

다중주파수를 이용한 살오징어(*Todarodes pacificus*)의 분포밀도 추정

신형호 · 정종일¹ · 이형빈² · 오우석¹ · 박근창¹ · 이경훈*

전남대학교 해양생산관리학과, ¹전남대학교 수산과학과, ²국립수산과학원 수산자원연구센터

Density Estimation of Japanese Common Squid *Todarodes pacificus* Using Multi-frequency

Hyoung-Ho Shin, Jongil Jung¹, Hyoungbeen Lee², Wooseok Oh¹, Geunchang Park¹ and Kyounghoon Lee*

Division of Marine Production Management, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

¹Division of Fisheries Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

²Fisheries Resources Resherch Center, National Institute of Fisheries Sceiences, Tongyeong 53064, Korea

The Japanese common squid *Todarodes pacificus* is one of the fish species within the total allowable catch (TAC) system which requires further investigation. In this study, the acoustic survey method was used to analyze the distribution of the Japanese common squid *Todarodes pacificus* across all the seas of South Korea. The sea area within Korea was investigated using the research vessels 20, 21, and 22 of the National Institute of Fisheries Science. The acoustic surveys were carried out from July to September 2019 and February to May 2020. The acoustic systems used in the survey had frequencies of 38 kHz and 120 kHz (EK60, EK80, Simrad, Norway) of the split-beam scientific echosounder. The results showed that, in spring, 277 m²/nmi² was the highest in the east sea area, and the same in the summer season 880 m²/nmi² was the highest in the east sea area. In autumn, the highest nautical area scattering coefficient (NASC) value was observed in the coastal portion of the south sea, and in winter, the NASC values were generally low in all the sea area.

Keyword: Acoustic survey, Japanese common squid, Density estimation, Acoustic analysis

서 론

살오징어(*Todarodes pacificus*)는 개안목(Oegopsida), 살오징어과(Ommastrephidae)의 두족류 단년생 연체동물로 알려져 있으며, 살오징어의 분포는 해류의 세기, 방향, 먹이생물 분포, 수온 등의 해양환경에 영향을 받는다. 또한, 살오징어의 서식 수온은 4-27°C로 광온성 생물이며, 살오징어의 서식 수심분포는 주로 표층-200 m까지 분포한다(Roper et al., 1969; Okutani, 1983; Roper et al., 1984; Bower and Sakurai, 1996). 우리나라 연근해 해역에서 살오징어의 어획량은 1993년 이후로 약 20만톤 내외로 상회하였으나, 2005년에 약 18만톤으로 어획량이 점차 감소하는 추세를 나타내었다. 그리고, 2017년에 약 8만톤이 어획됨으로써 살오징어의 어획량이 크게 감소하였고, 이후 2020년에는 약 5.6만톤으로 급격하게 감소하는 경향을 나타

냈다(MOF, 2021). 살오징어는 총허용어획량(total allowable catch, TAC) 어종으로 수산자원 관리와 지속적인 어업을 유지하기 위해서 살오징어의 시·공간 분포 특성과 자원 생태 모니터링이 필요하다(Lee et al., 2009; Hwang et al., 2016).

수산자원의 시·공간 분포 특성과 현존량 파악을 위한 연구는 직접 자원 조사법인 어구를 이용하여 수산 자원을 평가하는 방법과 동물플랑크톤 네트를 이용하여 먹이생물 관계를 파악하여 수산 자원을 평가하는 방법 등이 있다. 그러나, 채집에 의한 자원평가방법은 정확한 어종을 파악할 수 있다는 장점이 있으나, 채집효율과 어종의 유영행동에 따른 오차가 발생할 수 있다. 그리고, 조사 정점에 따른 조사 시간과 비용이 많아지는 단점도 있다. 수중음향 방법은 다양한 주파수를 이용함으로써 짧은 시간 동안 넓은 해역의 전 수층에 대한 정보를 파악할 수 있어 수산 선진국에서 수산자원의 밀도와 현존량을 평가하는 기술로

*Corresponding author: Tel: +82. 61. 659. 7124 Fax: +82. 61. 659. 7129

E-mail address: khlee71@jnu.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.2021.1023>

Korean J Fish Aquat Sci 54(6), 1023-1029, December 2021

Received 3 December 2021; Revised 14 December 2021; Accepted 22 December 2021

저자 직위: 신형호(교수), 정종일(대학원생), 이형빈(연구원), 오우석(대학원생), 박근창(대학원생), 이경훈(교수)

활발하게 이용되고 있다 그러나, 수중음향을 이용한 방법은 정확한 어종을 파악할 수 없는 단점이 있다(Hwang et al., 2002; Kang et al., 2004; Yang et al., 2014; Yoon et al., 2014; Han et al., 2017). 국내에서 수중 음향을 이용하여 오징어의 분포 및 밀도 추정에 관한 연구들이 진행되고 있다(Lee et al., 2009; Lee et al., 2017).

따라서, 본 연구에서는 채집 조사와 수중 음향을 이용하여 우리나라 주변에 분포하고 있는 살오징어의 계절별 시·공간분포 및 밀도를 파악하고자 한다.

재료 및 방법

조사해역 및 시기

살오징어 음향조사는 국립수산물과학원 소속의 탐구20호(R/V, 885G/T), 탐구21호(R/V, 999G/T), 탐구22호(R/V, 1,458G/T)를 이용하였고, 조사는 탐구호에 탑재된 과학어군탐지기를 이용하여 음향조사를 수행하였다(Table 1). 또한, 살오징어의 채집은 각 조사선에서 저층트롤을 이용하였다. 탐구20호의 조사시기와 해역은 2019년 7월 서해 해역, 8월 서·남해 해역, 9월 서·남해 해역, 2020년 4월 서·남해 해역에서 수행되었으며, 탐구21호의 조사시기와 해역은 2019년 8월 동·남해 해역, 2020년 2월 서·남해 해역, 3월 서해 해역, 4월 서·남해 해역, 5월 서·남해 해역에서 수행되었다. 또한, 탐구22호의 조사시기와 해역은 2019년 9월 동·남해 해역, 2020년 2월 서·남해 해역, 4월 동·남해 해역, 5월 동·남해 해역에서 수행되었다(Fig. 1). 음향자료는 선속을 10 knot 유지하면서 수집하였다.

음향시스템의 구성 및 자료 수집

조사에 사용한 음향시스템은 split beam 방식의 EK60 (18, 38, 70, 120, 200 kHz)과 EK80 (18, 38, 70, 120, 200, 333 kHz) 과학어군탐지기(Simrad, Norway)을 이용하여 음향자료를 수집하였다. 음향자료는 음향자원평가에서 기본적으로 권고하고 있는 펄스 폭 1,024 ms, 펄스 반복주기를 1 sec로 설정하여 수집하였고, DGPS 수신기로부터 연속적으로 위치 정보를 수신하여 음향자료와 함께 하드디스크에 수록하였다.

Table 1. Survey area and period

Research vessel	Year	Month	Survey area
Tamgu 20 th	2019	July, Aug., Sept.	South, Southwest sea
	2020	Apr.	Southwest sea
Tamgu 21 st	2019	Aug.	South, East South, Southwest sea
	2020	Feb., Mar., Apr., May	Southwest sea
Tamgu 22 nd	2019	Sept.	East South, Southwest sea
	2020	Feb., Apr., May	Southwest sea

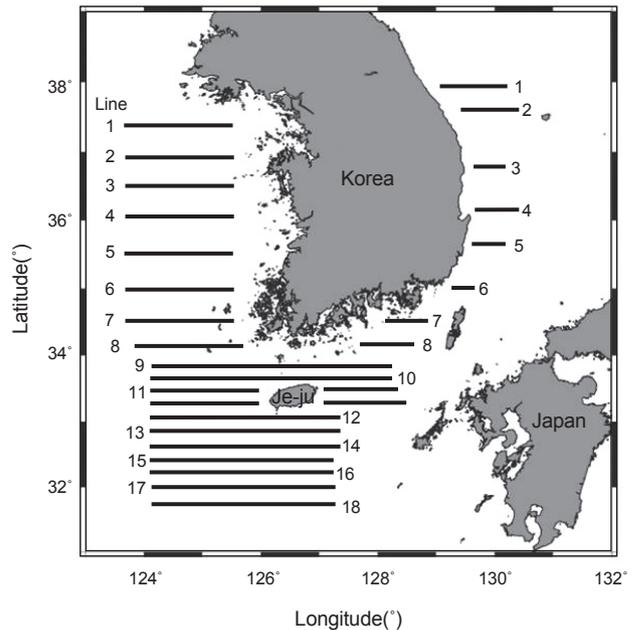


Fig. 1. Acoustic survey line and survey area.

음향자료 잡음 제거

현장에서 수집된 음향 자료는 음향 분석 소프트웨어(Echoview V 9.0; Echoview Software Pty Ltd., Australia)를 이용하여 처리하였고 살오징어의 에코를 식별하기 위해서 38, 70, 120 kHz에 대한 음향자료만 분석하였다.

과학어군탐지기를 이용하여 음향자료를 수집할 때, 각종 음향 잡음으로 인하여 정상적인 에코 신호에 대한 손실이 문제가 되고 있다. 본 연구에서 나타난 음향잡음의 종류는 다음과 같다. 임펄스 잡음은 다른 선박에 탑재된 음향 장비의 간섭으로 인하여 발생하며, 불규칙적으로 굵은 비가 내리는 수직적인 형태가 특징이다. 임펄스 잡음은 지정영역의 중앙 데이터 표본에 수평 범위의 변동에 대한 각각의 표본값을 제외했을 때, 그 값이 역치값 보다 큰 경우 제거가 되며 이 방법을 two-sided comparison method라고 한다(Fig. 2).

$$S_{vi,j} - S_{v(i+n),j} > \delta \text{ and } S_{vi,j} - S_{v(i+n),j} > \delta \dots\dots\dots (1)$$

전기적 잡음은 선내의 각종 전기장비에 의한 전기적 노이즈로서, 규칙적으로 이슬비가 내리는 형태가 그 특징이다. 전기적 잡음은 지정영역의 중앙 데이터 표본에 그 영역의 중위값을 가감했을 때, 그 값이 역치값보다 큰 경우 제거된다. 임펄스 잡음과 전기적 잡음을 제거하기 위한 파라미터는 아래의 표와 같다 (Table 2, Table 3).

$$S_{vi,j} - \overline{S_{vm,n}} > \delta \text{ and } S_{vi,j} - \overline{S_{vm,n}} > \delta \dots\dots\dots (2)$$

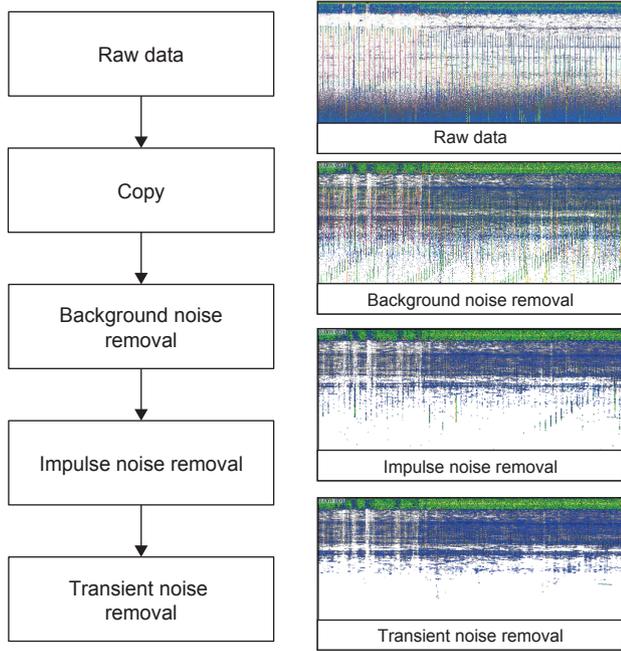


Fig. 2. Data flow and echograms of acoustic data noise removal.

다중주파수 차이를 이용한 살오징어 에코 추출

살오징어의 에코신호를 분리하기 위해서는 주파수 38, 70, 120 kHz에 대한 주파수 특성 및 차이를 파악하여야 한다. 여

Table 2. Parameters to remove background noise

Frequency	38 kHz	70 kHz	120 kHz
Horizontal extent (ping)	20	20	20
Vertical units	samples	samples	samples
Vertical extent (samples)	5	5	5
Vertical overlap (%)	0	0	0
Maximum noise (dB)	-125	-125	-120
Minimum signal-to-noise ratio (SNR)	10	10	10

Table 3. 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

기서, 주파수 차이는 다중주파수에서 평균체적후방산란강도 (mean volume backscattering strength, MVBS)의 차이를 나타내는 것으로 $\Delta MVBS$ 는 양의 값을 두기 위하여 대상 종의 주파수별 TS (target strength)를 비교하여 TS가 큰 값의 주파수에서 작은 값의 주파수를 감하면 된다. 행렬로 만들어진 38, 70, 120 kHz의 새로운 에코그램에서 $\Delta MVBS$ 는 다음 식 (3)로 표현할 수 있다.

$$\Delta MVBS = TS_{HF} - TS_{LF} \text{ and } Sv_{HF} - Sv_{LF} \dots\dots\dots (3)$$

살오징어의 주파수 차이 및 종을 식별하기 위한 자료 처리 흐름도는 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 해수면부근과 해저면 및 그 밖의 노이즈를 필터링한 후, 적분 구간을 설정하면 주파수별 행렬이 구성되어 새로운 에코그램이 생성된다. 본 연구에서는 주파수 차이를 알아보기 위한 셀의 크기는 5 ping × 5 m (가로 × 세로)를 적용하였다.

주파수 차이가 명확해지면 그 값의 범위를 설정하여 data range bitmap (Table 4)을 만들고, 이 범위에 설정된 에코신호와 주파수마다 셀 크기와 매칭되는 에코신호로 mask를 만들어 다시 ping 간격으로 나누어 노이즈가 제거된 에코신호와 일치되는 에코신호를 살오징어의 에코로 간주한다. 위의 방법을 거치게 되면 이 특성에 알맞은 살오징어의 에코신호를 분리하여 120 kHz에 매칭하여 살오징어를 식별하여 추출하였다. 살오징어의 주파수차 구간에 이용된 음향후방산란강도는 음향산란강도 이론모델을 이용하여 추정하였다.

음향을 이용한 밀도 산정

본 조사에서는 음향을 이용하여 살오징어의 밀도를 추정하기 위해 과학어군탐지기로부터 1 n·mile 간격으로 추출된 체적산란강도(volume backscattering strength, Sv) 자료를 NASC로

Table 4. dB-difference range by survey period

Survey vessel	Survey period	dB-difference	
		120-38 kHz	70-38 kHz
T20	2019.07	-0.28~2.58	-4.89~-1.32
	2019.08	-0.99~2.58	-4.89~0.43
	2019.09	-1.04~1.07	-3.01~-0.36
	2020.04	0.12~0.86	-2.74~-1.82
T21	2019.08	-2.34~-1.40	-1.21~-0.39
	2020.03	-0.09~0.86	-2.74~-1.55
	2020.04	-0.89~2.58	-4.89~-0.56
T22	2020.05	-0.65~0.86	-2.74~-0.86
	2019.09	-1.04~2.58	-4.89~-0.43
	2020.02	-0.99~0.12	-1.82~-0.43
	2020.04	-2.58~-1.53	-4.89~0.25
	2020.05	-0.83~0.86	-2.74~-0.63

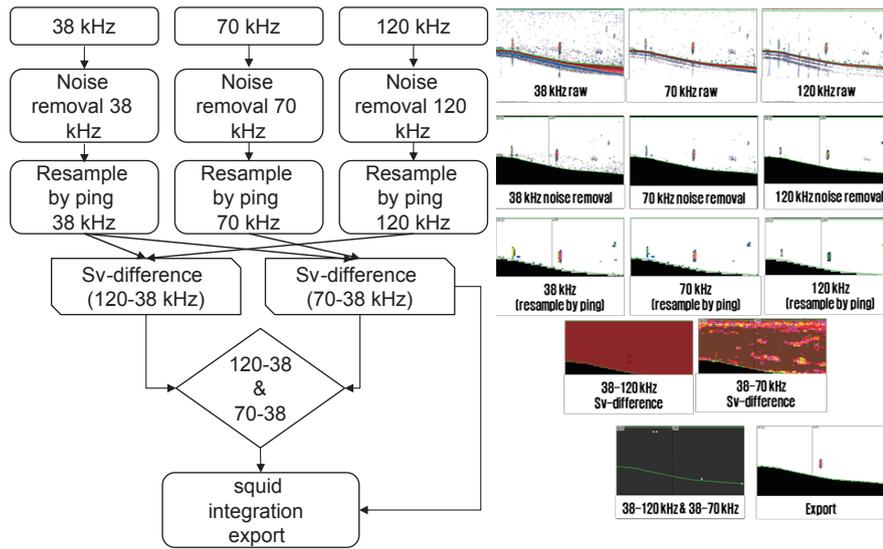


Fig. 3. Data flow of acoustic data analysis at 38, 70 and 120 kHz for Japanese common squid *Todarodes pacificus*.

변환한 값을 이용하였다. NASC 값은 1 n·mile의 단위 면적의 전 수층에 존재하는 어군에 의한 후방산란 면적(n²/nm²)의 값으로, 체적 산란 계수와와의 사이에는 식 (4)가 성립하고, 여기서 r₁, r₂은 음향 적분의 수심 구간을 의미한다.

$$NASC=4\pi 1852^2 \int_{r_1}^{r_2} Svdr \dots\dots\dots (4)$$

NASC 값은 체적 내 수층 서식생물로부터 수신되는 신호의 선형적인 합이므로 식 (5)와 같이 대상 생물의 밀도(ρ, g/m³)는 취득한 해수 체적 내 평균 NASC 값을 대상어류의 음향후방산란강도(TS)로 나눔으로써 계산할 수 있으며, 대상 생물의 체장(L, mm)에 따른 TS와 후방산란단면적은 각각 식 (6)와 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$NASC=\rho \cdot TS \dots\dots\dots (5)$$

$$TS=20\log(L)+TS_{nm} \dots\dots\dots (6)$$

$$\sigma=4\pi 10^{(\frac{TS}{10})} \dots\dots\dots (7)$$

또한, 대상 생물의 체장(L, mm)-체중(w, mg) 관계식은 다음 식 (8)와 같다.

$$w=aL^b \dots\dots\dots (8)$$

여기서, 대상 생물의 후방산란단면적 및 체장-체중 함수식은 음향조사와 비슷한 시기에 어구로 어획된 어획 자료를 이용한 다.

한편, 대상 생물의 밀도(ρ)는 식 (9)와 같이 1 n·mile 간격의 체

적 내의 평균 NASC를 대상 생물의 후방산란단면적(σ)으로 나누고 무게를 곱하면 계산할 수 있다. 식 (9)의 우변에서 NASC를 제외한 나머지 부분은 음향자료로부터 밀도를 계산하는 변환계수(conversion factor, CF)로 대상 생물의 후방산란단면적과 체장-체중을 고려한 것이다. 대상 생물의 후방산란단면적과 체중은 평균값을 사용하였다.

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

전체 조사해역의 평균 대상 생물 밀도(ρ̄)는 각각 정선별 평균 밀도의 자료를 가중 평균(weighted mean)한 것으로 식 (10)에 나타냈다.

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

ρ̄_i는 i번째 정선의 평균 밀도, n_i는 i번째 정선의 EDSU 수, N은 정선수로 나타낸다.

음향을 이용한 밀도 산정

본 조사에서는 음향을 이용하여 살오징어의 밀도를 추정하기 위해 과학어군탐지기로부터 1 n·mile 간격으로 추출된 체적산란강도(volume backscattering strength, SV) 자료를 NASC로 변환한 값을 이용하였다. NASC 값은 1 n·mile의 단위 면적의 전 수층에 존재하는 어군에 의한 후방산란 면적(n²/nm²)의 값으로, 체적 산란 계수와와의 사이에는 식(4)가 성립하고, 여기서 r₁, r₂은 음향 적분의 수심 구간을 의미한다.

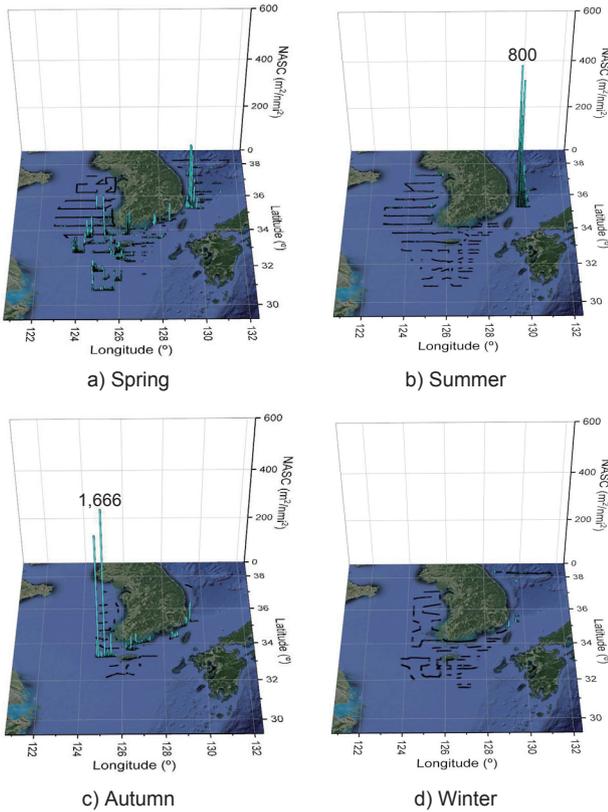


Fig. 4. Spatio-temporal distribution of Japanese common squid *Todarodes pacificus* by acoustic survey.

결과 및 고찰

살오징어의 계절별 시·공간 분포

살오징어의 계절별 시공간분포는 Fig. 4와 같이 나타내었고, NASC 값이 높을수록 막대 그래프의 막대도 높아진다. 춘계 시기에 살오징어의 NASC 분포는 부산 인근 해역에서 277 m²/nmi²으로 다른 해역보다 상대적으로 높게 나타났다. 또한, 서해 해역보다 남해 해역에서 비교적 높은 NASC 값을 나타내었다. 하계 시기에 살오징어의 NASC 분포는 동해 울산 연안 해역에서 880 m²/nmi²으로 가장 높게 나타났고, 서해와 남해 전 해역에서는 대체적으로 낮은 분포를 나타냈다. 추계 시기에 살오징어의 NASC 분포는 서·남해 해역에서 1,660 m²/nmi²으로 가장 높게 나타났다. 동계 시기에 NASC 분포는 부산 인근 해역에서 29 m²/nmi²으로 가장 높게 나타났으나, 다른 계절 보다 상대적으로 NASC 낮게 나타났다.

저층 트롤을 이용한 살오징어의 계절별 채집량 분포

저층 트롤을 이용하여 채집한 살오징어의 분포를 계절별로 나타낸 결과는 Fig. 5에 나타내었고, 채집된 마리수 및 채집량은 Table 5에 나타내었다. 춘계 시기에 채집된 살오징어의 총 채집

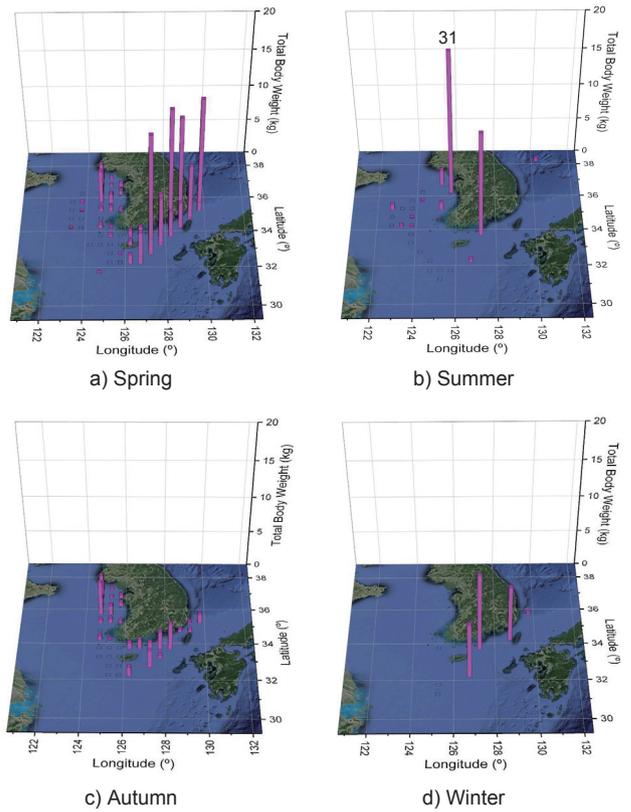


Fig. 5. Catch distribution of Japanese common squid *Todarodes pacificus* by trawl.

량은 약 120 kg가 채집되었으며, 주로 우리나라 남해, 동남해, 제주 동남해, 서해 외해 인근에서 많이 채집되었다. 하계 시기 살오징어의 채집량은 약 51 kg가 채집되었으며, 채집 분포는 서해 해역과 남해 연안 해역에서 높은 채집 분포를 나타내었다. 추계 시기에 살오징어의 채집량은 약 33 kg가 채집되었으며, 채집 분포는 동남해 해역에서 남해 해역까지 넓게 분포하였고, 서해 전 해역에서 살오징어가 채집되었다. 동계 시기에 채집된 살오징어의 총 무게는 약 26 kg로, 채집 분포는 남해 중·동부 해역과 제주 남부 해역에서 주로 채집 되었고, 동해 해역에서 소량 채집되었다. 살오징어는 춘계, 하계, 동계 시기에 우리나라 외

Table 5. Result of catching Japanese common squid *Todarodes pacificus* using trawl survey

Season	Individual (ind.)	Sampling weight (kg)
Spring	4,715	120.3
Summer	265	51.5
Autumn	287	33.6
Winter	126	26.5
Total	5,393	232.1

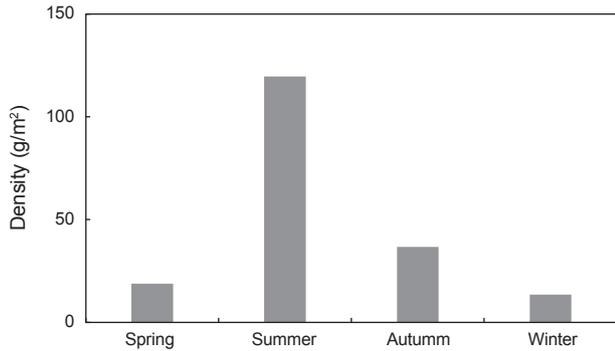


Fig. 6. Density of Japanese common squid *Todarodes pacificus* by seasonal by acoustics.

해에서도 소량 채집되었지만, 추계에는 우리나라 연안에서 주로 채집되었다.

살오징어의 계절별 밀도

수중음향을 이용하여 우리나라에서 서식하는 살오징어의 계절별 밀도를 파악하였다. 살오징어의 계절별 밀도는 춘계 시기에 18.85 g/m²로 나타났고, 하계 시기에는 119.63 g/m²로 나타났다. 추계 시기에 살오징어의 밀도는 36.68 g/m²로 나타났으며, 동계 시기에는 13.52 g/m²로 나타났다. 살오징어의 밀도는 하계 시기에 가장 높은 밀도를 나타내었고, 동계 시기에는 상대적으로 낮은 밀도를 나타내었다(Fig. 6).

고 찰

본 연구는 살오징어의 밀도를 추정하기 위해 음향조사와 저층 트롤조사를 병행하여 수행하였다. 본 연구에서 음향조사를 통해 얻어진 계절별 NASC 값은 춘계 시기에 부산 중앙해역에서 가장 높은 분포를 나타냈으나, 채집량은 남해 연안에서 높게 나타났다. 하계 NASC 값은 울산과 부산 인근해역에서 높은 군집력을 나타냈으나, 채집량은 군산 연안에서 가장 높게 나타났다. 추계 NASC 값은 제주도 북서쪽에서 가장 높은 분포를 나타냈으나, 채집량은 제주 북서쪽에서 가장 낮게 나타났다. 동계 NASC 값은 거의 모든 정선에서 낮은 값을 나타냈고, 채집량은 제주도 남쪽 외해, 완도 인근해역, 통영 남쪽 해역에서 높게 나타났다. 음향조사를 통해 측정된 NASC 값을 이용하여 조사해역 내 살오징어의 계절별 밀도를 측정하였다. 하계 시기에 119.63 g/m²로 높게 나타났으며, 동계 시기에는 13.52 g/m²로 가장 낮게 나타났다. 음향조사와 채집조사의 밀도가 차이를 보이는 것은 수중 음향을 이용한 수산자원 조사 기법과 어구를 이용한 조사 기법의 특성 차이가 있기 때문으로 판단된다(Kang et al., 2008). 또한, 살오징어는 표층에서 수심 200 m 사이에서 유영을 하며 서식하기 때문에 저층 트롤 어구로 채집하기에는 어구적 한계를 나타내었다. 또한, 살오징어의 어장환경변화가

영향을 미치는 것이라고 판단된다.

Jo et al. (2019)의 연구에서는 하계와 추계 시기에 서해, 남해, 러시아 인근해역까지 살오징어 어장이 형성되었지만, 추계 시기에는 러시아 해역과 서해해역의 살오징어의 어획량이 낮아졌고, 상대적으로 동·남부 해역에서는 높은 어획량을 나타내었다. 또한, Sakurai et al. (2000), Rosa et al. (2011)의 연구들에서 최근 살오징어의 급격한 어획량 감소 이유는 겨울철 살오징어의 산란장인 동중국해 해역의 수온이 낮아져, 신규 가입량이 줄어들어 살오징어의 어획량이 감소한 것으로 나타내었다. 향후 살오징어 어획량 변화에 관한 연구는 수중 음향을 이용한 자원량 추정과 물리적 요인인 해황, 생물학적 요인인 먹이생물 그리고 인위적인 요인을 모두 고려한 다양한 관점에서 살오징어의 어획량 변화에 관한 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다.

본 연구는 우리나라 해역에서 분포하는 살오징어의 계절별 밀도와 채집량을 비교 분석하고, 현존량을 파악하였다. 살오징어의 NASC 값을 계절별로 나타낸 결과, 추계 시기에 가장 높은 밀도를 나타내었고, 살오징어의 계절별 채집량은 춘계에서 가장 높은 채집량을 나타내었다. 음향조사와 채집조사에서 공통적으로 동계 시기에서 낮은 밀도를 나타내었다. Song (2018)에 의하면 동계 시기는 살오징어의 유생이 가입하는 시기이기 때문에 자원량이 감소하여 다른 계절에 비해 낮은 밀도를 나타낸 것으로 판단된다. 이러한 연구를 바탕으로 본 연구 결과는 우리나라 해역에서 서식하는 계절별 살오징어의 현존량 평가 및 어종 식별의 기초 자료로 활용될 것으로 판단된다. 또한, 향후 우리나라 주변 해역에 분포하고 있는 살오징어의 현존량을 보다 정확하게 파악하기 위해서는 생태학적 특성을 고려하여 다양하게 분석할 필요가 있을 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 국립수산물연구원 수산시험연구사업(R2021027)의 지원 및 2021년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원(AI 기반 스마트어업관리시스템 개발 사업, No.20210499)의 지원을 받아 수행되었으며, 본 논문을 사려 깊게 검토하여 주신 심사위원님들과 편집위원님께 감사드립니다.

References

- Bower JR and Sakurai Y. 1996. Laboratory observations on *Todarodes pacificus* (cephalopoda: ommastrephidae) egg masses. Am Malacol Bull 13, 65-71.
- Han IS, Oh WS, Yoon EA, Suh YS, Lee KH and Sin H. 2017. The relationship between fish and zooplankton in south-western region of the East Sea using hydroacoustics. J Kor Sci 53, 376-385. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2017.53.4.376>.
- Hwang DJ, Shin HH and Kang DH. 2002. Studies on fish distribution characteristics using a scientific echo sounder in the Yellow sea. J Kor Soc Fish Technol 38, 140-148. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2017.53.4.376>.

- org/10.3796/KSFT.2002.38.2.140.
- Hwang KS, Park JH, Lee JH, Cha HK, Park JS and Kang MH. 2016. Properties of aggregation and spatial distribution of fish in the south sea of Korea using hydroacoustic data. *J Kor Soc Fish Technol* 52, 325-338. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2016.52.4.325>.
- Jo MJ, Kim JJ, Yang JH, Kim CS and Kang SK. 2019. Changes in the ecological characteristics of *Todarodes pacificus* associated with long-term catch variations in jigging fishery. *Korean J Fish Aquat Sci* 52, 685-695. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0685>.
- Kang DH, Hwang DJ, Mukai T, Iida K and Lee KH. 2004. Acoustic target strength of live Japanese common squid *Todarodes pacifica* for applying biomass estimation. *Korean J Fish Aquatic Sci* 37, 345-353. <https://doi.org/10.5657/kfas.2004.37.4.345>.
- Kang DH, Im YJ, Lee CW, Yoo JT and Myoung JG. 2008. Hydroacoustic survey of spatio-temporal distribution of demersal fish aggregations near the west coast of Jeju island Korea. *Ocean Polar Res* 30, 181-191. <https://doi.org/10.4217/OPR.2008.30.2.181>.
- Lee HB, Yoon SC, Lim YJ, Kim JN, Kim MJ and Choi KH. 2017. Distribution and biomass using acoustic method of the squid *Watasenia scintillans* Near Dok-do, East Sea of Korea. *Korean J Fish Aquatic Sci* 50, 421-428. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0421>.
- Lee KH, Choi JH, Shin JK, Chang DS and Park SW. 2009. Acoustical backscattering strength characteristics and density estimates of Japanese common squid distributed in Yellow Sea. *J Kor Soc Fish Technol* 45, 157-164. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2009.45.3.157>.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2021. 1995-2020. Annual statistic database for common squid. Retrieved from <https://www.mof.go.kr/> on Oct 14, 2021.
- Okutani T. 1983. *Todarodes pacificus*. In: Cephalopod life cycles. Boyle PR, ed. Academic Press, London, U.K., 201-214.
- Roper CFE, Sweeny MJ and Nauen CE. 1984. Family Ommastrephidae. In: FAO species catalogue. Vol. 3. Cephalopods of the world. An annotated and illustrated catalogue of species of interest to fisheries. FAO Fisheries Synopsis, Rome, Italy, 156-186.
- Roper CFE, Young RE and Voss GL. 1969. An illustrated key to the families of the order teuthoidae (cephalopoda). *Smithsonian Contrib Zool* 13, 1-32.
- Rosa AL, Yamamoto J and Sakurai Y. 2011. Effects of environmental variability on the spawning areas, catch, and recruitment of the Japanese common squid *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae), from the 1970s to the 2000s. *ICES J Mar Sci* 68, 1114-1121. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsr037>.
- Sakurai Y, Kiyofuji H, Saitoh S, Goto T and Hiyama Y. 2000. Changes in inferred spawning areas of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) due to changing environmental conditions. *ICES J Mar Sci* 57, 24-30. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0667>.
- Song HJ. 2018. Fluctuations of common squid *Todarodes pacificus* catches in the Northwestern Pacific under changing climate and habitat temperature. *Korean J Fish Aquat Sci* 51, 338-343. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0338>.
- 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 Kor Soc Fish Technol* 50, 476-486. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2014.50.4.476>.
- Yoon EA, Hwang DJ, Kim HS, Lee SJ and Lee KS. 2014. Acoustic observation of the behavior of fish in an artificial reef. *J Kor Soc Fish Technol* 50, 124-130. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2014.50.2.124>.