

채낚기어업에서의 해양환경 및 자원 변동에 따른 살오징어(*Todarodes pacificus*)의 생물학적 특성의 장기변동 연구

조민진 · 김무진* · 김현우 · 강희중 · 김창신¹

국립수산과학원 수산자원연구부 연근해자원과, ¹국립수산과학원 기후환경연구부 기후변화연구과

Long-term Changes in Biological Characteristics of Common Squid *Todarodes pacificus* in Response to Environmental and Stock Variability in the Korean Jigging Fishery

Min Jin Jo, Moo-Jin Kim*, Hyun Woo Kim, Heejoong Kang and Chang Sin Kim¹

Coastal Water Fisheries Resources Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

¹Ocean Climate & Ecology Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

This study classified the resource status of common squid *Todarodes pacificus* caught by the Korean jigging fishery between 1994 and 2023 into three periods based on the standardized catch per unit effort (CPUE): high-resource (1994–2002), resource-declining (2003–2016), and low-resource (2017–2023) periods. Biological characteristics for each period were compared and analyzed in relation to the environmental changes. Biological analyses included mantle length-body weight relationship, mantle length frequency distribution, gonadosomatic index (GSI), length at maturity, and condition factor (K). Environmental variables included sea surface temperature (SST) and zooplankton biomass. The environmental analysis revealed a delay in the timing of southward migration to suitable thermal ranges and an increase in zooplankton biomass. The biological analyses indicated that average mantle length and length at maturity (L_{50} and L_{95}) continuously decreased, whereas body condition showed an increasing trend. These changes in biological characteristics suggest that resource variability and environmental fluctuations influence resource status.

Keywords: Common squid, Biological characteristics, Environmental factors, CPUE, Jigging fishery

서론

살오징어(*Todarodes pacificus*)는 단년생 연체동물로, 우리나라 전 해역을 포함한 북서태평양에 광범위하게 분포하는 상업적으로 중요한 수산자원이다(Palomares and Pauly, 2025). 산란 시기 및 회유 경로에 따라 가을, 겨울, 여름 산란군으로 구분되며(Murata, 1989), 이 중 가을 산란군은 동해 남부 및 북부 동중국해 해역에서 산란하여, 유생이 대마난류를 따라 동해로 북상하는 동안 성장하여 우리나라 연근해에서 주로 어획된다(Kim and Kang, 1995; NIFS, 2021). 채낚기, 대형트롤, 동해 구중형트롤 등 다양한 어업에서 어획되며, 특히 채낚기어업의 주요 대상 어종으로 9월부터 12월까지 집중적으로 어획된다.

살오징어는 최근 5년(2019–2023년) 평균 어획량 기준으로 국

내 연근해 수산자원 중 세 번째로 높은 비중을 차지하고 있다(KOSIS, 2025). 그러나 연도별 어획량은 1996년 약 25만 톤으로 정점을 기록한 이후 지속적으로 감소하여, 2023년에는 약 2만 3천톤으로 급격히 감소하였다(KOSIS, 2025). 이러한 자원 감소는 어획 기술 발달과 어획노력량 증가(Oh et al., 2018), 채낚기 어선과 트롤 어선의 공조 조업(Choi et al., 2008), 중국 어선의 불법·과도 어획(Lee et al., 2017) 등 남획에 의한 요인과 함께 기후 변화로 인한 해양환경 변화(Sakurai et al., 2002; Rosa et al., 2011; Kim et al., 2018)가 복합적으로 작용한 결과로 보고되고 있다. 살오징어는 빠른 성장과 높은 이동성을 가지며, 서식 환경 및 해양 조건에 따라 분포 범위와 어장 중심이 변동하는 특성을 보인다. 특히 동해에서의 어획은 연안 수온 변동과 수온 전선 분포에 크게 영향을 받으며(Cho et al., 2004; Choi et al.,

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2284 Fax: +82. 51. 720. 2277

E-mail address: kimmj1238@naver.com



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.2025.0353>

Korean J Fish Aquat Sci 58(4), 353-363, August 2025

Received 2 May 2025; Revised 10 June 2025; Accepted 11 June 2025

저자 직위: 조민진(석사후연구원), 김무진(박사후연구원), 김현우(연구관), 강희중(연구사), 김창신(연구사)

2008), 이러한 환경 변화는 자원 밀도 및 조업 효율성과 직접적으로 연관된다. 살오징어의 서식 수온 범위는 4–27°C로 넓은 편이며, 주로 수심 200 m 이내에서 분포하고(Roper et al., 1984), 산란장 형성에는 15–24°C의 수온과 해저 지형 조건이 중요한 요인이다(Sakurai et al., 2000).

해양환경 변화는 수산자원의 초기 생활사 단계에서 높은 사망률을 유발하며, 이 시기의 생존율이 개체군의 가입량을 결정하는 핵심 요인으로 작용한다(Sassa and Tsukamoto, 2010). 수온, 해류, 동물플랑크톤과 같은 해양환경 변수는 산란 시기와 장소 뿐 아니라 개체군 성장과 생존률에도 광범위한 영향을 미친다(Kim et al., 2019). 해양 온난화로 인해 일부 해역에서는 동물플랑크톤 밀도가 최대 70%까지 감소하는 사례가 보고되었으며(Roemmich and McGowan, 1995; Pecl and Jackson, 2008), 이는 유생의 성장 지연 및 높은 사망률로 이어져 개체군에 부정적 영향을 미칠 수 있다(Baily and Houde, 1989). 따라서 살오징어의 생물학적 특성 변화를 평가할 때는 수온과 같은 물리적 환경 요인과 동물플랑크톤과 같은 생물적 환경 요인을 함께 고려해야 한다.

한국 정부는 살오징어 자원의 지속적인 감소와 관리 필요성이 대두됨에 따라 다양한 자원 관리 조치를 시행하고 있다. 현재 살오징어의 금어기를 4–5월로 지정하고(단, 채낚기, 연안복합, 정치망은 4월 한 달), 포획 금지 외투장을 15 cm 이하로 설정하여 보호하고 있다. 또한, 주요 6개 어업에서(채낚기, 동해구트룰, 대형트룰, 대형선망, 대형쌍끌이, 근해자망) 총허용어획량 제도(total allowable catch, TAC)를 도입하여 어획량을 규제하고 있으며(KLIC, 2025), 2018년부터는 수산자원회복사업 대상 어종으로 지정되어 정책적 지원이 강화되었다. 이러한 노력과 함께, 자원 회복과 지속 가능한 이용을 위해서는 살오징어의 생물학적 특성 변화에 대한 정밀한 과학적 분석이 필수적이다.

국내에서는 살오징어와 해양환경 간의 관계를 규명한 연구(Kim et al., 2011, 2018)와 Bayesian 상태공간 생산모델 및 상태공간 잉여생산모델을 활용한 자원 평가 연구(An et al., 2021; Kim et al., 2022) 등이 수행되어 왔다. 그러나 기존 연구들은 자원량과 환경 요인을 분리하여 분석한 사례가 많고, 생물학적 특성 변화를 장기적이고 통합적으로 평가한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 1994년부터 2023년까지 채낚기어업으로 어획된 살오징어의 표준화된 단위노력당어획량(catch per unit effort, CPUE)을 이용해 자원 수준에 따라 세 시기(고자원기, 1994–2002년; 자원감소기, 2003–2016년; 저자원기, 2017–2023년)로 구분하고, 각 시기의 생물학적 특성을 해양환경 변화와 관련하여 비교 분석하였다. 생물학적 분석에는 외투장-체중 관계, 외투장 빈도 분포, 생식소속도지수(gonadosomatic index, GSI), 성숙체장, 비만도(condition factor)를 활용하였으며, 수온과 동물플랑크톤 생물량을 환경 변수로 포함하여 분석하였다. 이를 통해 해양환경 변화에 따른 살오징어 자원의 변동

성을 보다 명확하게 이해하고, 지속 가능한 관리와 보전 전략 수립을 위한 과학적 근거를 제공하고자 한다.

자료 및 방법

살오징어 자원지수(표준화된 CPUE)

본 연구는 한국 동해에서 채낚기어업으로 어획된 살오징어(*T. pacificus*)를 대상으로 하여, 자원수준에 따른 시기별 생물학적 특성을 분석하고자 하였다. 이를 위해 상대적인 자원지수인 표준화된 CPUE를 활용하였으며, 자원 수준의 변곡점을 객관적으로 구분하기 위해 regime shift 분석을 적용하였다. 분석에는 Kim et al. (2025)이 제시한 채낚기어업의 표준화된 CPUE 자료를 사용하였으며, 유의수준 0.01 이하, 절단 길이(cut-off length) 10, huber 가중치 계수 1을 기준으로 분석을 수행하였다.

해양환경 자료

살오징어의 시기별 생물학적 특성과 해양환경 변화 간의 관계를 확인하기 위해, 본 연구에서는 수온과 동물플랑크톤을 주요 해양환경 요인으로 설정하였다. 수온은 살오징어의 성장, 산란, 분포 등에 직접적인 영향을 미치는 물리적 요인으로, 본 연구에서는 시기별 수온 변화를 해양환경 변수로 고려하였다. 수온 자료는 Kim et al. (2024)이 구축한 지역 해양기후모형(regional ocean modeling system)의 시계열 데이터를 활용하였으며, 분석 대상 기간은 1994년부터 2023년까지, 주요 조업 시기인 9월부터 12월의 월별 표층 5 m 해수면 수온(sea surface temperature, SST)을 기준으로 분석을 수행하였다. 수온 분석은 Kim et al. (2025)에서 제시한 살오징어의 적정 서식 수온 범위(13–23°C) 및 최적 수온(21°C)을 기준으로 수행되었으며, 시기별 해역 내 수온 분포 특성과 변화 양상을 평가하는 방식으로 이루어졌다.

동물플랑크톤은 살오징어의 주요 먹이 자원을 반영하는 생태학적 지표로 간주되어, 또 다른 해양환경 변수로 설정되었다. 분석에 사용된 동물플랑크톤 생물량 자료는 1994–2009년 기간은 국립수산과학원에서 발간한 한국해양연보, 2010–2023년 기간은 국립수산과학원 한국해양자료센터(Korea Oceanographic Data Center)에서 제공한 연도별 자료를 사용하였다. 분석은 전체 기간에 걸쳐 시기별 동물플랑크톤 생물량 변화를 비교하는 방식으로 수행되었으며, 대상 해역은 살오징어의 산란장 및 북상경로를 고려하여 설정하였다. 남해 해역은 해양조사 정선 203–207 및 400선, 동해 해역은 102–103 및 208–209선의 자료를 활용하였으며, 조사 수심은 살오징어의 산란 및 유생분포 특성을 고려하여 20–80 m 수심에 해당하는 자료를 이용하였다(Kim et al., 2011).

생물학적 특성 분석

살오징어의 시기별 생물학적 특성 변화를 분석하기 위해, 국립수산물과학원에서 1994년부터 2023년까지 수집한 어체정밀 측정 자료를 활용하였다. 해당 자료는 국내 전 해역과 다양한 어업에서 확보되었으나, 분석 기준의 일관성과 CPUE 자료와의 연계성을 고려하여, 동해에서 채낚기어업으로 어획된 개체만을 분석 대상으로 선별하였다.

분석에 사용된 생물학적 변수는 외투장(mantle length), 체중(body weight), 성별(sex), 생식소 중량(gonad weight), 성숙 단계(maturity stage)이며, 이를 바탕으로 성장, 성숙, 체조건 특성을 평가하였다. 본 연구에서는 암컷 개체만을 대상으로 하였고, 분석의 신뢰성을 높이기 위해 결측값 제거 및 이상치 검토 등의 데이터 전처리 과정을 거쳤다. 자료 분석은 자원 수준에 따라 구분된 세 시기를 기준으로 수행하였다.

시기별 성장 특성 비교를 위해, 살오징어의 외투장 빈도 분포와 외투장-체중 관계를 중심으로 분석을 수행하였다. 주요 어획 시기인 9월부터 12월의 외투장 자료를 활용하여 히스토그램으로 시기별 분포 양상을 시각화하고, 월별 평균 외투장을 비교하였다. 외투장과 체중 간의 관계는 다음의 체장-체중 함수식을 기반으로 분석하였다:

$$BW=aML^b$$

여기서, BW는 체중(g), ML은 외투장(cm), a와 b는 회귀 분석을 통해 추정된 계수이다. 위 식은 로그 변환 후 선형 회귀모형을 적용하여 계수를 도출하였다.

시기별 생식 특성은 GSI와 성숙체장(L₅₀, L₉₅)을 활용하여 평가하였다. GSI는 개체의 생식소 발달 정도를 반영하는 지표로, 생식소 중량과 총 체중의 비율로 산출되며 계산식은 다음과 같다:

$$GSI=\frac{GW}{BW}\times 100$$

여기서 GW는 생식소 중량(g), BW는 생식소를 포함한 총 체중(g)을 의미하며, GSI는 생식 활동의 강도와 시기를 파악하는데 활용된다.

성숙단계는 생식소 발달 상태를 기준으로 한 육안판별법을 통해 판별하였다. 판별 기준은 NIFS (2020)의 분류 체계를 따라 미숙, 중숙, 성숙, 완숙, 방후의 6단계로 구분하였다. 성숙체장 분석에서는 선행연구(ICES, 2018)의 기준에 따라 미숙 단계를 미성숙 개체로, 나머지 단계를 성숙 개체로 정의하였다. 성숙체장은 개체의 외투장에 따른 성숙 개체의 비율을 기반으로 로지스틱 회귀분석을 통해 추정하였으며, 성숙 확률이 각각 50% 및 95%에 도달하는 외투장인 L₅₀과 L₉₅를 도출하였다. 이때 사용된 회귀식은 다음과 같다:

$$P_i=\frac{1}{1+e^{-b_i \cdot ML_i}}$$

여기서 P_i는 ML_i에서의 성숙 개체 비율(%), b₀와 b₁는 회귀 계수(상수)이다. 본 분석에서는 월별 GSI 평균값을 기준으로, 전체 기간 중 평균 이상을 나타낸 월 이후 자료만을 선별하여 활용하였다.

살오징어의 영양 상태 및 에너지 저장 수준을 평가하기 위해, 비만도를 산출하였다. 비만도는 외투장에 대한 체중의 비율을 기반으로 다음과 같이 계산하였다:

$$K=-\frac{BW}{ML^3}\times BW$$

여기서 K는 비만도, BW는 체중(g), ML은 외투장(cm)이다. 시기별 월평균 값을 비교하여 자원 수준에 따른 개체의 영양 상태 변화를 평가하였다. 또한, 주 어획시기의 평균 비만도에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위해, 12월 남해 및 동해남부 해역의 동물플랑크톤 생물량과 상관분석을 실시하였다.

결 과

살오징어 자원지수

1994년부터 2023년까지 채낚기어업으로 어획된 살오징어의 표준화된 CPUE를 대상으로 regime shift 분석을 수행한 결과, 전체 연구 기간은 고자원기(Period 1, 1994–2002년), 자원감소기(Period 2, 2003–2016년), 저자원기(Period 3, 2017–2023년)로 구분되었다(Fig. 1). 시기별 표준화된 CPUE의 평균값을 비교한 결과, 살오징어 자원지수는 지속적으로 감소하는 경향을 보였다. Period 1 (1994–2002)의 평균 CPUE는 39.7로 가장 높았으며, Period 2 (2003–2016)에서는 21.4로 약 46.1% 감소하였다. 이후 Period 3 (2017–2023)에서는 10.4로 다시 51.4% 감소하여, 전체 분석 기간 동안 총 73.8%의 자원지수 감소가 나타났다.

서식지 환경(수온 및 동물플랑크톤)

수온

살오징어의 주요 어획 시기인 9월부터 12월까지의 월별 SST 분포를 시기별로 비교한 결과, 적정 서식 수온 범위(13–23°C)와 최적 수온(21°C)의 공간적 분포에 차이가 나타났다(Fig. 2). 특히 9월에는 시기 간 수온 분포 차이가 가장 뚜렷하게 관찰되었다. Period 1에서는 적정 수온대(13–23°C)가 동해 중부 해역까지 남하한 반면, Period 2와 Period 3에서는 해당 수온대가 북쪽 해역에 제한적으로 형성되는 경향이 확인되었다. 최적 서식 수온(21°C) 등온선 분포 또한 차이를 보였으며, Period 1에서는 Period 2와 Period 3에 비해 상대적으로 남쪽 해역에 형성되었다. 10월과 11월에서는 세 시기 모두에서 적정 수온 범위가 동해 해역 전반에 걸쳐 고르게 나타났으며, 최적 수온 등온선 양상에서도 큰 차이가 나타나지 않았다. 반면, 12월에는 Period 3에서 Period 1과 Period 2에 비해 적정 수온대가 동해 중남부 해역

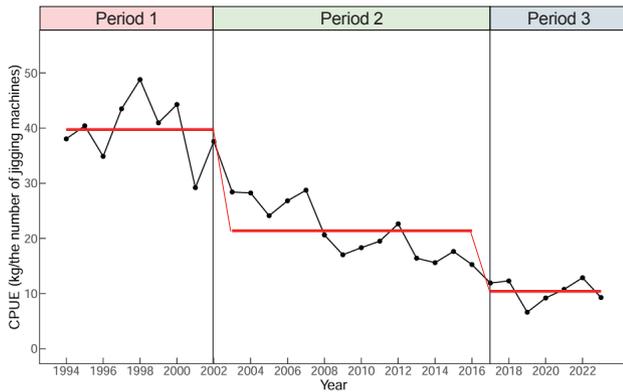


Fig. 1. Regime shift analysis of standardized catch per unit effort (CPUE) for *Todarodes pacificus* in the East Sea from 1994 to 2023, based on Kim et al. (2025). Three period are indicated: Period 1 (1994–2002), Period 2 (2003–2016), and Period 3 (2017–2023). The black line indicates annual mean standardized CPUE, while the red line represents the average standardized CPUE for each regime.

까지 넓게 분포하는 특징이 확인되었다.

동물플랑크톤

12월 남해 및 동해 중남부 해역의 장기적 동물플랑크톤 생물량 변화를 분석한 결과, 동물플랑크톤 생물량은 1994–2023년 동안 전반적으로 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3). 최대치는 2016년에 948.9 mg/m^2 로 관측되었으며, 최소치는 1997년에 17.9 mg/m^2 를 기록하였다. 시기별 평균 생물량을 비교하면, Period 2가 501.6 mg/m^2 로 가장 높았고, Period 3가 470.7 mg/m^2 로 유사한 수준을 나타낸 반면, Period 1은 156.7 mg/m^2 로 다른 두 기간에 비해 현저히 낮았다.

생물학적 특성 변화

외투장 빈도 분포

살오징어의 외투장 빈도 분포는 주요 어획 시기인 9월부터 12월까지를 대상으로, 자원 수준별 세 시기에 대해 비교 분석하였다(Fig. 4). 월별 평균 외투장 변화는 시기 간 뚜렷한 차이를 보였으며, Period 1에서는 9월부터 평균 외투장이 25 cm 이상으로 나타난 반면, Period 2와 3에서는 이 수치에 도달하는 시점이 각각 10월과 12월로 점차 지연되는 경향이 확인되었다. 특히 Period 3의 9월 평균 외투장은 20.3 cm로, 세 시기 중 가장 작게 나타났다. 시기별 전체 평균 외투장을 비교한 결과, Period 1은 25.3 cm, Period 2는 24.7 cm, Period 3은 23.7 cm로 나타났으며, 자원 수준이 낮아질수록 평균 외투장이 점진적으로 감소하는 경향을 보였다.

외투장-체중 관계

시기별 암컷 살오징어의 외투장-체중 관계식을 분석한 결과,

모든 시기에서 높은 결정계수($R^2 > 0.95$)를 보여 모형의 적합도가 양호한 수준으로 나타났다(Fig. 5). 시기별로 추정된 기울기 계수 b 값은 모두 3.0을 초과하였으며, 이 중 Period 2에서 가장 높은 기울기 계수($b=3.20$)가 확인되어, 해당 시기에 상대적으로 빠른 체중 증가 경향이 관찰되었다.

비만도

시기별 살오징어의 월별 평균 비만도 변화를 분석한 결과, 전반적으로 가을에 높은 값을, 봄에 낮은 값을 나타내는 경향을 보였다. 월별 변동 폭은 모든 시기에서 크게 나타나지 않았으나, 시기 간 평균값 차이는 뚜렷하였다(Fig. 6). 평균 비만도 값은 Period 1에서 222.3, Period 2에서 231.6, Period 3에서 208.9로 나타났으며, Period 2에서 가장 높은 비만도 값이 관찰되었다.

조사 기간 전체를 대상으로 12월의 동물플랑크톤 생물량과 그 다음해의 살오징어 비만도 간의 상관관계를 분석한 결과, 양의 상관관계($r=0.497$, $P < 0.01$)가 나타났으며, 동물플랑크톤 증가에 따라 비만도도 증가하는 경향이 확인되었다. 기간별로 나누어 분석한 결과, 모든 시기에서 동물플랑크톤 생물량과 살오징어 비만도는 모두 양의 상관관계가 나타났다(Period 1, $P > 0.1$; Period 2 and 3, $P < 0.05$).

GSI

시기별 살오징어의 월별 평균 GSI를 비교한 결과, 모든 시기에서 6월 또는 7월을 기점으로 GSI가 상승하는 경향이 확인되었다(Fig. 7). 특히 Period 2에서는 8월과 9월에 각각 GSI가 6.3과 6.2로 최대치를 기록하며, 세 시기 중 가장 뚜렷한 생식 활동의 피크가 나타났다. 또한, Period 2의 평균 GSI는 4.99로, Period 1 (3.78) 및 Period 3 (3.42)보다 높게 나타나 생식 활동이 상대적으로 높게 나타났다.

성숙체장

살오징어의 성숙체장 변화를 분석한 결과, 50% 성숙체장(L_{50}) 및 95% 성숙체장(L_{95})을 모두에서 시간에 따른 점진적 감소 경향이 확인되었다(Fig. 8, Fig. 9). 분석은 로지스틱 회귀 모형을 기반으로 수행되었으며, 성숙 개체 비율이 충분히 확보된 연도만을 대상으로 하였다.

1994–1995년, 1999–2002년, 2005–2012년, 2021년은 체장 계급별 표본 수가 부족하여 분석에서 제외되었으며, 최종적으로 통계적 유의성($P < 0.01$)이 확보된 1996–1998년, 2003–2004년, 2013–2020년, 2022년, 2023년의 자료만 활용하였다. 분석 결과, L_{50} 는 1996년 25.2 cm에서 2016년 18.9 cm로 점진적으로 감소하였고, 2023년에는 22.1 cm로 소폭 증가하였다. 그러나, 전체적으로는 성숙에 도달하는 체장이 시간이 지남에 따라 감소하는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 시기별 L_{50} 평균은 Period 1에서 22.9 cm, Period 2에서 20.0 cm, Period 3에서 21.2 cm로 나타났다. 시기별 L_{95} 평균은 각각 Period 1에서 28.1 cm, Period 2에서 24.1 cm, Period 3에서 25.7 cm로 확인되었다.

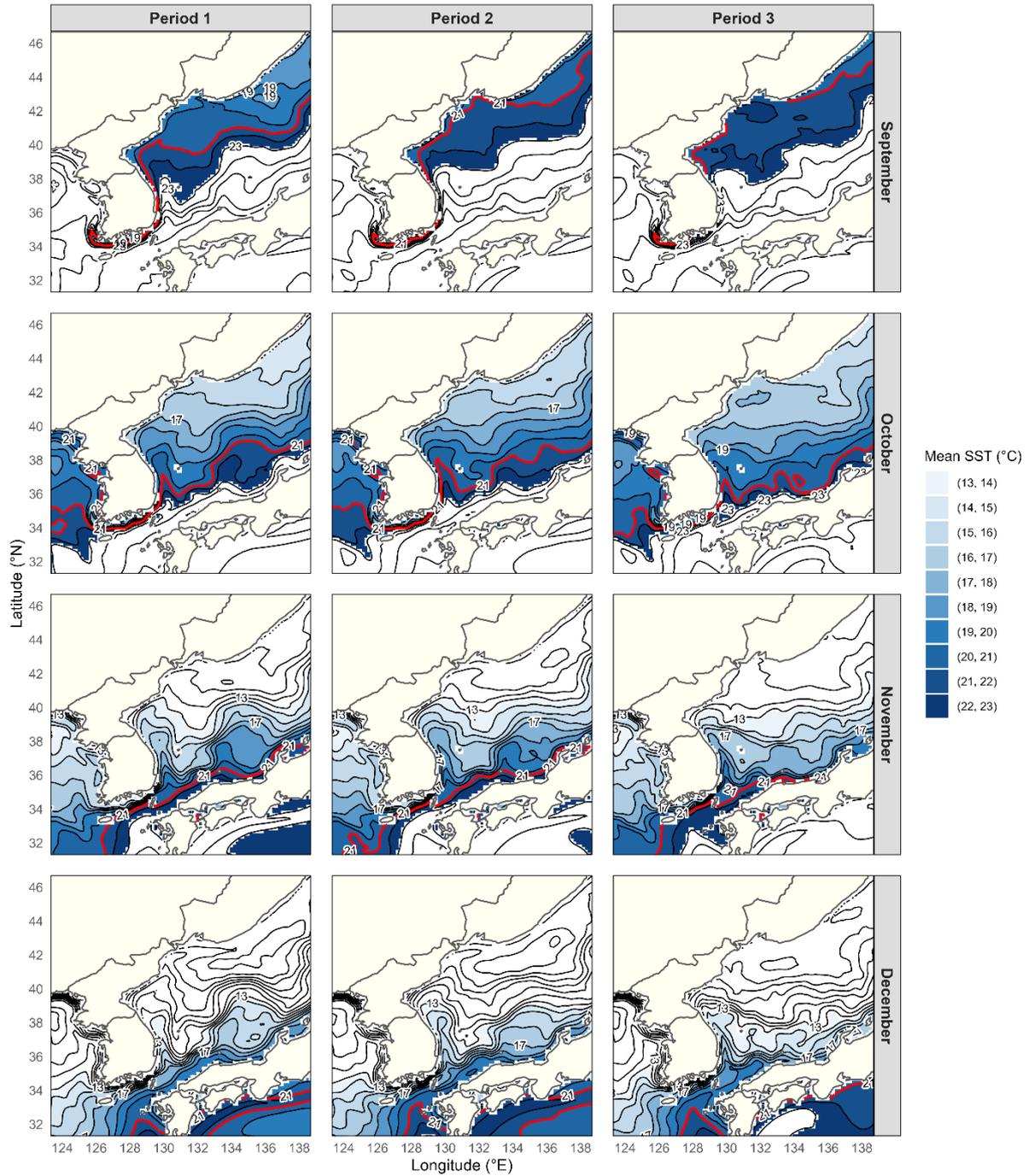


Fig. 2. Monthly mean sea surface temperature (SST) distributions in September to December for 3 periods (Period 1: 1994–2002, Period 2: 2003–2016, Period 3: 2017–2023) in the East Sea. Colored contours indicate suitable thermal range (13–23°C), and the red contour line represents the optimal temperature (21°C) for *Todarodes pacificus*.

고찰

본 연구에서는 1994년부터 2023년까지 동해에서 채낀기어업으로 어획된 살오징어(*T. pacificus*)를 대상으로, 표준화된

CPUE를 기반으로 자원 수준 변동을 반영한 세 시기(Period 1, 1994–2002; Period 2, 2003–2016; Period 3, 2017–2023)로 구분하고, 시기별 생물학적 특성 변화와 해양 환경 요인 간의 연관성을 정량적으로 분석하였다. 이를 통해 살오징어 자원의 변

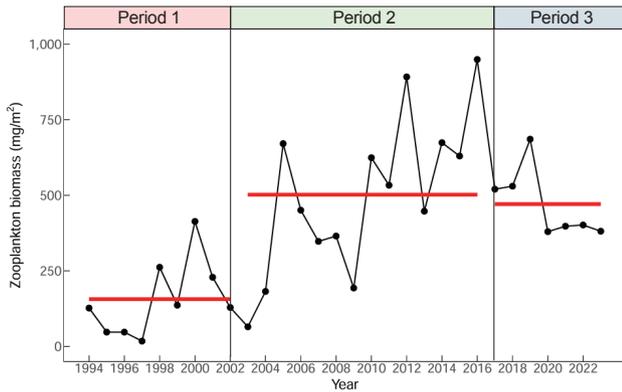


Fig. 3. Annual changes in zooplankton biomass in December from 1994 to 2023 for 3 periods (Period 1: 1994–2002, Period 2: 2003–2016, Period 3: 2017–2023). Black lines and dots represent yearly observations, and red horizontal lines represent the mean zooplankton biomass for each period.

동성과 이에 따른 생물학적 반응 양상을 체계적으로 평가하고자 하였다.

표준화된 CPUE에 기반한 시기 구분 결과, 살오징어 자원은 1990년대 중반 이후 지속적인 감소 추세를 보였으며, 특히 2010년대 후반 이후에는 저자원 상태로 나타났다. 살오징어 어획량 또한 시간이 지남에 따라 지속적으로 감소하였으며(KOSIS, 2025), 이는 자원량 감소가 어획량 감소로 직접 연결되었음을 시사한다. 이러한 자원 감소는 다양한 생태학적, 어업적 요인이

복합적으로 작용한 결과로 해석된다. 이와 같은 수산자원의 장기적 감소 경향은 기후변화, 남획 등 다양한 요인에 의해 전 세계적으로 보고되고 있으며(FAO, 2020), 살오징어 자원 역시 이러한 복합적 영향에 노출되어 있는 것으로 판단된다.

기후변화에 따른 수온 상승, 해양산성화 등은 전 지구적으로 발생하고 있으며, 이는 종의 생존, 성장, 번식 및 분포에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Brander, 2007; Brierley and Kingsford 2009; Brown et al., 2010). 본 연구에서는 주요 어획 시기인 9월부터 12월 동안 동해 해역의 해수면 온도 분포에서 적정 서식 수온 범위(13–23°C) 내 형성 양상이 시기별로 뚜렷한 차이를 보였다. 특히 9월의 경우 Period 1에는 해당 수온 범위가 동해 중부 해역까지 남하하여 살오징어의 넓은 분포를 가능하게 한 반면, Period 2 및 Period 3에는 해당 수온대가 북쪽 해역에 제한적으로 형성되어 서식지 범위가 축소되는 양상이 관찰되었다. 이는 수온의 남하 시기가 지연되었음을 의미하며, 이에 따라 서식지 이동이 제한되어 개체군 밀도 감소와 어획량 감소에 영향을 미쳤을 가능성을 시사한다. 지구온난화로 인한 살오징어 회유 경로 및 산란장 변화 가능성은 Kishi et al. (2009)에 의해 제시된 바 있으며, 동해 연안 수온 변동 및 수온 전선 분포 변화가 살오징어 어항에 미치는 영향도 보고된 바 있다(Choi et al., 1997, 2008; Cho et al., 2004). 특히 동해 해역에서는 대마난류의 확장고 수온 분포 변화가 살오징어 어장의 공간적 분포 위치에 밀접한 영향을 미치며, 산란장의 환경 변화 및 면적 축소가 성어 어획량 변동과 직결되는 것으로 알려져 있다(Cho et al., 2004). 이에 따라 향후 살오징어 자원 변동성을 보다 정밀하게 평가하기 위해서는 대마난류 수송량에 대한 분석

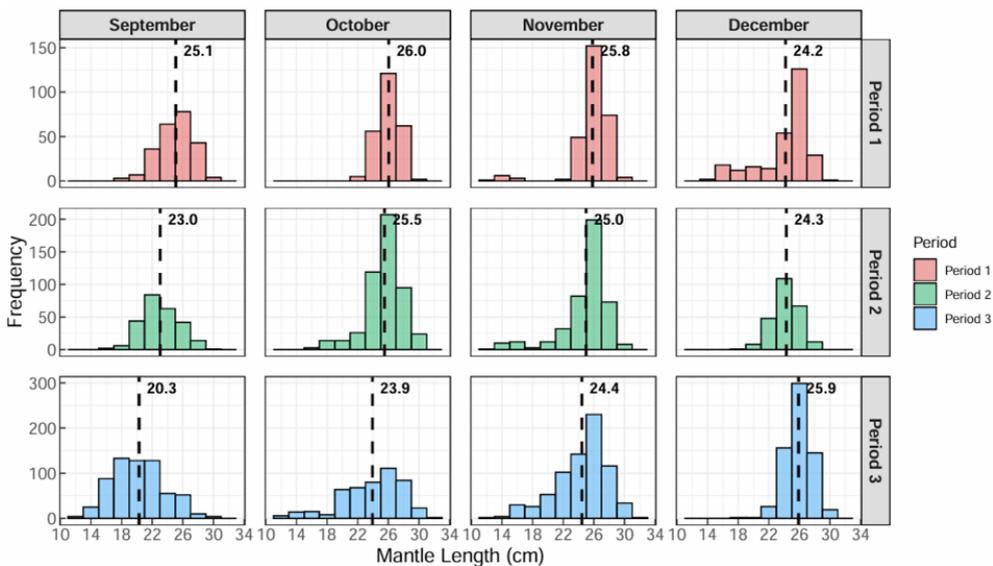


Fig. 4. Mantle length (ML) frequency distributions of *Todarodes pacificus* caught by the Korean jigging fishery in the East Sea during the main fishing season (September–December) for 3 periods (Period 1: 1994–2002, Period 2: 2003–2016, Period 3: 2017–2023). Dashed lines represent monthly mean ML values.

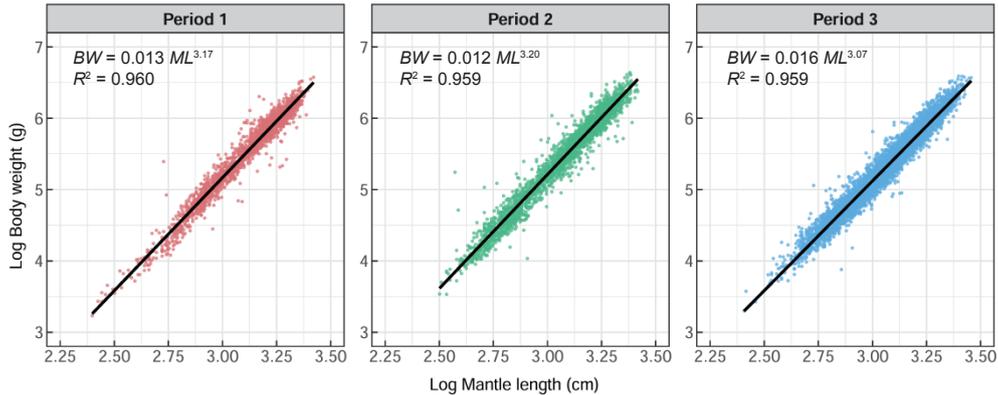


Fig. 5. Mantle length-body weight relationships of *Todarodes pacificus* caught by the Korean jigging fishery in the East Sea during the main fishing season (September-December) for 3 periods (Period 1: 1994–2002, Period 2: 2003–2016, Period 3: 2017–2023). Equations were fitted to log-transformed data.

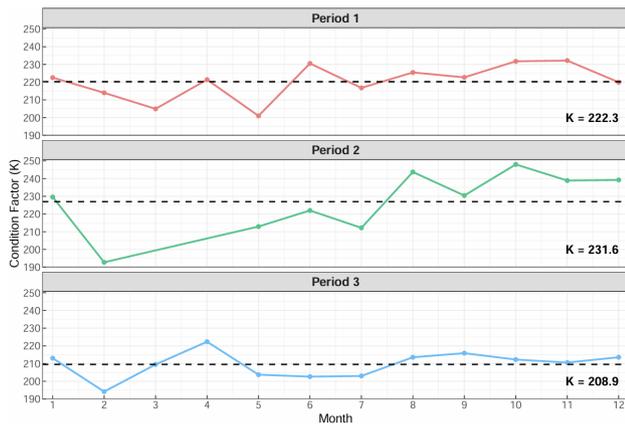


Fig. 6. Monthly variation in the condition factor (K) of *Todarodes pacificus* caught by the Korean jigging fishery in the East Sea for 3 periods (Period 1: 1994–2002, Period 2: 2003–2016, Period 3: 2017–2023). Solid lines represent monthly mean values of K, and dashed lines indicate the overall average K for each period.

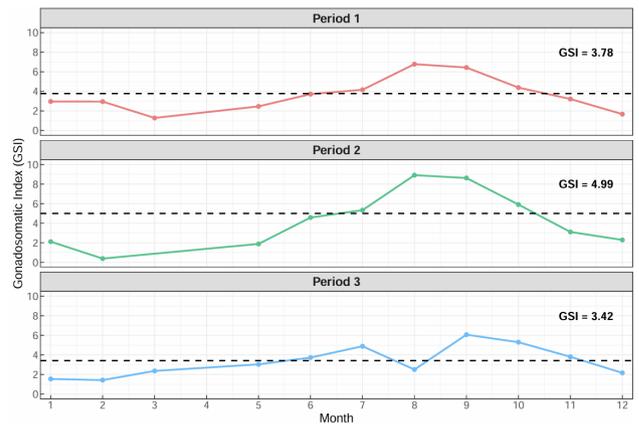


Fig. 7. Monthly variation in the gonadosomatic index (GSI) of *Todarodes pacificus* caught by the Korean jigging fishery in the East Sea for 3 periods (Period 1: 1994–2002, Period 2: 2003–2016, Period 3: 2017–2023). Solid lines represent monthly mean GSI, and dashed lines indicate the overall average GSI for each period.

도 병행할 필요가 있다.

살오징어는 초기 생활사에서 동물플랑크톤을 주요 먹이 자원으로 이용하며, 먹이의 양과 질은 개체의 성장과 생존에 결정적인 영향을 미친다(Hwang et al., 2012). 본 연구에서는 12월의 동물플랑크톤 생물량을 분석한 결과, 1996년부터 2023년까지 동물플랑크톤 생물량은 장기적으로 증가하는 경향을 보였으며, 이는 산란 직후 초기 성장 단계에 있는 살오징어 유생들의 먹이가 과거에 비해 풍부해졌음을 의미한다. 동물플랑크톤 생물량과 살오징어 비만도 간에는 유의한 양의 상관관계가 나타났으며, 이는 먹이 환경이 개체의 영양상태 향상에 긍정적으로 작용했음을 보여준다. 또한, 외투장-체중 관계 분석에서도 Period 2에서 가장 높은 성장 기울기(b)가 관찰되어, 먹이 자

원 증가와 빠른 체중 증가가 일치하는 결과를 나타냈다. 이러한 결과는 밀도 의존적 영향으로 인해 먹이 경쟁이 감소하고 (Lizaso et al., 2000), 그에 따라 개체당 섭취량이 증가하여 성장 속도가 향상된 것을 의미한다(Bang et al., 2018). 그러나 동물플랑크톤 생물량이 Period 1에 비해 Period 2 및 Period 3에서 증가했음에도 불구하고, 자원지수는 회복되지 않았다. 이는 살오징어는 성장함에 따라 어류 및 두족류를 포함한 보다 다양한 먹이를 섭식하는 것으로 알려져 있는데(Kidokoro and Uji, 1999; Uchikawa and Kidokoro, 2014), 초기생활사 먹이만으로 자원 변동성을 설명하기에는 한계가 있다. 따라서, 향후에는 성장 단계에 따른 주요 먹이군 자료를 확보하고, 이들의 시기별 변화를 함께 고려함으로써 살오징어 자원 변동에 대한 보다 정

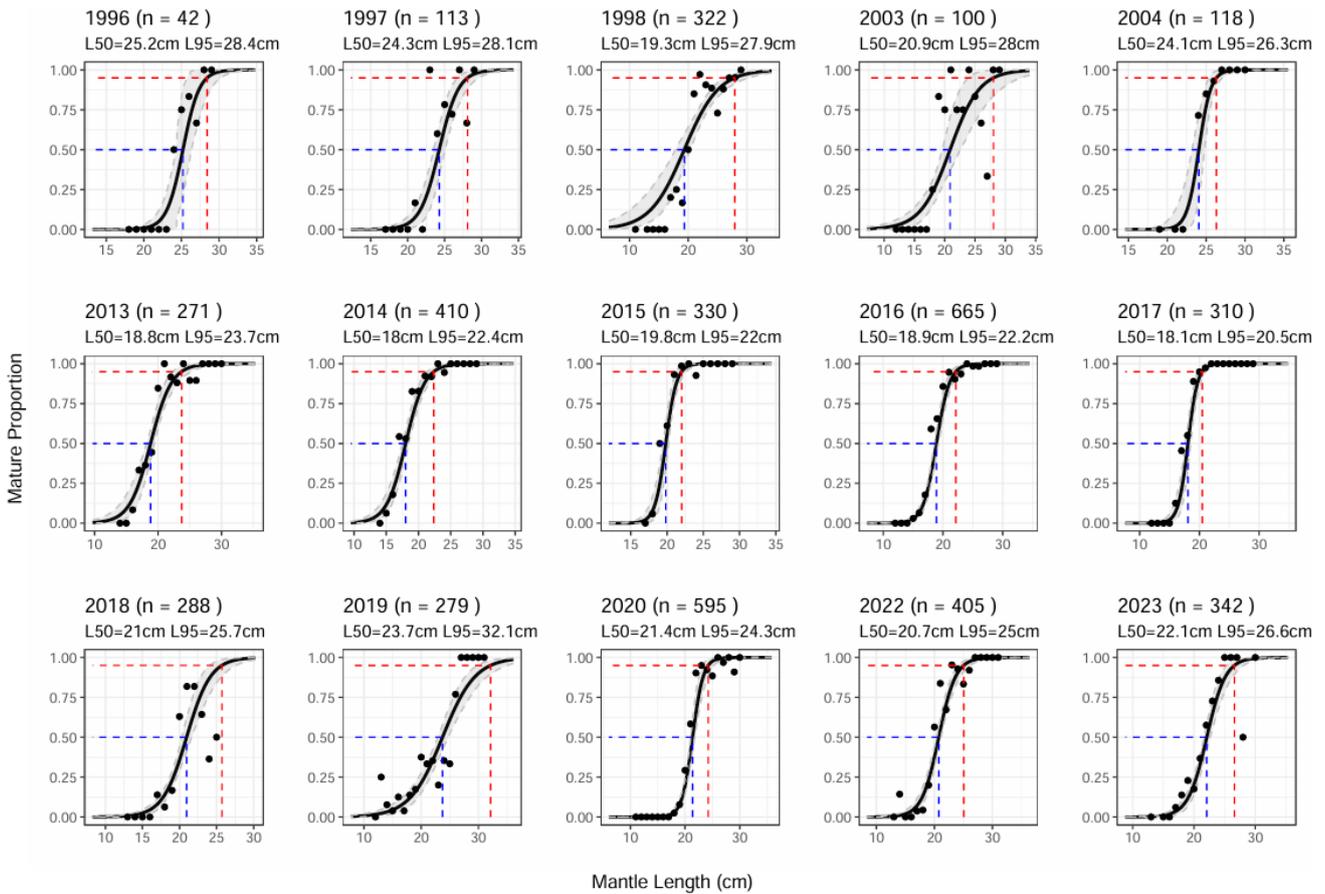


Fig. 8. Annual maturity ogives of *Todarodes pacificus* caught by the Korean jigging fishery in the East Sea, estimated using logistic regression. Shaded areas represent 95% confidence intervals calculated by bootstrapping. Dashed lines indicate the mantle lengths at 50% (L_{50} ; blue) and 95% (L_{95} ; red) maturity.

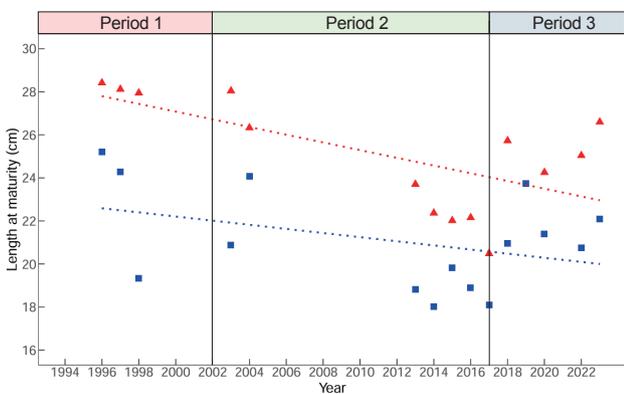


Fig. 9. Temporal trends in length at maturity (L_{50} and L_{95}) of *Todarodes pacificus* caught by the Korean jigging fishery in the East Sea from 1996 to 2023 for 3 periods (Period 1: 1994–2002, Period 2: 2003–2016, Period 3: 2017–2023). Blue squares and red triangles represent L_{50} and L_{95} values, respectively, with dotted lines indicating linear trends over time.

교하고 통합적인 해석이 가능할 것으로 판단된다. 또한, 먹이 자원 외에도 수온 상승, 서식지 축소, 어획 압력 등 다양한 요인이 복합적으로 작용했음을 시사한다. 따라서 살오징어 자원 변동성 해석에는 생태학적 요인과 인위적 요인을 통합적으로 고려할 필요가 있다.

시기별 외투장 빈도 분포 결과, Period 3로 갈수록 대형 개체 출현 시점이 12월로 지연되었고, 평균 외투장 또한 감소하는 경향이 나타났다. 이는 살오징어의 남하시기 지연과 성장 속도 변화 가능성을 시사한다. 기존 연구들과의 비교에서도 유사한 경향이 확인되었다. Gong et al. (2006)은 자원 수준이 낮았던 1980년대에 살오징어의 외투장이 1990년대에 비해 전적으로 작았다고 보고하였는데, 이는 자원 감소와 어획물의 평균 체장 축소 간의 연관성을 뒷받침한다. 또한 Jo et al. (2019)은 어획량 고수준기(1996–2000년) 대비 저수준기(2013–2017)에서 50% 성숙체장이 약 3.3 cm 감소하고, 평균 체장이 약 1.3 cm 감소한 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 성숙체장 분석 결과, 50% 성숙체장(L_{50})과 95% 성숙체장(L_{95})이 연구 기간 동안 점진적으

로 감소하는 경향을 보였다. 이는 살오징어 개체군이 과거보다 더 작은 크기에서 성숙하는 조기 성숙(early maturation) 경향을 보일 가능성을 시사한다. 수산자원이 남획될 경우, 먹이 경쟁 감소나 적응 반응 등에 의해 개체군의 조기 성숙과 평균 성숙체장 감소가 나타날 수 있음이 보고되었으며(Law, 2000; de Roos et al., 2006; Bang et al., 2018), 남획의 또 다른 지표로 평균 체장이 감소하는 현상도 관찰되고 있다(Yeon et al., 2010; Lin et al., 2011). 본 연구 결과에서도 평균 성숙체장 및 평균 체장의 감소 경향이 확인되어, 살오징어 자원에서 남획 징후가 나타나고 있을 가능성을 시사한다.

우리나라 연근해를 대표하는 주요 어종에서도 어획물 소형화와 같은 남획 징후가 관찰되고 있으며(Jo et al., 2019), 본 연구 결과 또한 살오징어 자원에서 해양환경 변화 및 생물학적 특성 변화와 함께 자원 감소 및 남획 징후가 나타나고 있을 가능성을 시사한다. 다만 본 연구에서는 어업에 의한 남획 영향을 직접적으로 정량 분석하지는 못하였으며, 향후에는 남획 영향을 평가할 수 있는 분석을 추가하여 살오징어 자원 변동 원인과 생물학적 특성 변화를 보다 종합적으로 해석할 필요가 있다. 본 연구에서는 물리적 해양환경 요인으로 표층 수온을 중심으로 서식지 수온 변화를 분석하였으나, 향후에는 대마난류 수송량 변동, 산란 수온 조건 등을 추가로 고려하여 살오징어의 회유, 산란, 성장에 미치는 해양환경 요인의 영향을 보다 종합적으로 평가할 필요가 있다. 또한 살오징어 자원 감소는 해양환경 변화뿐만 아니라 어업 환경 변화, 기술 발전, 불법 어업 등 다양한 요인이 복합적으로 작용한 결과로 판단된다(Choi et al., 2008; Lee et al., 2017; Oh et al., 2018). 따라서 살오징어 자원의 지속 가능한 이용과 관리를 위해서는 해양환경과 어업 요인을 통합적으로 반영한 체계적인 자원 평가 및 관리 전략 수립이 필요하다.

사 사

본 연구는 2025년도 국립수산물과학원 수산과학연구사업(R2025006)으로 수행되었습니다.

References

- An DY, Kim KH, Kang HJ and Hyun SY. 2021. A Bayesian state-space production assessment model for common squid *Todarodes pacificus* stock caught by multiple fisheries in Korean waters. *Korean J Fish Aquat Sci* 54, 769-781. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0769>.
- Bailey KM and Houde ED. 1989. Predation on eggs and larvae of marine fishes and the recruitment problem. In: *Advances in Marine Biology*. Academic Press, London, U.K., 1-83. [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(08\)60187-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(08)60187-X).
- Bang M, Kang S, Kim S and Jang CJ. 2018. Changes in the biological characteristics of walleye pollock related to demographic changes in the East Sea during the late 20th century. *Mar Coast Fish* 10, 91-99. <https://doi.org/10.1002/mcf2.10004>.
- Brander KM. 2007. Global fish production and climate change. *Proc Natl Acad Sci USA* 104, 19709-19714. <https://doi.org/10.1073/pnas.0702059104>.
- Brierley AS and Kingsford MJ. 2009. Impacts of climate change on marine organisms and ecosystems. *Curr Biol* 19, R602-R614. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.05.046>.
- Brown CJ, Fulton EA, Hobday AJ, Matear RJ, Possingham HP, Bulman C, Christensen V, Forrest RE, Gehrke PC, Gribble NA, Griffiths SP, Lozano-Montes H, Martin JM, Metcalf S, Okey TA, Watson R and Richardson AJ. 2010. Effects of climate-driven primary production change on marine food webs: Implications for fisheries and conservation. *Glob Change Biol* 16, 1194-1212. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02046.x>.
- Cho KD, Kim SW, Kang KH, Lee CI, Kim DS, Choi YS and Choi KH. 2004. Relationship between fishing condition of common squid and oceanic condition in the East Sea. *J Kor Soc Mar Environ Saf* 10, 61-67.
- Choi KH, Hwang SD and Kim JI. 1997. Fishing conditions of common squid (*Todarodes pacificus* Steenstrup) in Korean waters. I. Spatio-temporal distribution of common squid related to the changes in oceanographic condition. *J Kor Fish Soc* 30, 513-522.
- Choi KH, Lee CI, Hwang KS, Kim SW, Park JH and Gong Y. 2008. Distribution and migration of Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, in the southwestern part of the East (Japan) Sea. *Fish Res* 91, 281-290. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2007.12.009>.
- de Roos AM, Boukal DS and Persson L. 2006. Evolutionary regime shifts in age and size at maturation of exploited fish stocks. *Proc R Soc B* 273, 1873-1880. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3518>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2020. Sustainability in action. In: *The State of World Fisheries and Aquaculture*. FAO, Rome, Italy, 1-244. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>.
- Gong Y, Jeong HD, Choi KH, Seong KT and Kim SW. 2006. Fluctuations in the abundance of common squid, *Todarodes pacificus*, and environmental conditions in the Far East regions during 52 years. *J Ecol Environ* 29, 1-16. <https://doi.org/10.5141/JEFB.2006.29.1.001>.
- Hwang KS, Kang SK, Oh TY, Choi KH and Lee DW. 2012. Change in the fishing ground and the relationship between the abundance of the common squid *Todarodes pacificus* and the distribution of zooplankton in the East Sea. *Korean J Fish Aquat Sci* 45, 173-179. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2012.0173>.
- ICES (International Council for the Exploration of the Sea). 2018. Report of the Workshop for Advancing Sexual Maturity Staging in Fish (WKASMSF). ICES Headquarters,

- Copenhagen, Denmark, 1-75.
- 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>.
- Kidokoro H and Uji R. 1999. Estimation on the age of Japanese common squid *Todarodes pacificus* cannibalized by their own species. Bull Jpn Sea Natl Fish Res Inst 49, 123-127.
- Kim CS, Lee JS, Yang JY and Han IS. 2024. Dynamic down-scaling for regional ocean climate modeling around the Korean Peninsula and its application in fisheries. Korean J Fish Aquat Sci 57, 177-185. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2024.0177>.
- Kim JJ, Lee HH, Kim S and Park C. 2011. Distribution of larvae of the common squid *Todarodes pacificus* in the northern East China Sea. Korean J Fish Aquat Sci 44, 267-275. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2011.0267>.
- Kim JW, Hyun SY and Yoon SC. 2022. A state-space production assessment model with a joint prior based on population resilience: Illustration with the common squid *Todarodes pacificus* stock. Korean J Fish Aquat Sci 55, 183-188. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0183>.
- Kim MJ, Kim CS, Kim HW, Ji HS and Kang H. 2025. Forecasting the spatial variation of optimal sea surface temperature for common squid (*Todarodes pacificus*) in the Korean jigging fishery. Front Mar Sci, Under review.
- Kim SR, Kim JJ, Stockhausen WT, Kim CS, Kang SK, Cha HK, Ji HS, Jang SH and Baek HJ. 2019. Characteristics of the eggs and larval distribution and transport process in the early life stage of the chub mackerel *Scomber japonicus* near Korean waters. Korean J Fish Aquat Sci 52, 666-684. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0666>.
- Kim YH and Kang YJ. 1995. Population analysis of the common squid, *Todarodes pacificus* Steenstrup in Korean waters. Korean J Fish Aquat Sci 28, 163-173.
- Kim YH, Jung HK and Lee CI. 2018. Changes in the spawning ground environment of the common squid *Todarodes pacificus* due to climate change. Ocean Polar Res 40, 127-143. <https://doi.org/10.4217/OPR.2018.40.3.127>.
- Kishi MJ, Nakajima K, Fuji M and Hashioka T. 2009. Environmental factors which affect growth of Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, analyzed by a bioenergetics model coupled with a lower trophic ecosystem model. J Mar Syst 78, 278-287. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2009.02.012>.
- KLIC (Korea Law Information Center). 2024. Enforcement Decree of the Fishery Resources Management Act. Retrieved from <https://www.law.go.kr/LSW/main.html> on Feb 1, 2025.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2024. Fishery Production Survey. Retrieved from <https://kosis.kr/> on Feb 1, 2025.
- Law R. 2000. Fishing, selection, and phenotypic evolution. ICES J Mar Sci 57, 659-668. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0731>.
- Lee JS, Ryu JG and Kee HY. 2017. A study on the status of Chinese fishing in the East Sea off North Korea and directions for countermeasures. J Fish Bus Adm 48, 61-74. <https://doi.org/10.12939/FBA.2017.48.3.061>.
- Lin L, Liu Z, Jiang Y, Huang W and Gao T. 2011. Current status of small yellow croaker resources in the southern Yellow Sea and the East China Sea. Chin J Oceanol Limnol 29, 547-555. <https://doi.org/10.1007/s00343-011-0182-8>.
- Lizaso JL Sánchez, Goñi R, Reñones O, Charton JA García, Galzin R, Bayle JT, Jerez PS, Pérez AR and Ramos AA. 2000. Density dependence in marine protected populations: A review. Environ Conserv 27, 144-158. <https://doi.org/10.1017/S0376892900000187>.
- Murata M. 1989. Population assessment, management and fishery forecasting for the Japanese common squid, *Todarodes pacificus*. In: Marine Invertebrate Fisheries: Their Assessment and Management. Caddy JP, ed. John Wiley and Sons, New York, NY, U.S.A., 613-616.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2021. Ecology and Fishing Ground of Fisheries Resources in Korean Waters. NIFS, Busan, Korea, 380.
- Oh TY, Seo YI, Cha HK, Jo HS, An YS and Lee YW. 2018. Change of fishing power index by technological development in the offshore squid jigging fishery. J Kor Soc Fish Ocean Technol 54, 224-230. <https://doi.org/10.3796/KS-FOT.2018.54.3.224>.
- Palomares MLD and Pauly D. 2025. SeaLifeBase. Retrieved from <https://www.sealifebase.org> on Feb 1, 2025.
- Pecl GT and Jackson GD. 2008. The potential impacts of climate change on inshore squid: Biology, ecology and fisheries. Rev Fish Biol Fish 18, 373-385. <https://doi.org/10.1007/s11160-007-9077-3>.
- Roemmich D and McGowan JA. 1995. Climate warming and the decline of zooplankton in the California current. Science 267, 1324-1326. <https://doi.org/10.1126/science.267.5202.1324>.
- Roper CFE, Sweeney 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 Fish Synopsis 125, FAO, Rome, Italy, 156-186.
- Rosa AL, Yamamoto J and Sakurai Y. 2011. Effect 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.

- Change 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>.
- Sakurai Y, Kiyofuji H, Saitoh SI, Yamamoto J, Goto T, Mori K and Kinoshita T. 2002. Stock fluctuations of the Japanese common squid *Todarodes pacificus* related to recent climate changes. Fish Sci 68, 226-229. https://doi.org/10.2331/fish-sci.68.sup1_226.
- Sassa C and Tsukamoto Y. 2010. Distribution and growth of *Scomber japonicus* and *S. australasicus* larvae in the southern East China Sea in response to oceanographic conditions. Mar Ecol Prog Ser 419, 185-199. <https://doi.org/10.3354/meps08832>.
- Uchikawa K and Kidokoro H. 2014. Feeding habits of juvenile Japanese common squid *Todarodes pacificus*: Relationship between dietary shift and allometric growth. Fish Res 152, 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.07.001>.
- Yeon I, Lee DW, Lee JB, Choi KH, Hong BK, Kim JI and Kim YS. 2010. Long-term changes in the small yellow croaker, *Larimichthys polyactis* population in the Yellow and East China Seas. J Kor Soc Fish Technol 46, 392-405. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2010.46.4.392>.