로 연구 책임자를 통해 재검수되었다.

결과 및 고찰

1. 시민과학 프로젝트 참여

모바일 애플리케이션을 이용해 시민참여 무미목 양서류 음성신호 모니터링을 진행한 결과 총 6,808건의 관찰 기록을 수집할 수 있었다. 우선 월별 수집된 무미목 양서류 음성신호 모니터링 결과를 살펴보면 4월 559건(8.21%), 5월 1,698건(24.94%), 6월 2,077건(30.51%), 7월 1,579건(23.19%), 8월 895건(13.15%)으로 나타났다(Figure 3). 시민과학 프로젝트를 개설한 이후 5월부터 7월까지 음성신호 모니터링에 대한 참여율이 높게 집계된 것을 확인하였다. 이후 국내에 서식하는 무미목 양서류의 번식기가 종료되는 시점인 8월부터는 시민과학 프로젝트 참여율이 감소하는 경향을 보였다. 본 연구에서는 무미목 양서류의 음성신호 모니터링을 위해 시민과학 프로젝트 참여 기간을 4월 1일부터 8월 31일까지로 설정하였다. 그러나 향후 연구에서는 두꺼비, 한국산개구리, 계곡산개구리, 큰산개구리 등 동면

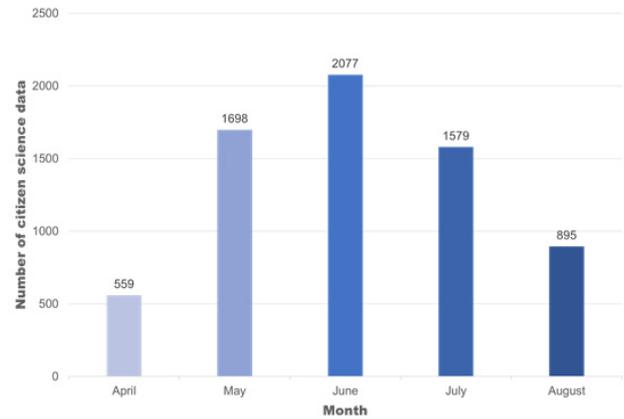


Figure 3. Monthly Collection of Anura Mating Call Acoustic Data with Citizen Involvement.

에서 깨어나 곧바로 2월부터 번식을 시작하는 무미목 양서류의 번식기를 고려해 프로젝트 참여 기간을 2월 1일부터 8월 31일로 확대 조정할 필요가 있다.

행정구역별 무미목 양서류 음성신호 모니터링 결과 특별시로는 서울특별시 1,012건(14.86%), 특별자치시로는 세종특별자치시 67건(0.98%), 특별자치도로는 제주특별자치도 7건(0.10%), 강원특별자치도 288건(4.23%), 광역시로는 인천광역시 323건(4.74%), 대전광역시 35건(0.51%), 광주광역시 124건(1.82%), 대구광역시 32건(0.47%), 울산광역시 14건(0.21%), 부산광역시 9건(0.13%), 도는 경기도 2,996건(44.01%), 충청북도 209건(3.07%), 충청남도 434건(6.37%), 전라북도 179건(2.63%), 전라남도 222건(3.26%), 경상북도 194건(2.85%), 경상남도 663건(9.74%)으로 확인되었다(Figure 4, Table 1). 주로 서울특별시와 인천광역시 그리고 경기도를 포함하는 수도권 전역에서 수집된 시민과학 데이터를 살펴보면 전체 6,808건의 데이터 중 4,331건(63.61%)이 수도권 지역에서 취득된 것으로 나타났다. 다른 지역과 비교하여 수도권 지역에서 높은 참여율이 관찰된 것처럼 시민과학 프로젝트에서 나타나는 지역 편향적인 결과를 해결하기 위한 방안 마련이 필요하다. Rowley and Callaghan(2020)은 호주 전역을 대상으로 시민참여를 토대로 한 무미목 양서류 생물다양성 모니터링 프로젝트를 진행하였는데 취득된 데이터가 주로 인구가 밀집된 지역에 편향된 것을 확인하였다. 선행연구에 따르면 이처럼 공간에 있어 편향된 결과값은 일반적으로 시민 조사원들이 도로나 거주지 인근처럼 접근이 용이하거나 종 다양성이 풍부한 것으로 알려진 지역을 우선 조사하는 경향으로 인해 발생한 것으로 알려졌다(Boakes et al., 2010; Tulloch et al., 2013; Van Strien et al., 2013; Geldmann et al., 2016). 향후 시민

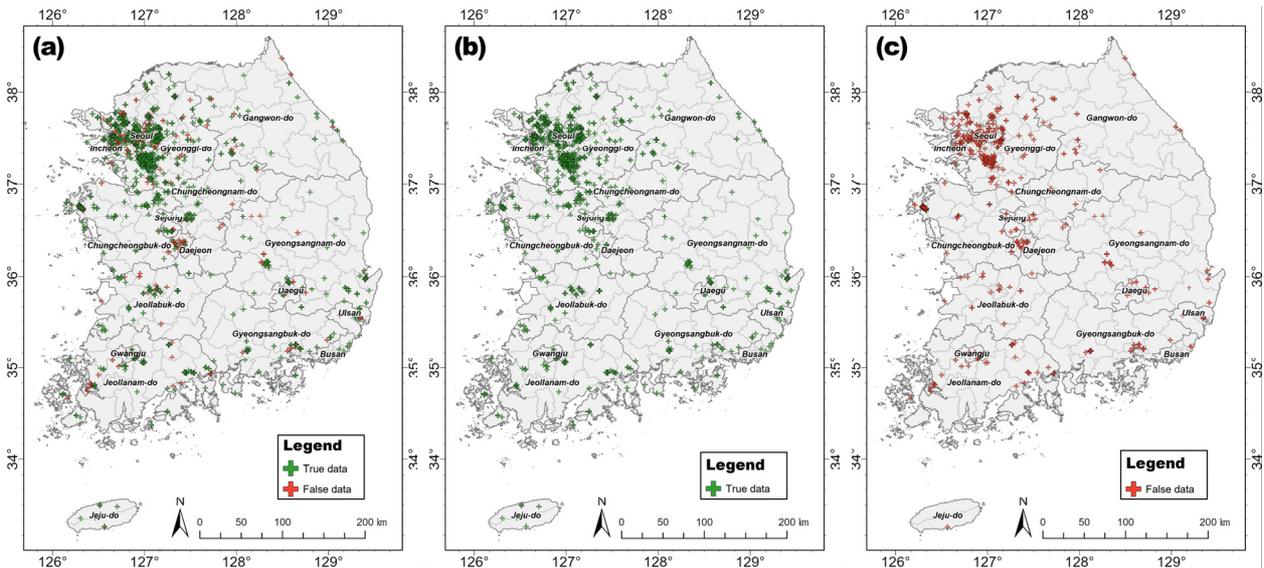


Figure 4. Results from Domestic Anura Mating Call Acoustic Signal Data Collection via Citizen Science Projects. Citizen Science Data Collection (a), Anura Mating Call Acoustic Signal Data Verified by Researchers (b), Data Contaminated by Observer Bias (c).

Table 1. Administrative Area-Based Citizen Science Data(Anura Mating Call) Collection Status

Administrative divisions of the Republic of Korea		Number of Citizen Science Data
Capital city	Seoul	1,012
Special self-governing city	Sejong	67
Metropolitan cities	Incheon	323
	Daejeon	35
	Gwangju	124
	Daegu	32
	Ulsan	14
	Busan	9
	8 Provinces	Gyeonggi-do
Chungcheongbuk-do		209
Chungcheongnam-do		434
Jeollabuk-do		179
Jeollanam-do		222
Gyeongsangbuk-do		194
Special self-governing province	Gangwon-do	288
	Jeju-do	7

과학 프로젝트를 통한 데이터 수집의 지리적 다양성 보장과 넓은 범위에서의 데이터 수집을 유도하기 위해서는 지방자치단체, 지역 내 교육기관 혹은 환경 단체와의 협력 및 연계를 통해 지역 특성을 반영한 모니터링을 수행할 필요가 있

다. 또한 교육 프로그램 운영을 통하여 데이터 수집 방법, 관찰 기술 및 데이터 제출 절차에 대한 교육을 제공하여 참가자들이 자신의 지역에서 활발하게 관찰하고 기록할 수 있는 기틀 마련이 요구된다.

2. 시민과학 데이터 품질관리방안 결과

시민과학 프로젝트를 통해 수집된 무미목 양서류 음성신호 모니터링 데이터를 토대로 품질관리 검수 프로세스를 진행하였다. 검수 결과 총 6,808건의 데이터 중 4,864건(71.45%)은 무미목 양서류의 번식기 울음소리를 수집하였으나 나머지 1,944건(28.55%)에서는 음성신호가 아닌 오류나 편향이 발생하였다(Figure 5). 수집된 시민과학 데이터 중 약 71.45%가 모바일 애플리케이션을 이용하여 무미목 양서류의 번식기 울음소리와 서식 환경 및 생태에 대한 정보를 올바르게 기록하였다. 잘못된 방법으로 기록된 데이터의 관찰자편향 유형을 살펴보면 누락(Omission) 922건(47.43%), 허위(Commission) 482건(24.79%), 잘못된 식별(Incorrect identification) 540건(27.78%)이 확인되었다(Figure 6). 특히 오류나 편향이 발생한 시민과학 데이터 중 누락은 47.43%로 높은 빈도를 보였다. 이는 번식기 울음소리를 내는 무미목 양서류와 시민 조사원 간의 거리가 멀리 떨어져 있어 녹음의 품질이 안 좋은 경우 누락으로 분류되기도 한다. 선행연구에 의하면 다수의 시민으로부터 수집된 시민과학 데이터는 높은 변동성을 갖고 있어 오류와 편향이 쉽게 발생하는 경향이 있다(Bird et al., 2014). Johnston et al.(2023)은 구조화되지 않은 시민과학 프로젝트는 대중의 참여가 쉽지만 수집된 데이터에서 더 많은 오류와 편향을 관찰할 수 있다고 보고하였다. 이에 시민 조사원들을 대상으로 한 교육활동, 데이터 표준화, 검수 프로세스 등을 통해 수집된 시민과학 데이터의 편향을 줄이는 품질관리방안이 요구된다(Wiggins et al., 2011; Bonter and Cooper, 2012).

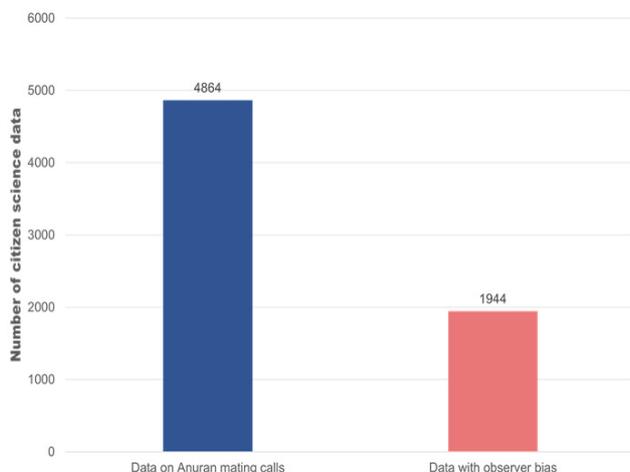


Figure 5. Citizen Science Data Quality Management Results for Anura Mating Call.

3. 스마트폰을 이용한 무미 양서류 음성신호 수집방안 결과

품질관리 검수 프로세스를 통해 시민 조사원으로부터 수집된 무미목 양서류 음성신호 모니터링 자료 중 오류나 편향된 결괏값을 제거하고 번식기 울음소리가 녹음된 4,858건의 데이터를 분류하였다. 녹음파일은 Massachusetts Noise Index를 토대로 무미목 양서류의 번식기 울음소리와 함께 녹음된 주변 배경음의 정도를 정량화하였다. 이를 통해 시민 조사원들이 무미목 양서류를 대상으로 한 생물음향 모니터링 수행 능력을 평가하고 수집된 번식기 울음소리 데이터의 품질의 정도를 가늠하였다. 분류 결과 소음지수 1은 662건(13.61%), 소음지수 2는 1,220건(25.08%), 소음지수 3은 1,461건(30.04%), 소음지수 4는 916건(18.83%), 소음지수 5는 605건(12.44%)으로 확인되었다(Figure 7). 번식기 울음소리를 통하여 무미목 양서류 종을 판단하는데 있어 부정적인 영향을 미치는 소음지수 4와 5는 전체 4,864건의 데이터 중 1,521건(31.27%)으로 시민 조사원을 통해 수집된 데이터 대부분이 생물 종 동정에 어려움이 없는 것으로 확인되었다. 선행연구에 따르면 머신러닝 알고리즘을 적용하여 무미목 양서류나 조류 등으로부터 수집한 생물음향 자료를 토대로 생물 종의 자동 분류에 대한 연구 활동도 활발하게 수행되고 있다(Lopes et al., 2011; Cheng et al., 2012; Huang et al., 2014; Xie et al., 2016). 향후 연구에서는 해당 연구에서 수집된 소음이 적고 번식기 울음소리를 통한 무미목 양서류의 식별이 적합한 시민과학 데이터를 토대로 자동 분류 모델 제작하여 활용할 필요가 있다.

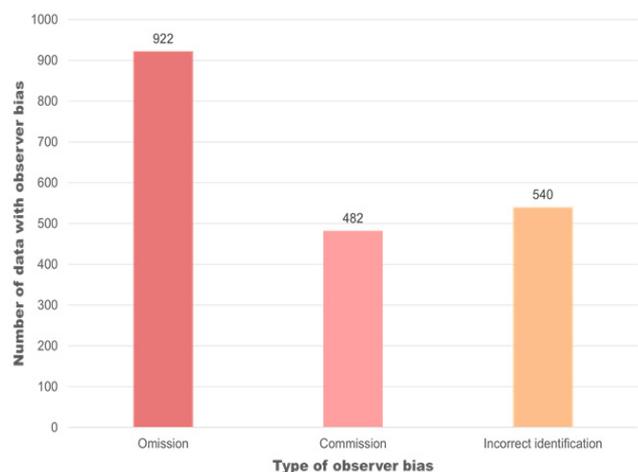


Figure 6. Types of Observer Bias in Anura Mating Call Data.

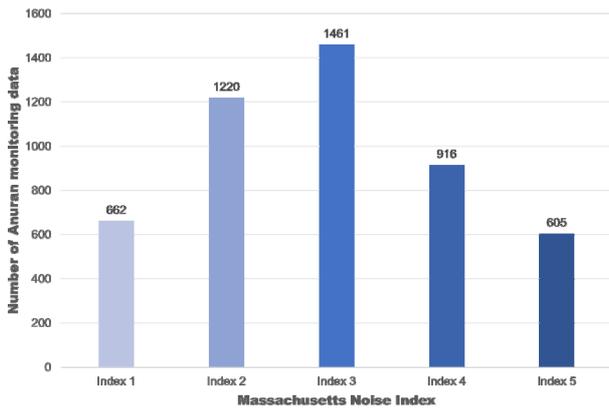


Figure 7. Classifying Citizen Science Data According to the Massachusetts Noise Index. Assessing the Quality of Citizen Science Data. Understanding the Impact of Background Noise Levels on Anura Mating Call Identification.

시민과학 프로젝트에 참여한 시민 조사원들이 무미목 양서류 음성신호 모니터링을 수행한 조사 시간대는 다음과 같다(Figure 8). 주로 일몰 이후(오후 6시부터 오전 6시 전

까지) 4,216건(86.68%) 번식기 울음소리에 대한 조사가 활발하게 진행되었으며, 일출 이후(오전 6시부터 오후 6시 전까지)에는 648건(13.32%) 비교적 적은 횟수의 참여가 확인되었다. 대부분의 시민 조사원은 오후 7시부터 모니터링 활동에 대한 참여율이 증가하였고 오후 10시 이후부터 차츰 감소하는 경향을 보였다. 전체 시간대 중 오후 9시 1,267건(36.05%), 오후 8시 1,136건(23.36%), 오후 10시 819건(16.84%) 순서로 관찰 기록이 발생하였다. 이처럼 오후 8시부터 10시까지 약 3시간 동안 전체 관찰 기록의 66.24%에 해당하는 관찰 활동을 확인하였으며, 이는 주로 시민 조사원들이 무미목 양서류의 번식기 울음소리를 수집을 위해 야간 조사를 선호한다고 해석된다. Kim et al.(2012)은 수원 청개구리와 청개구리의 번식기 울음소리 일주기를 연구한 결과 수컷 수원청개구리는 약 16시부터 울음을 시작하여 다음 날 3시까지 평균 11시간 동안 울음소리가 확인되었으며, 청개구리는 약 18시부터 시작하여 다음 날 3시까지 평균 7시간 동안 울음소리가 관찰되었다. 이처럼 일과 이후 무미목 양서류의 울음소리가 시작하는 시점에 맞춰 데이터 수집이 진행된 것으로 판단된다.

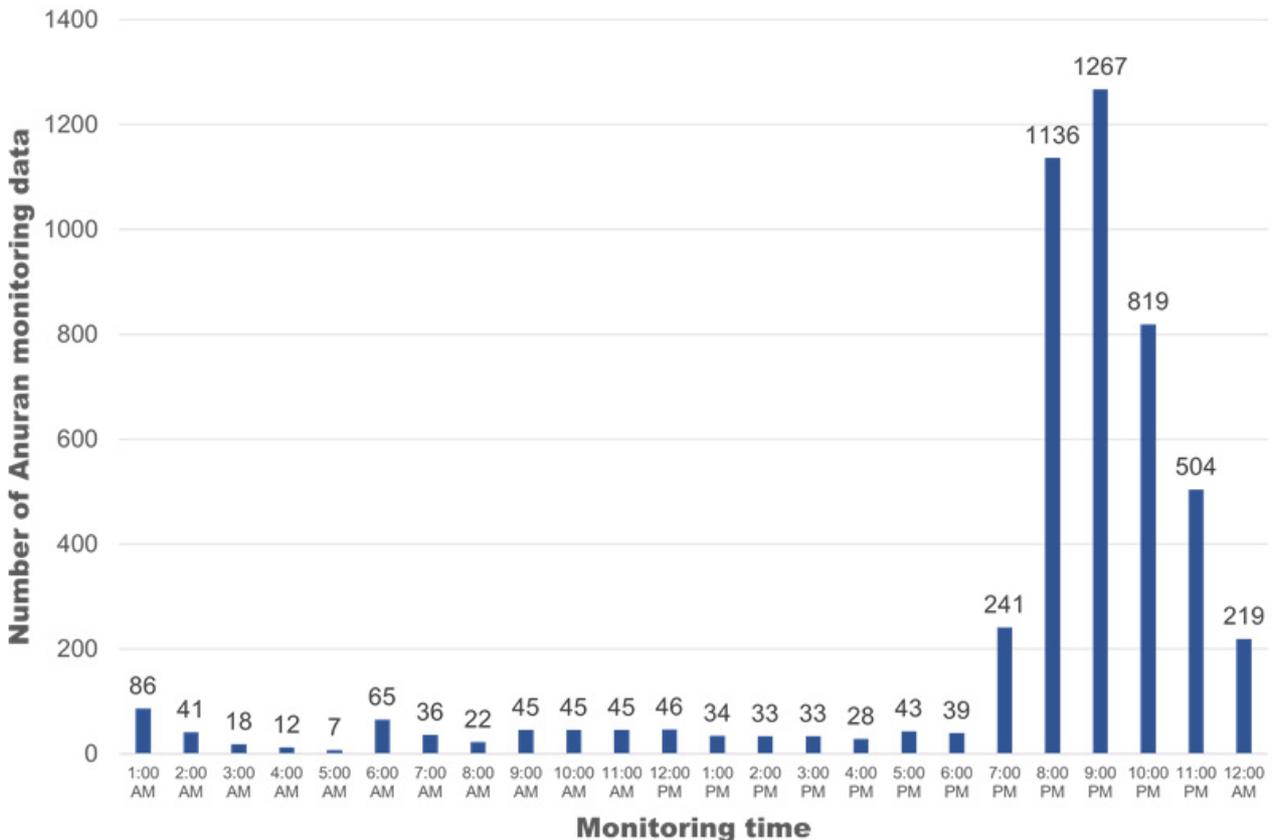


Figure 8. The Time During which Citizen Participants Conducted Monitoring of Anura Mating Call.

본 시민과학 프로젝트를 통해 국내에 서식하고 산란시기에 발성을 하는 12종의 무미목 양서류 중 두꺼비, 한국산개구리를 제외한 10종의 무미목 양서류의 번식기 울음소리를 확인하였다. 수집된 4,864건의 무미목 양서류 번식기 울음소리 중 청개구리 3,829건(78.72%), 맹꽁이 362건(7.44%), 청개구리와 맹꽁이 230건(4.73%), 청개구리와 참개구리 183건(3.76%), 참개구리 176건(3.62%), 무당개구리 19건(0.39%), 황소개구리 16건(0.33%), 옴개구리 12건(0.25%)과 같은 순서로 집계되었다(Figure 9). 개체별 수집된 번식기 울음소리의 경우에는 청개구리 4,256건(80.06%), 맹꽁이 613건(11.53%), 참개구리 379건(7.13%), 무당개구리 21건(0.40%), 옴개구리 18건(0.34%), 황소개구리 16건(0.30%), 수원청개구리 6건(0.11%), 금개구리 3건(0.06%), 계곡산개구리 3건(0.06%), 큰산개구리 1건(0.02%)으로 확인되었다(Figure 10). 특히 청개구리 번식기 울음소리에 대한 관찰빈도가 높게 나타났다. 청개구리는 한반도 전역에 분포하며 서식지 교란에도 내성이 있어 도시공간을 비롯하여 다양한 환경에서 관찰할 수 있다(Park and Cho, 2017). 청개구리 다음으로 관찰빈도가 높게 나타난 맹꽁이는 이동성이 낮고 서식반경이 좁은 특징으로 도로 건설이나 개발사

업처럼 대규모 공사가 진행되는 경우 국지적 절멸 위기가 높은 종으로 알려져 있다(Hong et al., 2017). 이에 맹꽁이 개체군의 보호를 목적으로 다양한 서식지 보전계획이 수립되고 대체서식지 조성을 통한 복원이 진행되고 있어 타종에 비해 관찰이 유리한 것으로 판단된다(Kim and Lee, 2010; Park et al., 2019). 발견하지 못한 무미목 양서류 3종은 개체수 감소로 인해 관찰이 어렵거나 개체의 번식기와 모니터링 프로젝트 진행 시점과의 차이로 인해 번식기 울음소리를 수집하는데 어려움이 발생한 것으로 나타났다. 또한 무미양서류 개체를 주로 관찰할 수 있는 서식지 위치가 접근성이 낮은 경우 상대적으로 적은 횟수의 관찰이 나타났다. 두꺼비는 산림지대 산 사면, 초지, 논, 밭, 계곡 주변에 서식하며 번식기는 2월부터 3월까지로 알려져 있다(Lee et al., 2013). 본 연구에서는 수집된 무미목 양서류 번식기 울음소리는 주로 청개구리에 국한되어 있다. 논, 산림지대, 초원지대, 습지대, 하천, 호수, 연못 등 다양한 환경에서 관찰할 수 있는 청개구리는 서식지 교란에도 내성이 있으며 대도시에서도 발견되는 종이다(Jang and Suh 2010; Park and Cho, 2017). 시민과학 프로젝트에 참여하는 시민들은 접근이 쉬운 생활반경을 중심으로 생물모니터링을 수행하는 경향이

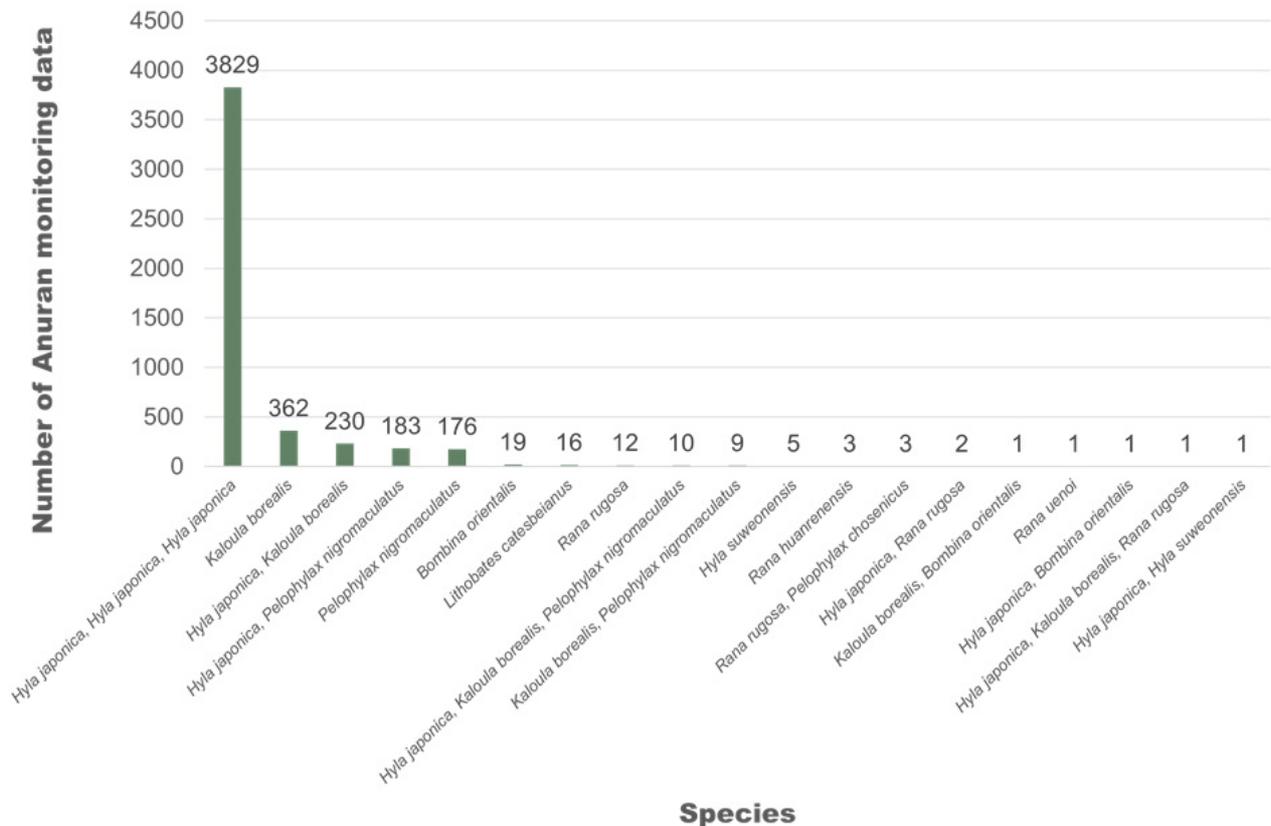


Figure 9. The Results of Classifying Anura Species from Collected Citizen Science Data.

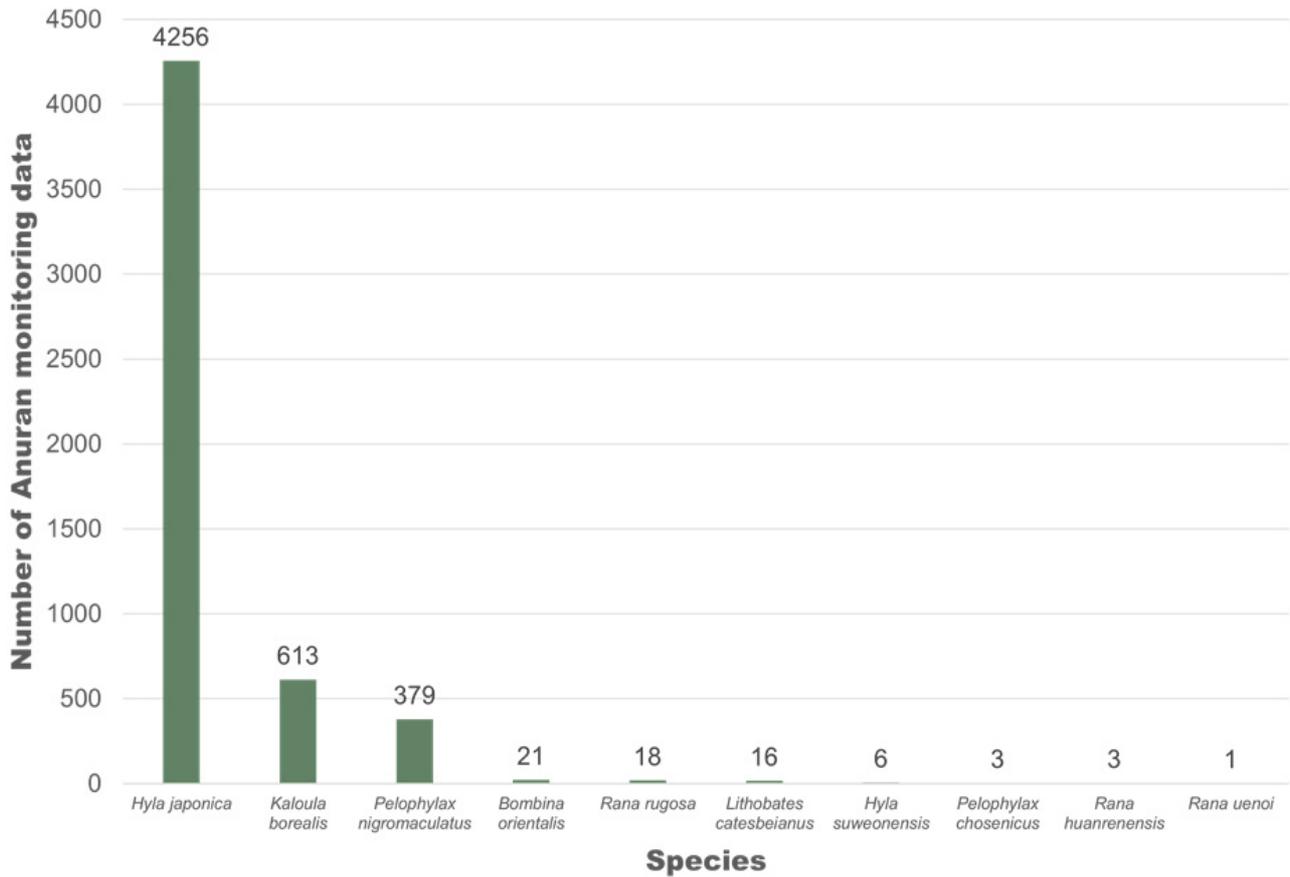


Figure 10. Number of Mating Calls Collected per Individual in Anura Species.

높으므로 비교적 도시환경에서 관찰이 용이한 청개구리에 대한 조사가 편향된 것으로 판단된다.

시민 조사원을 통해 모바일 애플리케이션을 이용하여 무미목 양서류의 음성신호 수집과 서식 환경 및 생태에 대한 정보를 수집하였다. 시민 조사원은 무미목 양서류의 번식기 울음소리 녹음과 더불어 현장에서 서식 환경 및 생태에 대한 정보를 확인 후 기록하였다. 무미목 양서류의 개체수 파악을 목적으로 수행된 소리 지표의 경우 1마리 337건(6.93%), 2~5마리 1,551건(31.89%), 6~10마리 942건(19.37%), 10마리 이상 2,034건(41.82%)으로 나타났다. 다음으로 조사를 수행한 날씨에 대한 정보는 맑은 혹은 약간의 구름 2,904건(59.70%), 흐림 1,330건(27.34%), 안개 50건(1.03%), 보슬비 403건(8.29%), 장대비 177건(3.64%)으로 집계되었다. 기상악화 시 시민과학 프로젝트 참여율이 감소한 것을 확인할 수 있었다. 무미목 양서류의 모니터링이 수행된 서식지 유형으로는 도시 2,821건(58.00%), 농촌 1,618(33.26%), 자연 425건(8.74%)으로 확인되었다. 또한 수역 유형으로는 논과 밭 1,968건(40.46%), 습지 520건(10.69%), 하천과 계곡 509건(10.46%), 호수 혹은 저수지

144건(2.96%), 연못 1,245건(25.60%), 물이 없는 지역 478건(9.83%)으로 나타났다. 주로 무미목 양서류의 음성신호 모니터링 도시와 농촌 공간에서 수행되었고 그중에서도 논과 밭 혹은 연못과 같은 수 환경에 관찰이 진행되었다.

본 연구는 국내에 서식하는 무미목 양서류의 분포현황 파악을 목적으로 생물음향 모니터링 시민과학 프로젝트를 설계 및 적용하였다. 프로젝트를 통해 무미목 양서류의 번식기 울음소리를 수집함으로써 생물음향 모니터링에 있어 시민참여의 가능성을 평가하고자 하였다. 더불어 적절한 품질관리 검수 프로세스를 제안하여 시민참여를 통해 수집된 데이터의 오류나 편향을 분류하고 생물다양성 평가에 활용할 수 있는 신뢰성 높은 생물종 출현 자료를 확보하고자 하였다. 향후 연구에서는 국내에 서식하는 무미목 양서류의 번식기와 생활사를 고려한 음성신호 모니터링 수행이 요구된다. 또한 머신러닝 알고리즘을 통한 자동 분류 모델을 제작하여 수집된 번식기 울음소리로부터 무미목 양서류 종을 자동으로 식별하는 방안을 모색할 필요가 있다.

REFERENCES

- Ahrends, A., C. Rahbek, M.T. Bulling, N.D. Burgess, P.J. Platts, L.C. Lovett ... and R. Marchant(2011) Conservation and the botanist effect. *Biological Conservation* 144(1): 131-140.
- Andrachuk, M., M. Marschke, C. Hings and D. Armitage(2019) Smartphone technologies supporting community-based environmental monitoring and implementation: A systematic scoping review. *Biological Conservation* 237: 430-442.
- Aristeidou, M., C. Herodotou, H.L. Ballard, L. Higgins, R.F. Johnson, A.E. Miller ... and L.D. Robinson(2021) How do young community and citizen science volunteers support scientific research on biodiversity? The case of iNaturalist. *Diversity* 13(7): 318.
- Attenborough, D.(2020) A life on our planet: My witness statement and a vision for the future. Random House.
- Beebee, T.J. and R.A. Griffiths(2005) The amphibian decline crisis: A watershed for conservation biology?. *Biological Conservation* 125(3): 271-285.
- Bieluch, K.H., T. Willis, J. Smith and K.A. Wilson(2017) The complexities of counting fish: Engaging citizen scientists in fish monitoring. *Maine policy review*.
- Bird, T.J., A.E. Bates, J.S. Lefcheck, N.A. Hill, R.J. Thomson, G.J. Edgar ... and S. Frusher(2014) Statistical solutions for error and bias in global citizen science datasets. *Biological Conservation* 173: 144-154.
- Blair, W.F.(1964) Isolating mechanisms and interspecies interactions in anuran amphibians. *The Quarterly Review of Biology* 39(4): 334-344.
- Boakes, E.H., P.J. McGowan, R.A. Fuller, D. Chang-qing, N.E. Clark, K. O'Connor and G.M. Mace(2010) Distorted views of biodiversity: Spatial and temporal bias in species occurrence data. *PLoS biology* 8(6): e1000385.
- Bodilis, P., P. Louisy, M. Draman, H.O. Arceo and P. Francour (2014) Can citizen science survey non-indigenous fish species in the eastern Mediterranean Sea? *Environmental Management* 53: 172-180.
- Bohan, D.A., C. Vacher, A. Tamaddoni-Nezhad, A. Raybould, A.J. Dumbrell and G. Woodward(2017) Next-generation global biomonitoring: Large-scale, automated reconstruction of ecological networks. *Trends in Ecology & Evolution* 32(7): 477-487.
- Bolitho, L., D. Newell and H. Hines(2023) Bioacoustic monitoring reveals the calling activity of an endangered mountaintop frog (*Phyllorhina kundagungan*) in response to environmental conditions. *Diversity* 15(8): 931.
- Bonter, D.N. and C.B. Cooper(2012) Data validation in citizen science: A case study from Project Feeder Watch. *Frontiers in Ecology and the Environment* 10(6): 305-307.
- Borzée, A., C.N. Kyong, H.K. Kil and Y. Jang(2018) Impact of water quality on the occurrence of two endangered Korean anurans: *Dryophytes suweonensis* and *Pelophylax chosonicus*. *Herpetologica* 74(1): 1-7.
- Boullhesen, M., M. Vaira, R.M. Barquez and M.S. Akmentins (2021) Evaluating the efficacy of visual encounter and automated acoustic survey methods in anuran assemblages of the Yungas Andean forests of Argentina. *Ecological Indicators* 127: 107750.
- Broadhurst, H., E.E. Smith, J.M. Jackman, N. Singleton, D. Tansley, R. Raynor ... and A.D. McDevitt(2023) Citizen scientists' motivation to participate in environmental DNA (eDNA) surveys: A case study on monitoring mammals in the UK.
- Buckley, J. and T.J. Beebee(2004, August) Monitoring the conservation status of an endangered amphibian: The natterjack toad *Bufo calamita* in Britain. In *Animal Conservation forum* (Vol. 7, No. 3, pp. 221-228). Cambridge University Press.
- Callaghan, C.T., J.J. Rowley, W.K. Cornwell, A.G. Poore and R.E. Major(2019) Improving big citizen science data: Moving beyond haphazard sampling. *PLoS Biology* 17(6): e3000357.
- Carignan, V. and M.A. Villard(2002) Selecting indicator species to monitor ecological integrity: A review. *Environmental Monitoring and Assessment* 78: 45-61.
- Chaudhury, S., K.L. Sahrawat, K. Srinivasu, S.P. Wani And N. Puppala(2016) Advertisement calls of Amboli leaping frog *Indirana chiravasi* (Anura: Ranixalidae) from northern Western Ghats, India. *Current Science* 110(12): 2220.
- Cheng, J., Xie, B., Lin, C., and Ji, L. (2012) A comparative study in birds: Call-type-independent species and individual recognition using four machine-learning methods and two acoustic features. *Bioacoustics* 21(2): 157-171.
- Coelho, I.P., F.Z. Teixeira, P. Colombo, A.V.P. Coelho and A. Kindel(2012) Anuran road-kills neighboring a peri-urban reserve in the Atlantic Forest, Brazil. *Journal of Environmental Management* 112: 17-26.
- Collins, J.P. and A. Storfer(2003) Global amphibian declines: Sorting the hypotheses. *Diversity and Distributions* 9(2): 89-98.
- Cosentino, B.J., D.M. Marsh, K.S. Jones, J.J. Apodaca, C. Bates, J. Beach ... and A. Willey(2014) Citizen science reveals widespread negative effects of roads on amphibian distributions. *Biological Conservation* 180: 31-38.
- Cushman, S.A.(2006) Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: A review and prospectus. *Biological Conservation* 128(2): 231-240.
- Darwall, W.R. and N.K. Dulvy(1996) An evaluation of the suitability of non-specialist volunteer researchers for coral reef fish surveys. Mafia Island, Tanzania-a case study. *Biological Conservation* 78(3): 223-231.
- Davies, L., R. Fradera, H. Riesch and P. Lakeman-Fraser(2016)

- Surveying the citizen science landscape: An exploration of the design, delivery and impact of citizen science through the lens of the Open Air Laboratories (OPAL) programme. *BMC Ecology* 16: 1-13.
- De Souza, E., J. Lima-Santos, O.M. Entiauspe-Neto, M.M. dos Santos, P.R. de Moura and E. Hingst-Zaher(2022) Ophiophagy in Brazilian birds: A contribution from a collaborative platform of citizen science. *Ornithology Research* 30(1): 15-24.
- Delis, P.R., H.R. Mushinsky and E.D. McCoy(1996) Decline of some west-central Florida anuran populations in response to habitat degradation. *Biodiversity & Conservation* 5: 1579-1595.
- Dickinson, J.L., J. Shirk, D. Bonter, R. Bonney, R.L. Crain, J. Martin ... and K. Purcell(2012) The current state of citizen science as a tool for ecological research and public engagement. *Frontiers in Ecology and the Environment* 10(6): 291-297.
- Erard, C.(2010) Wells, KD—The ecology and behavior of amphibians. The University of Chicago Press, Chicago and London. 2008. *Revue d'Écologie (La Terre et La Vie)* 65(1): 93-95.
- Farr, C. M., F. Ngo and B. Olsen(2023) Evaluating data quality and changes in species identification in a citizen science bird monitoring project. *Citizen Science: Theory and Practice* 8(1): 24.
- Fischer, H.A., L.R. Gerber and E.A. Wentz(2021) Evaluating the fitness for use of citizen science data for wildlife monitoring. *Frontiers in Ecology and Evolution* 9: 620850.
- Forrester, G., P. Baily, D. Conetta, L. Forrester, E. Kintzing and L. Jarecki(2015) Comparing monitoring data collected by volunteers and professionals shows that citizen scientists can detect long-term change on coral reefs. *Journal for Nature Conservation* 24: 1-9.
- Foster-Smith, J. and S.M. Evans(2003) The value of marine ecological data collected by volunteers. *Biological Conservation* 113(2): 199-213.
- Gardiner, M.M., L.L. Allee, P.M. Brown, J.E. Losey, E.E. Roy and R.R. Smyth(2012) Lessons from lady beetles: Accuracy of monitoring data from US and UK citizen-science programs. *Frontiers in Ecology and the Environment* 10(9): 471-476.
- Geldmann, J., J. Heilmann-Clausen, T.E. Holm, I. Levinsky, B.O. Markussen, K. Olsen ... and A.P. Tøttrup(2016) What determines spatial bias in citizen science? Exploring four recording schemes with different proficiency requirements. *Diversity and Distributions* 22(11): 1139-1149.
- Green, D.M.(2003) The ecology of extinction: Population fluctuation and decline in amphibians. *Biological Conservation* 111(3): 331-343.
- Guzy, J.C., S.J. Price and M.E. Dorcas(2014) Using multiple methods to assess detection probabilities of riparian-zone anurans: Implications for monitoring. *Wildlife Research* 41(3): 243-257.
- Haklay, M., S. Mazumdar and J. Wardlaw(2018) Citizen science for observing and understanding the earth. *Earth Observation Open Science and Innovation*, 69-88.
- Hamer, A.J. and M.J. McDonnell(2008) Amphibian ecology and conservation in the urbanising world: A review. *Biological Conservation* 141(10): 2432-2449.
- Heigl, F., K. Horvath, G. Laaha and J.G. Zaller(2017) Amphibian and reptile road-kills on tertiary roads in relation to landscape structure: Using a citizen science approach with open-access land cover data. *BMC Ecology* 17: 1-11.
- Heyer, R., M.A. Donnelly, M. Foster and R. McDiarmid(2014) *Measuring and monitoring biological diversity: Standard methods for amphibians*. Smithsonian Institution Press, Washington.
- Hirai, T. and M. Matsui(1999) Feeding habits of the pond frog, *Rana nigromaculata*, inhabiting rice fields in Kyoto, Japan. *Copeia* 1999(4): 940-947.
- Hirai, T. and M. Matsui(2002) Feeding relationships between *Hyla japonica* and *Rana nigromaculata* in rice fields of Japan. *Journal of Herpetology* 36(4): 662-667.
- Hong, S.G., C.K. An, H.J. Kim, K.C. Oh, S.Y. Park, S. Na and H. Yi(2017) Ecological study of narrow-mouthed Toad (*Kaloula borealis*) population at Myeongji district in Busan Metropolitan City. *Journal of Wetlands Research* 19(1): 172-179.
- Hsing, P.Y., R.A. Hill, G.C. Smith, S. Bradley, S.E. Green, V.T. Kent ... and P.A. Stephens(2022) Large-scale mammal monitoring: The potential of a citizen science camera-trapping project in the United Kingdom. *Ecological Solutions and Evidence* 3(4): e12180.
- Huang, C.J., Y.J. Chen, H.M. Chen, J.J. Jian, S.C. Tseng, Y.J. Yang and P.A. Hsu(2014) Intelligent feature extraction and classification of anuran vocalizations. *Applied Soft Computing* 19: 1-7.
- Hutto Jr, D. and K. Barrett(2021) Do urban open spaces provide refugia for frogs in urban environments? *PLoS One* 16(1): e0244932.
- Hutto, D. and K. Barrett(2022) Do open spaces within an urban matrix increase anuran abundance? *Herpetological Conservation and Biology* 17(3): 582-592.
- IUCN(2021) *The IUCN Red List of Threatened Species*. Summary statistics, threatened species in past and present Red Lists. IUCN, Gland, Switzerland. [Accessed June 2021].
- Jang, H.J. and J.H. Suh(2010) Distribution of amphibian species in South Korea. *Korean Journal of Herpetology* 2: 45-51.
- Johnson, M.F., C. Hannah, L. Acton, R. Popovici, K.K. Karanth and E. Weintal(2014) Network environmentalism: Citizen scientists as agents for environmental advocacy. *Global Environmental Change* 29: 235-245.
- Johnston, A., E. Matechou and E.B. Dennis(2023) Outstanding challenges and future directions for biodiversity monitoring using citizen science data. *Methods in Ecology and Evolution*

- 14(1): 103-116.
- Jordan, R.C., H.L. Ballard and T.B. Phillips(2012) Key issues and new approaches for evaluating citizen-science learning outcomes. *Frontiers in Ecology and the Environment* 10(6): 307-309.
- Kache, P.A., G.M. Bron, S. Zapata-Ramirez, J.I. Tsao, L.C. Bartholomay, S.M. Paskewitz ... and M. del Pilar Fernandez (2023) Evaluating spatial and temporal patterns of tick exposure in the United States using community science data submitted through a smartphone application. *Ticks and Tick-borne Diseases* 14(4): 102163.
- Katayama, N., T. Amano, G. Fujita and H. Higuchi(2012) Spatial overlap between the intermediate egret *Egretta intermedia* and its aquatic prey at two spatiotemporal scales in a rice paddy landscape. *Zoological Studies* 51(7): 1105-1112.
- Katayama, N., T. Goto, F. Narushima, T. Amano, H. Kobori and T. Miyashita(2013) Indirect positive effects of agricultural modernization on the abundance of Japanese tree frog tadpoles in rice fields through the release from predators. *Aquatic Ecology* 47: 225-234.
- Kim, I.H., C.H. Ham, S.W. Jang, E.Y. Kim and J.B. Kim(2012) Determination of breeding season, and daily pattern of calling behavior of the endangered suweon-tree frog (*Hyla suweonensis*). *Korean Journal of Herpetology* 4: 23-29.
- Kim, J.C. and G.J. Lee(2010) A study on habitat improvement for narrow-mouth frog (*Kaloula borealis*) in-situ conservation. In *Proceedings of the Korean Society of Environment and Ecology Conference* (pp. 150-154). Korean Society of Environment and Ecology.
- Kim, K.S., Y. Song, C.D. Park, D.W. Kang and J.D. Yoon(2020) Characterizing development of endangered gold-spotted pond frog (*Pelophylax chosonicus*) focused on egg development and growth and survival rates of tadpoles with different feed. *Korean Journal of Ecology and Environment* 53(3): 221-228.
- Kim, S.K., H.C. Sung, D.S. Park and S.R. Park(2006) Changes in environmental attitudes of middle and high school students after anuran call monitoring. *Korean Journal of Environmental Education* 19(1): 104-115.
- Knutson, M.G., J.R. Sauer, D.A. Olsen, M.J. Mossman, L.M. Hemesath and M.J. Lannoo(1999) Effects of landscape composition and wetland fragmentation on frog and toad abundance and species richness in Iowa and Wisconsin, USA. *Conservation Biology* 13(6): 1437-1446.
- Köhler, J., M. Jansen, A. Rodríguez, P.J.R. Kok, L.F. Toledo, M. Emmrich, F. Glaw, C.F.B. Haddad, M.O. Rödel and M. Vences(2017) The use of bioacoustics in anuran taxonomy: Theory, terminology, methods and recommendations for best practice. *Zootaxa* 4251: 1-124. 10.11646/zootaxa.4251.1.1.
- Kress, W.J., C. Garcia-Robledo, J.V. Soares, D. Jacobs, K. Wilson, I.C. Lopez and P.N. Belhumeur(2018) Citizen science and climate change: Mapping the range expansions of native and exotic plants with the mobile app Leafsnap. *BioScience* 68(5): 348-358.
- Lee, H.L., C.W. Lee, H.S. Yang, T.S. Kim and B.G. Yang(2013) Post-breeding dispersal and movement patterns of Asian toad (*Bufo gargarizans*). *The Korean Research Society of Herpetologists* 5(1): 1-8.
- Lee, W.C., J.W. Yoo and P.H. Rho(2023) Comparative study of citizen science and expert based survey data using the species distribution model of *Rana uenoi*. *Journal of Environmental Science International* 32(6): 429-440.
- Littlejohn, M.J.(1969) The systematic significance of isolating mechanisms. In: National Research Council (Ed.) *Systematic Biology: Proceedings of an International Conference*. National Academies Press, Washington, DC, 459-482. 10.17226/21293
- Lopes, M.T., L.L. Gioppo, T.T. Higushi, C.A. Kaestner, C.N. Silla Jr and A.L. Koerich(2011, December) Automatic bird species identification for large number of species. In *2011 IEEE International Symposium on Multimedia* (pp. 117-122). IEEE.
- Lotz, A., and C.R. Allen(2007) Observer bias in anuran call surveys. *The Journal of Wildlife Management* 71(2): 675-679.
- Marcenò, C., J. Padullés Cubino, M. Chytrý, E. Genduso, D. Salemi, A. La Rosa ... and R. Guarino(2021) Facebook groups as citizen science tools for plant species monitoring. *Journal of Applied Ecology* 58(10): 2018-2028.
- McKinley, D.C., A.J. Miller-Rushing, H.L. Ballard, R. Bonney, H. Brown, S.C. Cook-Patton ... and M.A. Soukup(2017) Citizen science can improve conservation science, natural resource management, and environmental protection. *Biological Conservation* 208: 15-28.
- McKinley, D.C., A.J. Miller-Rushing, H.L. Ballard, R. Bonney, H. Brown, D.M. Evans ... and M.A. Soukup(2015) Investing in citizen science can improve natural resource management and environmental protection. *Issues in Ecology* 2015(19): 1-27.
- Moilanen, A. and M. Nieminen(2002) Simple connectivity measures in spatial ecology. *Ecology* 83(4): 1131-1145.
- Naito, R., M. Sakai and Y. Morimoto(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.
- Newman, G., A. Wiggins, A. Crall, E. Graham, S. Newman and K. Crowston(2012) The future of citizen science: Emerging technologies and shifting paradigms. *Frontiers in Ecology and the Environment* 10(6): 298-304.
- Oesterheld, M., V. Schmid-Loertzer, M. Calvera-Isabal, I. Amarasinghe, P. Santosb and Y.N. Golumbicc(2022). Identifying learning dimensions in citizen science projects.
- Park, M.K. and S.H. Bae(2022) Accuracy verification for unmanned aerial vehicle system for mapping of amphibians mating call. *Journal of the Korean Society of Environmental*

- Restoration Technology 25(2): 85-92.
- Park, S.C., B.H. Han and M.J. Park(2019). A study on the evaluation and maintenance for alternative habitats of the narrow-mouth frog (*Kaloula borealis*): A case study on the alternative habitats of *Kaloula borealis* at the University of Seoul. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 47(1): 76-87.
- Park, S.H. and K.H. Cho (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.
- Parsons, A.W., C. Goforth, R. Costello and R. Kays(2018) The value of citizen science for ecological monitoring of mammals. *PeerJ* 6: e4536.
- Pettorelli, N., W.F. Laurance, T.G. O'Brien, M. Wegmann, H. Nagendra and W. Turner(2014) Satellite remote sensing for applied ecologists: Opportunities and challenges. *Journal of Applied Ecology* 51(4): 839-848.
- Pocock, M.J., H.E. Roy, C.D. Preston and D.B. Roy(2015) The biological records centre: A pioneer of citizen science. *Biological Journal of the Linnean Society* 115(3): 475-493.
- Pocock, M.J., M. Chandler, R. Bonney, I. Thornhill, A. Albin, T. August ... and F. Danielsen(2018) A vision for global biodiversity monitoring with citizen science. In *Advances in Ecological Research* (Vol. 59, pp. 169-223). Academic Press.
- Ray, N., A. Lehmann and P. Joly(2002) Modeling spatial distribution of amphibian populations: A GIS approach based on habitat matrix permeability. *Biodiversity and Conservation* 11: 2143-2165.
- Riesch, H. and C. Potter(2014) Citizen science as seen by scientists: Methodological, epistemological and ethical dimensions. *Public Understanding of Science* 23(1): 107-120.
- Robinson, W.D., T.A. Hallman and R. A. Hutchinson(2021) Benchmark bird surveys help quantify counting accuracy in a citizen-science database. *Frontiers in Ecology and Evolution* 9: 568278.
- Rovero, F., M. Menegon, J. FjeldsAa, L. Collett, N. Doggart, C. Leonard ... and N.D. Burgess(2014) Targeted vertebrate surveys enhance the faunal importance and improve explanatory models within the Eastern Arc Mountains of Kenya and Tanzania. *Diversity and Distributions* 20(12): 1438-1449.
- Rowley, J.J. and C.T. Callaghan(2020) The FrogID dataset: expert-validated occurrence records of Australia's frogs collected by citizen scientists. *ZooKeys* 912: 139.
- Rowley, J.J., C.T. Callaghan, T. Cutajar, C. Portway, K. Potter, S. Mahony ... and A. Woods(2019) FrogID: Citizen scientists provide validated biodiversity data on frogs of Australia. *Herpetological Conservation and Biology* 14(1): 155-170.
- Rowley, J.J.L., D.T. TranT, T.T.D. Le, V.Q. Dau, P.L. Peloso, T.Q. Nguyen, H.D. HoangD, T.T. Nguyen and T. Ziegler(2016) Five new, microendemic Asian leaf-litter frogs (*Leptolalax*) from the southern Annamite mountains, Vietnam. *Zootaxa* 4085: 63-102. 10.11646/zootaxa.4085.1.3.
- Sewell, D. and R.A. Griffiths(2009) Can a single amphibian species be a good biodiversity indicator? *Diversity* 1(2): 102-117.
- Silvertown, J.(2009) A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology & Evolution* 24(9): 467-471.
- Socientize Consortium(2013) Green paper on citizen science. Citizen Science for Europe. Towards a better society of empowered citizens and enhanced research. Brussels.
- Song, J.Y., M.H. Chang and K.S. Koo(2020) Sound monitoring effectiveness of the black-spotted pond frog, *Pelophylax nigromaculatus* in the Baengngimi Wetland. *The Korean Research Society of Herpetologists* 11(1): 15-20.
- Song, U., E. Yang, M.W. Kim, B. Kim, S. Kwak, S. Oh ... and H. Rime(2022) Predicting the effects of climate change on tadpole stage fitness in the Korean brown frog *Rana uenoi* Matsui, 2014 (Amphibia: Ranidae). *Asian Journal of Conservation Biology* 11(1).
- Sterrett, S.C., R.A. Katz, W.R. Fields and E.H. Campbell Grant(2019) The contribution of road-based citizen science to the conservation of pond-breeding amphibians. *Journal of Applied Ecology* 56(4): 988-995.
- Stuart, S.N., J.S. Chanson, N.A. Cox, B.E. Young, A.S. Rodrigues, D.L. Fischman and R.W. Waller(2004) Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science* 306 (5702): 1783-1786.
- Sullivan, B.L., J.L. Aycrigg, J.H. Barry, R.E. Bonney, N. Bruns, C.B. Cooper ... and S. Kelling(2014) The eBird enterprise: An integrated approach to development and application of citizen science. *Biological Conservation* 169: 31-40.
- Sung, H.C., N.Y. Ra, S.W. Cheong, S.K. Kim, S.M. Cha and D.S. Park(2009) Reproductive dynamics of the Gold-spotted pond frog (*Rana plancyi chosonica*) population located at Cheongwon, Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* 27(1): 20-30.
- Theobald, E.J., A.K. Ettinger, H.K. Burgess, L.B. DeBey, N.R. Schmidt, H.E. Froehlich ... and J.K. Parrish(2015) Global change and local solutions: Tapping the unrealized potential of citizen science for biodiversity research. *Biological Conservation* 181: 236-244.
- Tiralongo, F., F. Crocetta, E. Riginella, A.O. Lillo, E. Tondo, A. Macali ... and E. Azzurro(2020) Snapshot of rare, exotic and overlooked fish species in the Italian seas: A citizen science survey. *Journal of Sea Research* 164: 101930.
- Toomey, A.H. and M.C. Domroese, M. C. (2013) Can citizen science lead to positive conservation attitudes and behaviors? *Human Ecology Review* 20(1): 50-62.
- Tulloch, A.I., H.P. Possingham, L.N. Joseph, J. Szabo and T.G. Martin(2013) Realising the full potential of citizen science

- monitoring programs. *Biological Conservation* 165: 128-138.
- Van Strien, A.J., C.A. Van Swaay and T. Termaat(2013) Opportunistic citizen science data of animal species produce reliable estimates of distribution trends if analysed with occupancy models. *Journal of Applied Ecology* 50(6): 1450-1458.
- Wangyal, J.T., D.S. Bower, S.T. Sherub, D.O.R.J.I. Wangdi, K.A.D.O. Rinchen, S. Phuntsho ... and I. Das(2020) New herpetofaunal records from the Kingdom of Bhutan obtained through citizen science. *Herpetological Review* 51(4): 790-798.
- Wier, L.A. and M.J. Mossman(2005) North American Amphibian Monitoring Program (NAAMP). United States Department of the Interior. United States Geological Survey.
- Wiggins, A., G. Newman, R.D. Stevenson and K. Crowston(2011, December) Mechanisms for data quality and validation in citizen science. In 2011 IEEE seventh international conference on e-Science Workshops (pp. 14-19). IEEE.
- Wilson, L.D. and J.R. McCranie(2003) Herpetofaunal indicator species as measures of environmental stability in Honduras. *Caribbean Journal of Science* 39(1): 50-67.
- Wyman, R.L.(1990) What's happening to the amphibians? *Conservation Biology* 4(4): 350-352.
- Xie, J., M. Towsey, J. Zhang and P. Roe(2016) Acoustic classification of Australian frogs based on enhanced features and machine learning algorithms. *Applied Acoustics* 113: 193-201.
- Yang, D.S. and B.H. Koo(2016). A study on the improvement plan for a habitat of 'Gold-spotted pond frog (*Pelophylax chosenicus*)' 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., B.S. Park and H.J. Son(1981) Species comparison of the genus *Hyla* in Korea. *Bull Inst Basic Sci Inha Univ.* 2: 75-83.
- Yang, S.Y., M.S. Min, J.B. Kim and J.H. Suh(1997) Intra and inter specific diversity and speciation of two tree frogs in the genus *Hyla*. *Korean Journal of Genetics* 19(1): 71-87.