

1937–1940년 한국 동해안 정어리(*Sardinops melanostictus*)의 분포 및 어획 특성 연구

유현지 · 양재형 · 강수경 · 김성훈¹ · 진주원 · 정경미*

국립수산과학원 연근해자원과, ¹국립부경대학교 해양생산시스템관리학부

A Study on the Distribution and Fishery Characteristics of Sardine *Sardinops melanostictus* in the East Sea of Korea from 1937 to 1940

Hyun-Ji Yu, Jae-Hyeong Yang, Sukyung Kang, Seonghun Kim¹, Ju-Won Jin and Kyung-Mi Jung*

Fisheries Resources and Management Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

¹Department of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

This study analyzed experimental fishing survey data collected from 1937 to 1940 to evaluate the seasonal distribution, environmental preferences, and gear selectivity of sardines *Sardinops melanostictus* in the East Sea of Korea. Sardine catches were concentrated between May and October, particularly within sea surface temperatures (SST) of 15–25°C. When SST exceeded 23°C, sardine distribution shifted markedly northward, extending into North Korea's East Sea and indicating distinct seasonal migration patterns. Monthly catch per unit effort (CPUE) of sardines showed a significant relationship with both sea surface and air temperatures, with peak values at 15–17°C SST. This pattern likely reflects the characteristics of fixed gear (gillnets), which depend on fish passing through the gear location rather than on broad environmental conditions. Selectivity analysis revealed that larger mesh sizes captured narrower size ranges, whereas smaller meshes retained broader spectrum of sizes. These findings provide important insights into sardine habitat preferences and the influence of fishing gear effects, offering a historical reference for future assessments of stock variability and adaptive fishery management under changing climatic conditions.

Keywords: Sardine, Distribution, Mesh selectivity, East Sea, 1930s

서론

정어리(*Sardinops melanostictus*)는 대표적인 회유성 어종으로 계절과 해양환경 변화에 따라 대규모로 군집을 이뤄 이동하며, 남해안에서 산란을 마친 후 봄철 수온 상승과 함께 동해안으로 북상하는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 1994; Takasuka et al., 2007). 또한, 번식력이 높고 성장이 빨라 어업 자원으로서의 경제적 가치가 크며(Sarr et al., 2021), 이러한 회유성 어종은 해양환경 변화 및 어업 강도에 민감하게 반응하여 지리적 분포 및 개체군 크기와 같은 자원생태학적 조건이 변동될 수 있는 특징을 가지고 있다(Gremillet et al., 2008). 과거의 어획 방법과 어구 특성에 대한 분석은 이렇게 변동성이 큰 자원을 이해하는데 중요한 과학적 근거가 될 수 있다. 정어리는 한반도 연안에

서 1930–40년대까지 대량으로 어획되었으며 주변국인 일본에서는 1950년대 부터 본격적인 어획이 시작되었으며 주 어장은 홋카이도, 동해 한반도 연안으로 알려져 있다(Nakai, 1962). 그러나 자원량 감소 및 남획으로 어획량의 증감이 이루어졌으며(Kuroda, 1991), 2014–2022년 북서 태평양에서 정어리 자원과 어획량이 꾸준히 증가하고 있다(Shi et al., 2024). 과거 어획량이 매우 높았던 시기의 자료는 매우 희소하며 기존 연구는 어업 보고서나 과거 기록에 주로 의존하고 있어 해석하는 데 한계가 존재한다. 특히 정어리는 아열대성 어종으로 분류되며(Froese and Pauly, 2025), 최근 우리나라 연근해 해양환경은 기후변화의 영향으로 인해 표층수온이 1968–2021년 동안 약 1.35°C 상승하였으며, 전 세계 평균(0.52°C)대비 약 2.6배 빠른 증가 속도를 보이고 있다(NIFS, 2024). 이처럼 기후조건, 수온 상승 등

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2292 Fax: +82. 51. 720. 2277

E-mail address: kyungmijung@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.2025.0364>

Korean J Fish Aquat Sci 58(4), 364-375, August 2025

Received 30 May 2025; Revised 11 July 2025; Accepted 22 August 2025

저자 직위: 유현지(인턴연구원), 양재형(연구관), 강수경(과장), 김성훈(교수), 진주원(인턴연구원), 정경미(연구사)

은 어종의 분포를 결정짓는 주요 변수로써, 과거 정어리의 어획상황과 자원생태학적 특성에 대한 이해는 향후 자원 변동의 해석과 예측에 있어 중요한 기반이 될 수 있다(Ito et al., 1961; Tameishi et al., 1996; Muko et al., 2018).

어구의 특성은 어획되는 개체의 체장, 성숙도, 종 조성 등에 직접적인 영향을 미치며, 특히 망목 크기(mesh size)는 자원의 생물학적 구조에 중요한 영향을 끼친다(Millar and Fryer, 1999; Park et al., 2013). 망목 선택성(selectivity)은 단순한 어획 효율을 넘어 어군의 크기와 개체군의 재생산력에도 영향을 주어 장기적인 자원관리에 중요한 변수가 된다(Liang et al., 2014; Kim et al., 2021). 망목 선택성 분석은 자원의 생물학적 구조에 대한 이해와 적정 체장에 대한 선택적 어획을 통해 지속가능한 어업을 가능하게 한다(Park et al., 2013).

따라서 본 연구는 국립수산물과학원(National Institute of Fisheries Science)이 수집하여 보관 중에 있는 1937년부터 1940년까지의 정어리 어획시험조사 자료를 활용하여, 시기별 자원분포 및 어군 출현 양상을 규명하고, 당시 사용한 어구에 대한 망목 크기별 체장 분포 및 어획 선택성을 정량적으로 분석하고자 하였다. 또한 월별 어획량 및 해양환경 자료를 바탕으로 정어리의 계절적 출현 시기와 환경 요인과의 영향을 분석함으로써, 당시 자원 특성을 이해하고자 하였다. 본 연구는 과거 출현한 정어리의 자원생태학적 특성을 이해하고 향후 기후변화와 자원 변동성 분석 연구를 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구는 국립수산물과학원이 수집하여 보관 중에 있는 1937-1940년 정어리 어획시험조사 자료를 이용하였으며, 어획시험 자료 중에서 어체측정 정보가 포함된 총 75,983개체를 분석하였다. 해당 자료는 유자망 어구를 이용한 어획시험을 통해 수집된 것으로, 망목 크기, 침지 시간, 폭수, 어획 개체의 전장(total length), 체중(body weight), 어획 시기 및 해양환경 정보(수온, 기압, 수색, 투명도 등)가 포함되어 있다.

어획 분포 및 해양환경의 시공간 분석

1937-1940년 동안의 정어리 어획량 자료를 기반으로 연도별 월별 어획 분포의 시공간적 변화를 확인하기 위해 각 조사시기의 위치(위도·경도) 및 어획량 정보를 활용하여 R통계 소프트웨어(version 4.3.2; R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)로 시공간 분포를 지도 기반으로 시각화하였다. 이를 통해 주요 어장 분포의 계절적 변화와 해역별 어군 분포밀도를 비교분석하였으며 당시 현장조사에서 수집한 표층 수온 데이터를 종합함으로써 어장 형성과 수온 간의 공간적 관계를 분석하였다.

단위 노력당 어획량 분석

정어리 자원의 분포밀도는 수온, 기온, 기압, 투명도, 수색 등

다양한 환경 요인의 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Noto et al., 1999; Ohsimo et al., 2009). 따라서 1937-1940년 동안 수집된 유자망 어획자료와 동일 시기의 해양환경 자료를 병합하여 환경조건에 따른 단위 노력당 어획량(catch per unit effort, CPUE)의 변화를 분석하였으며, CPUE는 아래 식을 사용하여 계산하였다.

$$CPUE = \frac{\text{어획량}}{\text{부설시간}(h) \times \text{폭수}(g)}$$

폭수는 실제 모든 조사에서 동일하게 사용한 6폭으로 고정하였다.

어획량 변동을 설명하는 주요 환경요인을 분석하기 위해 일반화가법모형(generalized additive model, GAM)을 적용하였다. 반응변수는 CPUE이며, 설명변수는 수온(°C), 기온(°C), 기압(hPa), 투명도를 포함하였다. GAM의 수식은 다음과 같다.

$$\log(CPUE+1) \sim s(\text{Sea temperature}) + s(\text{Temperature}) + s(\text{Air pressure}) + s(\text{Transparency}) + \varepsilon$$

여기서 s 는 평활 함수(smoothing function)를 의미하며, ε 는 잔차항이며 설명변수 간 다중공선성 문제를 방지하기 위해 VIF(variance inflation factor)를 확인하였다. 통계 분석은 R 통계 소프트웨어를 사용하였으며 유의수준은 0.05로 설정하였다.

망목 선택성 분석

망목 선택성 분석은 동일 어군을 대상으로 서로 다른 망목 크기의 어구를 동시 노출시켜, 체장별 어획 경향을 비교하는 방식으로 수행된다. 대표적인 Kitahara 방법(Kitahara, 1968)과 SELECT 모형(Millar and Walsh, 1992)이 있으며, 이들은 동일한 어군에 대한 상대적 선택성을 정량화할 수 있는 실험 설계를 기반으로 한다. 본 연구에 사용된 1930년대 유자망 어획시험 조사자료는 단일 어구 내에 대·중·소 망목이 동시에 배열된 구조로 운용되었으며, 개체별로 어획된 망목 크기와 체장이 명시되어 있어 동일 어군에 대한 망목별 선택성 분석이 가능한 조건을 갖추고 있었다. 이에 따라 각 망목 크기별로 어획된 개체의 체장 분포를 분석하고, 체장 대비 망목 크기 비율($R=TL/m$)을 기준으로 선택성 곡선을 추정하였다. 선택성 곡선은 정규분포 기반의 상대 선택성 모델을 적용하여 다음과 같이 표현하였다(Fujimori et al., 1996).

$$\log(CPUE+1) \sim s(\text{Sea temperature}) + s(\text{Temperature}) + s(\text{Air pressure}) + s(\text{Transparency}) + \varepsilon$$

$$s(R) = \exp\left(-\frac{(R-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

여기서 $R = \frac{TL}{m}$ 은 상대체장을 의미하며, m 은 망목크기(mm), μ 는 선택성이 최대가 되는 상대체장, σ 는 선택성 곡선의 폭을

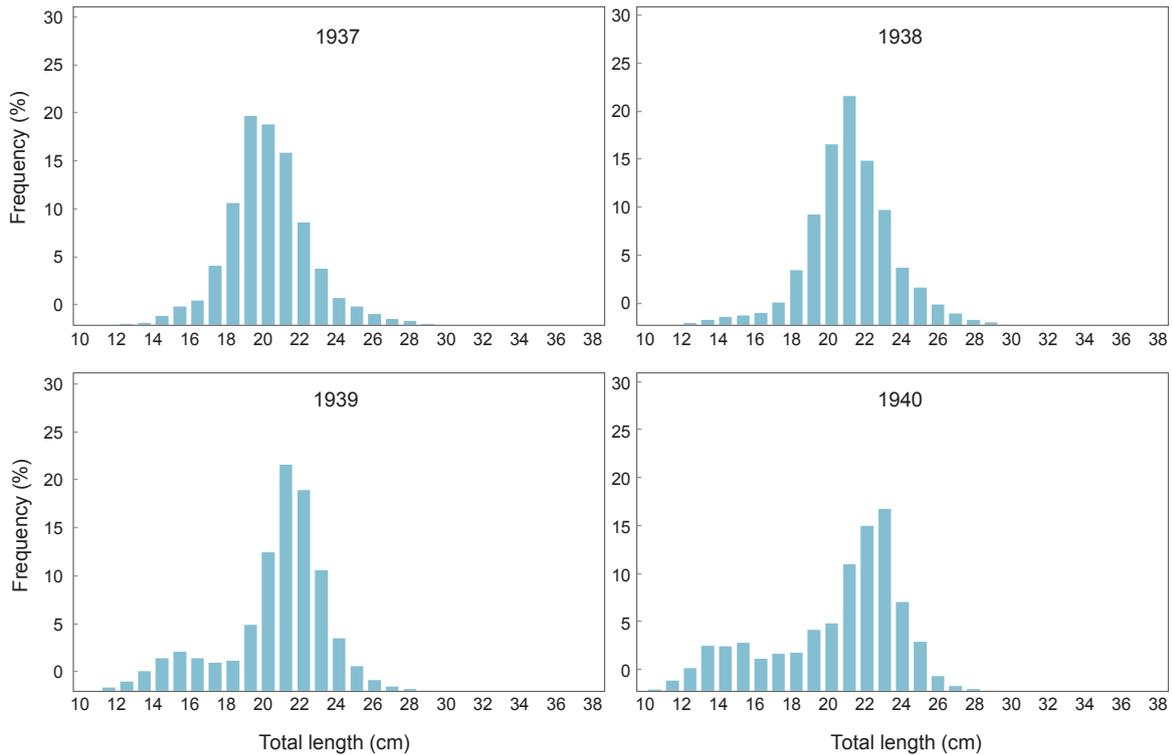


Fig. 1. Frequency distribution of total length of Sardine caught from 1937 to 1940.

나타내는 분산계수이다. 본 자료는 망목 크기가 절대 수치가 아닌 상대적 구분(대, 중, 소)으로만 제공되었기 때문에 선택체장 (L_{50})의 절대값 추정보다는 망목간 상대적인 선택 경향 및 곡선의 폭에 대한 비교·해석에 중점을 두었다. 모델의 적합도 평가는 Akaike 정보 기준(akaike information criterion, AIC)을 기준으로 수행하였다(Akaike, 1974; Fujimori and Tokai, 2001).

결 과

체장 조성

본 연구에 사용된 정어리 총 75,983개체의 전장은 11.1–31.5 cm 범위였으며, 평균 전장은 21.5 cm였다(Table 1). 전장 분포는 연도별로 차이를 보였으며 1937년에는 20.0–20.5 cm 계

급군이 전체의 19.8%로 가장 높은 비율을 차지하였다(Fig. 1). 1938년과 1939년에는 21.0–21.5 cm 계급군이 각각 21.6%와 21.4%로 우점하였으며 1940년에는 22.0–22.5 cm 계급군이 17.2%로 가장 높은 빈도를 보였다. 이와 같이 정어리 개체군은 전반적으로 20.0–22.0 cm 구간에 집중된 분포 양상을 나타냈으며 조사연도에 따라 중심 체장 범위가 점차 늘어나는 경향을 보였다.

망목크기에 따른 체장 분포는 연도에 관계없이 유사한 체장 분포 양상을 나타내었다(Table 2, Fig.2). 망목크기 '소(small)'에서는 전장 14.0–20.0 cm 구간에 고르게 분포하였고, 16.0–18.0 cm 구간에서 가장 높은 출현율을 보였다. 반면 망목크기 '중(medium)' 및 '대(large)'에서는 상대적으로 큰 개체의 비율이 높았으며, 두 크기 모두 22.0–22.5 cm 구간에서 출현율이 가장 높았다. 특히 '중' 크기에서는 20.0–26.0 cm, '대' 크기에서는

Table 1. Yearly Total length range and mean length

Year	Number of	Total length range (cm)	Mean length (cm)
1937	4,601	11.1–28.5	20.6
1938	16,832	15.5–29.8	21.2
1939	41,355	11.6–31.5	20.9
1940	13,195	12.9–30.1	20.8
Total	75,983	11.1–31.5	21.5

Table 2. Total length range and mean length by mesh size

Mesh size	Number of specimens	TL range (cm)	Mean TL (cm)
Small	16,392	11.1–27.5	19.5
Medium	30,363	12.5–29.9	21.1
Large	26,251	11.6–31.5	21.6

TL, Total length.

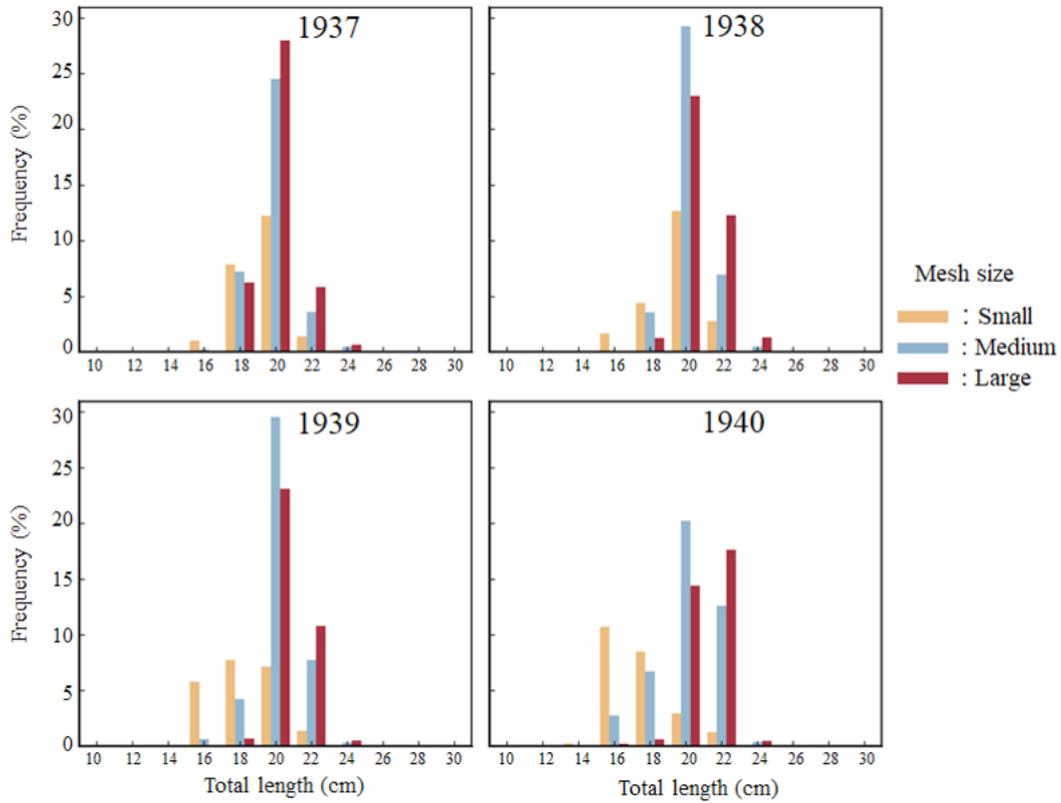


Fig. 2. Frequency distribution of total length of sardine caught by mesh size from 1937 to 1940.

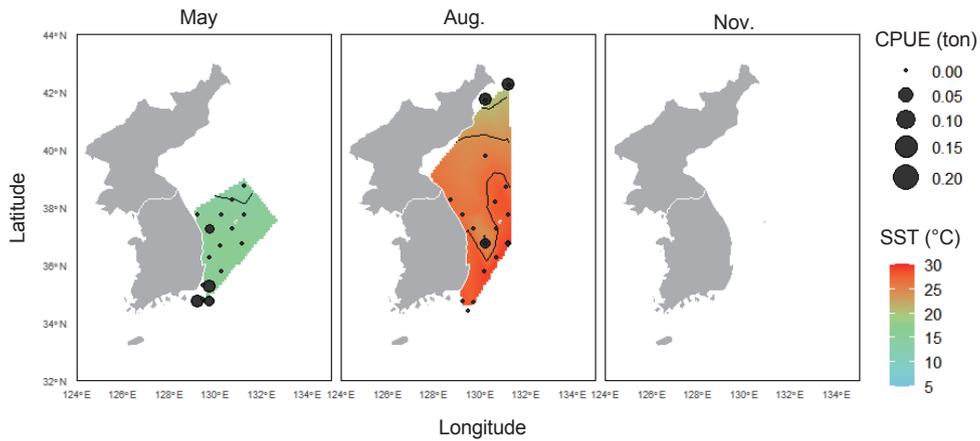


Fig. 3. Spatial distribution of sardine catch in relation to sea surface temperature in 1937.

20.0–25.0 cm 범위에 밀집된 분포를 보였다. 전체적으로 망목 크기가 클수록 어획되는 개체의 체장이 증가하였으나 1937년에는 상대적으로 소형 개체의 비율이 높아 다른 연도에 비해 전체 체장 분포가 좌측으로 편중되는 경향을 보였다.

연도별 어획량 및 해양환경 특성

연도별 어획 분포 및 해양환경 특성을 살펴보면 1937년에는 5

월부터 정어리 어획이 활발히 시작되어 남해와 동해 남부 연안을 중심으로 10월까지 높은 어획량이 지속되었다(Fig. 3). 5–8월 사이에는 수온이 20°C 이상으로 상승함에 따라 정어리의 분포가 북상하였고, 특히 8월에는 동해 중·북부 해역에서 고밀도의 어군이 확인되었다. 수온 15–25°C 범위에서 어획이 집중되었으며 11월 이후에는 어획량이 급격히 감소하였다.

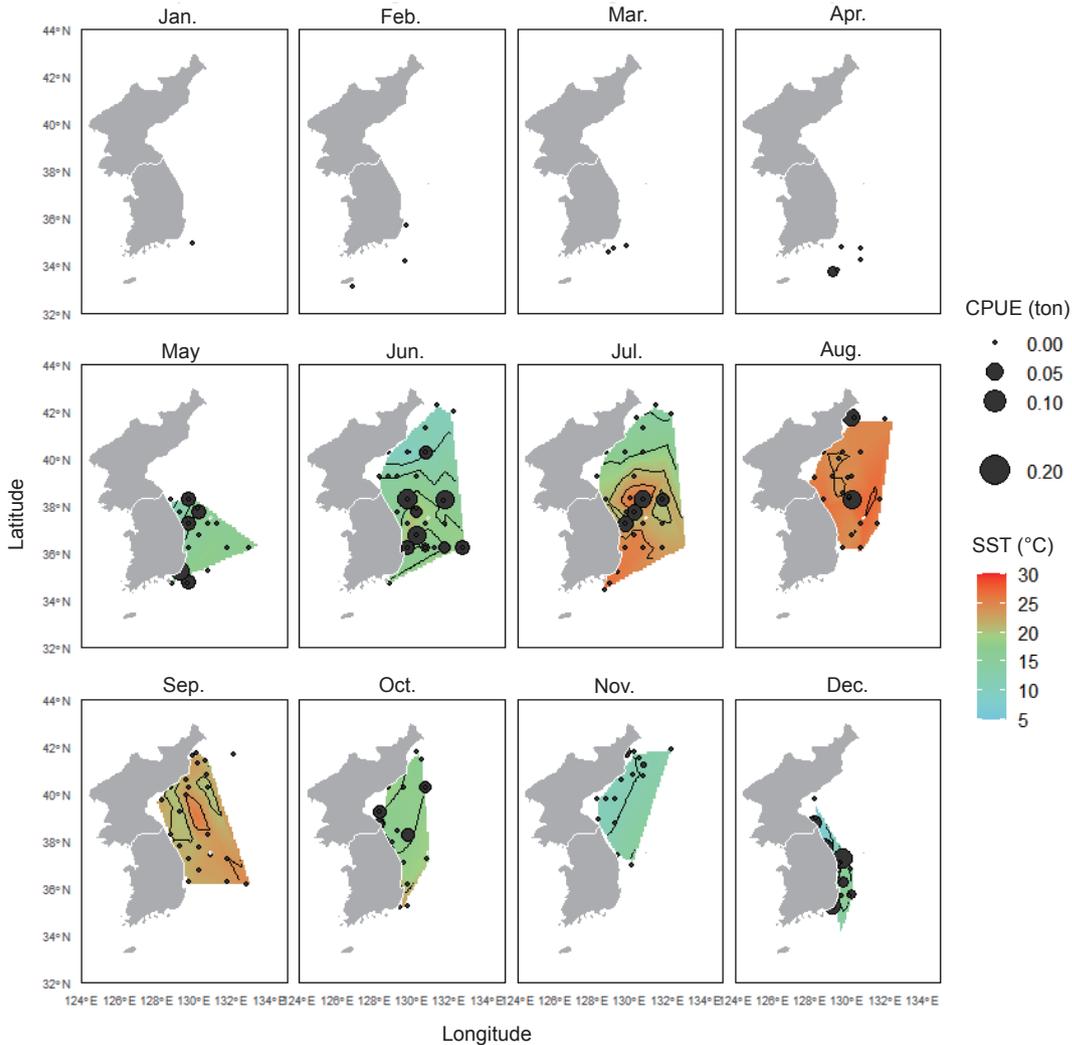


Fig. 4. Spatial distribution of sardine catch in relation to sea surface temperature in 1938.

1938년은 전년도와 유사하게 5월부터 어획이 증가하였고 6-7월에는 남해와 동해 전역에 걸쳐 높은 어획량이 분포하였다(Fig. 4). 7월에 가장 넓은 어장 범위를 보였으며 수온이 25°C 인 해역까지 정어리가 출현하였고, 8월 이후에는 어획 중심 해역이 동해 중부를 넘어 북한 연안 해역까지 이동하였다. 전반적으로 1938년은 정어리의 활동 범위와 어획량이 가장 넓고 높은 해로 나타났다. 1939년에는 1937년에 비해 남해 연안에서의 초기 어획이 줄어들었으며, 5월부터는 동해를 중심으로 어장이 형성되기 시작하였다(Fig. 5). 6-8월 사이의 수온은 20-28°C 정도였으며 정어리의 북상 경향은 유지되었으나 전체적인 어획량은 이전 해에 비해 다소 감소하는 경향을 보였다. 1940년의 경우 5월과 6월에 일부 정어리 어군이 출현하였으나 공간적 분포 범위가 좁았고 수온도 20°C 미만으로 상대적으로 낮았다(Fig. 6). 7-8월에도 어군 밀도는 낮게 나타났으며 12월에는 극히 제한된 지역에서만 어획이 확인되었다.

4개년에 걸친 월별 어획 분포 분석 및 연도별 월별 평균 표층수온 분석 결과(Fig. 7, Table 3), 5-10월 사이에 수온이 15-25°C 범위에 해당하는 시기가 반복적으로 관찰되었다. 수온이 20°C 이상으로 상승하는 시기에는 주요 분포 해역이 남해안에서 동해 중부와 북부를 거쳐 북한 연안까지 확장되었으며, 이 시기에 어획 밀도도 가장 높게 나타났다. 특히 1938년과 1939년에는 6-8월 사이에 남해 연안의 수온이 25°C를 초과하면서 정어리는 고수온을 피해 북상하였고, 이에 따라 보다 넓은 해역에 분포하는 양상을 보였다. 반면 12월부터 이듬해 1월 사이에는 수온이 10-15°C 이하로 하강함에 따라 남하하는 현상을 보이며 어획량이 급감하였고, 일부 남해 연안에서만 제한적인 어획이 이루어졌다. 또한, 수온이 25°C를 초과하는 해역에서는 상대적으로 어획량이 낮은 경향을 보였는데, 이는 정어리의 서식 적수온 범위가 15-25°C인 것으로 보인다.

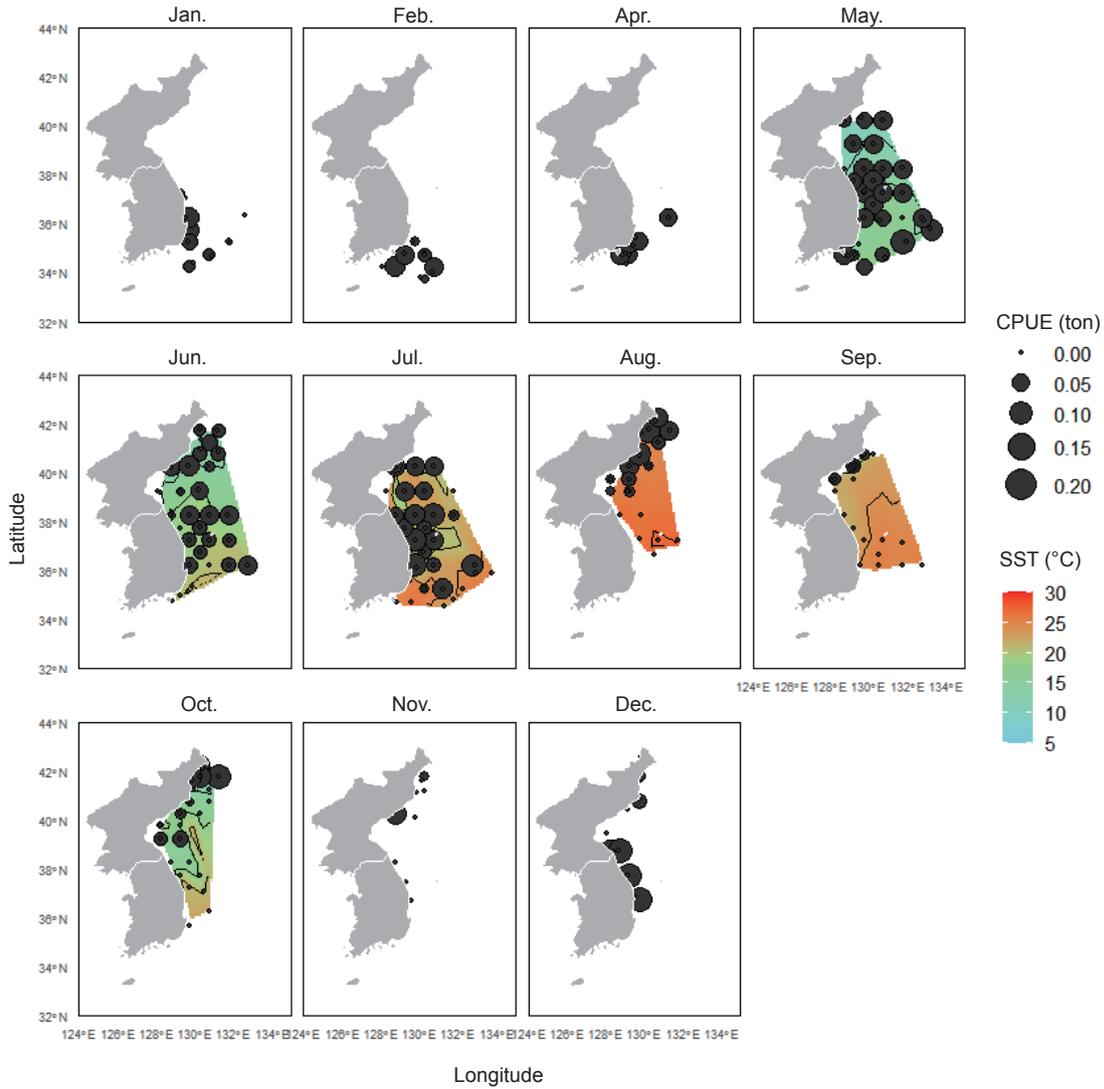


Fig. 5. Spatial distribution of sardine catch in relation to sea surface temperature in 1939.

CPUE 및 환경요인과의 관계 분석

어획량은 어장 내 자원수준 뿐 아니라 어획 노력량의 영향을 함께 받기 때문에, 정확한 자원분포를 비교하기 위해 월별 CPUE를 산정하고 연도별 변화를 분석하였다. 1937년부터

1940년까지 유자망 어업에서의 월별 CPUE와 어획개체수 변화를 비교한 결과(Fig. 8), 전체적으로 CPUE와 어획개체수는 유사한 추세를 나타냈다.

1939년 5월에는 CPUE가 177.5, 어획개체수 10,651개체로 같은 기간 중 가장 높은 값을 기록하였고, 반면 1937년 11월에

Table 3. Monthly sea surface temperature (SST) range (°C) by year

Year	Monthly SST range											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1937	-	-	-	-	14.3-17.5	-	-	20.2-29.3	-	-	13.8-14.9	-
1938	-	12.7-15.6	12.7-14.3	14.5-15.8	11.2-18.0	8.8-20.4	14.3-26.5	23.0-27.3	19.2-26.3	17.0-23.1	10.8-15.3	6.7-17.2
1939	10.5-14.7	13.2-14.0	-	13.2-15.3	9.6-17.8	12.0-21.5	15.6-26.5	23.5-27.4	19.6-25.5	12.3-22.5	11.5-16.2	5.5-14.4
1940	-	8.7-8.7	10.0-10.0	11.0-11.0	10.4-15.3	10.5-18.0	15.4-19.9	20.6-24.2	19.0-21.4	18.7-18.7	13.5-13.5	8.9-8.9

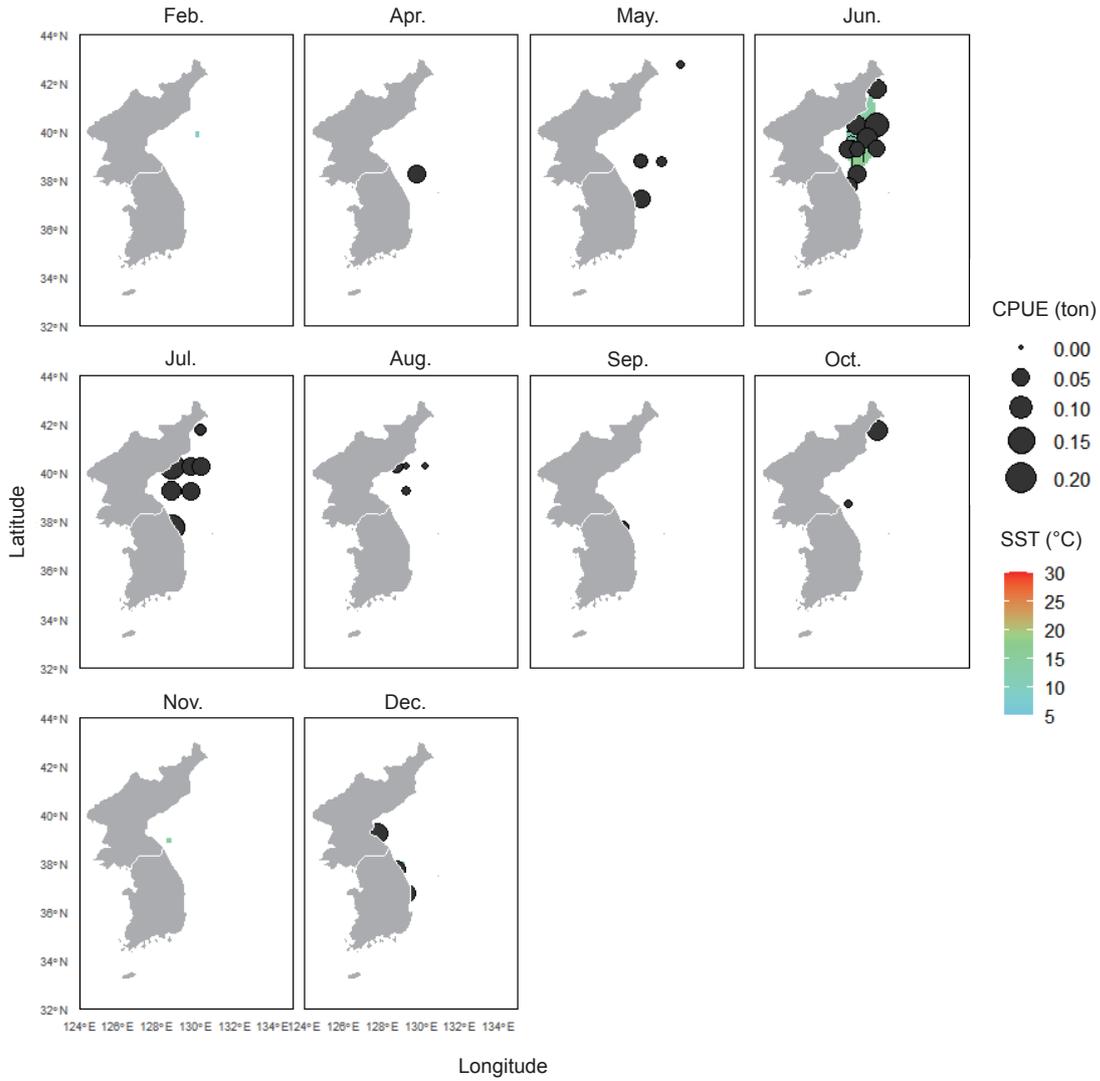


Fig. 6. Spatial distribution of sardine catch in relation to sea surface temperature in 1940.

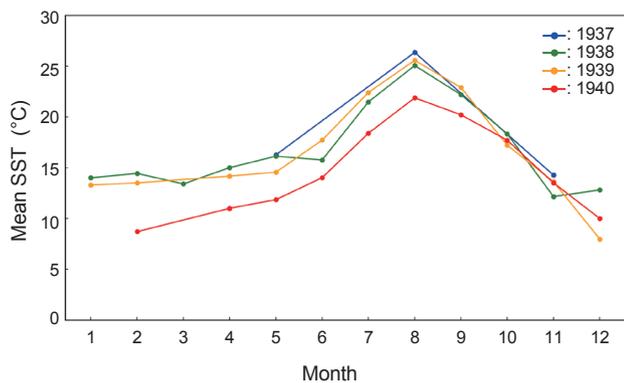


Fig. 7. Monthly and yearly variation in mean sea surface temperature (SST).

는 CPUE 3.75, 어획개체수 330마리로 가장 낮은 수준을 보였다. 특히 1940년 7월과 같이 어획마리수는 비교적 낮았으나 대형 개체 출현으로 CPUE는 다소 높게 나타났다.

정어리 어획량의 변동을 설명하는 주요 환경요인을 파악하기 위해, 월별 CPUE와 평균수온, 평균기온, 평균기압, 평균투명도 간의 관계를 분석하였다(Table 4). 분석 결과 전체 deviance explained은 73.3%이며, 모델의 적합도는 0.604로 나타나 양호한 수준의 적합도를 보였다. 독립변수 중 수온($P < 0.001$)과 기온($P < 0.001$)은 통계적으로 유의한 비선형 반응을 보였으며, 특히 수온은 약 15–17°C에서 어획량이 가장 높게 나타나는 경향을 보였다. 다만, 동일한 시기와 해역에서 수온이 높을수록 기온 역시 높은 경향이 일반적으로 나타나 두 변수 간 높은 상관관계가 존재하는 것으로 확인되어(VIF>8), 해당변수들의 독립적인 효과 해석에는 다소 주의가 필요하다.

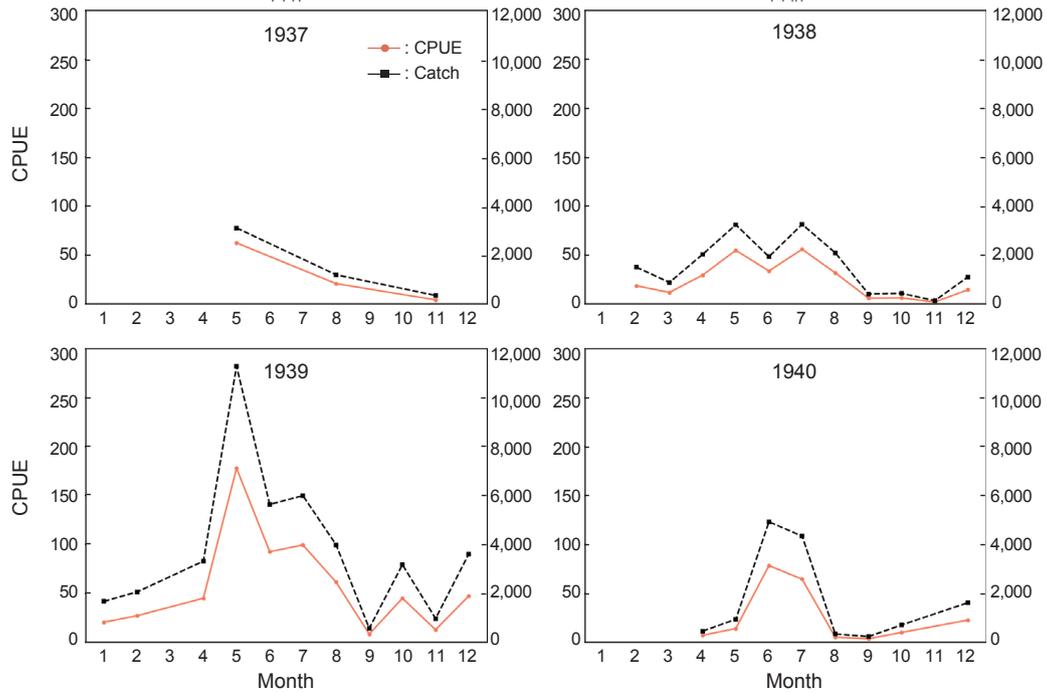


Fig. 8. Annual catch and CPUE of Sardine caught from 1937 to 1940. CPUE, Catch per unit effort.

Table 4. Results of simple linear regression between CPUE and environmental variables

Environmental variable	VIF	Estimated degrees of freedom (edf)	Reference degrees of freedom (Ref.df)	F-value	P-value
Sea temperature (°C)	8,94	4.487	5.459	6.264	0.000883 (P<0.001)
Temperature (°C)	8,38	3.588	4.478	7.334	0.000613 (P<0.001)
Air pressure (hPa)	1.00	1.000	1.000	2.453	0.132242 (P>0.05)
Transparency	1.29	1.000	1.000	0.006	0.940153 (P>0.05)

CPUE, Catch per unit effort.

반면 기압(P=0.132)과 투명도(P=0.940)는 모두 유의수준 0.05를 초과하여 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났으며, 평균 투명도는 다른 변수들과 함께 고려된 분석에서는 어획량에 대한 영향이 뚜렷하게 나타나지 않았다.

망목선택성 분석

망목 크기별 선택성을 파악하기 위해, 각 망목(대, 중, 소)에 대해 체장을 해당 망목 크기(mm)로 나눈 상대체장(relative total length/mesh size)을 기준으로 정규분포 기반의 선택성 곡선을 도출하였다(Fig. 9). 분석한 결과, 망목크기 '대'의 선택성 곡선은 상대체장 약 0.43 부근에서 급격히 상승하여 매우 좁은 범위에서 높은 선택률을 보였으며, 선택 중심이 작고 곡선의 폭도 가장 좁았다. 망목크기 '중'은 약 0.52에서 최대값을 보이며 망목크기 '대'보다 완만한 형태를 나타냈고, 망목크기 '소'는 약 0.64에서 최대 선택률을 나타내며 분포 폭도 가장 넓어 다양한 크기의

개체를 포획하는 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 망목 크기에 따라 선택 중심과 선택 범위가 명확히 구분되었으며, 특히 망목 크기가 클수록 좁은 범위의 체장에 대해 선택적으로 작용했다. 선택성 곡선의 적합도는 AIC를 통해 평가하였으며, 세가지 망목크기 모두에서 정규분포 모델이 양호한 적합도를 보였고, 망목크기 '대' 모델이 가장 낮은 AIC 값을 보여 세가지 망목 중에서 높은 적합도를 나타내었다(Table 5).

Table 5. Estimated parameters (μ , σ) and model fit (AIC) of selectivity curves by mesh size

Mesh size	μ (mean)	σ (sd)	AIC
Small	0.64	0.11	1,023.5
Medium	0.52	0.09	1,088.2
Large	0.42	0.07	1,110.6

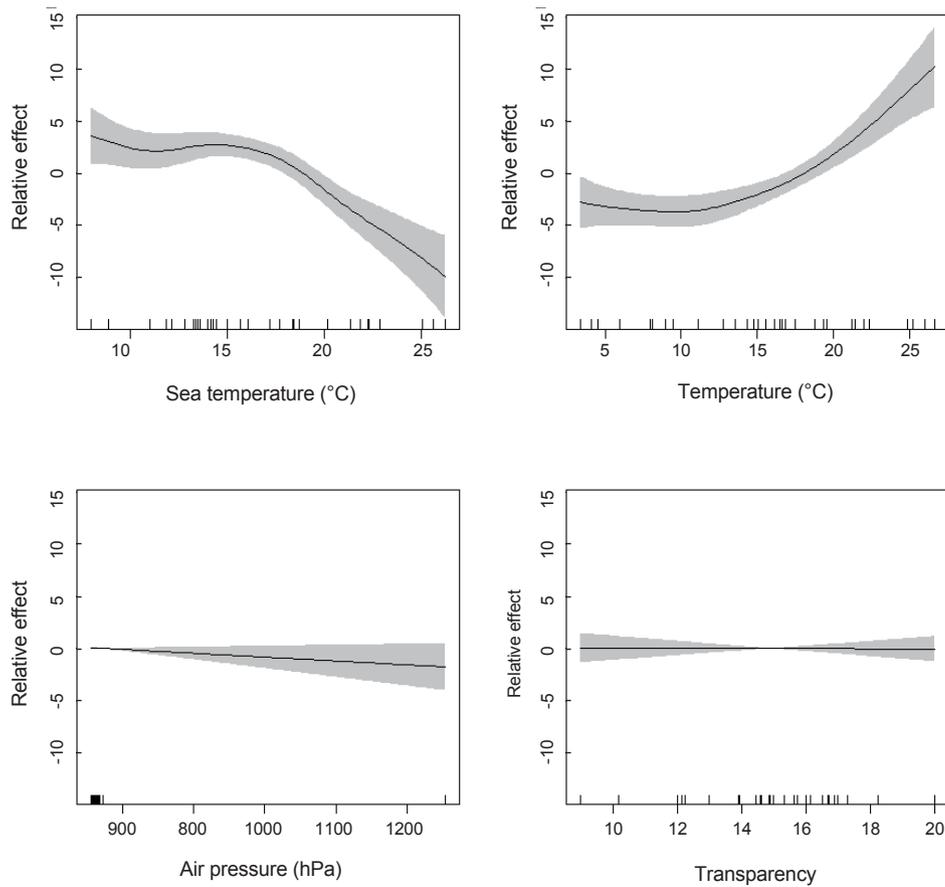


Fig. 9. Effects of Environmental Factors on CPUE Based on GAM Analysis.

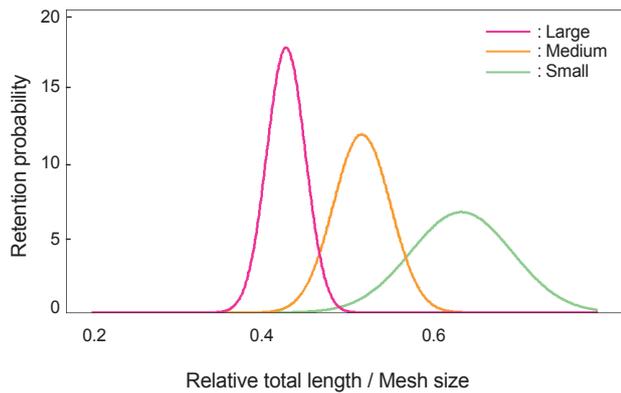


Fig. 10. Selectivity curves based on relative total length for each mesh size.

고 찰

본 연구는 1937-1940년 정어리 어획시험조사 자료와 당시의 해양환경 정보를 종합적으로 분석함으로써, 현대 어업 자료와

비교 가능한 형태로 과거 정어리 자원의 어획 특성과 해양환경과의 상관성을 정량적으로 분석하였다. 특히 CPUE를 이용한 자원분포 추정과 망목 선택성 분석은 현재까지 거의 활용되지 않았던 자료를 과학적으로 해석하는 데 의의가 있다.

과거 조선수산업개발사에 따르면 일제강점기 당시에 정어리가 1-2월 남서 수역에서 산란을 마치고 봄철 수온 상승과 함께 동해 지역으로 북상했다는 역사적 근거를 본 연구를 바탕으로 과거의 기록을 확인할 수 있었다. 1937년부터 1940년대의 기록에 따르면 5월부터 남해 및 동해 남부 연안에서 본격적으로 출현하여 10월까지 높은 어획량을 보였으며 여름철인 8월 이후 표층 수온이 23°C 이상으로 상승한 해역을 중심으로 동해 중·북부를 거쳐 북한 연안까지 북상하는 경향을 나타냈다. 이러한 계절적 이동은 정어리가 15-23°C 범위의 수온에서 주로 분포하며, 수온이 상승할 때 동해 북부로 회유하는 계절적 이동 경향이 나타난다는 기존 연구결과(Kim et al., 2005; Yatsu et al., 2008) 및 동해 연안을 따라 봄철 남해 산란장에서 출발하여 북상한 후 가을철 남하한다는 회유 경향(Kim et al., 1994; Shi et al., 2024), 과거 역사적 사실과도 일치한다. 과거의 어획시험조사를 통한 조사자료는 현재까지 보고된 바 없는 북한 연안까지

의 정어리 북상 분포를 구체적으로 확인할 수 있었으며, 이는 정어리의 회유 경로와 계절적 분포 범위를 이해하는 데 중요한 정보를 제공한다.

정어리는 표층 수온의 변동에 따라 분포 해역이 이동하는 회유성 어종으로(Yatsu et al., 2008), 이러한 계절별 이동 양상은 북서태평양에서 정어리가 봄과 여름에 남쪽에서 북쪽으로 이동하는 경향을 보인다는 Shi et al. (2023)의 연구 및 일본 근해 정어리가 산란 후 북상하여 여름철에 북쪽 해역에 주로 분포하며 가을철 다시 남하하는 계절적 이동 패턴을 보고한 Kuroda (1991) 연구와 유사한 경향을 보였다. 이러한 계절적 이동에 영향을 미치는 주요 요인으로 수온 및 해류 변동이라고 하였으며 본 연구 결과 또한 15-25 °C 범위의 수온 대에서 정어리 자원이 집중되는 분포 특성이 나타났다. 이는 계절에 따라 적정 수온대의 위치에 따라 북상 또는 남하함으로써 분포 범위가 이동하는 것으로 판단된다.

계절에 따라 변화하는 자원 분포를 파악하기 위해 CPUE를 분석하였으며 5월부터 10월 사이에 CPUE가 높게 나타나 계절별 회유 경향과 유사한 결과를 보였다. 특히 여름철에 중-북부 해역에서 높은 CPUE가 확인되었는데, 이는 정어리 어군이 수온 상승과 함께 북상하여 해당 해역에 밀집함으로써 어획 효율이 증가한 것으로 판단된다. 1940년과 같이 수온이 낮음에도 특정 해역에서 높은 CPUE가 관찰된 사례는 어군의 국지적 밀집이나 회유 경로, 해류 조건 등 생물학적·물리적 요인이 영향을 미쳤을 가능성을 보여준다(Mac, 1976).

정어리 자원 분포밀도와 해양환경 간의 관계를 살펴보기 위해 주요 환경 요인과 CPUE간의 상관성을 분석한 결과 수온과 기온은 유의한 영향을 미치는 변수로 나타났다. 특히 평균 수온은 약 15-17°C 구간에서 어획량이 가장 높은 경향을 보였으며, 이는 정어리가 특정 수온 범위에 선호적으로 분포한다는 기존 연구결과와 일치한다(Takasuka et al., 2007; Okunishi et al., 2012). 기온은 통계적으로 유의한 관계를 보였으나, 일부 고기온 구간에서 자료수가 상대적으로 적어 결과 해석 시 자료 수의 한계가 있었다. 반면 통계적으로 유의하지 않은 결과를 보인 기압과 평균투명도는 다른 환경 변수들과 함께 고려되었을 때 영향력이 약해졌으며, 이는 복합적인 변수 상호작용이나 어업유형의 한계에 기인한 것으로 보인다.

본 연구에 사용된 사용된 유자망은 고정형 어구(fixed gear)로 어군이 실제 어장 부근을 통과하지 않으면 어획이 이루어지지 않는 구조적 특성을 지닌다. 어획은 실제자원의 밀도와 어장 위치간의 불일치로 인하여 수온 등 환경요인이 적정환경이더라도 어획량에 직접적인 영향을 미쳐 과소추정되거나 자원상태의 왜곡으로 이루어질 수 있다(Swain and Sinclair, 1994). 이러한 어업의 한계는 이후 조업 방식 변화로 이어져 회유성 어종의 광범위한 계절적 이동성에 대응하기 위해 권현망, 정치망, 저인망, 선망 등의 어업이 발전하였다(Baik et al., 2001; Lee et al., 2012). 어업 전략의 변화는 자원의 회유성과 실제 분포에 보다

능동적으로 대응하기 위함으로 자원 변동 해석 시 해양환경 뿐 아니라 어업적 요인도 통합적으로 고려하는 접근이 필요하다(Inoue et al., 2023).

망목 선택성 분석 결과, 대망목은 선택 중심이 좁고 특정 체장대에서 선택성이 높은 반면, 소망목은 보다 다양한 체장을 포획하는 경향을 보여주었다. 이러한 결과는 어구의 망목 크기가 자원의 체장 구조에 따라 선택적으로 작용한다는 기존 결과와 일치하며(Kim et al., 2021), 과거에도 체장 기반의 자원 조절을 위한 어구 설계가 가능했음을 보여주며, 향후 정어리 어구의 기초 자료로 활용될 수 있다. 다만 본 연구는 1930년대 자료에 의존한 분석으로, 조사 해역별 표본 규모 불균형 및 해류 등 추가 변수가 부족하여 한계가 있다. 연도별 체장 분포 차이는 자원 구조의 변동뿐만 아니라 조사 시 사용된 자망의 망목 크기 차이 때문 어구 선택성의 영향일 가능성이 있다. 1939년과 1940년에는 상대적으로 작은 망목의 어구가 사용되었으며, 이로 인해 더 작은 개체가 포획될 확률이 높아진 것으로 판단된다.

본 연구는 현재까지 거의 활용되지 않았던 과거 어획시험조사 자료를 기반으로 정어리 자원의 구조, 분포, 망목선택성에 대해 정량적으로 접근하였다는 점에서 중요한 결과를 제시한다. 향후 연구에서는 본 자료에서 분석하지 않은 생물학적 정보를 이용하여 개체군 모델을 통한 정어리 자원평가가 가능할 것으로 판단된다. 또한 과거와 현재의 어획 자료 및 자원 정보를 통합 분석함으로써 자원의 장기 변동성, 기후변화 영향 등을 평가할 수 있으며, 이는 지속 가능한 자원 관리 전략 수립에 있어 핵심적인 근거가 될 것으로 사료된다.

사 사

본 논문은 국립수산물과학원 수산과학연구사업인 '기후위기 대응 아열대화 진단 및 예측기술 개발 연구(R2025007)'의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Akaike H. 1974. Anewlookat the statistical model identification. IEEE Trans Autom Control 19, 716-723. <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>.
- Baik CH, Park JH, Choi KH and Hwang SD. 2001. Seasonal and annual variations of catch by large purse seine off Korea. J Korean Soc Oceanogr 6, 164-179.
- Fujimori Y, Tokai T, Hiyama S and Matuda K. 1996. Selectivity and gear efficiency of trammel nets for kuruma prawn (*Penaeus japonicus*). Fish Res 26, 113-124. [https://doi.org/10.1016/0165-7836\(95\)00392-4](https://doi.org/10.1016/0165-7836(95)00392-4).
- Froese R and Pauly D. 2025. FishBase. Retrieved from www.fishbase.org on Apr 28, 2025.
- Fujimori Y and Tokai T. 2001. Estimation of gillnet selectivity curve by maximum likelihood method. Fish Sci 67, 644-654. <https://doi.org/10.1046/j.1444-2906.2001.00301.x>.

- Gremillet D, Lewis S, Drapeau L, van Der Lingen CD, Hugget JA, Coetzee JC, Verheye HM, Daunt F, Wanless S and Ryan PG. 2008. Spatial match-Mismatch in the Benguela upwelling zone: Should we expect chlorophyll and sea-surface temperature to predict marine predator distributions?. *J Appl Ecol* 45, 610-621. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01447.x>.
- Ito S. 1961. Fishery biology of the sardine, *Sardinops melanosticta* (T. & S.), in the waters around Japan. *Bull Japan Sea Reg Res Lab* 9, 1-227.
- Inoue N, Watari S, Sawada H, Lavergne E and Yamashita Y. 2023. Impacts of regime shift on the fishery ecosystem in the coastal area of Kyoto prefecture, Sea of Japan assessed using the ecopath model. *Fish Sci* 89, 573-593. <https://doi.org/10.1007/s12562-023-01691-9>.
- Kim JY, Kim JI and Choi KH. 1994. Comparisons of egg distribution and mortality rate between anchovy and sardine during spring in the southern waters of Korea. *J Korean Fish Soc* 27, 299-305.
- Kim SH and Pang IC. 2005. Distribution and characteristic of transport mechanism of eggs and larvae of anchovy, *Engraulis japonica* in the Southwestern Sea of Korea in July and November, 2001. *Fish Aquatic Sci* 38, 331-341. <https://doi.org/10.5657/kfas.2005.38.5.331>.
- Kim PK, Kim HS and Kim SH. 2021. Mesh size selectivity of tie-down gillnets for the blackfin flounder (*Glyptocephalus stelleri*) in Korea. *Appl Sci* 11, 9810. <https://doi.org/10.3390/app11219810>.
- Kitahara T. 1968. On sweeping trammel net (Kogisiasiami) fishery along coast of the San'in district III. Mesh selectivity curve of sweeping trammel net for *Branquillos*. *Bull Jap Soc Sci Fish* 34, 759-763. <https://doi.org/10.2331/suisan.34.759>.
- Kuroda K. 1991. Studies on the recruitment process focusing on the early life history of the Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) (Schlegel). *Bull Natl Res Inst Fish Sci* 3, 25-278.
- Lee JH, Lee JB, Zhang CI, Kang S, Choi YM and Lee DW. 2012. A study on fluctuation of the fishing grounds of target fishes by the Korean large purse seine fishery. *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 48, 107-117. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2012.48.2.107>.
- Liang Z, Sun P, Yan W, Huang L and Tang Y. 2014. Significant effects of fishing gear selectivity on fish life history. *J Ocean Univ China* 13, 467-471. <https://doi.org/10.1007/s11802-014-2167-7>.
- MacCall AD. 1976. Density dependence of catchability coefficient in the California Pacific sardine, *Sardinops sagax caerulea*, purse seine fishery. *Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep* 18, 136-148.
- Millar RB and Walsh SJ. 1992. Analysis of trawl selectivity studies with an application to trouser trawls. *Fish Res* 13, 205-220. [https://doi.org/10.1016/0165-7836\(92\)90077-7](https://doi.org/10.1016/0165-7836(92)90077-7).
- Millar RB and Fryer RJ. 1999. Estimating the size-selection curves of towed gears, traps, nets and hooks. *Rev Fish Biol Fish* 9, 89-116. <https://doi.org/10.1023/A:1008838220001>.
- Muko S, Ohshimo S, Kurota H, Yasuda T and Fukuwaka MA. 2018. Long-term distribution changes in distribution of Japanese sardine in the Sea of Japan during the stock fluctuations. *Mar Ecol Prog Ser* 593, 141-154. <https://doi.org/10.3354/meps12491>.
- Nakai Z. 1962. Studies relevant to mechanisms underlying the fluctuation in the catch of the Japanese sardine, *Sardinops melanosticta*. *Jpn J Ichthyol* 9, 1-115. <https://doi.org/10.11369/jji1950.9.1>.
- Noto M and Yasuda I. 1999. Population decline of the Japanese sardine, *Sardinops melanostictus*, in relation to sea surface temperature in the Kuroshio Extension. *Can J Fish Aquat Sci* 56, 973-983. <https://doi.org/10.1139/f99-028>.
- Ohshimo S, Tanaka H and Hiyama Y. 2009. Long-term stock assessment and growth changes of the Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) in the Sea of Japan and East China Sea from 1953 to 2006. *Fish Oceanogr* 18, 346-358. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.2009.00516.x>.
- Okunishi T, Ito SI, Hashioka T, Sakamoto TT, Yoshie N, Sumata H, Yara Y, Okada N and Yamanaka Y. 2012. Impacts of climate change on growth, migration and recruitment success of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) in the western North Pacific. *Clim Change* 115, 485-503. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0484-7>.
- Park CD, Bae JH, Cho SK, Cha BJ and Kim HY. 2013. Size selectivity of the dome-shaped pot for whelk *Buccinum opisthoplectum* in the eastern coastal waters of Korea. *J Kor Soc Fish Tech* 49, 368-376. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2013.49.4.368>.
- Shi YC, Kang B, Fan W, Xu LL, Zhang SM, Cui XS and Dai Y. 2023. Spatio-temporal variations in the potential habitat distribution of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the Northwest Pacific Ocean. *Fishes* 8, 86. <https://doi.org/10.3390/fishes8020086>.
- Shi YC, Han Q, Zhang SM, Yang SL, Cheng TF, Fan W, Zhao G, Han HB and Zhang H. 2024. Seasonal spatio-temporal model improves refined stock assessment and management of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) in the Northwest Pacific Ocean. *Animals* 14, 3434. <https://doi.org/10.3390/ani14233434>.
- Sarr O, Kindong R and Tian S. 2021. Knowledge on the biological and fisheries aspects of the Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*). *J Mar Sci Eng* 9, 1403. <https://doi.org/10.3390/jmse9121403>.
- Swain DP and Sinclair AF. 1994. Fish distribution and catchability: What is the appropriate measure of distribution?. *Can J Fish Aquat Sci* 51, 1046-1054. <https://doi.org/10.1139/f94-104>.
- Takasuka A, Oozeki Y and Aoki I. 2007. Optimal growth tem-

perature hypothesis: Why do anchovy flourish and sardine collapse or viceversa under the same ocean regime?. *Can J Fish Aquat Sci* 64, 768-776. <https://doi.org/10.1139/f07-052>.

Tameishi H, Shinomiya H, Aoki I and Sugimoto T. 1996. Understanding Japanese sardine migrations using acoustic and other aids. *ICES J Mar Sci* 53, 167-171. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1996.0018>.

Yatsu A, Aydin KY, King JR, McFarlane GA, Chiba S, Tadokoro K, Kaeriyama M and Watanabe Y. 2008. Elucidating dynamic responses of North Pacific fish populations to climate forcing: Influence of life-history strategy. *Prog Oceanogr* 77, 252-268. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.03.009>.