

한국 남해 서부 연안 출현하는 참조기(*Larimichthys polyactis*)의 산란생태

손준영 · 이석명 · 김동진 · 김민서 · 조재익 · 호권 · 장윤범 · 이현우 · 백근욱*

경상국립대학교 해양생명과학과/해양생물교육연구센터/해양산업연구소

Reproductive Ecology of Yellow Croaker *Larimichthys polyactis* in the Western South Sea of Korea

Joon Young Son, Seok Myeong Lee, Dong Jin Kim, Min Seo Kim, Jae-Ik Cho, Kwon Ho, Yun Beom Jang, Hyun Woo Lee and Gun Wook Baek*

Department of Marine Biology and Aquaculture/Institute of Marine Industry/Marine Bio-Education and Research Center, College of Marine Science, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Republic of Korea

The reproductive ecology of the yellow croaker *Larimichthys polyactis*, was investigated using 380 specimens collected monthly from January to December 2020 (excluding July), from the Western South Sea of Korea. The total length (TL) of *L. polyactis* ranged from 12.3 to 27.5 cm. We analyzed the monthly changes in sex ratio, gonadosomatic index (GSI), maturity stage and fecundity. The sex ratio differed significantly from what was expected, at 1:0.37 ($P < 0.05$). The spawning period lasted from March to May, as determined by histological observations of female gonadal development and variations in the GSI. Fecundity varied between 8,272 and 70,877 eggs. The relationship between fecundity and TL was expressed as $F = 88.372 TL^{1.8395}$. Based on histological analysis, gonadal development was classified into five maturity stages, revealing peak female maturity in March, with spent stages the most frequent in June; males exhibited a comparable seasonal pattern.

Keywords: *Larimichthys polyactis*, Reproductive ecology, Spawning period, Western South Sea

서론

참조기(*Larimichthys polyactis*)는 농어목(Perciformes) 민어과(Sciaenidae)에 속한 어류로 발해군(Bohai Sea), 남부 황해군(Southern Yellow Sea), 중앙 황해군(Central Yellow Sea)의 3개 계군으로 구분되며(Wang et al., 2016), 대표적인 월동 및 산란회유를 하는 종으로 알려져 있다(Jang et al., 2020). 또한, 참조기는 한국의 서해와 남해뿐 아니라 중국의 발해만과 동중국해에 이르기까지 광범위하게 분포하며, 최대 전장 약 40 cm까지 성장하는 것으로 보고되었다(NIFS, 2024). 참조기는 굴비의 원료이자 냉장·냉동 상태로 유통되는 주요 수산자원으로(Kang et al., 2006), 금어기, 금지채장, 총허용어획량(total allowable catch) 제도 등을 통해 자원 관리가 이루어지고 있다. 하지만 참조기의 국내 연근해 어획량은 2010년대(2010–2019) 연평균 어획량이 1,037,858 ton이었던 데 비해서 2020년대(2020–2024)

에는 911,561 ton으로 감소하는 추세를 보이고 있으며(KOSIS, 2026)(Fig. 1), 성숙체장 역시 감소하는 경향을 보이고 있다(Park, 1981; Kang et al., 2020). 또한, 동일 연령에서의 평균 전장 또한 과거에 비해 감소하는 경향이 보고되고 있으며(Kim et al., 2024), 어획물에서는 소형 개체의 출현 비율이 증가하는 경향이 나타나고 있다(Yeon et al., 2010). 이러한 어획량 감소와 함께 성숙체장 및 연령별 전장의 감소, 소형 개체 비율의 증가는 자원 상태의 악화를 시사하는 중요한 지표로, 참조기 자원의 지속가능한 이용을 위해 지속적인 모니터링과 과학적 근거에 기반한 체계적인 자원 관리가 필요하다. 참조기의 국외연구로는 중국 황해와 발해만을 중심으로 이루어져 왔으며, 산란생태(Li et al., 2011; Song et al., 2022), 초기생활사(Xu et al., 2023), 계군분석(Wang et al., 2009), 유전적 다양성(Xiao et al., 2009) 등이 수행되었다. 국내 연구로는 자원평가(Lee et al., 2015; Sim and Nam, 2015), 연령 및 성장(Kim et al., 2006, 2024), 계군

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 772. 9156 Fax: +82. 55. 772. 9159

E-mail address: gwbaeck@gnu.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2026.0123>

Korean J Fish Aquat Sci 59(2), 123-130, April 2026

Received 27 January 2026; Revised 24 February 2026; Accepted 17 March 2026

저자 직위: 손준영(대학원생), 이석명(대학원생), 김동진(대학원생), 김민서(대학원생), 조재익(대학원생), 호권(대학원생), 장윤범(대학원생), 이현우(대학원생), 백근욱(교수)

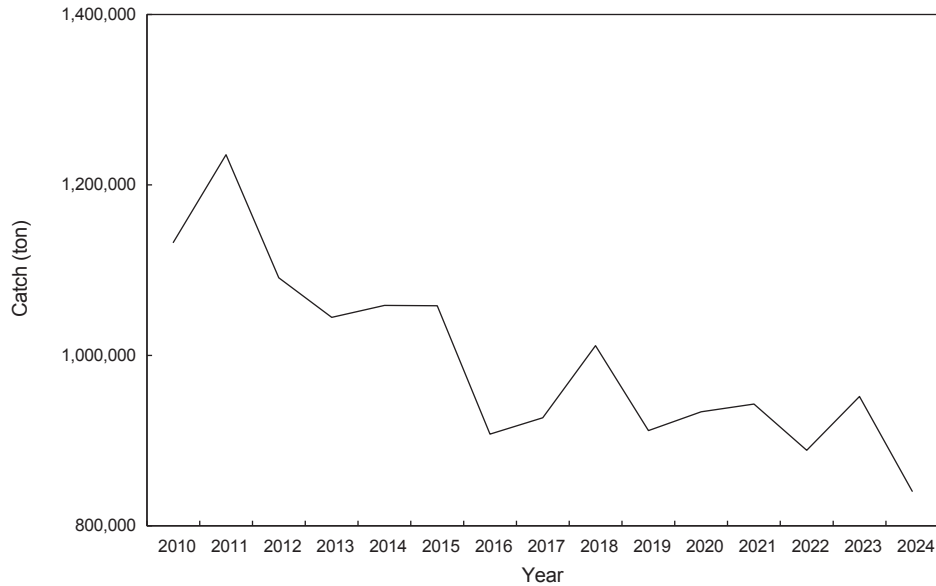


Fig. 1. Yearly changes in the catch amount of yellow croaker *Larimichthys polyactis* in Korean waters.

분석(Kim, 1977) 등에 관한 연구가 수행되었으며, 산란생태에 관한 연구는 한국 남해(Lim et al., 2010)와 서해(Kang et al., 2006), 목포 연안(Kang et al., 2009), 제주 연안(Kang et al., 2020)에서 수행되었다.

한국 남해 서부해역은 평균 수심 약 50 m의 비교적 얇은 해역으로, 다수의 도서로 이루어진 다도해역이다(Jeong, 2001). 최근 기후 변화에 따른 표층 수온 상승, 육상 기원의 담수 유입 증

가로 인한 영양염 농도 변화, 인위적 수문 조절, 다양한 오염원의 유입 등 복합적인 요인이 작용하면서 물리·화학적 환경 변동성이 크게 확대되고 있다(Park et al., 2024). 이러한 해역의 수온, 염분 등 물리·화학적 환경의 변화는 산란기, 산란장 형성 등과 같은 산란생태에 전반적인 영향을 미칠 수 있다(Wang et al., 2025). 따라서 참조기의 산란생태에 대한 지속적인 연구가 필요하다. 이번 연구의 목적은 남해 서부 연안에 출현하는 참조기

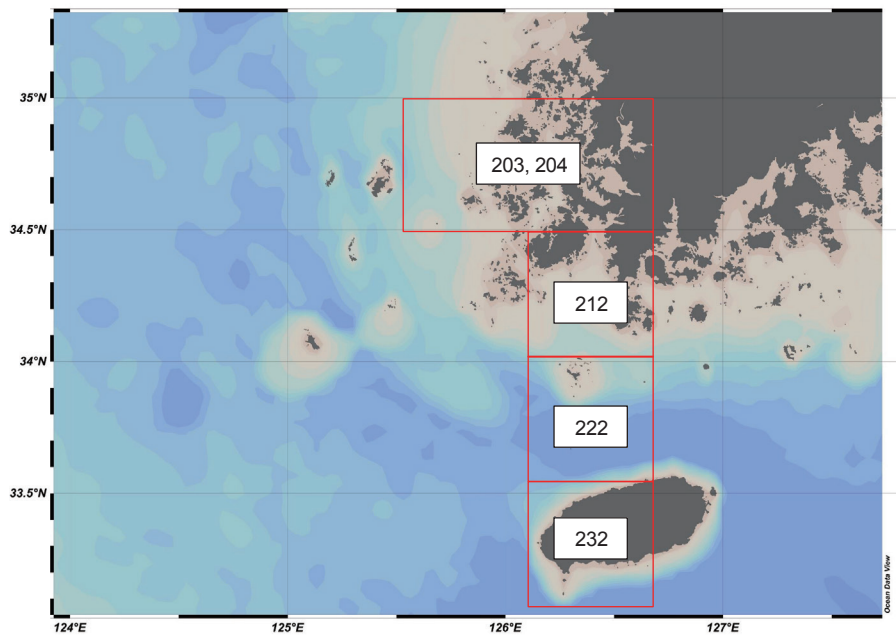


Fig. 2. A map showing the trench where yellow croaker *Larimichthys polyactis* were caught in Korean waters.

의 산란생태 분석을 통해 1) 금어기 설정의 과학적 근거 마련, 2) 참조기 자원의 재생산 잠재력 평가, 3) 금어기 회복 및 관리 방안 수립에 필요한 기초 생태자료를 제공하기 위함이다.

재료 및 방법

이번 연구에서 분석한 참조기 시료는 2020년 한 해 동안 우리나라 남해 서부의 203, 204, 212, 222, 232 해구에서 금어기인 7월을 제외한 상업적 어업으로 어획된 개체를 매달 1회 구입하였으며(Fig. 2), 구입한 시료는 실험실로 운반하여 전장 0.1 cm, 습중량 1.0 g과 생식소 0.001 g 단위까지 측정하였다. 참조기의 성비는 조사기간 동안 어체를 측정할 전 개체에 대해 암·수의 비율을 월별로 나타낸 후, 성비가 1:1인지 아닌지를 Chi-squared test를 이용하여 분석하였다.

생식도숙도지수(gonadosomatic index, GSI)의 월별 변화는 다음의 식을 이용하여 산출하였다. 여기서 GW (gonad weight)는 생식소 중량(g), BW (body weight)는 체중(g)이다.

$$GSI = \frac{GW}{BW} \times 10^2$$

참조기의 생식소 발달과정을 알아보기 위해 조직학적 관찰을 통해 구분하였으며, 생식소의 발달단계는 미숙(immature stage), 중숙(maturing stage), 성숙(mature stage), 완숙(ripe stage), 퇴화 흡수기(degenerating stage) 5단계로 구분하였다. 생식소 구조 및 생식소 발달과정을 구분하기 위하여 생식소를 modified Davidson's fixative에 10시간 동안 고정하였으며, 수세와 탈수과정을 거쳐 parplast에 포매 후 4-6 μm 두께로 연속

절편하여 조직 표본을 만들었다. 이 후, Harris hematoxylin-eosin (H-E) 비교 염색하였으며, marinol로 봉입하였다. 또한 제작된 생식소 조직표본은 광학현미경(Leica DM IL LED; Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Germany)으로 검경하였다. 포란수(F)는 산란기간 동안 방란의 흔적이 없는 완숙한 개체의 난소에 대하여 습중량법(Bagenal, 1978)으로 구하였다.

$$F = \frac{A-B}{C} \times e$$

여기서, A는 난소의 중량, B는 난각의 중량, C는 난소 일부의 중량, e는 C의 난수이다.

상대포란수는 성숙한 개체의 체장, 체중에 대하여 아래의 식을 사용하여 도출하였다(Bagenal, 1978).

$$TL = aTL^b$$

$$F = aTW^b$$

$$F = aOW^b$$

여기서, TL (total length)은 전장, TW (total weight)는 체중, OW (ovary weight)는 생식소중량, a와 b는 상수이다.

결 과

전장분포 및 성비

2020년 금어기인 7월을 제외한 1월부터 12월까지 조사된 개체의 전장분포와 암·수의 전장 분포와 월별 성비를 분석한 결과

Table 1. Size distribution and sex ratio of yellow croaker *Larimichthys polyactis* collected from January to December 2020 in the Western South Sea of Korea

Month	Total number	No. of inds.		Range TL (cm)		Sex ratio
		Female	Male	Female	Male	
Jan.	40	31	9	17.3-21.8	19.2-21.5	1:0.29
Feb.	25	24	1	23.5-27.5	23-23	1:0.04
Mar.	37	30	7	18.4-22	19.6-21.2	1:0.23
Apr.	38	35	3	18.2-22	20-20.5	1:0.09
May	29	12	17	17.4-20.1	17-19.3	1:1.42
Jun.	30	12	18	16.4-20.2	16.7-20.2	1:1.50
Jul.	-	-	-	-	-	-
Aug.	48	41	7	17-27.2	18.1-23.3	1:0.17
Sep.	30	24	6	18.5-22.1	19.2-21.6	1:0.25
Oct.	30	25	5	18.9-22.4	19-21.3	1:0.20
Nov.	47	27	20	12.3-18.6	13.6-18.7	1:0.74
Dec.	26	17	9	20.4-21.7	17.2-21.5	1:0.53
Total	380	278	102	12.3-27.5	13.6-23.3	1:0.37

TL, Total length.

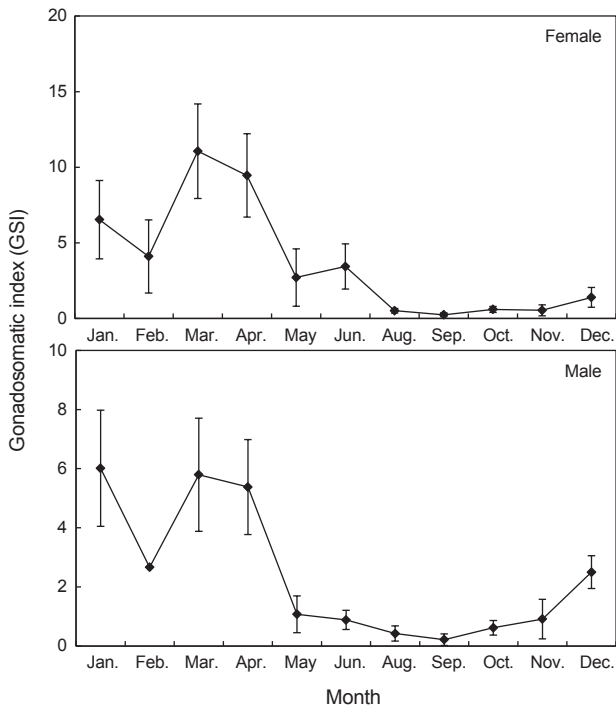


Fig. 3. Monthly changes in gonadosomatic index (GSI) of yellow croaker *Larimichthys polyactis* collected from January to December 2020 in the Western South Sea of Korea (Bar, standard deviation).

(Table 1), 참조기의 전장 범위는 12.3–27.5 cm였으며, 암·수의 전장 범위는 각각 12.3–27.5 cm와 13.6–23.3 cm로 나타나 암컷이 수컷보다 비교적 더 큰 것으로 관찰되었다. 또한, 전체 개체에서 암·수의 성비는 1:0.37로 암컷의 비율이 높게 나타났다. 암·수의 성비를 Chi-squared test로 검정한 결과, 암·수간의 성비는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($P < 0.05$).

생식도숙도지수(GSI)의 월 변화

2020년 금어기인 7월을 제외한 1월부터 12월까지 채집된 참조기의 암컷 개체를 대상으로 GSI의 변화를 분석한 결과 (Fig. 3), GSI는 3월 평균 11.06 ± 3.12 로 최대값을 나타낸 후, 5월과 6월에는 각각 2.71 ± 1.90 , 3.44 ± 1.50 로 급격하게 감소하는 경향을 보였다. 그 후 9월에 0.24 ± 0.13 로 최소값을 보인 후 증가하는 경향을 나타내었다. 수컷 개체의 GSI는 3월 평균 5.79 ± 1.91 로 최대값을 나타낸 후, 5월과 6월에는 각각 1.07 ± 0.62 , 0.88 ± 0.32 로 급격하게 감소하는 경향을 보였다. 그 후 9월에 0.22 ± 0.20 로 최소값을 보인 후 증가하는 경향을 나타내었다.

성숙도의 월 변화

생식소의 조직학적 분석을 바탕으로 성숙도를 5단계로 구분하여 월별 변화를 분석한 결과 (Fig. 4), 암컷의 중숙 단계는 8월

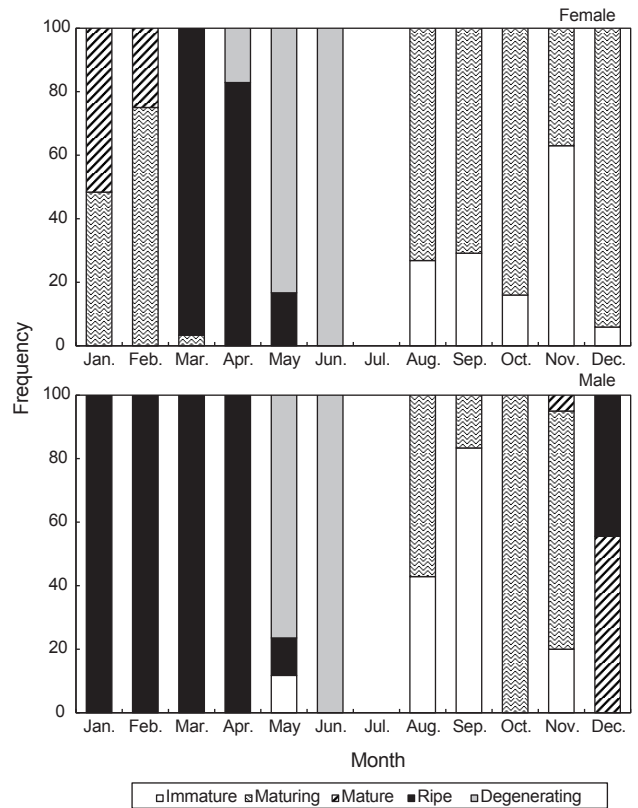


Fig. 4. Monthly changes in maturity stages of yellow croaker *Larimichthys polyactis* collected from January to December 2020 in the Western South Sea of Korea (Bar, standard deviation).

부터 점진적으로 증가하여 12월에 가장 높은 비율을 보였으며, 이후 1–2월에는 낮은 수준으로 감소하였다. 성숙 단계는 주로 1–2월에 출현하였고, 특히 1월에 가장 높은 비율을 나타냈다. 완숙 단계는 3–5월에 관찰되었으며, 3월에 최고치를 기록한 반면 5월에는 가장 낮은 비율을 보였다. 퇴화·흡수 단계는 4–6월 동안 확인되었고, 이 중 6월에 가장 높은 출현 빈도를 나타냈다. 수컷의 경우 완숙 단계는 1–5월과 12월에 출현하였으며, 5월에 가장 낮은 비율을 보였다. 퇴화·흡수 단계는 5–6월에 관찰되었고, 특히 6월에 가장 높은 수준으로 나타났다.

난소와 정소의 조직학적 관찰

참조기 암컷의 생식소 조직 발달 과정을 파악하기 위해 조직학적 변화를 관찰하였다 (Fig. 5). 미숙단계 (immature stage)의 암컷에서는 난소 내 상피세포층을 따라 난원세포들과 초기성장중인 난모세포들이 관찰되었으며, 중숙단계 (maturing stage)의 암컷에서는 핵이 세포의 중앙에 위치하였고, 난모세포 성장에 따라 세포질 대비 핵의 비율이 점차 감소하는 특징을 보였다. 성숙단계 (mature stage)의 암컷에서는 세포질 내 난황과립으로 가득 찬 난황형성 난모세포들이 다수 관찰되었으며, 크고 작은 크기의 유구가 관찰되었다. 완숙단계 (ripe stage) 암컷에서는 세

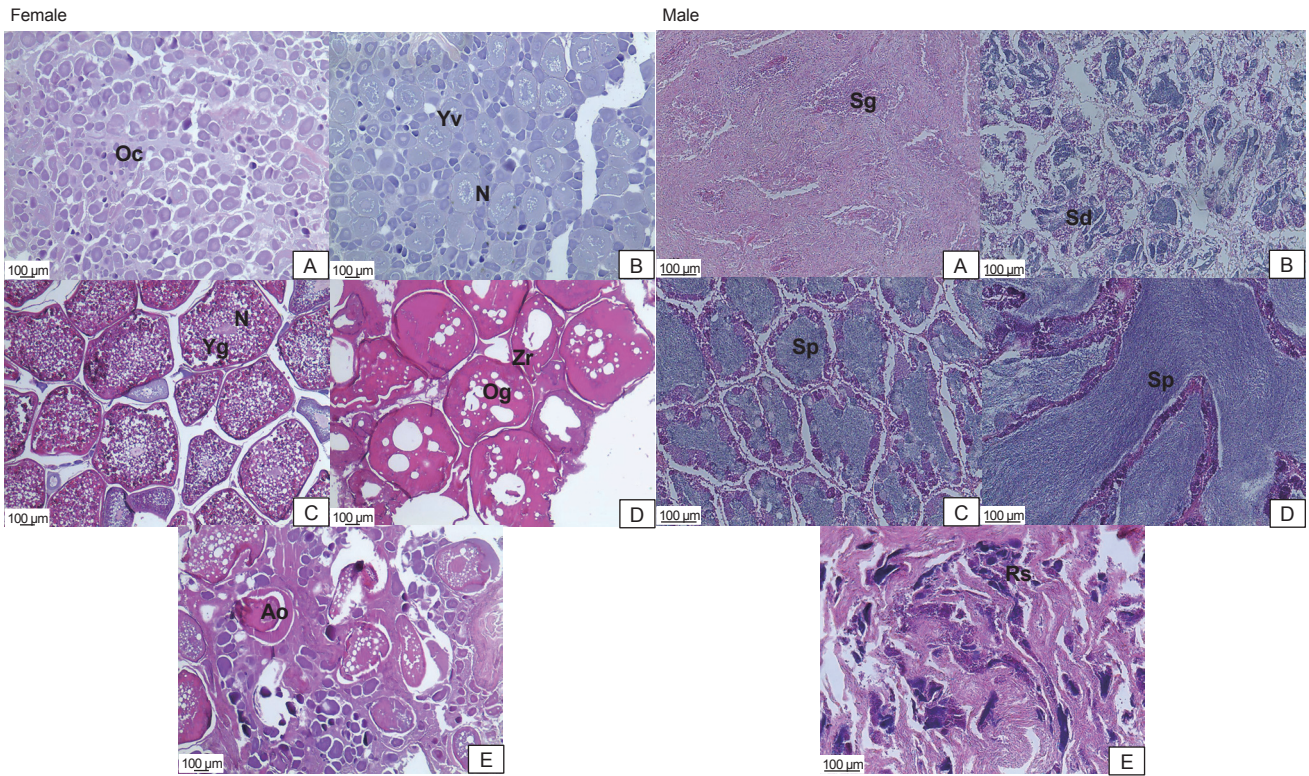


Fig. 5. Photomicrographs of ovarian development phases of yellow croaker *Larimichthys polyactis* collected from January to December 2020 in the Western South Sea of Korea. A, Immature stage; B, Maturing stage; C, Mature stage; D, Ripe stage; E, Degenerating stage; Ao, Atretic oocytes; N; Nucleolus; Oc, Oocytes; Og, Oil globule; Yg, Yolk globule; Yv, Yolk vesicle; Zr, Zona radiata. Scale bars=100 μm.

포질 내에 축적된 난황구들이 서로 융합되어 완전히 균질화된 양상을 나타냈다. 퇴화 흡수단계(degenerating stage) 암컷에서는 난소 소엽 내에 미방출된 난모세포, 잔존 여포, 산란되지 않은 잔여 난이 퇴화·흡수되는 현상이 관찰되었다. 미숙단계(immature stage)의 수컷에서는 정소에서는 정원세포가 관찰되었으며, 중숙단계(maturing stage)의 수컷에서는 정소 소엽의 소낭 구조가 확인되었고, 정원세포에 비해 핵질과 세포질이 응축된 정세포들이 나타났다. 성숙단계(mature stage)의 수컷에서는 정소 내 성숙 변태를 마친 정자들이 계속 축적되면서 중앙

내강에는 정자괴가 뚜렷이 관찰되었으며, 완숙단계(ripe stage) 수컷에서는 정소 내 성숙한 정자들이 늘어나 내강을 가득 채웠고, 밀집된 정자들이 관찰되었다. 퇴화 흡수단계(degenerating stage) 수컷에서는 정소 소엽 내 대부분의 성숙 정자가 방출된 상태가 관찰되었으며, 일부 미방출된 정자는 퇴화·흡수되는 조직학적 특징을 보였다.

포란수

산란기로 추정된 월에 포란수를 측정하였다. 포란수의 경

Table 2. Absolute and relative fecundity according to total length phases of yellow croaker *Larimichthys polyactis* collected from January to December 2020 in the Western South Sea of Korea

Total length (cm)	Absolute fecundity (eggs)		Relative fecundity (eggs/cm)		n
	Range	Mean	Range	Mean	
18.0–18.9	8,272–34,783	17,834	446–1,875	961	6
19.0–19.9	10,590–61,516	28,697	544–3,158	1,473	17
20.0–20.9	11,485–50,369	26,464	564–2,475	1,300	25
21.0–21.9	11,461–70,877	27,977	542–3,349	1,322	8
22.0–22.9	15,450–56,322	33,467	702–1,369	1,521	4

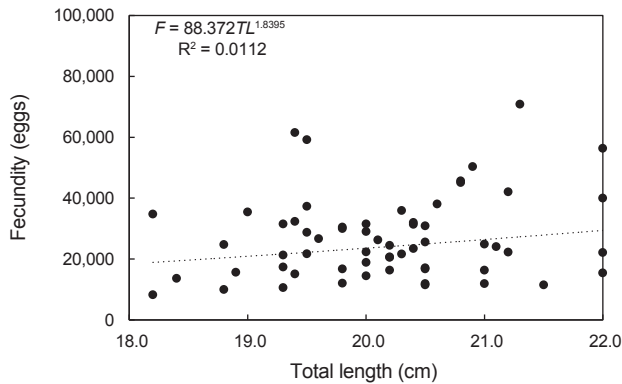


Fig. 6. Relation between total length and fecundity of yellow croaker *Larimichthys polyactis* collected from January to December 2020 in the Western South Sea of Korea.

우에는 전장에 따른 절대포란수는 전장 18.2 cm에서 최소인 8,272개를 보였으며, 전장 21.3 cm에서 70,877개로 나타났다 (Table 2). 따라서 전장과 포란수의 관계식은 $F=88.372TL^{1.8395}$, $R^2=0.0112$ 으로 나타났다 (Fig. 6). 상대포란수는 전장 18.0–18.9 cm 크기군에서 961개로 가장 적게 나타났으며, 22.0–22.9 cm 크기군에서 1,521개로 가장 많이 나타났다.

고 찰

참조기의 성비를 조사한 결과, 전체 개체에서 암:수 성비는 1:0.37로 암컷의 비율이 높게 나타나는 경향을 보였다. 우리나라 근해에서 수행된 참조기의 선행연구에 따르면 최대연령이 암컷은 4세, 수컷은 3세로 추정되었으며 (Kim et al., 2024), 참조기의 산란생태연구에서도 암:수 성비가 1:0.41로 암컷의 비율이 수컷보다 높게 나타나 이번 연구와 유사한 경향을 보였다 (Lim et al., 2010). 한편, 인공부화 개체군에서 암:수 성비가 유의한 차이가 나타나지 않은 것으로 보고되어 (Xie et al., 2021), 이번 연구에서 관찰된 암컷 성비의 차이는 성결정 단계에서 기인한 현상이기보다는 자연 개체군에서의 어획압력과 회유 등 생태적 요인이 복합적으로 작용한 결과로 사료된다 (Massuti and Morales-Nin, 1997; Wu et al., 2001; NIFS, 2021). 향후 연구에서는 이러한 성비 차이가 어획 압력에 의해 주로 유발된 것인지, 또는 회유·산란장 이용 특성과 같은 생태적 요인에 더

크게 기인한 것인지를 구분하여 규명할 필요가 있을 것으로 판단된다.

이번 연구에서 추정된 참조기 암컷의 생식주기는 1–2월에 중숙기와 성숙기가 관찰되었으며, 3–6월에는 완숙기와 퇴화·흡수기가 연속적으로 출현한 이후 7–12월에는 미숙기와 중숙기가 나타나는 양상을 보였다 (Table 3). 이러한 생식소 발달 단계의 월별 변화에 근거하여 참조기의 산란기는 주로 3–5월로 추정되었다. 또한 GSI는 3월에 최고값을 나타낸 후 4월 이후 급격히 감소하는 경향을 보여, 조직학적으로 관찰된 월별 생식소 발달 단계와 전반적으로 유사한 양상을 나타냈다. 선행 연구에 따르면 서해와 남해 참조기의 산란기는 모두 4–6월로 나타나 이번 연구와 차이를 보였는데 (Kang et al., 2006; Lim et al., 2010), 수온은 어류의 산란에 있어 생식소 발달과 산란 개시를 유도하는 주요 환경 요인으로 작용하며 (Hermelink et al., 2011), 특히 참조기와 같은 봄철 산란 어종에서는 계절적 수온 상승이 산란 시기를 결정하는 중요한 신호로 기능하는 것으로 알려져 있다 (Lim et al., 2010; Koenigbauer et al., 2025). 참조기의 산란 최저 수온은 11.5°C로 보고되었으며 (Liu et al., 2022), Chen et al. (2019)의 사육 실험에 따르면 수온 13°C에서 실험 개체의 약 70%가 생식소 발달 V단계(산란 가능 단계)에 도달한 것으로 나타났다. 2020년 2월 채집 시점의 주변 저층 수온은 약 13°C로 관측되었으며 (NIFS, 2025), 또한, 선행연구인 Kang et al. (2006) 보고된 2006년 4월 산란기 채집지 주변의 저층 수온도 약 13°C 관측되어 이번 연구와 유사한 결과를 나타내었다 (NIFS, 2026). 향후 연구에서는 장기적인 저층 수온 변동과 산란 개시 시기의 변화를 통합적으로 분석하여 수온 상승이 참조기 산란 시기 변동에 미치는 영향을 검증할 필요가 있다.

이번 연구에서 참조기의 포란수는 8,272–70,877개로 나타났는데, 자연개체를 대상으로 한 선행연구에서 참조기의 포란수는 19,396–106,311개의 범위를 보였으며, 양식개체를 대상으로 한 참조기의 포란수는 35,844–87,778개의 범위를 보여 이번 연구결과와 차이를 보였다. 한편, 전장과 포란수 간의 관계는 증가하는 형태의 회귀식으로 표현되었으나, 결정계수는 선행 연구에 비해 낮게 나타나 전장에 의한 설명력은 제한적이었다. 일반적으로 어류의 포란수는 개체의 크기와 체중, 자원 가용성, 영양 상태, 생식 전략, 수온 등의 환경에 영향을 받는 것으로 알려져 있는데 (Lambert, 2008), 이번 연구에서는 분석에 사용된 개체의 전장 범위가 비교적 제한적이었고 동일 전장 내 포란수의

Table 3. Spawning period, absolute fecundity and total length (TL) range of yellow croaker *Larimichthys polyactis*

Rearing origin	Spawning period	Area	Absolute fecundity (eggs)	Total length range (TL, cm)	Total length range (TL, cm)	Reference
Wild	-	South Sea of Korea	19,396–106,311	20.0–26.7	20.0–26.7	Lim et al. (2010)
Cultured	-	-	35,844–87,778	19.0–23.0	19.0–23.0	Kang et al. (2023)
Wild	3-5	Western South Sea of Korea	8,272–70,877	18.2–22.0	18.2–22.0	Present study

개체 간 변동성이 크게 나타나, 선행 연구에 비해 낮은 포란수 범위와 낮은 결정계수가 나타난 것으로 판단된다.

이번 연구 결과, 남해 서부 연안에 출현하는 참조기의 산란생태 특성은 선행연구에서 보고된 결과와 전반적으로 유사한 경향을 보였으나, 산란 시기는 기존 연구에 비해 다소 빠른 것으로 확인되었다. 최근 우리나라 연근해 참조기 자원은 어획량 감소와 함께 성숙체장의 감소, 동일 연령에서의 평균 체장 감소, 그리고 어획물에서 소형 개체의 출현 비율 증가 등 생물학적 특성치의 부정적인 변화가 보고되고 있으며(Yeon et al., 2010; Kang et al., 2020; Kim et al., 2024), 이러한 변화는 일반적으로 어획압력 증가와 이에 따른 개체군 구조 변화로 인한 자원 상태 악화의 지표로 해석된다(Kuparinen and Merilä, 2007; Tu et al., 2018). 따라서 이번 연구의 결과는 최근 보고되고 있는 자원 특성 변화와 함께 종합적으로 해석될 필요가 있다. 향후에는 장기적인 환경 변화와 어획 압력에 따른 생물학적 특성치의 변동을 지속적으로 모니터링하고, 환경 변동을 반영한 금어기 조정 및 금지체장 설정 등 과학적 자원 관리 방안을 수립하기 위한 추가 연구가 필요하다.

사 사

이 논문은 2025년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2018-KS181192, 수산전문인력양성).

References

- Bagenal TB. 1978. Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters. Blackwell Scientific Publications, Oxford, U.K., 300.
- Chen K, Zheng J, Lu P, Wang Y, Zhang C and Wang N. 2019. Dynamic geomorphological modeling on the formation and evolution of the radial sand ridges in the south Yellow Sea off Jiangsu coast, China. *Adv Water Sci* 30, 230-242. <https://doi.org/10.14042/j.cnki.32.1309.2019.02.008>.
- Hermelink B, Wuertz S, Trubiroha A, Rennert B, Kloas W and Schulz C. 2011. Influence of temperature on puberty and maturation of pikeperch, *Sander lucioperca*. *Gen Comp Endocrinol* 172, 282-292. <https://doi.org/10.1016/J.YGCEN.2011.03.013>.
- Jang S, Kim J and Ryu J. 2020. First report on the occurrence of eggs of the small yellow croaker *Larimichthys polyactis* from Chilsan-do Island, Jeollanam-do, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 53, 650-655. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0650>.
- Jeong HD. 2001. On the mechanism of cold water appearance and variation of oceanographic conditions in the southwest coastal waters of Korea in summer. Ph. D. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Kang DY, Cho KC, Lee JH, Kang HW, Kim GH and Kim HC. 2009. Annual reproductive cycle of Korean yellow croaker *Larimichthys polyactis*. *J Aquac* 22, 5-10.
- Kang DY, Jo KC, Lee JH, Kang HW, Kim HC and Kim GH. 2006. Annual reproductive cycle of wild female yellow croaker *Larimichthys polyactis*. *J Aquac* 19, 188-196.
- Kang HJ, 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 J Fish Aquat Sci* 53, 50-56. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0050>.
- Kang HW, Hwang IJ and Han JC. 2023. Reproductive capacity and production characteristics of fertilized eggs in second and third generations by natural spawning of cultured broodstock small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*). *J Fish Mar Sci Educ* 35, 604-613. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2023.6.35.3.604>.
- Kim HJ, Kim JN, Sohn H, Oh TY and Lee JH. 2024. Age and growth of small yellow croaker *Larimichthys polyactis* using otoliths in the waters of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 57, 372-379. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2024.0372>.
- Kim YH, Lee SK, Lee JB, Lee DW and Kim YS. 2006. Age and growth of small yellow croaker, *Larimichthys polyactis* in the South Sea of Korea. *Korean J Ichthyol* 18, 45-54.
- Kim YM. 1977. Dynamical study on effective method of the stock management of yellow croaker, *Pseudosciaena manchurica* (Jordan and Thompson), in the East China Sea and Yellow Sea. *Natl Fish Res Dev Inst* 16, 33-50.
- Koenigbauer ST, Cabbage ML, Warren LD, Tellier JM, Selz OM, Sass GG and Höök TO. 2025. Fish reproductive phenology shifts with increasing temperature and year. *Biol Lett* 21, 20240240. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2024.0240>.
- KOSIS (Korean Statistics Information Service). 2026. Fisheries Production Trends Survey. Retrieved from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EW0004&conn_path=I2 on Feb 20, 2026.
- Kuparinen A and Merilä J. 2007. Detecting and managing fisheries-induced evolution. *Trends Ecol Evol* 22, 652-659. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.08.011>.
- Lambert Y. 2008. Why should we closely monitor fecundity in marine fish populations?. *J Northw Atl Fish Sci* 41, 93-106. <https://doi.org/10.2960/J.v41.m628>.
- Lee EJ, Seo YI, Park HW, Kang HJ and Zhang CI. 2015. A study on the comparison of spawning biomass per recruit analyses for fisheries management of small yellow croaker caught by drift gill net. *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 51, 535-544. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2015.51.4.535>.
- Li Z, Shan X, Jin X and Dai F. 2011. Long-term variations in body length and age at maturity of the small yellow croaker (*Larimichthys polyactis* Bleeker, 1877) in the Bohai Sea and the Yellow Sea, China. *Fish Res* 110, 67-74. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2011.03.013>.
- Lim HK, Le MH, An CM, Kim SY, Park MS and Chang YJ.

2010. Reproductive cycle of yellow croaker *Larimichthys polyactis* in southern waters of Korea. *Fish Sci* 76, 971-980. <https://doi.org/10.1007/s12562-010-0288-5>.
- Liu Z, Jin Y, Yang L, Yan L, Zhang Y, Xu M, Tang J, Zhou Y, Hu F and Cheng J. 2022. Incorporating egg-transporting pathways into conservation plans of spawning areas: An example of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in the East China Sea zone. *Front Mar Sci* 9, 941411. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.941411>.
- Massutí E and Morales-Nin B. 1997. Reproductive biology of dolphin-fish (*Coryphaena hippurus* L.) off the island of Majorca (western Mediterranean). *Fish Res* 30, 57-65. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(96\)00562-0](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(96)00562-0).
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2021. Ecology and Fishing Ground of Fisheries Resources in Korean Waters. Yemoonsa Publication Co., Busan, Korea, 279-290.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2024. Commercial Fishes in Korea (3rd ed.). Hanguk Graphics, Busan, Korea, 1-655.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2025. Korea Oceanographic Data Center (KODC): Coastal Water Temperature Data. Retrieved from <https://www.nifs.go.kr/kodc/index.kodc> on Dec 23, 2025.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2026. Korea Oceanographic Data Center (KODC): Coastal Water Temperature Data. Retrieved from <https://www.nifs.go.kr/kodc/index.kodc> on Feb 24, 2026.
- Park CS. 1981. Maturation and spawning of yellow croaker *Larimichthys polyactis* on the west coast of Korea. *Bull Natl Fish Res Dev Inst* 27, 93-101.
- Park KW, Park TG, Jang HK, Yoo MH, O KS and Youn SH. 2024. Seasonal changes in phytoplankton community associated with marine environmental factors in the Yellow Sea in 2019. *J Korean Soc Mar Environ Saf* 30, 396-406. <https://doi.org/10.7837/kosomes.2024.30.5.396>.
- Sim SH and Nam JO. 2015. A stock assessment of yellow croaker using bioeconomic model: A case of single species and multiple fisheries. *Ocean Polar Res* 37, 161-177. <https://doi.org/10.4217/OPR.2015.37.2.161>.
- Song X, Xiong Y, Jiang T, Yang J, Zhong X, Tang J and Kang Z. 2022. Evaluation of spawning- and natal-site fidelity of (*Larimichthys polyactis*) in the Southern Yellow Sea using otolith microchemistry. *Front Mar Sci* 8, 820492. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.820492>.
- Tu CY, Chen KT and Hsieh CH. 2018. Fishing and temperature effects on the size structure of exploited fish stocks. *Sci Rep* 8, 7132. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25403-x>.
- Wang S, Wu F, Gong X, Liu H, Rao Y, Zhang S, Hou G and Huang H. 2025. Effects of water mass dynamics on the structure and distribution of fish egg community in Daya Bay. *Mar Environ Res* 211, 107339. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2025.107339>.
- Wang XL, Li DP, Meng XG and Qiu XM. 2009. A panel of polymorphic EST-derived microsatellite loci for the small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*). *Conserv Genet* 10, 1629-1631. <https://doi.org/10.1007/s10592-009-9816-1>.
- Wang YK, Huang JS, Tang XX, Jin XS 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>.
- Wu CC, Su WC and Kawasaki T. 2001. Reproductive biology of the dolphin fish *Coryphaena hippurus* on the east coast of Taiwan. *Fish Sci* 67, 784-793. <https://doi.org/10.1046/j.1444-2906.2001.00324.x>.
- Xiao YS, Zhang Y, Gao TX, Yanagimoto T, Yabe M and Sakurai Y. 2009. Genetic diversity in the mtDNA control region and population structure in the small yellow croaker *Larimichthys polyactis*. *Environ Biol Fish* 85, 303-314. <https://doi.org/10.1007/s10641-009-9497-0>.
- Xie QP, Li BB, Zhan W, Liu F, Tan P, Wang X and Lou B. 2021. A transient hermaphroditic stage in early male gonadal development in little yellow croaker, *Larimichthys polyactis*. *Front Endocrinol* 11, 542942. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.542942>.
- Xu M, Wang Y, Liu Z, Liu Y, Zhang Y, Yang L, Wang F, Wu H and Cheng J. 2023. Seasonal distribution of the early life stages of the small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) and its dynamic controls adjacent to the Changjiang River Estuary. *Fish Oceanogr* 32, 390-404. <https://doi.org/10.1111/fog.12635>.
- Yeon IJ, 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 Korean Soc Fish Ocean Technol* 46, 392-405. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2010.46.4.392>.