

# 항공 및 선박 목시조사에 의한 서해 중부 연안해역의 상괭이(*Neophocaena asiaeorientalis*) 자원량 추정

이종희\* · 이경리<sup>1</sup> · 어남규<sup>1</sup> · 김민주<sup>1</sup> · 조유나<sup>1</sup> · 김현우 · 박경준<sup>1</sup>

국립수산과학원 연근해자원과, <sup>1</sup>국립수산과학원 고래연구소

## Estimated Abundance of the Narrow-ridged Finless Porpoise *Neophocaena asiaeorientalis* by Aerial and Shipboard Sighting Surveys in the Middle Region of the Western Coast of Korea

Jong Hee Lee\*, Kyunglee Lee<sup>1</sup>, Namgyu Uh<sup>1</sup>, Min Ju Kim<sup>1</sup>, Yuna Cho<sup>1</sup>, Hyun Woo Kim and Kyum Joon Park<sup>1</sup>

Coastal Water Fisheries Resources Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea  
<sup>1</sup>Cetacean Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Ulsan 44780, Republic of Korea

This study was conducted to estimate the abundance of narrow-ridged finless porpoises *Neophocaena asiaeorientalis* in the West Coast of Korea, where they predominantly inhabit. Sighting surveys were conducted in March and November 2021–2022 using vessels and aircraft during the same time periods and along the same survey transects. The aerial surveys yielded significantly more sightings than shipboard surveys, with 8.5–21.6 times the abundance and 6.3–16.9 times the number of observations. The detection rates were 0.000–0.047 and 0.0103 to 0.539 per km<sup>2</sup> for shipboard and aerial surveys, respectively. The densities were estimated to be 0.003–0.061 and 0.236–1.898 individuals per km<sup>2</sup> in the shipboard and aerial surveys, respectively. The shipboard survey conducted in March 2022 and the aerial survey conducted in November 2021 had the highest detection rates and abundance. In the coastal waters, shipboard sighting surveys face numerous challenges due to factors such as fishing gear, islands, and shallow water depths. In contrast, aerial surveys have the advantage of a shorter survey period and are less affected by weather, fisheries, coastal lines, and other variables. Thus, they are highly suitable for studying narrow-ridged finless porpoises in the coastal areas of the West Sea.

Keywords: Aerial survey, Sighting survey, Narrow-ridged finless porpoise, *Neophocaena asiaeorientalis*

### 서론

상괭이는 북태평양 서부와 인도양 연안 천해에서 긴 띠 형태로 넓게 분포하며, 황해를 비롯해, 일본, 양쯔강 중부에 이르는 중국 수역, 인도-말레이 대부분 수역과 페르시아만까지 서식하고 있다(Kasuya, 1999; Jefferson and Hung, 2004). 여러 해 동안 상괭이는 종과 아종에 대한 분류학적 논의가 지속되어 왔고, 형태학 및 유전학적 특성을 바탕으로 상괭이(*Neophocaena asiaeorientalis*)와 남방상괭이(*N. phocaenoides*)로 구분되었으며, 외형으로도 확연히 구분된다(Wang et al., 2008; Jefferson

and Wang, 2011). 상괭이(*N. asiaeorientalis*)는 서해, 남해 연안과 동해 남부 연안에서 서식하며 우리나라에서 발견되는 돌고래 중에서 가장 넓게 분포한다(Choi et al., 2010; Sohn et al., 2012; Lee et al., 2022a). 상괭이는 양쯔강상괭이(Yangtze finless porpoise *N. asiaeorientalis*)와 일본상괭이(East Asian finless porpoise *N. sunameri*)로 세분되는 2개의 아종이 있다(Jefferson and Wang, 2011). 우리나라와 일본 사이의 해역에서는 상괭이가 거의 발견되지 않으며(Shirakihara et al., 1992), 두 지역간 상괭이가 교류하지 않는 것을 시사한다(Yoshida et al., 2001). 우리나라 연근해의 상괭이는 주변국과 독립적인 계

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2289 Fax: +82. 51. 720. 2277

E-mail address: jonghlee@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.2023.0889>

Korean J Fish Aquat Sci 56(6), 889-898, December 2023

Received 15 September 2023; Revised 16 November 2023; Accepted 5 December 2023

저자 직위: 이종희(연구사), 이경리(연구사), 어남규(연구원), 김민주(연구원), 조유나(연구원), 김현우(연구관), 박경준(연구관)

군을 이루는 것으로 추정되며 우리가 반드시 보호해야 할 중요 종이다.

우리나라 연근해 상괭이에 대한 연구는 섭이와 관련하여 영양단계, 섭식량 연구(Park et al., 2002, 2011), 남해안 상괭이 분포(Choi et al., 2010), 새만금 지역 상괭이 대량폐사 원인(Park et al., 2012), 음향을 이용한 출현 특성 연구(Choi et al., 2021) 등 생태적인 연구가 수행되었다. 혼획으로 인한 상괭이 등 고래류 사망을 줄이기 위한 음향경고시스템 시험제작(Lee et al., 2005), 주 혼획 어업의 어구개선 연구로 이어지고 있다(Lee et al., 2022b). 또한 선박조사에 의한 상괭이 자원량 추정 연구는 3차례 수행되었다(Zhang et al., 2004; Park et al., 2007, 2015).

일본은 큐슈 서부와 혼슈의 태평양측 연안에서 항공조사를 실시하여 상괭이의 자원량을 추정한 바 있고(Yoshida et al., 1998; Amano et al., 2003), 미국은 1950년대부터 고래류의 풍도 파악을 위해 항공기를 이용하였으며(Leatherwood et al., 1978), 자원량 추정을 위해 1984-1985년 워싱턴에서 오리긴에 이르는 해역에서 선박과 항공기를 이용하여 쇠돌고래(*Phocoena phocoena*)를 조사하였다(Barlow et al., 1988). 1991년부터 알래스카 해역은 항공조사에 기반하여 쇠돌고래 자원량을 추정하고 있으며(Dahlheim et al., 2000; Muto et al., 2019), 그 외에도 뉴질랜드 연안 돌고래류 조사 등에 항공조사가 적용되고 있다(Slooten et al., 2004). 우리나라는 Park et al. (2013)이 수행한 항공조사 타당성 분석을 제외하고 고래류 분포 및 자원량 추정을 위한 항공기를 이용한 목시조사가 유효하게 수행된 적이 없다.

본 연구에서는 과거 서해 연안에서 고래류 선박 목시조사가 꾸준히 이루어진 조사구역을 대상해역으로 선박과 항공기를 이용하여 자원조사를 수행하였다. 조사 플랫폼 차이에 따른 조사 결과 비교를 통하여 연안해역 상괭이 자원조사를 항공조사로 전환하고 자원관리를 위한 연안해역의 정도 높은 상괭이 자원량 도출을 위한 기초자료 확보를 목적으로 한다.

## 재료 및 방법

조사구역은 서해 중부 연안으로 수심이 낮고 섬이 많은 해역이다. 주 조사구역은 서천에서 영광에 이르는 서해 중부 연안으로 북위 35° 15′-36° 15′, 동경 126°-126° 25′에 이르는 구역이며, 2022년에는 태안반도 남부 안면도 연안, 북위 36° 15′-36° 42′, 동경 126°-126° 25′의 조사구역까지 확장하여 목시조사를 수행하였다. 조사항로는 경도상 임의 한 점을 기준으로 남북을 8 nm 간격으로, 항공기 운항거리와 동일한 해역 내에서 선박과 항공조사간 분포 비교가 가능하도록 조정하여 설계하였다(Fig. 1).

2021-2022년 3월과 11월에 선박과 항공기를 이용하여 북에서 남으로 크자 형태로 이동하며 목시조사를 수행하였다. 선박은 국립수산과학원 수산자원조사선 탐구8호(238 GT), 탐구20호(885 GT)와 탐구21호(999 GT)를 이용하여 수행하였다. 조

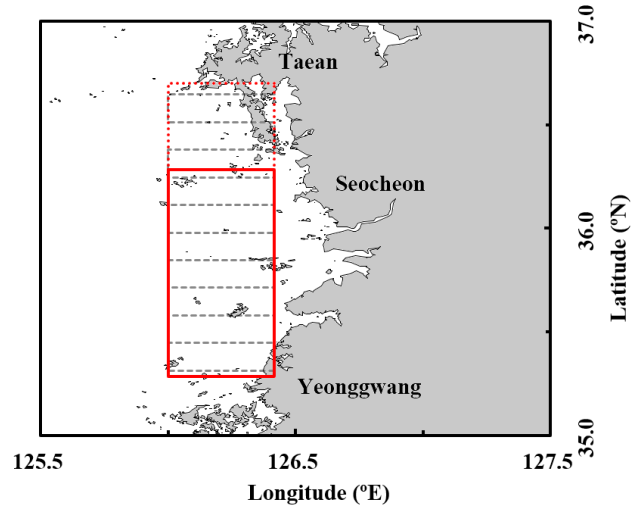


Fig. 1. Cetacean research blocks by aerial and shipboard surveys in the western coast of Korea. Solid square is main research block in 2021-2022, and dotted square is extended block in 2022. As an example, dashed lines showed line-transect of the survey in May, 2022.

사환경은 시계 2 nm 이상과 보퍼트풍력계급 3 이하로 해황이 적합한 경우에 일출 30분 후부터 일몰 30분 전까지 이루어졌다. 선박의 브릿지 위에서 5명의 조사원이 교대하며 연속적으로 조사하였으며, 목시는 나안 또는 쌍안경(7×50; Nikon, Tokyo, Japan; 10×32; Zeiss, Germany, Oberkochen)을 이용하여 수행하였다. 목시조사는 접근조사(closing mode)로 고래류를 발견하면 조사 속도를 낮추거나 발견된 위치로 이동하여 종명, 개체수 등을 확인한 후 당초 조사항로로 복귀 후 조사를 재개하는 방식으로 설정하여 운영하였다. 조사선은 정해진 조사항로를 따라 10 kn 이하의 일정한 속력으로 운항하였으며, 조사항로 위 섬, 어구 등이 확인되면 회피를 위해 항로를 벗어나 운항하였으며, 계획된 항로 외 고래류 발견은 자원량 산정시 모두 제외하였다.

항공조사는 고익기 Cessna208을 이용하였고, 선박 조사기간 내 또는 조사 후 가장 가까운 시점에 조사를 수행하였다. 항공조사는 이동시간 외 조사구역 내 조사시간이 최대 3시간으로 설정하고 2명의 조사원이 교대없이 후미 좌우창에서 연속적으로 조사하였으며, 1인의 기록원을 따로 배치하였다. 조사는 시계 2 nm 이상, 보퍼트풍력계급 2 이하로 조사항공기가 운항할 수 있는 일기에 수행하였다. 항공기를 이용한 고래류 조사법을 참고하여 조사항로를 따라 운항가능한 가장 낮은 고도(500 ft, 약 152 m)와 속도(90 kn, 약 167 km/h)로 조사하였다(Yoshida et al., 1998; Buckland et al., 2001; Slooten et al., 2004; Park et al., 2013). 조사항로 위 섬, 송전탑 등 장애물 출현 시 일시적 비행고도 상승 후 즉시 조사고도로 복귀하여 연속적으로 조사

를 수행하였다.

조사항목은 종, 위치, 무리수, 개체수, 각도, 풍속, 운량 등으로 발견된 고래류의 개체정보와 기상정보이었다. 분포는 종별로 선박 및 항공조사에서 발견된 시점의 위치를 GPS (GPSMAP 64s; Garmin, Seoul, Korea)를 이용하여 기록하였다. 조사거리 및 조사구역의 면적은 실제 조사가 완료된 조사거리와 조사면적으로 재산정하여 분석에 사용하였다. 항공조사에서 발견된 고래류와 항공기간 거리 추정은 관측창에서 보이는 하방 구간을 구분, 관측창에 하방각도를 추정할 수 있는 눈금을 부착, 또는 경사계(Clinometer, Suunto PM-5; Sunnto, Vantaa, Finland)를 이용하여 고래류가 발견된 위치의 하방각도를 관측하였다. 관측된 하방각도는 발견된 시간의 항공기의 고도를 이용하여 조사항로와 발견된 고래 개체간 수직거리로 계산하였다. 자원량은 조사구역 면적, 조사거리, 발견된 종별 거리, 개체수 정보 등 자료와 R 통계패키지 distance를 이용하여 추정하였다(Miller et al., 2019). 거리표집법(distance sampling)에 따른 조사방법과 자원량 추정의 기초 가정을 모두 따르는 것으로 가정하였다(Buckland et al., 2001). 자원량 추정은 Hazard rate, Half-normal, Uniform 모델과 2개의 cosine 조정 수식 조합을 적용하였으며, 자원량 추정결과 AIC (Akaike's information criterion)가 가장 낮은 모델을 최적의 결과로 결정하였다(Buckland et al., 2001; Miller et al., 2019).

## 결 과

### 목시조사 현황

선박 목시조사는 입·출항일을 포함하여 2021-2022년간 3월과 11월에 5-8일간 총 조사거리는 136.4-232.8 km, 평균속도 8.5-8.7 kn로 조사구역 내 어구설치 상황, 수심 변화 등을 고려하여 목시조사를 수행하였다. 항공 목시조사는 선박조사 기간 내 수행하였으며, 동시에 수행하지 못한 2022.3월 조사는 선박 조사가 완료된 이후 최대한 빠른 시간 내 항공기 운항조건을 만족하는 날(2022.4월)에 수행되었다. 항공조사는 모두 1일 내 완

료되었으며, 실 조사시간은 최대 3시간 이내로 주요 조사구역은 2시간 정도 소요되었다. 조사 항공기는 평균속도 85-98 kn, 평균고도 152-169 m를 유지하였다(Table 1). 항공조사는 목표한 기간 및 전 구역의 조사를 완료하였고, 선박조사는 조사선 운항이 가능한 해역에서 최대한 목시를 수행하였으나 계획대비 45.4-77.4%를 완료하였다.

선박과 항공조사는 적절한 목시 환경을 유지하기 위해 노력하였으나, 장시간이 소요되는 선박조사는 해황 등 상황에 따라 유동적으로 운영하더라도 조사 시간 내 목시에 적합한 조건을 만족하지는 않았다. 발견율이 가장 나빴던 2021년 선박조사는 3월에 보퍼트풍력계급 2.9, 시계가 2.8 nm로 평균적인 조사환경을 만족하였으나, 조사 내내 흐리고 비와 안개로 조사가 중단되는 경우가 잦았다. 그 외 선박조사는 환경조건을 맞추기 위한 대기시간이 길게 유지되거나 국지적인 날씨의 영향으로 조사 재개와 대기가 반복되었으며, 조사항로 위의 어구 문제를 비롯하여 조차가 큰 서해의 특성으로 너무 낮은 수심으로 선박조사의 어려움이 가중되었다. 항공조사는 3시간 이내로 짧아 날씨 변화에 선박보다 적은 영향을 받았지만, 비 오는 흐린 날씨에 조사한 2021.3월의 목시 결과는 그 외 항공조사보다 낮은 발견율을 보였다.

### 상괭이 무리 및 분포 특성

선박조사는 2021.3월에 첫 번째 조사항로가 위치한 조사구역 북측 외연도 주변 해역에서 상괭이 4군 4마리, 2021.11월에 남측 위도 남서해역에서 상괭이 1군 1마리를 발견하였다. 2022.3월 선박조사는 상괭이 12군 17마리를 조사해역 내에서 치우침이 없이 확인하였고, 11월은 위도 남동해역에서 1군 1마리와 태안반도 남부 안면도 연안 확장된 조사구역에서 6군 7마리를 발견하였다(Fig. 2). 항공조사는 2021.3월에 첫 번째 조사항로에서 상괭이 1군 1마리를 발견한 것을 시작으로 중간해역(군산-부안 연안)에서 여러 무리를 발견하여 총 25군 34마리의 상괭이 분포를 확인하였다. 2021.11월은 조사구역 진입 전 상괭이 1군 1마리를 발견한 것을 시작으로 조사항로에서 상괭이 173군 199마리를 발견하였으며, 특히 조사항로와 섬이 맞닿은 해역에

Table 1. Summary of sighting survey in the western coast of Korea, 2021-2022

Survey platform	Time (yyyy.mm.dd.)	Survey code	Mean speed (kn)	Flight attitude (m)	Survey effort (km)	
					Main	Extended
Vessel	2021.03.22-27.	V1	8.5 (SD=2.9)	-	173.3	-
	2021.11.25-29.	V2	8.7 (SD=3.6)	-	136.4	-
	2022.03.20-25.	V3	8.7 (SD=3.0)	-	232.8	-
	2022.11.21-28.	V4	8.6 (SD=3.3)	-	176.3	57.7
Aircraft	2021.03.27.	A1	96.8 (SD=14.5)	159.5 (SD=36.5)	300.6	-
	2021.11.27.	A2	85.3 (SD=7.8)	152.0 (SD=43.5)	300.6	-
	2022.04.02.	A3	94.0 (SD=4.4)	156.0 (SD=23.4)	300.6	76.0
	2022.11.28.	A4	97.7 (SD=8.3)	169.1 (SD=34.4)	263.2	113.2

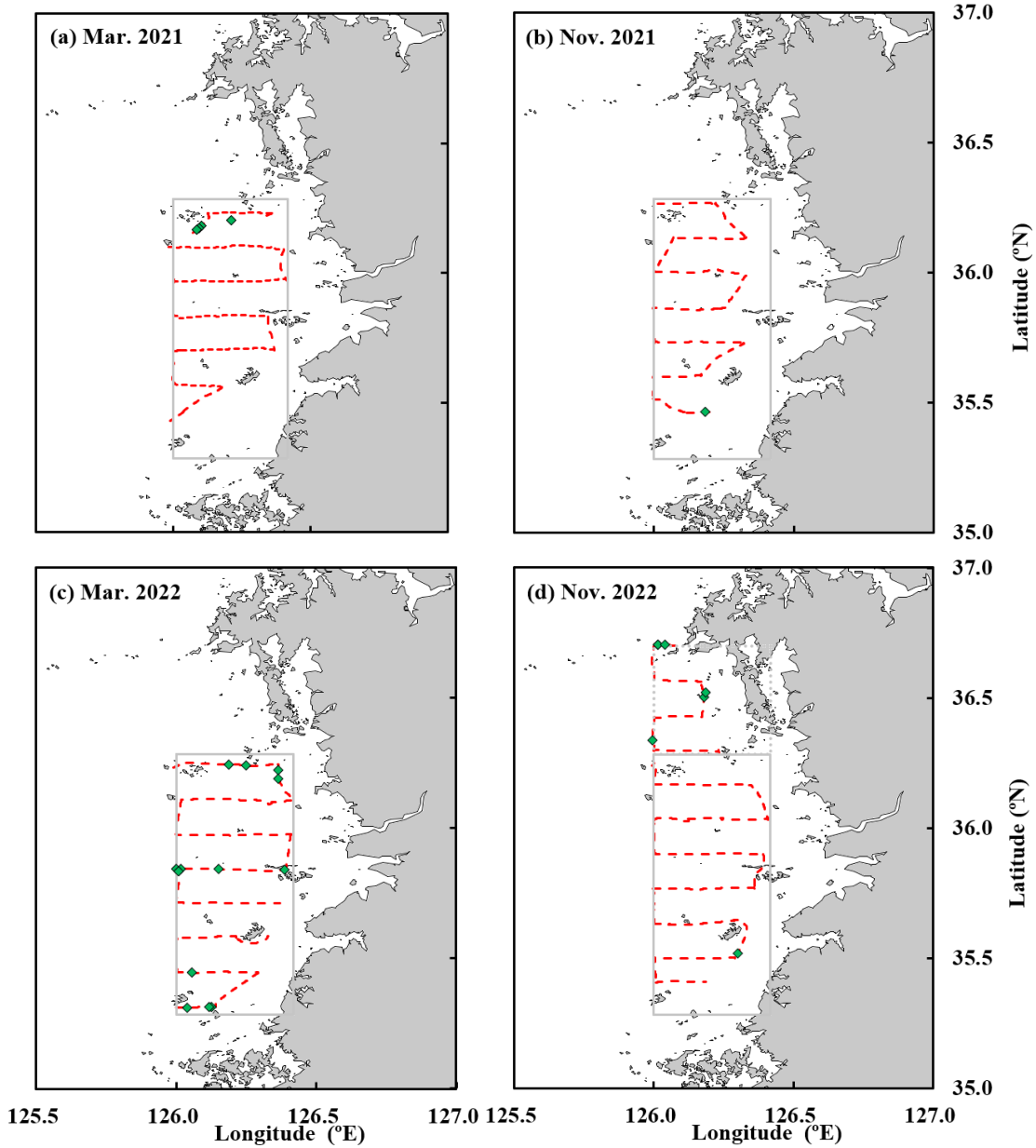


Fig. 2. Distribution of narrow-ridged finless porpoises *Neophocaena asiaeorientalis* (◇) and survey trajectories (---) by shipboard surveys off the Western coast of Korea in 2021–2022.

집중적으로 확인되었다. 2022.4월에 수행된 항공조사부터 태안반도 남부의 확장된 조사구역을 조사하였으며, 주 조사구역에서 103군 127마리, 확장된 구역에서 16군 17마리를 확인하였다. 2022.11월은 조사구역 진입 전 상괭이 4군 6마리, 주 조사구역에서 80군 118마리, 확장된 구역에서 34군 49마리를 확인하였다(Fig. 3).

선박조사보다 항공조사에서 월등히 많이 발견하였으며, 동일한 시기로 비교하면 1회만 발견된 2021.11월을 제외하고 상

괭이 개체수는 8.5–21.6배, 발견 횟수는 6.3–16.9배 높았다. 발견율은 선박조사는 2022.3월이 가장 높았으며, 항공조사는 2021.11월이 가장 높았다. 플랫폼 간 발견율의 차이는 6.1–11.5배로 항공조사가 높았다. 플랫폼 간 상괭이 발견율과 추정된 서식밀도는 차이를 나타내었으나 발견된 상괭이의 무리 특성은 유사하였다(Table 2). 대부분 1–5마리 이내의 작은 무리를 이루었으며, 조사별 차이를 보이나 1마리 단독 무리가 전체의 61.9–100%로 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 다음으로 2마

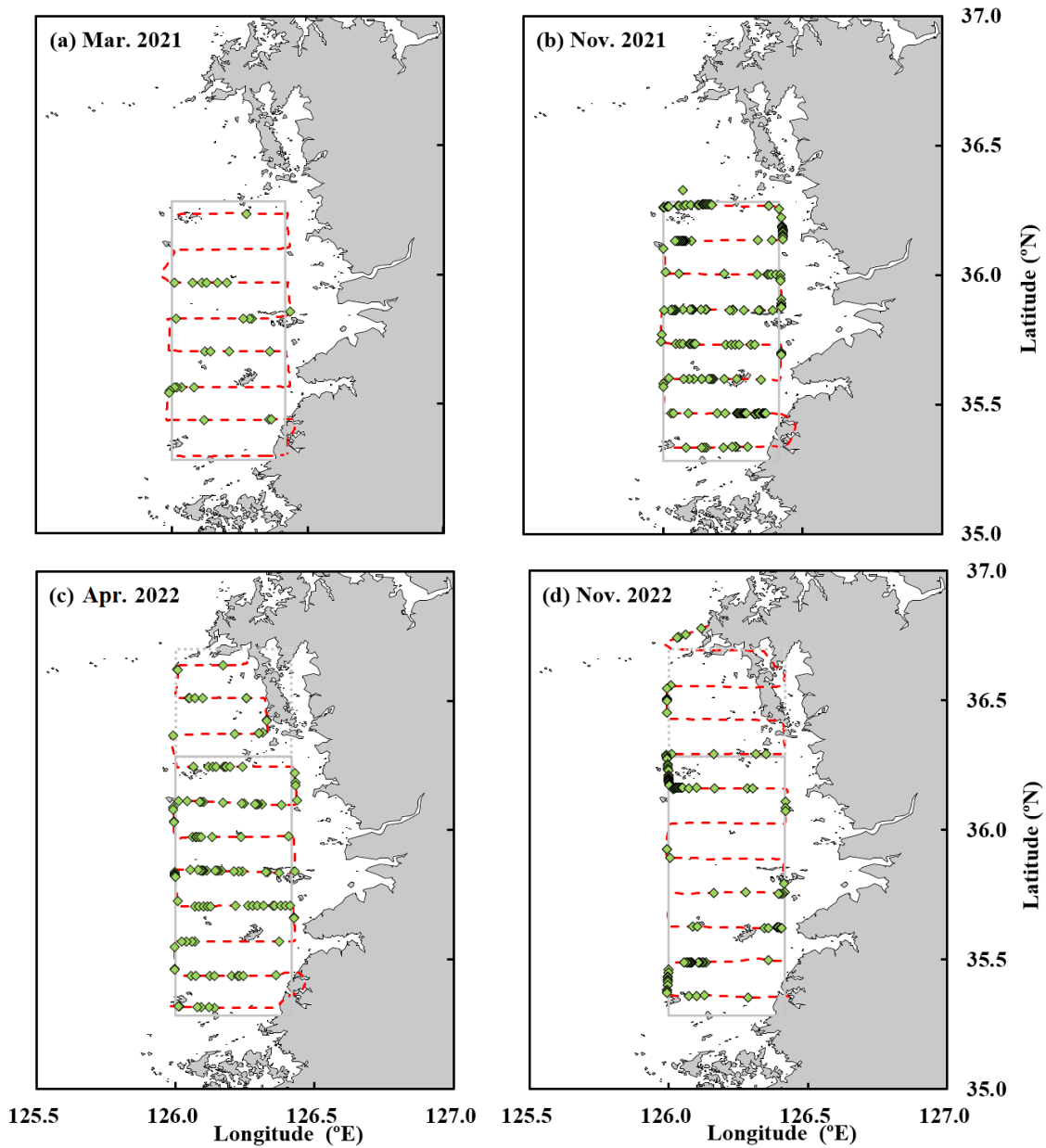


Fig. 3. Distribution of narrow-ridged finless porpoises *Neophocaena asiacorientalis* (◇) and survey trajectories (---) by aerial surveys off the Western coast of Korea in 2021–2022.

리씩 무리를 이루는 경우가 11.5–33.1%로 나타났으며, 3마리 이상 무리는 1.7–5.1% 비율을 차지하여, 큰 무리를 이루지 않는 것으로 확인되었다(Fig. 4).

상괭이 발견율 및 풍도

2021–2022년 서해 중부 연안 상괭이 자원량 추정은 조사별로 자원평가모델을 적용하여 가장 낮은 AIC를 가진 모델의 결과를 가장 적합하게 추정된 자원량으로 최종 선정하였다. 선박조

사는 대부분 Uniform 모델의 결과가 선정되었고, 상대적으로 발견 횟수가 높았던 항공조사는 Half-normal 모델과 Hazard-rate 모델이 적용된 결과가 선정되었다. 2021.3월 선박조사는 설계된 조사항로 위에서 발견된 상괭이가 없어 자원량을 추정할 수 없었다(Table 3). 발견밀도함수는 상괭이가 발견된 위치와 조사항로 간 수직거리에 대한 피팅결과로 확인하며, 2021년 3월과 11월 선박조사는 상괭이가 1회 이하로 수직거리와 발견 밀도 함수 간 관계를 확인할 수 없었다. 선박조사보다 항공조사

Table 2. Summary of sighting survey in the western coast of Korea, 2021-2022

Survey code <sup>1</sup>	No. of individuals (indiv.)		No. of observations (no.)		Group size (indiv.)		Detection rate (#obs./km)
	Transect	Outside	Transect	Outside	Mean	Range	
V1	-	4	-	4	1.0	-	-
V2	1	-	1	-	1.0	-	0.000
V3	12	5	9	3	1.4	1-3	0.047
V4	4	4	3	4	1.1	1-2	0.017
A1	31	3	22	3	1.4	1-3	0.103
A2	162	38	140	34	1.1	1-3	0.539
A3	114	30	94	25	1.2	1-3	0.280
A4	99	74	66	52	1.5	1-5	0.263

<sup>1</sup>Survey codes are the same as explained in Table 1.

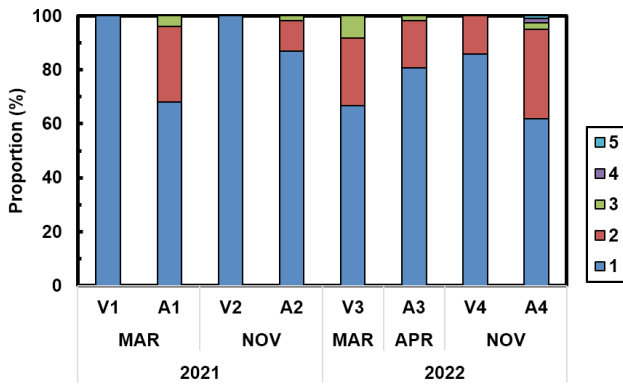


Fig. 4. Proportion of group sizes (1–5 individuals) of narrow-ridged finless porpoise *Neophocaena asiaeorientalis*.

의 상괭이 발견정보가 많고 거리에 따라 발견빈도도 세분화되어 추정되었다(Fig. 5).

상괭이 발견율은 조사항로 위의 단위거리당 조사항로 위 발견횟수에 비례하며 선박조사는 0.000–0.047, 항공조사는 0.103–0.539로 추정되어 항공조사 결과가 선박조사에 비하여

6–15.5배 높았다(Table 2). 서식밀도는 발견율과 발견마릿수에 비례하며 선박조사는 0.003–0.061 indiv./km<sup>2</sup>, 항공조사는 0.236–1.898 indiv./km<sup>2</sup>으로 추정되었다. 상괭이 자원량은 발견율과 서식밀도가 높았던 조사에서 높게 추정되었으며 선박조사는 2022년 3월이, 항공조사는 2021년 11월이 가장 높게 나타났다. 선박조사는 14–253마리로 자원량이 추정되었으며, CV 값이 크고 자원량 변동범위가 넓게 나타났다. 항공조사는 987–7,921마리로 선박조사 자원량이 더 높고 CV 값과 자원량 변동범위는 더 작게 추정되었다(Table 3). 2022년 항공조사는 2021년 조사보다 더 넓은 해역을 조사하였으나 더 낮은 자원량을 보였다. 주 조사구역에 대한 자원량만을 비교하면, 2022.4월은 1,596마리(95% 신뢰구간 1,034–2,465), 2022.11월은 3,033마리(95% 신뢰구간 1,241–7,417)이었으며, 항공조사는 3–4월보다 11월이 더 높은 풍도를 보이는 것으로 추정되었다.

### 고 찰

상괭이는 우리나라 주변 수역에 가장 넓게 서식하는 고래류로서 주된 서식현황은 주로 흔획정보와 선박 목시조사를 통하여 파악하고 있다. 연안에 주로 서식하는 상괭이는 해양오염으

Table 3. Estimates of density and abundance of narrow-ridged finless porpoise *Neophocaena asiaeorientalis* in the western coast of Korea, 2021-2022

Survey code <sup>1</sup>	Model	AIC	CV	Density (indiv./km <sup>2</sup> )	Abundance (indiv.)	95% CI (indiv.)
V1	-	-	-	-	-	-
V2	Uniform + 1 Cosine	2.000	1.420	0.003	14	-
V3	Half-normal	-8.638	0.498	0.061	253	90-709
V4	Uniform + 2 Cosine	-4.952	1.381	0.027	148	10-2,210
A1	Half-normal	-61.429	0.424	0.236	987	424-2,300
A2	Half-normal	-468.495	0.162	1.898	7,921	5,493-11,422
A3	Half-normal	-99.836	0.180	0.335	1,823	1,235-2,692
A4	Hazard-rate	-239.085	0.372	0.573	3,124	1,309-7,455

<sup>1</sup>Survey codes are the same as explained in Table 1. AIC, Akaike information criterion; CV, Coefficient variance; CI, Confidence interval.

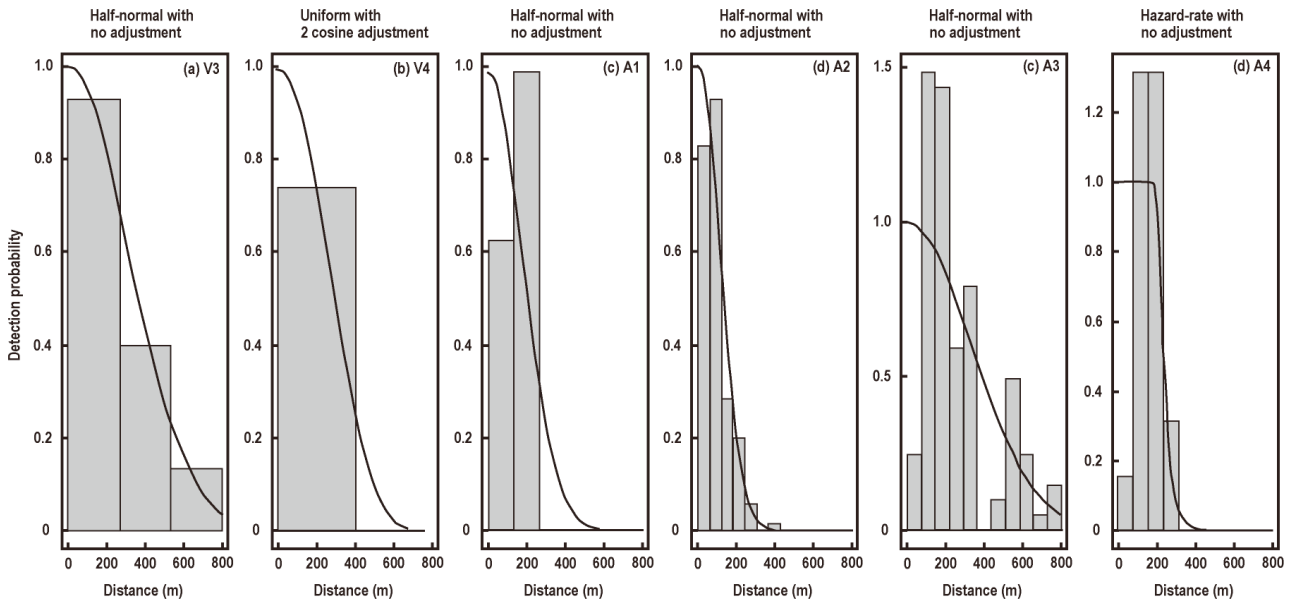


Fig. 5. Detection function fitted to the perpendicular distance. V3, V4, A1, A2, A3 and A4 are the same as survey codes in Table 1.

로 인한 서식지 훼손 및 상실, 또는 어구로 인한 혼획 또는 어업과의 경쟁 등 인간에 의한 영향에 취약하여, 보존과 관리를 위한 분포, 자원량, 생태 등에 대한 정보가 필요하다(Kasuya et al., 2002; Park et al., 2013). 특히, 최근 혼획비율이 높은 고래류에 대한 정확한 자원량 파악과 관리를 위한 기준점 마련이 더욱 강조되는 상황이다. Park et al. (2013)은 선박조사에서 보퍼트풍력계급이 높아질수록 상괭이가 발견율이 낮아졌으며, 보퍼트풍력계급 4일 때는 전혀 발견되지 않았다고 보고하였다. 우리나라 전역에 분포하는 주요 고래류인 밍크고래(*Balaenoptera acutorostrata*)나 상괭이는 상대적으로 크기가 작고, 분기하지 않으며, 무리를 크게 이루지 않는 등 해황에 따라 발견 여부가 크게 영향을 받는 것으로 사료된다(Lee et al., 2022a). 본 연구에도 단편적이나마 선박과 항공조사 둘 다 날씨가 발견율에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

항공기는 일정 해역을 빠른 속도로 조사하기 때문에 가장 적정한 기상일 때 해당 해역을 한 번에 조사할 수 있는 장점을 가진다(Dawson et al., 2008). 특히 서해 연안역에서 수행하는 선박 목시조사는 조사시간을 비롯하여 연안에 설치된 많은 어구, 수심 등 여러 조건에 영향을 받아 계획대비 45.4-77.4%의 낮은 조사율을 보였다. 선박은 환경에 따라 목시조사를 탄력적으로 운영하더라도 조사시간이 길게 소요되므로, 동일한 해역을 짧은 시간 동안 빠르게 조사를 완료할 수 있는 항공조사가 기상뿐만 아니라 어구, 수심 등과 같은 조사항로 상 장애요인을 통제하기에 상대적으로 효율적이다. 서해 상괭이의 분포특성을 보면 80% 이상이 연안 15 nm 이내에서 발견되었으며, 20-50 m 수심에서 78%가 발견된 것으로 확인되었다(Zhang et al., 2004). 연안에 높은 밀도로 서식하는 상괭이가 주 대상인 목시조사는

항공기를 조사 플랫폼으로 하면 분포, 풍도 등 조사 결과에 대한 편향이 적을 것으로 판단된다. 하지만 최근 수행한 항공조사는 관찰자 교대 등의 문제로 장시간 요구되는 원거리 조사에 어려움이 따르므로 근해보다 연안에 적합한 것으로 판단된다.

Park et al. (2013)은 항공조사는 고도의 편차가 크면 발견거리 자료의 오차가 매우 커질 수 있고 자원량 추정 결과에 영향을 주므로, 편차를 줄이는 방안 및 관련 조사 설계의 필요성을 지적하였다. 본 연구에서 수행된 4회의 항공조사는 Yoshida et al. (1998) 연구를 참고하여 수행하였으며, 편차를 줄이기 위해서 조사의 속도와 고도를 최대한 일정하게 유지하려 노력하였다. Yoshida et al. (1998)은 고도의 편차가 4.3 m로 매우 적었으나, 본 연구는 23.4-43.5 m로 5.4-10.1배 이상 컸다. 이전 연구에서 고도 편차는 22.7 m로 조사항로 상의 구조물과 같은 장애물이나 대형 선박, 바람의 영향으로 조사 기준을 따르기 어려움을 지적하였으나, 보퍼트풍력계급 4일 때도 상괭이가 발견되며 조사가 가능함을 확인하여 항공조사의 강점을 보고하였다(Park et al., 2013).

본 연구에서 자원량 추정을 위한 오차 개선을 위하여 고도 변화에 따른 수직거리 추정방법을 변경하였다. 2021.3월은 조사 항공기가 일정한 고도로 운항하는 것을 가정하여, 하방 구간을 구분하여 해당 구간에 발견되는 고래의 위치를 관찰하여 거리로 추정하였다. 그러나 2021.11월은 항공기 운항 상황을 고려하여 관측창에 눈금을 부착하여 고래류가 발견되는 하방각도를 관측하고 발견 위치의 항공기 고도를 이용하여 수직거리를 추정하는 방법으로 변경하였다(Buckland et al., 2001). 2022.11월은 하방각도를 관측을 위한 경사계를 도입하였으며 조사 항공기와 발견된 고래류 사이의 거리 추정에 정밀도를 높였다

(Slooten et al., 2004). 하방각도는 2021.11월은  $61^\circ$  ( $SD=11$ ), 2022.4월은  $39^\circ$  ( $SD=16$ ), 2022.11월은  $46^\circ$  ( $SD=9$ )로 관찰되었으며, 경사계를 활용한 경우가 가장 작은 표준편차를 나타내어 정확한 조사를 위한 적절한 계측기 사용이 필수적이다.

상괭이는 대표적인 연안 서식 소형 고래류로 서해에 가장 많이 서식하고 남해와 동해의 섬 주변, 강 하구, 항 주변에서 발견되고(Kim et al., 2000), 2000–2020년간 목시조사 결과 이른 봄부터 초여름 사이에 가장 발견 빈도가 높으며 분포에 큰 변화를 보이지 않는 것으로 알려졌다(Sohn et al., 2012; Lee et al., 2022a). 본 연구에서는 상괭이의 분포 특성을 파악하기 위해 선박 조사는 발견정보가 너무 적었으며, 발견율이 높았던 항공조사도 월, 계절과 같은 시기적 공통 특성을 파악하기 어려웠다. 발견빈도는 선박은 3월, 항공은 11월이 가장 많아 경향을 알 수 없었다. 조사횟수가 적고 일정 시기만 조사되어서 상괭이 분포에 대한 해석의 여지가 있으나 섬 주변 등 주요 출현 지역에만 분포하는 것이 아니라 서해 연안수역 어디든 분포할 수 있는 것으로 생각된다. 그러나 조사에 따라 특정 섬 주변에 높은 밀도로 발견되는 특성을 보이므로 상괭이 자원 관리를 위해서는 분포 현황과 집중원인 등에 대한 추가적인 조사와 연구가 필요하다.

고래류 목시조사인 거리표집법에 대한 기본가정은 i) 조사항로상 모든 고래류를 발견하고( $g(0)=1$ ), ii) 조사대상은 발견전에 조사선박 등의 운항과 관련되어 이동하지 않으며, iii) 발견된 위치를 정확하게 관측한다는 핵심적인 가정을 포함하고 있다(Buckland et al., 2001). 고래류 발견확률은 조사위치와 대상생물간 거리뿐만 아니라, 날씨, 조사율, 군집의 크기 등과 같은 요소에 좌우된다(Marques et al., 2007; Miller et al., 2019). 항공조사는 이러한 요소에 의한 편차 발생이 거의 없는 조사로 조사기의 이동에 의한 조사생물의 움직임이 발생하지 않으며, 수면 아래에 위치한 고래를 발견하는 등 조사항로 상의 거의 모든 개체를 조사할 수 있다(Buckland et al., 2001).

조사대상의 움직임과 관련한 문제점은 해소되는 반면에, 목표생물을 조사하고 정보를 기록하는데 시간적인 제약을 준다. 또한 항공기의 창이 버블형태의 입체창이 아닌 평면창은 하방 시야에 사각을 발생시켜 일정 구간에서 서식하는 대상생물을 조사할 수 없다(Buckland et al., 2001). 본 조사 항공기도 평면창으로 조사에서 사각이 발생하였으며, 본 연구의 경우 약 61.5 m 씩 좌우로 사각이 발생하는 것으로 추정된다. 이러한 경우 자원량 추정시 왼쪽자료를 절삭하는 방식을 적용하기도 하는데 이러한 방법이 자원량 추정에 이상적인 것은 아니다(Buckland et al., 2001).

선박 목시조사에서 발생하는 편향을 보정하기 위해 목시조사시 고래류 발견정보가 공유되지 않는 독립목시를 운영한다(Sohn et al., 2001). 항공조사 역시 자원량 추정에 정밀도를 높이기 위한 추가적인 조사가 필요한 실정이다. 일례로 상괭이와 같은 과에 속하는 쇠돌고래는 항공조사와 육상 조사를 동시에 수행하여 항공조사에서 미발견되는 개체에 대한 발견율 차

이를 분석하였으며(Laake et al., 1997), 해당 해역의 항공조사에 따른 자원량 추정 시 보정계수로 활용하고 있다(Muto et al., 2019).  $g(0)=1$ 로 가정하는 것은 과대추정의 위험을 피할 수 있어 위험관리에 유리하며, 규모가 작은 조사에서 과학적인 추정정밀도는 떨어지지만 매 조사마다 추가 비용과 노력이 발생하는 발견율 추정보다 비용면에서는 훨씬 타당한 것으로 보고하였다(Sohn et al., 2001; Park et al., 2009). 선박조사보다는 항공조사가 발견율이 높아 자원량 추정에 상대적으로 더 정확해졌다고 할 수 있지만, 정확한 자원량 파악을 위해서는 발견율을 보정할 수 있는 추가적인 조사의 도입이 필요한 시점이다.

본 연구에서도 추정된 상괭이 자원량은  $g(0)=1$ 로 가정을 적용하였으며, 자료의 절삭없이 사용하였다. 항공조사로 추정된 상괭이 자원량이 선박조사보다 7–56배 월등히 높은 값을 나타냈으며, 밀도 역시 풍도와 유사한 비율로 차이를 보였다. 가장 높았던 시기는 2021.11월 항공 목시조사로 7,658마리, 밀도 1.898 indiv./km<sup>2</sup>로 추정되었다. 조사가 주로 수행된 서천-영광간 연안해역은 과거 서해 연안 선박 목시조사의 주요 조사해역으로 2003, 2004, 2005, 2011년에 걸쳐 상괭이 자원량이 추정된 바 있다(Zhang et al., 2004; Park et al., 2007, 2015). 해당 구역을 포함하는 조사이나 조사구역별 자원량 정보를 구분하기는 어려워 동일한 단위면적에 대한 밀도를 비교하였다. 서해 연안에서 상괭이 밀도가 가장 높았던 시기는 2004년 4.212 indiv./km<sup>2</sup>였으며, 이어서 2005년이 2.771 indiv./km<sup>2</sup>이었다(Park et al., 2007). 다음으로 2022.4월 항공조사가 0.335 indiv./km<sup>2</sup>, 2003년 0.295 indiv./km<sup>2</sup>로(Zhang et al., 2004), 2000년대에 추정된 서해 연안에서 상괭이 밀도가 최근보다 훨씬 높은 경향을 보였다.

Park et al. (2015)에 따르면 서해 연안과 근해 둘 다 상괭이 밀도가 2004/2005년에서 2011년 사이 약 70%가 감소한 것으로 나타났다. 근해를 제외하고, 연안 수역의 밀도만을 비교하면 2011년(0.151 indiv./km<sup>2</sup>)은 2004/2005년의 3.6–5.4% 수준으로 매우 낮아진 상태였다. 동일한 플랫폼인 2022.3월 선박조사 결과, 상괭이 밀도는 0.061 indiv./km<sup>2</sup>로 2011년의 40.4% 수준으로 더 낮게 나타났으며, 2021.3월과 2022.4월 항공조사에서 추정된 밀도가 각각 0.236 indiv./km<sup>2</sup>, 0.335 indiv./km<sup>2</sup>로 2003년과 유사하게 나타났다. 2003년 연안 조사는 근해보다 밀도가 낮게 나타나 계절에 따른 분포 및 자원량에 변화 또는 자원량 감소 가능성에 대해 고찰하였으나 정확한 원인을 파악하지는 못하였다(Zhang et al., 2004).

과거 선박 목시조사가 이상적인 기상과 해황일 경우 선박으로 이루어지지 못한 경우라도 항공과 선박조사간 발견율의 차이를 고려하면 2000년대보다 2011년 이후 서해 연안에 상괭이 서식 밀도가 낮아진 것으로 판단된다. 그러나 좁은 해역에 일부 시기에 한정되어 실시된 조사에 기초하여 분석되어 서해 전 연안, 계절적인 분포 등을 파악할 수 있는 연구가 보완되어야 밀도 변화의 원인을 파악할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 동일한 조건



에서 수행된 항공조사와 선박조사간의 발견을 비교, 상괘이 출현 특성 분석 등 비교 연구는 과거 선박자료를 보정하기 돌파구로서 역할을 할 수 있을 것이다. 특히, 밀도, 발견율, 자원량 등에 대한 보정을 통하여 상괘이 자원의 정확한 현황을 파악하고 장기적인 자원 동향, 생물학적 관리 방향 설정에 중요한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

## 사 사

본 연구는 국립수산과학원 2023년도 수산시험연구사업 고래류 평가 및 관리 연구(R2023004)의 지원을 받아 수행되었습니다. 목시조사에 참여한 모든 연구원, 국립수산과학원 수산과학조사선 탐구8호, 탐구20호, 탐구21호 선장님과 모든 승선원께 감사합니다.

## References

- Amano M, Nakahara F, Hayano A and Shirakihara K. 2003. Abundance estimate of finless porpoises off the Pacific coast of eastern Japan based on aerial surveys. *Mamm Stud* 28, 103-110. <https://doi.org/10.3106/mammalstudy.28.103>.
- Barlow J, Oliver CW, Jackson TD and Taylor BL. 1988. Harbor porpoise, *Phocoena phocoena*, abundance estimation for California, Oregon, and Washington: II. Aerial surveys. *Fish Bull* 86, 433-444.
- Buckland ST, Anderson DR, Burnham KP, Laake JL, Borchers DL and Thomas L. 2001. Introduction to Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations. Oxford University Press, Oxford, U.L., 1-432.
- Choi S, Kim E and Sohn H. 2021. Emergence characteristics of narrow-ridged finless porpoise *Neophocaena asiaorientalis* using passive acoustic survey in the South Sea of South Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 54, 989-999. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0989>.
- Choi SG, Park KJ, Kim HW, 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>.
- Dahlheim M, York A, Towell R, Waite J and Breiwick J. 2000. Harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) abundance in Alaska: Bristol Bay to Southeast Alaska, 1991-1993. *Mar Mamm Sci* 16, 28-45. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2000.tb00902.x>.
- Dawson S, Wade P, Slooten E and Barlow J. 2008. Design and field methods for sighting surveys of cetaceans in coastal and riverine habitats. *Mammal Rev* 38, 19-49. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2008.00119.x>.
- Jefferson TA and Hung SK. 2004. *Neophocaena phocaenoides*. *Mamm Species* 746, 12. <https://doi.org/10.1644/746>.
- Jefferson TA and Wang JY. 2011. Revision of the taxonomy of finless porpoises (genus *Neophocaena*): The existence of two species. *J Mar Anim Their Ecol* 4, 3-16.
- Kasuya T. 1999. Finless porpoise *Neophocaena phocaenoides* (G. Cuvier, 1829). In: Handbook of Marine Mammals. Ridgway SH and Harrison R, eds. Academic Press, London, U.K., 411-442.
- Kasuya T, Yamamoto Y and Iwatsuki T. 2002. Abundance decline in the finless porpoise population in the inland Sea of Japan. *Raff Bul Zoo Suppl* 10, 57-65.
- Kim ZG, Lee JU, Baik CI and Sohn H. 2000. Whales and Dolphins off Korean Peninsula. Hangeul Graphics, Busan, Korea, 1-133.
- Laake JL, Calambokidis J, Osmek SD and Rugh DJ. 1997. Probability of detecting harbor porpoise from aerial surveys: Estimating g(0). *J Wildl Manage* 61, 63-75. <https://doi.org/10.2307/3802415>.
- Leatherwood S, Gilbert JR and Chapman DG. 1978. An evaluation of some techniques for aerial censuses of bottlenosed dolphins. *J Wildl Manage* 42, 239-250. <https://doi.org/10.2307/3800261>.
- Lee GH, Song DH and Kim HY. 2022b. Characteristics of catch losses in stow nets with finless porpoise excluder devices and a strategy to reduce them. *Reg Stud Mar Sci* 50, 102147. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.102147>.
- Lee JH, Kim EH, Lee K, Park KJ, An YR, Kim HW, Sohn H and Choi SG. 2022a. Occurrence and spatial distribution of marine mammals by sighting surveys in Korean waters during 2011-2020. *Korean J Fish Aquat Sci* 55, 938-945. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0938>.
- Lee YW, Shin HI, Kim SJ, Seo DO, Lee DJ, Kim ZG and Hwang DJ. 2005. Trial manufacture of dual frequency acoustic pinger to minimize cetacean bycatch. *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 41, 207-212.
- Marques TA, Thomas L, Fancy SG and Buckland ST. 2007. Improving estimates of bird density using multiple-covariate distance sampling. *Auk* 124, 1229-1243. <https://doi.org/10.1093/auk/124.4.1229>.
- Miller DL, Rexstad E, Thomas L, Marshall L and Laake JL. 2019. Distance sampling in R. *J Stat Softw* 89, 1-28. <https://doi.org/10.18637/jss.v089.i01>.
- Muto MM, Helker VT, Angliss RP, Boveng PL, Breiwick JM, Cameron MF, Clapham PJ, Dahle SP, Dahlheim ME, Fadely BS, Ferguson MC, Fritz LW, Hobbs RC, Ivashchenko YV, Kennedy AS, London JM, Mizroch SA, Ream RR, Richmond EL, Shelden KEW, Sweeney KL, Towell RG, Wade PR, Waite JM and Zerbini AN. 2019. Alaska marine mammal stock assessments, 2018. In: NOAA Technical Memorandum NMFS-AFSC ; 393. National Marine Fisheries Service, Alaska Fisheries Science Center, Seattle, WA, U.S.A. <https://doi.org/10.25923/15rp-p193>.
- Park KJ, An DH, Lim CW, Lee TH and Kim DN. 2012. A mass mortality of the finless porpoise *Neophocaena asiaorient-*

- talis* 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, An YR, Kim ZG, Choi SG, Moon DY and Park JE. 2009. Abundance estimates of the minke whale, *Balaenoptera acutorostrata*, in the East Sea, Korea. Korean J Fish Aquat Sci 42, 642-649. <https://doi.org/10.5657/kfas.2009.42.6.642>.
- Park KJ, An YR, Lee YR, Park JE, Moon DY and Choi SG. 2011. Feeding habits and consumption by finless porpoise *Neophocaena asiaeorientalis* in the Yellow Sea. Korean J Fish Aquat Sci 44, 78-84. <https://doi.org/10.5657/kfas.2011.44.1.078>.
- 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. J Kor Fish Soc 40, 201-209. <https://doi.org/10.5657/kfas.2007.40.4.201>.
- Park KJ, Sohn H, An YR, Kim HW and An DH. 2015. A new abundance estimate for the finless porpoise *Neophocaena asiaeorientalis* on the West Coast of Korea: An indication of population decline. Fish Aquat Sci 18, 411-416. <https://doi.org/10.5657/FAS.2015.0411>.
- Park KJ, Sohn H, Kim YH, Kim DN, Kim HW, An DH and An YR. 2013. Feasibility of aerial surveys of finless porpoise *Neophocaena asiaeorientalis* off the West Coast of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 46, 966-969. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2013.0966>.
- 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 Fish Res 5, 52-63.
- Shirakihara K, Yoshida H, Shirakihara M and Takemura A. 1992. A questionnaire survey on the distribution of the finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides*, in Japanese waters. Mar Mamm Sci 8, 160-164. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.1992.tb00376.x>.
- Slooten E, Dawson SM and Rayment WJ. 2004. Aerial surveys for coastal dolphins: Abundance of Hector's dolphins off the South Island West coast, New Zealand. Mar Mamm Sci 20, 477-490. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2004.tb01173.x>.
- Sohn H, Kim ZG and Miyashita T. 2001. Abundance estimate of minke whale, *Balaenoptera acutorostrata*, by sighting survey in the Yellow Sea, spring 2001. J Korean Soc Fish Res 4, 51-63.
- Sohn H, Park KJ, An YR, Choi SG, Kim ZG, Kim HW, An DH, Lee YR and Park TG. 2012. Distribution of whale and dolphins in Korea waters based on a sighting survey from 2000 to 2010. Korean J Fish Aquat Sci 45, 486-492. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2012.0486>.
- Wang JY, Frasier TR, Wang SC and White BN. 2008. Detecting recent speciation events: The case of the finless porpoise (genus *Neophocaena*). Heredity 101, 145-156. <https://doi.org/10.1038/hdy.2008.40>.
- Yoshida H, Shirakihara K, Kishino H, Shirakihara M and Takemura A. 1998. Finless porpoise abundance in Omura bay, Japan: Estimation from aerial sighting surveys. J Wild Manage 62, 286-291. <https://doi.org/10.2307/3802290>.
- Yoshida H, Yoshioka M, Shirakihara M and Chow S. 2001. Population structure of finless porpoises (*Neophocaena phocaenoides*) in coastal waters of Japan based on mitochondrial DNA sequences. J Mammal 82, 123-130. [https://doi.org/10.1644/1545-1542\(2001\)082<0123:PSOFPN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1644/1545-1542(2001)082<0123:PSOFPN>2.0.CO;2).
- Zhang CI, Park KJ, Kim ZG and Sohn H. 2004. Distribution and abundance of finless porpoise (*Neophocaena phocaenoides*) in the western sea of Korea. J Kor Fish Soc 37, 129-136. <https://doi.org/10.5657/kfas.2004.37.2.129>.