

양서류 번식음 맵핑을 위한 무인비행장치 시스템의 정확성 검증

박민규¹⁾ · 배서현²⁾

¹⁾ (주)디에이치엔이앤씨 이사 · ²⁾ (주)디에이치엔이앤씨 부장

Accuracy verification for unmanned aerial vehicle system for mapping of amphibians mating call

Park, Min-Kyu¹⁾ and Bae, Seo-Hyun²⁾

¹⁾ DHNENC Co., Ltd. , Director,

²⁾ DHNENC Co., Ltd. , General manager.

ABSTRACT

The amphibian breeding habitat is confirmed by mating call. In some cases, the researcher directly identifies the amphibian individual, but in order to designate the habitat, it is necessary to map the mating call region of the amphibian population. Until now, it has been a popular methodology for researchers to hear mating calls and outline their breeding habitats. To improve this subjective methodology, we developed a technique for mapping mating call regions using Unmanned Aerial Vehicle (UAV). The technology uses a UAV, fitted with a sound recorder to record ground mating calls as it flies over an amphibian habitat. The core technology is to synchronize the recorded sound pressure with the flight log of the UAV and predict the sound pressure in a two-dimensional plane with probability density. For a demonstration study of this technology, artificial mating call was generated by a portable speaker on the ground and recorded by a UAV. Then, the recorded sound data was processed with an algorithm developed by us to map mating calls. As a result of the study, the correlation coefficient between the artificial mating call on the ground and the mating call map measured by the UAV was $R=0.77$. This correlation coefficient proves that our UAV recording system is sufficiently capable of detecting amphibian mating call regions.

Key Words : *Narrow-mouth frog, Bioacoustic, Monitoring, Drone, Sound detection*

First author : Park, Min-Kyu, DHNENC Co., Ltd. Director,
Tel : +82-31-523-2047, E-mail : pmkpmk@kakao.com

Corresponding author : Park, Min-Kyu, DHNENC Co., Ltd. Director,
Tel : +82-31-523-2047, E-mail : pmkpmk@kakao.com

Received : 10 March, 2022. **Revised** : 19 April, 2022. **Accepted** : 18 April, 2022.

I. 서론

야생생물 보호 및 관리에 관한 법률 제19조에 의하면, 야생생물(특히 멸종위기 야생생물)의 포획은 학술연구, 개체증식, 보전시설의 관람, 전시가 목적일 때 기관장의 허가를 받아야 가능하다. 식물은 채취 및 굴취를 통한 이주가 가능 하지만 동물은 개체를 직접 포획해야 하며, 육상 포유류는 포획 트랩, 조류는 그물을 이용하여 포획할 수 있다(Mills and Ryder, 1979; Care and Committee, 1998; Blums *et al.*, 2000). 국내 야생생물을 포획 및 이주는 학술연구 목적 외에는 대부분 개발사업에 의한 서식지 훼손의 대안으로 대체서식지로 이주하기 위해 포획하는 경우가 대부분이다.

육상 포유류나 조류는 개체의 육안 식별이 가능하고 GPS 위치추적이나 라디오 트래킹(Harris, 1980; Allan *et al.*, 2013; Bastille-Rousseau *et al.*, 2018; Gottwald *et al.*, 2019)으로 서식지를 특정할 수 있기 때문에 포획지역 선정이나, 원형 보전시설계를 적용하기가 용이하다. 반면, 양서류(특히 무미양서류)의 경우 집단 개체군을 형성하고 있지만, 개체군의 서식 확인을 번식음(mating call)에 의존하기 때문에 정확한 서식범위를 규정하기 어렵다(Salas *et al.*, 1998; Buxton *et al.*, 2015).

각종 개발사업 대상지의 멸종위기 양서류(맹꽁이, 금개구리, 수원청개구리 등) 포획 및 이주 과정에서 포획 대상지를 전문가 직관에 따라 선정한다. 그러나 포획이 완료된 후에도 개발공사 중에 멸종위기 양서류의 추가 서식이 확인되어 환경분쟁에 따른 공기 연장 등의 문제가 발생함에 따라 기존 서식지 선정 방법론의 한계성을 드러내고 있다.

우리는 이러한 한계점을 개선하기 위해 양서류 포획·이주의 서식지(포획지) 선정과정을 전문가의 직관에 의존하는 기존 방식 대신에 무미양서류의 번식음을 2차원 평면에 맵핑(Mapping)하여 서식범위를 결정할 수 있는 무인 비행장치(UAV:

Unmanned Aerial Vehicle)를 이용한 시스템을 개발하였다. 이 연구의 UAV 시스템은 생물음향학을 활용한 연구(Gasc *et al.*, 2017; Wilson *et al.*, 2017)에서 착안하였고, 맵핑 시스템의 실증 연구에 필요한 장비와 데이터 처리 알고리즘을 제작하여 실무 적용 가능성을 확인하고자 하였다.

II. 시스템 개요

이 연구의 핵심기술은 지상에서 발생하는 번식음을 공중에서 녹음하는 기계 부분(Mechanical part)과 녹음기에서 수집된 데이터의 처리 프로세스(Data processing)로 구분된다.

녹음 시스템은 단방향성(Unidirectional) 마이크가 연결된 UAV로 양서류 번식지 위를 비행하며, 지상에서 발생한 무미양서류의 번식음을 녹음한다. 녹음된 파일에서 배경 소음을 제거하고, UAV GPS Log의 각 좌표별 번식음의 음압 레벨(dB)을 동기화한다. 동기화된 데이터는 GIS 등의 공간정보 프로그램을 이용하여 좌표평면에 확률밀도로 맵핑하여 번식음의 발생원점을 특정할 수 있게 설계 하였다(Figure 1).

III. 실증 연구

이 연구의 실증 목표는 번식음 맵핑의 정확성이다. 따라서 번식음 발생원점에 스피커를 설치하여 인공 번식음을 발생시키고 본 시스템을 적용하여 실제 번식음 발생지역과 UVA로 측정된 번식음 발생지역의 일치 정확성을 검증하였다.

1. 연구 대상종(Target species)

실증 연구는 맹꽁이(*Kaloula borealis*) 번식음을 녹음한 10초 분량의 파일을 사용하였다(Figure 2(A)). 녹음 파일은 블루투스 스피커(TS-BTS-300P ACK)를 이용하여 발생원점에서 최대 출력(1m 이격 거리에서 약 70dB의 음압을 발생하였음)으로 연속하여 반복 재생시켰다(Figure 2(B)).

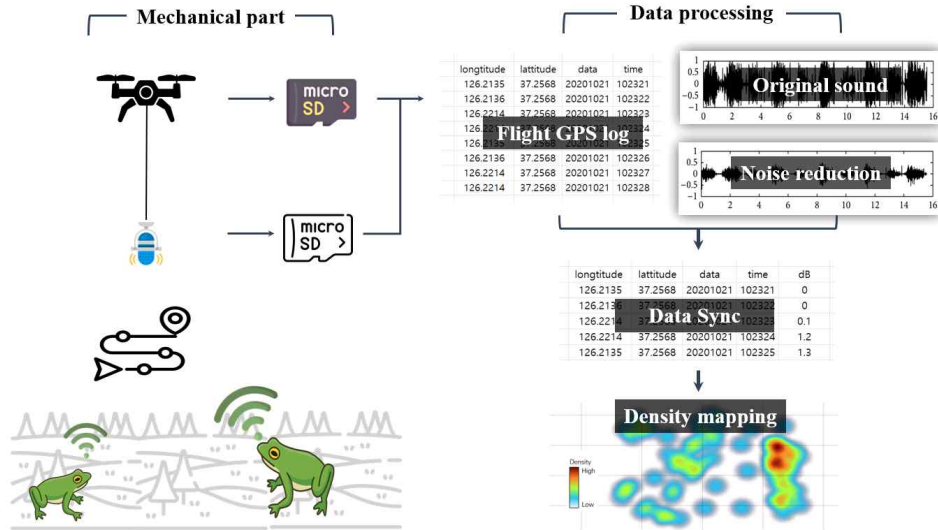


Figure 1. The processing of this system to map the location of mating call

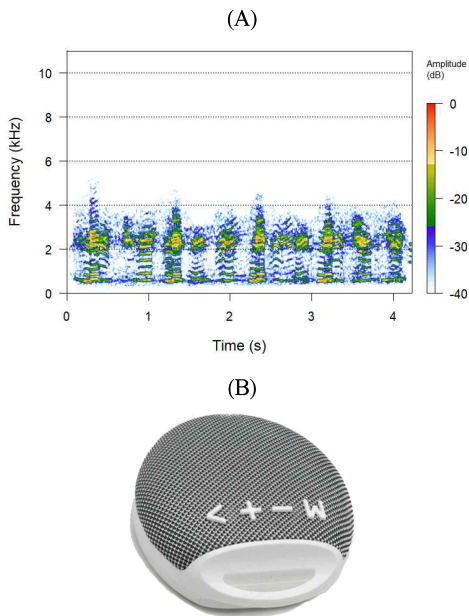


Figure 2. The mating call (*Kaloula borealis*) sound spectrum(A) used in the experiment and the potable speaker(B)

2. 번식음 녹음을 위한 UAV 구성

이 시스템의 기계적 부분은 직접 제작한 시제품(prototype)이다. UAV는 DJI의 Mavic2 PRO, 녹음 장비는 ZOOM의 H1n을 각각 사용하였다.

UAV와 녹음 장비의 연결은 합사 피싱라인 (Polyethylene line, 24lbs Φ0.4)을 사용하였고, 피싱라인과 각 장비의 연결 어댑터(Connection adapter)는 3D 프린터로 자체 제작하였다. H1n 말단부에는 깔때기 형태의 짐음 보조장치 (Sound funnel)와 완충제(Buffering agent)를 부착하였다(Figure 3).

3. 연구 지역

실증 연구 장소로는 맹꽁이 서식환경의 배경 소음이 반영될 수 있도록 실제 맹꽁이의 번식음이 확인된 경기도 남양주시 사릉천을 선정하였다. 테스트 지역의 면적은 약 5,890㎡ (38m×155m)이고 스피커는 직선거리 25m 간격으로 설치하였다. UAV의 이동경로는 스피커에서 발생하는 번식음의 수평 확산 거리를 고려하여 10m 간격으로, 이동속도는 사전 점검을 통해 녹음 품질이 가장 양호한 2m/sec로 설정하였다. 그리고 UAV의 비행고도, UAV와 녹음기와의 이격 거리는 UAV에서 조류의 소리를 녹음하기 위한 Wilson et al., (2017)의 연구를 참고하여 각 20m, 8m로 설정하였다(Figure 4).

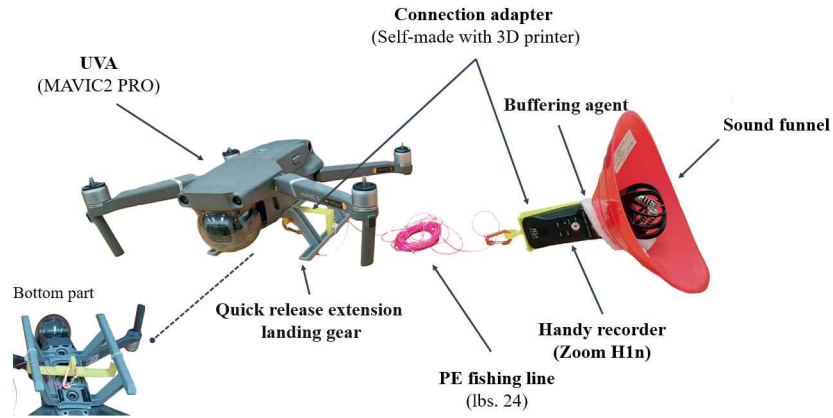


Figure 3. Prototype of the mechanical part for detecting mating call

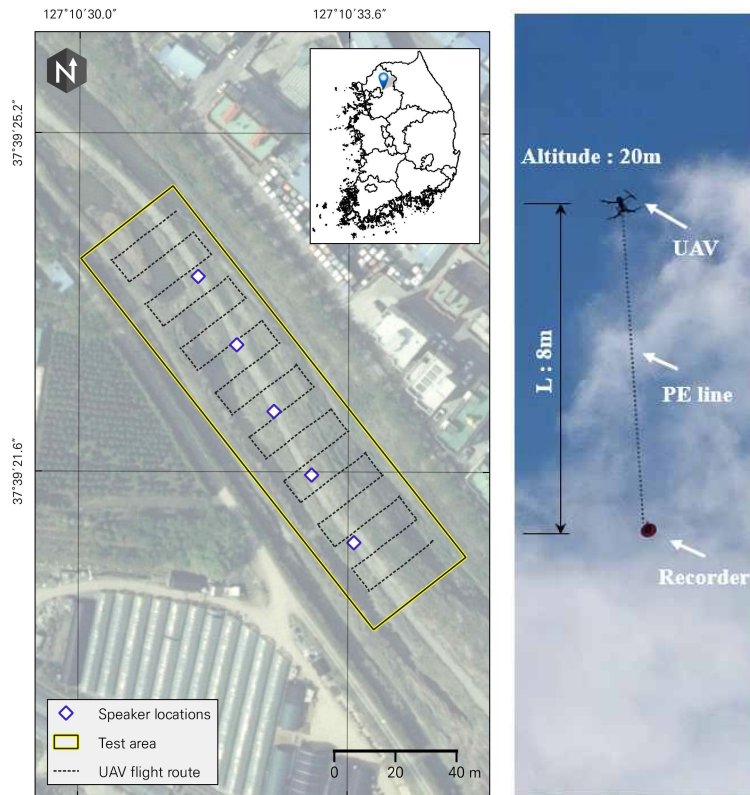


Figure 4. Test area and UAV flight routes

4. 데이터 처리

획득된 최종 데이터는 UAV의 비행로그와 번식음 녹음 데이터를 시간 단위로 동기화한 데이터 프레임이다. UAV 비행로그 및 녹음된 음성파일은

UAV 비행속도를 고려하여 1초 단위 평균값으로 집계(Aggregation)하였다. 녹음 파일에서 멍꽁이 번식음을 제외한 배경소음은 Adobe Audition® (ver2022)으로 감소시켰고, Audacity® (ver.3.12)의

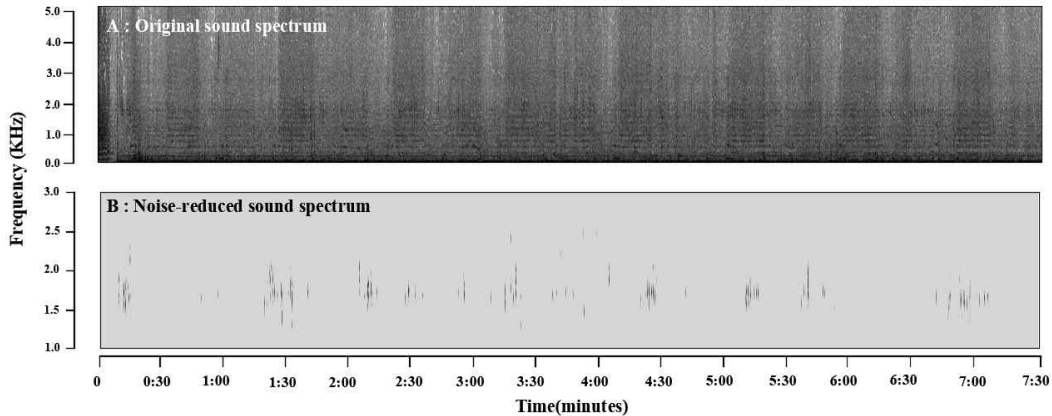


Figure 5. Sound spectrum of the original sound collected using the UAV(A) and spectrum of sound with reduced noise(B).

Nyquist Prompt에서 번식음의 음압을 1초 단위로 집계하도록 코딩하여 수치화된 데이터로 변형하였다. 비행 로그는 1초 단위로 비행 좌표를 병합하고 Nyquist Prompt에서 처리한 데이터를 R(R Core Team, 2021)에서 1초 단위로 동기화 하여 최종 데이터 프레임을 생성하였다.

5. 정확성 검증

정확성은 본 시스템의 UAV의 녹음기에서 수신한 데이터가 지상에서 번식음을 발생하는 스피커 위치와의 일치성을 의미하며, 본 연구에서는 측정 데이터의 공간적 상관분석을 통해 검증하였다. 공간적 데이터 생성은 QGIS(ver 3.22)를 이용해 포인트 커널 밀도(kernel density estimation)로 생성하였다. 커널 밀도는 비모수 확률밀도 추정방법으로 특정 공간의 샘플 포인트를 연속 밀도로 생성할 수 있다(Brunsdon, 1955).

지상부 스피커의 커널밀도는 스피커의 최대 출력기준으로 녹음기에서 번식음 수신 가능한 15m를 밀도 생성 반경으로 지정하였고, 수신한 데이터는 UAV의 비행 간격을 고려해 5m를 밀도 생성 반경으로 지정하였다. 커널밀도는 테스트 구역 안에서만 생성하고 공간 해상도는 1 m²로 설정하였다.

지상부와 UAV에서 수신한 커널밀도는 탐색 반경과 포인트 데이터의 위치가 동일하지 않기 때문에 커널밀도의 범위가 다르다. 따라서 두 커널밀도를 데이터 정규화(Normalization) 과정을 거쳐 0~1의 상대밀도로 변환하였다.

데이터의 상관분석은 테스트 지역에 5m 간격의 포인트를 생성하여 지상부 커널밀도와 UAV 데이터의 커널밀도 값을 추출하여 상관분석에 적용하였다.

6. 결과

UAV에서 수신한, 즉 녹음된 파일은 7분 30초 분량이며, 배경소음(사람들의 대화, 새, 개 등의 울음소리, 드론 회전익, 자동차, 기차 등)을 포함하여 0~5.0KHz의 주파수 대역이었다. 배경소음을 제거한 파일의 주파수는 1.5~2.5KHz였으며, 배경소음에 맵핑이 번식음과 동일한 주파수 대역도 일부 포함되어있어 배경소음 제거 과정 중 번식음 일부가 소실되어 Figure 2(A)와 같은 온전한 스펙트럼은 나타나지 않았다(Figure 5).

지상에 설치한 스피커의 음압레벨을 반영한 커널밀도는 Figure 6(A)와 같다. UAV에서 수신한 데이터의 커널밀도, 즉 맵핑된 번식음의 결과는 Figure 6(B)이다. Figure 6(A), (B)를 비교하면, 스피커 위치와 그 주변에서 발생한 번식

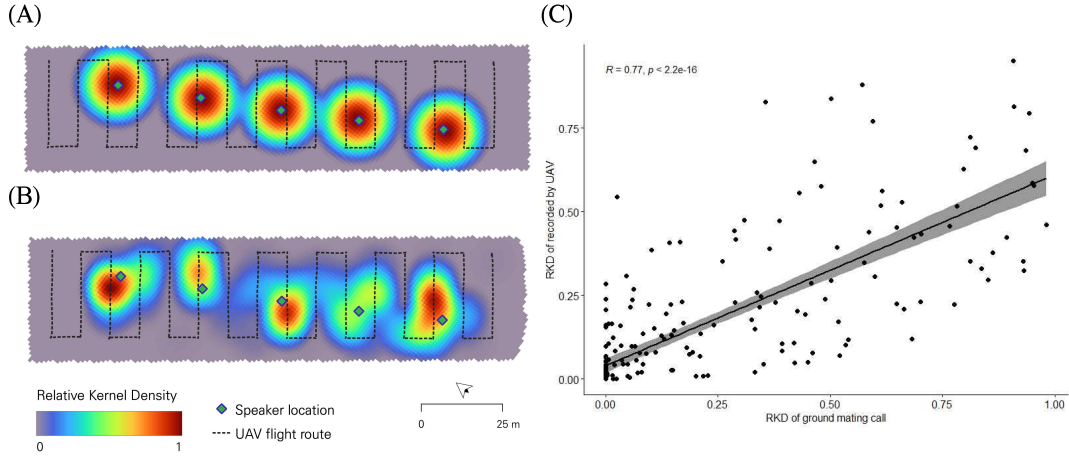


Figure 6. Relative kernel density(RKD) of the location of mating call and RKD of mating call recorded by UAV. (C) is a spatial correlation between (A) and (B).

음 음압을 유사하게 측정할 것을 알 수 있었다. 두 데이터의 상관 분석한 결과는 Figure 6(C)이며, 상관계수가 $R=0.77$ 로 분석되었다. 따라서, UAV에서 수신한 데이터가 실제 지상의 번식음 발생지역을 적절히 반영한 것으로 판단되며, 본 연구의 시스템으로 양서류 번식음 맵핑이 가능함을 알 수 있었다. 특히 이 연구에서는 출력에 한계가 있는 소형 스피커를 이용하였지만, 대부분의 무미양서류는 집단번식을 하기 때문에 실제 번식음은 실험에 사용한 것 보다 음압이 더 클 것으로 예상된다. 따라서 이 시스템을 현장에 적용하여도 번식음 수신에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

Figure 6(B)와 (A)와 비교에서, 커널 밀도가 스피커 위치를 중심으로 일부 불규칙적으로 생성된 것을 알 수 있다. 이것은 UAV에 연결된 녹음기가 순간적인 바람의 영향으로 이동되거나, 직선경로에서 다음 경로로 수평 이동할 때 관성(Inertia)에 의해 녹음기의 위치가 UAV에서 이격 되었기 때문으로 판단된다(Figure 7). 이러한 문제점은 UAV와 녹음기의 연결 길이 조정, UAV의 이륙 중량을 고려한 무게추 부착 등의 방법으로 개선할 수 있을 것이다.

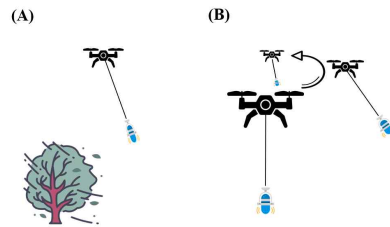


Figure 7. It is an example of irregularly recording sounds from the ground with UAV due to an external factor(A: Cross wind, B: Inertia)

IV. 결론 및 고찰

이 연구는 무미양서류의 번식음을 2차원 평면에 맵핑 할 수 있는 기술의 정확성 검증을 목적으로 수행되었다. 우리는 연구에 필요한 하드웨어와 소프트웨어를 개발하고 실증 연구를 통해 해당 기술의 실무 적용 가능성을 확인하였다. 실증 실험 단계에서 몇몇 기술적인 문제점들을 확인하였지만, 향후 기계적으로 보정할 수 있는 부분으로 판단된다.

UAV를 이용한 생태계 연구가 조류, 박쥐류의 소리(song & ultrasonic) 수집, 항공영상을 이용한 개체군 탐지 등에 집중되어 있고(Chabot

and Bird, 2015; Díaz-Delgado *et al.*, 2017; Gasc *et al.*, 2017; Fu *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2019), 이 연구와 같이 지상의 소리를 맵핑하는 사례는 없었다. 따라서, 본 연구는 양서류 번식음 사운드 맵핑(sound mapping) 분야의 시발점으로 의미성을 가지며, 추후 생물 음향학을 이용한 보전생물학에 다양하게 활용될 것으로 기대한다.

본 실증 연구는 UAV를 이용해 무미양서류 번식음의 발생원점 맵핑을 기술적으로 실현하였다. 그러나, UAV를 활용한 생태계 조사가 생물종의 도피 및 회피 요인으로 작용할 수도 있기 때문에 이러한 연구를 자제할 필요성 역시 있다(Jenni-Eiermann *et al.*, 2017). 그럼에도 불구하고 UAV를 활용한 생태계 조사는 인적조사의 한계를 넘어서는 매우 유용한 도구인 것은 확실하다(Chabot and Bird, 2015). 이 연구 과정에서도 UAV의 소음으로 인해 양서류 번식음의 중단 가능성에 대해 동료들의 반론이 있었지만, 연구자들은 드론의 비행고도 조정을 통해 충분히 극복할 수 있는 부분으로 판단하였다. 비록 종은 달랐지만, 실제로 이번 실증 연구 이전에 청개구리 서식지에 대한 번식음 수신 실험을 수행한 적이 있으며, 실험 동안 사람이 인지할 수 있는 UAV 배경소음에도 청개구리 울음소리 발생에는 영향이 없음을 확인한 바 있었다. 측정 대상 종 및 주변환경에 따라 UAV 소음에 대한 반응이 다양할 수 있으므로 특정 종을 대상으로 실무에 적용할 때 사전에 해당 종에 대한 도피 및 회피거리에 대한 사전점검이 필요할 것이다(Michez *et al.*, 2021).

더불어, 번식지에 무미양서류 2종 이상이 복합적인 번식음을 발생할 경우 종별로 번식음을 분류하는 기술, 번식음을 연속적으로 발생하는 경우와 비연속적으로 번식음을 발생하는 개체군에 대한 선별적 수신 방법 체계도 추후 연구할 필요가 있다.

마지막으로 이 연구가 기본적으로는 양서류 포획의 문제점 해결을 위해 시작했지만, 현장

조사가 어려운 습지의 양서류 모니터링, 번식음압을 이용한 상대 개체수 추정, 양서류 종별 스펙트럼 분류를 통한 종다양성 조사, 시계열에 따른 양서류 집단 개체군의 유동성 모니터링 등 보전생물학적으로 다양하게 활용되길 기대한다.

References

- Allan BM · Arnould JP · Martin JK and Ritchie EG, 2013, A cost-effective and informative method of GPS tracking wildlife, *Wildlife Research*. CSIRO Publishing, 40 (5) : 345-348.
- Bastille-Rousseau G · Wall J · Douglas-Hamilton I and Wittemyer G, 2018, Optimizing the positioning of wildlife crossing structures using GPS telemetry, *Journal of Applied Ecology*. Wiley Online Library, 55(4) : 2055-2063.
- Brunsdon C. 1995, Estimating probability surfaces for geographical point data: An adaptive kernel algorithm. *Computers & Geosciences*, 21(7) : 877-894.
- Blums P · Shaiffer CW and Fredrickson L H, 2000, Automatic multi-capture nest box trap for cavity-nesting ducks, *Wildlife Society Bulletin*. JSTOR, 592-596.
- Buxton VL · Ward MP and Sperry JH, 2015, Use of chorus sounds for location of breeding habitat in 2 species of anuran amphibians, *Behavioral Ecology*. Oxford University Press UK, 26(4) : 1111-1118.
- Care A and Committee U, 1998, Guidelines for the capture, handling, and care of mammals as approved by the American Society of Mammalogists, *Journal of Mammalogy*. JSTOR, 1416-1431.
- Chabot D and Bird DM, 2015, *Wildlife research*

- and management methods in the 21st century: Where do unmanned aircraft fit in?, *Journal of Unmanned Vehicle Systems*. NRC Research Press <http://www.nrcresearchpress.com>, 3(4) : 137-155.
- Chen WS · Liu J and Li J, 2019, Classification of UAV and bird target in low-altitude airspace with surveillance radar data, *The Aeronautical Journal*. Cambridge University Press, 123(1260) : 191-211.
- Díaz-Delgado R, · Mañez M · Martínez A · Canal D · Ferrer M and Aragonés D, 2017, 'Using UAVs to map aquatic bird colonies', in *The Roles of Remote Sensing in Nature Conservation*. Springer, pp. 277-291.
- Fu Y · Kinniry M and Klopper LN, 2018, The Chirocopter: A UAV for recording sound and video of bats at altitude, *Methods in Ecology and Evolution*. Wiley Online Library, 9(6) : 1531-1535.
- Gasc A · Francomano D · Dunning JB and Pijanowski BC, 2017, Future directions for soundscape ecology: The importance of ornithological contributions, *The Auk: Ornithological Advances*. Oxford University Press, 134(1) : 215-228.
- Gottwald J · Zeidler R · Friess N · Ludwig M · Reudenbach C and Nauss T, 2019, Introduction of an automatic and open-source radio-tracking system for small animals, *Methods in Ecology and Evolution*. Wiley Online Library, 10(12) : 2163 - 2172.
- Harris S, 1980, 'Home ranges and patterns of distribution of foxes (*Vulpes vulpes*) in an urban area, as revealed by radio tracking', in *A handbook on biotelemetry and radio tracking*. Elsevier, pp. 685-690.
- Jenni-Eiermann S · Strebel N · Sattler T · Tablado Z · Mulero-Pázmány M and Negro JJ, 2017, Unmanned aircraft systems as a new source of disturbance for wildlife: A systematic review., *PLoS ONE*, 12(6).
- Michez A · Broset S and Lejeune P, 2021, Ears in the Sky: Potential of Drones for the Bioacoustic Monitoring of Birds and Bats. *Drones*, 5(1): 9.
- Mills JA and Ryder JP, 1979, Trap for capturing shore and seabirds, *Bird-banding*. JSTOR, 50(2) : 121-123.
- R Core Team, 2021, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Salas NE · Zavattieri MV · Tada IE · Martino AL and Bridarolli ME, 1998, Bioacustical and etho-ecological features in amphibian communities of southern Córdoba province (Argentina), *Cuadernos de Herpetología*, 12.
- Wilson AM · Barr J and Zagorski M, 2017, The feasibility of counting songbirds using unmanned aerial vehicles, *The Auk: Ornithological Advances*. Oxford University Press, 134(2) : 350-362.