

음향을 이용한 남해 연안에 서식하는 상괭이(*Neophocaena asiaeorientalis*)의 출현 특성 연구

최슬기 · 김은호* · 손호선¹

국립수산과학원 고래연구센터, ¹국립수산과학원 남해수산연구소

Emergence Characteristics of Narrow-ridged Finless Porpoise *Neophocaena asiaeorientalis* Using Passive Acoustic Survey in the South Sea of South Korea

Seulgi Choi, Eunho Kim* and Hawsun Sohn¹

Cetacean Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Ulsan 44780, Korea

¹South Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Yeosu 59780, Korea

The sound of finless porpoises *Neophocaena asiaeorientalis* was recorded with an acoustic recorder to confirm their emergence in the South Sea of South Korea in February, June, and November 2020. Sea water temperature and salinity were also measured. In addition, a sighting survey was conducted to observe the behavior of the finless porpoises and the marine environment, and the clicks of the finless porpoises were recorded every day. The results showed that they always emerged in the survey area. The finless porpoises mainly foraged, whereas some played or rested. The water temperature range of areas where the finless porpoises emerged was 7.5-23.5°C. Assuming that the number of clicks corresponds to the number of finless porpoises, the finless porpoises emerged the most during spring. The emergence decreased during winter and was the lowest during autumn. The finless porpoises emerged more during the daytime than during the nighttime in all seasons, indicating a temporal difference in the usage of the survey area. This might be due to the movement of prey organisms according to regional characteristics. A long-term survey and research on habitat use and environment is needed to manage and conserve the finless porpoises.

Keywords: Narrow-ridged finless porpoise, Passive acoustic monitoring, Clicks, South sea of South Korea

서론

상괭이(*Neophocaena asiaeorientalis*)는 쇠돌고래과에 속하는 쇠돌고래류로 일본 중서부에서부터 우리나라 연안을 걸쳐 중국, 대만, 인도네시아, 베트남 등 아시아 해역에 넓게 서식한다. 주로 수심이 낮은 섬 주변이나 강 하구, 항 주변 등 육지와 가까운 연안에서 관측되며, 우리나라에서는 동해 남부 및 서해와 남해 전 연안에 분포하는 것으로, 돌고래 중에서는 분포 범위가 가장 넓다(Zhang et al., 2004; Wang et al., 2008; Choi et al., 2010; Park et al., 2011; Sohn et al., 2012). 상괭이는 2000년대 들어 급격히 감소하였다. 일본 세토내해 서부에서는 상괭이의 개체수가 1999-2000년 사이 약 70% 감소한 것으로 추정되고

있으며(Kasuya et al., 2002; Shirakihara et al., 2007), 중국 양쯔강 주변에서는 2006년부터 6년간 약 60% 가까이 감소하였다(Zhao et al., 2008; Wang, 2009; Mei et al., 2014). 국내에서는 서해 상괭이의 개체수가 2004년에 36,000여 마리에서 2011년에는 약 13,000마리로 60% 이상 급격히 감소하였다(Park et al., 2015). 이러한 상괭이의 감소는 국제사회에 심각한 문제로 인식되어 멸종 위기에 처한 야생동식물의 국제거래에 관한 협약(convention on international trade in endangered species of wild fauna and flora, CITES) 부속서 I에 포함되어 있으며, 세계자연보전연맹(International Union for Conservation of Nature, IUCN)에서는 멸종 가능성이 높은 취약종(Vulnerable, VU)으로 분류하여 관리하고 있다. 또한, 우리나라에서는 새만

*Corresponding author: Tel: +82. 52. 270. 0930 Fax: +82. 52. 270. 0913

E-mail address: kimeunho4@korea.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0989>

Korean J Fish Aquat Sci 54(6), 989-999, December 2021

Received 13 July 2021; Revised 2 August 2021; Accepted 14 October 2021

저자 직위: 최슬기(연구원), 김은호(연구사), 손호선(연구관)

금 상괭이의 대량 폐사(Park et al., 2012) 등 급격히 줄어드는 상괭이를 보호하기 위해 2017년부터 해양보호생물로 지정하여 관리하고 있다(MOF, 2016). 이렇듯 상괭이의 보호와 보존, 관리에 관한 문제는 우리 모두의 과제이며, 이를 위해서는 상괭이의 생태학적 특성에 관한 정보가 절실하다.

국내 상괭이에 관한 연구는 서해 상괭이의 분포와 풍도, 먹이 습성과 섭식량 등에 관한 다양한 연구가 이루어 졌다(Park et al., 2002; Zhang et al., 2004; Park et al., 2007; Park et al., 2011). 남해에서는 목포-부산, 가덕도 주변에서의 상괭이 분포(Choi et al., 2010; Park et al., 2017)에 관한 연구가 이루어졌으나, 생태학적 정보는 거의 없으며, 계절에 따른 상괭이의 분포 변화에 대한 연구는 서해와 남해 모두 전무한 상태이다. 또한, 남해는 해안선이 복잡하고 수많은 섬이 산재해 있으며, 어장과 양식장이 넓게 형성되어 있어 선박의 접근이 어렵고, 선박 목시 조사 시 조사할 수 있는 해역을 제한시킨다.

목시조사는 고래류의 정확한 종 판별과 그룹 크기, 행동 추정이 가능하다. 그러나 목시조사는 기상과 조사 시간 등의 영향으로 장기적이고 연속적인 관찰이 어렵다. 특히, 상괭이는 크기가 작고 등지느러미가 없으며, 수면 위로 드러나는 행동을 거의 하지 않기 때문에 시각적으로 관찰하기 어려운 종이다. 한편, 고래류는 수중에서 소리를 발생시켜 의사소통을 하고 위치나 먹이를 탐지 한다. 음향조사는 고래류의 소리를 탐지함으로써 고래류의 존재 여부 및 종 식별이 가능하다. 뿐만 아니라 음향모니터링시스템을 장기간 수중에 계류함으로써 긴 시간 동안 연속적인 고래류의 관찰이 가능하며, 고래류 출현 시간에 대한 정보도 얻을 수 있다.

본 연구에서는 남해의 지형적 특성과 선박 목시조사의 어려움을 극복할 수 있는 음향조사를 통해 남해 연안에 서식하는 상괭이의 계절 및 시간에 따른 출현 특성을 알아보고, 남해에 분포하는 상괭이 생태에 관한 기초자료로 활용하고자 한다.

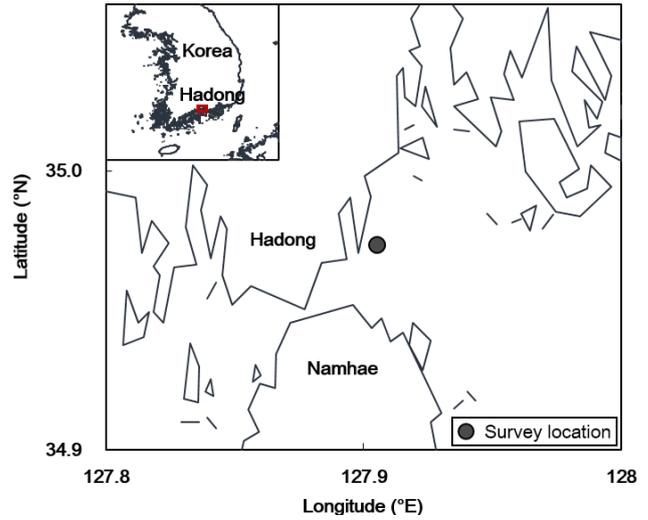


Fig. 1. Map of the study area in south sea of South Korea indicating location of SM4M and C-Pod deployment and sighting survey.

재료 및 방법

음향조사

음향조사는 2020년 2월 7일부터 21일까지, 6월 18일부터 28일까지, 11월 10일부터 12일까지 세 차례 실시하였다(Table 1). 2월에는 15일간 360시간, 6월에는 11일간 264시간, 11월에는 3일간 66시간 실시하여 총 29일 동안 690시간의 음향 자료를 수록하였다(Table 2). 조사해역은 경남 하동군과 남해군, 사천시로 둘러싸여 있으며, 연안에서 약 1.2 km 떨어진 수심 20 m 안팎의 지점(34°57.739' N, 127°54.703' E)에 음향모니터링시스템을 수중 계류하였다(Fig. 1).

2월과 6월에는 음향모니터링시스템 SM4M (Wildlife Acous-

Table 1. Detailed investigation design for acoustic and sighting surveys

Season	Acoustic survey	Sighting survey	Acoustic monitoring system
Winter	07 Feb. 2020-21 Feb. 2020	11 Feb. 2020	SM4M
Spring	18 Jun. 2020-28 Jun. 2020	-	SM4M
Autumn	10 Nov. 2020-12 Nov. 2020	10 Nov. 2020 - 12 Nov. 2020	C-Pod

Table 2. Number of clicks for each day detected from acoustic survey and water temperature and salinity values

Month	Days monitored (day)	Times monitored (h)	Acoustic survey			Environment					
			Number of clicks			Temperature (°C)			Salinity (psu)		
			Max.	Avg.	Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.	Avg.	Min.
February	15	360	824,541	372,502	98,738	9.6	8.7	7.5	30.3	30.2	29.8
June	11	264	1,326,742	712,124	233,797	23.5	21.7	19.8	30.6	29.3	27.7
November	3	66	235,734	191,119	128,632	16.3	15.6	15.0	29.3	29.0	28.7

tics Inc., Maynard, MA, USA; flat frequency response, 2 Hz~192 kHz flat to +/- 1 dB; sensitivity, -165 dB re 1 V/ μ Pa; sampling rate, 384 kHz)을 사용하였고, 11월에는 C-Pod (Chelonia Ltd., Cornwall, UK; frequency range, 20-160 kHz)를 사용하여 24시간 연속 상괭이의 음향을 수록하였다(Table 1). SM4M은 수동형 음향기기(passive acoustic system)로 상괭이로부터 발생한 음향이 파동 형태로 수중 하이드로폰에 도달하게 되면 상괭이 음향의 도달 시간, 수파음압 등을 수록하는 장치이다. C-Pod는 고래류의 존재를 식별하는 자동화 음향모니터링시스템으로 실제 음향 파일을 수록하는 것이 아니라 상괭이의 클릭 및 클릭 배열의 매개변수(소리의 도달시간, 지속시간, 수파음압, 클릭의 주파수 및 대역폭 등)를 수록하는 기기이다(C-Pod User guide, 2018).

조사해역의 수심은 약 13 m이었으며, 수심 8 m에 음향모니터링시스템을 계류하였다. 음향모니터링시스템의 수중 계류와 위치 확인을 위해 해저에는 무게 25 kg의 웨이트 5개를 고정하고, 수면에는 부피 100 L의 부표를 설치하였다. 또한, 연구장비의 안전 계류 및 분실 방지를 위하여 이중 덧줄을 연결하였으며, 만조 시 수위 상승을 고려하여 표층 가까이 무게 5 kg의 웨이트를 부착하였다. 음향모니터링시스템과 해저 웨이트 사이에는 음향이탈기(acoustic release; Edge Tech, West Wareham, MA, USA)를 연결하여 음향 수록 완료 후 수중에 계류한 모든 장비를 회수하였다. 음향이탈기는 선박 위에서 송파센서를 수중에 넣은 후 음향 신호를 보내고, 이 음향 신호를 수신한 음향이탈기가 바닥에 고정된 웨이트로부터 이탈하여 음향이탈기를 포함한 음향모니터링시스템이 자동으로 수면 위에 떠오르도록 하는 기기이다(Fig. 2).

해양환경

조사기간 동안 해양환경을 관측하기 위해 음향모니터링시스템과 함께 CTD (CTD diver100, Van Essen, Netherland)를 계류 설치하였다. 해양환경 데이터는 계류 수심 8 m에 대한 수온과 염분을 관측하였으며, 조사기간인 2월과 6월, 11월의 해양환경 변화에 대하여 분석하였다.

목시조사

음향모니터링시스템 계류 위치 주변에 출현하는 상괭이의 행동을 관찰하기 위해 계류 정점으로부터 약 200 m 떨어진 해상구조물 위에서 목시조사를 실시하였다. 2월에는 1일 동안 08:00부터 14:00까지 총 6시간 실시하였으며, 11월에는 연속 3일간 오전 08:00-12:00, 오후 14:00-17:00에 1일 7시간씩 총 21시간 관측하였다. 6월은 기상상태의 악화로 목시조사를 수행할 수 없었다(Table 1). 국제포경위원회(International Whaling Commission, IWC)에서는 고래류 조사 가이드라인을 통해 보퍼트 풍력 계급 3을 넘지 않은 환경에서 조사할 것을 권하고 있으며(IWC, 2005), 보퍼트 풍력 계급(Beaufort wind scale)은 0에서 12까지의 수치로 바람의 세기를 나타낸다. 본 목시조사

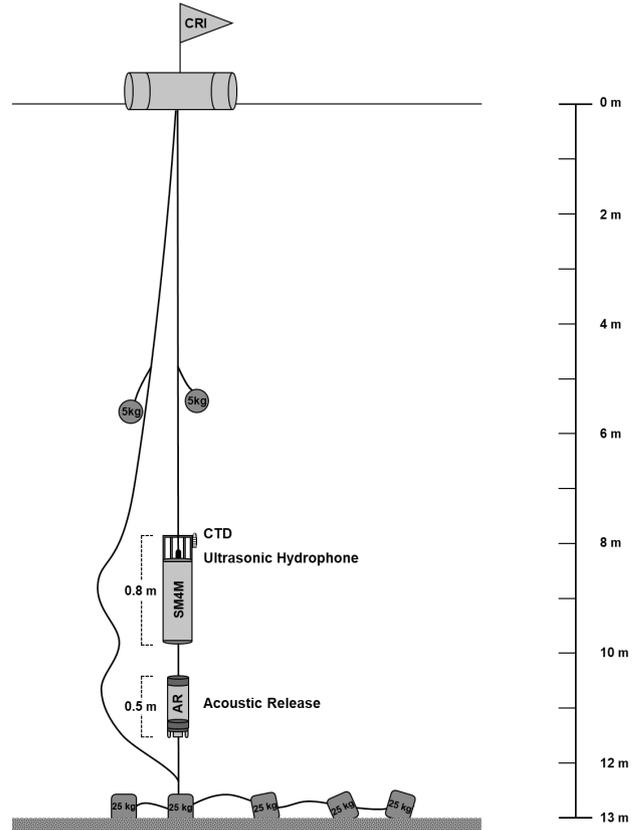


Fig. 2. Mooring design with acoustic monitoring system, CTD (conductivity, temperature, depth) and acoustic release.

는 한 정점에서 실시하였으며, 고정밀 망원경(Nikon 7×50 IF, Leica 10×42 BN)을 이용하여 상괭이의 출현 여부를 관찰하였다. 관찰자는 상괭이 발견 시 무리의 개체수, 관찰자로부터의 발견 거리, 이동 또는 유영 등의 상괭이의 특별한 행동에 대한 정보를 기록자에게 전달하였으며, 기록자는 관측자의 발견 정보와 발견 시간을 추가하여 목시정보를 기록하였다. 또한, 양질의 목시자료를 얻기 위해 관찰자는 목시조사 30분 실시 후 30분간의 휴식을 취하면서 목시조사를 수행하였다.

음향 자료 분석

조사기간 동안 수록된 대량의 음향 데이터는 전용 분석 소프트웨어를 사용하여 분석하였다. SM4M으로 수록한 음향 데이터는 Pamguard (v.2.00.17 beta; www.pamguard.org)를 사용하여 Fig. 3의 순서로 분석하였다. 원시자료의 1) 스펙트로그램으로 음향 신호를 확인하고, 2) 30 kHz이상의 주파수 신호만을 선택하여(High-pass filter 30 kHz), 3) 클릭의 길이(Clik length 0.0-0.2 ms)와 주파수 범위를 설정하였다. 상괭이의 클릭을 주변 소음과 구분하기 위해 test band와 control band를 비교하였다. Test band는 클릭이 탐지되는 주파수대역, control band는

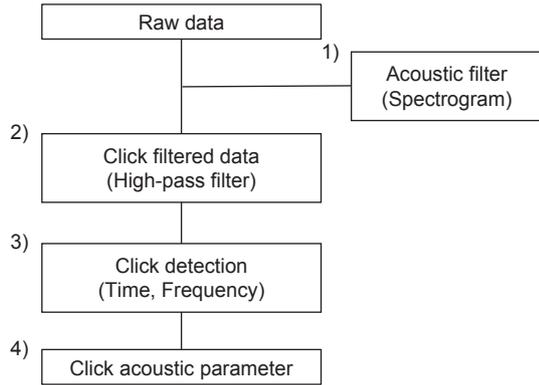


Fig. 3. The process for analyzing the click detected by SM4M acoustic recorder. 1, acoustic signal; 2, high-pass filter 30 KHz; 3, click length 0.0-0.2 ms, Frequency range 110-160 kHz; 4, finless porpoise clicks.

클릭이 없는 주파수대역을 의미한다. 상괭이의 클릭은 110-160 kHz (test band)에서 탐지되며, test band의 소리 세기가 control band (40-100 kHz와 170-190 kHz)의 소리 세기에 비해 6 dB re 1 μ Pa 이상이면 4) 클릭으로 분류된다.

또한, C-Pod로 수록한 음향 데이터는 CPOD.exe v2.044 (Chelonia Ltd., Mousehole, UK; <http://www.chelonia.co.uk>) 전용 분석 소프트웨어를 사용하여 분석하였다. 자동으로 감지된 음향은 KERNO classifier (species filter)를 통해 4가지 유형 (narrow band high frequency, other cetacean, boat sonars, unclassified clicks)의 신호로 분류되고, 분류된 상괭이의 클릭은 4가지 quality filter (high, moderate, low, doubtful) 중 하나로 할당된다(O'Brien et al., 2013; Roberts et al., 2014; Robbins et al., 2016). 본 연구에서는 species filter (NBHF)와 quality filter (high, moderate)를 적용하여 상괭이의 클릭을 추출하였으며, 클릭 발생 시간과 클릭수 등을 확인하였다.

상괭이의 음향이 탐지된 시간은 계류 정점의 일출과 일몰 시간(KASI, 2020)을 기준으로 일출할 때부터 일몰할 때까지를 주간, 일몰할 때부터 일출할 때까지를 야간으로 지정하여 분석하였다.

결 과

해양환경

2월의 평균 수온은 8.7°C ($\pm 0.5^\circ\text{C}$), 6월에는 21.6°C ($\pm 0.7^\circ\text{C}$), 11월에는 15.7°C ($\pm 0.4^\circ\text{C}$)이었다. 6월의 수온이 가장 높고, 2월의 수온이 가장 낮았으며, 월별 평균 수온은 약 6°C 이상의 차이가 나타났다(Table 2). 염분은 2월에 평균 30.2 psu (± 0.1 psu), 6월에 평균 29.3 psu (± 0.9 psu), 11월에 평균 29.0 psu (± 0.1 psu)로 2월에 가장 높고, 11월에 가장 낮았다. 월별 염분 값은 큰 차이가 없었지만, 6월의 일별 염분은 최소 27.7 psu, 최대 30.6 psu

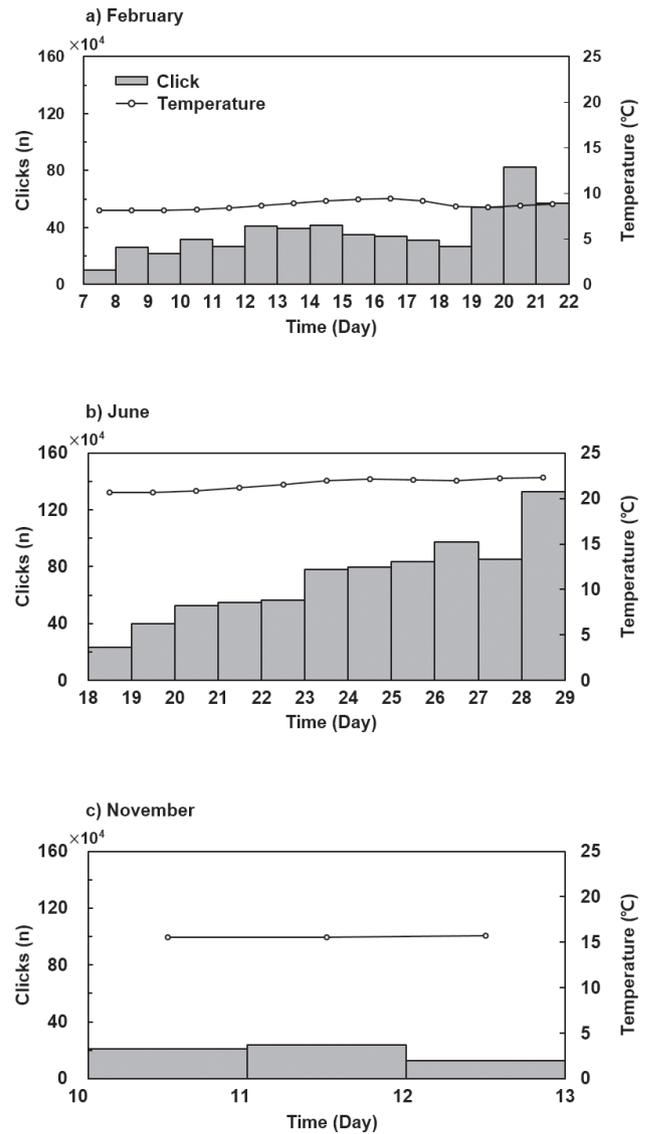


Fig. 4. Monthly variation of total number of clicks and sea water temperature for each day.

로 염분 범위는 약 2.9 psu 이상 변동하였다(Table 2).

월별 출현

음향 데이터 분석 결과, 상괭이의 클릭은 조사기간 동안 매일 탐지되었다. 각 월의 일별 출현은 Fig. 4에 나타내었고, 클릭수는 24시간 하루 동안 탐지된 클릭수를 합한 값이다. 클릭수가 절대적인 개체수를 나타낼 수는 없지만, 클릭수 증가를 개체수가 증가한 것으로 가정하였다. 2월에는 7일부터 18일까지 일별 총 클릭수가 약 42×10^4 회 이하였으나 20일에는 약 83×10^4 회로 급격히 증가하였다. 이것은 조사 첫날 보다 약 8.4배 증가한 것으로 점점 상괭이의 출현이 많아졌다(Fig. 4a). 6월에는 조사 첫날 상괭이의 클릭수가 약 24×10^4 회 탐지되었고, 마지막 날

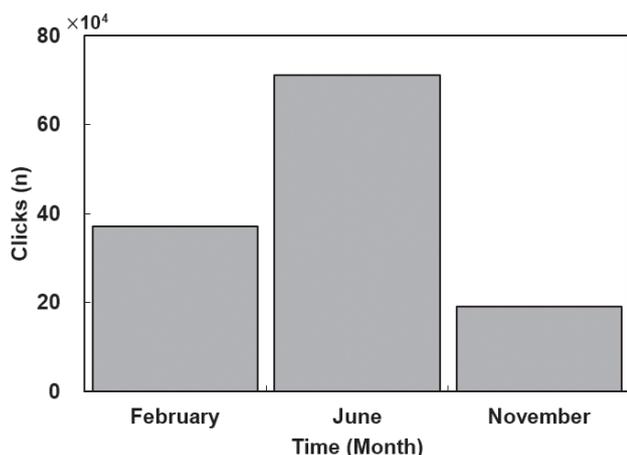


Fig. 5. Monthly emergence of finless porpoises *Neophocaena asiacorientalis*.

에는 약 133×10^4 회로 조사기간 동안 상괭이의 출현이 점점 증가하였다(Fig. 4b). 또한, 6월에 가장 많이 탐지된 상괭이 클릭수는 2월의 가장 많이 탐지된 클릭수보다 약 1.6배 많은 것으로 2월보다 6월에 상괭이의 출현이 더 많았다. 11월에는 3일 동안 모두 클릭이 약 24×10^4 회 이하로 탐지되었고(Fig. 4c), 2월과 6월 조사의 첫날을 제외한 모든 조사 일에서 탐지된 클릭수보다 적었다. 또한, 11월의 최대 클릭수는 2월의 최대 클릭수보다 약 3.5배 적었고, 6월보다는 약 5.6배 적었다. 월별 평균 클릭수는 2월에 372,502회, 6월에 712,124회, 11월에 191,119회로 상괭이는 6월에 가장 많이 출현하였으며, 그 다음으로 2월, 11월 순으로 출현하는 것을 확인하였다(Fig. 5, Table 2).

시간별 출현

각 조사기간 동안 조사 시작일과 조사 종료일의 일출과 일몰 시간은 Table 3에, 시간에 따른 상괭이의 출현 변화는 Fig. 6에 나타내었다. 시간에 따른 클릭수는 월별 탐지된 클릭수를 각 시간에 대해 평균한 값이다. 조사기간 동안 2월의 일출시간은 07:09-07:23, 일몰시간은 18:02-18:16이었다. 2월 상괭이의 클릭은 06:00부터 증가하기 시작하여 07:00-09:00 사이에 가장

Table 3. Sunrise and sunset times of the start and end of each survey and total time of day and night

Date	Sunrise time	Sunset time	Total day time	Total night time
07 Feb. 2020	07:23	18:02	10 h 39 m	13 h 21 m
21 Feb. 2020	07:09	18:16	11 h 05 m	12 h 55 m
18 Jun. 2020	05:14	19:45	14 h 32 m	9 h 28 m
28 Jun. 2020	05:17	19:46	14 h 29 m	9 h 31 m
10 Nov. 2020	06:58	17:27	10 h 29 m	13 h 31 m
12 Nov. 2020	07:00	17:25	10 h 25 m	13 h 35 m

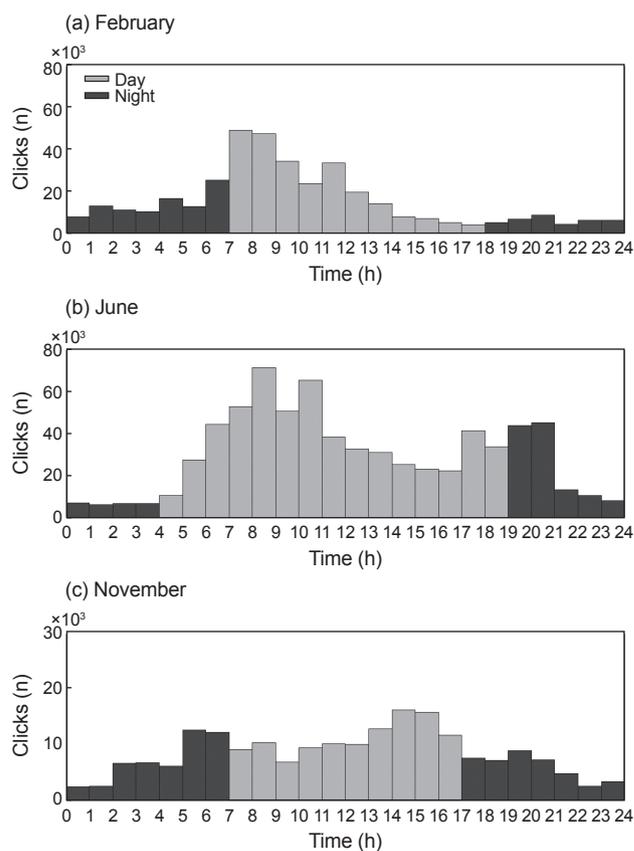


Fig. 6. Monthly variation of mean number of clicks for each hour (Light gray, Day; Dark gray, Night).

많이 탐지되었다. 12:00 이후부터는 점점 감소하기 시작하였으며, 16:00-18:00에 탐지된 클릭수는 일몰 이후 탐지된 클릭수보다 적었다. 또한, 일몰 이후의 야간시간 18:00-24:00에 탐지된 상괭이 클릭수는 00:00-06:00에 탐지된 클릭수보다 적었는데, 이는 같은 야간 시간임에도 불구하고 일출시간이 가까워질수록 상괭이의 클릭수가 증가했음을 보여준다. 2월 조사에서 상괭이 클릭이 집중적으로 탐지된 시간은 07:00-12:00의 주간 5시간이었다(Fig. 6a). 6월 조사기간의 일출시간은 05:14-05:17, 일몰시간은 19:45-19:46이었다. 상괭이의 클릭은 일출 전 04:00부터 서서히 증가하기 시작하여 8:00-11:00에 최대치를 이루다가 11:00 이후부터 다시 감소하기 시작하였다. 17:00부터 다시 증가하기 시작하여 17:00-21:00에 두 번째 최대치가 나타났고, 특히 야간시간인 19:00-21:00에 탐지된 클릭수는 주간시간인 11:00-17:00에 탐지된 클릭수보다 많았다. 그 후 야간 시간대에 탐지된 클릭수는 일출시간 전까지 비슷하였다. 또한, 06:00-12:00와 17:00-21:00에 총 10시간 동안 상괭이의 클릭이 많이 탐지되었고, 주간 시간대에 집중되었다(Fig. 6b). 11월의 조사기간 동안 일출시간은 06:58-07:00, 일몰시간은 17:25-17:27이었다. 11월은 2월 및 6월과 달리 일출시간 약 2시간 전부터 클

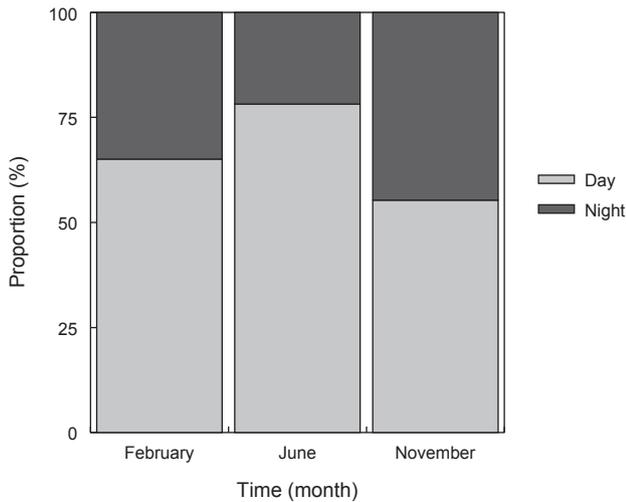


Fig. 7. Monthly proportion of clicks between day and night (light gray, day; dark gray, night).

릭수가 증가하다가 일출 이후에는 감소하였다. 그 후 13:00부터 다시 증가하기 시작하여 일몰 이후에는 다시 감소하였다. 상괭이 클릭이 집중된 시간대는 05:00-07:00와 13:00-17:00로 총 6시간 동안 주간에 집중되는 것을 확인하였다(Fig. 6c).

조사기간 동안 2월의 주간은 11시간, 야간은 13시간으로 야간의 시간이 더 길었고, 6월은 주간과 야간의 시간이 각각 15시간, 9시간으로 주간이 더 길었으며, 11월은 주간이 10시간, 야간이 14시간으로 야간의 시간이 더 길었다(Table 3). 주간의 상괭이 클릭 탐지율은 2월 65%, 6월 78%, 11월 55%이었으며, 2월과 11월은 주간 시간보다 야간 시간이 더 길었지만, 상괭이의 클릭은 조사기간 모두 주간에 더 많이 탐지되었다(Fig. 7).

목시조사

2월 조사 당시 기상상태는 기온 4-9°C, 풍속 1.0-1.1 m/s (보퍼트 풍력 계급 2), 파고는 0.1-0.5 m이었다. 조사가 시작되었을 때의 시계는 4.0 mile이었으나 14:00 이후에는 2.0 mile 이하로 기상이 점점 악화하여 더는 목시조사를 수행할 수 없었다. 각 조사기간 동안 상괭이의 관찰 횟수 및 행동은 Table 4에 나타내었다. 2월에 6시간 동안 수행된 목시조사 결과, 상괭이는 총

141회 발견되었다. 발견된 상괭이는 대부분 한 마리 또는 두 마리의 무리를 이루었으며, 최대 5마리로 구성된 무리도 관찰되었다. 상괭이는 비교적 느린 속도로 수영하였으며, 개체마다 일관되지 않은 방향으로 이동하는 모습이 관찰되었다. 또한, 상괭이는 조사해역 곳곳에 흩어져서 출현하였으며, 가끔 여러 마리의 상괭이가 모였다가 사방으로 흩어지는 모습도 볼 수 있었다. 그리고 한 위치에서 약간의 시차를 두고 연속으로 수면에 모습을 드러냈으며, 한번 또는 여러 번의 호흡 뒤에 잠수하는 행동이 관찰되었으나 호흡에는 명확한 패턴을 보이지 않았다. 11월의 조사기간 동안 기상상태는 기온 8-20°C, 풍속 0.3-3.3 m/s 파고 0-0.5 m (보퍼트 풍력 계급 0-1), 시계 4.0-5.0 mile로 목시조사를 수행하기에 적합하였다. 11월 목시조사 결과, 상괭이는 첫째 날 362회, 둘째 날 649회, 셋째 날 349회 발견되었다. 11월에 발견된 상괭이는 2월 조사처럼 대부분 느린 속도로 수영 중인 모습이 관찰되었다. 같은 위치에서 한 마리가 이리저리 움직이거나 오르락내리락하였고, 여러 마리가 동시에 출현하기도 하였다. 또한, 11월 조사에서는 2월에 관찰되지 않았던 다양한 행동이 추가로 관찰되었는데 표층에서 수중으로 머리만 넣고 빼는 동작을 여러 번 반복하는 행동과 등 부분만 표면에 노출해 부표처럼 동동 떠 있는 행동, 등을 강하게 굽히면서 수중으로 입수하는 행동이 관찰되었다. 또한, 상괭이가 먹이감을 가지고 놀면서 사냥하는 모습과 표면의 물방울을 강하게 튀기면서 먹이를 먹는 모습이 관찰되었다. 하지만 파고가 0.5-1.25 m 이상 일 때 상괭이의 관찰 횟수는 현저히 감소하였으며, 표면 너울과 백파 사이에서 상괭이를 식별하는 것은 매우 어려웠다.

고찰

2020년 겨울과 가을에 실시한 목시조사 결과, 본 조사해역에서는 상괭이만 발견되었으며, 상괭이 이외의 고래류는 발견되지 않았다. Choi et al. (2010)에 의하면 남해안에 분포하는 상괭이는 주로 섬 주변과 내만 2-3 mile 내에서 발견되었다. 또한, 상괭이는 대체로 수심이 낮은 해역에 서식하며(Reeves et al., 1997; Akamatsu et al., 2002; Jefferson et al., 2002; Jefferson and Hung, 2004; Shirakihara et al., 2007), 서해안에서는 수심 50 m 미만의 연안역에서 80% 이상 발견되었다고 Zang et al. (2004)은 보고하였다. 남해 전체의 수심은 약 20-160 m이며,

Table 4. The number of finless porpoise *Neophocaena asiaorientalis* (FP) observation and representative behavior from Sighting survey

Date	Times monitored (h)	FP observation (number)	Behavior of FP
11 Feb. 2020	6	141	1) Inconsistent direction of movement 2) Action of gathering and scattering 3) Continuous emergence with time difference in one point 4) Inconsistent breathing pattern
10 Nov. 2020	7	362	1) Hunt while strongly splashing the water on the surface
11 Nov. 2020	7	649	2) float like a buoy with keeping only the dorsal above the water
12 Nov. 2020	7	349	3) Repeat head movement in and out of the water 4) Trouble a prey

연안은 대체로 80 m 미만의 완만하게 깊어지는 특징을 가진다(Korea Hydrographic and Oceanographic Agency; <https://www.khoa.go.kr>). 본 조사해역의 수심은 최대 35 m 미만이며, 음향모니터링시스템을 계류한 정점은 간조 시에 수심 약 10 m 이다. 조사기간 동안 상괭이의 음향은 하루도 빠짐없이 탐지되었으며, 육안으로도 상괭이의 존재를 확인 할 수 있었다. 따라서 본 조사해역은 상괭이가 일시적으로 머무르거나 사용하는 장소가 아닌 주요 서식지로 판단된다.

Park et al. (2018)은 상괭이에 위성추적 장치를 부착하여 이동 경로에 따른 표층 수온 범위를 관찰하였고, 가을철 상괭이는 주로 따뜻한 해역을 찾아 이동하며, 같은 계절 동안 1-3°C의 수온 차이는 상괭이 분포에 크게 영향을 주지 않는다고 보고하였다. 또한, Akamatsu et al. (2010)은 일본 남부에서 상괭이가 출현하는 시기의 수온이 9.8-13.0°C라고 보고하였다. 본 조사기간에 2월의 수온은 7.5-9.6°C, 6월은 19.8-23.5°C, 11월은 15.0-16.3°C 이었던 것으로 남해 연안에 분포하는 상괭이는 넓은 범위의 수온대에서 서식하는 것을 확인하였다.

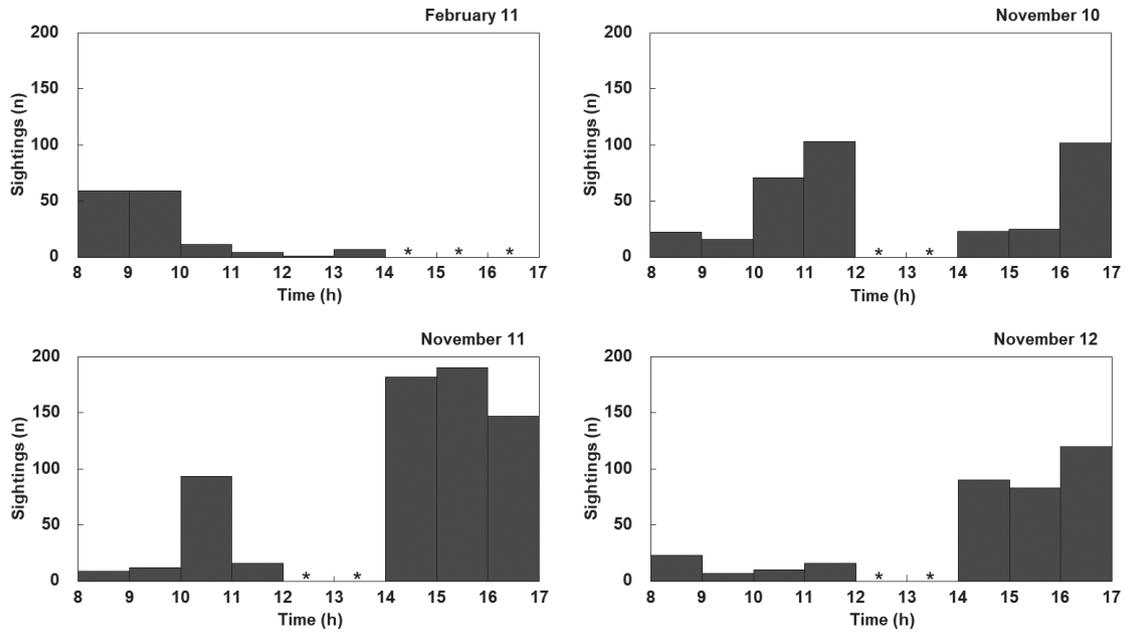
일본 규슈 서부에서는 상괭이가 1월인 겨울부터 출현을 시작하여 봄의 시작인 4월에 가장 많이 발견되다가 이후 점차 감소하기 시작하여 8월에 발견율이 가장 낮았으며, 여름에는 상괭이가 발견되지 않았다(Shirakihara et al., 1994; Akamatsu et al., 2010). 중국 양쯔강에 분포하는 상괭이는 봄에 가장 많은 개체가 발견되었고, 가을, 겨울 순으로 감소하였다(Wen and Zhang, 2002). 남방상괭이(*Neophocaena phocaenoides*)는 겨울과 봄에 란타우섬과 홍콩섬 연안에 분포하다가 여름과 가을이 되면 먼바다 쪽으로 이동하였다(Jefferson et al., 2002). 우리나라 가덕도 연안에서는 봄에 상괭이가 가장 많이 발견되었고, 겨울, 가을, 여름 순으로 발견율이 감소하였다(Park et al., 2017). 이처럼 여러 연구에서 상괭이의 계절에 따른 변화가 보고되었다. 본 연구에서는 상괭이의 음향을 수집하여 계절별 변화를 살펴 보았으며, 그 결과 상괭이의 클릭은 6월인 봄에 가장 많았고, 겨울(2월), 가을(11월) 순으로 적었다(Fig. 4). 본 연구의 음향조사에 의한 상괭이의 계절별 출현 패턴은 다른 연구와 잘 일치하였으며, 남해 연안에 서식하는 상괭이는 계절에 따라 다른 출현 특성을 보였다. 또한, 본 조사해역은 양방향으로 개방된 형태의 연안역으로 왼쪽으로는 여수, 오른쪽으로는 사랑도로 연결된다. Choi et al. (2010)은 남해 동부, 특히 남해도와 사랑도 사이에서 다수의 상괭이를 발견하였으며, 상괭이는 따뜻한 해역을 찾아 이동한다고 보고하였다(Park et al., 2018). 따라서 남해 연안에 분포하는 상괭이는 계절에 따라 여수와 사랑도 해역을 이용하는 것으로 생각되며, 특히 겨울철에 남해도 연안보다 수온이 높은 사랑도 쪽으로 이동했을 것으로 생각된다. 추후 남해안에 서식하는 상괭이의 이동 시기 및 경로 등에 대한 추가 연구가 수행되어야 한다.

목시조사 결과, 상괭이는 느린 속도의 유영, 지그재그 방향의 이동, 모였다가 흩어지거나 사방에 흩어져서 출현, 동일 위치

에서 반복적인 출현, 1회 또는 다수의 호흡 후 잠수, 표층에서 머리만 수회 넣고 빼는 행동, 등을 깊은 각도로 굽히면서 잠수, 표층에 둥둥 떠 있는 행동, 물을 강하게 튀기면서 사냥하거나 먹이를 가지고 노는 행동 등이 관찰되었다. 큰돌고래(*Tursiops truncatus*)는 주변에 먹이생물이 관찰되거나 새가 많은 경우, 깊이 잠수하거나 비슷한 위치에서 잤은 잠수를 하는 행동, 부상 위치가 불규칙적이고 일관된 방향으로 유영하지 않은 행동 등에 대하여 먹이활동을 하는 것으로 구분하였다(Bond, 2006; Torres and Read, 2009; Steckenreuter et al., 2011; Nuutila et al., 2013). Karczmarski et al. (2000)은 인도태평양혹등돌고래(*Sousa chinensis*)가 한 위치에서 다양한 방향성을 가지고 빈번하고 비동시적으로 잠수를 하거나 명확한 패턴이 나타나지 않는 호흡을 하는 경우에 먹이활동을 하는 것으로 판단하였으며, 부표처럼 수면 위에 떠 있을 때는 휴식을 취하는 중이라고 하였다(Bond, 2006). 본 조사기간 동안 상괭이는 조사해역에 출현하여 주로 먹이활동을 하였으며, 먹이활동과 함께 놀이와 휴식 행동도 하는 것으로 추정된다.

상괭이의 일별 출현 특성을 살펴본 결과, 상괭이의 출현은 일출과 일몰시간에 영향을 받는 것을 확인하였다(Fig. 6). 상괭이의 출현은 대체로 일출할 때부터 증가하기 시작하여 일몰 전후에 점차 감소하였으며, 늦은 밤부터 다음날 일출시간 전까지는 매우 적게 출현하는 일주 패턴이 나타났다. 일출과 일몰시간을 고려하여 주간과 야간으로 구분하였을 때 상괭이는 야간보다 주간에 더 많이 출현하였다(Fig. 7). 상괭이 음향을 수집한 기간에 봄의 야간 시간은 주간 시간보다 길었으며, 겨울과 가을의 야간 시간은 주간 시간보다 길었다. 그러나 봄, 가을, 겨울 모두 상괭이의 출현은 주간에 많았고, 특히 오전에 출현이 집중되었다. 상괭이는 조사해역에서 주간과 야간의 길이에 상관없이 주로 주간에 출현하는 것을 확인하였다. 쇠돌고래(*Phocoena phocoena*)는 얕은 수심에서 사용하는 바닥 먹이 잡기 기술(bottom feeding technique)이 밤에는 효과적이지 않을 수 있기 때문에 주간에는 더 얕은 수심, 야간에는 더 깊은 수심에서 먹이활동을 한다고 하였다(Brandt et al., 2014; Schaffeld et al., 2016). 상괭이 역시 표층과 저층에 분포하는 다양한 어류 및 두족류, 갑각류를 포식하는 것으로 볼 때(Barros et al., 2002; Shirakihara et al., 2008; Park et al., 2011) 주간에 얕은 수심에서 저층어류를 대상으로 바닥 먹이 잡기 기술을 사용할 것으로 생각된다. 또한, 쇠돌고래(*Phocoena phocoena*)는 야간에 깊은 수심에서 출현 빈도가 높았고(Carlstrom, 2005; Brandt et al., 2014; Holdman et al., 2019), 특히 인공암초나 가스구조물, 산업구조물 등 해양에 설치된 각종 구조물 주변에서 야간에 먹이활동을 하여 클릭수가 증가하였다(Todd et al., 2009; Mikkelsen et al., 2013; Brandt et al., 2014). 고래류는 에너지 축적을 위해 거의 밤낮으로 먹이활동을 하고(Wisniewska et al., 2016), 같은 지역에서 8 km 떨어진 두 위치를 시간상 다르게 이용하였다(Holdman et al., 2019). 이는 고래류가 대상으로 하는 먹이생물의 위치 및 일

(a) Sighting survey



(b) Acoustic survey

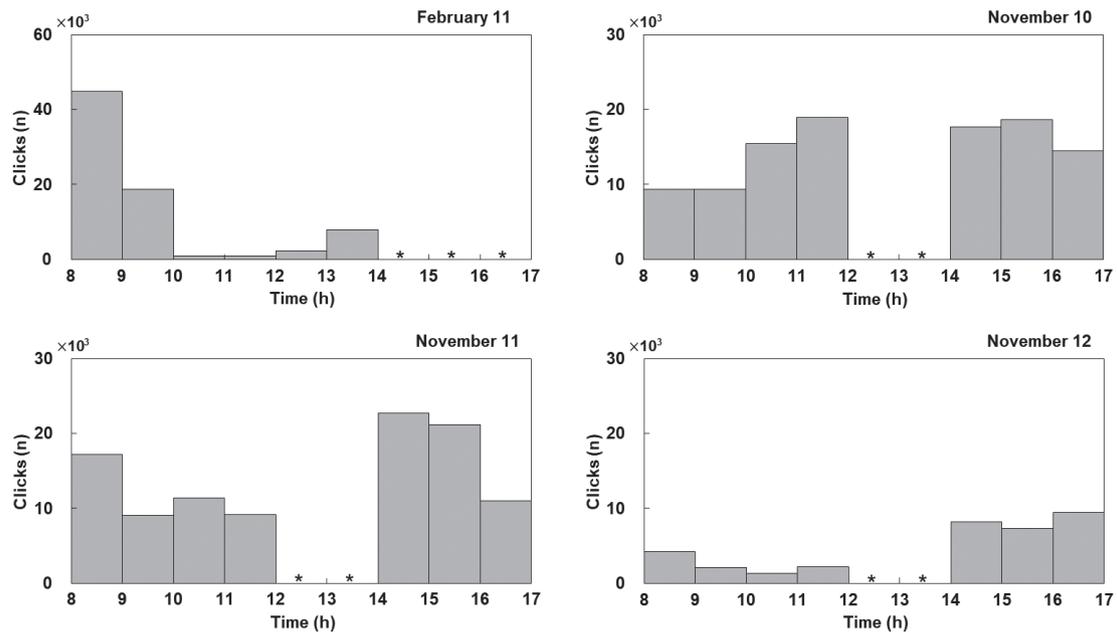


Fig. 8. Comparison of the number of clicks and finless porpoise's *Neophocaena asiaeorientalis* observation in the acoustic and sighting survey conducted in February and November. *No data.

주 행동에 따라 먹이활동의 효율성을 최대화하기 위한 것이다 (Ohizumi et al., 2000; Schaffeld et al., 2016; Holdman et al., 2019). 본 연구의 조사 지점은 최소 수심이 약 10 m이고, 이 지점으로부터 약 4 km 떨어진 지점에 남해대교가 있으며, 대교 주변

의 수심은 약 30 m이다. 따라서 상괭이가 주간에는 수심이 얇은 계류 지점에서 먹이활동을 하고, 야간에는 수심이 더 깊은 남해대교 주변으로 이동하여 먹이활동을 하는 것으로 추정된다. 상괭이는 의사소통과 위치탐색, 먹이활동 중에 클릭을 사용하

며, 특히 먹이활동을 할 때 주변 동료들에게 위치를 알리기 위해 더 많은 클릭을 생성한다고 하였다(Serres et al., 2021). 본 연구에서는 상괭이의 먹이활동과 개체수 증가에 의해 주간 상괭이의 클릭이 증가한 것으로 사료된다. 주간에 관찰된 상괭이의 개체수와 클릭수 사이의 관계를 알아보기 위해 목시조사와 음향조사의 결과를 비교하였다(Fig. 8). 2월 조사에는 상괭이가 많이 관찰된 08:00-10:00에 탐지된 클릭도 많았으며, 상괭이가 발견 개체수가 적은 10:00-14:00 사이에는 탐지된 클릭도 매우 적었다. 11월 10일에는 9:00-12:00에 상괭이의 발견 빈도와 클릭수가 점점 증가하는 패턴으로 나타나면서 잘 일치하였고, 14:00-16:00에는 클릭이 증가한 것과 달리 발견 빈도가 급격히 감소하였다. 11월 11일에는 8:00-10:00에 클릭이 많이 탐지된 것과 달리 상괭이의 발견 빈도가 감소하였고, 14:00-17:00에는 많은 상괭이가 관찰됨에 따라 클릭도 많이 탐지되었다. 11월 12일에는 상괭이가 적게 관찰된 8:00-12:00에 클릭수 감소, 많이 관찰된 14:00-17:00에 클릭수가 증가하였다. 목시조사와 음향조사 결과가 일치하지 않은 시간대에는 기상상태가 좋지 않았는데, 이 시간을 제외하고 상괭이가 많이 출현한 시간에 클릭수가 증가하면서 발견 빈도와 클릭수는 매우 잘 일치하였다. 목시조사는 발견된 고래류의 종류, 무리 크기, 행동 등을 파악할 수 있다. 하지만 주간에만 조사가 수행되고, 비가 오거나 파도가 높은 경우, 안개가 짙은 경우에는 조사가 수행될 수 없어 기상 및 해황 등 조사환경의 영향을 많이 받는다. 또한, 참돌고래(*Delphinus delphis*)나 낫돌고래(*Lagenorhynchus obliquidens*)처럼 큰 무리를 이루지 않아 해황이 나쁠 때는 발견율이 더욱 낮아진다(Zhang et al., 2004; Park et al., 2017). 한편 음향조사는 음향모니터링시스템을 수중에 장기간 계류함으로써 24시간 고래류의 음향을 관찰할 수 있으며, 비교적 기상의 영향이 적다. 하지만 다양한 고래종의 음향에 대한 자료가 축적되지 않으면 음향만으로 종과 행동을 구분하기 어렵다. 따라서 목시조사와 음향조사는 복합적으로 수행되어 상호 보완을 통해 각 조사의 한계를 극복할 수 있다.

본 연구에서는 목시조사를 통해 상괭이의 존재를 확인하고 행동을 관찰하였으며, 상괭이의 음향을 탐지하여 계절과 일주 패턴을 관찰하였다. 주간 목시조사를 통해 상괭이가 조사해역에서 주로 먹이활동을 하고 일부 놀이와 휴식 행동을 하는 것을 관찰하였다. 음향조사에서는 상괭이가 조사기간 동안 매일 출현한 것을 확인하였고, 상괭이는 조사해역을 일시적으로 머무르는 곳이 아닌 주요 서식지로 이용하였다. 큰 수온 변화에도 상괭이는 상시 출현하는 것으로 보아 상괭이의 서식 수온 범위는 매우 넓은 것으로 생각된다. 하지만 상괭이는 봄에 가장 많이 출현하고 겨울, 가을 순으로 감소하면서 계절에 따라 다른 출현 특성을 보였다. 또한, 조사해역에서 상괭이는 주로 주간에 출현하면서 뚜렷한 일주 패턴이 나타났고, 조사해역을 시간상으로 다르게 이용하는 것을 확인하였다. 이는 수심과 해상 구조물 등 지역 특성에 따른 먹이생물의 이동에 의한 것으로 생각되나 조사해

역에 서식하는 먹이생물에 대한 연구와 대교 주변에 음향모니터링시스템을 추가 설치하는 연구가 수행되어야 한다. 고래류의 서식환경과 서식지 사용에 대한 연구는 고래류를 관리하고 보존하기 위해 필요하다. 이후 장기적인 조사를 통해 남해 연안의 해양환경 변화를 관찰하고, 목시조사와 음향조사를 복합적으로 수행함으로써 상괭이의 분포 특성과 해양환경과의 관계를 파악할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 2021년도 국립수산물과학원 고래연구센터 연구사업(R2021030)의 지원으로 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Akamatsu T, Wang D, Wang K, Wei Z, Zhao Q and Naito Y. 2002. Diving behaviour of freshwater finless porpoises *Neophocaena phocaenoides* in an oxbow of the Yangtze River, China. ICES J Mar Sci 59, 438-443. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2001.1159>.
- Akamatsu T, Nakamura K, Kawabe R, Furukawa S, Murata H, Kawakubo A and Komaba M. 2010. Seasonal and diurnal presence of finless porpoises at a corridor to the ocean from their habitat. Mar Biol 157, 1879-1887. <https://doi.org/10.1007/s00227-010-1459-8>.
- Barros NB, Jefferson TA and Parsons ECM. 2002. Feeding of finless porpoise *Neophocaena phocaenoides* in Hong Kong waters. Raffles Bull Zoo 10, 115-123.
- Bond S. 2006. The use of T-PODs to identify echolocation behaviour in bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in New Quay Bay, Wales. M.S. Thesis, Marine Mammal Science, School of Biological Sciences, University of Wales, Bangor, U.K.
- Brandt MJ, Hansen S, Diederichs A and Nehls G. 2014. Do man-made structures and water depth affect the diel rhythms in click recordings of harbor porpoises *Phocoena phocoena*?. Mar Mamm Sci 30, 1109-1121. <https://doi.org/10.1111/mms.12112>.
- Carlstrom J. 2005. Diel variation in echolocation behavior of wild harbor porpoises. Mar Mamm Sci 21, 1-12. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2005.tb01204.x>.
- Choi SG, Park KJ, Kim HY, Lee YR, Park JE, Moon DY and An YR. 2010. Finless porpoise *Neophocaena phocaenoides*, distribution in the South Sea of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 43, 665-669. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.6.665>.
- Holdman AK, Haxel JH, Klinck H and Torres LG. 2019. Acoustic monitoring reveals the times and tides of harbor porpoise *Phocoena phocoena* distribution off central Oregon, U.S.A. Mar Mamm Sci 35, 164-186. <https://doi.org/10.1111/mms.12537>.

- IWC (International Whaling Commission). 2005. Report of the scientific committee. annex D. Report of the sub-committee on the revised management procedure. appendix 3. Requirements and guidelines for conducting surveys and analysing data within the revised management scheme. *J Cetacean Res Manage (Suppl)* 7, 92-101.
- Jefferson TA, Hung SK, Law L, Torey M and Tregenza NS. 2002. Distribution and abundance of finless porpoise in Hong Kong and adjacent waters of China. *Raffles Bull Zoo* 10, 43-55.
- Jefferson TA and Hung SK. 2004. *Neophocaena phocaenoides*. *Mamm Species* 746, 1-12. <https://doi.org/10.1644/746>.
- Karczmarski L, Cockcroft VG and McLachlan A. 2000. Habitat use and preferences of Indo-Pacific humpback dolphins *Sousa chinensis* in Algoa Bay, South Africa. *Mar Mamm Sci* 16, 65-79. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2000.tb00904.x>.
- KASI (Korea Astronomy and Space Science Institute). 2020. Data of sunrise and sunset time. Retrieved from <http://astro.kasi.re> on Dec 16, 2020.
- Kasuya T, Yamamoto Y and Iwatsuki T. 2002. Abundance decline in the finless porpoise population in the Inland Sea of Japan. *Raffles Bull Zoo* 10, 57-65.
- Mei Z, X Zhang, SL Huang, X Zhao, Y Hao, L Zhang, Z Qian, J Zheng, K Wang and D Wang. 2014. The Yangtze finless porpoises: on an accelerating path to extinction?. *Biol Conserv* 172, 117-123. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.02.033>.
- Mikkelsen L, Mouritsen KN, Dahl K, Teilmann J and Tougaard J. 2013. Re-established stony reef attracts harbour porpoises *Phocoena phocoena*. *Mar Ecol Prog* 481, 239-248. <https://doi.org/10.3354/meps10260>.
- MOF (Ministry of Oceans & Fisheries). 2016. Conservation and management of marine ecosystems act. MOF, Sejong, Korea.
- Nuutila HK, Meier R, Evans PGH, Turner JR, Bennell JD and Hiddink JG. 2013a. Identifying foraging behaviour of wild bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* and harbour porpoise *Phocoena phocoena* with static acoustic dataloggers. *Aquatic Mammals* 39, 147-161. <https://doi.org/10.1578/AM.39.2.2013.147>.
- O'Brien J, Beck S, Wall D, Pierini A and Hanbsen S. 2013. Marine mammals and megafauna in Irish Waters-behavior, distribution and habitat use. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10793/871>.
- Ohizumi H, Kuramochi T, Amano M and Miyazaki N. 2000. Prey switching of Dall's porpoise *Phocoenoides dalli* with population decline of Japanese pilchard *Sardinops melanostictus* around Hokkaido, Japan. *Mar Ecol Prog Ser* 200, 265-275. <https://doi.org/10.3354/meps200265>.
- Park KJ, Zhang CI, Kim ZG and Sohn H. 2002. Feeding habits and trophic level of finless porpoise *Neophocaena phocaenoides* in the Yellow Sea. *J Korean Soc of Fish Res* 5, 52-63.
- Park KJ, Kim ZG and Zhang CI. 2007. Abundance estimation of the finless porpoise *Neophocaena phocaenoides*, using models of the detection function in a line transect. *Korean J Fish Aquat Sci* 40, 201-209. <https://doi.org/10.5657/kfas.2007.40.4.201>.
- Park KJ, An YR, Lee YR, Park JE, Moon DY and Choi SG. 2011. Feeding habits and consumption by finless porpoise *Neophocaena asiaorientalis* in the Yellow Sea. *Korean J Fish Aquat Sci* 44, 78-84. <https://doi.org/10.5657/kfas.2011.44.1.078>.
- Park KJ, An DH, Lim CW, Lee TH and Kim DN. 2012. A mass mortality of the finless porpoise *Neophocaena asiaorientalis* at a dike of the Saemangeum sea: Possible effects of unusually low temperatures. *Korean J Fish Aquat Sci* 45, 723-729. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2012.0723>.
- Park KJ, Sohn H, An, YR, Kim HW and An DH. 2015. A new abundance estimate for the finless porpoise *Neophocaena asiaorientalis*, on the west coast of Korea: an indication of population decline. *Korean J Fish Aquat Sci* 18, 411-416. <https://doi.org/10.5657/fas.2015.0411>.
- Park KJ, Yoon YG, Sin JH, Sohn H and Choi YM. 2017. Distribution and seasonal changes in finless porpoise *Neophocaena asiaorientalis* populations near Gadeok Island, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 50, 561-566. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0561>.
- Park KJ, Yamada K and Sohn H. 2018. Results of satellite tag monitoring and a preliminary study of the influence of sea surface temperature on a rehabilitated finless porpoise *Neophocaena asiaorientalis* in Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 51, 456-460. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0456>.
- Reeves RR, Wang JY and Leatherwood S. 1997. The finless porpoise *Neophocaena phocaenoides* (G. Cuvier, 1829): a summary of current knowledge and recommendations for conservation action. *Asian Mar Biol* 14, 111-143.
- Robbins JR, Brandecker A, Cronin M, Jessopp M, McAllen R and Culloch R. 2016. Handling dolphin detections from C-PODs, with the development of acoustic parameters for verification and the exploration of species identification possibilities. *Bioacoustics* 25, 99-110. <https://doi.org/10.1080/09524622.2015.1125789>.
- Roberts BL and Read AJ. 2014. Field assessment of C-POD performance in detecting echolocation click trains of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*. *Mar Mamm Sci* 31, 169-190. <https://doi.org/10.1111/mms.12146>.
- Schaffeld T, Bräger S, Gallus A, Dähne M, Krügel K, Hermann A, Jabbusch M, Ruf T, Verfuß UK, Benke H and Koblitz JC. 2016. Diel and seasonal patterns in acoustic presence and foraging behaviour of free-ranging harbour porpoises. *Mar Ecol Prog* 547, 257-272. <https://doi.org/10.3354/meps11627>.
- Serres A, Xu C, Hao Y and Wang D. 2021. The click production of captive Yangtze finless porpoises *Neophocaena asiaori-*

- entalis* is influenced by social and environmental factors. *Animals* 11, 511. <https://doi.org/10.3390/ani11020511>
- Shirakihara K, Shirakihara M and Yamamoto Y. 2007. Distribution and abundance of finless porpoise in the Inland Sea of Japan. *Mar Biol* 150, 1025-1032. <https://doi.org/10.1007/s00227-006-0363-8>.
- Shirakihara M, Shirakihara K and Takemura A. 1994. Distribution and seasonal density of the finless porpoise *Neophocaena phocaenoides* in the coastal waters of western Kyushu. *Japan Fish Sci* 60, 41-46.
- Shirakihara M, Seki K, Takemura A, Shirakihara K, Yoshida H and Yamazaki T. 2008. Food habits of finless porpoises *Neophocaena phocaenoides* in western Kyushu, Japan. *J Mammal* 89, 1248-1256. <https://doi.org/10.1644/07-MAMM-A-264.1>.
- Sohn HS, Park KJ, An YR, Choi SG, Kim ZG, Kim HW and Park TG. 2012. Distribution of whales and dolphins in Korean waters based on a sighting survey from 2000 to 2010. *Korean J Fish Aquat Sci* 45, 486-492. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2012.0486>.
- Steckenreuter A, Harcourt R and Möller L. 2011. Distance does matter: close approaches by boats impede feeding and resting behaviour of Indo-Pacific bottlenose dolphins. *Wildl Res* 38, 455-463. <https://doi.org/10.1071/WR11048>.
- Todd VLG, Pearse WD, Tregenza NC, Lepper PA and Todd IB. 2009. Diel echolocation activity of harbour porpoises *Phocoena phocoena* around North Sea offshore gas installations. *ICES J Mar Sci* 66, 734-45. <http://dx.doi.org/10.1093/icesjms/fsp035>.
- Torres LG and Read AJ. 2009. Where to catch a fish? The influence of foraging tactics on the ecology of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in Florida Bay, Florida. *Mar Mamm Sci* 25, 797-815. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2009.00297>.
- Tregenza N. 2018. The software user guide for CPODexe. Chelonia Ltd., Mousehole, U.K.
- Wang D. 2009. Population status, threats and conservation of the Yangtze finless porpoise. *Chinese Sci Bull* 54, 3473-3484. <https://doi.org/10.1007/s11434-009-0522-7>.
- Wang JY, Frasier TR, Yong SC and White BN. 2008. Detecting recent speciation events: the case of the finless porpoise (*genus Neophocaena*). *Heredity* 101, 145-155. <https://doi.org/10.1038/hdy.2008.40>.
- Wen X and Zhang X. 2002. Distribution and population size of Yangtze finless porpoise in Poyang Lake and its branches. *Acta Theriologica Sinica* 22, 7-14.
- Wisniewska DM, Johnson M, Teilmann J, Rojano-Doñate L, Shearer J, Sveegaard S, Miller LA, Siebert U and Madsen PT. 2016. Ultra-high foraging rates of harbor porpoises make them vulnerable to anthropogenic disturbance. *Curr Bio* 26, 1441-1446. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.03.069>.
- Zhang CI, Park KJ, Kim ZG and Sohn H. 2004. Distribution and abundance of finless porpoise *Neophocaena phocaenoides* in the west coast of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 37, 129-136. <https://doi.org/10.5657/kfas.2004.37.2.129>.
- Zhao X, Barlow J, Taylor BL, Pitman RL, Wang K, Wei W, Stewart BS, Turvey ST, Akamatsu T, Reeves RR and Wang D. 2008. Abundance and conservation status of the Yangtze finless porpoise in the Yangtze River, China. *Biol Conserv* 141, 3006-3018. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.09.005>.