

## 전라남도 칠산도 주변 참조기(*Larimichthys polyactis*) 어란 출현의 첫 보고

장서하 · 김진구\* · 유정화<sup>1</sup>

부경대학교 자원생물학과, <sup>1</sup>유정화해양연구소

### First Report on the Occurrence of Eggs of the Small Yellow Croaker *Larimichthys polyactis* from Chilsan-do Island, Jeollanam-do, Korea

Seo-Ha Jang, Jin-Koo Kim\* and Jung-Hwa Ryu<sup>1</sup>

Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

<sup>1</sup>Ryujunghwa Marine Research Institute, Busan 47323, Korea

Chilsan-do Island, South Korea, has previously been identified as one of the biggest spawning sites of the small yellow croaker *Larimichthys polyactis* in the Yellow Sea. To determine whether Chilsan-do still serves as a spawning site for *L. polyactis*, three to five stations around Chilsan-do Island were surveyed for eggs from April to June (the main spawning season of *L. polyactis*) in 2019, using an RN80 net. For the first time, three *L. polyactis* eggs were identified at two stations, located just in front of Chilsan-do Island and between Chilsan-do and the coastline, only in May. The diameter of *L. polyactis* eggs (1.26-1.34 mm) was very similar to those of *Collichthys niveatus* (1.30-1.37 mm) and *Setipinna tenuifilis* (1.34-1.35 mm). During the survey period, the sea surface salinity remained constant (32.0-32.1 psu), but the sea surface temperature (SST) rapidly rose from 13.6-13.7°C in April to 22.1°C in May. Our findings suggest that *L. polyactis* still spawns near Chilsan-do Island today, but on a very small scale, and that changes in SST promote spawning of *L. polyactis*.

Keywords: *Larimichthys polyactis*, eggs, molecular identification, Chilsan-do

## 서론

참조기(*Larimichthys polyactis*)는 농어목(Perciformes) 민어과(Sciaenidae)에 속하는 해양 저서어류로서 우리나라의 서남해, 발해만, 동중국해의 수심 40-200 m의 바닥이 모래나 빨린 해역에 서식하는 연안 회유성 어류이다(Baik et al., 2004; Eschmeyer et al., 2019). 참조기의 산란기는 3-6월로, 우리나라 근해에서는 12월부터 이듬해 2월까지 제주도 서남부에서 월동한 후 3-4월부터 황해 연안으로 북상 회유를 시작하여 4월에는 칠산도, 5-6월에는 연평도 근해까지 회유하며 산란을 마친 후, 외해로 이동하여 10월 하순부터 남하하여 11월 이후에는 월동장에 이르는 것으로 알려져 있다(Zhang et al., 1992; Baik et al., 2004; Lee et al., 2013). 참조기는 한국, 중국 등 동북아시아의 연근해 어업에서 경제적으로 매우 큰 비중을 차지하고 있다. 한국의 참조기어장은 전라남도 칠산도, 경기도 연평도 부근

이 가장 대표적인 어장이었다. 특히 전라도의 칠산어장은 조선 시대부터 최대의 참조기어장으로 유명하였으며, 범성포를 중심으로 굴비 가공업이 발달하였다(Park, 2012). 그러나, 최근에는 수온상승과 같은 해양환경의 변화, 남획 등으로 제주도 근해의 추라도 주변과 전라남도 흑산도 부근으로 주 어장이 이동하고 있다(Park, 2012).

전라남도 영광군 칠산도 주변 연안은 제주 주변해역에서 월동한 참조기가 산란을 위해 북상하는 길목에 위치하며, 예로부터 참조기의 주 산란장으로 유명한 지역이었다(Park, 2012; Lee et al., 2013). 그러나 최근 간척사업, 영광원전 건립 등으로 유입되는 담수의 양이 변화하고 주변 환경이 크게 변해 칠산도 주변 연안의 어획량은 크게 감소하였고 나아가 참조기 산란장 기능이 있는지 의문시 되고 있다. 지금까지 우리나라에서 참조기에 대한 연구로는 성장(Hwang and Choi, 1980; Kim et al., 2006), 생식생태(Kang et al., 2006; Han et al., 2010; Lim et al., 2010),

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5927 Fax: +82. 51. 629. 5931

E-mail address: taengko@hanmail.net



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.2020.0650>

Korean J Fish Aquat Sci 53(4), 650-655, August 2020

Received 13 April 2020; Revised 20 May 2020; Accepted 2 June 2020

저자 직위: 장서하(대학원생), 김진구(교수), 유정화(연구소장)

자원평가 및 장기변동(Yeon, 2010; Lee et al., 2013), 집단유전(Kim et al., 2010; Kim et al., 2012), 초기발생(Myoung et al., 2004) 등이 주로 수행되었으나 참조기의 산란성육장을 파악하기 위한 칠산도에서의 난자치어 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 과거 참조기의 산란장으로 알려졌던 칠산도 주변 해역에서 어란 채집 조사를 통해 참조기 산란장 형성 유무를 파악하고자 하였다.

## 재료 및 방법

참조기 어란 출현 유무를 확인하기 위해 2019년 4월에서 6월 까지 매월 1회 전라남도 영광군 범성포에서 칠산도-송이도에 이르는 해역까지 총 5개 정점을 선정하여 조사를 수행하였다 (Table 1). 어란의 채집은 RN80 net (망구 80 cm, 망목 330 μm)의 망구에 유량계를 부착하여 2 knots 속도로 5분간 표층에서 1-2 m 수층을 수평인망 방법으로 채집하였다. 채집된 시료는 즉시 선상에서 94% 에틸알코올(EtOH)에 고정하여 실험실로 운반하였으며, 이후 세척 후 솔팅하였다. 조사기간동안 모든 정점에서 수온 및 염분은 디지털 측정기(86021 AZ IP67 Combo PH/Conductivity/SALT/TDS/DO Meter, Taichung, Taiwan)를 이용하여 측정하였다.

어란의 형태적 관찰에는 입체해부현미경(SZX-16, Olympus, Tokyo, Japan)을 사용하였으며 참조기의 난경범위(1.2-1.4 mm)를 포함한 난경 1.0-1.7 mm 범위에 속하는 어란들을 대상으로 분자동정을 실시하였다. 4월에는 st. 3에서만 어란이 채집되어 전량 분자동정을 실시하였다. 총 DNA는 어란을 통째로 니들로 잘게 으갠 다음 Chelex® 100 Resin (Bio-Rad Lab. Inc., Hercules, CA, USA)을 이용하여 추출하였다. 미토콘드리아 DNA COI 영역을 증폭하기 위해 VF2 (5'-TCA ACC AAC CAC AAA GAC ATT GGC AC-3')와 FishR2 (5'-ACT TCA GGG TGA CC G AAG AAT CAG AA-3') 프라이머(Ward et al., 2005)를 이용하였다. 증합효소 연쇄반응(PCR)은 10X

PCR 버퍼 2 μL, 2.5mM dNTP 1.6 μL, VF2 프라이머 1 μL, FishR2 프라이머 1 μL, Takara Taq 증합효소 0.1 μL를 섞은 혼합물에 총 DNA 3 μL를 첨가한 후, 총 20 μL가 될 때까지 3차 증류수를 넣고 열순환기(Bio-rad MJ mini PCT-1148, Bio-Rad Laboratories Inc., California, CA, USA)를 이용하여 다음과 같은 조건에서 PCR을 수행하였다[초기변성은 95°C에서 5분; PCR 반응은 35회 반복 (변성은 95°C에서 1분, 어닐링은 52°C에서 1분, 신장은 72°C에서 1분; 최종 신장은 72°C에서 5분)]. 염기서열은 ABI 3730XL DNA Analyzer (96 capillary type)에서 ABI Prism BigDye Terminator v3.1 ready reaction cycle sequencing Kits (Applied Biosystems, Foster City, CA, USA)를 이용하여 얻었다. 미토콘드리아 DNA COI 염기서열의 정렬은 BioEdit (ver. 7) (Hall, 1999)의 CLUSTAL W (Thompson et al., 1994)를 이용하여 정렬하였다. 종동정은 NCBI (national center for biotechnology information)의 database에 업로드된 유전자 정보들과 해양어류자원 기탁등록보존기관에서 보유하고 있는 염기서열 비교를 통해 실시하였다[Acanthopagrus schlegelii (KY371060); Collichthys niveatus (MF004327); Konosirus punctatus (KU302353); Larimichthys polyactis (PKU 7989; KF965442); Planiliza haematocheila (PKU 10191); Platycephalus indicus (PKU 10614; KP641490); Scomberomorus niphonius (MF123125); Setipinna tenuifilis (PKU 7680; KF965431); Thyryssa adela (PKU 51254); Thyryssa kammalensis (PKU 53284)]. 채집된 어란의 염기서열과 비교개체 염기서열 간의 유전거리는 Mega X (Kumar et al., 2018) Kimura-2-parameter 모델(Kimura, 1980)을 이용하여 계산하였으며, 계통도는 근린결합법(neighbor joining method)을 사용하여 구하였다. 부트스트랩은 1,000번 수행하였다. 분석한 어란들의 염기서열은 NCBI database에 등록 하였다[Acanthopagrus schlegelii : PKUI 727 (MT293869), PKUI 728 (MT293870); Collichthys niveatus : PKUI 729 (MT293871),

Table 1. Sampling date, stations, depth, temperature, and salinity in the present study

Sampling date	No. of stations	Depth (m)	Latitude	Longitude	Temperature (°C)	Salinity (psu)
2019.04.26.	St. 3	4.3	35° 20' 04.0" N	126° 17' 55.0" E	13.6	32.0
	St. 4	5.0	35° 21' 25.9" N	126° 20' 25.6" E	13.7	32.0
	St. 5	3.6	35° 23' 30.3" N	126° 23' 87.0" E	14.8	32.0
2019.05.14.	St. 1	10.6	35° 16' 25.3" N	126° 9' 41.1" E	19.1	33.0
	St. 2	9.2	35° 18' 66.8" N	126° 12' 83.8" E	20.8	32.1
	St. 3	5.9	35° 19' 61.0" N	126° 17' 04.8" E	22.1	32.1
	St. 4	5.1	35° 21' 58.4" N	126° 21' 36.8" E	22.1	32.0
	St. 5	5.1	35° 23' 23.5" N	126° 23' 88.6" E	22.1	32.0
2019.06.08.	St. 3	4.5	35° 19' 79.1" N	126° 17' 30.6" E	21.4	32.0
	St. 4	5.1	35° 21' 27.8" N	126° 20' 64.9" E	21.9	32.1
	St. 5	5.6	35° 23' 23.5" N	126° 23' 72.1" E	22.4	32.1

PKUI 730 (MT293872); *Konosirus punctatus* : PKUI 731 (MT293873); *Larimichthys polyactis* : PKUI 732 (MT293874), PKUI 733 (MT293875), PKUI 734 (MT293876); *Planiliza haematocheila* : PKUI 735 (MT293877); *Platycephalus indicus* : PKUI 736 (MT293878); *Scomberomorus niphonius* : PKUI 737 (MT293879), PKUI 738 (MT293880); *Setipinna tenuifilis* : PKUI 739 (MT293881), PKUI 740 (MT293882); *Thryssa adalae* : PKUI 741 (MT293883); *Thryssa kammalensis* : PKUI 742 (MT293884), PKUI 743 (MT293885)].

## 결 과

### 해양환경 변화

조사해역의 표층 수온은 13.6-22.4°C의 범위를 보였고 4월의 표층수온 범위가 13.6-14.8°C의 범위를 보인 반면, 5월과 6월은 수온이 크게 상승하여 19.1-22.4°C의 범위를 보였다(Table 1). 염분은 4월부터 6월까지 모든 정점에서 32.0-33.0 psu의 범위를 보였으며 5월 가장 바깥쪽 st. 1의 염분이 33.0 psu로 다소 높았지만 나머지 정점들은 거의 변화가 없었다. 조사 해역의 수심은 가장 외측에 위치한 st. 1과 st. 2에서 각각 10.2 m, 9.6 m를 나타내었고 칠산도 부근의 st. 3과 육지에 인접한 st. 4와 st. 5는 3.6-5.9 m의 범위를 나타내었다.

### 어란의 분포

난경 범위 1.00-1.70 mm에 속하는 어란을 대상으로 미토콘드리아 DNA COI 염기서열을 분석한 결과, 4목(청어목, 송어목, 솜뱅이목, 농어목) 7과(멸치과, 청어과, 송어과, 양태과, 도미과, 민어과, 고등어과) 11종이 확인되었다. 분류군별로 청

어목(Clupeiformes) 어류가 2과 5종, 농어목(Perciformes) 어류가 3과 4종, 송어목(Mugiliformes) 어류가 1과 1종, 솜뱅이목(Scorpaeniformes) 어류가 1과 1종씩 출현하였다(Table 2). 분석한 어란들과 비교 염기서열과의 유전거리는 0-0.7%로 중 수준에서 잘 일치하였다(Fig. 1). 조사기간 중 채집된 어란의 평균 개체수는 삼치(*Scomberomorus niphonius*)가 178 ind./1,000m<sup>3</sup>로 가장 많았고, 다음으로 전어(*Konosirus punctatus*) 106 ind./1,000m<sup>3</sup>, 감성돔(*Acanthopagrus schlegelii*) 69 ind./1,000m<sup>3</sup>, 청멸(*Thryssa kammalensis*) 45 ind./1,000m<sup>3</sup>, 반지(*Setipinna tenuifilis*) 33 ind./1,000m<sup>3</sup>, 눈강달이(*Collichthys niveatus*) 21 ind./1,000m<sup>3</sup>의 순으로 나타났다. 그 외 양태(*Platycephalus indicus*), 참조기(*Larimichthys polyactis*), 가송어(*Planiliza haematocheila*), 멸치(*Engraulis japonicus*), 풀반댕이(*Thryssa adalae*) 순으로 8-19 ind./1,000m<sup>3</sup> 범위로 출현하였다(Table 2). 미동정 어란을 포함한 월별 총 출현량은 4월 82 ind./1,000m<sup>3</sup>, 5월 68,372 ind./1,000m<sup>3</sup>, 6월 141,754 ind./1,000m<sup>3</sup>로 5월에 출현량이 급증하였으며 6월은 5월 출현량의 2배 이상으로 최고를 기록하였다.

### 참조기 어란과 기타 어란의 형태 비교

2019년 5월에 칠산도 부근의 st. 3과 칠산도와 육지 사이의 중간 정점인 st. 4에서 참조기 어란이 각각 1개체, 2개체가 채집되었다. 5월 st. 3의 표층수온은 22.1°C, 표층염분은 32.1 psu, 수심은 5.9 m이었으며 st. 4의 표층수온은 22.1°C, 표층염분은 32.0 psu, 수심은 5.1 m였다. 참조기 어란은 구형으로 난경 1.26-1.34 mm 범위에 있었다. 또한 1개의 무색 투명한 유구를 가지며 난막의 표면은 매끄럽고 특이한 무늬가 없었다. 배체 형성 전의 어란 2개체는 난경 1.26-1.27 mm로 난막에 흑색소포가 없고 위란강은 매우 좁았다. 배체 형성 중의 어란 1개체는 난경 1.34 mm로 배체가 난 둘레의 절반을 차지하고 있으며 배체의 등쪽에 점 모양의 흑색소포가 드물게 관찰되었다. 유구 주변으로 점 모양의 흑색소포가 관찰되었다(Fig. 2).

참조기 어란(1.26-1.34 mm)과 비슷한 크기에 속하는 어란은 6종(가송어, 1.03-1.08 mm; 양태, 1.07-1.12 mm; 청멸, 1.03-1.20 mm; 눈강달이, 1.30-1.37 mm; 반지, 1.34-1.35 mm; 풀반댕이, 1.43-1.46 mm)이었다(Fig. 2). 그 중 눈강달이와 반지는 참조기의 난경과 거의 일치하였다. 기타 어란들은 난막에 특별한 무늬가 관찰되지 않았으며 배체 형성 중인 감성돔, 눈강달이, 양태 어란은 배체의 등쪽에 전체적으로 흑색소포가 진하게 분포하였다. 반면, 배체 형성 중인 청멸 어란은 배체에 흑색소포가 관찰되지 않았다. 양태, 감성돔 어란은 나머지 어란들에 비해 위란강이 다소 큰 경향을 보였다.

## 고 찰

본 조사에서 참조기 어란은 5월에 칠산도(st. 3) 및 칠산도-해안선 사이(st. 4)에서만 채집되었으며 4월과 6월에는 채집되지

Table 2. Species composition of pelagic eggs in Chilsan-do Island in 2019

Species	April	May	June	Total
<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	69			69
<i>Collichthys niveatus</i>			21	21
<i>Engraulis japonicus</i>		13		13
<i>Konosirus punctatus</i>		106		106
<i>Larimichthys polyactis</i>		19		19
<i>Planiliza haematocheila</i>	13			13
<i>Platycephalus indicus</i>		19		19
<i>Scomberomorus niphonius</i>		178		178
<i>Setipinna tenuifilis</i>			33	33
<i>Thryssa adalae</i>			8	8
<i>Thryssa kammalensis</i>			45	45
Unidentified spp.		68,037	141,647	209,684
Total	82	68,372	141,754	210,208

(unit: eggs/1,000 m<sup>3</sup>)

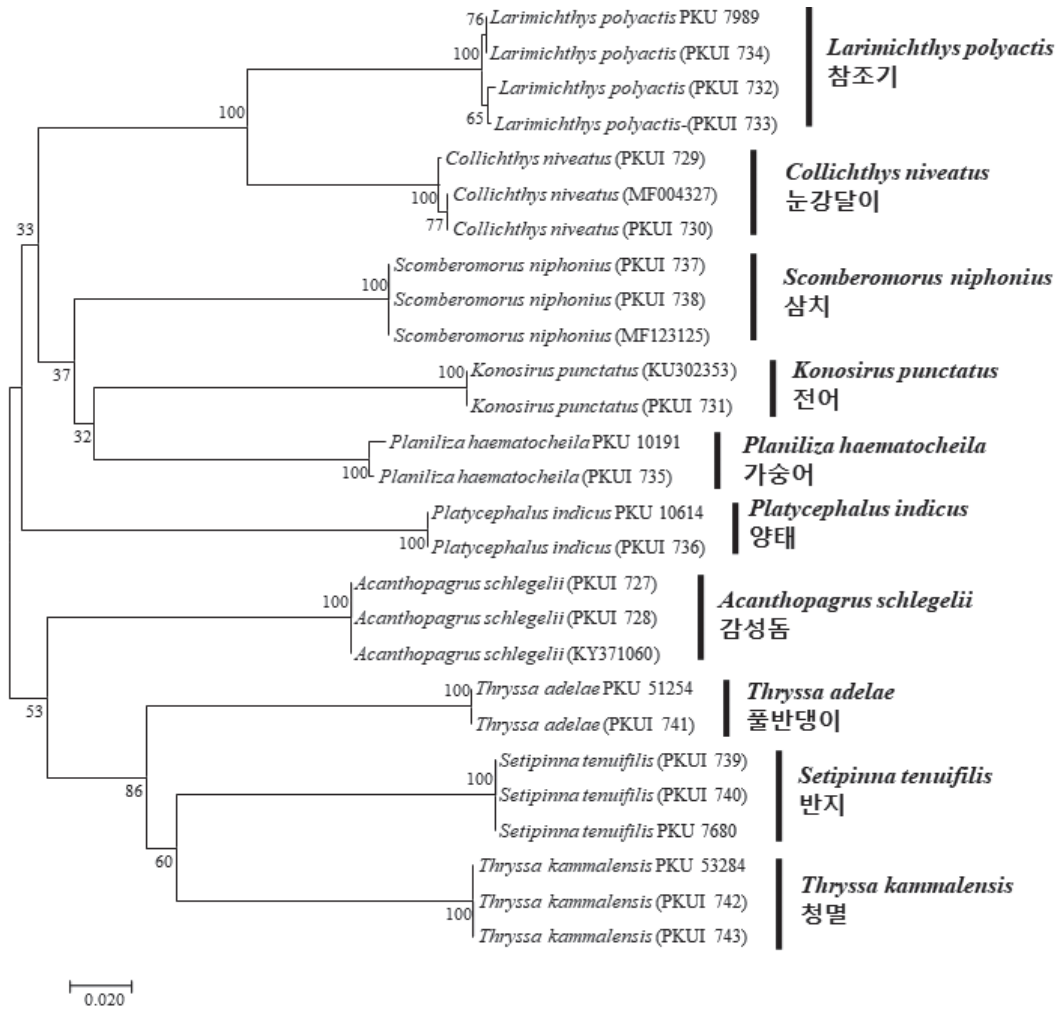


Fig. 1. Neighbor-joining tree based on partial mtDNA COI sequences of 10 species of eggs collected from Chilsan-do Island, Jeollanam-Do. The tree was constructed using the Kimura 2-parameter model and 1000 bootstrap replications. The bottom bar indicates a genetic distance of 0.02.

않았다. 총 3회의 조사기간 동안 두 정점에서 표층염분의 변화는 거의 없었지만(32.0-32.1 psu), 표층수온은 4월에 st. 3, 4가 13.6-13.7°C의 범위를 보인 반면 5월에는 22.1°C로 크게 상승하였다(Table 1). 이번 조사에서 참조기 알은 5월에 출현한 반면, 눈강달이와 반지는 6월에 출현하였으나, 칠산도 주변 해역에서 세 종의 출현시기를 명확히 알기 위해서는 향후 좀 더 세밀한 추가 연구가 필요하다. 만일 세 종이 출현시기에서 잘 구분된다면 난경에서 구분되지 않는 참조기와 나머지 두 종(눈강달이, 반지)을 구분하는데 중요한 식별기로 활용 가능하기 때문이다.

자연산 암컷 참조기의 생식주기를 조사한 결과, 최종성숙과 배란은 5월에 이루어졌으며, 이후 퇴화기에 접어들는데 연안 수온 상승이 생식소를 활성화시키는 것으로 확인되었다(Kang et al., 2006). 또한, 성장기 난모세포들이 여러 단계의 발달상을 나타내는 점에서 산란기 동안 다회 산란할 것으로 추정하였다

(Kang et al., 2006). 비록 본 조사에서 참조기 알은 5월에 단 한번 채집되어 Kang et al. (2006)의 주장을 지지하지는 못하였으나, 다회 산란이 며칠 또는 몇주 간격으로 일어난다면 향후 조사시기를 더 조밀하게 변경해서 수행할 필요가 있을 것이다.

칠산도 주변 연안은 오래 전부터 참조기 산란장으로 유명한 곳이었다. 하지만 본 연구에서 5월에 어란이 3개체만 발견되어 기존에 알려졌던 것과 큰 차이를 보였다. 해양환경, 특히 수온 변화는 해양생물의 분포, 성숙 및 산란에 영향을 미치는 요인이다. 완도 주변해역 어류 종조성의 12년 전후를 비교한 연구에 의하면, 여름철 수온 상승의 둔화가 회유성 어류의 군집구조에 영향을 미쳤다고 보고된 바 있다(Yoo et al., 2014). 한편, 영광 주변해역에서 트롤에 의한 어류 종조성 비교 결과에서도 1986년에 비해 1995년에 보구치(*Pennahia argentata*)의 어획량이 적은 것을 수온의 영향 때문으로 보았다(Kim, 2009). 칠산도 주



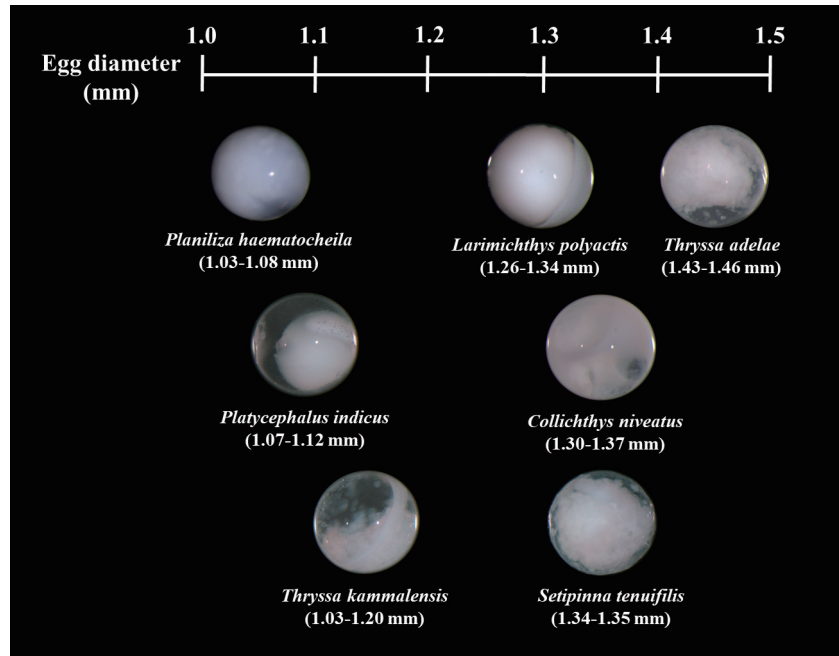


Fig. 2. Photos showing diverse eggs similar with yellow croaker *Larimichthys polyactis* in size (1.0-1.5 mm).

변 해역은 영광원전이 위치한 곳으로, 원전에서 배출되는 온배수와 방파제로 인한 수온, 해류 및 해저지형의 변화가 보고된 바 있다(Kim et al., 2005). 이러한 원전 건립에 따른 해양환경의 변화가 참조기 산란에 어떤 영향을 미쳤는지 알 수 없지만 이번 조사를 통해 칠산도 인근에서 참조기 산란이 매우 소규모로 일어남을 확인할 수 있었다.

환경 요인 중 만월 주기와 관련된 달빛의 세기, 조수간만의 차이가 해양생물의 생식 활동에 영향을 미친다고 보고된 바 있다(Ikegami et al., 2014). 조류의 흐름은 해양생물의 유생 분포에도 영향을 주는데, 갯새우(*Acetes japonicus*) 후기유생(Megalopa)은 연안 가까이 체류하기 위해 밀물시 조류를 이용하는 것으로 알려져 있다(Jo and Omori, 1996). 본 연구에서 참조기의 어란이 출현한 5월 14일은 1물로 조수간만의 차와 조류의 세기가 상대적으로 약한 시기였다. 참조기의 산란 또한 만월 주기에 따른 조수 간만 또는 조류 세기의 영향을 받을 수 있으므로 향후 만월 주기를 고려한 보완 조사가 필요할 것이다. 또한, 참조기 어란이 출현한 st. 3은 수심이 갑자기 알아지는 해역(10 m→5 m)에 위치하고 있어 이러한 수심 변화가 참조기 산란에 어떤 영향을 주는지 향후 보완 조사가 필요하다고 생각된다.

## 사 사

이 논문은 2020년도 해양수산과학기술진흥원 해양수산생명공학기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. 20170431). 본 논문을 세심하게 검토해 주신 세분의 심사위원

께 감사합니다.

## References

- Baik CI, Cho KD, Lee CI and Choi KH. 2004. Oceanographic conditions of fishing ground of yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis*) in Korean Waters. Korean J Fish Aquat Sic 37, 232-248. <https://doi.org/10.5657/kfas.2004.37.3.232>.
- Eschmeyer WN, Fricke R and van der Laan R. 2019. Catalog of fishes: genera, species, references. Retrieved from <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp> on Apr 22, 2019.
- Hall TA. 1999. BioEdit: A user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for windows 95/98/ NT. Nucleic Acids Symp 41, 95-98. [https://doi.org/10.14601/Phytopathol\\_Mediterr-14998u1.29](https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-14998u1.29).
- Hwang BN and Choi SH. 1980. Age and growth of yellow croaker, *Pseudosciaena manchurica* Jordan et Thompson, in the Yellow Sea and the East China Sea. Bull Fish Res Dev Agency 23, 171-178.
- Ikegami T, Takeuchi Y, Hur SP and Takemura A. 2014. Impacts of moonlight on fish reproduction. Mar Genomics 14, 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.margen.2013.11.007>.
- Jo SG and Omori M. 1996. Seasonal occurrence and vertical distribution of larvae and post-larvae of the pelagic shrimp, *Acetes japonicus* Kishinouye (Sergestinae), in the central part of the Seto inland sea, Japan. Bull Plankton Soc Japan 43, 75-87.

- Kang DY, Jo KC, Lee JH, Kang HW and Kim HC. 2006. Annual reproductive cycle of wild female yellow croaker, *Larimichthys polyactis*. J Aquacult 19, 188-196.
- Kim JK. 2009. Diversity and conservation of Korean marine fishes. Kor J Ichthyol 21, 52-62.
- Kim JK, Kim YH, Kim MJ and Park JY. 2010. Genetic diversity, relationships and demographic history of the small yellow croaker, *Larimichthys polyactis* (Pisces: Sciaenidae) from Korea and China inferred from mitochondrial control region sequence data. Anim Cells Syst 14, 45-51. <https://doi.org/10.1080/19768351003764973>.
- Kim JK, Min GS, Yoon M, Kim Y, Choi JH, Oh TY and Ni Y. 2012. Genetic structure of *Larimichthys polyactis* (Pisces: Sciaenidae) in the Yellow and East China Seas inferred from microsatellite and mitochondrial DNA analyses. Anim Cells Syst 16, 313-320. <https://doi.org/10.1080/19768354.2011.652668>.
- Kim TG, Koo JW, Lee SH, Kim SH and Jang DK. 2005. A resident survey on the effects of nuclear power plants on Yeong-Gwang Province. J Kor Region Develop Assoc 37, 1-41.
- 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. Kor J Ichthyol 18, 45-54.
- Kimura M. 1980. A simple method for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. J Mol Evol 16, 111-120.
- Kumar S, Stecher G, Li M., Knyaz C and Tamura K. 2018. MEGA X: molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. Mol Biol Evol 35, 1547-1549. <https://doi.org/10.1093/molbev/msy096>.
- Lee JH, Seo YI, Oh TY and Lee DW. 2013. Estimations on population ecological characteristics of small yellow croaker, *Larimichthys polyactis* by the drift gillnet fishery in Korean waters. J Kor Soc Fish Tech 49, 440-448. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2013.49.4.440>.
- 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>.
- Myoung JG, Kim YU, Park YJ, Kim PK, Kim JM and Huh HT. 2004. Embryonic development, larvae and juveniles of the small yellow croaker *Larimichthys polyactis* reared in aquarium. Korean J Fish Aquat Sci 37, 478-484. <https://doi.org/10.5657/kfas.2004.37.6.478>.
- Park JM. 2012. A study on the movement of croaker fishery form change of production methods. Kor J Agricul His 11, 156-175.
- Thompson JD, Higgins DG and Gibson TJ. 1994. Clustal W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. Nucl Acids Res 22, 4673-4680. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6754-9\\_3188](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6754-9_3188).
- Ward RD, Zemlac TS, Innes BH, Last PR and Hebert PD. 2005. DNA barcoding Australia's fish species. Phil Trans R Soc B 360, 1847-1857. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1716>.
- Yeon IJ, Lee DW, Lee JB, Choi KH, Hong BK, Kim JI and Kim JI. 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>.
- Yoo JT, Kim JK and Choi MS. 2014. Change of structure community of fish collected by a gape net with wings after 12 years in the Coast of Wando Island, Korea. Korean J Fish Aquat Sci 47, 659-666. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0659>.
- Zhang CI, Kim S and Yoon SB. 1992. Stock assessment and management implications of small yellow croaker in Korean waters. Bull Kor Fish Soc 25, 282-290.