

생물음향 모니터링 기법을 이용한 야행성 조류 탐지 및 생태적 특성 분석^{1a}

최세준² · 기경석^{3*}

Nocturnal Birds Detection and Ecological Characteristics through Bioacoustic Monitoring^{1a}

Se-Jun Choi², Kyong-Seok Ki^{3*}

요약

본 연구는 생물음향 녹음기술을 이용하여 야행성 조류의 울음을 탐지하여 종을 식별하고, 종별 생태적 특성을 분석하는데 목적이 있다. 연구대상지는 설악산국립공원, 국립생태원, 무등산국립공원 3개소였다. 분석기간은 설악산은 2018년 4월 중순부터 2019년 3월 초, 국립생태원은 2018년 2월 말부터 2019년 2월 중순, 무등산은 2018년 2월 중순부터 8월 말까지였다. 주요 연구결과는 다음과 같다. 첫 번째, 탐지가 확인된 야생조류 종 수는 쇠독새, 소쩍새, 호랑지빠귀, 수리부엉이, 긴점박이올빼미로 총 5종이다. 두 번째, 종별 번식울음 기간은 쇠독새는 5월 초부터 8월 초, 소쩍새는 4월 초부터 9월 말, 호랑지빠귀는 3월 초부터 10월 초, 수리부엉이는 9월 말부터 2월 초, 긴점박이올빼미는 1월 중순부터 3월 초까지였다. 세 번째, 종별 번식울음 일주기는 세 지역의 관찰대상종 모두 16시부터 다음 날 10시 사이로 형성이 됐고, 빈도가 높게 나타나는 시간대는 20시부터 다음 날 06시 사이에 형성되었다. 네 번째, 종별 일 누적 울음빈도와 강수량은 상관관계를 나타내지 않았다. 다섯 번째, 종별 울음이 탐지된 기간 동안의 평균기온은 긴점박이올빼미는 -4.00℃, 수리부엉이는 2.58℃, 호랑지빠귀는 13.66℃, 소쩍새는 19.50℃, 쇠독새는 20.77℃였고, 분산분석 결과 종별 울음이 평균기온에서 차이가 있는 것으로 나타났다. 그 결과, 긴점박이올빼미, 수리부엉이, 호랑지빠귀, 소쩍새-쇠독새 4개의 그룹 순으로 낮은 온도에서 나타났다. 연구를 통해 확인된 종별 번식울음 기간은 종별 울음이 탐지된 기간 중 울음빈도가 높게 나타난 기간이다. 이는 종마다 알려진 번식기간에 속하는 결과이기 때문에 생물음향 모니터링 기법을 이용하여 울음기간을 확인했을 때 울음빈도가 높게 형성되는 기간을 번식기간으로 볼 수 있음을 확인했다. 본 연구는 한국의 야행성 조류를 대상으로 생물음향 녹음기술을 이용하여 종을 식별하고, 종별 생태적 특성을 밝힌 초기 논문이라는 점에서 의미가 있다.

주요어: 번식울음, 쇠독새, 소쩍새, 수리부엉이, 긴점박이올빼미

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the callings of nocturnal birds using bioacoustic recording technology to identify species and to analyze the ecological characteristics of each species. Three sites - Seoraksan National Park, National Institute of Ecology, and Mudeungsan National Park - were investigated.

1 접수 2019년 6월 10일, 수정 (1차: 2019년 10월 27일), 게재확정 2019년 11월 19일

Received 10 June 2019; Revised (1st: 27 October 2019); Accepted 19 November 2019

2 상지대학교 대학원 응용식물과학과 원예조경학전공 석사과정 Dept. of Applied Plant Science, Graduate School of Sangji Univ., 83 Sangjidaegil Wonju-si Gangwon-do 26339, Korea

3 상지대학교 친환경식물학부 원예조경학전공 교수 Dept. of Horticulture and Landscape Architecture, Sangji Univ., 83 Sangjidaegil Wonju-si Gangwon-do 26339, Korea

a 이 논문은 2018년도 상지대학교 교내 연구비, 환경부 국립생물자원관(NIBR201909101), 한국연구재단(NRF-2017R1C1008457)의 연구비 지원 및 국립공원공단의 연구승인 하에 수행되었음.

* 교신저자 Corresponding author: Tel:+82-33-730-0566, Fax: +82-33-730-0503, E-mail: ecokks@gmail.com

The investigation period was from the middle of April 2018 to early March 2019 for Seoraksan national park, from late February of 2018 to the middle of February 2019 for the National Institute of Ecology, and from the middle of February 2018 to the end of August 2018 for Mudeungsan National Park. The main research results are as follows. Firstly, nocturnal bird species identified by the survey included *Caprimulgus indicus*, *Otus sunia*, *Zoothera aurea*, *Bubo bubo*, and *Strix uralensis*, 5 species in total. Secondly, the breeding call period of each species was from early May to early August for *C. indicus*, from early April to the end of September for *O. sunia*, from early March to early October for *Z. aurea*, from late September to early February for *B. bubo*, and from mid-January to early March for *S. uralensis*. Thirdly, the mating call rhythm was between 16:00 and 10:00 on the following day for all the observed species in the three regions, and the peak time zone was from 20:00 to 06:00 on the following day. Fourthly, there was no correlation between the cumulative call frequency and the precipitation for each species. Fifthly, the mean temperature during the period when the specific calls of nocturnal birds were detected was $-4.00\text{ }^{\circ}\text{C}$ for *S. uralensis*, $2.58\text{ }^{\circ}\text{C}$ for *B. bubo*, $13.66\text{ }^{\circ}\text{C}$ for *Z. aurea*, $19.50\text{ }^{\circ}\text{C}$ for *O. sunia*, and $20.77\text{ }^{\circ}\text{C}$ for *C. indicus*. The ANOVA results showed that there was a significant difference in mean temperature for the calling by species and that the mean temperature was *S. uralensis*, *B. bubo*, *Z. aurea*, and *O. sunia*-*C. indicus*, in the ascending order, for 4 groups in total. The period of the specific mating calls confirmed by the study is a period in which the frequency of calls was the highest among the periods when the specific calls were detected. Since it is associated with the known mating period of each species, the period of the high frequency of calls confirmed by the bioacoustic monitoring can be regarded as the mating season. This study is meaningful in that it is the early research that has used the bioacoustic recording technology to identify species and ecological characteristics of species of nocturnal birds in Korea.

KEY WORDS: BREEDING CALL, CAPRIMULGUS INDICUS, OTUS SUNIA, BUBO BUBO, STRIX URALENSIS

서론

야행성 조류는 구애, 번식, 먹이활동 등의 제반활동을 주로 야간에 행하는 종을 의미한다. La(2012)는 조류의 야간 발성이 주간 발성과 유사한 기능을 수행한다고 하였다. 또한, Appleby(1997)는 야간 발성은 전통적으로 올빼미나 썩독새와 같은 야행성 조류와 관련이 있다고 제시하였다. 국내 야행성 조류는 대부분 올빼미과이며 많은 종이 천연기념물 및 멸종위기야생생물로 지정되어 있어 중요하며 연구가치가 높다.

그러나 야행성 조류의 생물음향에 관한 연구는 부족하며 대부분 주행성 조류의 번식음향에 대한 연구가 진행되어 있다. 기존 조류의 생물음향에 관한 연구는 주로 짹짹기, 포식자와의 관계, 영역표시, 의사소통, 소음과 빛의 영향 등 다양한 측면에서 진행되어 왔다. Searcy and Andersson(1986)은 조류의 song이 주로 짹짹기 시기에 생성되는 복잡한 음향 신호임을 주장했고, Macdougall-Shackleton(1997)은 화려한 깃털과 함께 조류 소리는 성 선택의 모델로 광범위하게 연구되어 왔음을 제시했다. 또한, 짹짹기 시기에 나타나는 발성은 개체의 위치를 알리는 신호이기 때문에 천적으로부터의 포식압을 높이

고, 결국 이는 새로운 신호의 생성을 유도하여 종의 분화를 촉진시킬 수 있음을 이야기하고 있다(Zuk and Kolluru, 1998). 소음은 도시 환경 속 조류의 행동적 변화와 밀접한 관련이 있다. Fuller *et al.*(2007)는 지난 몇 세기 동안 이어져온 도시화와 함께 소음이 증가했고, 소음이 발생하는 지역에 서식하는 European robins는 야간 발성을 통해 청각적인 간섭을 줄였음을 설명하고 있다.

조류의 생물음향 탐지에 관한 국내 연구는 부족한 실정이다. 특히, 국내 야행성 조류에 관한 연구는 수리부엉이, 긴점박이올빼미, 올빼미, 소쩍새 등에 한정되어 있고, 주로 개별 종의 서식 및 번식에 관한 연구였다. Kim *et al.*(2011)은 수리부엉이의 서식 현황의 정밀한 파악을 위해서 주야간 조사를 시행한 바가 있으며, Kim *et al.*(2012)은 올빼미의 서식 확인을 통해 올빼미가 겨울철에 주로 일시적인 휴식처로 동굴을 이용하고 있음을 제시하였다. 가장 최근에는 올빼미 소리의 직접녹음을 통해 음향기술이 모니터링에 유용할 수 있음을 제시한 연구도 있었다(Choi, 2019). 반면, 생물음향 녹음을 통한 야행성 조류의 탐지와 관련된 연구는 미흡한 실정이다. 국외의 경우 Goyette *et al.*(2011)이 자동녹음기술을 이용한 야행성 조류 탐지 연구

를 실시한 바 있으나 열대림에 한정되어 있었다.

생물음향 측정기술을 이용한 탐지는 24시간 지속적으로 생물음향을 수집할 수 있기 때문에 효과적이고, 직접 조사가 어려운 야간 시간대의 생물 소리 수집이 가능하다. Stowell *et al.*(2016)은 많은 생물자원 모니터링은 조류의 음향 탐지에 의존한다고 했으며, Bardeli(2010)는 복잡한 음향 환경에서 조류의 소리를 감지하고, 이를 조류 모니터링에 응용 가능성을 제시하면서 종마다 가지고 있는 주파수 대역에서 시간패턴을 검출하는 것이 음향을 통한 모니터링의 기초라고 설명한다. 이는 국내 야행성 조류에 있어서도 마찬가지이기 때문에 이와 관련된 연구에서 생물음향 녹음기술을 활용한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 생물음향 녹음기술을 이용하여 야행성 조류의 울음을 탐지하여 종을 식별하고, 종별 생태적 특성을 분석하는데 있다.

연구방법

1. 연구대상지 및 대상종

연구대상지는 한반도 중부지방인 설악산국립공원 각두골 습지(38°04'43.39"N, 128°28'22.85"E)와 국립생태원 내 습지(36°02'23.14"N, 126°43'04.66"E), 남부지방인 무등산국립공원 평두메 습지(35°08'43.28"N, 126°57'30.08"E)를 선정하였다. 고도는 각각 300m, 10m, 220m이며, 산지습지, 복원습지, 목논습지의 유형을 갖추고 있다. 설악산 각두골 습지와 무등산 평두메 습지는 국립공원의 자연림 내에 위치해 있고, 국립생태원 내 습지는 국립생태원 탐방로와 인접해 있으며 생태원 주변에는 농경지와 높이 100m 안팎의 소규모 산지가 있다.

연구대상종은 올빼미과 3종(소쩍새, 수리부엉이, 긴점박이올빼미), 쌍도새과 1종(쌍도새), 지빠귀과 1종(호랑지빠귀)으로 선정하였다. 호랑지빠귀는 야행성 조류가 아니지만 번식기간 동안 새벽과 늦은 밤에 소리를 내는 종으로 알려져 있어서 연구대상종에 포함시켰다.

2. 조사분석방법

녹음장비는 세 지역 모두 Songmeter SM4(Wildlife Acoustics Inc., USA)를 이용하였다. 녹음기 설치 위치는 서식환경이 양호하고 녹음이 용이한 장소를 선정하여 습지와 근접한 나무 0.5~2m 높이에 설치하였다. 녹음 세팅은 시간당 5분씩 24시간(5분 on, 55분 off) 녹음되도록 하였고, 마이크는 녹음기 내장마이크를 이용하였으며, mono type으로 녹음하였다. 설악산의 경우 2018년 11월 3일부터 2019년 3월 2일까지는 1분으로 녹음하였다. 녹음파일 형식은 wav파일, 샘플링 레이트(sampling rate)는

44,100Hz이었다(Kim and Ki, 2018; Jeon and Ki, 2018). 녹음기간은 설악산 각두골 습지는 2018년 4월 13일부터 2019년 3월 2일, 국립생태원은 2018년 2월 22일부터 2019년 2월 11일, 무등산 평두메 습지는 2018년 2월 17일부터 2018년 8월 24일까지였다. 녹음파일 분석은 Adobe Audition CC 프로그램을 이용해 소노그램(sonogram)을 통한 패턴 시각분석과 청음분석을 병행하였으며, 분석 날짜는 격일, 분석시간은 격일 내에서 짝수 시간으로 데이터 분석을 하였다. 종 출현 빈도에 따른 점수 부여는 5분 내에 한 번 이상 울면 1점, 울지 않으면 0점을 부여하는 방식을 택했다(Ki *et al.*, 2016; Gim *et al.*, 2017; Kim and Ki, 2018; Jeon and Ki, 2018).

환경 요인 자료는 기상청 기상자료개방포털(data.kma.go.kr)에서 수집하였다. 기상관측 지점은 연구대상지에서 가장 인접해 있는 인제(211), 군산(140), 광주(156)지점의 자동기상관측 시스템(AWS)자료를 이용하였고, 기상요인은 기온과 강수량 자료를 수집하였다.

확인된 종의 번식울음 일주기는 각 대상지마다 시간대별 울음 빈도를 통해 그래프를 작성하였다. 울음 빈도는 번식울음 시간대별 울음 여부의 누적 일수로 파악하였다. 또한 번식울음 일별 변화 분석은 날짜별로 누적 울음빈도를 통해 출현기간으로 구분하여 그래프를 작성하였다.

대상지별로 확인된 야행성 조류의 울음에 영향을 미치는 요인간 통계분석은 다음과 같이 진행하였다. 첫 번째, 각 대상지별로 분석기간 내 분석대상종의 울음 여부를 종합하여 출현시기와 일주기를 그래프로 나타내어 경향을 파악하였다. 두 번째, 종합하여 나타낸 출현시기 그래프에 평균기온과 강수량 그래프를 더하여 기상요인과의 관계를 그래프로 나타냈다. 세 번째, 평균기온, 강수량이 각 대상지별 야행성 조류의 울음소리 여부에 영향을 미치는지 확인하기 위하여 분산분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 야행성 조류 탐지 확인 종

야행성 조류 탐지 종은 3개소에서 총 5종(쌍도새(*C. indicus*), 소쩍새(*O. sunia*), 호랑지빠귀(*Z. aurea*), 수리부엉이(*B. bubo*), 긴점박이올빼미(*S. uralensis*))이 확인되었다. 설악산 각두골 습지는 쌍도새, 소쩍새, 호랑지빠귀, 긴점박이올빼미, 국립생태원은 소쩍새, 호랑지빠귀, 수리부엉이, 무등산 평두메 습지는 쌍도새, 소쩍새, 호랑지빠귀였다. 세 곳의 대상지에서 공통적으로 관찰된 조류는 소쩍새, 호랑지빠귀였다. 각 대상지에서만 관찰된 조류는 설악산 각두골 습지에서는 긴점박이올빼미였고, 국립생태원에서는 수리부엉이였다.

탐지된 5종의 소리와 소노그램은 서로 상이하며, Adobe

Audition CC 프로그램을 통해 소노그램 이미지를 캡처한 결과는 다음과 같다(Figure 1). 각 종에 대한 소리식별은 xeno-canto.org의 종별(학명기준) 소리를 참고하여 동정하였다.

2. 종별 번식울음 기간

종별 울음이 탐지된 기간은 소쩍새는 4월 초부터 9월 말, 호랑지빠귀는 3월 초부터 10월 초, 쓱독새는 5월 초부터 8월 초, 긴점박이올빼미는 1월 중순부터 3월 초, 수리부엉이는 9월 말부터 2월 초까지 확인됐다. 그 기간 중 종별 울음빈도가 높게 나타난 기간은 소쩍새는 4월 중순부터 5월 중순, 호랑지빠귀는 4월 초부터 6월 말, 쓱독새는 5월 말부터 6월 중순, 긴점박이올빼미는 1월 말부터 2월 중순, 수리부엉이는 11월 말부터 1월 초까지였다.

각 대상지별로 확인된 야행성 조류의 초성일, 종성일, 울음 기간은 다음과 같다. 설악산 각두골 습지에서는 소쩍새는 2018년 4월 19일(초성)부터 2018년 8월 3일(종성)까지로 107일, 호랑지빠귀는 2018년 4월 17일(초성)부터 2018년 8월 1일(종성)까지로 107일, 쓱독새는 2018년 5월 27일(초성)부터 2018년 6월 22일(종성)까지로 27일, 긴점박이올빼미는 2019년 1월 11일(초성)부터 2019년 3월 2일(종성)까지로 51일간 나타났다.

다. 국립생태원에서는 소쩍새는 2018년 4월 7일(초성)부터 2018년 9월 24일(종성)까지로 171일, 호랑지빠귀는 2018년 3월 24일(초성)부터 2018년 10월 6일(종성)까지로 197일, 수리부엉이는 2018년 9월 28일(초성)부터 2019년 2월 10일(종성)까지로 136일간 나타났다. 무등산 평두메 습지에서 소쩍새는 2018년 4월 12일(초성)부터 2018년 8월 22일(종성)까지로 133일, 호랑지빠귀는 2018년 3월 7일(초성)부터 2018년 7월 9일(종성)까지로 125일, 쓱독새는 2018년 5월 10일(초성)부터, 2018년 8월 6일(종성)까지로 89일간 나타났다(Table 1).

3. 종별 번식울음 일주기 특성

시간대별로 각 종의 울음 빈도를 통해 일주기 그래프를 나타내어 경향을 파악한 결과, 세 지역에서 탐지된 관찰대상종은 16시부터 다음날 10시 사이에 적어도 1번 이상의 울음이 확인되었다. 빈도가 높게 나타난 시간대는 20시부터 다음 날 06시였다. 설악산의 경우 소쩍새는 20시~04시(20시 피크), 호랑지빠귀는 20시~08시(04시 피크), 쓱독새는 22시~04시(22시 피크), 긴점박이올빼미는 20시~06시(20시 피크)로 일주기 패턴을 나타냈다. 국립생태원의 경우 소쩍새는 20시~04시(02시 피크), 호랑지빠귀는 20시~10시(06시 피크), 수리부엉이는 16

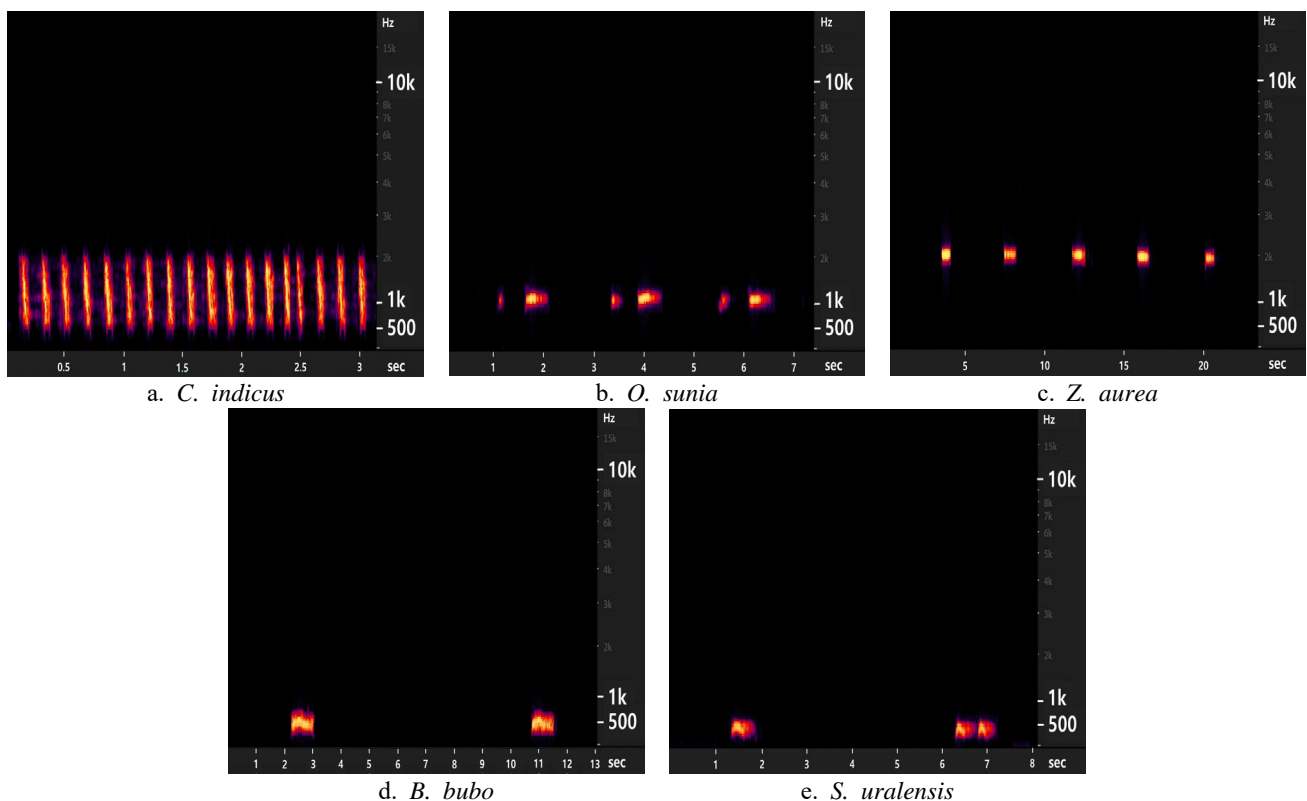


Figure 1. Sonogram of detected species.

시~06시(04시 피크)로 일주기 패턴을 나타냈다. 무등산의 경우 소쩍새는 20시~04시(20시 피크), 호랑지빠귀는 16시~08시(04시 피크), 쓱독새는 20시~04시(20시 피크)로 일주기 패턴을 나타냈다(Figure 2).

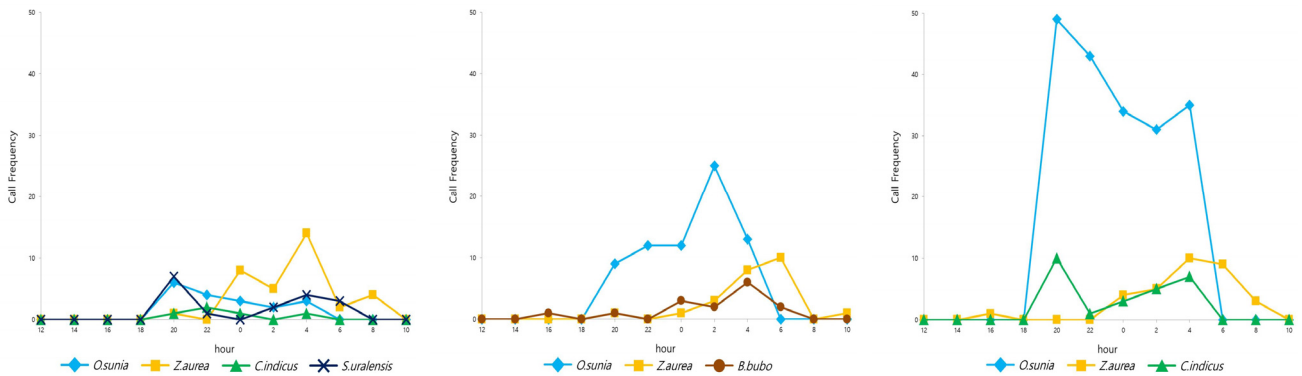
4. 번식울음과 기상요인과의 관계

Figure 3은 각 대상지별로 나타난 종들의 번식울음과 기상요인(기온·강수량)과의 관계를 그래프로 나타낸 결과다. 소쩍새, 호랑지빠귀, 쓱독새와 다른 번식울음기간을 나타내는 긴점박이올빼미와 수리부엉이는 기온과의 관계에서 역시 다른 양상을 나타냈다. 설악산에서 확인된 긴점박이올빼미의 경우 최저기온이 기록된 12월 28일 이후로 기온이 상승하면서 울음을 나타냈다. 국립생태원에서 확인된 수리부엉이의 경우도 전체 분석 기간에서 확인된 14회 중 절반 이상이 최저기온이 기록된

12월 28일 이후로 나타났다. 강수량과의 관계 그래프에서는 세 지역 모두 비가 관측된 날 울음의 빈도가 0이거나 적게 나타났다. 설악산에서는 6월 26일에 강수량이 52mm였을 때, 호랑지빠귀의 빈도가 1이었으나 28일에 강수량이 15mm로 매우 소량이 내린 날은 그 빈도가 3으로 올라감을 확인했다. 국립생태원에서는 8월 21일에 소쩍새의 빈도가 1, 9월 2일에는 2를 나타낸 것에 반해 그 사이 8월 23일(강수량 28.8mm)부터 8월 27일(강수량 78.3mm), 8월 31일(강수량 133.9mm)까지 비가 집중적으로 내린 기간동안 소쩍새를 포함한 모든 종의 빈도가 0이었다. 무등산에서는 소쩍새의 경우 6월 19일(빈도 3)부터 6월 21일(빈도 3), 6월 23일(빈도 2), 6월 25일(빈도 2)까지 2 이상의 빈도를 기록하다가 6월 27일에 강수량이 58.4mm일 때는 빈도가 1, 6월 29일에 강수량이 45.8mm일 때는 빈도가 1, 7월 1일에는 강수량이 57.2mm일 때는 빈도가 0이었다.

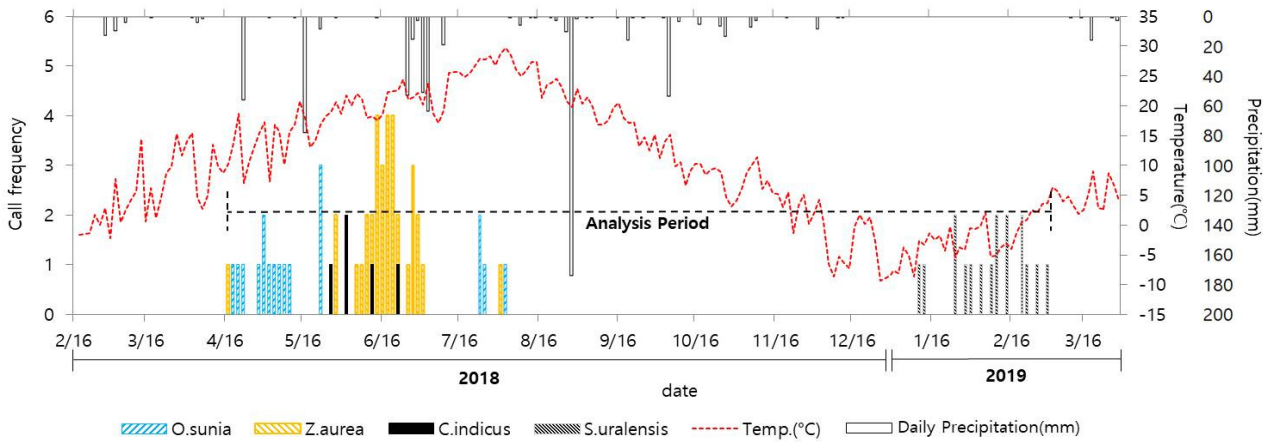
Table 1. Initial and final sound of detected species

Analysis Target Point	Species	Initial Sound	Final Sound	Period(days)
Seoraksan NP Gagdugol Wetland	<i>O. sunia</i> (소쩍새)	2018.4.19.	2018.8.3.	107
	<i>Z. aurea</i> (호랑지빠귀)	2018.4.17.	2018.8.1.	107
	<i>C. indicus</i> (쓱독새)	2018.5.27.	2018.6.22.	27
	<i>S. uralensis</i> (긴점박이올빼미)	2019.1.11.	2019.3.2.	51
National Institute of Ecology Wetland	<i>O. sunia</i> (소쩍새)	2018.4.7.	2018.9.24.	171
	<i>Z. aurea</i> (호랑지빠귀)	2018.3.24.	2018.10.6.	197
	<i>B. bubo</i> (수리부엉이)	2018.9.28.	2019.2.10.	136
Mudeungsan NP Pyeongdume Wetland	<i>O. sunia</i> (소쩍새)	2018.4.12.	2018.8.22.	133
	<i>Z. aurea</i> (호랑지빠귀)	2018.3.7.	2018.7.9.	125
	<i>C. indicus</i> (쓱독새)	2018.5.10.	2018.8.6.	89

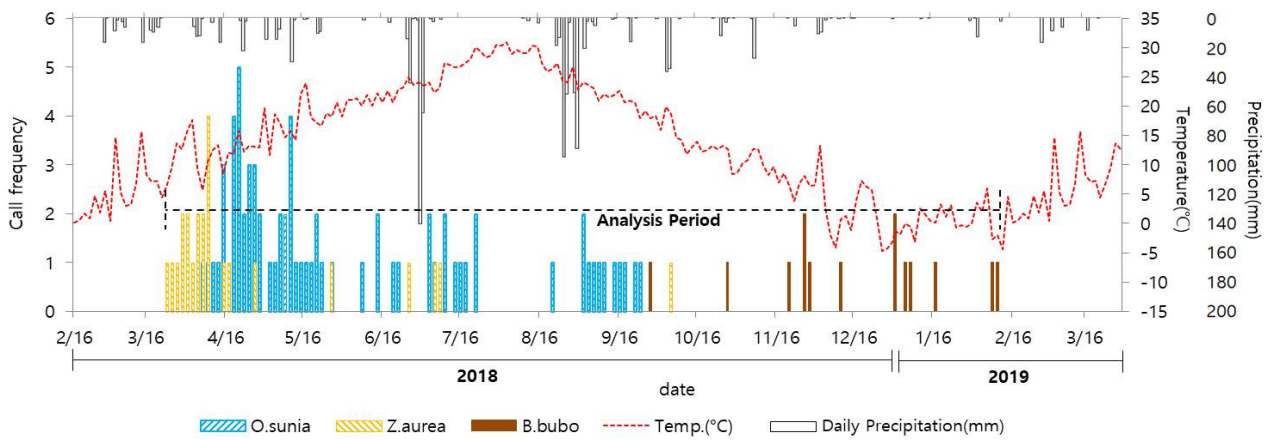


a. Seoraksan NP Gagdugol Wetland b. National Institute of Ecology Wetland c. Mudeungsan NP Pyeongdume Wetland

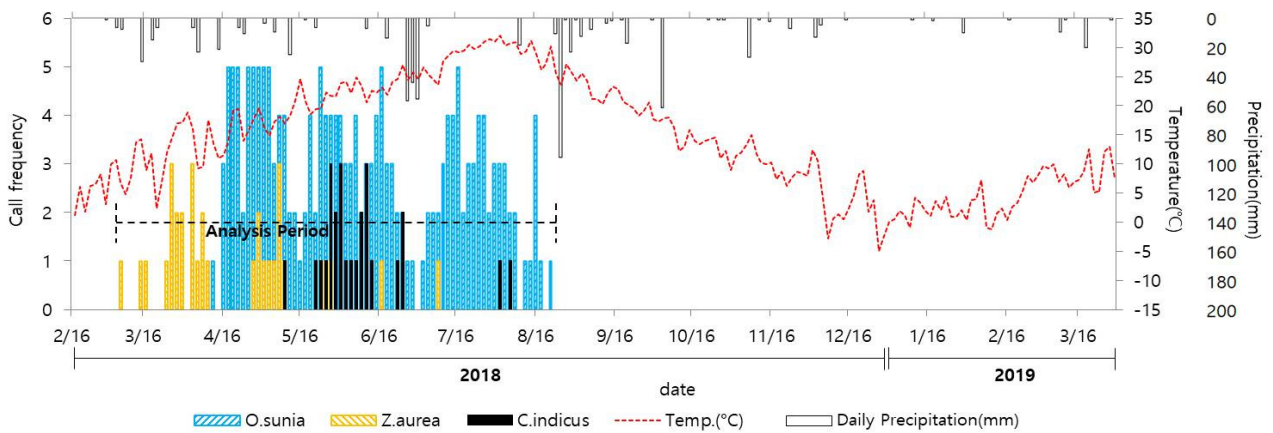
Figure 2. Circadian rhythms of breeding call by detected species.



a. Seoraksan NP Gagdugol Wetland



b. National Institute of Ecology Wetland



c. Mudeungsan NP Pyeongdume Wetland

Figure 3. Relation of breeding call of nocturnal birds and weather factor.

Table 2은 종별 울음이 탐지된 기간 동안의 평균기온을 분석한 결과이다. 그 결과 긴점박이올빼미는 평균 -4.00°C (SE: 1.185), 수리부엉이는 평균 2.58°C (SE: 1.698), 호랑지빠귀는 평균 13.66°C (SE: 0.593), 소쩍새는 평균 19.50°C (SE: 0.391), 쌍도새는 평균 20.77°C (SE: 0.855) 순으로 나타났다.

Table 3는 종별 울음이 탐지된 기간 동안의 평균기온에 차이가 있는지 알기 위해 일원배치 분산분석을 실시한 결과이다. Levene의 등산분산검정결과 그룹간 분산이 동질하지 않은 것 ($p < 0.05$)으로 나타나 Welch의 방법으로 일원배치 분산분석을 실시하였다. 분산분석 결과 F값은 114이고, P값은 0.001보다

작아 종별 울음이 평균기온에서 차이가 있는 것으로 나타났다.

Table 4는 울음이 탐지된 기간 동안의 평균기온에 있어서 종간 차이를 알기 위해 Turkey의 방법으로 사후검정을 실시하였다. 사후검정 결과 소쩍새와 쌍도새는 울음 당시 평균기온의 차이가 나지 않는 집단($p=0.826$)으로 구분되었고, 나머지 종들은 평균기온의 차이가 있는 것으로 나타났다. 이상의 내용을 종합하였을 때, 종별 울음이 탐지된 날의 평균기온은 긴점박이올빼미, 수리부엉이, 호랑지빠귀, 소쩍새-쌍도새의 4개 그룹 순으로 낮은 온도에서 우는 것으로 확인되었다(Figure 4).

Table 2. Descriptive Statistics of mean temperature during the period when the specific calls of nocturnal birds were detected (Mean, Max, Min, SD, SE)

Species	N(hour) (Call Frequency)	Temp.($^{\circ}\text{C}$)				
		Mean	Max	Min	SD	SE
<i>S. uralensis</i>	17	-4.00	4.3	-11.2	4.89	1.185
<i>B. bubo</i>	15	2.58	18.3	-4.7	6.58	1.698
<i>Z. aurea</i>	90	13.66	22.3	2.0	5.63	0.593
<i>O. sunia</i>	280	19.50	32.6	4.2	6.54	0.391
<i>C. indicus</i>	30	20.77	32.3	13.0	4.68	0.855

Table 3. Variance Analysis of difference in mean temperature during the period when the specific calls of nocturnal birds were detected (One-Way ANOVA(Welch's))

	F	df1	df2	p
temp.	114	4	51.1	< .001

Equality of Variances(Levene's): $F=2.68$, $p=0.031$

Table 4. Difference for each between species in mean temperature during the period when the calls of nocturnal birds were detected (Tukey Post-Hoc Test)

		<i>B.bubo</i>	<i>Z.aurea</i>	<i>O.sunia</i>	<i>C.indicus</i>
Mean difference	<i>S. uralensis</i>	-6.58*	-17.7***	-23.5***	-24.77***
	<i>B.bubo</i>	—	-11.1***	-16.92***	-18.19***
	<i>Z.aurea</i>		—	-5.84***	-7.11***
	<i>O.sunia</i>			—	-1.26

Note. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

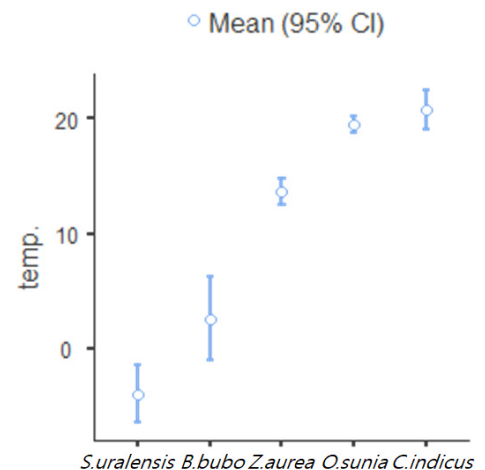


Figure 4. Mean Temperature Distribution of breeding call by nocturnal birds.

5. 고찰

본 연구는 생물음향 녹음기술을 이용하여 야행성 조류의 울음을 탐지하여 종을 식별하고, 종별 생태적 특성을 분석하는데 목적이 있다. 기존 연구에 의하면 자동화 녹음 기술을 통해 야행성 조류의 탐지뿐만 아니라 활동 시간대까지 파악이 가능함을 제시하고 있다(Goyette *et al.*, 2011). 본 연구 역시 생물음향 녹음기술과 야행성 조류가 연구 방법 및 대상이라는 것은 유사하다. 그러나 동일 기간 내에 연구 대상지별로 서식하는 야행성 조류를 음향 탐지를 통해 밝혀냈다는 점에서 의의가 있으며 종별로 초성일과 종성일을 이용해 울음시간을 파악한 것과 기상요인과의 관계를 규명한 것은 의미있는 결과로 판단된다.

국내에서 알려진 야행성 조류는 가면올빼미과 1종, 올빼미과 11종, 쌍도새과 1종으로 총 13종이다. 그 중 4종이 연구대상종이었고, 이번 연구에서는 야행성 조류가 아니지만 번식기간 동안 새벽과 늦은 밤에 소리를 내는 호랑지빠귀도 연구대상종에 포함시켰다. 결과적으로 호랑지빠귀와 소쩍새는 탐지된 울음시간이 유사함을 알 수 있었다.

본 연구에서 종별 번식울음과 기상요인과의 관계를 확인할 수 있었다. 특히, 번식울음에 초점이 맞춰진 본 연구의 분석에서는 탐지된 울음의 대부분이 평균기온이 상승하는 시기에 속했고, 탐지된 전체 기간 내에 빈도가 높게 형성되는 기간은 종마다 차이가 있었다. 빈도가 높게 형성되는 기간을 번식기간으로 판단하였고, 종별 울음시간을 통해 번식생태에 대한 설명이 가능했다. 비가 관측된 날은 울음의 빈도 0이거나 매우 낮게 나타남을 확인할 수 있었다. 기존 조류의 발성이 기상요인과 연관이 있음을 제시한 연구에 따르면 Bruni *et al.*(2014)는 조류의 새벽 발성 시작 시간과 온도·강수량·운량·달 주기 등과의 관계를 고려한 연구를 진행했고, 보름달(혹은 보름달이 되기 전 단계)일 때와 온도 상승 시 발성을 일찍 시작하고, 증가하는 구름량과 강수량에 따라 발성을 더 늦게 시작함을 밝혔다. 의사소통과 기상과의 관계에 대해 비가 내리는 조건에서 올빼미의 call이 현저히 감소되었음을 제시한 바도 있다(Lengagne and Slater, 2002).

종별 울음이 탐지된 기간은 소쩍새는 4월 초부터 9월 말, 호랑지빠귀는 3월 초부터 10월 초, 쌍도새는 5월 초부터 8월 초, 긴점박이올빼미는 1월 중순부터 3월 초, 수리부엉이는 9월 말부터 2월 초까지 확인됐다. 그 기간 중 종별 울음빈도가 높게 나타난 기간은 소쩍새는 4월 중순부터 5월 중순, 호랑지빠귀는 4월 초부터 6월 말, 쌍도새는 5월 말부터 6월 중순, 긴점박이올빼미는 1월 말부터 2월 중순, 수리부엉이는 11월 말부터 1월 초까지였다. 한편, 소쩍새는 4월 중순, 호랑지빠귀는 4월 초순, 쌍도새는 4월 하순에 도래해 번식하고, 긴점박이올빼미는 2~3월, 수리부엉이는 2월에 산란한다(Park, 2014). 앞서 확인한

종별 울음빈도가 높게 나타난 기간은 알려진 번식기간에 속하는 것을 알 수 있다. 따라서 생물음향 모니터링 기법을 이용하여 울음시간을 확인했을 때 울음빈도가 높게 형성되는 기간을 번식기간으로 볼 수 있음을 확인했다.

이상의 내용을 종합해보면 본 연구는 생물음향이 탐지된 야행성 조류를 대상으로 종별 번식울음 기간과 번식울음 일주기를 확인했고, 기상요인(기온·강수량)과의 관계를 파악했다. 특히, 종별 울음이 탐지된 기간 동안의 평균기온에 차이가 있음을 분석을 통해 확인할 수 있었고, 종합적인 분석을 통해 종별 번식생태를 이해하는데 도움이 될 수 있었다. 본 연구는 국내 야행성 조류에 대한 생태 연구와 소리에 대한 분석 자료가 미흡한 상황에서 야행성 조류 울음에 대한 기초 자료를 제공했다는 점에서 의미가 있다. 또한 야행성 조류 조사를 위한 대안을 제시할 수 있는 자료가 될 수 있다. 그러나 분석 날짜는 격일, 분석시간은 격일 내에서 짝수 시간으로 분석한 결과의 정밀도는 다소 떨어질 수 있다. 또한 이번 연구에서는 설악산, 국립생태원, 무등산 세 지역만의 데이터를 분석했지만 향후 전국 단위의 연구와 분석을 통해 야행성 조류의 번식생태에 대한 깊은 이해가 필요하다. 그리고 생물음향 녹음기술은 야행성 조류에 한정된 기술이 아니기 때문에 폭넓은 종의 탐지를 통한 다양한 소리 자료를 확보할 필요가 있다.

REFERENCES

- Appleby, B.M. and Redpath, S.M.(1997) Indicators of male quality in the hoots of tawny owls (*Strix aluco*). *Journal of Raptor Research* 31: 65-70.
- Bardeli, R., D. Wolff, F. Kurth, M. Koch, K.H. Tauchert and K.H. Frommolt(2010) Detecting bird sounds in a complex acoustic environment and application to bioacoustic monitoring. *Pattern Recognition Letters* 31(12): 1524-1534.
- Bruni, A., D.J. Mennill and J.R. Foote(2014) Dawn chorus start time variation in a temperate bird community: Relationships with seasonality, weather, and ambient light. *Journal of Ornithology* 155(4): 877-890.
- Choi, W., J.H. Lee and H.C. Sung(2019) A case study of male tawny owl (*Strix aluco*) vocalizations in South Korea: Call feature, individuality, and the potential use for census. *Animal Cells and Systems* 23(2): 90-96.
- Fuller, R.A., P.H. Warren and K. J. Gaston(2007) Daytime noise predicts nocturnal singing in urban robins. *Biology Letters* 3(4): 368-370.
- 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)
- Goyette, J.L., R.W. Howe, A.T. Wolf and W.D. Robinson(2011) Detecting tropical nocturnal birds using automated audio recordings. *Journal of Field Ornithology* 82(3): 279-287.
- Jeon, Y.J. and K.S. Ki(2018) Amphibian Species Identification of Using Machine Learning Technique: In case of Jeunggwang-dong wetland in Bukhansan national park. *Journal of National Park Research* 9(3): 343-351. (in Korean with English abstract)
- 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)
- Kim, D.W., J.H. Kang and J.H. Suh(2011) Areas of high Population Densities of Eurasian Eagle Owls (*Bubo Bubo*). *Korean J. Orni.* 18(1): 11-16. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.S., Y.S. Choi, B.H. Kim, J.Y. Park, S.H. Han and J.C. Yoo(2012) Cave Roosting of the Tawny Owl (*Strix aluco*) in Korea. *Korean J. Orni.* 19(4): 293-300. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.J. and K.S. Ki(2018) A Study on the Differences in Breeding Call of Cicadas in Urban and Forest Areas. *Korean J. Environ. Ecol.* 32(6): 698-708. (in Korean with English abstract)
- La, V.T.(2012) Diurnal and nocturnal birds vocalize at night: a review. *The Condor* 114(2): 245-257.
- Lengagne, T. and P.J. Slater(2002) The effects of rain on acoustic communication: tawny owls have good reason for calling less in wet weather. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 269(1505): 2121-2125.
- Macdougall-Shackleton, S.A.(1997) Sexual selection and the evolution of song repertoires. In *Current ornithology*. Springer, Boston, MA, pp. 81-124.
- Park, J.G.(2014) Identification Guide to Birds of Korea, Checklist of Organisms in Korea 12 (series). Nature and Ecology Publication, Seoul. (in Korean)
- Searcy, W.A. and M. Andersson(1986) Sexual selection and the evolution of song. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17(1): 507-533.
- Stowell, D., M. Wood, Y. Stylianou and H. Glotin(2016) Bird detection in audio: a survey and a challenge. In 2016 IEEE 26th International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP), pp. 1-6.
- Zuk, M. and G.R. Kolluru(1998) Exploitation of sexual signals by predators and parasitoids. *The Quarterly Review of Biology* 73(4): 415-438.