

한국 서해 참조기(*Larimichthys polyactis*)의 육안판별법과 GSI판별법에 의한 성숙체장 추정

강희중* · 마지영 · 김현지 · 김한주

국립수산과학원 연근해자원과

Estimating Length at Sexual Maturity of the Small Yellow Croaker *Larimichthys polyactis* in the Yellow Sea of Korea Using Visual and GSI Methods

Heejoong Kang*, Ji Young Ma, Hyeon Ji Kim and Han Ju Kim

Department of Fisheries Resource Management Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

Determination of the precise size at sexual maturity is very important for science-based stock assessment and fisheries resource management. In this study, two different models, (1) a visual method and (2) a gonadosomatic index (GSI) method, were employed to estimate length at sexual maturity of the small yellow croaker *Larimichthys polyactis* in the Yellow Sea of Korea. The visual method is a common qualitative method using visual gonadal identification. Conversely, the GSI method is a quantitative method using the GSI, which can be easily and precisely collected. We compared results from these methods to determine the best approach, and to examine the practicality of the GSI method. Logistic regression of the maturity ogive was conducted using a general linear model (GLM) with the R statistics program. Also, the bootstrapped 95% confidence intervals of all estimates were calculated. The best-fit model was the visual method ($R_{Mc}^2=0.805$, $AUC=0.989$, $L_{50}=15.1$). Among models using the GSI method, the model computing $GSI_{ref}=0.94$ was the best-fit model ($R_{Mc}^2=0.792$, $AUC=0.989$, $L_{50}=15.2$). There was no significant difference between the two models, evidencing the effectiveness and accuracy of the GSI method.

Keywords: Small yellow croaker, Maturation, GSI, length-weight relationship, Size at first maturity

서론

참조기(*Larimichthys polyactis*)는 우리나라 연근해의 주요 어업자원 중 하나로 동중국해와 황해에 걸쳐 널리 분포하고 있으며, 크게 3개의 계군으로 보고되고있다(Wang et al., 2016). 우리나라 연근해 어선의 주 어획대상어인 황해혼합군은 겨울철에는 제주도 서쪽 해역에서 월동을 하다가 서서히 북상하여 서해 연안 각지에서 산란을 마친 다음 9-11월에 외해측으로 이동 후 다시 월동을 위하여 제주도 서방 동중국해로 남하한다(Shojima and Otaki, 1982; Baik et al., 2004). 참조기는 1-2월 사이에 난소가 본격적으로 성숙을 시작하여 4-5월에 최종 성숙하고 5-6월에 본격적으로 산란하는 봄-여름 산란군이며, 난

소 내 생식세포들이 균을 이루어 발달하여 산란시기 중 2-3회 이상 산란하는 난군동기발달형 어종이다(Park, 1981; Kang et al., 2006; Lim et al., 2010). 우리나라 연근해 참조기 자원은 1974년 이후 과잉어획으로 자원량이 감소하고 EEZ (exclusive economic zone) 선포로 어장이 축소되는 등 어획 가능한 자원이 감소하였다(Zhang et al., 1992). 하지만 어획량은 1974년 이후에 증가와 감소를 반복하다 2011년에 최대 어획량을 기록하는 등 뚜렷한 참조기 자원의 지속적인 감소 경향은 보이지 않았다(KOSIS, 2019). 그러나 참조기 자원의 개체가 점차 소형화되어 어획물의 평균체장이 지속적으로 감소하는 등 자원의 질적 수준은 계속해서 감소하였다(Yeon et al., 2010).

또한 조업 어장이 축소되어 어획강도의 밀도가 집중됨에 따라

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2293 Fax: +82. 51. 720. 2277

E-mail address: kanghj87@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.2020.0050>

Korean J Fish Aquat Sci 53(1), 50-56, February 2020

Received 23 December 2019; Revised 21 January 2020; Accepted 11 February 2020

저자 직위: 강희중(연구사), 마지영(연구원), 김현지(박사 후 인턴 연구원), 김한주(박사 후 인턴 연구원)

주 어장을 중심으로 폐기물, 특히, 유실어구가 증가하여 이로 인해 어장환경이 악화되고 잠재적인 유령어획(ghost fishing)이 발생하고 있다(An et al., 2001; Kim et al., 2010). 따라서 우리나라 연근해 참조기의 생태 및 어장 특성, 어업실태 등을 고려한 적극적인 대책수립이 요구되고 있는 실정이다.

특히 최근 양식 생산량 비중이 커지면서 양식용 사료에 대한 수요가 크게 증가함에 따라 참조기 미성어가 그 공급원으로 사용되고 있어 어린 물고기에 대한 참조기 남획이 심화되고 있다(AFLnews, 2019). 어린 물고기의 남획은 수산자원의 고유 특성인 재생산성을 저해하여 자원을 고갈시키는 주요 요인으로 미성어 보호에 대한 강력한 규제가 필요함에 따라 2016년에 참조기에 대한 금지체장(15 cm)이 설정되었다.

금지체장의 설정은 일반적으로 해당 수산자원의 최초 성 성숙 체장(이하, 성숙체장으로 줄임)을 기준으로 설정이 되므로 수산자원보호를 위한 적정 금지체장 설정을 위해서는 정확한 성숙체장을 추정하는 것이 중요하다. 그러나 우리나라 연근해 참조기에 대한 성숙체장 추정에 관한 연구결과는 단 2건 밖에 없다(Park, 1981; Cho, 2013). 또한 성숙체장은 자원이 서식하는 해양환경이나 자원상태에 따라 변화하며, 연구자에 의한 측정과 분석 오류 등 인적 요인에 따라 차이가 발생한다(Law, 2000; Fontoura et al., 2009). 따라서 이 논문에서는 우리나라 연근해 참조기 자원에 대한 정확한 성숙체장(i.e. length at first sexual maturity)을 추정하기 위해 최근 조사자료를 활용하고 인적 오류를 감소시킬 수 있는 생식소속도지수(gonadosomatic index, GSI)를 활용한 정량적인 방법과 일반적으로 사용되는 육안판별법을 동시에 적용하고 비교분석함으로써 적절한 금지체장 설정뿐만 아니라 과학적인 자원평가 및 기타 관리대책수립을 위한 기초 연구자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구에서 사용된 시료는 우리나라 연근해 참조기의 주 어장인 제주 북서해역(220, 221, 222, 223 해구)에서 참조기 주 성숙 및 산란시기인 2019년 3-5월에 근해안강망과 근해자망으로 어획된 암컷 참조기 시료를 사용하였으며, 시료는 냉장 상태로 실험실로 운반하여 측정하였다. 생식소 무게를 포함한 체중(total weight, TW)은 0.1 g 단위, 생식소 무게(gonad weight, GW)는 0.01g 단위까지 습중량으로 측정하였으며, 체장은 전장(total length, TL)을 기준으로 1 mm 단위로 측정하였다.

본 연구에서는 참조기 성숙체장을 추정하기 위해 (1)일반적으로 연중 산란시기가 뚜렷한 어종을 대상으로 생식소의 발달 상태를 육안으로 판별하는 육안판별법과 (2)생식소속도지수(GSI)를 활용하여 정량적인 기준으로 판별하는 GSI판별법(Fontoura et al., 2009)을 사용하였다.

육안판별법에서는 미숙, 중숙, 성숙, 완숙, 방중, 방후, 회복 등 7가지 발달단계로 구분하였으며(NIFS, 2020), 이전 우리나라 참조기 성숙체장 추정 연구(Park, 1981) 및 국제적 성숙개체 구

분 기준(ICES, 2018)에 따라 미숙 단계는 미성숙 개체, 그 외 단계는 모두 성숙 개체로 정의하였다.

GSI판별법에서 미성숙 개체와 성숙 개체를 구분하기 위해서 그 기준점이 되는 GSI값(GSIref)을 최근 조직판별법에서 사용된 참조기 미성숙 개체의 GSI값 오차범위(Lim et al., 2010)를 참고하여 이에 근접하는 0.5-1.0의 범위 내에서 값을 변화시켰으며, GSI_{ref} 보다 작은 값을 가지는 개체는 미성숙 개체(<GSI_{ref}), 크거나 같은 개체는 성숙 개체(≥GSI_{ref})로 정의하였다. 단, GSI가 GSI_{ref} 보다 작더라도 육안판별법에서 방후 또는 회복에 해당하는 개체는 모두 성숙 개체로 간주하였다. 생식소 속도지수는 다음의 식 $GSI=(GW/TW) \times 10^2$ 으로 계산하였으며, 여기서 GW는 생식소 중량(g), TW는 생식소를 포함한 체중(g)을 나타낸다.

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

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

여기서 p는 성숙개체일 확률, x는 체장(TL)이다. 체장 x가 성숙개체일 확률 p는 아래의 식으로 추정하였다.

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

성숙개체일 확률 p에 대한 체장 L_{p%}는 아래의 식으로 추정하였으며, 본 연구에서는 일반적으로 성숙체장 추정 시 사용되는 L₅₀ 이외에 보다 엄격한 금지체장 설정을 위한 과학적 기준을 제시하기 위해 L₇₅, L_{97.5}를 추가로 추정하였다. 단, 본 연구에서 사용된 표본개수와 측정오차 등 영향을 고려하여 개체군의 100%가 성숙하는 체장을 L_{97.5}으로 가정하여 사용하였다.

$$L_{p\%} = \frac{\log\left(\frac{p}{1-p}\right) - \alpha}{\beta}$$

일반적인 50% 성숙체장 L₅₀ (i.e., p = 0.5)에서는 아래와 같이 간단히 표현할 수 있다.

$$L_{50} = -\frac{\alpha}{\beta}$$

모든 통계분석은 R프로그램(R Core Team, 2014; R foundation for statistical computing, Vienna, Austria)을 통해 분석하였으며, 모델의 검정을 위해 McFadden's R² 및 AUC (area under the ROC curve)를 추정하고 비교하였다. 또한 L_{p%}를 포함한 모든 추정치에 대한 95% 신뢰구간을 구하기 위해 부트스트

래핑(run=1,000)을 실시하였다(McFadden, 1974; Hanley and McNeil, 1982).

결 과

총 266미의 암컷 참조기 시료를 수집하고 측정하였으며, 육안판별법으로 성숙단계를 일곱단계로 분류한 다음 미성숙개체와 성숙개체로 구분하였다(Table 2, Table 3). GSI판별법에서는 GSI_{ref} 를 0.5-1.0범위에서 0.1 단위로 변화시키면서 각각의 경우에 대하여 미성숙개체와 성숙개체를 구분하였다. 또한 0.5-1.0 범위에서 모델 적합도가 가장 좋은 경우를 찾은 다음 육안판별법과 비교분석 하였다.

참조기의 성숙체장 추정을 위해 적용된 모델들에 대한 추정 결과는 Table 1과 같다. 모든 모델에서 로지스틱 회귀계수(sigmoid parameter)가 매우 높은 유의성($P < 0.001$)을 보여 주었으며, 결정계수와 모델 적합도 R_{Mc}^2 역시 R_{Mc}^2 가 0.7이상, AUC가 0.9 이상으로 높은 수준으로 평가되었다. L_{50} 의 경우 14.3-15.2 cm 범위, L_{75} 는 15.0-15.9 cm, $L_{97.5}$ 는 16.7-17.4 cm의 범위에서 추정되었으며, $L_{\%}$ 추정치들에 대한 95% 신뢰구간을 볼 때, 모든 모델에 대한 robustness가 비교적 강한 것으로 추정되었다. 모든 모델 중 육안판별법에 의한 모델적합도가 $R_{Mc}^2 = 0.805$, AUC=0.989으로 모두 가장 높게 추정되었다. GSI판별법 중에서는 GSI_{ref} 를 0.94로 적용했을 경우가 $R_{Mc}^2 = 0.792$, AUC=0.989로 추정됨으로써 가장 좋은 적합도를 나타냈으며, 육안판별법과 큰 차이없이 높은 수준이었다. 반면, GSI_{ref} 가 0.6일 경우에 가장 낮은 모델적합도를 나타냈다(Table 1).

체장에 따른 GSI분포도를 통해 육안판별법과 GSI판별법에

의한 성숙개체 차이를 비교분석 하였다. GSI판별법에서 GSI_{ref} 가 0.5일 경우에 육안판별법과 다르게 추정된 성숙개체수가 총 7개로 가장 많은 차이를 보였으며, 가장 좋은 모델적합도를 보였던 GSI_{ref} 가 0.94일 때와 GSI_{ref} 가 0.7 또는 0.8 때가 미숙 또는 성숙개체 차이가 1개로가 가장 적은 차이를 보였다(Fig. 1).

육안판별법과 GSI판별법 중 가장 좋은 적합도를 나타냈던 $GSI_{ref} = 0.94$ 에 대하여 체장에 따른 성숙개체비율을 관측값(observed data)과 모델에 적합된 예측값(predicted data)으로 비교 분석 하였다. 16-17 cm 구간에서, 육안판별법에서는 성숙개체로 판별된 하나의 개체가 GSI판별법에서는 미성숙개체로 판별됨에 따라 두 모델간의 추정치 차이가 발생하였다. 하지만 L_{50} 과 L_{75} 는 0.1, $L_{97.5}$ 에서는 0.2 차이로 두 모델 간 성숙체장 추정치에 대한 차이는 크지 않은 것으로 추정되었다(Fig. 2).

고 찰

본 연구에서는 참조기에 대한 과학적인 자원평가 및 자원관리를 위한 필수 기초자료인 정확한 성숙체장 추정을 위하여 최근 조사자료를 활용하고 측정환경이나 인적 오류를 감소시키고자 정량적 방법인 GSI판별법을 적용해보고 일반적인 육안판별법과 그 결과를 비교 분석하였다. 성숙체장 및 산란기 추정을 위한 성숙 발달 단계의 판별방법으로 육안판별법과 조직판별법 등 이미 널리 쓰이고 체계화된 방법들이 존재한다. 하지만 대부분 한국에 있는 실험실의 경우 위 방법을 정기적으로 일관성 있게 수행하기 위한 전문적 지식이나 경험을 갖춘 전문인력이 부족하여 인적 요인에 의한 오차가 발생할 위험성이 크다.

특히 참조기의 경우 연중 산란시기가 3-6월로 뚜렷하고, 성

Table 1. Results of two methods of visual method and GSI method used to estimate length at sexual maturity for the small yellow croaker *Larimichthys polyactis*

Method	Sigmoid parameter		Goodness of fit		Length at sexual maturity (cm)		
	α (SE)	β (SE)	R_{Mc}^2	AUC	L_{50} (95% C.I.)	L_{75} (95% C.I.)	$L_{97.5}$ (95% C.I.)
Visual method	-31.5* (7.29)	2.08* (0.469)	0.805	0.989	15.1 (14.7,15.6)	15.7 (15.2,16.1)	16.9 (15.9,17.5)
$GSI_{ref}=0.5$	-21.7* (4.49)	1.52* (0.303)	0.747	0.985	14.3 (13.6,14.9)	15.0 (14.3,15.5)	16.7 (15.4,17.6)
$GSI_{ref}=0.6$	-21.1* (4.10)	1.44* (0.267)	0.718	0.984	14.7 (14.0,15.3)	15.4 (14.8,15.9)	17.2 (16.3,18.0)
$GSI_{ref}=0.7$ or 0.8	-25.0* (5.18)	1.67* (0.334)	0.757	0.987	15.0 (14.3,15.5)	15.6 (15.1,16.0)	17.1 (16.1,17.9)
$GSI_{ref}=0.9$	-24.4* (4.94)	1.62* (0.316)	0.745	0.986	15.0 (14.4,15.5)	15.7 (15.2,16.1)	17.1 (16.1,17.9)
$GSI_{ref}=0.94$	-30.3* (6.80)	1.99* (0.434)	0.792	0.989	15.2 (14.8,15.6)	15.8 (15.3,16.1)	17.1 (16.1,17.7)
$GSI_{ref}=1.0$	-26.3* (5.40)	1.72* (0.342)	0.753	0.984	15.2 (14.8,15.7)	15.9 (15.3,16.3)	17.4 (16.3,18.1)

GSI, gonadosomatic index; GSI_{ref} , reference point of GSI determining 'Mature' or not; SE, standard error; R_{Mc}^2 , McFadden's R^2 ; AUC, area under the ROC curve; L_{50} , length at 50% maturity; L_{75} , length at 75% maturity; $L_{97.5}$, length at 97.5% maturity; Significance, * $P < 0.001$.

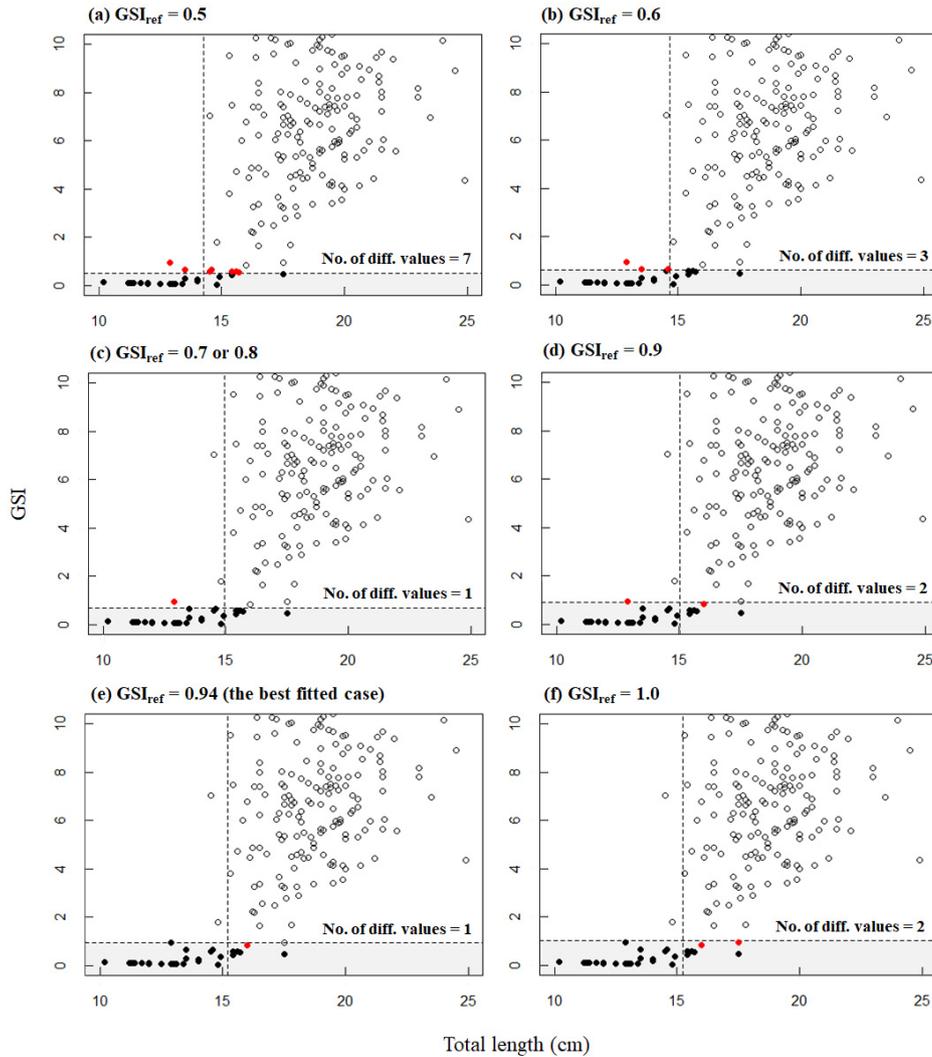


Fig. 1. Distributions of gonadosomatic index (GSI) by total length in GSI method in variations of GSI_{ref} for female small yellow croaker *Larimichthys polyactis* in the Yellow Sea of Korea. The black filled points show the samples defined as immature under GSI method, and the red filled points indicate the opposite maturity results to the visual method. The horizontal dotted lines are GSI_{ref} and the vertical dotted lines are L_{50} .

숙체장을 추정하기 위해 성숙여부만을 확실하게 구분하면 되므로, 상세한 성숙산란 생활사를 추정하는 조직판별법과 같은 전문인력과 관련장비, 시간이 요구되는 방법론을 적용하기에는 현실적으로 비효율적이며 정기적으로 연구를 수행함에 있어 어려움이 존재한다.

반면 GSI판별법에 사용되는 GSI를 구하기 위해 생식소를 찾아내고 그 무게를 측정하는 것은 큰 전문적 지식이 필요 없을 뿐만 아니라 방법론적 오차가 적고 소요시간이 단축된다. 또한 모든 자료가 정량적으로 측정되므로 오차가 존재하더라도 통계적으로 쉽게 발견하고 보정이 가능하다(Fontoura et al., 2009).

GSI판별법에서 가장 높은 모델 적합도를 나타낸 $GSI_{ref}=0.94$

의 경우, 육안판별법과의 성숙개체 차이가 단 하나이며, 모델 적합도 뿐만 아니라 성숙체장 추정치도 모든 L_{90} 에 대하여 값의 차이가 0.2 내외로 매우 유사한 결과를 보여주었다. 즉, 참조기에 대한 정량적인 GSI를 통해 성숙개체를 판단하여 성숙체장을 추정하는 GSI판별법의 정확성이 통계적으로 잘 입증되었다. 앞으로 지속적인 육안판별법 또는 조직판별법에 의한 비교 분석 결과와 가장 높은 모델 적합도를 가지는 GSI_{ref} 에 대한 정보를 축적하여 한국 서해 참조기 자원에 대한 통상적인 GSI_{ref} 를 정의한다면, GSI 값만을 통해 시간과 인력을 최소화하며 정확한 성숙체장을 추정할 수 있을 것이다.

한국 연근해 참조기의 성숙체장에 대한 연구로는 Park (1981)

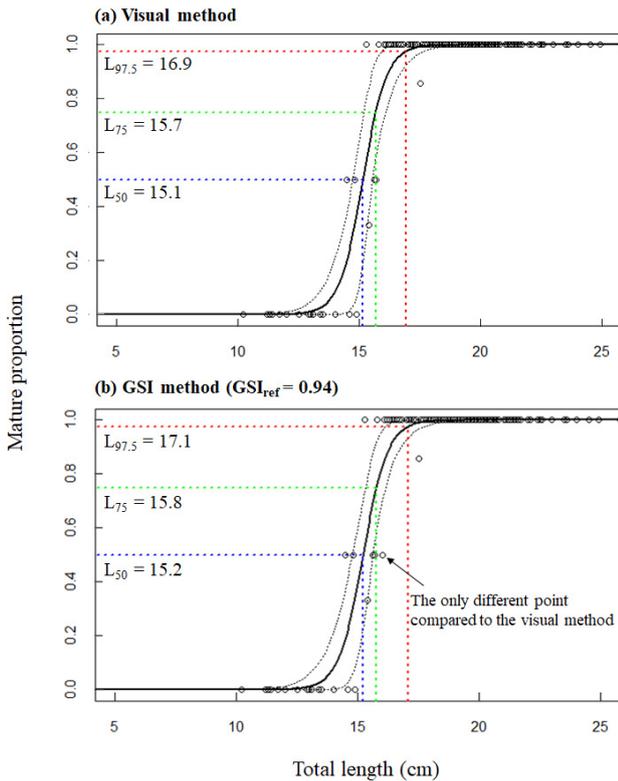


Fig. 2. Maturity ogive of two fitted model i.e., (a) visual method, (b) GSI method when GSI_{ref} value is 0.94 which is the best fitted case, for female small yellow croaker *Larimichthys polyactis* in the Yellow Sea of Korea. The black dotted lines show bootstrapping 95% confidence intervals for length at specific mature proportion. The blue, green and red dotted lines indicate 50%, 75%, 97.5% length at maturity, respectively.

과 Cho (2013)가 있으며, 각연구에서는 참조기의 성숙체장 L_{50} 을 각각 19.1 cm와 18.6 cm로 추정하였다. 반면, 본 연구에서는 L_{50} 이 육안판별법에서는 15.1 cm, GSI판별법에서는 15.2 cm로 추정되는 등 이전 연구결과와는 큰 차이를 보였다. 자원상태와 성숙체장 변화에 관한 연구에 따르면 자원이 고갈되면 해당 개체군이 조기 성숙하게 되어 성숙체장이 감소한다고 보고되고있다(Law, 2000). 자원 고갈의 또 다른 지표인 평균체장 감소현상이 최근 연구해 참조기에서도 발생하고 있다는 연구결과(Yeon et al., 2010)와 우리나라와 참조기 자원을 공동으로 이용하는 중국에서도 남획으로 인해 참조기 자원과 평균체장이 감소하고 조기성숙 현상(Li et al., 2011; Lin et al., 2011)이 보고되고 있는 것을 종합적으로 고려할 경우, 우리나라 연구해 참조기의 성숙체장 감소 원인이 자원고갈과 밀접한 관계가 있는 것으로 보이며 이에 대한 자원평가 연구가 추가적으로 필요하다.

본 연구에서 사용된 참조기 시료 중 현재 금지체장 15cm이하에 해당하는 시료는 전체 266미 중 25미로 매우 적은수준이다.

실질적으로 성숙체장의 정확도를 향상시키기 위해서는 성숙체장으로 예상되는 체장을 중심으로 많은 샘플이 수집 되어야 한다. 따라서 향후에는 성숙체장의 신뢰도를 향상시키기 위하여 본 연구에서 추정된 성숙체장 약 15 cm를 중심으로 집중적인 샘플링을 통해 지속적인 재추정 및 보정이 필요하다. 또한 앞선 여러 연구에서 성숙체장 추정을 한가지 방법이 아닌 여러가지 모델로 추정하고 비교분석하는 것을 권장하고 있는 실정이므로 (Trippel and Harvey, 1991; Fontoura et al., 2009; Jodie et al., 2015), 더 다양한 모델을 적용하고 비교분석함으로써 정확도를

Table 2. Number of female fish of the small yellow croaker *Larimichthys polyactis* classified into seven maturity scales (i.e. I, immature; II, maturing; III, mature; IV, ripe; V, spawning; VI, spent; VII, recovering) in the visual maturity method

Total length range (cm)	I	II	III	IV	V	VI	VII
10	11	1	0	0	0	0	0
11	12	4	0	0	0	0	0
12	13	7	0	0	0	0	0
13	14	7	0	0	0	0	0
14	15	6	1	1	0	0	0
15	16	4	4	2	0	0	0
16	17	0	8	12	0	0	0
17	18	1	11	19	1	0	0
18	19	0	13	14	1	0	0
19	20	0	20	33	2	0	0
20	21	0	8	20	0	0	0
21	22	0	3	12	1	0	0
22	23	0	0	4	1	0	0
23	24	0	0	2	3	0	0
24	25	0	0	1	2	0	0
25	26	0	0	1	1	0	0
26	27	0	0	0	1	0	0
27	29	0	0	0	3	0	0
29	30	0	0	0	1	0	0
30	31	0	0	0	3	0	1
31	32	0	0	1	6	0	1
32	33	0	0	0	4	1	0
33	34	0	0	0	2	1	0
34	35	0	1	1	1	0	0
35	36	0	0	0	1	0	0
36	37	0	0	0	2	0	0
37	38	0	0	0	1	0	0
38	39	0	0	0	1	0	0
Sum	30	69	123	38	2	1	3

Table 3. Number and proportion of matured female fish of the small yellow croaker *Larimichthys polyactis* in the visual maturity method

Total length range (cm)	Total number	Matured number	Matured proportion	
10	11	1	0	0.00
11	12	4	0	0.00
12	13	7	0	0.00
13	14	7	0	0.00
14	15	8	2	0.25
15	16	10	6	0.60
16	17	20	20	1.00
17	18	32	31	0.97
18	19	28	28	1.00
19	20	55	55	1.00
20	21	28	28	1.00
21	22	16	16	1.00
22	23	5	5	1.00
23	24	5	5	1.00
24	25	3	3	1.00
25	26	2	2	1.00
26	27	1	1	1.00
27	29	3	3	1.00
29	30	2	2	1.00
30	31	4	4	1.00
31	32	8	8	1.00
32	33	6	6	1.00
33	34	3	3	1.00
34	35	3	3	1.00
35	36	1	1	1.00
36	37	2	2	1.00
37	38	1	1	1.00
38	39	1	1	1.00
Sum	266	236	-	

향상시켜 나가야한다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원(시험연구사업, R2019020)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, 2019.

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.

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

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.

Fontoura NF, Braun AS and Milani PCC. 2009. Estimating size at first maturity (L50) from Gonadosomatic Index (GSI) data. Neotrop Ichthyol 7, 217-222.

Hanley JA and McNeil BJ. 1982. The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. Radiology 143, 29-36.

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.

Jodie A, Haig JR, Pantin HS, Lee GM, Michel JK. 2015. Temporal and spatial variation in size at maturity of the common whelk (*Buccinum undatum*). ICES J Mar Sci 72, 2707-2719. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsv128>.

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.

KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2019. Statistic database for fisheries production. Retrieved from <http://kosis.kr/index/index.do> on Nov 20, 2019.

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>.

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 JA Nelder. 1989. Generalized Linear Models,

- 2nd ed. Chapman & Hall, London, U.K.
- McFadden D. 1974. Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. In: *Frontiers in Economics*, P. Zarembka, eds. Academic Press, New York, NY, U.S.A.
- Shojima E and Otaki H. 1982. Lunar rhythmic catch fluctuation in the yellow croaker, *Pseudosciaena poliactis*. Bull Fish Res Dev Agency 28, 147-166.
- Trippel EA and Harvey HH. 1991. Comparison of methods used to estimate age and length of fishes at sexual maturity using populations of white sucker (*Catostomus commersoni*). Can J Fish Aquat Sci 48, 1446-1495.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2020. Guidance on determination of maturity scales. National Institute of Fisheries Science, Busan, Korea.
- 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.
- 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 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>.
- 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.