

한국 동해안 대구(*Gadus macrocephalus*)의 성숙과 산란

이채성·허영희·이정용·김완기·홍승현·황선재·최수하*
국립수산과학원 동해수산연구소, *강릉대학교 해양생명 공학부

Maturity and Spawning of Pacific Cod (*Gadus macrocephalus*) in the East Sea

Chae Sung LEE, Young Hee HUR, Jeong Young LEE, Wan Ki KIM,
Sung Hyun HONG, Seon Jae HWANG and Soo Ha CHOI*
East Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and
Development Institute, Gangneung 210-861, Korea
* Faculty of Marine Bioscience and Technology, Kangnung National University,
Gangneung 210-702, Korea

The maturity and spawning of Pacific cod, *Gadus macrocephalus*, was studied using samples caught by gillnets in the East Sea from January to December 2003. Monthly changes of maturity observed with the naked eyes for females showed that maturing Pacific cod appeared from August, and their numbers increased to 83% and 100% in November and December, respectively. In January, mature and spawning Pacific cod were observed for the first time and composed over 40% of the population. In February, the proportion of spawning individuals increased to over 50%, however, the mature individuals decreased to less than 10%. In March, mature fish were not found, and all were in an immature (spent) or spawning state. From April to July all fish remained in immature condition. The males maintained this trend with the females, whereas, mature males appeared from November to March. Monthly changes in the gonadosomatic index (GSI) of females and males showed higher values both in January and February and declined sharply in March. The lower value remained until October and then began to increase from November for the female population. For the males, however, this value remained lower until August, and then began to increase from September, and showed higher values in October through December than in January and February. These results indicated that the spawning season of Pacific cod was from December to March, and the main spawning season was from January to February, and the period of the spawning season was longer for males than the females. The diameter of the matured oocytes was 0.80-1.10 mm with a single mode of 0.95 mm. Fecundity was 1,300,000-9,400,000 in total length of 65-95 cm and the relationship between the total length (TL, cm) and fecundity (Fc) was $Fc = 180,248 \times TL - 10,883,638$. The total length at first maturity was observed at 57 cm for females and 47 cm for males. The size at 50% group maturity was estimated to be 63.9 cm for females and 56.0 cm for males.

Key words: Pacific cod, *Gadus macrocephalus*, Maturity, Spawning, Gonadosomatic index, Fecundity

서 론

대구, *Gadus macrocephalus*의 분포 최남단은 우리나라 서해 북부와 동해, 북쪽으로는 오호츠크해, Bering Sea와 Chukchi Sea, 북동 태평양쪽으로는 알라스카만을 따라 남쪽으로 북미 캘리포니아 연안까지 북태평양의 아한대해역에서 극해에 이르는 광범한 해역에 분포하며, 연직적으로는 대륙붕과 대륙사면 상부에 분포하는 냉수성 어종이다(Westheim, 1996).

대구는 우리나라 동해안에서는 기선저인망, 자망, 연승어업 등에 주로 어획되는 상업적으로 매우 중요한 어종의 하나로써, 1970-1999년까지는 연간 어획량이 100-600톤 범위이었으나, 2000년 및 2001년의 탁월연급군의 발생으로 최근 연간 1,000-2,000톤 범위로 어획량이 급격히 증가하여 높은 어획수

준을 유지하고 있다. 그러나 최근 대구 치어 및 산란친어에 대한 무분별한 남획 등으로 대구 자원이 회복될 수 있는 모처럼의 기회가 무산될 수도 있는 실정이다. 따라서 이들 탁월연급군에 대한 적절한 자원관리를 통한 지속적이고 합리적 이용의 필요성이 시급히 요구되고 있으며, 이를 위하여 본 연구와 같은 자원생물학적 특성에 관한 기초적인 연구가 선행되어야 할 것이다.

대구의 재생산에 관한 과거의 연구를 보면 일본 연안 대구에 대하여는 Hattori et al. (1995)의 Mutsu Bay산 대구의 포란수에 대한 조사, Hattori et al. (1993a) 및 Hattori et al. (1993b)의 북해도 남부해역의 암컷 대구와 수컷 대구에 대한 성숙과정과 산란시기에 대한 연구, Sakurai and Hattori (1996)의 실험실 수조내에서 대구의 산란 행동의 관찰에 의한 대구의 산란습성 구명 등이 있다. 한편, Moiseev (1960)는 일본, 러시아 해역의

*Corresponding author: csl@nfrdi.re.kr

여러 지역간의 성숙과 산란, 성장, 체질적 및 형태학적 특성 등에 대하여 비교 연구를 통하여 극동지역의 대구의 개체군의 차이를 구명하였다. 베링해의 러시아측 연안인 Anadyr-Navarin 지역 대구에 대한 생물학적 특성에 대한 연구로는 Klovach et al. (1995)이 있으며, Ketchen (1961)은 캐나다의 북태평양측 연안의 대구에 대한 생태에 대하여 광범위하게 연구하였다. Westrheim (1996)은 British Columbia 해역의 대구와 북태평양의 여러 지역의 대구 및 대서양 대구의 생태에 대한 비교 연구 등 대구의 각 분포해역별 또는 개체군간의 대구의 생태에 대한 비교 연구 등 많은 연구 결과가 있다. 우리나라의 경우는 Chung and Kim (1971)의 서해산대구와 체장, 체중의 상관관계에 관한 연구, Park (1965)의 진해만 대구와 서해안 대구의 계군에 관한 연구, Gong et al. (1991)의 북태평양 대구의 근연관계에 관한 연구가 전부이며, 동해안 대구의 재생산에 관한 연구는 전무하다.

본 연구에서는 우리나라 동해안 대구의 성숙과 산란을 조사하였다.

재료 및 방법

본 연구에 사용된 대구는 2003년 1월부터 12월까지 동해안의 강원도 주문진 연안과 양양군 기사문리 연안의 자망 어획물로서 매일 어민으로부터 직접 구입하여 실험실에 가져와 어체를 정밀히 조사하였다. 월별 조사미수 및 체장조성은 Table 1 및 Fig. 1과 같다. 단 군성숙 체장자료는 2001년 및 2002년의 동해수산연구소 조사 자료를 포함하였다.

Table 1. Number of specimen and ranges of total length of *Gadus macrocephalus* sampled from the East Sea during 2003

Month	Number of specimens		Range of total length (cm)
	Total	Maturity and GSI study	
January	21	12	38.1 - 90.0
February	28	26	53.1 - 98.6
March	31	16	17.9 - 75.8
April	33	13	25.6 - 71.6
May	30	7	25.9 - 68.8
June	33	12	23.4 - 68.1
July	38	13	34.5 - 69.4
August	32	12	28.8 - 73.2
September	35	12	29.6 - 71.3
October	23	14	32.4 - 79.9
November	26	20	30.3 - 80.0
December	31	24	36.4 - 84.1
Total	361	12	17.9 - 98.6

전장, 체장, 두장 및 체고는 0.1 cm 단위, 체중은 0.1 g 단위, 생식소의 중량은 0.01 g 단위까지 측정하였다. 속도는 육안 관찰에 의하여 미숙(immature), 중숙(maturing), 완숙(mature), 방란중(spawning) 및 방란후(spent)의 5계급으로 구분하였다.

산란기 추정을 위하여 생식소 속도지수(Gonadosomatic index, GSI)를 구하고 이의 월별 변화를 분석하였다.

$$GSI = \frac{GW}{BW} \times 10^2 \quad (BW: \text{체중(g)}, GW: \text{생식소 중량(g)})$$

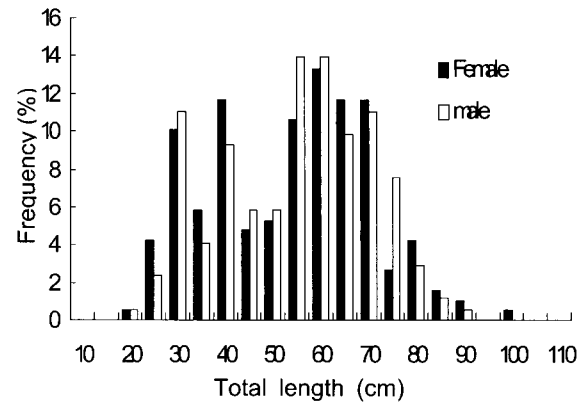


Fig. 1. Length frequency distributions for *Gadus macrocephalus*, sampled from the East Sea during 2003.

난경은 Gilson 용액으로 분리된 난을 Profile Project로 개체당 50개 씩 임의 추출하여 난의 장경을 측정하여 난경조성의 월별 변화를 추적하였다. 포란수(F)는 산란기중 당해년 산란 경험이 없는 완숙개체에 대하여 난소의 일부를 표본하여 Gilson 용액으로 난을 완전히 분리한 후 난수를 계수하고, 중량법(Bagenal and Brown, 1978)으로 구하였다.

$$F_i = \frac{A}{B} \times e$$

(F_i : i 체장 개체의 포란수, A: 난소중량, B: 난소의 일부 표본중량, e: 일부표본 난소의 난의 개수)

포란수(F_c)와 전장(TL)과의 관계는 다음의 회귀직선식으로 추정하였다.

$$F_c = b_0 + b_1 TL_i$$

군 성숙체장은 주 산란기인 1-2월 및 12월에 성별 크기별 성숙개체의 비율로서 다음의 Logistic equation으로 추정하였다.

$$P_i = \frac{1}{1 - e^{-b_0 - b_1 TL}}$$

(P_i : i 체장계급에서의 군 성숙 비율(%))

결 과

산란기 추정

산란기는 속도상태의 육안 관찰 결과, 생식소 중량의 월 변화 및 생식소 속도지수의 월변화로부터 추정하였다.

속도상태의 변화

육안관찰에 의한 난소의 상태는 미숙상태의 난소는 연회색을 띠며, 작고 표피는 얇으며 투명하였다. 중숙상태는 불투명하고 난소표면에 소혈관이 산재되어 있었으며, 난립은 아주 작으며 연홍색을 띠고 있었다. 완숙상태는 난립이 크고 난의 대부분이 투명하였으며, 난소는 연보라색을 띠며 복강전체에 충만하게 들어 있었다. 방중상태는 난 전체가 투명하며, 약간

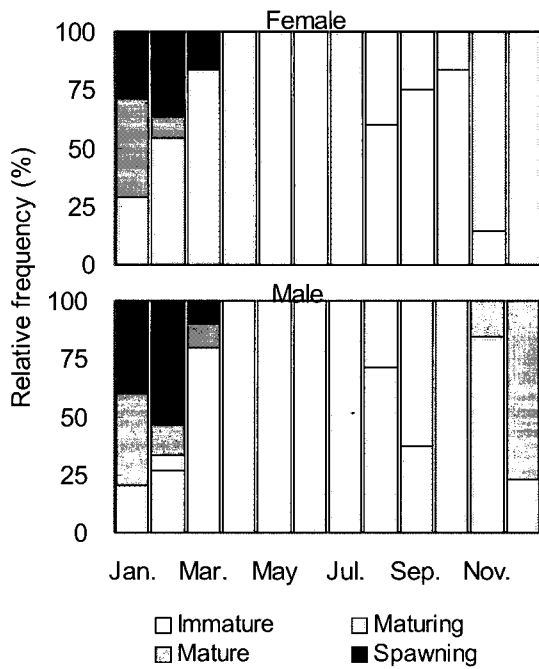


Fig. 2. Monthly changes of maturity stages for *Gadus macrocephalus* in the East Sea during 2003. Data included samples that total lengths are over 60 cm for female and 50 cm for males.

의 압력에도 난이 복강밖으로 유출되었으며 난소는 진보라색을 띠고 있었다. 방후상태는 난이 대부분이 방란되고, 난소의 표피는 얇고 축소되어 있었다.

위의 기준에 의한 월별 속도의 변화를 보면(Fig. 2) 암컷의

경우는 8월부터 증숙개체가 나타나기 시작하여 11-12월에는 대부분의 개체가 증숙상태이며 완숙 및 방숙 개체는 나타나지 않았다. 1월부터 완숙 및 방숙개체가 출현하기 시작하여 각각 40%씩 차지하였으나, 2월에는 완숙개체의 비율은 10% 미만으로 감소하고, 방숙개체의 비율이 증가하여 50% 이상을 차지하였다. 3월에는 증숙-완숙 개체는 출현하지 않았고 방숙개체만 출현하였다. 4월부터 7월까지의 모두 미숙개체였다. 수컷의 경우는 암컷과 비슷한 경향을 보였으나, 암컷에 비하여 완숙개체의 출현이 2개월 정도 빠른 11월부터 나타나기 시작하여 11월에는 20%를 차지하였으나, 12월에는 80%가 완숙개체였으며, 3월까지 완숙개체가 출현하였다. 방숙개체는 1월부터 출현하여 55%를 차지하였으며 2월에는 70% 이상이 방숙개체로 대부분을 차지하였다.

생식소 중량의 변화

성별 생식소 평균중량의 월별 변화를 보면 암컷은 11월부터 증가하기 시작하여 2월에 1,500 g으로 최대치를 보인 후 3월에 급격히 감소하였으며, 이후 10월까지 100 g 이하의 낮은 값으로 거의 변화가 없었다. 수컷은 암컷보다 약 2개월 빠른 9월부터 증가하여 12월에 1,100 g으로 최대치를 보였으며, 암컷과 마찬가지로 3월에 급격히 감소하여 8월까지 100 g 이하의 낮은 값을 보였다(Fig. 3).

생식소 속도지수의 변화

본 연구에서 최소 성숙체장으로 추정된 암컷 60 cm 이상의 개체와 수컷 49 cm 이상의 개체에 대하여 생식소 속도지수의 월별 변화를 추정된 결과 암컷은 11월부터 증가하기 시작하여

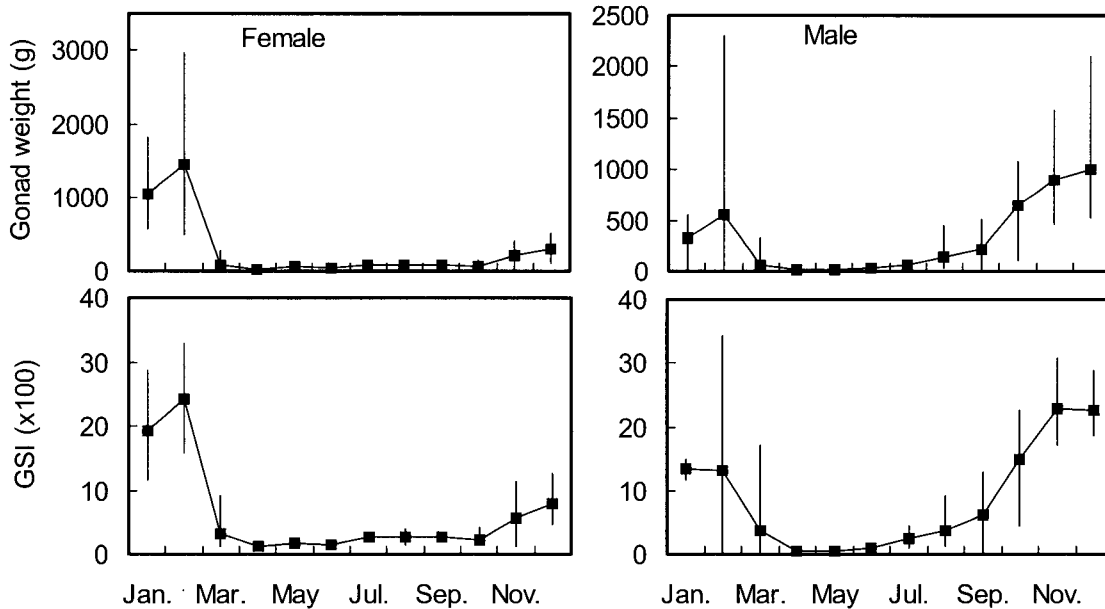


Fig. 3. Monthly changes of gonad weight and GSI for *Gadus macrocephalus* in the East Sea during 2003. Squares indicate mean and vertical lines for maximum and minimum values. Data included samples that total lengths are over 60 cm for female and 50 cm for males.

1월에 20 이상을 보였으며, 2월에 20으로 최대치를 보인 후 3월에 급격히 감소하여 10월까지 낮은 값을 보였다. 수컷은 암컷보다 2개월 빠른 9월부터 증가하기 시작하여 11월에 23으로 최대치를 보였으며, 1월과 2월에도 10 이상의 높은 값을 유지하였으나, 3월부터 급격히 감소하여 생식소 중량의 변화와 같은 경향을 보였다(Fig. 3).

난경의 변화

60 cm 이상의 성숙 개체에 대한 월별 난경조성의 변화를 보면, 난경크기는 단일 모드를 이루며 월의 진행에 따라 점차 커지는 경향을 보였다(Fig. 4).

6월에서 10월까지의 모두 미숙난이었으며, 6월에 최빈치 0.15-0.25 mm 에서 8월에 최빈치 0.30 mm, 10월에 0.35 mm 로 점차 증가하였다. 11월과 12월은 중숙난으로 최빈치는 모두 0.45 mm 였으나, 난경범위가 11월에 비하여 12월이 크게 나타났다. 1월의 완숙난은 0.80-1.10 mm 범위로 최빈치는 0.95 mm로 12월에 비하여 급격히 커졌으며, 2월의 방란중의 개체는 0.75-1.00 mm 범위, 모드는 0.90 mm 로 1월에 비하여 오히려 다소 작았다.

포란수

포란수는 주 산란기인 1-2월에 전장 65-95 cm 범위의 산란 경험이 없다고 판단되는 완숙개체 14마리에 대하여 조사하였다. 조사된 개체중 최소 포란수는 130만개(전장 74.3 cm), 최대 포란수는 940만개(전장 98.6 cm)로 나타났다.

5 cm 간격의 체장계급별 절대 포란수와 상대 포란수를 보면 65-70 cm 범위에서는 평균 포란수가 70-75 cm 개체의 평균 포란수보다 오히려 높게 나타났으나 75 cm 보다 큰 개체에서는 체장이 증가할수록 절대 포란수 및 상대 포란수 모두 증가하였다(Table 2).

전장과 포란수의 관계는 직선회귀식으로 표시되었다(Fig. 5).

$$Fc = 180,248 \times TL - 10,883,638 \quad (R^2 = 0.778)$$

균성숙 체장

대구의 재생산에 참여하는 체장을 알기 위하여 주 산란기로 추정되는 1-2월에 암컷 전장 범위 21.5-98.6 cm (99마리), 수컷 전장범위 24.3-86.2 cm (78마리)에 대하여 체장에 대한 성숙개체의 비율을 추정하였다(Fig. 6). 본 연구에서 최소 성숙체장은 암컷의 경우는 59.8 cm, 수컷의 경우는 48.8 cm 으로 각각 나타났으며, 암컷 76 cm 이상, 수컷 64 cm 이상 개체에서는 모두 성숙한 것으로 나타났다. 이를 logistic equation 에 적용한 결과 50% 균성숙 체장은 암컷 63.9 cm, 수컷 56.0 cm으로 각각 추정되었다.

$$\text{Female: } P_i = \frac{1}{1 - e^{-17.25 - 0.27TL_i}}$$

$$\text{Male: } P_i = \frac{1}{1 - e^{-15.14 - 0.27TL_i}}$$

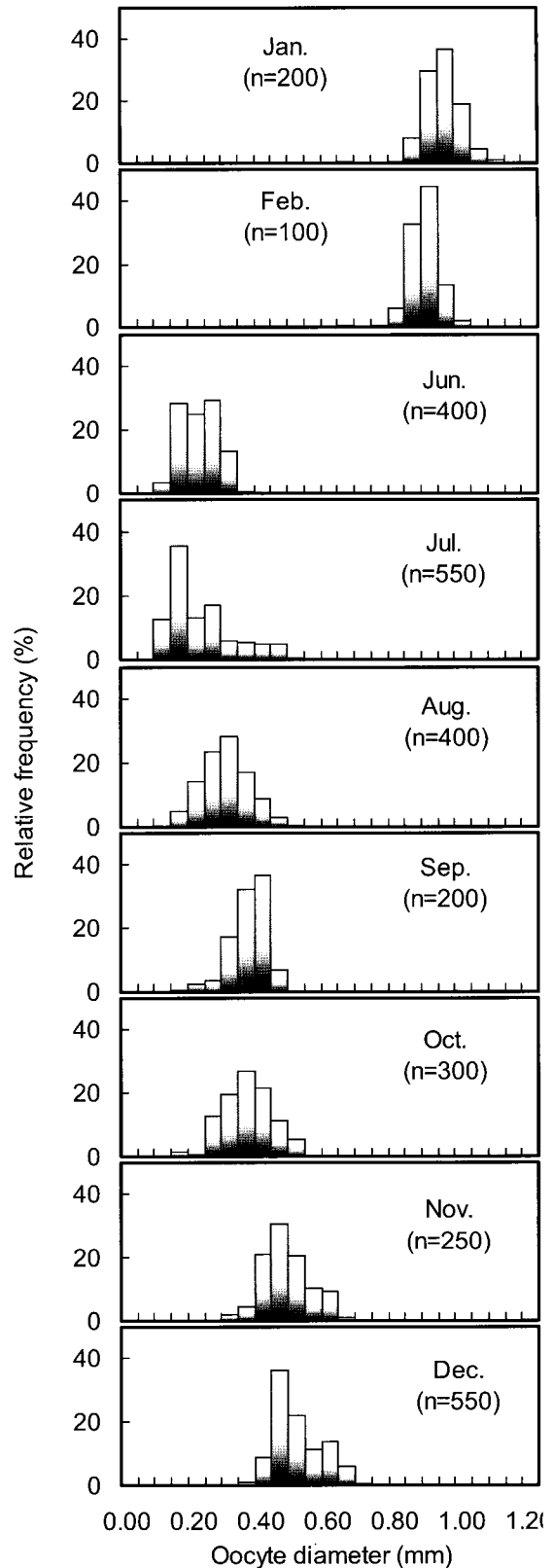


Fig. 4. Monthly changes of egg diameter for samples over 60 cm in total length of *Gadus macrocephalus* in the East Sea during 2003.

Table 2. Mean and range of absolute and relative fecundity of *Gadus macrocephalus* in the East Sea during 2003

Total length (cm)	Absolute fecundity		Relative fecundity (cm ⁻¹)		Number of specimens
	Mean	Range	Mean	Range	
65-70	2,278,817	1,677,176 - 2,710,500	33,995	24,995 - 39,169	4
70-75	1,714,555	1,325,582 - 2,103,528	23,448	17,841 - 29,054	2
75-80	2,313,276	1,766,171 - 3,383,714	29,639	22,413 - 42,995	5
80-85	3,305,390	2,979,980 - 3,630,800	40,254	35,350 - 45,159	2
95-100	9,412,329	-	95,460	-	1

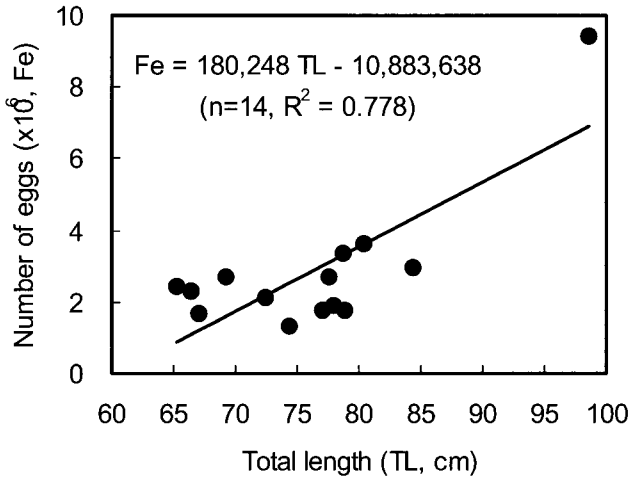


Fig. 5. Relationship between total length and fecundity of *Gadus macrocephalus* in the East Sea during 2003.

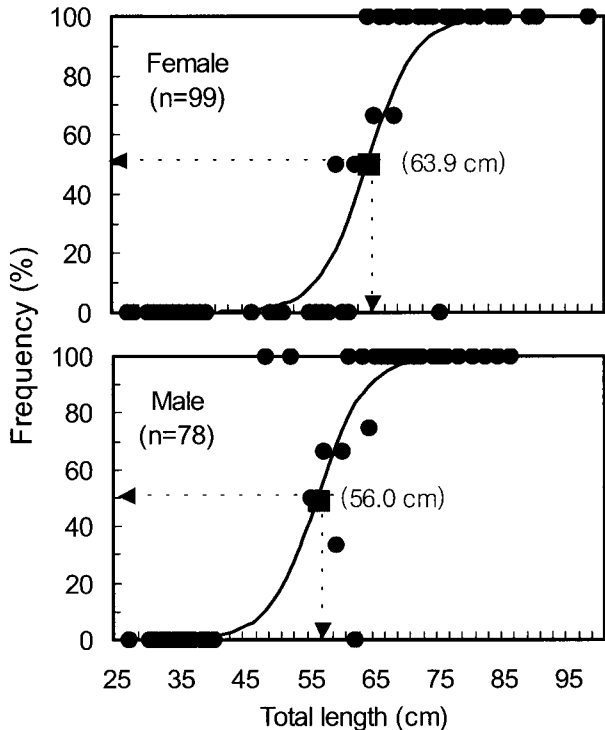


Fig. 6. Relationship between total length and group maturity of *Gadus macrocephalus* in the East Sea for 2001-2003.

고찰

본 연구에서 대구의 생식소 속도지수와 난경의 변화 등으로 부터 대구의 산란기는 12-3월, 주산란기는 1-2월로 추정되었으며 수컷의 성숙시기가 암컷보다 길고 1-2개월 빨리 성숙하는 것으로 나타났다. 일본 북해도 남부연안 대구의 주산란기는 12-1월로(Hattori et al. 1993) 우리나라 동해안보다 약 1개월 빠른 것으로 나타났으나, 베링해 및 알라스카만 대구는 1-4월(Westheim, 1996), 캐나다 연안(Ketchen, 1961)은 1-3월로 위도가 높을수록 산란기가 길고 늦게 시작되어 지역에 따른 산란시기에 차이를 보였다.

본 연구에서 완숙난의 난경은 0.80-1.10 mm로 단일 모드를 보여 일시에 산란하는 것으로 추정되었다. Sakurai and Hattori (1996)에 따르면 대구의 산란 습성은 암컷은 1회 약 20초간 일시에 산란하는 것으로 보고하여 본 연구의 난경조성의 결과와 잘 일치하였다.

본 연구에서 포란수는 1,300,000개(전장 74.3 cm)-9,400,000개(전장 98.6 cm) 범위였으며, 상대포란수(cm⁻¹)는 23,000-95,000 범위로서, 70-75 cm 계급에서 가장 적었으며, 그 이후는 전장이 커질수록 상대포란수도 증가하는 경향을 보였다. 일본 Mutsu 만의 경우 포란수는 1,800,000개(체장 60cm)-4,000,000개(체장 80 cm) 범위로서, 체장과 포란수의 관계는 $F = 3.0854 \times 10^{-2} \times BL^{2.7960}$ 의 지수식으로 나타내었으며, 상대포란수(mm⁻¹)는 500개로 체장의 크기에 관계없이 일정한 것으로 보고(Hattori et al., 1995)하여 본 연구와는 차이를 보였다. 본 연구에서는 기준을 전장(total length), Hattori et al. (1995)의 경우는 체장(body length)으로 조사하여 기준 체장이 서로 달랐다. 따라서 이를 직접 비교하기 위하여 본 연구에서 조사된 자료에 의한 체장(BL)과 전장(TL)과의 상대성장 관계식 $BL = 0.899 \times TL - 1.510$ (n=356, R²=0.993)을 적용하여 비교하여 보면, 전장 75 cm (체장 66 cm) 미만에서는 본 연구에서 포란수가 적게 나타났으나, 75 cm 이상 크기의 개체에서는 본 연구에서 포란수가 많은 것으로 나타났다.

베링해 및 알라스카만의 경우는 225,000-5,000,000개, 캐나다 연안의 경우는 860,000개(55 cm)-3,350,000개(80 cm) (Westheim, 1966) 로 보고하고 있어 우리나라 동해안 대구의 포란수가 다른 해역에 비하여 많은 것으로 나타나 지역간의 계급 차이에 기인된 것으로 추정되나, 조사 대상 개체의 체장범위 차이와 본 연구의 표본개체수가 적어 편차가 크게 나타났을 수도 있어 급후 이에 대한 조사가 좀 더 이루어져야 할 것으로

생각된다.

Westrheim (1996)에 의하면 50% 균성숙 체장은 캐나다의 British Columbia 연안의 대구는 수컷은 49 cm (2세), 암컷은 55 cm (3세), 베링해의 암컷은 67 cm (5.8세)로 보고하였다. 본 연구에서는 암컷 63.9 cm, 수컷 56.0 cm로 나타나 지역간 및 성별간에 성숙체장에 비교적 큰 차이를 보였으며, 이는 성장과도 관련이 있는 것으로 추정된다.

참 고 문 헌

- Bagenal, T.B. and E. Brown. 1978. Eggs and early life history. In: Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters. Bagenal, T., ed. Blackwell Scientific Publications Ltd., Oxford, 165-201.
- Chung, T.Y. and Y.U. Kim. 1971. Length-weight relationship of *Gadus macrocephalus* Tilesius of the Yellow Sea. Bull. Kor. Fish. Soc., 4, 103-104.
- Gong, Y., Y.C. Park and S.S. Kim. 1991. Study on the management unit of fisheries resources by genetic method 1. Genetic similarity of Pacific cod in the North Pacific. Bull. Natl. Fish. Res. Dev. Inst. Korea, 45, 47-58.
- Hattori, T., Y. Sakurai and K. Shimazaki. 1993a. Maturation and reproductive cycle of female Pacific cod in waters adjacent to the southern coast of Hokkaido, Japan. Nippon Suisan Gakkaishi, 58, 2245-2252.
- Hattori, T., Y. Sakurai and K. Shimazaki. 1993b. Maturity and reproductive cycle based on the spermatogenesis of male Pacific cod, *Gadus macrocephalus*, in waters adjacent to the southern coast of Hokkaido, Japan. Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn., 42, 265-272.
- Hattori, T., Y. Sakurai and K. Shimazaki. 1995. Fecundity of spawning Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in Mutsu Bay, Japan. Bull. Tohoku Natl. Fish. Res. Inst. Tohoku Suiken Ho, 57, 1-5.
- Ketchen, K.S. 1961. Observation on the ecology of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in Canadian waters. J. Fish. Res. Bd. Can. 18, 513-558.
- Klovach, N.V., O.A. Rovnina and D.V. Kol'tsov. 1995. Biology and exploitation of Pacific cod, *Gadus macrocephalus*, in the Anadyr-Navarin region of the Bering Sea. J. Ichthyol. Vopr. IKHTIOL., 35, 9-17.
- Moiseev, P.A. 1960. The behavior of the Pacific cod in various zoogeographical areas. Zool. Zh., 39, 558-562. (Transl. U.S. Naval Oceanographic Office, Washington D.C., Transl. 414).
- Park, B.H. 1965. On the race of cods (*Gadus macrocephalus* Linnaeus) between Yellow Sea and Chin Hae Bay of Korea. Fish. Res. Dev. Agen. Rep. Fish. Res., 6, 107-115.
- Sakurai, Y. and T. Hattori. 1996. Reproductive behavior of Pacific cod in captivity. Fish. Sci. 62, 222-228.
- Thomson, J.A. 1962. On the fecundity of Pacific cod (*Gadus macrocephalus* Tilesius) from Hecate Strait, British Columbia, J. Fish. Res. Bd. Can., 19, 497-500.
- Westrheim, S.J. 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. Aquat. Sci., 2092, pp. 390.

2004년 12월 17일 접수

2005년 8월 19일 수리