

수중음향을 활용한 진해만 해역 주요 부어류의 시·공간분포 특성

박근창 · 이장민¹ · 황태겸¹ · 이형빈² · 윤상철³ · 이경훈^{4*}국립부경대학교 어업기술안전연구소, ¹국립부경대학교 수산물리학전공, ²국립수산과학원 수산자원연구센터, ³국립수산과학원 독도수산연구센터, ⁴국립부경대학교 해양생산시스템관리학부

Spatio-Temporal Distribution Characteristics of Major Fish Species in the Jinhae Bay Using Hydro-Acoustics

Geunchang Park, Jangmin Lee¹, Taegyeom Hwang¹, Hyungbeen Lee², Sangcheol Yoon³ and Kyoung-hoon Lee^{4*}

Institute of Fisheries Technology Safety, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

¹Division of Fisheries Physics, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea²Fisheries Resources Research Center, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 53085, Republic of Korea³Dokdo Fisheries Research Center, National Institute of Fisheries Science, Pohang 37709, Republic of Korea⁴Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

This study integrated marine environmental data, fish sampling, and acoustic surveys to examine interannual changes in the distribution and densities of dominant fish species in Jinhae Bay. Monthly temperature and salinity distributions were measured using conductivity-temperature-depth (CTD) profiling, and set-net catch data were analyzed to identify monthly dominant species and species composition. Acoustic data at 38 and 120 kHz were also collected. Using these data, fish schools were detected using a school detection module, while species were classified through the dB-difference method. High water temperatures and low-salinity conditions persisted in Jinhae Bay during the summer of 2024, whereas in 2025, water temperatures were lower, and salinity variability was reduced. Fish sampling survey results revealed a simple species composition in 2024, whereas in 2025, the species composition expanded. In the acoustic survey, schools were most abundant in June 2024 and September 2025. The fish school density levels in 2024 were highest in June, at 2.444 g/m², whereas those in 2025 were highest in September, at 1.890 g/m².

Keywords: Acoustic survey, Fish school detection, dB-difference, Spatial-temporal distribution, Jinhae Bay

서론

근해 해역에서 수산자원의 분포와 밀도를 평가하고 모니터링하는 방법으로 채집조사, 음향조사를 활용한 방법들이 있다. 채집조사 방법은 어구를 이용한 조사방법으로, 트롤, 정치망, 자망, 통발 등의 어구를 활용하여 조사해역 내 수산자원의 종 다양성과 분포를 파악한다. 외해에서 채집조사는 주로 트롤 어구를 활용하며, 근해에서 채집조사는 정치망, 자망, 통발 등을 활용한다. 이 중 정치망을 이용한 채집조사 방법은 수산생물의 채집 효율이 높고 다양한 어종을 포획할 수 있어 근해 수산자원 조사에

서 주로 사용하는 방법이다(Lee et al., 2000; Kim et al., 2003; Kwak and Park, 2016).

음향조사방법은 과학어군탐지기를 활용한 방법으로, 수산자원의 시·공간적 분포와 밀도를 추정할 수 있다(Simmonds and MacLennan, 2008; Koslow, 2009; Ji et al., 2016; Yoon et al., 2016; Kim et al., 2025). 음향조사방법은 해양생물에게 직접적인 피해를 주지 않으며, 짧은 시간에 조사해역 전 수층에 분포하는 해양생물의 현황과 밀도를 파악할 수 있어 미국, 유럽, 일본 등에서 주로 사용하는 방법이다(Yang et al., 2014; Han et al., 2017).

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5889 Fax: +82. 51. 629. 5886

E-mail address: klee71@pknu.ac.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.2026.0460>

Korean J Fish Aquat Sci 59(4), 460-472, August 2026

Received 30 April 2026; Revised 26 May 2026; Accepted 21 July 2026

저자 직위: 박근창(박사후연구원), 이장민(석사), 황태겸(대학원생), 이형빈(해양수산연구원), 윤상철(해양수산센터장), 이경훈(교수)

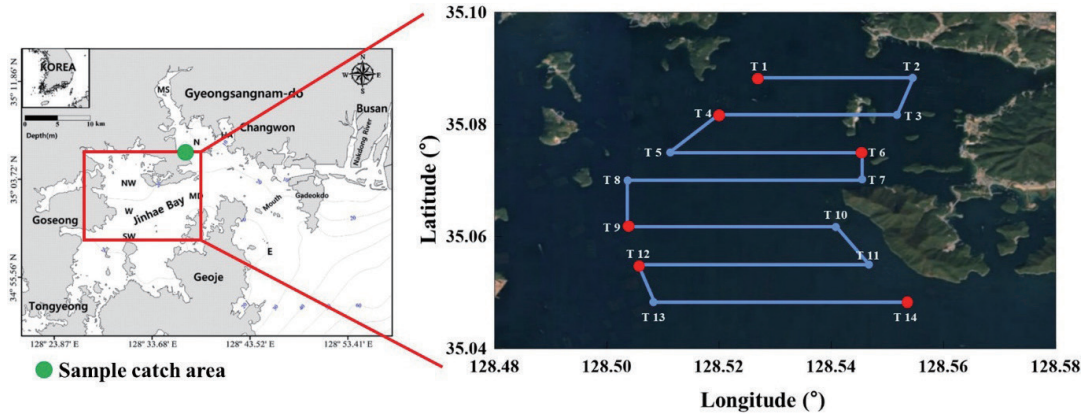


Fig. 1. Locations of sample catch and acoustic survey in Jinhae Bay. The sampling site corresponds to the set net installed at the position marked in green (left) and acoustic survey was conducted using CTD at six locations marked in red (right).

진해만은 거제시, 통영시, 고성군, 창원시에 둘러싸인 반폐쇄적인 해역으로, 이 지역은 수산자원의 산란장 및 생육장 역할을 한다(Lee et al., 2014; Lee et al., 2017). 특히 진해만 해역은 멸치, 정어리, 청어 등의 주요 부어류들이 산란과 성육을 하는 장소로서, 해당 지역에서 발생하는 수산자원의 변동은 연근해 어업에 직·간접적인 영향을 미친다(Han et al., 2018; Moon et al., 2019; Baek et al., 2021; Cho et al., 2024). 하지만 1970년대 이후 마산과 창원 등의 대도시를 비롯한 공업단지의 발달과 인구 집중화 현상 등으로 인하여 도시하수와 산업 폐수 등이 다량 유입되고 있으며, 양식장의 자가 오염 또한 증가하고 있다(Kim et al., 1995). 최근 기후변화로 인해 연안해역의 수온 상승과 강수 패턴 변화가 두드러지면서, 진해만 해역의 해황은 더욱 불안정해지고 있다. 여름철 고수온 현상은 어류의 회유 경로와 산란 시기에 영향을 미치며, 강우 증가에 따른 담수 유입은 저염분 수괴의 형성을 지속시켜 외해성 어류의 유입을 제한하는 것으로 보고되고 있다(NIFS, 2023). 이러한 수온과 염분의 변동은 반폐쇄성 구조를 가진 진해만에서 수산자원의 분포와 구성 변화를 크게 만드는 요인으로 작용하고 있다.

진해만과 같은 연안해역 내 수산자원의 지속 가능한 이용을 위해서는 과학적인 조사를 통해 수산자원의 현황과 시·공간적 분포를 정량적으로 파악해야 한다. 따라서, 본 연구에서는 반폐쇄성 해역으로서 주요 부어류의 산란과 생육장 역할을 수행하는 진해만을 대상으로 정치망을 이용한 채집조사, 과학어군탐지기를 활용한 음향조사를 수행하였으며, 이를 통해 진해만 해역 내 우점종의 연도별 자원 변화 양상과 어군밀도를 추정하고자 한다.

재료 및 방법

조사해역 및 자료 수집

본 연구는 2024년과 2025년 3월부터 9월까지 상업어선(뉴해

동호, 9.77 ton)을 이용하여 진해만 해역에서 조사를 수행하였다(Fig. 1). 음향조사에 사용한 음향 시스템은 split beam 방식의 EK60 과학어군탐지기(Simrad; Kongsberg Maritime AS, Kongsberg, Norway)이었으며, 주파수 38과 120 kHz에 대한 음향자료를 수집하였다. 음향자료는 펄스폭 512 ms, 펄스 반복 주기를 1 s로 설정하고, 선속을 5–6 knot로 수집하였다. 해양환경 경조사는 6개의 정점(T1, T4, T6, T9, T12, T14)에서 conductivity-temperature-depth (CTD) 장비(Idronaut S.r.l., Brugghe-rio, Italy)를 이용하여 해양환경자료를 수집하였으며, 월별 진해만의 종 다양성을 확인하기 위하여 정치망 어업을 이용한 표본 채집조사가 이루어졌다. 2024년 3월, 2025년 3월과 4월에는 정치망이 설치되지 않아 어획자료를 확보하지 못하였으며, 이 기간의 어획 정보는 국립수산물과학원에서 제공한 어획자료를 활용하였다.

자료 분석

CTD로부터 수집된 해양환경자료는 ITERM (Idronaut S.r.l.) 프로그램을 활용하여 추출하였으며, Surfer 소프트웨어(Golden Software LLC, Golden, CO, USA)를 이용하여 도식화하였다.

정치망 어업을 통해 수집된 어류 표본은 형태를 유지하도록 드라이아이스와 알코올을 이용하여 급속 냉동시킨 후 아이스 박스에 보관하여 실험실로 운반하여 분류체계에 따라 동정과 분류를 실시하였다. 어류의 동정은 Chyung (1977), Masuda et al. (1984), Yoon (2002) 등을 이용하였고, 종명은 Yoon (2002)을 따라서 분류하였다. 동정된 시료는 종류에 따라 체장(body length, BL), 전장(total length, TL), 항문장(anal length, AL), 가랑이체장(fork length, FL), 두문장(mantle length, ML) 등을 측정하였고, 체중은 습중량(wet body weight, WBW)을 측정하였다. 이때, 체중은 0.1 g, 전장은 0.1 cm까지 측정하였다.

과학어군탐지기로 수집되는 음향자료는 음향분석 소프트웨어(Echoview V 12.0; Echoview Software Pty Ltd, Hobart,

Tasmania, Australia)를 이용하여 분석하였다. 음향자료에는 해양생물의 음향신호뿐만 아니라 다양한 음향잡음(비, 바람, 선박 장비 등)이 함께 수집된다(ICES, 2007; Park, 2024). 따라서, 음향자료 처리 과정에서 해양생물의 음향신호만을 식별하기 위해서는 음향잡음을 제거하여야 한다. 본 연구에서 나타난 음향잡음은 임펄스 잡음이며, 임펄스 잡음은 선박의 음향장비에서 발생하는 간섭 신호로 발생한다(Park et al., 2022). 임펄스 잡음은 two-side comparison method를 이용하여 제거하며(Anderson et al., 2005), 이 방법은 데이터 샘플 a, b, c가 있다고 할 때, 샘플 b를 정의하기 위해서 양옆 데이터 샘플인 a와 c를 b와 비교하여 제거하는 방식이다. 임펄스 잡음을 제거하기 위한 계산식은 식 (1)에 나타내었으며, 임펄스 잡음을 제거하기 위한 파라미터 값은 Table 1에 나타내었다.

$$S_{v_{ij}} - S_{v(i-n)_j} > \delta \text{ and } S_{v_{ij}} - S_{v(i+n)_j} > \delta \dots\dots\dots (1)$$

수중음향을 활용한 어군 식별

본 연구에서는 fish school detection 모듈과 주파수차법을 활용하여 에코그램 상에 나타난 어군의 음향신호를 식별하였다. Fish school detection 모듈은 에코그램상에 나타난 해양생물 음향신호의 가로, 세로, 높이, 강도 등을 측정한 파라미터 값을 활용하여 자동으로 어군을 탐지하는 모듈이다. 주파수차법은 서로 다른 두 주파수(38 kHz, 120 kHz)의 주파수 차를 이용하여 어군의 음향신호를 분리하는 방법이다. 주파수 차이는 두 가지의 주파수에서 평균 체적후방산란강도(MVBS, mean volume backscattering strength)의 차이를 나타내는 것이며, 주파수차법($\Delta MVBS$ 기법)은 어류와 동물플랑크톤을 분리하기 위하여 사용된다. 주파수차법은 양의 값을 두기 위하여 분리하고자 하는 대상 종의 주파수별 음향산란강도(target strength, TS)를 비교하여 TS가 큰 값의 주파수에서 작은 값의 주파수를 가감하면 된다. 일반적으로 어류를 식별하기 위해서 주로 38 kHz를 사용하므로, 본 연구에서는 38 kHz에서 120 kHz를 가감한 주파수차법을 활용하였다. 주파수차법은 다음 식(2)로 표현할 수 있다.

$$\Delta MVBS = TS_{HF} - TS_{LF} = SV_{HF} - SV_{LF} \dots\dots\dots (2)$$

음향잡음을 제거한 음향자료에 fish school detection 모듈을 활용하여 가장 작은 어군의 음향신호까지 탐지하였다. fish school detection 모듈을 통해 식별되지 않는 일부 어군은 수동 탐지(manual detection)를 수행하여 보완하였다. 어군을 식별하기 위해서 사용한 fish school detection 모듈의 파라미터 값은 Table 2에 나타내었다. 그 후, 정치망 채집으로부터 확인된 우점종의 정보와 체적산란강도(volume backscattering strength, Sv)를 활용하여 주파수 간 차이($\Delta MVBS$) 구간을 설정한 뒤, 어류의 음향신호만을 식별하였다. 본 연구에서는 주파수차 범위를 $-2 \text{ dB} < \Delta MVBS_{38-120} < 18 \text{ dB}$ 로 설정하였다. 주파수차 범위를 설정한 후 data range bitmap을 만들어 이 범위에 설정된 음향신호와 주파수별 셀 크기에 매칭되는 음향신호로 mask를 만들었다. 만들어진 mask와 잡음 신호가 제거된 음향과 일치된 음향을 어군의 음향신호로 간주하였다(Fig. 2).

수중음향을 이용한 해양생물의 밀도 추정

조사해역에서 어군밀도를 정량적으로 추정하는 것은 수산자원을 평가하고, 자원 변동에 대한 과학적 근거를 제시할 때 매우 중요한 역할을 한다. 특히 우점종은 연안 생태계 구조와 어업자원 활용에 큰 영향을 미치는 대상이므로, 신뢰성 있는 밀도 추정이 요구된다. 음향기법을 이용하여 우점종의 어군밀도를 추정하기 위해서는 어종의 TS가 필요하다. 본 연구에서는 선행연구를 통해 나타난 어류의 음향산란강도를 인용하여 어군밀도를 추정하였다. 별치는 Park (2024)의 결과인 -68.9 dB, 전갱이는 Hwang et al. (2015)의 결과인 -65.3 dB, 고등어는 Park et al. (2022)의 -66.0 dB 값을 적용하였다. 음향산란강도의 선행연구 결과가 없는 어종은 일반적으로 경골어류에 적용하는 음향산란강도 값인 -72.0 dB을 적용하였다(Table 3; Lee and Shin, 2005). 조사해역 내 어류의 밀도를 추정하기 위해 과학어군탐지기로부터 0.1 n.mile (nautical mile) 간격으로 추출된 Sv 자료를 NASC (Nautical Area Scattering Coefficient, $\text{m}^2/\text{n.mile}^2$)로 변환한 값을 이용하였다. 체적산란강도를 NASC 값으로 변환하는 관계식은 식(3)에 나타내었다.

$$NASC = 4\pi 1852^2 \int_{f_1}^{f_2} Sv df \dots\dots\dots (3)$$

Table 1. Parameters to remove impulse noise

Parameters	Values
Exclude above	Surface
Exclude below	Bottom
Exclude below threshold (dB at 1 m)	-150
Vertical window units	Samples
Vertical window size (samples)	5
Horizontal size (pings)	5
Threshold (dB)	10
Noise sample replacement value	Mean

Table 2. Parameters for fish school detection

Parameters	Values
Minimum total school length (m)	0.1
Minimum total school height (m)	2.0
Minimum candidate length (m)	1.0
Minimum candidate height (m)	10.0
Maximum vertical linking distance (m)	10.0
Maximum horizontal linking distance (m)	1.0

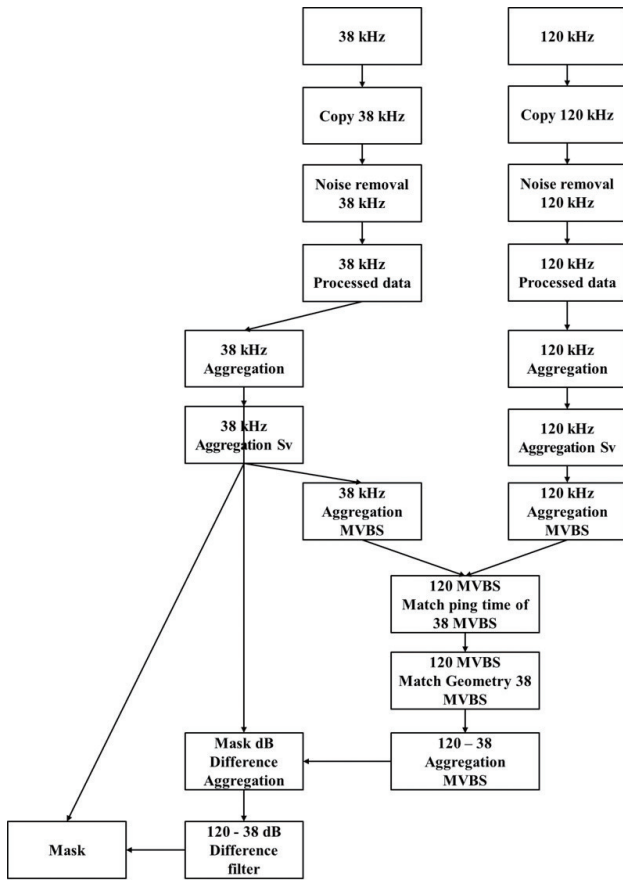


Fig. 2. Data flow of acoustic data analysis at 38 and 120 kHz for fish school detection.

NASC 값은 체적 내 수중 서식 생물로부터 수신되는 신호의 선형적인 합이므로 식(4)와 같이 대상생물의 밀도(ρ , g/m³)를 취득한 해수 체적 내 평균 NASC 값을 대상생물의 TS로 나눔으로써 계산할 수 있으며, 대상생물의 체장(L, cm)에 따른 TS와 후방산란단면적은 각각 식(5)와 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$NASC = \rho \cdot TS \dots\dots\dots (4)$$

Table 3. Target strength (TS) values of pelagic fish from previous studies

Species	Target Strength (TS)	References
<i>Engraulis japonicus</i>	$TS_{38\text{ kHz}} = 20 \log_{10} (TL) - 68.9$	Park et al. (2024)
<i>Scomber japonicus</i>	$TS_{38\text{ kHz}} = 20 \log_{10} (TL) - 66.0$	Park et al. (2022)
<i>Trachurus japonicus</i>	$TS_{38\text{ kHz}} = 20 \log_{10} (TL) - 65.3$	Hwang et al. (2015)
Non-target fish species	$TS_{38\text{ kHz}} = 20 \log_{10} (TL) - 72.0$	Lee and Shin (2005)

$$TS = 20 \log(L) + TS_{mm} \dots\dots\dots (5)$$

$$\sigma = 4\pi 10^{(TS/10)} \dots\dots\dots (6)$$

또한, 대상생물의 체장(L, cm) - 체중(w, g) 관계식은 다음 식 (7)과 같으며, 대상생물의 후방산란단면적 및 체장-체중 함수식은 음향조사 시기에 채집된 자료를 이용하였다.

$$w = aL^b \dots\dots\dots (7)$$

과학어군탐지기를 이용한 음향조사에서 송신된 신호가 조사 범위에 존재하는 모든 해양생물의 음향신호를 함께 받아들이며, 그 결과 해당 구간에 포함된 다양한 생물의 신호가 하나의 값으로 나타난다. 따라서, 조사해역 내에 여러 어종이 포함되어 도, 이를 개별 어종으로 구분하기 어렵다(Kim et al., 2024). 이러한 한계를 보완하기 위하여, 정치망 채집조사에서 채집된 어종 구성이 음향조사 정선 주변의 어군 구성과 동일하다는 가정을 적용하였다. 정치망을 통해 채집된 월별 우점종과 각 대상 어종의 음향산란강도 특성을 활용하여, NASC partitioning을 수행하였다. NASC partitioning이란 과학어군탐지기를 통해 측정된 총 NASC값을 종, 생물군 또는 크기군별로 분리하여 각각의 자원량을 추정하는 과정이다. 일반적으로 어획자료, 다중주파수 분석 및 어군 특성 등을 이용하여 총 NASC를 대상 생물군별로 분배하며, 이를 통해 대상종의 현존량을 보다 정확하게 추정할 수 있다. 월별 우점종의 면적산란계수는 식(8)과 같이 전체 NASC에 가중치를 적용하여 산정하였다.

$$NASC_i = \frac{\omega_i < \sigma_i > NASC}{\sum_{k=1}^n \omega_k < \sigma_k >} \dots\dots\dots (8)$$

한편, 대상생물의 밀도(ρ)는 식(9)와 같이 0.1 n.mile 간격의 체적 내의 평균 NASC 값을 대상생물의 후방산란단면적(σ)으로 나누고 무게를 곱하면 계산할 수 있다. 식(9)의 우변에서 NASC 값을 제외한 나머지 부분은 어류의 TS 특성과 체장-체중을 고려하여 음향자료로부터 밀도를 계산하는 변환계수(conversion factor, CF)를 구하였다. 대상생물의 후방산란단면적과 체중은 평균값을 사용하였다.

$$\rho = \left(\frac{NASC}{\sigma} \right) \cdot \omega = \frac{aL^b}{4\pi 10^{(TS/10)}} \cdot NASC \dots\dots\dots (9)$$

전체 조사해역의 평균 대상생물 밀도($\bar{\rho}$)는 각각 정선별 평균 밀도의 자료를 가중 평균(weighted mean)한 것으로 식(10)에 나타내었다.

$$\bar{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{\rho}_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^N n_i} \dots\dots\dots (10)$$

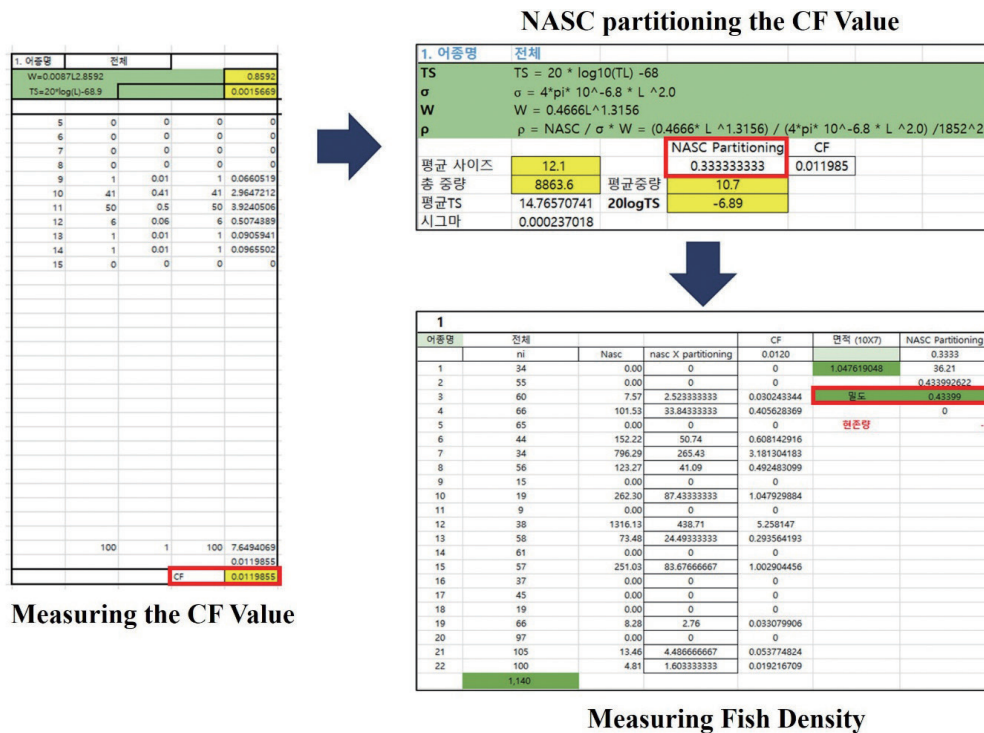


Fig. 3. Flowchart for estimating fish density.

$\bar{\rho}$ 는 i 번째 정선의 평균 밀도, n_i 는 i 번째 정선의 elementary distance sampling unit (EDSU) 수, N 은 정선수로 나타낸다. 위의 식으로 평균 대상생물의 밀도($\bar{\rho}$)를 추정할 수 있다. 따라서, 어군의 밀도를 산정하는 방법에 대한 data flow를 Fig. 3에 나타내었다.

결과 및 고찰

해양환경

2024년과 2025년 진해만 해역의 월별 평균 수온과 염분의 변화를 파악하였다. 2024년 진해만 해역의 수온은 3월 8.7°C, 4월 15.6°C, 5월 19.0°C, 6월 22.3°C로 상승하였으나, 7월 20.9°C로 감소하였다. 이후 8월과 9월에 각각 28.9°C와 28.0°C로 높은 수온을 유지하였다. 2025년 수온은 3월 7.2°C, 4월 13.9°C, 5월 15.5°C, 6월 18.5°C로 증가하였고, 7월 23.5°C, 8월 24.9°C, 9월 24.5°C로 나타났다(Fig. 4). 2024년과 2025년 3월부터 6월까지 수온은 모두 상승하는 경향을 보였으나, 7월 이후 수온은 뚜렷한 차이를 보였다. 2024년 8월과 9월에 수온은 각각 28.9°C와 28.0°C로 높게 나타났으나, 2025년 같은 시기에 수온은 각각 24.9°C와 24.5°C로 나타나 약 4.0°C 정도의 차이를 보였다. 이는 해당 시기 출현 종 구성에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 진해만 해역의 염분 분포는 2024년과 2025년에 서로 다른 양상을 보였다.

2024년 염분은 3월 31.9 psu, 4월 30.8 psu, 5월 31.7 psu로 나타났다으며, 6월 32.7 psu로 가장 높은 수치를 나타내었다. 이후 7월 30.0 psu, 8월 28.9 psu, 9월 30.6 psu로 나타났다. 2025년 염분은 3월에 33.7 psu로 가장 높은 수치를 나타내었고, 4월 32.7 psu, 5월 33.0 psu, 6월에 33.0 psu, 7월 32.8 psu로 일정한 수치를 유지하였다. 이후 8월 30.2 psu, 9월 31.8 psu로 나타났다(Fig. 5). 2024년 염분은 6월에 32.7 psu로 가장 높았으나, 이후 염분은 7월부터 9월까지 약 30.0 psu로 저염분 현상을 보였다. 반면 2025년 염분은 3월부터 9월까지 비슷한 분포를 나타내었으며, 8월에 염분은 30.2 psu로 감소하였다. 연도별 기상청 장마 예보에 따르면(KMA, 2025), 2024년에 장마 기간은 6월 22일부터 7월 27일로 약 36일간 지속되었으며, 강수량은 561.9 mm로 나타났다. 2025년에 장마 기간은 6월 19일부터 7월 1일까지로 약 13일간 지속되었으며, 강수량은 117.8 mm로 나타났다. 연도별 장마 기간과 강수량 차이가 두 해의 염분 변동에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

종 조성

정치망 어구를 활용하여 2024년 4월부터 9월, 2025년 5월부터 9월까지 진해만 해역에서 채집된 월별 종 다양성을 파악하였다. 2024년 3월, 2025년 3월과 4월에는 정치망이 설치되지 않아 어획자료를 수집하지 못하여 국립수산물학원에서 제공받은 자료를 활용하였다.

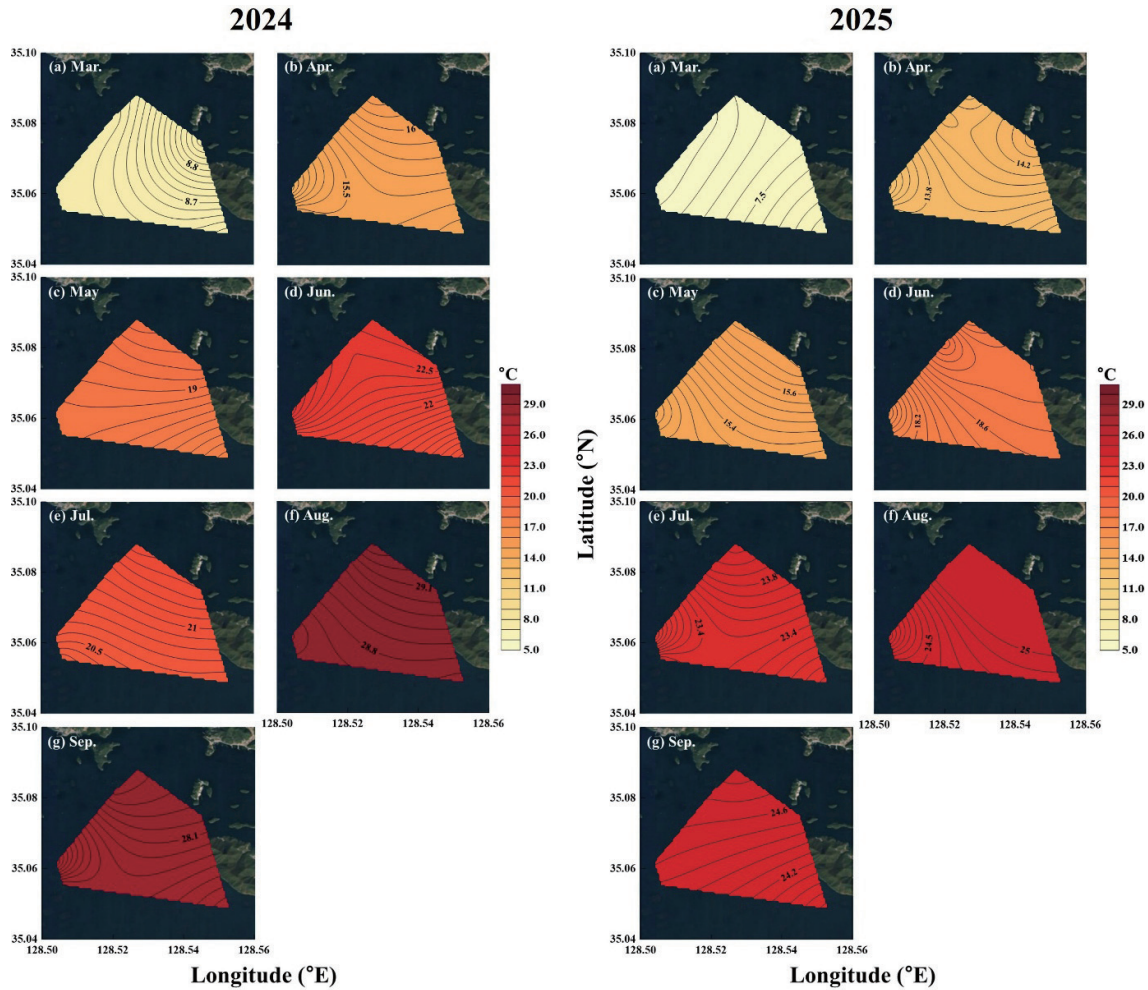


Fig. 4. Monthly temperature distribution in 2024 and 2025.

2024년의 결과, 4월에는 총 5종의 어류가 채집되었으며, 멸치 (*Engraulis japonicus*) 64%, 전어(*Konosirus punctatus*) 18%, 정어리(*Sardinops melanostictus*) 16%로 멸치가 우점종으로 나타났다. 5월에는 총 4종의 어류가 채집되었으며, 정어리 45%, 청어(*Clupea pallasii*) 29%, 고등어(*Scomber japonicus*) 24%로 정어리가 우점종으로 나타났다. 6월에는 정어리와 멸치 2종만이 채집되었으며, 정어리가 89%, 멸치가 11%로 나타났다. 7월에는 정어리 1종만이 채집되었다. 8월에는 총 3종의 어류가 채집되었으며, 전갱이(*Trachurus japonicus*) 92%, 고등어 6%, 정어리 2%로 전갱이가 우점종으로 나타났다. 9월에는 총 5종의 어류가 채집되었으며, 전갱이 57%, 고등어 19%, 꼬치고기(*Sphyræna pinguis*) 19%로 전갱이가 우점종으로 나타났다(Fig. 6, Table 4).

2025년의 결과, 4월에는 청어가 우점종으로 나타났다. 5월에는 총 16종의 어류가 채집되었으며, 망상어(*Ditrema tem-*

minckii) 24%, 정어리 19%, 멸치 17%, 주둥치(*Nuchequula nuchalis*) 14%, 전어 12% 순으로 우점하였다. 6월에는 총 8종의 어류가 채집되었으며, 전갱이 40%, 고등어 39%로 전갱이가 우점종으로 나타났다. 7월에는 총 7종의 어류가 채집되었으며, 멸치 35%, 전갱이 33%, 고등어 16%로 멸치가 우점종으로 나타났다. 8월에는 총 8종의 어류가 채집되었으며, 전갱이 74%, 고등어 16%로 전갱이가 우점종으로 나타났다. 9월에는 총 9종의 어류가 채집되었으며, 전갱이 68%, 멸치 14%, 망상어 10%로 전갱이가 우점종으로 나타났다(Fig. 7, Table 5).

2024년과 2025년 채집된 어획자료를 비교한 결과, 2024년에 11종에서 2025년 28종으로 종 다양성이 크게 증가하였다. 2024년에 멸치, 정어리, 전갱이가 월별 어획의 대부분을 차지하였으며, 우점종 구성이 단순하게 나타났다. 반면 2025년에 월별 출현 종수가 2024년과 비교하여 크게 증가하였으며, 망상어, 주둥치, 청어 등 다양한 종이 함께 출현하여 우점종 교체가 빈번하

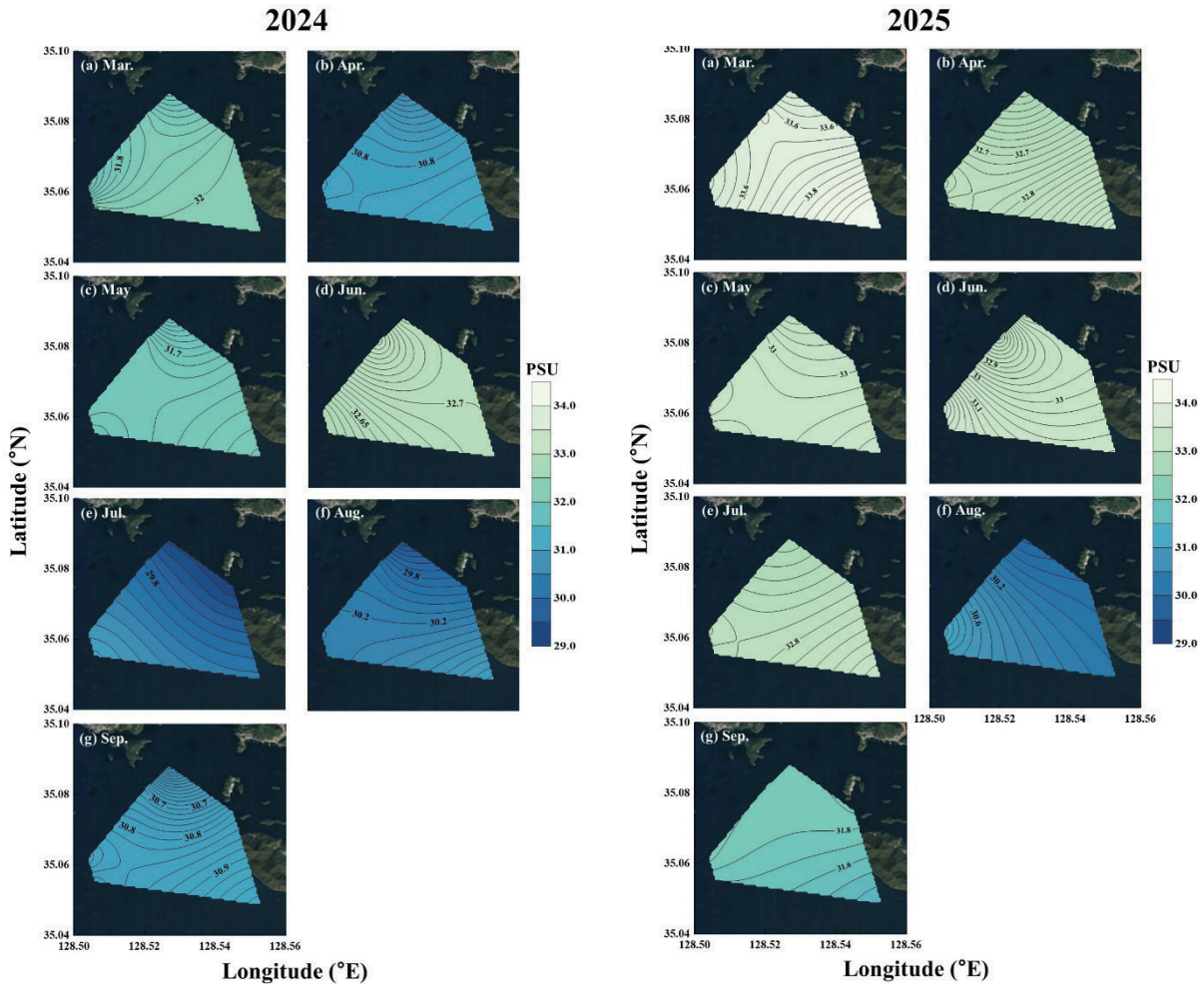


Fig. 5. Monthly salinity distribution in 2024 and 2025.

게 나타났다. 연도 간 종 다양성 차이는 진해만 수산자원이 환경 요인 변화에 민감하게 반응함을 시사한다. 실제 본 연구에서도 2024년과 2025년의 월별 수온은 차이를 보였으며, 이는 우점종의 출현에 영향을 미칠 수 있는 가능성이 있다. Shim et al. (2024)의 연구에 따르면 진해만은 수온·염분의 계절 변동 폭이 큰 내만으로 알려져 있으며, 여러 선행연구(Han et al., 2018; Kim et al., 2018; Lee et al., 2020)에서도 진해만의 종 조성은 수온, 염분, 먹이생물 분포 등 환경요인에 따라 크게 변동하는 것으로 나타나 본 연구 결과와 일치하는 경향을 보였다.

해양생물의 사·공간 분포

2024년 어군의 수평분포 분석 결과, 3월의 어군은 일부 정점에서 탐지되었으며, 평균 NASC 값은 $85.75 \text{ (m}^2/\text{n.mile}^2\text{)}$ 로 나타났다. 4월의 어군은 이전보다 높은 분포를 나타내었으며, 평균 NASC 값은 $128.60 \text{ (m}^2/\text{n.mile}^2\text{)}$ 로 나타났다. 5월의 어군은 조사해역 전체적으로 높은 분포를 나타내었으며, 평균 NASC

값은 $1,064.42 \text{ (m}^2/\text{n.mile}^2\text{)}$ 로 나타났다. 6월의 어군은 조사해역의 서쪽에 주로 탐지되었으며, 평균 NASC 값은 $1,215.00 \text{ (m}^2/\text{n.mile}^2\text{)}$ 로 나타났다. 7월의 어군은 조사해역에서 탐지되지 않았다. 8월의 어군은 일부 정점에서 어군이 탐지되었으며, 평균 NASC 값은 $235.57 \text{ (m}^2/\text{n.mile}^2\text{)}$ 로 나타났다. 9월의 어군은 8월보다 높은 분포를 나타내었으며, 평균 NASC 값은 $576.70 \text{ (m}^2/\text{n.mile}^2\text{)}$ 로 나타났다(Fig. 8).

2025년 어군의 수평분포 분석 결과를 보면, 3월과 6월의 어군은 조사해역에서 탐지되지 않았다. 4월의 어군은 조사해역 전체적으로 높은 분포를 나타내었으며, 평균 NASC 값은 $429.69 \text{ (m}^2/\text{n.mile}^2\text{)}$ 로 나타났다. 5월의 어군은 조사해역의 일부 정점에서만 탐지되었으며, 평균 NASC 값은 $448.12 \text{ (m}^2/\text{n.mile}^2\text{)}$ 로 나타났다. 7월과 8월에는 일부 정점에서만 많은 어군이 탐지되었으며, 평균 NASC 값은 각각 $33.30 \text{ (m}^2/\text{n.mile}^2\text{)}$ 와 $92.40 \text{ (m}^2/\text{n.mile}^2\text{)}$ 로 나타났다. 9월의 어군은 전 해역에서 가장 많이

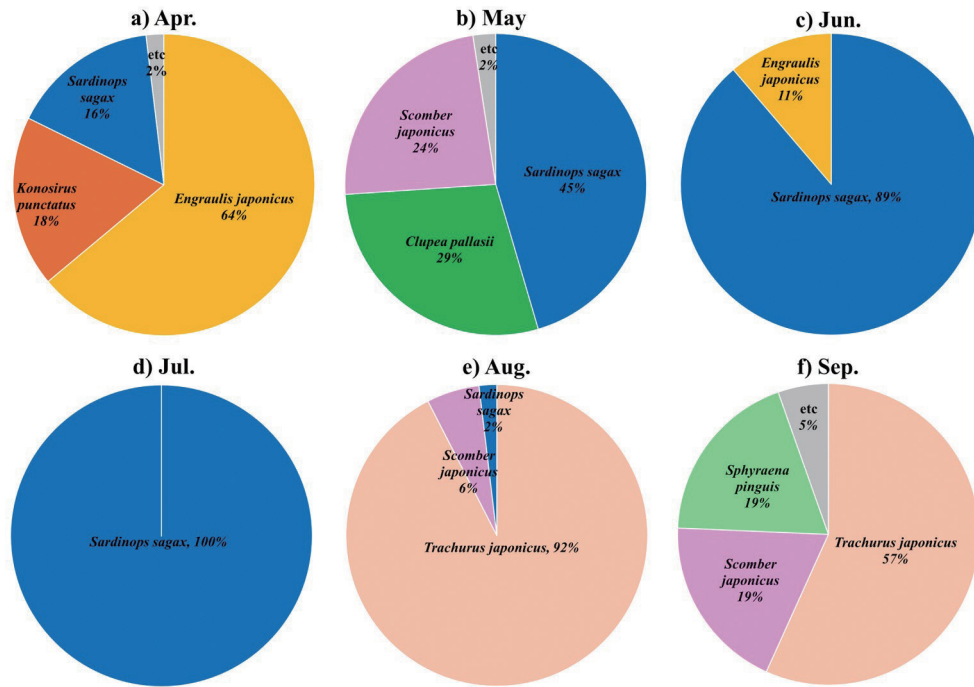


Fig. 6. Monthly variation in species composition of set-net catches in 2024, illustrating the relative abundance and distribution of major species for each sampling period.

Table 4. Species composition of set-net catch data in 2024

Month	Species	inds.	ratio (%)	catch (g)
Apr.	<i>Engraulis japonicus</i>	101	63.9%	600.3
	<i>Konosirus punctatus</i>	29	18.4%	3,034.4
	<i>Sardinops melanostictus</i>	25	15.8%	857.1
	<i>Setipinna tenuifilis</i>	2	1.3%	21.5
	<i>Hyporhamphus sajori</i>	1	0.6%	24.9
May	<i>Sardinops melanostictus</i>	75	45.5%	226.3
	<i>Clupea pallasii</i>	47	28.5%	128.5
	<i>Scomber japonicus</i>	39	23.6%	816.6
	<i>Konosirus punctatus</i>	4	2.4%	391.7
Jun.	<i>Sardinops melanostictus</i>	347	88.7%	2,441.4
	<i>Engraulis japonicus</i>	44	11.3%	119.9
Jul.	<i>Sardinops melanostictus</i>	93	100.0%	1,709.7
Aug.	<i>Trachurus japonicus</i>	98	92.5%	4,133.3
	<i>Scomber japonicus</i>	6	5.6%	593.8
	<i>Sardinops melanostictus</i>	2	1.9%	61.1
	<i>Trachurus japonicus</i>	42	55.3%	2,009.6
Sep.	<i>Scomber japonicus</i>	14	18.4%	1,509.4
	<i>Sphyræna pinguis</i>	14	18.4%	930.6
	<i>Trichiurus japonicus</i>	4	5.3%	409.6
	<i>Scomberomorus niphonius</i>	2	2.6%	602.3

inds., individuals.

탐지되었으며, 평균 NASC 값은 1,457.80 ($\text{m}^2/\text{n.mile}^2$)로 나타났다(Fig. 9).

진해만 해역 내 월별 수산자원의 분포와 변동을 파악하기 위해 음향조사를 수행하였다. 어군 수평분포는 2024년과 2025년에 서로 다른 패턴을 보였다. 2024년 5월과 6월에 어군의 평균 NASC 값은 각각 1,064.42 ($\text{m}^2/\text{n.mile}^2$)와 1,215.00 ($\text{m}^2/\text{n.mile}^2$)로 가장 높았으며, 7월에 어군은 탐지되지 않았다. 반면 2025년 9월에 어군의 평균 NASC 값은 1,457.80 ($\text{m}^2/\text{n.mile}^2$)로 가장 높게 나타났고, 3월과 6월에 어군은 탐지되지 않았다. 연도별 어군의 분포는 서로 다르게 나타났으며, 이러한 이유는 연도별 해양환경 조건과 생물학적 요인의 차이로 판단된다. 국립수산물과학원의 해파리 주의보에 따르면, 2024년 6월 말부터 부산, 경남 연안해역에 대량의 해파리 주의보가 발령되었으며, 2025년에는 5월말부터 부산, 경남 해역에 대량의 해파리 주의보가 발령되었다(NIFS, 2024b; NIFS, 2025). 해파리의 대량 발생은 먹이 경쟁, 어류의 회피 행동 등 어군 형성에 영향을 줄 수 있다(Chung et al., 2012; Park et al., 2015). 따라서, 2024년 7월과 2025년 6월에는 조사해역에 대량의 해파리가 출현하여 어류의 출현에 영향을 미친 것으로 판단된다.

해양생물의 밀도 추정

본 연구에서는 선행연구에서 제시된 어류의 음향산란강도를 활용하여 조사해역에 서식하는 월별 우점종의 어군밀도를

추정하였다(Table 6). 2024년 3월 어군밀도는 2024년 4월 채집자료를 활용하여 밀도를 계산하였다. 2024년 우점종의 어군 밀도를 추정한 결과, 3월에 어류의 밀도는 정어리 0.132 (g/m²), 멸치 0.011 (g/m²), 전어 0.195 (g/m²)로 총 밀도는 0.338 (g/m²)로 나타났다. 4월에 어류의 밀도는 정어리 0.174 (g/m²), 멸치 0.015 (g/m²), 전어 0.258 (g/m²)로 총 밀도는 0.447 (g/m²)로 나타났다. 5월 어류의 밀도는 정어리 0.057 (g/m²), 고등어 0.988 (g/m²)로 총 밀도는 1.045 (g/m²)로 나타났다. 6월에 어류의 밀도는 정어리 2.362 (g/m²), 멸치 0.082 (g/m²)로 전체 밀도는

2.444 (g/m²)로 나타났다. 7월에는 음향자료에서 어군 신호가 탐지되지 않아 밀도는 계산하지 않았다. 8월에는 정어리 0.002 (g/m²), 고등어 0.058 (g/m²), 전갱이 0.658 (g/m²)이었고, 총 밀도는 0.718 (g/m²)로 나타났다. 9월에는 고등어 0.528 (g/m²), 전갱이 0.833 (g/m²), 꼬치고기 0.218 (g/m²)이었고, 총 밀도는 1.579 (g/m²)로 나타났다. 2025년 우점종의 어군밀도를 추정한 결과를 보면, 3월과 6월에는 음향자료에서 어군 신호가 탐지되지 않았다. 4월에는 청어 0.818 (g/m²)로 나타났다. 5월에는 정어리 0.838 (g/m²), 망상어 0.941 (g/m²), 멸치 0.001 (g/m²)이었고, 총 밀도는 1.781 (g/m²)로 나타났다. 7월에는 전갱이 0.013 (g/m²), 멸치 0.001 (g/m²), 고등어 0.004 (g/m²)이었고, 총 밀도는 0.018 (g/m²)로 나타났다. 8월에는 고등어 0.212 (g/m²), 전갱이 0.001 (g/m²)이었고, 총 밀도는 0.213 (g/m²)로 나타났다. 9월에는 전갱이 1.887 (g/m²), 멸치 0.003 (g/m²)이었고, 총 밀도는 1.890 (g/m²)로 나타났다(Table 6).

최근 진해만 해역은 수질 악화와 기후변화로 인해 수산자원의 변동성이 커지고 있다. 따라서 진해만 해역의 수산자원을 지속적으로 이용하기 위해서는 적절한 수산자원관리와 모니터링이 필요하다. 본 연구에서는 CTD를 활용한 해양환경조사, 정치망 어업을 활용한 채집조사, 과학어군탐지기를 이용한 음향조사를 수행하였으며, 이를 바탕으로 진해만 해역 내 우점종의 연도

Table 5. Species composition of set-net catch data in 2025

Month	Species	inds.	ratio (%)	catch (g)
Apr.	<i>Clupea pallasii</i>	44	100.0%	1,970.5
	<i>Ditrema temminckii</i>	59	23.5%	2,680.4
	<i>Sardinops melanostictus</i>	48	19.1%	2,276.5
	<i>Engraulis japonicus</i>	42	16.7%	97.1
	<i>Nuchequula nuchalis</i>	36	14.3%	552.9
	<i>Konosirus punctatus</i>	31	12.4%	847.7
	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	19	7.6%	87.2
	<i>Sillago sihama</i>	4	1.6%	159.8
	<i>Periophthalmus modestus</i>	2	0.8%	7.0
	<i>Zoarcetes gillii</i>	2	0.8%	17.7
May	<i>Pholis nebulosa</i>	2	0.8%	48.8
	<i>Liparis tanakae</i>	1	0.4%	18.8
	<i>Hexagrammos agrammus</i>	1	0.4%	12.7
	<i>Takifugu niphobles</i>	1	0.4%	23.1
	<i>Hemitripterus villosus</i>	1	0.4%	13.6
	<i>Thryssa kammalensis</i>	1	0.4%	5.6
	<i>Clupea pallasii</i>	1	0.4%	12.6
	<i>Trachurus japonicus</i>	35	39.8%	203.8
	<i>Scomber japonicus</i>	34	38.6%	1,609.0
	<i>Chromis notata</i>	5	5.7%	27.5
Jun.	<i>Ditrema temminckii</i>	4	4.5%	11.0
	<i>Konosirus punctatus</i>	3	3.4%	369.9
	<i>Engraulis japonicus</i>	3	3.4%	22.8
	<i>Pholis nebulosa</i>	2	2.3%	37.3
	<i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	2	2.3%	12.6
	<i>Engraulis japonicus</i>	32	34.8%	119.8
	<i>Trachurus japonicus</i>	30	32.6%	1,236.1
	<i>Scomber japonicus</i>	15	16.3%	1,706.3
	<i>Trichiurus japonicus</i>	10	10.9%	278.0
	<i>Ditrema temminckii</i>	3	3.2%	21.2
Jul.	<i>Sardinops melanostictus</i>	1	1.1%	77.3
	<i>Sillago sihama</i>	1	1.1%	36.3

Table 5. Continued

Month	Species	inds.	ratio (%)	catch (g)
Aug.	<i>Trachurus japonicus</i>	130	73.9%	3,328.4
	<i>Scomber japonicus</i>	29	16.5%	2,900.2
	<i>Trichiurus japonicus</i>	9	5.1%	500.1
	<i>Nuchequula nuchalis</i>	3	1.7%	31.1
	<i>Jaydia lineata</i>	2	1.1%	19.1
	<i>Hexagrammos agrammus</i>	1	0.6%	116.2
	<i>Sebastes inermis</i>	1	0.6%	71.5
	<i>Sebastiscus tertius</i>	1	0.6%	45.1
	<i>Trachurus japonicus</i>	91	68.4%	3,663.6
	<i>Engraulis japonicus</i>	19	14.3%	204.1
Sep.	<i>Ditrema temminckii</i>	13	9.5%	377.3
	<i>Platycephalus indicus</i>	3	2.3%	330.0
	<i>Jaydia lineata</i>	3	2.3%	21.5
	<i>Scomber japonicus</i>	1	0.8%	48.1
	<i>Pagrus major</i>	1	0.8%	39.2
	<i>Thamnaconus modestus</i>	1	0.8%	47.1
	<i>Sphyrnaena pinguis</i>	1	0.8%	59.2

inds., individuals.

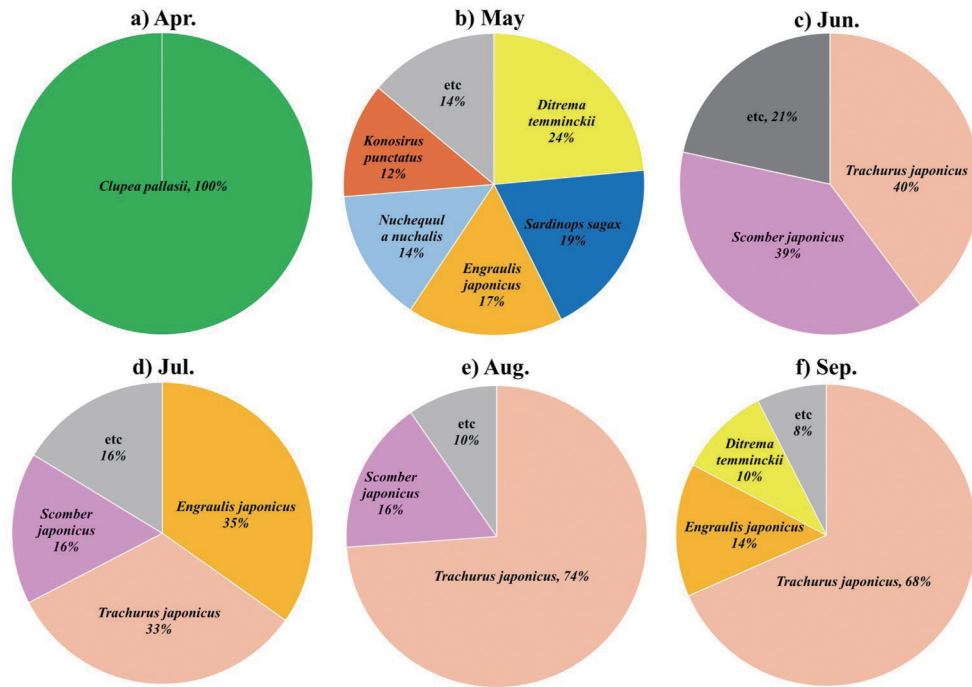


Fig. 7. Monthly variation in species composition of set-net catches in 2025, illustrating the relative abundance and distribution of major species for each sampling period.

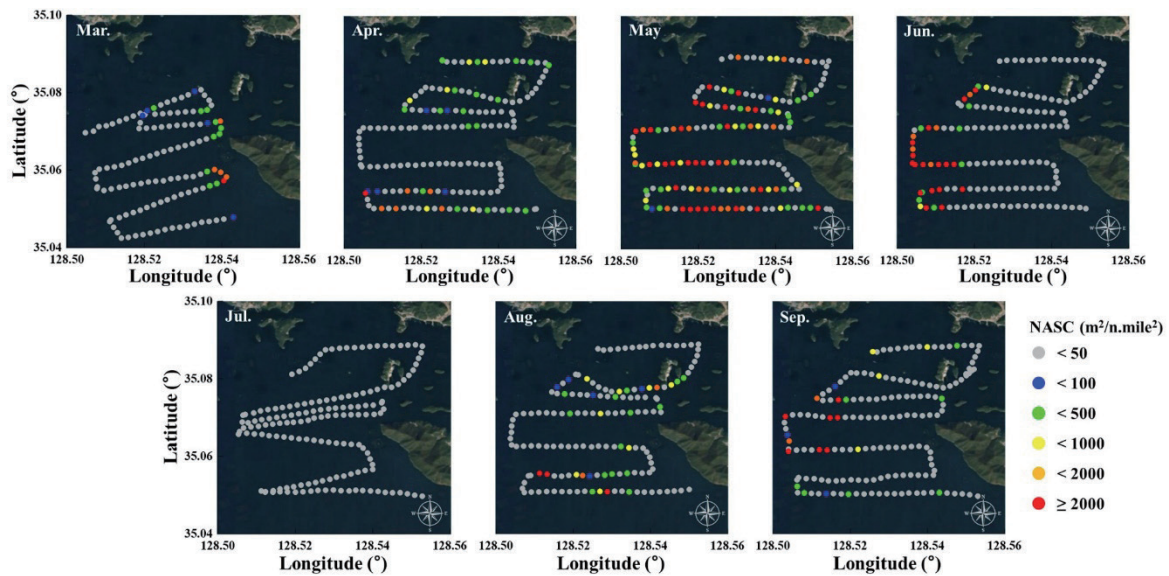


Fig. 8. Horizontal distribution in Jinhae Bay in 2024, derived using hydroacoustic data, showing the spatio-temporal distribution characteristics of marine organisms for each survey period.

별 자원 변화 양상과 밀도를 추정하였다. 본 연구 결과는 진해만 내 수산자원의 분포와 변동 양상을 이해하는 데 기여할 수 있으

며, 향후 연안해역에서 수산자원의 분포와 변동을 파악하기 위한 연구에 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

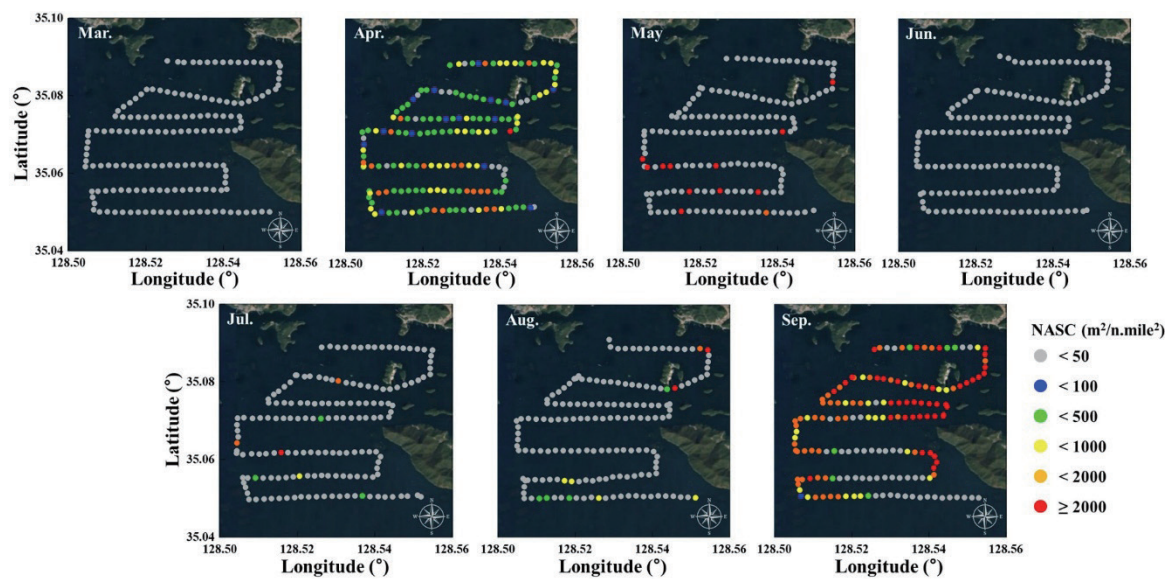


Fig. 9. Horizontal distribution in Jinhae Bay in 2025, derived using hydroacoustic data, showing the spatio-temporal distribution characteristics of marine organisms for each survey period.

Table 6. Monthly density of major pelagic fish species

Month	Species	Density (g/m ²)	
		2024	2025
Mar.	<i>Sardinops melanostictus</i>	0.132	-
	<i>Engraulis japonicus</i>	0.011	-
	<i>Konosirus punctatus</i>	0.195	-
	Total	0.338	-
Apr.	<i>Sardinops melanostictus</i>	0.174	-
	<i>Engraulis japonicus</i>	0.015	-
	<i>Konosirus punctatus</i>	0.258	-
	<i>Clupea pallasii</i>	-	0.818
	Total	0.447	0.818
May	<i>Sardinops melanostictus</i>	0.057	0.838
	<i>Scomber japonicus</i>	0.988	-
	<i>Ditrema temminckii</i>	-	0.942
	<i>Engraulis japonicus</i>	-	0.001
	Total	1.045	1.781
Jun.	<i>Sardinops melanostictus</i>	2.362	-
	<i>Engraulis japonicus</i>	0.082	-
Total		2.444	-

Table 6. Continued

Month	Species	Density (g/m ²)	
		2024	2025
Jul.	<i>Trachurus japonicus</i>	-	0.013
	<i>Engraulis japonicus</i>	-	0.001
	<i>Scomber japonicus</i>	-	0.004
	Total	-	0.018
Aug.	<i>Sardinops melanostictus</i>	0.002	-
	<i>Scomber japonicus</i>	0.058	0.212
	<i>Trachurus japonicus</i>	0.658	0.001
	Total	0.718	0.213
Sep.	<i>Scomber japonicus</i>	0.528	-
	<i>Trachurus japonicus</i>	0.833	1.887
	<i>Sphyræna pinguis</i>	0.218	-
	<i>Engraulis japonicus</i>	-	0.003
Total		1.579	1.890

본 논문을 사려 깊게 검토하여 주신 심사위원님들과 편집위원님께 감사드립니다. 본 연구는 (재)국립부경대학교발전기금 지원으로 수행되었습니다(과제번호 202415380001/환경유전체 기반 수산자원평가 구축).

사 사

이 논문은 2026년 국립수산물연구원 수산과학연구사업(근해어업자원조사, R2026001)의 지원으로 연구된 사업입니다. 또한,

References

Anderson CIH, Brierley AS and Armstrong F. 2005. Spatio-temporal variability in the distribution of epi- and meso-pelagic

- acoustic backscatter in the Irminger Sea, North Atlantic, with implications for predation on *Calanus finmarchicus*. Mar Biol 146, 1177-1188. <https://doi.org/10.1007/s00227-004-1510-8>.
- Baek JI, Ji HS, Yu HJ, Hwang KS and Kim DN. 2021. Distribution of eggs and larvae in coastal waters of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 54, 467-479. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0467>.
- Cho WH, Kim KH and Lee IC. 2024. Analysis of long-term changes for fisheries production and marine-ecosystem index in Jinhae Bay considering climate change. J Korean Soc Mar Environ Saf 30, 291-298. <https://doi.org/10.7837/kosomes.2024.30.4.291>.
- Chung MH, Youn SH and Yoon WD. 2012. Research trends of the jellyfish blooms. J Korean Soc Oceanogr 17, 25-31. <https://doi.org/10.7850/jkso.2012.17.1.025>.
- Chyung MK. 1977. The Fishes of Korea. Il Ji Sa Publishing Co., Seoul, Korea, 1-727.
- Han IS, Oh WS, Yoon EA, Suh YS, Lee KH and Sin H. 2017. The relationship between fish and zooplankton in southwestern region of the East Sea using hydroacoustics. J Korean Soc Fish Technol 53, 376-385. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2017.53.4.376>.
- Han KH, Yu TS, Lee J and Lee SH. 2018. Seasonal variation in species composition of ichthyoplankton in northern Jinhae Bay, Korea. Korean J Fish Aquat Sci 51, 72-78. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0072>.
- Hwang KS, Yoon EA, Lee KH, Lee HB and Hwang DJ. 2015. Multifrequency acoustic scattering characteristics of jack mackerel by KRM model. J Korean Soc Fish Ocean Technol 51, 424-431. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2015.51.3.424>.
- ICES (International Council for the Exploration of the Sea). 2007. Collection of acoustic data from fishing vessels. ICES Cooperative Research Report 287, 23-29.
- Ji YG, Shim KK, Song KW, Yoon EA and Hwang DJ. 2016. Acoustic scattering characteristic depend on length and swimming angle of scorpion fish (*Sebastes marmoratus*) based on ex-situ method. Bull Inst Fish Technol 9, 1-5.
- Kim GB, Choi SH and Choi CG. 2024. A study on the estimation of fisheries resources at Ullueng Coastal Marine Ranching Area in 2023. Aquatic Nature 4, 21-40. <https://doi.org/10.23135/an.2024.4.1.3>.
- Kim HJ, Jeong JM, Park JH, Huh SH and Baek GW. 2018. Species composition of larval fishes in the eastern Jinhae Bay, Korea. J Korean Soc Fish Ocean Technol 54, 81-88. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2018.54.1.081>.
- Kim JG, Yu SJ and Park CK. 1995. The eutrophication modeling for Jinhae Bay in summer-the countermeasures against eutrophication in Jinhae Bay. J Korean Soc Environ Eng 17, 215-223.
- Kim JW, Kim KJ, Bold M, Kim KS, Yoon JD, Kim JH, Kim MS, Kim KH and Jang MH. 2025. Fish biodiversity assessment via environmental DNA in Korean lakes. Korean J Ecol Environ 58, 308-327. <https://doi.org/10.11614/KSL.2025.58.3.308>.
- Kim YH, Kim JB and Chang DS. 2003. Seasonal variation of abundance and species composition of fishes caught by a set net in the coastal waters off Yosu, Korea. J Korean Fish Soc 36, 120-128. <https://doi.org/10.5657/kfas.2003.36.2.120>.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2025. Open MET data Portal. Retrieved from <https://data.kma.go.kr/climate/rainySeason/selectRainySeasonList.do> on July 12, 2026.
- Koslow JA. 2009. The role of acoustics in ecosystem-based fishery management. ICES J Mar Sci 66, 966-973. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp082>.
- Kwak SN and Park JM. 2016. Fish assemblage in a rocky subtidal habitat around Jam-do, Jinhae. Korean J Ichthyol 28, 273-278.
- Lee DJ and Shin HI. 2005. Construction of a data bank for acoustic target strength with fish species, length and acoustic frequency for measuring fish size distribution. J Korean Fish Soc 38, 265-275.
- Lee DJ, Kang SK, Choi KH and Jung KM. 2014. Species composition and seasonal variations of fishes collected by set net in coastal waters of Gijang, Korea. Korean J Fish Aquat Sci 47, 983-996. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0983>.
- Lee SH, Min JW, Yu TS and Han KH. 2020. Seasonal fluctuation in abundance and species composition of fish collected by a fyke net in coastal waters off Jinhae Bay. Bull Inst Fish Technol 13, 82-87. <https://doi.org/10.15399/jfti.2020.02.13.1.82>.
- Lee TW, Moon HT and Huh SH. 2000. Seasonal variation in fish species composition in the sheltered shallow water off Yongwon, Jinhae in the southern coast of Korea. J Korean Fish Soc 33, 243-249.
- Lee YD, Choi CH, Moon SY, Lee SK and Gwak WS. 2017. Spawning characteristics of *Clupea pallasii* in the coastal waters off Gyeongnam, Korea, during spawning season. Ocean Sci J 52, 581-586. <https://doi.org/10.1007/s12601-017-0046-z>.
- Masuda H, Uyeno T and Yoshino T. 1984. The Fishes of the Japanese Archipelago. Vol. 1. Amaoka K and Araga C, eds. Tokai University Press, Tokyo, Japan, 1-437.
- Moon SY, Choi JH, Lee HW, Kim JN, Heo JS, Gwak WS and Lee YD. 2019. Distribution and characteristics of Pacific herring *Clupea pallasii* spawning beds in Jinhae Bay, Korea. Korean J Fish Aquat Sci 52, 534-538. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0534>.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2024a. Annual report for climate change trends in fisheries 2024. National Institute of Fisheries Science Report, 1-46.
- NIFS. 2024b. Jellyfish alert report. NIFS Marine Situation Bulletin. Retrieved from <https://www.nifs.go.kr/board/action-Board0022List.do> on July 12, 2026.
- NIFS. 2025. Jellyfish alert report. NIFS Marine Situation Bulletin.

- letin. Retrieved from <https://www.nifs.go.kr/board/action-Board0022List.do> on July 12, 2026.
- Park GC, Oh WS, Oh SY and Lee KG. 2022. Acoustic scattering characteristics of chub mackerel (*Scomber japonicus*) by KRM model. J Korean Soc Fish Ocean Technol 58, 32-38. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2022.58.1.032>.
- Park GC. 2024. Study on the identification of anchovy (*Engraulis japonicus*) using hydroacoustic and the frequency dependence of target strength. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Park SW, Lee KH, Yoon WD, Lee DG, Kim SH, Yang YS and Lee GH. 2015. A study on the damage reduction strategy against a harmful aquatic organism, jellyfish's bloom. J Fish Mar Sci Educ 27, 49-62. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2015.27.1.49>.
- Shim JH, Ye MJ, Lim JH, Kim JB and Park JH. 2024. Environmental parameters related to hypoxia and eutrophication in Jinhae Bay, Korea. J Mar Sci Eng 12, 14. <https://doi.org/10.3390/jmse12010014>.
- Simmonds J and MacLennan D. 2008. Fisheries Acoustics: Theory and Practices. 2nd ed. Blackwell Science, Oxford, U.K.
- Yang YS, Lee KH, Hwang BK, Lee HB, Kim IO and Kim SH. 2014. Backscattering strength and vertical distribution of dominant fishes in inland waters by hydroacoustics. J Korean Soc Fish Technol 50, 476-486. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2014.50.4.476>.
- Yoon CH. 2002. Fishes of Korea with Pictorial Key and Systematic List. Academy Publication Co., Seoul, Korea, 1-747.
- Yoon EA, Lee KH, Hwang KS, Lee HB, Han IW and Hwang DJ. 2016. Acoustical backscattering characteristic depending on the changes in the body of sandfish (*Arctoscopus japonicus*). J Korean Soc Fish Technol 52, 36-41. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2016.52.1.036>.