

한국 서해에 출현하는 대구(*Gadus macrocephalus*)의 성숙과 산란

최동혁 · 윤병일 · 김맹진 · 이승환 · 이승종*

국립수산과학원 서해수산연구소

Maturation and Spawning of the Pacific Cod *Gadus macrocephalus* in the West Coast of Yellow Sea of Korea

Dong Hyuk Choi, Byoung Il Youn, Maeng Jin Kim, Seung Hwan Lee and Seung Jong Lee*

West Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Incheon 22383, Korea

The maturation and spawning of Pacific cod *Gadus macrocephalus* were investigated using 2,415 samples collected monthly from January 2017 to December 2019, in the Yellow Sea of Korea. We analyzed monthly changes in gonadosomatic index (GSI), maturity stage, egg diameter (mm), the relations fecundity and total length (cm). The spawning period was February to March. Fecundity varied between 334,836 and 2,099,600 eggs. The relationship between the fecundity and TL of fish was expressed in $F=186.86TL^{2.0954}$ ($R^2=0.7359$). The percentage of sexually mature females estimated from a logistic function was over 50%, 75% and 97.5% for the size (TL) 39.3, 44.8 and 57.7 cm.

Keywords: *Gadus macrocephalus*, Pacific cod, Spawning period, Size at maturity

서론

대구(*Gadus macrocephalus*)는 대구목 대구과에 속하는 우리나라의 대표적인 상업 어종 중 하나로 우리나라 전 해역과 오후크해, 베링해, 알라스카만, 북미 캘리포니아 연안까지 매우 광범위한 해역에서 분포하며, 수온 5-12°C의 수심 10-550 m에 떼를 지어 서식하는 것으로 알려져 있다(Bakkala et al., 1984; Cohen et al., 1990; Westheim, 1996). 국가통계자료에서 나타난 최근 10년간 대구 어획량을 살펴보면 평균 약 8,300톤으로, 근해자망과 연안자망에서 주로 어획된다. 서해에서 어획되는 대구는 전국생산량의 약 50%를 차지하며 2019년에는 약 5,000톤정도가 어획되었다(KOSIS, 2019).

유전적 분류 연구에 따르면 우리나라 대구는 동해, 서해, 동남해 3개의 계군으로 나뉘며, 그 중 서해 계군과 남해 계군은 유전적으로 가깝고, 동해 계군은 다른 해역과 뚜렷이 구분된다고 보고하였다(Kim et al., 2010; Seo et al., 2010; Gwak and Nakayama, 2011). 어류의 성숙과 산란은 어류 생활사에서 가장 중요한 부분으로서, 자원량과 환경변화에 따라 산란생태에 대한 정보는 변화하는 것으로 알려져 있다(Taylor and Cruz, 2017). 특히 상업적으로 가치가 높은 어종은 매년 자원으로 이용되기

때문에 지속적인 모니터링이 필요하며, 명확한 연구결과로 포획금지체장의 설정이나 포획금지기간과 같은 자원관리를 위한 근거자료로 이용될 수 있으며, 새로운 어업규제방법을 제시할 수도 있다.

현재까지의 선행된 대구 연구를 살펴보면, 동해(Lee et al., 2005; Cha et al., 2007)에서 주로 산란과 성숙연구가 진행되었으며, 서해(Kim et al., 2013)와 남해(Choi and Gwak, 2011)에서도 생활사가 연구되었다. 그 외에 Park and Gwak (2009), Yoon et al. (2012), Lee et al. (2015), Choi et al. (2019)은 대구의 식성을, Kim et al. (2010), Seo et al. (2010), Gwak and Nakayama (2011)는 유전자 분석연구가 진행된 바 있다. 대부분의 연구는 동해와 남해를 중심으로 이루어졌으며, 서해 대구의 연구는 이석을 통한 연령사정(Kim et al., 2013)과 식성(Park and Gwak, 2009; Choi et al., 2019)이 있다. 서해의 산란과 성숙의 연구는 동해계군과 서해계군의 성장과 성숙을 비교한 Lee et al. (2016)의 연구가 있지만 2007년 자료를 토대로 보고된 결과이기 때문에 현재의 서해 대구를 대상으로 산란기와 성숙체장을 추정할 필요가 있다. 따라서 이 연구는 현재 대구 서해계군의 산란기와 성숙체장을 추정하여, 산란 생태를 이해하고 자원량 평가를 위한 정보를 제공하며, 이를 토대로 서해 대구의 효율

*Corresponding author: Tel: +82. 32. 745. 0619 Fax: +82. 32. 745. 0569

E-mail address: donghyuk_87@naver.com



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.2021.0046>

Korean J Fish Aquat Sci 54(1), 46-52, February 2021

Received 14 October 2020; Revised 26 October 2020; Accepted 20 January 2021

저자 직위: 최동혁(인턴연구원), 윤병일(인턴연구원), 김맹진(연구사), 이승환(연구사), 이승종(연구사)

적인 수산자원관리방안을 마련하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

이 연구에 사용된 대구는 2017년 1월부터 2019년 12월까지 서해 중부해역에서 근해자망어선에 의해 어획된 시료를 구입하였다(Fig. 1). 시료는 실험실에서 개체별로 전장(total length, TL)을 0.1 cm단위, 체중(body weight, BW)을 0.1 g 단위까지 측정하고 생식소 중량(gonad weight, GW)은 0.01 g까지 측정하였다. 생식소 발달과정을 알아보기 위하여 생식소의 크기와 색, 난립의 크기 등을 기준으로 생식소 성숙단계를 육안으로 관찰하였다. 성숙단계는 암컷의 경우 미숙(immature), 중숙(maturing), 완숙(mature), 방란중(spawning), 방란후(spent)의 5단계로 구분하였다.

산란기를 추정하기 위한 생식소 속도지수(gonadosomatic index, GSI)의 월 변화는 다음 식으로 구하였으며, 여기서 GW는 생식소 중량(습중량, g)이고, BW는 체중(습중량, g)이다.

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

포란수는 완숙단계의 산란기간 동안 방란의 흔적이 없는 개체를 대상으로 일부를 떼어내어, 포르말린에 고정시키고 난립을 분리한 후 해부현미경으로 난의 장경을 측정하였으며 습중량법(Bagenal, 1978)을 이용하였다.

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

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

50% 성숙체장은 산란기간 중 체장 체급을 2 cm 단위로 구분하여 성숙개체의 비율로서 구하였으며, 산란기동안 암컷의 성

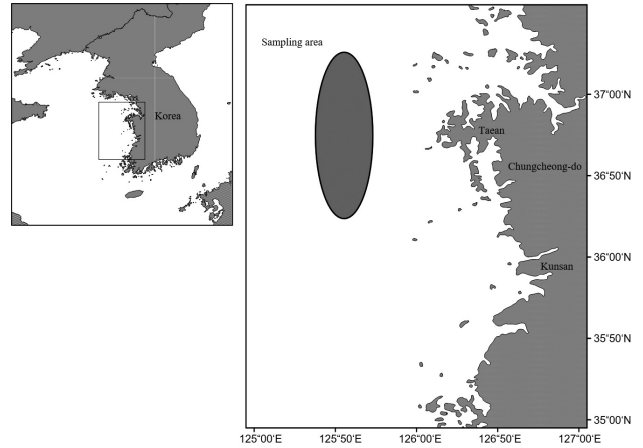


Fig. 1. Sampling area of Pacific cod *Gadus macrocephalus* in west coast of Yellow sea of Korea.

숙비율을 구한 후 logistic curve를 통해 50%, 75%, 97.5%의 성숙체장은 추정하였다.

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{-b(TL - TL_i)}} \times 100$$

여기서, P_i 는 i 전장계급에서의 성숙 비율, TL_i 는 i 전장계급의 성숙체장(TL), b 는 상수이다.

결 과

체장 분포

이 연구에서 2017년 1월부터 2019년 12월까지 총 2,415개체의 대구를 측정된 결과 암컷 1,114마리, 수컷 1,301마리로 나타났다(Table 1). 암컷의 전장은 최소 10.5 cm, 최대 92.0 cm, 평

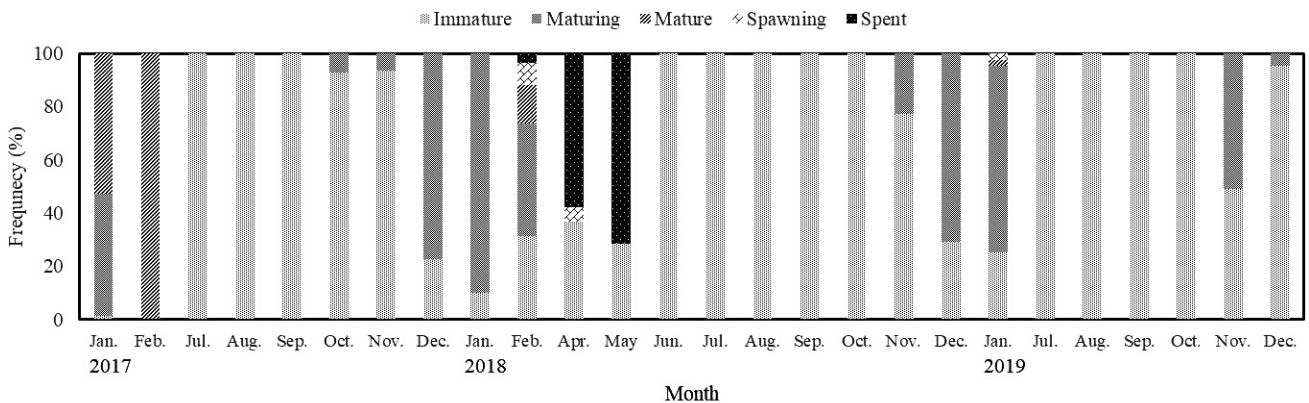


Fig. 2. Monthly changes of maturity stages of Pacific cod *Gadus macrocephalus* in the West Sea in Korea, January 2017 to December 2019. GSI, gonadosomatic index.

균 48.1 cm로 나타났으며, 40.0-45.0 cm 범위에서 27.5%로 가장 많은 분포를 보였다. 수컷의 전장은 최소 30.2 cm, 최대 86.0 cm, 평균 45.8 cm로 나타났으며 암컷과 동일하게 40.0-45.0 cm 범위에서 33.6%로 가장 많이 출현하였다. 또한 암·수간의 평균 전장에서 유의한 차이가 있었다(K-S test, $d=0.178$, $P<0.001$)

월별 성숙도 및 생식소숙도지수(GSI) 변화

대구 난소의 숙도를 육안으로 관찰한 결과 5단계로 분류하였다(Fig. 2). 미숙단계(immature)의 난소는 혈관이 관찰되고 열은 황색이나 주황색으로 난립이 보이지 않았다. 중숙단계(maturing)는 열은 황색이나 주황색을 띄지만 작은 난립이 관찰되었으며, 완숙단계(mature)는 난소가 비대하고, 난의 크기가 일

정한 크기에 흰색 또는 투명한 색을 띤다. 방란중단계(spawning)는 투명한 난으로 난소가 가득하고, 복부를 누르면 알이 쉽게 방출된다. 산란후단계(spent)는 난소의 크기가 수축되고 방란되지 않은 알들이 관찰되었다. 월별 생식소 단계별 변화는 이르면 11월부터 중숙개체가 출현하여 12월은 대부분 중숙단계였으며, 이듬해 1월부터 완숙개체가 나타나기 시작하여 2월에는 대부분이 완숙단계를 보였다. 4, 5월에는 미숙과 방후단계가 관찰되었으며, 6월부터는 미숙 개체만 확인되었다.

대구 암컷과 수컷의 생식소 지수(GSI)의 월 변화를 분석하였다(Fig. 3). 암컷의 GSI는 11월부터 증가하기 시작하여 12월에 급격히 증가하여 2월에 최고값을 보였고, 이후에는 점차 낮아져 7월에 가장 낮은 값을 보였다. 수컷도 11월부터 증가하여 1-2월

Table 1. Number of individuals and size range of the pacific cod *Gadus macrocephalus* in the West Sea in Korea, January 2017 to December 2019

Year	Month	Female			Male			Total n
		No. of individuals	Size range (TL, cm)	mean (cm)	No. of individuals	Size range (TL, cm)	mean (cm)	
2017	Jan.	74	34.8-90.3	56.2	109	33.2-78.6	50.7	183
	Feb.	23	40.4-86.9	60.8	37	42.9-77.8	52.5	60
	Jul.	61	30.8-92.0	43.4	74	32.5-65.1	41.7	135
	Aug.	14	35.3-60.1	42.7	34	30.4-68.0	42.5	48
	Sep.	30	35.2-84.1	48.5	30	35.8-62.4	44.7	60
	Oct.	28	41.9-67.8	49.1	38	41.3-81.7	47.9	66
	Nov.	31	40.7-70.4	49.7	29	41.1-80.8	50.9	60
	Dec.	75	32.3-84.1	47.2	114	32.3-82.3	44.1	189
2018	Jan.	70	33.7-68.4	49.5	88	35.2-80.2	45.8	158
	Feb.	83	32.1-85.1	46.6	104	33.5-60.2	45.6	187
	Apr.	19	38.3-70.4	49.3	15	37.1-86.0	51.5	34
	May	14	41.3-65.1	52.1	3	45.3-52.3	49.1	17
	Jun.	28	29.5-68.5	45.6	32	33.6-76.2	43.6	60
	Jul.	57	30.8-61.8	41.3	59	33.1-51.2	39.0	116
	Aug.	33	38.1-65.3	43.7	63	35.3-60.8	43.9	96
	Sep.	40	36.8-64.2	49.2	22	37.5-59.7	44.7	62
	Oct.	51	37.2-65.3	46.3	30	38.4-64.1	48.2	81
	Nov.	31	38.5-88.8	50.0	33	37.1-75.8	48.7	64
	Dec.	24	37.8-86.2	53.3	41	40.2-72.2	48.4	65
2019	Jan.	83	32.0-88.7	50.4	96	30.2-71.0	46.6	179
	Jul.	41	10.5-78.1	44.9	40	33.6-72.2	45.1	81
	Aug.	34	34.3-65.6	46.9	51	32.3-62.1	44.5	85
	Sep.	50	32.0-75.3	45.6	41	34.3-74.0	42.2	91
	Oct.	32	37.5-72.4	48.0	46	38.3-72.8	45.4	78
	Nov.	43	38.3-74.2	48.2	35	37.9-78.3	48.2	78
	Dec.	45	37.3-79.2	47.1	37	36.2-75.1	45.0	82
Total		1,114			1,301			2,415

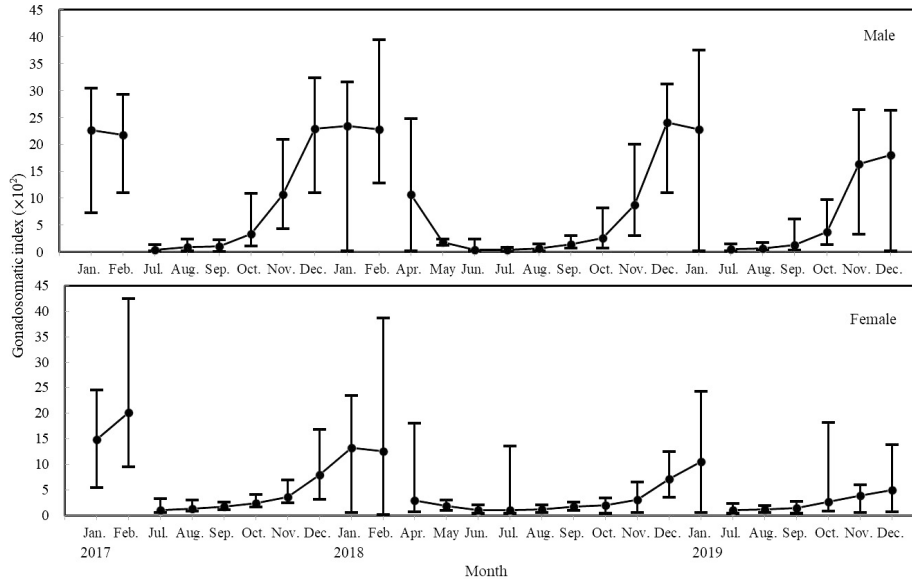


Fig. 3. Monthly changes of gonadosomatic index (GSI) Pacific cod *Gadus microcephalus* in the West Sea in Korea, January 2017 to December 2019.

에 최고값을 보였으며, 이후에 감소하여 6-7월에 가장 낮은 값을 보였다. 월별 성숙단계와 GSI 값을 비교해 보면 중숙단계가 보이기 시작하면서 GSI이 급격히 증가하였고, 1-2월에 완숙단계에서 GSI값이 최고값을 보였으며 이후 방중 단계가 출현하면서부터 GSI가 점차 낮아져 모든 개체가 미숙단계인 6-7월이 GSI가 가장 낮은 값을 보였다. 따라서 서해에 출현하는 대구는 시기에 따라 차이가 있지만 1-2월에 GSI가 최대값을 보이며 시료를 구하지 못한 3월에 감소하는 것으로 추정되어 주 산란기는 2-3월로 판단하였다.

포란수

대구 산란기간동안 방란의 흔적이 없는 성숙개체 19마리를 대상으로 포란수를 조사한 결과(Table 2), 전장에 따른 절대 포란수는 최소 334,836개에서 최대 2,099,600개로 분석되었다. 전장과 포란수(F)의 관계식은 $F=186.86TL^{2.0954}$ ($R^2=0.7359$)으로 체장이 커질수록 포란수가 증가하는 경향이 나타났다(Fig.

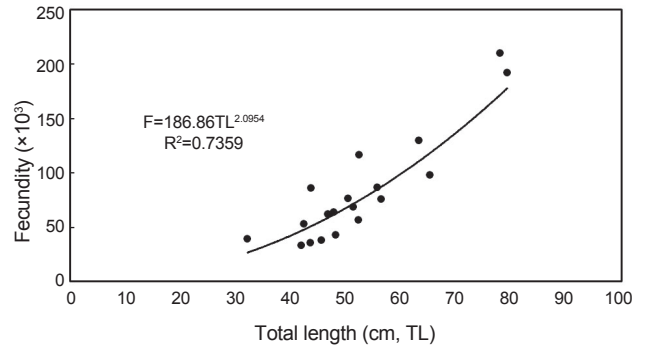


Fig. 4. Relation between total length and fecundity of Pacific cod *Gadus microcephalus* collected in the West Sea in Korea, January 2017 to December 2019.

4). 상대포란수는 40.0-49.9 cm 구간이 평균상대포란수가 가장 낮았고, 60.0-69.9 cm 구간에서 가장 높게 나타났다.

Table 2. Absolute and relative fecundities according to total length of Pacific cod *Gadus macrocephalus* collected in the West Sea in Korea, January 2017 to December 2019

Total length (cm)	Absolute fecundity (eggs)		Relative fecundity (eggs/cm)		n
	Range	Mean	Range	Mean	
30.0-39.9	392,415	392,415	12,225	12,225	1
40.0-49.9	334,836-860,997	519,302	7,991-19,702	11,549	8
50.0-59.9	565,309-1,164,747	800,830	10,809-22,228	15,100	6
60.0-69.9	977,809-1,295,542	1,136,675	14,997-20,499	17,748	2
70.0-79.9	1,919,080-2,099,600	2,009,340	24,231-26,953	17,061	2

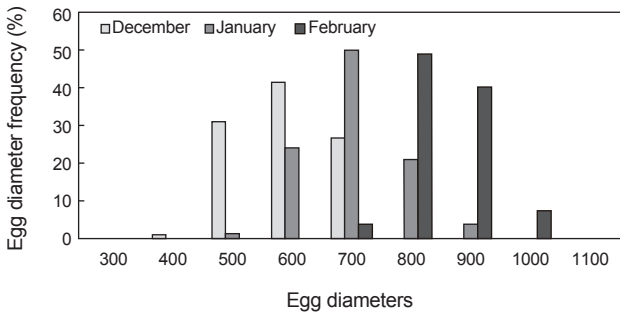


Fig. 5. Monthly changes of Egg diameters frequency of Pacific cod *Gadus microcephalus* in the West Sea in Korea, January 2017 to December 2019.

월별 난경변화

12월에서 2월까지의 난경변화를 관찰하였다(Fig. 5). 12월은 366-691 μm 의 난경분포를 보였으며, 500-600 μm 범위에서 41.5%로 가장 높은 빈도를 나타내었다. 1월에는 471-834 μm 크기의 난경이 관찰되었으며, 600-700 μm 범위에서 50.0%로 가장 빈도가 높았다. 2월에는 667-1,040 μm 의 난경분포를 보였고, 700-800 μm , 800-900 μm 범위에서 각각 48.9%, 40.1%의 빈도를 보였다. 산란기에 가까워질수록 난경의 크기가 커지며 점진적으로 난이 발달하는 것을 관찰할 수 있었다. 뿐만 아니라, 산란기 동안 난경의 증가는 1회로 나타나 서해 대구는 한 산란기간 동안 1번 산란하는 1회산란종으로 판단된다.

군성숙체장

대구 암컷의 성숙체장(TL)을 알아보기 위해 산란기로 추정되는 12-2월의 중숙 이상 개체를 당해연도에 산란에 참여하는 것으로 판단하고 전장을 2 cm로 나누어 2017년 1월부터 2019년 12월까지 3년간의 성숙체장의 출현율을 조사하였다. 50% 성숙체장은 39.3 cm였으며 75% 성숙체장은 44.8 cm, 97.5% 성숙체장은 57.7 cm로 추정되었다(Fig. 6). 이를 통해 60 cm 이상의 개체들은 100% 산란에 참여하는 것으로 나타났다.

고 찰

서해 중부해역의 대구어장은 7월경 태안의 격렬비열도 외해에서 시작되어, 점점 북쪽으로 어장이 이동한다. 3월은 대구 금어기이기 때문에 시료를 확보하지 못하였고, 조업이 시작되는 시기가 매년 달라 최대한 시료를 확보하기 위해 노력하였다. 이번 연구에서는 서해 대구의 월별 성숙단계와 GSI를 분석한 결과 산란기는 1월에서 3월이고, 주산란기는 2월에서 3월로 추정되었다. 이와 관련하여 동해에 서식하는 대구는 12월부터 이듬해 1월을 주 산란기로 보고되고 있으며(Cha et al., 2007), 일본의 북해도 남부연안의 대구도 12월에서 이듬해 1월로 보고된 바 있다(Hattori et al., 1993). 하지만 베링해 및 알래스카 대구

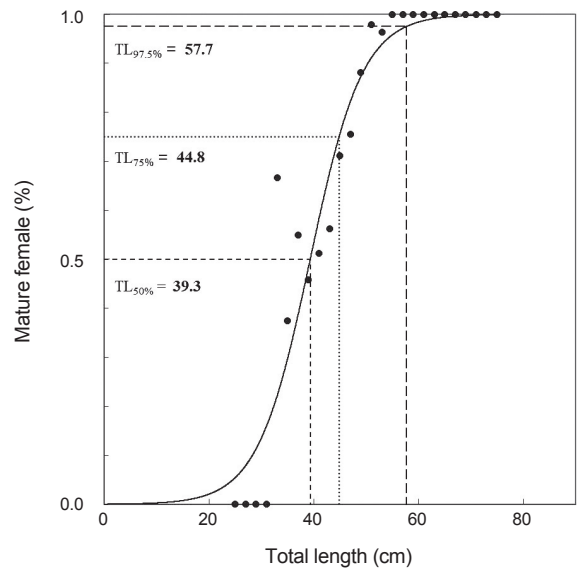


Fig. 6. 50%, 75% and 97.5% total length at sexual maturity for female using combined 3years data (2017-2019) of Pacific cod *Gadus microcephalus* collected in the West Sea in Korea.

의 산란기는 1월에서 4월로 보고되어 있어(Westheim, 1996) 서식환경과 계군으로 인해 산란기의 시기와 기간에 어느정도 차이가 있는 것으로 보인다. 서해대구어의 선행연구(Kim et al., 2013)에서는 12월부터 이듬해 2월까지 산란기이며, 주산란기는 12월에서 1월로 추정하였다. 3년간 이루어진 이번 연구에서도 이르면 12월부터 완숙하는 개체가 출현하는 것으로 보아 시기에 따라 1-2개월 정도의 차이를 보일 수 있다고 판단된다.

지금까지 우리나라 대구의 포란수에 대한 연구는 동해산 대구를 대상으로 대부분 이루어져왔다. 강원도 주변에서 이루어진 두 연구의 대구 포란수 범위는 130만-940만개(Lee et al., 2005)와 75만-930만개(Cha et al., 2007)로 보고된 바 있어 33만-200만개의 결과가 나온 이번 연구와는 차이가 많은 것으로 나타났다. 하지만 동해에서의 연구는 전장이 100 cm가 넘는 개체가 있는 반면 이번 서해의 연구에서는 최대 80 cm가 넘지 않았고, 동해 연구에서도 체장이 70-80 cm 범위에서 포란수가 평균 280만개로 나타나 두 지역간의 큰 차이를 보이지 않았다. 서해에서 어획되는 대구는 동해 대구에 비해 체장의 크기가 작아 80 cm가 넘는 개체는 구할 수 없어 동일한 크기의 포란수 비교가 어려웠다. 곁줄어류의 경우 체장이 증가하면 포란수도 기하급수적으로 증가하는 경향을 보이기 때문에(Cha et al., 2007), 이번 연구를 통해 대구는 서식하는 해역은 다르지만 크기에 따른 포란수는 큰 차이가 없다고 판단된다.

이번 연구에서 서해에 서식하는 대구의 50% 성숙체장을 산정한 결과 39.3 cm로 추정되었다. 서해 대구의 선행연구에 따르면 50% 성숙체장은 44.0 cm와 38.0 cm로 보고되어(Westheim, 1996; Lee et al., 2016) 40 cm 전후에서 서해 대구의 50%가

성숙한다는 것을 확인할 수 있었다. 국내 동해 대구는 56.3 cm와 58.2 cm로 보고되었으며(Cha et al., 2007; Lee et al., 2016), 국외의 캐나다 British Columbia 연안과 베링해는 55.0 cm와 67.0cm로 보고되어(Westrheim, 1996) 서식환경과 계군에 따라 성숙체장에 큰 차이가 발생된다고 판단된다. 또한 상업어종은 과도한 어획에 의해 개체군 감소로 성숙체장 및 성숙연령이 감소하는 경우가 많다(Zhang, 2010). 참조기(Li et al., 2011)와 갯장어(Koh et al., 2019), 갈치(Kim et al., 2020)의 경우에도 과도한 어획으로 인해 성숙체장이 변화하였다고 보고되었으며, 대구(Jørgensen, 1990)도 성숙체장이 감소하였다고 보고된 바 있다. 서해의 대구 어획량은 2014년 최고 8,900톤을 어획하고 2019년에는 5,000톤으로 50%정도의 어획량을 보이고 있다(KOSIS, 2019). 또한 2021년 이전 30 cm였던 대구 금지체장을 2021년 1월 1일 이후 35 cm로 상향 조정되었지만, 이번 연구의 50% 성숙체장인 39.3 cm에도 미치지 못한다. 지속적으로 과도한 어획을 할 경우 미성어 어획비율이 높아진다는 보고가 있어(Zhang, 2010), 자원량이 감소되면 50% 성숙체장은 작아진다. 포획금지체장을 설정하는 경우 주로 50% 성숙체장을 이용하는데, 과도한 어획으로 인해 작아진 50% 성숙체장을 기준으로 포획금지체장을 재설정하게 되면 자원량 감소를 촉진하는 것으로 판단하였다. 따라서 자원량이 감소가 우려되는 경우에는 기존의 50% 성숙체장보다는 75%나 97.5%의 성숙체장을 포획금지체장의 자료로 이용하는 것도 고려해 볼 필요가 있다고 생각된다.

사 사

이 연구는 국립수산과학원 시험연구사업 “서해연안어업 및 환경생태조사(R2021033)”의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Bagenal TB. 1978. Methods for assessment of fish production in freshwaters. Blackwell scientific publications, Oxford, U.K., 300.
- Bakkala, RG, Westrheim S, Mishima S, Zhang C and Brown E. 1984. Distribution of pacific cod *Gadus macrocephalus* in the North Pacific Ocean. INPFC Bull 42, 111-115.
- Cha HK, Lee SI, Yoon SC, Kim YS, Chun YY, Chang DS and Yang JH. 2007. Maturation and spawning of the Pacific cod *Gadus macrocephalus* tilesius in East Sea of Korea. Korean J Fish Tech 43, 320-328.
- Choi BE and Gwak WS. 2011. Age determination and growth pattern of Pacific cod *Gadus microcephalus* (Tilesius, 1810) in Jinhae bay Korea. Korean J Ichthyol 23, 269-277.
- Choi DH, Sohn MH, Kim MJ and Lee SJ. 2019. Feeding habits of Pacific cod *Gadus macrocephalus* in the West coast of Yellow Sea of Korea. Korean J Ichthyol 31, 77-82. <https://doi.org/10.35399/ISK.31.2.2>.
- Cohen D, Inada T, Iwamoto T and Scialabba N. 1990. An annotated and illustrated catalogue of cods, hakes, grenadiers and other gadiform fishes known to date. In: Gadiform fishes of the world (order Gadiformes). FAO Species Catalogue, 41-44.
- Gwak WS and Nakayama. 2011. Genetic variation and population structure of the Pacific cod *Gadus macrocephalus* in Korean waters revealed by mtDNA and msDNA markers. Fish Sci 77, 945-952. <https://doi.org/10.1007/s12562-011-0403-2>.
- Hattori T, Sakurai Y and Shimazaki K. 1992. Maturation and reproductive cycle of female Pacific cod in water adjacent to the southern coast of Hokkaido, Japan. Nippon Suisan Gakkaishi 58, 2245-2252.
- Jørgensen T. 1990. Long-term changes in age at sexual maturity of Northeast Arctic cod (*Gadus Morhua* L.). ICES J MAR SCI 46, 235-248. <http://doi.org/10.1093/icesjms/46.3.235>.
- Kim HJ, Park JH, Kwon DH and Kim YH. 2020. Maturation and spawning of largehead hairtail *Trichiurus japonicus* near Jeju island, Korea. Korean J Fish Aquat Sci 53, 1-8. <http://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0001>.
- Kim HY, Kim SH, IM YJ, Hwang HJ and Hur SJ. 2013. Growth characteristic of Pacific cod, *Gadus macrocephalus* in the West Sea of Korea. J Kor Soc Fish Tech 49, 261-269. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2012.49.3.261>.
- Kim MJ, An HS and Choi KH. 2010. Genetic characteristics of Pacific cod populations in Korea based on microsatellite markers. Fish Sci 76, 595-603. <http://doi.org/10.1007/s12562-010-0249-z>.
- Koh EH, Kwon DH, Nam KH, Kim YH and Jang CS. 2019. Ecological characteristics and proximate composition of *Muraenesox cinereus* off the Southern Coast of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 52, 173-179. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0173>.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2019. Fishery production survey. Retrieved from <http://kosis.kr> on Sep 20, 2020.
- Lee CS, Hur YH, Lee JY, Kim WK, Hong SH, Hwang SJ and Choi SH. 2005. Maturity and spawning of Pacific cod *Gadus macrocephalus* in the East Sea. J Kor Fish Soc 38, 245-250. <https://doi.org/10.5657/kfas.2005.38.4.245>.
- Lee JH., Kim JN, Park J, Park T and Nam KM. 2015. Feeding habits of the Pacific cod *Gadus macrocephalus* in Southeast Sea of Korea. Korean J Ichthyol 27, 142-148.
- Lee KH, Cha HK, Kim YH, Lee JY and Jung SG. 2016. Comparison of biological Characteristics of Pacific cod *Gadus microcephalus* between the East and Yellow seas, Korea. Korean J Fish Aquat Sci 49, 499-508. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0499>.
- 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>.
- Park CY and Gwak WS. 2009. Comparison of stomach contents of Pacific cod *Gadus macrocephalus* in Korean coastal waters. *Korean J Ichthyol* 21, 28-37.
- Seo YI, Kim JI, Oh TY, Lee SK, Park JH, Kim HY and Cho ES. 2010. The population structure of the Pacific cod (*Gadus macrocephalus* Tilesius) based on mitochondrial DNA sequences. *J Life Sci* 20, 336-344. <https://doi.org/10.5352/JLS.2010.20.3.336>.
- Taylor BM and Cruz E. 2017. Age-based and reproductive biology of the pacific longnose parrotfish *Hipposcarus longiceps* from Guam. *Peer J* 5, e4079. <http://doi.org/10.7717/peerj.4079>.
- Westrheim SJ. 1996. On the Pacific Cod *Gadus macrocephalus* in British Columbia waters, and a comparison with Pacific cod elsewhere, and Atlantic cod *G. morhua*. *Can Tech Rep Fish Aqua Sci* 2092, 390.
- Yoon SC, Park JH, Choi YM, Park JH and Lee DW. 2012. Feeding habits of the Pacific cod *Gadus macrocephalus* in the Coastal Waters off Jumunjin, Gangwondo of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 45, 379-386. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2012.0379>.
- Zhang CI. 2010. Mairme fisheries resource ecology. Pukyong National University Press, Busan, Korea, 153-181.