

## 조류 조사 방법으로써 생물음향 녹음과 현장 조사의 비교<sup>1a</sup>

- 제주 동백동산과 1100고지 습지를 대상으로 -

최세준<sup>2,3</sup> · 기경석<sup>4\*</sup>

### A Comparison of Bioacoustic Recording and Field Survey as Bird Survey Methods<sup>1a</sup>

- In Dongbaek-dongsan and 1100-altitude Wetland of Jeju Island -

Se-Jun Choi<sup>2,3</sup>, Kyong-Seok Ki<sup>4\*</sup>

#### 요약

본 연구는 야생조류 생물음향 탐지와 현장 조사의 결과 비교를 통해 효과적인 야생조류 조사 방법을 제시하는데 목적이 있다. 연구대상지는 제주 동백동산과 1100고지 습지였다. 생물음향 탐지 기간은 2020년 12개월간이었다. 생물음향 탐지는 시간당 1분씩, .wav, 44,100Hz 포맷으로 생물음향 측정장비(Song meter SM4)를 각 연구대상지에 설치하여 녹음하였다. 현장 조사는 Banjade *et al.* (2019)의 「제주 동백동산과 1100고지 습지의 조류군집 장기간 동향」 결과를 인용하였다. 연구결과는 다음과 같다. 첫 번째, 생물음향 탐지 기법을 통해 확인된 조류상은 동백동산에서 29과 46종, 1100고지 습지에서 16과 25종이었다. 두 번째, 울음 빈도를 통해 나타난 종 구성은 동백동산에서 직박구리(33.62%), 섬휘파람새(12.13%), 동박새(9.77%) 순으로 나타났고, 1100고지 습지에서 큰부리까마귀(27.34%), 섬휘파람새(19.43%), 직박구리(16.56%) 순으로 나타났다. 세 번째, 동백동산에서 실시한 현장 조사의 경우 2009년 39종, 2012년 51종, 2015년 35종, 2018년 45종이 조사되었고, 생물음향 탐지를 통해 46종이 확인되었다. 1100고지 습지에서 실시한 현장 조사의 경우 2009년 37종, 2012년 42종, 2015년 34종, 2018년 38종이 조사되었고, 생물음향 탐지를 통해 25종이 확인되었다. 종합적으로 현장 조사를 통해 동백동산에서 확인된 78종 중 43.6%인 34종, 1100고지 습지에서 확인된 47종 중 38.3%인 18종이 생물음향 탐지로 확인되었다. 네 번째, 현장 조사에서 확인되지 않았지만, 생물음향 탐지를 통해 확인된 종은 동백동산에서 9과 12종, 1100고지 습지에서 3과 7종으로 대표적으로 소쩍새, 솔부엉이와 같은 야행성 조류, 쇠유리새, 울새와 같은 나그네새, 도래하는 개체수가 상대적으로 적은 황여새, 솔жат새와 같은 겨울철새가 있다. 다섯 번째, 현장 조사에서 확인된 종 중에서 생물음향 탐지를 통해 확인되지 않은 종은 동백동산에서 18과 48종, 1100고지 습지에서 14과 27종으로 대표적으로 백로과, 수리과, 솔딱새과가 있다. 본 연구는 국내에서 생물음향 장비 운용을 통한 조류 연구가 활성화되고 있는 가운데 현장 조사와 생물음향 탐지를 병행했을 때 효과적인 조사를 실시할 수 있다는 기초 자료를 작성했다는 점에서 의미가 있다.

**주요어:** 모니터링, 야행성 조류, 송미터, 람사르습지, 습지보호지역

1 접수 2023년 8월 6일, 수정 (1차: 2023년 10월 11일), 게재확정 2023년 10월 12일

Received 6 August 2023; Revised (1st: 11 October 2023); Accepted 12 October 2023

2 국립공원공단 국립공원연구원 조류연구센터 Bird Research Center, Korea National Park Research Institute, Korea National Park Service, 87-10 Jinmaeul-gil, Heuksan-myeon, Sinan-gun, Jeollanam-do 58863, Korea (p\_montanus@naver.com)

3 상지대학교 대학원 생명과학과 박사과정 Dept. of Biological Science, Sangji Univ., 83 Sangjidae-gil, Wonju-si, Gangwon-do 26339, Korea (p\_montanus@naver.com)

4 상지대학교 조경산림학과 부교수 Dept. of Landscape Architecture and Forest Science, Sangji Univ., 83 Sangjidae-gil, Wonju-si, Gangwon-do 26339, Korea (ecokks@gmail.com)

a 이 논문은 한국연구재단의 연구비 지원(2020R111A20718911322482081470103) 및 국립공원공단, 지방유역환경청의 연구승인 하에 의해 진행하였음.

\* 교신저자 Corresponding author: ecokks@gmail.com

## ABSTRACT

This study aimed to propose an effective method for surveying wild birds by comparing the results of bioacoustic detection with those obtained through a field survey. The study sites were located at Dongbaek-dongsan and a 1100-altitude wetland in Jeju-do, South Korea. The bioacoustic detection was conducted over the course of 12 months in 2020. For the bioacoustic detection, a Song-meter SM4 device was installed at each study site, recording bird songs in 1-min per hour, .wav, and 44,100 Hz format. The findings of the field survey were taken from the 「Long-term trends of Bird Community at Dongbaekdongsan and 1100-Highland Wetland of Jeju Island, South Korea.」 by Banjade *et al.* (2019). The results of this study are as follows. First, the avifauna identified using bioacoustic detection comprised 29 families and 46 species in Dongbaek-dongsan, and 16 families and 25 species in the 1100-altitude wetland. Second, based on the song frequency, the dominant species in Dongbaek-dongsan were *Hypsipetes amaurotis* (Brown-eared Bulbul, 33.62%), *Horornis diphone* (Japanese Bush Warbler, 12.13%), and *Zosterops japonicus* (Warbling White-eye, 9.77%). In the 1100-altitude wetland the dominant species were *Corvus macrorhynchos* (Large-billed Crow, 27.34%), *H. diphone* (19.43%), and *H. amaurotis* (16.56%). Third, in the field survey conducted at Dongbaek-dongsan, the number of detected bird species was 39 in 2009, 51 in 2012, 35 in 2015, and 45 in 2018, while the bioacoustic detection identified 46 species. In the field survey conducted in the 1100-altitude wetland, the number of detected bird species was 37 in 2009, 42 in 2012, 34 in 2015, and 38 in 2018, while the bioacoustic detection identified 25 species. Overall, 43.6% of the 78 species detected in the field survey in Dongbaek-dongsan (34 species) were identified using bioacoustic detection, and 38.3% of the 47 species detected in the field survey in the 1100-altitude wetland (18 species) were identified using bioacoustic detection. Fourth, the bioacoustic detection identified 9 families and 12 species of birds in Dongbaek-dongsan, and 3 families and 7 species of birds in the 1100-altitude wetland. No results from field survey were available for these species. The identified birds were predominantly nocturnal, including *Otus sunia* (Oriental Scops Owl) and *Ninox japonica* (Northern Boobook), passage migrants, including *Larvivora cyane* (Siberian Blue Robin), *L. sibilans* (Rufous-tailed Robin), and winter visitors with a relatively small number of visiting individuals, such as *Bombycilla garrulus* (Bohemian Waxwing) and *Loxia curvirostra* (Red Crossbill). Fifth, the birds detected in the field survey but not through bioacoustic detection included 18 families and 48 species in Dongbaek-dongsan and 14 families and 27 species in the 1100-altitude wetland; the most representative families were Ardeidae, Accipitridae, and Muscicapidae. This study is significant as it provides essential data supporting the possibility of an effective survey combining bioacoustic detection with field studies, given the increasing use of bioacoustic devices in ornithological studies in South Korea.

**KEY WORDS: MONITORING, NOCTURNAL BIRDS, SONG METER, RAMSAR WETLAND, WETLAND PROTECTED AREA**

## 서론

야생조류 현장 조사(bird survey) 방법은 대표적으로 선 조사법(line transect method)과 정점 조사법(point census

method)을 기반으로 한다(Bibby *et al.*, 1998; Wilson *et al.*, 2000; Gregory *et al.*, 2004). 두 가지 방법 모두 사전에 선정된 구역 내에서 머물거나 설정한 경로를 따라 걸으며 관찰되는 종과 개체 수 등의 정보를 기록하는 것을 바탕으로 한다. 또한

이 두 가지 방법은 주로 주간(daytime)에 한정하여 일정 시간 동안 시각과 청각을 통해 이루어진다.

오랜 기간 적용되어온 야생조류 현장 조사 방법은 야간 조사의 공백, 조사지 접근성의 어려움, 불규칙한 조사일과 그에 따른 데이터 부족 등의 한계점을 갖고 있다. 이와 같은 한계를 보완해 줄 수 있는 생물음향 기술을 이용한 연구들은 그 가능성을 증명하는 것을 시작으로 최근까지도 꾸준히 증가하고 있다 (Hobson *et al.*, 2002; Venier *et al.*, 2012). Kahl *et al.* (2022)은 물리적 모니터링이 어려운 상황에서 소리 녹음은 서식지를 적절한 규모로 모니터링하는 방식으로 중요한 조사 방법이라 설명하면서 특히 멸종위기에 처한 조류 개체군을 모니터링하기 위한 효율적인 전략이라 주장하였다. Vu *et al.* (2020)는 최근 생물음향 모니터링은 조류 개체군 모니터링에 유용한 것으로 입증되었다고 제시하면서 연구가 미흡한 Crested Argus (*Rheinardia ocellata*) (IUCN 적색목록; EN)를 자동녹음 장치를 이용해 탐지하였고, 그 결과를 통해 Song Thanh 자연 보호 구역의 중요성에 대한 근거를 제시하였다. 또한, 야간에 나타나는 발성은 뚜렷하기 때문에 야행성 바닷새를 모니터링하기 위한 방법으로 음향 녹음이 유리하다 (Robb *et al.* 2008). Buxton and Jones (2012)은 바닷새 서식 연구를 위한 물리적 접근의 대안은 음향 모니터링이라는 근거를 바탕으로 접근성이 떨어지는 해양 도서생태계에서 번식하는 야행성 바닷새 개체군을 연구하였다.

그러나 생물음향 녹음을 통한 야생조류 조사의 적용 가능성 평가를 위해서는 현장 조사와의 비교 분석이 필요하다 (Hobson *et al.* 2002; Acevedo and Villanueva-Rivera 2006; Rempel *et al.* 2013). Celis-Murillo *et al.* (2012)는 여러 식생 유형에 걸쳐 조류 종을 확인하는 두 가지 방법(현장 조사와 녹음)의 차이점 비교를 위해 연구를 수행하였다. 연구 대상 15종 중 13종이 모든 식생 유형에 대해 녹음이 정점 조사보다 높거나 같은 탐지 확률이 나타났다. 나머지 2종(Black-throated Bobwhite, *Colinus nigrogularis*; Spot-breasted Wren, *Thryothorus maculipectus*)은 목초지와 해안 덩굴에서 포인트 조사로 더 높은 탐지 확률을 나타냈다. 비교 결과를 통해 조사자의 역량, 환경적 제한이 있을 수 있는 열대지역에서 음향 녹음은 종의 풍부도와 구성, 점유 패턴을 설명하기 위한 실용적인 방법이라 주장하였다. 또한, 일부 종의 경우 두 방법의 병행이 가장 신뢰할 수 있는 결과를 제공한다고 설명하였다. Leach *et al.* (2015)는 제한된 시간 동안 대상 지역 내의 종 분포를 감지하고 기록하는 효과적인 방법의 필요성을 인식했고, 열대 우림에서 조류의 종 다양성을 정점 조사와 자동 음향 모니터링을 통해 비교하였다. 두 가지 방법을 사용하여 탐지된 종에는 중복된 상당수의 종이 있었지만, 각각은 서로 중복되지 않은 종이 탐지되기도 하였다. Alquezar and Machado (2015)는 브라질 세하도와 기타 개방 식생 지역을 대상으로 정점 조사와

생물음향 탐지 장비의 성능을 비교하였다. 각 방법으로 확인한 종수에 유의한 차이가 없음을 발견했다고 제시하면서 생물음향 탐지 장비가 브라질 세하도와 같은 개방 식생 지역에서 조류 개체군을 조사하는 효과적인 방법이 될 수 있으며, 정점 조사만큼 효율적일 수 있다고 설명하였다. Vold *et al.* (2017)도 음향 녹음을 통한 조류 연구는 유용할 수 있지만, 사용하기 전에 효율성과 정확성을 평가해야 한다고 제시하며 툰드라 조류 군집 모니터링을 위해 현장 조사와 음향 녹음을 통한 결과를 비교하였다. 전반적으로 현장 조사를 통해 확인된 915개체 중 55%인 500개체가 음향 녹음을 통해서도 탐지되었다. 또한, 현장 조사를 통해 확인하지 못한 13종이 음향 녹음을 통해 식별되었다. 하지만 현장 조사에 의해 관찰된 개체에 대한 음향 녹음에 의해 탐지된 개체의 비율은 조사 지점으로부터의 거리에 따라 감소(0~25m 거리 구역에서 84%, 250m 이상 거리에서 28%)하였다. 결과를 통해 현장 조사와 음향 녹음을 함께 사용하면 조사 효율성을 높이고, 각각의 조사 결과를 검증할 수도 있다고 제시하였다.

현장 조사에서 기록된 종의 최대 94%는 조사자의 청각으로 감지된다 (Simons *et al.* 2007). 조류 모니터링 방법으로 음향 녹음 기술의 유용성이 제안되어 왔으며, 자동화된 음향 녹음 장비의 활용도는 높아지고 있다. 하지만 생물음향을 이용한 연구에 대한 검증은 지속되고 있고, 현장 조사와 병행되어야 한다는 주장이 지배적이다. 따라서 본 연구는 야생조류 현장 조사와 생물음향 탐지의 결과 비교를 통해 효과적인 야생조류 조사 방법을 제시하는데 목적이 있다. 또한, 국내에서 생물음향 장비 운용을 통한 조류 연구가 활성화되고 있는 가운데 현장 조사와 생물음향 탐지를 병행했을 때, 효과적인 조사가 가능하다는 주장을 뒷받침할 수 있는 기초 자료를 작성했다는 점에서 의미가 있다.

## 연구방법

### 1. 연구대상지 및 대상종

연구대상지는 제주 동백동산(N33.52°, E126.72°)과 1100고지 습지(N33.36°, E126.46°)이다 (Figure 1, Table 1). 제주 동백동산의 경우 난대상록활엽수의 천연림으로 국내에서는 습지 보호구역으로 지정되어 있고, 우수한 지질구조, 독특한 식생분포, 다양한 야생동물의 서식처로 국제적 인정을 받아 랍사르습지로 지정(2011.3.14.)되었다. 특히, 생물음향 녹음장비가 설치된 먼 물막은 사시사철 마르지 않는 습지로 다양한 수서식물부터 곤충의 서식처이자 양서파충류의 산란장소로 야생조류에게 중요한 수분공급처이자 번식공간이다. 1100고지 습지는 화산습지로 잘 알려져 있으며, 랍사르습지로 지정(2009.10.12.)된 곳이다.

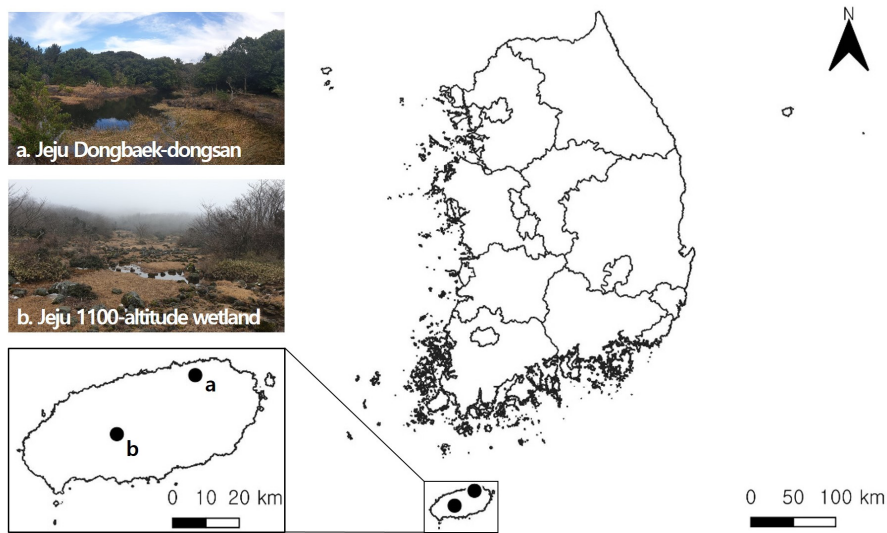


Figure 1. Map of study sites.

Table 1. Information of 2 study sites

No.	Site	Latitude	Longitude	Remarks
1	Jeju Dongbaek-dongsan	N33.52°	E126.72°	Ramsar wetland
2	Jeju 1100-altitude wetland	N33.36°	E126.46°	

연구대상종은 조류 전 종으로 생물음향 녹음장비를 통해 식별 가능한 범위 내에서 종 목록을 작성하고, 그 결과를 서술하였다.

## 2. 조사 및 분석

음원 수집을 위한 장비는 Song Meter SM4 (Wildlife Acoustics Inc., USA)이다. 장비는 두 연구대상지 내에서 운용이 용이할 것으로 판단되는 나무를 선정하여 0.5~1m 높이에 각각 설치하였다. 녹음 설정은 매 시간당 1분씩, wav파일, 44,100Hz 포맷으로 하였다. 데이터 수집 및 분석 기간은 2020년 1월 1일부터 12월 31일(366일)까지였다. 분석에 투입된 녹음파일은 총 17,568개(동백동산, 1100고지 습지 각 8,784개)였다. 녹음파일 분석 프로그램은 Adobe Audition CC (version 6.0)을 이용해 소노그램을 통한 시각분석과 청음분석을 병행하였다. 종마다 가진 특징적인 song과 call을 통해 최대한 동정을 하였으며 조류 소리 공유 포털(<https://xeno-canto.org>)을 참고하였다. 특징적인 song과 call이 확인되었음에도 유사한 소리를 내는 종과의 구분이 어렵다고 판단될 경우 미동정으로 분류하되 결과에는 포함시키지 않았다.

현장 조사와 비교를 위한 음원 분석 결과 정리는 다음과 같이 진행하였다. 첫 번째, 음원파일 분석을 통해 확인된 종은 동백동산과 1100고지 습지 각각 전체 종 목록을 작성하여 월별

로 울음 빈도를 작성하였다. 울음 빈도는 1분에 한 번 이상 울면 1점을 부여하는 방식을 택하였다(Ki *et al.*, 2016; Gim *et al.*, 2017; Choi and Ki, 2019; Choi and Ki, 2022). 두 번째, 제주 동백동산과 1100고지 습지를 대상으로 현장 조사를 실시한 연구 논문을 인용하여 결과 비교를 실시하였다. Banjade *et al.* (2019)의 「제주 동백동산과 1100고지 습지의 조류군집 장기간 동향」 연구는 동백동산과 1100고지 습지에서 서식하는 조류의 종과 개체수 변동성 파악을 목적으로 하고 있다. 조사는 2009년, 2012년, 2015년, 2018년 각 연도마다 계절별로 3~4명으로 구성된 2팀이 조사를 실시하였다. 조사 시간은 06:00~10:00, 14:00~18:00로 통일하였고, 야행성 조류 확인을 위한 장비가 갖춰지지 않아 조사는 주행성 조류에 국한하였다. 조사 결과 총 32과 86종(동백동산 - 78종, 1100고지 습지 - 47종)의 조류가 관찰되었다. 생물음향 탐지와 현장 조사 결과를 통해 연도별 종수를 그래프로 나타내어 전체적인 양상을 살펴보고, 공통으로 확인된 종, 생물음향 탐지를 통해서만 확인된 종, 현장 조사를 통해서만 확인된 종을 표로 나타내어 비교 분석하였다. 국명은 국가생물종목록을, 학명은 Birdlife International의 명명법을 따랐으며, 최근 새롭게 알려진 사실들에 대해서는 국내 조류도감을 참고하였다(Park, 2014).

## 결과 및 고찰

### 1. 생물음향 탐지 기법으로 탐지된 종 목록

생물음향 탐지 기법을 통해 동백동산에서 확인된 조류상은 29과 46종이다(Table 2). 가장 많은 종이 확인된 달은 5월로 총 30종이 확인되었고, 가장 적은 종이 확인된 달은 9월로 11종이 확인되었다. 법정보호종으로는 멸종위기 야생생물 II급으로 매(*Falco peregrinus*), 흑비둘기(*Columba janthina*), 팔색조(*Pitta nympha*), 긴꼬리딱새(*Terpsiphone atrocaudata*) 4종이 확인되었다. 천연기념물로는 매, 황조롱이(*F. tinnunculus*), 흑비둘기, 두견(*Cuculus poliocephalus*), 소쩍새(*Otus sunia*), 솔부엉이(*Ninox japonica*), 팔색조 7종이 확인되었다. 울음의 빈도가 가장 높게 나타난 종은 직박구리(*Hypsipetes amaurotis*)로 전체 울음의 33.62%를 차지하였다. 그 뒤를 이어 섬휘파람새(*Horornis diphone*)가 12.13%, 동박새(*Zosterops japonicus*)가 9.77%, 멧비둘기(*Streptopelia orientalis*)가 8.57%, 곤줄박이(*Sittiparus varius*)가 7.66%, 박새(*Parus minor*)가 5.33%, 큰부리까마귀(*Corvus macrorhynchos*)가 4.13%를 차지하였다. 1100고지 습지에서 확인된 조류상은 16과 25종이다. 가장 많은 종이 확인된 달은 5월로 총 18종이 확인되었고, 가장 적은 종이 확인된 달은 1월로 7종이 확인되었다. 법정보호종으로는 멸종위기 야생생물 II급으로 긴꼬리딱새 1종이 확인되었다. 천연기념물로는 두견 1종이 확인되었다. 1100고지 습지에서 울음의 빈도가 가장 높게 나타난 종은 큰부리까마귀로 전체 울음의 27.34%를 차지하였다. 그 뒤를 이어 섬휘파람새가 19.43%, 직박구리가 16.56%, 곤줄박이가 9.21%, 동박새가 8.73%, 두견이 5.33%, 박새가 4.72%를 차지하였다.

### 2. 생물음향 탐지 기법과 현장조사의 결과 비교

현장 조사 'Banjade et al. (2019)'를 통해 확인된 종수와 생물음향 탐지 기법을 통해 확인된 종수를 비교한 결과는 다음과 같다(Figure 2). 동백동산의 경우 2009년 39종, 2012년 51종, 2015년 35종, 2018년 45종이 조사되었고, 생물음향 탐지 기법을 통해 46종이 확인되었다. 1100고지 습지의 경우 2009년 37종, 2012년 42종, 2015년 34종, 2018년 38종이 조사되었고, 생물음향 탐지 기법을 통해 25종이 확인되었다.

종합적으로 현장 조사를 통해 동백동산에서 확인된 78종 중 43.6%인 34종, 1100고지 습지에서 확인된 47종 중 38.3%인 18종이 생물음향 탐지 기법으로 확인되었다.

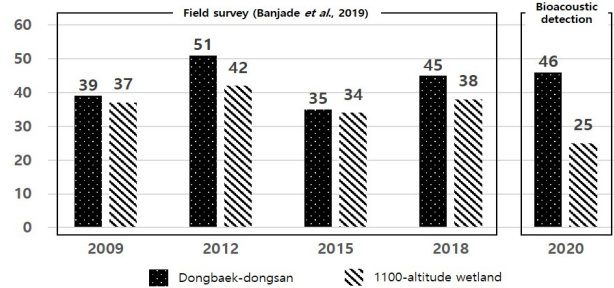


Figure 2. Comparison of the number of species identified through field survey and bioacoustic detection.

동백동산에서 현장 조사와 생물음향 탐지를 통해 확인된 종 중에서 공통 종은 24과 34종이었다(Table 3). 그 중 현장 조사 4개 연도에서 모두 확인된 종은 생물음향 탐지 기법을 이용한 본 연구에서도 모두 확인되었으며, 해당 종으로는 꿩(*Phasianus colchicus*), 멧비둘기, 두견, 팔색조, 긴꼬리딱새, 큰부리까마귀, 어치(*Garrulus glandarius*), 까치(*Pica serica*), 곤줄박이, 박새, 제비(*Hirundo rustica*), 직박구리, 동박새, 호랑지빠귀(*Zoothera aurea*), 방울새(*Chloris sinica*), 노랑턱멧새(*Emberiza elegans*)이다. 1100고지 습지에서 현장 조사와 생물음향 탐지를 통해 확인된 종 중에서 공통 종은 15과 18종이었다. 그 중 현장 조사 4개 연도에서 모두 확인된 종은 생물음향 탐지 기법을 이용한 본 연구에서도 모두 확인되었으며, 해당 종으로는 꿩, 멧비둘기, 두견, 큰부리까마귀, 박새, 진박새(*Periparus ater*), 곤줄박이, 제비, 직박구리, 동박새, 굴뚝새(*Troglodytes troglodytes*), 호랑지빠귀, 흰눈썹황금새(*Ficedula zanthopygia*), 큰유리새(*Cyanoptila cyanomelana*), 되새(*Fringilla montifringilla*), 노랑턱멧새이다.

동백동산의 경우 현장 조사에서 확인되지 않았지만, 생물음향 탐지 기법으로 확인된 종은 9과 12종이었고, 대표적으로 소쩍새, 솔부엉이, 쌍도새(*Caprimulgus jotaka*)와 같은 야행성 조류와 되새(*Phylloscopus tenellipes*), 쇠유리새(*Larvivora cyane*), 울새(*L. sibilans*)와 같은 나그네새가 있다(Table 4). 현장 조사에서 확인된 종 중에서 생물음향 탐지 기법으로 확인되지 않은 종은 18과 48종이었고, 대표적으로 백로과(Ardeidae)와 수리과(Accipitridae)가 있다. 1100고지 습지의 경우 현장 조사에서 확인되지 않았지만, 생물음향 탐지 기법으로 확인된 종은 오목눈이(*Aegithalos caudatus*), 검은머리방울새(*Spinus spinus*), 솔갓새(*Loxia curvirostra*), 콩새(*Coccothraustes coccothraustes*) 등으로 총 3과 7종의 소리가 탐지되었다. 현장 조사에서 확인된 종 중에서 생물음향 탐지 기법으로 확인되지 않은 종은 수리과를 비롯해 두견과(Cuculidae), 할미새과(Motacillidae) 등 총 14과 27종이었다.

Table 2. List of birds recorded using bioacoustic detection techniques at Dongbaek-dongsan and 1100-altitude wetland

Family name (in Korean)	Specific name (in Korean)	Scientific name	Dongbaek-dongsan												1100-altitude wetland											
			Month (2020)																							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
평과	평	<i>Phasianus colchicus</i>			7	65	37	14										1	3	1						
오리과	원앙	<i>Aix galericulata</i>	5	23	70	7						1	2	2												
백로과	왜가리	<i>Ardea cinerea</i>				2																				
	해오라기	<i>Nycticorax nycticorax</i>									1															
매과	매	<i>Falco peregrinus</i>						1																		
	황조롱이	<i>Falco tinnunculus</i>									1															
수리과	말뚝가리	<i>Buteo japonicus</i>	2																							
뜸부기과	쇠물닭	<i>Gallinula chloropus</i>										1														
도요과	백백도요	<i>Tringa ochropus</i>				1																				
비둘기과	멧비둘기	<i>Streptopelia orientalis</i>		1	49	155	145	147	169	90	28				1		2	2	2	2	3	2				
	흑비둘기	<i>Columba janthina</i>					1																			
	두견	<i>Cuculus poliocephalus</i>					36	60	67	1								88	193	121	23					
두견과	검은등뺨꾸기	<i>Cuculus micropterus</i>				2																				
	뺨꾸기	<i>Cuculus canorus</i>						1																		
올빼미과	소쩍새	<i>Otus sunia</i>			10	17	3	1		1																
	솔부엉이	<i>Ninox japonica</i>				7	9		3																	
속독새과	속독새	<i>Caprimulgus jotaka</i>			1	22	13																			
물총새과	물총새	<i>Alcedo atthis</i>			1																					
팔색조과	팔색조	<i>Pitta nympha</i>				32	80	21																		
긴꼬리 딱새과	긴꼬리딱새	<i>Terpsiphone atrocaudata</i>				33	102	64	16	1											1					
까마귀과	큰부리까마귀	<i>Corvus macrorhynchos</i>	31	34	55	51	33	21	22	25	22	29	24	31	185	180	271	214	168	148	87	98	147	283	223	176
	까마귀	<i>Corvus corone</i>																1	3							
	여치	<i>Garrulus glandarius</i>	1		3	1	4	1	7	4	3	2	4	4												
여새과	까치	<i>Pica serica</i>				25	13	6	8	14	4	1		10	4	7	5	1					1	1		
	황여새	<i>Bombycilla garrulus</i>											1	3												
박새과	박새	<i>Parus minor</i>	20	46	73	85	68	33	43	30	5	32	20	33	6	22	44	72	64	24	21	47	30	40	5	1
	진박새	<i>Periparus ater</i>															1				1					
	곤졸박이	<i>Sittiparus varius</i>	41	65	85	130	90	26	35	24	17	46	47	95	41	77	106	136	86	50	23	40	44	40	39	52
제비과	제비	<i>Hirundo rustica</i>			1	1	1		5	2							1			5						
오목눈이과	오목눈이	<i>Aegithalos caudatus</i>	5	17	14	12	3	3		4		13	5	4	4	2		1		1		4	9		5	
직박구리과	직박구리	<i>Hypsipetes amaurotis</i>	195	193	249	329	410	367	296	240	45	229	277	247	31	13	10	62	208	210	168	118	127	210	76	87
휘파람새과	섬휘파람새	<i>Horornis diphone</i>	3	10	114	204	227	211	228	31	29	27	15	11	1	85	220	396	364	321	107	40	14	1		
	산솔새	<i>Phylloscopus coronatus</i>				2	5																			
	되솔새	<i>Phylloscopus tenellipes</i>				1	1																			
	노랑눈썹솔새	<i>Phylloscopus inornatus</i>				6	5																			
동박새과	동박새	<i>Zosterops japonicus</i>	37	50	98	131	96	82	119	114	3	55	38	71			22	95	129	114	62	175	55	34	9	1
굴뚝새과	굴뚝새	<i>Troglodytes troglodytes</i>			1								1		3	1				1	3					
지빠귀과	호랑지빠귀	<i>Zoothera aurea</i>		4	42	79	111	52	46			4					17	13	11			3				
솔딱새과	쇠유리새	<i>Larvivora cyane</i>					3																			
	흰눈썹황금새	<i>Ficedula zanthopygia</i>					2										1	23	8		1					
	큰유리새	<i>Cyanoptila cyanomelana</i>																1								
	울새	<i>Larvivora sibilans</i>					6																			
할미새과	형동새	<i>Anthus hodgsoni</i>				1																				
	되새	<i>Fringilla montifringilla</i>			1	1						6	9	1										1	1	
	방울새	<i>Chloris sinica</i>	2	6	15	17	26	28	20	5		8	9	11	1	1		3	5	1	24	117	105	43	3	
	검은머리방울새	<i>Spinus spinus</i>	13	11	30	34								28	14	9	4	14						12	44	8
	솔갓새	<i>Loxia curvirostra</i>															2								6	8
멧새과	롱새	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>											2				1	1								
	큰부리말뼉새	<i>Eophona personata</i>	2																							
	노랑턱멧새	<i>Emberiza elegans</i>		1			1									2	40	49	3	11	1					
	Number of Species		13	12	17	25	30	21	17	16	11	14	15	14	7	10	16	14	18	13	12	13	12	10	10	10
	Total Frequency		357	460	859	1221	1460	1265	1128	677	230	484	482	528	283	308	610	878	1189	1143	809	645	571	748	447	342

Table 3. List of birds recorded common to field survey and bioacoustic detection techniques at Dongbaek-dongsan and 1100-altitude wetland

Family name (in Korean)	Specific name (in Korean)	Scientific name	Dongbaek-dongsan					1100-altitude wetland						
			Field survey				Bioacoustic detection	Field survey				Bioacoustic detection		
			'09	'12	'15	'18		'20	'09	'12	'15		'18	'20
꿩과	꿩	<i>Phasianus colchicus</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
오리과	원앙	<i>Aix galericulata</i>		•		•	•							
백로과	왜가리	<i>Ardea cinerea</i>	•			•	•							
	해오라기	<i>Nycticorax nycticorax</i>				•	•							
매과	매	<i>Falco peregrinus</i>	•	•		•	•							
	황조롱이	<i>Falco tinnunculus</i>		•		•	•							
수리과	말뚝가리	<i>Buteo japonicus</i>		•	•		•							
비둘기과	멧비둘기	<i>Streptopelia orientalis</i>	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•
	흑비둘기	<i>Columba janthina</i>			•		•							
두견과	두견	<i>Cuculus poliocephalus</i>	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•
	빠꾸기	<i>Cuculus canorus</i>	•	•		•	•							
물총새과	물총새	<i>Alcedo atthis</i>	•				•							
팔색조과	팔색조	<i>Pitta nympha</i>	•	•	•	•	•							
긴꼬리딱새과	긴꼬리딱새	<i>Terpsiphone atrocaudata</i>	•	•	•	•	•				•			•
까마귀과	큰부리까마귀	<i>Corvus macrorhynchos</i>	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•
	어치	<i>Garrulus glandarius</i>	•	•	•	•	•							
	까치	<i>Pica serica</i>	•	•	•	•	•							
박새과	곤줄박이	<i>Sittiparus varius</i>	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•
	박새	<i>Parus minor</i>	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•
	진박새	<i>Periparus ater</i>							•	•	•	•		•
제비과	제비	<i>Hirundo rustica</i>	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•
오목눈이과	오목눈이	<i>Aegithalos caudatus</i>		•	•	•	•							
직박구리과	직박구리	<i>Hypsipetes amaurotis</i>	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•
휘파람새과	섬휘파람새	<i>Horornis diphone</i>	•		•	•	•		•		•	•		•
솔새과	노랑눈썹솔새	<i>Phylloscopus inornatus</i>			•		•							
동박새과	동박새	<i>Zosterops japonicus</i>	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•
굴뚝새과	굴뚝새	<i>Troglodytes troglodytes</i>			•	•	•		•	•	•	•		•
지빠귀과	호랑지빠귀	<i>Zoothera aurea</i>	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•
솔딱새과	흰눈썹황금새	<i>Ficedula zanthopygia</i>			•		•		•	•	•	•		•
	큰유리새	<i>Cyanoptila cyanomelana</i>							•	•	•	•		•
할미새과	형동새	<i>Anthus hodgsoni</i>	•		•		•							
되새과	검은머리방울새	<i>Spinus spinus</i>		•			•							
	방울새	<i>Chloris sinica</i>	•	•	•	•	•							
	되새	<i>Fringilla montifringilla</i>	•	•			•		•	•	•	•		•
	콩새	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>		•			•							
멧새과	노랑턱멧새	<i>Emberiza elegans</i>	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•
Number of Species			23	25	24	25	34		17	16	18	17		18



Table 4. Non-overlapping species as a result of bioacoustic detection techniques and field survey at Dongbaek-dongsan and 1100-altitude wetland

Site	Survey method	Specific name	Number of	
			families	species
Dongbaek-dongsan	Bioacoustic detection	쇠물닭( <i>Gallinula chloropus</i> ), 뺨뺨도요( <i>Tringa ochropus</i> ), 검은등뺨꾸기( <i>Cuculus micropterus</i> ), 소쩍새( <i>Otus sunia</i> ), 솔부엉이( <i>Ninox japonica</i> ), 쓱독새( <i>Caprimulgus jotaka</i> ), 황여새( <i>Bombycilla garrulus</i> ), 산솔새( <i>Phylloscopus coronatus</i> ), 되솔새( <i>P. tenellipes</i> ), 쇠유리새( <i>Larvivora cyane</i> ), 올새( <i>L. sibilans</i> ), 큰부리밀화부리( <i>Eophona personata</i> )	9	12
	Field survey	청둥오리( <i>Anas platyrhynchos</i> ), 흰뺨검둥오리( <i>A. zonorhyncha</i> ), 쇠오리( <i>A. crecca</i> ), 열대붉은해오라기( <i>Ixobrychus cinnamomeus</i> ), 붉은해오라기( <i>Gorsachius goisagi</i> ), 검은등기해오라기( <i>Butorides striata</i> ), 흰날개해오라기( <i>Ardeola bacchus</i> ), 황로( <i>Bubulcus coromandus</i> ), 대백로( <i>Ardea alba alba</i> ), 중백로( <i>A. intermedia</i> ), 쇠백로( <i>Egretta garzetta</i> ), 물수리( <i>Pandion haliaetus</i> ), 벌매( <i>Pernis ptilorhynchus</i> ), 독수리( <i>Aegypius monachus</i> ), 붉은배새매( <i>Accipiter soloensis</i> ), 조롱이( <i>A. gularis</i> ), 새매( <i>A. nisus</i> ), 참매( <i>A. gentilis</i> ), 깃도요( <i>Gallinago gallinago</i> ), 깃잡도요( <i>Actitis hypoleucos</i> ), 밤색날개뺨꾸기( <i>Clamator coromandus</i> ), 병어리뺨꾸기( <i>C. optatus</i> ), 칼새( <i>Apus pacificus</i> ), 파랑새( <i>Eurystomus orientalis</i> ), 때까치( <i>Lanius bucephalus</i> ), 노랑때까치( <i>L. cristatus</i> ), 떼까마귀( <i>Corvus frugilegus</i> ), 까마귀( <i>C. corone</i> ), 쇠솔새( <i>P. borealis</i> ), 찌르레기( <i>Spodiopsar cineraceus</i> ), 흰눈썹지뺨꾸기( <i>Geokichla sibirica</i> ), 되지뺨꾸기( <i>Turdus hortulorum</i> ), 흰배지뺨꾸기( <i>T. pallidus</i> ), 개동지뺨꾸기( <i>T. eunomus</i> ), 유리딱새( <i>Tarsiger cyanurus</i> ), 딱새( <i>Phoenicurus auroreus</i> ), 바다직박구리( <i>Monitocola solitarius</i> ), 제비딱새( <i>Muscicapa griseisticta</i> ), 솔딱새( <i>M. sibirica</i> ), 쇠솔딱새( <i>M. dauurica</i> ), 큰유리새( <i>Cyanoptila cyanomelana</i> ), 참새( <i>Passer montanus</i> ), 노랑할미새( <i>Motacilla cinerea</i> ), 알락할미새( <i>M. alba</i> ), 멧쟁이새( <i>Pyrhula pyrrhula</i> ), 밀화부리( <i>E. migratoria</i> ), 멧새( <i>Emberiza cioides</i> ), 속새( <i>E. rustica</i> )	18	48
1100-altitude wetland	Bioacoustic detection	까치( <i>Pica serica</i> ), 까마귀, 오목눈이( <i>Aegithalos caudatus</i> ), 방울새( <i>Chloris sinica</i> ), 검은머리방울새( <i>Spinus spinus</i> ), 솔갓새( <i>Loxia curvirostra</i> ), 콩새( <i>Coccothraustes coccothraustes</i> )	3	7
	Field survey	흰뺨검둥오리, 황조롱이( <i>Falco tinnunculus</i> ), 매( <i>F. peregrinus</i> ), 벌매, 조롱이, 말뚝가리( <i>Buteo japonicus</i> ), 깃도요, 뺨꾸기( <i>C. canorus</i> ), 병어리뺨꾸기, 검은등뺨꾸기, 칼새, 큰오색딱다구리( <i>Dendrocopos leucotos</i> ), 팔색조( <i>Pitta nympha</i> ), 노랑때까치, 때까치, 어치( <i>Garrulus glandarius</i> ), 떼까마귀, 흰배지뺨꾸기, 개동지뺨꾸기, 딱새, 바다직박구리, 쇠솔딱새, 솔딱새, 제비딱새, 노랑할미새, 알락할미새, 멧새	14	27

### 3. 고찰

본 연구는 야생조류 생물음향 탐지와 현장 조사의 결과 비교를 통해 효과적인 야생조류 조사 방법을 제시하는 데 목적을 두고 있다. Wheeldon *et al.* (2019)은 모든 서식지에서 전통적인 조사 방법에 비해 음향을 통한 방법이 중 풍부도가 더 높게 나왔다고 설명하면서도 종의 범위를 최대화하기 위해서는 두 방법을 함께 사용해야 함을 주장하였다. 본 연구는 생물음향 탐지 및 분석을 정밀하게 하였고, 생물음향 탐지와 현장 조사 결과를 비교했다는 것에서 위의 연구와 유사성을 갖는다. 제주 동백동산과 1100고지 두 대상지 간에 종 구성 차이까지 확인하였다는 점에서 차이가 있으며, 두 가지 조사 방법이 병행되어야 한다는 주장을 뒷받침할 수 있는 근거를 제시하였다.

생물음향 탐지 기법과 현장 조사를 통한 분석 결과 비교를 통해 공통적으로 확인된 종을 파악할 수 있었고, 현장 조사가 실시된 4개 연도에서 모두 확인된 종은 생물음향으로도 탐지가 되었다는 것을 알 수 있었다. 현장 조사에서 자주 확인되거나 매년 확인이 되는 종들에 대해서는 생물음향을 통해 탐지될 확률이 높다고 판단할 수 있었다. 또한, 생물음향 탐지 기법으로만 확인된 종을 통해 조사 방법 설정에 있어서 생물음향 장비를 이용한 모니터링의 필요성을 확인할 수 있었다. 특히 계절마다 실시한 현장 조사 결과에서 야행성 조류는 확인되지 않았으며 현장 조사 시 야간 조사의 공백이 발생했음을 확인할 수 있었다. Zwart *et al.* (2014)는 유럽쓱독새(*C. europaeus*) 대상 연구에서 음향녹음 연구를 병행할 경우 연구결과의 신뢰도가 상승할 수 있음을 설명하였다.

생물음향 탐지 기법을 통해 확인되지 않은 종에 대해서는 생물음향 연구의 여러 한계점으로 판단할 수 있었다. 생물음향으로 탐지가 되지 않은 종들은 네 가지 측면에서 그 이유를 설명할 수 있었다. 첫 번째, 현장 조사 시 멧금류는 상공에서 활공하는 모습을 통해 종을 식별하는 경우가 많고, 나무, 전신주 등에 앉아있는 개체를 통해 확인되기도 한다. 따라서 생물음향을 통해서 다양한 종의 멧금류를 탐지하는 것에는 한계가 있다. 동백동산에서 생물음향 탐지 기법으로 매, 황조롱이, 말뚝가리(*Buteo japonicus*) 소리가 탐지되어 종 동정을 할 수 있었지만, 탐지된 횟수가 1~2회에 그쳤다. 두 번째, 백로과에 속한 종은 참새목 조류처럼 소리를 빈번하게 내지 않고, 먹이활동을 할 때 이외에는 나무 위 또는 수변 등의 환경에서 휴식을 취하기 때문에 소리를 통해 종을 탐지하고 식별하는 것에 한계가 있다. 세 번째, 장비를 통해 탐지는 됐으나 유사한 소리를 내는 종들로 동정이 어려운 경우이다. 분석하는 과정에서 오리류의 소리가 확인이 되었고, 청둥오리(*Anas platyrhynchos*) 또는 흰뺨검둥오리(*A. zonorhyncha*)로 추정할 수 있었지만, 정확한 동정이 불가능하다고 판단하였다. 때까치과(Laniidae), 지뺨꾸기과(Turdidae), 할미새과, 멧새과(Emberizidae)도 이와 같은 부류에 속하였다. 네 번째, 녹음이 되지 않았거나 녹음이 되었더라도 짧은 발성으로 나타나는 call로 동정이 불가능한 경우이다. 세 번째와 네 번째 측면에서 판단한 미동정은 제노칸토 및 국내 새소리 DB를 바탕으로 확인하였으나 종을 특정할 수 없어 미동정으로 구분하였다. 종에 따라 song과 call을 명확하게 구분 짓기 위해서는 유사한 발성과의 차이를 규명한 연구와 DB가 구축될 필요성이 있다고 판단된다. 또한, call이



상대적으로 비번식기에 빈도가 높아지는 것에 대해서는 현장조사를 통해 종 동정이 병행되어야 할 필요성이 있다. Haselmayer and Quinn (2000)은 평균적으로 포인트 조사는 동일한 시간에 음향 녹음보다 더 많은 종을 감지한다고 주장하지만, 그럼에도 생물 다양성 평가를 위해 두 기술을 함께 사용할 것을 권장하였다.

여러 식생 유형에 걸쳐 현장 조사와 녹음의 차이를 비교했던 Celis-Murillo *et al.* (2012)에 대한 서론에서의 내용처럼 본 연구도 상록활엽수림인 동백동산과 초지, 관목림 등이 형성된 1100고지 습지에서 생물음향 탐지의 효과를 비교할 수 있었다. 동백동산과 같이 울창한 산림지대에서는 목견과 청음을 통한 종 확인이 모두 가능하지만, 고지대이면서 초지가 형성되어 있는 1100고지 습지는 소리가 잘 퍼져나갈 수 있는 개방적인 환경으로 목견의 비중이 높다고 판단되었다. 본 연구는 생물음향 탐지 기법을 통해 두 연구대상지의 조류를 정밀하게 탐지하였고, 현장 조사와 비교를 통해 생물음향 탐지 기법의 필요성을 제시하였다. 생물음향 탐지 기법은 탐지하기 어려운 종이 있는 한계가 있음에도 현행되고 있는 현장 조사가 갖는 한계를 보완해 줄 수 있는 조사 방법이다. 따라서 생물음향 탐지 기법은 폭넓은 종의 확인을 위해 현장 조사와 함께 병행되어야 할 필요가 있다.

## REFERENCES

- Acevedo, M.A. and L.J. VILLANUEVA-RIVERA(2006) From the field: Using automated digital recording systems as effective tools for the monitoring of birds and amphibians. *Wildlife Society Bulletin* 34(1): 211-214.
- Alquezar, R.D. and R.B. Machado(2015) Comparisons between autonomous acoustic recordings and avian point counts in open woodland savanna. *The Wilson Journal of Ornithology* 127(4): 712-723.
- Banjade, M., S.H. Han, Y.H. Jeong, J.W. Lee and H.S. Oh(2019) Long-term trends of bird community at Dongbaekdongsan and 1100-highland wetland of Jeju Island, South Korea. *Kor. J. Orni.* 26(2): 54-61.
- Bibby, C., M. Jones and S. Marsden(1998) Expedition field techniques: Bird surveys. Royal Geographical Society, London.
- Buxton, R.T. and I.L. Jones(2012) Measuring nocturnal seabird activity and status using acoustic recording devices: Applications for island restoration. *Journal of Field Ornithology* 83(1): 47-60.
- Celis-Murillo, A., J.L. Deppe and M.P. Ward(2012) Effectiveness and utility of acoustic recordings for surveying tropical birds. *Journal of Field Ornithology* 83(2): 166-179.
- Choi, S.J. and K.S. Ki(2019) Nocturnal birds detection and ecological characteristics through bioacoustic monitoring. *Korean J. Environ. Ecol.* 33(6): 636-644. (in Korean with English abstract)
- Choi, S.J. and K.S. Ki(2022) A study on the nationwide song distribution and phenological characteristics of Fairy Pitta *Pitta Nympha*, an endangered species. *Korean Journal of Environment and Ecology* 36(2): 139-149. (in Korean with English abstract)
- Gim, J.Y., J.Y. Lee and K.S. Ki(2017) Differences in the soundscape characteristics of a natural park and an urban park. *Korean Journal of Environment and Ecology* 31(1): 112-118. (in Korean with English abstract)
- Gregory, R.D., D.W. Gibbons and P.F. Donald(2004) Bird census and survey techniques. *Bird Ecology and Conservation*, pp.17-56.
- Haselmayer, J. and J.S. Quinn(2000) A comparison of point counts and sound recording as bird survey methods in Amazonian southeast Peru. *The Condor* 102(4): 887-893.
- Hobson, K.A., R.S. Rempel, H. Greenwood, B. Turnbull and S.L. Van Wilgenburg(2002) Acoustic surveys of birds using electronic recordings: New potential from an omnidirectional microphone system. *Wildlife Society Bulletin*, pp.709-720.
- Kahl, S., A. Navine, T. Denton, H. Klinck, P. Hart, H. Glotin, H. Goëau, W. Vellinga, R. Planqué and A. Joly(2022, September) Overview of BirdCLEF 2022: Endangered bird species recognition in soundscape recordings. In Proceedings of the Working Notes of CLEF 2022-Conference and Labs of the Evaluation Forum.
- Ki, K.S., J.Y. Gim, K.S. Yoon and J.Y. Lee(2016) Effects of tropical night and light pollution on cicadas calls in urban areas. *Korean J. Environ. Ecol.* 30(4): 724-729. (in Korean with English abstract)
- Leach, E.C., C.J. Burwell, L.A. Ashton, D.N. Jones and R.L. Kitching(2016) Comparison of point counts and automated acoustic monitoring: Detecting birds in a rainforest biodiversity survey. *Emu.* 116(3): 305-309.
- Park, J.G.(2014) Identification guide to birds of Korea, checklist of organisms in Korea 12 (series). Nature and Ecology Publication, Seoul. (in Korean)
- Rempel, R.S., C.M. Francis, J.N. Robinson and M. Campbell(2013) Comparison of audio recording system performance for detecting and monitoring songbirds. *Journal of Field Ornithology* 84(1): 86-97.
- Robb, M. and K. Mullarney(2008) *Petrels night and day: A sound approach.* Dorset: The Sound Approach.
- Simons, T.R., M.W. Alldredge, K.H. Pollock and J.M. Wettrth(2007) Experimental analysis of the auditory detection process on avian point counts. *The Auk* 124(3): 986-999.

- Venier, L.A., S.B. Homes, G.W. Holborn, K.A. McIlwrick and G. Brown(2012) Evaluation of an automated recording device for monitoring forest birds. *Wildlife Society Bulletin* 36(1): 30-39.
- Vold, S.T., C.M. Handel and L.B. McNew(2017) Comparison of acoustic recorders and field observers for monitoring tundra bird communities. *Wildlife Society Bulletin* 41(3): 566-576.
- Vu, T.T. and D. Van Tran(2020) Using autonomous recorders and bioacoustics to monitor the globally endangered wildlife in the Annamite mountain landscape: A case study with crested argus in Song Thanh Nature Reserve. *Journal for Nature Conservation* 56: 125843.
- Wheeldon, A., H.L. Mossman, M.J. Sullivan, J. Mathenge and S.R. De Kort(2019) Comparison of acoustic and traditional point count methods to assess bird diversity and composition in the Aberdare National Park, Kenya. *African Journal of Ecology* 57(2): 168-176.
- Wilson, R.R., D.J. Twedt and A.B. Elliott(2000) Comparison of line transects and point counts for monitoring spring migration in forested wetlands. *Journal of Field Ornithology* 71(2): 345-355.
- Zwart, M.C., A. Baker, P.J. McGowan and M.J. Whittingham(2014) The use of automated bioacoustic recorders to replace human wildlife surveys: An example using nightjars. *PLoS One* 9(7): e102770.