

한국 서해에 출현하는 용가자미, *Cleisthenes pinetorum* 암컷의 성숙과 산란

최동혁 · 윤병일 · 이승환 · 권대현 · 김맹진*

국립수산과학원 서해수산연구소 자원환경과

Maturity and Spawning of the Pointhead Flounder *Cleisthenes pinetorum* in the West Sea of Korea

Dong Hyuk Choi, Byoung Il Youn, Seung Hwan Lee, Dae Hyeon Kwon and Maeng Jin Kim*

West Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science (NIFS), Incheon 22383, Republic of Korea

This study revealed the reproductive biology of pointhead flounder *Cleisthenes pinetorum*, in the middle of the West Sea of Korea. We collected samples using gill net and drag net fisheries in coastal waters from January to December 2019. Monthly gonadosomatic index and maturity stage results showed that the spawning period was October to December, and the females grew faster than the males. The fecundity ranged from 16,728 to 1,039,616 number of eggs, and the relationship between TL and fecundity (F) was $0.0000003TL^{4.7434}$ ($R^2=0.4898$). The size-frequency distribution of eggs suggested that *C. pinetorum* spawn once during a spawning period. The length at 50% maturity for females was estimated to be 18.9 cm.

Keywords: Pointhead flounder, *Cleisthenes pinetorum*, Maturity, Spawning, West Sea

서론

용가자미(*Cleisthenes pinetorum*)는 가자미목(Pleuronectiformes) 가자미과(Pleuronectidae)에 속하며, 우리나라 및 일본 연안, 발해만 및 동중국해까지 넓게 분포하며, 수심이 100–250 m의 모래나 개펄 바닥에 서식하고, 겨울부터 이듬해 여름까지 산란하는 것으로 알려져 있다(NFRDI, 2004). 용가자미를 비롯한 가자미과 어류는 전 세계에 약 39속 93종이 서식하는 것으로 알려져 있으며, 그중 15속 26종이 우리나라에 출현하는 것으로 보고되었다(Kim et al., 2005; Nelson, 2006). 용가자미의 식성은 새우류(Macrura), 두족류(Cephalopoda), 거미불가사리류(Ophiruroidea), 어류(Pisces) 등을 주로 섭식하는 육식성 어류이다(Huh and Baeck, 2003; Choi et al., 2021b).

2000년부터 2020년까지 서해(인천광역시, 경기도, 충청남도, 전라북도)의 가자미류는 2006년 최고 4,200여톤이 어획되었고, 점차 감소하여 최근 10년간 1,500–2,500톤의 어획량을 보이고 있으며, 우리나라 전체 가자미류 어획량의 약 10%를 차지하는 것으로 알려져 있다(KOSIS, 2022). 용가자미는 저인망과

자망, 연승 어업에서 주로 어획되며, 상업성이 높은 어종임에도 불구하고 통계청 어획량 자료에는 어종을 분류없이, 가자미류로 통칭하여 집계하고 있어 가자미류의 어종별 어획량에 대한 정보가 부족하다. 따라서 용가자미 자원량 추정은 가자미류의 전체적인 어획량 자료를 이용하여 증감에 대한 경향만 파악하고 있다. 최근 과거에 비해 전반적으로 가자미류의 자원이 감소하는 추세에 있어 정부는 효율적이고 지속적인 자원의 활용을 위해 기름가자미(*Glyptocephalus stelleri*), 용가자미, 참가자미(*Pseudopleuronectes herzensteini*), 문치가자미(*Pseudopleuronectes yokohamae*)에 한하여 2021년 1월 1일부터 17 cm 이하 포획금지체장을 신설하였으며, 나아가 2024년부터는 20 cm로 한층 강화될 예정이다. 효율적 자원관리 및 보호를 위한 포획금지체장 및 포획금지기간을 설정하기 위해서는 어종별 산란생태 등 과학적 근거가 되는 연구가 필수적이며, 더 나아가 연령·성장, 식성 등과 같은 생태학적 연구도 함께 진행되어야 한다.

이 종에 대한 국내 연구는 동해의 용가자미에 대한 산란·성숙 연구(Choe et al., 1999; Yang et al., 2018), 고리 연안 용가자미 식성연구(Huh and Baeck, 2003), 서해 용가자미 식성연

*Corresponding author: Tel: +82. 32. 745. 0617 Fax: +82. 32. 745. 0569

E-mail address: kimmj0106@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.2022.0575>

Korean J Fish Aquat Sci 55(5), 575-582, October 2022

Received 3 August 2022; Revised 7 September 2022; Accepted 12 October 2022

저자 직위: 최동혁(박사 후 인턴연구원), 윤병일(박사 후 인턴연구원), 이승환(연구사), 권대현(연구관), 김맹진(연구사)

구(Choi et al., 2021b), 경북 동해안 용가자미의 연령과 성장(Jeong et al., 2017) 등이 수행되었으며, 국외 연구에는 용가자미 유생의 분포와 이동(Tominaga et al., 2000), 용가자미 유생 식성(Hiraoka et al., 2005), 후쿠오카 주변 용가자미의 연령과 성장(Tominaga et al., 1996) 등이 있다. 용가자미는 우리나라 전 해역에서 출현하지만 산란특성에 대한 연구는 동해에서만 수행되었고(Choe et al., 1999; Yang et al., 2018) 서해에서는 수행된 바 없다. 용가자미의 산란시기에 대한 이전 연구에서는 위도에 따라 차이가 있는 것으로 보고되었으나, 산란 특성에 대한 연구는 동해에서만 수행되어 미비한 실정이다. 따라서 이번 연구는 서해에 분포하는 용가자미의 성숙과 산란 연구를 통해 지역적 산란생태의 차이를 비교하고, 자원관리 정책에 대한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

이 연구에 사용된 용가자미는 2019년 1월부터 12월까지 서해 중부해역에서 저인망 어업과 근해 자망 어업에 의해 어획된 어체를 대상으로 분석하였다(Fig. 1). 용가자미는 실험실에서 개체별로 전장(total length, TL) 0.1 cm, 체중(body weight, BW)을 0.1 g까지 측정하고, 해부하여 생식소 중량(gonad weight, GW)은 0.01 g까지 측정하였다. 생식소의 발달과정을 관찰하기 위해 생식소의 크기와 색, 난립의 크기 등을 육안으로 판별하였고, 조직분석을 통해 미숙(immature), 중숙(maturing), 완숙(mature), 방중 및 방후(spawning and spent), 회복(recovery) 5 단계로 구분하여 분석하였다.

산란기를 추정하기 위해 암컷의 생식소 성숙도와 생식소중량지수(gonadosomatic index, GSI)의 월변화를 분석하였고, 생식소 중량지수는 다음 식을 이용하였다.

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

생식소 발달과정을 조사하기 위하여 난소 일부를 Bouin's 용액에 24시간 고정 후 24시간 세수하여 70% 알코올에 재고정하였다. 조직표본을 제작하기 위해 생식소를 5 mm 두께로 절단하여 소편을 만들었으며, 파라핀 절편법에 의해 두께 5–6 μm의 절편을 제작한 후, Hansen's haematoxyline과 0.5% eosin으로 비교염색하였다. 포란수는 산란기간동안 방란의 흔적이 없는 성숙한 개체의 난소에 대하여 습중량법(Bagenal and Brown, 1978)으로 구하였다.

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

여기서, A는 난소의 중량, B는 난소 껍질의 중량, C는 난소 일부의 중량, e는 C에서 계수된 난의 수이다.

50% TL은 산란기로 추정되는 시기에 중숙 이상의 개체를 당

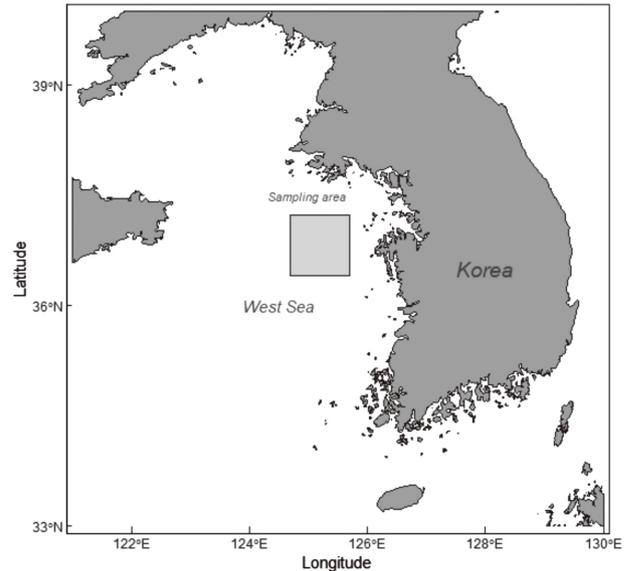


Fig. 1. Sampling area of the pointhead flounder *Cleisthenes pinetorum* collected in the West Sea of Korea.

해 산란을 하는 것으로 보고 성숙 개체의 비율로서 구하였으며, 산란기 동안 암컷의 성숙비율을 구한 후 logistic curve를 통해 50%, 75%, 97.5%의 TL을 추정하였다.

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{b(TL_i - TL_0)}}$$

여기서 P_i 는 i 전장계급에서의 성숙비율, TL_i 는 i 전장계급의 TL, b 는 상수이다.

결 과

전장 조성

2021년 1월부터 12월까지 서해 중부해역의 쌍끌이 저인망과 자망어업으로 어획된 용가자미 1,133개체를 측정된 결과, 암컷은 1,001개체로 TL 범위는 16.2–48.9 cm, 평균 30.8 cm의 크기를 보였고 수컷은 132개체로 TL 범위는 15.9–35.8 cm 평균 22.3 cm였으며, 성비는 7.6:1로 암컷의 출현비율이 수컷보다 높았다(Table 1). TL과 체중 간의 상대성장식은 암컷은 $BW = 0.000001 TL^{3.3443}$, 수컷은 $BW = 0.000002 TL^{3.2659}$ 으로 추정되었다. 그리고 암-수 TL과 체중 간의 상대성장에서는 수컷보다 암컷의 성장이 큰 것으로 나타났다(Fig. 2).

산란기 추정

용가자미 암컷의 GSI의 월 변화를 분석한 결과 12월에 1.7로 가장 낮은 값을 보였고, 이후 이듬해 1월부터 점차 높아졌으며, 9월에 18.6으로 가장 높은 값을 보였다. 8월부터 10월까지

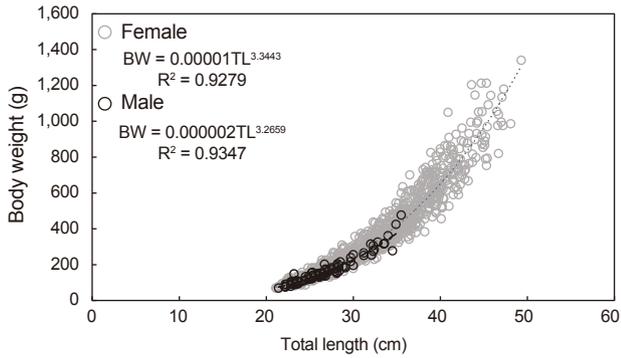


Fig. 2. Relationship between Total length and body weights of pinthead flounder *Cleisthenes pinetorum* in the West Sea of Korea.

10 이상의 수치를 보였고, 이후 11월에 급격히 낮아지는 경향을 보였다(Fig. 3). 용가자미 암컷의 생식소를 조직학적으로 관찰한 결과, 성장기(growing stage)에는 난소소엽내에 난경 10 μm의 염색인기 난모세포와 난경 20-70 μm의 주변인기단계의 난모세포가 대부분을 차지하고 있다(Fig. 4A). 미숙 단계에서 중숙 단계(maturing stage)로 성장함에 따라 난경이 120-160 μm의 크기를 보이며, 난황포기 단계의 난모세포가 관찰되었고, 난황포의 수가 세포질 전체로 확산되었다(Fig. 4B). 이후 난경은 250-400 μm으로 성장하였고, 방사선대가 형성되었으며, 세포질에는 다수의 난황구들이 균등하게 분포하고 핵이 동물극쪽으로 이동하였다(Fig. 4C). 완숙 단계(mature stage)에서는 난경이 450-600 μm를 보였고, 일부 산란흔적이 보여 방중(spawning stage)의 모습이 나타났다(Fig. 4D). 산란 후 회복기(recovery stage) 단계에는 난소 상피가 재배치되었고, 생식상피를 따

라 20-60 μm되는 어린 난모세포들이 분포하였다(Fig. 4E).

용가자미 암컷의 성숙도 월 변화는 육안관찰과 조직학적 관찰을 통하여 5단계로 구분하여 분석하였다(Fig. 5). 3월에는 모든 개체가 미숙이었고, 4월부터 중숙 단계의 개체들이 출현하였다. 8월부터 11월까지 완숙 개체가 출현하였고, 9월에 완숙 개체의 비율이 가장 높았다. 10월부터 방란을 시작으로 1월까지 방중 및 방후 개체가 출현하였으며, 2월에 일부 회복 단계가 관찰되었다. 따라서 서해 중부해역에 출현하는 용가자미의 산란기는 9월에서 12월로 나타났으며, 주 산란기는 10-11월로 추정되었다.

포란수

포란수는 산란기간동안 방란의 흔적이 없는 완숙개체를 선별하여 난을 계수하였다. TL과 포란수(F)간의 관계식은 $0.0000003TL^{4.7434}$ ($R^2=0.4898$)으로 TL이 커질수록 포란수가 증가하는 경향을 보였다(Fig. 6). 최소 포란수는 16,728개, 최대 포란수는 1,039,616개이었으며, 평균 449,278개이었다. 25.0-29.9 cm TL계급 상대포란수는 4,267개이었으며, TL계급이 커질수록 포란수가 증가하여 40.0-44.9 cm TL계급 상대포란수는 21,399개로 최대값을 보였다(Table 2).

숙도단계별 난경조성은 미숙단계에서 0.159-0.228 mm (평균 0.193 mm)였으며, 중숙단계에서 난경의 범위는 0.412-0.756 mm (평균 0.569 mm)이었다. 완숙단계에서는 0.502-0.763 mm (평균 0.625 mm)로 나타나 성숙함에 따라 난경이 점차 커졌다(Fig. 7).

성숙전장

용가자미의 성숙TL을 분석하기 위해 산란기로 추정되는 9-12월까지 중숙이상 개체들이 산란에 참여하는 것으로 추정

Table 1. Size range of the pinthead flounder *Cleisthenes pinetorum* in the West Sea of Korea, January to December 2019

Month	Total number	Female			Male		
		Size range (TL, cm)	Average	n	Size range (TL, cm)	Average	n
Jan.	115	24.6-44.2	33.3	109	27.5-34.4	30.5	6
Feb.	103	20.6-43.3	29.0	97	19.4-31.8	26.2	6
Mar.	93	24.3-44.8	33.9	88	24.3-35.8	29.9	5
Apr.	85	22.3-43.0	32.2	83	27.0-28.0	27.5	2
May	80	22.2-46.1	31.9	79	24.4	24.4	1
Jun.	78	21.6-47.7	32.0	77	24.6	24.6	1
Jul.	90	19.9-38.0	28.9	79	22.5-27.4	24.5	11
Aug.	60	25.0-42.8	32.0	58	26.0-26.4	26.2	2
Sep.	76	16.2-36.3	24.1	34	15.9-26.5	19.1	42
Oct.	164	17.1-48.9	30.4	120	17.9-34.8	21.3	44
Nov.	86	23.8-41.5	31.8	85	27.4	27.4	1
Dec.	103	19.8-31.1	26.2	92	19.3-26.2	24.2	11
Total	1,133	16.2-48.9	30.8	1,001	15.9-35.8	22.3	132

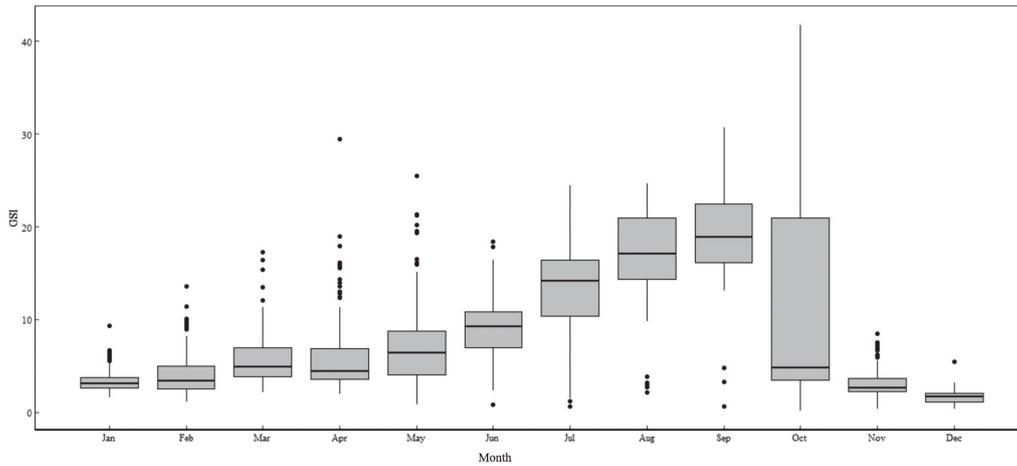


Fig. 3. Monthly changes in the gonadosomatic index (GSI) of the female pinthead flounder *Cleisthenes pinetorum* caught in West Sea of Korea.

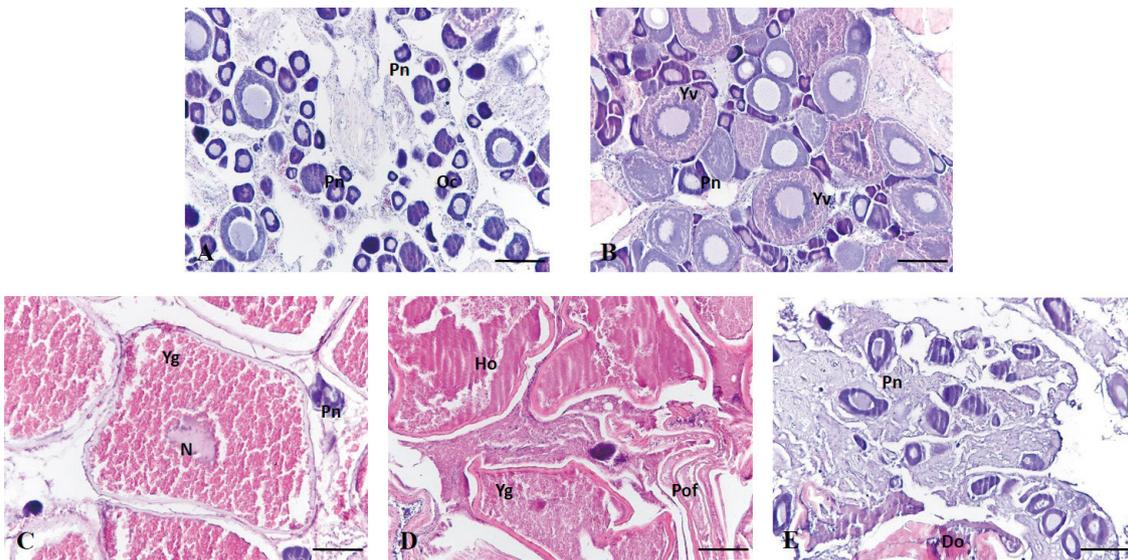


Fig. 4. Developmental stages in the ovary of pinthead flounder *Cleisthenes pinetorum*. A, Ovary of the growing stage; B, Ovary of the early mature stage; C, Ovary of the mature stage; D, Ovary of the ripe and spawning stage; E, Ovary of the recovery stage; N, Nucleus; Oc, Ovarian cavity; Od, Oil droplet; Pn, peri-nucleulus; Pof, postovulatory follicle; Yg, Yolk globule; Yv, Yolk vesicle. Scale bars indicate 100 μ m (A to E).

하고 성숙개체의 출현 비율을 조사하였다(Fig. 8). 그 결과 50% (성숙TL은 18.9 cm로 나타났으며, 75%, 97.5% 성숙TL은 각각 26.1 cm, 42.9 cm로 나타났다.

고 찰

이 연구는 우리나라 서해 중부해역에서 2021년 1월부터 12월 까지 1년간 저인망과 근해자망 어업에서 어획된 용가자미를 대상으로 성숙과 산란특성을 분석하였다. 용가자미 전장조성에

서 암컷은 평균전장 30.8 cm, 수컷은 평균전장이 22.3 cm로 암컷이 수컷보다 평균전장이 컸으며, TL범위도 암컷 16.2-48.9 cm, 수컷 15.9-35.8 cm 로 암컷이 수컷보다 컸다. 결과적으로 서해에서 조업하는 저인망과 근해자망 어업에서 어획되는 용가자미는 수컷보다 암컷의 출현율이 높게 나타났다. 우리나라 동해의 용가자미 선행연구에서도 암컷이 수컷보다 TL이 큰 것으로 나타났다(Jeong et al., 2017; Yang et al., 2018), 일본 북해도 연안의 용가자미에서도 유사한 경향을 보였다(Itaya and

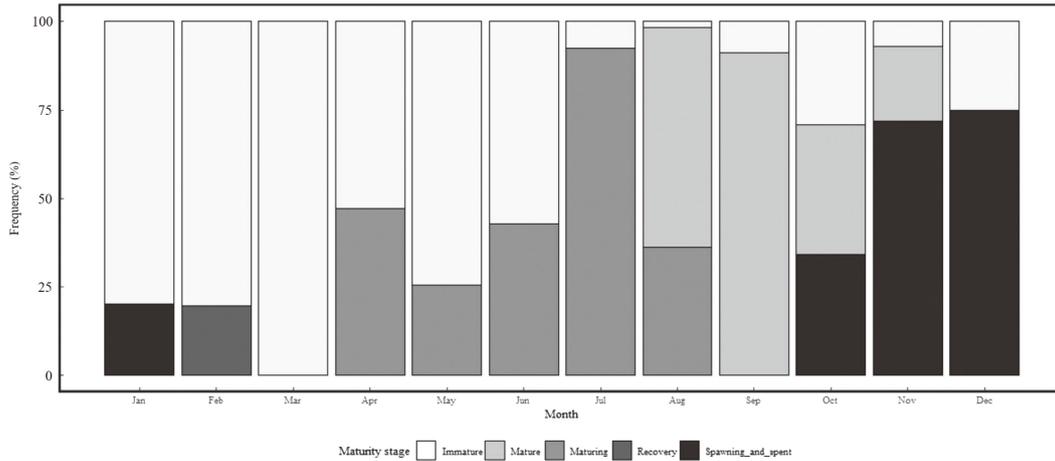


Fig. 5. Monthly changes in maturity stage of the female pointhead flounder *Cleisthenes pinetorum* caught in West Sea of Korea.

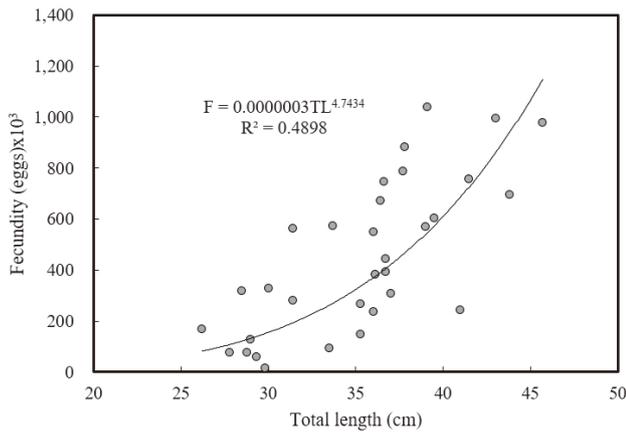


Fig. 6. Relationship between fecundity and total length of point-head flounder *Cleisthenes pinetorum* in the West Sea of Korea.

Fujioka, 2006). 그리고 기름가자미, 참가자미, 문치가자미 등 다른 가자미과 어류에서도 암컷의 성장이 더 빠른 것으로 나타나 가자미과 어류는 일반적으로 수컷보다 암컷의 TL이 크다고 판단된다(Cha et al., 2006; Cha et al., 2008; Kim et al., 2016). 용가자미의 산란기를 추정하기 위해 GSI를 분석하였고 월별

숙도단계를 육안과 조직학적으로 관찰한 결과, 서해 중부해역에 서식하는 용가자미의 산란기는 10월부터 12월까지로 추정되었다. 선행연구에 따르면 용가자미의 산란기는 서식하는 위도에 따라 시기가 다르다고 보고되었다(Yang et al., 2018). 경북연안과 포항 주변해역에 서식하는 용가자미의 산란기는 1-3월로 추정하였고(Choe et al., 1999; Jeong et al., 2017), 강원도 연안에는 5-7월로 추정하였다(Yang et al., 2018). 또한 일본에서 연구된 용가자미 산란기는 저위도에서 고위도로 갈수록 2-3월에서 7-8월로 늦어지는 것으로 보고되었다(Tominaga et al., 1996; Itaya and Fujioka, 2006; HRO, 2018). 서해 중부해역(37.50°)과 위도가 비슷한 강원도 연안(37.30°)의 용가자미 산란기는 5-7월, 상대적으로 높은 위도인 니가타 사도북부(38.30°)는 4-6월로 이번 연구결과인 10-12월과는 많은 차이를 보였다. 일반적으로 고위도 서식어가 저위도 서식어보다 산란기가 늦은 것으로 알려져 있지만(Kim and Zhang, 1994), 수온과 해양환경 등의 외적요인에 의해 호르몬 농도의 변화로 생식소의 성숙 시기가 차이가 난다고 보고하였다(De Vlaming, 1972; Nishi, 1979; Asahina and Hanyu, 1983; Shimizu and Hanyu, 1983). 비슷한 위도에서 서식함에도 불구하고 동해와 서해 용가자미의 산란시기는 많은 차이를 보였으며, 이는 서해와 동해의 비슷한

Table 2. Absolute and relative fecundities according to total length of pointhead flounder *Cleisthenes pinetorum* in the West Sea of Korea

Total length (cm)	Absolute fecundity (eggs)		Relative fecundity (eggs/cm)		n
	Range	Mean	Range	Mean	
25.0-29.9	16,728-317,440	120,005	561-11,138	4,267	7
30.0-34.9	94,261-572,938	365,911	2,814-17,900	11,528	5
35.0-39.9	149,603-1,039,616	535,256	4,238-26,589	14,324	15
40.0-44.9	243,600-995,717	672,633	5,941-23,156	15,797	4
45.0-49.9	977,936	977,936	21,399	21,399	1

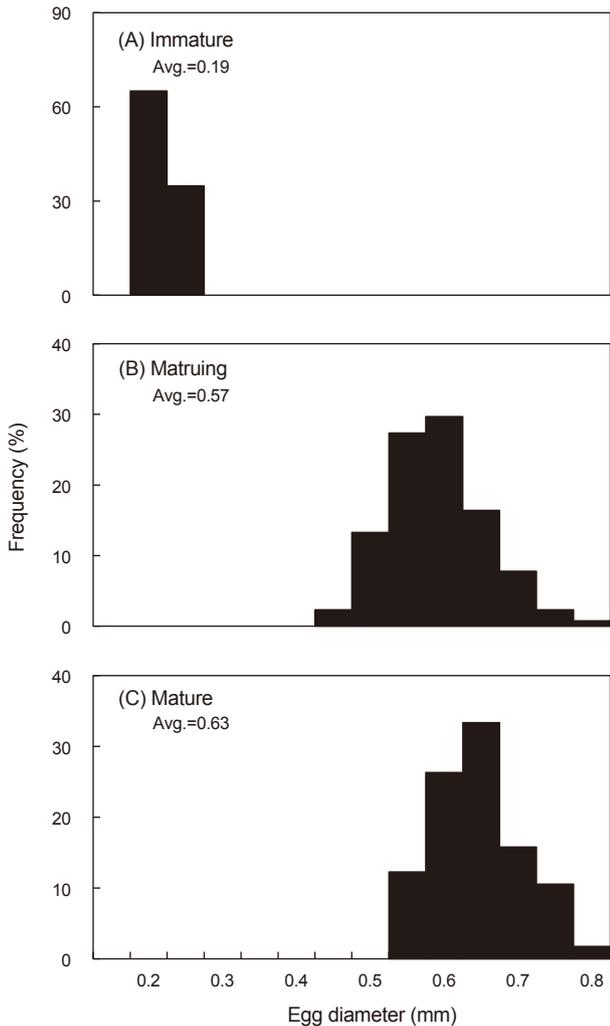


Fig. 7. Frequency distribution of egg diameter of pinthead flounder *Cleisthenes pinetorum* in West Sea of Korea.

위도에서 어획되는 대구(*Gadus macrocephalus*)에서도 유사한 차이를 보인다(Cha et al., 2007; Choi et al., 2021a). 그리고 동해 용가자미는 새우류와 두족류를 주로 섭식하고, 서해 용가자미는 거미불가사리류와 어류를 주 먹이생물로 하는 것으로 보아 동해와 서해의 용가자미 서식환경은 확연한 차이가 있음을 알 수 있다(Huh and Baeck, 2003; Choi et al., 2021a). 결과적으로 산란시기는 위도보다는 서식환경으로 인한 차이라고 생각된다. 또한 서해중부해역 안에서도 중부해역은 북쪽과 남쪽의 해양환경의 차이로 인해 우점하는 종에 따라 공간적 차이를 보이며(Yeon et al., 2004; Im, 2007), 이에 따라 북쪽은 냉수성 어종의 비율이 높고, 남쪽은 멸치나 참조기 등의 어종의 비율이 높은 것이 특징으로 나타났다(Im, 2007; Koh et al., 2016). 특히 서해 중부해역의 남쪽은 황해 저층냉수대로 인해 남해해역과의 생태적 장벽이 존재하여 교류가 어렵기 때문에 동해에 서식하

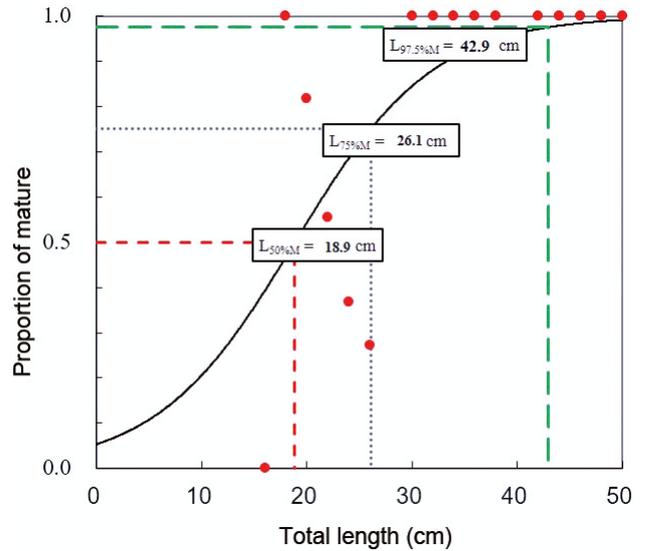


Fig. 8. Relationship between total length and group maturity of the female pinthead flounder *Cleisthenes pinetorum* caught in West Sea of Korea.

는 용가자미와 산란기 차이를 보인다고 추정된다(Hong et al., 1995). 그리고 서해 남부해역에서도 일부지역에서 용가자미가 어획되기 때문에 서해 남부해역의 용가자미 산란기에 대한 비교 연구가 필요하다고 생각된다.

서해 중부해역 용가자미의 포란수는 16,728–1,039,616개의 범위를 보였고, TL이 커질수록 포란수가 증가하는 경향을 나타내었다. 경북 연안과 강원도 연안의 용가자미도 TL이 커질수록 포란수가 증가하는 경향을 보였고, 강원도 연안 용가자미의 포란수 범위는 86,912–768,574개, 경북 연안의 용가자미 포란수 범위는 274,508–1,944,632개가 나타났다(Choe et al., 1999; Yang et al., 2018). 포란수의 차이는 강원도 연안의 용가자미 연구에서 최대 TL이 32.0 cm 밖에 되지 않은 반면에 이번 연구에서는 40 cm가 넘는 개체들의 포란수가 포함되어 범위가 더 크다고 생각된다. 하지만 경북연안의 용가자미는 최대 TL이 36.5 cm에도 불구하고 이 연구의 포란수 범위보다 큰 것으로 나타났기 때문에 40 cm 이상의 큰 개체에 대한 포란수를 재검토 해야 할 것으로 보인다(Choe et al., 1999).

성숙단계별 난경을 측정된 결과 미숙에서 완숙까지 성숙할수록 난경의 크기가 커졌으며 완숙개체는 최대 0.763 mm로 나타났다. 강원도 연안의 용가자미 완숙 개체 난경은 0.5–0.7 mm로 나타나 이 연구와 유사한 결과를 보였다. 또한 난경 그래프에서 하나의 모드를 보였고, 산란기도 3개월로 짧기 때문에 산란기 1회에 한번 산란하는 것으로 판단된다.

서해 중부해역의 용가자미 암컷 50% 성숙TL은 18.9 cm로 나타났다, 75% 성숙TL은 26.1 cm, 97.5% 성숙TL은 42.9 cm로 추정되었다. 강원도 연안의 용가자미 50% 성숙TL은 25.6 cm,

포항연안의 용가자미 연구는 24.6 cm로 서해 중부해역의 용가자미와 6-7 cm정도 차이를 보였다(Choe et al., 1999; Yang et al., 2018). 일본 북해도 용가자미의 성숙TL은 21.7 cm로 서해 중부해역의 용가자미 성숙TL이 가장 작은 것으로 나타났다 (Itaya and Fujioka, 2006). 또한 이번 연구에서 산란기에 어획된 용가자미 17 cm 이하의 수컷개체들은 모두 완숙으로 확인되어 성숙TL을 분석하지 못했지만 17 cm 미만으로 추정되며, 다른해역과 비교하면 가장 작다. 추후 직접조사를 통해 현재 채집된 개체보다 TL이 작은 개체들의 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것이다. 일반적으로 성숙TL의 감소는 상업 어종인 경우 과도한 어획으로 인해 개체군의 크기가 감소되어, 개체군의 크기를 유지하기 위해 성숙이 빨라지는 경우가 많으며(Zhang, 2010), 서해 중부해역의 용가자미의 자원수준이 다른 해역에 비해 좋지 않음을 알 수 있다. 하지만 TL의 변동은 먹이의 풍부도와 해양환경의 변화 등의 차이에 의해서도 영향을 받을 수 있기 때문에 추후 용가자미의 섭식생태, 연령과 성장 등의 생물학적 연구뿐만 아니라 해양환경에 대한 연구도 병행하여 분석하여야 한다(Morgan and Colbourne, 1999; Shackell et al., 2019). 용가자미 자원을 지속적이고 효율적으로 관리하기 위해서는 연속적인 생물학적 연구를 통해 산란생태의 변화를 모니터링 해야하며, 이번 연구는 용가자미 자원관리에 있어 중요한 기초자료를 제공할 것으로 생각된다.

사 사

이 연구는 2022년도 국립수산물과학원 시험연구사업 “서해연안어업 및 환경생태조사 (R2022036)”의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Asahina K and Hanyu I. 1983. Role of temperature and photoperiod in annual reproductive cycle of the rose bitterling, *Rhodeus ocellatus acellatus*. Bull Jap Soc Fish 49, 61-67. <https://doi.org/10.2331/suisan.49.61>.
- Bagenal TB and Brown E. 1978. Egg and early life history. In: Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters 3rded. Blackwell Scientific Publications Ltd., Oxford, U.K., 165-201.
- Cha HK, Kwon HC, Lee SI, Yang JH, Chang DS and Chun YY. 2008. Maturity and spawning of Korean flounder, *Glyptocephalus stelleri* (Schmidt) in the East Sea of Korea. Korean J Ichthyol 20, 263-271.
- Cha HK, Lee SI, Yoon YS, Chun YY, Chang DS and Yang JH. 2007. Maturation and spawning of the Pacific cod, *Gadus microcephalus* tlesius in East Sea of Korea. J Korean Soc Fish Technol 43, 320-328.
- Cha HK, Park KY, Lee SI, Park HW, Kwon HC and Choi SH. 2006. Maturity and spawning of brown sole, *Pleuronectes herzensteini* (Jordan et Snyder) in the East Sea of Korea. Korean J Ichthyol 18, 363-367.
- Choe SH, Hur YH, Chun YY and Zhang CI. 1999. Growth and maturity of pointhead flounder, *Cleisthenes pinetorum* herzensteini (Schmidt) in the East Sea. J Korean Soc Fish Res 2, 1-13.
- Choi DH, Youn BI, Kim MG, Lee SH and Lee SJ. 2021a. Maturation and spawning of the pacific cod *Gadus microcephalus* in the West coast of Yellow Sea of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 54, 46-52. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0046>.
- Choi DH, Youn BI, Kim MG, Lee SH, Kwon DH, Han KH and Lee SJ. 2021b. Feeding habits of the pointhead flounder (*Cleisthenes pinetorum*) in the West Sea in Korea. Korean J Ichthyol 4, 273-277.
- De Vlaming VL 1972. The effects of temperature and photoperiod on reproductive cycling in estuarine gobiidfish, *Gillichthys mirabilis*. Fish Bull 70, 1137-1152.
- Hong JS, Yoo JW and Park HS. 1995. Niche characterization of the three species of genus *Ophiura* (Echinodermata, Ophiuroidea) in Korean waters, with special emphasis on the distribution of *Ophiura sarsi vadicola* Dja. J Oceanogr 30, 442-457.
- Hug SH and Baeck GW. 2003. Feeding habits of *Cleisthenes pinetorum* collected in the coastal waters of Kori, Korea. Korean J Ichthyol 15, 157-161.
- HRO (Hokkaido Research Organization). 2018. Hokkaido Marine Fish Illustration. Fisheries Research Department Marine Net Hokkaido, Japan. Retrieved from <https://www.hro.or.jp/list/fisheries/marine/o7u1kr000000041i.html> on Sep 17, 2018.
- Im YJ. 2007. Species composition and abundance of fish collected by otter trawl in the Eastern Yellow Sea. Ph.D. Dissertation, Inha University, Incheon, Korea.
- Itaya K and Fujioka T. 2006. Total length and age at maturity of pointhead flounder *Hippoglossoides pinetorum* in Ishikari Bay in western Hokkaido. Sci Rep Hokkaido Fish Exp Stn 70, 81-87.
- Jeong YK, Kim ST, Yoon SC, Yang JH, Jung KM, Oh TY and Choi KH. 2017. Reconfirmation of age and growth of the pointhead flounder, *Hippoglossoides pinetorum* in the coastal waters of the East Sea off Gyeongbuk. J Korean Soc Fish Technol 53, 363-375. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2017.53.4.363>.
- Kim IS, Choi Y, Lee CL, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyohak, Seoul, Korea, 615.
- Kim SA and Zhang CI. 1994. Fish Ecology. Seoul Press, Seoul, Korea, 1-273.
- Kim SR, Cha HK, Lee JB, Lee HW, Yang JH, Baek HJ and Kim ST. 2016. Maturity and spawning of the marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* off the coast of Pohang,

- East Sea. Korean J Fish Aquat Sci 49, 367-375. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0367>.
- Koh EK, Joo HW, Lee DW, Cha HK and Choi JH. 2016. Community composition and distribution of fish species collected by bottom trawl from the middle of the Yellow Sea in Summer (2008-2014). Korean J Fish Aquat Sci 49, 849-855. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0849>.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2022. Fishery Production Survey. Retrieved from <http://kosis.kr> on Jun 29, 2022.
- Morgan MJ and Colbourne EB. 1999. Variation in maturity at age and size in three populations of American plaice. ICES J Mar Sci 56, 673-688. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1999.0487>.
- Nelson JS. 2006. Fishes of the World. 4th ed. John Wiley & Sons Ins., Edmonton, CA, U.S.A.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 2004. Commercial Fishes of the Coastal & Offshore Waters in Korea (2nd ed.). Hanguel Graphics Press, Busan, Korea, 1-258.
- Nishi K 1979. A daily rhythm in the photosensitive development of the ovary in the bitterling, *Rhodeus ocellatus*. Bull Fac Fish Hokkaido Univ 30, 109-115.
- Shackell NL, Ferguson KJ, den Heyer CE, Brickman D, Wang Z and Ransier KT. 2019. Growing degree-day influences growth rate and length of maturity of northwest Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) across the southern stock domain. J Northw Atl Fish Sci 50, 25-35. <https://doi.org/10.2960/J.v50.m716>.
- Shimizu A and Hanyu I. 1983. Environmental regulation of spring period in autumn spawning bitterling, *Pseudoperi lampus typus*. Bull Jap Soc Sci Fish 49, 895-900.
- Tominaga O, Inoguchi K, Watanabe Y, Yamaguchi M, Nakatani T and Takahashi T. 1996. Age and growth of pointhead flounder *Hippoglossoides pinetorum* in Ishikari Bay, Hokkaido. Fisheries Science 62, 215-221.
- Tominaga O, Watanabe M, Hanyu M, Domon K, Watanabe Y and Takahashi T. 2000. Distribution and movement of larvae, juvenile and young of the pointhead flounder *Hippoglossoides pinetorum* in Ishikari Bay and vicinity, Hokkaido. Fish Sci 66, 442-451.
- Yang JH, Cho JH, Kim JB, Park JH, Lee SJ and Yoon BS. 2018. Maturity and spawning of the pointhead flounder, *Hippoglossoides pinetorum* in the coastal waters off Gangwon-do, East Sea. J Korean Soc Fish Ocean Technol 54, 296-305 <http://dx.doi.org/10.3796/KSFOT.2018.54.4.296>
- Yeon IJ, Hwang HJ, Choi YM, Im YJ, Hong SH and Ko TS. 2004. Summer spatial distribution and abundance of dominant fisheries resources in the Yellow Sea. J Korean Soc Fish Res 6, 63-78.
- Hiraoka Y, Takatsu T, Kurifuju A, Imura K and Takahashi T. 2005. Feeding habits of pointhead flounder *Cleisthenes pinetorum* larvae in and near Funka Bay, Hokkaido, Japan. Bull Jpn Soc Fish Oceanogr 69, 156-164.
- Zhang CI. 2010. Mairne Fisheries Resource Ecology. Pukyong National University Press, Busan, Korea, 153-181.