

멸종위기 어류 꾸구리 *Gobiobotia macrocephala* (Pisces: Cyprinidae)의 번식생태

고명훈 · 송하윤 · 홍양기 · 방인철*

(순천향대학교 자연과학대학 시스템공학과)

Reproductive Ecology of an Endangered Species *Gobiobotia macrocephala* (Pisces: Cyprinidae), in Seom River, Korea. Ko, Myeong-Hun, Ha-Yoon Song, Yang-Gi Hong and In-Chul Bang* (Department of Life Sciences and Biotechnology, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea)

The reproductive ecology of an endangered species, *Gobiobotia macrocephala* (Pisces: Cyprinidae), was investigated in the Seom River, a tributary of the Han River drainage system, from March 2010 to February 2011. During the non-spawning season, no difference in the external morphology was observed between males and females; however, during the spawning season, clear differences merged for the depth and width of the body, preventral length and preanal length in the standard length. The sex ratio of females to males was 1 : 1.01. The spawning season was estimated to last from late April to middle of June, at water temperatures of 15~25°C. The number of mature eggs in the ovary averaged about 2,134±930 (mean±SD), and the mean diameter was approximately 0.88±0.04 mm. The spawning area was composed of pebble and cobble bottoms (3~10 cm), with current velocities of 13~24 cm s⁻¹ and water depths of 12~18 cm. Spawning behavior between males and females was observed in a water tank 14~15 h after injecting females with Ovaprim to promote reproduction. Fish spawned near the water surface with monogamous pairing.

Key words : endangered fish, *Gobiobotia macrocephala*, reproductive ecology

서 론

꾸구리속(*Gobiobotia*) 어류는 잉어과(Cyprinidae), 모래무지아과(Gobioninae)에 속하며 세계적으로 18종이 서식하고 동북아시아에만 분포하는 것으로 보고되었으며(Nelson, 2006; Fishbase, 2011), 우리나라에는 꾸구리

*Gobiobotia macrocephala*와 돌상어 *G. brevibarba*, 흰수마자 *G. naktongensis* 3종이 서식하는 것으로 알려졌다(Kim, 1997; Kim *et al.*, 2005; Kim and Park, 2007). 이중 꾸구리는 우리나라 고유어종으로 임진강과 한강, 금강에만 분포하는 저서성 소형어류로, 중·상류의 자갈과 돌이 깔린 빠른 여울에 서식하는 것으로 보고되었고, 독특하게도 눈에 피막이 있어 광도에 따라 피막이 개폐되는

* Corresponding author: Tel: 041) 530-1286, Fax: 041) 530-1638, E-mail: incbang@sch.ac.kr

특징을 보이는 것으로 알려졌다(Kim, 1997; Kim and Park, 2007).

꾸구리의 서식지는 1970년대 이후 대형댐의 건축으로 인해 서식지가 감소하였고(Kim and Park, 2007; Kwater, 2007), 최근 하천공사 및 환경오염 등으로 인해 지속적으로 교란되면서 개체수가 급감하고 있으며(MLTL, 2010), 환경부는 2005년 멸종위기야생동·식물 II급으로 지정하여 법적 보호를 하고 있다(MOE, 2005).

꾸구리에 관한 연구는 2000년까지 식성(Choi *et al.*, 2004)과 핵형분석(Song and Park, 2005), 생활사(Choi and Beak, 1972) 등이 보고되었고, 최근 멸종위기에 처한 어류들에 대해 관심이 높아지면서 여러 가지 복원 연구가 시도되고 있는데(MOE, 2006, 2009, 2011), 꾸구리에 대한 복원연구도 2010년부터 진행되면서 초기생활사, 서식환경과 연령, 섭식생태 등에 대해 보고된 바 있다(MLTM, 2010; Ko *et al.*, 2011a, c). 그러나 꾸구리의 번식생태는 생태적으로, 보전학적으로 매우 중요한 분야임에도 Choi and Beak (1972)의 산란시기 및 산란장의 특성 등의 단편적인 연구만이 이루어졌을 뿐이다. 따라서 본 연구에서는 꾸구리의 성적이형 및 성비, 산란시기, 생식소 특징, 산란행동 및 산란장의 특성 등의 번식생태학적 특징을 연구하여 보고하고 복원의 기초자료를 확보하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 채집장소 및 방법

조사는 2010년 3월부터 2011년 2월까지 강원도 원주시 부론면 흥호리 일대의 섬강에서 이루어졌고, 정기적인 조사는 매달 14~16일 사이에 이루어졌다. 멸종위기종 꾸구리의 채집은 원주지방환경청의 포획허가(허가번호 제 2010-07)를 받은 후 실시하였으며, 채집은 투망(망목 7×7 mm)과 족대(망목 4×4 mm) 등을 사용하였고, 치어의 채집은 망목 1×1 mm인 족대와 뜰채를 제작하여 사용하였다. 채집된 개체는 마취제 MS-222 (Sindal, Canada)로 마취하여 체장과 체중, 성비 등을 조사한 후 대부분 방류하였으며, 일부 성적이형과 생식소 분석이 필요한 개체만 포르말린 10% 수용액에 고정하여 사용하였고, 산란행동에 필요한 개체는 실험실로 옮겨 실험에 이용하였으며 이후 원 서식처에 방류하였다. 체장(standard length)은 0.01 mm까지, 체중(body weight)은 0.01 g까지 측정하였다.

2. 성적이형 및 성비

성적이형을 알아보기 위하여 산란성기인 5월과 비산란성기인 9월에 2년생 이상의 암·수 각각 10개체씩을 무작위로 채집하여 고정한 후 Hubbs and Lagler (2004)에 따라 형질을 계측하여 비교하였고, 각 형질의 차이는 SPSS 12.0을 이용하여 다변산분산분석(MANOVA)을 실시한 후 LSD test를 수행하여 검정하였다(유의수준 $p=0.05$). 형질은 체장과 체중, 체장에 대한 두장(head length), 체고(body depth), 체폭(body width), 등지느러미 기점 거리(predorsal length), 가슴지느러미 기점 거리(prepectoral length), 배지느러미 기점 거리(preventral length), 뒷지느러미 기점 거리(preanal length), 미병장(caudal peduncle length), 미병고(caudal peduncle depth), 배지느러미-뒷지느러미 기점 거리(ventral-anal length), 항문-뒷지느러미 거리(anus-anal length), 등지느러미 기부 길이(dorsal base length), 뒷지느러미 기부 길이(anal base length), 등지느러미 길이(dorsal fin length), 가슴지느러미 길이(pectoral fin length), 배지느러미 길이(ventral fin length), 뒷지느러미 길이(anal fin length)와 두장에 대한 문장(snout length), 안경(eye diameter), 양안간격(interorbital width)을 백분비로 구하였다. 성비는 계측형질에서 명확히 구분되는 산란성기인 5월부터 6월까지 채집된 암컷과 수컷의 개체를 근거로 추정하였으며, 성비의 유의성은 χ^2 검정을 통하여 확인하였다.

3. 산란기 및 생식소 특징

꾸구리는 멸종위기종으로 포획개체수가 한정되어 있기 때문에 산란기 추정은 개체를 죽이지 않고 측정할 수 있는 비만도지수(condition factor, $BW/SL^3 \times 10^5$)와 배란되는 암컷 및 정액이 나오는 수컷의 비율 등으로 추정하였다. 비만도지수는 비산란기에 매월 1회 조사를 실시하였으나 산란기에 접어드는 4월부터 산란이 끝나는 6월까지는 암·수를 구분하여 1주일 간격으로 조사를 실시하여 변화양상을 조사하였으며, 채집된 암컷과 수컷의 복부를 압박하여 정액 및 배란되는 개체를 확인하여 비율을 구하였다. 산란성기인 5월 초에 산란을 하지 않은 성숙한 암컷과 수컷을 채집하여 연령별로 생식소성숙도(GSI)와 난경, 포란수 등을 조사하였다.

4. 산란장소

산란장 및 산란행동을 관찰하기 위하여 수중관찰을 실시하였으며, 수정란을 확인하기 위하여 망목이 작은 뜰채

(크기 20×20 cm, 망목 200 μm)를 제작하여 조사하였다. 수정란이 확인된 곳의 물리적 환경은 수심과 유속, 하상 입자 크기를 측정하였는데, 수심과 하상입자 크기는 50 cm 자를 이용하여 측정하였고, 하상입자는 Cummins (1962)의 방법에 따라 구분하였으며, 유속은 유속계 (FP101, Global Water 800-876-1172, USA)를 사용하여 측정하였다.

5. 산란행동

산란행동은 자연에서 채집된 성숙한 암·수 각각 10개 체씩을 선별하여 실험실로 옮긴 후, 암·수 모두 마취하여 Ovaprim (Syndel, Canada)을 0.5 mL kg⁻¹ 주사하였으며, 광조건 D/L=10:14, 수온 25°C, 용존산소>8 mg L⁻¹의 조건이 일정하게 유지되고 서식지와 비교적 유사하게 자갈(크기 3~5 cm)을 깔 수조(60×45×45 cm)에서 관찰하였다. 산란행동의 관찰은 육안관찰과 병행하여 디지털 카메라(Nikon D200)와 비디오 캠코더(Sony, HDR-CX12)로 촬영 및 녹화 한 후 분석하였다.

결 과

1. 성적 이형

꾸구리 *Gobiobotia macrocephala*의 암·수의 형태적 차이를 조사한 결과 특별한 추성은 관찰되지 않았으며, 채색은 밝은 갈색무늬와 짙은 밤색무늬 등 다양하게 나타났으나 암·수간에는 뚜렷이 구분되지 않았다. 체장과 체중에서는 암·수 간에 유의한 차이를 보였는데 (Table 1), 체장은 산란기(5월)와 비산란기(9월)와 관계없이 ($p > 0.05$) 암컷(5월 69.4±5.38 mm, 9월 65.0±5.62 mm)이 수컷(5월 59.0±4.54 mm, 9월 58.1±4.69 mm)보다 5~7 mm가 더 컸다 ($p < 0.001$). 체중도 암컷(5월 7.76±1.69 g, 9월 5.43±1.36 g)이 수컷(5월 3.44±0.85 g, 9월 3.77±0.99 g)보다 2.0~4.0 g 더 무거웠으며 ($p < 0.001$), 또한 수컷은 산란기와 비산란기에 차이가 없었으나 ($p > 0.05$) 암컷은 산란기와 비산란기에 뚜렷한 차이를 보였다 ($p < 0.001$).

계측형질에서는 비산란기에 22개 형질 중 체장에 대한 체폭과 뒷지느러미 기점, 두장에 대한 안경 3개 형질에서

Table 1. Comparison of biometric characters between female and male of *Gobiobotia macrocephala* in Seom River at Heungho-ri, Buron-myeon, Wonju-si, Gangwon-do, Korea, 2010.

Biometric characters	Spawning season (May)			Non spawning season (September)		
	Female (n=10)	Male (n=10)	p	Female (n=10)	Male (n=10)	p
Standard length	69.4±5.38	59.0±4.54	<0.001***	65.0±5.62	58.1±4.69	<0.001***
Body weight	7.76±1.69	3.44±0.85	<0.001***	5.43±1.36	3.77±0.99	<0.001***
In standard length (%)						
Head length	26.1±0.60	25.0±0.93	0.016*	27.2±1.30	26.8±0.98	0.347
Body depth	25.4±2.80	19.2±1.01	<0.001***	20.4±1.10	20.4±1.42	0.919
Body width	21.9±1.75	15.9±1.64	<0.001***	19.0±0.79	17.5±0.98	0.017*
Predorsal length	47.2±1.10	45.5±1.34	0.015*	46.6±1.61	45.3±1.85	0.051
Prepectoral length	24.4±0.85	24.6±1.28	0.746	26.9±1.90	27.1±1.97	0.746
Preventral length	47.8±1.90	44.2±2.14	<0.001***	47.8±1.56	46.9±2.12	0.275
Preanal length	73.8±0.92	71.2±1.94	<0.001***	74.2±0.96	73.0±1.15	0.046*
Caudal peduncle length	73.4±4.84	80.1±4.91	0.012*	69.0±6.28	70.2±6.48	0.640
Caudal peduncle depth	9.1±0.44	9.1±0.27	0.899	9.3±0.42	9.4±0.27	0.257
Ventral-anal length	27.5±1.47	27.0±1.43	0.445	27.3±1.72	26.7±1.51	0.350
Anus-anal length	13.4±0.98	14.5±1.30	0.110	13.9±1.39	14.8±1.72	0.167
Dorsal base length	16.6±0.82	16.6±1.63	0.957	17.0±1.16	17.2±1.21	0.707
Anal base length	9.0±0.75	10.1±0.66	0.001**	9.5±0.75	9.5±0.51	0.895
Dorsal fin length	22.2±1.03	22.7±1.22	0.345	22.1±1.06	21.7±1.79	0.531
Pectoral fin length	25.5±1.31	26.3±0.81	0.154	26.5±1.38	26.8±1.38	0.656
Ventral fin length	18.6±1.17	19.4±1.09	0.114	19.7±1.22	20.1±0.89	0.495
Anal fin length	17.6±0.89	18.8±0.94	0.035*	18.0±1.72	18.4±1.29	0.458
In head length (%)						
Snout length	42.9±1.99	43.2±2.61	0.899	43.4±3.90	43.8±4.34	0.816
Eye diameter	24.9±1.76	26.8±1.81	0.050	24.2±2.46	26.4±2.16	0.027*
Interorbital width	20.6±2.69	24.2±1.90	0.004**	21.2±2.43	19.9±3.24	0.276

MANOVA, Post analysis: LSD test, * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$

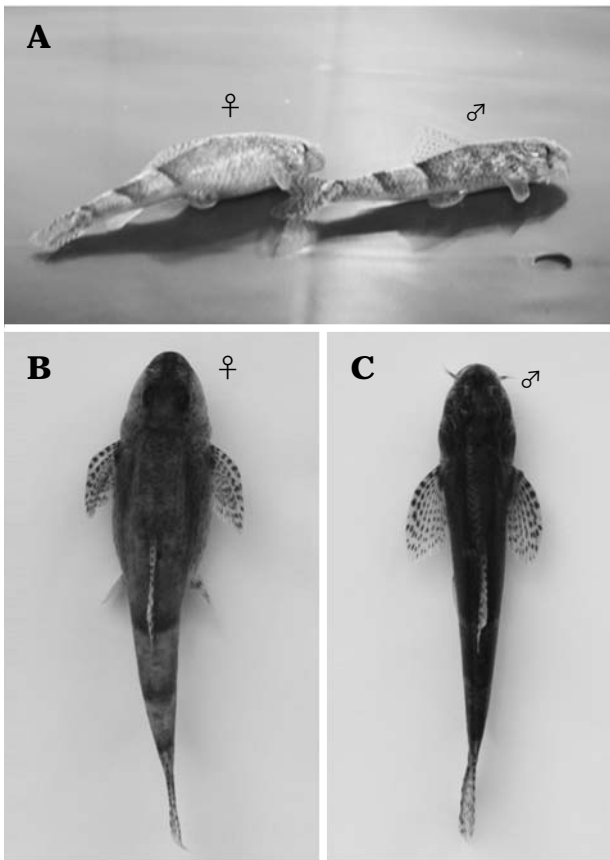


Fig. 1. External form of the spawning season of female (A, B) and male (A, C) of *Gobiobotia macrocephala* in Seom River at Heunggho-ri, Buron-myeon, Wonju-si, Gangwon-do, Korea, May 2010.

약간의 차이를 보였다 ($p < 0.01$). 하지만 산란기에는 형질 중 체장에 대한 체고, 체폭, 배지느러미 기점 거리, 뒷지느러미 기점 거리 6개 형질에서는 뚜렷한 차이를 보였는데 ($p < 0.001$), 이중 체장에 대한 체고는 암컷 $25.4 \pm 2.80\%$ 수컷 $19.2 \pm 1.01\%$, 체폭은 암컷 $21.9 \pm 1.75\%$, 수컷 $15.9 \pm 1.64\%$ 로 큰 차이를 보여 육안으로도 구분이 가능하였다 (Fig. 1). 그 밖에 체장에 대한 뒷지느러미 기부 길이와 두장에 대한 양안간격은 유의한 차이를 보였으며 ($p < 0.01$), 체장에 대한 두장과 등지느러미 기점, 미병장 길이, 두장에 대한 안경 4개 형질은 약간의 차이를 보였다 ($p < 0.05$).

2. 성비

암·수가 명확히 구분되는 시기인 5월부터 6월까지 성비를 조사하였는데 (Table 2), 구분된 암컷과 수컷은 체장

Table 2. The sex ratio of *Gobiobotia macrocephala* in Seom River at Heunggho-ri, Buron-myeon, Wonju-si, Gangwon-do, Korea, 2010.

Sampling date	Female	Male	Total	Sex ratio (♂/♀)	χ^2
1 May 2010	96	119	215	1.24	2.46
7 May 2010	49	38	87	0.78	1.39
14 May 2010	113	134	247	1.19	1.79
31 May 2010	114	128	242	1.12	0.81
7 Jun 2010	106	64	170	0.60	10.38
Total	478	483	961	1.01	0.03

The critical value for χ^2 goodness-of-fit test of equal numbers of females and males (1 df) at 95% significance is 3.84.

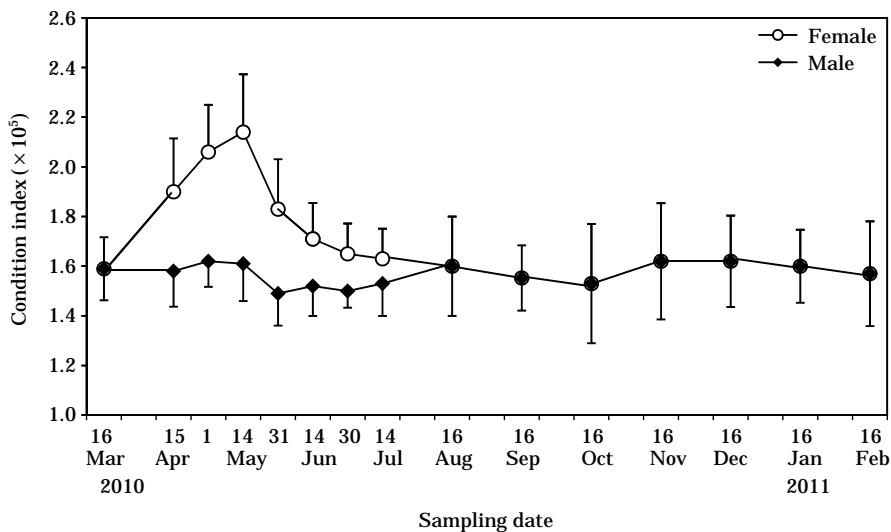


Fig. 2. Condition index ($BW/SL^3 \times 10^5$) of *Gobiobotia macrocephala* in Seom River at Heunggho-ri, Buron-myeon, Wonju-si, Gangwon-do, Korea from 2010 to 2011.

42 mm 이상인 만 2년생 이상의 개체였다. 이 기간 중 5회에 걸쳐 채집된 개체는 암컷 478개체, 수컷 483개체로 성비(♂/♀)는 1.01로 나타났으며, χ^2 검정을 한 결과 암컷과 수컷은 1:1로 나타났다($p > 0.05$). 5월의 총 4번의 조사 결과 성비는 0.78~1.24로 나타나 모두 유의하지 않았으나($p > 0.05$), 6월 7일에 채집된 개체들은 성비가 0.60으로 유의한 것으로 나타나 차이를 보였다($p < 0.05$).

3. 산란기 및 생식소 특징

1) 산란기

비만도지수는 4월부터 7월까지의 암·수를 구별하여 계산하였으나 그 외의 기간은 암·수를 함께 계산하여 나타냈다(Fig. 2). 암·수가 구별되지 않는 3월의 비만도지수는 1.59 ± 0.127 로 낮았으나, 이후 암컷은 급격히 증가 하는 경향을 보였는데, 4월 15일에 1.90 ± 0.215 , 5월 1일에 2.06 ± 0.190 을 보이고 5월 14일에 2.14 ± 0.233 으로 정점을 보였다. 이후 5월 31일에 1.83 ± 0.201 , 6월 14일에 1.71 ± 0.145 로 급격히 감소하였으며 6월 30일에 1.65 ± 0.122 , 7월 14일에는 1.63 ± 0.121 로 감소하였다. 수컷도 5월 1일에 1.62 ± 0.103 , 5월 14일에 1.61 ± 0.150 으로 증가하였으나, 이후 5월 31일에 1.49 ± 0.129 로 감소하였으며, 6월부터 7월까지는 1.50~1.53으로 거의 유사하였다. 이후 암·수가 구별되지 않는 8월 이후는 8월 1.60 ± 0.200 , 9월 1.55 ± 0.131 , 10월 1.53 ± 0.240 으로 조금씩 감소하다가 11월 이후부터는 조금 증가하여 1.60~1.62대를 보였다. 복부를 압박하였을 때 정액이 나오는 수컷들은 4월 중순부터 6월까지 채집된 대부분의 개체였으나 7월 이후의 개체에게서는 정액이 나오지 않았다. 또한 배란되는 암컷은 4월 23일에 처음으로 소수가 관찰되었고 5월에는 50% 이상으로 높았으나 6월은 20% 미만으로 급격히 감소하였고 7월 이후에는 배란되는 개체가 없었다. 따라서 비만도지수 및 배란되는 암컷의 비율 등을 볼 때, 꾸구리의 산란기는 4월말부터 6월 중순까지로(수온 15~25°C), 산란성기는 5월로 추정되었다.

2) 생식소 특징

비만도지수가 높은 5월 1일에 채집된 성숙한 개체의 포란수와 생식소성숙도, 난경 등을 조사하였다. 난소가 발달한 개체는 2년생 이상인 체장 42 mm 이상의 개체였으며, 난소는 융합되어 장을 감싸고 있었다. 생식소성숙도는 2년생(체장 42~54 mm, n=15)이 $20.0 \pm 3.45\%$, 3년생(체장 57~67 mm, n=7)이 $18.5 \pm 2.59\%$, 4년생 이상(체장 68~77 mm, n=5)이 $20.0 \pm 3.61\%$ 로 연령별 큰 차이는 없었다($p > 0.05$).

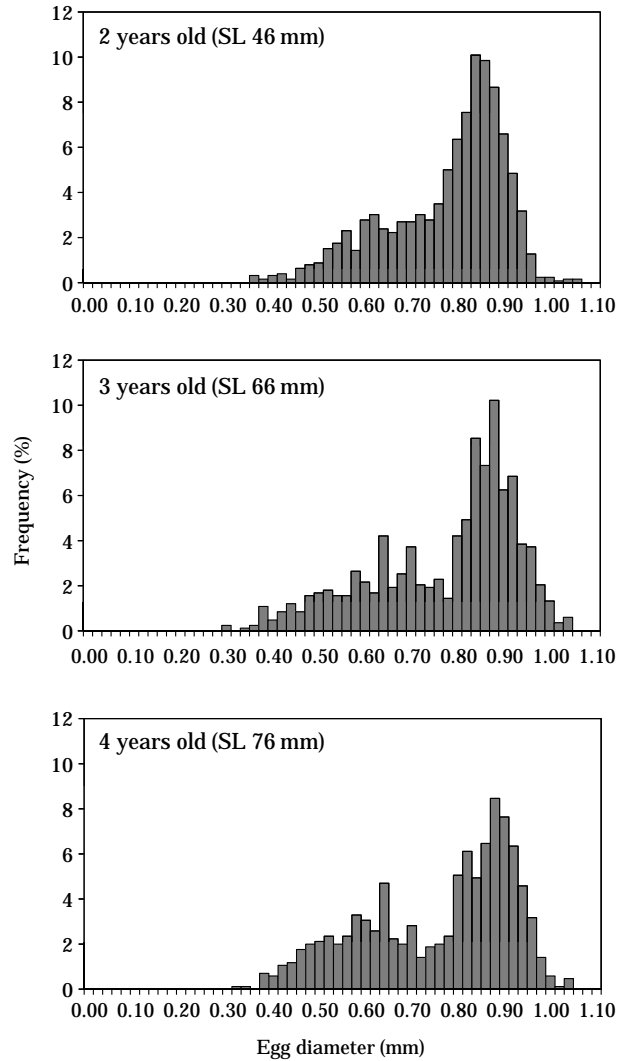


Fig. 3. Frequency distribution of egg diameter of *Gobiobotia macrocephala* in Seom River at Heungho-ri, Buronmyeon, Wonju-si, Gangwon-do, Korea, 7 May 2010.

연령별로 전체 난경을 측정된 결과 Fig. 3과 같이 미성숙난은 3.0~8.0 mm, 성숙난은 8.1~10.5 mm로 나누어지는 경향을 보였는데, 3년생과 4년생은 보다 뚜렷이 구분되었다. 성숙난의 비율은 2년생(체장 46 mm) 59.3%, 3년생(체장 66 mm) 60.2%, 4년생 이상(체장 76 mm) 55.3%로 미성숙난보다 비교적 높았다. 연령별로 성숙난의 크기를 측정된 결과 2년생(n=15) 0.88 ± 0.03 mm, 3년생(n=7) 0.88 ± 0.03 mm, 4년생 이상(n=5) 0.89 ± 0.07 mm로 연령에 따라 거의 유사하였으며 평균 0.88 ± 0.44 mm였다.

포란수는 2년생(n=15)이 $1,502 \pm 557$ 개, 3년생(n=7) $2,572 \pm 412$ 개, 4년생 이상(n=5) $3,416 \pm 621$ 개로 평균

2,134±930개 (n=27)였고, 체장이 증가함에 따라 급격히 증가하였으며, 추세선은 $y=81.956x-2445.3$ ($R^2=0.7788$)로 나타났다 (Fig. 4). 정소는 2년생 이상의 개체 (45~79 mm, n=10)에서 발달하였고 2개로 나뉘어져 있었으며, 생식소 성숙도 (n=10)는 $1.9\pm0.59\%$ 였고 연령에 따라 큰 차이를 보이지 않았다 ($p>0.05$).

4. 산란장의 특징

산란기인 5월부터 6월까지 수중관찰을 통하여 산란행동을 관찰하였으나 발견하지 못하였다. 그래서 산란장을 확인하기 위하여 뜰채 (크기 20×20 cm, 망목 200 μm)를 사용하여 꾸구리 수정난을 Fig. 5A와 같이 서식지에서 조사한 결과, 여울과 좌측 상부의 유속이 비교적 느린 여울부에서만 관찰되어 이곳이 산란장으로 추정되었다 (Fig. 5B). 채집된 난은 크기가 1.05~1.20 mm (n=30)였으며 미세한 입자들이 달라붙어 있었고 엷은 초록색을 띠는 반투명한 난이었다. 난이 관찰된 곳의 물리적 환경은 수심 12~18 cm, 유속 17.7 ± 4.68 (13~24) cm sec^{-1} 로 비교적 낮고 느린 곳이었으며, 하상은 3~10 cm의 자갈과 돌이 쌓여 있는 곳이었으며, 자갈과 돌의 아래쪽에서 난이 관찰되었다 (Fig. 5C).

5. 산란행동

실험실에서 성숙한 개체에 Ovaprim을 주사하여 산란행동을 유도한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 산란 전 행동

Ovaprim을 주사한 성숙한 암컷과 수컷은 수조의 바닥

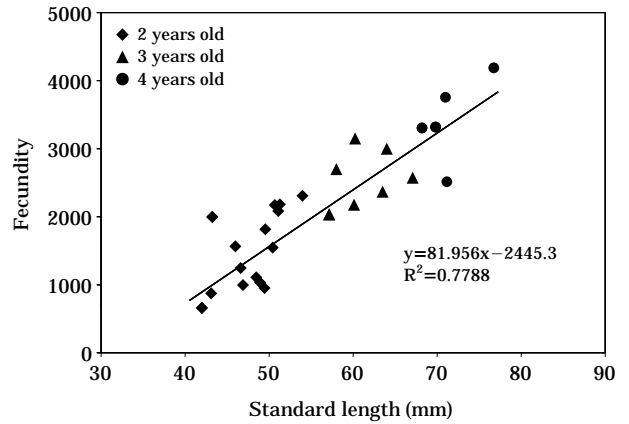


Fig. 4. Fecundity of *Gobiobotia macrocephala* in Seom River at Heungho-ri, Buron-myeon, Wonju-si, Gangwon-do, Korea, 1 May 2010.

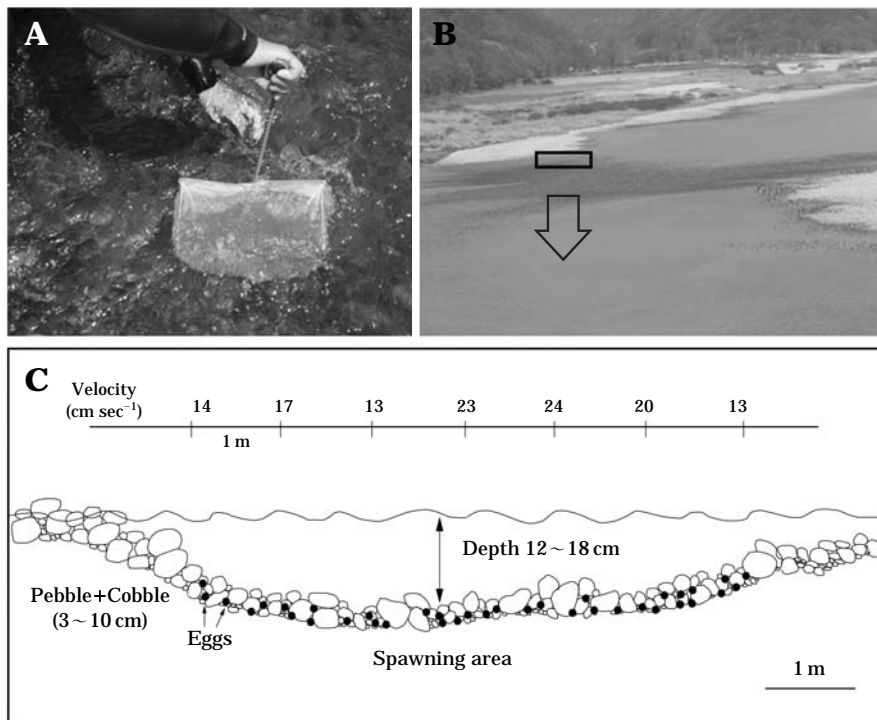


Fig. 5. A collecting method of the spawned eggs (A) and the spawning area (B, C) of *Gobiobotia macrocephala* in Seom River at Heungho-ri, Buron-myeon, Wonju-si, Gangwon-do, Korea, 1 June 2010.

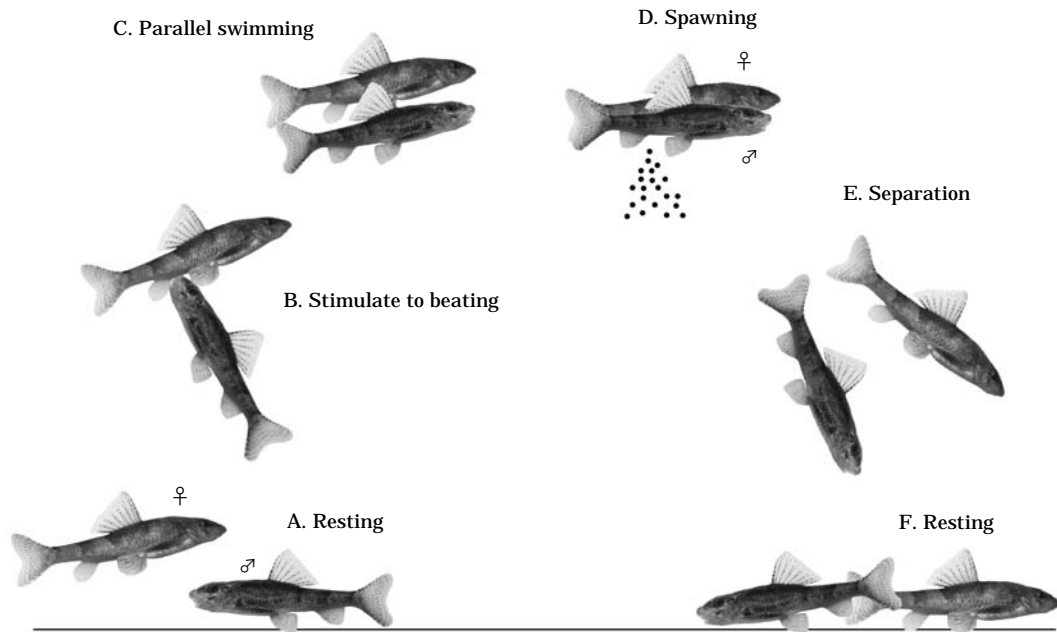


Fig. 6. Spawning behaviors of *Gobiobotia macrocephala* in laboratory from June 2010.

에 있으면서 특별한 행동을 보이지 않고 휴식을 취하였다 (Fig. 6A). 이후 수조에 적응된 개체들은 단독으로 수면을 향하여 수직으로 솟구치거나 수면 근처에서 머리를 내밀고 비스듬히 유영하는 모습이 반복적으로 관찰되었으며, 일부 개체는 수면 밖으로 솟구쳐 올라갔다 내려오는 행동을 보였다.

2) 산란

산란이 다가오면서 암컷이 위로 솟구치면 수컷이 다가 암컷 배를 자극하거나 (Fig. 6B) 암컷과 수컷 1쌍이 빠르게 유영하는 모습이 자주 관찰되었다 (Fig. 6C). 14~15 시간 경과 후 암컷과 수컷은 함께 수면 쪽으로 빠르게 유영하다가 수면 근처에서 수컷이 꼬리지느러미를 이용하여 암컷의 몸을 일부 감싸는 동시에 암컷이 알을 뿌리고 수컷이 방정하며 빠르게 산란하였다 (Fig. 6D). 산란을 마친 개체는 바닥으로 각각 내려왔다 (Fig. 6E). 1회 산란된 난은 약 700~1,000개였으며, 미세한 입자가 달라붙어 반투명하였다.

3) 산란 후 행동

산란을 마친 개체는 바닥에서 대부분 휴식을 취했으나 (Fig. 6F) 일부 개체는 유영하는 모습이 관찰되었고, 이후 산란한 개체는 더 이상 산란을 하지 않았다. 산란 후 일부 개체는 산란된 난을 섭식하는 모습이 관찰되었다.

고찰

모래무지아과 (Gobioninae) 어류 중 참붕어속 (*Pseudorasbora*)과 누치속 (*Hemibarbus*), 버들매치속 (*Abbottina*), 모래주사속 (*Microphysogobio*) 등의 어류들은 산란기가 되면 이차성징으로 수컷에 추성이 나타나고 몸 채색이 혼인색으로 검은색 또는 녹색으로 변하거나 주둥이 부근이 주황색을 띄어 암컷과 차이를 보인다 (Kim *et al.*, 2005; Kim and Park, 2007; No, 2009). 본 연구 대상종인 꾸구리 *Gobiobotia macrocephala*는 산란기에 특별한 이차성징이나 채색변화는 없었으나 암컷이 수컷보다 체장 4~10 mm가 더 크고 체중도 3~4g이 더 무거운 경향을 보였으며, 생식소 성숙 (GSI 평균 19.5%)으로 체장에 대한 체고와 체폭, 배지느러미 기점거리, 뒷지느러미 기점거리 등에서 수컷과 차이를 보여 구분되었다. 그러나 비산란기에는 체장과 체중의 차이만 있을 뿐 다른 계측형질에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 같은 꾸구리속 (*Gobiobotia*)에 속하는 돌상어 *G. brevibarba*와 흰수마자 *G. naktongensis*에서도 특별한 2차성징은 보고되지 않았으며 (Choi, 2002; Kim and Park, 2007; MLTL, 2010), 암·수 크기에 있어서는 돌상어의 경우 수컷이 암컷보다 5~20 mm가 크다고 보고하여 본 종과는 차이를 보였다 (Choi, 2002).

산란기에 나타나는 형태적 특징을 이용, 암·수를 구별하여 성비(♂/♀)를 조사한 결과 1.01로 나타나 암컷과 수컷은 1:1이었다. 모래무지아과의 왜매치는 *Abbotina springeri* 0.93 (Son, 2000)으로 나타나 비교적 유사하였으나 돌상어는 0.86 (Choi, 2002), 배가사리 *Microphysogobio longidorsalis* 0.87 (Song and Son, 2003), 쉬리 *Coreoleuciscus splendidus* 1.73 (Song and Kwon, 1993) 등으로 보고되어 차이를 보였다.

꾸구리의 산란기를 추정하기 위하여 1주일 간격으로 비만도지수(Condition factor)와 배란되는 암컷 및 정액이 나오는 수컷의 비율 등으로 추정한 결과 4월말부터 6월 중순(수온 15~25°C)으로, 산란성기는 5월로 추정되었다. 일반적으로 산란기 추정은 생식소성숙도(Gonadosomatic index)를 분석하여 추정하지만 많은 개체를 죽여야 하는 단점이 있다. 멸종위기종의 경우 많은 개체를 죽일 수 없기 때문에, 본 방법과 같이 비만도지수를 1주일 혹은 10일 간격으로 조사하고 배란되는 암컷 및 정액이 나오는 수컷의 비율 등 및 산란개체 비율을 계산한다면 개체를 죽이지 않고도 산란기를 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 꾸구리의 산란기는 이전에 Choi and Back (1972)이 동강에서 5월에서 6월(수온 18~21°C)로 추정한 바 있어 본 결과와 대체로 유사하였다. 같은 속의 돌상어 산란시기는 Choi et al. (2001)이 5월 중순부터 5월말(수온 18~20°C)로, Ko et al. (2011b)이 4월 말에서 6월 중순(산란성기 5월, 수온 15~25°C) 보고하여 대체로 꾸구리와 유사하였으며, 모래무지아과인 왜매치 6월(20~25°C, Son, 2000), 배가사리 4~5월(15~17°C, Song and Son, 2003), 어름치 *Hemibarbus mylodon* 5월(16.5~18.0°C, Choi and Back, 1970), 쉬리 4~5월(10~18°C, Song and Kwon, 1993), 감돌고기 *Pseudopungtungia nigra* 4~6월, 가는돌고기 *P. teunicorpa* 4~6월, 돌고기 *Pungtungia herzi* 4~6월(Lee, 2011)로 보고되어 대체로 비슷하거나 약간의 차이를 보였다.

꾸구리는 이처럼 비교적 긴 산란기를 가지며 점차적으로 비만도지수가 감소하는 경향을 보이고, 난경을 측정된 결과 미성숙난(3.0~8.0 mm)과 성숙난(8.1~10.5 mm)으로 나누어지는 특징을 보였다. 일반적으로 납자루아과(Acheilognathinae) 및 감돌고기속(*Pseudopungtungia*), 돌고기속(*Pungtungia*) 어류와 일본의 육봉형 은어 *Pleglossus altivelis* 등의 어류는 비교적 산란기가 길고 난경이 불균등하며 다회성숙, 다회산란을 하는 것으로 보고된 바 있어 (Matsuyama and Matsuura, 1984, 1985; Baek et al., 2003; Kim and Park, 2007; Lee, 2011), 꾸구리도 비교적 긴 산란기와 불균등한 난경분포 등을 볼 때 다회성

숙 및 다회산란을 하는 것으로 추정된다. 꾸구리의 성숙란의 크기는 본 조사에서 평균 0.88±0.04 mm로 나타나 Choi and Baek (1972)의 0.8 mm와 대체로 유사하였으며, 유연종인 왜매치 0.43±0.06 mm (Son, 2000) 보다는 컸으나 배가사리 1.03±0.07 mm (Song and Son, 2003)와 쉬리 1.94±0.10 mm (Song and Kwon, 1993), 돌상어 1.98±0.06 mm (Choi et al., 2001) 보다는 작은 편이었다.

포란수는 평균 2,134±930개로 나타나 Choi and Baek (1972)의 120~1,300개 보다 매우 많은 편이었는데, 이는 암컷의 개체 크기의 차이 및 채집시기의 차이에 의해 기인한 것으로 추정된다. 유연종과 비교하여 보면 돌상어의 포란수가 2,040±401개로 보고된 바 있어 매우 유사하였으나(Choi et al., 2001), 왜매치의 620~694 (652)개, 쉬리의 617~1,690 (1,132)개 보다는 많은 편이었고(Song and Kwon, 1993; Son, 2000), 배가사리의 5,138~8,787 (7,334)개 보다는 적은 편이었다(Song and Son, 2003).

모래무지아과 어류는 다양한 산란습성은 가지는데, 쉬리와 감돌고기, 가는돌고기, 돌고기 등은 돌에, 참붕어 *Pseudorasbora parva*나 긴몰개 *Squalidus gracilis majimae* 등은 수초에 붙여 산란을 하고(Song, 1977; Baba et al., 1990; Kim et al., 2004; Lee, 2011), 어름치는 느린 여울부에 산란탕을 만들며(Choi and Back, 1970), 중고기속(*Sarcocheilichthys*) 어류들은 조개에 산란을 한다(Kang et al., 2007; Kim and Park, 2007). 또한 이중 감돌고기, 가는돌고기, 돌고기는 특이하게 숙주인 껍지나 동사리 산란장에 탁란(brood parasitism)을 하는 것으로 알려졌으며(Baba et al., 1990; Han et al., 2004; Kim et al., 2004; Lee, 2011), 같은 속의 돌상어는 수심 20~50 cm, 유속 60~130 cm sec⁻¹, 하상입자 크기가 5~25 cm인 돌과 큰돌 쌓인 곳에 산란하고 수정난은 돌과 큰돌 아래에서 관찰되었다고 보고한 바 있다(Choi, 2002). 꾸구리의 산란은 자연에서 관찰하지 못하였으나, 실험실에서 산란행동을 유도한 결과 야간에 수면근처에서 1:1로 산란을 하였으며 특별히 산란장을 만들거나 알을 보호하지는 않았다. 그리고 꾸구리의 수정난은 엷은 회색의 분리침성란으로 보고된 바 있으며(Ko et al., 2011a), 산란된 난을 통해 산란장을 추정할 결과 수심 12~18 cm 이고 3~10 cm인 자갈과 돌이 깔리고 유속이 13~24 cm sec⁻¹로 느린 여울상부였다. 이런 특징들을 종합하여 볼 때, 자연에서 꾸구리는 비교적 빠른 여울에서 서식하다(Ko et al., 2011c) 산란기가 되면 자갈과 돌이 깔린 느린 여울상부로 이동하여 수면 근처에서 산란하고, 산란된 수정난은 각각 분리되어 자갈과 돌 아래에 가라앉아 발달 및 부화하는 것으로 추정된다. 그러나 Choi and Back (1972)는 산란장이 수심 8~15

cm, 하상크기 2~7cm의 자갈과 돌이 깔린 유속 90~100 cm sec⁻¹의 여울하부로 보고한 바 있어 수심과 하상입자 크기는 유사하였으나 유속과 산란장의 위치에는 많은 차이를 보였다. 이러한 차이는 본 연구지역이 섬강 하류부이나 Choi and Back (1972)의 연구지역은 동강 중류여서 서식환경의 차이 등에 의해 나타난 결과로 판단된다.

적 요

멸종위기종 꾸구리의 번식생태를 밝히기 위하여 2010년 3월부터 2011년 2월까지 한강 지류인 섬강에서 연구를 진행하였다. 비산란기의 암컷과 수컷은 형태적으로 차이가 없었으나 산란기에는 체장에 대한 체고와 체폭, 배지느러미 기점거리, 뒷지느러미 기점거리 등에서 차이를 보여 구별되었다. 성비(♀:♂)는 1:1.01이었고, 산란기는 수온 15~25°C인 4월말부터 6월 중순으로 추정되었다. 포란수는 평균 2,134±930개였으며, 성숙난의 크기는 0.88±0.04 mm였다. 산란장소는 느린 여울부인 유속 13~24 cm sec⁻¹, 수심 12~18cm의 3~10cm의 자갈과 돌이 깔려있는 곳으로 추정되었다. 실험실 수조에서 Ovaprim을 주사하여 산란행동을 유도한 결과, 14~15시간 후에 암컷과 수컷이 수면 근처에서 1:1로 산란하였다.

인 용 문 헌

- Baba, R., Y. Nagata and S. Yamagishi. 1990. Brood parasitism and egg robbing among three freshwater fish. *Animal Behavior* **40**: 776-778.
- Baek, H.M., H.B. Song and O.K. Kwon. 2003. Sexual maturation and the spawning season of the Korean bitterling, *Acheilognathus signifer* in upper reaches of the Hongcheon River. *Korean Journal of Ichthyology* **15**: 278-288. (in Korean)
- Choi, J.S. 2002. Ecological Studies of *Gobiobotia brevibarba* Mori (Cyprinidae). Kangwon National University Doctoral thesis, Chuncheon 103pp. (in Korean)
- Choi, J.S., H.K. Byeon and O.K. Kwon. 2001. Reproductive ecology of *Gobiobotia brevibarba* (Cyprinidae). *Korean Journal of Ichthyology* **13**: 123-128. (in Korean)
- Choi, J.S., Y.S. Jang, K.Y. Lee and O.K. Kwon. 2004. Feeding habit of *Gobiobotia macrocephala* (Cyprinidae) from the Namhan River, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **16**: 165-172. (in Korean)
- Choi, K.C. and Y.K. Baek. 1970. On the life-history of *Gono-proktopterus mylodon* (Berg) (Preliminary report). *Korean Journal of Limnology* **1-2**: 1-11. (in Korean)
- Choi, K.C. and Y.K. Baek. 1972. On the life-history of *Gobiobotia macrocephala* Mori. *Korean Journal of Limnology* **5**: 45-57. (in Korean)
- Cummins, K.W. 1962. An evolution of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. *The American Midland Naturalist* **67**: 477-504.
- Fishbase. <<http://www.fishbase.org>>. (ver. 08/2011)
- Han, K.H., K.H. Han, S.M. Yoon, D.S. Hwang, D.J. Yoo, C.L. Lee, I.S. Kim and Y.M. Son. 2004. Early life history and spawning behavior of *Pseudopungtia nigra*. *Korean Journal of Ichthyology* **16**: 309-316. (in Korean)
- Han, K.H., S.H. Lee, W.I. Seo, D.J. Yoo, D.S. Jin, S.H. Oh and C.C. Kim. 2001. The spawning behavior and early life history of the fales dace, *Pseudorasbora parva* in Korea. *Journal of Institute for Basic Science Yosu National University* **3**: 67-76. (in Korean)
- Hubbs, C.L. and K.F. Lagler. 2004. Fishes of the Great Lakes Region. Revised Edition. The University of Michigan Press, pp. 29-40.
- Kang, Y.J., H. Yang, H.H. Lee, E.H. Lee and C.H. Kim. 2007. Characteristics on spawning-host selection and early life history of *Sarcocheilichthys nigripinis morii* (Pisces, Cyprinidae). *Korean Journal of Environment Biology* **25**: 370-377. (in Korean)
- Kim, I.S. 1997. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korean Vol. 37 Freshwater Fishes. Ministry of Education, Yeongi 518pp. (in Korean)
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2007. Freshwater Fishes of Korea. Kyohak Publishing Co. Ltd., Seoul, p. 138-143. (in Korean)
- Kim, I.S., S.H. Choi, H.H. Lee and K.H. Han. 2004. Brood parasite of Korean shiner, *Pseudopungtia nigra* in the Keum River. *Korean Journal of Ichthyology* **16**: 75-79. (in Korean)
- Kim, I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyohak Publishing Co. Ltd., Seoul, p. 117. (in Korean)
- Ko, M.H., H.Y. Song and I.C. Bang. 2011c. Habitat environment, age and feeding ecology of the endangered species, *Gobiobotia macrocephala* (Pisces: Cyprinidae) in the Seom River, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **23**: 278-287. (in Korean)
- Ko, M.H., S.Y. Park, I.R. Lee and I.C. Bang. 2011b. Egg development and early life history of endangered species *Gobiobotia brevibarba* (Pisces: Cyprinidae). *Korean Journal of Limnology* **44**: 136-143. (in Korean)

- Ko, M.H., W.J. Kim, S.Y. Park and I.C. Bang. 2011a. Egg development and early life history of the endangered species *Gobiobotia macrocephala* (Cyprinidae). *Korean Journal of Ichthyology* **23**: 198-205. (in Korean)
- Kwater. 2007. A Guidebook of Rivers in South Korea. Kwater, Daejeon 582pp. (in Korean)
- Lee, H.H. 2011. Reproductive strategies of genus *Pseudopungtungia* and *Pungtungia*. Kunsan National University Doctoral thesis, Kunsan 131pp. (in Korean)
- Matsuyama, M. and S. Matwuura. 1984. The multiple spawning in landlocked dwarf ayu *Plecoglossus altivelis* in Lake Biwa. *Nippon Suisan Gakkaishi* **50**: 183-187. (in Japanese)
- Matsuyama, M. and S. Matwuura. 1985. On the ovarian maturation and spawning of the landlocked large type ayu *Plecoglossus altivelis* in Lake Biwa. *Nippon Suisan Gakkaishi* **51**: 691-698.
- MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). 2010. Culture and Restoration of Endangered Species in the Major Four River Drainages. Soonchunhyang University, Asan 489pp. (in Korean)
- MOE (Ministry of Environment). 2005. Illustrated Book of Endangered Wild Animals and Plants in Korea. MOE. Incheon 247pp. (in Korean)
- MOE (Ministry of Environment). 2006. Species Conservation, Restoration and Development of Propagation Technique for the Endangered Endemic Species among the Fresh-water Fishes from Korea. Gunsan University, Gunsan 537pp. (in Korean)
- MOE (Ministry of Environment). 2009. Development of Genetic Diversity Analysis, Culture and Ecosystem Restoration Techniques for Endangered Fish, *Iksookimia choii*. Soonchunhyang University, Asan 537pp. (in Korean)
- MOE (Ministry of Environment). 2011. Development of culture techniques and construction of monitoring system for released seedlings of an endangered fish *Koreocobitis naktongensis*. Soonchunhyang University, Asan 240pp. (in Korean)
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of the world. John Wiley & Sons, Inc., p. 139-143.
- No, S.Y. 2009. For easily finding a fresh water fish. Jinsun Publishing, Seoul, p. 100-155. (in Korean)
- Son, Y.M. 2000. Population ecology of *Abbottina springeri* (Cyprinidae) in the Musimchon stream, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **12**: 186-191. (in Korean)
- Song, H.B. and G.M. Park. 2005. Karyotypes of the species of *Gobiobotia* (Pisces: Cyprinidae) in Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **17**: 159-166.
- Song, H.B. and O.K. Kwon. 1993. Ecology of *Coreoleuciscus splendidus* Mori (Cyprinidae) in Hongchon River. *Korean Journal of Limnology* **26**: 235-244. (in Korean)
- Song, H.B. and Y.M. Son. 2003. Population ecology of *Microphysogobio longidorsalis* (Cyprinidae) from Korea. *Korean Journal Ichthyology* **15**: 303-310. (in Korean)
- Song, H.H. 1977. Studies on the spawning and early development of *Coreoleuciscus splendidus* Mori. *Journal of Science Education Study (Jeonju University of Education)* **3**: 49-60. (in Korean)

(Manuscript received 8 February 2012,
Revised 20 April 2012,
Revision accepted 1 June 2012)