

천연기념물이며 멸종위기종인 미호종개 *Cobitis choii* (Pisces: Cobitidae)의 번식생태 및 산란행동

고명훈 · 이일로¹ · 방인철^{1,*}

고수생태연구소, ¹순천향대학교 생명과학과

Reproductive Ecology and Spawning Behavior of the Natural Monumental and Endangered Species, *Cobitis choii* (Pisces: Cobitidae) in Geumgang (River), Korea by Myeong-Hun Ko, Il-Ro Lee¹ and In-Chul Bang^{1,*} (Kosoo Ecology Institute, Seoul 07952, Republic of Korea; ¹Department of Life Science and Biotechnology, Soonchunhyang University, Asan 31538, Republic of Korea)

ABSTRACT A survey was conducted in 2011 to investigate the reproductive ecology and spawning behavior of the natural monumental and endangered species, *Cobitis choii*. *C. choii* exhibits sexual dimorphism with the development of lamina circularis on the second pectoral fin ray in males at one year old, facilitating easy differentiation between males and females. A total of 1,288 females and 881 males were collected from January to December, resulting in a sex ratio of 1 : 0.68. The spawning season was estimated to be from late June to early July (spawning peak from late June, with water temperatures ranging from 22 to 25°C), coinciding with a sharp decrease in the condition index. Gonadal maturity was observed with maturity indices of $17.5 \pm 2.11\%$ for females and $2.9 \pm 0.46\%$ for males, with fecundity of $2,444 \pm 838$ eggs and egg size of 0.75 ± 0.05 mm. Spawning behavior was induced by hormone injection (Human Chorionic Gonadotropin, HCG) in laboratory conditions. Experimental results revealed that males and females paired in a 1 : 1 ratio before spawning. Males pressed the abdomen of females using their lamina circularis to induce spawning, followed by immediate fertilization. Spawning behavior was repeated 15 to 25 (average 20) times per pair of males and females, and 80 to 120 eggs were spawned per time, and the total amount of spawned eggs were $2,500 \pm 250$ on average.

Key words: natural monument, endangered fish, *Cobitis choii*, reproductive ecology, spawning behavior

서 론

미꾸리과(Cobitidae) 어류는 유라시아와 아프리카 북부에 21속 171종이 분포하는 저서성 소형 분류군으로(Kottelat, 2012; Nelson *et al.*, 2016), 우리나라에는 5속 16종이 서식하고 있다(Kim, 2009; Chae *et al.*, 2019). 이 중 미호종개 *Cobitis choii*는 Kim and Son에 의해 1984년 신종으로 보고되었고(Kim and Son, 1984), 모래가 많은 금강 중·하류 및 중·하류에 유입되는 지류 하류부에만 서식하는 것으로 보고되었으며

(Kim and Son, 1984; Hong, 2004), 이후 러시아의 아무르강에도 서식하는 것이 보고되었다(Bogutskaya *et al.*, 2008).

미호종개는 주로 모래의 비율이 높고 유속이 있는 하천 하류부에 주로 서식하고, 연령은 전장빈도분포도로 만 4년생 이상이며(Ko and Bang, 2018a), 주행성 어류로 깔다구(Diptera)나 요각류(Copepoda) 등을 주로 섭식하는 것으로 보고되었다(Ko and Bang, 2018b). 또한 신종보고 이후 하천공사나 준설, 수질오염 등으로 서식지 및 개체수가 급격히 감소한 것으로 보고되어(Hong, 2004; Ko *et al.*, 2012b; Ko and Han, 2024) 멸종위협 등급은 2011년, 2019년, 2024년 모두 위기(EN)로 평가되었다(NIBR, 2011, 2019; Ko and Han, 2024). 이러한 이유로 1996년부터 환경부 멸종위기종으로 지정된 후 지금(현

저자 직위: 고명훈 (소장), 이일로 (연구원), 방인철 (교수)
*Corresponding author: In-Chul Bang Tel: 82-41-530-1286,
Fax: 82-41-530-1493, E-mail: incbang@sch.ac.kr

재 환경부지정 멸종위기 야생생물 I급)까지 유지되고 있으며 (ME, 1996, 1998, 2005, 2012a, 2017, 2022), 문화적 가치 및 학술적 중요성 등으로 종(제454호)과 서식지(지천 하류부, 제533호)가 천연기념물로 지정되어 법적 보호를 받고 있다 (CHA, 2024). 그 외의 미호종개에 관한 연구는 분류 (Lee *et al.*, 1986; Park and Kim, 2003; Kim, 2009; Kwan *et al.*, 2018) 및 보전학적 (ME, 2009, 2011a, 2011b, 2012b, 2013; MLTM, 2010), 유전학적 (Šlechtová *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2008; Bang *et al.*, 2008) 연구와 초기생활사 (Song *et al.*, 2008), 서식현황 및 서식개체수 추정 (Bae *et al.*, 2012; Ko *et al.*, 2012b, 2012c; Ko *et al.*, 2014) 등이 있다.

멸종위기종의 생태학적 특징 규명은 장기적으로 볼 때, 보존 및 복원에 매우 중요한 기초 연구 분야이며, 멸종위기종의 복원학적 연구 과제의 우선순위로 연구되어 왔다 (ME, 2006, 2009, 2011a, 2019; MLTM, 2010). 미호종개의 생태학적 연구는 비교적 많이 연구되었으나 아직까지 산란행동 및 번식생태에 대해서는 보고되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 보존학적 연구의 일환으로 미호종개의 번식생태 및 산란행동을 조사하여 생물학적 특징을 밝히고 근연종과 비교·논의하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 채집장소 및 방법

미호종개의 채집은 2011년에 청양군청을 경유 문화재청의 포획허가를 받은 후 실시하였다. 미호종개의 번식생태 연구는 개체군이 가장 크고 안정적으로 서식하고 있는 지역인 충청남도 청양군 청남면 인양리 일대 (ME, 2009; Ko *et al.*, 2012b)의 금강 지류 지천에서 실시하였다 (Fig. 1). 채집은 투망(망목 6×6 mm)과 족대(망목 1×1, 4×4 mm) 등을 이용하였으며, 채집된 개체는 현장에서 마취제 MS-222 (Sindal, Canada)로 마취한 후 수컷 가슴지느러미에 나타나는 골질반 (lamina circularis)의 유무에 따라 치어와 암컷, 수컷으로 구분하여 전장과 체중 등을 측정 후 대부분 바로 방류하였다.

2. 성비와 산란기 생식소 특징

성비는 매월 채집된 암컷과 수컷의 개체수를 근거로 계산하였고 χ^2 검정을 통하여 성비 1:1 유의성을 확인하였다. 산란기는 개체를 죽이지 않고 측정하는 비만도지수 (condition factor, $BW/SL^3 \times 10^5$)와 배란되는 암컷 및 정액이 나오는 수컷의 비율 등으로 확인하였다. 비만도지수는 비산란기에 매월 15일 기준으로 1회 조사를 실시하였으나 산란기로 추정되는 6월부터 7월까지 10일 간격으로 세분화 하여 월 3회 조사를 실시

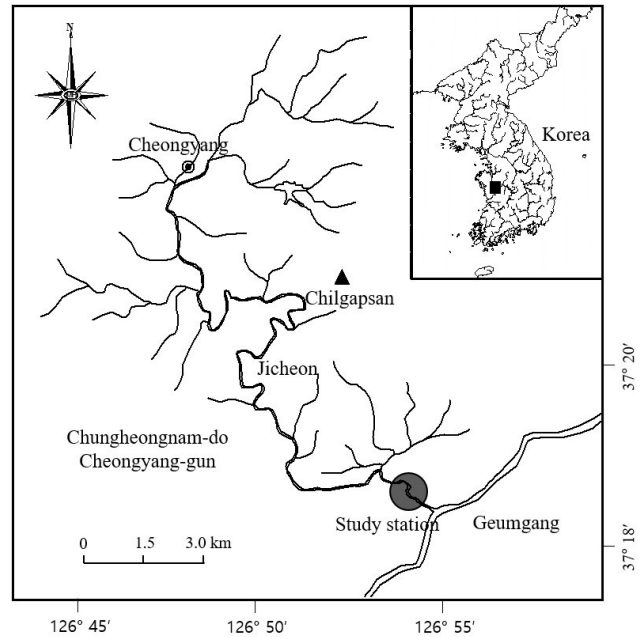


Fig. 1. Study station of *Cobitis choii* the Jicheon (Stream), Inyang-ri, Cheongnam-myeon, Cheongyang-gun, Chungcheongnam-do, Korea.

하였으며, 조사시기별 암컷과 수컷을 각각 10개체 이상을 채집하여 전장과 체중을 측정하였다. 산란기와 연관있는 하천수위는 조사지역 인근에 있는 국가수자원관리종합정보시스템의 청양군(지천교)의 자료를 사용하였다 (WRMIS, 2019). 생식소 특징을 밝히기 위하여 암·수 모두 산란 전인 6월 초에 채집된 개체를 10% 포르말린에 고정 후 연령별로 생식소성숙도 (GSI)와 난경, 포란수 등을 조사하였다. 연령은 전장반도분포도에 따라 암컷은 만 1년생 전장 40~61 mm, 만 2년생 64~79 mm, 만 3년생 80~91 mm, 만 4년생 이상 92~106 mm로, 수컷은 만 1년생 40~59 (50±3.5) mm, 만 2년생은 60~71 (66±2.4) mm, 만 3년생 이상은 72~87 (73±3.4) mm로 구분하였다 (Ko and Bang, 2018a). 암·수의 구별은 수컷 가슴지느러미의 골질반 (lamina circularis) 유무로 판단하였으며, 전장은 0.01 mm까지, 체중은 0.01 g까지 측정하였다.

3. 자연산란 유도

생식소가 성숙한 6월에 채집된 암컷 3마리 (전장 82±5 mm, 체중 2.1±0.3 g)와 수컷 12마리 (전장 65±3 mm, 체중 1.1±0.2 g)를 산소포장하여 실험실로 옮긴 후 100 L 유리수조에 수용하고 이후 가슴지느러미와 복강 사이에 HCG (Human Chorionic Gonadotropin)를 암컷 (20 IU/g)과 수컷 (50 IU/g)에 주사하여 자연산란을 유도하였다. 수조는 기포발생기를 이용하여 산소를 공급하였으며, 수온은 25°C를 유지하였다. 산란행동은 디지털카메라 (EOS 20D, Canon, Japan)와 비디오카메

라(HDR-CX7, SONY, Japan)를 사용하여 직접 촬영 및 녹화한 후 분석하였다.

결 과

1. 이차성징 및 성비

미호종개는 산란이후 만 1년이 되면 수컷의 가슴지느러미는 암컷보다 길어지고 뾰족한 때부리 모양으로 변하며 가슴지느러미 제2기조에 골질반(lamina circularis)이 형성되면서 암컷과 쉽게 구별되었다. 산란기에는 암컷과 수컷 모두 체측 중앙반문이 약간씩 두꺼워지고 검게 변하는 특징을 보였으며, 암컷의 배는 알이 성숙하면서 불룩하게 튀어나오고 아이보리색을 띠었다(Fig. 2).

1월부터 12월까지 채집한 암컷은 1,288개체, 수컷은 881개체, 치어 670개체로 성비(♀ : ♂)는 1 : 0.68로 나타났고, χ^2 검정으로 유의성을 분석한 결과 1 : 1이 아닌 것으로 나타났다($\chi^2=76.37, p<0.05$). 월별로 성비는 1월과 2월, 5월은 성비가 1 : 1이었으나($\chi^2<3.84, p>0.05$) 그 외의 달은 1 : 1이 아닌 것으로 나타났다($\chi^2>3.84, p<0.05$) (Table 1).

2. 산란기

산란기는 2011년 월별 비만도 변화와 산란개체율을 계산하여 추정하였다. 비만도지수는 1월부터 3월까지 암컷 0.32~0.35, 수컷 0.36~0.37로 낮았으나 4월(암컷 0.37±0.005, 수컷 0.38±0.042)부터 증가하여, 5월(암컷 0.48±0.028, 수컷 0.47±0.032), 6월까지 급격한 상승을 보였으며 6월 18일(암컷 0.59±0.031, 수컷 0.55±0.029)에 정점을 보였다. 이후 7월 7일(암컷 0.41±0.032, 수컷 0.45±0.034)까지 급격한 감소를 보이고 8월(암컷 0.36±0.030, 수컷 0.38±0.060)까지 완만한 감소를 보여 최저치를 보였다. 9월부터 12월까지 암컷 0.37~0.42, 수컷 0.38~0.40으로 큰 변화를 보이지 않았다(Fig. 3C, D). 암컷의 산란개체율은 6월 18일까지 개체별 비만도지수가 각각 0.54~0.65로 모든 개체가 산란하지 않았으나(산란율 0%), 6월 29일에는 개체별 비만도지수가 0.56~0.61의 비산란개체(25%)와 0.39~0.48의 산란개체(75%)로 뚜렷히 구별되었으며, 7월 7일 이후는 모든 개체의 비만도지수가 0.47 이하로 나타나(산란율 100%) 모두 산란한 개체들이었다. 이러한 시기별 비만도지수 변화와 산란개체율을 통해 미호종개의 산란기는 6월 말부터 7월 초(산란성기 6월 말)로 판단되었다(Fig. 4).

미호종개의 산란전인 6월 22일 이전에는 수위는 0.30 m로 낮았으나 6월 23일부터 장마가 시작되면서 많은 비로 인해 수위가 1.24 m로 급격히 증가하였으며 이후 산란기로 확인된 6



Fig. 2. Sexual dimorphism of *Cobitis choii* in the spawning season. Scale bars is 1 mm.

Table 1. Sex ration of *Cobitis choii* in the Jicheon (Stream), Inyang-ri, Cheongnam-myeon, Cheongyang-gun, Chungcheongnam-do, Korea from January to December 2011.

Month	Juvenile	Female	Male	Total	Sex ratio (♂/♀)	χ^2
Jan.	11	25	17	53	0.68	1.52
Feb.	39	66	49	154	0.74	2.51
Mar.	43	93	60	196	0.65	7.12
Apr.	43	139	89	271	0.64	10.96
May	63	109	115	287	1.06	0.16
Jun.	-	221	151	372	0.68	13.17
Jul.	33	100	65	198	0.65	7.42
Aug.	57	88	49	194	0.56	11.10
Sep.	70	97	57	224	0.59	10.39
Oct.	109	124	71	304	0.57	14.41
Nov.	112	136	98	346	0.72	6.17
Dec.	90	90	60	240	0.67	6.00
Total	670	1,288	881	2,839	0.68	76.37

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.

월 29일은 수위가 0.73 m 낮아졌으며 7월 4일까지 0.70 m 유지하였고 7월 7일에는 0.57 m였다(Fig. 3B). 산란이 이루어진 6월 29일의 수온은 22~25°C로 나타났다(Fig. 3A).

3. 생식소성숙도 및 포란수, 난경

6월 초에 채집된 수컷의 생식소성숙도(GSI)는 만 2년생(n=5) 3.2±0.56%, 만 3년생 이상(n=7) 2.8±0.33%로 연령간 차이는 없었으며(One-way-ANOVA, $p>0.05$) 전체(n=12)는 2.9±0.46%였다. 암컷의 생식소성숙도는 만 2년생(n=8)

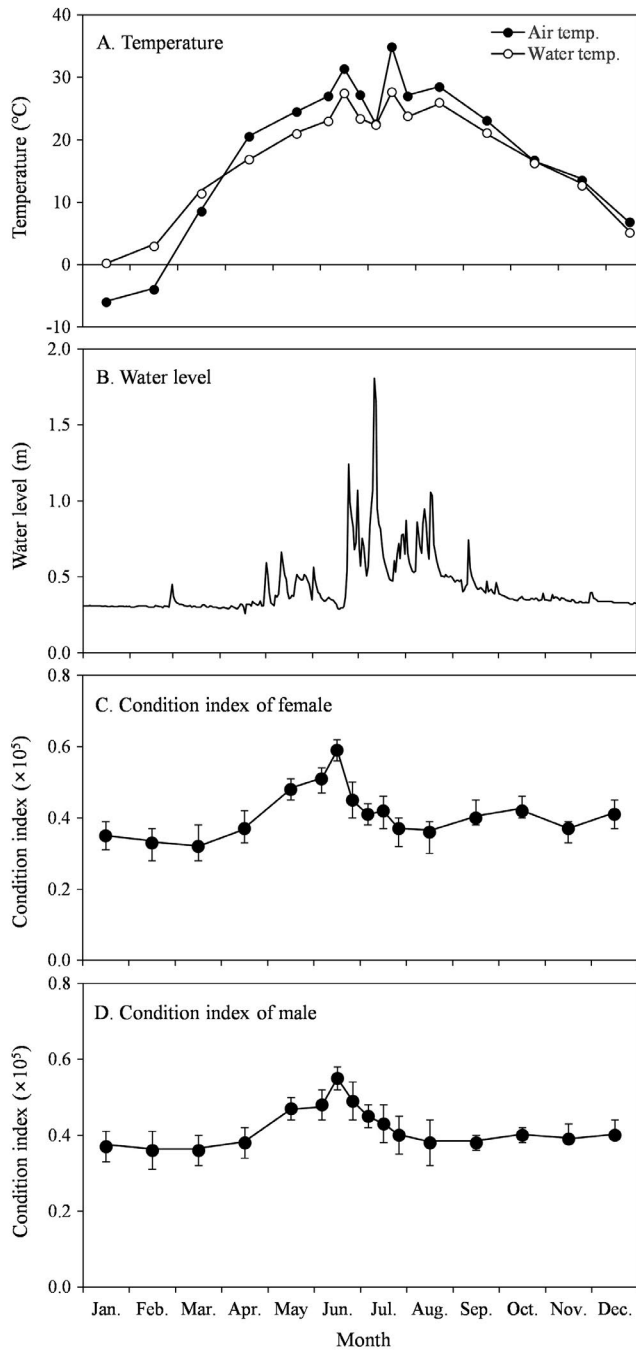


Fig. 3. Temperature (A), water level (B) and condition index (C: female, D: male) of *Cobitis choii* in the Jicheon (Stream), Inyang-ri, Cheongnam-myeon, Cheongyang-gun, Chungcheongnam-do, Korea from January to December 2011.

15.0 ± 1.15%, 만 3년생 (n = 10) 18.4 ± 1.31%, 만 4년생 이상 (n = 8) 18.3 ± 1.52%로 나타나 만 2년생과 만 3년생은 차이가 컸으나 (p < 0.001) 만 3년생과 만 4년생 이상은 차이가 없었고 (p > 0.05), 전체 (n = 26)는 17.5 ± 2.11%였다. 포란수는 만 2년생 (n = 8) 1,497 ± 300개, 만 3년생 (n = 10) 2,598 ± 454개, 4년

생 이상 (n = 8) 3,197 ± 667개로 나타나 연령별 차이가 컸으며 (p < 0.001), 전체 (n = 26)는 2,444 ± 838개였다. 난경은 만 2년생 (n = 3) 0.75 ± 0.04 mm, 만 3년생 (n = 4) 0.76 ± 0.04 mm, 4년생 이상 (n = 5) 0.74 ± 0.05 mm로 나타나 연령별 차이가 없었으며 (p > 0.05), 전체 크기는 0.75 ± 0.05 mm였다 (Table 2, Fig. 5).

4. 산란행동

1) 산란 전 단계

산란행동 관찰을 위하여 성숙한 개체에 호르몬(HCG)을 오후 9:00시에 주사하였고, 이후 오전 00시(호르몬 주사 후 3시간)까지는 특이한 행동은 관찰되지 않았다 (Fig. 6A). 이후 오전 02시(호르몬 주사 후 5시간)까지는 암컷이 반복적으로 바닥에서 수면 부근까지 올라가고 내려오는 행동을 반복하였고, 오전 04시(호르몬 주사 후 7시간)까지 암컷의 움직임이 지속되었으며 일부 유영하는 수컷의 행동이 관찰되었다 (Fig. 6B). 시간이 경과함에 따라 암컷의 주위에 수컷이 접근하였으나 직접적인 접촉은 관찰되지 않았다. 그러나 이러한 반응이 30분 정도 지속된 후에는 암컷이 먼저 수컷의 주위로 유영하여 수컷의 접근을 유도하는 행동이 관찰되었고, 접근하는 암컷에 반응한 2~3마리의 수컷은 암컷의 뒤를 따라가는 행동을 하였으며, 암컷은 느린 유영을 하면서 때로는 원형 또는 8자 형태를 그렸다 (Fig. 6C). 이후 암컷과 수컷이 함께 유영하거나 짝을 이루는 것이 관찰되었고 (Fig. 6D), 암컷이 유영속도를 늦추면 수컷들이 두부와 주둥이로 암컷의 복부를 자극하는 행동을 보였으며, 산란이 임박할수록 이러한 행동은 더 많이 관찰되었다 (Fig. 6E).

2) 산란단계

오전 05시(호르몬 주사 후 8시간)부터 암·수 모두 빠른 움직임을 보였으며, 수컷들은 암컷의 뒤를 계속 따라다니며 복부를 자극하였다. 일부 수컷은 산란행동을 위하여 유영하는 암컷의 복부를 감싸는 행동을 보였으나, 암컷은 빠르게 유영하여 수컷의 행동에 반응하고 수컷으로부터 멀어졌다. 오전 07시(호르몬 주사 후 10시간)부터는 암컷이 빠르게 유영하고 뒤를 따르던 수컷 중 한 개체만이 암컷의 측면으로 빠르게 유영하여 암컷의 생식공 부분을 재빠르게 휘어 감고 (Fig. 6F), 가슴지느러미 골질반을 암컷의 복부에 위치시켜 머리를 암컷의 몸통과 90도 방향으로 위쪽을 향하게 하여 복부를 압박하였다 (Fig. 6G, H, I). 수컷이 암컷의 복부를 골질반을 이용하여 압박하자 암컷은 몸을 심하게 진동하여 산란이 이루어지고 수컷은 산란과 동시에 방정을 하여 체외수정을 하였다 (Fig. 6J). 산란행동을 마친 수컷은 감고 있던 몸이 풀리거나 느슨해지며 암컷과 분리되고, 이후 암수가 하강하면서 산란행동이

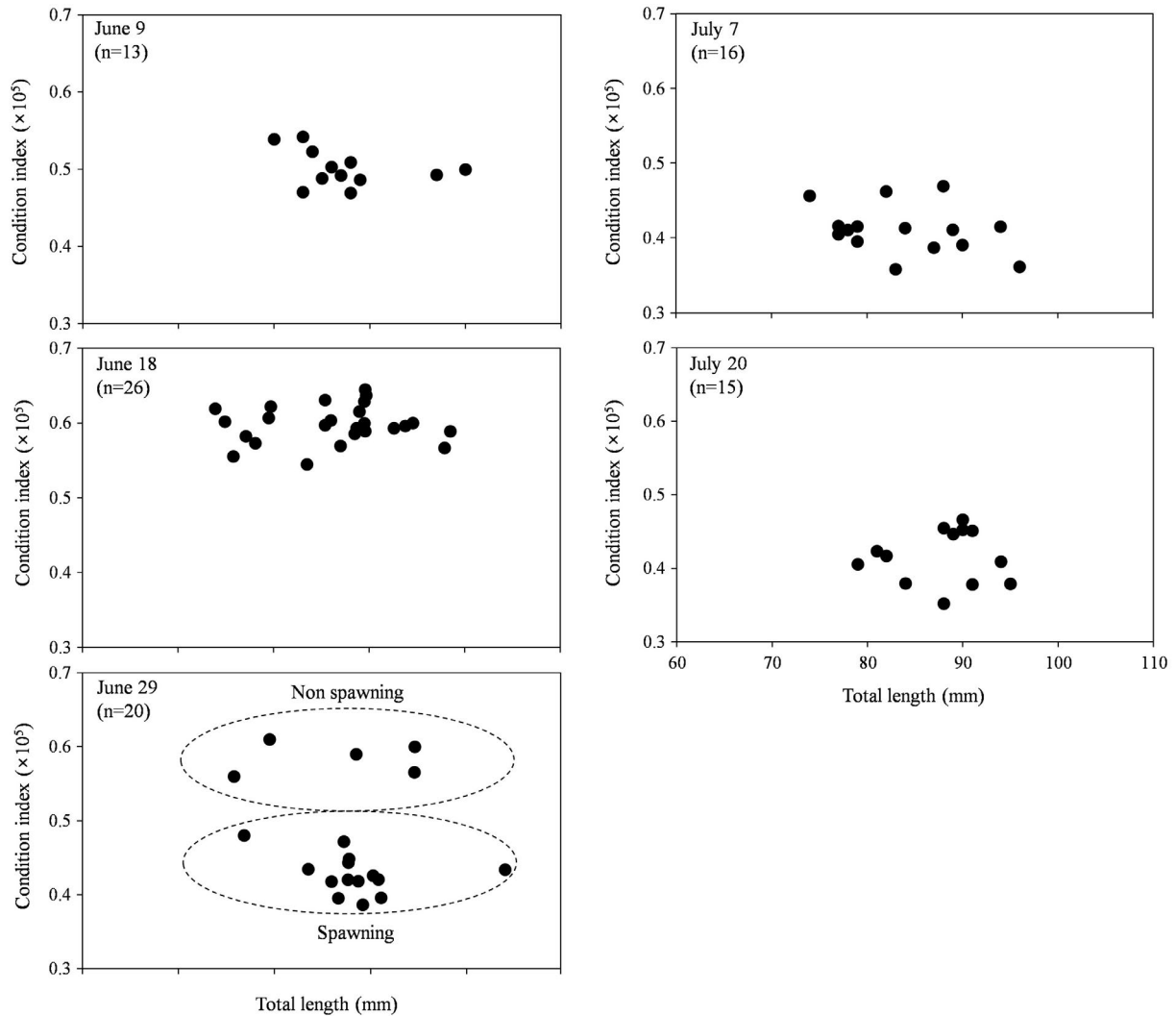


Fig. 4. Condition index of female of *Cobitis choii* in the Jicheon (Stream), Inyang-ri, Cheongnam-myeon, Cheongyang-gun, Chungcheongnam-do, Korea from June to July 2011.

Table 2. Gonado somatic index (GSI), fecundity and egg diameter of *Cobitis choii* in the Jicheon (Stream), Chungcheongnam-do, Korea from June 2011

Sex	Age	Number of individuals	Total length (mm)	Body weight (g)	GSI (%)	Fecundity	Egg diameter (mm)
Male	2+	5	65~71	1.49~1.59	3.2±0.56	-	-
	3+ ≤	7	72~81	1.89~2.01	2.8±0.33	-	-
	Average	12	65~81	1.49~2.01	2.9±0.46	-	-
Female	2+	8	65~80	1.64~3.02	15.0±1.15	1,497±300	0.75±0.04
	3+	10	81~90	3.03~4.30	18.4±1.31	2,598±454	0.76±0.04
	4+ ≤	8	91~100	4.42~5.56	18.3±1.52	3,197±667	0.74±0.05
	Average	26	65~100	1.64~5.56	17.5±2.11	2,444±838	0.75±0.05

종료되었다(Fig. 6K). 이와 같은 산란행동은 암·수 1쌍당 회당 80~120개의 난을 산란하였고, 산란행동(n=9)은 평균 20

(15~25)회 반복하였으며, 산란행동 재개시간은 평균 7±5분, 총 산란량(n=9)은 평균 2,500±250개였다. 또한 산란 초기에

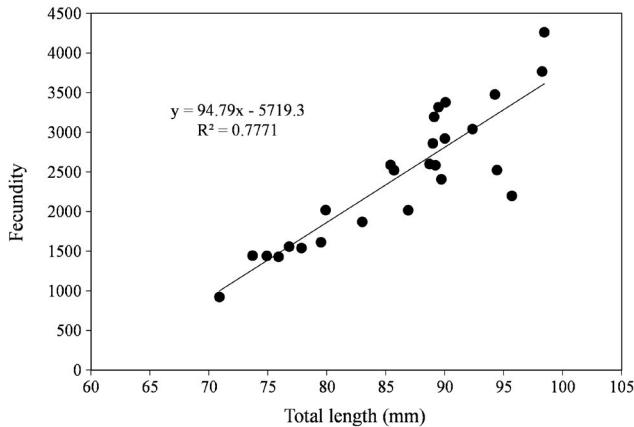


Fig. 5. Fecundity of *Cobitis choui* (n=26) in the Jicheon (Stream), Chungcheongnam-do, Korea from June 2011.

는 수면 부근에서 산란행동을 시작하여 산란의 후반부에는 수조 바닥 부근에서 산란 행동이 이루어졌다. 산란행동의 후반부에 갈수록 산란량은 줄어드는 양상을 보였고, 산란행동 재개시간은 길어졌으며, 산란행동은 약 2시간 동안 진행되었다. 산란기 후반부로 갈수록 수컷과 암컷은 상호간의 행동에도 반응을 보이지 않았으며, 바닥에서 휴식을 취하거나 움직임이 없는 모습이 관찰되었다. 산란은 오전 07~09시(호르몬 주사 후 10~11시간) 사이에 이루어졌고, 오전 9시 이후에는 산란이 관찰되지 않았다.

3) 산란 후 단계

9시 이후 산란이 종료된 개체들은 수조 바닥에서 휴식을 취하거나 일부 개체는 느리게 수영하는 모습이 관찰되었다(Fig 6L). 산란된 난은 분리침성점착란이었고, 산란이후 암컷과 수컷 모두 수정란을 보호하려는 특별한 행동은 보이지 않았다.

고 찰

미호종개의 산란시기 및 산란기 특징을 우리나라 미꾸리과(Cobitidae) 어류들과 비교하였다(Table 3). 미호종개의 산란기를 비만도지수와 산란율을 계산하여 추정할 결과, 산란기는 6월 말부터 7월 초(수온 22~25°C)였으며, 산란성기는 6월 말이었다. 일반적으로 미꾸리과의 산란기를 추정할 때는 월별 생식소성속도(Gonadosomatic index, GSI) 변화와 산란유무를 통해 추정하는데(Kim and Ko, 2005; Kim et al., 2006; Ko, 2009; Ko and Park, 2011; Ko et al., 2016), 생식소성속도는 매달 암·수 일정 개체를 죽여야 계산할 수 있는 방법임으로, 멸종위기종의 경우 포획개체의 제한이 있기 때문에 생식소성속도를 계산할 수 없다. 반면 비만도지수는 산란기에 급격한 변

화양상을 보이기 때문에 산란기쯤에 1주일 혹은 10일 간격으로(비산란기는 한달 간격) 조사한다면 정확한 산란기를 추정할 수 있으며, 이러한 방법은 멸종위기종 꾸구리와 버들가지 등에 적용되어 산란기를 추정할 바 있다(Ko et al., 2012a, 2023). 미호종개의 산란기는 초여름(6~7월)으로 기름종개속(*Cobitis*)과 참종개속(*Iksookimia*), 줌수수치속(*Kichulchoia*)의 줌수수치와 유사하였지만(Kim, 1978; Kim and Lee, 1984; Kim and Ko, 2005; Kim et al., 2006; Byeon, 2007; Kim, 2008; Ko, 2009; Hong et al., 2011; Ko and Park, 2011; Ko et al., 2016; Ko and Won, 2016; Park, 2016), 이른 봄(4~5월)에 산란하는 줌수수치속의 수수미꾸리 *K. multifasciata* (Chong, 1986; Kim and Yang, 2016)와 봄(4~6월)에 산란하는 새코미꾸리속(*Koreocobitis*)과 미꾸리속(*Misgurnus*) (Uchida, 1939; Kim et al., 1987; Kim et al., 1992)보다는 느린 편이었다. 여름의 일시적인 급격한 수위 상승은 *C. striata*를 비롯한 일부 미꾸리과 어류들의 산란 시발점 역할을 하는 것으로 알려졌는데(Saitoh, 1990), 미호종개 또한 장마가 시작되어 하천 수위가 급격히 상승된 시기에 산란을 하는 것으로 나타나 수위상승이 산란에 중요한 시발점 역할을 하는 것으로 판단되었다.

미호종개의 성비(♂/♀)는 0.68로 나타나 암컷이 수컷보다 많은 것으로 조사되었다. 미꾸리과에서 성비는 미호종개를 포함하여 대부분 0.65~0.92로 수컷보다 암컷이 많았으나 줌수수치 *Kichulchoia brevifasciata*는 0.10~0.49로 수컷의 비율이 매우 적었고(Kim, 2008; Ko and Bang, 2014), 부안종개 *Iksookimia pumila* (1.01, Kim and Lee, 1984)와 기름종개(1.55, Ko, 2009)는 수컷의 비율이 높았다. 이중 기름종개는 독특하게 수컷 비율이 매우 높았는데, 이 원인은 조사지역에 단성생식 집단인 기름종개-왕종개 complex가 함께 서식하고 있으며, 기름종개-왕종개 complex의 수컷 역할을 기름종개의 수컷이 대신하면서 기형적으로 수컷의 비율이 증가한 것으로 추정된 바 있다(Ko, 2009).

미호종개의 포란수는 $2,444 \pm 838$ (n=26)개로 기름종개(Ko, 2009)와 동방종개(Ko et al., 2016), 왕종개(Kim and Ko, 2005), 남방종개(Park, 2016), 북방종개(Ko and Won, 2016)와 비교적 유사하였으나 점줄종개와 참종개 *I. koreensis* (Kim, 1978; Ko et al., 2012d), 줄종개(Kim et al., 2006), 부안종개 *I. pumila* (Kim and Lee, 1984; Ko et al., 2013), 새코미꾸리 *Koreocobitis rotundicaudata* (Byeon, 2007), 줌수수치(Kim, 2008; Ko and Bang, 2014), 수수미꾸리(Chong, 1986; Kim and Yang, 2016) 등보다는 많았고, 얼룩새코미꾸리 *K. naktongensis* (Hong et al., 2011)와 미꾸리 *Misgurnus anguillicaudatus* (Uchida, 1939), 미꾸라지 *M. mizolepis* (Kim et al., 1987; Kim et al., 1992)보다는 적은 편이었다. 난경은 미호종개가 0.75 ± 0.05 mm로 미꾸리과 어류 중에 가장 작은 것으로 나타났고, 그 다음으로 미호종개 외 기름종개속 어류가 $0.98 \sim 1.09$ mm

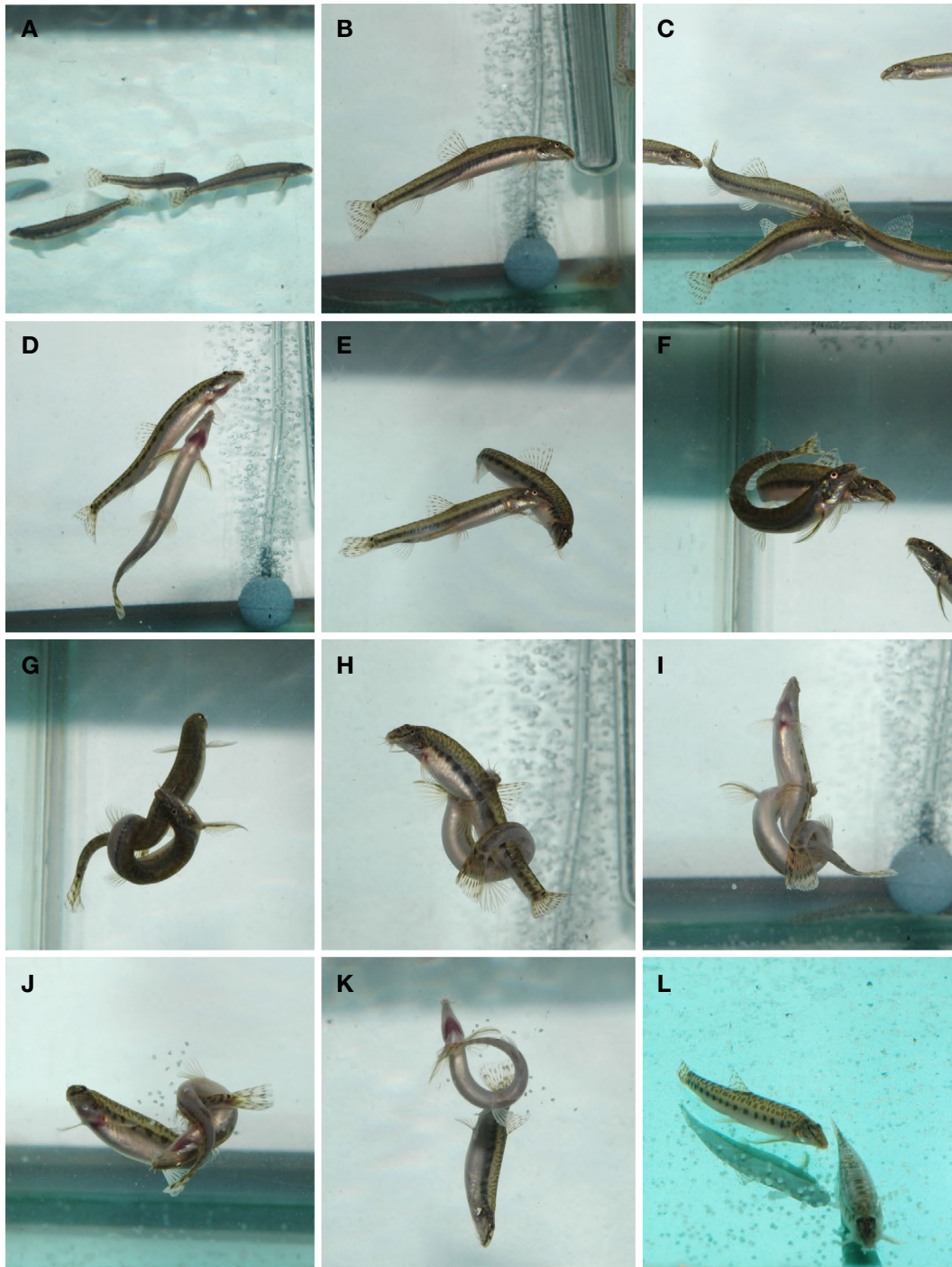


Fig. 6. Spawning behavior of *Cobitis choii* at water temperature 25°C in laboratory. A: Resting; B: Free-swimming; C: Group-swimming; D: Approaching and pairing; E: Beating and chasing; F: Contact and coiling; G: Coiling (dorsal side); H: Coiling (lateral side); I: Coiling (ventral side); J: Spawning and external fertilization; K: Separation; L: Resting.

(Kim *et al.*, 2006; Ko, 2009; Ko and Park, 2011), 새코미꾸리속 0.9~1.2 mm (Byeon, 2007; Hong *et al.*, 2011), 미꾸리속 1.1 mm (Uchida, 1939; Kim *et al.*, 1987; Kim *et al.*, 1992), 참중개속 1.11~1.45 mm (Kim, 1978; Kim and Lee, 1984; Choi, 2003;

Kim and Ko, 2005; Ko, 2009; Choi and Byeon, 2009; Ko *et al.*, 2012b, 2012d, 2013, 2016; Park, 2016; Ko and Won, 2016)였다. 성숙란의 크기는 서식지 하상입자와 매우 연관이 있는 것으로 알려졌는데, 성숙란이 비교적 작은 종들은 펄(미꾸리속)

Table 3. Composition of spawning characteristics in the family Cobitidae in Korea

Species	Sex ratio (♂/♀)	Spawning period (water temperature, °C)	Fecundity	Mature egg size (mm)	Reference
<i>Cobitis choui</i>	0.68	June~July (22~25)	2,444 ± 838	0.75 ± 0.05	Present study
<i>C. hankugensis</i>	1.55	July (22~27)	2,783 ± 1,543	0.98 ± 0.05	Ko, 2009
<i>C. lutheri</i>	0.87	July (24~26)	1,089 ± 418	1.09 ± 0.04	Ko and Park, 2011
<i>C. tetralineata</i>	0.58	June~July (22~26)	1,288 ± 583	0.98 ± 0.10	Kim <i>et al.</i> , 2006
<i>Iksookimia koreensis</i>	0.75	June (20~26)	1,138 ± 431	1.10 ± 0.08	Kim, 1978
	0.76	July	1,469 ± 797	1.08 ± 0.10	Ko <i>et al.</i> , 2012
<i>I. pumila</i>	1.02	May (20)	329 ± 204	1.35 ± 0.08	Kim and Lee, 1984
	-	June~July	1,017 ± 334	1.27 ± 0.02	Ko <i>et al.</i> , 2013
<i>I. longicorpa</i>	0.65	June (20~24)	2,402 ± 944	1.32 ± 0.12	Kim and Ko, 2005
	0.51	June (22~27)	1,992 ± 925	1.31 ± 0.06	Ko, 2009
<i>I. hugowolfeldi</i>	0.59	June~July (21~23)	1,933 ± 530	1.30 ± 0.07	Choi, 2003
	0.69	June~July (21~23)	933 ± 154	1.30 ± 0.07	Park, 2016
<i>I. yongdokensis</i>	0.69	June~July (20~25)	2,292 ± 618	1.45 ± 0.03	Ko <i>et al.</i> , 2016
<i>I. pacifica</i>	0.63	July (20~25)	2,503 ± 1,337	1.11 ± 0.04	Ko and Won, 2016
	0.93	July (25~27)	809 ± 295	0.76 ± 0.01	Choi and Byeon, 2009
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>	0.78	May~June (20~23)	1,365 ± 720	1.18 ± 0.09	Byeon, 2007
<i>K. naktongensis</i>	0.92	May~June (17~20)	22,643 ± 4,629	0.87 ± 0.05	Hong <i>et al.</i> , 2011
<i>Kichulchoia brevifasciata</i>	0.49	June~July (19~29)	38 ± 3	1.45 ± 0.16	Kim, 2008
	0.10	July	69 ± 35	1.46 ± 0.07	Ko and Bang, 2014
<i>K. multifasciata</i>	0.73	April~May (13~21)	820 ± 213	1.77 ± 0.07	Chong, 1986
	0.90	March~May (14~21)	491 ± 154	-	Kim <i>et al.</i> , 2016
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	-	May~June	16,430~40,000	1.1	Uchida, 1939
<i>M. mizolepis</i>	-	April~June	8,500~1,3500	1.12	Kim <i>et al.</i> , 1987; Kim <i>et al.</i> , 1992

과 모래(기름종개속)에 주로 서식하지만 성숙란이 비교적 큰 종들은 자갈과 돌(참종개속, 새코미꾸리속, 좁수수치속)에 주로 서식하는 것으로 보고되었다(Shimizu *et al.*, 1998; Ko *et al.*, 2016).

자연에서 미꾸리과 어류의 산란행동은 관찰하기가 어려워 일부 종들에서만 관찰되었고(Kawanabe *et al.*, 1989), 일부 종들은 수조 내 실험으로 밝혀졌다(Bohlen, 1999, 2000, 2008; Hong *et al.*, 2021). 미꾸리과 어류의 대부분은 수컷 가슴지느러미에 골질반을 가지고 있으며, 산란기에 이 골질반을 이용하여 암컷 몸을 조여 산란하는 것으로 알려졌는데(Bohlen, 2008), 기름종개속의 *C. taenia* (Bohlen, 1999), 미꾸리속의 미꾸리(Tsukahara, 1948), 새코미꾸리속의 얼룩새코미꾸리(Hong *et al.*, 2021) 등은 'U'자로 둥글게 감싸며 산란행동을 하는 것이 보고되어 미호종개와 유사한 산란행동을 보였다. 반면 *Sabanejewia*속 *S. vallahica*은 수컷에 골질반이 없어 미끄러지지 않도록 'V'자 형태로 감싸 산란하는 것이 보고되어 본 종과 차이를 보였다(Bohlen, 2000, 2008). 미호종개의 산란 전 행동이나 수컷이 암컷을 자극하는 행동 등

은 *C. taenia*, 미꾸리, 얼룩새코미꾸리 등과 비교적 유사하였다(Tsukahara, 1948; Bohlen, 1999; Hong *et al.*, 2021). 수조 내 실험으로 얼룩새코미꾸리의 산란행동은 암·수 1쌍당 5.6회(1~18회)이고 1회 산란량은 230~390개, 총 산란량은 2,033개로 보고되어(Hong *et al.*, 2021), 미호종개의 암·수 1쌍당 산란행동은 20회(15~25회)이고 1회 산란량은 80~120개, 총 산란량은 2,500개와 비교하면, 평균 산란횟수와 총 산란량은 미호종개가 많았으나 1회 산란량은 얼룩새코미꾸리가 더 많아 차이를 보였다. 미호종개를 포함한 *C. taenia* (Bohlen, 1999), 미꾸리(Tsukahara, 1948), 얼룩새코미꾸리(Hong *et al.*, 2021), *S. vallahica* (Bohlen, 2008)는 모두 공통적으로 산란행동을 통해 난을 흠뻑리고 산란이후 난을 보호하는 특이적인 행동은 보이지 않았다.

미꾸리과 어류의 산란장 특징은 산란행동과 마찬가지로 거의 관찰되지 않았다. 특히 산란장의 기질은 서식지처럼(Shimizu *et al.*, 1998; Ko *et al.*, 2016) 속 또는 종에 따라 특이성을 보일 것으로 예상되지만 밝혀진 종은 몇 종에 불과하다. 이중 *C. taenia*는 수심 6~10 cm이고 모래-펄 바닥의 식물의

밀도가 높은 곳에 산란을 하고(Bohlen, 2003), *C. striata*는 유속이 느리고 수심이 얕으며 자갈 도랑이나 습지에 산란을 하며(Saitoh, 1990), 미꾸리는 수심이 얕은 펄 바닥인 논에서 산란하는 모습이 관찰된 바 있다(Kawanabe *et al.*, 1989). 미호종개는 얼룩새코미꾸리와 마찬가지로 수조에서 산란행동을 실험하였기 때문에 산란장 특징을 확인하지 못하였다. 다만 자연에서 미호종개의 산란은 장마로 인해 수위가 급격히 상승한 시기이며, 성숙개체 및 산란중인 개체 모두 모래가 깔려 있는 곳에서 채집되었기 때문에 산란장소는 모래 바닥으로 추정되나, 정확한 산란장 특징을 밝히기 위해서는 추가 연구가 필요하다고 생각된다.

요 약

천연기념물이며 멸종위기어류인 미호종개의 번식생태 및 산란행동을 밝히기 위해 2011년 조사를 실시하였다. 미호종개는 수컷에 성적 이형인 골질반(lamina circularis)이 만 1년생 때 가슴지느러미 제2기조에 생성되어 암·수가 쉽게 구별되었으며, 1월부터 12월까지 암컷 1,288개체, 수컷 881개체가 채집되어 성비는 1:0.68이었다. 산란기는 비만도지수의 급격한 하락을 보인 6월 말부터 7월 초(산란성기 6월말, 수온 22~25°C)로 추정되었고, 생식소성숙도는 암컷 17.5±2.11%, 수컷 2.9±0.46%이며, 포란수는 2,444±838개, 난경은 0.75±0.05 mm였다. 산란행동은 실험실에서 호르몬(HCG)을 주사하여 산란을 유도하여 관찰하였다. 실험결과, 암컷과 수컷은 산란이 임박하면 1:1로 짝을 이룬 후 수컷이 가슴지느러미 골질반을 이용하여 암컷의 복부를 압박하여 산란을 유도하고 바로 방정하여 수정시켰다. 산란행동은 암·수 1쌍당 15~25(평균 20)회를 반복하였고, 1회당 80~120개의 난을 산란하였으며, 총 산란량은 평균 2,500±250개였다.

사 사

본 연구는 환경부 “2011년도 멸종위기 담수어류(통사리 등 4종) 증식·복원 연구”의 연구비 및 순천향대학교의 연구비 지원을 받아 수행되었다.

REFERENCES

- Bae, D.Y., W.K. Moon, M.H. Jang, K.S. Jang, J.B. Seo, W.J. Kim, J.O. Kim and J.K. Kim. 2012. Applying the Jolly-Seber model to estimate population size of miho spine loach (*Cobitis choii*) in the Backgok Stream, Korea. Korean J. Limnol., 45: 322-328.
- Bang, I.C., W.J. Kim and I.R. Lee. 2008. Characterization of polymorphic microsatellite loci in the endangered Miho spine loach (*Iksookimia choii*) and cross-species amplification within the Cobitidae family. Molecular Ecol. Res., 9: 281-284.
- Bogutskaya, N.G., A.M. Naseka, S.V. Shedko, E.D. Vasil'eva and I.A. Chereshev. 2008. The fishes of the Amur River: updated check-list and zoogeography. Ichthyol. Explor. Freshwaters, 19: 301-366.
- Bolhen, J. 1999. Reproduction of spined loach, *Cobitis taenia* (Cypriniformes; Cobitidae) under laboratory conditions. J. Appl. Ichthyol., 15: 49-53. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0426.1999.00122.x>.
- Bolhen, J. 2000. Similarities and differences in the reproductive biology of loaches (*Cobitis* and *Sabanejewia*) under laboratory conditions. Folia Zool., 49: 179-186.
- Bolhen, J. 2003. Spawning habitat in the spined loach, *Cobitis taenia* (Cypriniformes; Cobitidae). Ichthyol. Res., 50: 98-101.
- Bolhen, J. 2008. First report on the spawning behavior of a golden spined loach, *Sabanejewia vallaichica* (Teleostei: Cobitidae). Folia Zool., 57: 139-146.
- Byeon, H.K. 2007. Ecology of *Koreocobitis rotundicaudata* (Cobitidae) in the Naerin Stream, Korea. Korean J. Ichthyol., 19: 299-305.
- CHA (Cultural Heritage Administration). 2024. Natural monument designation. Retrieved from [http://www.cha.go.kr/korea.version\(3/2024\)](http://www.cha.go.kr/korea.version(3/2024))
- Chae, B.S., H.B. Song and J.Y. Park. 2019. A field guide to the freshwater fishes of Korea. LG Evergreen Foundation, Seoul, Korea, 355pp.
- Choi, E.K. 2003. Biology of the Southern Spined Loach, *Iksookimia hugowolfeldi* (Pisces, Cobitidae). Master Thesis, Chonbuk National University, Jeonju, 42pp.
- Choi, J.K. and H.K. Byeon. 2009. Ecological characteristics of *Cobitis pacifica* (Cobitidae) in the Yeongok Stream. Korean J. Limnol., 42: 26-31.
- Chong, D.S. 1986. Morphological and bionomical studies of *Niwaella multifasciata* (Wakiya et Mori). Master Thesis, Chonbuk National University, 37pp.
- Hong, Y.K., H. Yang and I.C. Bang. 2011. Habitat, reproduction and feeding habit of endangered fish *Koreocobitis naktongensis* (Cobitidae) in the Jaho Stream, Korea. Korean J. Ichthyol., 23: 234-241.
- Hong, Y.K., H. Yang and I.C. Bang. 2021. The spawning behaviour of the endangered freshwater fish *Koreocobitis naktongensis* (Cypriniformes: Cobitidae) under artificial conditions. Korean J. Ichthyol., 33: 15-21. <https://doi.org/10.35399/ISK.33.1.3>.
- Hong, Y.P. 2004. The present status and conservation of the critically endangered species, *Iksookimia choii*, in Korea. Abstract 2004 Autumn Meeting of the Ichthyological Society of Ko-

Bae, D.Y., W.K. Moon, M.H. Jang, K.S. Jang, J.B. Seo, W.J. Kim, J.O. Kim and J.K. Kim. 2012. Applying the Jolly-Seber model to estimate population size of miho spine loach (*Co-*

- rea, pp. 59-75.
- Kawanabe, H., N. Mizuno and K. Hosoya. 1989. Freshwater fishes of Japan. YAMA-KEI Publishers Co., Ltd., Tokyo, 720pp.
- Kim, D.S., J.H. Kim and I.S. Park. 1992. Induced and multiple spawnings by human chorionic gonadotropin injection of the loach, *Misgurnus mizolepis* (Teleostomi; Cobitidae). J. Aquacult., 5: 109-115.
- Kim, E.J. 2008. Conservation biology of dwarf loach, *Kichulchoia brevifasciata*. Master thesis, Chonbuk National University, Jeonju, 58pp.
- Kim, H.S. and H. Yang. 2016. Spawning period and spawning characteristics of *Kichulchoia multifasciata* (Pisces: Cobitidae) in the Yugokcheon (stream) of Nakdonggang (river) from Korea. Korean J. Ichthyol., 28: 93-99.
- Kim, I.S. 1978. Ecological studies of cobitid fish, *Cobitis koreensis* in Jeonju-cheon Creek, Jeonrabug-do province, Korea. Korean J. Ecol., 2: 9-14.
- Kim, I.S. 2009. A review of the spined loaches, family Cobitidae (Cypriniformes) in Korea. Korean J. Ichthyol., 21 (supplement): 7-28.
- Kim, I.S. and M.H. Ko. 2005. Ecology of *Iksookimia longicorpa* (Cobitidae) in the Seomjin River, Korea. Korean J. Ichthyol., 17: 112-122.
- Kim, I.S., M.H. Ko and J.Y. Park. 2006. Population ecology of Korean sand loach *Cobitis tetralineata* (Pisces; Cobitidae) in the Seomjin River, Korea. J. Ecol. Field Biol., 29: 277-286.
- Kim, I.S. and Y.M. Son. 1984. *Cobitis choii*, a new cobitid fish from Korea. Korean J. of Zool., 27: 49-55.
- Kim, I.S. and W.O. Lee. 1984. Morphological and ecological aspects on the population of *Cobitis koreensis* Kim (Pisces: Cobitidae) in the Begchon Stream, Puan-gun, Chollabug-do, Korea. Korean J. Ecol., 7: 10-20.
- Kim, K.Y., S.Y. Lee, I.C. Bang and Y.K. Nam. 2008. Complete mitogenome sequence of an endangered freshwater fish, *Iksookimia choii* (Teleostei; Cypriniformes, Cobitidae), Mitochondrial DNA, 19: 438-445.
- Kim, Y.U., D.S. Kim and Y.S. Park. 1987. Development of eggs, larvae and juveniles of loach, *Misgurnus mizolepis* Günther. Bull. Korean Fish. Soc., 20: 16-23.
- Ko, M.H. 2009. Reproductive mechanisms of the unisexual diploid-triploid hybrid complex between the spined loach *Cobitis hankugensis* and *Iksookimia longicorpa* (Teleostei, Cobitidae) in Korea. Doctoral Thesis, Chonbuk National University, Jeonju, 160pp.
- Ko, M.H., H.Y. Song, Y.G. Hong and I.C. Bang. 2012a. Reproductive ecology of an endangered species *Gobiobotia macrocephala* (Pisces: Cyprinidae), in Seom River, Korea. Korea J. Limnol., 45: 190-199.
- Ko, M.H., M.S. Han and H.S. Seo. 2023. Life history of the endangered endemic species, *Rhynchocypris semotilus* (Pisces: Cyprinidae) in the Songhyeoncheon (Stream), Korea. Korean J. Ichthyol., 35: 160-170. <https://doi.org/10.35399/ISK.35.3.2>.
- Ko, M.H. and I.C. Bang. 2014. Spawning character and early life history of the endangered Korean dwarf loach, *Kichulchoia brevifasciata* (Teleostei: Cobitidae). Korean J. Ichthyol., 26: 89-98.
- Ko, M.H. and I.C. Bang. 2018a. Habitat characteristics and estimation of the age of the endangered miho spine loach, *Cobitis choii* (Pisces: Cobitidae) in Ji Stream, Geum River, Korea. Korean J. Ichthyol., 30: 46-54.
- Ko, M.H. and I.C. Bang. 2018b. Feeding ecology of the endangered Korean endemic miho spine loach, *Cobitis choii* (Pisces: Cobitidae) in Geumgang River, Korea. Korean J. Ichthyol., 30: 92-99.
- Ko, M.H., I.R. Lee and I.C. Bang. 2012b. Distribution status and estimation of population size of the endangered species, *Cobitis choii* (Pisces: Cobitidae) in Geum River, Korea. Korean J. Ichthyol., 24: 56-61.
- Ko, M.H. and J.Y. Park. 2011. Growth and spawning ecology of *Cobitis lutheri* (Teleostei: Cobitidae) in the Mangyeong river, Korea. Korean J. Ichthyol., 23: 158-162.
- Ko, M.H. and M.S. Han. 2024. Distribution aspect and extinction threat evaluation of the endangered miho spined loach, *Cobitis choii* (Pisces: Cobitidae). Korean J. Ichthyol., 36: 48-57. <https://doi.org/10.35399/ISK.36.1.6>.
- Ko, M.H., S.J. Moon, S.J. Lee and I.C. Bang. 2012c. Community structure of fish and inhabiting status of endangered species, *Cobitis choii* and *Gobiobotia naktongensis* in the Ji Stream, a tributary of the Geum River drainage system of Korea. Korea J. Limnol., 45: 356-367.
- Ko, M.H., S.Y. Park and I.C. Bang. 2012d. Egg development and early life history of Korean spined loach, *Iksookimia koreensis* (Pisces: Cobitidae). Korea J. Limnol., 45: 93-101.
- Ko, M.H., S.Y. Park and I.C. Bang. 2013. Egg development and early life history of the endangered Korean spine loach, *Iksookimia pumila* (Pisces: Cobitidae). Korean J. Ichthyol., 25: 65-73.
- Ko, M.H. and Y.J. Won. 2016. The age and spawning characteristics of the Korean endemic spine loach, *Iksookimia pacifica* (Pisces: Cobitidae) in the Bukcheon (stream), Korea. Korean J. Ichthyol., 28: 72-78.
- Ko, M.H., Y.K. Hong, H.L. Kim and I.C. Bang. 2014. Community structure of fish and inhabiting status of natural monument *Cobitis choii* in the Baekgok Stream, a tributary of the Geum River drainage system of Korea. Korea J. Ichthyol., 26: 99-111.
- Ko, M.H., Y.S. Jeon and Y.J. Won. 2016. The habitat, age and spawning characteristics of the Korean eastern spined loach, *Iksookimia yongdokensis* (Pisces: Cobitidae). Korea J. Ichthyol., 28: 239-248.
- Kottelat, M. 2012. Conspectus Cobitidum: An inventory of the loaches of the world (Teleostei: Cypriniformes: Cobitoidei). Raffles Bull. Zool., 26 (Suppl.): 1-199.
- Kwan, Y.S., D. Kim, M.H. Ko and Y.J. Won. 2018. Multi-locus phylogenetic analyses support the monophyly and the Miocene

- diversification of *Iksookimia* (Teleostei: Cypriniformes: Cobitidae). *Syst. Biodivers.*, 16: 81-88. <https://doi.org/10.1080/14772000.2017.1340912>.
- Lee, H.Y., H.S. Lee and C.S. Park. 1986. Karyotype analysis and geographical polymorphism in Korean *Cobitis*. *Korean J. Genetics*, 8: 65-74.
- Lee, I.R., Y.A. Lee, H. Shin, Y.K. Nam, W.J. Kim and I.C. Bang. 2008. Genetic diversity of an endangered fish, *Iksookimia choui* (Cypriniformes), from Korea as assessed by amplified fragment length polymorphism. *Korean J. Limnol.*, 41: 98-103.
- ME (Ministry of Environment). 1996. Natural environment conservation act (No. 13254).
- ME (Ministry of Environment). 1998. Natural environment conservation act (Law No. 5392).
- ME (Ministry of Environment). 2005. Enforcement of wildlife Laws (Law No. 7167).
- ME (Ministry of Environment). 2006. Studies on the genetic diversity, artificial propagation and *ex situ* restoration of a threatened national monument fish *Hemibarbus mylodon*. Soonchunhyang University, Asan, 520pp.
- ME (Ministry of Environment). 2009. Development of genetic diversity analysis, culture and ecosystem restoration techniques for endangered fish, *Iksookimia choui*. Soonchunhyang University, Asan, 537pp.
- ME (Ministry of Environment). 2011a. Culture and restoration research of endangered freshwater fish (four species including *Liobagrus obesus*). Soonchunhyang University, Asan, 359pp.
- ME (Ministry of Environment). 2011b. Development of culture techniques and construction of monitoring system for released seedlings of endangered fish *Koreocobitis naktongensis*. Soonchunhyang University, Asan, 250pp.
- ME (Ministry of Environment). 2012a. Conservation and management laws of wildlife (Law No. 10977).
- ME (Ministry of Environment). 2012b. Culture and restoration research of endangered freshwater fishes (five species including *Liobagrus obesus*). Soonchunhyang University, Asan, 269pp.
- ME (Ministry of Environment). 2013. Post-monitoring of culture and restoration research of endangered freshwater fish. Soonchunhyang University, Asan, 204pp.
- ME (Ministry of Environment). 2017. Conservation and management laws of wildlife (Law No. 737).
- ME (Ministry of Environment). 2019. A study on conservation plan of endangered freshwater fish (*Microphysogobio rapidus*, *Pseudobagrus brevicorpus*). Institute of Biodiversity Research, Jeon-ju, 214pp.
- ME (Ministry of Environment). 2022. Conservation and management laws of wildlife (amendment of enforcement regulations) (Law No. 10977).
- MLTM (Ministry of Land & Transport and Maritime Affairs). 2010. Culture and restoration of endangered species in the major four river drainages. Soonchunhyang University, Asan, Korea, 489pp.
- Nelson, J.S., T.C. Grande and M.V.H. Wilson. 2016. Fishes of the world (Fifth edition). John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, p. 190.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2011. Red data book of endangered fishes in Korea. Ministry of Environment, Incheon, 202pp.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2019. Red data book of Republic of Korea, Volume 3. Freshwater fishes. Ministry of Environment, National Institute of Biological Resources, Incheon, Korea, 250pp.
- Park, C.W. 2016. Ecology of the endemic Korean southern king spine loach, *Iksookimia hugowolfdi*. Master Thesis, Chonbuk National University, Jeonju, 56pp.
- Park, J.Y. and I.S. Kim. 2003. Variability of egg envelopes in Korean spined loaches (Cobitidae). *Folia Biol.*, 51: 187-192.
- Saitoh, K. 1990. Reproductive and habitat isolation between two populations of the striated spined loach. *Environm. Biol.*, 28: 237-248.
- Shimizu, T., H. Sakai and N. Mizuno. 1998: Embryonic and larval development of a Japanese spinous loach, *Cobitis takatsuensis*. *Ichthyol. Res.*, 45: 377-384.
- Šlechtová, V., J. Böhlen and A. Perdices. 2008. Molecular phylogeny of the freshwater fish family Cobitidae (Cypriniformes: Teleostei): Delimitation of genera, mitochondrial introgression and evolution of sexual dimorphism. *Mol. Phylogent Evol.*, 47: 812-831.
- Song, H.Y., W.J. Kim, W.O. Lee and I.C. Bang. 2008. Morphological development of egg and larvae of *Iksookimia choui* (Cobitidae). *Korean J. Limnol.*, 41: 104-110.
- Tsukahara, H., 1948. The relation between the secondary sex-characters and the spawning habits in the loach, *Misgurnus anguillicaudatus*. *Cantor. Seibutu*, 3: 64-69.
- Uchida, K. 1939. The fishes of Tyosen. Part I. Numatognathi, Even-tognathi. *Bull. Fish Exp. Sta. Gov. Gener. Tyōsen*, pp. 400-458.
- WRMIS (Water Resources Managment Information System). 2019. Water level of Cheongyanggung (Jicheongyo) observatory. Retrieved from <http://www.wamis.go.kr/korea>. version (12/2019)