

# 장기간 시계열 자료를 활용한 우리나라 참조기(*Larimichthys polyactis*) 자원의 생태학적특성 변동 분석

김무진 · 강희중\* · 윤상철

국립수산과학원 연근해자원과 연구원

## Analysis of ecological characteristic variations of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in Korea using long-term time series data

Moo-Jin KIM, Heejoong KANG\* and Sang Chul YOON

Researcher, Division of Coastal Water Fisheries Resources Research Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 46083, Korea

Researching and estimating the ecological characteristics of target fish species is crucial for fisheries resource management. The results of these estimates significantly influence stock assessments and management reference points such as size limit and closed seasons. Recently, ecological characteristics have been changing due to overfishing, climate change, and marine pollution, making continuous estimation and monitoring essential. This study analyzed the ecological changes in small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) resources in Korea over 24 years (2000-2023) using biological data (growth and gonad traits). By estimating the annual length-weight relationship and length at maturity (L50 and L95), we interpreted the numerical trends of early maturation due to resource depletion. The parameter  $b$  of the length-weight relationship, indicating the nutritional status of the resources, showed a slight increase over the years, suggesting relatively good nutritional status ( $b > 3.0$ ) during most periods. Trend analysis between length at maturity and biomass indicated that as biomass decreased, maturity length also decreased.

Keywords: Small yellow croaker, Length at maturity, Length-weight relationship, Stock assessment, Early maturation

### 서론

참조기(*Larimichthys polyactis*)는 동중국해와 황해에 널리 분포하며, 우리나라 연근해의 주요 어업자원 중 하나로 알려져 있다(Wang et al., 2016). 크게 세 개의 계군으로 나뉘며, 우리나라 주 어획대상인 황해혼합군은 겨

울철 제주도 서쪽 해역에서 월동한 후 서서히 북상하여 서해 연안에서 산란을 마치고, 9-11월에 외해로 이동한 후 다시 월동을 위해 제주도 서방 동중국해로 남하한다고 보고되고 있다(Shojima and Otaki, 1982; Baik et al., 2004). 참조기는 난소 내 생식세포들이 균을 이루어 발달

Received 11 August 2024; Revised 27 August 2024; Accepted 29 August 2024

\*Corresponding author: kanghj87@korea.kr, Tel: +82-51-720-2293, Fax: +82-51-720-2277

Copyright © 2024 The Korean Society of Fisheries and Ocean Technology

하여 산란 시기 중 2-3회 이상 산란하는 난군동기발달형 어종이며, 난소의 성숙이 1-2월에 시작하여 4-5월에 최종 성숙을 거쳐 5-6월에 산란하는 봄-여름 산란군이다 (Park, 1981; Kang et al., 2006; Lim et al., 2010).

우리나라 연근해 참조기 자원은 1974년 이후 과잉어획으로 자원량이 감소하고, 배타적 경제수역(exclusive economic zone, EEZ) 선포로 어장이 축소되면서 어획 가능한 자원이 줄어들었다(Zhang et al., 1992). 어획량은 1974년 이후 증감을 반복하면서 2011년에 최대 어획량을 기록한 후, 2020년 이후 급격히 감소하고 있다(KOSIS, 2024). 또한 참조기 자원의 개체가 점차 소형화되어 어획물의 평균체장이 지속적으로 감소하는 등 자원의 질적 수준도 계속해서 하락하고 있다(Yeon et al., 2010).

조업 어장이 축소되면서 어획강도의 밀도가 집중됨에 따라 주요 어장을 중심으로 폐기물, 특히 유실어구가 증가하여 어장환경이 악화되고 잠재적인 유령어획(ghost fishing)이 발생하고 있다(An et al., 2001; Kim et al., 2010). 또한 최근 양식 생산량 비중이 커지면서 양식용 사료에 대한 수요가 크게 증가함에 따라 참조기 미성어가 그 공급원으로 사용되고 있어 어린 물고기에 대한 남획이 심화되고 있다(AFLnews, 2019). 이러한 어린 물고기의 남획이 수산자원의 재생산성을 크게 저해하여 자원을 고갈시킴에 따라 이를 규제하기 위해 2016년에는 수산자원관리법에 연근해 참조기에 대한 금지체장(15 cm)이 설정되었다.

이러한 지속적인 연근해 참조기 자원의 감소로 국립 수산과학원에서는 참조기 인공종자 생산기술 개발 연구를 통해 인공종자 생산에 성공하였으나(NIFS, 2006), 낮은 경제성 등의 사유로 다양한 문제들이 존재하고 있다(NIFS, 2010). 따라서 최근 Kim (2023)의 연구에서는 양식 현장에서 환경조절을 통해 참조기 수정란을 조기에 생산 및 암컷 생산을 위한 성 결정 및 분화에 미치는 수온의 영향을 조사하여 참조기의 양식생산성 및 경제성을 향상시키기 위해 실내 사육 중인 양식산 참조기의 성숙 유도도를 위한 수온과 광주기 조건을 분석하였다.

수산자원 관리에 있어서 대상 어종의 생태학적특성치를 연구하고 추정하는 것은 매우 중요하다. 생태학적특성치 추정 결과에 따라 자원평가 또는 금지체장, 금어기 등 수산자원관리 기준점이 크게 변한다. 특히 최근에는

어업활동에 의한 과도어획 및 기후변화, 해양오염 등 주변 환경 변화에 따라 생태학적특성치가 변화하므로 지속적으로 수산자원의 생태학적특성치를 추정하고 모니터링하는 것이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 2000년부터 2023년까지 24년간 우리나라 연근해 참조기 자원에 대한 정밀측정자료를 활용하여 연도별 체장-체중 관계식과 성숙체장을 추정함으로써 생태학적특성치 변화를 분석하고자 한다. 또한 연도별 자원량을 추정함으로써 수산자원 고갈에 따른 조기성숙 현상을 수치적으로 해석하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 사용자료

본 연구에서는 우리나라 연근해 참조기 생태학적특성의 시계열 분석을 위해 2000년부터 2023년까지 국립수산과학원에서 수집된 어시장 위판 시료 총 40,607개체에 대한 정밀측정 결과를 활용하였다. 체중(total weight, TW)은 0.1 g 단위, 생식소 무게(gonad weight, GW)는 0.01 g 단위로 습중량으로 측정하였고, 체장은 전장(total length, TL)을 기준으로 1 mm 단위 까지 측정하였다. 성숙체장 추정에서는 우리나라 연근해 참조기의 주성숙 및 산란시기인 3-5월에 어획된 암컷 참조기 시료만을 선별하여 사용하였으며, 자원량 추정을 위한 어획량 자료는 통계청 연도별 어종별 생산량 자료(2000-2023)를 활용하였다(KOSIS, 2024).

### 체장-체중 관계식

연도별 차이에 따른 우리나라 연근해 참조기의 생육상태와 생식능력 정도를 파악하기 위해 2000년부터 2023년까지 체장-체중 관계를 분석하였다. 체장-체중 관계 분석을 통한 어류의 성장도는 주어진 해양환경에서 어류의 건강 상태 또는 생식능력을 파악할 수 있으며 서식처등급, 수질, 먹이 이용능력 등의 다양한 정보를 제공하는 지표로 이용된다(Anderson and Gutreuter, 1983; Busacker et al., 1990; Ney, 1993). 체장-체중 관계는 Anderson and Gutreuter (1983)을 따랐다.

$$TW = aTL^b$$

여기서, TW는 전중(g), TL은 전장(cm), a와 b는 체장-

체장관계식 추정 모수이며, 위 식을 로그(log) 변환 후, 선형회귀로 두 모수를 추정하였다.

$$L50 = \frac{\log\left(\frac{0.5}{1-0.5}\right) - \alpha}{\beta}, \quad L95 = \frac{\log\left(\frac{0.95}{1-0.95}\right) - \alpha}{\beta}$$

### 성숙체장

2000년부터 2023년까지 연도별 참조기 성숙체장을 추정하기 위해 일반적으로 연중 산란시기가 뚜렷한 어종을 대상으로 생식소의 발달상태를 육안으로 판별하는 육안판별법을 사용하였다. 성숙발달 단계는 미숙, 중숙, 성숙, 완숙, 방중, 방후, 회복 등 7가지 발달단계로 구분하였으며(NIFS, 2020), 성숙체장 추정을 위한 선행 연구들의 성숙단계 구분 기준(Park, 1981; ICES, 2018)에 따라 미숙 단계는 미성숙 개체, 그 외 단계는 모두 성숙 개체로 정의하였다.

생식소숙도지수는 아래의 식으로 계산하였으며, 여기서 GW는 생식소 중량(g), TW는 생식소를 포함한 체중(g)을 나타낸다.

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

성숙체장을 구하기 위해 일반화선형모델(generalized linear model, GLM)을 사용하여 아래의 식에 대하여 로지스틱 회귀분석(logistic regression)을 실시하였다(McCullagh and Nelder, 1989).

$$\log \frac{p}{1-p} = \alpha + \beta TL$$

여기서 p는 성숙개체일 확률, TL은 체장이다. 체장 TL이 성숙개체일 확률 p는 아래 식으로 추정하였다.

$$p = \frac{e^{\alpha + \beta TL}}{1 + e^{\alpha + \beta TL}}$$

성숙개체일 확률 p에 대한 성숙체장은 아래의 식으로 추정하였으며, 본 연구에서는 일반적으로 성숙체장 추정 시 사용되는 성숙개체일 확률 p가 0.5일 때의 체장인 50% 균성숙체장(L50) 이외에 보다 엄격한 금지체장 설정을 위한 과학적 기준을 제시하기 위해 p가 0.95일 때의 체장인 95% 균성숙체장(L95)을 추가로 추정하였으며, 추정식은 아래와 같다.

GLM 분석은 R프로그램(R Core Team, 2014)을 활용하였으며, 연도별 추정 결과에 대한 통계적 유의성 검증을 위해 변수 TL에 대한 유의확률(p-value)을 추정하고 그 값이 0.05 이하인 경우에 최종적으로 모델을 채택하였다. 또한 L50과 L95를 포함한 모든 추정치에 대한 95% 신뢰구간을 구하기 위해 부트스트래핑(bootstrapping)을 1,000회 실시하였다(Hanley and McNeil, 1982).

### 자원량 추정

우리나라 참조기 자원의 연도별 성숙체장과 자원량 변동 비교를 위해 통계학적 자원평가모델을 활용하여 자원량을 산출하였다. 연도별 자원량 산출을 위해 활용 가능한 자료가 제한적인 상황에서 베이지안(bayesian) 분석 방법을 사용하여 Schaefer 모델(Schaefer, 1954)의 모수를 추정하는 CMSY (Froese et al., 2017) 모델을 활용하여 2000년부터 2023년까지 자원량을 추정하였다. CMSY에서 사용되는 자원량 추정식은 아래와 같다.

$$B_{t+1} = B_t + r\left(1 - \frac{B_t}{k}\right)B_t - C_t$$

여기서, B<sub>t</sub>는 t년도의 자원량, r은 내적성장률, k는 환경수용력, C<sub>t</sub>는 t년도의 어획량이다.

CMSY 모델 분석에 사용된 주요 모수 내적성장률(r)에 관한 사전 분포값으로 사용되는 Resilience 값은 FishBase를 참조하여 ‘Medium’(r = 0.2-0.8)을 사용하였으며(Froese and Pauly, 2024), 그 외 사전분포 및 가정은 Froese et al. (2017) 연구를 따랐다. 또한 연도별 자원량 추정결과와 성숙체장 결과값의 관계를 통계적으로 분석하기 위해 자원량과 성숙체장(L50, L95) 간의 상관분석 및 선형회귀분석을 수행하였다.

### 결과 및 고찰

체장-체중 관계는 성장률 곡선과 비만도지수가 주어진 환경에 서식하는 개체군의 건강상태나 생식능력의 정도 등 다양한 정보를 제공하는 중요한 자료로 이용된다(Seo, 2005; Choi et al., 2011; Kim et al., 2012). 일반적으로

개체군에 있어 모수  $b$ 가 3.0 보다 작으면 체장의 증가만큼 개체가 비대하지 않음을 의미하고 3.0 보다 크면 반대로 길이에 비해 비대하다는 것을 뜻한다(Seo, 2005).

2000년부터 2023년까지 우리나라 연근해 참조기 자원에 대한 체장-체중 관계식을 추정한 결과, Table 1과 같이  $R_2$ 을 고려할 때 모든 연도와 성별 구분없이 적합도 (fitting)가 높은(0.783~0.984) 것으로 분석되었으며, 암컷과 수컷 모두 일부 연도를 제외하고 대체적으로 모수  $b$ 가 3.0 보다 큰 것으로 추정되어 2000년 이후 지속적으로 영양상태가 비교적 양호한 것으로 판단되었다. 또한 연도별 추세를 볼 때, 매년 암컷은 0.0078, 수컷은 0.0079 증가하는 등 시간이 지남에 따라 모수  $b$ 가 증가하는 추세를 보여 영양상태가 지속적으로 양호해지고 있는 것으로 분석되었다(Fig. 1).

2000년부터 2023년까지 우리나라 연근해 참조기 자원에 대한 50% 성숙체장(L50) 및 95% 성숙체장(L95)을 추정하였다. 2003-2006년, 2011-2015년, 2017년, 2020

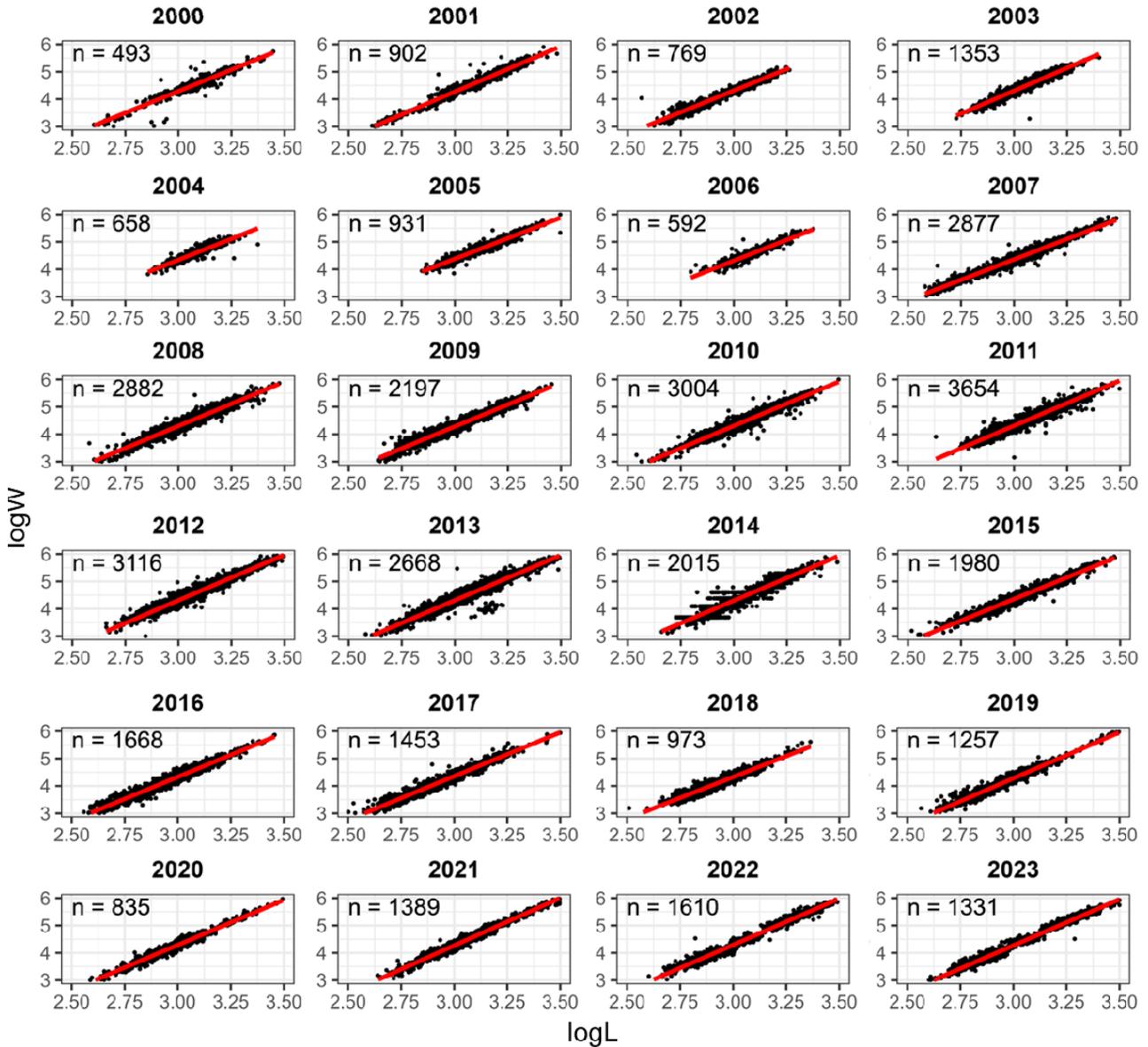
년, 2023년에 대한 결과는 체장 계급별 표본 부족으로 GLM 분석 결과 유의성이 낮은 것으로 분석되어 ( $p$ -value > 0.05) 결과에서 제외하였다. 유의성이 높게 추정된( $p$ -value < 0.05) 2000-2002년, 2007-2010년, 2016년, 2018-2019년, 2021-2022년에 대한 연도별 L50 과 L95를 추정한 결과, 시간이 지남에 따라 성숙체장이 감소하는 것으로 분석되었다(Table 2, Fig. 2.).

과거의 한국 연근해 참조기의 성숙체장에 대한 연구로는 Park (1981), Cho (2013), Kang et al. (2020)가 있으며, 각 연구에서는 참조기의 성숙체장 L50을 각각 19.1 cm, 18.6 cm, 15.7 cm로 추정되는 등 본 연구의 결과 마찬가지로 시간이 지남에 따라 연도별로 성숙체장이 감소하는 경향을 보였다.

CMSY 모델을 통해 2000년부터 2023년까지 우리나라 연근해 참조기 자원에 대한 자원량을 산출한 결과 Fig. 3과 같이 지속적으로 감소하는 것으로 추정되었다. 연도별 자원량과 성숙체장 L50과 L95간의 상관분석 결

**Table 1. Length-weight relationship parameters and  $R^2$  score for small yellow croaker in Korea over years (2000-2023)**

Year	Female			Male			Combined		
	a	b	R2	a	b	R2	a	b	R2
2000	1.93×10 <sup>-1</sup>	3.17	9.13×10 <sup>-1</sup>	2.03×10 <sup>-1</sup>	3.02	8.75×10 <sup>-1</sup>	1.93×10 <sup>-1</sup>	3.16	9.10×10 <sup>-1</sup>
2001	1.83×10 <sup>-1</sup>	3.29	9.51×10 <sup>-1</sup>	1.76×10 <sup>-1</sup>	3.36	9.66×10 <sup>-1</sup>	1.80×10 <sup>-1</sup>	3.32	9.57×10 <sup>-1</sup>
2002	1.89×10 <sup>-1</sup>	3.23	9.56×10 <sup>-1</sup>	2.09×10 <sup>-1</sup>	3.00	9.08×10 <sup>-1</sup>	1.94×10 <sup>-1</sup>	3.17	9.46×10 <sup>-1</sup>
2003	1.82×10 <sup>-1</sup>	3.33	9.13×10 <sup>-1</sup>	1.72×10 <sup>-1</sup>	3.47	9.24×10 <sup>-1</sup>	1.80×10 <sup>-1</sup>	3.35	9.17×10 <sup>-1</sup>
2004	2.07×10 <sup>-1</sup>	3.05	7.93×10 <sup>-1</sup>	2.15×10 <sup>-1</sup>	2.95	7.83×10 <sup>-1</sup>	2.06×10 <sup>-1</sup>	3.06	7.96×10 <sup>-1</sup>
2005	2.19×10 <sup>-1</sup>	2.96	9.28×10 <sup>-1</sup>	2.19×10 <sup>-1</sup>	2.95	8.91×10 <sup>-1</sup>	2.16×10 <sup>-1</sup>	2.99	9.25×10 <sup>-1</sup>
2006	2.07×10 <sup>-1</sup>	3.03	8.94×10 <sup>-1</sup>	2.03×10 <sup>-1</sup>	3.06	8.69×10 <sup>-1</sup>	2.04×10 <sup>-1</sup>	3.06	8.95×10 <sup>-1</sup>
2007	2.14×10 <sup>-1</sup>	2.99	9.74×10 <sup>-1</sup>	2.11×10 <sup>-1</sup>	3.01	9.52×10 <sup>-1</sup>	2.13×10 <sup>-1</sup>	3.00	9.70×10 <sup>-1</sup>
2008	1.78×10 <sup>-1</sup>	3.36	9.41×10 <sup>-1</sup>	1.80×10 <sup>-1</sup>	3.34	9.35×10 <sup>-1</sup>	1.79×10 <sup>-1</sup>	3.36	9.42×10 <sup>-1</sup>
2009	1.92×10 <sup>-1</sup>	3.19	9.54×10 <sup>-1</sup>	1.81×10 <sup>-1</sup>	3.30	9.15×10 <sup>-1</sup>	1.88×10 <sup>-1</sup>	3.22	9.49×10 <sup>-1</sup>
2010	1.86×10 <sup>-1</sup>	3.27	9.46×10 <sup>-1</sup>	1.86×10 <sup>-1</sup>	3.26	9.34×10 <sup>-1</sup>	1.85×10 <sup>-1</sup>	3.27	9.45×10 <sup>-1</sup>
2011	1.85×10 <sup>-1</sup>	3.29	9.14×10 <sup>-1</sup>	1.86×10 <sup>-1</sup>	3.26	8.72×10 <sup>-1</sup>	1.84×10 <sup>-1</sup>	3.29	9.08×10 <sup>-1</sup>
2012	1.83×10 <sup>-1</sup>	3.31	9.57×10 <sup>-1</sup>	1.83×10 <sup>-1</sup>	3.29	9.28×10 <sup>-1</sup>	1.82×10 <sup>-1</sup>	3.33	9.55×10 <sup>-1</sup>
2013	1.81×10 <sup>-1</sup>	3.34	9.40×10 <sup>-1</sup>	2.01×10 <sup>-1</sup>	3.07	8.45×10 <sup>-1</sup>	1.83×10 <sup>-1</sup>	3.31	9.30×10 <sup>-1</sup>
2014	1.86×10 <sup>-1</sup>	3.27	9.22×10 <sup>-1</sup>	1.76×10 <sup>-1</sup>	3.39	8.79×10 <sup>-1</sup>	1.82×10 <sup>-1</sup>	3.32	9.18×10 <sup>-1</sup>
2015	2.03×10 <sup>-1</sup>	3.11	9.65×10 <sup>-1</sup>	2.10×10 <sup>-1</sup>	3.01	9.57×10 <sup>-1</sup>	2.03×10 <sup>-1</sup>	3.10	9.64×10 <sup>-1</sup>
2016	1.91×10 <sup>-1</sup>	3.22	9.64×10 <sup>-1</sup>	1.92×10 <sup>-1</sup>	3.19	9.44×10 <sup>-1</sup>	1.91×10 <sup>-1</sup>	3.22	9.59×10 <sup>-1</sup>
2017	1.95×10 <sup>-1</sup>	3.19	9.61×10 <sup>-1</sup>	1.96×10 <sup>-1</sup>	3.16	9.27×10 <sup>-1</sup>	1.94×10 <sup>-1</sup>	3.20	9.57×10 <sup>-1</sup>
2018	2.14×10 <sup>-1</sup>	2.97	9.30×10 <sup>-1</sup>	2.06×10 <sup>-1</sup>	3.03	8.95×10 <sup>-1</sup>	2.11×10 <sup>-1</sup>	3.00	9.24×10 <sup>-1</sup>
2019	1.79×10 <sup>-1</sup>	3.35	9.67×10 <sup>-1</sup>	1.84×10 <sup>-1</sup>	3.25	9.45×10 <sup>-1</sup>	1.79×10 <sup>-1</sup>	3.35	9.64×10 <sup>-1</sup>
2020	1.82×10 <sup>-1</sup>	3.31	9.65×10 <sup>-1</sup>	1.85×10 <sup>-1</sup>	3.26	9.30×10 <sup>-1</sup>	1.82×10 <sup>-1</sup>	3.30	9.62×10 <sup>-1</sup>
2021	1.72×10 <sup>-1</sup>	3.44	9.74×10 <sup>-1</sup>	1.66×10 <sup>-1</sup>	3.54	9.60×10 <sup>-1</sup>	1.71×10 <sup>-1</sup>	3.47	9.73×10 <sup>-1</sup>
2022	1.78×10 <sup>-1</sup>	3.38	9.82×10 <sup>-1</sup>	1.80×10 <sup>-1</sup>	3.31	9.39×10 <sup>-1</sup>	1.77×10 <sup>-1</sup>	3.39	9.80×10 <sup>-1</sup>
2023	1.76×10 <sup>-1</sup>	3.38	9.84×10 <sup>-1</sup>	1.80×10 <sup>-1</sup>	3.31	9.68×10 <sup>-1</sup>	1.76×10 <sup>-1</sup>	3.38	9.82×10 <sup>-1</sup>



**Fig. 1. Fitted linear regression model for length-weight relationship and the used sample size for small yellow croaker in Korea over years (2000-2023).**

과, 자원량과 L50간의 상관계수(correlation coefficient)는 0.800 (p-value < 0.05), 자원량과 L95간의 상관계수는 0.537 (p-value < 0.05)로 추정되는 등 L50과 L95 모두 자원량과 강한 양의 상관관계를 보였다. 보다 큰 상관관계를 나타낸 자원량과 L50 간의 선형회귀분석 결과, 자원량이 천 톤 감소할 때마다 50% 균성숙체장 L50이 약 0.018cm 감소하는 것으로 분석되었다(R<sup>2</sup>=0.640). 성숙도 판별에 가장 널리 사용되는 방법은 육안판별

법(macroscopic) 조직판별법(histology)이다. 이 중 본 연구에서 사용된 육안판별법은 관측자의 육안으로 빠르게 판별함으로써 비교적 시간과 비용이 적게 소요되는 방법이지만 관찰자의 숙련도에 따라 관측오차가 크게 발생한다(West, 1990). 다만 본 연구에서 사용된 성숙도 판별 자료는 한 명의 숙련된 관찰자가 지속적으로 판별하여 비교적 측정 오차는 적다고 볼 수 있다. 다만 성숙체장 추정에 사용된 성숙도 자료의 표본수가 연도별로

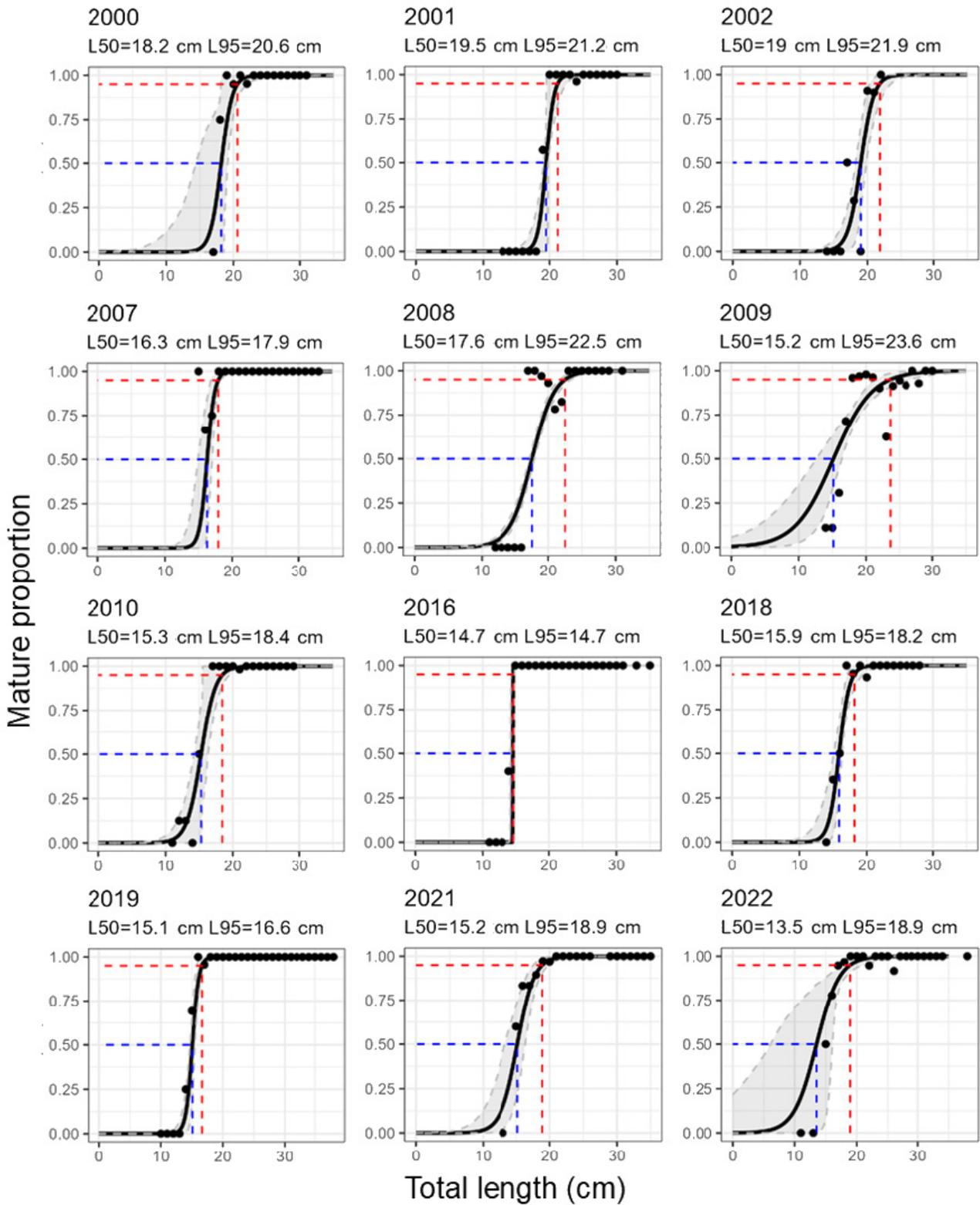


Fig. 2. Maturity ogives over years for female small yellow croaker in Korea. The grey shaded area show bootstrapping 95% confidence intervals for length at specific mature proportion. The blue and red dotted lines indicate 50% and 95% length at maturity, respectively.

**Table 2.** Estimated 50% and 95% length at maturity and confidence intervals for small yellow croaker in Korea over years (2000-2023)

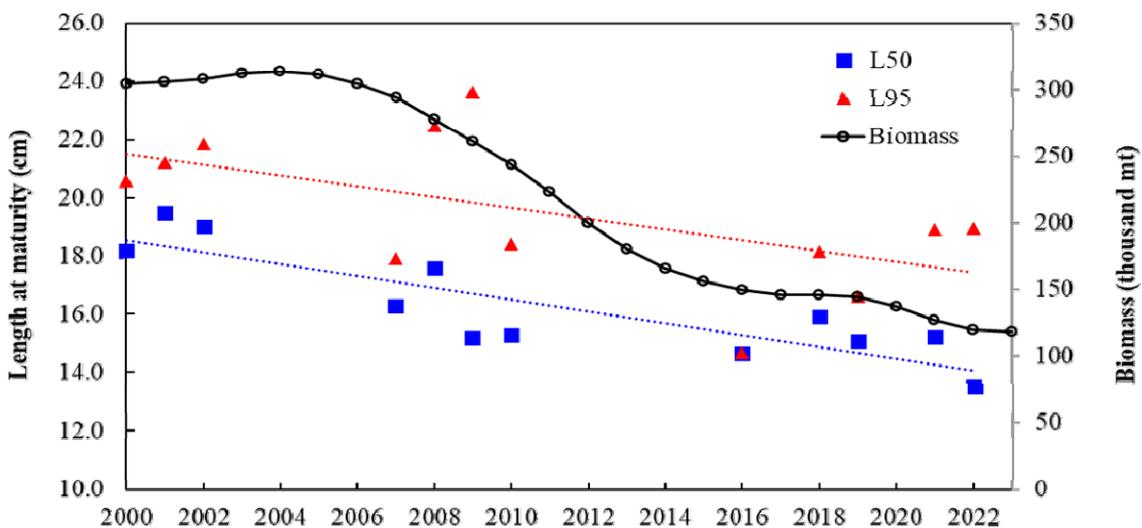
Year	50% length at maturity (L50)			95% length at maturity (L95)		
	Lower 95% CI	Mean	Upper 95% CI	Lower 95% CI	Mean	Upper 95% CI
2000	13.6	18.2	19.1	18.0	20.6	21.9
2001	19.1	19.5	19.8	19.5	21.2	22.5
2002	18.2	19.0	19.9	20.4	21.9	23.5
2007	14.9	16.3	17.0	16.8	17.9	18.4
2008	17.2	17.6	18.0	21.7	22.5	23.4
2009	12.7	15.2	16.4	21.3	23.6	26.6
2010	14.2	15.3	16.3	15.5	18.4	19.5
2016	14.3	14.7	14.9	14.4	14.7	14.9
2018	15.1	15.9	16.3	17.1	18.2	19.5
2019	14.7	15.1	15.5	15.8	16.6	17.2
2021	13.3	15.2	16.4	17.6	18.9	19.8
2022	6.1	13.5	16.1	17.1	18.9	20.9

50~577개의 범위로 큰 차이를 보여 표본오차(sampling error) 발생 가능성이 크다. 따라서 Table 2의 연도별 성숙체장별 신뢰구간을 고려한 해석이 필요하며, 향후 연구에서는 표본오차를 줄이기 위해 연도별 충분한 표본수를 지속적이고 체계적으로 수집할 필요가 있다. 다만 이러한 측정오차 및 표본오차를 고려하더라도 전체적인 추세가 감소하고 있는 것은 분명하다고 판단된다.

일반적으로 수산자원이 남획되면 먹이경쟁 감소, 유전적 선택성, 적응반응 등으로 인해 해당 개체군이 조기 성숙하게 되어 평균 성숙체장이 감소한다고 연구된 바가 있다(Law, 2000; de Roos et al., 2006). 남획의 또

다른 지표인 평균체장 감소현상이 연근해 참조기에도 발생한 연구 결과(Yeon et al., 2010)와 우리나라와 황해에서 수산자원을 공동으로 이용하는 중국에서도 남획으로 인한 참조기 자원의 평균체장이 감소하고 조기성숙 현상이 보고되고 있다(Li et al., 2011; Lin et al., 2011).

따라서 Fig. 3의 연도별 자원량과 성숙체장 감소 추세와 변수 간의 상관분석 결과 등을 고려할 때, 위의 선행 연구 결과와 마찬가지로 우리나라 연근해 참조기의 자원량 감소와 조기성숙 간에는 통계적으로 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었다. 특히, Table 1과 같이 연도별 영양상태가 지속적으로 양호해지는 추세를 함께 고려해



**Fig. 3.** Comparison of changes in annual biomass and length at maturity (L50 and L95) for small yellow croaker in Korea over years (2000-2023).

보면, 자원의 감소로 인해, 먹이 경쟁이 감소하여 빠른 성장이 일어날 때 조기성숙이 발생한다는 선행 연구 결과(de Roos et al., 2006)와 동일한 해석이 가능하다. 이와 같이 본 연구 결과의 방법론과 결과를 활용하여 향후 참조기를 포함한 주요 수산자원의 지속적인 성숙체장 변화 모니터링을 통해 어종별 자원상태 변화를 진단할 수 있는 주요한 지표로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 결론

수산자원 관리에 있어서 대상 어종의 생태학적특성치를 연구하고 추정하는 것은 매우 중요하다. 생태학적특성치 추정 결과에 따라 자원평가 또는 금지체장, 금어기 등 수산자원관리 기준점이 크게 변한다. 특히 최근에는 어업활동에 의한 과도어획 및 기후변화, 해양오염 등 주변 환경 변화에 따라 생태학적특성이 변화하므로 지속적으로 수산자원의 생태학적특성치를 추정하고 모니터링하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 2000년부터 2023년까지 23년간 우리나라 연근해 참조기 자원에 대한 정밀측정자료를 활용하여 연도별 체장-체중 관계식과 성숙체장(L50, L95)을 추정함으로써 생태특성 변화를 분석하였다. 또한 연도별 자원량을 추정함으로써 수산자원 고갈에 따른 조기성숙 현상을 수치적으로 해석하였다. 그 결과 수산자원의 영양상태를 나타내는 체장-체중 관계식의 모수  $b$ 는 연도별로 소폭 증가하는 경향을 보였으며, 대부분의 시기에서 영양상태가 비교적 양호한 것으로 판단 되었다( $b > 3.0$ ). 성숙체장과 자원량 간의 추세 분석 결과, 자원량이 감소함에 따라 성숙체장도 감소하는 것으로 추정되었다.

## 사사

본 연구는 국립수산물과학원(시험연구사업, R2024002)의 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

AFLnews. 2019. Overfishing of immature fish, is it fine?. Retrieved from <http://www.aflnews.co.kr/news/articleView.html?dxno=152838> on Jan 22.

An YI, Park JY and Jo HJ. 2001. Recovery of lost fishing gear in Alaska pollack fishing ground of the east coast in Korea. Bull Kor Soc Fish Tech 37, 232-248.

Anderson RO and Gutreuter SJ. 1983. Length, Weight and Associated Structural Indices. L.A. Johnson, Fisheries Techniques, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 283-300.

Baik CI, Cho KD, Lee CI and Choi KH. 2004. Oceanographic conditions of fishing ground of yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis*) in Korean waters. J Kor Fish Soc 37, 232-248.

Busacker GP, Adelman I.A and Goolish EM. 1990. Methods for Fish Biology. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 363-377.

Cho YB. 2013. Status and estimation of the optimum mesh size of a drift gill net for yellow croaker. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Korea, 1-103.

Choi JK, Jang CR and Byeon HK. 2011. The fish fauna and population of *Zacco koreanus* in the upper region of the Gapyeong Stream. Kor J Env Eco 25, 65-70.

de Roos AM, Boukal DS, Persson L. 2006. Evolutionary regime shifts in age and size at maturation of exploited fish stocks. Proceedings. Biological sciences 273, 1873-1880. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3518>.

Froese R, Demirel N, Coro G, Kleisner KM and Winker H. 2017. Estimating fisheries reference points from catch and resilience. Fish and Fisheries 18, 506-526. <https://doi.org/10.1111/faf.12190>.

Froese R and Pauly D. 2024. FishBase. World Wide Web electronic publication. Retrieved from [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org) on Aug 10.

Hanley JA and McNeil BJ. 1982. The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. Radiology 143, 29-36. <https://doi.org/10.1148/radiology.143.1.7063747>.

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.

Kang DY, Jo KC, Lee JH, Kang HW, Kim HC and Kim GH. 2006. Annual reproductive cycle of wild female yellow croaker, *Larimichthys polyactis*. Aquaculture 19, 188-196.

Kang H, Ma, JY., Kim, HJ, and Kim, HJ. 2020. Estimating Length at Sexual Maturity of the Small Yellow Croaker *Larimichthys polyactis* in the Yellow Sea of Korea Using Visual and GSI Methods. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 53, 50-56. <https://doi.org/10.5657/>

- KFAS.2020.0050.
- Kim BY, Seo DO, Choi CM, Lee CH, Chang DS, Oh TY, Kim Y and Kim JN. 2010. Characteristics of lost fishing gear distribution on the sea bed around gillnet fishing ground for yellow croaker in the near sea of Jeju, Korea. *J Kor Soc Fish Tech* 46, 441-448. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2010.46.4.441>.
- Kim CH., Kang EJ, Yang H., Kim KS and Choi WS. 2012. Characteristics of fish fauna collected from near estuary of Seomjin River and population ecology. *Korean J Environ. Biol* 30, 319-327. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2012.30.4.319>.
- Kim HW. 2023. Environment-induced early maturation and sex differentiation of small yellow croaker, *Larimichthys polyactis*. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Korea, 1-133.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2024. Statistic database for fisheries production. Retrieved from <http://kosis.kr/index/index.do> on Aug 10.
- Law R. 2000. Fishing, selection and, phenotypic evolution. *ICES J Mar Sci* 57, 659-668. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0731>.
- Li Z, Jin X, Shan X and Dai F. 2011. Inter-annual changes on body weight-length relationship and relative fatness of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*). *J Fish Sci China* 18, 602-610. <https://doi.org/10.3724/sp.j.1118.2011.00602>.
- Lim HK, Le MH, An CM, Kim SY, Park MS and Chang YJ. 2010. Reproductive cycle of yellow croaker *Larimichthys polyactis* in southern waters off Korea. *Fish Sci* 76, 971-980. <https://doi.org/10.1007/s12562-010-0288-5>.
- 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 Limn* 29, 547-555. <https://doi.org/10.1007/s00343-011-0182-8>.
- McCullagh P and Nelder JA. 1989. *Generalized Linear Models*, 2nd ed. Chapman & Hall, London, U.K., 1-532.
- Ney JJ. 1993. *Practical Use of Biological Statistics*. Inland fisheries management of North American Fisheries Society. Bethesda, MD. USA, 137-158.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2006. Technology development of the hatchery-based seed production of small yellow croaker, *Larimichthys polyactis*. National Institute of Fisheries Science, Busan, Korea, 1-105.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2010. Development of culture techniques for the aquaculture of small yellow croaker, *Larimichthys polyactis*. National Institute of Fisheries Science, Busan, Korea, 1-88.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2020. Guidance on determination of maturity scales. National Institute of Fisheries Science, Busan, Korea, 1-135.
- Park CS. 1981. Maturity and spawning of yellow croaker, *pseudosciaena manchurica* (JORDAN et THOMPSON), in the western waters of Korea. *Bull Fish Res Dev Agency* 23, 171-178.
- R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical Computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. Retrieved from <http://www.R-project.org> on Aug 3.
- Seo JW. 2005. Fish fauna and ecological characteristics of Dark Chub (*Zacco temminckii*) population in the mid-upper region of Gam Stream. *Korean J Limnol* 38, 196-206.
- Schaefer MB. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin* 1, 23~56.
- Shojima E and Otaki H. 1982. Lunar rhythmic catch fluctuation in the yellow croaker, *Pseudosciaena poliactis*. *Bull Fish Res Dev Agency* 28, 147-166.
- Yeon I, Lee DW, Lee JB, Choi KH, Hong BK, Kim JI and Kim YS. 2010. Long-term changes in the small yellow croaker, *Larmichthys polyactis* population in the Yellow and East China Seas. *J. Kor Soc Fish Tech* 46, 392-405. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2010.46.4.392>.
- Wang Y, Huang J, Tang X, Jin X and Sun Y. 2016. Stable isotopic composition of otoliths in identification of stock structure of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in China. *Acta Oceanol Sin* 35, 29-33. <https://doi.org/10.1007/s13131-016-0868-z>.
- West G. 1990. Methods of assessing ovarian development in fishes. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 41, 199-222. <https://doi.org/10.1071/MF9900199>.
- Zhang CI, Kim YM, Yoo SJ, Kim CK and Ahn SM. 1992. A study on fluctuations in biomass of small yellow coraker, *Pseudosciaena polyactis*, off Korea. *Bull Korean Fish Soc* 25, 37-44.