

한국 동해산 도루묵 (*Arctoscopus japonicus*)의 성성숙과 산란

이해원* · 김진희¹ · 강용주

부경대학교 자원생물학과, ¹부경대학교 수산과학연구소

Sexual Maturation and Spawning in the Sandfish *Arctoscopus japonicus* in the East Sea of Korea

Hae Won LEE*, Jin Hee KIM¹ and Yong Joo KANG

Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

¹Institute of Fisheries Science, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Gonad development in the sandfish *Arctoscopus japonicus* was investigated using a histological method. Specimens were collected monthly from April 2003 to March 2004, in the East Sea of Korea. The gonadosomatic index (GSI) of females began to increase in August, reached a maximum in November, and declined sharply in December. By contrast, in males, the GSI began to increase in June and reached a maximum in August. The annual reproductive cycle of *A. japonicus* can be divided into four successive stages in females: the early growing (January-March), late growing (April-August), ripe and spent (September-November), and recovery (December) stages. Males passed through early growing (January-April), late growing (May-July), ripe and spent (August-November), and recovery (November-December) stages. These results indicate that the spawning season was from October to December. The egg diameter of mature oocytes was 3.12 ± 0.02 mm. The relationship between fecundity (F_c) and body length (BL) was $F_c = 0.4693BL^{2.6825}$. Fecundity ranged from 483-2,254 eggs in a body length of 14.3-22.9 cm and increased with body length. The body length at 50% maturity was 14.80 cm, which corresponded to an age of 2.40 years

Key words: *Arctoscopus japonicus*, GSI, Fecundity, Gonadal development, Spawning

서 론

도루묵 (*Arctoscopus japonicus*)은 냉수성 저서어류로서, 동해구 기선저인망어업에 있어 주요 어획물중의 하나로 상업적 가치가 높다. 산란시기가 되면 수심 2-10 m 되는 해조류가 무성한 삼척-속초에 이르는 동해안 해역에서 산란하며 (Chyung, 1977), 산란지역에서 부화한 자어와 치어는 약 10 m 수심에 분포하며, 성어는 200-300 m 깊이에서 발견된다 (Watanabe et al., 2004).

도루묵 수컷의 외부형태를 살펴보면, 쏘뱅이와 같은 체외수정 중에서 볼 수 있는 생식돌기가 있어 외관상으로 암수의 구분이 가능하다. 그러나 암수간의 교미가능성에 대해서는 알려진 바가 없고, 도루묵은 도루묵과에 1속 1종으로 근연종이 없어, 그 증거를 확인해볼 필요가 있다. 암컷의 경우는 산란시기가 되면, 난의 중량이 체중의 1/3에 달하고, 난경 또한 다른 어종에 비해 크며, 다색화 되어 있는 것이 특징이다 (Mio, 1967; Morika et al., 2005).

일반적으로 수서동물의 번식에 가장 지배적인 요인은 수온과 먹이다. 특히 수온은 아주 중요한 환경요인으로, 지속적으로 상승하고 있는 동해안의 수온변화가 냉수성어종인 도루묵의 생식·생태에 영향을 끼칠 것으로 판단된다.

도루묵으로 유명한 일본의 아키타현을 중심으로 연구된 결과 (Mio, 1967)에 의하면, 산란시기는 11-12월로 나타났으며, 우리나라 동해안을 중심으로 연구된 결과 (Choi et al., 1983)에서도 주 산란시기 11월말-12월초로 확인 되었다. 그러나 Choi et al. (1983)는 11월에 강원도·경북·경남해역에서 도루묵의 난의 성숙상태를 확인하여, 동해북부해역의 산란시기가 빠르다고 추정하였으나, 지역을 구분하지 않은 채, 산란시기의 추정, 난경조성, 포란수를 확인하였다.

본 연구는 강원도 삼척연안을 중심으로 산란하는 도루묵의 생식소 속도지수의 연간변화, 생식세포의 발달과정, 월별 난경변화, 포란수 및 군성속도 등을 조사하였고 교미 가능성에 대해서도 조사하였다.

재료 및 방법

사용된 시료는 2003년 4월부터 2004년 3월까지 매월 강원도 삼척연안에서 동해구기선저인망어업에 소속되어 해구번호 63, 69, 70에서 주조업하는 기선저인망 (한성호, 79.34 ton)으로 어획한 도루묵을 사용하였다 (Fig. 1). 그러나 산란기가 되면 수심이 낮은 연안으로 회유하는 특성이 있어 11월의 시료는 남해항에서 자망으로 어획한 자료를 사용하였다. 그리고 전장과 체장은 0.1 cm까지 측정하였으며, 전중 및 생식소 무게는 0.1 g까지 측정하였다.

*Corresponding author: roundsea@hanmail.net

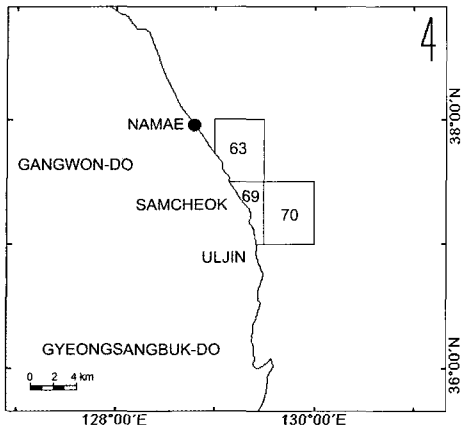


Fig. 1. Sampling area of the sandfish *Arctoscopus japonicus*.

생식소 성숙상태의 월별 변화를 조사하기 위해 생식소속도 지수 (Gonadosomatic index, GSI)를 다음과 같이 구하였다.

$$GSI = \frac{GW}{BW} \times 10^2, \quad GW: \text{생식소중량(Gonad weight; g)}, \\ BW: \text{체중(Body weight; g)}$$

월별 수온변화는 국립해양조사원에서 우리나라 연안의 29개 조위관측소에서 매일 오전 9시경 해수면 아래 30-40 cm 표층의 바닷물을 채수하여, 봉상온도계로 측정된 수온 자료를 사용하였다. 조사해역에 해당하는 목호 조위관측소의 수온자료를 월평균하였다.

생식소 구조 및 생식세포 발달과정은 시료를 실험실로 가져와 해부 후 적출하여 관찰하였고, 적출된 생식소는 Bouin's 용액에 고정한 후 paraffin 절편법에 의해 5 μm 전후로 절편하여 Hematoxyline-0.5% Eosin 으로 비교 염색하여 광학 현미경으로 검경하였다.

난경은 매일 어체크기별로 임의 추출하여 난의 장경을 측정하여 난경조성을 월별 추적하였다. 포란수를 구하기 위해서 산란기간 중 성숙한 개체의 난소를 사용하였다. 난은 충분히 커서 육안으로 관찰이 가능하였으며, 다음 식을 사용하였다.

$$F_c = \frac{GW_s}{GW} \times n_s,$$

F_c 는 난소내 전체난수, GW 는 난소중량, GW_s 는 난소의 일부중량, n_s 는 GW_s 내의 난수이다.

체장(L)에 따른 포란수(F)의 증가는 $F=a(L^b)$ 식에 의해 구하였다.

군성숙도는 주산란기로 추정되는 10-11월에 체장별 성숙이상의 속도를 가지는 개체의 비율을 구하였으며, 50% 군성숙체장은 3개의 파라메타에 의해 추정되는 Gompertz curves로 나타내었으며, 파라메타의 추정은 비선형회귀법의 하나인 Levenbert-Marquardt법을 사용하였다. 일반식은 다음과 같다.

$$Y = a \cdot e^{-e^{-\frac{(L-b)}{c}}}$$

여기서, Y는 군성숙도(%), a, b 와 c는 매개변수, L은 체장

(BL, cm)을 나타낸다.

결 과

GSI 월별변화

암컷의 GSI는 조사시작 시점인 4월부터 7월까지 2.0 전후로 비교적 낮은 값을 유지하다가 이후 8월에 5.5 ± 2.75 (Mean \pm SD)로 증가하기 시작하여, 11월에 28.4 ± 4.30 로 최고값을 보였다. 12월부터 급격히 감소하여 1월에는 1.2 ± 0.35 로 최저값을 나타내었다 (Fig. 2). 수컷의 경우에는 조사시작 시점인 4월과 5월에 1.0 전후의 낮은 값을 보였으나 이후 상승하기 시작하여 8월에 13.5 ± 3.90 로 최고값을 보였다. 이후 서서히 감소하고 12월에 급격히 감소하여, 이듬해 2월에 0.01 ± 0.008 로 최저값을 보였고, 3월부터 5월까지 유사한 값을 보였다 (Fig. 2).

도루묵 채집지역인 강원도 삼척연안의 수온은 8월에 22.8°C 로 연중최고 수온을 나타내었고 이후 서서히 감소하여 11월에 13.8°C , 그리고 2월에 8.9°C 로 최저값을 보였다 (Fig. 2).

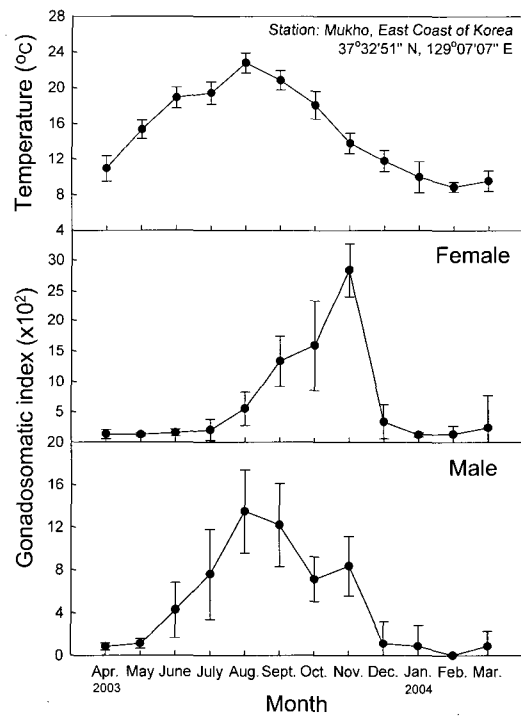


Fig. 2. Monthly variation in water temperature and gonadosomatic index of the sandfish *Arctoscopus japonicus* (Mean \pm SD).

생식소의 외부형태 및 구조

난소와 정소는 각각 한 쌍의 원추형으로 구성되며, 척추골을 따라 신장과 함께 꼬리 쪽으로 나란히 뻗어 총배설강과 연결된다. 이후 완숙되면 암·수 모두 낭상형으로 된다. 미성숙 시 난소내부는 여러 개의 소낭 구조를 가지고, 이후 발달이 지속되면 난소배면의 특정부위에서 형성되어 발달된 근육성 관 모양의 부착사가 있어 이것이 개개의 완숙난과 연결되어

그 자체로 층을 형성한다. 정소내부는 많은 작은 관의 정세관(testicular tubules)으로 구성되며, 이 정세관은 다시 여러 개의 작은 주머니(cyst)구조를 가진다. 각 소낭의 생식세포는 같은 발달 상태를 유지한다. 또한 도루묵 수컷은 총배설강 바로 앞에 생식돌기가 나타나 외형적으로 암수구분이 가능하였다(Fig. 3).

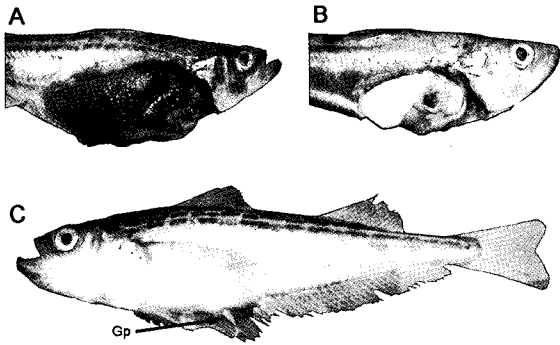


Fig. 3. Photographs of internal and external structure of the sandfish *Arctoscopus japonicus*. A, Female; B, C, Male; Gp, Genital pailla

생식소의 조직학적 관찰

1) 난소발달과정

초기성장기 난소는 발달함에 따라 두터운 난소소낭의 외막이 점점 얇아지면서, 난 내막을 따라 100 μm 전후의 난모세포로 구성되어 있다. 핵은 세포의 중앙에 위치하고 핵질에는 다수의 인이 산재하고 난황 축적이 시작되면서 호산성의 난각(chorion)이 관찰되었다(Fig. 4A).

성장기 난모세포의 세포질에는 유구가 형성되며 난황은 융합되어 균질화 되고 핵은 점점 동물극 쪽으로 이동하고 난모세포 외층에는 여포세포층이 발달하고 이때 난경은 200-250 μm 정도였다(Fig. 4B).

성숙기 난모세포 세포질에는 난황이 더욱 더 균질화 되며 작은 유구는 서로 융합되어 세포질의 가장자리에 위치하고(Fig. 4C), 난각을 따라 작은 피질과립도 관찰되며 여포세포의 발달은 현저하며 배포파괴가 진행되어 핵질부는 혼적적으로 되어 막상 경계가 불분명하게 되며 이때 난경은 300 μm 이상이었다(Fig. 4D).

방출기가 되면 난소내 대부분의 성숙난은 방출되며 여포세포가 혼적적으로 남아있고 난소소낭의 결체조직은 다시 두터워지고, 일부 미 방출된 난은 퇴화흡수되었다(Fig. 4E).

회복기가 되면 잔존난모세포가 퇴화 흡수되며, 잔존 초기 난모세포의 재배치와 함께 수축된 여포내에는 새로운 미분화 간층조직이 형성되었다(Fig. 4F).

2) 정소발달과정

도루묵의 정소는 남성형이며, 정소 내부는 여러개의 소낭으로 구성되어 있다. 초기 성장기 정소는 각각 소낭 안에서 정원세포가 분열 증식중이며 이들이 발달한 정모세포들도 소낭의 중앙부에 나타났다(Fig. 5A).

성장기 정소 소낭에는 분열 중인 정모세포군이 관찰되며, 핵질과 세포질이 응축된 많은 정세포들도 같이 관찰되었다(Fig. 5B).

성숙 정소에는 정세포가 정자로 변태하면서 소낭은 성장기의 소낭보다 상대적으로 길어지면서, 소낭은 호염기염류에 의해 진하게 염색되며, 변태된 정자 머리는 소낭의 가장자리로 향하고 있었다(Fig. 5C).

방정기에 이르면 소엽 가장자리를 향하여 정자는 마치 물결치듯 방출되기 시작하였다(Fig. 5D).

회복기 정소에서는 미 방출된 소수의 정자들이 퇴화 흡수되었고, 소낭이 재배치되었다(Fig. 5E).

난경변화와 포란수

방란횟수와 산란시기를 확인하기 위해 월별 난경변화를 조사하였다. 매월 체장별로 10개체를 확인한 결과, 4월에 0.5 mm 전후로 작은 난이 우점적이며, 7월부터 난경이 1.0 mm 이상으로 성장하여 11월에는 최대 3.12 mm이었다. 이후 난소내 난자의 난경은 급속히 감소하여 0.5-1 mm 전후를 유지한다(Table 1; Fig. 6).

개체군의 번식력을 알기 위해, 산란기간 동안 방란의 혼적이 없는 완숙기의 난소를 가지고 있는 38개체를 선택하여 포란수를 확인하였다(Table 2). 포란수는 최대 2,254개(BL, 19.5 cm)이었고 최소 483개(BL, 15.3 cm)이었다. 평균포란수는 1,187개이었다. 체장이 증가함에 따라 난소의 포란수도 상대적으로 증가하는 경향을 보였다. 체장(BL)에 따른 총포란수(F_c)를 조사한 결과, 다음의 식과 같다(Fig. 7).

$$F_c = 0.4693BL^{2.6825}$$

생식주기

GSI 월별변화와 생식소의 발달 단계 및 난경변화를 기초로, 암컷의 생식주기는 초기성장기(1-3월), 성장기(4-8월), 성숙 및 산란기(9-11월), 회복기(12월)로 나눌 수 있고, 수컷의 경우는 초기성장기(1-4월), 성장기(5-7월), 성숙 및 방정기(8-11월), 회복기(11-12월)로 구분되었다(Fig. 8).

군성숙체장

재생산의 참여여부를 확인하기 위해 군성숙도를 구하였다. 산란기 동안 산란 가능한 것으로 판단되는 성숙이상의 속도를 가지는 개체의 비율을 체장별로 구하였다. 그 결과 14.1-15.0 cm 체장에서 40%가 처음으로 산란에 참여하고 있으며 16.1-17.0 cm 체장계급에서 85.71%가 산란에 참여 하는 것으로 나타났다. 본 종에 가장 적합한 비선형회귀분석을 한 결과는 다음의 식과 같다.

$$Y = 100.097 \times e^{-e(-\frac{(L-14.4865)}{0.864858})}, (r^2=0.9958)$$

식에 의해 구한 생물학적 최소 체장인, 50% 군성숙체장은 14.80 cm였다(Fig. 9). 이때의 나이는 Lee and Kang (in press)의 연령-체장성장식에 의하면 2.40세였다. 체장(BL)과 전장

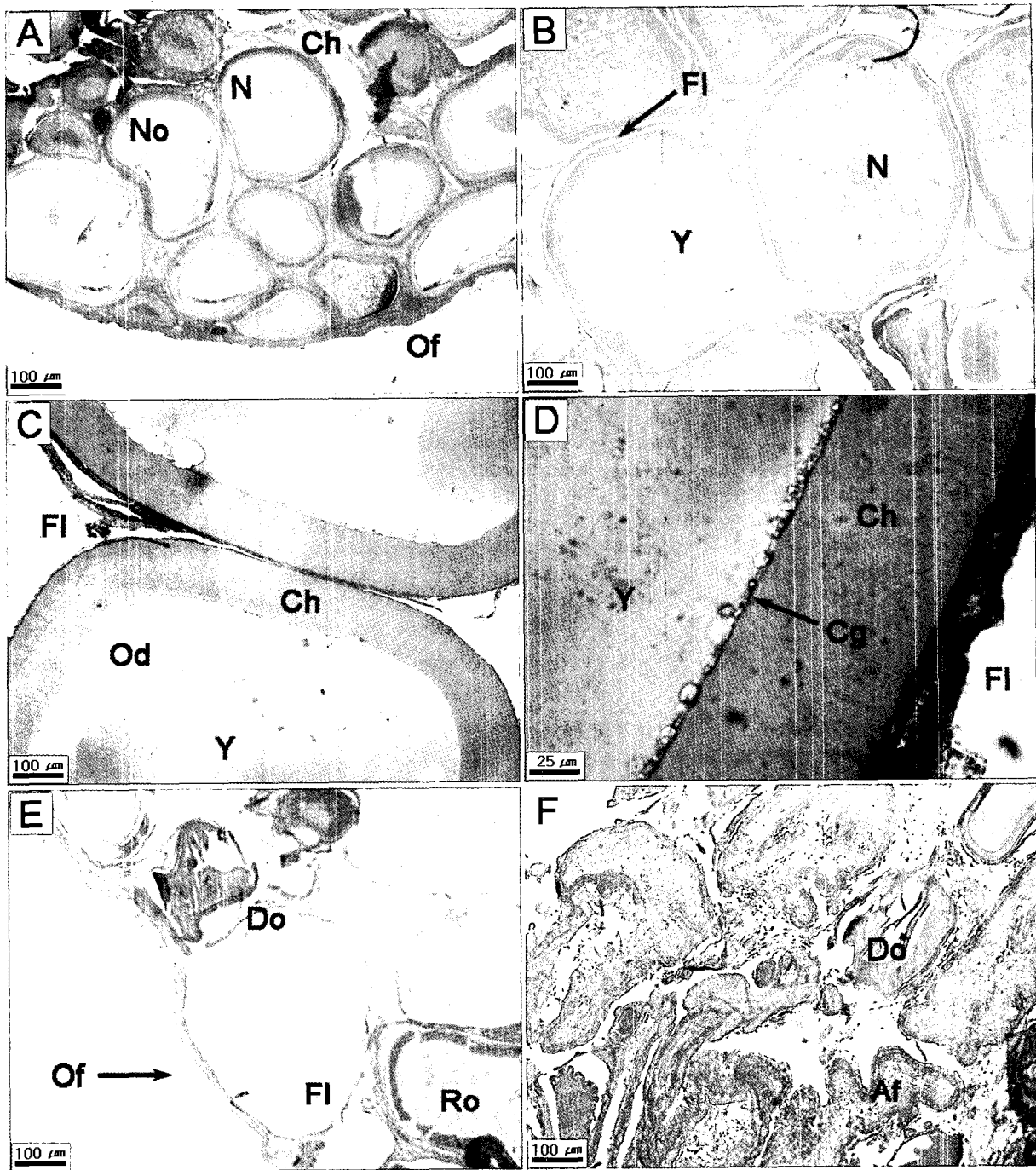


Fig. 4. Photomicrographs of the ovarian development phase of the sandfish *Arctoscopus japonicus*. A, Early growing stage; B, Late growing stage; C, D, Ripe stage; E, Spent stage; F, Recovery stage; N, nucleus; No, nucleolus; Of, oogenic follicle; Fl, follicle layer; Y, yolk; Ch, chorion; Od, oil drop; Cg, cortical granule; Do, degenerative oocyte; Ro, residual oocyte; Af, atretic follicle

(TL)간의 관계 ($TL=1.1455BL+0.0069$, $r^2=0.9933$)에 의해 전장은 16.96 cm였다.

고 찰

도루묵의 생식소 속도지수변화를 월별로 살펴보면, 암컷이

11월에 최대값을 보인 반면, 수컷은 8월에 최대값을 보였다. 이렇게 암수의 완숙시기가 다르다는 것은 몇 가지 가설을 세울 수 있다. 첫째, 수컷이 성숙한 시점에 교미가 이루어져 암컷 내 정자를 보관하는 저정낭 같은 기관의 존재 가능성, 둘째, 난자의 성숙을 촉진하는 정자 역할, 즉 수정이 이루어진

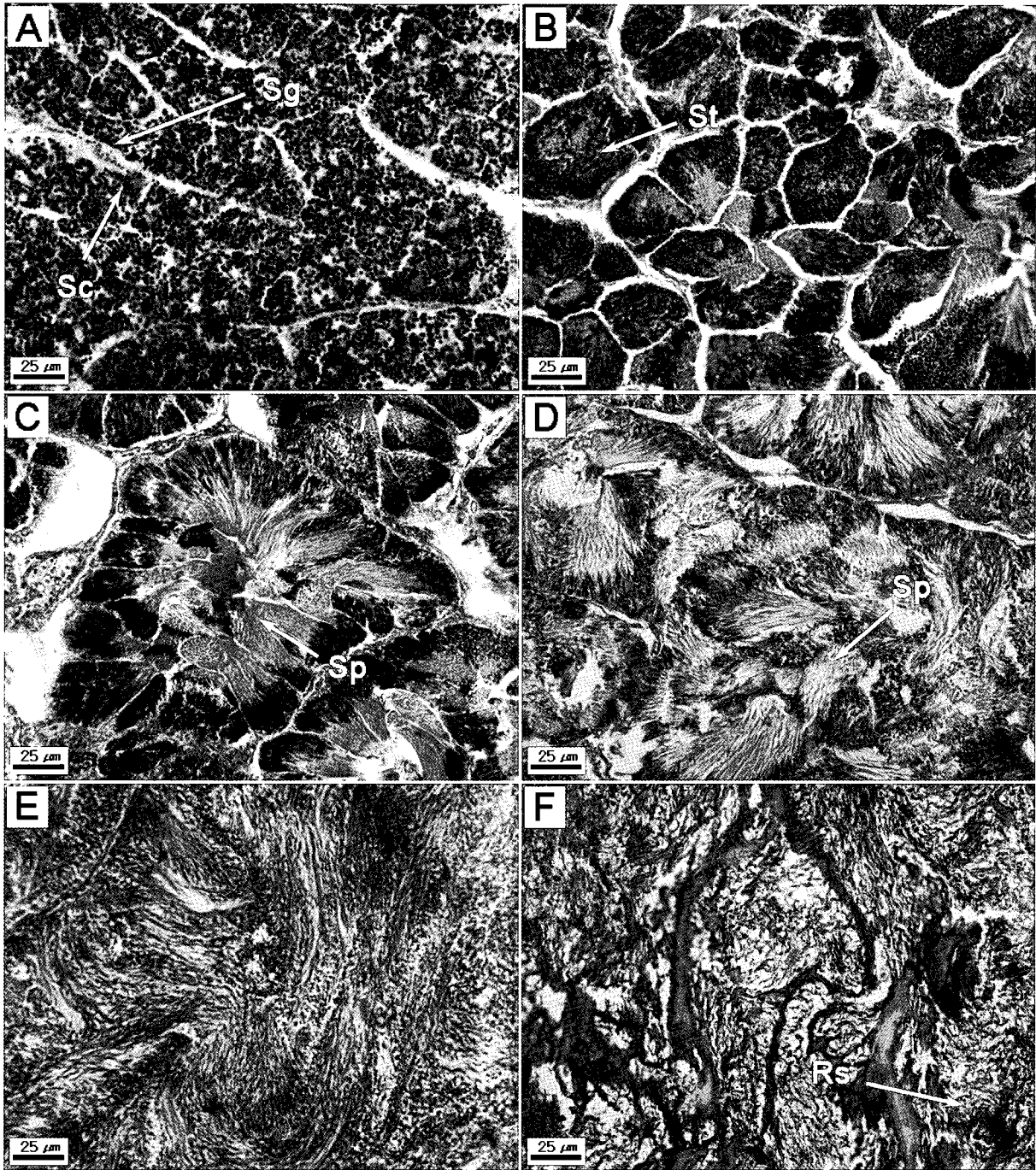


Fig. 5. Photomicrographs of the testicular development phase of the sandfish *Arctoscopus japonicus*. A, Early growing stage; B, Late growing stage; C, D, Ripe stage; E, Spent stage; F, Recovery stage; Sg, spermatogonia; Sc, spermatocyte; St, spermatid; Sp, sperm; Rs, residual sperm.

후 난자의 성숙분열을 유도하는 정자침입시기 차이 같은 수정 기작 등을 추론할 수 있다. 수컷에서 나타나는 생식돌기로 교미가능성에 염두를 두었으나 본 연구에서는 이와 같은 저정 기관이나 수정 증거를 발견하지 못하였다. 그리고 일반적으로 수온변화에 민감하게 GSI 변화가 일어나지만 본 종의 경우에는 비록 암수 차이가 있으나 암수 모두 일정 온도 이상에서

생식소 발달이 시작되고 온도가 하강하면 성숙이 시작되는 양상을 보여 낮은 수온에서 성숙하는 냉수성 어종이라는 것을 알 수 있다.

도루묵의 난소 내부구조는 노래미, *Hexagrammos agrammus* (Chung and Lee, 1985)와 점망둑, *Chasmichthys dolichognathus* (Baek et al., 1985), 날개망둑, *Favonigobius gymnauchen* (Lee

Table 1. Monthly change of egg diameter by body length of the sandfish, *Arctoscopus japonicus*

Month	Body length (cm)	Number of samples	Egg diameter (mm)		
			Mean (±SD)	Min.	Max.
Apr.	14.8-19.5	10	0.5358 (±0.0550)	0.4866	0.6779
May	12.2-22.2	11	0.6721 (±0.1194)	0.4339	0.9094
June	12.4-19.2	14	0.7030 (±0.1474)	0.4761	1.0166
July	12.4-19.6	10	1.0507 (±0.3700)	0.4470	1.5595
Aug.	13.1-21.8	14	1.4284 (±0.3840)	0.7240	2.0235
Sept.	13.6-21.3	14	2.3181 (±0.4400)	1.3067	2.8109
Oct.	12.6-21.6	14	2.6910 (±0.6149)	0.6277	3.1749
Nov.	14.3-22.9	16	3.1199 (±0.0980)	2.8624	3.2703
Dec.	14.0-22.0	16	3.0417 (±0.1062)	2.8089	3.2912
Jan.	13.2-21.0	14	0.5708 (±0.0375)	0.4991	0.6363
Feb.	14.1-22.0	14	0.6051 (±0.0306)	0.5490	0.6619
Mar.	13.2-18.1	8	0.6138 (±0.0513)	0.5456	0.7210

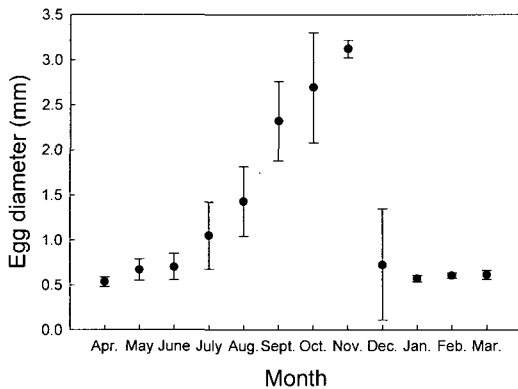


Fig. 6. Monthly of egg diameter of the sandfish *Arctoscopus japonicus*.

Table 2. Absolute fecundity by body length of the sandfish *Arctoscopus japonicus*

Body length (cm)	No. of samples	Absolute fecundity		
		Min.	Max.	Mean
14.0-15.0	2	605	748	677
15.0-16.0	4	483	914	775
16.0-17.0	6	587	983	807
17.0-18.0	4	1,018	1,358	1,117
18.0-19.0	7	806	1,085	967
19.0-20.0	6	1,167	2,254	1,532
20.0-21.0	4	1,426	1,892	1,630
21.0-22.0	4	1,470	1,978	1,709
22.0-23.0	1	-	2,038	2,038

et al., 2000) 등 대부분의 경골어류에서 볼 수 있는 것처럼 결체성 조직인 난소박판으로 구성되어 있다. 그러나 이 난소박판은 난소가 비후되면 경계를 찾기 어렵게 되어 전체가 하나의 낭상형으로 덩어리처럼 보인다. 특히 도루묵의 경우, 결체성 다발인 부착사가 1개씩 난에 붙어있어 마치 젓떡이 동물의 탯줄같이 연결된 특이한 구조를 가진다. 이것이 도루묵의 난 성숙과 연관성이 있는지는 차후 계속적 연구가 필요하다.

또한 본 종의 경우 성장기부터 호산성의 두터운 층으로 구성된 난각(chorion)이 관찰된다. 이 난각은 막성조직이 아닌

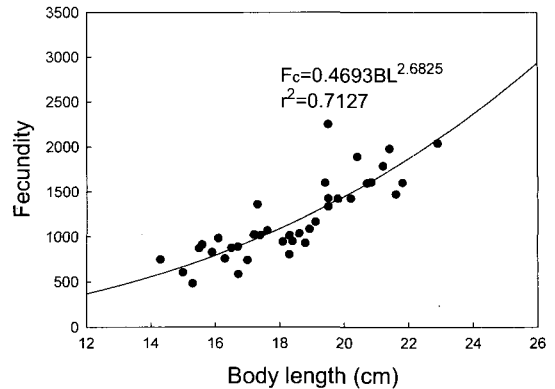


Fig. 7. Relationship between body length and fecundity of the sandfish *Arctoscopus japonicus*.

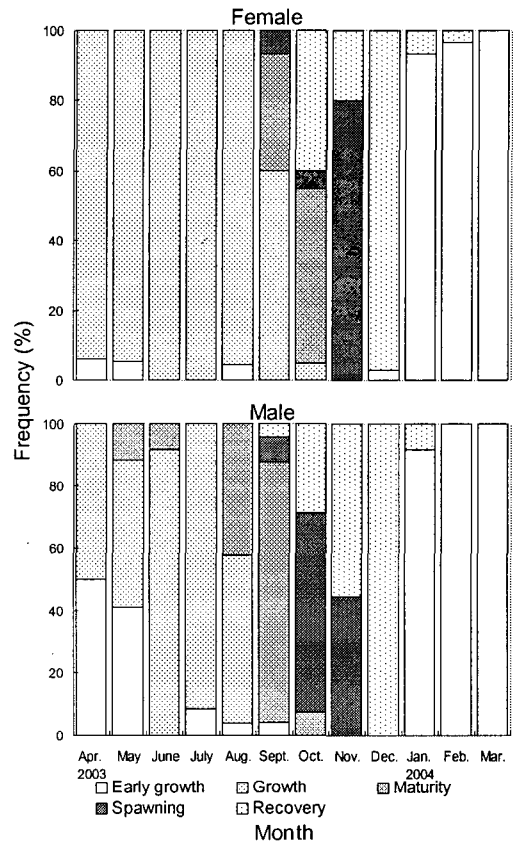


Fig. 8. Monthly change in frequency of gonad developmental stage of the sandfish *Arctoscopus japonicus*.

섬유상다발이 마치 씨줄과 날줄처럼 얽혀 난외막의 유동성을 높이고 내부물질의 보호역할을 하는 것으로 판단된다. 이와같은 구조는 난세포질 보호에는 이점이 있으나 수정 시 불리하게 작용할 것으로 추측된다. 이에 난문의 존재여부에 대해 조사하였으나 발견하지 못하였으며 계속 미세구조에 대해 연구 중이다.

경골어류의 정소 내부구조는 크게 소엽형(lobule type)과 세관형(tubule type)으로 구분된다(Billard et al., 1982). 도루묵

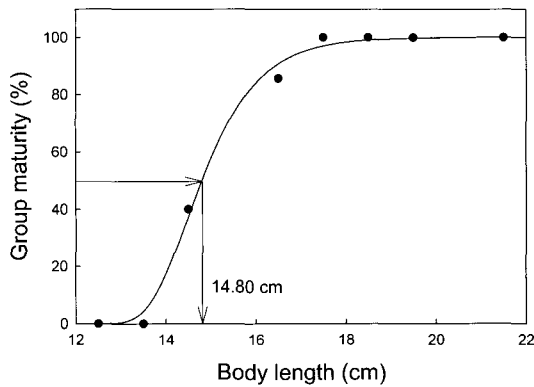


Fig. 9. Relationship between body length and percentage of maturity for the female of the sandfish *Arotoscopus japonicus*.

의 정소형태는 경골어류 정소의 일반적인 형태와 유사하며, 정소의 내부조직상은 다수의 정세관으로 구성된 세관형에 속한다.

어류의 생식시기에 따른 난 발달 양식은 동시발달형 (Synchromous), 난군동시발달형 (group-synchromus), 그리고 비동시발달형 (asynchromous)으로 구분된다 (Wallace and Selmen, 1981). 동시성숙형은 점농어, *Lateolabrax maculatus* (Kim et al., 2001)에서 보고되고 있다. 난경의 변화와 조직학적 관찰을 통해 보면, 10월까지 성장하여 11월 짧은 기간 동안 생식소 내 생식세포가 함께 발달하는 동시발달형이며 난경 변화를 통해 년 1회 산란종으로 판단된다. 도루묵의 경우에서도, 11월에서 12월에 걸쳐 동시발달하여, 1회 산란하는 것으로 확인되었다.

본 종의 경우, 여포세포의 발달과 함께 난황 축적이 시작된 세포는 미방란되면 빠르게 퇴화흡수되고, 여포내강에는 미분화 간충직 세포가 형성되어 새롭게 배치되며, 초기난포단계의 세포는 퇴화흡수 과정이 관찰되지 않아 잔존하여 다음해에 성숙에 참여하는 것으로 판단된다.

본 종의 생식소 속도지수 (GSI)변화와 생식소의 조직학적 변화를 종합하여 살펴본 결과, 4-9월 까지 성장기와 10월에 완숙기를 거쳐, 11-12월에 산란기를 가지는 것으로 구분할 수 있다. 어류의 성숙과 산란을 제어하는 환경요인으로는 빛과 수온이 깊히 관여한다 (De Vlaming, 1972). Aida (1991)는 수온과 빛 등의 환경요인과 관련하여 생식리듬의 유형을 춘계산란형, 춘·하계산란형, 춘추계산란형, 추계산란형, 동계산란형의 6가지 형태로 나누었다. 동해에 서식하는 도루묵의 경우, 생식소 발달양상은 암·수에 따라 약간의 차이를 보이나 11-12월에 산란하는 동계산란형이다.

일본의 아키타현에서 연구된 결과에 의하면 (Mio, 1967), 체장별 개체의 포란수는 920-1,980개로 평균 1,450개로 나타났다. 난경의 최대 크기는 3.0 mm였다. Choi et al. (1983)은 방란후의 개체를 포함하여, 859-1,642개, 평균 1,070개이었고 최대난경크기는 2.1 mm로 확인하였다. 본 연구결과에서는 체장별 개체의 포란수는 483-2,254개, 평균 1,187개이며 최대

난경 크기는 3.12 mm로 나타나, 평균 포란수는 적어진 반면, 난경의 크기는 커진 것을 알 수 있었다.

일본의 아키타현에서 조사된 경우, GSI의 연간변화를 확인하면 암컷은 12월에, 수컷은 10월에 최대값을 보였고, 암·수 모두 3세어 (BL, 14.0-17.7 cm)가 산란군에 가입하는 것으로 보고하였고 (Mio, 1967), 우리나라 연구에 결과에 의하면 (Choi et al., 1983), 암수 각각 12월과 9월에 GSI가 최대값을 보였으며, 50% 군성숙체장은 16.8 cm (Fork length)였다. 본 연구에서는 암컷은 11월에, 수컷은 8월에 GSI가 최대값을 보였으며, 생물학적 최소 체장 (BL)이 14.80 cm이고 (TL, 16.96 cm), 이때 연령은 2.4세로 재생산에 참여하는 것으로 확인되었다.

이상의 도루묵의 생식생태학적 차이에 대해서는, 매월 말에 채집이 이루어진 본 연구와 매월 다른 시기에 채집된 채집시기 차이인지, 동해의 해양환경 변화에 기인한 것인지, 또는 자원의 감소 (Watanabe et al., 2005)로 인한 생태학적 변화에 관한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

Aida, K. 1991. Environmental regulation of reproductive rhythms in teleosts. Bull. Inst. Zool. Acad. Sinica Monogr., 16, 173-187.

Beak, H.J., H.B. Kim, T.Y. Lee and B.Y. Lee. 1985. On the maturity and spawning of the longchin, *Chasmichthys dolichognathus* (Hilgendorf). Bull. Kor. Fish. Soc., 18, 477-483.

Billard, R., A. Fostier, C. Weil and B. Breton. 1982. Endocrine control of spermatogenesis in teleost fish. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 39, 65-79.

Chung, E.Y. and T.Y. Lee. 1985. Studies on the reproduction cycle of greenling, *Hexagrammos agrammus*. Bull. Nat'l. Fish. Univ. Busan, 25, 26-42.

Chung E.Y., C.M. An and T.Y. Lee. 1991. Sexual maturation of the bluespotted mad hopper, *Boleophthalmus pectinirostris* (Linnaeus). Bull. Kor. Fish. Soc., 24, 167-176.

Choi, S.H., Y.Y. Chun, S.J. Son and H.K. Suh, 1983. Age, growth and maturity of sandfish, *Arctoscopus japonicus* (Steindachner) in the eastern Sea of Korea. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Ag., 31, 7-19.

Chyung, M.K. 1977. The Fishes of Korea. Ilji-sa, Seoul, pp. 727

De vlaming, V.L. 1972. The effects of temperature and photoperiod on reproductive cycling in estuarine gobiidfish, *Gillichthys mirabilis*. Fish. Bull., 70, 1137-1152.

Kim, H.B and T.Y. Lee. 1984. Reproductive biology of a shad, *Konosirus punctatus*. Bull. Kor. Fish. Soc.,

- 17, 206-218.
- Kim, S.Y., I.C. Bang, Y.G. Rho and J.H. Kim. 2001. Studies on sexual maturation of spotted sea Bass, *Lateolabrax maculatus*. Bull. Kor. Fish. Soc., 34, 526-535
- Kobayashi, M., K. Aida and I. Hanyu. 1987. Hormone changes during ovulation effects of steroids hormone on the gonadotropin level and ovulation in goldfish. Gen. Comp. Endocrinol., 69, 24-32.
- Kobayashi, M., K. Aida and I. Hanyu. 1988. Hormone changes during ovulatory cycle in goldfish. Gen. Comp. Endocrinol., 69, 423-425.
- Lee, H.W. and Y.J. Kang. 2006. Age determination and growth using the transverse section method of otoliths sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the eastern sea of Korea. Ocean Polar Res., 29(3). (in press)
- Lee, J.S., J.W. Kim, J.C. Kang, Y.K. Shin and P. Chin. 2000. Reproductive cycle and gonadal development of the naked-headed goby, *Favonigobius gymnauchenn* (Teleostei : Gobiidae). J. Kor. Fish. Soc., 33, 219-224.
- Mio, S. 1967. Studies on the population biology of the sandfish *Arctoscopus japonicus* I. Age, Growth and Maturity. Bull. Jap. Sea Reg. Fish. Res. Lab., 18, 23-37.
- Morika, T., K. Hotta, T. Tomoda and K. Nakamura. 2005. A possible factor influencing the color variation in Japanese sandfish *Arctoscopus japonicus* egg masses. Nippon Suisan Gakkishi, 71, 212-214.
- Wallace, R.A. and K. Selman. 1981. Cellular and dynamics aspects of oocyte growth in teleost. Am. Zool., 21, 325-343.
- Watanabe, K., H. Sygyiyama, S. Sugishita, N. Suzuki and K. Sakuramoto. 2004. Estimation of distribution boundary between two sandfish *Arctoscopus japonicus* stocks in the Sea of Japan off Honshu, Japan using density indices. Bull. Jap. Fish. Oceanogr., 68, 27-35
- Watanabe, K., H. Sygyiyama, S. Sugishita, N. Suzuki and K. Sakuramoto. 2005. Estimating and monitoring the stock size of sandfish *Arctoscopus japonicus* in the Northern Sea of Japan. Fish. Sci., 71, 776-783.

2006년 7월 12일 접수

2006년 8월 30일 수리